

● 电器修理技术丛书

电工基础与电工技术

(第3版)

于长新 编著

微信搜索蓝领精英

获取更多资料



山东科学技术出版社

~~~~~电器修理技术丛书~~~~~

# 电工基础与电工技术

(第3版)

于长新 编著

获取更多资料 微信搜索蓝领星球

山东科学技术出版社

**图书在版编目 (CIP) 数据**

电工基础与电工技术/于长新编著. —3版. —济南: 山东科学技术出版社, 1999.7

(电器修理技术丛书)

ISBN 7-5331-2418-9

I. 电… II. 于… III. 电工学 IV. TM1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 30781 号

电器修理技术丛书

**电工基础与电工技术**

(第3版)

于长新 编著

山东科学技术出版社出版

(济南市玉函路16号 邮编250002)

山东科学技术出版社发行

(济南市玉函路16号 电话2014651)

山东人民印刷厂印刷

787mm×1092mm 16开本 21印张 450千字

2001年1月第3版第10次印刷

印数:180 001—182 000

ISBN7—5331—2418—9  
TM·39 定价 33.50 元

## 出版说明

为了适应中等职业教育、电器修理业发展及寻求职业者的需要，我社将《电器修理技术丛书》，在重印、修订了几次的基础上，又请作者在保留原书风格和特点的前提下，作了全面修订，除改正了印刷错误、删除了过时的内容外，着重增加了一些实用的新知识和新技术。

本丛书目前共 13 种，分别是《电机修理技术》、《电工基础与电工技术》、《黑白电视机修理技术》、《彩色电视机修理技术》、《半导体收音机修理技术》、《家用制冷设备修理技术》、《录像机修理技术》、《电子线路与电子技术》、《微型计算机修理技术》、《激光影碟机修理技术》、《盒式录音机修理技术》、《洗衣机修理技术》、《国产、进口组合音响及家庭影院系统修理技术》。今后，随着科技的发展及新的家用电器种类的出现，我们将陆续补充本丛书的品种，在内容上亦不断修订增补，使本丛书始终适应新形势，更好地为读者服务。我们热切希望读者在使用本丛书的过程中，将发现的问题及希望及时告知我们，以使本丛书渐臻完美，在此我们预致诚挚的谢意。

本丛书在编写（修订）过程中，力求做到理论联系实际，文字通俗易懂，除简要介绍基础知识外，着重介绍了修理、操作技术，以达到实用速成的目的。丛书可作为中等职业学校或短训班的教材，也适合电器维修人员及广大业余爱好者阅读。

# 前 言

《电工基础与电工技术》自 1986 年出版以来，已重印数次，累计印数达 20 万册，深受广大读者欢迎。随着科技的不断进步，新技术、新设备、新工艺的应用，计量标准化的实施，对本书某些章节增删了部分内容。在两次修订中，先后得到工程师郭庭良、康文明和李德军同志的协助，在此深表感谢！

因编者水平所限，错误之处在所难免，望读者随时予以指正。

于长新

获取更多资料 微信搜索 蓝蓝蓝蓝

# 目 录

|                            |     |
|----------------------------|-----|
| <b>第 1 章 电工基础知识</b> .....  | 1   |
| 第 1 节 电能的产生和电力系统.....      | 2   |
| 第 2 节 电路的构成.....           | 5   |
| 第 3 节 电流、电压和电阻.....        | 7   |
| 第 4 节 欧姆定律 .....           | 12  |
| 第 5 节 电路的串联、并联和混联 .....    | 17  |
| 第 6 节 基尔霍夫定律 .....         | 21  |
| 第 7 节 电功率和电能 .....         | 24  |
| 第 8 节 电容器 .....            | 27  |
| 第 9 节 电和磁的关系 .....         | 29  |
| 第 10 节 交流电的基本概念.....       | 40  |
| 第 11 节 三相交流电路.....         | 53  |
| <b>第 2 章 变压器</b> .....     | 61  |
| 第 1 节 变压器的基本构造 .....       | 61  |
| 第 2 节 变压器的工作原理 .....       | 64  |
| 第 3 节 变压器的铭牌 .....         | 66  |
| 第 4 节 变压器容量的选择 .....       | 70  |
| 第 5 节 变压器的运行 .....         | 71  |
| 第 6 节 变压器装置的主要附属设备 .....   | 73  |
| 第 7 节 变压器的安装 .....         | 77  |
| 第 8 节 变压器的维护与故障处理 .....    | 79  |
| 第 9 节 特殊用途的变压器 .....       | 80  |
| 第 10 节 小型变压器的设计与制作.....    | 86  |
| <b>第 3 章 电力线路</b> .....    | 90  |
| 第 1 节 高压架空配电线路的一般知识 .....  | 90  |
| 第 2 节 电力电缆 .....           | 95  |
| 第 3 节 低压配电线路.....          | 102 |
| 第 4 节 室内外布线.....           | 116 |
| 第 5 节 常用照明灯具及安装.....       | 130 |
| <b>第 4 章 三相异步电动机</b> ..... | 143 |
| 第 1 节 三相异步电动机的基本结构.....    | 143 |
| 第 2 节 三相异步电动机的工作原理.....    | 145 |

|            |                    |            |
|------------|--------------------|------------|
| 第3节        | 三相异步电动机的铭牌         | 146        |
| 第4节        | 电动机的选择和安装          | 149        |
| 第5节        | 三相异步电动机的起动方式       | 152        |
| 第6节        | 异步电动机的运行           | 155        |
| 第7节        | 电动机的常见故障及排除方法      | 162        |
| 第8节        | 电动机的拆装             | 166        |
| 第9节        | 电动机的维护保养           | 170        |
| 第10节       | 电动机的试验             | 173        |
| 第11节       | 异步电动机改作发电机         | 178        |
| <b>第5章</b> | <b>常用低压电器</b>      | <b>181</b> |
| 第1节        | 闸刀开关               | 181        |
| 第2节        | 转换开关               | 184        |
| 第3节        | 低压熔断器              | 188        |
| 第4节        | 交流接触器和磁力起动器        | 192        |
| 第5节        | 自动空气开关             | 199        |
| 第6节        | 自耦减压起动器(补偿器)       | 204        |
| 第7节        | 星—三角起动器            | 206        |
| 第8节        | 万能转换开关和行程开关        | 209        |
| 第9节        | 电压换相开关和电流换相开关      | 212        |
| <b>第6章</b> | <b>家用电器</b>        | <b>214</b> |
| 第1节        | 电风扇                | 214        |
| 第2节        | 洗衣机                | 218        |
| 第3节        | 电冰箱                | 224        |
| 第4节        | 窗式空气调节器            | 233        |
| 第5节        | 电熨斗                | 240        |
| 第6节        | 电饭锅                | 243        |
| 第7节        | 胶木电器——电气装置件        | 248        |
| <b>第7章</b> | <b>常用电工工具和测量仪表</b> | <b>259</b> |
| 第1节        | 电工工具及使用            | 259        |
| 第2节        | 常用电工测量仪表的一般知识      | 269        |
| 第3节        | 仪表测量机构的共同部件        | 271        |
| 第4节        | 直流电流表和电压表          | 275        |
| 第5节        | 交流电流表和电压表          | 278        |
| 第6节        | 电能表                | 281        |
| 第7节        | 万用表                | 292        |
| 第8节        | 兆欧表                | 298        |
| <b>第8章</b> | <b>安全用电</b>        | <b>302</b> |
| 第1节        | 触电形式               | 302        |

|       |               |     |
|-------|---------------|-----|
| 第 2 节 | 电流对人体的危害..... | 305 |
| 第 3 节 | 触电事故的原因.....  | 306 |
| 第 4 节 | 触电急救.....     | 310 |
| 第 5 节 | 预防触电的措施.....  | 315 |
| 第 6 节 | 接地和接零.....    | 316 |
| 第 7 节 | 低压触电保护器.....  | 322 |

获取更多资料 微信搜索蓝领星球



# 第 1 章 电工基础知识

电能具有转换容易、输送经济、控制方便等优点。因此，它的用途很大，使用范围非常广泛（图 1—1）。电能不仅为工农业生产、交通运输、国防建设、广播通讯以及各种科学技术部门提供了强大的动力，也为这些部门的自动化和运动化创造了必要的条件。同时，电能也在人们的文化和物质生活中也是不可缺少的。因此，人们通常把电力工业称为国民经济的“先行官”。

随着科学技术的发展，电工技术已形成许多专业部门，这些专业部门都建立在一个

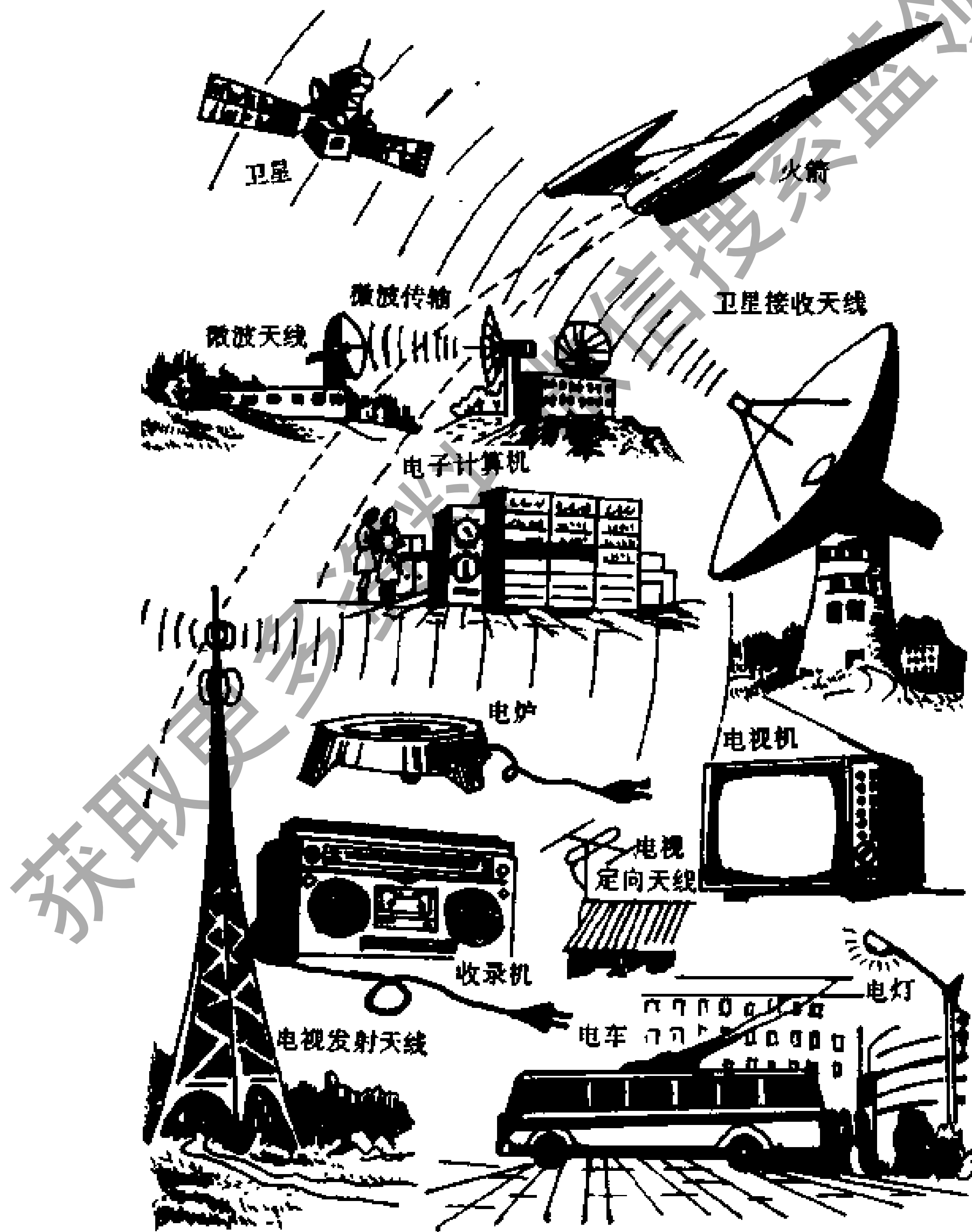


图 1—1 电能的应用

共同的理论基础上，那就是电工基础理论知识。为不断掌握电工技术，为从事各种工作打下基础，有必要先学习电工基础知识。

## 第1节 电能产生和电力系统

### 一、从物质的结构认识电的来源

人们通过长期的生产实践和科学实验认识到，所有物质都是由分子组成的。分子是一种能够单独存在，并保持原来物质的一切化学性质的最小微粒。各种分子又是由原子组成的，而原子已不再具有原来物质的化学性质。原子是由质子、中子和电子3种基本粒子组成的。质子带正电，中子不带电，它们结合成原子核；电子带负电，它环绕原子核高速旋转。不同元素的原子，有不同数目的电子。例如，一个铜原子，核外有29个电子，分布在4层轨道上绕原子核旋转，最外层轨道上为1个电子，1个铅原子，核外有13个电子（图1-2）。这些电子沿着不同的轨道分层围绕着原子核，以很快的速度不停息地旋转着，就像行星围绕太阳旋转一样。

在正常状态下，原子核中的质子数与核外电子数相等，而且每个质子所带的正电荷与每个电子所带的负电荷在数量上是相等的。因此，在正常状态下，原子呈中性，即对外界不显示电性。

原子由于受到外力的影响，以致失去或得到电子时，物体对外界就呈现出电的性质。两种物体相互摩擦可以产生电子的转移。一

种物体内部的原子失去一部分电子，结果使正电多于负电，物体就带正电；另一种物体的原子得到了一部分电子，结果使负电多于正电，物体就带负电。物体摩擦所产生的电，积聚在物体表面不动，这种电叫做静电。孤立的新架设的电力线（没有同杆架设的其他电力线路，并且附近也没有其他电力线路），两端没有接通电源，导线也不接地时，在干燥有风的天气也有可能带电，电压也可能相当高，这就是空气和导线摩擦所产生的静电。为防止触电，电业工人在登杆作业时，坚持先验电制度。如果有电，应该把导线接一下地，把静电放出去。

自然界中只存在着两种性质不同的电荷，负电荷和正电荷。电荷与电荷之间有相互作用力，即同性相斥、异性相吸。物体所带电荷的量值称为电量，用符号 $Q$ 或 $q$ 表示。电量的单位为库仑，简称库，符号为C。1C的电量约为 $6.25 \times 10^{18}$ 个电子所带电量的总和。

物体的原子内部包含着正电荷与负电荷这一对矛盾。因此，物体能够在外因的作用下产生带电现象。我们平时所说的电，就是指电荷对外界所表现出的各种现象。

既然一切物体的原子内部都包含着正电荷与负电荷，为什么有的物体容易导电，而有的物体不容易导电呢？这是不同物体的原子内部还包含着本身的特殊矛盾的缘故。各种金属原子和碳原子的最外层电子，很容易脱离原子核的引力范围，在原子之间作不规

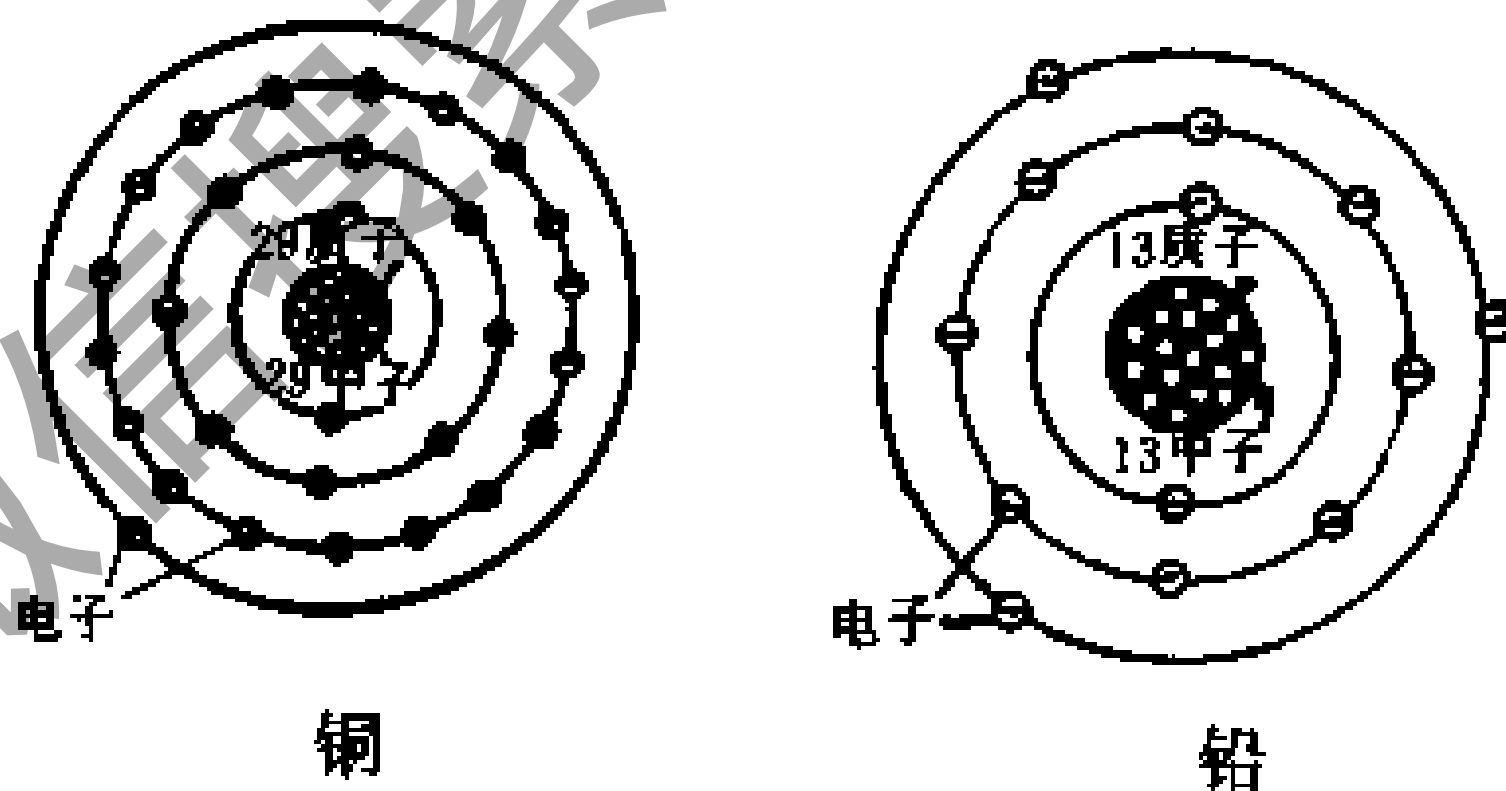


图1-2 原子结构示意图

则的运动，这种电子称为自由电子。当金属的某一部分得到多余电子时，这些电子就以自由电子状态转移到其他部分去；当它失去电子时，其他部分的自由电子就移来补充。金属物体具有良好的导电性能，故称为导体。

空气、玻璃、云母、橡胶、塑料、陶瓷以及干燥的木材等一类物体，其原子的最外层电子不容易脱离原子核的引力范围，因而自由电子很少，导电性能就差，故称为绝缘体。还有些物体，如硅、锗等，其内部的自由电子数比导体的少得多，但比绝缘体的多一些；或者在常温下自由电子数不多，但随着温度的升高自由电子数显著增加，这些物体的导电性能介于导体与绝缘体之间，故称为半导体。

导体和绝缘体是最常用的两种电工材料，它们各有不同的用途。导体可以给电子运动构成一个畅通的路径，所以各种导线以及电动机、变压器的线圈，都用铜、铝等金属导体做成；而在不允许通电的地方，则用绝缘材料把电隔开。例如，在导线外面包有用橡皮或塑料做成的绝缘层，灯头与开关的外壳都用电木做成等。绝缘材料的不导电性是有一定条件的，它与电压、温度、湿度等因素有关。也就是说，在一定条件下，绝缘的物体可能失去绝缘性能。例如单层黑胶布，在 250V 以下的电压条件下是绝缘体，但在几千伏电压下就会被击穿而失去绝缘作用；干燥的木材是绝缘体，但受潮之后，就失去绝缘性能而导电。因此，为了安全用电，必须注意绝缘材料的使用条件。

## 二、电力系统简单介绍

电力系统是由发电厂、变电所、输电线、配电网、用户所组成的发、供、用的一个整体（图 1—3）。图 1—4 为图 1—3 的原理性接线图。

### 1. 发电厂

日常生活和生产用电，一般都是由发电厂生产的，电能就是发电厂的产品。发电厂有多种类型，根据发电厂所利用的能源不同，可以分以下几类：

(1) 火力发电厂：利用煤、石油、天然气等燃料来发电的称火力发电厂，简称火电厂。火力发电厂的生产过程是，把煤、石

油、天然气放在锅炉中燃烧，将化学能转换为热能，从而获得具有一定温度和压力的蒸汽；蒸汽驱动汽轮机转动，将热能转换为机械能；由汽轮机带动发电机发电，将机械能转换成电能（图 1—5）。

若进入汽轮机的蒸汽做功后流入凝汽器凝结成水，则这种火电厂称为凝汽式火电厂。若从汽轮机中抽出部分蒸汽，或者把在汽轮机中作过功的全部蒸汽，向发电厂附近的工厂和居民供应蒸汽和热水，则这种兼供热的火电厂，称为热电厂。

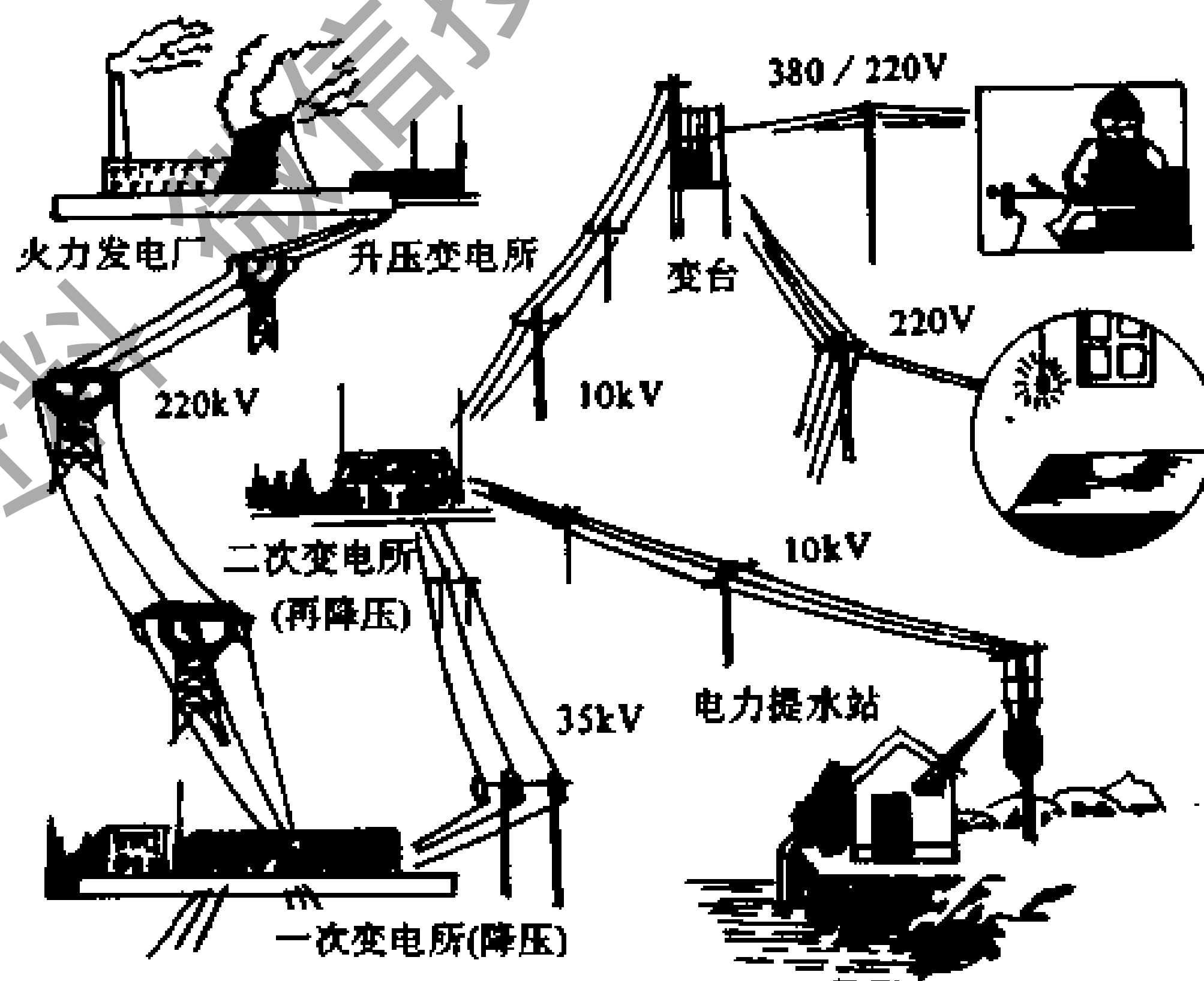


图 1—3 电力系统示意图

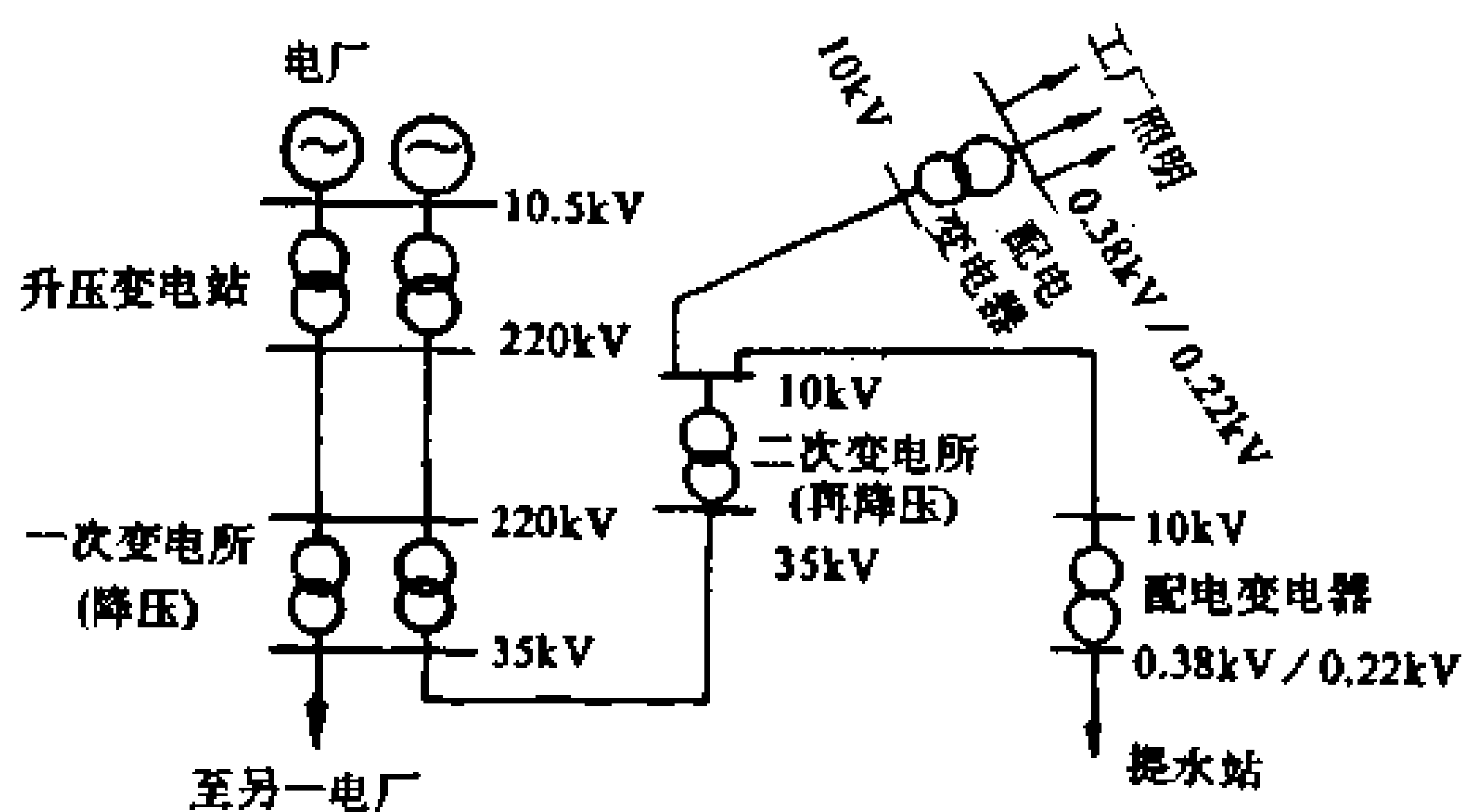


图 1-4 电力系统原理性接线图

目前，我国的发电厂绝大多数为火力发电厂，其装机容量为全国发电厂装机总容量的 75% 左右。

(2) 水力发电厂：水力发电厂简称水电厂或水电站。一般是在河流中拦河筑坝，提高上游的水位，成为水库，使上、下游形成尽可能大的落差。发电时，利用水库中高水位的水，经压力管道引入水轮机，推动水轮机转

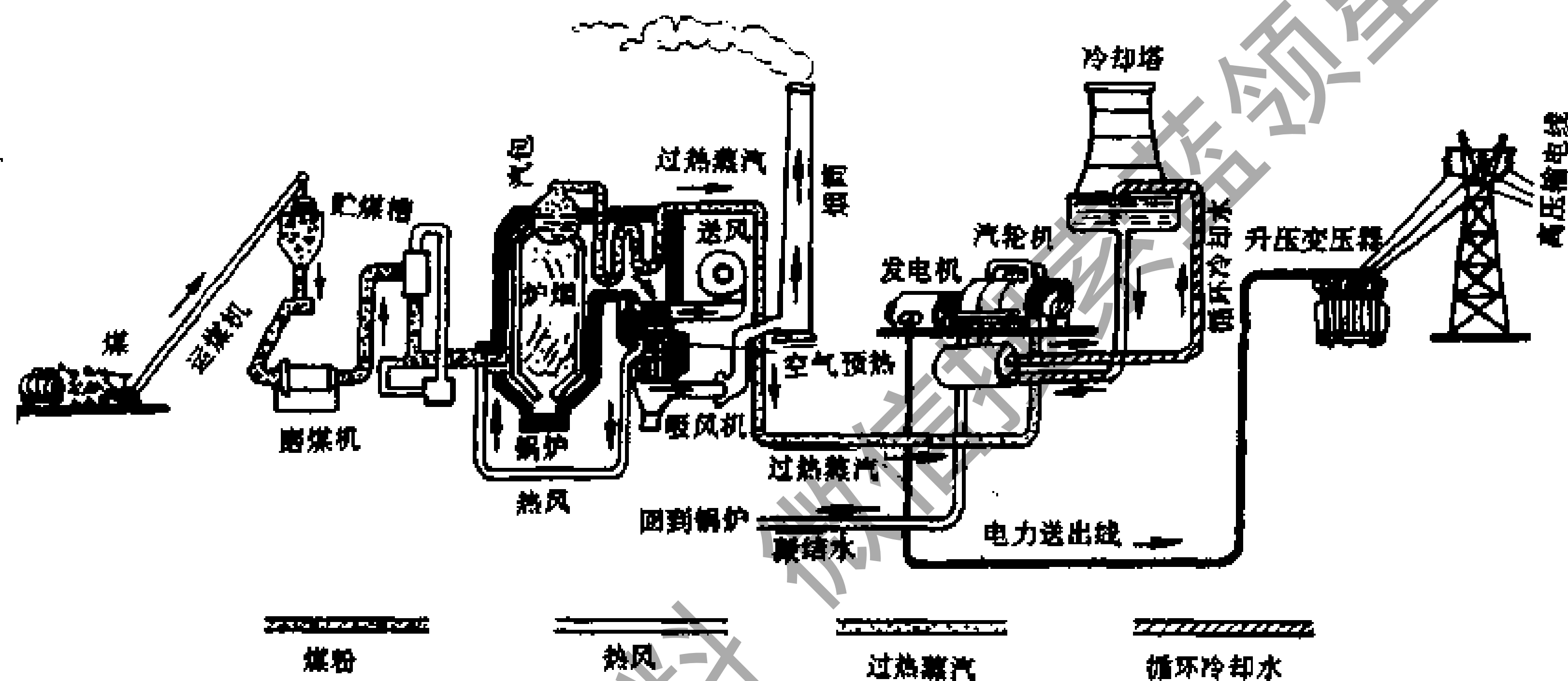


图 1-5 火力发电厂示意图

动，使水能转换成机械能，由水轮机带动发电机发电，将机械能转换成电能（图 1-6）。

目前，水电厂的装机容量仅占全国发电厂总装机容量的 25% 左右。

(3) 原子能发电厂：原子能发电厂的生产过程与凝汽式火力发电厂相仿，所不同的是以核反应堆代替了锅炉。原子核在分裂过程中产生大量的热能，把水加热成蒸汽，蒸汽冲动汽轮机使其带动发电机旋转发电。

由于原子能发电厂可以以少量的原子能燃料代替大量的煤炭，特别在少煤地区，建设原子能发电厂具有重要的经济和科学研究价值。我国已经设计建成了秦山核电站、大亚湾核电站。

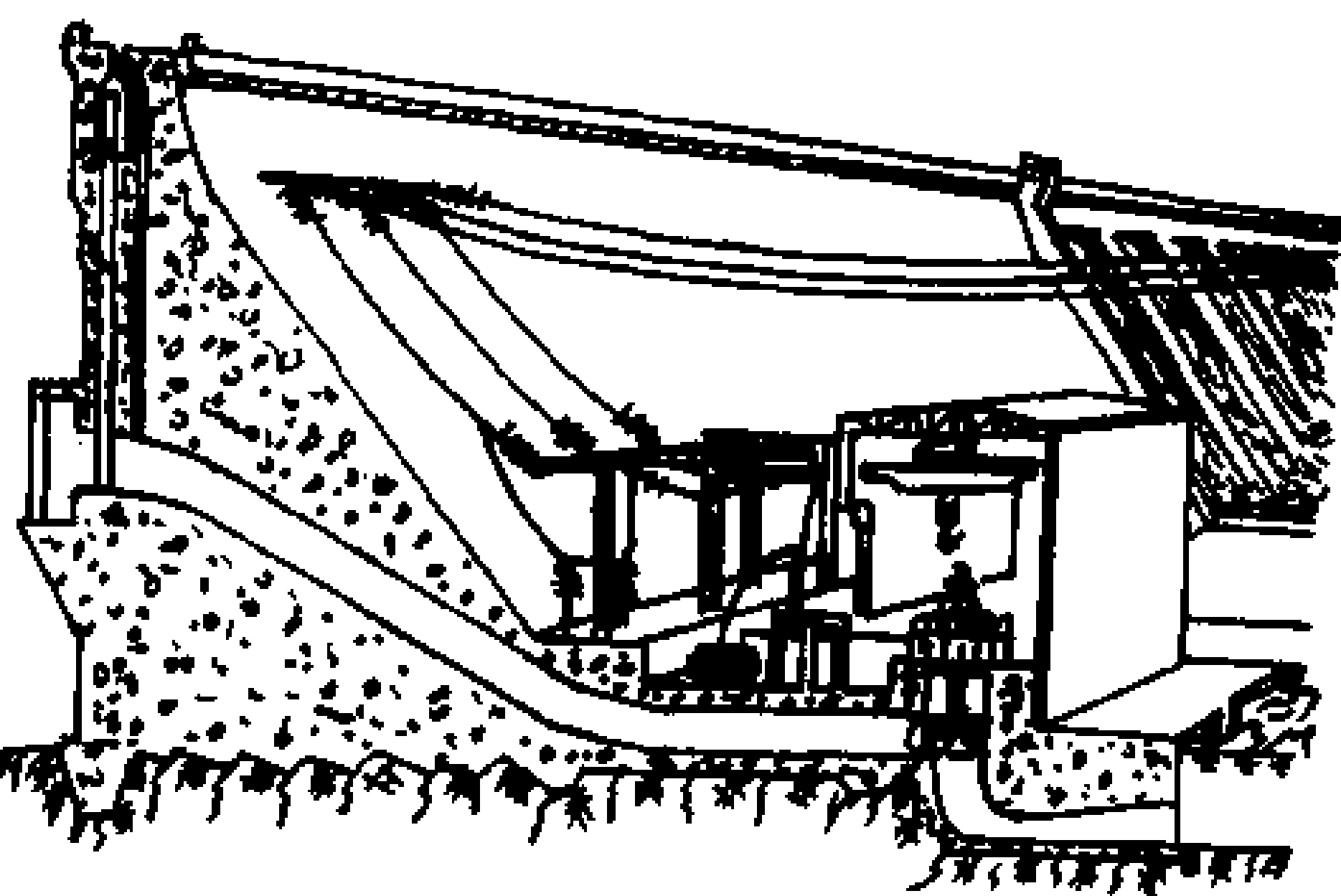


图 1-6 水力发电厂示意图

此外，还有潮汐发电厂、地热发电厂、风力发电厂、太阳能发电厂等。

## 2. 变电所

发电机的电压一般为 6.3kV、10.5kV、13.8kV、20kV 等，而用户的电压一般为 380/220V。所以，发电机一般都不直接向用户供电，需用变压器把发电机电压降低后才能供给用户。另外，为了把电能输送到较远的用电地区，通常发电厂发出的电能都需经升压变压器把电压升高（如 110kV、220kV、330kV 等），然后通过输电线路送到用电地区，再经变电所的变压器把电压逐级降低后，分配使用。变电所的主要任务是变换电压，其次还有集中和分配电能、控制电能的流向、调整电压的任务。

## 3. 输电线

输电线的作用是输送电能，并把发电厂、变电所和用户连接起来构成电力系统。

输电线一般是指 35kV 及以上的电力线路；35kV 以下向用电单位或城乡供电的线路，称为配电线路。

输电线可以是架空线，也可以是地下电缆，根据具体情况选择使用。

# 第 2 节 电路的构成

## 一、电路

简单地说，电路就是电流所通过的路径。例如，把灯泡用导线、开关与电源接通，则有电流通过灯泡，使灯泡发光。图 1—7 所示的是手电筒的电路。如果把电动机用导线、开关与电源接通，则有电流通过电动机，使电动机旋转起来（图 1—8）。这种使电流获得通路，而把有关电气元件加以适当组合所构成的总体，就叫做电路。一个完整的电路至少由以下 4 部分组成：

### 1. 电源

电源就是产生电能的设备。它的作用是将其他形式的能量（如化学能、热能、机械

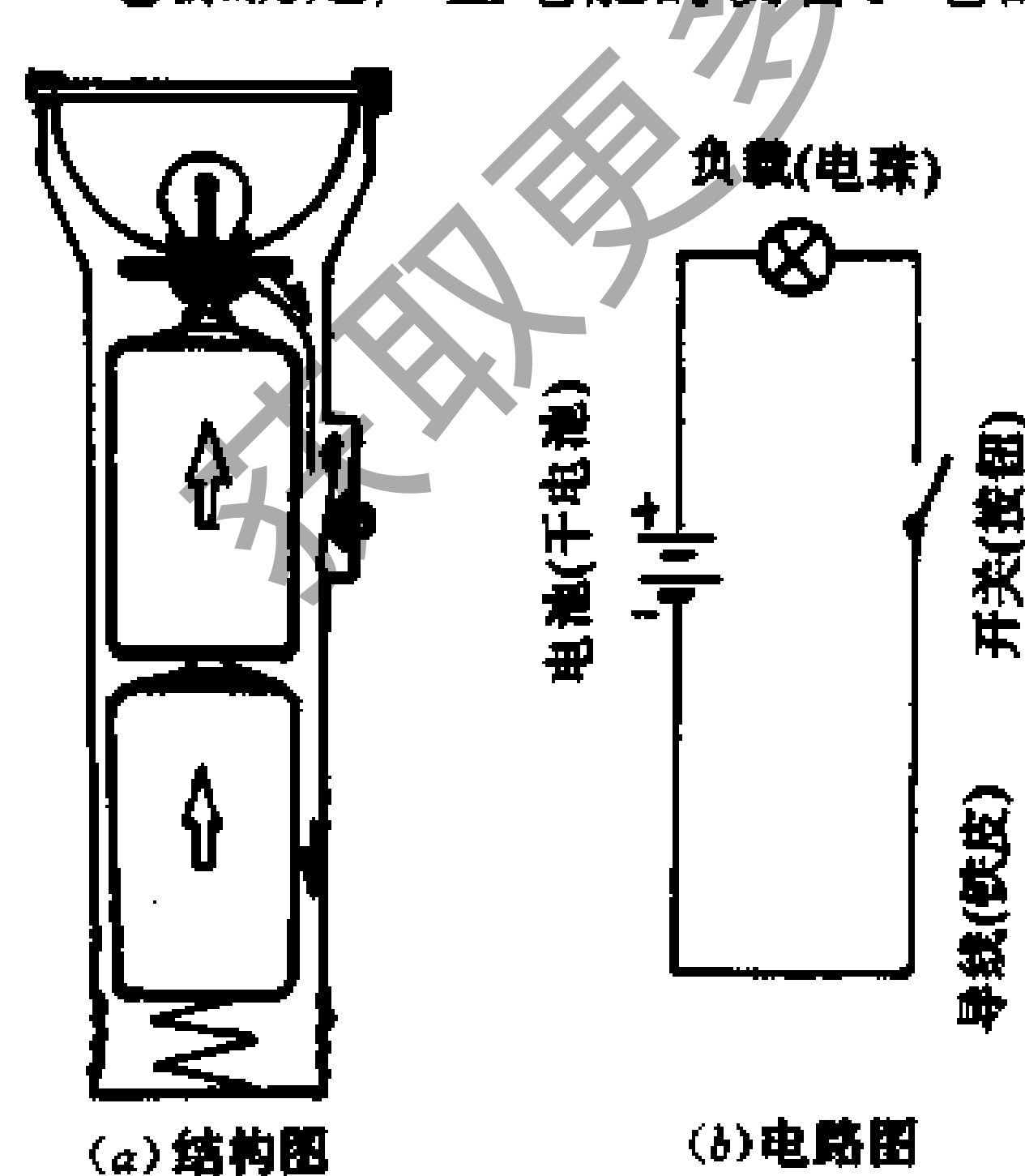


图 1—7 手电筒电路

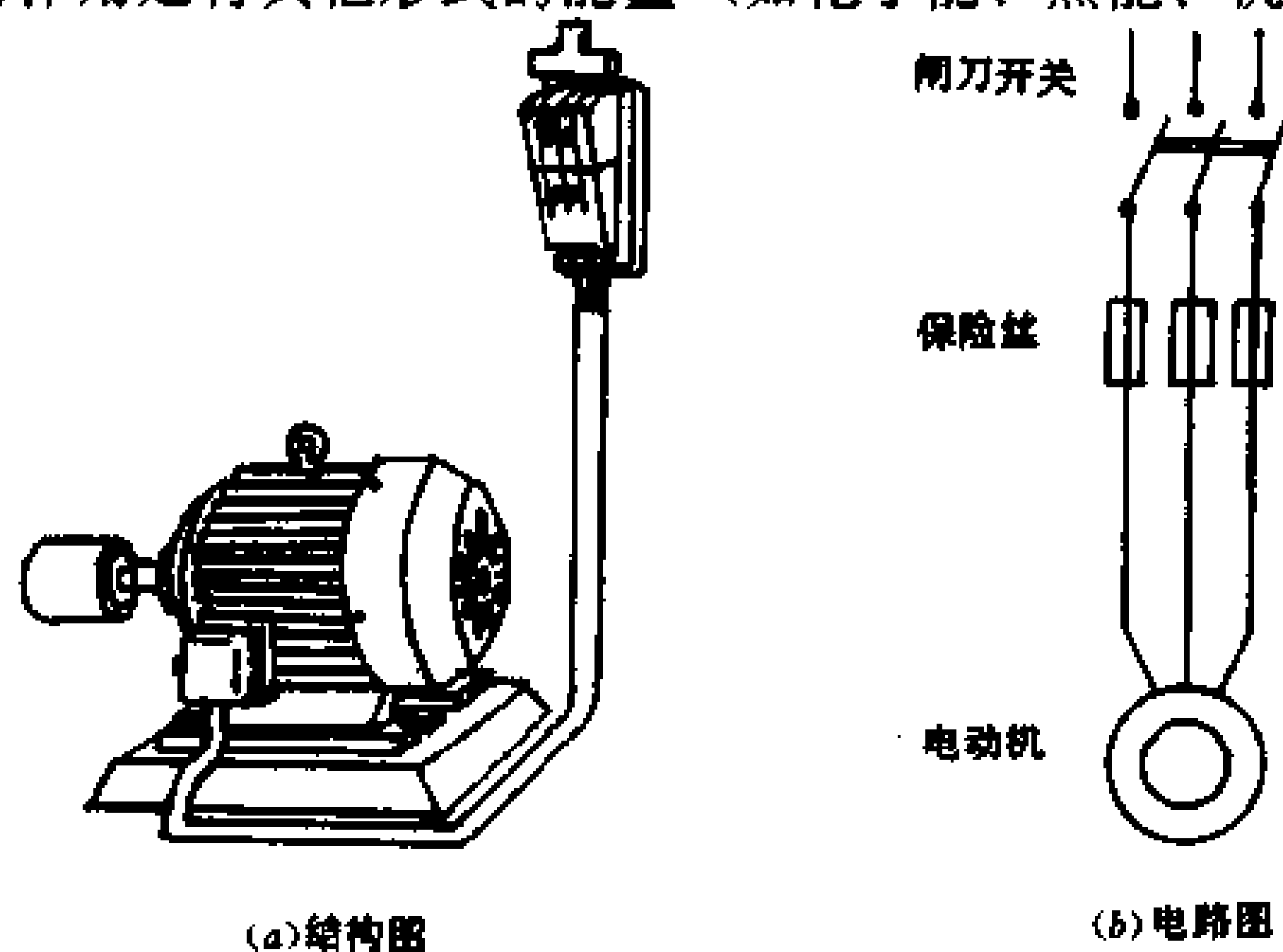


图 1—8 电动机电路

能、太阳能、原子能等),通过一定的方式转变为电能,并供给用电设备。一般的直流电源有干电池、蓄电池(图 1—9)、直流发电机和整流器等。从发电厂发出的电都是交流电。日常生产和生活等用电设备,如电灯、家用电器、电动机等都用电作电源。

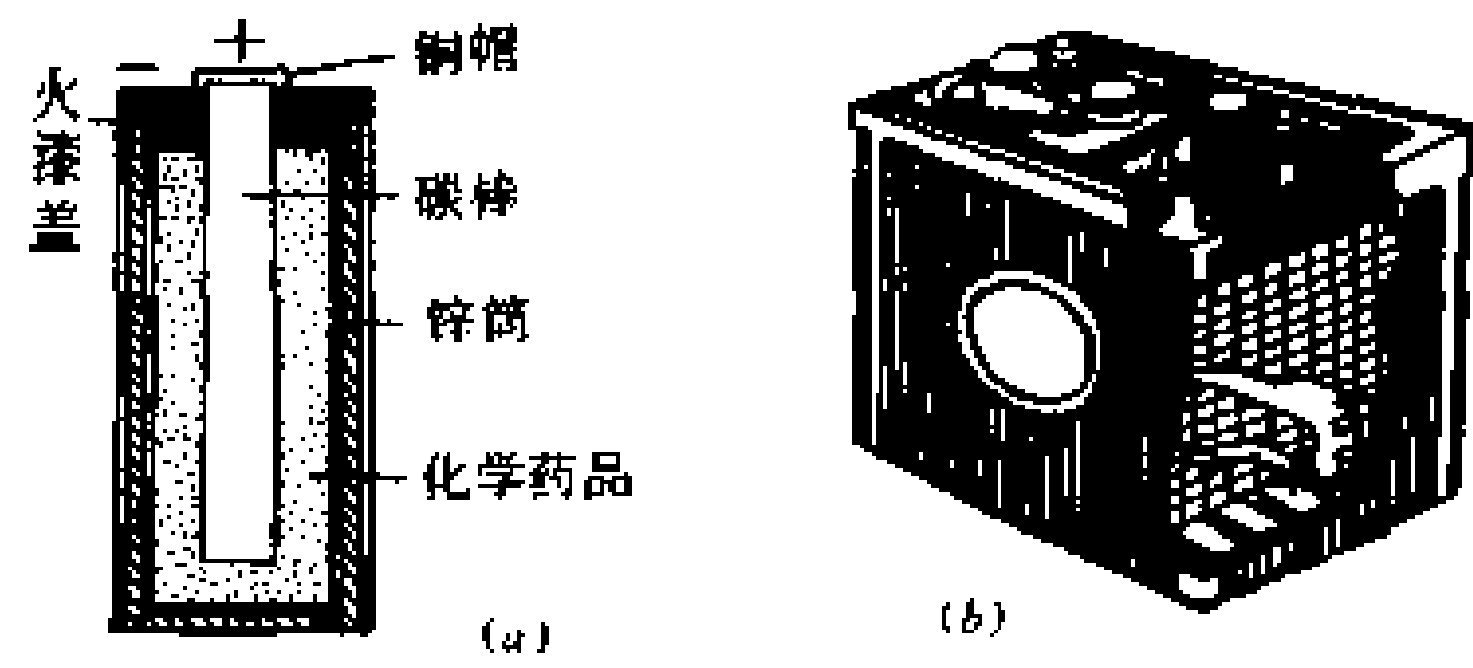


图 1—9 干电池和蓄电池

### 2. 用电设备

用电设备通常又称负载或负荷,它是把电能转变为人们所需要的其他形式能量的设备。例如,电灯将电能转变为光能,电炉将电能转变为热能,电动机将电能转变为机械能等。

### 3. 连接导线

它是把电源和负载连成一个闭合的通路,起着传输和分配电能的作用。

### 4. 其他设备

包括控制电路通、断用的开关,保护电路用的熔断器或继电器,供测量用的电工仪表等。

## 二、电路图


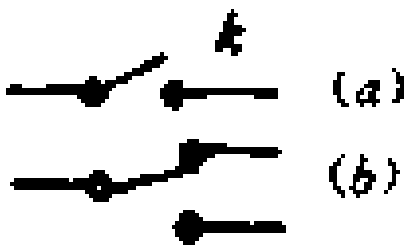
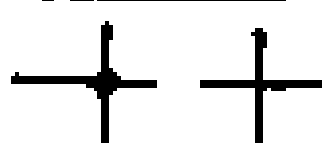
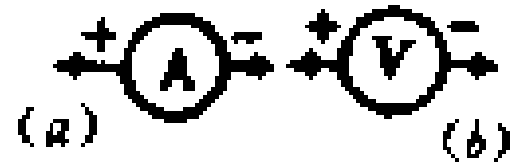

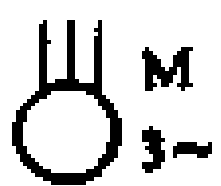
为了方便地表示电路的组成情况,通常采用各种图形符号来表示组成电路的各种具体元件,用这些图形符号组成的电路称为电路图。表 1—1 是国家规定的电路中常用的部分符号。

表 1—1

电路中常用的部分符号

|       |  |                                        |
|-------|--|----------------------------------------|
| 电 流   |  | 粗实线表示导线,流过的电流是 $I$ ,箭头表示电流的方向          |
| 电 压   |  | A、B 两点间的电压为 $U_{AB}$ ,任意两点间的电压用 $U$ 表示 |
| 电 阻   |  | $R$ 表示电阻,(a) 是固定电阻,(b) 是可变电阻           |
| 直流电源  |  | 图中细长线表示正极,短粗线表示负极, $E$ 是电动势符号          |
| 交流电源  |  | $E$ 表示交流电动势的有效值, $e$ 表示交流电的瞬时值         |
| 线 圈   |  | (a) 是空心线圈, $L$ 是电感的符号,(b) 是有铁心的线圈      |
| 电 容 器 |  | $C$ 是电容器的符号                            |

(续表)

|          |                                                                                     |                               |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|
| 灯 泡      |    | 白炽灯泡                          |
| 开 关      |    | (a) 是单刀开关, (b) 是单刀双掷开关        |
| 导线的连接或交叉 |    | 导线之间的连接点用小黑点表示, 两根导线相交时没有任何标志 |
| 电 表      |    | (a) 是直流电流表, (b) 是直流电压表        |
| 熔 断 器    |    | 也称保险盒                         |
| 三相异步电动机  |  | 鼠笼式                           |

### 第 3 节 电流、电压和电阻

#### 一、电流

在图 1—10 所示的电路中, 当开关闭合时, 导体内部的自由电子在电源的作用下将沿着电路有规则地移动。电荷的定向流动叫做电流。

应当指出, 任何电源如干电池、发电机、变压器等, 本身并没有装着大量的电子, 它们的作用仅仅是促使电子运动。这一点和水泵的作用很相似, 水泵中也没有装着大量的水, 它只是起着把水从水泵的入口吸上来, 再从水泵的出口送出去的作用。

##### 1. 电流的大小

电流的大小, 用单位时间内通过导体横截面的电量多少来衡量, 称为电流强度, 简称电流。如果电流的大小和方向不随时间变化, 则称为稳恒电流, 简称直流, 并用符号  $I$  来表示; 若电流的大小和方向都随时间变化, 则称为交变电流, 简称交流, 用符号  $i$  表示。对直流电来说, 如果在  $t$  秒钟时间内通过导体横截面的电量为  $q$ , 则电流的大小可用下式表示:

$$I = \frac{q}{t} \quad (1-1)$$

其中, 时间  $t$  以秒作单位, 电量  $q$  以库 (C) 作单位, 则电流单位为安培 (简称安, 用符号 A 表示)。即在 1s (秒) 时间内, 通过导线截面的电量为 1C 时, 电流为 1A。根据不同情况, 电流有时用千安 (kA)、毫安 (mA) 或微安 ( $\mu$ A) 作单位, 它们之间的换算关系是:

$$1\text{kA} = 10^3\text{A}$$

$$1\text{mA} = 10^{-3}\text{A}$$

$$1\mu\text{A} = 10^{-3}\text{mA} = 10^{-6}\text{A}$$

## 2. 电流的方向。

人们在开始研究电流现象时，由于当时科学技术发展水平的限制，误认为金属中的电流是由正电荷的定向移动而形成的。因此，把正电荷移动的方向规定为电流的正方向。后来，随着科学技术的发展，人们才认识到，金属内部的正电荷由于其质量比电子重得多，几乎是不移动的，而导体中的电流实际上是由带负电荷的自由电子作定向移动形成的，如图 1—10 中虚线箭头所示的方向。很显然，原来规定的电流方向恰与电子流动的方向相反。但是，由于过去已经形成了习惯，而且不影响对电路的分析和计算。因此，直流电流的正方向仍沿用原来的规定。

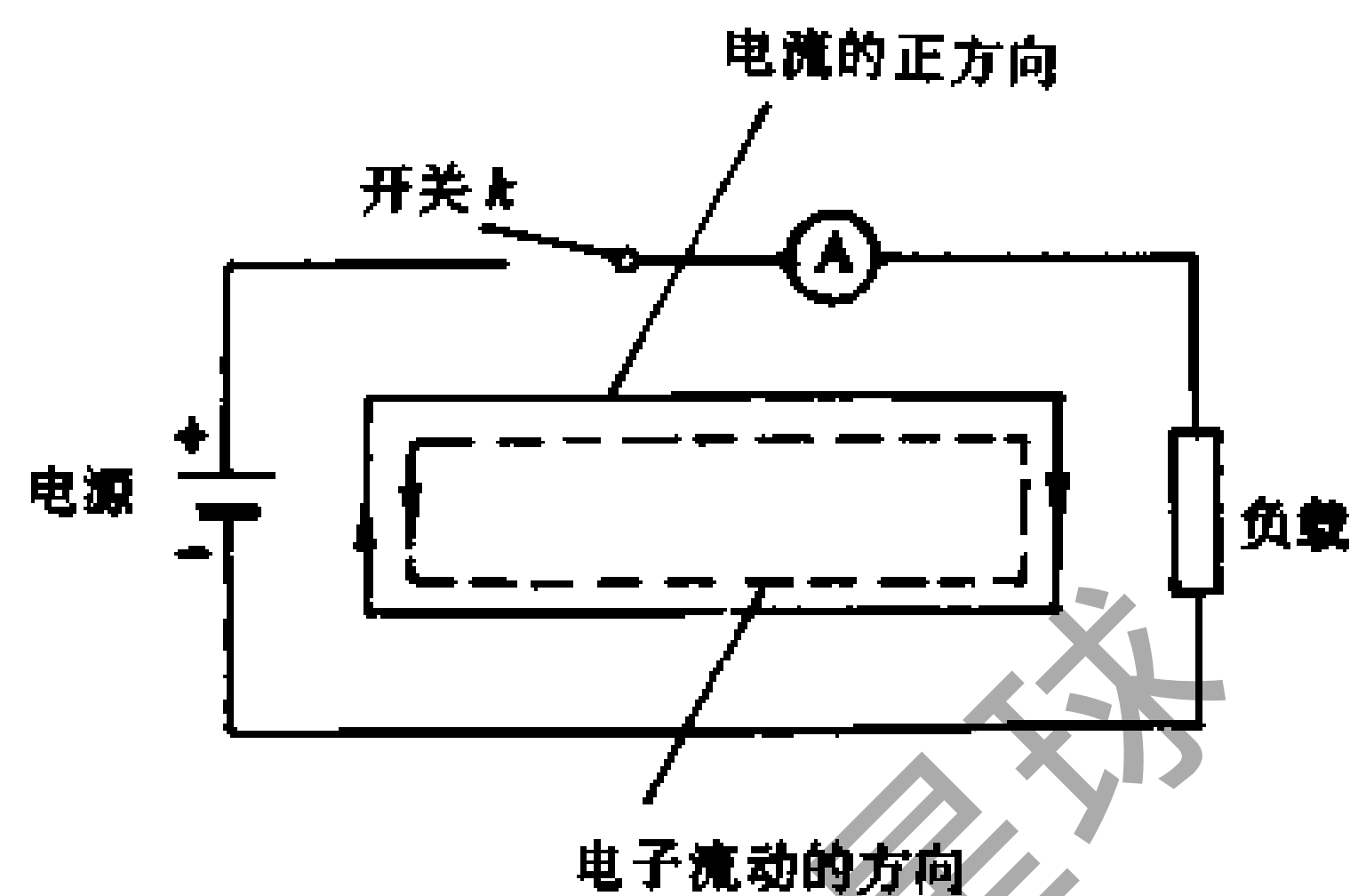


图 1—10 最简单的直流电路图

## 二、电位、电压和电动势

### 1. 电位与电压

要在导体中产生电流，只靠导体本身的自由电子是不够的，还必须有一定的外界条件，可以用水作对比加以说明。

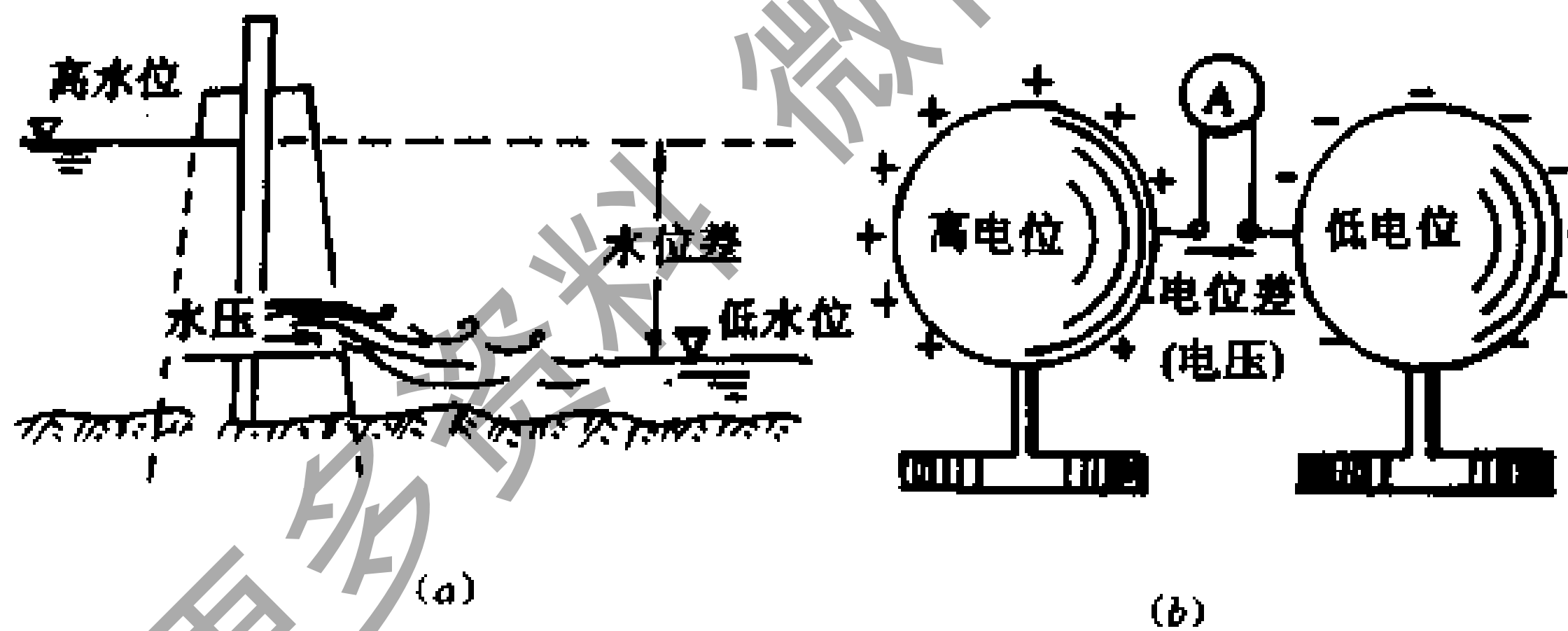


图 1—11 水压和电压

(a) 水压示意图 (b) 电压示意图

在图 1—11 (a) 中，渠道里的水位比田地里的水位高，打开闸门以后，渠道里的水就向田地里流动。水流动的原因是两处水位不同，它们之间有水位差，或者说顺水流的方向有水压。两处的水面相平以后，水压就消失，水流也就停止。

带电体也有电位高低的差别。但是，电位和水位有原则上的区别。水位不同是指水在空间的位置不同，并且以海平面作为比较位置高低的标准。电位的高低和带电体的空间位置没有关系，电位的高低只决定于物体带电的正负和带电的多少，并且规定大地的电位是零，作为比较电位高低的标准。带正电物体的电位叫做正电位，所带正电越多，电位越高。带负电物体的电位叫做负电位，所带负电越多，电位越低。正电位比大地电位高，负电位比大地电位低。与水流的道理相似，导体两端间必须有电位差，才能迫使自



由电子朝着一定的方向运动。电位差又叫做电压。在图 1—11 (b) 中，正负两个带电体接通以后，在电压的作用下，电流就会从电位高的那个带电体通过电流表，流到电位低的那个带电体，使电流表的指针偏转。两个带电体的电位相等以后，电压就消失，电流也就停止。

电压的单位是伏特，简称伏，用符号 V 表示。通常用千伏 (kV) 作为测量高电压的单位；用毫伏 (mV) 作为测量低电压的单位。它们之间的换算关系是

$$1\text{kV} = 10^3\text{V}$$

$$1\text{mV} = 10^{-3}\text{V}$$

电压的正方向是指从高电位到低电位的方向，即电位降的方向，因此通常又把电压叫做电位降或电压降。电压的正方向的表示方法有两种：一种是用下标的顺序来表示，如图 1—12 (a) 所示， $U_{ab}$  表示 a 点的电位比 b 点的电位高；另一种是用箭头符号来表示，箭头所指的方向是从高电位指向低电位的方向 [图 1—12 (b)]。

## 2. 电动势

水泵的作用是把水从低处送到高处。干电池、蓄电池、发电机的作用和水泵很相似，可以把电子从一个极转移到另一个极。积累正电的一极叫做正极，积累负电的一极叫做负极，用“+”、“-”号分别表示正极和负极。正极的电位比负极的电位高。不接外电路，电源正、负两极之间的电位差（可用电压表测量）叫做电源的电动势，简称电势（图 1—13）。电势是电源转移电子能力大小的标志。

电动势的方向和电压的方向相反，电压的方向是从正极到负极，而电动势的方向是从负极到正极。电源内部有了电动势，才能在正极与负极之间保持一定的电位差。

电动势的符号，常用  $E$  表示。电动势的单位和电压的单位相同，也是伏、千伏或毫伏。电压和电动势也有直流和交流的区别。

## 三、电阻

### 1. 电阻定义

导体一方面具有导电的性质，另一方面又有阻碍电流通过的作用。这是因为自由电子在导体中作定向移动时，沿途要和导体中的原子或分子相碰撞，同时还要克服原子核的吸引力，使自由电子的移动受到一定的阻力。导体对电流的这种阻力称为电阻，用符号  $R$  或  $r$  表示。

电源本身也有阻力，电源内部的电阻，叫电路的内阻，简称内阻。

电阻的单位是欧姆，简称欧，用符号  $\Omega$  表示。根据不同需要，电阻有时用千欧 (k $\Omega$ ) 或兆欧 (M $\Omega$ ) 作单位，它们之间的换算关系是：

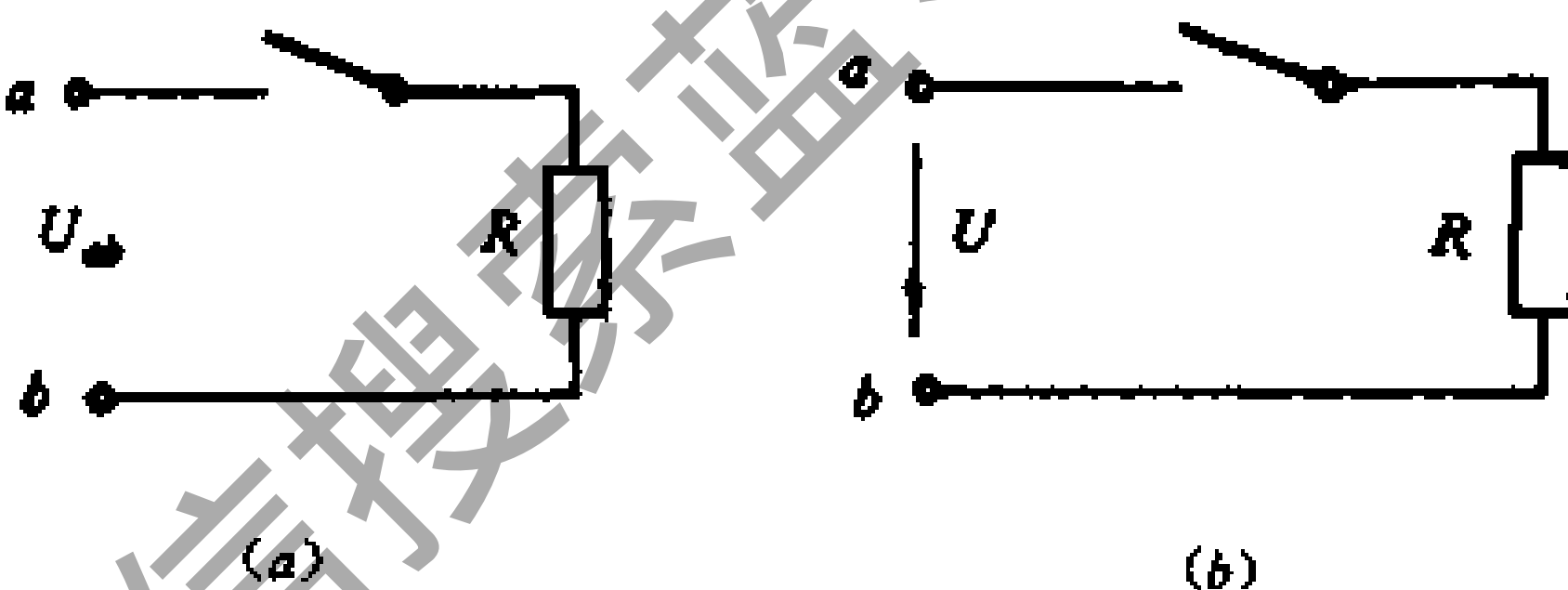


图 1—12 电压的正方向表示法示意图

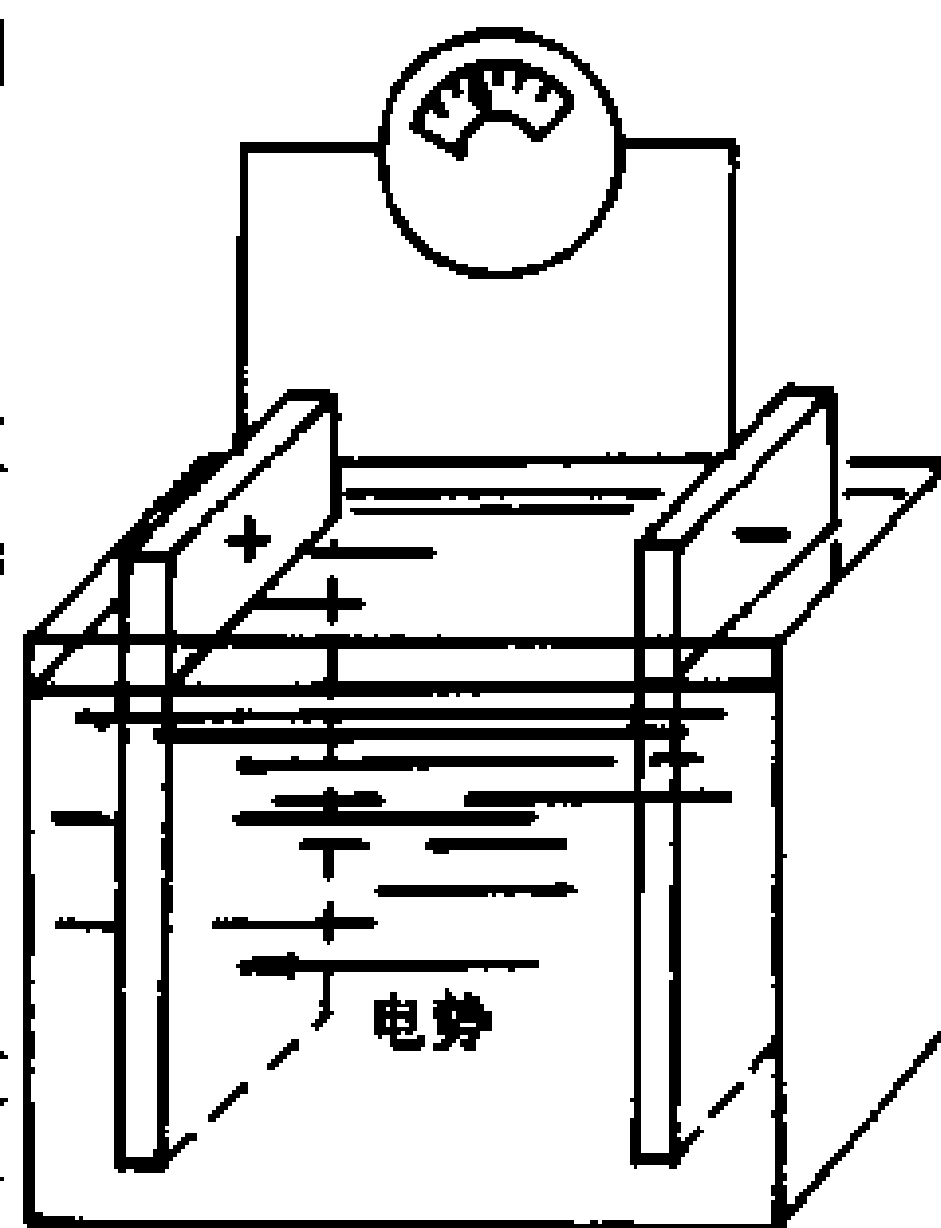


图 1—13 电势示意图

$$1\text{k}\Omega = 10^3\Omega$$

$$1\text{M}\Omega = 10^6\Omega$$

## 2. 导体电阻的计算

导体的电阻是客观存在的，它与通过的电流大小无关。实验证明，对于一根材料均匀、粗细一样的长导体来说，当温度一定时，它的电阻  $R$  与导体的长度  $l$  成正比，与导体的截面积  $S$  成反比，而且还与导体的材料有关，即：

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (1-2)$$

式中： $l$  为导体长度 (m)； $S$  为导体截面积 ( $\text{mm}^2$ )； $\rho$  为电阻系数或称电阻率，决定于材料性质 ( $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ )。从 (1-2) 式可以看出， $1\text{mm}^2$  粗、 $1\text{m}$  长导体的电阻值，即为电阻系数值。

不同金属材料的电阻率是不相同的，同一种材料在不同温度下，其电阻率也是不相等的。常用金属材料在  $20^\circ\text{C}$  时的电阻率见表 1-2。因为这些材料的电阻率随着材料的成分和纯度的不同而有所变化，所以表 1-2 中所列数据为近似值。

在实际应用中，根据不同需要选择电阻率不同的材料。电阻率较小的金属材料用来制成导线和用电设备的导体，以减少电能的损耗和发热。在另外一些场合，则需要使用电阻率较大的金属材料。例如，钨丝用来制作各种灯泡的灯丝；镍锌铜和康铜用来绕制电阻和变阻器；镍铬合金用来制作电炉和电烙铁的发热元件。从表 1-2 可以看出，铝的电阻率比铜大一些。由于我国铝的蕴藏量非常丰富，而且它具有质量轻、价格低等优点，因此在电力工业中已广泛采用以铝代铜。目前，高、低压架空线路几乎全部采用铝导线，铝线变压器和铝线电动机已在国内定型生产。

表 1-2 常用金属材料的电阻率和电阻温度系数

| 材料名称 | 电阻率 $\rho$ ( $20^\circ\text{C}$ )<br>( $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ ) | 电阻温度系数 ( $0 \sim 100^\circ\text{C}$ )<br>( $1/^\circ\text{C}$ ) |
|------|------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| 银    | 0.0165                                                                       | 0.0038                                                          |
| 铜    | 0.0175                                                                       | 0.0040                                                          |
| 铝    | 0.0283                                                                       | 0.0042                                                          |
| 钨    | 0.0551                                                                       | 0.0045                                                          |
| 低碳钢  | 0.12                                                                         | 0.0042                                                          |
| 铸铁   | 0.50                                                                         | 0.0010                                                          |
| 镍锌铜  | 0.34                                                                         | 0.00031                                                         |
| 锰铜   | 0.42                                                                         | 0.000015                                                        |
| 康铜   | 0.49                                                                         | 0.000005                                                        |
| 镍铬合金 | 1.08                                                                         | 0.00013                                                         |
| 铁铬铝  | 1.35                                                                         | 0.00005                                                         |

## 3. 电阻与温度的关系

实验证明，在通常情况下，几乎所有金属材料的电阻率都随温度的升高而增大，但有些材料（如碳、石墨、电解液等）的电阻率，都随温度的升高而减小。为了计算不同温度的导体电阻，引用了电阻温度系数  $d$ ，它的含义是当材料的温度每升高  $1^\circ\text{C}$  时，其电

阻率的增量与原来电阻率的比值，即：

$$d = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_1 (t_2 - t_1)} \quad (1-3)$$

式中： $d$  为电阻温度系数 ( $1/^\circ\text{C}$ )； $t_1$ 、 $t_2$  为不同情况下的温度 ( $^\circ\text{C}$ )； $\rho_1$  为温度为  $t_1$  时的电阻率 ( $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ )； $\rho_2$  为温度为  $t_2$  时的电阻率 ( $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ )。

如果在 (1-3) 式的上下都乘以  $1/S$ ，则由 (1-2) 式得出：

$$d = \frac{R_2 - R_1}{R_1 (t_2 - t_1)} \quad (1-4)$$

式中： $R_1$  为温度为  $t_1$  时的导体电阻； $R_2$  为温度为  $t_2$  时的导体电阻。

不同材料的电阻温度系数是不同的。表 1-2 给出了温度在  $0 \sim 100^\circ\text{C}$  范围内变化时常用金属材料的电阻温度系数。利用 (1-4) 式，既可计算不同温度下的导体电阻，也可以根据导体的电阻来计算导体的温度。

**【例 1】** 计算长度  $l=1000\text{m}$ 、截面  $S=16\text{mm}^2$  的铜线和铝线，在  $20^\circ\text{C}$  时的电阻。

**解：**由表 1-2 查得铜的电阻率为  $0.0175$ ，铝的电阻率为  $0.0283$ 。分别代入 (1-2) 式得

$$R_{\text{铜}} = 0.0175 \times \frac{1000}{16} \approx 1.09 \text{ } (\Omega)$$

$$R_{\text{铝}} = 0.0283 \times \frac{1000}{16} \approx 1.8 \text{ } (\Omega)$$

**【例 2】** 一台直流接触器，工作前在室温为  $20^\circ\text{C}$  时测得它的线圈（铜线）电阻  $R_1=156\Omega$ ，工作一段时间后，线圈的温度上升到  $40^\circ\text{C}$ ，求这时线圈的电阻  $R_2$ 。

**解：**根据题意已知， $t_1=20^\circ\text{C}$ ， $t_2=40^\circ\text{C}$ ， $R_1=156\Omega$ ；查表 1-2 知铜的  $d=0.004$  ( $1/^\circ\text{C}$ )。将公式

$$d = \frac{R_2 - R_1}{R_1 (t_2 - t_1)}$$

变化后得

$$R_2 = R_1 + R_1 d (t_2 - t_1) = R_1 [1 + d (t_2 - t_1)]$$

代入已知数得

$$R_2 = 156 [1 + 0.004 (40 - 20)] = 168.48 \text{ } (\Omega)$$

**【例 3】** 有一台电动机，运行前在室温为  $20^\circ\text{C}$  时测得线圈（铜线）的电阻  $R_1=0.21\Omega$ ，运行一段时间后测得线圈的电阻  $R_2=0.27\Omega$ ，问这时线圈的温度为多少？

**解：**根据题意已知， $t_1=20^\circ\text{C}$ ， $R_1=0.21\Omega$ ， $R_2=0.27\Omega$ ；查表 1-2 知铜的  $d=0.004$  ( $1/^\circ\text{C}$ )。将公式

$$d = \frac{R_2 - R_1}{R_1 (t_2 - t_1)}$$

变化后得

$$t_2 = \frac{R_2 - R_1}{d R_1} + t_1$$

代入已知数得

$$t_2 = \frac{0.27 - 0.21}{0.004 \times 0.21} + 20 \approx 91 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

#### 4. 常用的几种电阻

(1) 铸铁电阻: ZX<sub>1</sub> 系列铸铁电阻如图 1—14 所示。它是由铸铁浇铸成曲折的栅形元件串联而成, 适用于交流 50Hz、电压 500V 及直流 440V 的电路中, 主要作为电动机的起动、制动及调速用。这种电阻一般阻值小, 允许通过电流最大为 215A。

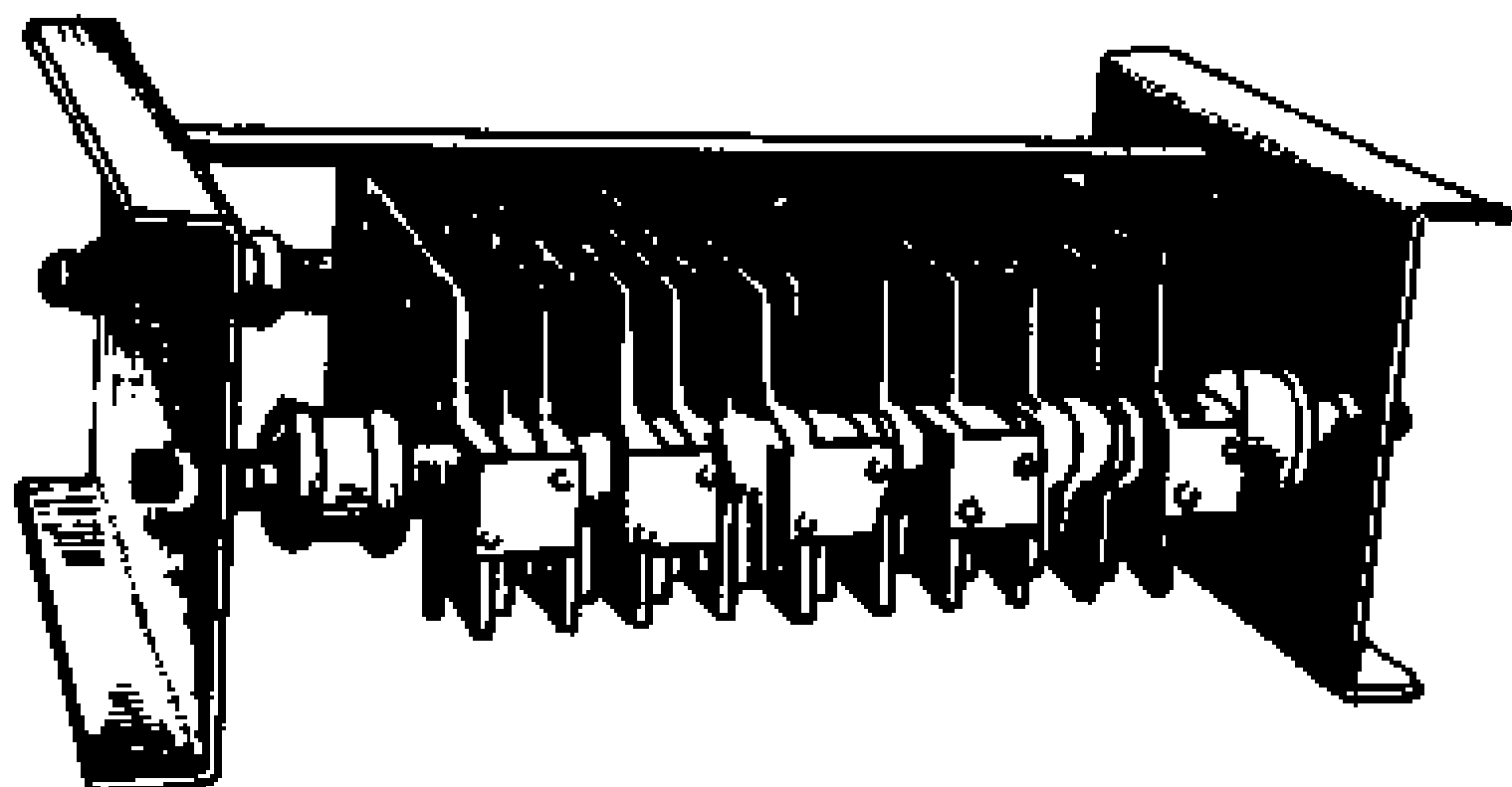


图 1—14 铸铁电阻

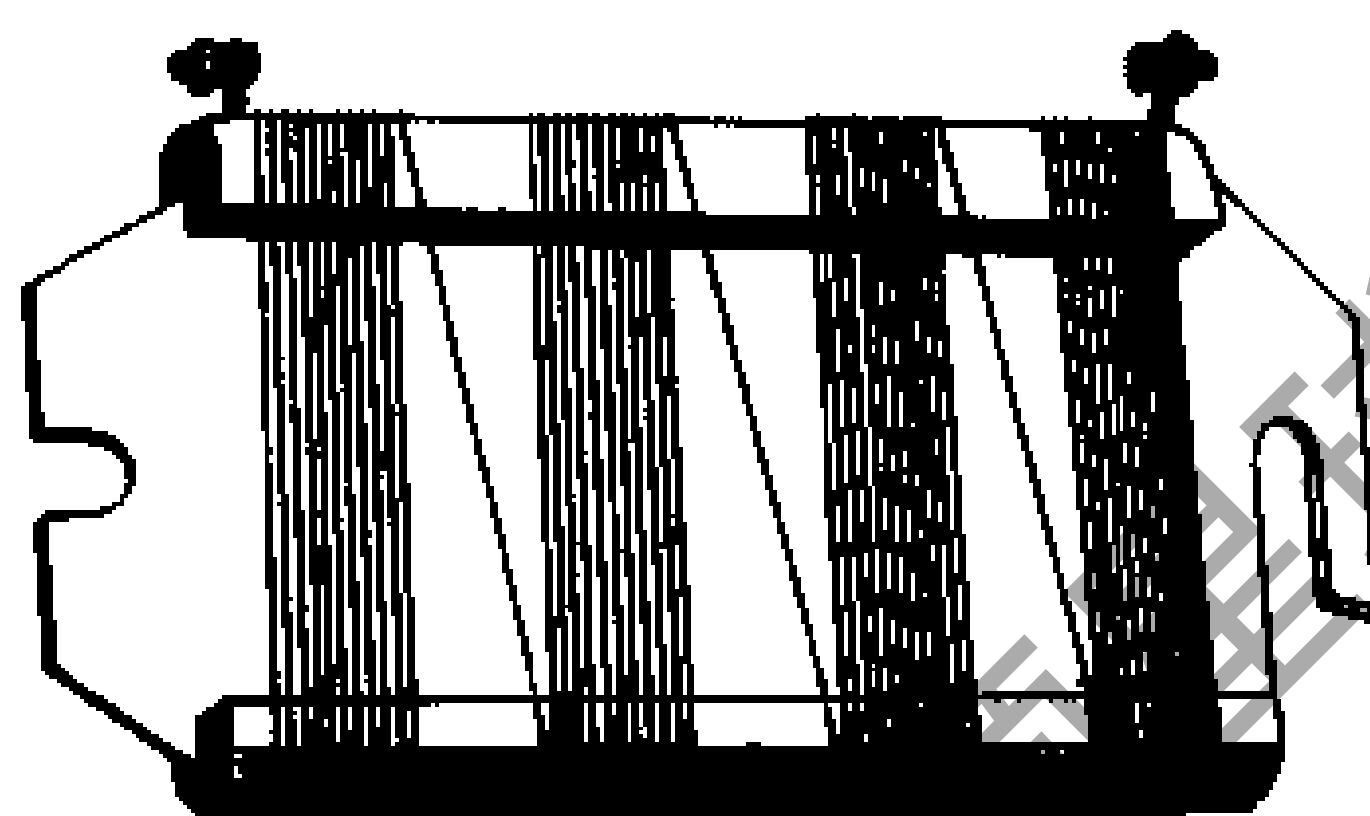


图 1—15 板形电阻

(2) 板形电阻: JZBY 型 (ZB<sub>2</sub>) 板形电阻如图 1—15 所示。它主要作为异步电动机的起动电阻, 及用在鼠笼异步电动机的反接制动线路中来限制电流, 也可供小容量电动机调速用。板形电阻允许通过的电流一般比铸铁电阻的小。

(3) 小功率电阻: 小功率电阻主要用于晶体管、电子管电路中。合成炭质电阻色环电阻稳定性差, 已逐渐淘汰 [图 1—16 (a)]。金属膜电阻 [图 1—16 (b)] 比炭膜电阻 [图 1—16 (c)] 更稳定, 用于要求较高的线路中, 线绕电阻 [图 1—16 (d)] 适用于功率较大的场合。

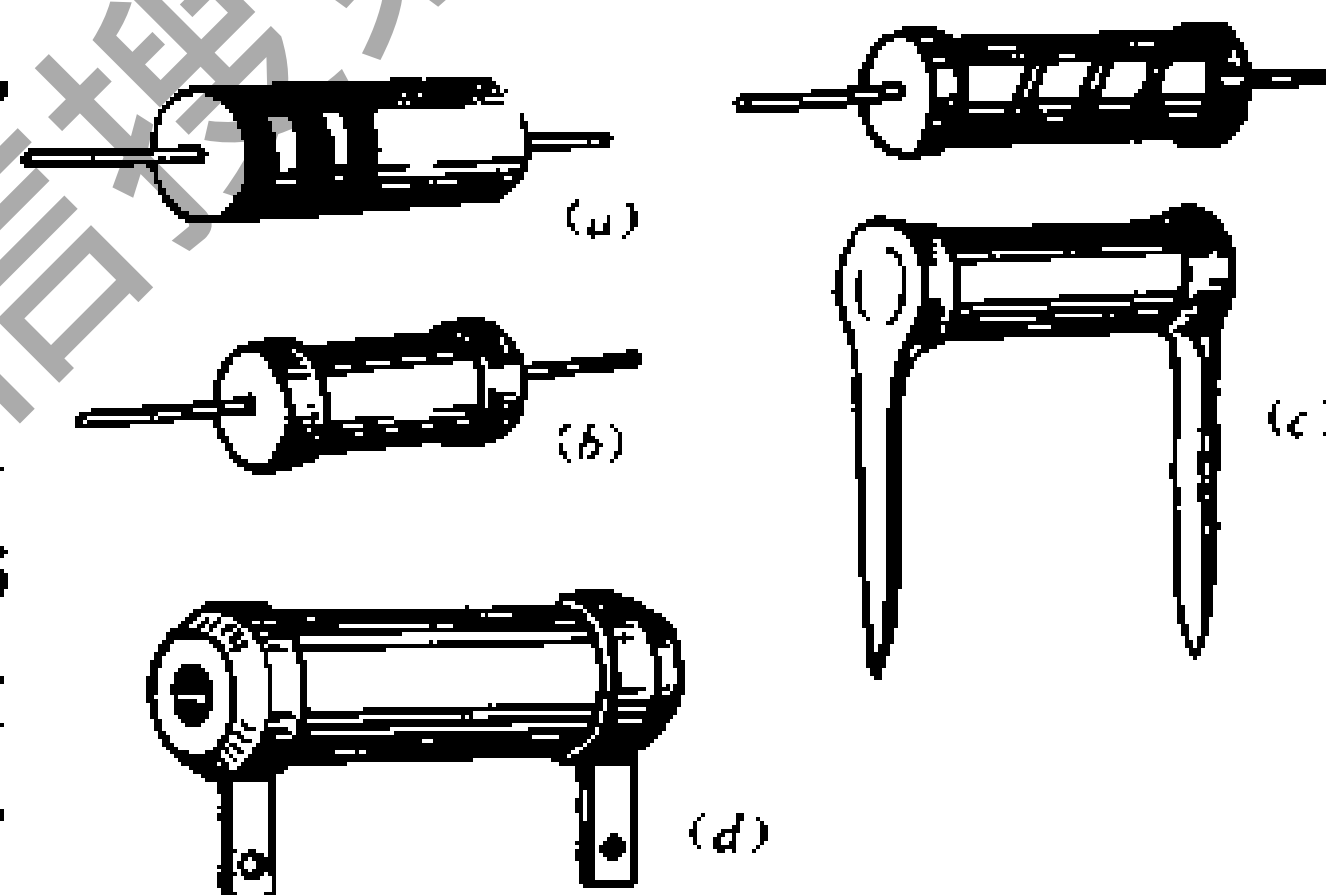


图 1—16 小功率电阻

图 1—17 所示的滑线变阻器与电位器常用在电阻值要求经常变动的场合。

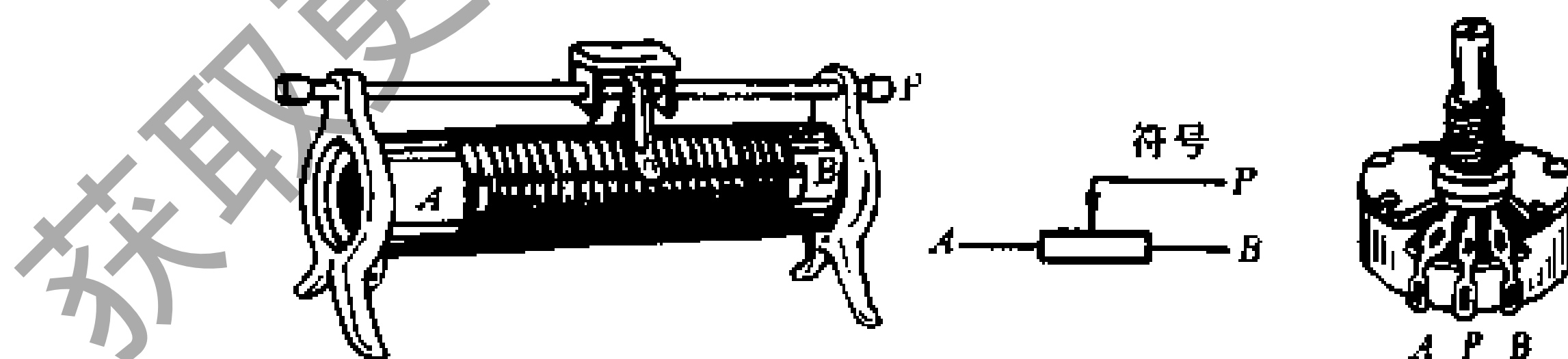


图 1—17 滑线变阻器与电位器

## 第 4 节 欧姆定律

要使导体中通过电流, 就必须在导体两端加上电压; 而当导体中有电流通过时, 又受到导体电阻的阻碍。因此在一个电路中, 电压、电流和电阻这 3 个量既有密切联系, 又

互为影响。那么电路中的电压、电流和电阻之间的变化规律究竟是怎样的呢？这个问题可分下面两种情况讨论。

### 一、部分电路的欧姆定律

在一个完整的电路中，若其中只有电阻而不包含电源支路，称为部分电路，亦称一段无源支路。图 1—18 圆内圈定的部分就是部分电路。为了找出部分电路中电压、电流和电阻之间的变化规律，先按图 1—19 做一个实验。

按图 1—19 连接电路，其中电阻  $R$  为  $5\Omega$ 。在检查电路无误后接通电路，移动变阻器的滑动触头  $P$ ，观察当伏特表在  $1V$ 、 $2V$ 、 $4V$  时电流表的读数，把读数记录在表 1—3 中。分析表 1—3 可以看出，当电压增大到原来

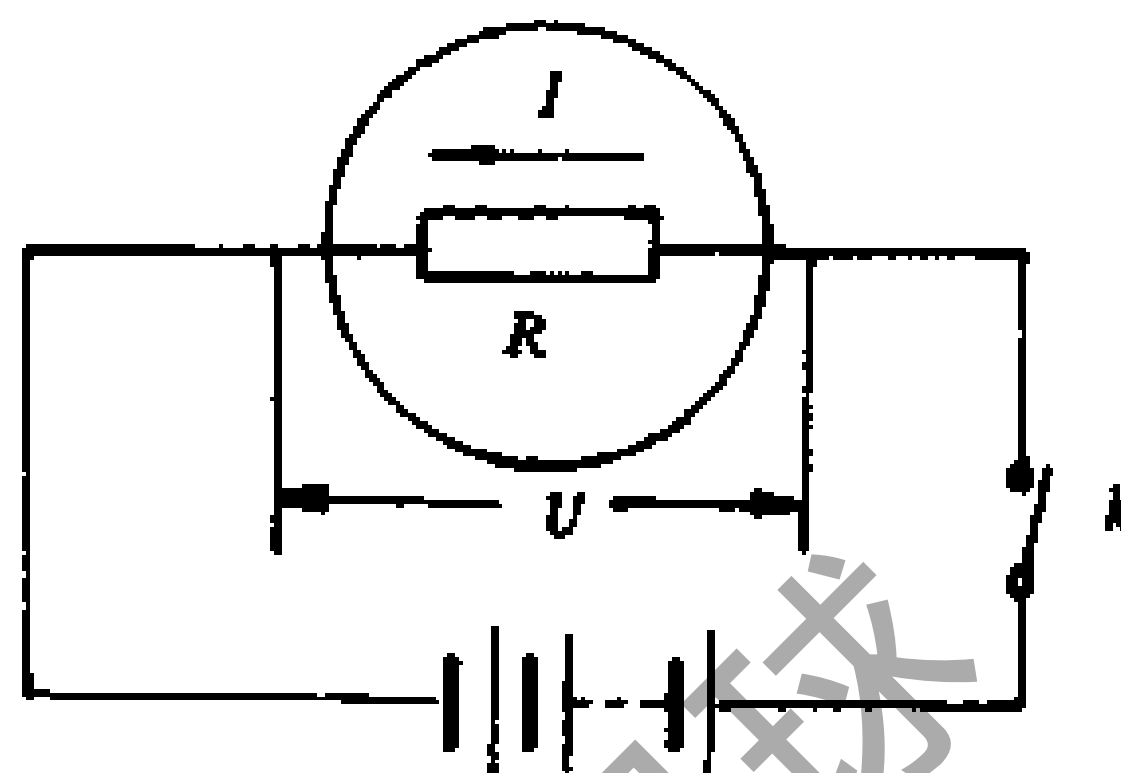


图 1—18 部分电路

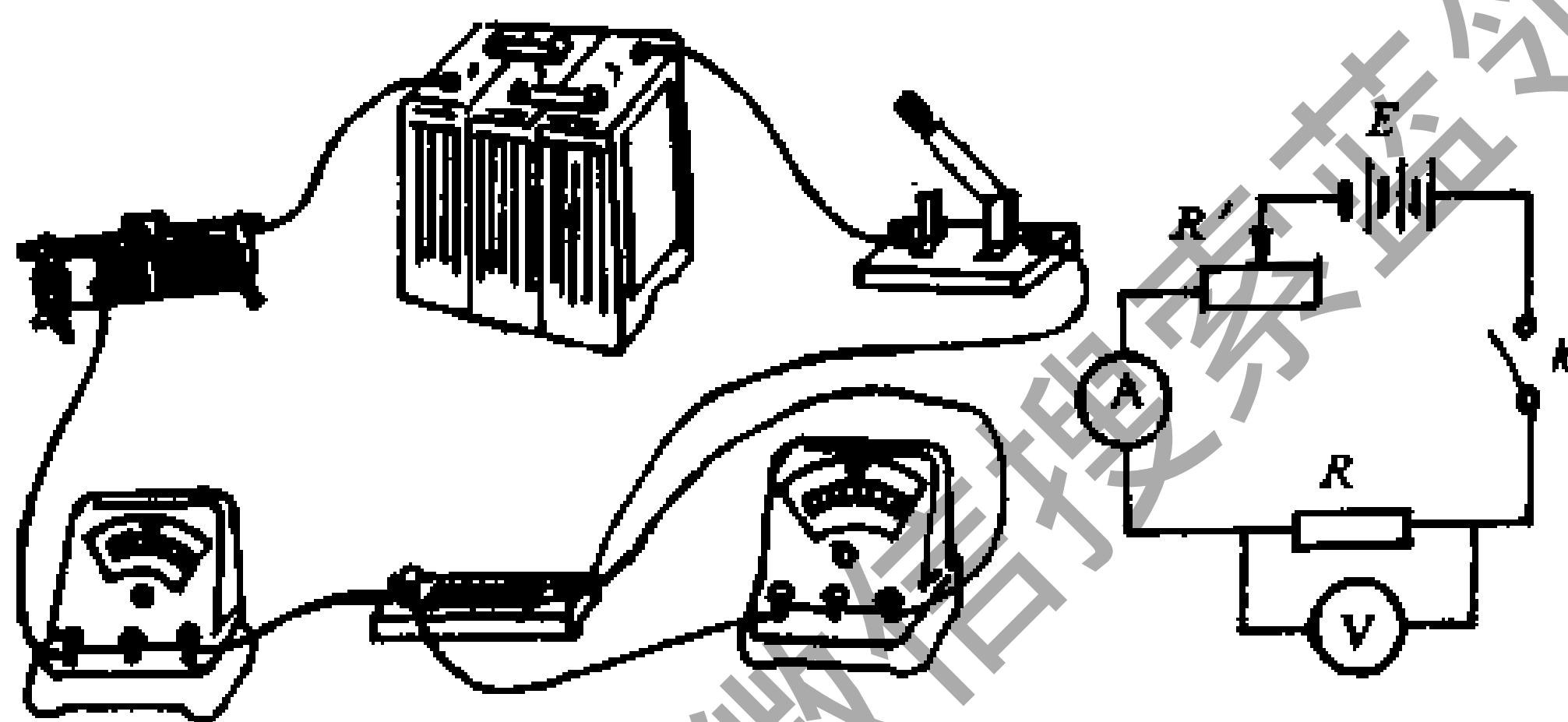


图 1—19 欧姆定律的实验电路

的 1 倍时，实验 2 与实验 1 相比，电流也增大到原来的 1 倍（即由  $0.2A$  增为  $0.4A$ ）；当电压增大到原来的 3 倍时，实验 3 与实验 1 相比，电流也增大到原来的 3 倍（即由  $0.2A$  增为  $0.8A$ ）。由此可见，当导体电阻不变时，通过导体的电流与导体两端的电压成正比。

表 1—3 读数记录一

| 实验顺序 | $R=5\Omega$ |         |
|------|-------------|---------|
|      | $I$ (A)     | $U$ (V) |
| 1    | 0.2         | 1       |
| 2    | 0.4         | 2       |
| 3    | 0.8         | 4       |

表 1—4 读数记录二

| 实验顺序 | $U=3V$  |                  |
|------|---------|------------------|
|      | $I$ (A) | $R$ ( $\Omega$ ) |
| 4    | 0.6     | 5                |
| 5    | 0.3     | 10               |
| 6    | 0.2     | 15               |

把上述实验的电压调到  $3V$ ，然后取电阻分别为  $5\Omega$ 、 $10\Omega$ 、 $15\Omega$ ，观察电流表的读数，并将读数记录在表 1—4 中。分析表 1—4 可以看出，当电压不变时，导体的电阻增大到原来的 1 倍，电流缩小为原来的  $1/2$ ；当导体的电阻增大到原来的 2 倍，电流减少为原来的  $1/3$ 。由此可见，当导体两端的电压不变时，通过导体的电流与导体的电阻成反比。

归纳上述两个结论，在部分电路中，通过导体的电流与导体两端的电压成正比，与导体的电阻成反比。这就是电工学中的重要定律之一——部分电路欧姆定律，简称欧姆定律。其数学表达式为：

$$\frac{U}{I} = R \quad (1-5)$$

(1-5) 式又可写成下列形式

$$I = \frac{U}{R} \quad \text{或} \quad U = IR \quad (1-6)$$

式中：电流  $I$  的单位为安；电压  $U$  的单位为伏；电阻  $R$  的单位为欧。

如果用电压作为纵坐标，电流为横坐标，按表 1-3 数据可画出一条通过原点的直线，称为电阻电路的伏安特性曲线（图 1-20）。直线的斜率为：

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{U}{I} = R$$

因为伏安特性是直线，所以这种电路称为线性电路。

公式 (1-5)、(1-6) 不但适用于直流电路的计算，而且适用于交流电路中线性电路（纯电阻性）的计算。

【例 1】一个白炽灯泡的电阻为  $110\Omega$ ，接在  $220\text{V}$  的电源上，试求灯泡中通过的电流。

解：已知  $R = 110\Omega$ ， $U = 220\text{V}$ ，代入欧姆定律公式：

$$I = \frac{U}{R} = \frac{220}{110} = 2 \text{ (A)}$$

【例 2】有一个线圈接在直流电源上，测得线圈两端间的电压为  $220\text{V}$ ，通过线圈的电流为  $0.4\text{A}$ ，求这个线圈的电阻  $R$ 。

解：代入欧姆定律公式：

$$R = \frac{U}{I} = \frac{220}{0.4} = 550 \text{ (}\Omega\text{)}$$

## 二、全电路的欧姆定律

一个包含电源在内的不分支电路，称为全电路。图 1-21 (a) 为最简单的全电路，由电源  $E$ 、负载  $R$ 、开关  $K$  及导线组成。电源内部也存在电阻，称为内电阻，用  $r_{\text{内}}$  表示。为了便于分析，将  $r_{\text{内}}$  画在电源外面，如图 1-21 (b) 所示。当开关合上时，电流从电源正极流出，经过开关  $K$ 、用电器  $R$  及内电阻  $r_{\text{内}}$  流回电源负极。

因为在闭合电路中电源电动势始终等于电路中的电压降，所以

电源电势  $E = U$ （电阻  $R$  上的电压降） $+ U_{\text{内}}$ （内阻  $r_{\text{内}}$  上的电压降）

即

$$E = IR + Ir_{\text{内}}$$

所以

$$I = \frac{E}{R + r_{\text{内}}} \quad (1-7)$$

上式就是全电路（或称完整电路）的欧姆定律。由 (1-7) 式可知，电路中流过的电流，

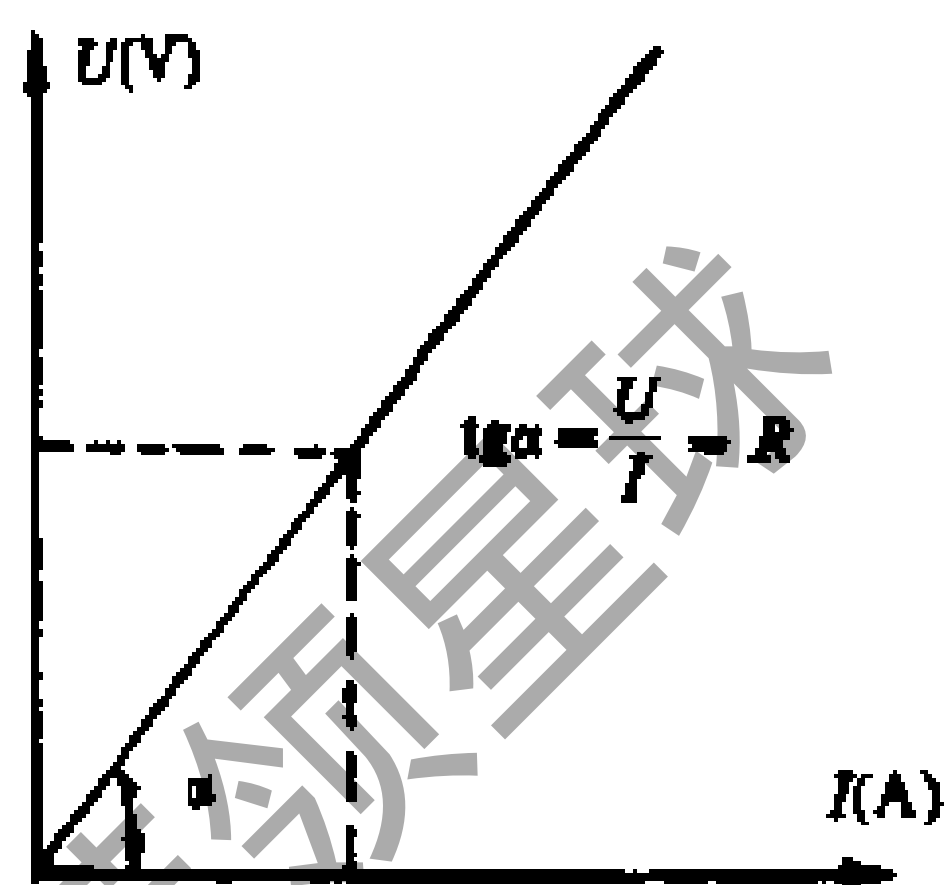


图 1-20 电阻电路的伏安特性曲线

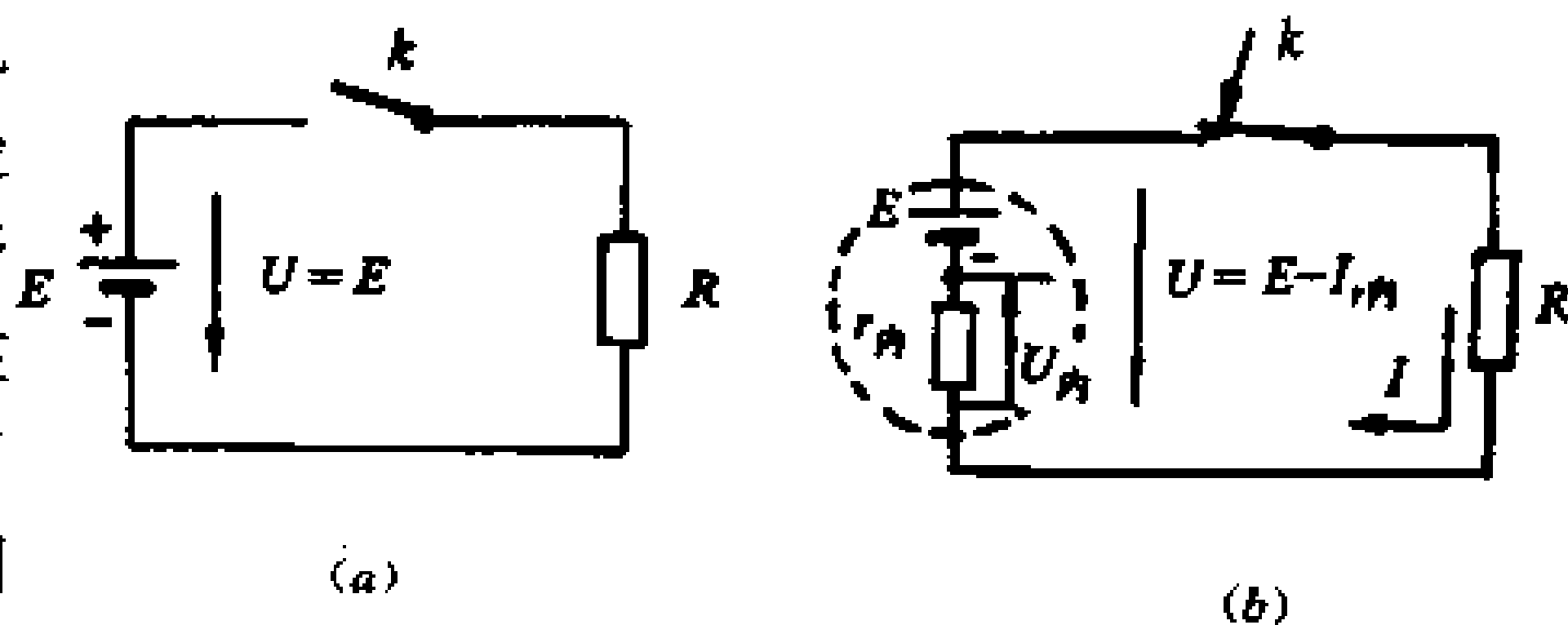


图 1-21 最简单的全电路

其大小与电动势成正比，与全部电阻值成反比。

在通常情况下，电源电动势  $E$  与内电阻  $r_{\text{内}}$  都可以认为是不变的，因此外电路  $R$  的变化是影响电流大小的唯一因素。

电路中开关断开时称为断路，这时电流为零，对电源来说是空载。根据欧姆定律：

$$U = E - Ir_{\text{内}} = E$$

所以，电源断开时，电源两端的电压就等于电源电动势。

空载时电源电压高，接上负载线路电压就会下降一些，其原因就是因为电源内部与导线上有电阻，电压总要降掉一部分的缘故。由于导线本身电阻引起的电压降落而使负载少承受的电压，叫做导线的电压损失。电压损失的大小与导线截面有关，导线截面大些，电压损失小些；导线截面小些，电压损失就大些。

### 三、短路和熔丝

#### 1. 短路和短路电流

在正常情况下，电流由电源一端流出，经过负载再回到电源另一端，这样就构成了一个回路。如果不接负载，用导线直接将电源连接起来（图 1—22 中虚线所示），就构成了短路。此时电路中的电阻仅为导线电阻。导线电阻很小，根据欧姆定律，电路中的电流将迅速猛增，比正常工作电流大好多倍。短路时的电流称短路电流。短路电流不但会把电气设备烧毁，还可能造成事故，引起火灾。



图 1—22 短路

值得注意的是，在做电气实验时，未接通电源前，一定要把变阻器打到电阻最大值，以防短路烧坏设备；在使用干电池或蓄电池时，不要把正、负极用导线搭连，以防在短时间内将电能消耗殆尽。

下面举例比较短路电流和正常工作电流的大小。

【例题】直流电源的电势  $E = 110\text{V}$ ，内阻  $r_{\text{内}} = 0.01\Omega$ ，线路电阻  $R_{\text{线}} = 0.7\Omega$ ，负载电阻  $R_{\text{负}} = 21.3\Omega$ 。如果负载接线两端发生短路故障，试计算正常工作电流和短路电流。

解：正常时，电路的总电阻

$$R = R_{\text{内}} + R_{\text{线}} + R_{\text{负}} = 0.01 + 0.7 + 21.3 = 22 (\Omega)$$

根据全电路欧姆定律

$$I = \frac{E}{R} = \frac{110}{22} = 5 (\text{A})$$

短路时，电路的总电阻

$$R = R_{\text{内}} + R_{\text{线}} = 0.01 + 0.7 = 0.71 (\Omega)$$

短路电流

$$I = E/R = 110/0.71 = 155 (\text{A})$$

从计算结果看出，短路电流是正常工作电流的  $155/5 = 31$  倍。

#### 2. 熔丝

在低压电路中，保护电路的最简单经济的办法就是在电路中串接熔丝。如果发生短路故障，熔丝最先熔断，起到迅速自动切断电路的目的，所以熔丝也叫保险丝。

常用的熔丝是由铅、锡合金等材料制成，特点是柔软，熔点低，温度在 200~300℃ 时就能熔化，熔断电流等于额定电流的 1.3~2.1 倍。

熔丝必须串接在被保护的电路中。装有熔丝的电器称为熔断器，用 RD 表示。一般的闸刀与铁壳开关内部都附有熔丝。熔断器应该与负载安装在闸刀的同侧。当熔丝烧断需要重装时，拉开开关刀片，使熔断器与电源脱离，以保证安全（图 1-23）。

在使用电气设备时，如出现断电故障，一般应首先检查电路中熔丝是否烧断。如果熔丝已烧断，可切断电源，换上同样粗细的熔丝，通上电，看设备运行是否正常。如果熔丝又立即烧断，则应断电检查线路与用电设备是否有短路或其他故障，切不可因熔丝连续烧断而随意增加熔丝截面，甚至用铜丝代替，否则将失去熔丝的短路保护作用，最后会烧坏电气设备。

### 3. 熔丝的选用

(1) 电灯与电热线路，计算公式为：

熔丝的额定电流 = 1.1 × 用电设备的额定电流

(2) 一台电动机线路，计算公式为：

熔丝的额定电流 = (1.5~3) × 电动机的额定电流

(3) 多台电动机线路，计算公式为：

总熔丝的额定电流 = (1.5~3) × 功率最大的一台电动机的额定电流 + 工作中同时开动的电动机额定电流之和

表 1-5 为部分铅熔丝额定电流和熔断电流表。

表 1-5 部分铅熔丝额定电流和熔断电流表

| 直径<br>(mm) | 截面<br>(mm <sup>2</sup> ) | 近似<br>英规线号 | 额定电流<br>(A) | 熔断电流<br>(A) |
|------------|--------------------------|------------|-------------|-------------|
| 0.52       | 0.212                    | 25         | 2           | 4           |
| 0.54       | 0.229                    | 24         | 2.25        | 4.5         |
| 0.60       | 0.283                    | 23         | 2.5         | 5           |
| 0.71       | 0.40                     | 22         | 3           | 6           |
| 0.81       | 0.52                     | 21         | 3.75        | 7.5         |
| 0.98       | 0.75                     | 20         | 5           | 10          |
| 1.02       | 0.82                     | 19         | 6           | 12          |
| 1.25       | 1.23                     | 18         | 7.5         | 15          |
| 1.51       | 1.79                     | 17         | 10          | 20          |
| 1.67       | 2.19                     | 16         | 11          | 22          |
| 1.75       | 2.41                     | 15         | 12          | 24          |
| 1.98       | 3.08                     | 14         | 15          | 30          |
| 2.40       | 4.52                     | 13         | 20          | 40          |
| 2.78       | 6.07                     | 12         | 25          | 50          |
| 2.95       | 6.84                     | 11         | 27.5        | 55          |

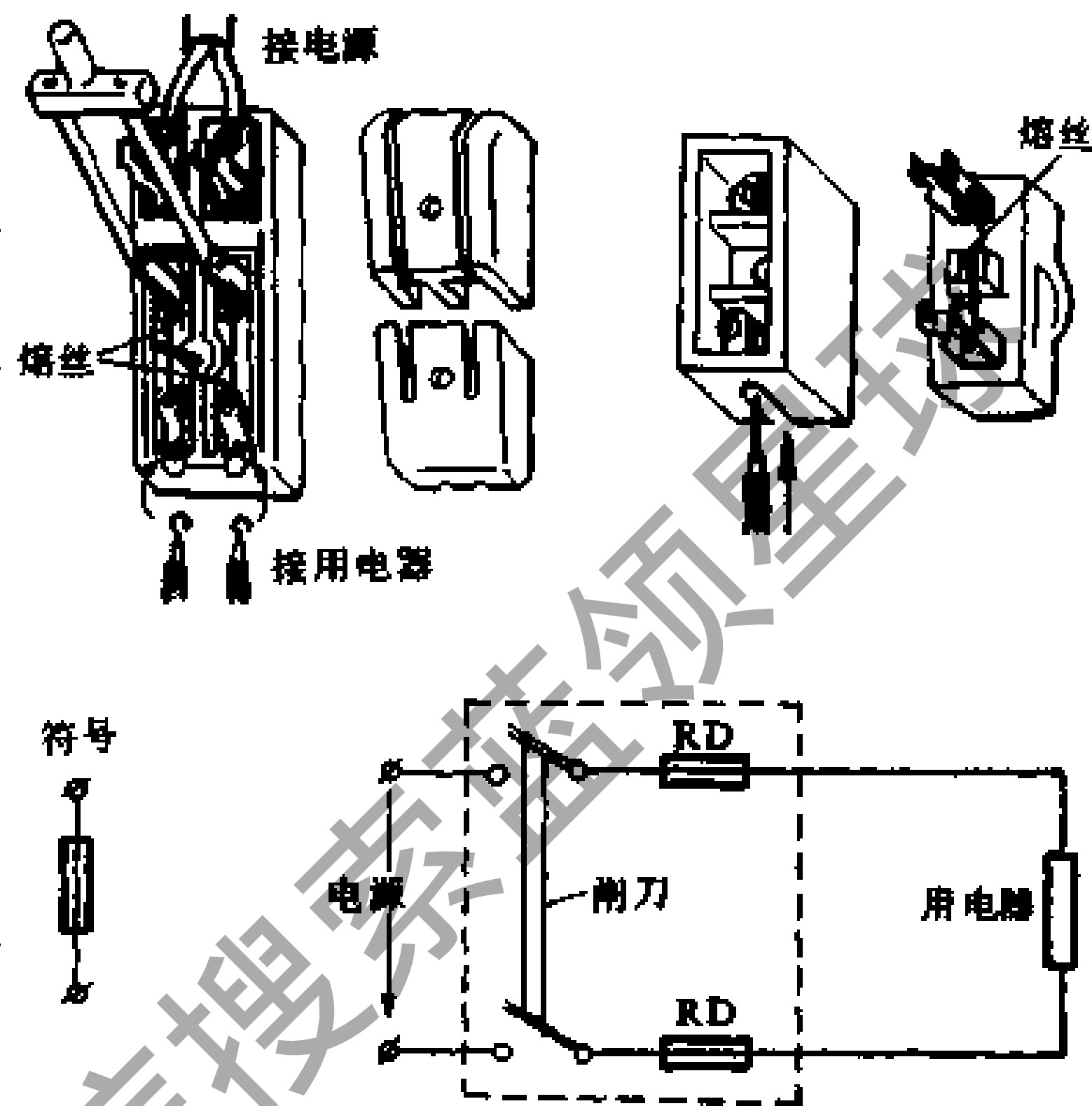


图 1-23 熔丝的安装及电路图



## 第 5 节 电路的串联、并联和混联

电路连接的基本形式有串联与并联两种。在实际工作中，电路的混联较为普遍。

### 串联电路

#### 1. 电阻的串联

把几个电阻的头尾依次连接成一串，这样的连接叫做电阻的串联〔图 1—24 (a)〕。串联电路的特点是：

(1) 在电阻串联电路中，因为电流只有一条通路，所以，不论各电阻的数值是否相等，通过各电阻的电流为同一电流，这是判断电阻串联的一个重要依据，即

$$I = I_1 = I_2 = I_3$$

(2) 根据部分电路的欧姆定律，各电阻两端的电压等于通过电阻的电流与电阻的乘积，即

$$U_1 = IR_1, U_2 = IR_2, U_3 = IR_3$$

由上式可以看出，当几个电阻值不相等的电阻串联时，各电阻两端的电压与其电阻值的大小成正比，即大电阻两端的电压高，小电阻两端的电压低，这个关系叫做串联电路的电压分配定律。

根据全电路欧姆定律可知，电阻串联电路的总电压等于各电阻上的分电压之和，即

$$U = U_1 + U_2 + U_3$$

(3) 串联电路的总电压  $U$  除以电路的电流  $I$ ，称为电路的等效电阻或总电阻，用  $R$  代表，如图 1—24 (b) 所示，即

$$R = R_1 + R_2 + R_3$$

上式的含义是：电阻串联电路的等效电阻等于各电阻之和。就是说，串联的电阻越多，其等效电阻越大。

电阻的串联电路在生产 and 生活中应用很多。电路中串入电阻可使电路电阻增大，在电源电压不变时，可使电流减小。电动机起动时串联电阻，就是为了降低起动电流。用电器串联起来可以适应较高的电压，如两个同样瓦数的 110V，电灯串联起来可接 220V 电压。

电阻的串联电路还可以起分压作用，能把电压分成所需大小的几部分。根据图 1—24，因为

$$I = \frac{U}{R} = \frac{U}{R_1 + R_2 + R_3}$$

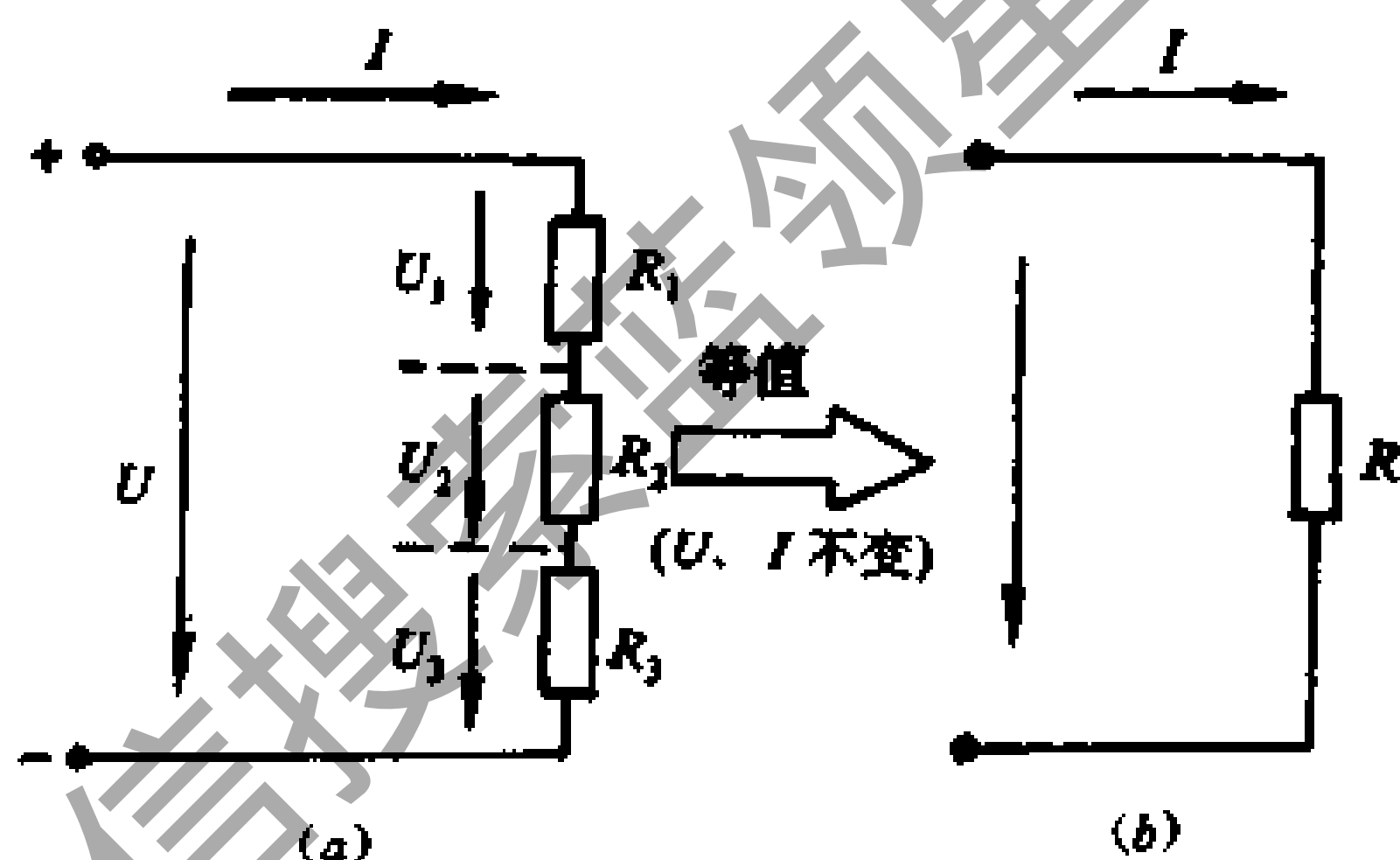


图 1—24 电阻的串联接线图

所以 
$$U_1 = IR_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2 + R_3} U = K_1 U$$

$$U_2 = IR_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2 + R_3} U = K_2 U$$

$$U_3 = IR_3 = \frac{R_3}{R_1 + R_2 + R_3} U = K_3 U$$

式中： $K_1$ 、 $K_2$ 、 $K_3$  为电路的分压系数。分压的一个实用例子是扩大电压表的测量范围。

【例 1】现有一量程为 10V 的电压表，其内部电阻为 10kΩ。要把它的量程扩大到 250V，应串联一个多大的电阻？

解：要使电压表能够测量 250V 电压，必须串入分压电阻  $R_{分}$  (图 1-25)，使得测量时  $R_{分}$  上有 250-10=240V 的电压降落，在原来电压表上仍承受 10V 电压。根据串联电路电流相等的特点：

$$U_{表} = IR_{表} \quad U_{分} = IR_{分}$$

所以

$$R_{分} = \frac{U_{分}}{U_{表}} \times R_{表} = \frac{240}{10} \times 10000 = 240 \text{ (k}\Omega\text{)}$$

同样，在串入不同电阻后，可以测量 50V、100V、500V 的电压。万用表能够测量不同电压就是根据分压原理制造的。

【例 2】试用电位器或滑线变阻器来分压。

解：可在电位器或滑线变阻器的 A、B 两端加上电压  $U$  (图 1-26)，旋转电位器的轴柄或移动滑线变阻器的滑动触头，P、B 两点之间的电压  $U_1$  就能平滑地在 0~ $U$  之间变化。常见的收音机音量调节线路，就利用了电位器这个分压原理。

## 2. 电源的串联

电源的串联一般指电池的串联。电池的串联是把几个电池的正、负极相间地连接起来。电池串联时应注意，必须使它们推动电流的方向一致，如果把电池接反了，电池的电动势便互相抵消 (图 1-27)。

在需要获得较大电源电压的地方，常采用电源的串联连接。

## 二、并联电路

### 1. 电阻的并联

把几个电阻的一端接在一起，另一端也接在一起，使各个电阻处于同一电压下 (图 1-28)，这种并排的连接方式，叫做并联。

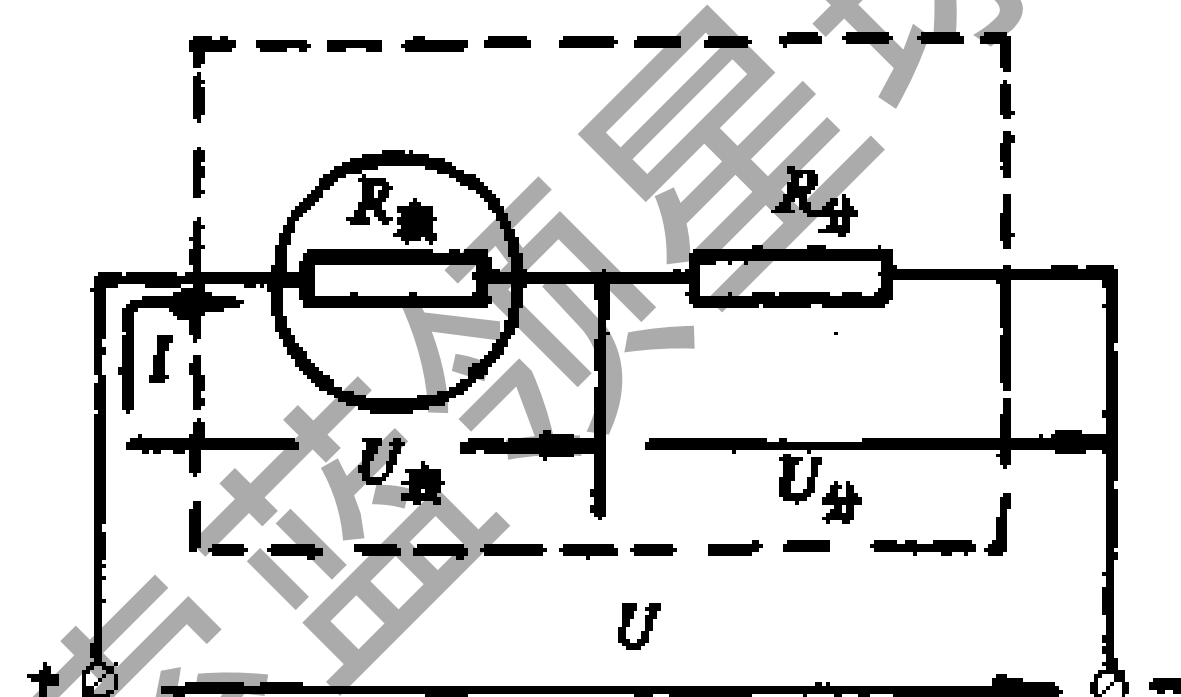


图 1-25

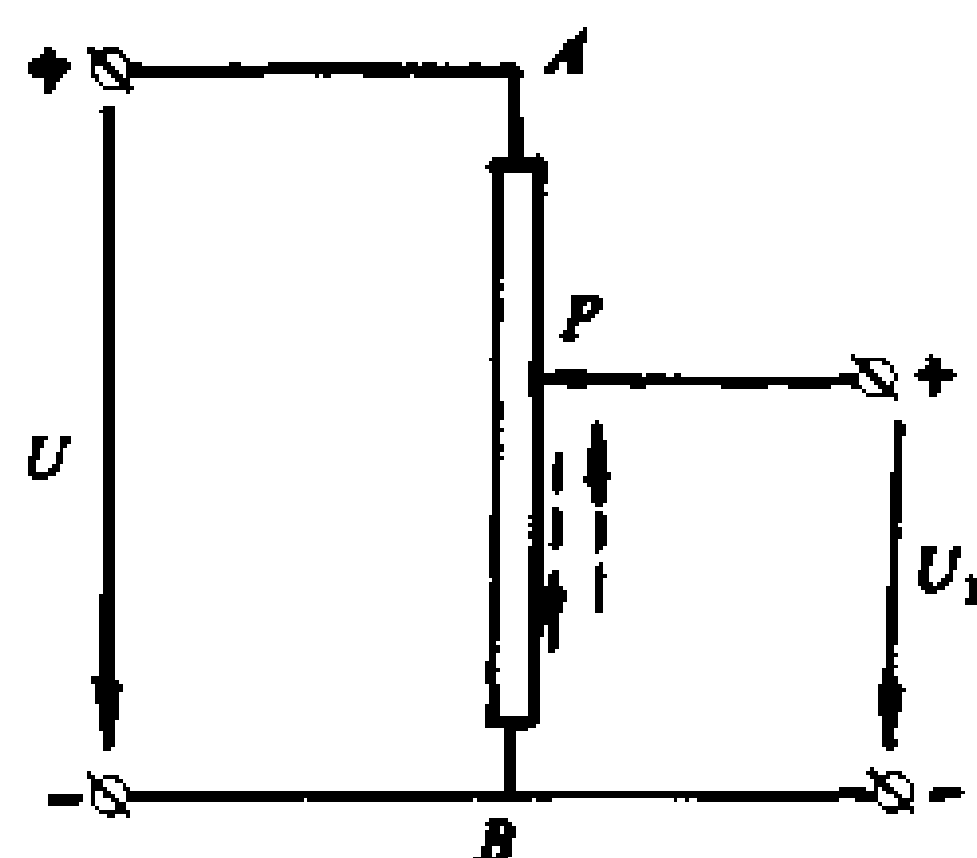


图 1-26

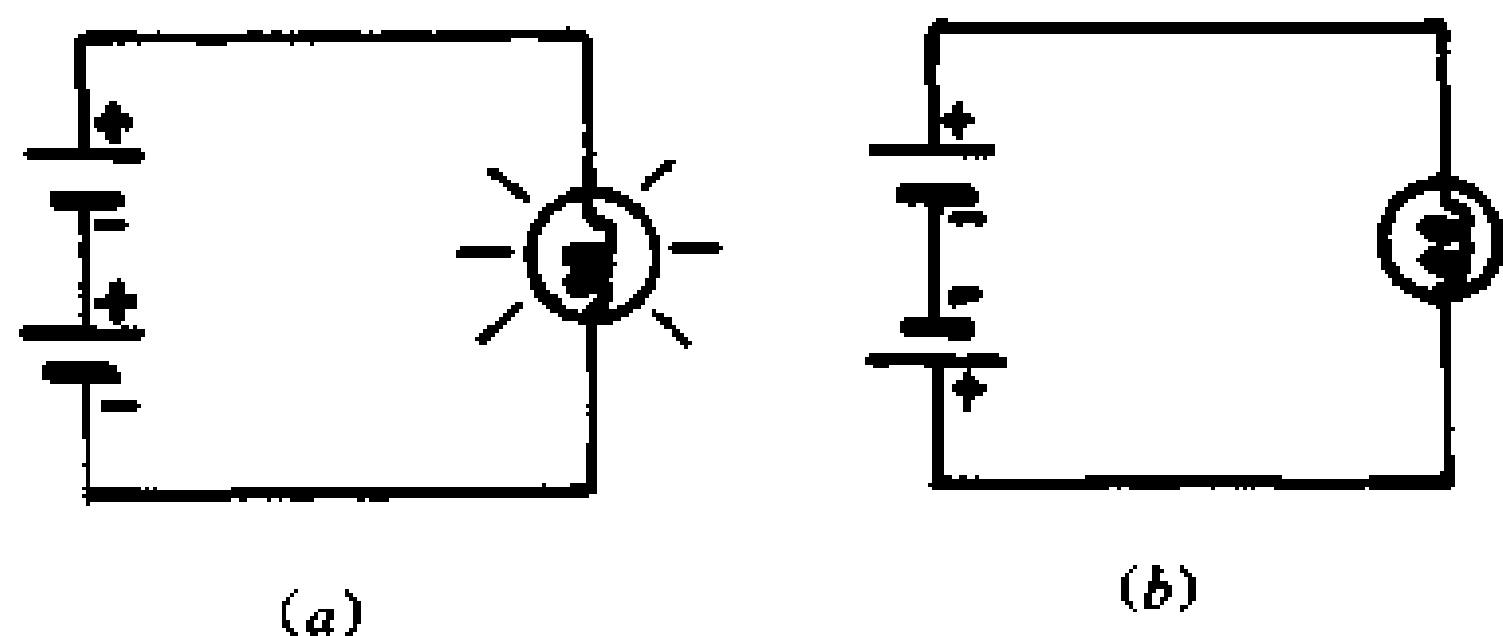


图 1-27 电池串联接线图

(a) 正确的 (b) 错误的

在实际工作中，并联电路应用很广。例如，电灯、电动机等用电设备，只要它们的额定电压相同，都采用并联接线。因为并联电路既可以保证各支路的电压相等，又不因某一支路断开而影响其他支路正常工作。下面以图 1—28 为例来说明并联电路的特点：

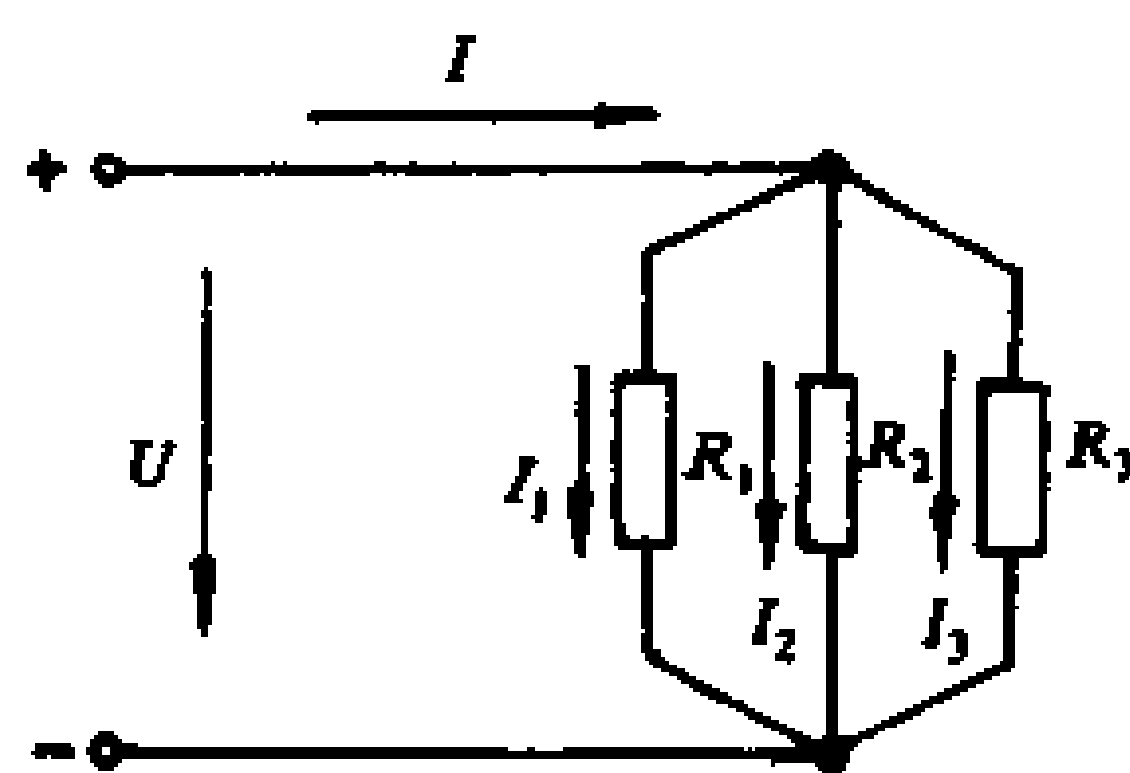


图 1—28 电阻并联电路

(1) 因为各电阻的两个端头分别接在同一点上，所以各并联电阻两端的电压为同一电压，这是判断电阻并联的一个重要依据，即

$$U = U_1 = U_2 = U_3$$

(2) 根据电流的连续性原理和欧姆定律，电阻并联电路中的总电流等于各支路电流之和，即

$$I = I_1 + I_2 + I_3 = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \frac{U}{R_3}$$

由上式可见，支路电阻越小，分电流越大，这就是并联电阻的分流原理。

(3) 并联电路的总电压 \$U\$ 除以电路的总电流 \$I\$，称为电路的等效电阻或总电阻。并联电路的总电阻的倒数等于各支路电阻倒数之和，即

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

若两个电阻并联时，则总电阻

$$R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

若 \$n\$ 个电阻值为 \$R\_1\$ 的电阻并联时（即各个电阻值相等），则总电阻

$$R = \frac{R_1}{n}$$

由上式可见，并联电路总电阻的值小于任一支路的电阻值。同时说明，并联电阻越多，对电源来说，负载总电阻越小，电源供给的电流越大，或者说电源的负载越重。

**【例 1】**为修复一万用表，需要一个 \$9.7\Omega\$ 的电阻，现只有 \$10\Omega\$ 的电阻，问应并联的电阻值是多少？

**解：**假设并联的电阻为 \$R\_{\#}\$，则

$$\frac{1}{10} + \frac{1}{R_{\#}} = \frac{1}{9.7}$$

所以 
$$R_{\#} = \frac{1}{\frac{1}{9.7} - \frac{1}{10}} = \frac{97}{0.3} \approx 320 (\Omega)$$

电阻并联还能起分流作用。分流的应用实例是扩大电流表的测量范围。

**【例 2】**现有一测量小电流的微安表，最大可测电流 \$I\_{\text{最大}}\$（满刻度电流）为 \$100\mu\text{A}\$，电表内部电阻为 \$1.5\text{k}\Omega\$，如果要扩大它的测量范围到 \$1\text{mA}\$，问应并联多大的电阻？

**解：**已知 \$I\_{\#} = 1\text{mA} = 1000\mu\text{A}\$，\$I\_{\text{最大}} = 100\mu\text{A}\$，那么并联电阻 \$R\$（图 1—29）中应通过的电流为

$$I_{\#} - I_{\text{最大}} = 900\mu\text{A}$$

由于两个分路并联，电压相等，即

$$I_{\text{最大}} R_{\text{表}} = (I_{\text{扩}} - I_{\text{最大}}) R$$

所以 
$$R = \frac{I_{\text{最大}} R_{\text{表}}}{I_{\text{扩}} - I_{\text{最大}}} = \frac{100 \times 1500}{1000 - 100} \approx 167 (\Omega)$$

同样，也可以并联不同阻值的电阻把电流表的测量范围扩大为 5mA、50mA、500mA。万用表能测量好几挡电流，就是根据这个分流原理做成的。

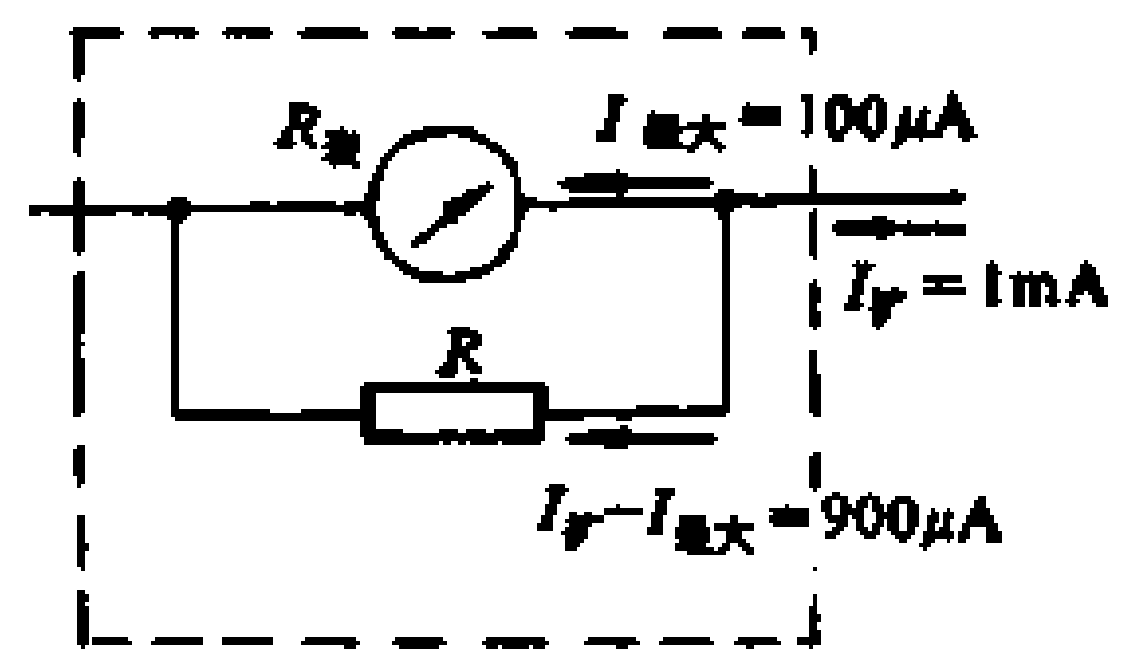


图 1—29

## 2. 电源的并联

电源的并联，是把各电源的正极与正极、负极与负极分别相连接，如图 1—30 (a) 所示。电源并联时，各个电源的电动势以及内阻必须相等（至少非常相近）。如果正极和负极接错了，就会产生大量的环流，相当于把串联电池组的两极短接〔图 1—30 (b)〕。

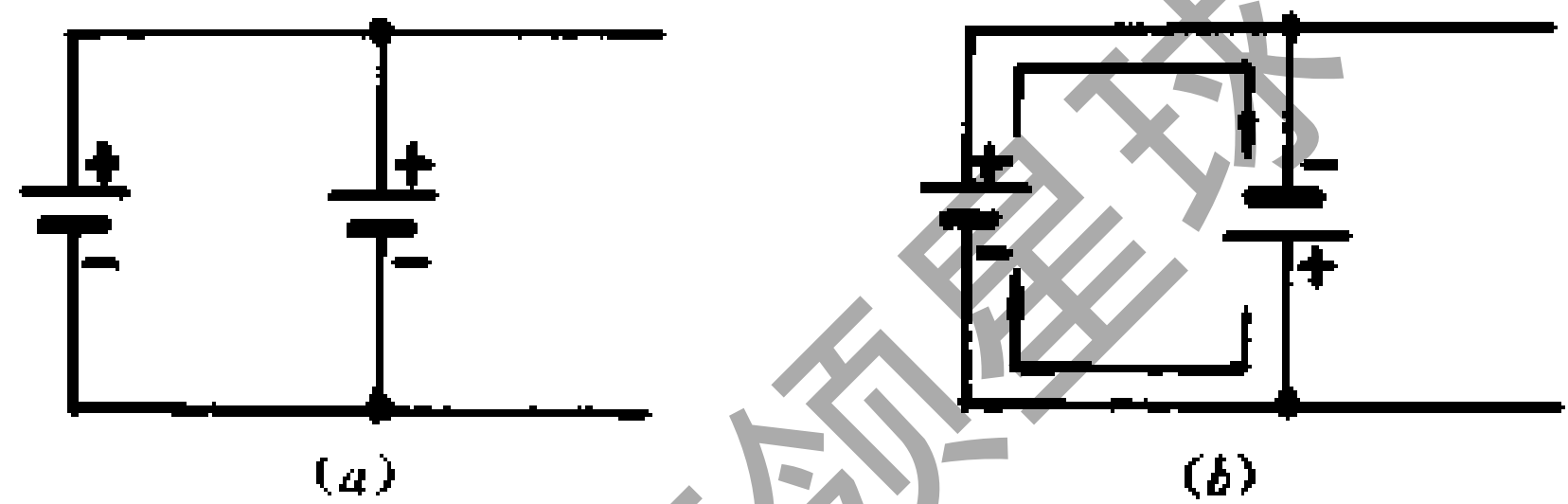


图 1—30 电池并联接线图

(a) 正确的 (b) 错误的

在负载需要获得较大的电流时，常采用电源的并联连接。电池并联连接后，总内电阻降低，而电路电流及电源的端电压均增大。

## 三、混联电路

既含有电阻串联又含有电阻并联的混合连接方式，称电阻的混联，如图 1—31 (a) 所示。混联电路的计算方法和化简步骤如下：整理化简电路，把几个串联或并联的电阻分别用等效电阻来代替，然后求出该电路的总电阻，如图 1—31 (b)、(c)、(d) 所示。根据电路的总电压、总电阻，计算出该电路的总电流。最后计算出各部分的电压降和电流等。

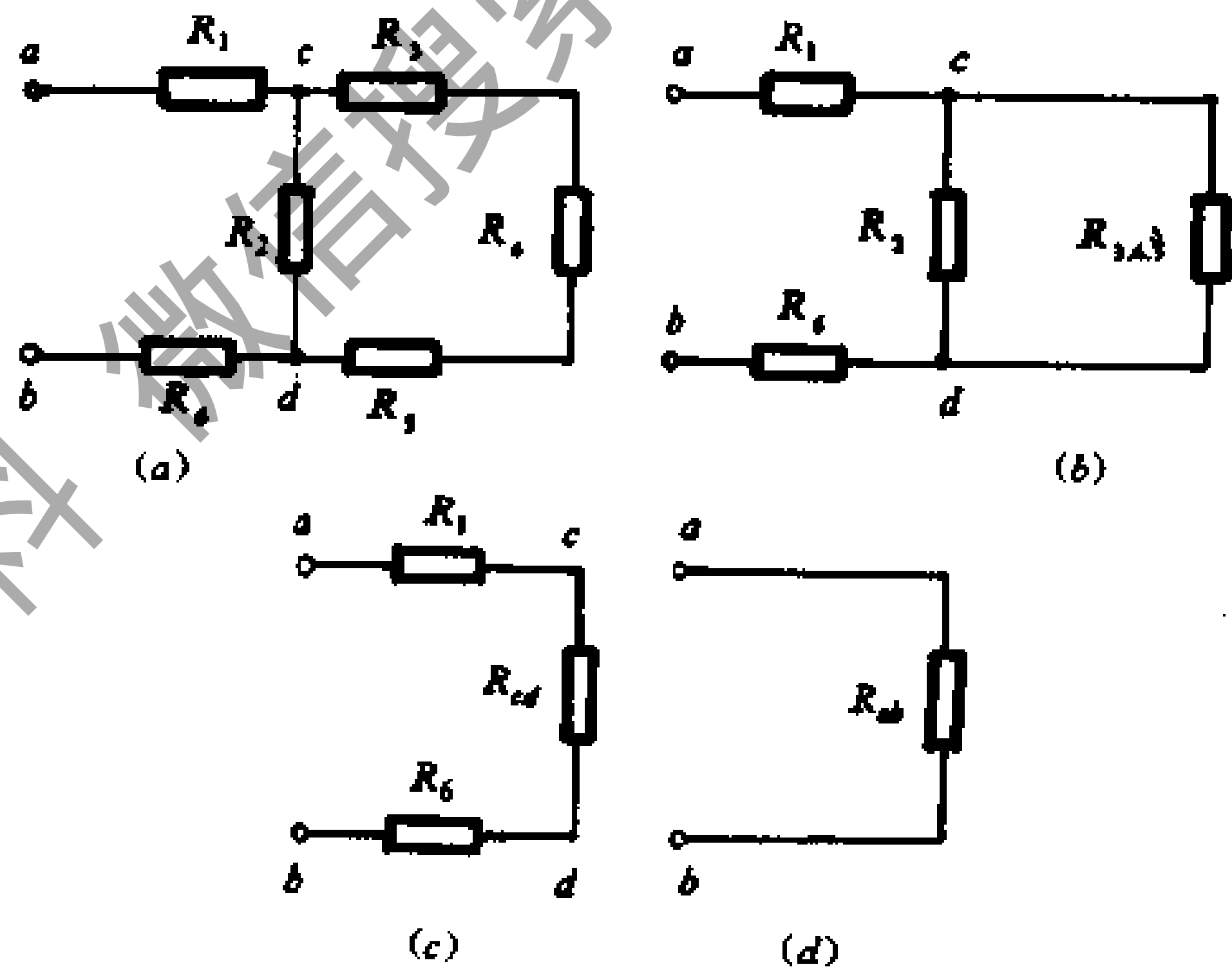


图 1—31 电阻的混联连接及等效电阻的简化步骤

【例】图 1—32 的电阻分压电路，利用分压器上滑动端 C 的滑动，可向负载  $R_3$  输出  $0 \sim U_1$  的可变电压。现已知  $U_1 = 12\text{V}$ ，负载电阻  $R_3 = 200\Omega$ 。滑动端 C 移到中间时，分压器两电阻  $R_1 = R_2 = 600\Omega$ 。试求开关 K 断开和接通两种情况下的电压  $U_2$ 、负载电压  $U_3$  以及通过分压器的电流  $I_1$  和  $I_2$ 。

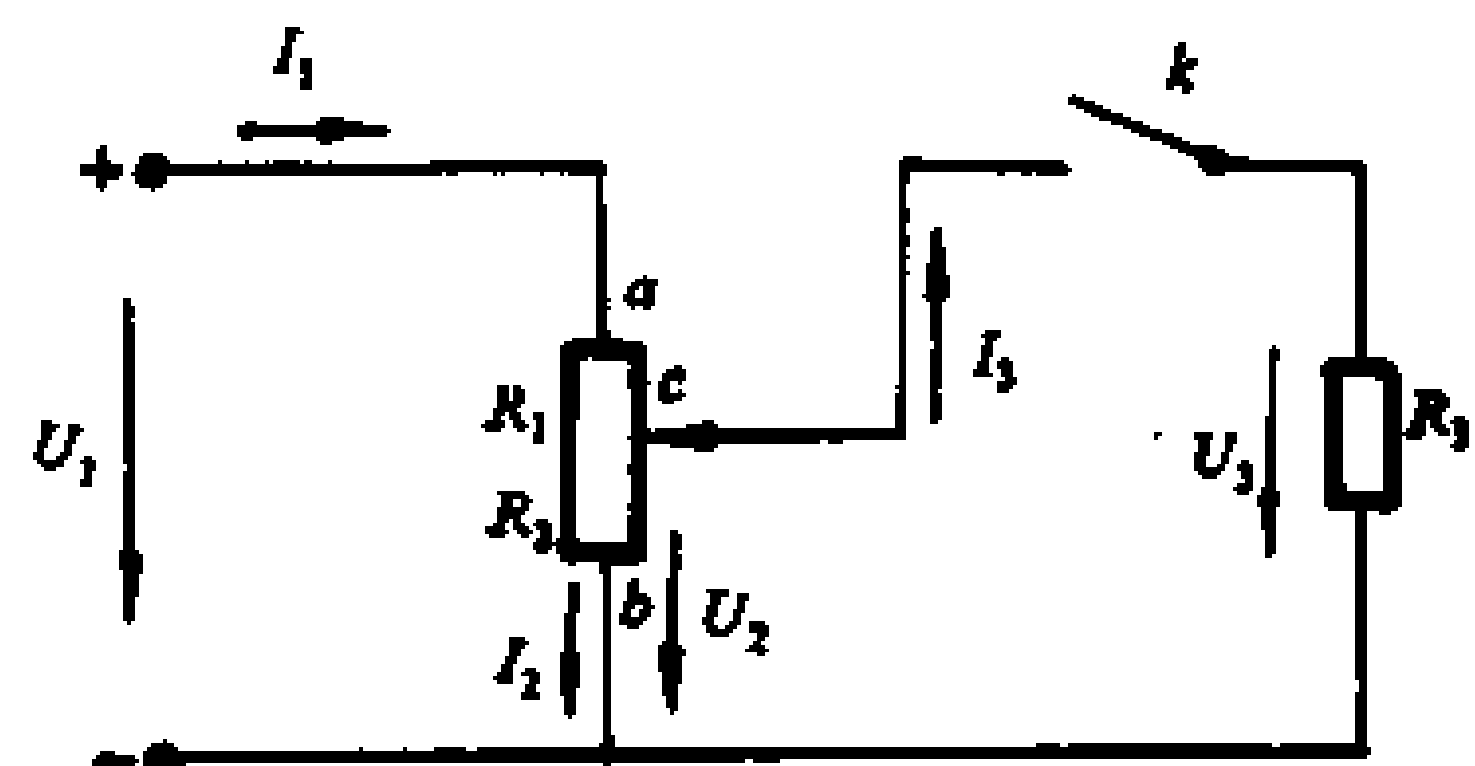


图 1—32 电阻分压示意图

解：K 断开时，为串联电路。此时

$$I_3=0$$

$$I_1=I_2=\frac{U_1}{R_1+R_2}=\frac{12}{1200}=0.01 \text{ (A)}$$

$$U_2=I_2R_2=0.01 \times 600=6 \text{ (V)}$$

$$U_3=0$$

K 闭合时，为混联电路。电路总等效电阻为

$$R=R_1+\frac{R_2R_3}{R_2+R_3}=600+\frac{600 \times 200}{600+200}=750 \text{ (\Omega)}$$

$$I_1=\frac{U_1}{R}=\frac{12}{750}=0.016 \text{ (A)}$$

并联支路中各分电流与电阻成反比，故

$$I_2=\frac{I_1 \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2+R_3}}{R_2}=I_1 \frac{R_3}{R_2+R_3}$$
$$=0.016 \times \frac{200}{600+200}=0.004 \text{ (A)}$$

$$U_2=I_2R_2=0.004 \times 600=2.4 \text{ (V)}$$

因为  $R_2$  与  $R_3$  并联，故

$$U_3=U_2=2.4 \text{ (V)}$$

从上述结果可以看出，当 K 闭合后，分压器  $ac$  段的电流从 0.01A 增加到 0.016A。

## 第 6 节 基尔霍夫定律

要解决复杂电路的计算，仅应用欧姆定律是不够的，还要应用基尔霍夫定律。

### 一、复杂电路与基尔霍夫定律

#### 1. 复杂电路

凡是可以根据电阻串、并联特点化简及应用欧姆定律求解的电路，称简单电路（图 1—33）。一个电路的结构，如果无法用串、并联关系化简成最简单的无分支电路，则这种电路称为复杂电路（图 1—34）。要解决这类复杂电路，就需要应用基尔霍夫定律。

#### 2. 电路中几个常用名词

（1）支路：除了两个端点外，再没有其他的地方与别的分支相连接的电路叫做支路。例如，图 1—34 (b) 中有  $AD$ 、 $BE$ 、 $CF$  3 条支路。在同一支路内，各元件中通过的电流是相同的。因此，有一条支路就有一个支路电流。

（2）节点：3 条或 3 条以上支路的汇聚点就叫做节点。例如，图 1—34 (b) 中  $B$ 、 $E$  两点就是节点。

（3）回路：由支路构成的闭合路径叫做回路。例如，图 1—34 (b) 中有  $ABEDA$ 、 $BCFEB$  及  $ABCFEDA$  3 条回路。

#### 3. 基尔霍夫第 1 定律（又称节点电流定律）

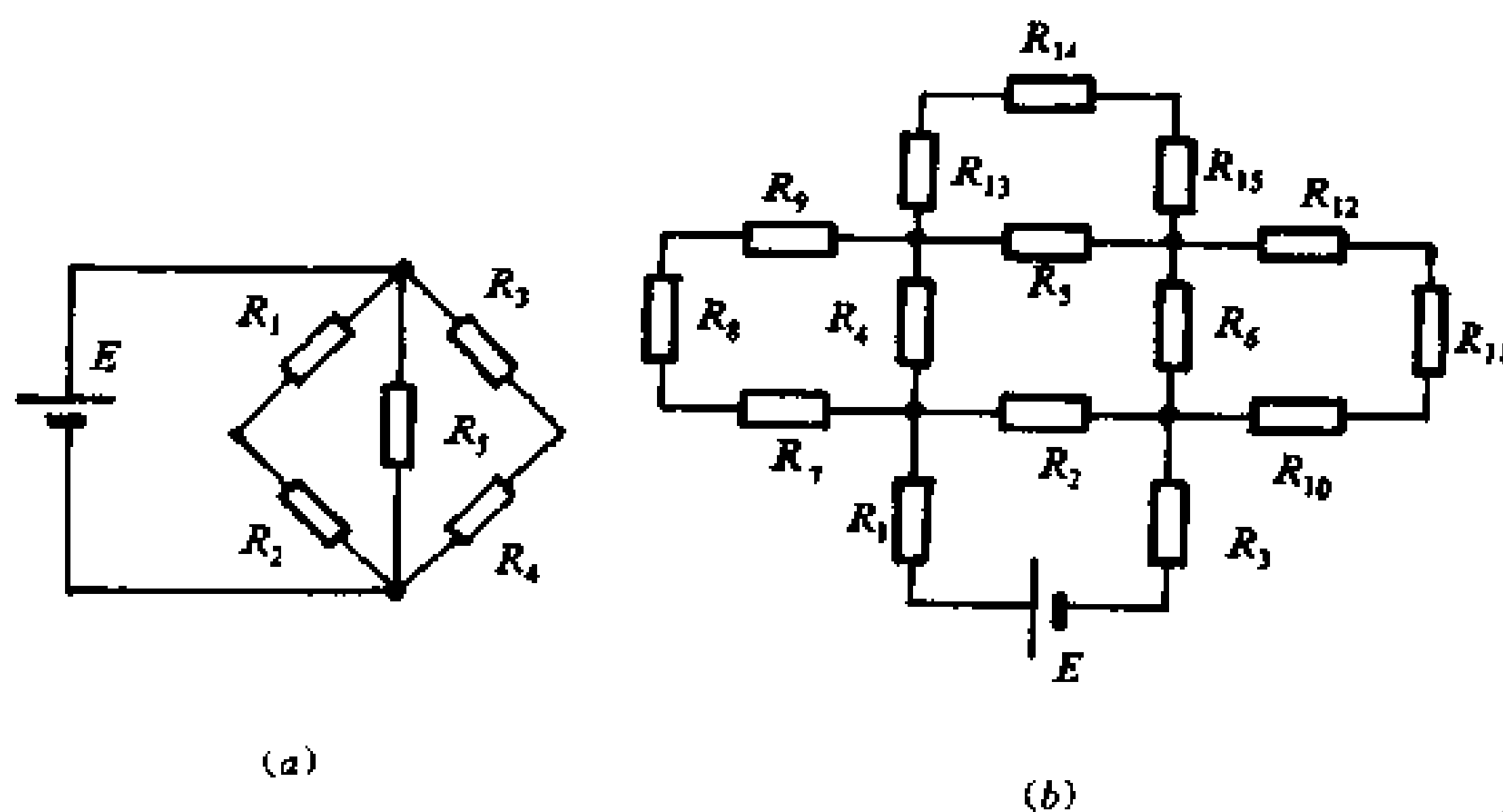


图 1-33 简单电路图

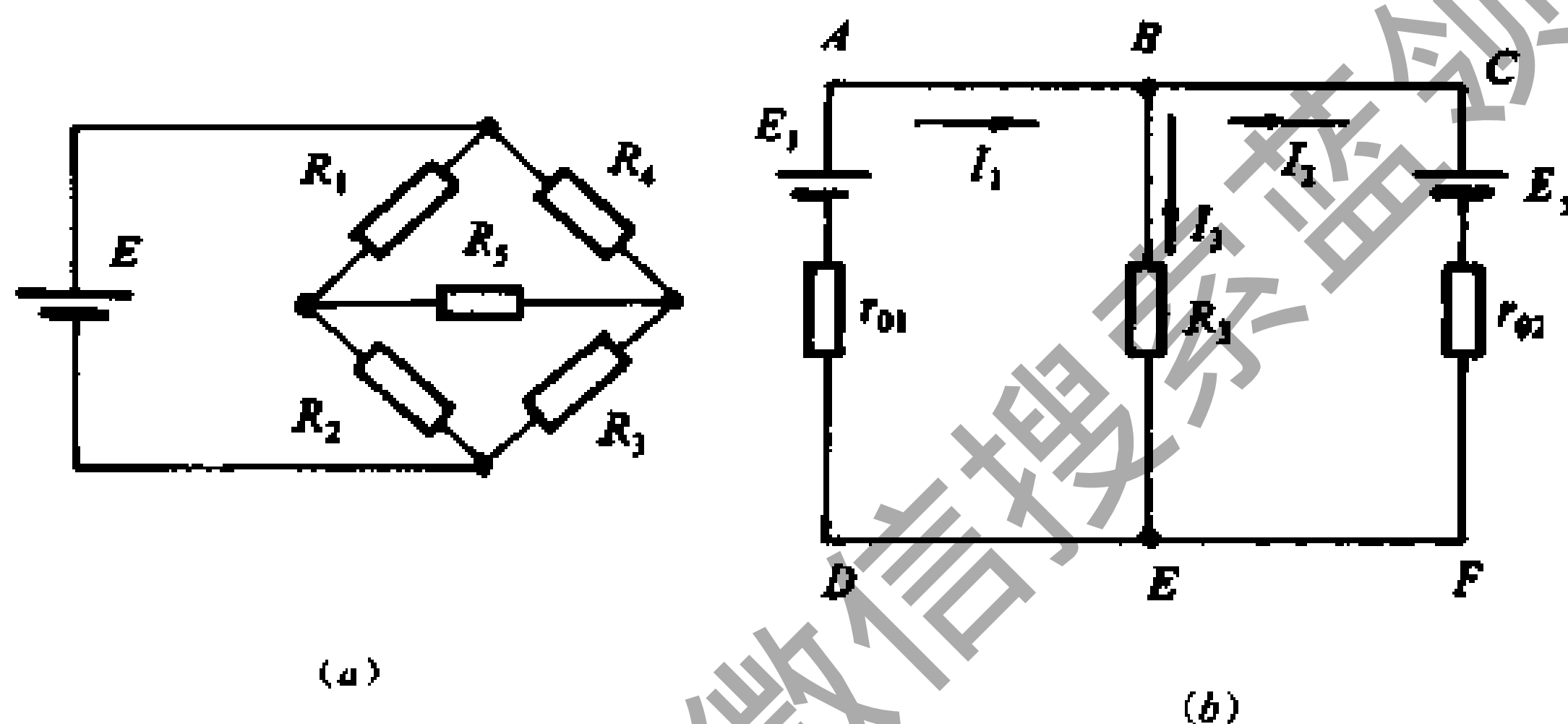


图 1-34 复杂电路图

由于电路中任一点均不会发生电荷堆积的现象，因此流进节点的电流等于从节点流出的电流，这就叫做基尔霍夫第 1 定律。图 1-34 (b) 中节点 B，根据基尔霍夫第 1 定律，应有

$$I_1 + I_2 = I_3$$

或者

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0$$

如果我们规定流入节点的电流为正，流出节点的电流为负，则上式可写成

$$\sum I = 0$$

式中： $\Sigma$  为总和的符号。

上式说明，对任一电路的任一节点，电流的代数和为零。

#### 4. 基尔霍夫第 2 定律（又称回路电压定律）

基尔霍夫第 2 定律揭示了一个闭合回路中各部分电压之间的相互关系。任一闭合回路中，任一绕行方向上，回路中各电动势的代数和等于各电阻上电压降的代数和，这就叫做基尔霍夫第 2 定律。可表示为

$$\sum E = \sum IR = \sum U$$

应用此定律列回路电压方程时，电动势及电压降的正、负是这样确定的：在图 1-35 中，任意选定一绕行方向后，与绕行方向一致时，电动势取正号〔图 1-35 (a)〕；反之，取负号〔图 1-35 (b)〕。某段电路电流正方向与绕行方向一致时，其上的电压降  $IR$  取正

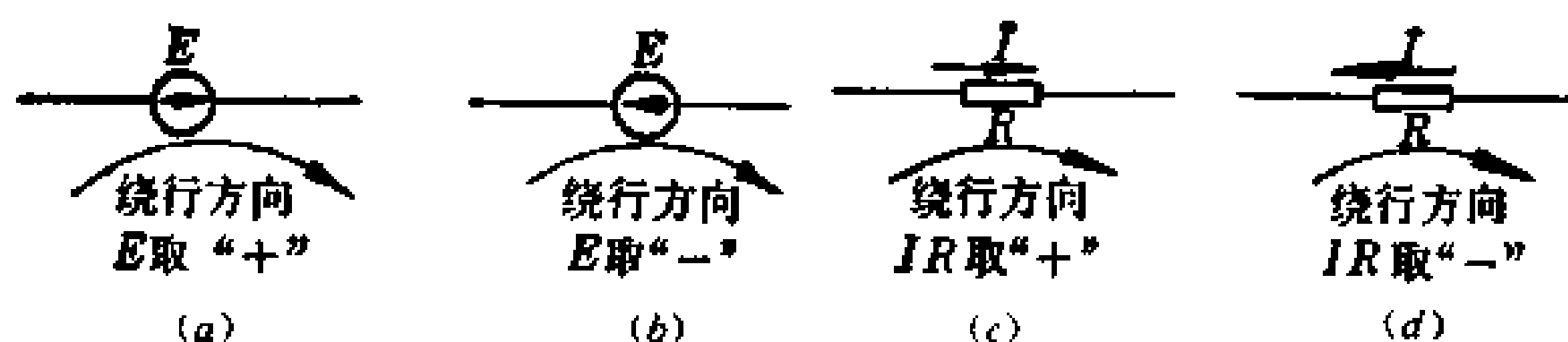


图 1-35 确定电动势及电压降的正、负值示意图

号〔图 1-35 (c)〕；反之，取负号〔图 1-35 (d)〕。

## 二、应用基尔霍夫定律解题的方法——支路电流法

利用支路电流法解复杂的直流电路，一般是已知电路中各电阻和电动势，求各支路电流。其解题步骤如下：首先假设各支路电流的正方向，并在图上标出。再标出回路的绕行方向。各支路电流的实际方向不可能在计算前确定，所以电流正方向的选取是任意的，但一经选定就不能中途变动。若计算结果电流为正值，则表示电流的实际方向和假设的正方向一致；若计算结果为负，则表示电流的实际方向和假设的正方向相反。用基尔霍夫第 1 定律列出节点电流方程式。必须注意，电路中若有几个节点，则只能列出  $(n-1)$  个独立的方程式，而另外一个方程式是不独立的。不足的方程式可由基尔霍夫第 2 定律列出。用基尔霍夫第 2 定律列出回路电压方程式。为了保证电压方程式的独立，选取回路时，一般要保证每列出一个回路方程，至少要包含一个其他回路中没有用过的新支路。代入已知的电阻和电动势的数值，解联立方程式，求出各支路电流。

【例题】图 1-36 为直流发电机与蓄电池并联供电的线路图。设发电机的电动势  $E_1 = 14\text{V}$ ，其内阻  $r_1 = 0.2\Omega$ ；蓄电池  $E_2 = 12\text{V}$ ，其内阻  $r_2 = 0.01\Omega$ ；外电路负载电阻  $R = 1\Omega$ ，求各支路电流  $I_1$ 、 $I_2$  及  $I$ 。

解：各支路电流正方向及其绕行方向，如图 1-36 所示。

应用基尔霍夫第 1 定律对节点  $b$  可列出方程式

$$I_1 + I_2 = I$$

再根据基尔霍夫第 2 定律列出两个电压方程式。

由  $abefa$  回路得

$$I_1 r_1 - I_2 r_2 = E_1 - E_2$$

由  $bcdeb$  回路得

$$I_2 r_2 + IR = E_2$$

代入已知数得联立方程，并求解

$$\begin{cases} I_1 + I_2 = I & \text{①} \\ 0.2I_1 - 0.01I_2 = 14 - 12 & \text{②} \\ 0.01I_2 + I = 12 & \text{③} \end{cases}$$

由②式得

$$I_1 = 10 + 0.05I_2 \quad \text{④}$$

将④式代入①式得

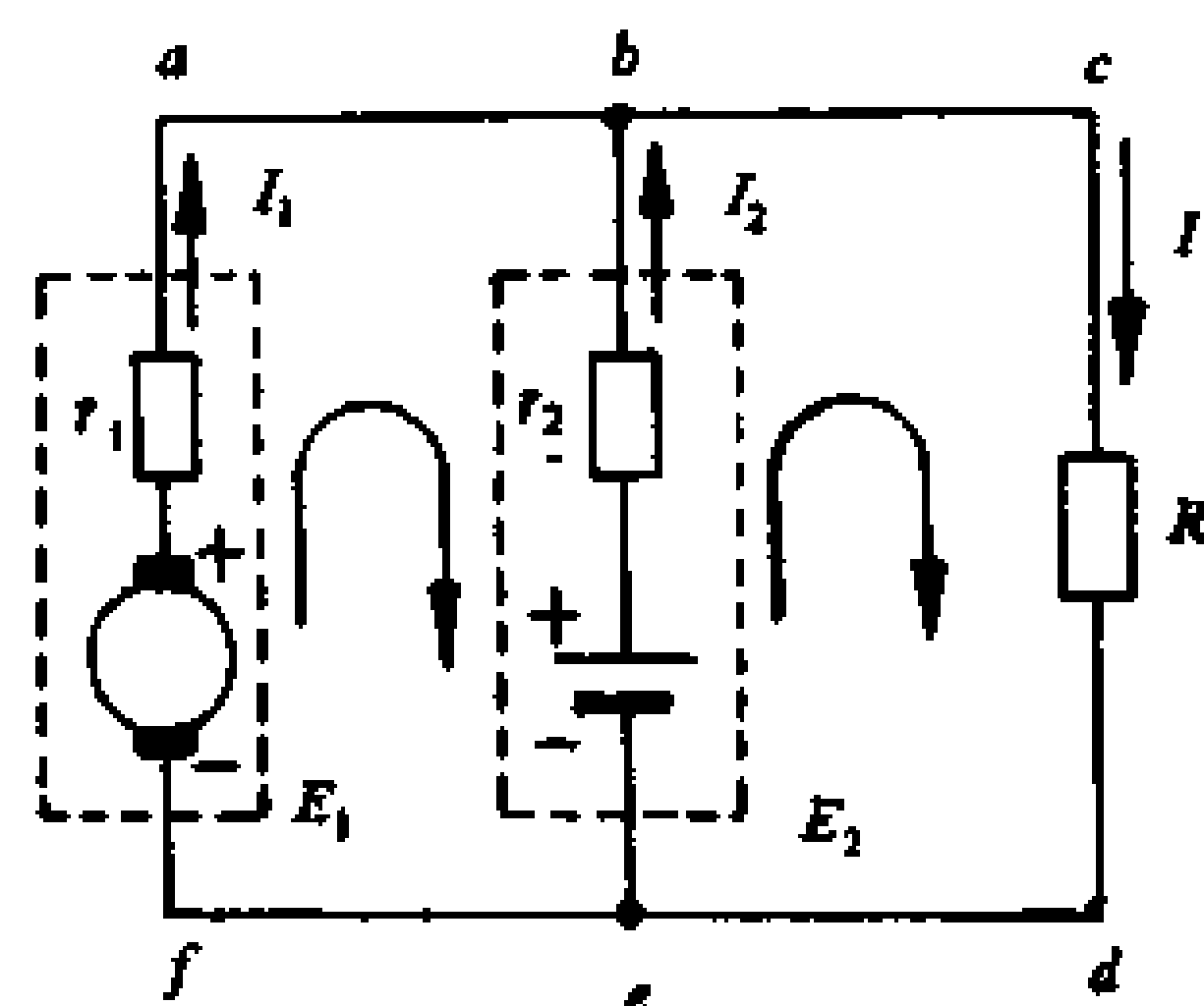


图 1-36 直流发电机与蓄电池并联线路图

$$10 + 1.05I_2 = I \quad (5)$$

将⑤式代入③式得

$$0.01I_2 + 10 + 1.05I_2 = 12$$

则

$$I_2 = \frac{2}{1.06} \approx 1.89 \text{ (A)} \quad (6)$$

将⑥式代入③式得

$$I = 12 - 0.01 \times 1.89 \approx 11.98 \quad (7)$$

将⑥、⑦式代入①式得

$$I_1 = 11.98 - 1.89 = 10.09 \text{ (A)}$$

所得电流均为正值，表明电流的实际方向和假设的正方向均相同。

## 第 7 节 电功率和电能

### 一、电功率

发电厂发出的电通过输配电线路输给用户，电流通过电动机带动机器转动，这时电流做了功，电动机使电能变成了机械能。人们日常生活中还有许多电流做功的例子，如电流通过电灯时，电灯发光，电能变成了光能；电流流过电炉时，产生了大量的热，电能变成了热能等。

不同电气设备接上电源时电流都做了功，但在相等的时间里不同的电气设备因电流的大小不同所做的功不一样。或者说，它们做相等的功所用的时间不一样。电功率就是反映这种电流做功快慢程度的一个物理量，它表示电流在 1 秒内所做的功的多少。

负荷的电功率等于负荷两端的电压和通过负荷的电流的乘积。常用符号  $P$  来代表电功率，即

$$P = UI \quad (1-8)$$

将欧姆定律  $I = U/R$ 、 $IR = U$  分别代入式 (1-8)，则电功率还可以表示为

$$P = UI = I^2 R = \frac{U^2}{R} \quad (1-9)$$

常用的电功率单位是瓦特 (W)、千瓦 (kW)。它们的关系是

$$1\text{W} = 1\text{A} \times 1\text{V}$$

$$1\text{kW} = 1000\text{W}$$

### 二、电能

电能是一段时间内电流所做的功。电能的大小不仅与电功率有关，还与做功时间的长短有关，可用公式表示为

$$W = Pt \quad (1-10)$$

式中： $P$  为电功率 (kW)； $t$  为时间 (h)； $W$  为电能 (kW·h)。1kW·h 是指容量 (功率) 为 1kW 的用电设备，在 1h 内所消耗的电能。



要注意电能和电功率的区别。电能是指一段时间内电流所做的功，或者说是指一段时间内负荷消耗的能量；电功率是指单位时间内电流所做的功，或者说是指单位时间内负荷消耗的电能。电功率用瓦特表测量，电能用瓦时表（即电能表）来计量。

平时说的这个月电能表走了 11 个字。这就是说瓦时表的指示数增加了 11，即这月消耗了  $11\text{kW}\cdot\text{h}$  的电能。灯泡上标明的  $25\text{W}$ ，是指灯泡的功率是  $25\text{W}$ ，不是指电能。若一只  $25\text{W}$  灯泡点亮  $4\text{h}$ ，消耗的电能是  $0.1\text{kW}\cdot\text{h}$ 。

电功率和电能及它们常用的单位瓦（或千瓦）和千瓦·小时是不同的概念，不要混淆。

**【例 1】** 试计算  $220\text{V}$ 、 $2\text{A}$  的单相电能表能带几个  $220\text{V}$ 、 $25\text{W}$  的灯泡。

解：电能表总共能带的瓦数是

$$P=UI=220\times 2=440\text{ (W)}$$

能带  $220\text{V}$ 、 $25\text{W}$  灯泡的数目是

$$\frac{440}{25}=17\text{ (个)}$$

**【例 2】** 某厂要制造一只  $2.2\text{kW}$  的电烘箱，若电源电压是  $380\text{V}$ ，问应选用阻值是多大的电阻丝（不考虑温度对电阻丝的影响）？

解：根据公式

$$P=\frac{U^2}{R}$$

所以  $R=\frac{U^2}{P}=\frac{380^2}{2200}=65.6\text{ (}\Omega\text{)}$

**【例 3】** 把一个  $220\text{V}$  灯泡接在  $220\text{V}$  电源上，已知通过电灯的电流是  $0.454\text{A}$ ，问 3 小时该灯泡消耗的电能是多少？

解：灯泡的功率是

$$P=UI=220\times 0.454\approx 100\text{ (W)}=0.1\text{kW}$$

3 小时电灯泡消耗的电能是

$$W=Pt=0.1\times 3=0.3\text{ (kW}\cdot\text{h)}$$

**【例 4】** 场院里一盏  $100\text{W}$  的电灯，平均每天使用  $3\text{h}$ ，问一个月（以 30 天计算）用电多少？若不注意节约用电，有一个晚上通夜没关灯，多用电时间约  $10\text{h}$ ，问浪费多少电？

解：每天用电  $3\text{h}$ ，30 天灯泡消耗的电能

$$W=Pt=0.1\times (30\times 3)=9\text{ (kW}\cdot\text{h)}$$

一夜未关灯，多用电  $10\text{h}$ ，浪费电能为

$$W=Pt=0.1\times 10=1\text{ (kW}\cdot\text{h)}$$

$1\text{kW}\cdot\text{h}$  看来数字很小，但其作用很大，如图 1—37 所示。

### 三、电流热效应

电动机运行一段时间后，用手去摸它的外壳，会感到很热，甚至烫手。这是因为电动机绕组有电阻，电流流过电阻时，电阻吸收的电能转换成了热能，使电动机的温度逐渐升高。这种现象叫做电流的热效应。

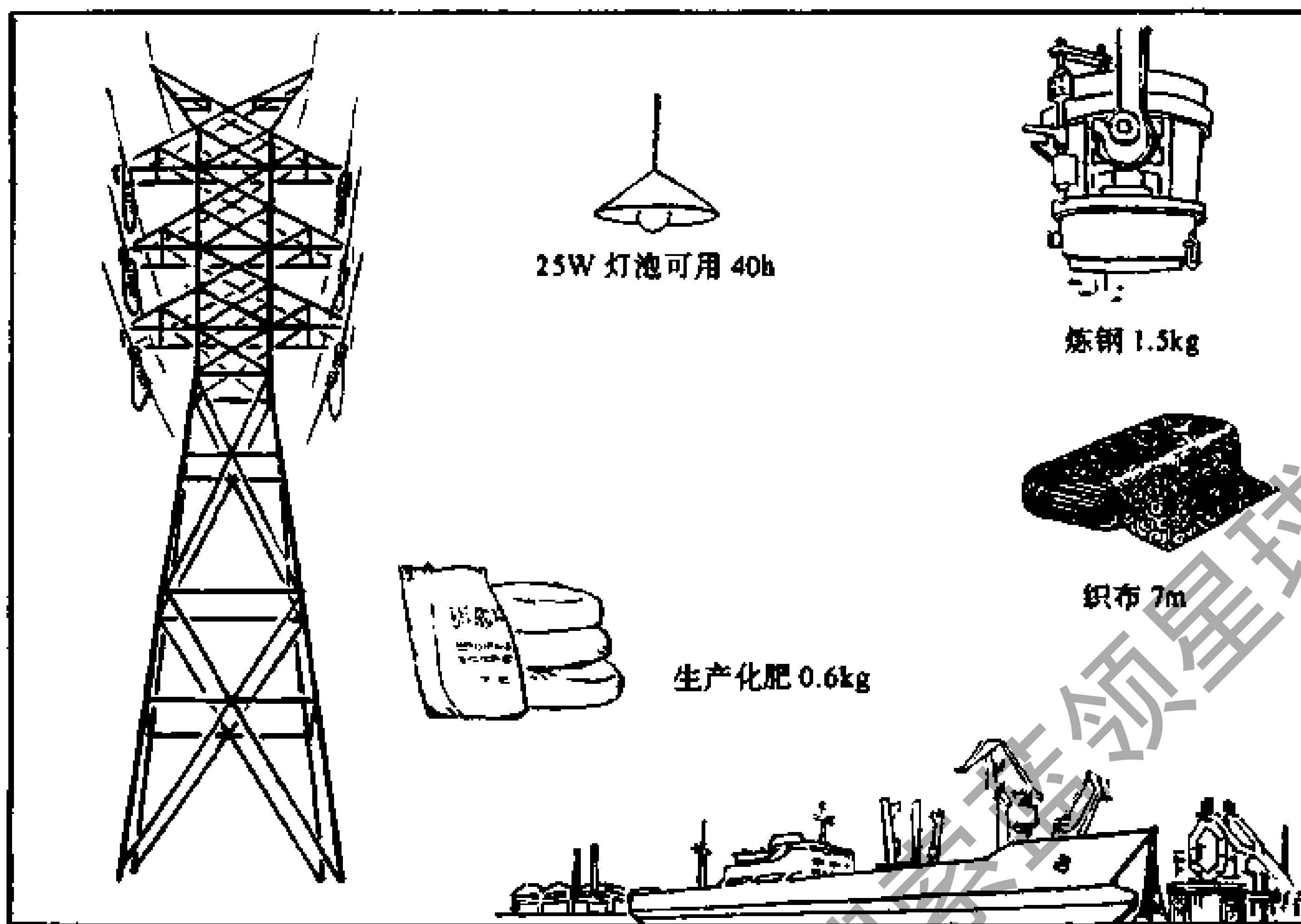


图 1-37 1kW·h 电的作用

在生产实践中，人们制成的电炉、电熨斗、电烙铁等（图 1-38），就是利用电流的热效应制成的加热设备。由于电流的热效应，一些电器设备如电动机、变压器等在运行中，会产生温升。温升过高会危害这些设备的安全，所以应想方设法把产生的热量及时散出去，延长设备的使用寿命。

电流通过导体要产生热量，英国的物理学家焦耳通过大量试验研究证明：电流流过导体产生的热量与电流的平方成正比，与导体的电阻成正比，与通电的时间成正比，这就是著名的焦耳定律。用公式表示，即

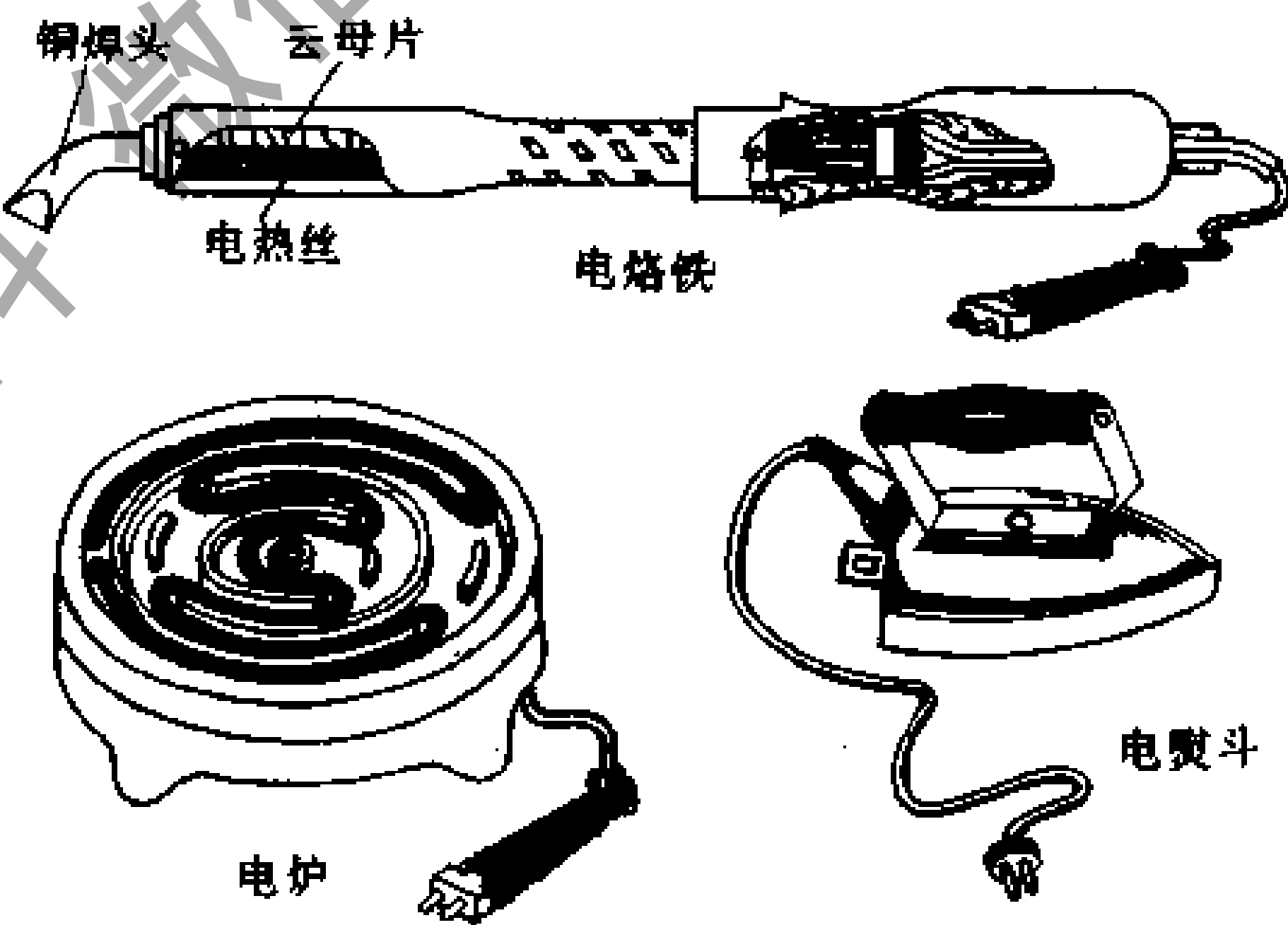


图 1-38 常用的电热器

$$Q = I^2 R t \quad (1-11)$$

式中：Q 为电流在电阻上产生的热量 (J)；I 为通过导体的电流 (A)；R 为导体的电阻 ( $\Omega$ )；t 为电流通过的时间 (s)。

如果电流通过金属导体时，电能全部转化为热能，而没有转化为其他形式的能，这时电流产生的热量就等于电流所做的功，即  $Q = W$ ，电流所做的功  $W = UIt$ ，根据  $I = \frac{U}{R}$ ，于是得到

$$Q = IUt \quad (1-12)$$

或者

$$Q = \frac{U^2}{R} t \quad (1-13)$$

为了使电气设备在正常温度下运行，避免设备过度发热。对于各种电气设备规定了额定值，如额定电压、额定电流、额定功率、额定转速等。这些额定值的大小是经过分析计算得出来的，在额定值条件下工作就能保证电气设备安全、经济地运行，并保证电气设备有一定的使用寿命，特别是能保证电气设备的工作温度不超过规定的允许值。在使用电气设备时，要首先了解设备铭牌上标出的各种数值，使运行中的实际值不超过额定值。当通过电气设备的电流或所加的电压超过额定值过多时，会造成电气设备损坏；反之，当通过电气设备的电流或所加的电压比额定值小很多时，会使电气设备工作状态不正常、不合理（如电压过低，会使电灯亮度不够，电动机转速太低或不能启动等等），并且不能充分利用电气设备的工作能力。

## 第8节 电 容 器

电容器不仅是电子电路中不可缺少的电气元件，而且在电力线路和用电设备中经常用到。

### 一、电容器及其容量

电容器的种类虽多，但就其构成原理来说，基本上是不同的。任意两个被绝缘材料隔开的金属导体，就构成一个电容器。电容器的结构及其在电路中的一般表示符号，如图 1-39 所示。电容器的两个金属导体，叫做电极或极板，用导线引出。极板中间可以是空气或其他绝缘材料，称为介质。

电容器具有在短时间内贮存电能的特性。例如，在电容器的两个极板间接入直流电源后，电源两极上的正、负电荷将分别向电容器的两个极板上移动。因为电容器的极板间被绝缘材料隔开，电荷不能通过，所以电荷就在极板上积存起来。实验证明，电容器极板上积存的电量  $q$ ，与极板间所加电压成正比。也就是说，电容器极板上积存的电量  $q$  与极板间的电压  $U$  的比值是一个常量。这个比例常数，叫做电容器的电容量，简称为电容，用符号  $C$  表示。即

$$C = \frac{q}{U} \quad (1-14)$$

电容器的电容  $C$ ，是一个衡量电容器积存电荷能力大小的物理量。它的大小只与电容器的极板面积、极间距离以及中间绝缘材料的性质有关，而与外加电压无关。在式 (1-14) 中， $q$  的单位是库， $U$  的单位是伏，电容  $C$  的单位是法拉，简称法，用符号  $F$  表示。实际上电容器的电容要比  $1F$  小得多，故通常用微法 ( $\mu F$ ) 或皮法 ( $pF$ ) 作为电容器的单位，它们的换算关系是

$$\begin{aligned} 1\mu F &= 10^{-6} F \\ 1pF &= 10^{-6} \mu F = 10^{-12} F \end{aligned}$$

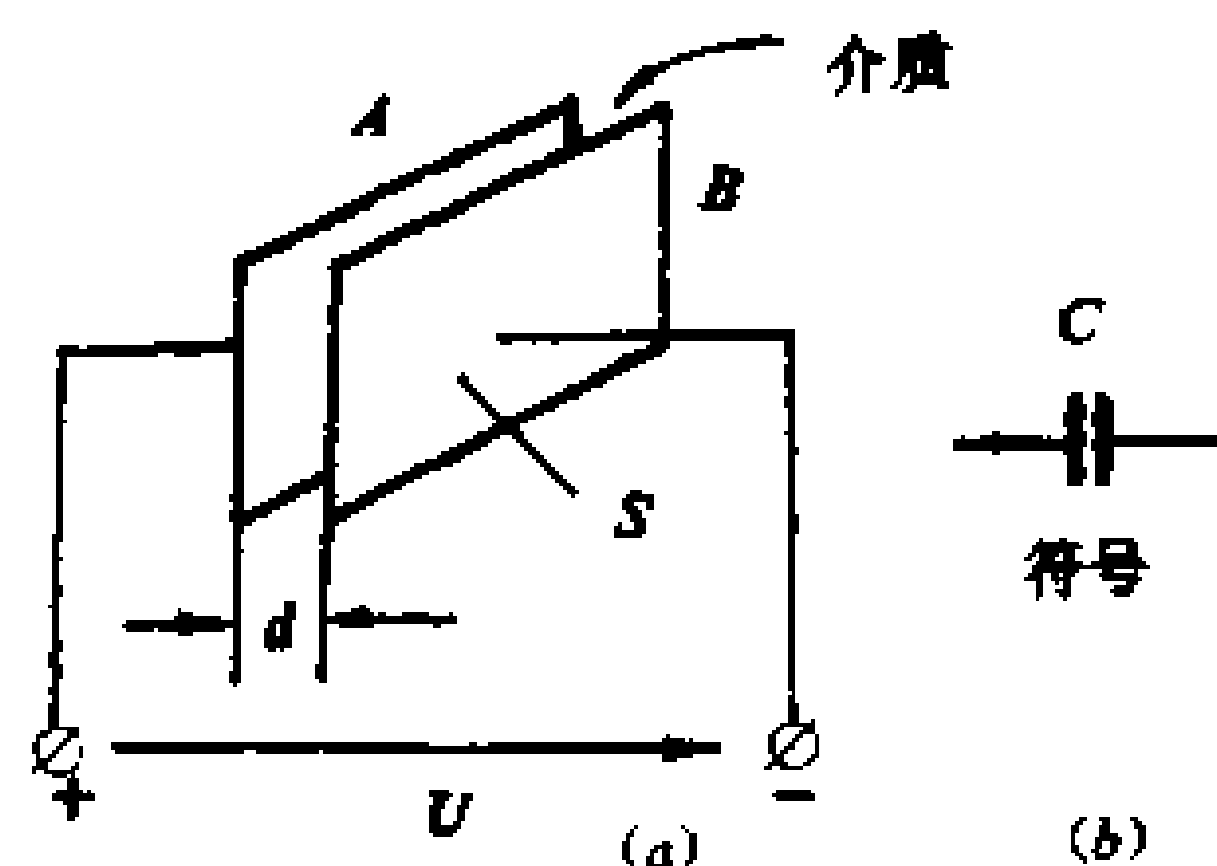


图 1-39 电容器示意图及表示符号

电容器的种类很多，如图 1—40 所示。

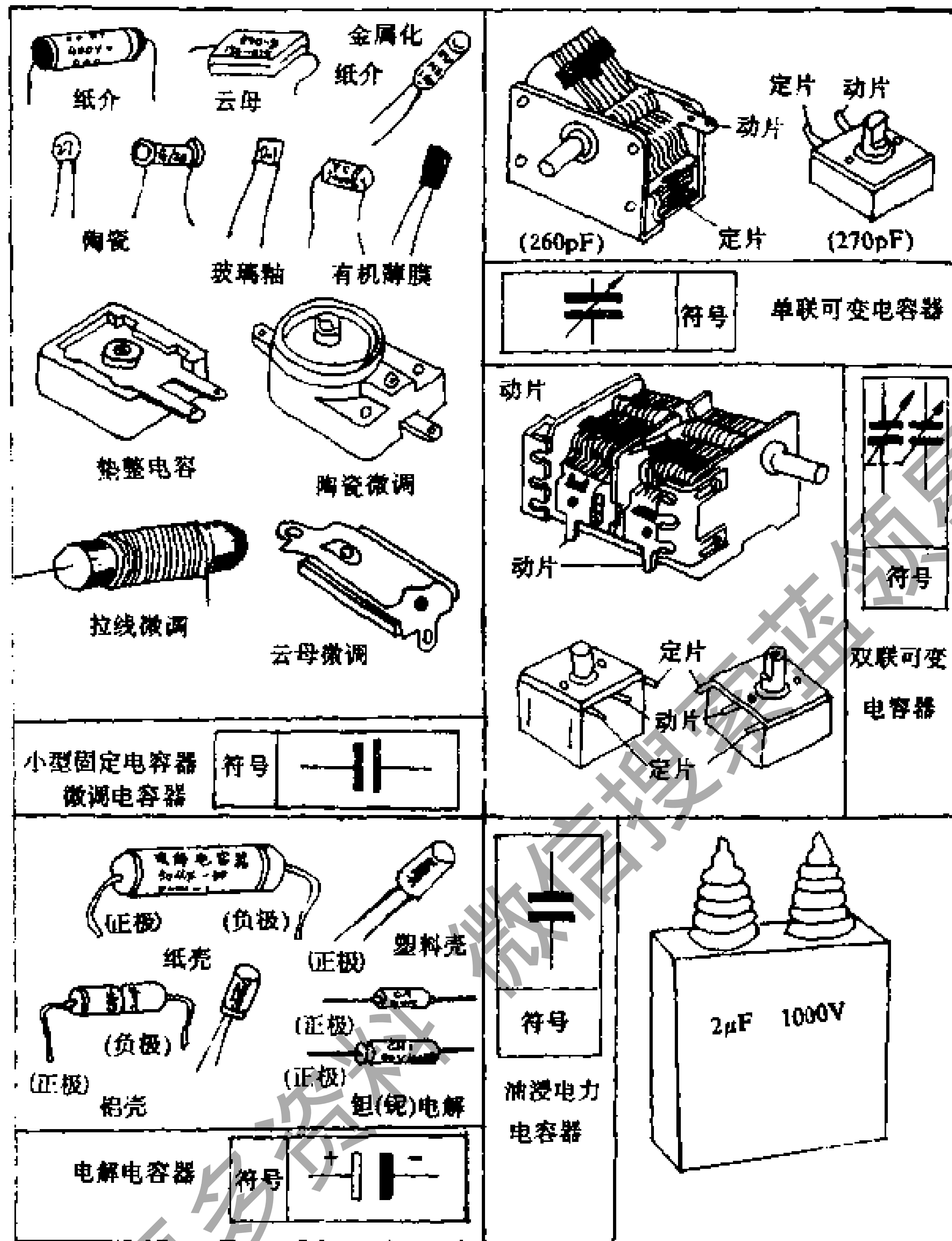


图 1—40 常见的电容器

电容器上（或铭牌上）除标出电容量外，一般标有一个电压值，这个电压叫电容器的最大工作电压，也叫电容器的耐压。使用时要注意电容上的标记。

## 二、电容器的串联与并联

电容器接入电路时，除了考虑它的电容  $C$  之外，还要考虑它的工作电压。实际上，单个电容器的工作电压或电容量往往不能满足生产或实验的要求，经常把几只电容器串联或并联起来使用。

### 1. 电容器的串联

和电阻的串联方式一样，将几只电容器的头、尾依次连成一串（图 1—41），称为串联。电容器串联时具有以下特点：

（1）根据静电感应原理，各电容器极板上所带的电量相等，而相邻极板上的电荷相反。

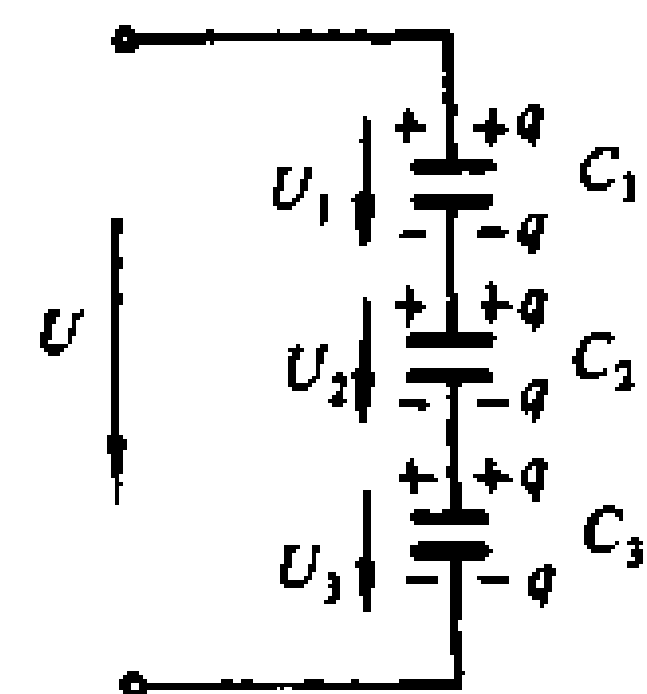


图1—41 电容器串联

(2) 由于各电容器极板上的电量相等, 所以当电容器的电容不相等时, 各电容器两端的电压不相等。根据式 (1-14) 可求得每个电容器两端的电压为

$$U_1 = \frac{q}{C_1}, \quad U_2 = \frac{q}{C_2}, \quad U_3 = \frac{q}{C_3}$$

由上式可知, 电容小的电容器, 其两端的电压高; 电容大的电容器, 其两端的电压低。而各电容器极板间的电压之和, 等于加到串联电容器组两端的总电压  $U$ , 即

$$U = U_1 + U_2 + U_3 = q \left( \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} \right)$$

(3) 如果用一个电容为  $C$  的电容器来等效地代替串联电容器组, 使它两端的电压为  $U$ , 极板上所带的电量为  $q$ , 则有

$$U = \frac{q}{C}$$

与  $U = U_1 + U_2 + U_3 = q \left( \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} \right)$  相比较可得

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} \quad (1-15)$$

式 (1-15) 表明, 几只电容器串联时, 其等效电容 (或称总电容) 的倒数等于各电容倒数之和。

## 2. 电容器的并联

电容器并联时 (图 1-42), 相当于电极板的面积加大, 电容量也相应加大。电容器并联时具有以下特点:

(1) 每个电容器两端的电压为同一电压, 即

$$U_1 = U_2 = U_3 = U$$

(2) 由于每个电容器两端的电压相等, 所以当各电容器的电容不相等时, 每个电容器极板上所带的电量不相等。根据式 (1-14), 可求出各电容器极板上的电量为

$$q_1 = C_1 U, \quad q_2 = C_2 U, \quad q_3 = C_3 U$$

由上式可知, 电容小的电容器, 其极板上的电量少; 电容大的电容器, 极板上的电量多。而总电量  $q$  等于各电容器极板上的电量之和, 即

$$q = q_1 + q_2 + q_3 = U (C_1 + C_2 + C_3)$$

(3) 几只电容器并联时, 其等效电容 (或称总电容) 等于各电容器的电容之和, 即

$$C = C_1 + C_2 + C_3 \quad (1-16)$$

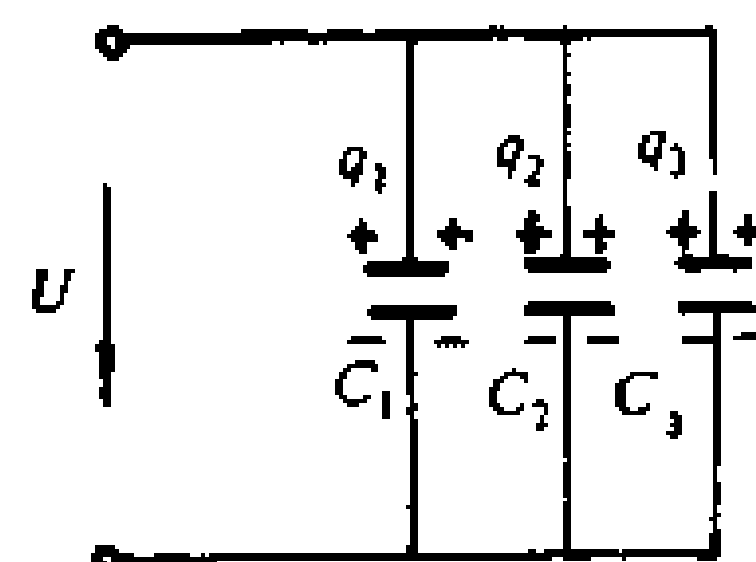


图 1-42 电容器并联

## 第 9 节 电和磁的关系

常见的一些电气设备, 如各种电动机、变压器、接触器, 以及某些电工测量仪表, 都是根据电和磁的相互作用而工作的。要掌握这些电气设备的基本原理, 必须了解电和磁之间的关系以及它们之间存在着的一些规律。

### 一、磁的一般性质

远在几千年前，人们就发现磁石能够吸铁，并发明了指南针，用来指示南北方向。随着社会生产的发展，人们逐步认识了磁的本质，知道磁铁具有以下一些特性（图 1—43）：磁铁有吸铁的能力。磁铁有两个极，即 N 极（北极）和 S 极（南极），两极的磁性最强。同性磁极互相排斥，异性磁极互相吸引。把铁磁物质（铁、镍、钴或它们的合金）放在磁铁附近，这些物质也能带上些磁性（这种现象叫做磁化）；把磁铁拿走后，这些物质还会保留一些磁性（这叫做剩磁）。

## 二、磁场及磁力线

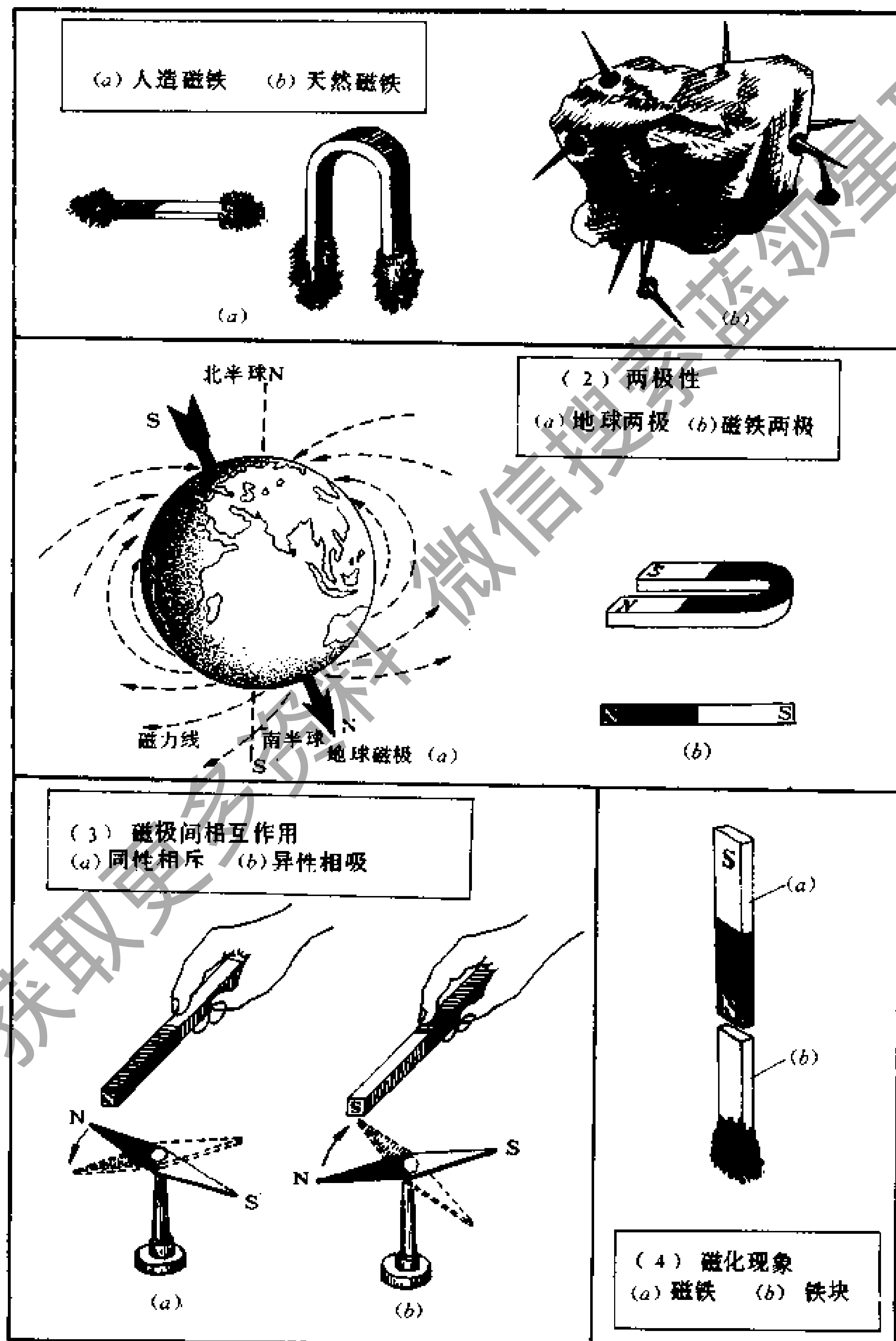


图 1—43 磁铁特性示意图

如果在玻璃板上均匀地撒一些铁粉,玻璃板下放一根条形磁铁,然后轻轻敲打玻璃板,使铁粉自由移动,铁粉就从N极到S极排列成许多有规则的、连续的、互相不交叉的曲线。如果把几个小指针放在玻璃板上,小指针的指向和这些曲线走向一致(图1—44)。

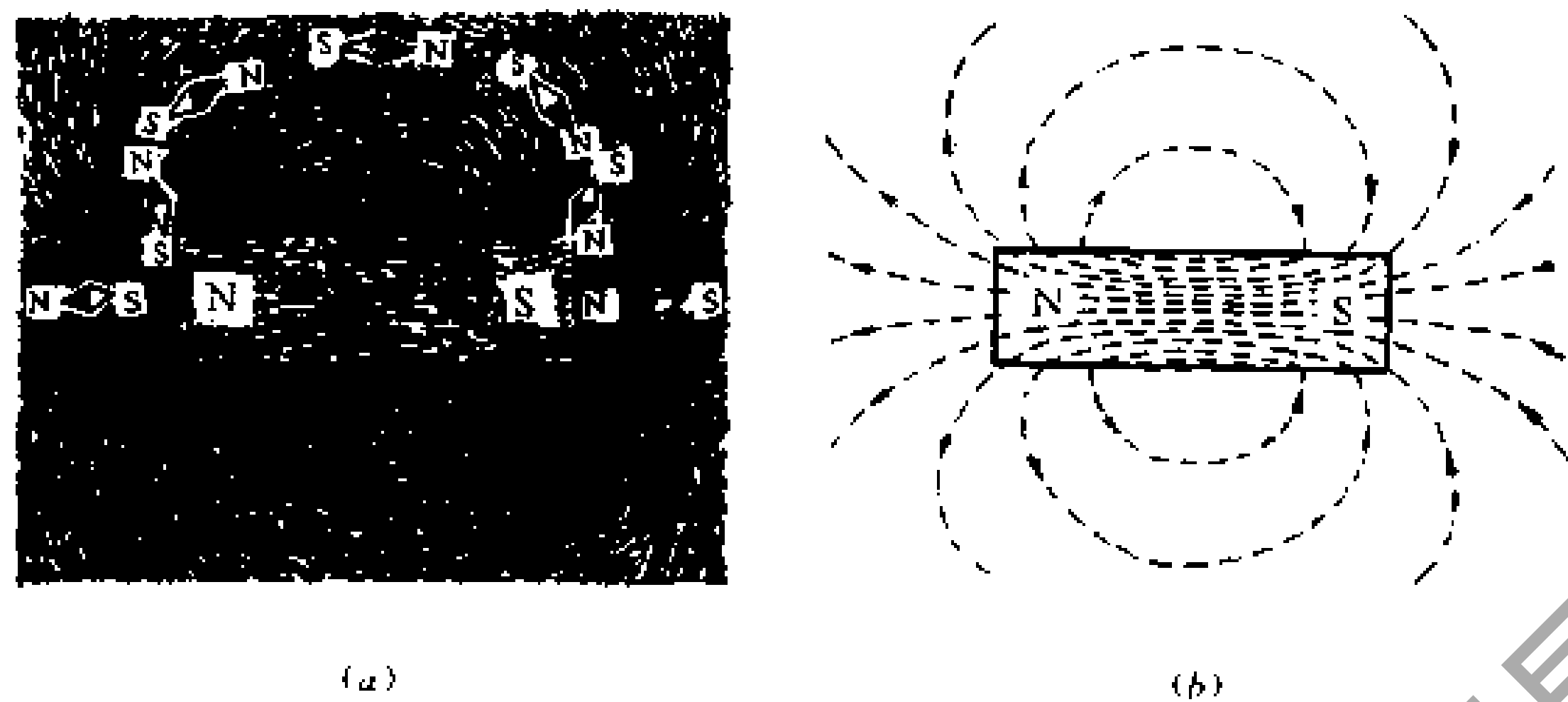


图1—44 条形磁铁的磁场和磁力线

(a) 条形磁铁的磁场 (b) 条形磁铁的磁力线

这说明,磁铁对一定范围内的铁粉和指南针有磁力的作用。有磁力作用存在的空间叫做磁场。磁场虽然看不见,但是我们可以像图1—44(b)所示那样,画出许多铁粉排列成的那样的曲线来描绘磁场的存在,这些曲线叫磁力线。

如图1—45所示,磁力线具有以下特点:在磁铁的外部,磁力线总是由N极出发,回

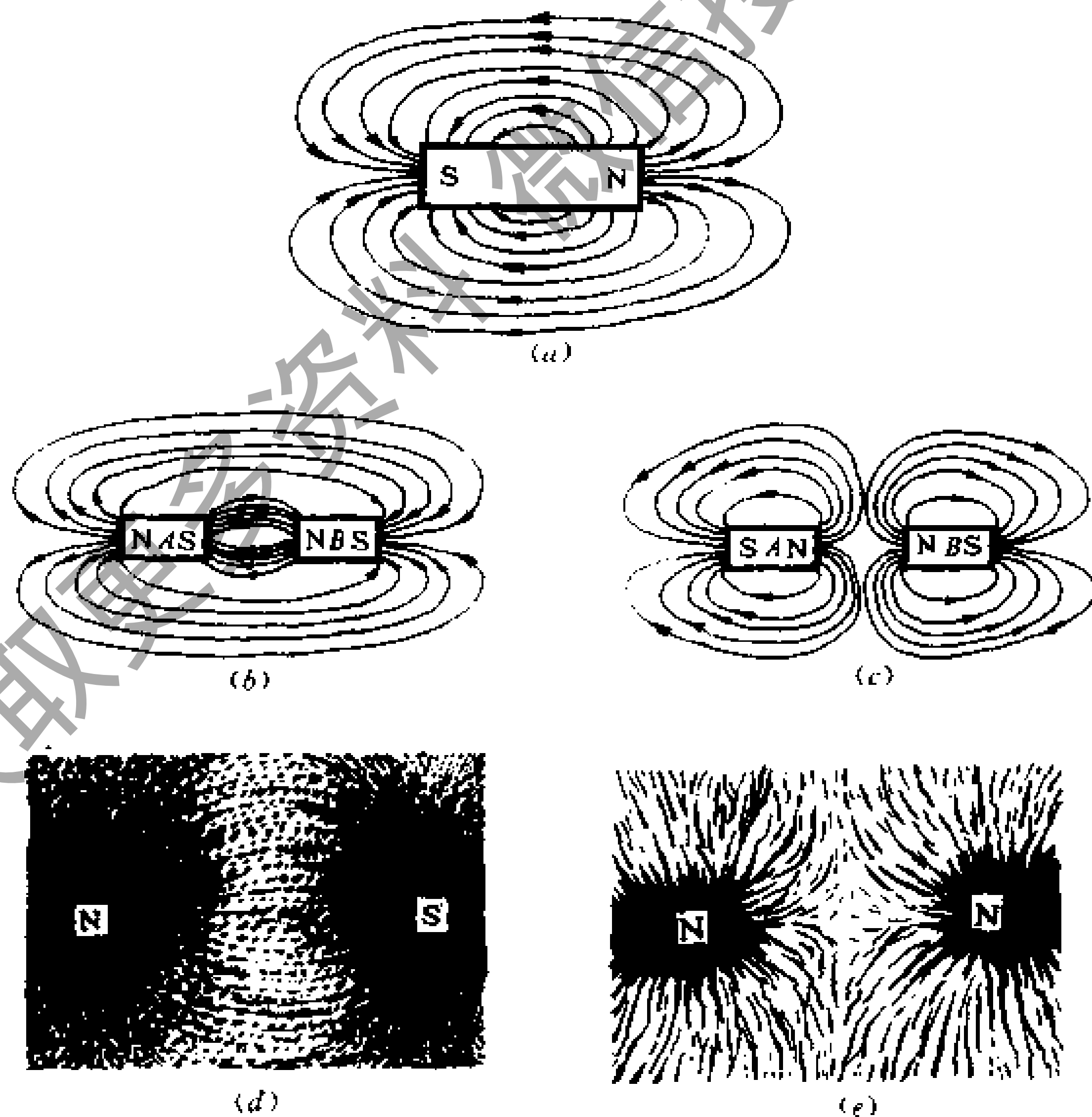


图1—45 磁力线特性图

(a) 一根条形磁铁的磁力线 (b) 两个异性磁极相邻时的磁力线 (c) 同性磁极相邻时的磁力线 (d) 两异性磁极相邻时铁屑排列情况 (e) 两同性磁极相邻时铁屑排列情况

到自身的 S 极，或进入邻近磁铁的 S 极。在磁铁的内部，磁力线由 S 极到 N 极。由于异性磁极相吸的原因，磁力线具有缩短长度的倾向。磁力线互相不交叉。由于同性磁极相斥的原因，磁力线具有互相向侧面排挤的倾向。

### 三、电流的磁效应

实验证明，任何通电导体的周围都存在着磁场。若将磁针放在通电导体的周围，磁针也会发生偏转（图 1—46），这种现象称为电流的磁效应。

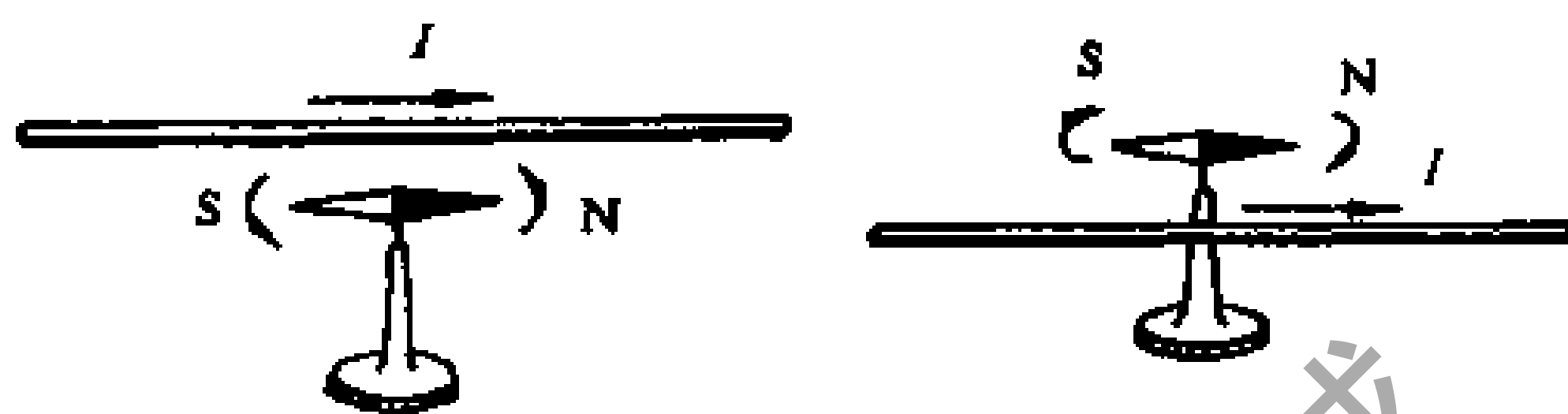


图 1—46 电流的磁效应

电流的磁效应揭示了电与磁之间的密切联系和磁现象的本质。

#### 1. 通电直导线的磁场

把一根导线穿过硬纸板，在纸板上均匀撒上一些铁屑，并且放上几个指南针。导线没有通电以前，铁屑的分布没有变化，指南针指示南北方向。导线通入直流电以后，铁屑便在导线周围排列成许多圆环，并且指针沿着圆周方向指示，如图 1—47 (a) 所示。这个现象说明电流的周围有磁场。实验证明，电流越大，磁场越强。当改变电流方向时，指南针也随着反转 180°，这说明磁力线的方向与电流的方向有一定关系，这个关系通常用右手螺旋定则来确定：右手握住导线，以大拇指指向导线中的电流方向，其余 4 指指的方向就是导线周围磁场的方向，如图 1—47 (d) 所示。

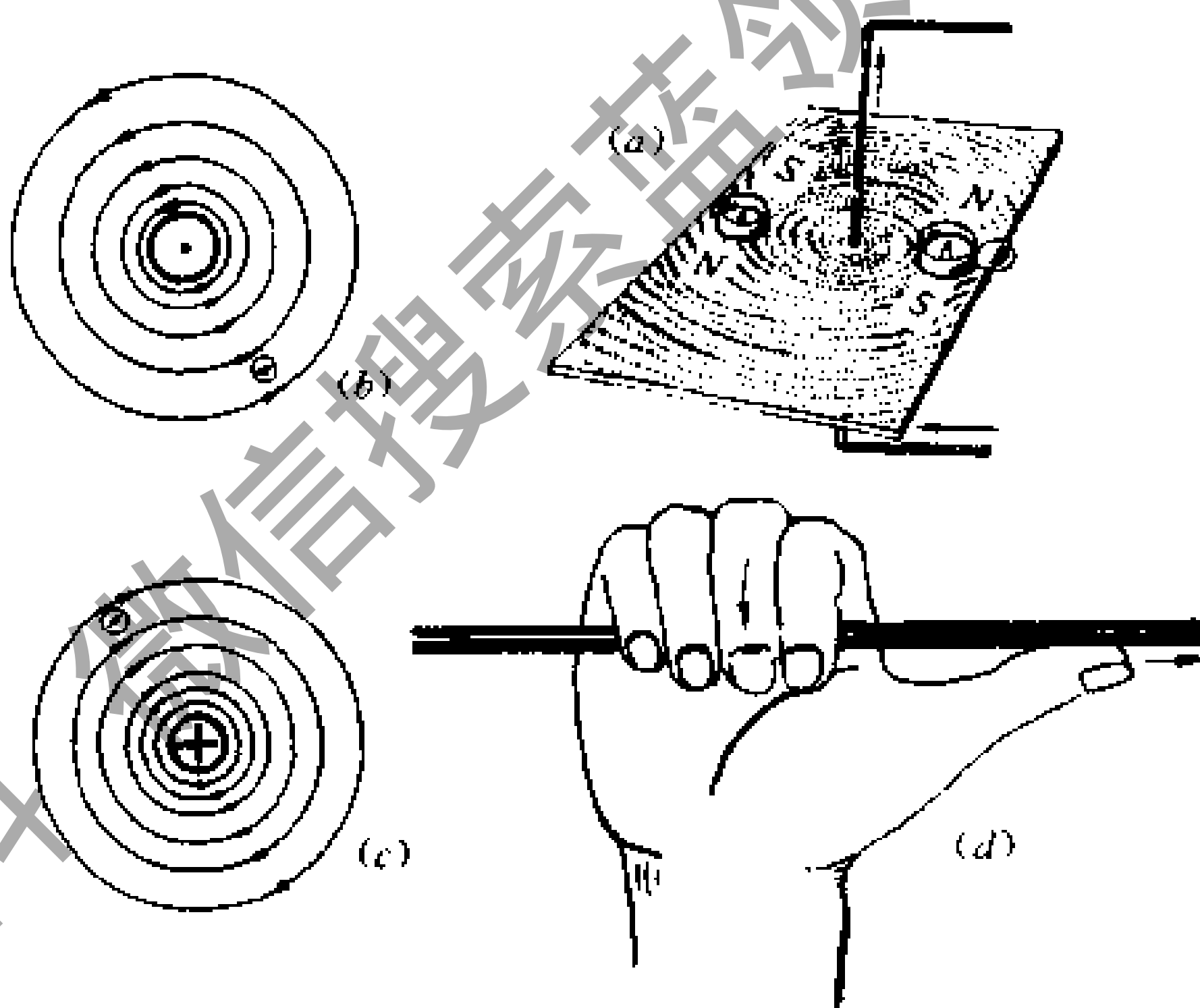


图 1—47 通电直导线的磁场图

(a) 用铁屑显示电流周围的磁场 (b)、(c) 导线中电流的方向与周围磁力线方向 (d) 单导线右手定则

#### 2. 通电螺旋线圈的磁场

图 1—48 (a) 为通电螺旋线圈所产生的磁场。磁力线环绕各匝线圈，其分布和条形磁铁的磁力线相似。实验证明，电流越大，线圈的匝数越多，磁场越强。如果在空心线圈中装进一个铁心，则磁场强度将增大好多倍，这是因为铁心被磁化，也变成一块磁铁的缘故。二者磁场方向相同，大大加强了线圈所产生的磁场。

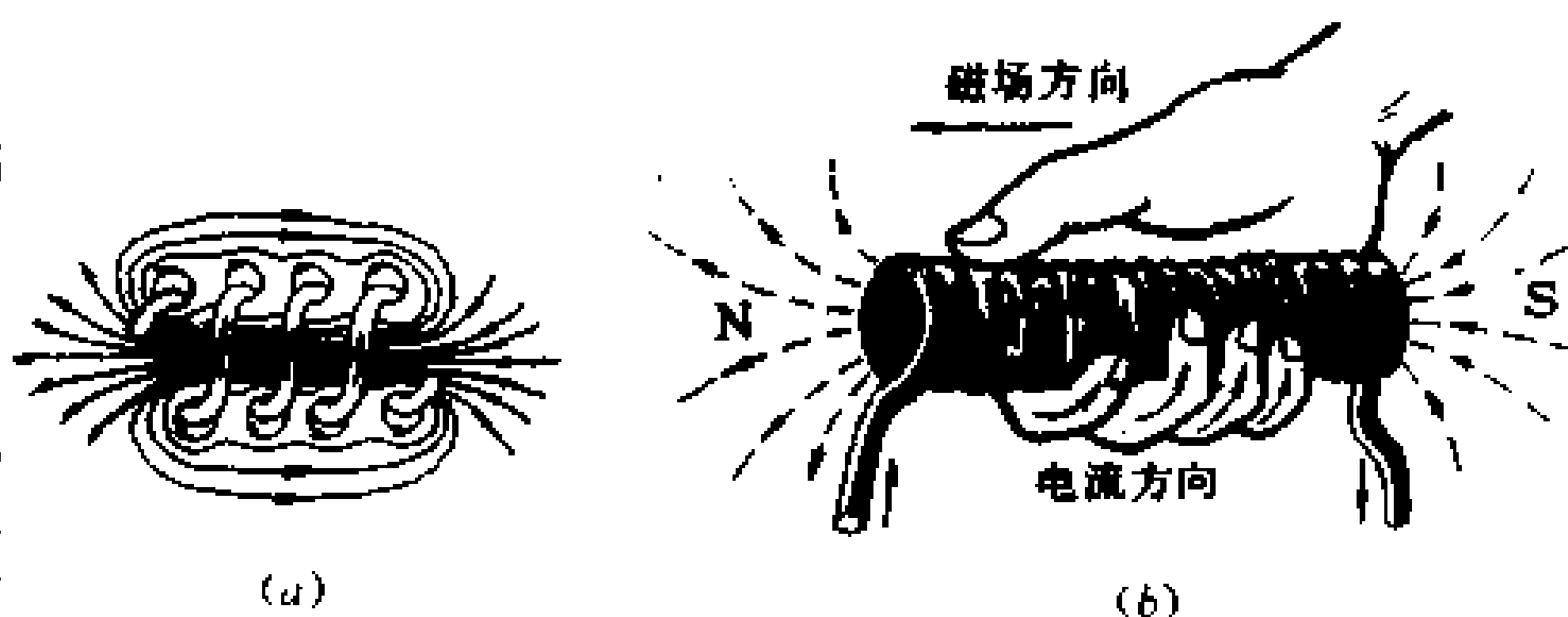


图 1—48 通电螺旋线圈的磁场及右手定则

确定通电线圈周围的磁场方向，用右手螺旋定则：右手握住线圈，4 指指向线圈中电



流的方向，大拇指指的方向就是线圈内部磁场的方向，如图 1-48 (b) 所示。

### 3. 磁场的基本物理量

用磁力线描述磁场虽然比较直观，但它不能用来进行定量的分析和计算。为了表示磁场的强弱，我们引用了磁通和磁感应强度两个物理量。

(1) 磁通：在磁场中，垂直穿过某一横截面  $S$  的磁力线根数，叫做穿过该面积的磁通量，简称磁通，用符号  $\phi$  表示。磁通不是一个向量。因为磁力线是闭合曲线，所以磁通也是闭合曲线。

磁通的单位是韦〔伯〕(1 韦伯 =  $1V \cdot s$ )，符号为 Wb。

(2) 磁感应强度：因为磁通量与磁力线所通过的面积大小有关，为了便于比较，我们把垂直穿过单位面积的磁力线根数，称为磁感应强度。磁感应强度又称磁通密度，用符号  $B$  表示。根据磁通和磁感应强度的概念，在均匀磁场中，当磁通通过的垂直面积为  $S$  时，磁通  $\phi$  与磁感应强度  $B$  之间的关系是

$$B = \frac{\phi}{S} \text{ 或 } \phi = BS \quad (1-17)$$

磁感应强度的单位可由上式得出，若磁通  $\phi$  以韦作单位，面积  $S$  以  $m^2$  为单位，则  $B$  的单位是特〔斯拉〕(即  $V \cdot s/m^2$ )，符号为 T。

必须注意，磁感应强度  $B$  是一个向量，磁场中某一点  $B$  的方向就是该点磁场的方向，即该点磁针 N 极所指的方向。

### 4. 磁场对通电导体的作用

电动机通入电流之后会转动，电工仪表通入电流后指针会偏转，这都是由于磁场对通电导体产生作用力的缘故。磁场对通电导体的作用力称为电磁力，用符号  $F$  表示。

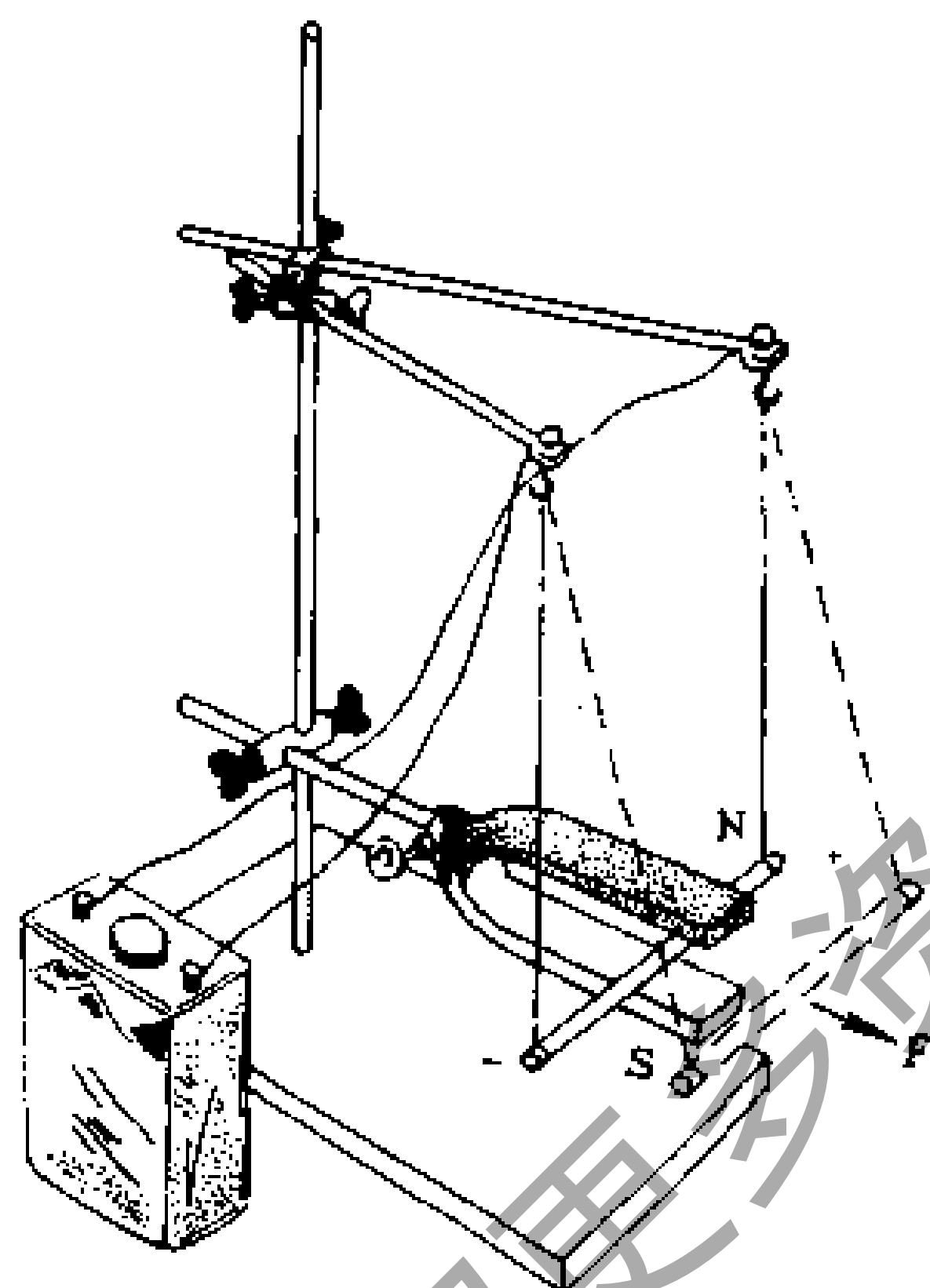


图 1-49 通电导体在磁场的磁场中受力的作用

在图 1-49 中，把一根自由悬挂的直导体放在 U 形磁铁两极间的磁场中。当导体通过电流时，导体就发生运动。如果改变导体中的电流方向，或者把磁铁的磁极调换一下，就会看到导体运动的方向与原来相反；若增大导体中的电流，或者换一只

磁性较强的磁铁，则导体摆动的幅度比原来大。这个实验表明：电磁力的大小与电流大小及磁场的强弱成正比；电磁力的方向与电流方向和磁场方向有关。

(1) 电磁力的产生：由于电流的磁效应，通电导体周围存在着磁场，这个通电导体产生的磁场与磁铁间的磁场相互作用，产生电磁力。电磁力的产生可用图 1-50 来说明。

在图 1-50 中，通电导体放在一个均匀磁场中，导体与磁场方向相垂直(即导体垂直纸面，故只看到一个圆圈)，导体中的电

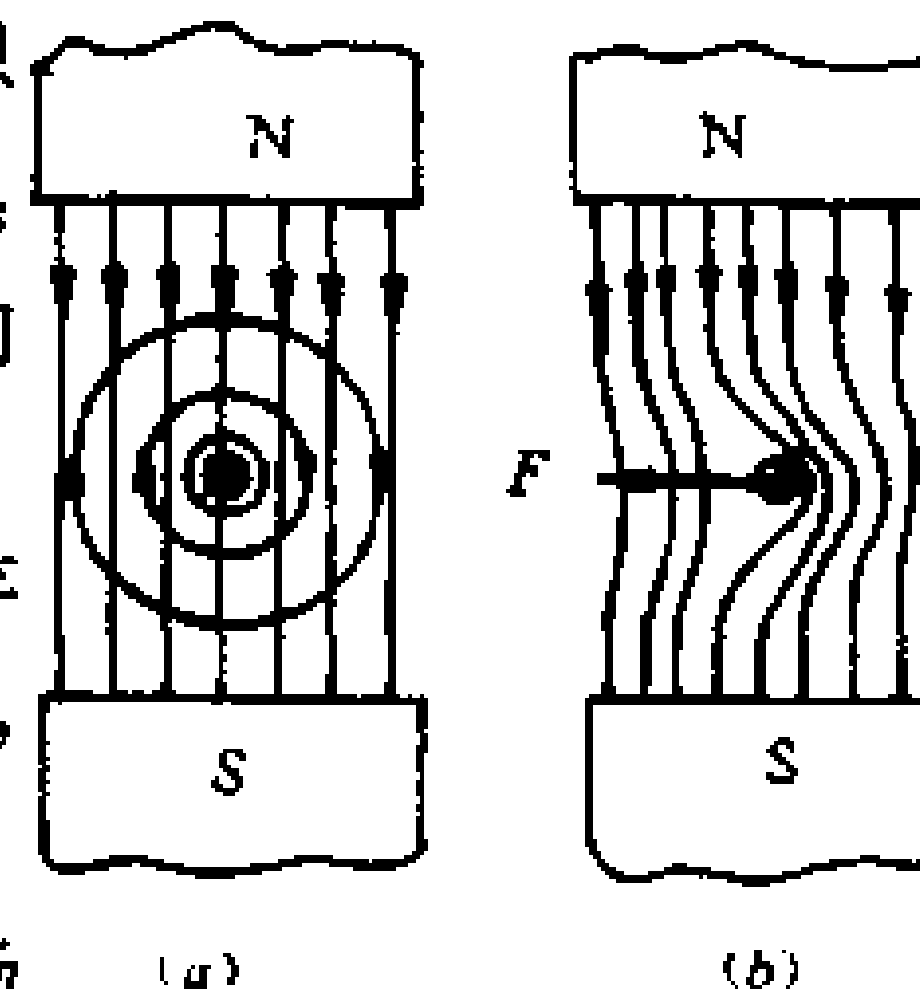


图 1-50 电磁力的产生

流流入纸面(用符号 $\otimes$ 表示)。根据右手螺旋定则,画出通电导体所产生的磁力线。由图(a)可以看出,在导体的右边,两个磁场的方向一致,即磁力线相加,而在导体的左边,两个磁场的方向相反,即磁力线相减。于是,两个磁场合成后的磁力线,就形成了(b)的样子。由于磁力线具有力求缩短的趋势,因此把导体推向左方。

(2) 电磁力的方向: 通电导体在磁场中受力的方向可以用左手定则来判断(图 1-51)。平摊左手,使拇指和其余 4 指垂直,让磁力线垂直穿入手心,4 指指向电流的方向,那么大拇指所指的方向就是导线所受作用力的方向。左手定则的用处很多,在判断电动机旋转方向和仪表转动方向时都要用到它,所以这个方法也叫电动机左手定则。

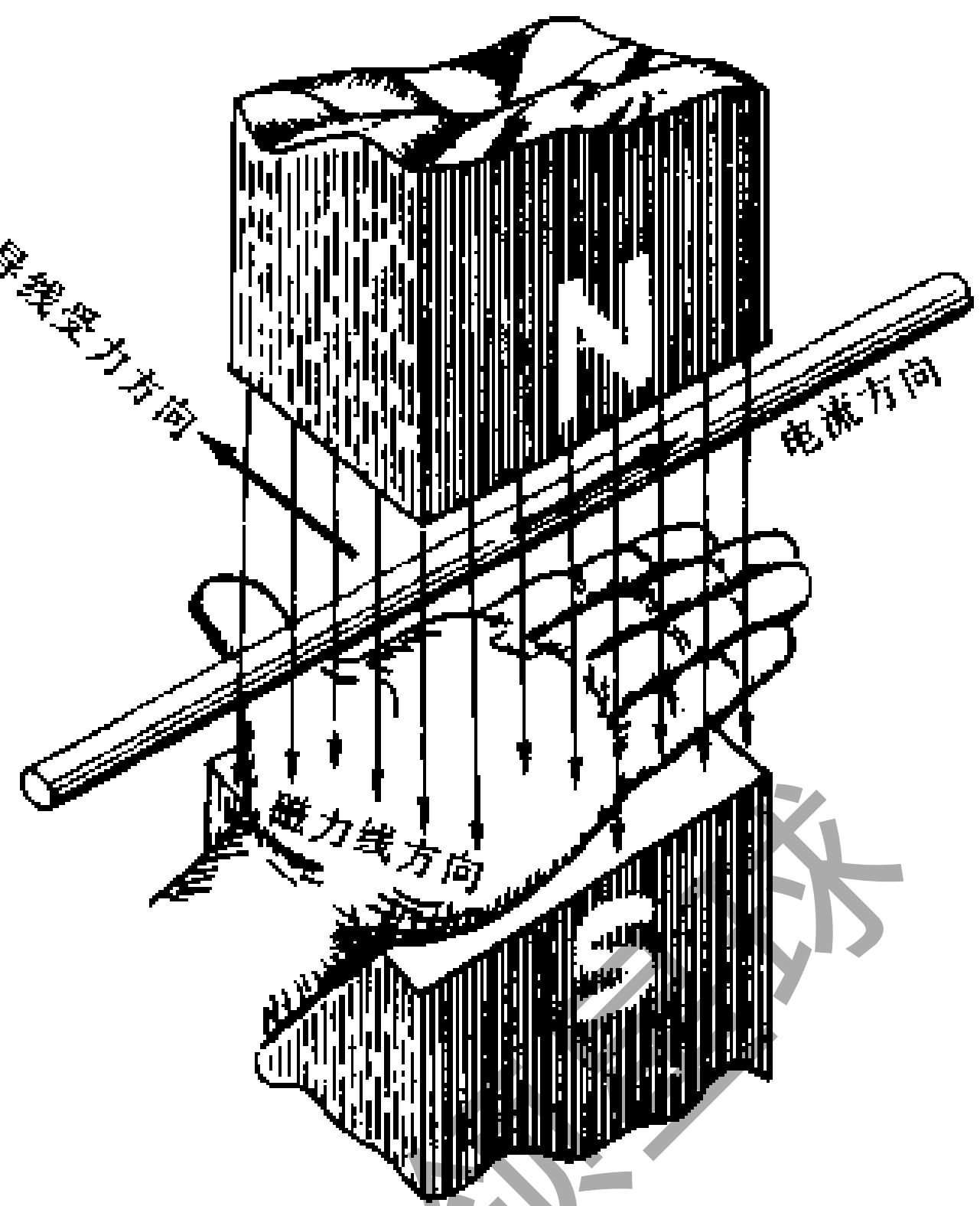


图 1-51 左手定则示意图

(3) 电磁力的大小: 电磁力的大小可由下式决定, 即  $F = BIL \sin \alpha$  (1-18)

式中:  $B$  为磁感应强度;  $I$  为通过导体的电流 (A);  $L$  为导体在磁场中的有效长度 (m);  $\alpha$  为  $I$  与  $B$  所夹锐角;  $F$  为导体在磁场中所受到的电磁力 (N)。

由式 (1-18) 可以看出, 当导体与磁场方向垂直时 (即  $\alpha = 90^\circ$ ), 电磁力最大; 二者平行时 ( $\alpha = 0^\circ$ ), 电磁力为零。

(4) 通电导体间的相互作用力: 由于电流能够产生磁场, 因此通电导体间也存在电磁力。两平行导线中, 载有同向电流时, 相互吸引 (图 1-52)。载有反向电流时, 相互排斥 (图 1-53)。

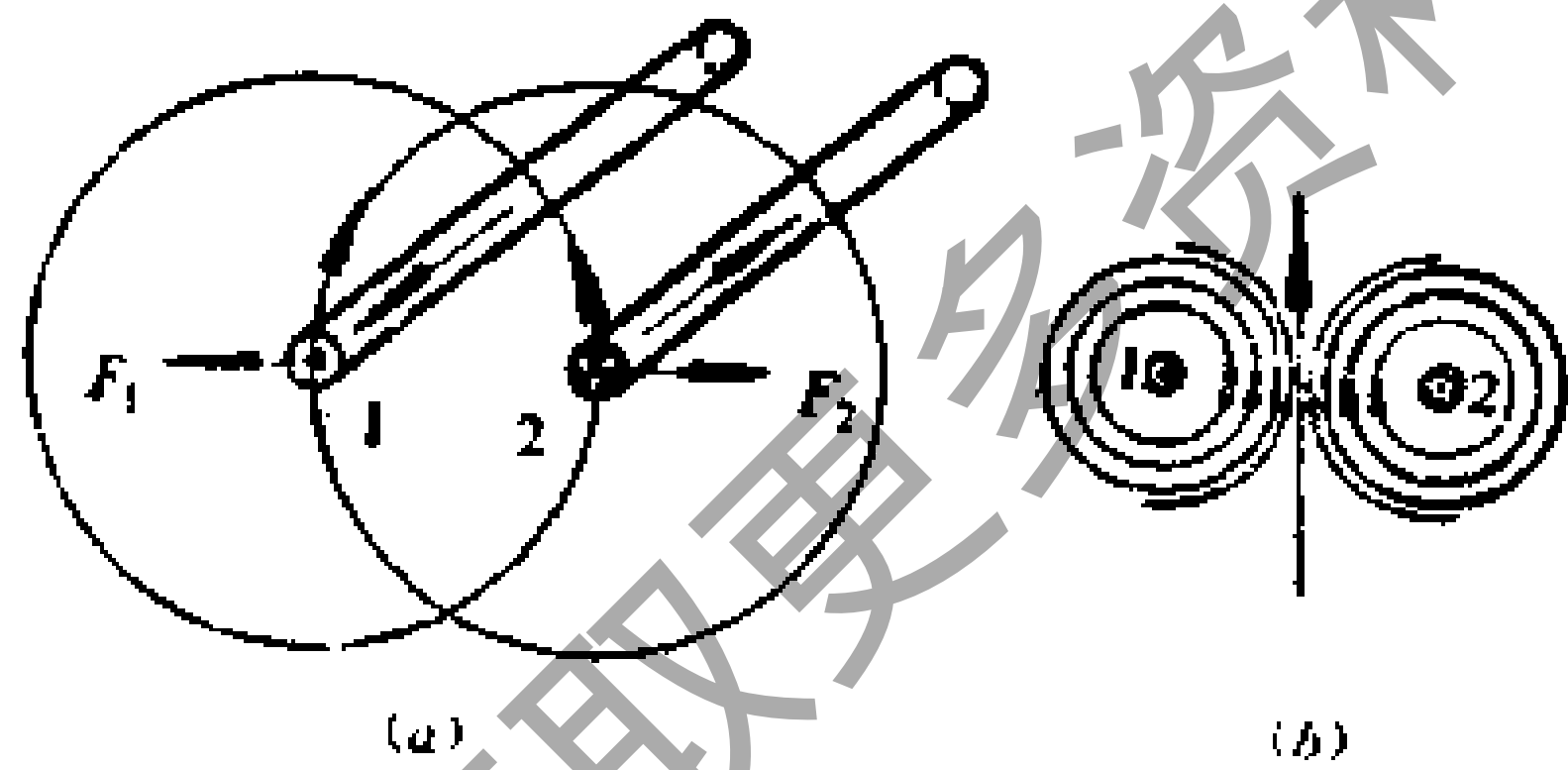


图 1-52 载有同向电流的两平行导体互相吸引示意图

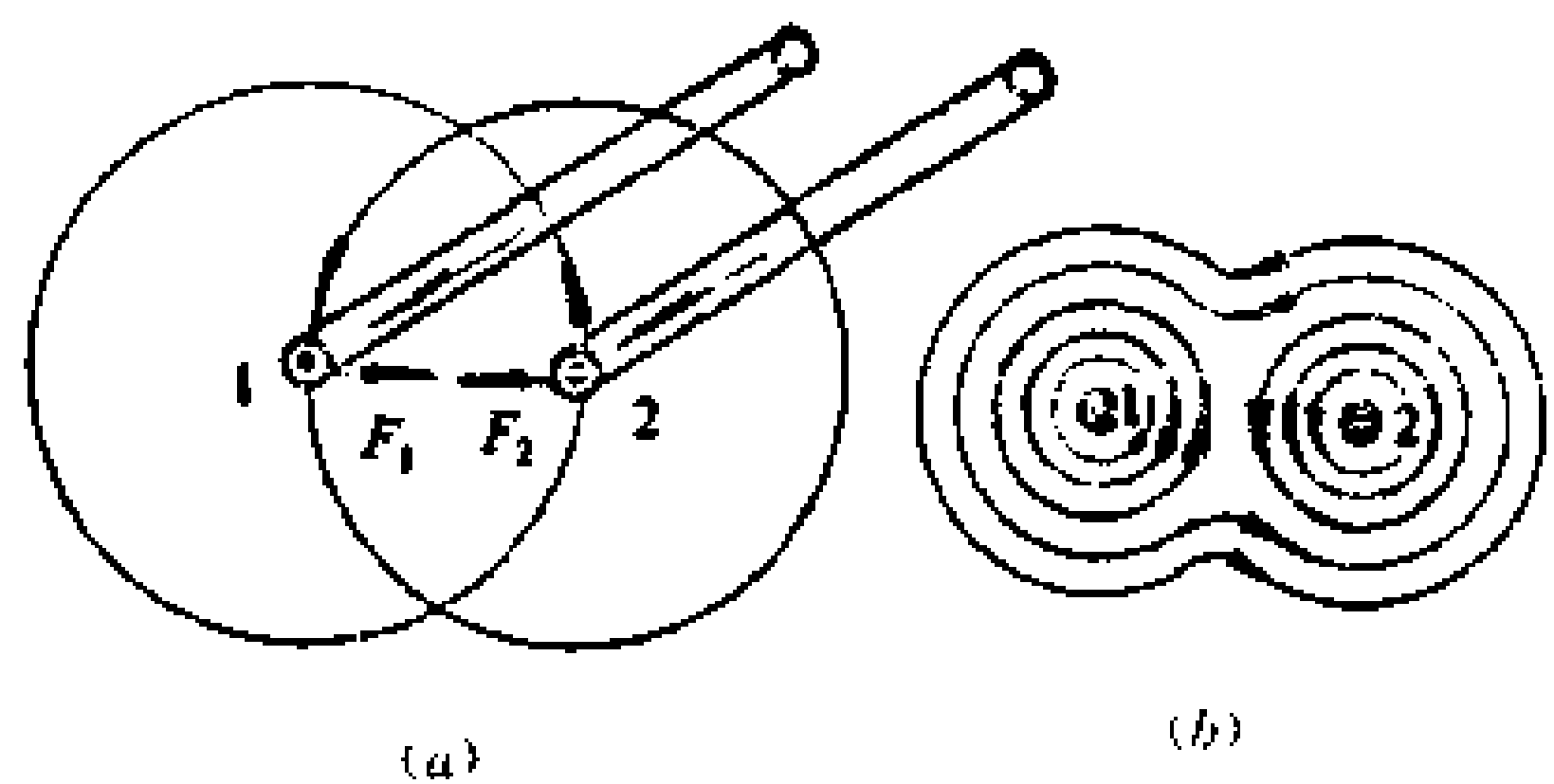


图 1-53 载有反向电流的两平行导体互相排斥示意图

两平行通电导体间电磁力的大小, 除与导体的长度和周围的介质有关外, 还与两导线间的距离成反比, 与通过两导线电流的乘积成正比。因此, 当电路发生短路时, 由于短路电流特别大, 两导体间将产生很大的电磁力, 有可能损坏导体和支持绝缘子。所以, 要尽量避免发生短路故障。

(5) 电磁力的应用: 在实际生产中, 人们广泛利用了磁场对通电导体产生作用力这一客观规律。图 1-54 为直流电动机动作原理图, 其线圈转动方向就是根据左手定则确定的。另外, 电气仪表中的磁电系表计和电动系表计也是根据这一原理制造的。

#### 四、电磁感应

电流能够产生磁场，那么能否用磁场来获得电流呢？英国物理学家法拉第，经过系统地研究和试验，终于在 1831 年对这个问题作出了明确回答：利用导体在磁场中作适当运动（或者说导体周围的磁场发生变动时），将在导线中产生电势和电流。利用这种方法获得电流的现象，称为电磁感应现象。由电磁感应而产生的电势，称感应电势；由感应电势而形成的电流叫感应电流。电磁感应规律的发现，不仅是人类对电磁现象认识的深化，而且为实际应用电能开辟了新的道路。作为电力工业基础的发电机、变压器以及异步电动机，都是根据电磁感应原理制成的。

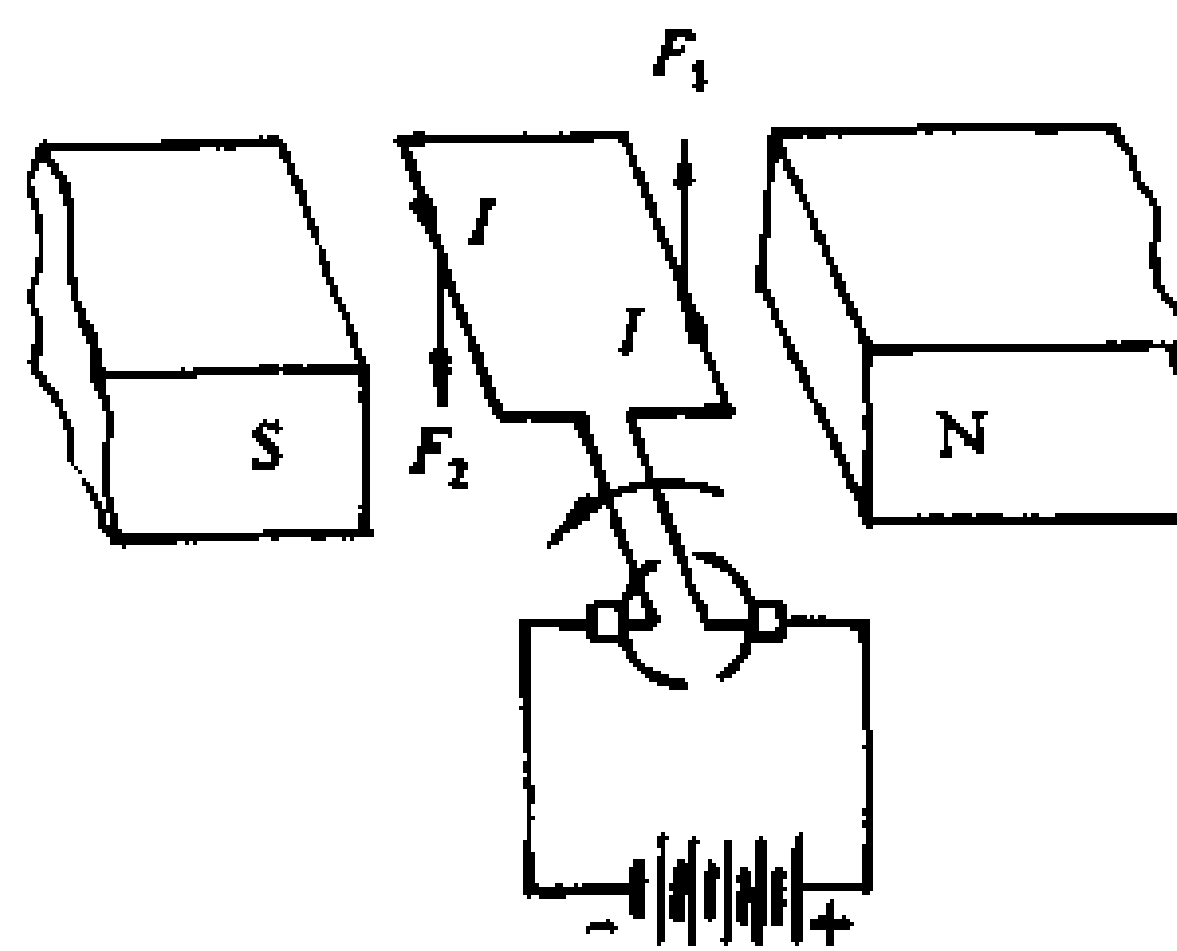


图 1-54 直流电动机动作原理图

##### 1. 导线切割磁力线的感应电势

(1) 产生感应电势的条件：如图 1-55 所示，在磁极间垂直于磁力线的方向放置一根导体  $AB$ ，导体两端连接一个灵敏电流计，形成一个闭合回路，导体  $AB$  在外力作用下向不同方向运动。若导体两端产生感应电势，即闭合回路中有电流通过，则电流计指针发生偏转；否则，指针不偏转。

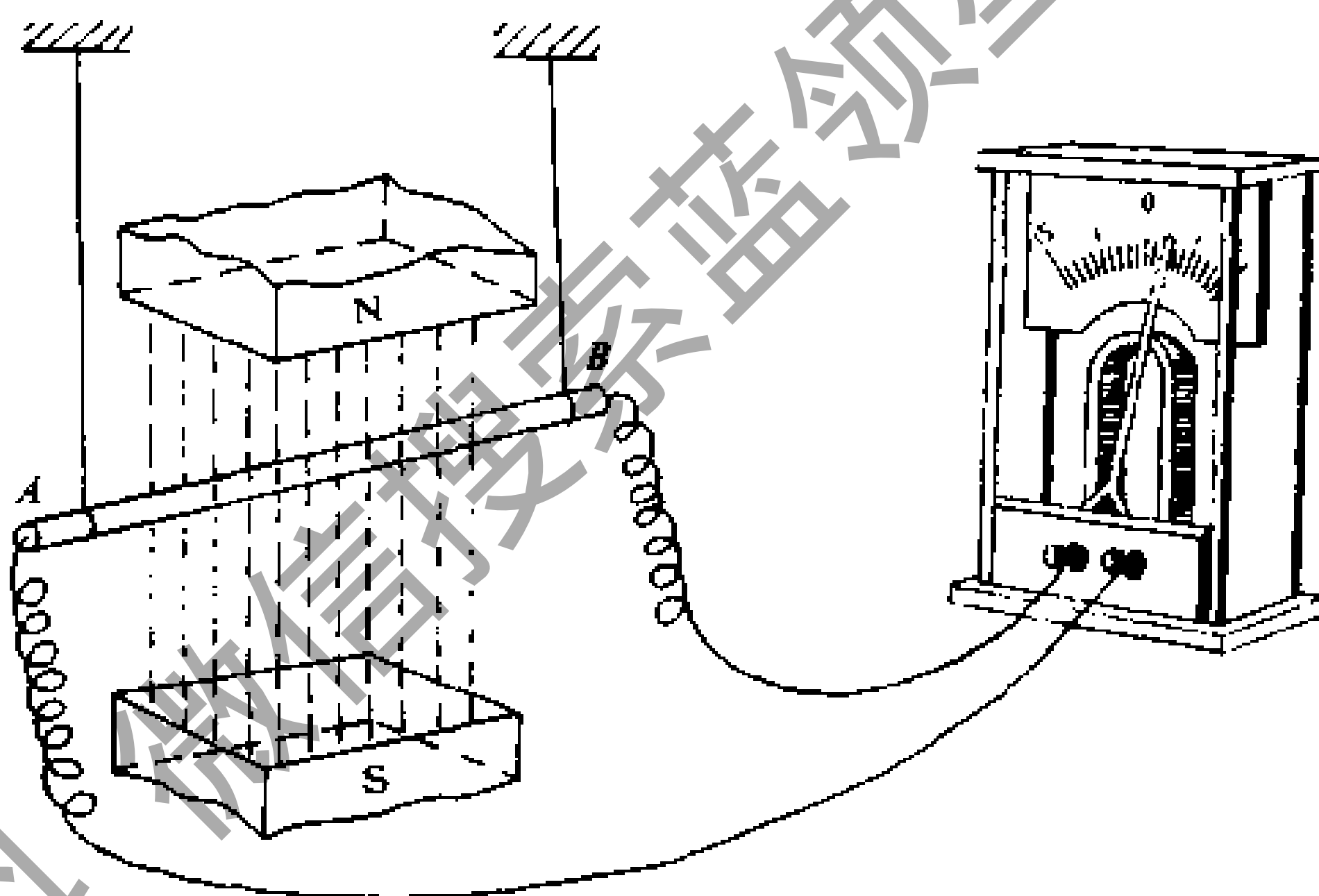


图 1-55 导体中的感应电势

当导体  $AB$  和磁场相对静止时，电流计指针不偏转。这表明闭合回路

中没有电流，即导体两端不产生感应电势。当导体  $AB$  平行于磁力线方向运动时，电流计指针仍不偏转，即导体两端不产生感应电势。当导体不平行磁力线方向运动时，电流计指针发生偏转。这表明闭合回路中有电流通过，即导体两端产生了感应电势。

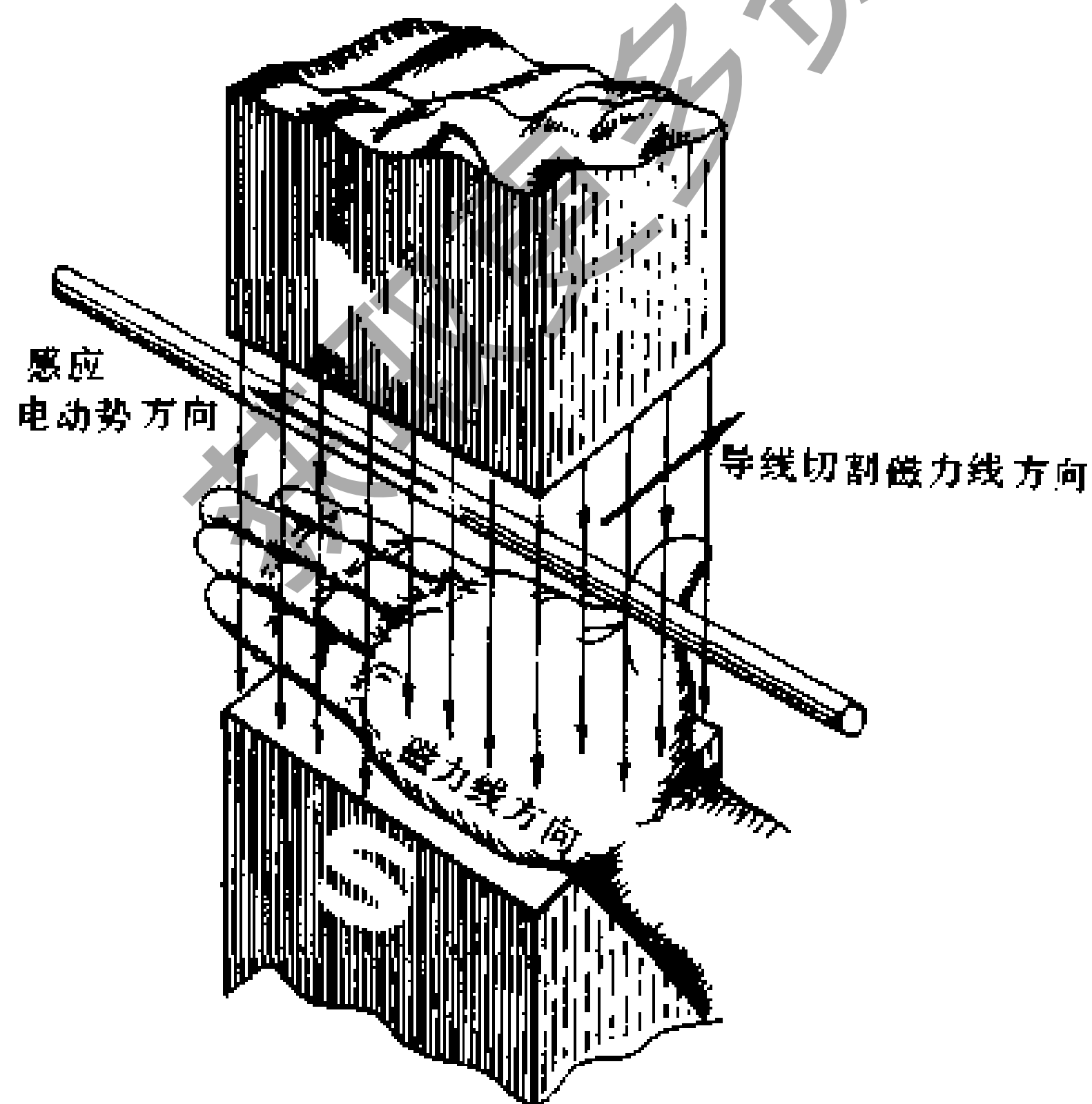


图 1-56 右手定则示意图

分析以上 3 种情况，可以进一步认识到，前两种情况导体并不切割磁力线，因而导体不产生感应电势；后一种情况，由于导体切割了磁力线，因而在导体两端产生了感应电势。由此可以得出产生感应电势的条件是：导体必须作切割磁力线的运动。

(2) 感应电势的方向：感应电势的方向可以用右手定则来判断（图 1-56）。判断时，平摊右手，使拇指和其余 4 指垂直，让磁力线垂

直穿入手心，大拇指指向导体切割磁力线运动的方向，那么其余4指所指的方向就是感应电势的方向（如果不是导体运动，而是磁场运动，可以看成是导体向相反的方向运动，而仍然用右手定则来判断）。

右手定则的用途也很多，在判断发电机绕组中感应电势的方向时要用到它，所以这个方法也叫做发电机右手定则。

(3) 感应电势的大小：在均匀磁场中，感应电势  $e$  的大小可由下式决定，即

$$e = Blv \sin \alpha \quad (1-19)$$

式中： $e$  为导体切割磁力线产生的感应电势 (V)； $B$  为磁通密度 (T)； $l$  为导体在磁场内的有效长度 (m)； $v$  为导体运动的速度 (m/s)； $\alpha$  为导体运动的方向与磁力线的夹角。

若将长导线做成线圈，由于增加了导线在磁场中的有效长度，因此在同样的磁场内运动，将能得到更高的感应电势。

当导体运动方向与磁力线方向垂直时， $\alpha = 90^\circ$ ，感应电势最大；当导体运动方向与磁力线方向平行时， $\alpha = 0^\circ$ ，此时感应电势为零。

在产生感应电势的导体两端接上负载，形成闭合回路，则导体中就会产生感应电流，其方向与感应电势方向相同。

## 2. 线圈中的感应电势

(1) 产生感应电势的条件：如图 1-57 所示，在一个空心线圈的两端连接一个灵敏电流计，构成一个闭合回路。

当把一个条形磁铁迅速插入线圈中去的时候，电流计指针发生偏转，表明这时在线圈两端产生了感应电势，因而在闭合电路中有电流通过。当磁铁插入线圈后不动时，电流计指针回到零位不动，表明这时线圈两端不产生感应电势；当磁铁从线圈中抽出时，电流计指针又发生了偏转，即这时线圈两端又产生了感应电势。

综合以上 3 种情况，可以看出线圈中产生感应电势的条件是：穿过线圈内的磁通（即磁力线的根数）必须变化。变压器就是应用这个原理制造的。

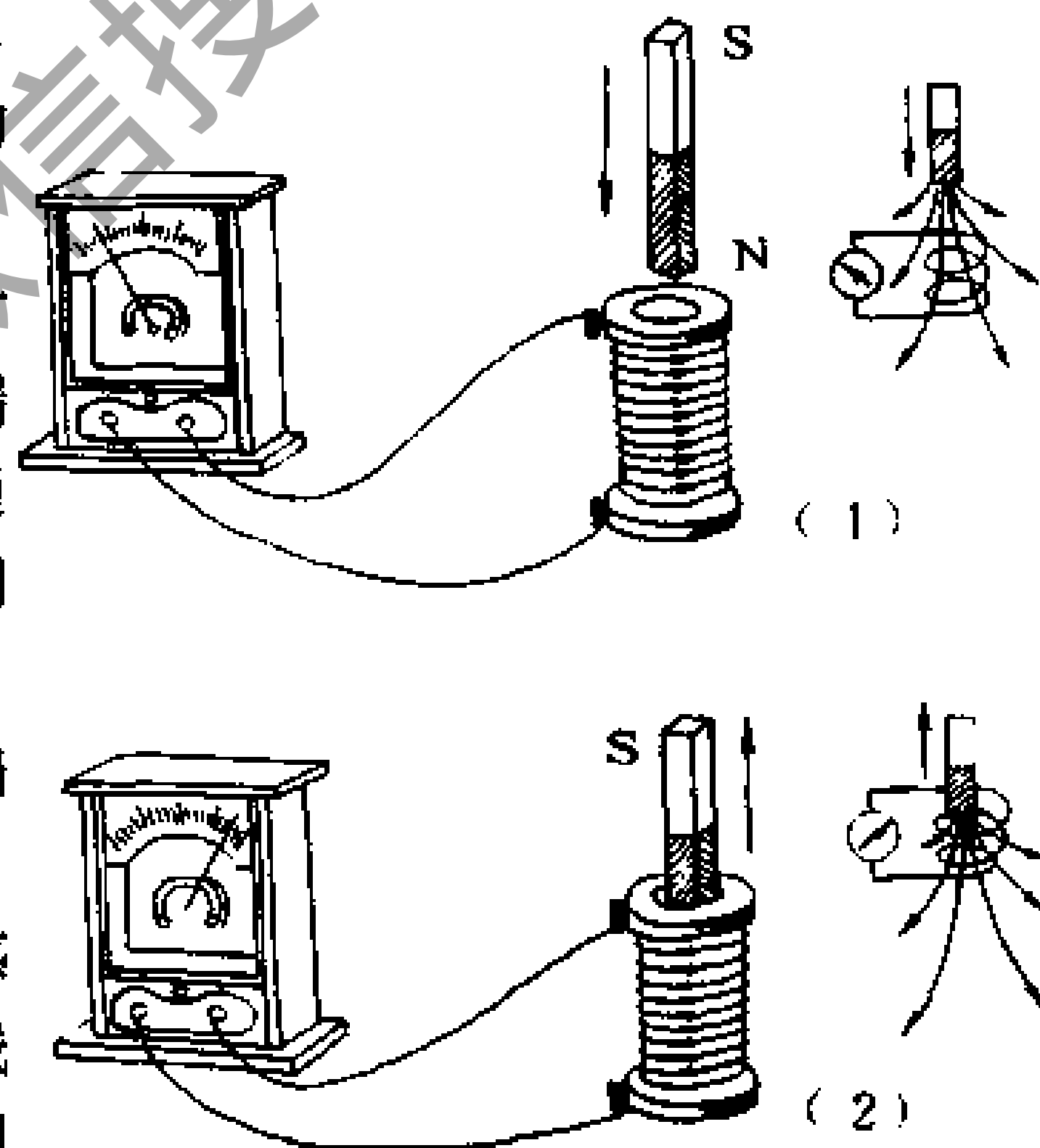


图 1-57 线圈中的感应电势

(2) 感应电势的方向：在图 1-58 (a) 中，当条形磁铁 S 极自线圈中拔出时，原磁通  $\phi_{原}$  减小，检流计指针向右偏转，说明感应电流由检流计的正端流入，负端流出，此时感应电流产生的磁通  $\phi_{感}$  与  $\phi_{原}$  方向相同，在图 1-58 (b) 中，当条形磁铁 S 极插入线圈时， $\phi_{原}$  增加，检流计指针向左偏转，说明感应电流由检流计的负端流入，正端流出，此时感应电流产生的磁通  $\phi_{感}$  与  $\phi_{原}$  的方向相反。若磁极方向改变，如图 1-58 (c)、(d) 所示，感应电流和磁通的方向也随着发生变化。

综合上述 4 种情况，得到一个规律：感应电流所产生的磁通，总是企图反抗原磁通的变化，即当原磁通增加时，感应电流所产生的磁通方向和原磁通的方向相反；当原磁

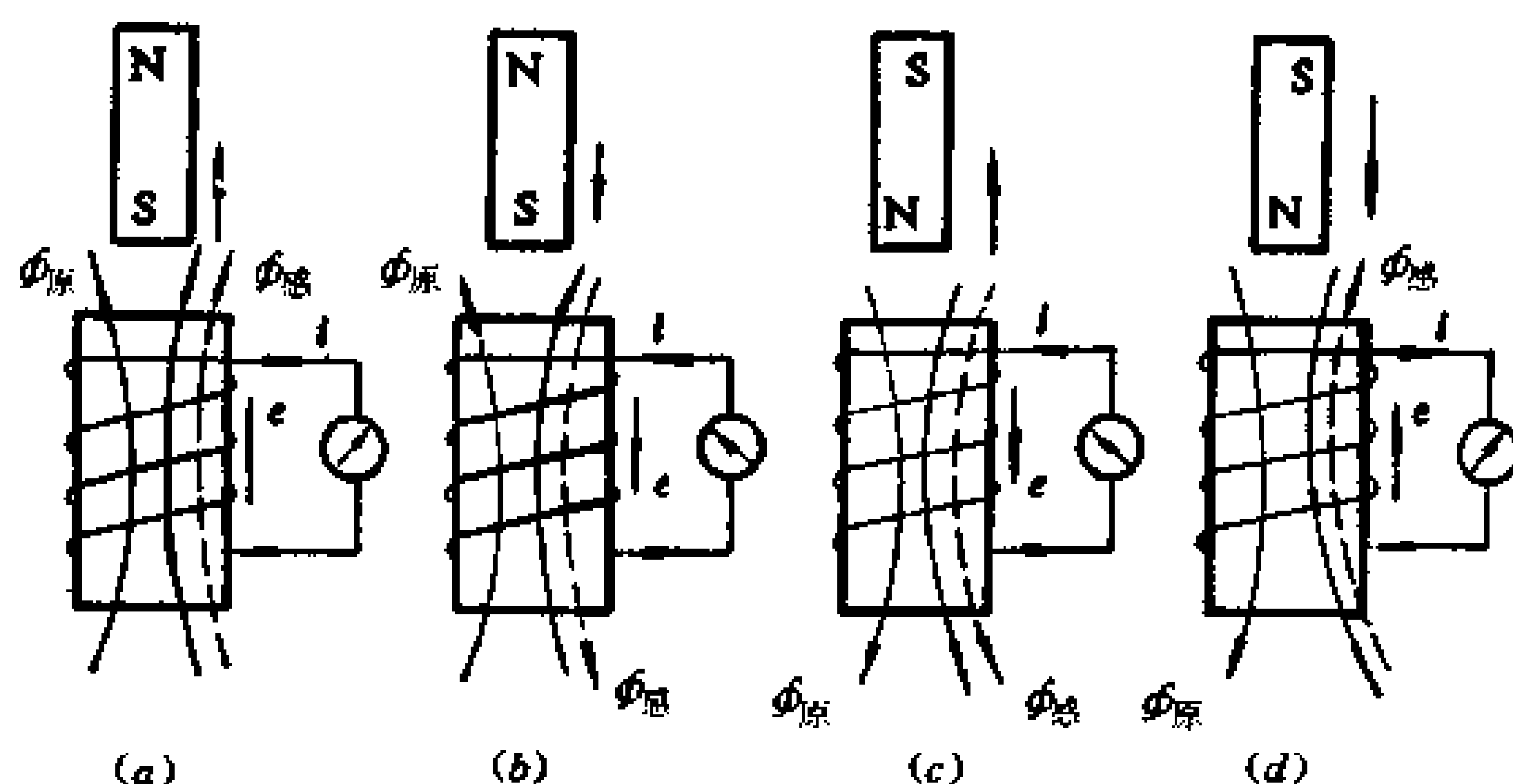


图 1—58 线圈中的感应电势的方向

通减少时，感应电流所产生的磁通方向和原磁通的方向相同，这个规律称为楞次定律。

(3) 感应电势的大小：实验证明，在一个单匝线圈中所产生的感应电势  $e_0$  的大小，与穿过线圈的磁通变化率成正比。假若在极短的时间内（用  $\Delta t$  表示）变化，那么单匝线圈中的感应电势为

$$e_0 = K \frac{\Delta\phi}{\Delta t} \quad (1-20)$$

式中： $K$  为比例常数。它的数值决定于式中各量所选用的单位。若  $\Delta\phi$  的单位用韦， $\Delta t$  的单位用秒， $e_0$  的单位用伏，则  $K=1$ 。

对于多匝线圈来说，假定穿过各匝线圈的磁通量都是相等的，则线圈中感应电势  $e$  的大小等于线圈匝数  $N$  与一匝线圈感应电势的乘积，即

$$e = Ne_0 = N \frac{\Delta\phi}{\Delta t} \quad (1-21)$$

式中： $\Delta t$  的单位为秒； $\Delta\phi$  的单位为韦； $e$  的单位为伏。

式 (1—21) 称为电磁感应定律。

## 五、自感、互感和涡流

### 1. 自感

由于外界原因使线圈中的磁通发生变化，会在线圈的导线中产生感应电势。如果磁通变化是由线圈本身电流的变化所引起的，情况又是怎样呢？现做以下实验：

图 1—59 (a) 中，两个灯泡的瓦数相同，线圈和电阻器电阻的大小相同。在开关闭合的瞬间，与电阻器串联的灯泡立刻就亮了，但是与线圈串联的灯泡不是立刻就亮，而是逐渐变亮。

按图 1—59 (b) 所示的装置，开关闭合时，灯泡是亮的。当把开关突然拉开的瞬间，灯泡不是立刻熄灭，而是逐渐熄灭。如果线圈

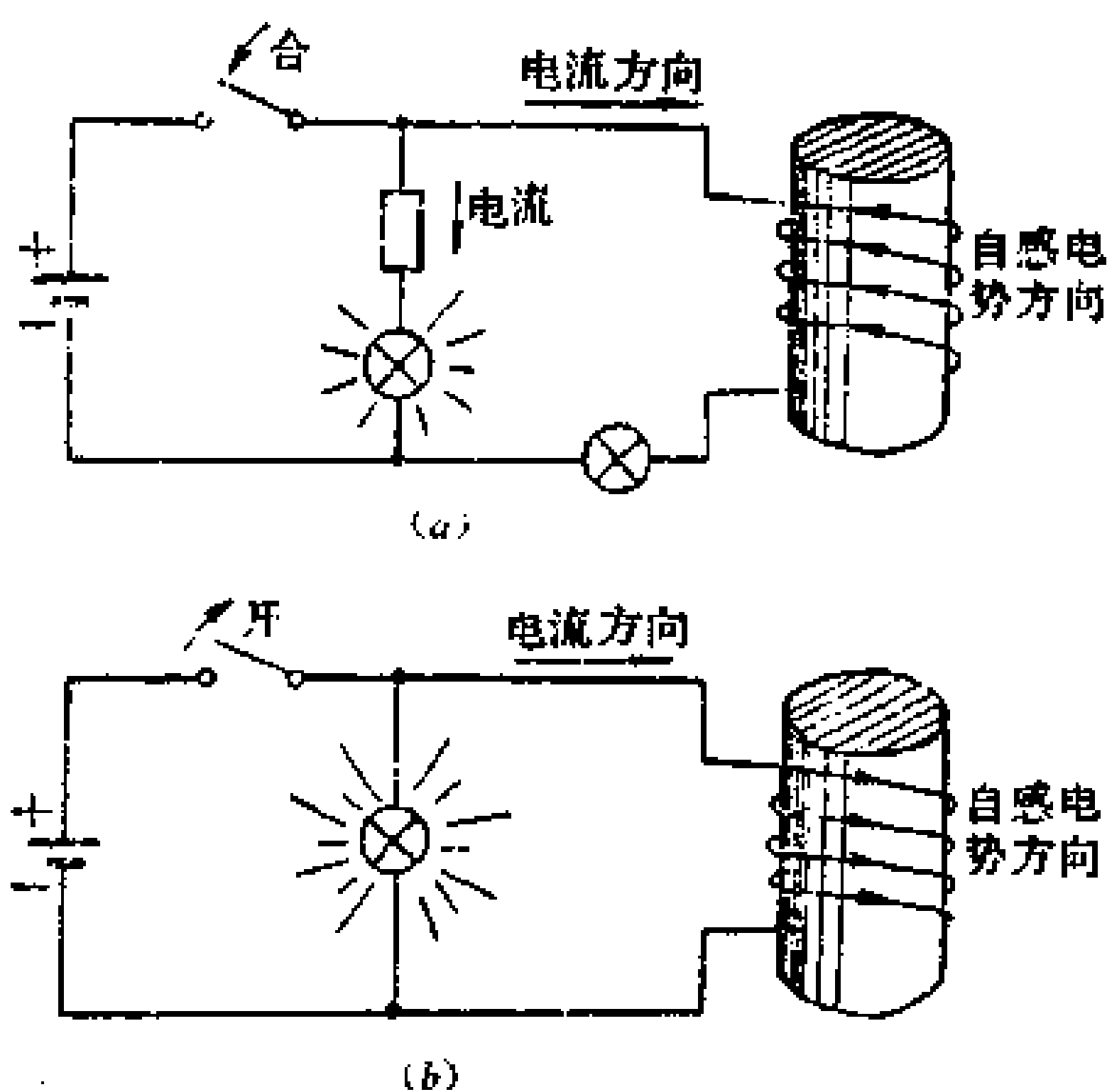


图 1—59 自感现象

(a) 开关闭合时的情形 (b) 开关拉开时的情形

的匝数足够多，拉开关的速度相当快，还可出现灯泡大亮一下，然后逐渐熄灭的现象。铁心线圈越大、匝数越多，上述现象越明显。如果铁心线圈很大，匝数很多，拉开关的速度很快，甚至可能把灯泡烧坏。

图 1—59 (a) 所示的实验，当开关闭合时，通过线圈的电流从无到有发生了变化，铁心线圈中的磁通也从无到有发生了变化。变化着的磁通在线圈的导线中产生了感应电势，这个电势总是努力反抗线圈的电流变化，以阻碍线圈中磁通的变化，所以灯泡不能立刻亮起来。图 1—59 (b) 所示的实验，在开关拉开的瞬间，线圈的电流从有到无发生了变化，线圈中的磁通也从有到无发生了变化，变化的磁通在线圈的导线中产生了感应电势。在这个感应电势的作用下，使电流通过灯泡，所以灯泡不能立刻熄灭。这种由于线圈本身电流的变化而在线圈的导线中产生的感应电势，叫做自感电势，用符号  $e_L$  表示。这种现象叫做自感现象。

实验证明，自感电势的大小与通过线圈的电流变化率有关，与线圈的几何形状（如匝数、粗细、长短）有关，与线圈周围的介质有关。

为了计算方便，把线圈的几何形状和周围介质等因素综合起来，用自感系数  $L$  来表示。线圈的自感系数简称自感或电感，它的大小只与线圈的几何形状和周围介质有关。对于一个空心线圈（周围没有铁磁性材料）来说，它的电感  $L$  是一个常量。如果在线圈中放入铁磁性材料， $L$  值将显著增大，而且一般不是常量。 $L$  的单位为亨利（1亨利 =  $1\Omega \times 1s$ ），简称亨，用符号 H 表示。在实际中， $L$  通常用毫亨（mH）作单位。

$$1\text{mH} = 10^{-3}\text{H}$$

实验证明，线圈中自感电势的大小与线圈的电感及通过线圈的电流变化率的乘积成正比，即

$$e_L = L \frac{\Delta i}{\Delta t} \quad (1-22)$$

式中： $\frac{\Delta i}{\Delta t}$  为电流的变化率（A/s）， $L$  为线圈的电感（H）， $e_L$  为自感电势（V）。

因为自感是电磁感应的一种特殊情况，所以自感电势的方向仍按楞次定律来确定。具体来说，当通过线圈的电流增大时，自感电势的方向与通过线圈的电流方向相反，以阻碍电流的增大；当通过线圈的电流减小时，自感电势的方向与电流的方向相同，以阻碍电流的减小。总之，自感电势的方向，总是阻碍通过线圈的电流发生变化。

## 2. 互感

(1) 互感现象：图 1—60 (a)、

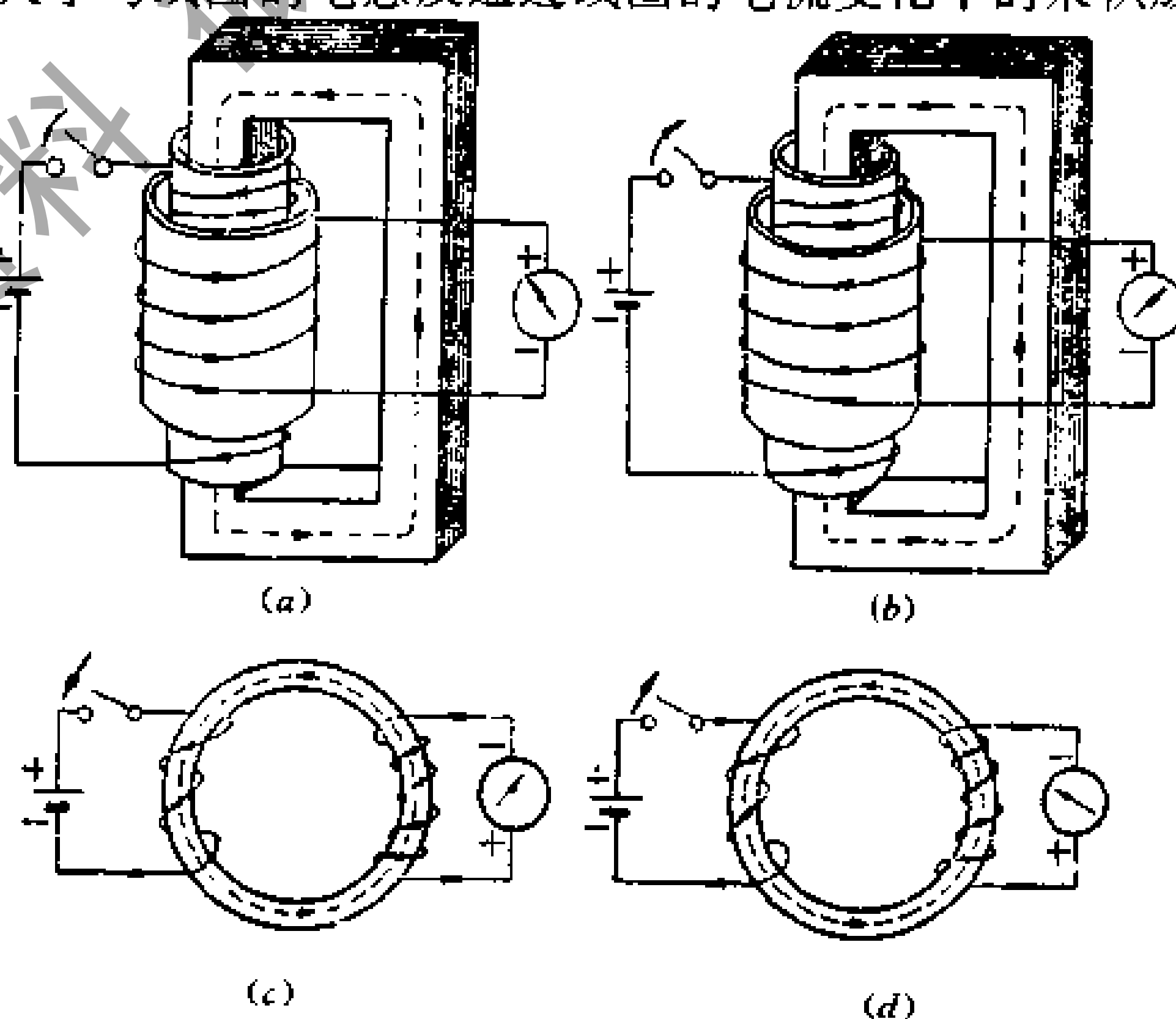


图 1—60 互感现象

- (a) 两个线圈套在一起时，合开关情形
- (b) 两个线圈套在一起时，拉开开关情形
- (c) 两个线圈分放两侧时，合开关情形
- (d) 两个线圈分放两侧时，拉开开关情形

(b)、(c)、(d) 都有两个线圈，接电源的线圈叫做原线圈（或1次线圈），接负载的线圈叫做副线圈（或2次线圈）。当原线圈中的磁通发生变化时，变化着的磁通穿过副线圈，在副线圈的导线中便会产生感应电势，这种现象叫做互感现象，这种电势叫做互感电势，用符号  $e_M$  表示。磁通的变化越多、越快，副线圈的匝数越多，互感电势就越高。带铁心的线圈的互感电势要比不带铁心的高得多。

应当指出，原、副线圈间并无电的联系，而是通过磁通来联系的。这种联系叫做磁耦合。

(2) 互感电势的大小和方向：试验证明，一个线圈中所产生的互感电势的大小，与互感系数  $M$  及另一个线圈中的电流变化率成正比，即

$$\left. \begin{aligned} e_{M1} &= M \frac{\Delta i_2}{\Delta t} \\ e_{M2} &= M \frac{\Delta i_1}{\Delta t} \end{aligned} \right\} \quad (1-23)$$

式中： $\frac{\Delta i_1}{\Delta t}$  为线圈1中的电流变化率 (A/s)， $\frac{\Delta i_2}{\Delta t}$  为线圈2中的电流变化率 (A/s)， $M$  为互感系数 (H)， $e_{M1}$  为线圈1中的感应电势 (V)， $e_{M2}$  为线圈2中的感应电势 (V)。

因为互感也是属于电磁感应的一种形式，所以互感电势的方向仍按楞次定律来确定。

互感原理在生产实际中应用很广泛，变压器、电压互感器、电流互感器等都是根据互感原理制成的。

### 3. 涡流

涡流是感应电流的一种。在图1-61中，带有铁心的线圈相当于原线圈。铁心相当于副线圈，当线圈通过变化的电流时，便在铁心内产生变化的磁通。由于互感作用，在铁心内产生自成回路的环流，称为涡流。

变压器、电机等铁心内部的磁通，都是经常变化的，因而在它们内部都存在涡流。涡流通过铁心的电阻，会使铁心发热，增加电能的损耗，这种损失叫做涡流损失。另一方面，涡流是一感应电流，根据楞次定律，它将对原来穿过铁心的磁通产生去磁作用，对变压器和电机的运行不利。为减少涡流，变压器或电动机的铁心都不是用整块硅钢做成的，而是用硅钢片叠成的（片间涂有绝缘漆）。这样，用增大涡流回路电阻来达到减少涡流的目的。

涡流对变压器等电气设备虽然有害，但也可以利用涡流为生产服务。例如，电能表就是利用涡流的作用使铝盘转动的。另外，某些工业部门还利用涡流对大型部件进行加热或熔化（如感应电炉）等。

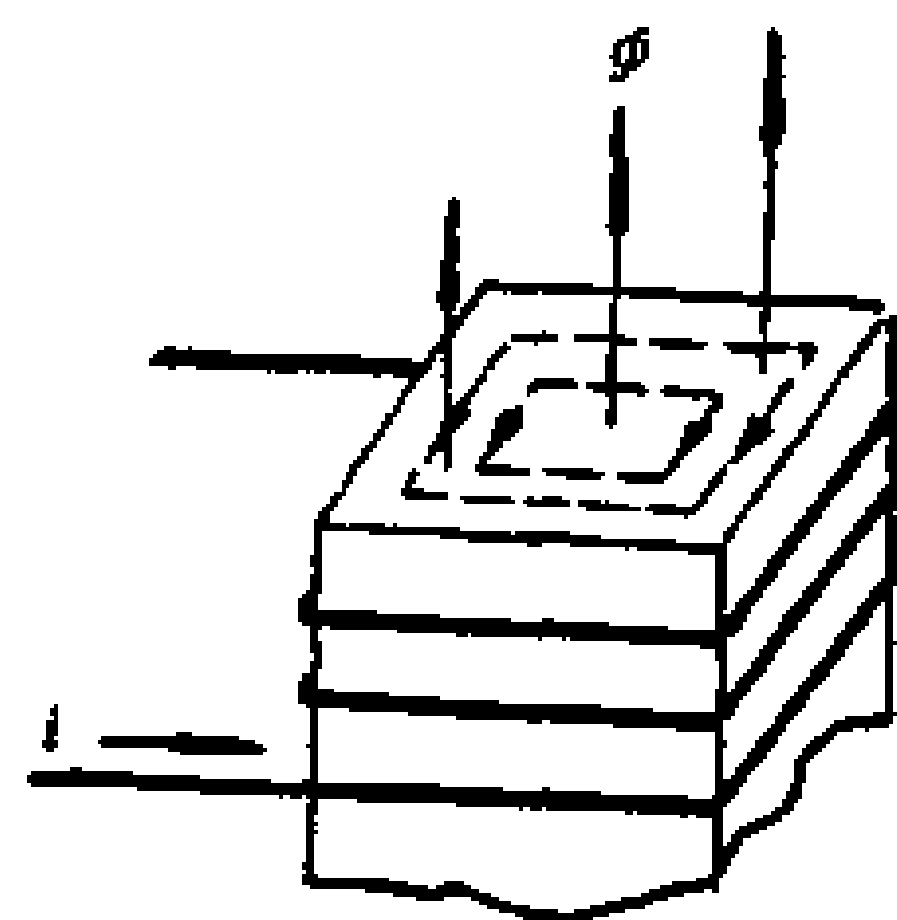


图1-61 整块铁心涡流示意图

## 第 10 节 交流电的基本概念

### 一、正弦交流电的基本知识

在第 3 节中,已经介绍了直、交流电的概念,即大小和方向不随时间变化的电势、电压和电流,称为直流电;而大小和方向随时间变化的电势、电压和电流,称为交流电,简称交流。

人们对于电能的应用,最早是从直流电开始的,但随着生产的发展和大工业的出现,逐步由直流电过渡到交流电。到目前为止,不论是工农业生产用电还是日常生活用电,几乎都采用交流。即使在某些需要直流电的场合,也大都利用整流设备将交流转变为直流。交流电所以能得到广泛的应用,是因为它具有以下主要优点:从发电设备来说,交流发电机比直流发电机的结构简单、成本较低、工作可靠;从电能的输送和分配来说,交流电可以直接利用变压器得到不同的电压,以满足高压输送和低压使用的要求;从应用来说,交流电动机比直流电动机结构简单、成本较低、坚固耐用、维修方便。

在电力生产中,所有交流发电机产生的电势都是随时间按正弦规律变化的,这样的交流电称为正弦交流电。今后如不特别申明,一般所称的交流电都是指正弦交流电。

#### 1. 正弦交流电的产生

要得到正弦交流电流,首先要有产生正弦电势的电源。图 1—62 是一台单相交流发电机的原理示意图,它包括两个主要部分:一部分是固定在转子铁心上的线圈(为了清楚起见,图中只画了一个线圈);另一部分是产生磁场的磁极,磁力线垂直于转子铁心的表面。线圈的两端分别接在两个彼此绝缘的滑环(铜环)上,滑环固定在转轴上,并与轴绝缘。在每个滑环上各安装一只静止的电刷,利用电刷与滑环的滑动接触,使线圈与外电路相连。

由铁心、线圈、铜环等组成的转动部分,称为转子。为了使线圈产生出来的感应电势能按正弦规律变化,需把 N 极和 S 极做成特殊的形状,其气隙中的磁场分布情况如图 1—62 (b) 所示。在  $yy'$  处,磁极与转子间的气隙最短,磁阻最小,磁感应强度最大。在  $yy'$  的两侧,气隙逐渐加长,磁阻逐渐增大,磁感应强度按正弦规律逐渐减小。到达磁极的分界面  $oo'$  时,磁感应强度正好减小到零。这样,在转子圆柱面上的磁感应强度就按正弦规律分布。

当发电机的转子作等速旋转时,线圈  $AA'$  边和  $XX'$  边便分别切割磁力线,产生感应电势  $e'$  和  $e''$ 。由于线圈两边的长度相同,切割速度一样,所在位置处的磁感应强度又相等,所以感应电势  $e'$  和  $e''$  的数值总是相等的。两边电势的方向始终相反。在电刷 A、X 两端的总电势  $e$  为线圈两边的电势之和。

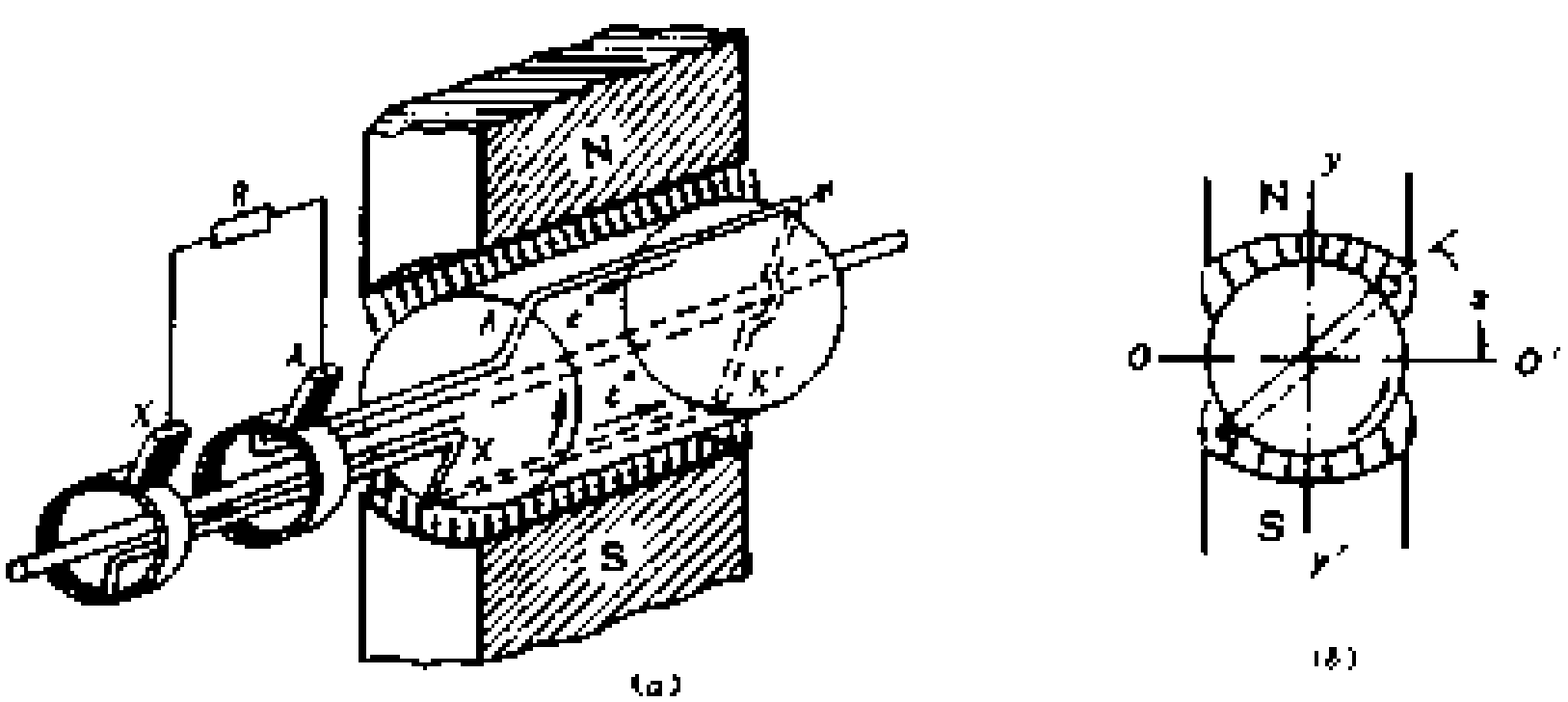


图 1—62 交流发电机原理示意图



当线圈随转子旋转到分界面  $OO'$  时，线圈的两边不切割磁力线，总电势  $e=0$ 。转到  $yy'$  位置时，线圈切割的磁力线最多，电势  $e$  达到最大值  $E_m$ ，且此时电刷  $A$  为正， $X$  为负。转到  $O'O$  位置时， $e$  从最大减小到零。转到  $y'y$  位置时， $e$  又达最大，但此刻  $X$  为正， $A$  为负，电势的方向改变了，应为一  $E_m$ 。再转到  $O'O$  时， $e$  又到零。这样，线圈每转一圈，电刷两端的电势  $e$  就按正弦规律交变一周。线圈转到任意位置时的电动势  $e$  为

$$e = E_m \sin \alpha \quad (1-24)$$

式中： $\alpha$  为电势随时间  $t$  变化的电角度数。

在两极发电机中， $\alpha$  与线圈转过的机械角  $\alpha_{机}$  相等。但在图 1-63 (a) 所示的四极发电机中，线圈每转一圈，感应电势  $e$  就要交变两周，即  $\alpha = 2\alpha_{机}$ 。在  $p$  对磁极的发电机中， $\alpha = p\alpha_{机}$ 。

交流电势每交变一周，电角变化  $2\pi$  弧度。在  $t$  秒时的电角  $\alpha = 2\pi ft$ ，此刻电势的瞬时值为

$$\begin{aligned} e &= E_m \sin 2\pi ft \\ &= E_m \sin \omega t \end{aligned} \quad (1-25)$$

式中： $\omega = 2\pi f$ ，称为角频率，表示 1s 内电角变化的弧度数，单位为弧度/秒 (rad/s)。对于 50Hz 的工频来说，角频率  $\omega = 2\pi \times 50 = 314 \text{ rad/s}$ 。

感应电势是按正弦规律随时间  $t$  变化的 [图 1-63 (b)]，在发电机引出线两端的电压  $u$ ，也是一正弦交流电压，即

$$u = U_m \sin 2\pi ft = U_m \sin \omega t \quad (1-26)$$

## 2. 交流电的周期、频率

(1) 周期：图 1-62 (a) 中，线圈在两个磁极间旋转一周，交流电即完成一次正和负的变化，称之为一个周波。交流电变化一周所需的时间叫做周期，用字母  $T$  表示，单位是秒。

(2) 频率：在工业上常用频率这个名词。频率是每秒钟正弦交流电变化的周数，用字母  $f$  表示，单位是赫兹 (Hz)，简称赫。我国采用的交流电频率为 50Hz。

周期和频率的关系是

$$T = \frac{1}{f} \text{ 或 } f = \frac{1}{T} \quad (1-27)$$

例如，频率为 50Hz，则周期

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{50} = 0.02 \text{ (s)}$$

## 3. 交流电的瞬时值、最大值和有效值

(1) 瞬时值：正弦交流电的数值是随时间不断变化的。在任一瞬间正弦交流电所具有的数值叫做瞬时值，用符号  $i$ 、 $u$ 、 $e$  分别表示电流、电压、电势的瞬时值。

(2) 最大值：正弦交流电瞬时值中最大的值叫做正弦交流电的最大值（或称幅值），一般用大写字母并在其右下角注  $m$  代表，如用  $I_m$ 、 $U_m$ 、 $E_m$  分别代表电流、电压、电势

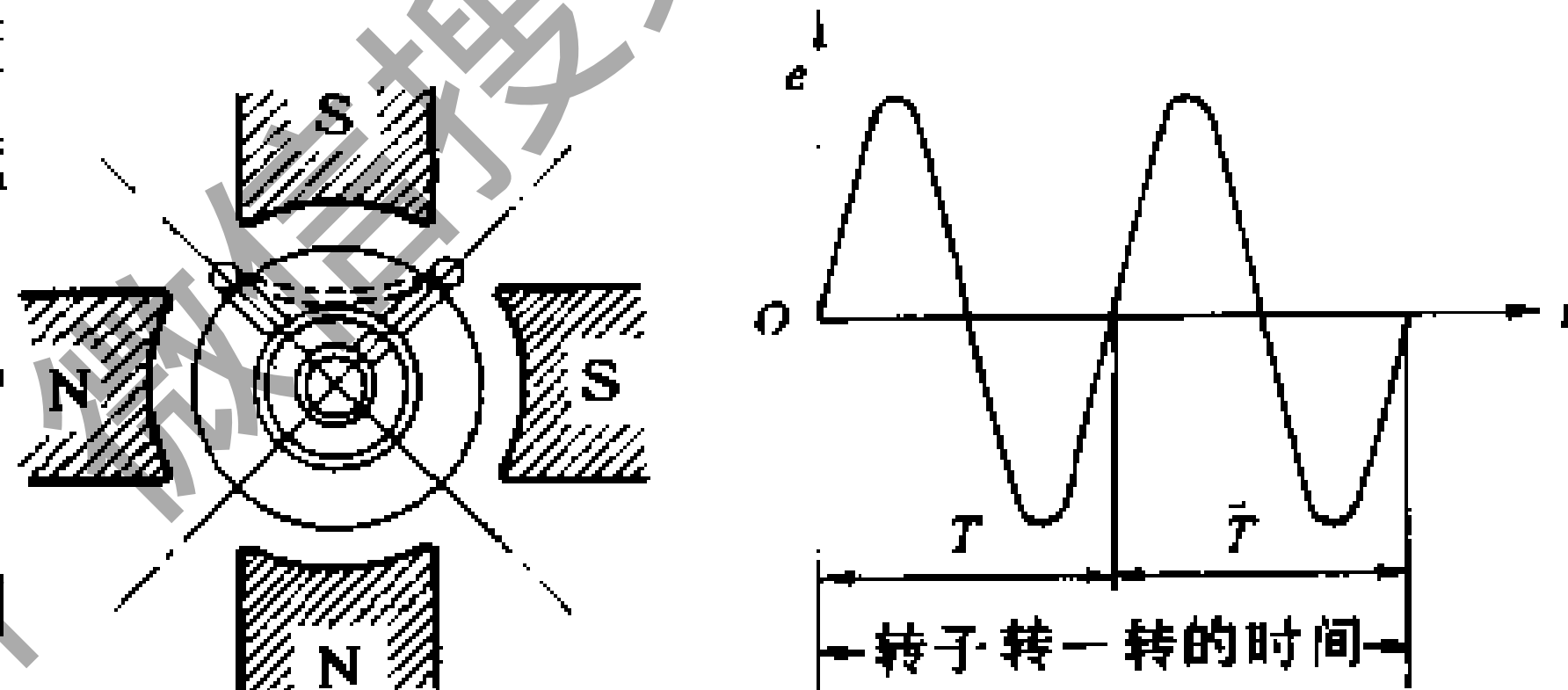


图 1-63 四极交流发电机及其电势变化曲线

的最大值。最大值反映了正弦交流电的变化范围。

(3) 有效值：220V 或 380V 的电源，5A 或 10A 的保险丝，灯泡上标有 220V 的标记，这些电压、电流的大小指的都是交流电的有效值。一般电流表、电压表测出的数值也是有效值。

交流电的有效值是从热效应方面来衡量交流电大小的一个物理量。它是这样规定的：将一个电阻接在直流电源上，经过一定时间所产生的热量，与将该电阻接在交流电源上，在相同时间内所产生的热量相等，那么这时的交流电流  $i$  发热效果和直流电流  $I$  是等效的。我们把这时的直流电流  $I$  叫做交流电流  $i$  的有效值。换句话说，交流电的有效值，就是与它热效应相当的直流值。一般有效值用大写字母代表，如用  $I$ 、 $U$ 、 $E$  分别代表电流、电压、电势的有效值。

根据数学推导，正弦交流电的有效值等于它的最大值除以  $\sqrt{2}$ ，即

$$\left. \begin{aligned} I &= \frac{I_m}{\sqrt{2}} = \frac{I_m}{1.414} \approx 0.707I_m \\ U &= \frac{U_m}{\sqrt{2}} = \frac{U_m}{1.414} \approx 0.707U_m \\ E &= \frac{E_m}{\sqrt{2}} = \frac{E_m}{1.414} \approx 0.707E_m \end{aligned} \right\} \quad (1-28)$$

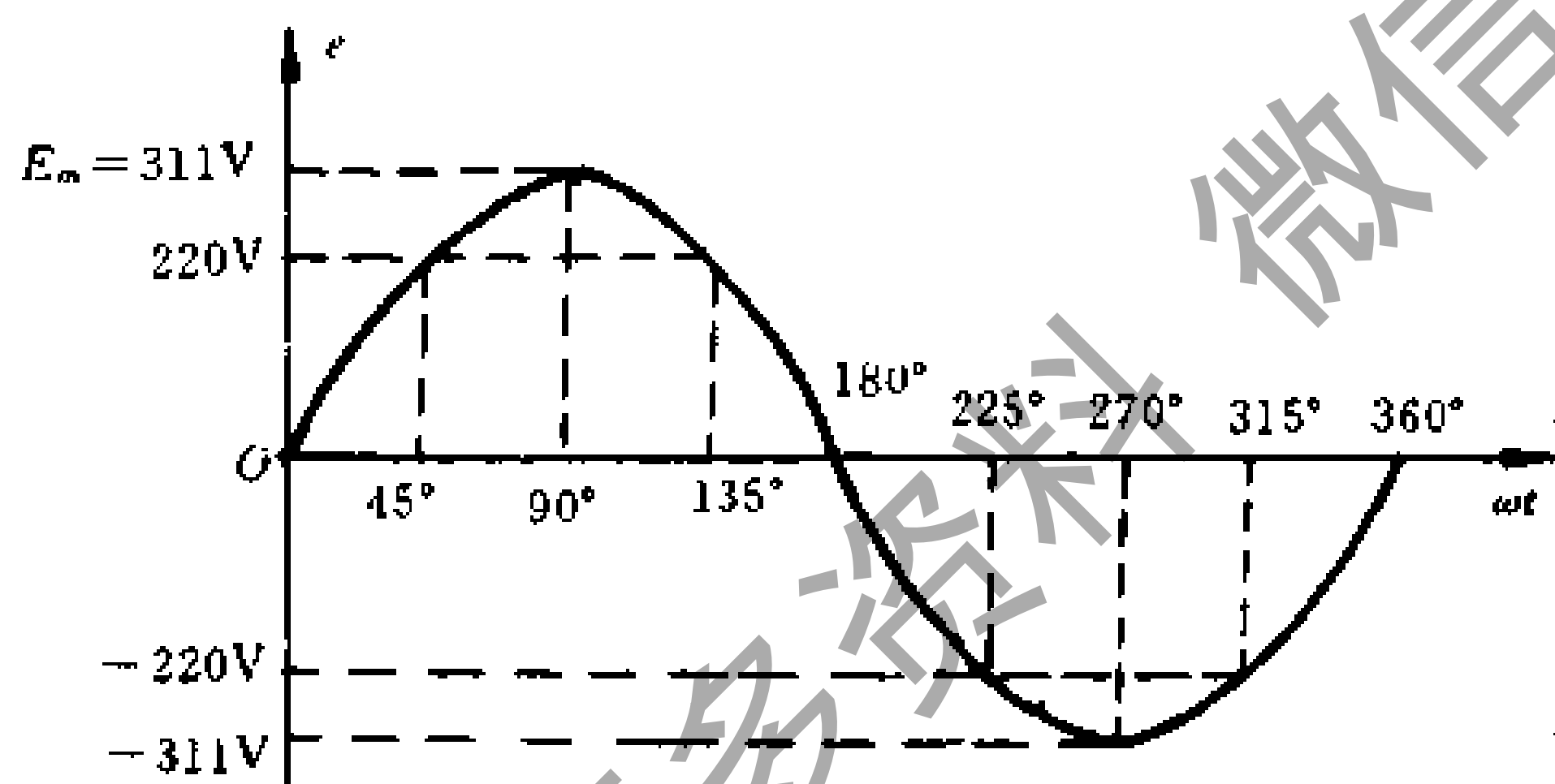


图 1-64 正弦感应电势波形示意图

#### 4. 初相角与相位差

(1) 初相角：如前所述，公式  $e = E_m \sin \omega t$  可以用图 1-64 的波形图来表示。曲线的计时起点选择在感应电势为零的那一瞬间。如果导线开始转动之前就和中性面之间存在一个角度  $\varphi$ ，那么导线在一开始转动的瞬间就有感应电势产生〔图 1-65(a)〕。这个开始时就存在的角度称为初相角。此时，感应电势的瞬

时值，可用下式表示

$$e = E_m \sin (\omega t + \varphi) \quad (1-29)$$

式中： $\varphi$  为初相角。 $\varphi$  可以等于零，也可以等于正值或负值。

对于一个正弦量来讲，如果最大值、频率、初相角确定了，那么这个正弦量就完全确定了。因此，把最大值、频率、初相角称为正弦量的三要素。

(2) 相位差：如果有两个频率相等，而初相角不同的正弦量，二者的初相角之差，则称为相角差或相位差。在图 1-66 中，线圈 1 的

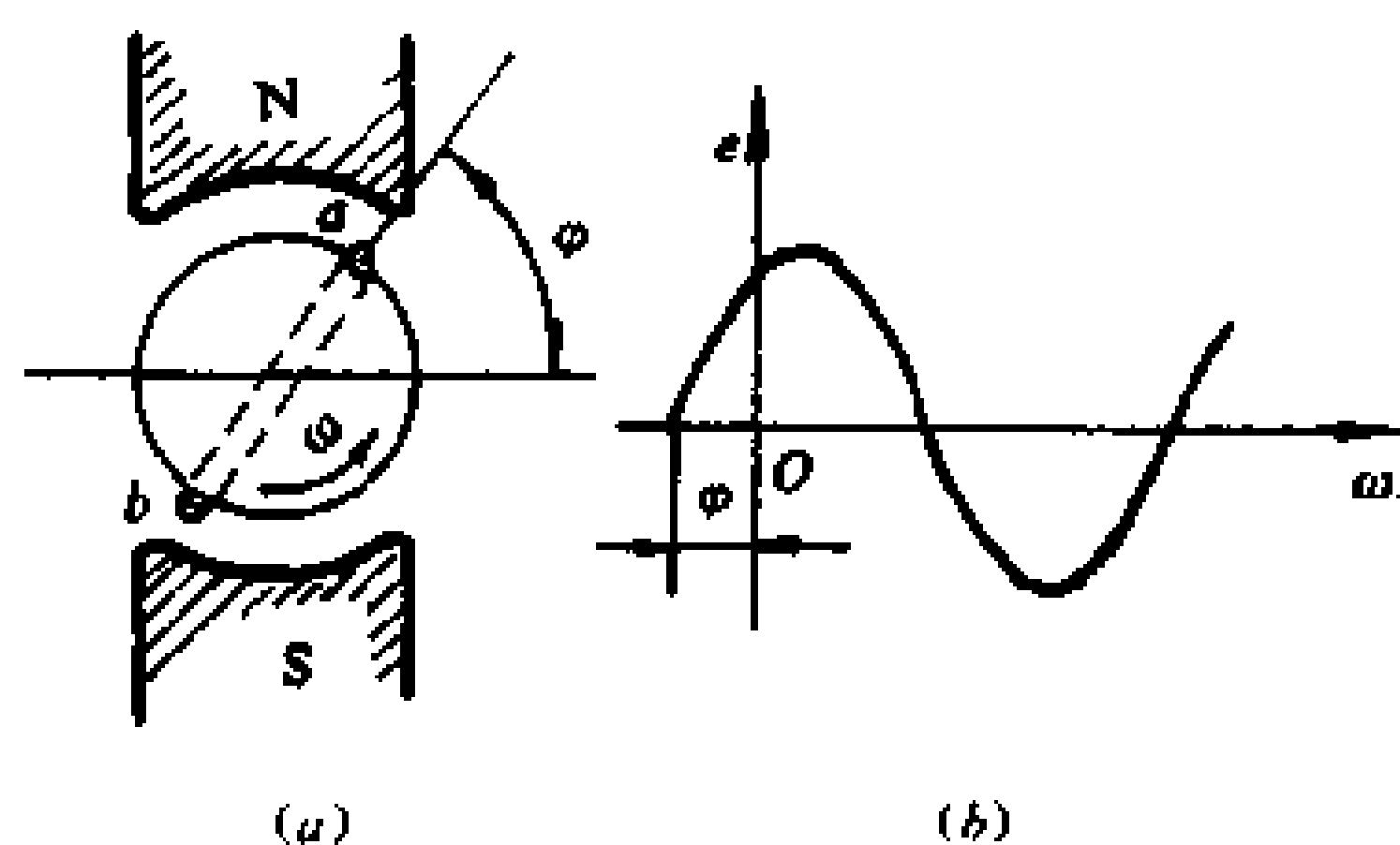


图 1-65 正弦交流电的初相角图

(a) 导线的初始位置 (b) 初相角为  $\varphi$  时的正弦电势波形

初相角为  $\varphi_1$ ，线圈 2 的初相角为  $\varphi_2$ ，那么  $(\varphi_1 - \varphi_2)$  便称为相位差或相角差，用字母  $\varphi$  表示，即

$$\varphi = \varphi_1 - \varphi_2 \quad (1-30)$$

从图 1-66 (b) 中可以看出， $e_1$  先到达零值或最大值，从相位上说  $e_1$  较  $e_2$  超前一个角度  $\varphi$ ，或者说  $e_2$  滞后于  $e_1$  一个角度  $\varphi$ 。如果两个正弦交流电相位差为零，则二者为同相。如果它们的相位差为  $180^\circ$ ，则二者为反相。应指出，只有同频率的正弦量之间，才有相位差、超前、滞后等概念；频率不同，在相位上不能进行比较。

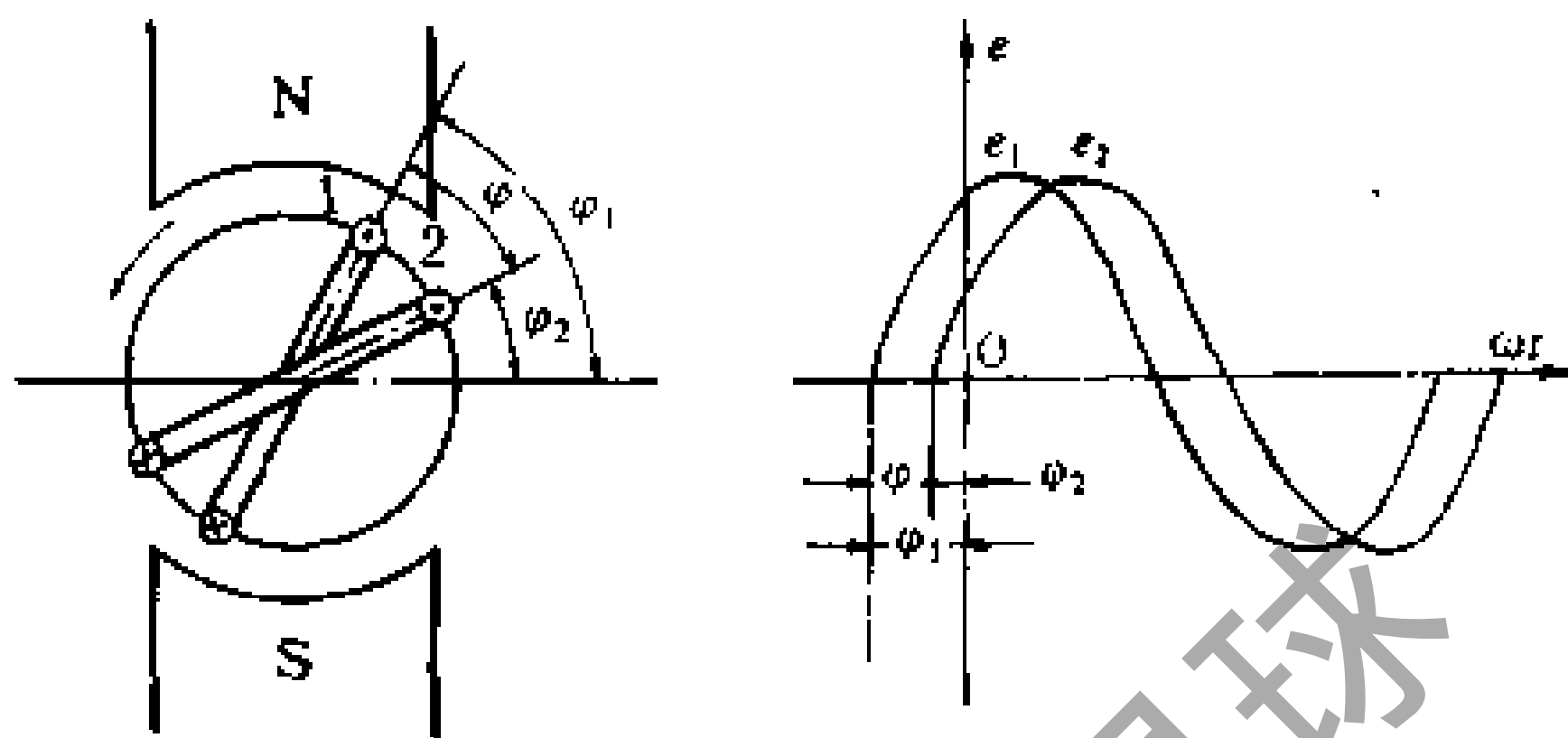


图 1-66 两个不同初角的线圈及其产生的电势波形  
(a) 初相位为  $\varphi_1$  和  $\varphi_2$  的两个线圈 (b) 两个线圈所产生的电势波形

### 5. 用向量表示正弦量的加减

(1) 用向量表示正弦交流电的原理。在生产实际中，常常遇到两种量：一种量只有大小而没有方向，这种量叫做标量；另一种量既有大小又有方向，这种量叫做向量或矢量。向量通常用一个带箭头的直线来表示，线段的长度代表向量的大小，箭头的指向代表向量的方向。

虽然正弦交流电本身并不是向量，但借用向量这个工具，就能使正弦交流电路的分析和计算大为简化。因此，正弦交流电的向量表示法只能看成是一种方法或手段。用向量表示正弦交流电基于如下原理：一个正弦交流电 ( $e$ 、 $u$ 、 $i$ )，只要已知它的最大值（或有效值）、频率和初相角之后就完全确定了。根据正弦交流电这一特征，可以在平面直角坐标系中做一个向量，其长度按比例等于正弦交流电的最大值（或有效值）；向量的起始位置与横轴正方向之间的夹角等于正弦交流电的初相角  $\varphi$ ；并规定向量以等于电角频率  $\omega$  的角速度沿反时针方向绕原点旋转（图 1-67）。那么，这样一个特定的旋转向量任意瞬间在纵坐标上的投影，就是该正弦交流电的瞬时值。如果把旋转向量在纵轴上的投影按时间（或角度）展开，就是正弦交流电随时间变化的曲线，如图 1-68 (b) 所示。

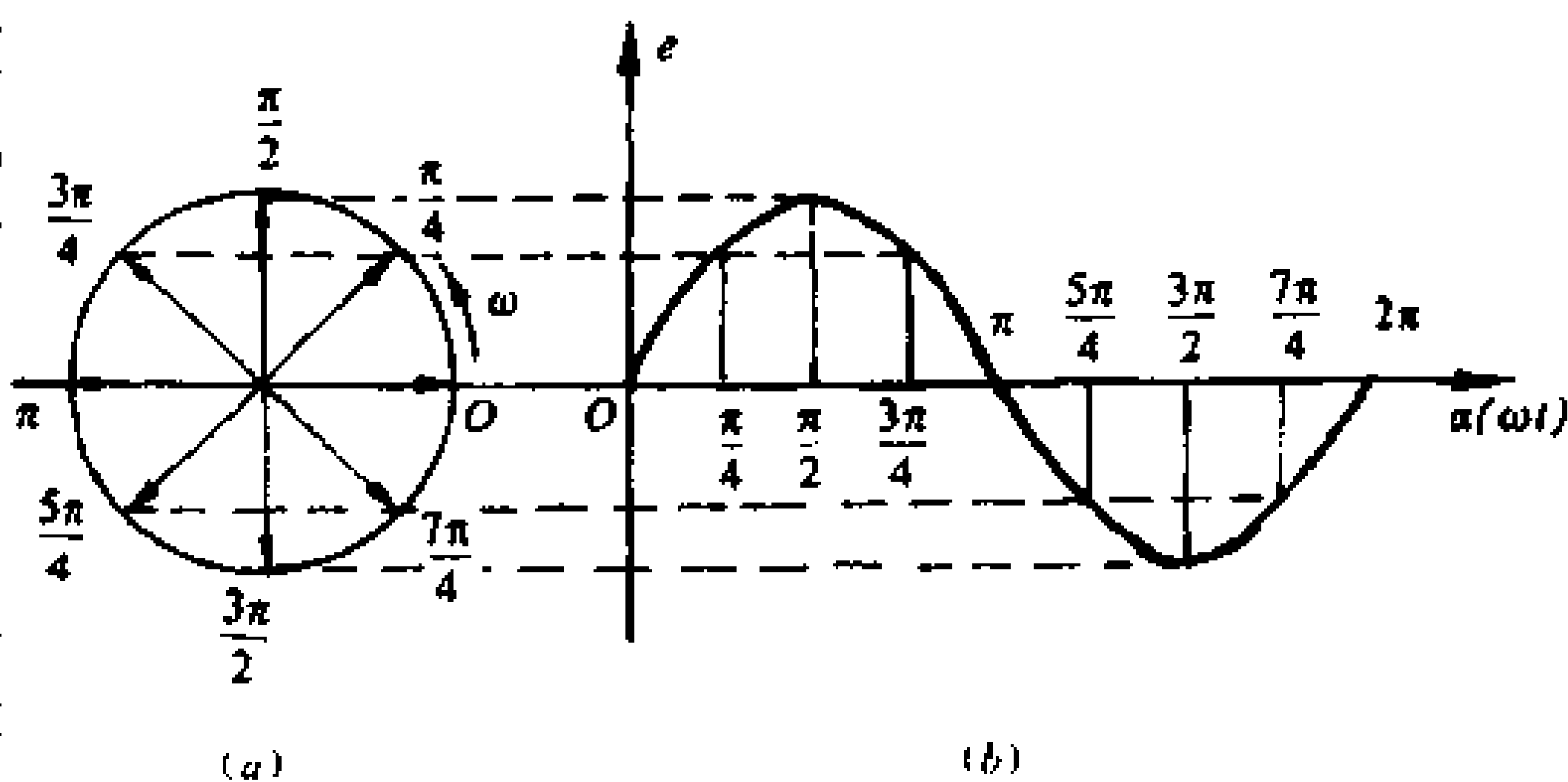


图 1-67 用向量表示正弦交流电的原理  
(a) 旋转向量 (b) 正弦曲线

由以上分析可知，按上述原则所做的旋转向量，能够全面地反映出一个正弦交流电的三要素。因此，这样一个旋转向量，就可以代表一个正弦交流电。

在使用旋转向量表示正弦量时，通常只画出它在起始时的位置（图 1-68）。后面，凡是用向量表示的正弦交流电，都用大写字母上加一点来表示，以便与一般的向量相区别。例如， $\dot{E}$ 、 $\dot{U}$ 、 $\dot{I}$  分别代表正弦交流电势、电压和电流

向量。

(2) 正弦交流电向量的加减运算。正弦量的向量相加可以按向量的平行四边形法则进行。例如，用向量计算  $i_1 = I_{m1} \sin(\omega t + \varphi_1)$  和  $i_2 = I_{m2} \sin(\omega t + \varphi_2)$ ，两个同频率正弦交流电

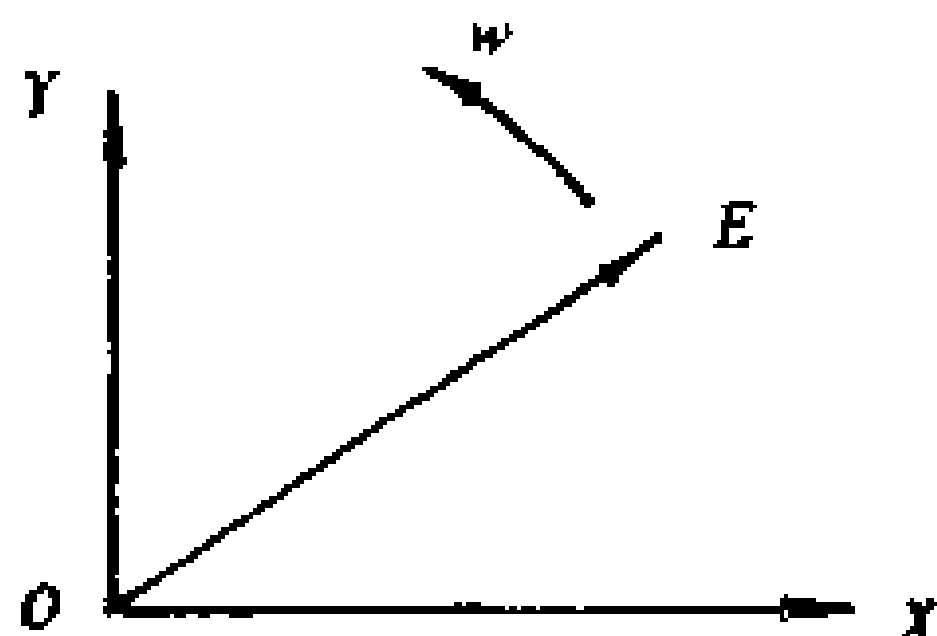


图 1—68 正弦量的向量表示法

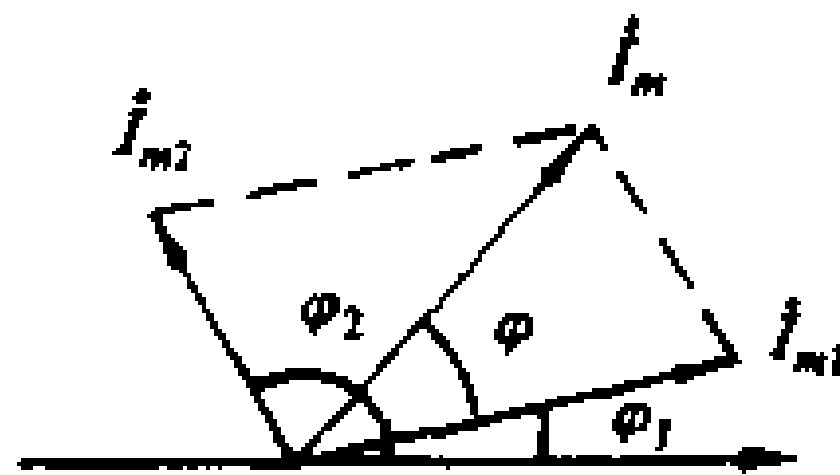


图 1—69 用平行四边形法则求总电流

流的和时 (图 1—69)，以  $\dot{I}_{m1}$  和  $\dot{I}_{m2}$  为邻边作一平行四边形，则两边所夹的对角线，即表示总电流向量  $\dot{I}_m$ 。图中  $\dot{I}_m$  和  $\varphi$  可以用比例尺和量角器测出，而角频率和两个分电流 (即  $i_1$  和  $i_2$ ) 的角频率相同。因此，总电流的函数式为

$$i = I_m \sin(\omega t + \varphi)$$

向量相加，还可以用下列数学形式来表示

$$\dot{I}_m = \dot{I}_{m1} + \dot{I}_{m2}$$

正弦量的向量相减也可以用向量加法进行运算。只要将要减的向量反向后，与被减向量相加就能求得合成向量。

## 二、交流电路的简单计算

在直流电路中，我们只提到电阻  $R$  为电路的负载元件。但实际上，电路中的元件除电阻之外，还有电感  $L$  和电容  $C$ 。在交流电路中，由于电压和电流的大小和方向均随时间变化，而电感和电容都对变化的电流产生影响。因此，交流电路的计算就不像直流电路那样简单。但是，任何复杂的交流电路无非是由电阻、电感和电容 3 个基本元件组成，只要掌握了这 3 个基本电路的特性，分析复杂电路就比较容易了。

在分析和计算交流电路时，必须掌握 3 点：电压与电流的相位关系、电压与电流的有效值之间的关系以及电路中的功率。

### 1. 纯电阻电路

在实际应用方面，白炽灯、电烙铁、电炉以及电阻器等元件的电阻要比它本身具有的电感和电容大得多，由这些元件组成的电路，可视为纯电阻电路。

(1) 电流与电压的相位关系：如加在电阻两端的电压  $u = U_m \sin \omega t$  [图 1—70 (a)]，则任意瞬间通过电阻  $R$  的电流可根据欧姆定律算出，即

$$i = \frac{u}{R} = \frac{U_m}{R} \sin \omega t = I_m \sin \omega t \quad (1-31)$$

由式 (1—31) 可见，在正弦电压的作用下，电阻中通过的电流也按同一频率的正弦规律变化，而且电流与电压的相位相同。图 1—70 (b) 为电压与电流的波形图。

(2) 电流与电压有效值之间的关系：在纯电阻电路中，由于电流与电压同相位，二者的最大值  $I_m$ 、 $U_m$  在同一瞬间出现。将最大值除以  $\sqrt{2}$ ，则得有效值，即

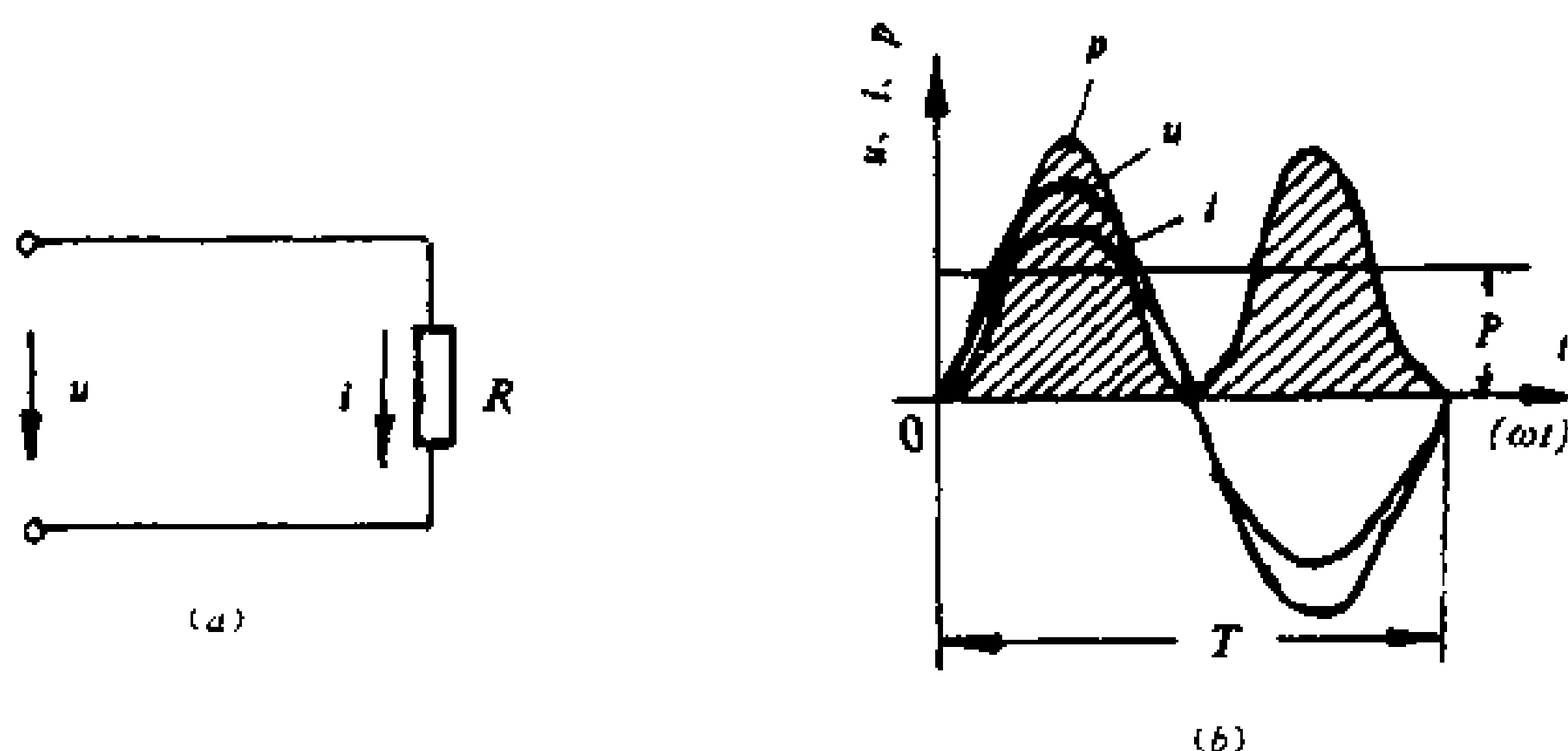


图 1—70 纯电阻电路图  
(a) 电路图 (b) 电压、电流、功率波形图

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = \frac{U}{R} \quad (1-32)$$

或者

$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}} = IR$$

(3) 电路的功率:

①瞬时功率: 在任何瞬间, 消耗于电阻  $R$  的功率 (称为瞬时功率) 等于这个时间的电压  $u$  与电流  $i$  的乘积, 即

$$\begin{aligned} p &= ui = U_m \sin \omega t \times I_m \sin \omega t \\ &= U_m I_m \sin^2 \omega t \\ &= \frac{U_m I_m}{2} (1 - \cos 2\omega t) \\ &= UI (1 - \cos 2\omega t) \end{aligned} \quad (1-33)$$

由式 (1—33) 可见, 瞬时功率也是一条按正弦规律变化的曲线。它的频率双倍于电压、电流的频率, 如图 1—70 (b) 所示。其数值始终为正值 (在  $0 \sim 2UI$  的范围内周期性地变化着), 这表明负荷在任何时间都向电源取用电能。

②平均功率: 通常所说的电路功率, 是指在一个周期内瞬时功率的平均值, 称为平均功率, 其大小等于瞬时功率最大值的一半, 即

$$P = UI = I^2 R = \frac{U^2}{R} \quad (1-34)$$

平均功率就是电阻每秒钟所消耗的电能平均值。因此, 平均功率又叫做有功功率, 它的单位是瓦 (W) 或千瓦 (kW)。

【例 1】有一个铭牌标称 220V、300W 的电炉, 接入瞬时值  $u = 311 \sin \omega t$  V 的电源上, 试计算它的电阻和通过它的电流。

解: 由铭牌标称, 按公式  $P = \frac{U^2}{R}$  求出电炉的电阻为

$$R = \frac{U^2}{P} = \frac{220^2}{300} = 161 \text{ } (\Omega)$$

接入的电源电压瞬时值  $u = 311 \sin \omega t$  V, 是正弦交流电压, 从而可求出电压的有效值

为

$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}} = \frac{311}{\sqrt{2}} = 220 \text{ (V)}$$

可见,这是通常说的 220V 交流电压,与电炉标称的电压一致,接入此电源是合适的。接入 220V 电源后,电炉中的电流为

$$I = \frac{U}{R} = \frac{220}{161} = 1.37 \text{ (A)}$$

【例 2】有一只额定电压为 220V、功率为 75W 的电烙铁,若把它接在 110V 交流电源上(假设它的电阻不变),功率变为多少?

