

# 轻轻松松学电工

学  
电  
工

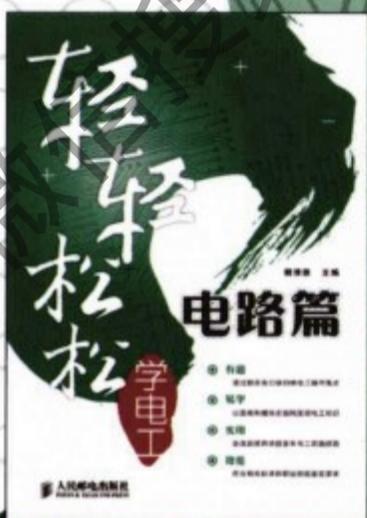
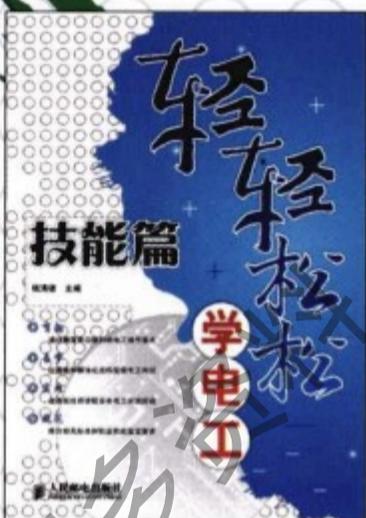
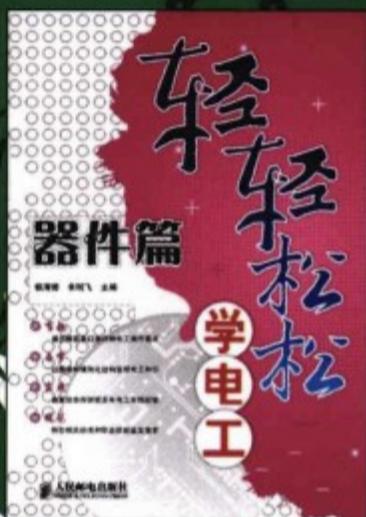
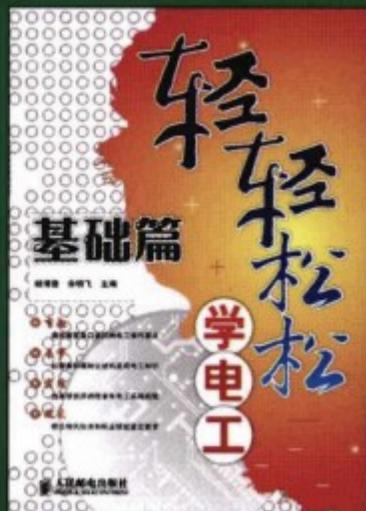
杨清德 主编

## 电路篇

- ◎ 有趣  
通过数百条口诀归纳电工操作要点
- ◎ 易学  
以图表和模块化结构呈现电工知识
- ◎ 实用  
由高级技师讲授多年电工实践经验
- ◎ 规范  
符合相关标准和职业技能鉴定要求

 人民邮电出版社  
POSTS & TELECOM PRESS

# 轻轻松松学电工



封面设计：董福彬

分类建议：电工技术 / 电工基础  
人民邮电出版社网址：[www.ptpress.com.cn](http://www.ptpress.com.cn)



ISBN 978-7-115-22769-0



9 787115 227690 >

ISBN 978-7-115-22769-0

定价：35.00 元

# 轻松学

# 电路篇

杨清德 主编

电子电工

人民邮电出版社

北京

## 图书在版编目(CIP)数据

轻轻松松学电工. 电路篇 / 杨清德主编. — 北京 :  
人民邮电出版社, 2010. 7  
ISBN 978-7-115-22769-0

I. ①轻… II. ①杨… III. ①电工—基本知识②电子  
电路—基本知识 IV. ①TM

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第060508号

## 内 容 提 要

本书结合广大电工人员的实际需要, 主要介绍了常用照明电路、继电器—接触器控制电路、电动机控制新技术电路、机电设备电气控制电路、新型电力电子电路以及 LED 应用电路。以通俗的语言介绍电工知识是本书的一大特色, 书中每一个章节的标题都采用了一句读者耳熟能详的短语进行辅助说明, 以加深读者对知识的理解和掌握。本书的新(新技术、新方法、新工艺、新应用)、实(贴近实际、注重应用)、简(文字简洁、风格明快)、活(模块式结构配以图表, 便于自学)编写风格可带给读者耳目一新的感受。

本书适合广大电工人员阅读, 也可作为电工培训教材以及各类职业院校相关专业师生的参考书。

## 轻轻松松学电工——电路篇

◆ 主 编 杨清德

责任编辑 刘 朋

◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号

邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn

网址 <http://www.ptpress.com.cn>

北京隆昌伟业印刷有限公司印刷

◆ 开本: 787×1092 1/16

印张: 18.5

字数: 448 千字

印数: 1—4 000 册

2010 年 7 月第 1 版

2010 年 7 月北京第 1 次印刷

ISBN 978-7-115-22769-0

定价: 35.00 元

读者服务热线: (010)67129264 印装质量热线: (010)67129223

反盗版热线: (010)67171154

# 前 言

电的应用不仅影响到国民经济的方方面面,也越来越广泛地渗透到人们生活的各个层面。电气化程度已成为衡量社会发展水平的一个重要标志。做一名合格的电工,学到一技之长,是许多人的迫切愿望。

电工技术是一门知识性、实践性和专业性都很强的实用技术,其中的符号、规范比较多,学习起来相对比较