解:电烙铁的电阻为

$$R = \frac{U^2}{P} = \frac{220^2}{75} \approx 645.3 \text{ (}\Omega\text{)}$$

接在 110V 电源时,电烙铁的功率为

$$P' = \frac{U'^2}{R} = \frac{110^2}{645.3} = 18.75 \text{ (W)}$$

即仅为原来功率的 1/4。

## 2. 纯电感电路

(1) 电感线圈的特性:当线圈接在交流电路中时,由于电流是变化的,将在线圈中产生自感电势,以反抗电流的变化,电感线圈的这种阻力称为电感电抗(简称感抗),用符号  $X_L$  表示。根据数学分析得出,当线圈的电感  $L$  为常数时,感抗  $X_L$  与频率  $f$  成正比,即

$$X_L = \omega L = 2\pi fL \quad (1-35)$$

式中:  $X_L$  为感抗 ( $\Omega$ );  $f$  为频率 (Hz);  $L$  为线圈的电感 (H)。

(2) 电流与电压的相位关系:图 1-71 为一纯电感电路,在正弦电压的作用下,线圈中通过的电流为  $i = I_m \sin \omega t$ ,因而将在线圈中产生自感电势  $e_L$ 。根据楞次定律,自感电动势的方向,具有阻止电流磁场变动的趋势。当电流增加时,自感电势的方向和电流方向相反;当电流减小时,自感电势和电流方向相同,这说明自感电势的变化较电流滞后  $90^\circ$ 。因自感电势与线路电压大小相等、方向相反,所以线路电压的相位超前电流  $90^\circ$  (图 1-72)。

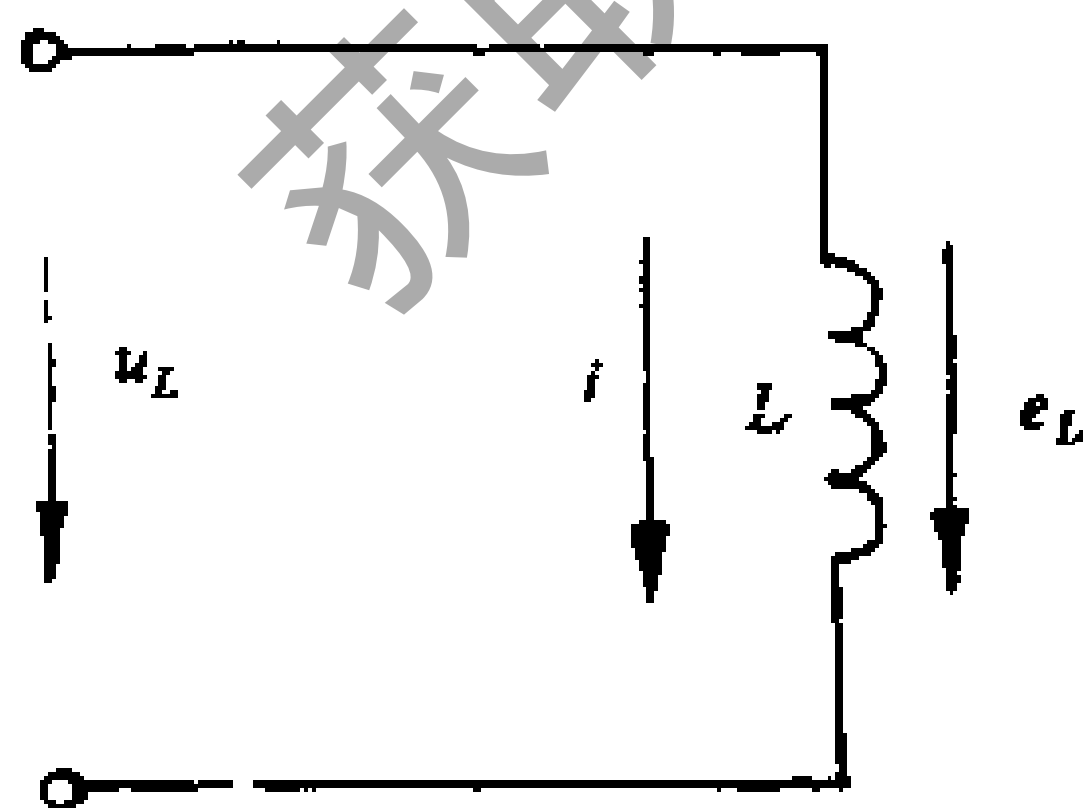


图 1-71 纯电感电路

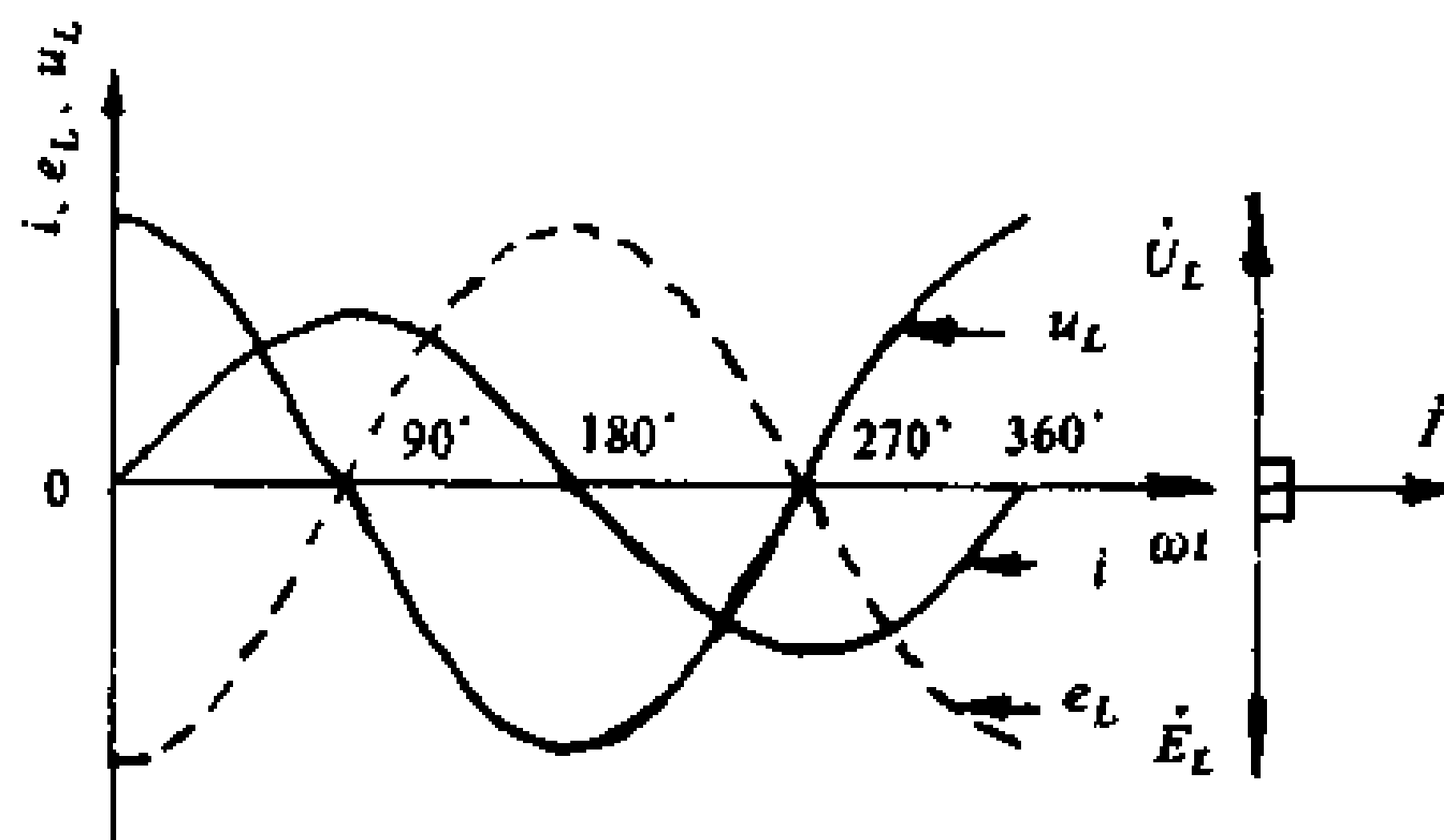


图 1-72 纯电感电路中电流、电压波形图

(a)  $i, e_L, u_L$  的波形图 (b)  $\dot{I}, \dot{E}_L, \dot{U}_L$  的向量图

(3) 电压与电流有效值间的关系：纯电感电路中，电压  $U_L$  和电流  $I$  之间的关系，形式上符合欧姆定律，可用公式表示为

$$I = \frac{U_L}{X_L} = \frac{U_L}{2\pi fL} \quad (1-36)$$

(4) 电路的功率：在任意瞬间，电路的功率等于这个时间的电压  $u_L$  与电流  $i$  的乘积，即

$$\begin{aligned} P &= u_L i = U_{Lm} \sin(\omega t + 90^\circ) \times I_m \sin \omega t \\ &= IU_L \sin 2\omega t \end{aligned} \quad (1-37)$$

图 1-73 示出了纯电感电路中瞬时功率  $P$  的波形图。图中第 1 和第 3 个  $1/4$  周期内， $P$  是正值，表示线圈要从电源方面吸取电能，并把它转换为磁场能，贮藏在线圈周围的磁场中，此时线圈起着—个负载的作用。但在第 2 和第 4 个  $1/4$  周期内， $P$  为负值，表示线圈向电源输送能量，也就是线圈把磁场能转换为电能而送回电源，此时线圈起着—个电源的作用。综上所述，纯电感线圈时而“吞进”能量，时而“吐出”能量，如此循环不止。因此，在一个周期内平均功率为零，即纯电感线圈在交流电路中不消耗有功功率。

(5) 无功功率：虽然纯电感电路并不消耗电能，但在线圈与电源之间有能量的往返交换，这些能量必须由电源供给，而且要经过输电线路往返传递。这不仅会加重电源的负担，同时也会使输电线路的能量损耗增加。为了定量地分析电感与电源之间能量交换的情况，就把瞬时功率的最大值，称为无功功率，用符号  $Q_L$  表示，其计算公式为

$$Q_L = U_L I = I^2 X_L = \frac{U_L^2}{X_L} \quad (1-38)$$

式中： $Q_L$  为无功功率 (var)； $I$  为通过线圈的电流 (A)； $U_L$  为线圈两端电压 (V)； $X_L$  为线圈感抗 ( $\Omega$ )。

无功功率的单位是乏，常用字母 var 表示。实用中还以千乏 (kvar) 作单位，它们的关系是

$$1 \text{ 千乏 (kvar)} = 1000 \text{ 乏 (var)}$$

应注意的是，无功功率不是无用的功率，而是电动机、变压器等电气设备建立磁场所必不可少的。

### 3. 纯电容电路

电容器接入交流电源时，由于外加电压的大小和方向不断变化，使电容器连续不断地进行充电和放电，因而在电路中形成交变电流。图 1-74 为纯电容电路。

(1) 电流与电压的相位关系：在交流电路中，电容器不断

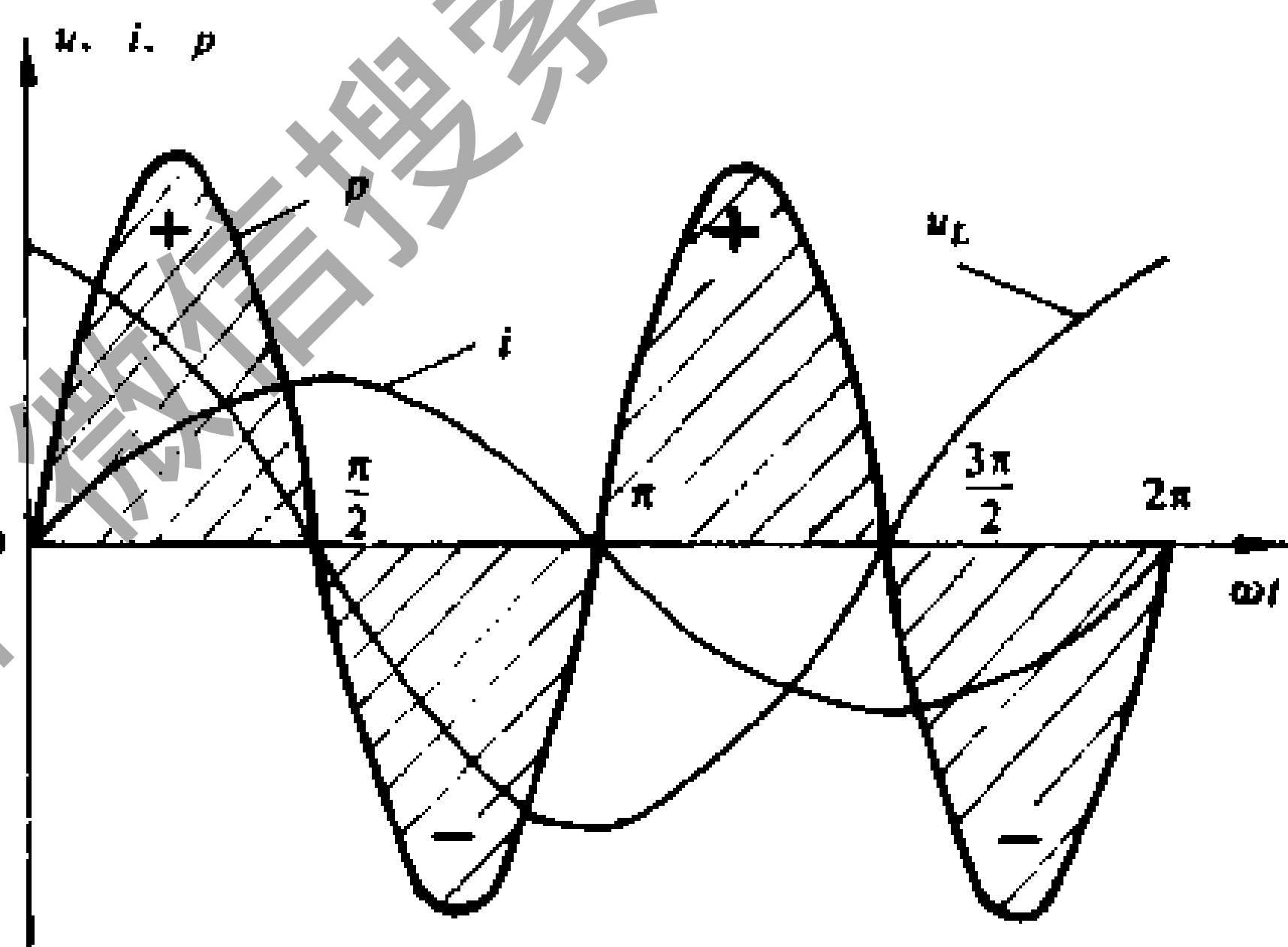


图 1-73 纯电感电路中瞬时功率  $P$  的波形图

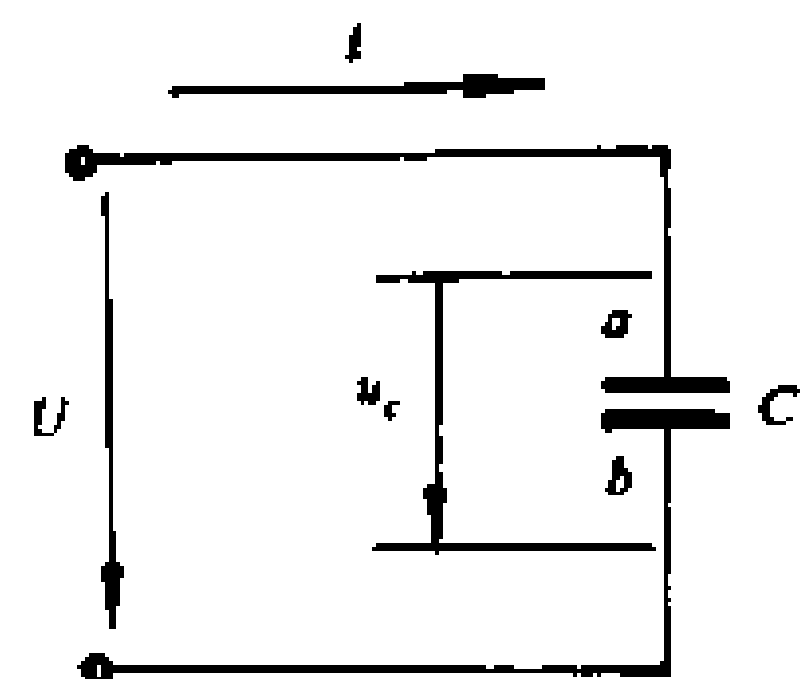


图 1-74 纯电容电路

地充电、放电，因而在引线上形成不断来回变化的交变电流。电荷变动率越大，电流也越大。由于交流电压由正方向到负方向，或由负方向到正方向通过零点时变动率最大，因此电流也最大。电压达到最大值时，变动率最小，电流为零。电压从零到正最大值时，电流正好从正最大值到零。所以，电流比外施电压超前  $90^\circ$ ，其波形如图 1-75 所示。

(2) 电流与电压有效值的关系：  
在纯电容电路中，电容器对交变电流也有一定的阻力，称为电容电抗，简称容抗，用符号  $X_c$  表示。容抗的大小与电容  $C$  和外加电压的频率  $f$  成反比，其计算公式为

$$X_c = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C} \quad (1-39)$$

式中： $C$  为电容器的电容 (F)； $f$  为交流电的频率 (Hz)； $X_c$  为容抗 ( $\Omega$ )。

由式 (1-39) 看出，交流电的频率越低，电容器对其阻力越大。直流电的频率为零，电容器对其阻力就无限大，故直流电不能通过电容器。

比较容抗和感抗的计算公式可知，二者的大小与外加交流电的频率关系恰恰相反。频率越低，容抗越大，而感抗越小；频率越高，容抗越小，而感抗越大。这一特性在电子电路中应用非常广泛。

在纯电容电路中，容抗是限制电流的唯一因素。因此，电流的有效值等于外加电压的有效值除以容抗，即

$$I = \frac{U}{X_c} = \frac{U}{\frac{1}{2\pi f C}} = 2U\pi f C \quad (1-40)$$

(3) 电路的功率：在纯电容电路中，瞬时功率随时间而变化的规律见图 1-75。图中第 1 和第 3 个  $1/4$  周期内，电压和电流的方向一致，电容器被充电，功率是正值，表示电源能量被电容器所吸收；第 2 和第 4 个  $1/4$  周期内，电压和电流的方向相反，电容器放电，功率是负值，表示能量由电容器返回电源。由于功率曲线正半周的面积等于负半周的面积，因而平均功率为零，说明电容器不消耗有功功率。

与纯电感电路一样，功率曲线  $P$  的最大值叫做电容电路的无功功率，它表示电源和电容器间功率交换的最大速率，其值为

$$Q_c = UI = I^2 X_c = \frac{U_c^2}{X_c} \quad (\text{var}) \quad (1-41)$$

【例题】一只电容  $C = 38.5 \mu\text{F}$  的电容器，接在频率  $f = 50\text{Hz}$ 、电压  $U = 220\text{V}$  的交流电源上，计算电容器的容抗  $X_c$ 、电路中的电流和无功功率  $Q_c$ 。

解：容抗

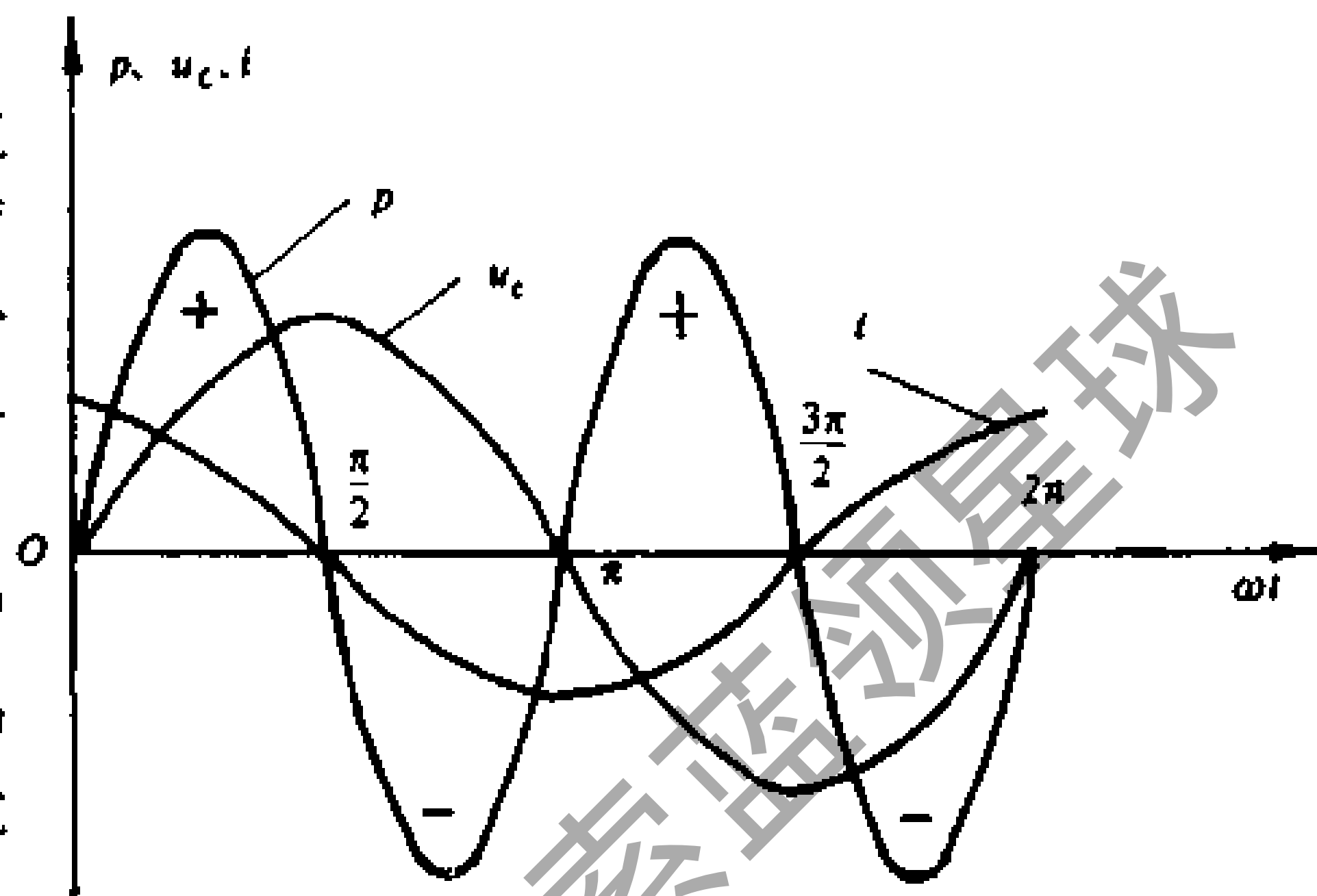


图 1-75 纯电容电路中各电量波形图



$$X_c = \frac{1}{2\pi fC} = \frac{1}{2 \times 3.14 \times 50 \times 38.5 \times 10^{-6}} \approx 80 \text{ } (\Omega)$$

电流

$$I = \frac{U}{X_c} = \frac{220}{80} = 2.75 \text{ (A)}$$

无功功率

$$Q_c = UI = 220 \times 2.75 = 605 \text{ (var)}$$

#### 4. 电阻和电感串联电路

线圈是由导线绕成的,因此,一般的线圈不仅具有电感,而且具有电阻。如果线圈的电阻不能忽略,则这样的电路应视为电阻与电感串联组成的电路。为了分析方便,常把线圈的电阻  $R$  和电感  $L$  分开表示,如图 1—76 所示。

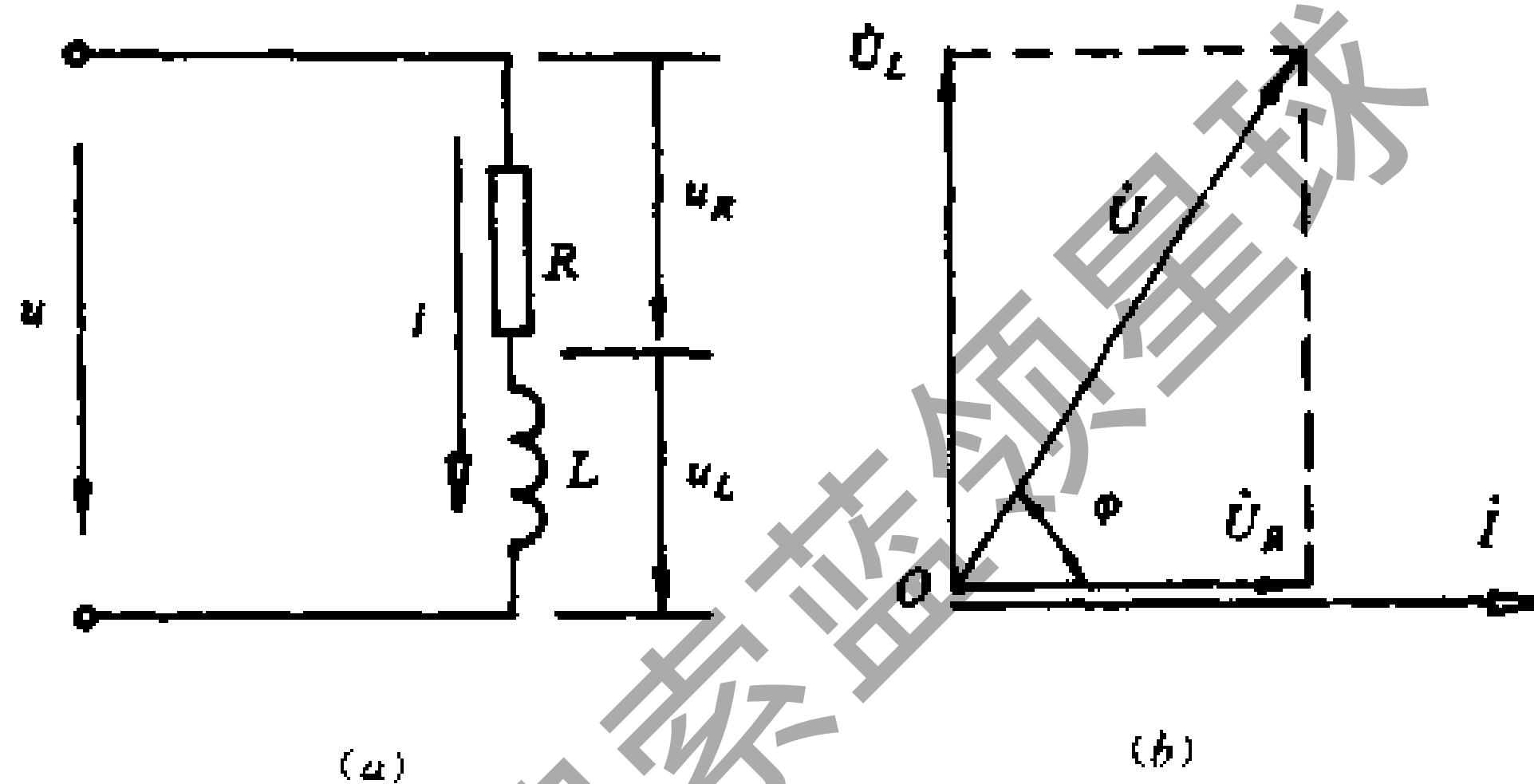


图 1—76 电阻和电感串联电路  
(a) 电路图 (b) 电流与电压的向量图

(1) 电流与电压的变化关系:  
为了便于分析电路中的电流与电压的关系,先假定电路的正弦电流为  $i = I_m \sin \omega t$  (设初相角为零)。

通过串联电路中的电流是相同的。根据上面讨论的纯电阻和纯电感电路知道,当电流  $i$  通过电阻时,电阻  $R$  两端的电压  $U_R$  为同频率的正弦量,而且与电流  $i$  同相位,其有效值  $U_R = IR$ ; 当电流  $i$  通过电感  $L$  时,电感  $L$  两端的电压  $u_L$  也是同频率的正弦量,但在相位上  $u_L$  超前  $i$   $90^\circ$ ,其有效值为  $U_L = IX_L$ 。根据电路中所示电压的正方向,电路总电压的瞬时值  $u$  应等于各段电压的瞬时值之和,即

$$u = u_R + u_L \quad (1-42)$$

在确定上述电路中总电压的有效值以及总电压与电流之间的相位差时,由于  $u_R$  和  $u_L$  的相位不同,所以决不可以将各段电压的有效值直接相加,而必须应用向量相加。即

$$\dot{U} = \dot{U}_R + \dot{U}_L \quad (1-43)$$

为此,先做出电流向量  $I$ ,并把它画在横轴的正方向作为参考向量。再根据各段电压的相位做出电压向量  $\dot{U}_R$  和  $\dot{U}_L$ ,而总电压的向量  $\dot{U}$  就等于  $\dot{U}_R$  和  $\dot{U}_L$  的向量和,如图 1—76 (b) 所示。从图中可以看出,向量  $\dot{U}_R$ 、 $\dot{U}_L$  和  $\dot{U}$  构成一个直角三角形(称为电压三角形)。根据勾股定理,总电压的有效值为

$$\begin{aligned} U &= \sqrt{U_R^2 + U_L^2} = \sqrt{(IR)^2 + (IX_L)^2} \\ &= I \sqrt{R^2 + X_L^2} = IZ \end{aligned} \quad (1-44)$$

式中:  $Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} = \sqrt{R^2 + (\omega L)^2}$ ,是由电路的电阻和感抗所决定的一个常数,称为电路的阻抗,单位为欧。

根据公式 (1-44) 和向量图 1-76 (b), 对电阻和电感串联的电路, 电流与电压之间具有下列关系: 电流的有效值等于总电压的有效值除以电路的阻抗, 即  $I=U/Z$ ; 电流滞后于总电压一个角度  $\varphi$  ( $0^\circ < \varphi < 90^\circ$ )。角  $\varphi$  是电流与总电压之间的相位差, 称为电路的功率因数角, 它的余弦  $\cos\varphi$ , 称为电路的功率因数。根据电压三角形可知:

$$\cos\varphi = \frac{U_R}{U} = \frac{IR}{IZ} = \frac{R}{Z} \quad (1-45)$$

式 (1-45) 表明, 电路的功率因数是由负载的性质所决定的, 而与电源的电压无关。例如, 在纯电阻电路中, 电流与电压同相位, 即  $\varphi=0$ ,  $\cos 0^\circ=1$ ; 而在纯电感电路中, 电流与电压相位差为  $90^\circ$ , 即  $\varphi=90^\circ$ ,  $\cos 90^\circ=0$ 。在电阻和电感串联电路中,  $0^\circ < \varphi < 90^\circ$ , 故功率因数在 0~1 之间。

### (2) 电路的功率:

①有功功率 (平均功率): 有功功率是电路所消耗的电功率。在电阻和电感串联的电路中, 只有电阻上消耗电功率, 而电感不消耗电功率。所以, 电路的有功功率为

$$P = U_R I$$

根据电压三角形,  $U_R = U \cos\varphi$ , 代入上式得

$$P = UI \cos\varphi = I^2 R \quad (1-46)$$

②无功功率: 在电阻和电感串联电路中, 无功功率只发生在电感之中, 所以电路的无功功率为

$$Q_L = U_L I$$

根据电压三角形,  $U_L = U \sin\varphi$ , 代入上式得

$$Q_L = UI \sin\varphi = I^2 X_L \quad (1-47)$$

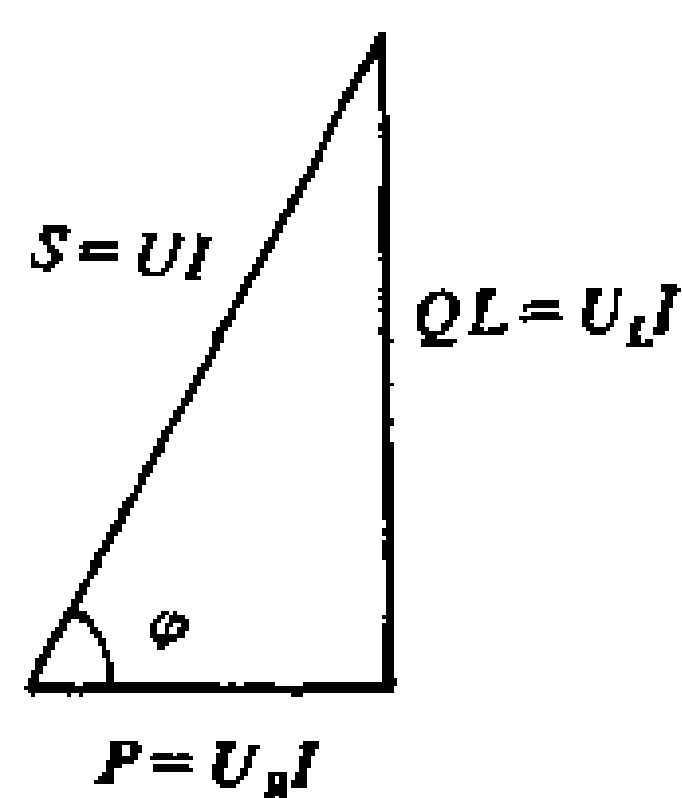


图 1-77

电阻和电感串联电  
路功率三角形

③视在功率: 若将图 1-76 (b) 所示的电压三角形各边均乘以电流的有效值  $I$ , 则得到一个与电压三角形相似的功率三角形, 如图 1-77 所示。功率三角形的底边就是有功功率  $P$ ;  $\varphi$  角的对边就是无功功率  $Q_L$ ; 而斜边等于电压有效值与电流有效值的乘积, 它也具有功率的性质, 因此就把它称为视在功率, 用符号  $S$  表示, 即

$$S = UI = P / \cos\varphi \quad (1-48)$$

视在功率的单位用伏安 (VA) 或千伏安 (kVA) 表示。从功率三角形可知, 视在功率, 有功功率和无功功率三者之间的关系是

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (1-49)$$

【例题】已知某线圈的电阻  $R=6\Omega$ , 电感  $L=25.5\text{mH}$ , 接于  $U=220\text{V}$ 、 $f=50\text{Hz}$  的交流电源上。计算: (1) 线圈的阻抗  $Z$ ; (2) 通过线圈的电流  $I$ ; (3) 电阻两端的电压  $U_R$  和电感两端的电压  $U_L$ ; (4) 电路的功率因数  $\cos\varphi$ 、有功功率  $P$ 、无功功率  $Q_L$  和视在功率  $S$ 。

解: (1)  $L=25.5\text{mH}=0.0255\text{H}$ , 线圈感抗为

$$X_L = 2\pi fL = 2 \times 3.14 \times 50 \times 0.0255 \approx 8 (\Omega)$$

阻抗为

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} = \sqrt{6^2 + 8^2} = 10 \text{ } (\Omega)$$

(2) 电流

$$I = \frac{U}{Z} = \frac{220}{10} = 22 \text{ (A)}$$

(3) 电压

$$U_R = IR = 22 \times 6 = 132 \text{ (V)}$$

$$U_L = IX_L = 22 \times 8 = 176 \text{ (V)}$$

(4) 功率因数

$$\cos\varphi = \frac{R}{Z} = \frac{6}{10} = 0.6$$

有功功率

$$P = UI\cos\varphi = 220 \times 22 \times 0.6 = 2904 \text{ (W)}$$

因为  $\sin\varphi = \frac{X_L}{Z} = 0.8$ , 无功功率为

$$Q_L = UI\sin\varphi = 220 \times 22 \times 0.8 = 3872 \text{ (var)}$$

视在功率

$$S = UI = 220 \times 22 = 4840 \text{ (VA)}$$

### 5. 电阻和电容串联电路

图 1-78 (a) 为电阻和电容串联电路, 它的分析方法和步骤与电阻和电感串联电路基本相同。

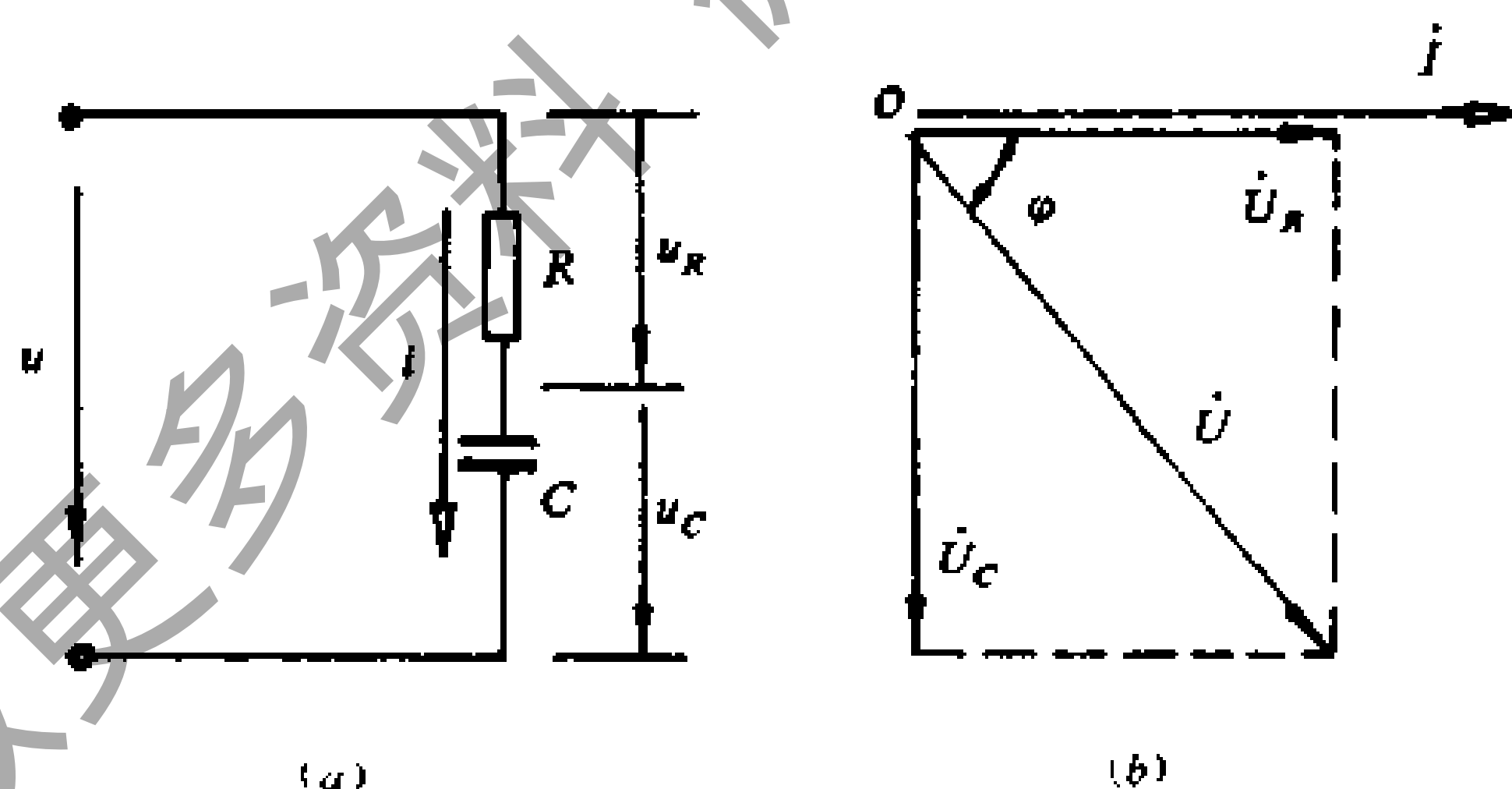


图 1-78 电阻和电容串联电路

(a) 电路图 (b) 电流与电压的向量图

(1) 电流与电压的变化关系: 设电路的电流为  $i = I_m \sin\omega t$ , 则电阻两端的电压  $u_R$  与电流同相位, 其有效值为  $U_R = IR$ ; 电容两端的电压  $u_C$  滞后于电流  $90^\circ$ , 其有效值为  $U_C = IX_C$ 。

根据电路图中选定的电压正方向, 总电压的瞬时值  $u$  应等于各段电压瞬时值之和。或者说, 总电压的向量  $U$  等于各段电压的向量和, 即

$$\text{或} \quad \left. \begin{aligned} u &= u_R + u_C \\ \dot{U} &= \dot{U}_R + \dot{U}_C \end{aligned} \right\} \quad (1-50)$$

首先作出电流的向量  $\dot{I}$ ，并作为参考向量，然后作出向量  $\dot{U}_R$ （与  $\dot{I}$  同相）和向量  $\dot{U}_C$ （滞后  $\dot{I} 90^\circ$ ），则  $\dot{U}_R$  与  $\dot{U}_C$  的向量和就是总电压的向量  $\dot{U}$ 。它们的向量关系如图 1—78 (b) 所示。根据向量图，对电阻和电容串联的电路，可得如下结论：

① 向量图  $\dot{U}_R$ 、 $\dot{U}_C$  和  $\dot{U}$  组成一个直角三角形（称为电压三角形）。根据勾股定理，总电压的有效值为

$$\begin{aligned} U &= \sqrt{U_R^2 + U_C^2} = \sqrt{(IR)^2 + (IX_C)^2} \\ &= I \sqrt{R^2 + X_C^2} = IZ \end{aligned} \quad (1-51)$$

式中： $Z = \sqrt{R^2 + X_C^2} = \sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2}$ ，称为电路的阻抗，单位是欧。由公式 (1—51) 可得

$$I = \frac{U}{Z} = \frac{U}{\sqrt{R^2 + X_C^2}} \quad (1-52)$$

② 电流的相位超前于总电压一个角度  $\varphi$ 。角  $\varphi$  为电流与总电压之间的相位差，它的大小由负载的电阻和容抗的数值所决定，而与电压和电流的数值无关。

应当注意的是，比较  $R$ 、 $C$  串联电路的电压三角形〔图 1—78 (b)〕和  $R$ 、 $L$  串联电路的电压三角形〔图 1—76 (b)〕可以发现，向量  $\dot{U}_C$  和  $\dot{U}_L$  的方向相反，表明容抗  $X_C$  和感抗  $X_L$  的性质相反，它们在电路中是互相抵消的。

(2) 电路的功率：

① 有功功率：与  $R$ 、 $L$  串联电路一样，只有电阻消耗功率，即

$$P = I^2 R = U_R I = UI \cos \varphi$$

② 无功功率：电容本身并不消耗功率，但与电源之间有周期性的能量交换，电路中的无功功率

$$Q_C = I^2 X_C = U_C I = UI \sin \varphi$$

③ 视在功率：将电压三角形的各边同乘以电流  $I$ ，能得到一个与电压三角形相似的功率三角形（图 1—79）。其斜边为视在功率  $S$ 。即

$$S = \sqrt{P^2 + Q_C^2}$$

由图 1—79 与图 1—77 比较，可以看出  $Q_C$  和  $Q_L$  的方向相反，这表明当电感线圈吸收能量时，恰好是电容器放出能量；而当电感线圈放出能量时，又恰好是电容吸收能量。这一特点具有重要意义。

【例题】电阻  $R = 60 \Omega$ ，电容  $C = 40 \mu\text{F}$ ，组成串联电路，接在  $U = 220\text{V}$ 、 $f = 50\text{Hz}$  的交流电源上。计算：(1) 电路的阻抗  $Z$ ；(2) 电路中的电流  $I$ ；(3) 电阻两端的电压  $U_R$  和电容两端的电压  $U_C$ ；(4) 电路的有功功率  $P$ 、无功功率  $Q_C$  和视在功率  $S$ 。

解：(1) 容抗

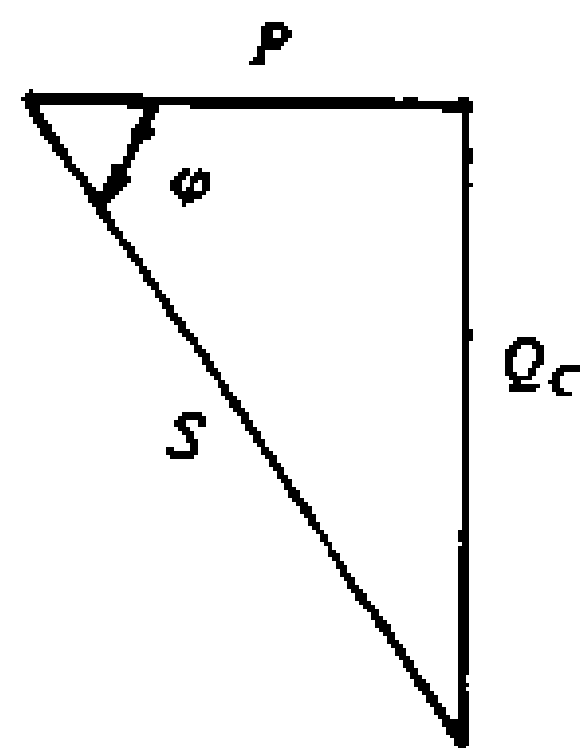


图 1—79  
 $R$ 、 $C$  串联电路的  
功率三角形

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC} = \frac{1}{2 \times 3.14 \times 50 \times 10^{-6}} \approx 80 \text{ } (\Omega)$$

阻抗

$$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2} = \sqrt{60^2 + 80^2} = 100 \text{ } (\Omega)$$

(2) 电流

$$I = \frac{U}{Z} = \frac{220}{100} = 2.2 \text{ } (\text{A})$$

(3) 电压

$$U_R = IR = 2.2 \times 60 = 132 \text{ } (\text{V})$$

$$U_C = IX_C = 2.2 \times 80 = 176 \text{ } (\text{V})$$

$$(4) \cos\varphi = \frac{R}{Z} = \frac{60}{100} = 0.6$$

$$\sin\varphi = \frac{X_C}{Z} = \frac{80}{100} = 0.8$$

$$P = UI\cos\varphi = 220 \times 2.2 \times 0.6 = 290.4 \text{ } (\text{W})$$

$$Q_C = UI\sin\varphi = 220 \times 2.2 \times 0.8 = 387.2 \text{ } (\text{var})$$

$$S = UI = 220 \times 2.2 = 484 \text{ } (\text{VA})$$

## 第 11 节 三相交流电路

目前在电力生产和应用方面均采用三相交流电，而平时用的单相电源只是三相交流电源的一相。三相交流电所以能够得到普遍应用，是因为它比单相交流电具有下列优点：在发电设备上，三相交流发电机比同容量的单相交流发电机节省材料，而且体积小，有利于制造大容量机组。在电能输送上，三相供电比单相供电节省有色金属约 25%，从而降低了成本。在用户使用上，可以广泛地使用三相感应电动机，而这种电动机比单相电动机结构简单、价格低廉、运行可靠、维护方便。

### 一、三相交流电势的产生及其特点

图 1-80 是一个最简单的三相交流发电机工作原理图。在发电机转子上放着 3 个完全相同、彼此相隔  $120^\circ$  的独立绕组（即线圈）A—X、B—Y、C—Z。

A、B、C 代表各相绕组的首端，称为相头；X、Y、Z 代表各相绕组的末端，称为相尾。当转子在按正弦分布的磁场中以恒定速度旋转时，就可产生 3 个独立的电势  $e_A$ 、 $e_B$ 、 $e_C$ ，称为三相电势。各电势的波形都按正弦规律变化。它们的周期和最大值都相等。3 个电势的相位彼此相差  $120^\circ$ 。

假定  $e_A$  的初相角为零，则对称三相正弦电势的三角函数表达式为

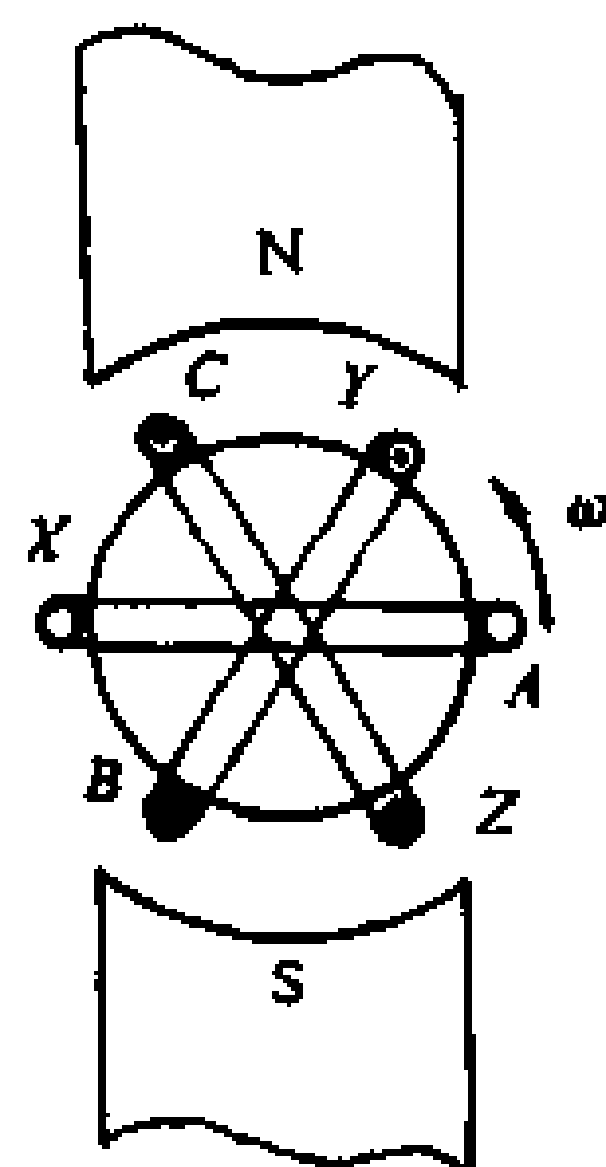


图 1-80  
三相交流发电机的工作原理图

$$\left. \begin{aligned} e_A &= E_m \sin \omega t \\ e_B &= E_m \sin (\omega t - 120^\circ) \\ e_C &= E_m \sin (\omega t - 240^\circ) \end{aligned} \right\} \quad (1-53)$$

根据公式 (1-53) 可绘出对称三相电势的波形图和向量图, 分别如图 1-81 (a)、(b) 所示。

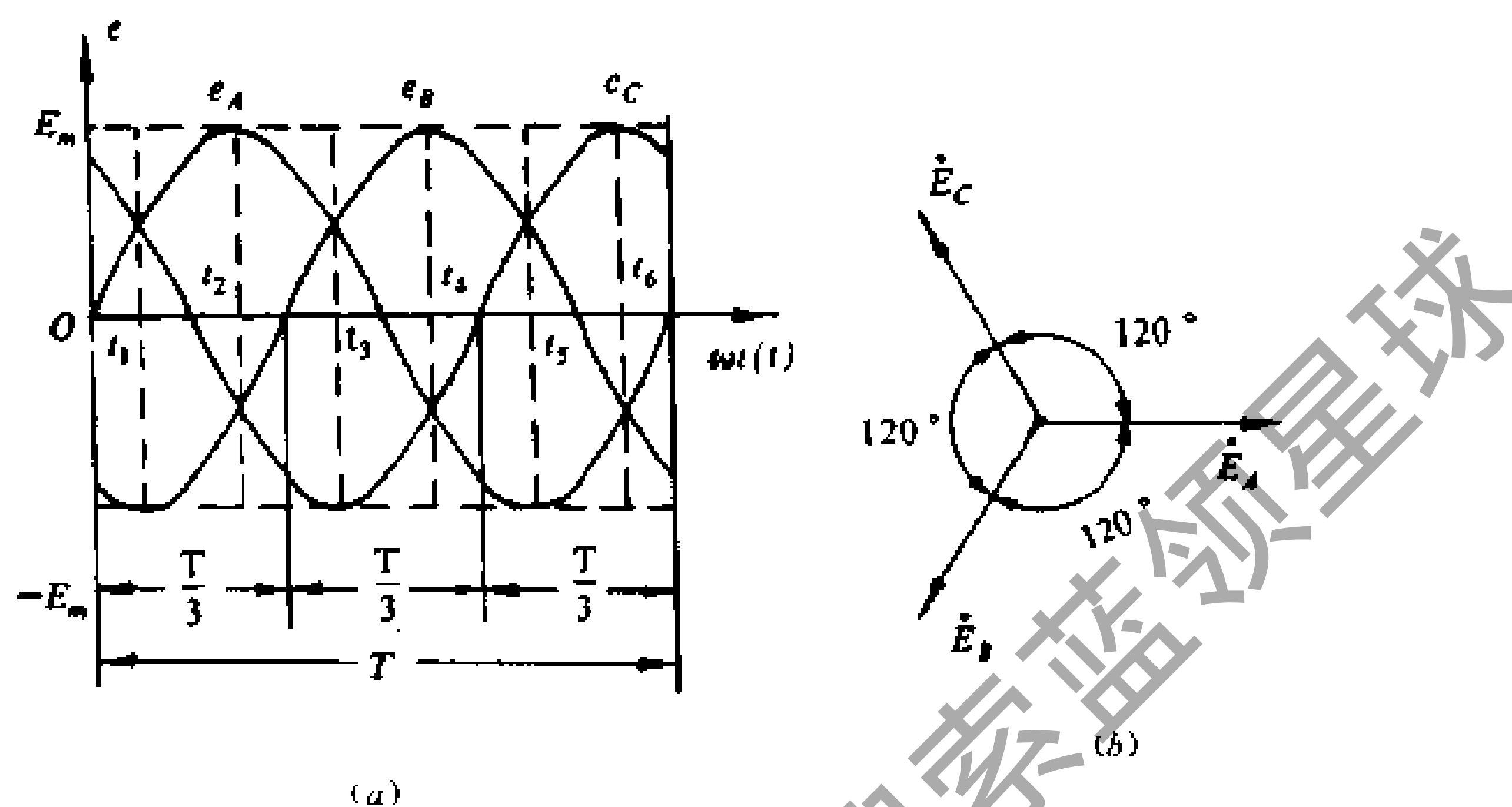


图 1-81 对称三相正弦电势  
(a) 波形图 (b) 向量图

由三角函数表达式、波形图或向量图均可看出, 任何瞬间, 对称三相正弦电势相加都等于零, 即  $e_A + e_B + e_C = 0$ , 或  $\dot{E}_A + \dot{E}_B + \dot{E}_C = 0$ 。但是必须注意, 对称三相正弦电势的瞬时值之和等于零, 并不是三相电势的有效值之和等于零。

## 二、三相电源的连接

三相交流发电机的三相绕组虽然是独立的, 但在使用时并不是使每相绕组单独供电。因为单相供电需要 6 根输电导线, 成本高。通常是把三相绕组按照一定的规律连接起来, 其连接方式主要有星形 (Y) 和三角形 (D) 两种。

### 1. 星形连接

三相电源的星形连接如图 1-82 所示。把三相绕组对应的 3 个末端 X、Y、Z 接在一起, 这一点称电源的中性点, 用符号 O 表示。从 3 个首端 A、B、C 引出的 3 根导线, 称为端线或火线。由中性点引出的一根导线, 称为中线或零线。当中性点接地时, 中线又叫地线。

三相电源接成星形时, 可以得到两种不同的电压。端线与中线之间的电压, 称为相电压。各相电压的瞬时值和有效值分别用  $u_A, u_B, u_C$  和  $U_A, U_B, U_C$  表示。在电源开路情况下, 相电压的正方向规定从相头指向相尾, 即与相电势的正方向相反。任意两个端线之间的电压, 称为线电压。线电压的瞬时值和有效值分别用  $u_{AB}, u_{BC}, u_{CA}$  和  $U_{AB}, U_{BC}, U_{CA}$  表示。并规定线电压的正方向为:  $u_{AB}$  是从 A 端指向 B 端;  $u_{BC}$  是从 B 端指向 C 端;  $u_{CA}$  是从 C 端指向 A 端。图 1-82 中各箭头分别标出了各个相电势、相电压和线电压的正方向。

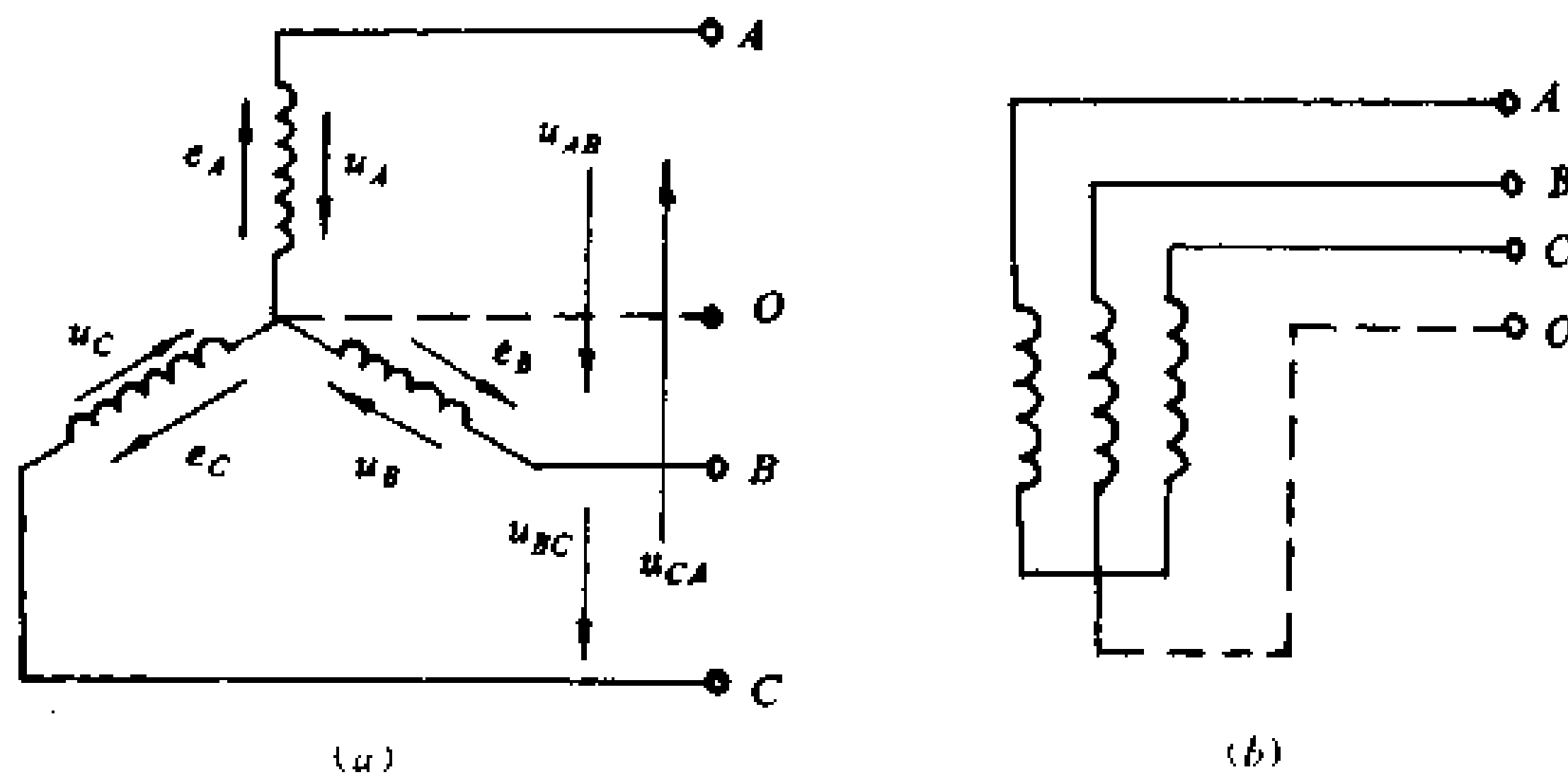


图 1-82 三相电源的星形联接图

三相电源接成星形时，根据图 1-82 所示的电压正方向，线电压的瞬时值等于相应的两个相电压的瞬时值之差。即

$$\left. \begin{aligned} u_{AB} &= u_A - u_B \\ u_{BC} &= u_B - u_C \\ u_{CA} &= u_C - u_A \end{aligned} \right\} \quad (1-54)$$

由于上式中各电压都是同频率的正弦量，所以该式中的电压关系又可用向量表示

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_{AB} &= \dot{U}_A - \dot{U}_B \\ \dot{U}_{BC} &= \dot{U}_B - \dot{U}_C \\ \dot{U}_{CA} &= \dot{U}_C - \dot{U}_A \end{aligned} \right\} \quad (1-55)$$

其向量图如图 1-83 所示。

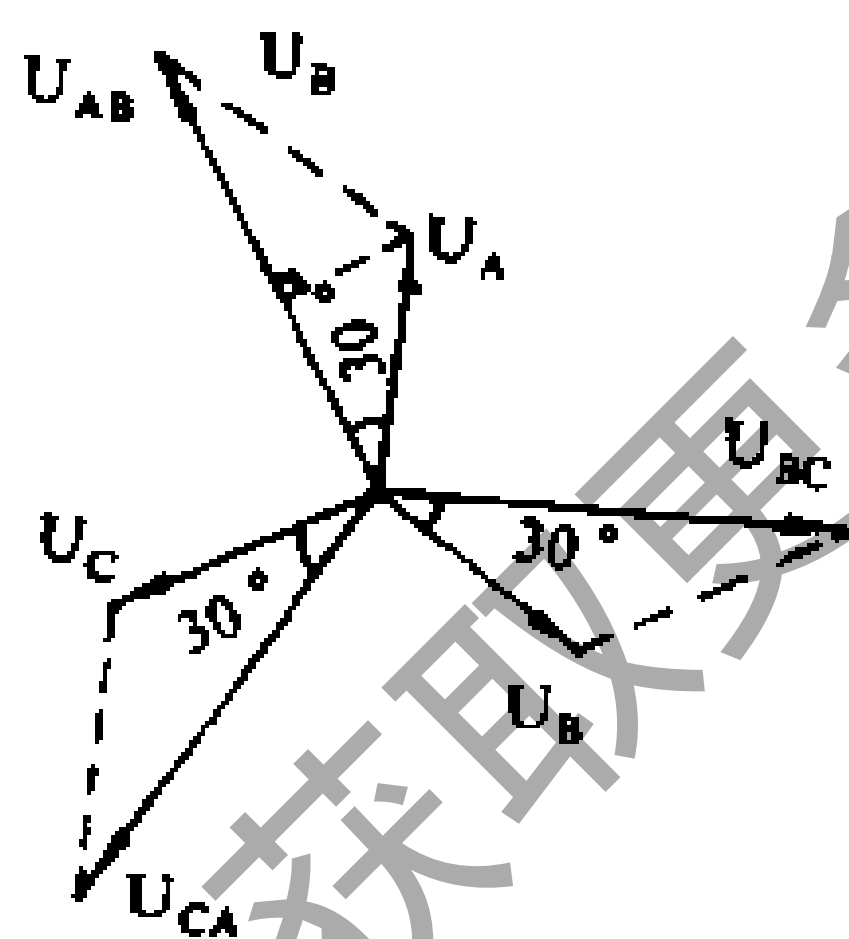


图 1-83 对称三相电源接成星形时的电压向量图

由图可得  $\dot{U}_{AB} = \sqrt{3} \dot{U}_A$ ，且线电压  $\dot{U}_{AB}$  的相位超前相电压  $\dot{U}_A$   $30^\circ$ 。其他两相线电压、相电压也是如此。综上所述，对称三相电源接成星形时，有下面两个重要结论。

(1) 线电压等于相电压的  $\sqrt{3}$  倍，即

$$U_{\text{线}} = \sqrt{3} U_{\text{相}} \approx 1.73 U_{\phi} \quad (1-56)$$

(2) 线电压比它相应的相电压超前  $30^\circ$ 。3 个相电压和 3 个线电压是分别对称的。

高压输电系统不引出中线，称为三相三线制，而在低压配电系统中都引出中线，称为三相四线制。例如，三相配电变压器，其副边三相绕组接成星形，并引出中线，这样就可以得到 380V 的线电压和 220V 的相电压。这种供电方式既可供给三相电动机，又可供给单相照明。

## 2. 三角形连接

在三相绕组中，把一相绕组的相尾与相邻一相绕组的相头依次相接，形成一个闭合的三角形，再从 3 个相头 A、B、C 引出 3 根端线的三相电源的连接方式，称三角形连接

(图 1—84)。

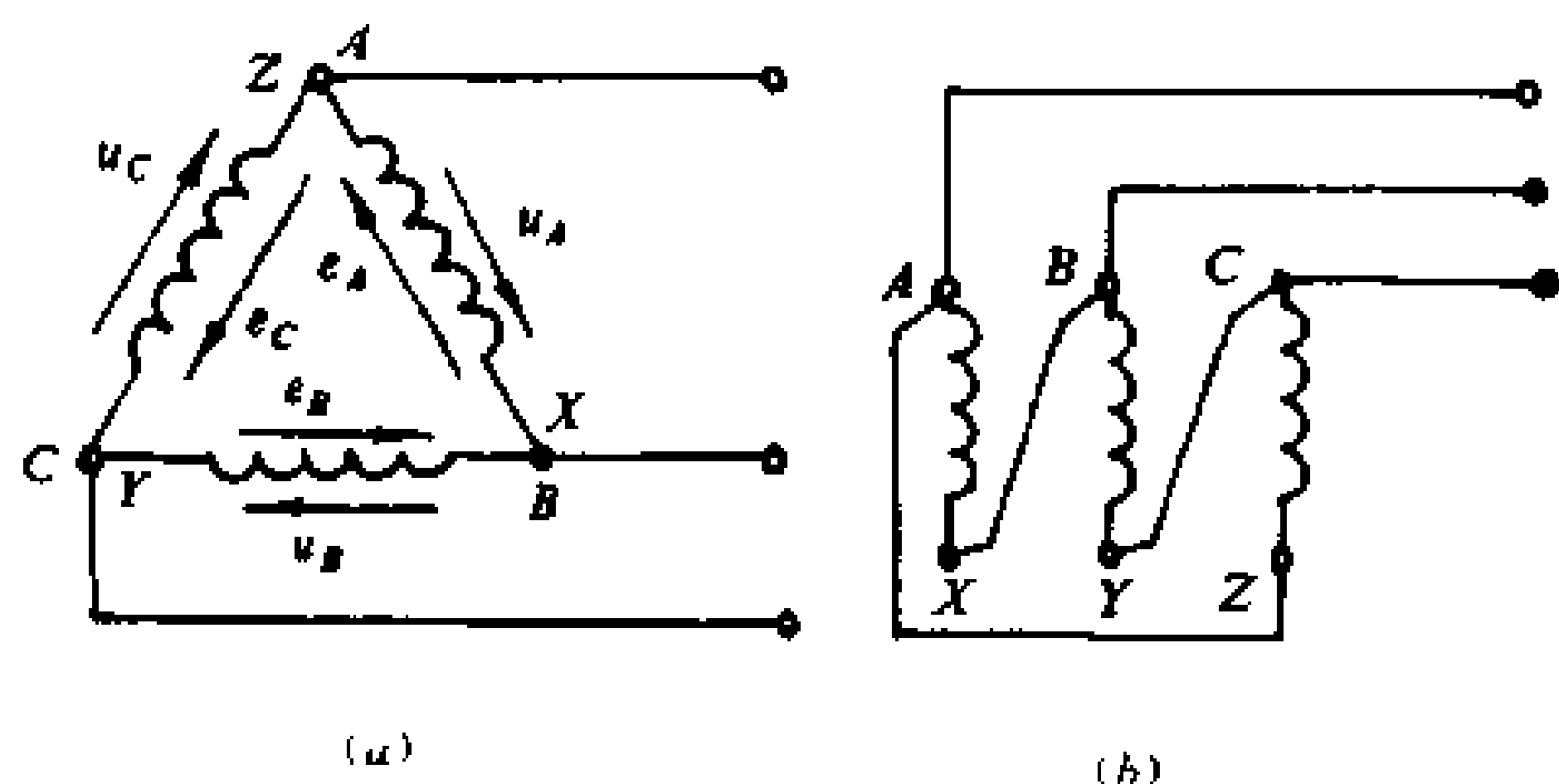


图 1—84 三相电源的三角形连接图

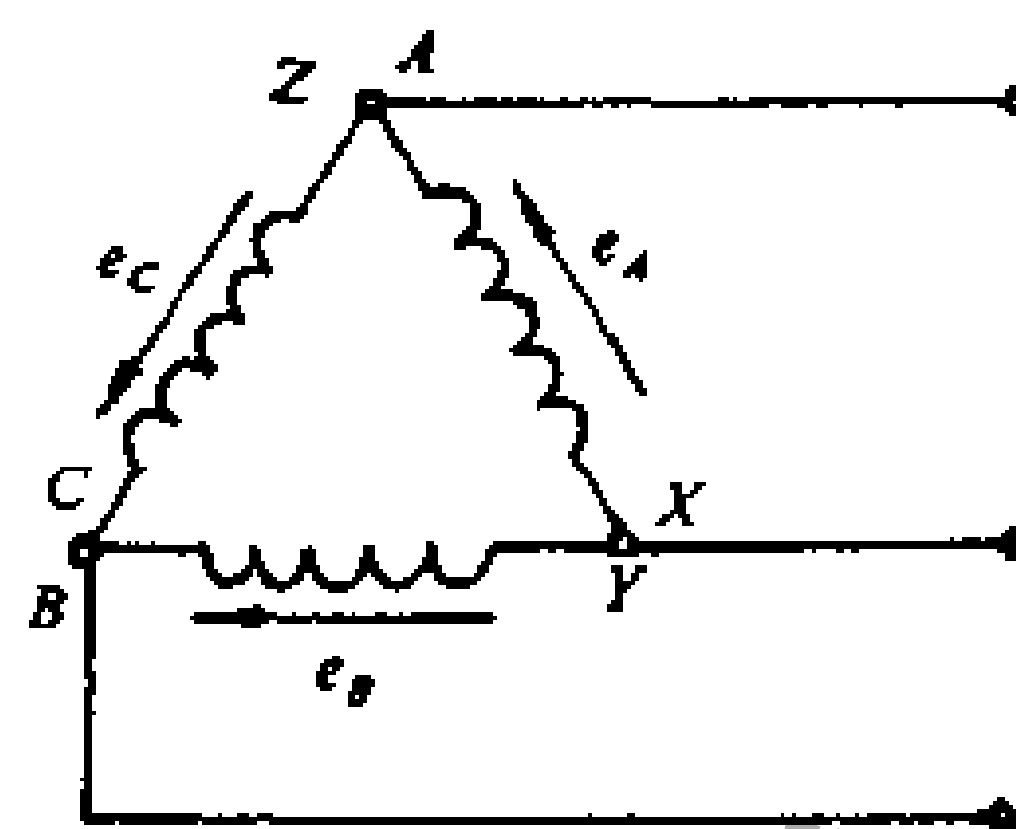


图 1—85 三角形的错误连接

因为对称三相正弦电势的瞬时值之和等于零，所以三相绕组接成闭合三角形是完全可以的。但是，如果有一相绕组的头、尾颠倒（如图 1—85 中 B 相绕组的头、尾颠倒），则闭合回路中的总电势将不为零，而是

$$\begin{aligned} e_A - e_B + e_C &= (e_A + e_B + e_C) - 2e_B \\ &= -2e_B \end{aligned}$$

即回路的总电势为一相电势的 2 倍。由于绕组的阻抗很小，所以将在回路中引起很大的环流，可能烧坏绕组。因此，在三角形连接时，要特别注意相头和相尾的顺序，不能接错。

三角形连接的三相电源，相电压等于线电压。即

$$U_{\text{线}} = U_{\text{相}}$$

同时，三角形连接只能是三相三线制。

### 三、三相负载的连接

负载（也称负荷）有三相负载（如三相电动机等）和单相负载（如电灯、电风扇、收音机等）两大类。各类负载的连接方式和三相电源一样，也有星形和三角形两种。对三相负载来说，究竟采用哪种连接方式，应根据三相电源的线电压与每相负载的额定电压来决定，务必使加于每相负载两端的电压等于它的额定电压。下面分别介绍三相负载接成星形和三角形时各自具有的特点。

#### 1. 三相负载的星形连接

把三相负载的相尾接在一点（这一点称为负载的中性点，用  $O$  表示），3 个相头分别与三相电源的端线相接，这种连接方式称为负载的星形连接（图 1—86）。对灯泡和电热器来说，相头和相尾是没有区别的；但对于三相电动机和变压器来说，相头和相尾是不能颠倒的。若三相负载中，每相的阻抗大小相等、性质相同，则称为对称三相负载，否则称为不对称三相负载。

在三相电路中，每相负载两端所加的电压称为负载的相电压。当对称三相负载接成星形时，由于每相负载接在电源的端线和中线之间，因此在忽略线路上的电压降的情况下，每相负载两端所加的电压就是电源的相电压，而且三相负载的相电压是对称的。

在三相电路中，每根端线上通过的电流称为线电流，其正方向规定为电源端指向负载端；每相负载上通过的电流称为负载的相电流，其正方向规定为由负载的首端指向负



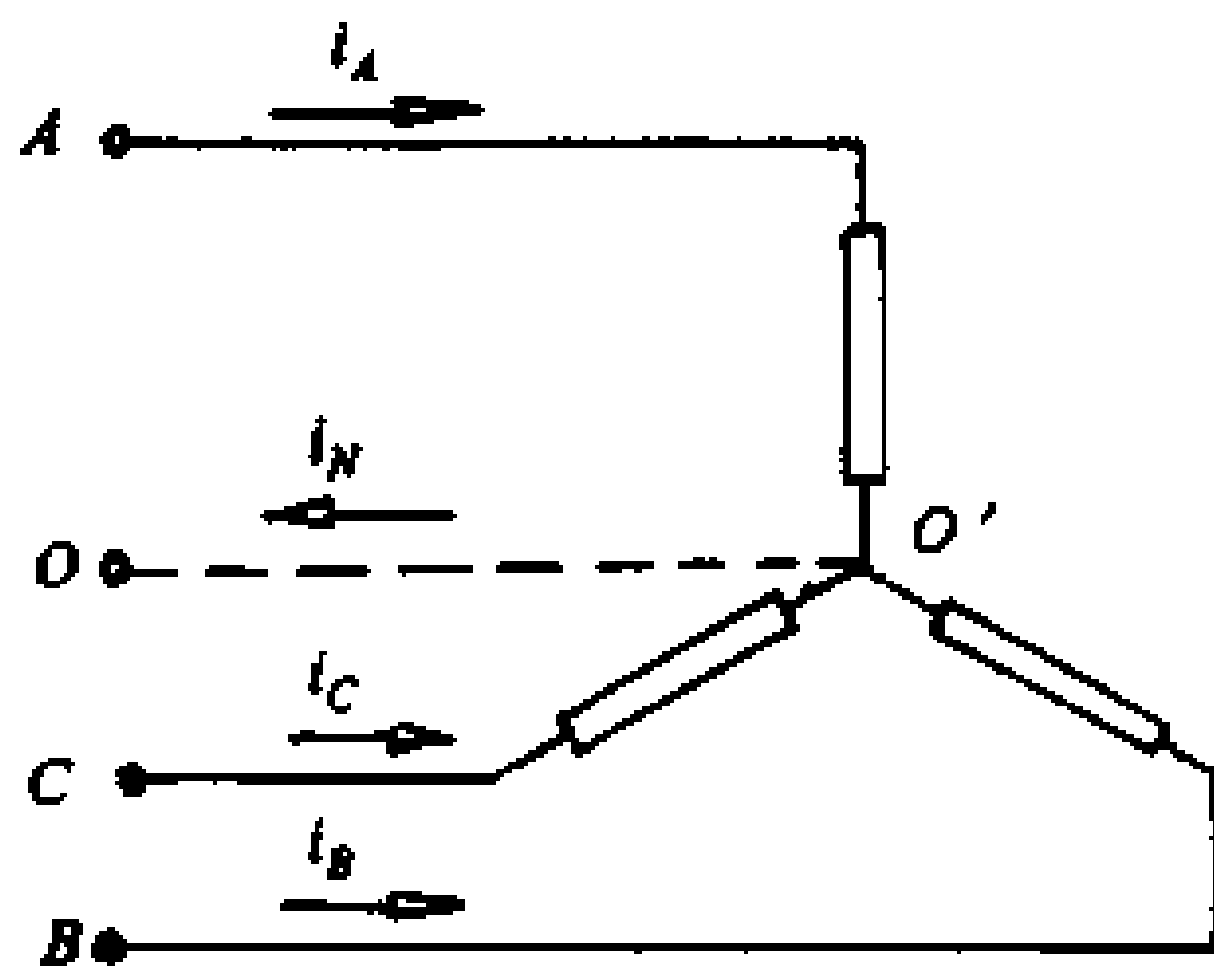


图 1-86 三相负载的星形连接

载的中性点  $O'$ ；中线上通过的电流称为中线电流，其正方向规定由负载的中性点  $O'$  指向电源的中性点  $O$ 。从图 1-86 中可以看出，三相负载接成星形时，负载的相电流等于线电流。即

$$I_{\text{相}} = I_{\text{线}} \quad (1-57)$$

(1) 中线的的作用：在一些供电线路中，由于单相负载不完全相同，也就不能严格保证三相负载对称，这时在中线上的电流为

$$I_o = I_a + I_b + I_c$$

如果中线断开或缺少中线，由于不平衡电流  $I_o$  的存在，就会造成负载端三相电压大小不等。三相负载不对称程度越大，各相电压的差别也越大，这样就会造成接在电压高的那一相上的用电设备被烧毁，而接在电压低的那一相上的用电设备不能正常工作。如果有中性线把负载的中性点与电源的中性点直接相连，使得负载中性点与电源中性点具有相同电位，就能保证负载端的三相电压相等，从而保证了各相单相负载的正常工作。所以，照明负载和单相用电设备一定要采用三相四线制星形接线，中线一定要连接可靠，并且不准在中线上安装保险丝和开关（图 1-87）。

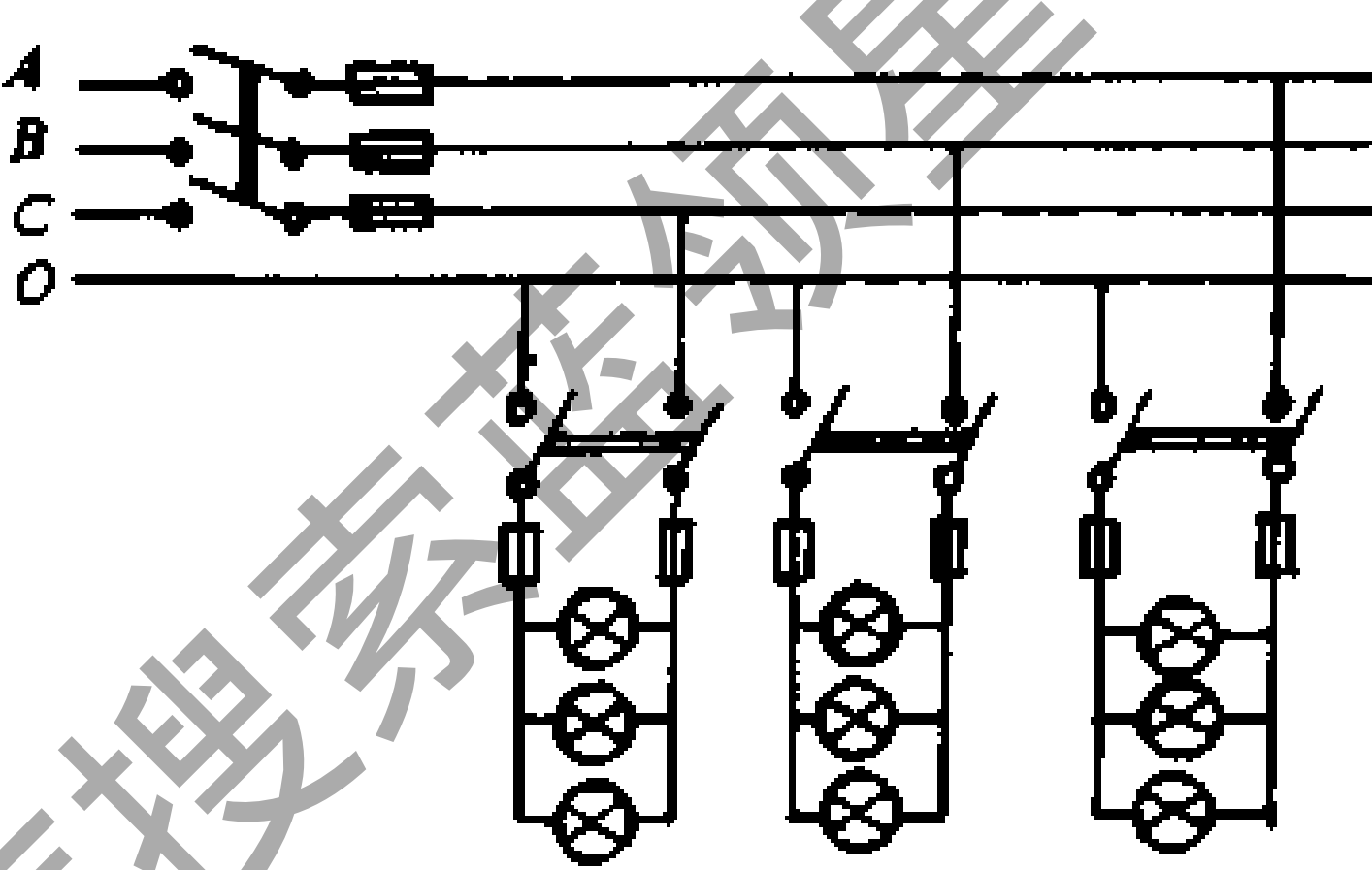


图 1-87 三相照明负载的连接

(2) 三相对称负载：对于三相电动机和三相用电设备，由于能严格保证三相对称，通常采用三相三线制连接。在这种情况下，中线上流过的电流等于零，对负载端的电压也没有影响，因此可以省去中线（图 1-88）。

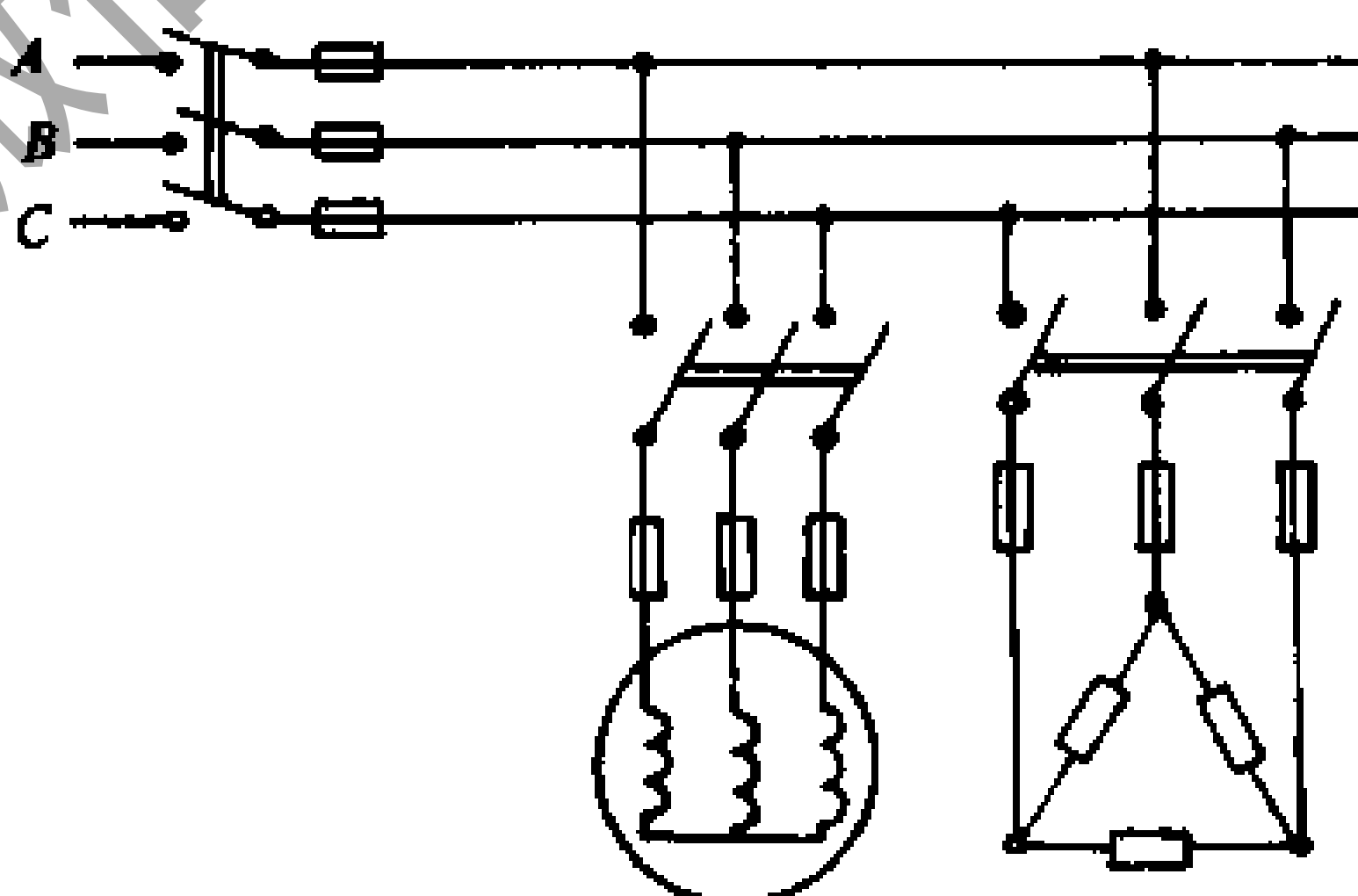


图 1-88 三相对称负载连接

(3) 单相负载（如照明）和三相负载（如电动机）混合使用的低压供电线路：应采用三相四线制，单相负载接相电压，三相负载接线电压。图 1-89 为照明和电动机的混合连接。

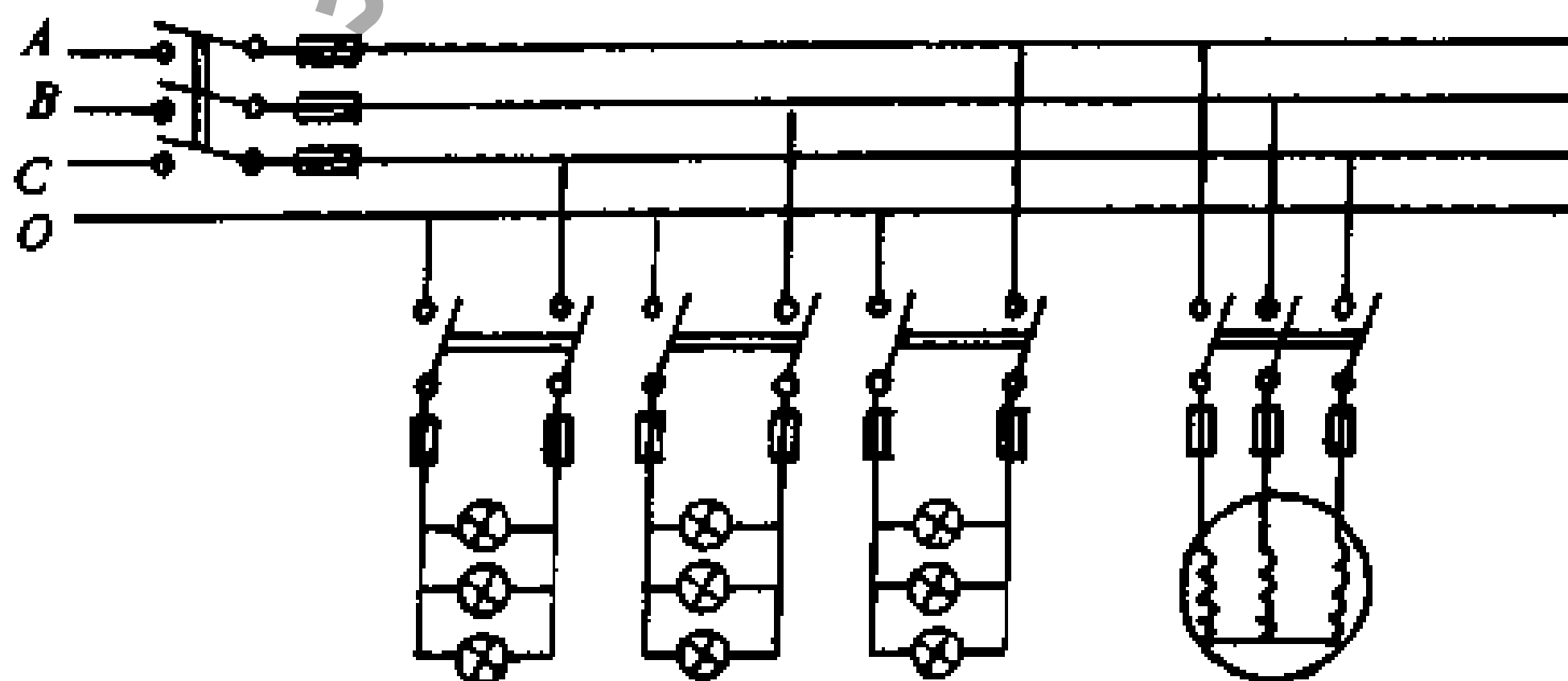


图 1-89 照明和电动机的混合连接

图 1-89 为照明和电动机的混合连接。

## 2. 三相负载的三角形连接

负载的三角形接法是将一相负载的相尾与另一相负载的相头依次相连，然后分别接在电源的三根端线之间，如图 1-90 所示。从图中可看出，负载的相电压就是电源的线电压。

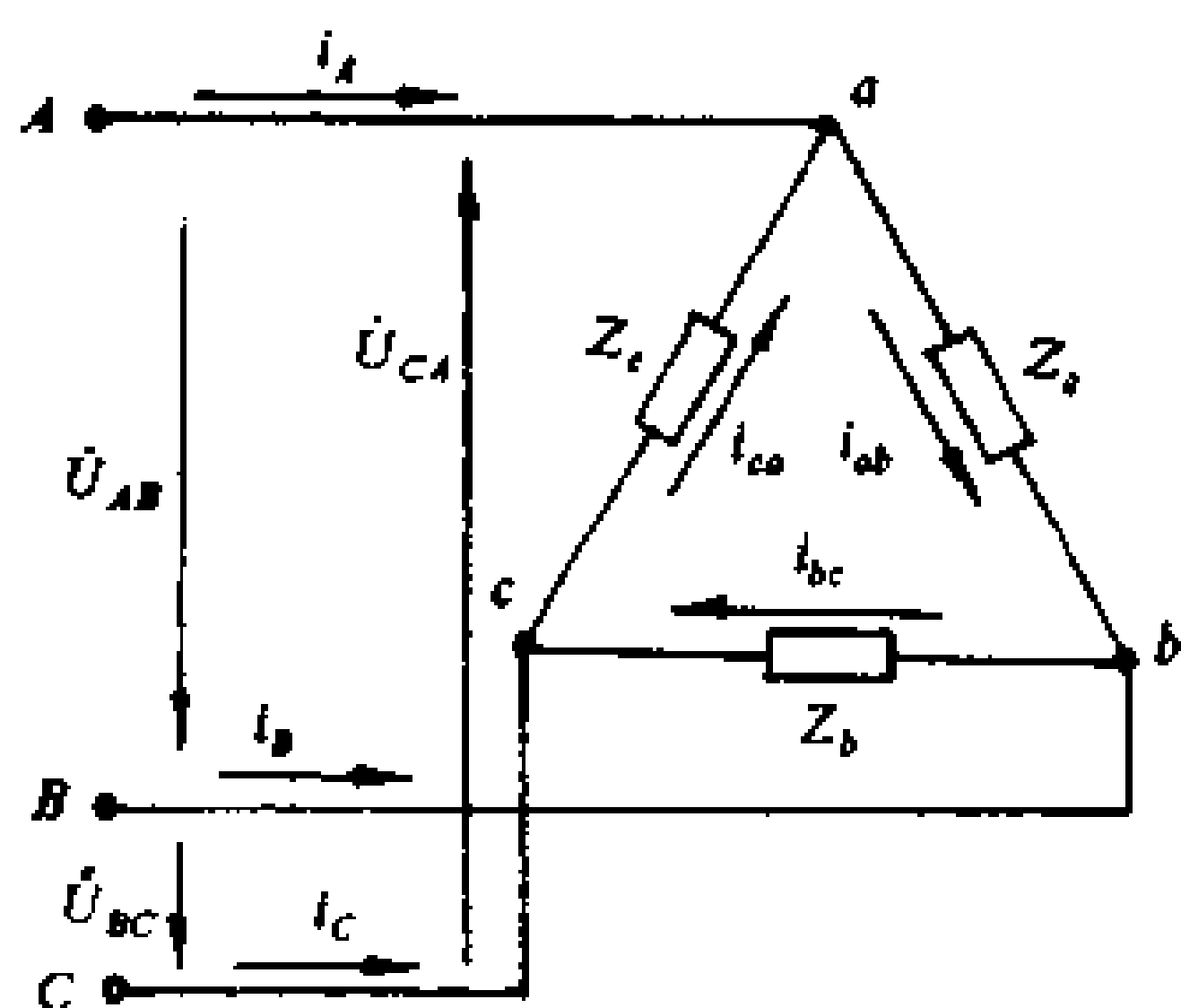


图 1—90 三相负载的三角形连接

在图 1—90 中，电流  $i_A$ 、 $i_B$ 、 $i_C$  分别代表 3 个线电流（瞬时值），电流  $i_{AB}$ 、 $i_{BC}$ 、 $i_{CA}$  分别代表各相负载的相电流（瞬时值）。上述各电流的正方向，如图中箭头所示。根据图中各电流的正方向，线电流的瞬时值等于相应的两个相电流的瞬时值之差。即

$$\left. \begin{aligned} i_A &= i_{AB} - i_{CA} \\ i_B &= i_{BC} - i_{AB} \\ i_C &= i_{CA} - i_{BC} \end{aligned} \right\} \quad (1-58)$$

由于上式各电流都是同频率的正弦量，所以该式中的电流关系又可用向量表示为

$$\left. \begin{aligned} \dot{I}_A &= \dot{I}_{AB} - \dot{I}_{CA} \\ \dot{I}_B &= \dot{I}_{BC} - \dot{I}_{AB} \\ \dot{I}_C &= \dot{I}_{CA} - \dot{I}_{BC} \end{aligned} \right\} \quad (1-59)$$

数学计算和实际测量都证明：对称三相负载接成三角形时，线电流的有效值等于相电流有效值的  $\sqrt{3}$  倍。即

$$\left. \begin{aligned} i_{\text{线}} &= \sqrt{3} I_{\text{相}} \approx 1.73 I_{\text{相}} \\ I_{\text{相}} &= \frac{I_{\text{线}}}{\sqrt{3}} \approx 0.577 I_{\text{线}} \end{aligned} \right\} \quad (1-60)$$

或者

#### 四、三相电路的功率

把三相电路中的任何一相单独取出来进行分析，它就是一个单相电路。因此，三相电路的功率就等于各相功率之和。三相电路的功率，也分为有功功率、无功功率和视在功率，其计算方法如下：

##### 1. 三相有功功率

如果三相负载不对称，则每相的有功功率也不相等。这时应按式 (1—46) 分别计算出 A、B、C 各相的有功功率，则三相电路的有功功率就等于各相有功功率之和。即

$$P = P_A + P_B + P_C \quad (1-61)$$

当三相负载对称时，A、B、C 各相的有功功率相等，即三相电路的有功功率等于一相有功功率的 3 倍。即

$$P = 3P_{\text{相}} = 3I_{\text{相}} U_{\text{相}} \cos\varphi$$

式中： $U_{\text{相}}$  为负载的相电压， $I_{\text{相}}$  为负载的相电流， $\cos\varphi$  为一相负载的功率因数。

在实际电路中，测量线电压和线电流要比测量相电压和相电流方便得多。因此，通常用线电压和线电流来表示对称三相电路的有功功率。对称三相负载接成星形时

$$I_{\text{相}} = I_{\text{线}}, \quad U_{\text{相}} = \frac{U_{\text{线}}}{\sqrt{3}}$$

对称三相负载接成三角形时

$$U_{\text{相}} = U_{\text{线}}, \quad I_{\text{相}} = \frac{I_{\text{线}}}{\sqrt{3}}$$

因此，在对称三相电路中，不论负载接成何种形式，三相有功功率都可用下式表示

$$P = 3I_{\text{相}} U_{\text{相}} \cos\varphi$$

$$= \sqrt{3} I_{\text{线}} U_{\text{线}} \cos\varphi \quad (1-62)$$

式中： $\cos\varphi$ 为一相负载的功率因数。

## 2. 三相无功功率和视在功率

与三相有功功率的分析方法一样，当三相负载不对称时

$$\left. \begin{aligned} \text{三相无功功率 } Q &= Q_A + Q_B + Q_C \\ \text{三相视在功率 } S &= S_A + S_B + S_C \end{aligned} \right\} \quad (1-63)$$

当三相负载对称时

$$\left. \begin{aligned} \text{三相无功功率 } Q &= \sqrt{3} I_{\text{线}} U_{\text{线}} \sin\varphi \\ \text{三相视在功率 } S &= \sqrt{3} I_{\text{线}} U_{\text{线}} \end{aligned} \right\} \quad (1-64)$$

【例1】图1-91是一座三层楼房的照明线路图。电源线电压为380V，A、B、C三相分别为第1、2、3层的电源，每层都装25W灯泡40个，但使用时开灯的数目不同。(1)计算供电线路正常时，各相负载电流；(2)假若中线发生断线事故，试分析各相负载将发生什么变化。

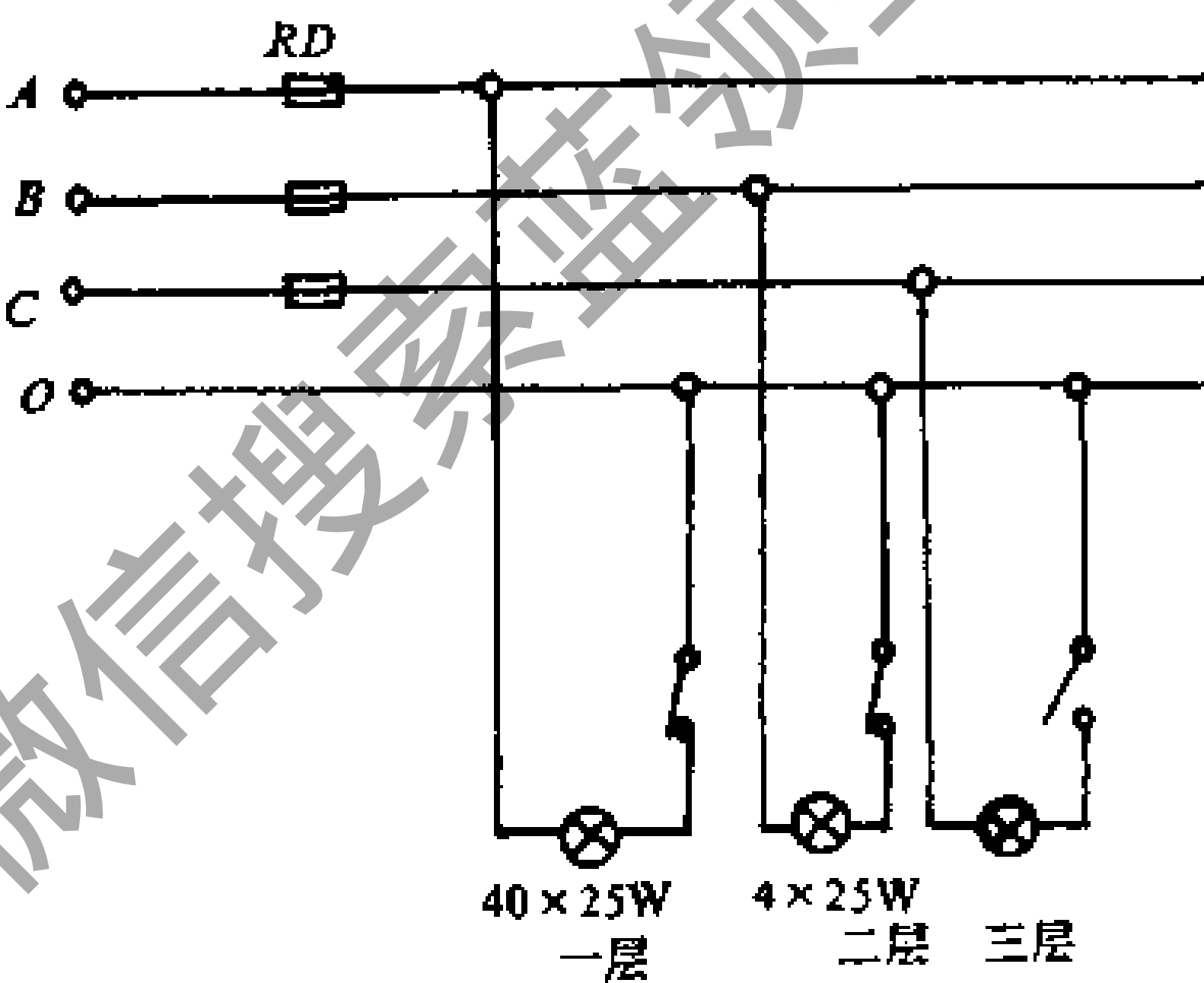


图1-91

解：(1) 供电线路正常时，各相负载端的相电压均等于电源相电压，故

$$I_A = P_A / U = \frac{40 \times 25}{220} = 4.55 \text{ (A)}$$

$$I_B = P_B / U = \frac{4 \times 25}{220} = 0.455 \text{ (A)}$$

$$I_C = 0$$

(2) 当中线断线，而C相没有用电时，就造成A相负载与B相负载串联后接在线电压380V之间。为了分析故障情况，计算各相负载的电阻值

$$\text{A相} \quad R_A = \frac{U^2}{P} = \frac{220^2}{40 \times 25} = 48.4 \text{ } (\Omega)$$

$$\text{B相} \quad R_B = \frac{U^2}{P} = \frac{220^2}{4 \times 25} = 484 \text{ } (\Omega)$$

根据串联电路的特点，各相负载的电流和电压为

$$I_A = I_B = \frac{380}{48.4 + 484} \approx 0.71 \text{ (A)}$$

$$U_A = I_A R_A = 0.71 \times 48.4 \approx 34.4 \text{ (V)}$$

$$U_B = I_B R_B = 0.71 \times 484 \approx 344 \text{ (V)}$$

【例2】有一个星形连接的对称三相负载，已知电阻  $R = 6\Omega$ ，感抗  $X_L = 8\Omega$ ，外加对称380V电压，求各相电流和线电流以及功率因数。

解：因为电源和负载都是对称的，所以只要计算一相就行了，即

$$U_{\text{相}} = \frac{U_{\text{线}}}{\sqrt{3}} = \frac{380}{\sqrt{3}} \approx 220 \text{ (V)}$$

$$I_{\text{线}} = I_{\text{相}} = \frac{U_{\text{相}}}{Z} = \frac{220}{\sqrt{6^2+8^2}} = \frac{220}{10} = 22 \text{ (A)}$$

$$\cos\varphi = \frac{R}{Z} = \frac{6}{10} = 0.6$$

【例 3】有一台三相异步电动机，额定功率为 13kW，三角形接线，线电压 380V，功率因数为 0.88，效率为 88%，试计算相电流与线电流。

解：  $P_{\text{输入}} = \frac{\text{额定功率}}{\text{效率}} = \frac{13}{0.88} \approx 14.77 \text{ (kW)}$

$$I_{\text{线}} = \frac{P_{\text{输入}}}{\sqrt{3} U_{\text{线}} \cos\varphi} = \frac{14770}{\sqrt{3} \times 380 \times 0.88} \approx 25.5 \text{ (A)}$$

$$I_{\text{相}} = \frac{I_{\text{线}}}{\sqrt{3}} = \frac{25.5}{1.73} \approx 14.7 \text{ (A)}$$

获取更多资料 微信搜索蓝领星球

## 第2章 变 压 器

变压器是把交流电压升高或降低而频率不变的一种电气设备。在生产和生活中使用的电能是由发电厂的交流发电机生产的。但是，由于受绝缘水平的限制，发电机发出的电压一般比较低（6.3kV、10.5kV），往往用电的地方都远离发电厂，而输送一定功率的低电压的电能至远方，不但增加线路有色金属的消耗和投资，而且电能会造成很大的损失。因此，要把发电厂生产出来的电能，升高电压后（至500kV、330kV、220kV、110kV、35kV等），再通过高压输电线路，送到接近负荷的地方。为了使用安全和采用经济的用电设备，又需要利用变压器将电压降低，以使用户使用。图2—1为输、变、配电系统示意图。由图可见，在整个电能的输送、分配和使用过程中，变压器是不可缺少的电气设备。

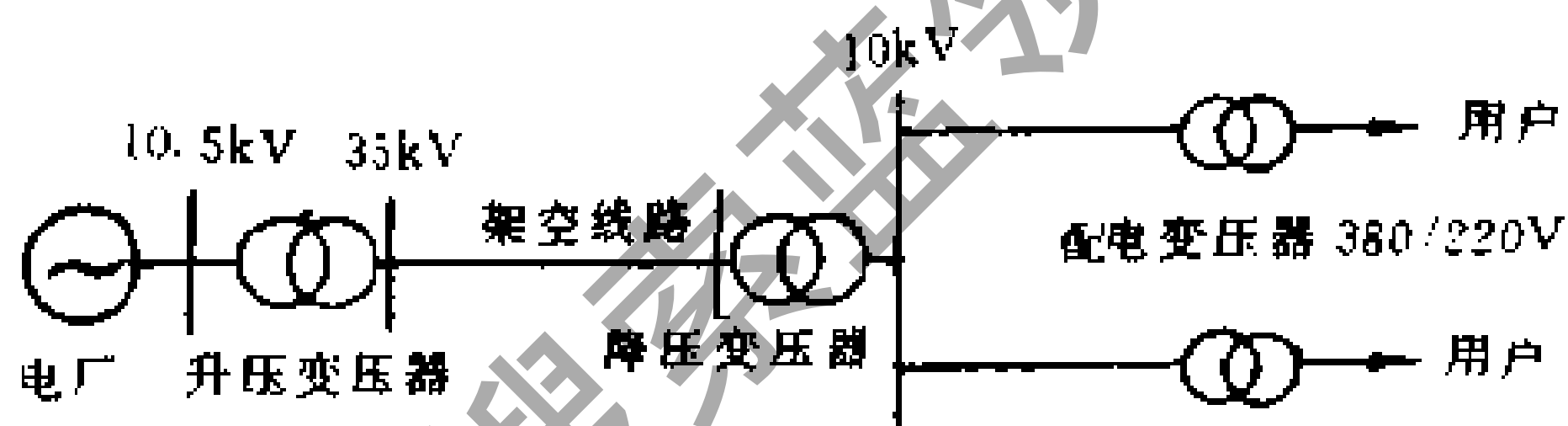


图2—1 输、变、配电系统图

变压器的种类很多，除输、变、配电系统用的电力变压器以外，还经常用到一些特殊用途的变压器，如供测量用的电流互感器和电压互感器，调压自耦变压器（亦称调压器）；供焊接用的变压器（即电焊机）；在电子电路中用以变换阻抗的输入和输出变压器等等。各种变压器虽然在结构上各有特点，但是它们的基本工作原理和基本结构是相同的。本章主要介绍城乡普遍使用的6~10kV三相配电变压器。

### 第1节 变压器的基本构造

变压器主要用导磁的铁心及导电的线圈组成。线圈又称绕组。绕组和铁心均装在充满变压器油的油箱中，绕组的端头通过绝缘套管引至油箱外面，以便与外电路连接。图2—2为电力变压器的外形与内部结构。

#### 一、铁心

铁心是变压器的磁路部分，绕组套装在铁心上。为了减小铁心中的能量损耗，铁心是用涂有绝缘漆、厚度为0.35~0.5mm的硅钢片交叉叠制而成的。三相变压器的铁心，一般做成三柱式，直立部分称为铁柱，在铁柱上套着高、低压绕组；水平部分称为铁轭，用来构成闭合磁路。图2—3为变压器的铁心和绕组。

#### 二、绕组

绕组又称线圈，是用绝缘铜线或铝线绕成的，它是变压器的电路部分。图2—4（a）为三相绕组布局图，图2—4（b）为绕组结构图。因为低压绕组的电压低，但额定电流大，

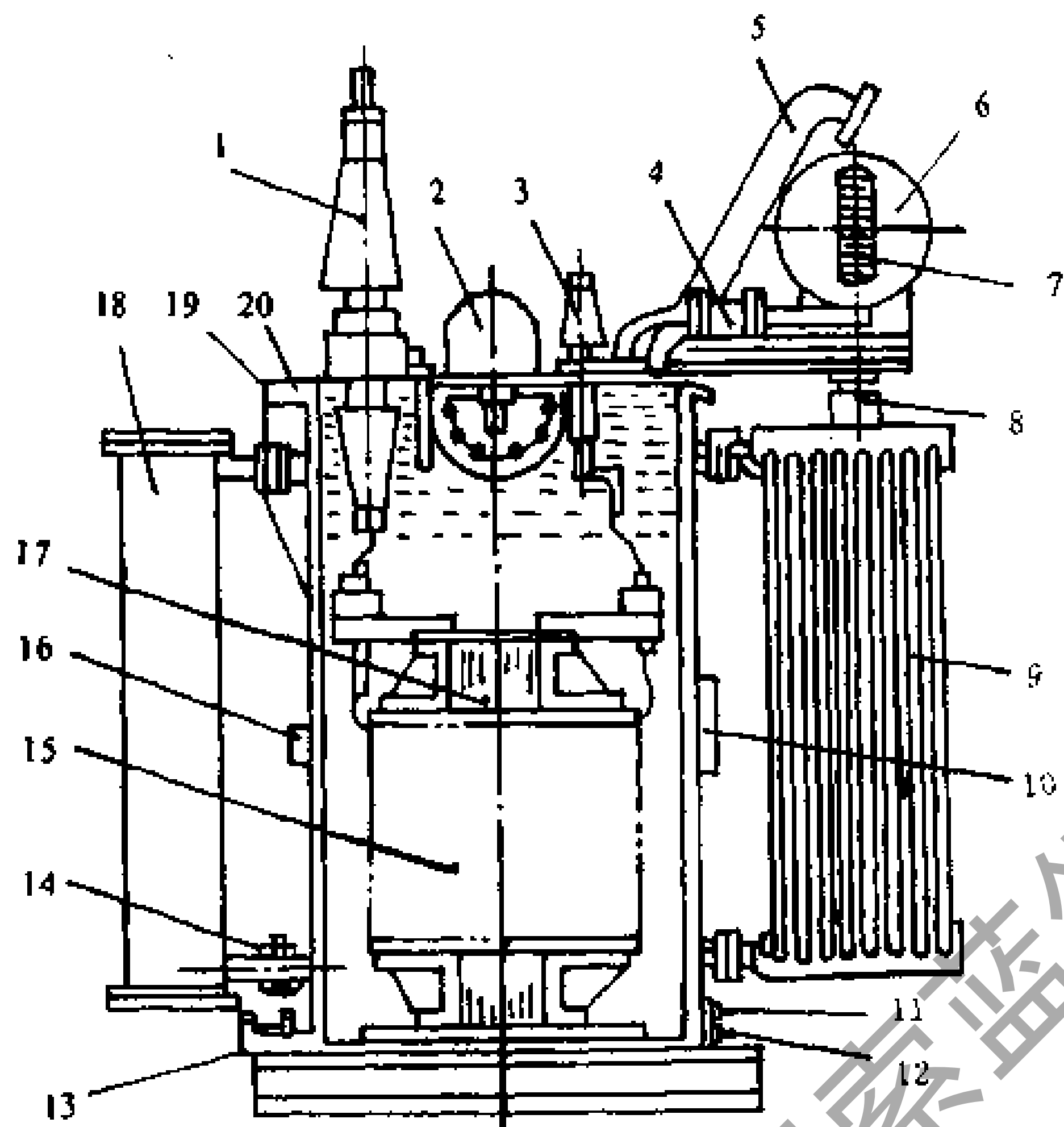


图 2—2 电力变压器外形与内部结构

1—高压套管 2—分接开关 3—低压套管 4—瓦斯继电器 5—防爆管 6—油枕  
7—油位表 8—呼吸管 9—散热器 10—铭牌 11—接地螺栓 12—油样阀门 13—  
放油阀门 14—阀门 15—线圈 16—信号温度计 17—铁心 18—净油器 19—油  
箱 20—变压器油

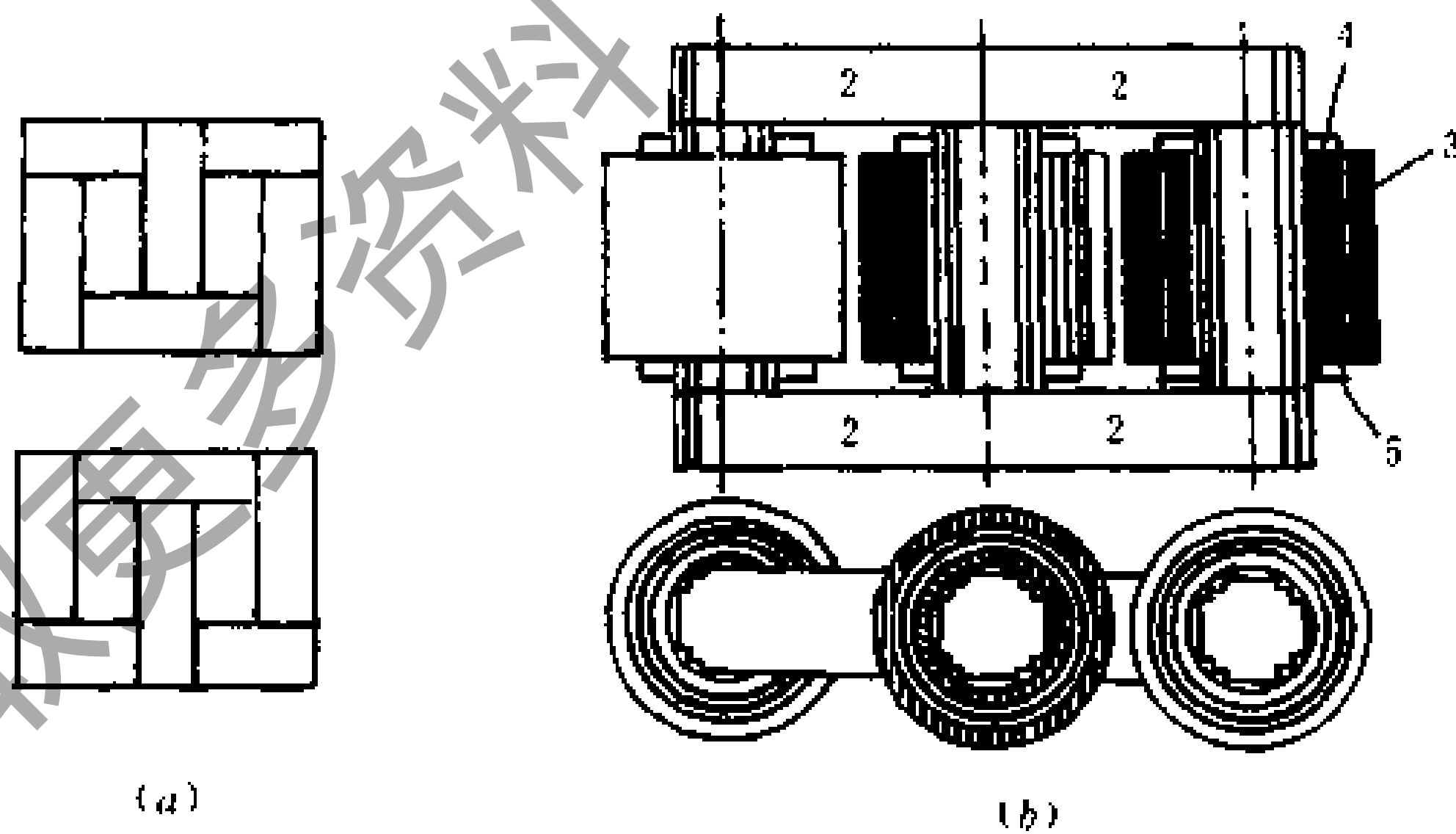


图 2—3 三相变压器的铁心和线圈

(a) 铁心叠装法 (b) 铁心与绕组装配情况

1—铁心 2—铁轭 3—高压绕组 4—低压绕组 5—绝缘层

故所用导线较粗，匝数较少；而高压绕组的电压高，额定电流小，故所用导线细，匝数较多。高、低压绕组绕成两个直径不同的圆筒形。为了便于绝缘，低压绕组套在里面靠近铁心，高压绕组套在低压绕组外面，它们之间用绝缘纸板隔离开来，并留有油道，使变压器油能在两绕组之间自由流通。

### 三、油箱

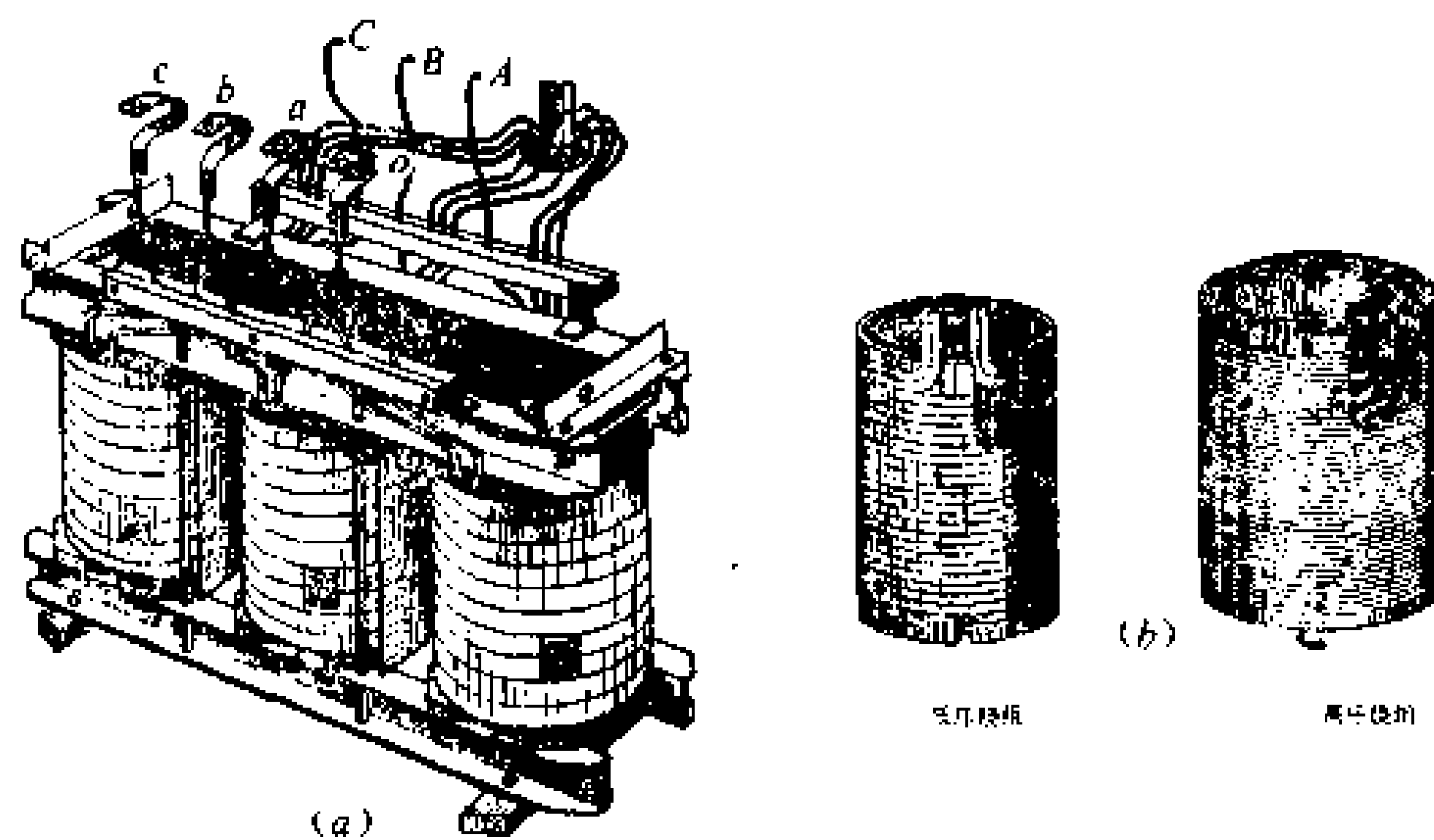


图 2—4 三相变压器绕组布局及结构图

油箱是变压器的外壳，用钢板焊成，铁心、绕组、变压器油都装在里面。油箱还起一定的散热作用。对于容量比较大的变压器，还在油箱外边焊有散热油管（也称散热管，或称散热器），以便增大散热面积，并给变压器油在运行中受热后形成上、下对流留出通道，增大散热效果，改善运行条件。

#### 四、变压器油

在油箱里装着大量的变压器油，变压器油有绝缘和散热两个作用。绝缘作用是，变压器油的绝缘能力比空气大，绕组浸在油里可以加强绝缘，并且避免与空气接触，预防绕组受潮。散热作用是，变压器运行时，变压器内部各处温度不一样，利用热油上升和冷油下降的对流作用，把铁心和绕组产生的热量通过箱壳和散热管散发到外面去。

变压器油是一种绝缘性能良好的矿物油，以它的凝固点不同分为 10 号、25 号、45 号 3 种规格（凝固点分别为  $-10^{\circ}\text{C}$ 、 $-25^{\circ}\text{C}$ 、 $-45^{\circ}\text{C}$ ），一般应根据当地气候条件予以选用。

#### 五、油枕

变压器油箱的箱盖上装有油枕。油枕的体积一般为油箱体积的  $8\% \sim 10\%$ 。在油箱和油枕之间有管子联通。油枕可以减小油面与空气的接触面积，防止变压器油受潮和变质；另外，当油箱中油面下降时，油枕中的油可以补充到油箱里面去，不使绕组露出油面以外。油枕还能调节变压器油因温度升高引起的油面上升。

油枕的侧面装有油标（又称油位指示器），在油标上注有最高、最低温度时的油面线位置，作为装油的标准。

在油枕上还装有呼吸孔，使油枕上部空间与大气相通，当变压器油热胀冷缩时，油枕上部空气可以通过呼吸孔出入，防止油箱变形或损坏。

#### 六、高、低压绝缘套管

变压器的高、低压绕组引线分别穿过高、低压绝缘套管引到变压器外边，瓷套管不仅能将引线与油箱绝缘（油箱是接地的，所以也就使引线与地绝缘），还起到固定引线的作用。高压瓷套管外形高而大，低压瓷套管矮而小，如图 2—5 所示。通常可以

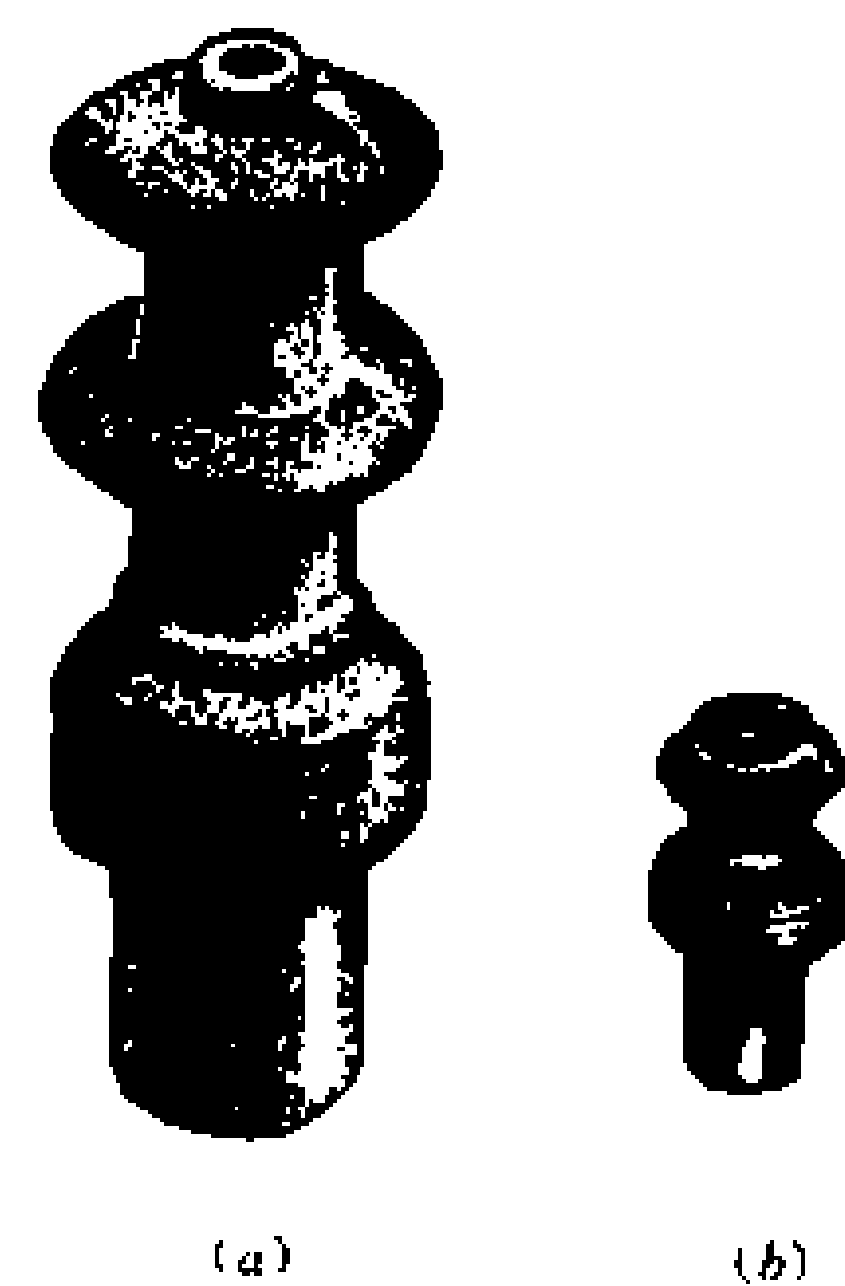


图 2—5 变压器套管  
(a) 高压套管 (b) 低压套管

由套管来识别一台变压器的高、低压侧。

### 七、电压分接开关

电压分接开关也叫无载调压开关，它是变压器不带负荷（无载）调整电压比值（高、低压电压数值之比）的装置（图 2—6）。它必须在变压器从电网上切除后才能进行调整。或者说，调压一定要在变压器停电时进行。

电压分接开关的几个触头分别连接在高压线圈的几个抽头上。当电源电压发生变化时，改变分接开关的位置，便可以改变高压线圈的匝数。由于高、低压电压的比值与绕组的匝数有关，这样就可以使低压侧仍然可能得到规定的电压（额定电压）。

一般配电变压器的电压分接开关有 3 个分接头位置，即高于、等于、低于额定电压 3 个位置，分别以“1”、“2”、“3” 3 个数字进行标注。电源电压为额定电压时，开关应在“2”位置上，它与高压绕组的中间一个抽头连接，在低压侧可以得到额定的电压；当电源电压高于额定电压时，开关应在位置“1”上，它的触头应与高压绕组的第 1 个抽头连接；当电源电压低于额定电压时，分接开关应在位置“3”上，它的触头应与高压线圈的第 3 个抽头连接，这样使低压输出电压尽量在所要求的规定电压允许波动的范围内。

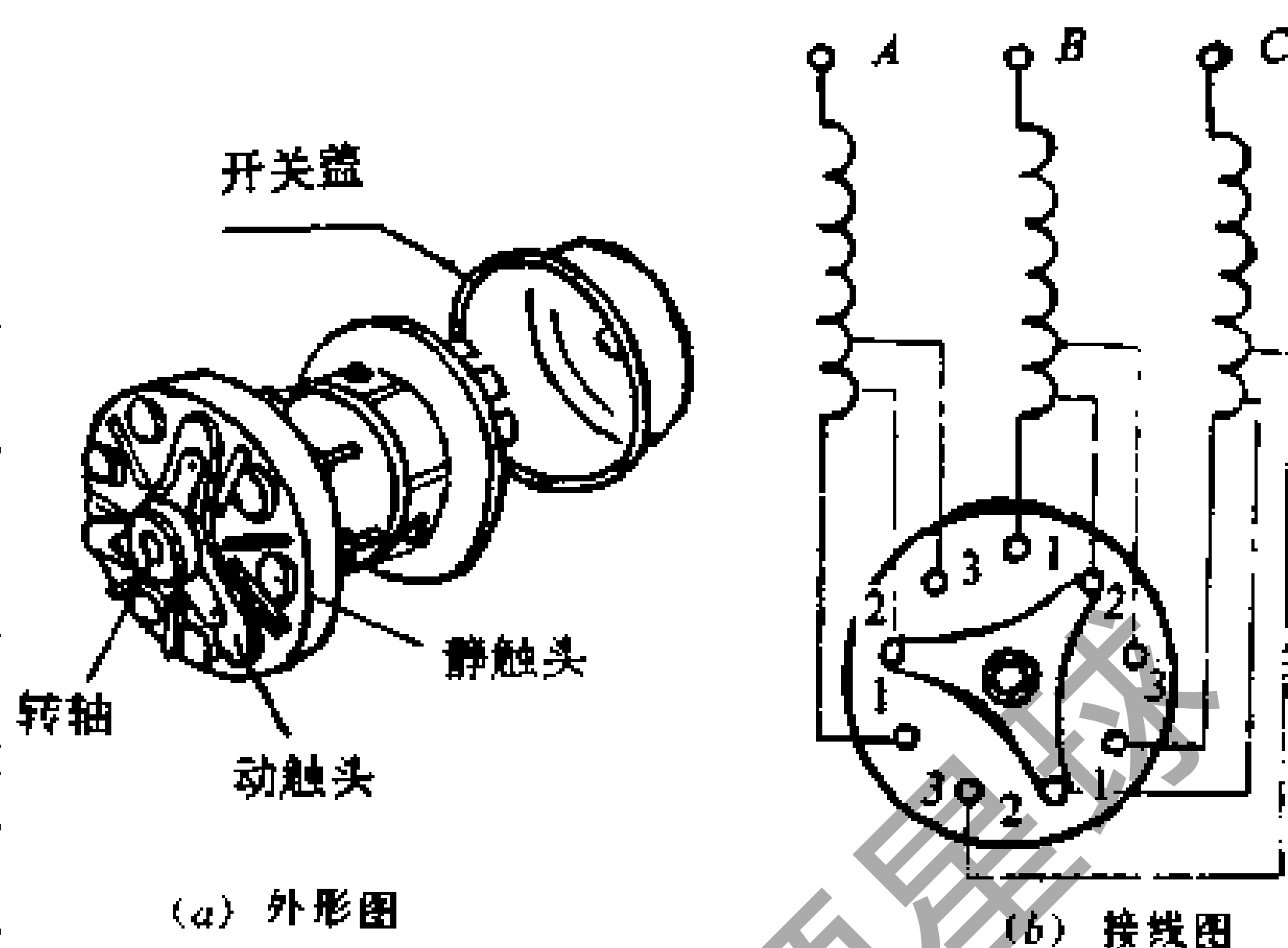


图 2—6 电压分接开关

## 第 2 节 变压器的工作原理

### 一、单相变压器

图 2—7 表示单相变压器的基本工作原理。它由一个闭合铁心和套在铁心上的两个不同匝数的绕组组成。接电源的绕组，称一次绕组；接负载的绕组，称二次绕组。一次绕组和二次绕组是分别独立的。当一次绕组接至电源时，接在二次绕组上的一个电灯泡就会发亮，说明二次绕组中有电流通过。

一次绕组接至交流电源后，变化着的交流电便在铁心中产生作相应变化的交变磁通（称主磁通  $\phi$ ），这个交变磁通会在一次、二次绕组中产生感应电势。二次绕组一侧的电动势相当于一个电源电动势，所以二次绕组回路中接上电灯泡就会发亮。这就是说，变压器一次绕组所接电源提供的电能，通过铁心中的主磁通这个桥梁，传递到二次绕组，使灯泡亮了，这就是变压器的工作原理。因

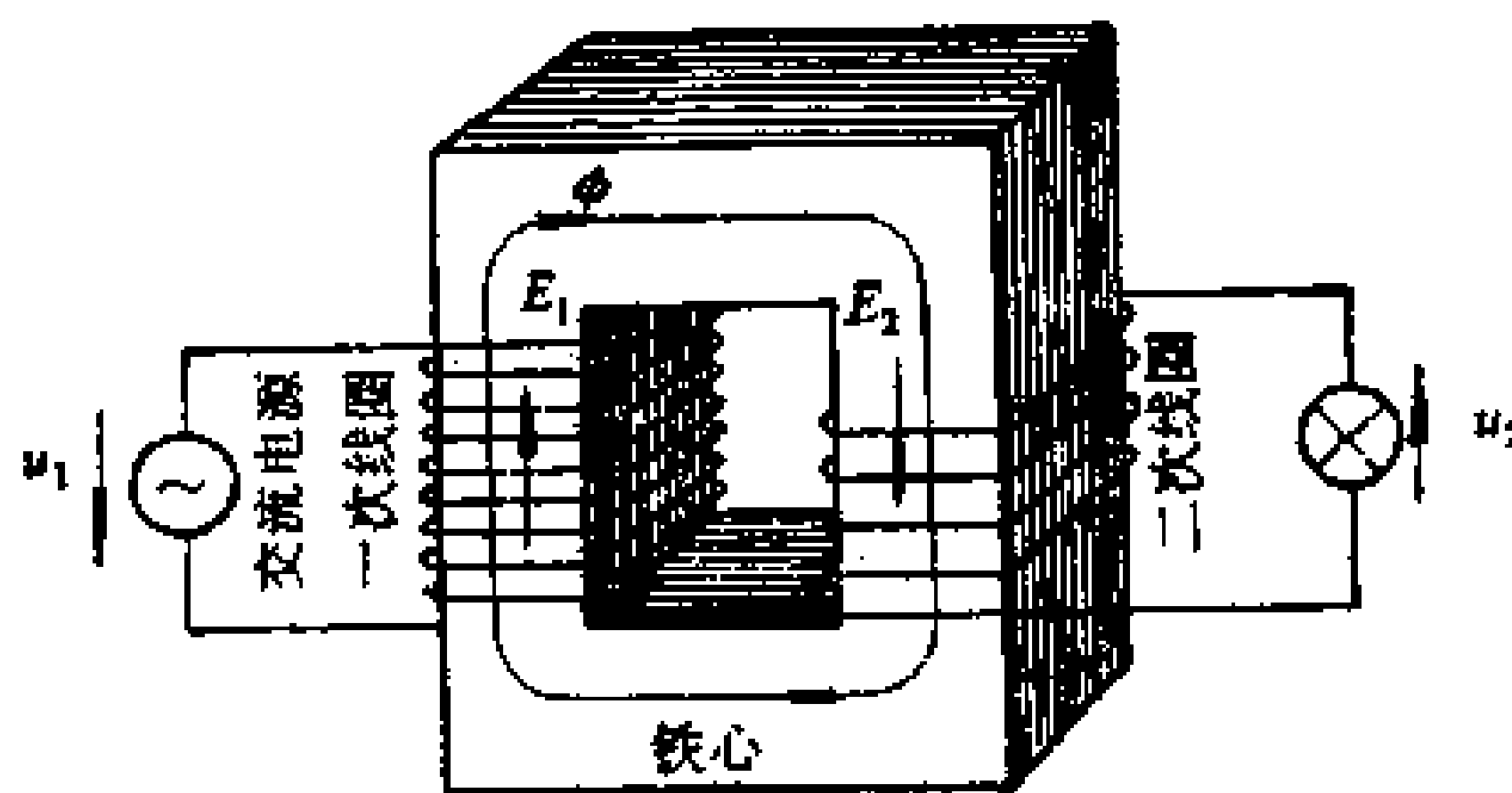


图 2—7 变压器的基本工作原理



此，变压器是一种传递电能的电气设备，它只能传递电能，不能产生电能。

第1章中曾介绍过，在线圈中产生的感应电势与线圈的匝数成正比。因为变压器的一次、二次绕组是套在同一个铁心上的，铁心中的主磁通同时穿过一、二次绕组，这样由于一、二次绕组的匝数不同，会在一、二次绕组中产生不同的感应电势，它们之间的关系为

$$\frac{\text{一次绕组的感应电势 } E_1}{\text{二次绕组的感应电势 } E_2} = \frac{\text{一次绕组的匝数 } N_1}{\text{二次绕组的匝数 } N_2}$$

由于绕组本身有阻抗，当电流流过时，在绕组上会有一个电压降，所以一次绕组的感应电势  $E_1$  与一次绕组本身的电压降加起来，才等于电源提供的电压  $U_1$ 。一般因为绕组本身的阻抗很小，可以忽略不计，近似地认为  $E_1$  和  $U_1$  相等。同样道理，可以近似地认为  $E_2$  和二次输出电压  $U_2$  相等，这样可以近似地认为

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2} \quad (2-1)$$

一次绕组的匝数与二次绕组匝数之比，称为变比，常用  $K$  表示，即

$$K = \frac{N_1}{N_2} \quad (2-2)$$

忽略变压器本身在工作中发热等一些能量损失不计，可以近似地认为变压器的输入功率  $P_1$  等于变压器的输出功率  $P_2$ 。这就有

$$\begin{aligned} U_1 I_1 &= U_2 I_2 \\ \frac{U_1}{U_2} &= \frac{I_2}{I_1} = \frac{N_1}{N_2} \end{aligned} \quad (2-3)$$

从式(2-3)可以看出，变压器可以改变电压，即匝数多的绕组的一边电压高，匝数少的绕组的一边电压低。同时也可看出，变压器也可以改变线路电流，匝数多的一边电流小，匝数少的一边电流大。

根据上述道理，也可以在变压器的二次绕组侧设两个（或两个以上）不同匝数的绕组，从而得到两种（或两种以上）电压等级的输出电压。

## 二、三相变压器

现代电力系统普遍是三相交流电，为了对三相交流电进行变压，可以按一定方式将3个单相变压器连接起来，分别改变各相的电压，这种变压装置叫三相变压器组。也可以在同一个铁心的3个铁心柱上，分别套上三相的一、二次绕组来进行三相变压（图2-8）。

无论是三相变压器组还是三相变压器，它们的一、二次绕组都分别接成星形（以Y表示）或三角形（以D表示），接法如图2-9所示；有时接成曲折星形（用Z表示）。一次绕组的3个相与电源的3个相连接，二次绕组的连接构成三相供电回路，与负荷连接。

三相变压器的工作原理同单相变压器是一样的。一般情况下均采用三相变压器。

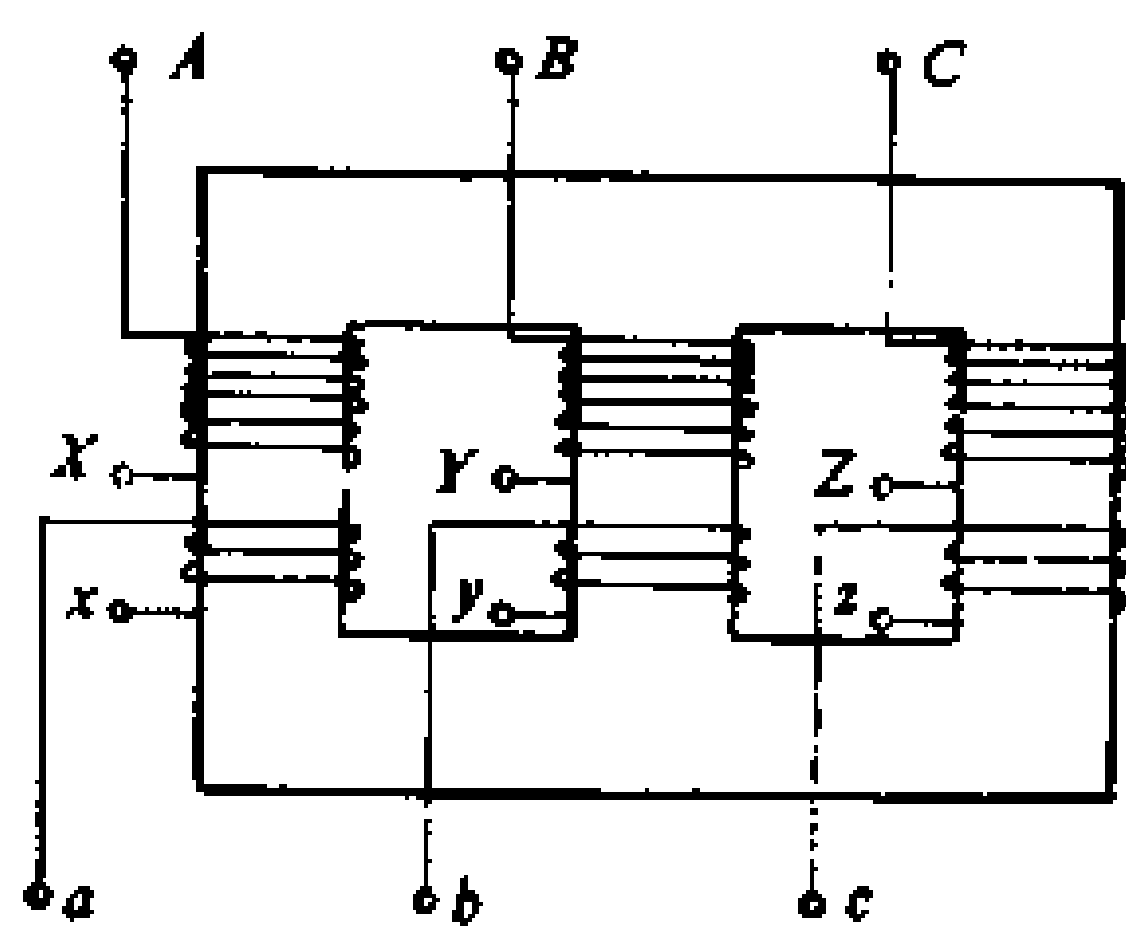


图2-8 三相变压器

A、B、C—一次绕组首端；X、Y、Z—一次绕组末端；a、b、c—一、二次绕组首端；x、y、z—二次绕组末端

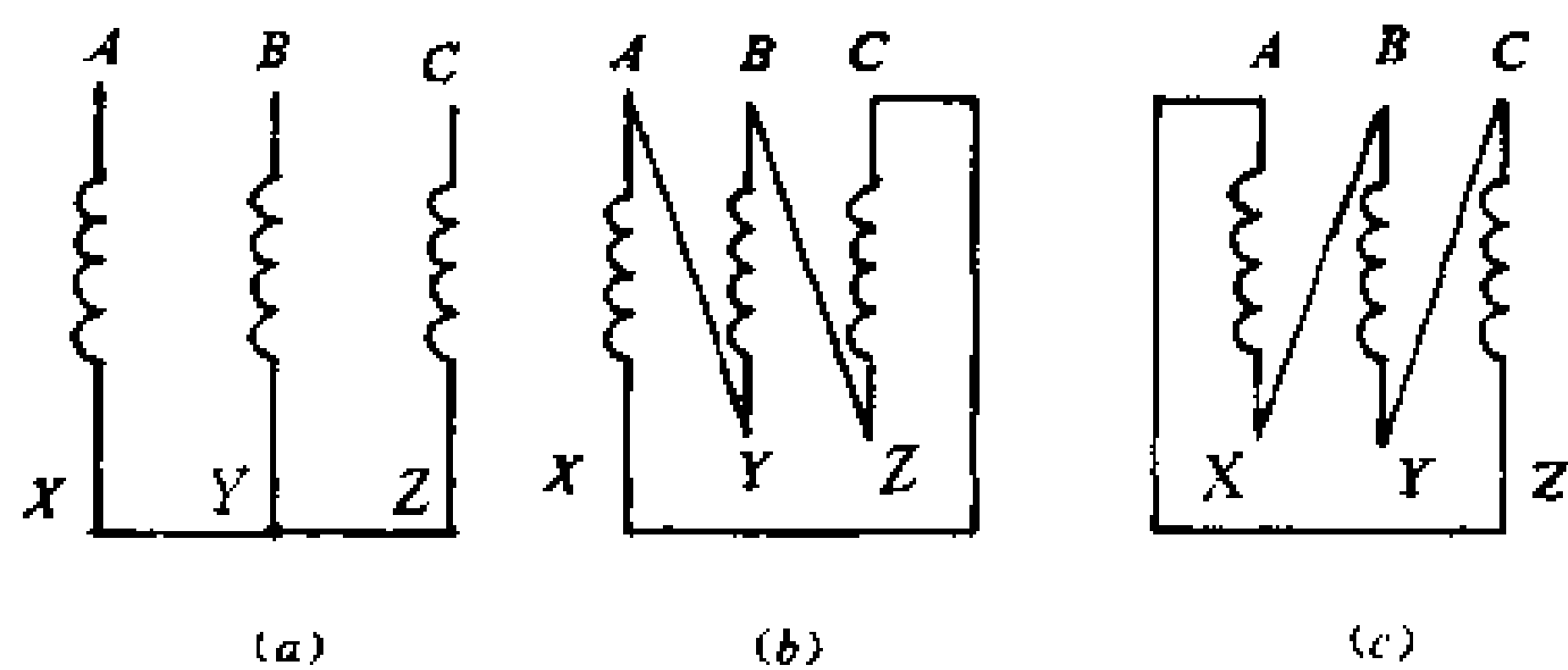


图 2-9 三相绕组连接图

(a) 绕组 Y 连接 (b)、(c) 绕组 D 连接

### 第 3 节 变压器的铭牌

每台变压器上，都有一块由制造厂提供的写着变压器主要技术数据的铭牌（图 2-10），说明变压器可以供应电能的能力大小和使用条件。遵照铭牌上的规定去使用变压器，可以保证变压器安全经济运行。铭牌上主要项目所代表的意义如下：

| 电 力 变 压 器                  |                        |      |                      |
|----------------------------|------------------------|------|----------------------|
| 产品型号                       | S <sub>7</sub> -100/10 | 标准代号 | GB1094.1~5-85        |
| 额定容量                       | 100 kVA                | 产品代号 | IFB710 229.1         |
| 额定电压                       | 10000                  | 出厂序号 | 1877                 |
| 额定频率                       | 50Hz 3 相               | 开关位置 |                      |
| 连接组标号                      | Y, yn0                 | 高压   | 低压                   |
| 冷却方式                       | ONAN                   | V    | A                    |
| 使用条件                       | 户外式                    | I    | 10500                |
| 阻抗电压                       | 4.18 %                 | II   | 10000 5.77 400 144.3 |
| 器身吊重                       | 34.1 kg                | III  | 9500                 |
|                            |                        | 油重   | 138 kg 总重 574 kg     |
| 中华人民共和国 北京变压器厂 19 86 年 8 月 |                        |      |                      |

图 2-10 电力变压器铭牌示例

ONAN—油浸自冷

#### 一、型号

1985 年，国家颁布了 GB1094.1~5-85《电力变压器》标准，对 GB1094-79 标准作了修订，变压器型号含义也有所变化。

表 2-1 为新的变压器型号含义。

#### 二、额定容量 S<sub>N</sub>

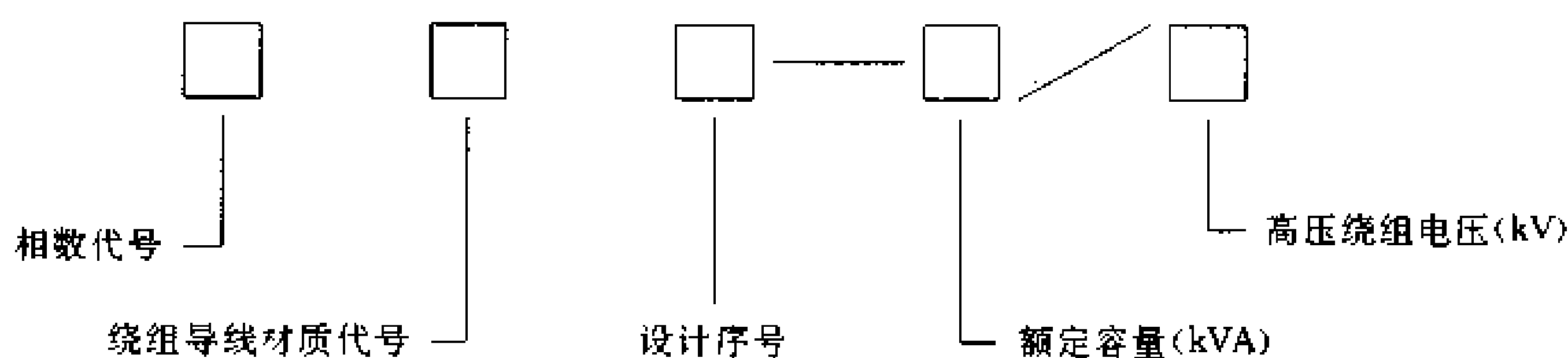


表 2—1 电力变压器新型号含义

| 项 目      | 类 别                                            | 代表符号                  |
|----------|------------------------------------------------|-----------------------|
| 相 数      | 单 相<br>三 相                                     | D<br>S                |
| 绕组外绝缘介质  | 变压器油<br>空 气<br>成型固体                            | 不表示<br>G<br>C         |
| 冷却介质     | 矿物油或相当的可燃性合成液体<br>不燃性合成绝缘液体<br>气 体<br>水<br>空 气 | O<br>L<br>G<br>W<br>A |
| 油循环方式    | 自然循环<br>强迫导向油循环<br>强迫循环（油非导向）                  | N<br>D<br>F           |
| 绕组导线材质代号 | 铜 绕 组<br>铝 绕 组                                 | 不表示<br>L              |

变压器的额定容量是指变压器在额定电压、额定电流、额定频率、额定温升等条件下工作时，能够输出的最大视在功率，单位为千伏安。

对单相变压器  $S_e = U_{2e} I_{2e}$  (kVA)

对三相变压器  $S_e = \sqrt{3} U_{2e} I_{2e}$  (kVA)

式中： $U_{2e}$ 为二次侧额定电压 (kV)， $I_{2e}$ 为二次侧额定电流 (A)。

### 三、额定电流 $I_{1e}$ 和 $I_{2e}$

变压器一次侧和二次侧的额定电流，是根据变压器容许温升规定的。在三相变压器中，额定电流都是指线电流，单位为安。

### 四、额定电压 $U_{1e}$ 和 $U_{2e}$

接到变压器一次绕组的正常工作电压  $U_{1e}$ ，称为变压器的一次额定电压；二次额定电压  $U_{2e}$ ，是指变压器在空载情况下，一次绕组接入额定电压时，二次绕组两端的电压值。

三相变压器中，额定电压都是指线电压，单位为伏。

### 五、额定频率

我国规定标准频率为 50Hz。

## 六、阻抗电压百分数

阻抗电压百分数，又称短路电压百分数，它的含义是：将变压器二次绕组短路，一次侧加入适当电压，使变压器一次侧和二次侧的电流达到额定值时，这一电压与变压器一次侧额定电压的比值。阻抗电压百分数，表示变压器内部阻抗的大小，它是变压器的一个重要参数。这个数值小，对输出电压受负载变化的影响就小，有利于对变压器短路故障电流的限制。阻抗电压百分数常用  $U_k\%$  表示，一般为  $4.5\% \sim 6\%$ 。

## 七、连接组

变压器的连接组别，是指变压器一、二次绕组按一定方式连接时，一、二次侧的线电压或线电流的相位关系。三相变压器的连接组别，与绕组的绕向、首末端的标记以及三相绕组的接法有关。一般可形成 12 种连接组。关于绕组接法的表示，国家新、旧标准作了不同的规定。

### 1. 电力变压器连接组原国家标准表示方法

在区别不同连接组时，我国原来的国家标准中规定采用所谓时钟序数表示法。这种方法设想将变压器原、副边的线电压相量一起挪在一块时钟面上，让原边绕组线电压相量当作时钟分针指向“12”。把副边绕组相应线端的线电压相量当作时钟的时针，看时针指在几点钟的位置，就以这个钟点作为这个连接组的组号。用 Y、 $\Delta$  和 Z 表示绕组为星形、三角形和曲折星形接法。表示高低压绕组的字母用分数线（斜线）隔开，组别数字前加一短横线。如 Y/Y-12 表示高低压绕组都是星形连接，绕向和首末端标记也相同，则两侧绕组相对应的线电压相位差为零。标记在钟面上，两侧线电压相量均指 12 点，这种接法属于 12 组，如图 (a) 所示。Y/ $\Delta$ -11 表示原边绕组星形接法，副边绕组三角形接法，而绕向和首末端标记相同，两侧绕组相对应的线电压相位差为  $330^\circ$ 。标记在钟面上，一次侧线电压相量指着 12，二次侧对应线电压相量指着 11 点（由  $330^\circ \div 30^\circ = 11$  得出），即这种接法属于 11 组，如图 2-11 (b) 所示。

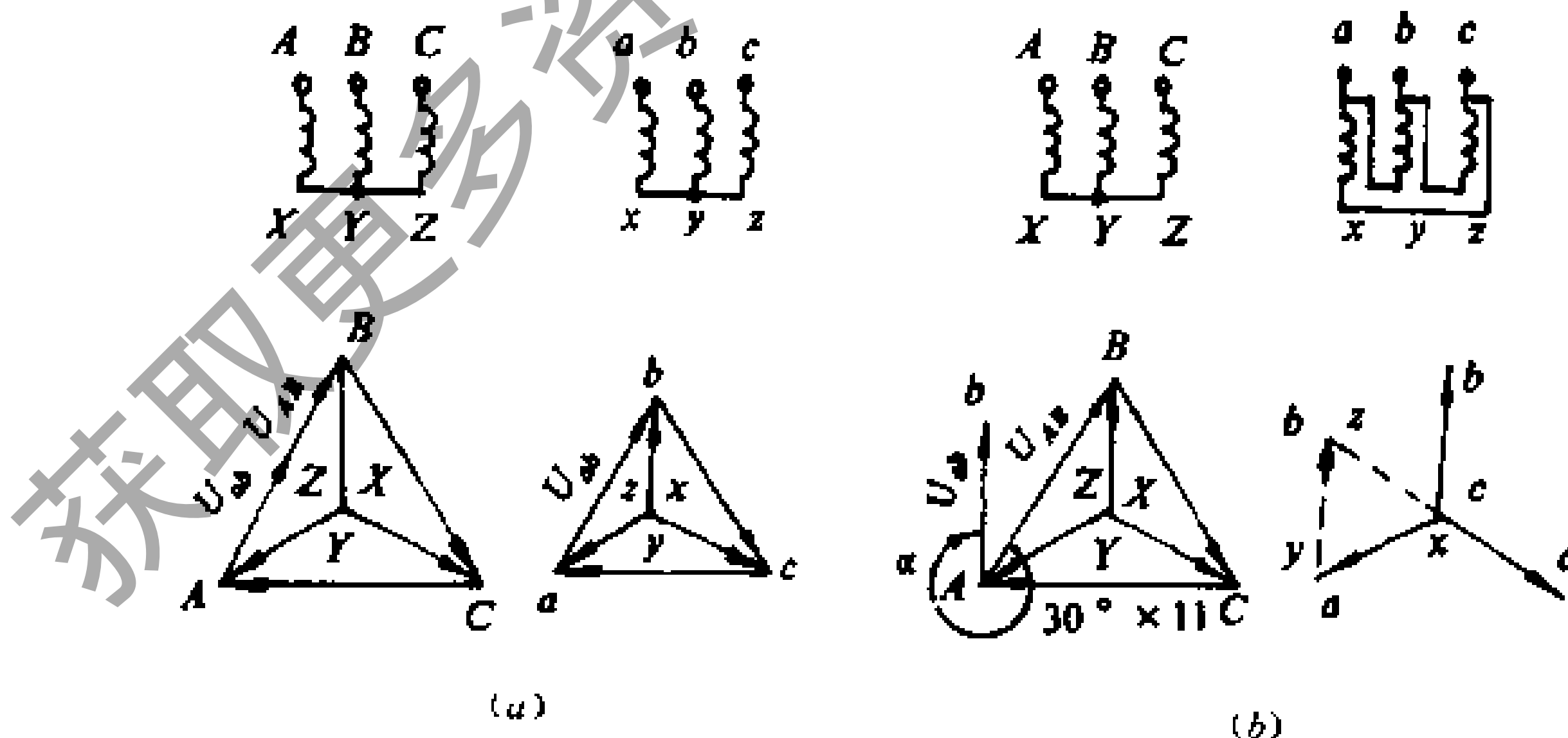


图 2-11 变压器连接组别时钟表示法

(a) Y/Y-12 连接组 (b) Y/D-11 连接组

### 2. 电力变压器连接组新颁国家标准表示方法

我国新颁布的《电力变压器》标准 GB1094.1-5-85 中规定的连接组别表示方法，坚持向“IEC”靠拢，等效采用了 IEC76-4 的规定。单相变压器绕组接线仍然用 I 表示，而三相变压器则以大写字母 Y、D 和 Z 分别表示高压绕组的星形、三角形和曲折星形接法。

以小写字母 y、d 和 z 表示中低压绕组的同样的 3 种接法。有中性点引出时，则分别以 YN、ZN 及 yn、zn 表示。在两个绕组具有公共绕组的自耦变压器中，两绕组中的额定电压较低的一个绕组以 a 表示。如中性点引出的星形连接的自耦变压器由 YN, a 表示。表示两侧绕组接法的字母之间，用逗号“，”隔开。用时钟序数表示的连接组别用 0~11 表示，将原标准中的 12 组改以 0 组表示。例如 YN, d11; YN, a0; D, y11; Y, zn11; Y, yn0。全国统一设计的 SL<sub>7</sub> 系列变压器连接组的表示就是采用这一方法。

新颁国家标准变压器连接组别标号示例，如图 2—12 所示。

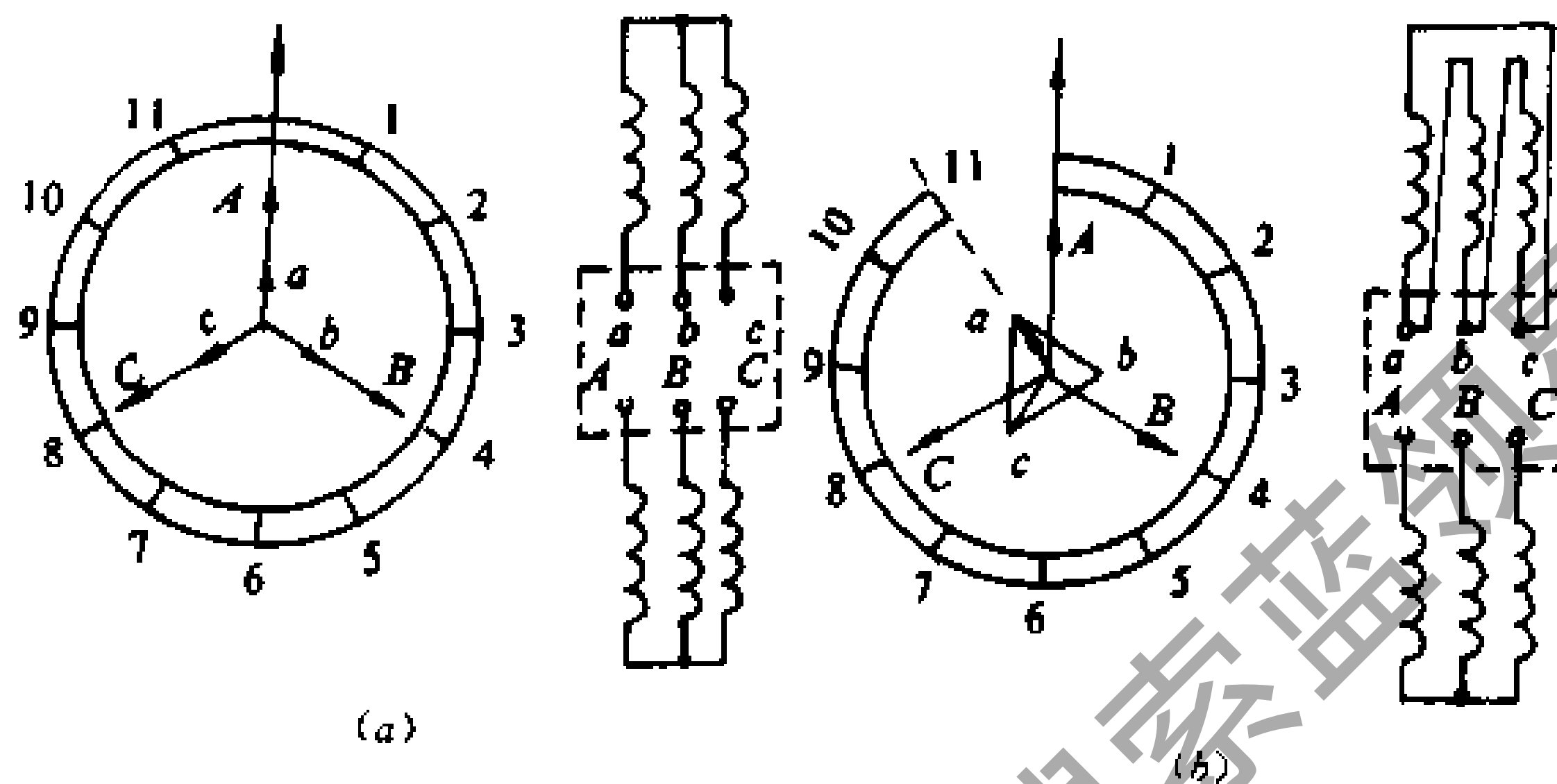


图 2—12 新颁国家标准变压器连接组别标号示例

(a) Y, y0 连接组 (b) Y, d11 连接组

### 3. 新旧标准变压器连接组别表示方法的比较

表 2—2 为新旧标准变压器连接组别表示方法比较。

表 2—2 新旧标准变压器连接组别表示方法比较

| 名 称              | 新国家标准                                                                |    |    | 旧国家标准                                                                                                           |                |                |
|------------------|----------------------------------------------------------------------|----|----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|----------------|
|                  | 高压                                                                   | 中压 | 低压 | 高压                                                                                                              | 中压             | 低压             |
| 星形接线：<br>无中性点引出  | Y                                                                    | Y  | Y  | Y                                                                                                               | Y              | Y              |
| 有中性点引出           | YN                                                                   | yn | yn | Y <sub>0</sub>                                                                                                  | Y <sub>0</sub> | Y <sub>0</sub> |
| 曲折形接线：<br>无中性点引出 | Z                                                                    | z  | z  | Z                                                                                                               | Z              | Z              |
| 有中性点引出           | ZN                                                                   | zn | zn | Z <sub>0</sub>                                                                                                  | Z <sub>0</sub> | Z <sub>0</sub> |
| 三角形接线            | D                                                                    | d  | d  | △                                                                                                               | △              | △              |
| 单相接线             | I                                                                    | I  | I  | I                                                                                                               | I              | I              |
| 自耦接线             | 公共部分两绕组额定电压低的用 a                                                     |    |    | 连接组前加 O                                                                                                         |                |                |
| 接线符号间            | 用逗号                                                                  |    |    | 用斜线                                                                                                             |                |                |
| 组别数              | 0~11                                                                 |    |    | 1~12 前加横线                                                                                                       |                |                |
| 连接组举例            | I, I <sub>0</sub><br>Y, yn0<br>Y, d11<br>YN, yn0, d11<br>YN, a0, d11 |    |    | I/I—6<br>Y/Y <sub>0</sub> —12<br>Y/△—11<br>Y <sub>0</sub> /Y <sub>0</sub> /△—12—11<br>O—Y <sub>0</sub> /△—12—11 |                |                |

#### 4. 电力变压器的常用连接组别

三相电力变压器的连接组别一般有 0~11 共 12 种。为了制造和选用的方便，以 Y、y0，YN、y0，Y、yn0，Y、d11，YN、d11 等 5 种为常用标准连接组。其中，尤其以 Y、yn0，Y、d11，YN、d113 种为农村常用变压器的连接组别。

#### 八、空载电流 $I_0$

当变压器二次侧开路，一次侧加额定电压时，一次绕组中流过的电流称为空载电流。一般以它占一次额定电流的百分值来表示。空载电流一般是一次额定电流的 3%~10%。变压器容量越大，这个值越小。所以，容量大的变压器运行的经济条件好一些。

#### 九、空载损耗和短路损耗

变压器在运行中，总是要损失一些能量，它主要有铁损和铜损。

铁心中的磁通交变时，会在铁心中产生磁滞损耗和涡流损耗，总称为铁损。它与变压器二次侧负荷的大小无关，只与一次侧所加电压的平方成正比。由于一次侧电压是固定的，所以每台变压器的铁损也是固定的。它是这样测定的：变压器一次侧加额定电压，二次侧的回路打开（空载），这时变压器所消耗的功率为空载损耗（可由一次侧电压和电流计算出）。由于此时一次绕组电阻上损耗很少，可近似地将空载损耗认为是铁损。

变压器一、二次绕组都有一定的电阻，当电流流过时，会产生功率损耗，这就是铜损。铜损主要决定于负荷电流的大小。当一次侧通过额定电流，二次侧短路时（电路闭合不接负荷）所消耗的功率为变压器的短路损耗。由于此时一次侧电压很低，在铁心中产生的磁通很小，造成的铁损很小，可以忽略不计。所以，近似地把短路损耗看作是铜损。

变压器的损耗是用空载试验和短路试验测得的。变压器效率的高低，与它的损耗大小有关。



合理地选择变压器容量，对于降低电能损失，做到经济运行，提高设备利用率等，有着直接的关系。容量选择小了，会造成变压器的过载运行，降低使用年限，影响用电的发展；容量选择过大，变压器不能充分利用，效率和功率因数降低，使线损增加。另外，由于容量选择过大，承载的负荷势必增加，这样就会使低压线路往远处延伸，造成末端电压过低。

在考虑选择配电变压器的容量时，应认真调查分析用电的负荷情况，以及用电的性质、季节、装机、起动方式等，并考虑未来 3~5 年的用电发展。具体可按下列原则选取：

##### 一、根据电动机的功率选择

对城乡专用变压器，可根据装机或同时运行的电动机功率，计算出变压器容量。电动机铭牌上的额定功率，是指电动机轴上输出的有功功率，所以输入电动机的视在功率应为

$$S = \frac{P}{\eta \cdot \cos\varphi} \quad (2-4)$$

式中： $S$  为输入电动机的视在功率 (kVA)； $P$  为电动机额定有功功率 (kW)； $\eta$  为电动机的效率，一般为 0.9； $\cos\varphi$  为功率因数，满载时一般为 0.85。

变压器的视在功率，一般应等于或略大于电动机的视在功率，即

$$\text{变压器容量} \geq S = \frac{P}{\eta \cdot \cos\varphi} = \frac{P}{0.75 \sim 0.8} \quad (\text{kVA})$$

对农村综合用电配电变压器的选用，可根据排灌、工副业、照明用电的同时利用系数，计算出同时运行的负荷数，再根据上面的公式计算出变压器的容量。

## 二、考虑变压器的承载能力选用变压器

电动机的起动电流是额定电流的 4~7 倍，变压器应能承受起动电流的冲击。因此，在直接起动的电动机组中，最大一台的容量，不宜超过变压器容量的 1/3。

【例题】某排灌站装 55kW 电动机 4 台，在排洪季节 4 台同时运行，试选择变压器的容量。

解：变压器容量为（取  $\eta=90\%$ ， $\cos\varphi=0.85$ ）

$$S = \frac{P}{\eta \cos\varphi} = \frac{55 \times 4}{0.9 \times 0.85} = 288 \quad (\text{kVA})$$

采用减压起动时，可选择 100kVA 和 180kV 两台配电变压器并列运行；采用直接起动时，应选择一台 315kV 变压器。

## 第 5 节 变压器的运行

### 一、空载运行

变压器一次侧接通电源，二次侧开路，没有负载电流，叫做空载运行。

空载运行的变压器，相当于一个带铁心的电感线圈，一次侧的空载电流主要用来产生磁场，它需要电网供给的主要是无功功率，所以空载时的功率因数非常低。尽管空载电流很小，照样消耗有功和无功功率。空载时无功功率损耗是有功功率的 10 倍，约占总容量的 5%。无功功率损耗大会造成线路的功率因数降低，使有功功率损失增大。因此，没有负载时，最好把变压器停掉，以减少无功负担和有功损耗。

### 二、负载运行

变压器在额定负载下运行，不超过允许的温升，使用年限在 20 年以上。一般情况下，变压器不允许过载运行。农村用电负荷，随季节变化大，要调整好用电时间，尽量避免变压器过载运行。

运行中的变压器，在几个小时以内的较短时间里，允许过载 15% 左右，不得超过 30%。在故障情况下，其过载的允许时间如表 2-3。

表 2—3

故障情况下过载允许时间

| 过载电流/额定电流 (倍) | 1.3 | 1.6 | 1.7 | 2.0 |
|---------------|-----|-----|-----|-----|
| 过载允许时间 (min)  | 120 | 30  | 15  | 7   |

当单相负载在配电变压器三相分配不平衡时,会出现三相电流不平衡。其中电流较大的一相,变压器的绕组会产生局部过热现象,以致使该相的绝缘损坏。同时,三相电流的不平衡也会引起电压的不平衡,在三相电压中出现高于或低于额定电压的现象,造成电动机过热、振动、声音异常,灯泡不亮或过亮而烧毁。对于 Y、yn0 连接的变压器,规定三相不平衡的零线电流,不得超过额定电流的 25%。因此,在安装和使用单相用电设备时,应尽量均匀地分配到三相电源中。

### 三、并联运行

如果一台变压器的容量不能满足负荷的需要,可以把两台变压器并联使用。当负荷小时,停用一台变压器,以减少电能损耗,节约运行费用。

图 2—13 表示两台变压器并联运行(亦称并列运行)的接线。变压器在并联运行时,应满足以下 3 个条件:

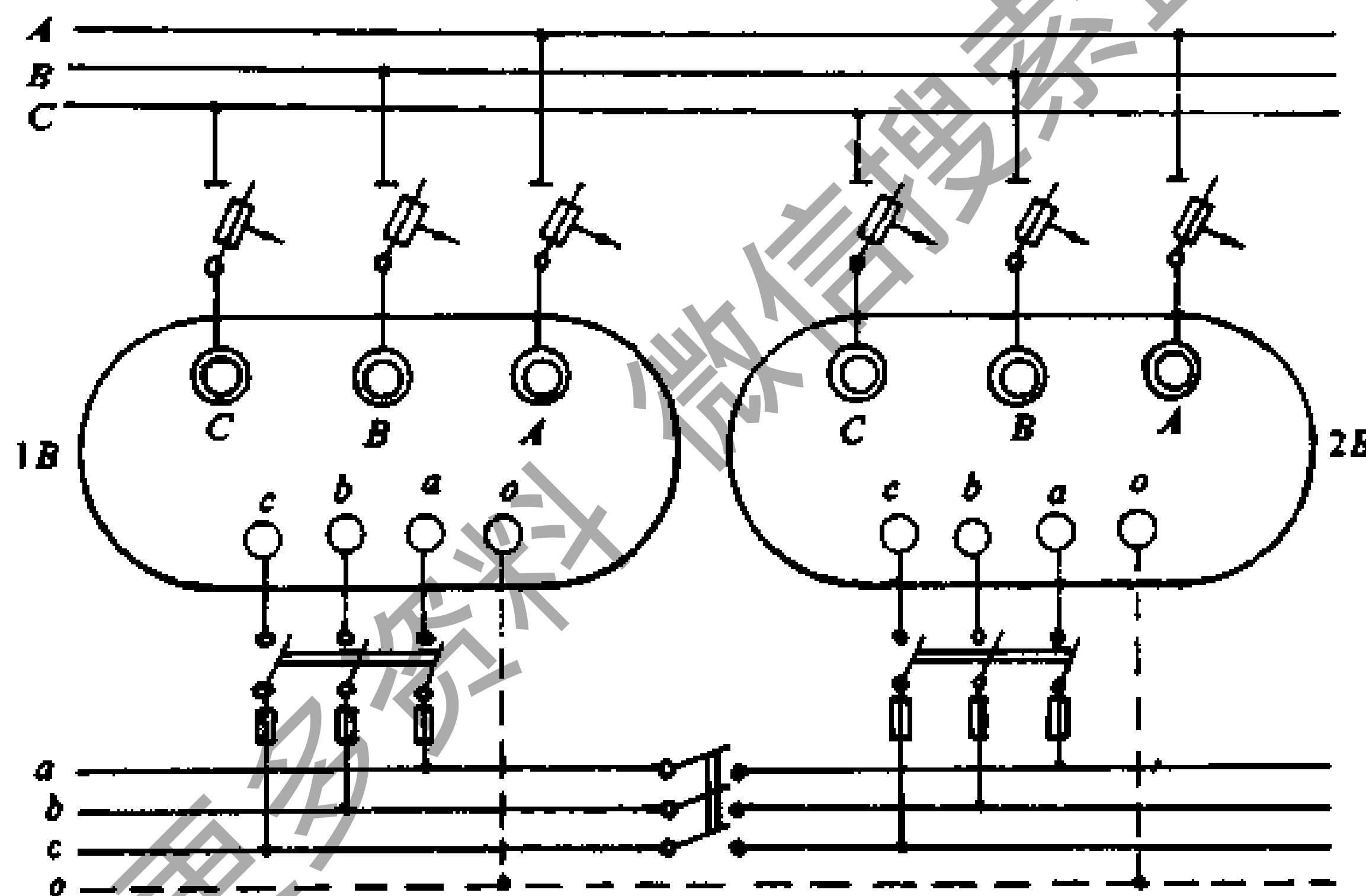


图 2—13 两台变压器并联运行接线图

#### 1. 高、低压侧的额定电压必须分别相等

如果两台变压器高压侧或低压侧的电压不相等,就会出现电位差。因为变压器的阻抗很小,这一电位差会在两台并联变压器绕组中产生很大的环流,可能将变压器绕组烧坏。

#### 2. 短路电压(阻抗电压)应基本相同

两台变压器并联运行时,如果短路电压不同,说明变压器阻抗不同。短路电压小的变压器负担的负荷电流大,短路电压大的变压器负担的负荷电流小。如果两台并联运行的变压器容量相同,则由于短路电压相差很大,负荷分配不均匀,造成一台过载、一台欠载的情况。所以,容量相同的变压器并联运行时,要求两台变压器短路电压之差不要超过 10%。



短路电压与变压器的容量有关，一般容量大的变压器短路电压大，容量小的变压器短路电压小。所以，两台不同容量的变压器并联运行时，变压器容量之比不能超过3:1。

### 3. 接线组别必须相同

两台变压器并联运行时，要求接线组别相同，就是要求两台变压器的高、低压侧电压的相位相同。两台并联变压器接线组别不同时出现的情况，用一台Y、yn0接线的变压器，与一台Y、d11接线的变压器并联为例来进行分析。

Y、yn0接线的变压器，其一、二次侧线电压是同相位的；而Y、d11接线的变压器，其一、二次侧线电压有30°的相位差。当两台变压器的一次侧并联接到三相电源时，一次侧对应的线电压当然是同相位，但它们二次侧对应的线电压就有30°的相位差，如图2-14(a)所示。虽然两台变压器二次侧线电压的大小相等，但由于它们的相位不同，因此，在变压器二次回路中出现了对应于线电压的向量差，如图2-14(b)所示。向量差为

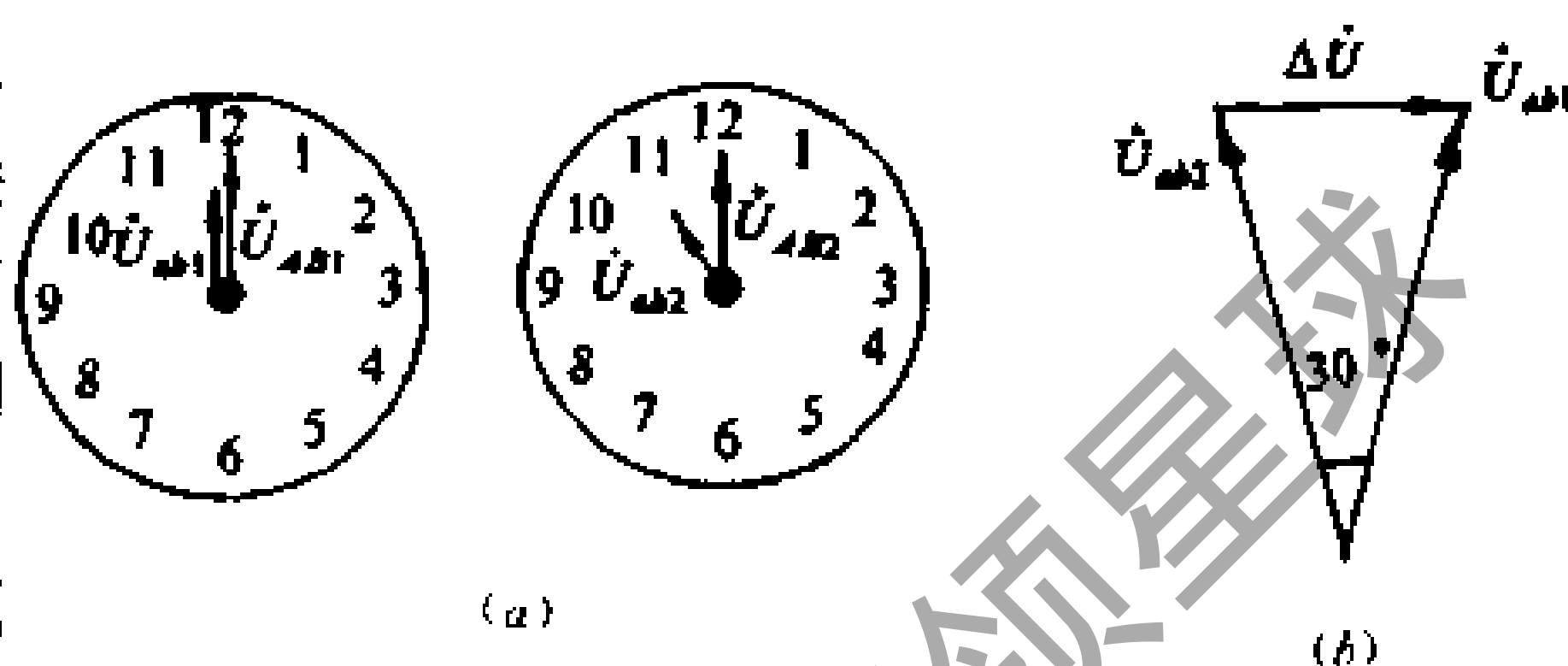


图2-14 接线组别不同的三相变压器并列运行时副边线电压之间的关系

(a) Y/Y<sub>0</sub>-12和Y/D-11的原、副边线电压的相位  
(b) 副边线电压的向量差

$$\Delta U = \dot{U}_{ab1} - \dot{U}_{ab2}$$

式中： $\dot{U}_{ab1}$ 为第1台变压器二次侧线电压的向量， $\dot{U}_{ab2}$ 为第2台变压器二次侧线电压的向量， $\Delta U$ 为两台变压器二次侧线电压的向量差。

由图2-14(b)中可以计算出， $\Delta U = 0.52U_{ab}$  ( $U_{ab}$ 是二次侧线电压的有效值)。其他两相的情况相同。由此可见，在并联变压器的二次绕组回路中，将出现相当大的电压差 $\Delta U$ ，即使变压器二次侧没有接负载，回路中也会出现几倍于额定电流的环流。这个环流可能达到烧毁绕组的程度。因此，接线组别不同的变压器绝对不能并联运行。

需要指出，在变压器并联运行之前，还应仔细检查两台变压器的接线情况，不能把相序接错。最好对变压器的额定电压、接线组别及短路电压进行一次试验检查，以便正确无误地进行并联运行，防止出现故障。

## 第6节 变压器装置的主要附属设备

为了保证变压器的安全运行，便于操作和维护，在变压器上还有一些附属设备，起控制和保护作用。配电变压器装置的主要附属设备，包括高、低压熔断器，避雷器，高、低压闸刀和柱上油开关等。

### 一、高压熔断器（跌落式熔断器）

高压熔断器又称跌落保险，也叫“自坠”，广泛地用在6~10kV线路上，作为配电变压器和配电线路的保护与操作装置。它有明显的断开点，类似闸刀开关，使用绝缘操作

杆进行停、送电操作，非常方便。

跌落式熔断器主要由固定支架与活动熔丝管两部分组成(图 2—15)。固定支架的主要部分是绝缘瓷体，两端有连接导线的螺栓，瓷体中间有一铁板，可以固定在支架上。熔丝管是用层卷绝缘纸板制成的圆筒，在圆筒的两端装有金属帽和触头，熔丝压接在编织的多股导线上，通过熔丝管分别用螺丝固定在金属帽的触头上。在正常运行时，熔丝处于拉紧状态，依靠熔丝的机械拉力将动触头紧卡在鸭嘴形静触头上，使熔丝管掉不下来。当线路发生短路故障时，熔丝因通过短路电流而熔断。由于熔丝对动触头失去了拉力，熔丝管靠本身的重力自动跌落，电弧被拉长而熄灭，从而起到保护作用。

高压熔丝的构造如图 2—16 所示。中间部分是铜银合金制作的，两端是铜制引线。当通过 1.3 倍额定电流时，熔丝会自动烧断。电流越大，熔断的时间就越短。

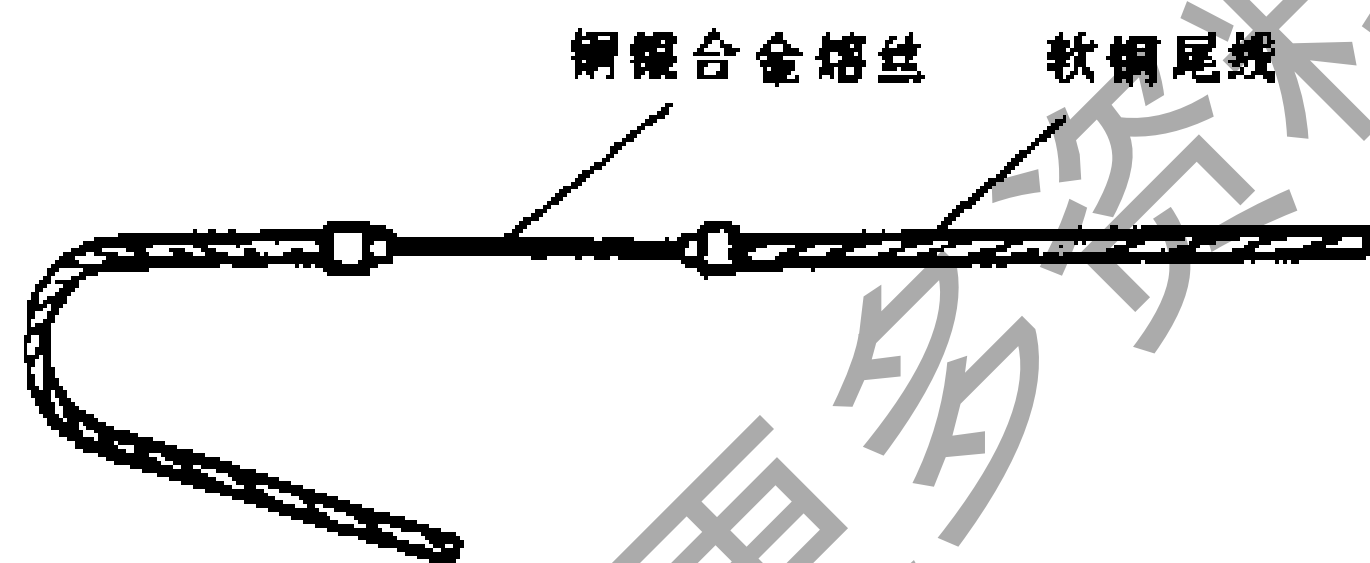


图 2—16 高压熔丝

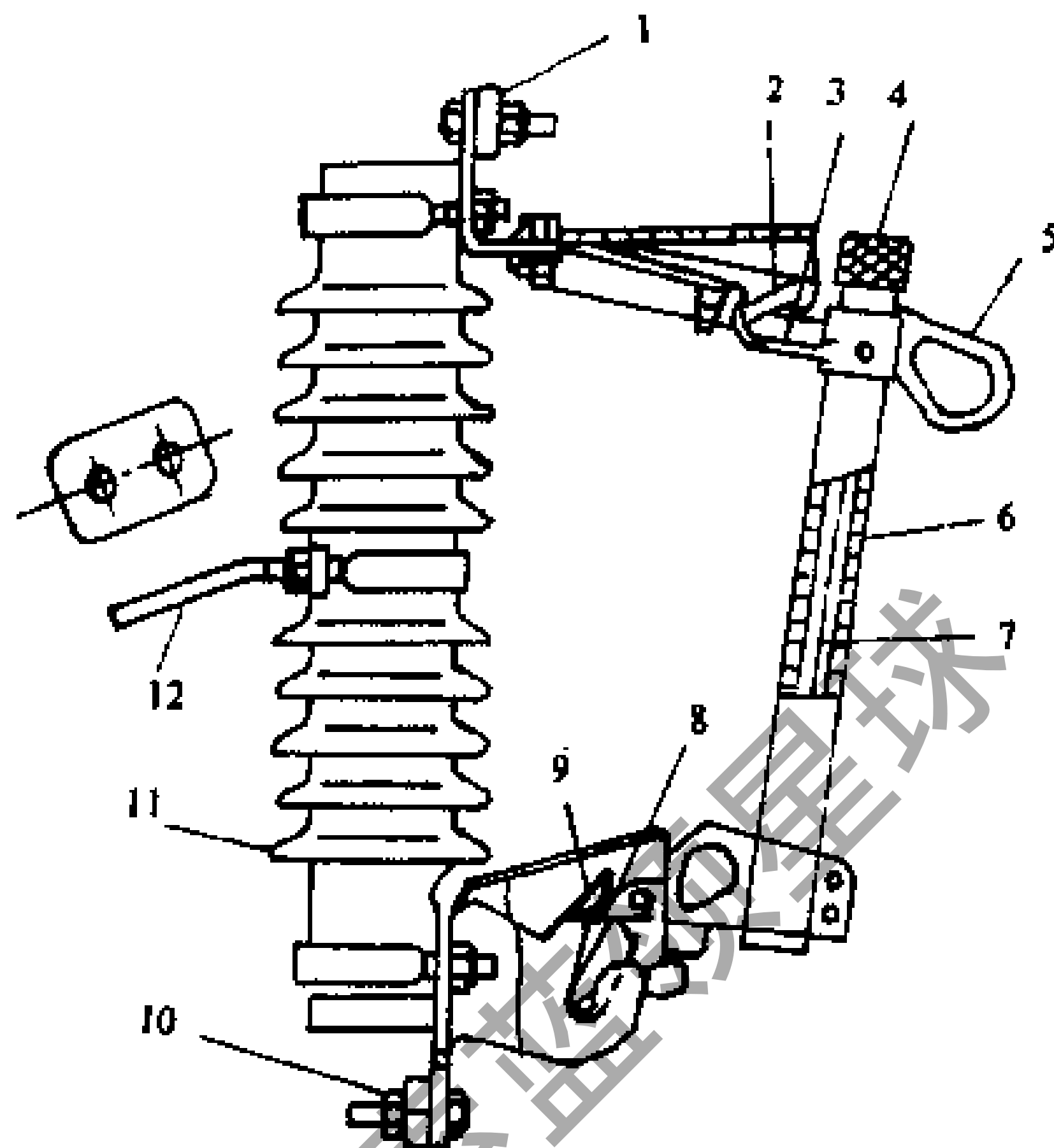


图 2—15 RW4—10 型户外跌落式熔断器结构图  
1—上接线端 2—上静触头 3—上动触头 4—管帽 5—操作环 6—熔管(外层为酚纸管或环氧玻璃布管,内套消弧管) 7—熔丝 8—下动触头 9—下静触头 10—下接线端 11—绝缘瓷瓶 12—固定安装板

熔丝额定电流的大小，按变压器容量来选择。100kVA 以下的变压器，按额定电流的 2~2.5 倍选择；100kVA 以上的变压器，按额定电流的 1.5~2 倍选择。

例如，电压为 10kV，容量为 100kVA 的三相变压器，高压侧电流可以从铭牌上查得，也可以通过公式计算

$$\text{额定电流} = \frac{\text{额定容量}}{1.73 \times \text{额定电压}} = \frac{100}{1.73 \times 10} = 5.8 \text{ (A)}$$

$$\text{熔丝的额定电流} = 5.8 \times 2 = 11.6 \text{ (A)}$$

可选用 10A 的高压熔丝。

常用的跌落熔断器为 RW 系列。

## 二、低压熔断器

变压器低压侧装设的熔断器，种类很多，如图 2—17 所示。其中，图 (a) 为外线用熔断器（又叫羊角保险），多用于变压器低压侧引线上，图 (b) 为 RC 型瓷插式熔断器，用于配电盘和分支线的保护；图 (c) 为 RM<sub>10</sub> 型熔断器，用于配电盘上作短路保护；图 (d) 为 RL<sub>1</sub> 型熔断器，用于小电流的电路；图 (e) 为 RT<sub>0</sub> 型熔断器，额定电流较大，用

于大容量的配电设备上。

变压器低压侧熔丝的大小，可按变压器低压侧的额定电流的大小来选择。例如，容量为100kVA的三相变压器，低压侧额定电流可以从铭牌上查到，也可以根据公式计算

$$\begin{aligned} \text{额定电流} &= \frac{\text{额定容量}}{\sqrt{3} \times \text{额定电压}} = \frac{100}{1.73 \times 0.4} \\ &= 144.5 \text{ (A)} \end{aligned}$$

低压熔丝选择150A即可。

在选择变压器低压侧的熔丝时，最大不应超过低压侧额定电流的20%~30%。

表2-4列出了配电变压器高、低压侧额定电流及熔丝的额定电流，供选择熔丝时使用。

### 三、穿墙套管

穿墙套管是将高压线路的导线引入配电室接至配电变压器的装置，如图2-18所示。它是配电室安装变压器不可缺少的装置，起绝缘支承和与导线连接的作用。

表 2—4

配电变压器额定电流及熔丝选择

| 配电变压器容量<br>(kVA) | 三相 6kV 配电变压器    |                   |                 |                   | 三相 10kV 配电变压器   |                   |                 |                   |
|------------------|-----------------|-------------------|-----------------|-------------------|-----------------|-------------------|-----------------|-------------------|
|                  | 高压侧             |                   | 低压侧             |                   | 高压侧             |                   | 低压侧             |                   |
|                  | 额定<br>电流<br>(A) | 熔丝额<br>定电流<br>(A) | 额定<br>电流<br>(A) | 熔丝额<br>定电流<br>(A) | 额定<br>电流<br>(A) | 熔丝额<br>定电流<br>(A) | 额定<br>电流<br>(A) | 熔丝额<br>定电流<br>(A) |
| 5                | 0.48            | 3                 | 7.2             | 7.5               | 0.29            | 3                 | 7.2             | 7.5               |
| 10               | 0.96            | 3                 | 14.4            | 15                | 0.58            | 3                 | 14.4            | 15                |
| 15               | 1.44            | 3                 | 21.6            | 25                | 0.87            | 3                 | 21.6            | 25                |
| 20               | 1.92            | 3                 | 28.8            | 30                | 1.16            | 3                 | 28.8            | 30                |
| 25               | 2.40            | 5                 | 35              | 45                | 1.45            | 3                 | 35              | 45                |
| 30               | 2.88            | 5                 | 43.2            | 45                | 1.78            | 5                 | 43.2            | 45                |
| 50               | 4.81            | 7.5               | 72              | 75                | 2.89            | 5                 | 72              | 75                |
| 75               | 7.21            | 10                | 108             | 120               | 4.34            | 7.5               | 108             | 120               |
| 100              | 9.62            | 15                | 144             | 150               | 5.8             | 10                | 144             | 150               |
| 160              | 14.4            | 20                | 216             | 230               | 8.66            | 15                | 216             | 230               |
| 180              | 17.31           | 20                | 259             | 280               | 10.4            | 15                | 259             | 280               |
| 200              | 19.24           | 30                | 288             | 280               | 11.54           | 15                | 288             | 280               |
| 240              | 23.1            | 45                | 345             | 400               | 13.85           | 20                | 345             | 400               |
| 315              | 30.8            | 50                | 451             | 500               | 18.5            | 30                | 451             | 500               |
| 560              | 53.87           | 60                | 806             | 800               | 32.4            | 50                | 806             | 800               |

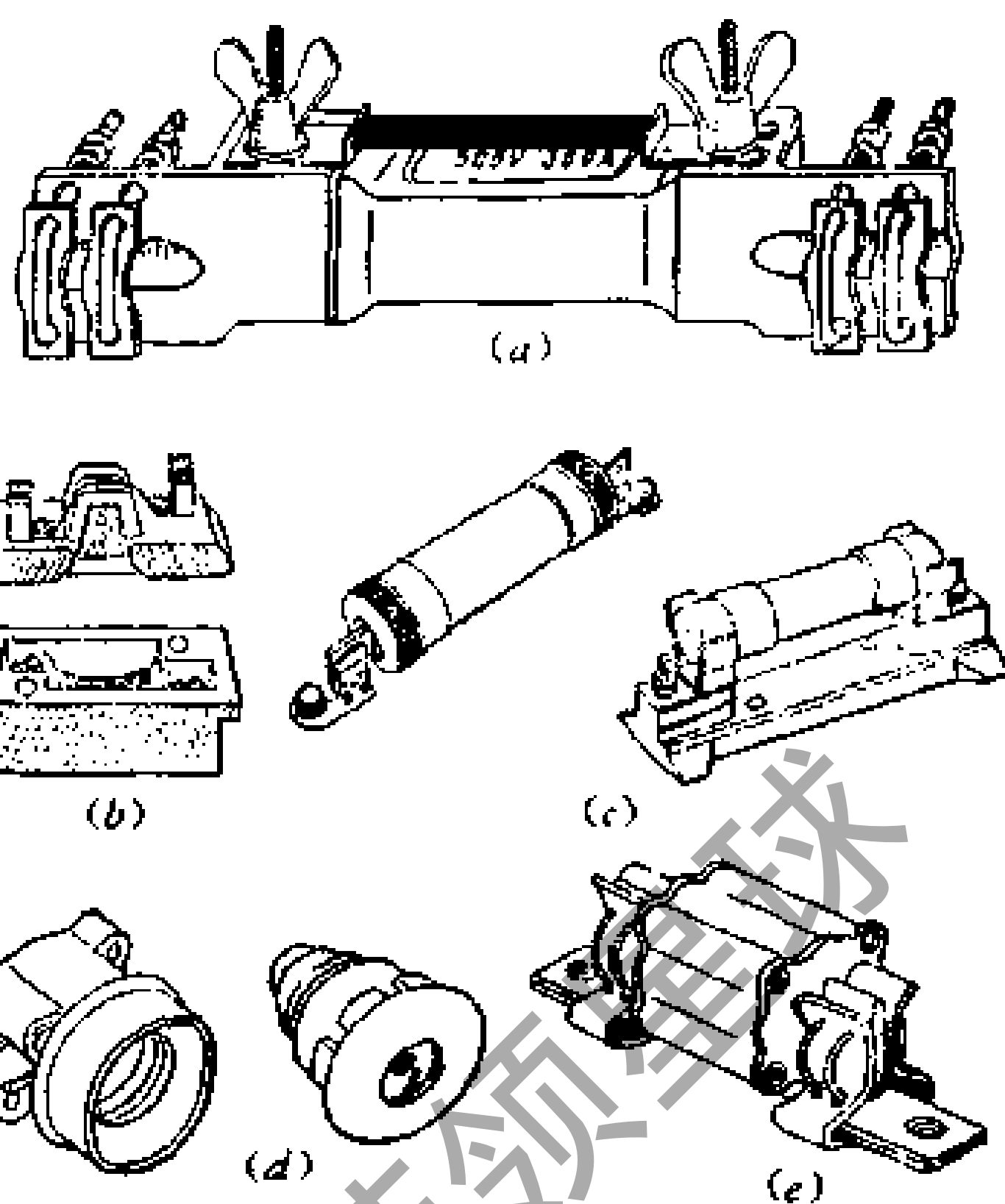


图 2—17 低压熔断器

- (a) 外线用熔断器 (b) RC<sub>1</sub>型瓷插式熔断器  
(c) RM<sub>10</sub>型熔断器 (d) RL<sub>1</sub>型熔断器  
(e) RT<sub>0</sub>型熔断器

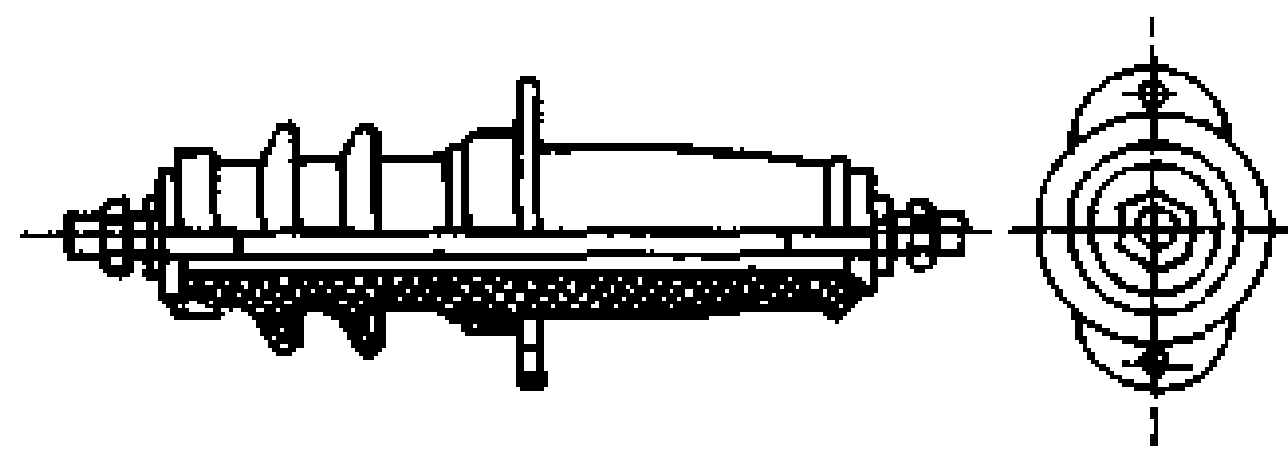


图 2-18 CWB-10 穿墙套管

保护。10kV 及 380V 阀型避雷器的外形和结构，如图 2-19 所示。它的主要元件是火花间隙和阀型电阻。阀形电阻具有在电压高时电阻小、电压低时电阻大的特性。在正常情况下，火花间隙有足够的绝缘强度，不会被正常运行电压所击穿。当雷电过电压袭来时，避雷器内部火花间隙被击穿，阀形电阻迅速减小，立即把雷电流导入大地。雷电压过后，阀型电阻立即升高，限制正常电压下的电流通过，使线路恢复正常工作。因为这种避雷器的特性好像一个阀门一样，故称为阀型避雷器。

常用的阀型避雷器有 FS 系列和 FZ 系列。

#### 五、中、大容量变压器控制

高压熔断器仅适用于对小容量变压器的控制，对于 315kVA 以上容量的变压器，一般采用柱上油开关或室内成套高压开关柜进行停送电控制。常用的柱上多油开关有 DW<sub>5</sub>-10 型、DW<sub>7</sub>-10 型和 DW<sub>10</sub>-10 型，其外形及结构如图 2-20 (a)、(b) 所示；常用的室内成套高压开关柜为 GG<sub>1A</sub> 型，其结构如图 2-20 (c) 所示。

#### 四、阀型避雷器

在雷雨季节，架空线路、电缆线路、变压器等电气设备，容易遭受雷电过电压的侵袭。这种电压可能比设备的额定电压高出若干倍，容易造成设备绝缘击穿，甚至引起火灾。因此，需要装设避雷器来进行

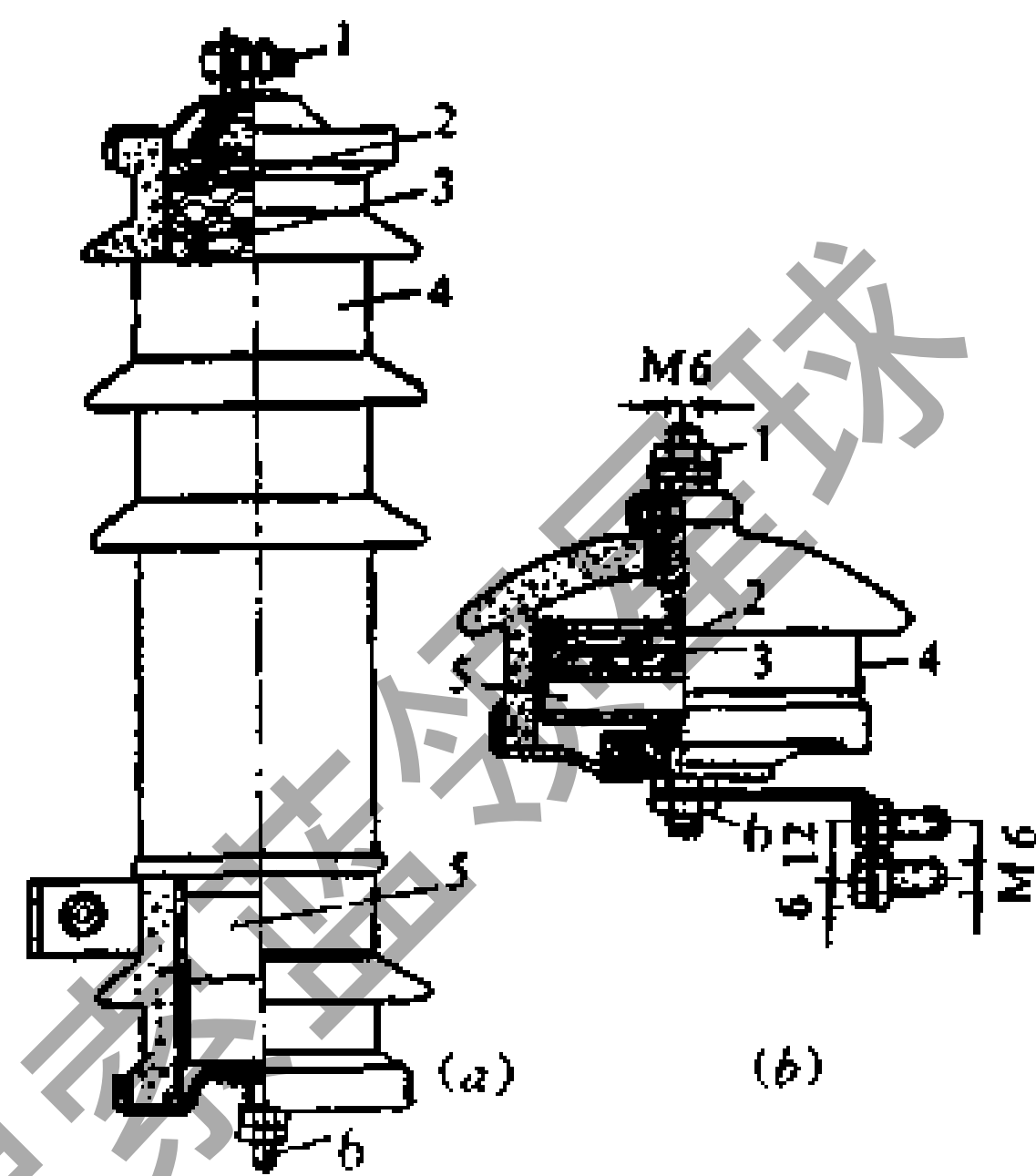


图 2-19 阀型避雷器

(a) FS<sub>1</sub>-10 型 (b) FS-0.38 型

1—接线螺丝 2—火花间隙 3—云母垫片

4—瓷套 5—阀型电阻 6—接地螺丝

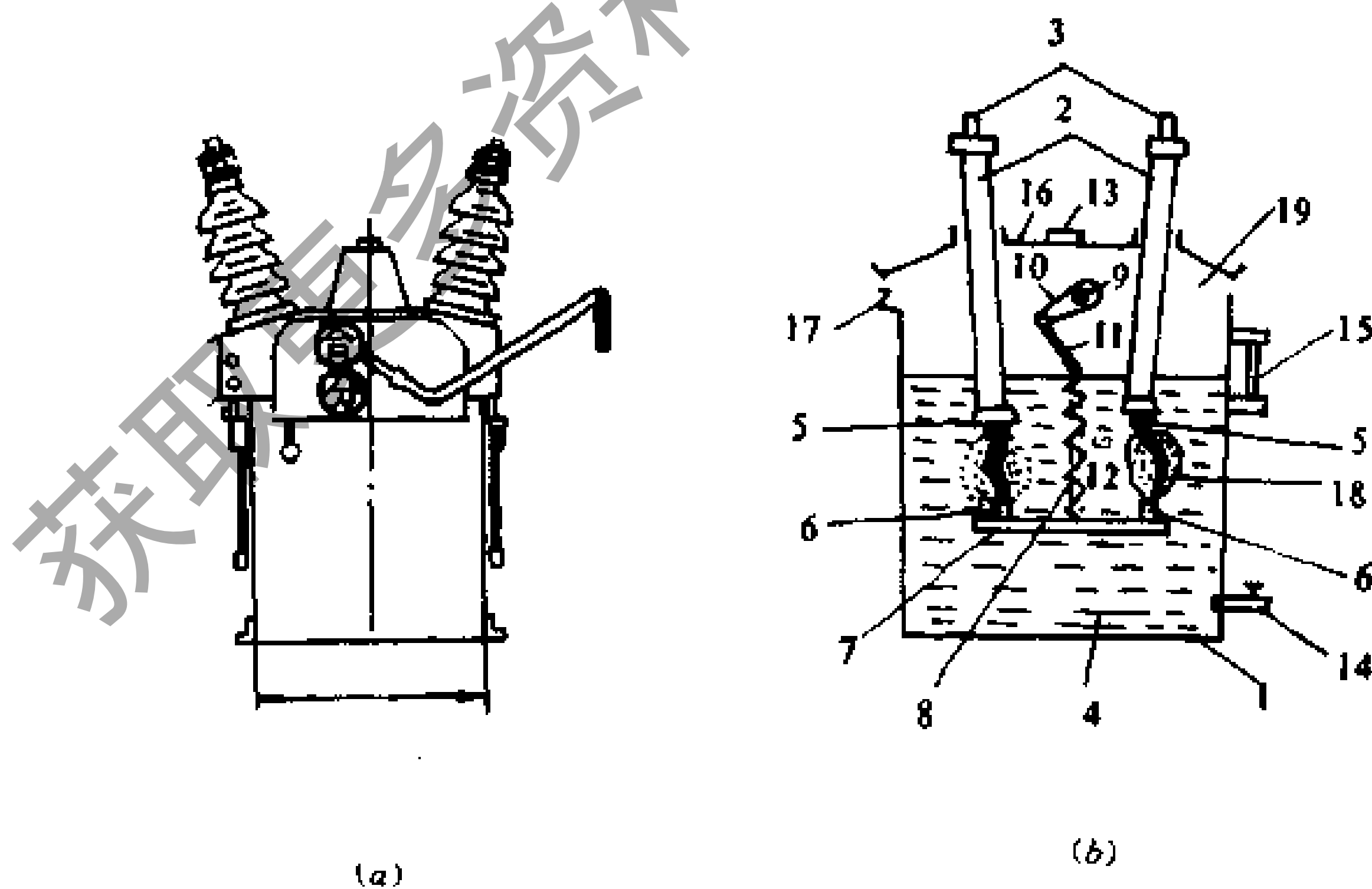


图 2-20 (a)、(b) 柱上油开关

1—油箱 2—套管绝缘子 3—导电杆 4—变压器油 5—静触头 6—动触头 7—横  
柜 8—提升杆 9—断路器轴 10—曲柄 11—连杆 12—开断弹簧 13—注油孔  
14—放油阀 15—油标 16—油箱盖 17—排气孔 18—汽泡 19—空气垫

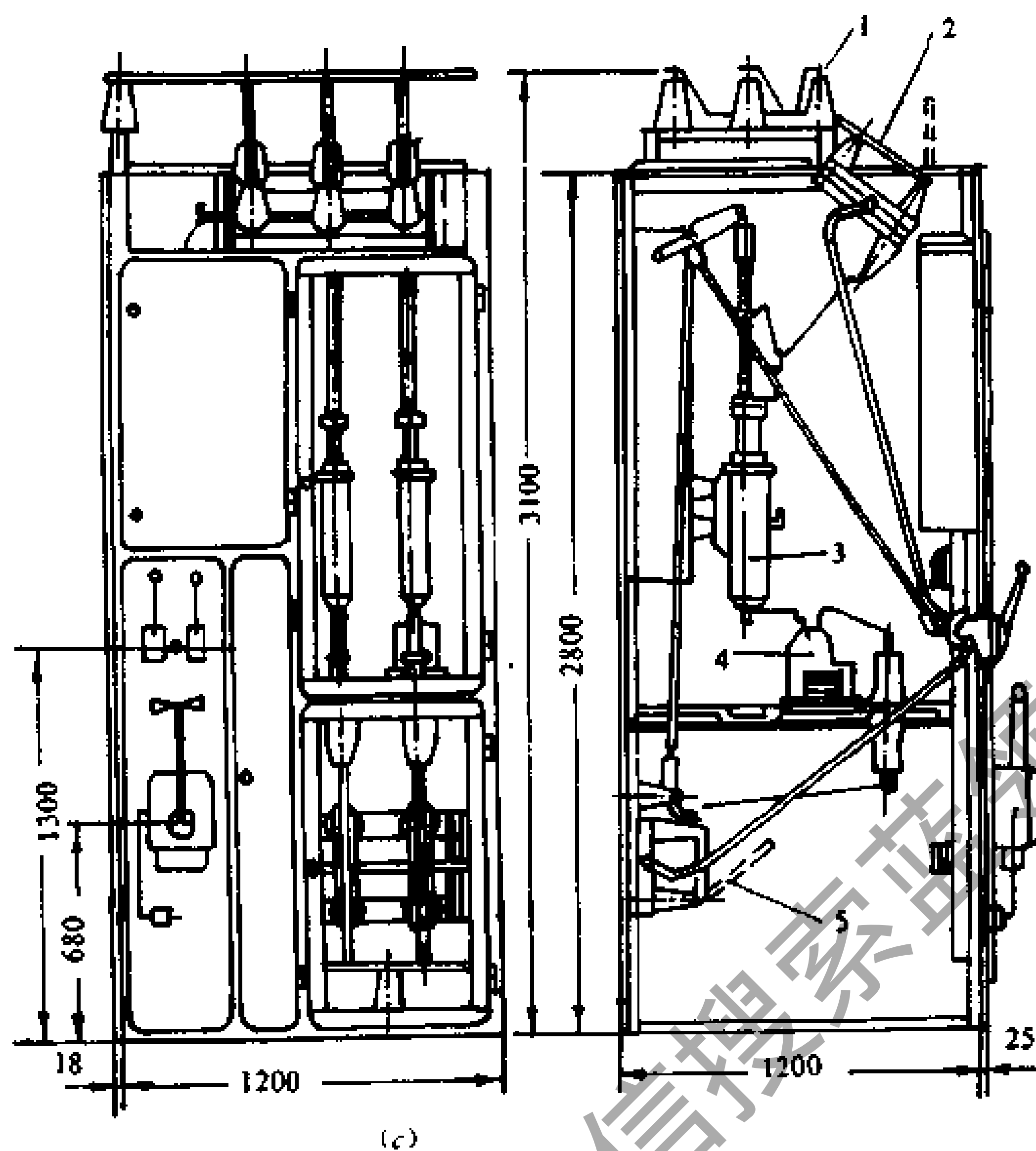


图 2—20 (c) GG1A 开关柜

1—母线 2—上刀闸（母线侧） 3—油开关 4—下刀闸（负荷侧） 5—电流互感器

### 六、变压器停、送电程序

为了保证变压器的安全运行和人身安全，在变压器停、送电操作时，一定要严格按照安全规程进行，不得颠倒操作程序。为了避免带负荷拉、合闸，停电时应先拉开低压侧各路开关，后拉低压总开关。在变压器空载情况下，再拉变压器高压侧开关设备（熔断器、柱上开关、成套开关柜）。送电时程序与之相反。

若高压侧为熔断器控制，为了防止因风力作用造成相间弧光短路，在拉高压熔断器时，应先拉中相，再拉背风相，最后拉迎风相；送电时，应先合迎风相，再合背风相，最后合中相。

若高压侧为成套高压开关柜控制，停电时应先拉开油开关，再拉负荷侧刀闸，最后拉开母线侧刀闸；送电时应先合母线侧刀闸，再合负荷侧刀闸，最后合油开关。

## 第 7 节 变压器的安装

变压器的安装，有杆架式、地台式、落地式、配电室 4 种。各方式都是用来安置变压器和附属设备的。

### 一、杆架式安装

### 1. 单杆变台

单杆变台如图 2—21 所示。变压器、避雷器、高低压熔断器等，均装于同一杆上。这种变台结构简单、组装方便、占地面积小，适于安装 50kVA 以下的变压器，在城市街道两侧采用的较多。

### 2. 双杆变台

双杆变台如图 2—22 所示。

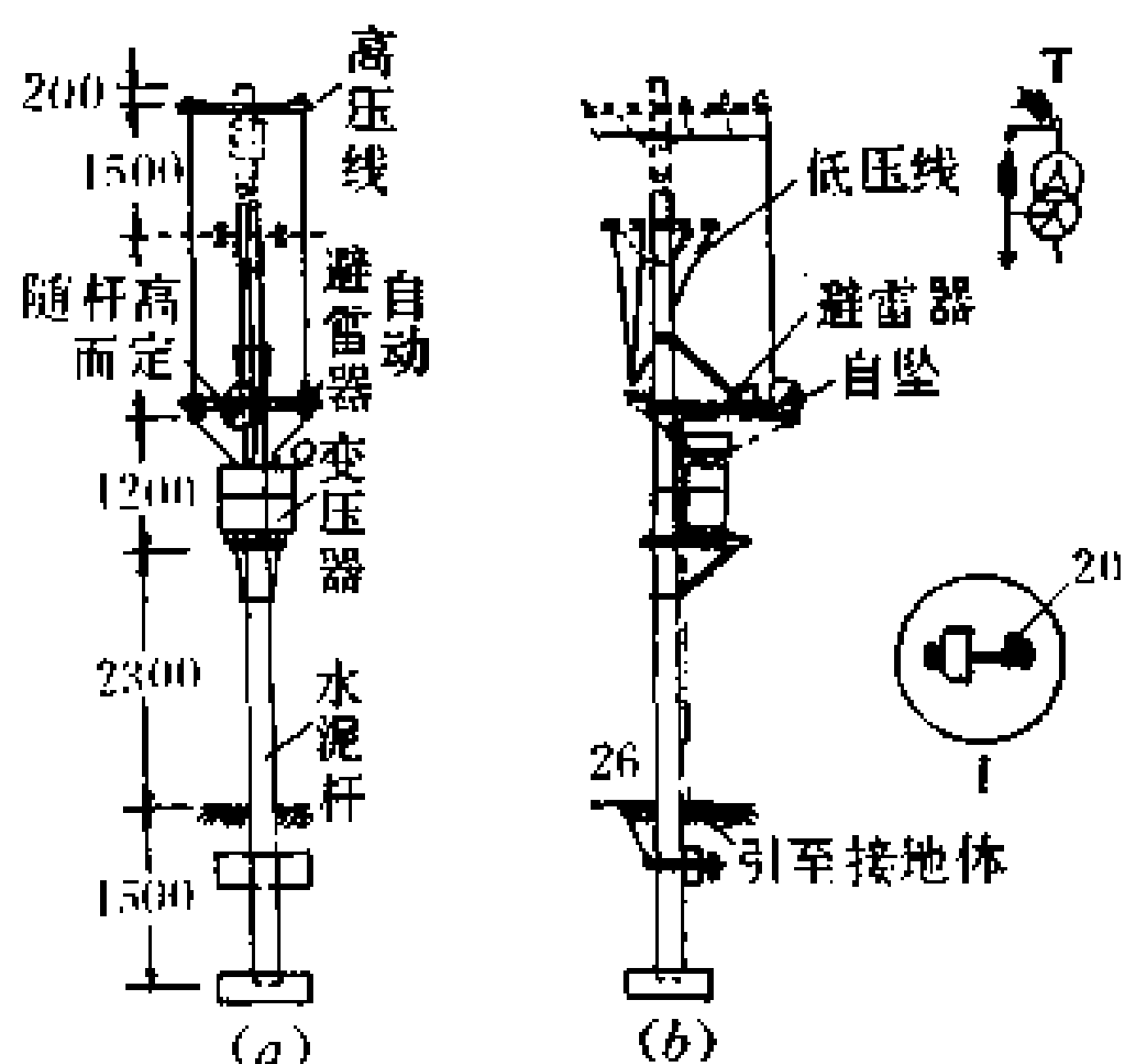


图 2—21 单杆变台  
(a) 正视图 (b) 侧视图

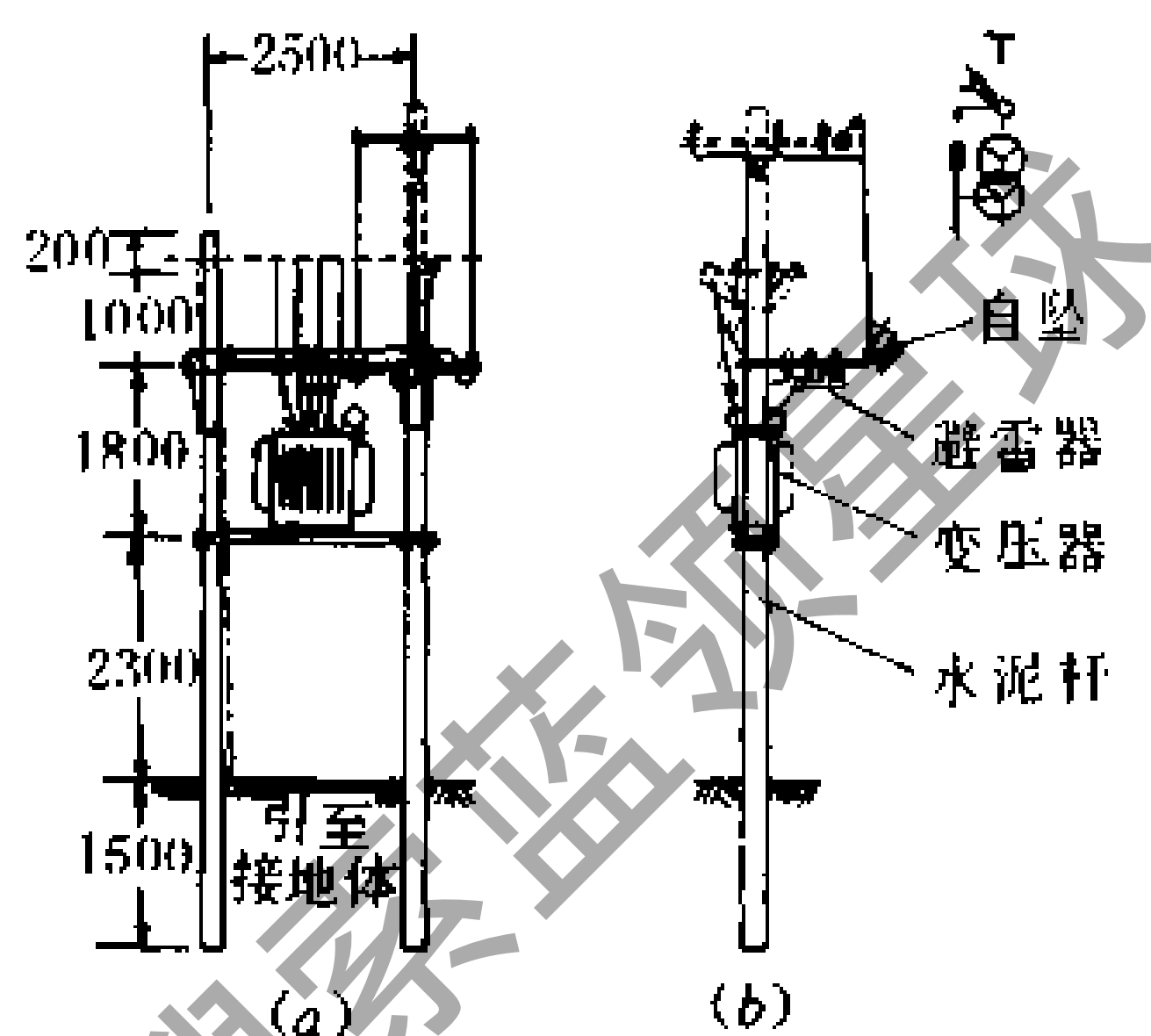


图 2—22 双杆变台  
(a) 正视图 (b) 侧视图

双杆变台是在距电杆 2~2.5m 处，再立一根较低的电杆，在距地面 2~2.5m 高处安装变压器支架，将变压器安装在支架上。在电杆上部安装高压熔断器和避雷器等设备。双杆变台比单杆变台坚固，但材料及造价较单杆变台高，一般用来安装 50~180kVA 的配电变压器。在城镇马路两侧，大都采用这种变台。

### 二、地台式安装

地台式变压器安装方式如图 2—23 所示。这种安装方式比较牢固，造价低，在农村可以使用。但是，由于变压器运行条件较差，建筑物较小，维护管理不方便，难以向标准化配电装置发展，不宜广泛推广。

### 三、落地式安装

落地式变台是把配电变压器放在地面的矮台上，矮台用于防止水浸湿变压器，其高度应根据地形确定。为了保证安全，防止人、畜接近变压器的带电部分，必须在变台周围安装围栏，围栏高度不小于 1.5m，与变压器间隔 1.5~2m，引下线应在围栏内。这种安装方式适用于临时用电或大容量变压器。

### 四、配电室安装

配电室安装方式，即把配电变压器置于专建的房屋内，如图 2—24 所示。这种方式在城市用户中早已广泛应用，在农村，随着经济条件的好转和标准化用电村的推行，也必将逐步得到普及。这种配电室虽然造价高，但有利于人身和设备安全；开关、仪表等均装在室内的配电盘上，便于操作、监视和维修。

配电室的结构尺寸，可根据安放变压器的台数、低压配电盘的个数、当地建材情况

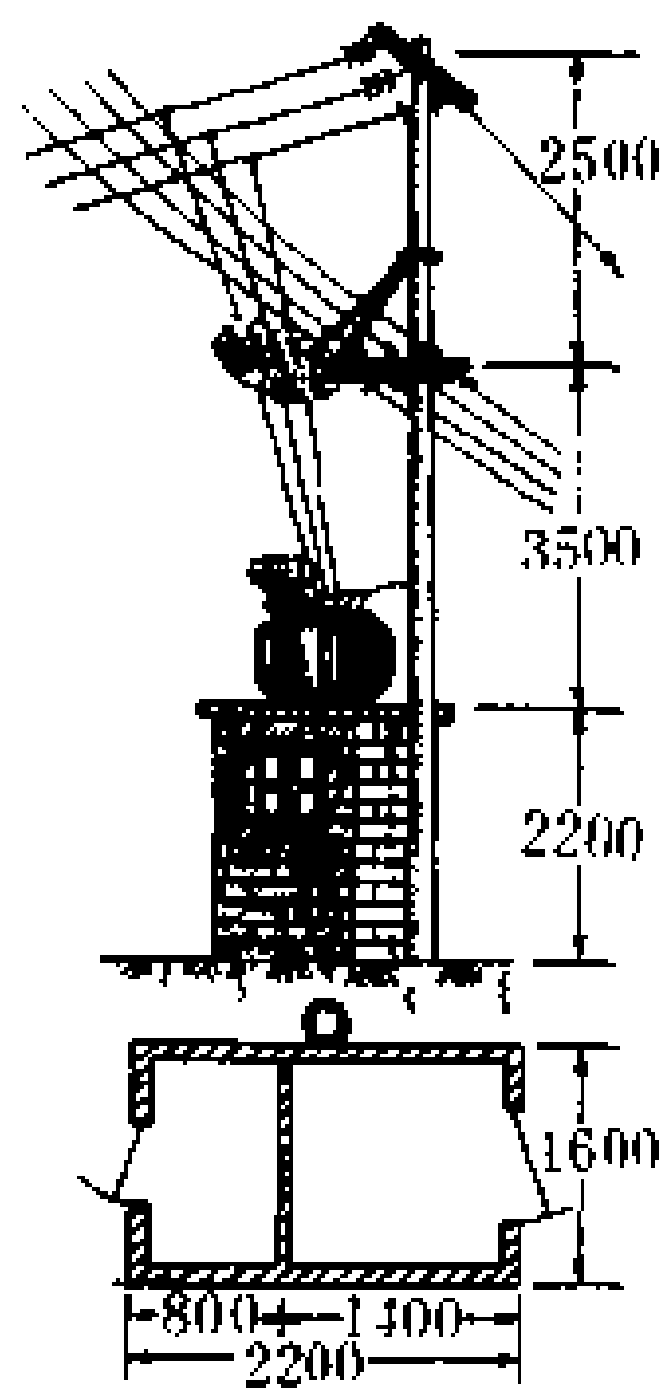


图 2—23 地台式变台

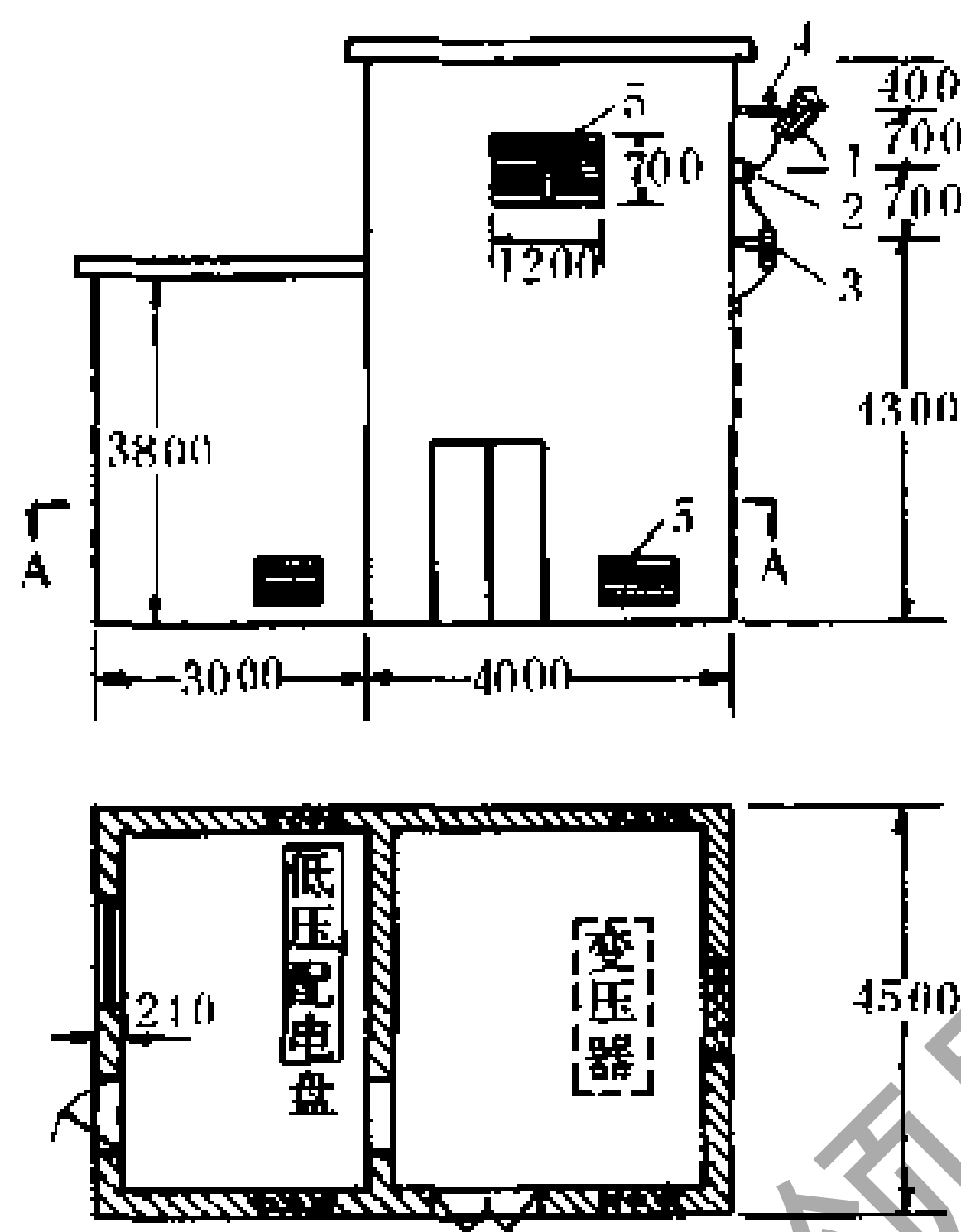


图 2—24 配电室

1—自坠 2—穿墙套管 3—避雷器 4—瓷瓶 5—百叶窗

设计建造。小工业用户和农村用户，可参考图 2—24 建造。T 接杆（高压下火杆）至配电室的距离一般在 3~12m 为宜。为节省材料、降低造价，也可将低压配电室去掉，将其放在变压器室内。

## 第 8 节 变压器的维护与故障处理

### 一、运行中的检查与维护

#### 1. 注意变压器的声音

变压器在正常运行中，由于交变磁通的影响，硅钢片会发出均匀的“嗡嗡”声，它与电压和电流的大小、三相负载是否平衡等有着直接的关系。一旦变压器出现故障，声音就会加大，并且伴有杂音。假若听到“噼啪、噼啪”的放电声，就要立即停电检查。

#### 2. 油位的高低

变压器的正常油位，应在油枕的上下油位线之间波动，油位过高或过低，都不是正常现象。变压器过载时，油会受热膨胀，使油位升高，这时应检查电流过大的原因；变压器漏油时，油位下降。当下降到箱盖以下时，会加速油的老化或使其受潮。当线圈露出油面时，会使绝缘降低，容易造成相间或对地击穿漏电。当油位低于散热管的上口时，油就停止流动，不能散热，使温度升高，以致烧毁线圈。

在检查油位时，要注意油箱、油枕、油标之间的油路是否畅通，油路堵塞会造成假油面。

#### 3. 温度

变压器的温度，以上层的油温为准，最高不得超过 95℃，平时不要经常超过 85℃。如果用温度计贴紧变压器的外壳测量温度，其允许温度不得高于 75℃。

温度高的原因是，环境温度高、过负载、电压偏高或线圈短路等。

#### 4. 察看套管

变压器运行中，要观察套管是否清洁，有无破损、裂纹和放电痕迹，应定期清扫，保持干净，防止套管上积聚灰尘、油污，造成事故。

#### 5. 检查接地装置

变压器的外壳和低压侧中性点的接地，允许与避雷器的接地共用一个接地网，其接地电阻不大于  $4\Omega$ 。要定期检查接地引线有无断裂、严重锈蚀等现象。

#### 6. 其他

变压器运行中，要经常注意察看高压熔断器、低压熔丝、避雷器、导线接头等是否有折断、松动和熔断等情况，以便及时更换或采取措施。

### 二、紧急事故的处理

变压器运行中，如果发现下列故障，应立即停电检修：变压器声音增大且不均匀，内部有爆裂声和放电声；负荷、环境温度等正常，上层油温超过了允许值；油枕及防爆管喷油、冒烟或者着火；严重漏油，油色迅速变深、变黑等。

### 三、变压器的常见故障

表 2-5 为变压器的常见故障及产生原因和现象。

表 2-5 变压器的常见故障及产生原因和现象

| 部 位              | 故 障 情 况     | 产 生 原 因 和 现 象                    |
|------------------|-------------|----------------------------------|
| 铁<br>心           | 铁心松动，器身结合不紧 | 有异常振动声和噪音                        |
|                  | 铁心片间绝缘损坏    | 空载电流变大，油温升高，油色变深                 |
| 绕<br>组           | 绕组对地击穿、放电   | 绝缘损坏或受潮、过电压、严重缺油、高压熔丝烧断          |
|                  | 层间或匝间短路     | 油温升高并发出“咕嘟”声、三相电源不平衡、油枕冒烟、跌落开关掉闸 |
|                  | 相间短路        | 油温升高、油枕喷油、跌落开关合不上                |
| 分<br>接<br>开<br>关 | 触头和分接头放电    | 接触不良、油枕冒烟、熔断高压保险                 |
|                  | 触头表面烧伤或熔化   | 油温升高、触头处有放电声、高压保险熔断              |
| 变<br>压<br>器<br>油 | 渗油、漏油       | 焊缝不严或开裂、密封、箱盖不严等                 |
|                  | 油变质、变暗      | 长期受热，因内部有故障产生气体                  |
| 套<br>管           | 套管放电        | 雷击、灰尘油污等                         |
|                  | 对地击穿        | 瓷瓶表面较脏、有裂纹或杂物                    |

## 第 9 节 特殊用途的变压器

### 一、自耦变压器

如将变压器的一、二次绕组合并，即一次绕组的一部分兼作二次绕组（图 2-25），这种变压器称为自耦变压器。



自耦变压器与普通电力变压器不同之处在于：它只有一个绕组，一、二次侧的电路共用一部分绕组，一、二次侧电路之间除了有磁的联系外，还有电的联系。它既可用于升压，也可用于降压。

自耦变压器的原理与普通变压器原理相同。一、二次绕组两边的电压之比

$$K = \frac{U_1}{U_2} = \frac{W_1}{W_2}$$

一次绕组的电流方向与二次绕组的电流方向相反，故实际流过  $W_2$  的电流为一、二次两边的电流之差。因此，绕组  $W_2$  部分可用细导线绕制，以节省导电材料，这是自耦变压器的优点。但由于一、二次侧直接有电的联系，故对二次侧绕组的绝缘要求很高，这又是其缺点。一般自耦变压器的变比为 1.25~2。

常见的试验室用的调压器一般采用自耦变压器的形式，它可以在电气试验中带负载平滑地改变电源电压。这种调压变压器有单相的(图 2-26)，也有三相的，容量都比较小。

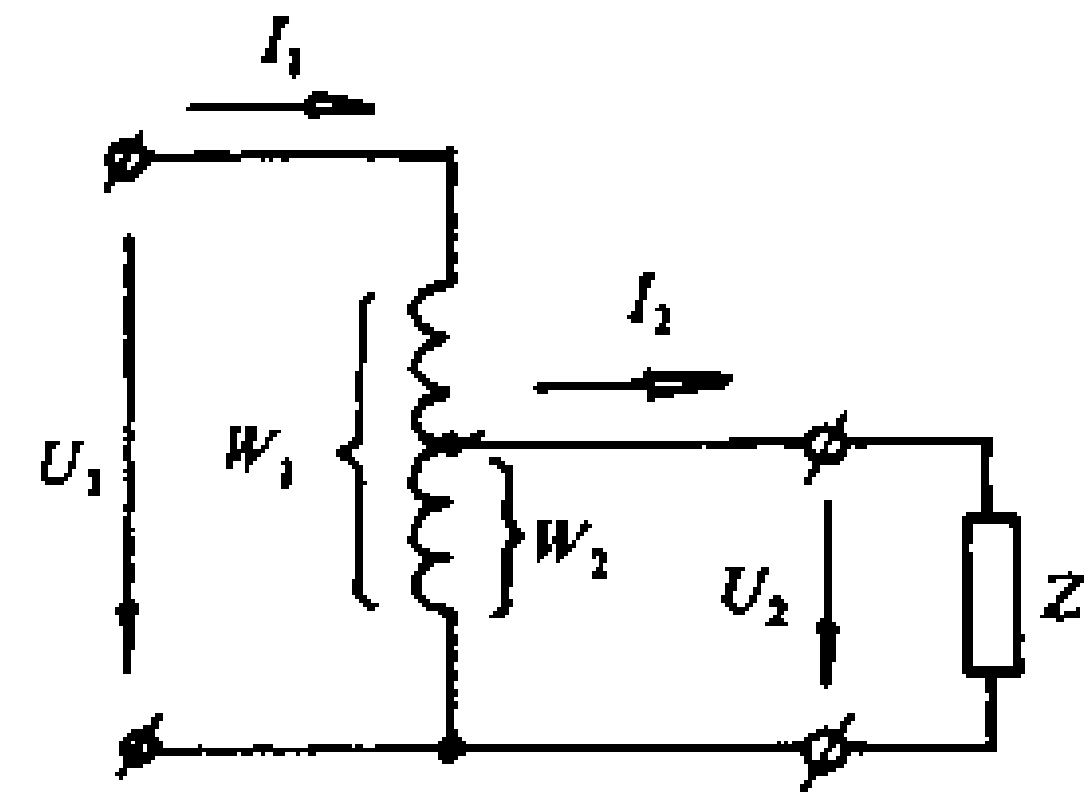


图 2-25 自耦变压器

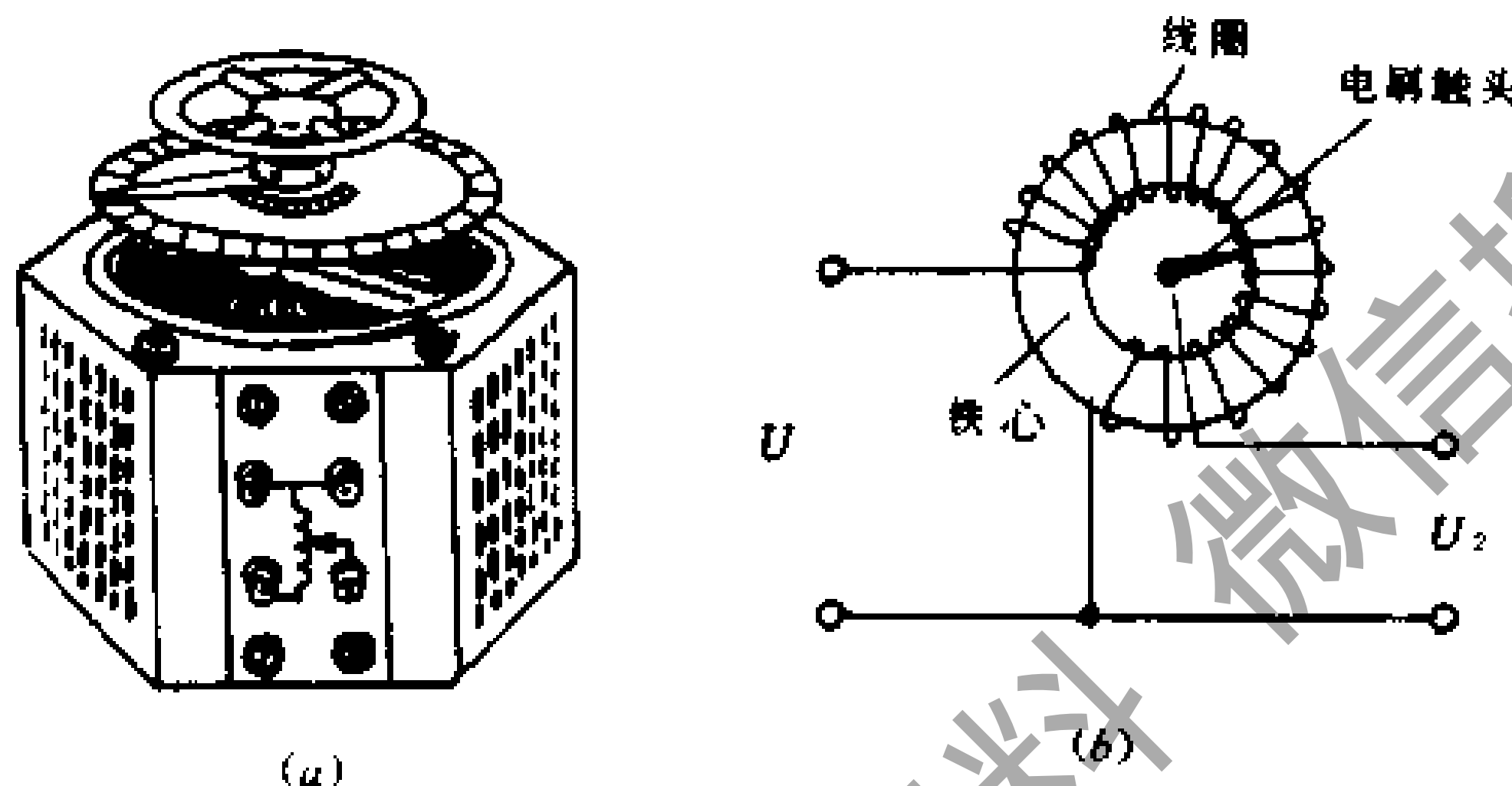


图 2-26 单相自耦变压器  
(a) 外形图 (b) 原理电路图

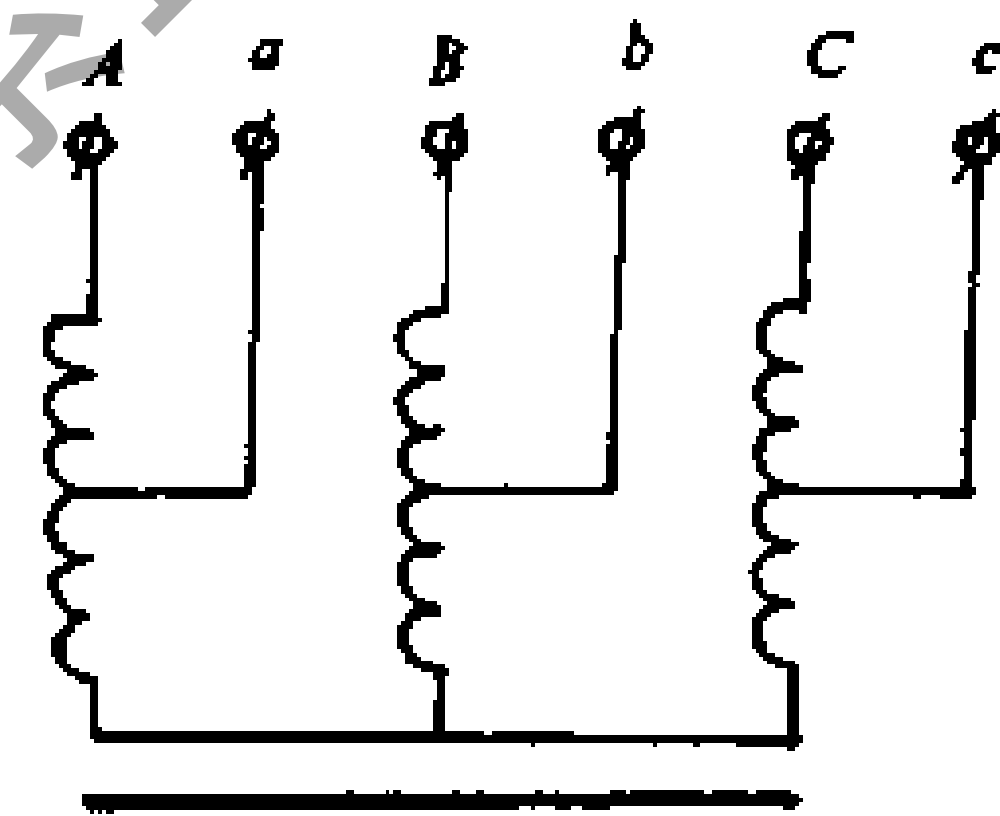


图 2-27 三相自耦变压器

三相自耦变压器常接成星形(图 2-27)，可用作三相异步电动机的起动设备。

自耦变压器不允许作为安全变压器使用，因为万一接错线路，将会发生触电事故。在图 2-28 中，虽然二次电压只有 12V，在安全电压的范围内(36V 及以下的电压称安全电压)，但当人触及二次电路的任何一根端线时均有危险。因此规定安全变压器一定要采用一、二次绕组分开的双绕组变压器。

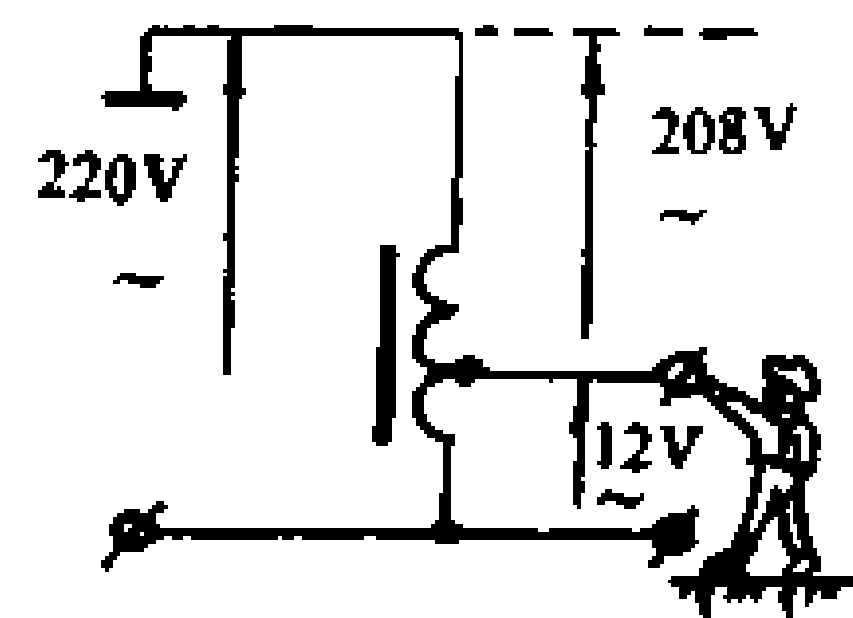


图 2-28 错误接法

## 二、电焊变压器

常见的交流电弧焊机(简称电焊机)就是电焊变压器。它的特点是：变压器空载时，要求有高的输出电压(引弧电压为 60~75V)。焊接件接通、输出端电流增大时，要求输出电压迅速降低。输出电压变化时，输出电流变化不大，保持电弧比较稳定，即使输出端短路(焊条接触在工件上，输出电压降到零)时，输出端电流也不太大。

根据以上特点，要求电焊变压器具有输出端电压随输出电流的增大而迅速降低的特性，如图 2-29 (a) 所示。这与普通变压器的要求(输出电流增大时，输出端电压下降很小)不同。

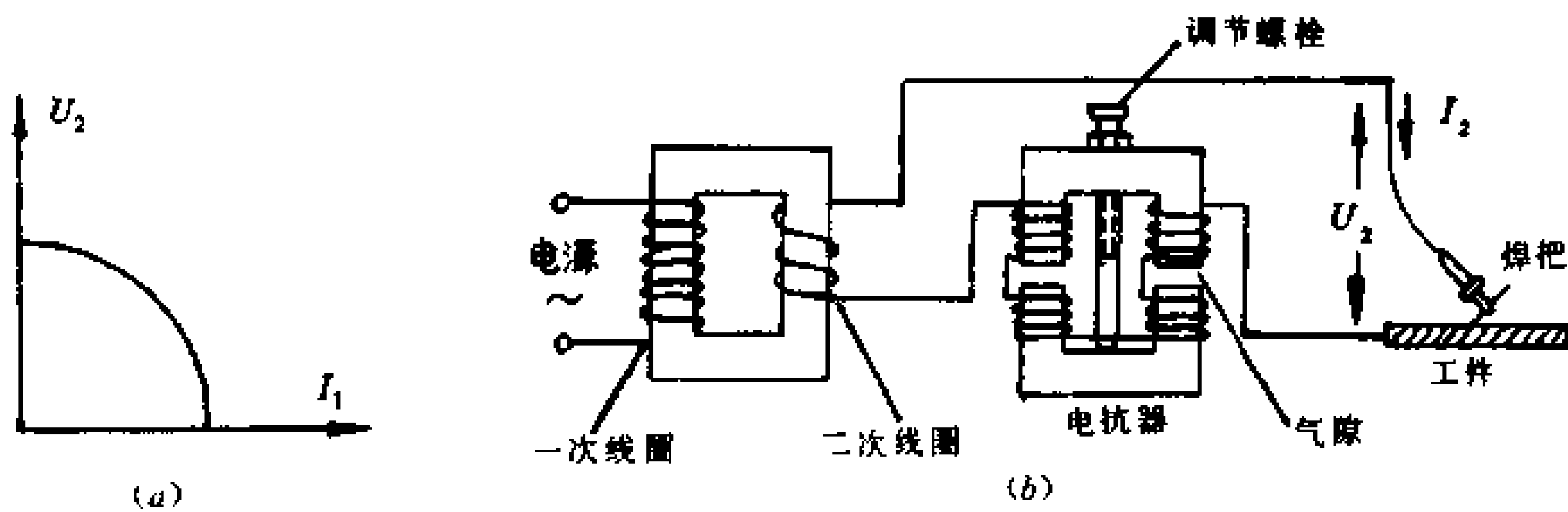


图 2—29 电焊变压器

(a) 输出电压与输出电流的关系 (b) 原理电路图

图 2—29 (b) 是电焊变压器的原理电路图。图中，电焊变压器的次级与电抗器串联。电抗器的铁心有较大的空气隙，转动调节螺杆便可改变空气隙的长短。

因为气隙加长后，电抗器的感抗  $X_L$  将减小，焊接电流增大，所以焊接时根据工件大小和焊接要求，调节电抗器空气隙的距离，即可控制焊接电流的大小。

在起弧时，焊条与工件直接接触，变压器次级处于短路状态，这时其次级电压必须迅速下降到零，才能保证短路电流不致过大，以免烧坏变压器。通常是采取增大变压器和电抗器的漏磁通，即增大内部阻抗压降来实现。

电焊变压器的初级电压常用的有 220V、330V 两种，次级电压是 60~70V，电流调节范围为 70~300A。

目前常用的电焊变压器有 CT 型、BX 及 BXW 型等。

### 三、多绕组变压器

多绕组变压器（图 2—30）只有一个原绕组（即一次绕组），但有好几个副绕组（即二次绕组）。当初级接上电源后，次级就能输出几种不同的电压。其变比为

$$\frac{U_1}{U_2} \approx \frac{W_1}{W_2}, \quad \frac{U_1}{U_3} \approx \frac{W_1}{W_3}$$

这样，一只多绕组变压器可代替好几只双绕组变压器。这种变压器在电子电路中得到广泛的应用。

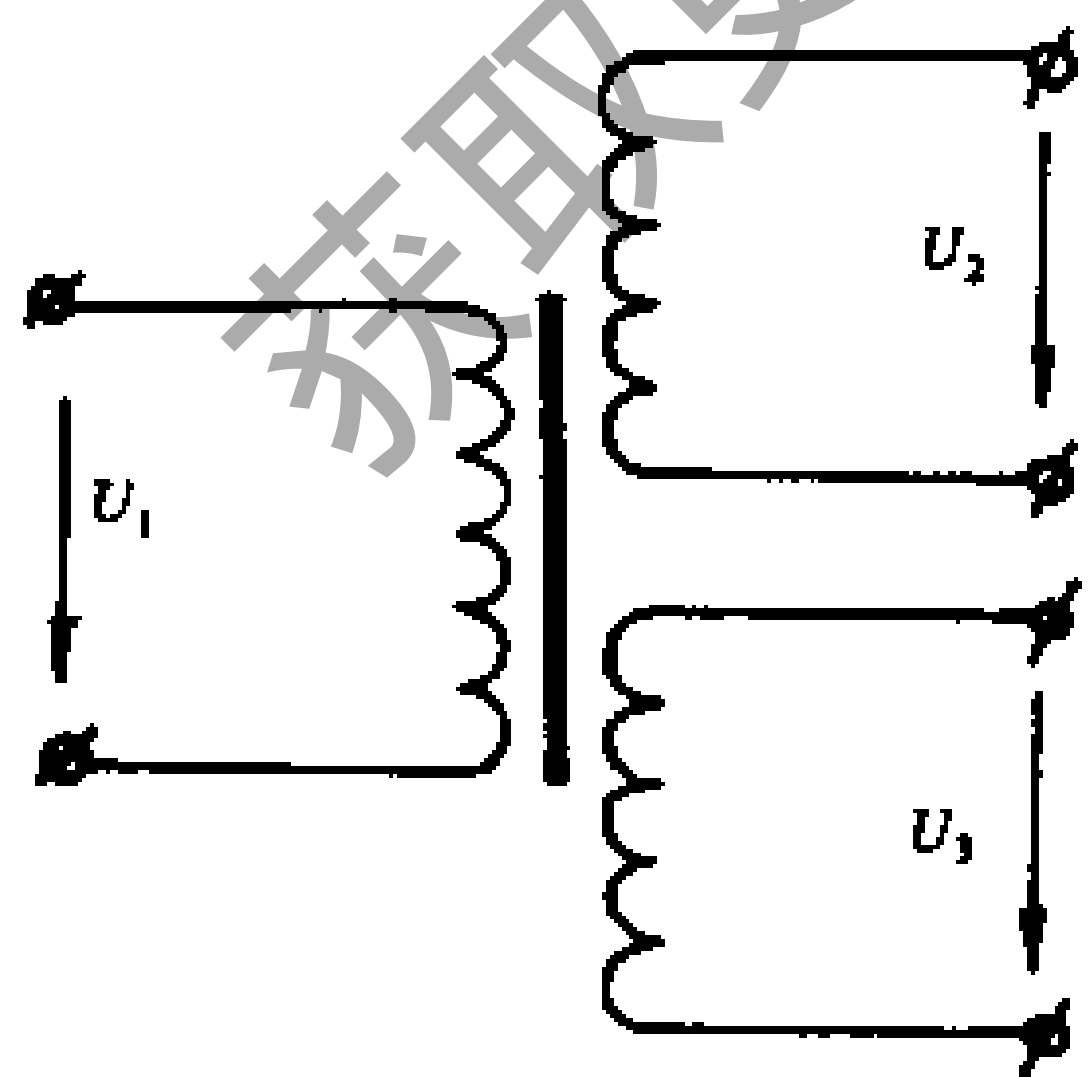


图 2—30 多绕组变压器

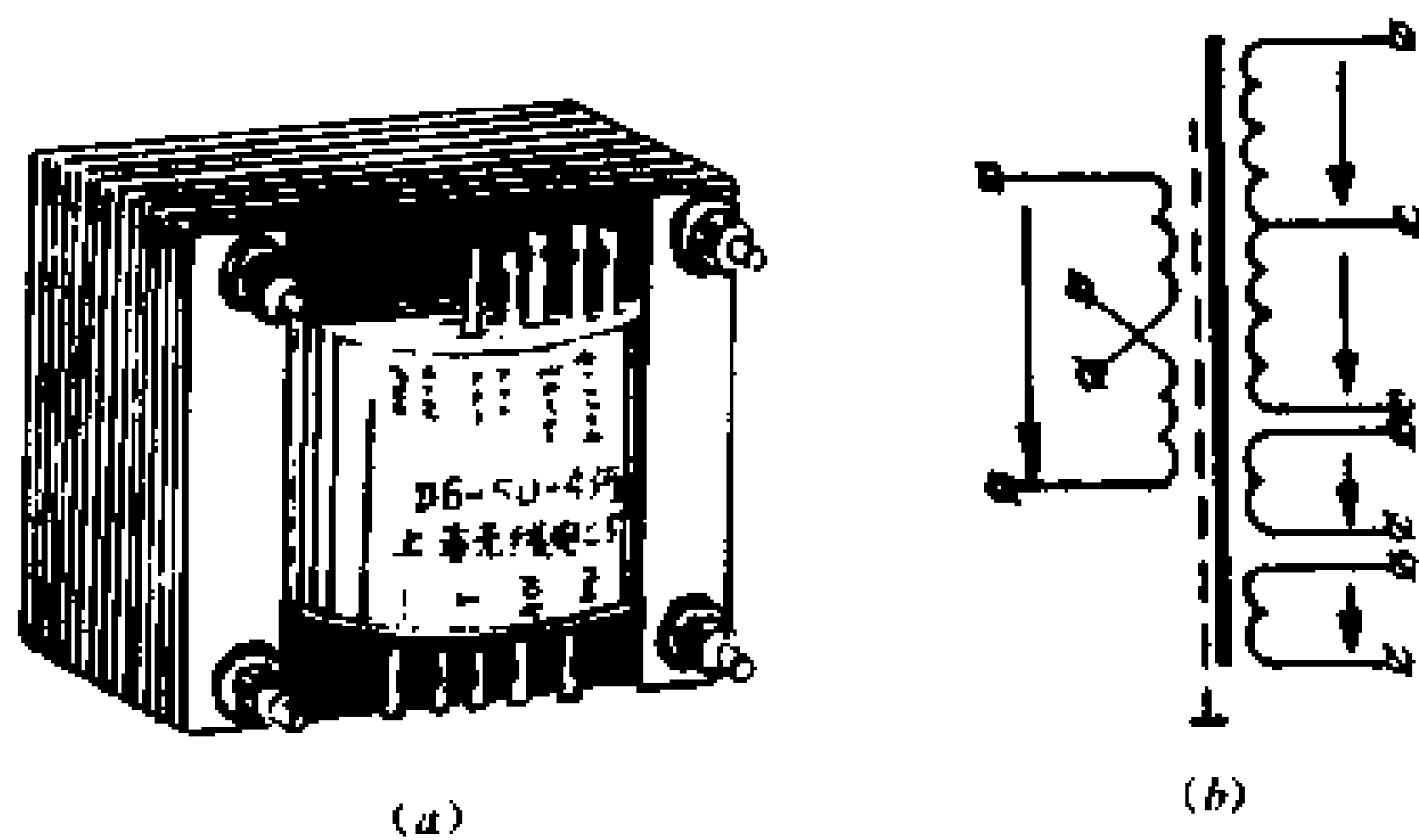


图 2—31 DB—50—43 无线电电源变压器

(a) 外形图 (b) 原理电路图

图 2—31 是国产 DB—50—43 无线电电源变压器的外形和原理电路图，其容量为

50VA，可用在六七灯电子管收音机上。

#### 四、互感器

互感器是电工测量和自动保护装置中使用的特种双绕组变压器。使用互感器的目的是，使测量仪表与高压电路隔离，以保证工作安全；扩大测量仪表的量程。根据用途不同，可分为电流互感器和电压互感器两种。

##### 1. 电流互感器

电流互感器是一种专门供测量或保护用的电流变换装置。它在电路中能把大电流变换成小电流，供给测量仪表和继电保护装置。所以，电流互感器又称为变流器，通用CT表示。

(1) 电流互感器的结构和工作原理：电流互感器的结构和工作原理与普通变压器相似。它的一次绕组串联在被测电路中，二次绕组与测量仪表或继电保护装置的电流线圈串联。一次绕组的匝数很少，二次绕组的匝数较多，这样就可以将一次侧的大电流  $I_1$  变成二次侧的小电流  $I_2$ 。它的原理接线图如图 2—32 所示。

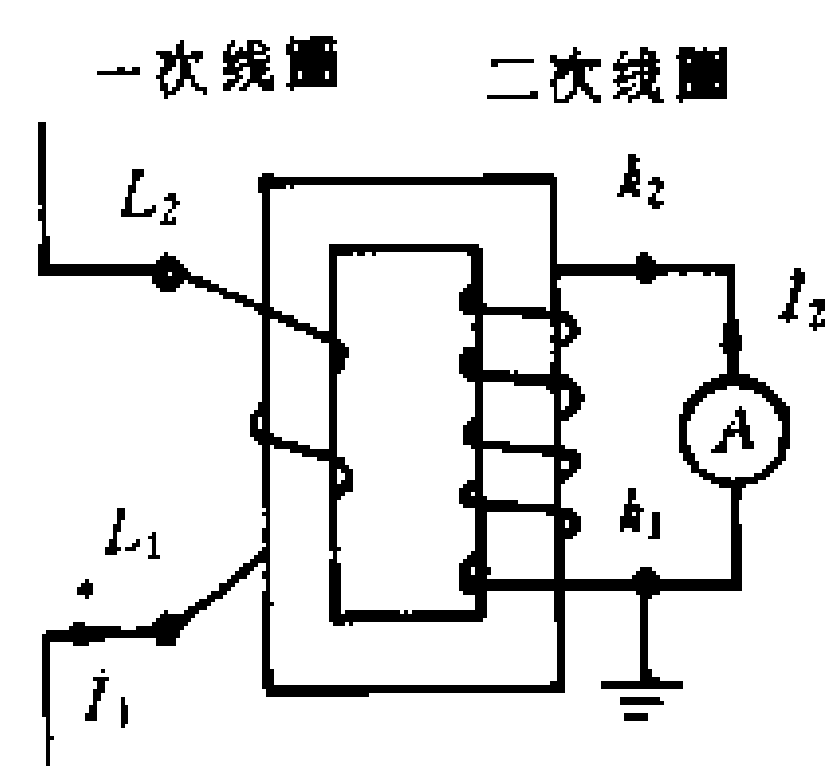


图 2—32 电流互感器的原理接线图

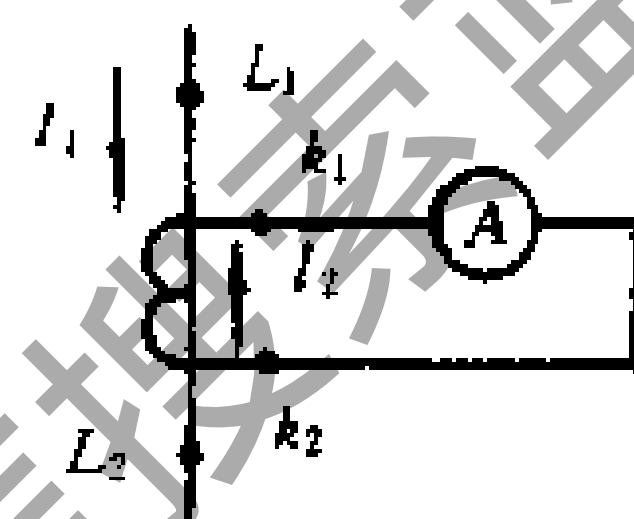


图 2—33 电流互感器的极性标志（减极性）

(2) 电流互感器的特点：由于电流互感器的特殊用途，它还具有一些不同于普通变压器的特点。

① 电流互感器二次额定电流一般均规定为 5A，这样可使二次回路的仪表、装置等设备标准化和小型化。

② 电流互感器在运行中，由于二次绕组所串联的测量仪表等阻抗非常小，要比普通变压器二次侧接的负荷小得多，所以基本上处于短路状态，这一点明显区别于普通变压器。如果二次侧断开，会在二次侧产生很高的电压，这是很危险的。所以，严禁二次侧开路，规定二次侧不准装熔断器，为安全起见，二次侧要接地。

(3) 电流互感器的极性：是指一次电流与二次电流的方向的关系。如将一次绕组的两个端子分别标志为首端  $L_1$ ，尾端  $L_2$ ；二次绕组的两个端子分别标志为首端  $K_1$ ，尾端  $K_2$ 。当一次电流  $I_1$  由  $L_1$  流向  $L_2$ ，而感应出的二次电流  $I_2$  同时由  $K_2$  流向  $K_1$  时，说明电流互感器的 4 个端子的标志是“减极性”的（图 2—33）。目前生产的电流互感器都有“减极性”标志。在使用中要注意端子不要接反，否则会使功率表、电能表计量错误，引起继电保护误动作。

(4) 电流互感器常用的接线方式：电流互感器二次绕组与测量仪表等的连接方式，最常见的有 3 种（图 2—34）。

①单相接线：常用于三相对称负荷电路，只测一相电流〔图 2—34 (a)〕。

②星形接线：可测三相负荷电流，监视各相负荷的不对称情况〔图 2—34 (b)〕。

③不完全星形接线：广泛用于电压为 35kV 及以下的电网中〔图 2—34 (c)〕。

(5) 常用的电流互感器：

①低压电流互感器：常用的有 LQG—0.5 型、LMZ<sub>1</sub>—0.5 型 (图 2—35、图 2—36)。

②高压电流互感器：常用的有 LFC—10 型、LDC—10 型、LMC—10 型、LQJ—10 型等 (图 2—37、图 2—38、图 2—39、图 2—40)。

每只电流互感器上都有铭牌，铭牌上注明了型号、变流比、误差等级、容量以及热稳定倍数，使用时一定按要求的参数和使用说明书去做。

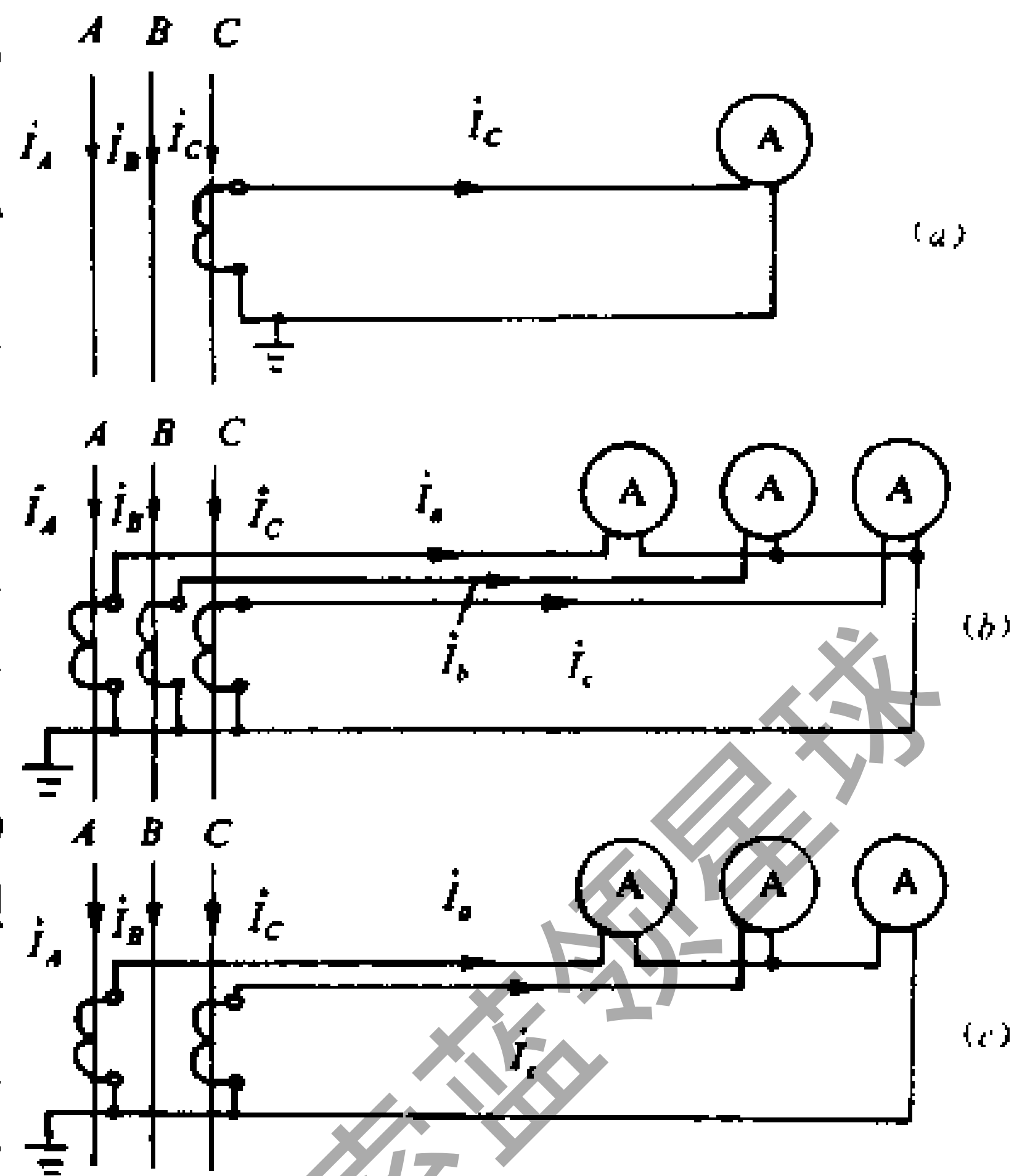


图 2—34 电流互感器常用的三种接线方式  
(a) 单相接线 (b) 星形接线 (c) 不完全星形接线

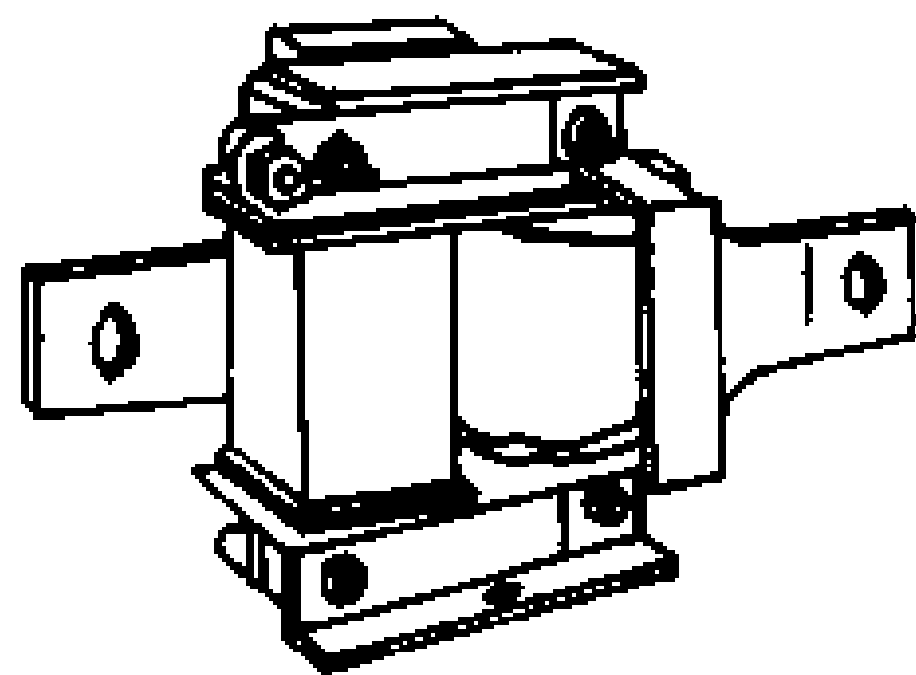
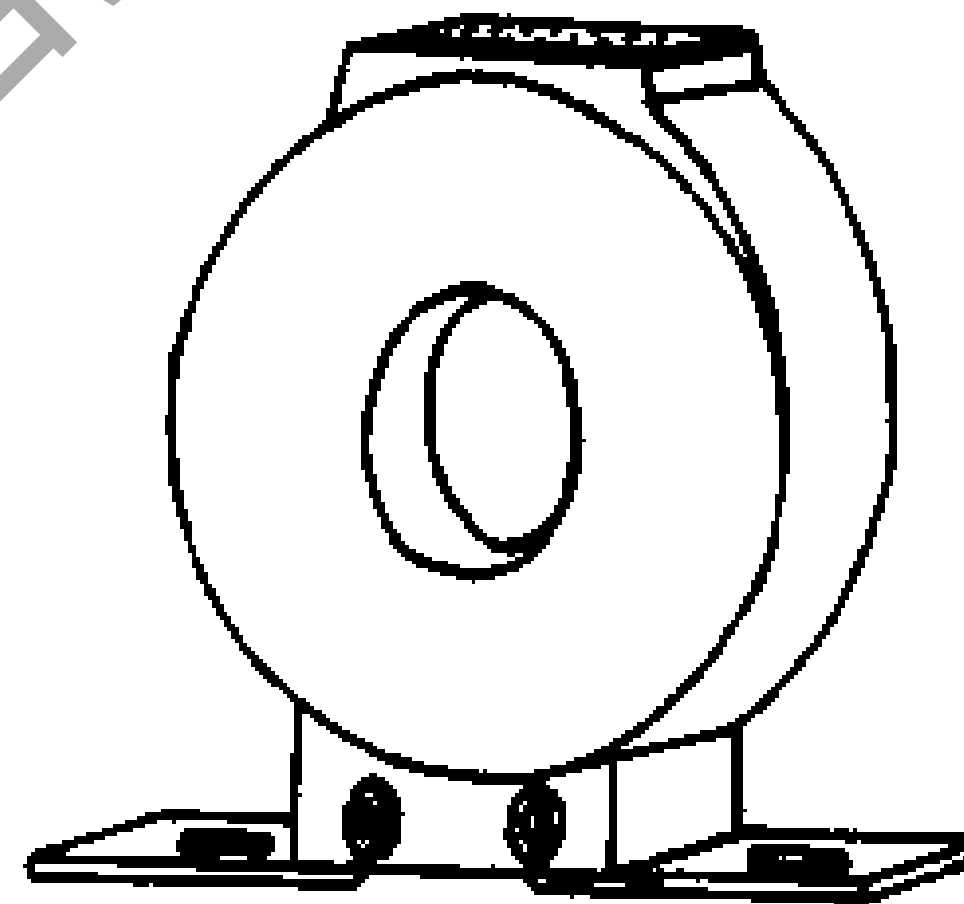


图 2—35 LQG—0.5 型电流互感器外形图



2—36 LMZ<sub>1</sub>—0.5 型电流互感器外形

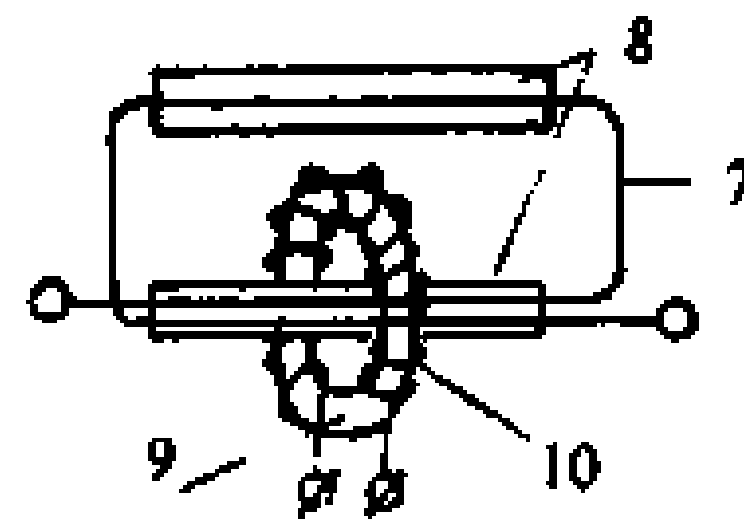
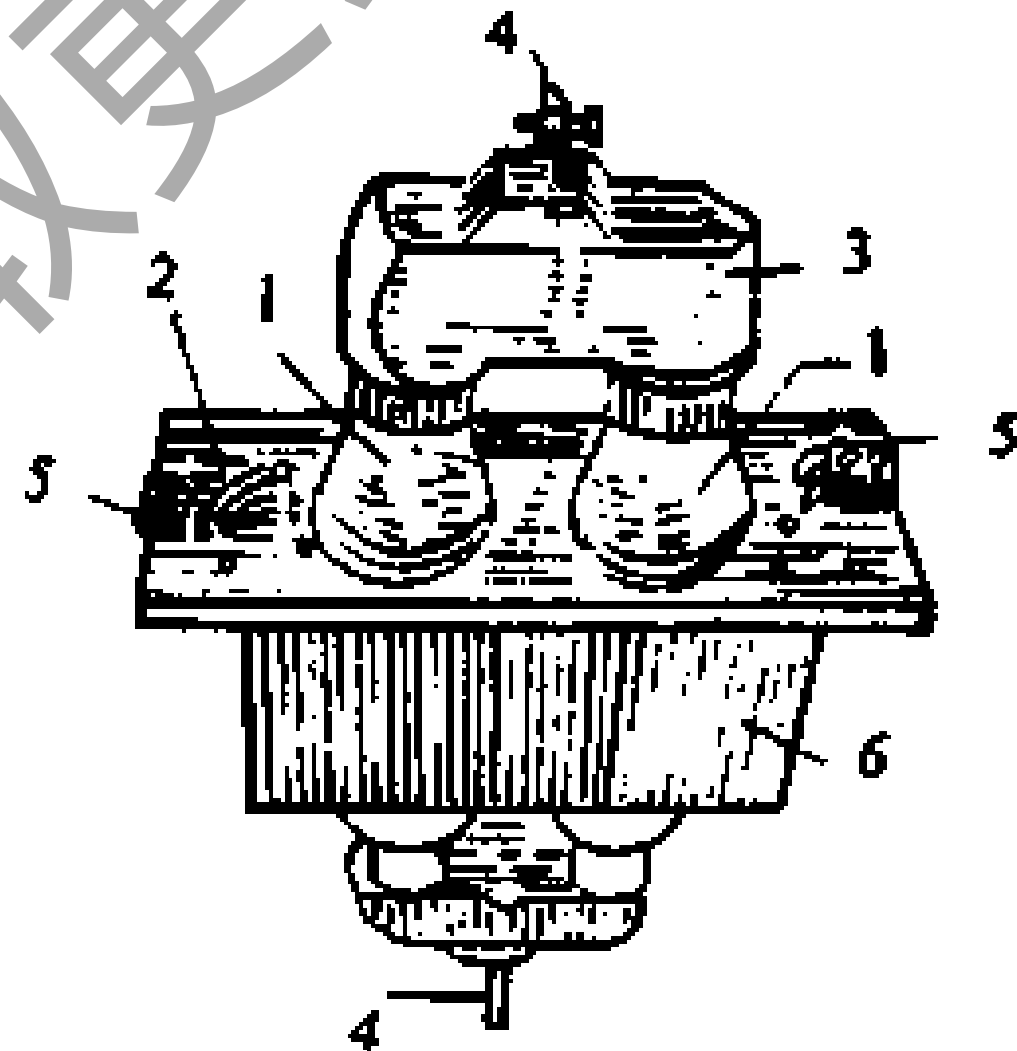


图 2—37 LFC—10 型电流互感器

(a) 外形图 (b) 原理图

1—瓷绝缘套管 2—法兰盘 3—接头盒 4—接线板 5—二次绕组接线端子 6—外壳 7—一次绕组 8—绝缘 9—铁心 10—二次绕组

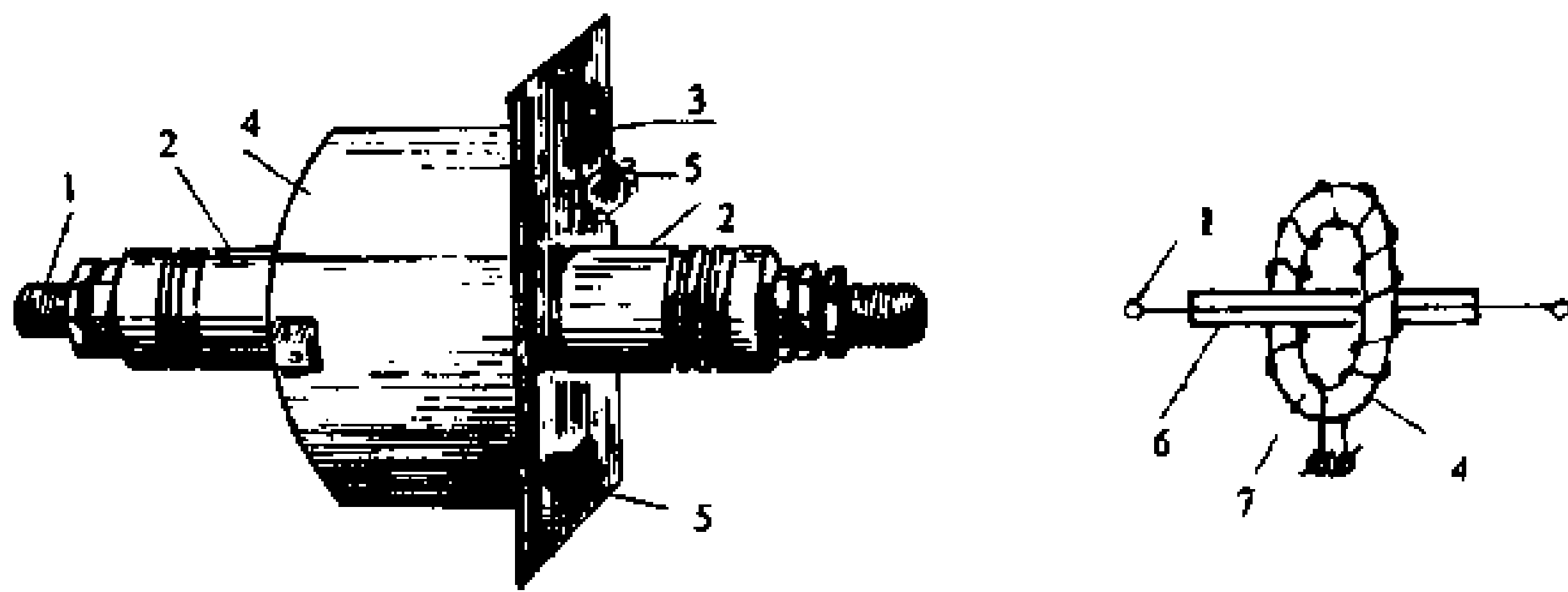


图 2—38 LDC—10 型瓷绝缘单匝穿墙式电流互感器

1—一次绕组 2—瓷套管 3—法兰盘 4—二次绕组 5—二次绕组接线端子 6—绝缘层 7—铁心

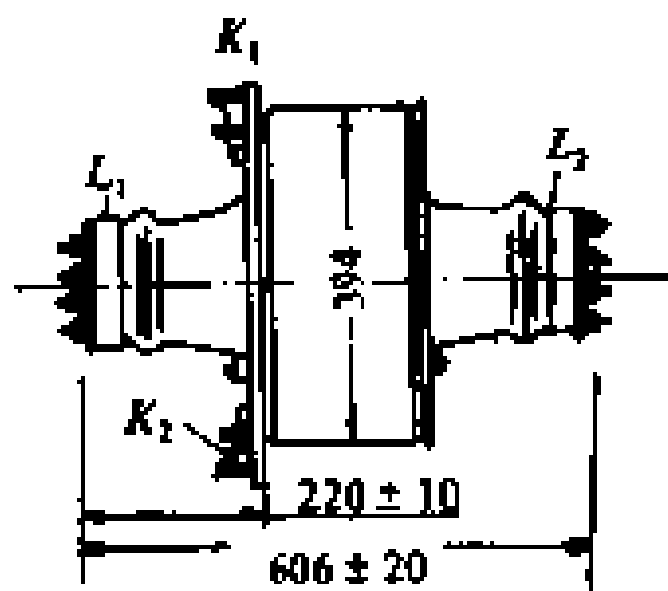


图 2—39 LMC—10 瓷绝缘母线型穿墙式电流互感器

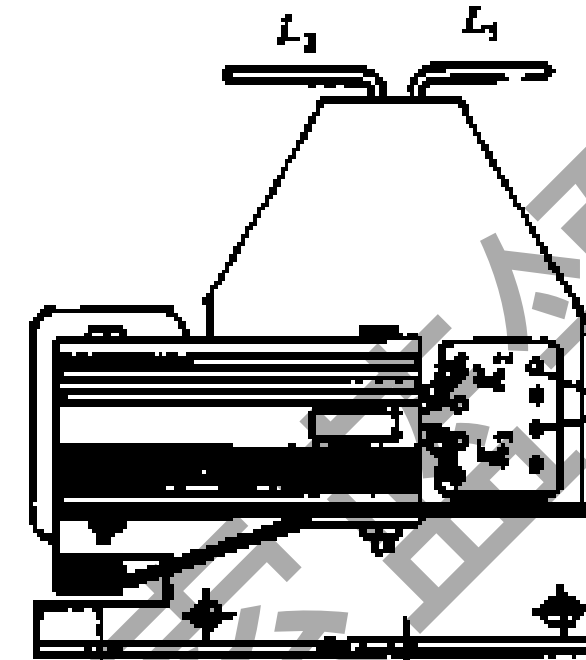


图 2—40 LQJ—10 型电流互感器

## 2. 电压互感器

电压互感器是专供测量和保护用的变压器。如果直接测量高电压，仪表需要有很高的绝缘水平，而且很危险。电压互感器把高电压变换成低电压，使电压测量、继电保护等二次回路与高压电路隔开，所以又称为仪用变压器，通常用 PT 表示。

(1) 电压互感器的结构和工作原理：电压互感器的结构和工作原理基本上和普通变压器一样。它的一次绕组与被测电路并联，二次绕组与测量仪表或继电保护装置的电压线圈并联，一次绕组的匝数较多，二次绕组的匝数少，这样就可以将一次侧的高电压变成二次侧的低电压。其原理接线如图 2—41 所示。

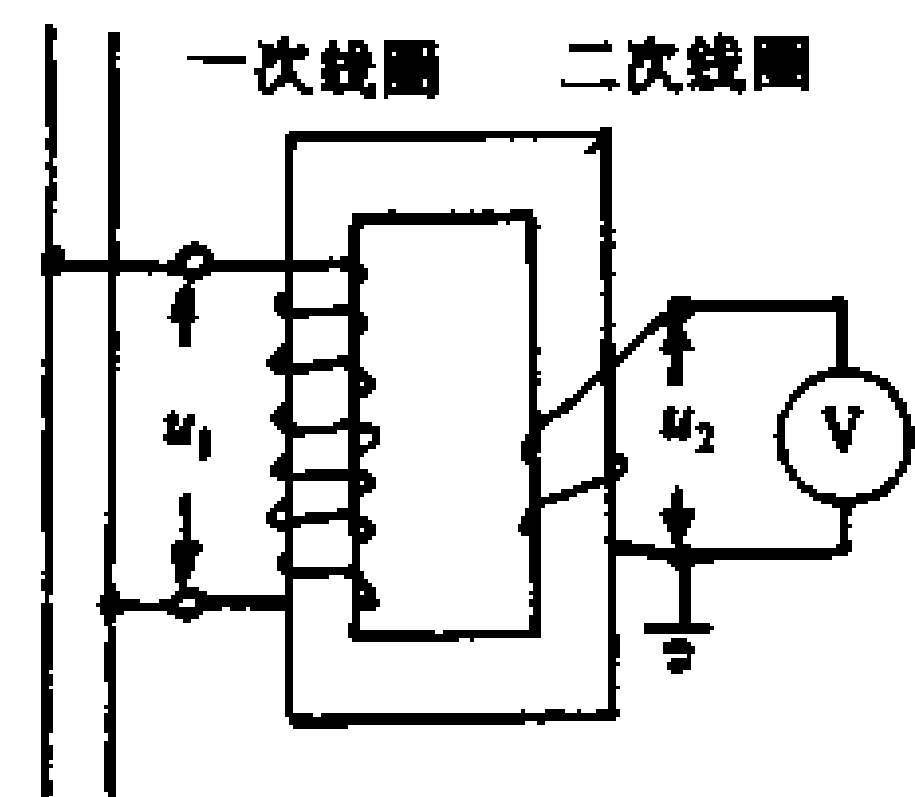


图 2—41 电压互感器原理接线图

(2) 电压互感器的特点：

- ①电压互感器的容量很小，一般仅几十至几百伏安。
- ②电压互感器二次额定电压一般均规定 100V。因此，二次回路的仪表等设备制造可以标准化、小型化。

③电压互感器二次侧负荷主要是仪表等电压件，其阻抗很大，正常运行时，近于空载的状态，所以电压互感器二次侧短路会使二次侧线圈烧坏。为避免绝缘损坏造成一次侧高电压侵入二次侧，发生人身、设备危险，要将电压互感器二次侧一点接地。

④电压互感器的极性和电流互感器一样，目前生产的电压互感器一般均为“减极性”，使用时注意不要搞错极性，否则会影响电能计量和使继电保护误动作。

(3) 电压互感器的接线方式：

- ①单相电压互感器测量线电压接线，如图 2-42 (a) 所示。  
 ②单相电压互感器测量相电压的接线，如图 2-42 (b) 所示。

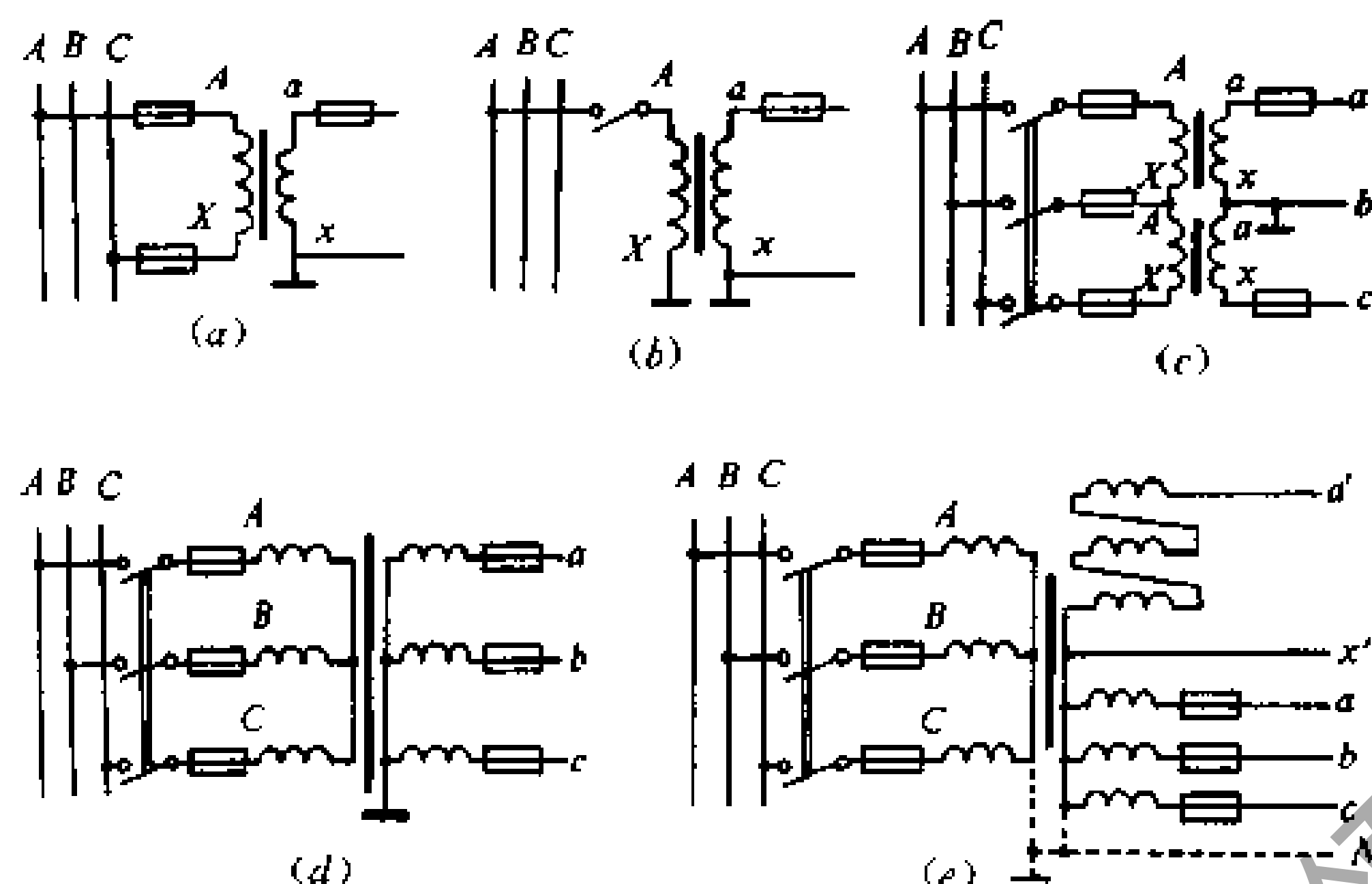


图 2-42 电压互感器的常见接线方式

③两台单相互感器接成 V—V 形接线，如图 2-42 (c) 所示，可测量线电压，但不能测相电压。

④一台三相三柱式电压互感器接成 Y—Y<sub>0</sub> 形接线，如图 2-42 (d) 所示，仅能测量线电压。

⑤一台三相五柱式电压互感器接成 Y<sub>0</sub>—Y<sub>0</sub>—D 形接线，如图 2-42 (e) 所示。这是一种三绕组电压互感器（一次绕组二次基本绕组、二次辅助绕组），一次及二次基本绕组接成星形，中性点接地，二次的三个辅助绕组接成开口三角形，供绝缘监察用。既可以测量线电压，也可以测量相电压。

(4)常用的电压互感器：常用的电压互感器有 JDG—0.5 型、JDJ 型、JDZ 型、JSJW 型等，如图 2-43 (a)、(b)、(c)、(d) 所示。

在使用各种电压互感器时，一定要注意铭牌上注明的型号、变压比  $K$ 、误差等级、容量以及接线组别，以做到接线无误、测量正确。

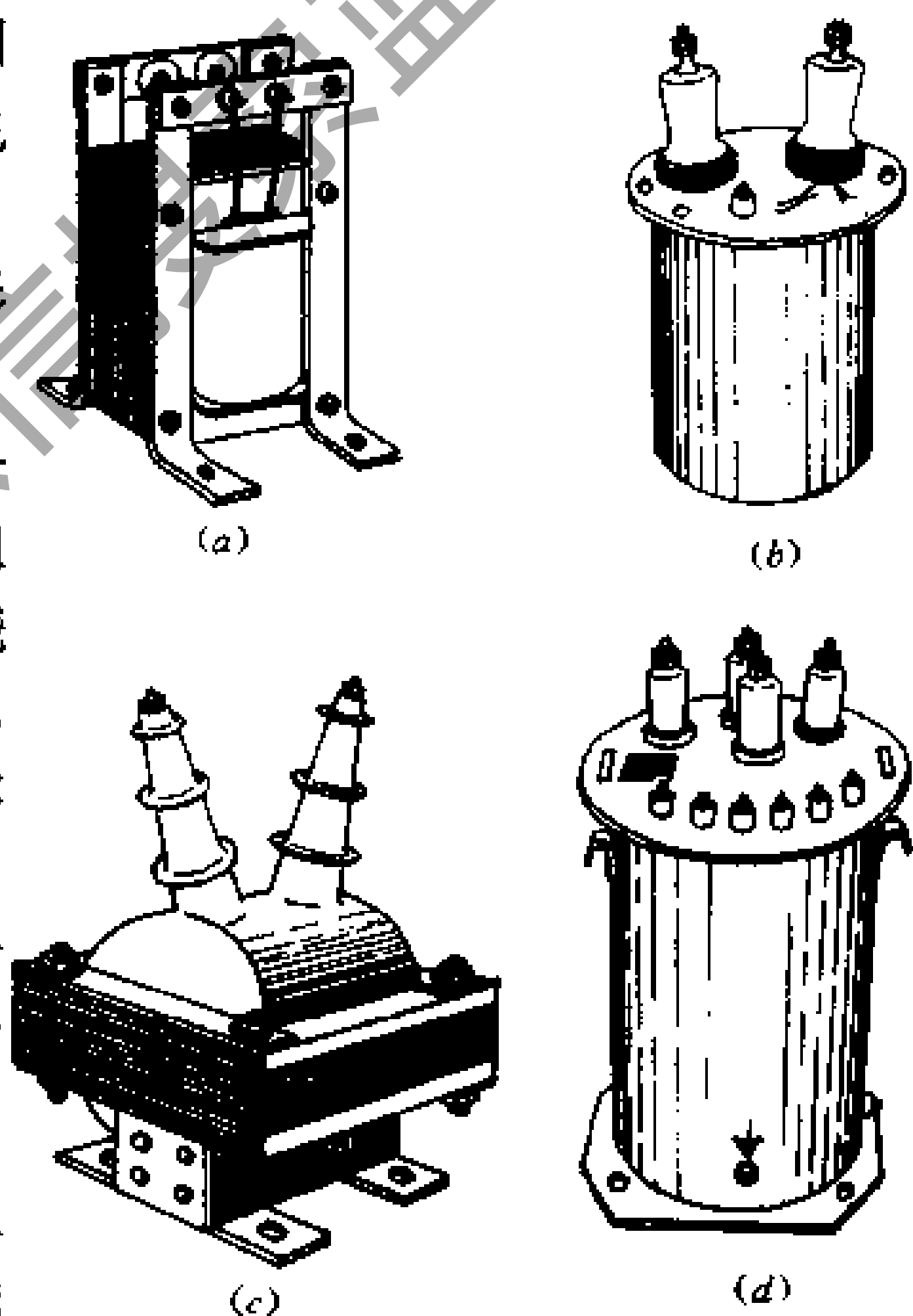


图 2-43 常用电压互感器外形图

## 第 10 节 小型变压器的设计与制作

对容量在 1kVA 以下的变压器，主要是计算铁心的尺寸、绕组的匝数和导线的线径。计算步骤如下：

### 一、计算变压器的额定容量

变压器的次级容量为：

$$S_2 = U_2 I_2 + U_3 I_3 + \dots$$

式中： $U_2$ 、 $U_3$ ……和  $I_2$ 、 $I_3$ ……分别是要求的各级次绕组的额定电压和额定电流。

变压器在传递功率过程中，本身存在着铁损和铜损，其初级容量要比次级容量大，为

$$S_1 = \frac{S_2}{K}$$

$K$  值的选取见表 2—6。

表 2—6

$K$  的变化值

| 次级容量 $S_2$ | 小于 10VA | 10~30VA | 30~80VA | 80~200VA | 200~400VA | 400VA 以上 |
|------------|---------|---------|---------|----------|-----------|----------|
| $K$        | 0.6     | 0.7     | 0.8     | 0.85     | 0.9       | 0.95     |

一般小型变压器的额定功率为：

$$S = \frac{S_1 + S_2}{2} \quad (\text{VA})$$

## 二、计算铁心截面积

截面积  $A$  为：

$$A = 1.25 \sqrt{S}$$

式中： $A$  为铁心截面积 ( $\text{cm}^2$ )，1.25 是系数（是一经验数据，适用于变压器硅钢片，如选用质量好的冷轧硅钢片，系数可取小些；如选用电动机硅钢片，系数应取大点；如选用质量差的普通黑铁片，系数应取 2）。

知道截面积  $A$  后，就可确定铁心柱的宽度和厚度：

$$A = kab$$

式中： $a$  为铁心的宽度， $b$  为铁心的厚度（图 2—44）； $k$  为间隙系数，其数值与硅钢片所涂绝缘漆的厚薄及片间间隙有关，铁心叠装越紧， $k$  值越高（一般取  $k=0.9$ ）。

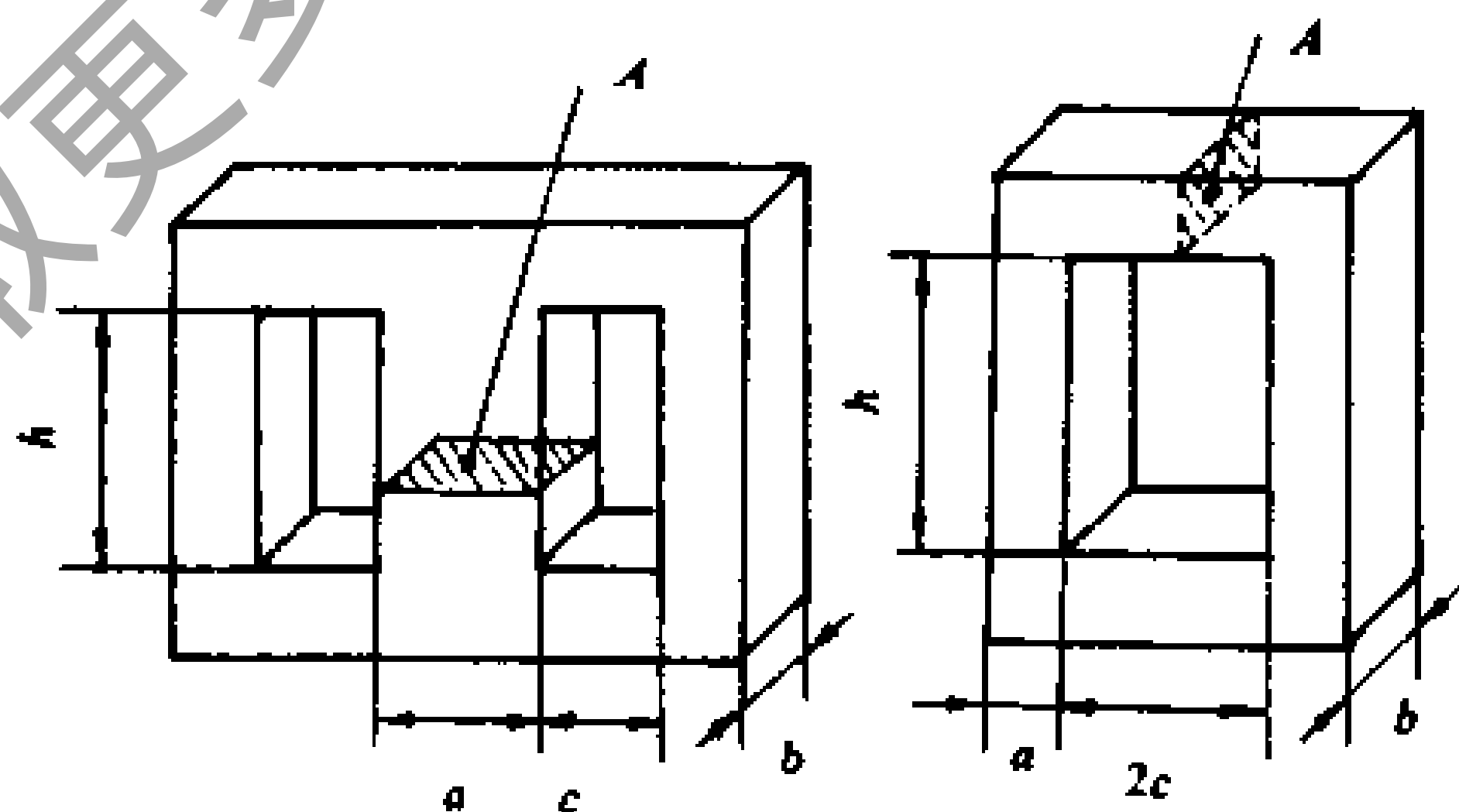


图 2—44 铁心尺寸

通常，铁心均选用现成冲片。片型选定后， $a$  值已知， $b$  值就可算出。

## 三、确定线圈的匝数

根据  $U = 4.44 f \omega \Phi_m \times 10^{-8}$ ，可求出每伏电压应绕的匝数

$$\omega_0 = \frac{\omega}{U} = \frac{10^8}{4.44f\Phi_m}$$

式中： $\Phi_m$  为磁通 (Wb)； $f$  为频率，为 50Hz。

又根据  $\Phi_m = B_m A$  可求得

$$\omega_0 = \frac{10^8}{4.44 \times 50 \times B_m A} = \frac{450000}{B_m A} \quad (\text{匝/V})$$

式中： $B_m$  为磁通量密度 (T)。如选用变压器硅钢片， $B_m$  取 10~12T；如选用电动机硅钢片， $B_m$  取 0.8~1.0T；如选用冷轧硅钢片， $B_m$  取 1.75T；如选用普通黑铁片， $B_m$  取 0.6~0.7T。

原绕组的匝数  $\omega_1 = \omega_0 U_1$

副绕组的匝数  $\omega_2 = 1.05\omega_0 U_2$ ； $\omega_3 = 1.05U_3\omega_0 \dots\dots$

1.05 是考虑到铁心损耗和次级绕组内部电压降而加的系数。

#### 四、计算绕组导线的半径

电流为

$$I = \frac{\pi}{4} d^2 j$$

式中： $j$  为电流密度 (A/mm<sup>2</sup>)，即导线单位截面积上通过的电流值； $d$  为导线的直径 (mm)。

由上式得

$$d = \sqrt{\frac{4}{\pi} \times \frac{I}{j}} = 1.13 \sqrt{\frac{I}{j}}$$

通常取电流密度  $j = 2.5 \text{A/mm}^2$ 。

因此  $d = 0.715 \sqrt{I}$

初级绕组导线的直径为

$$d_1 = 0.715 \sqrt{I_1} \quad (\text{mm})$$

次级绕组导线的直径为

$$d_2 = 0.715 \sqrt{I_2} \quad (\text{mm})$$

.....

如果算出的线径与导线的规格不符，则应根据线的规格，选用与其相近的较大线径。匝数和导线的直径确定后，便可开始绕线。在绕线之前，应先用 1~2mm 厚、耐压 500V 以上的绝缘纸板制作绕组框架 (图 2—45)。框架的两端也用绝缘纸板卡住，防止绕组松脱后导线碰到铁心。

#### 五、计算铁心窗口尺寸

铁心的窗口宽度  $C$  和高度  $h$ ，二者之中可先确定一个，再计算另一个。

线圈框架的长度等于窗口的高度  $h$ 。由于框架两端用绝缘纸板卡住，因此各有 5% 高度不能绕线。框架的有效长度，即线圈的实际高度只有  $0.9h$  (图 2—46)。由此可算出初级绕组每层可绕的匝数

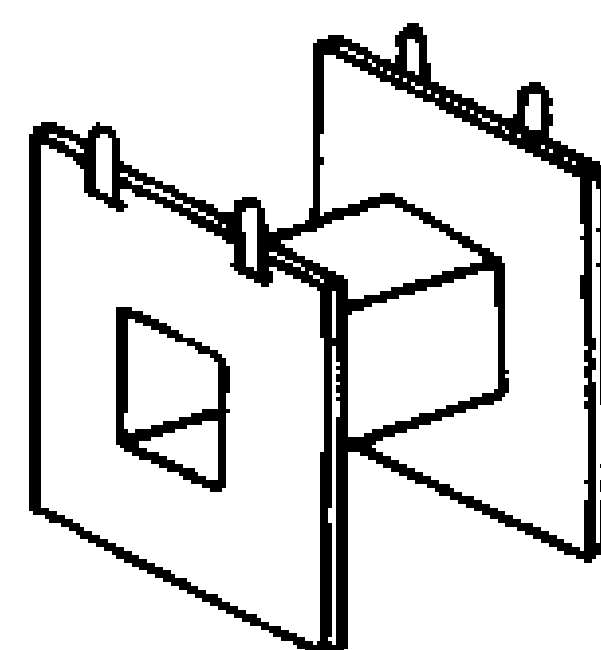


图 2—45 绕组框架



$$\omega'_1 = \frac{0.9h}{d'_1}$$

式中： $d'_1$  为导线连同绝缘物的直径（mm），可以从线规表上查出。

需要绕的层数

$$N_1 = \frac{\omega_1}{\omega'_1}$$

初级绕组的厚度为

$$H_1 = N_1(d'_1 + f_1) + r_1 \text{ (mm)}$$

式中： $f_1$  为层间的绝缘厚度； $r_1$  为绕组间绝缘厚度。

在小型变压器的制作中，层间绝缘一般用 0.05mm 厚的牛皮纸，并涂刷虫胶漆。如绕组的线径较粗，可用 0.12mm 厚的青壳纸或较厚的牛皮纸；如线径较细，可用 0.015~0.02mm 厚的白玻璃纸（又称透明纸）。电压不超过 500V 时，可用 2~3 层牛皮纸或 0.12mm 厚的青壳纸。

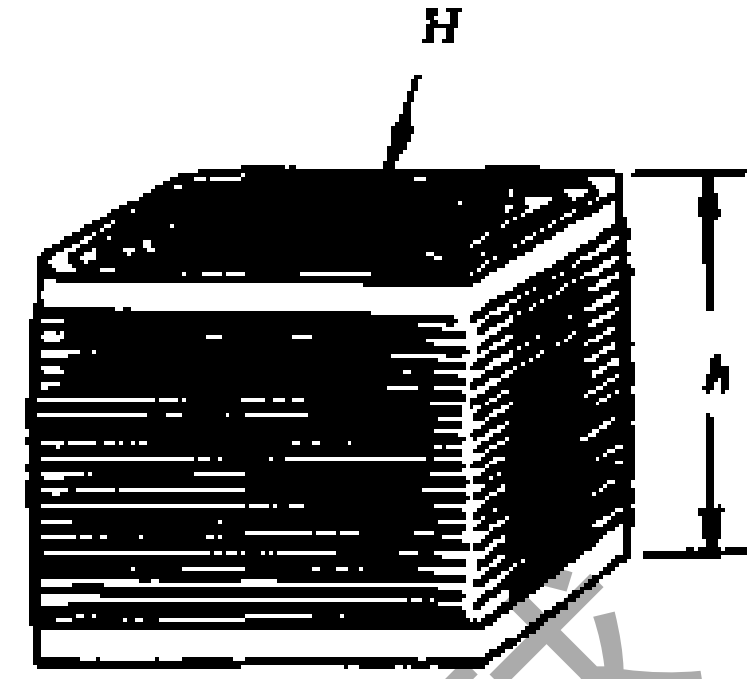


图 2-46 绕组

按照同样的方法可算出次级绕组的厚度  $H_2$ 、 $H_3$ ……

$$H_2 = N_2 d'_2 + (N_2 - 1) f_2 + r_2$$

$$H_3 = N_3 d'_3 + (N_3 - 1) f_3 + r_3$$

式中： $f_2$ 、 $f_3$  为层间绝缘厚度， $r_2$ 、 $r_3$  为绕组间绝缘厚度。

最后算出变压器绕组的总厚度

$$H = (E + H_1 + H_2 + \dots) \times (1.1 \sim 1.15) \text{ (mm)}$$

式中： $E$  为绕组框架的厚度；1.1~1.15 为保险系数。

算出的总厚度应小于冲片窗口的宽度。若算出的  $H$  值比窗口宽度大，表示窗口无法容纳全部绕组，则应增加铁心的厚度，重新计算，直至合适为止。

## 六、制作时的工艺技术要求

在电子电路中使用的电源变压器，为了避免 50Hz 交流电对放大部分的干扰，应在变压器的初、次级绕组间绕一静电屏蔽层。其绕法有两种：一种是在绕完初级绕组后，先包一层绝缘纸，再包一层薄铜皮，铜皮外边再包一层绝缘纸，然后开始绕次级绕组。铜皮不宜太宽，以免与上下端导线相碰，铜皮始、末边不能搭起来，应留一条空隙（图 2-47），以免引起很大的短路电流而使变压器烧坏。在绕制之前，应在铜皮上先焊出一条引出线。另一种是用较细的漆包线在初级线圈的外边稀疏地绕一层，引出一个头，另一个头用绝缘包好后就埋在里边空着。变压器使用时，静电屏蔽层的引出线应与机壳相连。

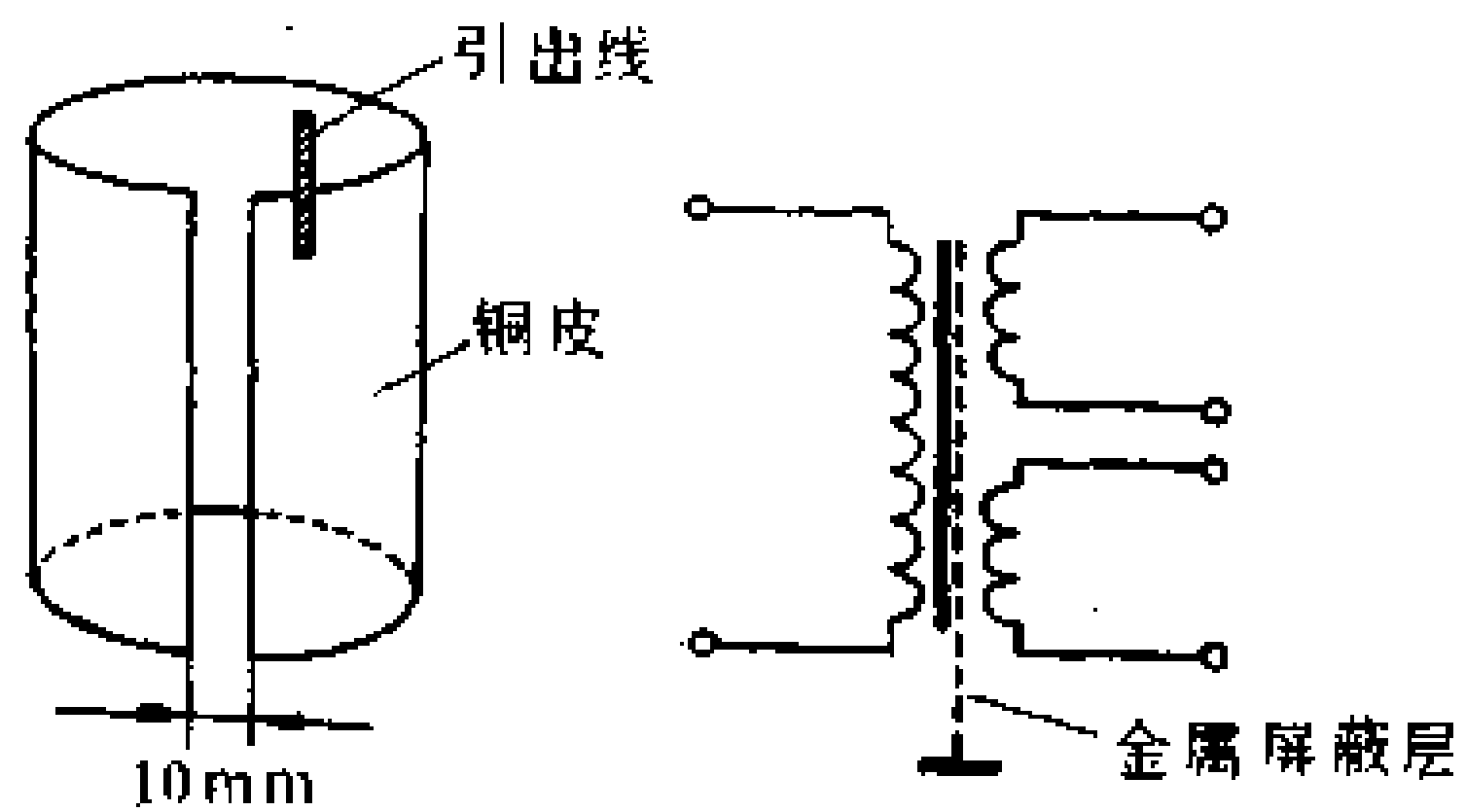


图 2-47 铜皮制作的屏蔽层

## 第3章 电力线路

电力线路可分为高压和低压两大类。电压在 500V 以下的，称为低压线路，常见的有 220V 的照明线路，380V 的三相三线动力线路以及单相负载和三相负载混用的三相四线线路。电压在 500V 以上的，称为高压线路，一般有三根架空导线。常见的有 6~10kV 的配电线路，35~110kV 的送电线路，220kV 以上的超高压输电线路。高压或超高压输电线路，在 3 根架空导线的上面，还有一根或两根架空地线（也称避雷线）。

### 第 1 节 高压架空配电线路的一般知识

高压架空配电线路系指 6~10kV 的电力线路。它是由导线、电杆、绝缘子、金具和铁件以及拉线等构成。

#### 一、导线

导线俗称电线，是线路的主要构成部分。对它的要求是电阻小，机械强度大，质轻，价格低和耐腐蚀等。一部分导线是由多股较细的导线绞合在一起的，这种导线称为绞线。按其所用材料和截面大小划分为不同的型号、规格，有铜绞线、铝绞线、铝镁合金线、钢心铝绞线。因为多种导线不包绝缘层，所以又称裸导线，如裸铝线、裸铜线。

各种裸导线型号的意义是：L 代表铝，J 代表绞线，T 代表铜，M 代表镁，G 代表钢，横线后面的数字表示导线的截面积。例如，LJ—35 表示 35mm<sup>2</sup> 的铝绞线；TJ—50 表示 50mm<sup>2</sup> 铜绞线；LGJ—50 表示 50mm<sup>2</sup> 钢心铝绞线；LMJ—70 表示 70mm<sup>2</sup> 的铝镁合金线等。

在架空电力线中，铜线的导电性能虽好，但价格较贵。铝线的导电性能比铜线稍差，但价格便宜、重量轻，目前被广泛采用。由于铝线的机械强度较差，从安全角度考虑，最小截面不宜小于 35mm<sup>2</sup>，有的地方高压配电架空线路逐步实现钢心化（即采用钢心铝绞线）。选用什么样的导线截面合适，应按导线的机械强度、发热条件、电压损失和经济电流密度 4 个条件综合考虑。

#### 二、电杆

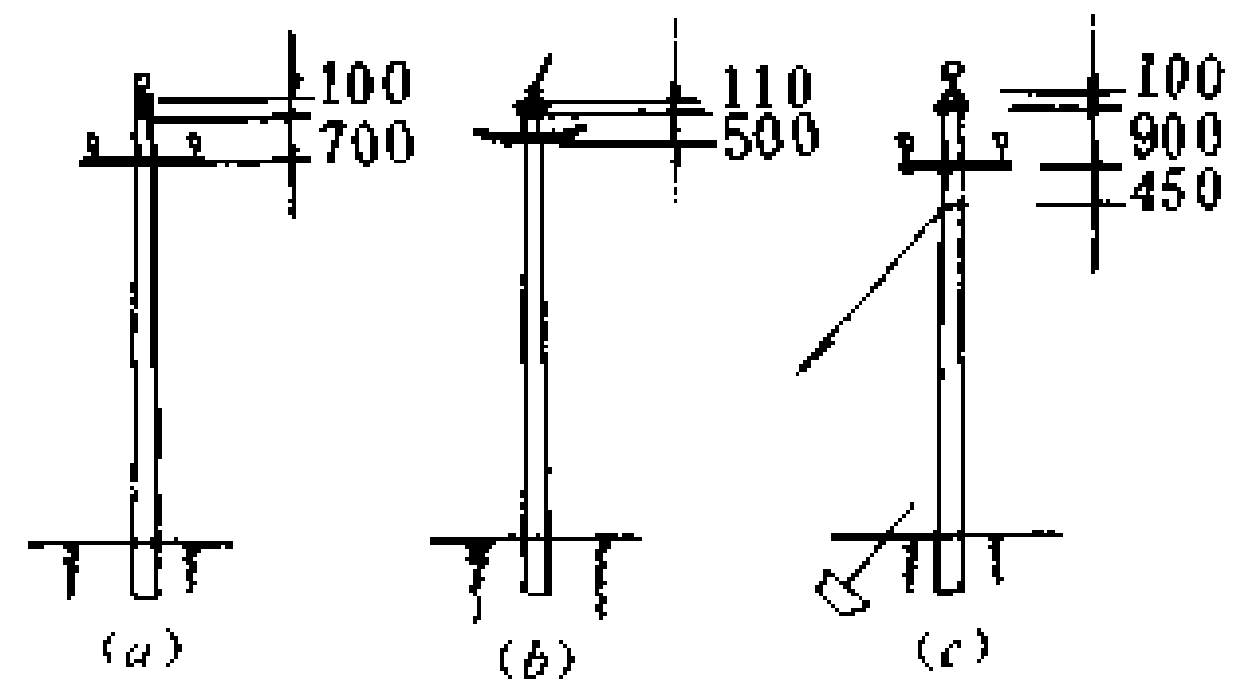
电杆是导线的支持物，使导线与导线、导线与大地、导线与障碍物之间保持一定的安全距离。

常用的电杆是钢筋混凝土制作的水泥杆，高压架空配电线路一般用 10m、12m 或 15m 的水泥杆。木杆由于易腐朽、寿命短，一般不再使用。

电杆按用途可分为直线杆、耐张杆、转角杆、终端杆、T 接杆（分支杆）等几类，如图 3—1 所示。

### 1. 直线杆

这种杆型用在线路的直线部分，主要承受导线重量、覆冰和侧向风力。这种电杆的结构比较简单，一般不装设拉线。在跨越河流、公路、通讯线路时，应采用直线加强杆型（图 3—2）。并应在线路两侧打一“人”字拉线，防止倒杆事故。



### 2. 耐张杆

耐张杆也叫承力杆，除承受导线自身重量和侧向风力之外，还要承受与邻档导线的拉力差所引起的拉力。6~10kV 配电线路，在直线段中一般相隔 2km 应设立耐张杆。当线路与铁路、重要公路、通讯线路以及通航的河流等重要设施交叉时，其两端应设立耐张杆。另外，当导线截面发生变化时，也需设置耐张杆。耐张杆装设 4 条拉线，使杆身的受力状况达到平衡和稳固（图 3—3），并采用双铁横担，用 U 形抱箍固定在水泥杆上。

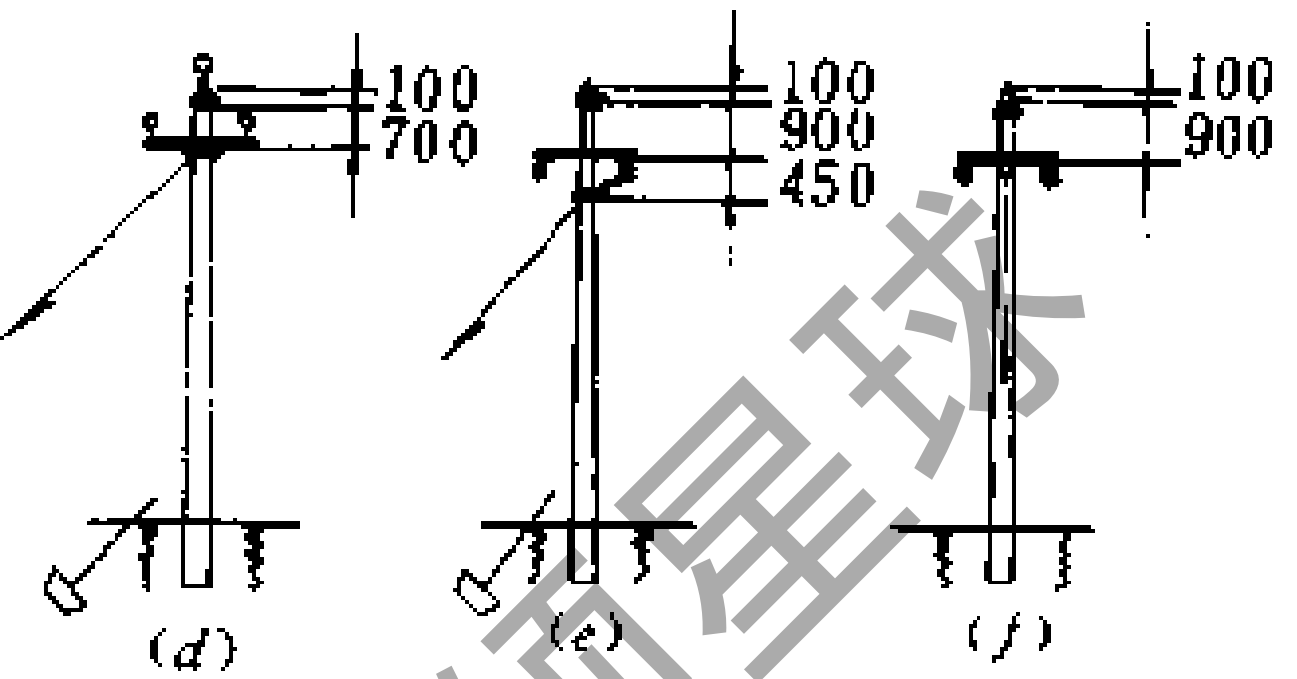


图 3—1 高压架空配电线路各种杆型  
(a) 针式瓷瓶组装的直线杆 (b) 瓷横担组装的直线杆 (c) T 接杆（分支杆）  
(d) 用针式瓷瓶组装的小转角杆 (e) 45° 以上的转角杆 (f) 终端杆

### 3. 转角杆

转角杆用于线路改变方向的地方，它的结构根据转角的大小而定。当线路转角小于 15° 时，除加装一根拉线外，仍用单横担和针式瓷瓶；转角为 15°~30° 时，可用双横担和针式瓷瓶；转角为 30°~45° 时，应采用耐张结构，同时设两根拉线；转角为

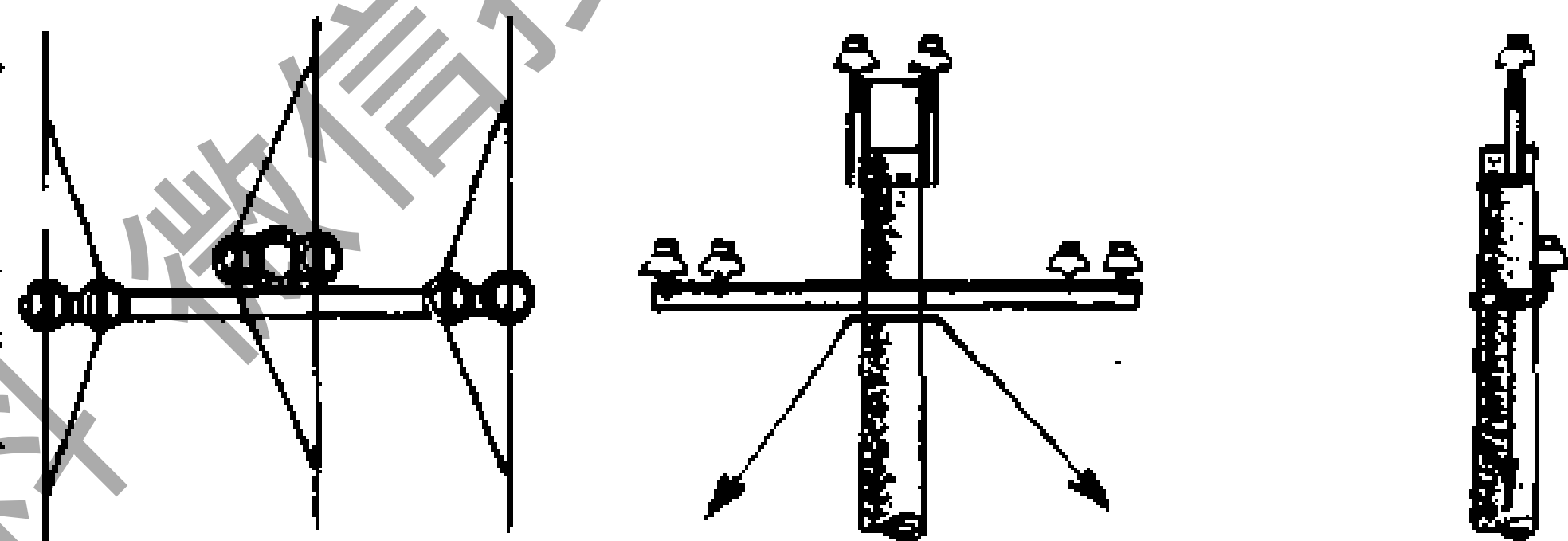


图 3—2 直线加强杆

45°~90° 时，应采用双层耐张横担，设两条拉线。有时 30°~90° 的转角也采用立式耐张杆组装结构，即不用铁横担，3 根导线自上而下依次排列，同时设两副 V 形拉线（图 3—4）。

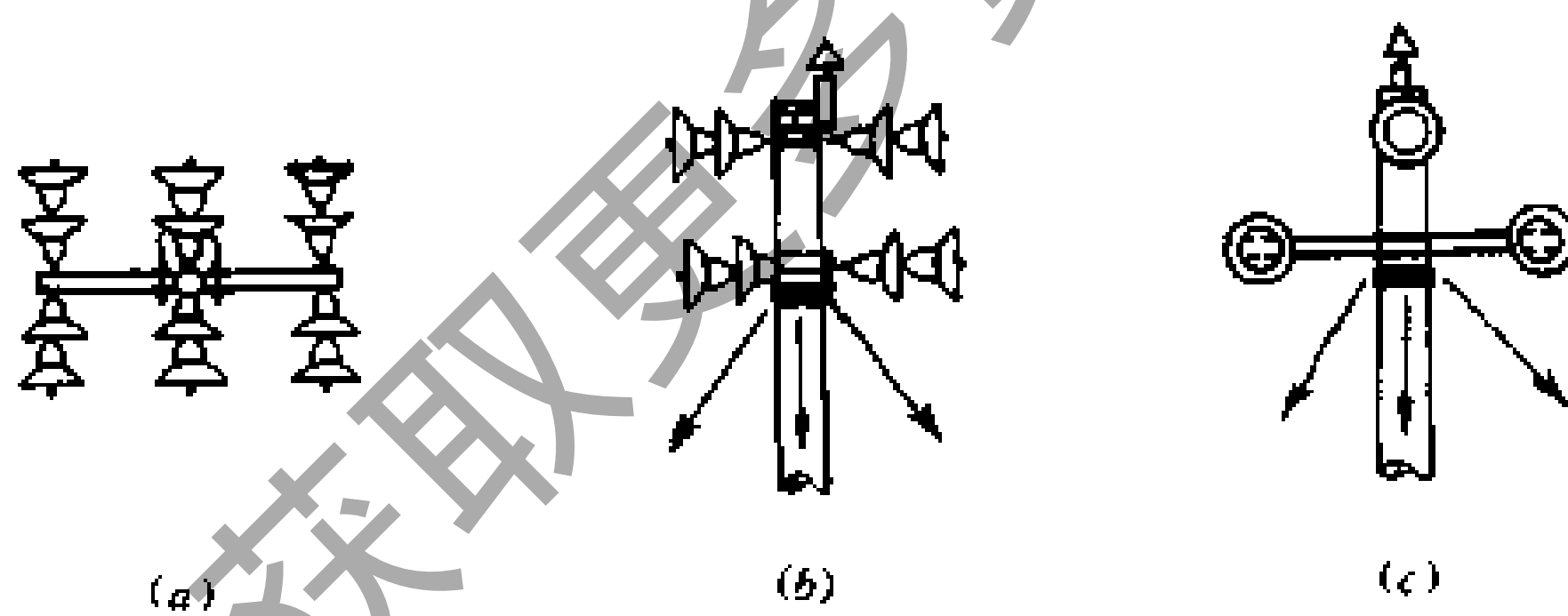


图 3—3 耐张杆示意图

### 4. T 接杆

T 接杆也称分支杆，用于架空线路干线的分支处。高压配电线路的 T 接杆，有时装设跌落熔断器进行控制。配电变压器容量大时，有时在分支线上装线路闸刀和油开关进行控制。在 T 接杆的一侧应装置一根拉线，用来平衡分支线路的拉力（图 3—5）。

### 5. 终端杆

终端杆是设在线路终点的耐张杆，只要一根拉线来平衡导线的拉力即可。大多数 6~10kV 配电线路的终端杆，同时用作下火杆（图 3—6）。

## 三、绝缘子

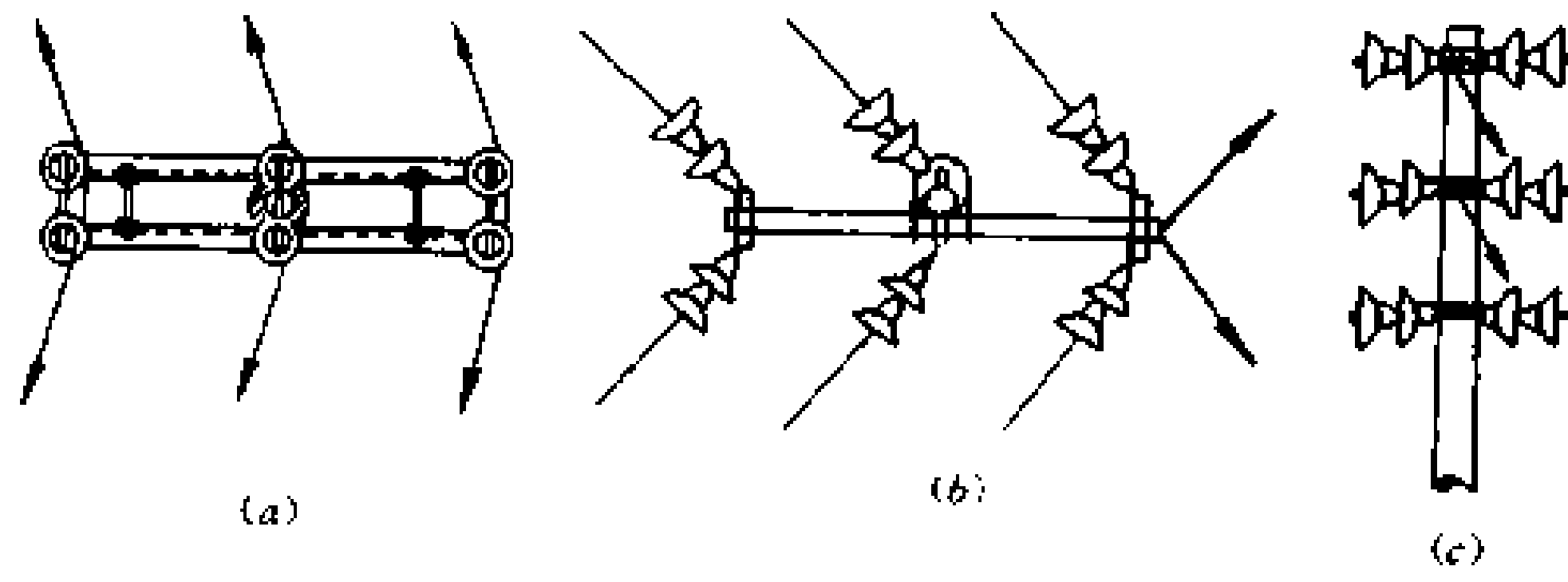


图 3—4 转角杆

(a) 针式转角 (b) 一般转角杆 (c) 立式转角杆

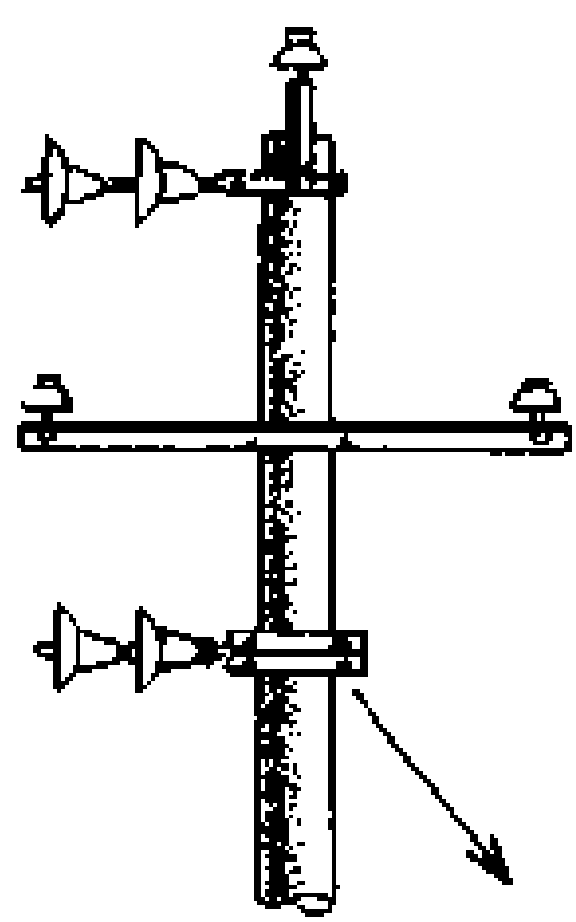


图 3—5 T 接杆 (分支杆)

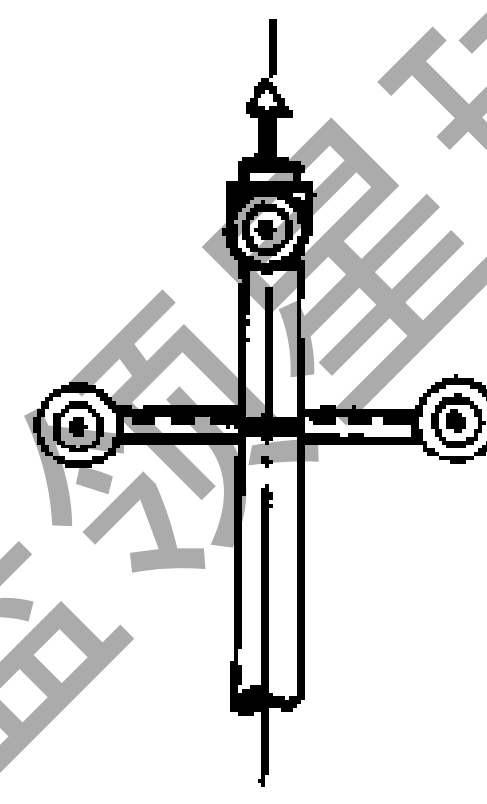
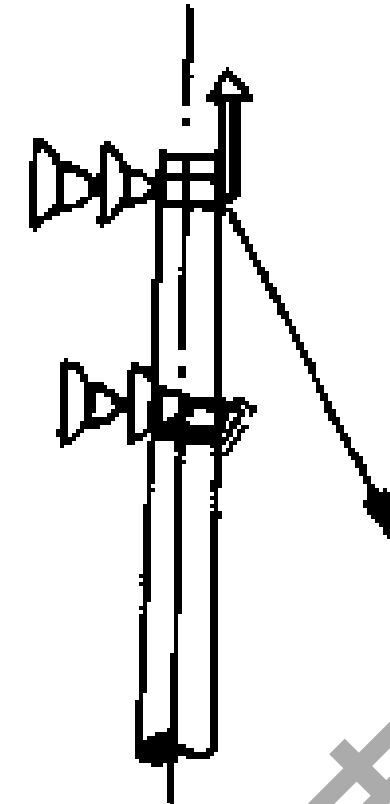
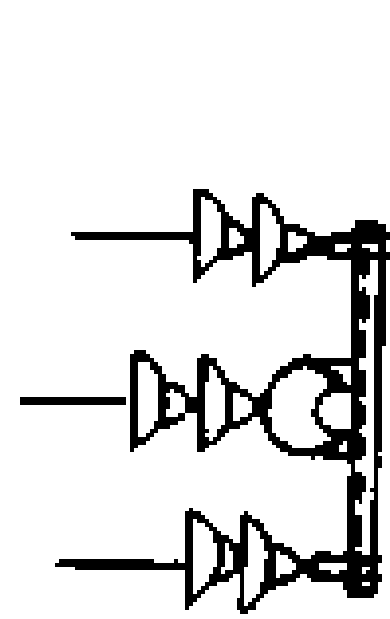


图 3—6 终端杆

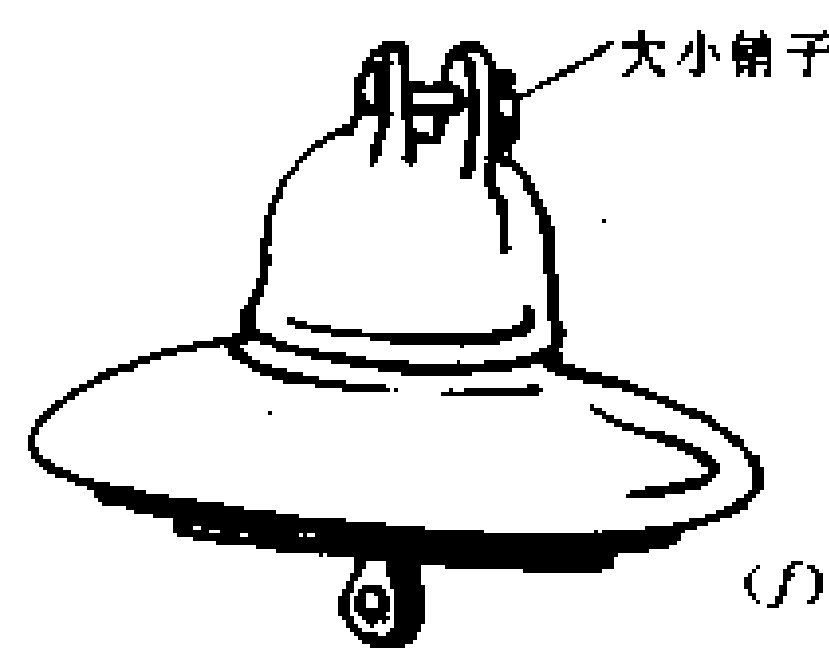
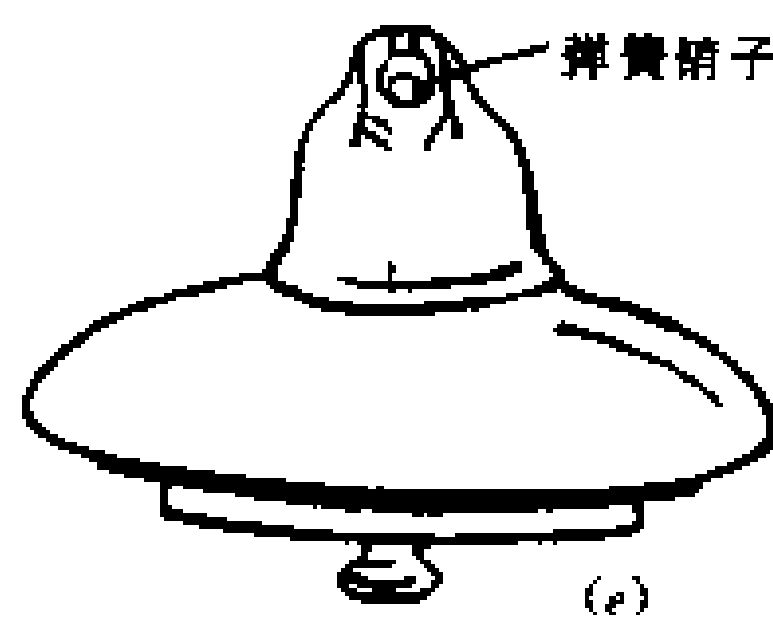
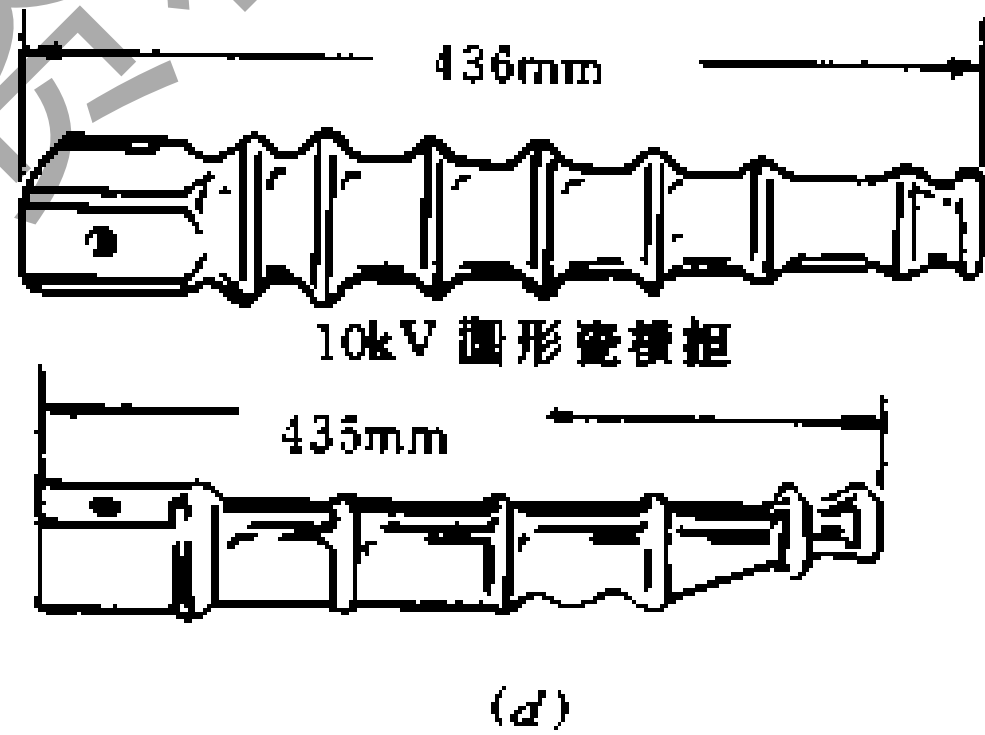
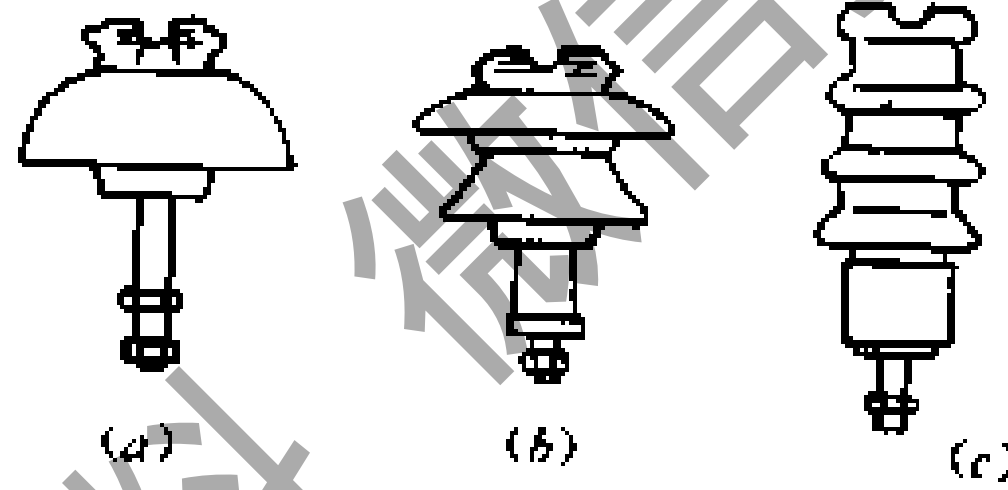


图 3—7 高压架空配电线路常用瓷瓶

(a)、(b) 针式瓷瓶 (c) 棒式瓷瓶 (d) 瓷横担 (e) 球形悬式瓷瓶 (f) 槽形悬式瓷瓶

绝缘子又叫瓷瓶，作用是使电线与电杆和横担等绝缘，以免导线漏电。高压配电线路上用的瓷瓶有针式瓷瓶、悬式瓷瓶、瓷横担等（图 3—7）。

#### 四、铁件和金具

高压配电线路常用的铁件，包括铁横担、U形抱箍、杆顶支柱抱箍、导线抱箍、拉线抱箍、拉线棒以及各种螺丝等，如图 3—8 所示。它们的作用是将瓷瓶和拉线固定在电杆上。

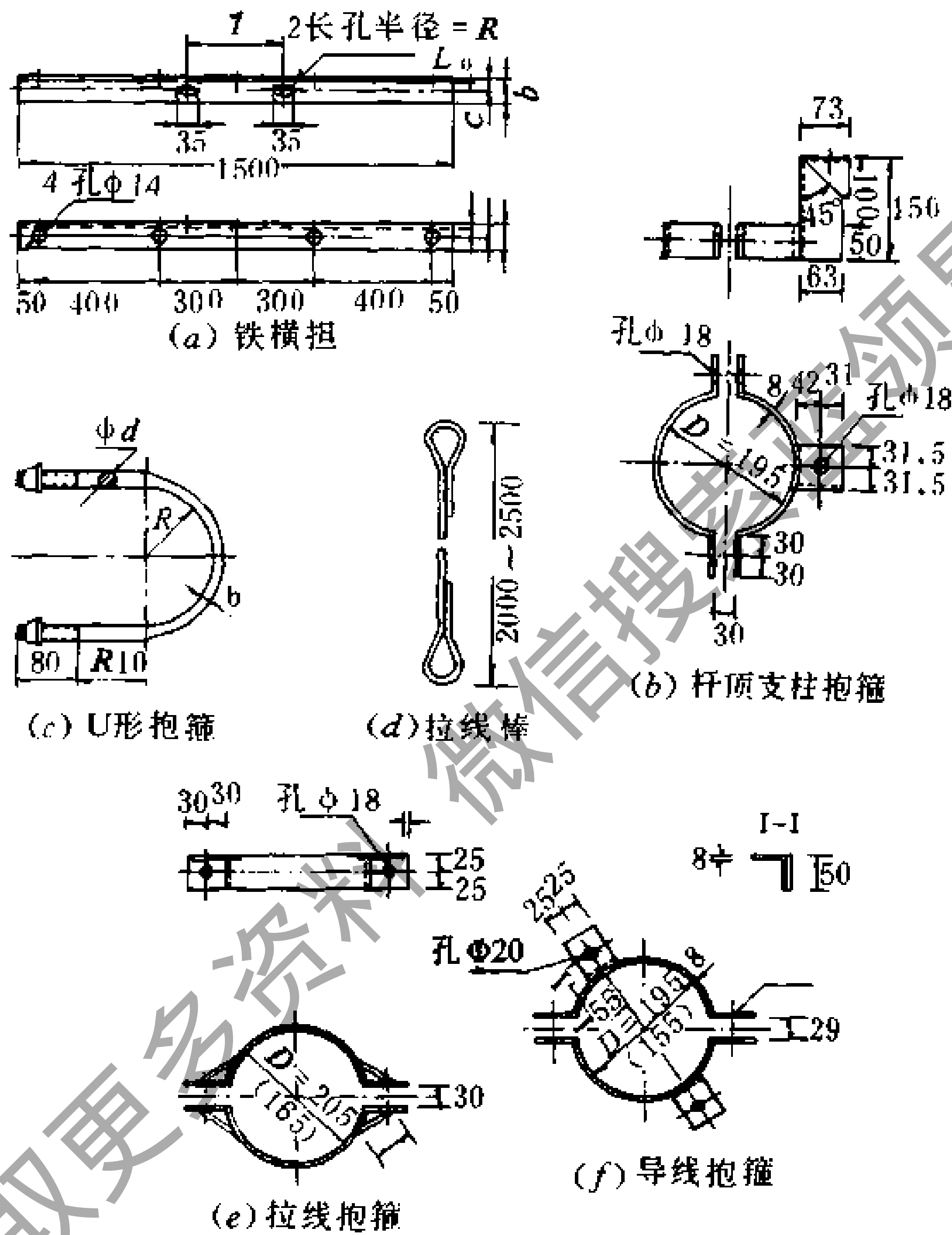


图 3—8 高压配电线路常用铁件

各种铁件的具体加工尺寸，应根据电杆的粗细和当地供电部门的要求进行制作。为防锈蚀，各种铁件应进行热镀锌处理。

常用的金具有悬式瓷瓶金具，包括耐张线夹、单联碗头、球头挂环、U形挂板等；拉线金具，包括 UT 线夹、楔形线夹、延长环等；导线连接金具，包括并沟线夹、钳接管等（图 3—9）。

#### 五、拉线

拉线的作用是平衡电杆上的不平衡力，防止电杆弯曲与倾斜。高压配电线路的拉线一般用镀锌钢绞线制作，根据线路导线的规格及拉线的类型不同，拉线的根数也不同。图

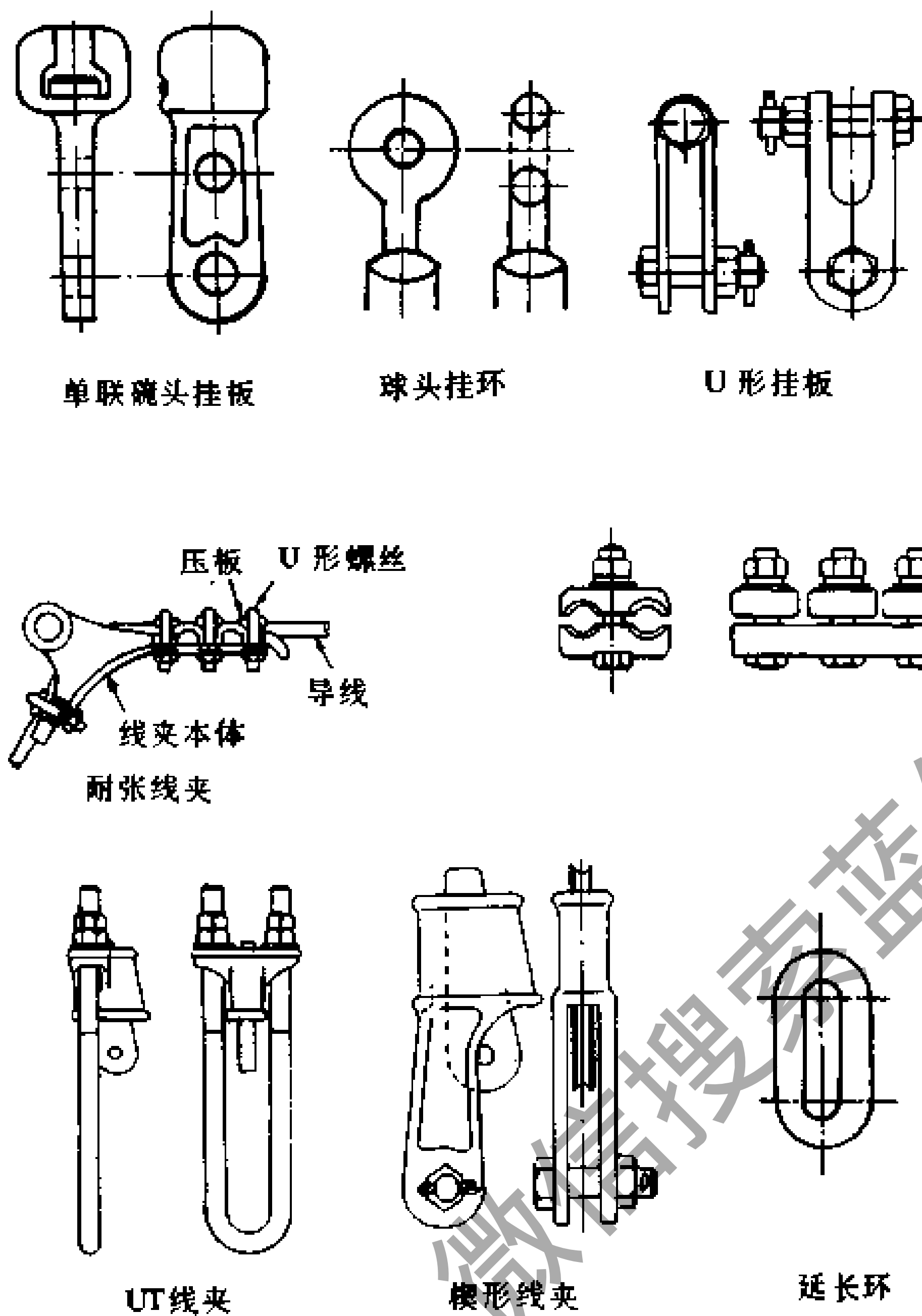


图 3—9 悬式瓷瓶和拉线常用金具

3—10 为一般拉线的组装图。图中，1 为电杆；2 为拉线抱箍；3 为延长环；4 为楔形线夹，5 为铁丝绑托头；6 为钢绞线，7 为 UT 线夹；8 为拉盘 U 形螺丝；9 为拉线棒；10 为拉线盘。

### 六、档距、线间距离与弧垂

架空线路相邻两根电杆间的距离称为档距（图 3—11）。相邻两根耐张杆间的水平距离为耐张档距，又称为耐张段。一个耐张段可以由一个档距组成，也可以由许多档距组成。

架空线路任意两导线间的距离，称为线间距离（图 3—12）。按正三角形排列的，导线线间距离相等；按等腰三角形排列或水平排列的；导线线间距离不等。

导线悬挂点与导线最低点间的垂直距离称为弧垂（见图 3—11）。线路的弧垂与导线材料、档距、气象条件等因素有关。在架设导线时，必须根据导线材料容许的安全应力，使线路具有一定的弧垂。

6~10kV 配电线路的档距一般在 50~100m；线间

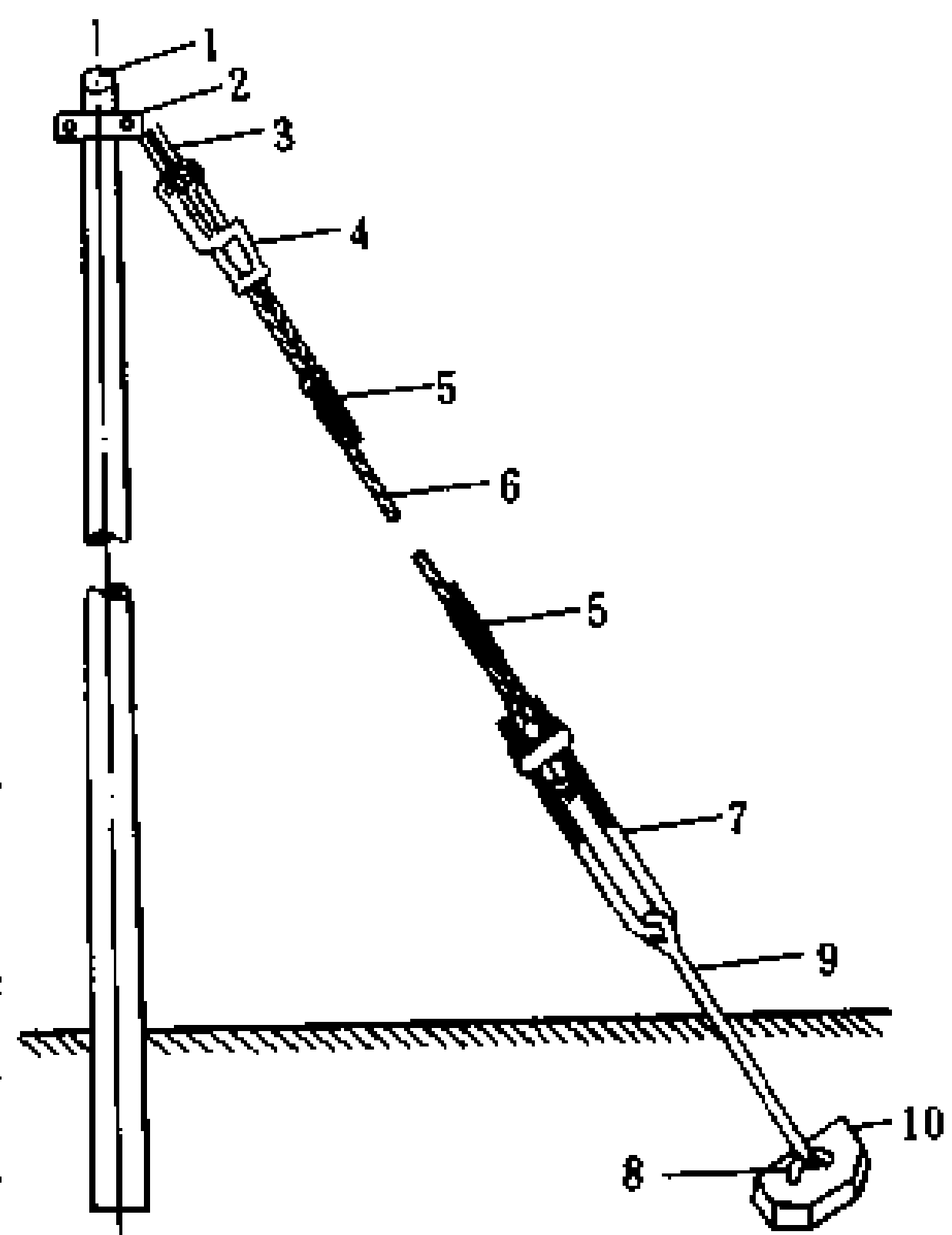


图 3—10 拉线的组装

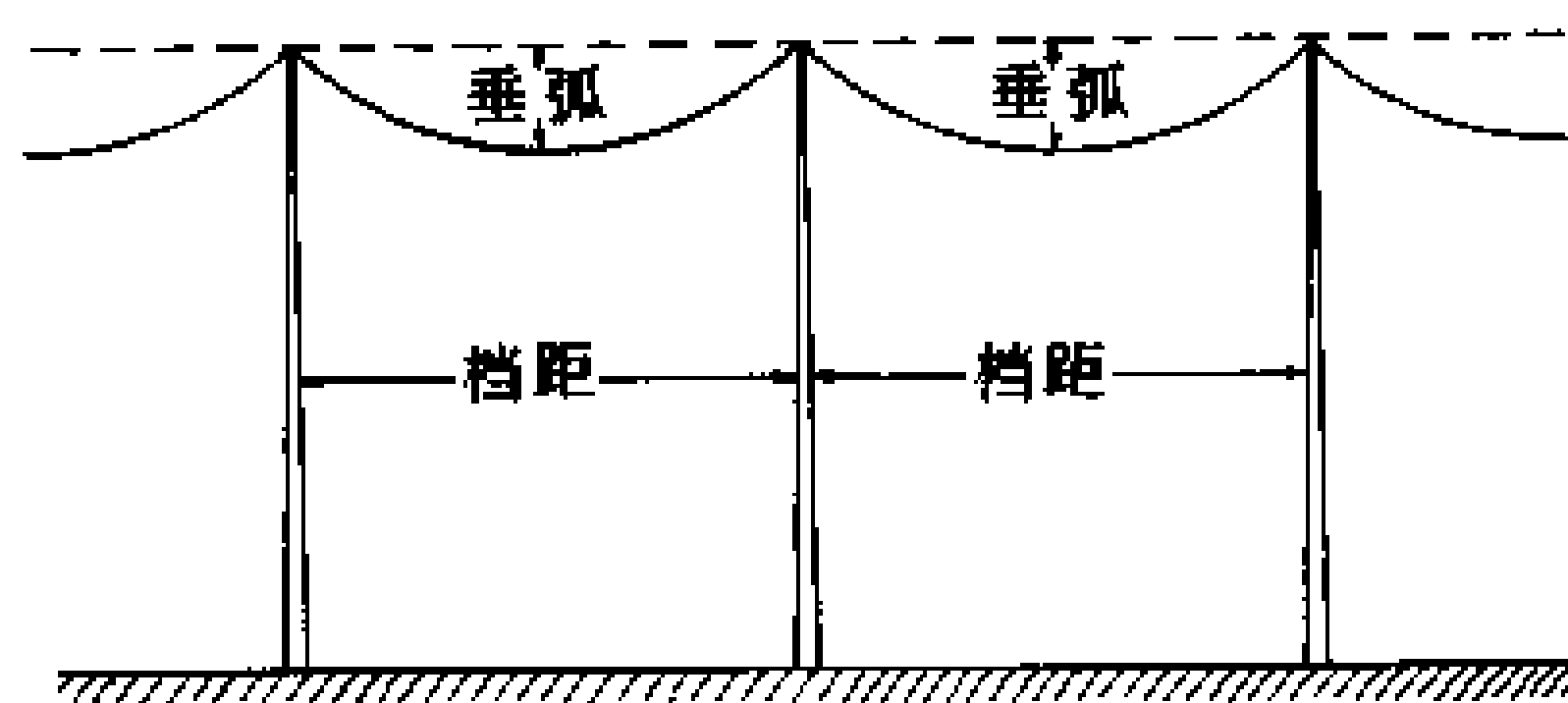


图 3—11 线路的档距与弧垂

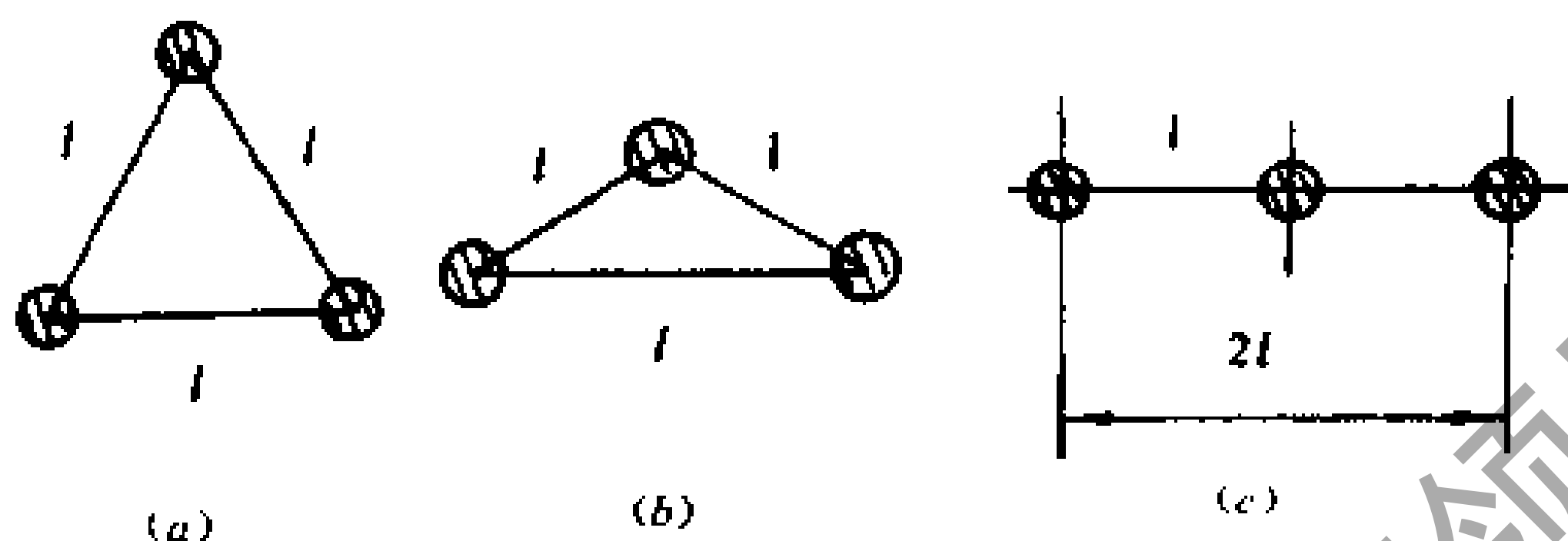


图 3—12 线路的线间距离示意图

距离为 0.8~1.5m，导线弧垂可按当地供电部门要求去调整。

## 第 2 节 电力电缆

电力电缆和架空线路一样，用来输送和分配电能，是一种特殊的电线。

### 一、电力电缆的特点

电力电缆具有防潮、防腐和防损伤等特点，可以直接埋在地下，也可以敷设在电缆沟、隧道或电缆管道里。

电缆的优点主要是供电可靠性高；不受雷击、风力等外力破坏；不必在地面上架设杆塔和架空线；可以较方便地穿过高层障碍物及易燃易爆等危险场所；解决特殊场所中明线不易处理的问题，使环境美观；通过居民区时，没有高压危险。

### 二、电力电缆的结构

电缆主要由导体、绝缘层和保护层 3 部分组成。ZQ<sub>20</sub>油浸纸绝缘电力电缆结构如图 3—13 所示。

### 三、电力电缆的种类

按心线材质分为铜心和铝心两种。

按心线绝缘材料分为油浸纸绝缘电缆、橡皮绝缘电缆、聚氯乙烯绝缘电缆、聚氯乙烯护套电缆（全塑电缆）、交联聚氯乙烯绝缘电缆、高压充油电缆等。

电力电缆型号含义如下：心线绝缘层代号 Z—纸绝缘，X—橡皮绝缘，V—聚氯乙烯绝缘，YJ—交联聚乙烯绝缘；内护层代号 Q—铅包，L—铝包，V—聚氯乙烯护套；外护层代号 1—麻被护层，2—钢带铠

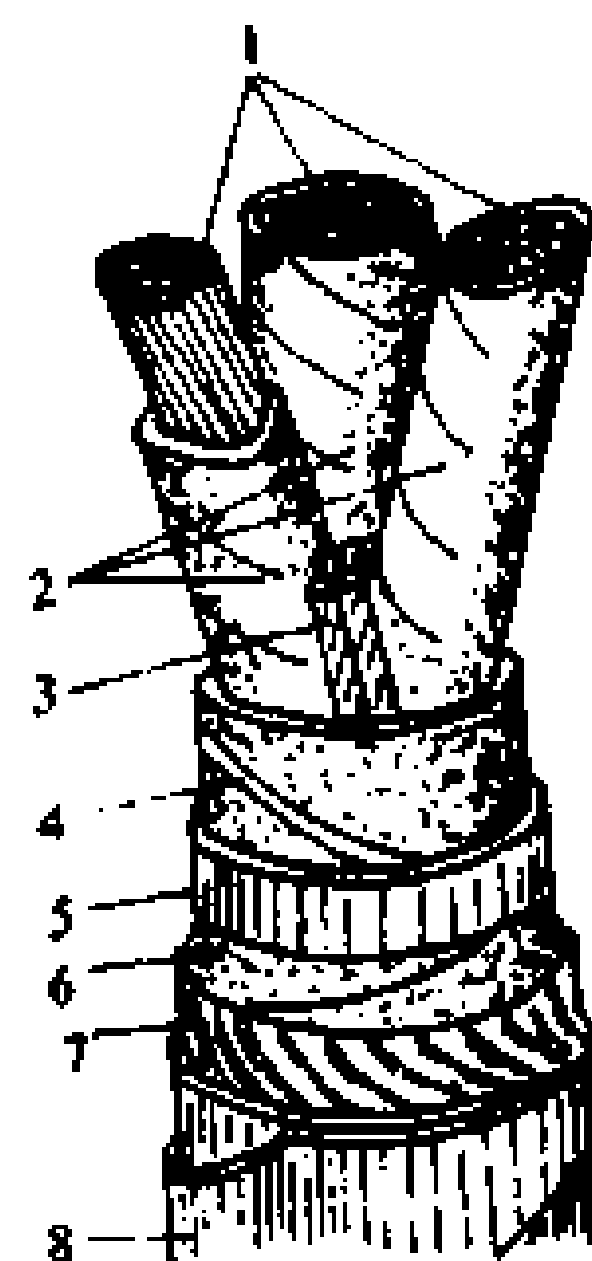
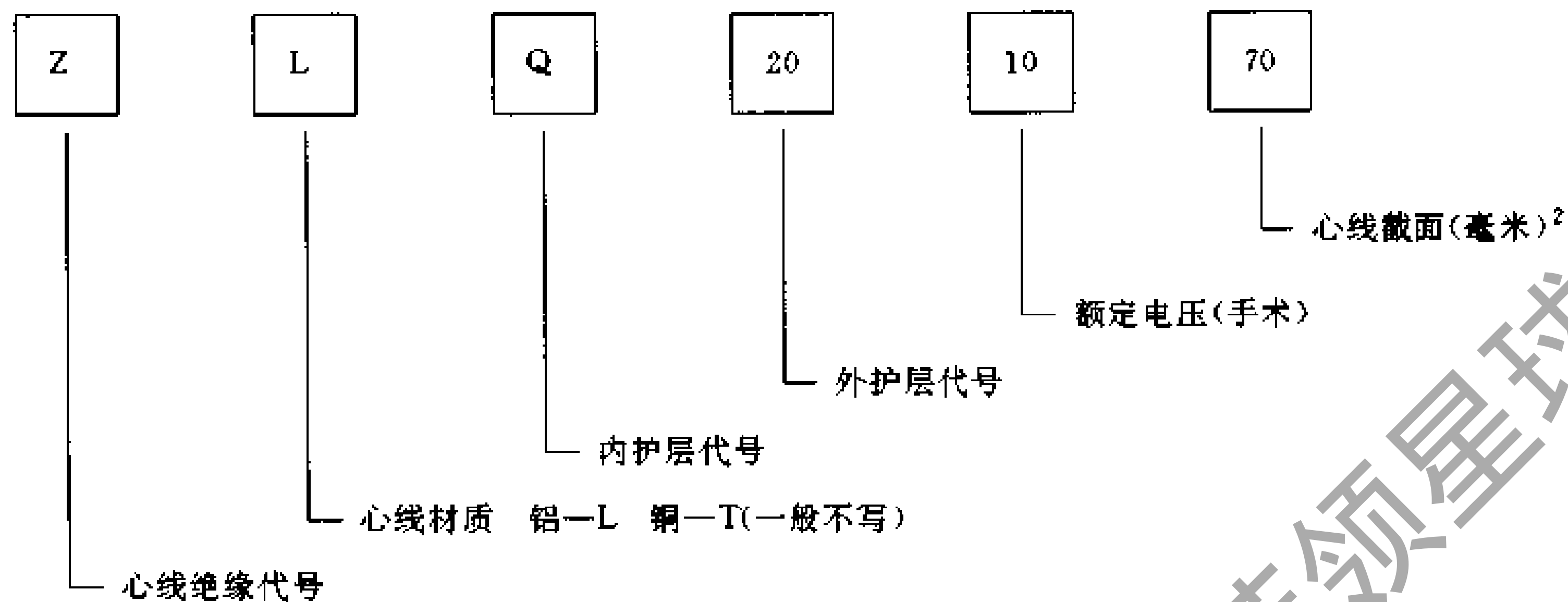


图 3—13 ZQ<sub>20</sub> 型三心电力电缆

1—载流线心 2—电缆纸 3—黄麻填料 4—束带绝缘 5—铅包皮 6—纸带 7—黄麻保护层 8—钢带铠

装麻被护套，20—裸钢带铠装，3—细钢丝铠装麻被护层，30—裸钢丝铠装，5—粗钢丝铠装麻被护层。

如 ZLQ<sub>20</sub>-10-70 表示 10kV、70mm<sup>2</sup>、铝心、纸绝缘、铅包、裸钢带铠装电缆。对照如下：



#### 四、电力电缆的敷设

电力电缆的敷设方式通常有直埋、沿电缆沟、沿隧道、沿墙和穿电缆管 5 种(图 3—14)。

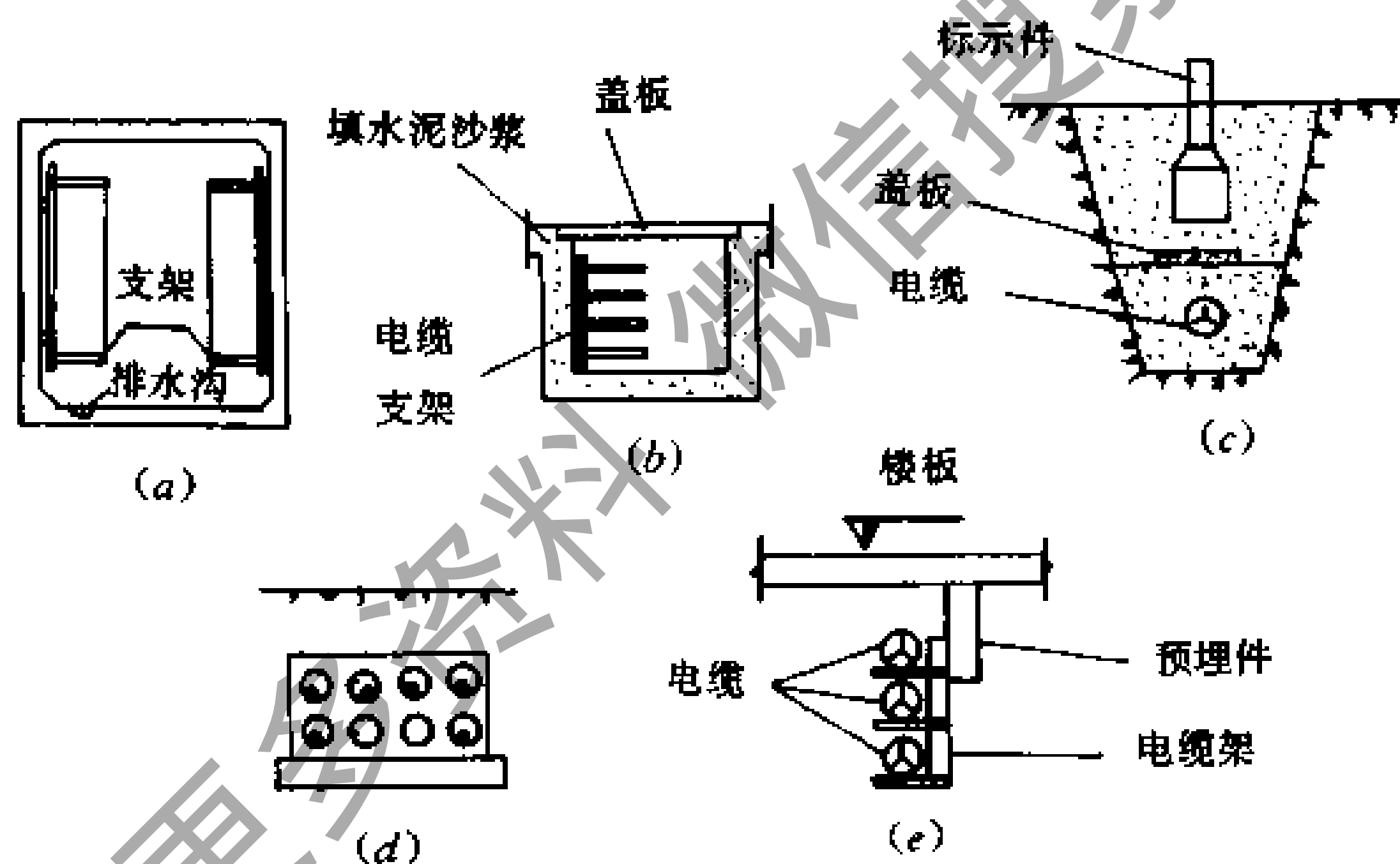


图 3—14 电缆敷设方式

敷设电缆时，为避免绝缘和保护层损坏，电缆的弯曲处应保证足够的曲率半径。各种电缆要求的曲率半径  $R$  分别为：有钢铠和无钢铠的油浸纸绝缘单心铝包电缆  $R \geq 25D$ ；有钢铠和无钢铠的油浸纸绝缘多心铝包电缆  $R \geq 15D$ ；铅包橡皮绝缘电缆和聚氯乙烯护套电缆，有铠装时  $R \geq 10D$ ，无铠装时  $R \geq 16D$  ( $D$  为电缆外径)。

#### 五、电缆的连接和电缆头形式

当两条电缆相互连接，或电缆与电机、电器、架空线相连接时，由于端部的保护层和绝缘层被剥去，如不采取密封措施，电缆端部绝缘纸将干枯、受潮，使电缆绝缘性能下降，直至恶化击穿。因此，必须采用专门的设备将剥去外皮的电缆端部密封好。两条电缆连接时，一般采用中间接头盒，如图 3—15 所示为 1~10kV 环氧树脂中间接头盒。

电缆与电机、电器和架空线路连接时，一般采用电缆终端盒(电缆头)。电缆头分室



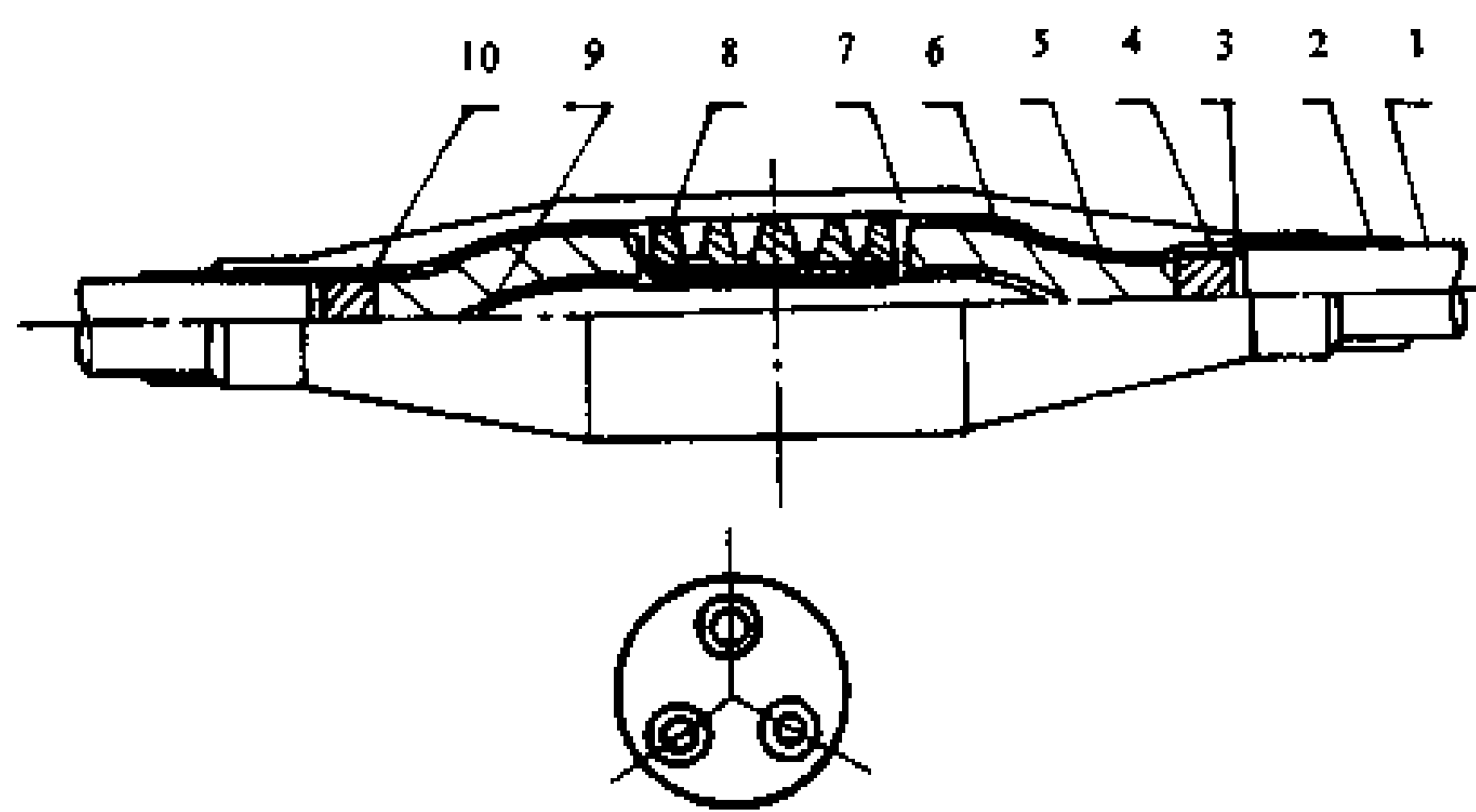


图 3-15 中间接头盒

- 1—铅(铝)包 2—表面涂包层 3—半导体纸 4—统包纸 5—心线涂包层 6—心线绝缘 7—压接管涂包层 8—压接管 9—三叉口涂包层 10—统包涂包层

内和室外两种，常用的电缆头有户内环氧树脂式、户外环氧树脂式、热缩式和聚氯乙烯带干包式等几种，其结构形式如图 3-16 (a)、(b)、(c)、(d) 所示。

## 六、电缆头制作

制作电缆头要求比较严格，要密封良好，防止渗油和受潮；要具备足够的绝缘强度和电气距离，避免击穿或短路；要保证导体接触良好和较高的机械强度。这就要求制作人员必须掌握正确的制作方法。

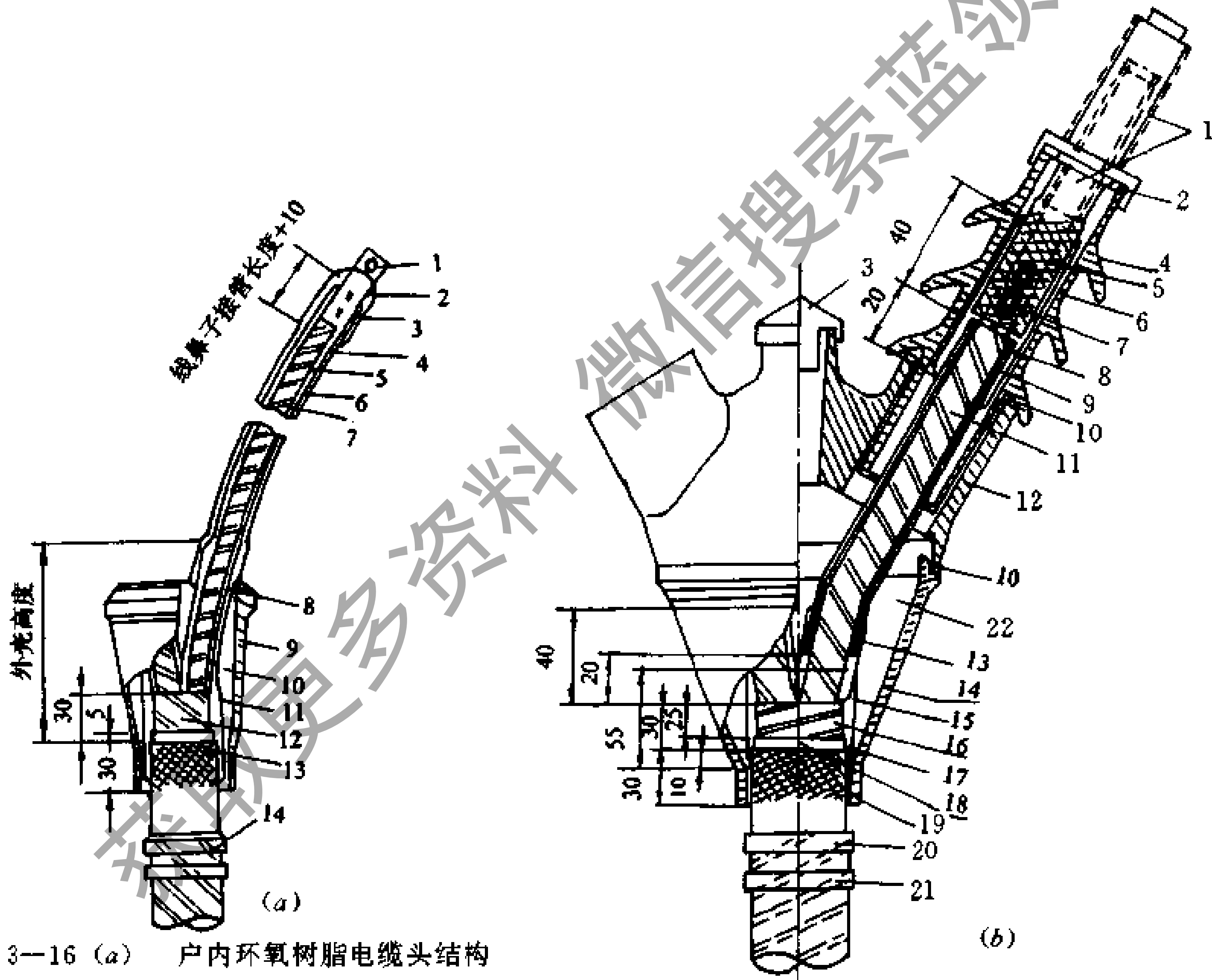


图 3-16 (a) 户内环氧树脂电缆头结构

- 1—线鼻子 2—线鼻子端堵油涂包层 3—相包带和透明聚氯乙烯带 4—黄蜡带 5—耐油橡胶带 6—黄蜡绸带 7—线心绝缘 8—线心及出线口堵油涂包脂 9—预制环氧树脂外壳 10—环氧树脂复合物 11—统包三叉口及铅(铝)包堵油涂包层 12—统包绝缘 13—半导体屏蔽纸 14—接地线第一道卡子

图 3-16 (b) 户外—1 型环氧树脂电缆头结构图

- 1—铜铝接线梗及接线柱防雨帽 2—耐油橡皮垫圈 3—浇注孔防雨帽 4—预制环氧套管 5—接管打毛 6—出线接管处堵油涂包层 7—接管压坑 8—耐油橡胶管 9—黄蜡绸带 10—接缝处环氧腻子密封层 11—电缆心线 12—预制环氧盖壳 13—心线堵油涂料包心 14—预制环氧底壳 15—统包三叉口及铅包处的堵油涂包层 16—统包绝缘 17—喇叭口 18—半导体屏蔽纸 19—铅包打毛 20—第 1 道接地卡子 21—第 2 道接地卡子 22—环氧混合胶

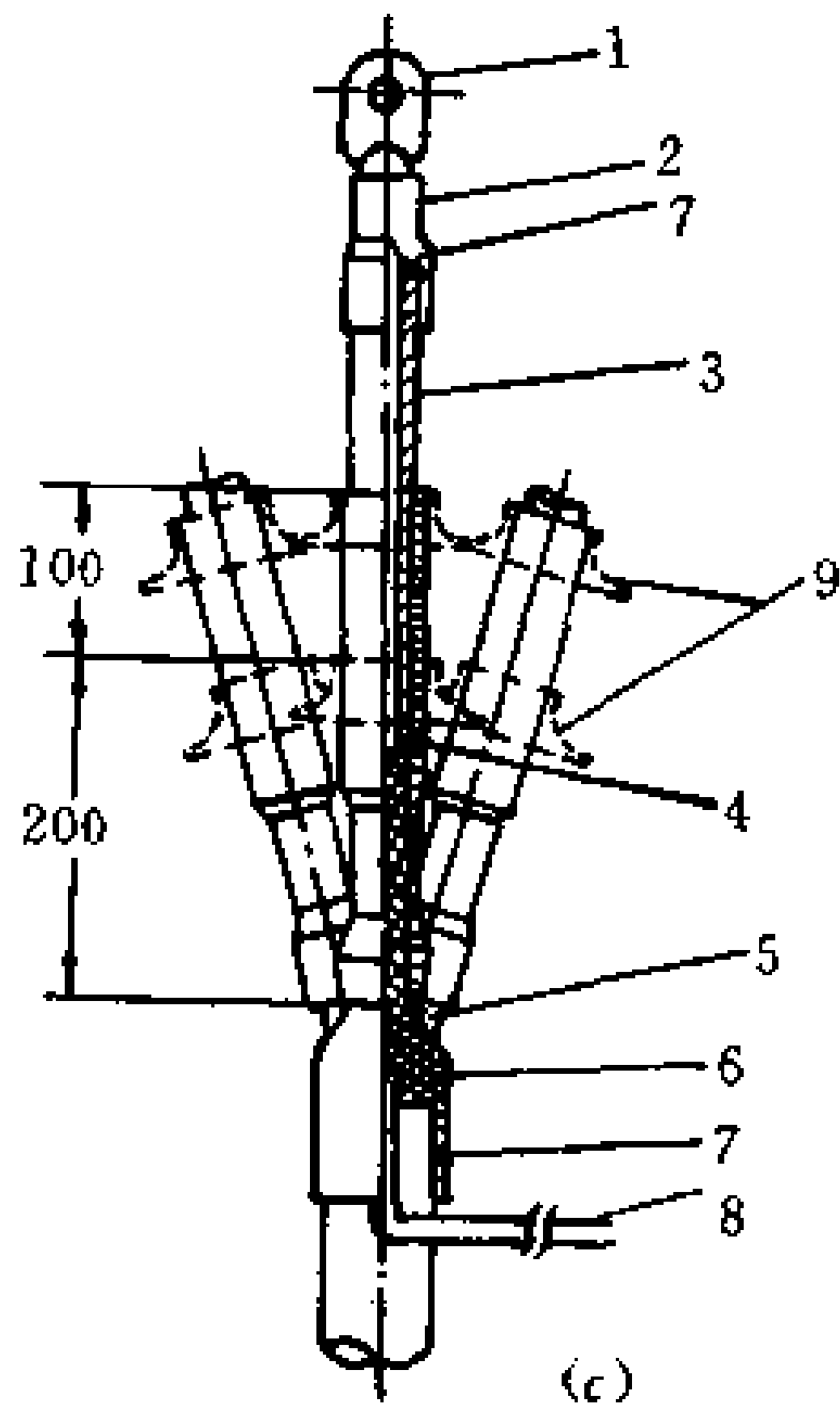


图 3—16 (c) 垫收缩电缆头

1—接线端子 2—密封管 3—护套管 4—应力控制材料 5—分支手套 6—钢扎丝 7—密封胶 8—地线 9—防雨罩 (室外)

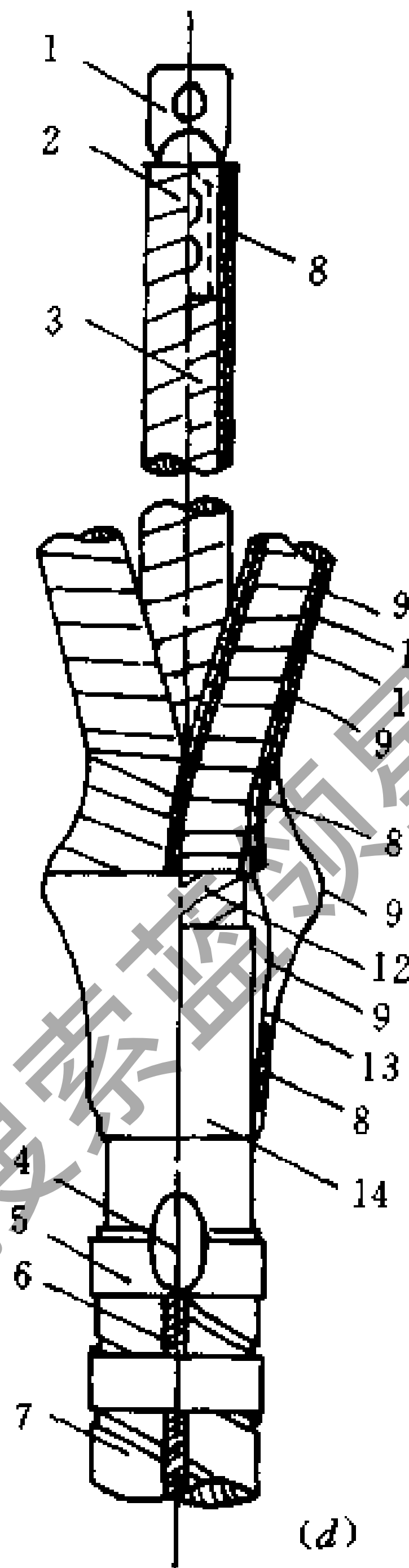


图 3—16 (d) 聚氯乙烯带干包电缆头

1—线鼻子 2—压接坑 3—心线绝缘 4—接地线封头 5—接地卡子 6—接地线 7—电缆钢带 8—尼龙绳 9—聚氯乙烯带 10—黑蜡带 11—塑料软管 12—统包绝缘 13—软手套 14—铅包

### 1. 户内油浸纸绝缘环氧树脂电缆头制作

(1) 清理场地，用木板垫起电缆接头，使其水平并调直。

(2) 将绝缘纸或电缆心线松开，浸到 150℃ 的电缆油中，检查电缆是否受潮。

(3) 用绝缘电阻测量仪测量绝缘电阻并核对相序，做好记号和记录。

(4) 按环氧树脂预制外壳的尺寸，确定剥切铝包的长度，确定剖切钢带铠装层的尺寸，并做上标记。

(5) 在标记以下约 100mm 处的钢带上，用浸有汽油的抹布把沥青混合物擦净，再用砂布或锉刀打磨，使其表面显出金属光泽，涂上一层焊锡，以备放置接地线用。

(6) 锯切钢带铠装层。用专用的刀锯在钢带上锯出一个环形深痕，深度为钢带厚的 2/3，切勿伤及其他包层 (图 3—17)。

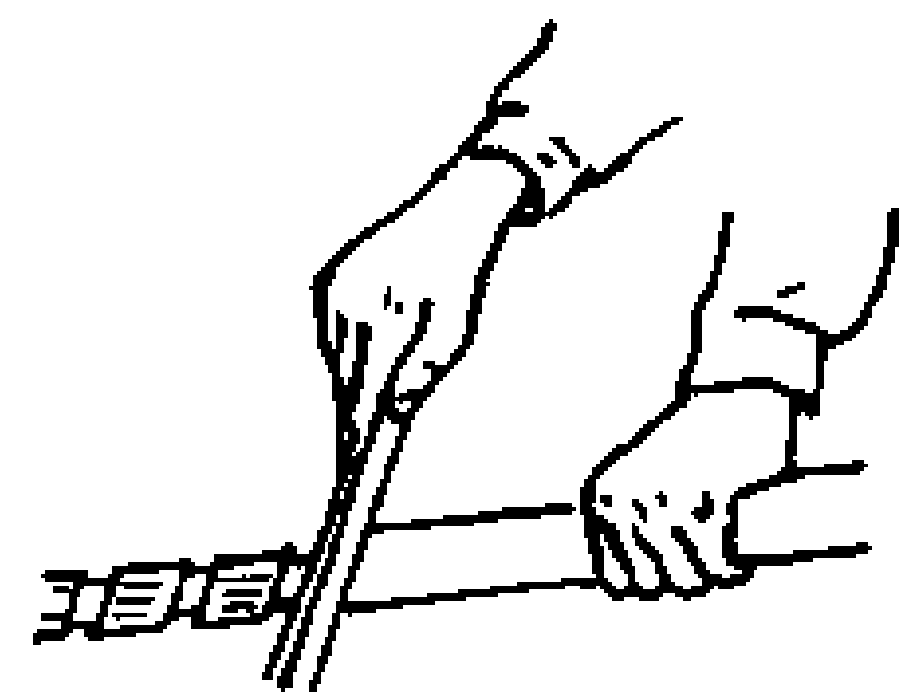


图 3—17 锯切钢带

(7) 剥钢带。锯完后，用螺丝刀在锯痕尖角处将钢带挑起，用钳子夹住，逆原缠绕方向把钢带撕下。再用同样方法剥去第2层钢带。钢带撕下后，再用锉刀修饰钢带切口，使其光滑无刺。

(8) 剥削铅包（或铝包）并套装预制的环氧树脂电缆头外壳。剥削铅包前，应将喇叭口以上60mm范围内的一段铅包表面，用汽油洗净后打毛，并用塑料带临时包缠，以防弄脏。按设计要求确定喇叭口的位置，划一环形深痕，再由此到顶端沿电缆轴向划两条间距10mm的平行线，然后用剖铅刀沿划线切入铅包厚的1/2，用木锉或锯条将喇叭口下30mm处的一段铅包拉毛，并用塑料带临时包扎1~2层，以防弄脏。接着将预制的环氧树脂电缆头外壳套入电缆钢带上，并用干净的棉纱塞满，预制环氧树脂电缆外壳如图3—18所示。最后把两条纵痕间的条形铅包挑起，并用钳子夹住钳包慢慢卷起剥掉，如图3—19所示。

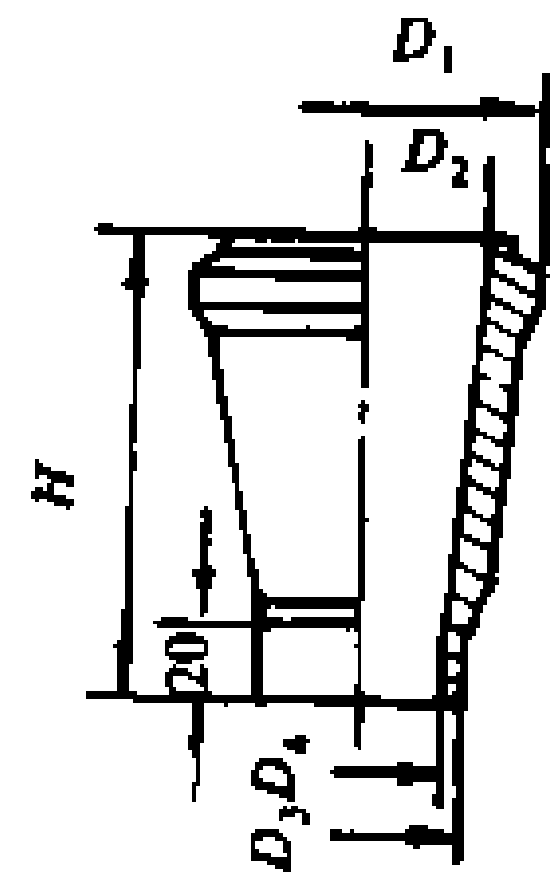


图3—18 预制环氧树脂电缆头外壳

(9) 扩张喇叭口。用胀口器或竹片将铅包口胀成喇叭口。

(10) 剥统包绝缘，分开心线。在喇叭口向上30mm一段统包绝缘上，用白纱布临时包扎3~4层。然后将统包绝缘纸自上向下撕掉，并分开线心，用汽油将心线表面的电缆油擦去。

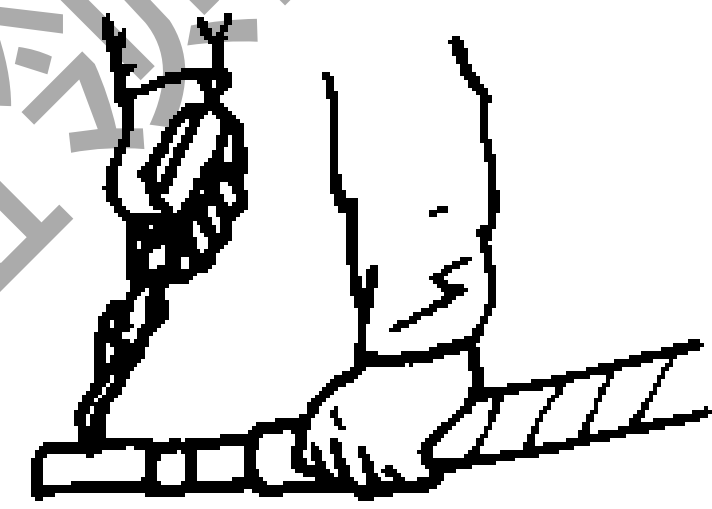


图3—19 剥削铅包

(11) 剥除心线端部绝缘。按设备接线位置所需的长度割去多余的电缆，然后用电工刀剥除心线端部的绝缘，其长度等于接线鼻子的孔深加5mm。

(12) 套耐油橡胶管。将选择好的耐油橡胶管从每根心线末端套入，套到离心线根部20mm即可，然后将上部橡胶管往下翻，使心线端部的导线露出，最后在心线三叉口处用干净的布盖住。

(13) 装接线鼻子。将心线套上接线鼻子，并压接。然后将接线鼻子的管形部分用锯条或锉刀拉毛，并在压坑内用无碱玻璃丝带填满，再将耐油橡胶管的翻口往上翻，盖住接线鼻子下压坑。

(14) 涂包心线。先将铅包及统包上的临时包缠带拆去，然后在喇叭口以上5mm处用蜡线紧扎一圈，将统包外层的半导体屏蔽纸自上向下沿蜡纸撕平，再在统包及心线上分别包一层干燥的无碱玻璃丝带。按规定的涂包尺寸，在心线及出线口堵油处，刷一层环氧树脂涂料。然后用无碱玻璃丝带在其表面包一层，边涂边包，共涂两层，再在统包部分涂包两层。然后在三相分叉口部位交叉缠绕并压紧4~6层，在分叉处填满环氧树脂涂料，如图3—20所示。最后，将三叉口以下沿统包纸绝缘到喇叭口以下的长约30mm的一段电缆包皮涂包2~3层，在无碱玻璃丝带表面均匀地刷一层环氧树脂涂料，用玻璃丝带按上述方法涂包3~4层。

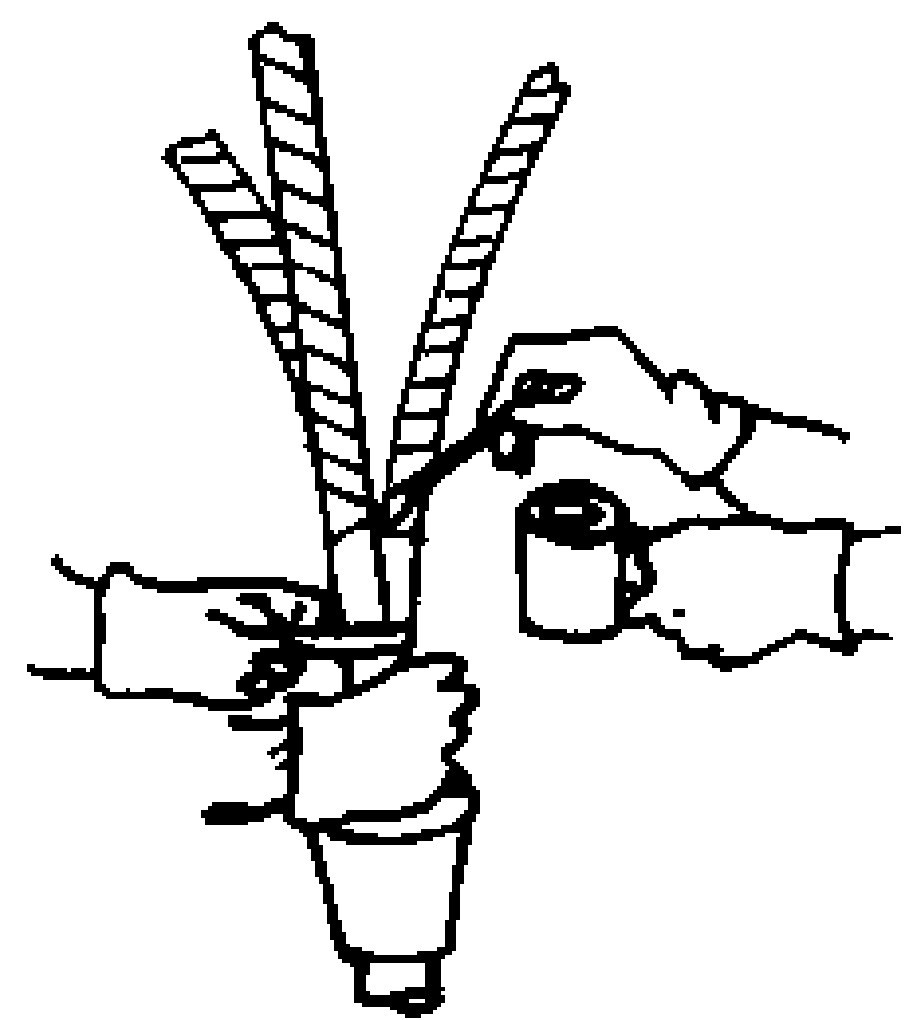


图3—20 三叉口内填满涂料

(15) 装配环氧树脂外壳。先将外壳内临时放的棉纱取出，将外壳向上移到喇叭口附近，由喇叭口向下30mm处，用塑料带重叠包绕成卷，包绕直径与外壳下口的外径相近。接着将外

壳放在塑料带卷上，用塑料带将外壳下口和塑料带卷扎紧，使外壳平整地固定在电缆上。然后调整心线位置，使其离外壳内壁有 3~5mm 间隙，并对称排列，再用支撑架或带子将三相心线固定不动，用红外线灯泡或电吹风加速涂包层硬化和预热外壳。

(16) 浇注环氧树脂复合物。将环氧树脂复合物从预制外壳中间浇入，以便空气逸出，不致形成气孔，一直浇到外壳平口为止。

(17) 包绕保护层。待浇入壳内的环氧树脂冷却干固后，可包绕线心的外护加强层。从外壳出线口至接线鼻子的一段耐油橡胶管上，先用黄蜡带包绕两层，包绕时需要拉紧。然后，按确定的相位分别在各心线上包一层相色带和一层透明塑料带，最后按设备的接线位置弯好心线，进行直流耐压试验，合格后，再接在设备上。户内环氧树脂电缆头结构见图 3—16 (a)。

(18) 电缆头制作时的注意事项。

① 施工时，应防止灰尘和砂土等杂物进入电缆的连接处。在户外操作时，应架设临时作业棚。

② 凡受潮的电缆端头不准接入中间头或终端头内。

③ 为防止电缆受潮，在雨雪天或湿度较高的环境中，不准制作中间头或终端头。

④ 终端头出线应保持固定位置，其中带电裸露部分的相间和对地距离规定为：10kV 以下时，户外的不得小于 200mm，户内的不得小于 125mm。且规定，心线应作出明显的相位色标。

## 2. 橡塑电缆热收缩电缆头制作

(1) 剥切电缆：

① 如图 3—21 所示，在离电缆末端  $L+K+125\text{mm}$  处，包浸渍黄麻布保护电缆，然后用电缆卡子固定电缆。

② 在离电缆末端  $L+K+5\text{mm}$  处，齐整地除去外护套，不得损伤内铠装。

③ 朝电缆末端离外护套切口 30mm 处，标出锯断标记，用铜丝扎牢，锯断钢带铠装，切口处应平整，无锐角毛刺，以免刺坏热收缩管。锯时不得伤及内层结构。

④ 朝电缆末端离铠装切口 5mm 处，标出切断标记，将内衬垫和填充物除去，不得伤及内部铜屏蔽层。

⑤ 朝电缆末端离外护套切口  $E$  处，标出切断标记，用自粘性 PVC 带将铜屏蔽带缠紧，然后除去铜屏蔽层，不得伤及半导体屏蔽层。

⑥ 朝电缆末端离铜屏蔽层切口 10mm 处，除去半导体屏蔽层，不得伤及线心绝缘。

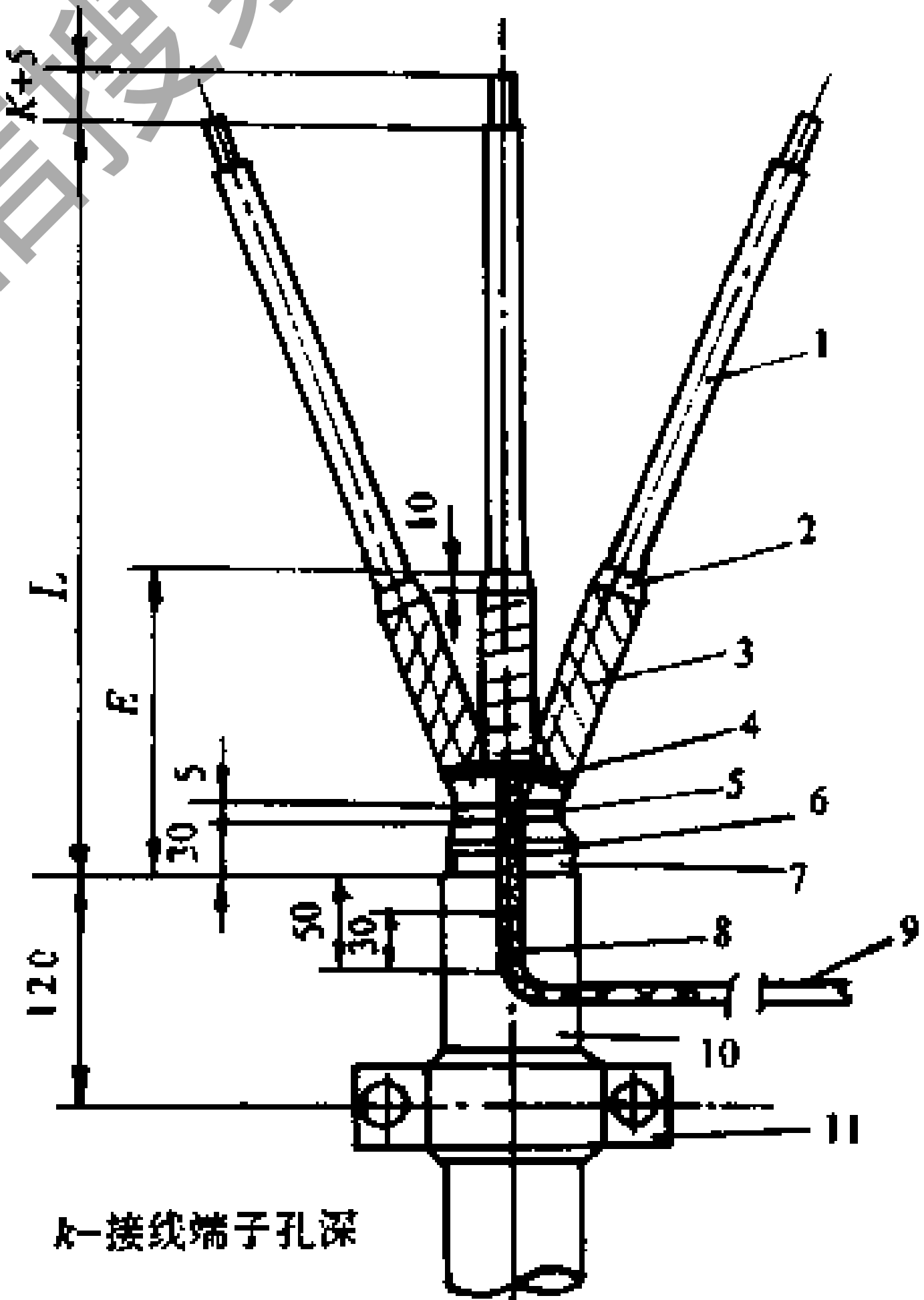


图 3—21 橡塑电缆剥切示意图

$L$ —户内 400mm，户外 500mm

$E$ —160mm  $K$ —接线端子孔深

1—线心绝缘 2—半导体层 3—铜屏蔽带

4—铜扎线 5—电缆内护套 6—铜扎线 7—

电缆铠装 8—锡焊隔潮层 9—接地线 10—

电缆外护套 11—电缆卡子

## (2) 焊接地线:

①在各相铜屏蔽带上,将铜编织软线用铜扎丝扎紧,并焊牢。

②将焊在各相上的铜编织软线,与接地铜编织软线,用铜扎丝扎紧在铠装铜带上,并焊牢。

③从外护套切口背离电缆末端 20mm 处开始,用锡将铜编织软线间隙填平,形成 30mm 的隔离防潮层。

## (3) 压接接线端子:

①离电缆末端  $K+5\text{mm}$  处除去线心绝缘,不得伤及线心。

②将接线端子套入心线,用压接钳压好。

(4) 安装应力控制材料:用清洁剂和清洁纸将线心绝缘层表面清洗干净,将热收缩应力控制管套入各相。然后小心除掉防止铜屏蔽带松散的 PVC 带。在铜屏蔽层上,从离屏蔽切口 10mm 处开始,向电缆末端方向加热收缩应力管。

## (5) 安装分支手套:

①用密封胶带绕包填平分支处空隙及内衬垫裸露部分的凹陷。

②清洗接地线和外护套,用密封胶将引出线绕包两层。自外护套切口朝电缆方向长约 80mm 一段,绕包密封胶带一层。

③将分支手套尽量套至电缆 3 心分支根部,先从分支手套交叉处开始向袖口处加热收缩,再从分支手套交叉处向手指方向加热收缩。

## (6) 安装绝缘护套管:

①清洗干净分支手套的手指,在手指上从端部开始绕包一层密封胶带,长度 35~40mm。

②套上护套管,从手指处开始向电缆末端方向加热收缩,使护套管与手指搭接 35~40mm,并收缩到线心绝缘末端,除去多余套管。

## (7) 安装密封护套管:

①清静接线端子,用密封胶将接线端子上的压坑和接线端子,与线心绝缘之间的间隙填平。从端子向电缆方向包绕一层密封胶带,套上密封护套管,从接线端子开始向电缆方向加热收缩。在接线端子根部套入 3 色热收缩管,并加热收缩,冷却后擦净表面即完成了户内终端头的安装。

## (8) 安装雨裙:

①用清洁剂将绝缘护套管表面清洗干净。

②每相在离绝缘护套管底部最小 200mm 和 300mm 处,向电缆方向包绕 20mm 长一层密封胶带,套上雨裙,加热收缩(涂胶雨裙不包绕密封胶带)。冷却后即完成了室外电缆头的安装。结构见图 3-16 (c)。

## (9) 注意事项:

①热收缩材料的收缩温度为 110~150℃,加热工具推荐用丙烷喷枪,火焰呈黄色;若用汽油喷灯时,火焰不宜硬,并注意适当远离材料,控制加热温度。

②开始加热时,火焰要缓慢接近材料,不断移动,以确保收缩均匀,避免烧焦。

③火焰朝收缩方向预热材料,以便于收缩。按工艺要求的起始部位和方向顺序收缩,

有利于排除气体和密封。

④收缩完毕的管子应光滑无皱褶，能清晰地看到内部结构的轮廓。

⑤凡接触密封材料的部件，应仔细清洗打毛，去除油污，以确保密封效果。

⑥金属部位包热收缩材料之前应预热，使热熔胶能充分浸润密封界面，确保密封效果。密封部位有少量胶挤出，表明密封完善。

⑦剥除金属屏蔽层时，切口要平齐，不要有毛刺和凸缘，避免损坏和刺穿热收缩材料。

⑧切割热收缩管时，切口要平整，不要有尖端和裂口，避免在收缩时，应力集中产生撕裂。应控管不得随意切割。

### 第3节 低压配电线路

#### 一、低压配电线路的结构

低压配电线路是指线电压为 380V（相电压是 220V）的线路。低压配电线路有架空线路和地埋线两种。

如图 3—22 所示，低压架空线路由导线、电杆、横担、绝缘子、金具和拉线等构成。

##### 1. 导线

低压架空线路所用的导线有裸导线和绝缘导线，一般采用裸导线，如铝绞线、钢心铝绞线（表 3—1）。

##### 2. 电杆

目前架设的低压架空线路，大多数采用钢筋混凝土制作的水泥杆，常用的有 8m、10m 和 12m 的。在农村多数采用 8m 电杆。

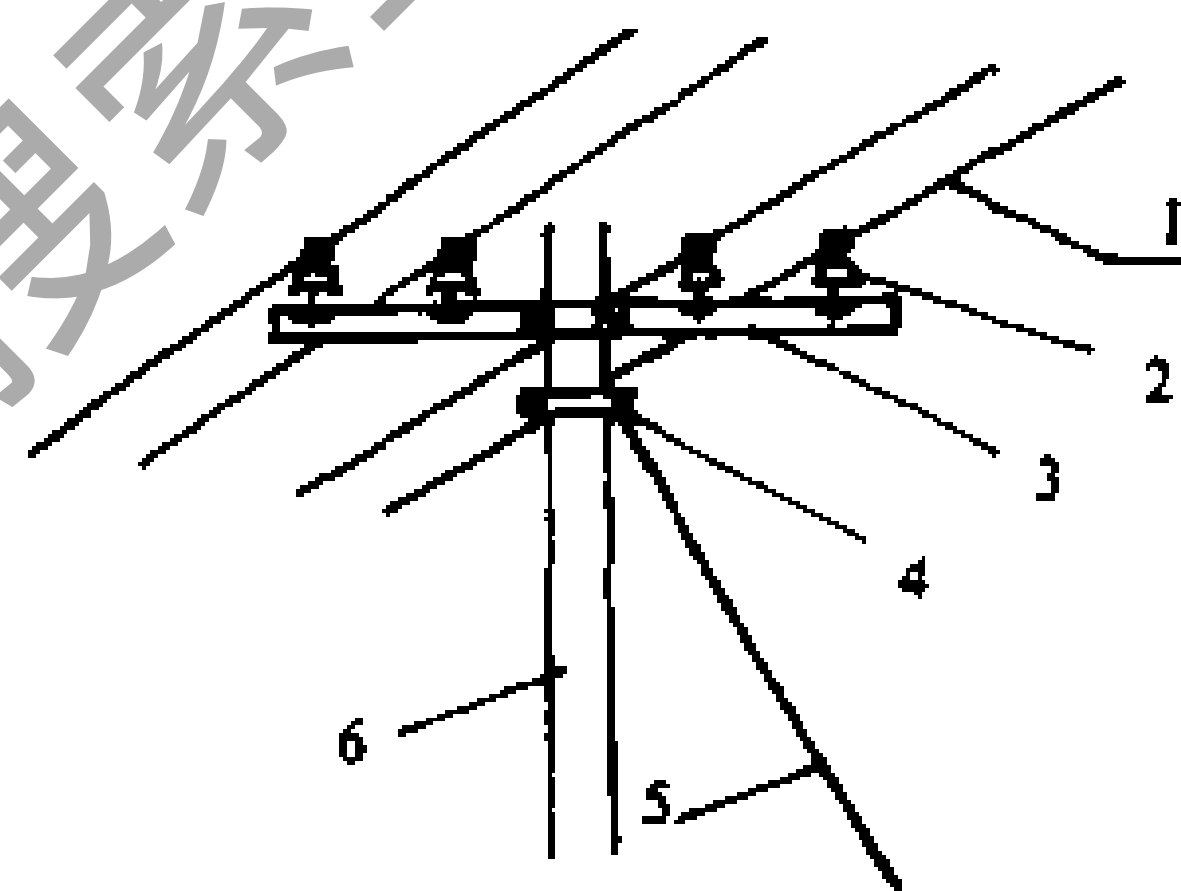


图 3—22 低压架空线路基本构件

1—导线 2—绝缘子 3—横担 4—金具  
5—拉线 6—电杆

表 3—1 常用铝绞线和钢心铝绞线的规格

| LJ (铝绞线)                |            |           |            | LGJ (钢心铝绞线)             |              |            |           |            |
|-------------------------|------------|-----------|------------|-------------------------|--------------|------------|-----------|------------|
| 标称截面 (mm <sup>2</sup> ) | 股数×直径 (mm) | 导线外径 (mm) | 每公里重量 (kg) | 标称截面 (mm <sup>2</sup> ) | 铝线股数×直径 (mm) | 钢心股直径 (mm) | 导线外径 (mm) | 每公里重量 (kg) |
|                         |            |           |            | 10                      | 5×1.60       | 1×1.20     | 4.4       | 36         |
| 16                      | 7×1.70     | 5.1       | 44         | 16                      | 6×1.80       | 1×1.80     | 5.4       | 62         |
| 25                      | 7×2.12     | 6.4       | 68         | 25                      | 6×2.20       | 1×2.20     | 6.6       | 92         |
| 35                      | 7×2.50     | 7.5       | 95         | 35                      | 6×2.80       | 1×2.80     | 8.4       | 150        |
| 50                      | 7×3.00     | 9.0       | 136        | 50                      | 6×3.20       | 1×3.20     | 9.6       | 196        |
| 70                      | 7×3.55     | 10.7      | 191        | 70                      | 6×3.80       | 1×3.80     | 11.4      | 275        |
| 95                      | 19×2.50    | 12.5      | 257        | 95                      | 28×2.08      | 7×1.80     | 13.7      | 404        |

按照用途不同，电杆可以分成直线杆、耐张杆、转角杆、终端杆、T接（分支）杆（图 3—23、图 3—24）。表 3—2 是它们安装所需材料及图注编号的含义。

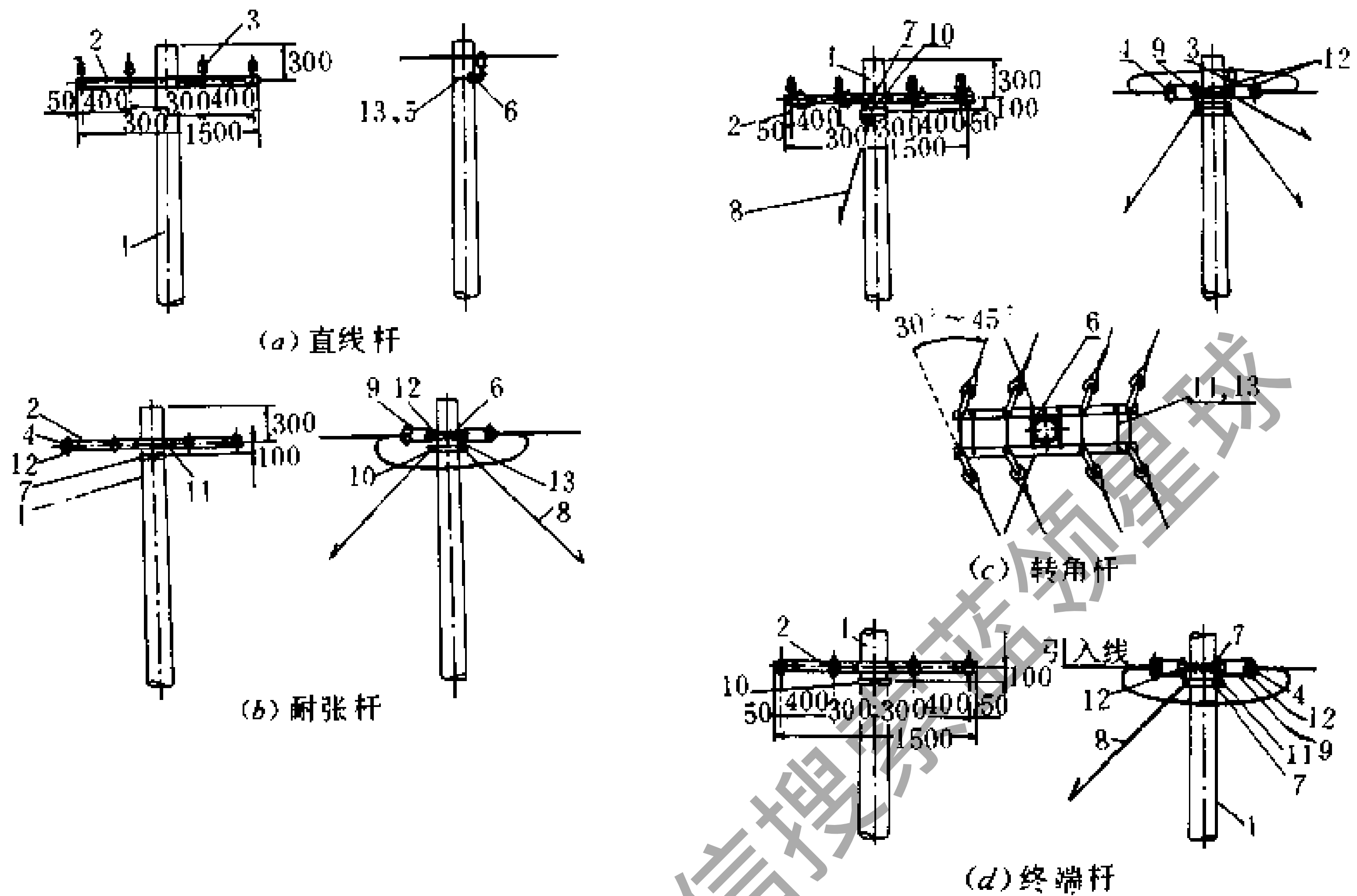


图 3—23 低压架空线路各种杆型

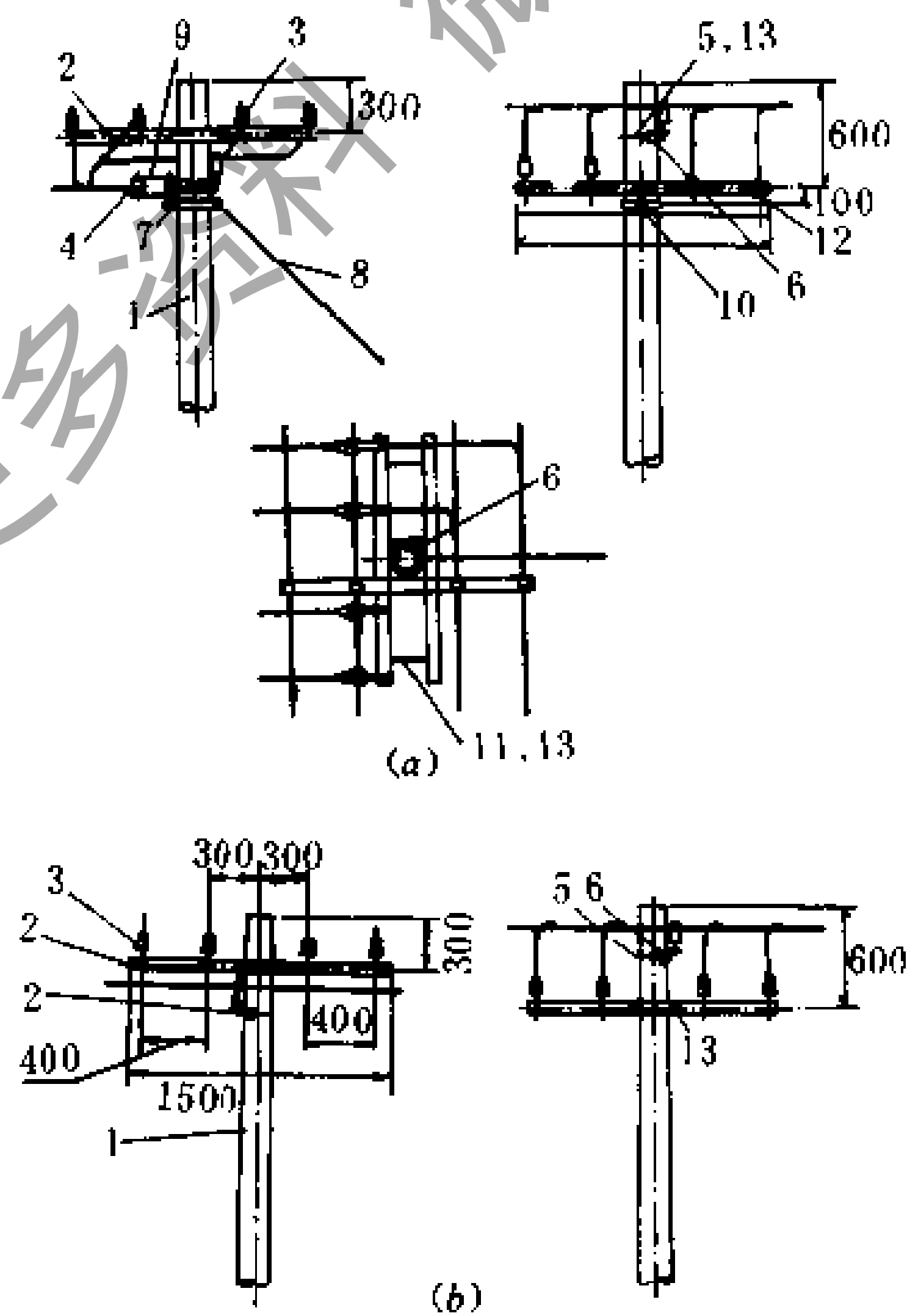


图 3—24 分支杆

表 3—2

各种低压杆型杆顶安装设备材料汇总表

| 图注编号 | 名称      | 型号及规格        | 单位 | 数量         |            |            |            |        |     | 备注           |
|------|---------|--------------|----|------------|------------|------------|------------|--------|-----|--------------|
|      |         |              |    | 图 3—23 (a) | 图 3—23 (b) | 图 3—23 (c) | 图 3—23 (d) | 图 3—24 |     |              |
|      |         |              |    |            |            |            |            | (a)    | (b) |              |
| 1    | 钢筋混凝土电杆 | 规格按需要确定      | 根  | 1          | 1          | 1          | 1          | 1      | 1   |              |
| 2    | 铁横担     | <50×5×1500   | 根  | 1          | 2          | 2          | 2          | 3      | 2   |              |
| 3    | 低压针式绝缘子 | PD           | 个  | 4          |            | 4          |            | 6      | 8   |              |
| 4    | 蝴蝶式绝缘子  | ED           | 个  |            | 8          | 8          | 4          | 4      |     |              |
| 5    | U型抱箍    | 带螺母          | 个  | 1          |            |            |            | 1      | 2   |              |
| 6    | M型抱铁    | 50×5         | 个  | 1          | 2          | 2          | 2          | 3      | 2   | 大小根据电杆梢径确定   |
| 7    | 拉线抱箍    | 50×5         | 副  |            | 1          | 2          | 1          | 1      |     | 大小根据电杆梢径确定   |
| 8    | 拉线      | 规格按需要确定      | 根  |            | 2          | 2          | 1          | 1      |     |              |
| 9    | 铁拉板     | 40×4×250     | 副  |            | 8          | 8          | 8          | 4      |     |              |
| 10   | 六角螺栓    | M16×80 (带螺母) | 个  |            | 2          | 4          | 2          | 2      |     |              |
| 11   | 六角螺栓    | M16          | 个  |            | 4          | 4          | 4          | 4      |     | 长度值根据电杆梢径确定  |
| 12   | 六角螺栓    | M12 (带螺母)    | 个  |            | 16         | 16         | 8          | 8      |     | 长度值根据绝缘子尺寸确定 |
| 13   | 垫圈      | φ17孔         | 个  | 2          | 4          | 8          | 4          | 6      | 4   |              |

### 3. 绝缘子

图 3—25 为常见的几种低压绝缘子。

常用的针式绝缘子的型号是 PD—1 型。其中，“P”表示针式，“D”表示低压。针式绝缘子也称针式瓷瓶，一般用在直线杆上。

蝶式绝缘子也称茶台，用在耐张杆、转角杆和终端杆上。常用的有 ED—1、ED—2 或 ED—3 型。其中，“E”表示“蝴蝶式”；“D”表示低压；1、2、3 分别表示不同的抗拉力。

拉线绝缘子用在拉线上，防止拉线上段有电时把电流传到拉线下段，造成人身事故。常用的拉线绝缘子有 J—2 和 J—4.5 型。

### 4. 铁件和金具

常用的铁件和金具有铁横担、U 形抱箍、拉线抱箍、茶台拉板〔图 3—26 (a)〕、螺丝、心形环〔图 3—26 (b)〕和花蓝螺丝〔图 3—26 (c)〕。各种铁件都应该镀锌或涂漆，防止生锈。

### 5. 拉线

拉线的种类如图 3—27 (a) 所示。普通拉线一般和电杆成 45° 角。如果受地形限制，



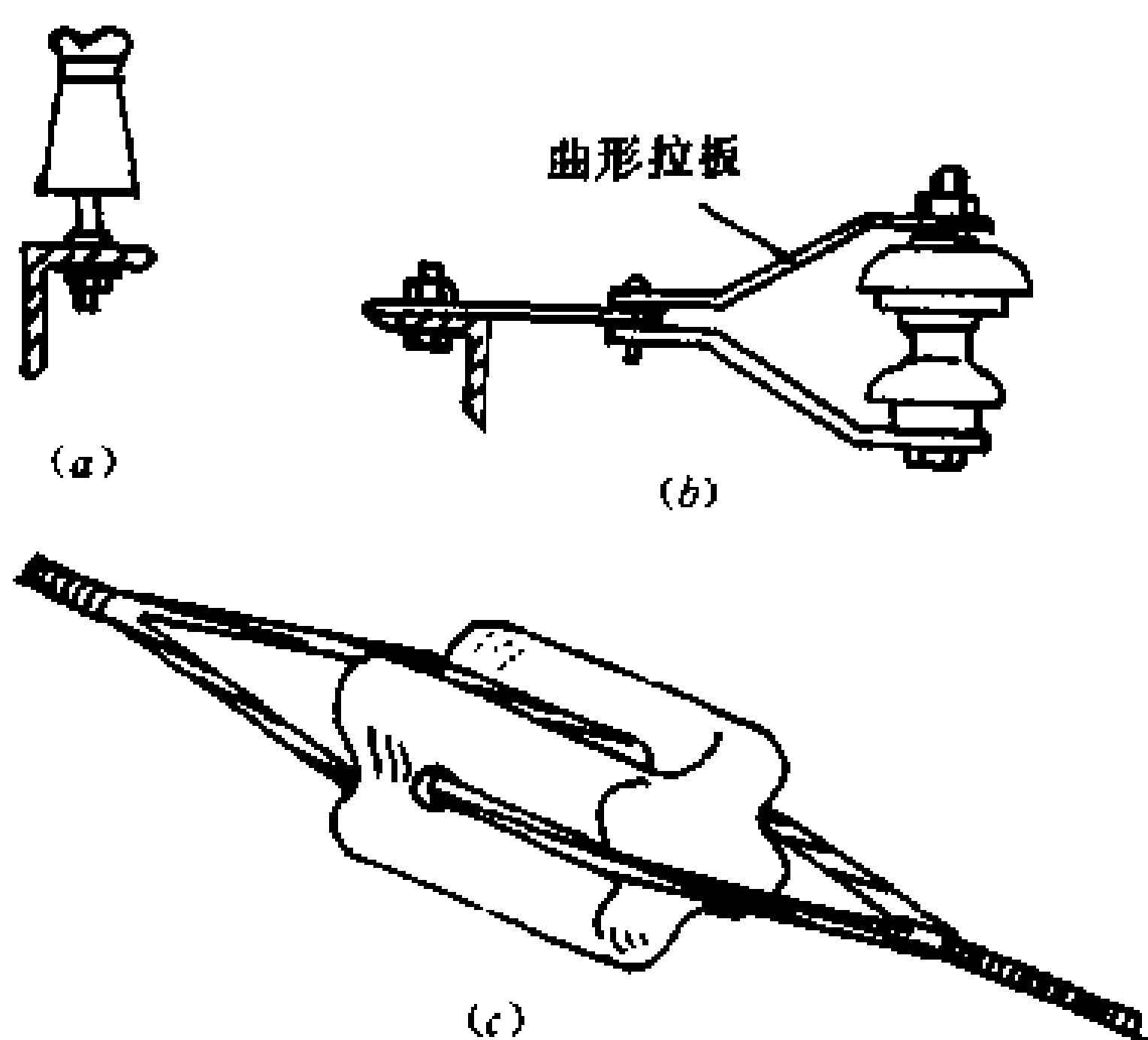
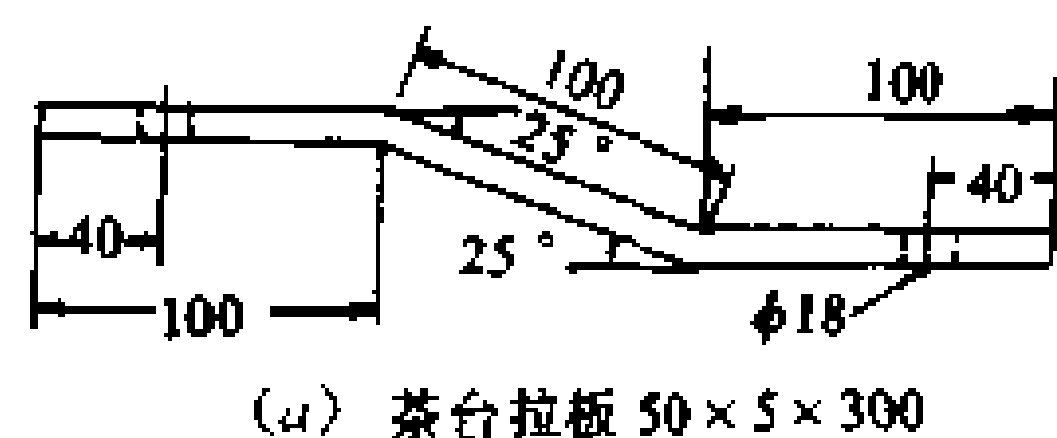


图 3—25 常见的几种低压绝缘子  
(a) 针式绝缘子 (b) 蝴蝶式绝缘子 (c) 拉线绝缘子



(a) 茶台拉板 50×5×300

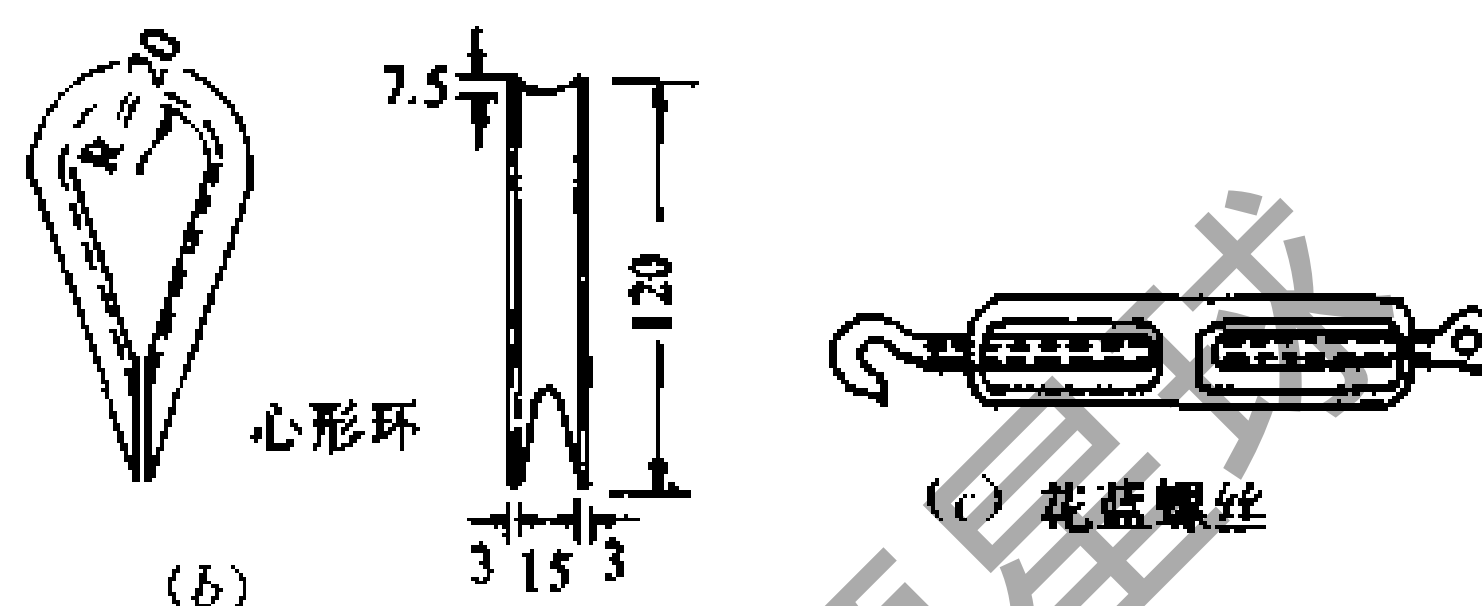


图 3—26 低压用部分铁件和金具花蓝螺丝

角度可适当减小，但不应小于  $30^\circ$ 。在侧面风力大的地方，可使用侧面拉线；跨越道路时，可使用过路拉线；地方狭窄并且拉线受力不大时，可使用自身拉线。

普通拉线的结构如图 3—27 (b) 所示，有上把（固定在抱箍上）、腰把（连接上把和底把）、底把（在地下固定）3 部分。拉线绝缘子距地面不应小于 2.5m，防止人触及拉线上把。

拉线一般用直径 4mm 的镀锌铁丝（8 号线）绞成，也可用  $25\text{mm}^2$  的镀锌钢绞线制作。

## 二、低压架空配电线路的设计

合理地架设低压架空配电线路，对于方便管理和线路的安全、经济运行是十分必要的。应在调查研究装机容量，按负荷中心确定配电变压器安装位置的基础上，正确地做好设计工作。设计工作主要包括以下内容：确定路径、测定杆位和杆型、选择导线、确定电杆长度、绘制图纸、编制材料表和预算等。

### 1. 确定路径

根据线路规划所选择的路径，认真进行察看和丈量，同时注意考虑安全和经济两个方面，再具体确定线路的路径。

### 2. 测定杆位

路径确定后，应当测定杆位。常用的测量工具主要是花杆和测绳。测量时，要首先确定首端电杆和终端杆的位置，并且打好标桩作为挖坑和立杆的依据。因地形限制或因用电需要必须有转角时，还要把转角杆的位置确定下来。这样，首端杆、转角杆、终端杆就把整条线路划分成几个直线段。然后测量出直线段的长度，均匀分配档距，一一确定直线杆的位置。遇到跨越时，如果新线路从被跨越物上方通过，电杆应靠近被跨越物（但应在倒杆范围以外），以便不在导线最低点处跨越。新架线路在被跨越物下方时，交叉点应尽量放在新架线路的档距中间，以得到最大的跨越距离。线路导线跨越铁路、公路、通航河流、重要通讯线，以及对地、房屋的最小允许距离见表 3—3，采用的杆型应

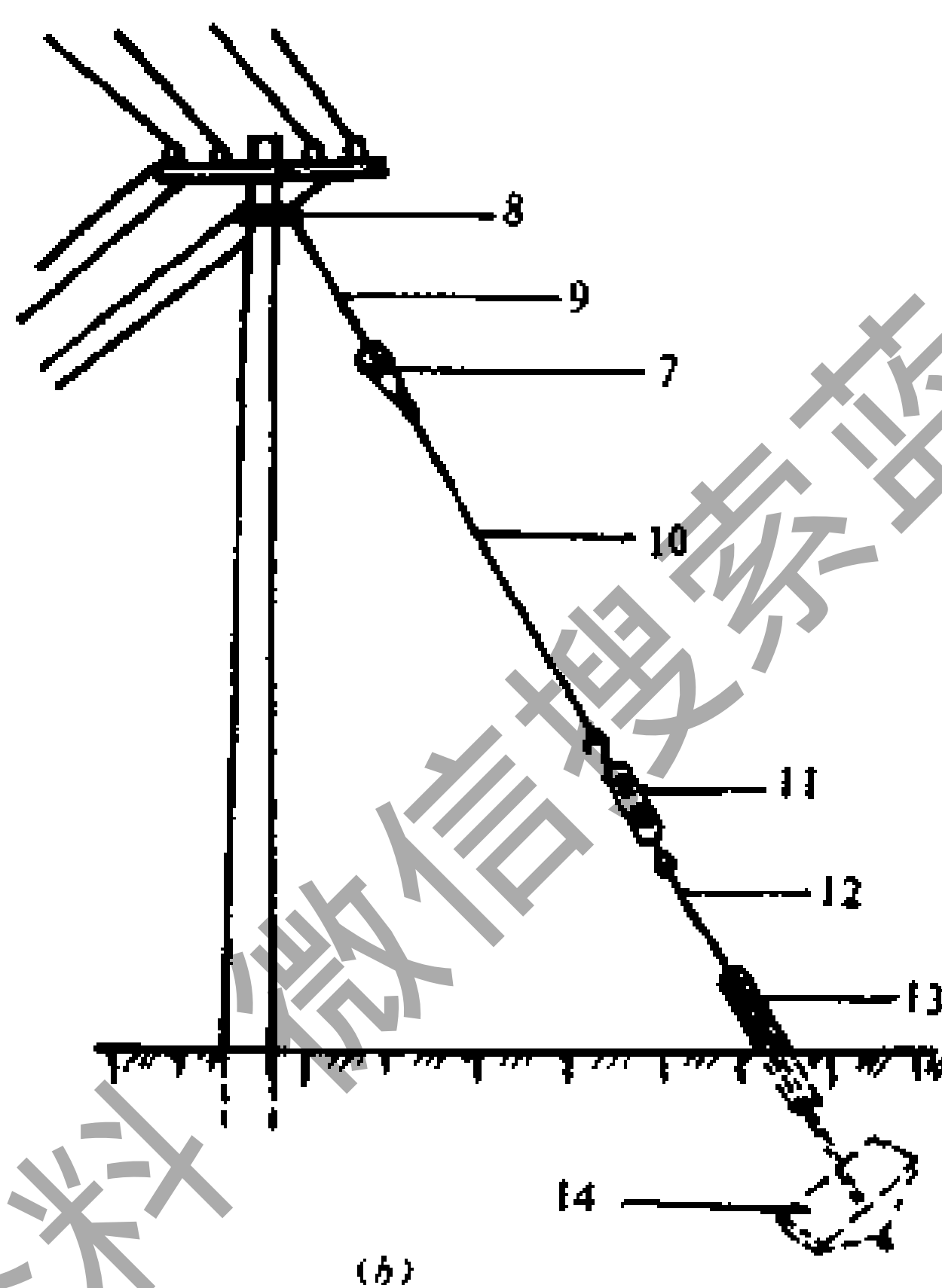
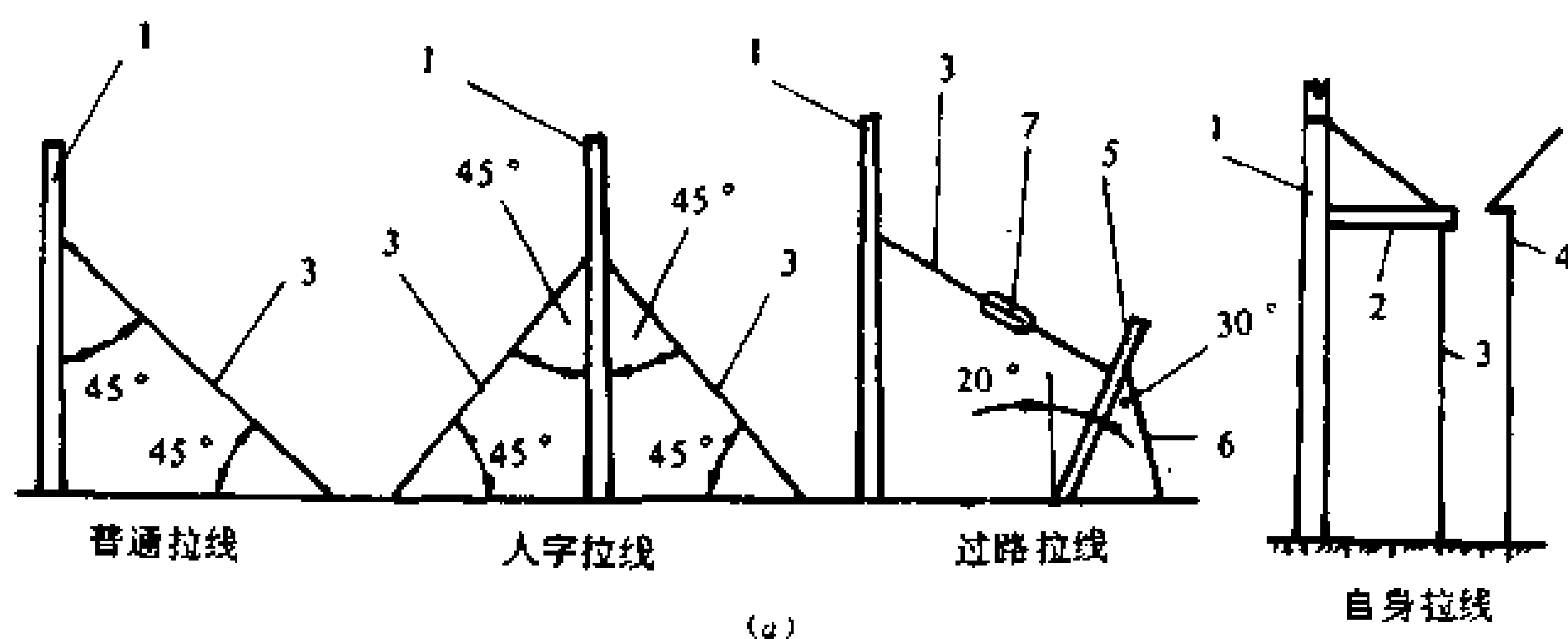


图 3—27 各种拉线的形式及普通拉线的结构

1—电杆 2—横木 3—拉线 4—房屋 5—拉桩 6—坠线 7—拉线绝缘子 8—拉线抱箍 9—上把 10—腰把 11—花蓝螺丝 12—底把（或拉线棍） 13—加包混凝土 14—拉线盘（或地埋木）

与有关部门协商并确保安全。

表 3—3 架空电力线路导线最大弧垂时对地面和跨越物的最小间隔距离（单位：m）

| 线路经过地区或跨越物的内容 |                    | 线路额定电压 (kV) |      |        |
|---------------|--------------------|-------------|------|--------|
|               |                    | 1 以下        | 1~20 | 35~110 |
| 对地面或水面        | 居民区                | 6           | 5.5  | 7      |
|               | 非居民区               | 5           | 5.5  | 6      |
|               | 居民密度很小交通困难的地区      | 4           | 4.5  | 5      |
|               | 不能通航及不能浮运的河、湖冬季至冰面 | 5           | 5    | 5.5    |
|               | 不能通航及不能浮运的河、湖至最高水位 | 1           | 3    | 3      |

(续表)

| 线路经过地区或跨越物的内容 |            | 线路额定电压 (kV) |      |        |
|---------------|------------|-------------|------|--------|
|               |            | 1 以下        | 1~20 | 35~110 |
| 铁 路           | 至铁路轨顶      | 7.5         | 7.5  | 7.5    |
|               | 至电气化铁路的悬挂线 | 3           | 3    | 3      |
| 公 路           | 公路、城市道路    | 6           | 7    | 7      |
|               | 拉线至路面      | 5           | 5    |        |
| 河 流           | 常年洪水位至水面   | 6           | 6    | 6      |
|               | 常年洪水位至浮运物顶 | 1           | 1.5  | 1.5    |
| 架空电力线路至交叉处导线  |            | 0.6         | 2    | 3      |
| 弱电流线路 (有防雷保护) |            | 1.25        | 2    | 3      |
| 弱电流线路 (无防雷保护) |            | 1.25        | 4    | 5      |
| 房屋及建筑物        |            | 2.5         | 3    | 4      |
| 树木及作物         |            | 1           | 2    | 3      |

### 3. 导线截面的选择

低压架空线路导线截面，一般先根据基本要求选择，然后按计算方法校核确定。

#### (1) 基本要求：

①自配电变压器二次侧出口至线路末端的允许电压损失为额定电压的 10% 以下，一般取 7%。

②线路的最大工作电流，不应大于导线的允许载流量 (表 3—4)。

表 3—4 铝线、钢心铝线的允许载流量  
(按环境温度是 +25℃ 计算)

| 铝 线     |                     |     | 钢 心 铝 线 |                       |
|---------|---------------------|-----|---------|-----------------------|
| 导 线 型 号 | 导线温度为 70℃ 时的载流量 (A) |     | 导 线 型 号 | 导线温度为 70℃ 时的屋外载流量 (A) |
|         | 屋 外                 | 屋 内 |         |                       |
| LJ—16   | 105                 | 80  | LGJ—16  | 105                   |
| LJ—25   | 135                 | 110 | LGJ—25  | 135                   |
| LJ—35   | 170                 | 135 | LGJ—35  | 170                   |
| LJ—50   | 215                 | 170 | LGJ—50  | 220                   |
| LJ—70   | 265                 | 215 | LGJ—70  | 275                   |
| LJ—95   | 325                 | 260 | LGJ—95  | 335                   |

③铝绞线的最小截面积为 16mm<sup>2</sup>。

#### (2) 常用的计算方法：

①先由下式求出线路的工作电流

$$I_c = \frac{P_c}{\sqrt{3} U \cos \varphi \cdot \eta}$$

式中： $P_e$ ——电动机的额定功率 (W)， $U_e$ ——线路的额定电压 (V)， $\eta$ ——电动机的机械效率。

如果有几台电动机，则应分别计算出每台电动机的电流，相加后得出线路最大工作电流。

②按照计算出的工作电流，查铝绞线规格及允许载流量，选出某种规格的导线。

③按选出的导线截面，计算线路的总电压损失，看是否在允许的电压损失范围之内。总电压损失用下式计算

$$\Delta U\% = \Delta u\% \cdot P \cdot L$$

式中： $\Delta u\%$ ——每千瓦·公里的电压损失百分数，由 380V 三相架空铝导线电压损失表中查得，见表 3—5； $L$ ——线路的长度 (km)； $P$ ——线路输送的有功功率 (kW)。

按基本要求， $\Delta U\%$  不大于 7%。如果  $\Delta U\%$  大于 7% 时，则应选大一点的导线截面，再加校核，直至符合要求。

④校核机械强度，若选择的导线截面小于  $16\text{mm}^2$  时，应采用  $16\text{mm}^2$  的铝绞线。

除上述选择导线截面的方法外，还经常利用选择低压架空线路导线截面的经验公式来选择。经验公式是

$$S = \frac{P \cdot L}{3}$$

式中： $S$  为铝线截面积 ( $\text{mm}^2$ )， $P$  为电动机的额定功率 (kW)， $L$  为电动机到配电变压器的距离 (km)。

表 3—5

380V 架空铝导线电压损失表

| 导线型号   | 当 $\cos\phi$ 等于下列数值时电压损失 (%/kw·km) |       |       |       |       |       |       |
|--------|------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|        | 0.7                                | 0.75  | 0.8   | 0.85  | 0.9   | 0.95  | 1.0   |
| LJ—16  | 1.624                              | 1.59  | 1.56  | 1.532 | 1.49  | 1.45  | 1.37  |
| LJ—25  | 1.13                               | 1.097 | 1.064 | 1.034 | 1.0   | 0.965 | 0.887 |
| LJ—35  | 0.875                              | 0.833 | 0.812 | 0.781 | 0.75  | 0.713 | 0.637 |
| LJ—50  | 0.671                              | 0.64  | 0.611 | 0.582 | 0.551 | 0.517 | 0.443 |
| LJ—70  | 0.539                              | 0.509 | 0.480 | 0.452 | 0.424 | 0.390 | 0.318 |
| LJ—95  | 0.450                              | 0.420 | 0.392 | 0.365 | 0.337 | 0.304 | 0.235 |
| LJ—120 | 0.396                              | 0.367 | 0.340 | 0.314 | 0.286 | 0.254 | 0.187 |
| LJ—150 | 0.349                              | 0.321 | 0.295 | 0.269 | 0.242 | 0.211 | 0.145 |
| LJ—185 | 0.316                              | 0.289 | 0.264 | 0.238 | 0.212 | 0.182 | 0.118 |

例如：某村提水站有一台 20kW 电动机带动水泵提水灌溉，电动机距变压器为 0.6km，问选用什么规格的裸铝线？

解：根据公式

$$S = \frac{P \cdot L}{3} = \frac{20 \times 0.6}{3} = 40 \text{ (mm}^2\text{)}$$

可选用 LJ—50 导线。

利用上述经验公式，如果计算结果小于  $16\text{mm}^2$ ，可选用  $16\text{mm}^2$  的导线，不必进行电压损失和允许载流量校核，因为公式中系数 3 是按电压损失为 6.5% 考虑的。

若利用经验公式计算的结果略大于某种规格的导线，可选用偏小规格的导线。例如，计算得  $S=56\text{mm}^2$ ，则可选用 LJ-50 导线。

#### 4. 电杆长度的确定

电杆的长度应根据导线的弧垂、电杆埋深，以及导线对地或其他设施的距离来确定（图 3-28）。

部分导线的弧垂可由表 3-6、表 3-7、表 3-8、表 3-9、表 3-10、表 3-11 查出。

电杆埋深可查表 3-12 得到。

导线对地或其他设施的高度，可查表 3-3。

#### 5. 绘制简单的平面设计图

绘图的目的是为了更方便施工，同时也为线路运行管理提供资料。在图上要画出线路沿线的简单地形，新建线路的杆位、杆型、档距、使用导线的规格等（图 3-29）。

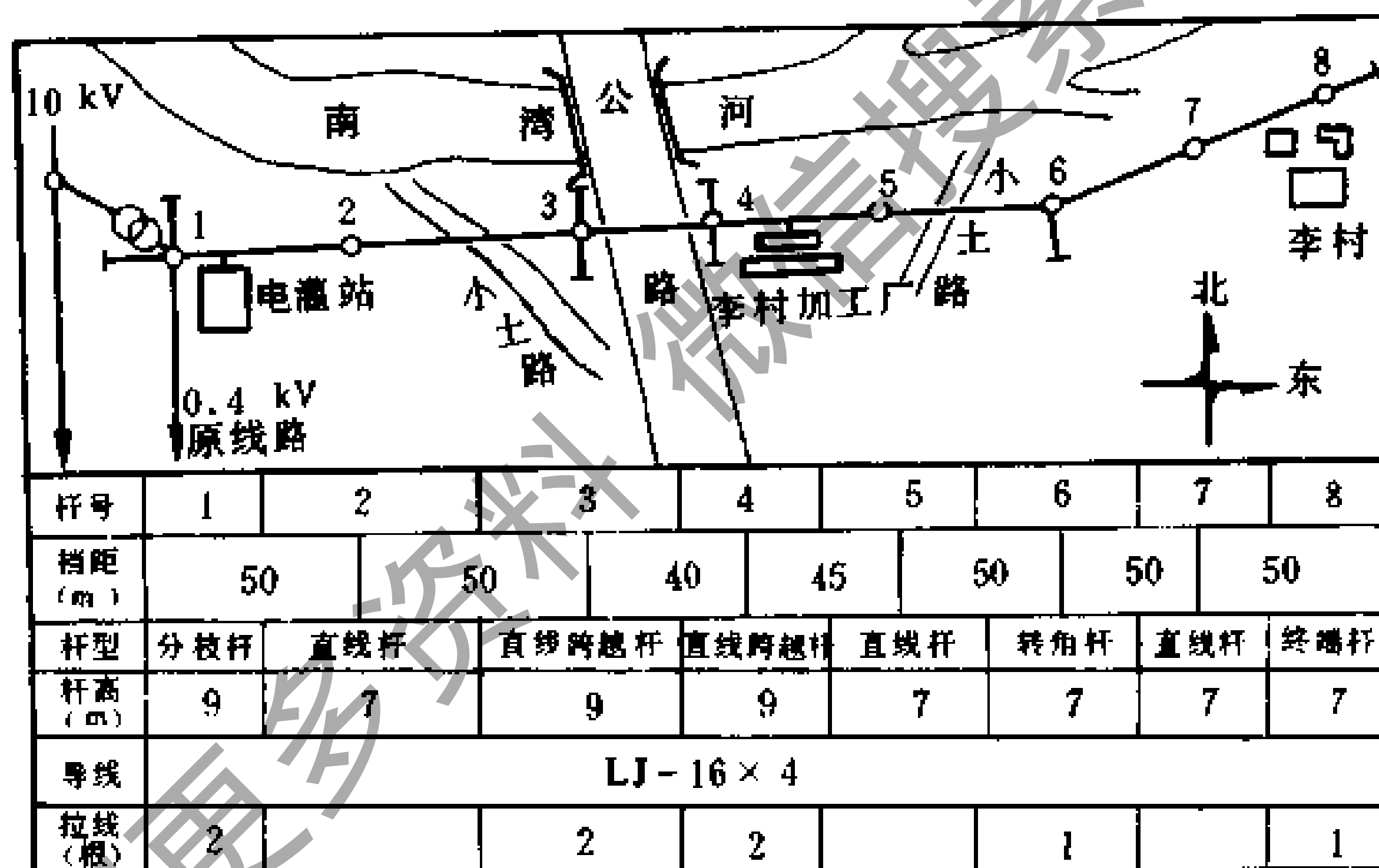
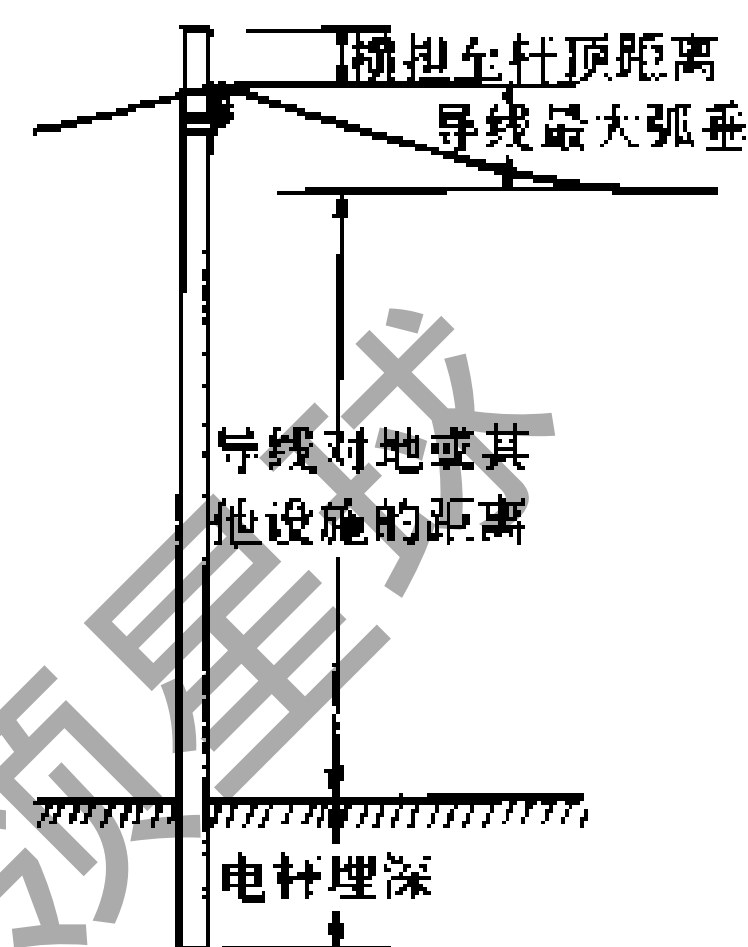


图 3-29 新建低压线路平面图

表 3-6 LJ-16 弧垂表 (最大风速  $v=25\text{m/s}$ )

| 弧垂 (m) \ 档距 (m) | 温度 (C) |      |      |      |      |      |      |      |      |  |
|-----------------|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|--|
|                 | -40    | -30  | -20  | -10  | 0    | 10   | 20   | 30   | 40   |  |
| 40              | 0.10   | 0.12 | 0.18 | 0.24 | 0.35 | 0.46 | 0.59 | 0.69 | 0.76 |  |
| 50              | 0.12   | 0.17 | 0.23 | 0.32 | 0.42 | 0.58 | 0.71 | 0.84 | 0.93 |  |
| 60              | 0.18   | 0.24 | 0.33 | 0.44 | 0.57 | 0.74 | 0.9  | 1.04 | 1.18 |  |
| 70              | 0.28   | 0.37 | 0.49 | 0.63 | 0.80 | 0.98 | 1.16 | 1.25 | 1.35 |  |

表 3—7 LJ—25 弧垂表 (最大风速  $v=25\text{m/s}$ )

| 弧垂 (m)<br>档距 (m) | 温度 (°C) | -40  | -30  | -20  | -10  | 0    | 10   | 20   | 30   | 40   |
|------------------|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                  |         | 40   | 0.12 | 0.14 | 0.17 | 0.23 | 0.35 | 0.48 | 0.57 | 0.66 |
| 50               | 0.14    | 0.18 | 0.24 | 0.31 | 0.44 | 0.58 | 0.71 | 0.81 | 0.92 |      |
| 60               | 0.18    | 0.24 | 0.31 | 0.41 | 0.58 | 0.72 | 0.86 | 1.00 | 1.12 |      |
| 70               | 0.24    | 0.32 | 0.42 | 0.54 | 0.7  | 0.88 | 1.04 | 1.20 | 1.35 |      |

表 3—8 LJ—35 弧垂表 (最大风速  $v=25\text{m/s}$ )

| 弧垂 (m)<br>档距 (m) | 温度 (°C) | -40  | -30  | -20  | -10  | 0    | 10   | 20   | 30   | 40   |
|------------------|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                  |         | 60   | 0.19 | 0.25 | 0.34 | 0.44 | 0.60 | 0.78 | 0.90 | 1.04 |
| 70               | 0.24    | 0.31 | 0.42 | 0.54 | 0.70 | 0.88 | 1.04 | 1.18 | 1.34 |      |

表 3—9 LGJ—16 弧垂表 (最大风速  $v=25\text{m/s}$ )

| 弧垂 (m)<br>档距 (m) | 温度 (°C) | -40  | -30  | -20  | -10  | 0    | 10   | 20   | 30   | 40   |
|------------------|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                  |         | 60   | 0.18 | 0.19 | 0.23 | 0.30 | 0.38 | 0.48 | 0.62 | 0.75 |
| 80               | 0.25    | 0.30 | 0.37 | 0.45 | 0.55 | 0.70 | 0.88 | 1.00 | 1.12 |      |

表 3—10 LGJ—25 弧垂表 (最大风速  $v=25\text{m/s}$ )

| 弧垂 (m)<br>档距 (m) | 温度 (°C) | -40  | -30  | -20  | -10  | 0    | 10   | 20   | 30   | 40   |
|------------------|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                  |         | 60   | 0.16 | 0.20 | 0.25 | 0.32 | 0.39 | 0.49 | 0.60 | 0.73 |
| 80               | 0.25    | 0.33 | 0.40 | 0.50 | 0.60 | 0.73 | 0.87 | 1.05 | 1.22 |      |

表 3—11 LGJ—35 弧垂表 (最大风速  $v=25\text{m/s}$ )

| 弧垂 (m)<br>档距 (m) | 温度 (°C) | -40  | -30  | -20  | -10  | 0    | 10   | 20   | 30   | 40   |
|------------------|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                  |         | 60   | 0.16 | 0.18 | 0.22 | 0.26 | 0.35 | 0.46 | 0.58 | 0.72 |
| 80               | 0.20    | 0.32 | 0.38 | 0.44 | 0.53 | 0.76 | 0.89 | 1.03 | 1.20 |      |

表 3—12

电 杆 埋 深

| 杆长 (m) | 7.0 | 8.0 | 9.0 | 10.0 | 11.0 | 12.0 | 13.0 | 15.0 |
|--------|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|
| 埋深 (m) | 1.1 | 1.5 | 1.6 | 1.7  | 1.8  | 1.9  | 2.0  | 2.3  |

绘完设计图后，应编制架设线路所需要的材料表，最后按材料单价和国家对预算的规定，做出施工预算。

### 三、低压架空配电线路的施工

#### 1. 常用的几种工艺

(1) 登杆：熟练登杆是杆上工作的前提。登杆有脚扣（有的称铁鞋）登杆（图 3—30）、踏板登杆（图 3—31）两种。

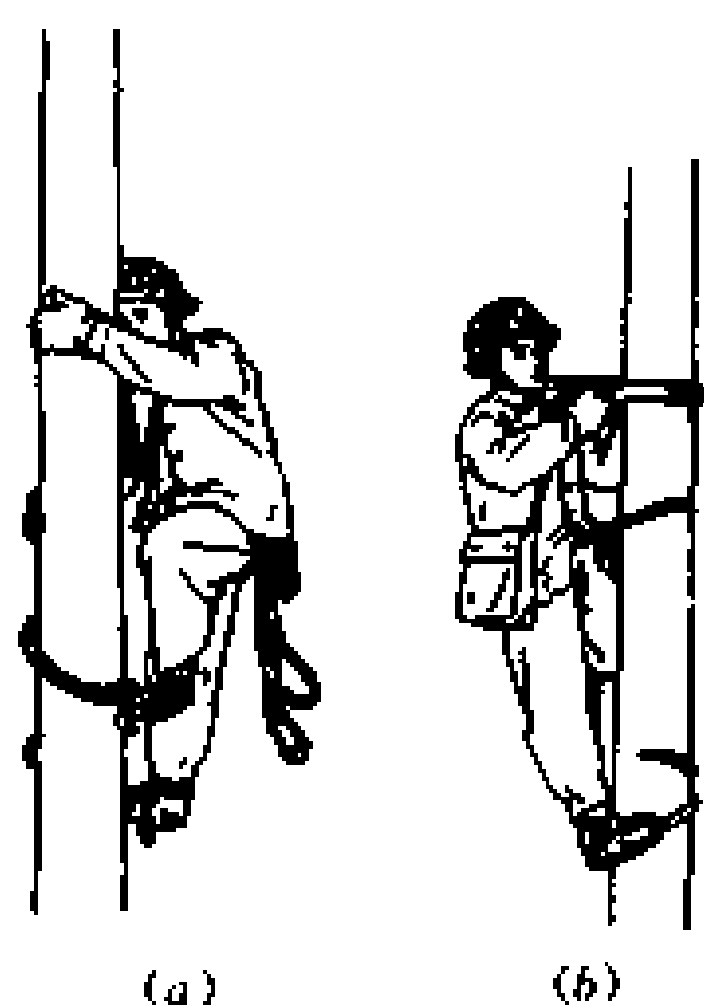


图 3—30 用脚扣登杆  
(a)登杆情况 (b)杆上操作情况

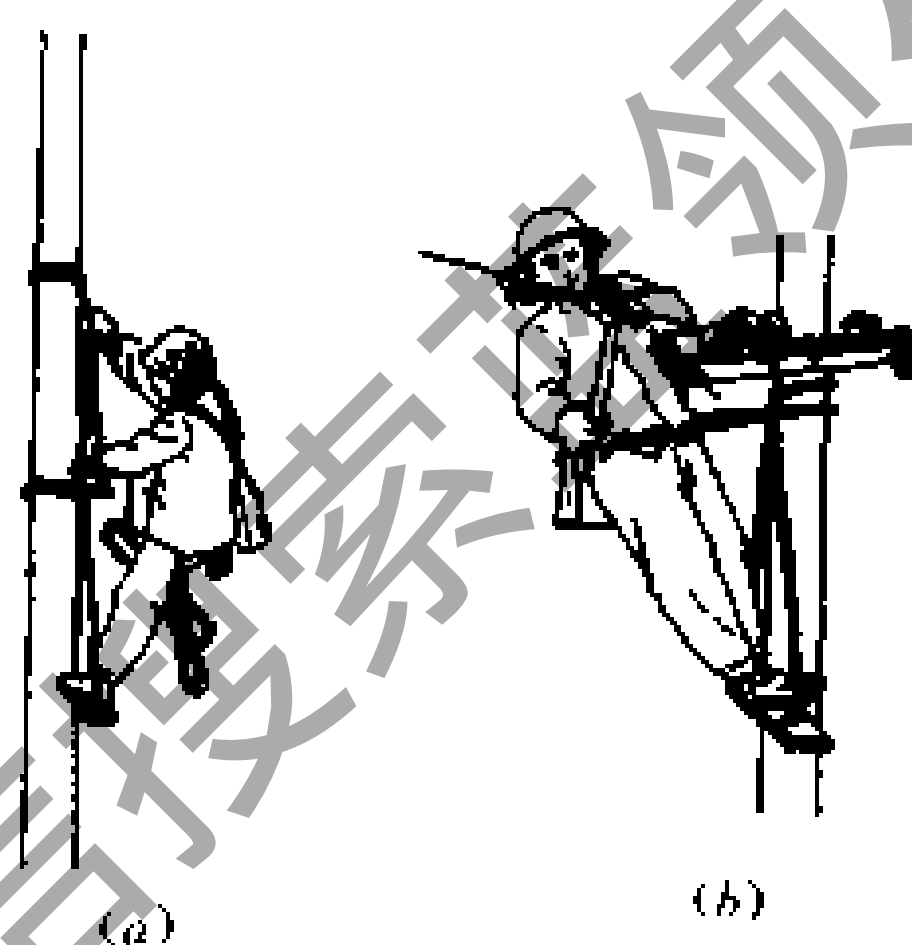


图 3—31 用踏板登杆  
(a)登杆情况 (b)杆上操作情况

登杆前应检查杆根是否牢固，检查登杆工具，如脚扣、踏板、安全带等是否完整牢靠。在杆上工作时，必须使用安全带。安全带应系在电杆及牢固的构件上，防止安全带从杆顶脱出。系安全带后必须检查扣环是否扣牢。同时，要求在现场工作的人员都要戴安全帽，确保施工安全。

常用的登杆工具以及杆上工作用的工具，如图 3—32 所示。

(2) 导线接头：导线接头有两种。一种是在档距中间的接头。对这种接头的要求是，既能承受导线的拉力，又能很好地传导电流，接触电阻不宜大。另一种是跳线接头，它不承受拉力，只要求接触良好，能很好地传导电流。

架空线路的导线连接，采用钳压法比较好（图 3—33）。如果没有压钳（钳压机），可用插接或绑接。

使用钳压机压接时，钳压机的压模要与导线型号相符。各种导线钳压连接时的压坑数，见表 3—13。在钢心铝线的钳接管中，两导线之间夹有一条垫片〔图 3—33 (b)〕。

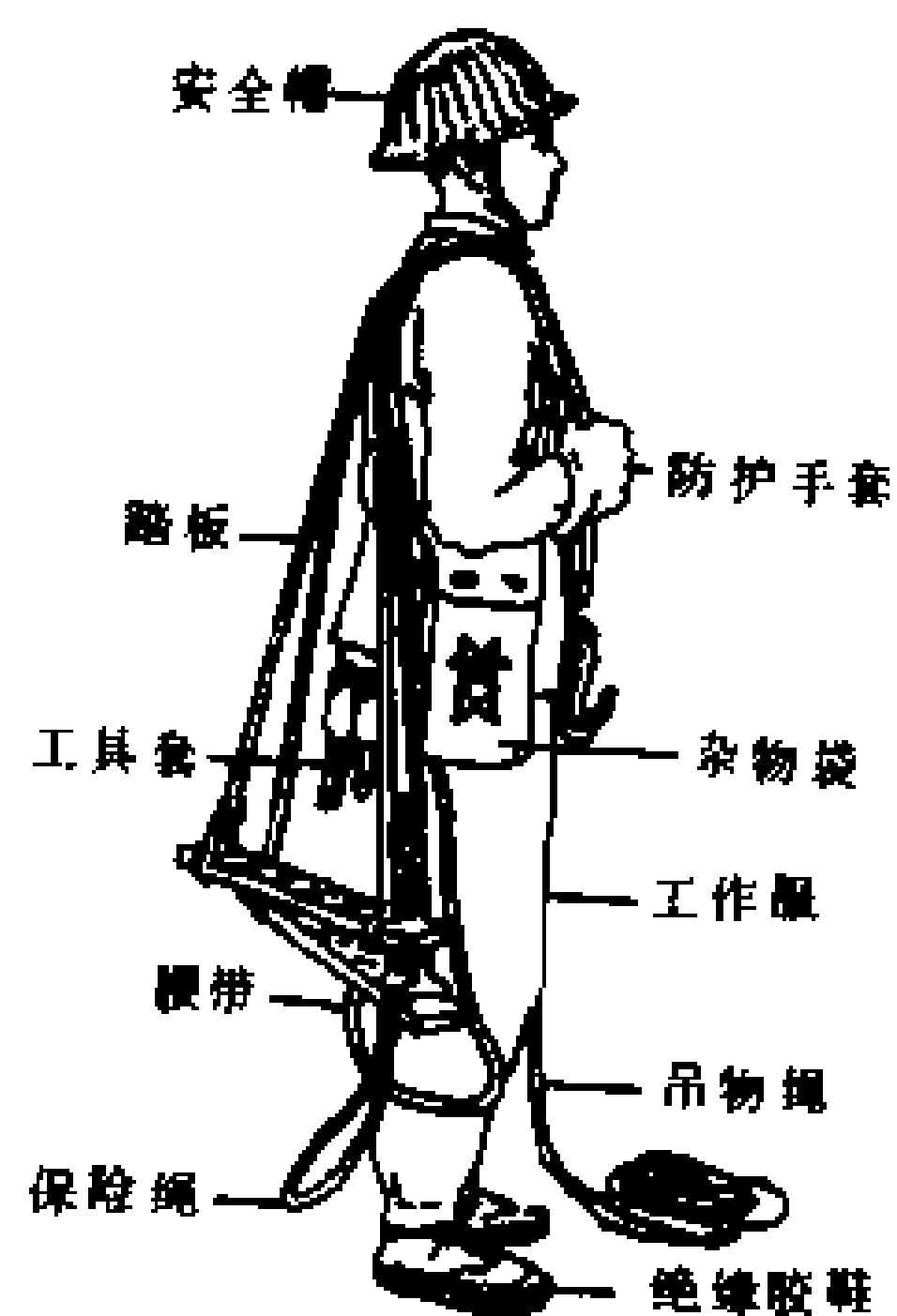


图 3—32 常用登杆工具

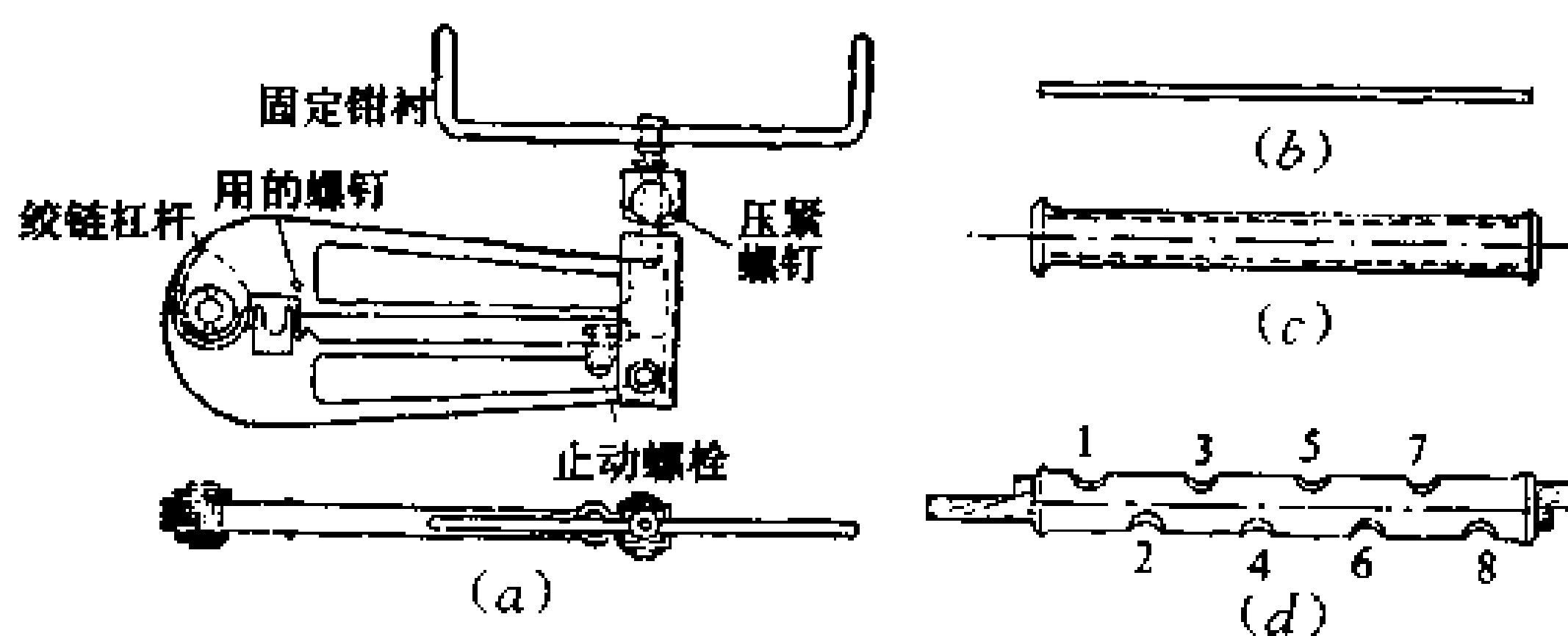


图 3—33 压钳和钳管压接的情形

(a) 压钳 (b) 垫片 (c) 钳接管 (d) 导线的压接

表 3—13 各种导线的压坑数目

| 导线规格     | 压坑数目 | 导线规格      | 压坑数目 |
|----------|------|-----------|------|
| LJ—16~25 | 6    | LGJ—35    | 14   |
| LJ—50~70 | 8    | LGJ—50~70 | 16   |
| LJ—95    | 10   | LGJ—95    | 20   |
| LJ—120   | 12   | LGJ—120   | 24   |

较大型号的铝绞线(如 LJ—35)可用插接法连接。先把接头长度的一半按顺序拆开,砂光拉直,做成伞骨的样子,如图 3—34 (a) 所示,使它们互相交叉。再按图 (b) 把插好的线拢在一起,用绑线在中间缠绕 50mm。然后,按图 (c) 用导线本身的单股线向两端逐步缠绕。一股缠完后,把余下的线尾压在下面,再用另一股缠,直到缠完为止。最后一段缠完后,拧成小辫收尾,全部缠完后的插接头如图 (d) 所示。连接导线时,应在接头表面涂少量中性凡士林油,以减少氧化膜的产生。

小型号导线(如 LJ—16、LJ—25)和跳线可以采用绑接(也称搭接),如图 3—35 所示。使用绑接法时,绑线直径不应小于导线单股的直径。连接处在档距内时,绑接长度不应小于 250~300mm。连接跳线时,绑接长度不应小于 150~200mm。

实际工作中有时会碰到铜铝线连接,为防止电化腐蚀,可采用铜铝过渡板连接。若没有这种接头,可在铜线连接处镀上一层锡,以减轻电化腐蚀作用。铜铝接头只能用在不受拉力的跳线上。

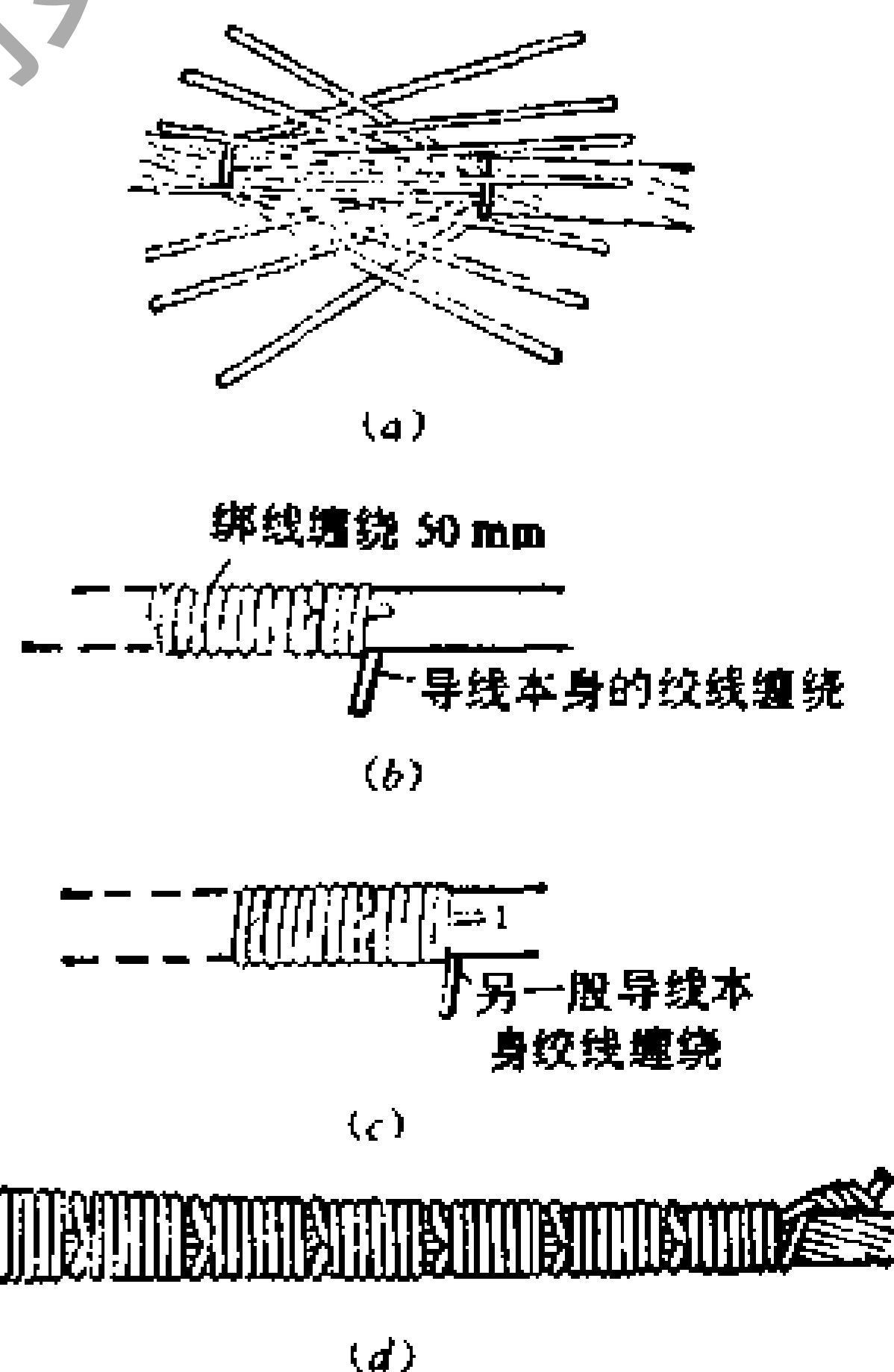


图 3—34 导线插接法



图 3—35 导线的绑接法



(3) 在绝缘子上绑扎导线：架线时应该把导线牢固地绑在瓷瓶上。为了防止铝线磨损，绑扎部分应均匀缠上（顺绞线方向）一层铝包带（ $1\text{mm} \times 10\text{mm}$ ）。

① 针式瓷瓶的绑扎：分顶绑和侧绑。顶绑是把导线绑在针式瓷瓶的顶上。这种绑法适用直线杆，其绑扎步骤如图 3—36 所示。侧绑是把导线绑在瓷瓶侧面的槽中。这种绑法适用于小转角和直线杆。对于小转角杆，导线应绑在转角外侧；对于直线杆，导线应绑在靠近电杆一侧。针式瓷瓶侧绑的步骤如图 3—37 所示。

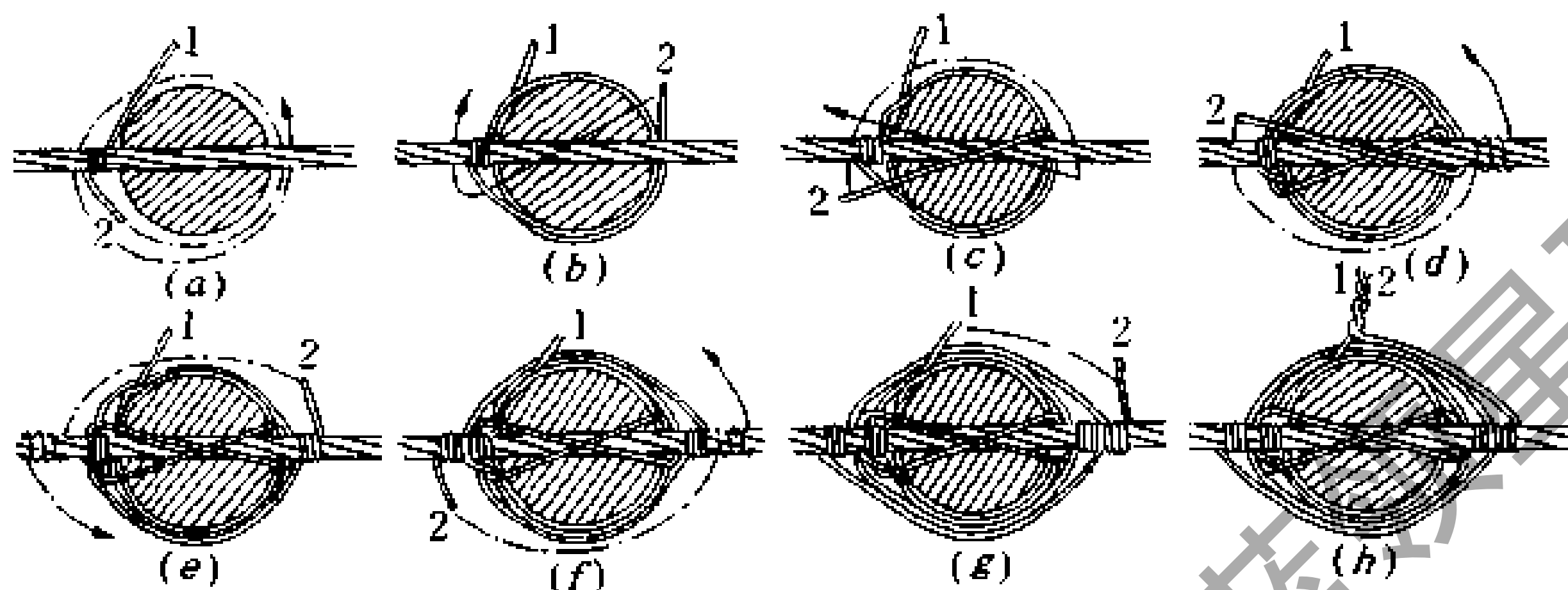


图 3—36 针式绝缘子的顶绑法

(a) 绑线先在导线上绕 3 圈 (b) 绕绝缘子一圈半 (c) 导线上面绑十字 (d) 导线上面再绑十字 (e) 再在导线上绕 3 圈 (f) 第 3 次在导线上绑 3 圈 (g) 第 4 次在导线上绑 3 圈 (h) 拧小辫

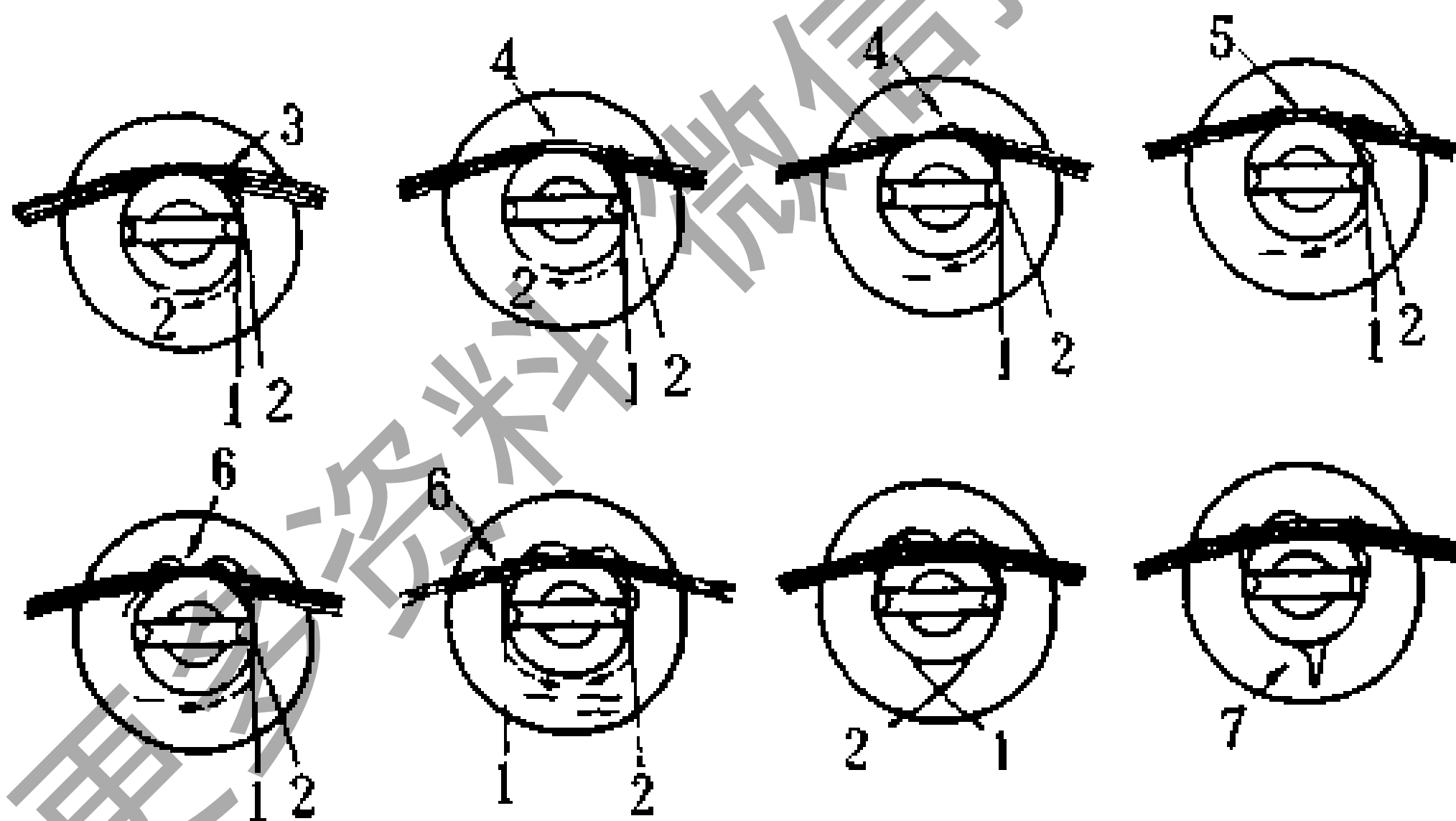


图 3—37 针式瓷瓶侧绑步骤

② 蝴蝶式绝缘子的绑扎：如图 3—38 所示。

(4) 立杆常用绳扣的结法：在立杆和架线以及抬杆中，经常使用的绳扣有直扣、活扣、钢丝扣、紧线扣、吊物扣、拖线扣、拖杆扣和抬杆扣等（图 3—39）。

## 2. 线路施工的步骤

施工前要备齐物料，制定安全措施和技术措施，在做好各项组织工作的基础上，按下列步骤施工：

(1) 挖杆坑：挖坑应按设计要求的桩位和电杆埋深进行。为了挖坑和立杆时的方便，杆坑要挖成图 3—40 的形状。图 3—40 中， $a$  取  $0.8\text{m}$ ， $b$  取  $0.6\text{m}$ ， $c$  取  $1\text{m}$ ， $d$  取  $0.4\text{m}$ ， $h$  根据杆高决定， $h'$  取  $0.4\text{m}$ 。如果附设底盘，坑底面积

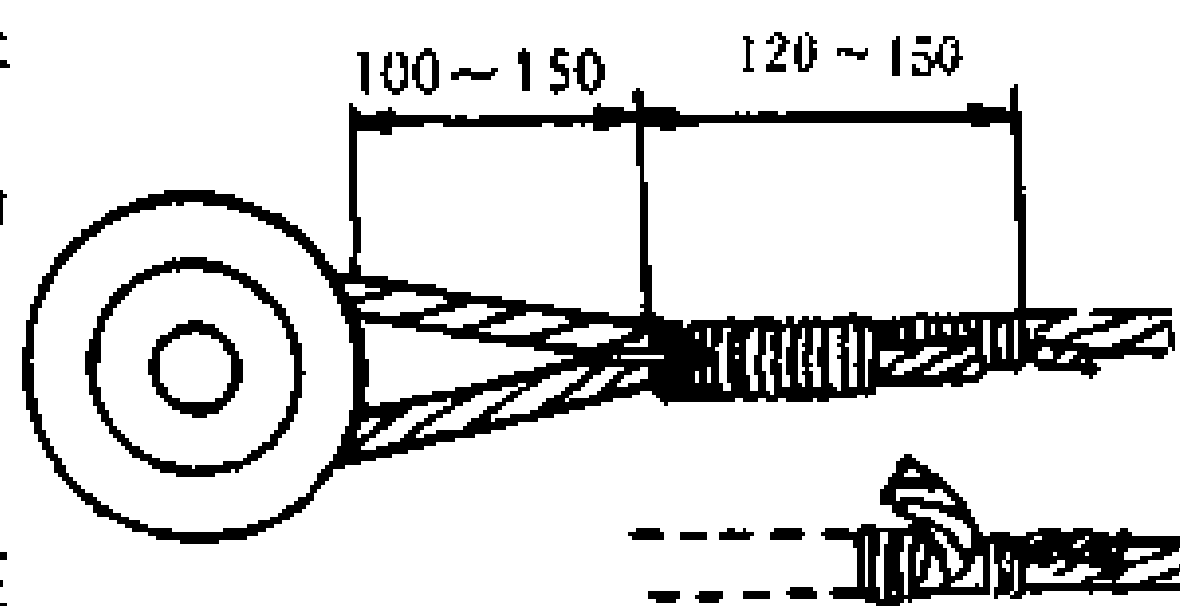


图 3—38 蝴蝶式绝缘子的绑扎法

应大于底边长 0.2m，以便调整底盘位置。

(2) 组装电杆：各地杆型图不一样，应按当地供电部门要求组装。在地面组装，比杆上组装省力、省时间、工效高。因此，在立杆前能够组装的铁件、瓷瓶尽量按要求组装好。横担一般装在负荷侧，有上下两层横担时，应以上层横担为准，把横担都装在同一侧。分支杆、终端杆的横担应装在拉力的反向侧。

(3) 立杆：立杆前应检查施工工具是否安全可靠。立杆时应有专人负责指挥，并且随时注意立杆工具受力情况。参加人员都应遵守有关安全规程。

立杆时应在杆根下滑的那一侧，紧贴坑壁立一块滑板，防止杆根啃住坑壁，不易下到坑底。用工具立杆的方法很多，常用的有两种方法：

① 架杆立杆法：对于较重较高的电杆可采用架杆立杆法，立杆的步骤如图 3—41 所示。

架杆用梢径 80~100mm、长 5~7m 的木杆做成。两根架杆顶部用长约 0.5m 的钢丝绳或铁链连接，用卡钉把绳卡牢。

② 抱杆立杆法：将两根直径为 100~150mm、长 6~7m 的松木杆（利用  $\phi 80$  钢管也可）作为抱杆，利用杆顶帽将两根抱杆连好，成为人字形抱杆。抱杆立杆法如图 3—42 所示。所用工具除抱杆外，还有二

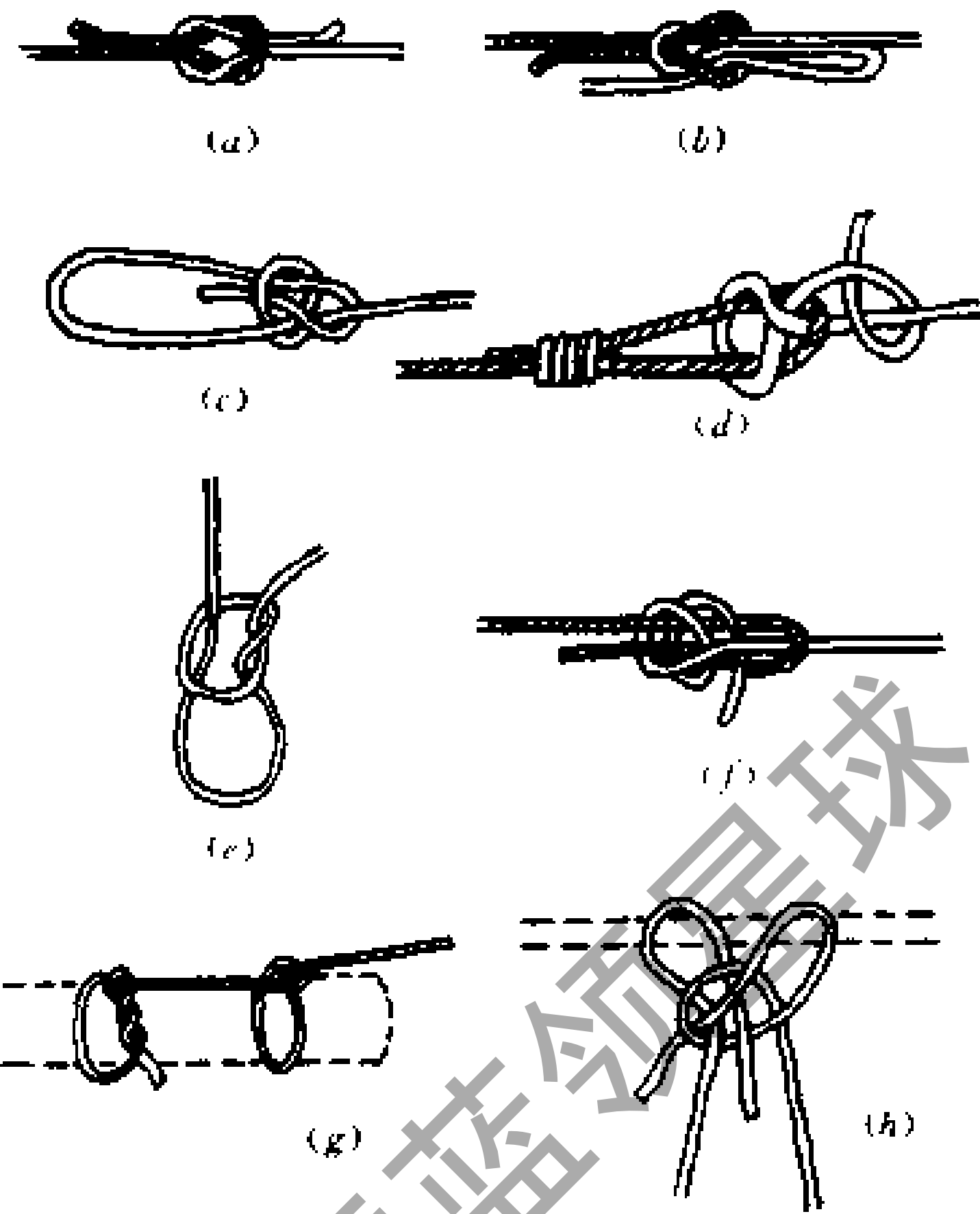


图 3—39 绳扣的做法

(a)直扣 (b)活扣 (c)钢丝扣 (d)紧线扣 (e)吊物扣 (f)拖线扣 (g)拖杆扣 (h)抬杆扣

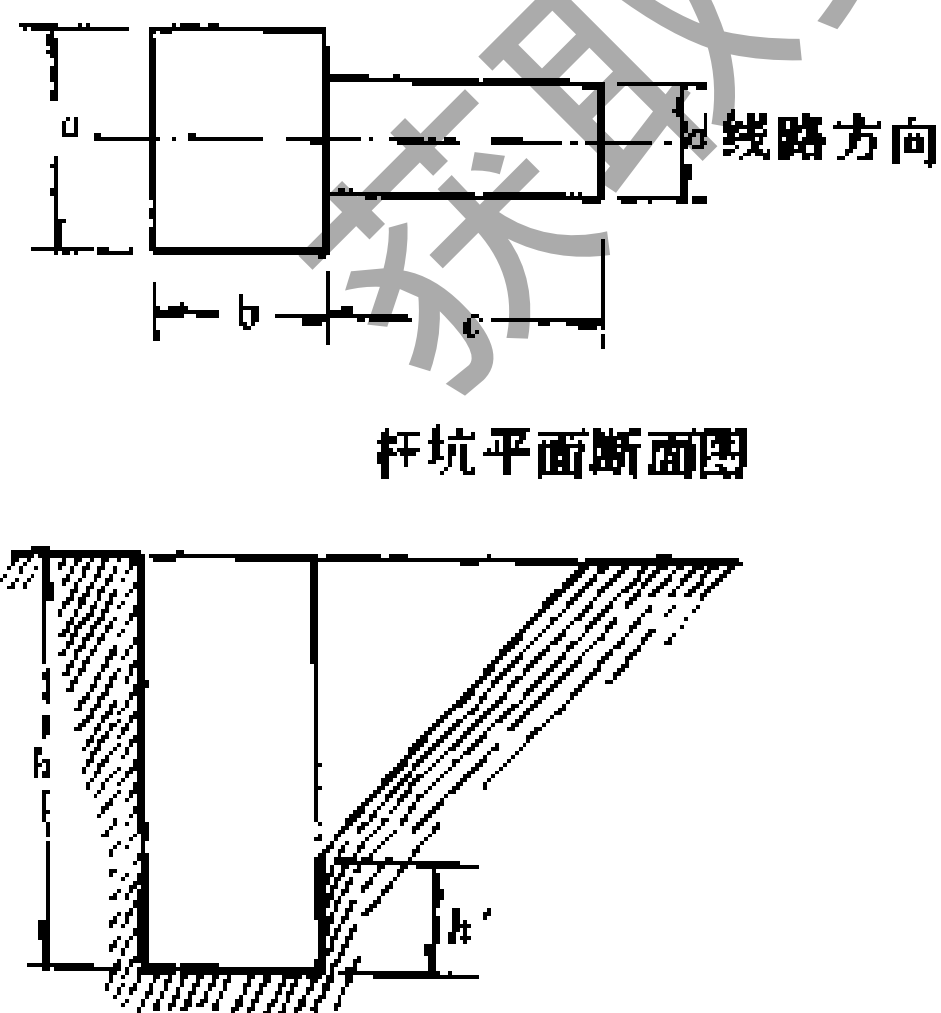


图 3—40

杆坑平面、断面图

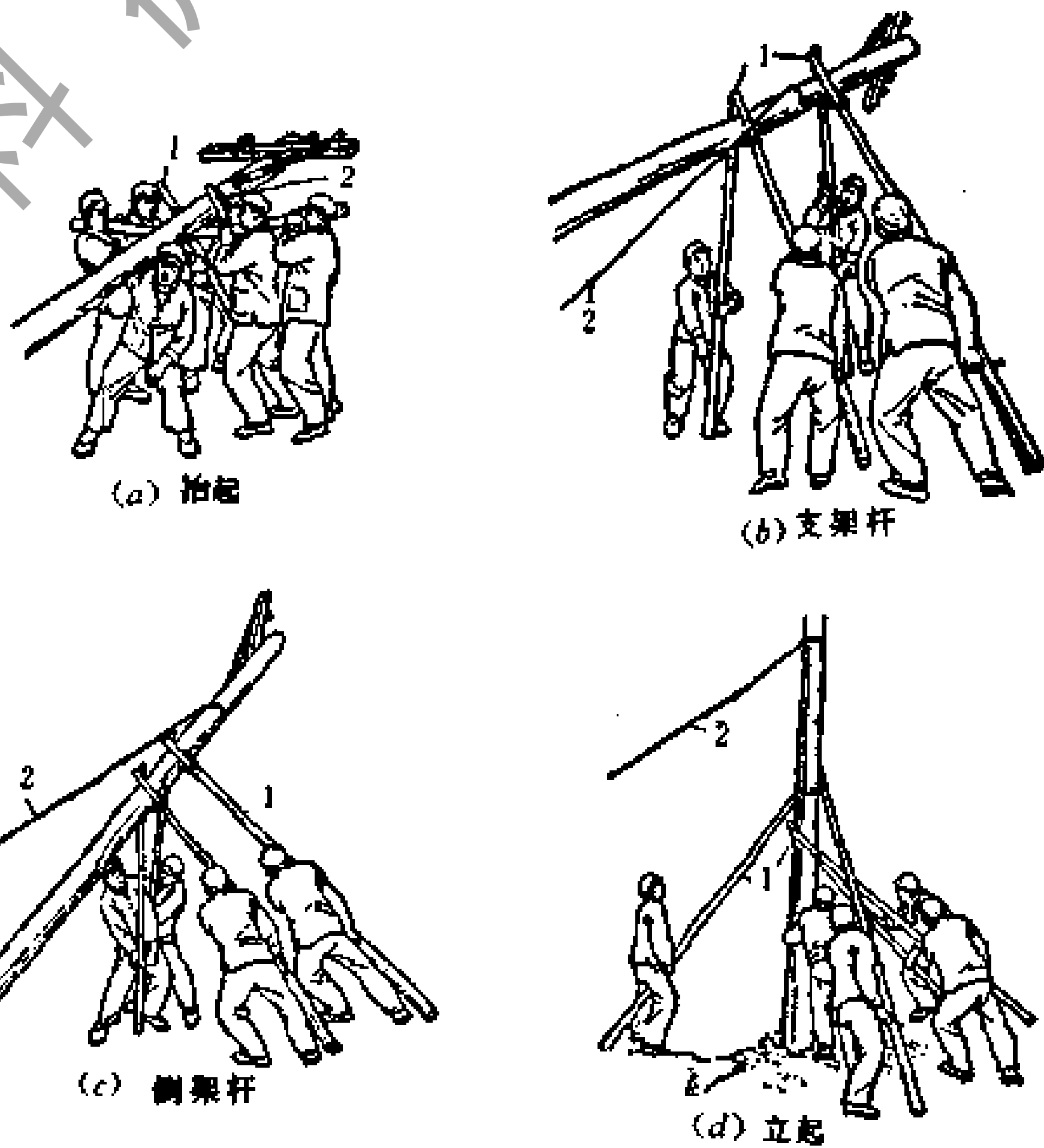


图 3—41 架杆立杆法

1—架杆 2—临时拉线

滑轮组、三滑轮组、导滑轮、钢丝绳以及绞磨等。

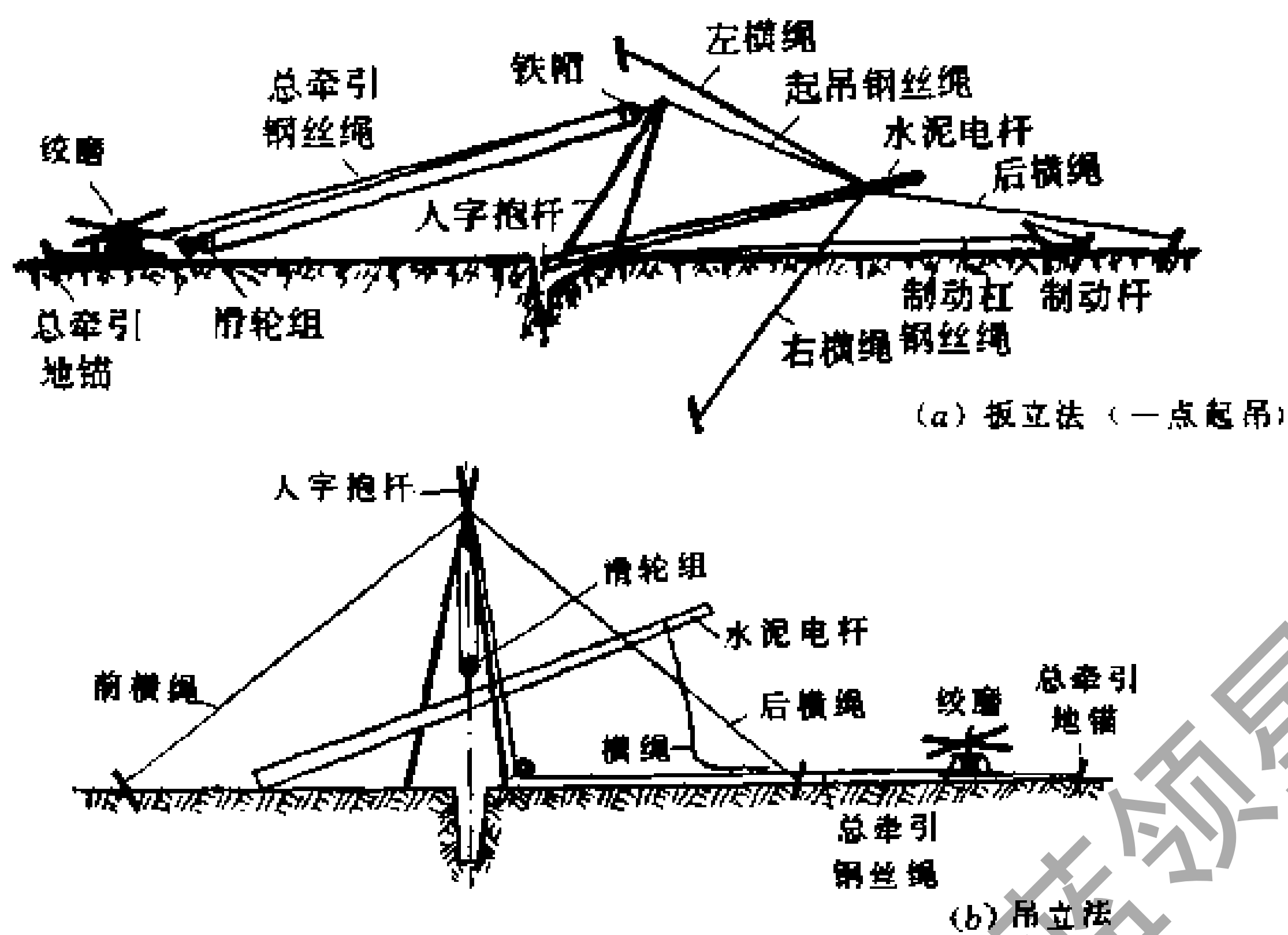


图 3—42 抱杆立杆法

(4) 做拉线：架设导线之前，先在终端杆、转角杆和耐张杆上做好拉线，以防杆下人员收紧导线时，因电杆受力过大发生倾斜，危及杆上人员的安全。

(5) 架线：架线包括放线、挂线和紧线 3 个步骤。架线前应对交叉跨越采取具体措施。

①放线：放线就是把导线沿着电杆两侧放好，准备把导线挂在横担上。放线方法有手放线和用放线架放线两种。用手放线适用于线路短、导线截面小的情况。农村经常用的是挖坑放线（图 3—43）。

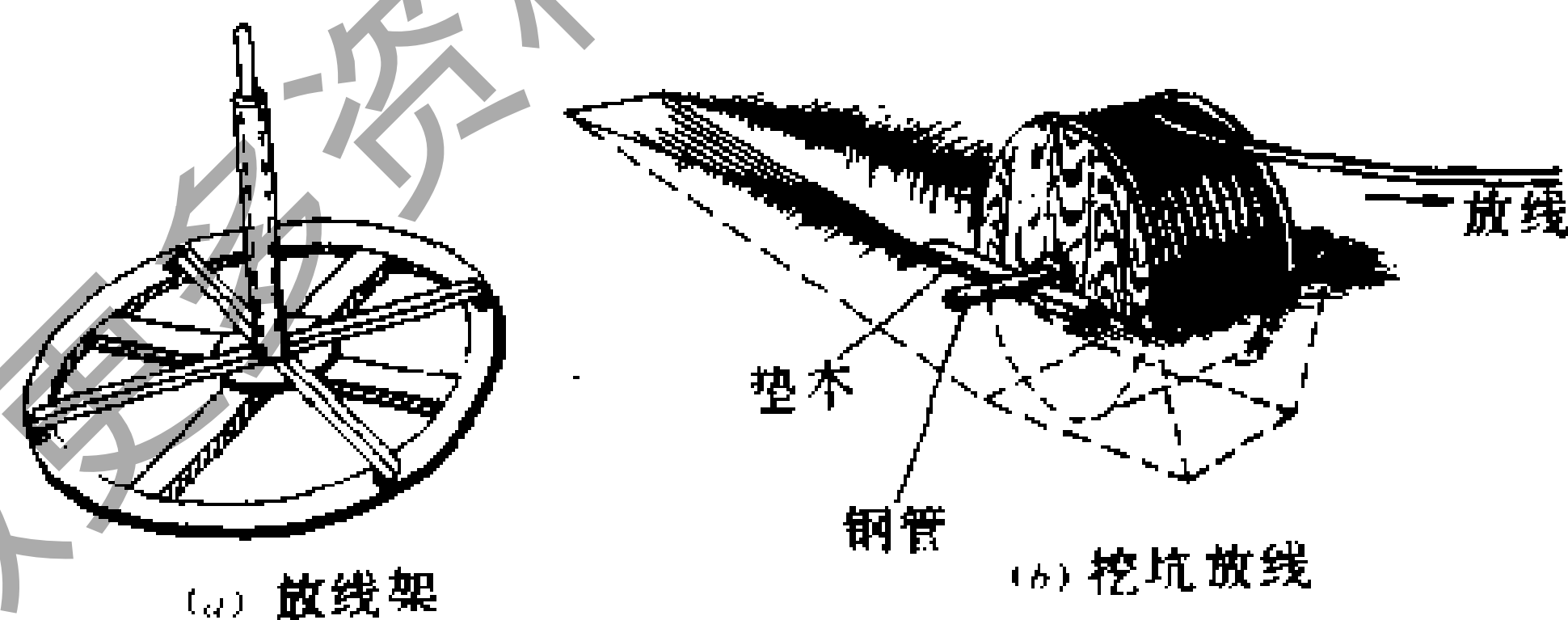


图 3—43 挖坑放线示意图

放线时导线不得有硬弯、扭鼻、松股、背股、断股、磨伤等缺陷。如果断一股或局部损伤，应用同规格的单股导线绑扎。7 股导线断两股，十几股导线断 5 股时，应割断重接。在一个档距内只允许一个接头，而且接头离绝缘子不得少于 0.5m。不同型号、不同绞向的导线，禁止连接。跨越铁路、公路、通讯线、河流等设施，不应有接头。

较长的线路，为了减轻放线的拉力，可用开口滑轮（放线滑子）挂到横担上，将导线放进滑轮里进行放线。

②挂线：线路的距离不长时，放线时可将导线直接挂在瓷瓶上、瓷担上，注意不能直接挂在铁横担上，以免紧线时磨伤导线。若线路的距离较长、导线截面又大，就应利

用放线滑子挂线。先将滑子挂到横担上，然后挂线。一般是边放线边挂线。

③紧线：紧线是在每个耐张段内进行的。紧线时，先在线路一端的耐张杆上把导线牢固地绑在蝶式瓷瓶上，然后在线路另一端的耐张杆上用人工进行紧线。或者先用人工把导线紧到一定程度，然后用紧线机紧线。

紧线的标准由导线的弧垂来决定。弧垂的观测方法，如图 3—44 所示。弧垂调整好后，就要逐杆对瓷瓶进行绑扎。使用新铝绞线时，应考虑导线受拉伸长的特性，紧线比标准弧垂减小 15%~20%。

(6) 绘制竣工图：架空线路施工完毕，应绘制竣工图。竣工图中应注明竣工日期、施工单位、杆号、杆型、档距、线号、跨越地面设施、杆架材料等，作为验收送电和运行管理的依据。

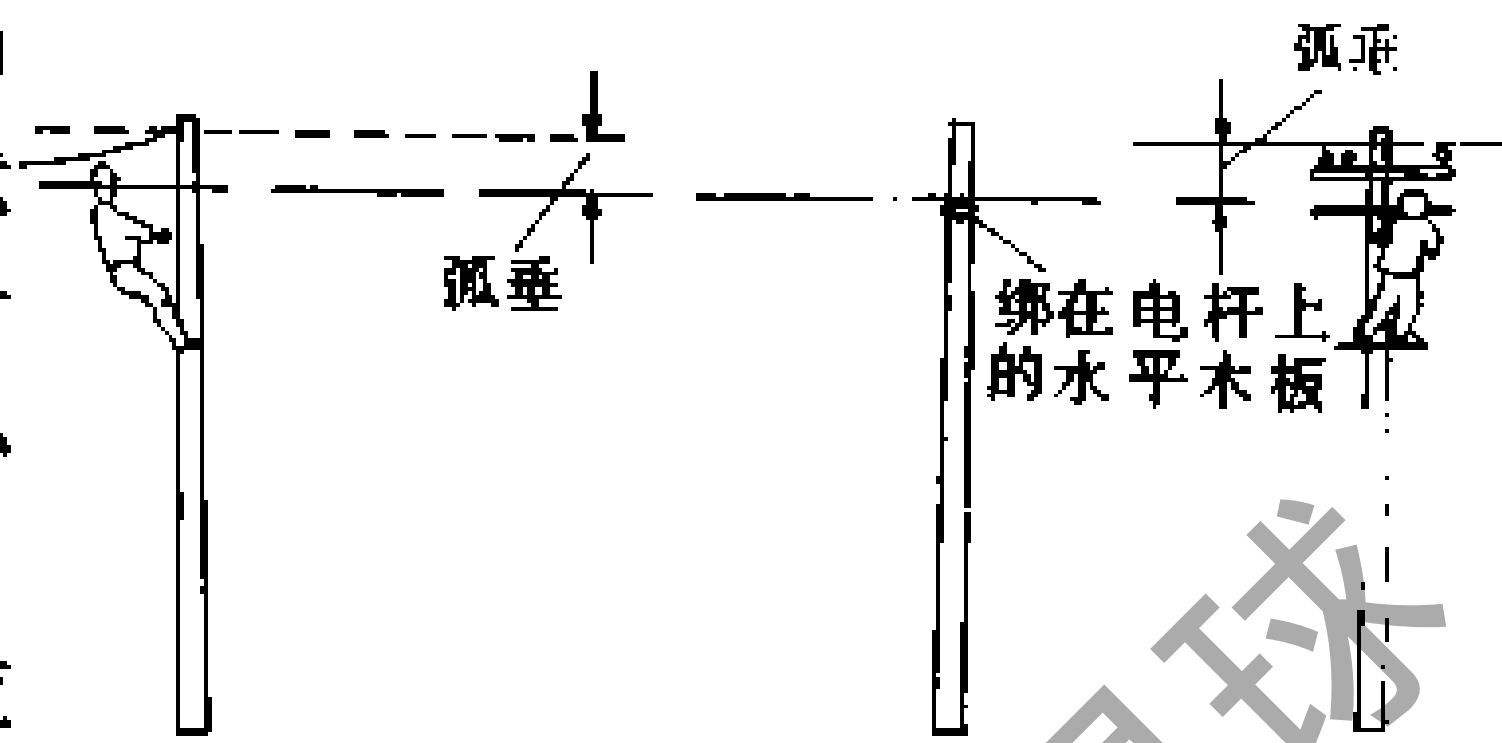


图 3—44 导线弧垂的观测



### 一、接户线和进户线

从低压架空线路的电杆到用户屋外的第 1 个支持点之间的一段引线，叫做接户线。从用户屋外第 1 个支持点到屋内第 1 个支持点（如瓷珠）之间的一段引线，叫做进户线（图 3—45）。

从一个用户室外的支持点到另一个用户室外的支持点之间的一段引线，叫做套接线。

接户线的档距不宜超过 25m。超过 25m 时，应在档距中间架设辅助电杆。接户线的对地距离不应小于 2.5m。如果进户点太低，可在进户点附近增设电杆，以升高对地距离。

接户线一定要从低压电杆上引接，不允许在线路的档距中间悬空连接。接户线的杆顶引线组装方法，如图 3—46 所示。

接户线及以下的各种导线，一律采用耐压 500V 的绝缘导线。导线截面的大小，应根据导线的载流量、机械强度和电压损失选择。导线的最小截面，应符合表 3—14 的规定；导线允许的载流量，如表 3—15；接户线与周围建筑物的距离要求，如表 3—16。

选择进户点时，应尽可能靠近供电线路。进户点处的房屋，应该牢固不漏雨水。进户线的长度超过 1m 时，应在中间装设绝缘子固定。导线穿越墙壁时，应装设穿墙瓷管防护。在户外的一端应稍低一点，并且采用弯头瓷管（图 3—47）。进户线的对地距离小于 2m 时，应加装绝缘护套。

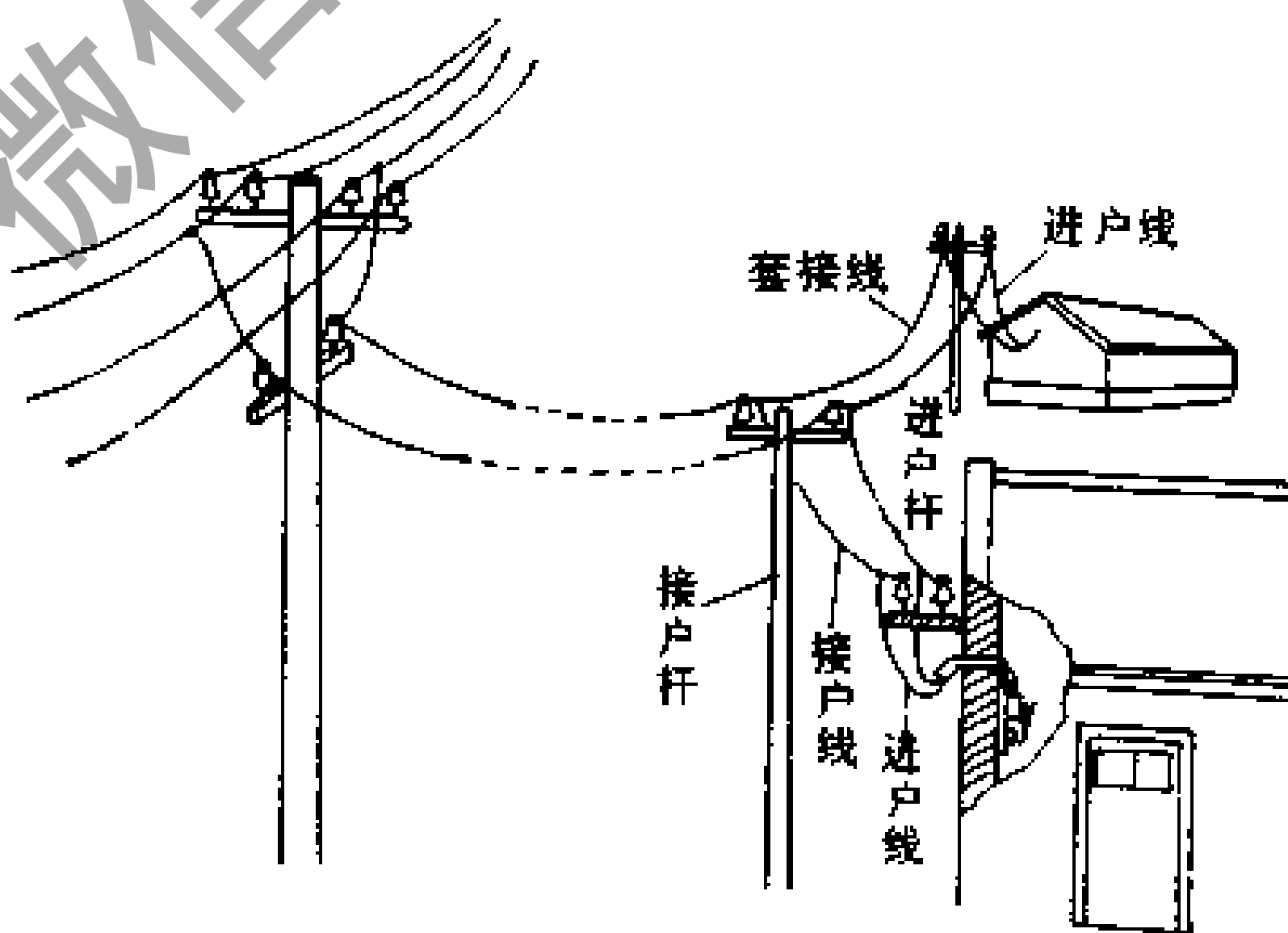


图 3—45 接户线和进户线

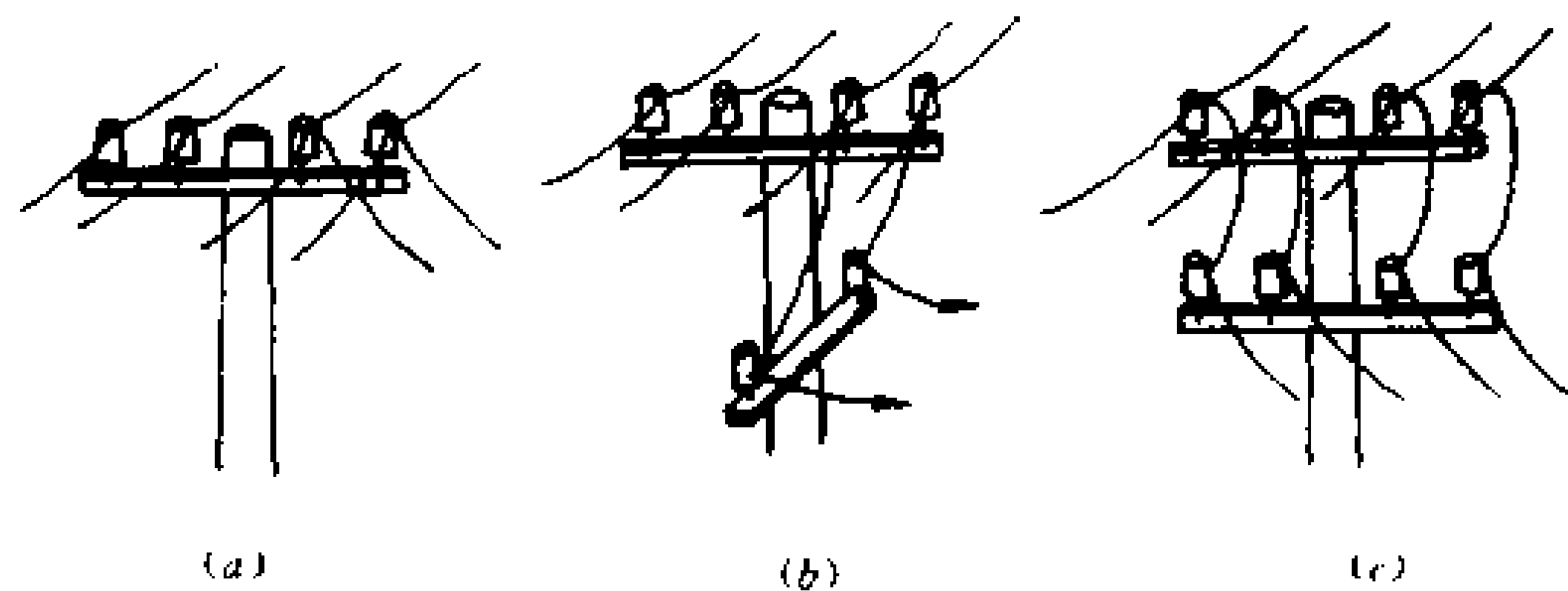


图 3—46 接户线的杆顶组装

(a) 直线连接 (b) 交叉横担连接 (c) 平行横担连接

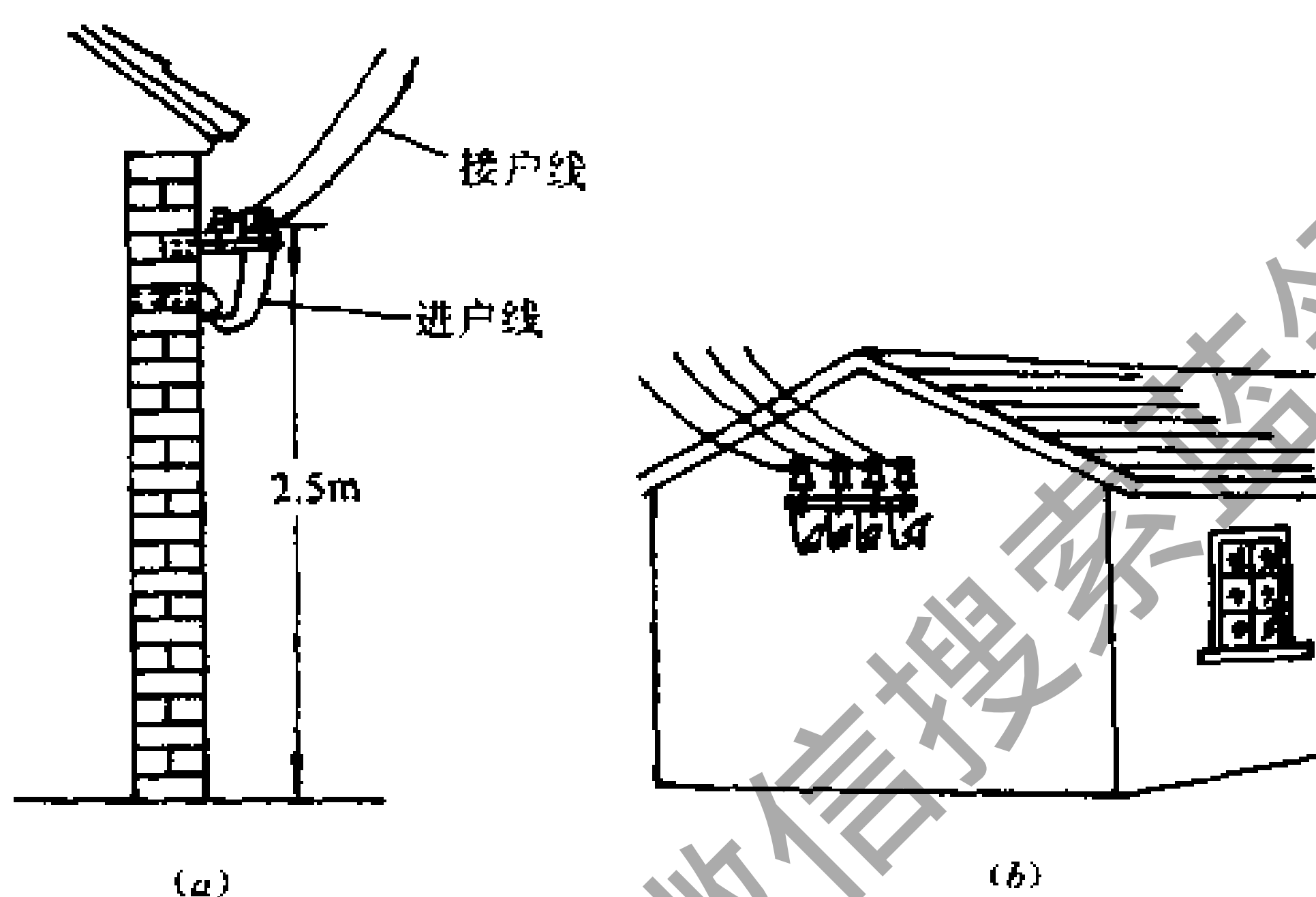


图 3—47 接户线在用户墙上的组装和进户线的进户方法

(a) 组装 (b) 进户方法

## 二、室外沿墙布线

表 3—14

接户线最小允许截面 (mm<sup>2</sup>)

| 接户线架设方式         | 铜 线 |     | 铝 线 |     |
|-----------------|-----|-----|-----|-----|
|                 | 动 力 | 照 明 | 动 力 | 照 明 |
| 电杆至第 1 个支持物沿墙装置 | 4   | 2.5 | 6   | 4   |
|                 | 4   | 2.5 | 6   | 2.5 |
| 跨越交通要道、电力线、通讯线  | 6   | 6   | 10  | 10  |

表 3—15

绝缘导线明设时允许载流量 (A)

| 导线截面 (mm <sup>2</sup> ) |     | 2.5 | 4  | 6  | 10 | 16  | 25  | 35  | 50  |
|-------------------------|-----|-----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|
| 橡皮绝缘                    | 铝 心 | 27  | 35 | 45 | 65 | 85  | 110 | 138 | 175 |
|                         | 铜 心 | 35  | 45 | 58 | 85 | 110 | 145 | 180 | 230 |
| 塑料绝缘                    | 铝 心 | 25  | 32 | 42 | 59 | 80  | 105 | 130 | 165 |
|                         | 铜 心 | 32  | 42 | 55 | 75 | 105 | 138 | 170 | 215 |

表 3—16 接户线对道路、电线、建筑物和树的最小距离

| 类别          | 最小距离 (m) |       |
|-------------|----------|-------|
|             | 垂 直      | 水 平   |
| 到大车道中心的垂直距离 | 5.5      |       |
| 到小道中心的垂直距离  | 3.5      |       |
| 到屋顶的垂直距离    | 2.5      |       |
| 在窗户以上       | 0.3      |       |
| 在窗户或阳台以下    | 0.8      | 0.75  |
| 到墙壁或构架的距离   | 0.005    | 0.005 |
| 和树木的距离      | 0.6      |       |
| 至通行汽车道路中心   | 6        |       |
| 通讯线路        | 1.5      | 1.5   |
| 6~10kV 电力线  | 4        | 2.5   |
| 电车线路        | 1.5      | 1.5   |

低压布线主要用于室内，有时需要在院内和房屋之间作室外布线。室外的照明和动力线路，一般都是沿墙布设的。

沿墙布线，可分为水平和垂直走线两种。当水平排列时，零线应靠近墙壁，用角铁和撑铁固定在墙壁上〔图 3—48 (a)〕；当垂直排列时，零线在下方，用开口扁铁和长螺栓固定在墙壁上〔图 3—48 (b)〕。室外布线通过两座房的山墙时，可用插墙铁或开口扁铁固定在墙壁上。

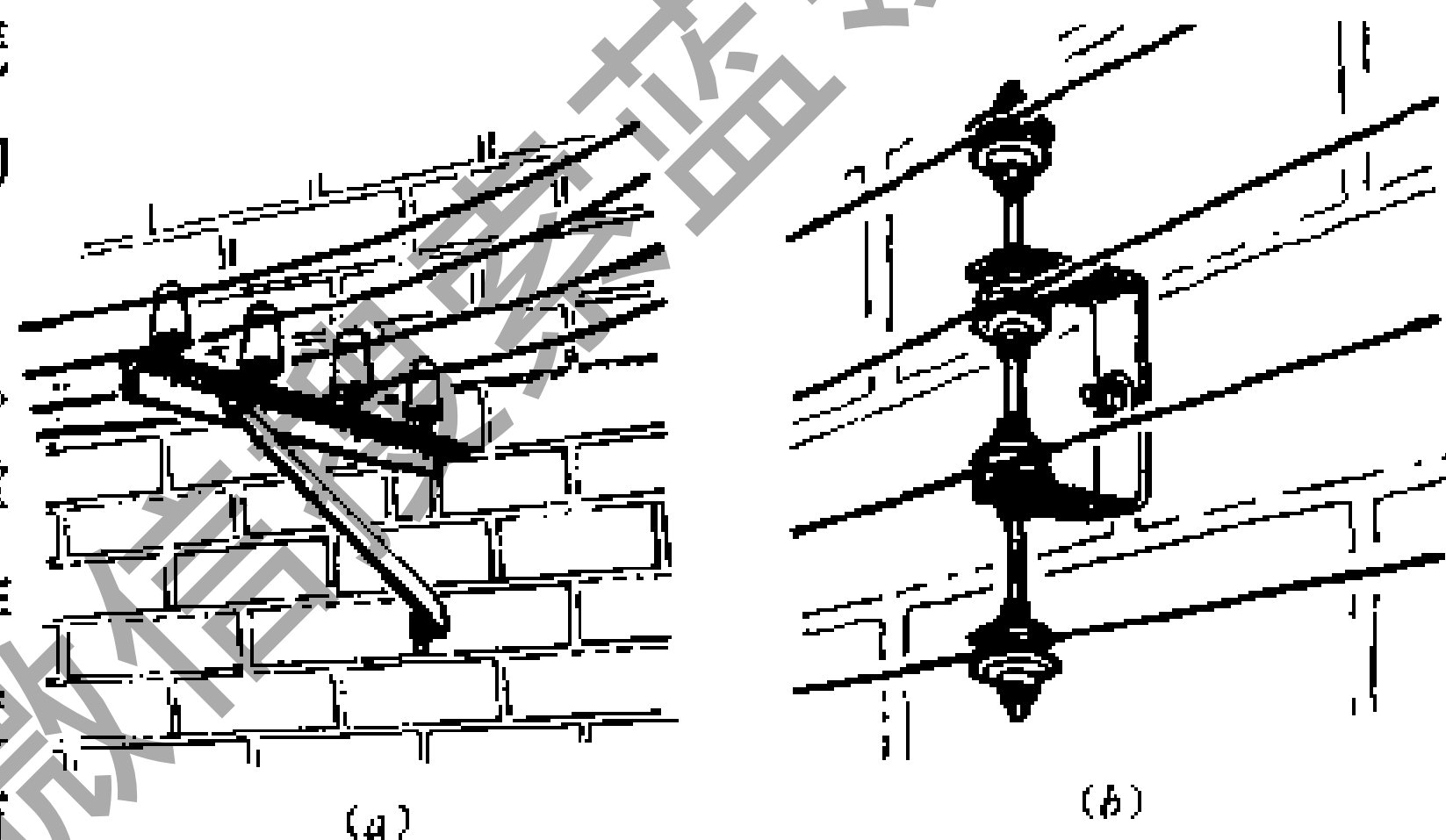


图 3—48 室外沿墙布线

沿墙布线的档距，一般在 6m 左右，最大不宜超过 12m。在室外需要装设路灯时，一律采用防水灯罩和防水开关。

### 三、导线的种类和连接

#### 1. 导线的种类

室内外布线，应一律采用绝缘导线。绝缘导线的种类很多，可分为单心和双心、单股和绞线、橡胶和塑料等类型（图 3—49）。常用导线的规格型号，如表 3—17。

#### 2. 导线的连接

敷设线路的时候，往往需要在分线支路的地方或导线不够长的地方连接导线。线路故障多数发生在接头的地方，所以导线接头应紧密可靠，接头处外缠绝缘强度不应低于导线本身的绝缘强度。

(1) 线头切削：做接头的时候需要把绝缘层剥掉，剥去的长度一般是 50~100mm，切削时不应损伤线心。

常用的切削方法有级段切削（多层绝缘）或斜切削（单

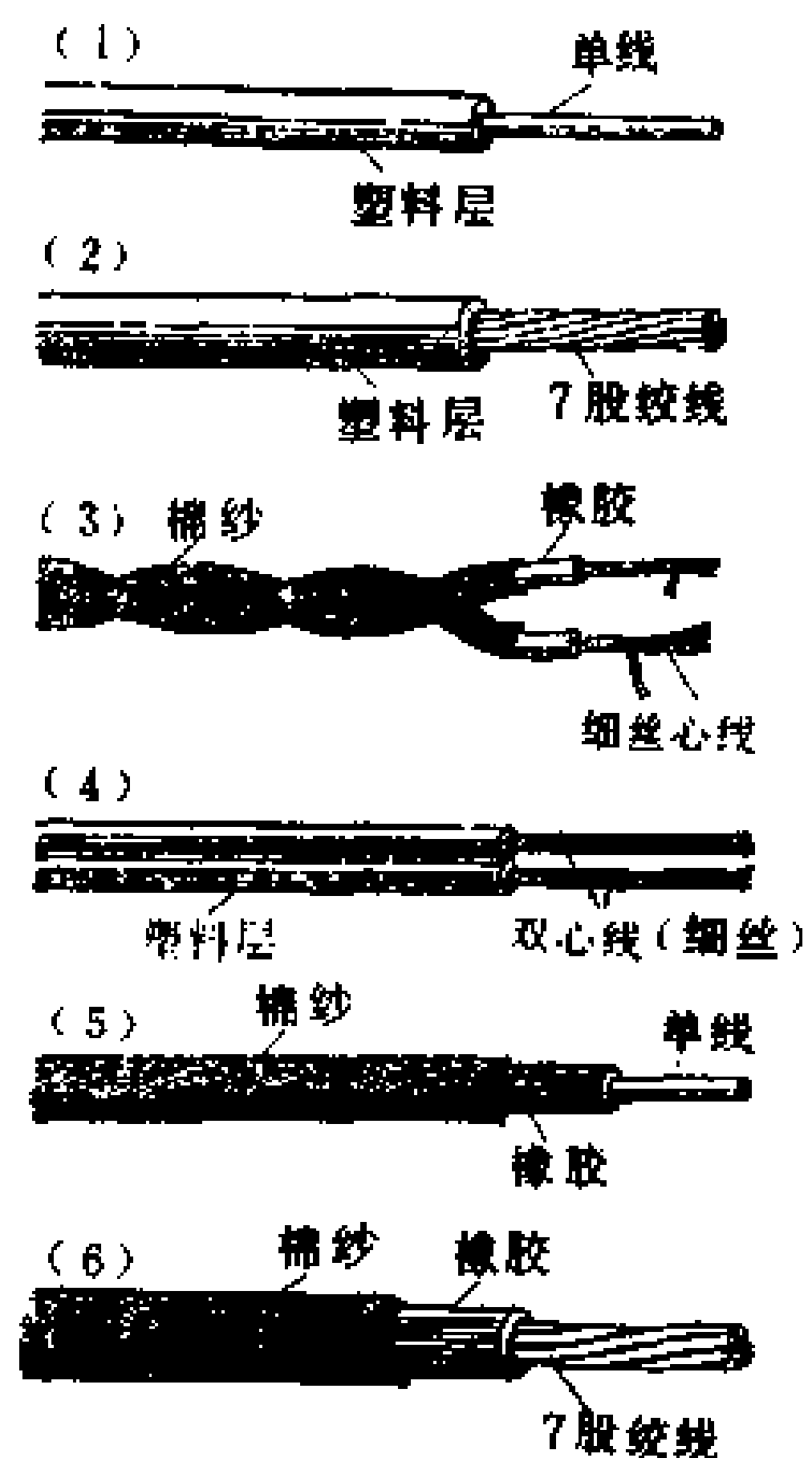


图 3—49 各种绝缘导线

层绝缘)两种(图3—50)。

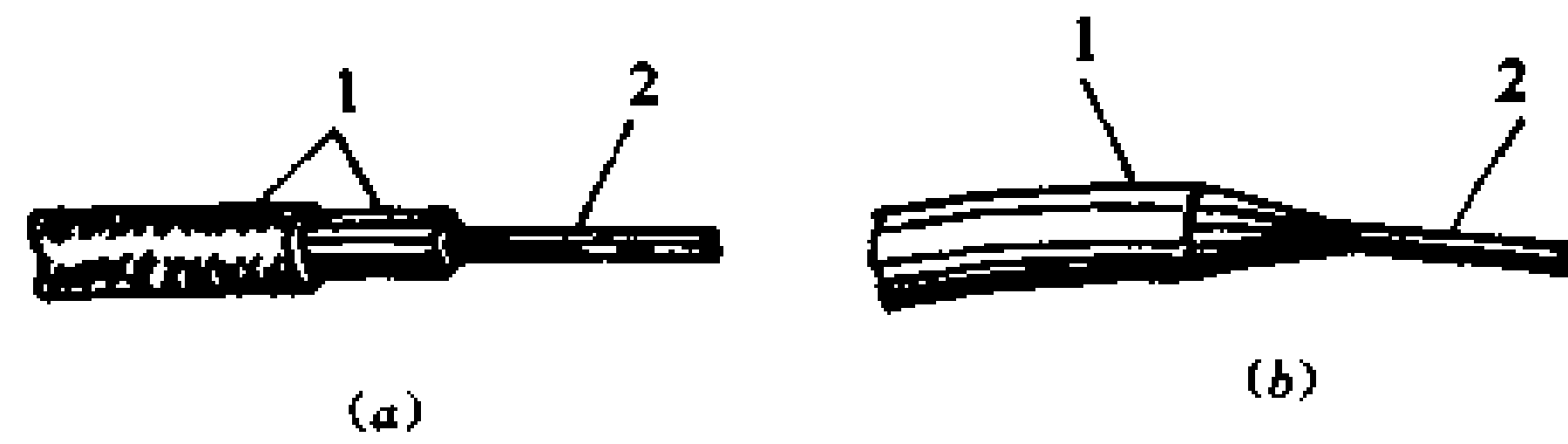


图3—50 导线绝缘层的切剥法

(a) 级段切剥 (b) 斜切剥

1—绝缘层 2—线心

表3—17

常用绝缘导线的型号

| 名称           | 型号   | 电压 (V) | 截面 (mm <sup>2</sup> ) | 主要用途            |
|--------------|------|--------|-----------------------|-----------------|
| 铜心橡皮线        | BX   | 250    | 0.5~4                 | 固定敷设用           |
| 铜心橡皮线        | BX   | 500    | 0.75~500              |                 |
| 铝心橡皮线        | BLX  | 250    | 2.5~4.0               |                 |
| 铝心橡皮线        | BLX  | 550    | 2.5~400               |                 |
| 铜心聚氯乙烯塑料线    | BV   | 500    | 0.8~95                |                 |
| 铝心聚氯乙烯塑料线    | BLV  | 500    | 0.8~95                |                 |
| 铜心聚氯乙烯绝缘、护套线 | BVV  | 500    | 1~10                  |                 |
| 铝心聚氯乙烯绝缘、护套线 | BLVV | 500    | 1~10                  |                 |
| 棉纱编织软线       | RX   | 250    | 0.2~2                 | 灯头、收音机、家用电器等的引线 |
| 棉纱编织双绞软线     | RXS  | 250    | 0.2~2                 |                 |
| 铜心聚氯乙烯绞型软线   | RVS  | 500    | 0.2~2.5               |                 |
| 铜心聚氯乙烯平型软线   | RVB  | 500    | 0.2~2.5               |                 |
| 重型橡套电缆       | YHC  | 500    | 2.5~70                | 移动式电气设备         |
| 农用拖曳电缆       | NYHF | 500    | 2.5~10                |                 |

(2) 单股导线连接: 单股导线的连接有平接头(缠绕或绑接)、丁字接头、十字接头、终端接头等几种(图3—51)。

(3) 多股导线的连接: 多股导线的连接有平接头、丁字接头两种(图3—52)。

(4) 软线和单股导线的连接: 软线和单股导线连接时, 应先将软线在单股导线上缠绕7~8圈, 再把单股线向后弯曲, 防止脱落(图3—53)。

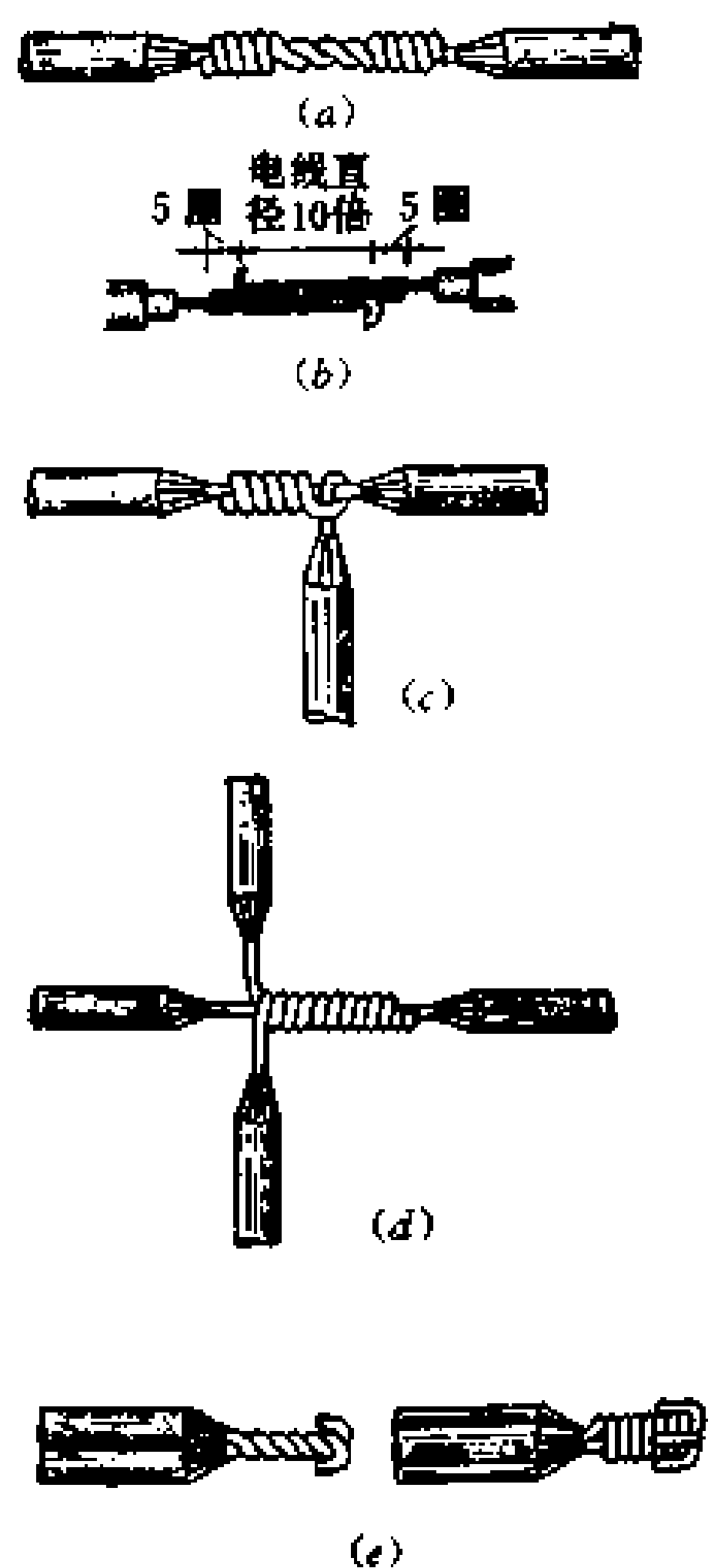


图 3—51 单股导线的连接  
(a) 平接头 (缠绕) (b) 平接头 (绑接) (c) 丁字接头  
(d) 十字接头 (e) 终端接头

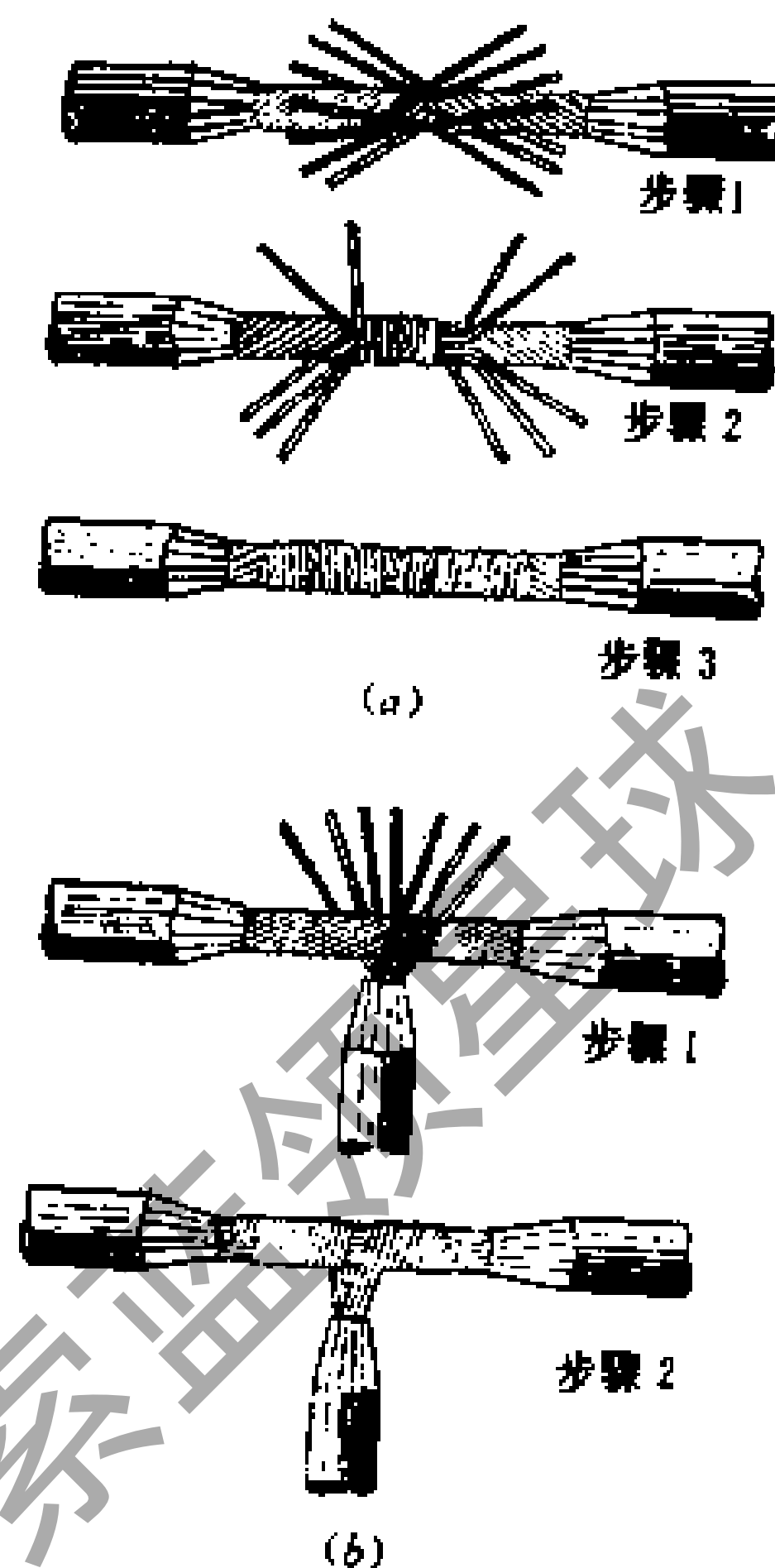


图 3—52 多股导线的连接  
(a) 平接头 (b) 丁字接头

#### 四、导线截面的选择

##### 1. 220V 生活照明线路

低压照明线路的导线，可按导线的机械强度和安全载流量进行选择，不需对电压损失进行校核。为保持足够的机械强度，绝缘导线的截面不应小于表 3—18 中的数值。

表 3—18 屋内外布线最小允许截面

| 用途                                    | 敷设地点 | 导线最小截面 (mm <sup>2</sup> ) |      |      |
|---------------------------------------|------|---------------------------|------|------|
|                                       |      | 铜心软线                      | 铜线   | 铝线   |
| 灯头引线                                  | 屋内   | 0.4                       | 0.5  | 1.5  |
|                                       | 屋外   | 1.0                       | 1.0  | 2.5  |
| 移动设备引线                                | 生活用  | 0.2                       | 不宜使用 | 不宜使用 |
|                                       | 生产用  | 1.0                       |      |      |
| 档距: 1m 以内<br>2m 以内<br>6m 以内<br>12m 以内 | 屋内   |                           | 1.0  | 1.5  |
|                                       | 屋外   |                           | 1.5  | 2.5  |
|                                       | 屋外   |                           | 2.5  | 4.0  |
|                                       | 屋外   |                           | 2.5  | 6.0  |



图 3—53 软线与单股导线的连接



## 2. 380V 动力线路

室内外布线中的动力线路，其导线截面可按机械强度和允许载流量进行选择，然后通过计算电压损失进行校核。电压损失的大小，不宜超过额定电压的 5%。对较远的动力线路，最大不得超过 8%~10%。

## 五、室内布线

室内布线根据支持导线所需的材料，分为瓷珠线路、瓷夹板线路、槽板线路、管线线路、针式瓷瓶线路、护套线线路等 6 种。在这 6 种线路中，护套线线路因其安装方便、布线美观，造价适宜，越来越多地取代了瓷珠线路、瓷夹板线路、槽板等线路。

### 1. 护套线线路

护套线分为塑料护套线、橡胶套线和铅包线 3 种。铅包线价格较贵，目前普遍采用塑料护套线。凡采用护套线的线路，称为护套线线路。护套线线路适用于户内外，具有耐潮性能好、抗腐蚀能力强、线路整齐美观和线路造价较低（指塑料护套线）等优点，故在照明线路上已获得广泛采用。但由于导线截面较小，大容量电路不能采用。

#### (1) 安装护套线的规定：

① 护套线心线的最小截面，户内使用时，铜心的不得小于  $0.5\text{mm}^2$ ，铝心的不得小于  $1.5\text{mm}^2$ ；户外使用时，铜心的不得小于  $1.0\text{mm}^2$ ，铝心的不得小于  $2.5\text{mm}^2$ 。

② 护套线敷设在线路上时，不可采用线与线的直线连接，应采用接线盒或借用其他电气装置的接线桩来连接线头。接线盒由瓷接线桥（也叫瓷接头）和保护盖等组成（图 3—54）。瓷接线桥分有单线、双线、三线和四线多种，供不同要求的线路选用。保护盖可用方木台。

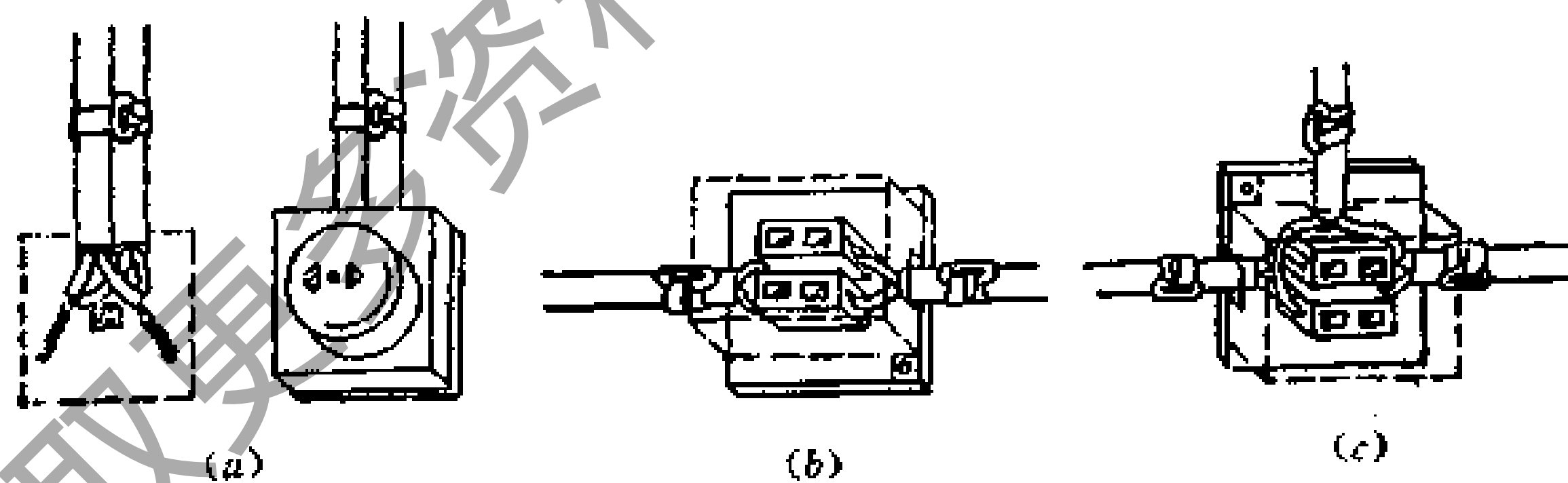


图 3—54 护套线接头的连接方法

- (a) 在电气装置上进行中间或分支接头
- (b) 在接线盒上进行中间接头
- (c) 在接线盒上进行分支接头

③ 护套线必须采用专用的金属轧片〔也称钢精扎头（图 3—55）〕进行支持，钢精扎头应能防锈。钢精扎头的规格分为 0 号、1 号、2 号、3 号和 4 号等多种型号，分用铁钉固定和用胶水粘贴的两种。

④ 护套线直线部分两支持点之间的距离为 0.2m；转角部分，转角前后各应安装一个支持点；两根护套线

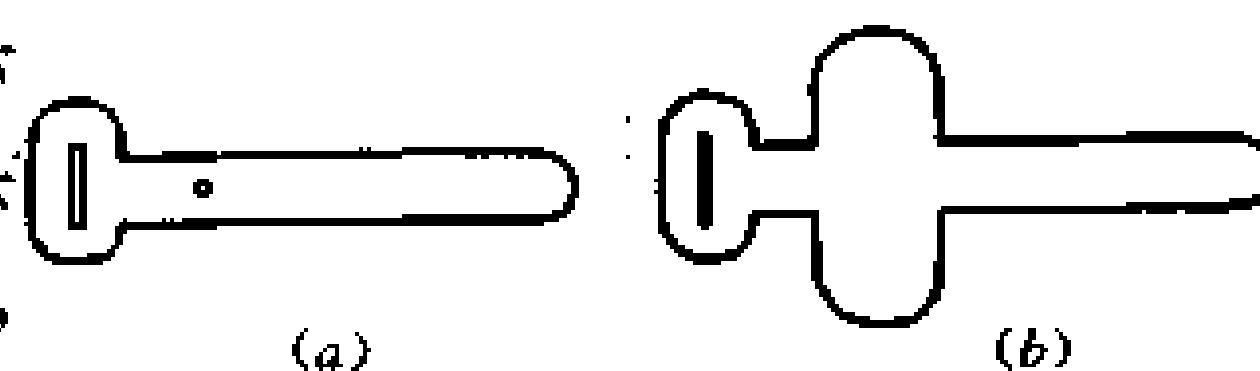


图 3—55 支持护套线用的金属轧片

- (a) 铁钉固定式
- (b) 粘贴式

十字交叉时，叉口处的四方各应安装一个支持点，共 4 个支持点；进入木台前应安装一个支持点；穿入管子前或穿出管子后，均应安装一个支持点。护套线线路支持点的各种安装位置，如图 3—56 所示。

⑤ 护套线在同一墙面上转弯时，必须保持垂直。转角处应保持适当的曲率半径 ( $R$ )，其数值一般是护套线宽度  $d$  的 3~4 倍 (图 3—57)，太小会损伤心线 (尤其是铅心线)，太大影响线路美观。

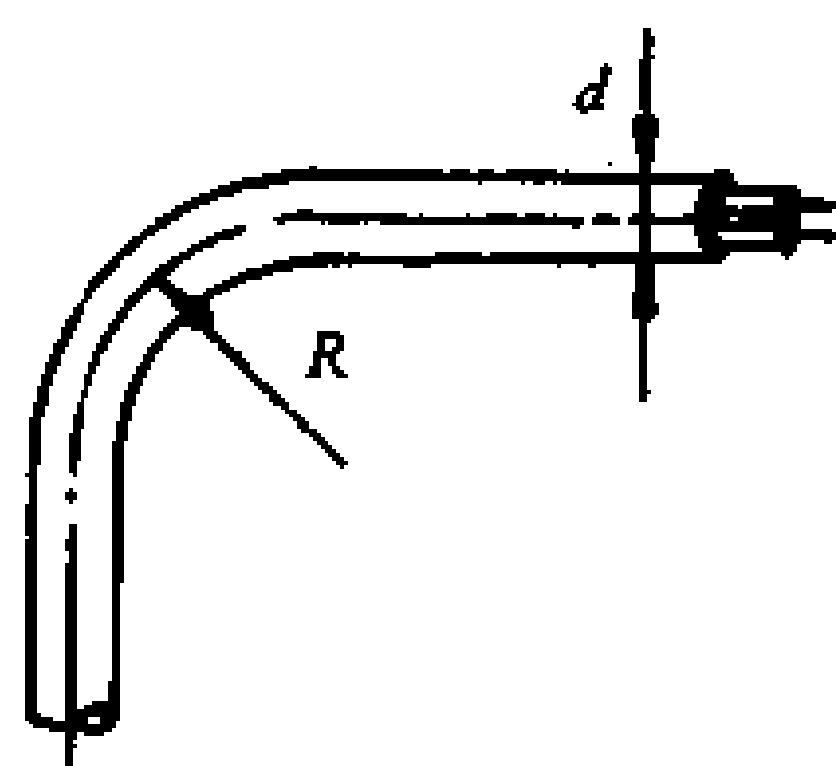


图 3—57 护套线转弯时的曲率半径

⑥ 护套线线路的离地最小距离不得小于 0.15m。穿越楼板的一段及离地 0.15m 以下部分的导线，应加钢管 (或硬塑料管) 保护，以防导线遭受损伤。

⑦ 采用铅包线时，整个线路的铅层要连成一体，并应接地。

(2) 施工步骤：

① 准备施工所需器材和工具。

② 标划线路走向，同时标出所有线路装置和用电器具的安装位置，以及导线的每个支持点。

③ 凿打整个线路上的所有木榫安装孔和导线穿越孔，安装好所有木榫。

④ 安装所有钢精扎头。

⑤ 敷设导线。

⑥ 安装各种木台。

⑦ 安装各种用电装置和线路装置。

⑧ 检验线路的安装质量。

(3) 施工方法：

① 放线：整圈护套线不能弄乱，不可使线的平面产生小半径的扭曲。在冬天放塑料护套线时，尤应注意。放铅包线更不可产生扭曲，否则无法把线敷设平服。为了防止平面扭曲，放线时需两人合作，一人把整圈护套线按图 3—58 所示的方法套入双手中，另一人将线头向前拉出。放出的护套线不可在地上拖拉，以免擦破或弄脏。

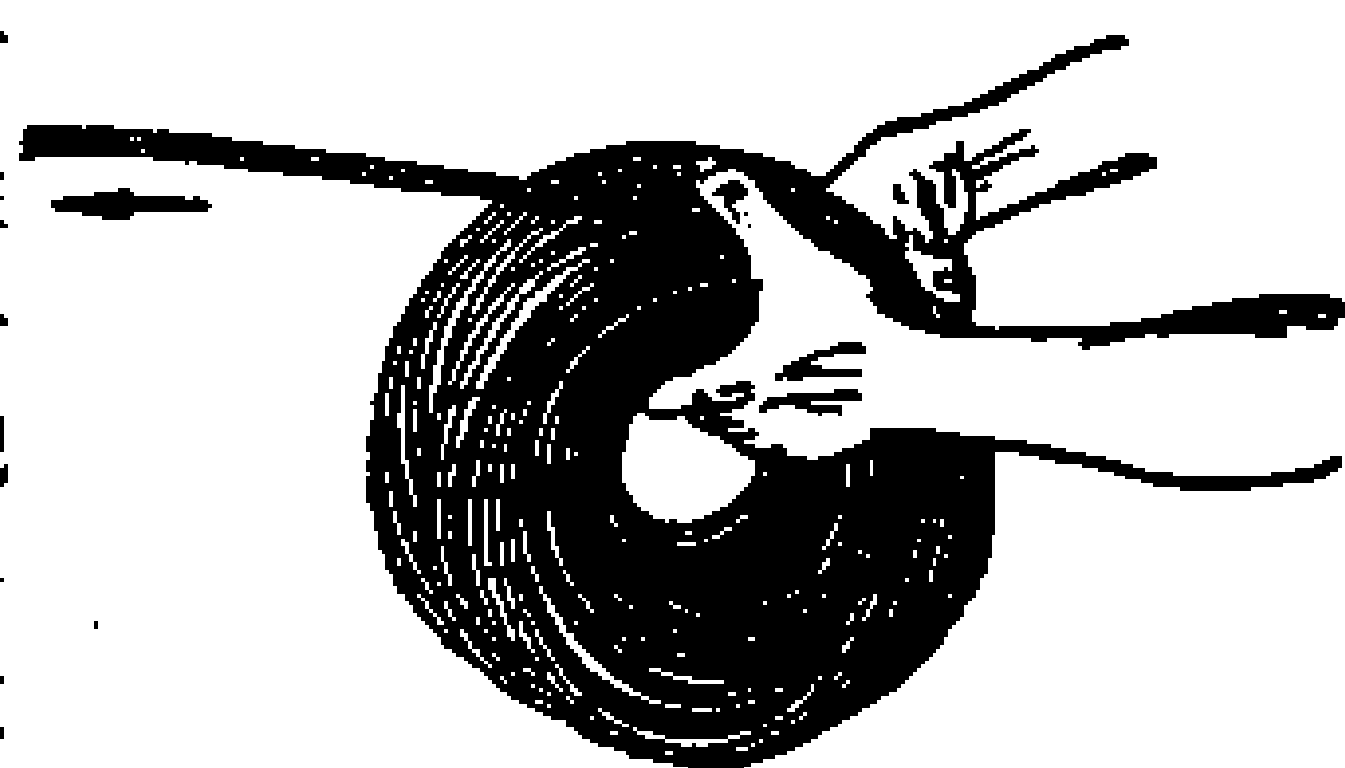


图 3—58 护套线的放线方法

② 敷线：整齐美观是护套线线路的特点，因此线必须敷得横平、竖直和平服，不能有明显的空隙。在敷线时，要采取勒直和收紧的方法校直。

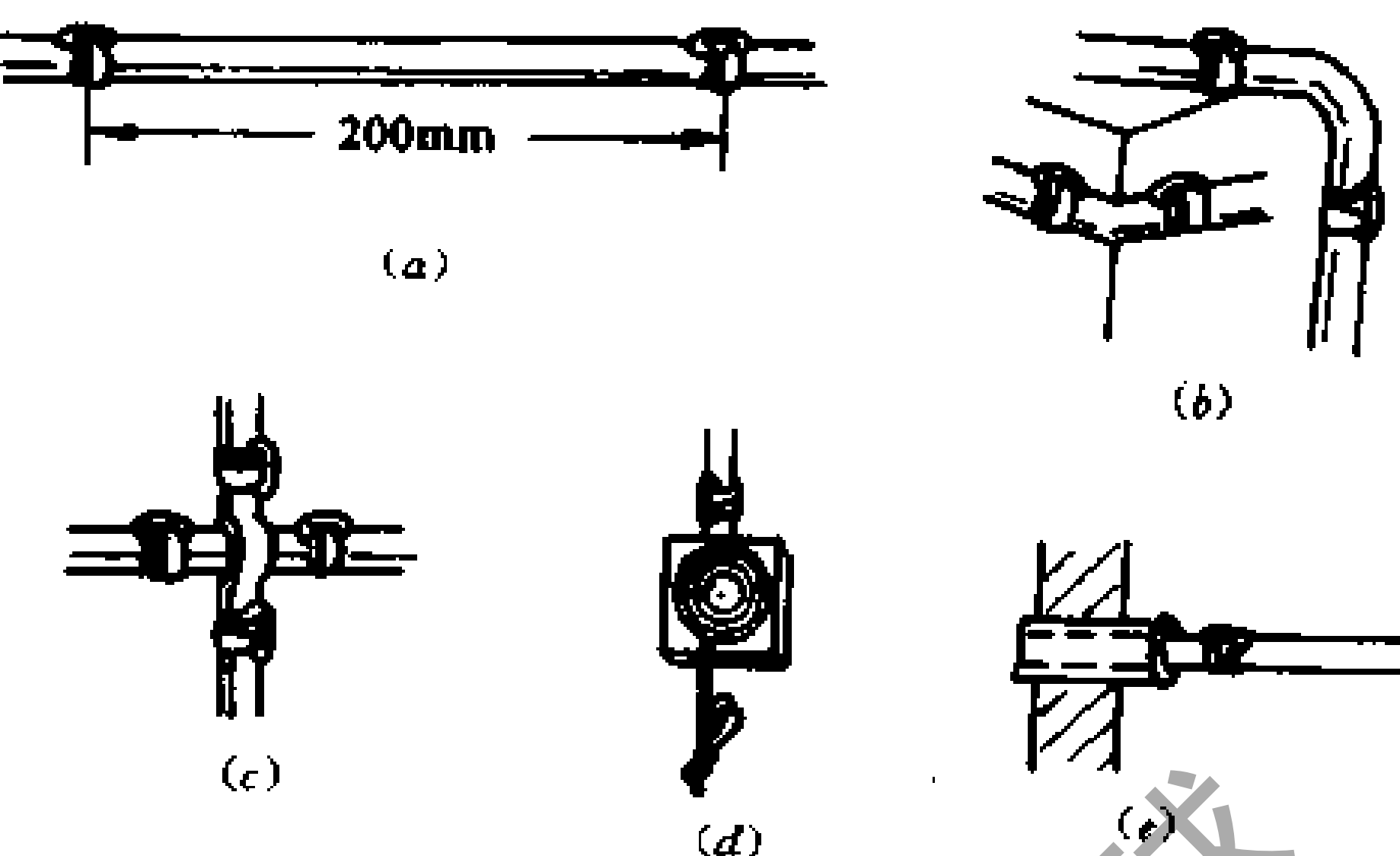


图 3—56 护套线支持点的定位  
(a) 直线部分 (b) 转角部分 (c) 十字交叉 (d) 进入木台 (e) 进入管子

勒直，就是在敷设护套线之前，把有弯曲的部分，用纱团裹捏后来回勒平，使之挺直（图 3—59）。

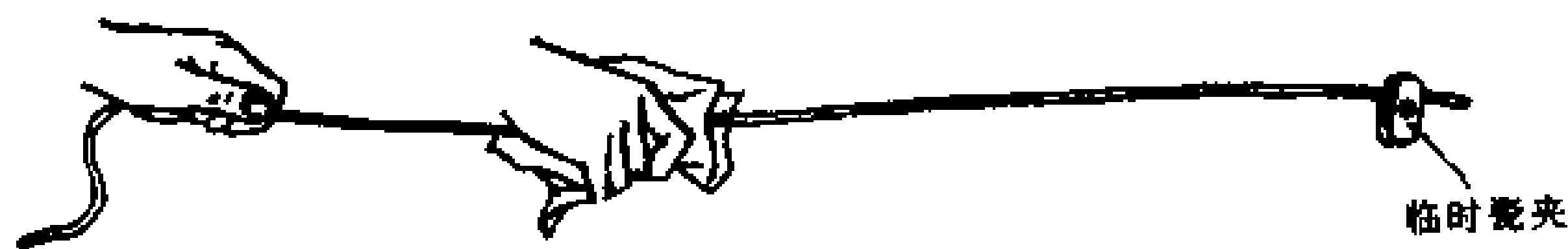


图 3—59 护套线的勒直方法

收紧，指在敷设时，把护套线尽可能收紧。长距离的直线部分，可在直线部分两端的建筑面上，先临时各装一副瓷夹板，把收紧了的导线先夹入瓷夹板中，然后逐一夹上钢精扎头〔图 3—60 (a)〕。短距离的直线部分，或转角部分，戴上纱手套用手指顺向按捺，使导线挺直平服后夹上钢精扎头〔图 3—60 (b)〕。

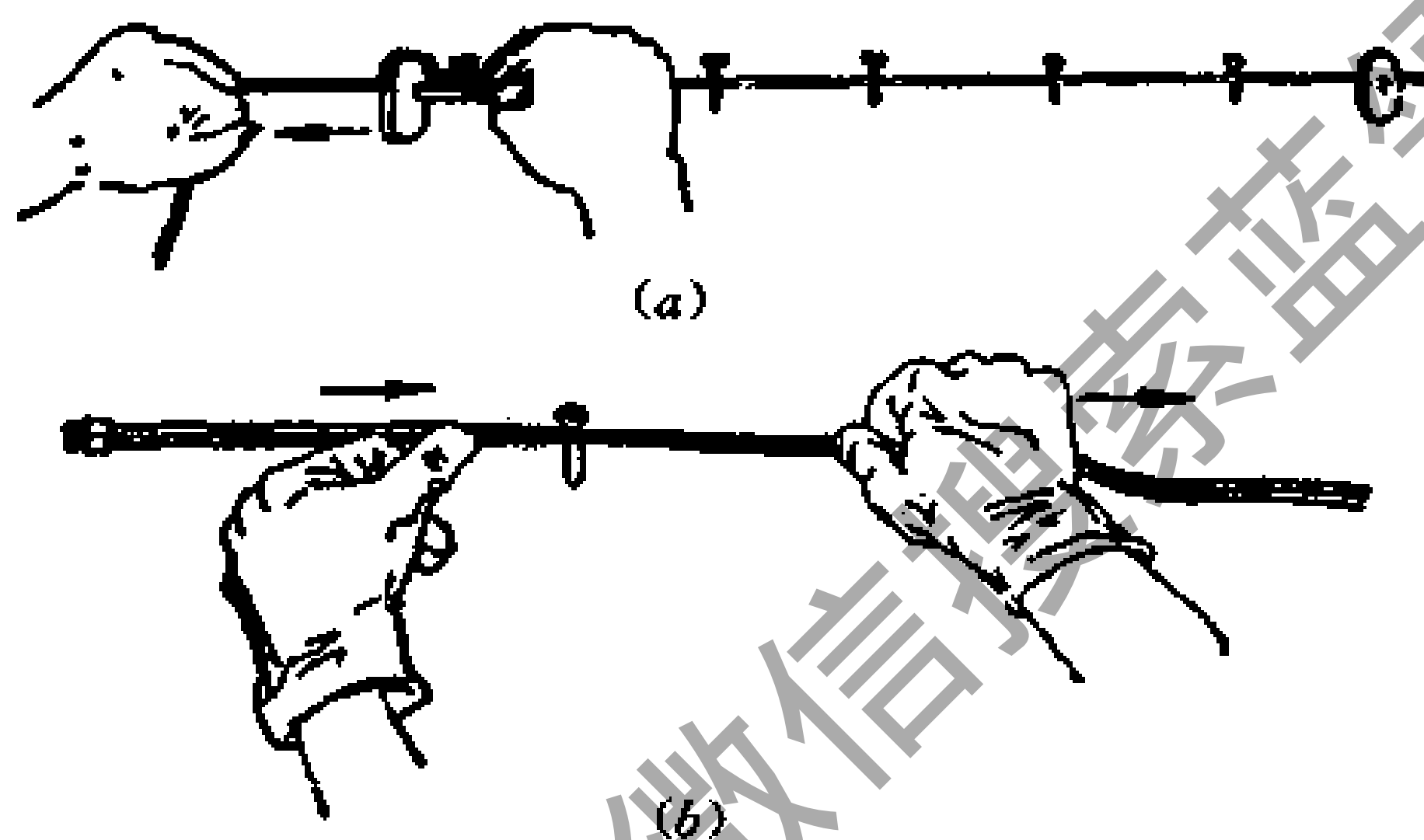


图 3—60 护套线的收紧方法

- (a) 长距离直线部分的收紧法
- (b) 短距离直线部分的收紧法

③钢精扎头的夹持：护套线应置于钢精扎头的钉孔位（或粘贴部分）中间，然后按图 3—61 所示的 1~4 步骤进行夹持操作。

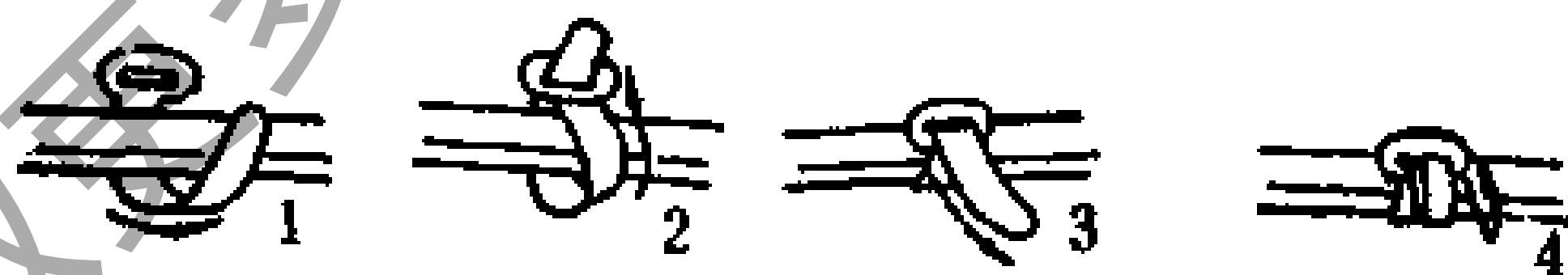


图 3—61 钢精轧头夹持的操作步骤

每夹持完 4~5 个支持点，应进行一次检查，如发现有偏斜，用小锤轻敲轧头，予以纠正。

④护套线进入木台时的处理：护套层应完整地进入木台，在伸入木台 10mm 后方可剥去护套层。木台进线的一边，应按护套线所需面积开出进线缺口。

⑤钢精轧头的粘贴：在用万能胶水或环氧树脂粘贴钢精轧头前，必须把粘贴处的建筑物表面清理干净。轧头的粘贴面也不可有油脂污垢，否则粘贴不牢。粘贴后要等胶水或环氧树脂充分干透，方可敷线，不然容易脱落。

## 2. 瓷夹板线路

用瓷夹板（图 3—62）支持导线的线路称瓷夹板线路。常用的小型瓷夹板有两线和三

线两种，用于夹持  $10\text{mm}^2$  以下的导线，其规格有 38mm、45mm、50mm 和 60mm（指瓷夹板长度）等多种。一般两线的用于照明线路，三线的用于动力线路。大型瓷夹板通常制成单线的，使用时用压板把一组瓷夹板（3 副或 4 副）并列组合起来。其规格有 50mm、62mm 和 75mm 等多种，用以夹持  $10\text{mm}^2$  以上的导线。

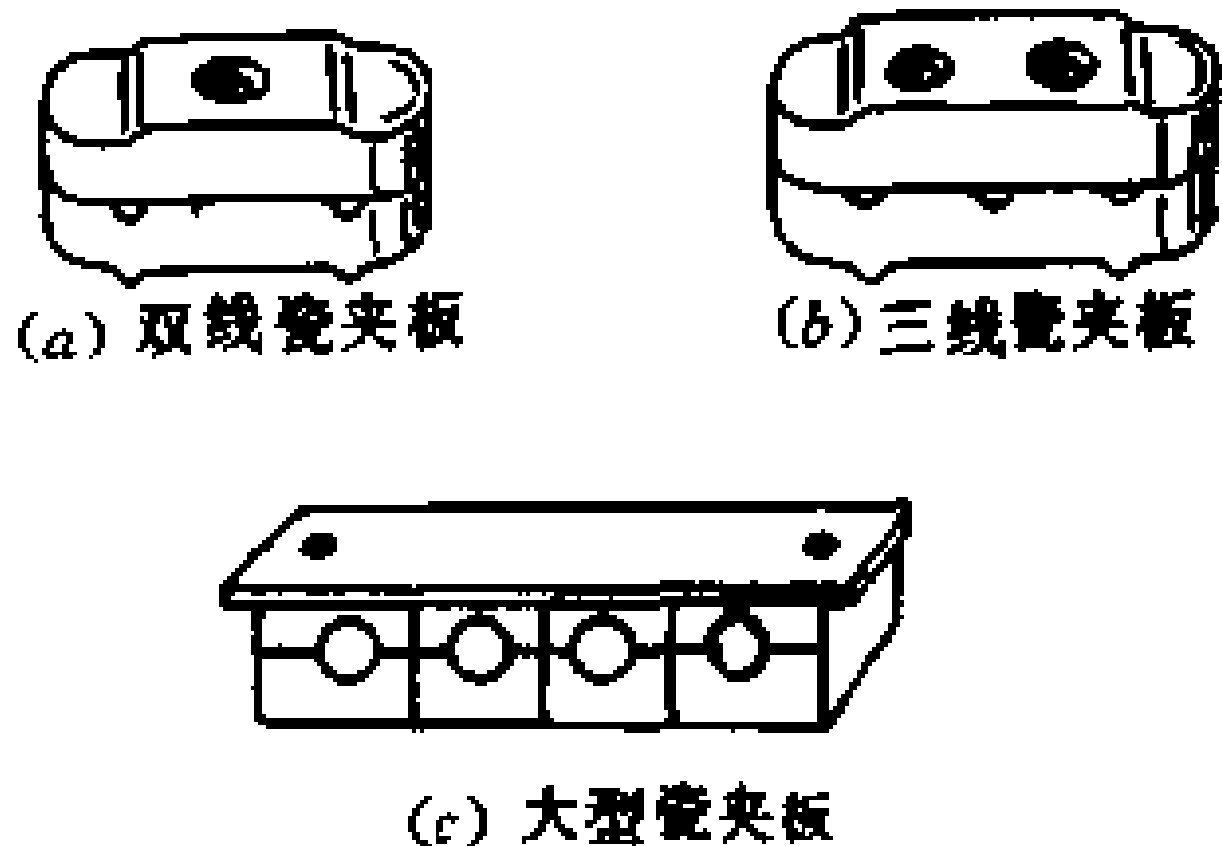


图 3-62 瓷夹板

(1) 安装瓷夹板线路的规定：

① 采用瓷夹板布线时，直线段瓷夹板之间的距离不宜大于表 3-19 中的数值。

表 3-19 直线段瓷夹板之间的距离

| 导线截面 ( $\text{mm}^2$ ) | 瓷夹间距离 (m) |
|------------------------|-----------|
| 1~4                    | 0.6       |
| 6~10                   | 0.8       |

② 瓷夹板线路支持点的定位及布线规定，如图 3-63 和图 3-64 所示。

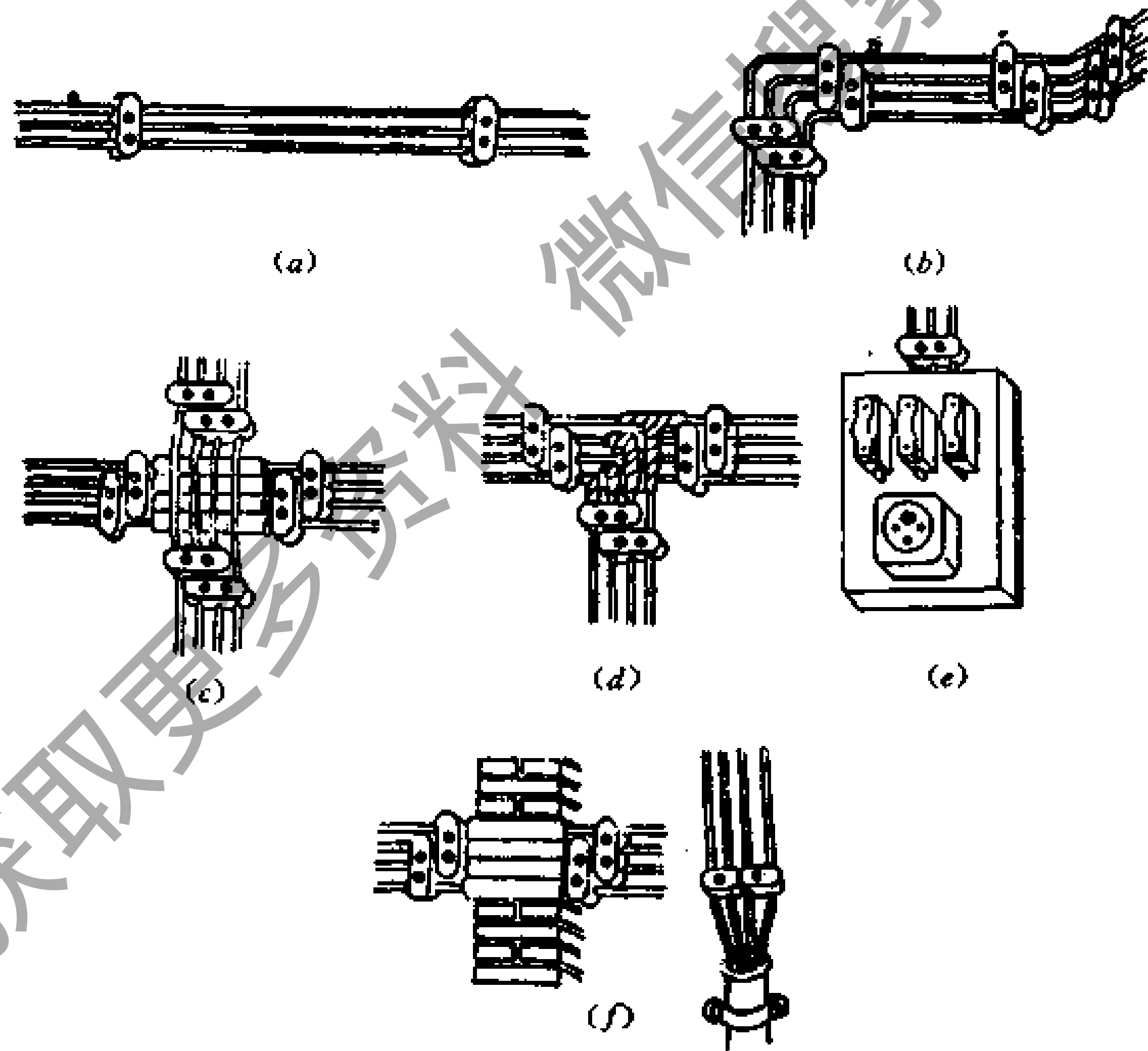


图 3-63 瓷夹板线路支持点的定位

(a) 直线部分 (b) 转角部分 (c) 十字交错 (d) 丁字分支 (e) 进入木台 (f) 进入管子

③ 瓷夹板线路在同一平面上改变走向时，转弯应保持垂直。

④ 瓷夹板线路对地距离要求，如图 3-65 所示。水平敷设时，不应低于 2m；垂直敷设时，最低点不应低于 1.3m。穿越楼板时，穿越楼板一段及 1.3m 以下部分导线应穿管

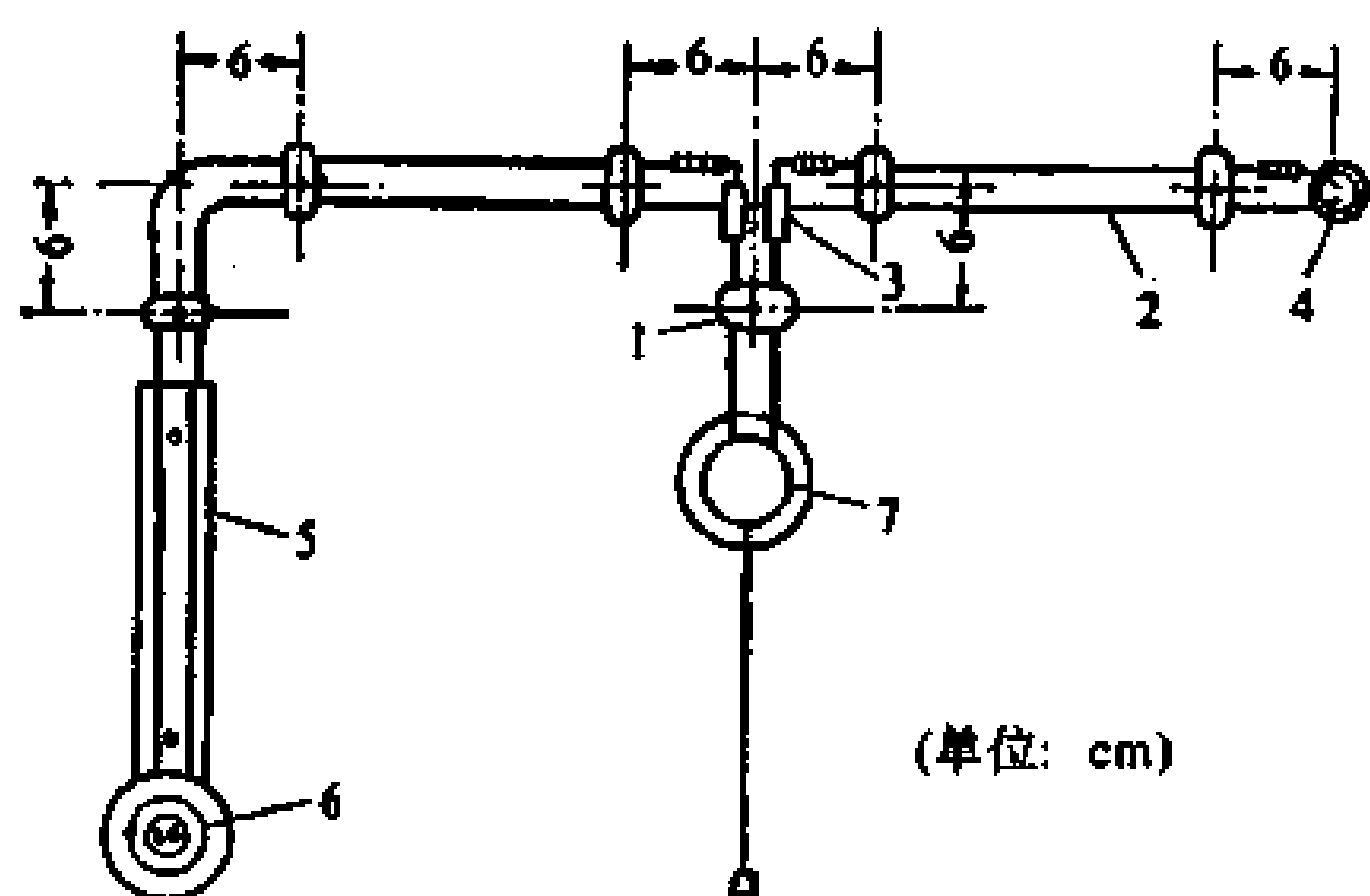


图 3-64 瓷夹板布线示意图

1—瓷夹板 2—导线 3—瓷套管 4—穿墙瓷套管 5—木槽板保护 6—插座 7—拉线开关

保护。

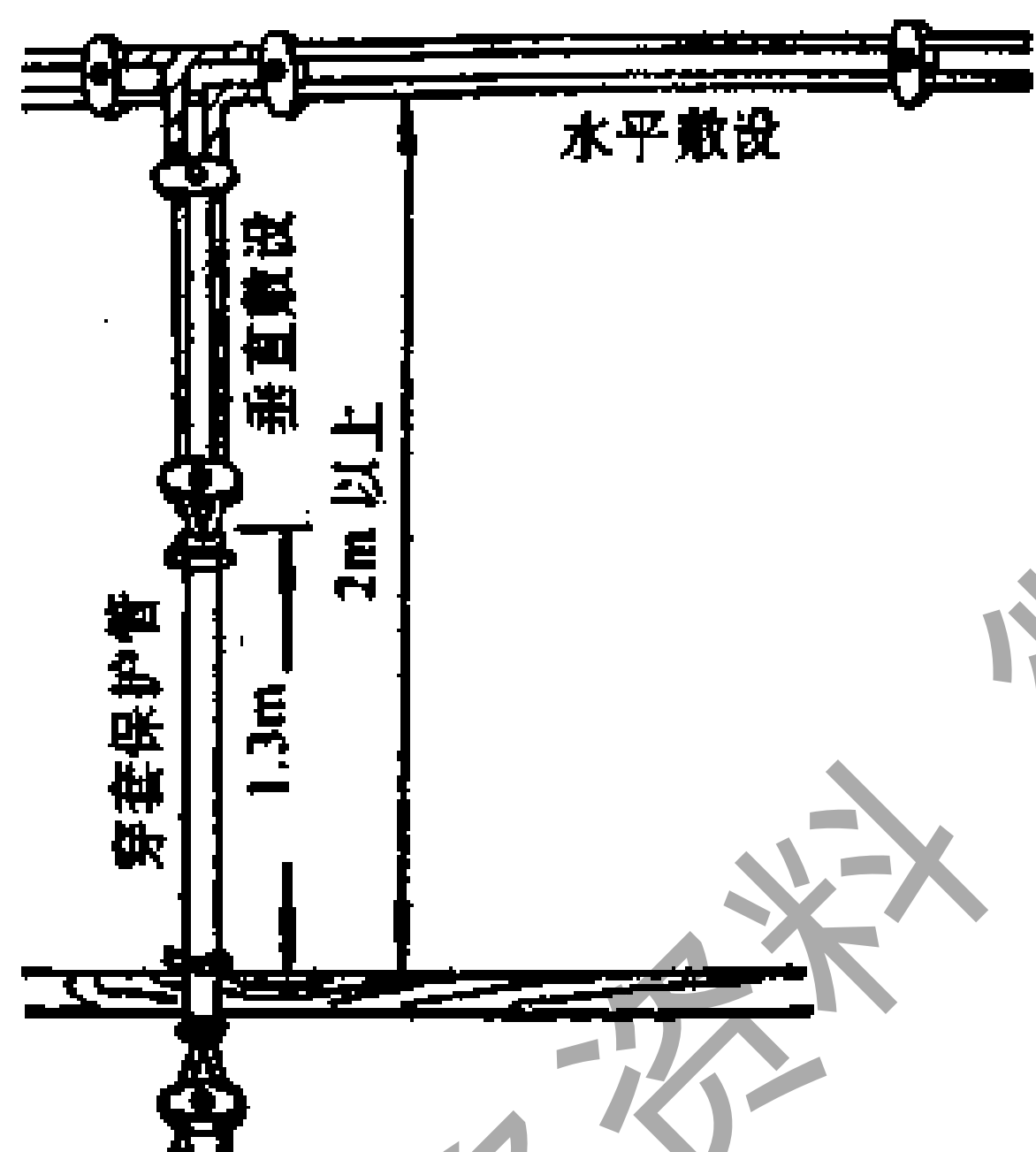


图 3-65 瓷夹板线路对地距离

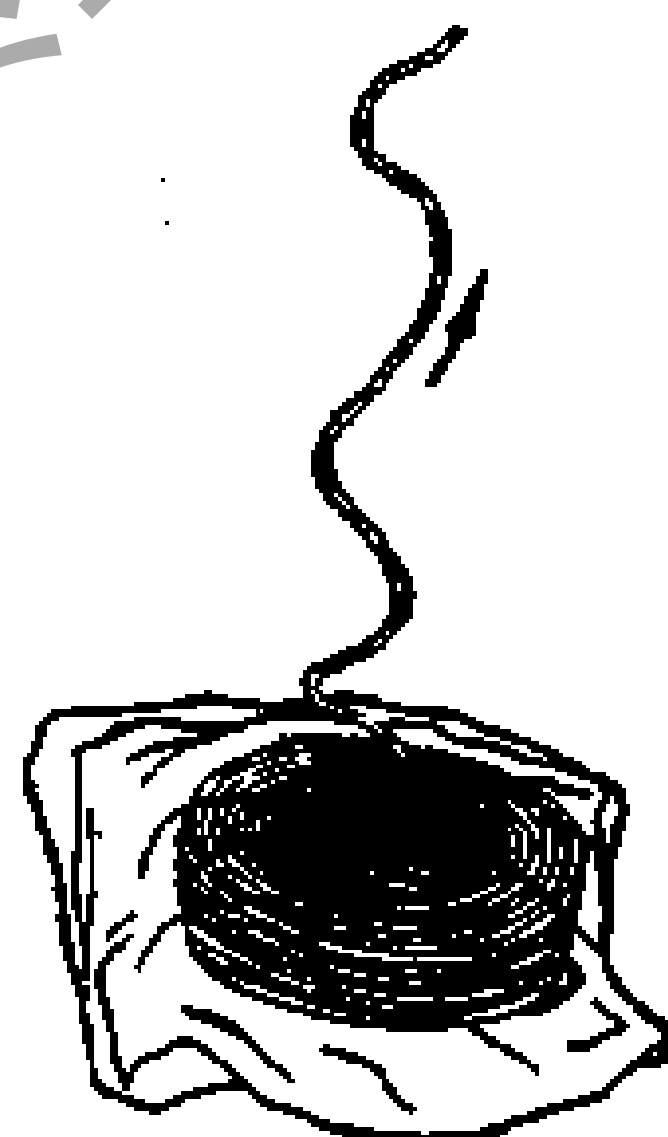


图 3-66

绝缘导线的放线方法

⑤瓷夹板线路应敷设得挺直牢固，导线不得碰及建筑物。

(2) 施工步骤：瓷夹板线路的施工步骤与护套线相同，只是步骤④改为安装瓷夹板。

(3) 施工方法：

①放线：对整盘绝缘导线，应从内圈抽出线头进行放线（图 3-66）。切不可从外圈抽线头放线，否则会弄乱整盘导线和使导线打成小圈扭结。

②敷线：用小瓷夹板支持的导线，通常用勒直的方法使导线挺直，方法与勒直护套线相同；对局部不直的导线，可利用螺丝刀金属杆来勒直，方法如图 3-67 所示。用大瓷夹板支持的导线，因其导线截面大，通常用紧线器来拉直导线。

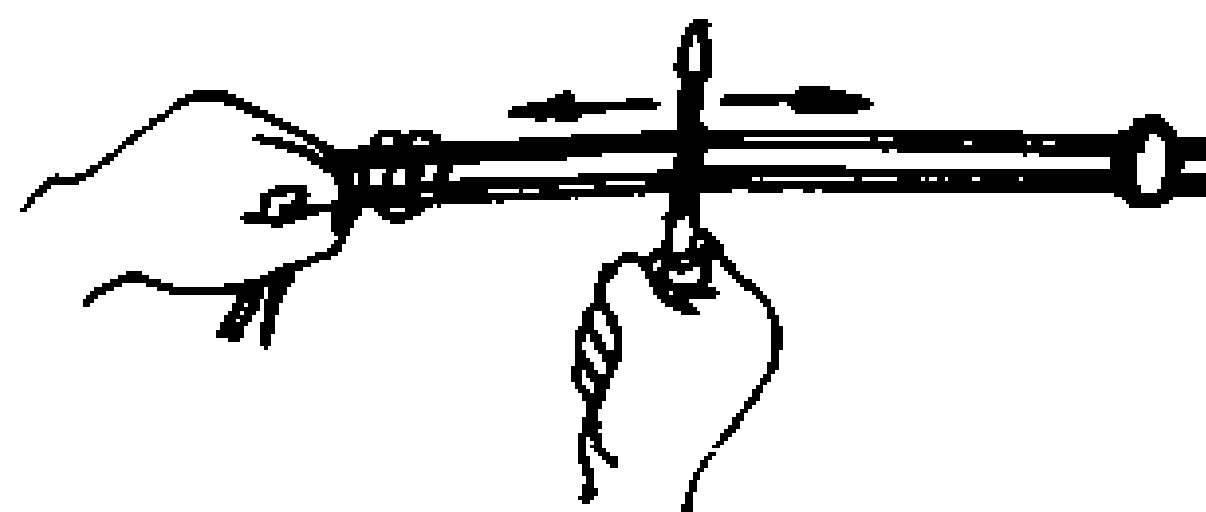


图 3-67 绝缘导线局部勒直方法

直线部分敷线时，先用首尾两端的瓷夹板夹住已拉直的导线，然后自右至左以每 3~4 档瓷夹板为一组

分组固紧瓷夹板。先固紧最左的一副，然后再自右至左固紧中间的几副，如图 3—68 所示。

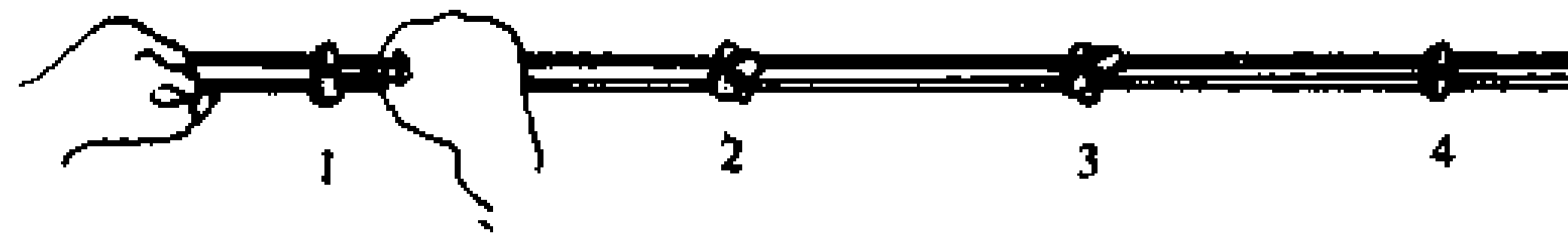


图 3—68 瓷夹板分组固紧的顺序和方法

固紧每组瓷夹板时，用左手收紧导线，右手握螺丝刀固紧瓷夹板上的木螺丝。导线有局部弯曲时，应随时按图 3—67 所示方法勒直收紧，然后方可固紧最左边的一副瓷夹。

瓷夹板线路进入木台时，把木台进线的一个边沿，按每根导线所需面积开出进线缺口，要一根导线开一个缺口，以便导线保持平行嵌入木台。

瓷夹板线路结构简单，造价便宜，维修方便，是一种老式的线路结构。这种线路不美观，在照明线路中已被护套线所代替。但在农村和车间等生产场所仍被采用。

### 3. 瓷珠线路

用瓷珠支持导线的线路，称瓷珠线路。瓷珠也称中壶（图 3—69）。常用的瓷珠有 G—30（直径 30mm），G—38（直径 38mm），294°（直径 50mm）等规格。室内布线中，导线截面在 16mm<sup>2</sup> 以下时，可采用瓷珠布线。瓷珠线路的具体要求见表 3—20。



图 3—69 瓷珠

瓷珠线路施工与护套线线路一样，首先确定灯头、开关、保险等照明电器或动力设备的位置，再确定转角、穿墙、终端等处的位置，然后均匀地分布中间的瓷珠。

表 3—20 瓷珠布线的要求

| 导线截面<br>(mm <sup>2</sup> ) | 瓷珠规格 (mm)<br>(直径×高度) | 瓷珠间距<br>(m) | 绑 线     |                 | 最小线间<br>距离 (mm) |
|----------------------------|----------------------|-------------|---------|-----------------|-----------------|
|                            |                      |             | 直径 (mm) | 号 数             |                 |
| 1~2.5                      | φ35×35<br>φ30×38     | 1.5         | 0.56    | 24 <sup>#</sup> | 屋内：50<br>屋外：100 |
| 4~6                        | φ38×38<br>φ38×50     | 1.5<br>2    | 0.71    | 22 <sup>#</sup> |                 |
| 10~25                      | φ50×50<br>φ50×65     | 2<br>3      | 0.89    | 20 <sup>#</sup> |                 |

瓷珠用木螺丝固定在木结构上，若遇到砖、石、混凝土结构，应埋入木楔或绑扎木板，以便固定瓷珠。安装中的具体要求是：

(1) 敷设导线时，应做到横平竖直，不能与建筑物表面接触。水平布线时，导线对地距离不小于 2.5m；垂直敷设时，不小于 1.8m。小于上述规定时，应把导线装进槽板或塑料管内。

(2) 绑线宜用绝缘线。如果用裸线绑扎，应先在导线上用胶布带缠两层以后再绑。受力瓷珠用单十字绑法，加档瓷珠可以只绑一道不绑十字，终端瓷珠应把导线绑回头。绑瓷珠的方法和针式瓷瓶侧绑的方法相似，如图 3—70 所示。瓷珠布线不允许在隐蔽的吊棚内敷设。

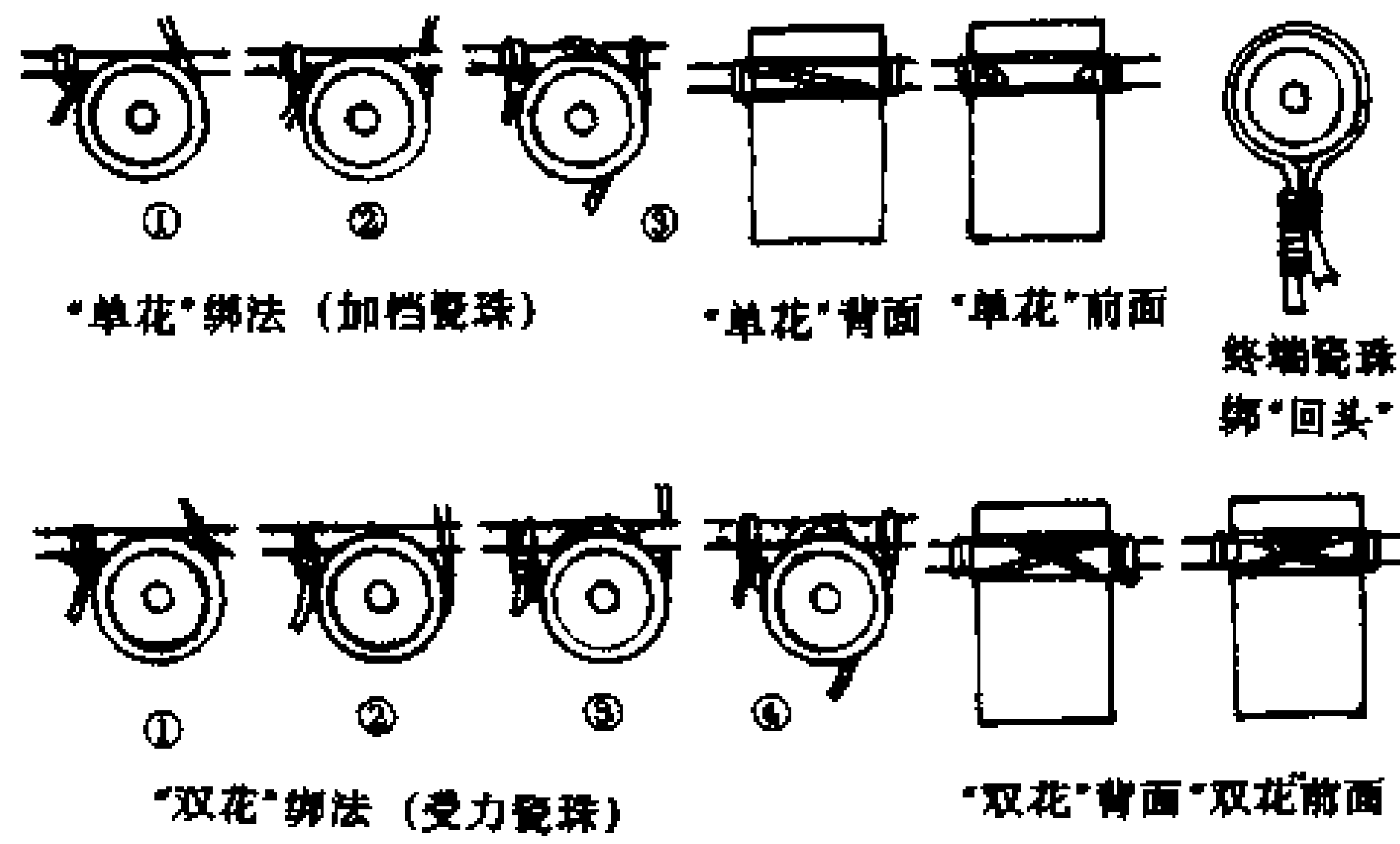


图 3—70 瓷珠的绑扎法

(3) 在分支、转角、终端处的安装方法，如图 3—71 所示。

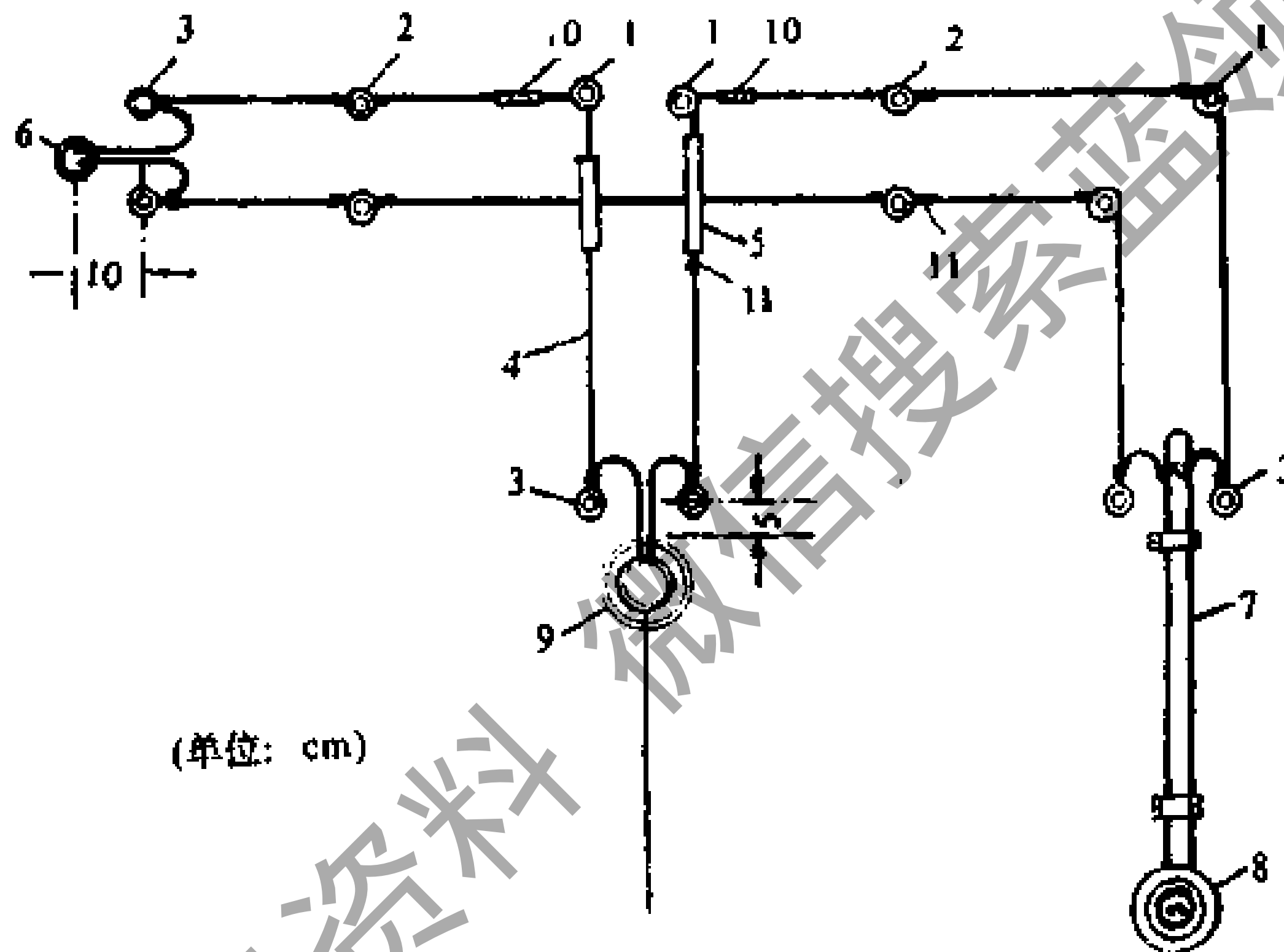


图 3—71 瓷珠布线示意图

1—受力瓷珠 2—加档瓷珠 3—终端瓷珠 4—导线 5—瓷套管 6—穿墙瓷套管 7—硬塑料管 8—插座 9—拉线开关 10—导线接头 11—绑线

(4) 在线路穿墙和不同平面转角处的安装方法，如图 3—72 所示。

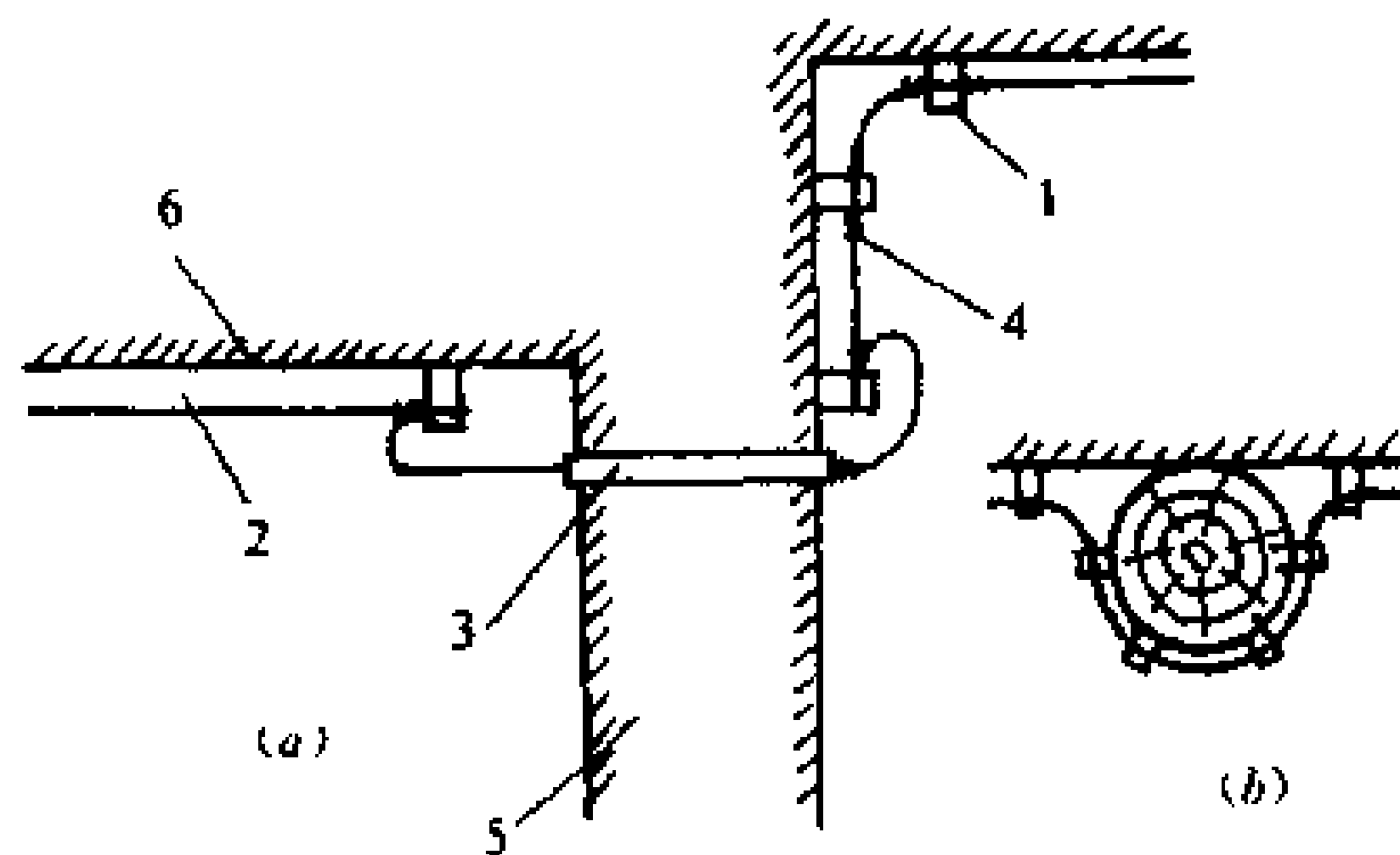


图 3—72 瓷珠布线在不同平面转角及穿墙

(a) 转角 (b) 绕梁

1—瓷珠 2—导线 3—穿墙套管 4—绑线 5—墙壁 6—顶棚

#### 4. 槽板线路

用木质或塑料槽板支持导线的，叫槽板线路，也是一种常见的线路安装形式。

槽板线路具有整洁和安全等优点，但造价较高，目前已逐渐被护套线线路所代替，但尘埃较多或鼠害较严重的场所，仍有采用。

槽板分双槽和三槽两种，双槽的两个槽分成一窄一宽。木槽板的规格按其板宽分为32mm、38mm、44mm、50mm等多种，常用的是38mm。

槽板线路导线心线的最小截面积规定为，铜心线不应小于 $0.5\text{mm}^2$ ，铝心线不应小于 $1.5\text{mm}^2$ 。

安装时，首先利用铁钉把槽板固定在墙壁上，再将导线放进槽板的线槽内，然后用槽盖板把导线盖上，并用铁钉固定。槽板内的导线最好没有接头；同一槽内不准嵌设不同相和不同回路的两根导线，每条槽内只准嵌设一根导线。对木槽板来说，槽底应涂防腐油，槽内涂绝缘油，槽板外面涂油漆。

图3-73为木槽板的安装方法示意图。开关、插座、灯具等所用的木台与槽板连接时，应在木台的背面挖一个缺口，然后扣在槽板上。安装槽板盖时应注意不使钉子扎在导线上，防止钉子带电。木槽板不许埋入或穿过墙壁，也不许直接过楼板。木槽板的盖与槽板的接口不应在同一地方，至少相距30mm，接口应紧密，不留空隙。

#### 5. 针式绝缘子线路

导线截面在 $16\text{mm}^2$ 以上时，应采用针式绝缘子布线。这种布线有水平排列和垂直排列两种，其安装形式和室外布线相同。线间及导线对地距离，应满足表3-21中的数值。

表3-21 线间及导线对建筑物的最小距离

| 支持点距离 (m) | 线间及导线对建筑物的距离 (mm) |
|-----------|-------------------|
| 小于2       | 50                |
| 2~4       | 100               |
| 4~6       | 150               |
| 大于6       | 200               |

#### 6. 管内布线

导线置于钢管或硬质塑料管内，叫做管内布线（或称管线）。它分明敷和暗敷两种安

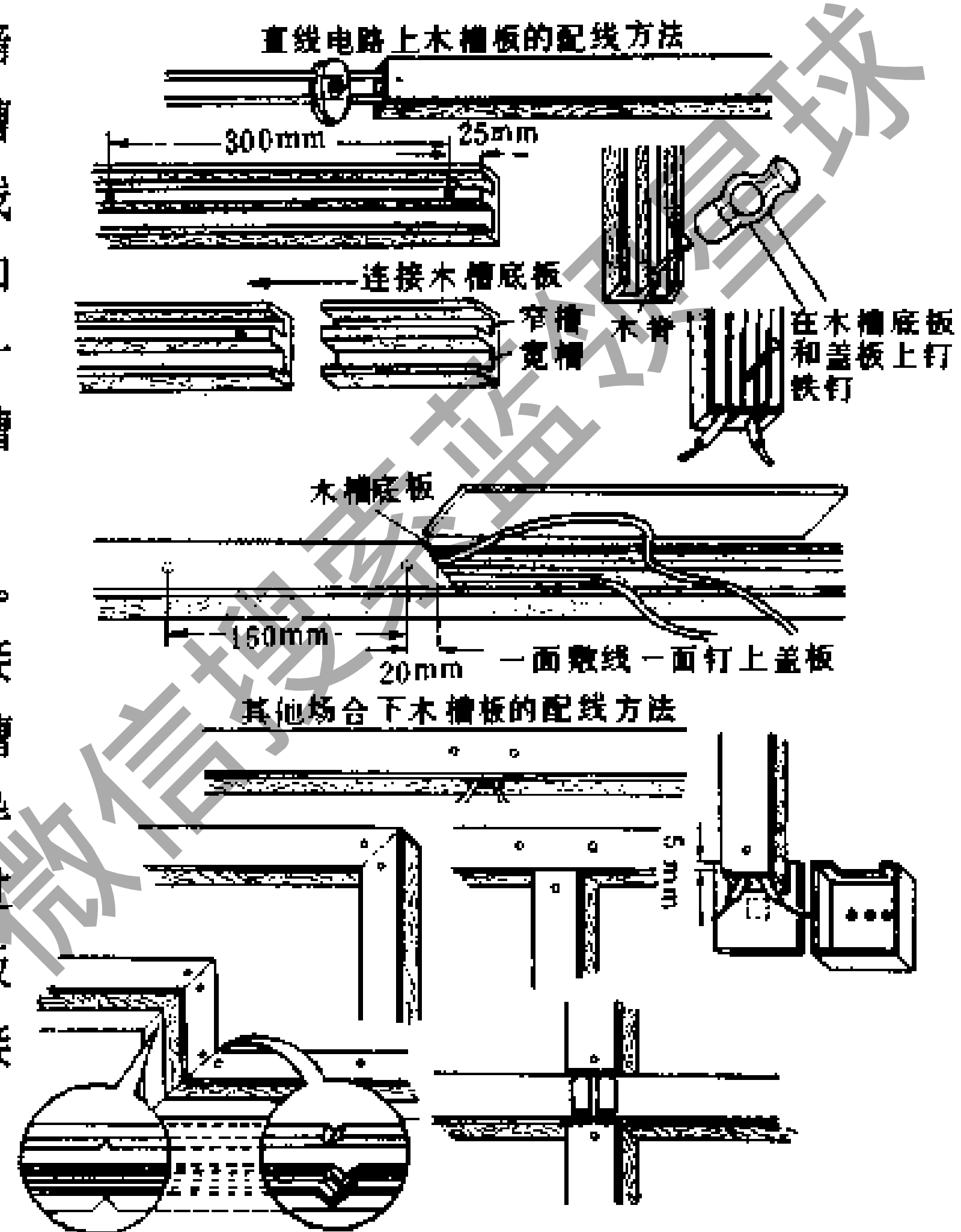


图3-73 木槽板安装方法



装方式。明敷的方法和木槽板线路相似，暗敷就是把管子埋入墙内，然后抹平。

管内布线时导线的绝缘强度不低于交流 500V。导线心线的最小截面规定是，铜心线为  $1\text{mm}^2$ ，铝心线为  $2.5\text{mm}^2$ 。

管内布线具有较好的防潮、防火、防爆等特性，且具有较好的抗外界机械损伤的性能。因此，比较重要的建筑或房舍的照明，为了求得美观和安全，常采用管内布线。

## 六、照明配电盘和动力配电盘

### 1. 照明配电盘

照明配电盘，可以单户居民自己安装，也可几户居民共用一个，如图 3—74 所示。盘面用木板制成。盘后面的接线一般已先接好，安装时再连接引入线和引出线。盘上的导线型号应和线路所用导线相同，从总开关到分支线开关之间的导线不宜太细（可按总开关额定电流的  $1/3$  选择导线截面）。盘的底边应加 50mm 厚的沿板，或者在导线外面套上塑料管，以防止导线和墙壁接触。配电盘可以做成板式，也可以做成箱式。

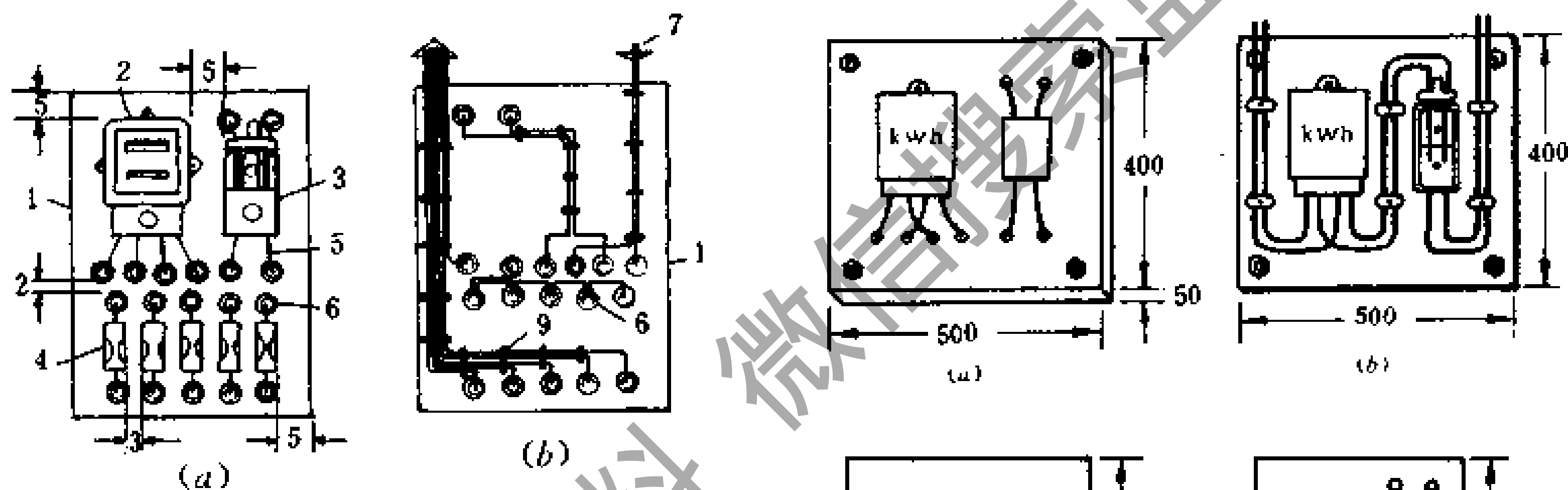


图 3—74 照明配电盘

(a) 盘面电器的距离示意 (b) 盘后接线示意  
 1—盘面 2—电能表 3—胶盖闸 4—瓷插式  
 保险 5—导线 6—瓷嘴(或塑料嘴) 7—电  
 源引入线 8—电源引出线 9—导线固定卡  
 (单位: cm)

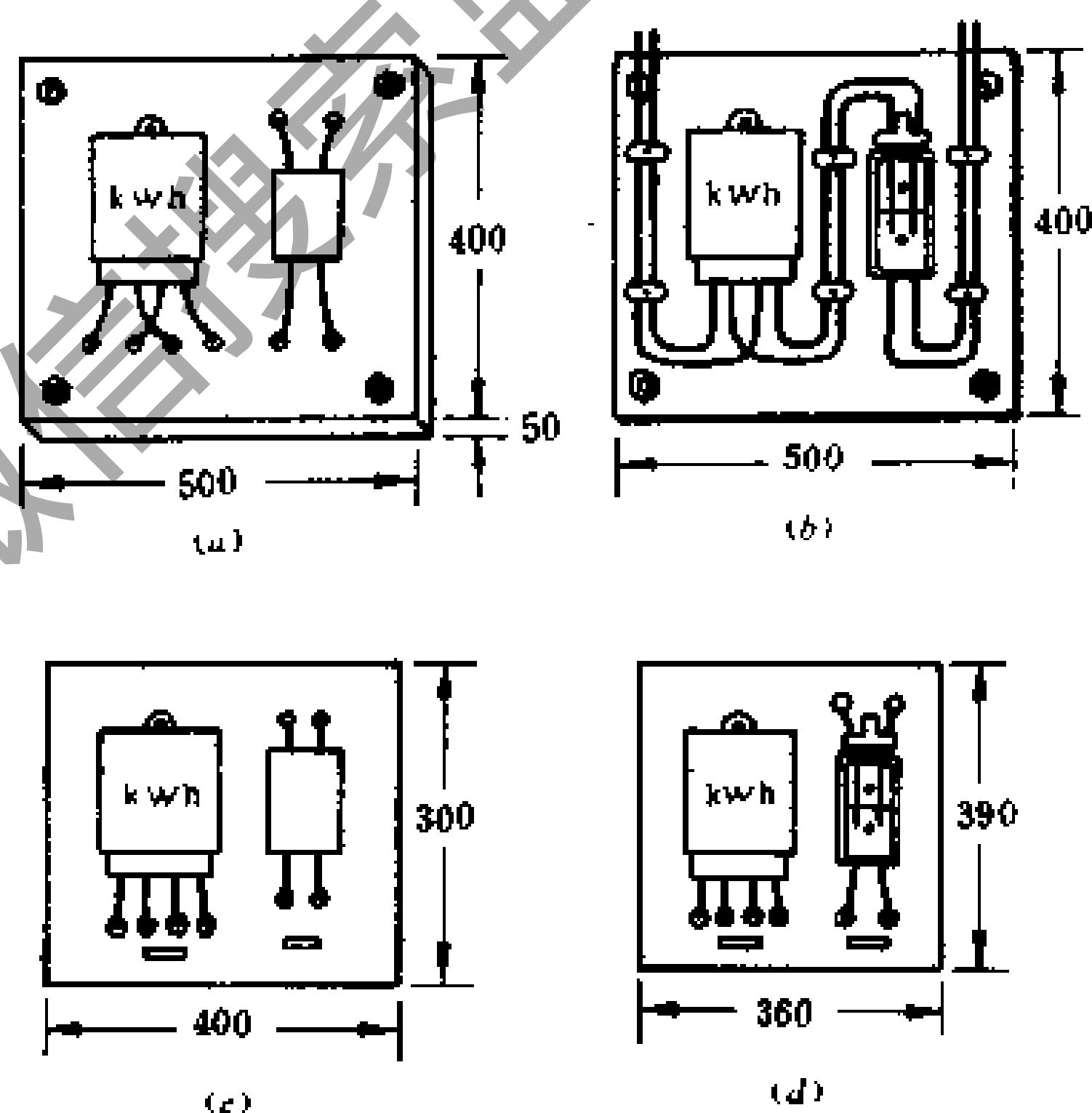


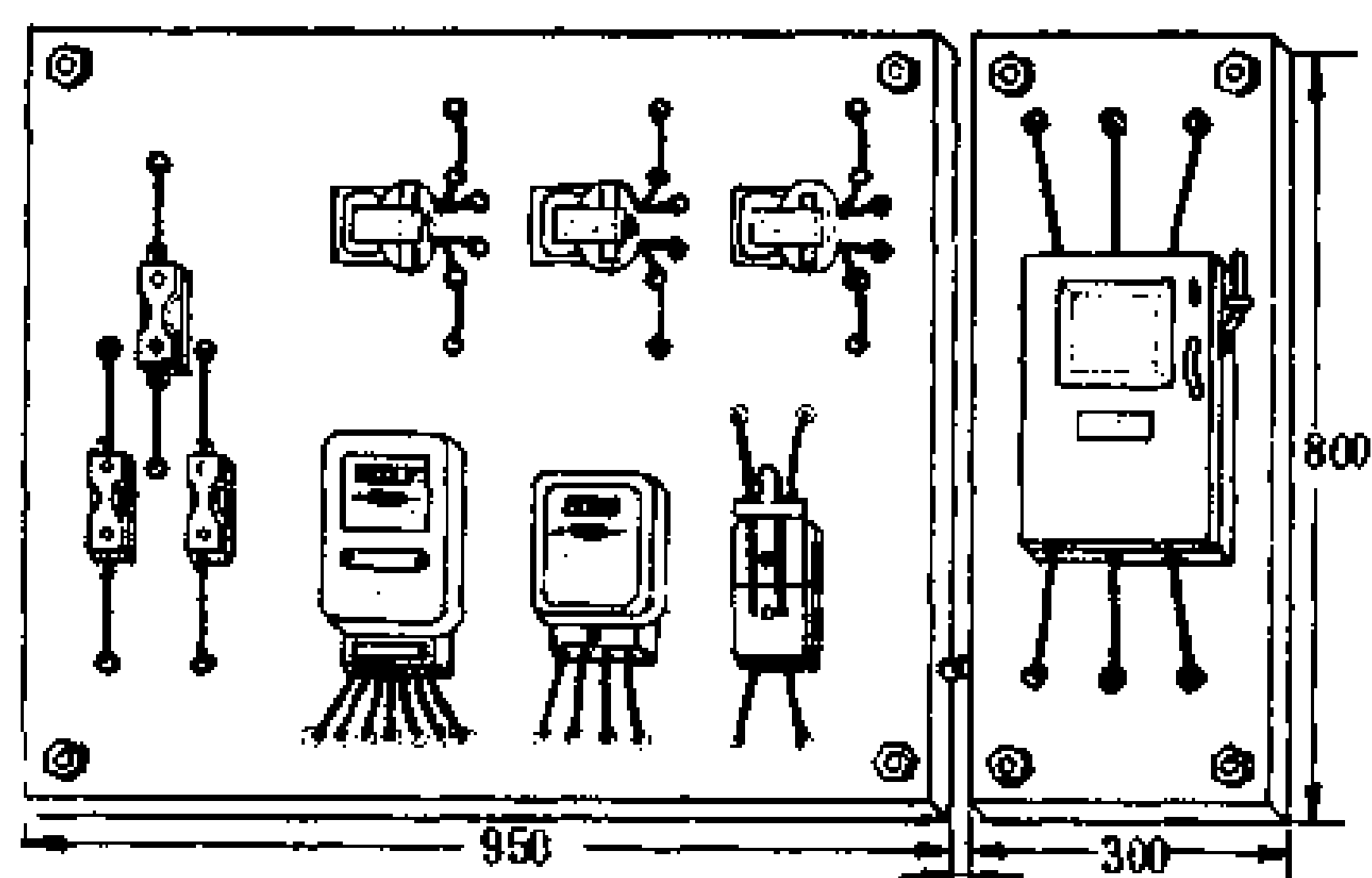
图 3—75 居民用照明配电盘

单户居民制作照明配电盘时，可参照图 3—75 的几种形式。各种形式都需加 50mm 左右的沿板。采用暗线敷设时，盘面穿孔应加瓷嘴或塑料嘴。

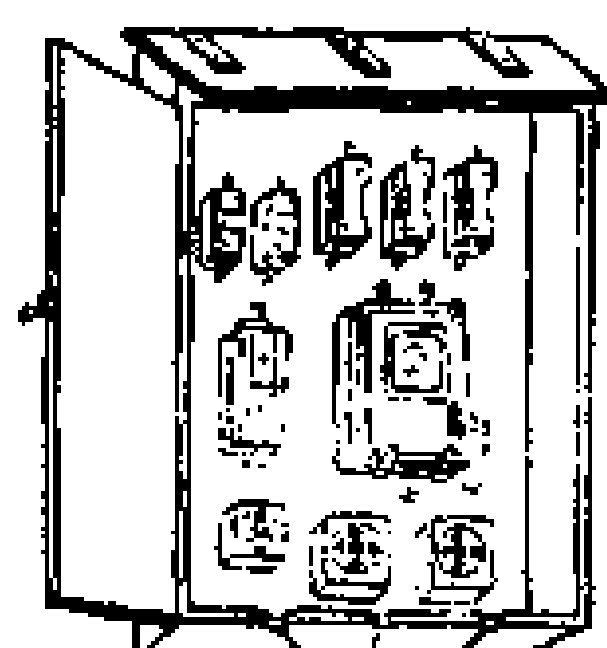
配电盘一般应安装在电源进口处，下边离地 1.4~1.8m。离地较近时应采用配电箱。

### 2. 动力配电盘

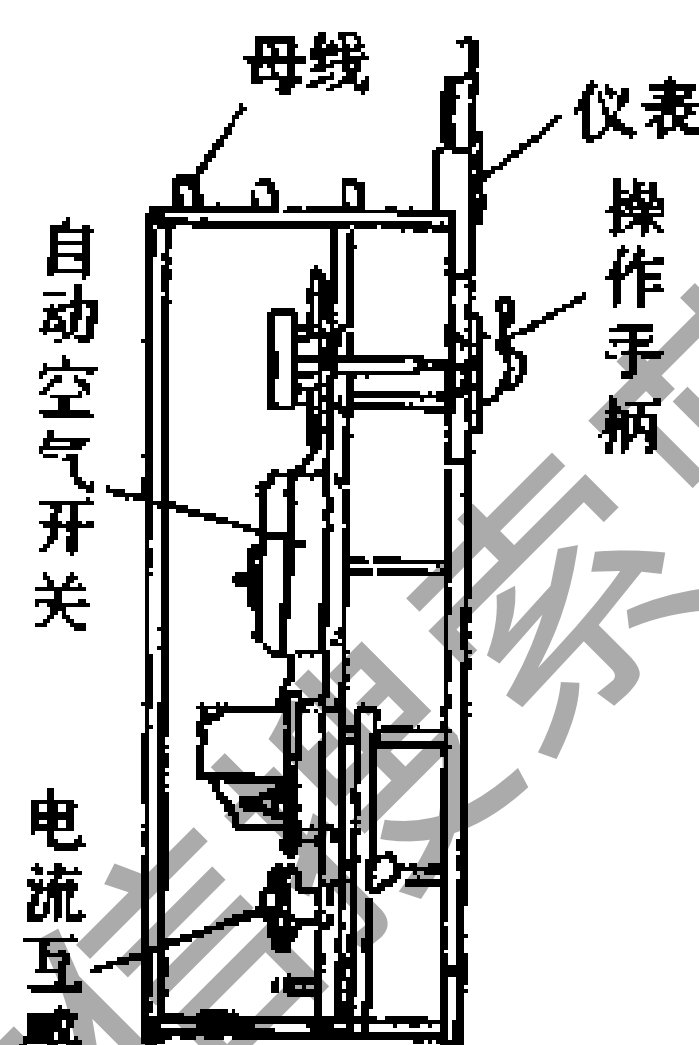
常用的动力配电盘，装有开关（闸刀开关、空气开关或铁壳开关等）、电流表、电压表和电能表等。此外，还有电压换相开关，有的还加装电源指示灯。动力配电盘有板式、箱式和屏式等几种。如图 3—76 所示。



(a) 板式配电盘



(b) 箱式配电盘



(c) 屏式低压配电盘

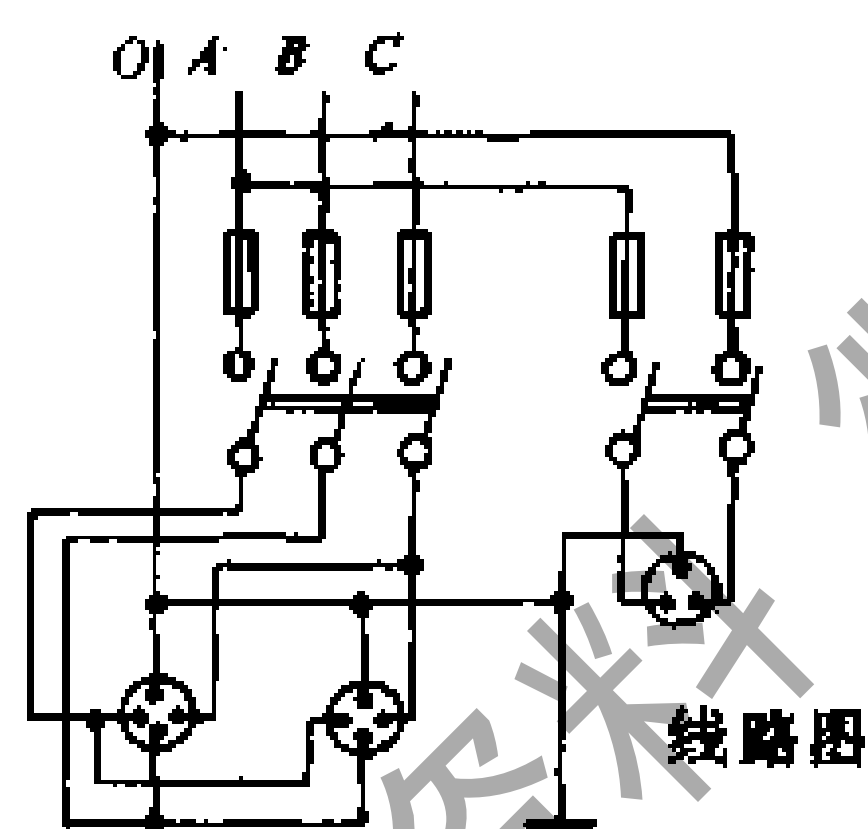


图 3—76 动力配电盘

## 第 5 节 常用照明灯具及安装

### 一、白炽灯

白炽灯俗称电灯，常用的灯泡有卡口和螺口两种。白炽灯由灯头、灯丝和玻璃壳 3 部分构成（图 3—77）。灯丝是钨丝。玻璃壳内一般都抽成真空（大灯泡内充有惰性气体）。电流通过灯丝时，灯丝热到白炽的程度便发出光来。一般灯泡的额定电压是 220V。

用户安装电灯，都要装一个保险盒。电灯开关一定要安装在火线上，以便开关断开时，开关以下不带电。使用螺口灯头，应把零线接到螺丝口上，把火线接到灯头内顶部当中的活片上，防止螺口带电。灯头和开关内的导线应做成保险结，防止拉脱导线。

图 3—78 为安装一盏和两盏（或多盏）白炽灯的接线图。每盏灯都是并联接在火线

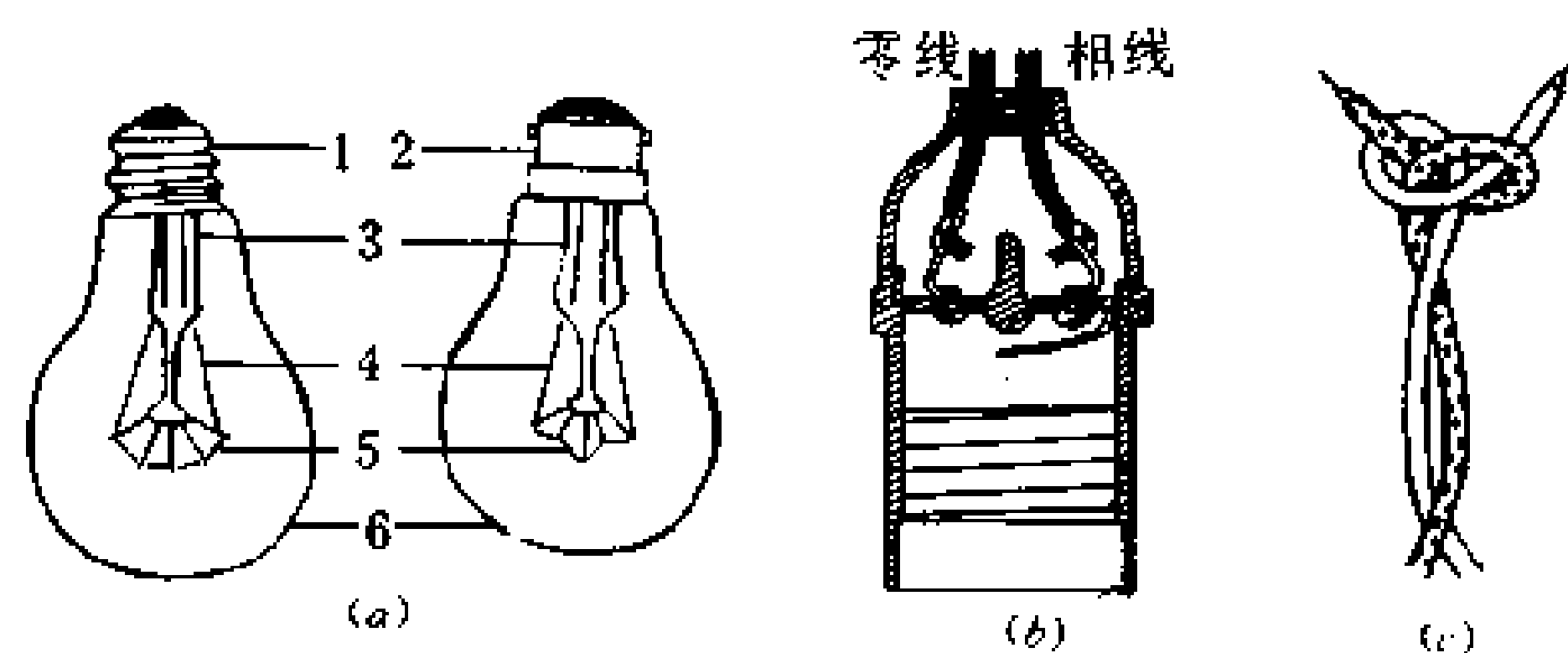


图 3-77 灯泡和灯头

(a) 白炽灯泡的构造 (b) 用软线时, 花线接相线, 素线接零线 (c) 保险结  
1—螺口灯头 2—卡口灯头 3—玻璃支架 4—引线 5—灯丝 6—玻璃壳

和零线上。

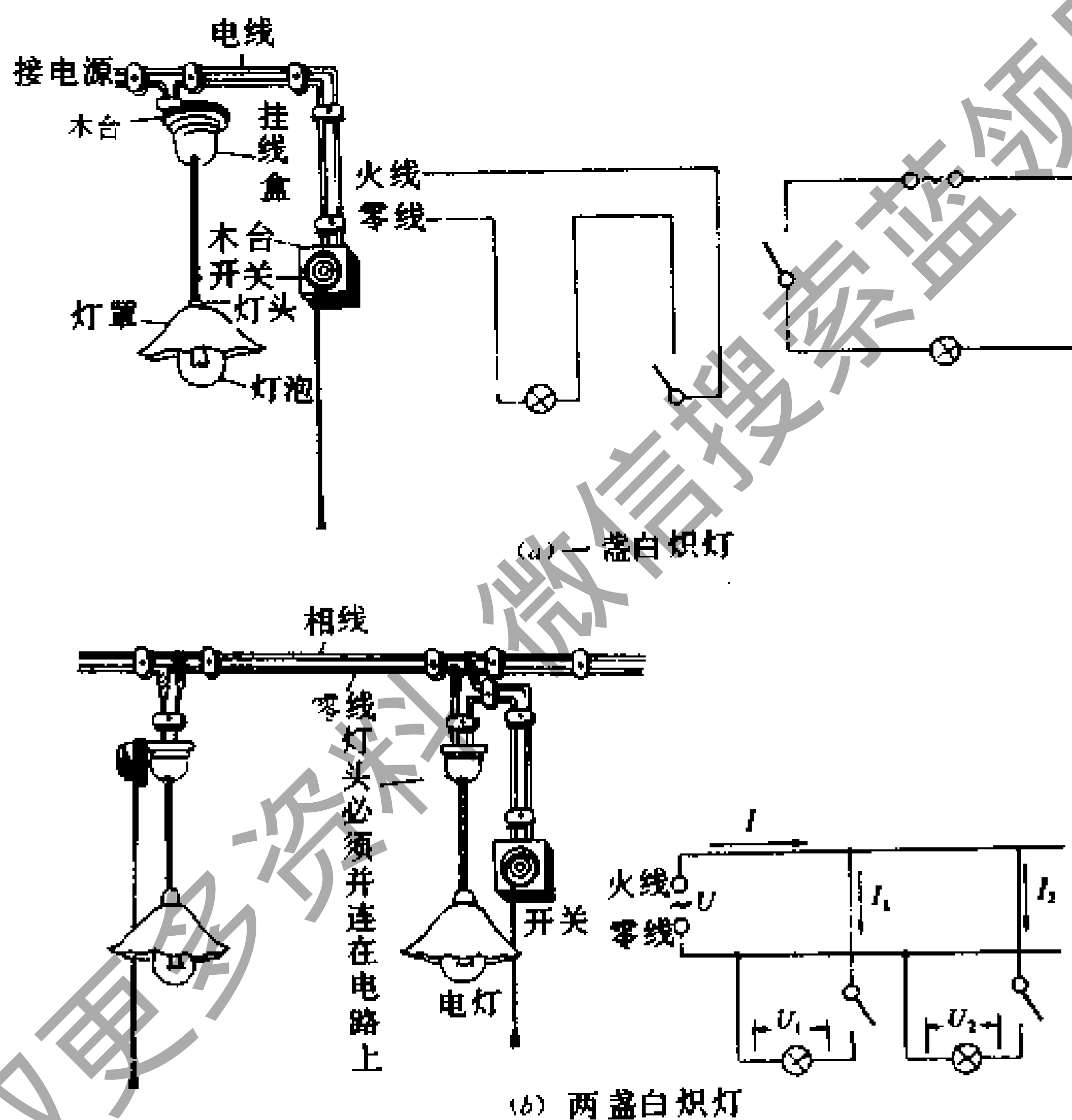


图 3-78 白炽灯的安装和电路图

安装白炽灯所需要的材料除灯头座、灯泡以外, 还需要挂线盒(或称吊线盒)、开关和电线。挂线盒分为一般挂线盒和带拉线开关盒两种。图 3-78 中的挂线盒是一般挂线盒, 额定电压为 250V, 额定电流为 3A。照明开关常用的有拉线开关和搬动开关(图 3-79)。因为拉线开关可以装在墙上较高的地方, 而且是借绳来操作的, 所以拉线开关比搬动开关安全。

安装电灯常用的电线有聚氯乙烯电线和橡皮绝缘线。表 3-22 列出各种导线型号及主要用途。选择导线时, 应根据负荷大小、导线的安全、电流和导线的机械强度来选择。各种绝缘导线的安全电流和允许接用负

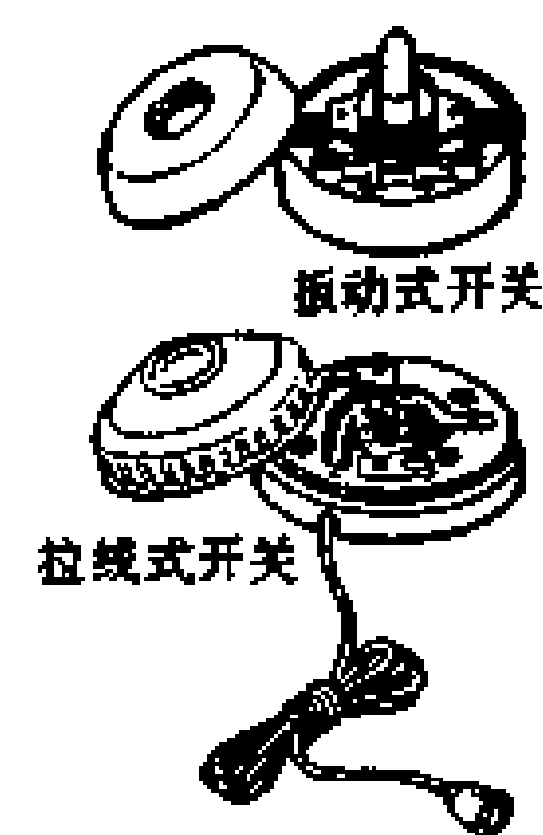


图 3-79 开关

荷瓦数见表 3—23。

表 3—22

常用导线的型号及主要用途

| 型号      | 名称               | 主要使用范围                                                  |
|---------|------------------|---------------------------------------------------------|
| BV—70   | 聚氯乙烯绝缘铜心线        | 用于交流额定电压 550V 及以下的电气设备和照明装置<br>其中 BVR 型软线适用于要求比较柔软电线的场合 |
| BVR—70  | 聚氯乙烯绝缘铜心软线       |                                                         |
| BLV—70  | 聚氯乙烯绝缘铝心线        |                                                         |
| BLVV—70 | 聚氯乙烯绝缘、聚氯乙烯护套铝心线 |                                                         |
| BVR—70  | 聚氯乙烯绝缘平行连接软线     | 用于交流额定电压 250V 及以下的移动式日用电器的连接                            |
| BVS—70  | 聚氯乙烯绝缘双绞连接软线     |                                                         |

表 3—23

各种绝缘导线的安全电流和允许接用负荷

| 导线种类             | 线心截面 (mm <sup>2</sup> ) | 根数及直径 (mm) | 安全电流 (明装) (A) | 允许接用负荷 (电压 220V) (W) |
|------------------|-------------------------|------------|---------------|----------------------|
| 铝<br>线           | 2.5                     | 1/1.76     | 12            | 2400                 |
|                  | 4.0                     | 1/2.24     | 19            | 3800                 |
|                  | 6.0                     | 1/2.73     | 27            | 5400                 |
|                  | 10.0                    | 7/1.33     | 46            | 9200                 |
| 铜<br>线           | 1.0                     | 1/1.12     | 6             | 1200                 |
|                  | 1.5                     | 1/1.37     | 10            | 2000                 |
|                  | 2.0                     | 1/1.60     | 12.5          | 2500                 |
|                  | 2.5                     | 1/1.76     | 15            | 3000                 |
|                  | 4.0                     | 1/2.24     | 25            | 5000                 |
|                  | 6.0                     | 1/2.73     | 35            | 7000                 |
|                  | 9.0                     | 7/1.25     | 53.7          | 10740                |
| 10.0             | 7/1.33                  | 60         | 12000         |                      |
| 铜<br>心<br>软<br>线 | 0.41                    | 14/0.19    | 2             | 400                  |
|                  | 0.67                    | 23/0.19    | 3             | 600                  |
|                  | 1.16                    | 40/0.19    | 5             | 1000                 |
|                  | 2.03                    | 70/0.19    | 10            | 2000                 |

注：上表所列导线为常用导线。

白炽灯的安装方法步骤如图 3—80、图 3—81 所示。

图 3—82 为一般拉线开关的安装步骤。

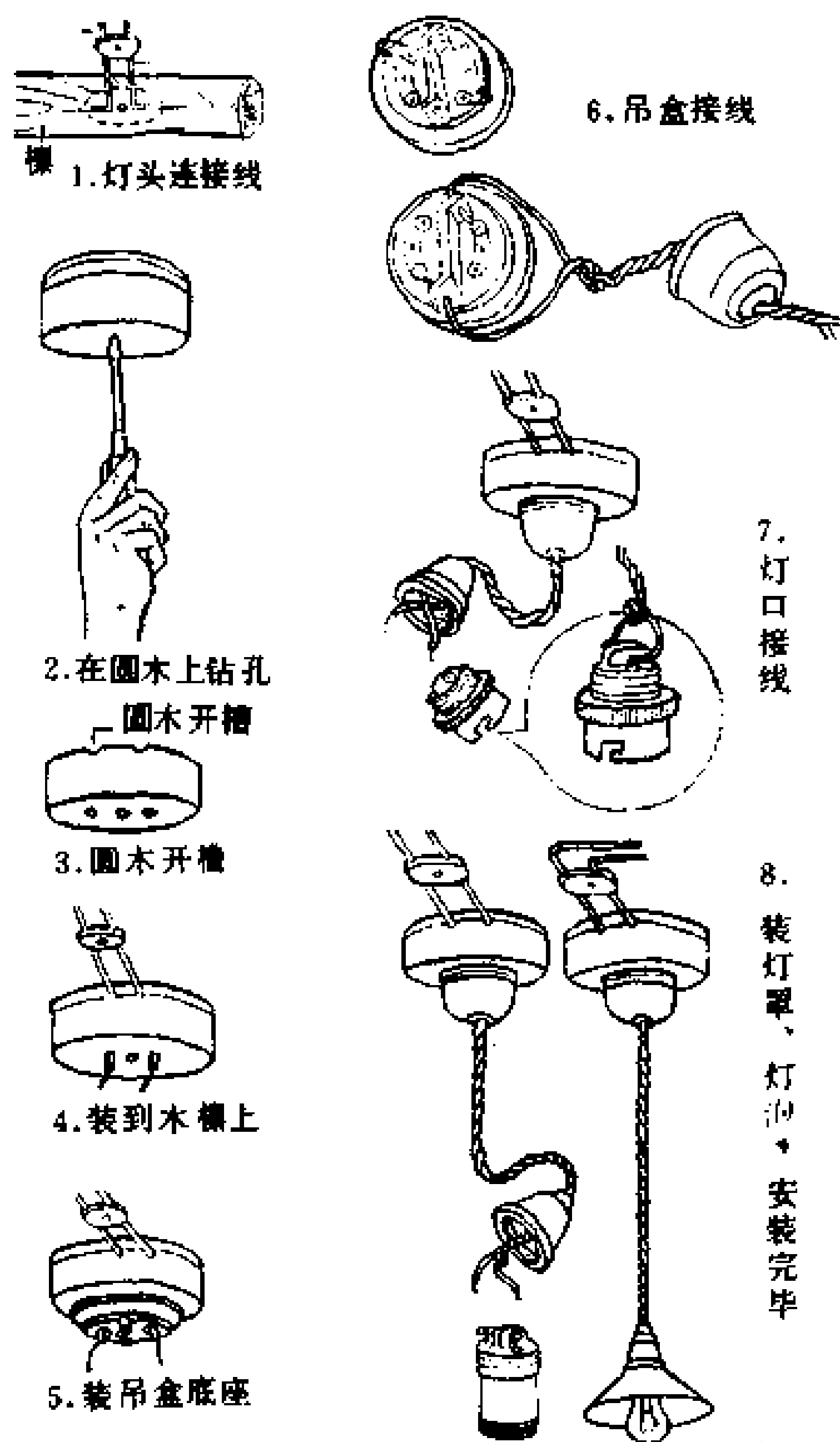


图 3—80 吊线灯的安装

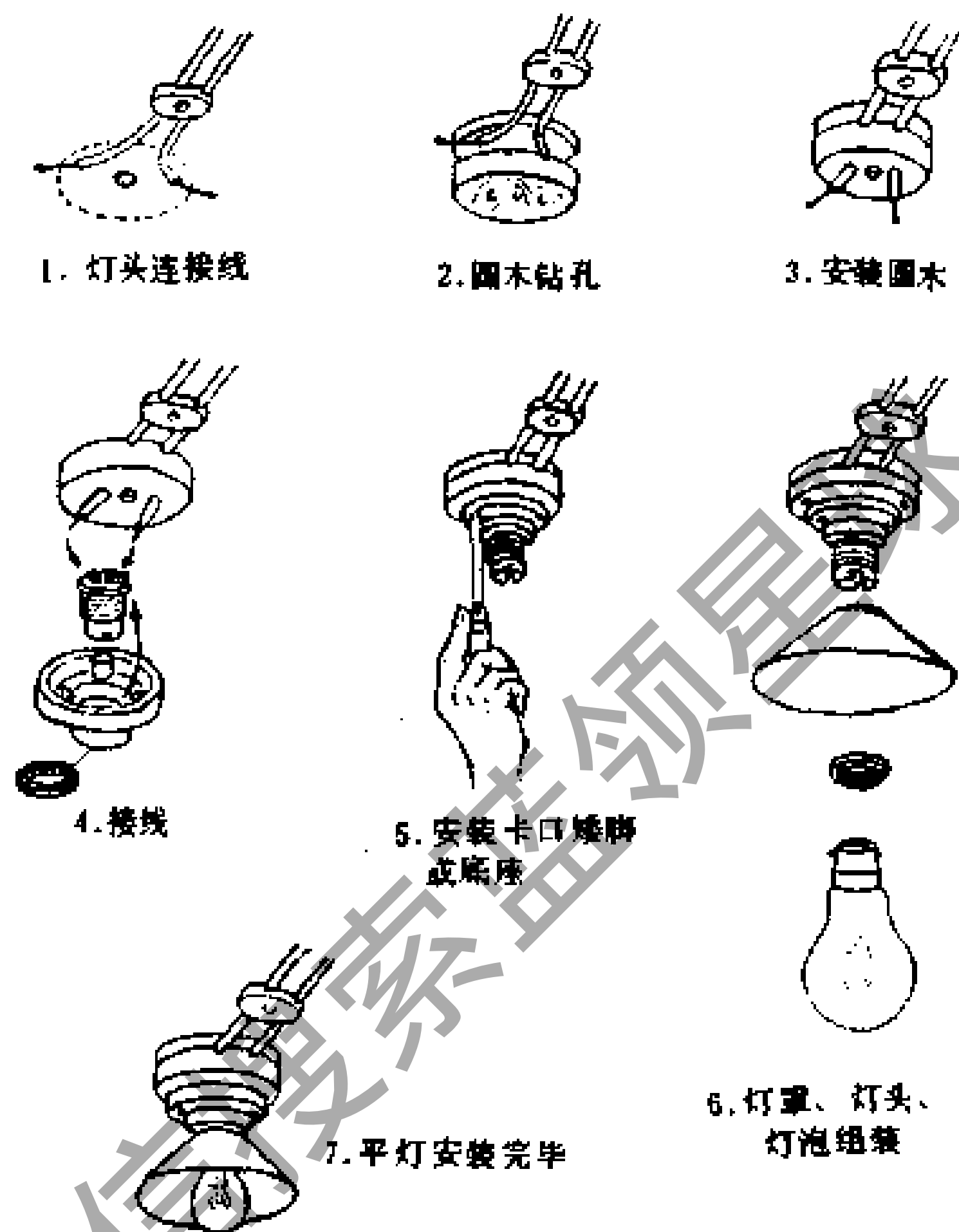


图 3—81 平灯头的安装

楼梯上、下，走廊两端以及一些房间内，需要在两个地方同时控制一盏灯，而互不影响，这时应选择双联开关，其接线如图 3—83 所示。

双联开关的结构与拉线开关不同，开关本身多了一个触片，在安装时两开关之间增加了一根导线。

白炽灯常见故障可按表 3—24 提供的方法检修。

表 3—24 白炽灯泡常见故障及检修方法

| 故障现象 | 原因                                                                           | 检修方法                                           |
|------|------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| 灯泡不亮 | 灯泡灯丝断                                                                        | 换新灯泡                                           |
|      | 电源保险丝未断情况下：<br>①灯泡灯头与灯座内接点未接触上<br>②灯座内或线路中有断线处                               | 切断电源检查：<br>①检查灯座内弹性接点是否失去弹性<br>②找到断线处，接通       |
| 灯泡不亮 | 电源保险丝烧断情况下：<br>①灯座内接线因灯座转动、扭动而短路<br>②灯座内两接触片相碰<br>③总用电量超过保险丝容量<br>④其他电器或线路短路 | ①、②修理灯座或换新灯座<br><br>③换用容量大些的保险丝<br>④检修短路电器或电源线 |

(续表)

| 故障现象   | 原因                           | 检修方法                 |
|--------|------------------------------|----------------------|
| 灯泡忽亮忽暗 | ①灯座、开关等接点松动<br>②保险丝座未插紧，接触不好 | ①把松动处紧密联接<br>②插紧保险丝  |
| 灯光暗淡   | ①电源电压过低<br>②电源电压与灯泡电压不符      | ①待电压升高<br>②更换相应电压的灯泡 |
| 灯光强烈   | ①电源电压过高<br>②电源电压与灯泡电压不符      | ①待电压降低<br>②更换相应电压的灯泡 |
| 灯泡内冒白烟 | 灯泡漏气                         | 换新灯泡                 |

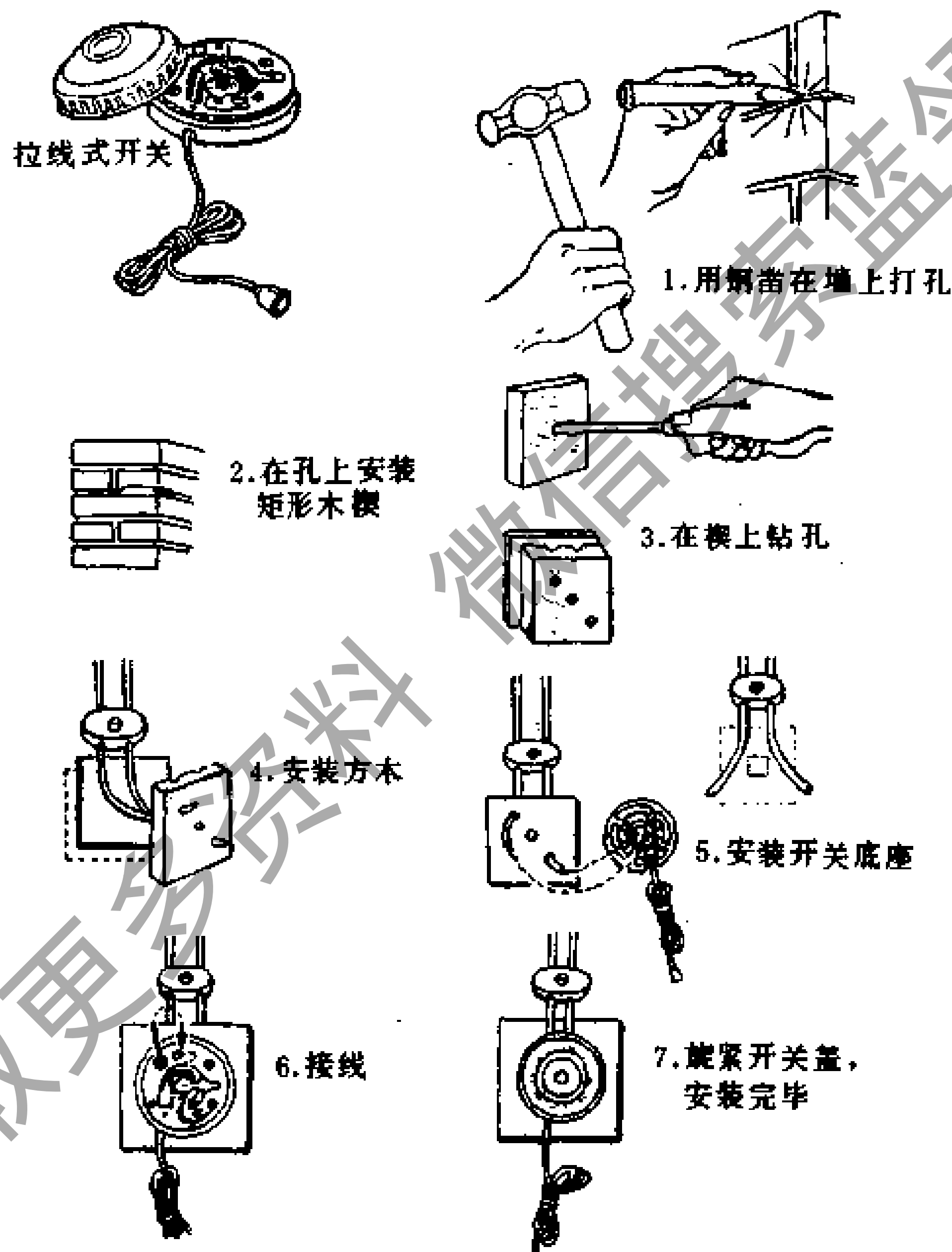


图 3—82 拉线开关的安装

## 二、日光灯

### 1. 日光灯的结构

日光灯又叫荧光灯，由灯管、启动器和镇流器 3 部分组成。

灯管由灯头、灯丝和玻璃管组成（图 3—84），管内充有水银和惰性气体（氙气），管壁涂有荧光粉。

启动器也称巧克。在圆柱形的铝壳内，装着微型电容器和双金属片，其构造如图 3—

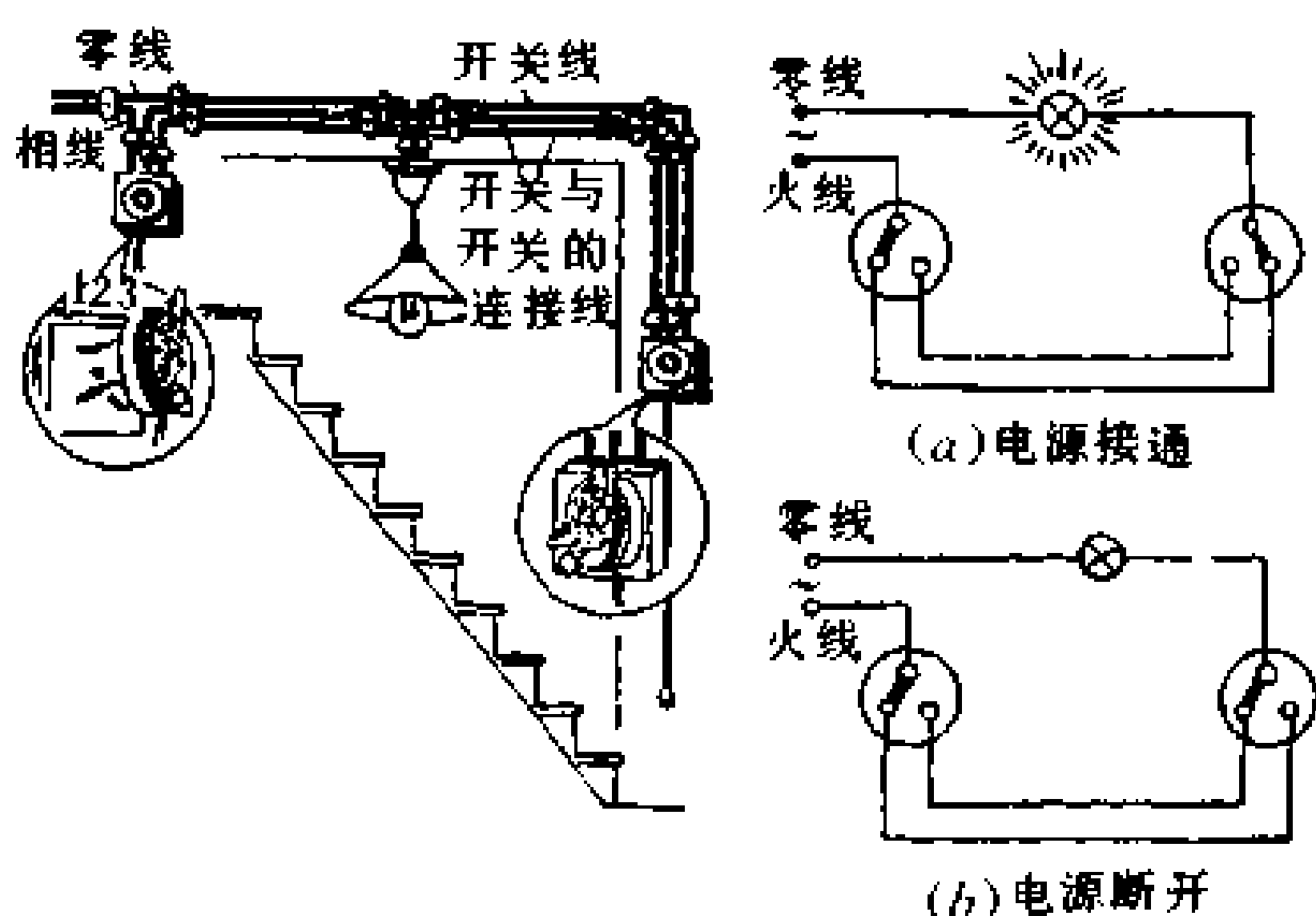


图 3—83 双联开关的安装接线图

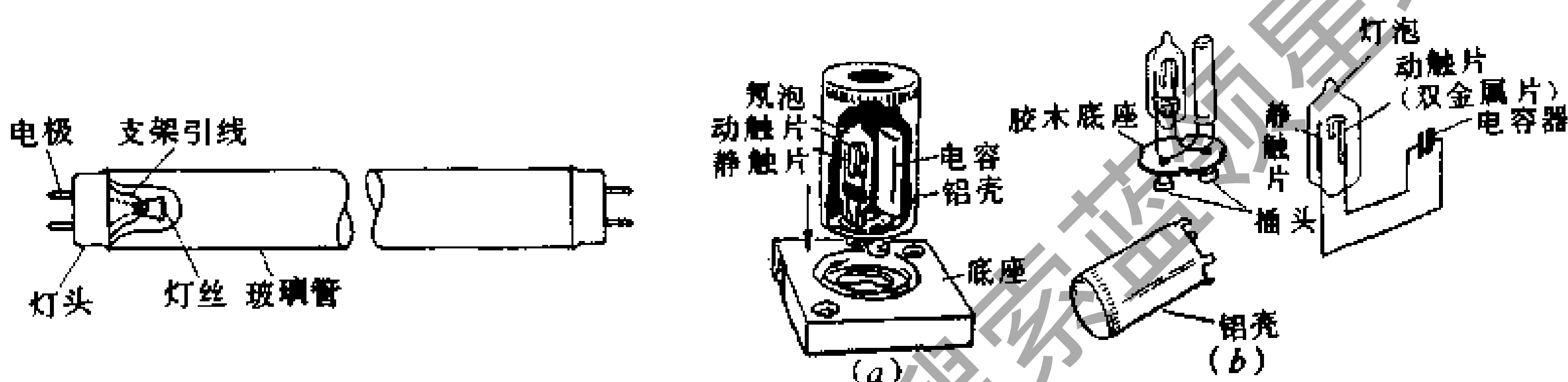


图 3—84 日光灯的结构

图 3—85 启动器

(a) 安装、结构图 (b) 解剖图

85 所示。双金属片和静触片置于氖泡内，电流通过时，双金属片因受热而展伸和弯曲，使电源接通和断开。微型电容器的作用是消除日光灯对收音机的干扰。

镇流器也叫限流器，主要由铁心和线圈组成（图 3—86）。它的作用是：在日光灯启动时，产生较高的自感电势，使灯管点燃；在正常工作时，限制灯管中的电流。

### 2. 日光灯的工作原理

日光灯的工作原理，如图 3—87 所示。接通电源以后，电压加在双金属片和静触片之间，从而产生辉光放电。放电时所产生的热量，使双金属片膨胀展伸，与静触片连通。此时，灯丝上有电流通过，开始升温预热，使灯管内的氩气游离、水银汽化。在双金属片与静触片连通后，辉光放电停止，双金属片开始冷却收缩，并脱离静触片恢复原状。就在离开静触片的一瞬间，因电路突然断电，镇流器内产生了较高的自感电势，灯管两极（灯丝）间的电压突然增大，使灯管内的氩气和水银蒸气产生电离放电现象，形成眼睛看不见的紫外线。紫外线又激发管壁的荧光粉，发出日光似的亮光，因此称为日光灯。

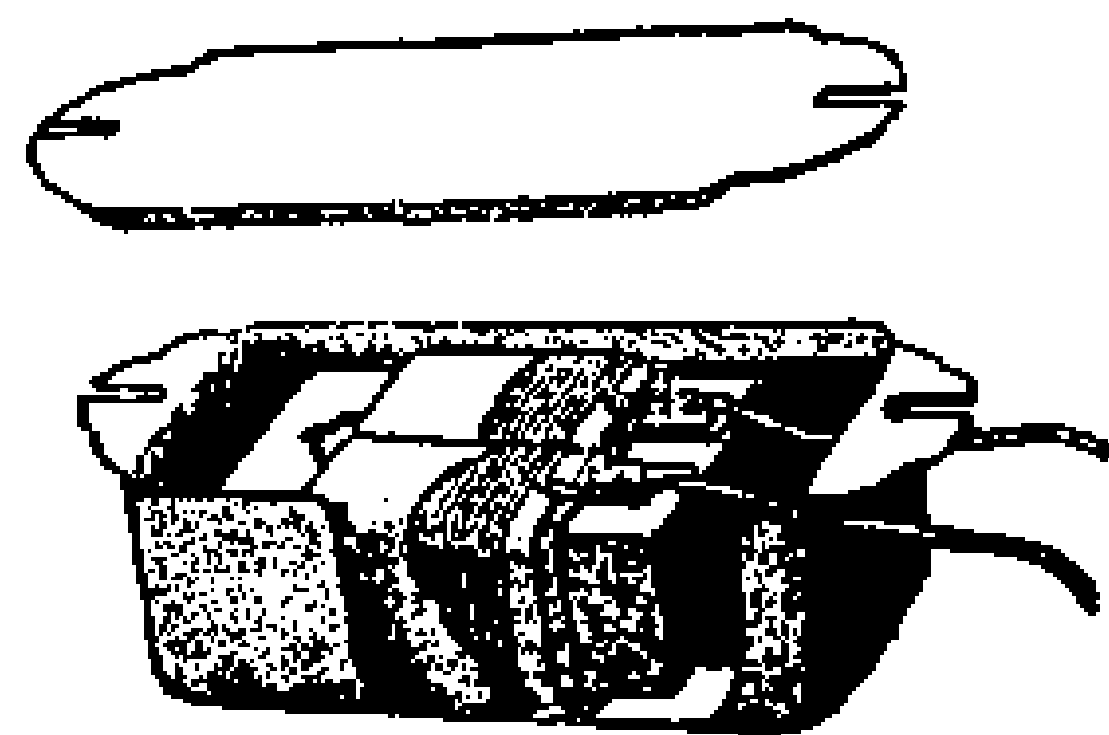


图 3—86 镇流器

灯管点燃后，电压总是加在灯管的两端，所以维持气体放电状态，使灯管连续发光。输入荧光灯管中的电能，有 20% 左右转化为光能。因此，日光灯的发光效率较白炽灯高。由于在日光灯电路中接入了具有电感性质的镇流器，所以它的功率因数较低，为 0.5 左右。为了改善功率因数，有的日光灯电路中并联一只相应的电容器。

### 3. 安装日光灯的注意事项

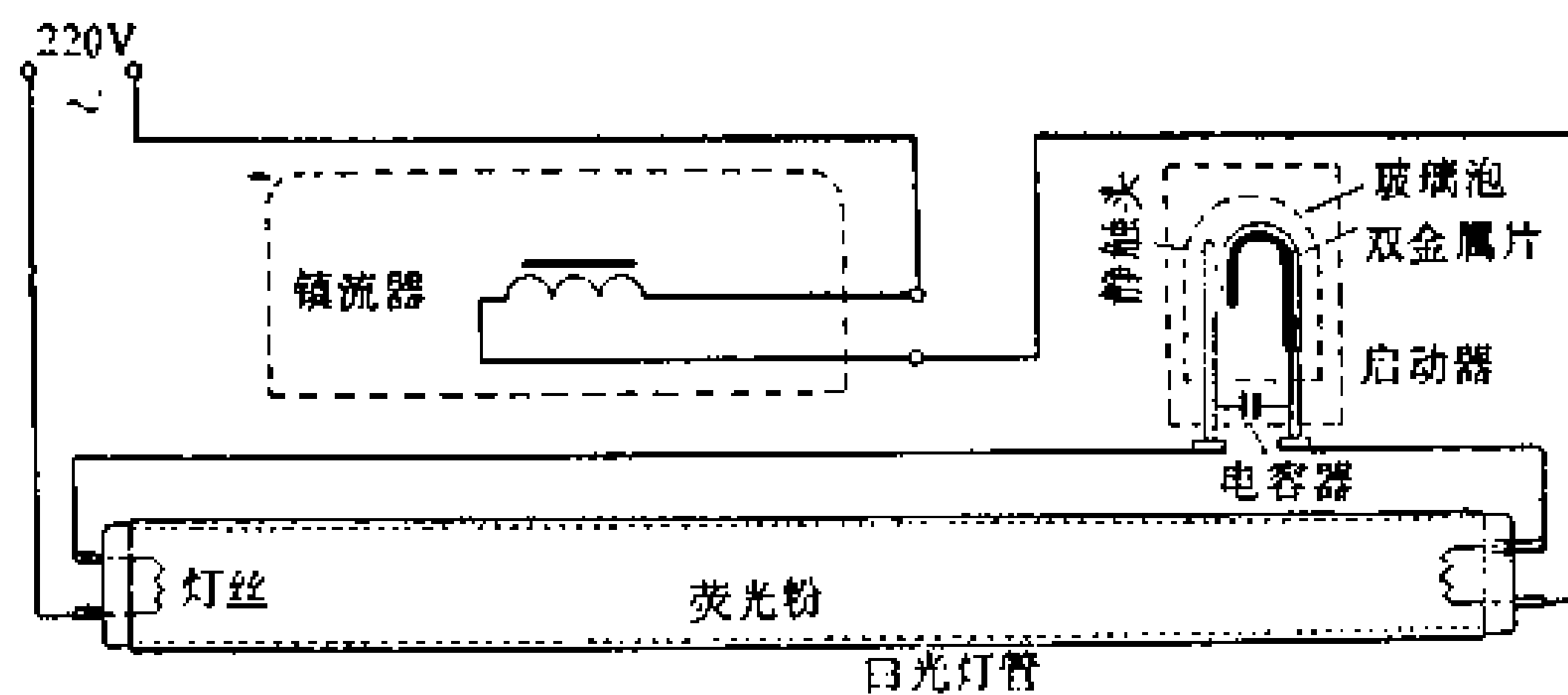


图 3—87 日光灯的工作原理

日光灯的安装，如图 3—88 所示。

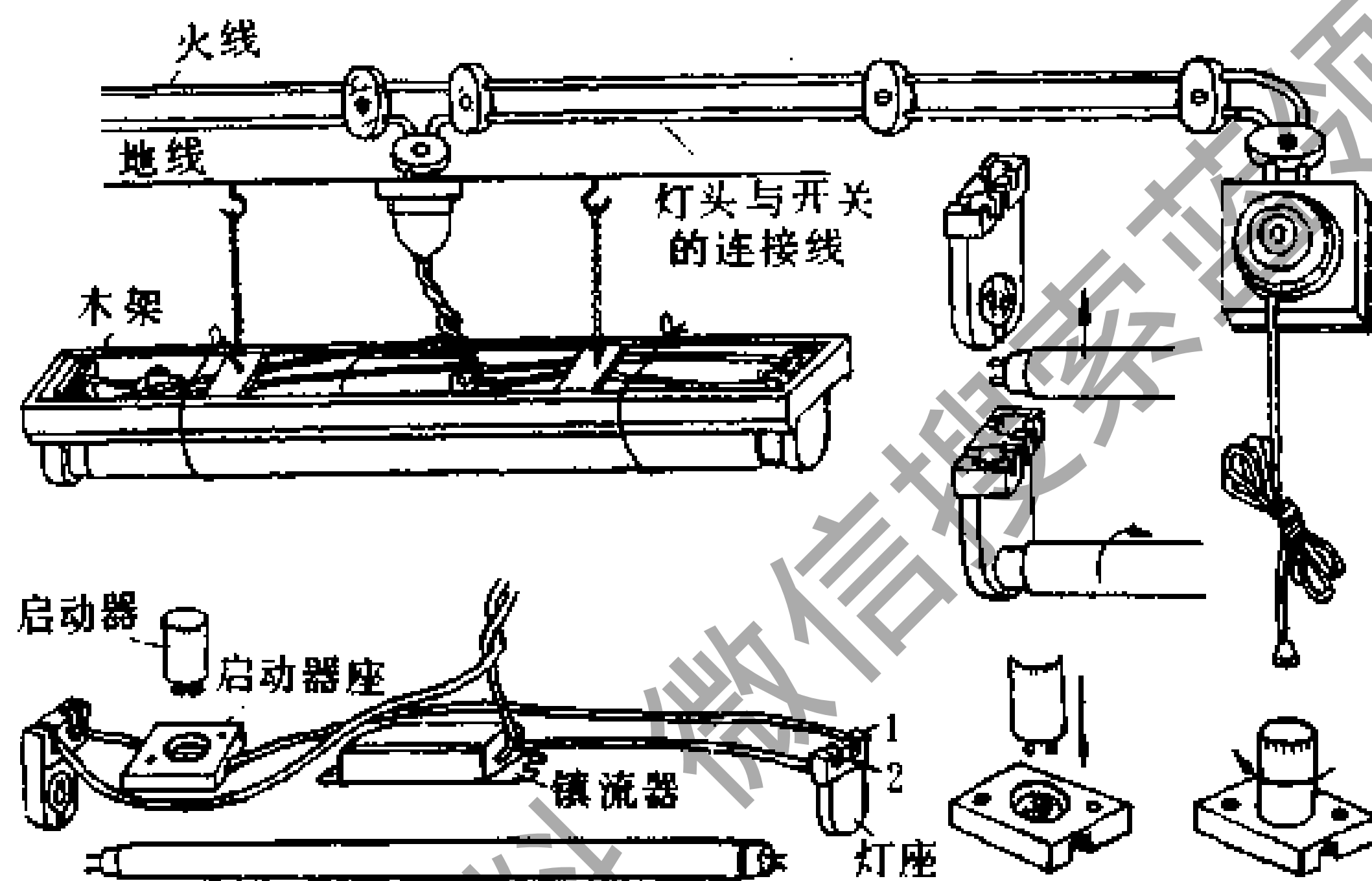


图 3—88 日光灯的安装

安装日光灯时，应注意以下几点：

- (1) 选用的镇流器必须与电源的电压、灯管的瓦数相配合，不然会损坏灯管或镇流器。镇流器比较重，又是发热体，要装在灯架中间。
  - (2) 启动器的规格应根据灯管的瓦数而定，并装在灯架上便于检修的位置。
  - (3) 注意防止灯座松动而使灯管跌落，最好采用弹簧灯座，或者把灯管与灯架扎牢。
- 日光灯的常见故障可参照表 3—25 给出的检修方法检修。

表 3—25 日光灯常见故障及检修方法

| 故障现象 | 原因    | 检修方法                        |
|------|-------|-----------------------------|
| 灯管不亮 | 灯丝断   | 换新灯管                        |
|      | 启动器损坏 | 换启动器                        |
|      | 接触不良  | ①转动灯管并压紧灯座<br>②转动启动器，使之接触良好 |



(续表)

| 故障现象        | 原因                         | 检修方法                      |
|-------------|----------------------------|---------------------------|
| 灯管两端发红      | ①启动器中的电容击穿短路<br>②灯管已接近使用寿命 | ①拆去启动器中的电容或换新启动器<br>②换新灯管 |
| 灯管发光后立即熄灭   | 接线错误, 烧断灯丝                 | 检查接线                      |
| 灯亮后灯光旋转(打滚) | 新灯管暂时现象                    | 一般开关几次即可消失                |
| 灯光闪烁时亮时暗    | 灯管已接近使用寿命或管的质量不好           | 换新灯管                      |
| 灯亮后“嗡嗡”声大   | 镇流器质量差                     | 换新镇流器                     |
| 镇流器过热       | ①通风散热不好<br>②线圈匝间短路         | ①加强通风散热<br>②换新镇流器         |
| 关掉开关灯发微光    | ①荧光粉余辉发光<br>②火线直接接灯丝       | ①不影响使用<br>②火线接开关          |

#### 4. 日光灯的几种代用电路

(1) 用电阻、电容代替日光灯镇流器: 日光灯镇流器可以用电阻和电容器代替, 具体接线如图 3—89 所示。图中所用电阻  $R$ 、电容  $C$  的数值由日光灯的电压和瓦数确定, 见表 3—26。

表 3—26

电阻  $R$ 、电容  $C$  的数值

| 日光灯功率 (W) | 电 容 ( $\mu\text{F}$ ) | 电 阻 ( $\Omega$ ) |
|-----------|-----------------------|------------------|
| 8         | 2                     | 200              |
| 15        | 3                     | 400              |
| 20        | 4.75~5                | 100              |
| 30        | 8                     | 400              |
| 40        | 13                    | 100              |

电源电压为 220V 时, 电容器的耐压值在 400V 以上。

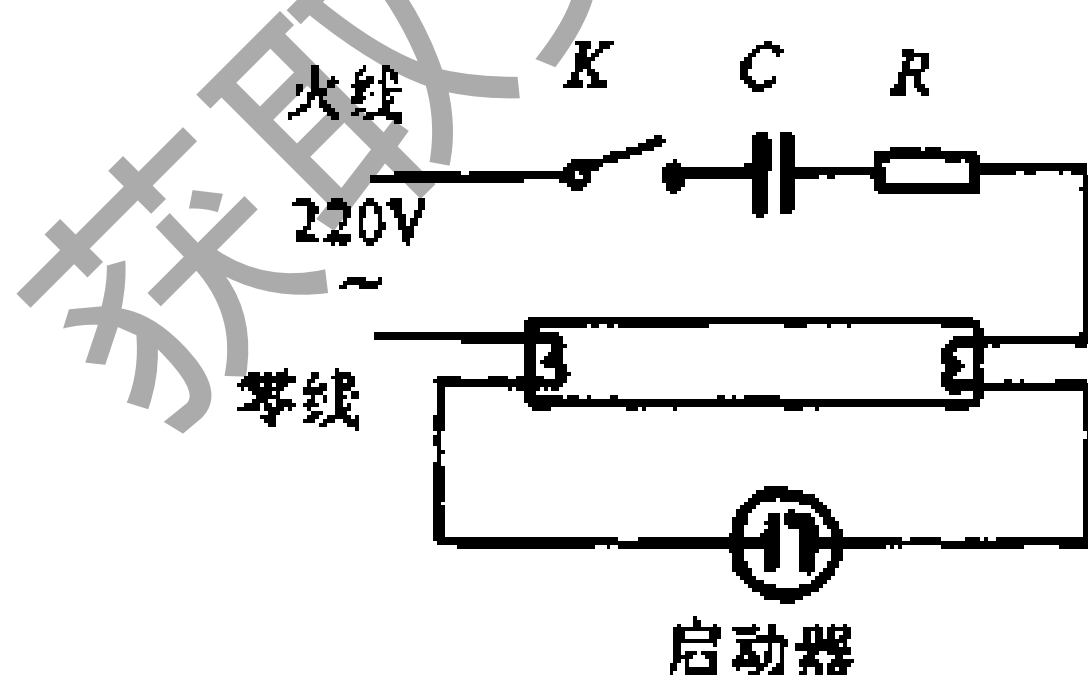
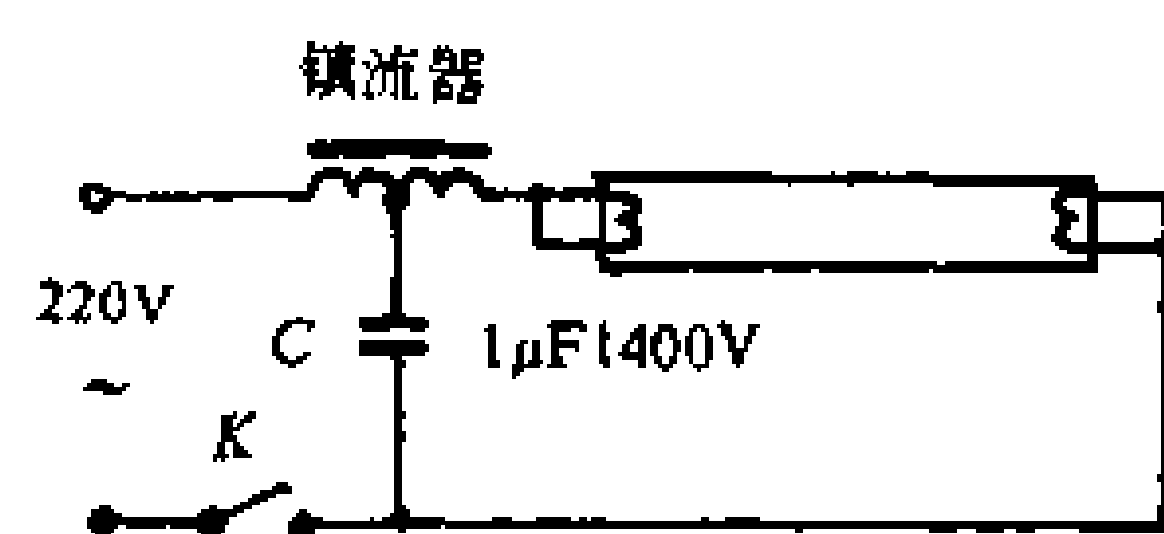
图 3—89 用  $R$ 、 $C$  代替镇流器

图 3—90 直接点燃日光灯电路

(2) 直接点燃日光灯的电路: 从日光灯镇流器两个线圈中间引出一个抽头, 再按图 3—90 所示电路安好后, 接通电源, 日光灯就会亮起来。这种电路省掉一个启动器, 而且灯管不会出现闪烁现象, 能延长使用寿命, 不会出现烧毁问题。即使灯丝已烧断的灯管, 只要不漏气, 按图示接法仍然能够正常使用。

(3) 日光灯电子启动器：日光灯因镇流器不同，接线方式通常有两种，如图 3—91 所示。如果把图 3—91 中 A、B 两点（启动器插座接点）之间的启动器去掉，插上图 3—92 (a) 所示的电子启动器。那么，不论是在电网电压低至 170V，还是在严冬气温低于 -15℃ 时，都能保证在接通电源开关后 1.2s 内一次起燃。

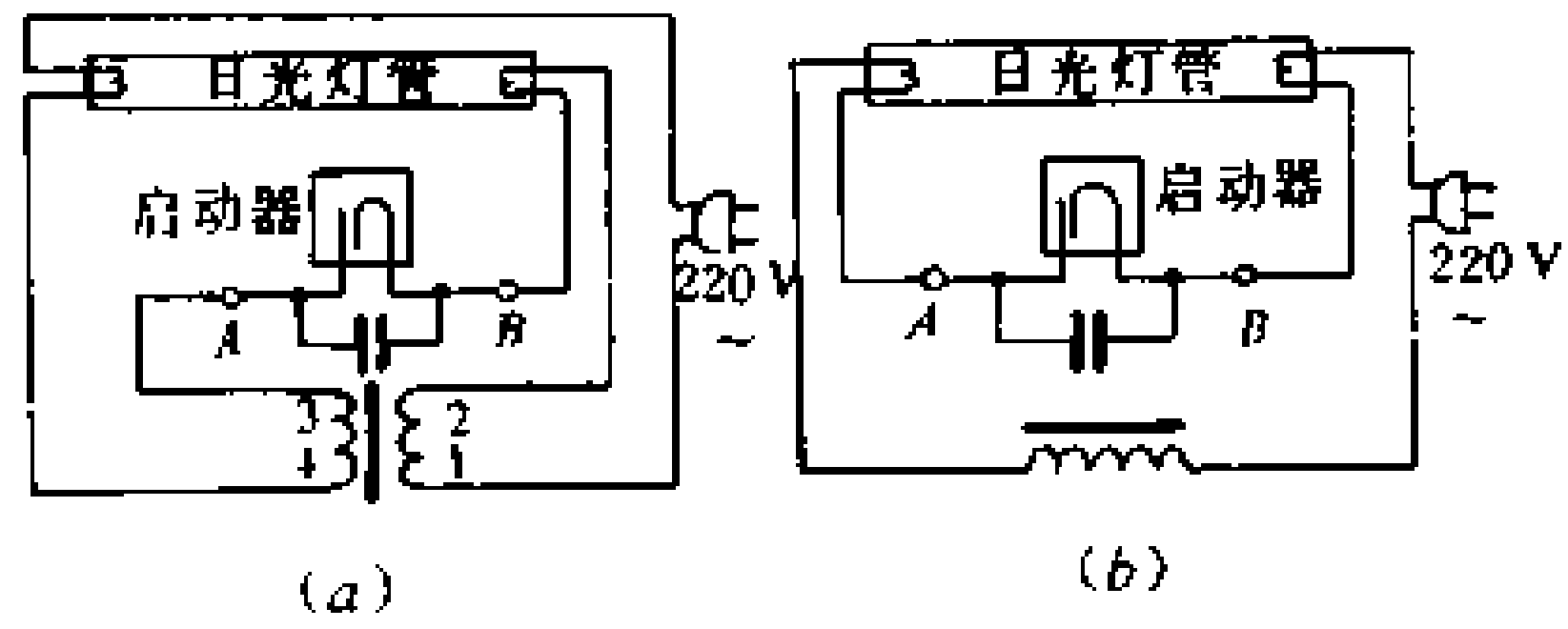


图 3—91 不同镇流器的接线方式

(a) 新型镇流器（回头） (b) 一般镇流器安装的日光灯

电子启动器的结构很简单，除了原有的启动器之外，还有一只起整流作用的二极管  $D$  和一个保护二级管用的阻容吸收电路。交流电经二极管整流后成为脉冲直流电，使灯管能稳定加热 1~2s，氛泡动、静触点瞬间断开时，灯管立即起燃，克服了原来电路有时一次不易起燃而发生多次闪烁影响灯管寿命的缺点。

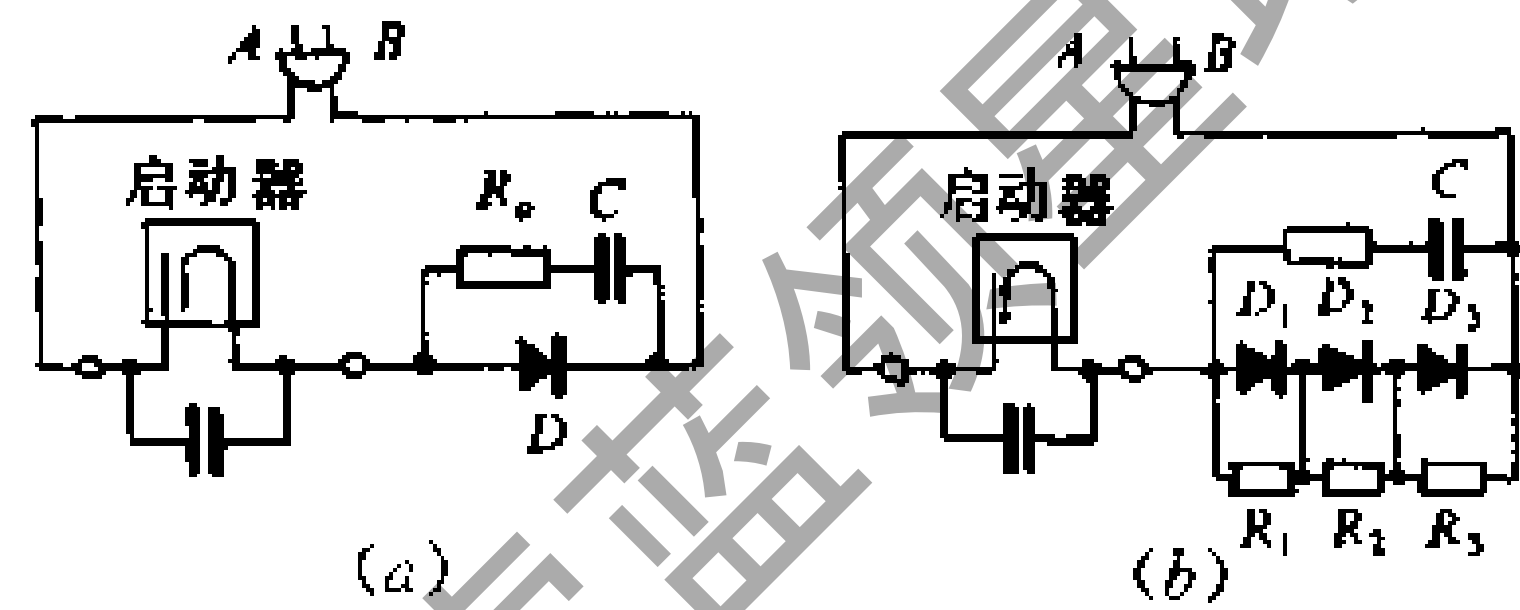


图 3—92 电子启动器

(a) 1 只二极管 (b) 3 只二极管

图 3—92 (a) 中所示的电子启动器用的二极管，根据灯管瓦数选择，见表 3—27。图中  $R_0$  为 20~40Ω，用 1/4W 电阻； $C$  为 0.1μF，耐压 400V。

表 3—27

各种日光灯电子启动器用的整流二极管

| 灯管功率 (W) | 起动电流 (mA) | 整流二极管型号                            | 满足以下参数者均可选用 |              |
|----------|-----------|------------------------------------|-------------|--------------|
|          |           |                                    | 最大整流电流 (mA) | 最大反向工作电压 (V) |
| 6        | 180±20    | 2CP3~2CP4<br>2CP 23~2CP 27         | ≥200        | ≥300         |
| 8        | 200±20    | 2CP 31F~2CP 31I<br>2CP 32F~2CP 32I | ≥220        | ≥300         |
| 15       | 440±30    | 2CP 33F~2CP 33I                    | ≥470        | ≥300         |
| 20       | 500±30    |                                    | ≥530        | ≥300         |
| 30       | 560±30    | 2DG 115~2DG 117<br>2CZ 11C~2CZ 11J | ≥590        | ≥300         |
| 40       | 650±30    | 2CZ 12D~2CZ 12K                    | ≥680        | ≥300         |

如果手头没有最大反向工作电压 ≥300V 的整流二极管，可按图 3—92 (b) 的电路，采用二极管串联起来使用的方法，来提高耐压值。用 3 只耐压 100V 的整流二极管  $D_1$ ~ $D_3$  (如 8W 灯管可用 3 只 2CP1 或 3 只 2CP21)，均压电阻  $R_1$ ~ $R_3$  可用 3 只相同的 100~200kΩ 的 0.25W 电阻。

(4) 用一只镇流器点两根日光灯：对于双管、三管以至多管的壁灯或吊灯来说，一根灯管用一只镇流器是不经济的，采用下列结构可实现一只镇流器点两根日光灯。一种

办法是采用新型的启动器“S”（俗称双跳泡）。该启动器的原理如图 3—93 所示。图中，1、4 是由双金属片制成的活动电极，2、3 为固定电极。启动前电压施加在 1、4 电极间，通过辉光放电使双金属片受热并弯向中间。于是，电极 1 与 2、3 与 4 分别导通而预热灯丝（电极 1、4 不直接接触）。当双金属片冷却恢复时，日光灯即启动点燃。采用新型启动器、用一只镇流器点两根日光灯管的电路接线如图 3—94 所示。

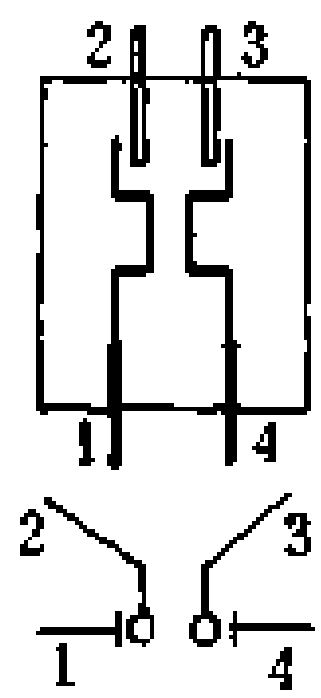


图 3—93 新型启动器原理图

如果没有新型启动器，也可用琴键开关来实施双管电路〔图 3—95 (a)〕。图中的  $K'$  即为附在琴键开关  $K$  上的手控触片。点灯时先使  $K'$  接通，当灯 1 点燃后再断开  $K'$ ，灯 2 也随即点燃。

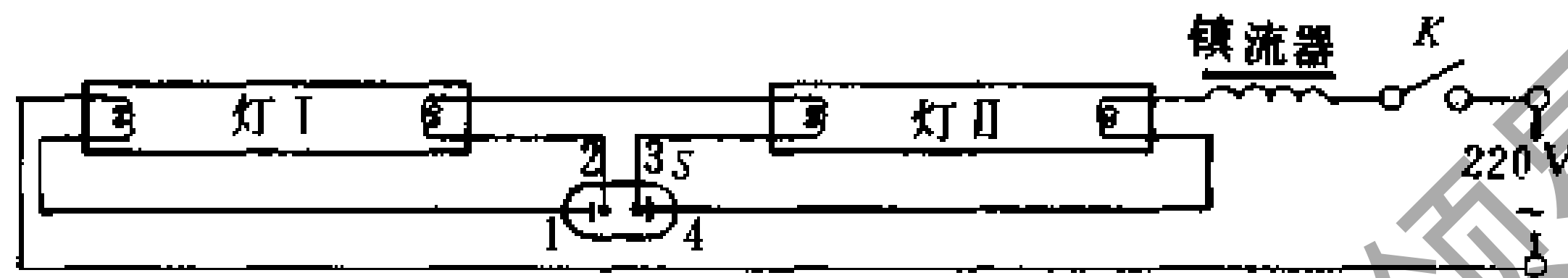


图 3—94 新型启动器的应用接线

如果在双管电路上配上特制的镇流器并增加一只开关，还可以获得调光的功能，如图 3—95 (b) 所示。

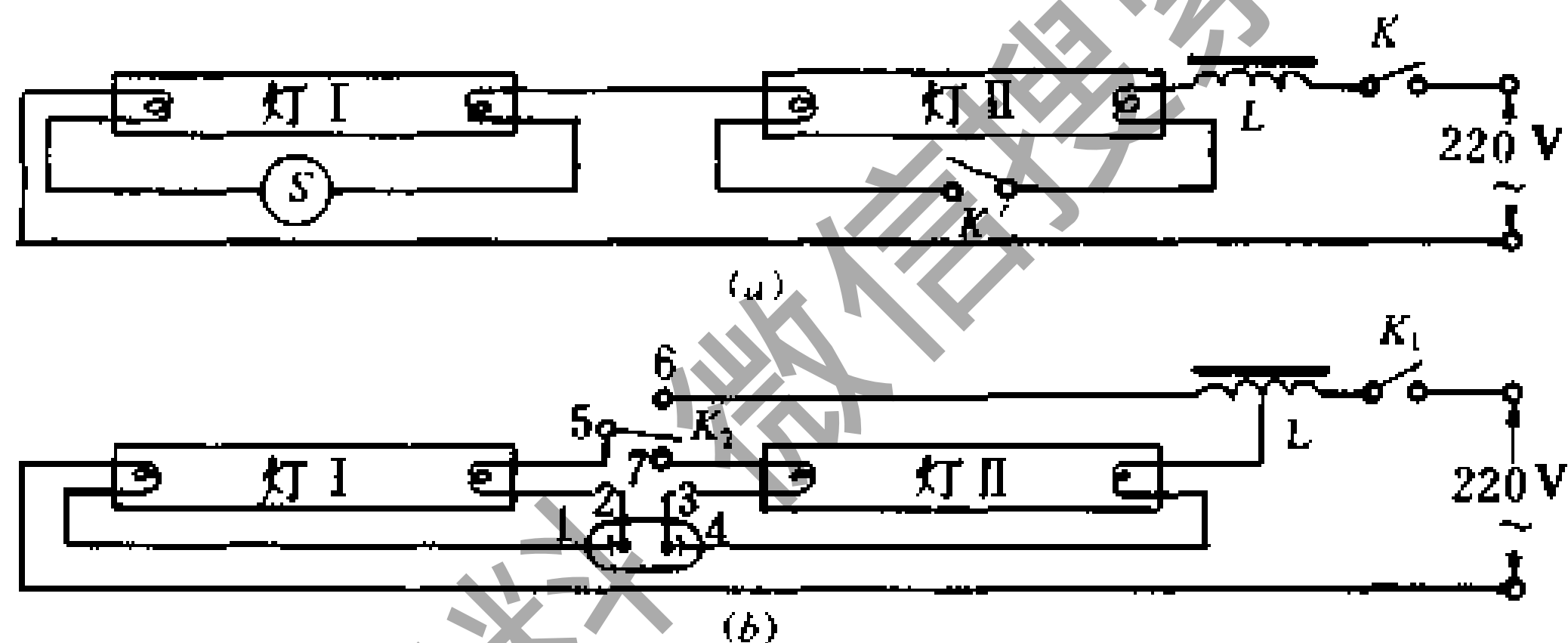


图 3—95 双管电路

(5) 日光灯的节电调光电路：为了使房间布置得美观大方，经济实用，达到节电和调光的目的，可按图 3—96 所示安装日光灯。

图中， $L_1$  是 8W 镇流器， $L_2$  是 30W 镇流器，日光灯管是 30W 的灯管。

在图 3—96 (a) 中，当开关  $K$  置 1 时，灯灭； $K$  置 2 时，灯亮并且相当 30W 的亮度； $K$  置 3 时，灯亮并且相当 8W 的亮度。

在图 3—96 (b) 中，当开关  $K$  置 1 时，灯灭； $K$  置 2 时，灯亮并相当于 30W 的亮度； $K$  置 3 时，灯亮并且相当于 12W 的亮度。

如果  $L_2$  改为 40W 的镇流器，日光灯管相应地改用 40W 的灯管。

使用此电路时应注意：必须先将  $K$  置于 2 位置，待日光灯管正常发亮后，再迅速将  $K$  置于 3 位置上进行调光。否则，日光灯管将不能被足够大的反电势激发而正常发光。

### 三、高压水银灯

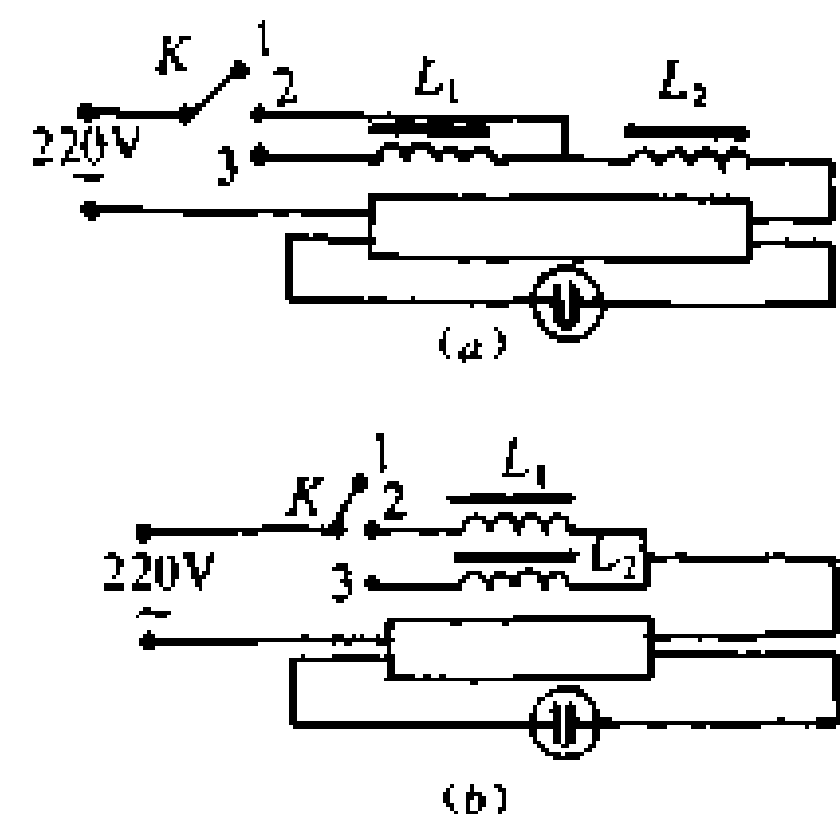


图 3—96 节电调光电路

高压水银灯分为镇流式和自镇式两种，具有发光强、省电、耐用等优点，在公共场所多被采用。

### 1. 镇流式高压水银灯

镇流式高压水银灯分为灯泡和镇流器两部分。灯泡由内外两层充有水银和惰性气体的玻璃壳构成。镇流器由铁心和线圈构成。其构造和接线如图 3—97 所示。电源加在主电极与启动电极之间。因为电极 3 和 4 靠得很近，接通电源时这两极间产生辉光放电，使管内温度上升。当温度升到一定值时，就在两个主电极之间发生弧光放电。随着弧光放电发生，使水银逐渐汽化，灯泡逐渐达到稳定工作。主电极间的弧光放电，产生可见光与紫外线，紫外线激发玻璃壳内的荧光粉，发出近似日光的光线。

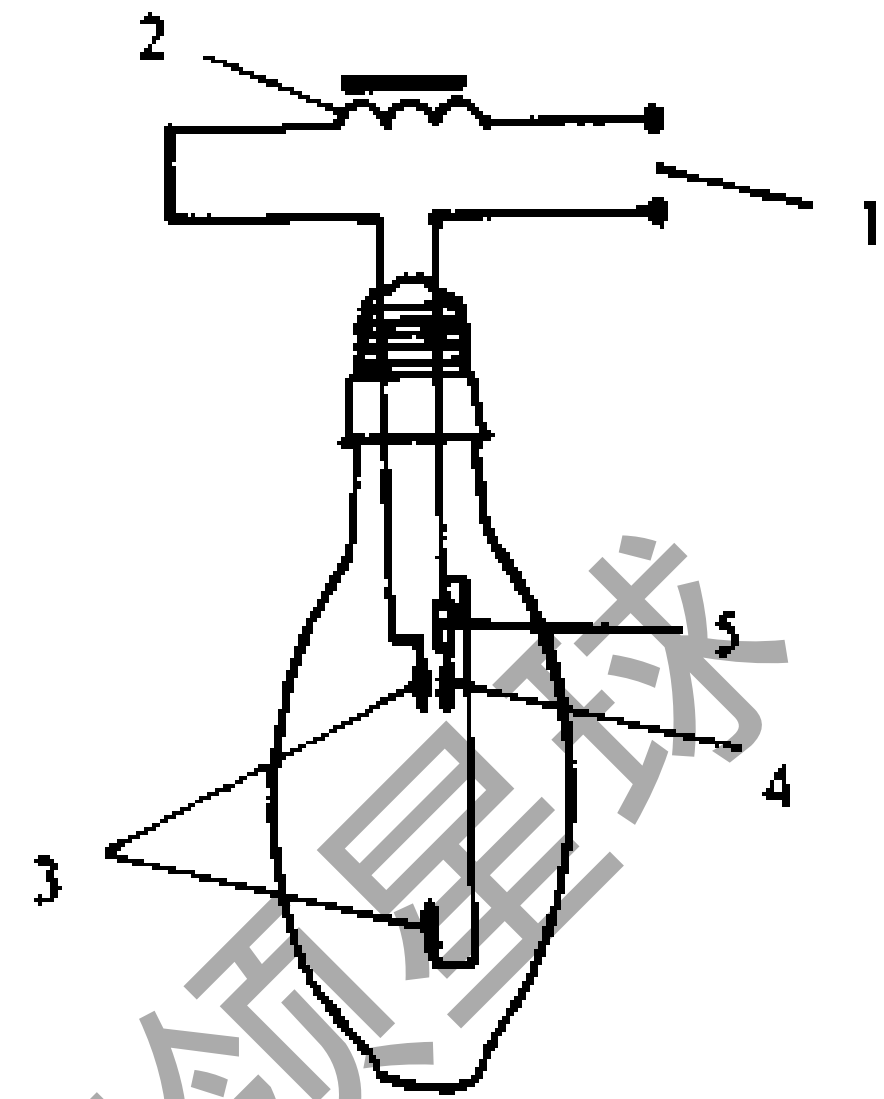


图 3—97 镇流器式高压水银灯接线

1—电源 2—镇流器 3—主电极 4—启动电极 5—电阻

因为在启动电极上串联一个电阻，并由于主电极放电后在镇流器上产生电压降，使启动电极与相邻的主电极间的电压不足以产生辉光放电，灯泡点燃后，启动电极就停止工作。

灯泡工作时，由于内管的水银蒸气压力很高，故称为高压水银灯。使用高压水银灯应注意：灯泡熄灭之后，需要冷却一段时间（5~10min），待管内的水银蒸气压力降低后，才可以再次启动，以防止损坏灯泡。

### 2. 自镇式高压水银灯

自镇式高压水银灯和镇流器式高压水银灯的灯泡外形相同，工作原理也基本相同，所不同的是自镇式高压水银灯不用镇流器（用白炽体代替）。这种灯泡是利用放电管、白炽体（钨丝）和荧光粉 3 种发光要素同时发光所制成的复合光源。

这种灯的光色好，安装和白炽灯一样，但不耐震。

## 四、碘钨灯

碘钨灯的灯管是石英玻璃管，管中装着灯丝（图 3—98）。灯管里有碘，碘和灯丝的钨起化学变化以后，可以使灯丝的温度升高，发出的光比较强。

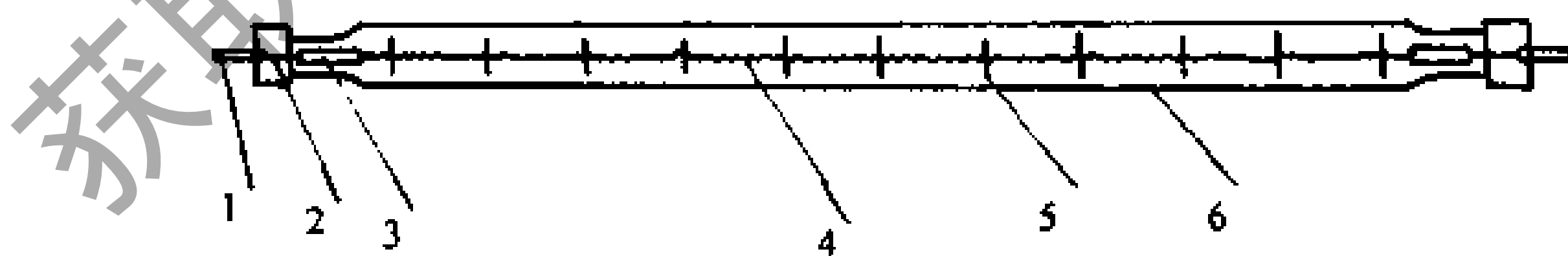


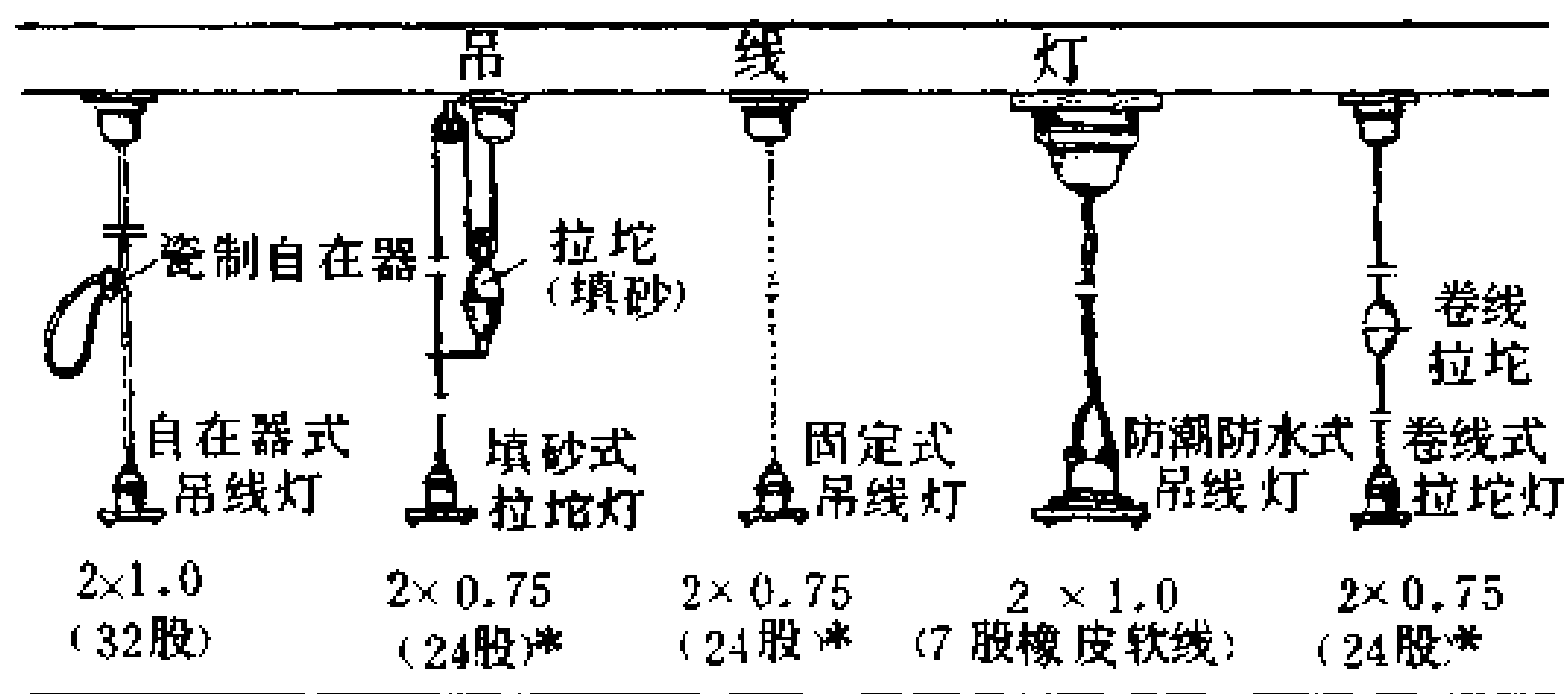
图 3—98 碘钨灯

1—电极 2—铅棒 3—铅片 4—钨丝 5—钨丝支架 6—石英玻璃管

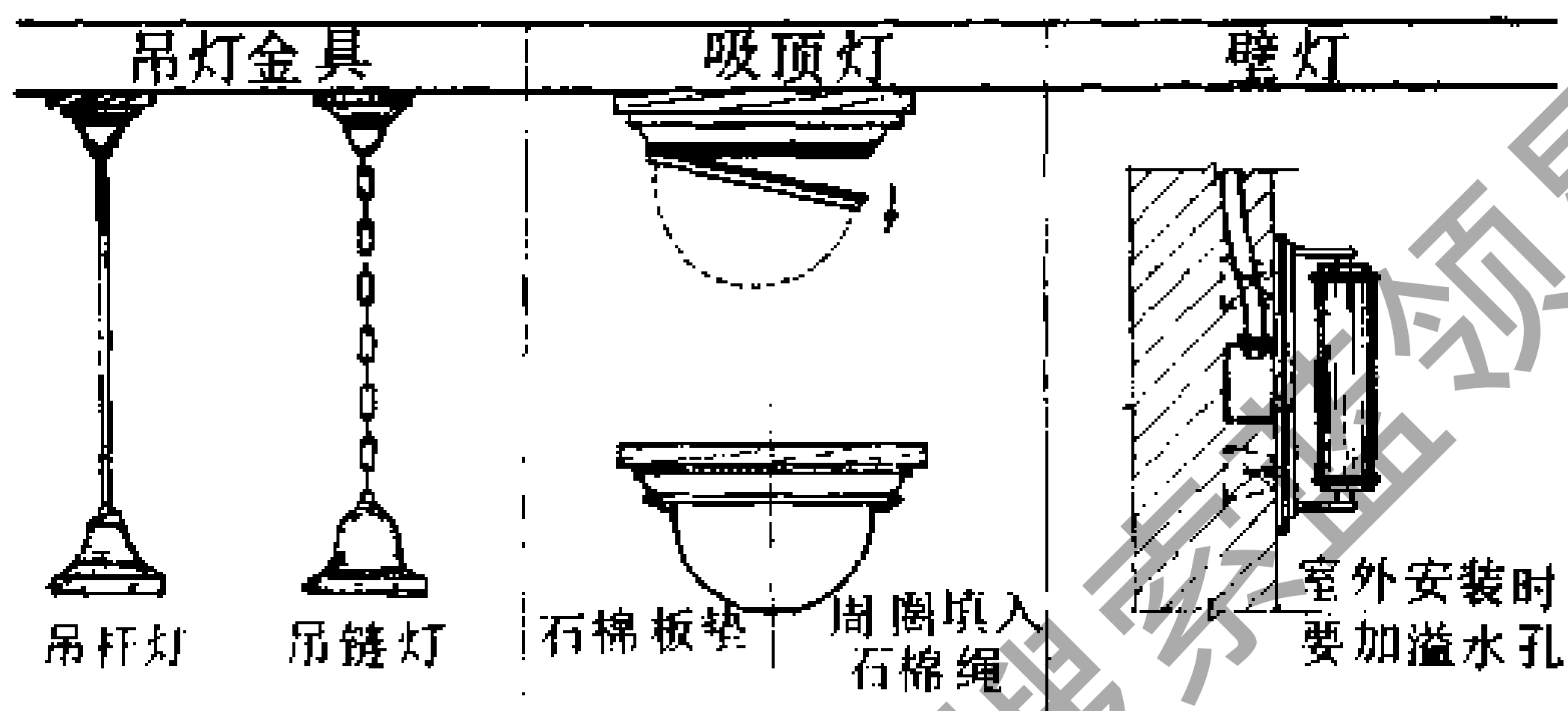
碘钨灯应水平安装。由于灯管温度比较高（500~700℃），在灯管附近不要放置易燃物，在易燃物附近不要安装碘钨灯。

## 五、常用灯具安装形式及图样

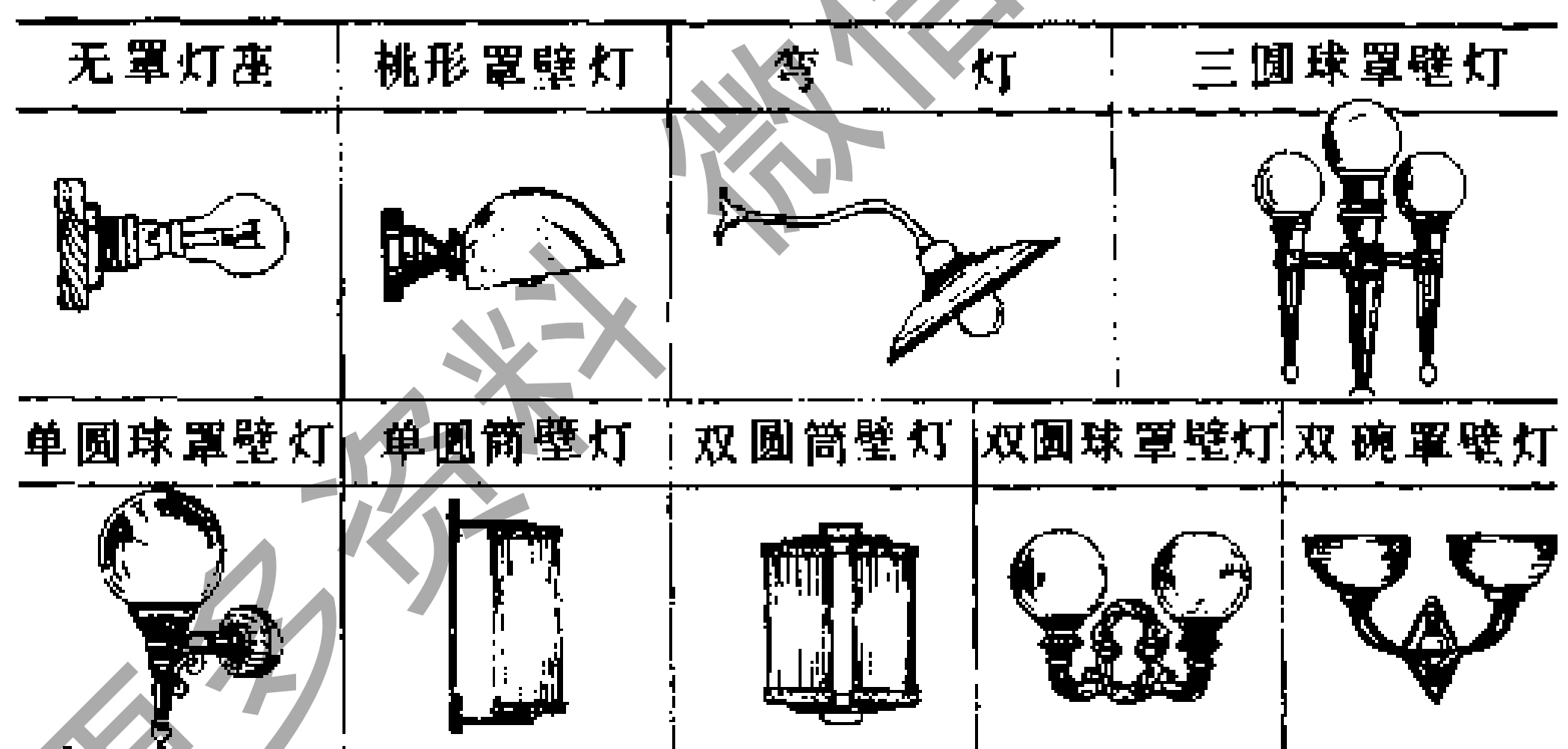
常用灯具安装形式及图样如图 3—99 所示。



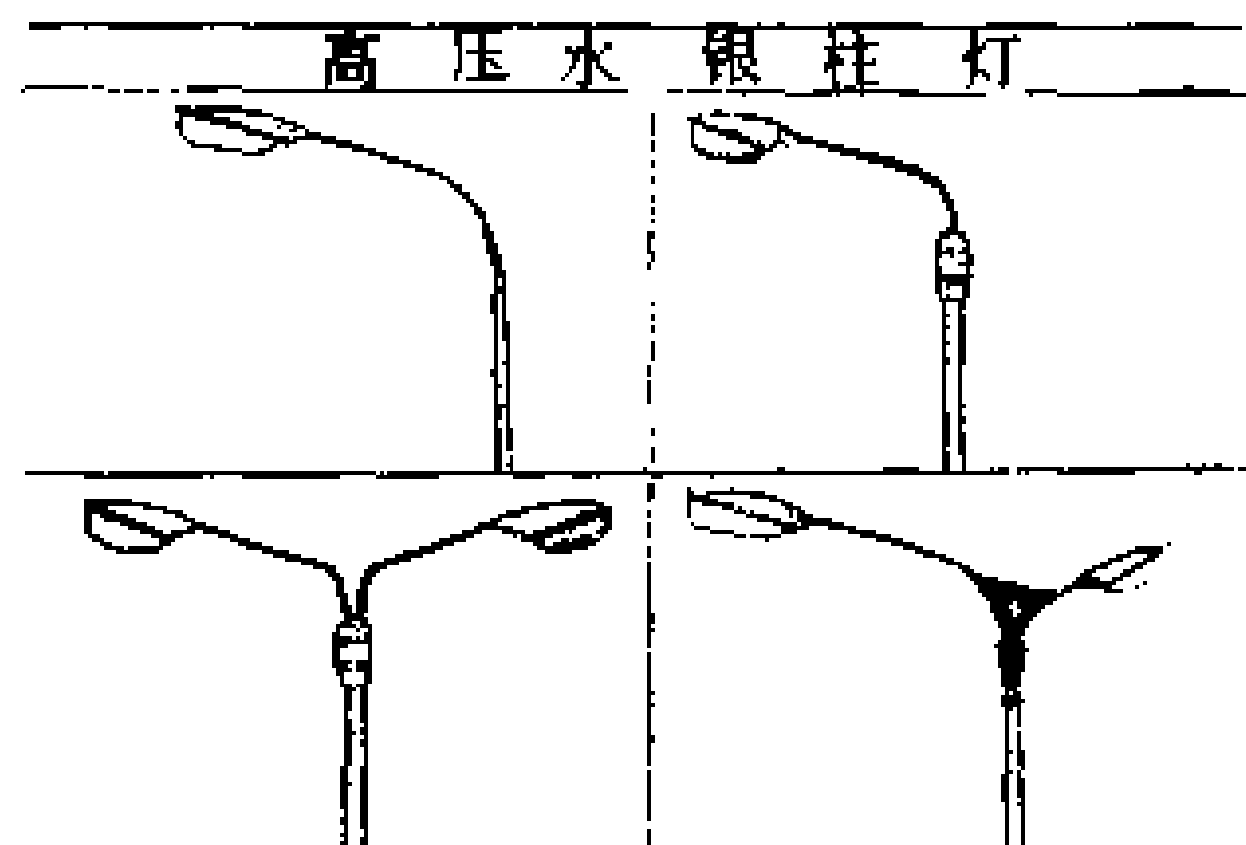
(1)



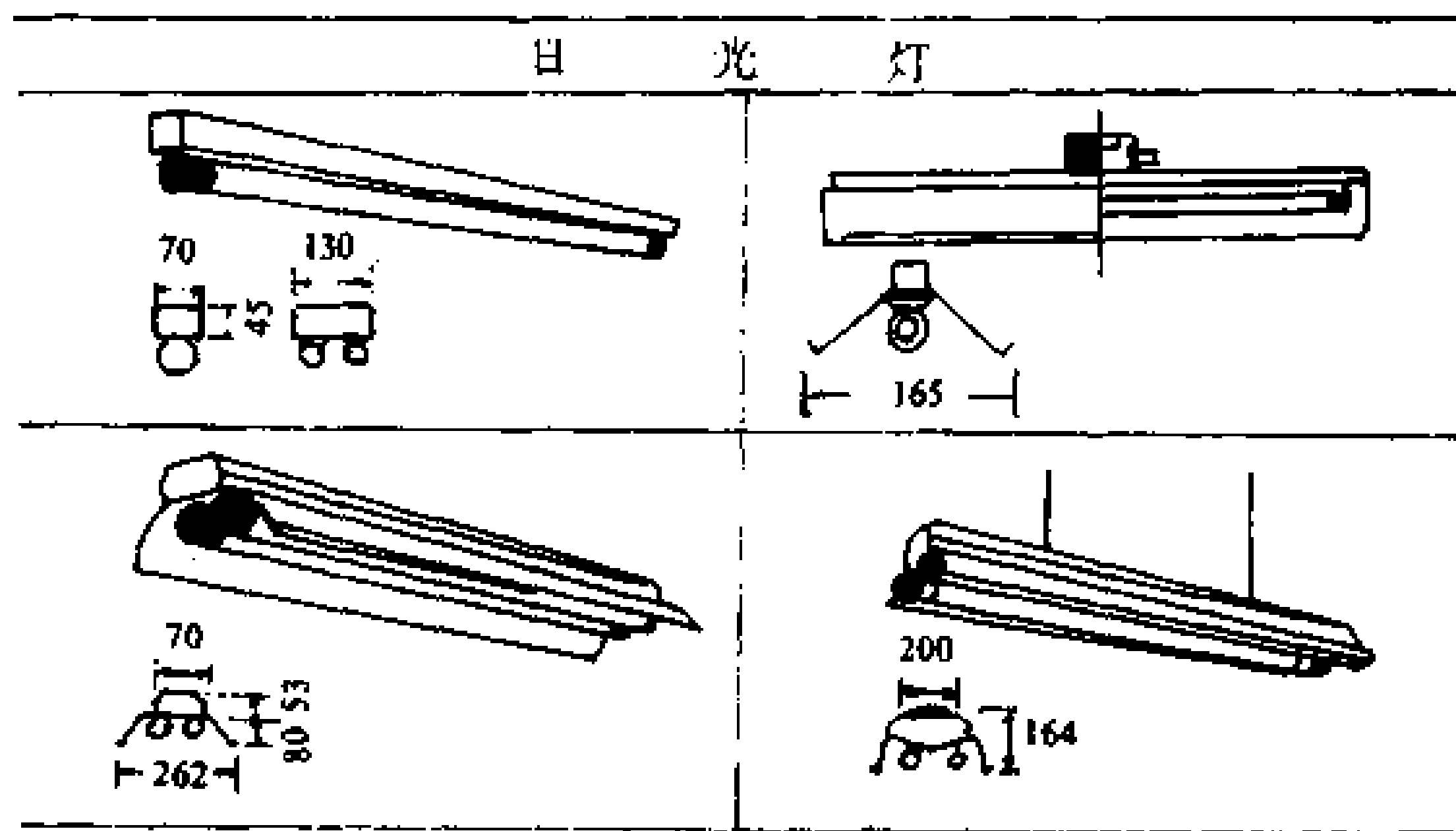
(2)



(3)



(4)



(5)

图 3—99 常用灯具安装形式及图样

获取更多资料 微信搜索 蓝领星球

## 第 4 章 三相异步电动机

异步电动机又称感应电动机，通常又叫做马达，它是一种应用电磁感应原理将电能转变为机械能的动力设备。由于它具有结构简单、造价低廉、坚固耐用、工作可靠、维护方便等一系列优点，在工农业生产和人民生活中得到广泛应用。但是，异步电动机也有一些缺点，主要是功率因数低，调速性能较差。因此，在一定程度上限制了它的应用。

异步电动机按定子绕组的相数分为单相的和三相的。单相电动机的容量较小（1kW 以下），多用于电风扇、鼓风机上；三相异步电动机又分为三相鼠笼式异步电动机和三相绕线式转子异步电动机两种。三相鼠笼式异步电动机应用较广。因此，本章只讨论三相鼠笼式异步电动机。

### 第 1 节 三相异步电动机的基本结构

三相鼠笼式异步电动机，主要由定子和转子两部分组成。图 4—1 为一台拆卸开的电动机的部件图。

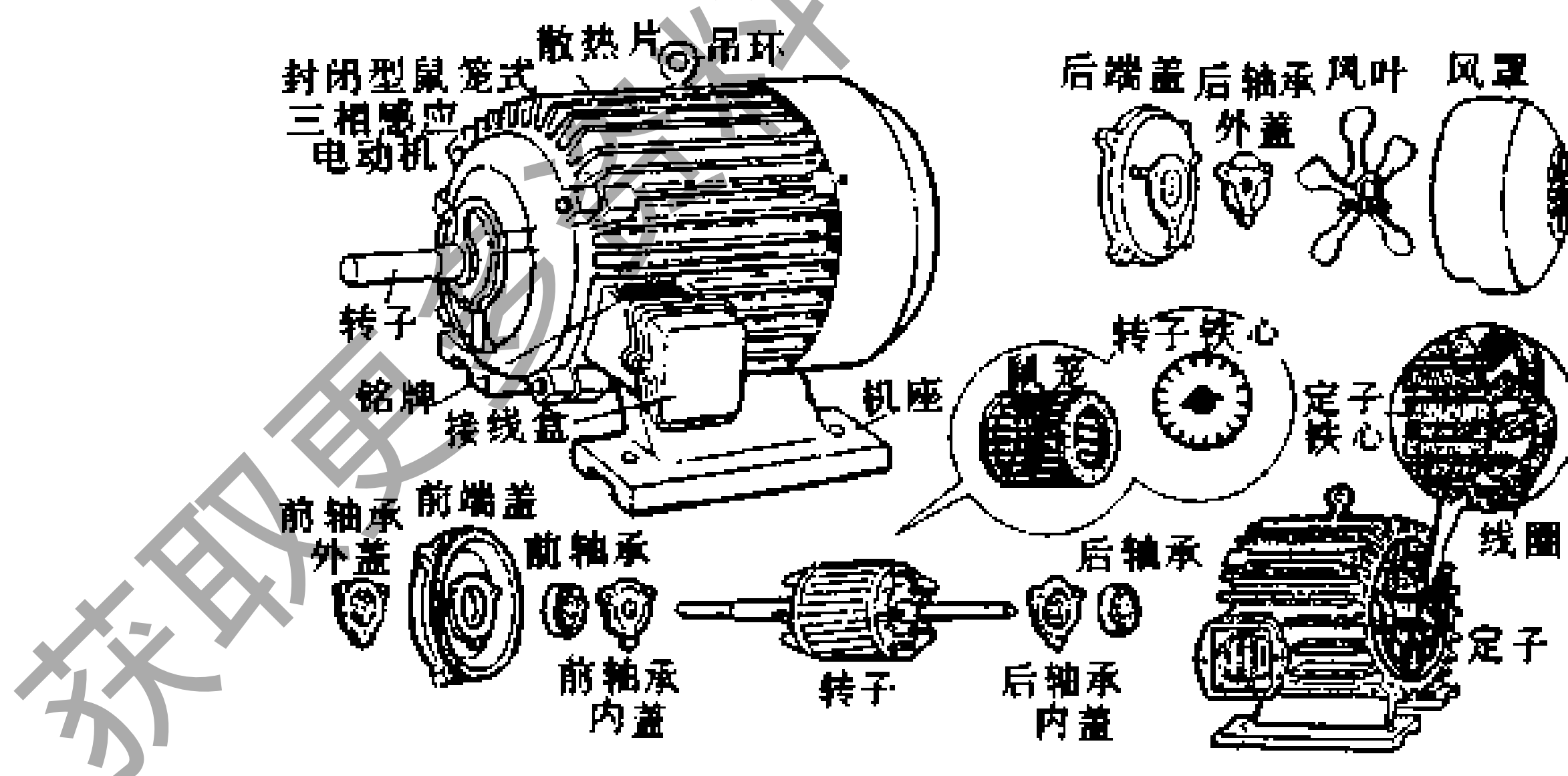


图 4—1 三相鼠笼式异步电动机的基本结构

#### 一、定子

定子是电动机固定部分的总称，它包括机座、铁心、定子绕组等部分。机座一般用铸铁制成，用来固定定子铁心，以及作为整机的底座。定子铁心是用 0.5mm 厚的硅钢片冲成图 4—2 形状后叠成，并装于机座内。铁心的内圆周冲有若干均匀分布的平行槽，用来安放定子绕组。除此之外，铁心还可以起导磁的作用。为了减少涡流损失，硅钢片与硅钢片之间靠绝缘漆或表面的氧化膜而彼此绝缘。三相异步电动机的定子绕组为三相对

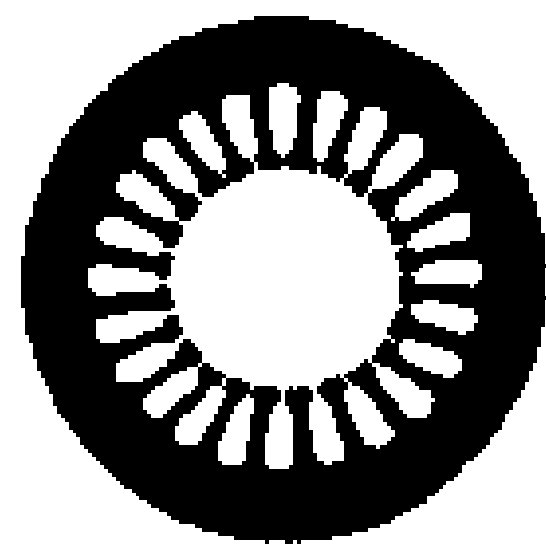


图 4—2 定子冲片

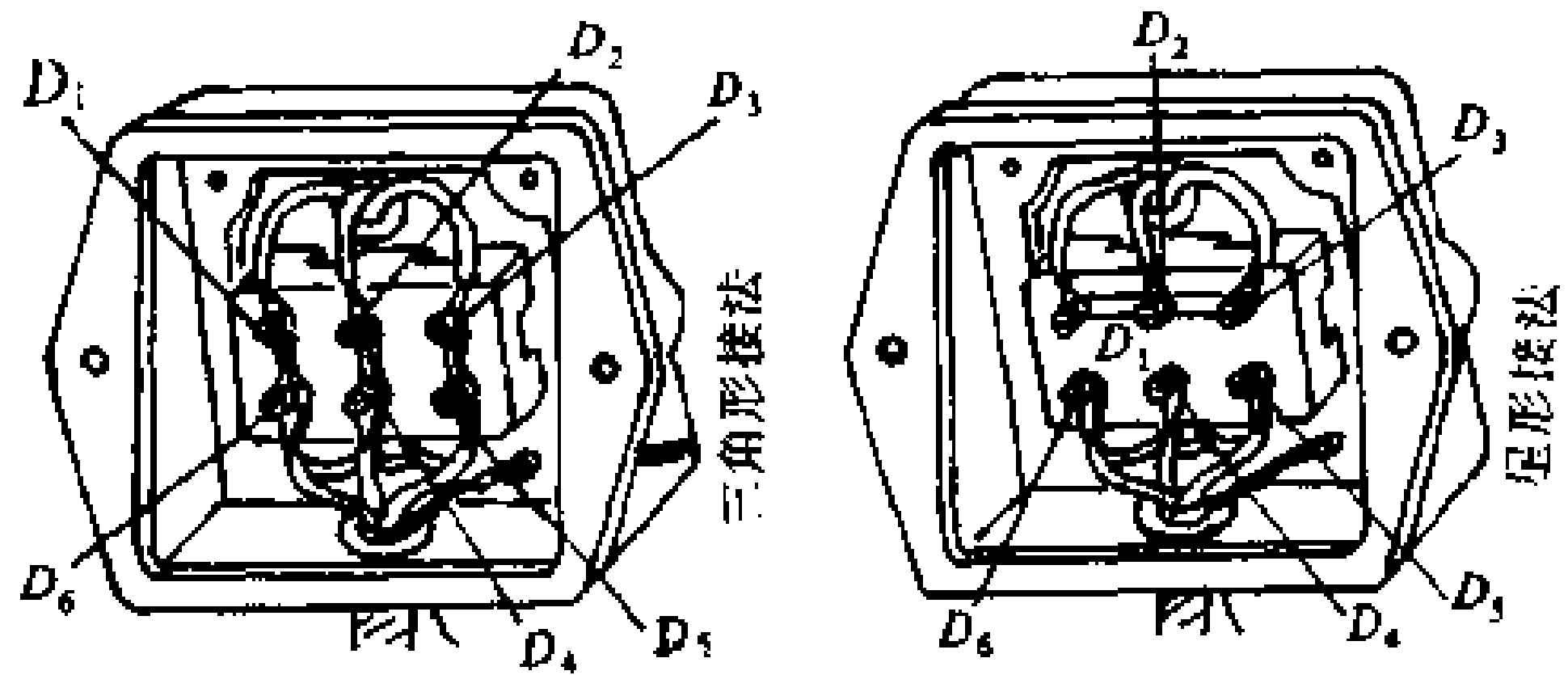


图 4—3 电动机的接线盒

称绕组。所谓三相对称绕组就是用绝缘铜线（或绝缘铝线）绕制的三套完全一样的线圈，对称地嵌在定子铁心的线槽内。它们的头和尾分别用  $D_1-D_4$ 、 $D_2-D_5$ 、 $D_3-D_6$  标出，这 6 个线头装在接线盒内，如图 4—3 所示。三相定子绕组可接成三角形，也可接成星形，这需要根据电网线电压和各相绕组的额定电压而定。其接法如图 4—4 所示。

## 二、转子

转子是电动机转动部分的总称，它由转子铁心、转子绕组、转轴和风扇组成（图 4—5）。转子铁心是用 0.5mm 厚外圆冲槽的硅钢片（图 4—6）叠装而成的圆柱体，起导磁作用。它固定在转轴上，在转子的外圆周上形成若干均匀分布的平行槽，以便嵌入或浇铸转子绕组。中、小型电动机转子一般是鼠笼式，即在转子铁心中嵌入铜条〔图 4—5 (a)〕或浇铸铝〔图 4—5 (b)〕制成鼠笼式转子绕组。转轴是通过转子中心的钢轴，随转子一起转动，加上皮带轮后用以带动工作机械运转。风扇内风叶随转子一起铸出，外风扇装在后端盖的外边，固定在转轴上，随转子一起转动，用以通风散热，外有风扇罩保护。

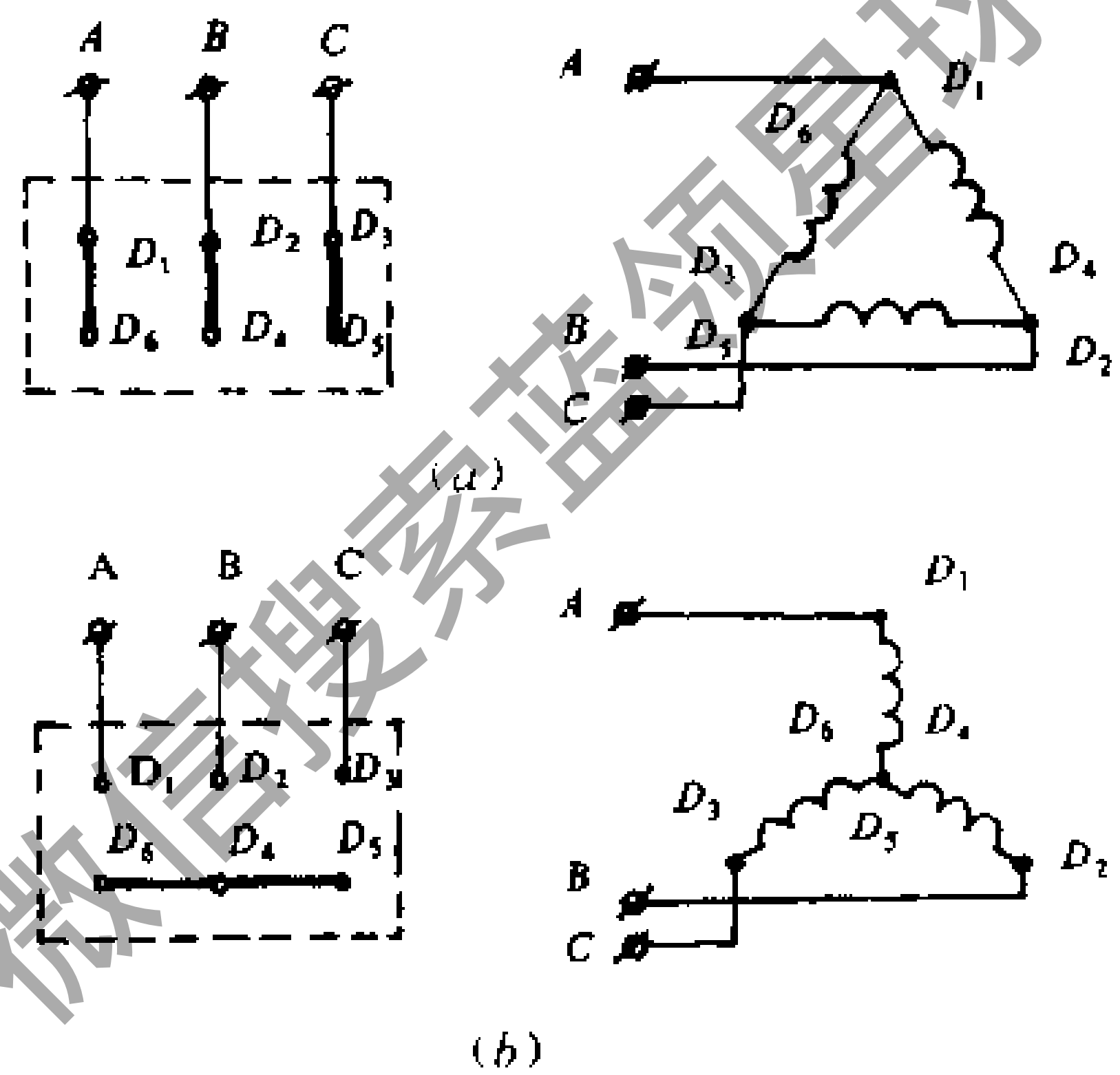


图 4—4 定子绕组的接法

(a) 定子绕组的“D”接法

(b) 定子绕组的“Y”接法

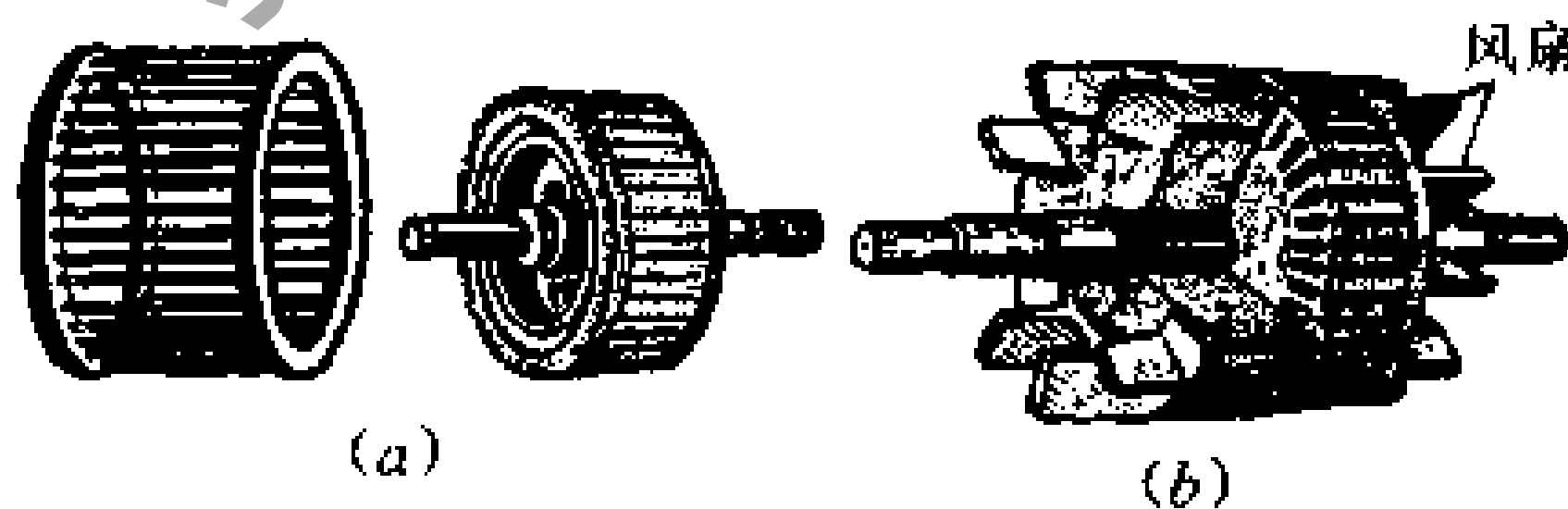


图 4—5 鼠笼式转子

(a) 用铜条做绕组的鼠笼式转子 (b) 铸铝的鼠笼式转子

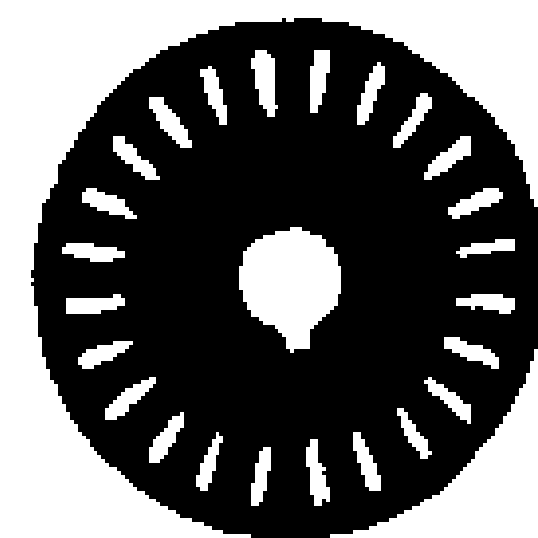


图 4—6 转子冲片



## 第 2 节 三相异步电动机的工作原理

在图 4—7 中, N、S 是一块马蹄形磁铁, 可随手柄摇动而旋转。磁铁中间放置一只可以自由旋转、用铜制成的鼠笼转子。当我们用手摇转磁铁时, 鼠笼转子也跟着磁铁沿同一方向旋转。

当我们以速度  $n_1$  摇动磁极旋转时, 相当于转子导体切割磁力线。根据电磁感应定律可知, 在转子导体中将产生感应电势, 其方向用右手定则确定 [图 4—7 (b)]。因转子导体 (即鼠笼条) 由两端环闭合, 所以在感应电势作用下, 导体中便有感应电流产生 (感应电流的方向与感应电势的方向相同)。根据磁场对载流导体相互作用会产生电磁力的道理, 所产生的电磁力  $F$  作用在转子上, 并对鼠笼形成电磁转矩, 驱动着鼠笼旋转。这就是鼠笼跟着磁极旋转的道理。

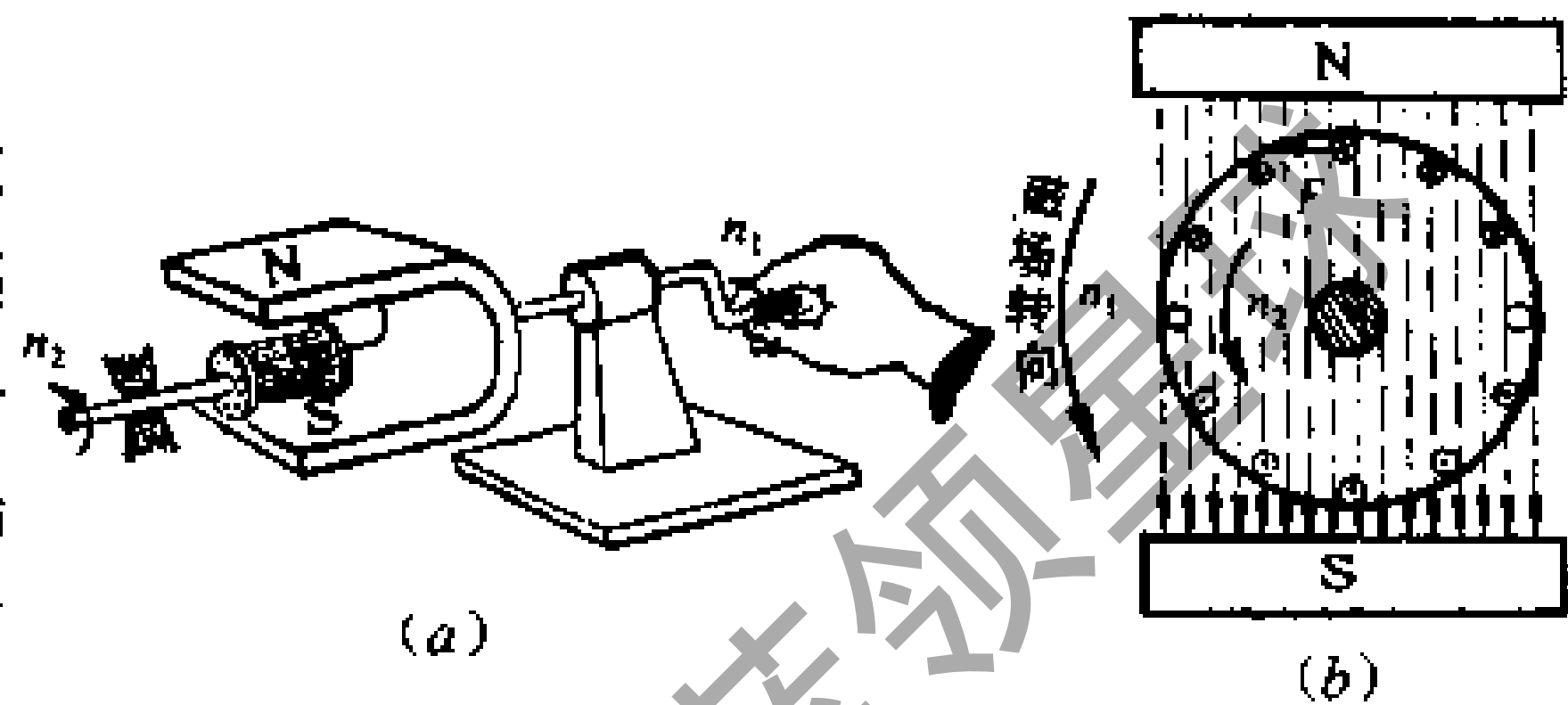


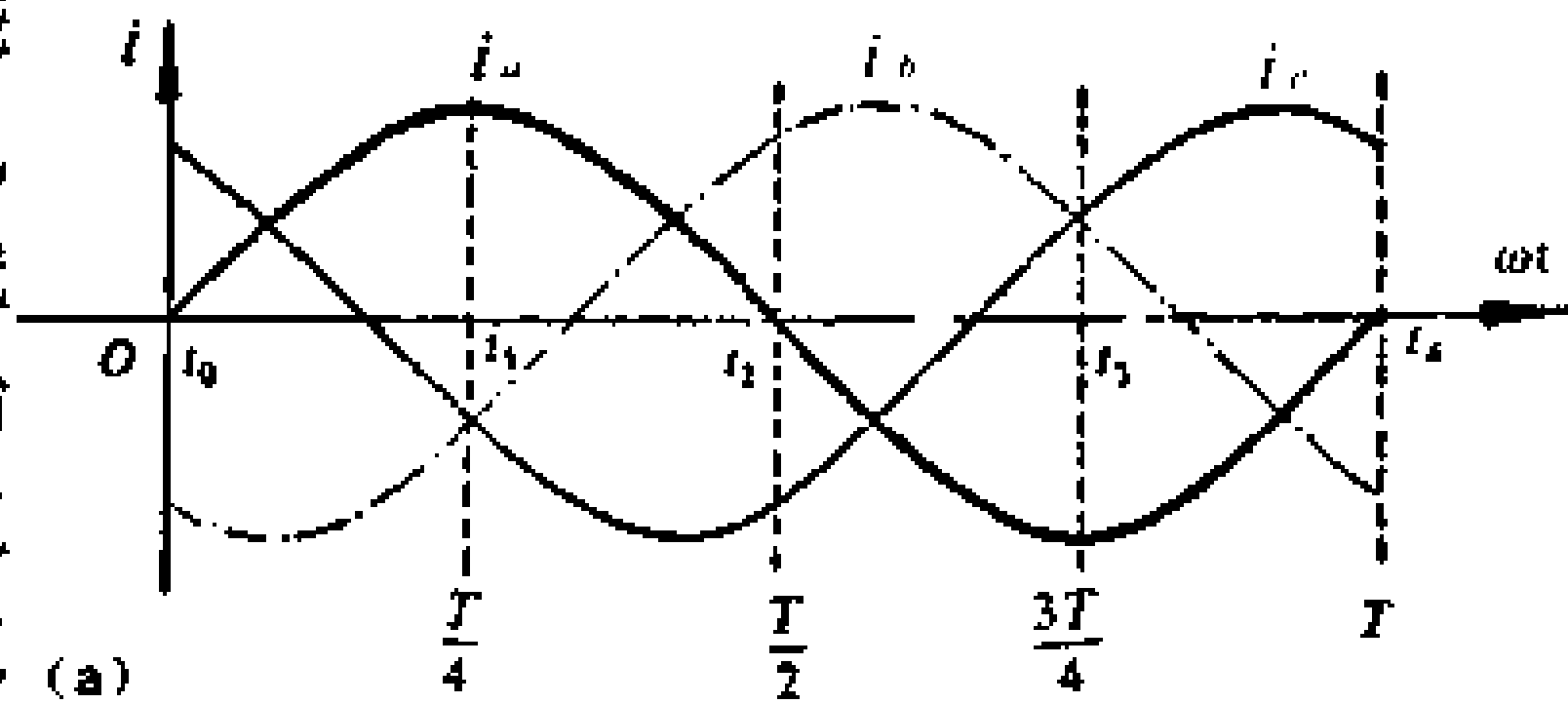
图 4—7 三相异步电动机的构造  
(a) 手摇磁极 (b) 三相异步电动机原理图

如果用在空间上对称的三相绕组来代替手摇磁极 (图 4—8), 当给三相绕组通入三相交流电时, 鼠笼也能旋转。这是因为当给三相绕组通以三相交流电时, 三相绕组所产生的合成磁场, 是以一定转速、按一定方向转动着的旋转磁场, 这一旋转磁场相当于上面所讲的手摇磁极, 按上述原理就使鼠笼转子转动起来。



图 4—8 旋转磁场

在图 4—9 中, A—X、B—Y、C—Z 为三相异步电动机对称的三相定子绕组, 它们在空间彼此相隔  $120^\circ$ 。当把定子三相绕组接到三相电源上时 (A 相电源接 A—X 绕组、B 相电源接 B—Y 绕组、C 相电源接 C—Z 绕组), 在定子绕组中就有一个对称的三相电流通过。图 4—9 (a) 为三相电流的正弦曲线图。假定电流为正时, 电流由定子绕组的始端 (A、B、C) 流向末端 (X、Y、Z); 电流为负时则相反。电流的流入端用  $\otimes$  表示, 流出端用  $\odot$  表示。



从图 4—9 中可以看出, 在  $t_0$  点这一时刻, A 相电流  $i_a$  为零, B 相电流  $i_b$  为负, C 相电流  $i_c$  为正, 在三相绕组中电流的实际流动方向如图 4—9 (b) 所示。这时可以看出各绕组中所产生的合成磁场的方向是从上向

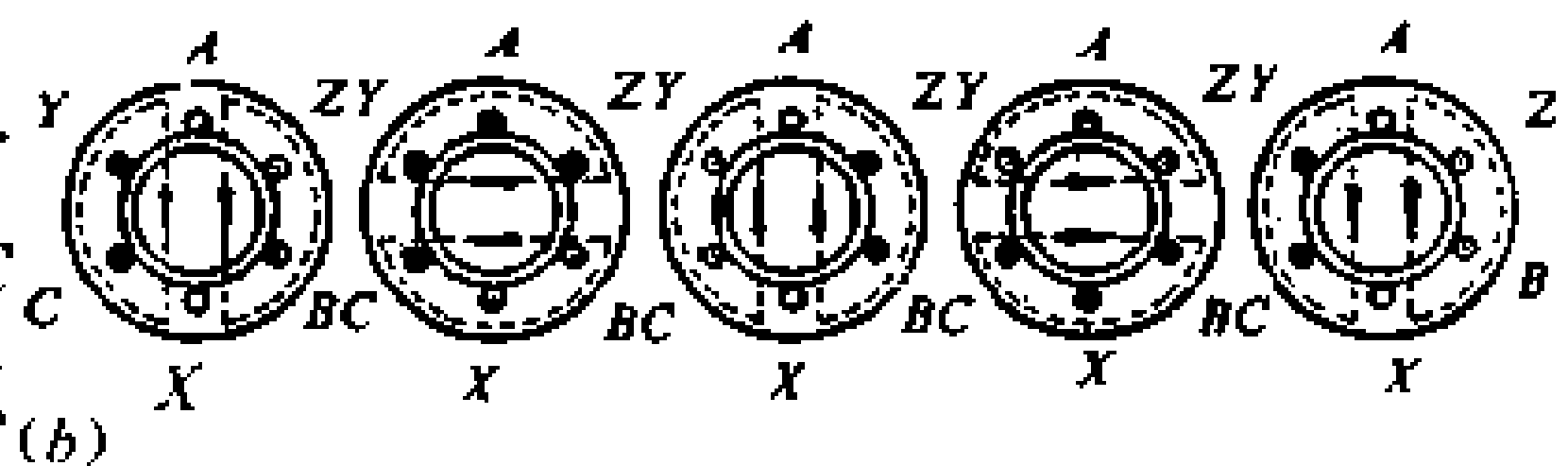


图 4—9 旋转磁场的产生

下的。

在  $t_1$  时刻，则  $i_a$  为正， $i_b$  为负， $i_c$  为负，这时合成磁场的方向为从右向左。

以此类推，对应  $t_2$  点合成磁场的方向从下向上；对应  $t_3$  点合成磁场的方向从左向右；对应  $t_4$  点合成磁场的方向又从上向下。由此可以看出，合成磁场的方向是沿顺时针方向旋转的。所以，三相定子绕组中通入三相交流电后，会产生旋转磁场。

旋转磁场的转速（又称同步转速）是与磁极对数有关的。旋转磁场每分钟的转数是

$$n_1 = \frac{60f}{P} \quad (4-1)$$

式中： $f$  为交流电的频率， $p$  为电动机磁极的对数。

我国电力标准频率是 50Hz，所以磁极对数和同步转速的关系可用表 4—1 表示。

表 4—1 同步转速和磁极对数的关系

| 磁极对数 $p$           | 1    | 2    | 3    | 4   |
|--------------------|------|------|------|-----|
| 同步转速 $n_1$ (r/min) | 3000 | 1500 | 1000 | 750 |

应当指出，对异步电动机来说，转子的转速  $n_2$  总是小于旋转磁场  $n_1$ 。如果不这样，转子的笼条就不会切割旋转磁场的磁力线，在转子中就不会产生感应电流，电动机就不会受力而旋转。所以，转子和旋转磁场间一定要有一个转速差，而不可能达到同步转速，因此异步电动机的转速总是小于但接近于同步转速，这也就是“异步”名称的由来。又因为这种电动机转子中的电流是由电磁感应产生的，所以称为感应电动机。

由上面分析可知，只要任意调换三相电源中的两根导线，就能改变旋转磁场的旋转方向，从而改变电动机的旋转方向。

### 第 3 节 三相异步电动机的铭牌

与其他机器、设备一样，电动机出厂前都在机壳上钉一个铭牌，标出这台电动机的型号、额定参数以及使用条件等数据。电动机的铭牌就是一个简单的说明书，它是选用电动机的主要依据。因此，在使用和保管电动机时不要使铭牌损坏和丢失。三相异步电动机铭牌的一般形式如图 4—10 所示。

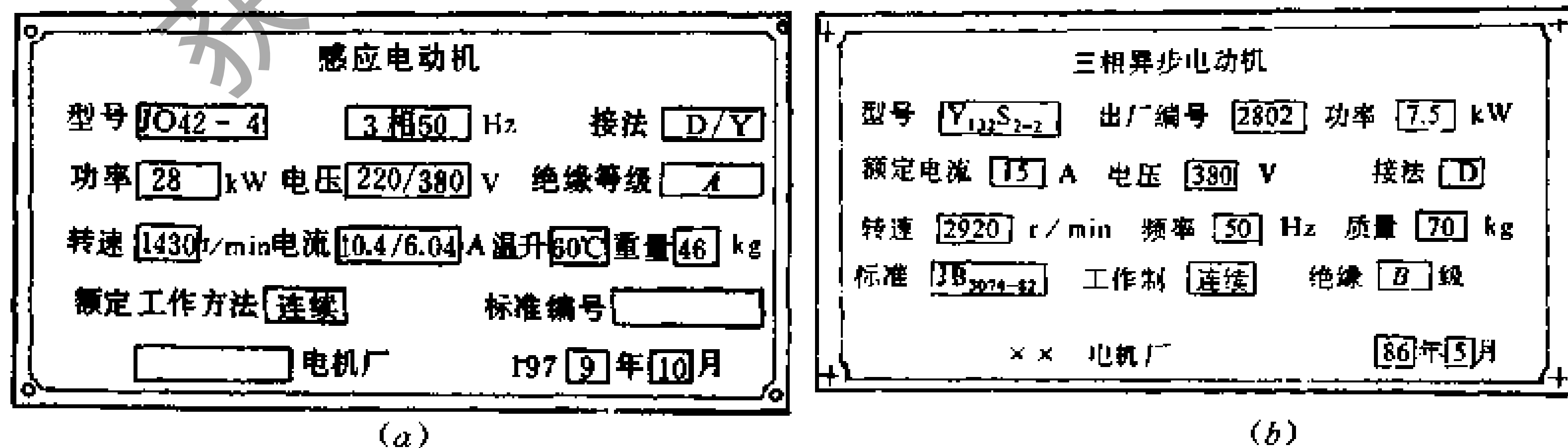


图 4—10 三相异步电动机的铭牌

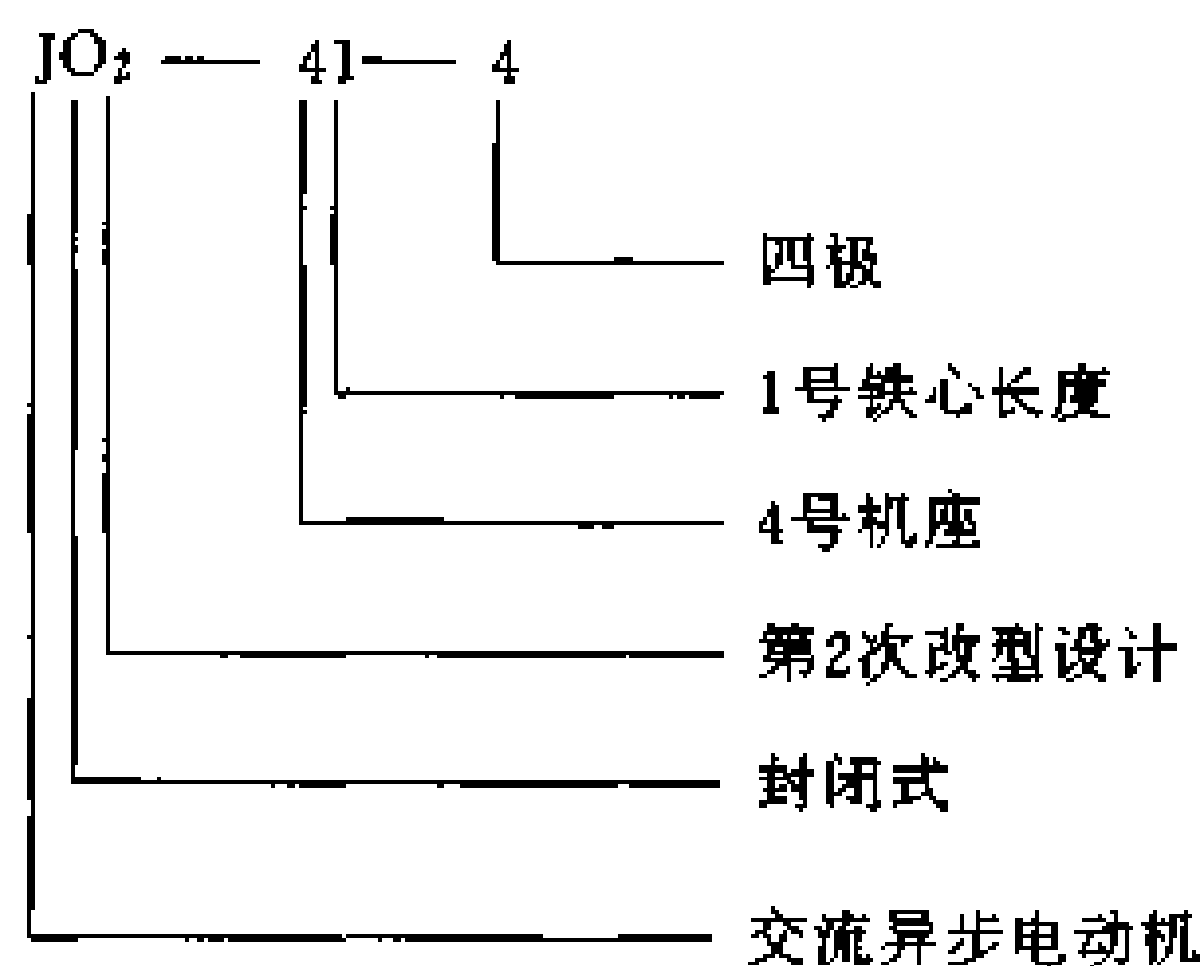
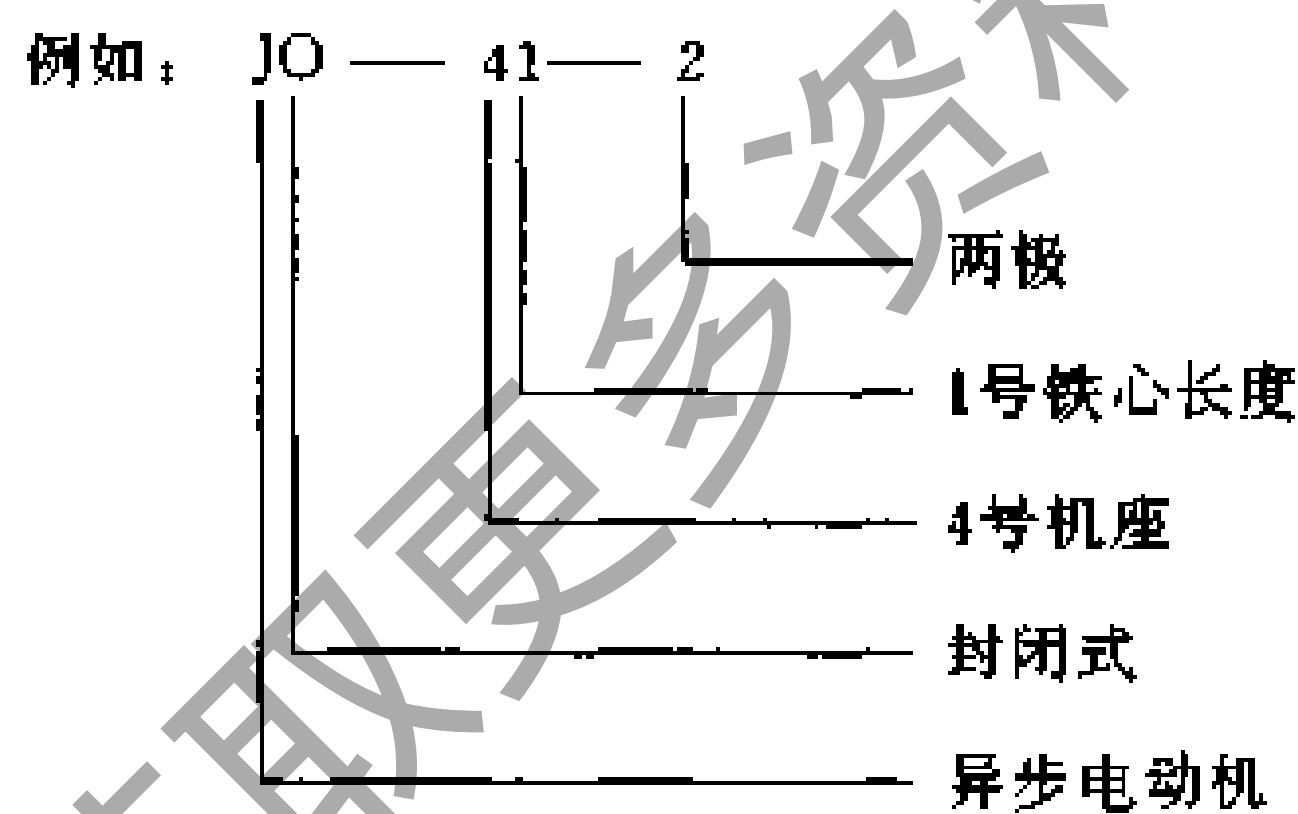
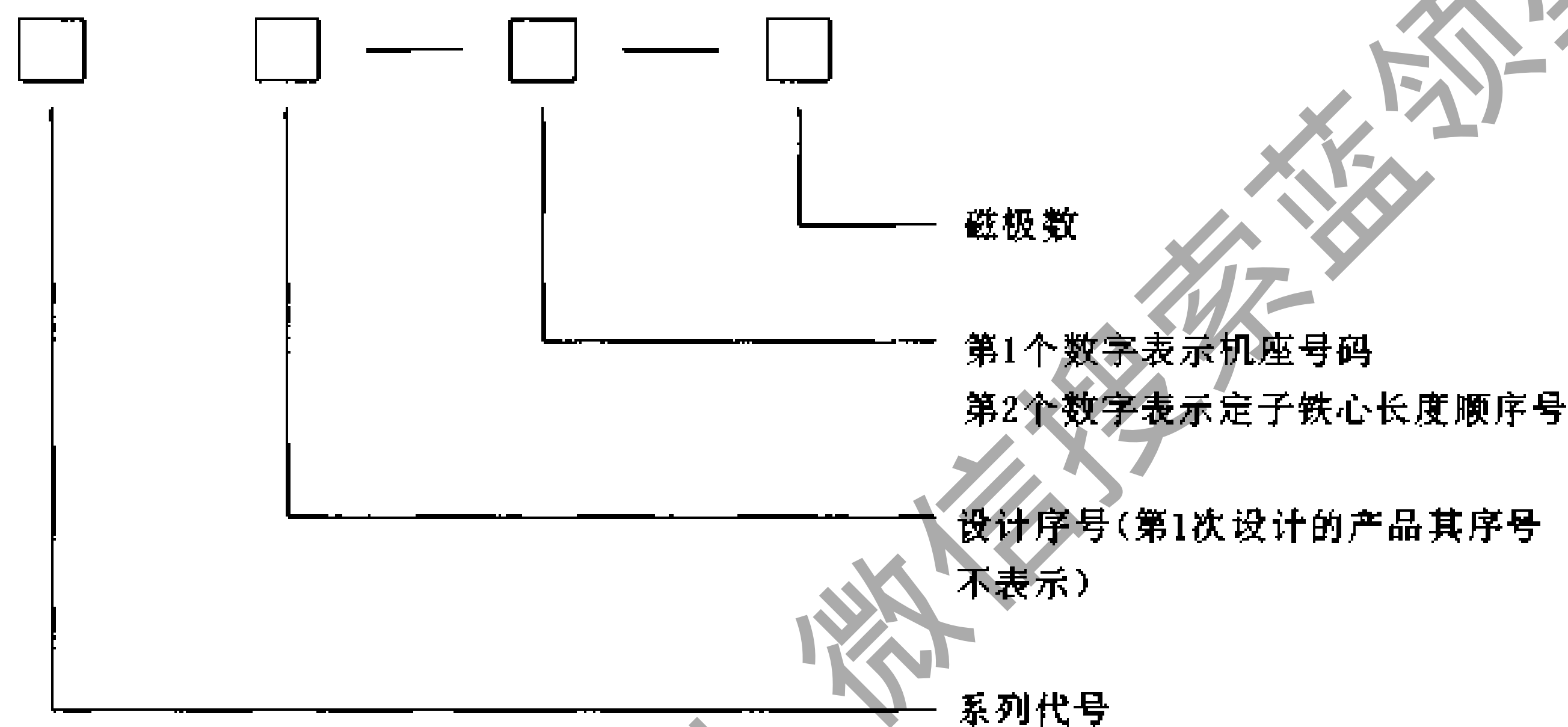
#### 一、型号

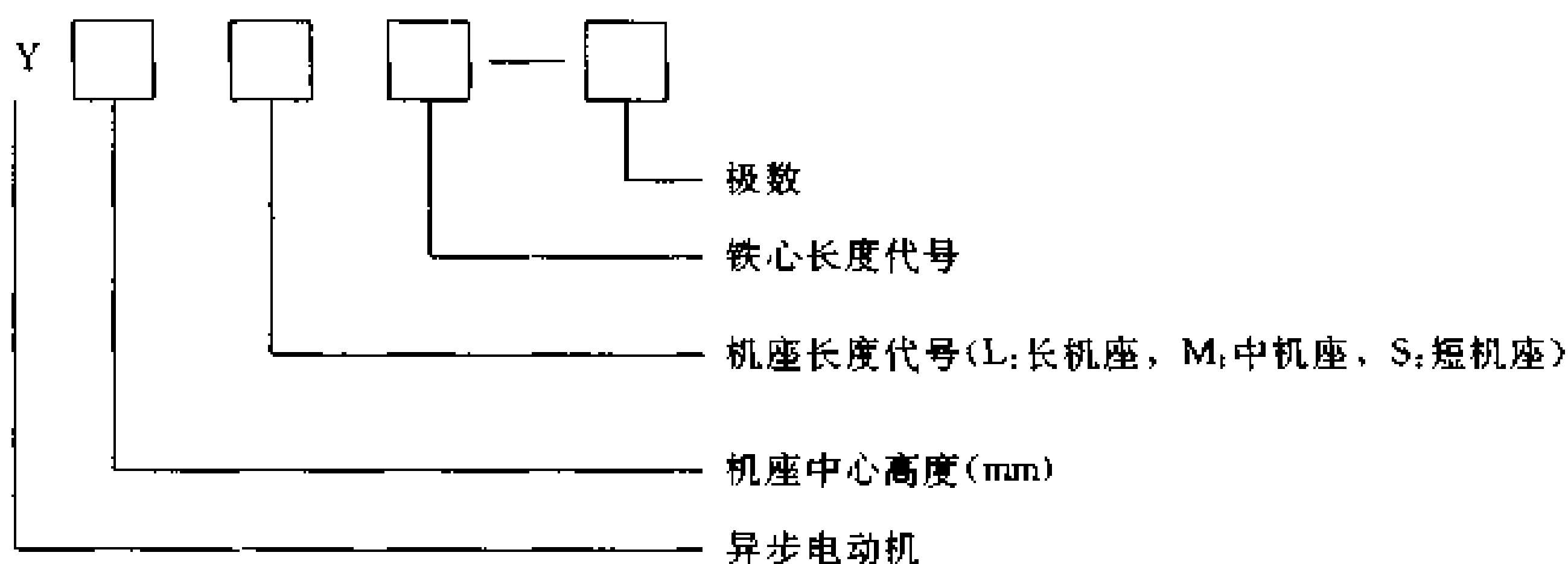
电动机的型号是表示它的品种、性能、机座型式和转子类型等而引用的一种产品代号。

国产三相异步电动机的系列以前是用汉语拼音和阿拉伯数字来表示的，如常用的交流异步电动机 JO 系列和 JO<sub>2</sub> 系列等。型号中各字母所代表的意思是，J 表示交流异步电动机，O 表示封闭式（没有“O”则表示防护式），Q 表示高起动转矩或表示加强绝缘，L 表示定子绕组为铝线或表示立轴电动机，R 表示绕线式转子，S 表示双鼠笼转子，C 表示深槽式转子。

我国统一设计的取代 JO<sub>2</sub> 系列的是 Y 系列异步电动机。它具有高效、节能、噪音低、振动小、可靠性高等特点，它的功率等级和尺寸符合国际 IEC 标准。而 Y 系列电动机型则是以汉语拼音、英文字头和阿拉伯数字来表示的。

三相异步电动机产品型号的组成及含义如下：





如：Y<sub>132</sub>S<sub>2</sub>-2 型电动机表示为，机座中心高度为 132mm，短机座，铁心长度为代号 2 号，2 极的异步电动机。

## 二、额定功率

电动机的额定功率又称额定容量，它表示这台电动机在额定条件下运行时，机轴上所能输出的机械功率，单位为千瓦 (kW)。应当注意，电动机输入的电功率与输出的机械功率之间有一个效率关系，即

$$\text{输入电功率} = \frac{\text{输出机械功率}}{\text{效率}}$$

## 三、额定电压

铭牌上的额定电压是指电动机定子绕组所承受的线电压，单位为伏 (V)。图 4-10 铭牌上标明额定电压为 220/380V，表示这台电动机可用于线电压为 220V 的三相电源，也可用于线电压为 380V 的三相电源。但必须注意，电动机的额定电压与三相定子绕组的接线方式有关。例如，铭牌上标明接线方式为 D/Y，它的意思是用于 220V 线电压时，三相定子绕组应接成三角形 (D)；用于 380V 线电压时，三相绕组必须接成星形 (Y)。

## 四、额定电流

电动机的额定电流，是指电动机在额定电压和额定功率下工作时的线电流，单位为安 (A)。铭牌上额定电流的两个数值与额定电压的两个数值是对应的，即线电压为 220V 时 (D 接法)，线电流为 10.4A；线电压为 380V 时 (Y 接法)，线电流为 6.04A。电动机运行时，若线电流大于其额定电流，则称为过载，时间长了会使电动机过热甚至烧毁。

电动机的额定功率、额定电压和额定电流之间，有一定的关系，即

$$P = \sqrt{3} UI \cos\varphi \quad (4-2)$$

式中：P 为电动机的输出功率或额定功率 (W)；U 为电动机的额定电压 (V)；I 为电动机的额定电流 (A)；cosφ 为电动机的功率因数。

由上式得额定电流的计算式为

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} U \cos\varphi} \quad (4-3)$$

对于额定电压为 380V、容量不超过 55kW 的三相异步电动机，其额定电流的安培数近似等于额定功率千瓦数的 2 倍，通常称为“1 千瓦 2 安培关系”。掌握这个规律，便于我们根据电动机的额定功率迅速得出它的额定电流。例如，10kW 的电动机的额定电流约 20A；17kW 电动机的额定电流约 34A。

## 五、接法

指电动机正常运行时，三相定子绕组的连接方法。三相定子绕组的接法有星形（Y）和三角形（D）两种。由于三相绕组的接法必须与电源的线电压相对应，并且我国目前低压电网的线电压均为 380V。因此，凡标有“220/380VD/Y”的电动机，只能采用 Y 形接法。

## 六、额定转速

指电动机在额定电压、额定频率和额定功率情况下运行时，转子每分钟所转的圈数，单位为转/分。异步电动机的实际转速与负载的大小有关。空载或轻载时，电动机的转速要比其额定转速稍高一些；过载时，电动机的转速要比其额定转速低，这时电动机的定子电流要超过它的额定电流。

## 七、额定频率

指通入电动机的交流电的频率，单位为赫兹（Hz）。交流电的频率不同，对电动机的转速和输出功率都有影响。我国电力工业的标准频率为 50Hz。

## 八、工作方式

指电动机的允许使用方式。铭牌上标明“连续”字样的，表示这台电动机可以在额定条件下连续工作，其绕组温度不致超过允许值，普通用的电动机都属于此类。此外，还有“短时”或“断续”工作的电动机。前者只能短时间运行，停歇后再行使用；后者是开、停次数频繁，但每次运行时间都很短。

## 九、绝缘等级

指电动机中所用绝缘材料耐热性能的等级。电动机中常用的绝缘材料，按其耐热性能分为 A 级、B 级、E 级、F 级和 H 级 5 级。不同耐热等级的绝缘材料有不同的允许工作温度。

## 十、温升

是指在规定的环境温度（一般规定 35℃、40℃）时，电动机所允许升高的温度。电动机的允许温升，基本上取决于所用绝缘材料的等级。例如，铭牌上标明为 A 级绝缘，温升为 60℃，环境温度为 35℃。它的意思是，电动机的最高温度不得超过  $60 + 35 = 95$ （℃）。由此可知，电动机允许温度 = 温升 + 规定的环境温度。

# 第 4 节 电动机的选择和安装

## 一、电动机的选择

选择一台电动机，要考虑它的型号、功率、转速和起动要求等。选择合理与否，直接关系到运行的经济和电动机的安全。

### 1. 选择电动机的功率

选择电动机功率的原则是，电动机的功率数要比被带动的工作机具的功率数稍大一点为合适。功率过大，会造成“大马拉小车”的现象，不能充分发挥电动机的作用，而且会使效率和功率因数偏低（表 4—2），造成电力和资金的浪费。功率过小，又形成“小

“马拉大车”的现象，往往使电动机不能起动，即使能起动，电流也会超过额定电流，使电动机过热甚至烧毁。

有的机械设备的铭牌上，标明需要配套的电动机的容量，可按要求直接选配。另外，在选择电动机时，还要考虑变压器的容量，直接起动时最大一台电动机的功率，不得超过变压器容量的 30%。

表 4—2 电动机效率、功率因数随负载的变化

| 负载情况 | 空载  | 1/4 负载 | 2/4 负载 | 3/4 负载 | 满载   |
|------|-----|--------|--------|--------|------|
| 功率因数 | 0.2 | 0.5    | 0.77   | 0.84   | 0.88 |
| 效率   | 0   | 0.78   | 0.85   | 0.88   | 0.88 |

### 2. 选择电动机的转速

选择的电动机的转速，应与它所带动的工作机具所要求的转速相配合。当电动机直接带动工作机具时，电动机的额定转速应等于工作机具所要求的转速，这种情况称为直接传动。如果电动机与被带动的工作机具转速不同，就要通过皮带轮变速传动，从而满足工作机具的转速要求。

### 3. 确定电动机的型式

根据电动机所拖动的机具工作性能和所处工作环境的特点，来确定电动机的型式。例如一般环境下，带动无特殊要求的机具宜选用性能优良、高效节能的 Y 系列电动机；有尘埃、铁屑、水滴等飞溅物的场所宜采用 JQ 系列封闭式电动机；用于拖动重复短时运行的机具（如提升机等）宜采用 JZ、JZR 系列电动机；用于有爆炸及火灾危险的场所要选用防爆式电动机，如 BJO<sub>2</sub>、JB<sub>3</sub> 等系列产品。

## 二、电动机的安装

### 1. 机械部分的安装

安装电动机时，首先要选好安装地点，确定好基础形式，然后进行施工和安装，同时要注意各项校正工作。

(1) 安装地点的选择：电动机应安装在干燥的地方，要防雨淋、水泡；通风散热条件要好，防止日晒；便于操作、维护和检修。

(2) 基础形式和做法：电动机的基础有永久性、流动性和临时性 3 种形式。工厂、电力排灌、农副加工等，宜采用永久性基础，这种基础可用混凝土、砖或块石做成。

基础体积的大小，应根据机组底座来确定。基础的边沿应大于机组外壳 100~150mm，基础顶部应高出地面 100~150mm，基础的重量应大于机组重量的 1.5~2.5 倍。

在基础的砌筑过程中，注意预埋电动机的底脚螺丝，或者做好预留孔。为了防止底脚螺丝松动，应将埋入端做成“人”字形或钩形，如图 4—11 所示。

临时性用的电动机，可采用流动性和临时性基础，把机组安装在牢固

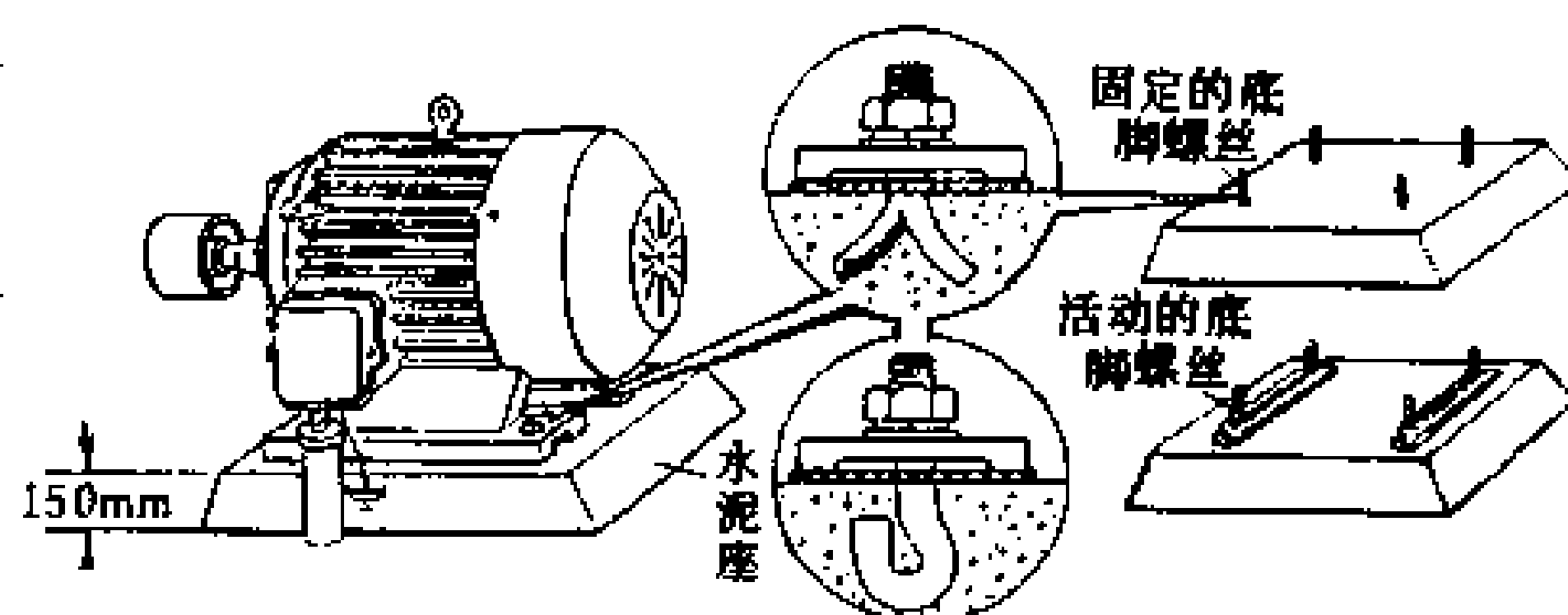


图 4—11 电动机基础及底座螺丝的预埋

的枋木、木板或铁架上，注意基础坚固稳定，防止电动机振动过大及出现跳跃现象。

(3) 校正工作：电动机在基础上安放好后，应检查它的水平情况。检查时可用普通的水平仪来校正，同时校正电动机纵向和横向的水平，如图 4—12 所示。如不平，可用 0.5~5mm 厚的钢片垫在机座下面。注意不能用木片或竹片垫在机座下，以防拧紧螺母时或电动机运行中木片、竹片变形或破裂。

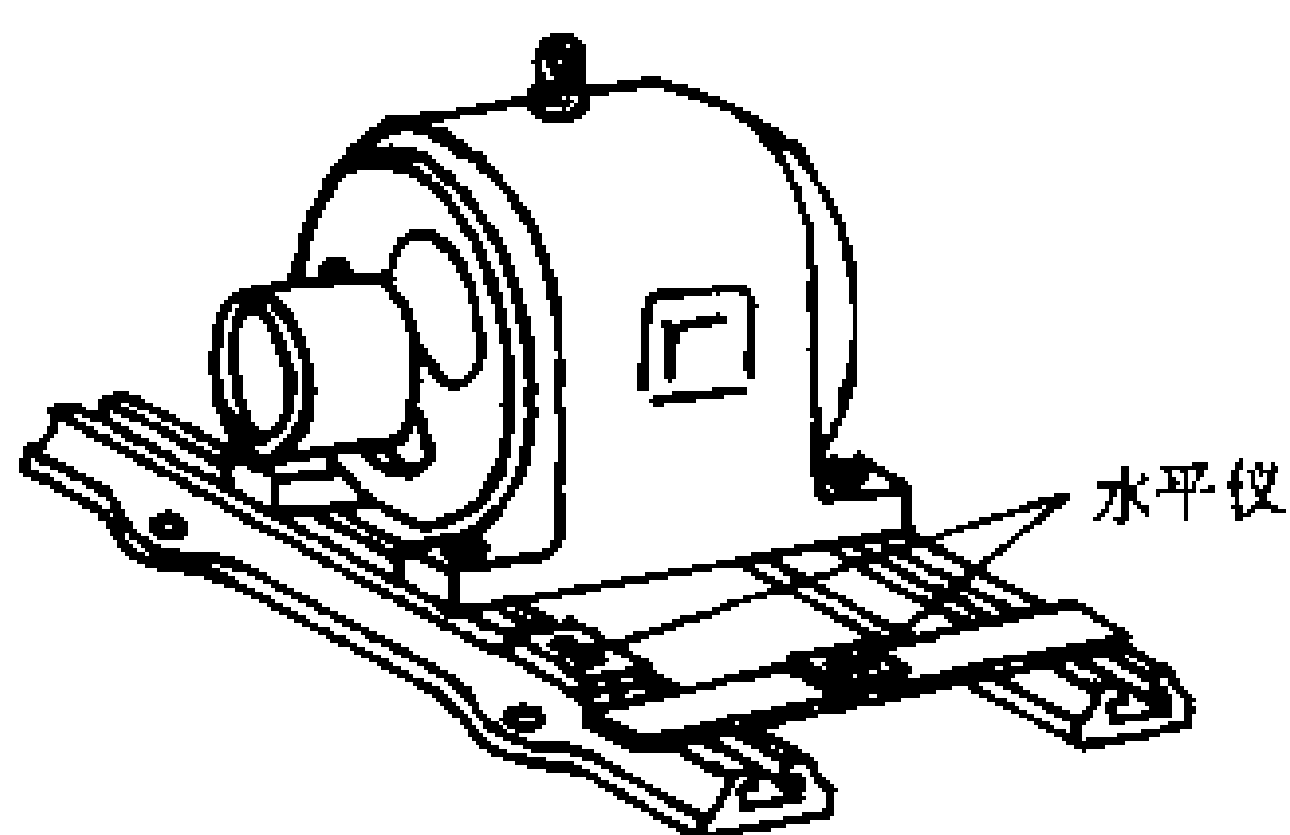


图 4—12 校正电动机的水平

校正好电动机水平以后，再校正传动装置。要注意传动装置的平行和垂直方向的位置。对于开口式皮带传动，应使两皮带轮的转轴互相平行，并使两皮带轮中心在同一直线上（图 4—13），将各部件 1、2、3、4 连成一条直线。

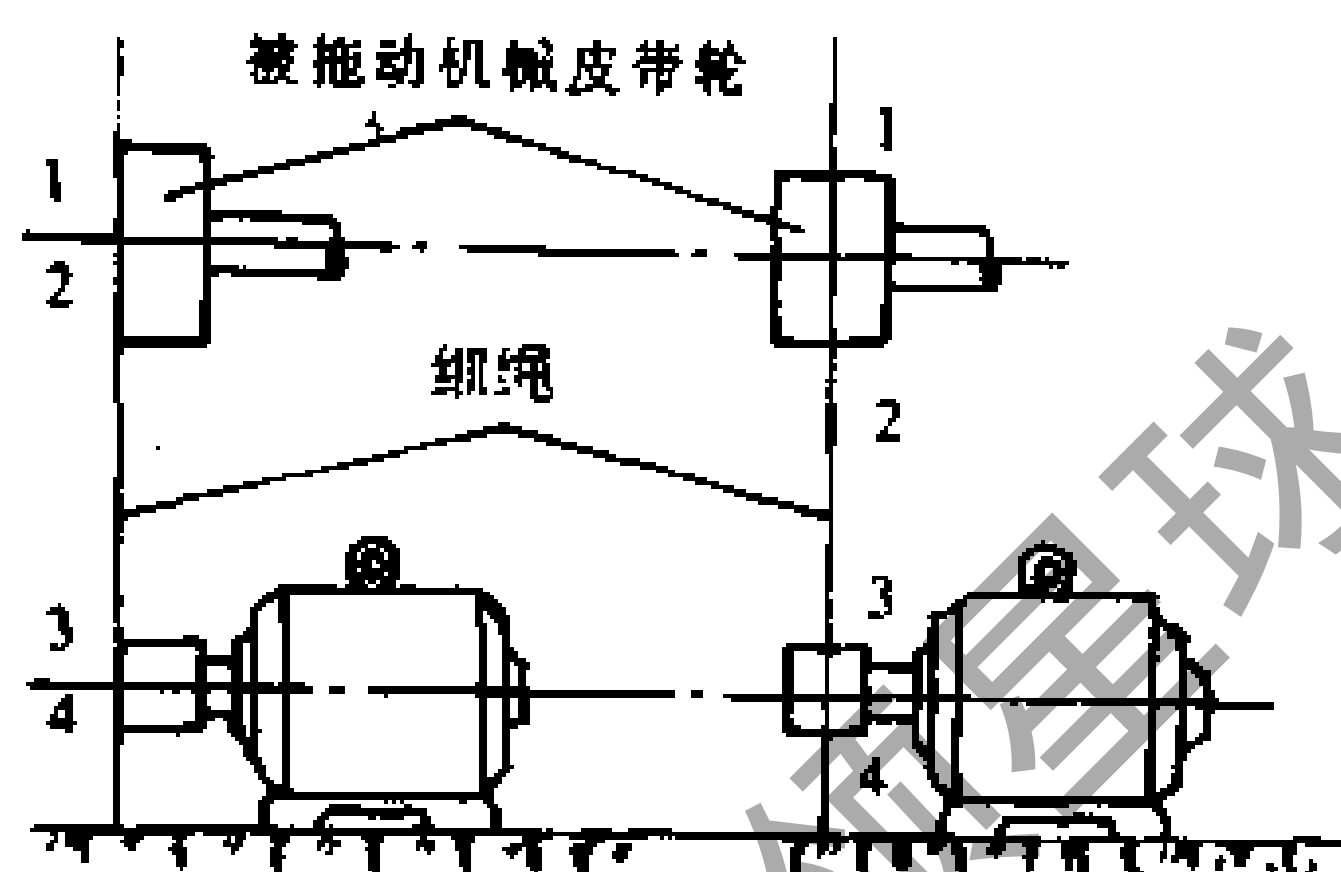


图 4—13 皮带轮轴平行校正图

对于联轴器传动装置，应使两轴处在同一轴线上，两个联轴器之间保持 2~4mm 的空隙，防止两轴窜动时互相影响（图 4—14）。

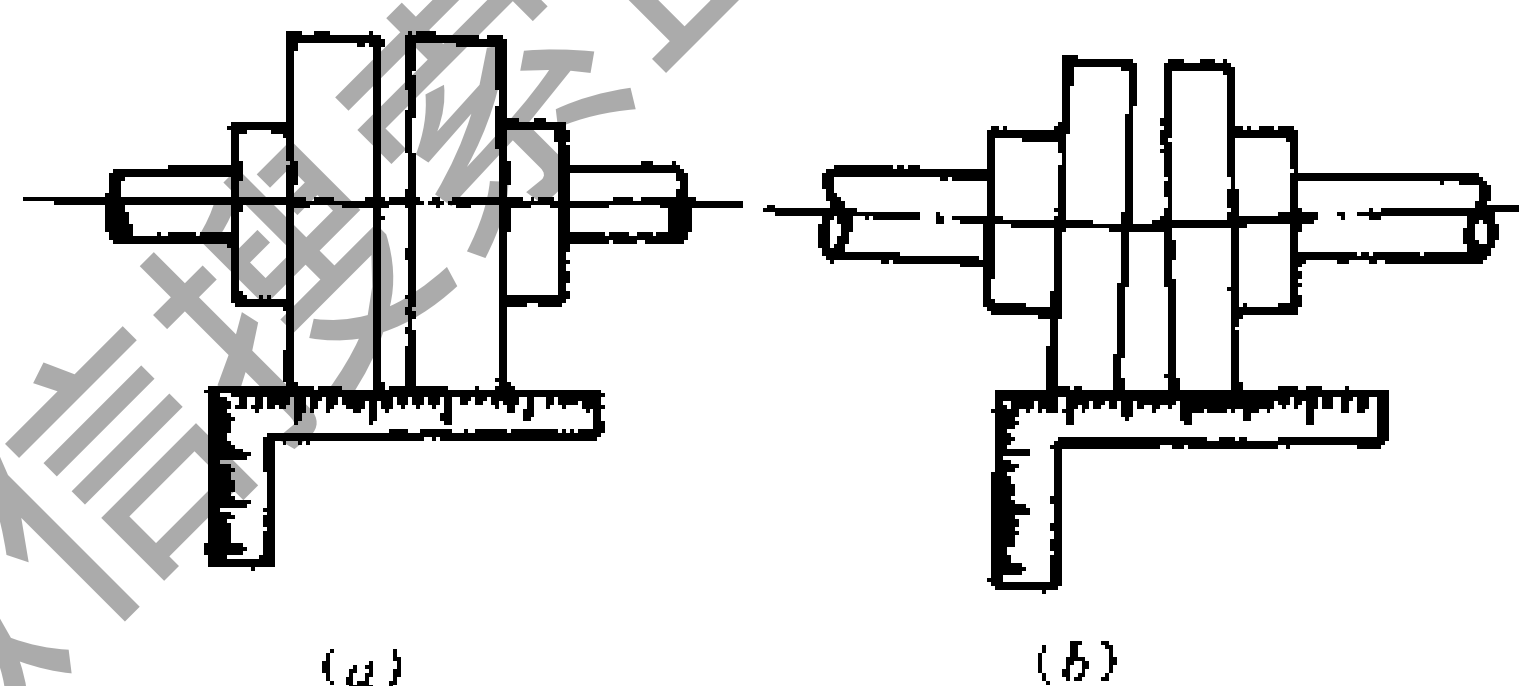


图 4—14 联轴器的测量  
(a) 测量同心度 (b) 测量轴向间隙

## 2. 电气部分的安装

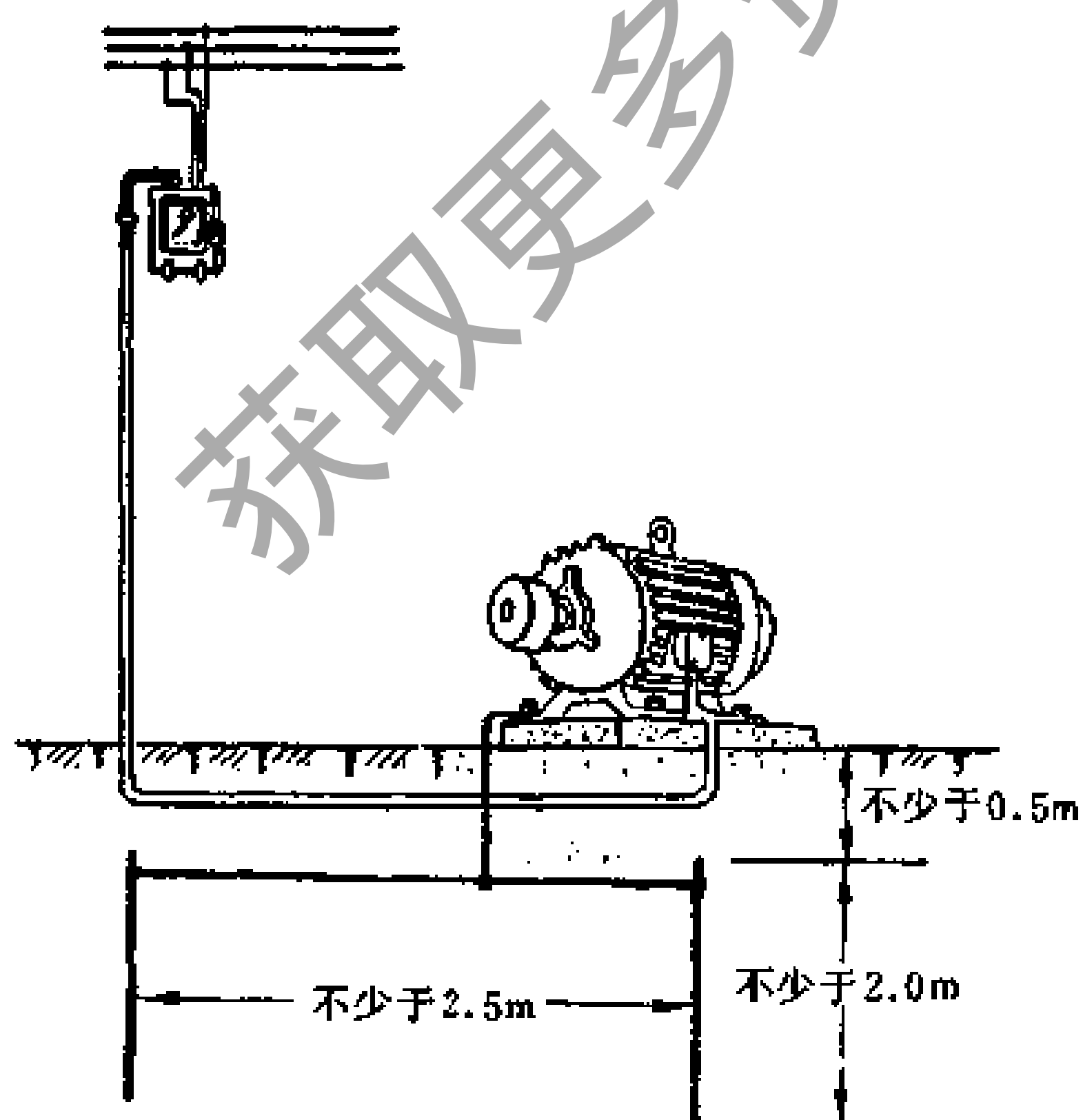


图 4—15 起动设备和接地装置的安装

接地装置由接地体和接地线组成，长度不小于 2m，首端制成尖形，垂直打入地下至少 0.5m，然后用接地线将接地体和设备外壳连接起来。接地体可用圆钢或扁铁做成，接地线与接

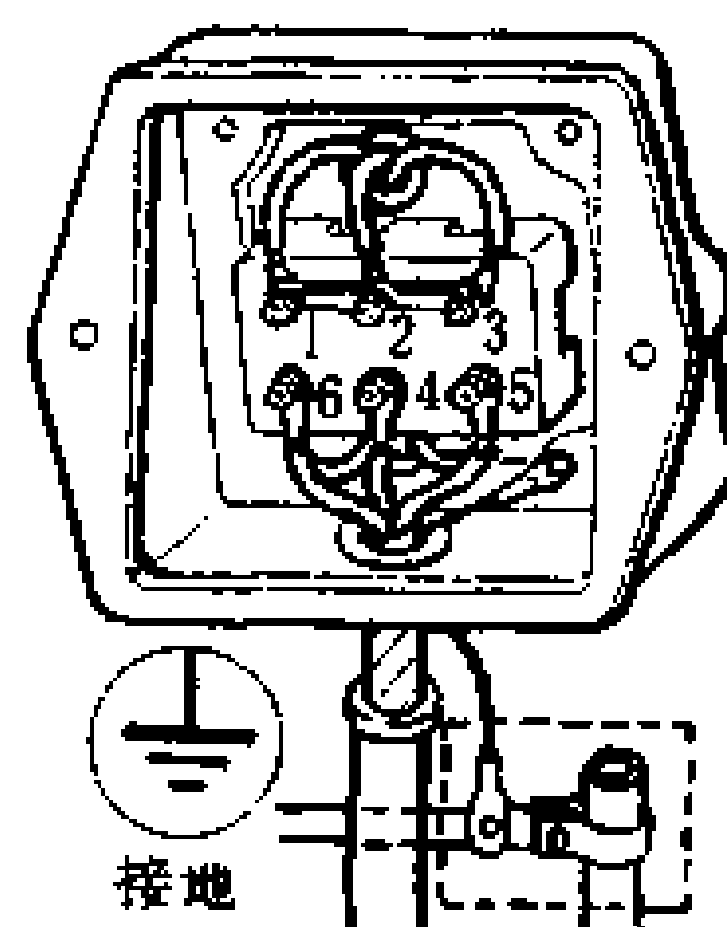


图 4—16 设备外壳与接地体的连接

地体连接时，要焊接；与设备外壳连接时，可用螺丝压接，如图 4—15 和图 4—16 所示。

接地体的多少，应根据土壤电阻率大小而定，只要能满足接地电阻不大于  $4\Omega$  即可。如果遇到砂砾土壤，应把接地体周围换成粘土；如果地下水位太低，土壤干燥，可在坑内加入食盐或木炭，以提高土壤的导电性能。

临时安装的电动机，也应敷设临时性接地装置，可将钢钎打入地下，不用时随即取出。

电动机的引线一律采用绝缘导线，引线的截面应按电动机的容量或额定电流来选择。为了安全起见，距离地面 2.5m 以内的引线，应采用槽板或硬塑料管防护。当电动机引线沿地面敷设时，可采用电缆、管线或电缆沟防护，引线不允许有裸露部分。室外管线，应加防水帽或做成防水弯头。

电源、起动设备、保护装置等与电动机的连接，应采用接线盒或防护措施，避免裸露部位出现。假若采用裸露的闸刀、熔丝等，应尽量装于配电盘的背面或者较高的位置，防止触电事故。

## 第 5 节 三相异步电动机的起动方式

电动机接通电源之后，转子便从静止状态开始转动，而且转速由慢到快，最后稳定在某一转速下运转，这就是电动机的起动过程。使用电动机，应首先了解电动机在起动过程中具有什么特点，并进一步了解和掌握对不同容量的电动机采取不同起动方式。

### 一、电动机起动过程中的特点

电动机转子导体中感应电势和电流的大小，与定子旋转磁场切割转子导体的速度有关。但在定子绕组刚刚接通电源的瞬间，转子还是静止不动的，这时定子旋转磁场对静止的转子具有最大的相对转速，因而在转子导体中所产生的感应电势和电流最大，这个电流称为起动电流。根据实际测量，电动机的起动电流可达额定电流的 4~7 倍。

电动机起动之后，转子的转速从慢到快。随着转子的转速不断增大，定子旋转磁场与转子的相对转速逐渐减小，因而使转子导体中的电流和定子绕组中的电流也相应减小。当电动机在额定负载情况下，达到额定转速运行时，定子电流即达到额定电流值。

虽然电动机起动的最初瞬间，定子电流为额定电流的 4~7 倍，但由于电动机的起动时间比较短（对容量不太大的电动机，起动时间是 5~10s），还来不及使电动机本身过热。因此，这个问题是不严重的。不过，对于起动频繁的电动机来讲，由于热量的积累，电动机发热问题还是要考虑的。

很大的起动电流所引起的主要问题，是造成供电线路的电压显著下降，这不仅会使电动机本身起动转矩减小（电动机的转矩与电源电压的平方成正比），造成起动困难，而且将影响接在同一供电线路上其他用电设备的正常工作。例如，造成电灯突然变暗，日光灯闪灭等。尤其是大容量电动机，由于它的起动电流较大，起动时间较长，对其他用电设备正常工作的影响就更大。因此，对大容量的电动机必须采取相应的措施，以限制起动电流。



## 二、电动机的起动方式

对中、小容量的鼠笼式三相异步电动机有直接起动和降压起动两种方式。

### 1. 直接起动

直接起动又称全压起动，就是通过开关（闸刀、铁壳开关）或接触器，将额定电压直接加到定子绕组上使电动机起动（图 4—17）。直接起动的优点是，所用起动设备简单、价格便宜，操作简便，缺点是起动电流较大。

一般来讲，容量在 7kW 以下的电动机都可以直接起动，对容量较大的电动机，可根据下面的公式来判断电动机是否可直接起动：

$$\frac{I_{\text{起}}}{I_{\text{额}}} \leq \frac{3}{4} + \frac{\text{配电变压器容量 (kVA)}}{4 \times \text{电动机额定功率 (kW)}}$$

电动机的起动电流  $I_{\text{起}}$  和额定电流  $I_{\text{额}}$  的数值可从产品样本中查到。理论和实践证明，对于经常性起动的电动机，其容量不超过变压器容量的 20% 时，可以直接起动；对于不经常起动的电动机，其容量不超过变压器容量 30% 时，可以直接起动；对于距离配电变压器较近，而且是空载或轻载起动的电动机，其容量为配电变压器容量的 35% 时，也可以考虑采取直接起动。总之，只要电源容量能够满足上述要求，电动机应尽量采用直接起动。

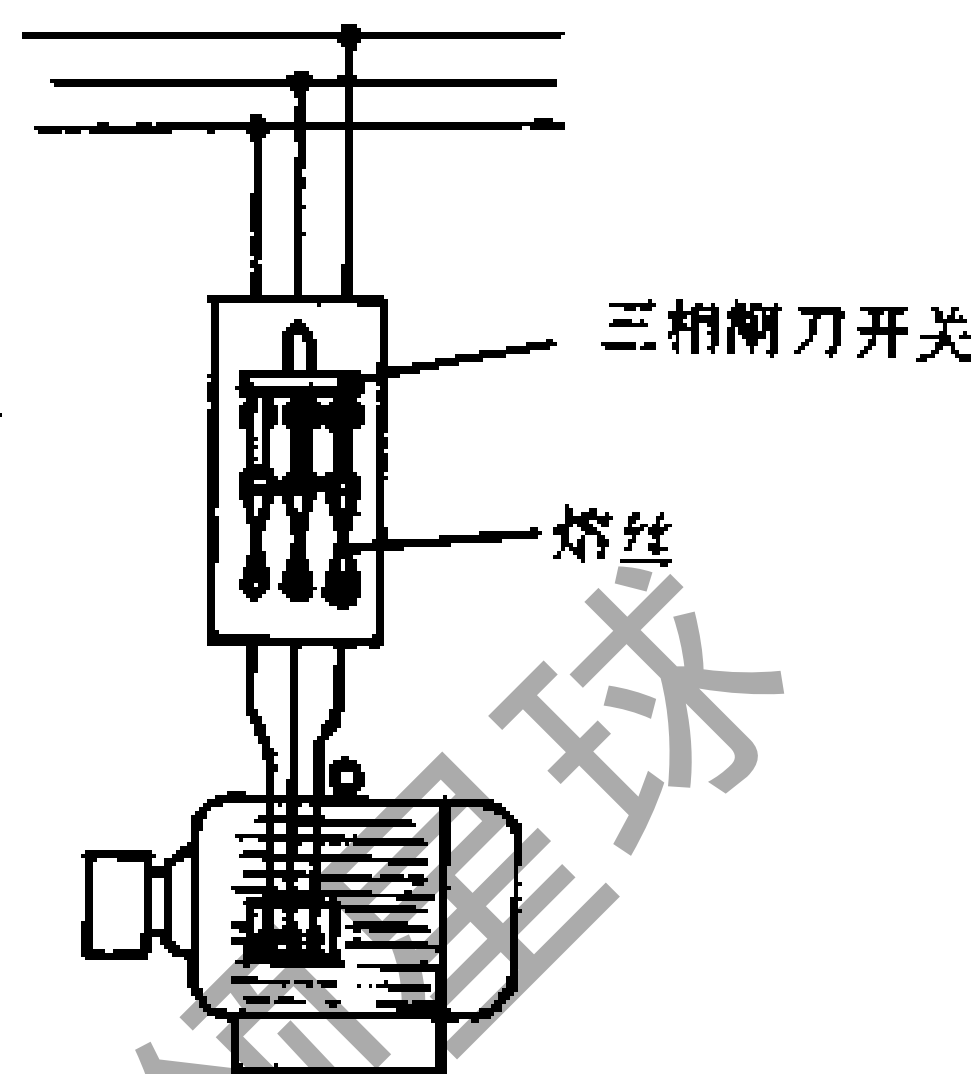


图 4—17 三相异步电动机的直接起动

### 2. 降压起动

利用起动设备将电压适当降低，然后加到电动机定子绕组上起动，以限制起动电流；等电动机转速升高后，再使电动机的电压恢复至额定值，这种起动方法称为降压起动。降压起动的优点是可以减小起动电流，缺点是所用起动设备的价格较贵，而且由于电压降低，使电动机的起动转矩也相应地减小。因此，降压起动适用于起动负载较轻的较大容量的电动机。降压起动一般有下列 4 种方法：

(1) 串联电抗（或电阻）降压起动：接线如图 4—18 所示。起动时先合上电源开关  $K_1$ ，此时加到电动机上的电压通过电抗器（电抗较大的铁心线圈）降压。待电动机转速升高时，再把开关  $K_2$  合上，将电抗器短路，电动机在额定电压下正常运转。所串电抗的数值，应根据所限定的起动电流大小来确定。这种降压起动也可用电阻来代替电抗（图 4—19），串联电阻的数值可以用以下经验公式计算。

$$R_{\text{串}} = 190 \times \frac{I_{\text{起}} - I_{\text{起}'}}{I_{\text{起}} \times I_{\text{起}'}} \quad (\Omega)$$

式中： $I_{\text{起}}$  为未串电阻时的起动电流， $I_{\text{起}'}$  为串联电阻后的起动电流。

(2) 自耦变压器降压起动：自耦变压器降压起动原理，如图 4—20 所示。起动时，合上电源开关  $K$ ，将开关放在“起动”位置，使电动机定子绕组与自耦变压器的次级相连，此时电动机在低于电网电压下起动。待电动机转速升高后，把开关从“起动”位置迅速放到“运行”位置，使自耦变压器脱开，电动机直接与电网相接，在额定电压下正常运行。

自耦变压器次级有两组抽头，变压比为 0.65 和 0.8 两种，可根据电动机起动时负载

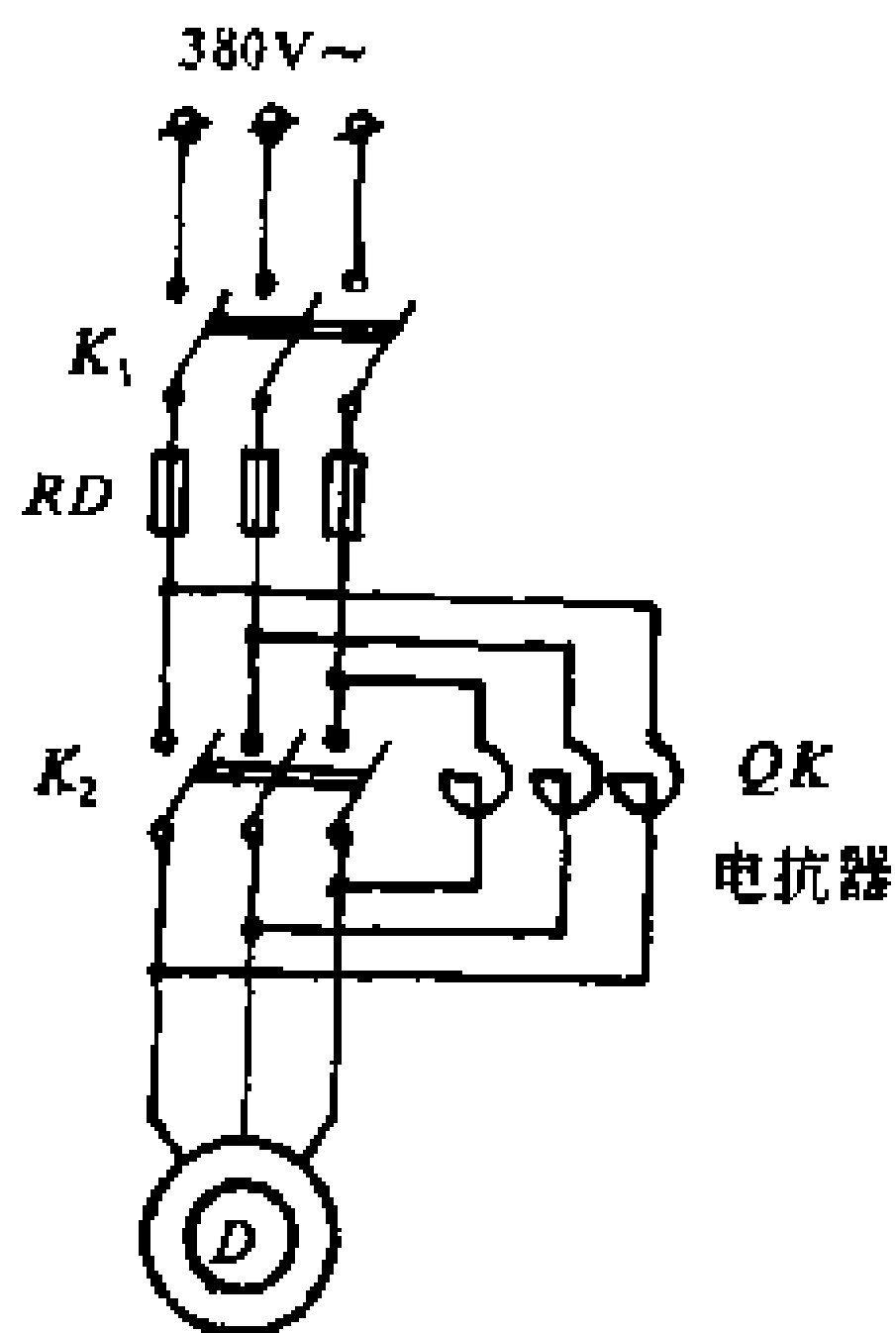


图 4-18 串接电抗降压起动原理图

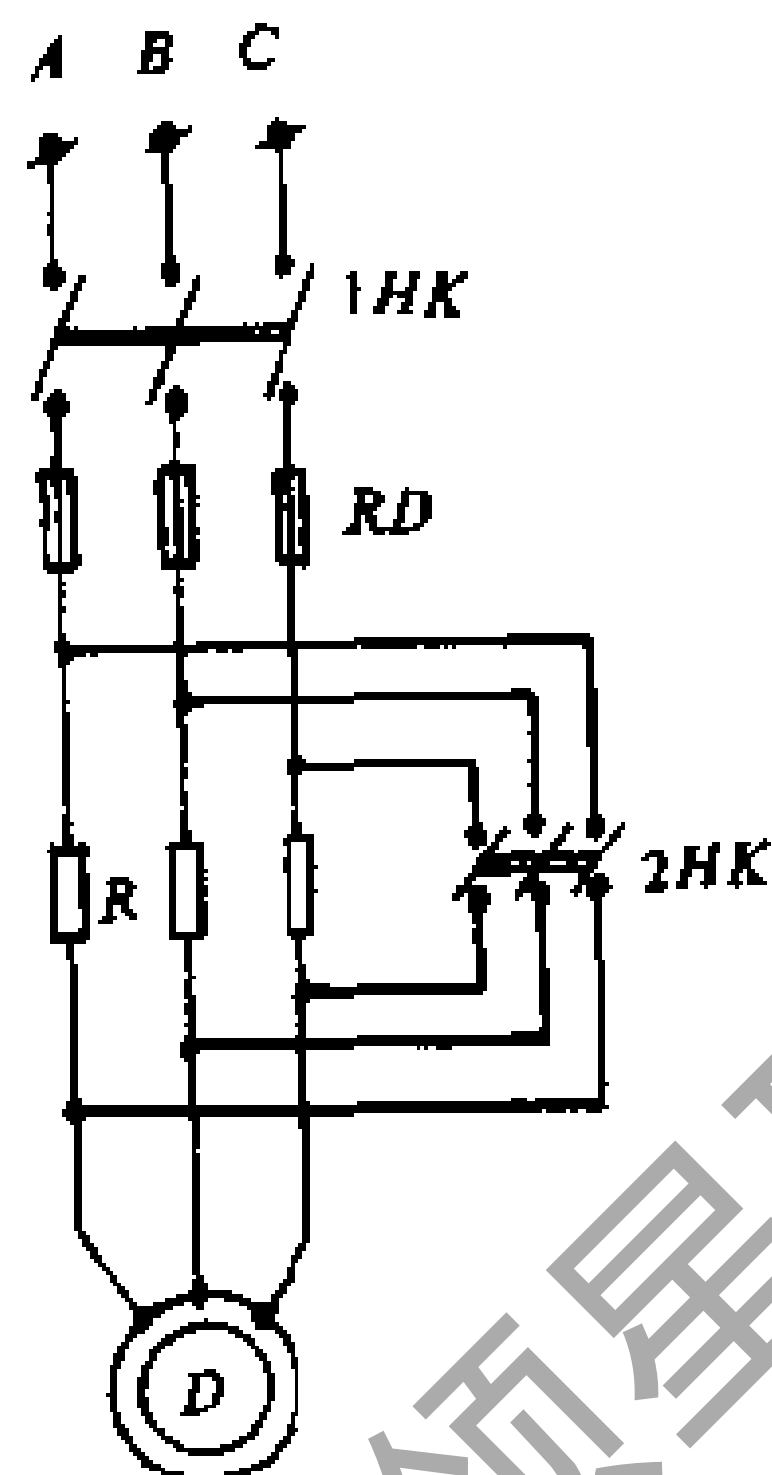


图 4-19 定子绕组串联电阻降压起动原理图

大小，选择不同的起动电压。

通常把起动用的自耦变压器设备叫做起动补偿器，在中型容量以上的电动机起动时，应用较广泛。

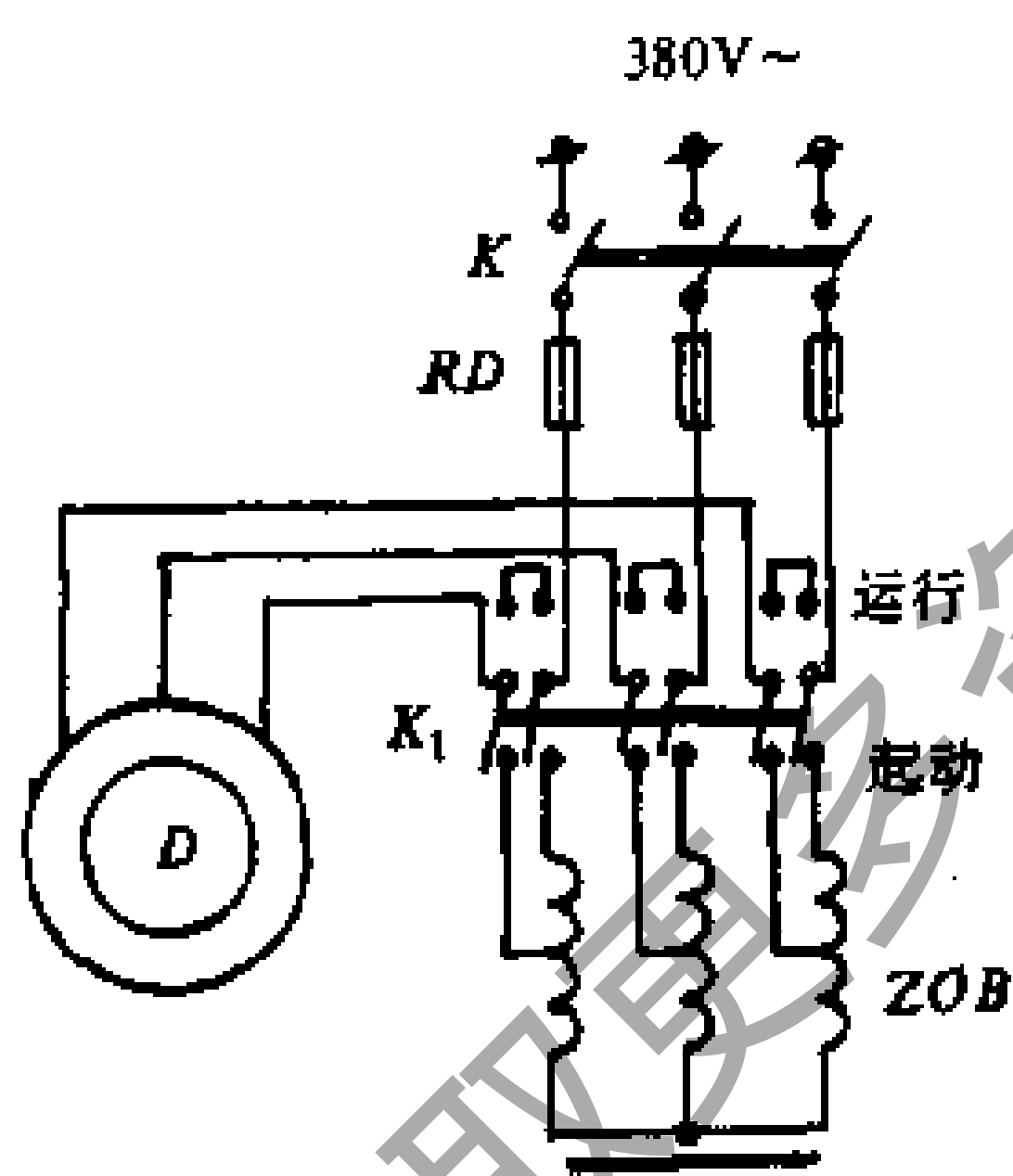


图 4-20 自耦变压器降压起动原理图

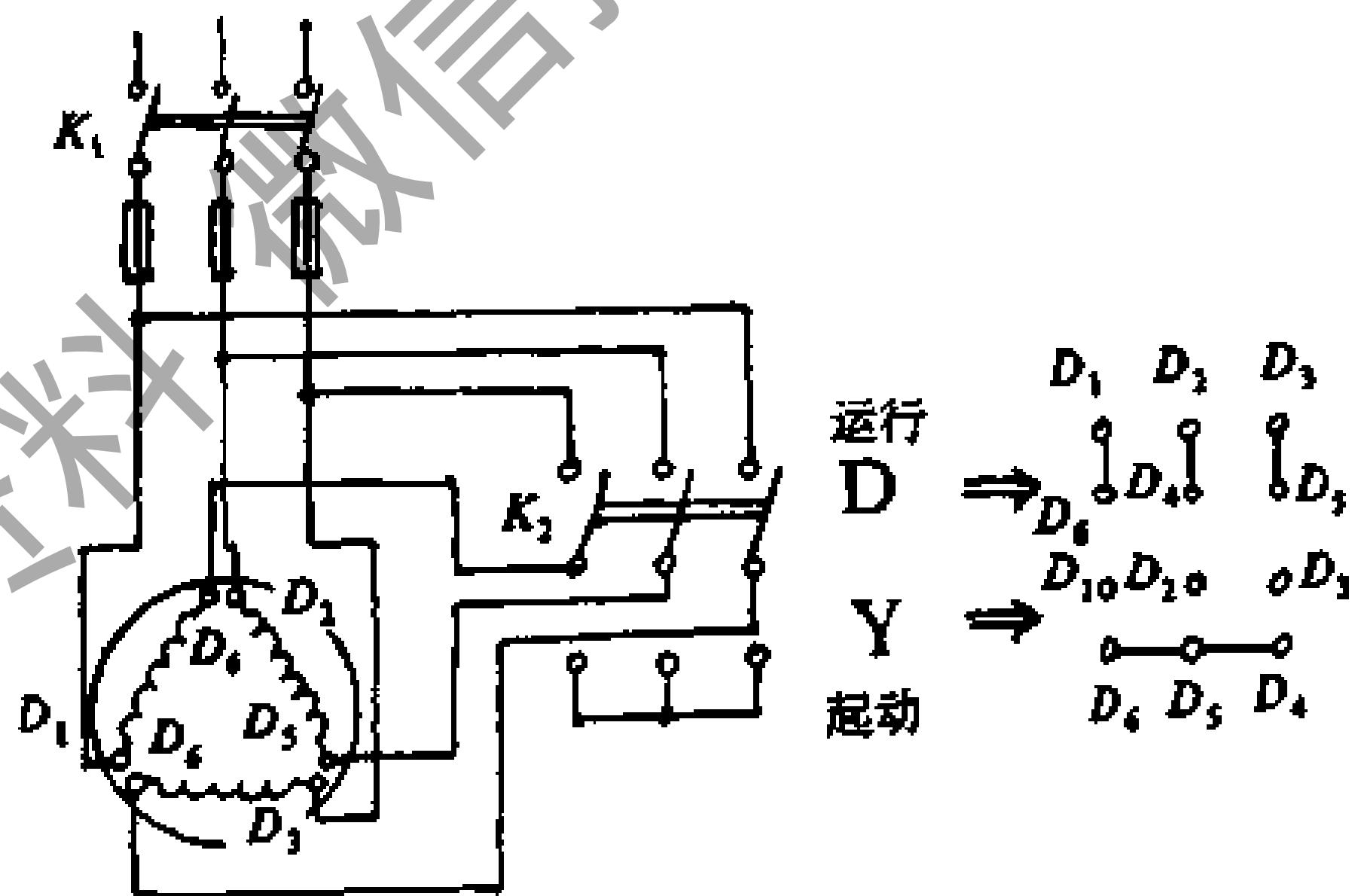


图 4-21 三相异步电动机的“Y-D”起动原理图

(3) 星形—三角形 (Y-D) 降压起动：凡正常运行时定子绕组为三角形接线的异步电动机，都可以采用这种起动方法（图 4-21）。

起动时，先合上开关 \$K\_1\$，使电动机三相绕组的 \$D\_1, D\_2, D\_3\$ 接入三相电源；将开关 \$K\_2\$ 的动刀片合到下方“起动”位置，这时电动机绕组的 \$D\_4, D\_5, D\_6\$ 接在一起，使电动机接成 Y 形起动。当电动机达到一定转速后，再将 \$K\_2\$ 的动刀片迅速合到上方“运行”位置，使三相绕组改接成 D 形进入正常运行。因为 Y 形连接起动时，加到每相绕组的电压为线电压（即电动机接成 D 形时的额定电压）的  $\frac{1}{\sqrt{3}}$  倍，近似等于额定电压的 57.7%，

所以是降压启动。

在第 1 章中已经介绍，星形接法的相电流只有三角接法相电流的  $\frac{1}{\sqrt{3}}$ ，即

$$I_{\text{相Y}} = \frac{1}{\sqrt{3}} I_{\text{相D}}$$

但是，在星形接法时， $I_{\text{线Y}} = I_{\text{相Y}}$ ；而在三角接法时， $I_{\text{线D}} = \sqrt{3} I_{\text{相D}}$ 。所以

$$\frac{I_{\text{线Y}}}{I_{\text{线D}}} = \frac{I_{\text{相Y}}}{\sqrt{3} I_{\text{相D}}} = \frac{\frac{1}{\sqrt{3}} I_{\text{相D}}}{\sqrt{3} I_{\text{相D}}} = \frac{1}{3}$$

由此可见，定子绕组接成 Y 形时的启动电流是接成 D 形时的  $\frac{1}{3}$ 。但应当注意，采用 Y 形连接降压启动时，其启动转矩，同样也减小到 D 形连接启动时的  $\frac{1}{3}$ 。因此，Y—D 降压启动只适用于空载或轻载启动。

在这里重复指出，只有 D 接线时运行于 380V 的电动机才可能采用 Y—D 启动法。例如，电动机铭牌上标明 660/380V、Y/D 的电动机，即可采用 Y—D 降压启动。若铭牌标明的是 380/220V、Y/D 的，则不能采用 Y/D 启动法，因为该电动机定子 D 接法时只能用 220V，若用于 380V 势必烧毁电动机，千万不可大意。

采用 Y/D 启动的电动机，除按图 4—21 自行设计启动电路外，也可采用 QX<sub>1</sub>、QX<sub>2</sub> 手动 Y—D 启动器，以及 QX<sub>3</sub>、QX<sub>4A</sub>、QX<sub>10</sub> 自动 Y/D 启动器。

(4) 延边三角形降压启动：采用这种启动方法的电动机，其定子绕组有 9 个接线头，启动时将定子绕组一部分接成 Y 形，另一部分接成 D 形，称为延边三角形（图 4—22）。此时绕组的每相电压比三角形接法时有所降低，启动电流也可减小。当电动机转速升高后，再改成 D 形。定子绕组的抽头比例（D 部分与延边部分）可做成 1:1、1:2、3:5 等，接成延边部分的线圈比例越大，启动电压越高，根据启动时负载的大小，可得到所要求的起动力矩。

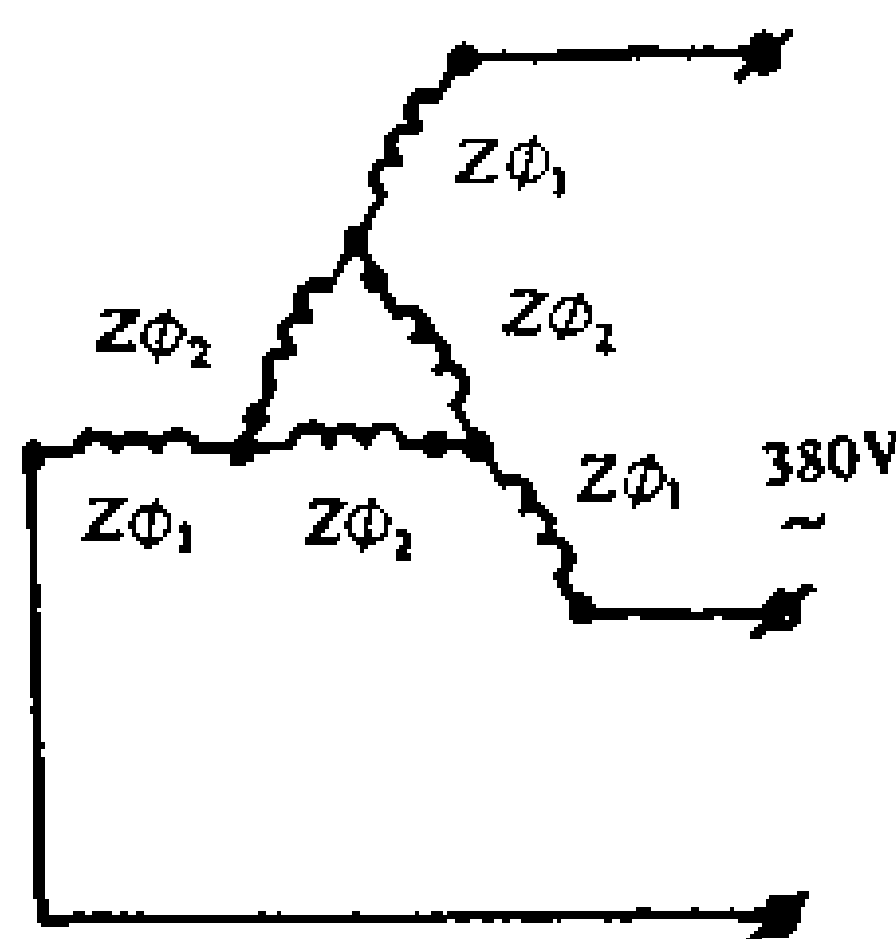


图 4—22 延边三角形降压启动原理图

## 第 6 节 异步电动机的运行

电动机在工农业生产和人民日常生活中发挥着巨大的作用。但是，电动机能否安全可靠地运行以及使用寿命的长短，在很大程度上取决于对电动机的正确使用、维护和保管。

### 一、电动机的接线要正确

要正确使用电动机，首先要保证接线正确。在使用前，应严格按照铭牌上的说明接线，防止接错。

#### 1. 几种错误接线

(1) 把 Y 形接线错接成 D 形接线: 图 4-23 所示是把 Y 形接线错接成 D 形接线。这样, 原定相电压 220V, 现在却成了 380V, 电压升高了  $\sqrt{3}$  倍, 单是空载电流就可能超过额定电流, 以致使电动机迅速发热而烧坏。

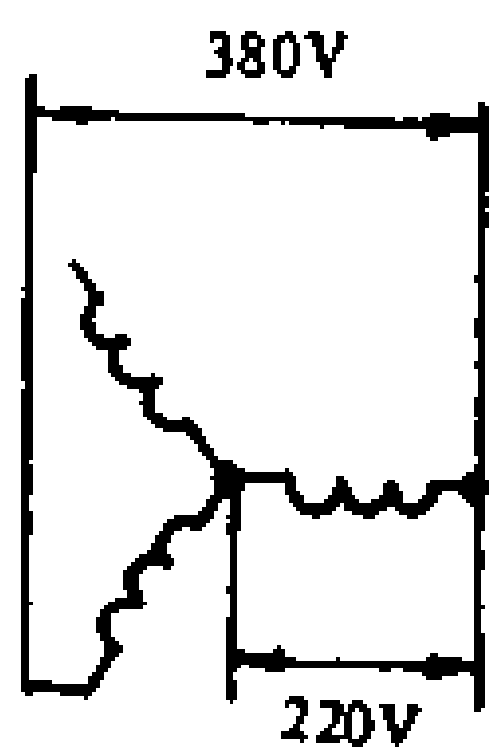


图 4-23 Y 形错接成 D 形

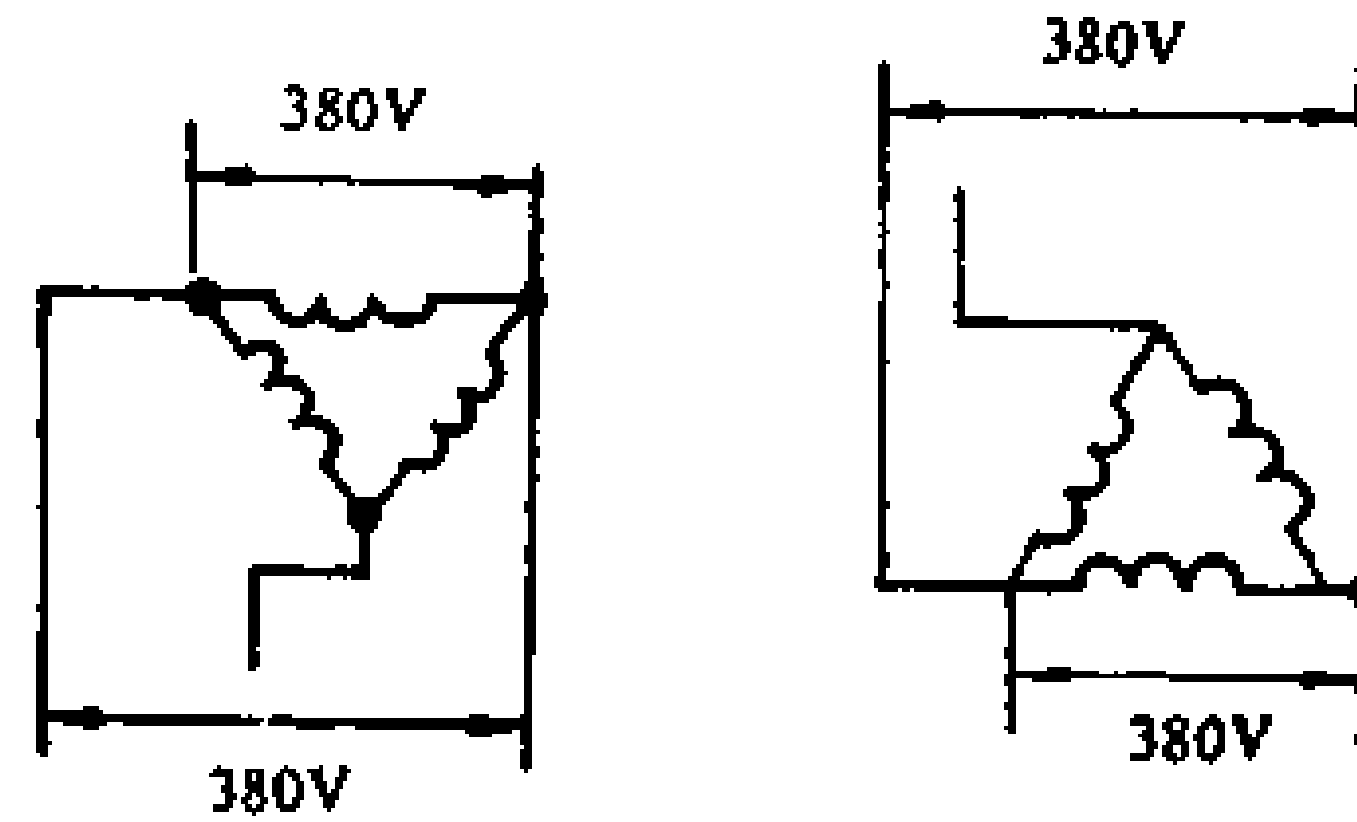


图 4-24 D 形错接成 Y 形

(2) 把 D 形接线错接成 Y 形接线: 图 4-24 所示是把 D 接线错接成了 Y 形接线。这样, 电源电压本来是 380V, 现在成了 220V, 只有原来电压的 58%, 相当于电动机降低电压运行。这时, 电动机的劲头 (转矩) 很小, 一带负荷电流就迅速增加, 甚至被迫停止转动, 结果不是烧断保险丝就是烧毁电动机。

如果负载不超过额定负载的 1/2, 电流就不会过大, 且功率因数反而提高了。因此, 可利用这种大马拉小车的特点, 有意将 D 接成 Y 形, 使电动机降压运行, 以提高功率因数。

(3) Y 形接线时中性点没有并联: 在 Y 形接线时, 未将三相绕组的尾端  $D_4$ 、 $D_5$ 、 $D_6$  连在一起 (图 4-25), 结果合开关时, 电动机毫无动态和响声, 因为三相电源尚未接通, 自然不能起动电动机。

(4) 一相的首端与尾端接反: 电动机的 6 个抽头中,  $D_1$ 、 $D_2$ 、 $D_3$  分别为三相绕组的首端,  $D_4$ 、 $D_5$ 、 $D_6$  则是尾端。假若把同一绕组的首端  $D_1$  和尾端  $D_4$  (或  $D_2$  和  $D_5$ 、 $D_3$  和  $D_6$ ) 互相颠倒了, 叫做一相接反。合闸时, 由于定子绕组建立的已不是对称旋转磁场, 电动机发出强烈振动和沉闷的嗡嗡声, 出现不能起动或者转速升不上去的现象, 三相电流不平衡, 绕组急剧发热。如不及时断开电源, 时间稍长就会烧毁绕组。

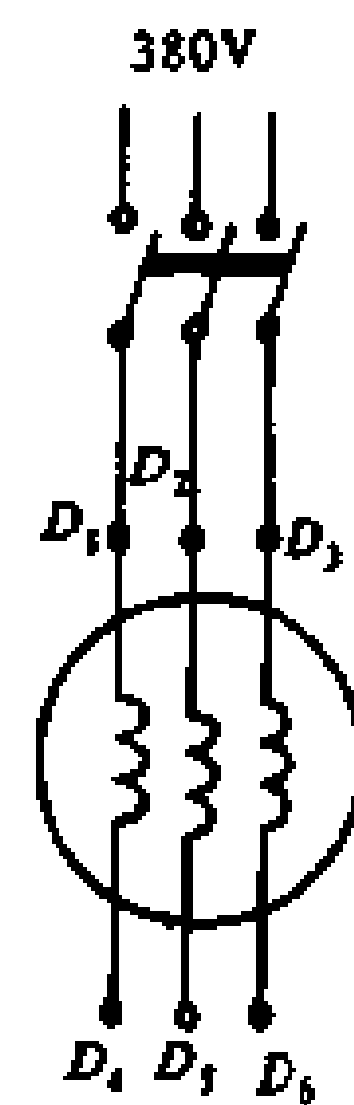


图 4-25 Y 接法时中性点没有并联

(5) 零线当作火线使用: 在三相四线制供电中, 错把零线当作火线使用, 这样在电动机绕组上, 不是三相对称电压, 其中有两相的电流过大。通过测试和计算可知, 在同样的负载下, 这两相的电流要比正常时大 1~2 倍。即使在空载情况下, 也往往达到额定电流值。当电动机满载时, 由于两相电流迅速增大, 会造成电动机发热或烧坏。

## 2. 判断电动机抽头的首与尾

电动机出厂时, 三相绕组的 6 个抽头都有清楚的标记。一旦标记脱落, 6 个抽头混在一起, 不易分明首尾时, 首先要找出每相绕组的两个抽头, 分成 3 对两组 (可用兆欧表、万用表或干电池灯泡来找相分组)。然后通过下面的试验, 来判断出每相绕组的首与尾。

(1) 直流法: 把任一绕组的两个抽头经过一个开关与两节干电池相串联, 并指定与电池正极相接的抽头为绕组的首端, 另一个抽头为绕组的尾端。把万用表拨到直流电流

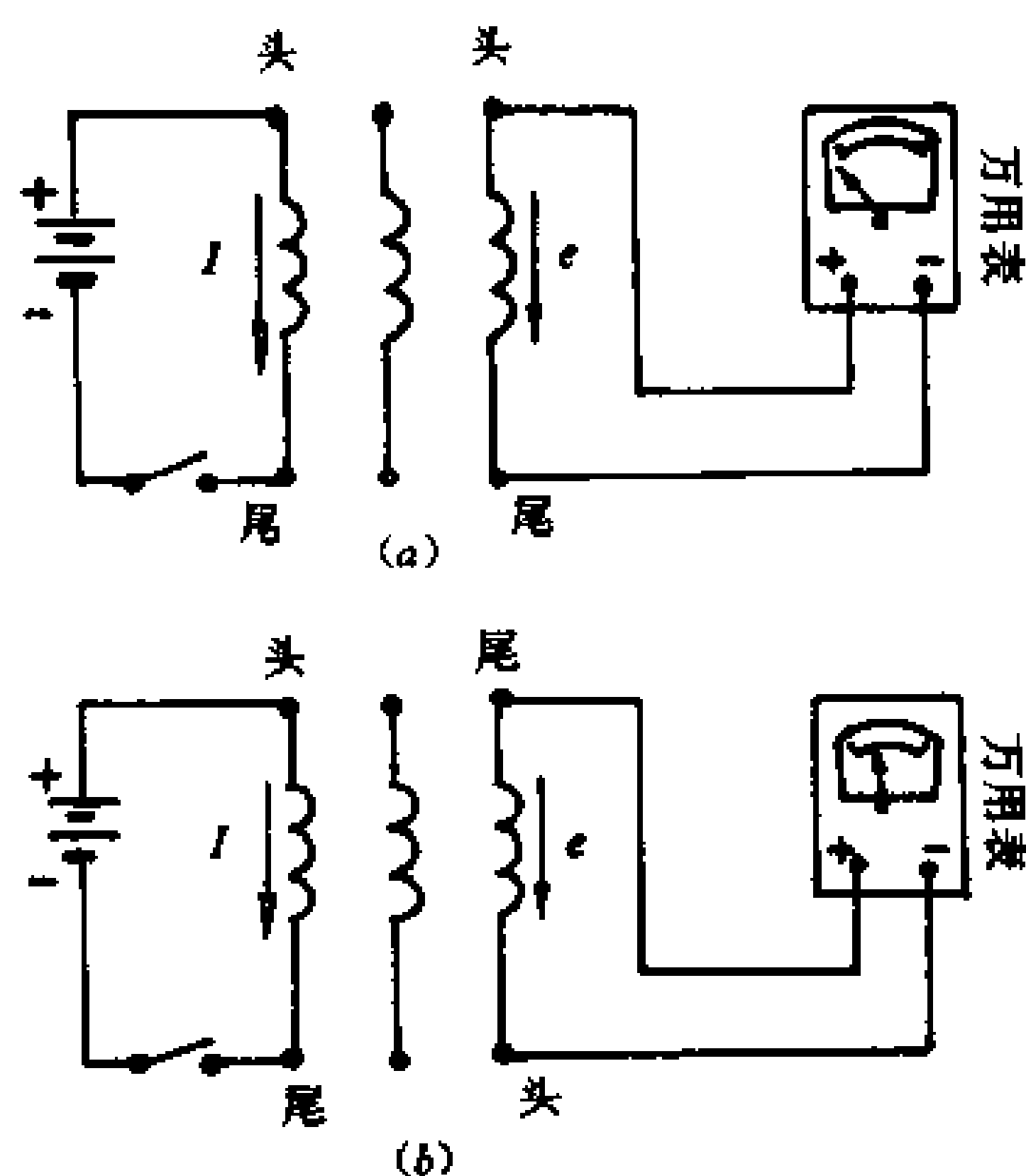


图 4—26 用直流电源和万用表判断绕组的首、尾端

(a) 电表指针反转 (b) 电表指针正转

挡，并与另一相绕组的两个抽头相接（图 4—26）。接通开关的瞬间，若万用表的指针反转（向左），则与万用表“+”极相接的一端为绕组的首端，与万用表“-”极相接的一端为绕组的尾端〔图 4—26 (a)〕；若万用表的指针正转（向右），则表明与万用表“+”极相接的一端为绕组的尾端，与万用表“-”极相接的一端为绕组的首端〔图 4—26 (b)〕。用同样的方法，可以确定出第 3 相绕组的首端和尾端。上述试验的结论见表 4—3。

表 4—3 用直流电源和万用表判断绕组首、尾端

| 万用表指针反转（向左） |              | 万用表指针正转（向右） |              |
|-------------|--------------|-------------|--------------|
| 与电池“+”极所接抽头 | 与万用表“+”极所接抽头 | 与电池“+”极所接抽头 | 与万用表“+”极所接抽头 |
| 首 端         | 首 端          | 首 端         | 尾 端          |

如果没有万用表，可用两节干电池和一个小灯泡按下列方法进行试验：先将三相绕组中的任意两相（为了便于说明问题，假定这两相绕组叫做第 1 相和第 2 相）的两个抽头相接，另外两个抽头与小灯泡串联，把剩下的一相（假定叫第 3 相）经过一个开关与电池相接（图 4—27）。当接通开关的瞬间，若小灯泡不亮，则表明第 1 相绕组的首端与第 2 相绕组的首端相接〔图 4—27 (a)〕。这是因为第 1 相绕组和第 2 相绕组中所产生的感应电势大小相等，方向相同（都从首端指向尾端）。这时，在两相绕组与小灯泡串联的闭合回路中，按顺时针方向沿回路绕一周，则两个电势是相减的，即回路中的总电势等于零，所以小灯泡不亮。

当接通开关的瞬间，若小灯泡发亮，则表明第 1 相绕组的首端与第 2 相绕组的尾端相接〔图 4—27 (b)〕。因为这时两相绕组中的感应电势大小相等，而方向相反，若沿闭合回路绕一周，则两个电势是相加的，即回路中的总电势等于一相绕组电势的 2 倍，因此使灯泡发亮。

同样道理可以确定第3相绕组与电池正极相接的一端为绕组的首端,与电池负极相接的一端为绕组的尾端。

(2) 交流法:

①找出每相绕组的两个抽头,如图4-28(a)所示,取220V25W以上电灯一盏,串接在220V电源上。把电灯的一个线头与电动机的任何一个抽头连接,并把这个抽头记为“1”。把电源的另一个线头依次与电动机其余5个抽头接触,当接触到电动机某一个抽头而电灯发光时,说明这个抽头与“1”是同一个绕组,并记上“4”〔图4-28(b)〕。用同样的方法可以判断出另一相绕组,并把两个抽头记上“2”、“5”。余下两个抽头是同一相绕组,就可记上“3”、“6”。

②判断每相绕组的首尾:先假定上面的编号是正确的,如图4-28(c)所示,把“4”、“2”连接,“1”、“5”接通电源,“3”、“6”接上电灯。通电后,如果灯丝发红,说明“2”、“5”的编号正确;灯丝不发红,只要把“2”、“5”编号对换即可。如图4-28(d)所示,把“5”、“3”连接,“2”、“6”接通电源,“1”、“4”接灯泡、灯丝发红,说明“3”、“6”编号正确,如果灯丝不发红,只要把“3”、“6”编号对换即可。

判断绕组的首端和尾端,是为了正确地接线,保证电动机的安全运行,这些方法应结合实践进一步认识和掌握。

二、认真作好电动机使用前的检查

对于新装或停用时间较长的电动机,使用前必须认真地、细致地进行检查,发现问题及时处理,不使电动机“带病”工作。检查的项目有:检查铭牌数据(如电压、功率等)是否符合要求,定子绕组接线是否正确。检查零部件是否齐全,螺丝有无松动。检查轴承室是否需要加油或更换新润滑油。用手扳动转子,观察转动是否灵活,细听内部有无摩擦等声响。检查电源连线有无断线,连接处有无松动,接线是否正确。检查起动设备和保险丝是否完好,保险丝是否符合规定。测量各相绕组对地(外壳)绝缘电阻和相间绝缘电阻是否符合要求。凡是额定电压为500V以下的电动机,用500V摇表测量,其绝缘电阻值不应低于0.5MΩ,否则表明电动机绝缘受潮,应进行干燥后才能使用。

三、电动机起动时应注意的事项

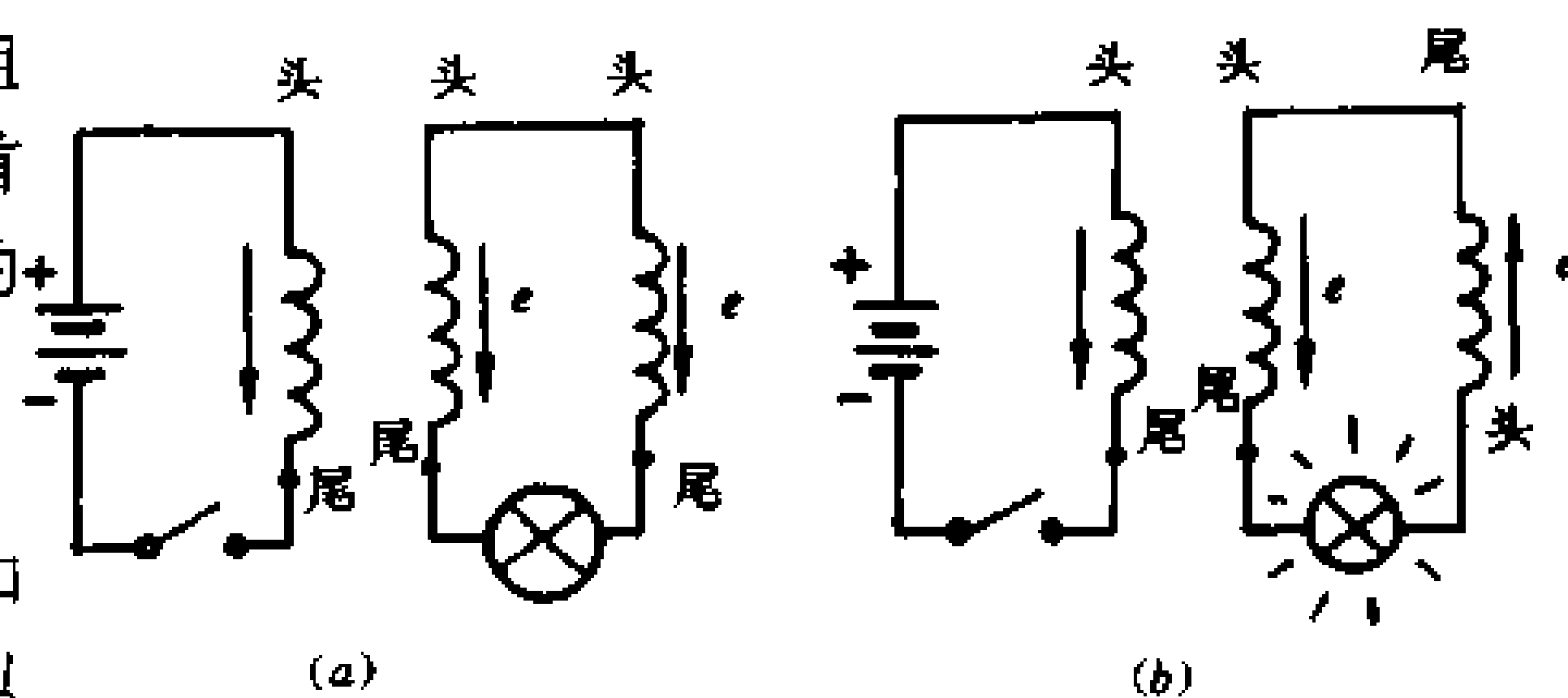


图4-27 用直流电源与小灯泡判断绕组的首、尾端  
(a) 小灯泡不亮 (b) 小灯泡亮

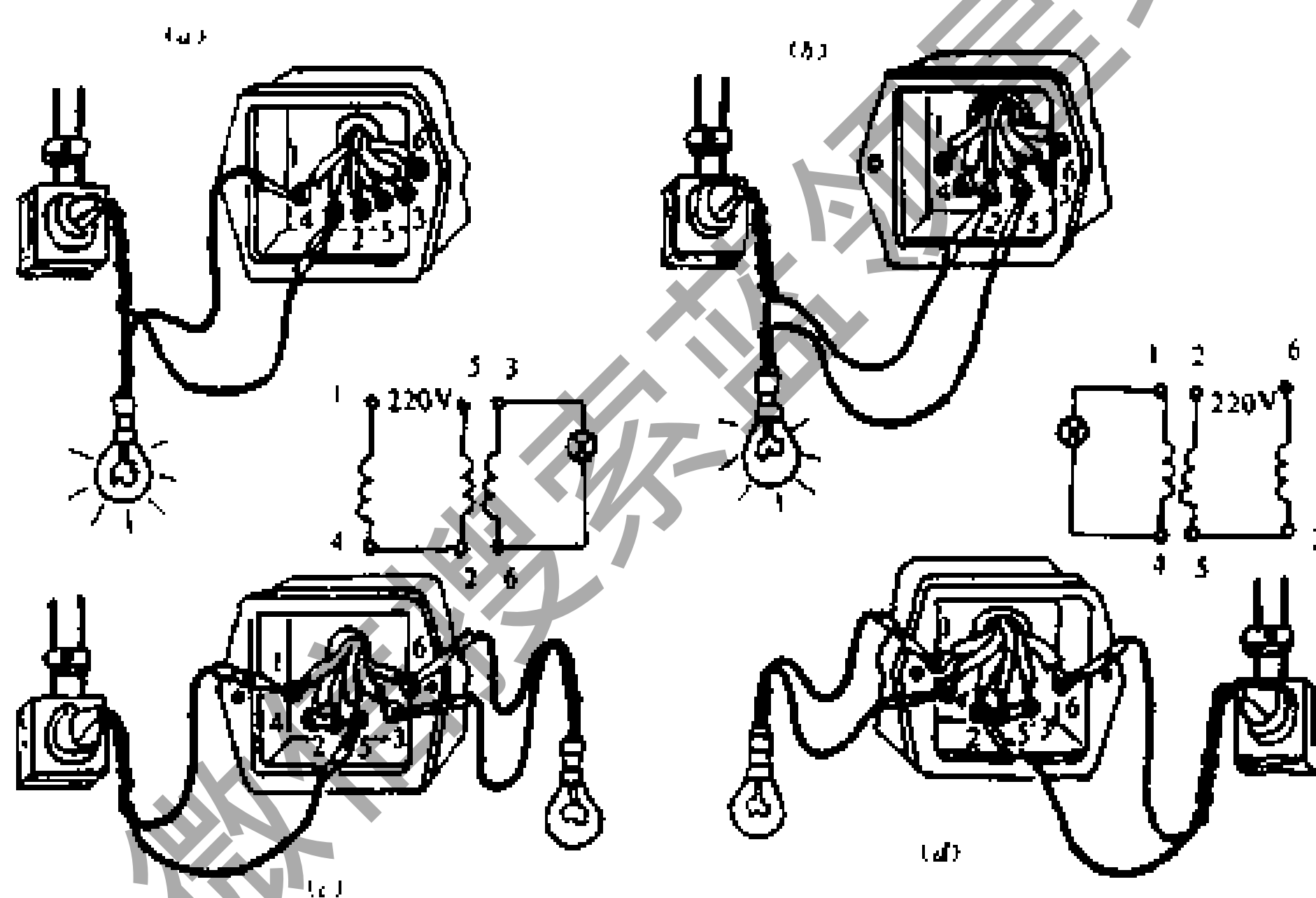


图4-28 用交流电源和灯泡判断绕组的首、尾端

测量电源电压是否正常，检查被拖动的机械及传动装置是否正常。起动前，若电动机周围有人，操作人员应事先发出通知，引起在场人的注意，以免发生人身事故。使用闸刀开关时，合闸动作要迅速、果断。利用 Y—D 起动器或补偿起动器起动时，要特别注意操作顺序，一定先推到“起动”位置，当转子达到一定转速后，立即推到“运行”位置，操作手柄不能在起动位置停留时间过长。合闸后，若发现电动机不转或起动很慢，或有异常声响时，应立即断开电源，检查原因。故障排除后，方能再次合闸起动。鼠笼式异步电动机的起动电流为额定电流的 4~7 倍。因此，电动机不能在短时间内频繁起动，以免使起动设备和定子绕组过热。电动机在冷状态下，空载连续起动不应超过 3~5 次；在热状态下起动，不得连续超过 2 次。

#### 四、加强对电动机运行中的监视

##### 1. 注意电源电压的变化

电网电压随着用电负荷的变化而波动，负荷高时，线路电压显著降低，因而造成电动机起动困难或不能起动，并使运行中的电动机出现过热现象，严重时甚至被烧毁。所以，使用时要不断注意电源电压的变化。一般加在电动机上的电源电压变动范围不应超过其额定电压的 ±7%。例如，对于额定电压为 380V 的电动机，其电源电压的最高和最低范围是：

$$380 \pm 380 \times 7\% = 380 \pm 26.6 = 406.6 \sim 353.4 \text{ (V)}$$

##### 2. 注意电动机的温升（或工作温度）变化

电动机运转时所产生的各种能量损耗都转变为热能，使电动机各部分的温度升高，电动机的大部分故障都会使它的定子电流增大，温度升高。因此，经常检查电动机温度变化，是电动机运行检查的主要项目。

为了保证电动机不因温度过高而损坏或降低其使用年限，制造厂根据所用绝缘材料等级，规定了电动机允许温升或最高允许温度（表 4—4）。电动机应严格按允许温升运行。

表 4—4 电动机各部件的允许温升

| 序号 | 电机部件  |    | 环境温度<br>(°C) | 允许温升 (°C) |     | 允许温度 (°C) |     |
|----|-------|----|--------------|-----------|-----|-----------|-----|
|    |       |    |              | 温度计法      | 电阻法 | 温度计法      | 电阻法 |
| 1  | 滑 环   |    | 35           | 70        | —   | 105       | —   |
| 2  | 换 向 器 |    | 35           | 65        | —   | 100       | —   |
| 3  | 滑动轴承  |    | 35           | 45        | —   | 80        | —   |
| 4  | 滚动轴承  |    | 35           | 60        | —   | 95        | —   |
| 5  | A 级绝缘 | 绕组 | 35           | 60        | 65  | 95        | 100 |
|    |       | 铁心 | 35           | 65        | —   | 100       | —   |
| 6  | B 级绝缘 | 绕组 | 35           | 75        | 85  | 110       | 120 |
|    |       | 铁心 | 35           | 85        | —   | 120       | —   |
| 7  | E 级绝缘 | 绕组 | 40           | 65        | 75  | 105       | 115 |
|    |       | 铁心 | 40           | 75        | —   | 115       | —   |
| 8  | F 级绝缘 | 绕组 | 40           | 85        | 100 | 125       | 140 |
|    |       | 铁心 | 40           | 100       | —   | 140       | —   |

测试电动机的温度，最简单的方法是用手摸。根据工人师傅的经验，把手放在电动机外壳上，如果感到烫得需要立即把手缩回，则表明电动机已经过热了；如果没有烫得缩手的感觉，则表示没有过热。另一种方法是在电动机外壳上滴几点水，如果看见热气但没有声音，则表明电动机没有过热；如果不但有热气，而且可以听到“滋滋”的声音，则说明电动机已经过热了。除以上简单方法外，常用玻璃温度计测量电动机温度。先将电动机的吊环螺丝取下，用锡箔纸把温度计的下部包严，塞到吊环螺孔内，锡箔纸的厚度应与螺孔四壁紧密接触，孔口最好用棉花堵严。等温度计的水银柱不再继续上升时，测得的温度即为机壳的温度。这个温度再加  $10^{\circ}\text{C}$ ，就是定子绕组的实际温度。

### 3. 注意电动机的气味、振动和声音的变化

电动机绕组温度过高时，通常会散发出绝缘漆的气味或绝缘的焦糊味，闻到这种气味时，应立即断开电源。如果发现早，断开电源快，就可能避免严重事故的发生。

当负载过重或发生两相运行时，电动机会发出沉闷的“嗡嗡”声；转子与定子铁心摩擦时，会发生金属摩擦声和撞击声；轴承严重损坏，就会产生“咕噜咕噜”的声音；若轴承缺油或油有杂质，会产生“沙沙”声。总之，电动机运行中如果发现有较大振动或异常声响时，应立即查明原因，及时处理，以免造成更大事故。

### 4. 防止电动机两相运行

正在运行着的三相异步电动机，如果发生一相断电，则形成两相供电，称为“两相运行”或“断相运行”（也有的称单相运行）。电动机发生两相运行时，虽能继续转动，但发出沉闷的“嗡嗡”声，转速降低，绕组急剧发热，如不及时断开电源，时间稍长就会烧毁绕组。

(1) 产生两相故障的原因：

- ① 一相熔丝烧断。
- ② 变压器高压侧跌落保险熔断一相，或者低压侧熔断器熔断一相。
- ③ 电动机的引线或低压导线断线、连接松动、接触不良。
- ④ 电动机一相绕组断线。

(2) 电动机两相运行为什么会烧毁定子绕组：假设有一台额定电压（指线电压）为  $380\text{V}$ 、Y 形接线的三相电动机。若 A 相电源断开，则 A 相绕组中的电流为零。这时，B、C 两相绕组串联起来接在  $380\text{V}$  电压之间，即每相绕组所加电压为  $380/2=190\text{V}$  [图 4-29 (a)]。我们知道，Y 形接法的三相电动机，每相绕组所加电压为相电压，即  $220\text{V}$ 。若

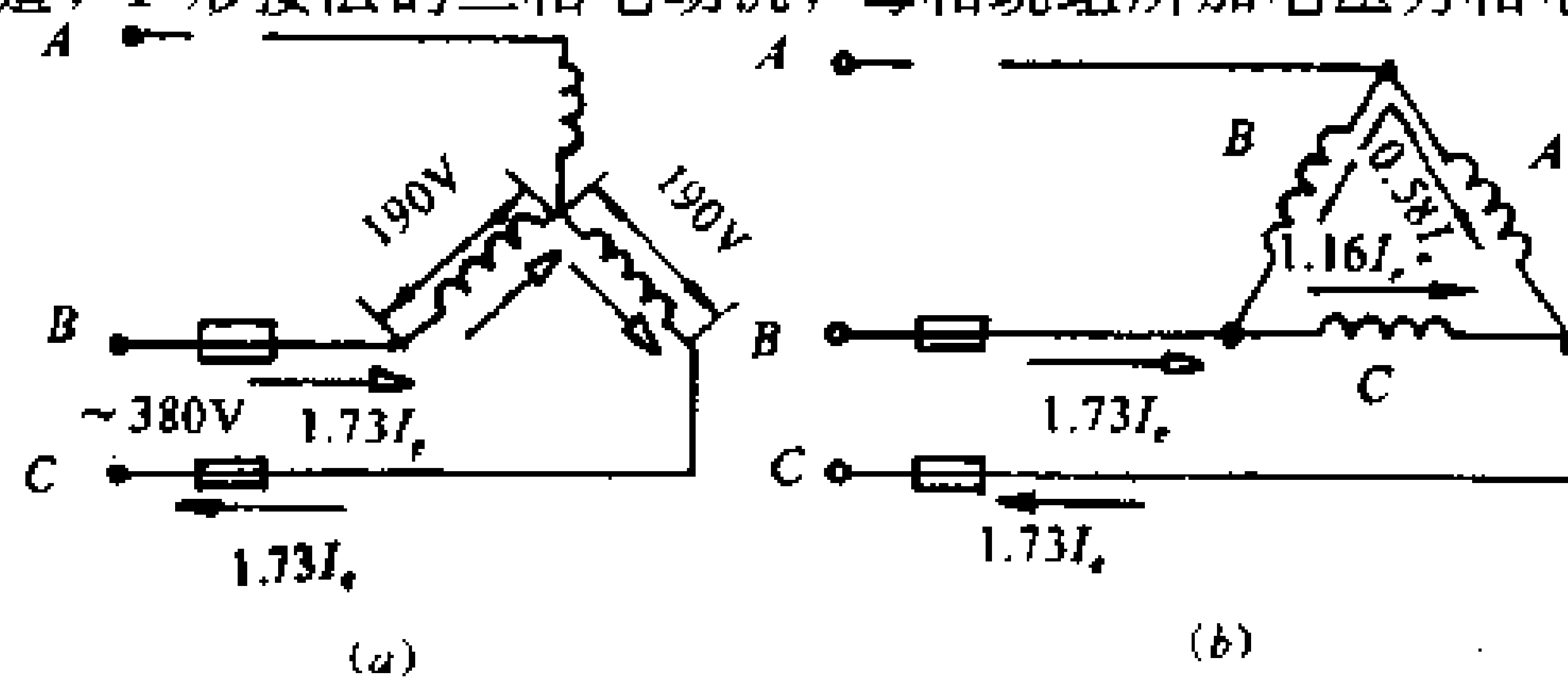


图 4-29 电动机两相运行的分析  
(a) Y 形接线 (b) D 形接线



电动机所带的负载未变，则由原来三相绕组所承担的全部负载要由 B、C 两相绕组来承担；而且 B、C 两相绕组的电压又由原来的 220V 降低到 190V。因此，B、C 两相绕组中的电流显著增大，根据计算和实际测量，运行的两相绕组中的电流将增大到额定电流的 1.73 倍左右。这个电流要比一般过负荷电流大得多，因而引起两相绕组急剧发热。

对于额定电压为 380V、D 形接线的三相电动机来说，在正常运行时，每相绕组通过的电流为额定电流（指线电流）的  $\frac{1}{\sqrt{3}}$  ( $\approx 0.58I_e$ )。若 A 相电源断开，则线电流增大到额定电流的 1.73 倍。这个电流分两路通过 A、B 绕组和 C 相绕组，如图 4—29 (b) 所示。由于 C 相绕组的阻抗是 A、B 两相绕组串联阻抗的一半，所以通过 C 相的电流为 A、B 两相绕组电流的 2 倍。具体来讲，通过 A、B 两相绕组的电流为  $0.58I_e$ ，通过 C 相绕组的电流为  $0.58I_e \times 2 = 1.16I_e$ 。由此可知，通过 C 相绕组的电流为正常电流（注意：正常电流为  $0.58I_e$ ）的 2 倍，因而 C 相绕组烧毁。

(3) 防止两相运行的保护措施：

① 选用带热继电器的磁力起动器或自动空气开关作为电动机的起动设备（其原理在第 5 章讲述）。

② 加装电动机断相保护装置。图 4—30 是断相自动保护装置的一种，用以防止两相运行。图中，RM 为低压熔断器；Q 为交流接触器；ZJ 为中间继电器（380V5A）；ZY 为联动型起动按钮（两对常开接点）；TY 为停电按钮；D 为 380 伏三相异步电动机。

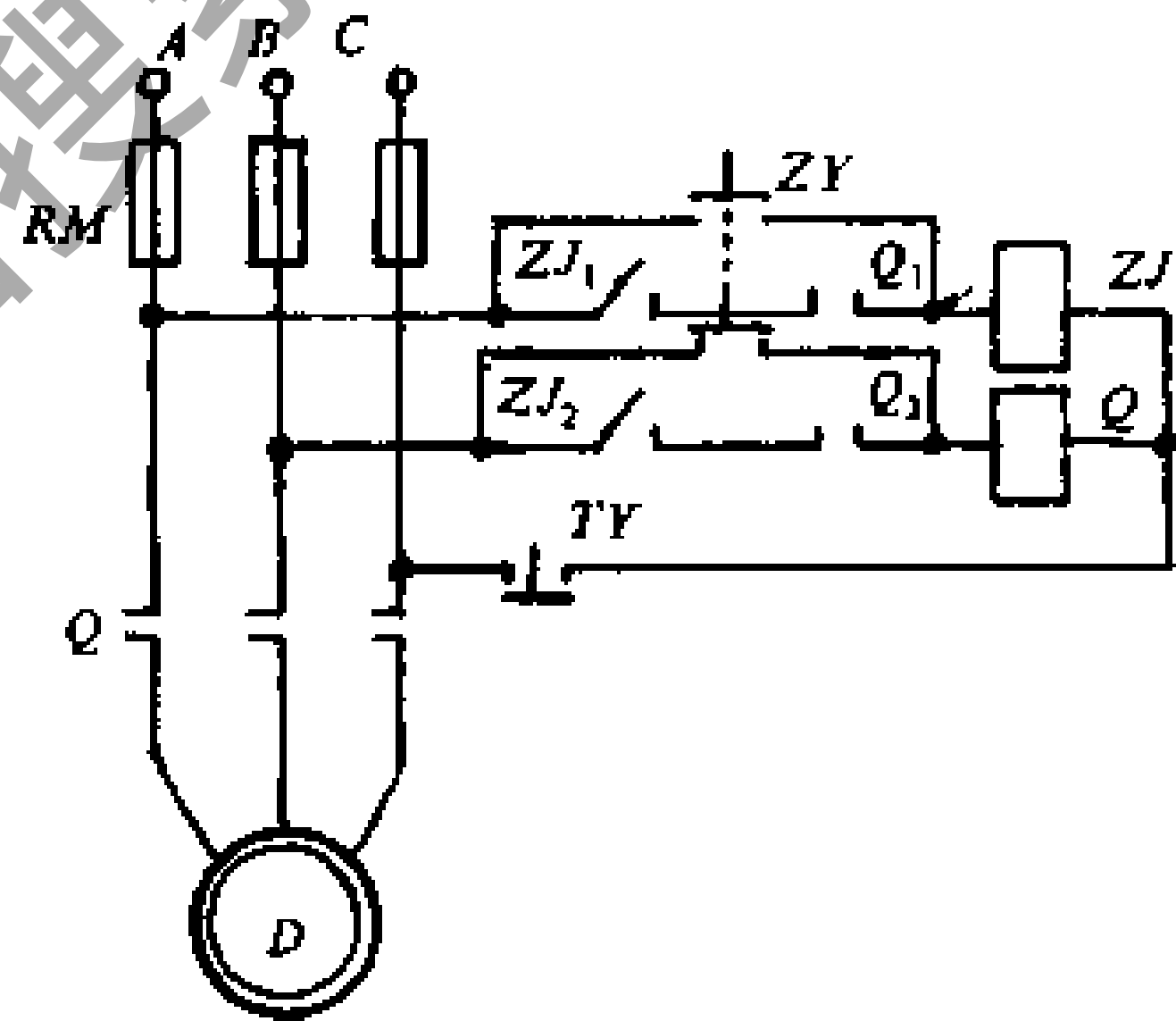


图 4—30 断相保护装置

断相保护的动作用原理是，当三相电源正常时，按下起动按钮 ZY，中间继电器 ZJ 和电磁开关 Q 均起动，其常开接点及主触点闭合，电动机通电起动运转。起动按钮返回后，中间继电器、电磁开关的磁力线圈分别靠其接点 ZJ<sub>1</sub> 和 Q<sub>1</sub>、ZJ<sub>2</sub> 和 Q<sub>2</sub> 串联保持通电，使其保持在闭合状态，电动机正常运转。若三相电源中断一相（如 A 相或 B 相），中间继电器 ZJ 或电磁开关 Q 的磁力线圈因失压，其常开接点及主触点返回，从而电动机的电源被切断。当 C 相断开时，中间继电器 ZJ 和磁力开关 Q 的磁力线圈串联在 A、B 相电源上，磁力开关的磁力线圈中的电流远小于其返回电流（一般电磁开关的容量远大于中间继电器的容量），基本上处于失磁状态，所以电磁开关迅速返回而将电动机的电源切断。所以，此种断相保护装置，无论三相电源中哪一相断相，电动机的电源都能迅速地被切断，使电动机得到可靠的保护。

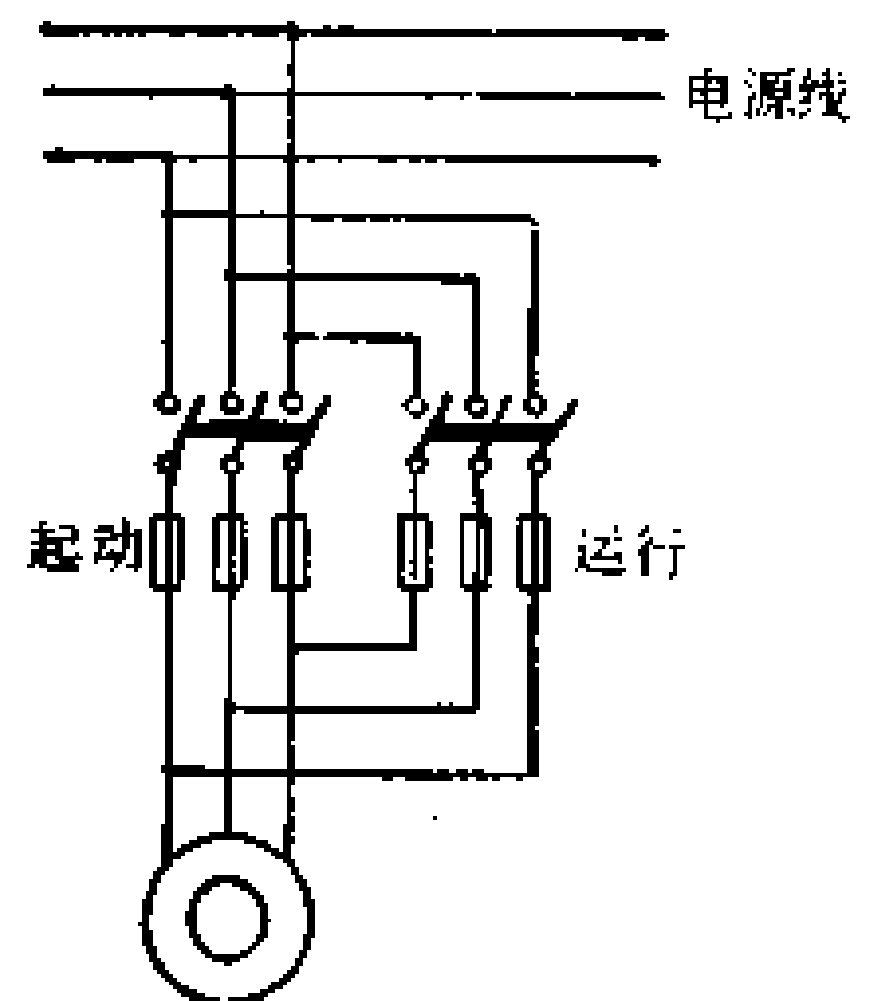


图 4—31 双开关控制电动机的接线

双开关控制电动机的接线如图 4—31 所示。一只开关上的保险丝按电动机额定电流的 1.5~2.5 倍选择（起动时不会熔断），作为起动电动机用，称为“起动开关”；另一只开关上的保险丝按电

动机的额定电流选择（如果电动机的负载较轻，保险丝应按电动机的实际工作电流选择），这只开关称为“运行开关”。起动时，先合上“起动开关”使电动机起动；当电动机进入正常运行后，再合上“运行开关”并拉开“起动开关”。如果电动机在运行中发生一相断电，则运行开关上的保险丝熔断，切断电源。

重锤式掉闸装置如图 4—32 所示，在每相保险丝两端分别并联一段电热丝（一段电炉丝），取一根塑料线穿过电热丝，一头在电热丝上方用钉子固定，另一头拴在重锤上。开关合闸后，重锤被塑料线吊住，拉闸木柄并不受力（如图中的虚线所示）。因为电热丝的电阻比保险丝的电阻大得多，所以在保险丝正常时，通过电热丝的电流极小，电热丝不会发热。当任一相保险丝熔断后，通过该相电热丝的电流为电动机的线电流，电热丝发热使塑料线熔断，重锤因失去支持而下落，通过塑料线和木柄把开关拉开，使电动机停止运转。

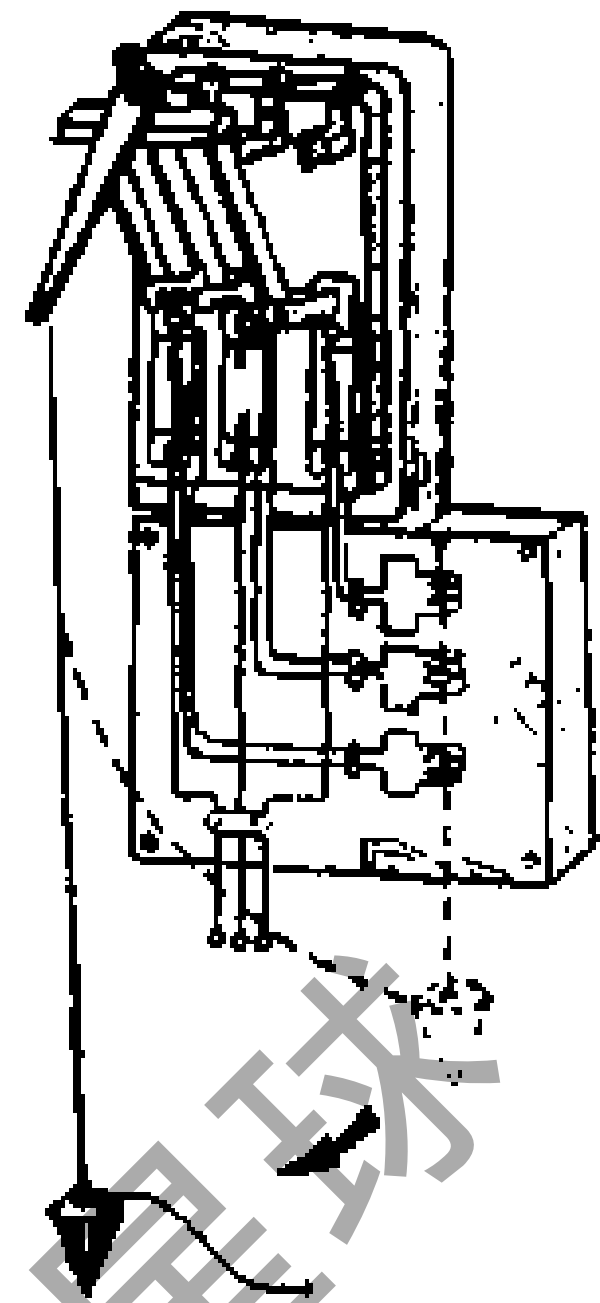


图 4—32 重锤式自动掉闸装置

## 第 7 节 电动机的常见故障及排除方法

电动机在使用中有时会发生故障，常见的故障有轴承损坏，转子与定子碰擦，线圈漏电，绕组碰壳接地，绕组断线，绕组烧毁，润滑油干涸，鼠笼环断条等 8 种。为了迅速找出故障原因，及时排除并修复电动机，需要掌握检查电动机故障的步骤和排除故障的方法。

### 一、电动机故障的检查步骤

当电动机发生故障的原因不明时，可按图 4—33 所示步骤检查。图中，1—开亮电灯或观察电压表看电源是否正常；2—如果电源有电，应检查开关和起动设备有无故障；3—如果开关和起动设备完好，应卸下皮带（或联轴节），让电动机空载运转，检查故障是否由负载所引起；4—如果电动机本身发生故障，要卸下接线盒，检查接线有无焦痕，是否断裂；5、6—如果接线良好，应检查轴承是否损坏，润滑油是否干涸；7—如果轴承也完好，应检查定子绕组有无焦痕，是否断裂或碰壳；8—最后应检查转子是否断条。

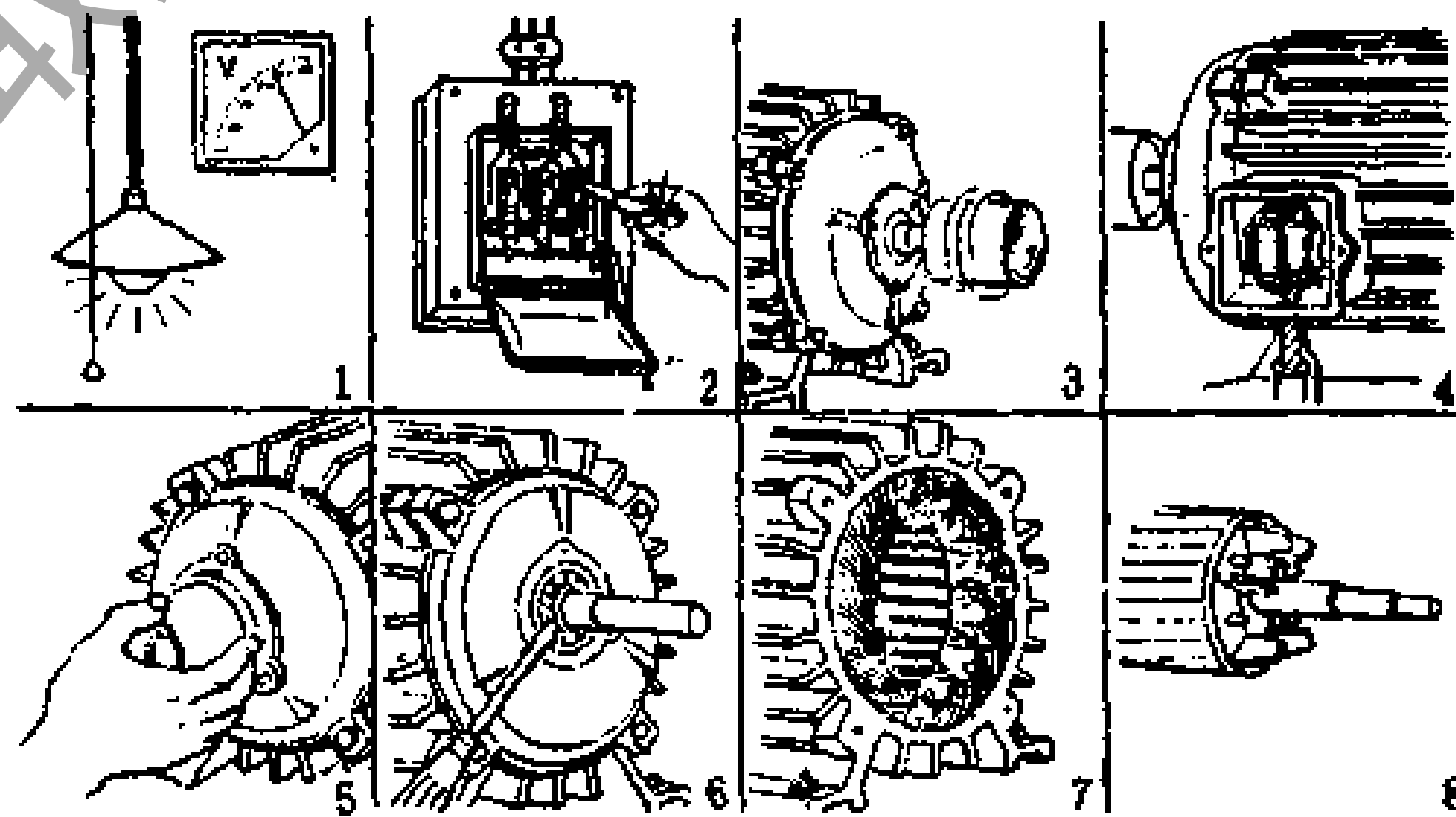


图 4—33 电动机故障的检查步骤

电动机发生故障时，往往会产生转速变慢，有噪音，温度显著升高，冒烟，有焦糊味，机壳带电，三相电流不平衡或增大等现象。通过对这些现象的归纳分析，可以判断出所发生的故障。

## 二、几种故障的分析及处理

### 1. 轴承损坏

电动机运行时，由于长期负载过大，皮带过紧，装配不当或润滑油干涸等原因会造成电动机轴承损坏。轴承损坏时，电动机运转轴承部位发出“咯咯”声。轴承损坏时的检查方法如图 4—34 所示。图中，1—切断电源；2—用手摸轴承外盖，试察温度；3—如轴承端盖烫手，卸下皮带或联轴节。

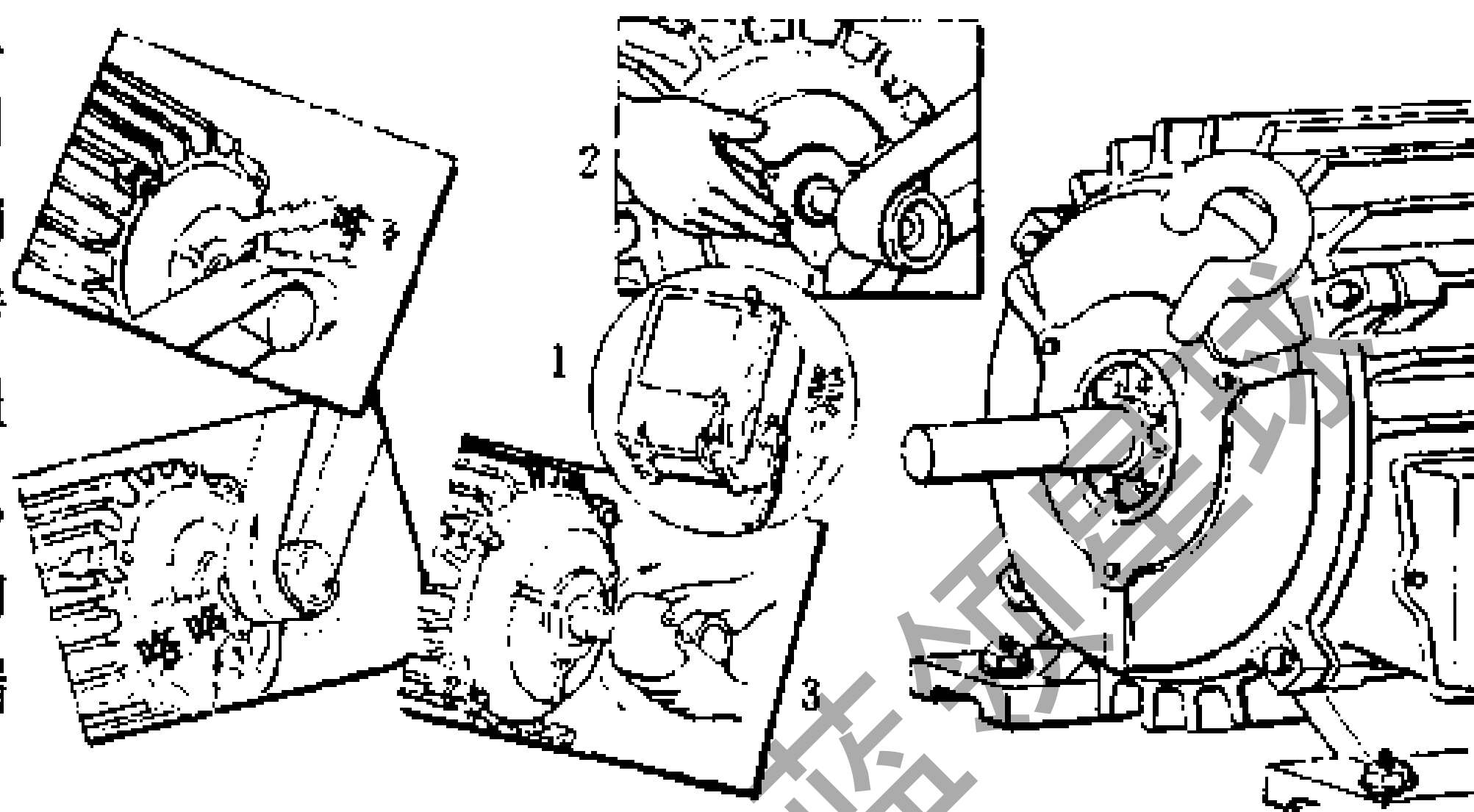


图 4—34 轴承损坏时的检查

如果发现皮带轴特别紧，转动很困难，有轧住现象，或发现轴已松动，可以断定是轴承损坏。这时，应更换轴承。若运行中，应减轻负载，并定期加油。

### 2. 转子与定子碰擦

如果电动机装配不当，轴承钢珠损坏，或轴承内外圈磨损，就容易造成转子与定子碰擦。

出现这种故障时，电动机运转电流增大，并发出持续的“嚓嚓”声。检查时，先切断电源，再用手摸机壳上发出噪音的地方。如果机壳烫手，则可断定转子与定子碰擦（图 4—35），然后拆机检查修复。检修的方法是重新调整装配电动机和调换轴承。

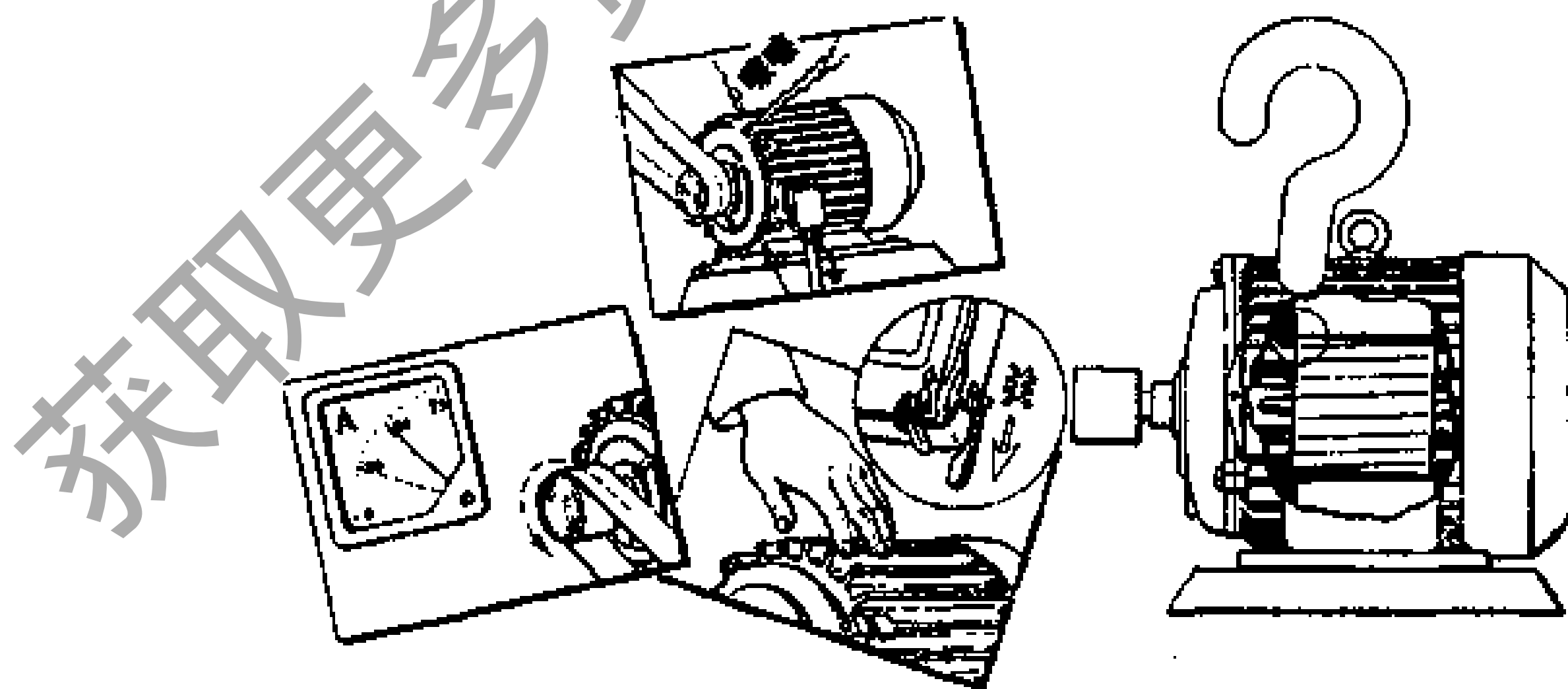


图 4—35 转子与定子碰擦

### 3. 绕组漏电

如果在正常负载下，电流表上的读数长期大于额定电流，电度表上的耗电量又见偏多，但无噪音和焦糊味，则可判定是绕组漏电（图 4—36）。

电动机绕组漏电有两种情况：绕组与外壳间漏电，这时拆下接地线，用测电笔试测

外壳，会发现机壳带电；绕组相间漏电，这种情况应拆下电动机 6 个接线头，用兆欧表分别摇测 1、2 和 2、3 接线抽头。绝缘电阻越小，说明漏电越严重。绕组漏电现象，都会使机壳变得很热。

这种故障多是由于电动机使用过久，或绕组受潮，绝缘能力降低而产生的。如果是绕组绝缘老化而造成漏电，则必须重新浸漆；如果因绕组受潮而造成漏电，则需烘干线圈，去掉潮气。

#### 4. 绕组碰壳接地

电动机运转时，如果发现转速变慢，一相电流显著增加，而且一相保险丝经常烧毁，则可初步确定一相绕组碰壳接地（图 4—37）。如果两相绕组同时碰壳，两相电流显著增加，保险丝更容易烧断，甚至会发生相间短路、烧毁绕组等事故。遇到这种故障，应拆下接地线，用测电笔测试机壳，会发现机壳带电。断开电动机开关，用手摸机壳，会感到局部地方烫手。

这种故障是由于电动机使用日久，或维护不良、检修不慎，个别绕组绝缘层破损后与定子铁心接触所产生的。若故障点在定子线圈的外露部分，可视情况涂绝缘漆或用绝缘带缠包等。

#### 5. 绕组断线

如图 4—38 所示，电动机运转时，如果转速变慢，发出“吭吭”声，并发现一相无电，则可断定是绕组断线（也可能是一相保险丝烧断，或开关设备一相触点未接通，造成两相运行）。这时，应先断开电动机开关，切断电源。然后用手摸机壳，会感到机壳四周烫手。如果再合上开关，电动机就很难再运转，或根本不能起动。

这种故障是由于线头的连接不

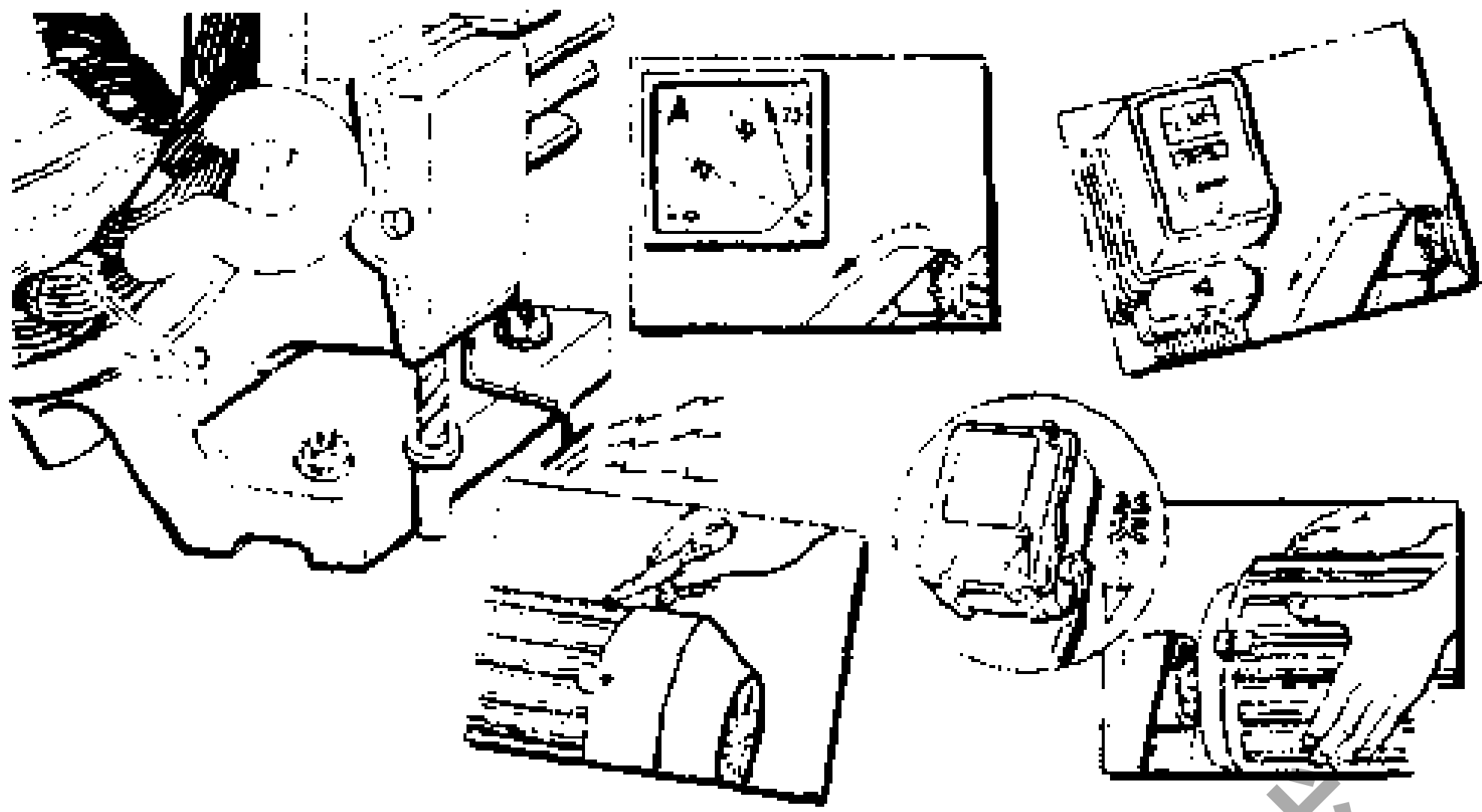


图 4—36 绕组漏电

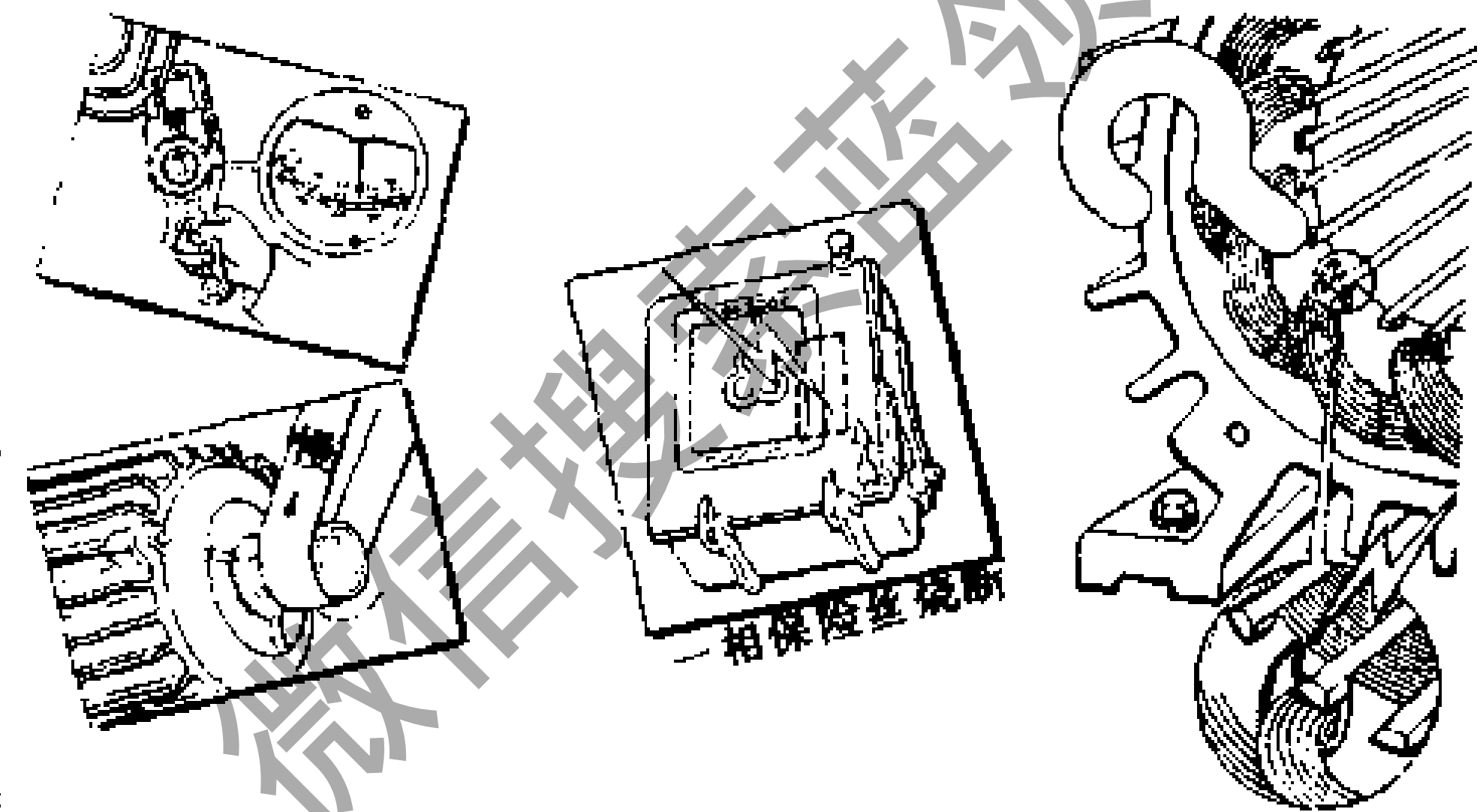


图 4—37 线圈碰壳接地

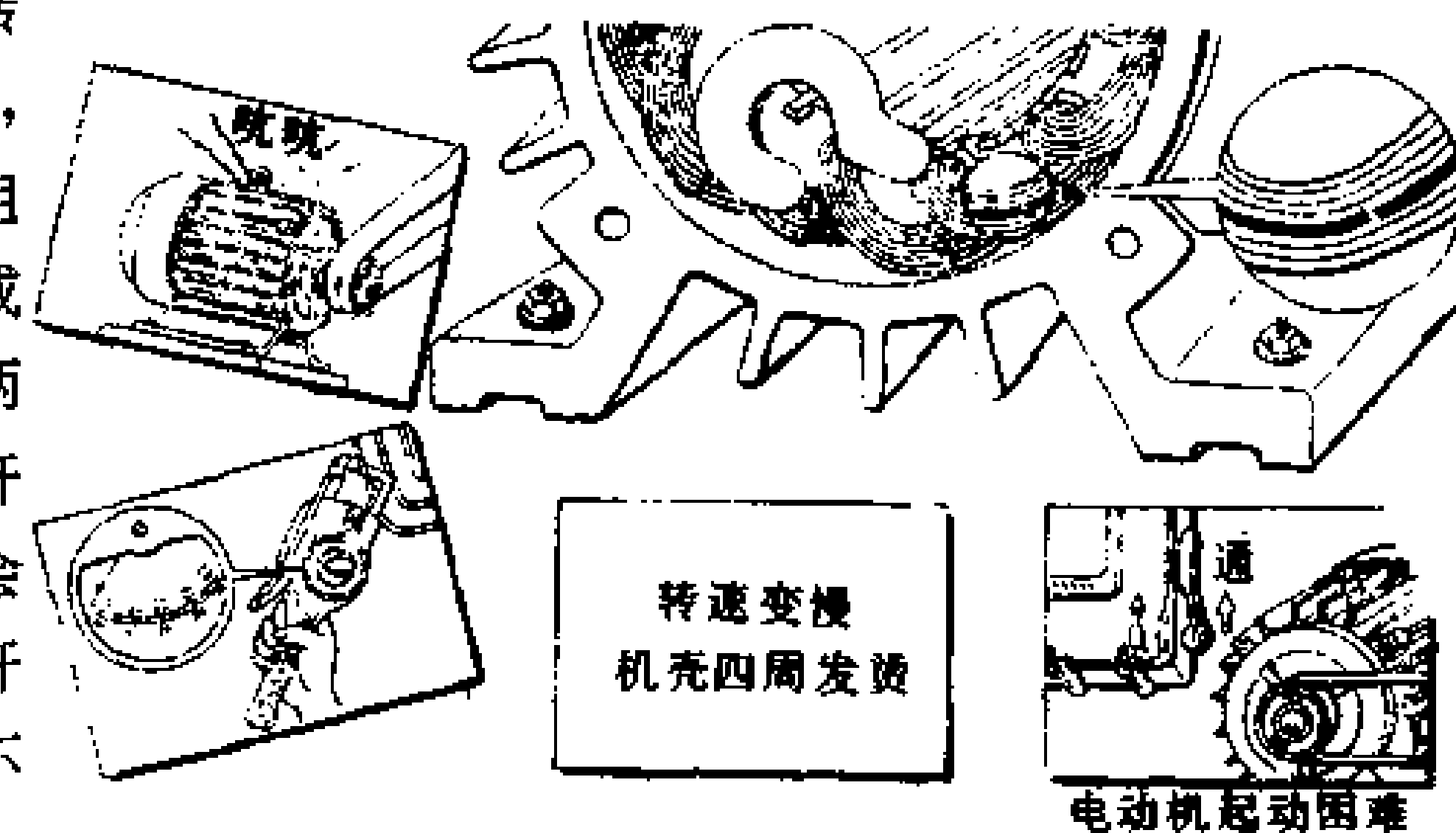


图 4—38 绕组断线故障

当，或检修时不慎，定子铁心槽口处的线圈折断，或因碰壳接地而烧毁。

处理方法是：如果绕组断裂处在铁心两端外露部位，可进行焊接，然后恢复绝缘层；如果线圈断裂在铁心内部，则需更换绕组。

### 6. 绕组烧毁

电动机长期过载，两相运行，通电后不转，绕组严重漏电，或线圈碰壳接地后仍继续使用，就会造成绕组烧毁。

遇到这种故障，电动机运转时转速变慢、电流增大，发出“吭吭”声，甚至从机内透出焦糊味和冒出浓烟（图 4—39）。这时，应立即断开电动机开关，切断电源。

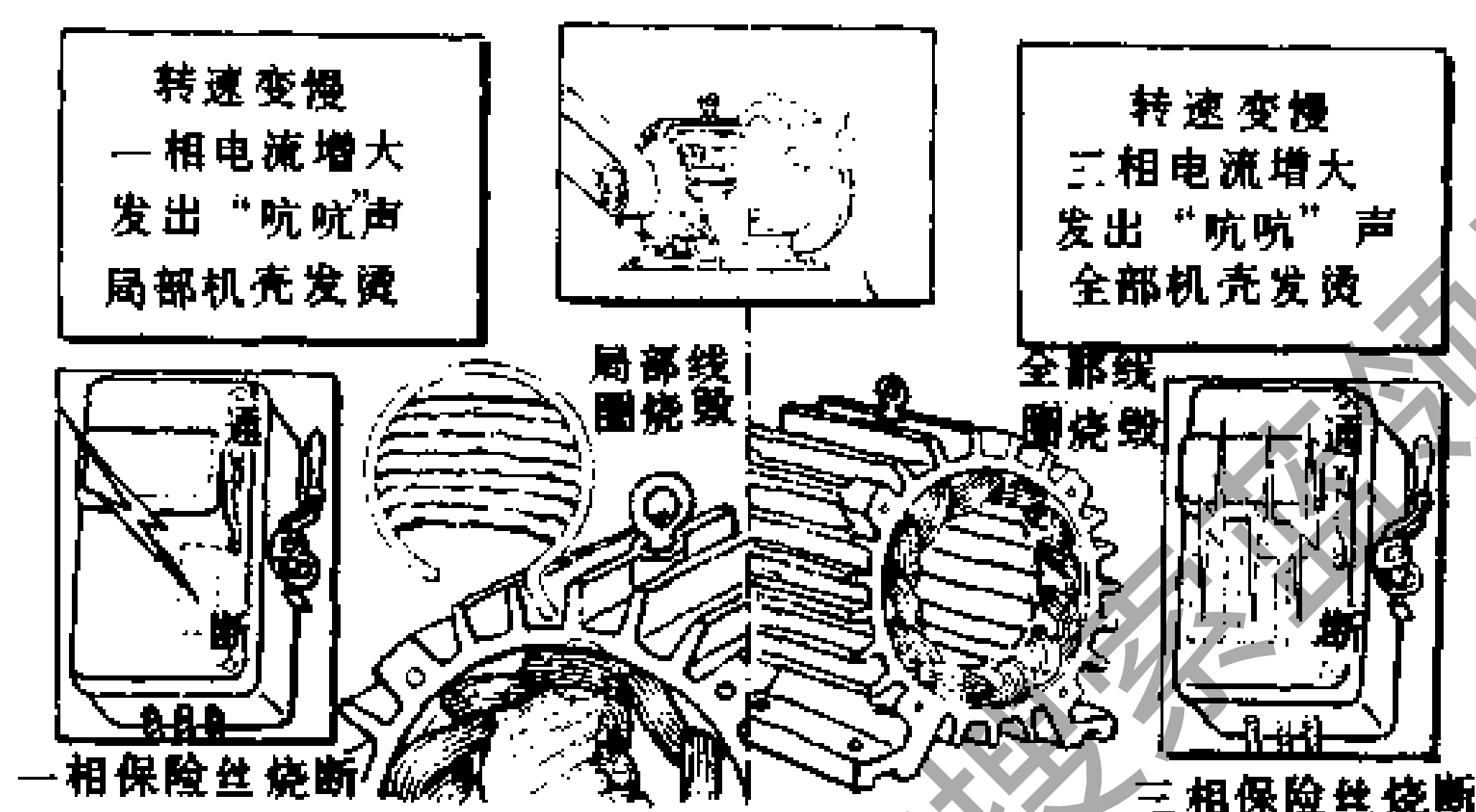


图 4—39 绕组烧毁

### 7. 润滑油干涸

电动机使用日久不加油，或长期不用没有重新加油，起动时轴承部分发出“噓……”声，甚至冒烟，有焦油味，则可初步断定是轴承部分发生故障。

遇到这种故障，要先断开电动机开关，切断电源。然后用手摸轴承外盖，如果轴承外盖烫手很厉害，再卸下皮带，检查皮带轮转动是否灵活。如果皮带轮转动不灵活，则可断定是轴承部分润滑油干涸（图 4—40）。排除这种故障的方法是定期加油。

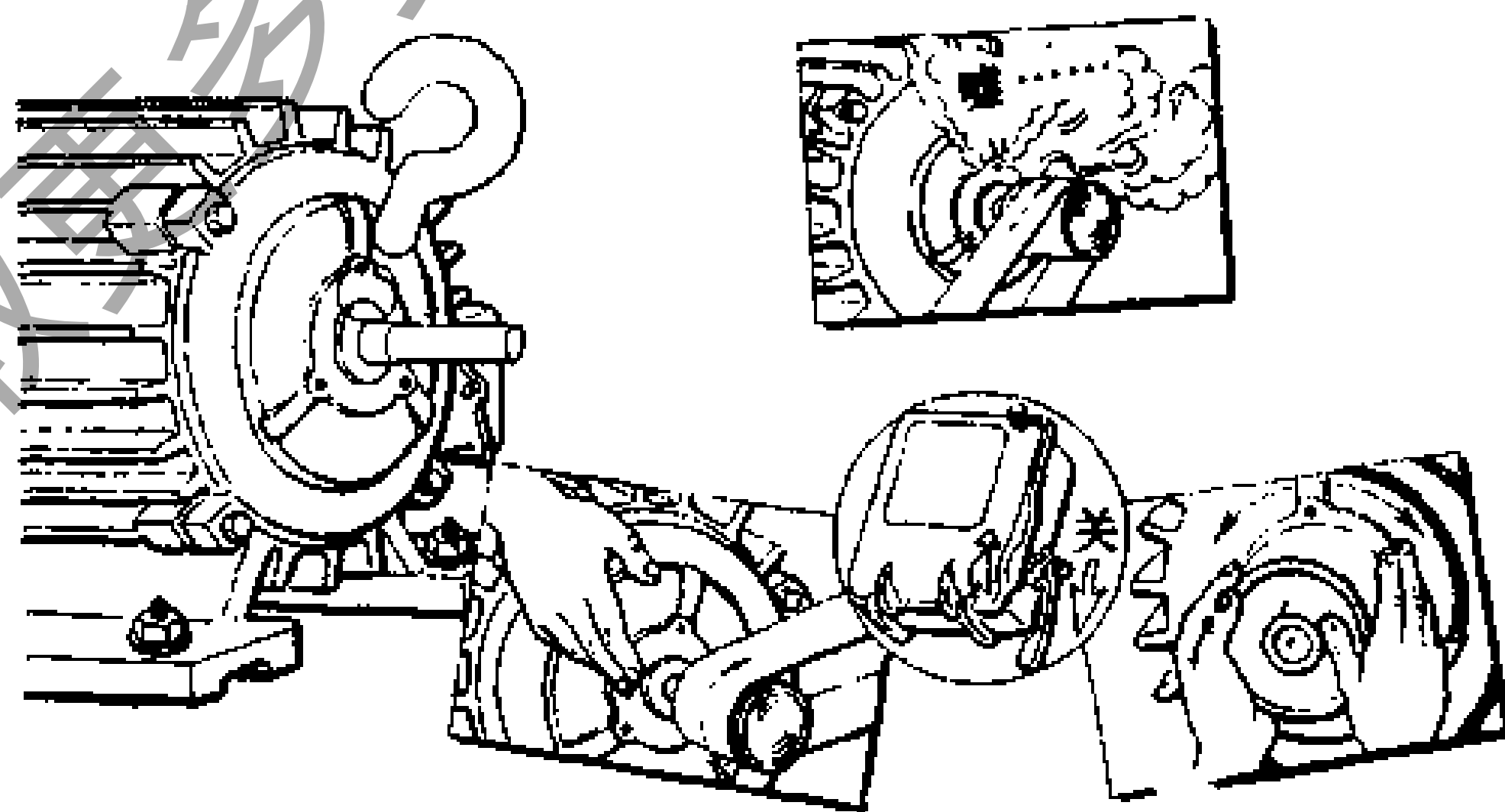


图 4—40 润滑油干涸故障

### 8. 鼠笼环断条

如图 4—41 所示，由于电动机使用日久而又维护不当，铝条受到腐蚀易产生鼠笼环断条。发生这种故障，电动机转速变慢，三相电流增大，并发出“嗡嗡”声。处理这种故障的方法是拆去原鼠笼环，重新浇铸。

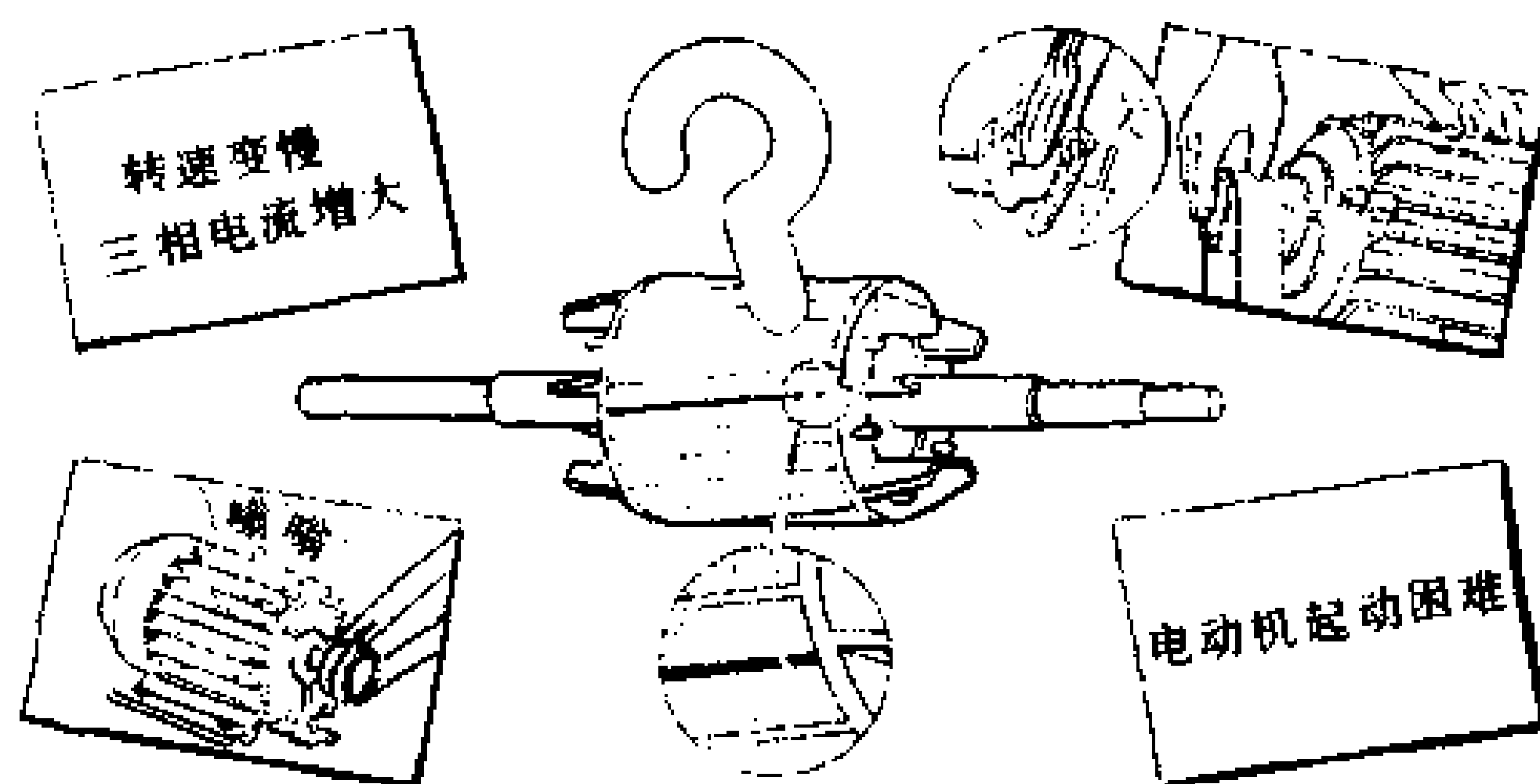


图 4—41 鼠笼环断条

## 第 8 节 电动机的拆装

为了对电动机经常进行维护保养，及时修理，延长使用寿命，必须学会电动机的拆装技术。

拆电动机前，要清理好场地，准备好工具，并在接线头、端盖与外壳、轴承盖与端盖、皮带轮或联轴节上作好硬记号，以便装配时各归原位。

### 一、电动机的一般拆装步骤

拆卸的步骤如图 4—42 所示。图中，1—卸下皮带；2—拆去接线盒内的电源接线和接地线；3—卸下底脚螺母、弹簧垫圈和平垫圈；4—卸下皮带轮；5—卸下前轴承外盖；6—卸下前端盖；7—卸下风罩；8—卸下风叶；9—卸下后轴承外盖；10—卸下后端盖；11—卸下转子；12—卸下前后轴承和前后轴承的内盖。

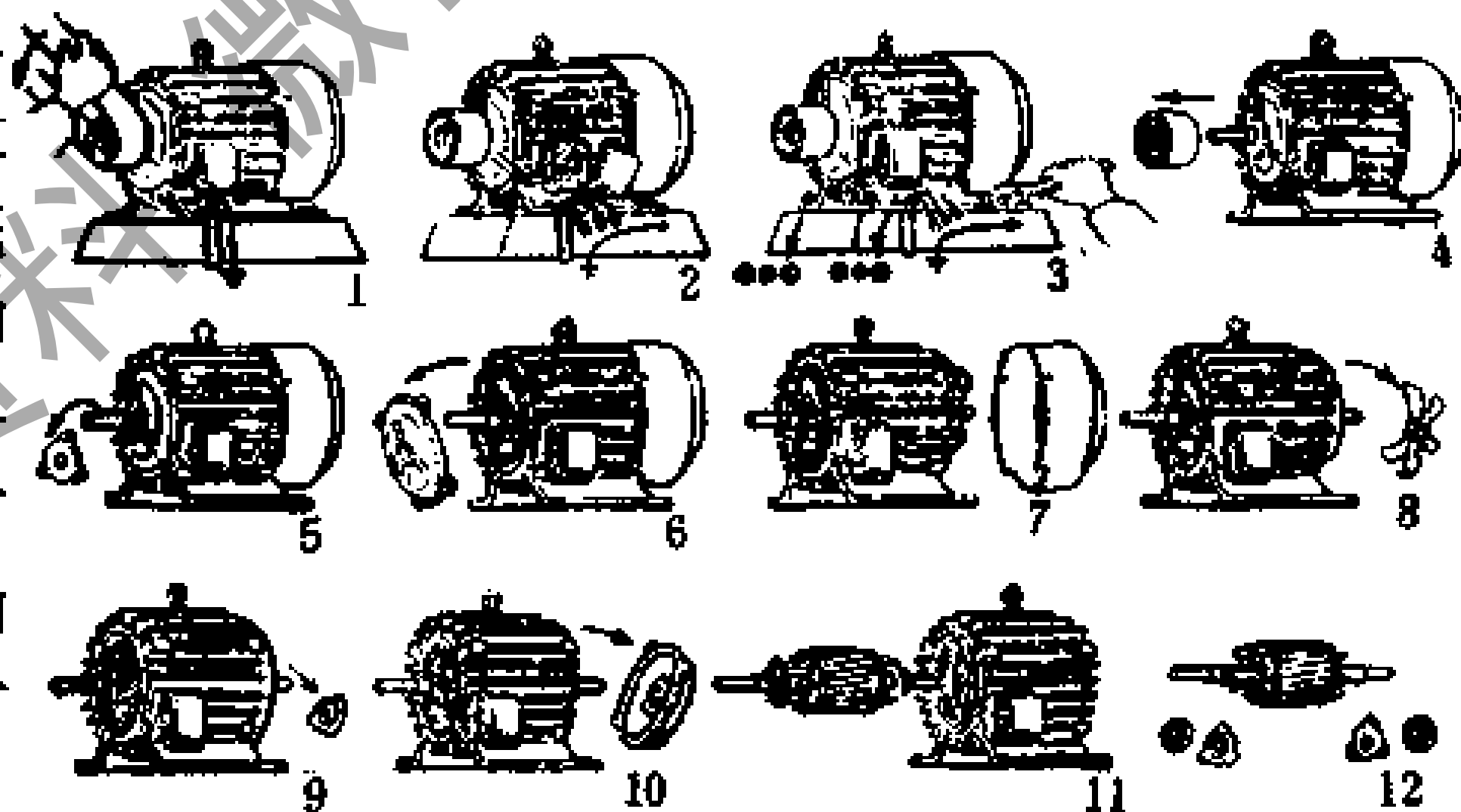


图 4—42 电动机一般拆装步骤

电动机的安装步骤与拆卸步骤相反，可按逆顺序进行。

### 二、新电动机的拆装步骤

如果遇到新的、新漆的，或前后端盖与机体配合十分紧密的电动机，为了防止因拆装而破坏漆层和防止损坏端盖，可按照图 4—43 步骤拆卸前后端盖。图中，1—拆下风叶罩；2—拆下风叶；3—拆下前轴承外盖和后端盖螺丝；4—用榔头敲打轴端（必须衬垫木板），使后端盖脱离机体；5—当后端盖稍与机体脱离，即可把后端盖连同转子拿出机体（注意转子不要碰坏线圈）；6—拆下前端盖螺丝，并用硬质木条的一头顶住前端盖内部外沿（四周对称地移动），在另一头用榔头敲打。为了防止前端盖脱离机体时落地跌坏，最好在敲打时有人扶住前端盖，或在前端盖脱落处，事先垫好厚实质软的衬垫物。

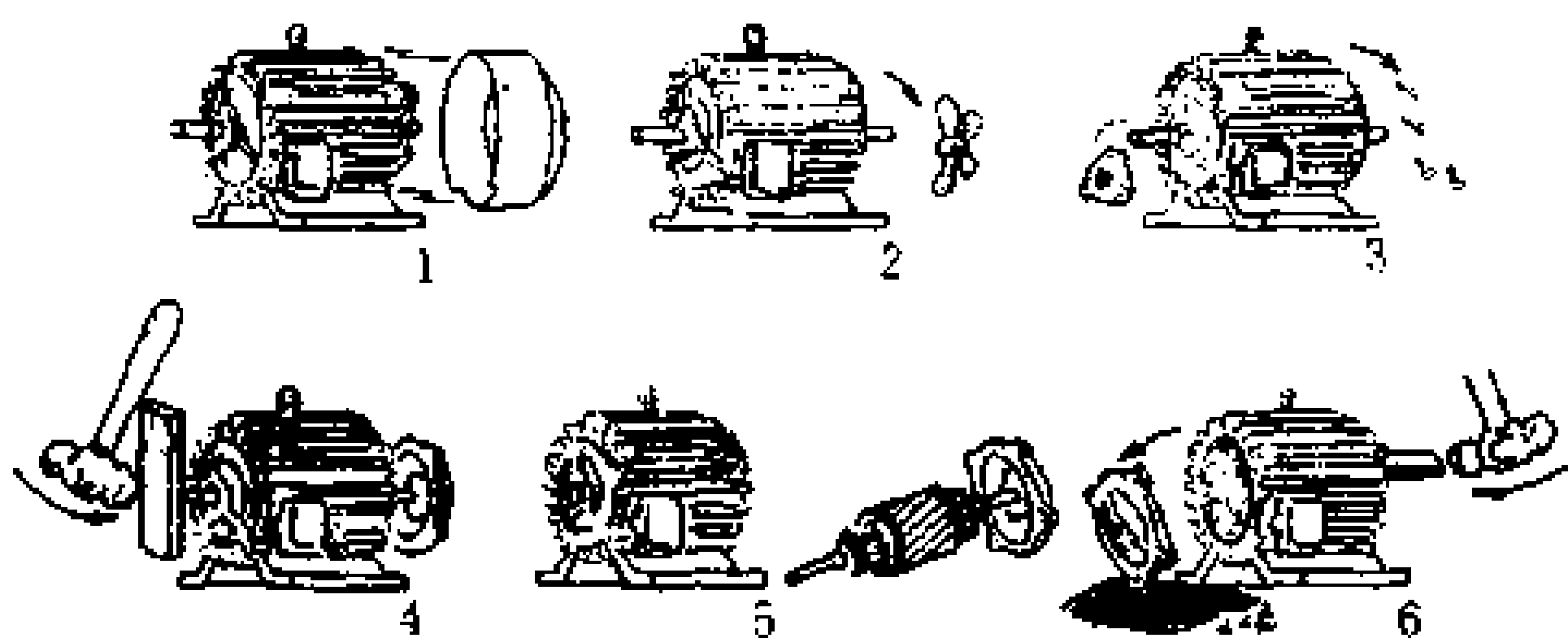


图 4—43 新电动机的拆装步骤

### 三、电动机各部件的拆装

#### 1. 电动机线头的拆装

电动机线头的拆装方法和步骤如图 4—44 所示。

拆装线头前，应切断电源。如果电动机的开关在远处，还应把开关里的 3 个保险盒插盖拔去，并挂上“有人检修，不准合闸”的警告牌。然后，打开接线盒，用测电笔测试每个接线桩头。若接线桩头无电，可动手拆装。

拆线时，每拆下一个线头，应随即用绝缘带包好，以防通电而造成短路或触电事故；并把拆下的平垫圈、弹簧垫圈和螺母仍套到相应的接线桩头上，以免遗失。

接线时应按图 4—44 中要求操作。1—看清铭牌；2—按规定的方式接线；3—把电动机的外壳接地。

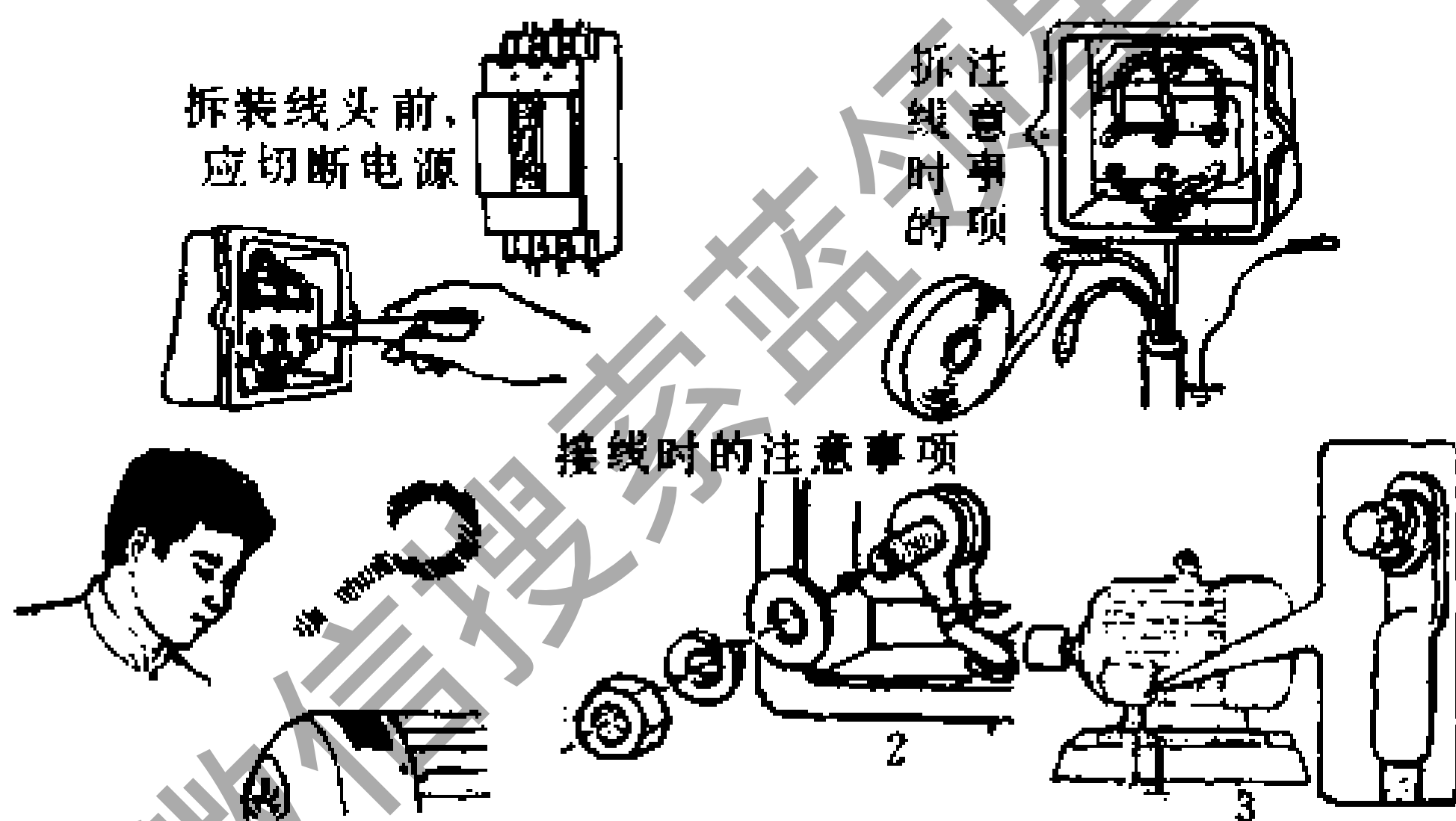


图 4—44 电动机线头的拆装

#### 2. 皮带轮的拆卸和安装

皮带轮的拆卸步骤如图 4—45 所示。图中，1—用粉笔标示皮带轮的正反面，以免安装时装反；2—用尺量一下皮带轮在转轴上的位置，记住皮带轮与前端盖之间的距离；3—旋下压紧螺丝；4—在螺丝孔内注入煤油；5—装上拉盘（又叫拉扒、拉板、扒子）；6—扳动拉盘的丝杠，使皮带轮渐渐脱离转轴。

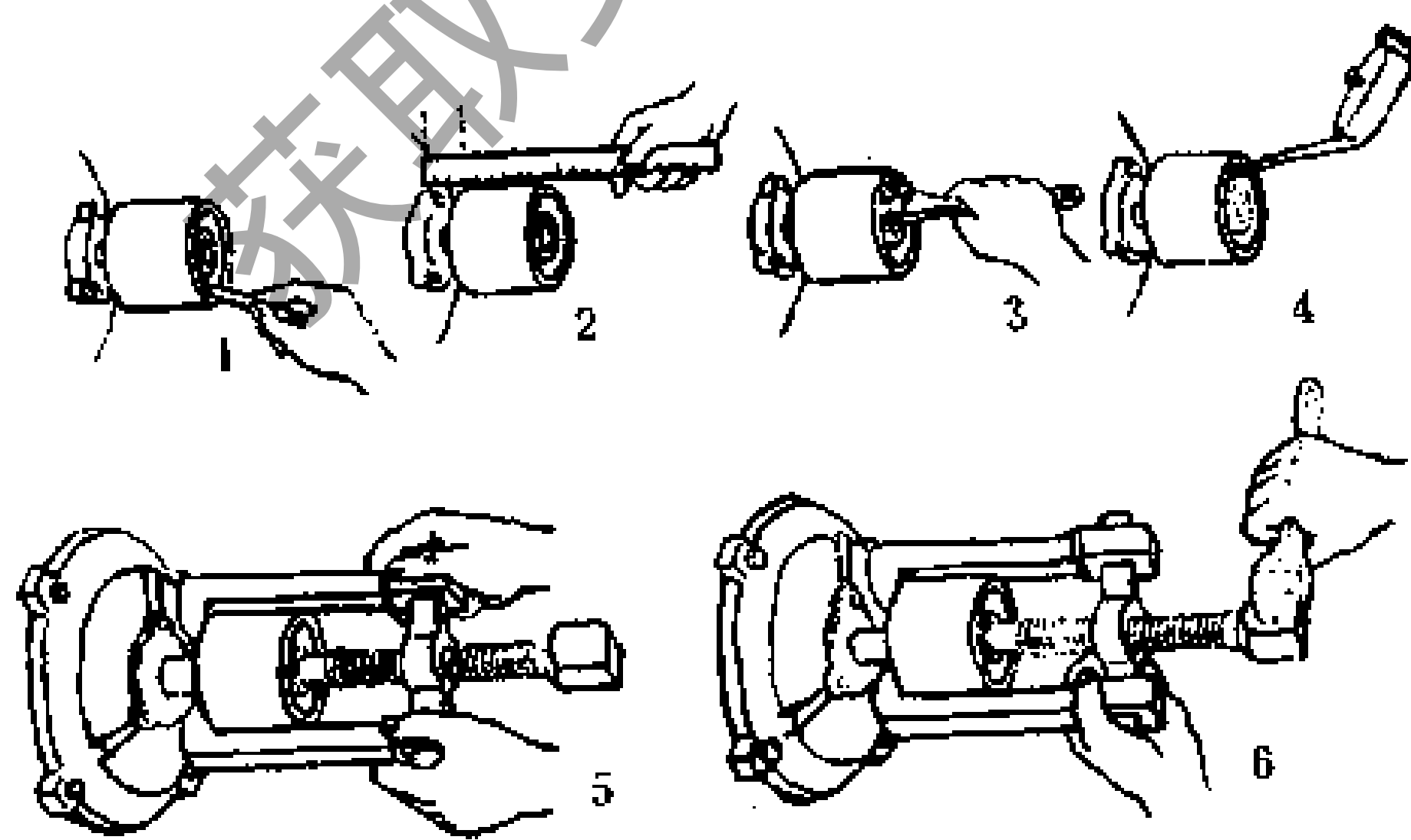


图 4—45 皮带轮的拆卸步骤

皮带轮的安装步骤，如图 4—46 所示。图中，1—取一块细铁砂纸，卷在圆锉或圆木棍上，把皮带轮的轴孔磨光滑；2—用细铁砂纸把转轴的表面也打光滑；3—对准键槽，把皮带轮套

在转轴上；4—调整皮带轮和转轴之间的键槽位置；5—用熟铁垫在键的一端轻轻敲打，使键慢慢地进入槽里；6—旋紧压紧螺丝。

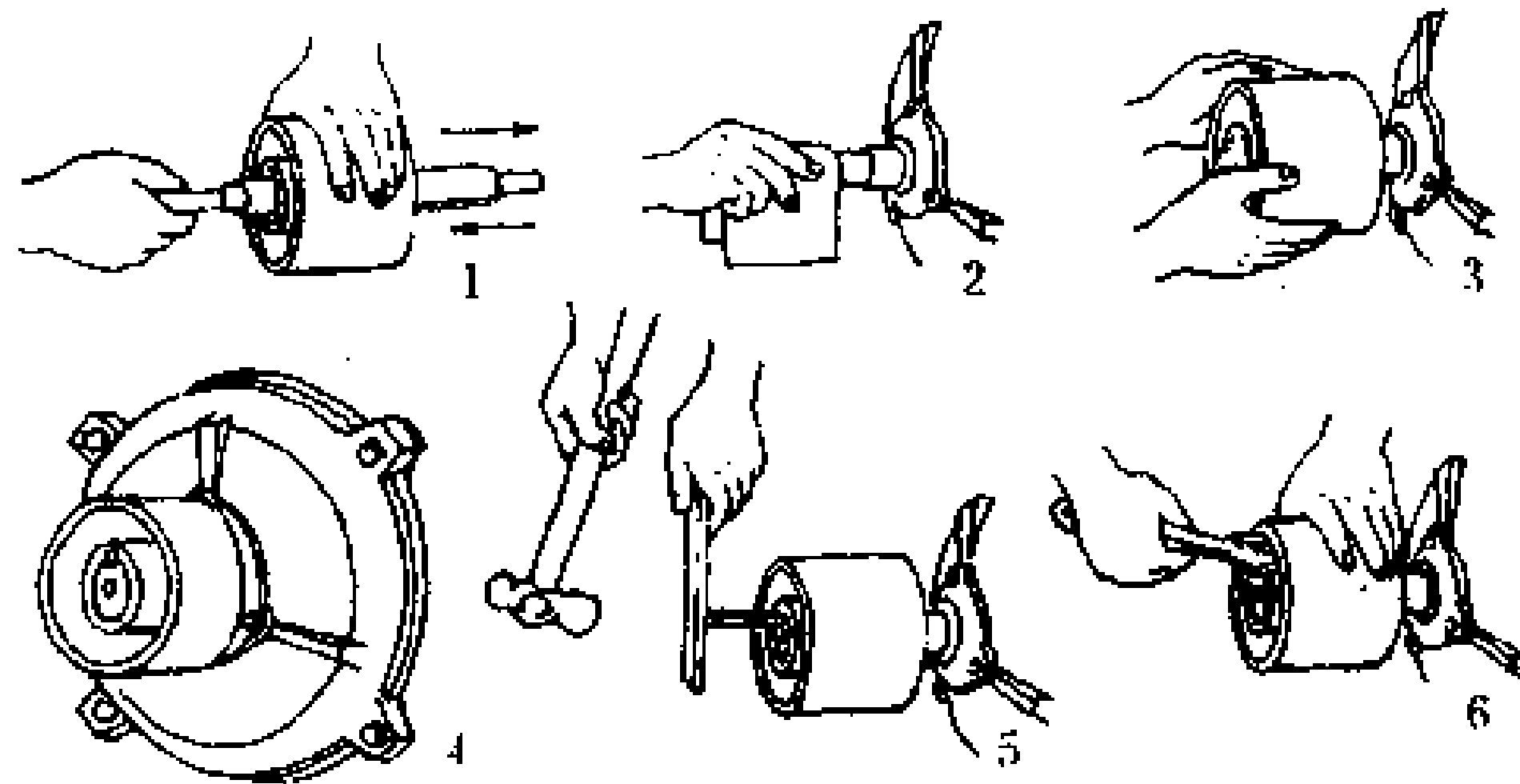


图 4—46 皮带轮的安装步骤

### 3. 联轴节的拆装

联轴节的拆装如图 4—47 所示。安装联轴节时，应使电动机的轴心与被拖动设备的轴心对准。校正时，可把一根钢尺放在联轴节的一个外盘上，同时把另一外盘转动半圈（180°），若两个外盘的高低始终一致，说明两轴对准了；如果不一致，可在电动机底脚下垫衬薄铁片。最后，可以使联轴器两个外盘拼合，固定电动机底脚。

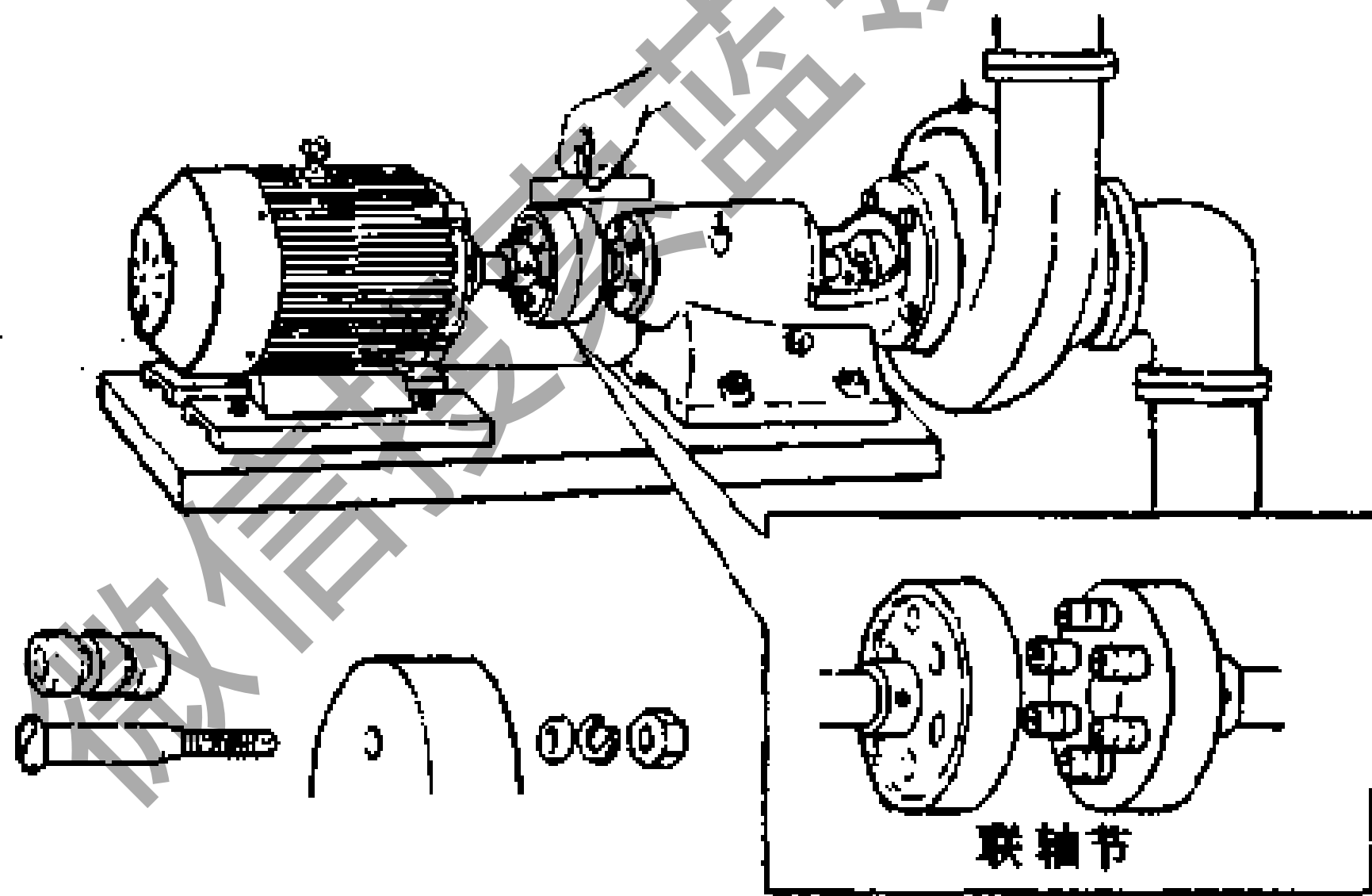


图 4—47 联轴节的拆装

### 4. 轴承盖和端盖的拆装

轴承盖的安装和端盖的拆装方法步骤分别如图 4—48 和图 4—49 所示。

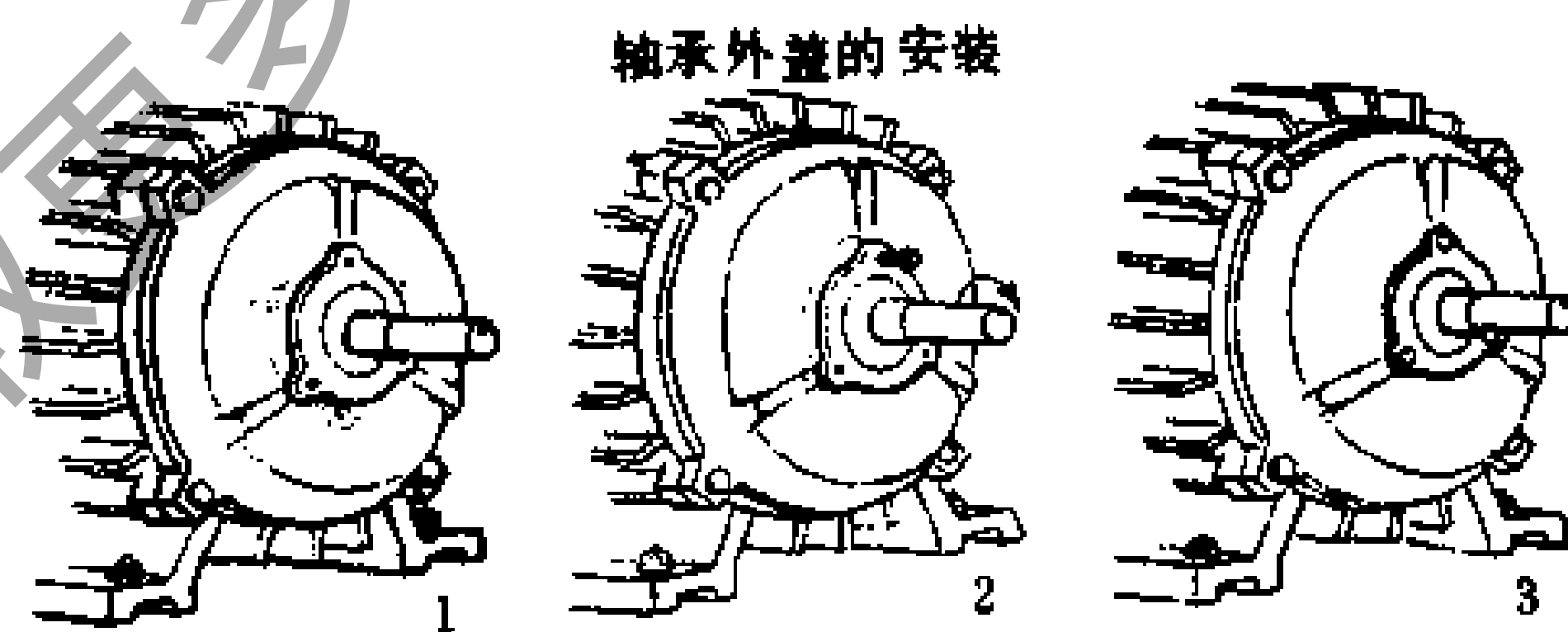


图 4—48 轴承盖的安装

### 5. 轴承的拆卸和安装

轴承的拆卸方法如图 4—50 所示。轴承的安装步骤如图 4—51 所示。

### 6. 转子的拆装

电动机的转子很重，拆装时应注意，切勿碰坏定子线圈。拆卸小型电动机的转子时，要一手握住转轴，把转子拉出一些，随后，用另一手托住转子铁心，渐渐往外移。拆卸大型电动机的转子时，要一人抬住转轴的一端，另一人抬住转轴的另一端，渐渐地



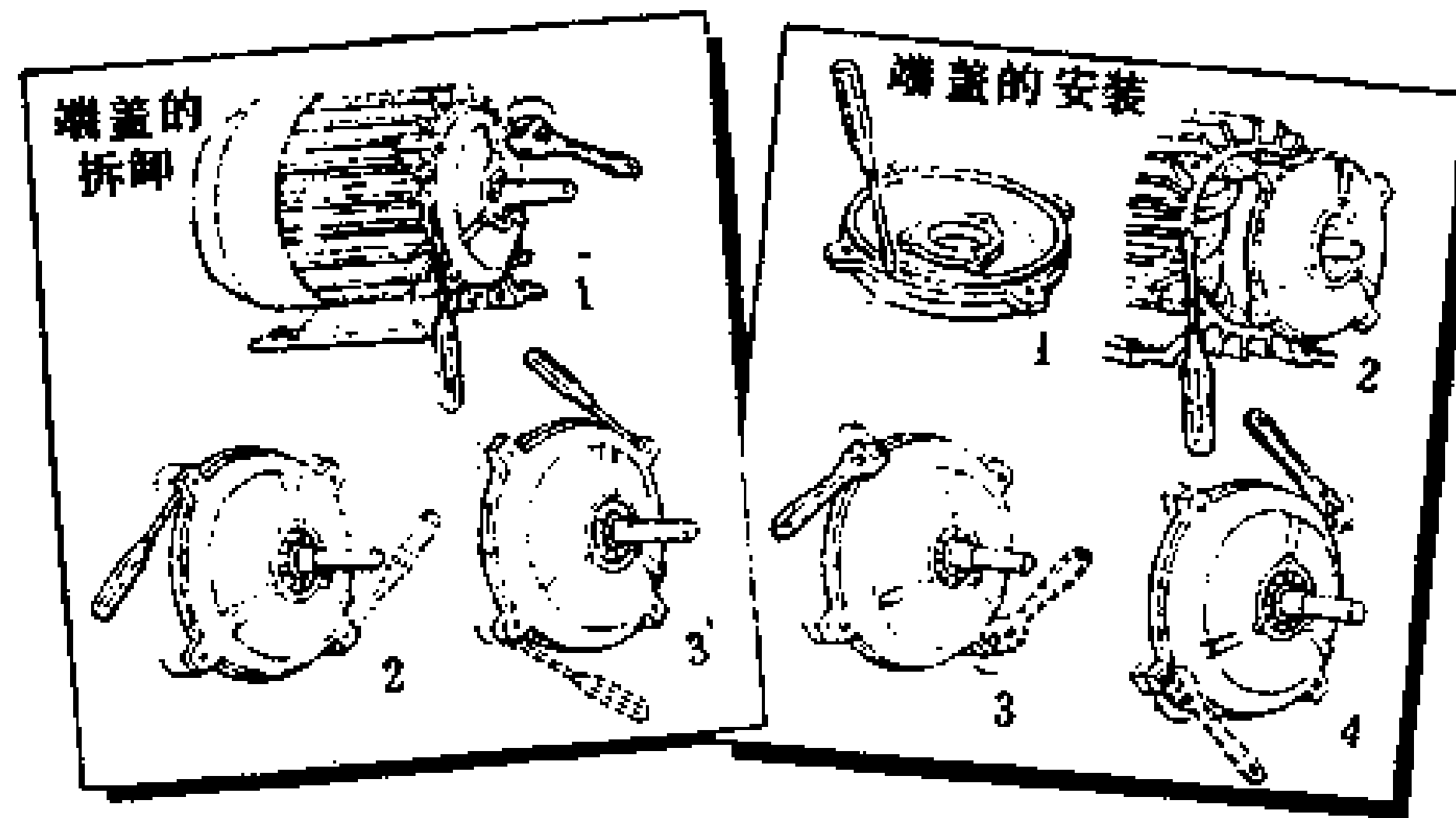


图 4-49 端盖的拆装

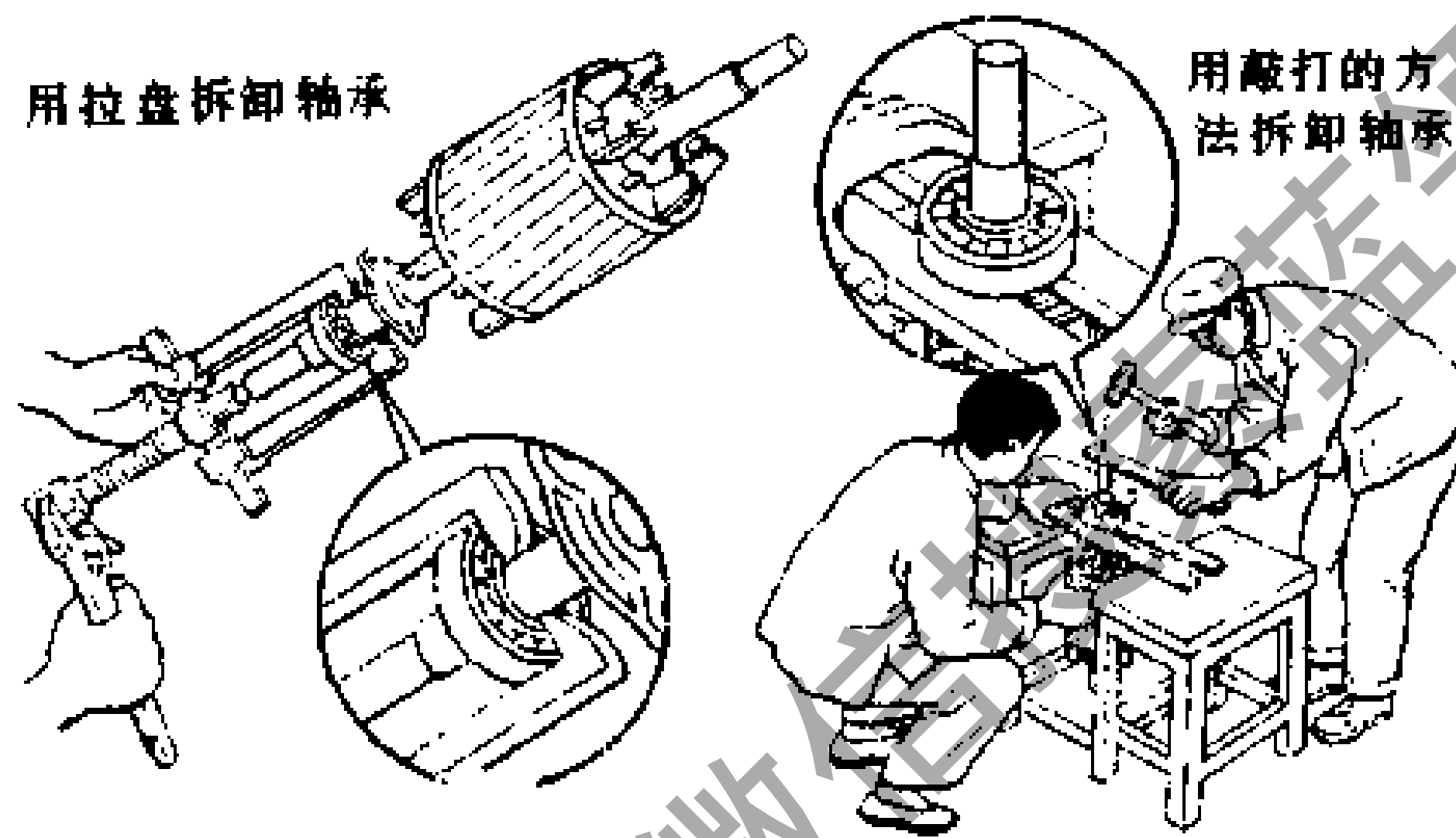


图 4-50 轴承的拆卸

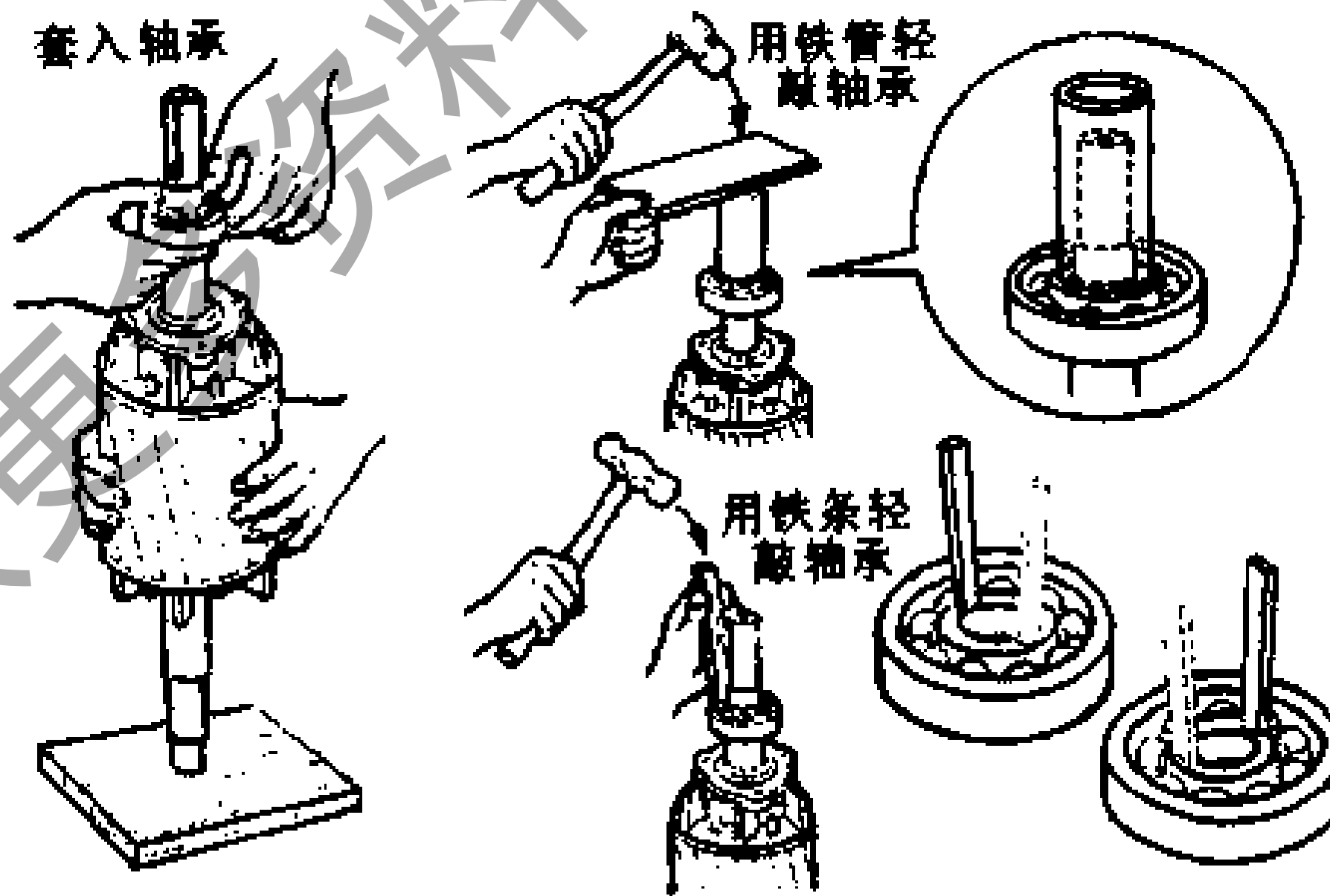


图 4-51 轴承的安装

子往外移。图 4-52 为转子的拆卸图。

转子的安装是拆卸的逆过程，安装时要对准定子中心，把转子小心地往里送。

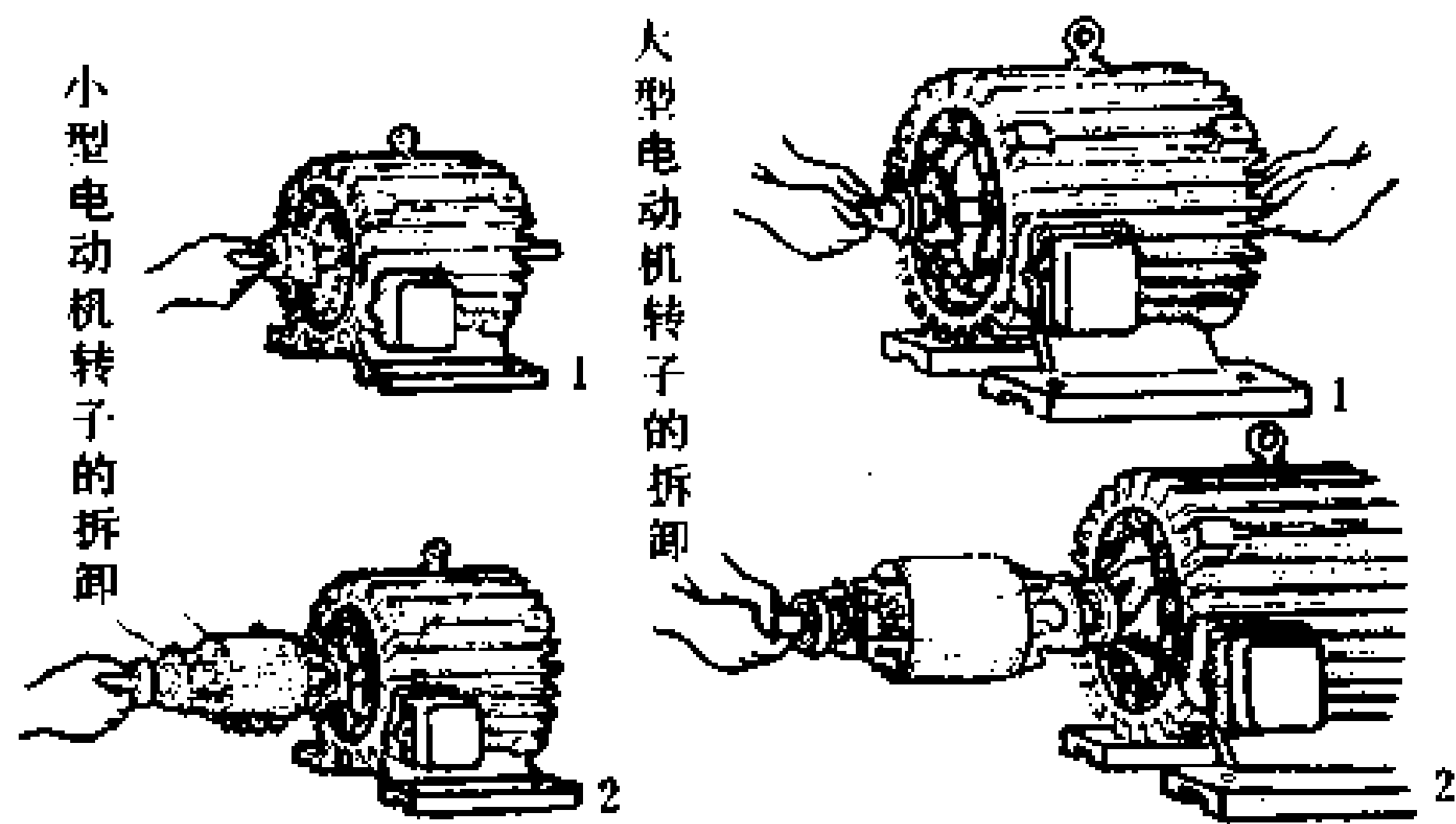


图 4—52 转子的拆卸

## 第 9 节 电动机的维护保养

为了保证正常生产和延长电动机的寿命，对电动机应进行定期检查和维护保养。

### 一、电动机的定期检查

电动机应根据使用环境进行定期检查。定期检查每年不应少于两次。检查内容有：检查和清扫电动机、起动设备外部。测量绕组的绝缘电阻，方法步骤如图 4—53 所示。绝

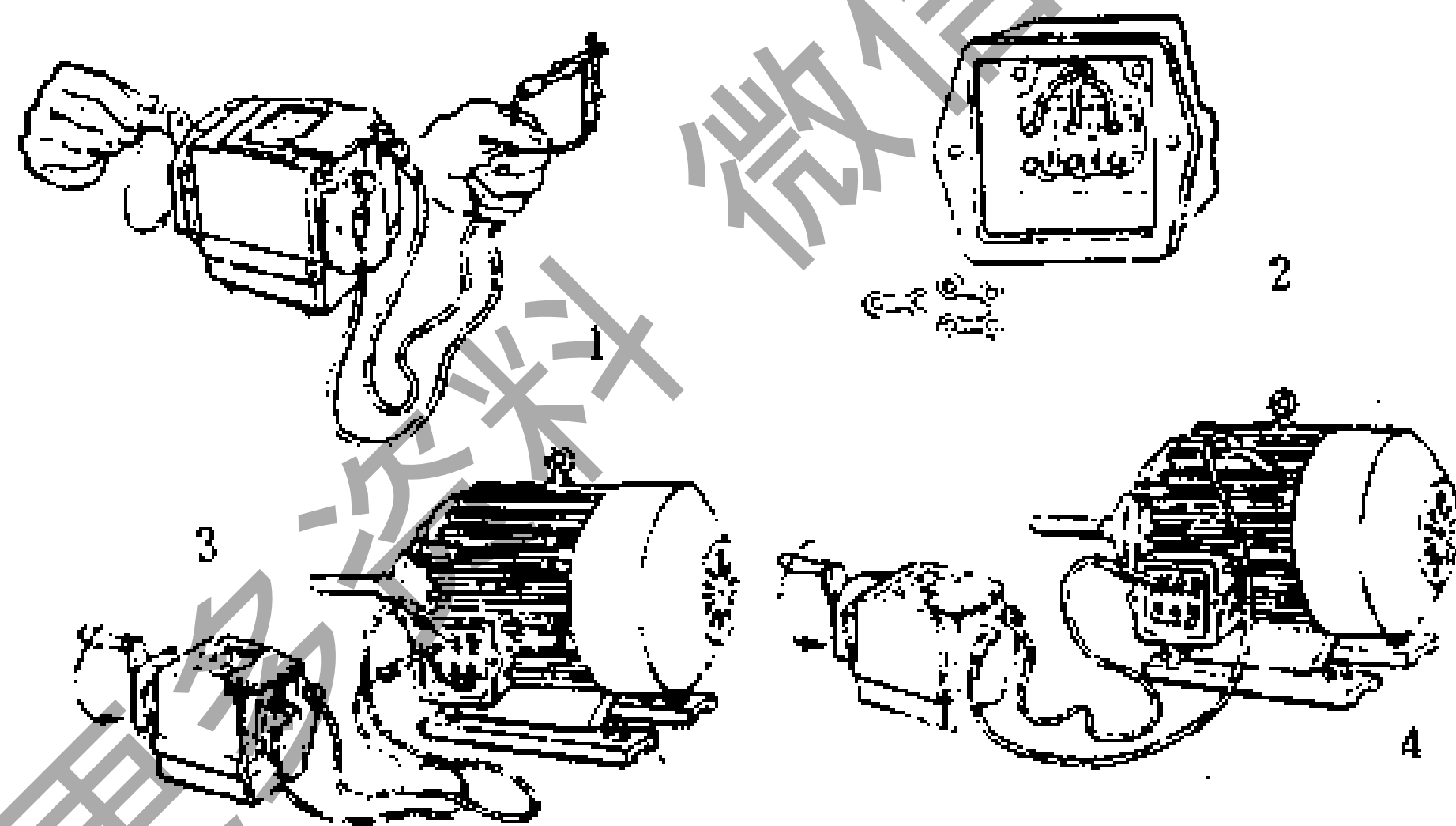


图 4—53 绕组绝缘电阻的测量方法

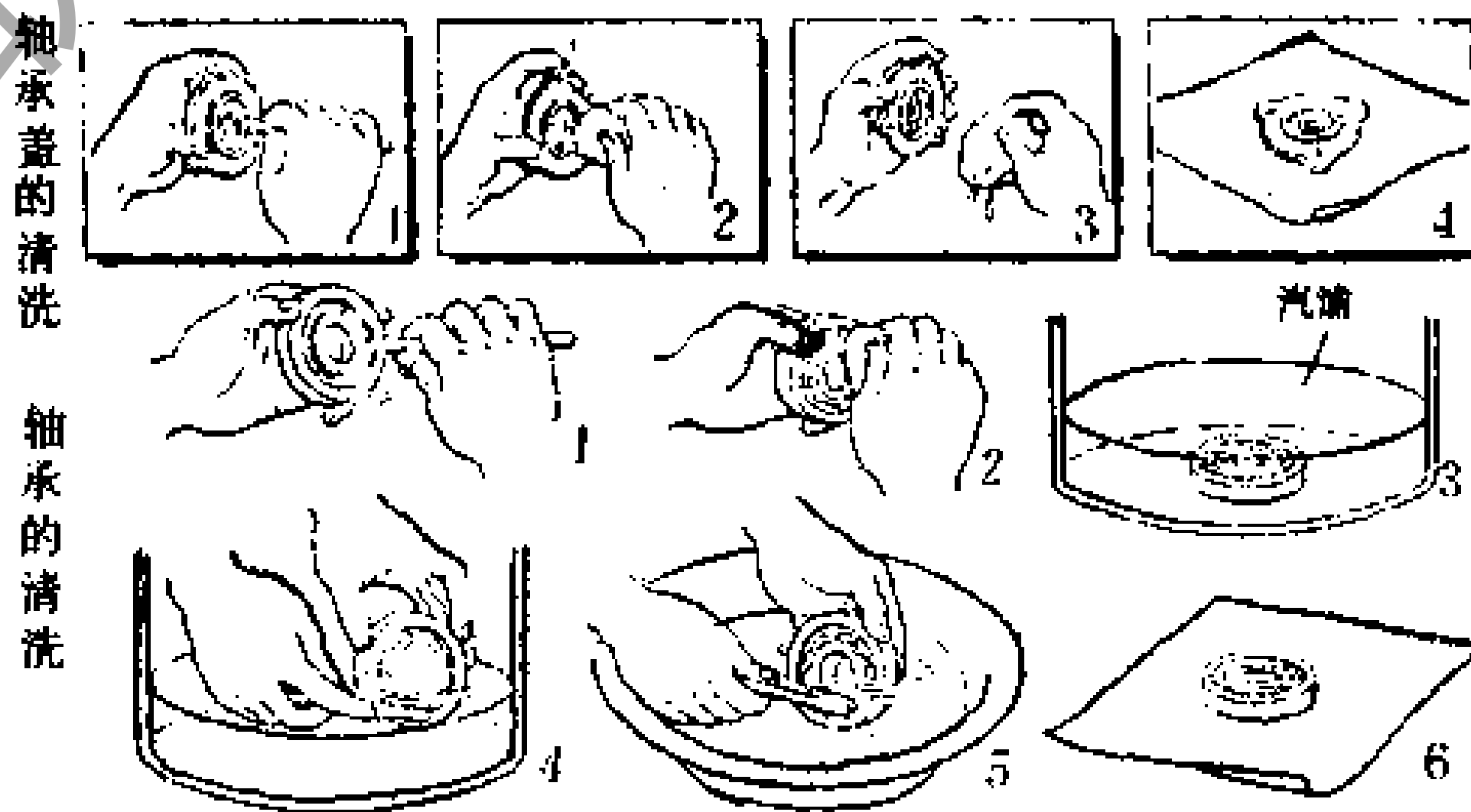


图 4—54 轴承盖和轴承的清洗方法

缘电阻低于  $0.5M\Omega$  时应进行烘干。检查轴承磨损情况和润滑情况。发现油污时，应洗去旧油，换上适量的新油，如图 4—54 和图 4—55 所示。检查开关机构是否灵活、触头接触是否良好（三相是否同时开闭，有无烧伤或腐蚀）、引线接头是否可靠，并更换损坏的零件。检查接线盒中的压线螺丝有无松动或烧伤。检查接地线有无断股或开断现象。同时要测量接地电阻。

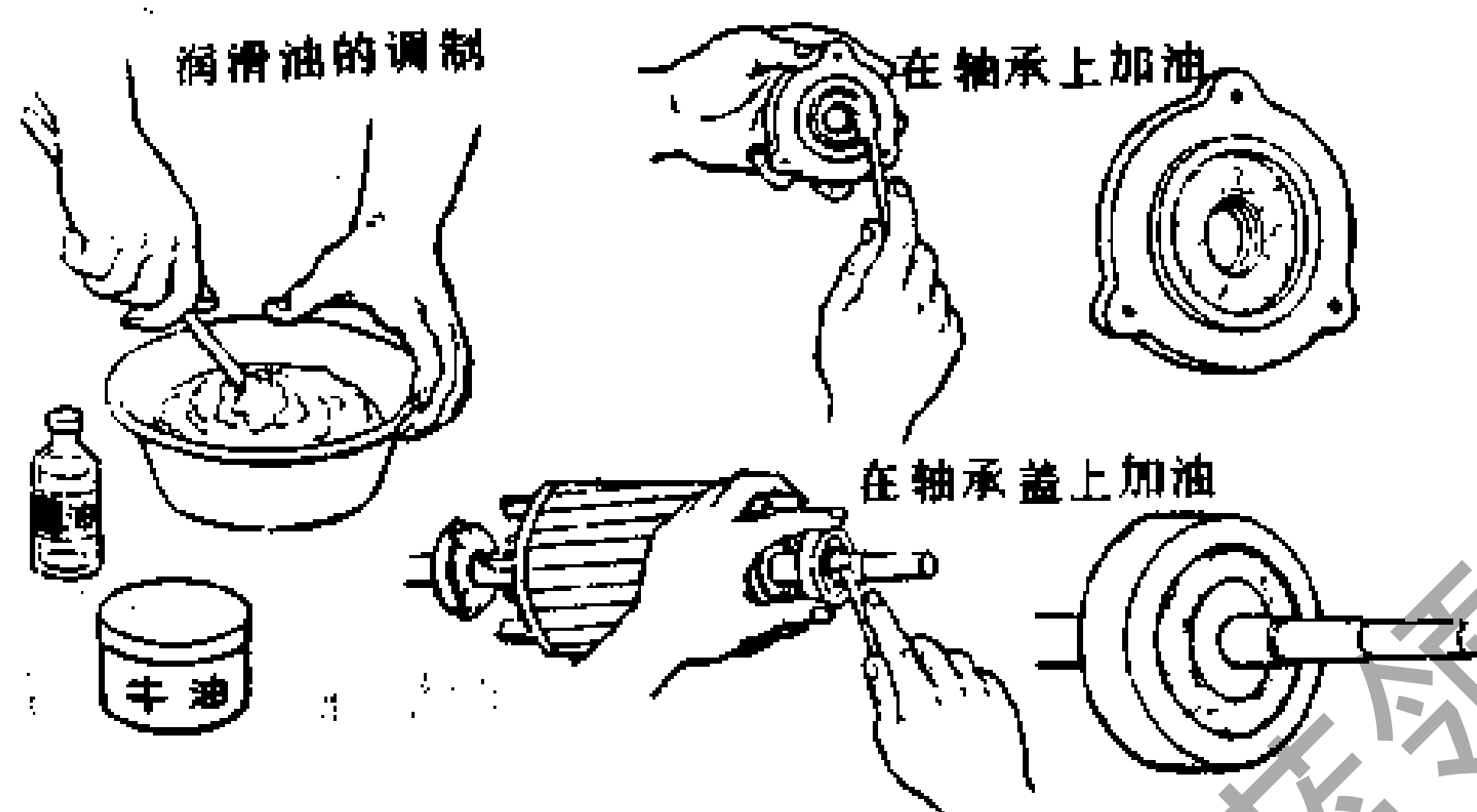


图 4—55 轴承加油

## 二、电动机的大修

电动机大修，每年应有一次。是否把电动机全部拆开，应根据电动机使用情况决定。大修内容如下：清除电动机和起动设备内外的灰尘和油垢（图 4—56）。清扫时不要用尖硬的物体剔除线圈上的脏物，也不应用汽油、煤油、机油、香蕉水等去擦线圈，以免损伤绝缘。发现绝缘老化或绝缘脱落时，应修补浸漆（图 4—57）。

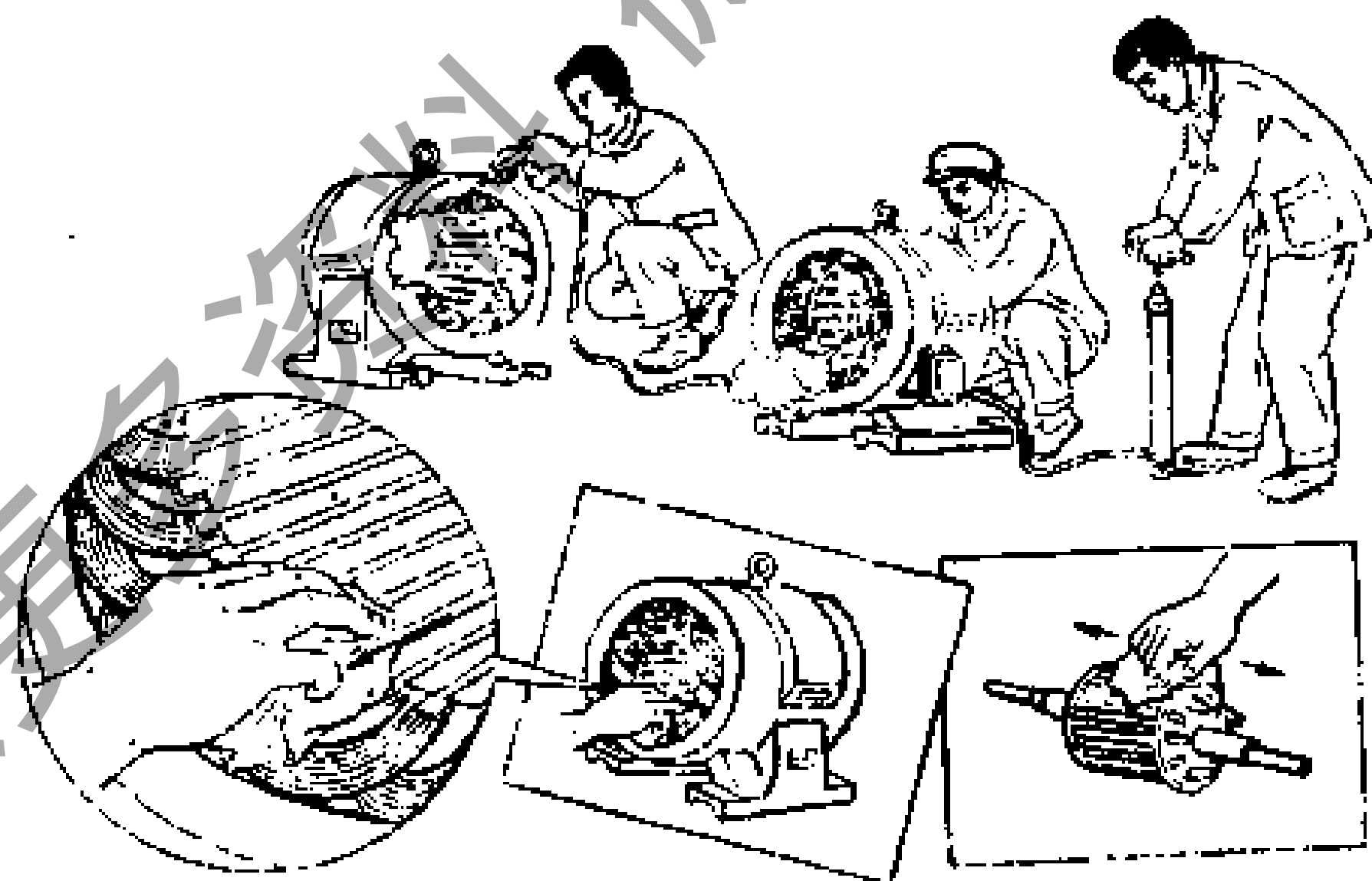


图 4—56 清除电动机内部灰尘的立法

用煤油或汽油清洗轴承。轴承没有缺陷时，可不拆卸。轴承表面粗糙时，说明油中有酸碱物质或水分，应改用合格的黄油。滚珠或轴圈等处出现蓝紫色时，说明钢材受热退火，应根据退火程度注意使用或更换。轴承滚道上出现变形痕迹时，说明轴承磨损，应检查油中是否有砂子或铁屑，安装是否正确。磨损严重时，应更换。清洗以后，轴承的转动应轻快。

根据运行中发现的问题，检查定子绕组是否有相间短路、匝间短路、碰壳、断路、错接现象，转子是否断条等，针对缺陷加以修理。

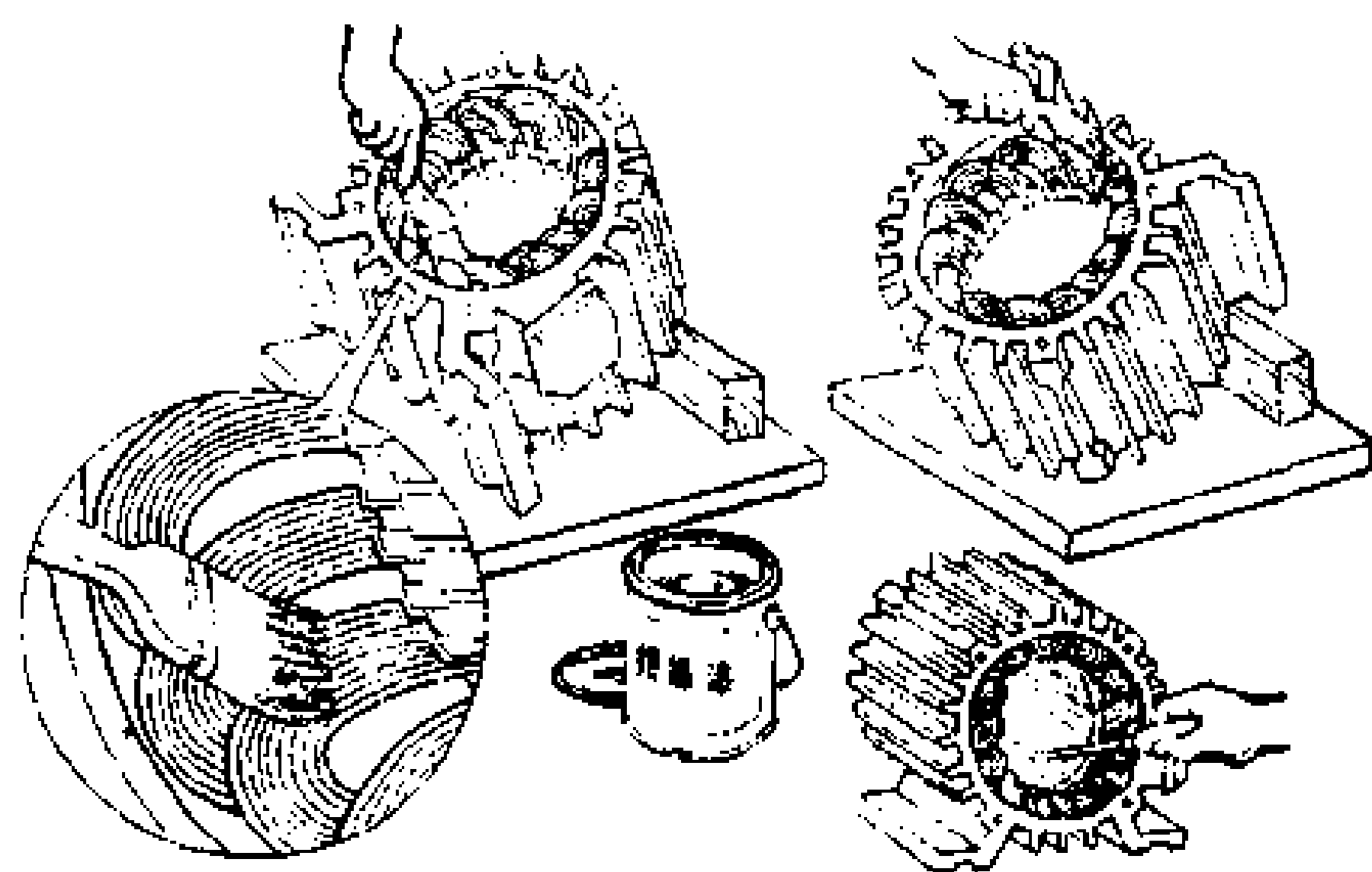


图 4—57 绕组浸漆的方法

检查风扇、风扇罩、电动机端盖是否有断翅、破裂等现象，进行必要的处理。  
 检查起动设备和测量仪表是否完好，打磨触头，调整触头压力，更换损坏的零件等。  
 检查电动机引线的安装情况。  
 检查接地装置，测量接地电阻。  
 检查电动机基础和传动装置，加以必要的调整和修理。  
 测量电动机的绝缘电阻。  
 大修结束后，应在负载下试验电动机和起动设备。

### 三、绕组的烘干

如果电动机绕组受潮，就要进行干燥，使绝缘电阻恢复正常。常用的烘干方法如下：

#### 1. 用大功率灯泡烘绕组

烘绕组时，可把 200~500W 的灯泡悬空吊在定子中，不可贴住绕组，以免烘坏线圈的绝缘层〔图 4—58 (a)〕。如果定子内腔较大，要多放几个大功率的灯泡。同时，电动机外壳下端四周要垫木块，使绕组不致受压，还要在上下端加盖木板，以减少热量散失。

#### 2. 用煤炉烘绕组

烘干时，要把电动机安放好〔图 4—58 (b)〕，在电动机下端用煤炉加温（如果浸漆后烘干，在煤炉上要加放一块铁板，以防漆滴入炉内引起燃烧，等到漆膜形成，再拿走铁板）。电动机的上端要覆盖旧麻袋。为了使绕组加热均匀，在烘干到一半时间后要把电动机翻过来再烘。

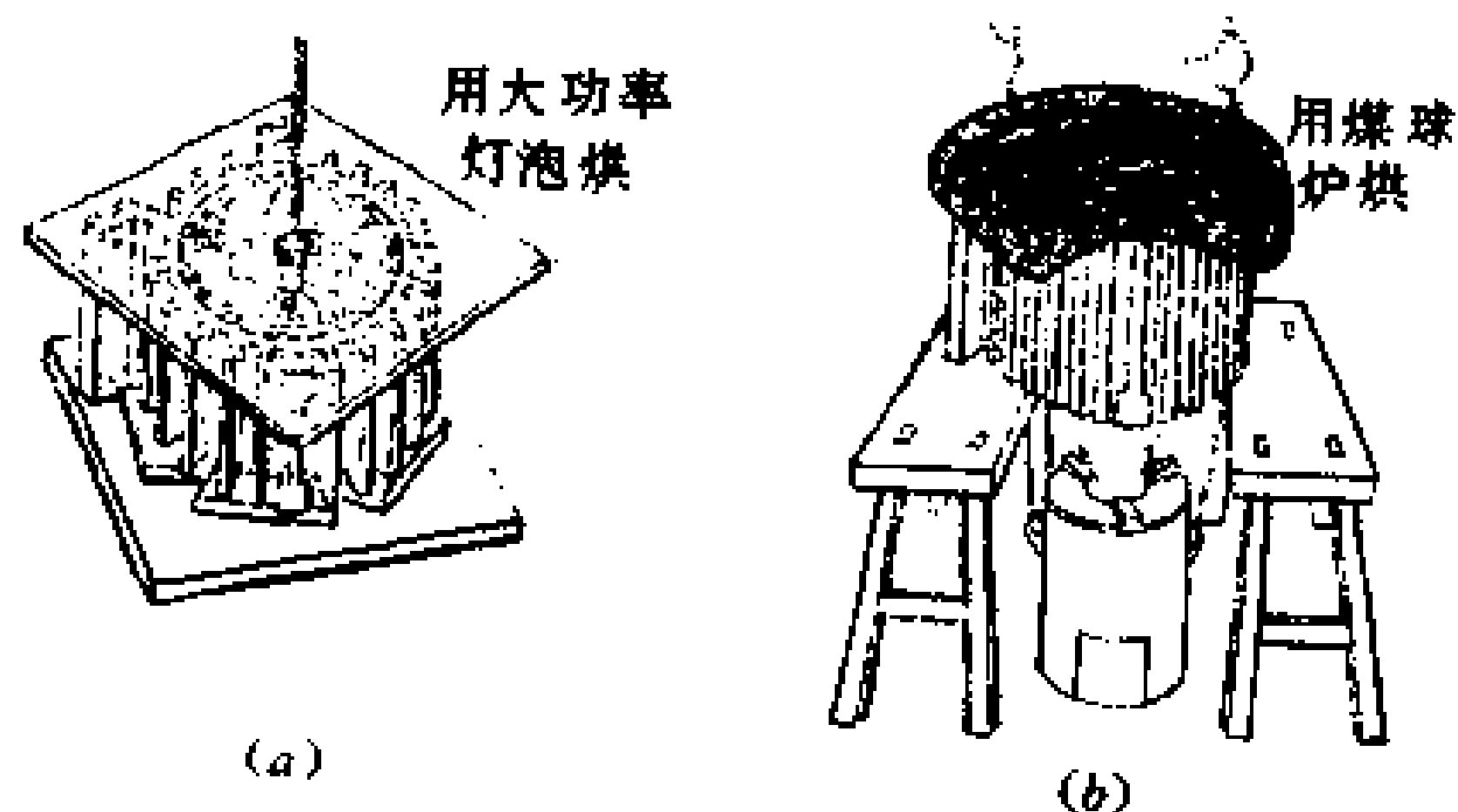


图 4—58 绕组的烘干方法

### 3. 用灯泡烘箱烘绕组

烘箱用铁皮制成，一端装一只 200~500W 灯泡。灯泡的位置应在定子中心偏下处，离绕组不要太近，如图 4-59 所示。在干燥时应注意监视温度，箱内温度不宜超过 100℃。如果温度太高，可停用一个灯泡，在干燥时应测量绝缘电阻。干燥时间大约需 24h。干燥后，绕组对机壳和绕组对绕组之间的绝缘电阻不应小于 1MΩ。

另外，也可以用烘干室烘干绕组，但这种方法比较费电。

电动机大修时往往需要对绕组浸漆。浸漆前应先烘干绕组，趁热往绕组上浇或刷绝缘漆（常用 1032 聚氰胺醇酸漆或 1012 耐油清漆）。浸漆以后应再烘干。烘干时，最好分两个阶段：第

1 阶段是低温干燥，温度不宜超过 70~80℃，以免表面干燥太快，造成皱膜，妨碍内部气体排出。这一阶段需 2~4h；第 2 阶段是高温干燥，温度在 110℃ 左右，需 4~8h。干燥时应有人监视，防止由于温度过高而烤焦绝缘或引起火灾。

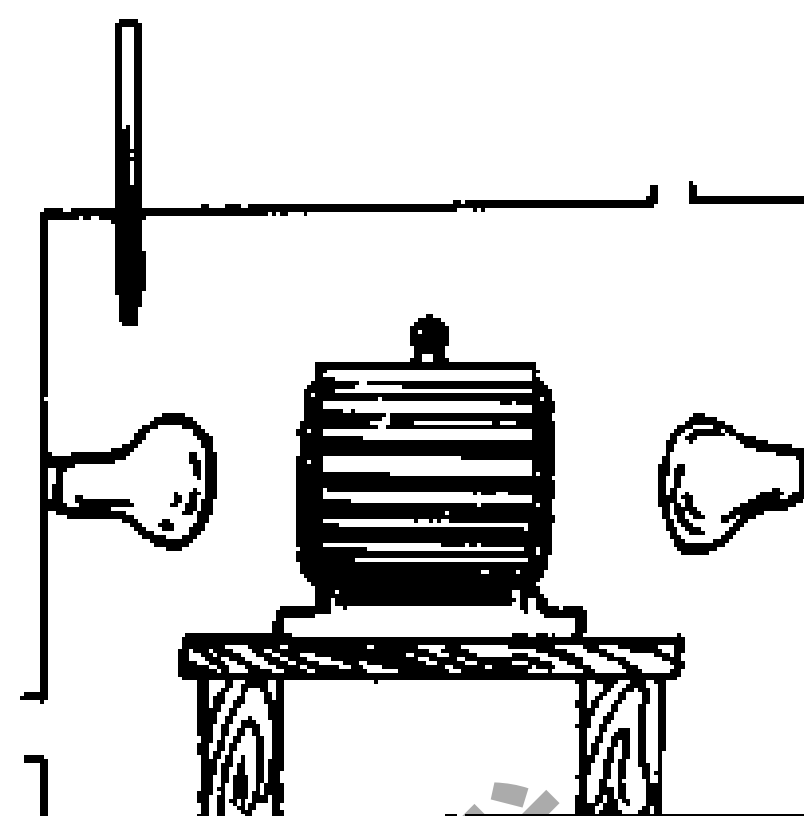


图 4-59 灯泡烘箱干燥法

## 第 10 节 电动机的试验

为了保证电动机的安全运行，除进行定期维护保养外，还需要定期对电动机进行检查试验。同时，对于修复的电动机，为保证电动机的修理质量，也应进行一次必要的试验。试验一般包括以下几个项目：绕组冷态直流电阻的测定，绝缘试验，空载试验，温升试验，超速试验和短时电流过载试验等。

### 一、试验前的准备

修复后的电动机在试验前，应根据具体情况，对电动机的装配质量、轴承运转情况进行检查。保证上述因素不影响电气性能试验质量后，方可进行以下各项检查。

#### 1. 电动机装配质量的检查

各绕组的接线和出线端的标记是否正确；固紧用螺钉、螺栓及螺母是否旋紧；转子转动是否灵活；电动机振动及轴伸径向偏摆的情况是否正常。

#### 2. 轴承运行情况的检查

在电动机空载的过程中，检查轴承运转是否平稳、轻快，有无停滞现象，声音是否均匀，是否有有害的杂音。

### 二、绕组冷态直流电阻的测定

绕组的冷态直流电阻，按电动机的功率大小，分为高电阻与低电阻。电阻在 10Ω 以上为高电阻，在 10Ω 以下为低电阻。高电阻可用万用表测量，或通以直流电，测出电流和电压后，再按欧姆定律计算出直流电阻。测量低电阻必须用精密度较高的电桥。

测量电阻时，应测量绕组的温度，然后再按下式换算为 15℃ 时的标准电阻值。

$$R_{15} = \frac{R_t}{1 + \alpha(t + 15)} (\Omega)$$

式中： $R_{15}$ 为绕组在 $15^{\circ}\text{C}$ 时的电阻值( $\Omega$ )； $R_t$ 为绕组在 $t^{\circ}\text{C}$ (测量时的温度)时的电阻值( $\Omega$ )； $\alpha$ 为导线的温度系数，铜的 $\alpha=0.004$ ，铝的 $\alpha=0.00385$ ； $t$ 为测量电阻时的绕组温度。

绕组的每相电阻与以前测得的数值或出厂时的数据相比较，其差别不应超过 $2\% \sim 3\%$ ，平均值不应超过 $4\%$ 。对三相绕组，其不平衡度以小于 $5\%$ 为合格。如果电阻相差过大，则焊接质量有问题。尤其在多路并联的情况下，可能是一个支路脱焊。如果三相电阻数值都偏大，则表示线径过细。

测量方法如下：测量绕组电阻时，应同时测量绕组的温度。用双臂电桥或单臂电桥测量绕组冷态直流电阻。也可用电流表和电压表来测量，此时应采用稳定的直流电源，电压表应与被测绕组的接线端子接触良好。测量时电流的数值不应大于被测绕组额定电流的 $20\%$ 。测量电阻时，电动机的转子应该静止不动。定子绕组的电阻应在电动机出线端测量。如果电动机每相绕组有始、末端引出时，最好测量每相绕组的电阻；如果绕组在电动机内三相已接成Y形，则相电阻的数值按下式确定。

$$r = \frac{1}{2} r_1$$

如果绕组在电动机内部三相接成D形，则相电阻的数值按下式确定。

$$r = \frac{3}{2} r_1$$

式中： $r_1$ 是在电动机出线端上量得的3个电阻数值的算术平均值。

测量仪表的精度不应低于0.5级。仪表的读数须在测量同时记下，为了避免错误，测量可连续作 $3 \sim 4$ 次，从中求出算术平均值。测量时要特别注意测量仪表接线处的触点质量。

### 三、绝缘试验

电动机绝缘是比较容易损坏的部分。电动机绝缘不良，将会烧毁绕组，或造成电动机机壳带电。若接地不良，将会造成触电事故。所以，电动机使用一段时间之后，或经过修理的电动机以及尚未使用过的新电动机使用之前，都要经过严格的绝缘试验，以保证电动机的安全运行。

#### 1. 绝缘电阻的测量

应测试的绝缘电阻包括各个绕组与外壳的绝缘电阻，绕组与绕组之间的绝缘电阻。测量绝缘电阻一般使用兆欧表(摇表)。为了使测量值准确，不同电压等级的电动机，应选用不同规格的兆欧表，见表4—5。

表 4—5 不同电压等级的电动机选用兆欧表的规格

| 电动机额定电压   | 兆欧表规格 |
|-----------|-------|
| 500V 以下   | 500V  |
| 500~3000V | 1000V |
| 3000V 及以上 | 2500V |

新嵌线的电动机绕组耐压试验前，绝缘电阻一般规定为：低压电动机不小于 $5\text{M}\Omega$ ；3

~6kV 高压电动机不小于 20MΩ。

三相异步电动机的绝缘电阻值不得低于 0.5MΩ。如果低于 0.5MΩ，必须先经干燥处理之后，方可进行通电运转和高压试验。

测量时应以接近兆欧表规定的速度均匀转动兆欧表，待指针稳定后读取兆欧表的数值。

绝缘电阻高并不一定说明这台电动机的绝缘性能良好。例如，绝缘老化或绝缘受机械损伤的电动机，其导线之间或导线与铁心之间还没有形成短路故障时，用兆欧表测量其绝缘电阻值可能很高，这种故障经耐压试验后便可发现。

## 2. 绝缘耐压试验

绝缘耐压试验包括绕组对地、绕组之间、绕组匝间的绝缘强度试验。试验通常是用 50Hz 的高压交流电进行，看能否经受一定的高压而不被击穿。绝缘耐压试验，可以确切地发现绝缘局部或整体所存在的缺陷。因为这种缺陷的发展要比绝缘普遍劣化发展快，在运行中易造成绝缘击穿的故障，所以每一台修复后的电动机都应当作耐压试验。

### (1) 绕组对地和绕组间的耐压试验：

每一个独立的电路（绕组），都应轮流作对机壳的绝缘试验。此时，试验电源的一极接在被试绕组的引出线端，另一极接在电动机的接地机壳上。在试验一个绕组时，其他绕组在电气上都应与接地机壳连接。试验可采用图 4—60 所示的线路。图中， $B_1$  为调压器； $B_2$  为 1 : 30 的升压变压器（也可利用同样变化的电压互感器）； $B_3$  为供给指示灯的电源变压器。

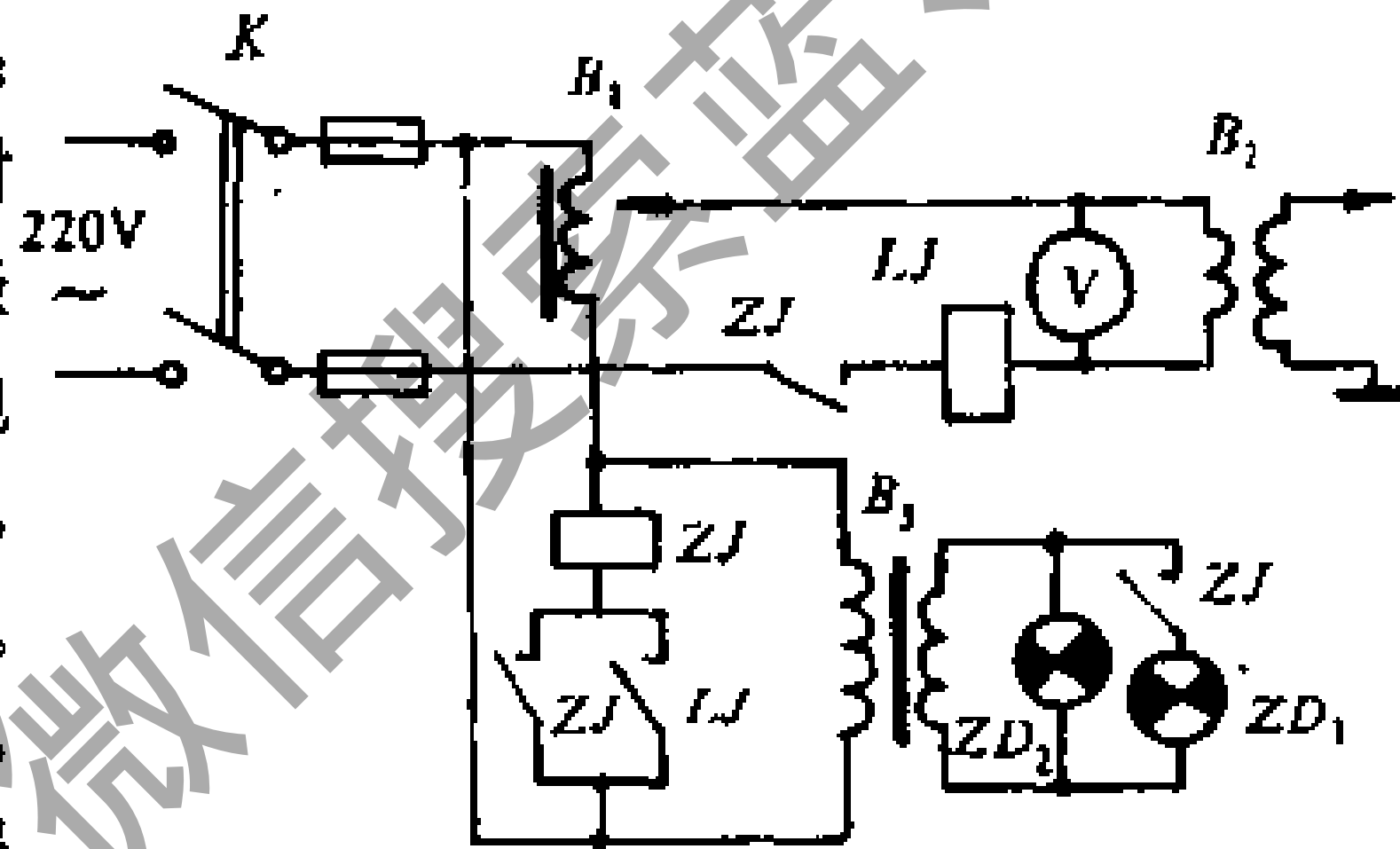


图 4—60 绝缘耐压试验线路

电压表接在升压变压器的低压侧，可将表盘按变比标成高压刻度，以便读数。

试验时，合上开关  $K$ ，电路接通，指示灯  $ZD_2$ （绿）亮。调节  $B_1$ ，在升压变压器次级得到所需要的高压（试验开始时的电压应不超过试验电压的 1/3）。增大电压时，要逐渐地或阶段地（不超过全值的 5%）进行。试验电压由半值升高到全值的时间不应小于 10s，全值试验电压保持 1min 后降为全值的 1/3，然后切断电源。若绝缘不被击穿，则过电流继电器  $LJ$  不动作；若绝缘被击穿，则  $LJ$  动作，接通中间继电器  $ZJ$ ，切断升压变压器初级回路；同时  $ZJ$  的常开触点闭合，接通指示灯  $ZD_1$ （红），发出警告。此时， $ZJ$  由自保触点继续维持通电，以保证切断高压回路。

电动机在包绝缘、嵌线、接线过程中，为了及时发现缺陷，防止返工，都要进行耐压试验。试验电压见表 4—6。

表 4—6

定子试验电压

（单位：V）

| 试验阶段   | 1kW 以下闭口槽电动机 | 1~3kW 半闭口槽电动机 | 3kW 以上半闭口槽电动机 | 3~1000kW 开口槽电动机  |
|--------|--------------|---------------|---------------|------------------|
| 线圈绝缘后未 | —            | —             | —             | $2.75U_n + 4500$ |

(续表)

| 试验阶段   | 1kW以下闭口槽电动机 | 1~3kW半闭口槽电动机 | 3kW以上半闭口槽电动机 | 3~1000kW开口槽电动机 |
|--------|-------------|--------------|--------------|----------------|
| 嵌线     |             |              |              |                |
| 嵌线后未接线 | $2U_n+1000$ | $2U_n+2000$  | $2U_n+2500$  | $2.5U_n+2500$  |
| 接线后未浸漆 | $2U_n+750$  | $2U_n+1600$  | $2U_n+2000$  | $2.25U_n+2000$ |
| 总装后    | $2U_n+500$  | $2U_n+1000$  | $2U_n+1000$  | $2U_n+1000$    |

注： $U_n$ 为电机额定电压。

对于电压在380V以下的电动机，如果没有试验设备，可用电压为kV的兆欧表作耐压试验，摇测1min。

(2) 匝间耐压试验：匝间耐压试验应在电动机空载试验以后进行。试验时，把电动机的外加电压增加到额定电压的130%。持续运行5min。曾经使用过或局部更换过绕组绝缘的电动机，可运行1min。

#### 四、空载试验

空载试验需进行1h以上，试验过程中应注意空载电流的变化。三相空载电流不平衡应不超过5%。如果空载电流超出电动机规定的范围，在维修电动机时应适当增加线圈匝数；反之，则应适当减少线圈匝数。

在空载试验中，还应检查电动机是否有杂音、振动，检查轴承、铁心的发热程度等。

#### 五、温升试验

电动机的温升试验是为了检查电动机在额定负载下运行时其各部温升是否正常。温升试验时，可用以下方法测量电动机绕组及其各部分的温度。

##### 1. 温度计法

温度计包括膨胀式温度计（如水银、酒精等温度计）、半导体温度计及非埋置的热电偶或电阻温度计。从被测点到温度计的热传导应尽可能良好。为了减少热量由温度计球部向冷却空气发散，测量点与温度计的球面部分应用绝热较好的材料覆盖好，但应不妨碍电动机的通风和绕组的散热。在电动机有变化磁场存在的位置，不能采用水银温度计，以免影响测量结果的准确性。

##### 2. 电阻法

利用绕组的直流电阻在温度升高后相应增大的关系来确定绕组的温度。图4—61所示的互馈法试验电路就是根据这个原理进行的。图中，两台相同的电动机 $D_1$ 、 $D_2$ 用皮带轮相连， $D_1$ 的皮带轮直径应稍大于 $D_2$ 的直径。 $D_1$ 启动后， $D_2$ 的转速将大于同步转速。若加以励磁， $D_2$ 将当作发电机运行，由 $D_1$ 取得机械能，转化为电能，馈给电源。调节

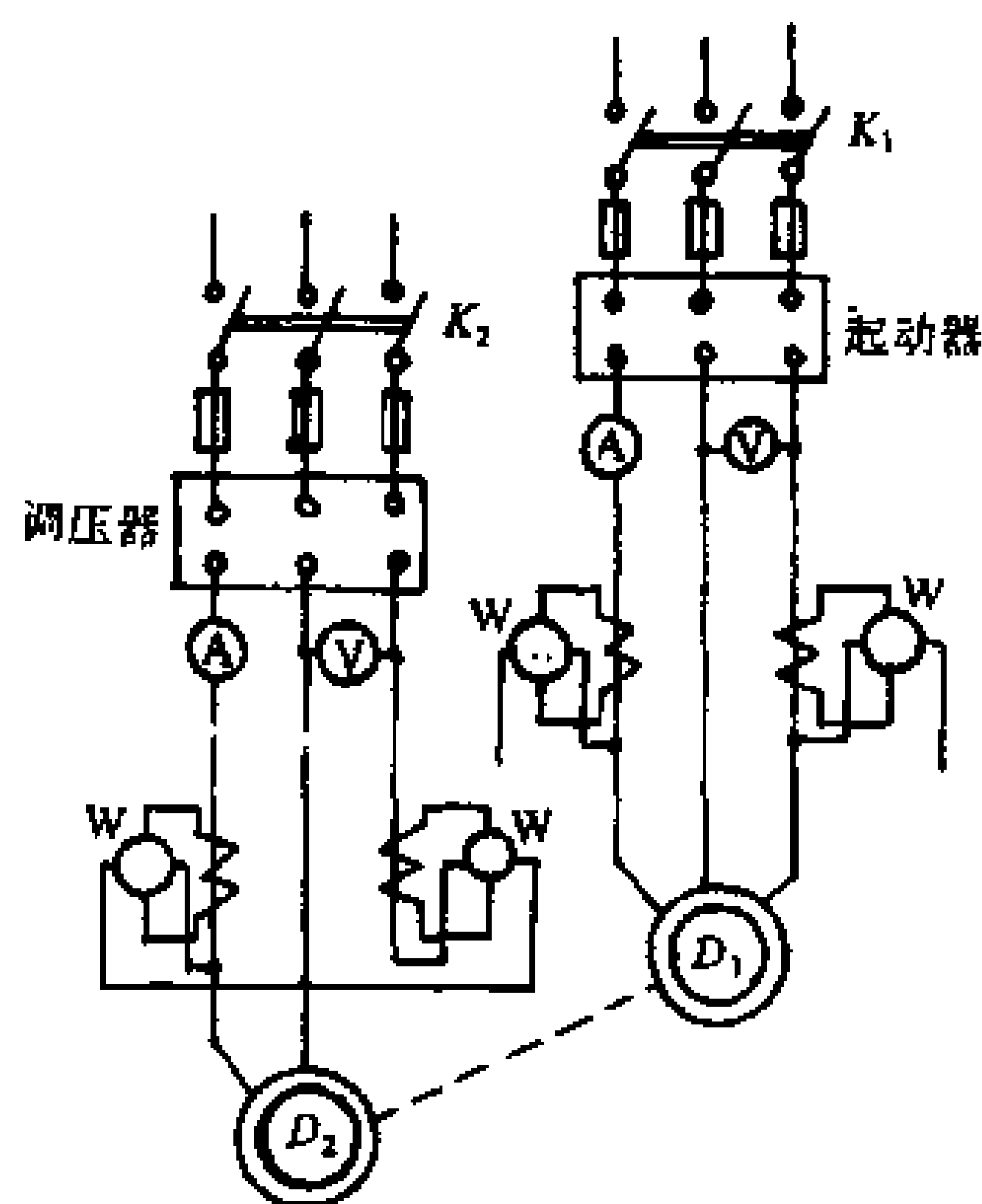


图 4—61 互馈法试验线路



皮带轮的松紧或用电压调节器调节发电机 ( $D_2$ ) 的电压, 即能改变发电机的输出电流和电动机 ( $D_1$ ) 的输入电流。

在试验前, 先测量受试电动机定子绕组的电阻, 并在机壳上用油灰粘一温度计, 然后分别起动  $D_1$  和  $D_2$ , 检查两者的方向是否一致, 一致后方可开始试验。

其试验步骤为: 先推上开关  $K_1$ , 并暂时短路电流表和瓦特表的电流线圈, 用起动机起动  $D_1$ 。然后, 在调压器位于最小值的情况下, 闭合开关  $K_2$ , 用调压器调节电压。必要时, 调节皮带轮松紧, 使电动机电流达到额定值。读取发电机与电动机的电流、电压及功率时, 应保持电压和功率不变。每隔一定时间 (一般为 15min) 读取温度一次, 直到温度实际上已达到稳定为止。试验完后, 立即测出电动机的热态电阻值, 并由温度表最后读数。知道了机壳温度, 则测得的冷、热态电阻值, 按公式

$$\Delta t = \frac{R_2 - R_1}{R_1} (K + t_1)$$

$$\Delta t_0 = \frac{R_2 - R_1}{R_1} (K + t_1) + t_1 - t_0 \quad (4-4)$$

便可求出绕组的温升和绕组对环境温度的温升。

式中:  $R_2$  为试验结束时绕组的热态电阻 ( $\Omega$ );  $R_1$  为实际冷状态下绕组的电阻 ( $\Omega$ );  $t_1$  为实际冷状态的绕组的温度 ( $^{\circ}\text{C}$ );  $t_0$  为试验结束时冷却介质的温度 ( $^{\circ}\text{C}$ );  $K$  为常数。对于铜  $K=235$ , 对于铝  $K=228$ 。

### 3. 用空载法间接测定绕组的温升

对于小型封闭式异步电动机, 可不必进行互馈试验, 只作空载运行, 测出空载温升, 然后再换算成满载温升。这样操作简便, 节省电力, 测量结果也比较准确。

空载温升  $\Delta t_0$  可由式 (4-4) 求得, 再按下式

$$\Delta t = \left[ \frac{1 - \sqrt{1 - 4ac}}{2a} \right] \times \left( \frac{I_c}{I_0} \right)^2 + \Delta t_0$$

$$- \left[ \frac{1 - \sqrt{1 - 4ac}}{2a} \right]$$

换算成满载时的温升。

式中:  $\Delta t_0$  为空载时的温升,  $I_c$  为电动机额定电流,  $I_0$  为空载电流, 并且

$$a = \frac{6.7 \times \left( \frac{I_c}{I_0} \right)}{\Delta t_0 \times \left( \frac{I_c}{I_0} \right)^3 + 9\Delta t_0 \times \left( \frac{I_c}{I_0} \right) + K + t_0 - 2\Delta t_0 \times \left( \frac{I_c}{I_0} \right)^2}$$

$$c = \frac{1.15 \times (K + t_0) \times \Delta t_0}{\Delta t_0 \times \left( \frac{I_c}{I_0} \right)^3 + 9\Delta t_0 \times \left( \frac{I_c}{I_0} \right) + K + t_0 - 2\Delta t_0 \times \left( \frac{I_c}{I_0} \right)^2}$$

## 六、超速试验和短时电流过载试验

这两项试验的目的是检查电动机应有的机械强度。短时电流过载试验, 除上述目的外, 还检查在不可避免发生的过载使用条件下, 运行是否能保证不中断。

所有电动机都应能在增高转速下支持 2min 而无有害变形。增高的试验转速应比额定转速大 20%。试验时, 可以用辅助电动机来拖动被试电动机, 也可将被试电动机接上

提高频率的电源。

容量在 1MW 以下的电动机，都应在 50% 的电流过载下，支持 15s；容量超过 1MW 的电动机，应支持 1min。

## 第 11 节 异步电动机改作发电机

### 一、异步发电机的接线

用原动机（如水轮机、柴油机等）来带动三相异步电动机，定子绕组不接电源，而是接上一组三相电容器，如图 4—62 所示，就成了一台三相异步发电机。

电容器的作用，是用来激磁和发出无功功率。异步发电机的工作原理如下：在运行过的异步电动机转子上总有剩磁存在（剩磁如已消失，可将干电池接在定子绕组上充电数秒钟），当原动机带动异步电动机旋转时，定子绕组将

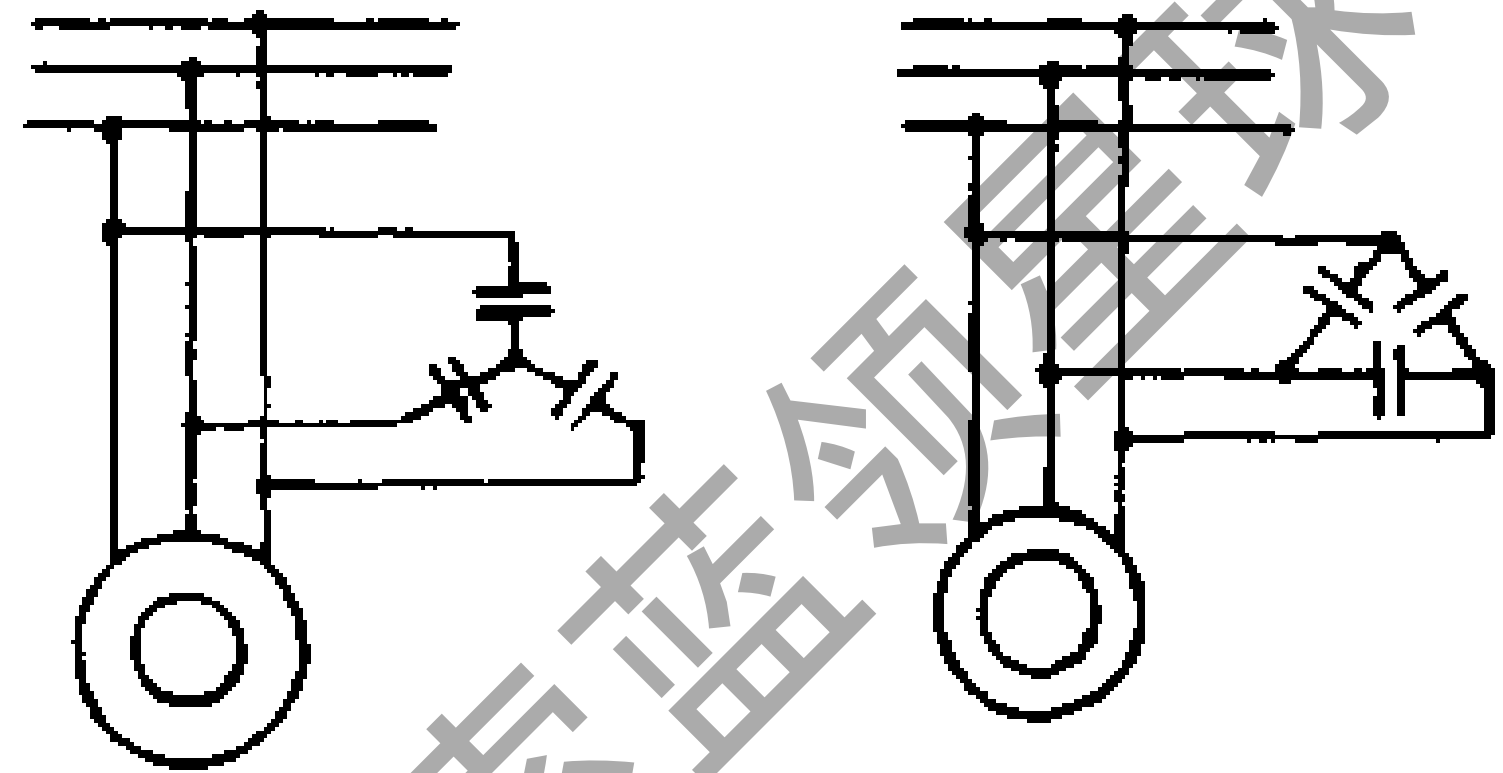


图 4—62 异步发电机的接线

切割转子的剩磁而产生一个较小的感应电势。在这个感应电势作用下，定子并联电容器中会产生电容性电流。这个容性电流流过定子绕组时，产生的磁通恰好与转子剩磁磁通同方向而使转子磁通得到加强（即电容器起了激磁作用），从而在定子绕组中感应出较高的电动势。这个电势通过并联电容又能产生更大的容性电流而使转子磁通更大。如此反复激磁就使定子绕组的端电压逐渐升高，最后达到一个稳定值。稳定值的大小与电容器的电容值及转子的转速有关。为了使电动势的频率接近 50Hz，转子转速应稍大于额定转速（大 3%~5%）。

三相电容器有两种接法，即 D 接线和 Y 接线。两种接法所发出的无功功率相同，但由于 D 接法需要的电容量较小，因此多数采用 D 形接法。

### 二、电容量的配置

异步电动机发电时所需并联的电容器，其容量可用下述方法计算：

#### 1. 主电容

空载激磁电容  $C_1$ ，又叫主电容，是用来供给异步电机以空载激磁电流，使发电机空载电压等于额定电压的。当电容器为 Y 接法时，每相电容值为

$$C_{0y} \approx \frac{\sqrt{3} I_0}{2\pi f U_e}$$

式中： $I_0$  为电动机运行时的空载电流（A），其值应通过实际测量确定，测量有困难时可采用估计值，一般为额定电流的 30%； $f$  为发电机电势频率，为 50Hz； $U_e$  为发电机额定电压（V）； $C_{0y}$  为 Y 接法时每相电容值（F）。

三相所需总电容值为

$$C_{1Y} = 3C_{0Y} \approx 16.5 \times \frac{I_0}{U_r} \times 10^3 \text{ (}\mu\text{F)}$$

当电容器为 D 接法时，每相电容值为

$$C_{0D} \approx \frac{\sqrt{3} I_0}{6\pi f U_r}$$

这时三相所需总电容为

$$C_{1D} = 3C_{0D} = 5.52 \times \frac{I_0}{U_r} \times 10^3 \text{ (}\mu\text{F)}$$

在实践中得到：当电源电压为 380V，三相电容器采用 D 接法，电动机为 4 极和 6 极时，根据容量不同所需配置的电容容量见表 4—7 中。

表 4—7 电容量配置

| 电动机功率 (kW)                 | 2.8 | 4.5 | 7   | 10  | 14  | 20  | 28  |
|----------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 满载时配置电容量 ( $\mu\text{F}$ ) | 60  | 81  | 198 | 135 | 168 | 237 | 345 |

## 2. 副电容

补偿电容  $C_2$ ，又称副电容，用来在发电机带负荷时补充激磁电流，以维持发电机端电压恒定。发电机的负载可分为两部分，一部分为有功负荷，如白炽灯、电炉、电饭锅等纯电阻性负荷及异步电动机的有功功率部分。当发电机满负荷时，所需增加的副电容  $C_2$ ，可按空载激磁电容的 1.25 倍考虑，即

$$C_2 = 1.25C_1$$

另一部分是无功负荷，如日光灯、异步电动机等感性负荷部分所需的无功功率。发电机所供给的无功功率由发电机的容量和额定功率因数来确定，即

$$Q = \frac{P}{\cos\varphi} \times \sin\varphi = \frac{P}{\cos\varphi} \sqrt{1 - \cos^2\varphi}$$

式中： $Q$  为异步发电机应提供的无功功率 (var)； $P$  为异步发电机的额定容量 (W)； $\cos\varphi$  为异步发电机的额定功率因数。

这部分无功功率  $Q$  可由再增加的一部分补偿电容  $C_3$  提供， $C_3$  也称副电容。

电容为 Y 接法时

$$C_3 = \frac{3Q}{314U_r^2} = 9.55 \times \frac{Q}{U_r^2} \times 10^3 \text{ (}\mu\text{F)}$$

电容为 D 接法时

$$C_{3D} = \frac{Q}{314U_r^2} = 3.18 \times \frac{Q}{U_r^2} \times 10^3 \text{ (}\mu\text{F)}$$

在额定负载下应增加的补偿电容 (副电容) 值为

$$C_{\text{补}} = C_2 + C_3$$

自激异步发电机满载运行时三相所需的总电容值为

$$C_{\text{总}} = C_1 + C_2 + C_3$$

主电容器固定接在异步发电机的出线端，而副电容器一般接在用户处 (图 4—63)。

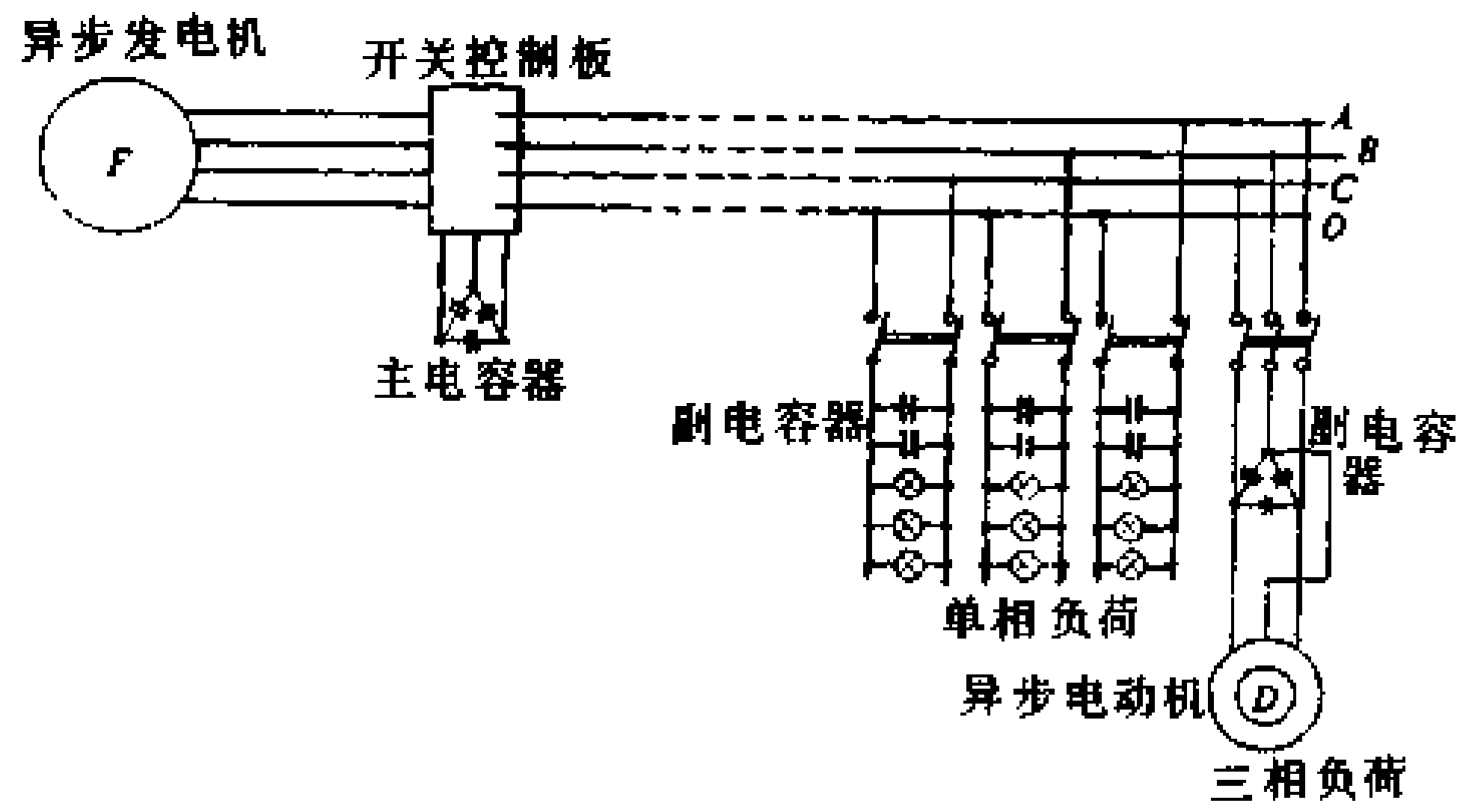


图 4—63 主电容器和副电容器的连接方式

所选电容器的额定工作电压必须大于实际工作电压，如 380V 系统中，D 接法的电容器，其额定电压应大于 450V；Y 接法的电容器，其额定电压应大于 350V。主、副电容器都应采用油浸电力电容器。

## 第5章 常用低压电器

低压电器通常是指工作在交流不高于 1kV 与直流不高于 1.2kV 的电路中的电器。

低压电器的种类繁多，用途广泛，有低压控制电器和低压配电电器等。本章仅介绍常用于电力带动的低压控制电器，这些电器是闸刀开关、转换开关、空气开关、熔断器、接触器、主令电器等。

### 第1节 闸刀开关

闸刀开关俗称“闸刀”或“刀闸”，是一种用来接通或断开电路的手动低压开关。闸刀开关有单相（两极）和三相（三极）之分。单相闸刀开关用于单相低压照明电路和直流电路；三相闸刀开关用于交流 50Hz，电压至 380V 的小电流配电系统中，也可作为小容量三相异步电动机的直接起动设备。常用的三相闸刀开关有以下 3 种结构形式：

#### 一、瓷底胶盖闸刀开关

瓷底胶盖闸刀开关又称开启式负荷开关。它由闸刀开关和熔丝组合而成，瓷底板上装有进线座，静触头、熔丝、出线座及 3 个刀片式的动触头，上面覆有胶盖，其外形如图 5-1 所示。胶盖的作用，

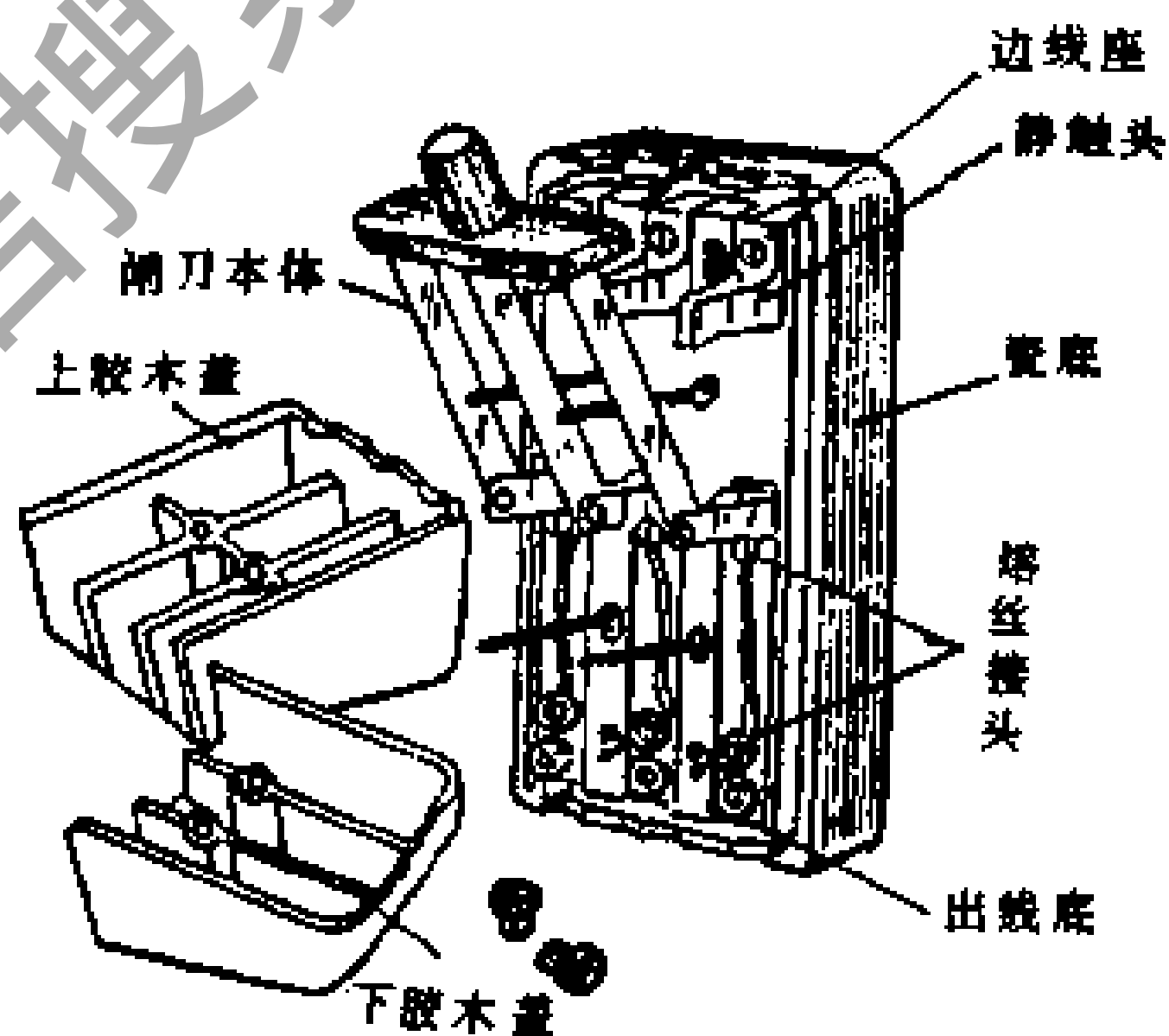


图 5-1 胶盖闸刀开关

一方面是为了防止人体

触及开关的带电部分而造成的触电事故；另一方面是防止触头间发生电弧或熔丝熔断时烧伤操作人员。因此，必须经常保持胶盖的完善。

瓷底胶盖闸刀开关的结构简单、价格低廉、操作方便，因而在低压电路中应用很广。但由于它的额定电流较小，而且没有专门的灭弧装置，容易烧伤触头。所以只在负荷电流不太大，用手动接通和断开负荷电路不频繁的线路中应用；也可作小容量（5.5kW 以下）异步电动机的不频繁直接起动和停止之用。

这种闸刀开关的正确安装和接线如图 5-2 所示。合闸后应使手柄朝上，电源线接在静触头一侧，负载线经过熔丝接在动刀片上，图 5-2 (b) 的安装和接线是不正确的，它不仅容

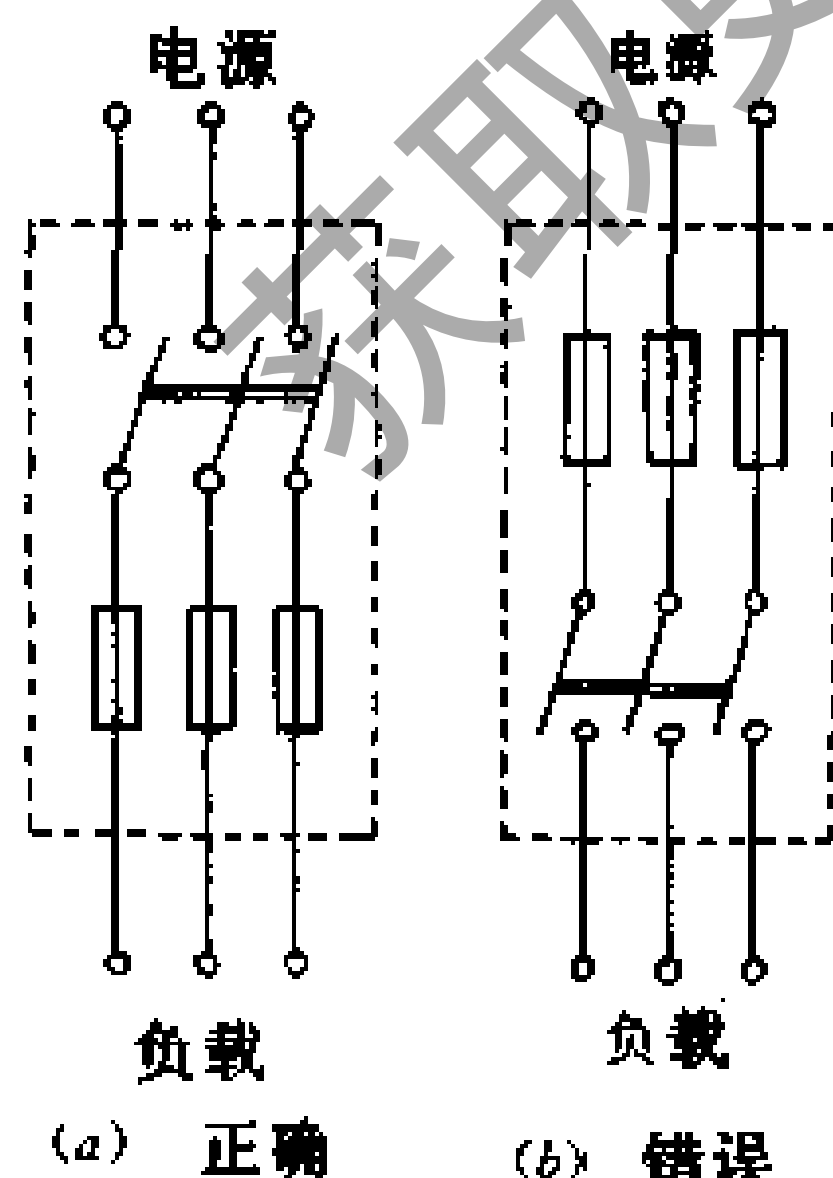
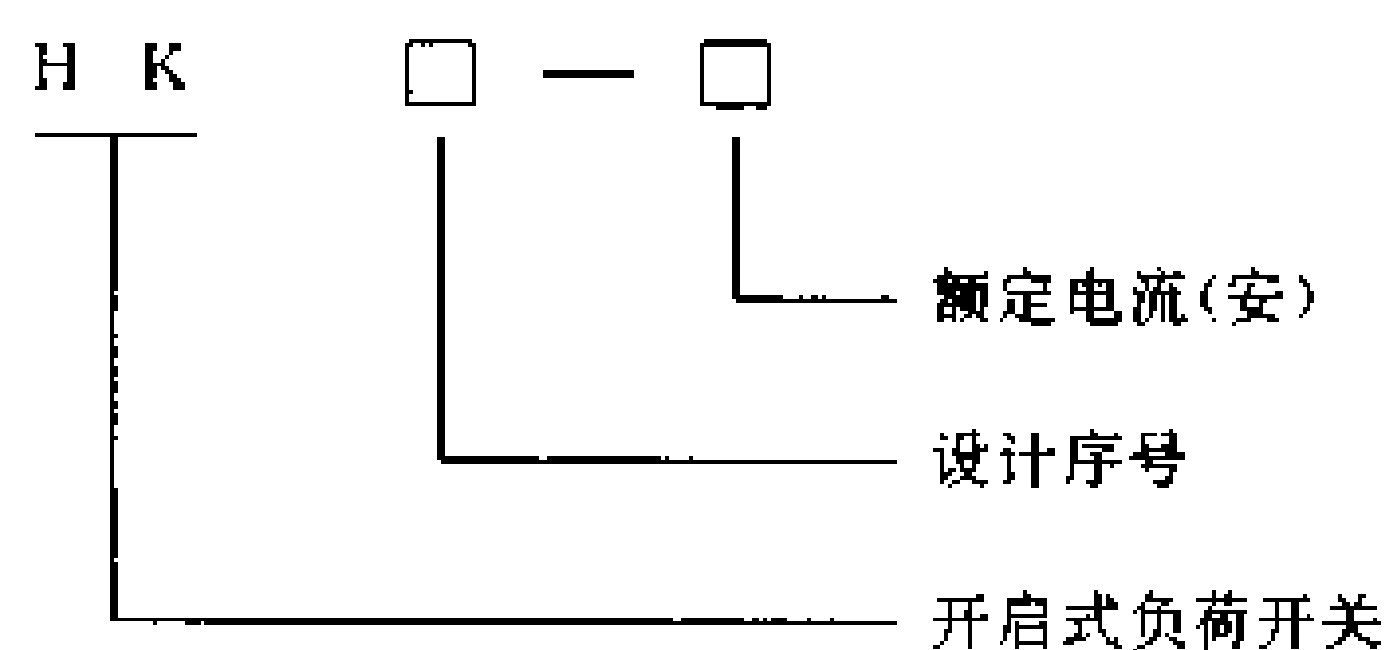


图 5-2 胶盖闸刀开关安装与接线

易使动刀片受振动下落而造成误合闸，而且在断开电源的情况下，露在外面的动刀片仍然带电，容易发生触电事故。

瓷底胶盖闸刀开关有 HK1、HK2、TSW 等系列，常用的是 HK1 和 HK2 系列，其型号的含义如下：



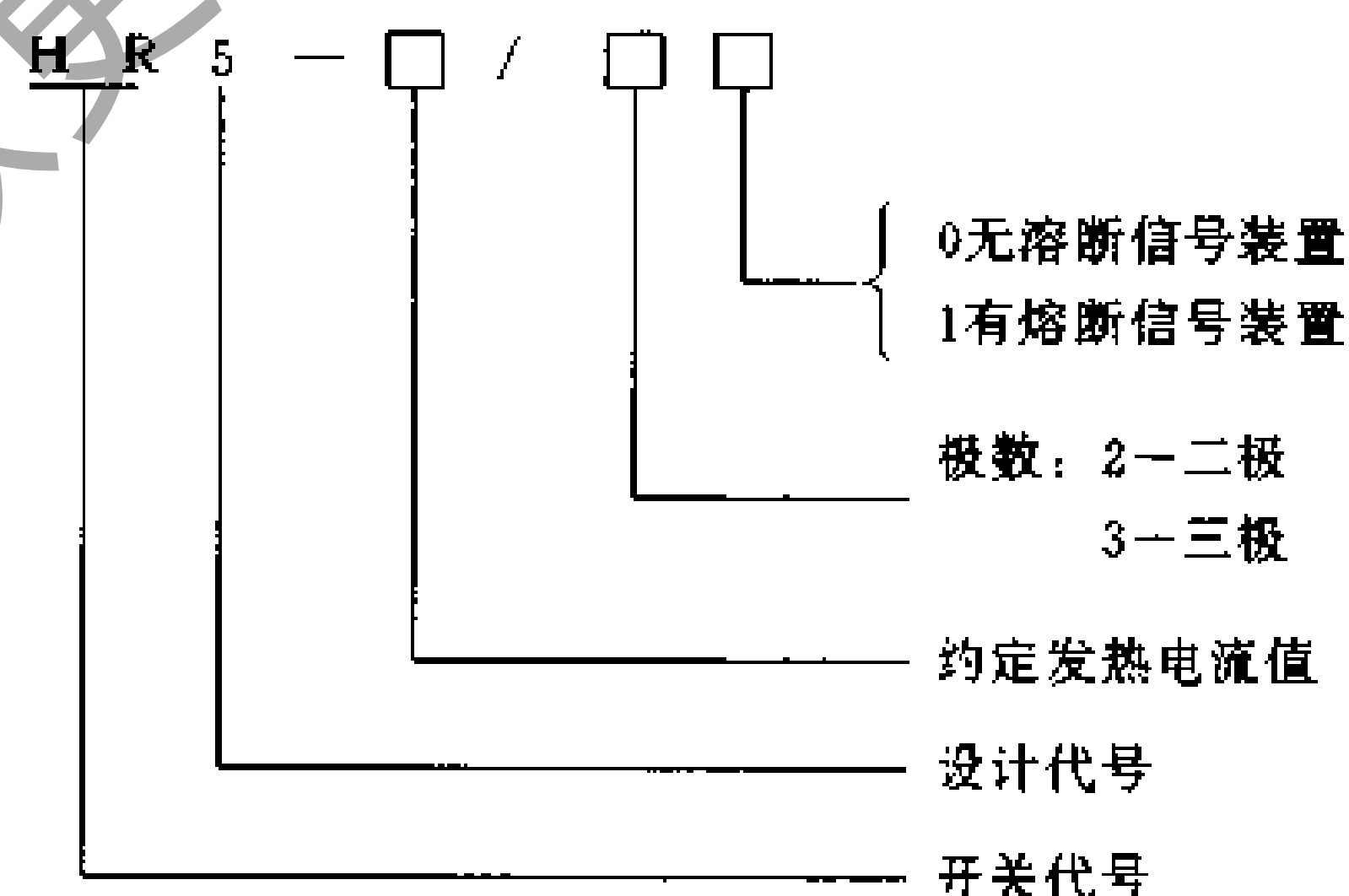
## 二、刀熔开关

刀熔开关又称为熔断器式刀开关。它有 HR5 及 HR3 两个系列。刀熔开关主要用于中央配电屏、动力箱及电缆导线的过载和短路保护，在正常供电情况下，用于不频繁地接通和分断电路，但一般不用于直接开关单台电动机。

HR5 刀熔开关主要由钢板底座和塑料盖两大部分组成。3 对夹型触头和灭弧室通过绝缘垫板装在底座上。熔断体装在盖子上直接作为动触头刀片，盖子可方便地从底座上撤出，以便于开关的安装，也可以沿铰销旋转呈扇形打开，使熔体从插座中完全拔出。开关的灭弧室由耐弧塑料压制，结构简单，便于拆装。由于每个弧室都有内室和外室两部分组成，并装有金属弧角，增强了消除因分断电路而产生电弧的能力，而且提高了触头的寿命。同时开关还具有弹簧贮能快速关合机构，使之能在极繁重条件下安全的动作。

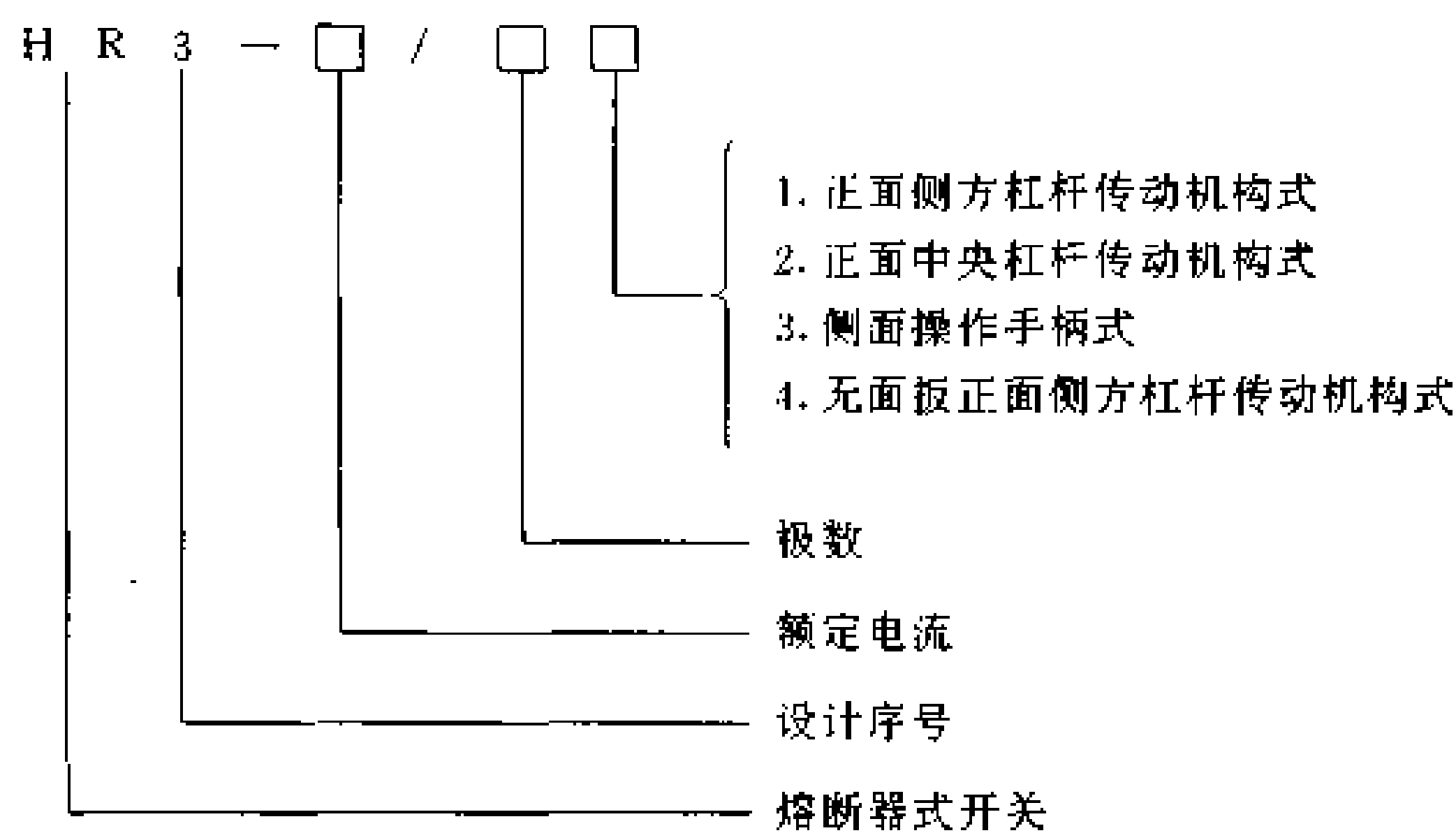
HR3 系列刀熔开关是以 RT 有填料熔断器作为开关动静触头的。在正常情况下，接通和切断电源由刀开关完成；当线路有短路或过载时，靠熔断器熔体熔断来及时切断故障电流。开关装有灭弧室以提高灭弧能力。该系列开关的熔体固定在带有弹簧钩子锁板的绝缘横梁上。在正常时，保证熔断体不脱扣；当熔断体因线路故障而熔断后，只需要按下扣子就能方便地更换熔断体。

HR5 系列和 HR3 系列刀熔开关的型号含义如下：



## 三、铁壳开关

铁壳开关又称负荷开关，主要由闸刀开关、熔断器和金属外壳（包括底壳和箱盖）组成。为了提高开关的灭弧能力，在静触头外面装有灭弧罩。铁壳开关的外形和内部结构



如图 5—3 所示。

铁壳开关的操作手柄装在底壳的右侧下方，它的操作机构具有两个特点：利用速断弹簧的作用来控制触头的分合，因此触头接通和分断的快慢与操作的速度无关；手柄与箱盖之间有机械联锁装置，保证开关合闸后箱盖不能打开，箱盖打开时开关不能合闸，因而可以防止在开关带电情况下触及内部带电部分，以保证安全。此外，在底壳的左侧上方有接地螺丝，作为外壳安全接地之用。

铁壳开关适用于工矿企业、农村工副业和提水站以及照明等各种配电设备中，供手动不频繁接通和断开负荷电路情况下使用，也可作为三相异步电动机的直接起动设备。

常用的铁壳开关有 HH3 和 HH4 两种系列。在 HH3 系列负荷开关中，额定电流等级为 100~200A 的每相触头为单断点，额定电流等级为 15~60A 的每相触头为双断点，它们的接线方式如图 5—4 所示。HH4 系列负荷开关每相触头均采用双断点，它们的接线方式分为一端接线和两端接线两种，如图 5—5 所示。

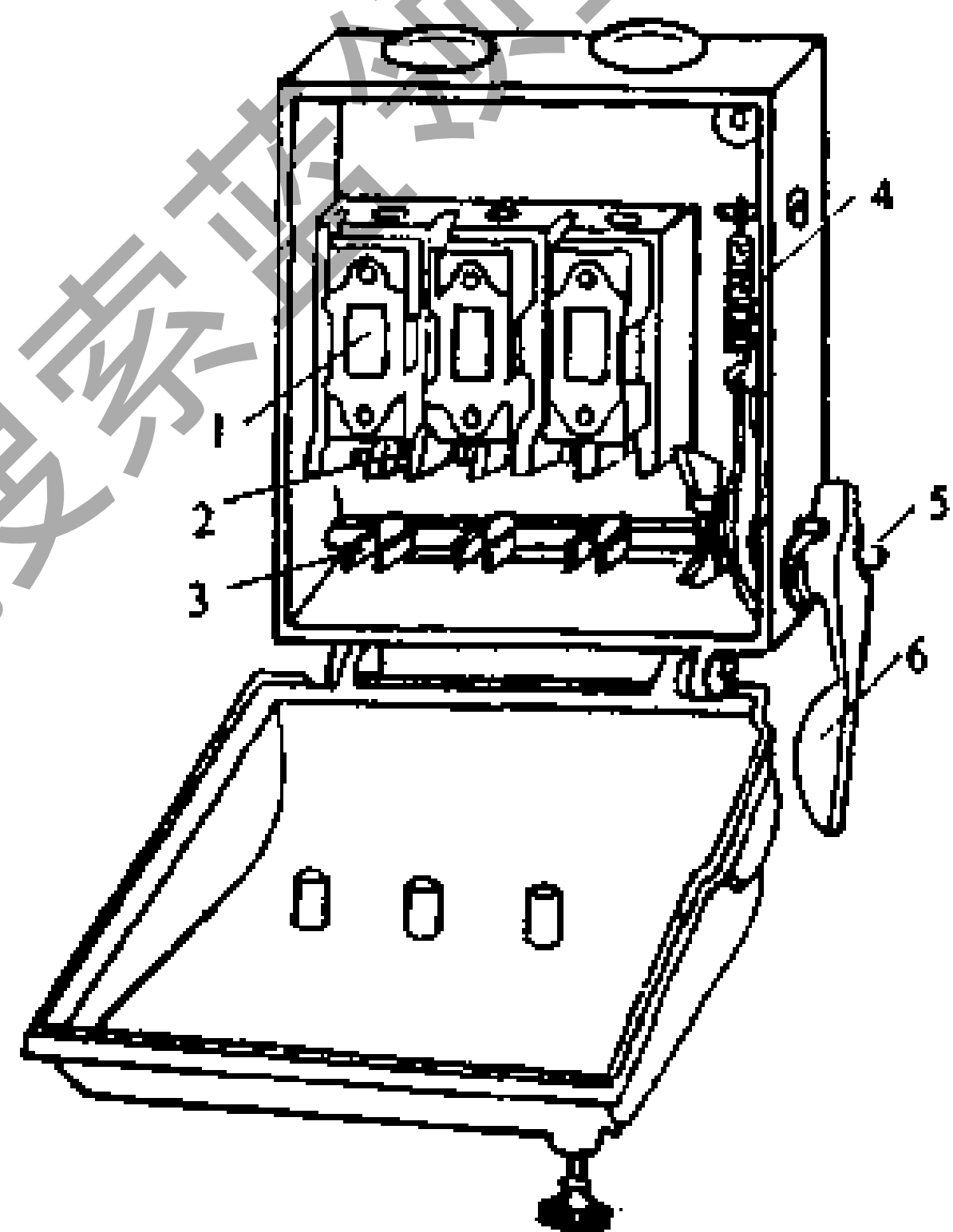


图 5—3 铁壳开关的结构

1—熔断器 2—夹头 3—闸刀 4—速断弹簧 5—转轴 6—手柄

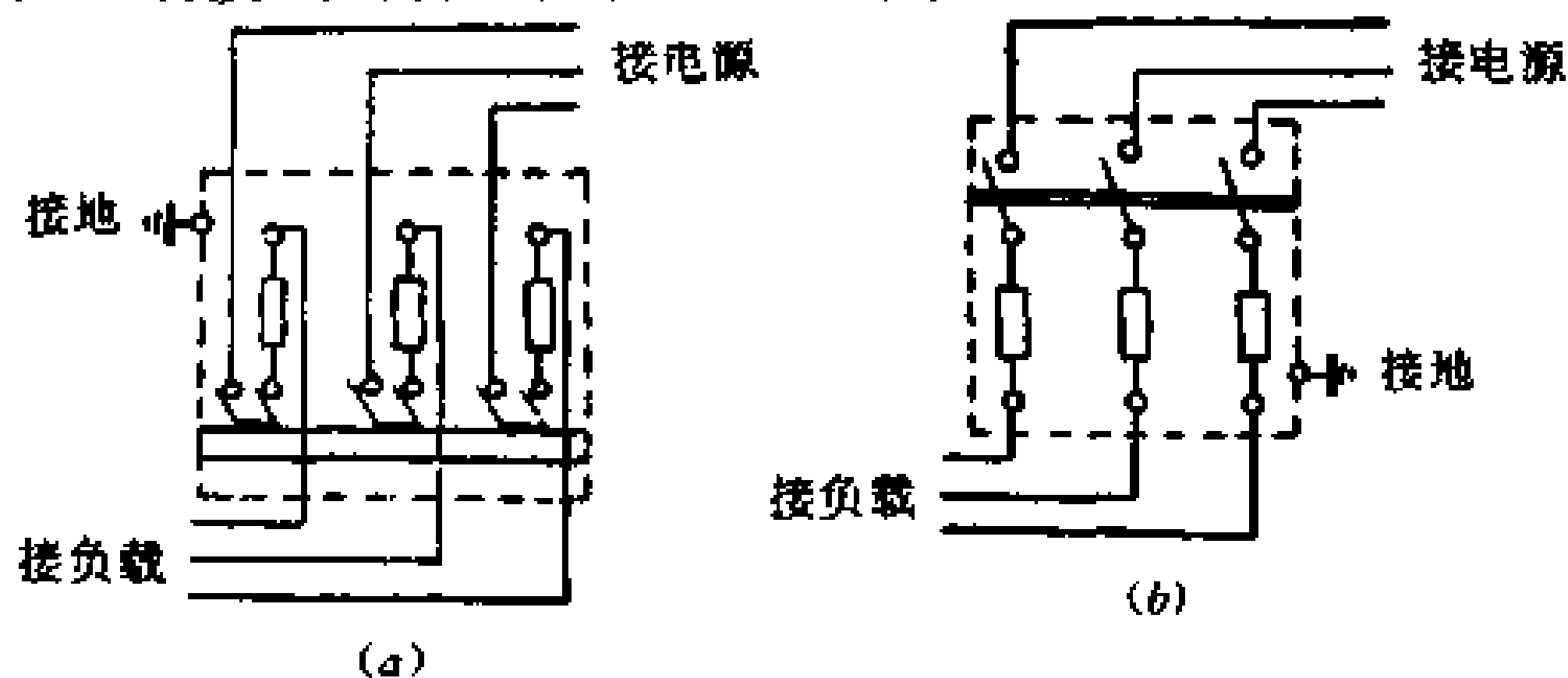


图 5—4 HH3 型负荷开关接线图

(a) 额定电流为 15~60A (b) 额定电流为 100~200A

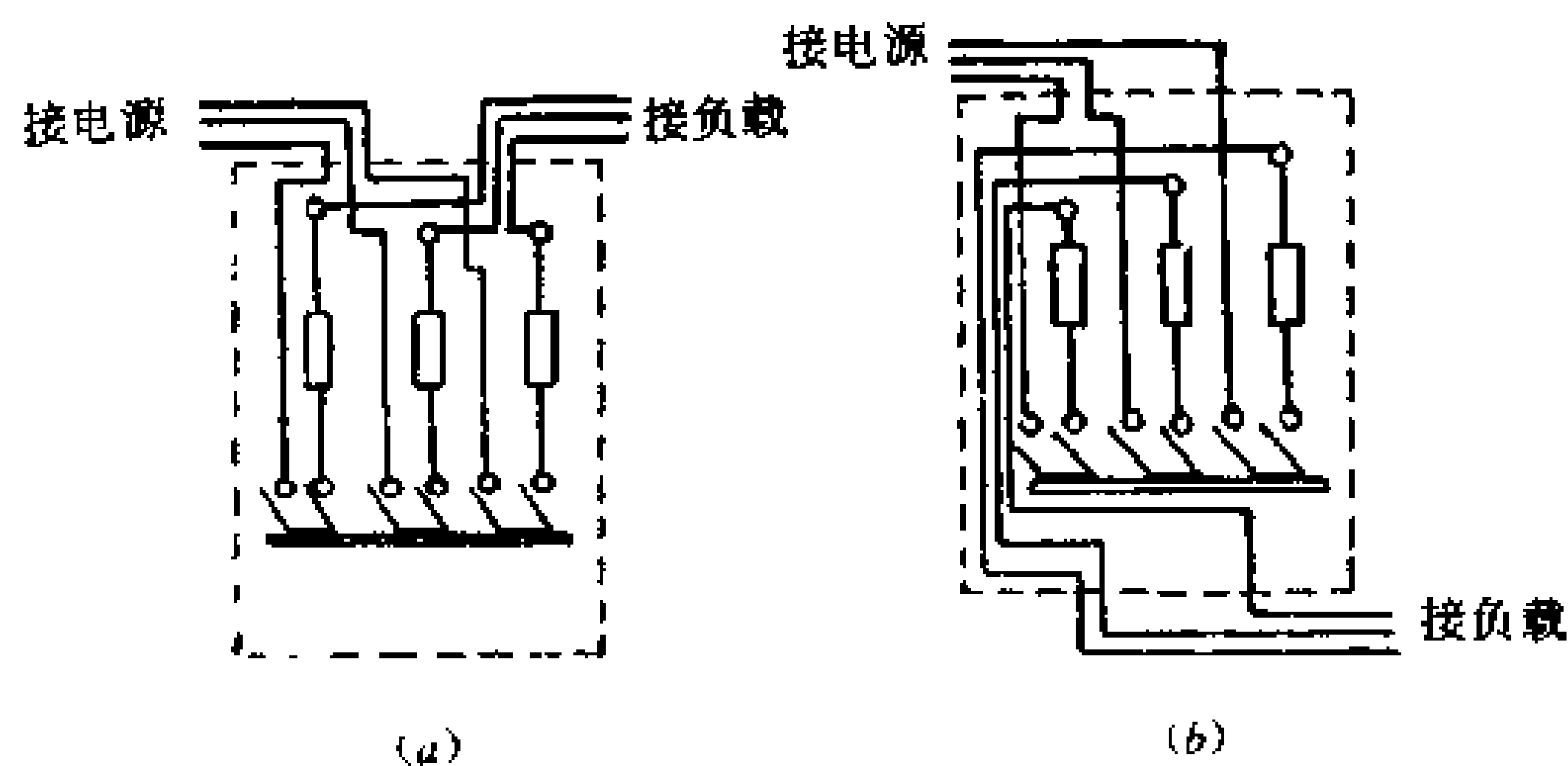
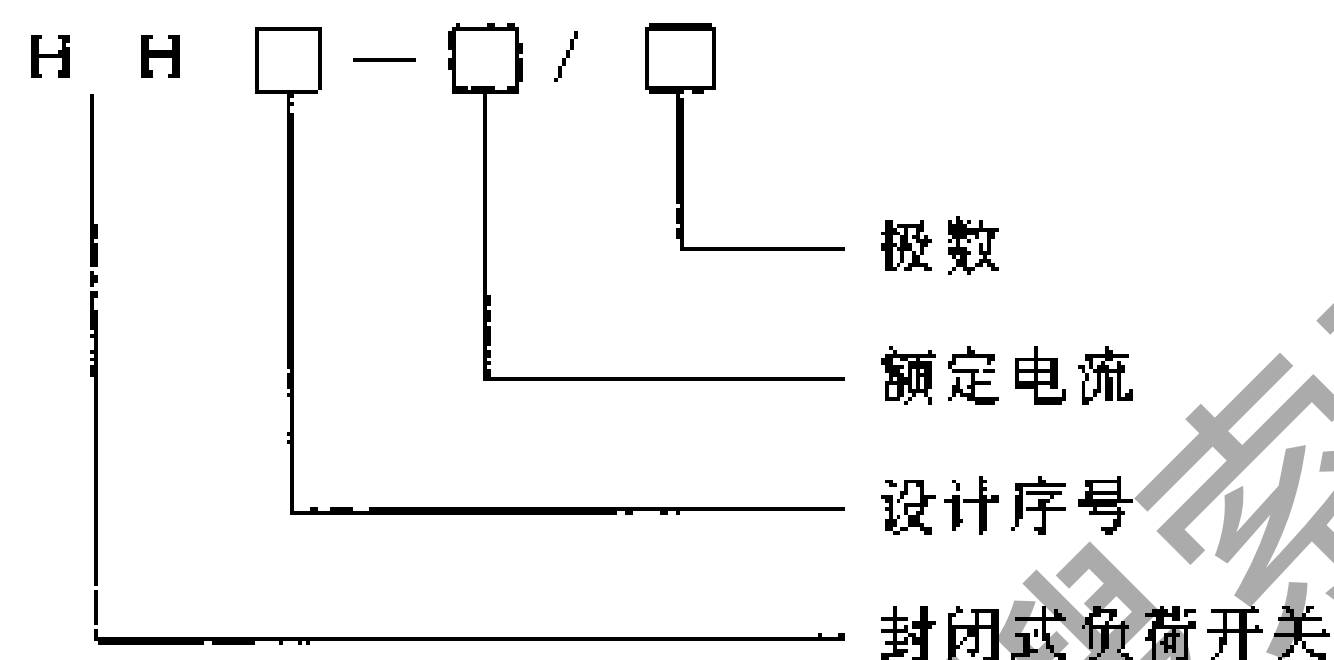


图 5—5 HH4 型负荷开关接线图  
(a) 一端接线 (b) 两端接线

铁壳开关型号的含义如下：



#### 四、闸刀开关的选择

因为闸刀开关是与其他用电设备配套使用的，所以在选择闸刀开关时，必须满足配套用电设备的技术要求；同时，在满足技术要求的前提下，力求做到经济节约。选择闸刀开关应满足开关额定电压 $\geq$ 工作电压。用于照明线路时，开关额定电流 $\geq$ 最大工作电流。瓷底胶盖闸刀开关用于异步电动机直接起动时，开关额定电流 $\geq 3X$ 电动机额定电流。铁壳开关用于异步电动机直接起动时，开关额定电流 $\geq 2X$ 电动机额定电流。开关的极数（两极或三极）应符合要求。

## 第 2 节 转换开关

转换开关由多节触头组合而成，故又称为组合开关。

HZ10—10/3 型转换开关外形、内部结构及电气符号如图 5—6 所示。后有 3 对静触头，分别装在 3 层绝缘垫板上，并附有接线柱，伸出盒外，以便和电源、用电设备相接。3 个动触头是由两个磷铜片或硬紫铜片和消弧性能良好的绝缘钢纸板铆合而成的，和绝缘垫板一起套在附有手柄的绝缘杆上。手柄每次转动  $90^\circ$  角，带动 3 个动触片分别与 3 对静触片接通和断开。顶盖部分由凸轮、弹簧及手柄等零件构成操作机构，这个机构由于采用了弹簧，能使开关迅速闭合及断开。

常用的转换开关为 HZ 系列的 HZ10、HZ5B 等产品，还有新型号产品 HZ15 以及 HZ3 系列手控转换开关。这类转换开关具有寿命长、使用可靠、结构简单、维修方便等优点。HZ10 系列转换开关以及新型的 HZ15 系列转换开关，主要用于交流 50Hz、电压至 380V、



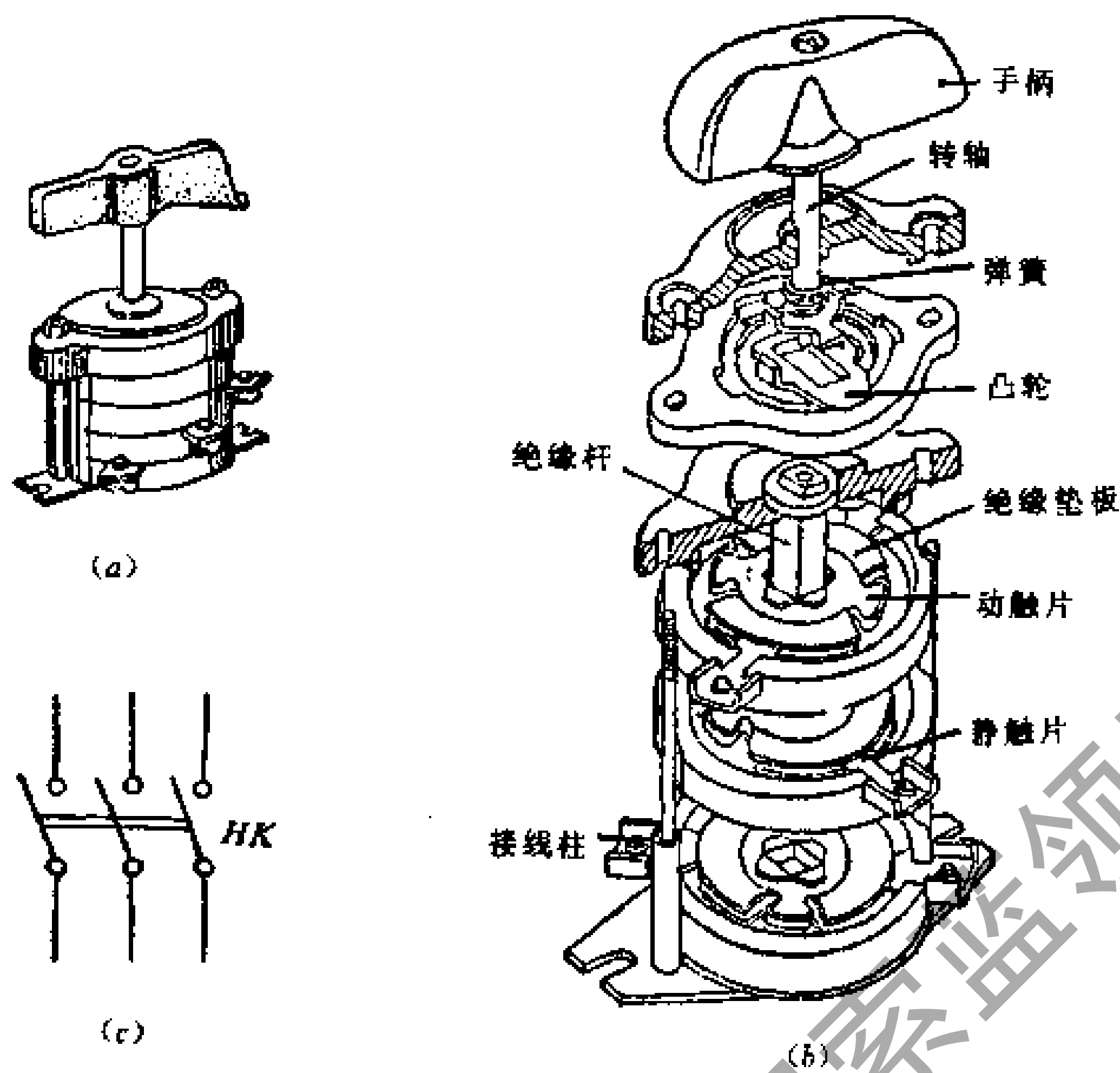
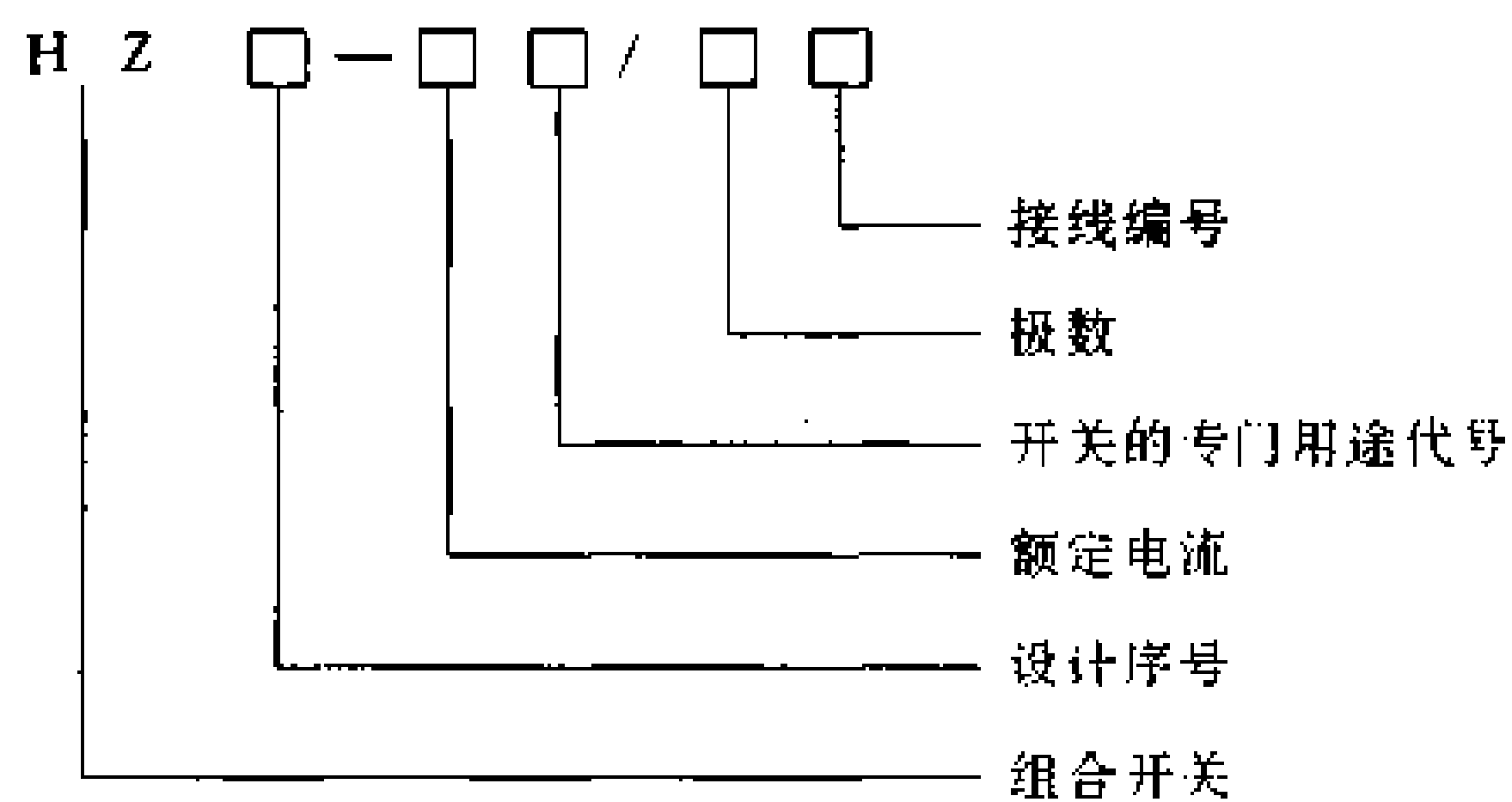


图 5-6 HZ10—10/3 型转换开关

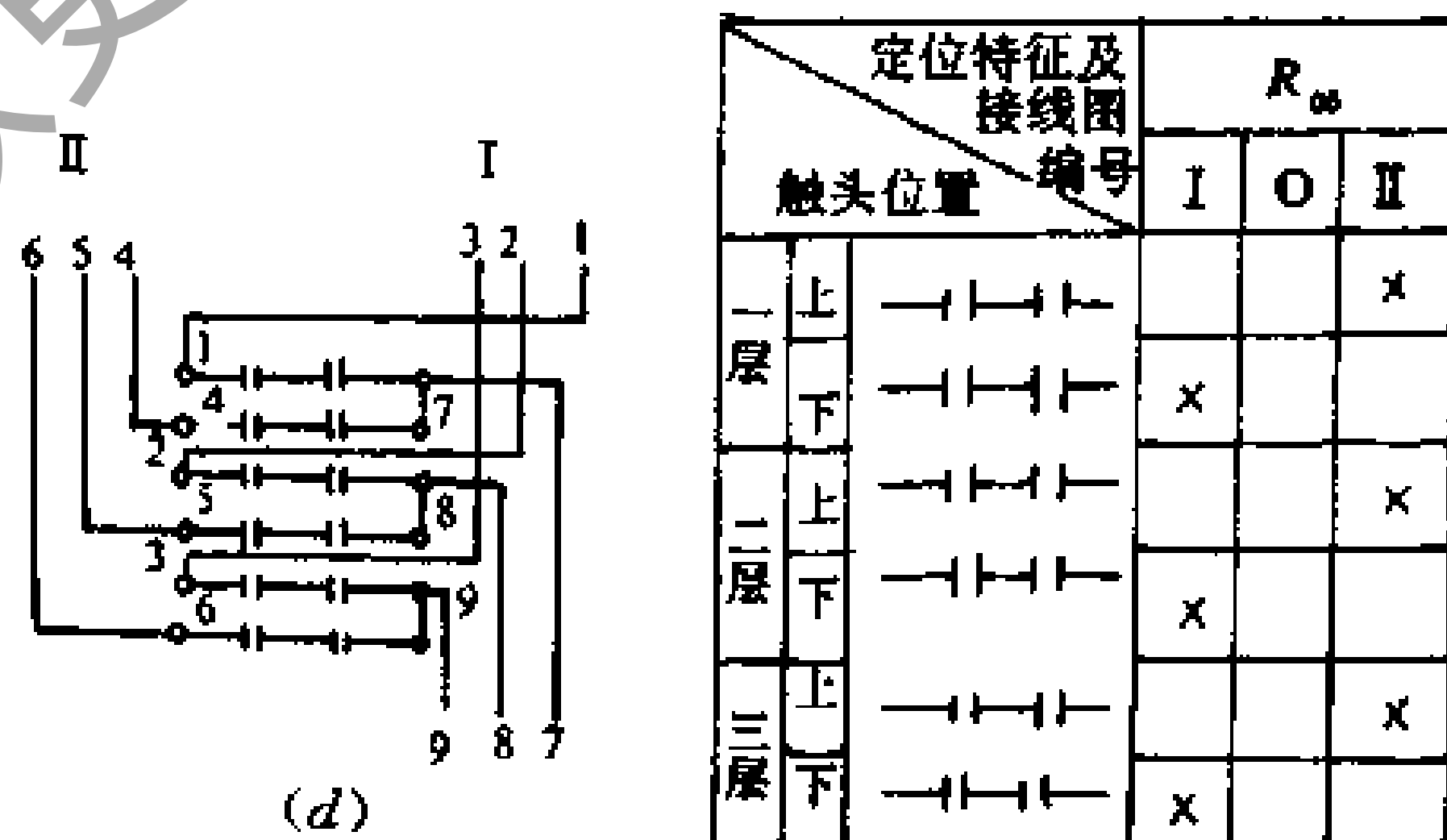
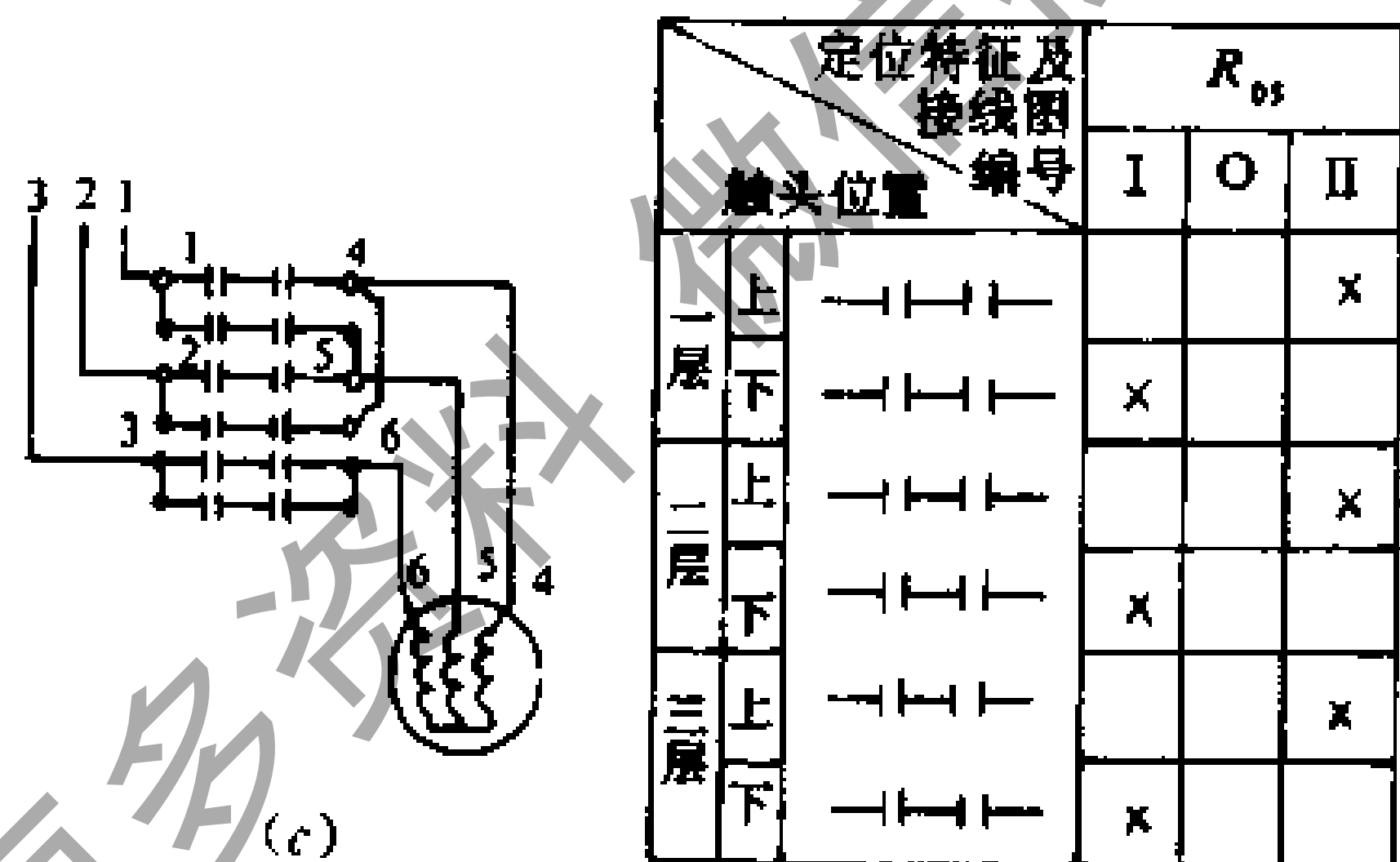
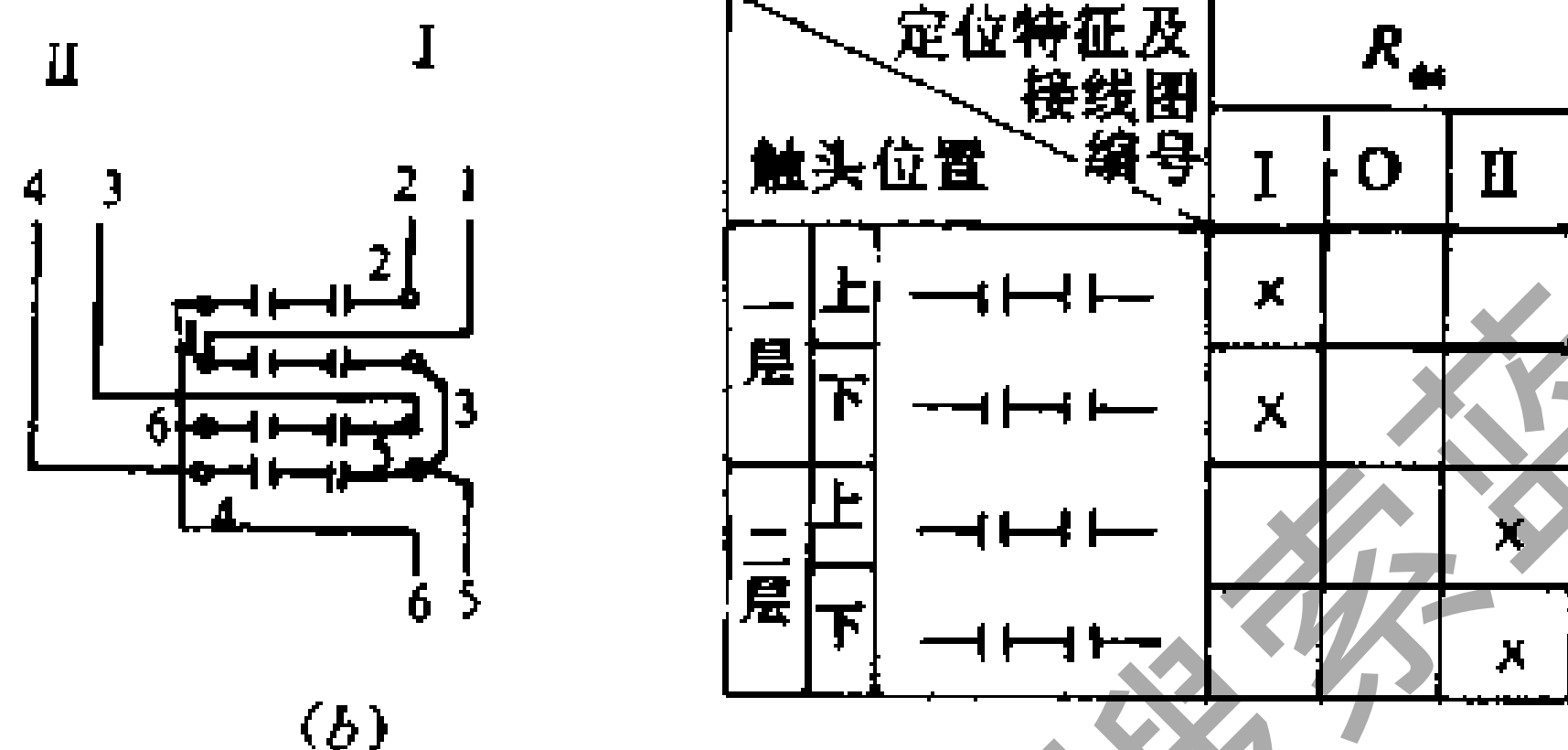
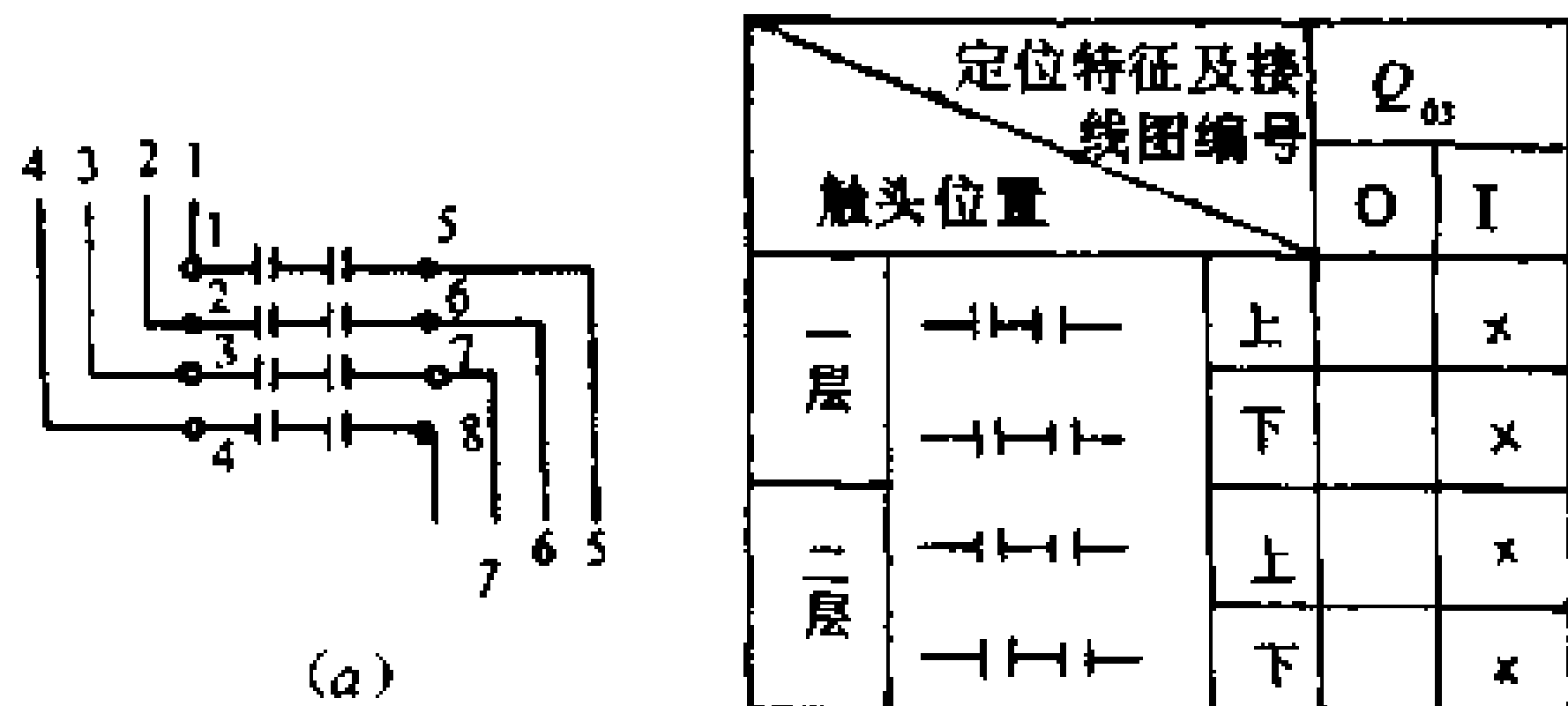
(a) 外形 (b) 结构 (c) 符号

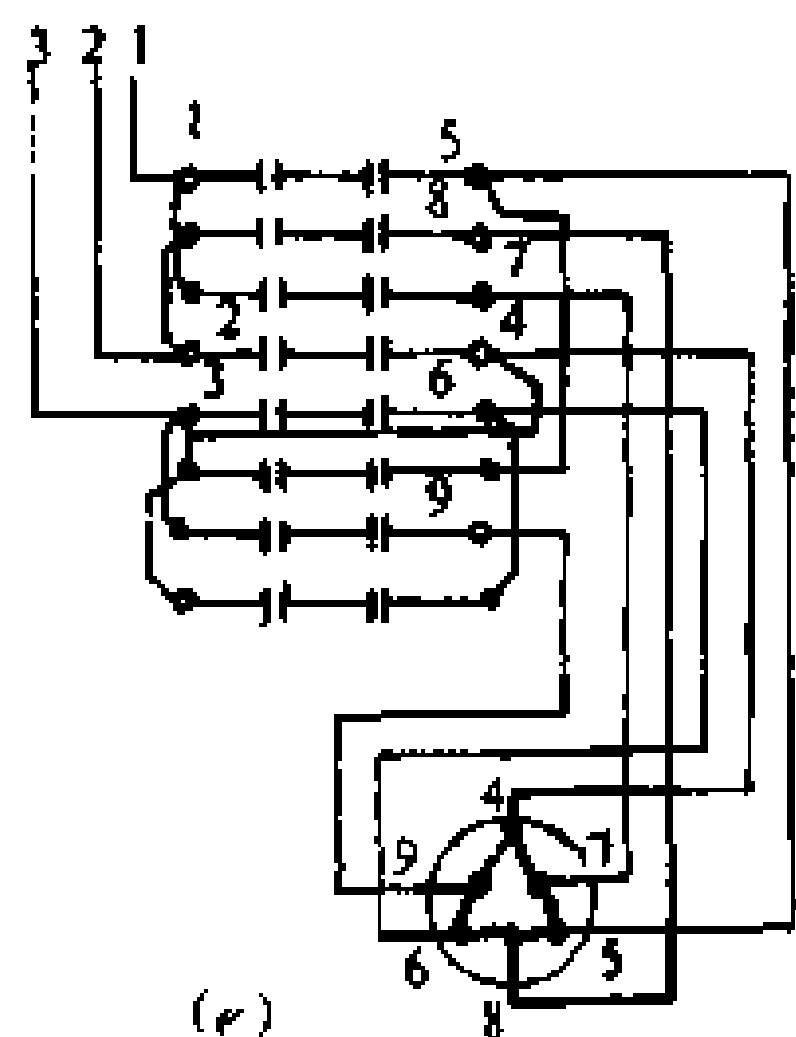
直流电压至 220V 的电气设备中,作为接通或分断电路,换接电源或负载,测量三相电压,调节电热开关,串联控制小型异步电动机正、反转之用,但不宜用于频繁操作的手动开关。HZ5B 系列转换开关内部结构与 HZ10 系列基本相同,但其把手有 3 个位置。它既具有 HZ10 系列转换开关的功能,又可作为两段三相电压切换、电机两速切换,电机三速切换的直接控制开关,接线简单,使用十分方便。HZ5B 系列转换开关控制功能接线如图 5-7 (a)、(b)、(c)、(d)、(e)、(f) 所示。HZ3 系列手控转换开关多用于额定电压 380V、功率小于 4.5kW 的三相交流异步电动机的直接起动、停止、反转控制,故也称为倒顺开关。使用时外壳应可靠接地,防止因意外的漏电使操作者触电。当电机处于正转状态,欲使电机反转,必须先将开关置于停的位置。然后经过一段时间后再将手柄搬至“倒”的位置。如迅速转换至“倒”的位置,电动机定子绕组中将因电流突然反接产生很大的反接电流,易使定子绕组损坏。

HZ 系列转换开关型号的含义如下:

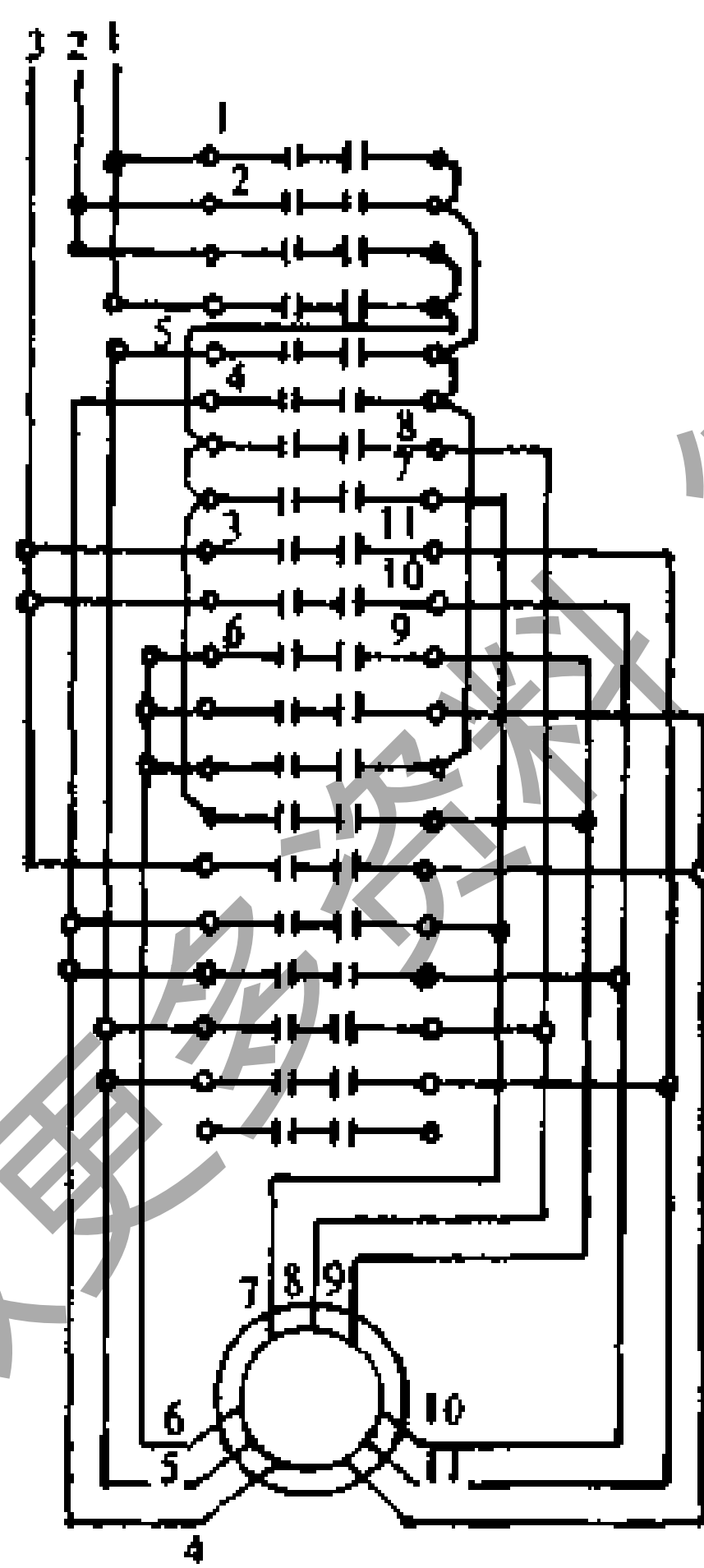


HZ 系列转换开关的选择是根据电源种类、电压等级、所需触头数、电动机的容量进行的。开关的额定电流一般取电动机额定电流的 1.5~2.5 倍。





| 触头位置 |   | 定位特征及接线图编号 | $R_m$ |   |    |
|------|---|------------|-------|---|----|
|      |   |            | O     | I | II |
| 一层   | 上 | — — —      |       | X |    |
|      | 下 | — — —      |       |   | X  |
| 二层   | 上 | — — —      |       |   | X  |
|      | 下 | — — —      | X     |   |    |
| 三层   | 上 | — — —      | X     |   |    |
|      | 下 | — — —      |       |   | X  |
| 四层   | 上 | — — —      |       |   | X  |
|      | 下 | — — —      |       |   | X  |



| 触头位置 |   | 定位特征及接线图编号 | $R_{10}$ |    |     |
|------|---|------------|----------|----|-----|
|      |   |            | I        | II | III |
| 一层   | 上 | — — —      | X        | X  |     |
|      | 下 | — — —      |          |    | X   |
| 二层   | 上 | — — —      | X        | X  |     |
|      | 下 | — — —      |          |    | X   |
| 三层   | 上 | — — —      | X        | X  |     |
|      | 下 | — — —      | X        |    | X   |
| 四层   | 上 | — — —      | X        | X  |     |
|      | 下 | — — —      | X        |    | X   |
| 五层   | 上 | — — —      | X        | X  |     |
|      | 下 | — — —      | X        |    | X   |
| 六层   | 上 | — — —      | X        |    |     |
|      | 下 | — — —      | X        |    |     |
| 七层   | 上 | — — —      |          | X  | X   |
|      | 下 | — — —      |          | X  | X   |
| 八层   | 上 | — — —      |          | X  | X   |
|      | 下 | — — —      |          | X  |     |
| 九层   | 上 | — — —      |          | X  |     |
|      | 下 | — — —      |          |    | X   |
| 十层   | 上 | — — —      |          |    | X   |
|      | 下 | — — —      | X        | X  | X   |

图 5-7 HZ5B-10 型组合开关

- (a) HZ5B-10 型组合开关四极开关接线
- (b) HZ5B-10 型组合开关两种电压双极开关接线
- (c) HZ5B-10 型组合开关电动机可逆转换开关接线
- (d) HZ5B-10 型组合开关两种电压三极开关接线
- (e) HZ5B-10 型组合开关双速电动机用开关接线
- (f) HZ5B-10 型组合开关三速电动机用开关接线

### 第3节 低压熔断器

熔断器是为保护线路和电气设备的安全,用来切断短路故障点的最常用的保护电器。

熔断器主要由熔体和安装熔体的熔管(或熔座)两部分组成。熔体是熔断器的主要部分,常做成片状或丝状;熔管是熔体的保护外壳,在熔体熔断时兼有灭弧作用。

每一种规格的熔体都有额定电流和熔断电流两个参数。通过熔体(丝)的电流小于其额定电流时,熔体不会熔断;只有在超过其额定电流并达到熔断电流时,熔体才会发热熔断。通过熔体的电流越大,熔体熔断越快。一般规定熔体通过的电流为额定电流的1.3倍时,应在1h以上熔断;通过额定电流的1.6倍时,应在1h内熔断;电流达到两倍额定电流时,熔丝在30~40s后熔断;当达到8~10倍额定电流时,熔体应瞬间熔断。熔断器过载时是很不灵敏的,当设备轻度过载时,熔断时间延迟很长,甚至不熔断。因此熔断器不宜作过载保护,它主要作为短路保护之用。熔断电流一般是熔体额定电流的两倍。

熔管有额定工作电压、额定电流和断流能力3个参数。

若熔管的工作电压大于其额定工作电压,则当熔体熔断时有可能出现电弧不能熄灭的危险,熔管内所装熔体的额定电流必须小于或等于熔管的额定电流。断流能力是表示熔管断开故障所能切断的最大电流。根据切断短路故障电流的要求,常用熔管其交流额定电压为500~600V,额定电流为500~600A,断流能力可达20万A。

#### 一、几种常用的低压熔断器的结构、规格

##### 1. 瓷插式熔断器

瓷插式熔断器由瓷盖、瓷底、动触头、静触头及熔丝5部分组成,常用的RCIA系列瓷插式熔断器的外形及结构如图5-8所示。

瓷盖和瓷底均用电瓷制成,电源线和负载线可分别接在瓷底两端的静触头上。瓷底座中间有一空腔,与瓷盖突出部分构成灭弧室。容量较大的熔断器在灭弧室中还垫有熄弧用的编织石棉,在熔体熔断时可防止金属颗粒喷溅。

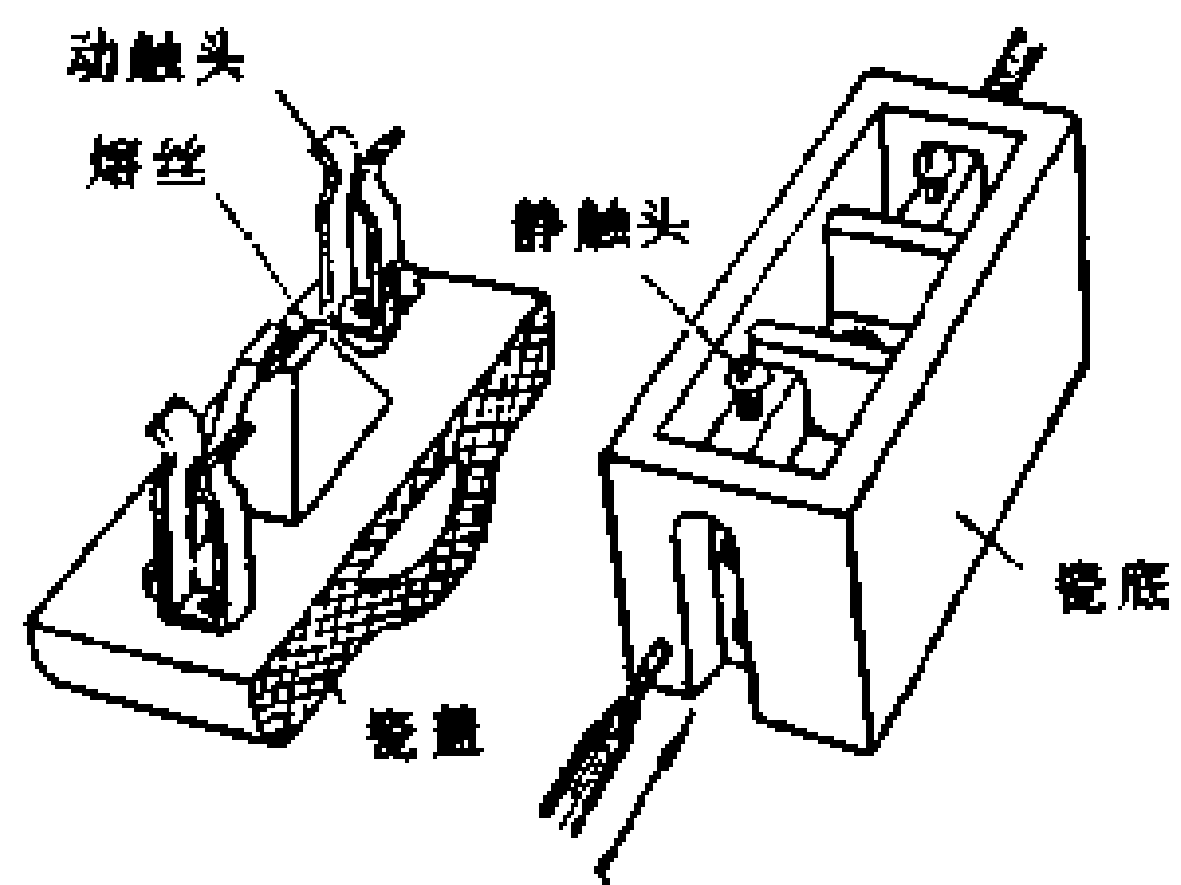
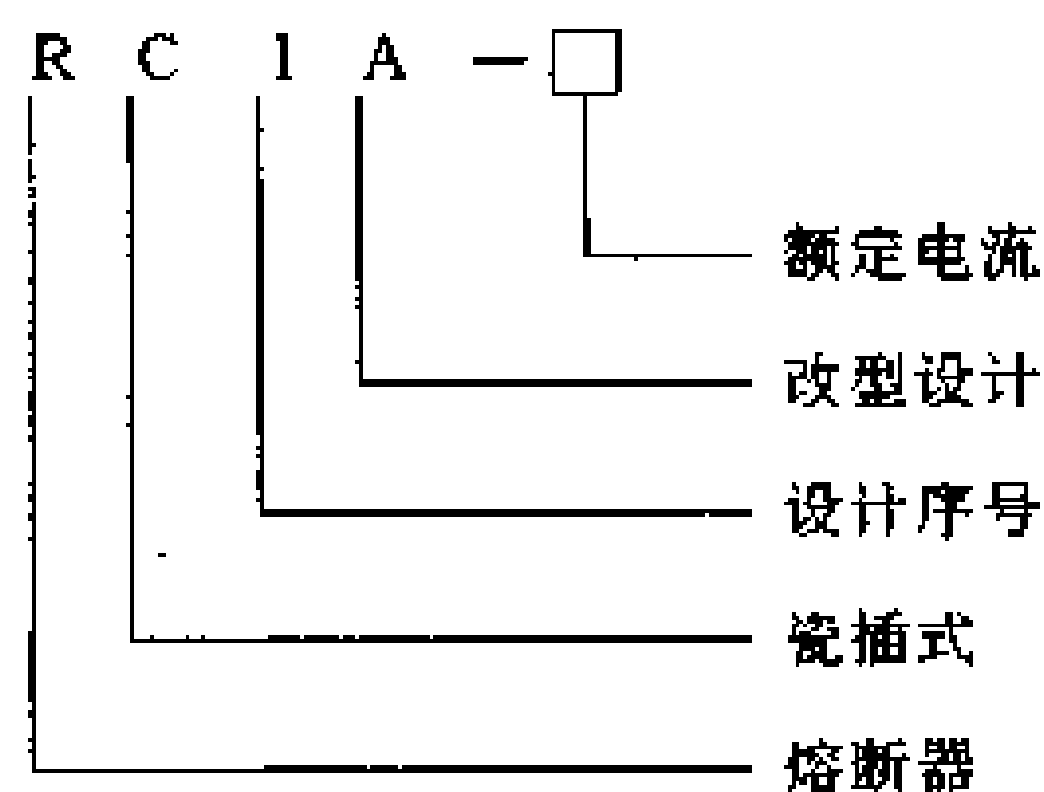


图5-8 RCIA系列瓷插式熔断器

RCIA系列瓷插式熔断器的额定电压为380V,额定电流有5A、10A、15A、30A、60A、100A、200A等。RCIA系列瓷插式熔断器型号的含义如下:



RCIA 熔断器价格便宜、更换方便，广泛用作照明和小容量电动机的短路保护。

## 2. 螺旋式熔断器

螺旋式熔断器主要由瓷帽、熔断管（心子）、瓷套、上接线端、下接线端及座子等 6 部分组成。常用 RL1 系列螺旋式熔断器的外形及结构如图 5—9 所示。

RL1 系列螺旋式熔断器的熔断管内，除了装熔丝外，在熔丝周围填满石英砂，作为灭弧用。熔断管的一端有一小红点，熔丝熔断后红点自动脱落，显示熔丝已熔断。使用时将熔断管有红点的一端插入瓷帽，瓷帽上有螺纹，将螺帽连同熔管一起拧进瓷底座，熔丝便接通电路。

在装接时，用电设备的连接线接到连接金属螺纹壳的上接线端，电源线接到瓷底座上的下接线端，这样在更换熔丝时，旋出瓷帽后螺纹壳上不会带电，保证了安全。

RL1 系列螺旋式熔断器的额定电压 500V，额定电流有 15A、60A、100A、200A 等。RL1 系列螺旋式熔断器的型号含义如下：

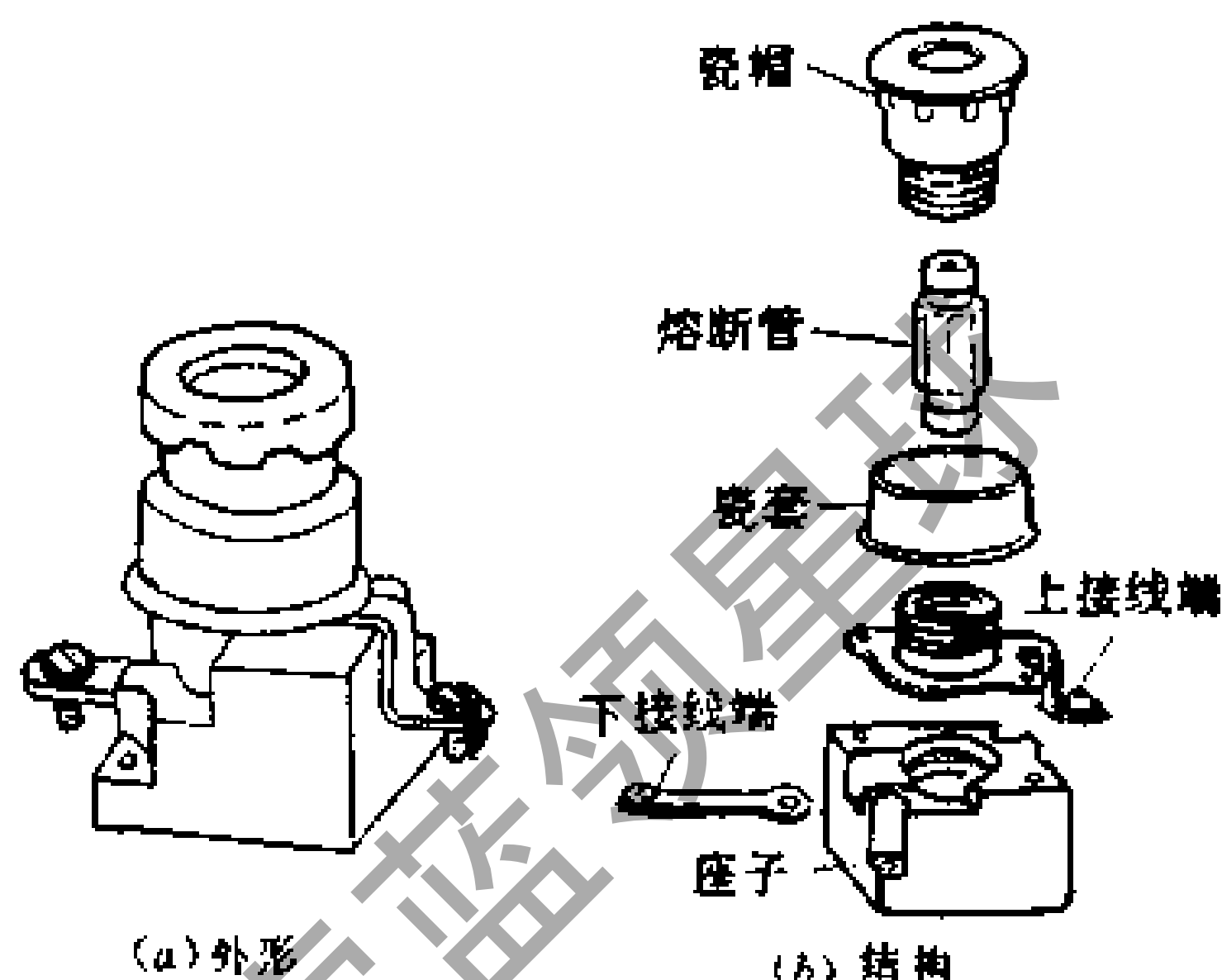
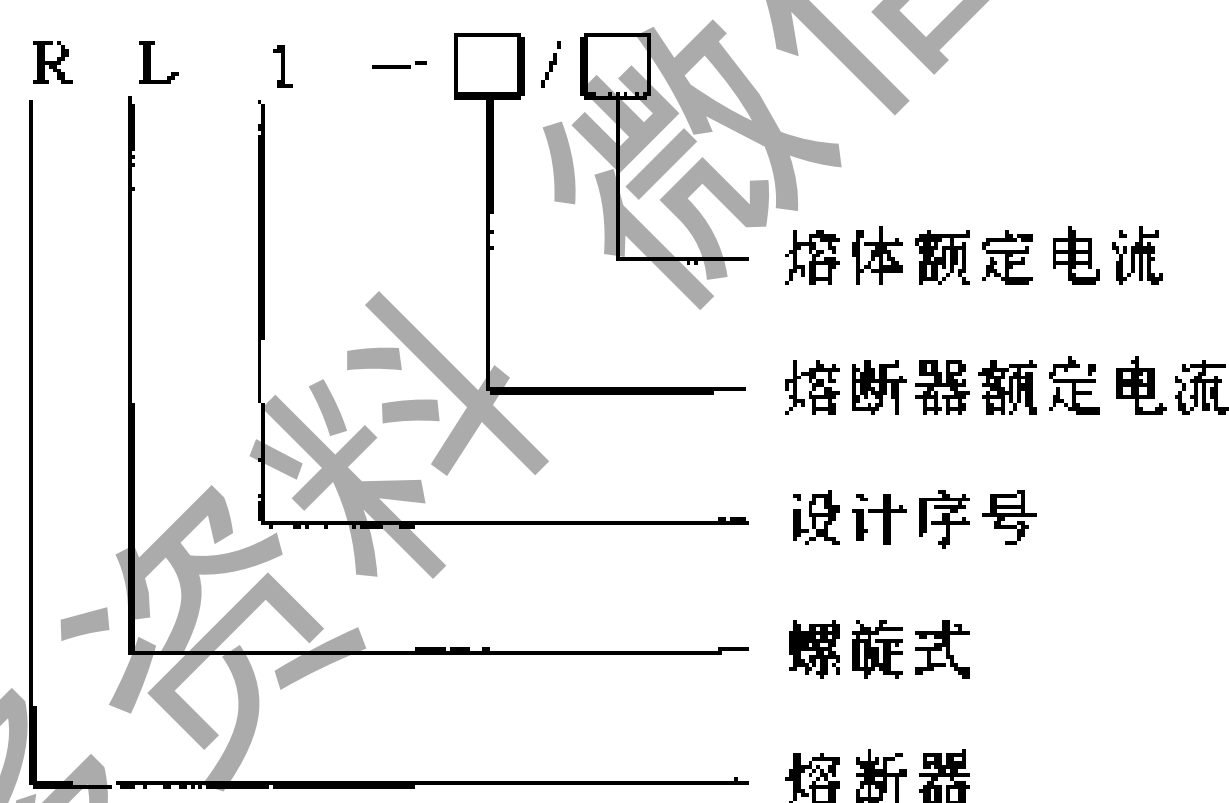


图 5—9 RL1 系列螺旋式熔断器

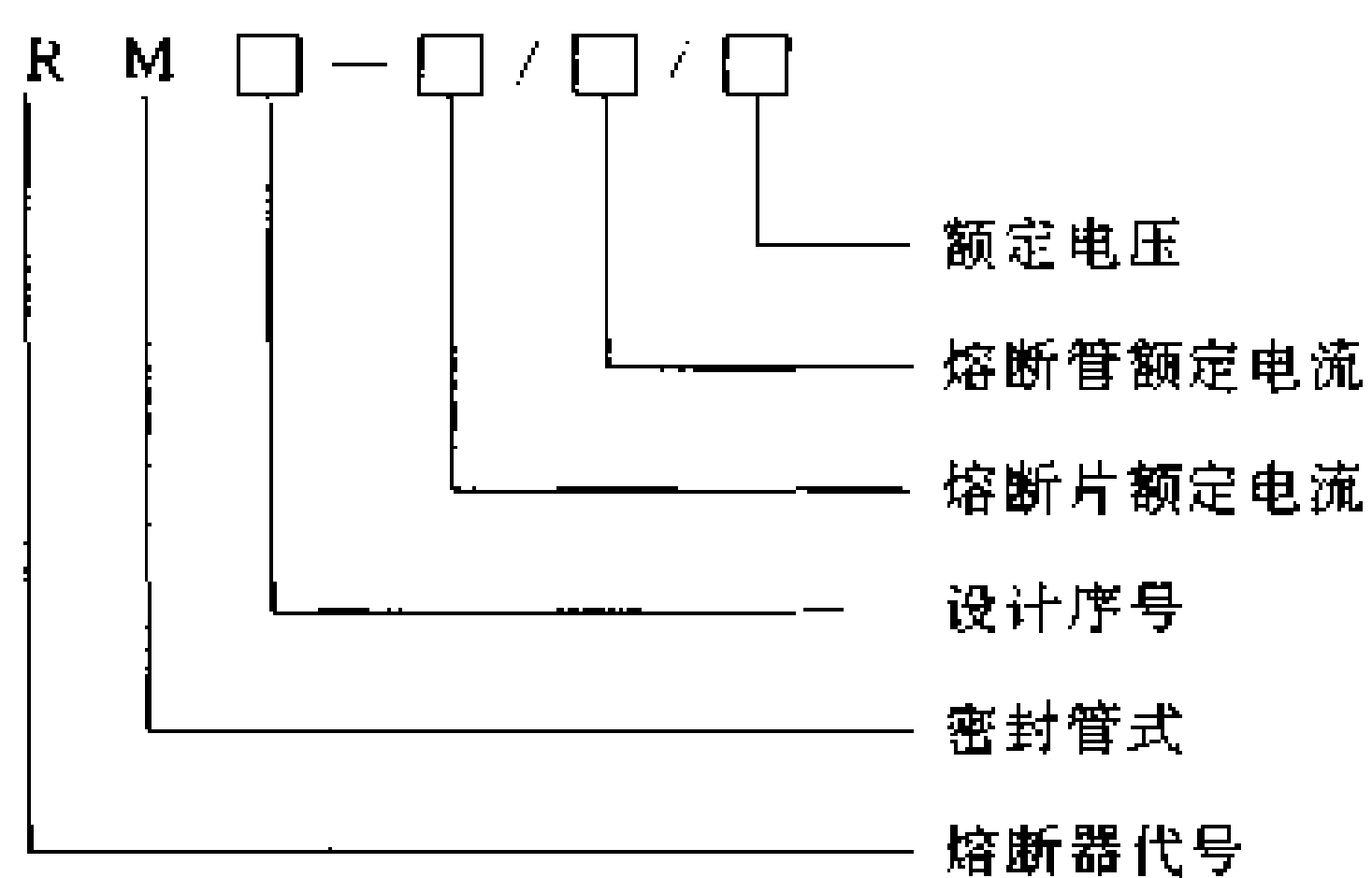


RL1 螺旋式熔断器的断流能力大，体积小，安装面积小，更换熔丝方便，安全可靠，熔丝熔断后并有显示。在额定电压为 500V、额定电流为 200A 以下的交流电路或电动机控制电路中，作为过载或短路保护。

## 3. 无填料封闭管式熔断器

RM7 系列熔断器是一种较新系列的无填料封闭管式熔断器。RM7 系列熔断器由插座、可拆卸的熔断管及熔体组成，结构简单，可自行更换熔体。使用维护方便，其熔体由铜片冲制成弯截面形状，中间加低熔点锡合金，具有显著的冶金效应。当被保护的电路发生短路时，熔体熔断，熔管内壁的有机纤维材料在电弧的高温作用下分解成气体，使管内压力增大，能很快地将电弧熄灭。

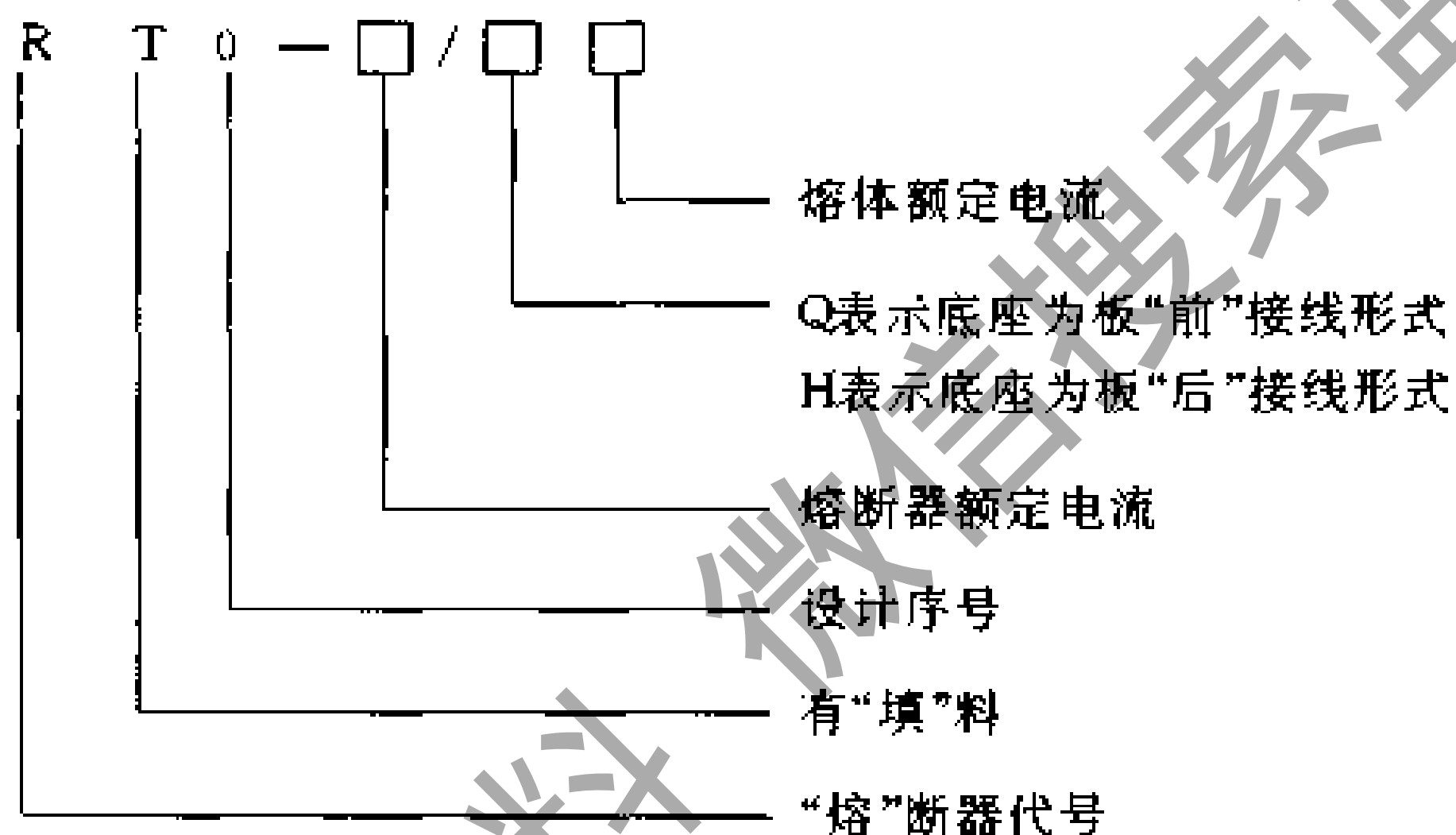
无填料封闭管式熔断器主要用于交流电压至 380V、直流电压至 440V、电流至 600A 的电力线路中，作导线、电缆及电气设备的短路保护和防止连续过载之用。RM7 系列是一种新型产品，原来还有 RM1、RM2、RM3、RM10 等系列老产品。RM 系列熔断器型号的含义如下：



#### 4. 有填料封闭管式熔断器

随着低压电网容量的增大，当线路发生短路故障时，短路电流也变得越来越大，它就要求使用高分断能力的熔断器，而有填料封闭管式熔断器就满足这一要求。目前使用较多的主要有 RT 系列有填料封闭管式熔断器和 RS0、RS3 系列有填料封闭管式快速熔断器等。

RT 系列有填料封闭管式熔断器型号的含义如下：



RT 系列熔断器的外形及结构如图 5—10 所示。图中熔管采用高频陶瓷制成，它具有耐热性强、机械强度高、外表面光洁美观等优点。熔体是两片网状紫铜片，中间用锡把它们焊接起来，这个部分称为“锡桥”，如图 5—10 (c) 所示。熔管内填满石英砂，在切断电流时起迅速灭弧作用；熔断指示器为一机械信号装置，指示器有与熔体并联的康铜熔断丝，能在熔体烧断后立即烧断，弹出红色醒目的指示件表示熔断信号；熔断器的插刀插在底座的插底内。

RT0 熔断器的优点是极限断流能力大，可达 5 万 A，用于具有较大短路电流的低压配电网中；缺点是当熔体熔断后，不易拆换，制造工艺较复杂。

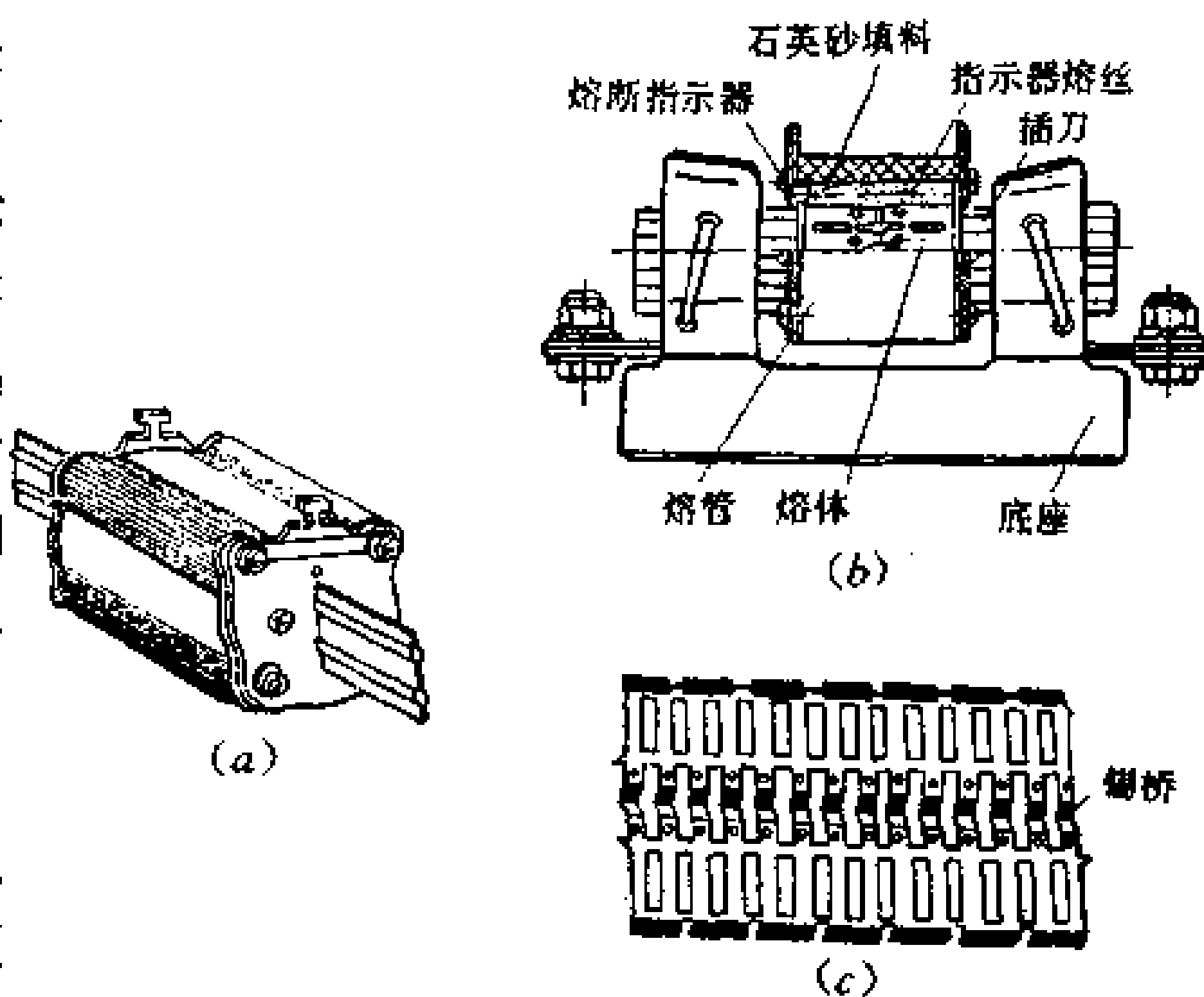
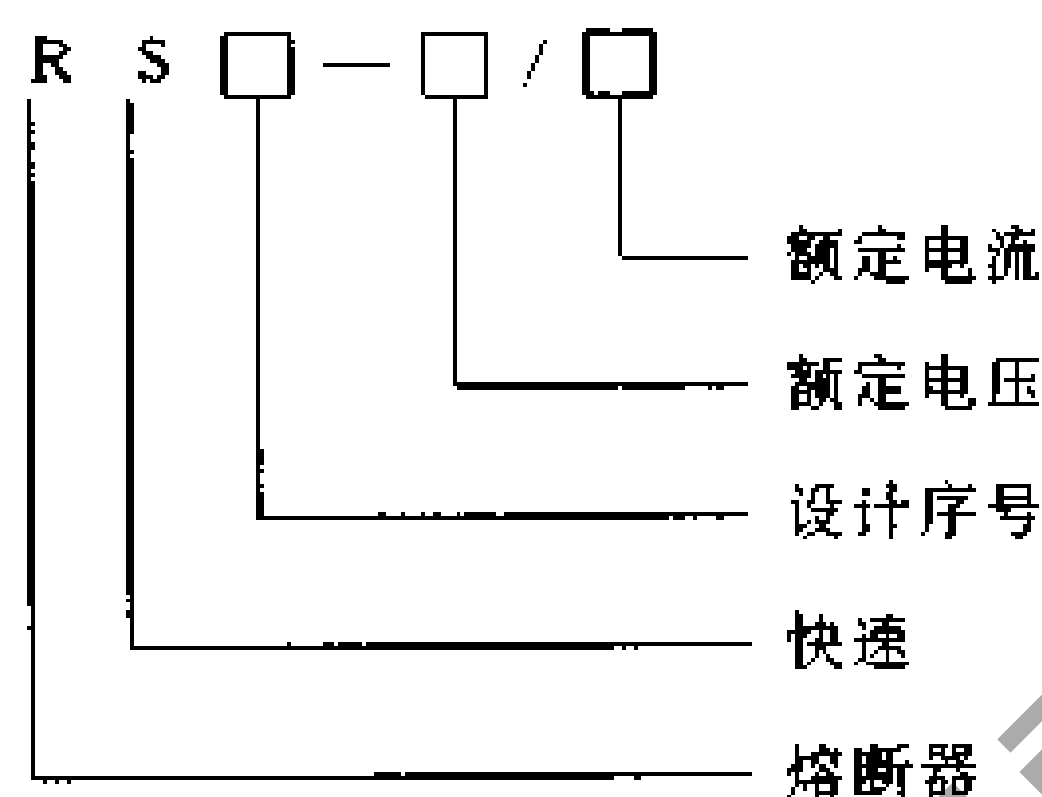


图 5—10 RT0 有填料封闭管式熔断器  
(a) 外形 (b) 结构 (c) 锡桥

RS0、RS3 系列有填料封闭管式快速熔断器，均用于交流 50Hz、电压至 250V、电流至 480V 的电路中，主要由导电接线板，端盖、绝缘垫、管体、熔体、指示器、填料、触刀等组成，其结构类似于 RT0 系列，但也有不同之处，RS0、RS3 系列快速熔断器熔体不是网状，而是单片或多片并联的变截面熔片。其窄部特别细，极易熔断。熔体用含银量不少于 99.9% 的银片冲制而成，使熔断器在长期正常工作条件下，熔体不致因老化产生误动作。熔体做成“V”形狭窄截面和网状多根并联形式，因此具有快速性、导电接线板用铜排镀银，可以直接用螺钉固定在母线上。

RS0、RS3 系列有填料封闭管式快速熔断器，主要作为硅整流元件及其成套装置的过载及短路保护，具有动作速度快、分断能力高、过电压低等特点。其型号含义如下：

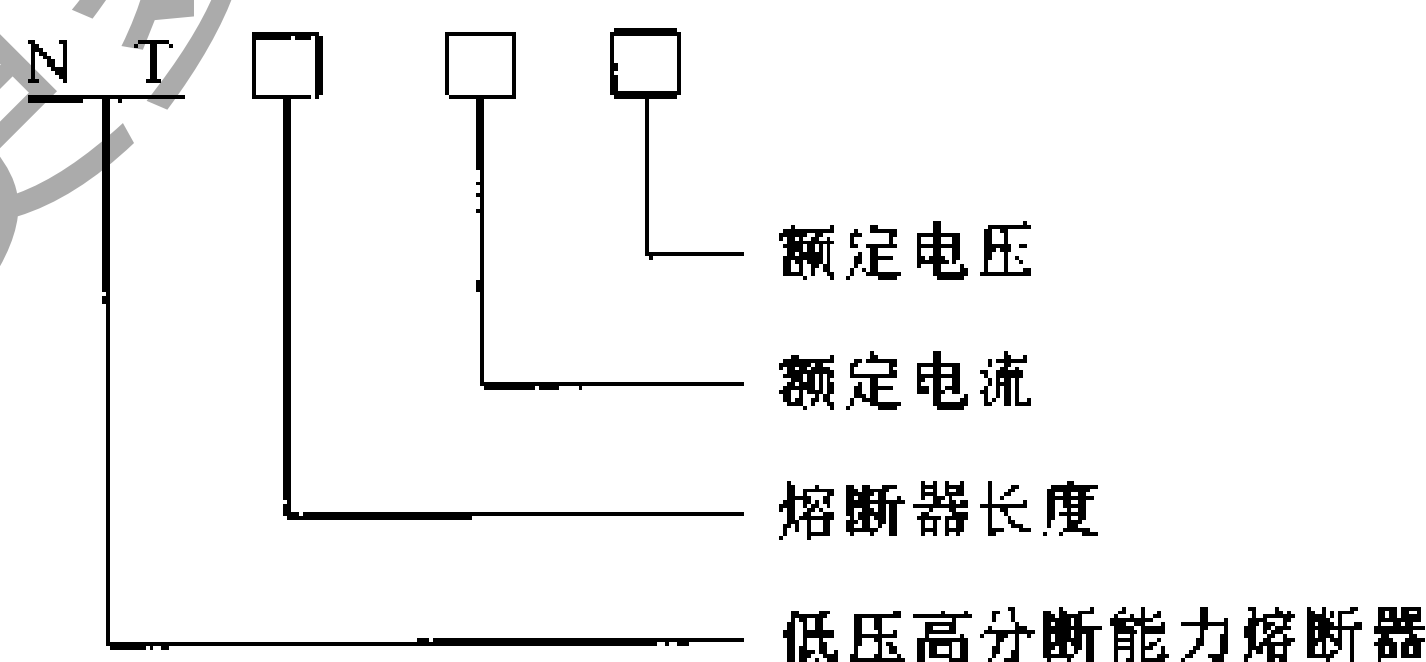


### 5. NT 系列有填料管式高分断能力熔断器

NT 系列低压熔断器是我国统一设计的、符合 IEC 标准的一种新型熔断器，它具有分断能力强（可达 10 万 A），功率损耗小，体积小，重量轻，具有较强的限流能力等优点，是低压电器设备过载和短路保护的理想元件。它由熔管、熔体和底座 3 部分组成，外形结构见图 5—11 所示。其熔管为高强度陶瓷，熔体为优质低熔点合金，熔管内装优质石英砂，能可靠快速有选择地分断短路故障。熔管更换可采用操作把手进行操作。

NT 系列熔断器按容量分为 NT00、NT0、NT1、NT2、NT3、NT4 型，如图 5—11 (a)、(b)、(c)、(d)、(e)、(f) 所示。

NT 系列熔断器型号的含义如下：



## 二、熔断器的选择

熔体和熔断器只有经过正确的选择才能起到应有的保护作用。

### 1. 熔体额定电流的选择

(1) 对变压器、电炉及照明等负载的短路保护，熔体的额定电流应稍大于线路负载的额定电流。

(2) 对一台电动机负载的短路保护，熔丝的额定电流  $I_n$  应大于或等于 1.5~3 倍电动机额定电流  $I_e$ ，即

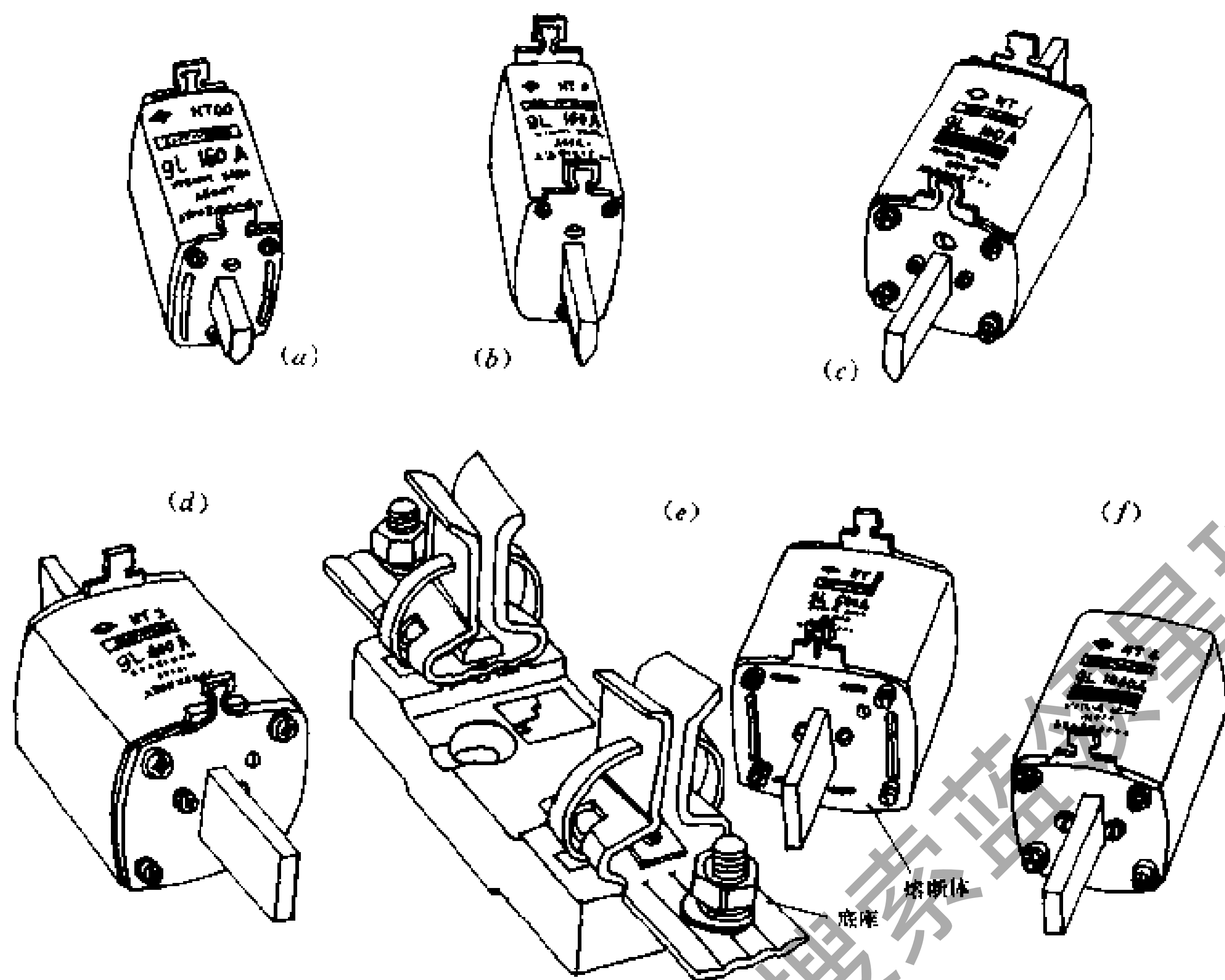


图 5-11 NT 系列熔断器

(a) NT00 型 (b) NT0 型 (c) NT1 型 (d) NT2 型 (e) NT3 型 (f) NT4 型

$$I_{re} \geq (1.5 \sim 3) I_e \quad (5-1)$$

(3) 对几台电动机同时保护, 熔丝的额定电流, 应大于或等于其中最大容量的一台电动机的额定电流  $I_{emax}$  的 1.5~3 倍, 加上其余电动机额定电流的总和  $\Sigma I_e$ , 即

$$I_{re} \geq (1.5 \sim 3) I_{emax} + \Sigma I_e \quad (5-2)$$

在电动机功率较大而实际负载较小时, 熔断丝额定电流可适当选小些, 小到以启动时熔丝不断为准。

## 2. 熔断器的选择

- (1) 熔断器的额定电压必须大于或等于线路的工作电压。
- (2) 熔断器的额定电流必须大于或等于所装熔丝的额定电流。

## 第 4 节 交流接触器和磁力起动器

交流接触器和磁力起动器是利用电磁机构代替手动操作的一种自动开关。在自动控制中, 用它来接通或断开正常工作状态下的主电路和控制电路。它的作用和刀开关类似, 具有低电压释放保护性能, 控制容量大, 能远距离控制等优点, 在自动控制系统中应用非常广泛。

### 一、交流接触器的结构



交流接触器有 CJ0、CJ10、CJ12、CJ20 系列产品，以及 B 系列交流接触器等。CJ 系列交流接触器的外形及主要结构如图 5—12 所示，它主要由电磁系统（包括线圈、铁心

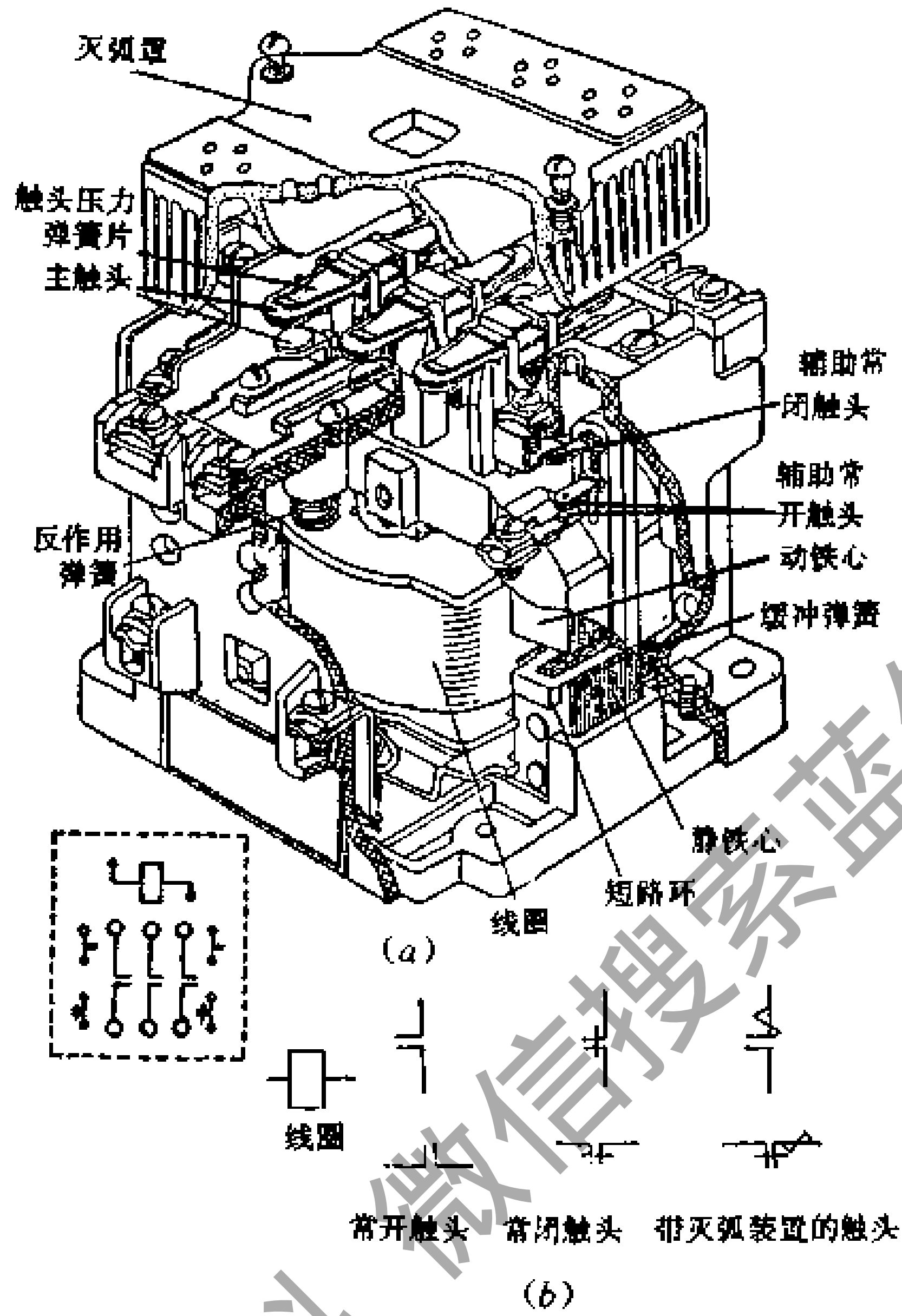


图 5—12 交流接触器

(a) 外形及结构 (b) 符号

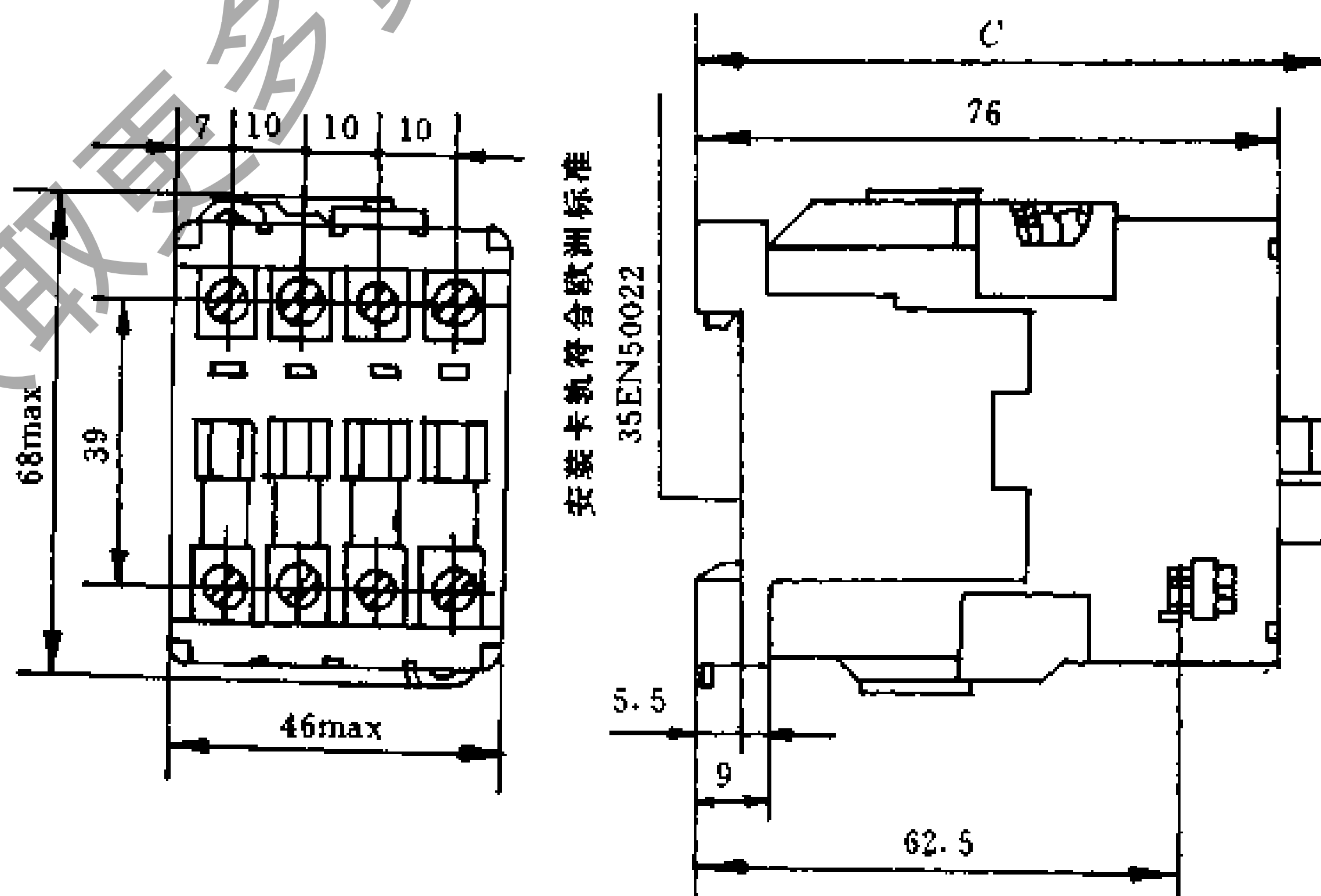


图 5—13 B 系列交流接触器的外形及安装尺寸

和衔铁)、主触头、辅助触头、释放弹簧、灭弧罩、支架和外壳等部分组成。B系列交流接触器的外形及安装尺寸如图5—13所示。

## 二、交流接触器的工作原理

交流接触器的基本工作原理是：当电磁铁的吸引线圈通过电流时，产生磁场，在磁场力的作用下衔铁被吸向铁心；当线圈断电后，衔铁靠弹簧的作用和自身重量而离开铁心。衔铁的动作带动开关的动触头移动，使动、静触头闭合或断开，从而控制电路的通断。图5—14为交流接触器电磁系统的原理电路。图中共有6对触头，动触头用互相平行的短线表示，静触头用小圆圈表示。为了搞清电路中各元件的作用以及它们之间的相互关系，首先介绍一下电路的构成和各元件的结构特点。

### 1. 主电路和控制电路

在图5—14中有两个独立的电路。一个电路是从三相电流A、B、C开始，经过电流引入开关DK、熔断器RD和接触器的3、4、5这3对触头而到电动机D。这个电路是电动机的工作电路，称为主电路或主回路。主回路的特点是通过的电流比较大。另一个电路是由停止按钮TA，起动按钮QA，接触器的线圈C和触头1、2、6以及信号灯RD（红灯）、GN（绿灯）所组成。它是用来控制主电路的通、断和指示信号的，故称为控制电路或控制回路。控制电路的特点是通过的电流较小。在接触器中，接于主电路的触头称为主触头，如图中的3、4、5这3对触头；接于控制电路的触头，如图中的1、2、6这3对触头，称为辅助触头或辅助接点。当主电路接通时，红色信号灯RD亮，绿色信号灯GN灭；当主电路断开时，绿色信号灯亮，红色信号灯灭，用以指示主电路的通、断状态。

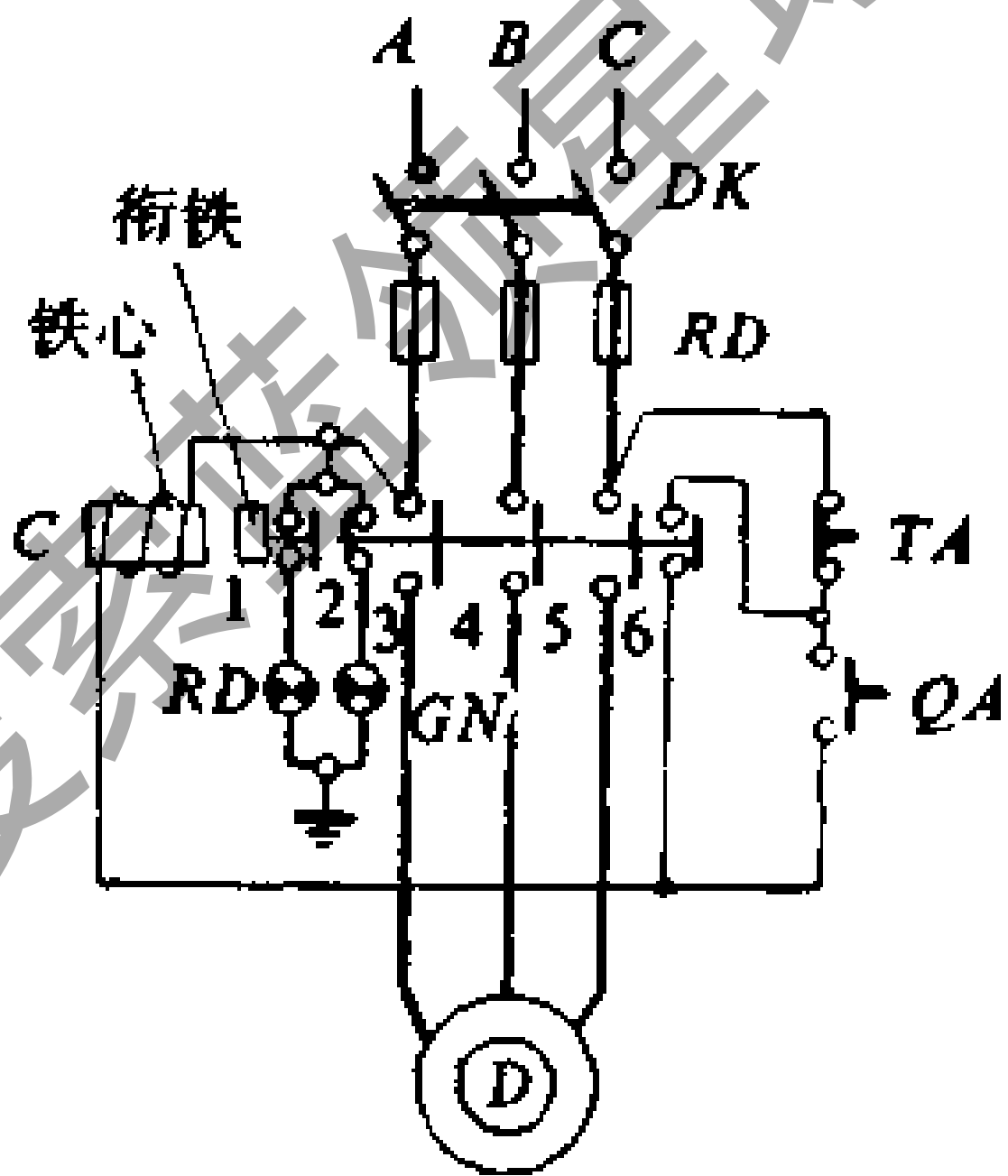


图5—14 交流接触器的电磁部分原理电路图

### 2. 动合按钮和动断按钮

在图5—14中，接触器线圈的通电或断电是利用按钮来控制的。按钮是一种最简单的手动开关，常用的有起动按钮、停止按钮、复合按钮。按钮的外形、结构及符号如图5—15所示。起动按钮是一种平时处于断开状态的开关。当用手指按下时，动、静触头闭合，使电路接通；当手指松开后，靠弹簧的力量使动、静触头分开，使电路断开，具有这种特点的按钮称为动合按钮或常开按钮（意思是平“常”是断“开”的）。停止按钮恰好相反，它是一个平时处于闭合状态的开关。当用手指按下时，动、静触头分开，使电路断开；手指松开后，靠弹簧的力量使动、静触头重新闭合，将电路接通，具有这种特点的按钮称为动断按钮或常闭按钮（意思是平“常”是“闭”合的）。复合按钮是常开和常闭按钮的复合形式，既具有常开触头又具有常闭触头。按钮和指示灯都不是接触器本身的组成部分，安装时需另行选购。

### 3. 动合触头和动断触头

在图5—14中，1、3、4、5、6这5对触头的特点是，当吸引线圈接通电源，铁心吸住衔铁，触头闭合，使某一线路接通。具有这种特点的触头称为动合触头或常开触头。

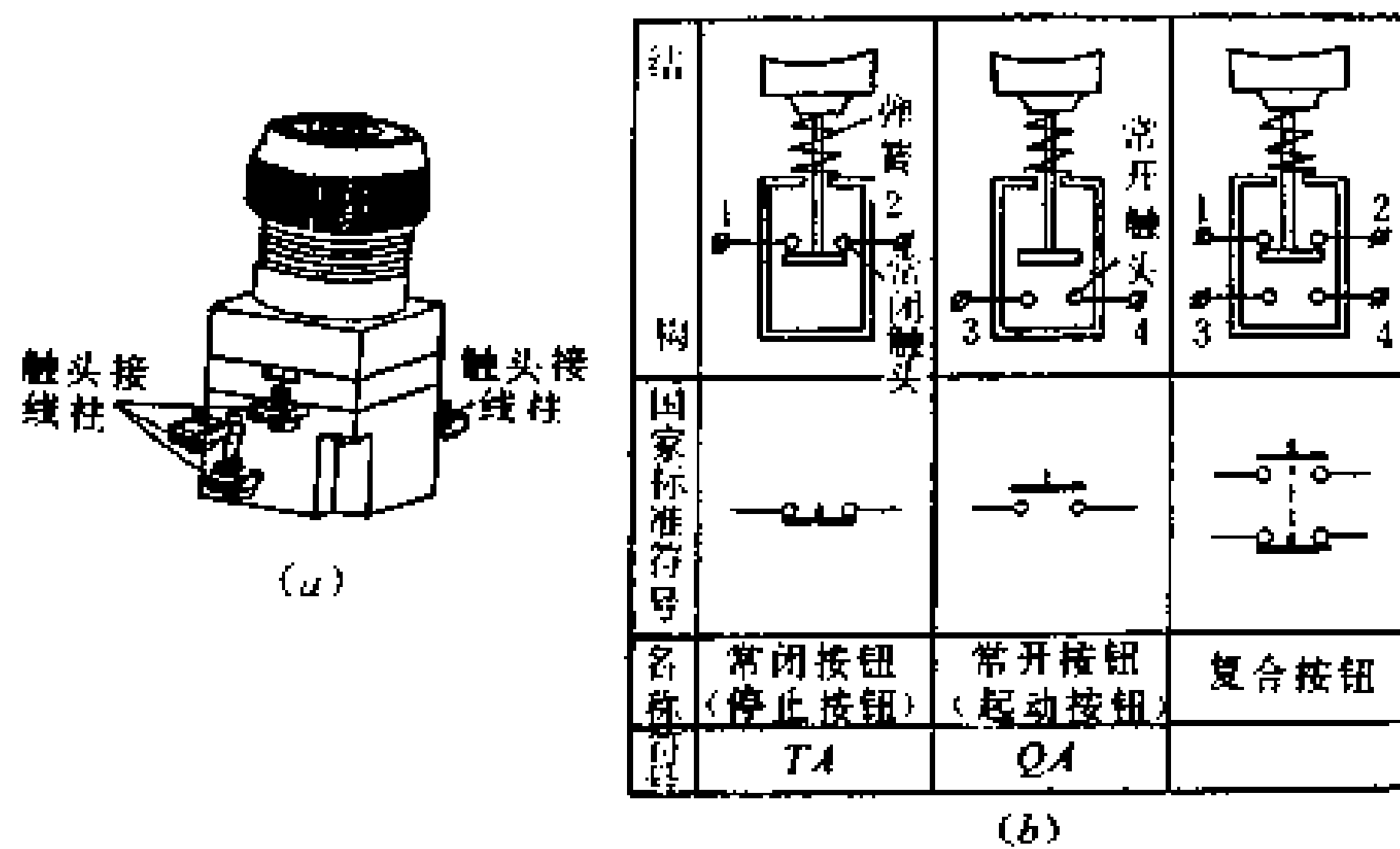


图 5-15 按钮的外形、结构及符号

(a) 外形 (b) 结构及符号

“常开”的意思是指，线圈中没有电流时，动静触头是分开的。图 5-14 中 2 这对触头恰好相反，当吸引线圈接通电源，铁心吸住衔铁，触头断开，使所控制的电路断开；当吸引线圈断电时，触头反而闭合，具有这种特点的触头称为动断触头或常闭触头。

在不同型号的交流接触器中，动合触头和动断触头的数目是不相同的，但动合触头和动断触头都是联动的。也就是说，只要线圈带电，则动合触头就闭合，动断触头同时断开；线圈一断电，它们就同时恢复到原来的状态。

### 三、用交流接触器控制三相异步电动机

交流接触器适用于电压至 500V 的电力线路中，供远距离接通及断开电路之用，并适用于需要远方控制的三相异步电动机的直接起动。

为了便于阅读和分析电路，在控制电路的原理图中，通常使用统一规定的电气图形符号来代替某些部件，并把属于同一电器而分散在不同位置上的部件都用同一文字符号标注。根据这一原则，图 5-14 所示的电路就可画成图 5-16，来说明电动机的起、停步骤。

#### 1. 起动

合上电源闸刀开关  $DK$ 。这时，信号回路经过电源  $A \rightarrow$  接触器动触头 2  $\rightarrow$  绿色信号灯  $GN \rightarrow$  电源中线（地）构成通路，绿灯亮，表示电源有电。

按下起动按钮  $QA$ ，则控制回路经过电源  $A \rightarrow$  线圈  $C \rightarrow$  起动按钮  $QA \rightarrow$  停止按钮  $TA \rightarrow$  电源  $C$  构成通路。这时线圈  $C$  带电，接触器的主触头 3、4、5 闭合，接通主电路，使电动机起动运转。与此同时，接触器的动断辅助触头 2 断开，绿灯熄灭；动合辅助触头 1 闭合，红色信号灯亮，表示电动机已带电运转；动合辅助触头 6 闭合，代替起动按钮使控制回路保持通路状态，这种作用称为自保持或自锁。由此可知，有了自保持触头 6，电动机一旦起动后，起动按钮就不起作用了，因此起动按钮也可以松开而不会影响工作。

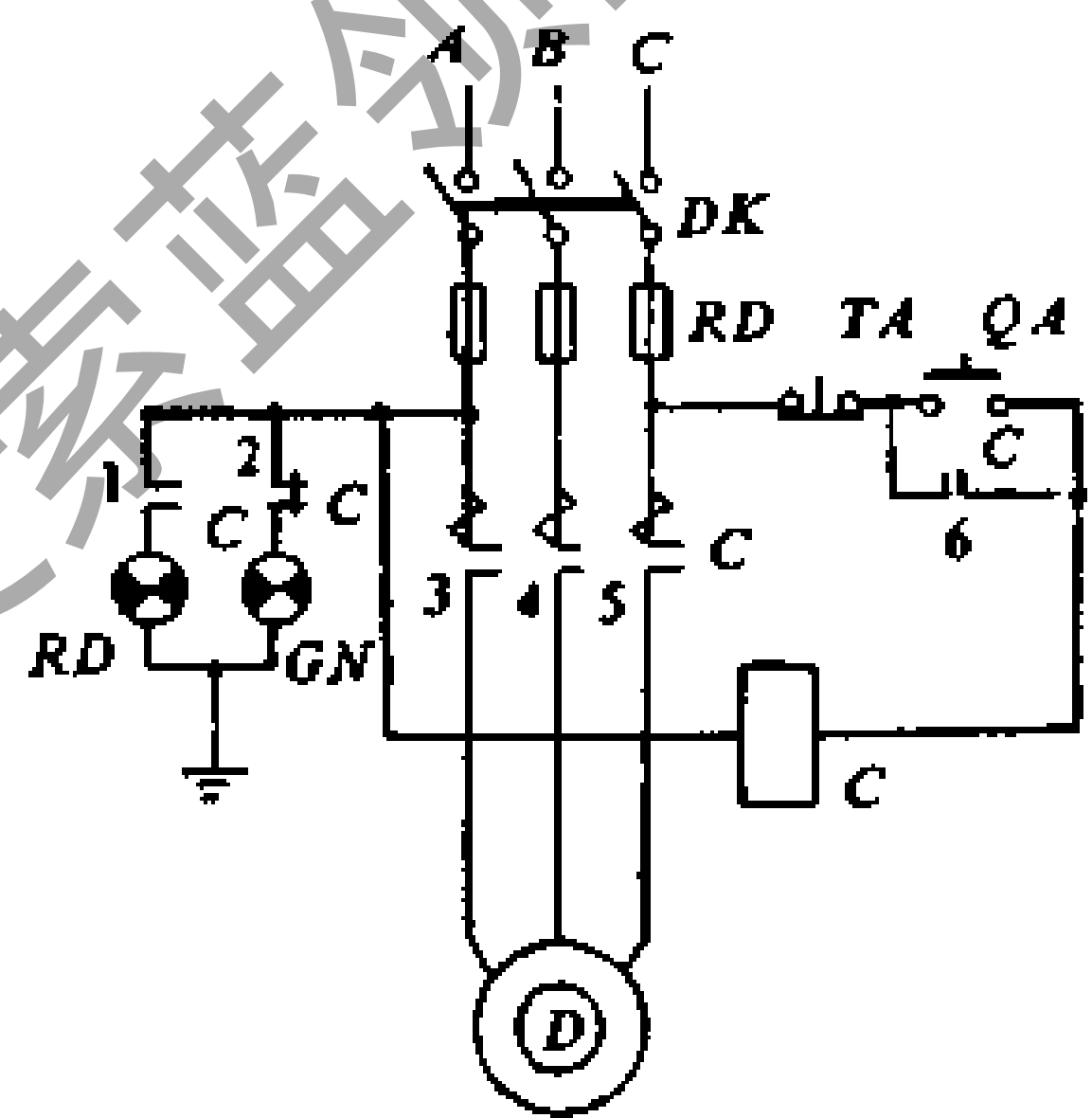


图 5-16 用交流接触器控制三相异步电动机的原理电路图

## 2. 停机

按下停止按钮  $TA$ 。因为  $TA$  是一个动断开关，而且是串联在控制回路中的。所以，只要按下停止按钮，控制回路的电源就被切断，使接触器的所有触头返回到起动前的状态，即主触头 3、4、5 断开，使电动机停止运转；辅助触头 1 断开，红灯熄灭；辅助触头 2 闭合，绿灯亮；辅助触头 6 断开，即使松开停止按钮  $TA$ ，控制回路仍不会接通。

拉开电源开关  $DK$ ，绿灯灭，表示电源已被切断。

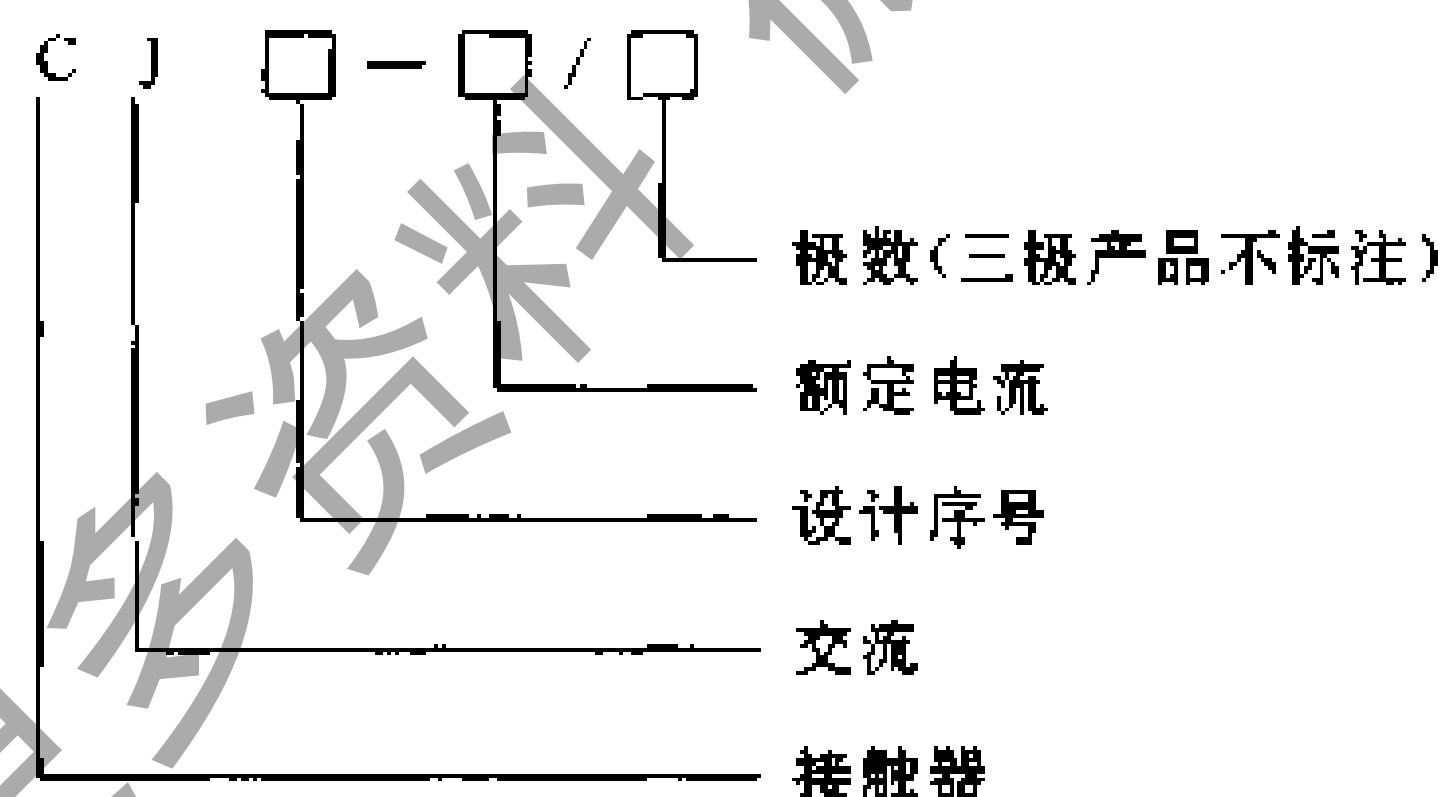
## 3. 交流接触器的保护作用

交流接触器本身设有短路和过载保护装置，因此必须和其他保护设备（如熔断器、热继电器、过电流继电器等）配合使用，才能对电动机起到短路和过载保护作用。但是，因为交流接触器的吸引线圈是串联在控制回路中的，而控制回路又是跨接在电源的线电压之间，所以当电源电压消失或降低到一定数值时，接触器的线圈由于断电或电流过小而自动将衔铁释放，使电动机停止运转，这种作用称为失压保护。当交流接触器因电源电压消失而自动断电后，即使在短时间里电源电压自动恢复，如果不经人工操作，接触器也不能自动合闸，这样就可以避免电动机的自启动。

此外，当电源的  $A$  相或  $C$  相发生一相断电时，电动机可以自动停止运转。因此，交流接触器在一定范围内可以防止电动机两相运行。

## 四、常用交流接触器的型号和规格

CJ10、CJ20、CJ12 等系列交流接触器，是全国统一设计的产品。B 系列交流接触器是引用德国 BBC 公司技术生产的新产品。CJ 系列型号含义如下：



CJ10 系列交流接触器主要用于一般的负载条件，在交流 50Hz、电压至 380V、电流至 150A 的电力线路中，供远距离接通与分断电力线路或频繁地控制电动机之用，其主、辅触头采用双断点式。CJ10、20 型采用纵缝陶工灭弧罩并配强磁吹回路，利用电弧进入灭弧罩冷却来熄灭电弧。CJ12 系列交流接触器主要用于冶金、矿山及起重电动机等的控制设备中，适于在 50Hz、60Hz，交流电压至 380V，电流至 60A 的电力线路中使用。其主触头为单断点串联磁吹结构，配用栅片去游离灭弧罩，具有灭弧性能可靠及飞弧距离小的特点。其辅助触头为双断点式，其常开和常闭触头的数目可按规规定组合，CJ20 系列主要用于交流 50Hz、额定电压至 660V、电流至 630A 的电力线路中，接触器为开启式，结构形式为直动式双断点。采用了铝基座、增强耐弧塑料底板和高强度瓷陶灭弧罩组成的三段式灭弧结构。动触头为船形结构，具有较高的强度和较大的热容量。静触头选用型材并配以铁质引弧角，使之既有形状的稳定性又便于电弧向外运动。B 系列交流接触器

是新产品，它可以部分或全部取代CJ10、CJ12、CJ20等系列。其体积小，重量轻，耗料省，安装面积小且能耗低，使用、接线、维修方便，安全可靠，安装采用了卡轨形式，十分方便而且有利于成套设备的生产。

## 五、磁力起动器

电动机在运行过程中，由于各种原因经常会出现过载现象。短时间过载对电动机本身影响并不大，但如果过载时间太长，就会使电动机由于温度过高而降低其使用寿命。为了保护电动机不受长期过载的危害，将交流接触器和作为过载保护的热继电器组合在一起，就构成了磁力起动器。也就是说，磁力起动器是由交流接触器和热继电器组成的一种自动开关。

### 1. 热继电器的结构

继电器是根据一定的信号，如电流、电压、时间、温度和速度等，来接通或断开小电流电路和电器的控制元件。热继电器是根据两种金属材料受热后膨胀程度不同这一特性制成的。热继电器的结构如图5—17所示。它由热元件、触头、动作机构、复位按钮和整定电流装置5部分组成，如图5—17(b)所示。

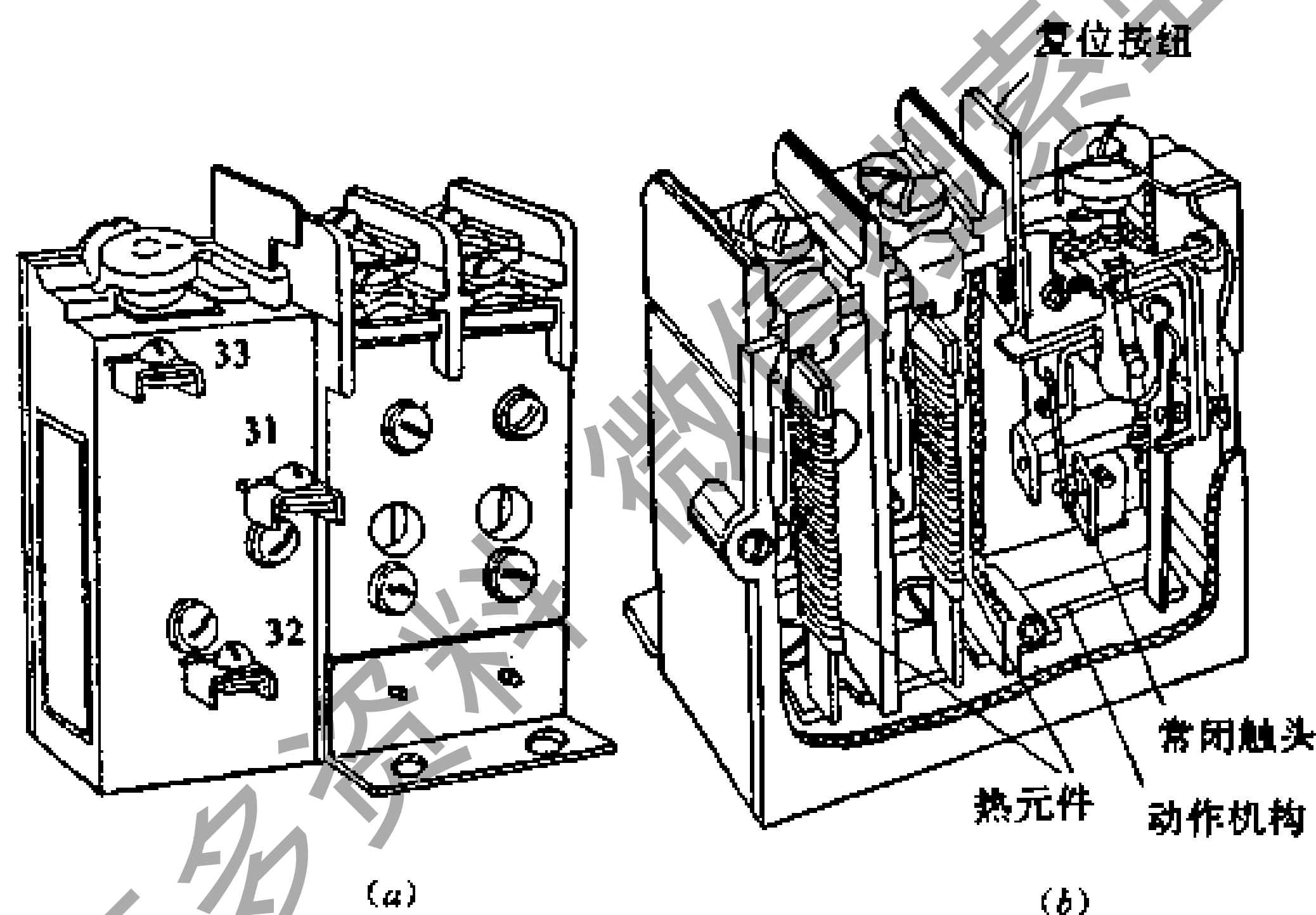


图5—17 热继电器  
(a) 外形 (b) 结构

(1) 热元件：热元件共有两块，是热继电器的主要组成部分。它是由双金属片及围绕在双金属片外面的电阻丝组成。双金属片是由两种热膨胀系数不同的金属片焊合而成，如铁镍铬合金和铁镍合金。电阻丝一般用康铜、镍铬合金等材料做成，使用时将电阻丝直接串联在异步电动机的两相上，如图5—18(a)中1—1'及2—2'所示。

(2) 触头：触头有两副，它是由带有公共动触点31、一个常开触头33和一个常闭触头32组成的，见图5—17(a)。

(3) 动作机构：动作机构由导板6、补偿双金属片7（补偿环境温度的影响）、推杆10、杠杆12及拉簧15等组成。

(4) 复位按钮：复位按钮16是继电器动作后进行手动复位的按钮。

(5) 整定电流装置：整定电流装置是通过旋钮18和偏心轮17来调节整定电流值的。

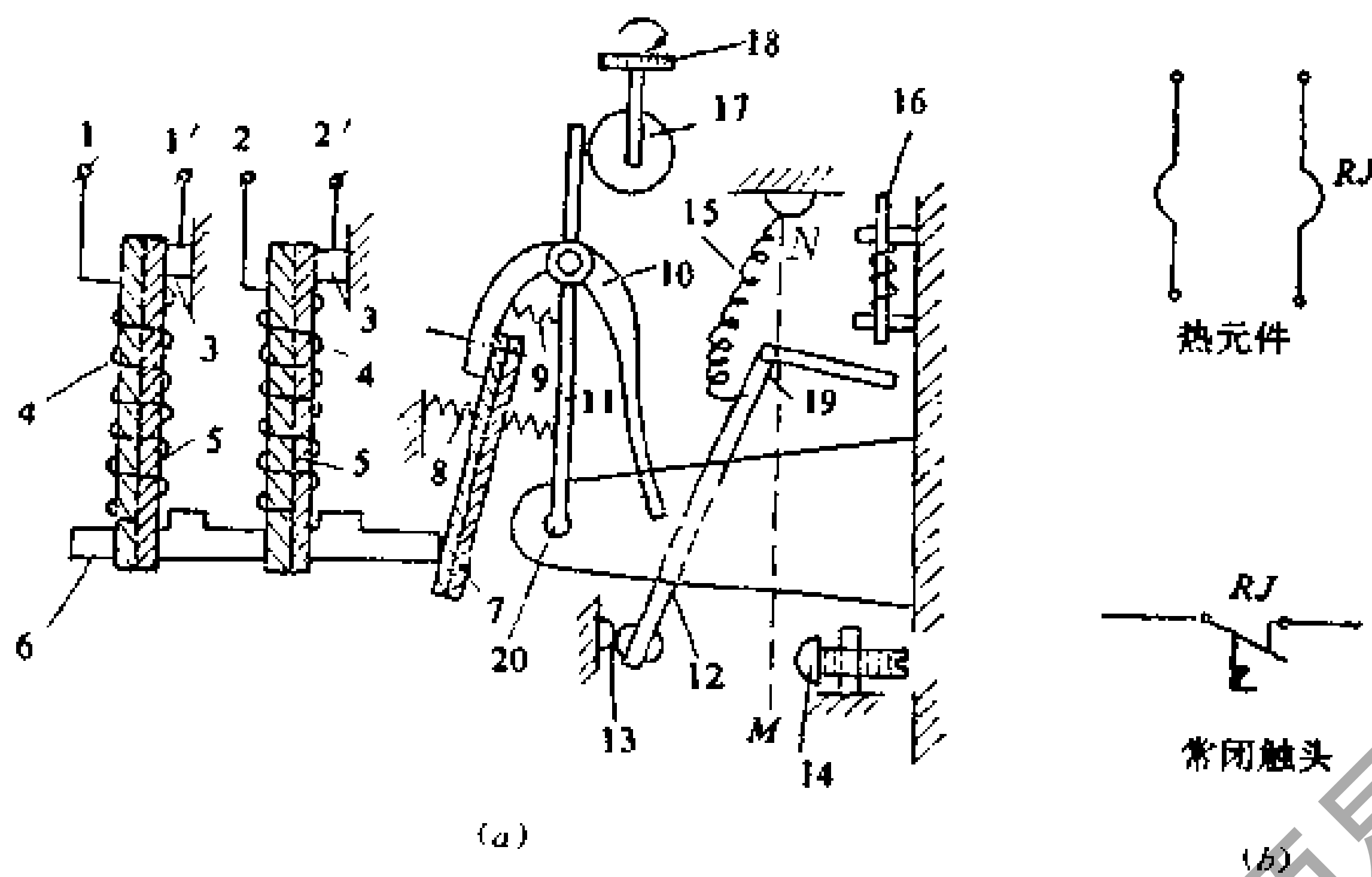


图 5—18 热继电器的原理图及符号

(a) 原理图 (b) 符号

## 2. 热继电器的工作原理

当电动机过载时,过载电流通过串联在定子电路中的电阻 4,使之发热过量。双金属片 5 受热膨胀,因左边一片的膨胀系数较大,所以下面一端便向右弯曲,通过导板 6 推动补偿双金属片 7,使推杆 10 绕轴转动。这又推动了杠杆 12 使它绕轴 19 转动,于是将热继电器的常闭触头 13 断开。在控制电路中,常闭触头 13 是串联在接触器线圈电路中的,当常闭触头 13 断开时,接触器的线圈断电,使主触头分断,电动机便脱离电源受到保护。

## 3. 用磁力起动器控制三相异步电动机

磁力起动器用于 50Hz、电压至 500V 的交流电路中,供远距离控制三相异步电动机的起动、停止,或正、反向运转之用。图 5—19 为磁力起动器控制三相异步电动机的原理接线图。图中,两个热继电器的热元件分别串联在主电路的 A 相和 C 相电路中,它们的两个动断触头串联在控制回路中。当其中任一个热断电器动作时,都会引起控制回路断电,使电动机停止运转。

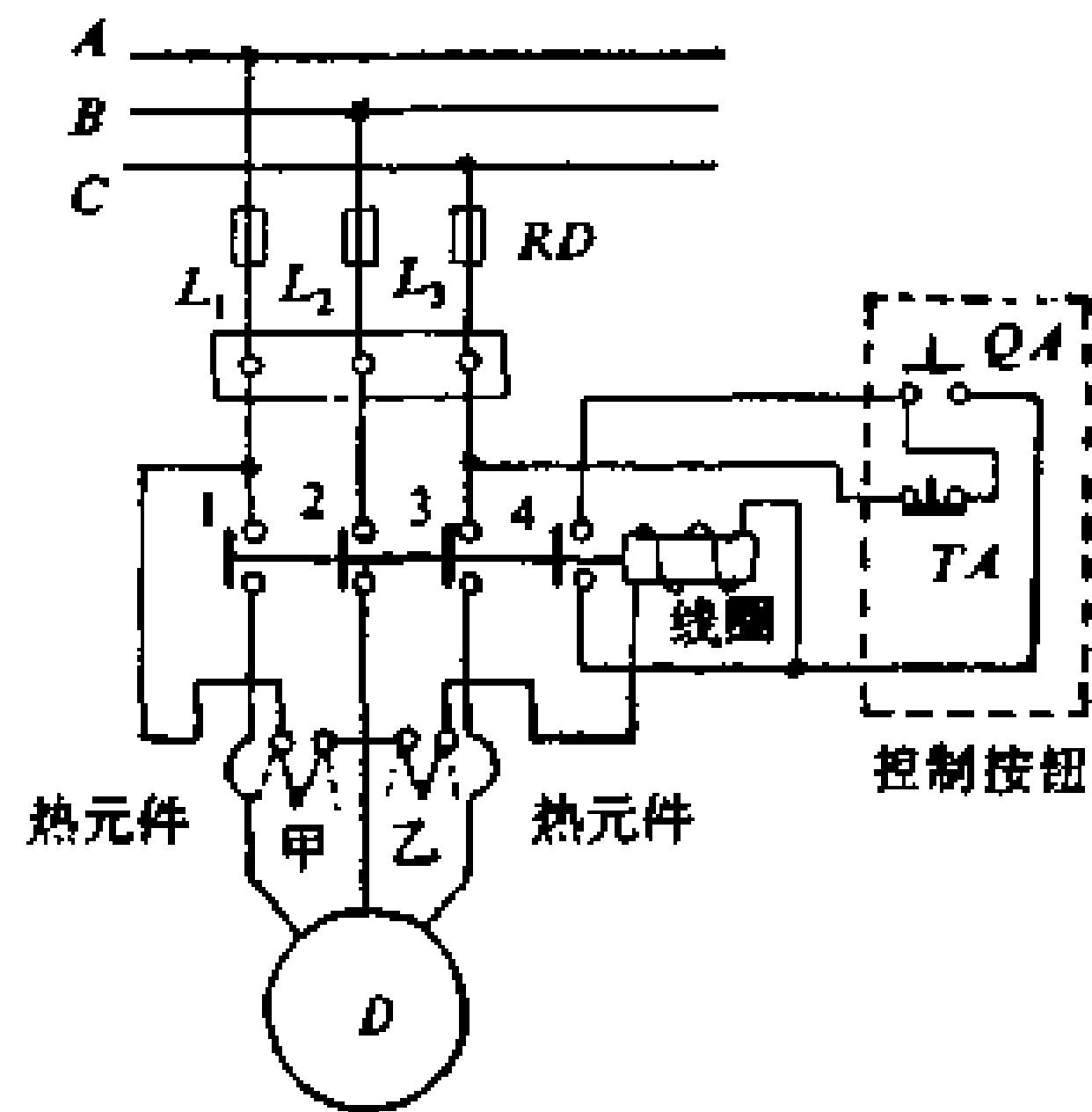


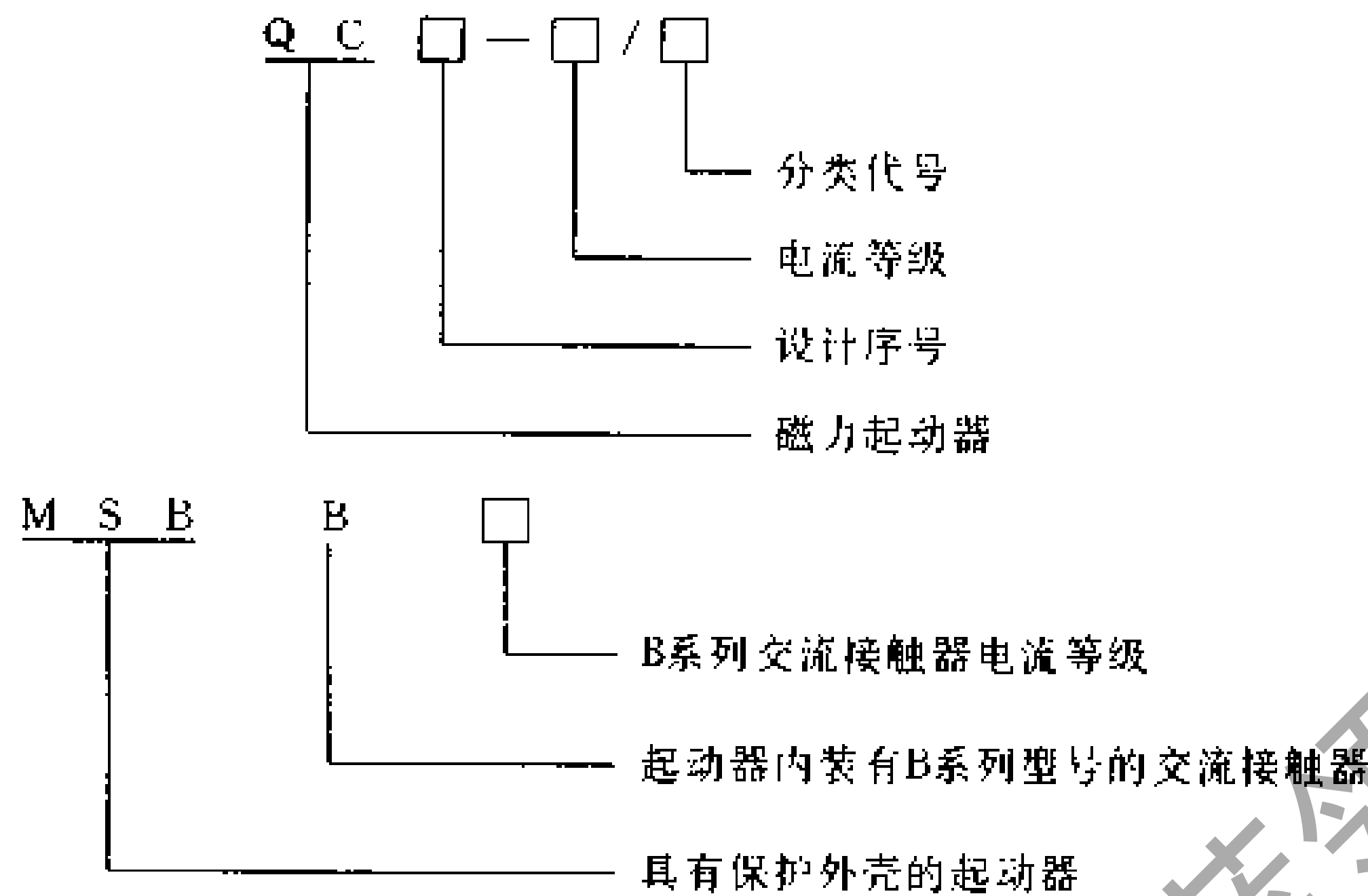
图 5—19 用磁力起动器控制三相异步电动机的原理接线图

## 4. 常用磁力起动器的型号和规格

我国生产的磁力起动器目前常用的有 QC8、QC10、QC12、QC13 等系列,其结构大同小异,只是其中所用的交流接触器和热继电器的系列不同而已,其中最常用的是由 CJ10 系列交流接触器和 RJ15 系列热继电器组成的 QC10 系列磁力起动器。MSB 系列电磁起动器是引进德国 BBC 公司技术生产的新产品,装有引进的 B 系列交流接触器。MSB—B 型起动器具有金属外壳,灭弧介质为空气。B 系列交流接触器卡在点焊固定在外壳底部的安装卡轨上。T16 热过载继电器则通过 3 根连接线插入接线端并通过底板下部

的凸钩，与交流接触器可靠地固定连接在一起。起动器外壳盖上有一黑色按钮框，内镶嵌两个按钮，绿色按钮为“接通”，红色按钮为“断开”与“复位”。

这两种产品的型号含义如下：



### 六、选择交流接触器和磁力起动器的原则

选择交流接触器和磁力起动器时，应满足下列条件：额定电压 $\geq$ 工作电压；额定电流 $\geq$ 被控制电动机的额定电流；工作电压下所控制的电动机最大功率 $\geq$ 实际安装的电动机功率；吸引线圈的额定电压=线圈工作电压；选购设备时，应注明设备型号全称，以区别各型号。



自动空气开关又称自动开关，或自动空气断路器，是一种可以自动切断线路故障的保护电器。当线路中发生短路、过载、失压等不正常的现象时，能自动切断电路（俗称自动跳闸），或在正常情况下用来作不太频繁的电路切换。

自动空气开关有塑壳式（又称装置式）和框架式（又称万能式）两种，常用的DZ5—20自动开关和DZ10自动开关是塑壳式的，其外形结构如图5—20、图5—21所示。DW15系列是框架式的自动开关，其外形结构如图5—22所示。另外，还有近来得到广泛应用的微型断路器等。

自动空气开关的主要部件，除了动、静触头，灭弧室和操作机构外，还有电磁脱扣器、热脱扣器、手动脱扣操作机构，以及外壳等部分组成。有的自动开关还带有欠电压脱扣器，如DZ10—250~600系列塑壳式及DW10系列框架式自动空气开关。电磁脱扣器是一个电磁铁，它的电磁线圈串联在主电路中。当电路出现短路时，它就吸合衔铁，使操作机构动作，将主触头断开，可作短路保护用。电磁脱扣器带有调节螺钉，以便调节瞬时脱扣整定电流。热脱扣器是一个双金属片热继电器，发热元件串接在主电路中。当电路过载时，过载电流流过发热元件，使双金属片受热弯曲，操作机构动作，断开主触头，可作过载保护用。手动脱扣操作机构采用连杆机构，通过尼龙支架与接触系统的导

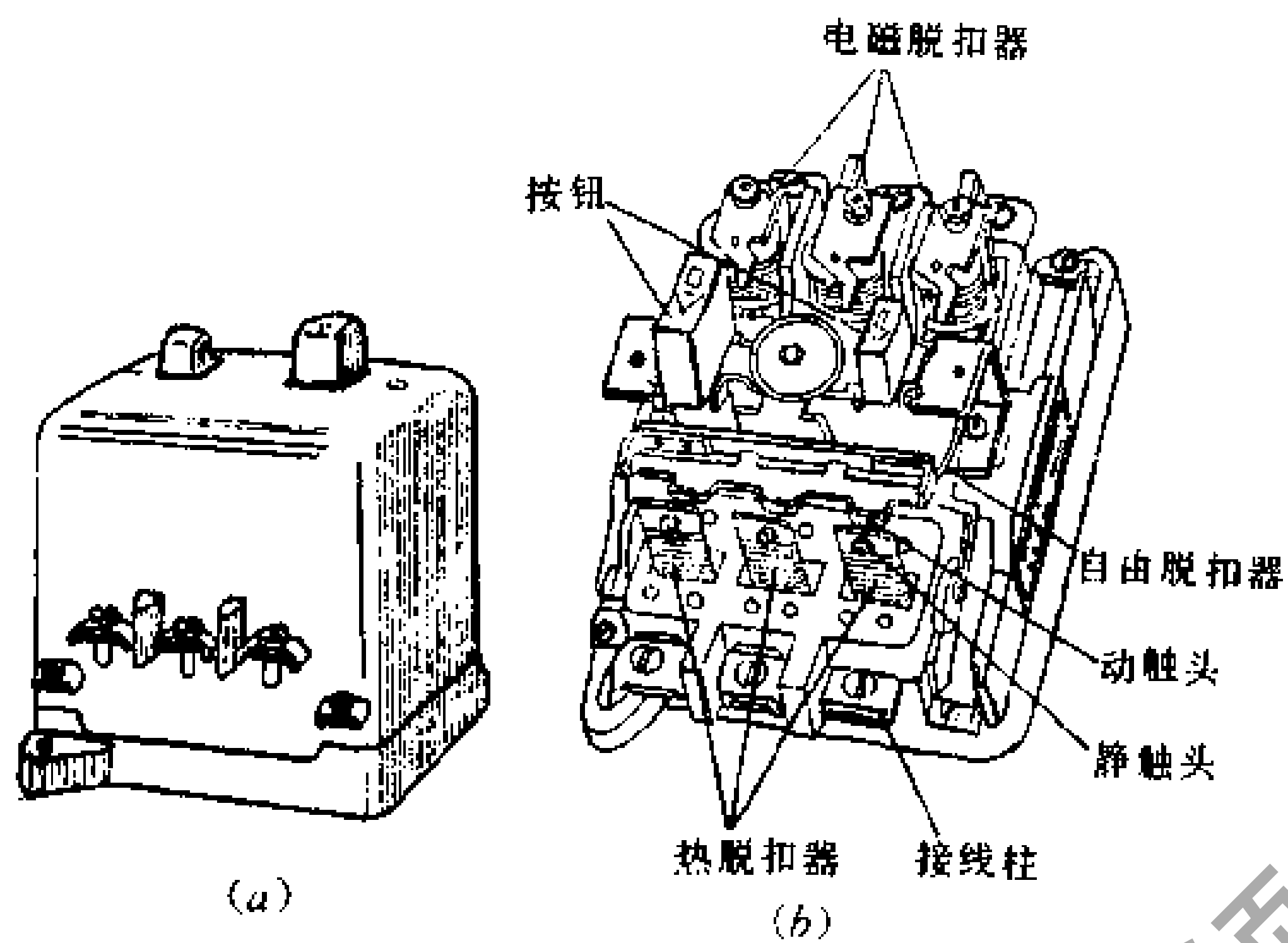


图 5—20 DZ5—20 型自动空气开关  
(a) 外形 (b) 结构

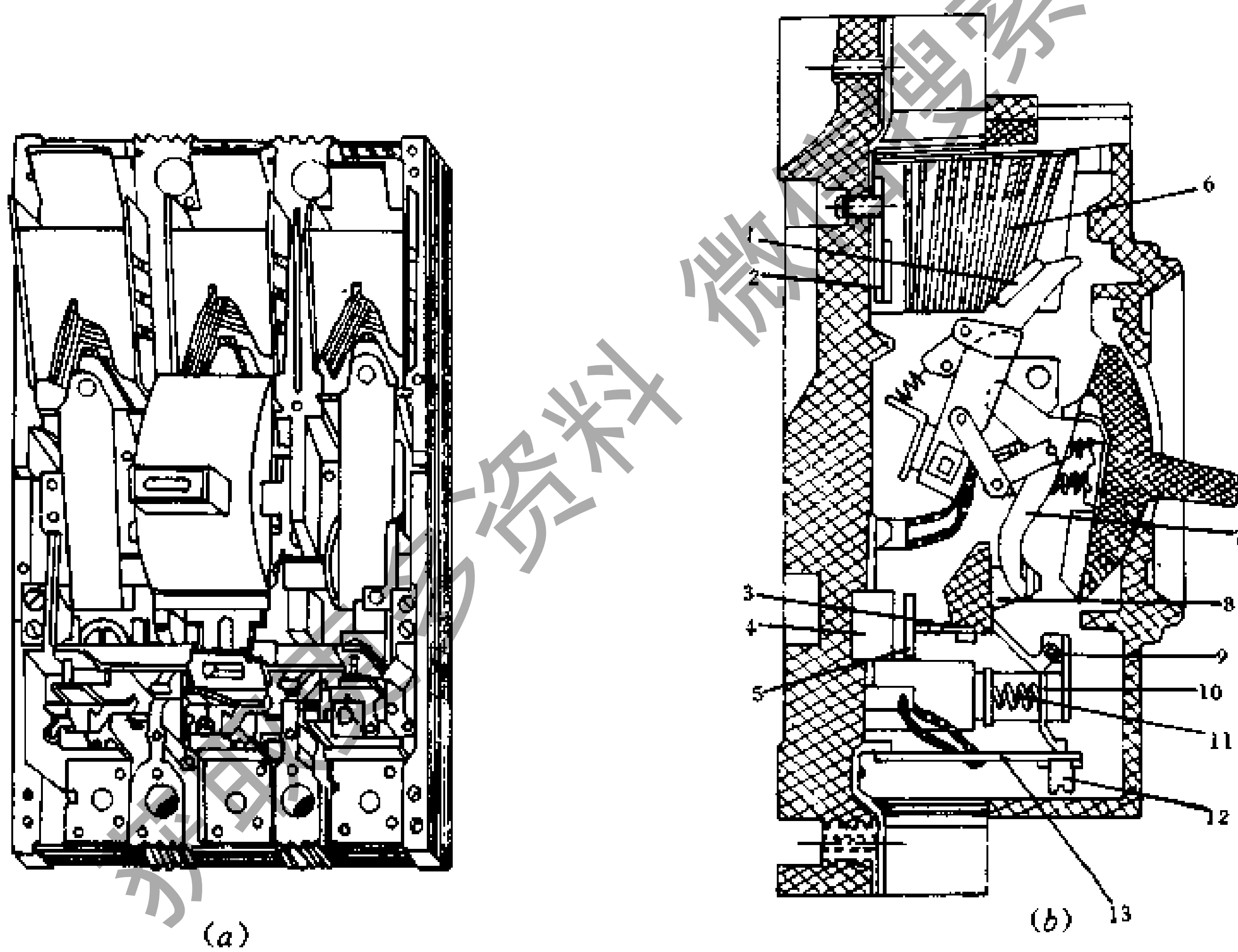


图 5—21 DZ10 型自动空气开关  
(a) 外形 (b) 剖面

1—动触头 2—静触头 3—搭钩 4—铁心 5—衔铁 6—灭弧栅 7—主杠杆 8—主轴 9—轴  
10—杠杆 11—弹簧 12—调节螺丝 13—双金属片

电部分连接在一起。在操作机构上，有过载脱扣电流调节盘，用以调节整定电流。如需手动脱扣，则按下红色按钮，使操作机构动作，断开主触头。

DZ5—20 自动空气开关的结构采取主体布置。操作机构在中间，上面是热脱扣器，下



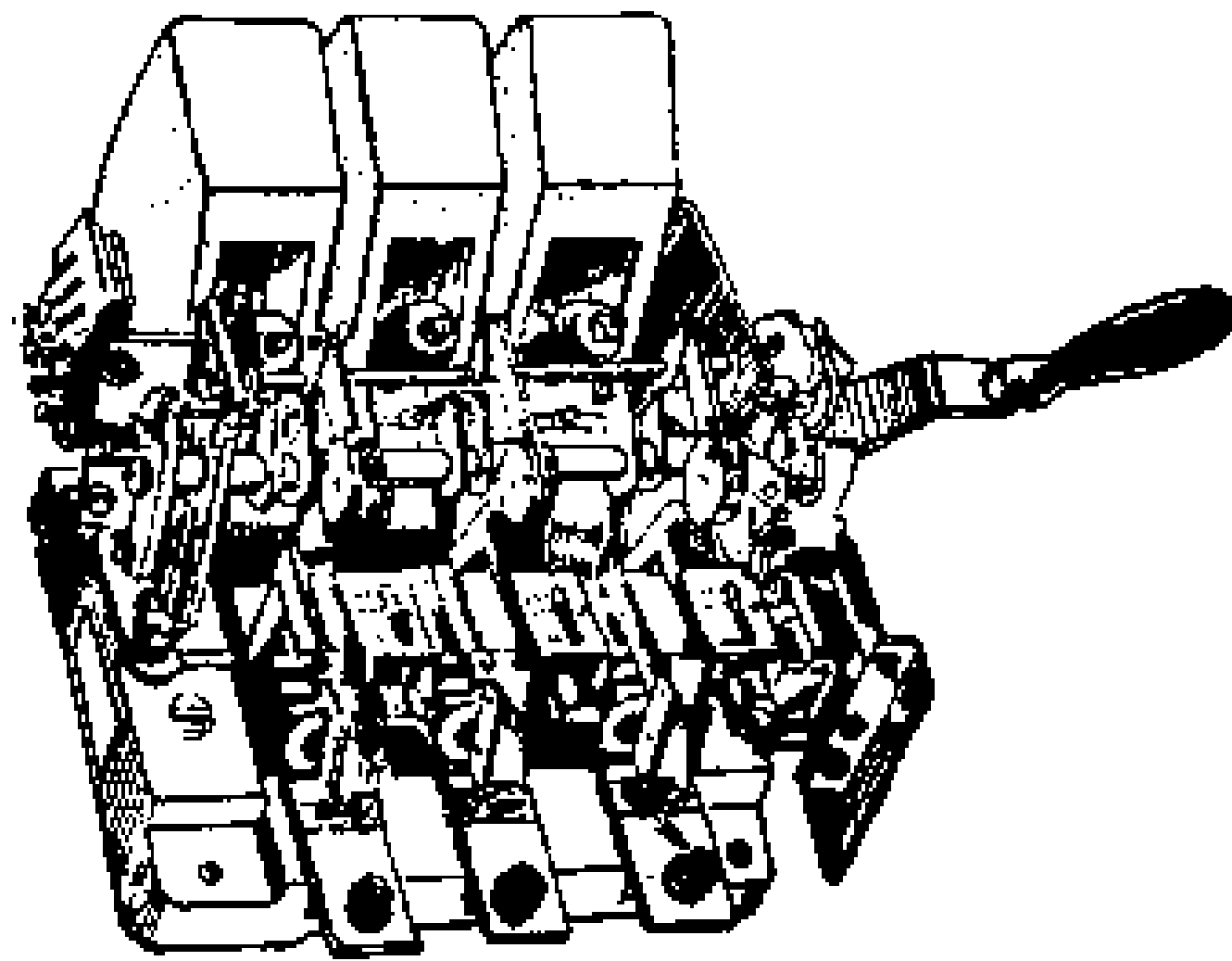


图 5—22 DW 系列自动开关的外形结构

面是电磁脱扣器，接触系统在后面。除主触头外，还具有常开及常闭辅助触头各一对，上述全部结构均装在胶木（或塑料）外壳内，外壳上仅伸出红色按钮和绿色按钮及主辅触头的接线柱。

自动空气开关的动作原理如图 5—23 所示。图中 2 为自动空气开关的 3 副主触头，串联在被保护的三相主电路中。当按下绿色按钮时，主电路 3 副主触头 2，由锁链 3 钩住搭钩 4，克服弹簧 1 的拉力，保持在闭合状态。

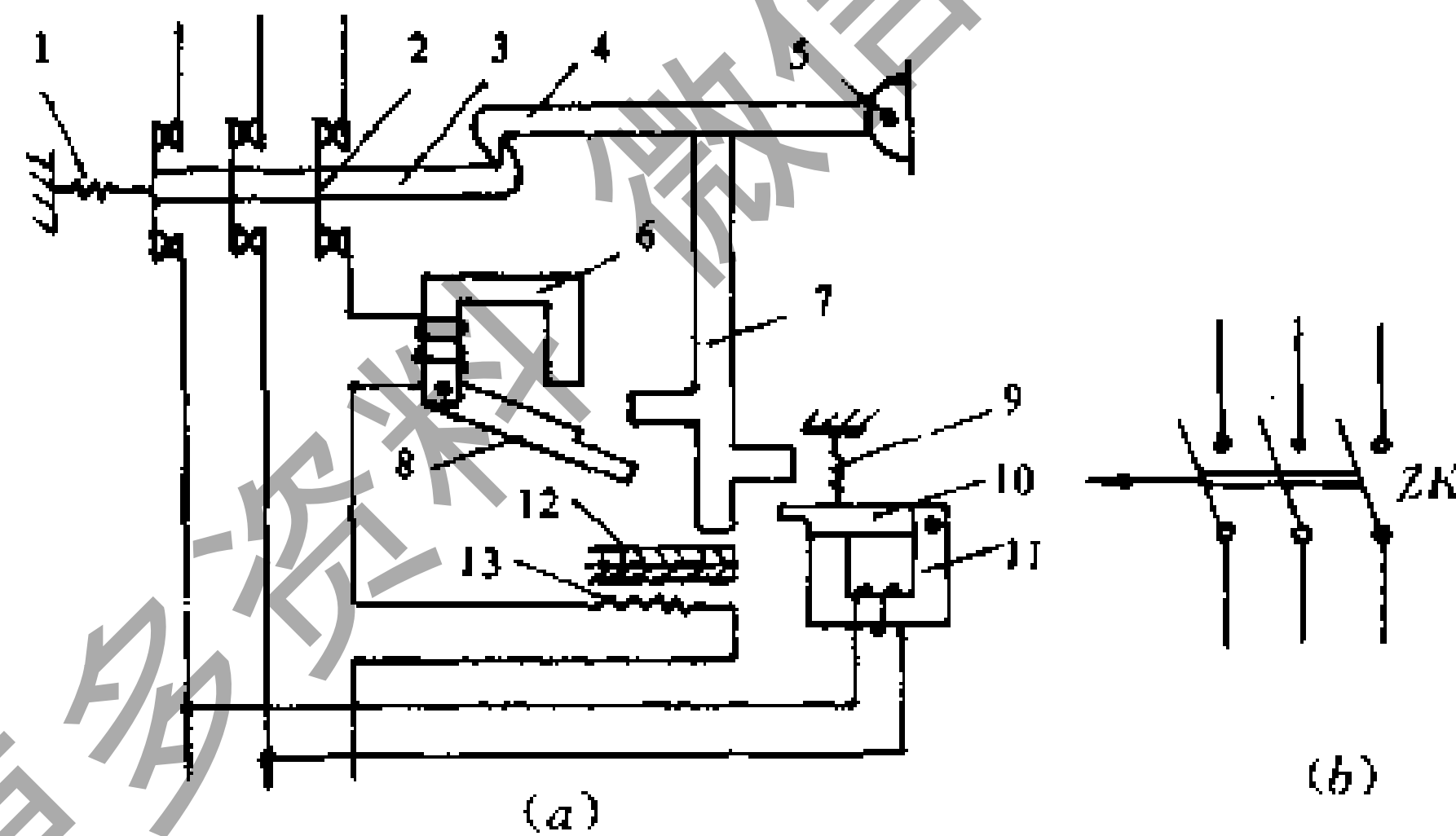


图 5—23 自动空气开关动作原理图

(a) 原理图 (b) 符号

当线路正常工作时，电磁脱扣器 6 线圈所产生的吸力不能将它的衔铁 8 吸合，如果线路发生短路和产生很大的过电流时，电磁脱扣器的吸力增加，将衔铁 8 吸合，并撞击杠杆 7，把搭钩 4 顶上去，切断主触头 2。如果线路上电压下降或失去电压时，欠电压脱扣器 11 的吸力减小或失去吸力，衔铁 10 被弹簧 9 拉开，撞击杠杆 7，把搭钩顶开，切断触头 2。

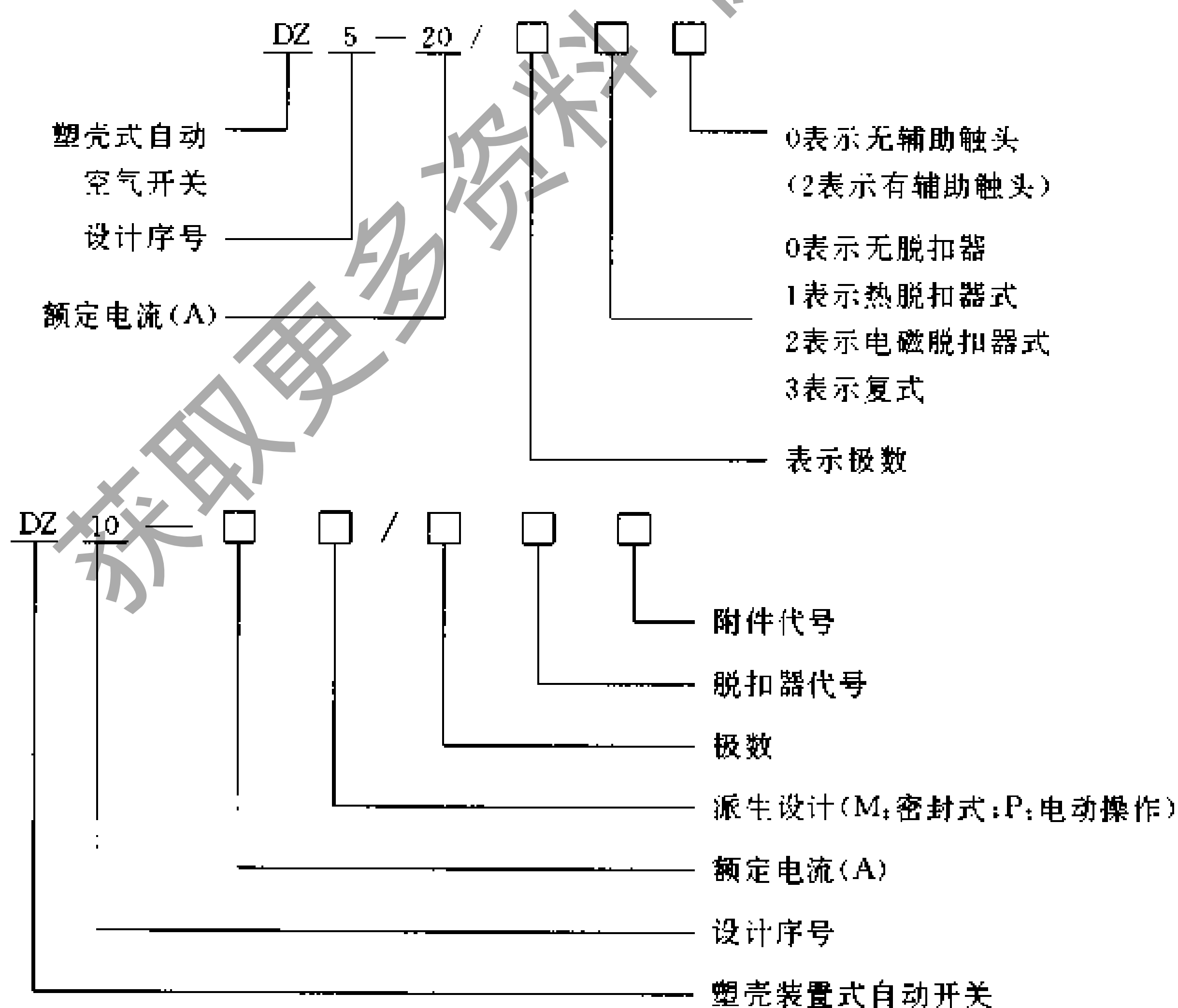
线路发生过载时，过载电流流过发热元件 13，使双金属片 12 受热弯曲，将杠杆 7 顶开，切断主触头 2。

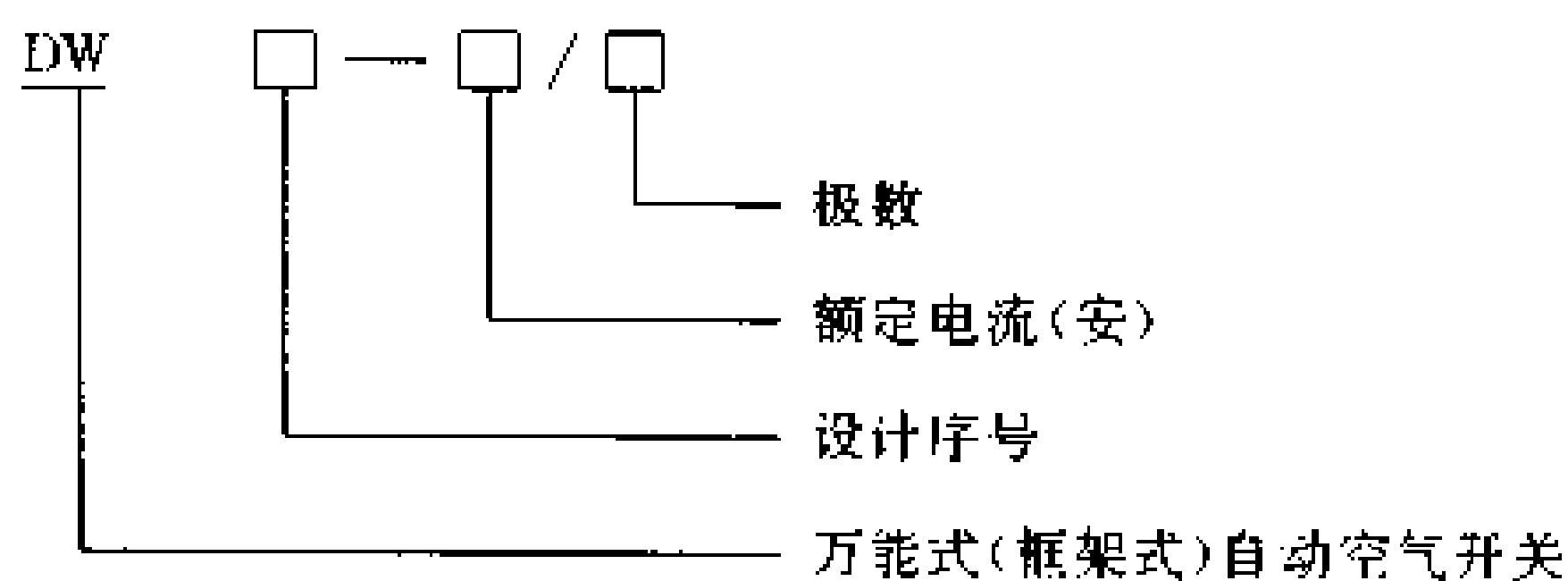
自动空气开关的优点是，与使用刀开关和熔断器相比，占地小、安装方便、操作安全。电路短路时，电磁脱扣器自动脱扣进行短路保护，直接将三相电流同时切断，因而可避免电动机的两相运行，所以自动空气开关在机床自动控制中有广泛的应用。而且故障排除后，不需像熔断器一样更换新熔体就可重复使用。

自动空气开关的动作原理基本相同，但各种不同型号自动空气开关的具体结构及适用范围有区别。

DZ5—20型自动开关适用于交流50Hz、380V、电流自0.15~20A的电路中。保护电动机用的自动开关在配电网中用来保护电动机的过载和短路。配电用自动开关在配电网中用来分配电能和保护线路，以及电流设备的过载和短路。DZ10系列自动开关适用范围与DZ5—20型相同，只是分断能力有所提高。其灭弧室采用去离子栅式，用金属片分割电弧，能保证迅速可靠熄灭电弧。触头采用银基合金，在通过大电流时，不会熔焊，具有抗熔焊和耐磨等特点。操作机构采用四联杆机构，在操作时迅速闭合和断开，手柄的操作速度与触头的动作速度无关，故能承受较大的闭合和分断电流。DW10系列框架式自动开关，主要用于交流50Hz、电压380V的配电系统中，起过载、短路及欠电压保护的作用。额定电流等级为200~4000A，分为7挡。全系列除1000~4000A的动触头采用黄铜，静副触头采用紫铜外，其余触头均采用陶冶合金材料。灭弧系统采用陶土灭弧罩，加装去离子金属栅片的方式。保护机构装有失压、分励、过流及短路脱扣装置。DW15系列框架式自动开关适用于交流50Hz、额定工作电压至1140V、额定电流至4000A的陆上和煤矿井下配电网中，用来分配电能、保护线路，以及电流设备的过载、欠电压和短路，为立体布置形式。触头系统、快速电磁铁、左右侧板安装在一块绝缘板上，上部装有灭弧系统。操作机构可装在正前方或右侧面，有“分”、“合”指示及手动断开按钮。其左上方装有分励脱扣器，背部有与脱扣半轴相连的欠电压脱扣器，欠压延时装置、热继电器或半导体脱扣器均可分别装在下方。速饱和电流互感器或电流电压变换器套在下母线上。

以上所讲的自动空气开关型号如下：





微型断路器是一种结构十分紧凑的小容量塑壳断路器。由于它具有技术性能好、体积小、易于安装、操作方便、价格适宜、经久耐用等特点，受到广大用户的普遍欢迎。常用的 C45N 系列微型断路器如图 5—24 所示，其安装采用了导轨安装方式（图 5—25）。

C45N 系列微型断路器的额定电流具有从 1~60A 11 个规格。还可为单极及由内部联动的 2 极、3 极、4 极。其外壳采用了含有玻璃纤维的高阻燃、高强度的特种尼龙塑料，耐弧能力强、抗冲击能力高、重量轻。操作机构零件全部采用塑料制品，触点采用了特殊的具有低接触电阻和高熔点的银基合金，从而使断路器可承受更大的短路电流。独特的导弧角、导弧片和导弧室的设计，可充分利用短路电流产生的磁场，在 4ms（毫秒）内达到和完成熄弧的全部过程。其接线端子采用了专用的压板结构，保证了最大为 25mm<sup>2</sup> 及其以下的导线紧固连接，简化了安装的繁琐和失误。

微型断路器正在逐步取代熔断器，起到对电气线路中过载和短路引起的过电流进行保护的作用，其他型号的微型断路器还有 SO60 系列、PX20 系列等，在实际中也有较广泛的应用。

自动空气开关可按以下原则选用：根据工作要求和安装条件，初步确定开关的型式（如 DZ 型或 DW 型、脱扣类别，有无附加条件等）；开关额定电压 ≥ 工作电压，开关额定电流 ≥ 工作电流；开关极数应符合需要；根据电路的工作电流，在开关额定电流范围内选择热脱扣器的额定电流；热脱扣器的额定电流应等于或稍大于电路工作电流。

根据实际需要，确定电磁脱扣器的额定电流和瞬时动作整定电流。电磁脱扣器的额定电流只要等于或稍大于电路工作电流即可。电磁脱扣器的瞬时动作整定电流按下列原则进行计算

$$I_{zd} \geq 1.35 (I_{qd1} + \sum I_g (n-1)) \quad (5-3)$$

式中： $I_{zd}$  为电磁脱扣器动作整定电流 (A)；1.35 为可靠系数； $I_{qd1}$  为电路中起动最大的一台电动机的起动电流 (A)； $\sum I_g (n-1)$  为除去起动电流最大的一台电动机之外，其余用电设备的实际工作电流之和 (A)。

由公式(5-3)可知，对于一台电动机来说，电磁脱扣器的动作整定电流  $I_{zd} \geq 1.35 I_{qd}$ 。

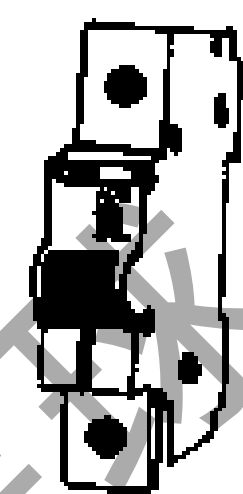


图 5—24

C45N 微型断路器外形图

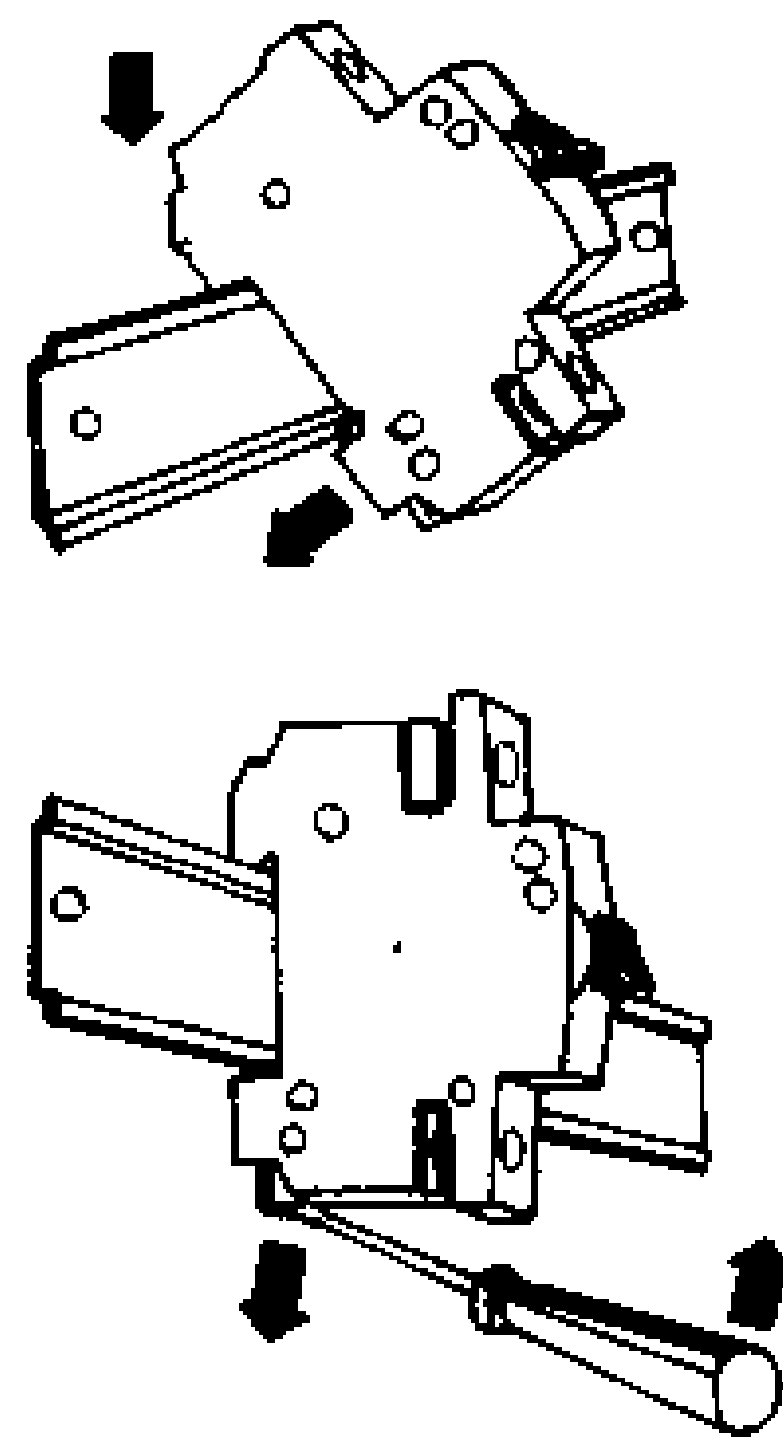


图 5—25 C45N 微型断路器安装图

## 第6节 自耦减压起动器（补偿器）

三相异步电动机采用自耦减压起动的原理已在第4章第5节作了较详细的介绍。这里主要介绍补偿器的基本结构、接线及规格。

### 一、基本结构

补偿器的结构如图5-26所示，主要由以下4部分组成：

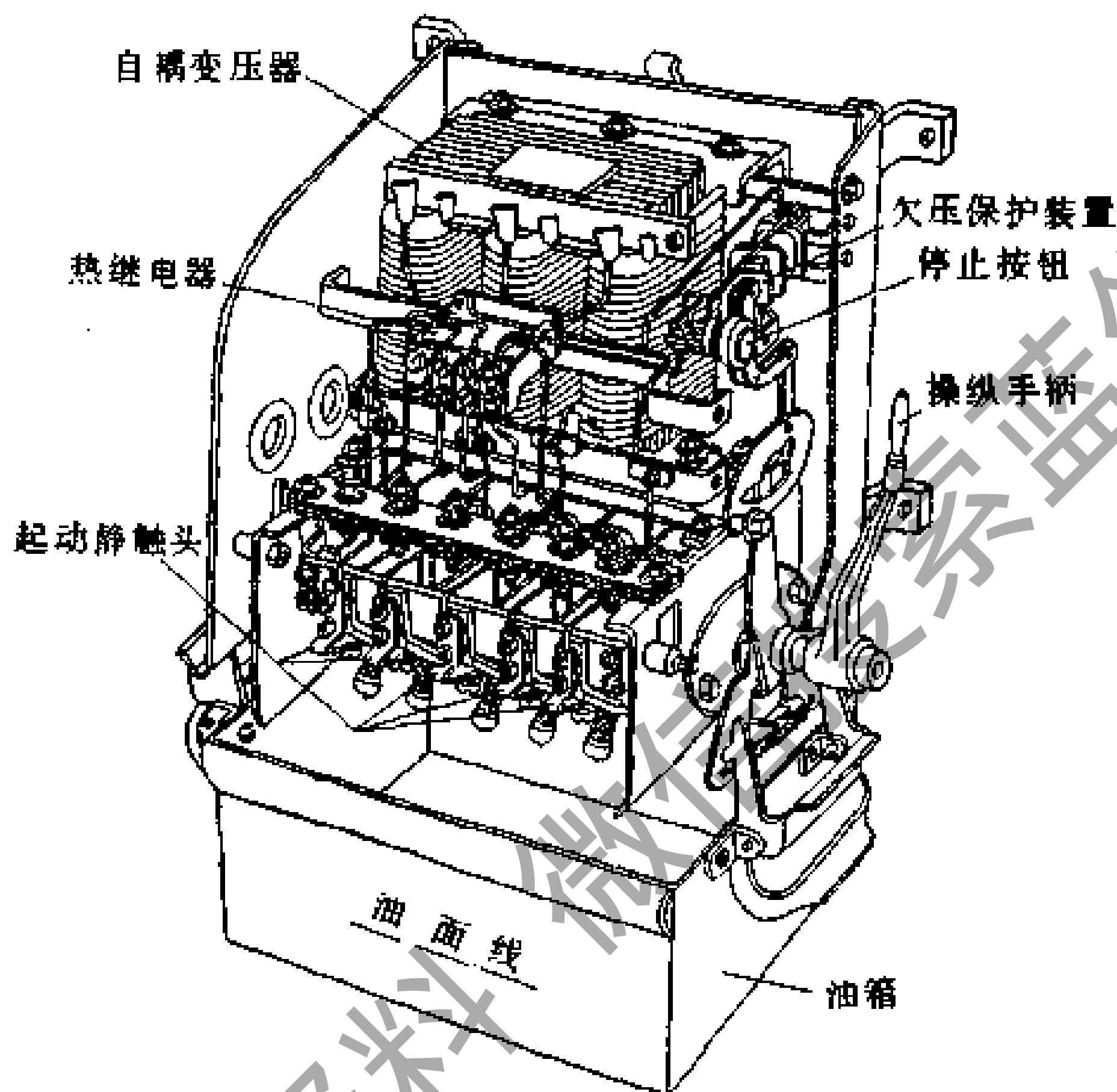


图5-26 补偿器的结构图

#### 1. 箱体

箱体用薄钢板制成，上部箱门可以打开，下部油箱可以卸下，以便检修和接线。箱体上装有指示灯和“停止”按钮，用手按下停止按钮，可使开关自动跳闸。

#### 2. 自耦变压器

自耦变压器为三相星形连接的自耦变压器，装在箱体的上部，起降低电流电压的作用。自耦变压器的线圈有两组中间抽头，分别为额定电压的80%和65%，以适应各种不同起动转矩的电动机选用。出厂时，一般接在65%的抽头上；如用户需要较大的起动转矩，可以改接在80%的抽头上，这时起动转矩增大，相应地起动电流也增大。

#### 3. 油开关

油开关由触头系统和手动操作机构组成，装在箱体的下部。在转轴上有5组动触头，在上支架上装有5组供起动的静触头（图5-27中的触头1、2、3、7、8），在下支架上装有3组供运转用的静触头（图5-27中的触头4、5、6）。所有动、静触头均浸在变压器油中，以提高灭弧能力。操作机构的手柄装在箱体的右侧，有“起动”、“停止”和“运转”3个位置。开关装有联锁机构，保证电动机必须先经过起动阶段才能投入运

转。

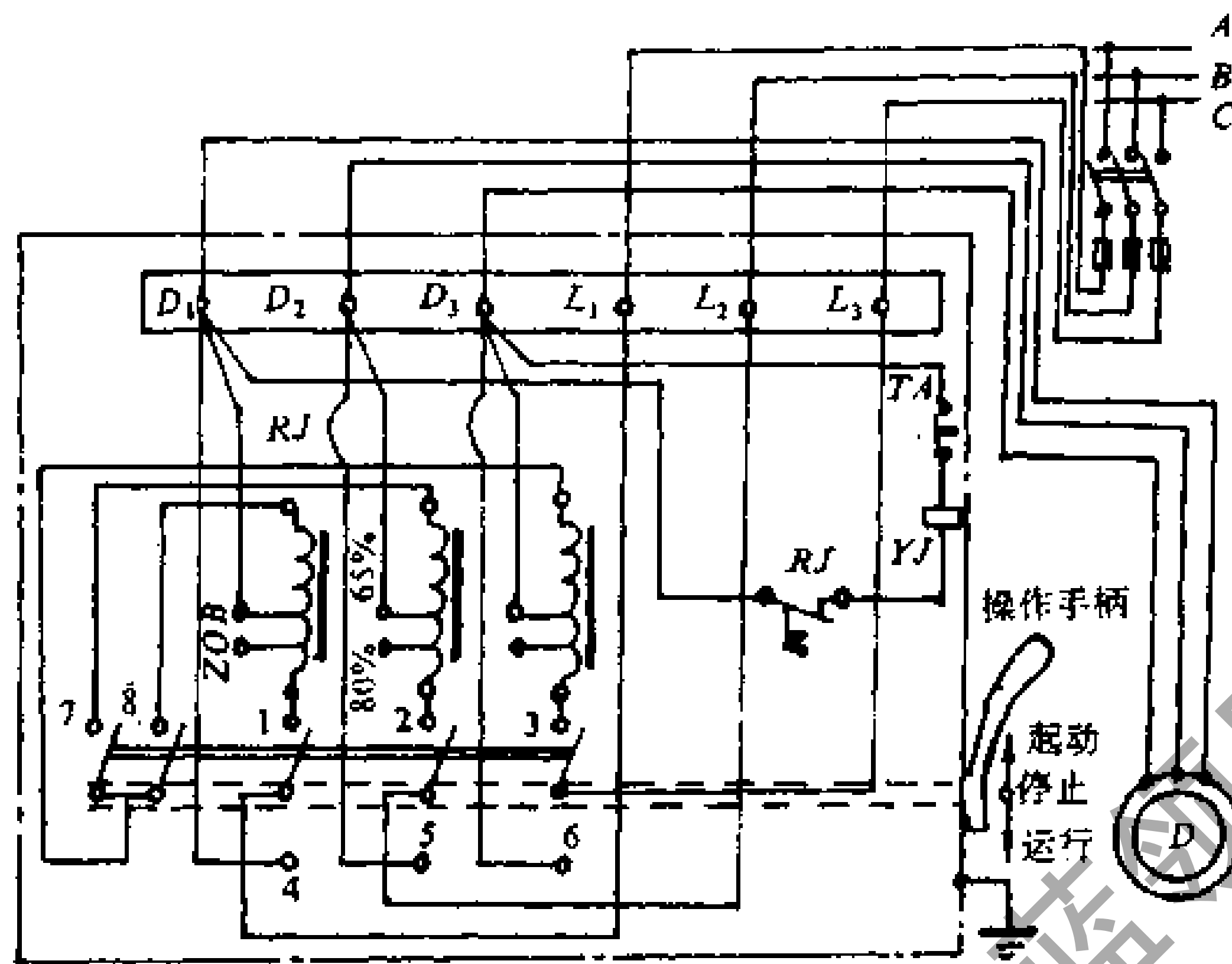


图 5-27 自耦减压起动器的接线图

#### 4. 保护系统

保护系统由过流继电器和失压脱扣器组成，均装在箱内。过电流热继电器作为电动机的过载保护；失压脱扣器的作用是，当电压消失或降低到额定电压值的 35% 及以下时，保证自动脱扣，切断电流。

#### 二、补偿器的接线和操作步骤

图 5-27 为补偿器的内部接线（图中点划线方框内）和电动机的控制接线。补偿器共有 6 个接线端子， $L_1$ 、 $L_2$ 、 $L_3$  3 个端子是接三相电流的； $D_1$ 、 $D_2$ 、 $D_3$  3 个端子是接电动机的。图中  $RJ$  为热继电器， $YJ$  为失压脱扣线圈， $TA$  为停止按钮。

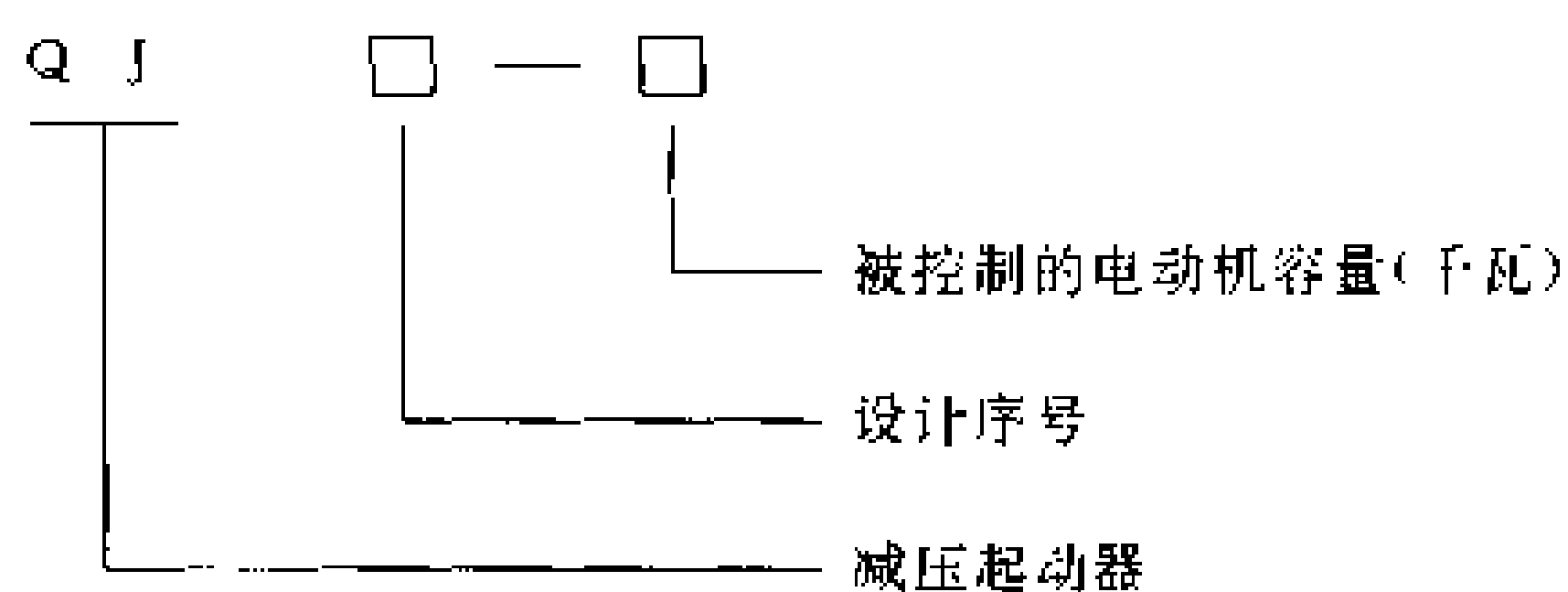
补偿器起动时，先合上电源开关，然后将操作手柄迅速推到“起动”位置，这时油开关的动触头把三相电源与自耦变压器线圈的 3 个起端 1、2、3 相接，并通过静触头 7、8 将自耦变压器线圈的 3 个末端接在一起，使自耦变压器接成星形；电动机从自耦变压器的中间抽头得到降低后的三相电压而起动。当电动机达到一定的转速后，迅速将手柄扳到“运转”位置。这时，油开关的动触头与上方的静触头分开，而与下方的静触头 4、5、6 接通，把三相电源直接与电动机连接，使电动机在额定电压下运转，并使自耦变压器与电源断开。停机时，只要用手按下停止按钮，则失压脱扣器线圈断电，使开关跳闸，电动机停止运转。

由于补偿器的自耦变压器的线圈是按短时工作设计的，因此不能连续频繁地起动，也不能长期停留在起动位置上。

#### 三、补偿器的型号及选择原则

##### 1. 型号

补偿器的代号用汉语拼音字母“Q”、“J”表示。其中，“Q”代表“起”动器；字母“J”代表“减”压。自耦减压起动器型号的含义如下：



## 2. 补偿器选择原则

- (1) 额定电压  $\geq$  工作电压。
- (2) 工作电压下所控制的电动机最大功率  $\geq$  实际安装的电动机的功率。

## 第7节 星—三角起动器

在第4章第5节里曾讲到Y—D降压起动三相异步电动机的方法。这种方法仅适用于D接法的电动机。起动时，定子绕组接成Y形，使加在每相绕组上的电压降到额定电压的  $1/\sqrt{3}$ ，而起动电流仅为三角形直接起动的  $1/3$ ，电动机起动之后，再将绕组恢复成三角形接线，使电动机在额定电压下运行。星—三角起动器，就是这样一种专用的转换开关。星—三角起动器通常简写成Y—D起动器。

### 一、手动Y—D起动器

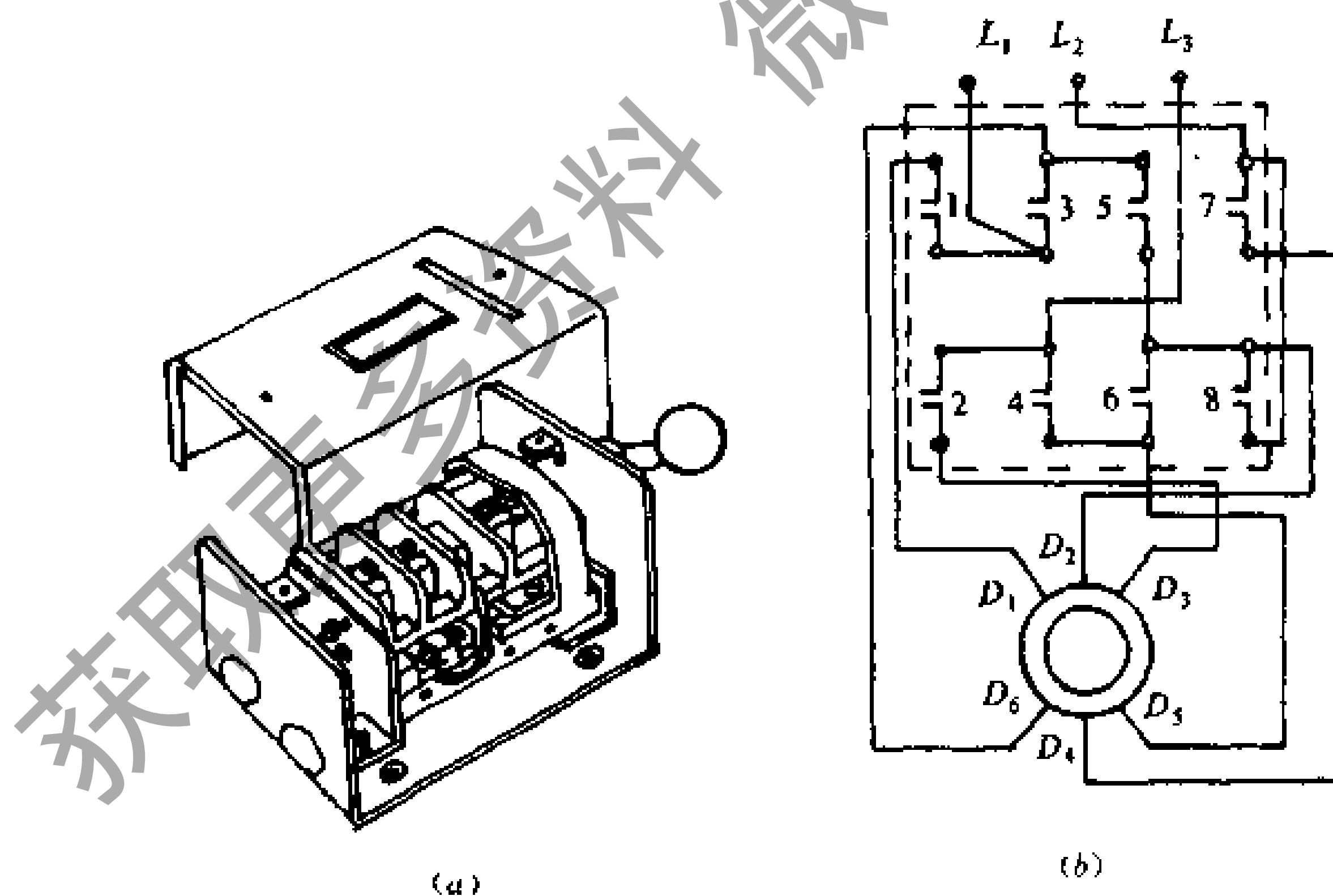


图5—28 QX1型Y—D起动器

(a) 外形图 (b) 电气原理图

图5—28 (a) 为Y—D降压起动用的QX1型手动空气式星—三角起动器的外形图。这种起动器由4组完全相同的触头系统叠装而成，借助于不同形状的凸轮抵动触头来完成线路的分、合转换动作。在操作手柄处标有“O”、“Y”和“D”3个位置，分别表示“停止”、“起动”和“运行”3种状态。

| 接点 | 手柄位置 |   |      |
|----|------|---|------|
|    | ○    | Y | D(Δ) |
| 1  |      | × | ×    |
| 2  |      | × | ×    |
| 3  |      |   | ×    |
| 4  |      |   | ×    |
| 5  |      | × |      |
| 6  |      | × |      |
| 7  |      |   | ×    |
| 8  |      | × | ×    |

图 5-29 触头分合图

图 5-28 (b) 为 QX1 型 Y-D 起动器的电气原理图。图中,  $L_1$ 、 $L_2$ 、 $L_3$  接三相电源,  $D_1$ 、 $D_2$ 、 $D_3$ 、 $D_4$ 、 $D_5$ 、 $D_6$  接电动机。图 5-29 为起动器的触头分合图 (其中, “×” 表示触头接通)。当手柄扳到 Y 位置时, 1、2、5、6、8 触头接通, 3、4、7 触头断开, 电动机定子绕组接成星形降压启动; 当电动机转速上升到一定值时, 将手柄扳到 “D” 位置, 这时 1、2、3、4、7、8 触头接通, 5、6 触头断开, 电动机定子绕组接成三角形正常运行。

## 二、自动 Y-D 起动器

图 5-30 为 QX3-13 型自动 Y-D 起动器。

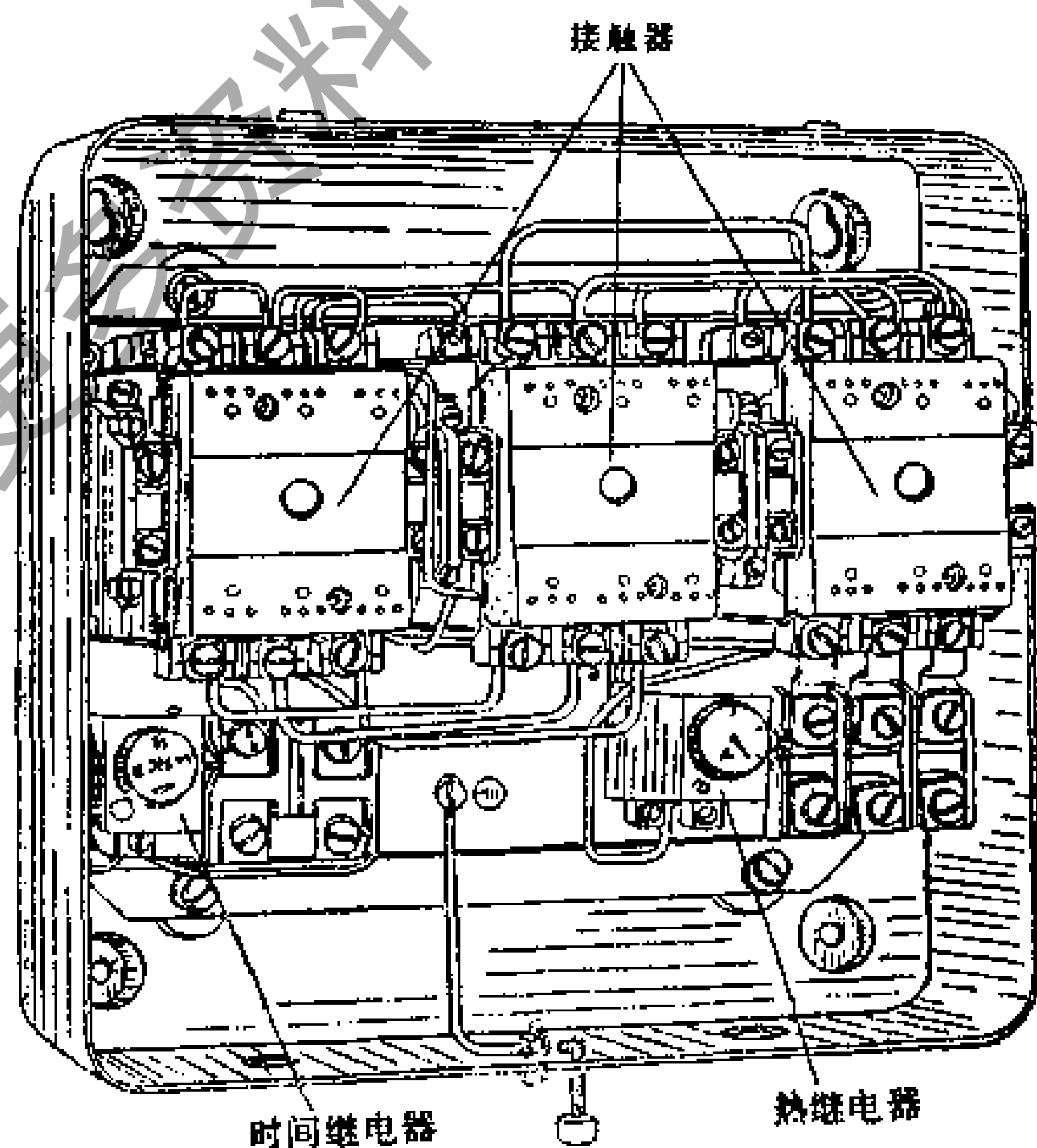


图 5-30 QX3-13 自动星-三角起动器

### 1. 结构特点

这种起动器主要由 3 只接触器、1 只热继电器和 1 只时间继电器组成。时间继电器是一个双金属时间继电器，它的作用是在电动机起动过程中，通过双金属时间继电器能自动地将所控制的电动机由 Y 连接起动后接成 D 连接。双金属时间继电器就是一个动作灵敏的热继电器，它利用接触器 1C 的吸引线圈上加一个二次绕组（图 5—31 中的 1C'）为电源来进行加热。绕组 1C' 通电后，经过一定时间的加热，双金属时间继电器的一对动断触头自动断开，实现电动机定子绕组 Y—D 转换。

### 2. 接线及操作步骤

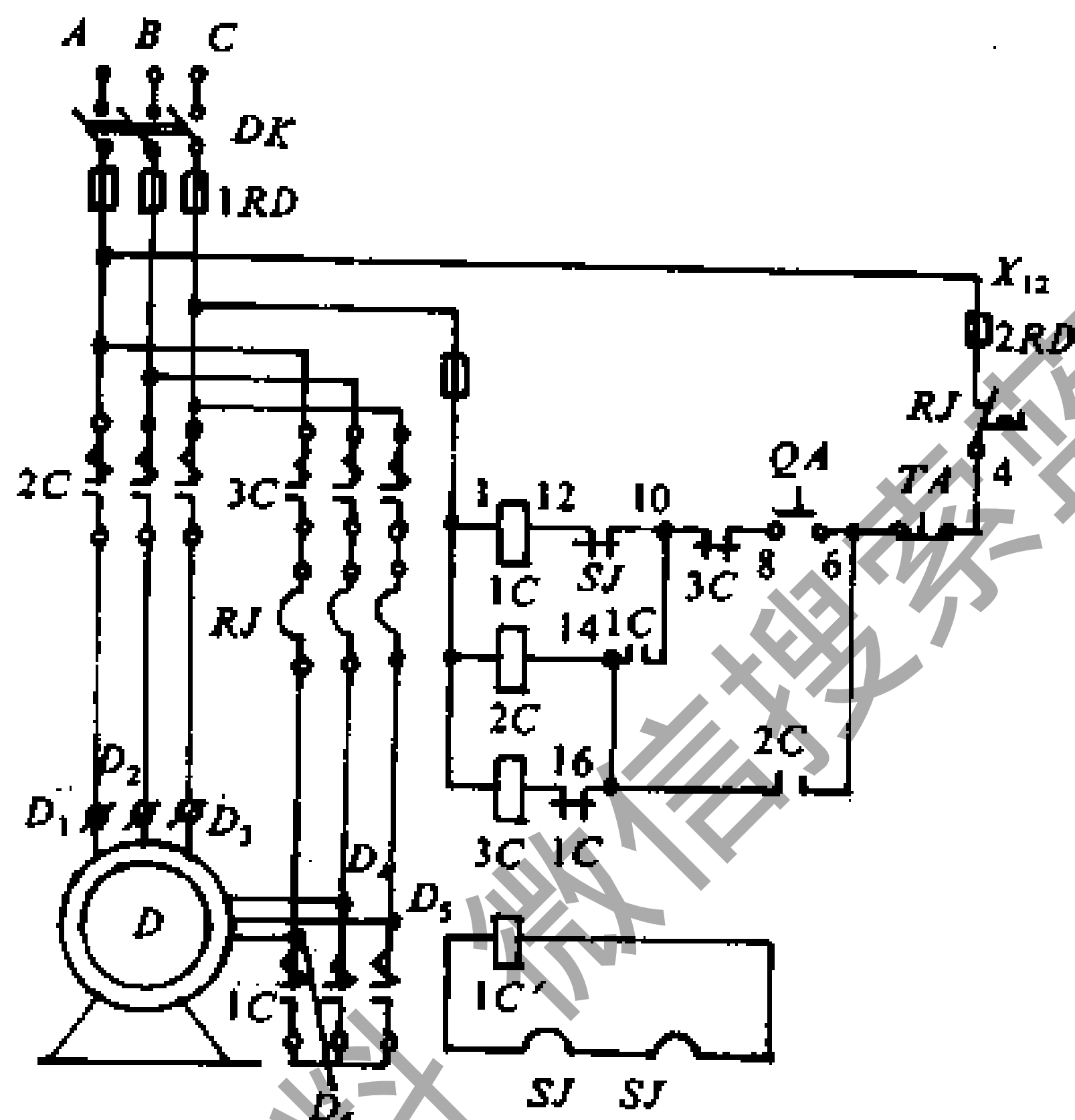
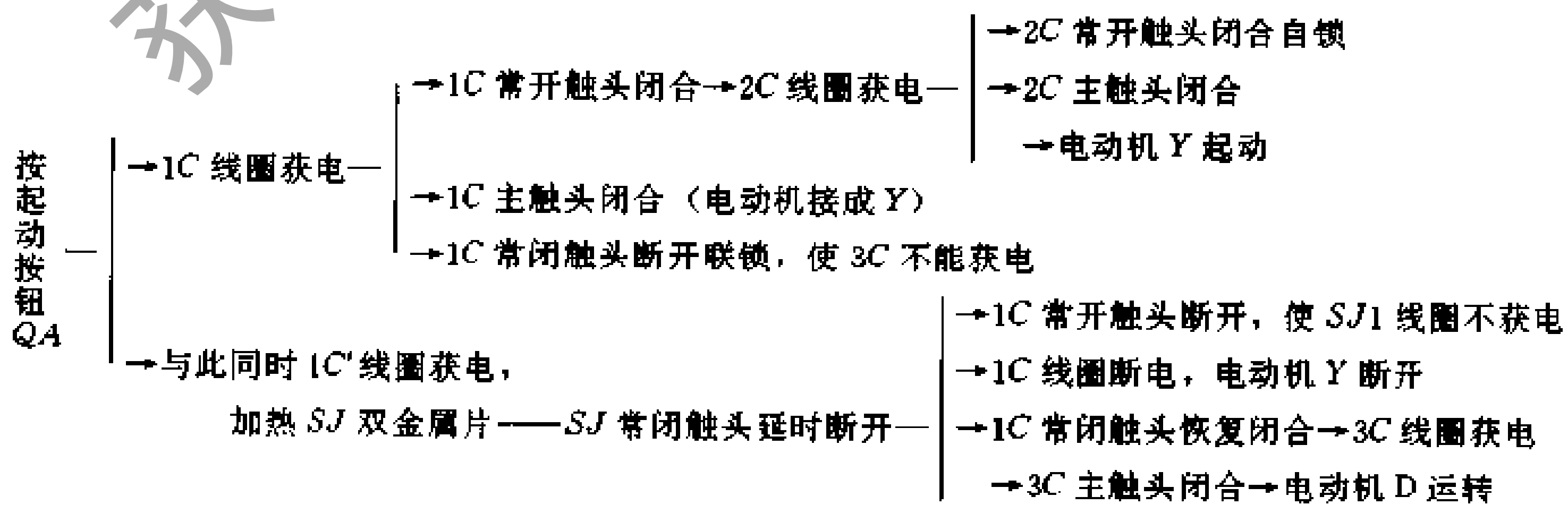


图 5—31 QX3 系起动器原理电路图

图 5—31 为 QX3 系列起动器的原理电路图。图中，左半部为主电路；右半部为控制电路；右下角为双金属时间继电器电路，它的一对动触头 SJ 串联在接触器 1C 的吸引线圈回路中。

起动时，先合上闸刀开关 DK，使主电路和控制电路带电。当按下启动按钮 QA 时，按下列程序动作：



停机时，只要按下停止按钮 TA，将控制电路的电源切断，则接通触器 2C 和 3C 同

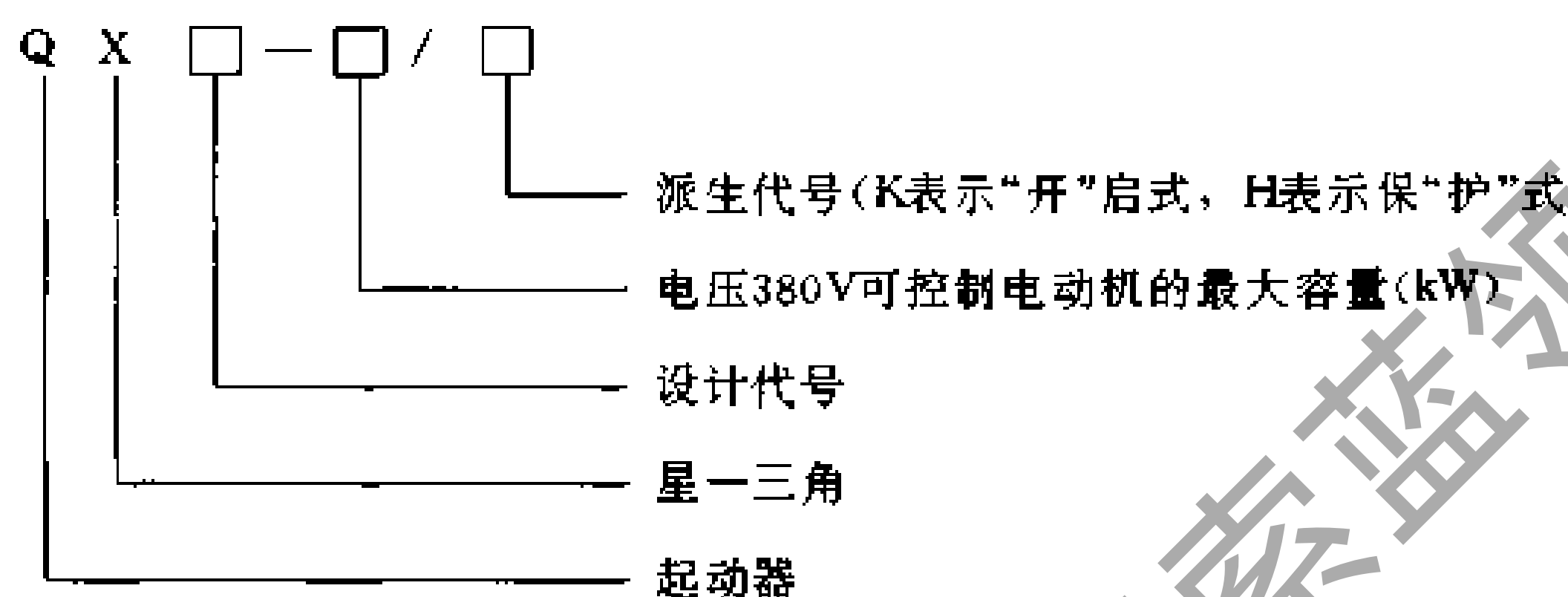


时跳开，使电动机停止运转。当电动机过载，电流达到热继电器动作整定电流时，热继电器动作，使电动机停止运转。

### 3. 星—三角起动器的用途和型号

目前常用的 Y—D 起动器有 QX1 系列和 QX3 系列。QX1 系列为手动操作，适用于交流 50Hz、电压至 380V、容量至 30kW 的三相鼠笼式异步电动机，作 Y—D 起动及停止之用；QX3 系列为电磁操作，适用于交流 50Hz、电压至 500V、容量至 30kW 的三相鼠笼式异步电动机，作 Y—D 起动和停止之用。

Y—D 起动器产品型号的含义如下：



Y—D 起动器的选择原则与补偿器相同。

## 第 8 节 万能转换开关和行程开关

万能转换开关和行程开关属于主令电器范围，是用在自动控制系统中发生指令的操作电器。用它来控制接触器、继电器或其他电器线圈，使电路接通和断开来实现生产机械的自动控制。

### 一、万能转换开关

LW 系列转换开关有 LW4、LW5、LW6 等系列产品。

LW 系列转换开关是一种对电路进行多种转换的主令电器，可作为电压表、电流表的换相开关，或小型电动机起动、制动、正反转转换控制及双速电动机的变速控制用。由于开关的触头挡数多，故称为万能转换开关。

LW5 万能转换开关大量采用热塑性材料，它的触头挡数共有 1~16、18、21、24、27、30 等 21 种，其中 16 挡以下为单列（换接 1 条线路），18 挡以上 3 列（换接 3 条线路），其外形及触头通断情况如图 5—32 所示。

从外形图上看，它是由很多层触头底座叠装而成。每层触头底座里有 1 对（或 3 对）触头和一个装在转轴上的凸轮，操作时手柄带动转轴和凸轮一起旋转，则凸轮就可以接通或断开触头，如图 5—32 (b) 所示。由于凸轮的形状不同，当手柄在不同的操作位置时，触头的分合情况也不同，从而达到换接电路的目的。

万能转换开关在电器原理图中的图形及符号如图 5—33 所示。

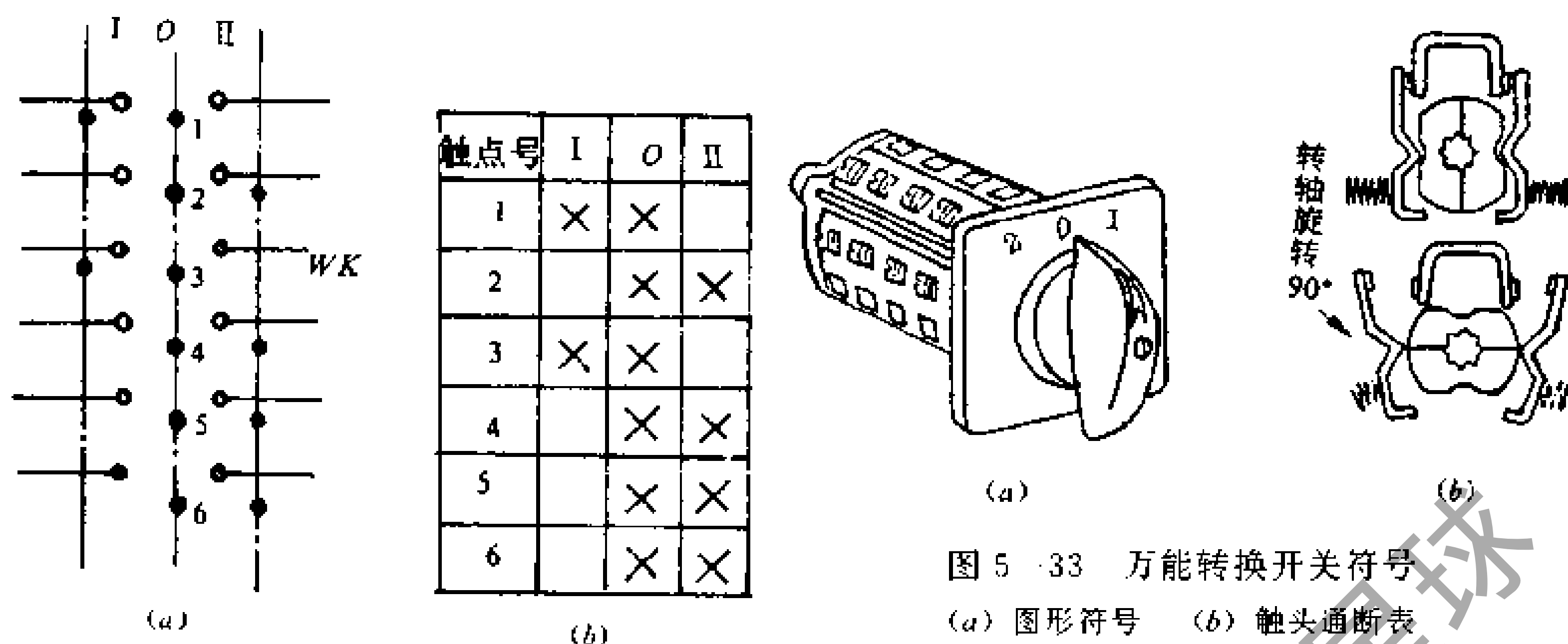
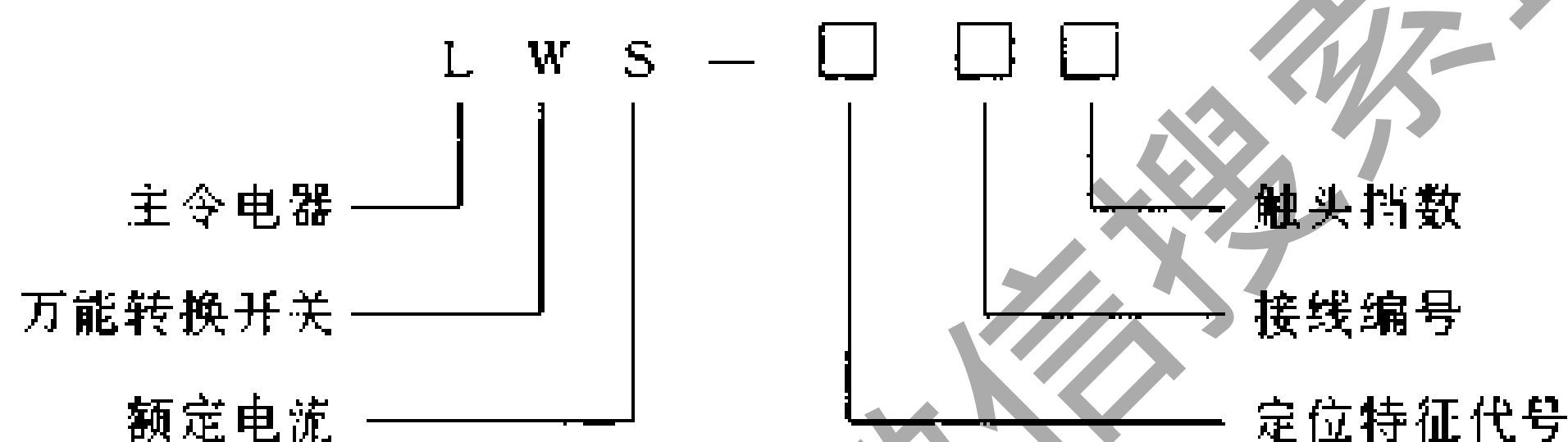


图 5-32 LW5 系列万能转换开关  
(a) 外形 (b) 凸轮通断触头示意图

图 5-33 万能转换开关符号  
(a) 图形符号 (b) 触头通断表

LW5 万能转换开关型号的含义如下：



## 二、行程开关

行程开关（即限位开关）是一种短时接通或断开小电流电路的电器，它是利用生产机械某些运动部件的碰撞而使其触头动作，接通或断开某些电路，达到一定的控制目的。为适应各种条件下的碰撞，行程开关有很多构造形式。用后来限制机械运动的行程或位置，使运动机械按一定行程自动停车、反转、或变速，以实现自动控制。

常用的行程开关有 LX19 系列和 JLXK1 系列。各种系列的行程开关，其基本结构相同，区别仅在于使行程开关动作的传动装置不同。一般有旋转式、按钮式等数种。JLXK1 系列行程开关外形如图 5-34 所示。

常用的 JLXK1-111 型行程开关结构及动作原理如图 5-35 所示。

当运动机械的挡铁压到行程开关的滚轮上时，传动杠杆连同转轴一起转动，使凸轮推动撞块。当撞块被压到一定位置时，推动微动开关快速动作，使其常闭触头断开，常开触头闭合；当滚轮上的挡铁移开后，复位弹簧就使行程开关各部分恢复原始位置，这种单轮自动恢复式行程开关是依靠本身的恢复弹簧来复原，在生产机械的自动控制中应用较广泛。而另一种双轮自动恢复式行程开关如图 5-34 (c) 所示。JLXK1-211 型的不能自动复原，而是依靠运动机械反向移动时，挡块碰撞另一滚轮将其复原。

在某些生产机械的电气自动控制中还常用另一种行程开关，它的型号是 LXW2-11 及 JLXK1-11 型。LXW2-11 型行程开关的结构如图 5-36 所示。

这种行程开关，由于弹簧片具有杠杆放大作用，推杆只需有较小的移位，便可使触

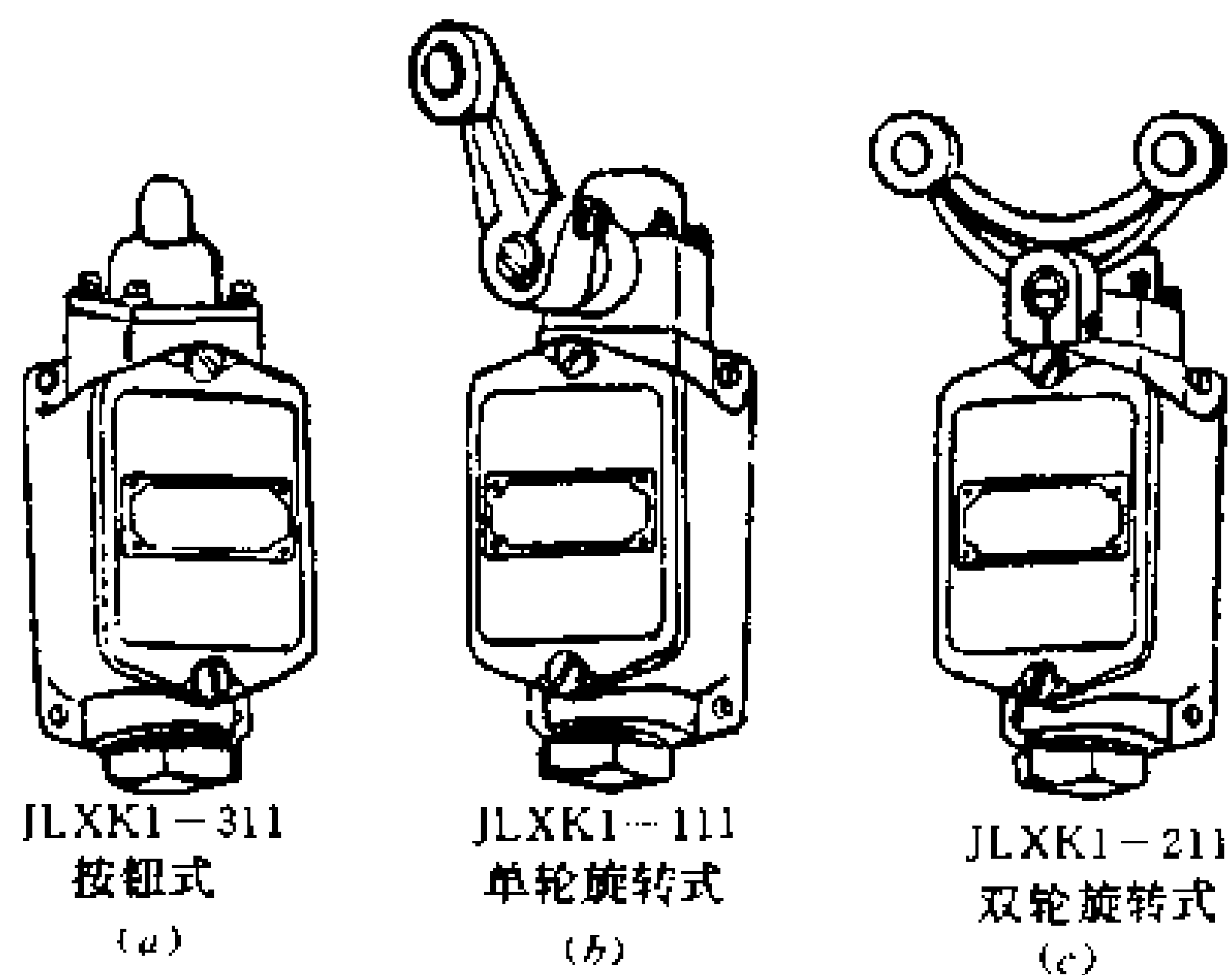


图 5-34 JLXK1 系列行程开关

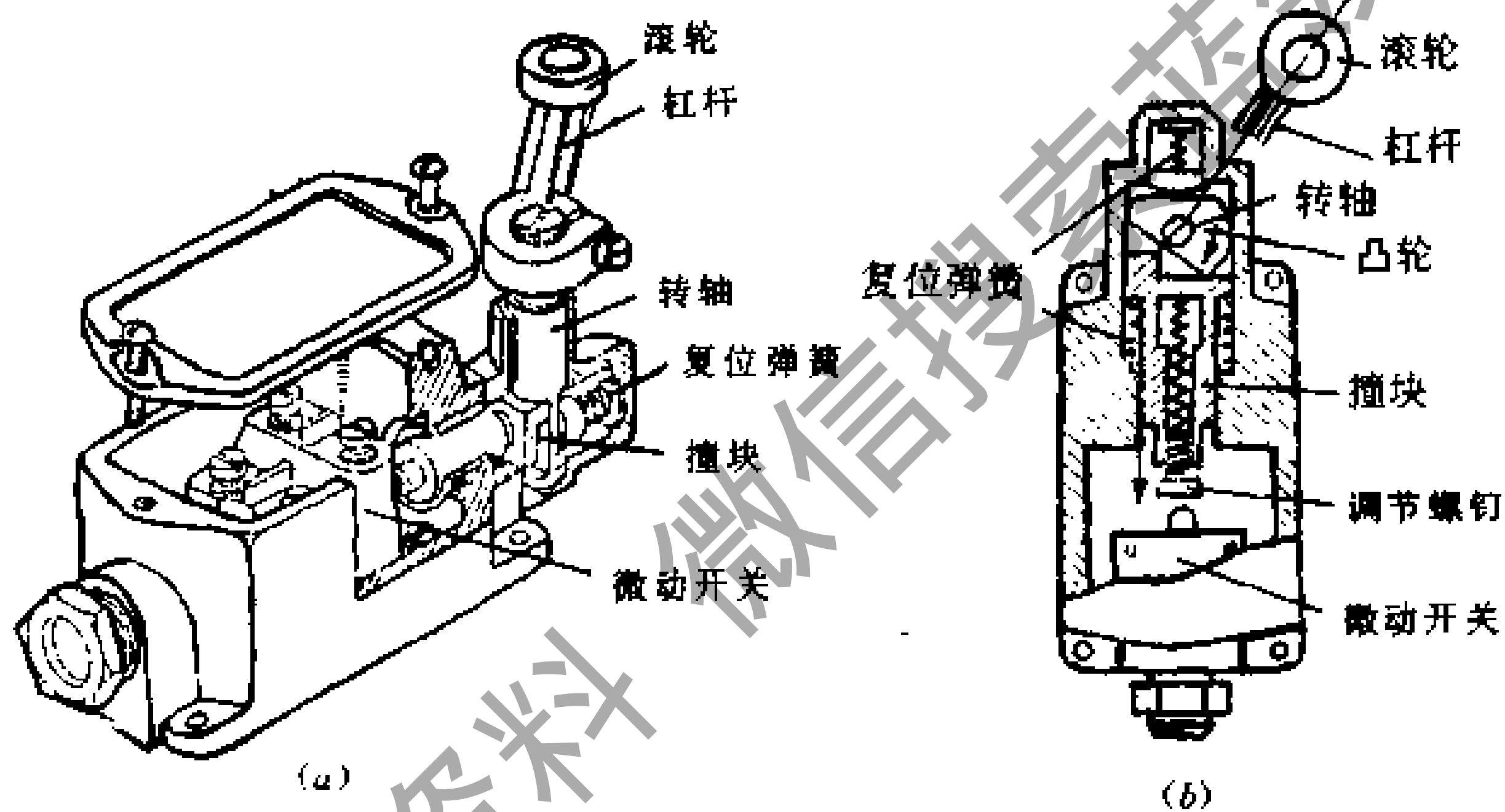


图 5-35 JLXK1-111 型行程开关

(a) 结构 (b) 动作原理

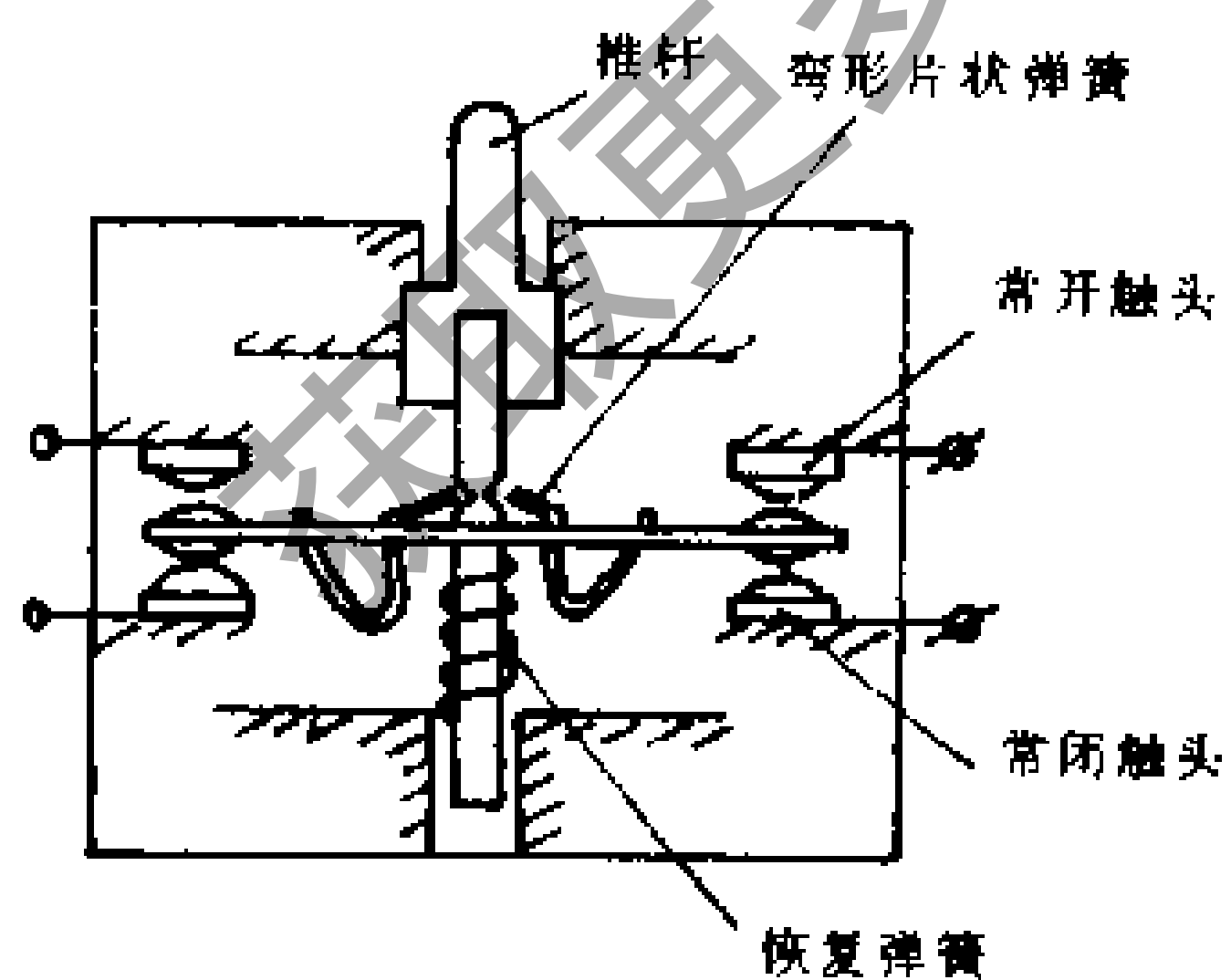


图 5-36 LXW2-11 型微动开关

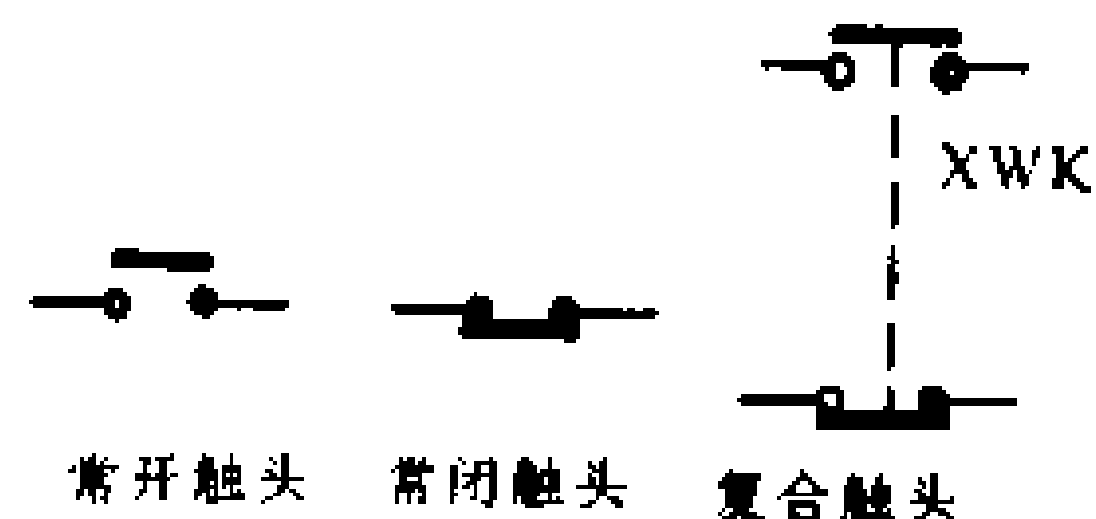


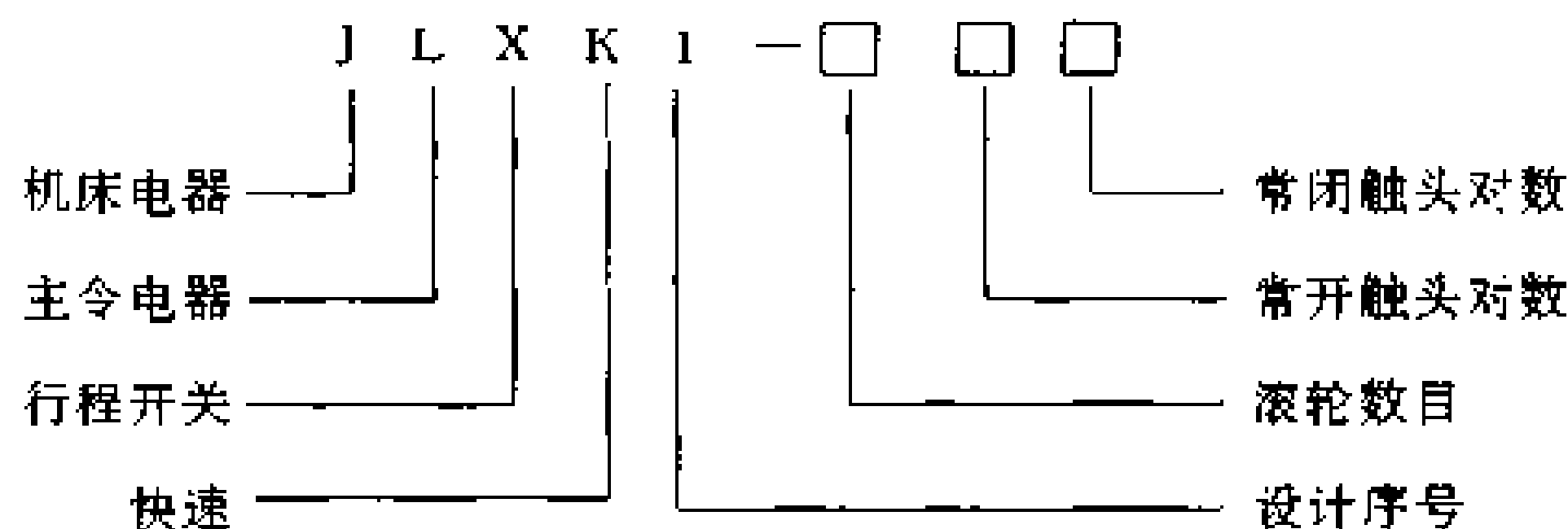
图 5-37 行程开关符号

头动作，因此又称为微动开关。微动开关是有双断点的常开、常闭触头各一对，因此又叫双断点微动开关。其动作原理是，当运动机械的撞块作用在推杆上时，通过弯形片状弹簧将作用力传到触头的触桥上，推杆中间的凹形刀口通过触桥平面的瞬间，触桥跳动，

从而使常闭触头断开，常开触头闭合。开关的快速动作是靠弯形片状弹簧中储存的能量得到的，开关的复位弹簧来完成。

行程开关在电气原理图中的符号如图 5—37 所示。

行程开关型号的含义如下：



## 第 9 节 电压换相开关和电流换相开关

为了能够使用一只伏特表或安培表来测量三相的线间电压及负载的三相线电流，可以采用电压换相开关或电流换相开关。

最常用的旋转式电压换相开关如图 5—38 所示。当  $M_1$  与黄、 $M_2$  与红接通时，测量 CA 线间电压；当  $M_1$  与黄、 $M_2$  与绿接通时，测量 CB 线间电压；当  $M_1$  与绿、 $M_2$  与红接通时，测量 BA 线间电压。

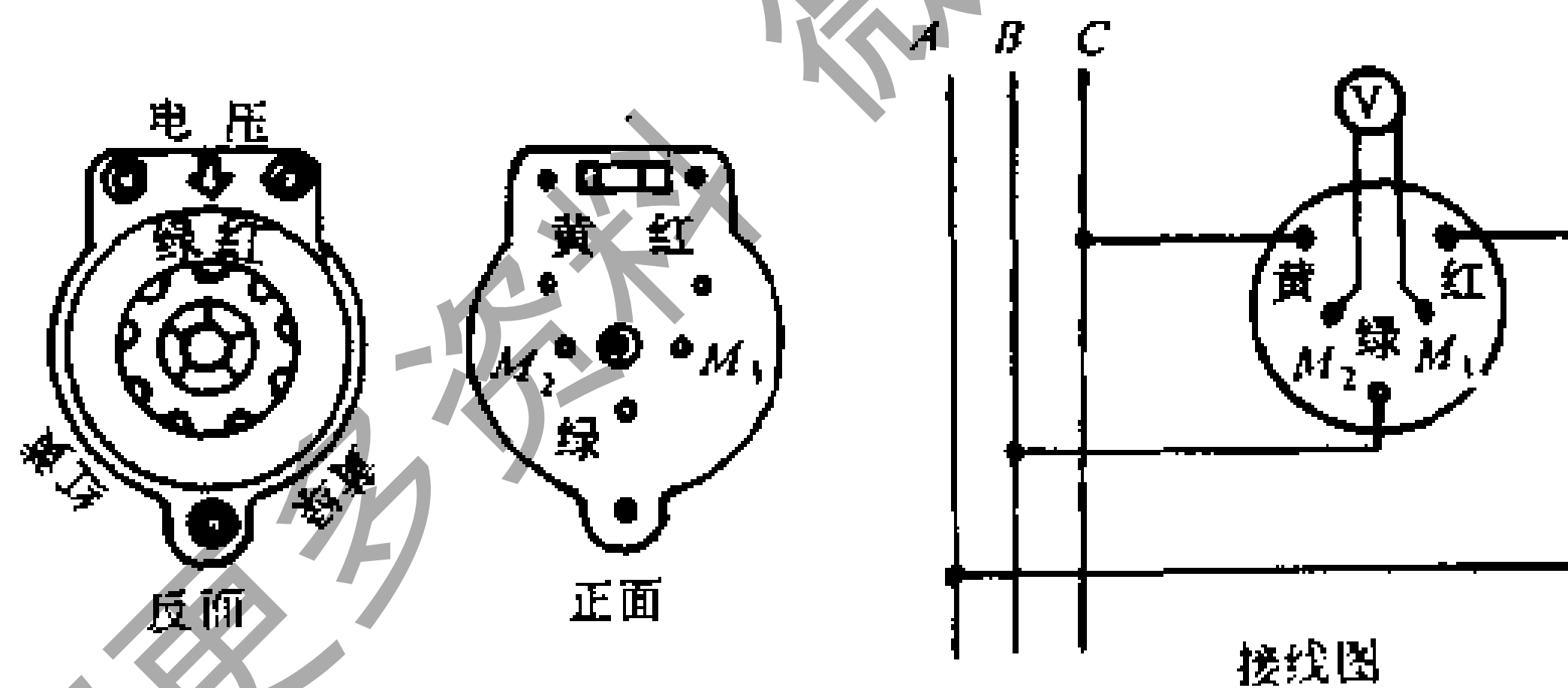


图 5—38 旋转式电压换相开关与接线图

最常用的旋转式电流换相开关和接线如图 5—39 所示。在测量时，只要旋转开关，使电流指示箭头对准所测相即可。如图 5—39 所示位置为测 B 相电流，此时电流换相开关中  $M_2$  与 B 相通（A、C 相电流互感器已被开关短接），故只有 B 相电流通过电流表。

在实际应用中，我们也常常采用两只电流互感器与旋转式电流换相开关连接，来测量三相电流，其接线有图 5—40 和图 5—41 两种方式。

图 5—40 所示的接线，测量方法如下：当黄与  $M_1$  接通、绿与红接通时，测量 A 相电流；当黄与绿接通，红与  $M_1$  接通时，测量 C 相电流；当黄与  $M_1$ 、红三点接通时，测量 B 相电流。

图 5—41 所示的另一种旋转式电流换相开关的用法如下：当红、绿与 N 接通，黄与

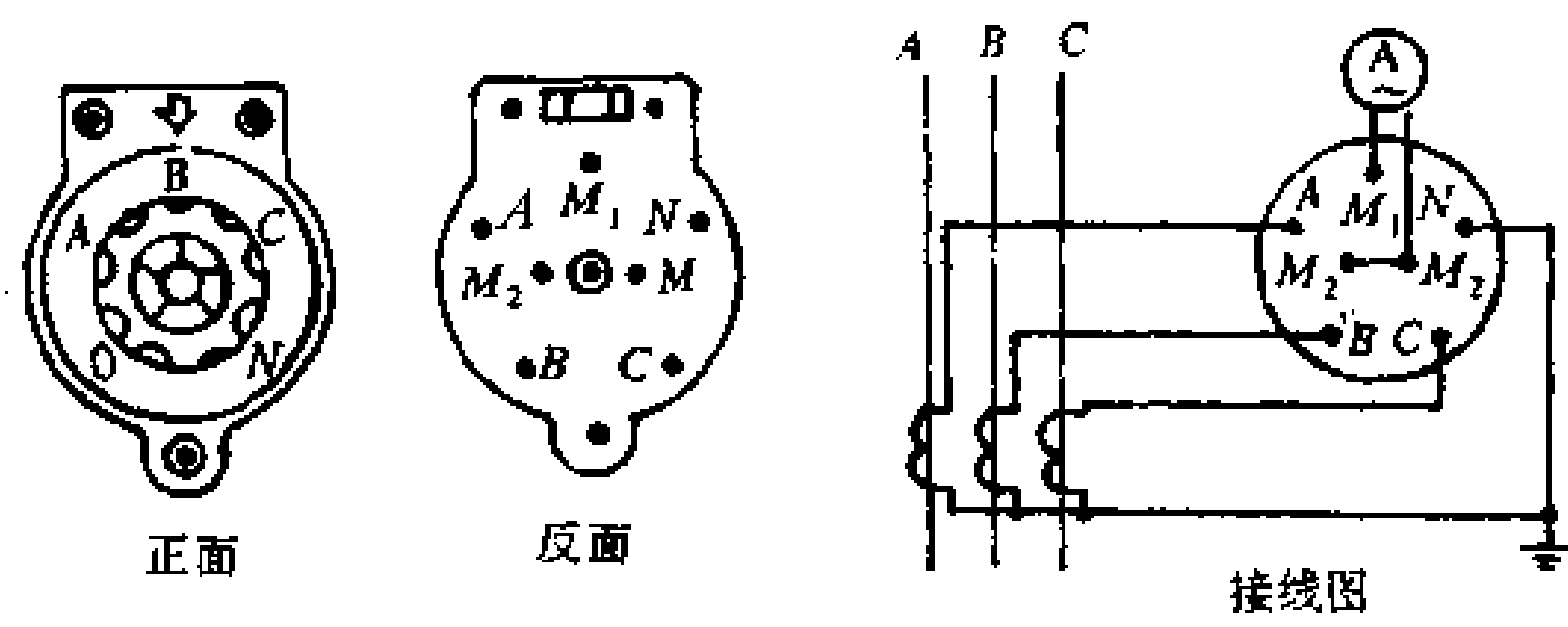


图 5—39 旋转式电流换相开关与接线图 (一)

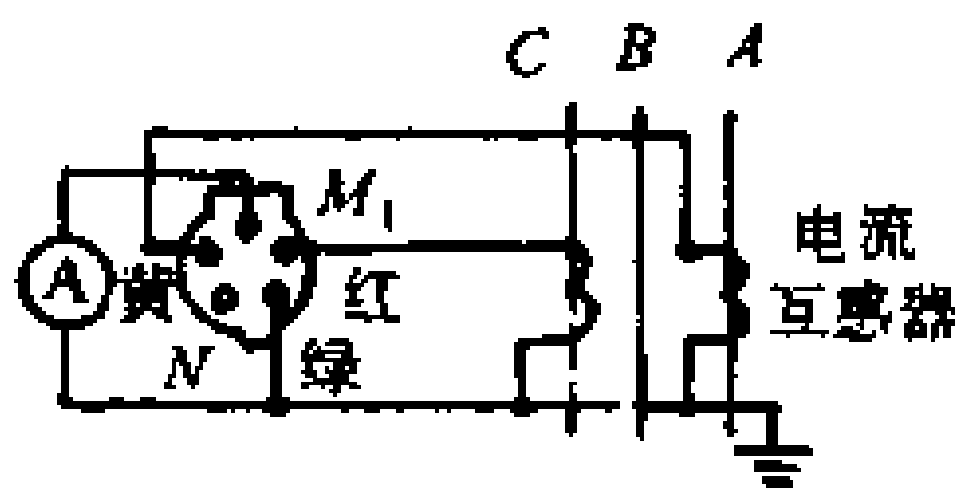


图 5—40 旋转式电流换相开关接线图 (二)

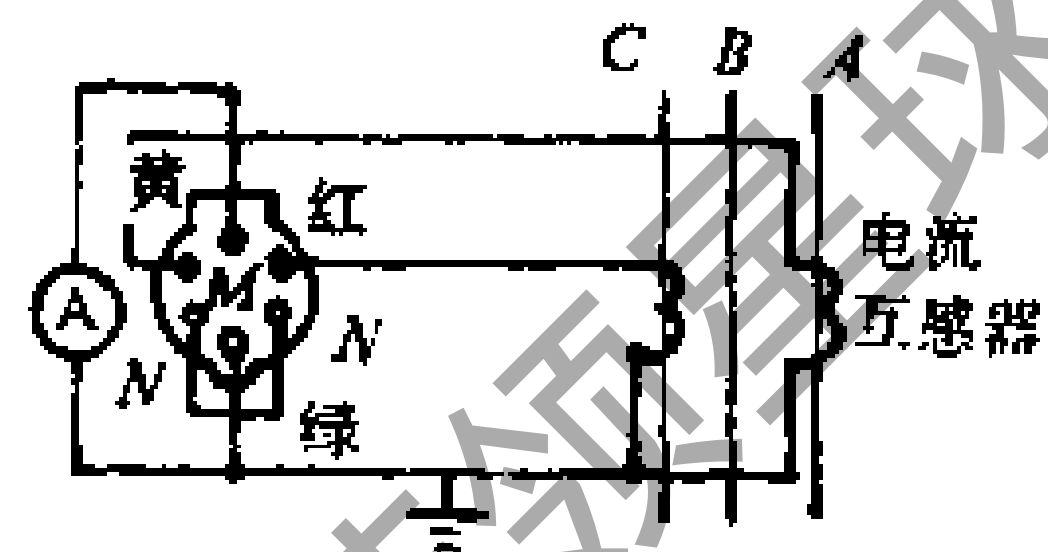


图 5—41 旋转式电流换相开关接线图 (三)

$M$  接通时, 测量  $A$  相电流; 当绿、黄与  $N$  接通、红与  $M$  接通时, 测量  $C$  相电流; 当红、黄、 $M$  与  $N$  互相接通时, 测量  $B$  相电流; 当红、黄、绿与  $N$  接通时, 开关处于空挡。

获取更多资料 微信: 13813813813

## 第6章 家用电器

电风扇是一种用于防暑降温的电器，它由电动机带动风叶旋转来加速空气流动或使室内外空气交换，从而达到降温的目的。

电风扇的种类很多。按供电性质分，有交流、直流、交直流两用电风扇。在车船上使用的多数为直流或交直流两用电风扇，家用的一般是单相交流电风扇。按结构和安装方式的不同，有台扇、落地风扇、吊扇、排风扇等。按照风扇叶直径的大小，可分为230mm、250mm、300mm、350mm、400mm等规格。

### 一、台扇的基本结构

台扇的外形结构如图6—1所示，主要部件如下：

#### 1. 风叶

风叶采用铝板或塑料板制成，它的大小和形状对风量和风速影响很大，一般情况下风叶越大，风量也越大。

#### 2. 电动机

电动机是风扇转动的动力源，多采用单相罩极式感应电动机和单相电容运转式感应电动机，它们具有结构简单、可靠性高、价格低廉等优点。

#### 3. 调速装置

调速装置用来改变电动机的转速，从而改变送风量的大小。多数安装在机体的底座上，用琴键开关或旋转开关控制，一般有Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ3个挡，Ⅰ挡表示最大速度、Ⅱ、Ⅲ挡表示中速和慢速。

调速装置的结构是在电动机的电路中串接一个带有铁心的电感线圈。有

几个抽头可以调节线圈（图6—2）。电源线不经电感线圈直接送入电动机时，电动机转速最高，风量最大。当选择不同抽头位置串入电路时，由于电感的感抗不同，电动机的工作电压有不同程度的降低，因而转速也相应降低，风量也随之减少。

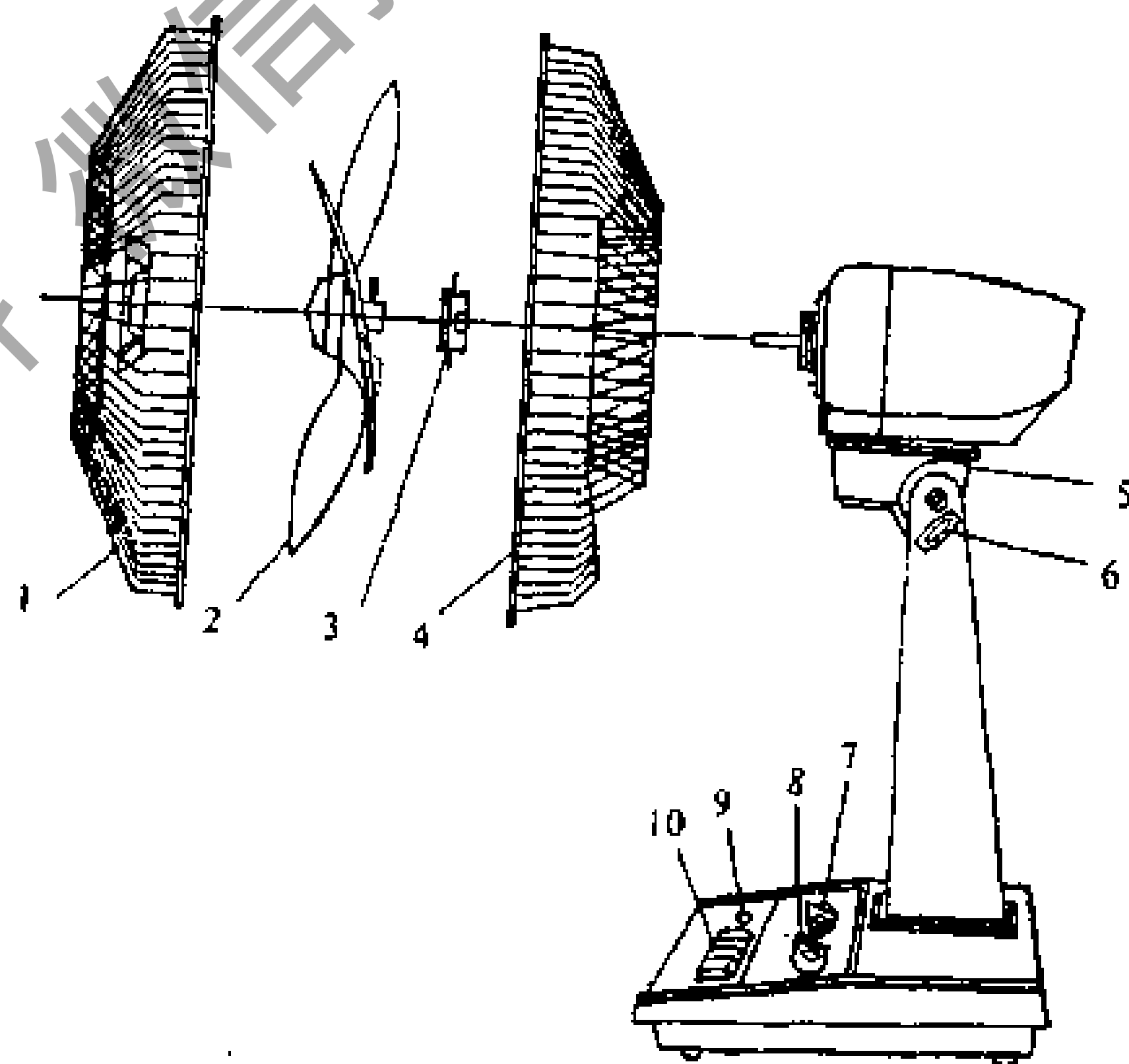


图6—1 台风扇的基本结构

1—前网 2—风叶 3—紧固螺母 4—后网 5—支臂 6—紧固旋钮 7—定时旋钮 8—摇头旋钮 9—指示灯 10—琴键开关

#### 4. 摇头装置

为增大电风扇的送风面积，在风扇头上装有摇头装置。这种装置以电动机轴为动力，通过一套蜗轮、蜗杆传动，带动一个偏心轮和连杆，使风扇头在转动中能慢速地左右摆动。摆动的最大角度约为 $100^{\circ}$ （图6—3）。摇头的开停是通过机头下部齿轮轴上的离合器来实现的。摇头旋钮旋向“MOVE”（摇动），风扇开始在 $0^{\circ}\sim 100^{\circ}$ 范围内往复摇头，如果旋向“STOP”（停止），风扇摇头停止。往复摇头的控制方法是由旋钮下面的一个偏心轮拉动一条细钢丝绳实现的，细钢丝绳连在风扇头的摇头离合器上。

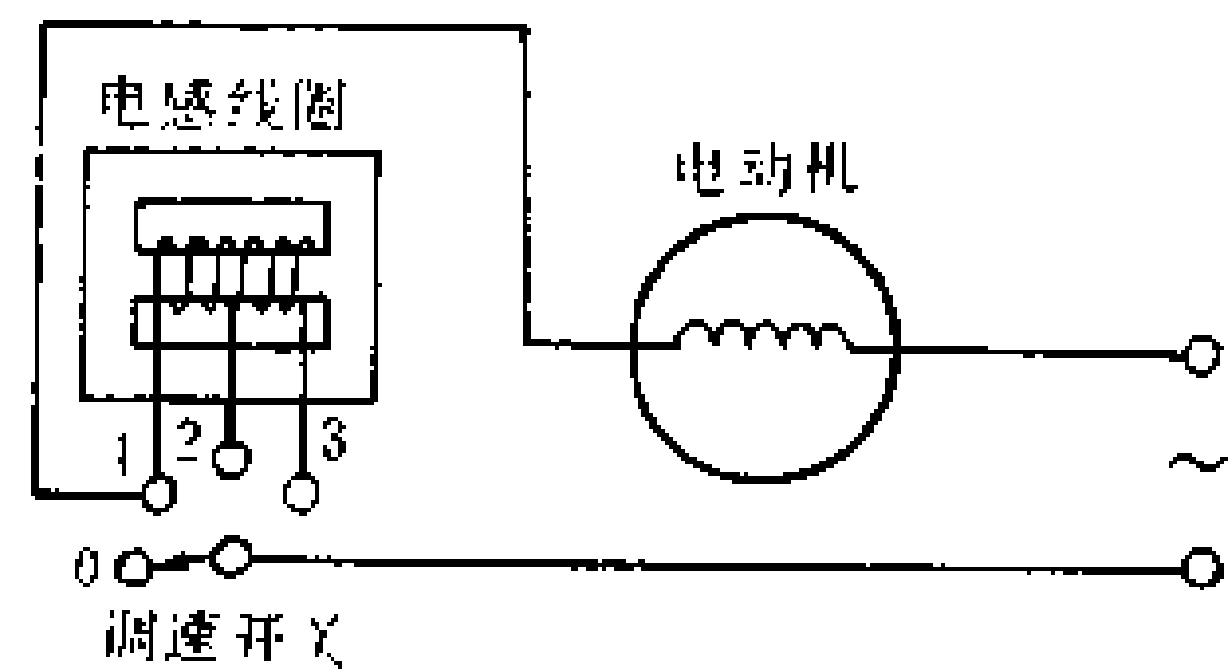


图6—2 电风扇的调速装置原理

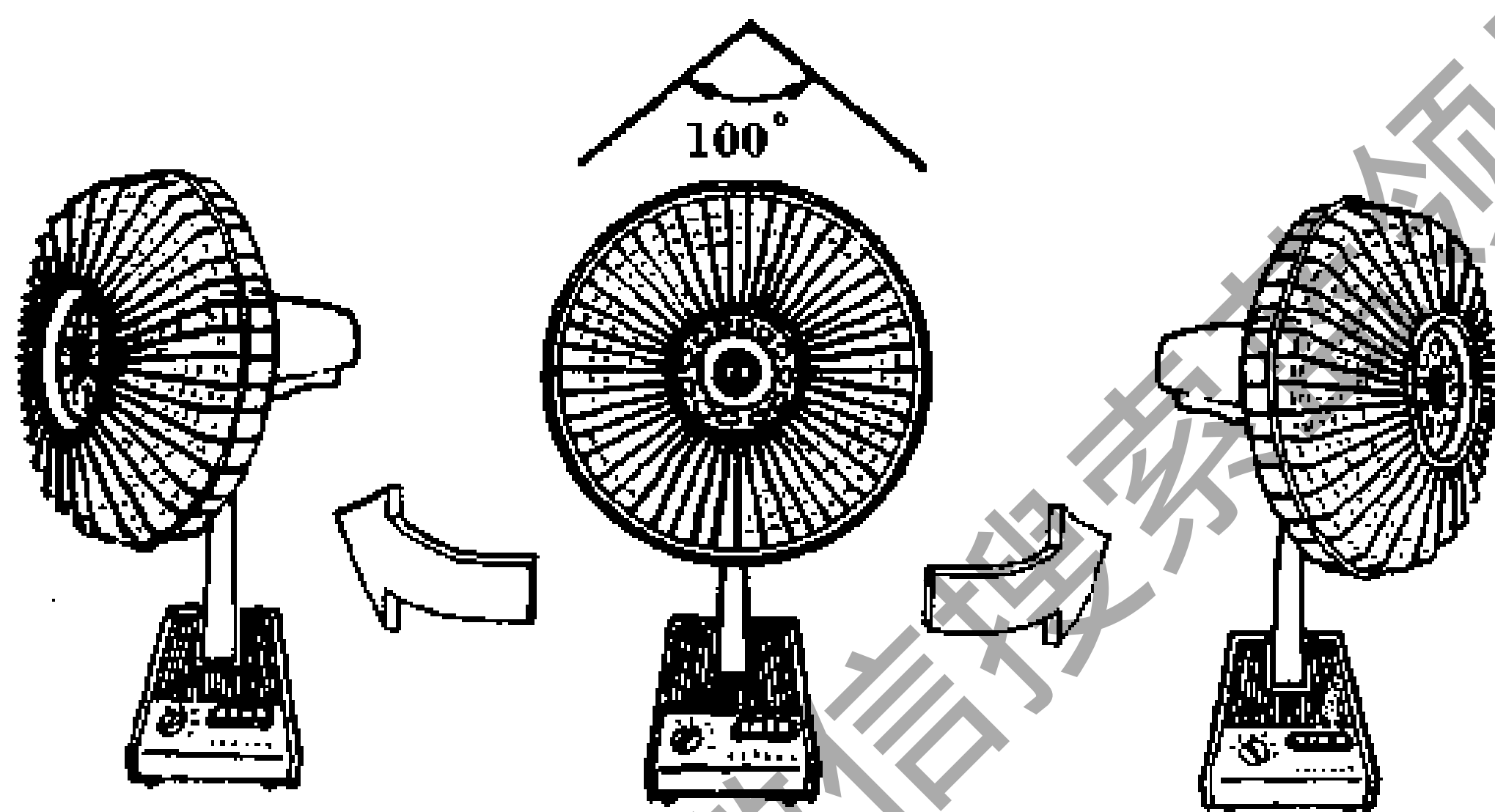


图6—3 电风扇摇头角度

#### 5. 定时装置

风扇上安装定时装置可以使电风扇在工作状态下自动停机，停止转动。电风扇的定时作用是靠延时继电器来完成的。这种继电器的动力来自于发条，如图6—4所示。其工作原理是当顺时针旋动定时旋钮时，发条被上紧，继电器内的传动齿轮靠发条的动力带动定时旋钮向反时针方向缓慢转动。当与定时旋钮在同一轴上的圆盘转至缺口处，连杆弹回，继电器触点断开，电风扇电源被切断。定时控制是由定时旋钮来实现的。定时旋钮有开“ON”、停止“OFF”及60min内时间刻度。不需定时时，可将旋钮指向“ON”，如需用定时控制风扇时间时，将开关旋钮顺时针方向指向需要的时间刻度，风扇运转到指定的时间后就自动停止，而旋钮也会自动恢复到停止的位置。

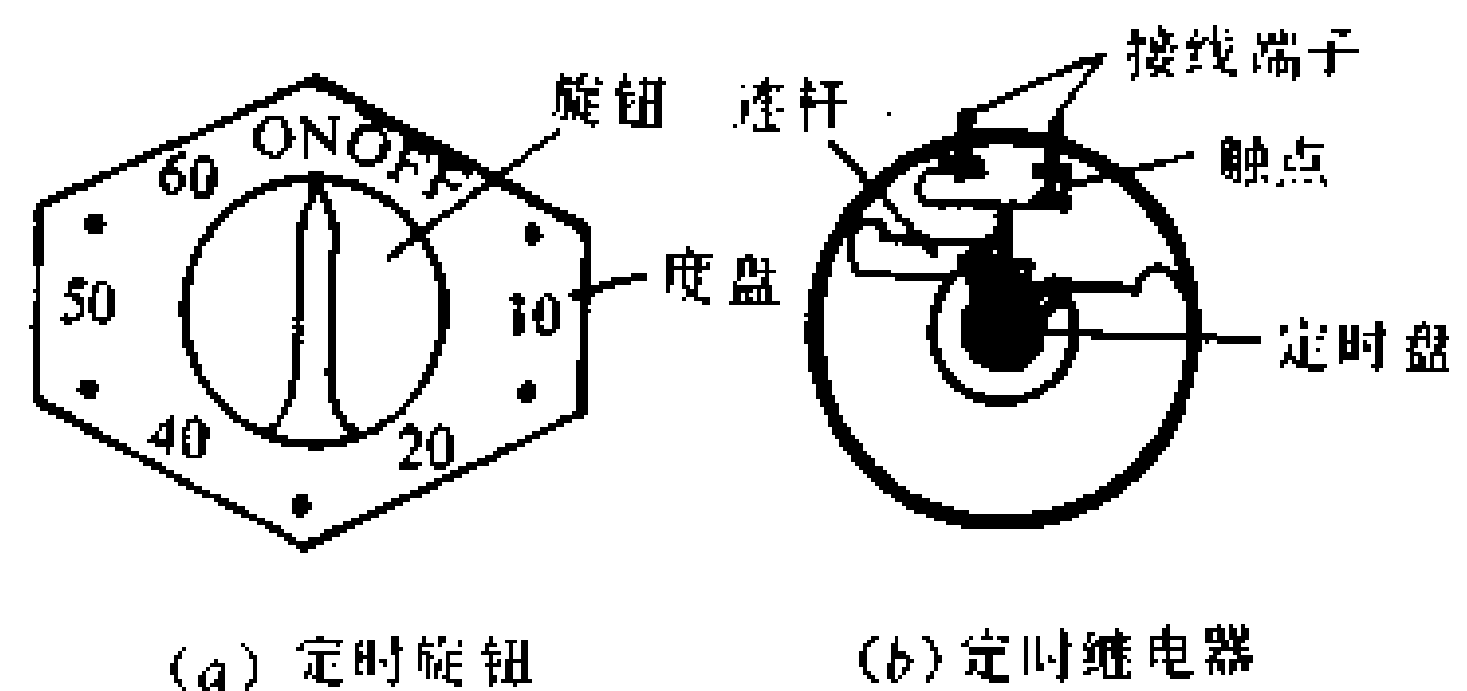


图6—4 电风扇的定时装置

6. 机体

机体包括风扇座、扇颈、保护罩等。

### 二、电风扇的工作原理

图6—5为电容式电风扇电路接线图，所用的电动机是单相电容运转式电动机。这种电动机的定子铁心上用漆包线绕成两个绕组，一个是主绕组，一个是副绕组。电容器串接于副绕组中，将单相交流电剖为二相，借以产生二相的旋转磁场，促使转子旋转。电

容器除了有助于剖相外，还可以提高启动转矩。

罩极式电风扇所用的电动机是单相罩极式电动机，其运转原理示意图如 6—6 所示。它的定子是用硅钢片叠成而有突出的磁极铁心，在磁极上绕有线圈（即主绕组），它的绕法是每相邻的两极绕向相反，使两极产生相异的极性。在每个磁极的同侧有一槽，其内绕有单圈粗导体的线圈（即罩极绕组）。罩极绕组的作用

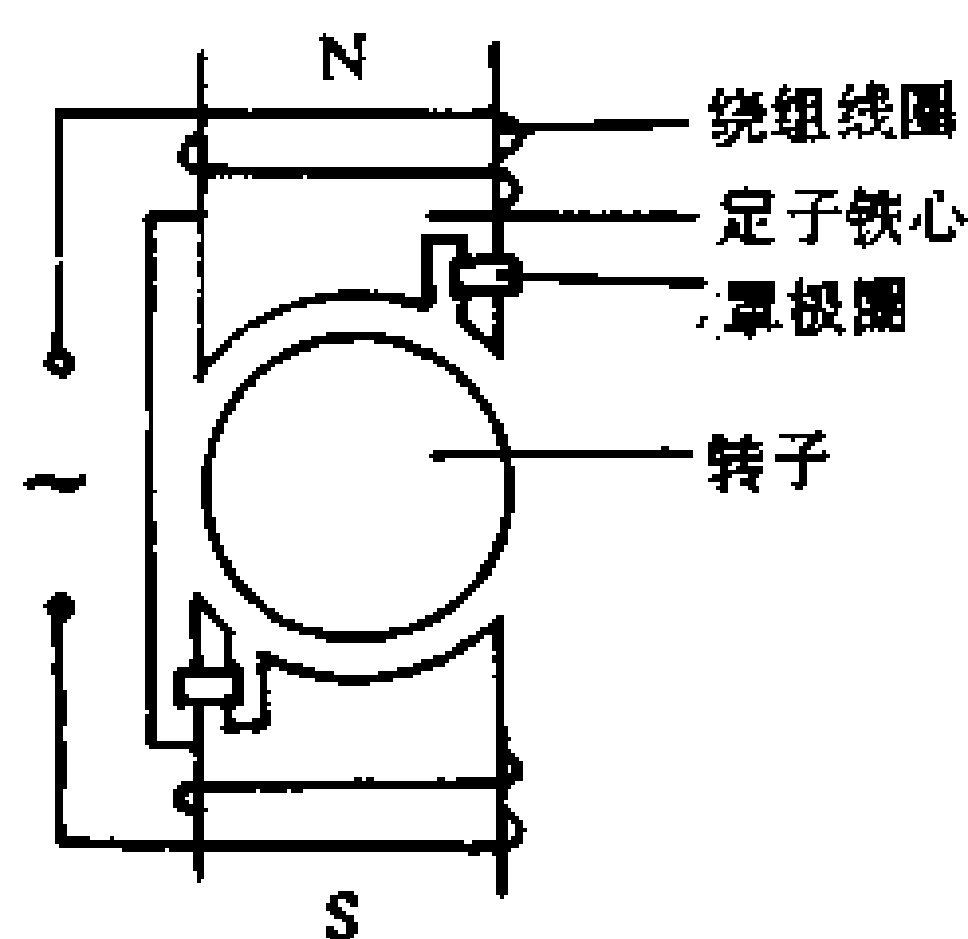


图 6—6 罩极式电风扇运转原理示意图

作用是帮助电动机启动。当接上电源后，主绕组所产生的磁力线，使负极的单圈罩极绕组上产生一感应电流，此感应电流所产生的磁场不同相，因而产生一旋转磁场，以供给电动机足够的启动转矩。当电磁转矩克服了转子运动惯性时，它就带动扇叶旋转。

(2) 清洁：为保护风扇外观美观，可用软布把外壳及其他部件表面的污尘抹净。拆卸网罩时，切忌使风叶变形。

(3) 存放：电风扇在不使用时，应抹拭干净，然后包封好，存放在干燥通风的地方，勿使尘垢、潮湿气体浸入。但也不宜长期暴晒，以免加速油漆件的老化，并避免受压。

(4) 防漏电：目前台扇（或落地扇）的电源线，一般采用三心线，插座也采用三线制。安装使用时要注意接好地线，以免发生触电事故。

(5) 其他：电风扇运行时，不能有杂物侵入风扇内部。当风扇定时旋钮已经指向定时刻度位置而不需要定时控制时，不要将旋钮按反时针方向旋动，而应让它自动恢复到 0（停止）的位置。

## 2. 故障修理

电风扇的常见故障及修理方法，见表 6—1。

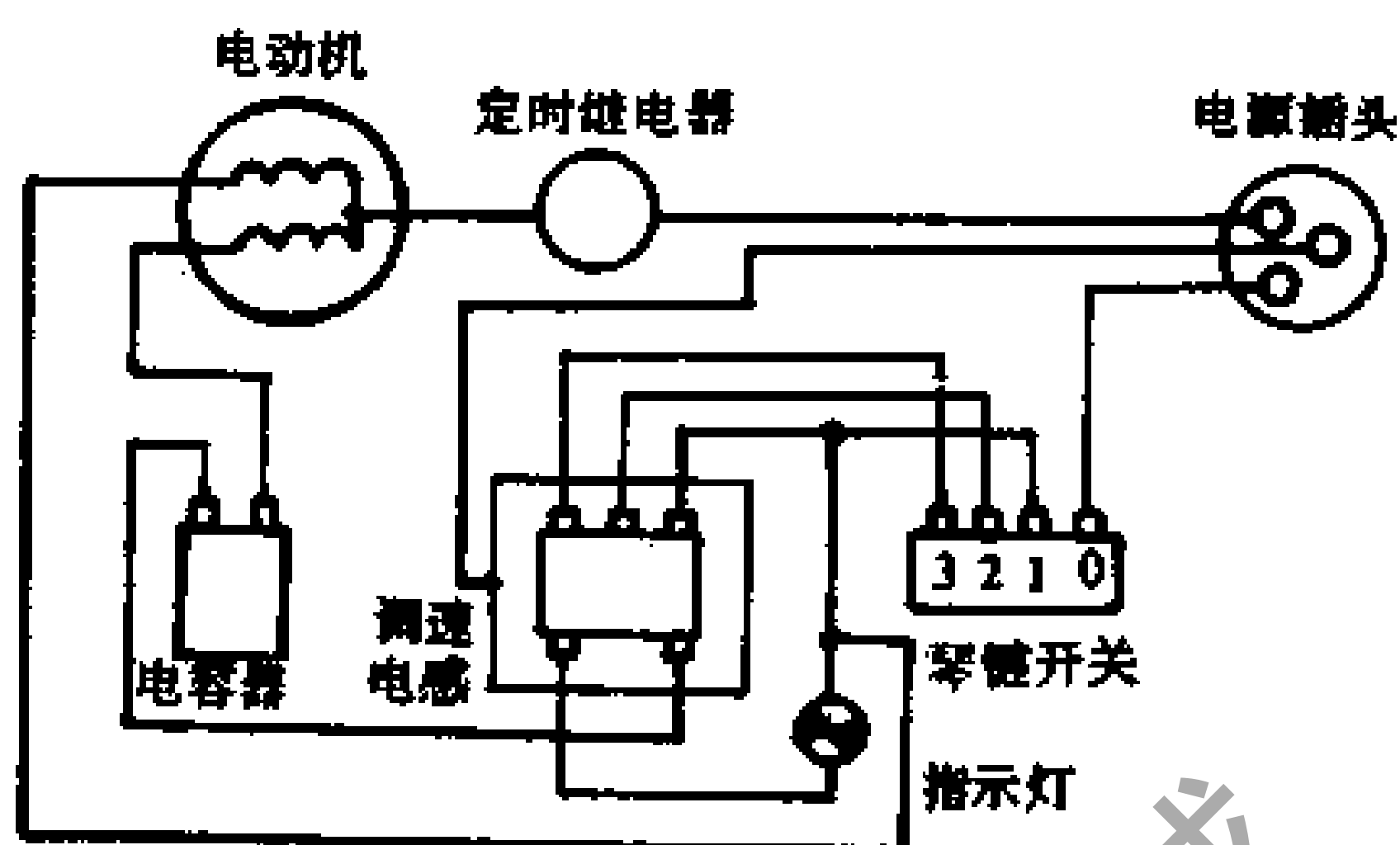


图 6—5 电风扇电路接线图

作用是帮助电动机启动。当接上电源后，主绕组所产生的磁力线，使负极的单圈罩极绕组上产生一感应电流，此感应电流所产生的磁场不同相，因而产生一旋转磁场，以供给电动机足够的启动转矩。当电磁转矩克服了转子运动惯性时，它就带动扇叶旋转。

## 三、电风扇的维护保养和故障修理

电风扇寿命的长短，与正确使用和维护保养有很大关系。

### 1. 维护保养

(1) 加油：要确保电风扇轴承有充足的油量，使用一年时间后，应在

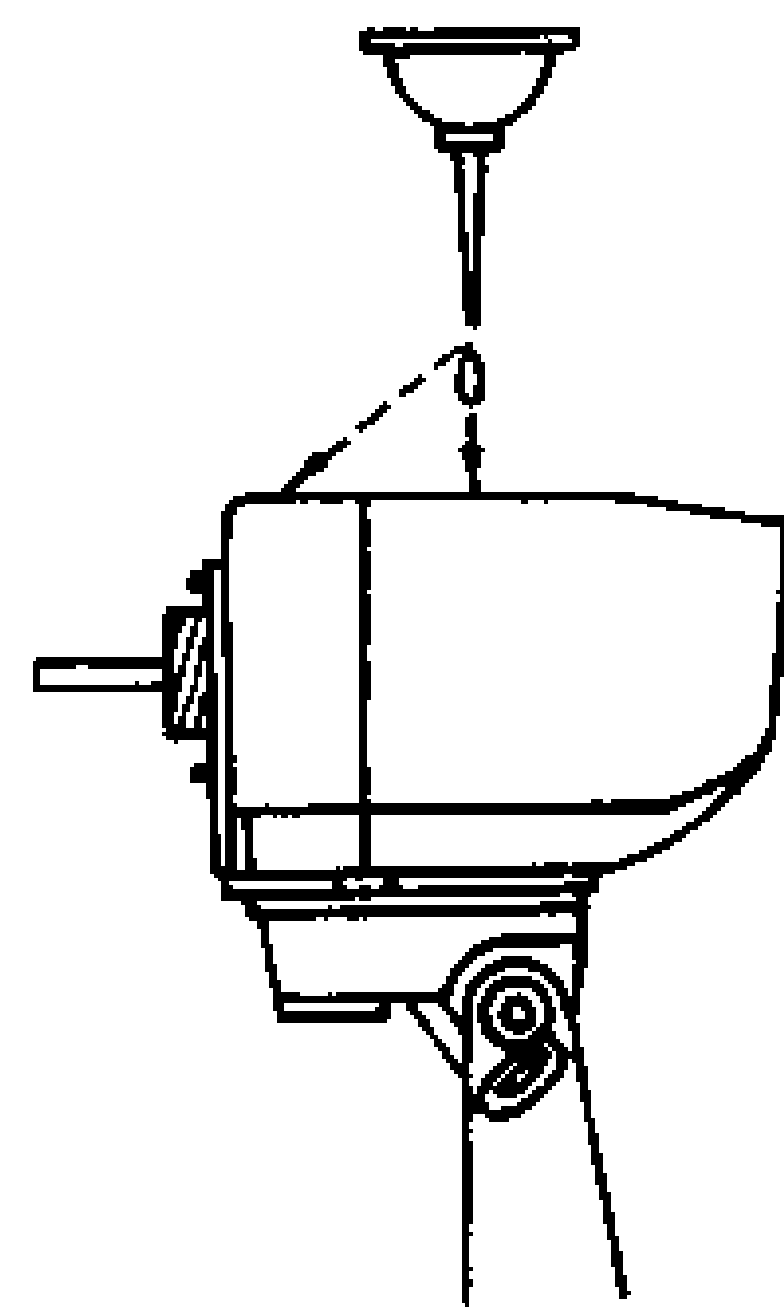


图 6—7 加油方法

前后轴承加油孔注入少许 20 号优质机油或缝纫机油数滴，忌用劣质油或浓粘机油。加油方法如图 6—7 所示。使用半年之后，应检查齿轮箱中润滑脂是否变质硬化，如已经变硬应将润滑脂挖出，并及时用煤油或汽油将齿箱和齿轮零件清洗干净，然后加入适量的优质润滑脂（复合钙基脂 1 号）。



表 6—1

电风扇的常见故障及修理方法

| 故障情况    | 原因                                                                                               | 修理方法                                                                                                                                              |
|---------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 风扇不能转动  | ①电路不通，保险丝烧坏<br>②开关失灵，接触不良<br>③电动机绕组线圈断线或短路<br>④电容器击穿损坏<br>⑤轴承损坏或缺油<br>⑥电源电压严重下降                  | ①接通电路，或更换保险丝<br>②修复或更换开关<br>③更换电动机绕组<br>④更换电容器<br>⑤更换轴承或清洗加润滑油<br>⑥提高电压值                                                                          |
| 风扇通电后慢转 | ①起步铜片焊接不牢，瓦形铁片未插入罩板槽内<br>②电源电压与额定电压不符<br>③电容器损坏                                                  | ①将起步铜带焊牢，把遗漏瓦形片补插在槽内<br>②调换绕组线圈，符合电源电压<br>③换上同规格电容器                                                                                               |
| 台扇时转时不转 | ①绕组接线处焊接不牢<br>②主、副线圈开路或碰线<br>③电容器接线柱接触不良<br>④开关内部零件接触不良<br>⑤底盘内面线头焊接不牢<br>⑥齿轮箱内摇头零件配合过紧<br>⑦插头松动 | ①重新焊接<br>②重新焊接<br>③重新在接线柱上点锡<br>④在转换开关弹子上加一二滴润滑油，老式底盘开关桩头接触不良处用扁锉锉光<br>⑤用 0 <sup>#</sup> 砂纸打去氧化铜，重新焊接<br>⑥将齿轮箱内齿轮用什锦锉锉光毛刺，使齿轮转动灵活<br>⑦重新检查插头，旋紧螺母 |
| 通电后运转发抖 | ①风叶变形、角度不对称，三叶片重量不等<br>②转子轻重不平衡<br>③风叶套筒与地轴公差太大<br>④地轴头弯曲，使风叶曲面线轨迹不规则<br>⑤摇头天心磨细而松动              | ①重新校正风叶<br>②在微型车床上调整转子静平衡<br>③车制一铁圈，嵌入套筒内<br>④调换新的地轴<br>⑤调换摇头天心                                                                                   |
| 电动机温升过高 | ①电源电压，严重下降<br>②电动机短路<br>③电动机轴承损坏或缺润滑油<br>④电动机冷却风道堵塞<br>⑤轴承装配不当                                   | ①提高电压值<br>②更换绕组线圈<br>③更换轴承或加润滑油<br>④清理风道堵塞物<br>⑤重新装配或更换轴承                                                                                         |
| 转动有噪音   | ①扇叶不平衡或变形<br>②轴承松动或损坏<br>③有外物碰撞转子<br>④转子不平衡或轴伸位变形<br>⑤紧固松动或变形                                    | ①校正或更换扇叶<br>②紧固或更换轴承<br>③清除外物摩擦<br>④更换转子<br>⑤修复或更换紧固件                                                                                             |

(续表)

| 故障情况   | 原因                                                                      | 修理方法                                                                                                  |
|--------|-------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 电扇外部带电 | ①无接地线或接地不良<br>②绕组线圈绝缘损坏<br>③导线触及外壳                                      | ①重新装好接地线<br>②更换线圈绝缘<br>③更换触及外壳的导线                                                                     |
| 定时器失灵  | ①定时器损坏<br>②定时器开关失灵<br>③定时器接头处焊接不良                                       | ①更换定时器<br>②修复或更换定时开关<br>③重新焊接好接头                                                                      |
| 调速失灵   | ①调速开关失灵<br>②调速开关焊接不良<br>③电动机绕组抽头线圈断线或短路                                 | ①更换或修复调速开关<br>②重新焊接好接头<br>③更换电动机绕组线圈                                                                  |
| 台扇出烟冒火 | ①定子中运行线圈及起动线圈之间绝缘击穿<br>②台扇搁置日久,线圈受潮<br>③部分线圈与机壳相碰,发出微弱火花<br>④定子中主绕组部分短路 | ①轻微冒火,可在打火之处,接通焊好后包上绝缘物;严重者则调换线圈<br>②干燥后作浸漆绝缘处理<br>③立即切除电源,调换碰壳线圈<br>④查出短路匝数,相互分开垫上绝缘物,再涂上绝缘漆,烤干后即可使用 |
| 不摇头    | ①摇头机构装配不当<br>②摇头齿轮损坏<br>③离合器失灵和损坏<br>④摇头开关失灵                            | ①重新装配摇头机构<br>②更换齿轮<br>③修复或更换离合器<br>④修复或更换                                                             |

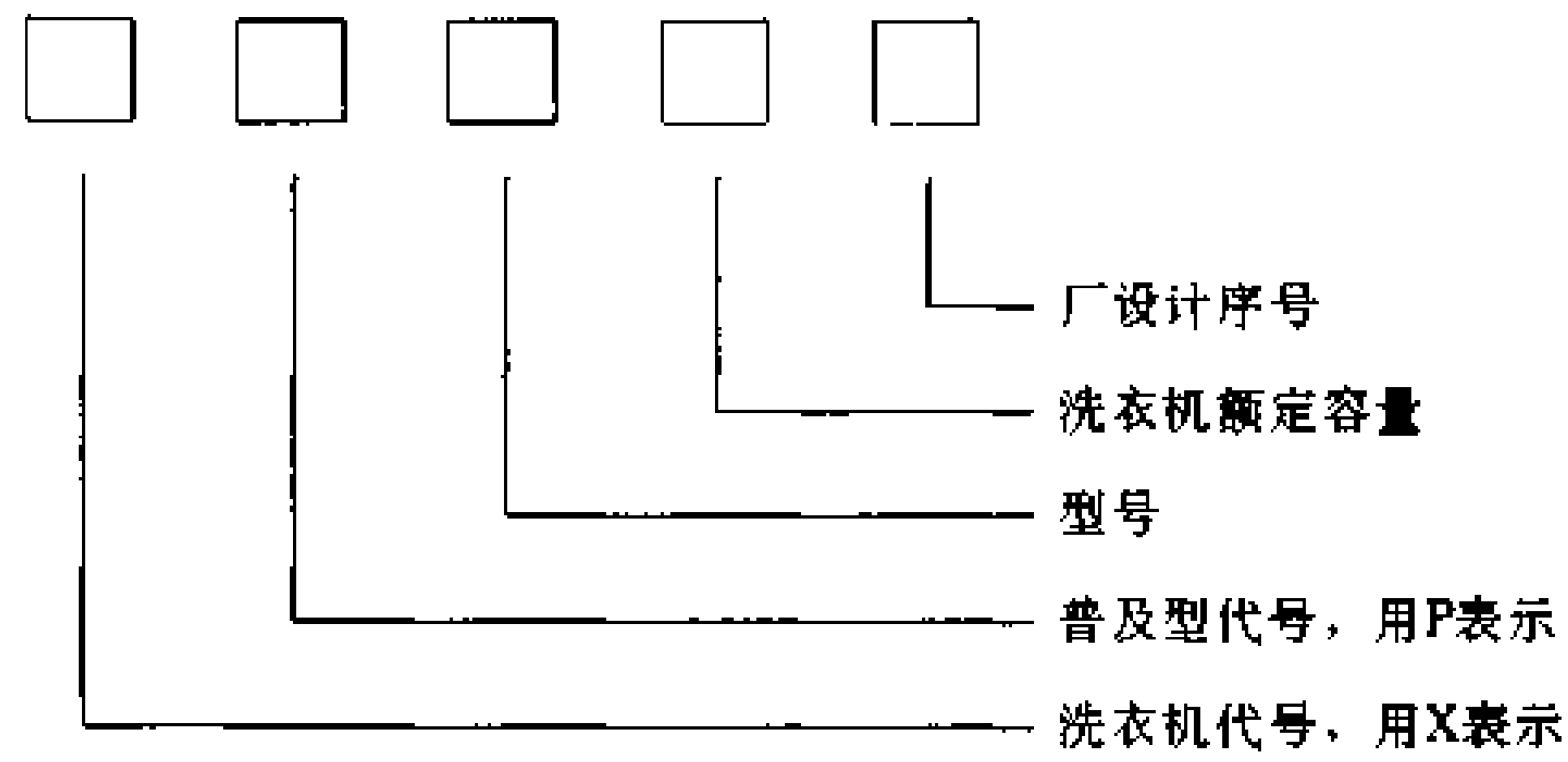
## 第2节 洗衣机

洗衣机是一种清洁器具,用于洗涤各种棉、毛、化纤衣物(如衣服、床单、蚊帐和手帕)等。用洗衣机代替手工洗涤衣物,既省时省力,又可以节约用水和洗涤剂,而且洗涤的衣物均匀柔软、磨损较小。

洗衣机按其结构和工作方式,可分为滚筒式、波轮式、搅拌式、喷流式、喷射式和振动式几种。

目前家用的多为波轮式洗衣机。根据有关部门的统一规定,波轮式洗衣机的型号以B表示;滚筒式洗衣机以G表示。

洗衣机型号的含义如下:



例如, XPB-2 型洗衣机, 它的意思是容量 2kg 的普通型波轮式洗衣机。

### 一、波轮式洗衣机的结构

波轮式洗衣机又叫涡卷式洗衣机, 这种洗衣机国内流行的有普及型、双筒半自动型和全自动型 3 种 (图 6—8、图 6—9、图 6—10)。

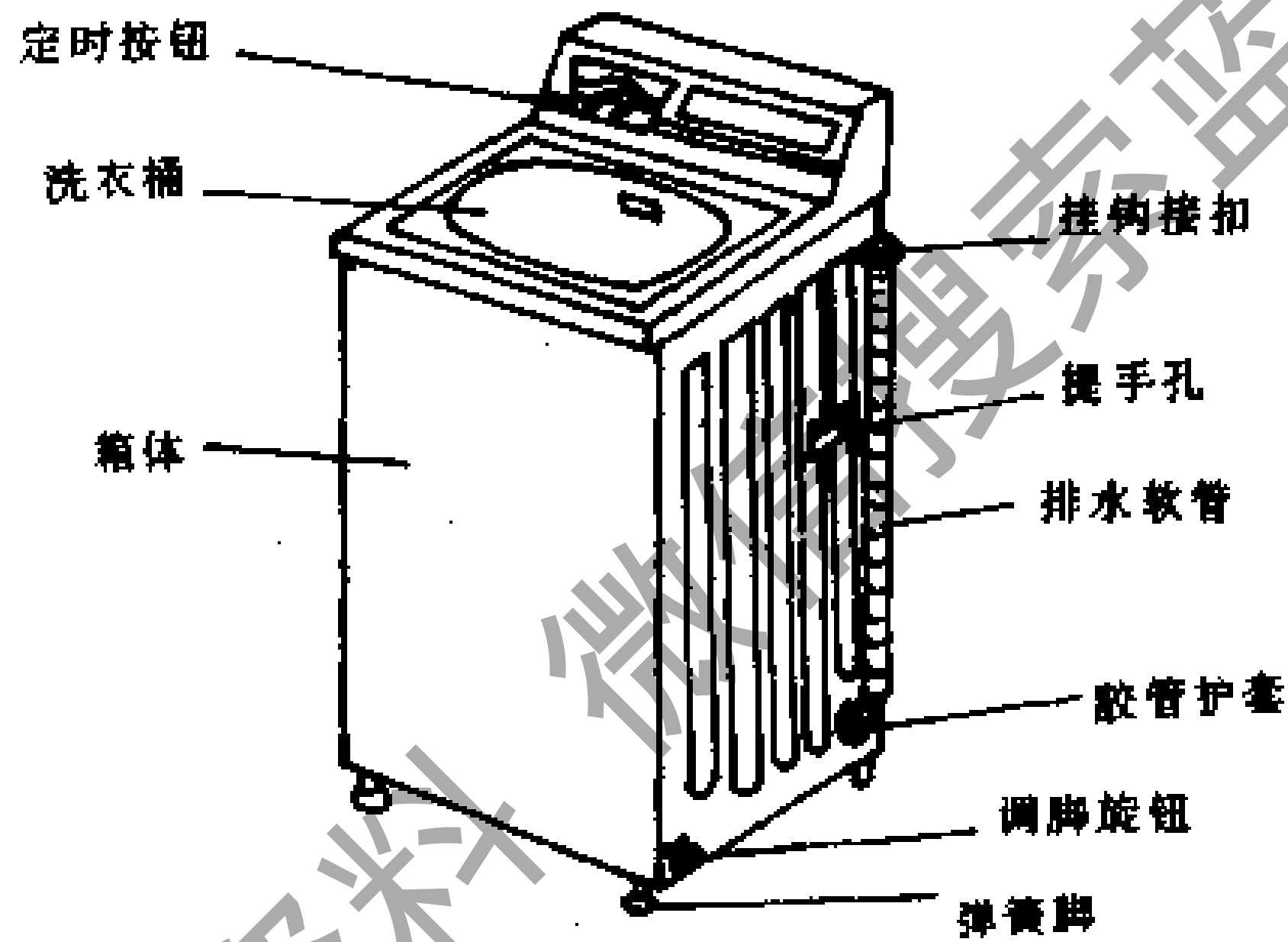


图 6—8 普及型波轮式洗衣机

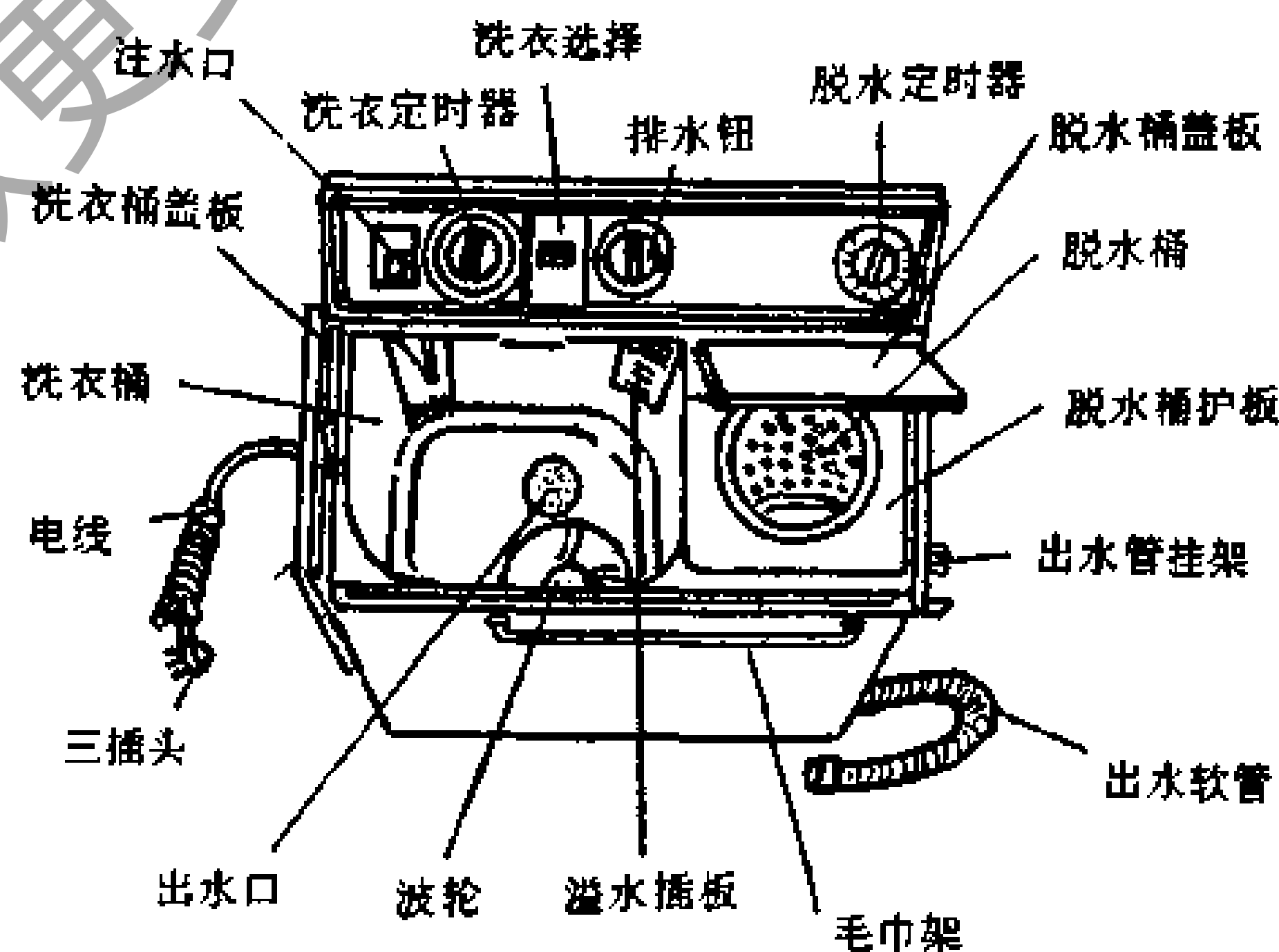


图 6—9 双筒半自动型波轮式洗衣机

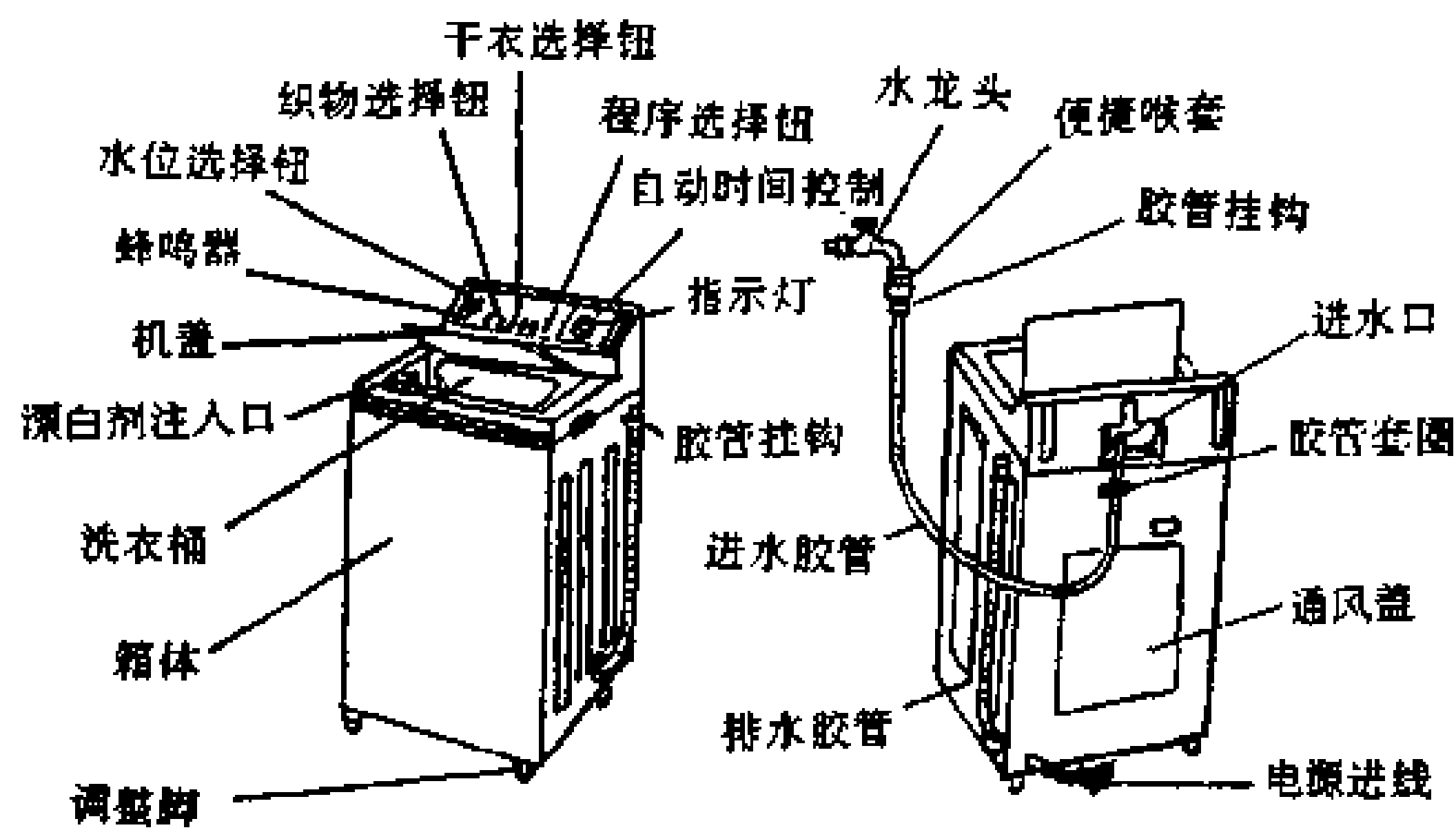


图 6—10 全自动型波轮式洗衣机

普及型波轮式洗衣机结构最简单，它除了波轮是由电动机带动外，其余全靠手工操作。双桶半自动型波轮洗衣机的洗衣、离心甩干（脱水）两桶各自独立工作，有的设有排水泵。它的结构一边为洗衣机构，另一边为离心甩干机构（图 6—11）。

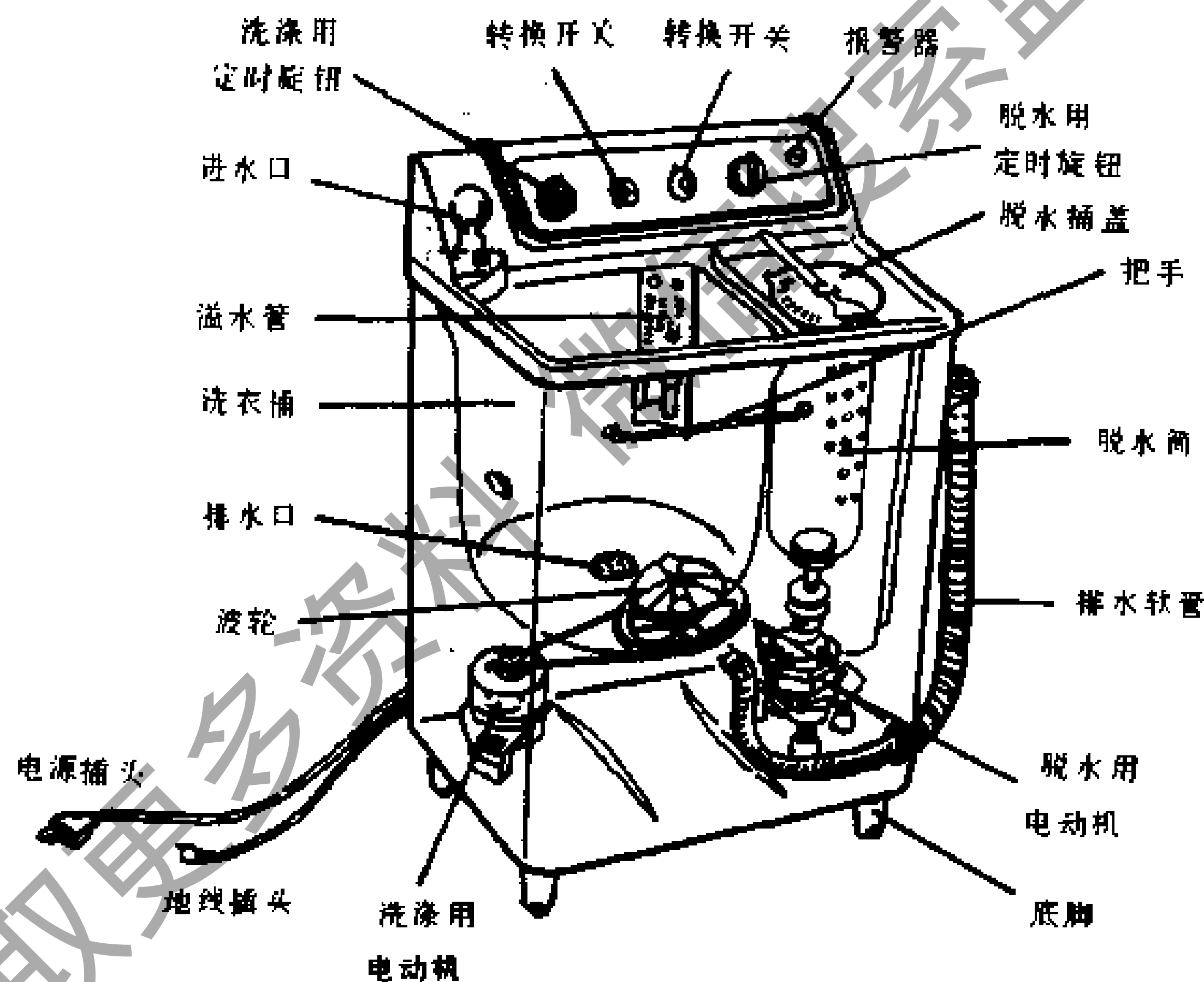


图 6—11 双桶半自动型波轮式洗衣机结构图

全自动型波轮式洗衣机是一种比较先进的洗衣机，它设计完善，外形美观，结构复杂，有些机种还装备有电脑控制装置。它的部件大都采用高级塑料和不锈钢制成，并具有良好的减震装置，洗衣时震动和噪音小。此外，这种洗衣机把洗涤桶和离心甩干（脱水）桶合为一个桶，并与接水桶重叠放在一起，实现全盘自动化，并节省占地面积（图 6—12）。

## 二、波轮式洗衣机的工作原理

波轮式洗衣机工作时，它的波轮以较低的速度（400~600r/min）作正、反间歇转动，使水桶内的衣物不断受到涡卷水的冲刷和翻滚转动的冲击，从而达到洗净衣物的目的。

### 三、洗衣机的使用方法

性能良好的洗衣机，一般不容易发生故障。但是，如果使用和维护不当，就会直接影响它的工作性能、寿命和安全操作。

使用洗衣机时，务必接好地线，以免因漏电而引起触电事故（图 6—13）。当洗衣桶、波轮等转动部件在运转时，不要用手触摸它们，更不能把手伸进去。使用不同类型的洗衣机洗涤衣物前，应先仔细阅读其说明书，熟悉和掌握它们各自的使用方法和注意事项。

#### 1. 普通型波轮式洗衣机的使用方法

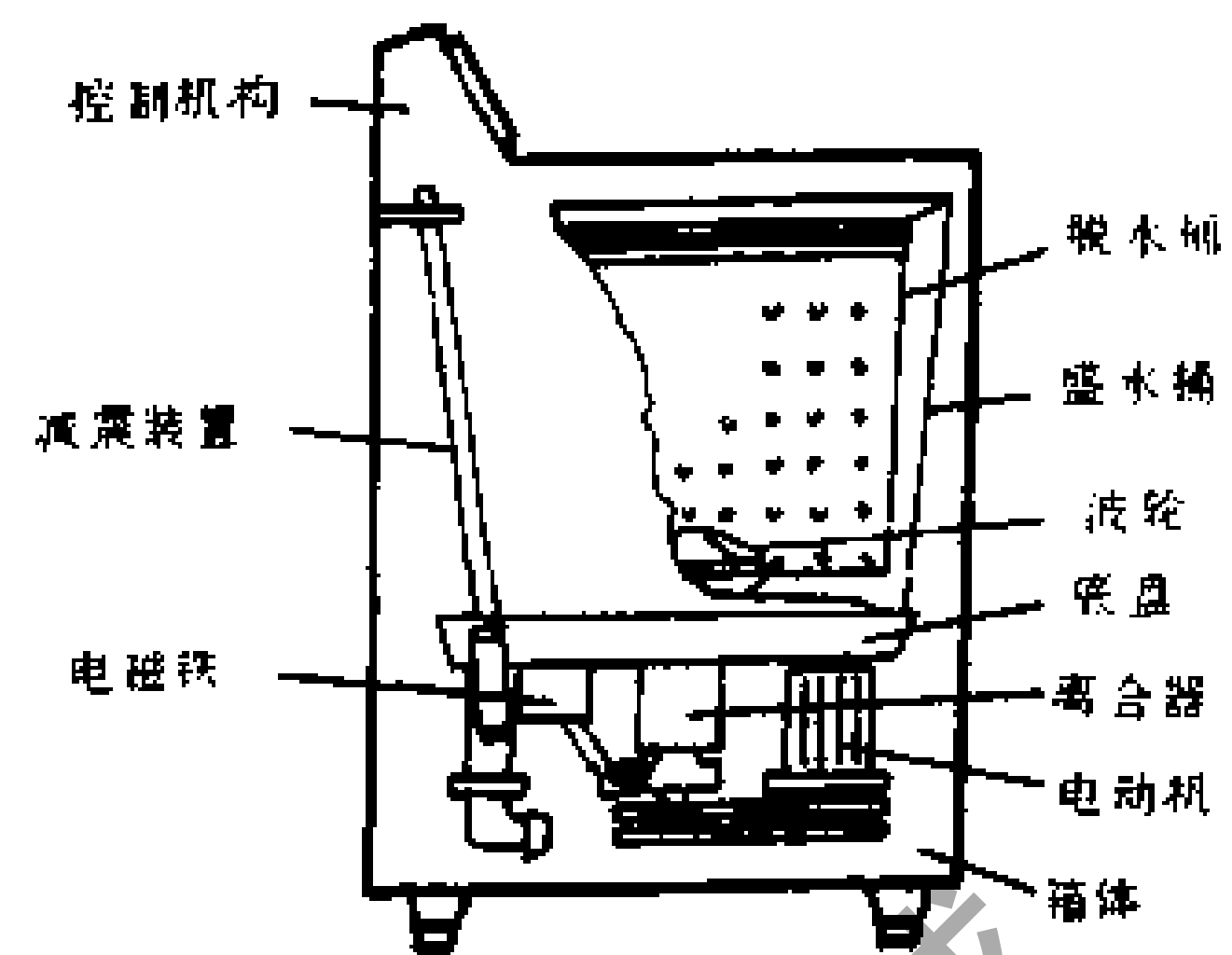


图 6—12 全自动型波轮式洗衣机的结构

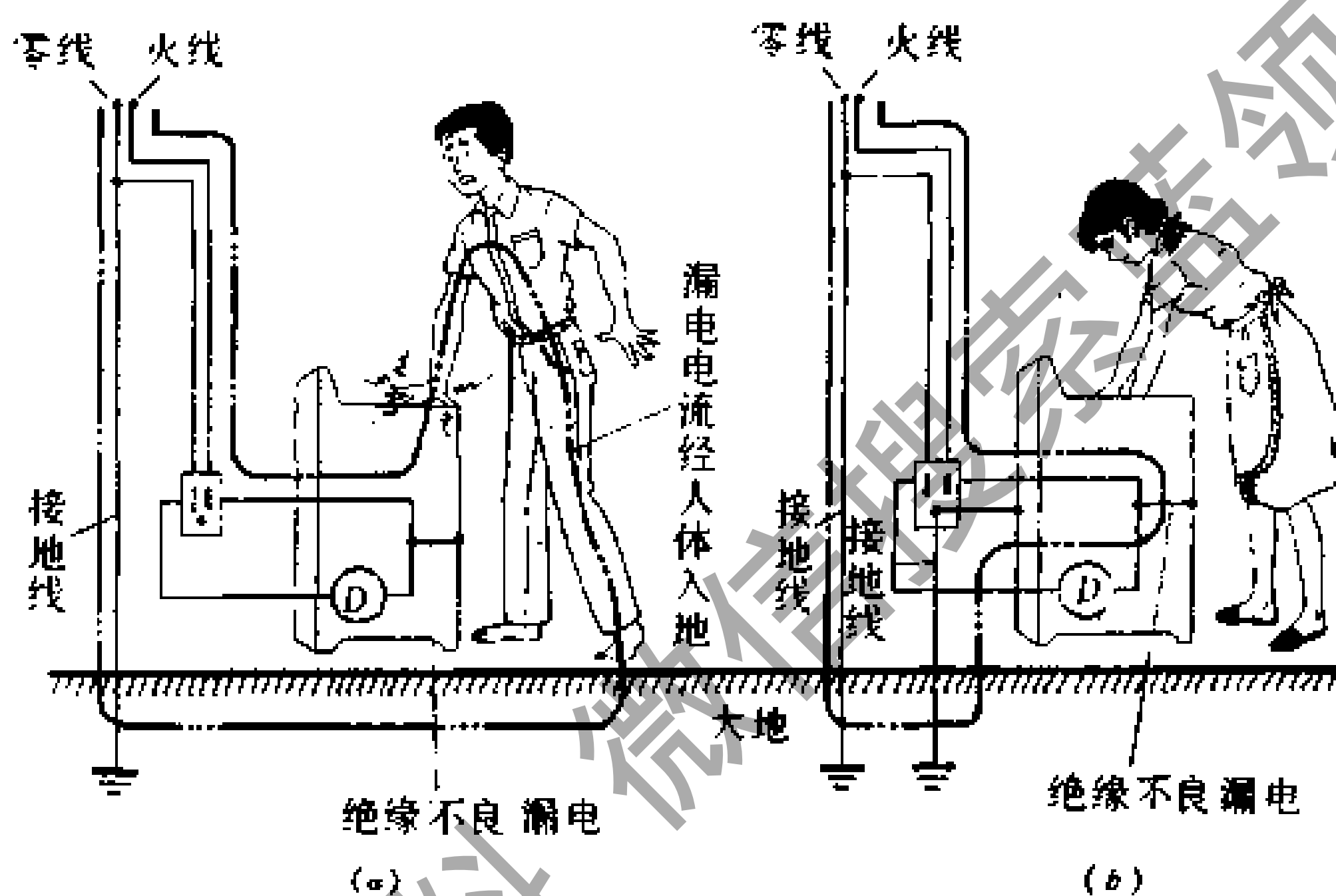


图 6—13 洗衣机未接接地线和已经接接地线的漏电情况

- (1) 打开洗衣机的盖子，放进需要洗涤的衣物，然后用软管接到自来水龙头上。
- (2) 按洗衣量灌入足够的水和适量的洗涤剂；拨动定时旋钮，选定洗衣时间，然后接通电源，直到定时器自动断开电源为止。
- (3) 检查洗衣桶内的衣物是否达到洗净的要求。若达不到，再重复以上工作。
- (4) 洗涤工作完成之后，放下排水软管，让污水排净，再放入清水漂洗衣物。此时要重新拨动定时旋钮，选定新的工作时间。然后又开动电动机，直到定时器断开电源，电动机停转，再放下排水软管，让桶内的水全部排出。
- (5) 洗衣程序全部结束后，切断电源，取出水桶内的衣物，拧干晾晒。

注意，在洗衣时，一定要等到水桶里的水达到一定容量后，才能开动电动机，并且衣物不能过多，以免电动机发生过载现象。

#### 2. 双桶半自动波轮式洗衣机的使用方法

双桶半自动型洗衣机的操作步骤与普通型洗衣机大致相同。不同之处是，当洗衣过程结束后，衣物要由人工取出放入离心甩干桶。注意放入甩干桶的衣物一定要尽量平整，放入后要关上甩干桶的盖门。然后把离心甩干桶的定时器拨到所需的时间，让它旋转直到预调时间止。

使用这种型式的洗衣机在洗涤大量衣物时，洗涤完第 1 批衣物后，不必排掉用过的肥皂水，可以放进第 2 批衣物再继续使用，但要注意再加入少量洗涤剂。

### 3. 全自动型波轮式洗衣机的使用方法

(1) 全自动型洗衣机在洗涤过程中，不能关掉水龙头，否则它不会自动完成运转程序。

(2) 要盖好机盖后再运转洗衣机，否则衣物甩不干。

(3) 放进洗衣桶的衣物要适量，不能过多或过少。若过多，洗衣桶转动不灵，衣物洗得不均匀；过少，则洗衣机的波轮又往往会激起水花四溅。当洗涤的衣物太少时，可采取两种办法处理：倒掉洗衣机内多余的水；把脏衣物集中，待重量达到 0.5kg 以上时才投入洗涤。

(4) 洗衣桶转动时，不要投放衣物，以免发生危险。

(5) 在甩干衣物过程中，若甩干桶自动停转，这是衣物偏在一侧所致。此时必须先断开电源，让桶停转后，打开机盖，把衣物调平。然后重新关好机盖，开动电机，甩干桶便会再次运转。

(6) 洗衣机使用一段时间后，如地面不坚固或机脚调整不好等会倾斜，这时必须把它调平或放置在平稳的地方。

(7) 把脏衣物投入洗衣桶之前，应先检查有没有快要脱落的钮扣或衣袋里有无杂物，然后按照衣料的种类、脏污程度和不同颜色选择不同的洗涤方式和程序。薄质细软的衣物（如丝绸、薄绒等），最好先装入尼龙洗衣袋后再投入洗涤，这样可以避免被磨破损坏。

(8) 羊毛毡之类的织物在波轮运转的过程中容易发生毛丝脱落现象，而且浸水后它的重量会增大许多，因此不宜用洗衣机清洗。

(9) 洗衣机不得与火炉等过热器具接触，以防止波轮和塑料部件受热变形或损坏。

## 四、常见故障及处理方法

洗衣机的常见故障及处理方法（表 6—2）。

表 6—2 洗衣机的常见故障及处理方法

| 故障现象                     | 产生原因                                                                                                                                                                         | 处理方法                                                                                                                                                                                                              |
|--------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 指示灯<br>不亮或洗<br>衣机不起<br>动 | ①电源插头、插座有毛病或保险丝烧断<br>②接线排松开或断裂<br>③电压过低<br>④电机损坏<br>⑤定时器断开<br>⑥皮带过松<br>⑦热过载断路器断开<br>⑧搅拌器或波轮或其他传动部件被障碍物堵塞<br>⑨离合器损坏<br>⑩洗衣量过多，致使电动机过载<br>⑪毛巾、毡子或其他长条织品，吸收性织物绕住搅拌器或波轮<br>⑫皮带打滑 | ①检查电源插头、插座或更换保险丝<br>②重新连接接线排或更换导线<br>③升压、待电压恢复正常后才使用<br>④用电笔检查电动机各极，如果电源正常需要拆出电动机修理<br>⑤转动旋钮到“开”的位置<br>⑥更换皮带或调整张力部件<br>⑦电机冷却后重调热过载断路器<br>⑧断开电源检查各部件位置，清除障碍物<br>⑨更换<br>⑩适当减少洗衣量<br>⑪倒向转动电动机或手工拆除绕住织物<br>⑫调整张力或更换皮带 |

(续表)

| 故障现象               | 产生原因                                                                                                   | 处理方法                                                                                                     |
|--------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 回转机构不能反转           | ①叶片松开<br>②电动机轴承损坏<br>③反向继电器、定时器不起作用或触头损坏、接触不良<br>④离合器弹簧有毛病                                             | ①拧紧叶片固定螺丝<br>②更换轴承<br>③检查触头是否损坏、线圈是否烧坏,若坏需更换<br>④更换                                                      |
| 洗衣机的噪音大            | ①安放不当<br>②叶轮松动或轴承损坏<br>③传动系统的润滑不良<br>④传动带损坏或断开<br>⑤齿轮箱机构调整不当                                           | ①重调水平位置<br>②拧紧叶轮的固定螺钉或更换轴承<br>③加润滑剂<br>④必要时更换<br>⑤应调整到适当                                                 |
| 指示灯亮而不能注入水         | ①自来水龙头闭合或没有水流出<br>②供水软管变形或水阀阻塞<br>③水阀有毛病,阀凸软不完全开启<br>④水位开关不工作<br>⑤接线排松开或导线断裂<br>⑥定时器有毛病<br>⑦外表杂物堵塞供水系统 | ①打开水龙头或检查水压<br>②检修供水软管或清洗水阀<br>③检修或更换水阀<br>④拧紧压力管的连接处或更新水位开关<br>⑤重新连接或更换导线<br>⑥检修或更新<br>⑦拆下供水软管和水阀,检查修理  |
| 洗衣机流进的水很慢,水流量太小    | ①水龙头开得太小,水压过低<br>②供水软管缠绕或阻塞<br>③其他通道阻塞或膜片有毛病                                                           | ①开大水龙头,检查水压<br>②检查软管或清理障碍物<br>③检查内部零件,清洗阻塞部件                                                             |
| 洗衣机注满水后,计时器和电动机不工作 | ④接线排松开或导线损坏<br>⑤水位开关有毛病<br>⑥定时器有毛病                                                                     | ④重新连接接线排,更换导线<br>⑤检修或更换<br>⑥检修或更换                                                                        |
| 洗衣机不能排水            | ①排水软管未降低<br>②排水软管扭结或残渣积聚堵塞<br>③电磁铁有毛病<br>④残渣阻塞排水阀<br>⑤水泵失灵<br>⑥电动机运转方向失误                               | ①降低排水软管<br>②拆下扭正排水软管或清除管内残渣<br>③通电激动电磁铁,若不动作就要更换<br>④拆下清洗排水阀<br>⑤拆开水泵叶轮壳,清洗叶轮;拆开水泵的装置,检查各零件或更换<br>⑥检查并调整 |
| 洗衣机不能脱水(即甩干桶不能动作)  | ①安全开关关闭<br>②盖开关脱离或盖开关有毛病<br>③程序选择开关有毛病<br>④电磁铁有毛病<br>⑤电动机有毛病<br>⑥计时器有毛病<br>⑦离合器有毛病                     | ①打开安全开关,盖上闭盖<br>②检查和校正盖开关的安全装置或更换盖开关<br>③检修或更换<br>④更换<br>⑤检修或更换<br>⑥检修或更换<br>⑦更换离合器弹簧或全部部件               |

(续表)

| 故障现象         | 产生原因                                                       | 处理方法                                            |
|--------------|------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| 脱水时甩干桶停止转动   | ①盖及开关关闭<br>②洗衣机放置位置不平<br>③安全杆和桶间的距离太短<br>④地板不受力            | ①打开开关或关闭盖<br>②调整洗衣机脚至水平位置<br>③拉平调整距离<br>④加强地板   |
| 脱水时有噪声       | ①洗衣机放置不水平<br>②地板不受力<br>③桶盖松动<br>④离合器组件和悬挂固定螺钉螺母变松<br>⑤轴承损坏 | ①调整洗衣机机脚至水平位置<br>②坚固地板<br>③拧紧螺丝<br>④调整拧紧<br>⑤更换 |
| 全自动洗衣机不按程序工作 | ①定时电动机损坏<br>②传动系统机件损坏<br>③接触器没有接触定时器<br>④电磁线圈损坏            | ①修理或更换<br>②检修或更换<br>③检修或更换定时器<br>④检修或更换         |
| 洗衣机撕破衣物      | 桶边、桶底搅拌器或波轮有毛病                                             | 用金刚砂布除去毛刺,必要时更换搅拌器或更换波轮                         |
| 洗衣桶下部常有滴水现象  | 洗衣机波轮轴密封胶圈或脱水桶密封胶圈损坏                                       | 拆开皮带轮、轴和有关部件,检查或更换密封圈                           |
| 漏电           | 电气元件、马达、电容器、开关点因吸潮而降低绝缘性能                                  | 采用干燥排湿方法处理                                      |

### 第3节 电 冰 箱

电冰箱是利用电能能在箱体内制造低温环境的一种电气设备。在医药卫生、科研部门以及工农业生产中得到广泛的应用。随着人们生活水平的不断提高,家庭购置电冰箱的越来越多,电冰箱日益受到人们的欢迎。

电冰箱的种类繁多,按照制冷系统来分,有压缩式、吸收式和半导体式3种;按照结构来分,有单门式、双门式、对开门壁柜式等。各类型电冰箱的外形,如图6-14~17所示。

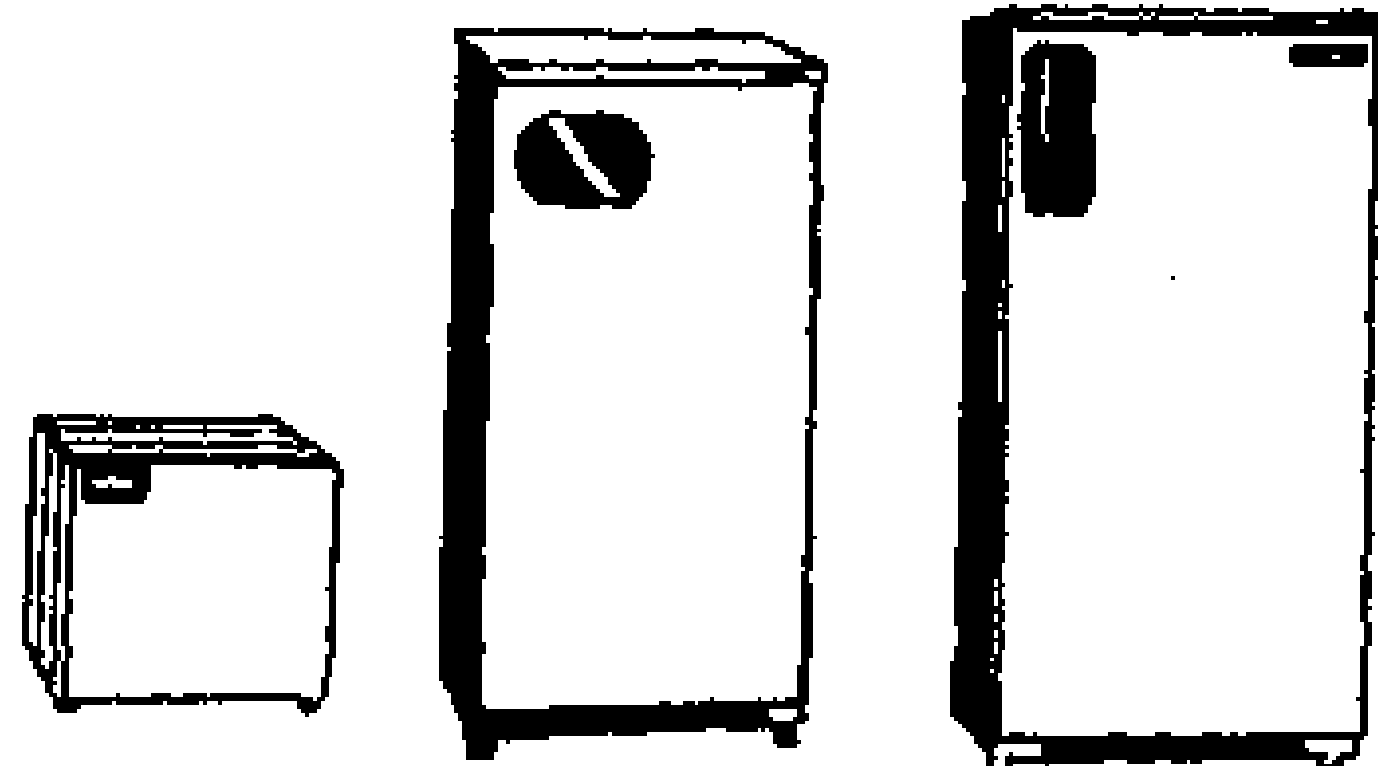


图 6-14 单门式电冰箱

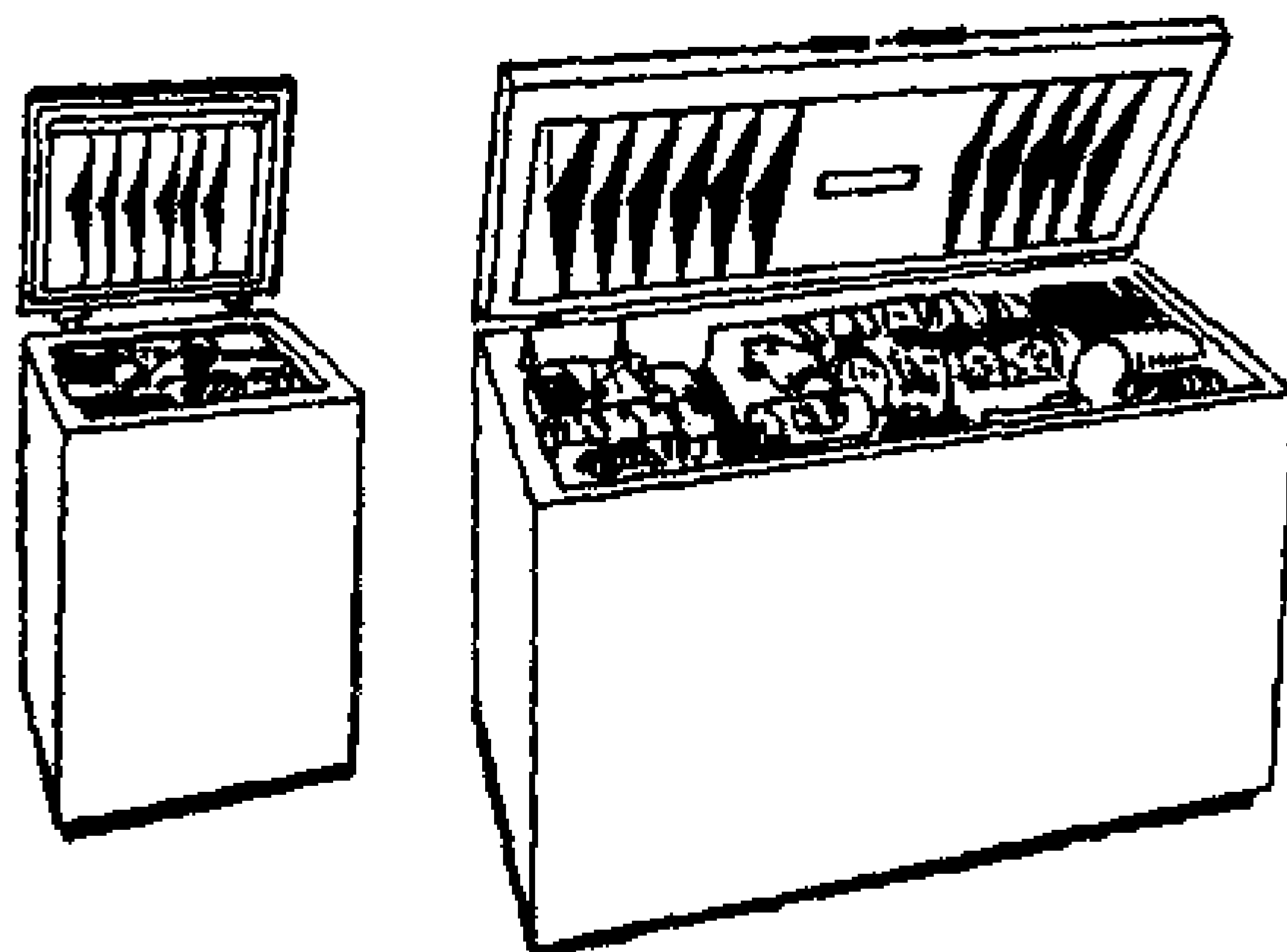


图 6-15 顶开门式电冰箱



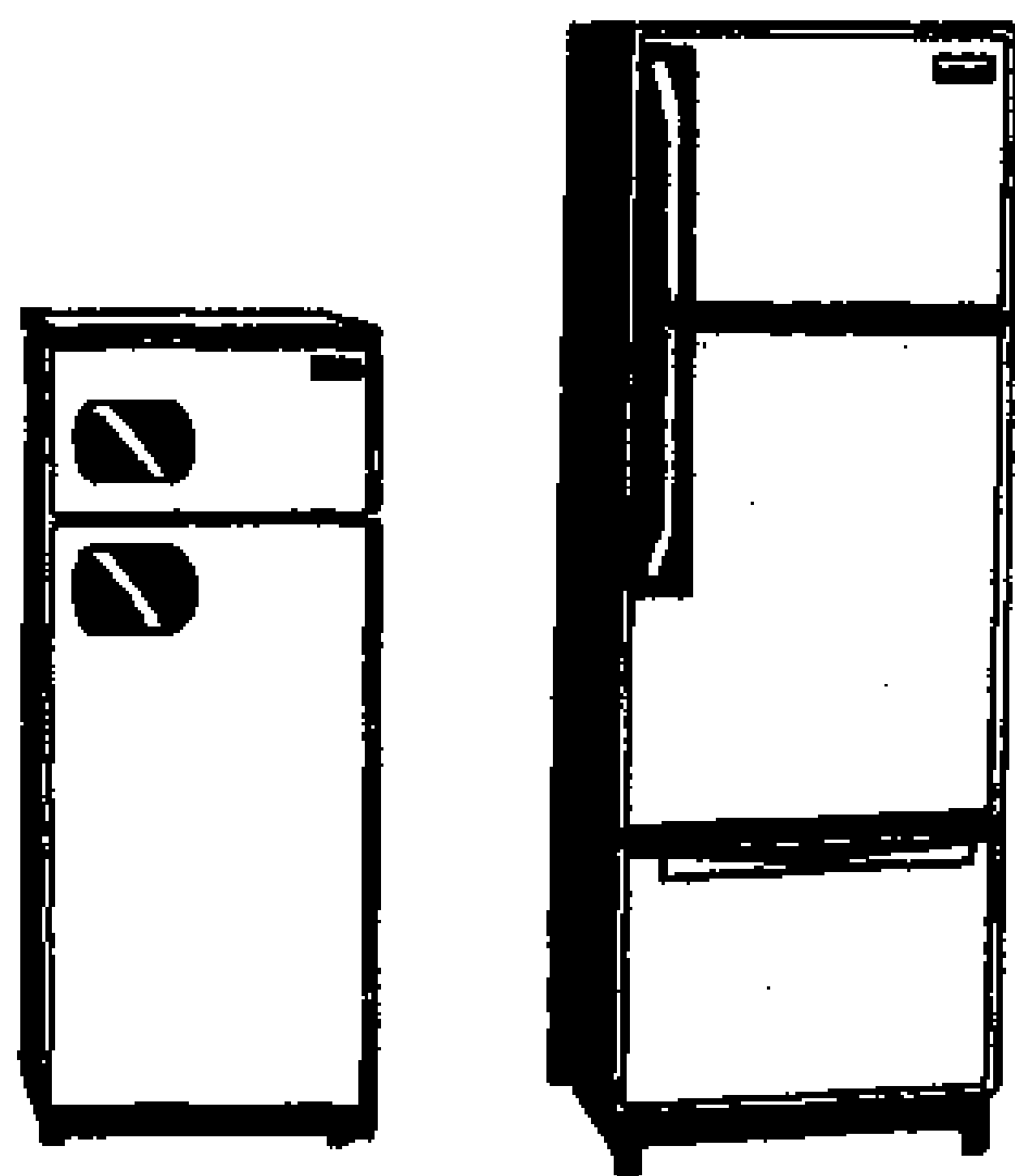


图 6—16 双门、三门式电冰箱

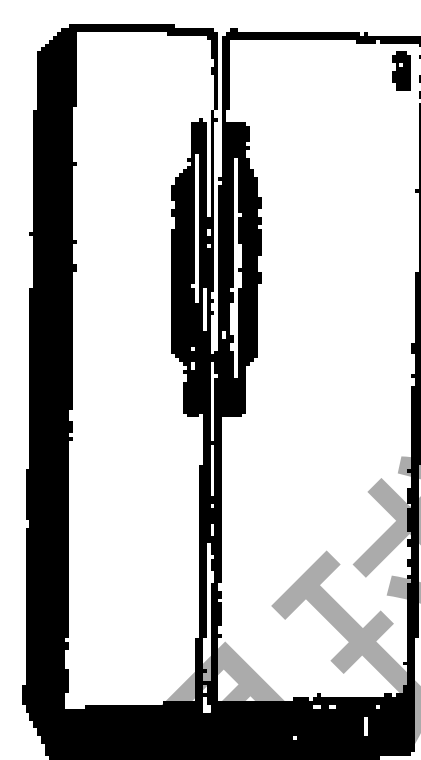
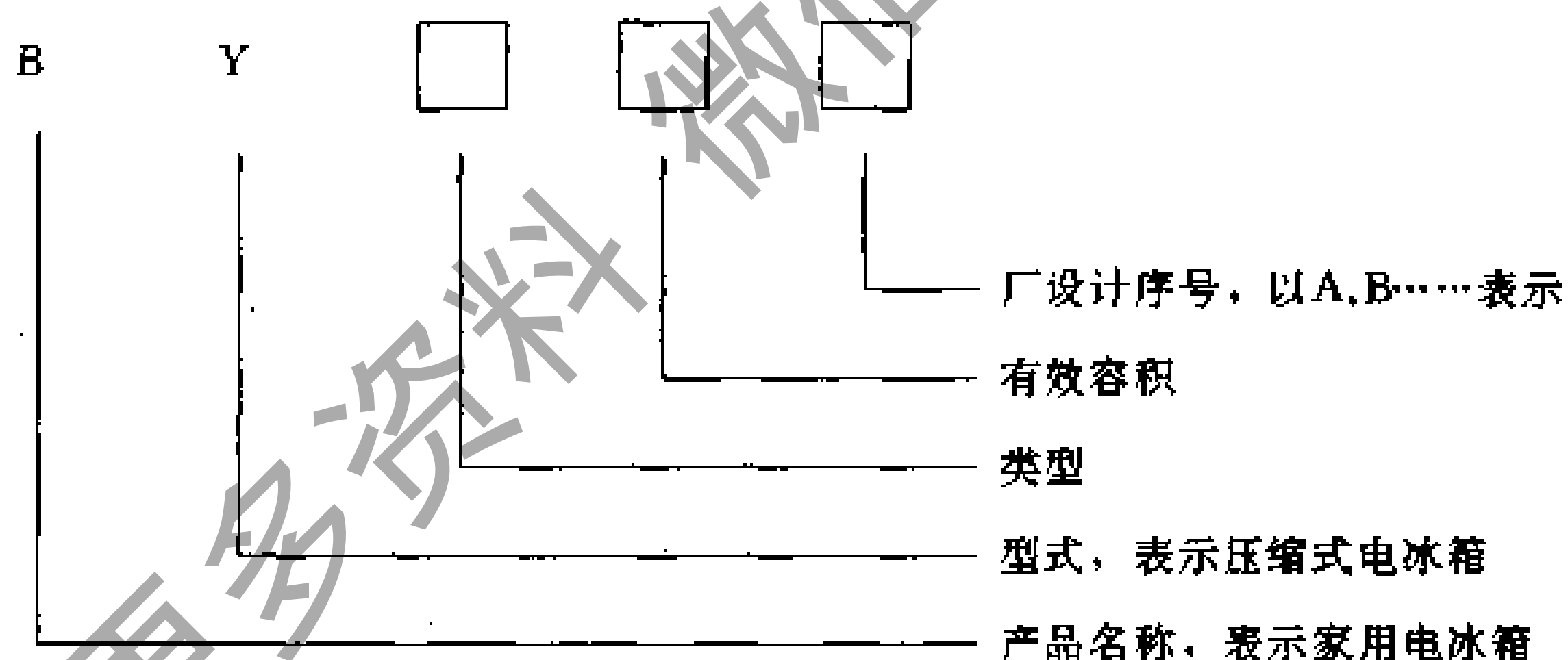


图 6—17 对开门式电冰箱

电冰箱的规格一般分为 50L、75L、100L、120L、150L、170L、195L、250L 和 300L 等。家用电冰箱的容积大多数在 250L 以下，箱内的温度范围，冷藏室为  $0\sim 10^{\circ}\text{C}$ ；冷冻室为  $-18\sim -16^{\circ}\text{C}$ 。

电冰箱型号的含义如下：



目前家用冰箱大都采用压缩式电冰箱。

压缩式电冰箱是利用低沸点液体制冷剂汽化时吸热和压缩该蒸气时放热并液化交替循环而制冷的一种电器。它的容积范围，电动机压缩式为  $50\sim 1600\text{L}$ ，电磁压缩式为  $30\sim 100\text{L}$ 。电源多数为单相交流电，使用环境温度在  $43^{\circ}\text{C}$  以下。压缩式电冰箱制冷效率高，但结构复杂，价格也较高。

### 一、压缩式电冰箱的基本结构

压缩式电冰箱主要由制冷系统、箱体和电气控制系统 3 部分组成，如图 6—18 所示。

#### 1. 制冷系统

制冷系统由压缩机、冷凝器、过滤器、蒸发器（热交换器）、毛细管等组成。它们之

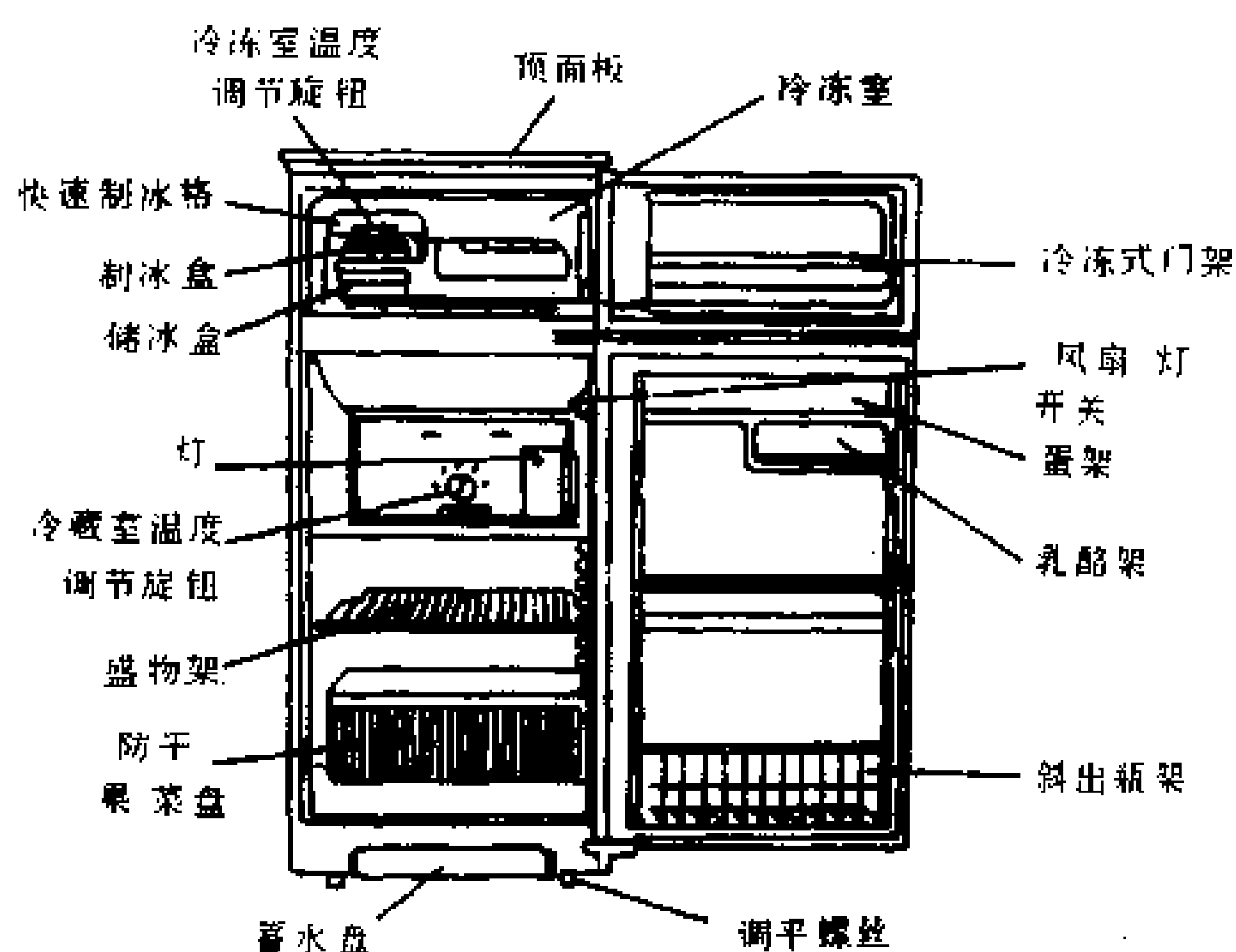


图 6-18 压缩式电冰箱的内部结构

间用管道连接，管道内部充灌制冷剂（氟里昂 12），构成一个密封的循环系统（图 6-19）。

(1) 压缩机：压缩机是制冷循环的动力装置，它是电冰箱的心脏。电冰箱常用往复式压缩机，它与电动机同轴，并一起装在封闭壳内，所以叫做密封式压缩机。按电冰箱规格大小，可以采用不同型式的压缩机。较大的冰箱采用曲柄连杆式压缩机，较小的采用曲柄滑管式压缩机，更小的则采用电磁振荡式压缩机。

图 6-20 是曲柄滑管式压缩机的结构图。这种压缩机的曲轴呈肘形，活塞末端垂直方向上连有带长孔的圆形管（滑管），内装曲柄销端的圆柱形滑块。当曲柄旋转运行时，带动滑块在活塞末端的圆管内滑动，从而带动活塞在气缸内作往复运动。曲轴多组装成立式，并依靠轴在高速旋转时产生的离心力来上油滑润。

(2) 冷凝器：冷凝器是使制冷系统中的气态制冷剂放出热量而冷凝为液态的热交换装置。根据冷凝器冷却方式的不同，可分为自然冷却式冷凝器和强制通风冷凝器两种。

自然冷却式冷凝器，又分为百叶窗式和钢丝式冷凝器两种（图 6-21）。百叶窗式冷凝器是把冷凝盘管紧卡在冲有百叶窗状的散热片上，靠空气自然对流散发出来的热量，形成冷凝条件。国产电冰箱大多数采用这种型式的冷凝器。钢丝式冷凝器是百叶窗式冷凝器的进一步改进。

(3) 蒸发器：蒸发器是液态制冷剂吸热蒸发为气态的热交换装置，它的结构近似于冷凝器。蒸发器可分为翅片管式和板式两种。翅片管式常用铜管、铝管和铝片制成，板

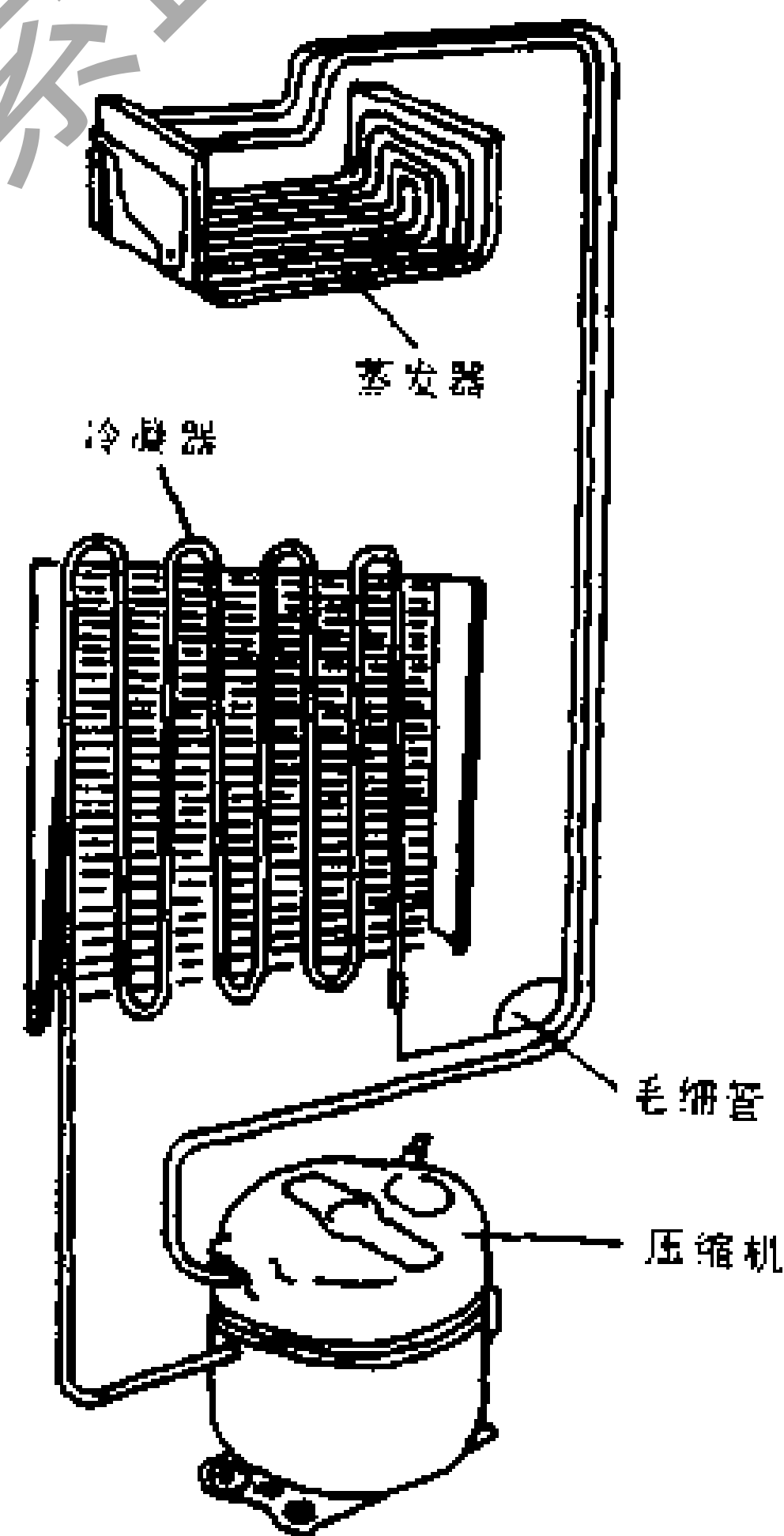


图 6-19 压缩式电冰箱的制冷系统

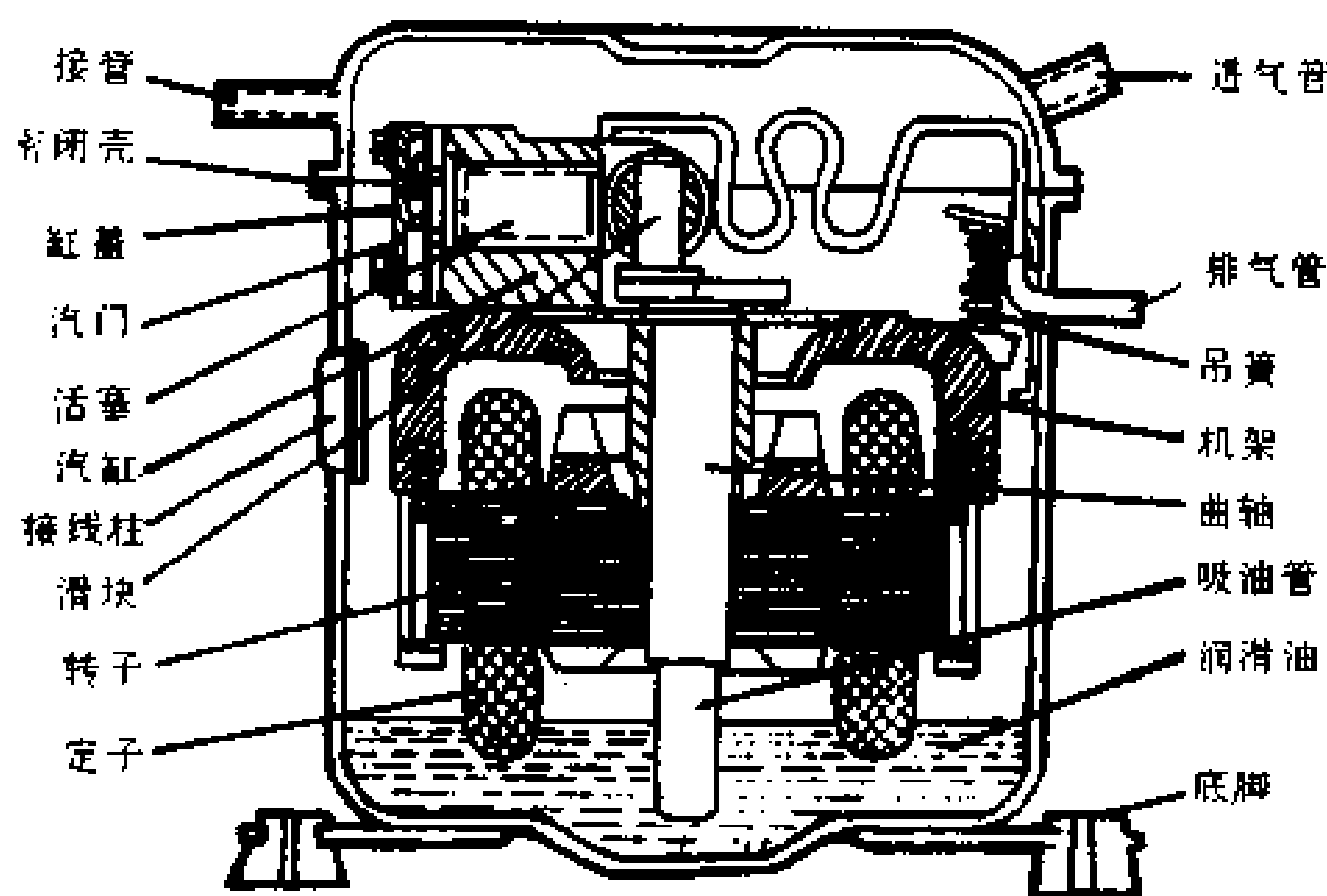


图 6-20 曲柄滑管式压缩机的结构

式常用铝板制成。翅片管式蒸发器有自然对流和强制对流两种型式，后者适用于双温电冰箱。板式蒸发器多为自然对流式，家用电冰箱普遍采用板式蒸发器。

(4) 毛细管：家用电冰箱普遍采用毛细管作为节流器。它在制冷系统中起节流后膨胀降压的作用，以使液态制冷剂蒸发而吸热。毛细管结构简单，它能在停机后使系统内的高低压逐渐达到平衡，有利于压缩机的再次起动。小型电冰箱所采用的毛细管内径，一般为 0.5~1mm，长度为 2~4m。

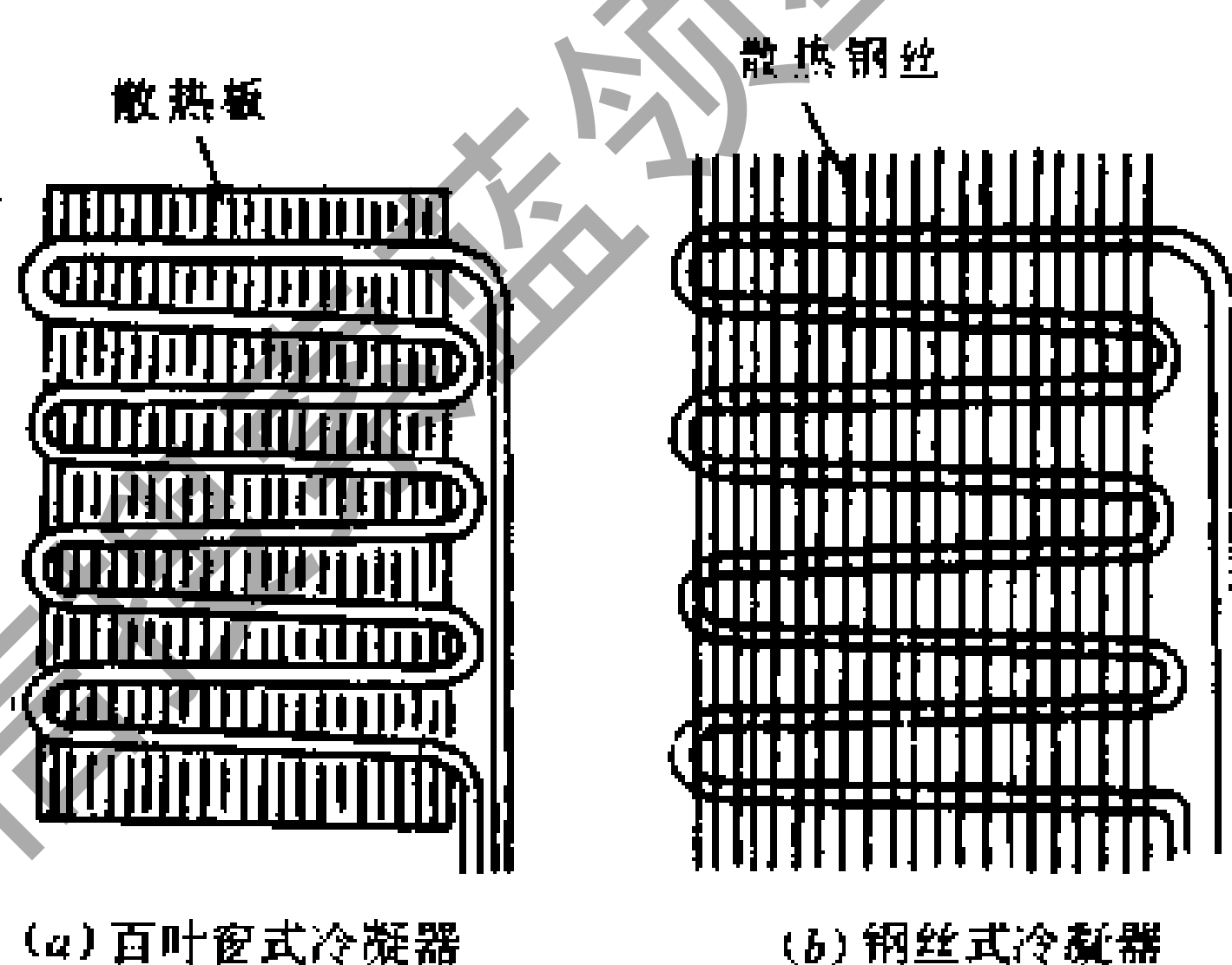


图 6-21 自然冷却式冷凝器

## 2. 箱体

电冰箱的箱体包括外箱、内箱、门及附件。内外箱之间填充绝热材料，门与门框之间用磁性门封隔热。近年来箱体的发展趋向于塑料化，它的内外箱、门衬、门封、绝热层、容器、格架等都已经改用塑料制品，因此箱体的重量比较轻。

图 6-22 表示一种具有一个蒸发器的双门双温电冰箱的箱体结构。它有上下两个内箱，上面的内箱较小，叫做冷冻室；下面的内箱较大，叫做冷藏室或贮藏箱。这两个内箱各配有大小门体。翅片式蒸发器一般水平地夹设在大小内箱之间（有的电冰箱把蒸发器垂直地设置在冷冻室的后壁上）。冷冻室按制冷温度分为 $-6^{\circ}\text{C}$ 、 $-12^{\circ}\text{C}$ 和 $-18^{\circ}\text{C}$ 等 3 种规格。贮藏箱的制冷温度一般在 $0\sim 10^{\circ}\text{C}$ 范围内。

## 3. 电气控制系统

各种类型的电冰箱都设有半自动化或自动化的电气控制装置，用以操纵电冰箱的正常工作。电气控制系统通常由电动机、温度控制器、热保护继电器、起动继电器、照明灯和灯开关等组成（图 6-23）。

电路中的温度控制器接点、保护继电器接点与压缩机的电动机工作绕组串联，而起动继电器的接点又与起动绕组串联。当电动机起动时，因电流较大，起动接点被吸引接

通，起动绕组中通过电流；当电动机进入正常运转后，电动机电流和起动继电器的吸引线圈中电流较小，起动触点断开，起动绕组中便没有电流通过。照明灯通过开关拨动杆（装在门上）与电源连接，门开灯亮，门关灯灭。

## 二、压缩式电冰箱的工作原理

压缩式电冰箱的制冷原理，如图 6—24 所示。这种型的电冰箱，是利用压缩机增加系统内制冷剂的压力，使制冷剂在制冷系统中循环流动，从而达到制冷的目的。

开始，压缩机吸收蒸发器蒸发出来的低温低压制冷剂，然后把它压缩成高压的蒸气送入冷凝器。高压蒸气经冷凝器冷却后，逐渐变成液体。当高压液体流入毛细管时，它会降低制冷剂的压力，而使制冷剂蒸发。因此，高压液体在流入蒸发器时已经变成低温液态。

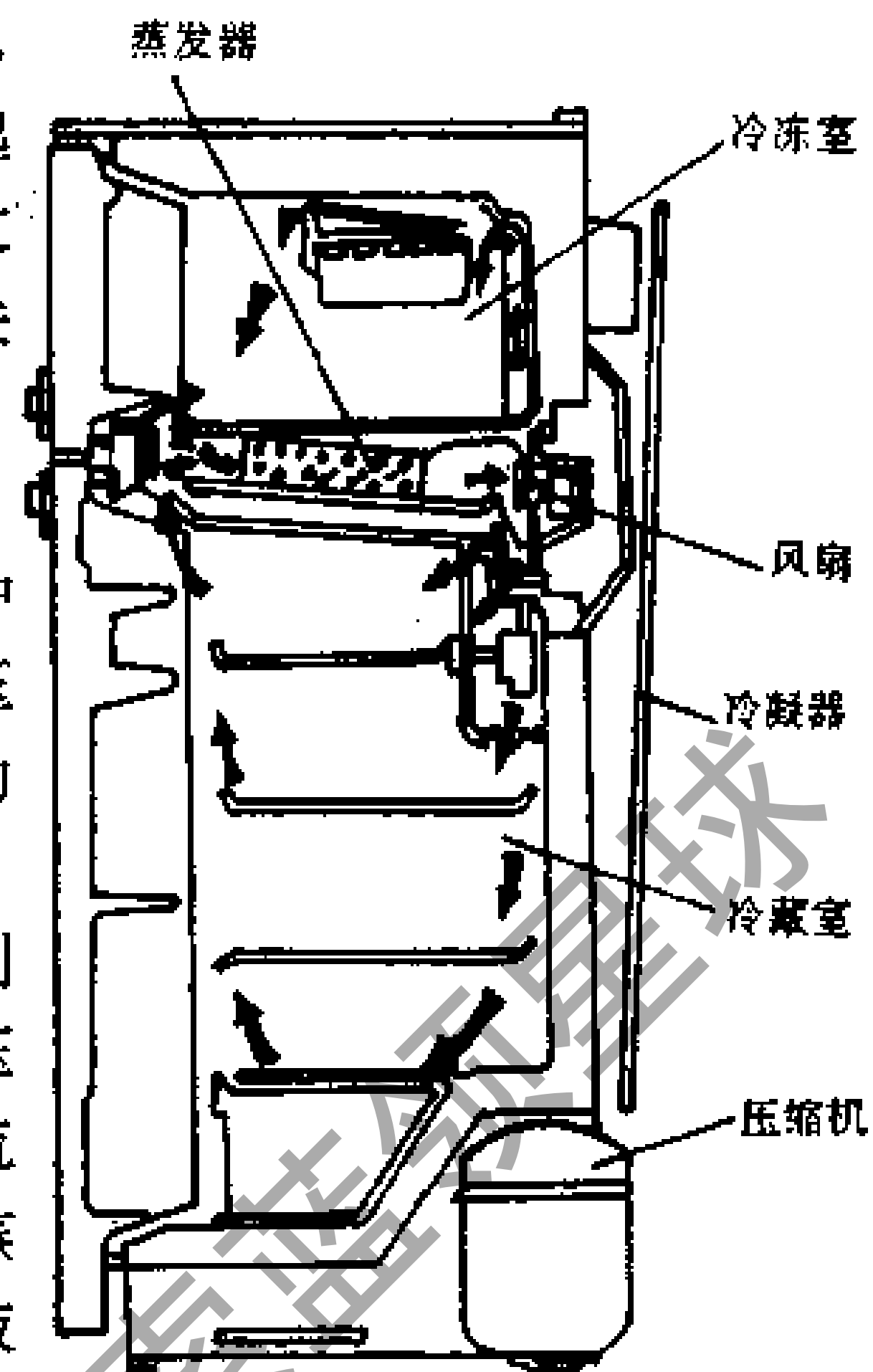


图 6—22 双门双温电冰箱的箱体结构

进入蒸发器的制冷剂，在蒸发过程中吸收周围的

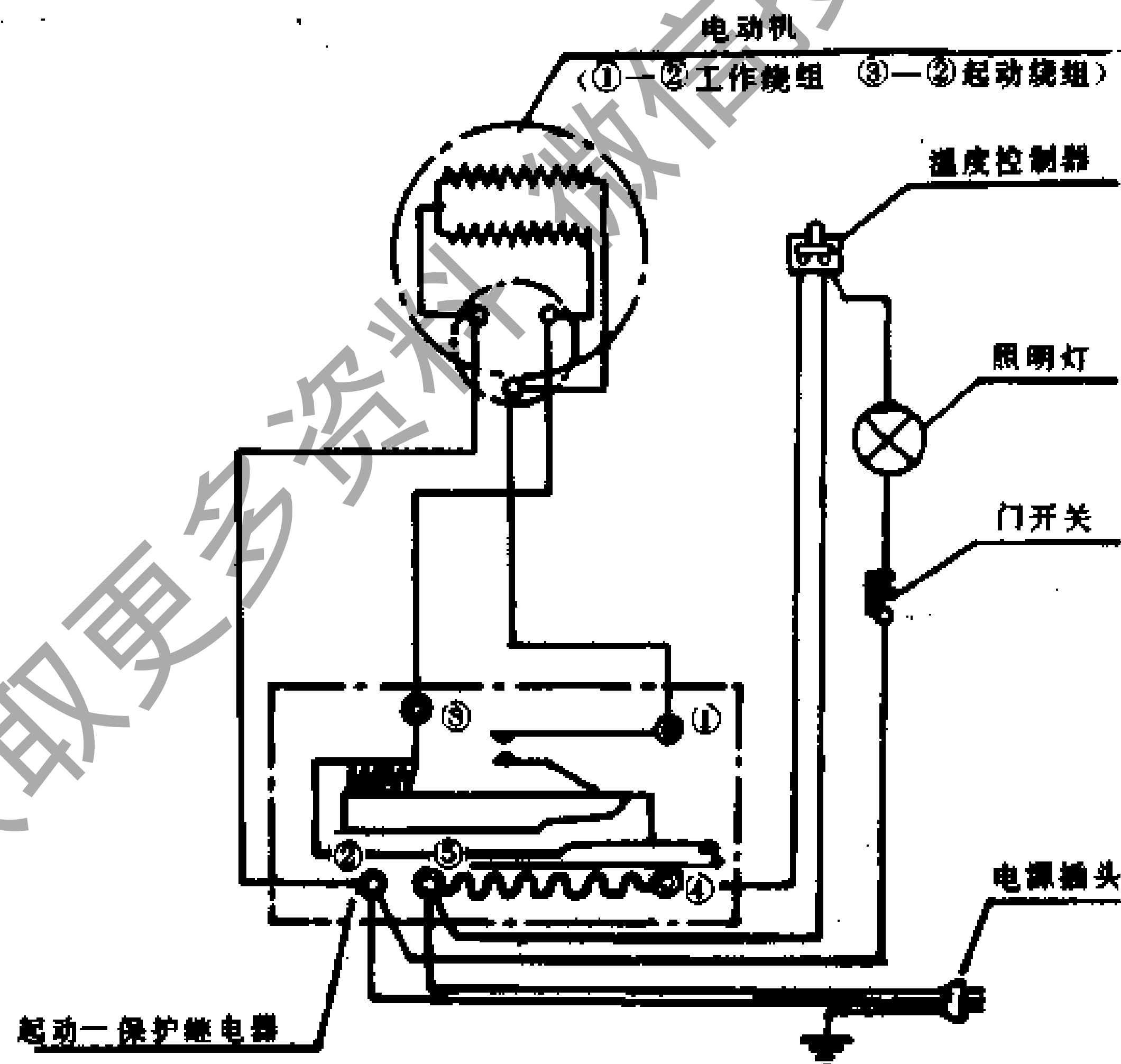


图 6—23 电冰箱的电气控制系统

热量，使冷冻室的温度降低。此时，蒸发后的制冷剂再度进入压缩机被压缩成高压蒸气，然后又经过冷凝器、毛细管流入蒸发器，这样，制冷剂便可在制冷系统内反复流动不止，从而实现电冰箱的冷冻作用。

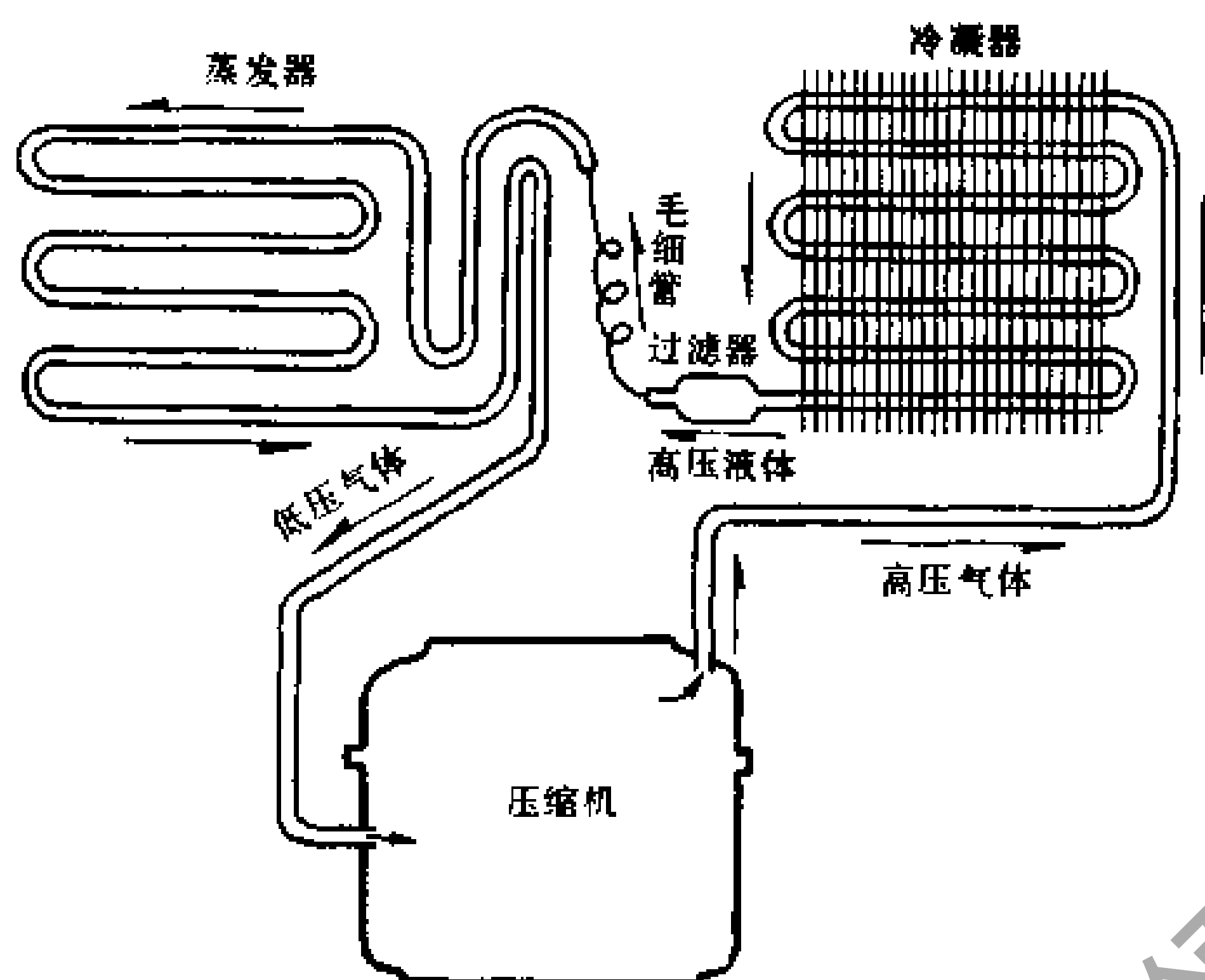


图 6—24 压缩式电冰箱的制冷原理

### 三、电冰箱的使用方法

#### 1. 电冰箱的安装

(1) 电冰箱安装的地方不要过冷和过热。切勿靠近火炉、暖气管，避免太阳光直射，以免影响它的工作性能和寿命。

(2) 电冰箱两侧和背面应与墙有 10cm 的距离，不能靠得太近（图 6—25），以免影响空气流通和电动机寿命。

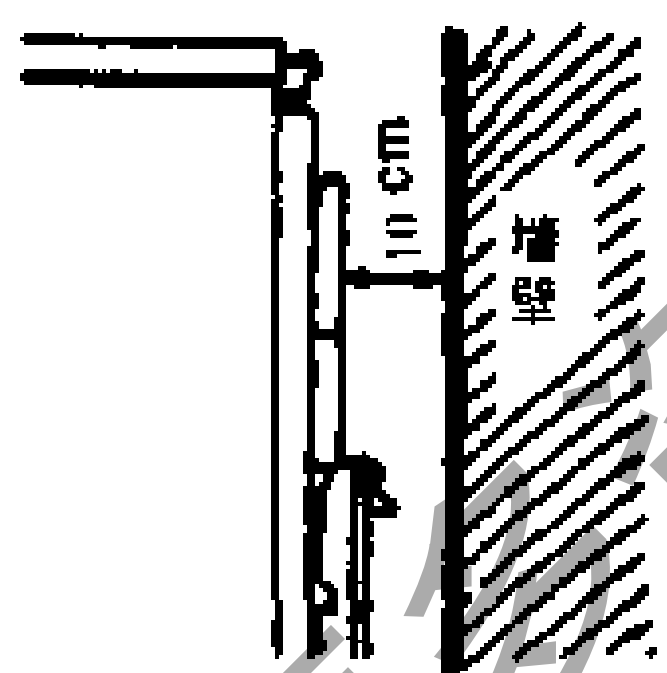


图 6—25 电冰箱与墙的设置空隙

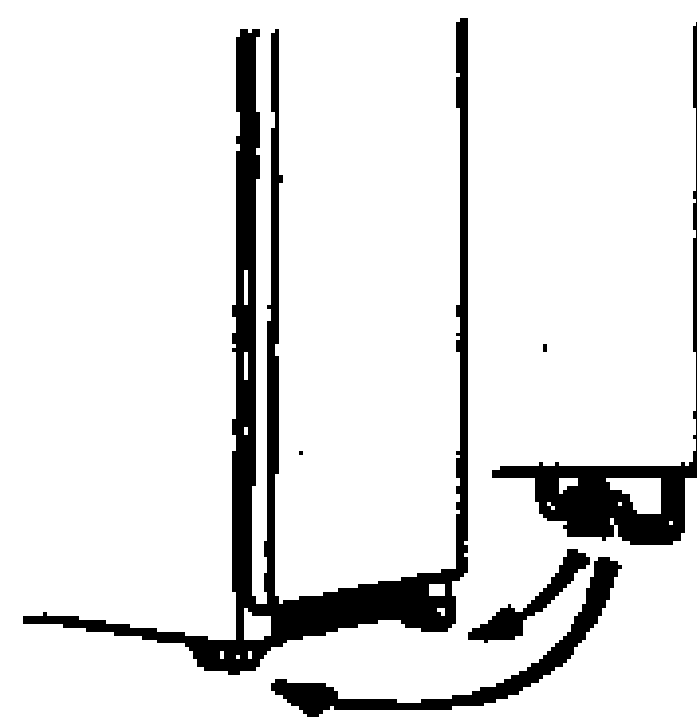


图 6—26 水平调整电冰箱位置

(3) 放置电冰箱的地板必须平坦、坚固。若地面不平，应反复调整冰箱下面的两颗螺丝钉使冰箱放置水平。向右旋转，螺钉升高；向左旋转，螺钉下降（图 6—26）。

(4) 严格按照规定接通电源，不要与其他电器使用同一插座，最好接在专用的电源线上。同时要使用三孔带接地线的电源插头、插座，若不得已使用两心插头时，应将冰箱外壳接地，以防漏电伤人。

(5) 不要把电冰箱放在过分潮湿的地方，以免影响电气绝缘和引起金属件生锈等。

#### 2. 电冰箱的安全使用

(1) 按照规定使用额定电流的保险丝。不要使用拉线开关，以免不慎中断电源，影响电冰箱的制冷效果。

(2) 切忌用水喷洒电冰箱后背，否则会影响电气元件的绝缘。

(3) 电冰箱框顶台面不要放置热源或重物，以免烧毁塑料配件和压坏台面。

(4) 电冰箱背面机械部分温度较高，不要用手触摸，也不要让电源线靠近，以免烧坏电源线，引起漏电事故。

(5) 接通或断开电源时应手持电源插头，方可插入或拔离电源插座。

(6) 不能把醚等挥发性化学物品放入电冰箱内。

### 3. 正确调节电冰箱的控温装置

(1) 冷冻室的温度调节：冷冻室温度控制器在供通常使用时，要把旋钮调到“普通”（MED）处；在供特殊用途使用时，要按冷冻要求调整旋钮（图 6—27）。

把旋钮向箭头所指的方向转动，电冰箱温度为强冷，即冷度由弱冷（LO）→普通（MED）→强冷（HI）。MED 是电冰箱内部可以不受外界影响的最佳温度。应当指出，旋钮的刻度，并不表示冰箱内部的实际温度。

一般地说，“强冷”适合用于制冷和冰冻食物；“普通”适于长时间贮存食物。

(2) 冷藏室的温度调节：旋钮调到“强冷”时，温度下降；调到“弱冷”位置时，温度上升。通常使用时，冷藏室温度调到“普通”位置。若需冷藏食物时，可调到“强冷”位置。

### 4. 食物的贮存法

电冰箱贮藏食物的目的，是使食物不致腐烂变质。要达到此目的，冷藏室和冷冻室必须有最佳的冷藏和冷冻效果。贮存食物时，应注意做到以下几点：

(1) 冷藏室的冷空气是从后面下降，从前面上升的。因此，要根据不同的食物品种放在冷藏室的不同的位置上。通常，鱼和肉类等新鲜食物以放在冷藏室最上面的格架内为宜，因为此处靠近蒸发器，它的温度较低，冷藏效果最好。

(2) 食品与食品和箱内后壁之间应留有一定空隙，以便冷空气循环流动，提高冷藏效果。

(3) 容易干燥的食物，必须用蜡纸、塑料薄膜包装好，以防止食物味道散失或使其其他气味扩散到食品里。

(4) 需要贮存 3 天以上的食物，应存入冷冻室予以冻结。冻结前，新鲜食物（如肉类）可以整块包装贮存，也可以切成段贮存，上面最好撒些细盐。鱼类则需取掉内脏和鳞后再贮存。

(5) 冻结后的肉类，若要取出烹调，应先存入冷藏室一段时间，待解冻后再加工烹调。

(6) 水分较多的食品（如蔬菜等），应洗干净后尽可能去掉水再存入，并放在冷藏室下部的鲜品盒内，不要存放在间隔架的最里端，以防干燥变质。

(7) 水果不宜在电冰箱内贮存过久，以免果肉变质或果皮变黑等。

(8) 鸡蛋可放在电冰箱蛋类架内存放一个星期；豆腐应放在有水的容器内，再存入冷藏室，这样可以保持新鲜。

(9) 夹馅点心要经密封包装存入电冰箱；热的食品应冷却后再放入冷藏室内。另外，

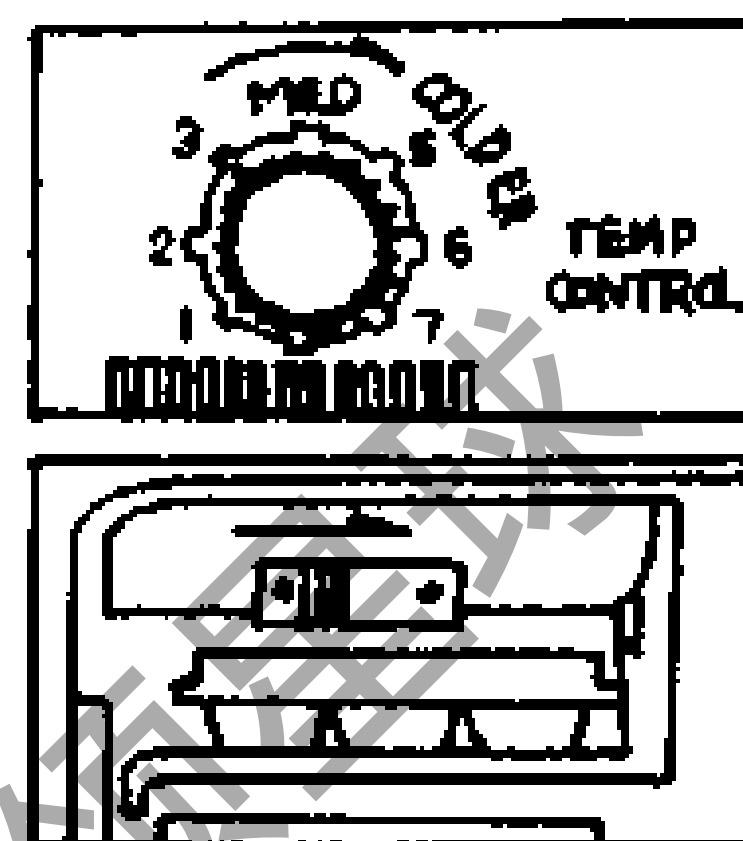


图 6—27 水平调整温度调节器

不可将瓶装啤酒、汽水等存入冷冻室，以防瓶子冻裂。

(10) 不同级别的电冰箱，冷冻食品是有一定期限的，超过这个期限，食品一般会变质。不同级别电冰箱冷冻食品期限见表 6—3。因此，用户应根据存放食物的品种，适当选择不同级别电冰箱冷冻食品的期限。

表 6—3 不同级别电冰箱冷冻食品的期限

| 电冰箱级别     | *     | **     | 高**    | ***    |
|-----------|-------|--------|--------|--------|
| 冷冻食品的温度   | -6℃   | -12℃以下 | -15℃以下 | -18℃以下 |
| 冷冻食品的贮藏时间 | 1 个星期 | 1 个月   | 2 个月   | 3 个月   |

(11) 电冰箱的急冻室可以用来制冰和急冻食品，需要急冻的食品先用蜡纸包好，然后再存入急冻室内。

(12) 一般地说，食物解冻后，不可再行冻结，这样会使食物质量降低。如果需要重新冻结的食品已自然冻硬或还有冻晶，可以再行冻结，否则以不重新冻结为宜。

#### 5. 停电时的应急措施

遇到突然停电，不要马上打开电冰箱门，因为食物仍可在箱内保存数小时。

如果预先知道停电时间，可以在停电前，把电冰箱的调温旋钮转到“强冷”位置，或事先制造大量冰块放在冷藏室的最上格，这样可以使箱内在停电后较长时间内具有充分的冷冻条件。

#### 6. 电冰箱的除霜法

电冰箱在连续使用过程中，箱内的水分会在冷藏室和冷冻室的壁上结成一层冰霜，这些冰霜不清除，会降低电冰箱的制冷效果。因此，比较先进的电冰箱都附设有定时自动除霜系统，到规定的时间间隔，它会自动除霜。

一般半自动除霜的电冰箱，可以用硬塑料或木片铲清除冷冻室的冰霜，或者按下电冰箱上的除霜按钮，清除冷藏室的冰霜。当冰霜自动溶化后，电冰箱会自动运转。

#### 7. 防潮掣的用法

有些电冰箱设有防潮掣，在天气干爽时，把防潮掣拨到“关”的位置；若天气潮湿，电冰箱外面出现“汗珠”现象，则应把防潮掣推向“开”的位置。

### 四、电冰箱的常见故障和处理方法

电冰箱常见故障和处理方法（表 6—4）。

表 6—4 电冰箱的常见故障和处理方法

| 故障现象             | 产生原因                                                                                                     | 处理方法                                                                                                           |
|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 压缩机不能开动，只听到“嗡嗡”声 | ①电源电压过低<br>②起动继电器未闭合或接触点有尘埃，接触不良<br>③电动机起动绕组断路<br>④电容器断路或短路<br>⑤压缩机负荷过重或冷却系统内冷却剂过多，致使压力过高<br>⑥压缩机磨损或润滑不好 | ①用电压表测量电源电压，若低于额定电压 15%，应换用稍高电压的电源<br>②用最细砂布打磨接触点，清除尘埃或调整继电器的额定值<br>③拆除重绕线圈<br>④检修或更换<br>⑤降低电压或减少冷却剂<br>⑥检修或更换 |

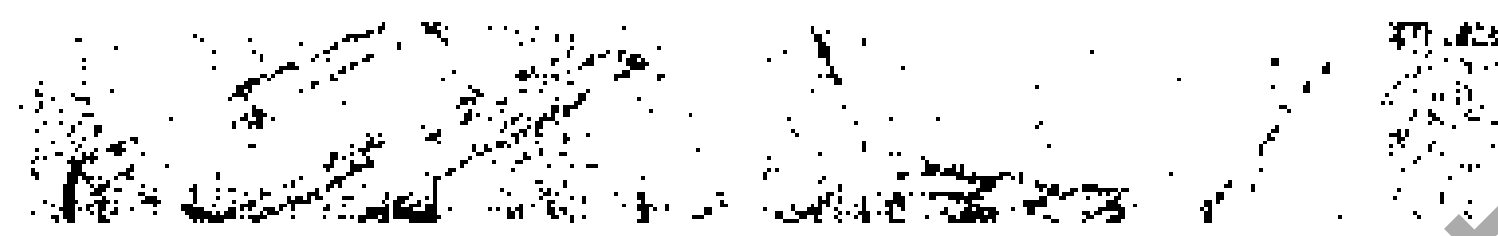
(续表)

| 故障现象                    | 产生原因                                                                                     | 处理方法                                                                                     |
|-------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| 电机不能启动,也没有“嗡嗡”声         | ①电机绕组短路<br>②起动继电器内绕组烧断<br>③温度控制器接触开关未闭合                                                  | ①检修或重绕<br>②更换<br>③调整使开关闭合,若损坏需更换新件                                                       |
| 电机不能启动,也没有“嗡嗡”声         | ④过载继电器的接触点未闭合或热电阻丝烧断<br>⑤线路中断或接线头处松脱电源中断                                                 | ④检查并调整至触点闭合,若电阻丝烧断则更换<br>⑤检查线路,若松脱需焊牢检修                                                  |
| 电冰箱运行中,压缩机过热            | ①压缩机工作压力过高或系统内有空气<br>②电动机绕组短路<br>③电动机线圈接地<br>④压缩机润滑不良<br>⑤轴承磨损                           | ①检查高低压力,若过高要放掉少量冷却剂或排除空气<br>②拆除重绕<br>③应将电动机拆除修理或重绕线圈<br>④添加冷冻机油<br>⑤更换                   |
| 电机开动运行一段时间后,又停转         | ①电动机线圈短路或接地使过量电流通过,导致过载继电器的触点张开<br>②电动机工作压力过高<br>③毛细管内有水分或潮气凝结成冰或有细粒碎屑堵塞毛细管等<br>④冷却剂不够份量 | ①应将电动机拆除修理或重绕线圈<br>②放少量冷却剂或排除空气<br>③若毛细管内结冰,应在制冷系统内加干燥剂;若毛细管被堵塞,应拆下清除细粒碎物<br>④应加冷却剂      |
| 电机运转时间长而蒸发器上没有霜层,只有水珠凝结 | ①管路漏气<br>②毛细管过长,低压过低;或毛细管过短,低压过高<br>③压缩机活门破碎或碎物堵塞                                        | ①应放气后焊补<br>②应调整毛细管的长度<br>③剖开密封外壳,换配活门                                                    |
| 电冰箱运转时间较长               | ①温度控制器温度调节太低<br>②温度控制器不能张开<br>③冷却剂因管路漏气而使压力降低<br>④温度控制器温度调节太低或冷却剂过多                      | ①调节温度控制器<br>②校正温度控制器或更换<br>③放气后焊补<br>④调整温度控制器并检验高低压力;调整毛细管长度                             |
| 电冰箱内高低压力正常,但结冰缓慢        | ①散热器表面灰尘积聚过多,散热不良<br>②电冰箱内存放热食物过多,超过冰箱负荷<br>③放置电冰箱的地方空气不流通                               | ①用稀苏打水冲洗干净<br>②取出热食物,把它们放凉后再存入电冰箱内<br>③把电冰箱放置在通风凉爽的地方                                    |
| 电冰箱内高低压力正常,但结冰缓慢        | ①打开电冰箱门的次数过多或门垫损坏,关闭不密合等<br>②温度调节太低,蒸发器上凝结过厚冰霜                                           | ①减少开关电冰箱门的次数或修理门垫<br>②停止运转,在蒸发器内放入热水,然后启动电冰箱,让蒸发器上的冰霜层溶解,并重调温度调节器,若电冰箱有自动除霜装置,应检查蒸发器是否损坏 |



(续表)

| 故障现象                     | 产生原因                                                   | 处理方法                                                                       |
|--------------------------|--------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| 电冰箱运转后,蒸发器上毫无结霜现象,没有水珠凝结 | ①冷却系统漏气或冷却剂贮量少<br>②压缩机活门破损<br>③毛细管或滤子完全堵塞<br>④冷却系统内空气多 | ①添加冷却剂,或补焊冷却系统<br>②割开密封铁壳,更换活门<br>③把毛细管或滤子用氢氧焰熔化并清洗或更换<br>④排除原冷却剂,然后灌入新冷却剂 |
| 电冰箱内还没有结冰,电动机就自动停转       | 温度控制器的温度调节过高                                           | 调整温度控制器的温度                                                                 |



室内空气调节器是一种调节室内的温度、湿度,加速空气循环和过滤室内空气,去除灰尘与气味的有效装置。

室内空气调节器根据使用环境和条件的不同,分为窗式、立柜式、小型分体式空气调节器3种。

窗式空气调节器一般制冷量为7kw以下,采用全封闭式压缩机制冷系整体结构装置,它适合于小型家庭使用。

### 一、窗式空气调节器的结构

窗式空气调节器的全套装置,通常安装在窗户上,也可以凿穿墙壁装在壁穴内使用。这种空气调节器能够独立完成室内的空气循环、清洁、冷却、增热、调节环境温度等工作。它的外形结构如图6-28所示。

窗式空气调节器的正上方为出风栅,它可以调整角度,改变吹出冷(或热)风的方向。正下方为室内进气面(用于抽气进风),面上设有过滤网,用以过滤室内空气,实现净化的目的。正面的控制板上设有冷

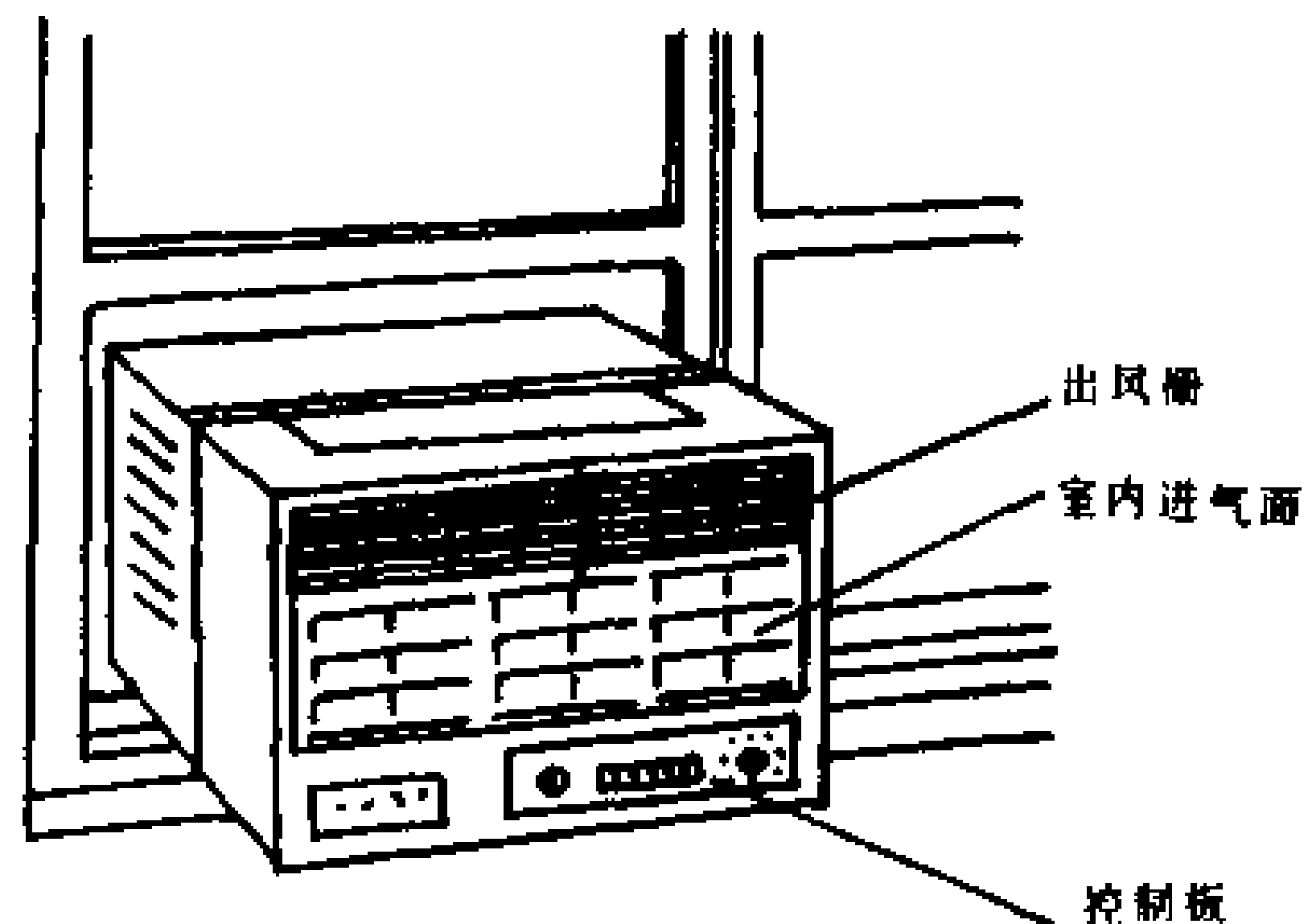


图6-28 窗式空气调节器的外形结构

热交换控制器、开关控制器和温度控制器(图6-29),它们分别用于选择制冷或制热控制装置的开停、强弱风(包括冷或热)强度和调整室内空气的交换流量、温度等。操作这些控制器就可以调节室内空气。

窗式空气调节器主要由制冷(或制热)装置、控制空气循环装置、控制系统及过载保护装置3大部分组成(图6-30)。

制冷(热)装置主要由压缩机、蒸发器、冷凝器、毛细管、膨胀室、储压室(有的

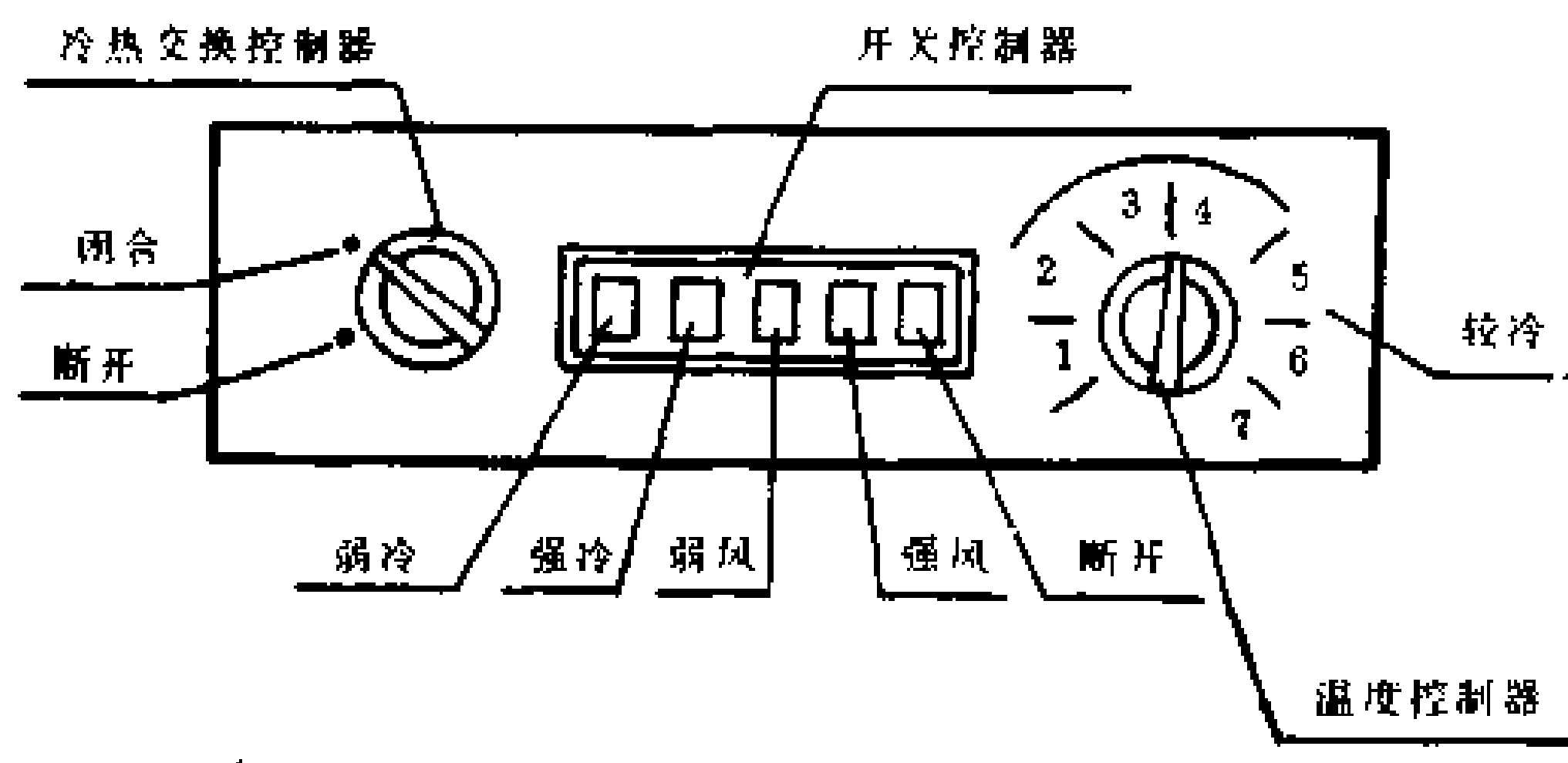


图 6-29 窗式空气调节器的控制板

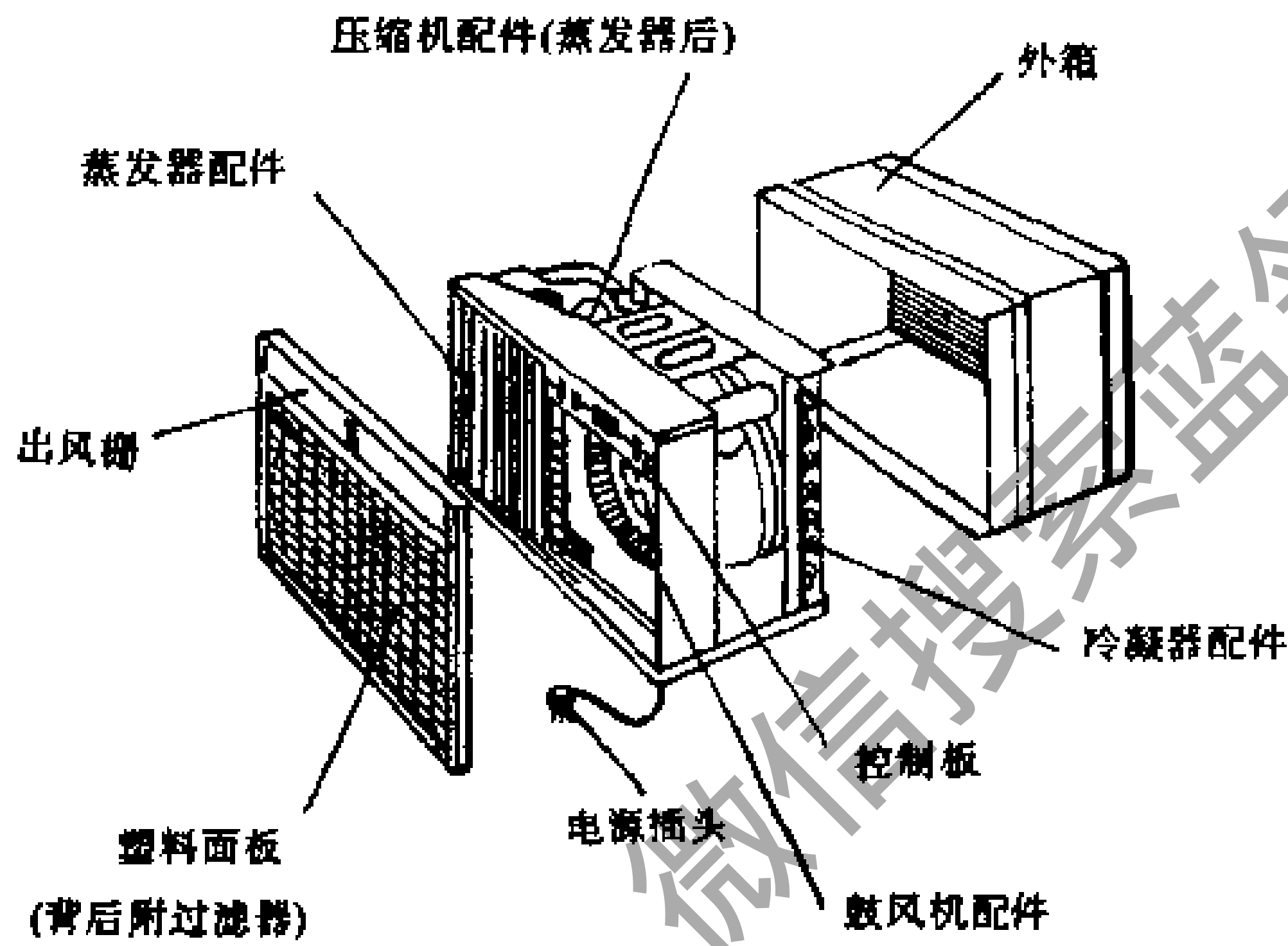


图 6-30 窗式空气调节器的结构

没有这种构件)及连接管道等组成(图 6-31、图 6-32、图 6-33)。它的作用主要是通过机械工作使制冷剂  $F_{22}$ 、 $F_{12}$ 、 $F_{11}$  (氟里昂气体) 变态而获得制冷或制热效果。

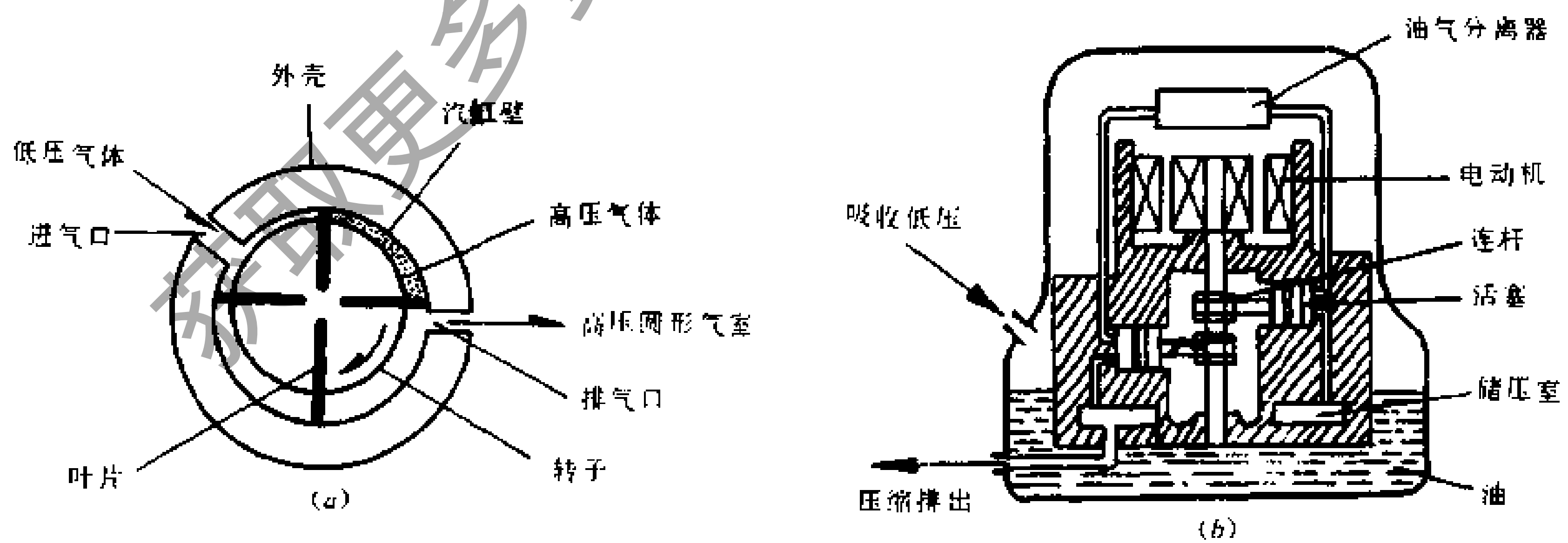


图 6-31 两种型式压缩机的结构原理

(a) 旋转叶式压缩机 (b) 全封闭双动式压缩机

控制空气循环装置主要由驱动微型电动机、离心式风机、轴流风扇、过滤器、出风栅、空气交换器等组成。它的作用主要是强迫空气循环，更新室内空气以及给蒸发器或

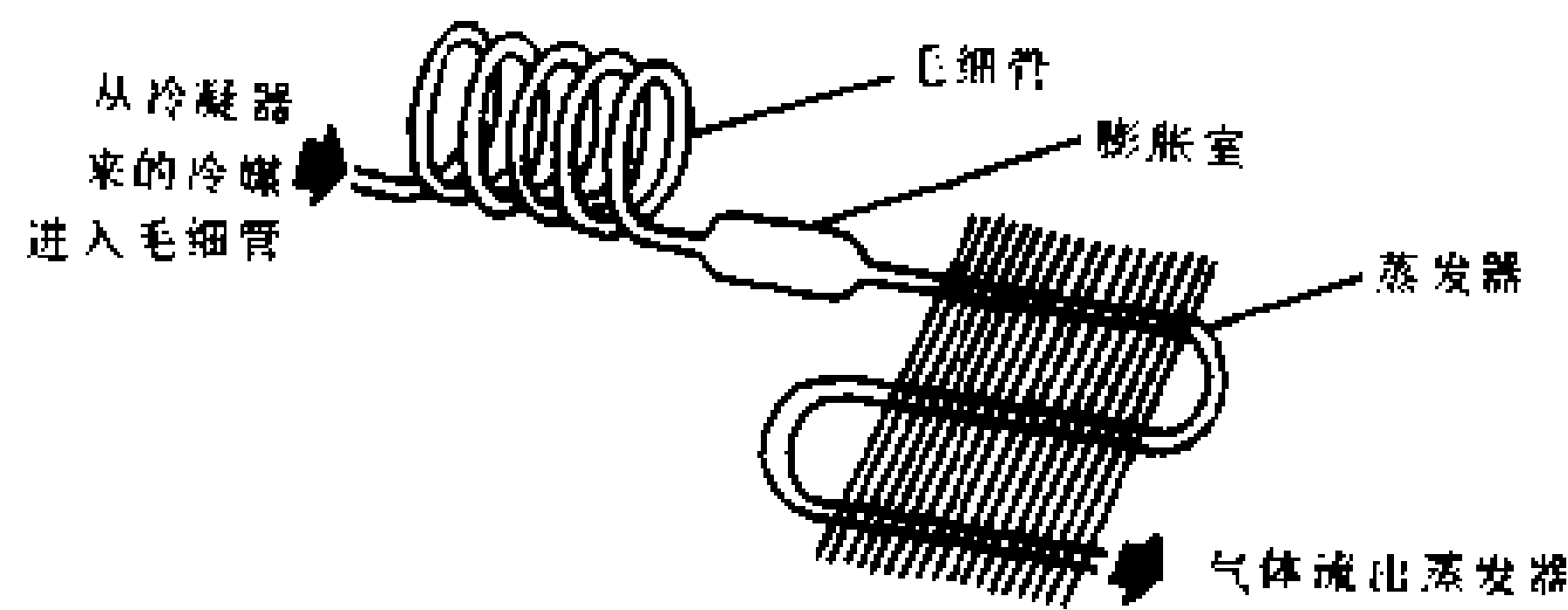


图 6-32 毛细管与膨胀室的结构原理

冷凝器以空气热交换条件，改善室内的温度等。

控制系统及过载保护装置主要由温度控制器、电磁换向阀、中间继电器、电流温度保护器、选择开关等组成（图 6-34、图 6-35、图 6-36）。它的主要作用是控制系统工作，以及在非正常工作状况下保护系统部件。

温度控制器（见图 6-34）是一种用来调节室内温度的元件，主要由感温包、波纹管、杠杆、微动开关以及旋钮连接的偏心轮等组成，温度控制范围一般为  $15 \sim 30 \pm 2 \text{ C}$ 。

温度控制器的工作主要是通过装在空调器内的感温包来进行，其工作原理是，随着室温的变化，感温包内灌注的氟里昂或氯甲烷的饱和蒸气压力也发生变化，使传动的波纹管伸缩而推动杠杆来控制开关触点的开闭，从而达到控制温度的目的。

电流温度保护器的结构见图 6-35，由于窗式空调器的压缩机及拖动电动机是全封闭式工作的，装拆维修较困难，安装电流过载保护和温度保护装置，以防止被烧毁。此装置一般安装在压缩机封闭的表面上。

电磁换向阀主要用于改变制冷剂的循环方向，从而使空气调节器由制冷运行转到制热运行。其结构原理见图 6-36。

## 二、窗式空气调节器的工作原理

窗式空调器的工作原理，如图 6-37 所示。当接通电源，压缩机在电动机拖动下开始工作。这时，室内热交换器（即蒸发器）的制冷剂低压蒸气（ $F_{12}$ ）被压缩机吸入，经过压缩后成为高压高温制冷剂蒸气进入室外热交换器（即冷凝器），再通过轴流风扇与室外不断吸入的稳定气流进行热交换，于

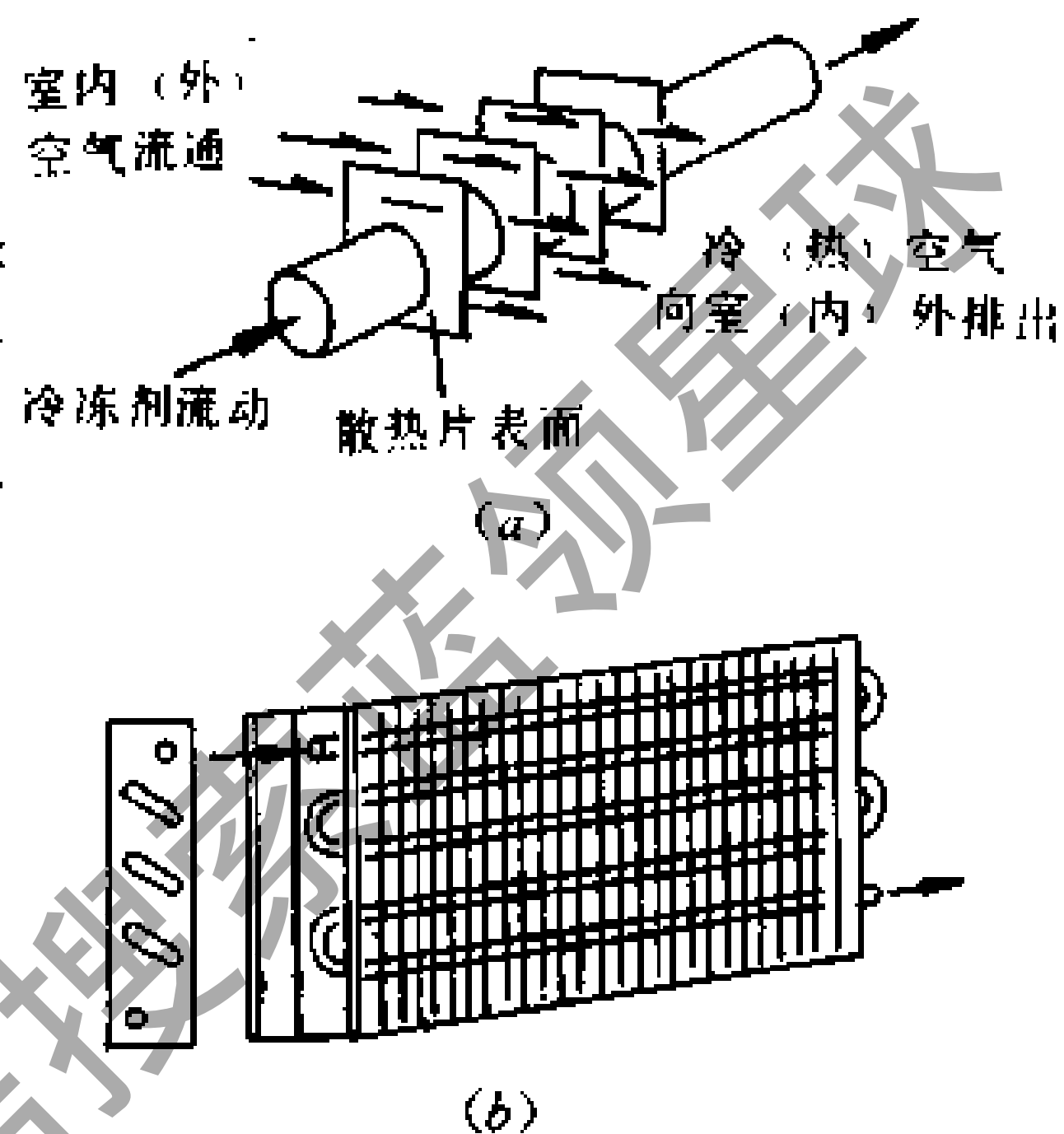


图 6-33 蒸发器和冷凝器的结构原理

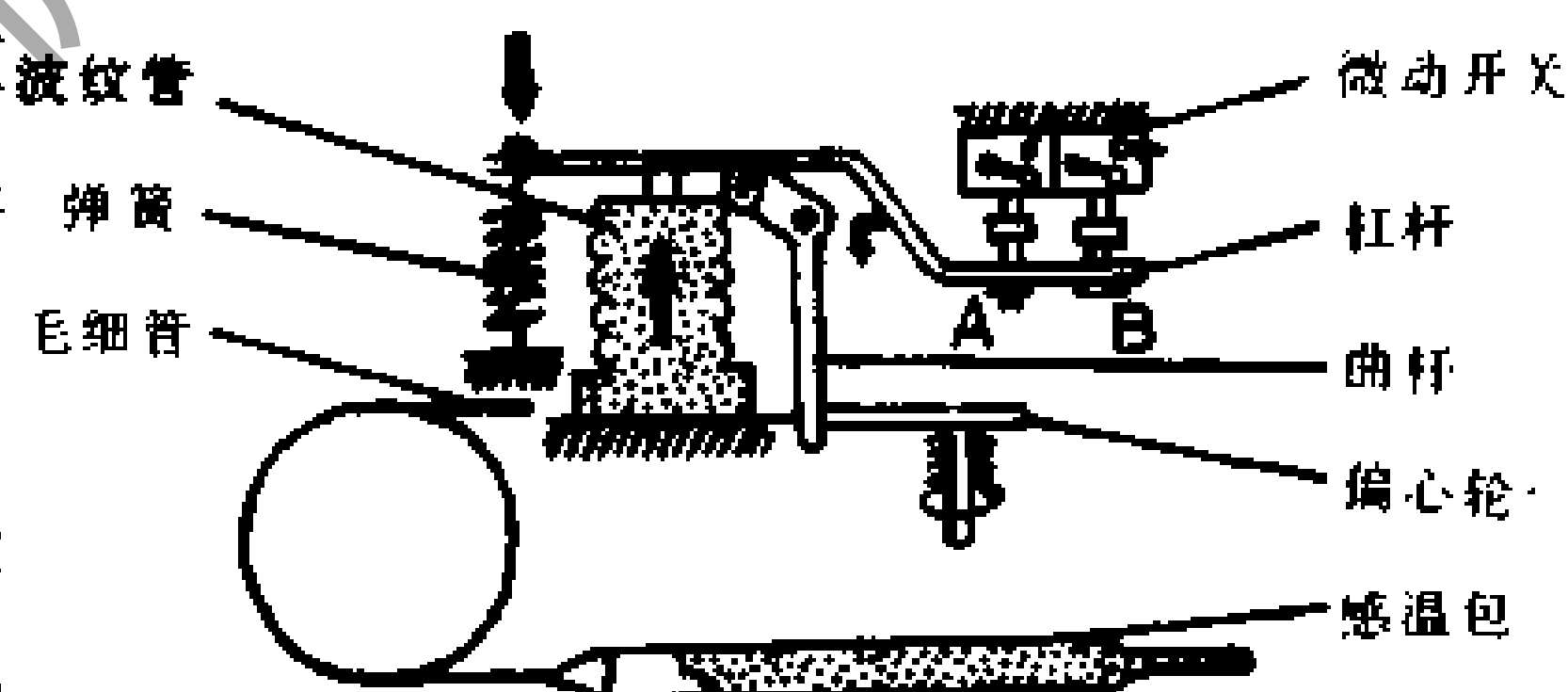


图 6-34 温度控制器的结构

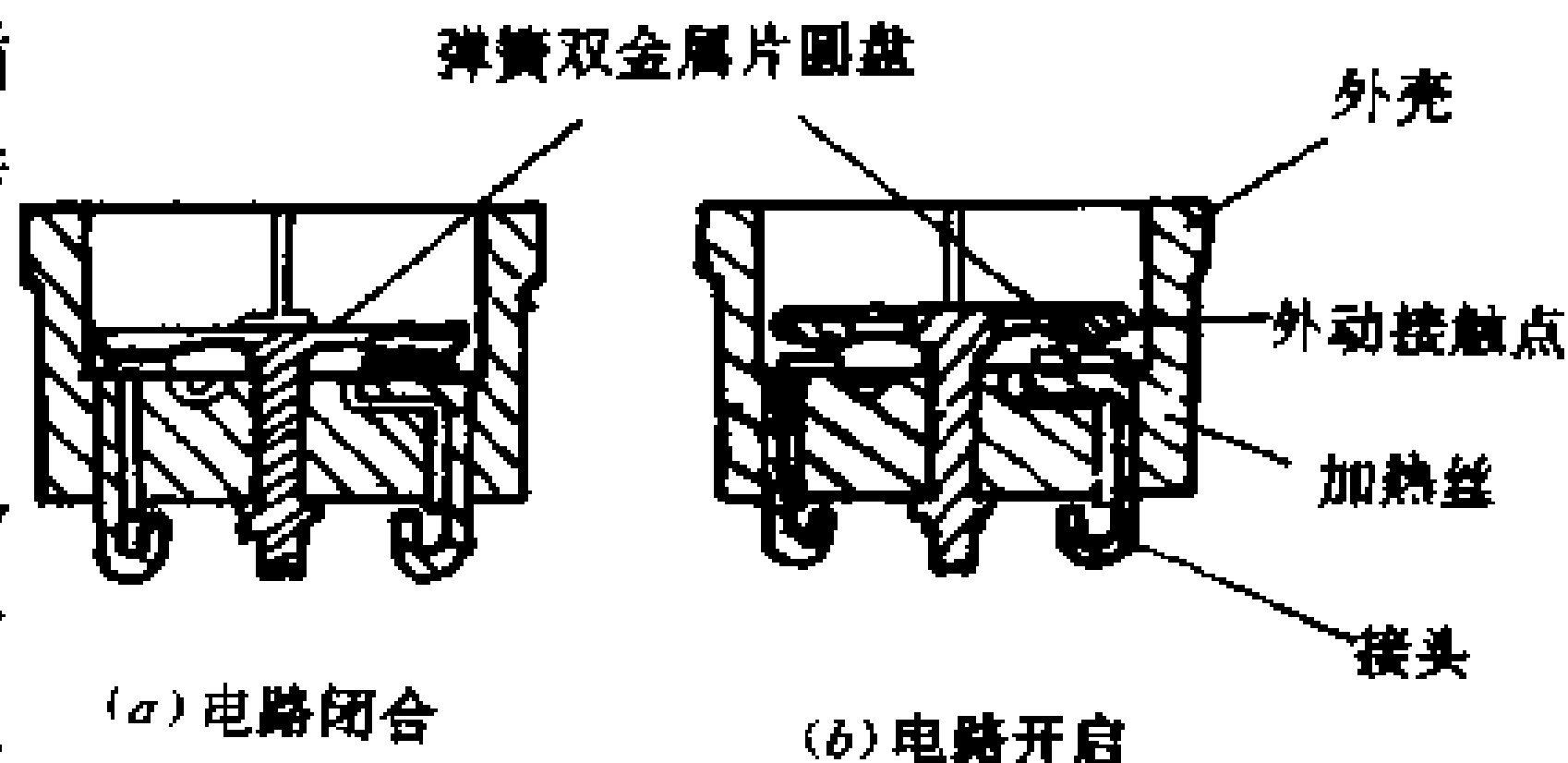


图 6-35 电流温度保护器的结构原理

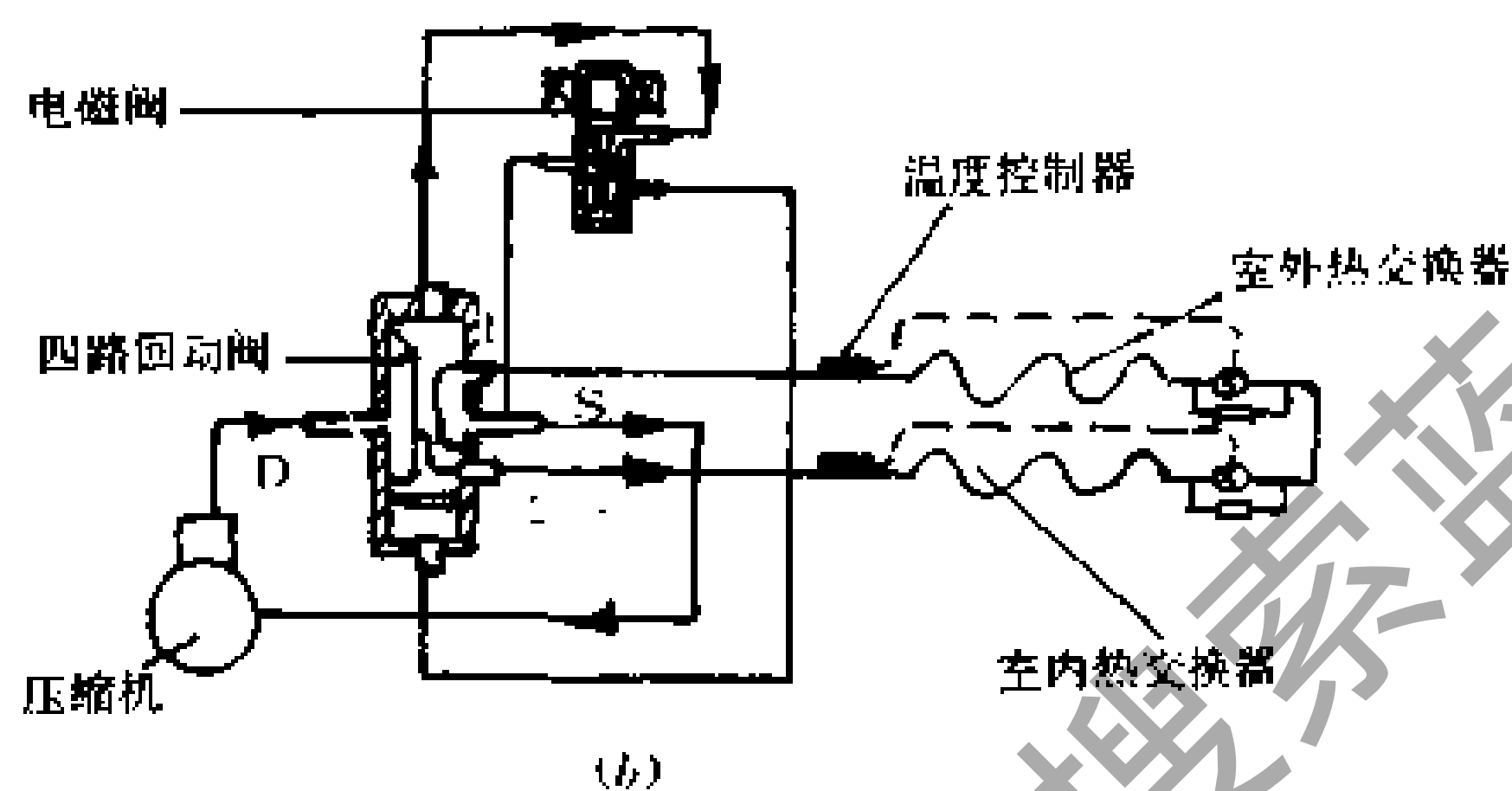
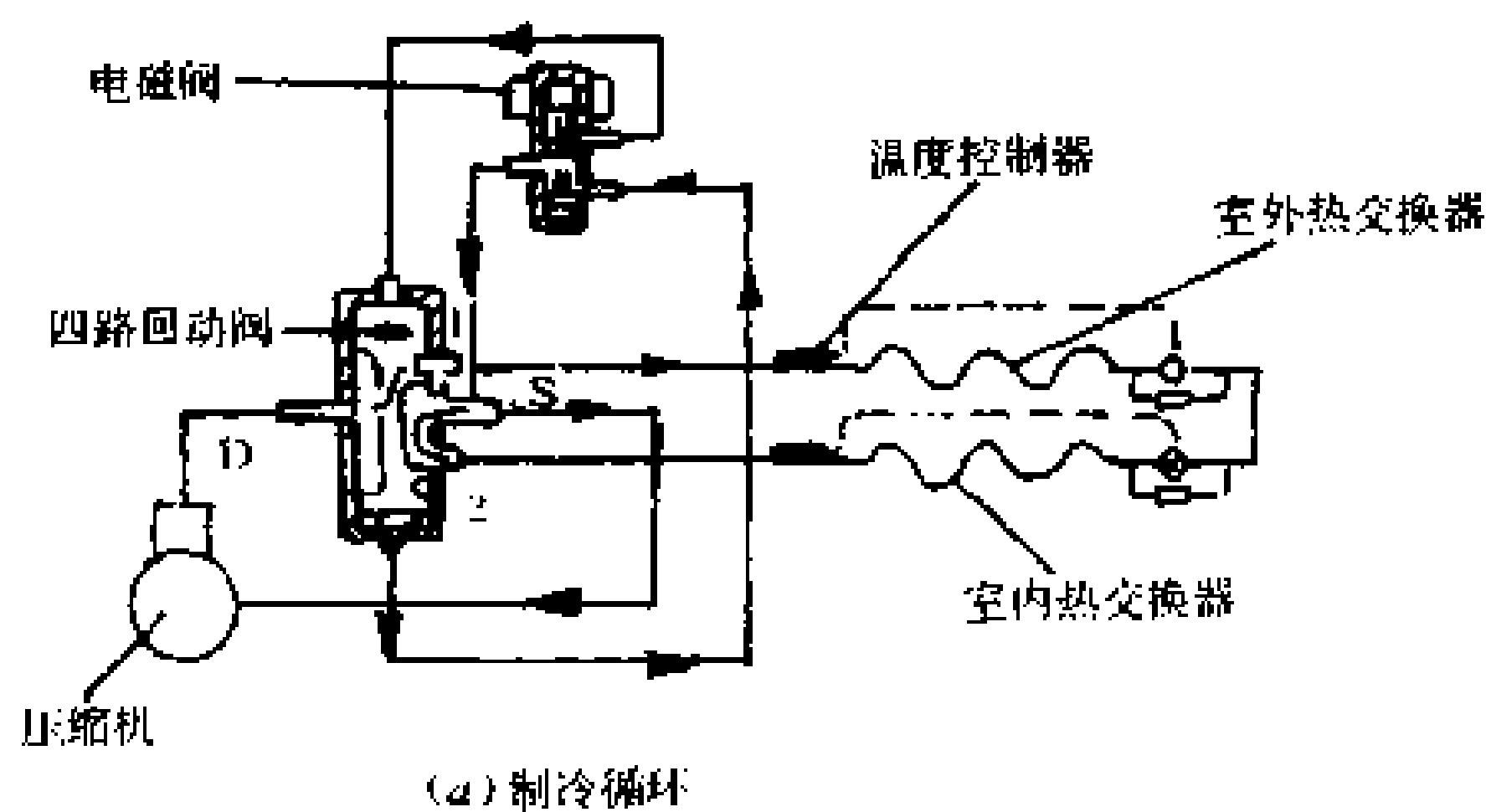


图 6—36 电磁换向阀的结构原理

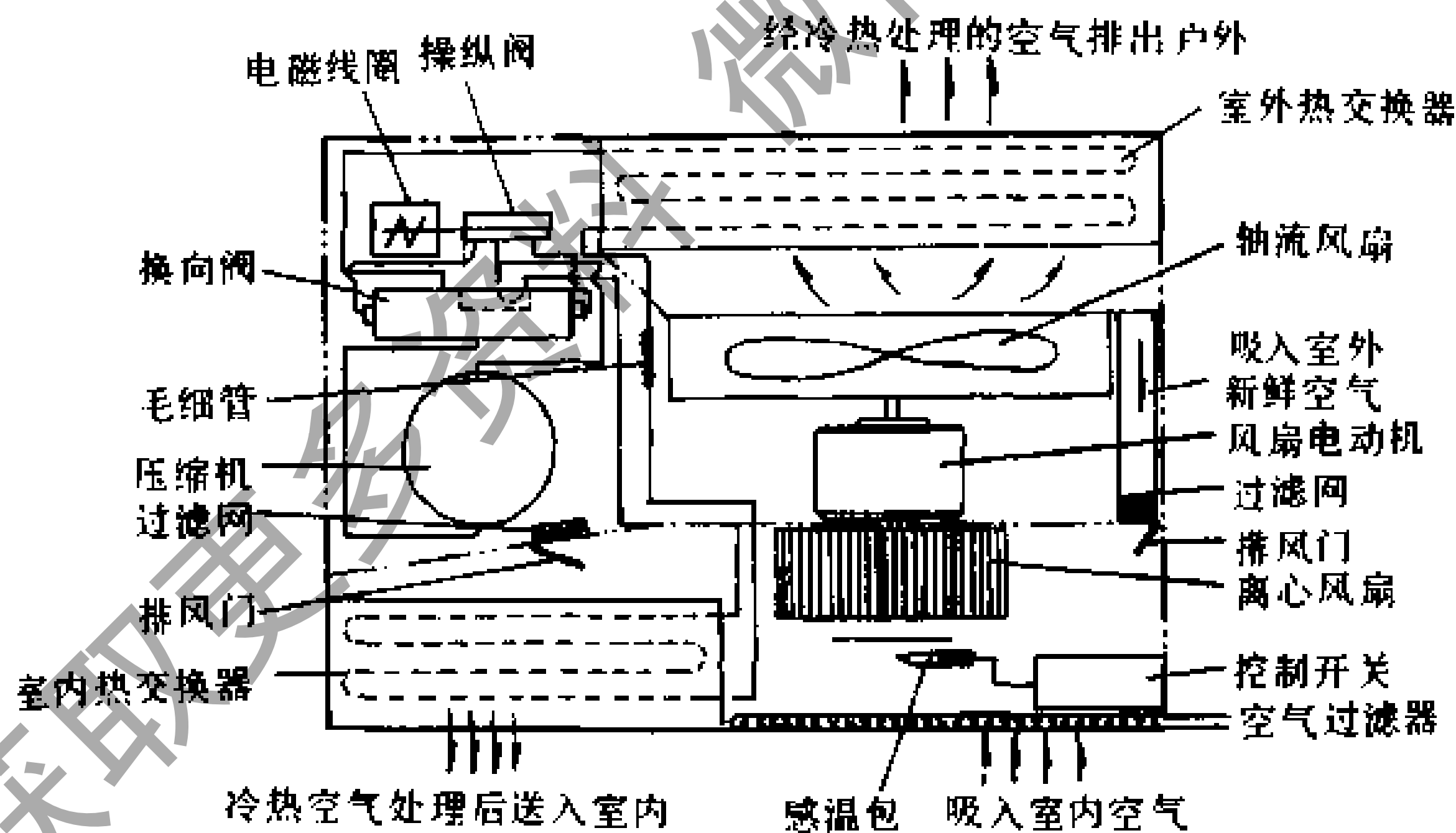


图 6—37 窗式空气调节器的工作原理

是制冷剂的过热被带到室外。此时，高压高温制冷剂蒸气获得冷却而凝结成为高压液态，它继续流向过滤器、毛细管后喷入室内热交换器。经过热交换器与离心式风机从室内（或外）吸入的空气中的热交换，被制冷剂吸热而降低了温度的空气流，再由风机送进室内。如此不断地循环，使室内达到降温的目的。当室内需要制热时，可把电磁换向阀换向，这时制冷剂的流向便逆转，室外热交换器即成为蒸发器而吸热；室内热交换器就变成冷凝器而放热，于是制冷剂的过热被带进室内。如此不断循环，即可使室内温度升高，实现制热的目的。另外，当只需起加速室内空气循环的作用时，可将空气调节器的选择开关

旋到“通风”挡位置。这时，压缩机停止工作，仅由风扇来实现空气循环。

窗式空调器多采用频率为 50Hz，电压为 200~240V 的单相交流电源。其电控原理，如图 6—38 所示。在起动空调器前，先将温度控制器的旋钮置于“常冷”位置（常冷位置是指感温包在任何温度下，均能使压缩机电动机的回路接通）。然后旋转联动选择开关至“通风”（强风或弱风）位置使风扇运转，接着把它继续旋到“制冷”（强冷或弱冷）位置，使压缩机电动机的回路接通，压缩机即开始工作，室内温度便逐渐下降。当室内温度达到一定要求时，即把温度控制器的旋钮反向转动。不久后，由于温度控制器中感温包的作用而切断电路，压缩机便停止工作，制冷停止。当室内温度又上升并超过所要求的温度时，因感温包的作用也使回路接通，压缩机重新工作，室内温度又逐渐下降。如此反复工作，就可使室内温度连续维持在一定范围内。

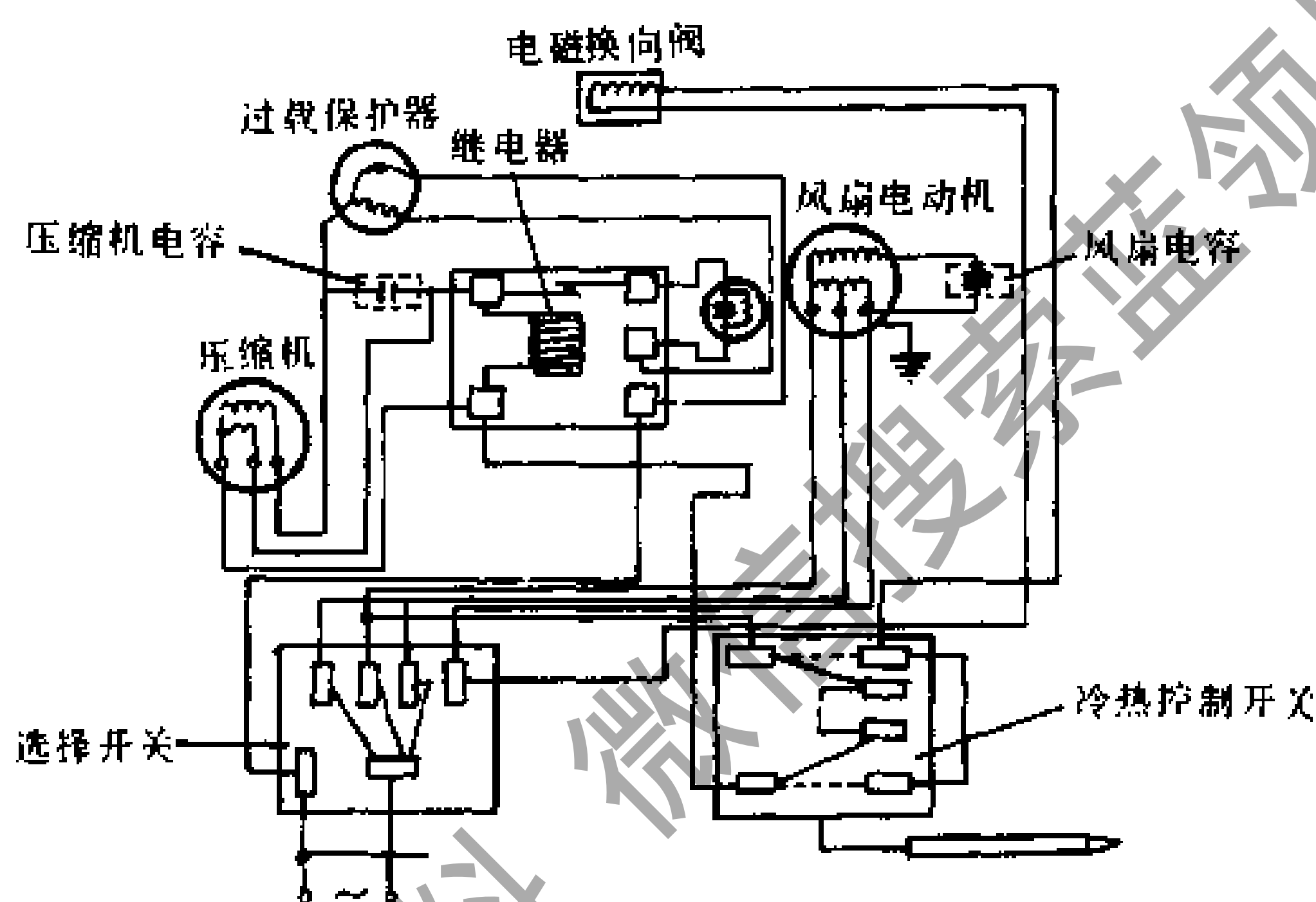


图 6—38 窗式空气调节器电控原理图

### 三、空调器的使用方法

#### 1. 考虑因素

使用空气调节器时，要考虑以下 3 个要素：

- (1) 房间的室内高度 2.8~3m 为宜，而且必须尽量减少室内热传递的不利因素。
- (2) 室内温度在  $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度在 40%~60% 时，可按每平方米面积 230~290W 的制冷量来选用适当的空调器。
- (3) 空调室内的人数应限制在每  $10\text{m}^2$  不超过 3 人，并且不应存放发热设备。

此外，还应注意空调房间的适宜建设条件和周围环境的选择。

#### 2. 空调器的安装

窗式空调器的安装方式有窗户内安装、窗户上或下的安装、门上气窗安装、穿过墙壁安装和天窗内安装等。这些安装方式的关键是平整、牢固和完美。此外，按照空调器的最大负载选用符合要求的线路、插座和保险丝等。具体要求有以下几点：

- (1) 空调器应安装在没有阳光直接照射之处，一般宜装于房间的北侧或东侧。
- (2) 安装处的四周距火炉、暖气、煤气管等热源设备较远。
- (3) 安装位置离地面 1.5m 以上，一般装在窗口或邻近墙壁处。

(4) 安装时, 应使空调器的外罩两侧的进风百叶窗露在墙外, 以保持通风流畅。

(5) 在空调器的室外部分, 装设一块倾斜的遮阳板(伸出空调器约 20cm), 以防日晒雨淋。此外, 要用绝缘材料堵塞箱体四周的空隙。

(6) 空调器放置要求保持水平或机箱后部稍微偏低, 这样可使水适当排到外部。

窗台式和穿墙式空调器的安装, 如图 6—39、图 6—40 所示。

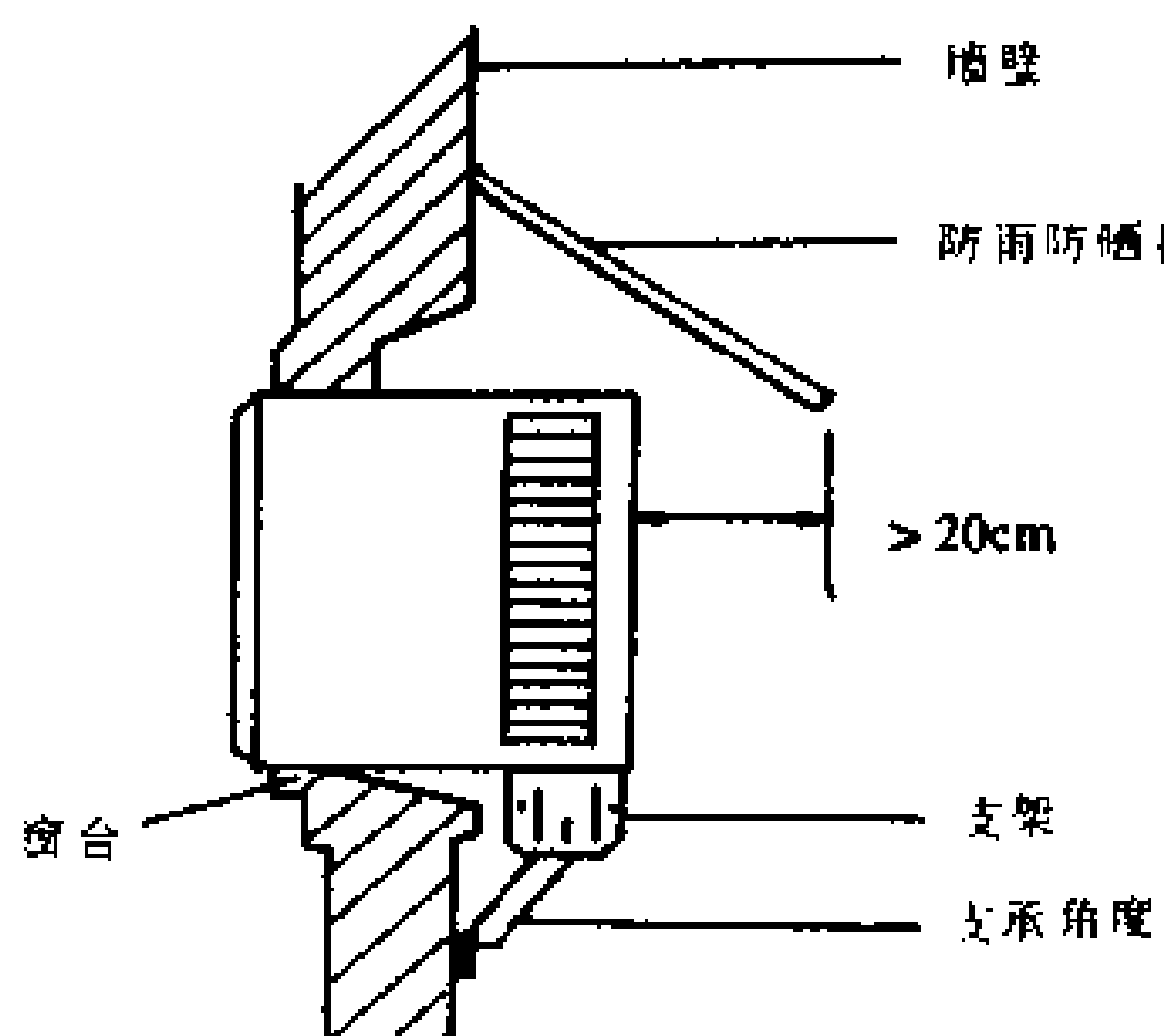


图 6—39 窗式空气调节器的安装

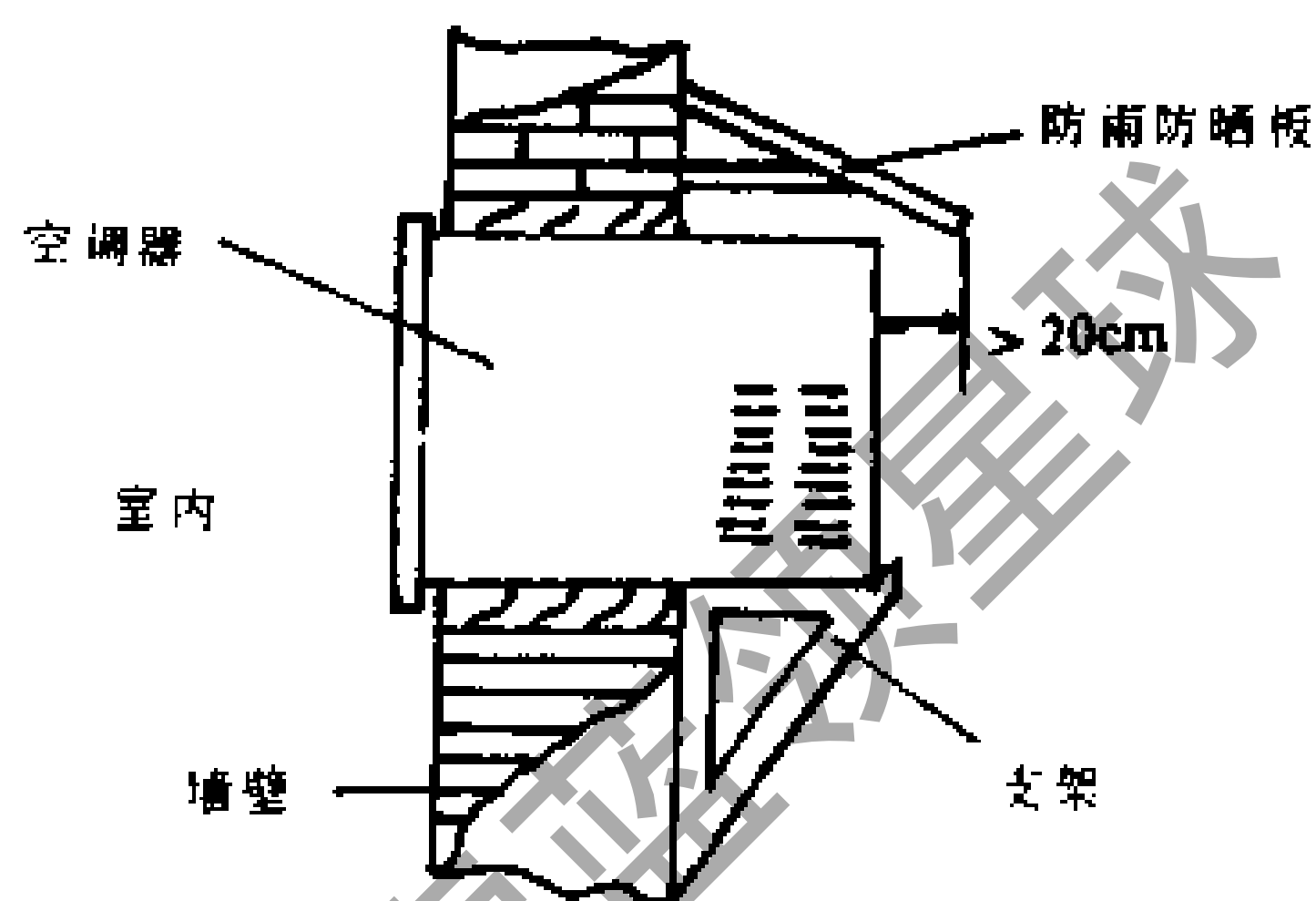


图 6—40 穿墙式空调器的安装

通常空调器的安装操作步骤是, 选择适当的墙上安装位置; 用木匠水平仪及丁字尺定出开口处; 在定出的开口处打一向导孔延伸到室外; 在墙外设计好连接线; 用凿子及手锤凿掉洞口周围的砖; 按照使用说明书安装机箱, 然后把机箱周围的缝隙填塞; 安装安架和遮阳板。

#### 四、空调器的维护保养和故障处理

##### 1. 维护保养

家用窗式空调器的维护保养, 要注意做好以下几点:

(1) 定期清洗过滤网: 过滤网是用来过滤空气中的尘埃的。若滤网积尘太多会阻碍气流的畅通及降低制冷量。清洁时, 拆下过滤网, 进行拍打、吸尘及清洗, 然后重新安装使用。

(2) 清洁面板及机壳: 清洁面板及机壳, 切勿用汽油、煤油或化学药物等擦洗, 以免损坏或擦伤面板和机壳。

(3) 底盘、内壳的清洁: 清洁底盘、内壳以前, 应先拔出插头, 卸下面板及拉出底盘, 然后用湿软布抹去各部分的尘埃及脏物。可用压缩空气或吸尘器清洁蒸发器和冷凝器散热片上的灰尘。这项工作一般每年进行 1~2 次。

(4) 风扇电动机的润滑: 风扇电动机的润滑可以结合每年一至两次的底盘内壳清洁, 按使用说明书指明的润滑加油孔加适量的机油, 以确保风扇电动机的运转正常。

##### 2. 故障处理

因为家用窗式空调器的结构比较复杂, 维修知识涉及机械、电器、制冷及有关物理、化学等专门常识, 所以它的故障处理比其他家用电器较为困难。但是, 只要遵守有关的标准检修程序, 以及制造厂的有关说明规定方法去检修, 也可以排除和处理一些故障。通

常，空调器常见的主要故障为不能制冷（或制热）和冷（或热）量不足。这些故障情况及处理方法，见表 6—5。

表 6—5 窗式空气调节器常见故障及处理方法

| 故障现象                    | 产生原因                                                                                                                                                                             | 处理方法                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|-------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 整机不起动                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>①无电源</li> <li>②保险丝烧断</li> <li>③有关继电器未复位</li> <li>④电控系统部件出故障</li> </ul>                                                                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>①检修电源</li> <li>②按规定负荷要求更换保险丝</li> <li>③停转一段时间，调整控制开关后再试起动机；若不起动，可分段检查各类继电器</li> <li>④用电气检查工具（如万用表、功率表、兆欧表等）按电器原理图分件分段检查，找出故障件，再予以修理或更换</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                            |
| 制冷时有气流，而无制冷（即风扇转压缩机不起动） | <ul style="list-style-type: none"> <li>①起动继电器失效</li> <li>②起动或运转电容损坏</li> <li>③压缩机胶着</li> <li>④接线松脱或接错</li> <li>⑤温度控制器接线开脱或损坏</li> </ul>                                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>①检查触点是否烧蚀，并进行修磨；检查线圈是否烧损，若烧坏应重新更换</li> <li>②用万用表检查鉴定后，更换符合型号要求的电容器</li> <li>③对压缩机电动机作常规检查，即用万用表检查绕组是否开路；绕组是否断路或短路；如有以上 3 种情况就必须更换压缩机或送有关修理部门，予以拆开封闭外壳重绕修理</li> <li>④冷媒高压低压区域压力尚未平衡，电动机无法克服大转矩，此时必须有足够时间让冷媒压力自动平衡后再试起动机</li> <li>⑤过载保护器尚未复位或损坏，待压缩机充分冷却后再试起动机，若还不能起动机应更换过载保护器</li> <li>⑥压缩机、机械故障严重胶着，应更换或送专业修理部门修理</li> <li>⑦分段按接线原理图检查，松动的应重新接紧，接错的予以更正</li> <li>⑧检查温度控制器，予以修理或更换</li> </ul> |
| 整机起动机后迅速停转              | <ul style="list-style-type: none"> <li>①压缩机胶着</li> <li>②接线错误</li> <li>③冷媒量过多</li> <li>④蒸发器或冷凝器系统内不清洁而受阻</li> <li>⑤压缩机过热</li> <li>⑥冷冻系统内有空气</li> <li>⑦轴流风扇、离心风机、电动机出故障</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>①可按前面的叙述方法处理</li> <li>②按电控线路图检查并予以更正</li> <li>③排出适量冷媒</li> <li>④拆下清洗管道系统，再重新装配并注入冷媒后予以运转</li> <li>⑤有两种情况：一是新的压缩机机械配件较紧，运转后温度上升；二是温度电流过载，保护器自动断路而造成。解决方法可让压缩机反复起动机数次，每次起动机应间歇 2min。若运转顺利，但仍然过热，应更换压缩机</li> <li>⑥排清冷冻剂后，重新把系统抽真空，再灌入定量冷媒</li> <li>⑦对风扇电动机作常规检查，如绕组是否正常，接线是否正确，电容器有没有损坏，风扇排风量是否正常等；发现问题分别予以检修</li> </ul>                                                                        |

(续表)

| 故障现象             | 产生原因                                                                             | 处理方法                                                                                                                                                                                           |
|------------------|----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 空调运转正常,但制冷(热)量不足 | ①系统中的冷媒泄漏,热交换媒介不足<br>②温度控制器出故障<br>③压缩机内阀片损坏,系统内高、低压区无法形成制冷<br>④风扇电动机转速或转向错误或风叶打滑 | ①用卤素检漏灯查漏点,并对漏点银焊封闭后,重新把系统抽真空,按额定量灌注 F <sub>22</sub> 冷媒<br>②检查温控器感温包有没有泄漏,调整触点开关;检查温控位置是否适当,予以调整;更换型号相同的温度控制器<br>③更换压缩机或送有关修理部门维修,更换阀片<br>④检查接线是否错误,然后予以更正;检查电动机是否有局部短路,电容是否有问题,予以修理更换;检查及紧固风叶 |

电熨斗是一种小型家用电热电器,主要用于熨烫衣物。

电熨斗的种类主要有:普通型、自动调温型、喷气型和旅行型4种。本节主要介绍普通型和自动调温型两种电熨斗。

### 一、普通型电熨斗

普通型电熨斗具有结构简单、易拆易修和价格便宜等优点。但使用时要凭经验控制温度,而且要经常插、拔电源插头,很不方便。如果忘记拔去电源插头,就会因熨斗过热而烧坏手柄或烫焦衣物。

普通型电熨斗最小功率为150W,最大功率为1kW。规格一般分为300W、500W、750W和900W等几种(其他类型电熨斗也与其规格相同)。

普通型电熨斗主要由底板、手柄、罩壳、电热元件、电源引线等组成(图6-41)。它的特点是底板厚而重,使用时把电源插头插到电源插座,使熨斗内部的电热丝发热,底板温度会慢慢升高。到一定温度后,拔出插头断开电源,靠底板储存的热量来烫衣物。熨烫一段时间后,底板温度下降,又要接通电源,再次把底板升温,然后拔出插头,断开电源。

### 二、自动调温电熨斗

自动调温电熨斗是一种内部装有恒温器的电熨斗,它可以自动控制底板温度。当熨斗底板达到预定的温度,恒温器便切断电流,使温度不再上升;当底板温度下降,恒温器又接通电路,重新把底板加热升温。这种类型的电熨斗不仅可以自动控温,又可以根据所烫衣物的种类来选择温度,因此它既适于熨烫需要低温(70~100℃)的尼龙、化纤品等

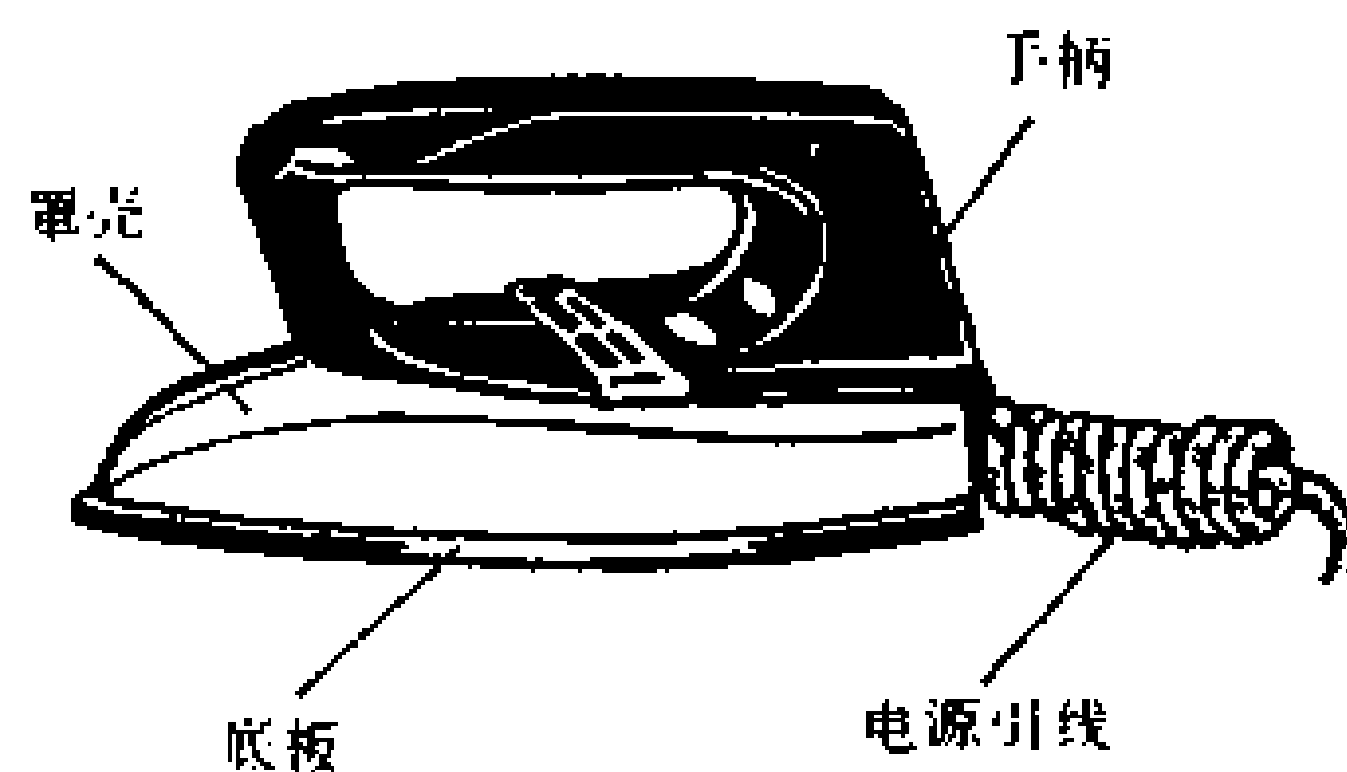


图6-41 普通型电熨斗的基本结构



衣物，也适合于熨烫需要高温（190~230℃）的棉麻粗布等，而且省电、使用方便和安全。

### 1. 基本结构

自动调温电熨斗的结构与普通电熨斗基本相同，不同的是它的内部装有一恒温器。其结构如图 6—42 所示。

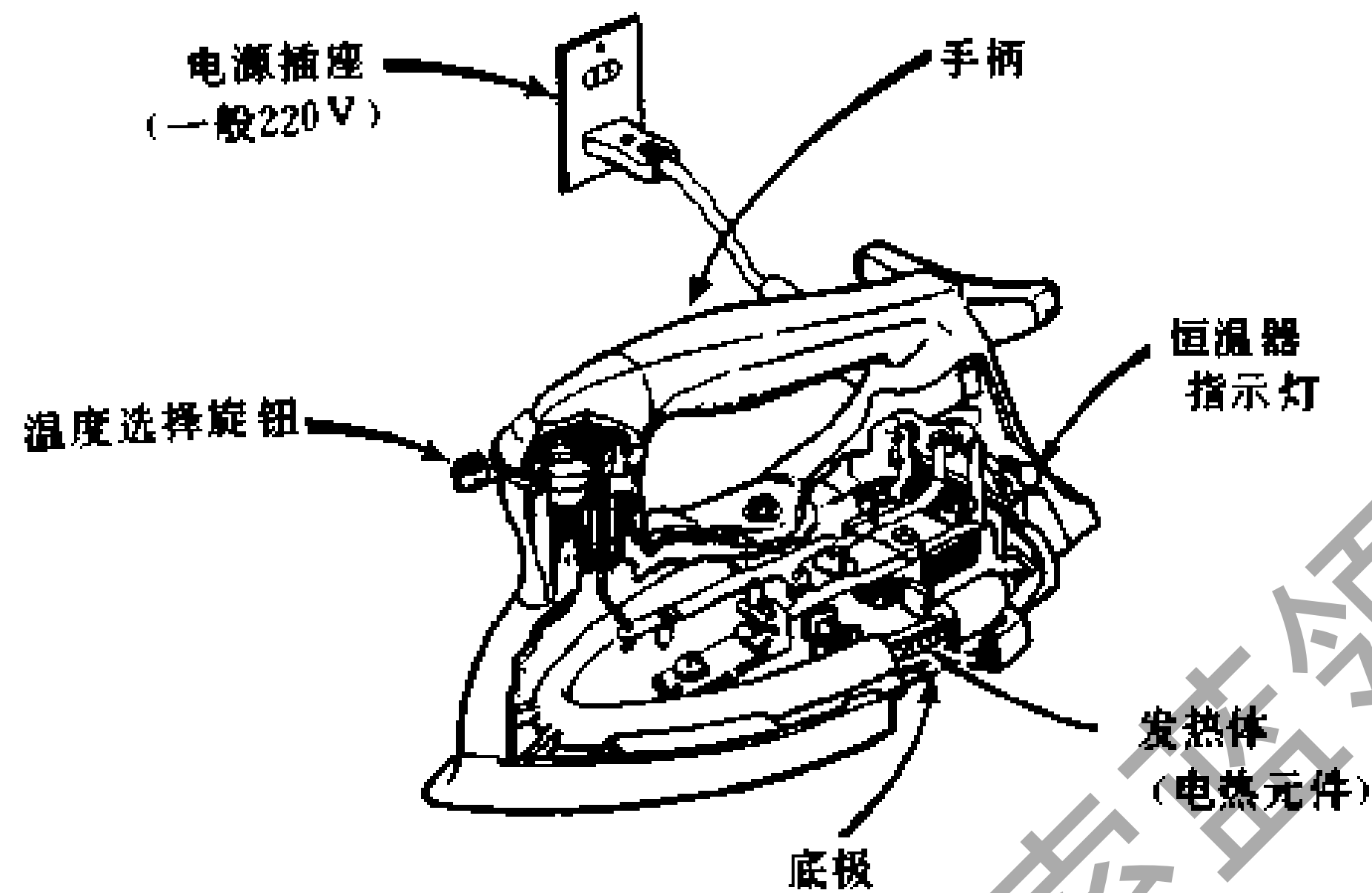


图 6—42 自动调温电熨斗结构图

自动调温电熨斗的恒温器可分为普通双金属片恒温器、底膨胀片式和桥簧式的双金属片恒温器 3 种。它们的结构不同，控温性能也有所不同，但工作原理却是相同的。

自动调温电熨斗一般都装有指示灯，用以指示电熨斗电流的断、通。图 6—43 是用普通的小电珠（1.5~2.2V）作指示灯的一种线路。另一种采用氖泡作指示灯的线路（图 6—44）。

### 2. 自动调温电熨斗的工作原理

自动调温电熨斗所以能够自动控制底板温度，是由于它内部装有一个恒温器（亦称自动温度调节器）。恒温器与电热元件串联，当电熨斗接上电源，恒温器两触点便接通，使热元件通电变热。随着电

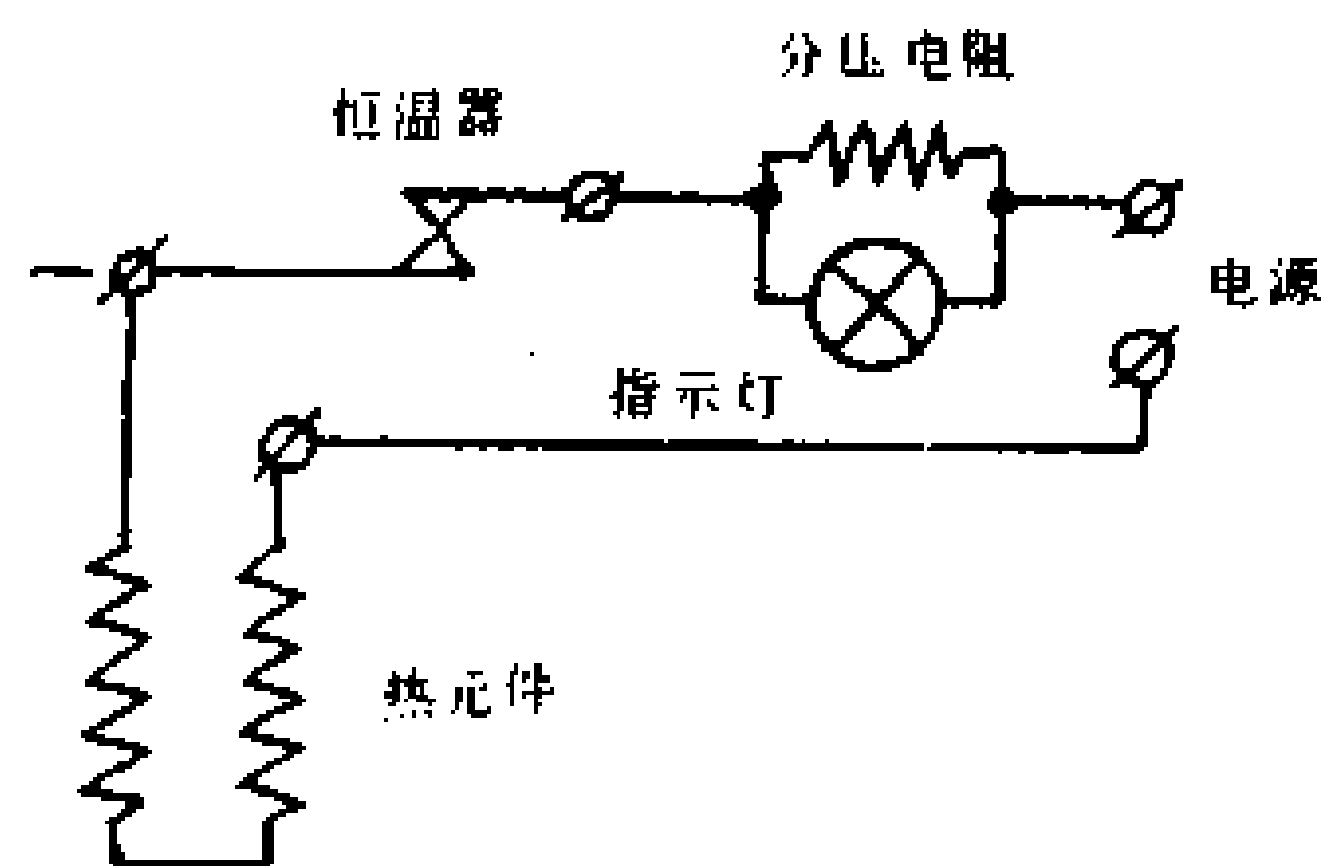


图 6—43 电珠指示灯的线路

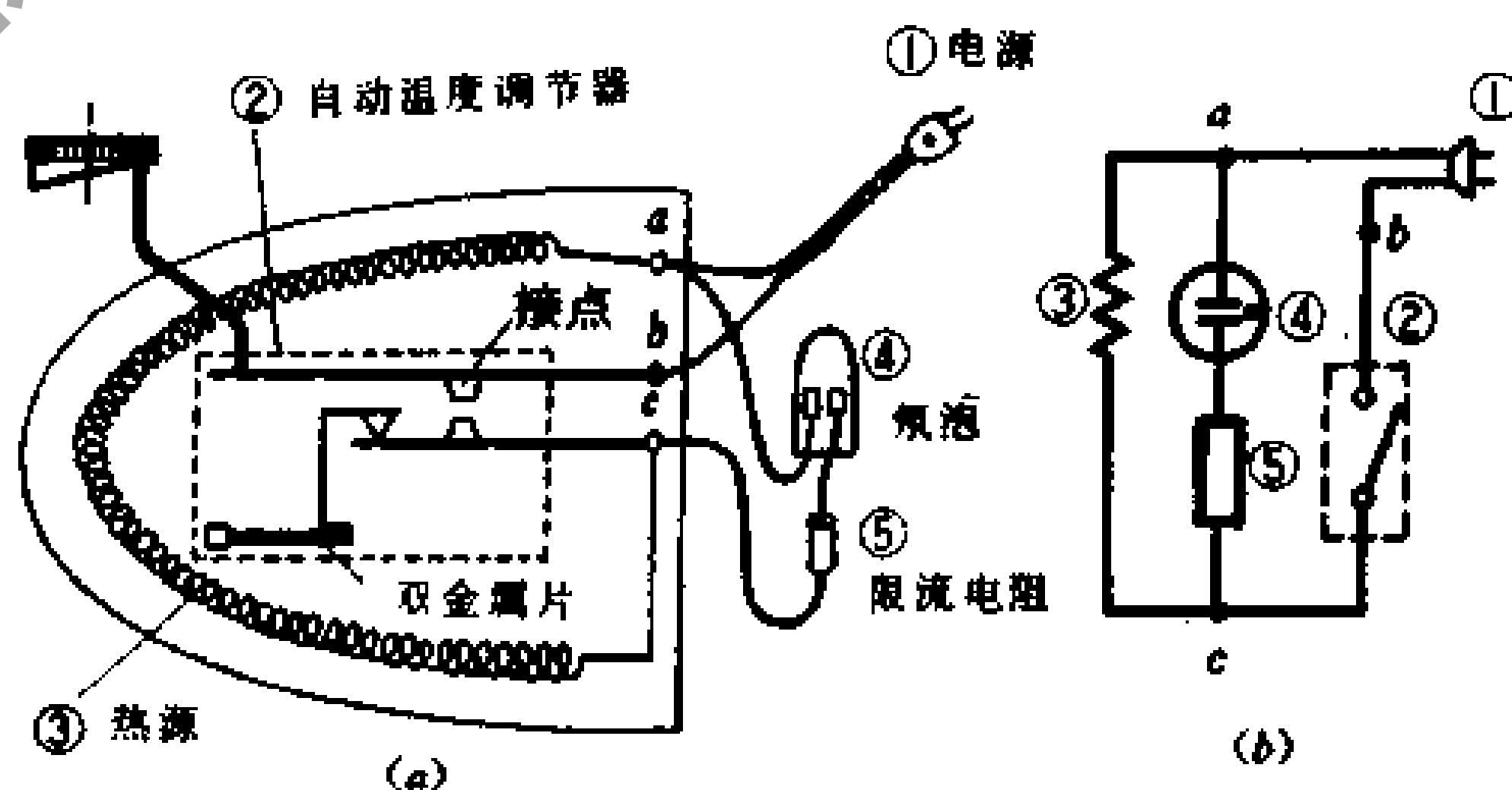


图 6—44 自动调温电熨斗电路图

(a) 实体示意图 (b) 电路图

熨斗底板的温度上升，恒温器的双金属片变形向上弯曲，把下弹簧片压下，使恒温器两触点 A、B 分离，电热元件断电，电熨斗底板温度下降(图 6—45)。随着底板温度的下降，恒温器的双金属片又逐渐恢复原状，两触点重新接通，电热元件又通电加热。由于恒温器双金属片的重复动作，把电路自动切断和接通，使温度保持在一定范围内，达到自动调温的目的。

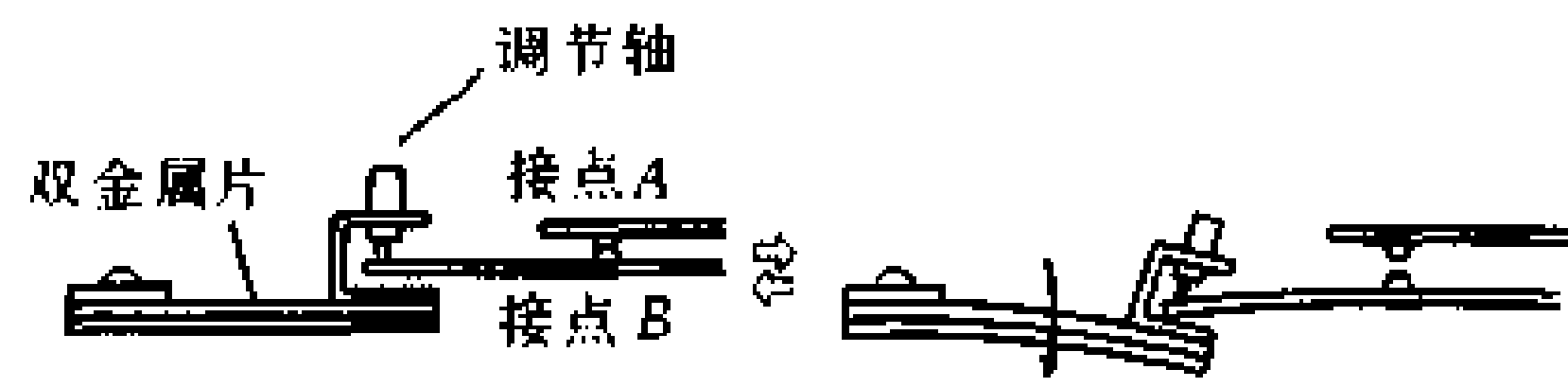


图 6—45 恒温器工作原理图

转动调温旋钮或转盘，通过操纵调节轴的升降，改变下弹簧片的位置，可以改变电熨斗的温度。调整到双金属片的弯曲变形量较小，就能使恒温器的两触点分离时，熨斗底板降温；反之，调整到双金属片的弯曲变形量大才能使两触点分开时，电熨斗底板的温度就升高。

### 3. 自动调温电熨斗的使用方法

使用电熨斗（不论哪种类型）最主要的是要注意安全和不烫坏衣服。电熨斗的额定电压必须与电源电压相符，并且不能与其他电器（如电视机、录音机、电冰箱、电风扇等）共用一个保险盒。烫衣时，要安排好电源软线的位置，以免不慎而把电线烧坏。不要用手碰触熨斗的罩壳，以免烫伤。烫衣过程中，若发现故障，一定要先拔去电源插头，待熨斗冷却后再拆开检修。用后要等到完全冷却再存放好。存放时，电源线要轻轻绕在手柄上，不要过分屈折，以免断线。

使用自动调温电熨斗的关键，是掌握调节温度的方法。这种电熨斗的调温器一般是用一只旋钮来控制。把旋钮向顺时针方向转动，温度升高；向反时针方向转动，温度下降。旋钮上有温度标盘，它标的不是温度而是衣物的名称。将旋钮拨到标尺位置（对着所要烫衣物名称），则熨斗底板便会自动维持在适合于这种衣物的温度范围。

操作自动调温电熨斗的步骤是：

- (1) 插上电源插头。
- (2) 将调温旋钮拧到所烫衣物种类的标尺位置上，这时指示灯亮，将熨斗竖放升温。
- (3) 经过一段时间后指示灯熄灭，表示熨斗已热至所需温度，可以开始烫衣。
- (4) 烫衣过程中，指示灯时亮时灭，表示熨斗处在自动恒温状态。
- (5) 烫衣完毕，要将调温旋钮拧到“关”（OFF）的位置，然后拔下电源插头。如果旋钮不拧回“关”的位置，调温器的弹簧片会因长时间处于工作状态而失去弹性。

应注意，烫完高温的衣料后，如果再烫化纤衣料应把旋钮拧往低温挡，等待一段时间，让熨斗温度下降到指示灯重新发亮才能开始烫衣。以免温度过高而烫坏衣料。在熨烫几种需要不同温度的衣料时，一般应先烫低温的，后烫高温的，这样做可以省时和省电。

### 三、常见故障和维护

电熨斗的常见故障主要有不热、短路、控温不灵等。产生故障的原因和处理方法，见表 6—6。

表 6—6

电熨斗的常见故障和处理方法

| 故障现象         | 产生原因                               | 处理方法                                                                                                         |
|--------------|------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 不热           | ①电源引线断路<br>②恒温器触点不能闭合<br>③电热元件断路   | ①检查电源引线线心是否折断或接线螺钉是否松脱，必要时予以更换<br>②检查恒温器，调节触点距离，使之恢复闭合，或更换恒温器<br>③检查电热元件，若云母板式电热元件断丝可用电阻焊修复；若电热管式电热元件损坏，应予更换 |
| 过热或控温不灵      | ①普通型电熨斗通电时间过长<br>②自动电熨斗恒温器触点熔合不能分开 | ①注意控制通电时间<br>②检查恒温器，必要时予以更换                                                                                  |
| 保险丝迅速烧断      | 电熨斗短路                              | 短路部位可能在电源线线心之间或在恒温器、电热元件等电气连接部位，由外至内逐级查找，发现短路部位予以排除                                                          |
| 漏电           | ①电器线路与壳体相碰或绝缘体损坏<br>②喷汽电熨斗内部漏水     | ①由外至内逐级查找碰壳部位；云母板式电热元件漏电，可用增垫好云母片的方法处理<br>②检查贮水器及阀门，更换密封材料或有关零件                                              |
| 手柄或其他电木件破裂   | 使用不当或不慎跌落                          | 更换新件                                                                                                         |
| 底板镀层表面粘上黑色炭焦 | 熨衣时底板温度太高，衣物纤维被烫焦                  | 校正恒温温度，底板上的炭焦用墨鱼骨轻轻擦掉                                                                                        |

## 第 6 节 电 饭 锅

电饭锅也称电饭煲，是人们越来越喜欢用的一种厨用电器。它不仅可用于煮饭、蒸热食物，还可用于熬汤、煮粥、炖食品和蒸馒头等，用途多样，使用方便可靠。

电饭锅可分为保温式自动电饭锅、定时保温式电饭锅和压力电饭锅 3 种。保温式自动电饭锅在饭煮熟后，能够自动断电并维持一定的温度范围，使饭保暖。定时保温式电饭锅除了有自动断电和保温作用外，还装有定时器，用户可以根据需要，在指定的 12h 范围内，选择任一开始煮饭时间，以便缩短电饭锅内熟饭保温时间，提高煮饭质量。压力电饭锅兼有电饭锅和高压锅的优点，用它煮米饭，味道香软，而且省电。

国产的电饭锅是按功率大小划分的，国外电饭锅是按容量大小来划分的。表 6—7 是顺德市电饭锅厂生产的三角牌自动电饭锅的规格。

表 6—7

三角牌自动电饭锅的规格

| 功率 (W) | 容量 (L) | 可供用膳人数 |
|--------|--------|--------|
| 450    | 1      | 2~4 人  |
| 550    | 1.5    | 3~6 人  |
| 650    | 2      | 5~8 人  |
| 750    | 2.2    | 7~10 人 |
| 950    | 2.8    | 8~12 人 |

### 一、自动电饭锅的基本结构

保温式自动电饭锅，是由加热器、内锅、盖、开关、饭熟断电限温器、自动保温器、指示灯、电源插柱和外壳等部分组成的（图 6—46）。另外，还配有电源引线、蒸板和量杯等附件。

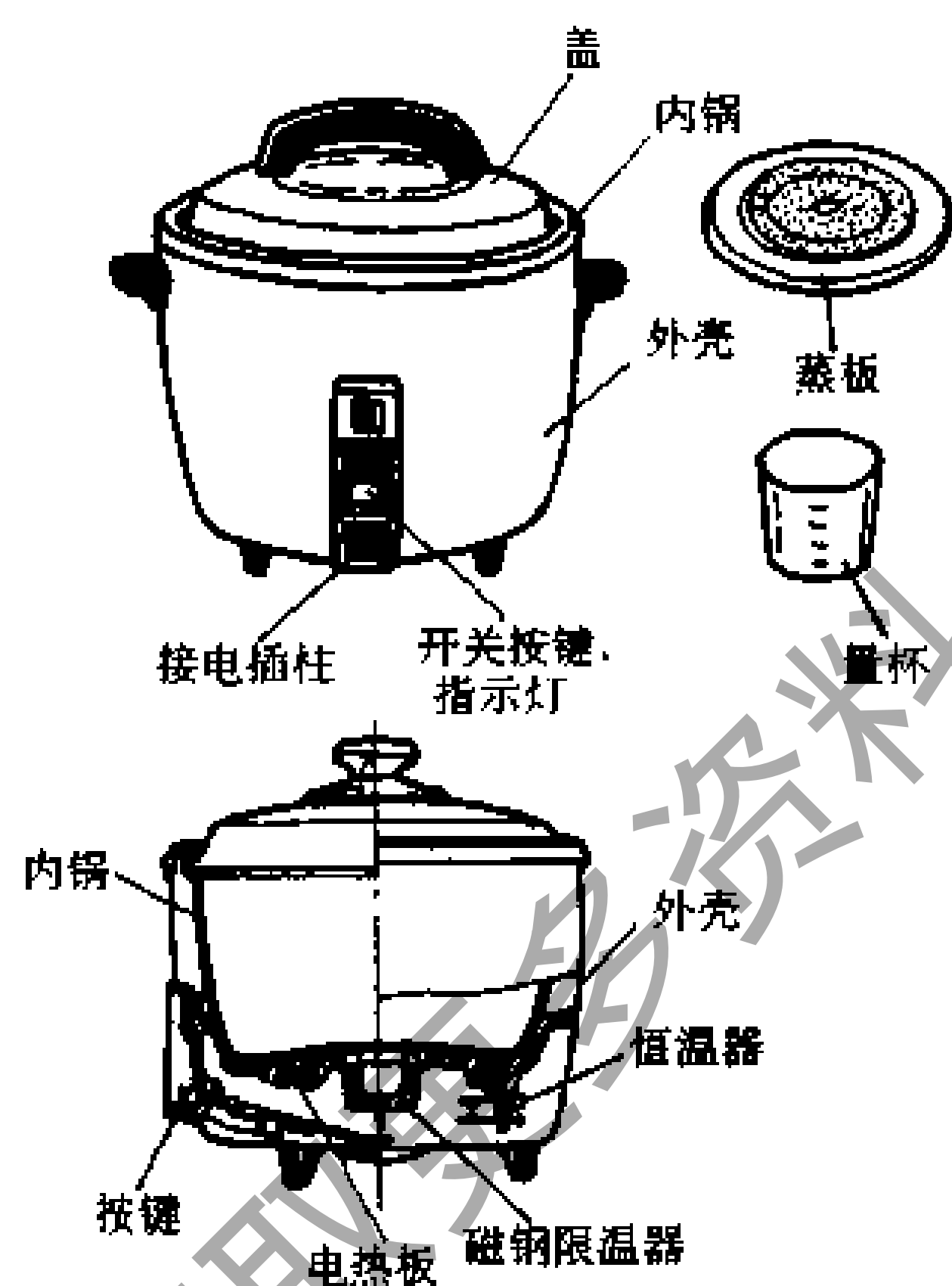


图 6—46 自动电饭锅的基本结构

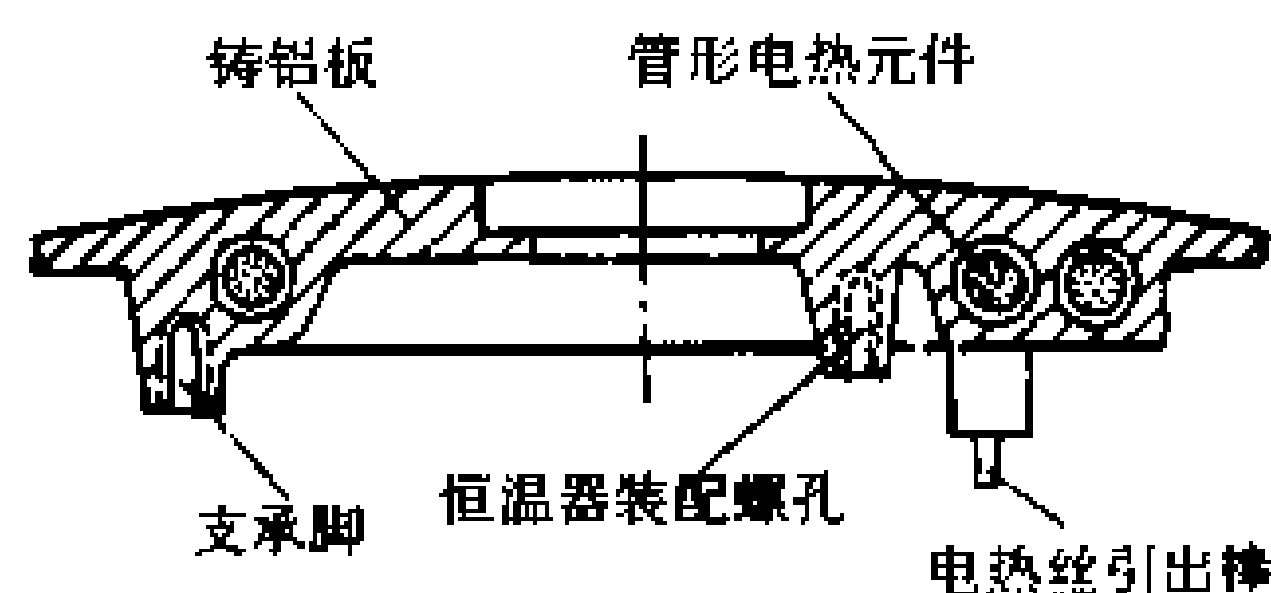


图 6—47 电饭锅的电热板

#### 1. 加热器

电饭锅的加热器是由管状电热元件铸在合金铝中而制成的电热板，如图 6—47 所示。加热器与内锅底的接触面呈球面状，它表面光滑，与内锅底面相吻合，接触紧密，传热性能好而且均匀。

#### 2. 饭熟自动断电装置

电饭锅的煮饭自动断电装置是一个磁钢限温器，它的结构和原理如图 6—48 所示。这种限温器与内锅的接触必须紧密，否则，就不能正确反映内锅的温度而煮成焦饭或生饭。

#### 3. 饭熟自动保温装置

自动保温装置是采用一种热双金属片恒温器，它的结构和原理，如图 6—49 所示。

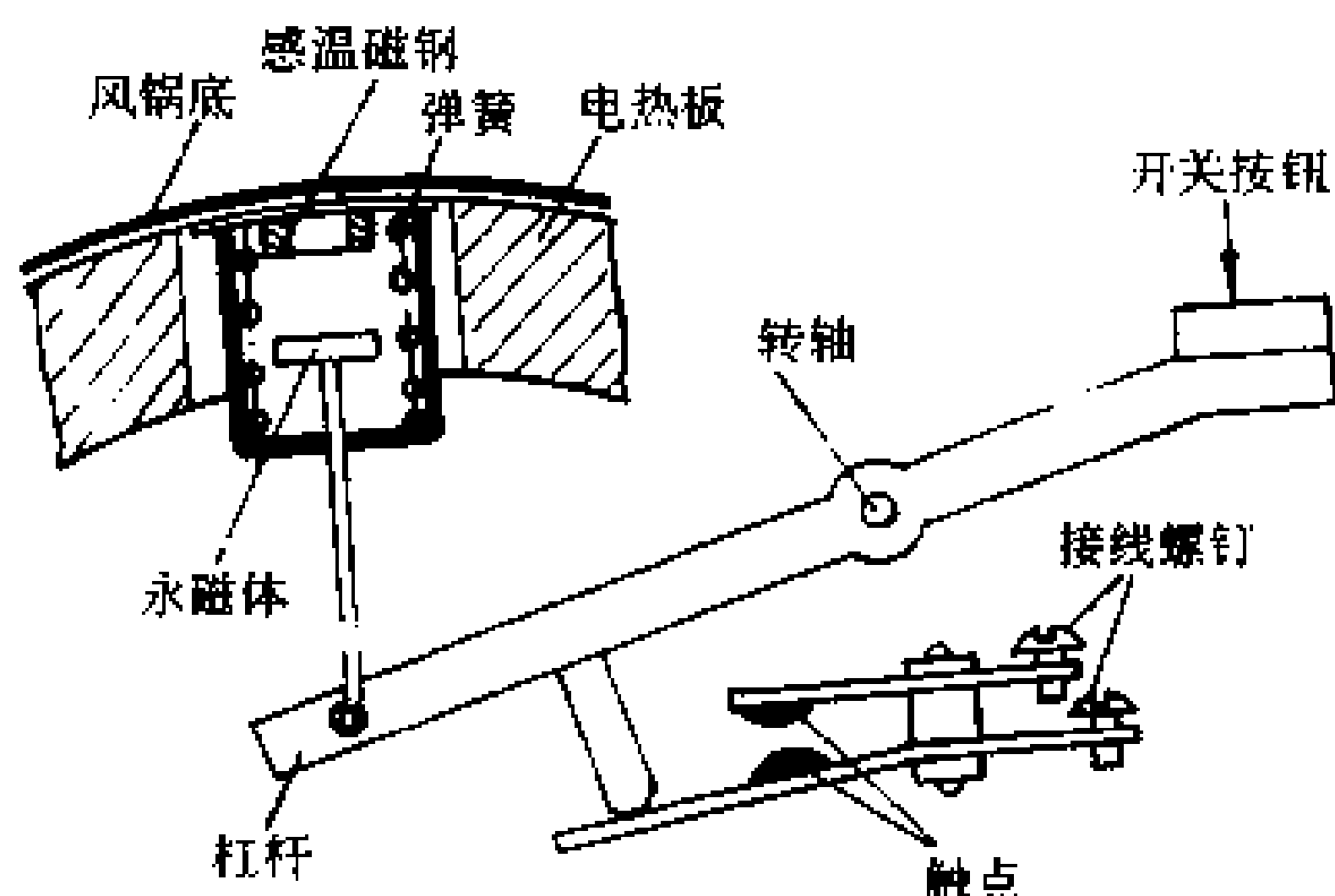


图 6—48 磁钢限温器的动作原理

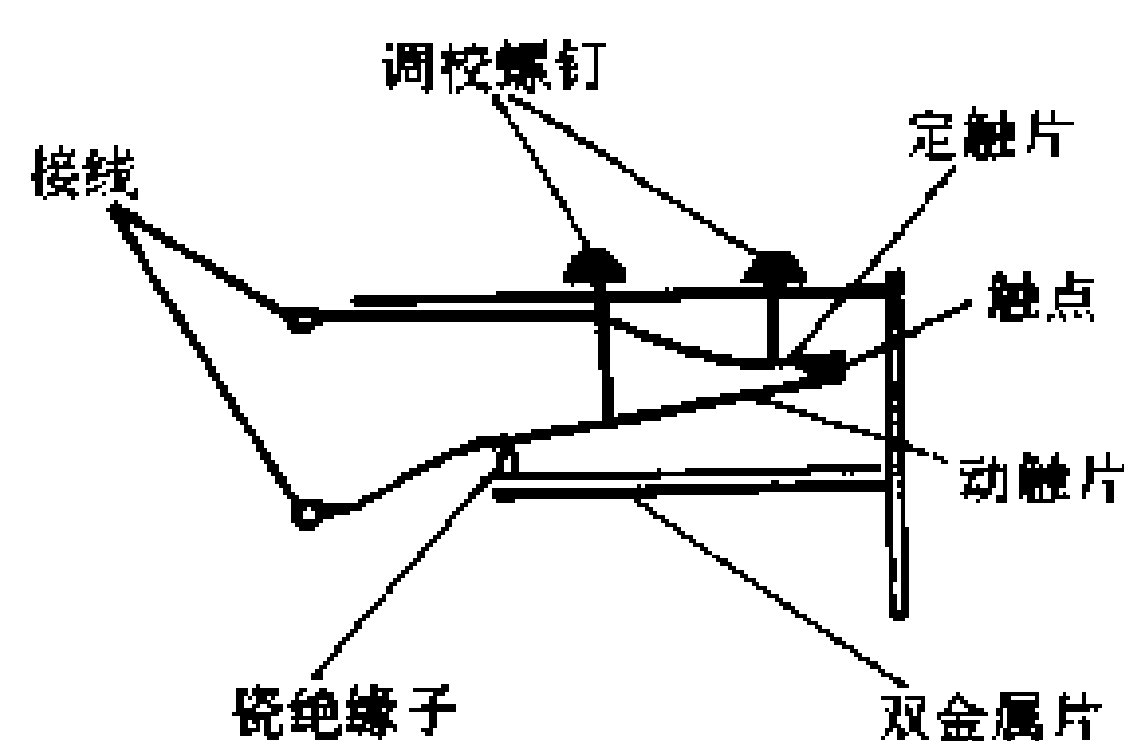


图 6—49 热双金属片恒温器的动作原理

## 二、自动电饭锅的工作原理及程序

### 1. 自动电饭锅的工作原理

电饭锅能够自动断电和保温，主要是靠它内部装有磁钢限温器和热双金属片恒温器两个自动装置。

磁钢限温器的动作原理，见图 6—48。它主要是利用感温磁钢（软磁体）的磁性随温度的高低而变化的特性来设计的。当低温时，感温磁钢是顺磁性物质，具有磁性；当温度升到某一界限时，感温磁钢内部的磁分子产生剧烈活动，使磁性减弱，变成逆磁性物质，因而失去磁性。这个温度界限，叫做居里点。通常，居里点的温度略高于  $103^{\circ}\text{C}$ 。在饭煮熟前，锅内有水，所以电饭锅的内锅温度不会超过  $100^{\circ}\text{C}$ ，感温磁钢仍然具有磁性。当饭熟后，内锅没有水，温度上升会超过  $100^{\circ}\text{C}$ 。此时，紧贴于内锅底面的感温磁钢温度，也随之上升到居里点界限而失去磁性。这样，永磁体在重力或弹簧弹力的作用下，使感温磁钢不能继续吸住它而跌落。下跌时，永磁体通过杠杆作用把两触点分离，于是电饭锅断电，表明米饭已经煮熟。

电饭锅是通过热双金属片的感温作用来达到控温目的的。热双金属片恒温器的动作原理，见图 6—49。它由两种膨胀系数不同的金属薄片制成（轧制结合在一起）。当电饭锅的温度升高时，热双金属片受热，它的膨胀系数大的一面伸长量较大；膨胀系数小的一面伸长量较小，结果迫使它向膨胀系数小的一面弯曲。弯曲时，它把两个触点分离，于是电饭锅断电，温度下降。而当温度下降到一定程度时，双金属片就收缩回复原状，两个触点重新闭合通电。如此反复作用，使电饭锅的温度，能够自动维持在  $65 \pm 5^{\circ}\text{C}$  的范围。

### 2. 自动电饭锅的工作程序

一般国产单按键开关自动保温电饭锅的电路，如图 6—50 所示。工作程序是：

(1) 插上电源插头，双金属片保温器接通电路，指示灯亮，电饭锅的加热器升温，但不能升到煮饭所需要

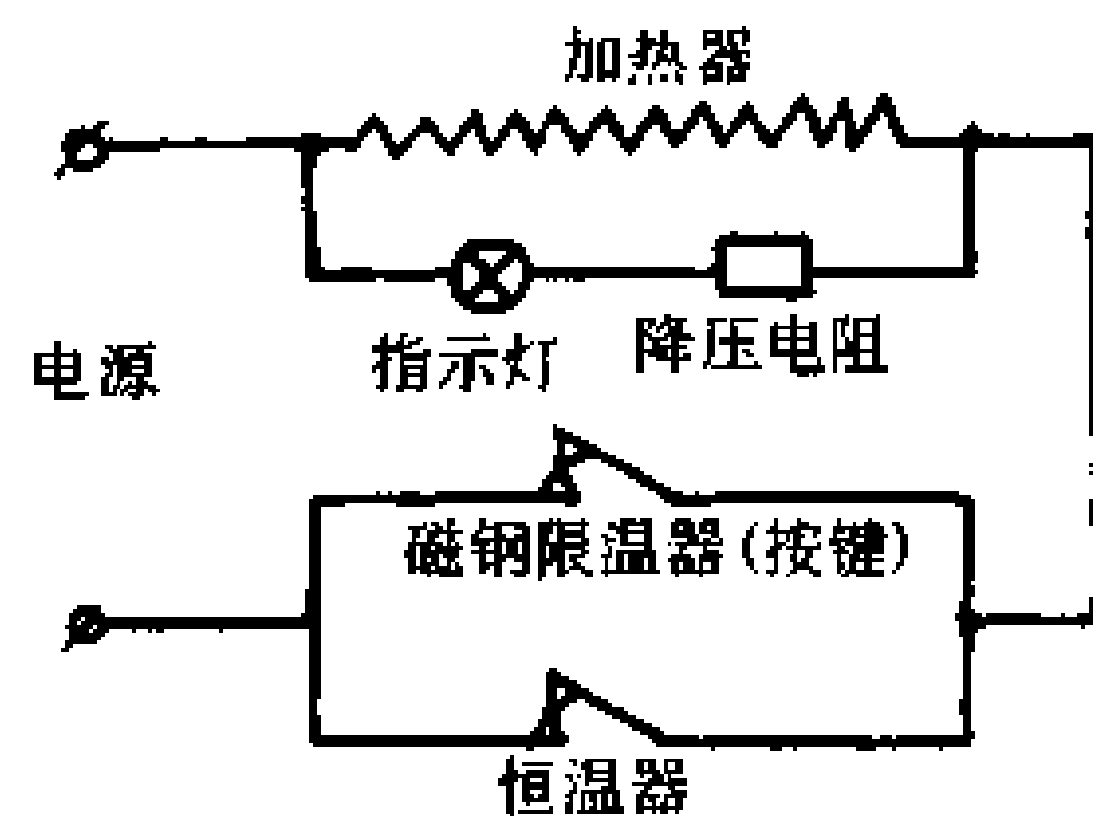


图 6—50 单按键自动保温电饭锅的电气线路

的温度。

(2) 按下按键开关，磁钢限温器接通电路，温度上升，开始煮饭；当饭煮熟后，磁钢限温器动作把电路切断，电饭锅处于自动保温状态。

(3) 若不需要保温，可拨下电源插头，切断电源。

国产双按键开关电饭锅，它的一个按键用于控制煮饭(COOK)，另一个按键用于控制保温(KEEP)。同时按下煮饭和保温两个按键，当饭煮熟时，煮饭按键先跳起，电饭锅便进入自动保温状态，直到拨起保温按键为止。

### 三、电饭锅的使用方法

把米洗净倒入内锅并加入适量的清水，要用专用量杯量米和量水。加水量一般为一杯大米要加一杯半水，加水后应将锅内的米拨平，以免米堆积在一边，造成饭熟程度不均匀。把内锅放进电饭锅内。内锅放置时，要左右拧动一下，直到它与电热板接触紧密，再盖上锅盖(图6—51)。

插上电源并按下开关的按键(图6—52)，这时指示灯亮，表明电饭锅通电，工作正常。当按键自动跳起，指示灯熄灭，表明饭已煮熟，但不应马上取出，需再过10min，饭才会熟透。

若饭煮熟后不取出，经过20~30min，指示灯会重新亮起来，随后时亮时灭，表明电饭锅处于自动保温状态。因此，如不需要继续保温，应当拨下电源插头。

加热器板面及内锅底面要保持清洁。内锅底与加热器板面之间，不应有饭粒等杂物掉入(图6—53)。

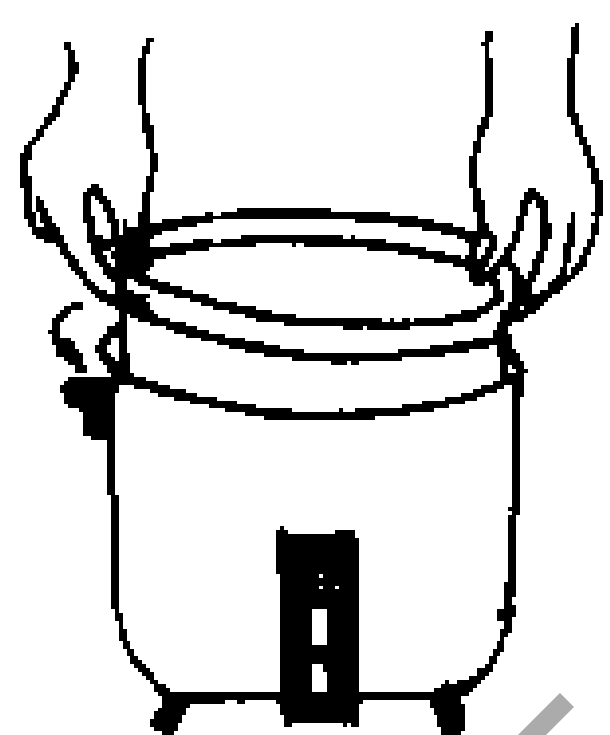


图6—51 放置内锅的方法

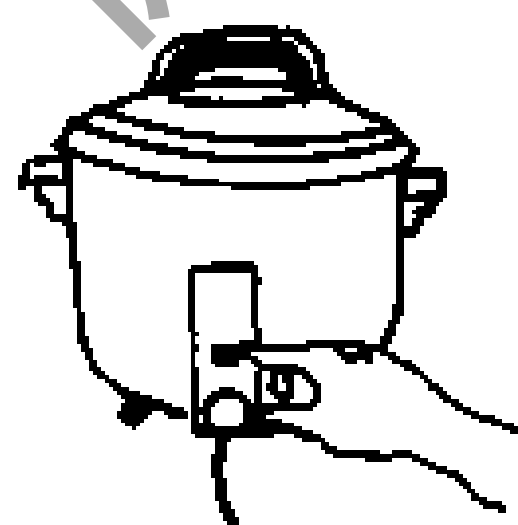


图6—52 按下开关的按键

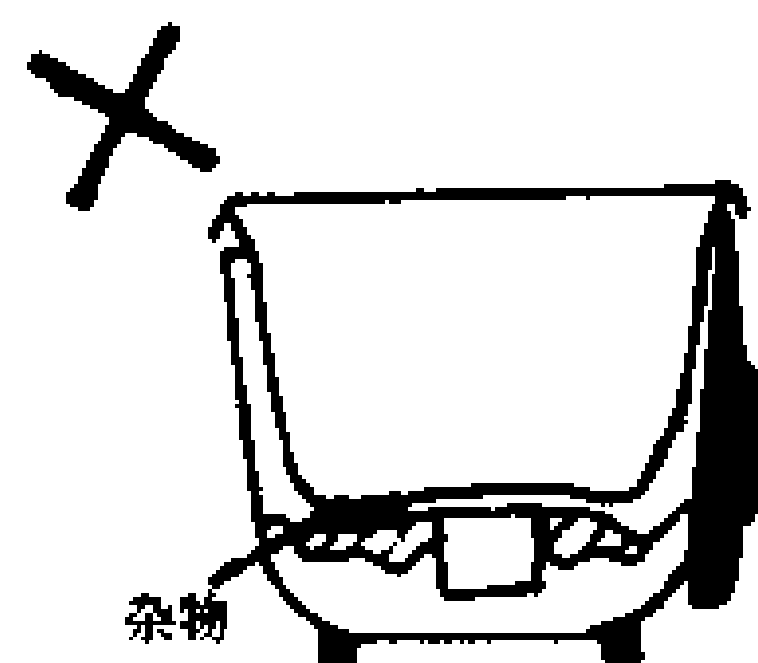


图6—53 内锅底与加热器之间不得夹有杂物

内锅底部切忌撞成凹形(图6—54)。使用时应尽量不直接用内锅洗米，而要用别的容器将米洗净后再倒入内锅。若因不慎使内锅变形，则应更换新的使用，否则电饭锅局部的传热性能变差，煮的饭生熟不均，甚至会影响加热器的使用寿命。

电饭锅通电加热前，一定要先检查内锅位置是否放得妥当，若歪斜(图6—55)，加热器会由于传热条件差，产生过热现象而损坏。

电热板、开关及其他电气部位要保持清洁干燥。若要清洗，必须用干布拭抹，不得用水冲洗(图6—56)。

必须先拨下电源引线插头，再取出内锅，否则，加热器会出现空载保温，影响它的使用寿命。

铝质内锅容易受酸和碱的腐蚀，使用完毕后，必须及时把它清洗干净。

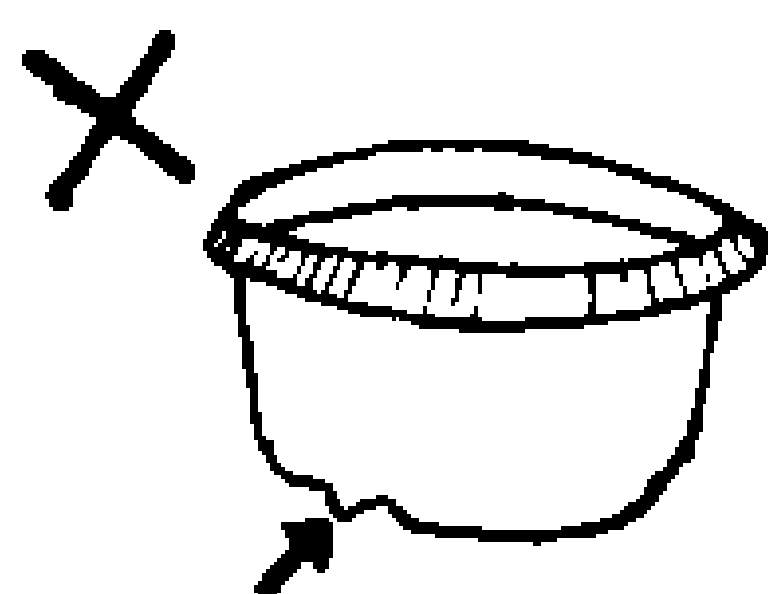


图 6—54 不要使用底部变形的内锅

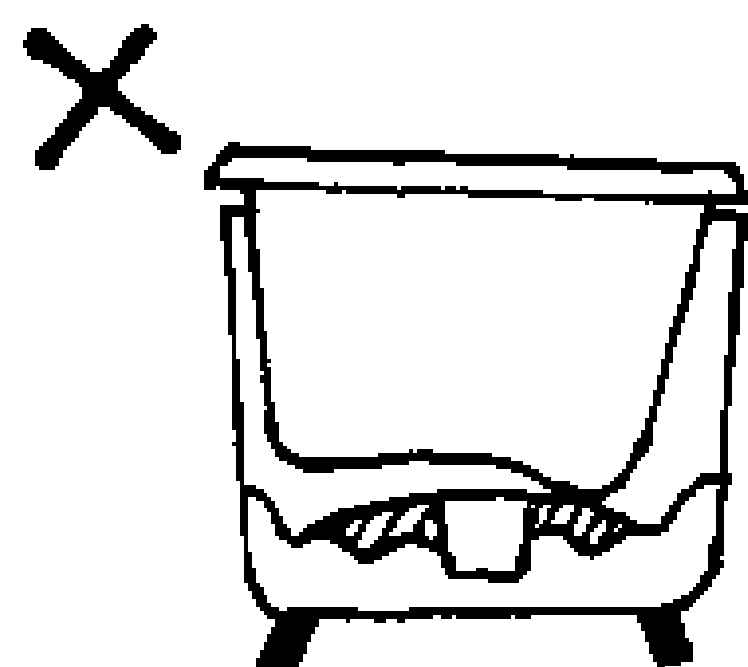


图 6—55 内锅位置要放得稳当

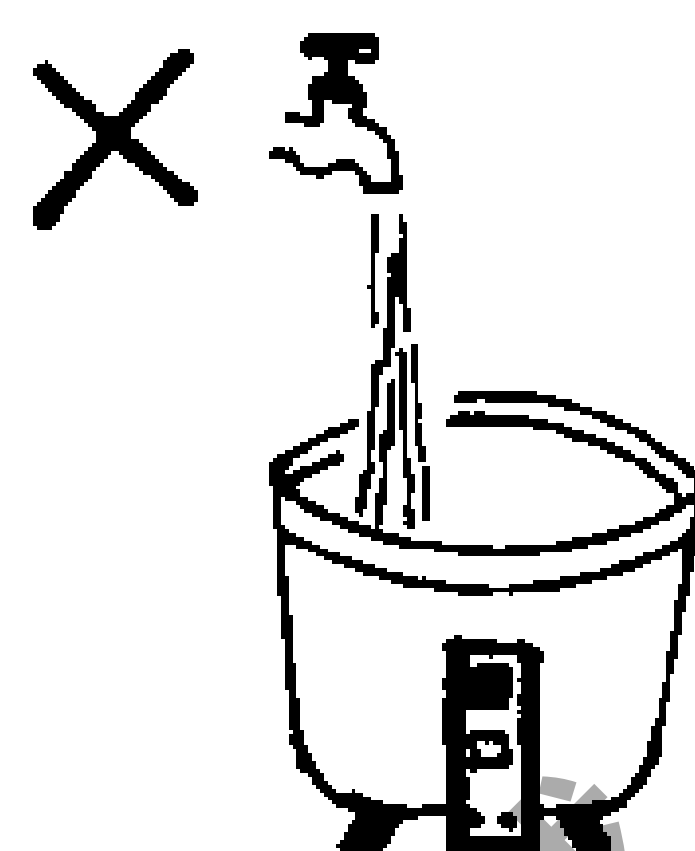


图 6—56 电气部位不得用水冲洗

#### 四、常见故障和维护

电饭锅常见的故障，主要有煮的米饭时生时熟或不均匀，饭熟后不能自动断电，出现焦饭现象，指示灯不亮等。产生故障的原因和处理方法，见表 6—8。

表 6—8 电饭锅的常见故障和解决方法

| 故障现象    | 产生原因                                                                                                     | 处理方法                                                                                                                                         |
|---------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 不热      | <ol style="list-style-type: none"> <li>①电源引线线心折断或电线与插头的连接点松脱</li> <li>②开关不能闭合</li> <li>③加热器断路</li> </ol> | <ol style="list-style-type: none"> <li>①检查电源引线，必要时予以更换</li> <li>②检查开关，修理或更换开关的触头和连杆等部分</li> <li>③检查加热器。若连接点松脱，可予修复；若电热丝烧断，应换用新加热器</li> </ol> |
| 煮饭生熟不均匀 | <ol style="list-style-type: none"> <li>①加热器发热严重不均匀</li> <li>②内锅底粘有米粒等杂物</li> </ol>                       | <ol style="list-style-type: none"> <li>①这种情况新购回使用时便可发现，需换用新的加热器</li> <li>②注意将内锅底及加热器表面清抹干净</li> </ol>                                        |
| 煮焦饭     | <ol style="list-style-type: none"> <li>①磁钢限温器感温磁钢与内锅底接触不良或弹簧失灵</li> <li>②恒温器失灵，断电温度过高</li> </ol>         | <ol style="list-style-type: none"> <li>①更换感温磁钢或整个限温器</li> <li>②调节恒温器的调温螺钉或交换恒温器</li> </ol>                                                   |
| 不能自动保温  | <ol style="list-style-type: none"> <li>①双金属片恒温器触头弹性减弱不能闭合</li> <li>②恒温器的调温螺钉松动或连接点松脱</li> </ol>          | <ol style="list-style-type: none"> <li>①调整触头距离或更换恒温器</li> <li>②重新调整调温螺钉修复接线</li> </ol>                                                       |
| 指示灯不亮   | <ol style="list-style-type: none"> <li>①电饭锅电路开启</li> <li>②指示灯泡烧毁</li> <li>③指示灯和限流电阻接线松脱</li> </ol>       | <ol style="list-style-type: none"> <li>①检查保险丝、电源引线、插头及开关等是否正常</li> <li>②检查并予更换</li> <li>③检查指示灯线路并予修复</li> </ol>                              |

## 第7节 胶木电器——电气装置件

胶木电器指采用酚醛塑料制成绝缘壳体的一类电器元件。严格地说，这类电器元件应叫电气装置件，即凡在电气线路中用作电器器具与电源线路相连接或启闭电路用的各种电器元件，都属于电器装置件。

胶木电器按它们的使用性质和作用可分为开关、灯座、插头、插座等几种。所有这些都是家庭中常用到的。

### 一、开关类

开关是用于控制电路通断的一种电气装置件，它多用于室内照明电路，所以又叫室内照明开关。但实际开关不仅用于照明控制，而且广泛用于电气器具的通断控制。

根据国家规定，开关按操作方式可分为跷板式、倒板式、拉线式、按钮式、推杆式、旋转式和触摸式7种。按装置方式，可分为平装式（又称明装式）、嵌入式（又叫暗装式）、悬吊式和附装式4种。按接通方式，可分为单连（单投、单极）、双连（双投、三线）、双控（间歇双投）3种。

#### 1. 明装式开关

明装式开关（简称平开关）均用于安装在墙面上或天花板下面，与明线相连接的一种开关。

单连平开关多为跷板式和倒板式结构，它主要由绝缘基座、罩盖和手柄组成，在基座上装有一秋千式的开关机构（图6—57）。

双连平开关是在单连结构的基础上加装一对静触头，其他基本相同。

带熔丝平开关多为单连式，它的熔丝装在一瓷心上，并与两端的接点连接，然后靠有塑料帽的铜螺纹套固定（图6—58）。

电铃按钮分为电铃平按钮、电铃暗按钮和电铃吊按钮等几种（图6—59）。

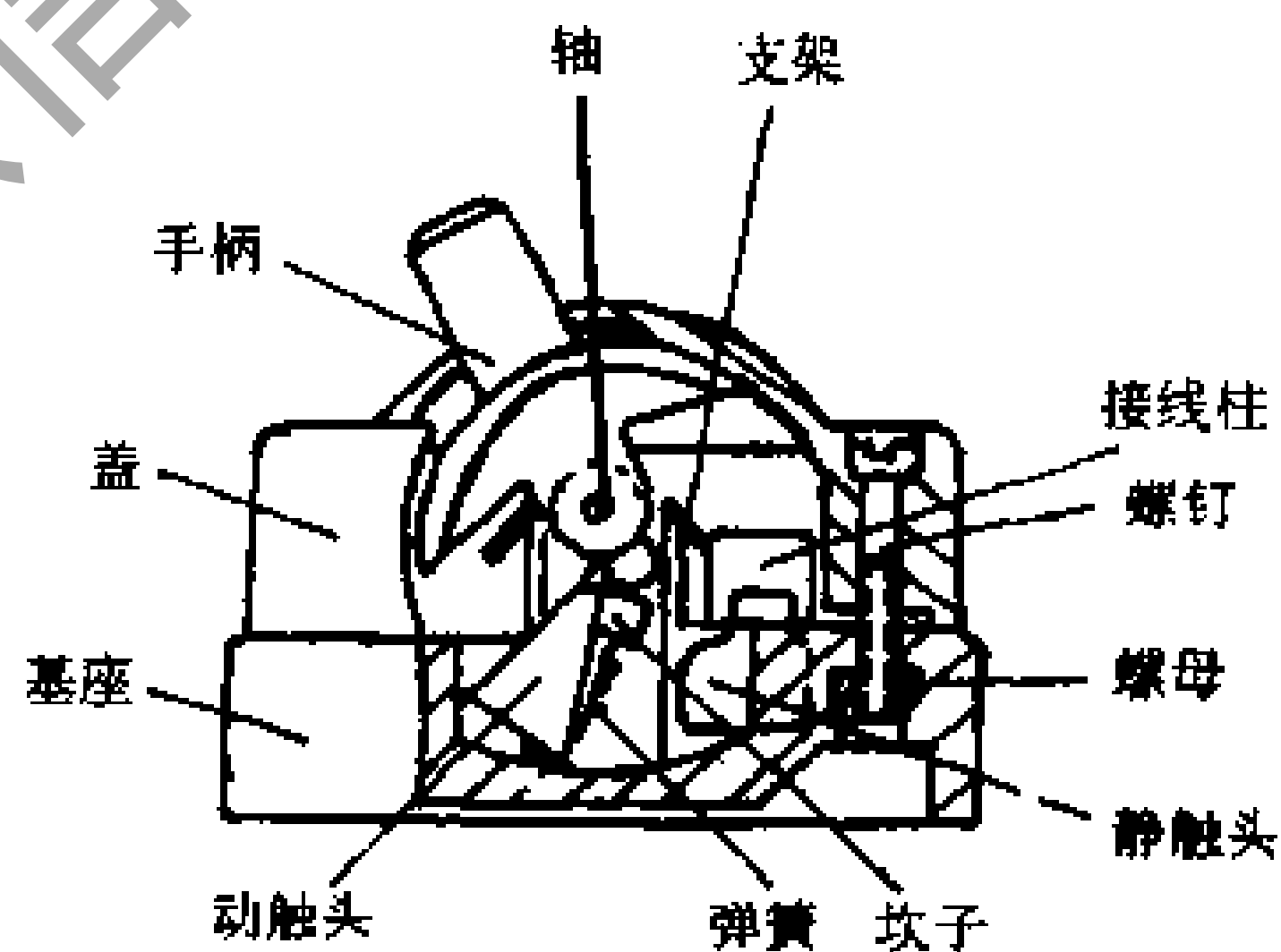
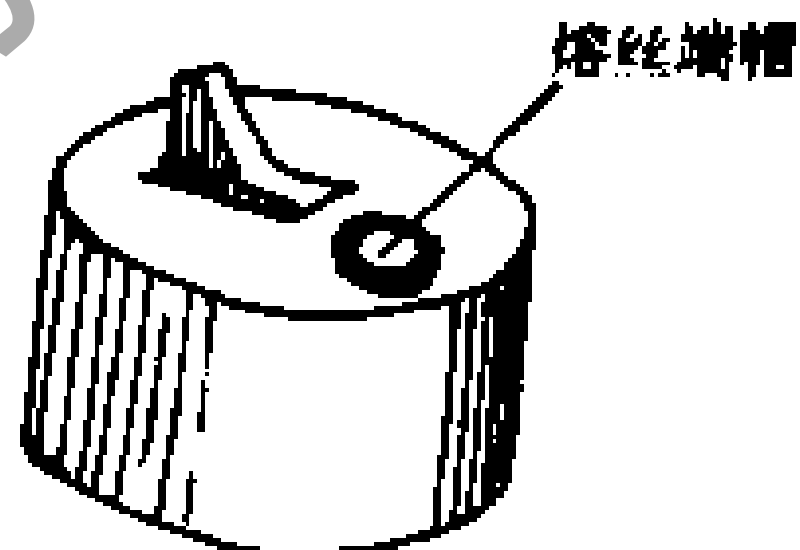


图 6—57 单连平开关的结构



6—58 带熔丝平开关的结构

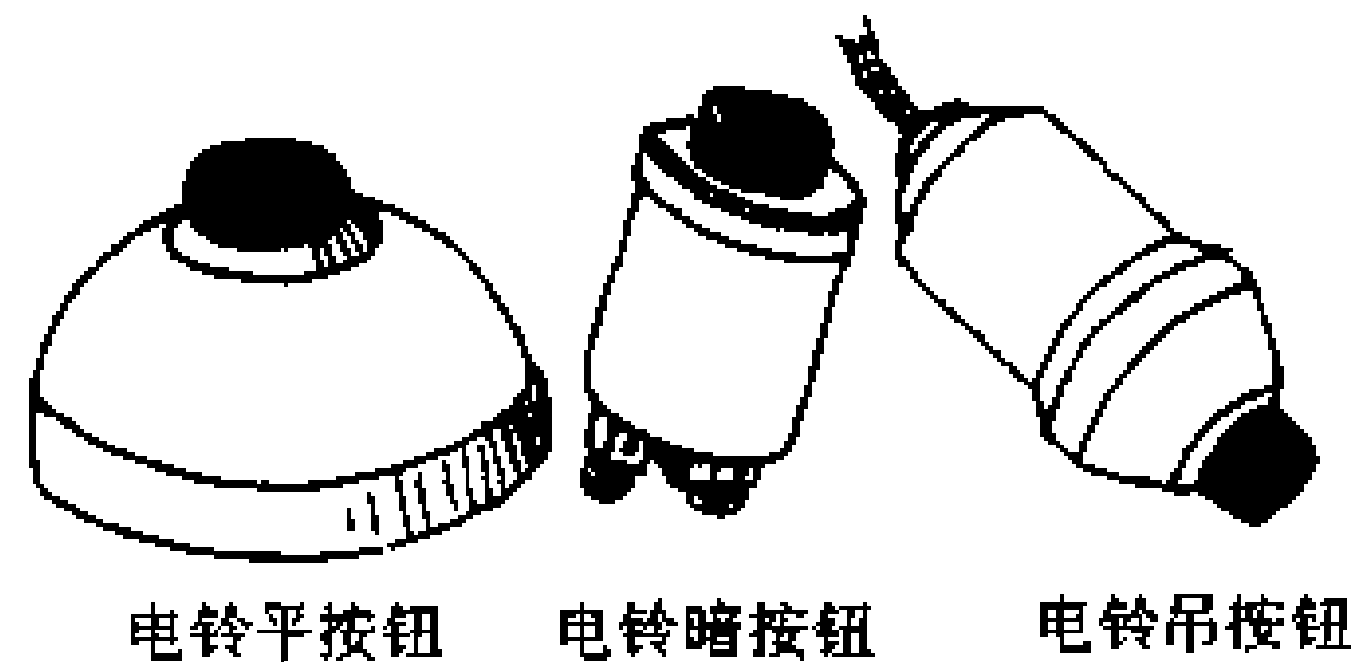


图 6—59 几种电铃按钮的外形结构

二位平开关是两开关手柄拼在一起的倒板式开关；脚踏平开关的结构，多为按钮式



或跷板式，它的壳体较为坚固，以供用脚操作。

跷板式开关的外形及工作原理图，如图 6—60 所示。

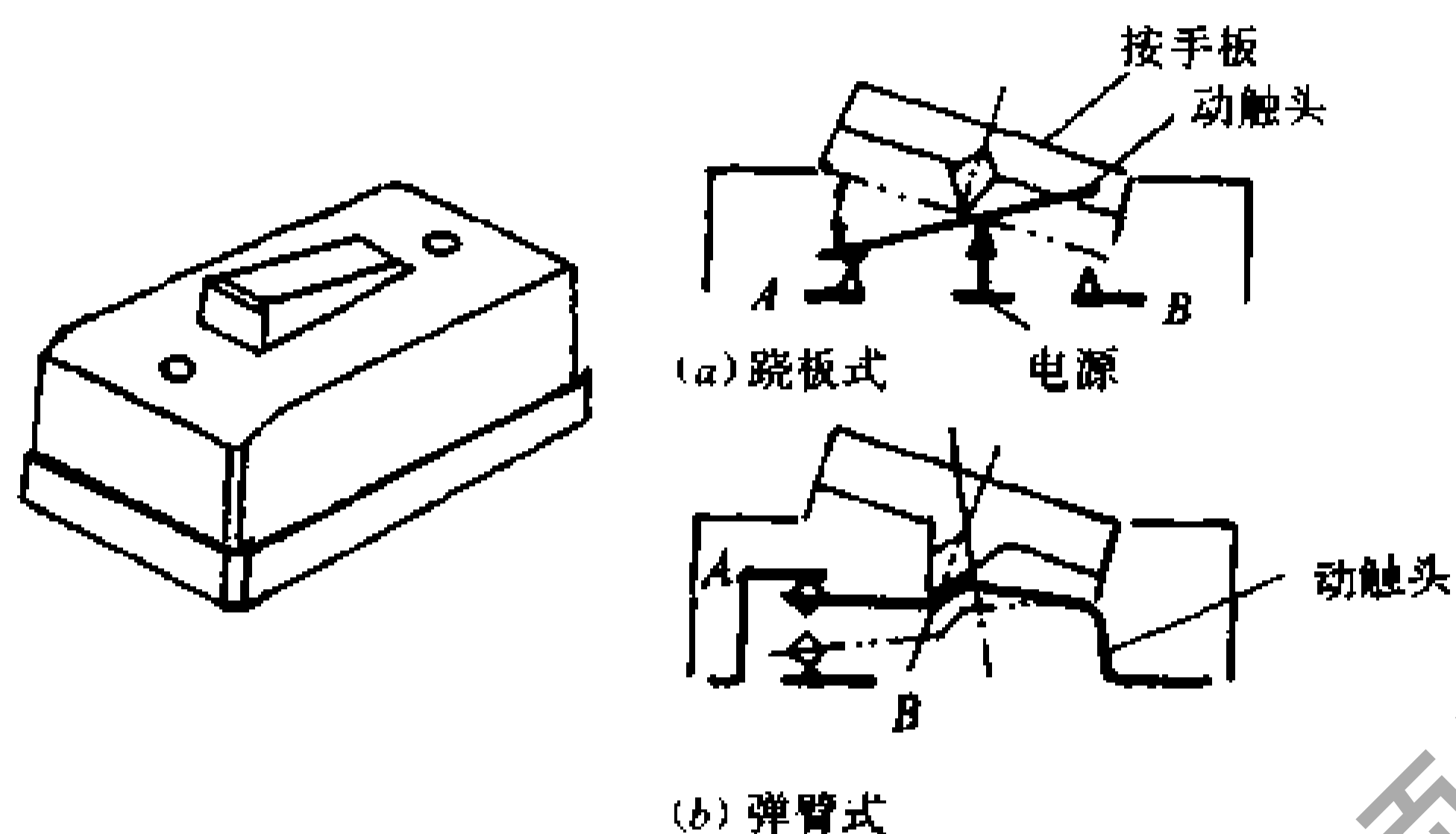


图 6—60 跷板式开关工作原理

## 2. 拉线开关

拉线开关有多种，常用的平装式拉线开关常装在墙壁高处或天花板上，靠拉动垂下的拉线启闭电灯电路，使用时很安全。

现在常用的 GX5—3 系列主轮式单连拉线开关有盖、基座和棘轮 3 个绝缘体。棘轮是工作机构，与动触头、拉轮、导电片、弹簧和轴串在一起。在单联的基础上，多装一个触头，就成了双连开关（图 6—61）。

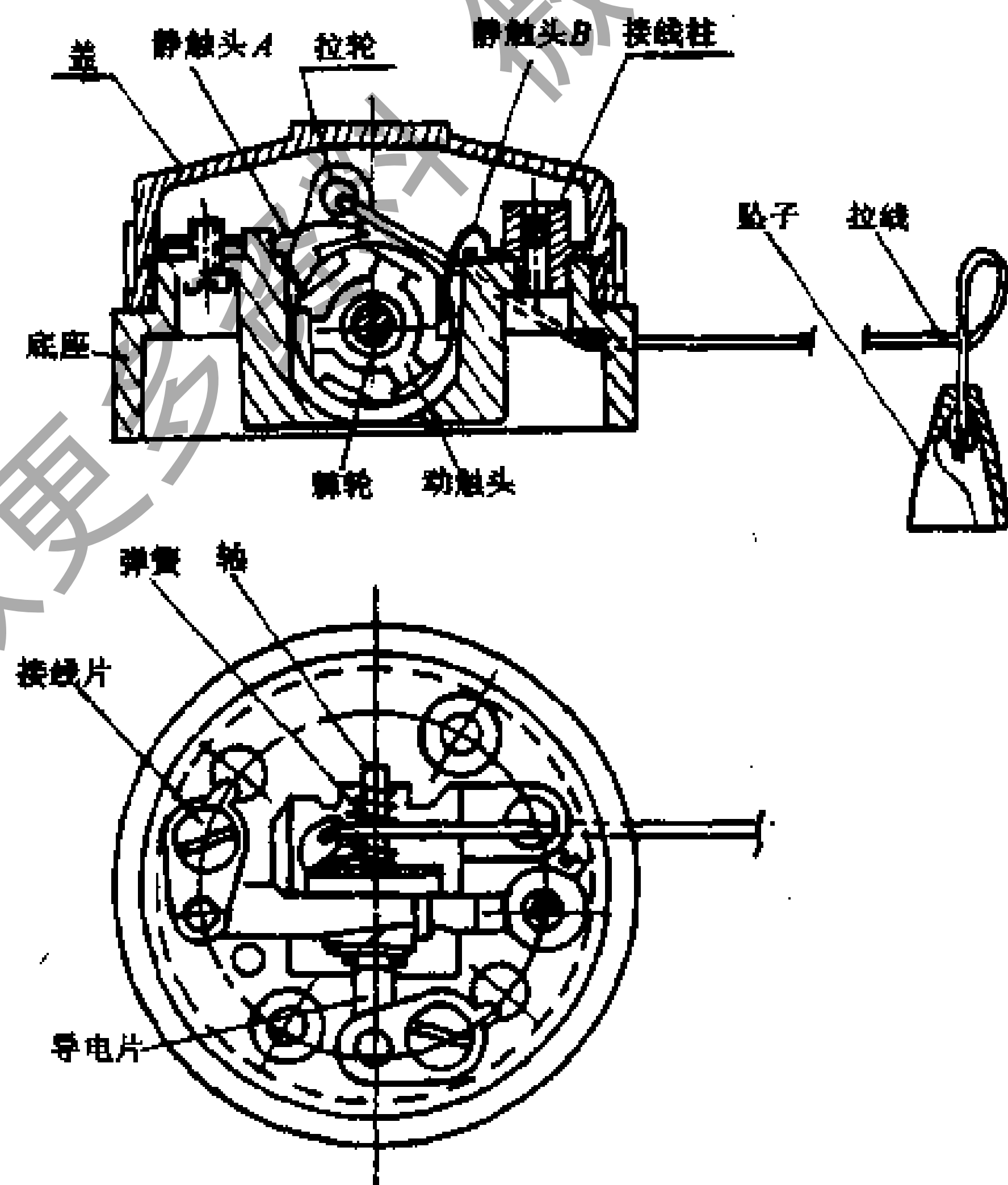


图 6—61 GX5—3 系列立轮式双连拉线开关的结构

双控拉线开关是在双连的基础上改换一个两瓣的动触头而成；吊盒拉线开关是在单连结构的基础上多装一接线片用于连接回路，它的盖顶有小孔；熔丝拉线开关是在单连的基础上附有熔丝装置；防雨拉线开关的壳体是装在一防雨瓷壳内，其他结构与单、双连拉线开关相同。

### 3. 暗装式开关

现代建筑中，广泛采用暗装式开关（简称暗开关），如图 6—62 所示。这种开关是嵌装在墙壁上作为暗线照明电路用的，既美观又安全。但这种开关安装要求高，必须与面板、线盒、调整板组合在一起，才能很好地起照明开关作用（图 6—63）。

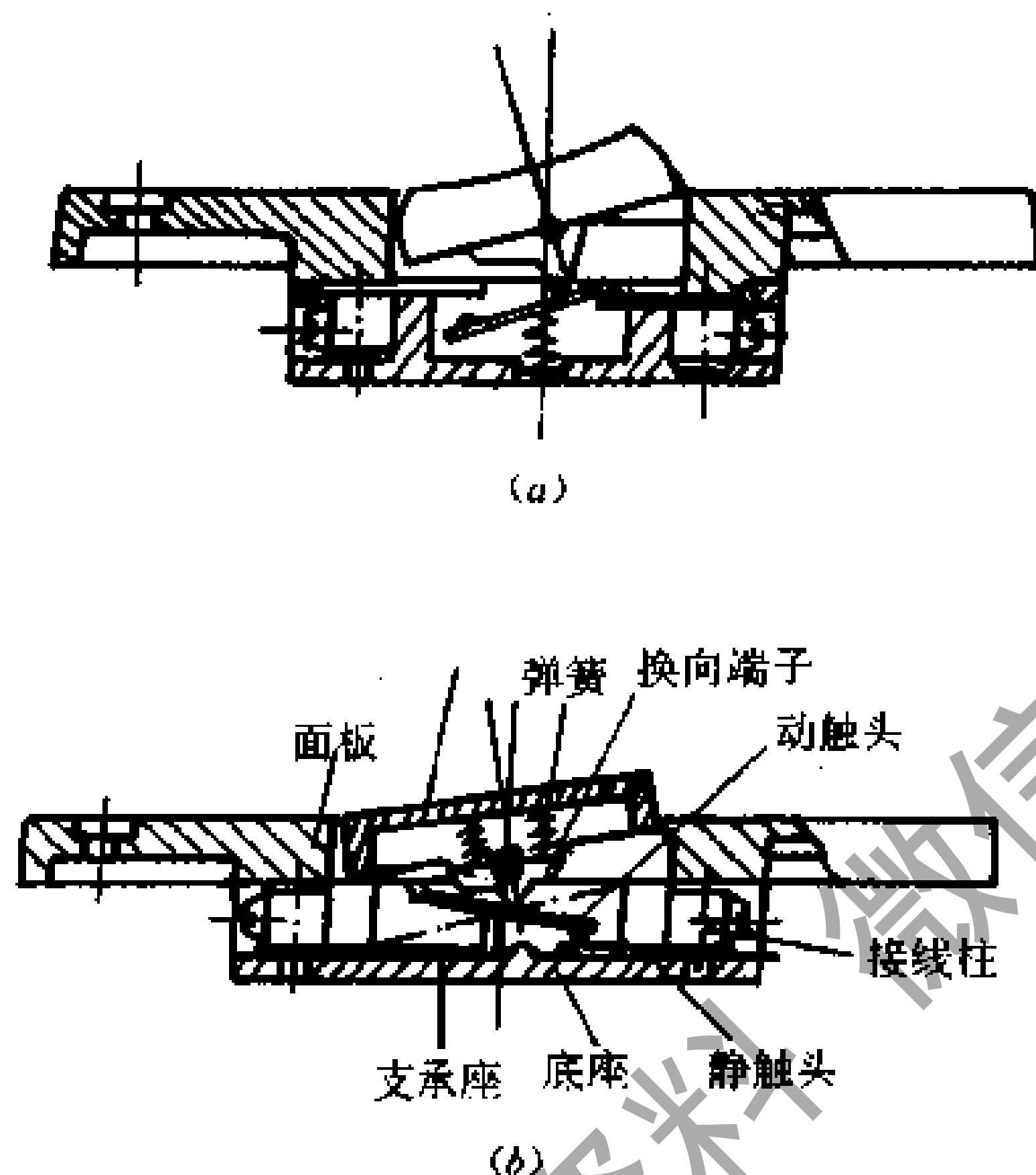


图 6—62 暗开关的结构

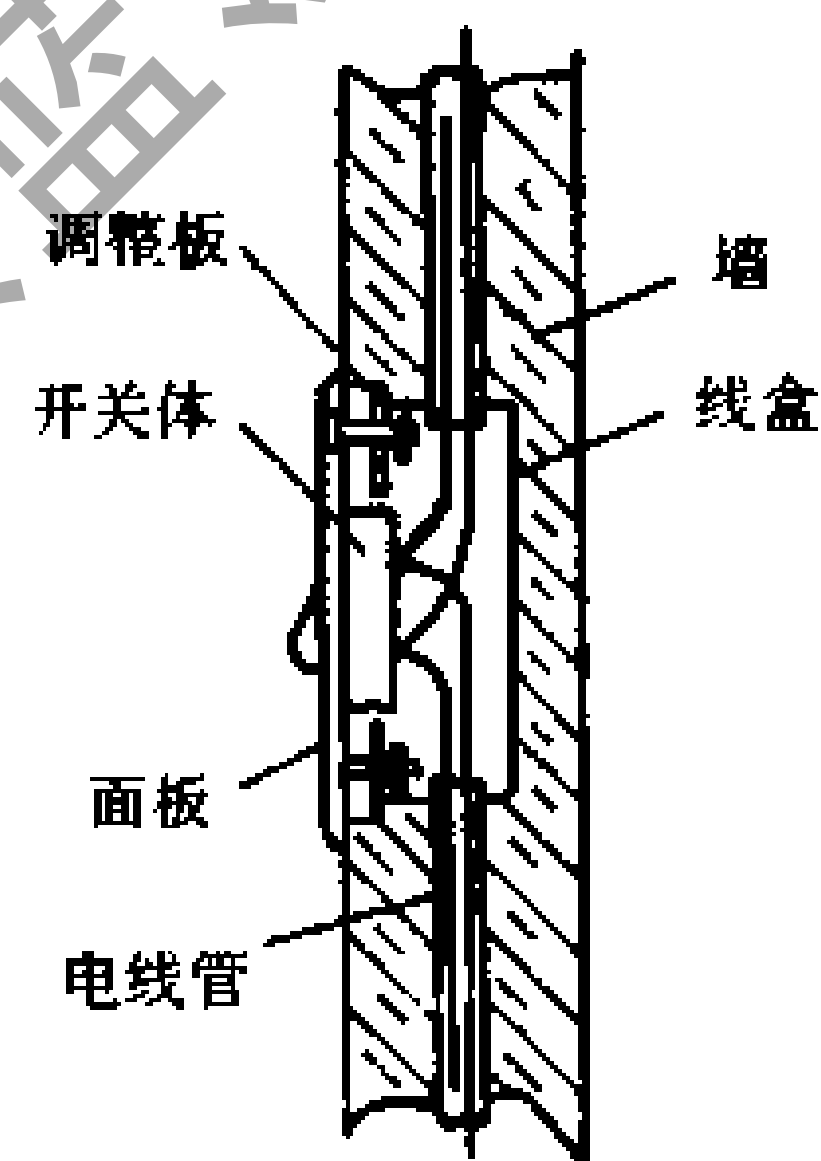


图 6—63 暗开关的安装法

面板是用作所装暗开关外露表面的盖板，它的形状有方形和矩形两种。这种面板往往与开关组成不可分离的一体，只有组合式的暗开关才把开关本体与面板分成两部分组装在一起（也叫活装暗开关）。这类面板的装配孔有一定尺寸，以便任意配装成暗按钮或暗插座等暗式器件。

线盒是用铁或塑料制成的，是用于固定所装开关和进出导线的一种容器。

调整板用于面板与线盒之间的过渡连接，以保持面板的安装位置平正。

暗开关的品种、规格繁多。我国 GB1245—76 电气装置件暗装用面板、调整板及线盒尺寸见表 6—9、表 6—10。

表 6—9

GB1245—76 面板型式系列图

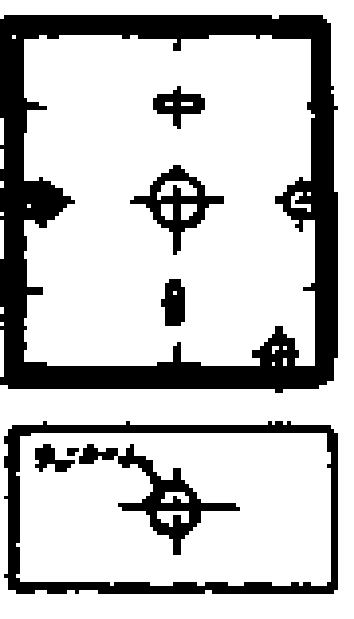
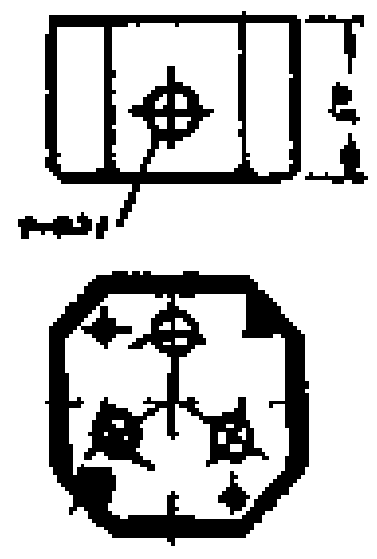
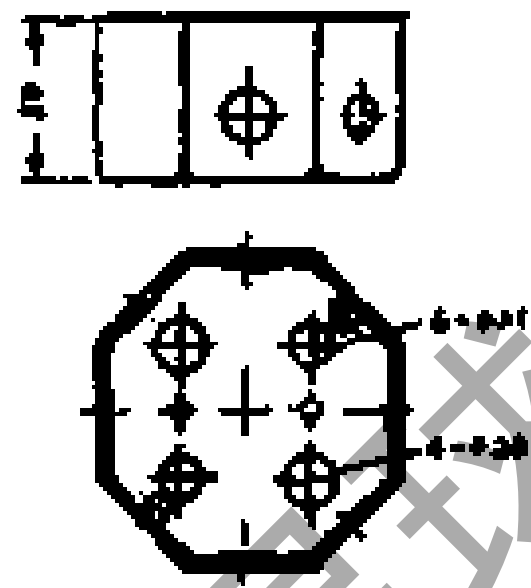
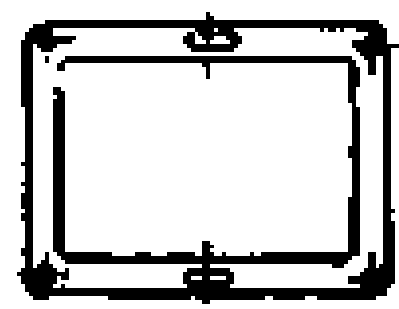
| 面板尺寸 (mm) | 安装孔距 (mm)    | 图 例 | 配用线盒及调整板代号 |
|-----------|--------------|-----|------------|
| 75×75     | 50           |     | 1          |
| 75×100    | 71           |     | 2          |
| 75×125    | 96           |     | 3          |
| 75×125    | 竖×横<br>50×70 |     | 4          |
| 120×100   | 竖×横<br>90×75 |     | 5          |

表 6—10

GB1245—76 暗线盒及调整板

| 代号      | 1          | 2           | 3           | 4           |
|---------|------------|-------------|-------------|-------------|
| 规格      | 65×65 (mm) | 65×90 (mm)  | 65×115 (mm) | 65×140 (mm) |
| 暗线盒基本型式 |            |             |             |             |
| 调整板     |            |             |             |             |
| 面板尺寸    | 75×75 (mm) | 75×100 (mm) | 75×125 (mm) | 75×150 (mm) |

(续表)

| 代号      | 5                                                                                  | 6                                                                                  | 7                                                                                   |
|---------|------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| 规格      | 90×110 (mm)                                                                        | 75×75 (mm)                                                                         | 90×90 (mm)                                                                          |
| 暗线盒基本型式 |   |  |  |
| 调整板     |  |                                                                                    |                                                                                     |
| 面板尺寸    | 100×120 (mm)                                                                       |                                                                                    |                                                                                     |

#### 4. 悬吊式开关

悬吊式开关是供人们就近操作，以控制较远距离电器的一种电气器具。它的种类很多，一般分为中途开关、床开关、远控开关等。电铃吊按钮也属于这类开关。

床开关吊在花线下端，用于启闭电灯。使用时花线可随意移动位置。这类开关一般吊在床头上，便于使用，所以取名床开关。但这种开关使用时，如不小心打破外壳，就容易发生事故，所以目前已逐渐被拉线开关取代。

中途开关是二极电路(图 6—64)，即有两条电线接入和两条电线引出，一般装在引线的中途位置，多用于控制电风扇或其他电器的二次开关。



图 6—64 中途开关

远控开关(图 6—65)的用途与床开关相同，主要用在距电源远的场所。这类开关有一至数挡，并有指示灯装置。

悬吊式开关的结构有按钮式、跷板式、推杆式和推板式等多种，它们大多数由两边壳体对合成一个整体，结构都比较小巧。导线的引出口都装有卡压导线装置或弹性护套，以防止导线被拉脱和磨损。

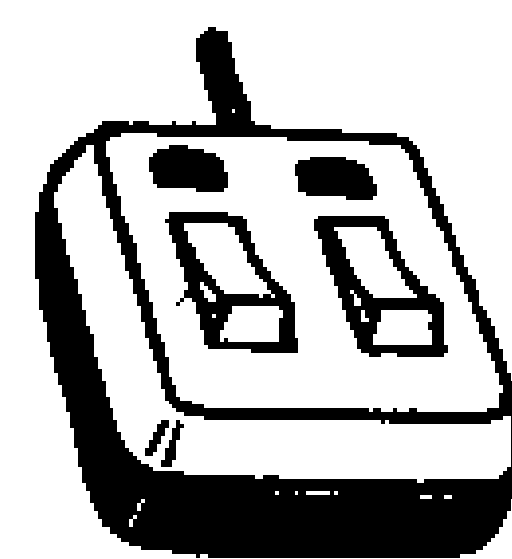


图 6—65  
远控开关

#### 5. 附装式开关

附装式开关是一类没有罩盖和面板的开关体，它直接安装在电器壳板上用作电源开关或调控开关，如台风扇开关、台灯开关、各种电器开关等。因这类开关都是依附在电器壳体上使用，故称附装式开关。

附装式开关结构型式多样，常用的有倒板式、跷板式、按钮式和旋钮式多种。开关的工作机构与明式或暗式照明开关基本相同。




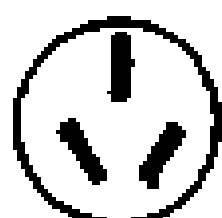
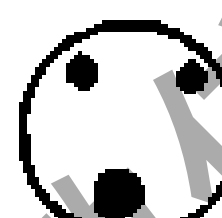

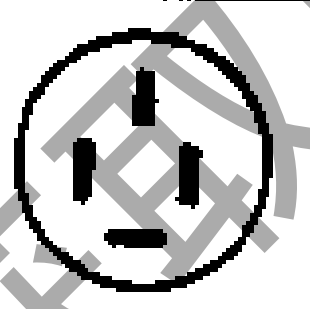
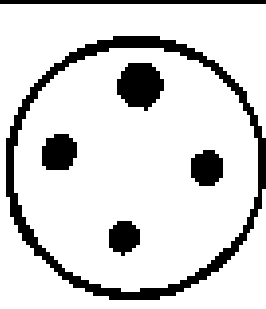
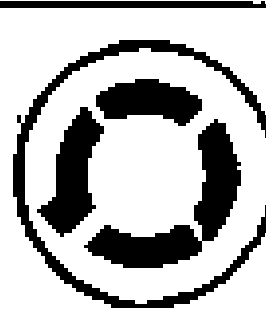
### 二、插座类

插座是供连接电源线,并与同型式的插头插销配接而接通电路的常用电气装置件,是互配性要求严格而又型式多样的一大类器件。

插座有明式(普通插座)、暗式和移动式3种,规格分为二极、三极、四极,6A、10A、15A、25A等。

插座上的插孔,不同国家、区域有不同的型式。我国的插座的插孔型式是扁形的。国内外常见插孔型式及规格,见表6—11。

表 6—11 国内外常见插孔型式及规格

|    |                              |    |                       |    |                        |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|
| 国别                                                                                  | 规格                           | 国别                                                                                   | 规格                    | 国别                                                                                    | 规格                     |
| 中国                                                                                  | 250V, 10A                    | 英国                                                                                   | 250V, 6、10A           | 中国                                                                                    | 50V, 10、15A            |
| 日本                                                                                  | 250V, 10、30、50A              | 法国                                                                                   | 250V, 10、16A          | 日本                                                                                    | 250V, 20A              |
| 美国                                                                                  | 125V, 15A                    | 瑞典                                                                                   | 250V, 10A             | 美国                                                                                    | 250V, 20A              |
|                                                                                     | 250V, 30A                    | 挪威                                                                                   | 250V, 10A             |                                                                                       |                        |
| 国际                                                                                  | 125V, 15A<br>250V, 30A       | 国际                                                                                   | 250V, 3、5、10、25A      | 国际                                                                                    | 250V, 20A              |
|  |                              |  |                       |  |                        |
| 国别                                                                                  | 规格                           | 国别                                                                                   | 规格                    | 国别                                                                                    | 规格                     |
| 中国                                                                                  | 250V, 10、15A                 | 英国                                                                                   | 250V,<br>2、5、15、30A   | 英国                                                                                    | 250V,<br>3、7、13A       |
| 日本                                                                                  | 250V, 10、20、30、50A           |                                                                                      |                       | 印度                                                                                    | 250V,<br>3、7、13A       |
| 美国                                                                                  | 125V, 15A<br>250V, 10、20、50A | 日本                                                                                   | 250V, 5A              | 国际                                                                                    | 250V, 25A              |
| 国际                                                                                  | 125V, 15A<br>250V, 10、20、50A | 印度                                                                                   | 250V,<br>2、5、15、30A   |                                                                                       |                        |
|  |                              |  |                       |  |                        |
| 国别                                                                                  | 规格                           | 国别                                                                                   | 规格                    | 国别                                                                                    | 规格                     |
| 中国                                                                                  | 380V, 10、25A                 | 英国                                                                                   | 380V, 15A、<br>20A、30A | 美国                                                                                    | 250V, 20A<br>600V, 30A |
| 日本                                                                                  | 250V, 10、20A                 |                                                                                      |                       |                                                                                       |                        |
| 美国                                                                                  | 125V, 15A<br>50V, 10、20、60A  |                                                                                      |                       |                                                                                       |                        |
| 国际                                                                                  | 同上                           |                                                                                      |                       |                                                                                       |                        |

插座的基本结构,一般都是在胶木或陶瓷制成的底座上,安上与极数相应的接触套(夹式或筒式)和接线装置(柱式或片式),顶面再用盖子罩封(图6—66)。

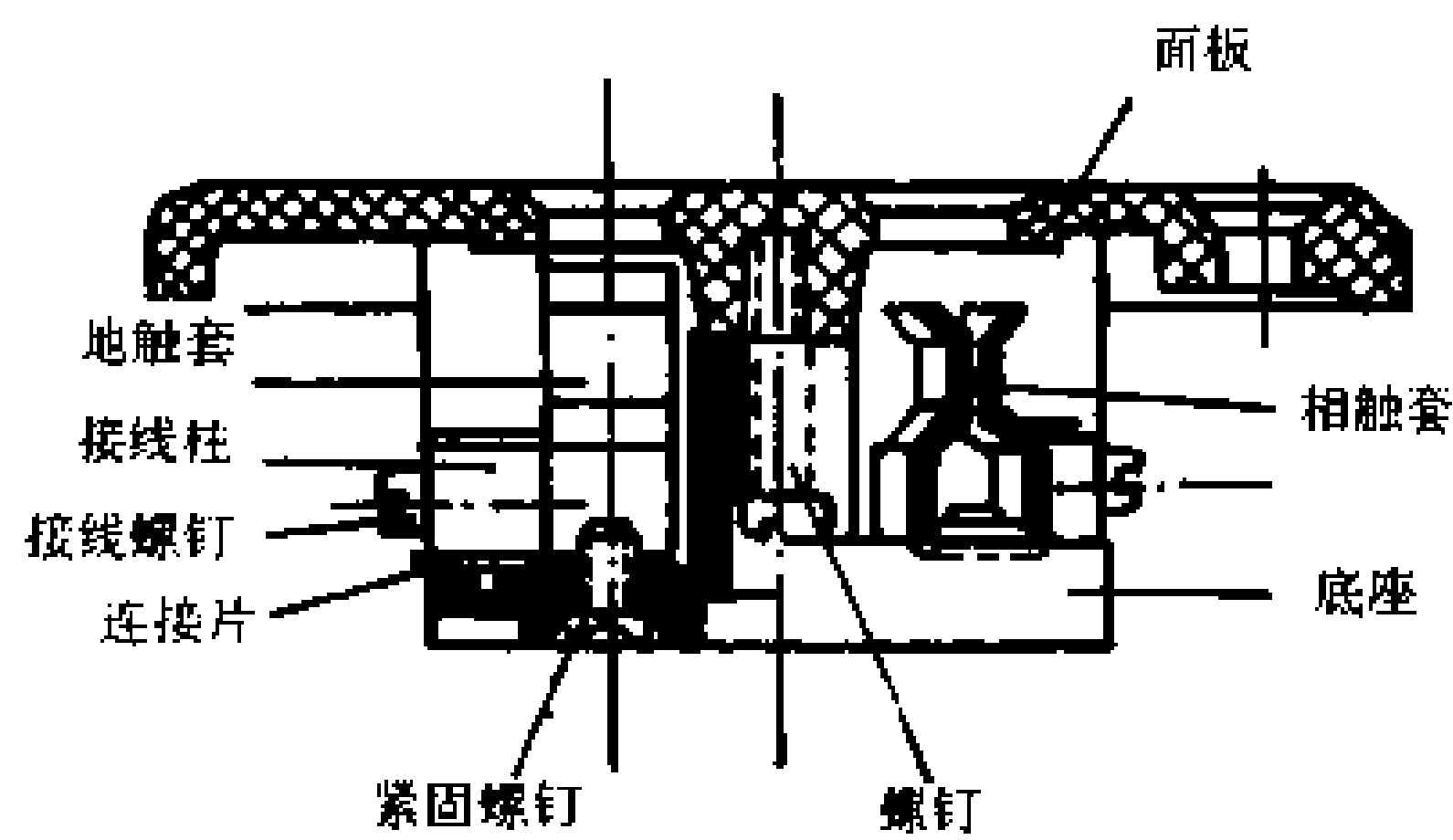


图 6-66 三极暗插座的结构

单相三极和三相四极插座的插孔中，有一较大的插孔是接地极，它的插套比较高，甚至有与盖面相平的。这是为了使插头插入时接地插销先接触到地插套，而拔出插头时接地插销最后拔离而设计的，目的是为了使用安全。

插座的接线，如图 6-67 所示。

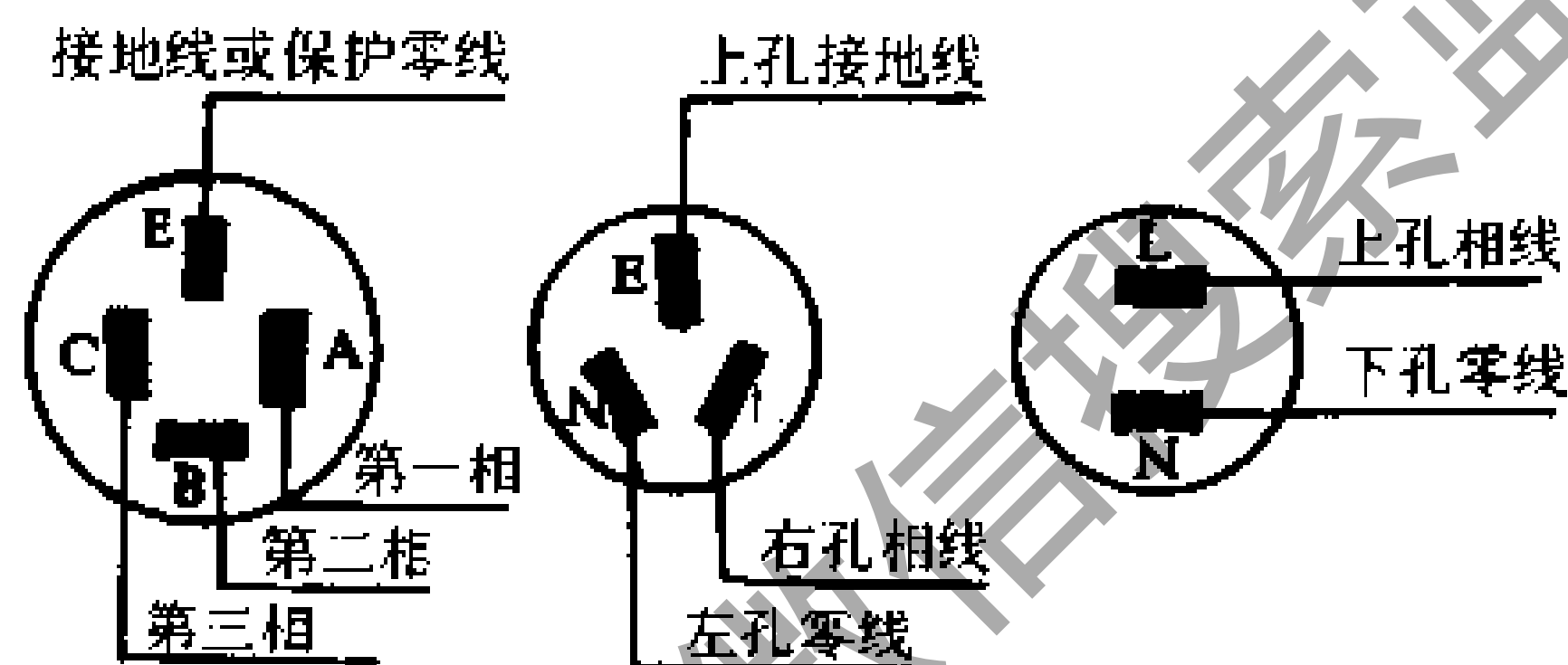


图 6-67

(a) 三相四极 (b) 单相三极 (c) 单相二极




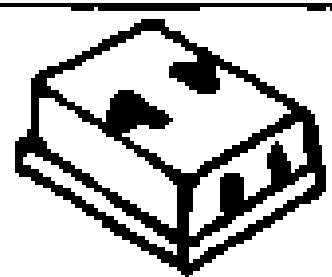
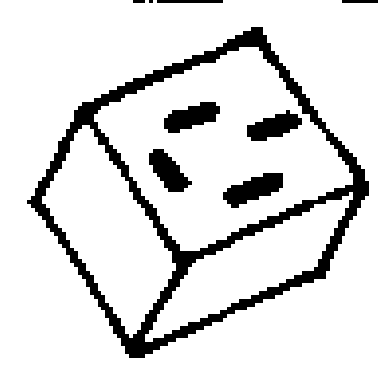
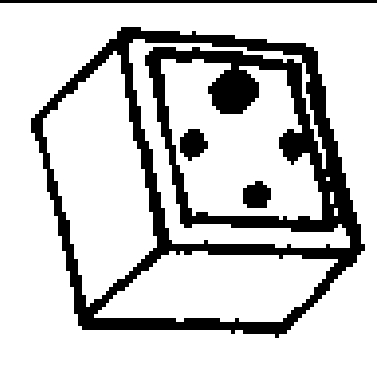
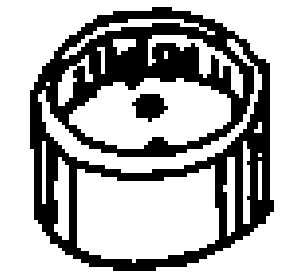
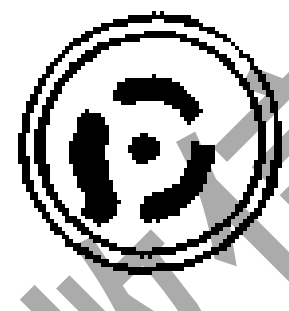

### 1. 明装式插座

明装式插座又叫普通插座，一般用于墙面布线的装设。它底座有两孔，用以安装木螺钉，电线从底孔穿入与接线装置连接。明装式插座的品种规格和特点，见表 6-12。

表 6-12 明装式插座品种规格和特点

| 名称     | 示意图 |                  |    | 特点                      |
|--------|-----|------------------|----|-------------------------|
|        | 国内  | 规格               | 国外 |                         |
| 二极插座   |     | 250V,<br>6A、10A  |    | 有两触套，由底座与盖组成（国外为 5~25A） |
| 二极两用插座 |     | 250V,<br>6A、10A  |    | 能配插国际上圆扁两种型式的插头         |
| 三极插座   |     | 250V,<br>10A、15A |    | 有接地插套（英国为 6A、15A）       |

(续表)

| 名称               | 示意图                                                                                |                     |                                                                                      | 特点                                           |
|------------------|------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|
|                  | 国内                                                                                 | 规格                  | 国外                                                                                   |                                              |
| 三极两用插座           |   | 250V, 10A           |                                                                                      | 能配插圆扁两种三极插头                                  |
| 有开关三极插座          |   | 250V, 10A           |    | 开关可控制插座电路的通断, 国外为 5A、15A, 多设有安全活门            |
| 二极三分火插座          |   | 250V, 6A            |                                                                                      | 顶面和两端同时都可插上插头                                |
| 三相四极插座           |  | 380V, 15A, 25A      |   | 用于三相动力电器设备 (英国为 15A、20A、30A)                 |
| 二极安全插座           |                                                                                    | 250V, 6A, 10A       |  | 端面凹入, 内边有弹性扣销以防插头脱出并用作接地保护, 使用安全             |
| 三极引挂插座 (也有二极四极的) |                                                                                    | 250V, 10A, 15A, 20A |  | 配同型插头, 能受 30kg/min 的拉力而插头不脱出, 并可装在天花板上直接悬挂电器 |
| 二连二极插座           |                                                                                    | 250V, 10A           |  | 可同时插上二只插头, 也有三连四连的                           |

## 2. 暗装式插座

暗装式插座又叫嵌入式插座, 用于嵌入墙内的照明线路作电源连接器件。其品种规格见表 6—13。暗装式插座具有外形美观、安全可靠等优点, 所以现代建筑配线中被广泛采用。这种插座的安装, 与暗开关一样, 必须与面板、线盒、调整板组合在一起 (图 6—68)。

## 三、插头类

插头是连接用电器和电源的一个电器器件。

插头按不同的使用要求, 可分为多种类型。常用的为插接式插头。

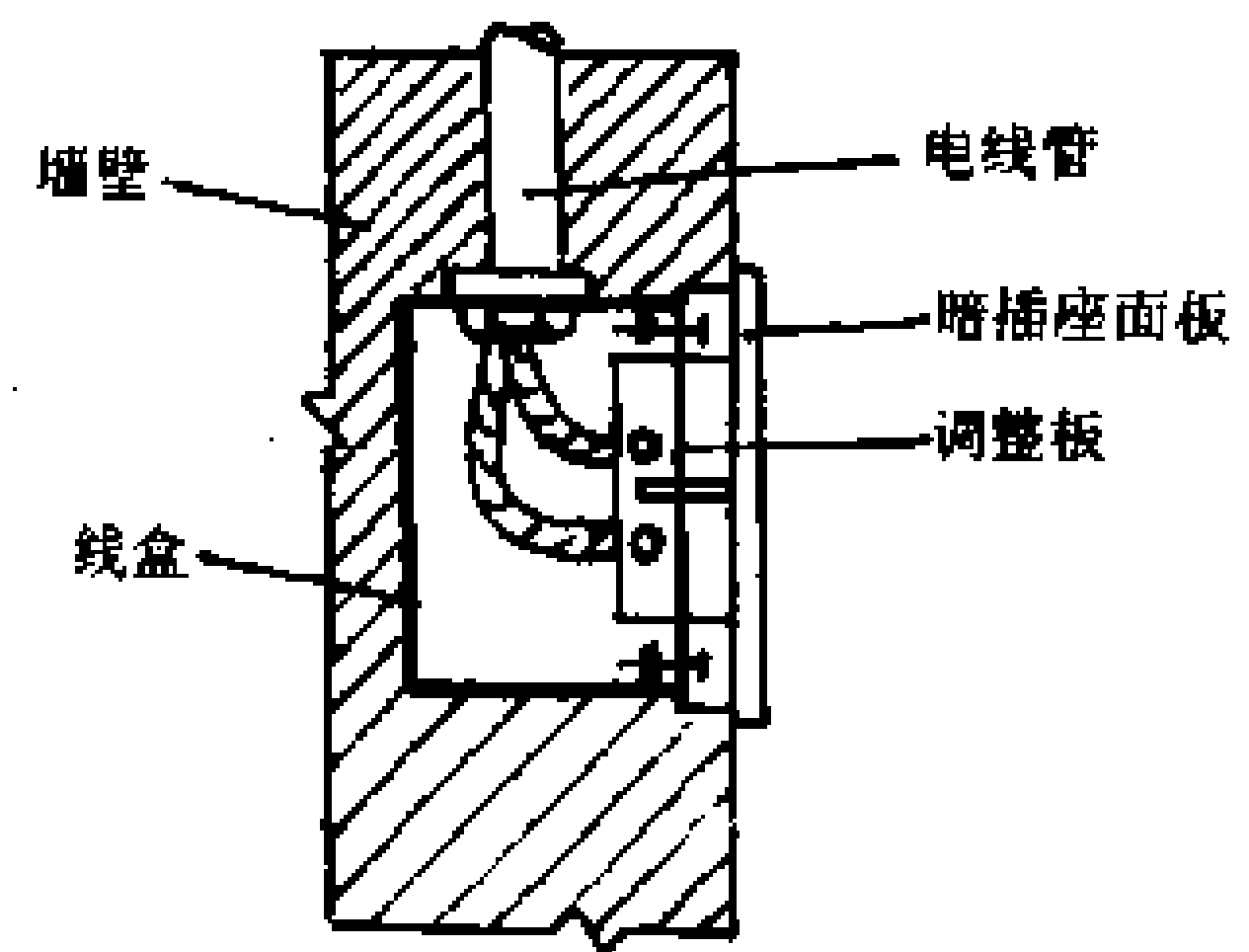
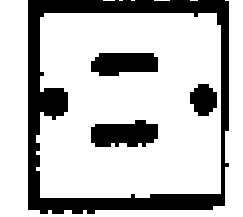
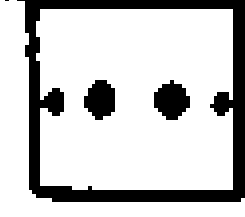


图 6—68 暗插座安装示意图

表 6—13

暗装式插座品种规格和特点

| 名称      | 外形图例                                                                                |           |                                                                                      |               | 特点和用途               |
|---------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------|---------------------|
|         | 中国                                                                                  | 规格        | 外国                                                                                   | 规格            |                     |
| 单相二极暗插座 |  | 250V, 10A |  | 250V, 6A, 10A | 用于暗线装置, 配插二极插头作电源引出 |

(续表)

| 名称           | 外形图例 |                  |    |                  | 特点和用途                     |
|--------------|------|------------------|----|------------------|---------------------------|
|              | 中国   | 规格               | 外国 | 规格               |                           |
| 二极<br>两用暗插座  |      | 250V,<br>10A     |    |                  | 可配用圆扁两种型式的插头(国际标准二极插头也能插) |
| T型<br>二极暗插座  |      | 50V,<br>10A、10A  |    | 250V,<br>20A     | 国内多用作低压电路,如电话的线路连接        |
| 有开关<br>二极暗插座 |      | 250V,<br>10A     |    |                  | 有开关控制插座电路通断,圆扁插头通用        |
| 单相<br>三极暗插座  |      | 250V,<br>10A、15A |    | 250V,<br>5A      | 英国暗插座多有安全活门装置或有指示灯        |
| 有开关<br>三极暗插座 |      | 250V,<br>10A     |    | 250V,<br>5A、15A  | 有开关控制插座电路通断,国外或有指示灯       |
| 二、三极<br>暗插座  |      | 250V,<br>10A     |    |                  | 同时可配用三极及二极圆扁插头作电源引出       |
| 三相<br>四极暗插座  |      | 380V,<br>15A、25A |    | 380V,<br>20A、30A | 用于三相动力电器设备,用作电源连接         |

插头的插销(插脚)在型式上有圆形、扁形、矩形和弧形4种。我国国家标准规定的插销型式为扁形。

按照插头引取电力相数的不同,可分为单相电源和三相电源用插头两类。单相电源用插头又分为无接地和有接地两类。无接地插头只有两只插脚,而接地插头则有3只插脚。其中接地插脚要比其余两只插脚粗而且长,它用于与电器金属外壳连接,可防止电器漏电而引起触电危险。使用单相电源而具有金属外壳的电器时,如电风扇、电熨斗、电吹风、电炉、电炊具等均应采用有接地的插头。三相电源用插头同样有一只长而粗的插脚作为接地,因此它有4只插脚。

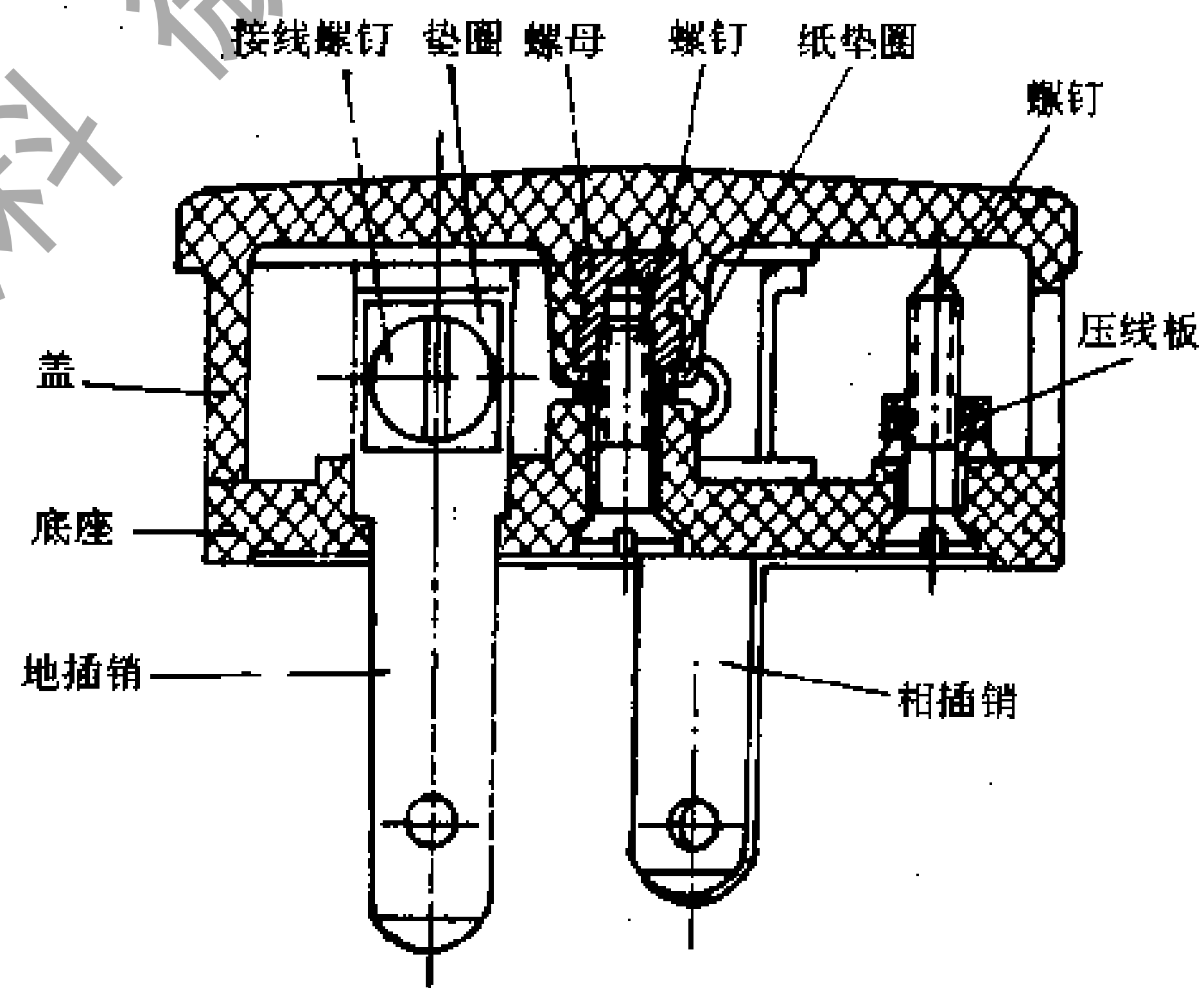


图 6-69 插头基本结构

插头一般由绝缘外壳、插销(插脚)、接线螺钉、夹线装置等构成(图6-69)。

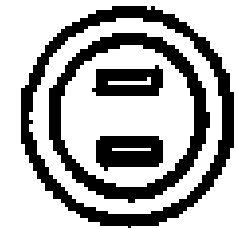
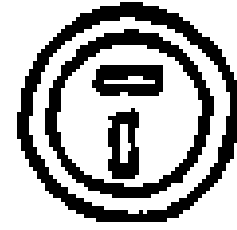

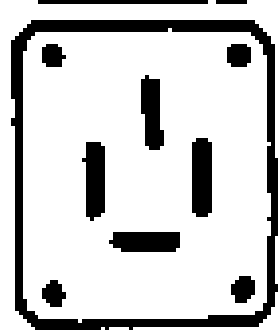

夹线装置设在插头的出线口附近,由压线板和两个螺钉组成。它的作用是夹持引出的电线,使电线不容易被拉脱,以免发生短路事故。

各种插头的规格、图例、用途及特点,见表6-14。



表 6—14

各种插头的规格、图例、用途及特点

| 名 称               | 示 意 图                                                                               |               | 用 途 及 特 点                                  |
|-------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------|--------------------------------------------|
| 二极插头              |    | 250V, 6A、10A  | 单相二极电器用作电源连接(圆插销的中心距离, 国外有 16.6 和 19mm 两种) |
| T 型二极插头           |    | 50V, 10A、15A  | 用作低压电路连接                                   |
| 三极插头              |    | 250V, 10A、15A | 用作单相三极电源连接, 中间为接地极, 10A 以上出线口都应有压线装置       |
| 引挂式三极插头           |                                                                                     |               | 用于常受牵动的电器作电源连接, 插头有扣锁作用, 能受 30kg 的拉力       |
| 三相四极插头            |   | 380V, 15A、25A | 用于三相动力电器设备作电源连接                            |
| 万能插头<br>(多用分火插头)  |                                                                                     |               | 可分接二极圆扁插头和三极 6A、15A, 二极 15A 等多种插头          |
| 熨斗插头              |                                                                                     | 250V, 10A     | 用于电熨斗或电炉接通电源, 有接地装置, 出线口有橡胶或弹簧护套           |
| 二极连线插头;<br>三极连线插头 |  | 250V, 6A、10A  | 电线与插销焊接后和塑料壳一起铸出, 不能拆卸, 但安全耐用              |

插头和插座是日用电器中广泛使用的配套器件、器件质量好坏和使用是否正确, 直接关系到人身安全。所以, 使用插座、插头首先要接线正确(图 6—70), 并注意不使用不合格产品。

下面列出部分使用插头插座时常出现的一些不安全问题, 以便引起注意。

#### 1. 接错线

此种情况多数是因为新购置的电器(如电风扇、电饭锅等)所附的插头与现装的插座不配套, 在换装合适的插座时, 错把地线接到火线(相线)插脚上, 使电器外壳带电, 人一触及外壳就会触电。

#### 2. 带电零件外露

用胶木制的插头, 容易因碰撞或跌落而破裂, 使带电零件外露, 如不更换新插头, 就会发生触电事故。

#### 3. 插销过短或地插套配合过松

插头接地插销过短, 或插座的接地触套配合过松, 接地线路得不到可靠的连接, 漏电时便起不到安全保护作用而造成事故。

#### 4. 电线接头松脱

接线螺丝过松或过紧, 没有可靠地接好电线; 或由于插头接线柱的横孔(穿线孔)高于螺孔底部, 当螺钉压紧电线时, 电线受到剪力作用而部分断线; 或虽断离而未发觉, 及

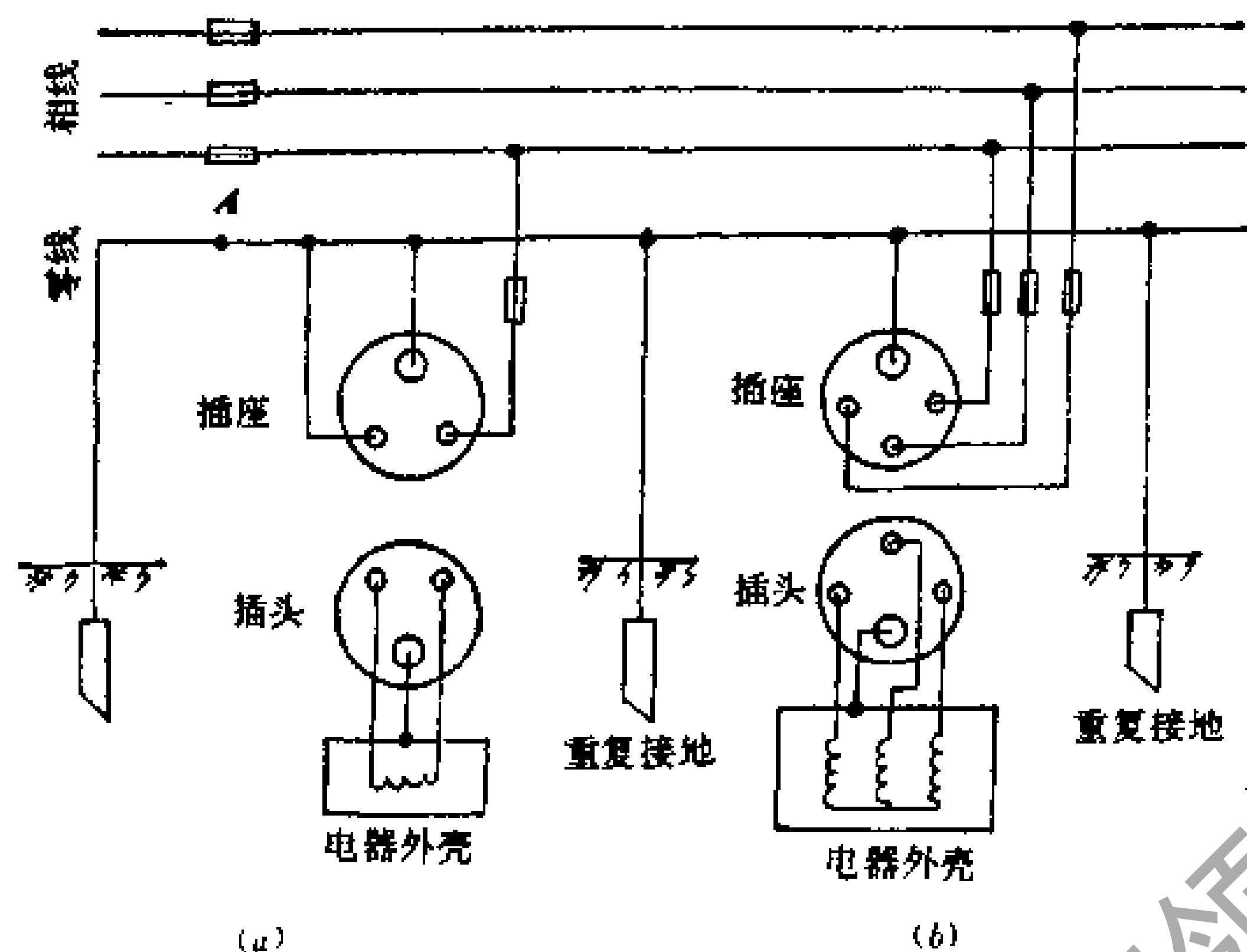


图 6-70 单相三孔和三相四孔插头和插座接线图

(a) 单相三孔插头和插座 (b) 三相四孔插头和插座

至使用过程中电线被拉脱，火线和地线互相碰触，电器壳体便带电而引起触电。

#### 5. 线头碰触

由于在插头接线时过于粗心大意，使三心线剥皮过多，造成线头松散，或挤压破损而引起碰线短路或漏电入壳（如三极插座没有接地线时），造成触电事故。

#### 6. 壳体不绝缘

质量不合格的胶木制成的插头插座，使用时间久了，壳体吸潮漏电而出事故。其他胶木电器也有类似情况，使用时应加以注意。

# 第7章 常用电工工具和测量仪表

## 第1节 电工工具及使用

正确使用电工工具，不但能提高工作效率和施工质量，而且能减轻疲劳、保证操作安全和延长工具使用寿命。

### 一、通用工具

通用工具是指从事电气工作都要运用的常用工具。

#### 1. 验电器

验电器是用来检查设备是否带电的工具。在将设备断电进行清扫或检修时，先用它来验证是否确实无电，是必不可少的。

验电器分高压和低压两类。高压验电器，如10kV以下的验电器是一个用绝缘材料制成的空心管子，一端装有金属制的接触头，接触头内装有小氖泡和电容器。管子另一端有金属连接器，用它接在手柄上。绝缘部分和手柄用电木或硬橡胶制成(图7-1)。低压验电器(又叫试电笔)有钢笔式和螺丝刀式两种。它由氖管、电阻、弹簧和笔身等组成(图7-2)。

使用高压验电器必须戴绝缘手套。验电时将接触头逐渐靠近带电部分，到氖泡发光为止。只有在设备无电时才可直接接触带电部分。

使用低压验电笔时，手拿金属笔卡，再将笔尖和检查的导电部分接触(图7-3)。如果氖泡发亮，证明被检查的部分有电。要防止笔尖金属体触及皮肤，以免触电。

#### 2. 钢丝钳

钢丝钳俗称钳子，是钳夹和剪刀工具，由钳头和钳柄两部分组成。

钢丝钳的功能有：钳口用来弯绞或钳夹导线线头；齿口用来紧固或起松螺母；刀口用来剪切导线或剖切软导线绝缘层；侧口用来铡切电线线心和钢丝、铝丝等较硬金属。常

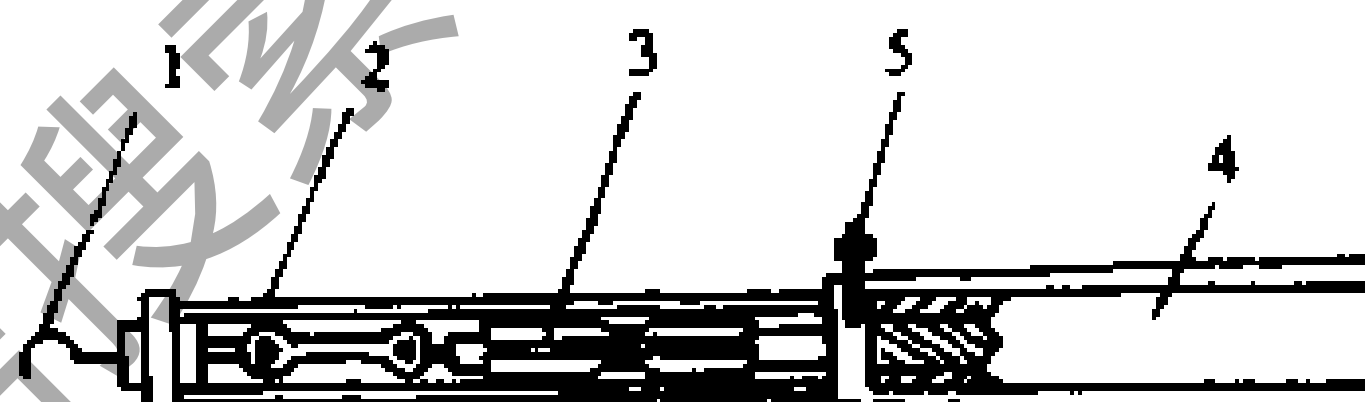


图 7-1 高压验电器

1—工作触头 2—氖灯 3—电容器 4—握柄  
5—接地螺丝

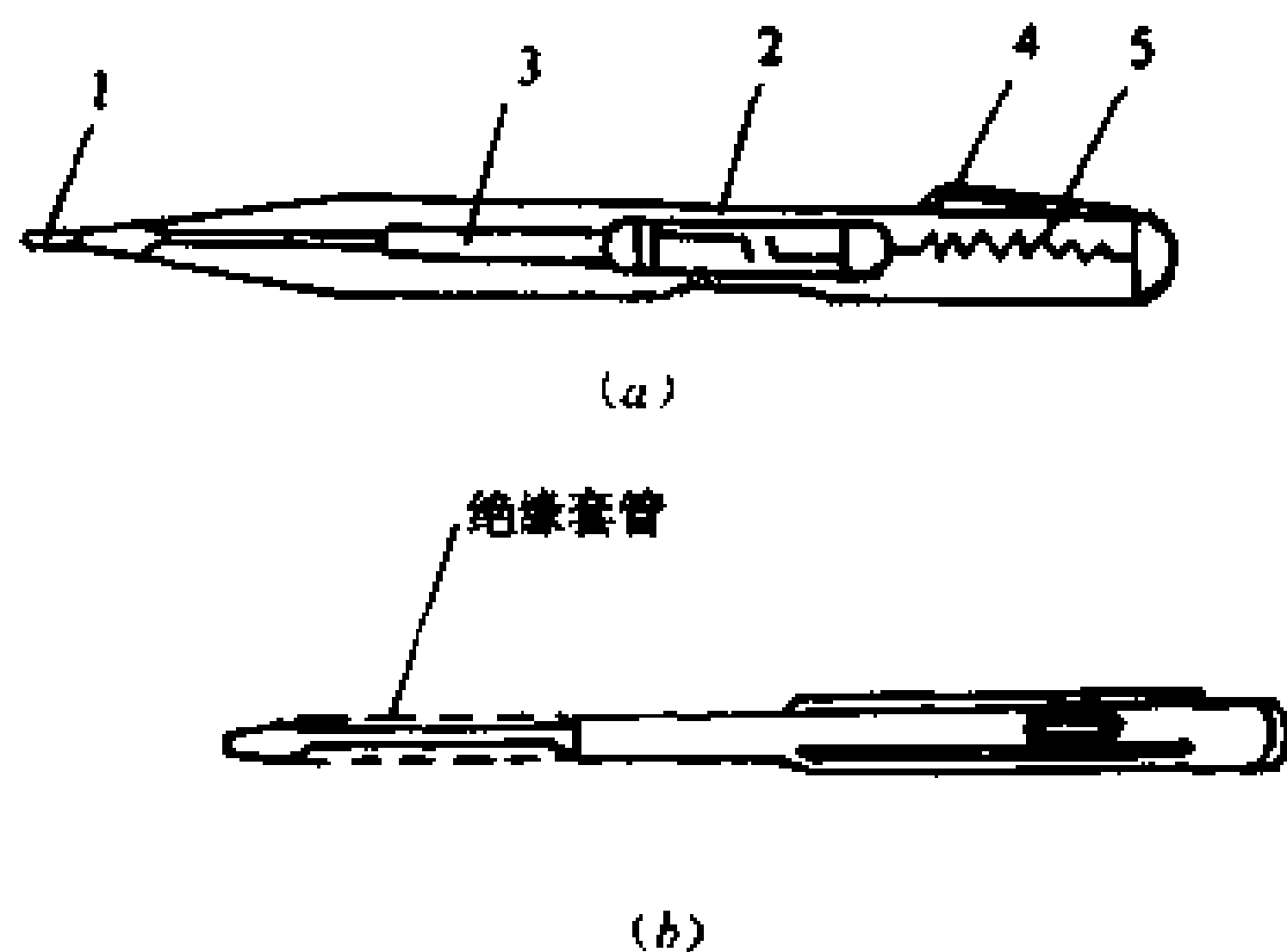


图 7-2 低压验电器

1—工作触头 2—氖灯 3—碳质电阻 4—握柄  
5—弹簧

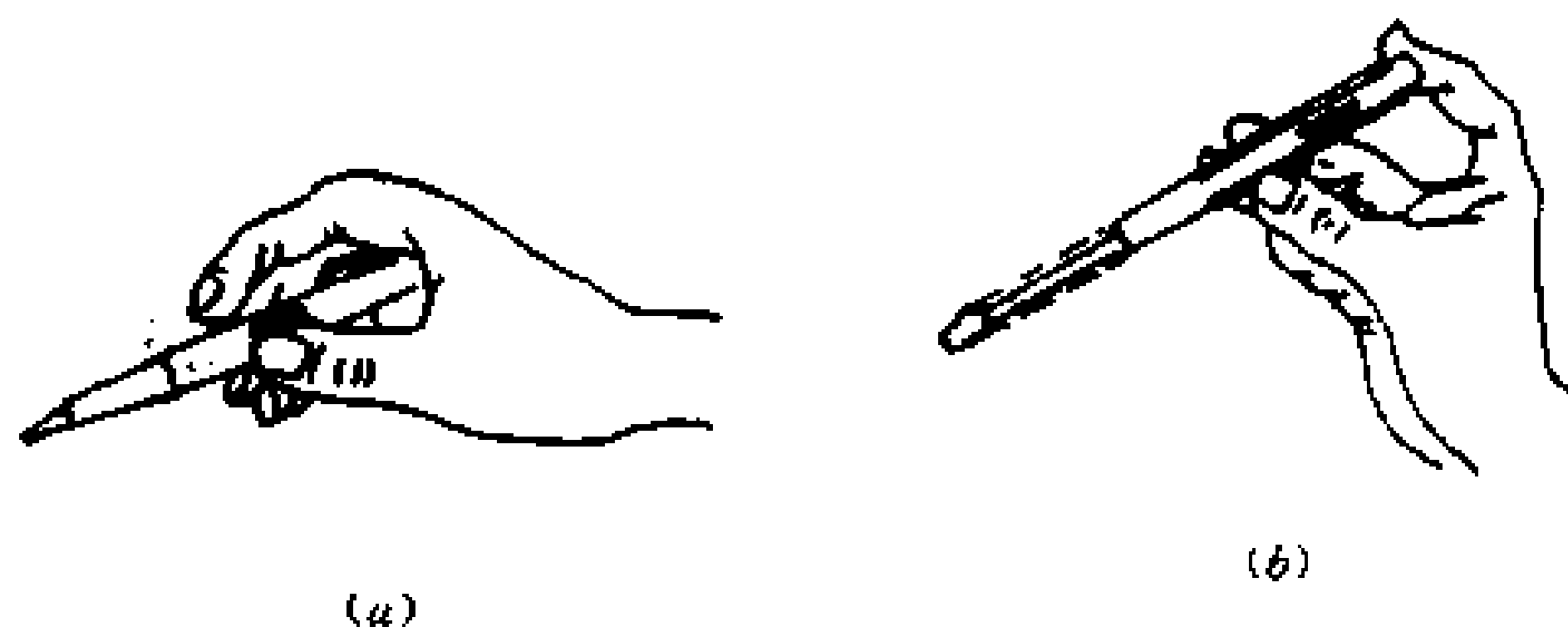


图 7—3 低压验电笔法

(a) 钢笔式 (b) 螺丝刀式

用的钢丝钳规格有 150mm、175mm 和 200mm。电工所用的钢丝钳，在钳柄上套有耐压为 500V 的绝缘管。钢丝钳的结构和使用时的握法（刀口朝向自己的面部）如图 7—4 所示。

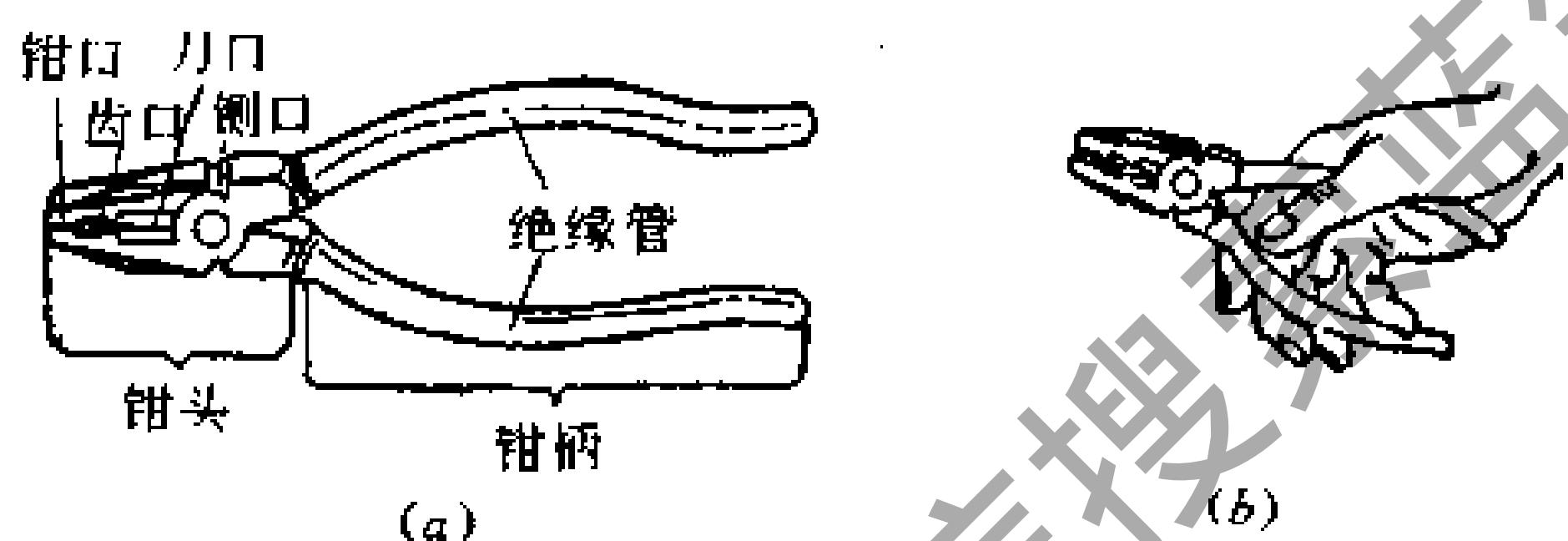


图 7—4 钢丝钳

(a) 构造 (b) 钢丝钳的握法

### 3. 螺丝刀

螺丝刀又称改锥、起子或旋凿，有平口（或叫平头）和十字口（或叫十字头）的两种（图 7—5），以配合不同槽型的螺钉使用。常用的螺丝刀规格有 50mm、100mm、150mm、200mm 等规格。

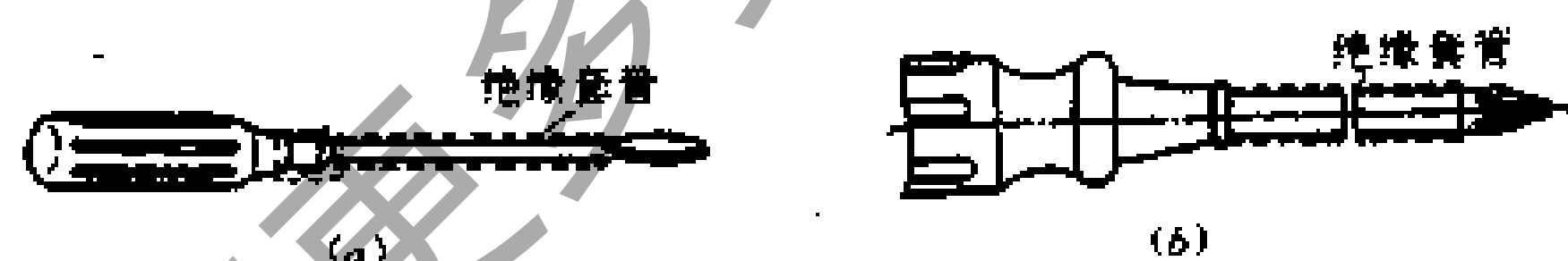


图 7—5 螺丝刀

(a) 平口螺丝刀 (b) 十字口螺丝刀

从事电工工作不可使用金属杯直通柄顶的螺丝刀。为了避免金属杆触及皮肤或触及邻近带电体，常在金属杆上穿套绝缘管。

### 4. 活络扳手

活络扳手又称活络扳头，简称扳子。其结构如图 7—6 (a) 所示，它的头部由定扳唇、动扳唇、蜗轮和轴销等构成。旋动蜗轮用来调节扳口大小。常用的活络扳手规格有 150mm、200mm、250mm 和 300mm 等，使用时可按螺母大小运用适当规格。

扳拧较大螺母时，需较大力矩，手应握在近柄尾处，如图 7—6 (b) 所示；扳拧较小螺母时，需用力矩不大，但螺母过小容易打滑，宜照图 7—6 (c) 所示的方法握把，这样

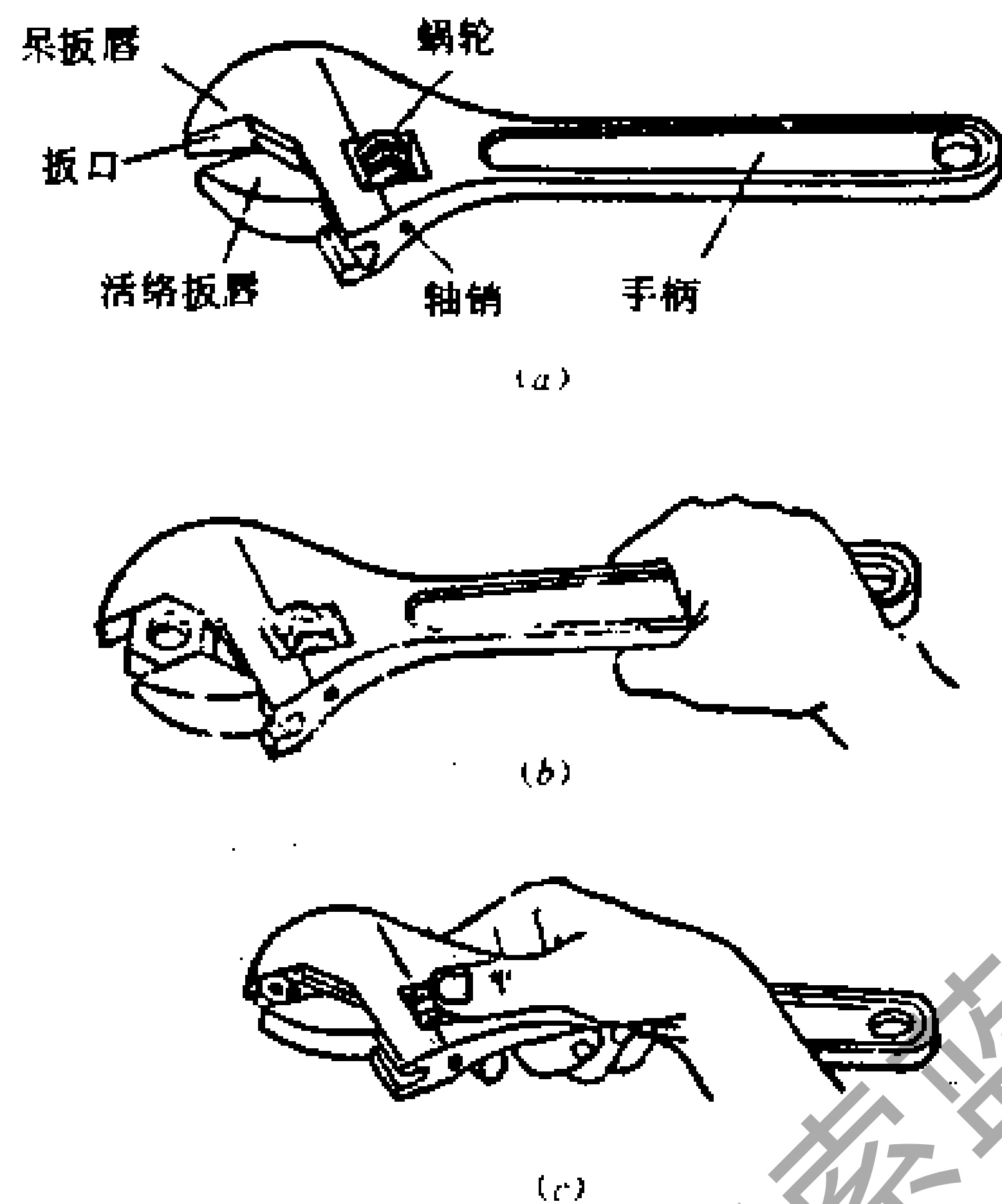


图 7—6 活络扳手  
(a) 活络扳手构造 (b) 扳较大螺母时握法 (c) 扳较小螺母时握法

可随时调节蜗轮，收紧扳唇防止打滑。

活扳子不可反用，即动扳唇不可作为重力点使用，也不可用钢管接长柄部施加较大力矩。

### 5. 电工刀

图 7—7 为电工刀，是用来剖削和切割电工器材的常用工具。使用时，刀口应朝外剖削；用毕，随即把刀身折进刀柄。电工刀刀柄结构是不绝缘的，不能在带电导线或器材上剖削，以防触电。

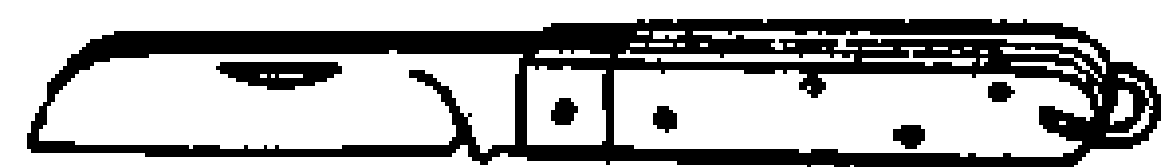


图 7—7 电工刀

## 二、导线连接工具

导线的连接方法很多，而专用工具只有铝导线的户内外压接钳。

### 1. 户内线路使用的铝导线压接钳

图 7—8 (a) 为户内线路使用的铝压接钳，它由钳头和钳柄两部分组成。钳头由阳、阴模和定位螺钉等构成。阴模需随不同规格的导线而选配。使用时拉开钳柄，嵌入线头，然后两手如同夹紧大剪刀的方法，进行压接。

### 2. 户外线路使用的铝导线压接钳

图 7—8 (b) 为户外线路使用的铝导线压接钳，结构和使用方法与户内线路使用的压接钳类似。

### 3. 钢心铝导线使用的压接钳

图 7—8 (c) 为钢心铝线使用的压接钳，它由钳头、压模、螺杆和摇柄等组成。压接时，用摇柄旋压。

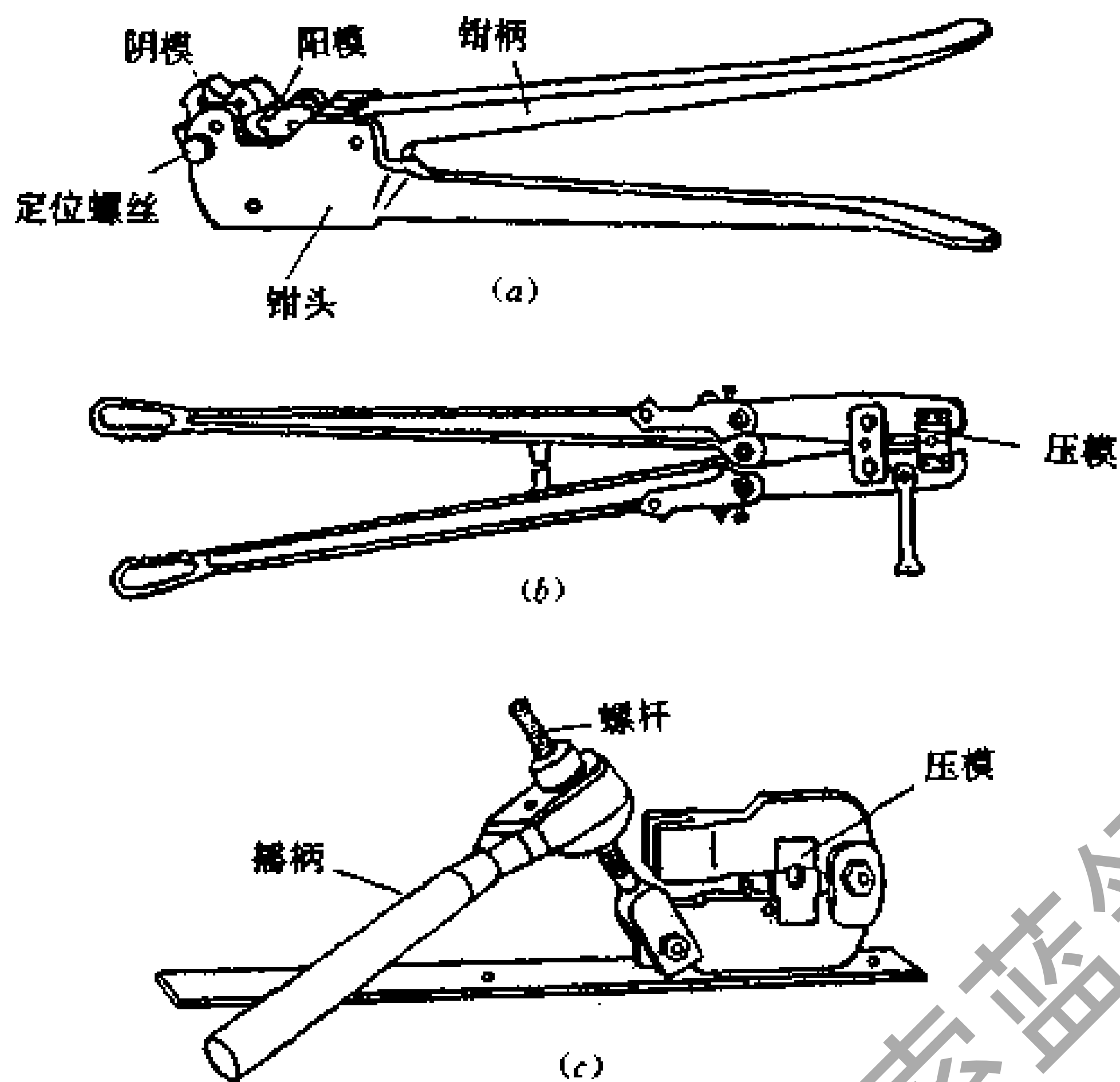


图 7—8 铝绞线压接钳

(a) 户内线路用 (b) 户外线路用 (c) 钢心铝绞线用

### 三、线路安装工具

#### 1. 麻线凿

麻线凿也叫圆棒凿，如图 7—9 (a) 所示。用它凿打混凝土结构建筑物的木棒孔。电工常用的麻线凿有 16 号和 18 号两种，分别可凿直径为 8mm 和 6mm 两种圆形木棒孔。凿孔时，要不断转动凿子，使灰砂碎石及时排出。

#### 2. 小扁凿

小扁凿如图 7—9 (b) 所示，是用来凿打砖墙上的方形木棒孔的。电工常用的凿口宽 12mm。使用方法与凿削的扁凿相同。

#### 3. 冲击钻

冲击钻是一种电动工具，如图 7—9 (c) 所示。它可作为普通电钻使用，使用时应把调节开关调到标记为“钻”的位置；另一种可用来冲打砌块和砖墙等建筑材料的木棒孔和导线穿墙孔。这时应把调节开关调到标记为“锤”的位置。通常可冲打直径为 6~16mm 的圆孔。有的冲击钻还可调节转速，有双速和三速的。在调速或调挡（“冲”和“锤”）时均应停转。使用方法如同电钻。

#### 4. 长凿

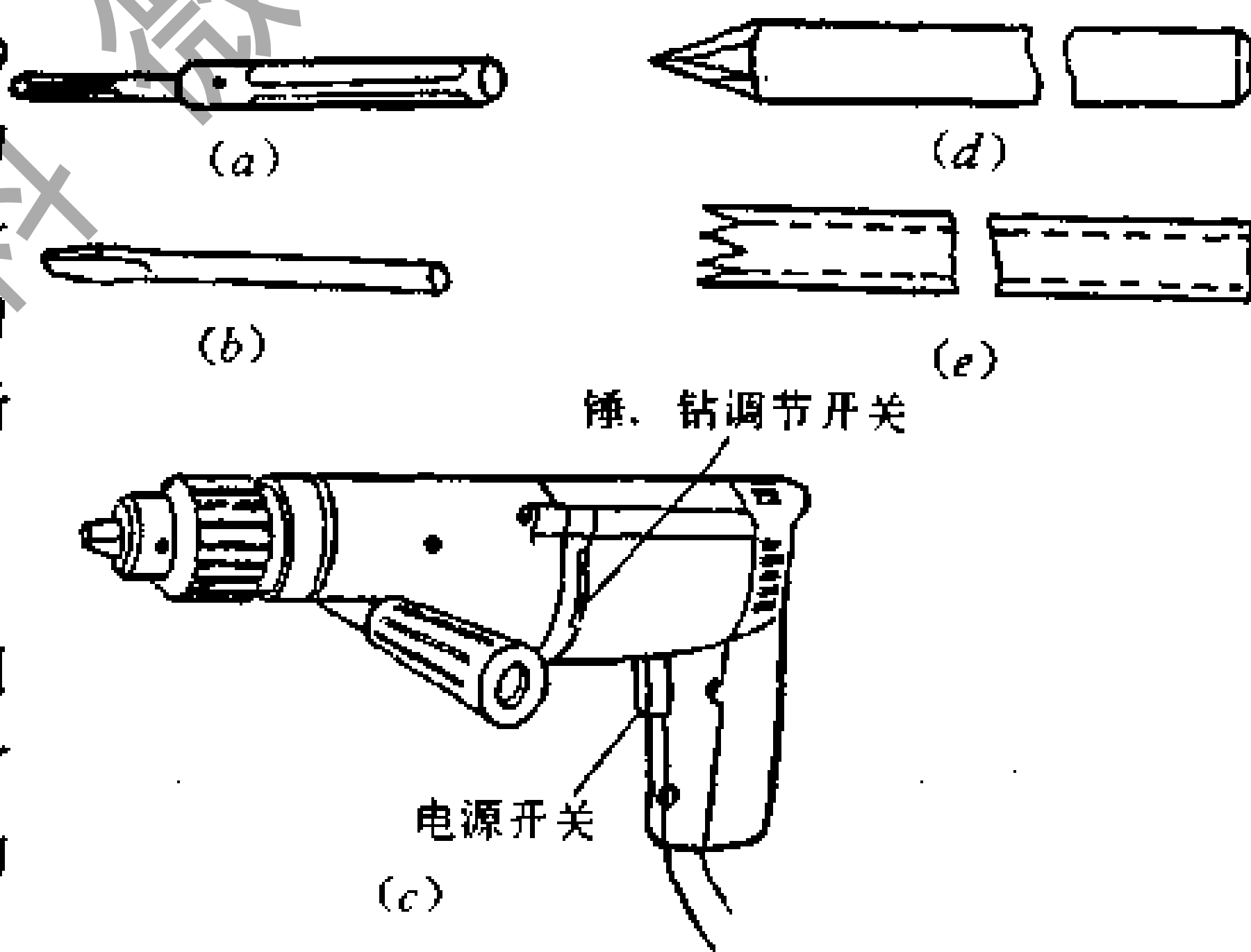


图 7—9 凿削墙孔工具

(a) 麻线凿 (b) 小扁凿 (c) 冲击钻 (d) 凿混凝土墙孔用长凿 (e) 凿砖墙孔用长凿

图 7—9 (d)、(e) 为长凿的两种形式，均用来凿打砖墙孔，作为穿越线路导线的通孔。图 7—9 (d) 所示用来凿打混凝土墙孔，由中碳圆钢制成；图 7—9 (e) 所示用来凿打砖墙孔，由无缝钢管制成。长凿直径为 19mm、25mm 和 30mm，长度通常有 300mm、400mm 和 500mm 等多种。使用时，应不断旋转，及时排出碎屑。

### 5. 紧线器

紧线器（图 7—10）用来收紧户内瓷瓶线路和户外架空线路的导线，由夹线钳头、定位钩、收紧齿轮和手柄等组成。使用时，定位钩必须勾住架线支架或横担，夹线钳头夹住需收紧导线的端部，然后扳动手柄，逐渐收紧。

### 6. 导线弧垂测量尺

导线弧垂测量尺（图 7—11）用来测量户外架空导线的弧垂。测量时，每档距导线（或一个耐张段），需用两副量尺。

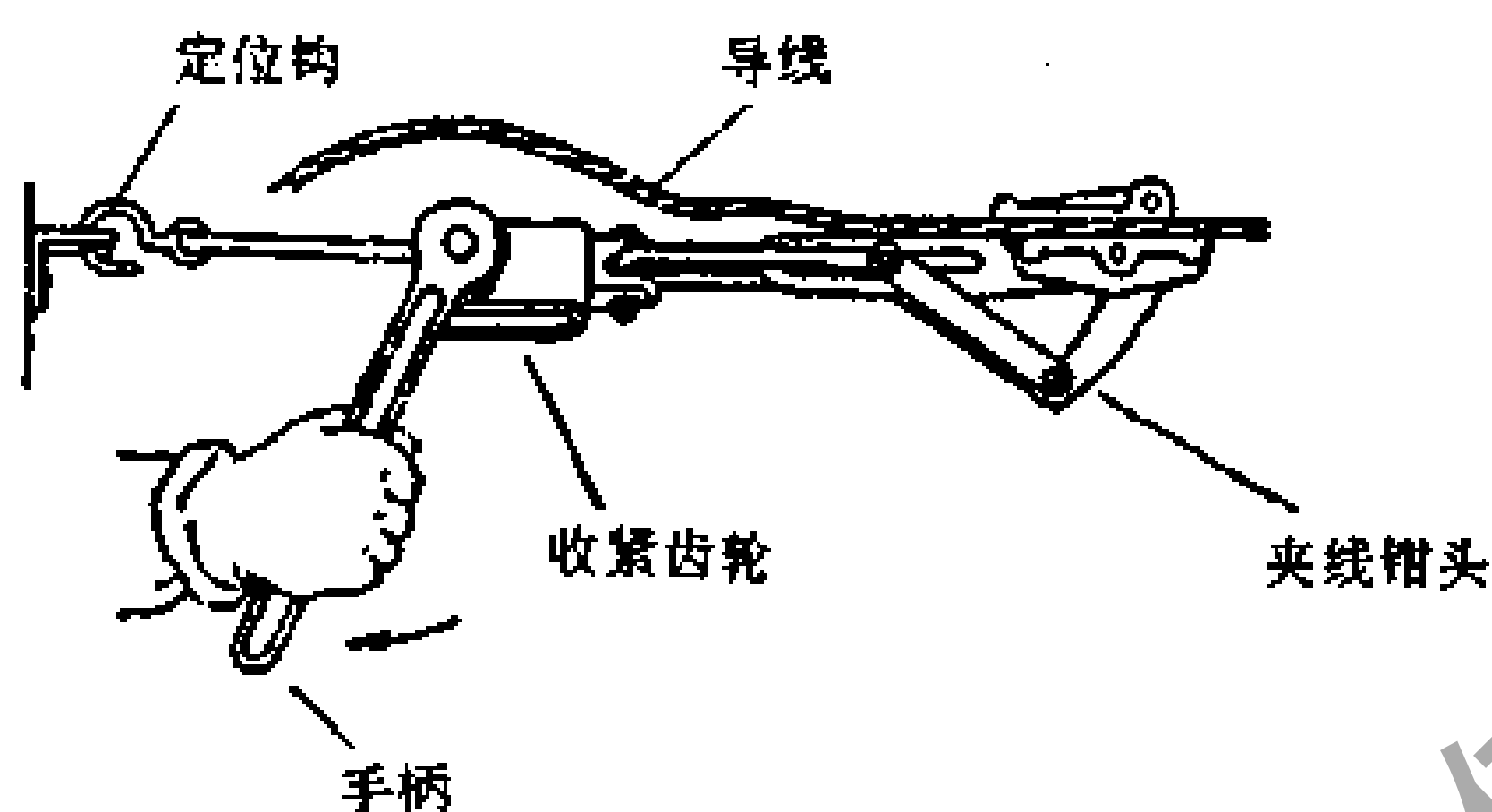


图 7—10 紧线器的构造和使用

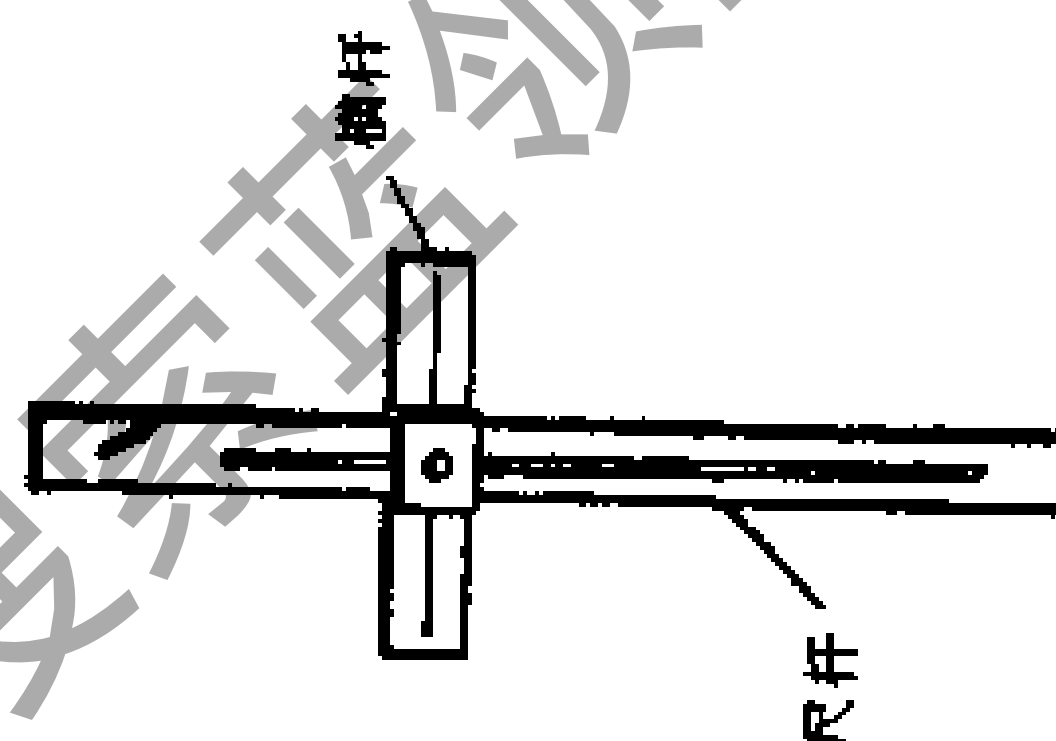


图 7—11 导线垂弧测量尺

### 7. 管子钳

图 7—12 为管子钳，用来拧紧或松散电线管上的束节或管螺母，常用规格有 250mm、300mm 和 350mm 等多种。使用方法同活扳手。

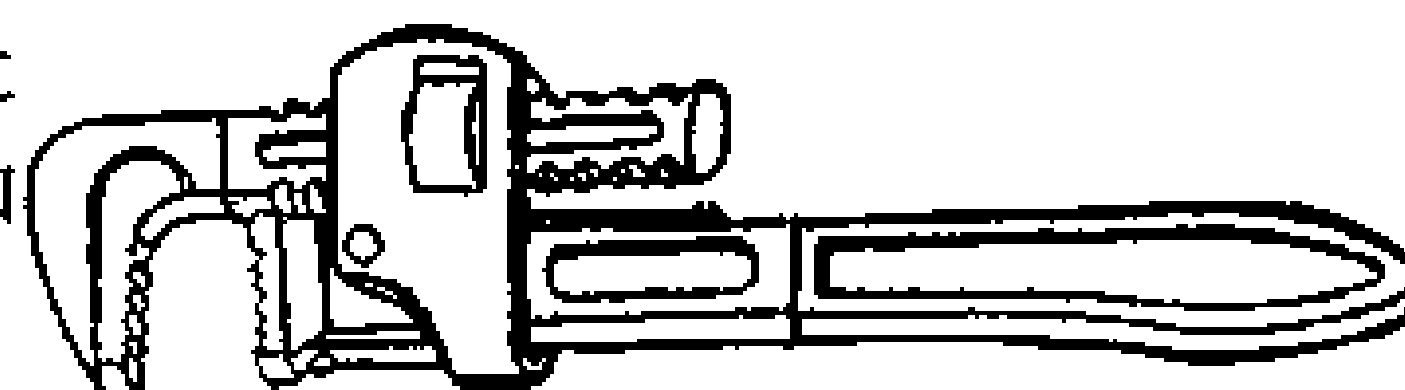


图 7—12 管子钳

### 8. 剥线钳

图 7—13 为剥线钳，用来剥削  $6\text{mm}^2$  以下塑料或橡胶电线的绝缘层，由钳头和手柄两部分组成。钳头部分由压线口和切口构成；有直径 0.5~3mm 的多个切口，以适用于不同规格的心线。使用时，电线必须放在大于其心线直径的切口上切剥，否则会损坏心线。

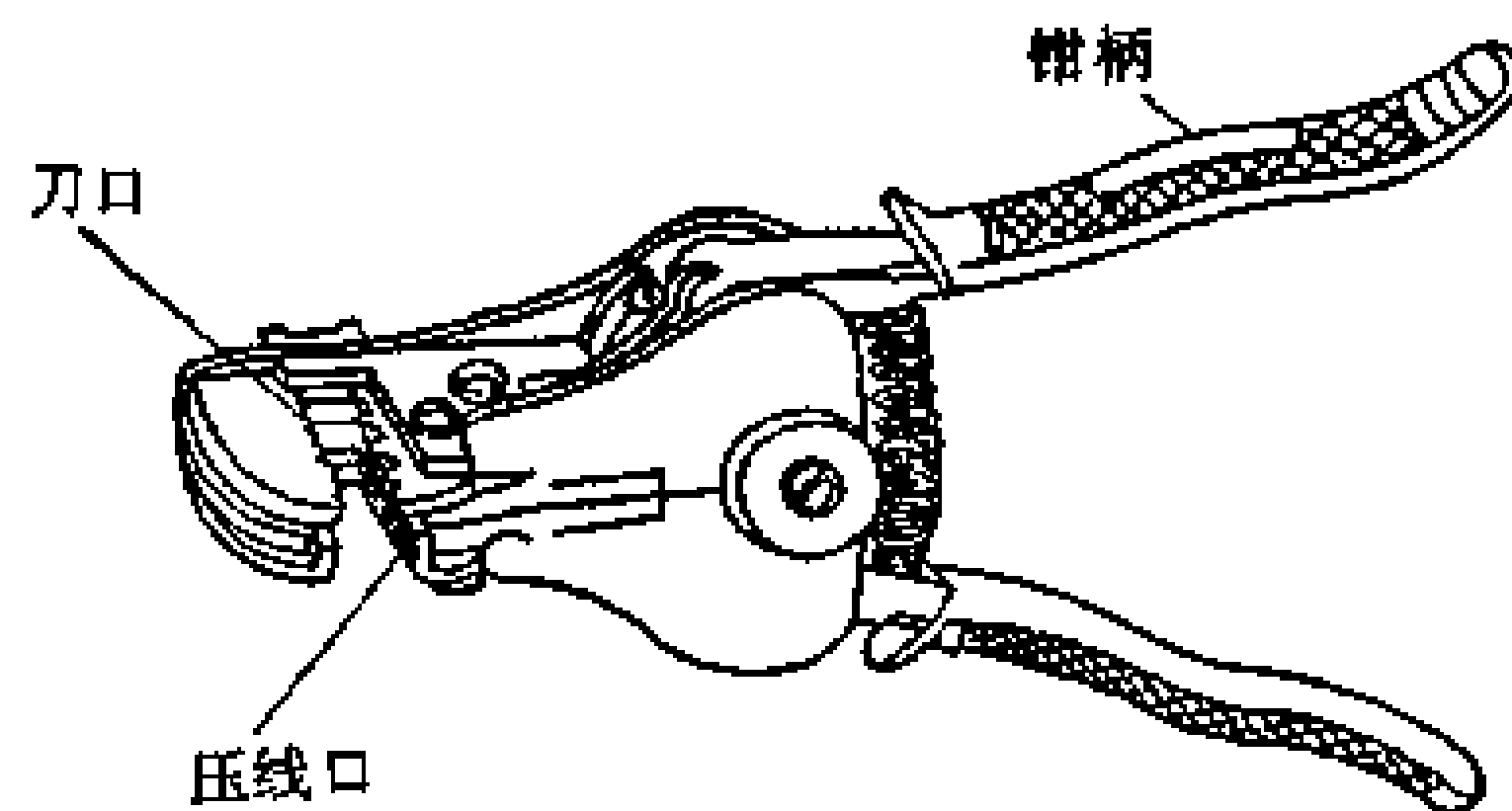


图 7—13 剥线钳

#### 四、登高工具

在登高作业时，要特别注意人身安全。而登高工具必须牢固可靠，方能保障登高作业的安全。未经现场训练过的，或患有精神病、严重高血压、心脏病和癫痫病患者，均不能擅自使用登高工具登高。

##### 1. 梯子

常用的梯子有直梯和人字梯两种，如图 7—14 (a)、(b) 所示，前者通常用于户外登高作业，后者通常用于户内登高作业。直梯的两脚应各绑扎胶皮之类的防滑材料，人字梯应在中间绑扎两道防自动滑开的安全绳。在梯上作业时，为了扩大人体的作业活动幅度和保证不因用力过度而站立不稳，必须按图 7—14 (c) 所示方法站立。

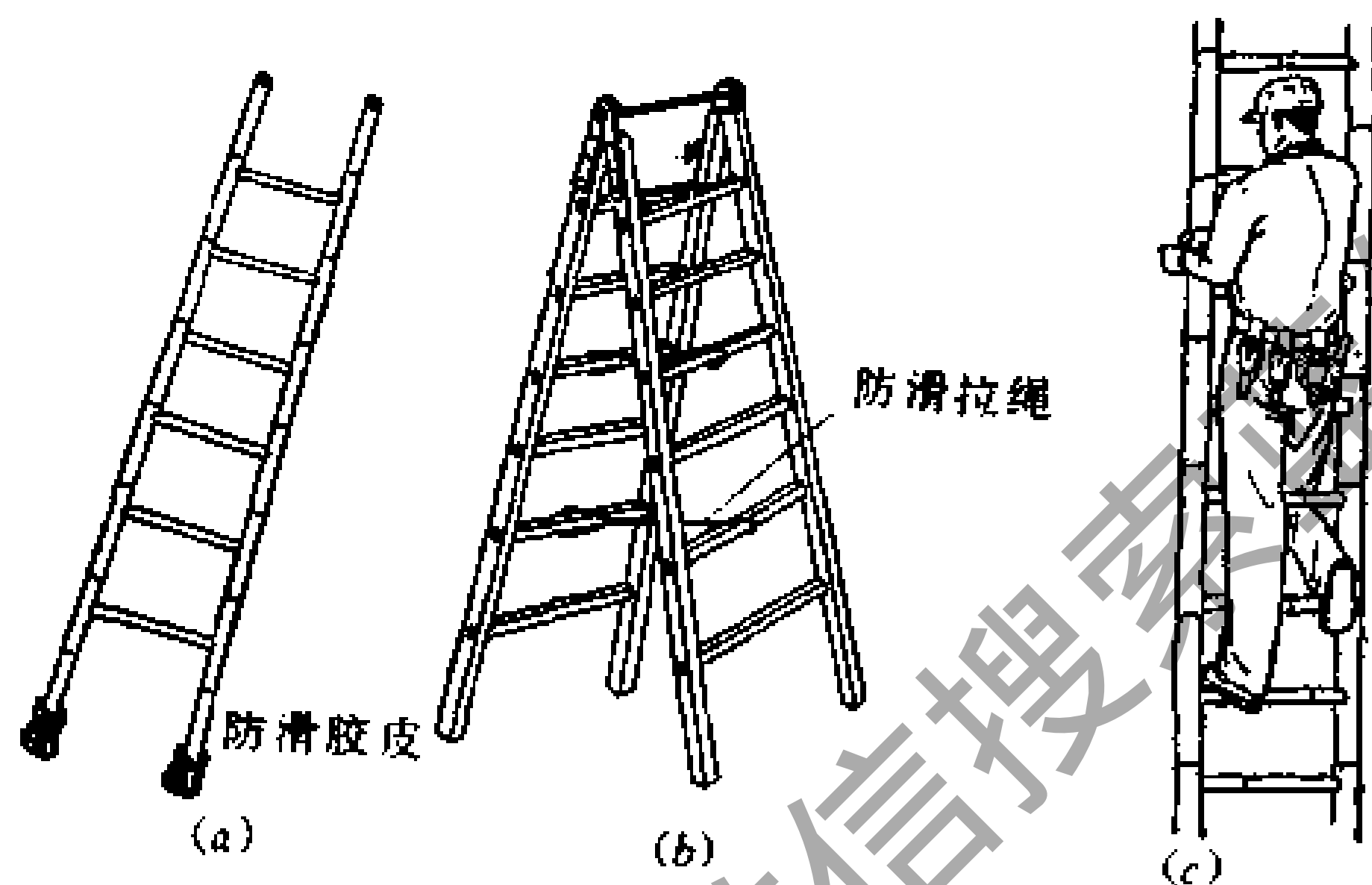


图 7—14 电工用梯

(a) 直梯 (b) 人字梯 (c) 电工在梯子上作业的姿势

登在人字梯上操作时，切不可采取骑马方式站立，以防人字梯两脚自动滑开时造成严重事故。骑马站立姿势，对人体操作时也极不灵活。

##### 2. 蹬板

蹬板又叫踏板，曾在本书第 3 章电力线路中介绍过，是用来攀登电杆的。它是由板和绳两部分组成。板是采用质地坚韧的木材制成的，规格如图 7—15 (a) 所示；绳应采用 16mm<sup>3</sup> 股白棕绳，长度要适应使用者的身材，一般保持一人一手长，如图 7—15 (b) 所示。踏板和白棕绳均应能承受 300kg 重量，每半年要进行一次载荷试验，在每次登高前应做人体冲击试登。为了保证在杆上作业时的人体平稳，不使踏板摇晃，站立姿势应按照图 7—15 (c) 所示。

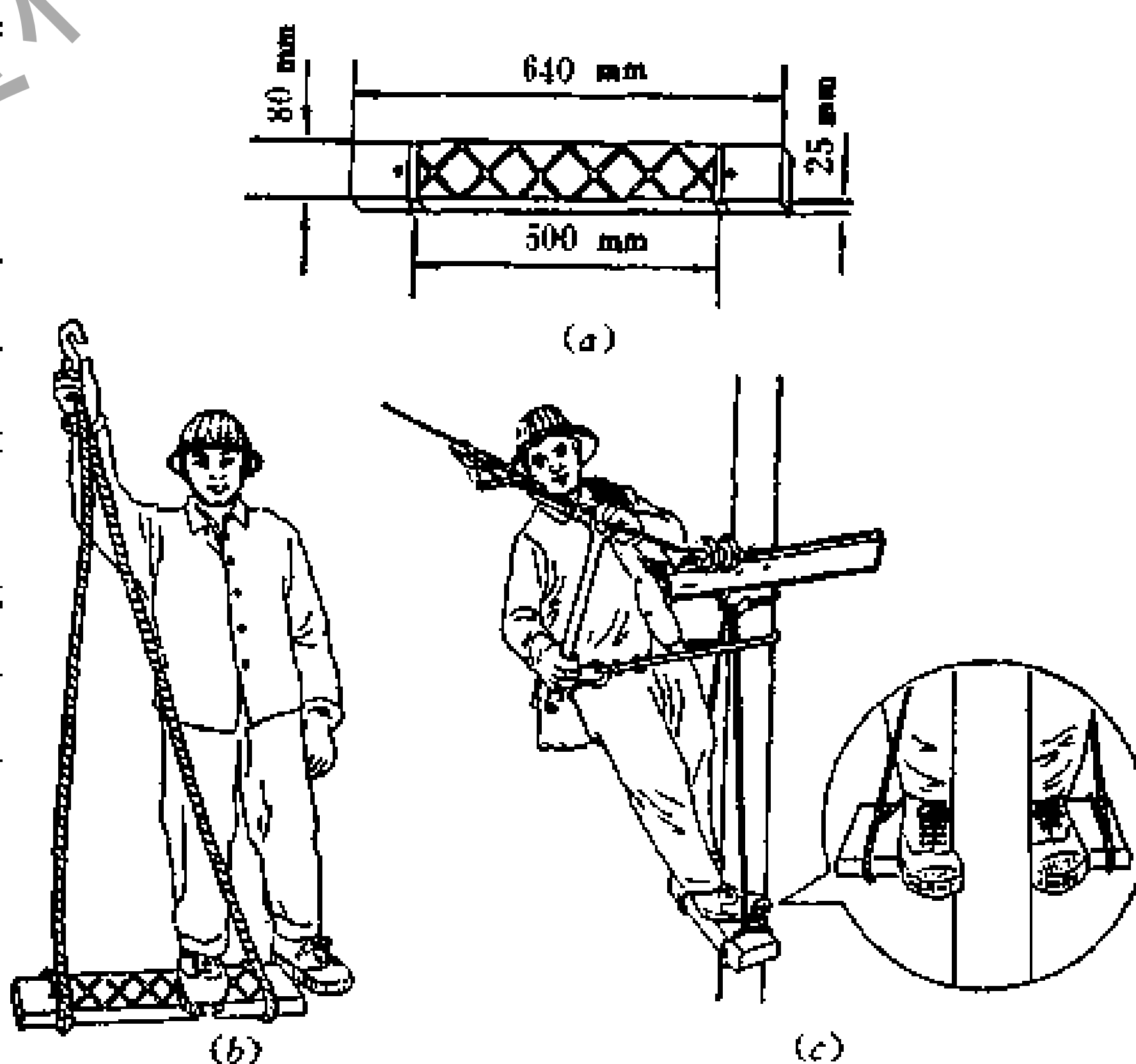
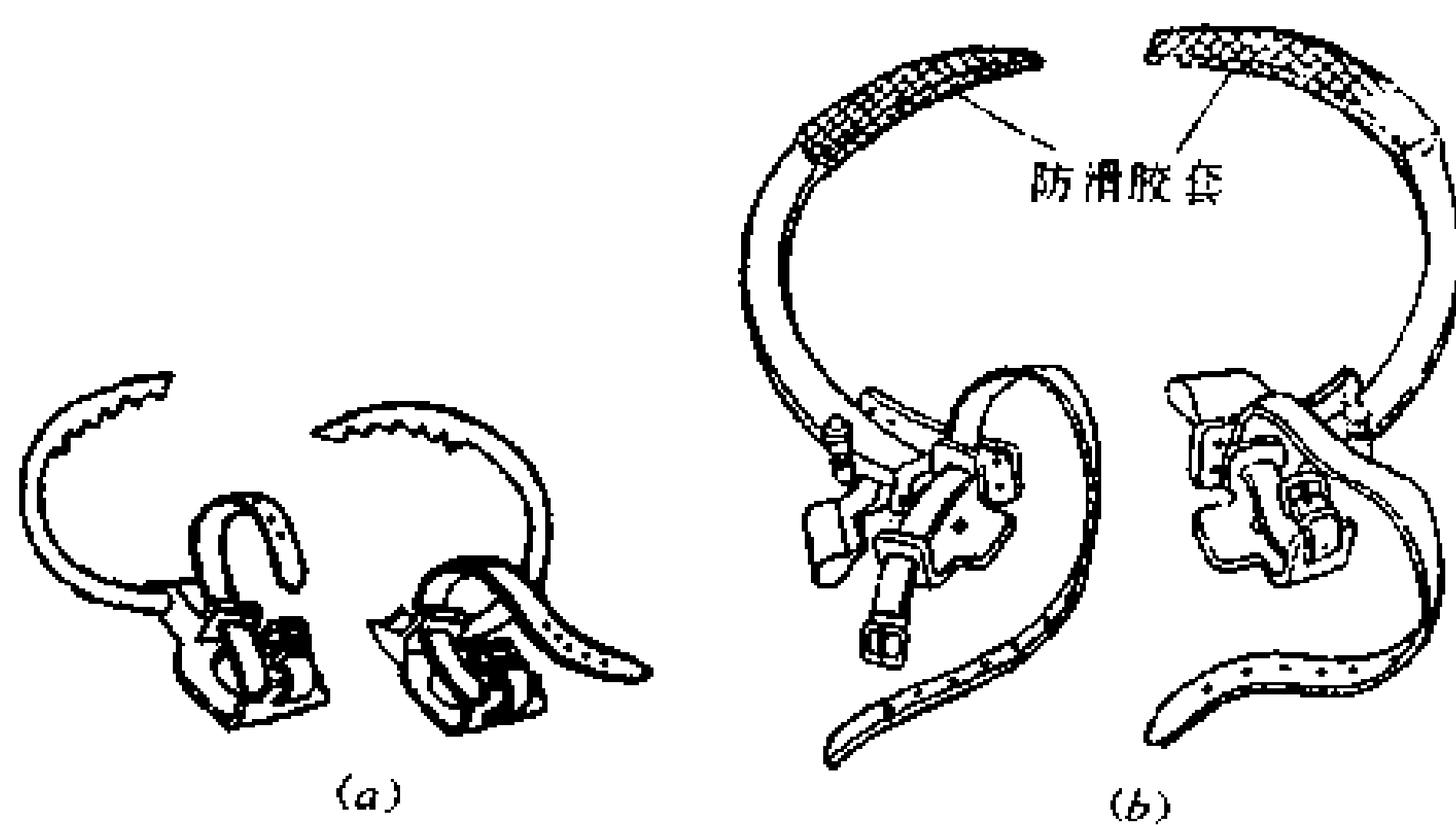


图 7—15 蹬板

(a) 蹬板规格 (b) 踏板长度 (c) 在踏板上作业的站立姿势





(a)

(b)

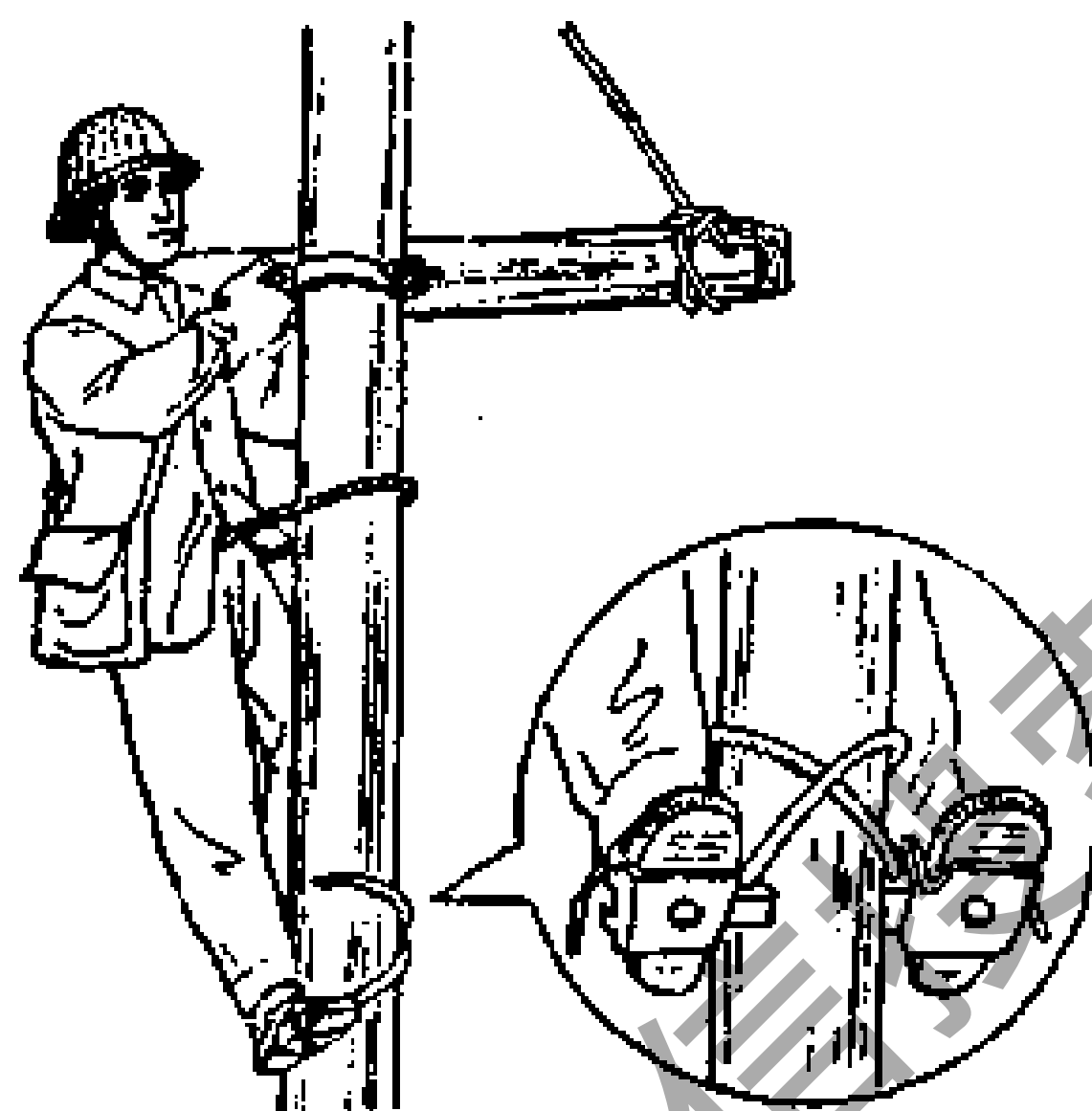


图 7—16 脚扣

(a) 登木杆用脚扣 (b) 登混凝土杆用脚扣 (c) 杆上操作时两脚扣的定位方法

### 3. 脚扣

脚扣又叫铁脚（或铁鞋），也是电杆的攀登工具。脚扣分两种：一种在扣环上制有铁齿，供登木杆用，如图 7—16(a) 所示；另一种在扣环上裹有橡胶，供登混凝土杆用，如图 7—16 (b) 所示。脚扣攀登速度较快，容易掌握登杆方法；但在杆上作业时没有踏板灵活舒适，易于疲劳，所以适用于杆上短时间作业。为了保证杆上作业时的人体平稳，两个脚扣应如图 7—16 (c) 所示方法定位。

### 4. 腰带、保险绳和腰绳

腰带、保险绳和腰绳是电杆登高操作必备用品（图 7—17）。腰带是用来系挂保险绳、腰绳和吊物绳的；使用时应系结在臀部上部，而不是系结在腰间，否则操作时既不灵活又容易扭伤腰部。保险绳是用来防止万一失足人体下落时不致坠地摔伤，一端要可靠地系结在腰带上，另一端用保险钩勾挂在牢固的横担或抱箍上。腰绳是用来固定人体下部，以扩大上身活动幅度的，使用时应系结在电杆的横担或抱箍下方。防止腰绳窜出电杆顶端，造成事故。

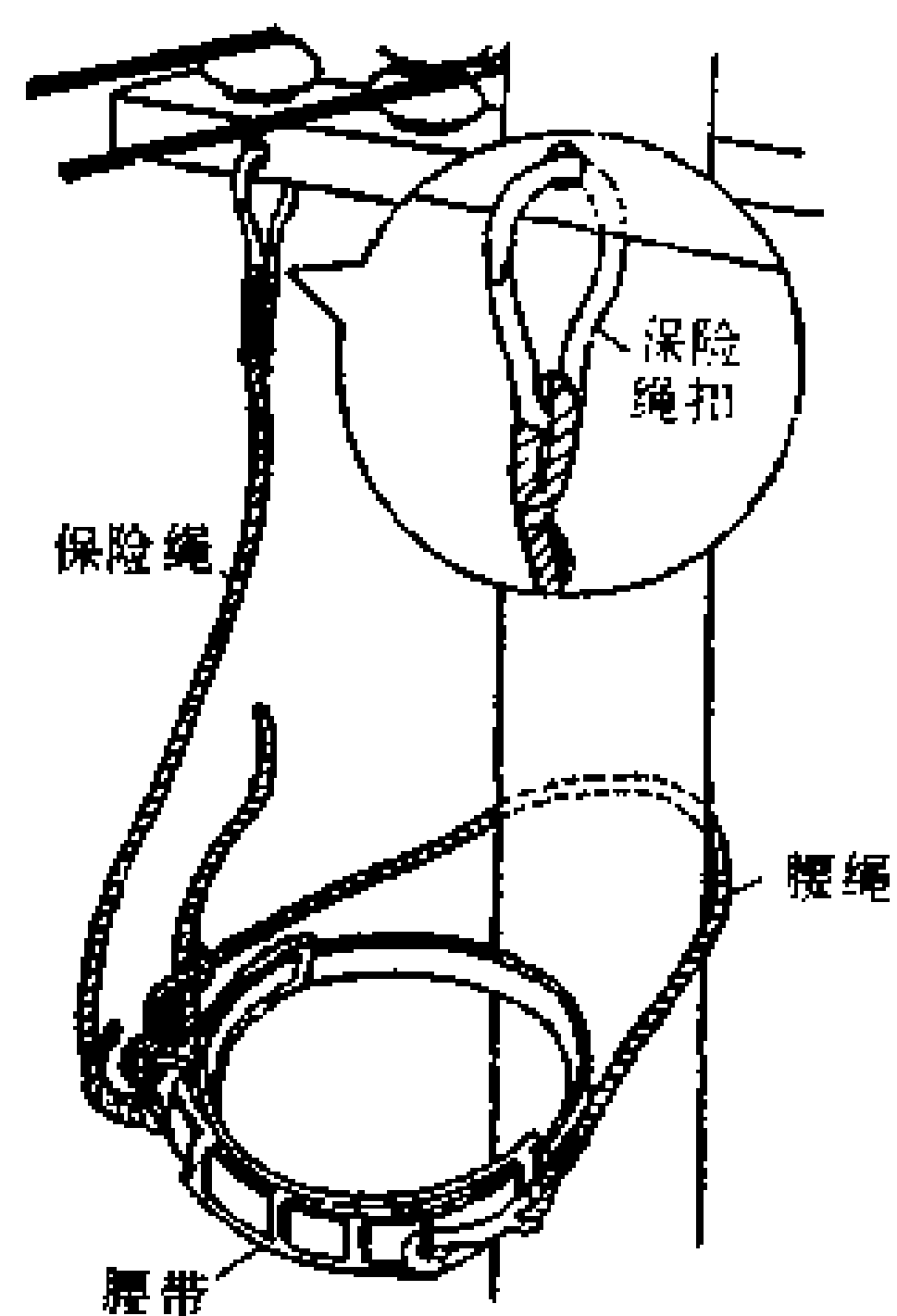


图 7—17 腰带、腰绳和保险绳的使用

### 5. 电工工具夹

电工工具夹，是户内外登高操作时必备用品，用来插装活络扳手、钢丝钳、螺丝刀和电工刀等电工常用工具（图 7—18）。分为插装 1 件、3 件和 5 件工具的各种规格，用皮带系结在腰间。

### 6. 吊绳和吊篮

吊绳和吊篮是杆上作业时传递零件和工具的用品。吊绳一端应系结在操作者腰带上，另一端垂向地面，随操作者的需要而吊物上杆。吊篮用来盛放零星小物品或工具，使用时系上吊绳，随物上杆；吊篮通常由钢丝扎成圆桶骨架，外蒙覆帆布而成。

### 7. 背包

背包由杆上操作者随身携带，内盛锤、凿之类常用工具和零星材料等。

### 8. 防护用品

防护用品是指登杆人员必须戴的防护帽（安全帽）、防护手套和必须穿的电工绝缘胶鞋。

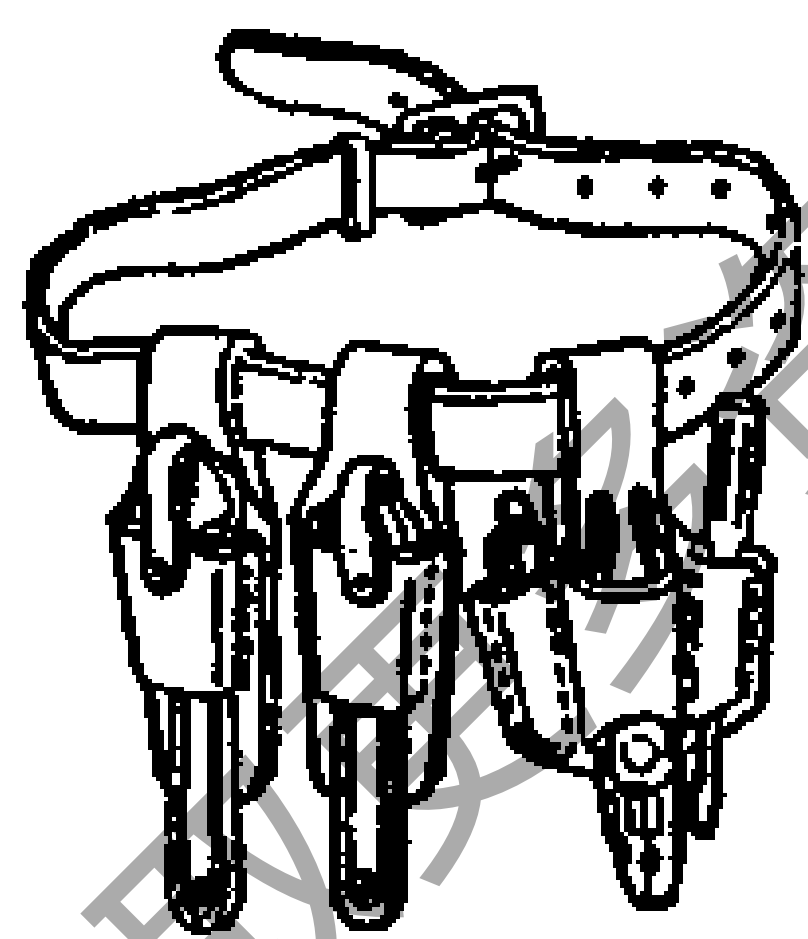


图 7—18 电工工具夹

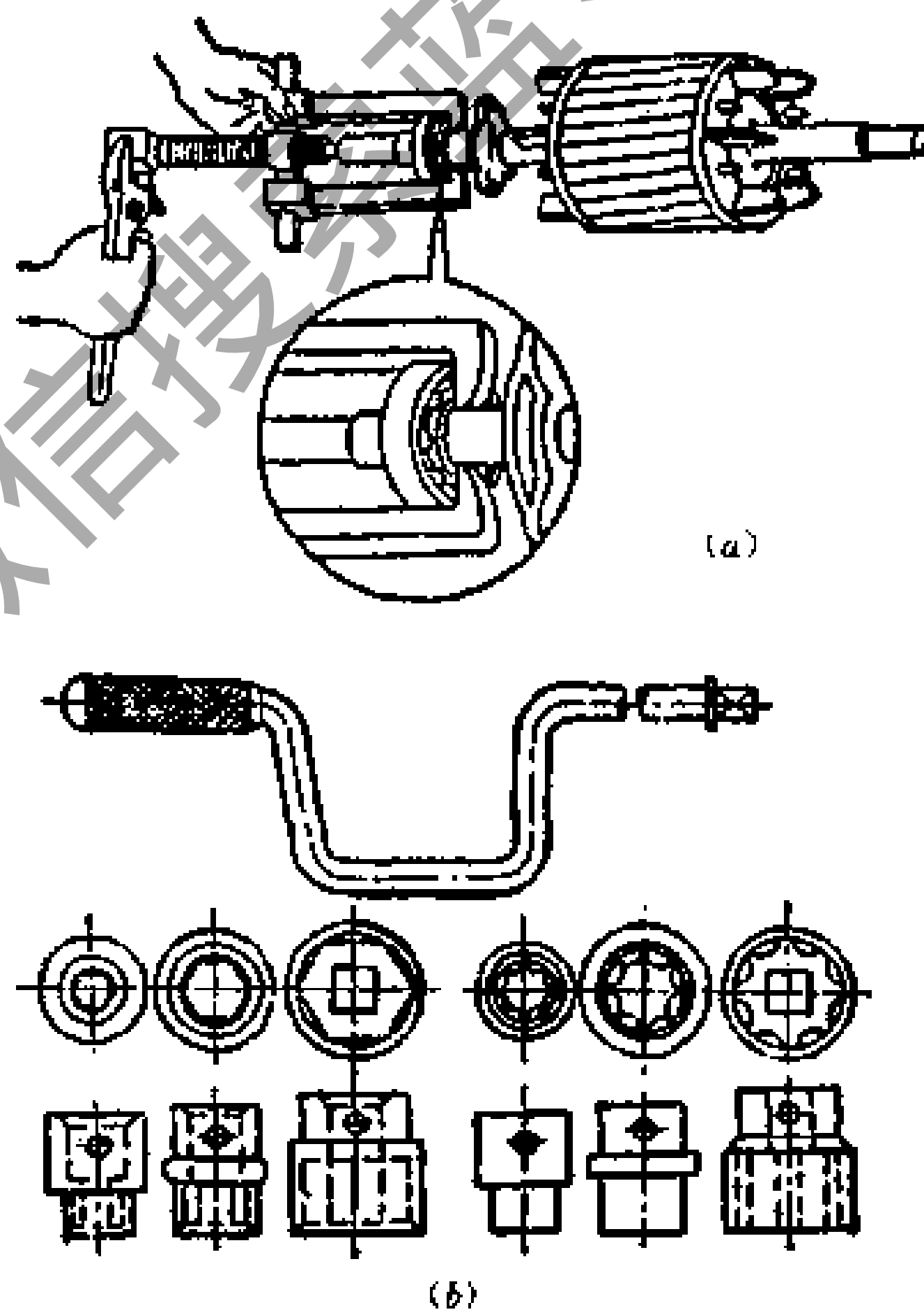


图 7—19 安装和维修工具  
(a) 拉具结构和使用 (b) 套筒扳手

## 五、设备安装和维修工具

安装电气设备时，经常用到下列几种专用工具。

### 1. 拉具

拉具，又叫撬子、扒子、拉模、拉扒等，如图 7—19 (a) 所示。有双爪和三爪的两种，用来拆卸皮带轮和轴承等配件，使用方法如图示。

### 2. 套筒扳手

套筒扳手是用来拧紧或施松有沉孔的螺母，或在无法使用活络扳手的不地方使用。它

由套筒和手柄两部分组成图 7—19 (b)，套筒应配合螺母规格选用。

### 3. 皮老虎

图 7—20 为皮老虎外形图，用来吹除各种电气设备内部的积灰或金属切屑等垃圾。

### 4. 滑轮

滑轮又叫葫芦，如图 7—21 所示。用来起重各种较重的设备和部件，使用方法如图示。

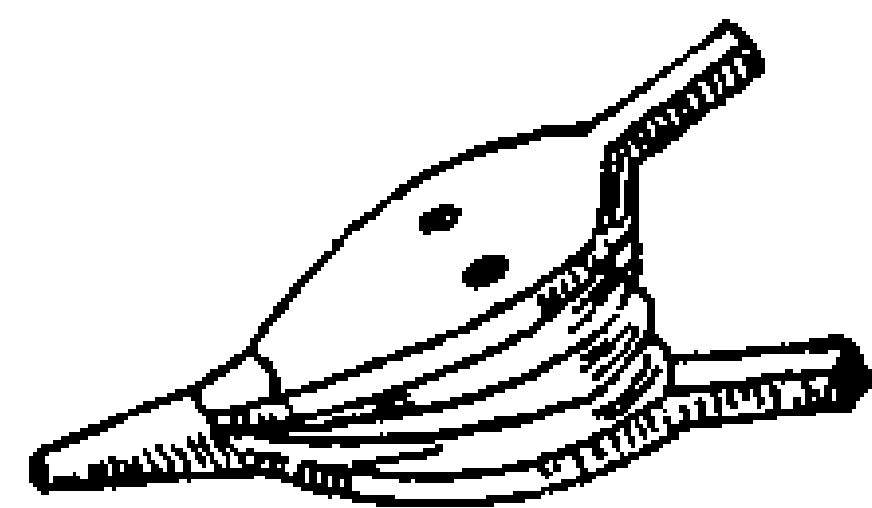


图 7—20 皮老虎

## 六、安全工具

### 1. 绝缘操作杆

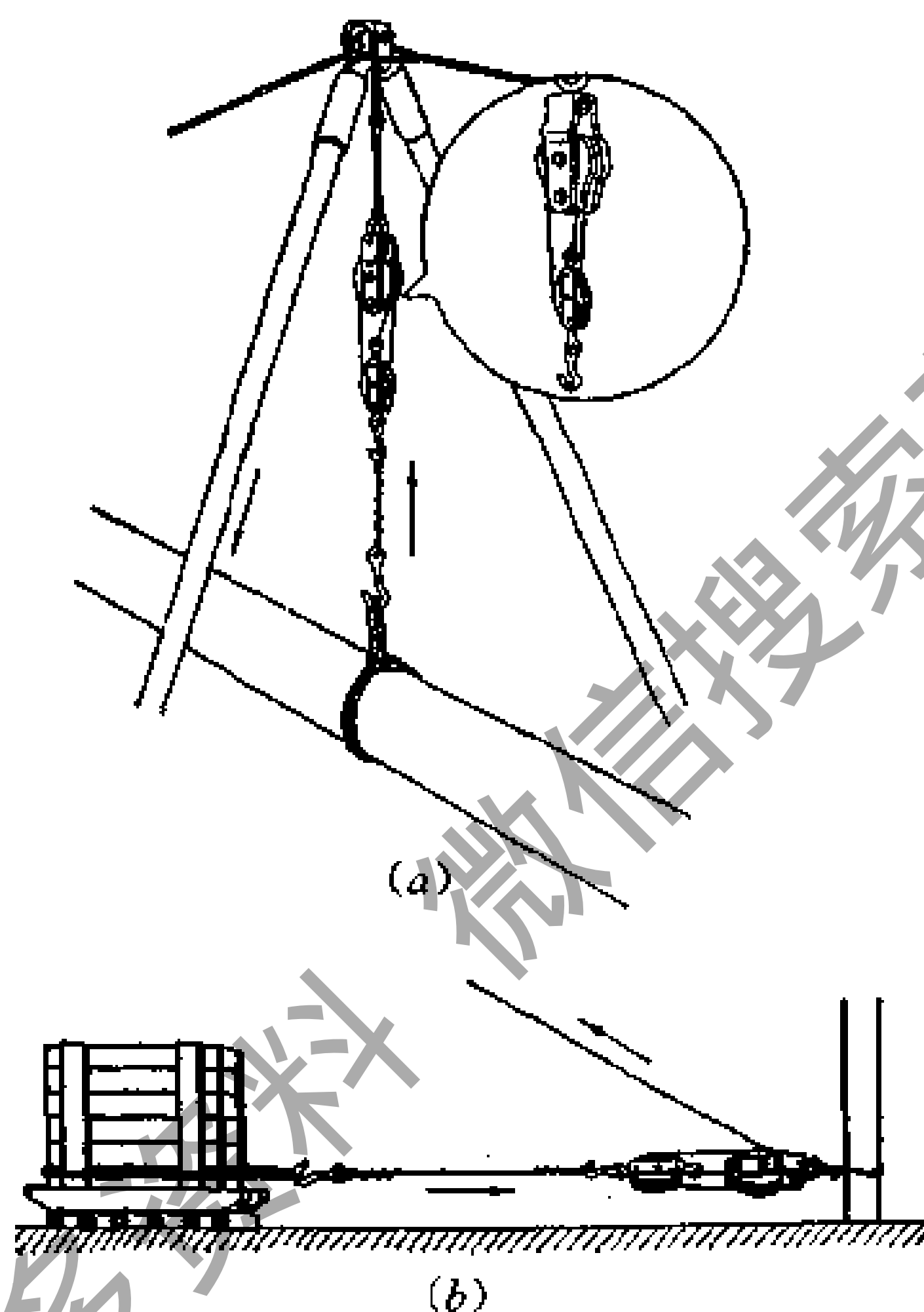


图 7—21 滑轮的使用

(a) 垂直吊物 (b) 水平拉物

绝缘操作杆简称操作杆（或称拉杆），主要用于闭合或拉开跌落式熔断器、隔离开关及柱上油开关等高压设备。另外，在线路或设备检修时，停电后进行验电以及悬挂接地线时，也须使用操作杆。操作杆由工作部分、绝缘部分和握手等部分组成，如图 7—22 所示。工作部分用金属制成。根据工作需要，操作杆有各种不同的样式，装在绝缘部分的顶端。绝缘部分和握手部分是用电木、胶木、塑料或用在麻油中煮沸过的木料制成。绝缘部分的长度，根据电压和使用场所的不同，不得小于表 7—1 中的数值。

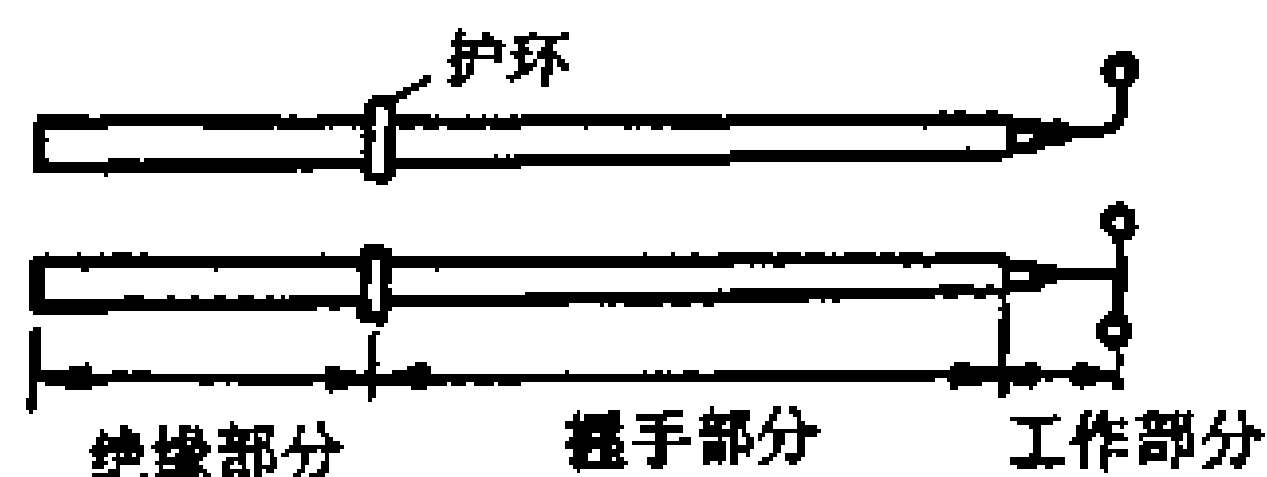


图 7—22 绝缘操作杆

表 7—1

绝缘杆的长度

| 电气设备的额定电压 (kV) | 户内设备       |            | 户外设备及架空架   |            |
|----------------|------------|------------|------------|------------|
|                | 绝缘部分长度 (m) | 握手部分长度 (m) | 绝缘部分长度 (m) | 握手部分长度 (m) |
| 10 及以下         | 0.7        | 1.3        | 1.1        | 1.4        |
| 35 及以下         | 1.1        | 1.4        | 1.4        | 1.6        |

## 2. 绝缘夹

绝缘夹是用来安装和拆除熔断器上熔丝的工具，如图 7—23 所示。在 35kV 及以下的电力系统中，绝缘夹作为基本安全用具被使用；在 35kV 以上的电力系统中，不准使用。绝缘夹由工作部分、绝缘部分和握手部分组成，绝缘夹的最小长度见表 7—2 的规定。钳口必须能夹紧熔断器。

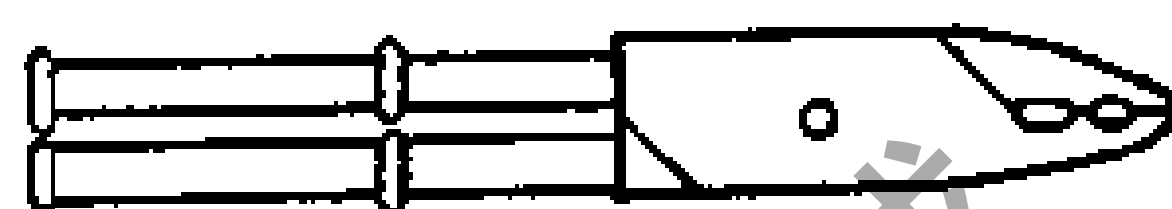


图 7—23 绝缘夹

表 7—2

绝缘夹的最小长度

| 电气设备的额定电压 (kV) | 户内设备       |            | 户外设备       |            |
|----------------|------------|------------|------------|------------|
|                | 绝缘部分长度 (m) | 握手部分长度 (m) | 绝缘部分长度 (m) | 握手部分长度 (m) |
| 10             | 0.45       | 0.15       | 0.75       | 0.20       |
| 35             | 0.75       | 0.20       | 1.20       | 0.20       |

## 3. 绝缘鞋、绝缘靴和绝缘手套

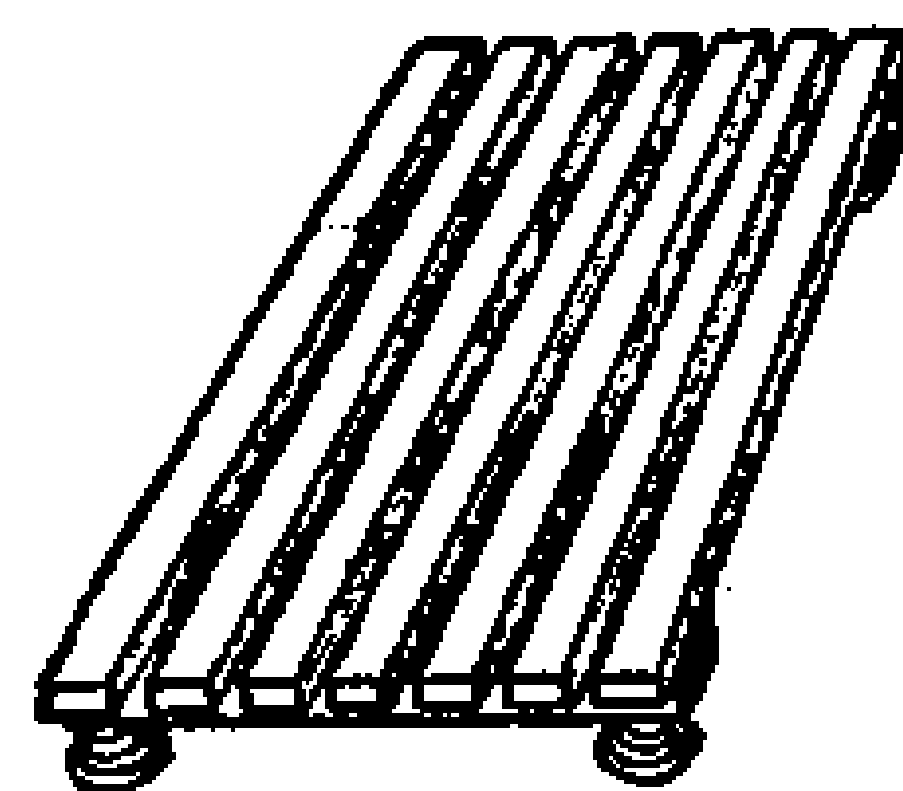
绝缘手套、绝缘靴和绝缘鞋用特殊橡胶制成（图 7—24）。绝缘手套在 1kV 以下电气设备上，作为基本安全用具被使用；在 1kV 以上电气设备上，作为辅助安全用具使用。绝缘手套的长度，一般不应小于 30cm。绝缘靴和绝缘鞋是辅助安全用具。



图 7—24 绝缘手套、绝缘靴和绝缘鞋

## 4. 绝缘橡皮垫和绝缘站台

绝缘橡皮垫和绝缘站台是辅助安全用具，如图 7—25 所示。在经常操作的带电设备旁边的地面上，如配电盘前、试验台前放置绝缘橡皮垫和绝缘站台，使工作人员在操作电气设备时，增加对地绝缘、防止触电。绝缘站台的台面用干燥坚硬的木板制成，台脚用绝缘材料制成（如瓷瓶）。



(a)

(b)

图 7—25 绝缘橡胶垫和绝缘站台

## 5. 携带式接地线

携带式接地线是用于架空线路和电气设备停电检修时，作为临时短路接地的安全工具，用以防止误送电造成触电事故。

携带式接地线由多股裸铜线绞线（导线截面积不应小于  $25\text{mm}^2$ ）、夹头和接地装置 3 部分构成。使用时，应先把接地端接在接地装置上，然后再用夹头和已停电的设备连接。拆除时应先拆夹头，后拆接地端，以保安全。

#### 6. 遮栏

遮栏是隔离带电设备的屏障，防止人身触及带电部分。室内固定遮栏多用铁丝网做成，室外遮栏多用砖石或竹、木做成。遮栏的高度不宜太低。

#### 7. 警告牌

警告牌是一种安全标志，上面有不同的警告文字或标志，例如“止步”、“高压危险”、“禁止合闸，有人工作”等等。

## 第 2 节 常用电工测量仪表的一般知识

电气测量仪表，是生产和科学实验中不可缺少的测量工具之一。在生产中，电气测量仪表的主要作用是通过测量电流、电压、功率、电能等各种电气参数，使工作人员及时了解、分析和判断各种电气设备的工作情况，以便及时进行操作和调整，保证设备的安全和经济运行。

### 一、指示仪表的分类

电气测量仪表的种类繁多，而且随着生产和科学技术的发展，新型测量仪表不断出现。通常把能够随时读出被测量电气参数的仪表，统称为电气测量指示仪表，简称指示仪表。

指示仪表不仅种类多，而且分类方法也很多。下面简单介绍几种常用的分类方法：

#### 1. 根据测量对象的种类分

- (1) 用来测量电流的，称为电流表（包括安培表、毫安表和微安表）。
- (2) 用来测量电压的，称为电压表（包括伏特表和毫伏表）。
- (3) 用来测量功率的，称为功率表（瓦特表）。
- (4) 用来测量电能的，称为电能表（千瓦时表）。
- (5) 用来测量电阻的，称为欧姆表。
- (6) 用来测量功率因数的，称为功率因数表（力率表）。

#### 2. 按照所测量的电流种类分

- (1) 用于直流电路中的，称为直流电表。
- (2) 用于交流电路中的，称为交流电表。
- (3) 既适用于直流电路，又适用于交流电路中的，称为交直流两用表。

#### 3. 按照准确度分

分为 0.2、0.5、1.0、1.5 和 2.5 5 个等级。因为任何一只电表，它所指示的数值不完全和实际的数值相等，都会产生一定的误差。等级的数字，表示最大误差的百分数。例如 1.0 级的电流表，测量得 100A 的电流，而实际电流的数值可能是 99A 或 101A。因此，电表的等级的数字越小，电表越准确。0.2 和 0.5 级的电表，是在试验室或校验其他电表

时使用。其余等级的电表，多用在配电盘上。

4. 按照电表的作用原理分

根据电表的作用，分为磁电式、电磁式、电动式、感应式 4 种。

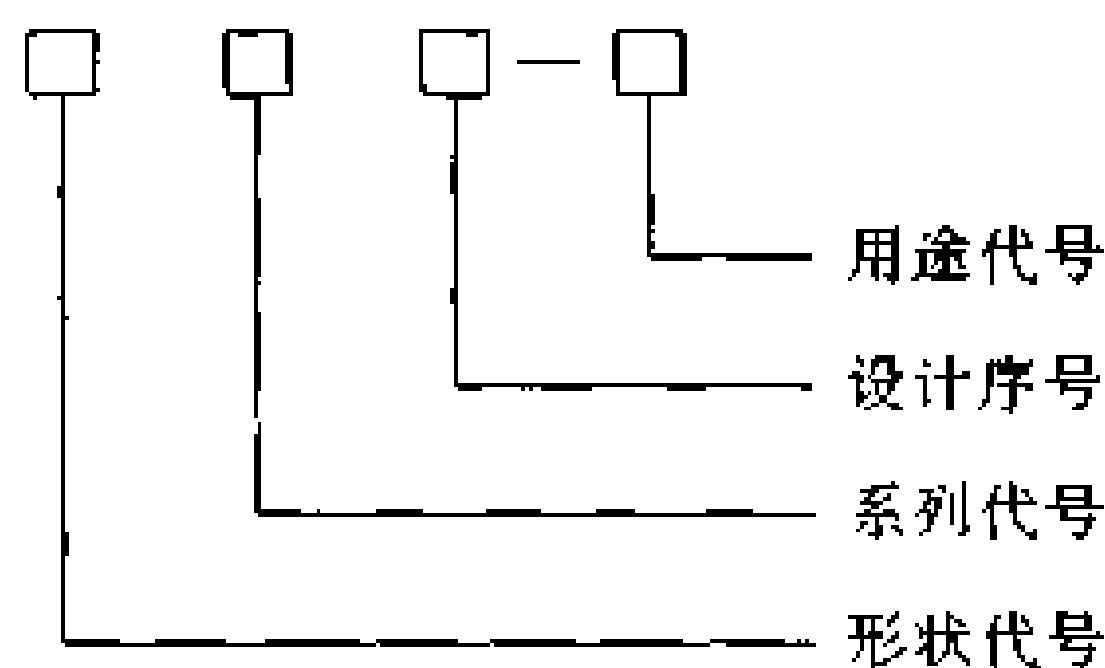
5. 按照使用的性质和装置方法分

(1) 固定式电表，是装在一块固定不动的绝缘板或金属板上，在正常的工作情况下是固定不动的。

(2) 携带式电表，就是重量较轻、携带方便电表。

二、指示仪表的型号及标志符号

指示仪表的型号由阿拉伯数字和汉语拼音字母组成，其含义是：



在形状代号中，有数字的为开关板式仪表，没有数字的为可携式仪表。

在系列代号中，C—“磁”电系，D—电“动”系，G—“感”应系，L—整“流”系，T—电磁系（动“铁”系）。

在用途代号中，kA—千安表，A—安培表，mA—毫安表， $\mu$ A—微安表，kV—千伏表，V—伏特表，mV—毫伏表，W—瓦特表，kWh—电能表，M $\Omega$ —兆欧表。

例如，1T<sub>1</sub>-V 为盘式电磁系交流电压表；1C<sub>1</sub>-A 为盘式磁电系直流表；C<sub>4</sub>-mA 为可携式磁电系直流毫安表。

在指示仪表的板面上通常标以各种图形符号，以表示该仪表的系列、测量对象、电流种类、准确级和使用条件等特征。为了正确选用仪表，了解这些标志符号的含义是非常必要的。常用电气测量指示仪表的符号见表 7—3。测量单位的符号见表 7—4。

表 7—3 常用电气测量指示仪表的符号

| 分类               | 符 号 | 名 称               | 分类               | 符 号                       | 名 称                         |
|------------------|-----|-------------------|------------------|---------------------------|-----------------------------|
| 电<br>流<br>种<br>类 | 1   | 直流                | 测<br>量<br>对<br>象 | Ⓐ                         | 电流表                         |
|                  | 2   | 交流（单相）            |                  | Ⓥ                         | 电压表                         |
|                  | 12  | 交直流               |                  | Ⓦ                         | 功率表                         |
|                  | ≍   | 具有单元件的三相交流平衡负载    |                  | Ⓦh                        | 电能表                         |
|                  | ≍   | 具有两元件的三相交流不平衡负载   |                  | 1.5                       | 以标度尺量限的百分数表示的准确度等级，例如 1.5 级 |
|                  | ≍   | 具有三元件的三相四线不平衡交流负载 | Ⓘ.5              | 以指示值的百分数表示的准确度等级，例如 1.5 级 |                             |

(续表)

| 分类   | 符 号 | 名 称                           | 分类       | 符 号 | 名 称     |
|------|-----|-------------------------------|----------|-----|---------|
| 工作位置 |     | 标度尺位置为垂直的                     | 作用原理     |     | 电动系仪表   |
|      |     | 标度尺位置为水平的                     |          |     | 铁磁电动系仪表 |
| 绝缘试验 |     | 绝缘强度试验为 2kV；不写数字，表示试验电压为 500V |          |     | 感应系仪表   |
|      |     | 耐压强度 2kV                      |          |     | 磁电系比率表  |
| 作用原理 |     | 磁电系仪表                         | 防御能力使用条件 |     | B 级仪表   |
|      |     | 电磁系仪表                         | 端子符号     |     | 极性符号    |
|      |     | 整流系仪表                         |          |     | 接地端钮    |

表 7—4 测量单位的符号

| 名 称        | 符 号     | 名 称        | 符 号           |
|------------|---------|------------|---------------|
| A. 测量单位的符号 |         | A. 测量单位的符号 |               |
| 千安         | kA      | 千乏         | kvar          |
| 安培         | A       | 乏尔         | var           |
| 毫安         | mA      | 兆赫         | MHz           |
| 微安         | $\mu$ A | 千赫         | kHz           |
| 千伏         | kV      | 赫兹         | Hz            |
| 伏特         | V       | 兆欧         | M $\Omega$    |
| 毫伏         | mV      | 千欧         | k $\Omega$    |
| 兆瓦         | MW      | 欧姆         | $\Omega$      |
| 千瓦         | kW      | 毫欧         | m $\Omega$    |
| 瓦特         | W       | 相位角        | $\varphi$     |
| 兆乏         | Mvar    | 功率因数       | $\cos\varphi$ |

### 第 3 节 仪表测量机构的共同部件

指示仪表由测量机构和测量线路两个基本部分组成。测量机构是指示仪表的核心。不同系列的测量机构，产生转动力矩的原理不同，其结构也各不相同。但是有些装置和部件是大多数测量仪表所共有的。本节主要介绍具有共同性的一些装置和部件。

#### 一、指示装置

仪表的指示装置是用来指示被测量的大小的，由指示器和标度尺组成。

指示器有指针式和光标式两种。指针又分为矛形和刀形的，如图 7—26 (a)、(b) 所示。矛形指针用于准确度较高的可携式仪表中。仪表的指针固定在转轴上，随仪表的活动部分转动，用以指示出被测量的大小。为了减轻仪表活动部分的重量，指针一般用铝质材料制成。图 7—26 (c) 为光标指示器的示意图。由灯泡 1 发出的光线经过光具组 2 到达反射镜 3 上，通过反射到标尺上的光标来取得读数。光标指示器能放大可动部分的偏转角，提高仪表的灵敏度，并且在读数时没有视差。但它结构复杂，成本很高，所以只在一些高灵敏度、高准确度的仪表中使用。

仪表的标度尺又叫刻度盘或标尺。标度尺上刻有被测量值的分度线，分度线上标有数字，用来表明离开标尺起点的格数，或者直接表示被测量的大小。当仪表的转动力矩与被测量成正比时，标尺的分度间隔是均匀的，称为均匀标尺；当仪表的转动力矩与被测量不是正比关系时，则标尺的分度间隔是不均匀的，称为不均匀标尺。例如电磁系测量机构，它的转动力矩与被测量的平方成正比，因此它的标尺分度线是不均匀的，读数时要注意这一点。为了减小读数误差，0.5 级以上仪表通常采用镜子标尺，即在标尺上装设一个反射镜，如图 7—27 所示。当眼睛的位置使指针在镜中的影像重合时，再进行读数。

## 二、阻尼器

产生阻尼力矩的装置，称为阻尼器。常用的阻尼

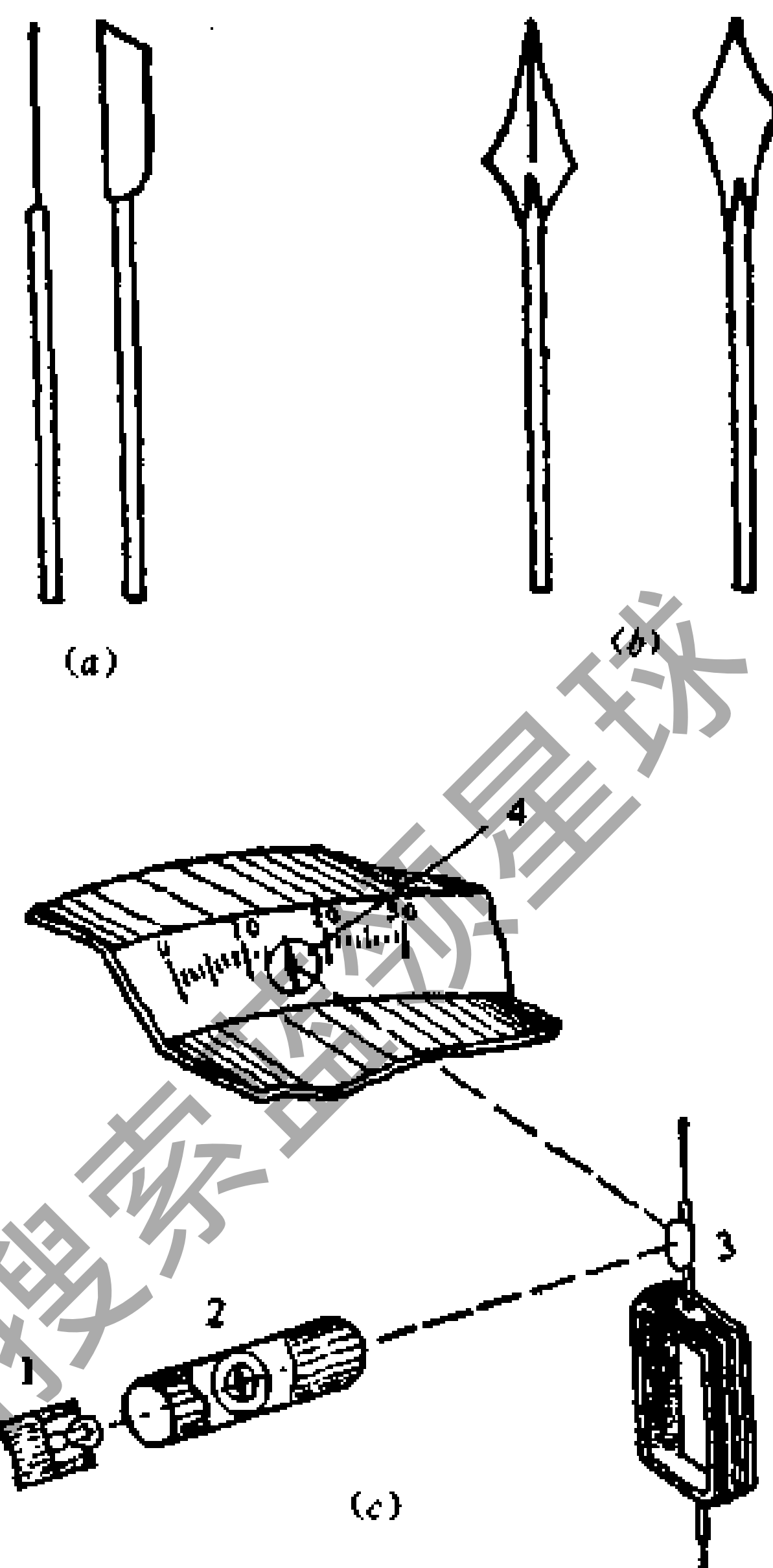


图 7—26 仪表的指示器  
(a) 矛形指针 (b) 刀形指针  
(c) 光标指示器  
1—灯泡 2—光具组 3—反射镜  
4—光标指示

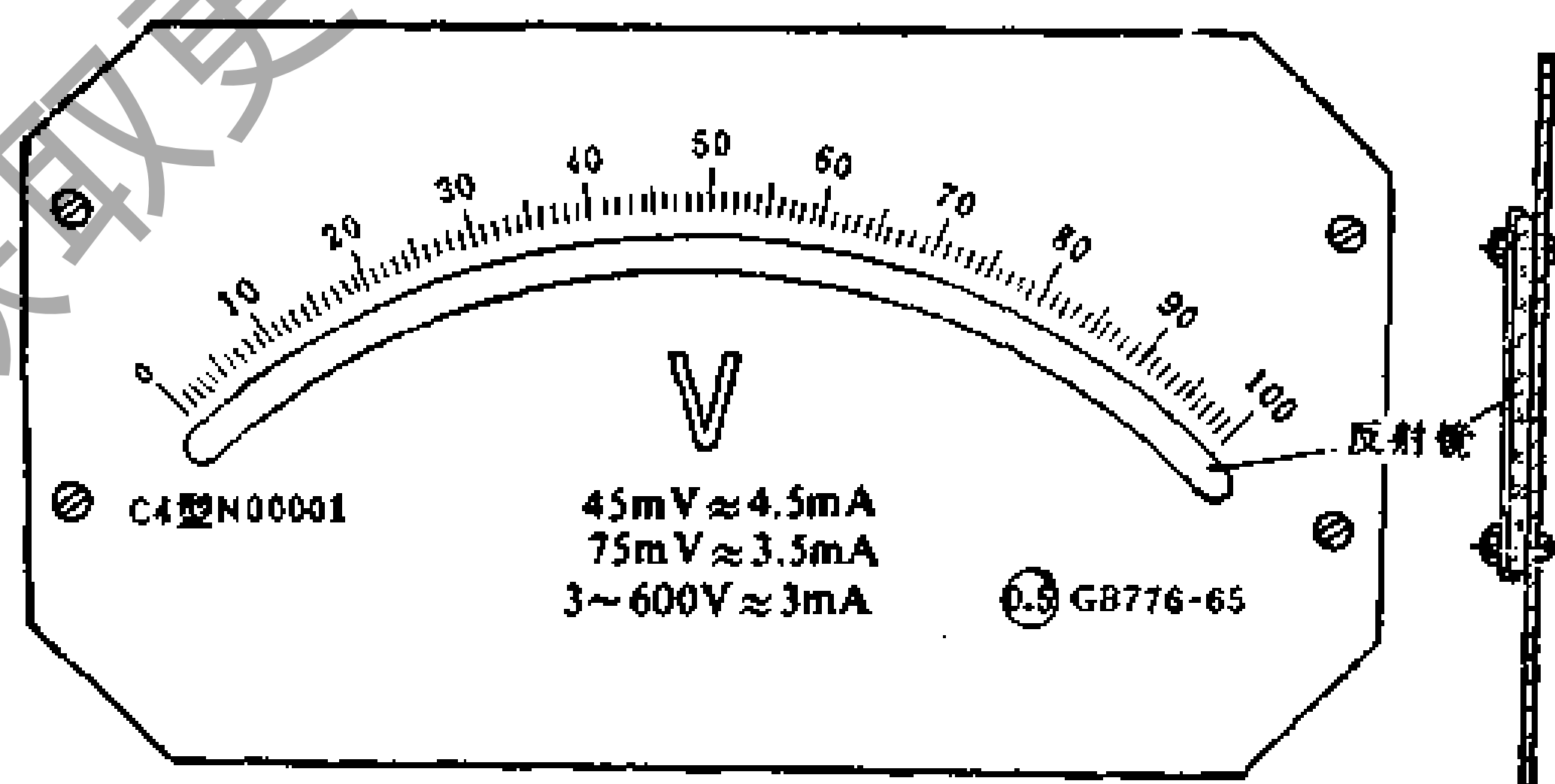


图 7—27 仪表的标度尺

器有空气式和磁感应式两种，如图 7—28 所示。

空气阻尼器有一密封小盒 1，固定于仪表转轴上的阻尼片 2 能在盒中运动。当可动部



分偏转时，由于盒中阻尼片两侧空气的压力差而形成了阻尼力矩。空气阻尼器多用于精密仪表中。

磁感应阻尼器，是利用固定于仪表转轴上的阻尼片（薄铝片），在永久磁铁的磁场内运动时产生的涡流与磁场的相互作用，产生阻尼力矩。图 7—29 表示这种阻尼器的工作原理。当铝片切割永久磁铁的磁场  $B$  向左运动时，产生的涡流方向如图中虚线箭头所示。此涡流和磁场相互作用的结果，就产生了一个向右方向的阻尼力。而且，不管铝片向哪个方向运动，所产生的阻尼力总是和运动方向相反。

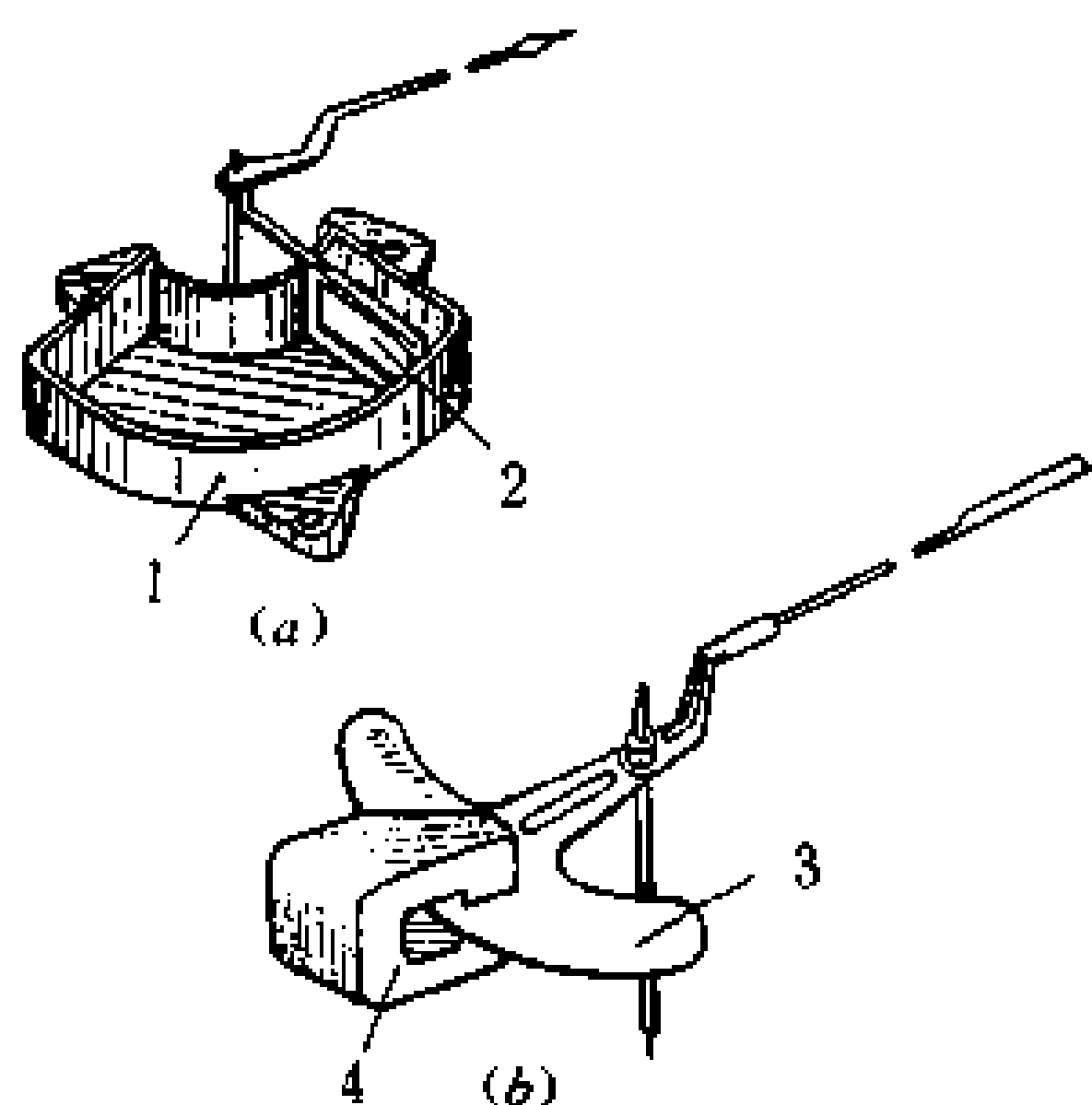


图 7—28 仪表的阻尼器

(a) 空气阻尼器 (b) 磁感应阻尼器

1—阻尼器盒 2,3—阻尼片 4—永久磁铁

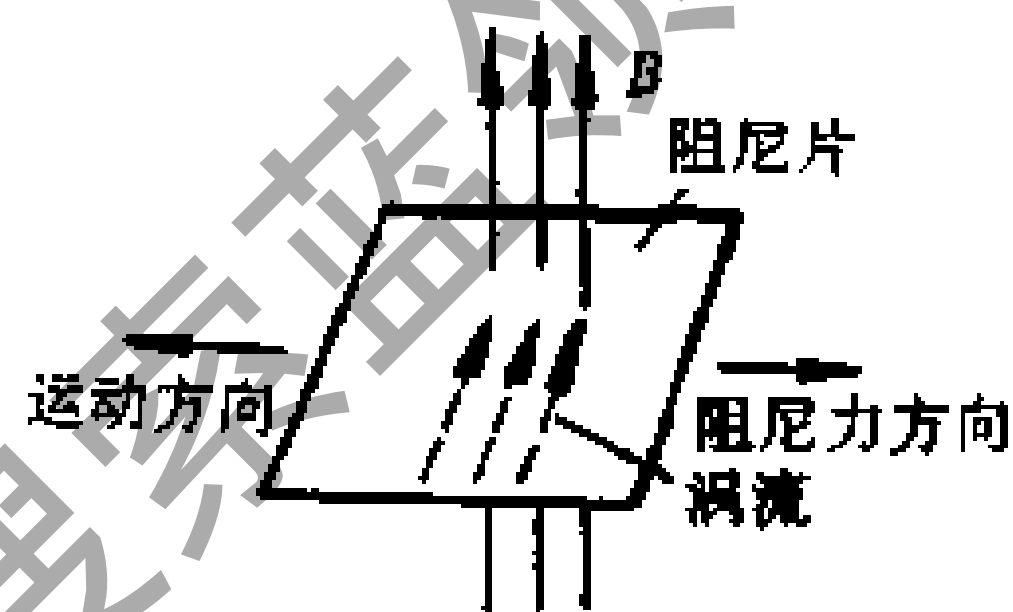


图 7—29 磁感应阻尼器工作原理

作原理

磁电系仪表不设专门的阻尼器，而是利用可动线圈的铝框架做阻尼器。这种阻尼器也是采用磁感应原理，即利用铝框  $A$  在磁场  $B$  中运动时感生的电流  $i$  和磁场的相互作用产生阻尼力  $F_d$ ，从而形成阻尼力矩，如图 7—30 所示。

### 三、产生反作用力矩的装置

大家都有这样的生活体验：一个称东西的秤，如果没有“秤砣”来平衡被称的物体，不论被称的物体是多少重量，秤杠总是翘到最高点，则无法称出物体的重量。与这个道理一样，如果一个仪表只有转动力矩作用在活动部分上，则不管被测量者为任何数值，指针都要偏转到最大位置，直到不能再转动为止，因而无法指出被测量的大小。所以，在指示仪表中，除了产生转动力矩的元件之外，还必须有一个产生反作用力矩（又称反抗力矩）的元件。反抗力矩与转动力矩的方向相反，共同作用在仪表的转动部分，当反抗力矩与转动力矩达到平衡时，使活动部分停止在某一位置，指针指出被测量的大小。应当注意的是，反抗力矩必须在活动部分转动过程中才出现，而且反抗力矩的大小必须与活动部分偏转的角度有一定关系。在指示仪表中，产生反抗力矩的方法有：

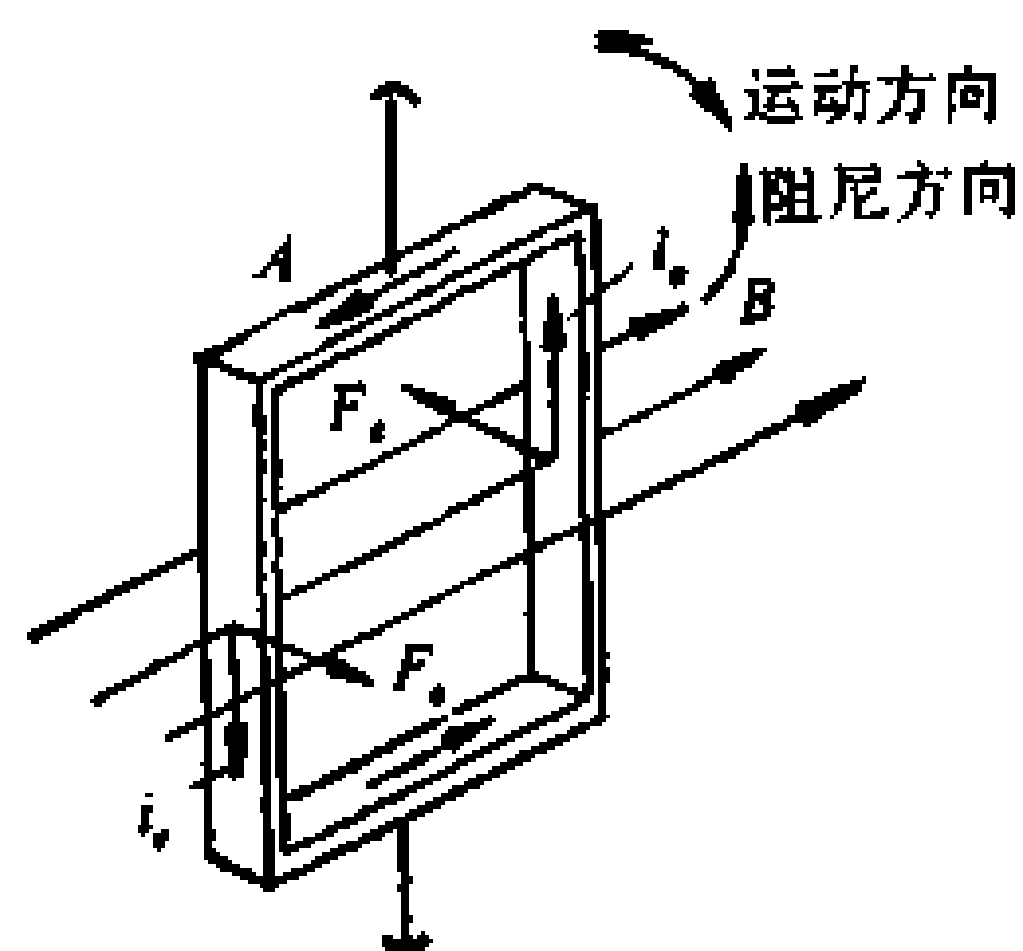


图 7—30 铝框产生阻尼力矩的原理

#### 1. 利用机械力产生反抗力矩

大家知道，弹簧被扭紧或拉伸后，具有力图恢复原状的性质，多数指示仪表中就是利用弹簧的“弹性”来产生反抗力矩的。弹簧又称游丝，它在仪表测量机构中的装置情况如图 7—31 所示，游丝的外端焊在转轴上。当活动部分不转动时，游丝不产生反抗力矩；当活动部分在转动力矩作用下转动时，游丝便产生反抗力矩，而且活动部分偏转的角度越大，游丝产生的反抗力矩也越大，即游丝产生的反抗力矩与活动部分偏转的角度成正比。在某些仪表中，采用张丝（又称拉丝，图 7—32）或采用吊丝（又称悬丝）来产生反抗力矩，其原理和游丝相同。在某些仪表的测量机构中，游丝除产生反抗力矩外，还有另外一个作用：就是通过游丝将被测电流引入活动线圈中。

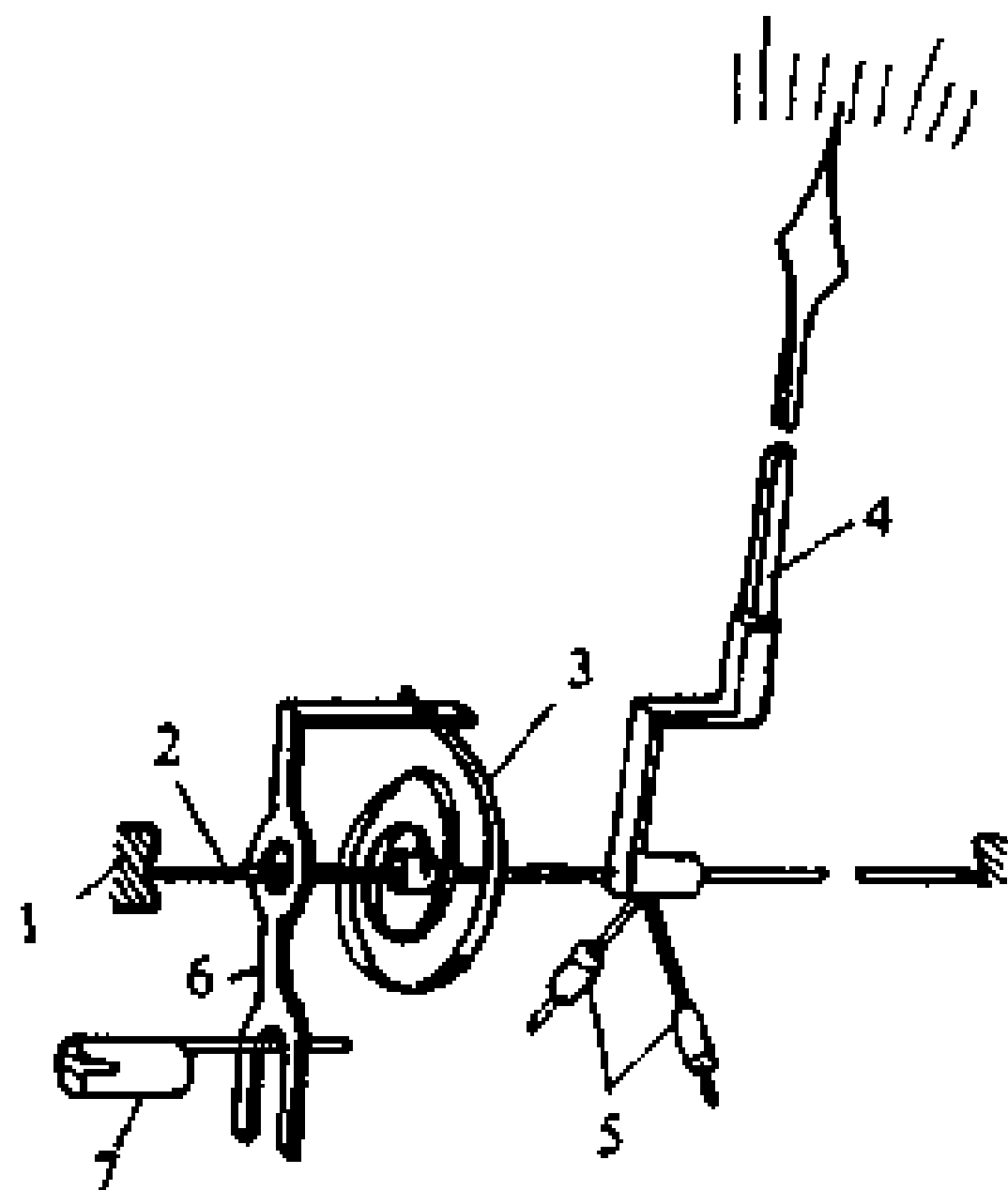


图 7—31 指示仪表的转动部分  
1—轴承 2—转轴 3—游丝 4—指针  
5—平衡锤 6—调零器 7—调零螺丝

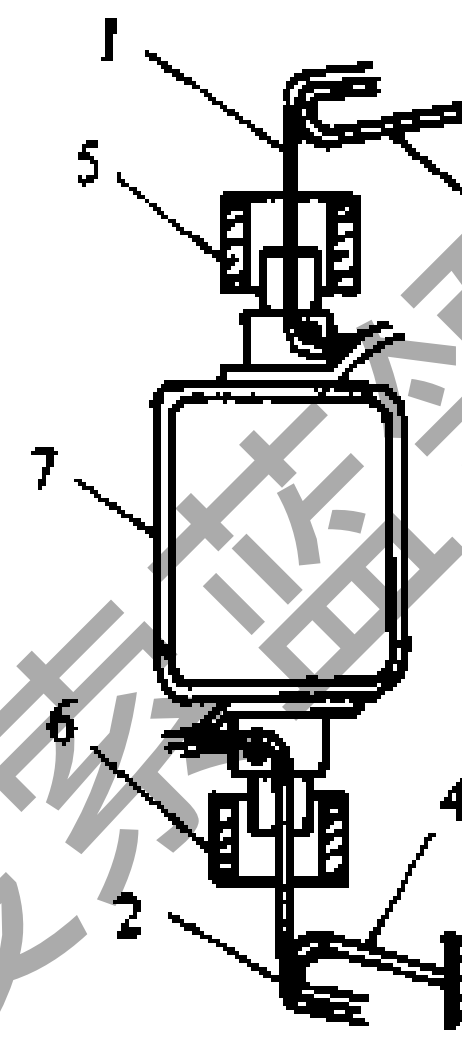


图 7—32 张丝弹片支承装置  
1、2—张丝 3、4—弹片  
5、6—限制器 7—动圈

## 2. 利用电磁力产生反抗力矩

在某些“流比计”（比率计）测量机构中，活动部分有两个线圈连接在同一转轴上（图 7—33）。两个通电线圈在磁场中都受到电磁力的作用，但两个线圈所受电磁力矩的方向相反，其中一个为转动力矩，而另一个为反抗力矩。兆欧计就是利用这种原理设计的。

此外，还有的仪表（如感应电能表）是利用导体在磁场中运动产生涡流（即感应电流），来产生反抗力矩的。

## 四、支持装置

### 1. 轴尖轴承支承方式

在这种支承中，仪表可动部分装在转轴上，转轴两端是圆锥形的轴尖，轴尖支承在轴承内。在普通的轴承支承中〔图 7—34 (a)〕，轴承镶在特制螺钉的凹孔中，螺钉拧在仪表的支架上。拧动螺钉可调整轴尖与轴承之间的间隙，此间隙要合适。间隙太大会造成可动部分的倾斜，使指针位置发生变化而产生示数误差；间隙太小，由于摩擦力的增大，也要增加仪表的误差，甚至使可动部分卡死。可携式仪表则通常采用具有减震弹簧的弹性轴承，如图 7—34 (b) 所示，以提高其耐受冲击的能力。轴尖、轴承的工作压力很大，要求有足够的硬度和光洁度。制造轴尖的材料通常有银亮钢和钴钨合金等，制造

轴承的常用材料是宝石和玛瑙。

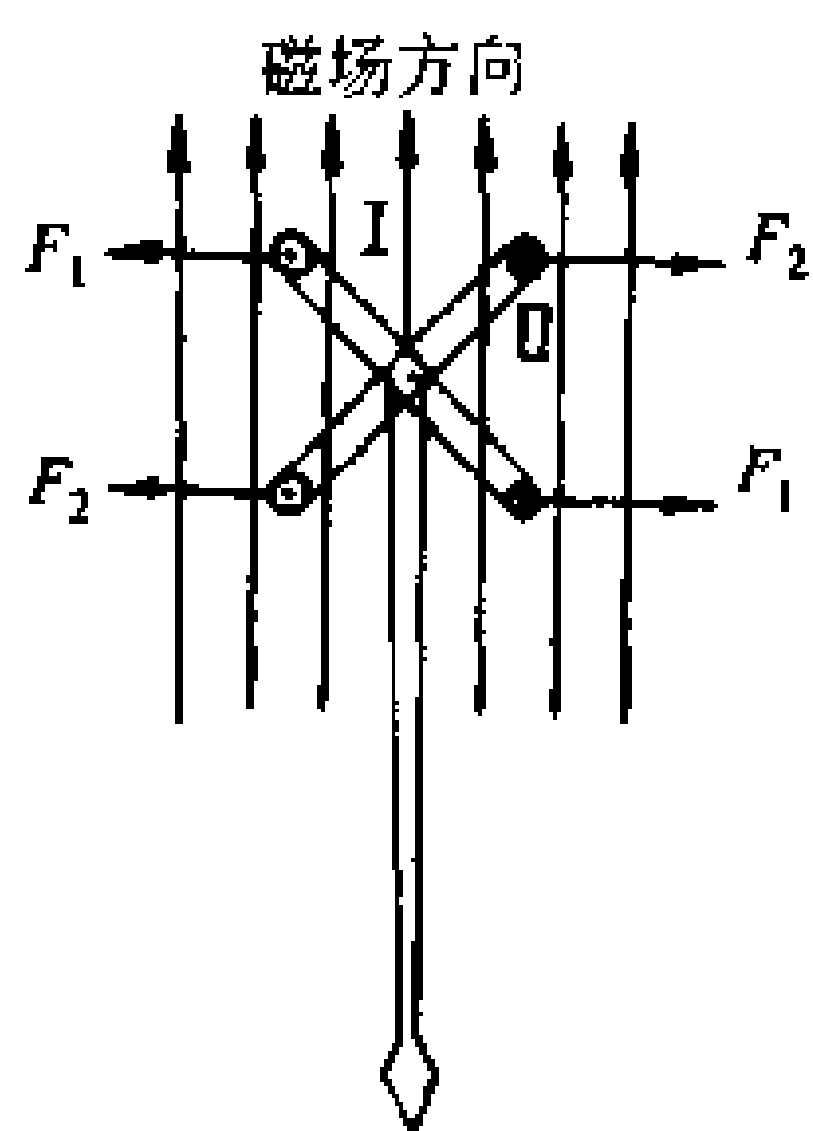


图 7—33 电磁力产生的  
转动力矩和反  
抗力矩

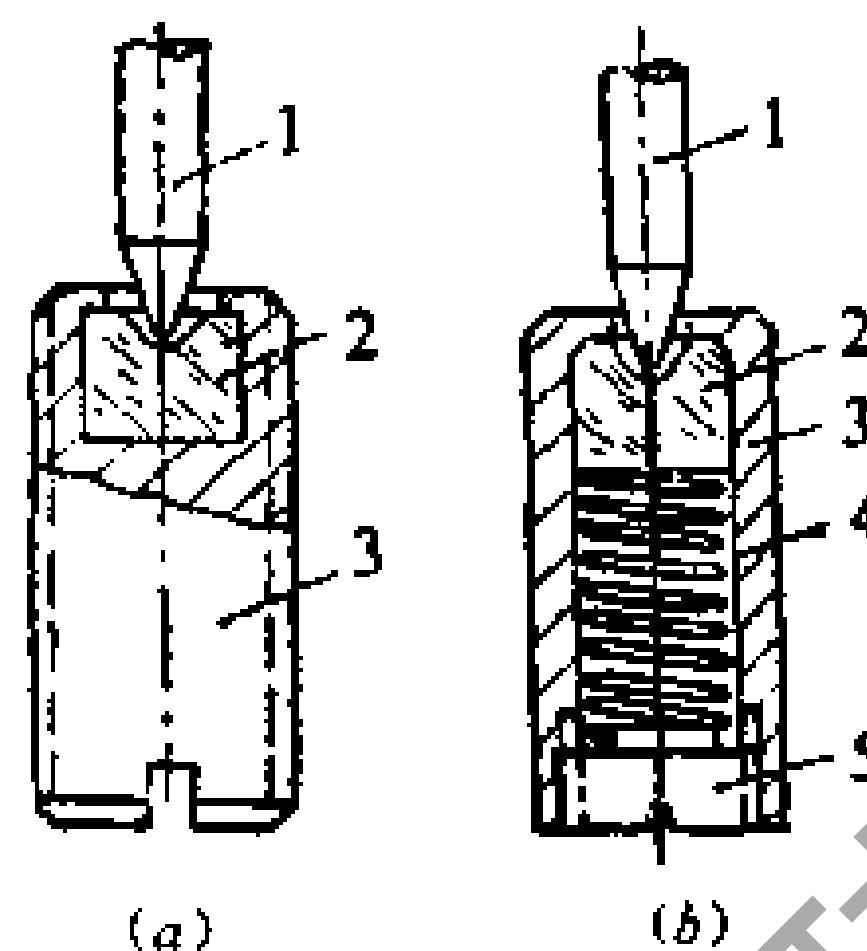


图 7—34 轴尖轴承支承  
(a) 普通轴承支承 (b) 弹性  
轴承支承  
1—轴尖 2—轴承 3—轴承  
螺塞 4—弹簧 5—螺塞

## 2. 张丝弹片支承方式

近年来，国内外生产的可携式仪表，已大部分采用张丝弹片支承结构，用以代替了轴尖轴承支承，因而消除了摩擦误差，提高了仪表的准确度和耐颠簸性能。弹片的作用是使张丝保持一定的原始张力，以减少可动部分的下垂和位移，并对张丝起减震和保护的作用，防止张丝在颠簸时断裂。

## 五、平衡锤和零位调整器

如果仪表的活动部分出现机械不平衡，则会引起测量误差。因此，在仪表中装有调整机械平衡装置。在图 7—31 中，装在指针尾部的两个可调螺丝 5 叫做平衡锤，调整螺丝的前后位置，可使仪表的活动部分保持平衡。

在仪表使用过程中，由于某些零件的性能发生变化，或者由于外界条件（如温度）的影响，可能使仪表的指针在没有测量之前偏离标尺的“0”点，在这种情况下进行测量，则会产生误差。因此，在进行测量之前，首先检查仪表指针是否在标尺的“0”位，如果不在“0”位，就要进行调整。在图 7—31 中，元件 6 和元件 7 组成零位调整器。元件 7 叫做调零螺丝，装在仪表外壳上，下端伸到调零器 6 的缝隙里。旋转调零螺丝 7 可以拨动调零器 6，使游丝的外端固定点略微移动，从而使指针停止在标尺“0”位。

## 第 4 节 直流电流表和电压表

电气测量指示仪表的核心部分是测量机构。直流电流表和电压表的测量机构属于磁电系，这两种仪表的基本结构和动作原理是相同的。但由于它们的测量对象不同，因而对它们的要求和测量接线方法有所不同。

### 一、磁电系仪表的构造原理

直流电流表和电压表的测量机构，如图 7—35 所示。它的磁系统是固定部分，主要包括磁性很强的永久磁铁 1、圆弧形极掌 2（即磁极）和装在两个磁掌之间的圆柱形铁心。极掌和圆柱形铁心之间，形成一个距离很小的均匀空气隙，并在空气隙中形成一个较强的辐射形磁物。测量机构的活动部分主要包括：转动线圈 4，游丝 5 和指针 6，它们与转轴连接在一起，线圈可在极掌和圆柱形铁心所形成的空气隙内自由转动。转动线圈是用直径为 0.007~0.2mm 的漆包线绕在重量很轻的铝质框架上，线圈两端分别与上、下两个游丝相连，被测电流从一个游丝进入线圈，再从另一个游丝流出，构成电流通路。

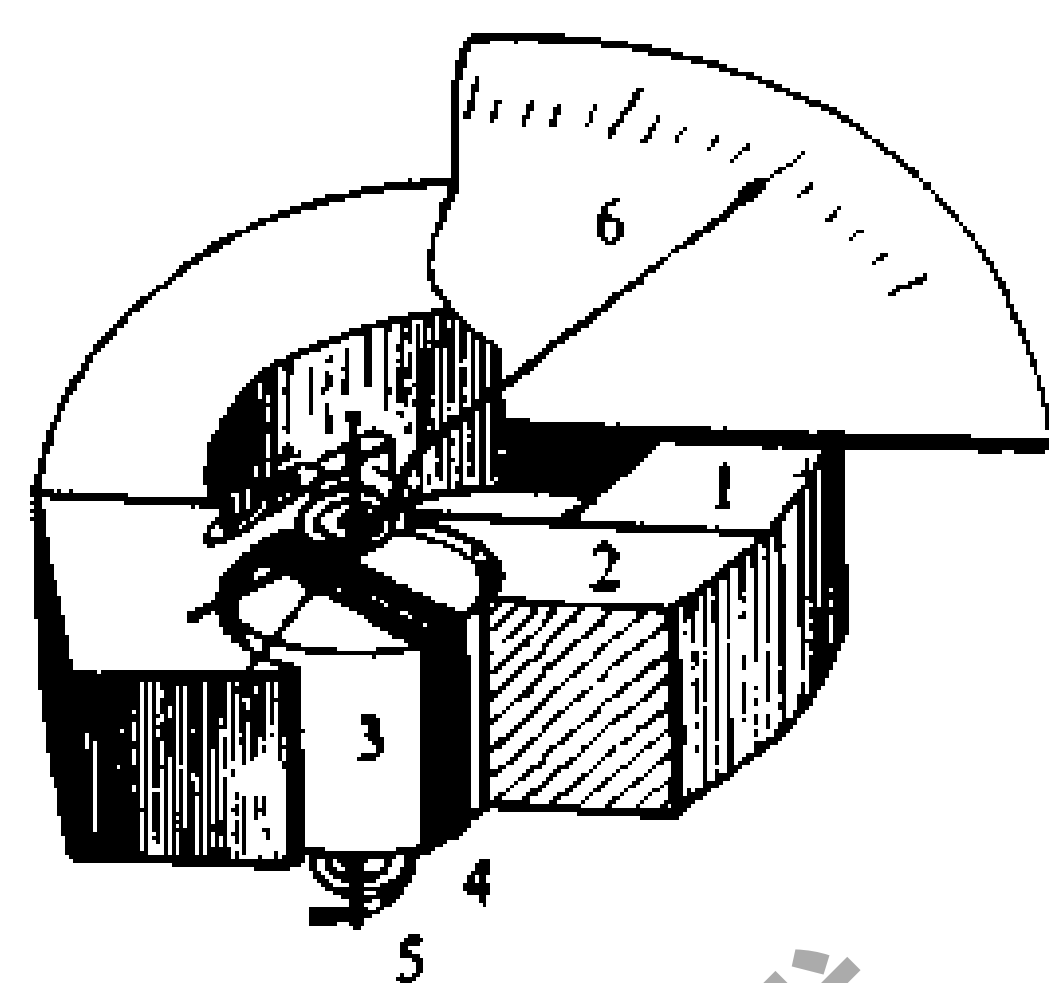


图 7—35 磁电系测量机构  
1—永久磁铁 2—极掌 3—圆柱形铁心 4—转动线圈 5—游丝 6—指针

磁电系仪表就是应用通电导体在磁场中受到电磁力的作用原理制作的。图 7—36 中，当电流通入转动线圈后，线圈受到电磁力  $F$  的作用（其方向按左手定则确定）产生转动力矩  $M$ ，其大小与通电线圈的电流成正比。在转动力矩  $M$  的作用下，线圈和转轴的指针一起转动。当转动力矩与反作用弹簧的反抗力矩平衡时，可动部分即停留在某一位置，指针偏转的角度表示通过线圈电流的大小。因此，磁电系测量机构可以制成电流表。

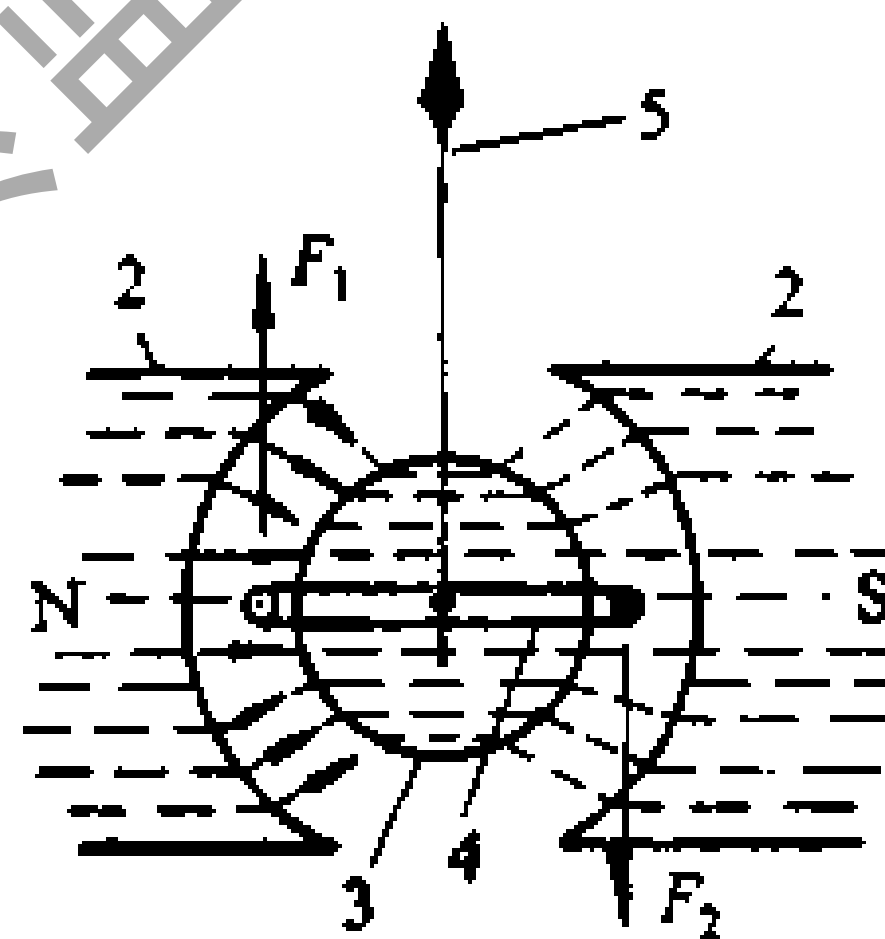


图 7—36 磁电系测量机构的转动原理

根据欧姆定律，由于线圈的电阻值是固定的，则通过线圈的电流与加在线圈两端的电压成正比，因此只要把刻度盘的电流刻度改为对应的电压值，就构成磁电系电压表。

由于磁电系测量机构的磁场是永久磁铁产生的，转动线圈所受的电磁力方向只决定于通入线圈的电流方向，因此在使用磁电系仪表时，应当注意仪表的极性。电流必须从标有“+”极的端子流入，否则指针将反方向偏转。另外，当交流电通入磁电系仪表时，由于转动部分具有惯性，指针只作微小振动，不能指示读数。因此，磁电系仪表不能直接测量交流；但与半导体整流器配合使用，将交流整定成直流后，则能测量交流电，这种仪表称为整流式仪表。

## 二、直流电流的测量

测量直流电路中某一部分电流的大小，要用直流电流表，图 7—37 是部分直流电流

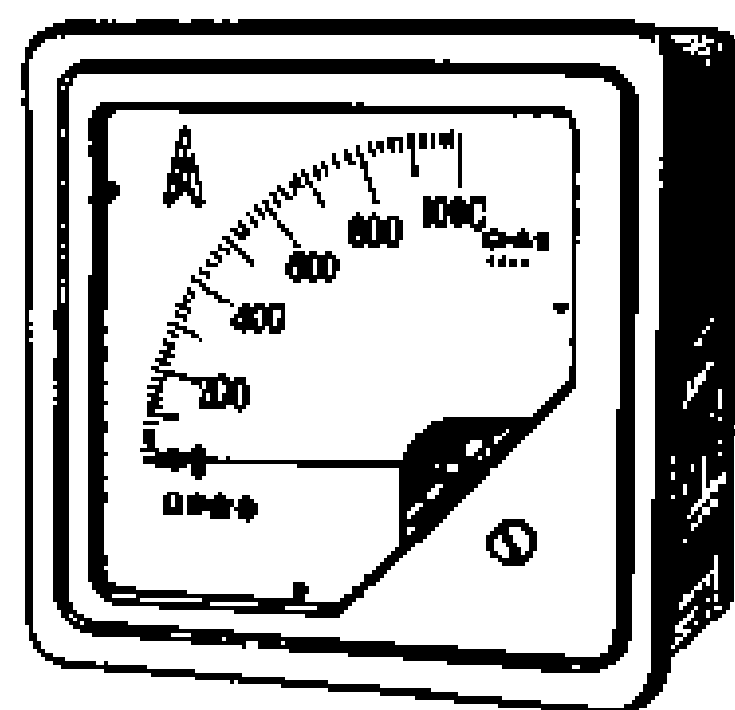


图 7—37 部分直流电流表外形图

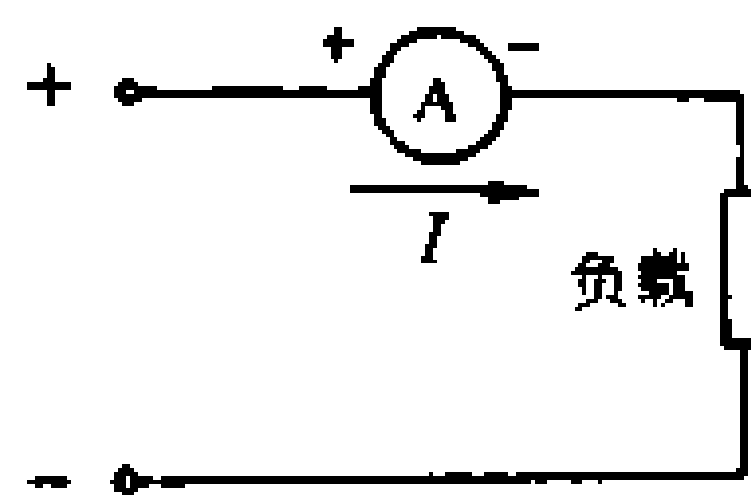
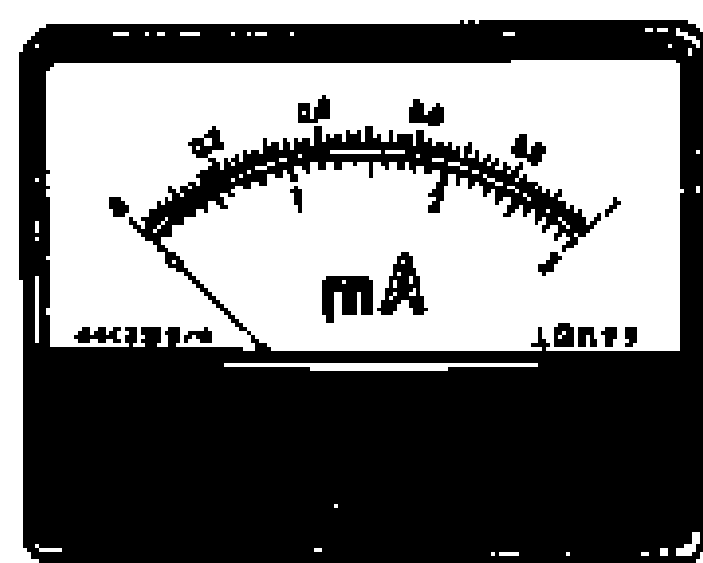


图 7—38 直流电流表的测量接线

表的外形图。使用时必须将电流表串联在被测电路中，图 7—38 为直流电流表的接线图。由于电流表线圈具有一定的电阻（称为内阻，用  $r_A$  表示），因此当电流表串入被测电路之后，会使被测电流略有减小。这种由于接入电流表而引起的测量误差是不可避免的，但是要求这种影响越小越好，所以电流表的内阻  $r_A$  一般都很小。

通入磁电系测量机构的电流是经弹簧引入线圈中的，由于弹簧和线圈的导线都很细，不容许直接通入较大的电流，所以它本身只能用作微安表或毫安表。测量较大电流时，需在测量机构两端并联一个电阻值很小的分流电阻  $r_{分}$ （又称分流器），如图 7—39 所示。并联分流器之后，由于大部分电流通过分流器，通过测量机构的电流  $I_n$  只是被测电流  $I$  的一部分。根据并联电路中的电流分配规律， $I_n$  与  $I$  成正比，因此表盘上可以按比例直接算出被测电流  $I$  的数值。

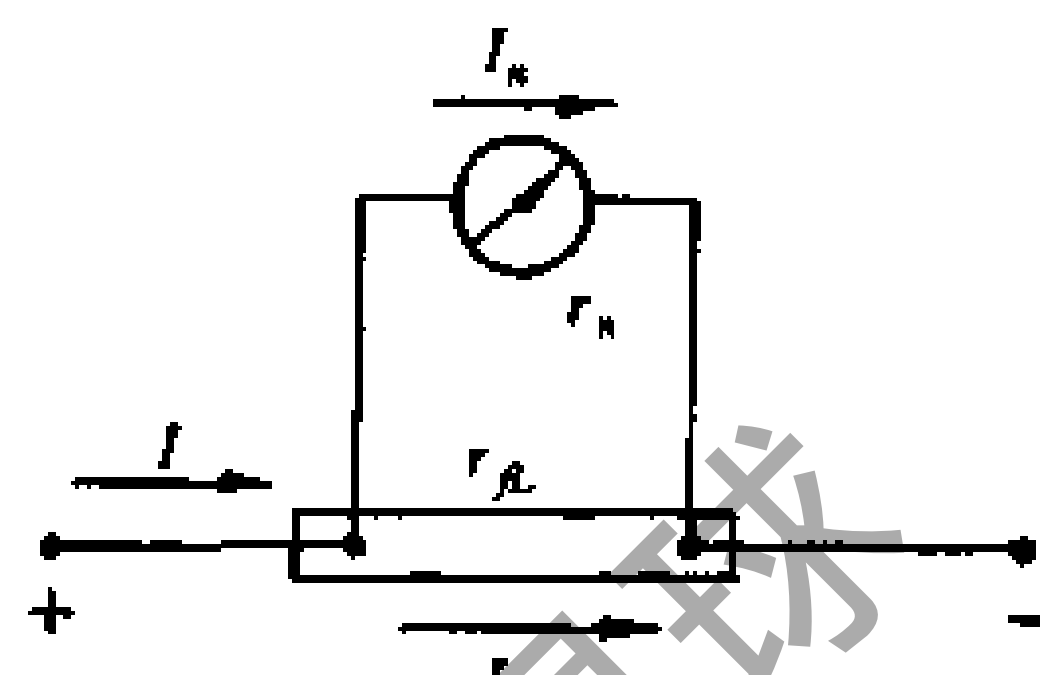


图 7—39 分流电阻的作用

同一个磁电系测量机构并联不同数值的分流器，可制成不同量程的电流表。

### 三、直流电压的测量

测量直流电路中某两点之间的电压，要用直流电压表，图 7—40 是部分直流电压表外形图。电压表必须与被测两端的电路并联。图 7—41 为直流电压表的接线图。当电压表接入后，由于电压表支路通过电流  $I_v$ ，减小了负载上的电压降，因而引起被测电路 A、B 之间电压的变化。为了减小这种影响，要求电压表的内阻越大越好，一般是在磁电系测量机构上串联一个电阻值很大的附加电阻  $r_{附}$ 。同一个磁电系测量机构串联不同数值的附加电阻，可以制成不同量程的电压表。

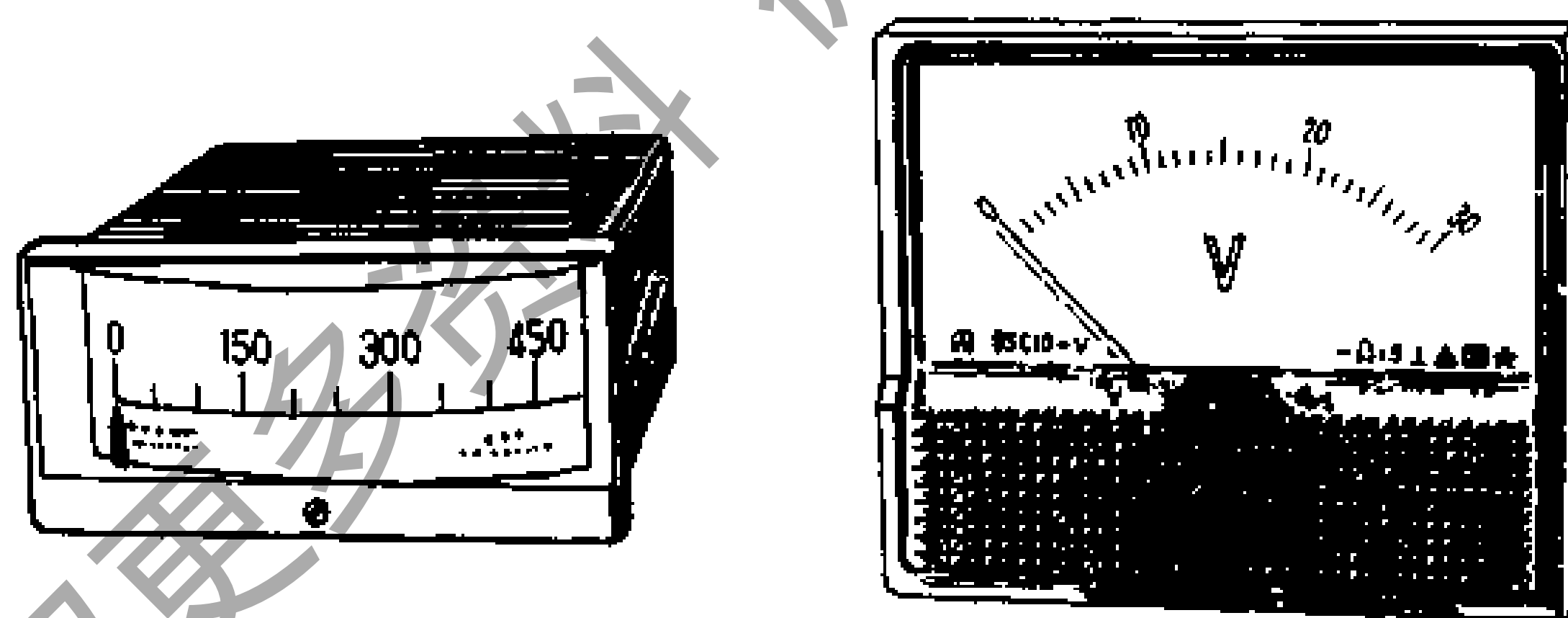


图 7—40 部分直流电压表外形图

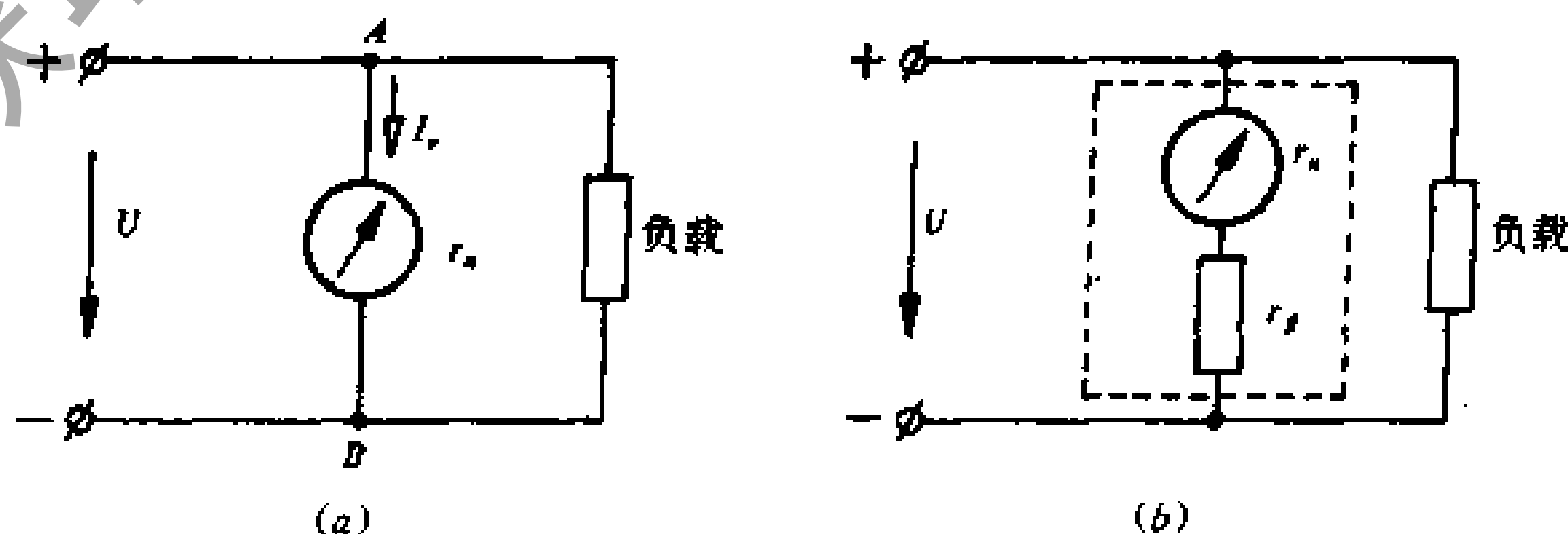


图 7—41 在测量电路中直流电压表的接法图

(a) 接线图 (b) 电压表的附加电阻

## 第5节 交流电流表和电压表

目前, 国产开关板式交流电流表和电压表(图7-42)的测量机构都属于电磁系(动铁系), 它的结构形式有吸入式和排斥式两种。

### 一、电磁仪表的构造及转动原理

#### 1. 吸入式(扁线圈式)

图7-43为吸入式仪表的测量机构和转动原理图。固定线圈1通入电流后产生磁场, 并对可动铁片2产生吸力。由于可动铁片2是偏心的装在轴上的, 所以在磁场吸力的作用下, 铁片带动转轴和指针偏转。由于通入线圈的电流改变时, 线圈磁场的极性及被磁化铁片的极性也随着改变, 因此磁场对铁片的吸力方向不变, 如图7-43(c)所示。所以, 这种测量机构既可以测量直流电流和电压, 也可以测量交流电流和电压。

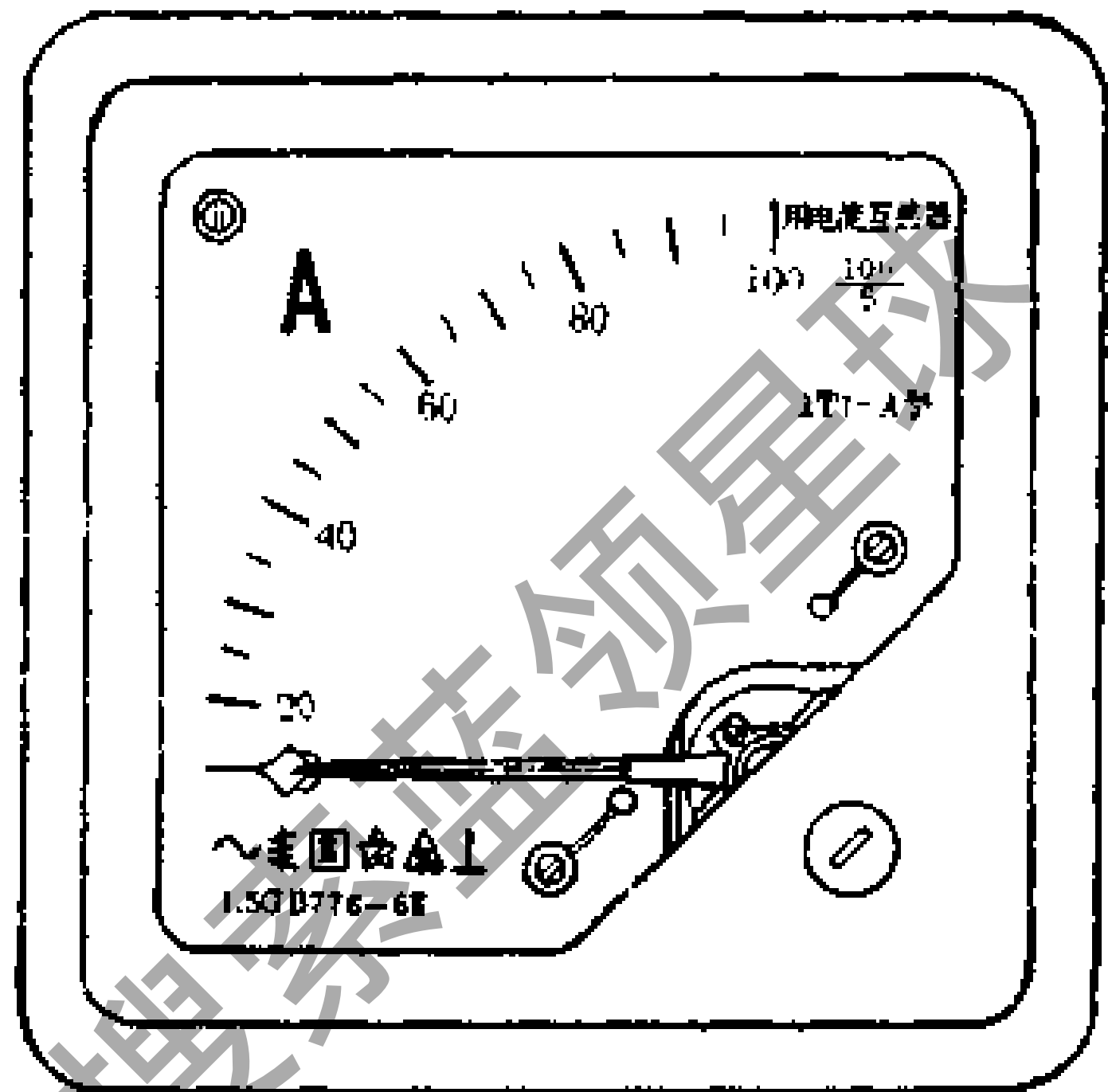


图7-42 1T1型交流电流表盘

#### 2. 排斥式(圆线圈式)

排斥式电磁系测量机构又称圆线圈式。其构

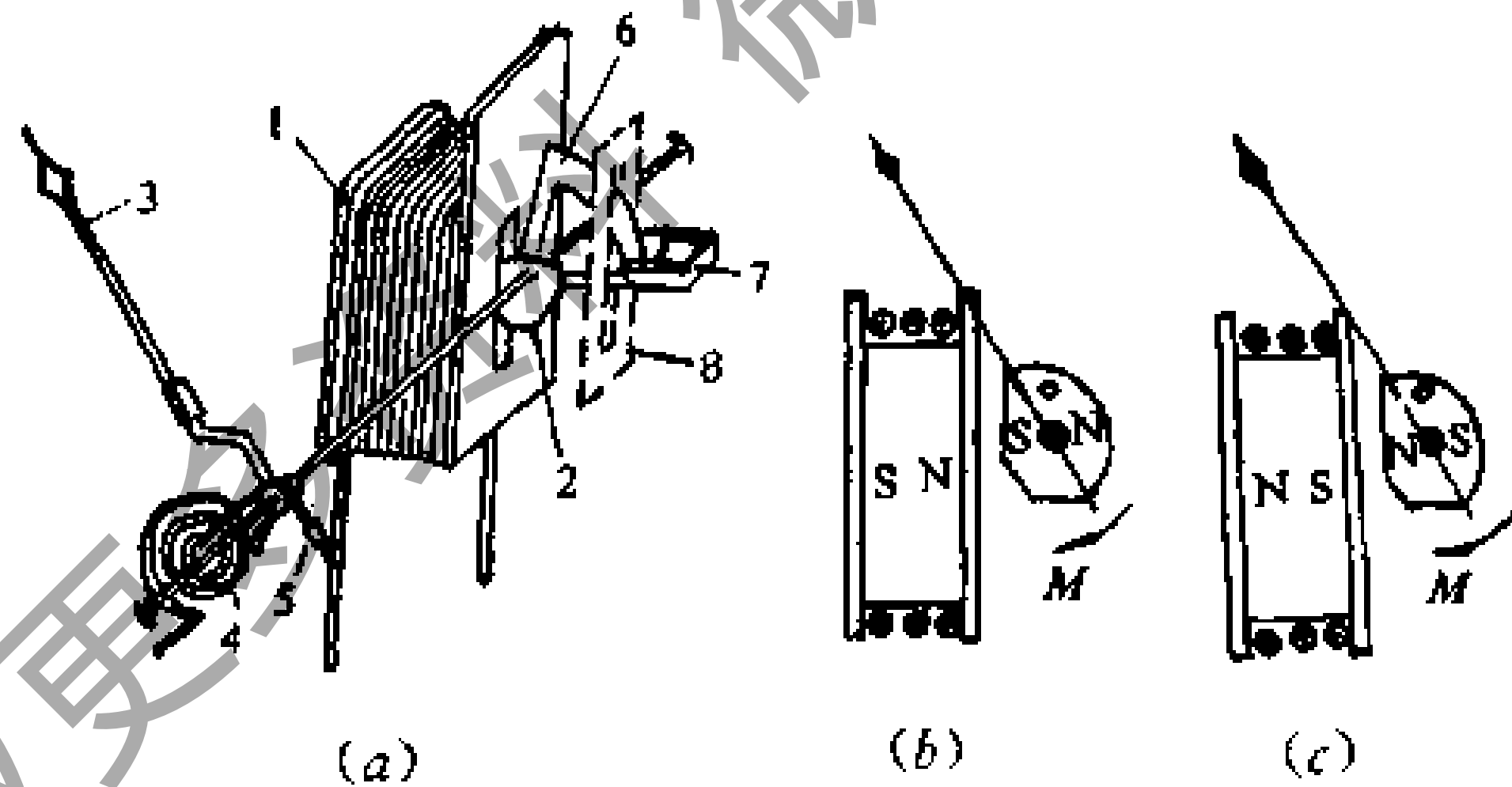


图7-43 吸入式仪表的测量机构和转动原理

(a) 测量机构图 (b)、(c) 转动原理图

1—固定线圈 2—可动铁片 3—指针 4—反作用弹簧 5—平衡锤 6—阻尼器铝 7—永久磁铁 8—磁屏

造如图7-44(a)所示。圆线圈1是固定的, 线圈中的铁片2固定不动称为定铁片, 铁片3与转轴连在一起, 称为动铁片。

当线圈1通过电流时产生磁场, 定铁片2和动铁片3同时被磁化, 而且两个铁片的同一侧具有相同的特性, 动铁片3因受到定铁片2的排斥而转动, 带动转轴4和指针6偏转。当通入线圈的电流方向改变时, 两个铁片被磁化的极性同时改变, 它们仍然是相斥的, 即动铁片3的转动方向不变。所以, 这种测量机构对交流和直流都适用〔图7-44(b)〕。

不论是吸入式或排斥式测量机构，其转动力矩的大小都与通过线圈的电流的平方成正比。在转动力矩作用下，可动部分发生偏转，使游丝扭紧而产生反抗力矩。当反抗力矩与转动力矩达到平衡时，指针停留在某一位置，其偏转角度表示出被测电流或电压的值。

电磁系测量机构的通电线圈是固定不动的，电流可以直接导入（不需要经过游丝），而且线圈可用较粗的导线绕制，因此这种测量机构可以通过较大的电流。电磁式仪表的主要优点是，结构简单，坚固耐用，过载能力大。交直流转动转矩与通入线圈的电流平方成正比。但小电流通过时，刻度很密，读数不方便。

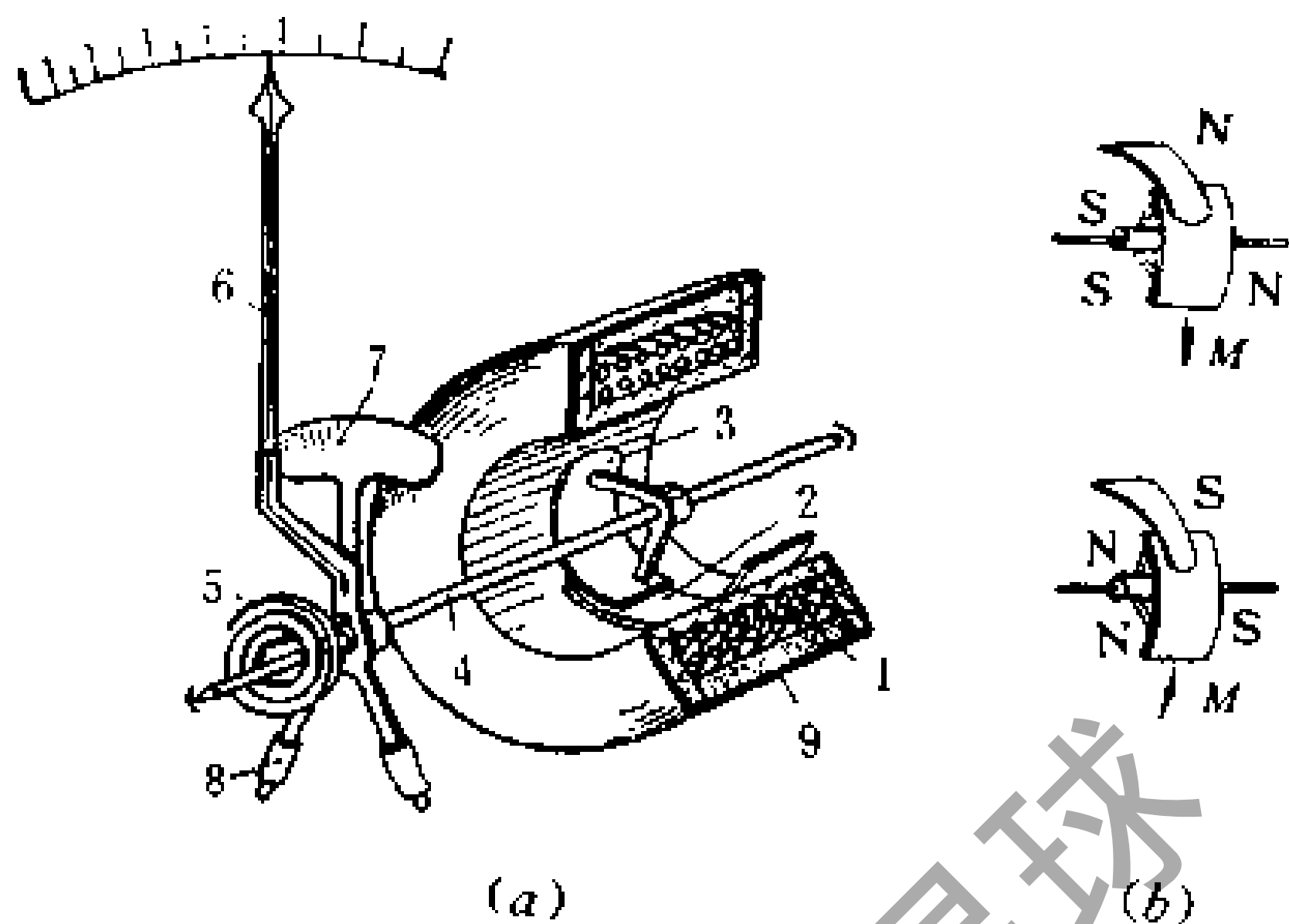


图 7-44 圆线圈排斥型测量机构、转动原理

(a) 测量机构 (b) 工作原理

1—固定线圈 2—定铁片 3—动铁片 4—转轴 5—游丝  
6—指针 7—阻尼片 8—平衡锤 9—磁屏蔽

## 二、交流电流的测量

根据被测电路的电压高低和电流大小不同，交流电流表的接线形式有以下 3 种：

### 1. 低压（380/220V）电路中电流的测量

在低压电路中，若被测电流不超过电流表的量程时，可将电流表直接串联在被测电路中。其接线方式与直流电流表相同。

### 2. 高电压电路或大电流的测量

测量高压电路的电流或者被测电流超过电流表的量程时，电流表必须经过电流互感器进行测量，如图 7-45 所示。

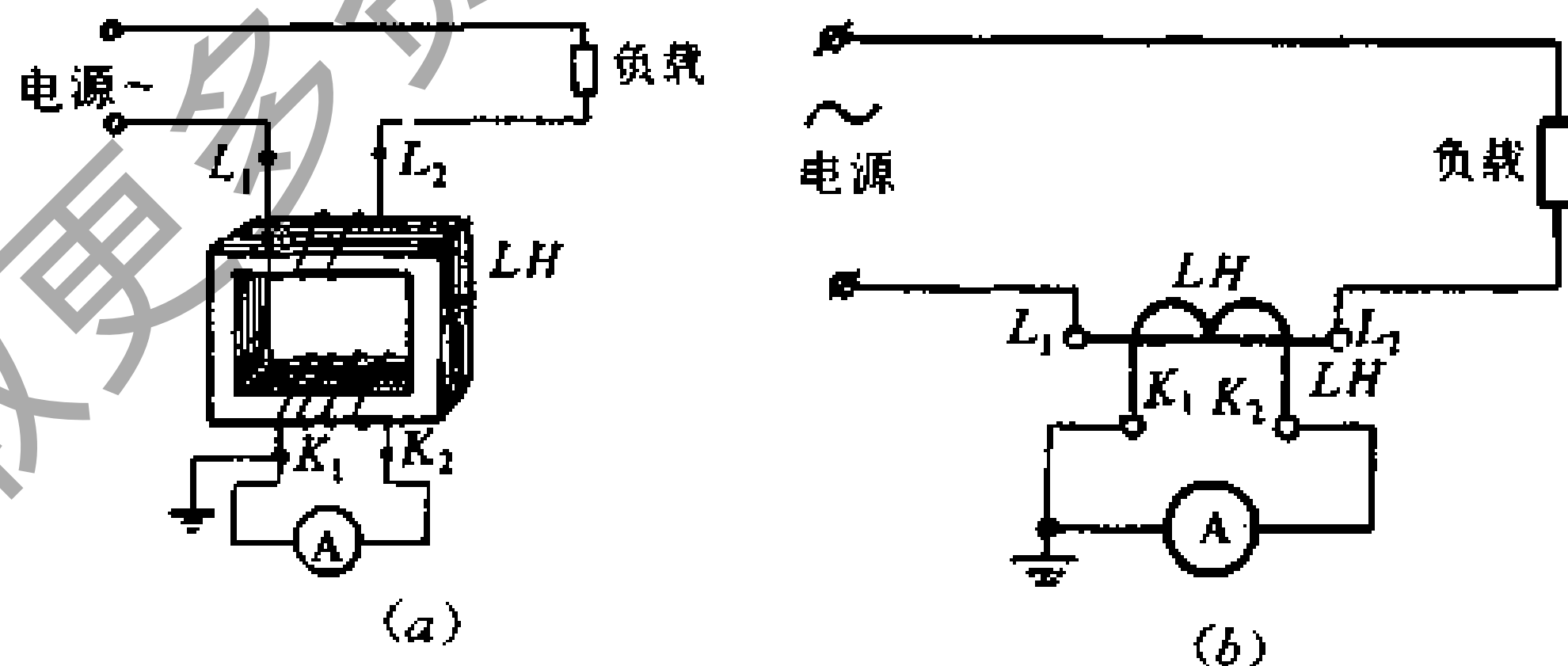


图 7-45 交流电流表经电流互感器接入电路

(a) 示意图 (b) 电路图

电流互感器的主要作用是，可以扩大电流表的量限；可使测量仪表和工作人员与高压电路相隔离，以保证设备和人身安全。由此可见，在高压电路中，即使被测电流没有超过电流表的最大量限，也必须经过电流互感器进行测量。

由图 7-45 可以看出，接线时电流互感器的一次绕组串联于被测电路中，即通过一次绕组的电流  $I_1$  为被测电流（负载电流）；电流表接入二次绕组，即通过电流表的电流  $I_2$

为电流互感器的二次侧电流。如果电流表与电流互感器配套使用时，电流表的读数就是被测电路的电流  $I_1$ ；如果不配套时，电流表的读数 ( $I_2$ ) 乘以电流互感器的变比  $k_1$ ，就是被测电路的电流  $I_1$ 。

### 3. 利用钳形电流表测量交流电流

利用普通交流电流表测量电路中的电流时，必须先把电路断开，将电流表接入电路后才能进行测量。这样做不仅不方便，而且还要短时间停电。目前，普遍使用钳形电流表在不断电的情况下测量交流电流。

钳形电流表简称钳流表或钳形表，它由一个钳形活动铁心电流互感器和一个约 55mm 刻度长的整流系仪表组成。活动铁心的外部包有绝缘物，铁心可以张开。在测量导线中的电流时，把导线钳入铁心内，导线作为电流互感器的一次绕组，它的二次绕组接在整流式仪表上，仪表的标尺按一次电流刻度，可以直接读出被测电流值。

为了扩大钳流表的使用范围，仪表生产单位还制造出一种钳形电流电压表。T-302 型钳形电流电压表的外形，如图 7-46 所示。这种钳形表有 4 挡电流和 2 挡电压测量范围。测量电流时，将分挡开关旋至电流位置，使用方法与普通钳流表相同；测量电压时，把分挡开关旋至电压位置，将插头插入仪表右侧的一组插座内，测量方法与普通电压表相同。

使用钳流表时应注意以下几个问题：

(1) 一般钳流表适用于低压电路的测量，被测电路的电压不能超过钳流表所规定的使用电压。无特殊附件的钳流表，严禁在高压电路直接使用。

(2) 测量前应先估计被测电流的大小，以选择合适的量限。如被测电流的大小无法估计时，应先使用最大量限一档进行粗测，然后再根据实际电流的大小，改换合适的量限进行较准确的测量。

(3) 测量时，每次只能钳入一根导线（图 7-47），不能同时钳入 2 根或 3 根导线。

(4) 为了提高测量的准确性，被测导线的位置应放在钳口中央；钳形铁心不要靠近变压器和电动机的外壳以及其他带电部分，以免受到外界磁场的影响。

(5) 测量完毕后，要把选择开关拨到空挡或最大电流量限一档，以防下次使用时因忘记选择量限而烧坏电流表。

### 三、交流电压的测量

根据被测电路的电压高低，电压表的测量接线分成以下两种情况：

#### 1. 直接测量接线

对 380V 及 380V 以下的低压电路，一般采用直接测量方式，将电压表直接并接在被测电路的两端。选用电压表的最大量限应大于被测量电压值。

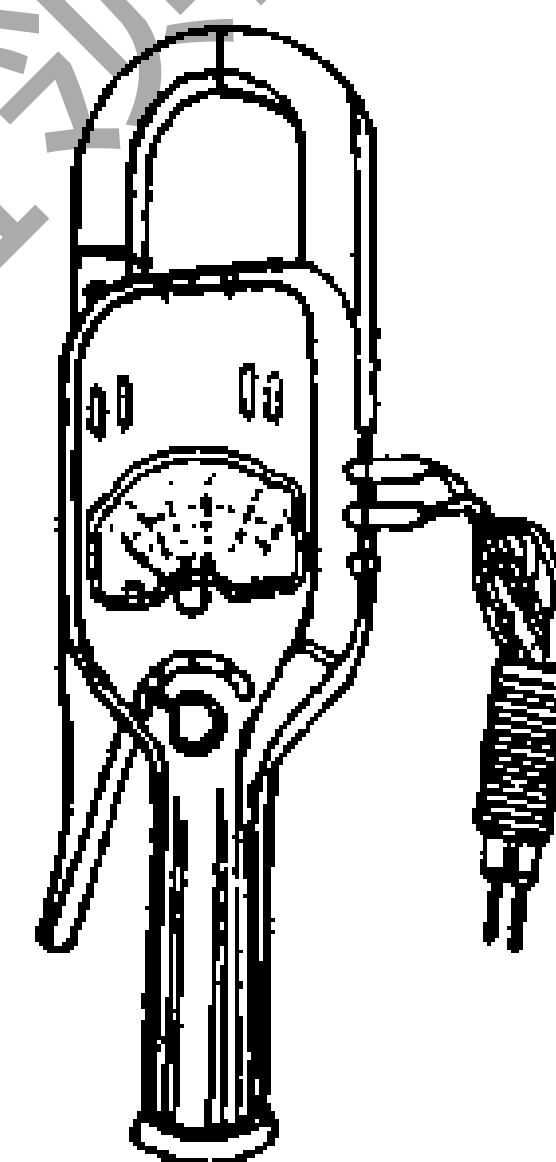


图 7-46 T-302 形钳形电流电压表外形图

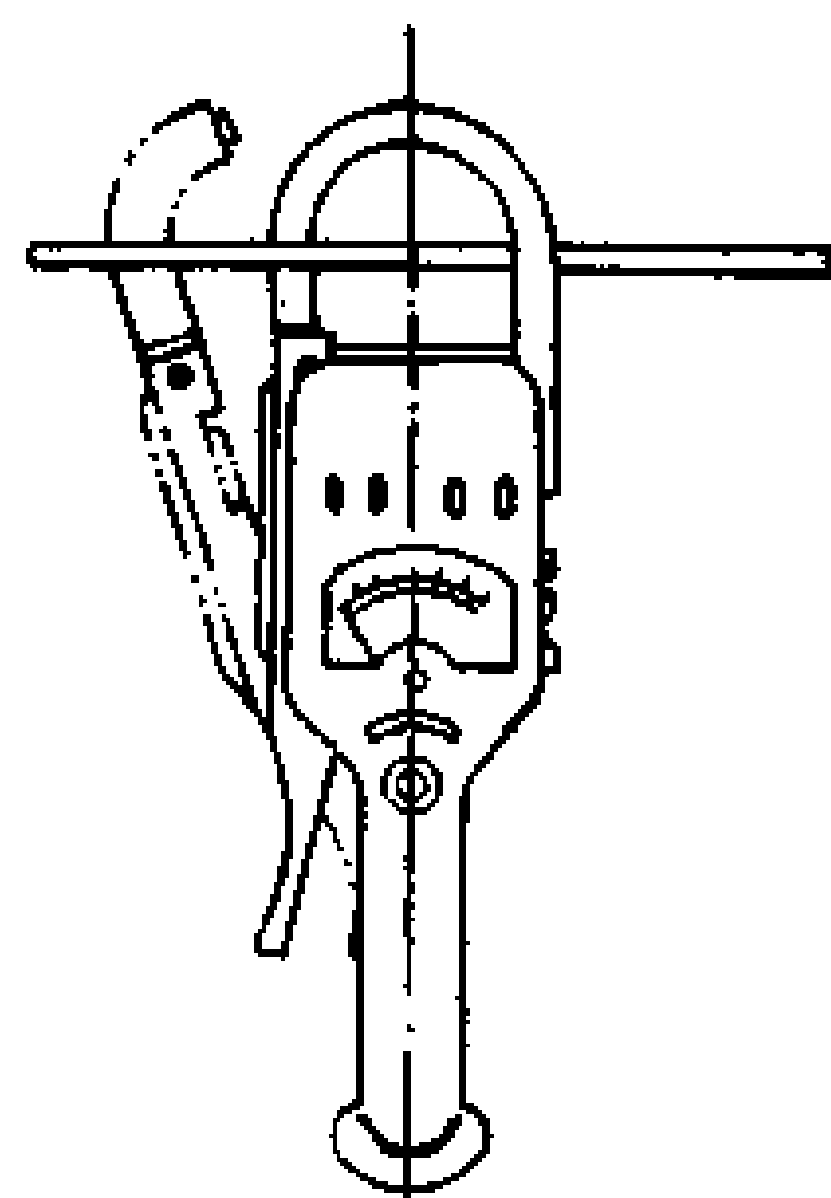


图 7-47 钳形电流表的使用方法示意图



## 2. 经电压互感器的测量接线

测量交流高压时，或者测量低压但所用电压表上标明需要配用电压互感器时，电压表必须经过电压互感器接入被测电路（图 7—48）。这样可使仪表和工作人员与高压隔离以保证安全，并扩大了电压表的量限。电压互感器实际是一种降压变压器，其一次绕组（首端和末端的记号分别为  $A$ 、 $X$ ）并联于被测电路，测量仪表接于二次绕组（首端和末端的记号分别为  $a$ 、 $x$ ）。电压互感器及电压表接线的图形符号如图 7—48 (b) 所示。

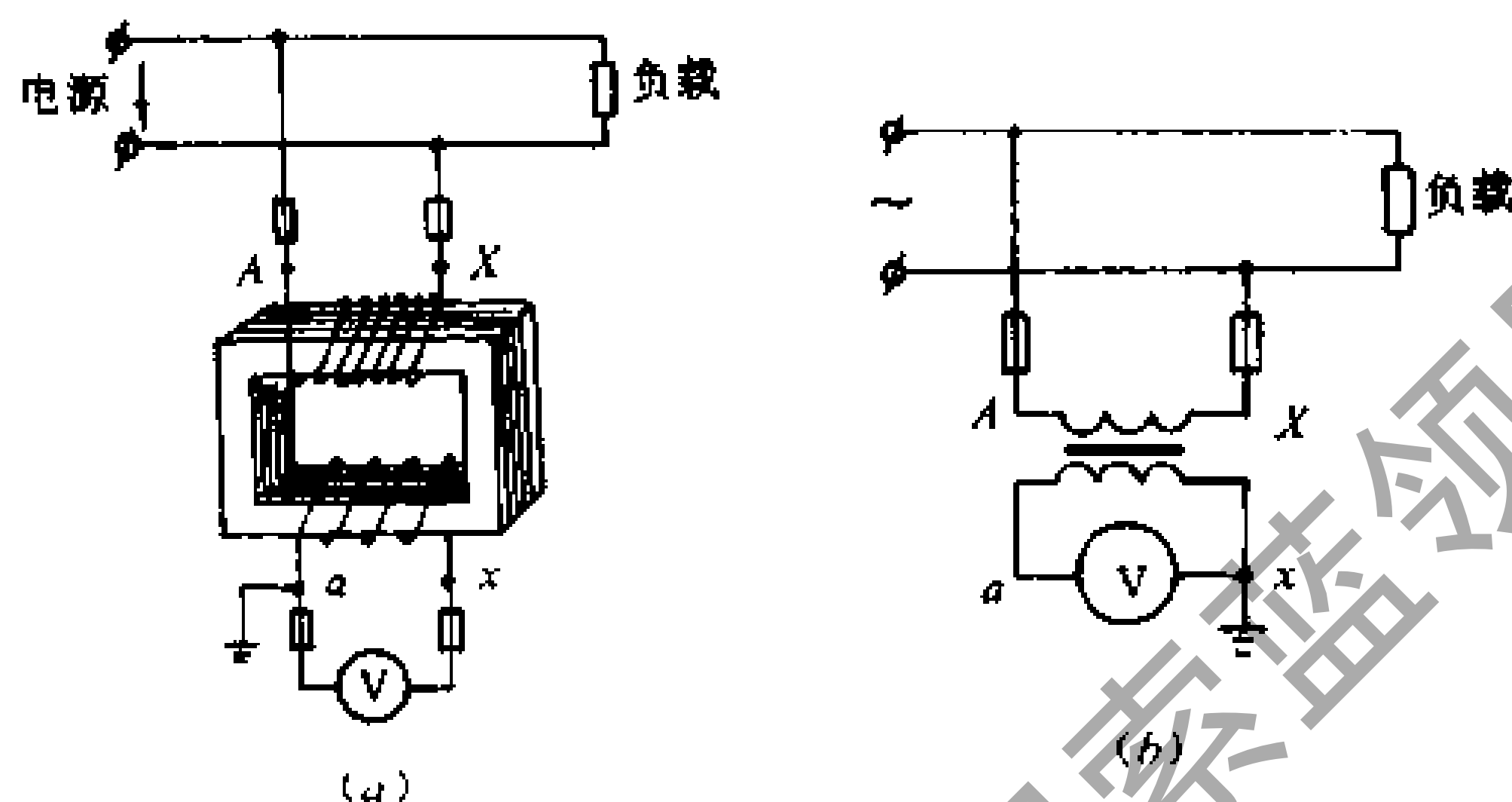


图 7—48 交流电压表经电压互感器接入电路  
(a) 示意图 (b) 电路图

电压互感器的二次电压通常为 100V，当电压表与电压互感器配套使用时，电压表的刻度按一次测电压标度，这样就可以直接读出被测电压；如果电压表和 PT（电压互感器简称）不配套，测量时应将电压表的读数乘以 PT 的额定变压比  $K_u$ ，即可得出被测电路的电压值。

电能表是一种专门测量电能的仪表，不论是家庭照明用电或工农业生产用电，都需要用电能表来计算在一段时间里所耗用的电能。电能表分为单相和三相两种，单相电能表用于单相照明电路，三相电能表又分为有功电能表和无功电能表。三相电能表用于三相动力电路或其他三相电路；三相有功电能表又分为三相三线有功电能表和三相四线有功电能表。下面主要介绍单相有功电能表和三相有功电能表。

### 一、感应式电能表的基本构造

目前，我们所用的电能表绝大多数属于感应式电能表。图 7—49 和图 7—50 为单相感应式电能表的外形和结构示意图。它主要由以下元件组成：

#### 1. 驱动元件

驱动元件是用来产生转动力矩的，它由电流元件 1 和电压元件 2 组成。电流元件由铁心和绕在铁心上的电流线圈构成。电流线圈用截面较粗的导线绕制，匝数较少，与负载串联，故又称串联电磁铁；电压元件也由铁心和线圈构成。电压线圈的导线截面较细，

匝数较多，与负载并联，故又称并联电磁铁。两个电磁铁的铁心都用硅钢片叠制而成。

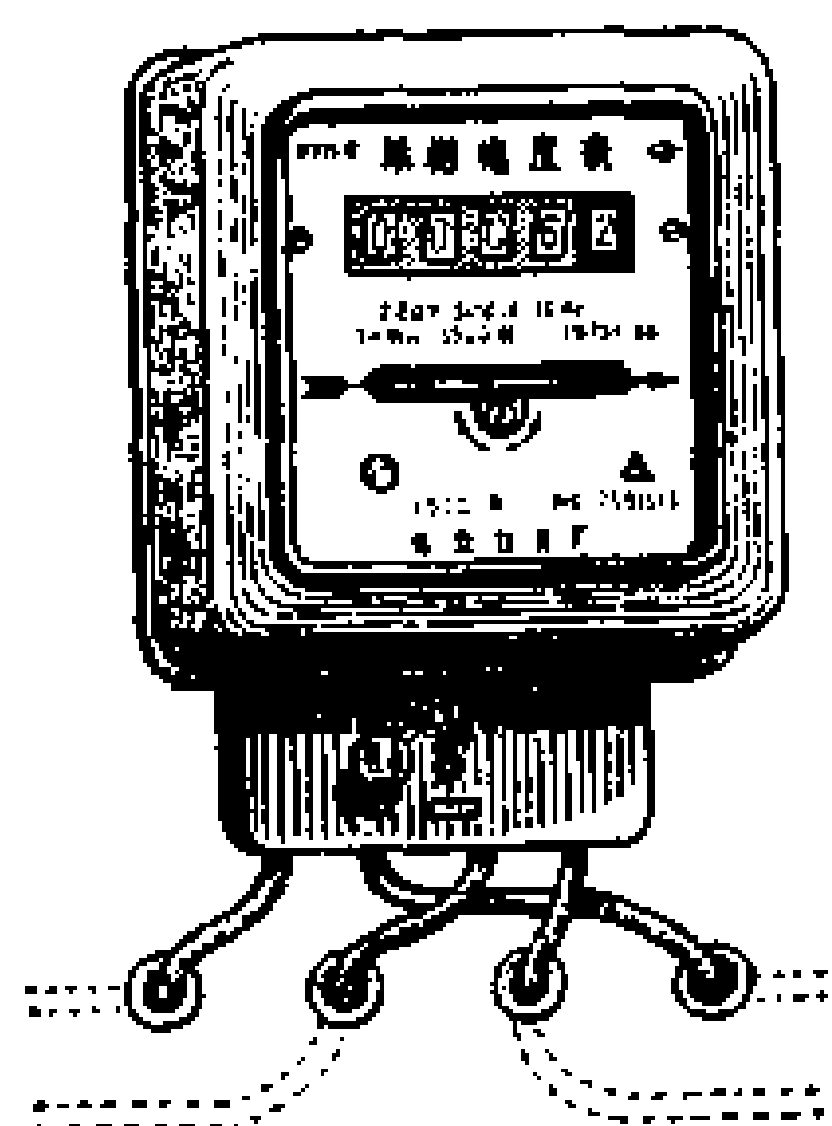


图 7—49 单相电能表外形图

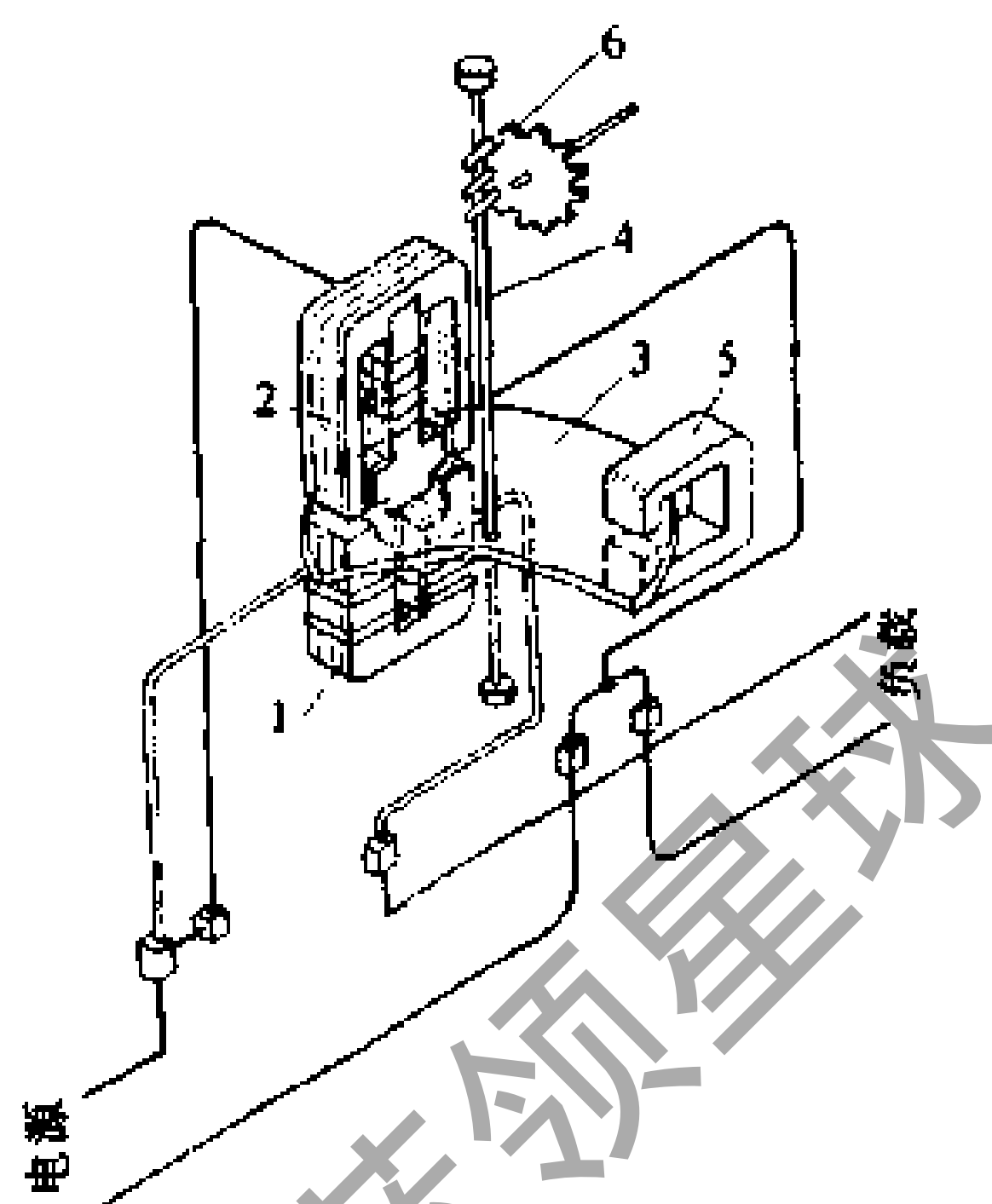


图 7—50 感应系电能表的结构示意图

1—电流元件 2—电压元件 3—铝制圆盘 4—转轴 5—永久磁铁 6—蜗轮蜗杆传动机构

## 2. 转动元件

转动元件是由铝制圆盘 3 和固定铝盘的转轴 4 构成，转轴支承在上下轴承中。电能表工作时，由于铝盘上涡流和交变磁通的相互作用而产生转矩，驱使铝盘转动。

## 3. 制动元件

制动元件是用来在铝盘转动时产生制动力矩，使铝盘转速和被测的功率成正比，以使用铝盘的转数来反映电能的大小。用作制动元件的是永久磁铁。

## 4. 积算机构

积算机构又称计度器，是用来计算铝盘的转数，以便达到累计电能的目的。积算机构由与转轴装成一体的蜗杆 1、蜗轮 2、齿轮 3~6 和滚轮 7 构成（图 7—51）。当铝盘转动时，通过蜗杆、蜗轮及齿轮组的传动，带动滚轮组转动。5 个滚轮（图中画出两个）的侧面都刻有 0~9 的数字，并且每个滚轮之间都按十进制位，即第 1 个滚轮每转过一周，就带动第 2 个滚轮转过一个数字，而第 2 个滚轮转过一周时，又引起第 3 个滚轮转过一个数字，其余类推。这样，就可以通过滚轮上的数字来反映铝盘的转数，也就是所测电能的大小。

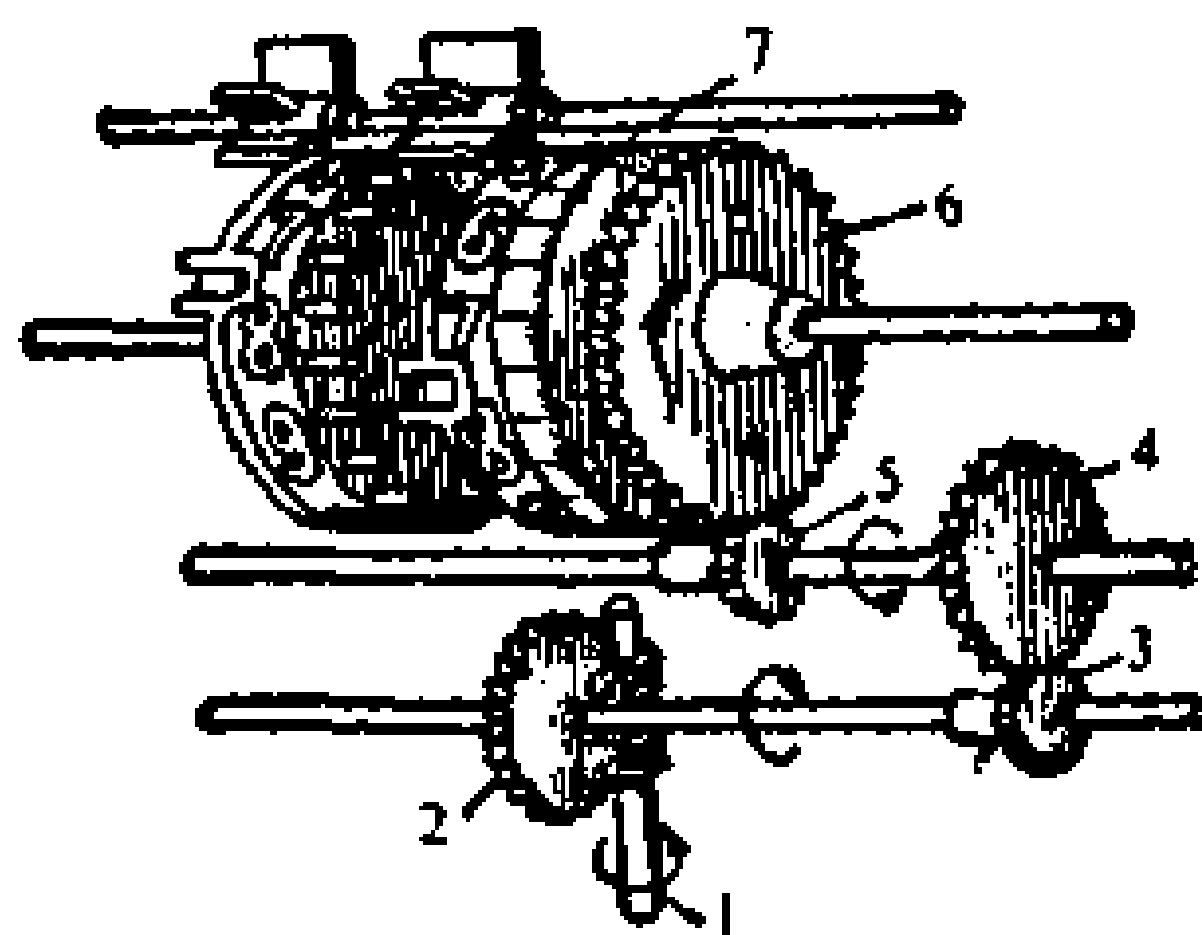


图 7—51 积算机构示意图

但应注意，从字轮前面的窗孔所读出来的数值，乃是电能的累积数值，即电能表开始使用以来总电能的记录。某一段时间内的电能，则应等于这段时间末的读数和开始时

的读数之差。

## 二、电能表的工作原理

图 7—52 为感应式单相电能表的结构原理图。当交流电流  $I_1$  和  $I_2$  通入电磁铁 1 和 2 的线圈时，将分别产生交变磁通  $\phi_1$  和  $\phi_2$ 。这两个交变磁通都穿过铝盘，并分别在铝盘中产生涡流  $i_1$  和  $i_2$ ，如图 7—53 所示。图中，由下向上穿过铝盘的磁通，用符号“·”表示，相反方向的磁通，则用符号“×”表示。涡流的途径及正方向用虚线表示。

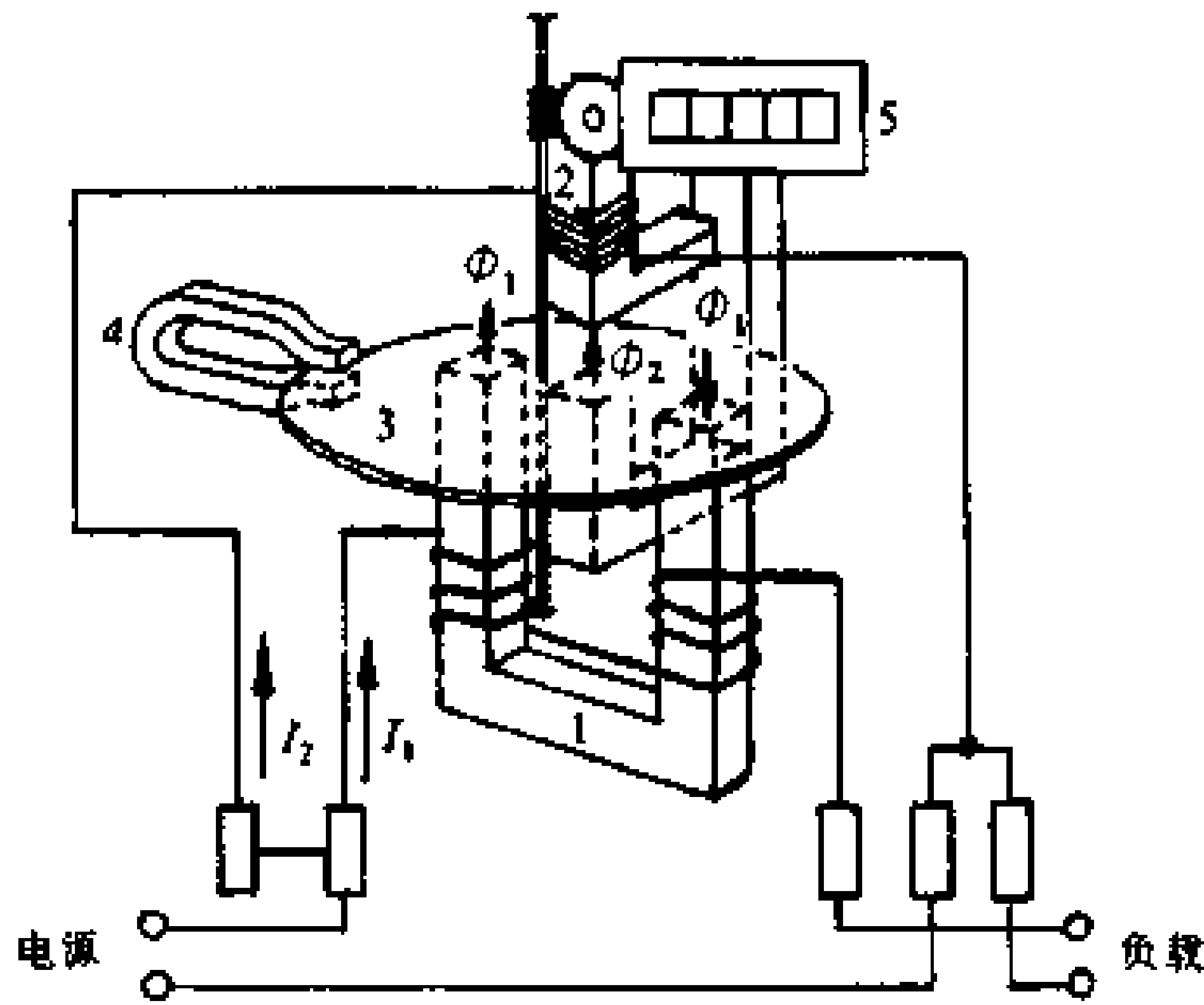


图 7—52 感应式单相电能表的结构原理图

1—电流电磁铁 2—电压电磁铁 3—转动铝盘  
4—永久磁铁 5—积数器

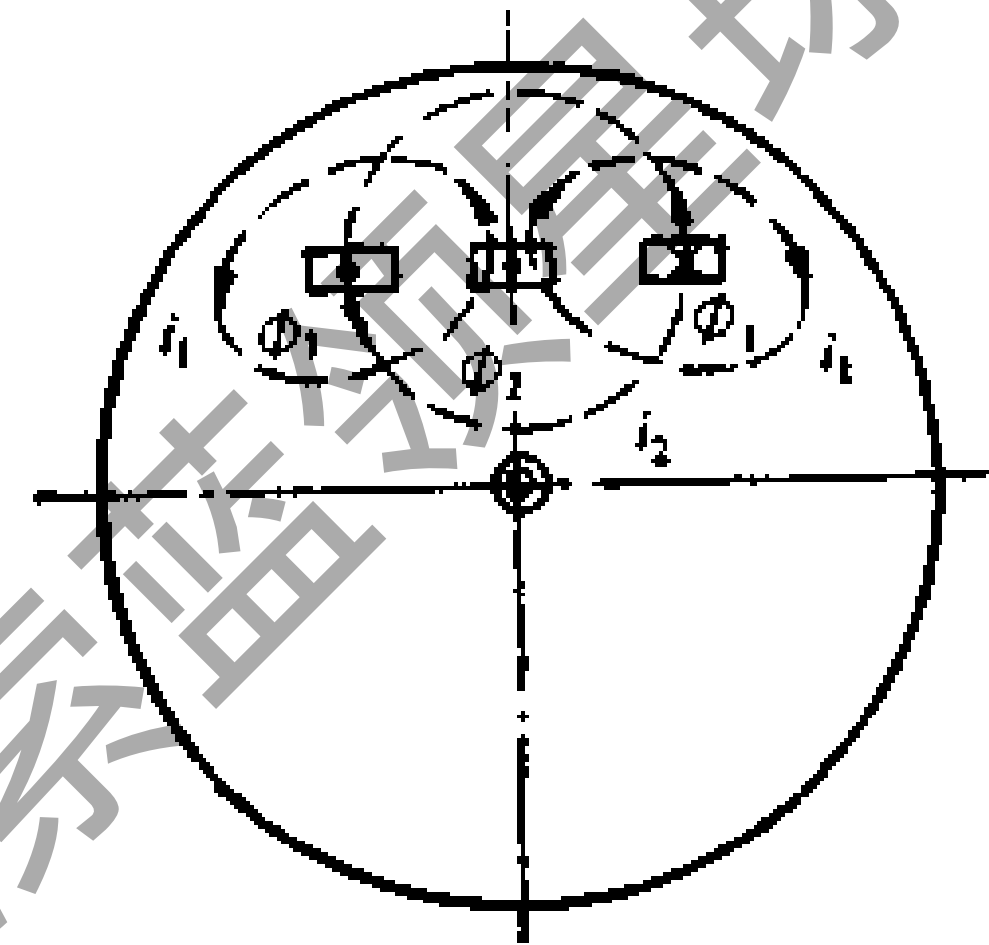


图 7—53 铝盘上的磁通与涡流

根据左手定则判断出：涡流  $i_1$  流经电磁铁 2 的磁极时与  $\phi_2$  一起产生电磁力  $F_2$  的方向；涡流  $i_2$  流经电磁铁 1 的磁极时，与  $\phi_1$  一起产生电磁力  $F_1$  的方向，如图 7—54 所示。 $F_1$  和  $F_2$  对铝盘产生转动力矩，驱使铝盘转动。它们的合成力矩的平均值

$$M = k_1 I_1 I_2 \sin \phi'$$

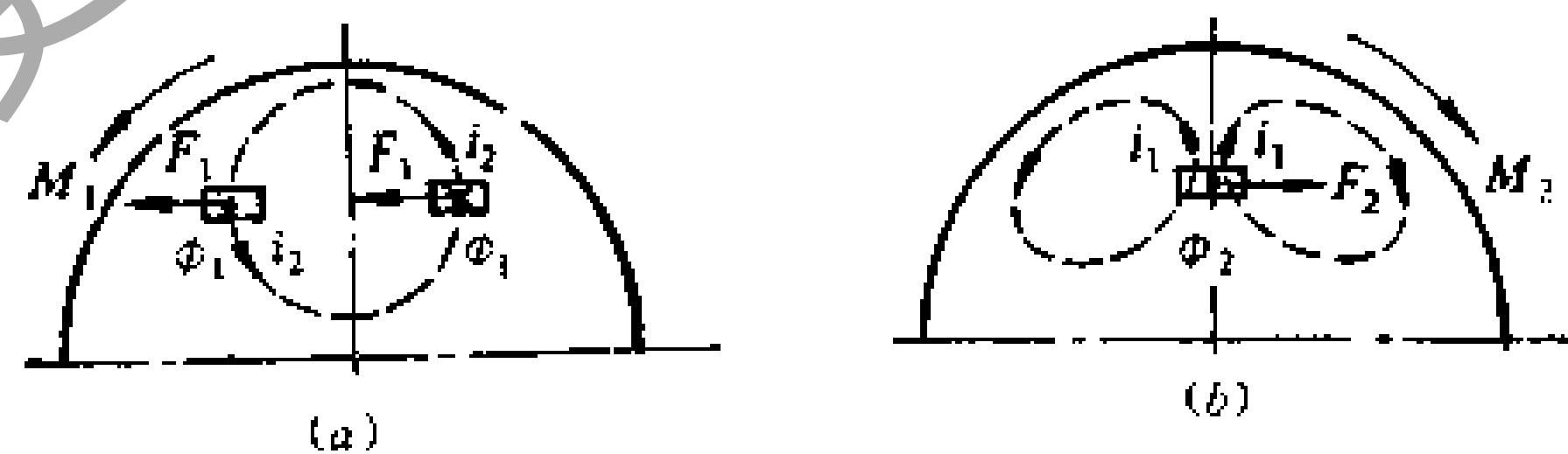


图 7—54 产生电磁力矩的原理

(a) 由  $i_2$  和  $\phi_1$  产生的转矩  $M_1$  (b) 由  $i_1$  和  $\phi_2$  产生的转矩  $M_2$

式中： $\phi'$  角为电流  $I_1$  和  $I_2$  的夹角， $k_1$  为比例常数。

合成力矩  $M$  的大小与电路的有功功率  $P$  成正比。即

$$M = k_2 P$$

式中： $k_2$  为常数。

铝盘按顺时针方向转动，并与永久磁铁的磁场相切割，因而在铝盘内产生感应的制

动电流  $i_{zd}$ ，其方向按右手定则确定。 $i_{zd}$  与永久磁铁的磁场之间产生电磁力矩  $M_{zd}$ 。根据左手定则判定， $M_{zd}$  的方向与作用在铝盘上的转矩  $M$  的方向相反，故称制动力矩（或称反抗力矩）。由于铝盘旋转速度  $n$  越大，感应电流  $i_{zd}$  也越大。所以制动力矩  $M_{zd}$  与铝盘的转速  $n$  成正比，即

$$M_{zd} = k_3 n$$

式中： $k_3$  是比例常数。

图 7-55 示出了永久磁铁对铝盘的制动作用。在一定转矩的作用下，铝盘的转速  $n$  从零逐渐增大，制动力矩也相应地增大。当  $M_{zd} = M$  时，铝盘将以稳定的转速  $n$  旋转，这时

$$M_{zd} = M$$

即  $k_3 n = k_2 P$

所以  $n = \frac{k_2}{k_3} P = kP$

式中： $k$  为常数， $k = k_2/k_3$ 。

上式表明，铝盘的转速与电路的有功功率成正比。

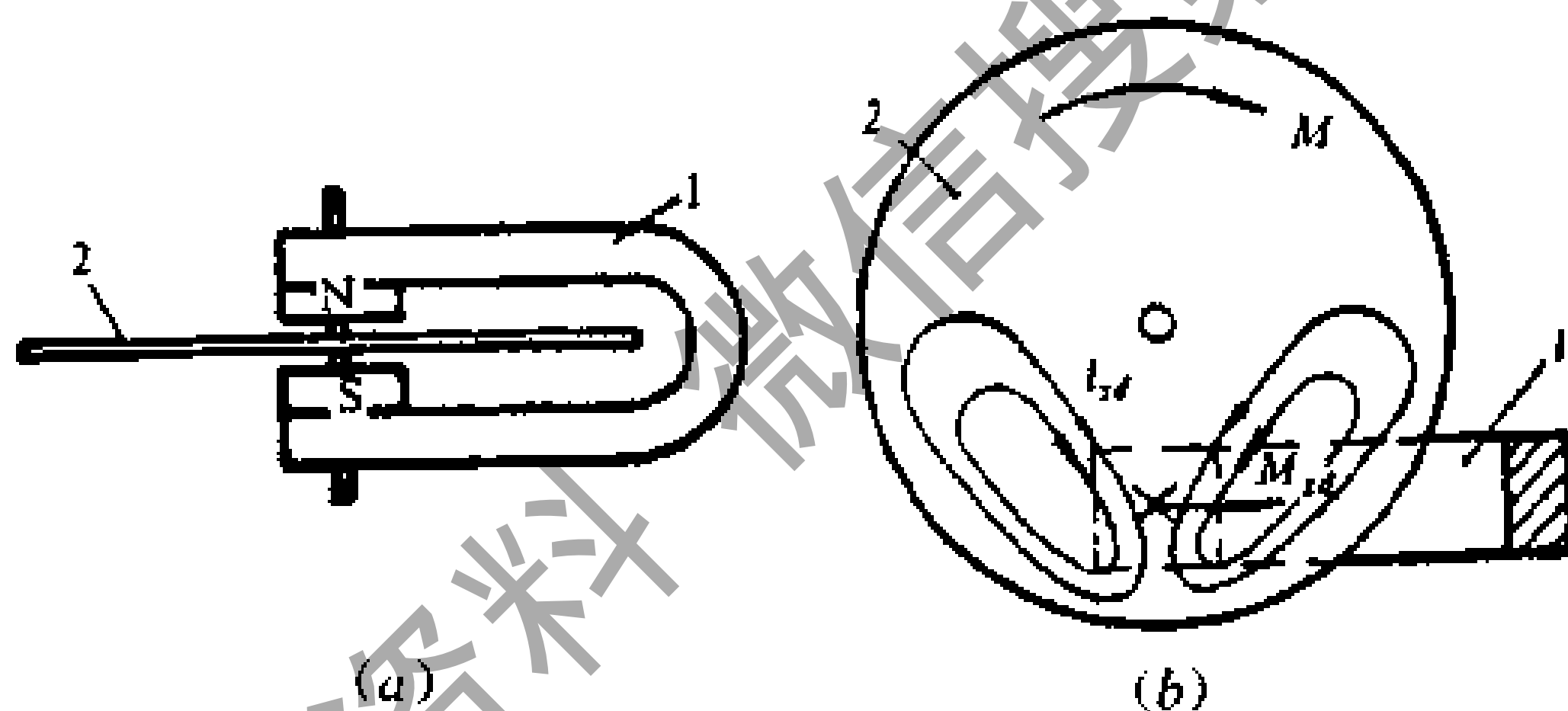


图 7-55 永久磁铁对铝盘的制动作用示意图

(a) 结构原理 (b) 制动力矩的产生

1—永久磁铁 2—铝盘 X—磁动力线的进入方向

在某一段时间  $\Delta t$  内，负载的有功功率  $P$  不变，则铝盘的转速  $n$  也不变。功率与时间的乘积  $P\Delta t$ ，等于铝盘在  $\Delta t$  时间内消耗的电能  $W$ ；而铝盘的转速与时间的乘积  $n\Delta t$ ，等于铝盘在  $\Delta t$  时间内所转的圈数  $N$ 。在  $\Delta t$  时间内所消耗的电能  $W$  与铝盘所转的圈数  $N$  成正比，即

$$N = n\Delta t = kP\Delta t = kW$$

式中：比例常数  $k = \frac{N}{W}$ ，称为电能表的常数。它表示每消耗  $1\text{kW} \cdot \text{h}$  的电量铝盘应转的圈数。电能表本身有一套齿轮传动的积算机构，这样就可以利用计度器指示的数字表示出所消耗的电能。

### 三、单相电能表的安装、接线及使用

#### 1. 单相电能表的型号规格

国产电能表的型号用汉语拼音字母表示。单相电能表有  $DD_1 \sim DD_{28}$ 、 $DD_{862}$ 、 $DD_{862A}$

等系列、型号中的第 1 个字母 D 代表电能表，第 2 个字母 D 代表单相，后面的数字为设计序号。单相电能表的额定电压一般为 220V，额定电流有 1A、1.5A、2.5A、3A、5A、6A、10A、15A、20A、25A、40A、50A 等数种，每种型号、规格都标注在铭牌上。其中，额定电流为 5A 的可经电流互感器接入电路，其余均可直接接入。

## 2. 单相电能表的选用

选用电能表应注意以下 3 点：

(1) 选型：目前，市场上和正在使用的电能表型号很多，其中一部分属于结构陈旧、技术水平低、性能差、能耗高的产品，被国家列为淘汰产品之列。如单相电能表有 DD<sub>5</sub>-a、DD<sub>5</sub>-6、DD<sub>5</sub>-2、DD<sub>9</sub>、DD<sub>10</sub>、DD<sub>12</sub>、DD<sub>14</sub>、DD<sub>15</sub>、DD<sub>17</sub>、DD<sub>20</sub>、DD<sub>28</sub> 型，淘汰日期为 1998 年 12 月 31 日。相应推荐换代的新产品为 DD<sub>861</sub>、DD<sub>862</sub>、DD<sub>862a</sub> 型，这种新产品具有寿命长、性能稳定、过载能力大、损耗低等优点。因此，选型时应优先选用 86 系列的单相电能表。

(2) 电压：电能表的额定电压必须符合电流的规格。例如，照明电路电流电压为 220V，电能表的额定电压也必须是 220V。

(3) 电流：电能表的额定电流必须与负荷的总瓦数相适应。

在电压一定 (220V) 的情况下，根据公式

$$P = I \cdot U$$

可以计算出对于不同安培数的单相电能表，可装用负荷的最大总瓦数 (表 7—5)。

表 7—5 不同规格的单相电能表可装电器最大瓦数

| 单相电能表安培数  | 1   | 2.5 | 3   | 5    | 10   |
|-----------|-----|-----|-----|------|------|
| 可装电器最大总瓦数 | 220 | 550 | 660 | 1100 | 2200 |

例如，某家庭使用 3W 的电灯 4 只，40W 的电灯 5 只，20W 的日光灯 3 只，试问应选用几安培的单相电能表？

总计用灯功率为 272W，查表可知，选用 2.5A 的电能表较为合适。

一般说来，对于一定安培数的单相电能表，所安装的用电器具的总瓦数，是表 7—5 中最大瓦数的 1/4~4/5 最为适当。例如，1A 的单相电能表，安装 55~180W 的用电器具最适当；2.5A 的单相电能表安装 130~450W 的用电器具最适当。

使用单相电能表还要考虑最小使用功率 (即使电表计数准确的最小功率) 和启动功率 (即要使电能表铝盘转动的最小功率)，见表 7—6。

表 7—6 单相电度表的最小使用功率和启动功率

| 单相电度表电流 (A) | 2.5  | 5.0 | 10.0 |
|-------------|------|-----|------|
| 最小使用功率 (W)  | 27.5 | 55  | 110  |
| 启动功率 (W)    | 2.75 | 5.5 | 11.0 |

## 3. 使用单相电能表的注意事项

(1) 电能表应装在干燥处，不能装在高温潮湿或有腐蚀性气体的地方，以免潮气或

腐蚀性气体侵入，使电能表的零件受潮甚至发霉，影响测量的准确度，减少电能表的使用寿命。

(2) 电能表应装在没有振动的地方，因为振动会使零件松动，使计量不准确。

(3) 安装电能表不能倾斜，一般电能表倾斜 $5^\circ$ 会引起1%的误差，倾斜太大会引起铝盘不转。

(4) 电能表应装在厚25mm的木板上，其大小可以是 $350\text{mm}\times 230\text{mm}$ ， $400\text{mm}\times 500\text{mm}$ 。木板离地面的高度不得低于1.4m，但也不能过高，通常在2m高度为适宜。图7—56为单相电能表的安装实例之一，也可参照图3—66安装。

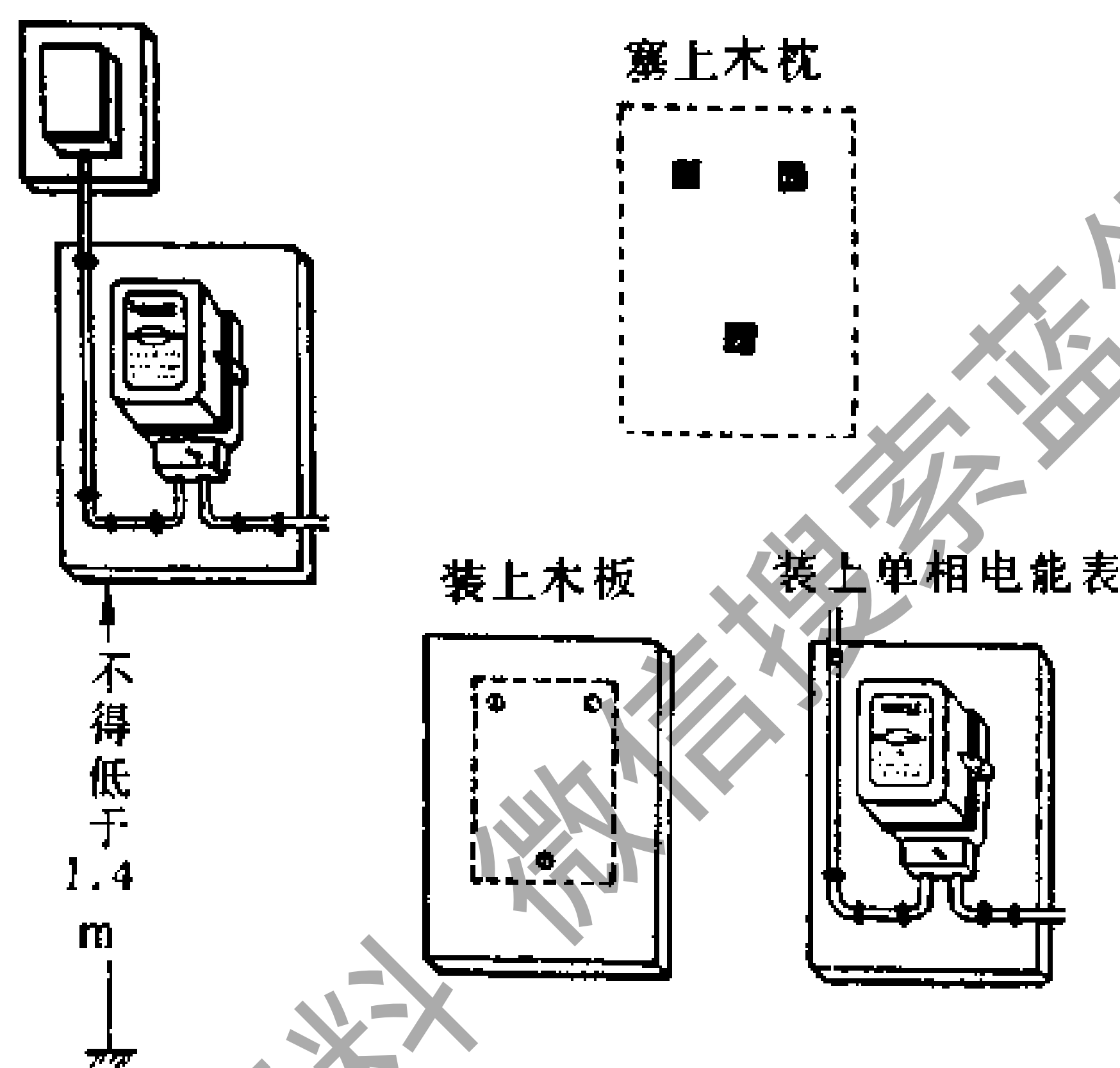


图7—56 单相电能表的安装

(5) 若几只电能表装在一起，相互间的距离不要小于50mm。

#### 4. 单相电能表的接线

单相电能表的下部有一排接线端子，电能表的电流线圈和电压线圈分别接在端子上，利用这些端子把电能表接入电路中。单相电能表有直接接入式和经电流互感器接入式两种形式，如图7—57所示。接线时，电压线圈跨接在“火线”（相线）与“零线”之间，电流线圈与负载相串联。

#### 5. 单相电能表的抄表与计费

电能表的计数器反映了用电设备消耗电能的多少。装好电能表后，记下计数器的数字，然后每月查一次电表走了多少字（称为抄表），以便计费。一般电能表有5位读数，最后一位数是在红色漆窗孔内，表示小数点后的数字。每隔1个月后再抄下数字，两次数字之差就是上月的用电量数。在图7—58中，上月抄表是 $6.3\text{kW}\cdot\text{h}$ ，本月是 $12.9\text{kW}\cdot\text{h}$ ，则上月的用电量为

$$12.9 - 6.3 = 6.6 (\text{kW}\cdot\text{h})$$

抄表时，小数点后面的数字通常不计算。

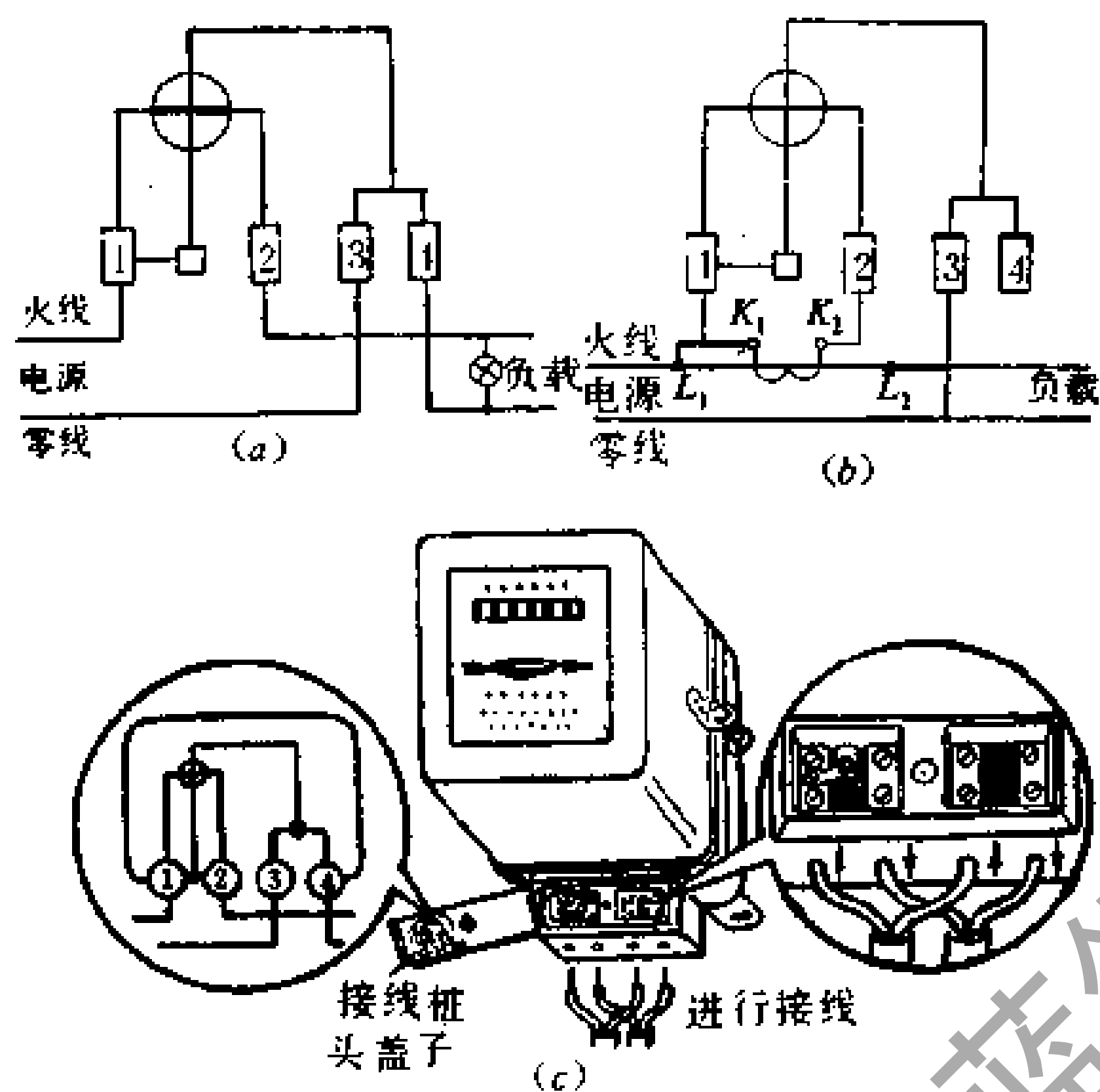


图 7—57 DD 型单相电能表原理接线图

(a) 直接接入 (b) 经电流互感器接入 (c) 直接接入示意图

当计度器从 9999.9 变成 0000.0 时，叫计数器翻转，抄表时要在最高位前加 1。例如，从 9998.8 走到 0009.5，实际用电度数应是

$$10009.5 - 9998.5 = 10.7 \text{ (kW} \cdot \text{h)}$$

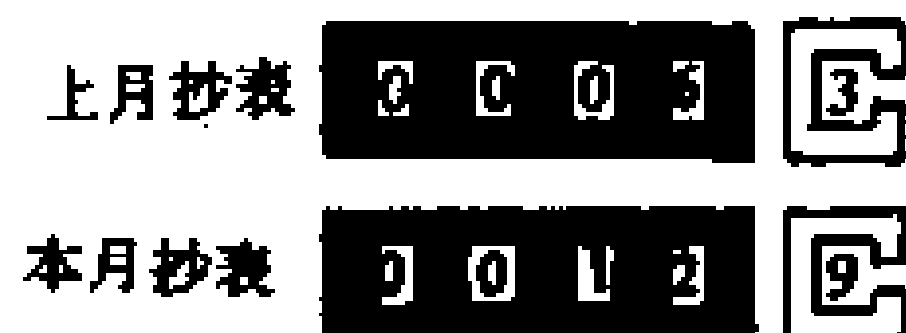


图 7—58 单相电能表的抄表

配用电流互感器的电能表，实用电能表的数值再乘以电流互感器的变化。例如，某电能表经变化为 50/5A 的电流互感器接入电路，电能表两次抄表数之差为 125.5kW·h，则实际用电量为：

$$125.5 \times \frac{50}{5} = 1255 \text{ (kW} \cdot \text{h)}$$

由于电能表本身也是一个用电器，一经接入电路，就要消耗电能，一般每只电能表每月耗电约 1kW·h。装分表时，每月在计费时多加 1kW·h 电是合理的。至于总电能表本身的消耗，因为它的电流来自供电部门的线路，已由供电部门负担了。

#### 6. 检验电能表准确不准确的方法

用电时，电表的铝盘会沿着箭头标示的方向不停地转动。为了直观地检验电表的准确性，常应用电能表常数除以 60000，再乘以用电器的瓦数，所得数即表示该用电器用电时每分钟转数。例如，电能表常数为 3000r/kW·h，用电设备的总瓦数为 300W，则每分钟应转

$$\frac{3000}{6000} \times 300 = 150 \text{ (r)}$$

对照这个数自己便可以对电能表的准确性进行粗略“校验”了。

### 四、三相有功电能表的型号及测量接线

#### 1. 三相有功电能表型号和规格

三相有功电能表分为三相四线式和三相三线式两种。三相四线式有功电能表有DT<sub>1</sub>~DT<sub>23</sub>、DT<sub>862</sub>、DT<sub>864</sub>等系列，字母D代表电能表，T代表三相四线式，后面的数字为设计序号；三相三线式有功电能表有DS<sub>1</sub>~DS<sub>28</sub>、DS<sub>862</sub>、DS<sub>864</sub>等系列，字母D代表电能表，S代表三相三线式，后面的数字为设计序号。

三相四线有功电能表的额定电压一般为220V，额定电流有1.5A、3A、5A、6A、10A、15A、20A、25A、30A、40A、60A等数种，其中额定电流为5A的可经电流互感器接入电路；三相三线有功电能表的额定电压（线电压）一般为380V，额定电流有1.5A、3A、5A、6A、10A、15A、20A、25A、30A、40A、60A等数种，其中额定电流为5A的可经电流互感器接入电路。

同单相电能表一样，三相三线、三相四线电能表的部分型号产品，也因质量、性能差而被国家列为淘汰产品。其中，三相三线式电能表有DS<sub>1/a</sub>、DS<sub>5</sub>、DS<sub>8</sub>、DS<sub>10</sub>、DS<sub>13</sub>、DS<sub>15</sub>、DS<sub>16</sub>、DS<sub>22</sub>、DS<sub>23</sub>型；三相四线式有功电能表有DT<sub>1/a</sub>、DT<sub>6</sub>、DT<sub>8</sub>、DT<sub>10</sub>、DT<sub>18</sub>、DT<sub>23</sub>、DT<sub>28</sub>型。相应推荐的换代产品三相四线电能表为DT<sub>862</sub>、DT<sub>864</sub>型，三相三线式电能表为DS<sub>862</sub>、DS<sub>864</sub>型。

## 2. 三相四线电能表的接线

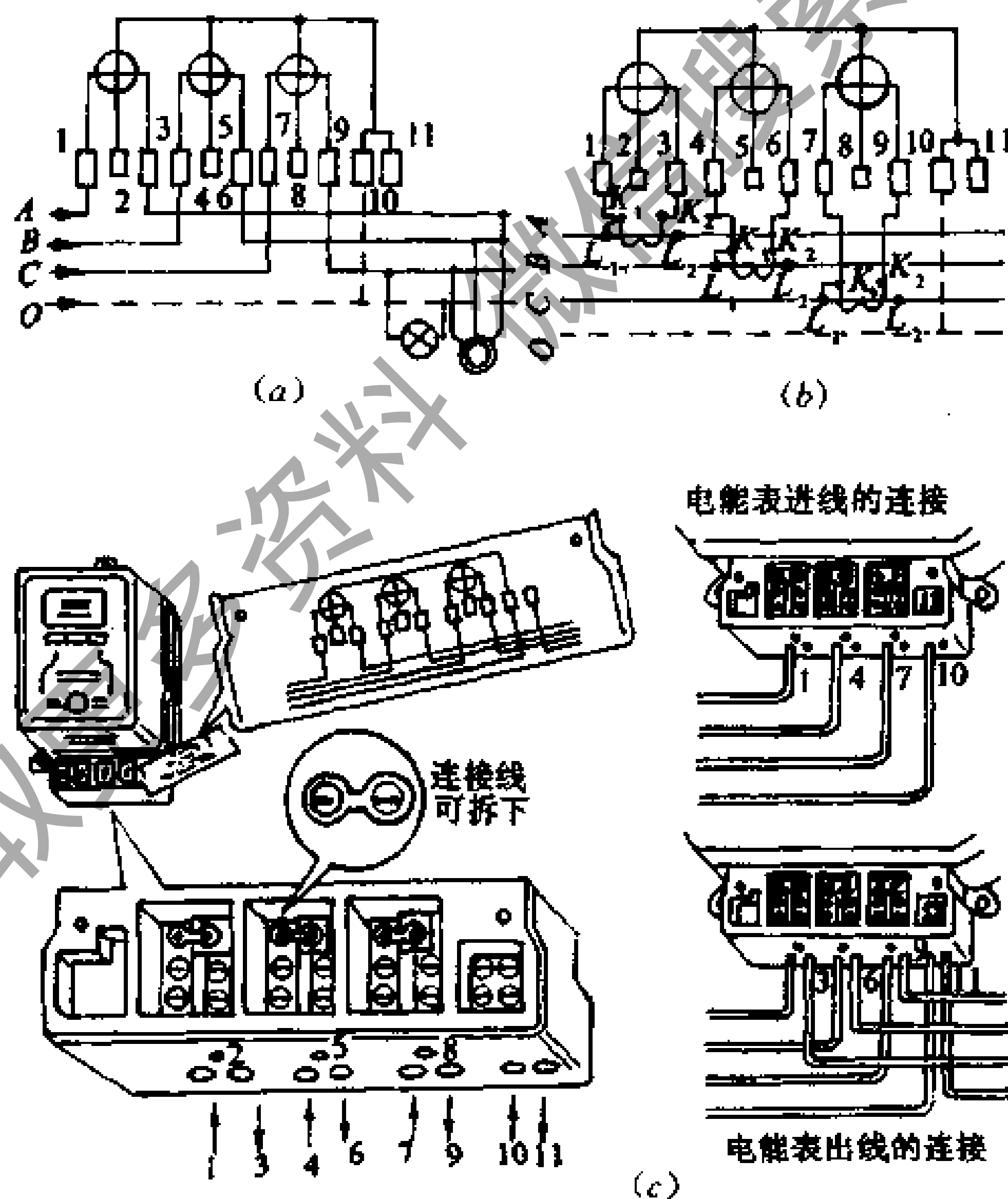


图 7-59 DT 型三相四线制电能表的原理接线图

(a) DT 型三相四线制电能表直接接入时的原理接线图 (b) DT 型三相四线制电能表经电流互感器接入时的原理接线图 (c) DT 型三相四线制电能表接线示意图



三相四线有功电能表是由3个共轴的单相感应元件组合而成，故称为三元件电能表。三相四线有功电能表用于动力和照明混合供电的三相四线制线路中，其接线方式有直接接入和经电流互感器接入两种，如图7—59所示。

### 3. 三相三线电能表的接线

三相三线式有功电能表，它由两个驱动元件组成，两个铝盘固定在同一转轴上，故称两元件电能表，其原理结构如图7—60所示。

三相三线有功电能表用于三相三线制电路中，其测量接线如图7—61所示。第1个元件的电压线圈和电流线圈分别接 $U_{AB}$ 、 $I_A$ ，第2个元件的电压线圈和电流线圈分别接 $U_{CB}$ 、 $I_C$ 。接线时，如果将任一端子接错，就会使铝盘反转或虽然正转但读数不等于三相电路所消耗的电能，这一点要特别注意。

## 五、电能表的常见故障

因为电能表皆由供电部门校验加铅封后才准许用户使用，所以常见故障的排除也由供电部门维修处理。这里仅介绍常见故障的现象和造成原因，以供用户使用时注意。

### 1. 接线盒烧坏

这是由于过负荷，或接线时接线端子上的螺丝没有拧紧，接触不良，以致在运行中逐步发热而烧坏的。

### 2. 潜动（空转）

潜动是指电能表在没有负载的情况下，铝盘也徐徐转动不停，主要有以下几种情况：

(1) 在用电状态下，电能表正常运转，当停止用电时，由于惯性，电能表可能继续转动，有时从左至右，有时从右至左，但铝盘转动不超过一整圈就不再转动，这是正常现象。

(2) 总表后面如果装有很多分表，即使在没有用电的情况下，由于分表的电压线圈要消耗电能。这对总表来说，等于接上了负荷，所以虽然这时不使用电器，但总表仍会继续转动，这也是正常现象。

(3) 如果电能表后没有分表，用电设备也没有用电，而电能表的铝盘连续转动，这时可将电能表的总开关拉开。如果电能表的铝盘停止转动，则说明电能表正常，可能是线路有漏电引起的，应检修线路；如果铝盘仍然继续转动，这就是电能表本身的问题，应由有关部门更换检修。

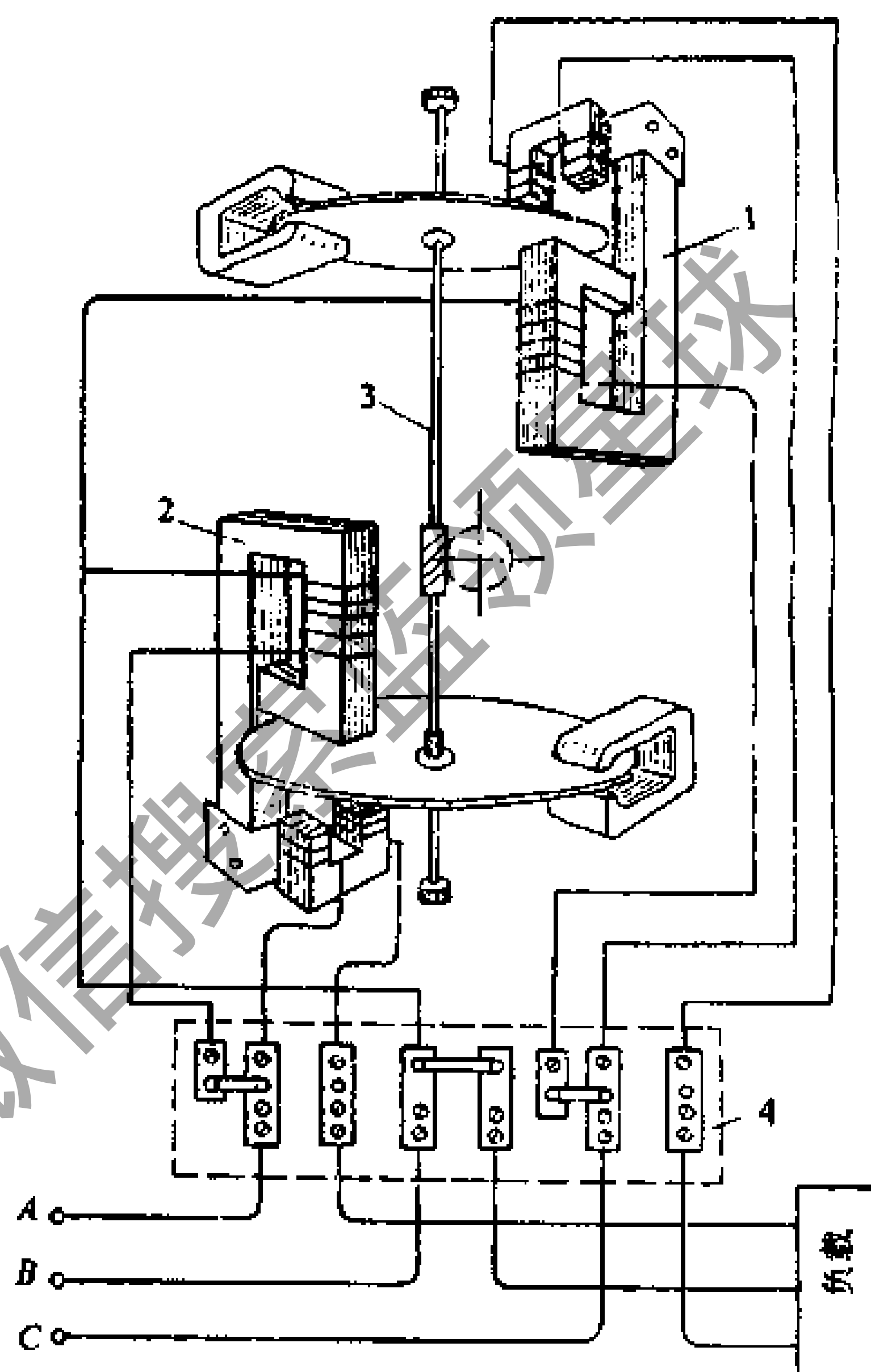


图 7—60 两元件双盘电能表原理结构图

1—第1组元件 2—第2组元件 3—转轴 4—端钮盒

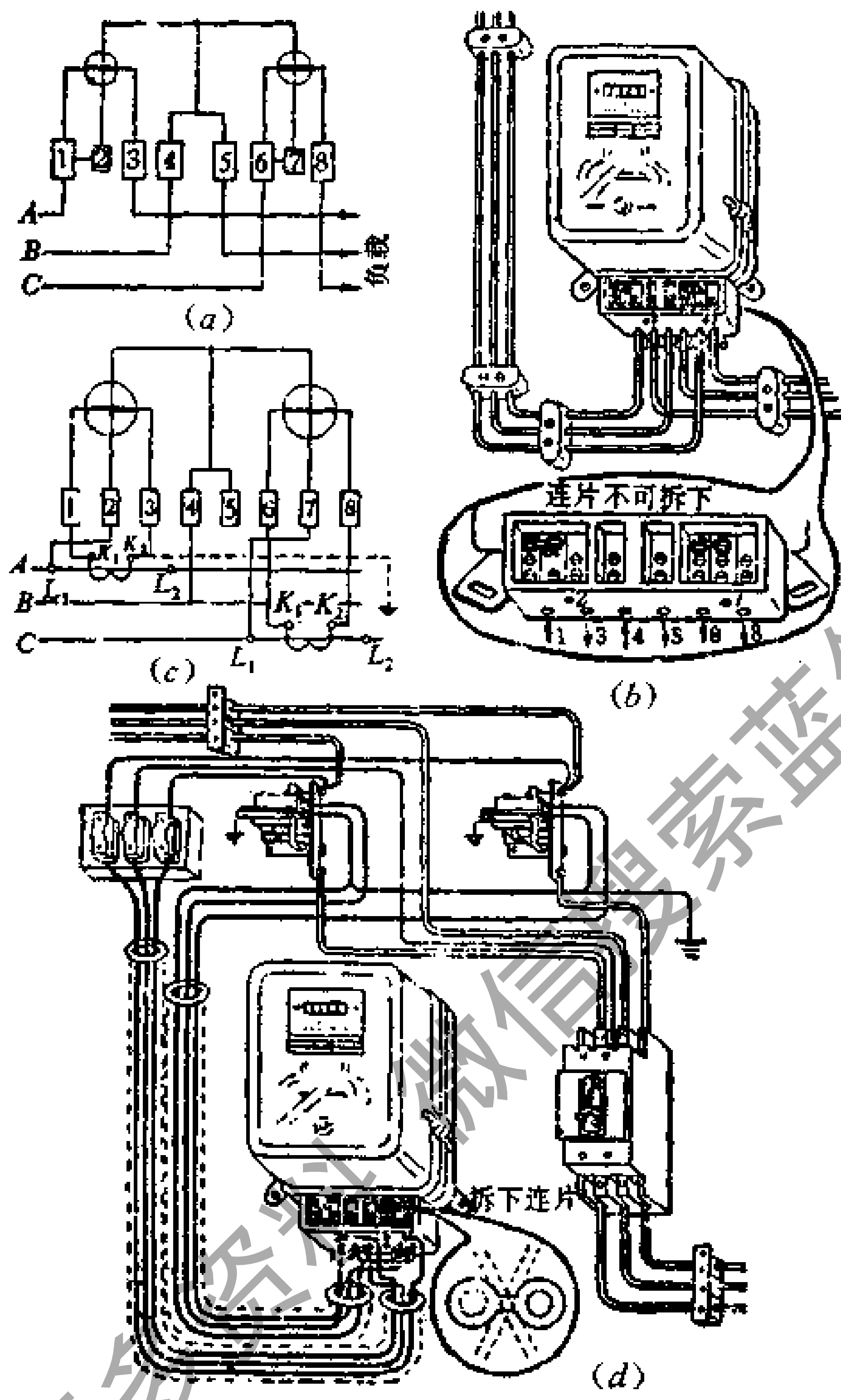


图 7-61 DS 型三相三线制电度表的原理接线图

(a) DS 型直接接入式三相三线制电能表的原理线图 (b) 直接接入式三相三线制电能表的接线示意图 (c) 经电流互感器接入式三相三线制电能表的原理接线图 (d) 经电流互感器接入式三相三线制电能表的接线示意图

### 3. 表响

电能表在运行中由于交流电磁场的作用，会发出一些轻微的响声，这不会影响准确计量，也不会损坏电能表的零件。但如果响声较大，则可能是电能表内电磁元件松动，或是转动部件（即上、下轴承）中缺少润滑油造成的，这将影响电能表的准确计量，需进行检修校验。一般说来，电能表运行三五年，就要进行拆洗、加油等维护工作。

### 4. 表停

在正常用电情况下，电能表的铝盘不转动，不能进行计量，这种情况称为表停。造

成表停的主要原因有：

(1) 由于线路过负荷、雷击、制造时焊接不良，造成线圈断路，引起表停。

(2) 表盖密封不严，以致灰尘或小虫进入电能表内部，卡住铝盘不转，造成表停。

(3) 由于电能表运行时间较长，上、下轴承中的油垢增多和磨损，增加了摩擦阻力，而使电能表的铝盘不能转动。

(4) 表内计度器本身损坏而造成表停。

#### 5. 计量不准

电能表偏快，主要是永久磁铁的磁力减弱而造成的。电能表偏慢，主要是由于上、下轴承中的润滑油发腻或轴承磨损，使摩擦阻力增大而引起的。发现表快或表慢均需进行检修校验。

#### 六、新型复费率电能表

为了提高发电设备的利用效率，同时减少由于负荷曲线变化太大而引起的不安全因素。我们需要对电力负荷进行控制，根据我国实际情况，我国用实行分时计费制来间接调节负荷曲线，这就要求采用复费率电能表。现在以 DTSD—341—2 型三相四线全电子式多功能交流电能表为例(图 7—62)，来简单介绍一下新型复费率电能表。

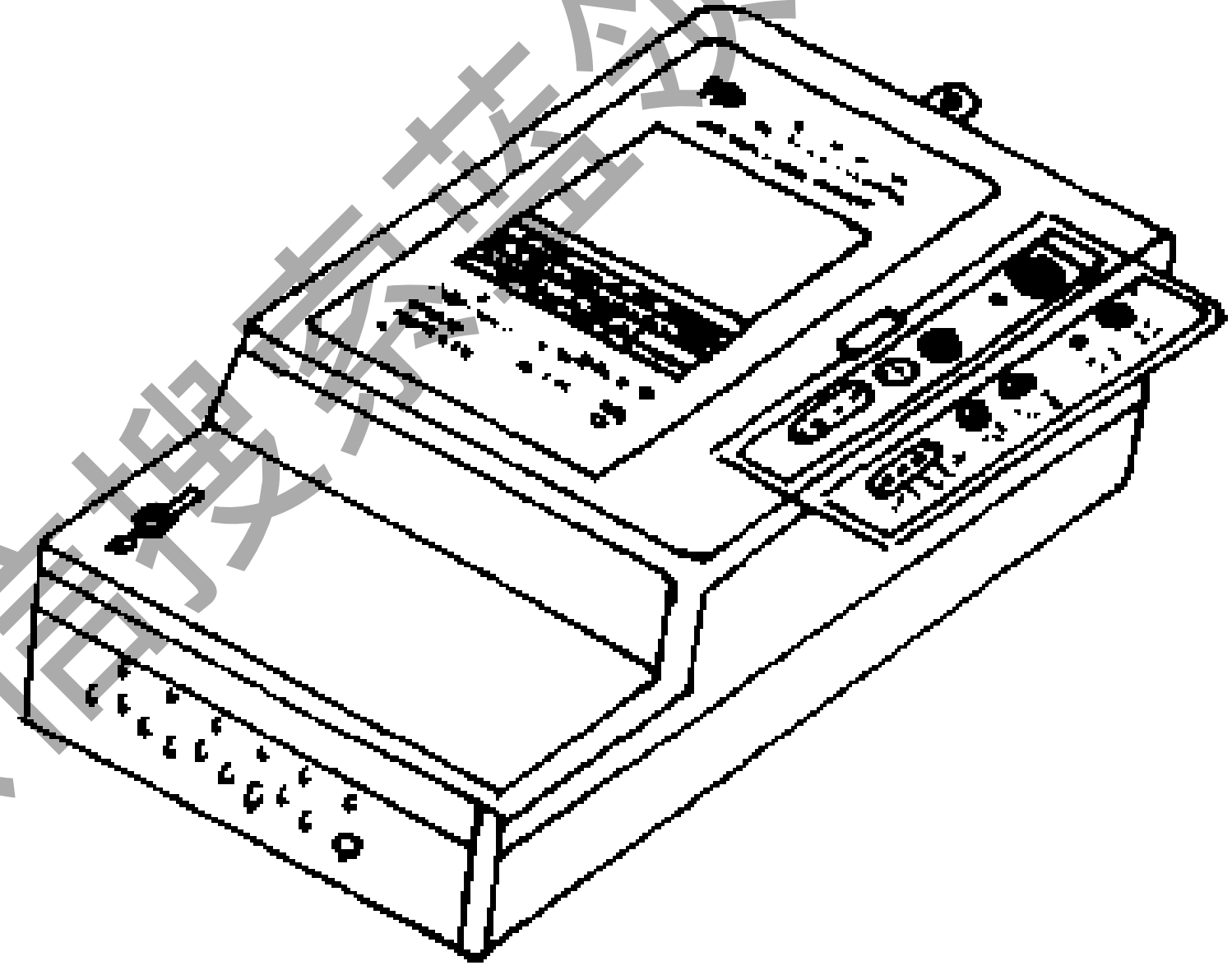


图 7—62 电能表外形图

DTSD—341—2 型电能表由电流传感器 CT、电压传感器 PT、模数转换器 A/D、日历时钟、专用微处理器 CPU、液晶显示器 LCD、开关电流等部分组成，其工作原理如图 7—63

所示。电流传感器和电压传感器所采得的数据输入到模数转换器中，然后以数字的形式传输到微处理器。微处理器对输入的数据进行实时的分析处理，用以分时计量正、反向

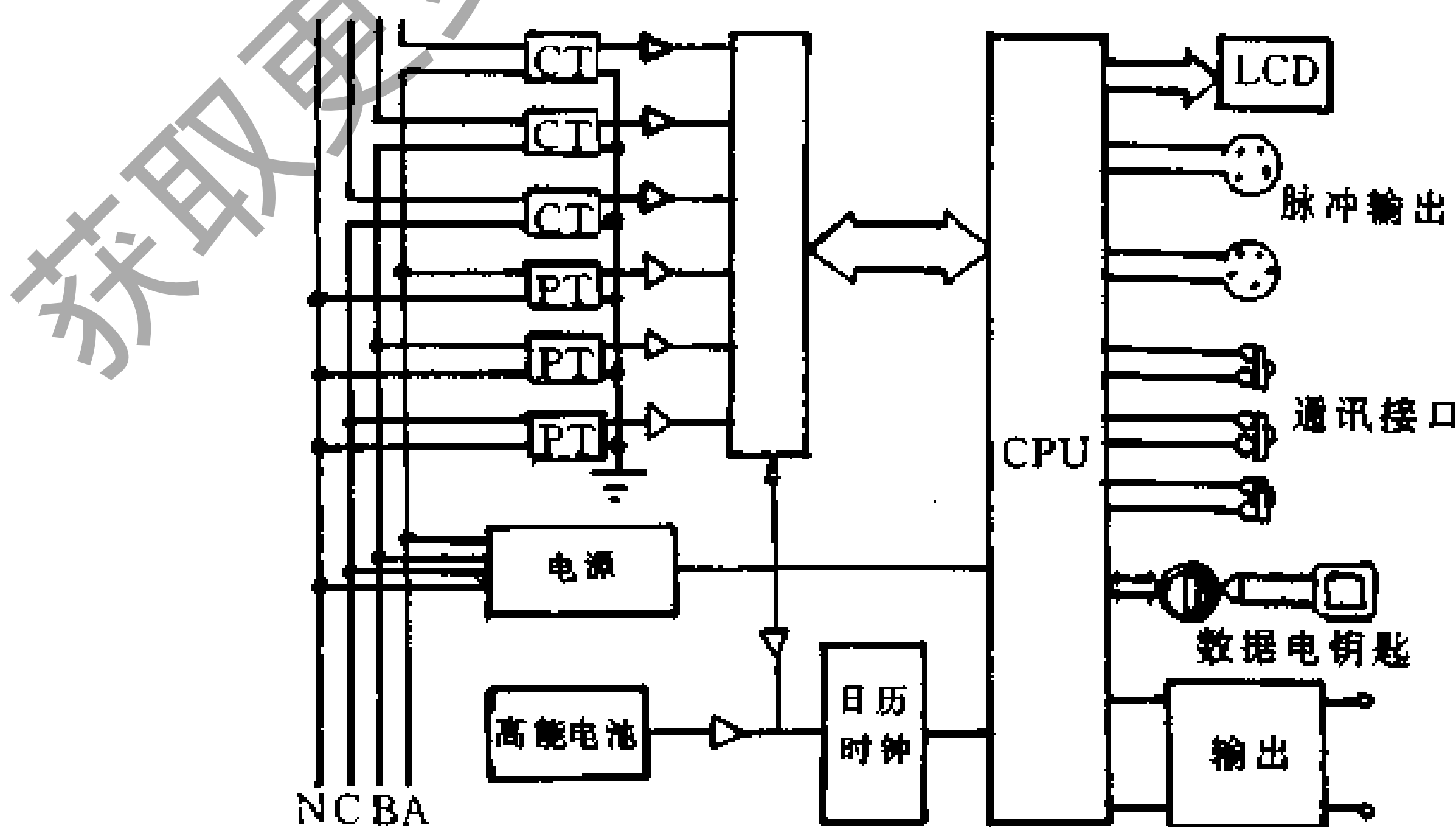
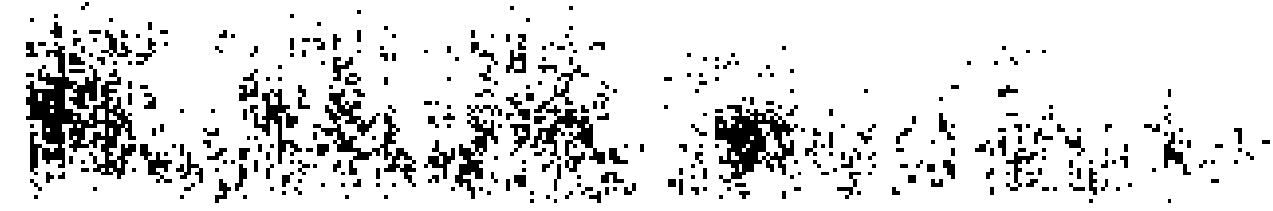


图 7—63 电能表工作原理图

有功电度，无功电度，最大需量，进行时段控制，失压监视等。它还带有 RS232 或 RS485 串行数据通讯接器，通过辅助端子与通讯设备连接实现数据交换，另外还有预置、监控、显示等功能，还可以通过电钥匙进行数据的交换。



万用表是一种多种用途和多量限的综合性电工测量仪表。一般的万用表可以测量直流电流、直流电压、交流电压和直流电阻等电量，而且每一种测量项目都有几个不同的量限。比较好的万用表除上面的测量项目外，还可以测量交流电流、音频功率、音频电平、阻抗、电感、电容，以及晶体管的某些参数等。由于万用表的用途广、使用方便，所以被广泛地应用在工厂、农村、学校和科学研究等部门，成为电工和电讯工作人员必备的检测工具之一。

### 一、万用表的结构

普通万用表的外形，如图 7—64 所示，主要由表头、表盘、转换开关、精密电阻和表笔等部分组成。

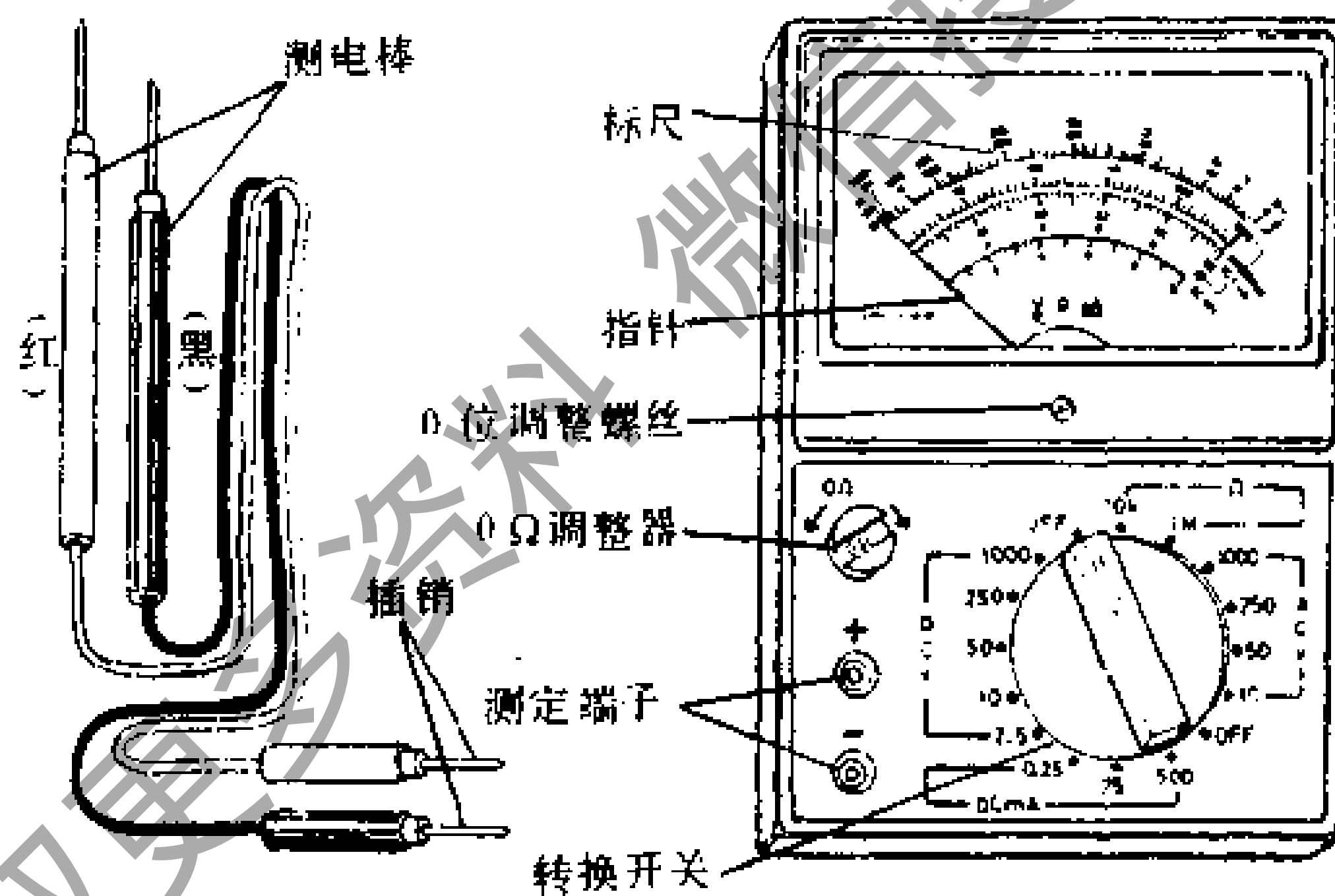


图 7—64 万用表的外形和面板布置图

#### 1. 表头

表头是一只高灵敏度的磁电式电流表（图 7—65）。其工作原理是当直流电通过表头线圈时，线圈便受到磁场力的作用而转动。当转动力矩和上、下两盘游丝的反方向力矩平衡时，指针停止偏转，此时可以在表盘上指出实数。指针偏转角度大小与电流成正比。

说明表头性能的参数有两个。一个是表头的灵敏度，当表头达到满刻度时，表头通过的电流大小叫表头的灵敏度。这个电流值越小，表头灵敏度越高。另一个参数是表头动圈的内阻。

#### 2. 表盘及表面标尺

万用表的各个测量项目都共用一个表盘，如图 7—66 所示。各测量项目及仪表其他

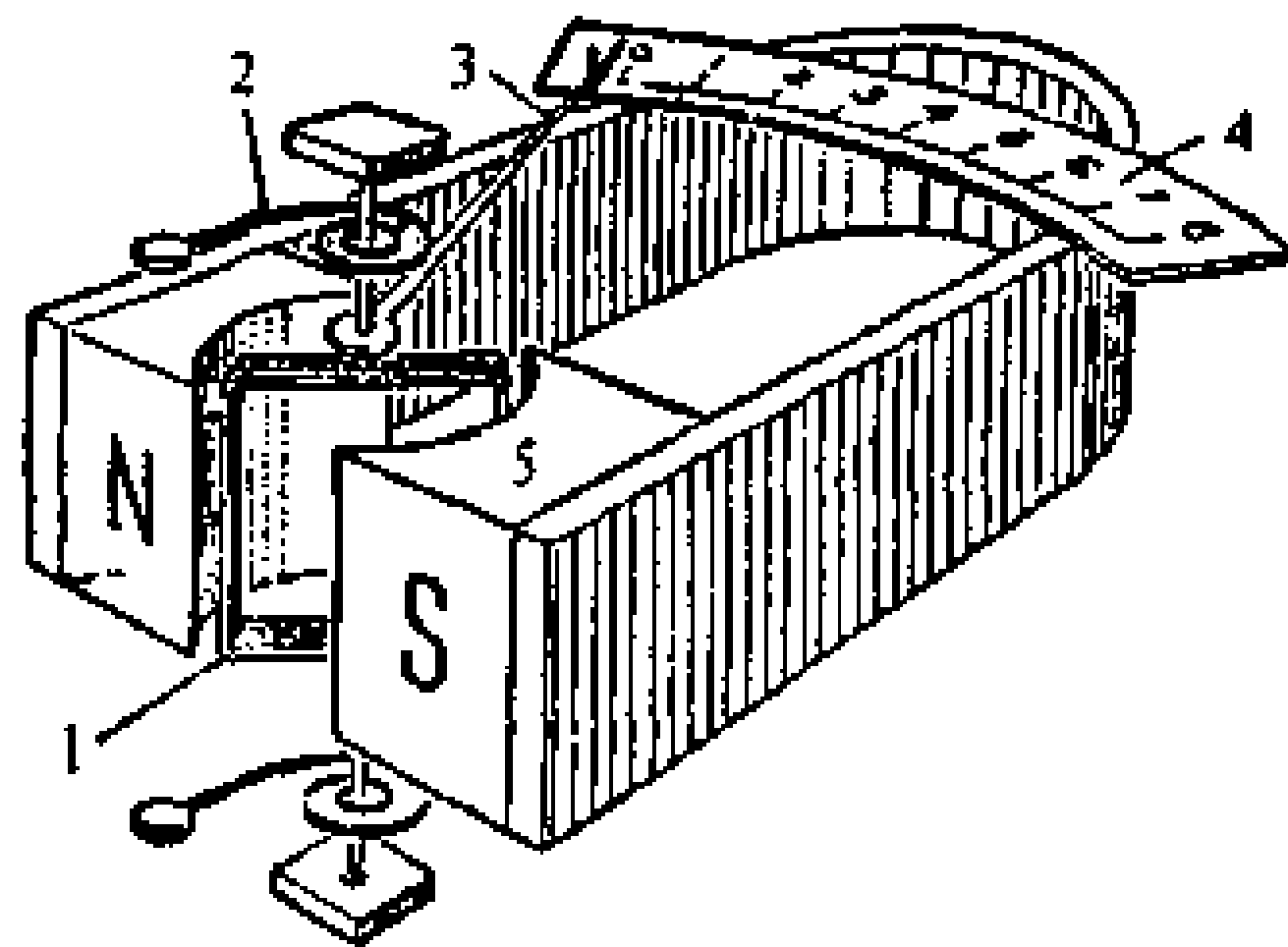


图 7-65 表头结构图

1—线圈 2—游丝 3—指针 4—表盘 5—磁铁

参数均以各种文字和符号表示，其意义见表 7-7、表 7-8。

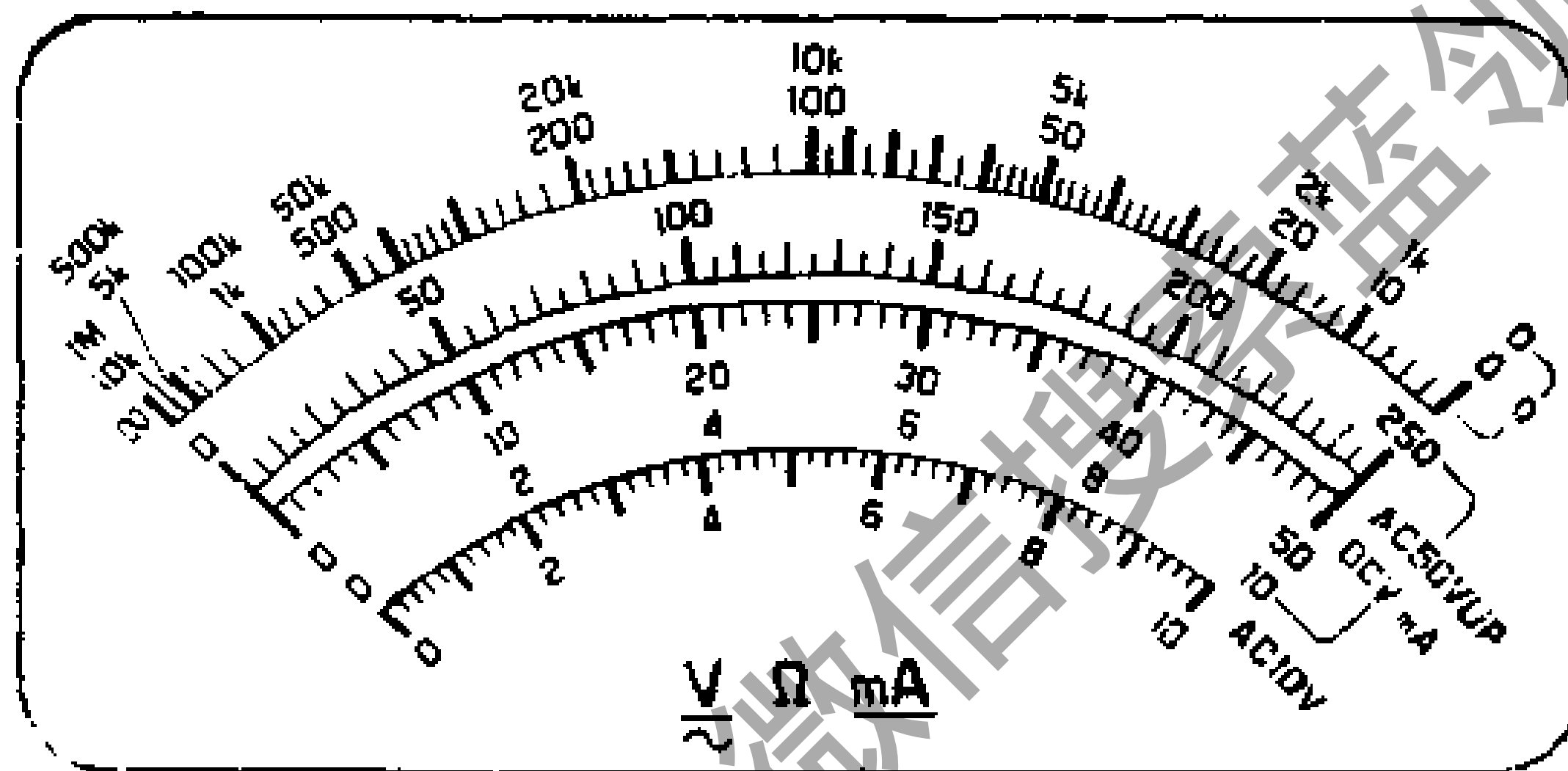


图 7-66 万用电表标度尺示意图

### 3. 调整机构

(1) 转换开关：转换开关是用来选择万用表测量项目和量限（或称量程）的，与表面刻度尺配合使用。目前，大多数万用表只用一只转换开关，这样可以简化操作，减少差错。









表 7-7

测量项目的代表符号

| 测量项目      | 符 号             | 单 位                                                             |
|-----------|-----------------|-----------------------------------------------------------------|
| 电 阻       | "Ω"、"R"、"OHM"   | "R×1"、"R×10"、"R×100"、"R×1k" 表示电阻的倍率，将指针读数乘以所测档的倍率，才是实际电阻值，单位是欧姆 |
| 交流电压      | AC、"V"          | 伏特                                                              |
| 直流电压      | DC、" <u>V</u> " | 伏特                                                              |
| 直流电流      | "mA"            | 毫安                                                              |
| 电 容       | "uF"            | 微法                                                              |
| 电 感       | "mH" 毫亨         | 毫亨                                                              |
| 电 平       | "dB" 分贝         | 分贝                                                              |
| 晶体管直流放大倍数 | "hEF" 倍         | 倍                                                               |

表 7-8

表盘符号及其意义

| 符号                                                                                | 意义     | 符号                                                                                     | 意义                 |
|-----------------------------------------------------------------------------------|--------|----------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
|  | 磁电系仪表  |      | 垂直放置使用             |
|  | 交流     |  2kV | 绝缘试验电压 2kV, 1min   |
|  | 直流     | -2.5                                                                                   | 直流测量准确度等级允许误差 2.5% |
|  | 交、直流两用 | ~4.0                                                                                   | 交流测量准确度等级误差 4%     |
|  | 二级防外磁场 | 20k/V                                                                                  | 直流电压灵敏度            |
|  | 水平放置使用 | 4kΩ/V                                                                                  | 交流电压灵敏度            |

(2) 零位调整器：零位调整器又称零位调整旋钮，在测量电阻前，将红、黑测电棒短路，调整该旋钮，使指针对准“0”位置。

(3) 零位调整螺丝：测量前，调整零位调整螺丝，使指针指示“0”位。

(4) 测电棒：测电棒又称表笔，用绝缘塑料制成。用它来连接电表与测试点，在面板上有两个插孔“+”和“-”（称测定端子）。测量时，红表笔插入“+”孔，黑表笔插入“-”孔。

## 二、万用电表工作原理

图 7-67 是一个简单的万用电表原理接线图。

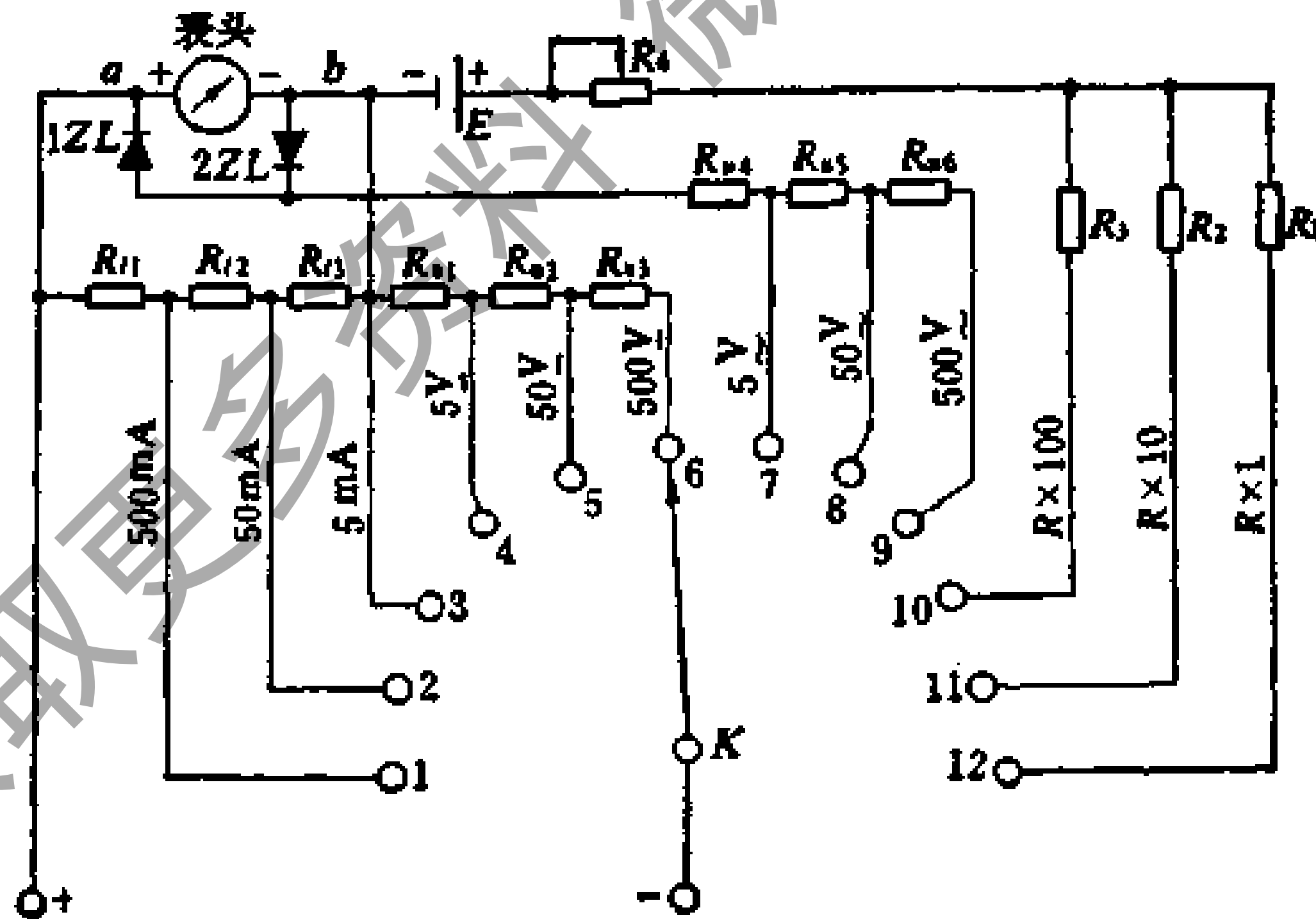


图 7-67 万用电表原理接线图

### 1. 测量直流电流

测量直流电流时，其电路如图 7-68 所示，此时只利用了万用电表电路中的表头和电阻  $R_{11}$ 、 $R_{12}$ 、 $R_{13}$ ，而转换开关  $K$  则使用 1、2、3 位置。图 7-68 中， $R_{11}$ ~ $R_{13}$  是分流电阻，与表头并联，用以扩大直流电流表的量限。当转换开关分别切换到 1、2、3 位置时，就使与表头并联的分流电阻值发生变化。根据表头内阻的具体数值，适当选配分流电阻，就

可得到 5mA、50mA、500mA 的 3 挡测量量限。

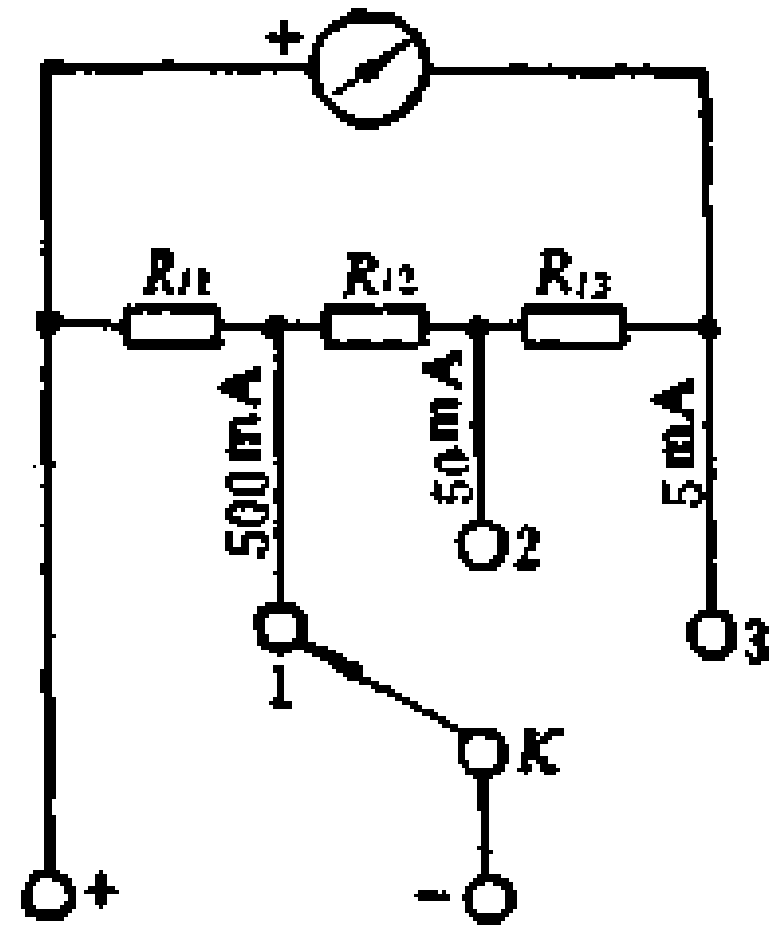


图 7-68 测量直流电流的原理图

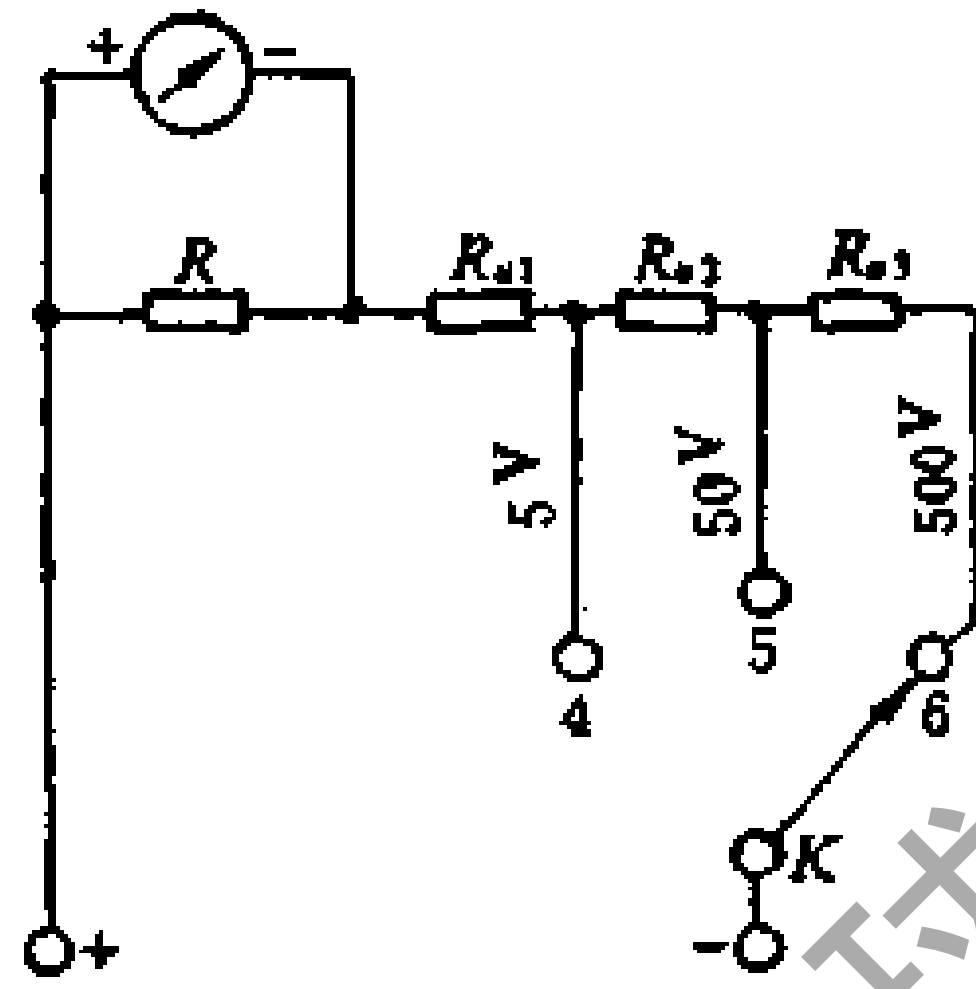


图 7-69 测量直流电压的原理图

## 2. 测量直流电压

测量直流电压时，其电路如图 7-69 所示，分流电阻仍然与表头并联并以  $R$  仪表 ( $R=R_1+R_2+R_3$ )， $R_{a1}$ 、 $R_{a2}$ 、 $R_{a3}$  为附加电阻（或称倍压电阻）。当转换开关  $K$  接通不同接点 4、5、6 时就可改变附加电阻的大小，从而改变电压的量限。这与一般电压表中串联不同数值的附加电阻，来扩大电压量限的原理是一样的。例如，当  $K$  与接点 4 接通时，附加电阻  $R_{a1}$  与表头相串联，这时电压量限为 5V；当  $K$  的动触头与接点 5 接通时，附加电阻  $R_{a1}+R_{a2}$  与表头串联，由于附加电阻增大了，故电压的量限也扩大到 50V。

## 3. 测量交流电压

磁电系测量机构只能测量直流量，为了共用万用表中的表头测量交流电压，必须将被测的交流电压经过整流而变成直流电压。测量交流电压的电路如图 7-70 所示。由图可见，与测量直流电压的电路唯一不同之处，是附加电阻  $R_{a4}$ 、 $R_{a5}$ 、 $R_{a6}$  经过整流器 1~2ZL 才接至表头。

整流器是一种具有单向导电特性的元件，其基本特性是，当电流从后的正向（图中的十端）通入时，它呈现的电阻很小，因而整流器导通，电流通过；当电流从它的负向（即反向）通入时，它呈现很大的电阻，因而没有电流通过。

在图 7-70 中，当将交流电压接至万用表的“+”、“-”端子上时，其正半周的电流从“+”端通入。流至表头  $a$  点时，因  $1ZL$  反向，故电流只通过表头而不经  $1ZL$ 。电流通过表头后达  $b$  点， $2ZL$  是正向，故电流通过，再经附加电阻  $R_{a6}$  等，从“-”端流出；当交流电压在负半周时，电流从“-”端流入，经附加电阻  $R_{a6}$  等，此时  $1ZL$  处于正向，故电流通过  $1ZL$  从“+”流出，表示没

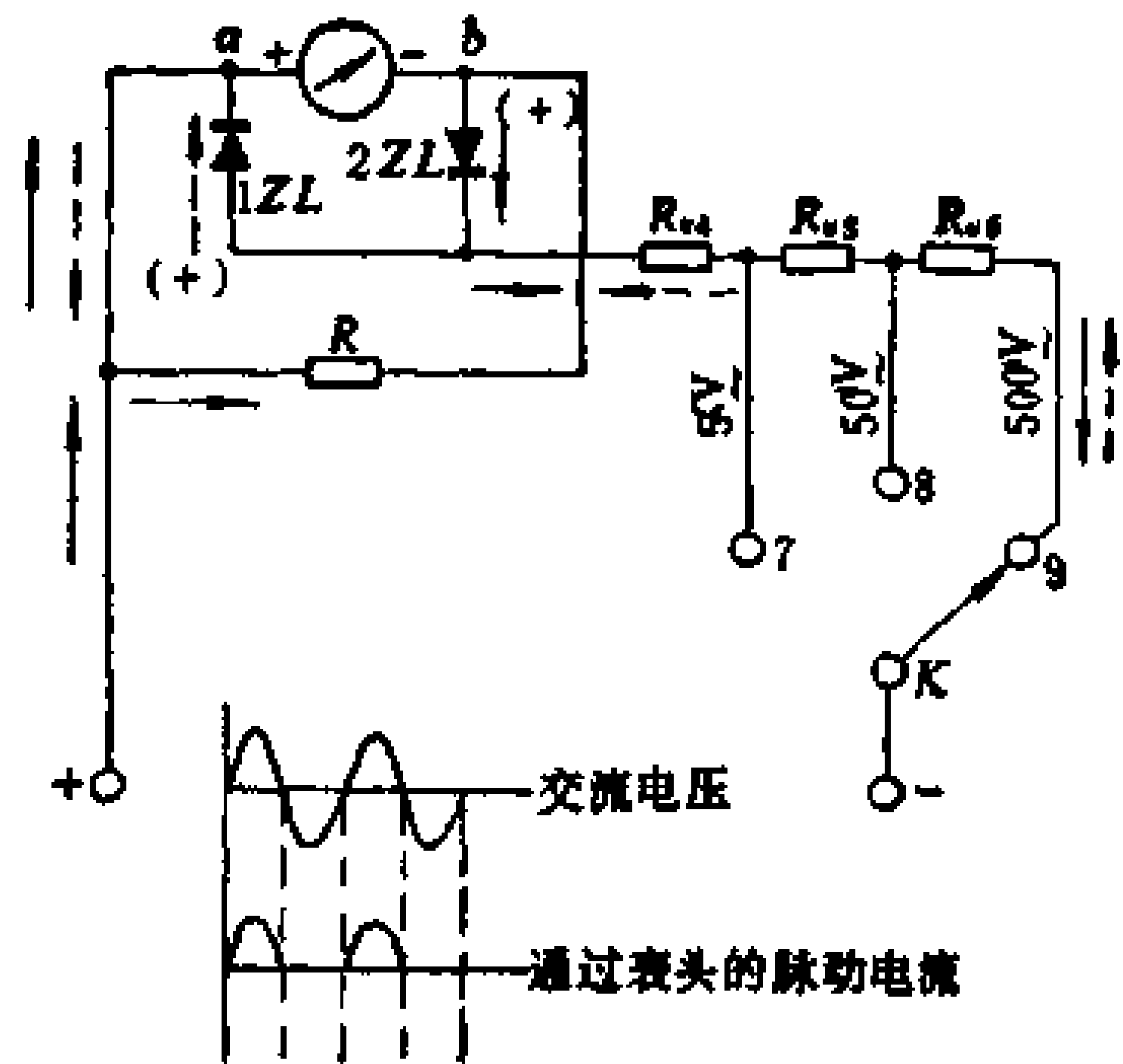


图 7-70 测量交流电压的原理图

有电流通过（此时电流路径如虚线箭头所示）。由此可见，交流电压一个周期内，只在正半周时有电流通过表头，负半周时无电流通过表头，即表头测量的是单向脉冲电流的平均值。此平均值与交流电压有效值成正比，因此可以测量交流电压的有效值。当转换开关  $K$  切换至 7、8、9 位置时，就可以得到 3 挡不同量程。

#### 4. 测量电阻

测量电阻的电路如图 7—71 所示。它利用了表内部的干电池和电阻  $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$ ，以及  $R_4$  的部分阻值，组成一个简单的欧姆表电路。对于一块已制成的万用表来说， $E$ （干电池的电动势）、 $R_0$ （表头内阻）、 $R$ （环形分流器的点阻值， $R=R_1+R_2+R_3$ ）、 $R_1\sim R_4$  均已确定，唯有被测电阻  $R_x$  是变化的， $R_x$  的变化引起电流的变化。从而使指针的偏转角发生变化，故指针的偏转角的大小，即代表  $R_x$  的大小。转换开关  $K$  切换在 10、11、12 位置，即可得到 3 个不同的量程。

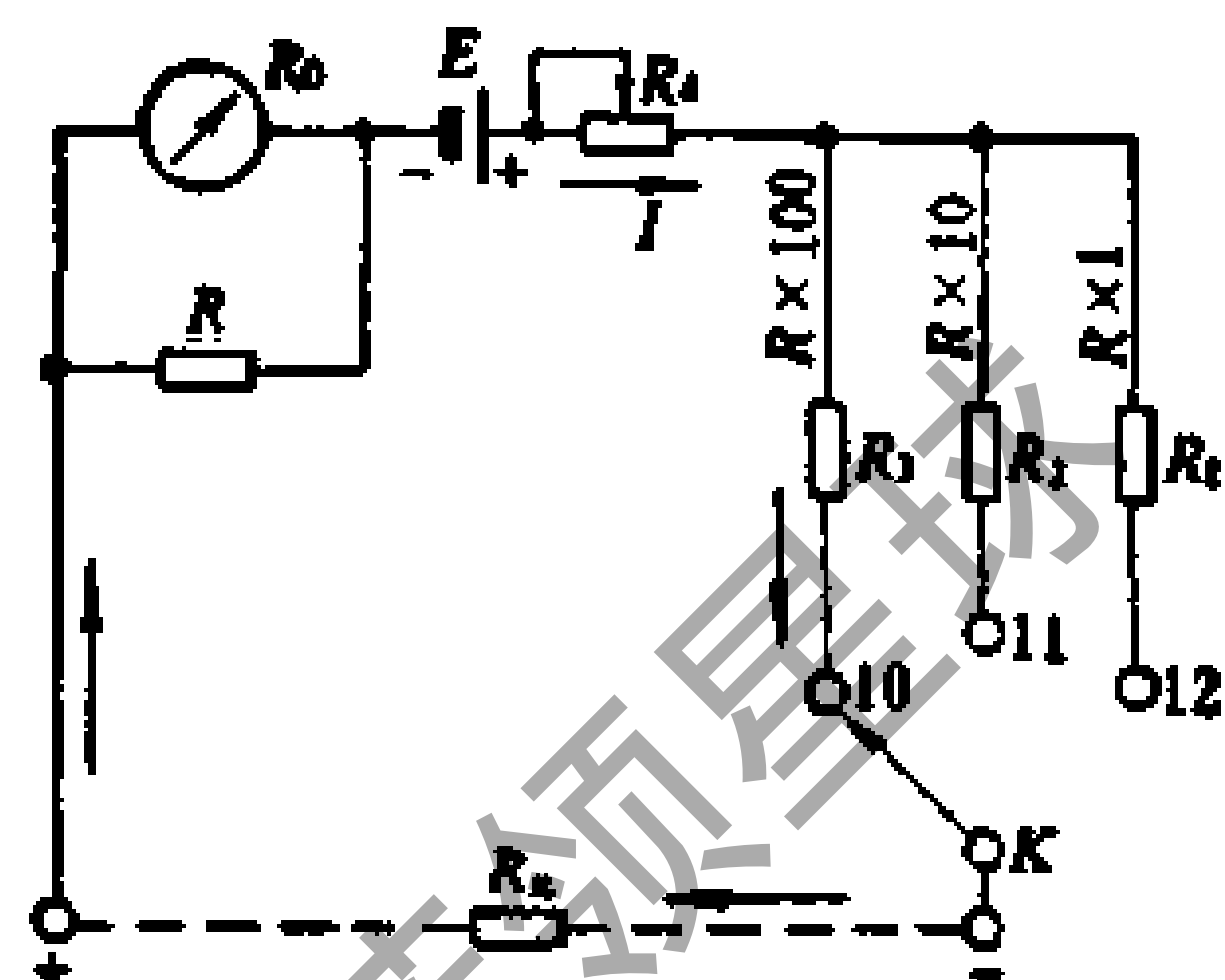


图 7—71 测量电阻的原理图

当被测电阻  $R_x=0$  时（即将测电棒短接），则通过仪表回路的电流为最大。调整电阻  $R_4$  使指针偏转到标尺的最右端，这一点就是电阻刻度的“0”位；当电路开路时，此时电路中的电流为零，相当于  $R_x$  为无穷大，指针不偏转，故在电流、电压刻度的 0 处（标尺的最左端）是电阻刻度的  $\infty$  值；当被测电阻  $R_x$  与欧姆表的点内阻值相等时，通过表头的电流为通过表头最大电流的一半。此时指针指在电阻标尺的正中位置，其值便是欧姆表的中值电阻，中值电阻随切换开关  $K$  切换的不同挡值（10、11、12）而变化。了解某挡的中值电阻，可以准确地读出被测电阻  $R_x$  的数值。

### 三、万用表的使用

万用表的使用如图 7—72 所示。

#### 1. 0Ω调整

通常，在万用表使用前，要把红表笔插入“+”插孔，黑表笔插入“-”插孔（或公用头插孔），然后将红、黑表笔短接，检查指针是否指在标度线零位，如图 7—72 (a) 所示。如有偏移可以用改锥（螺丝刀）旋动表头下边的调零螺丝进行调整。

#### 2. 电阻的测量

在测量电阻值前，首先将万用表的转换开关转到适当量程的欧姆挡，再将表笔短路，进行 0Ω 调整，然后才能进行测量。每

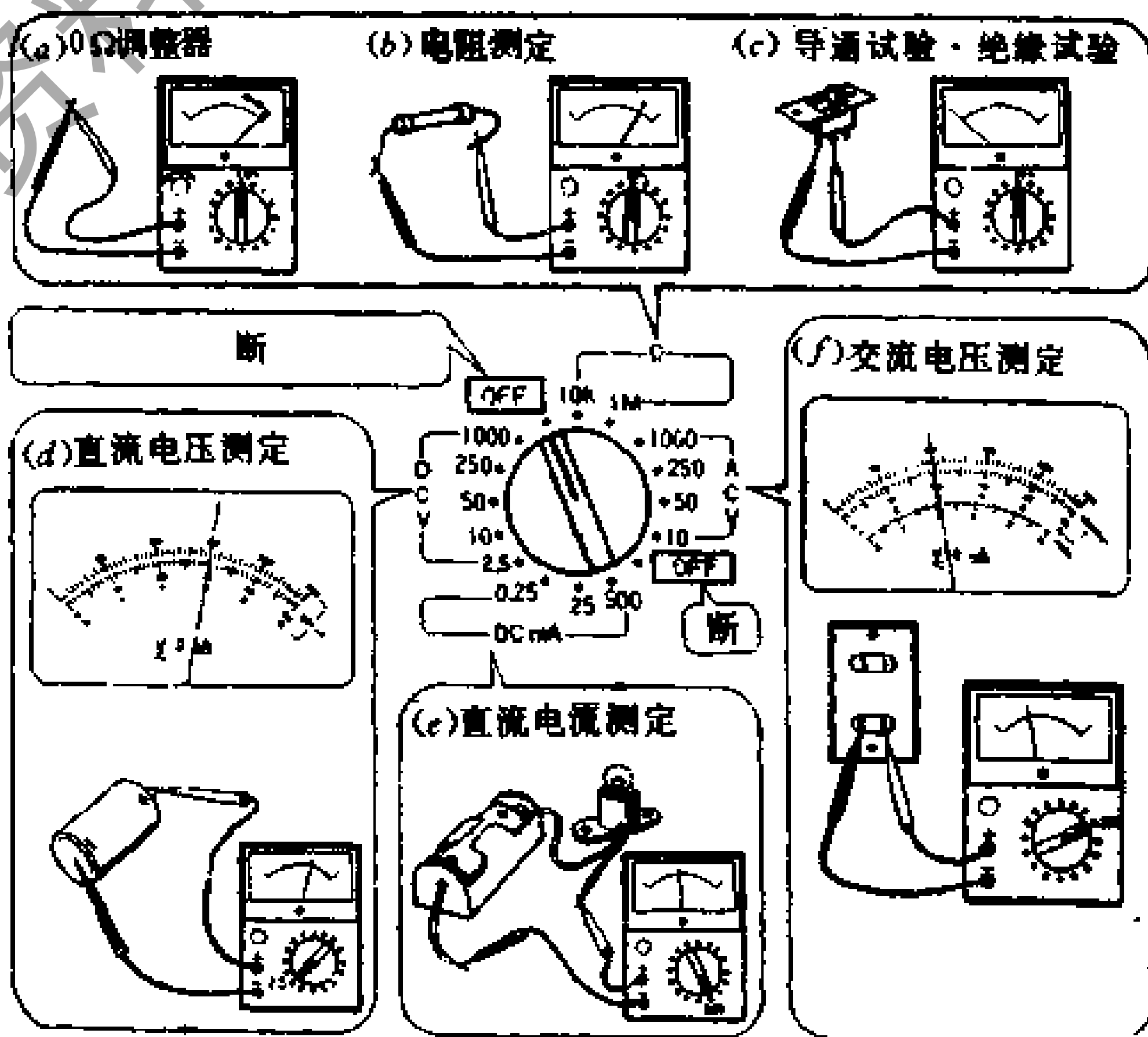


图 7—72 万用表的使用方法



次变换量程，如从  $R \times 1$  挡换至  $R \times 10$  或其他挡后，都必须重新调“0”后再使用。测量电阻时应注意以下几点：

(1) 被测量的电阻必须从电路中焊下来（至少要焊开一个头），以免电路中其他元件对测试产生误差。测试电阻值时应按图 7—72 (b) 所示进行。

(2) 由于人体具有一定的电阻，测试时手不要触及表笔和电阻的导电部分，即不要用图 7—73 所示方法测试，以免影响读数的精确性。

(3) 根据被测电阻所标注的阻值的大小来选择量程，使其万用表指针尽可能落在刻度线的中间位置，以提高读数的准确性。

(4) 万用表的读数与电阻上所标注的阻值应符合。如果不相符，超出电阻值规定的误差范围，则说明该电阻已短路。如果是  $\infty$  值，则表示电阻断路，不能再使用。

另外，当检查元件是否导通或绝缘是否良好时，可按图 7—72 (c) 进行。

### 3. 直流电压的测量

测量直流电压的方法是，先把转换开关拨到 DCV（或“V”）挡的适当量程上（在不知测量对象大小范围时，应选择最大量程进行测试），使正表笔（红）接电压“+”端，负表笔（黑）接电压“-”端，在表盘“DC”或“-”标度尺上读出读数。接反了表针会反摆，容易损坏表头。

### 4. 直流电流的测量

将转换开关拨到 DCmA（或 Am）挡的适当量程。测量时要把万用表串联在电路中，电流的红表笔（+）流入，从黑表笔（-）流出，如图 7—72 (e) 所示。接反了则表针反摆，容量使表头损坏。

### 5. 交流电压的测量

将转换开关拨到 ACV（或 V）挡的合适量程上。表笔可以不分正负。在表盘“AC”或“~”的标尺上读出读数，该读数是交流电压的有效值。有许多表盘在交流电压高量程与直流电压挡共用一条标尺，而在交流 AC10V（或 10V）这一挡单独设一条标尺。

### 6. 万用表不使用时转换开关的停放设置

测量完毕后，应将转换开关拨至“OFF”（断）处。如果万用表无 OFF 位置，不要将转换开关放在“ $\Omega$ ”挡，而应放在电压挡。这样可以避免万用表在不使用时，因两个测电棒相碰而无端消耗表内的电池，还可以防止下次使用万用表时，因忘记切换转换开关而烧坏万用表。

## 四、万用表的维护方法

万用表应保存在干燥的地方，避免因受潮而引起零件变质、损坏，或失去精确度。切忌把万用表放在有强磁场的地方，以免表头中的永久磁铁退磁而降低测量精度。因表头机构较为精密，使用时要轻拿轻放，避免剧烈震动。万用表的测电棒应完整无损，以免绝缘不良，漏电伤人。万用表长时间不用时，应将电池取出，以免电池锌皮腐烂，药液流出，损坏电路元件。

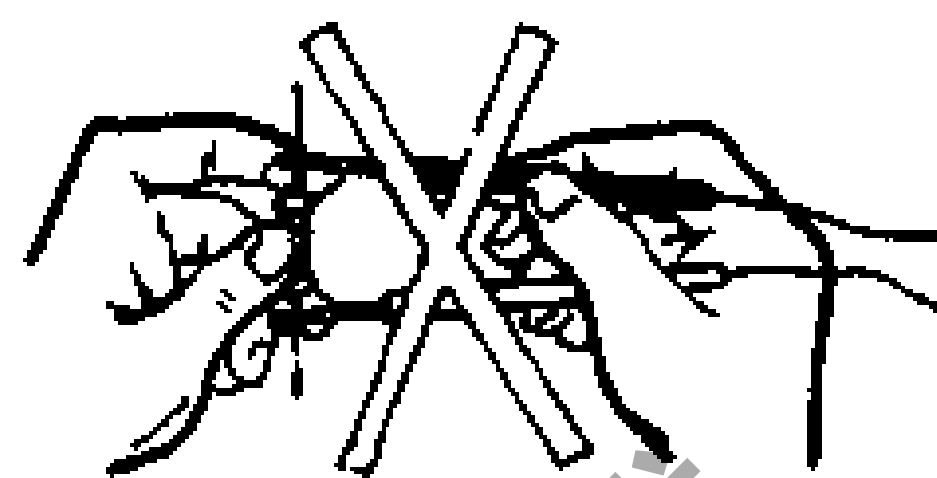


图 7—73 测量电阻的错误方法

## 五、数字万用表

随着现代科学技术的发展，尤其是集成电路的发展，出现了以大规模集成电路、双积分 A/D 转换器为核心的数字万用表。数字万用表以其性能稳定、读数清晰、表达直接等优点，正在被广泛的推广使用。

比较先进的 DT99 系列大屏幕数字万用表，外形如图 7—74 所示。这一系列的数字万用表具有大规模集成电路、双积分 A/D 转换器为核心，具有自动校零、自动极性选择、超量程指示、功能字符及量纲显示等优点，使显示更直观，能更有效地避免误操作。新型的背先流及精心设计的表笔灯，便于在弱光条件下更加安全地使用。液晶显示屏采用高反差 65mm×40mm 大字幕，字高可达 23mm。它还具有自动关机功能，使仪表开机之后约 15min 会自动切断电流，可防止仪表使用完毕后忘关电流。其全量程过载保护，在使用过程中只要不超过规定的极限值，即使出现误操作，一般也不会损坏表内的大规模集成电路。

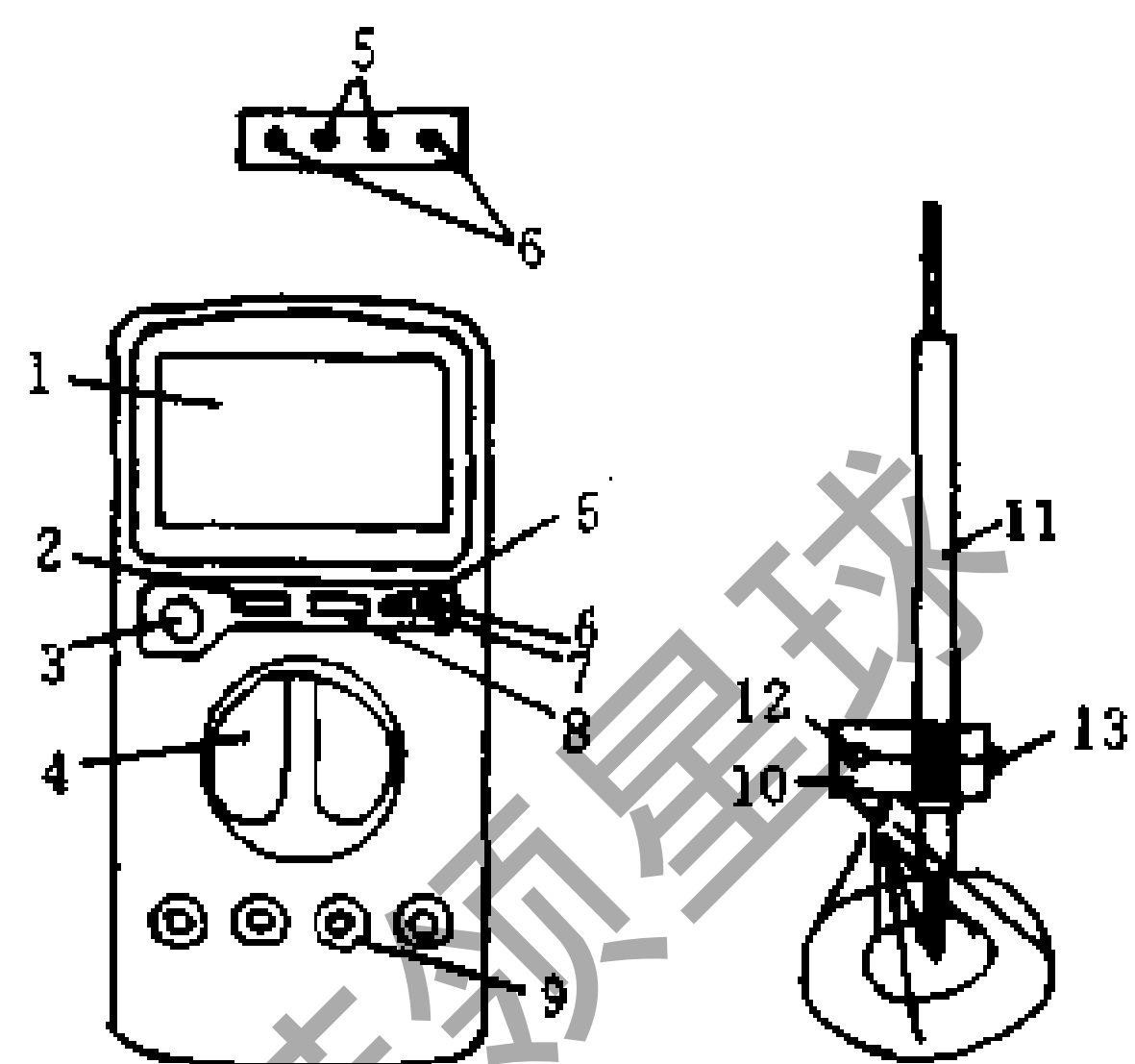


图 7—74 DT99 系列数字万用表

在使用 DT99 系列数字万用表前，应首先检查 9V 电池，将电流开关 (POWER) 按下，如果显示屏显示符号，则表示电池不足，需换电池再使用。在使用数字万用表测量直流电压、交流电压、电阻，二极管测量，通断连续测试时，都是将黑笔插入 COM 插孔，红表笔插入 VΩ (Hz) 插孔，将功能/量程开关置于相应的量程就可以测量，红表笔所接端为内电流的正端。在测量时数字万用表还可以显示极性，在测量直流电流、交流电流时，将黑表笔插入 COM 插孔。当被测电流在 200mA 以下时，红表笔插入 A 插孔。如被测电流为 200mA~10A 时，则将红表笔插入 10A 插孔。然后将功能/量程开关置于相应的量程，测试笔串入被测电路中就可以测量。在显示电流读数的同时，还会显示出红表笔的极性。电容测量时将功能/量程开关置于 CAP 量程范围，把被测电容连到电容输入插口就可以测量了。在测量频率时，将黑表笔插入 COM 插孔，红表笔插入 VΩ (Hz) 插孔；将功能/量程开关置于 FREQ 量程，并将测试笔连接到效率源上测量。在测量温度时，将功能/量程开关置于 ℃ 挡上，并将热电偶传感器的冷端（自由端）插入温度测试插口中，热电偶的工作端（测温端）置于待测物上面或内部，其测量图如图 7—75 所示。温度值可以直接从显示器上读取，读数的单位为 ℃。

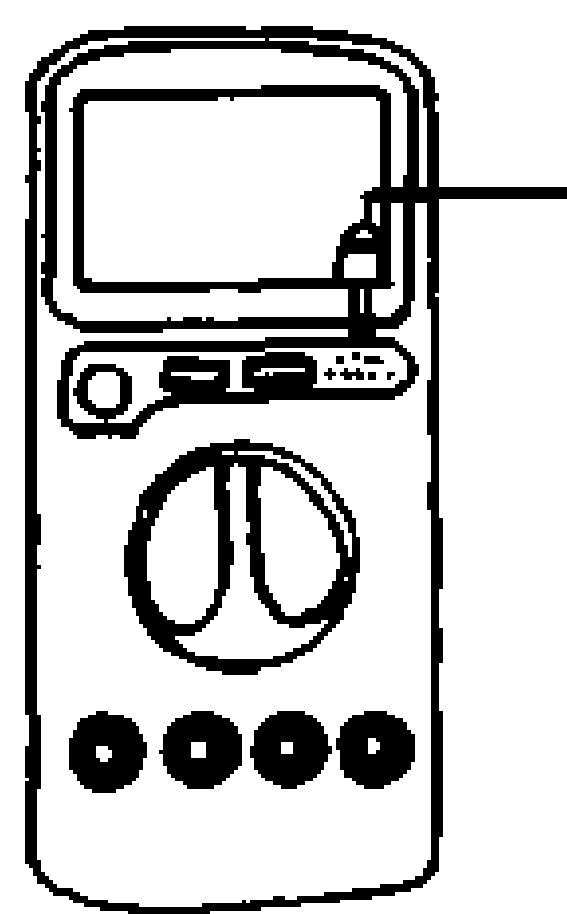


图 7—75 温度测试图

## 第 8 节 兆欧表

兆欧表又叫绝缘摇表，俗称摇表，是一种测量电气设备及电路绝缘电阻的仪表，其外形如图 7—76 所示。因为它的标尺刻度以兆欧 ( $1\text{M}\Omega=10^6\Omega$ ) 为单位，故称为兆欧表。

兆欧表是从事电气工作常用的检测工具之一。

### 一、兆欧表的基本结构

兆欧表主要由永磁式手摇直流发电机和磁电系统比计（比率计）测量机构组成。手摇发电机作为仪表的测量电流用，它可以产生 500~2500V 的直流高压，以满足测量绝缘电阻的需要。磁电系统比计是一种特殊形式的磁电系测量机构，其基本结构如图 7-77 所示。它由固定部分由永久磁铁、极掌和开口环形铁心组成。极掌形状特殊，是为了使极掌和铁心之间的空气隙不均匀，从而使空气隙内磁场分布不均匀。可动部分由两个互成一定角度的活动线圈 1 和 2 组成，线圈和指针都固定在同一转轴上。这种测量机构内设有产生反抗力矩的“游丝”，电流是利用柔软的细金属丝（弹性很小）引入线圈的。

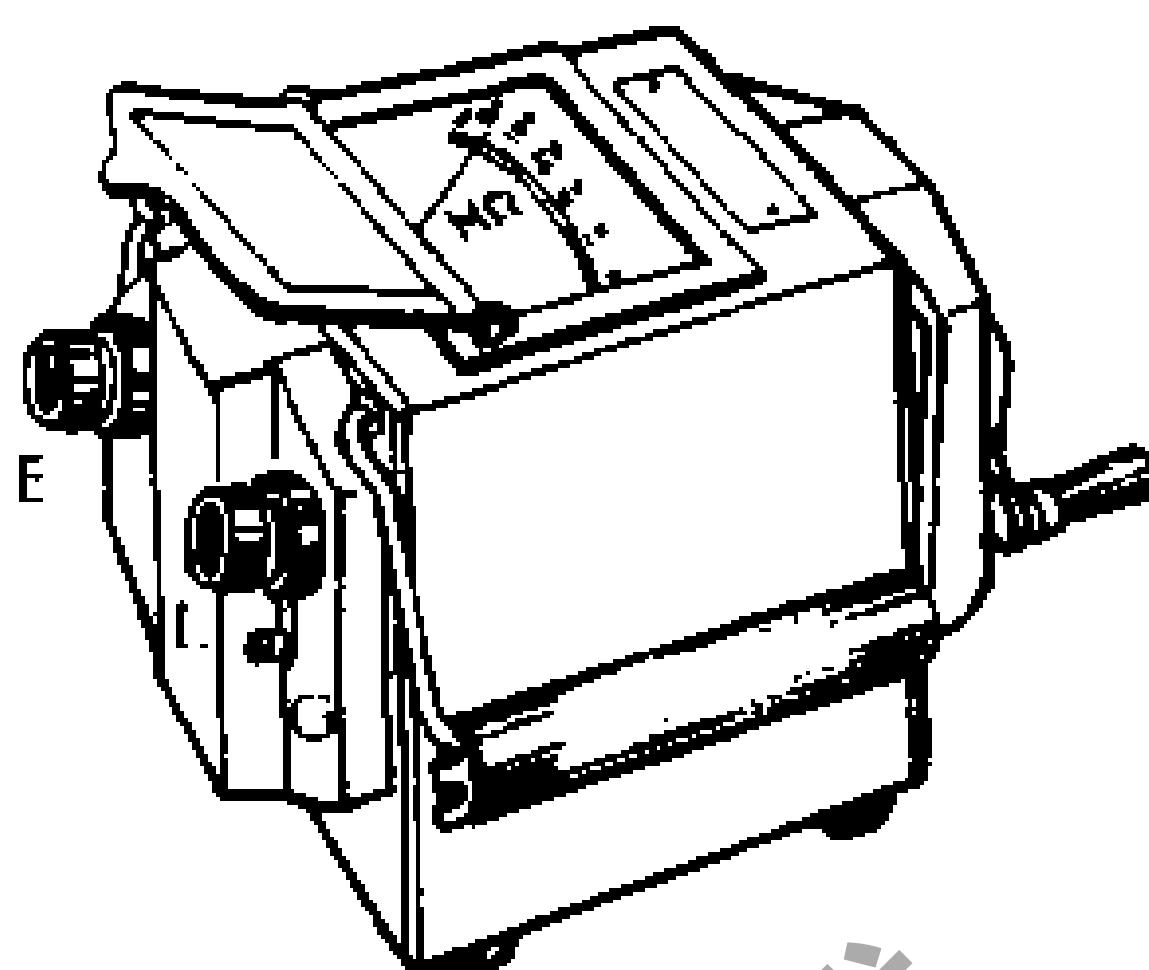


图 7-76 兆欧表的外形图

### 二、兆欧表的工作原理

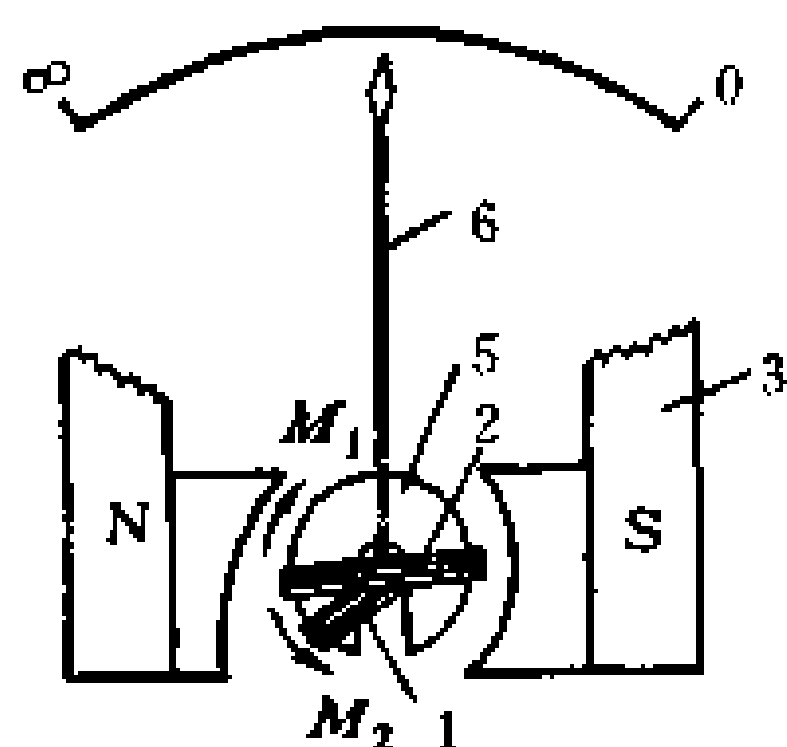


图 7-77 磁电系统比计测量机构示意图

1、2—动圈 3—永久磁铁  
4—极掌 5—开口环形铁心 6—指针

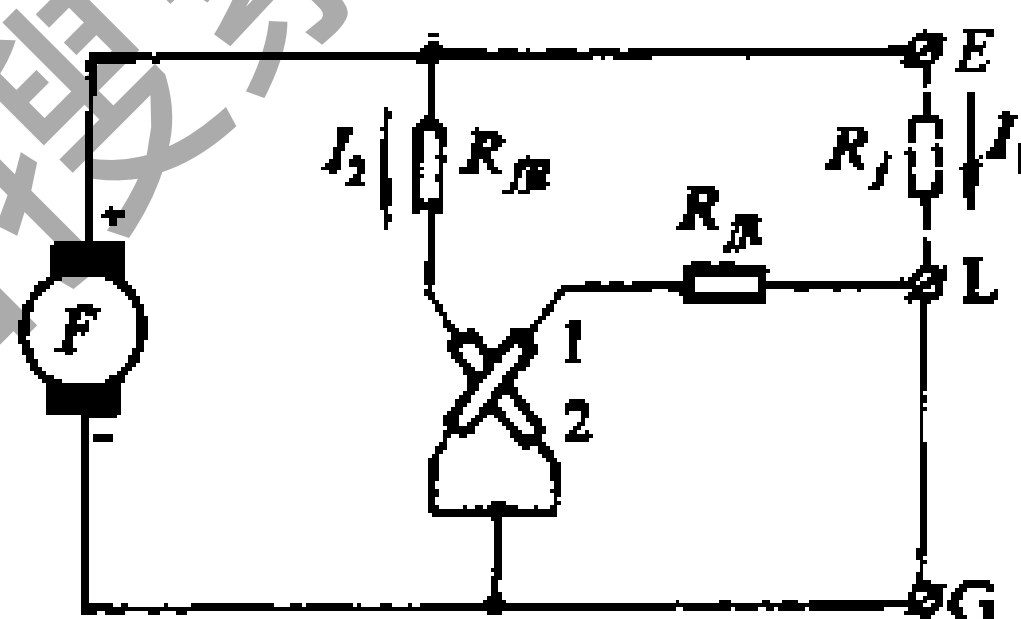


图 7-78 兆欧表的原理接线图

1、2—可动线圈  $R_j$ —绝缘电阻  
 $R_{f1}$ —附加电阻

图 7-78 为兆欧表的原理接线图。被测绝缘电阻  $R_j$  接于端钮 L（线）和 E（地）之间， $R_j$  与可动线圈 1 以及附加电阻  $R_{f1}$  串联构成一条支路。转动手摇发电机，则在两条支路中分别通过电流  $I_1$  和  $I_2$ 。

$$I_1 = \frac{U}{R_{f1} + R_{j1} + R_1}$$

$$I_2 = \frac{U}{R_{f2} + R_2}$$

式中： $U$  为发电机端电压； $R_1$ 、 $R_2$  可动线圈和 2 本身的电阻。

可动线圈 1、2 在永久磁铁的磁场中受到电磁力的作用，将分别产生转矩  $M_1$  和  $M_2$ ，它们的方向相反。由于气隙中磁场不均匀，而且电流  $I_1$  与被测绝缘电阻  $R_j$  的大小有关，所以当  $M_1$  和  $M_2$  达到平衡时，指针偏转的角度可以指示出被测绝缘电阻的数值。

### 三、兆欧表的使用方法及注意事项

#### 1. 兆欧表的分类

兆欧表的型式很多，但按照电压等级，常用的兆欧表有 500V、1000V 和 2500V 3 种规格。一般测量低压电气设备的绝缘电阻时，由于它内部绝缘所能承受的电压不高，为了设备的安全，应使用 500V 电压等级的兆欧表；经常使用 1000V 或 2500V 电压的兆欧表进行测量，则由于电压过高有可能造成设备绝缘被击穿。测量额定电压为 500V 以上的电气设备的绝缘电阻时，应选用 1000V 或 2500V 电压等级的兆欧表，若使用 500V 电压等级的兆欧表进行测量，会因为电压偏低而影响测量的准确性。

## 2. 放电

测量带电设备的绝缘电阻之前，必须断开被测设备的电流，并进行短路接地放电。放电的目的是为了保证人身和设备的安全及获得正确的测量结果。

## 3. 兆欧表接线端钮的使用

兆欧表有 3 个接线端钮，其中 L 表示“线”，E 表示“地”，G 表示保护环（即屏蔽接线端钮）。保护环 G 是为了避免被设备表面漏电影响测量结果，经常用于测量电缆的绝缘电阻或遇天气潮湿时测其他电气设备的场合。

测量线路对地绝缘电阻时，兆欧表接线端钮 L 接线路的导线，接地端钮 E 接地，如图 7—79 所示。

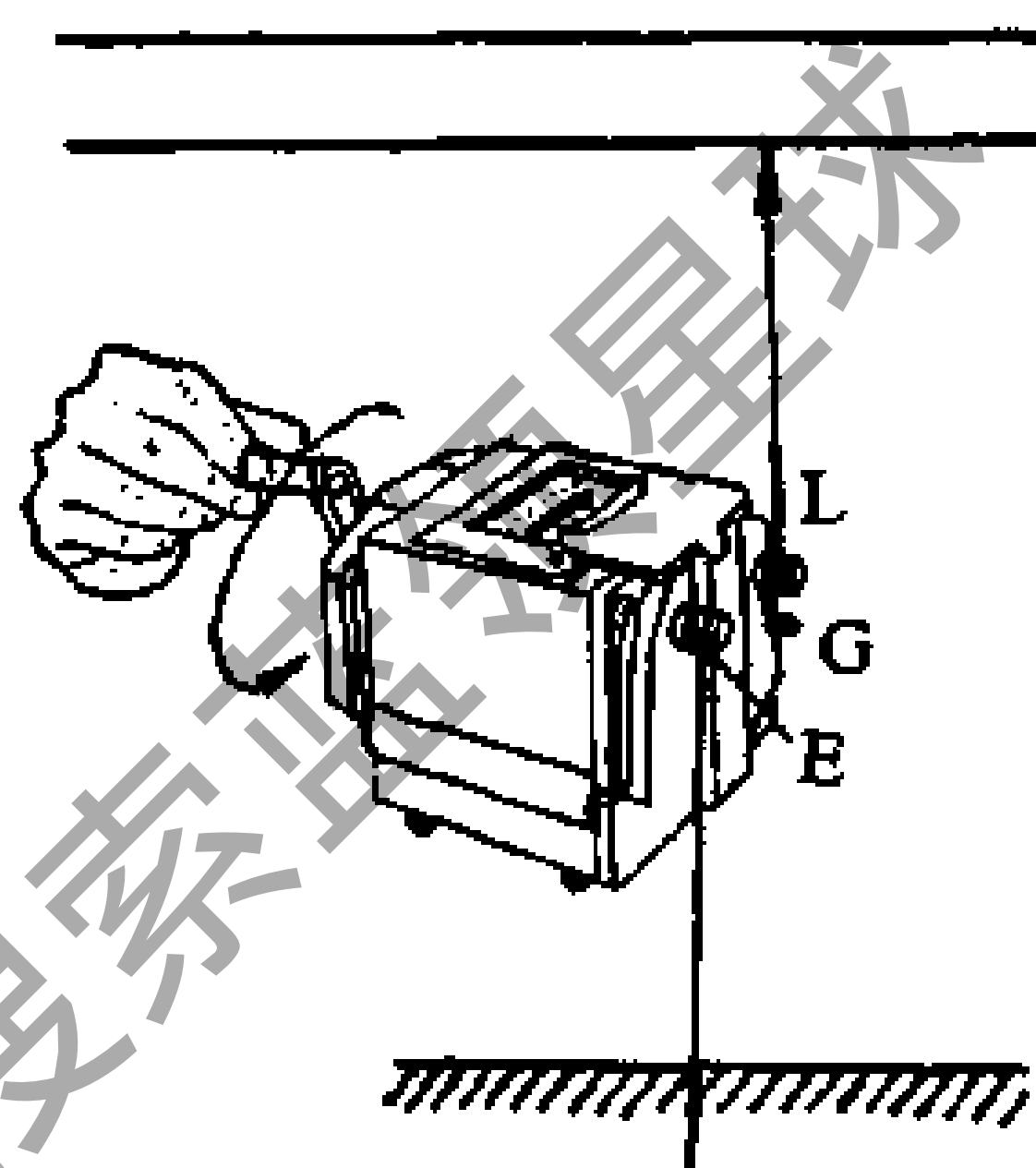


图 7—79 测量线路对地的绝缘电阻

测量电动机绕组对地的绝缘电阻时，兆欧表接线端钮 L 与绕组导线连接，端钮 E 接电动机外壳，如图 7—80 所示。

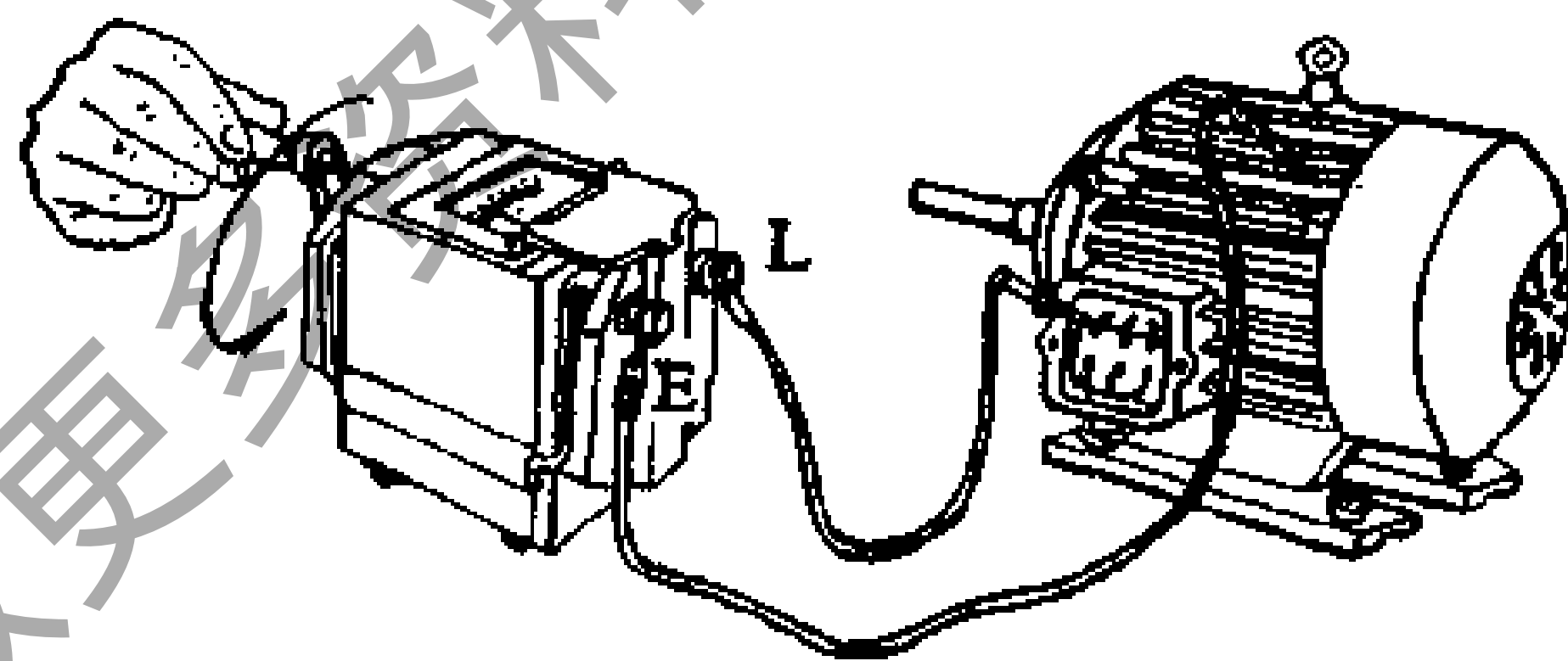


图 7—80 测量电动机绕组对地绝缘电阻示意图

测量电动机、电器的相间绝缘电阻时，L 端钮和 E 端钮分别与两部分导体相接，如图 7—81 所示。

测量电缆的对地绝缘电阻时，L 接电缆心线，E 接电缆表皮，G 接绝缘层，如图 7—82 所示。

其他电气设备的接线，可参照这些设备的接线类推。

## 4. 兆欧表与被测物的连接

兆欧表与被测物之间的连接导线必须使用绝缘良好的单根导线。不能使用双股绞线，一根接 L，一根接 E。应特别注意的是，与 L 端连接的导线一定要对大地具有良好的绝缘。因为这一根导线的绝缘电阻是与被测物的绝缘电阻相并联的，它对测量结果影响很大。

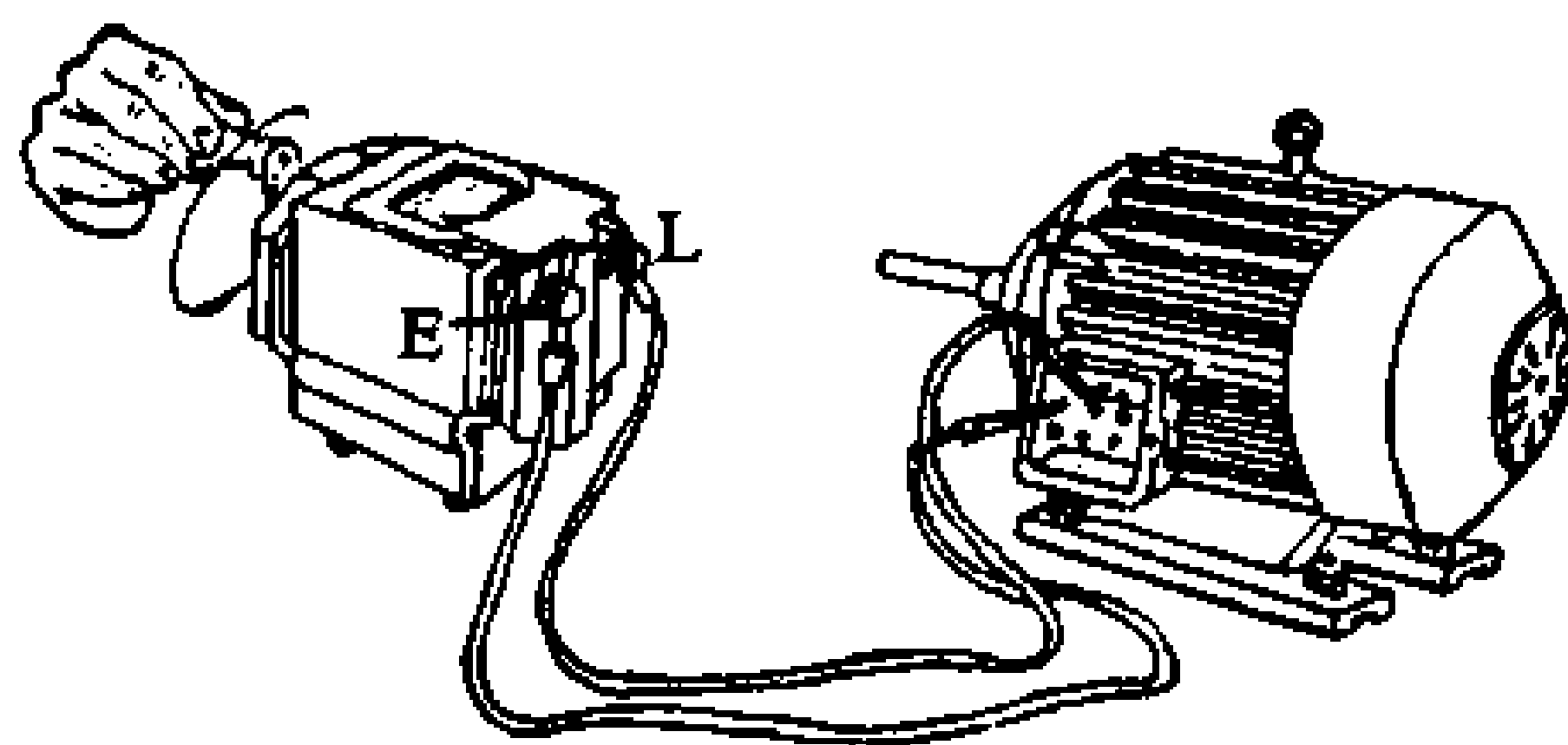


图 7—81 测量电动机相间绝缘电阻示意图

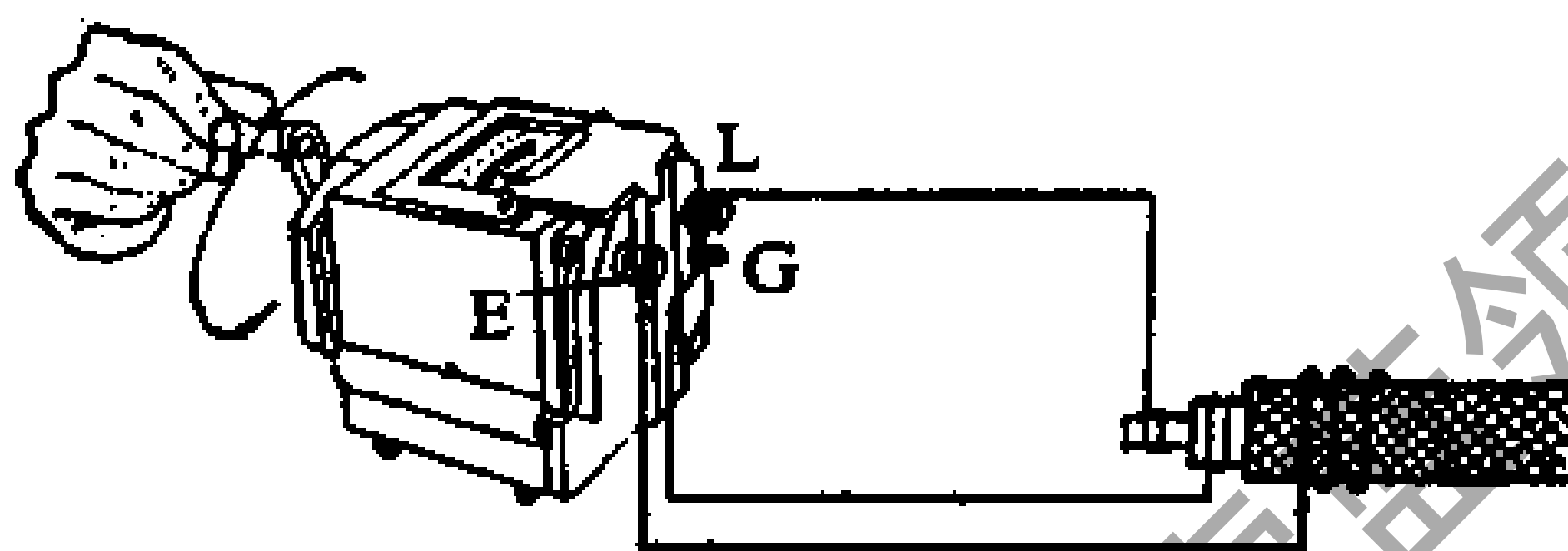


图 7—82 测量电缆对地绝缘电阻示意图

#### 5. 用兆欧表测量电气设备的绝缘电阻

(1) 兆欧表放置应平稳，避免表身晃动。

(2) 在未测绝缘电阻前，接上兆欧表的两表棒（不要互相绞并在一起），先把两表棒接触，手柄摇几转，试看表针是否指到 0 位；接着分开两表棒，再摇几转，试看表针是否指到  $\infty$  位，校试好兆欧表的 0 位和  $\infty$  位后，即可进行测量（图 7—83）。

(3) 手摇发电机的转速以 120r/min 左右为宜，切忌忽快忽慢。

(4) 绝缘电阻随测量时间的长短而不同，一般以发电机稳定转速下持续摇 1min 之后的读数为准。

(5) 测量时，如果发现被测设备的绝缘电阻等于零，应立即停止摇动手柄，以免损坏兆欧表。

(6) 在兆欧表没有停止摇动和设备没有对地放电之前，切勿触及测量部分和兆欧表的接线端钮，以免触电。

(7) 测量完毕后，应将被测设备对地放电。

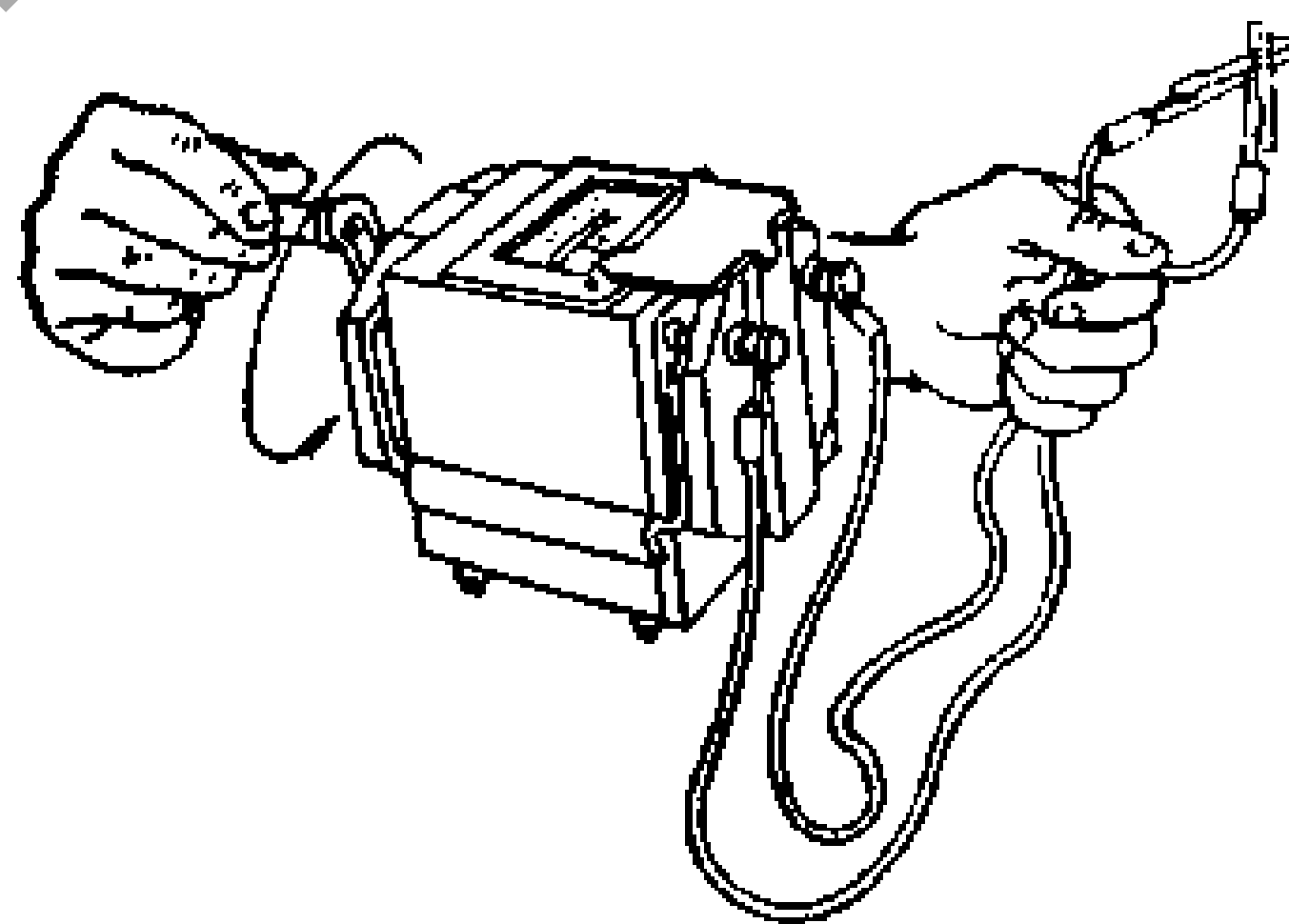


图 7—83 兆欧表的校试方法

## 第8章 安全用电

随着我国工、农业生产的发展，人民生活水平逐步提高，用电范围日益扩大。特别是各类家用电器的不断增长，人们使用和接触电气设备及用电器具的机会越来越多。为了防止触电事故的发生，除加强对电气设备的管理维护外，还必须进行用电安全知识的普及教育，使电力更好地为四个现代化和人民生活服务。

### 第1节 触电形式

在意外的情况下，人体与带电部分相接触而有电流通过人体，或者有较大的电弧烧到人体，称为触电。前者称为电击，后者称为电烧伤。

电击多发生在对地电压为 220V 的低压线路或带电设备上，因为这些带电体是人们日常工作和生活中易于接触的部分。当电流通过人体时，轻者使人体肌肉痉挛，产生麻电感觉；重者会造成呼吸困难，心脏麻痹，甚至死亡。

电烧伤多发生在高压带电体上，人体若接触 1kV 及 1kV 以上的高压带电体后，很大的电流所产生的热效应、化学效应、机械效应，使人体皮肤受到灼伤，严重时还会使内脏受到灼伤，也可能导致死亡。

低压电气设备多而且分散，维护管理比较困难，容易发生低压触电。低压触电的形式有单相触电、两相触电、跨步电压和接触电压触电 3 种情况。

#### 一、单相触电

在触电事故中，约 95% 属于单相触电。

人体触及三相导线中的任意一根相线时，电流就从接触相经过人体流入大地，这种情形称为单相触电（或称单线触电），如图 8—1 所示。

因为 380/220V 的低压电网有中性点接地和中性点不接地两种，所以单相触电也有两种情况：

##### 1. 中性点接地电网的单相触电

在中性点直接接地的电网中，发生单相触电的情形，如图 8—2 所示。这时触电人处于电网相电压之下，即人体承受 220V 的相电压，电流经相线、人体、大地和中性点接地装置而形成通路，触电的后果往往很严重。

##### 2. 中性点不接地电网的单相触电

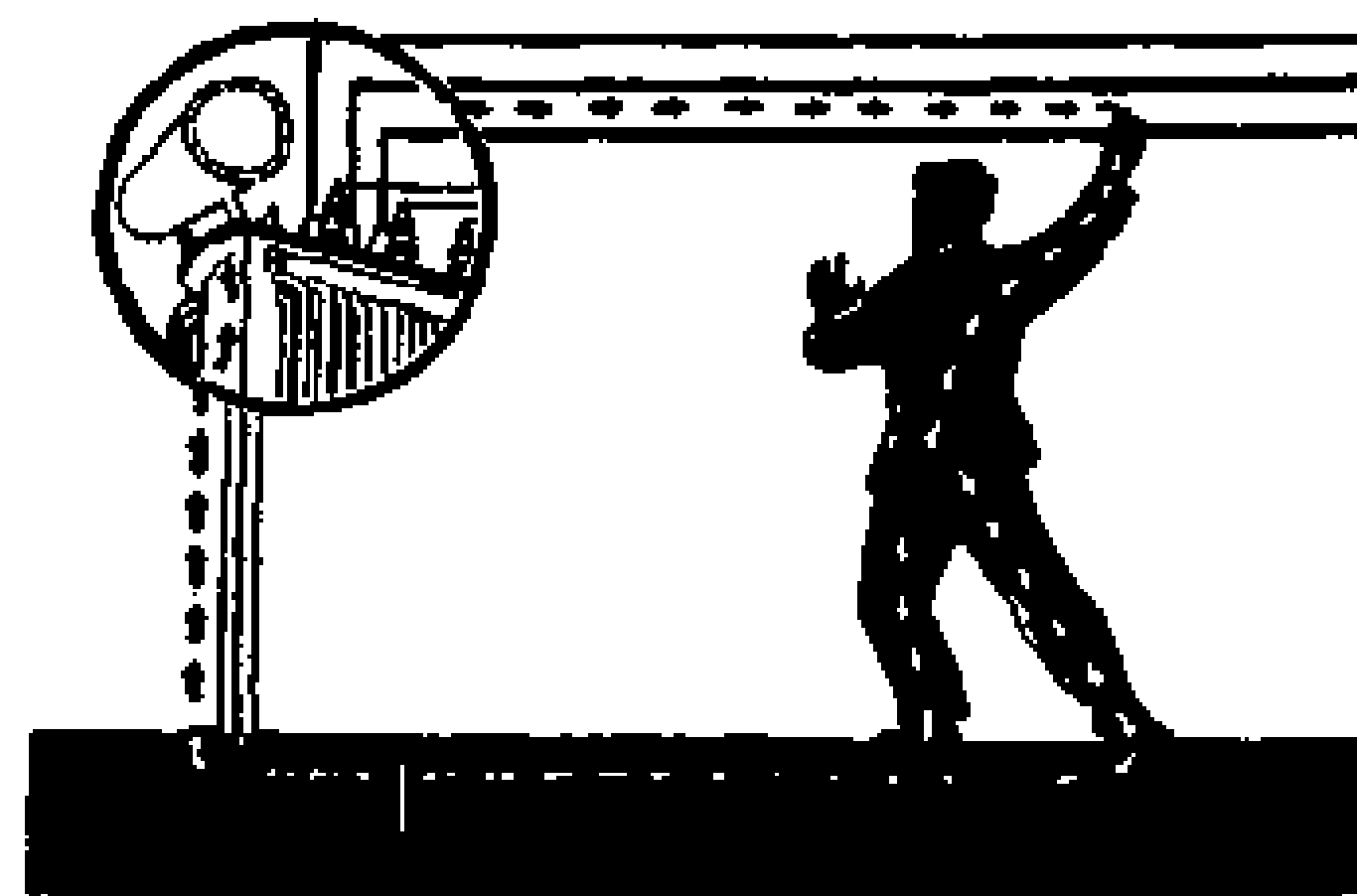


图 8—1 单相触电

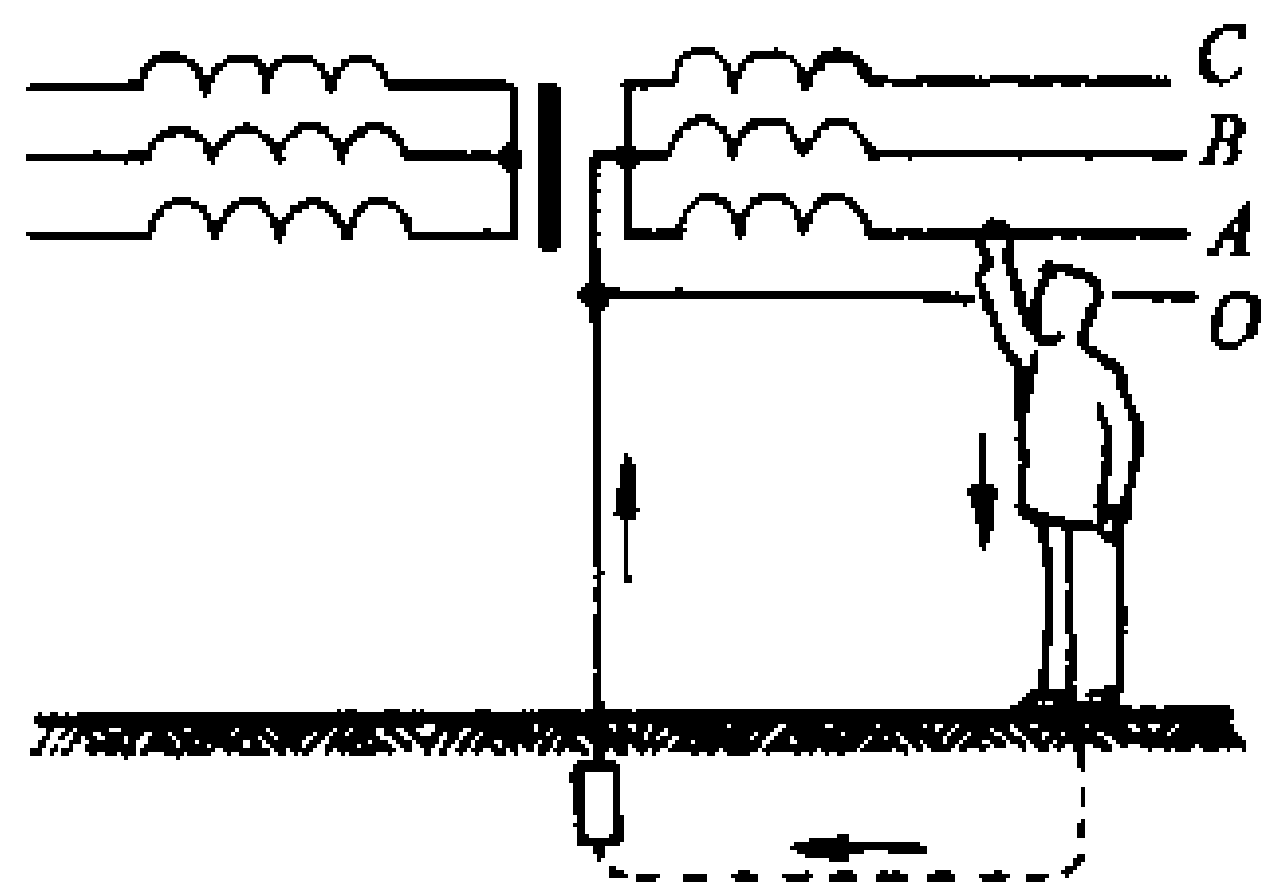


图 8—2 中性点直接接地系统单相触电

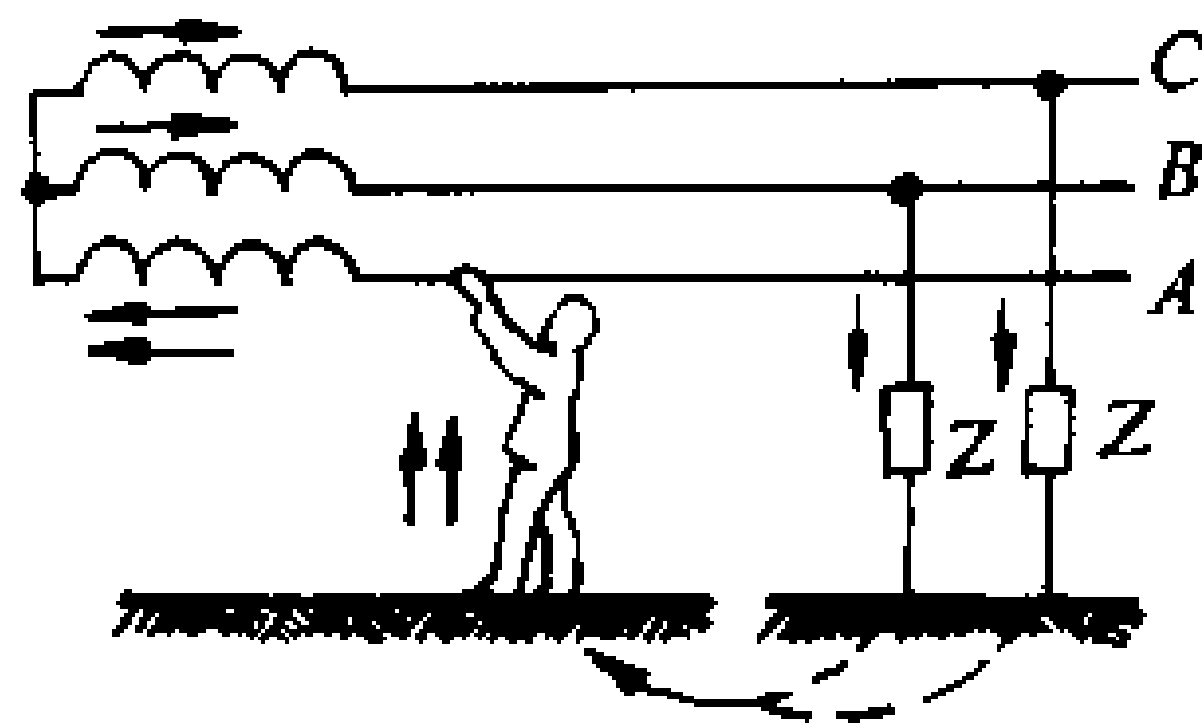


图 8—3 中性点不接地系统单相触电

在此种电网中，发生单相触电的情形如图 8—3 所示。因为中性点不接地，所以有两个回路的电流通过人体。一个回路的电流从 C 相，经过相线对地的绝缘阻抗  $Z$ 、大地、人体到 A 相；另一个回路的电流从 B 相，经过相线对地的绝缘阻抗  $Z$ 、大地、人体到 A 相。两个回路所承受的电压都是 380V。如果线路的绝缘水平比较高，绝缘电阻非常大，通过触电人体的电流就较小，从而降低了对人的危险性。如果线路的绝缘不良，这种触电事故对人的危险仍然很大。

图 8—4 为单相触电的实例。图 (a) 是某人在修理插座时，手触及螺丝刀的金属部分和相线，造成单相触电；图 (b) 是某人带电修理断线时，手触及两断线处的导线，造成的单相触电，或称双线触电的情形。这种情况比单线触电更加危险。

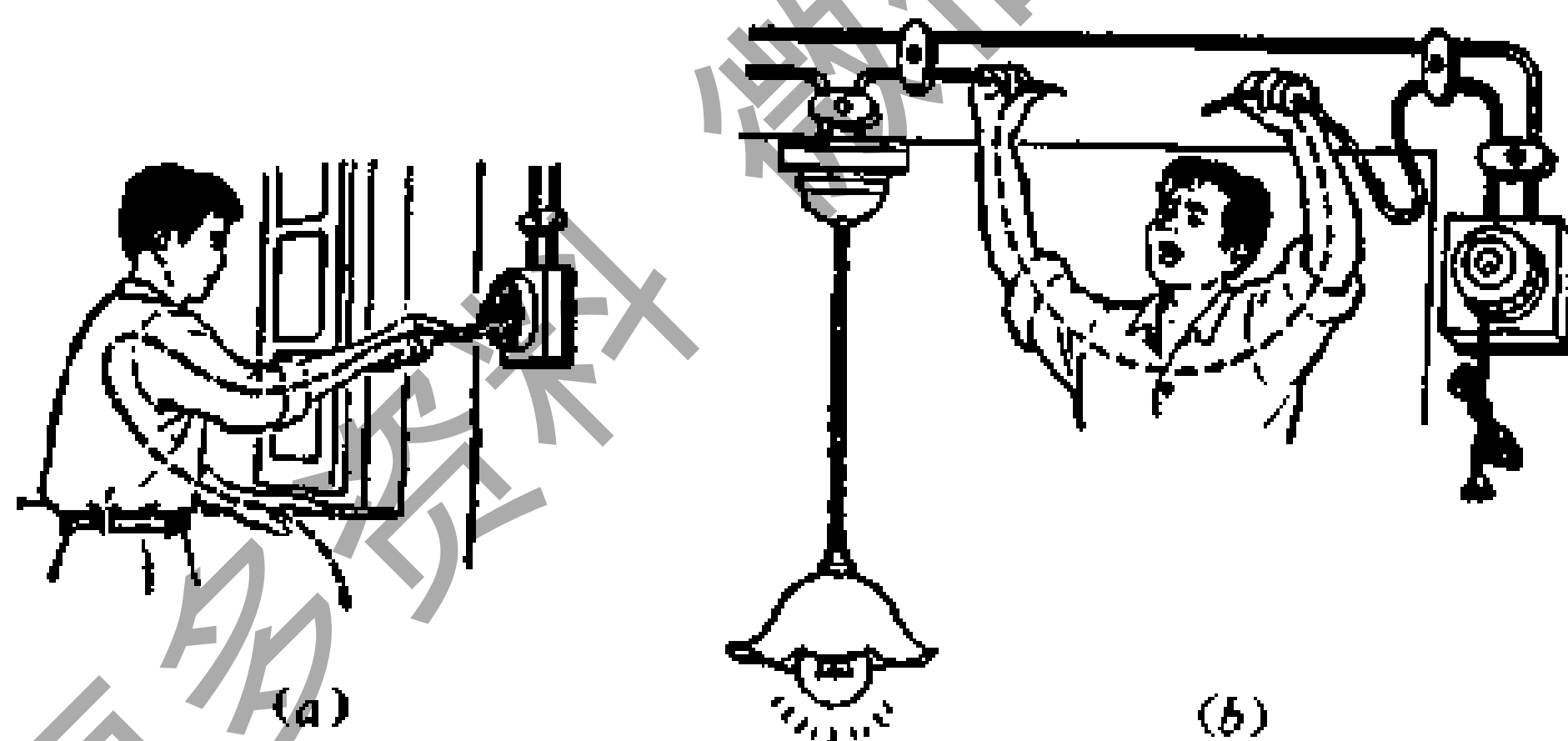


图 8—4 单相触电实例

## 二、两相触电

人的身体同时接触到两根不同的相线上时，或人体同时接触电器的不同相的两个带电部分时，就会有电流经过相线、人体到另一相线而形成通路，这种情况称为两相触电（图 8—5）。

在 380/220V 的低压电网发生两相触电时，人体处在线电压（380V）的作用之下，是很危险的。

## 三、跨步电压及接触电压触电

当电气设备的绝缘损坏或架空线路的一相断线落地时，落地点的电位就是导线的电位，电流就会从落地点（或绝缘损坏处）流入地中。离落地点越远，电流越分散，地面电位也越低。根据实际测量，在离导线落地点 20m 以外的地方，由于入地电流非常小，地面的电位近似等于零。图 8—6 是电流入地点附近的电位分布曲线。如果有人走近导线落

地点附近，由于人的两脚电位不同，则在两脚之间出现电位差，这个电位差叫做跨步电压。离电流入地点越近，则跨步电压越大；离电流入地点越远，则跨步电压越小；在 20m 以外，跨步电压很小，可以看作为零。跨步电压触电情况，如图 8—7 所示。



图 8—5 两相触电

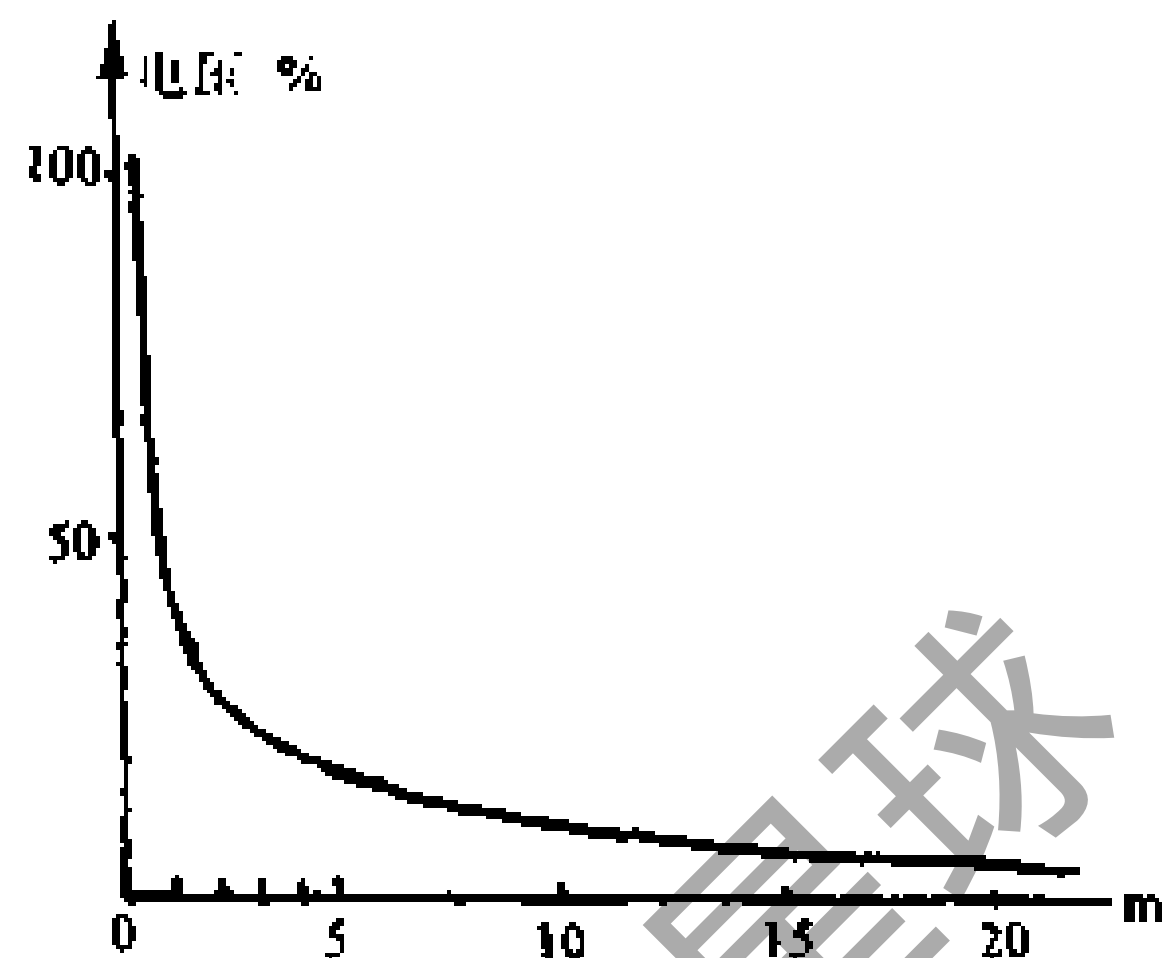


图 8—6 对地电位分布

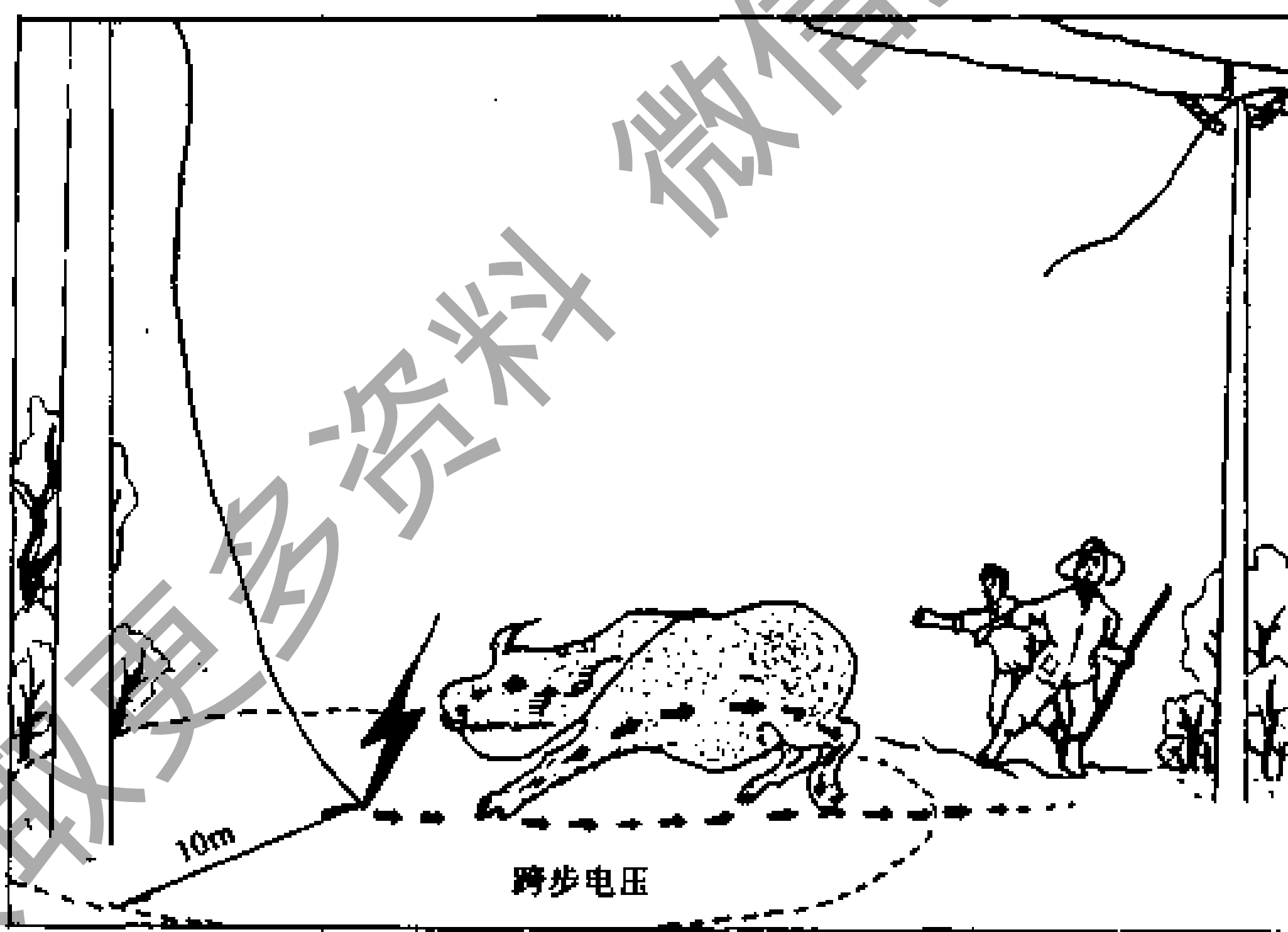


图 8—7 跨步电压触电

当发现跨步电压威胁时，应赶快把双脚并在一起，或赶快用一条腿跳着离开危险区。否则，因触电时间长，也会导致触电死亡。

导线接地后，不但会产生跨步电压触电，也会产生另一种形式的触电，即接触电压触电。图 8—8 表示 3 台电动机的接地线连在一起，当一台电动机的绕组绝缘损坏，导线碰壳时，就有电流经接地线流入地中，在接地极周围就产生如图 8—8 曲线 I 所示的对地电位分布。这时，由于 3 个人站立的位置不同，因而他们身体的电位也不相同，距接地极越远，电位越低。但是，因为 3 台电动机的地线是连在一起的，所以 3 台电动机的外



壳都具有与接地极相同的电位。这时，若有人用手触及到电动机的外壳，则在手和脚之间出现电位差，这个电位差叫做接触电压。接触电压的大小，因人站立的位置不同，离开接地极越远，受到的接触电压越大，距离接地极的位置与接触电压的关系曲线，如图 8—8 曲线 I 所示。由此可见，接触电动机  $D_3$  的人，受到的接触电压最大，而接触电动机  $D_1$  的人，受到的接触电压最小。

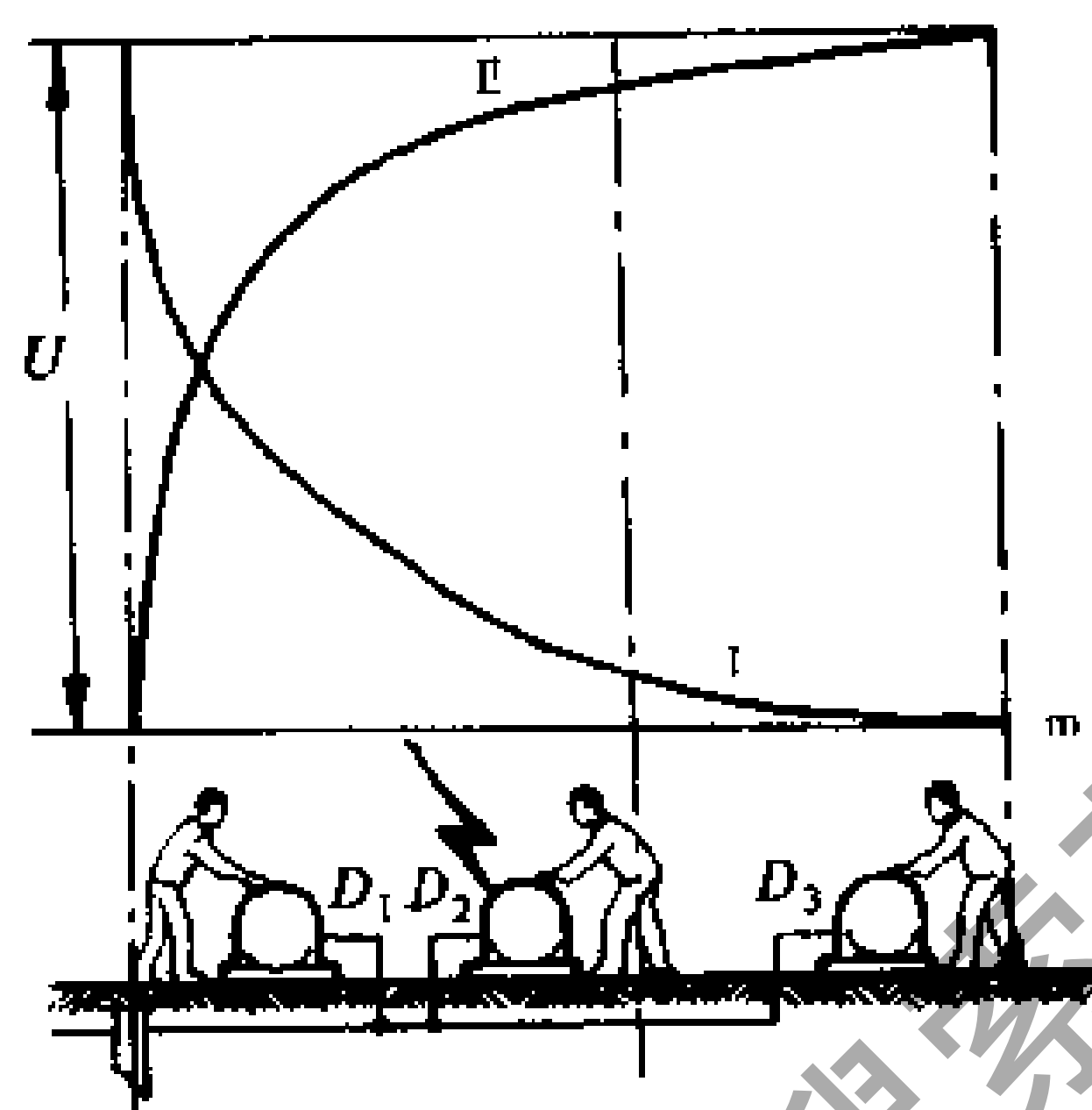


图 8—8 接触电压触电

## 第 9 章 电流对人体的危害

### 一、人体容许的安全电流

人体是导体，能够传导电流，而且人体对电流是很敏感的。当人的手指接触到频率为  $50\text{Hz}$  的交流电后，若流经人体的电流为  $0.6\sim 1.5\text{mA}$ ，手指就会感到麻刺；当电流增大到  $5\sim 7\text{mA}$  时，手指肌肉就会产生不自主的收缩，发生痉挛；当电流增大到  $10\sim 30\text{mA}$  时，人体肌肉发生严重痉挛，但这时还能自主地摆脱电源。一般通过人体的电流为  $30\sim 100\text{mA}$  时，人就会失去知觉，不能自主地摆脱电源，需要别人迅速救护。通过人体的电流为  $100\text{mA}$  以上时，人就会产生呼吸困难，心脏停止跳动而造成死亡。

人体触电之后，除通过人体电流的大小对人产生不同的危害作用之外，触电时间的长短，对人的危害程度也有很大的影响。触电电流越大，时间越长，对人的危害也越大。因此，人体触电后的危害程度取决于触电电流与触电时间的乘积。大量试验证明，通过人体的电流与电流作用时间的乘积不超过  $30\text{mA}\cdot\text{s}$ ，对人是比较安全的；当电流和时间的乘积超过了  $50\text{mA}\cdot\text{s}$  后，就有可能造成生命危险。

另外，人体触电后的危害，还与电流流经人体的途径和电流频率大小有关。触电时，电流通过心脏（或接近心脏）和脑部的途径最危险。在交流中不同频率的电流对人体的危害程度也不一样， $2\sim 400\text{Hz}$  范围内的交流电对人体的伤害最大，其中又以  $50\text{Hz}$  或  $60\text{Hz}$  的交流电为最危险。

## 二、人体的电阻

发生触电时，流经人体的电流决定于触电电压与人体电阻的比值。人体电阻不是一个固定数值。由于皮肤干燥和潮湿的程度不同、触电电压的大小及接触带电体情况的不同，人体电阻可在几百欧到几千欧之间变化。人体电阻随触电电压的变化关系，如图 8—9 所示。例如，当触电电压为 220V 时，表面皮肤潮湿的人体电阻约为 1k $\Omega$ ，表面皮肤干燥的人体电阻约为 3k $\Omega$ 。

在一般情况下触电，最初是全部人体电阻接入电路。但随着触电时间的增长，由于电流的热效应使皮肤外层炭化以及汗液分泌，使两侧皮肤电阻显著降低，这时只有约 500 $\Omega$  的人体内部电阻起作用。因此流经人体的电流就会很快增大，这就进一步增加了触电的危险性。

## 三、安全电压

触电伤亡的直接原因，虽然不是由于电压而是由于电流，但在制定安全措施时，不仅要考虑电流，还应规定出安全电压，图 8—10 表示接触电压与通过人体电流的关系曲线。在一般情况下，通过人体的电流在 30mA 以下时被认为是安全的。当电流在 30mA 以下时，从关系曲线中查得对应的安全电压在 50V 以下。实践证明，电压为 36V 时，一般不致引起严重后果。因此，人们通常把 36V 及 36V 以下的电压视为安全电压。但由于人体触电时的接触状态不同，因此决不能认为 36V 的电压就是安全电压。例如，在游泳池中或人体大部分浸于水中状态下，其安全电压为 2.5V 以下；在湿度很大的地方，或人体显著淋湿以及电气装置外壳表面潮湿状态下，其安全电压为 25V 以下。

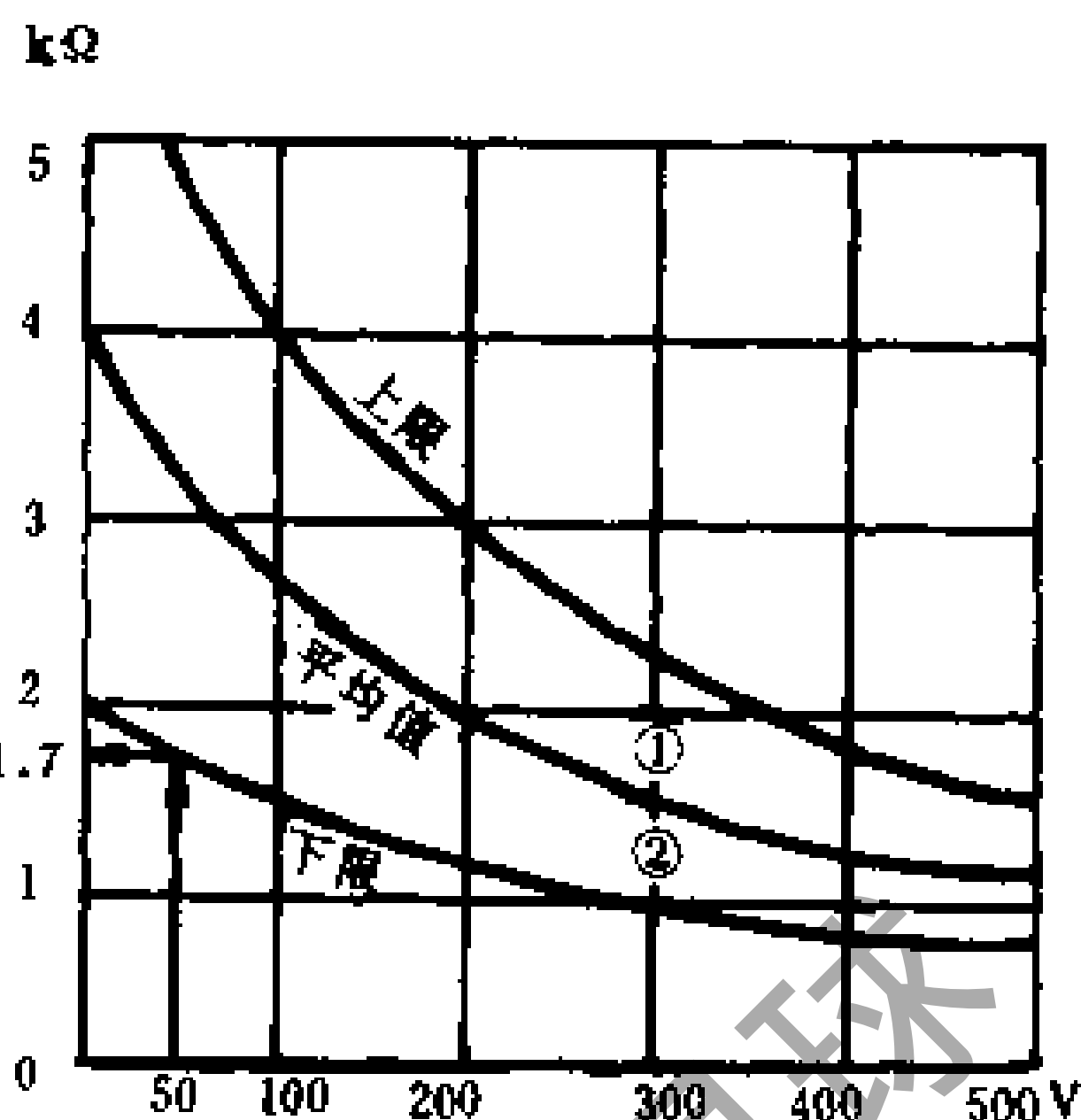


图 8—9 人体电阻与触电电压的关系曲线

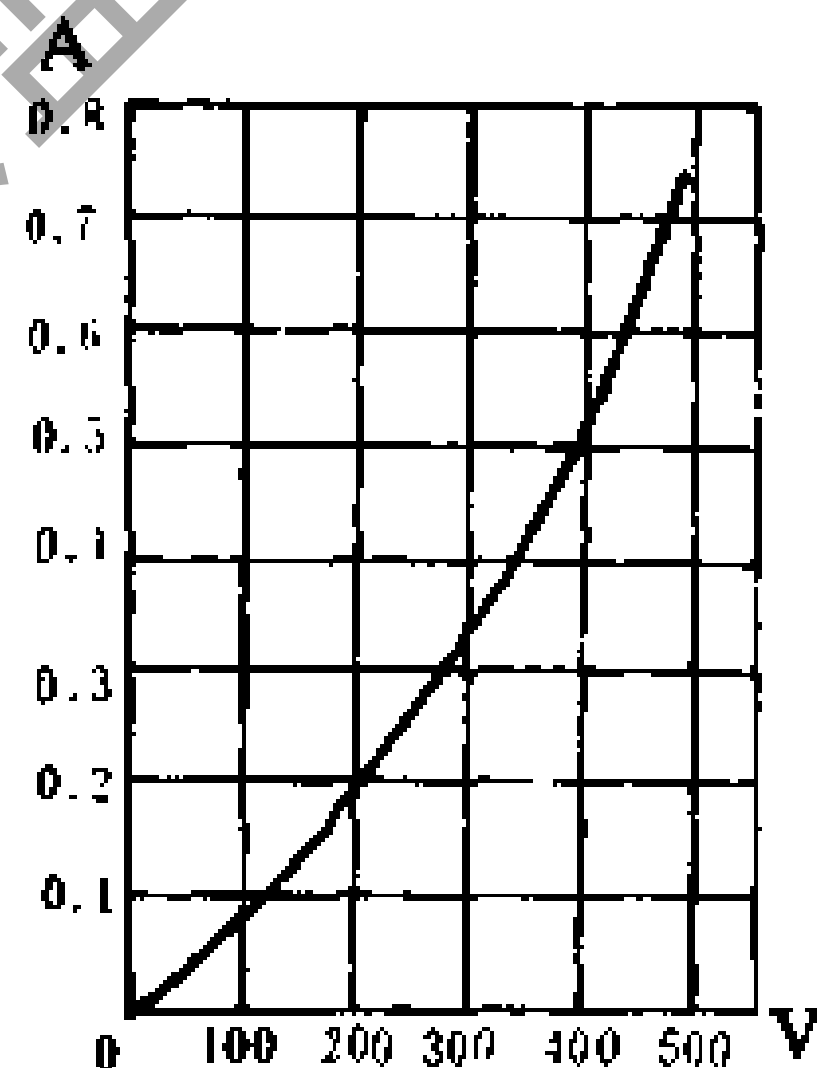


图 8—10 接触电压和通过人体电流的关系

## 第 3 节 触电事故的原因

根据触电事故的统计分析，可以将触电事故的发生原因归纳为 4 个方面：电气设备安装不合理；电气设备维修不及时；违章作业，不遵守安全工作制度；不懂安全用电常识。

### 一、电气设备安装不合理

为了保证安全，电气设备必须由专业电工安装，并要符合安全用电各项要求。在农村绝大多数触电事故发生在不符合安装要求的电气设备上。例如，采用一线一地装电灯，当有人无意碰断接地端时，便会发生触电事故（图 8—11），在城镇居民家用电器外壳不接地的触电事故也屡有发生。

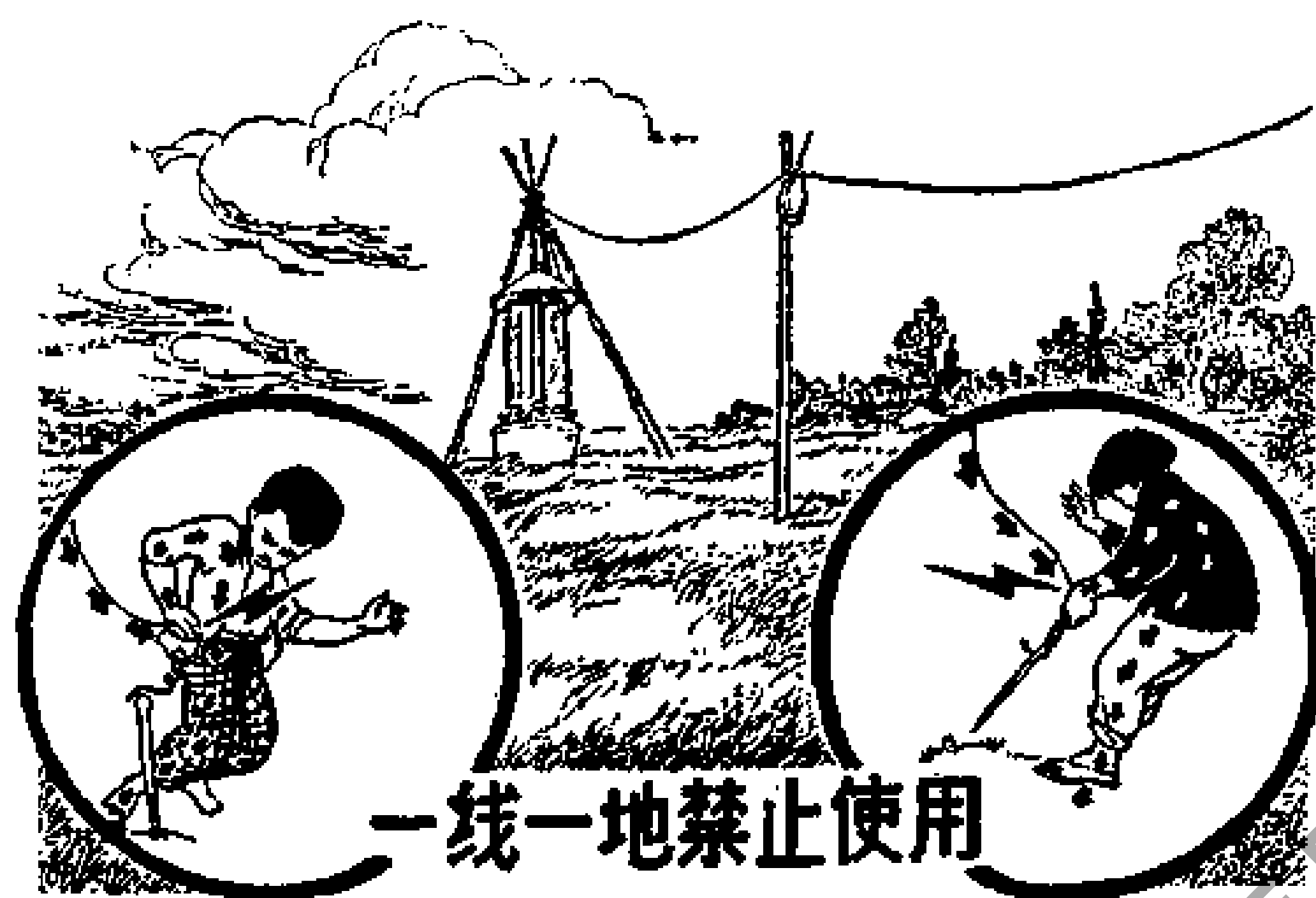


图 8—11 禁止使用一线一地

农村中季节性用电比较多，工厂企业现场施工也离不开电源，因此，常常需要安装临时电力线路。临时线路虽然与固定线路相比，容许有些差别，但也应当符合电气安全的基本要求，避免触电事故发生（图 8—12）。所以，临时低压线路要用绝缘良好的电线，并使用合格的电杆，或牢固的支架，架设的高度应不妨碍车辆通行。要加强运行管理，发现问题及时修好，使用完毕要马上拆除。

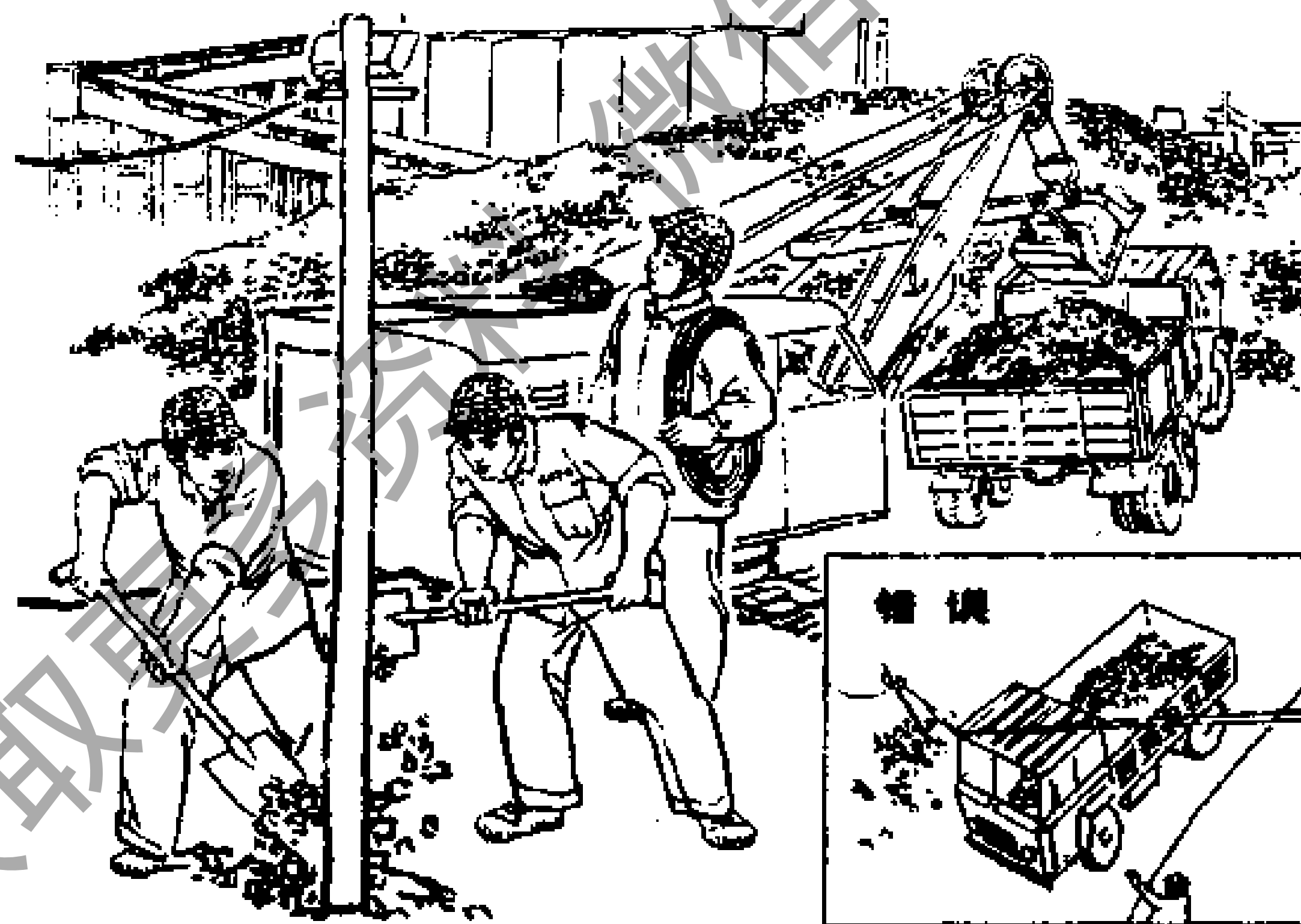


图 8—12 临时用电线路要符合安全标准

不要私拉乱接电灯线，接灯时，一定请电工安装，验明火线和零线，将开关装在图 8—13 (d) 的位置上，防止螺口带电，引起事故。

图 8—13 可以看出：图 (a) 表示火线进灯心，零线通过开关到螺口，开关断开时，螺口带电，有触电危险；图 (b) 表示零线进灯心，火线通过开关到螺口，开关闭合时，螺口带电，也有触电危险；图 (c) 表示零线通过开关到灯心，火线接螺口，不论开关是否闭合，螺口总带电，也有触电危险；唯有图 (d) 灯开关的安装才是正确的，火线通过开

关到灯心，零线接螺口，不论开关是否闭合，螺口均不带电。

广播线和电力线尽可能不要同杆架设，以免两线相碰引起事故（图 8—14）。如需同杆架设时，低压架空电力线一定要在上面，且与下面的广播线的垂直距离，应不小于 1.25m。

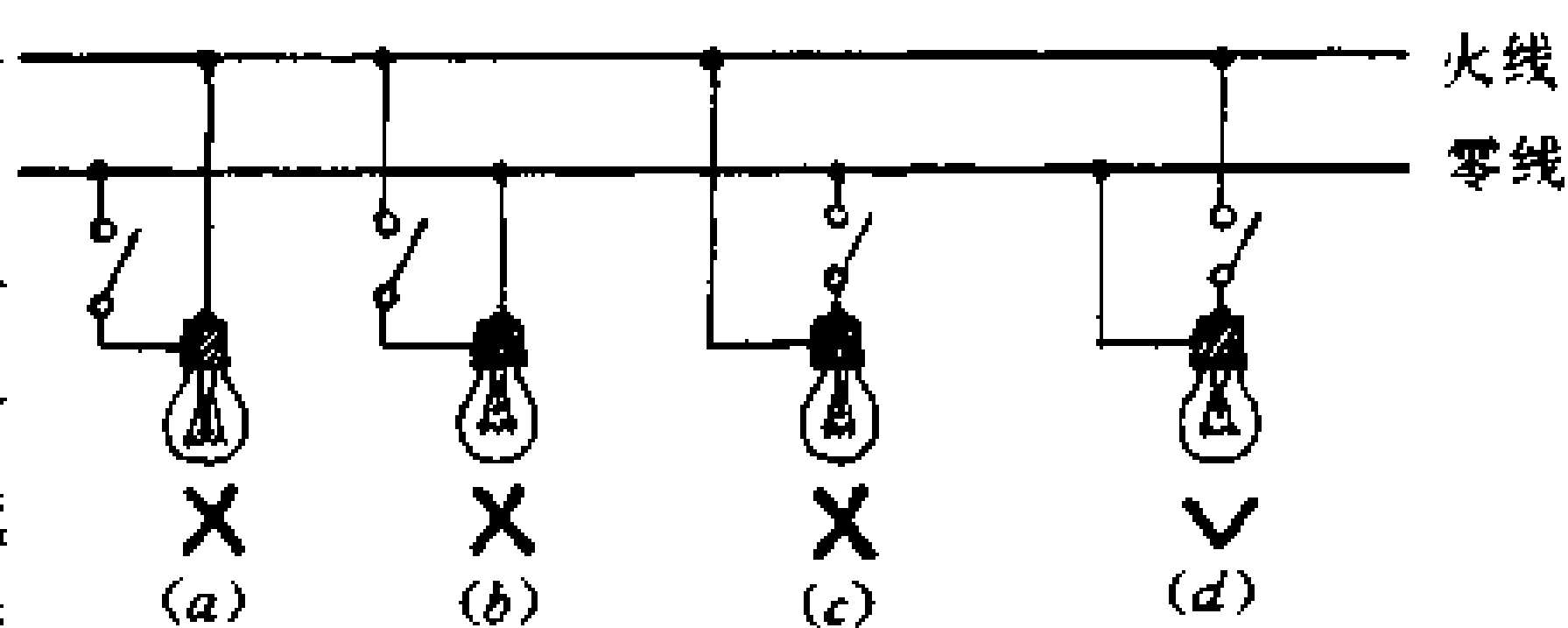


图 8—13 灯开关的安装位置

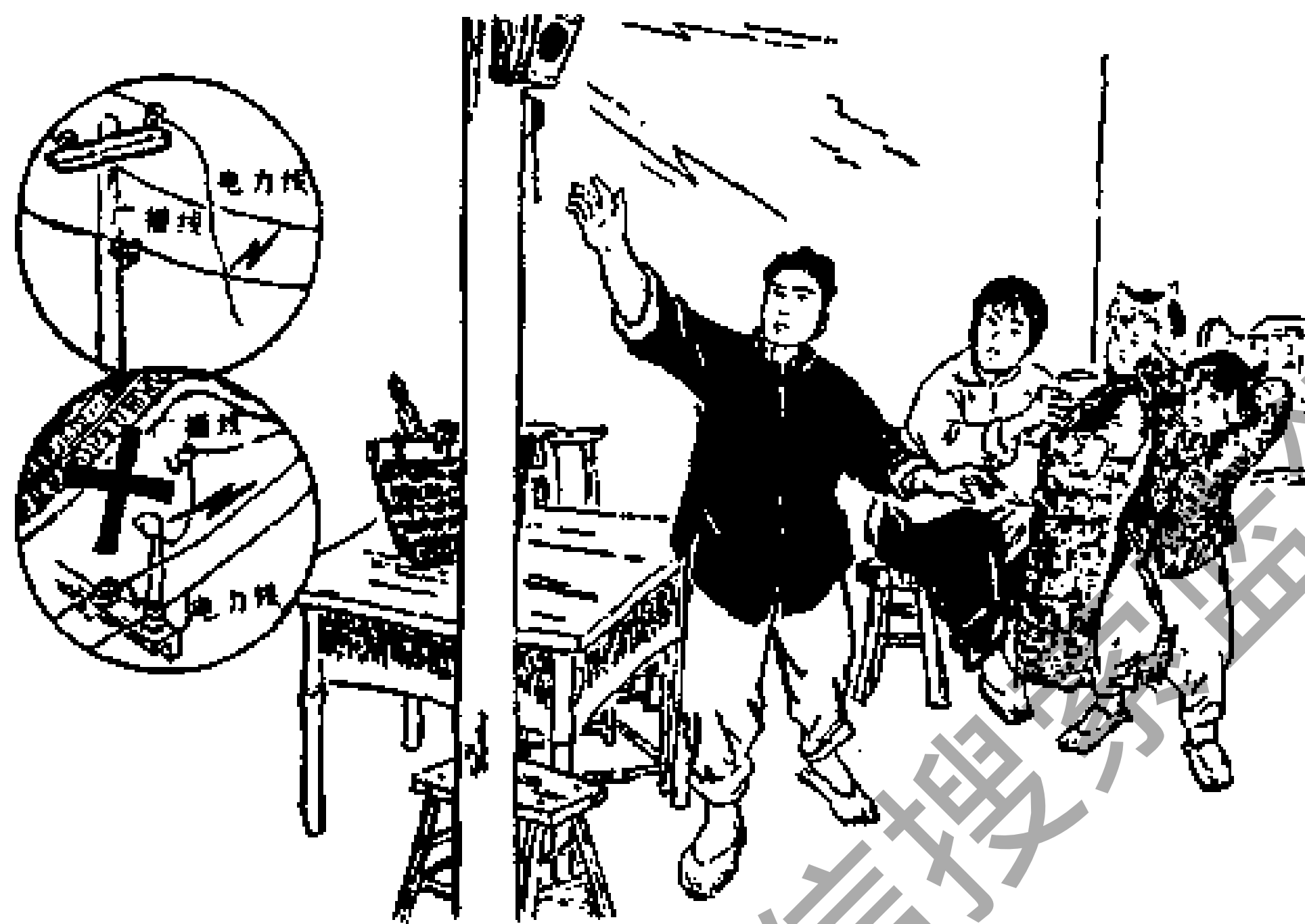


图 8—14 电力线碰广播线

## 二、电气设备维护不及时

电气设备，包括线路、灯头、开关、插座等使用时间久了，会出现电线绝缘老化、设备受潮、开关失灵等“病症”，甚至一些部件损坏，如果不及时维修，让电气设备“带病”运行，很容易发生触电。例如，家中的开关、灯头、电线和插座坏了，不小心碰上去，就会触电。所以，一发现损坏，就要请电工及时维修更换（图 8—15）。



图 8—15 要及时维修电气设备

### 三、违章作业，不遵守安全工作制度

电业安全工作规程（或制度）是工人师傅实践经验的总结，工作中一定要严格遵守。如果忽视了安全工作制度，就很容易发生触电伤亡事故。检修线路或更换设备前，应先拉闸断电，并且在开关前挂上“禁止合闸，线路有人工作”的警告牌。检修时还必须先验电和挂接地线等。

拉接临时电力线时，应注意次序。接电时，应从用电设备接向电源；断电时，应先解除电源（图 8—16）。

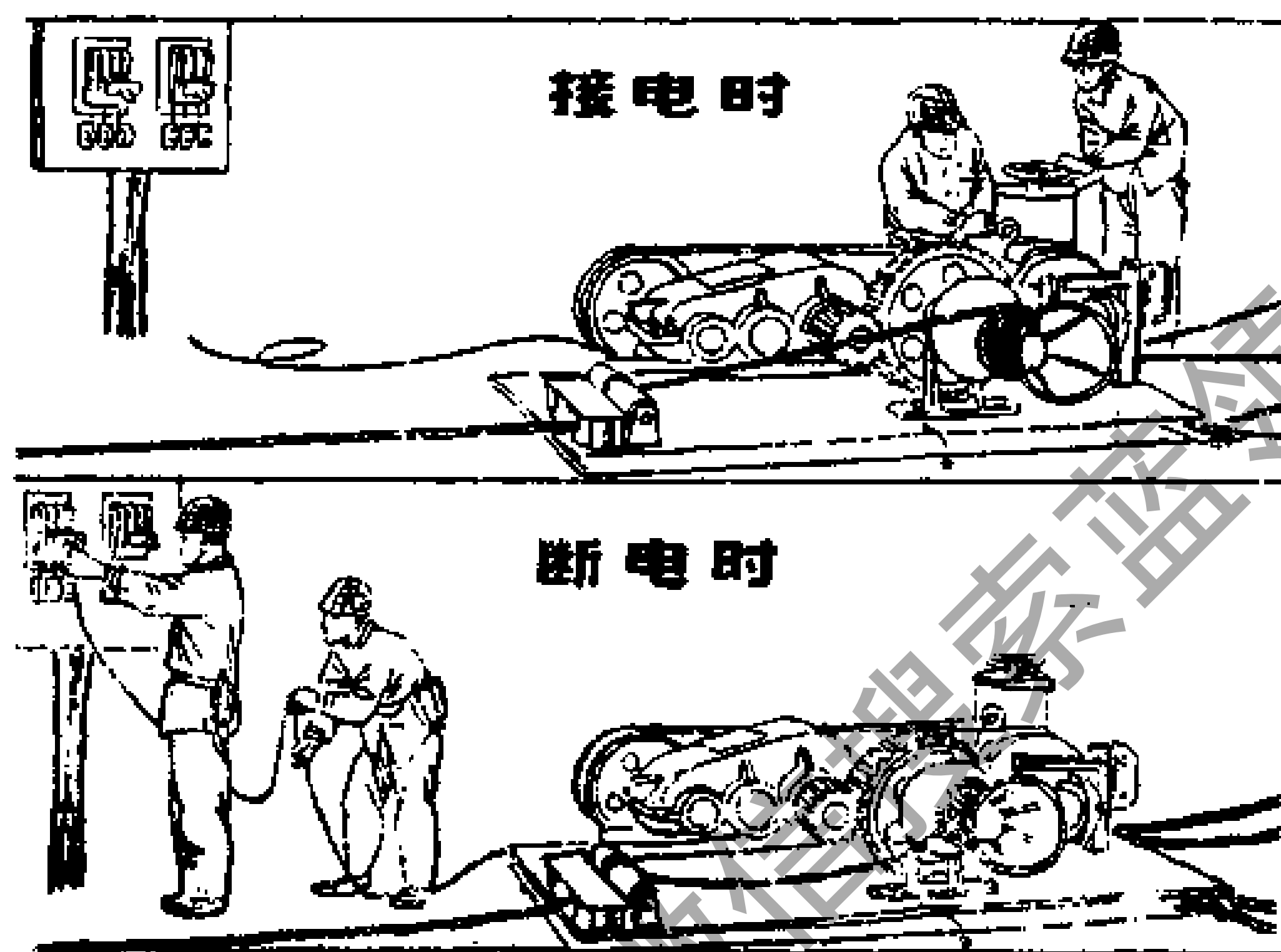


图 8—16 拉接临时线时工作顺序

在特殊情况下需带电接线时，应先接好开关及其以下部分，在无负荷的情况下，再接上电源。接线时，应先接上零线，后接火线；剪线时，应先切断负荷，先剪火线，后剪零线（图 8—17）。反之，就是违章作业，易造成事故。

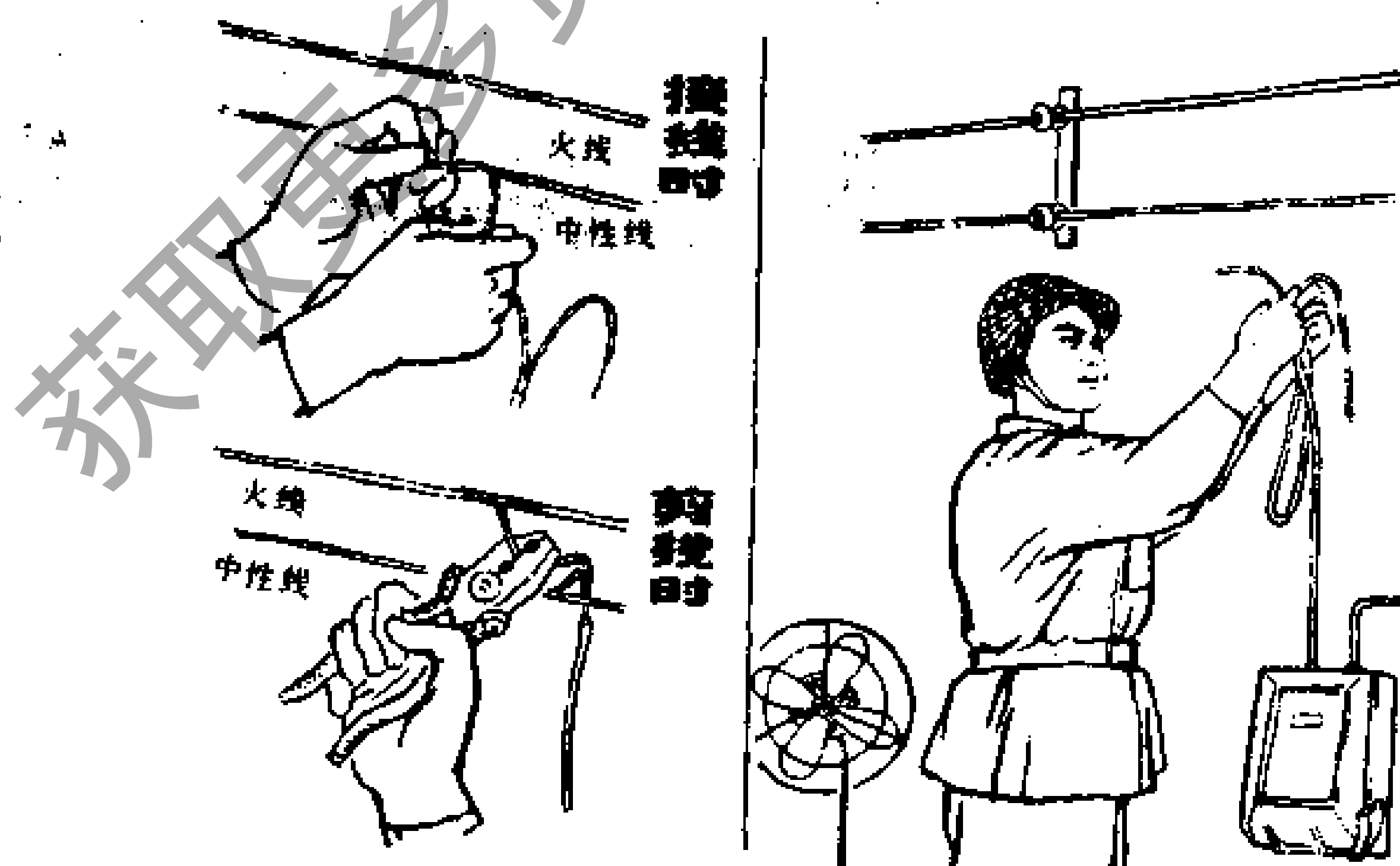


图 8—17 带电接线剪线时的工作次序

另外，在电力线下打井、建房等，由于安全距离不够，也常引起触电事故。

#### 四、不懂安全用电常识

缺乏安全用电常识，也是造成触电事故的一个原因。例如，晒衣服的铁丝与低压线太近，天长日久铁丝把低压线的绝缘层磨破带电，晒衣时就容易发生触电事故。

此外，对电气知识一知半解，缺乏科学态度，不注意安全，盲目蛮干，也是造成触电事故的原因之一。

### 第4节 触电急救

一旦发生人身触电，迅速准确地进行现场急救，并坚持救治是抢救触电人的关键。不但电工应该正确熟练地掌握触电急救方法，所有用电的人们都应该懂得触电急救常识，万一发生触电事故就能分秒必争地进行抢救，减少伤亡。

#### 一、首先断开触电者的电源

发现有人触电时，不要惊慌失措，应赶快使触电人脱离电源，千万不要用手直接去拉触电者，防止造成群伤触电事故。

如果是低压触电，断开电源有以下几种方法：

##### 1. 拉闸停电

如果发现有人触电，而开关设备就在现场，应立即拉开开关停电（图8-18）。如果触电者接触灯线触电，不能认为拉开拉线开关就算停电了，因为有可能拉线开关是错误地接在零线上，应在顺手拉开拉线开关以后，再迅速地拉开附近的闸刀开关或保险盒，才比较可靠。

##### 2. 利用绝缘物

如果触电者附近没有开关，不能立即停电，可用干燥的木棍、绝缘钳等不导电的东西，将电线拨离触电者的

身体，或将电线切断，使触电者脱离电源。绝不能用潮湿的东西、金属物体去直接接触触电者，以防救护者触电。如果身边什么工具都没有，可以用于衣服或者干围巾等厚厚地把自己一只手严密绝缘起来，拉触电者的衣服（附近有干燥木板时，最好站在木板上拉），使触电人脱离电源。总之，要迅速用现场可以利用的绝缘物，使触电者脱离电源，并要防止救护者触电。

##### 3. 高空触电

有人在高空触电，抢救时应做好防护工作，防止触电者在脱离电源后从高空摔下来，加重伤势。

在高压电气设备或高压线路上触电，只有迅速断开高压开关才能进行抢救，这时，不

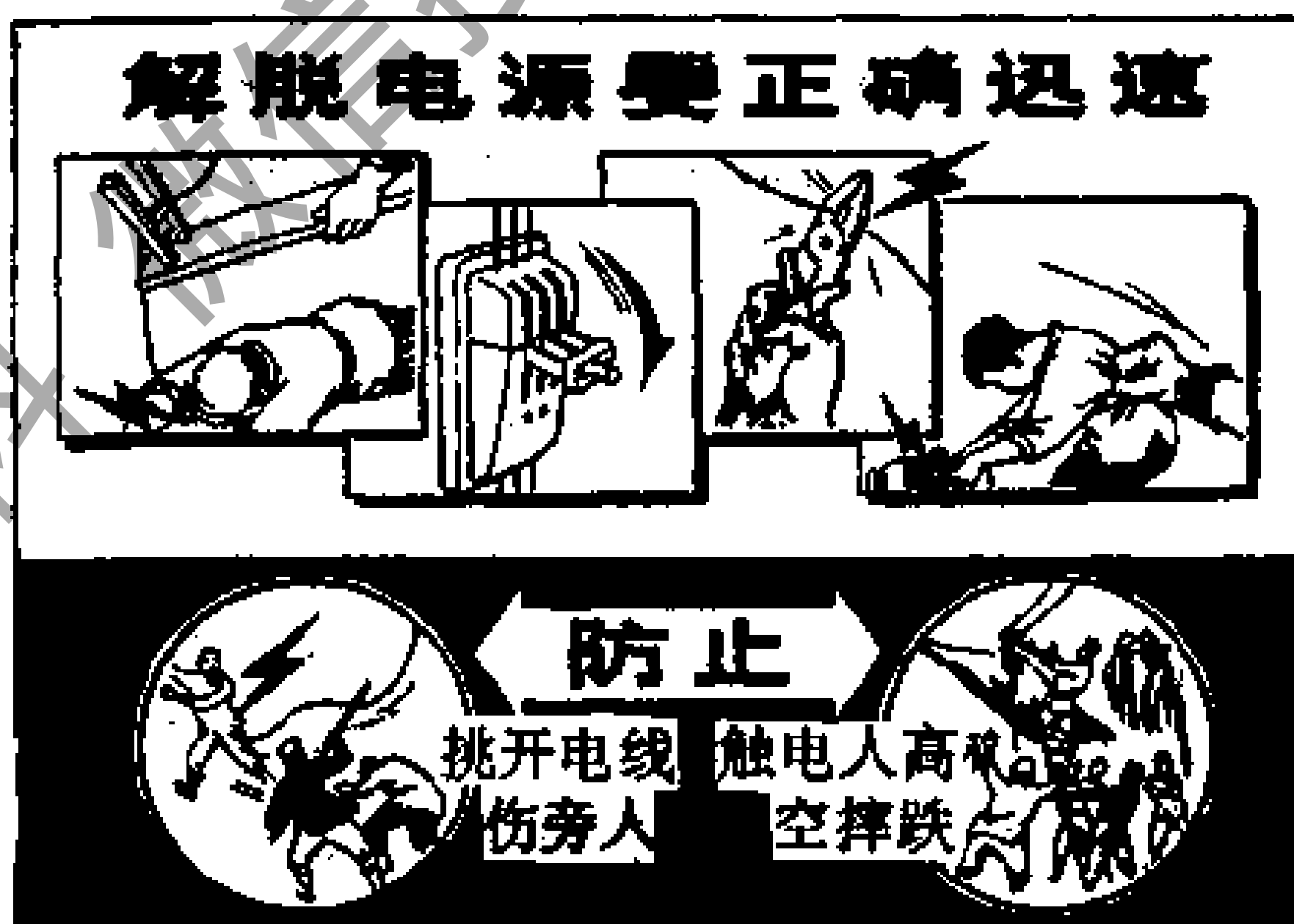
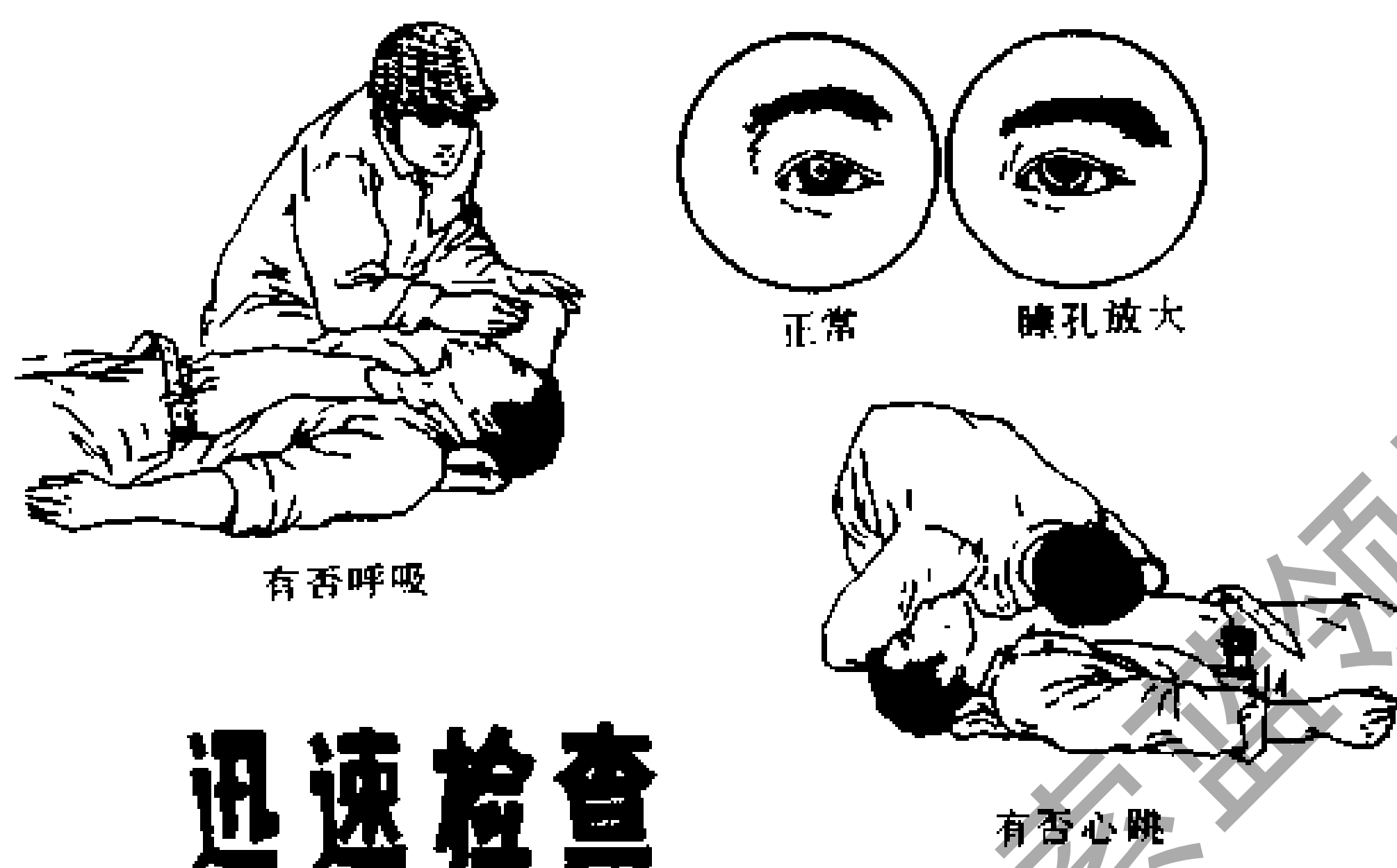


图 8-18 迅速断开电源

能使用普通工具挑开电线或砍断电线。如果使用绝缘工具（绝缘手套、绝缘靴、绝缘拉杆等）进行救护，绝缘工具的电压等级必须符合触电的电压等级。

## 二、对症救治

触电者脱离电源后，首先要迅速检查呼吸、心跳是否停止，瞳孔是否放大（图 8—19），然后决定采用适当的急救方法。



## 迅速检查

图 8—19 触电后迅速检查症状

触电不太严重，神志清醒，但感到心慌，四肢发麻，全身无力；或者曾一度昏迷，但很快恢复知觉。在这种情况下，不要做人工呼吸和心脏挤压。应就地安静舒适地躺下来，休息 1~2h，不要走动，让触电者自己慢慢恢复，并注意观察。在观察过程中，发现呼吸或心跳很不规则甚至接近停止时，应赶快进行抢救。

触电很严重，瞳孔已开始放大，呼吸和心跳都已停止时，应同时采用人工呼吸和心脏挤压两种方法抢救。如果触电人短时间内尚有心跳而无呼吸，则只做人工呼吸。

触电急救应就地进行，中间不能停顿。如果电伤严重，非送医院不可，在途中也不能停止抢救（图 8—20）。

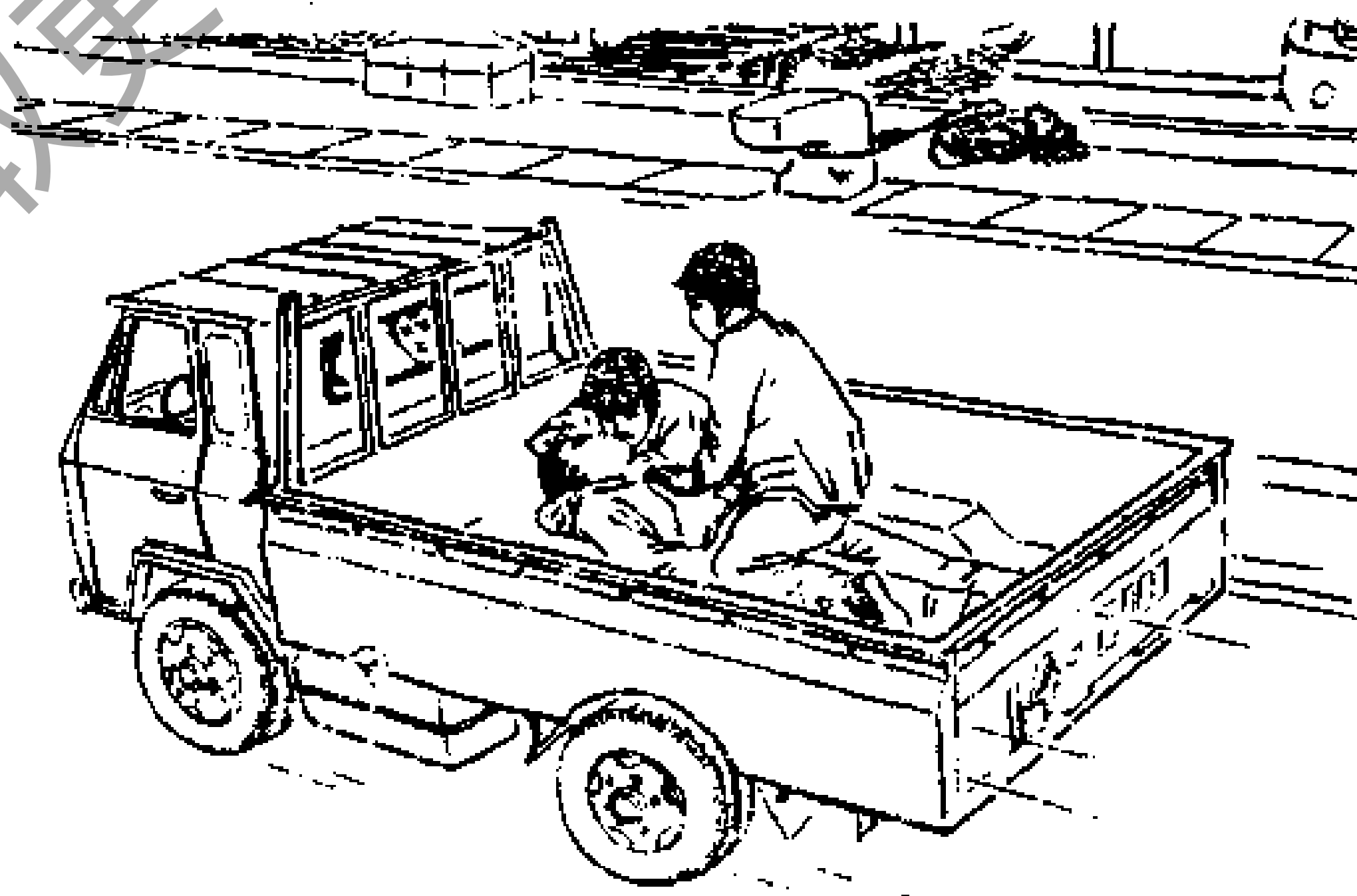


图 8—20 送医院途中不间断急救

在触电急救时，不能用土埋、泼水和压木板等错误方法抢救，避免触电者加快死亡。

### 三、触电急救的方法

大家知道，人的呼吸和心脏跳动都不能停止。触电后的假死现象，就是呼吸和心脏跳动停止造成的。因此，在触电急救中可以采用人工呼吸、心脏挤压法和针灸疗法，使触电人逐渐恢复正常。

#### 1. 人工呼吸法

人工呼吸法是用人工的力量，促使肺部膨胀和收缩，达到恢复呼吸的目的。

人工呼吸法有 3 种：

(1) 口对口吹气法：这种方法，简单、易行、收效快。具体做法是：

①迅速解开触电者的衣扣，松开紧身的内衣、裤带等（解不开时可剪开），使触电人的胸部和腹部能够自由扩张。使触电者仰卧、颈部伸直。掰开触电人的嘴，清除口腔中呕吐物，摘下活假牙；如果舌头后缩，应把舌头拉出来，使呼吸道畅通（不是在做人工呼吸时始终拉住舌头，只要舌根不妨碍呼吸就行）。如果触电人牙关紧闭，可用小木片、金属片等，从嘴角伸入牙缝慢慢撬开。然后，使触电人头部尽量后仰，以保持呼吸道气流畅通。如图 8—21 (a) 所示。

②救护人在触电人头部旁边，一手捏紧触电者的鼻孔（不要漏气），另一手扶着触电人的下颌，使嘴张开，用嘴吹气，如图 8—21 (b) 所示，也可隔一层纱布或手帕吹气。吹气时用力大小要根据不同的触电人而有区别，每次吹气以使触电人的胸部微微鼓起为宜。

③救护人吹气完毕准备换气时，应立即离开触电人的嘴，放松触电人的鼻孔，使嘴张开，让触电人自动向外呼气，如图 8—21 (c) 所示。这时应注意触电人胸部复原情况，观察有无呼吸道梗阻现象。



图 8—21 口对口吹气法

在进行口对口人工呼吸时，吹气速度应均匀，一般为每 5s 重复一次（吹气约 2s，呼气约 3s）。给儿童吹气时，不必捏鼻子，每分钟可吹 18~24 次。触电人如已开始恢复自



主呼吸后，还应仔细观察呼吸是否会再度停止。如果停止，应再继续进行人工呼吸，但这时，人工呼吸要与触电人微弱的自主呼吸规律一致。

人工呼吸应不间断地进行，时间过长时，可以换人交替操作。如果触电人的心脏也停止了跳动，在人工呼吸的同时还应进行胸外心脏挤压，如图 8—22 所示。



图 8—22 口对口吹气和胸外心脏挤压并重急救

(2) 牵臂压胸法：牵臂压胸法也叫摇臂压胸法，如图 8—23 所示。使触电人仰卧（颈部用柔软物稍微垫高），头部后仰，呼吸道畅通。救护人跪在触电人的头部，两手握住触电人的手腕，使两臂弯曲，压在前胸两侧（不宜用力太大），让触电人呼气；然后把触电人两臂从两侧向头顶方向拉直，让触电人吸气。这样反复进行，每分钟 14~16 次。

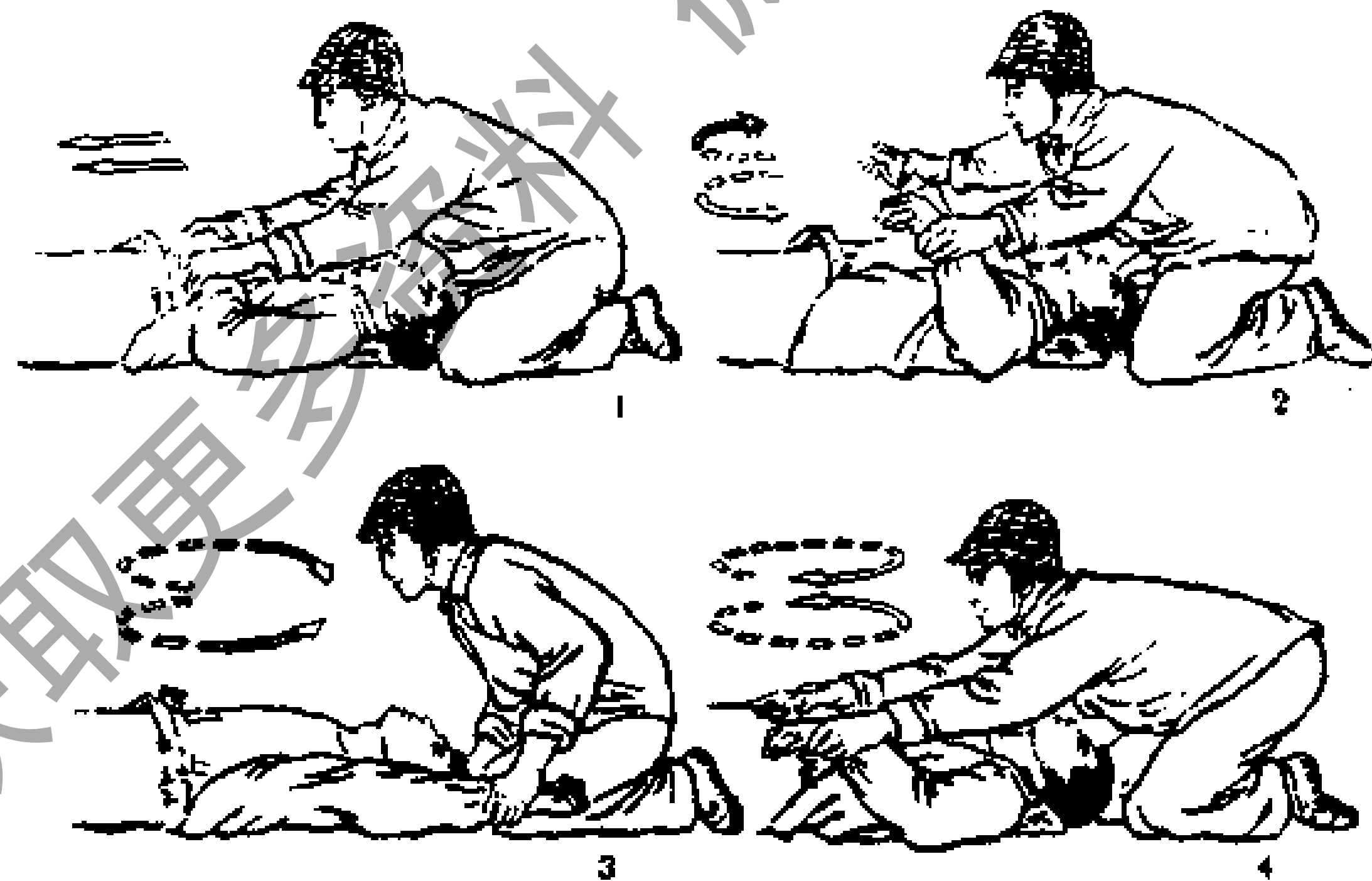


图 8—23 牵臂压胸法

这种人工呼吸法不如口对口吹气法效果好，常对口和鼻均受伤而无法进行口对口人工呼吸者，且呼吸已停止或不规则时，采用此法进行抢救。

(3) 俯卧压背法：如图 8—24 所示，使触电人俯卧，让他的一只手臂弯曲并且枕在头下，脸侧向一边，另一只手在头旁伸直。救护人跨跪在触电人臀部，两手伸开，手掌平放在触电人背部肩胛骨下（相当于第 7 对肋骨），拇指朝里，其余 4 指并拢，手向下压，使触电人呼气。然后把手慢慢抬起（不要离开触电人背部），使触电人吸气。这样反复进

行，每分钟压 14~16 次。

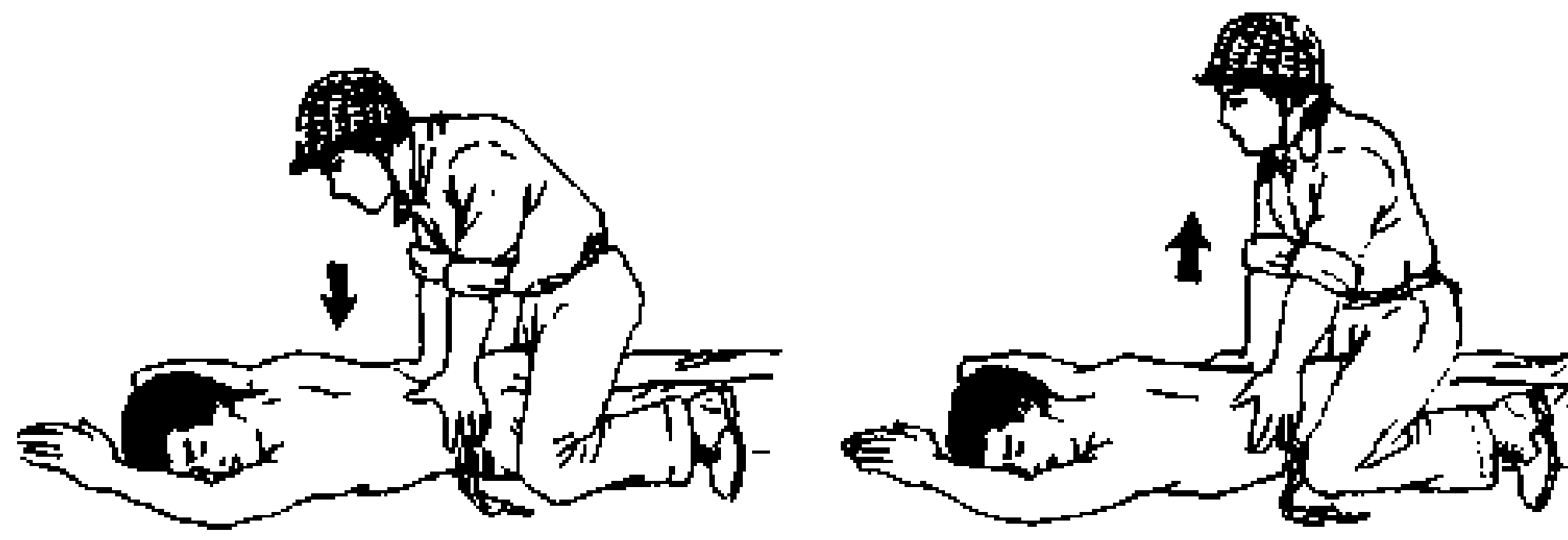


图 8—24 俯卧压背法

## 2. 心脏挤压法

心脏挤压法又叫心脏按摩（图 8—25），是用人工的方法在胸外挤压心脏，使触电人恢复心脏跳动。这种急救法适用于心跳停止或不规则的触电者。其具体做法如下：

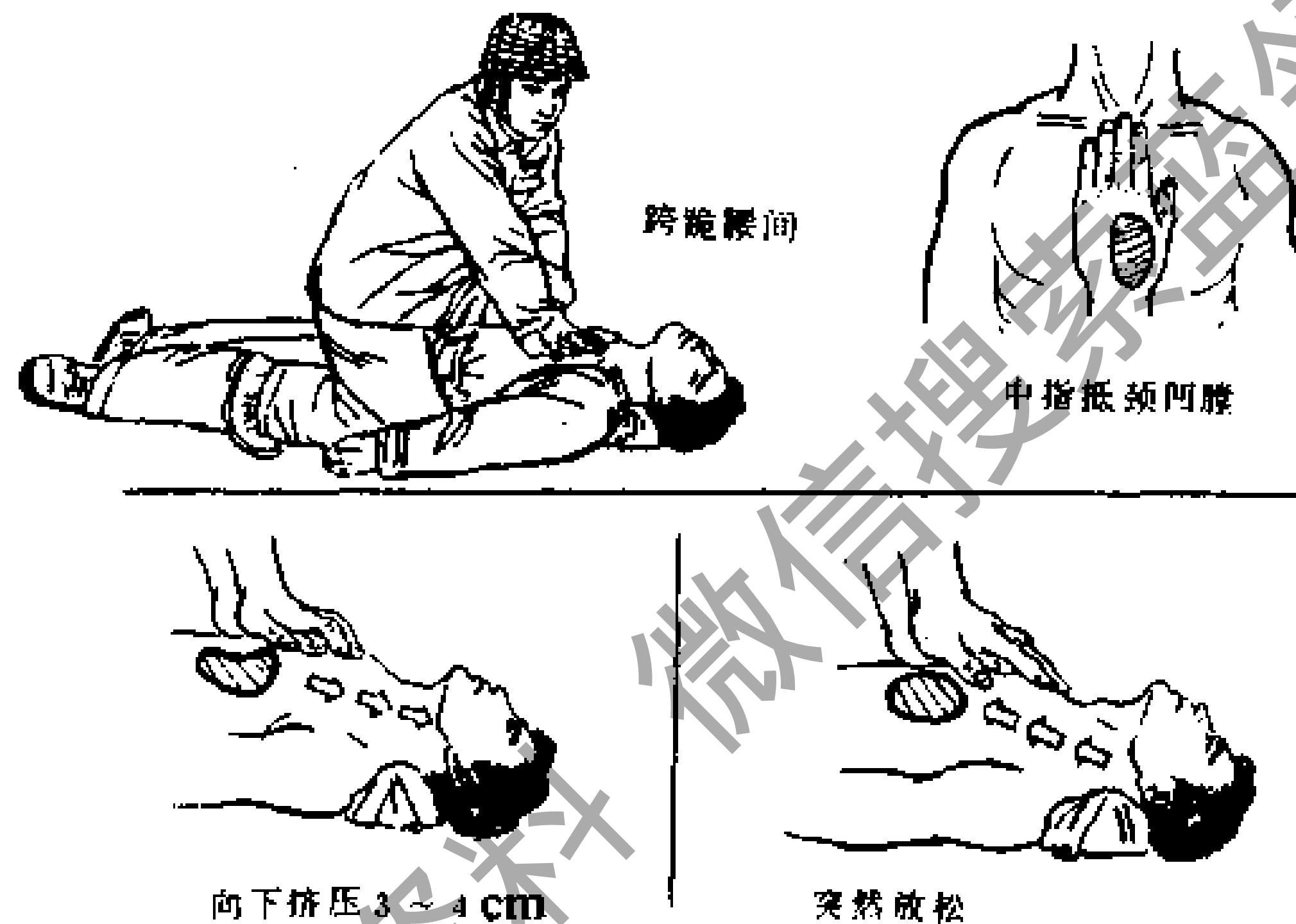


图 8—25 心脏挤压法

（1）使触电人仰卧，保持呼吸道畅通（清除嘴里的痰液，摘下活假牙，不使舌根后缩）。背部着地处应平整稳固，以保证挤压效果。

（2）救护人跨跪在触电人腰间，两手交叉相叠，放在触电人的胸口部，使下边那只手的中指抵颈凹处。

（3）选好正确的压点以后，救护人肘关节伸直，适当用力，带有冲击性地压触电人的胸骨（压胸骨时要对准脊椎骨，从上向下用力）。对成年人向下挤压 3~4 厘米；对儿童只用一只手，并且用力要小些，压下深度要浅些。

（4）挤压后，掌根要突然放松（但不要离开胸膛），使触电人胸骨复位。

挤压次数，成年人每分钟大约 60 次，儿童每分钟 90~100 次。挤压的部位要找准，压力应适当，不可用力过猛过大，防止把胃中食物压出堵住气管或造成肋骨折断等病症；但也不要用力过小，以免起不到挤压效果。

心脏挤压有效果时，可摸到脉搏跳动。如果挤压时摸不到脉搏跳动，应把挤压力量加强、速度减慢，再观察脉搏是否跳动。

单纯做心脏挤压不能得到良好的呼吸，因此应同时采用吹气法和心脏挤压法，由两

人进行。一般心脏挤压每分钟大约 60 次，人工呼吸每分钟 14~16 次，操作比例大约是 4:1。如果只有一人抢救，应先做心脏挤压 4 次，再吹一次气。

抢救触电人往往需要很长时间（有时要进行 4~6h 或更长时间），必须连续进行，不得间断；经过很长时间以后，触电人有可能面色好转，嘴唇红润，瞳孔缩小，心跳和呼吸逐渐恢复正常。

对于触电人的外伤，应请医务人员迅速治疗。

### 3. 针灸疗法

在进行人工呼吸和心脏挤压法抢救触电者的同时，可以辅以针灸疗法，如图 8-26 所示。针刺人中、百会、素髎、风池、风府、涌泉、少商、中冲、十宣、内关、郄门和神门等穴位。根据急救方法的不同，适当选择穴位。行针均用强刺激法（即大幅度捻转、快提、快插），不留针；也可用粗针在人中、十宣等穴位放血。

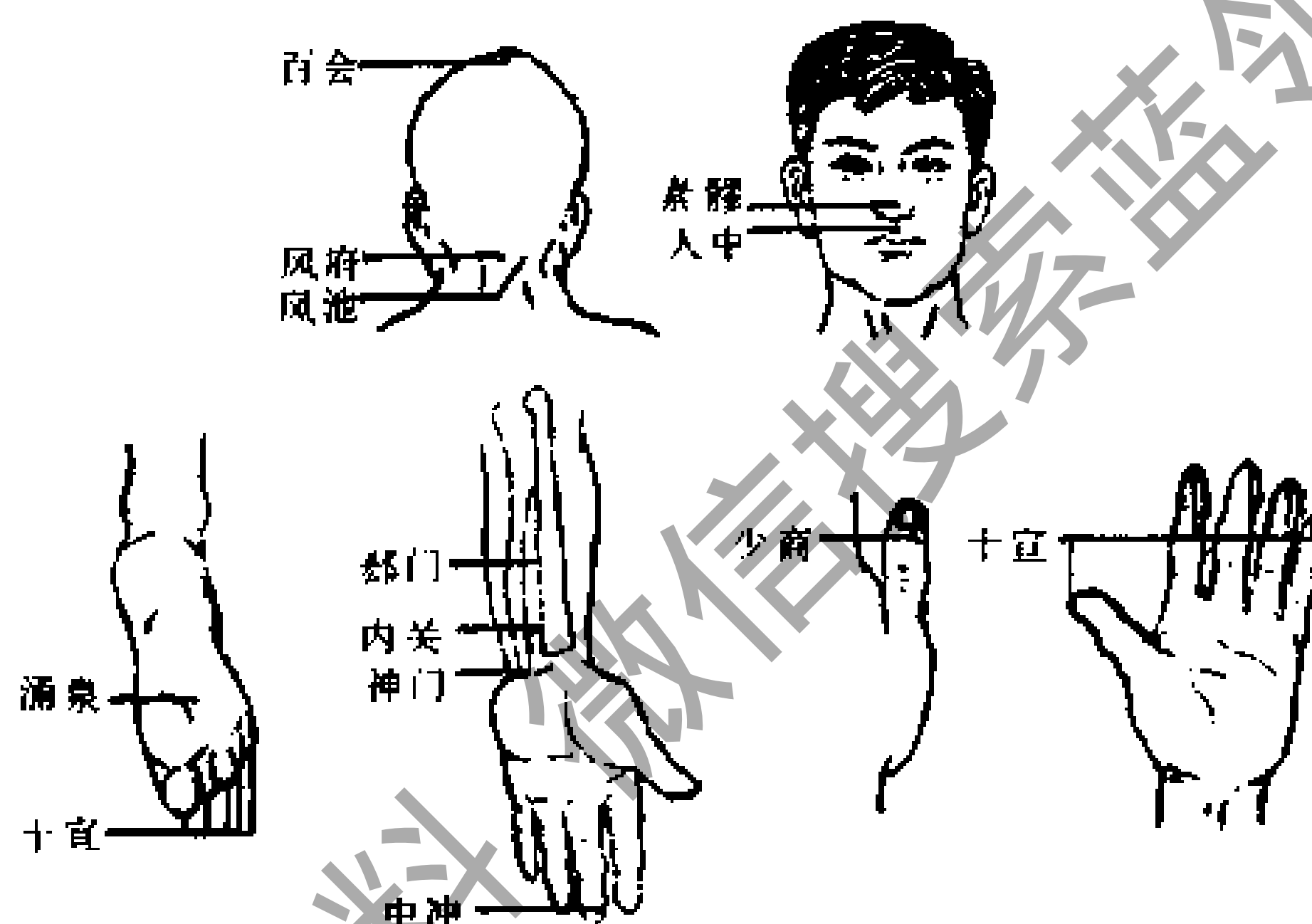


图 8-26 针灸抢救法

如果有人遭受雷击，可参照触电急救方法进行抢救。

## 第 5 节 预防触电的措施

为了预防触电，保证人们安全工作和生活，除加强对用电工作的组织领导外，还应采取以下措施：

### 一、普及安全用电常识

电在社会主义建设中，起着很大的作用，如果使用不当，会造成触电事故和设备事故，甚至使人死亡和引起火灾。由此可见，普及安全用电常识是很重要的。

普及安全用电常识，主要从下面几方面进行宣传教育：安全用电，节约用电，人人有责，自觉遵守供电部门制定的有关安全用电规定，做到安全、经济、不出事故。禁止私拉电网、用电捕鱼和捉老鼠等，不准用“一线一地”接照明灯。不要玩弄电气设备，不要爬电杆和摇晃拉线，不要在电线附近放风筝、打鸟，更不要往电线、瓷瓶和变压器上

扔东西。不要在电线杆和拉线上拴牲口，不要在电杆和拉线旁挖坑、取土或爆破，防止倒杆断线。屋内配线，禁止使用裸导线或绝缘破损、老化的导线，对绝缘破损部分要及时用绝缘胶皮缠好。发生电气故障和漏电起火事故时，要立即拉开电源开关。在未切断电源以前，不能用水或酸、碱泡沫灭火器灭火。不要在电线上晒衣服。晒衣服的铁丝不要与电线绑在一起，以防串电，触电伤人。不要在电线下盖房屋、打场、堆草、种树等。电线断线落地时，不要靠近。对于6~10kV高压线路，应离开落地点8~10m远。更不能用手去拣，应派人看守，并赶快找电工停电修理。不要用湿手去摸灯头、开关、插座等电器设备，不要用湿布去擦灯泡。更换灯泡时，要先拉开开关，然后站在干木器上进行。电灯要使用拉线开关，灯线不能过长，不要拉来拉去，防止灯线漏电伤人。发现电线过低，电线与广播线搭连，瓷瓶冒火，树枝碰线，电杆歪斜等危险情况时，应立即找电工修理。发现有人触电，应赶快拉开开关，或用干木棍、竹竿等绝缘物将电线挑开，迅速使触电者脱离电源，立即施行正确的人工呼吸，进行现场抢救，并赶快通知医务人员，进行紧急救护。不懂用电知识或一知半解的人，决不能盲目蛮干，乱修乱动电器设备。电气设备的金属外壳要接地；电气设备在未判明是否有电之前，应视为有电；移动、抢修电气设备时，均应停电后进行；灯头、插座或其他家用电器破损后，应及时找电工更换，不能“带病”运行。用电要申请，安装、修理找电工。停电送电要有可靠联系方法和警告标志，严禁约时停送电。

## 二、技术防护措施

为了防止人身触电事故，通常采用的技术防护措施有：电气设备的接地和接零，安装低压触电保护器两种方式。

## 第6节 接地和接零

在发、供、用电过程中，由于电气设备绝缘老化、过电压被击穿或磨损，致使原来不应带电部分（如金属底座、外壳等）带电，或原来带低压部分带上高压电。这些意外的不正常带电都会引起电气设备损坏和人身伤亡事故。为了避免这类事故的发生，常采用接地和接零作为防护措施。

电力系统中变压器中性点分接地和不接地两种。在中性点接地系统中，电气设备宜采用接零保护，即将电气设备不带电的金属外壳与零线连接，称为保护接零，简称接零。在中性点不接地系统中，电气设备宜采用保护接地，即将电气设备外壳或机座与独立的接地装置连接，称为保护接地。

接地装置由接地体和接地线组成，埋入地下直接与大地接触的金属导体，称为接地体。连接接地体和电气设备的接地螺栓的金属导体称为接地线。接地体的对地电阻和接地线电阻的总和，称为接地装置的接地电阻。

### 一、保护接地

#### 1. 保护接地的原理

在中性点不接地的系统中，电气设备应采用接地保护。但是，当电气设备不接地，而

发生绝缘损坏时〔图 8—27 (a)〕, 电气设备外壳带电。如果人触及带电设备外壳, 由于线路与大地间存在电容, 则电流经人体而形成通路, 人身就遭受了触电的危害。为了防止这种触电事故的发生, 将设备金属外壳接地〔图 8—27 (b)〕, 这时接地短路电流将同时沿着接地体和人体两条通路流过。流过每一条通路的电流值将与其电阻的大小成反比, 即

$$\frac{I'}{I_d} = \frac{R_d}{R_r}$$

式中:  $R_d$  为接地体电阻;  $R_r$  为人体电阻, 一般为  $600 \sim 1000 \Omega$ ;  $I'$  为流经人体的电流;  $I_d$  为流经接地体电流。

由上式可知, 接地电阻  $R_d$  越小, 通过人体的电流  $I'$  越小, 保护作用就越大。人体电阻  $R_r \gg$  接地电阻  $R_d$ , 所以通过人体的电流  $I'$  很小, 这样就保证了人身安全。

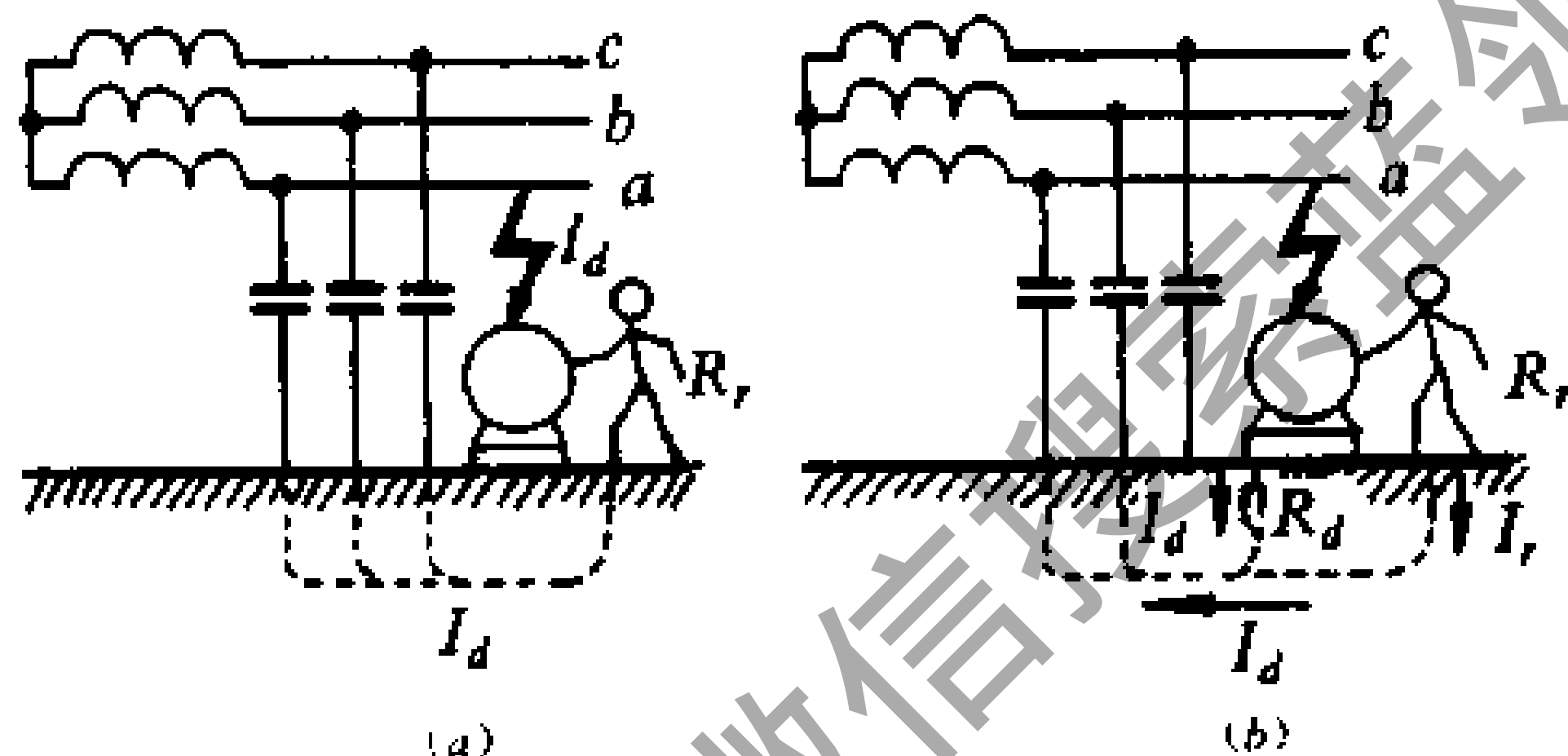


图 8—27 保护接地的原理

## 2. 保护接地应用范围

保护接地适用于不接地 (对地绝缘) 电网。在这种电网中, 凡由于绝缘破坏或其他原因而可能出现危险电压的金属部分, 如变压器、电动机、电器、照明器具的外壳和底座, 配电装置的金属构架, 以及配电网的钢管和电缆的金属外壳等, 一般均应接地。

## 3. 接地电阻值

低压电气设备的保护接地电阻, 不宜超过  $4 \Omega$ 。其值是按电气设备对地电压  $36 \text{V}$ , 接地电流按  $9 \text{A}$  考虑得来的, 即

$$R_d = \frac{U_d}{I_d} = \frac{36}{9} = 4 (\Omega)$$

## 二、保护接零

在  $380/220 \text{V}$  三相四线制, 变压器中性点直接接地的系统中, 普遍采用保护接零作为安全措施。

### 1. 保护接零的原理和应用范围

在中性点直接接地系统中, 单纯采取保护接地是不能保证安全的。如图 8—28 所示, 如果电动机仅有保护接地装置, 当某相发生碰壳短路时, 人体处在与保护接地装置并联的状态。在图 8—28 中,  $U$  为电网相电压,  $R_d$ 、 $R_0$  和  $R_r$  分别为保护接地装置的接地电阻、变压器低压中性点接地电阻和人体

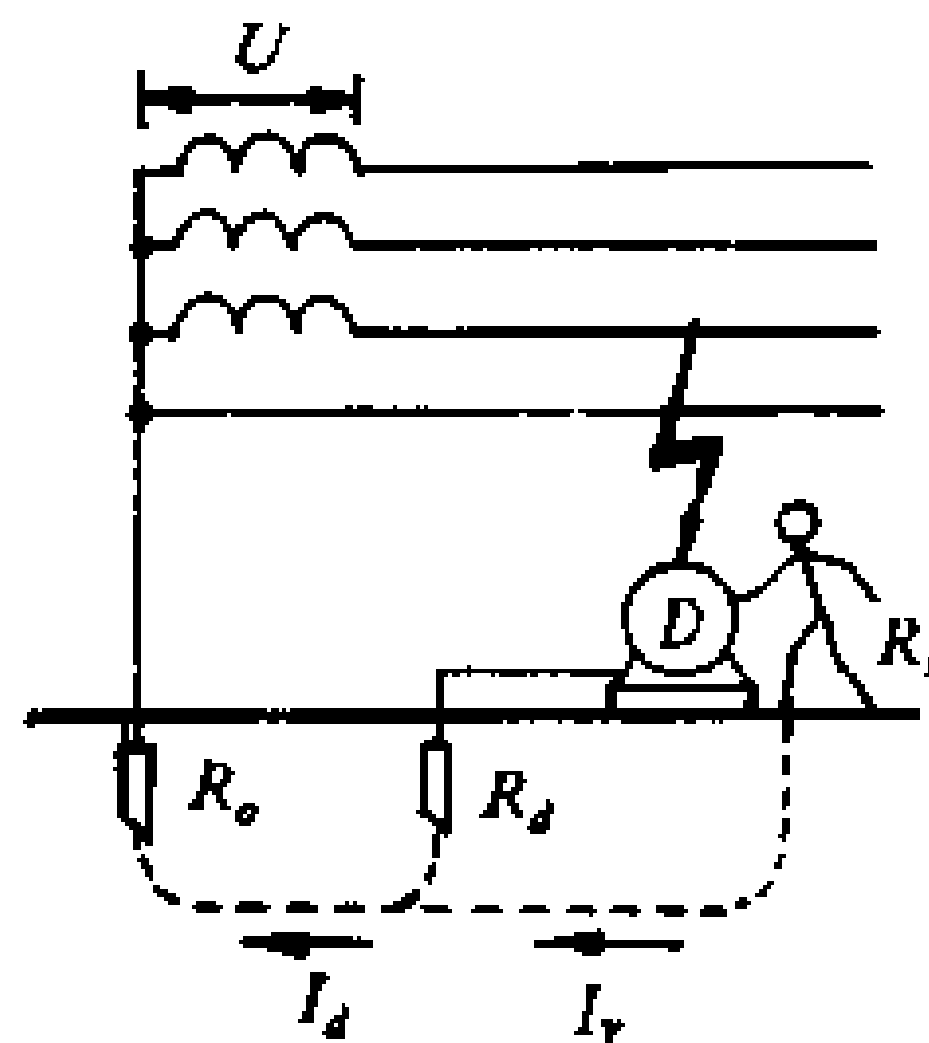


图 8—28 接地电网采取保护接地的危险

电阻。

在一般情况下， $R_0$  和  $R_d \ll R_r$ ，人体承受电压即降在接地电阻  $R_d$  上的电压为

$$U_r \approx \frac{R_d}{R_0 + R_d} \cdot U$$

通常低压电网的电压为 220V，而  $R_0$  和  $R_d$  一般不超过  $4\Omega$ ，如果都按  $4\Omega$  考虑，可以得到

$$U_r \approx \frac{4}{4+4} \times 220 = 110 \text{ (V)}$$

这个电压对人体仍然是危险的，所以在接地系统中，只单纯采取保护接地，是不能保证安全的。采取保护接零措施，可以避免这种危险。

保护接零的原理，如图 8—29 所示。当某相与设备外壳接触漏电时，通过设备外壳形成该相对零线的单相短路，短路电流  $I_d$  能使线路上的保护装置（如熔断器  $R_D$ ）迅速动作，从而把故障部分断开电源，消除触电危险。

保护接零适用于低压中性点直接接地、电压 380/220V 的三相四线制电网。在这种电网中，凡由于绝缘破坏或其他原因而可能出现危险电压的金属部分，一般均应接零。

为了安全，在接零系统中，零线应重复接地。如低压线路的干线和分支线的终端及沿线每 1km 处，零线应重复接地；电缆和架空线在引入车间和大型建筑物处，零线应重复接地（距接地点不超过 50m 者除外）；在屋内将零线与配电屏、控制屏的接地装置相连。图 8—30 为有重复接地的接零。

## 2. 采用接零保护应注意以下问题

(1) 严格防止零线断线：采用接零保护的系统中，零线断开，接零设备就可能出现危险的对地电压。在采取重复接地后，这一对地电压会大为降低，但仍然是危险的。所以，为了严防零线断开，在零线上不允许单独装设开关和熔断器。若采用自动开关，只有当过电流脱扣器动作后同时切断相线

时，才允许在零线上装设过电流脱扣器。同时，零线除了连接可靠外，还应有足够的机械强度，见表 8—1、表 8—2，其导电能力也不低于相线的 1/2。

(2) 严防有的设备不接零：在同一接零保护的系统中如果有的设备不接零线而接地（图 8—31），则此零线对地电压会上升为

$$U_0 = \frac{U}{R_0 + R_d} \cdot R_0$$

这样将使这一系统内所有接零设备都呈现危险电压  $U_0$ 。这种情况是不允许的。因此，必须把这一系统内所有电气设备的外壳与零线连接起来，构成一个零线网络，才能确保接零设备的安全。

(3) 严防中性点接地线断开：在采用接零保护的系统中，中性点接地线断开（图 8—32）是绝对不允许的。因为此时系统中任何一点接地或碰壳都会导致接在零线上的电

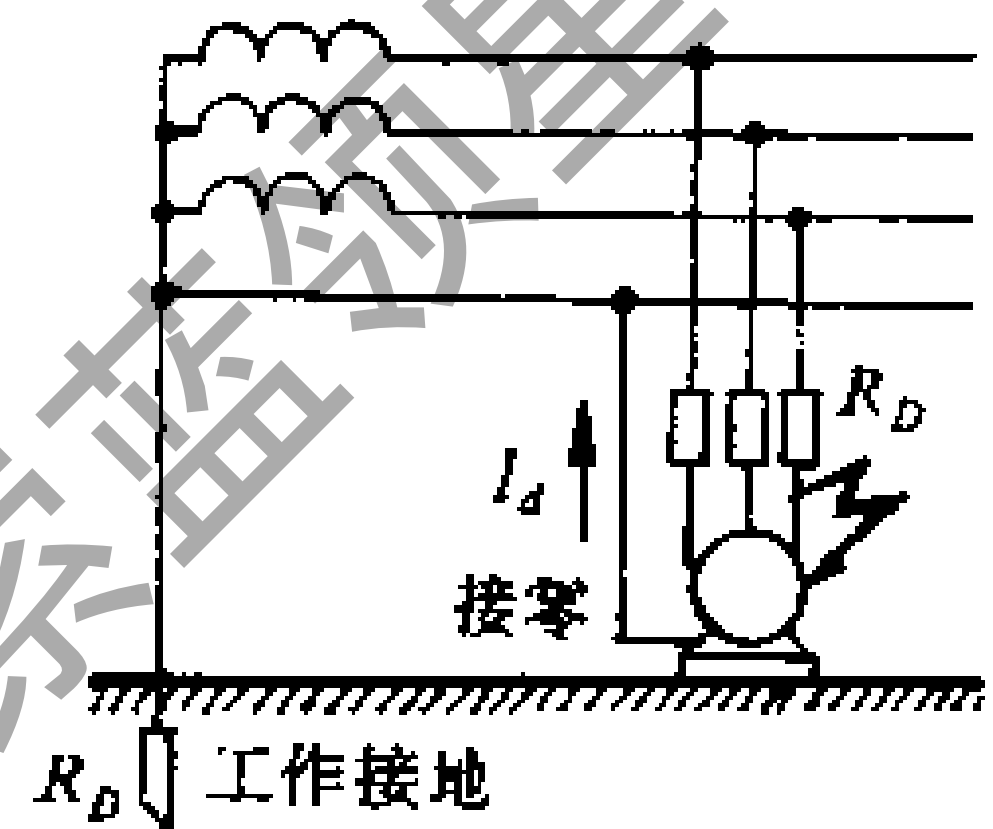


图 8—29 保护接零原理

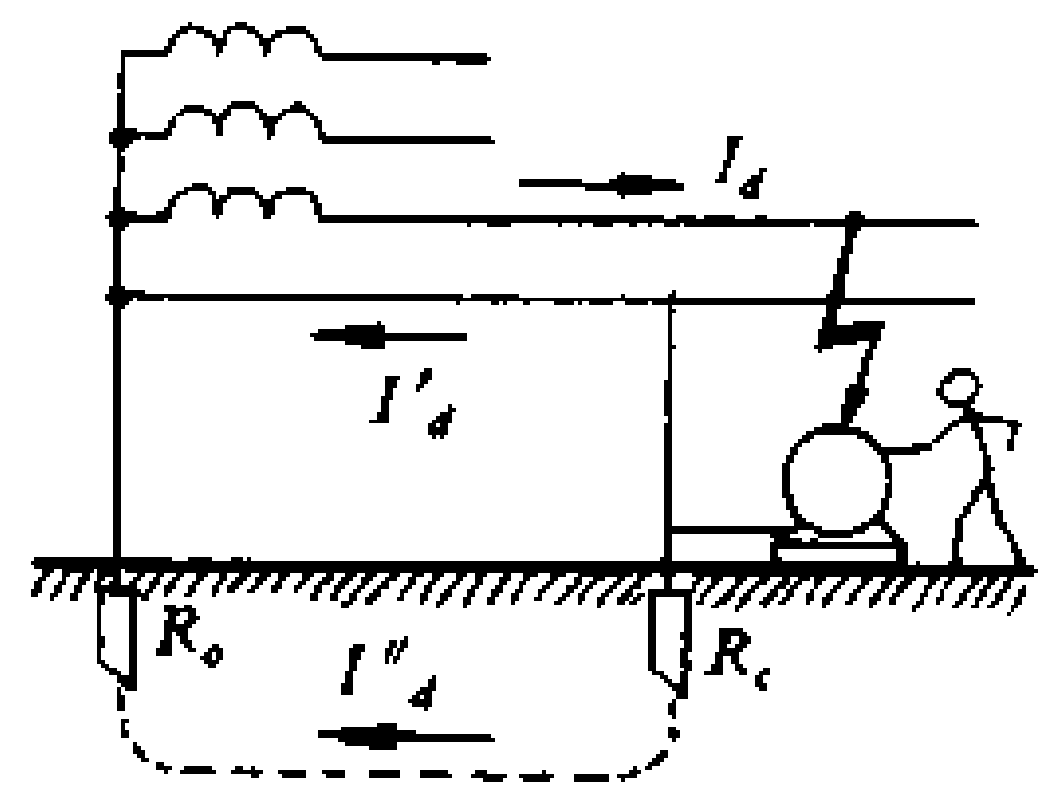


图 8—30 有重复接地的接零

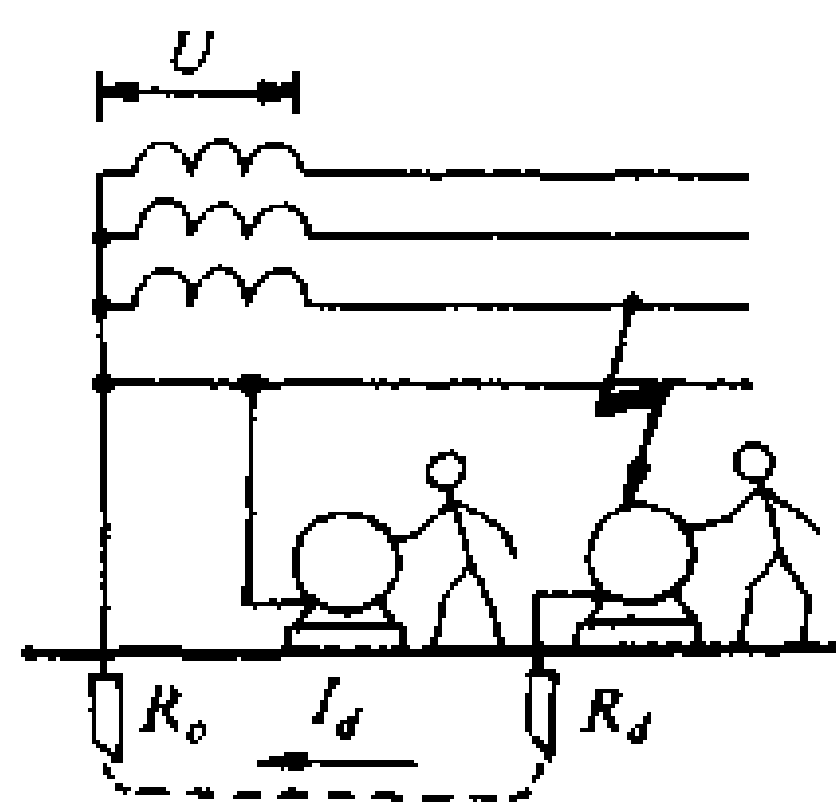


图 8—31 个别设备不接零的危险

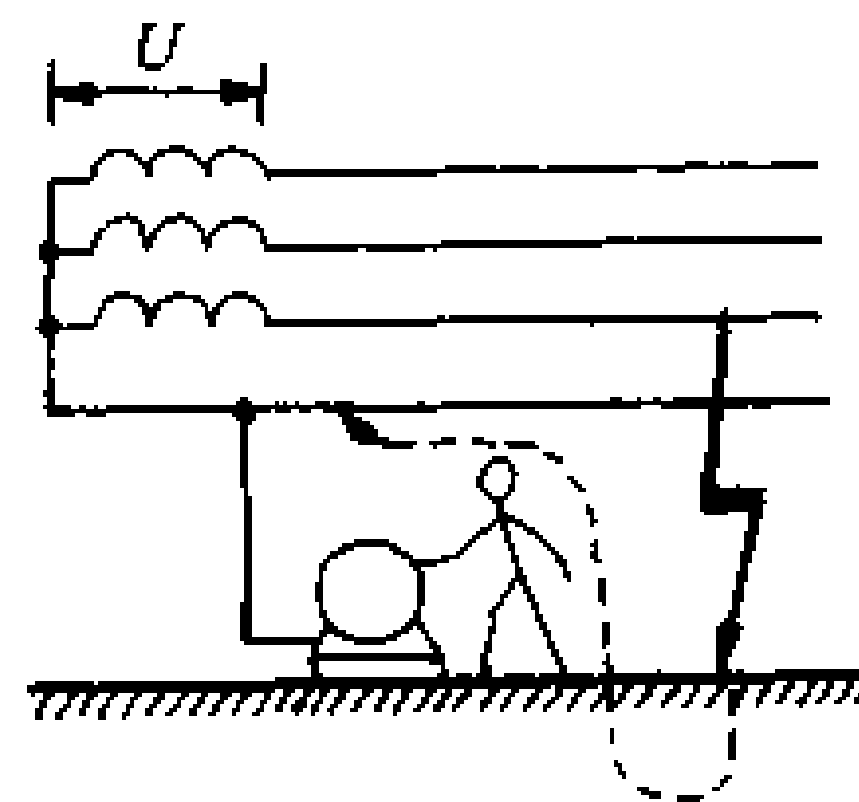


图 8—32 采用保护接零时，中性点不接地的危险

气设备出现近于相电压的对地电压，这对人体是十分危险的。为避免这类事故发生，接地线应满足安全技术要求。

### 三、接地装置和接零装置

接地装置和接零装置都是成套的安全装置。接地装置由接地体和接地线组成。接零装置由接地装置和零线网（不包括工作零线）组成。

#### 1. 对接地装置和接零装置的安全要求

保持接地装置和接零装置可靠而良好的运行，对于保障人身设备安全有十分重要意义。因此，对接地装置和接零装置有如下安全要求：

(1) 导电的连续性：必须保证电气设备至接地体之间或电气设备之间导电的连续性，不得有脱节现象。

(2) 连接可靠：接地装置之间的连接应采用焊接和压接。不能采用焊接和压接时，可采用螺栓或卡箍连接，但必须保持接触良好。在有振动的地方，应采取防松措施。

(3) 要有足够的机械强度：为了保证足够的机械强度，并考虑到防腐蚀的要求，接零线、接地线和接地体的最小尺寸和铜、铝接零线和接地线的最小尺寸分别见表 8—1、表 8—2。

铜、铝接零线和接地线只能用于低压电气设备地面上的外露部分，地下不得使用。携带式设备因经常移动，其接地线或接零线应采用  $0.75 \sim 1.5 \text{mm}^2$  以上的多股软铜线。

表 8—1 钢接零线、接地线和接地体的最小尺寸

| 材料种类                  | 地 上 |     | 地 下 |
|-----------------------|-----|-----|-----|
|                       | 屋 内 | 屋 外 |     |
| 圆钢直径 (mm)             | 5   | 6   | 3   |
| 截面 (mm <sup>2</sup> ) | 24  | 48  | 48  |
| 扁钢<br>厚度 (mm)         | 8   | 4   | 4   |
| 角钢厚度 (mm)             | 2   | 2.5 | 4   |
| 钢管管壁厚度 (mm)           | 2.5 | 2.5 | 3.5 |

表 8—2

铜、铝接零线和接地线最小尺寸

| 材 料 种 类                     | 铜<br>(mm <sup>2</sup> ) | 铝<br>(mm <sup>2</sup> ) |
|-----------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 明设的裸导体                      | 4                       | 6                       |
| 绝缘导体                        | 1.5                     | 2.5                     |
| 电缆接地心或与相线包在同一保护外壳内的多心导线的接地心 | 1                       | 1.5                     |

(4) 要有足够的导电能力和热稳定性：采用保护接零时，为了能达到促使保护装置迅速动作的单相短路电流，零线应有足够的导电能力。在不利用自然导线的情况下，保护零线导电能力最好不低于相线的 1/2。对于接地短路电流系统的接地装置，应校核发生单相接地短路时的热稳定性。

(5) 防止机械损伤：接地线或接零线尽量安装在人不易接触到的地方，以免意外损坏；但又必须是在明显处，以便于检查。

(6) 防腐蚀：为了防止腐蚀，钢制接地装置最好镀锌，焊接处涂沥青防腐。明敷的裸接地线和接零线可以涂漆防腐。

(7) 要有适当的埋设深度：为了减小自然因素对接地电阻的影响，接地体上端埋设深度，一般不应小于 0.6m，并应在冻土层以下。

## 2. 接地装置和接零装置的结构

(1) 接地体：接地体有自然接地体和人工接地体两种。自然接地体，如埋设在地下的金属管道、建筑物的金属构架等；人工接地体多用钢管、角钢扁钢、圆钢或废钢铁制成。一般情况下，接地体垂直埋设，多岩石地区接地体可水平埋设。图 8—33 为几种典

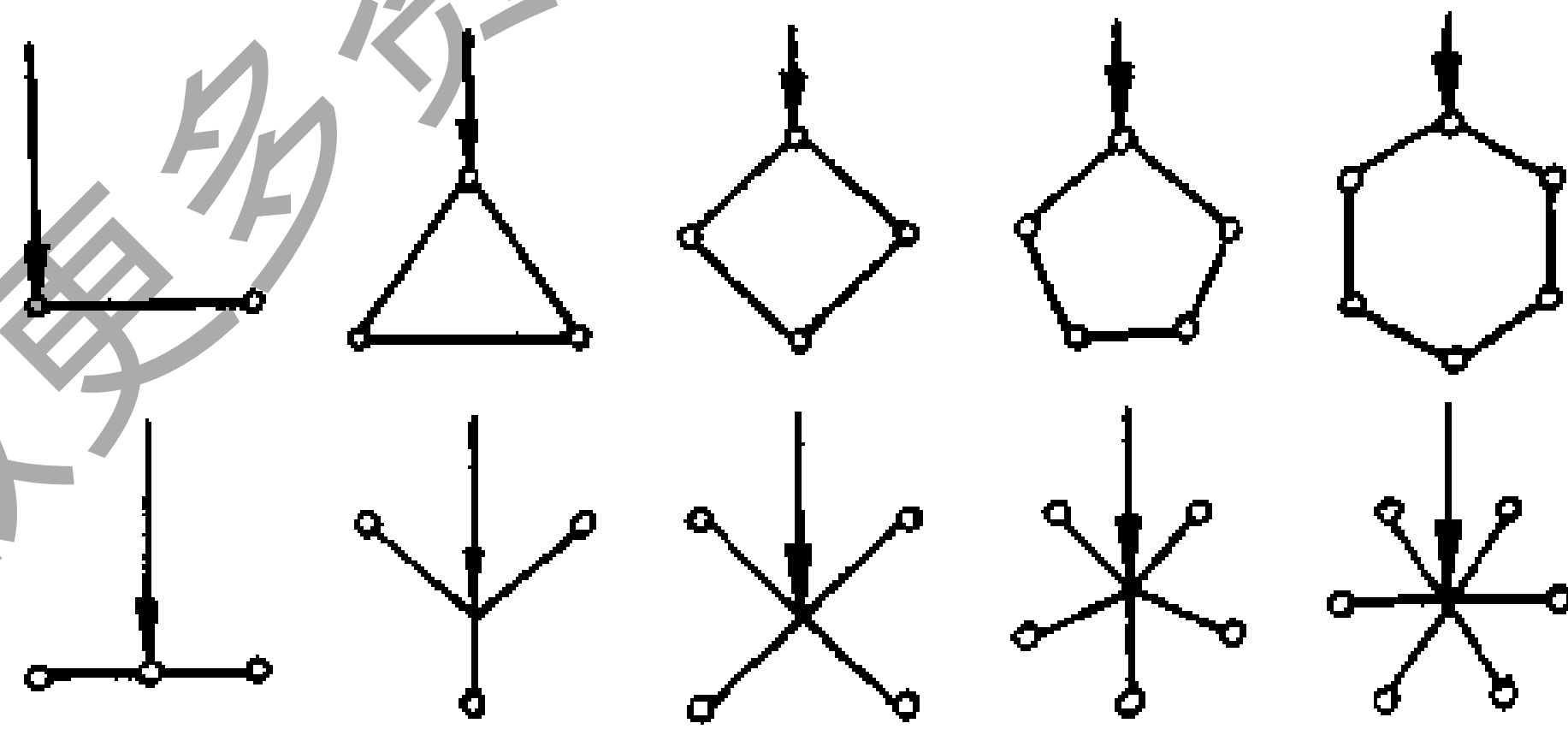


图 8—33 垂直接地体的布置

型的垂直接地体布置图。图 8—34 为水平埋设的接地体的布置图，常采用 40mm×4mm 的扁钢或直径 16mm 的圆钢做成。图 8—35 为角钢接地体的结构安装图。

(2) 接地线和接零线：接地线和接零线均可利用自然导体，如建筑物金属结构、自来水管以及其他各种金属管道，均可用作 1kV 以下的电气设备的

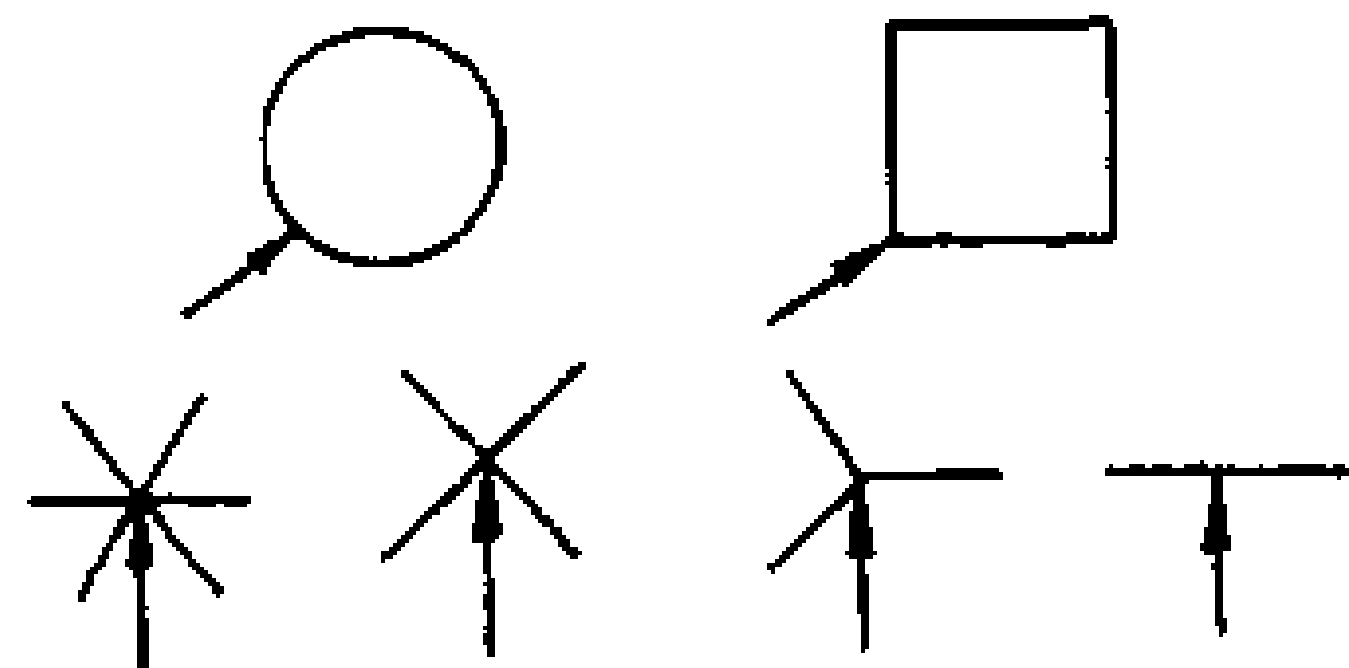


图 8—34 水平接地体的布置



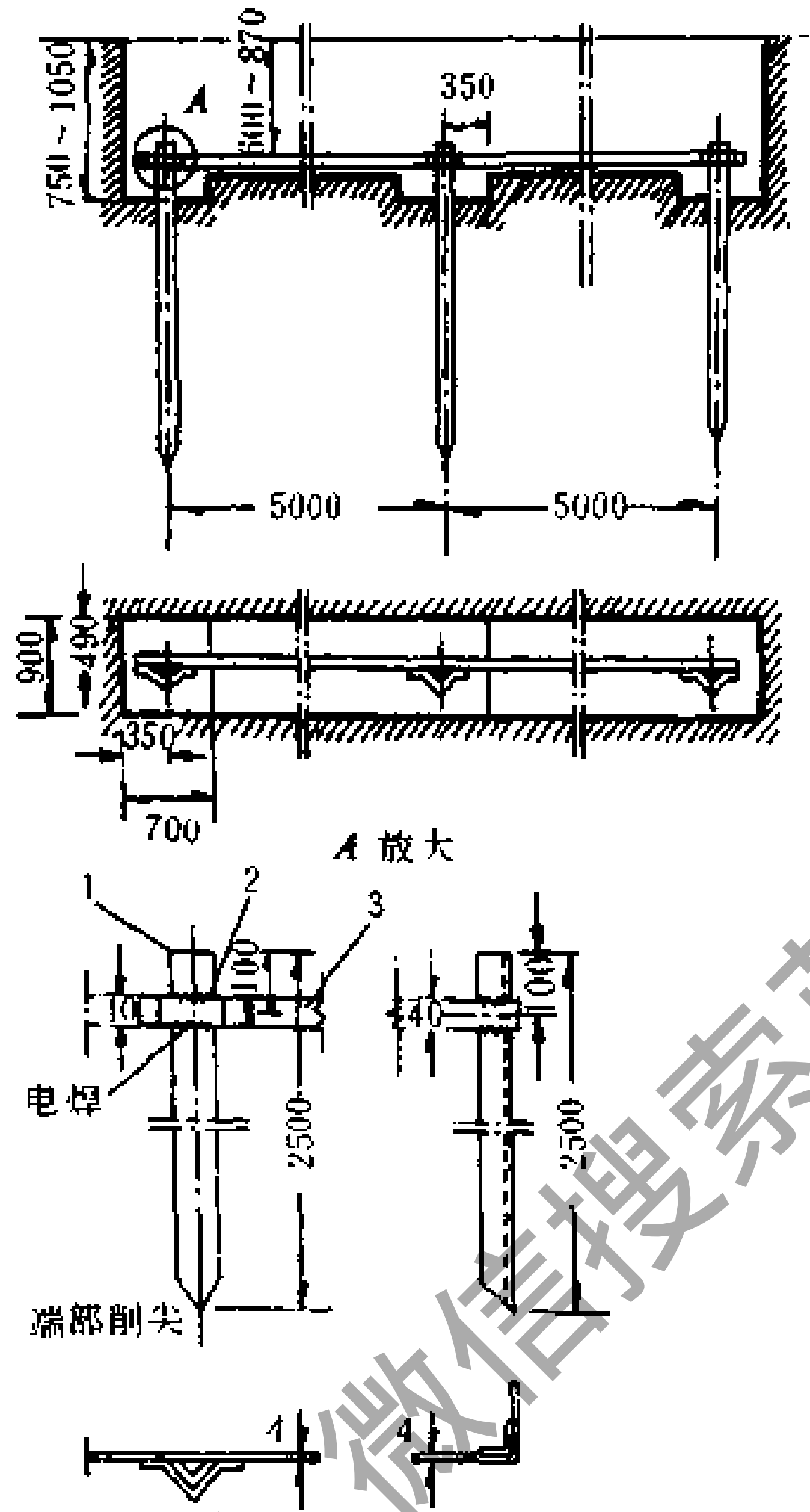


图 8—35 角钢接地体的安装

1—角钢接地体的安装 2—卡板 3—连接扁钢

接地线和接零线。

如果电气设备较多，宜敷设接地干线或接零干线（二者的区别在于前者只与接地体连接，后者还须与电源变压器低压中性点连接）。如图 8—36 所示，各电气设备应分别与接地干线（或接零干线）连接，不得在一个接地线中串接几个需要接地的设备。接地干线（或接零干线）与接地体连接，连接点应在不同的两处。

接地干线宜采用  $15\text{mm} \times 4\text{mm} \sim 40\text{mm} \times 4\text{mm}$  扁钢沿设备场所四周敷设，离地面高度应保持在  $200 \sim 250\text{mm}$  以上，与墙之间应保持  $15\text{mm}$  以上的距离。接地体与建筑物的距离不应小于  $1.5\text{m}$ 。

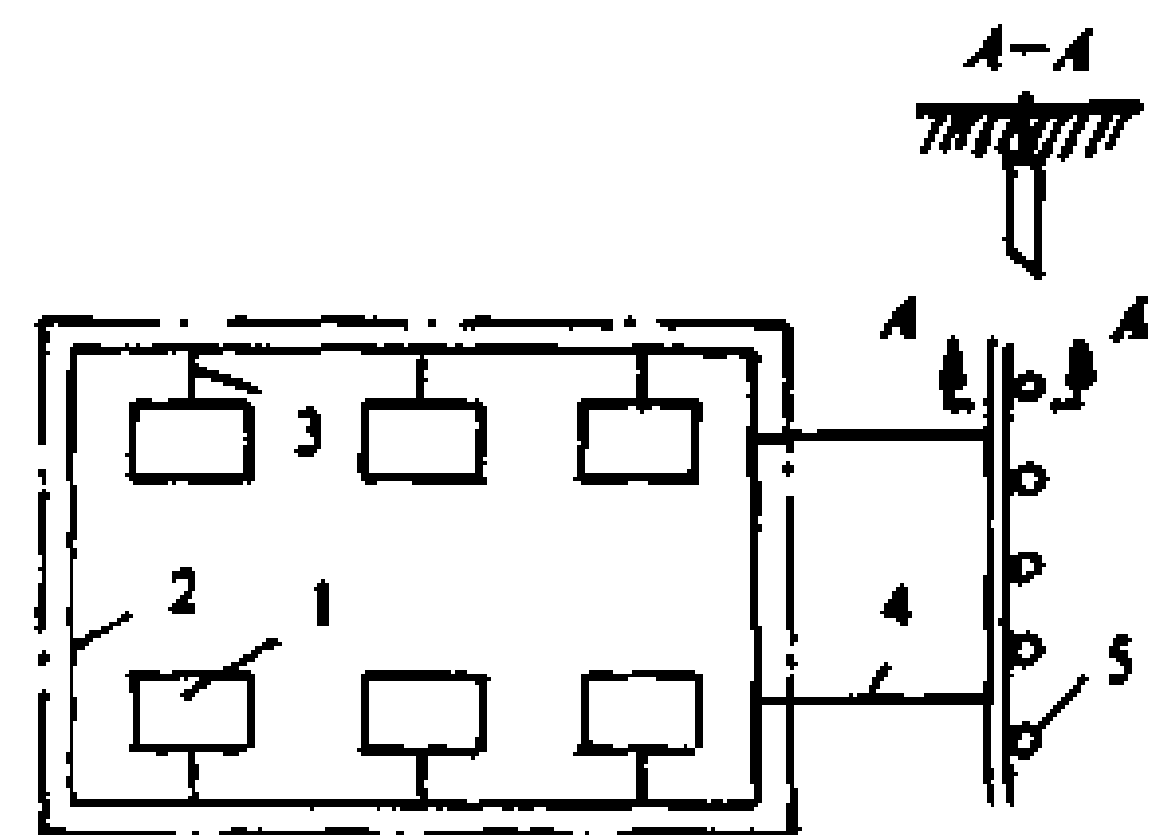


图 8—36 接地装置简图

1—电气设备 2—接地干线（或接零干线） 3—接地支线（或接零支线） 4—接地体连接线 5—接地体

## 第7节 低压触电保护器

低压触电保护器是一种行之有效的触电保安措施。它不但在农村得到推广，而且在城镇居民中也得到越来越广泛的应用。触电保护器的种类很多，就其保护范围来说，都是保护工频 380/220V 电网中，一相经人体或其他导体与大地构成回路的单相触电的保安设备。

触电保护器一般都是由检测人体触电电流部分与切断电源的执行部分组成。为了使触电保护器工作灵敏、可靠，又常在检测部分中装设放大环节；在执行部分中装设切断电源的中间环节。

搞好安全用电工作，除大力宣传安全用电常识，采取预防为主方针以外，大力推广采用触电保护器，也是防止意外触电事故的重要技术防护措施。

### 一、对触电保护器的基本要求

使用触电保护器的目的是当人体发生单相触电时，能迅速自动地断开电源，以保证人身安全。此外，触电保护器还起到监视低压电网是否正常运行作用。为了使触电保护器能准确、可靠地动作，在技术上应满足以下几点要求：

#### 1. 要有足够的灵敏度

合理地选择保护器的灵敏度，是决定触电保护器使用效果的前提。灵敏度过高时，有可能因电网微小的对地漏电而造成保护器频繁地动作，从而使电网无法正常工作；相反，灵敏度过低时，又可能由于人体触电时，保护器未动作而失去保护作用。根据触电保护器的运行经验，从提高保护人身安全的可靠性出发，一般触电保护器的灵敏度应选择动作电流在 15~30mA 的范围之内。

#### 2. 要有必要的动作速度

从电流对人体的危害来看，除与触电电流的大小有关外，还与触电时间的长短有关。因此，触电保护器还应有很高的动作速度。在一般情况下，各种类型的触电保护器的动作时间，均不应大于 0.1s。若动作时间大于 0.1s 时，应采取措施减小动作电流。

#### 3. 具有必要的监视回路

触电保护器投入运行以后，若发生人体单相触电或电网对地绝缘不良时，应可靠地动作。因此，必须装有必要的监视回路，以防运行状态改变时，失去保护作用。例如，对普通电压型保护器，应装有监视零线接地的装置。

此外，保护器应力求结构简单、工作可靠、经济耐用。

### 二、触电保护器的种类

触电保护器的种类很多。根据其安装方式，习惯上分电压型保护器和电流型保护器两大类。凡是检测装置串接在配电变压器中性点及接地体之间，需要改变配电变压器直接接地运行方式的，称为电压型保护器；而采用零序电流互感器获取触电信号，不需改变配电变压器接地方式的，称为电流型保护器。检测装置串接在配电变压器中性点与接地体之间的电压型和电流型保护器又称为中性点式保护器。

根据保护器的工作原理，可分为简易电压型、电流型、交流脉冲型、直流动作型、直流脉冲型以及交直流动作型等。

### 1. 电压型触电保护器

图 8—37 (a) 为简易电压型单极式保护器的工作原理图。图中， $T_0$  是检测电抗线圈，串接在中性点与大地之间，由它直接带动锁扣机构控制刀闸。

当线路上任何一处有人触电时，触电电流经检测线圈，线圈激磁产生吸力，吸动锁扣机构，依靠弹簧的弹力，拉开刀闸切断电源。

图 8—37 (b) 是简易双极式保护器原理图。它是专用一个检测继电器  $B$  检测触电信号，再去控制跳闸线圈  $T_0$  执行跳闸任务。实际相当于增加了一级放大装置，使保护器灵敏度提高。

电压型触电保护器在农村已广泛采用。

### 2. 电流型触电保护器

图 8—38 为电流型触电保护器原理图。电流型保护器采用零序电流互感器  $W$  检测触电或漏电电流  $I_{L0}$ 。这种检测方式是把变压器的接地零线作为互感器的一次导体。

当线路上有人触电时，触电电流流经接地零线，在互感器二次绕组中便产生感应电势  $E_2$ ，以此信号带动电磁机构（或晶体管放大装置），来推动执行机构切断电源。

图 3—38 所示保护器是作为总保护时用的触电保护器，它也可以进行任何范围的分支保护，此时是把被保护线路的相线及零线同时穿入电流互感器，作为互感器的一次导体。

电流型触电保护器，由于互感器的容量不受限制，穿入电流互感器的一次导体（即配电变压器的中性线）的匝数可适当增加，不用考虑剩余电流的影响，所以互感器的体积可以较小，对互感器的要求较低。因此，保护器的结构、工艺要求都比较简单，造价低，适合在农村和城镇推广。

### 3. 交流脉冲型触电保护器

为使触电保护器既要有较小的额定动作电流值，又要能适应泄漏电流很大的电网，可以采用交流脉冲型触电保护器。

交流脉冲型保护器工作时，只取人触电时引起的电流突然变化量作为保护器的动作信号，与因线路绝缘电阻变化引起的电流缓慢变化无关。

图 8—39 为交流脉冲型触电保护器的结构图。与一般电流型保护器一样，交流脉冲型保护器也采用零序电流互感器获取信号电流。当有人触电时，触电或漏电电流  $I_{L0}$  经放大器整流后将此电流变为直流，再经过电阻电容耦合电路（或者是微分电路），取出正负突

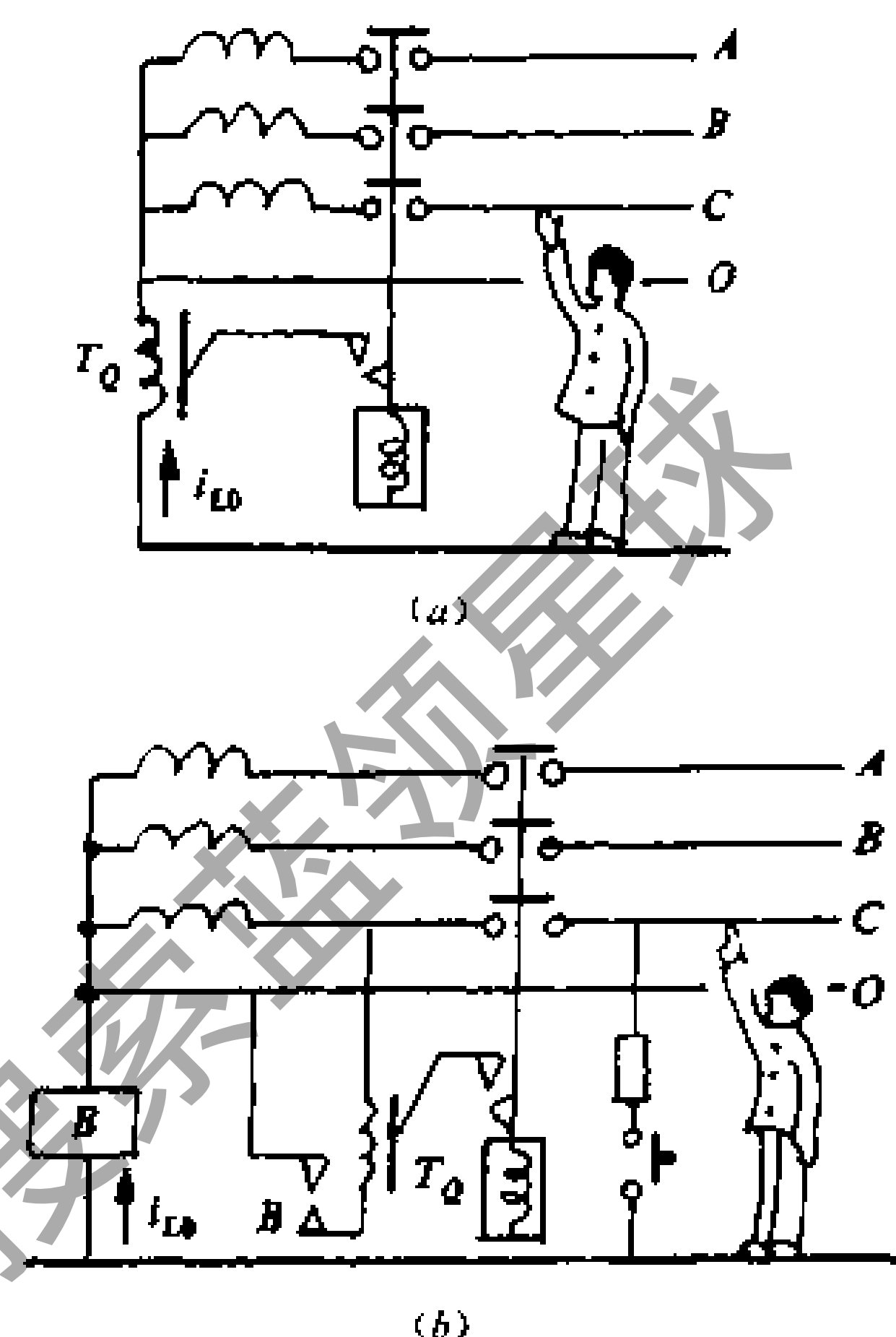


图 8—37 电压型触电保护器原理图

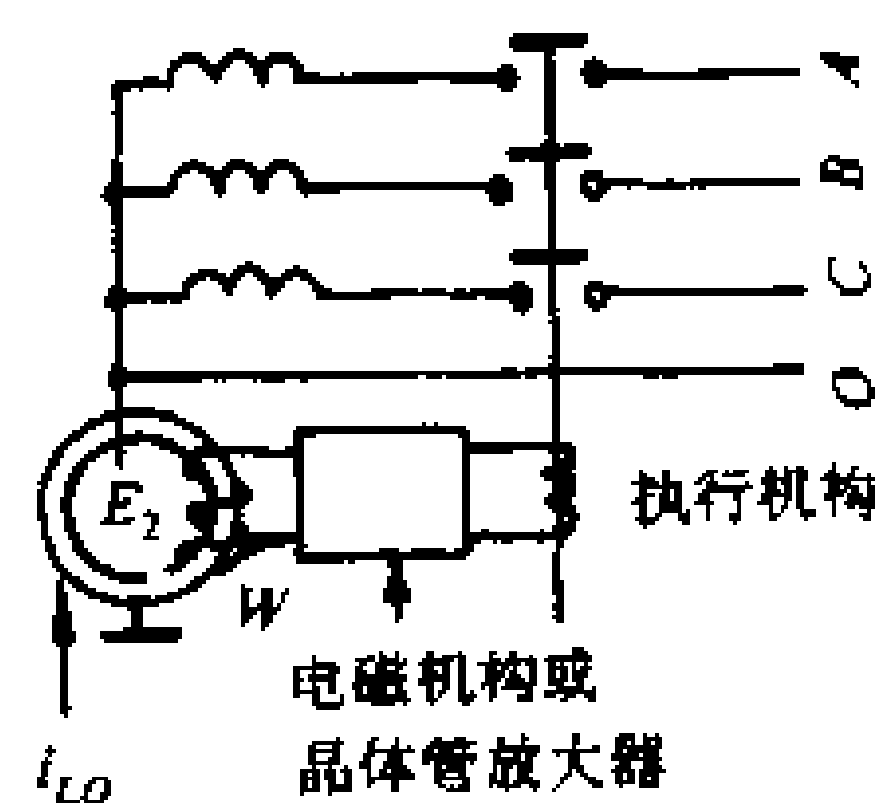


图 8—38 电流型保护器

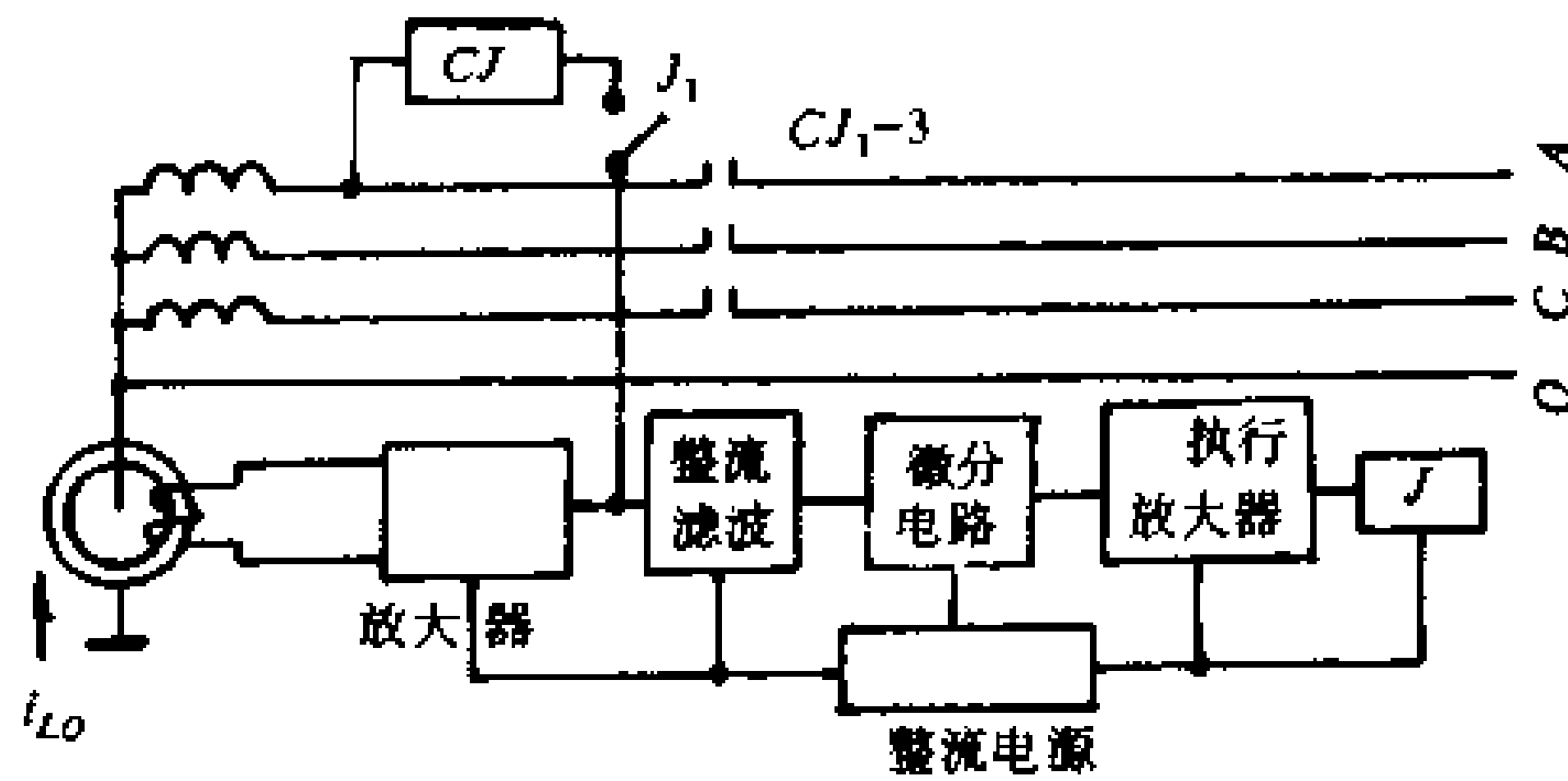


图 8-39 交流脉冲型触电保护器结构

变信号，送入执行放大器，使保护器发生动作。

#### 4. 直流动作式触电保护器

直流动作型保护器是在电网上加一直流电压  $E$ ，保护器根据电网上的直流电流而动作。图 8-40 为直流动作型保护器的原理图。图中， $W$ （辅助变压器）、 $D$ （整流器）及  $C_1$ （电容器）构成直流电流系统，供给直流电压；电感  $L$  及电容  $C_2$  构成 50Hz 的谐振电路，阻止交变电流通过直流继电器  $J$ 。因此，保护器本身的工作和电网中的交流电流无关。

当有人触电时，人体触电电阻相当于与线路对地绝缘电阻并联，使回路中的直流电流增大，当等于直流继电器  $J$  的吸合电流时，继电器吸合，保护器动作切断电源。

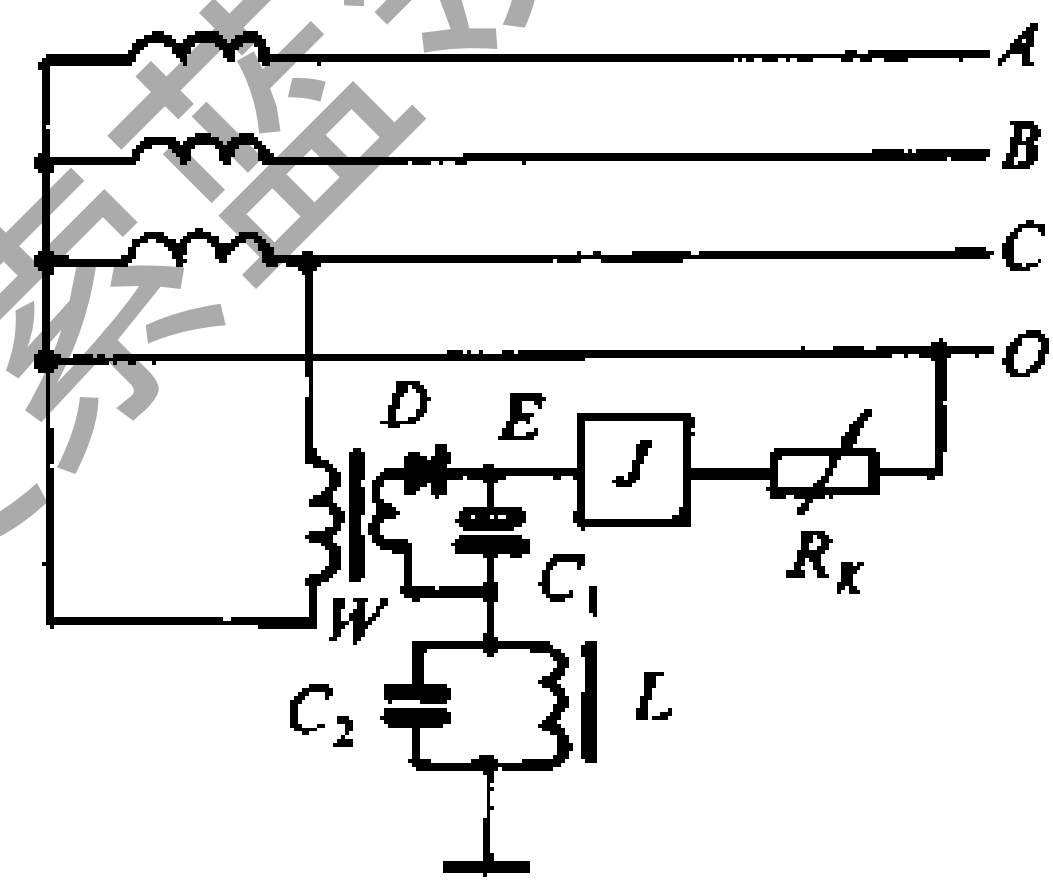


图 8-40 直流动作型触电保护器原理图

### 三、家用触电保护器

家用触电保护器是为防止因家用电器设备（如电扇、电冰箱、洗衣机、电熨斗等）漏电而造成人身触电事故的一种保护装置，其容量可以是 5~10A，动作电流整定值可取 15~20mA。

图 8-41 为单相电流型电子触电保护器的结构原理图。图中， $H$  为检测触电（漏电）信号的电流互感器。当正常供电时，火线和零线中的电流值相等，但方向相反，它们产生的磁通互相抵消，故互感器二次绕组  $L_2$  无信号输出，驱动电路也无脉冲输出，继

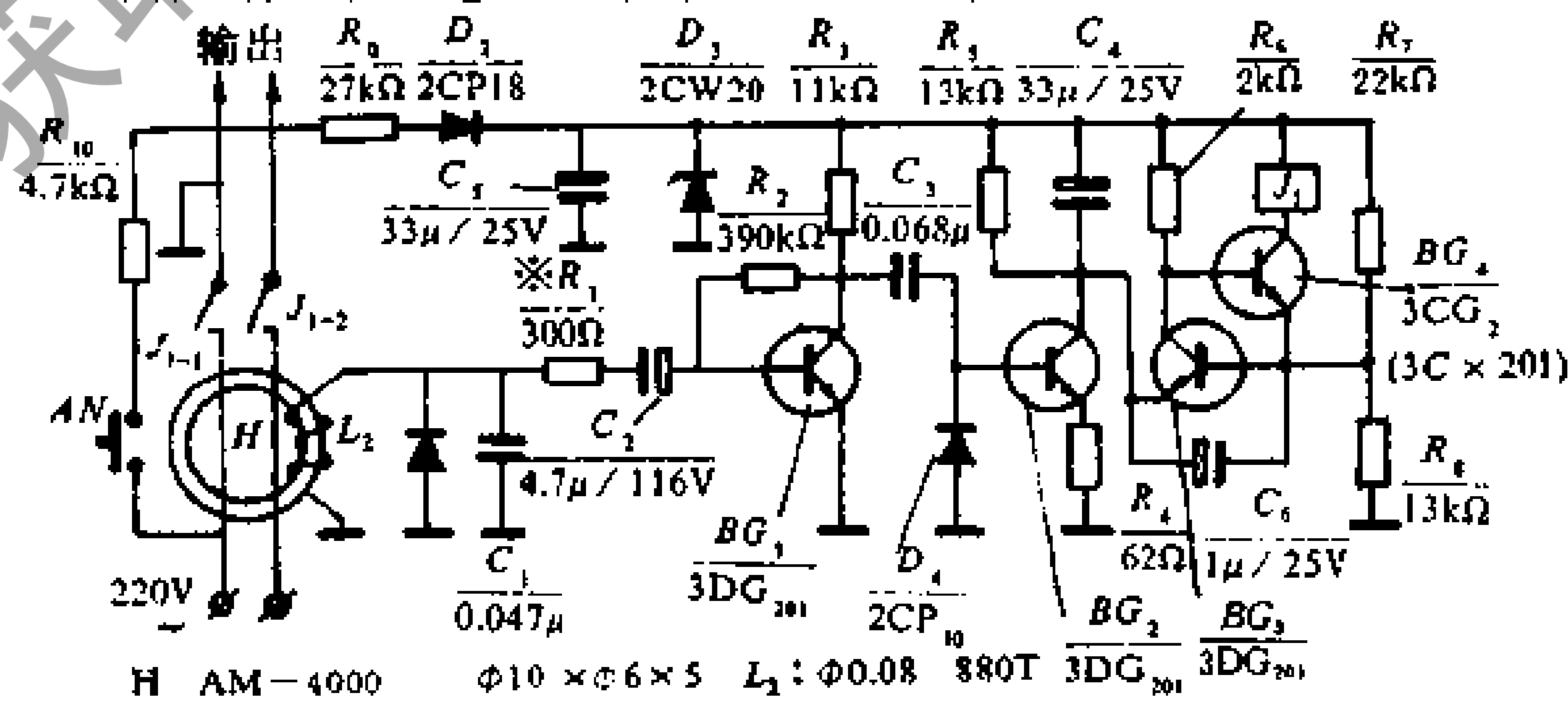


图 8-41 单相电子触电保护器结构原理图

电器保持在吸合状态，向外电路供电。当有人对地触电（或有漏电）时，火线中电流增加了流过人体的触电电流，而零线中的电流不变，二者之间出现了差值， $I_2$  即有电流输出，经  $BG_1$  放大后推动驱动电路工作，发出脉冲，使继电器动作，接点  $J_{1.1}$ 、 $J_{1.2}$  断开，切断了电源，保护了触电者。 $AN$  为试验按钮，按下时经  $R_{10}$  产生的差值电流，用来模拟人体触电电流，以检测保护器工作是否正常，同时也兼作跳闸按钮。 $C_6$  为抗干扰电容。

该触电保安器具有积分性能，触电动作时间随着触电电流的增大而减小，即触电电流越小，保护器延时跳闸的时间越长；而当严重触电时，又具有速断的能力，使触电电流与触电时间的乘积不大于  $30\text{mA} \cdot \text{s}$  的人体触电电流的安全值，保证了人身安全。

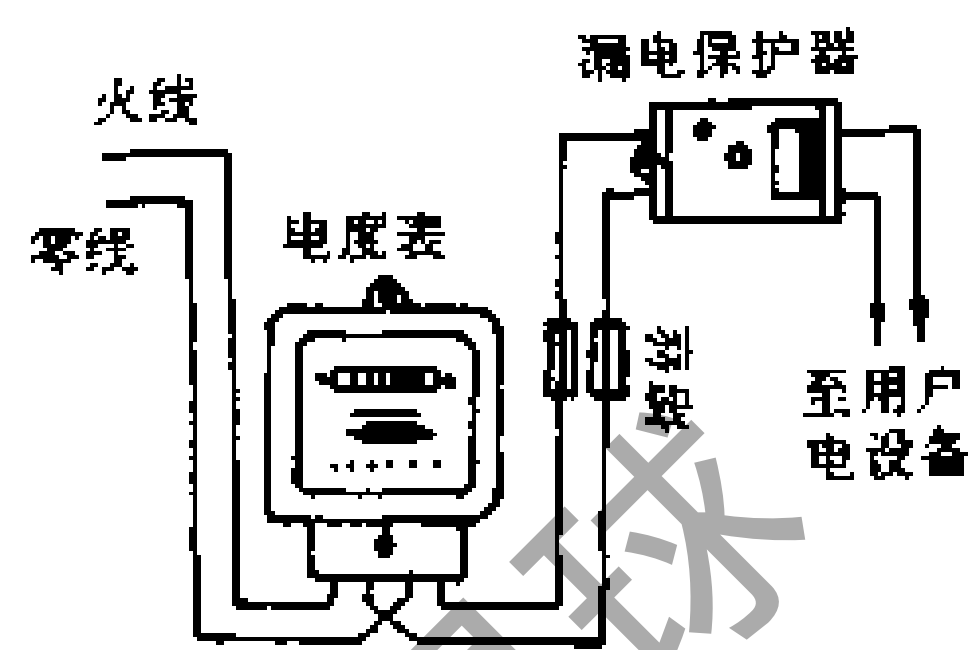


图 8—42 家庭总保护安装示意图

图 8—42 为家用触电保护器的总保护安装示意图。保护器可代替闸刀来切断电源。按动试验按钮  $AN$  即可跳闸。

图 8—43 为家用电器的单机专用保护安装示意图。

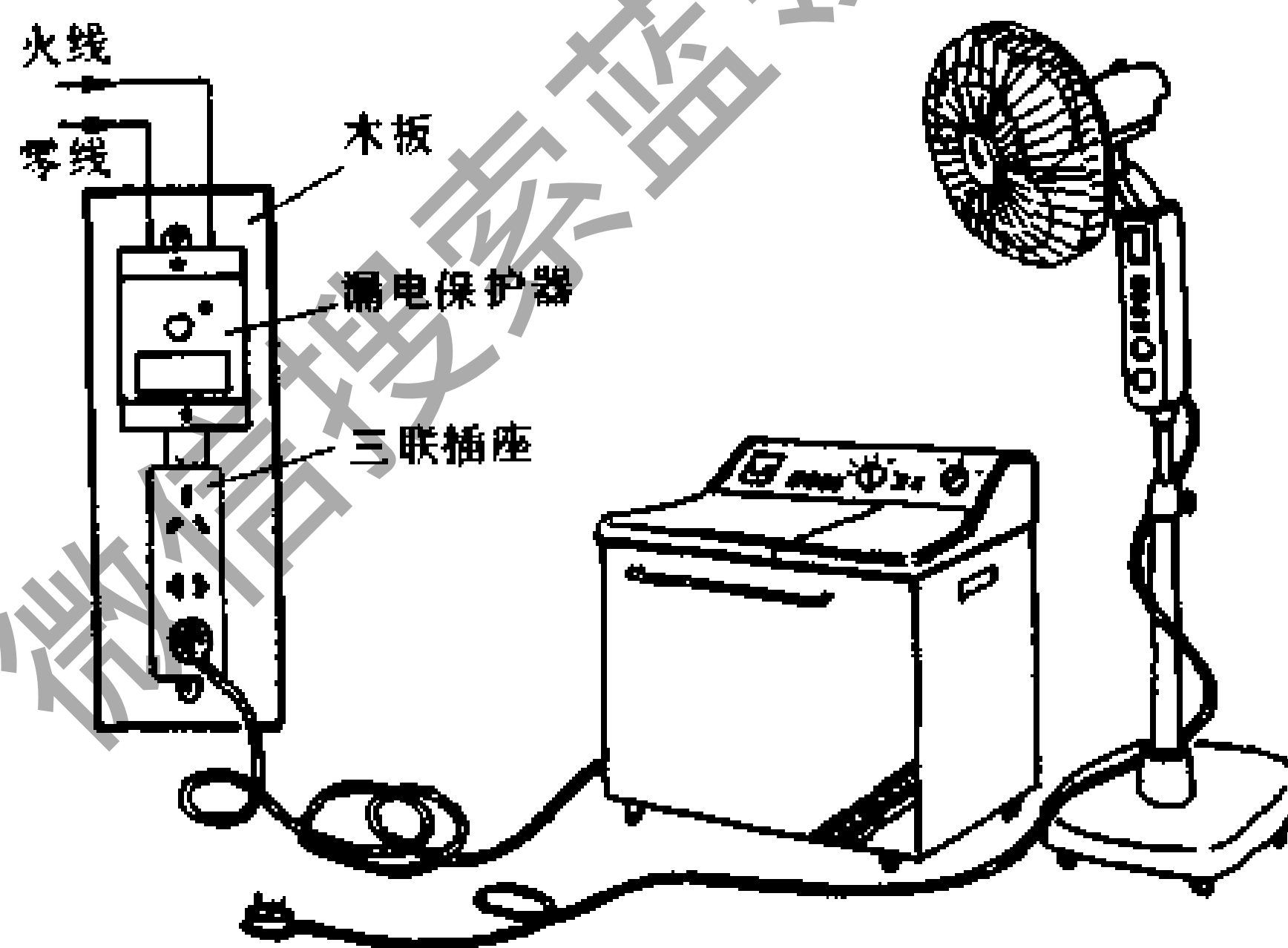


图 8—43 单机专用保护安装示意图

安装家用触电保护器时，一定按厂家的说明书进行正确接线。保护器只能保护对地触电事故，而不能起设备过载保护。

为了保证家用触电保护器的正常工作，每月应按动试验按钮  $AN$  进行一次试验，若保护器跳闸，说明保护器工作完好；若不动作，应检修。在试验时，试验按钮按下的时间不得大于  $1\text{s}$ ，长时间按住  $AN$ ，会损坏试验电阻。

[ G e n e r a l I n f o r m a t i o n ]

书名 = 电工基础与电工技术

作者 =

页数 = 3 2 5

S S 号 = 0

出版日期 =

获取更多资料 微信搜索蓝领星球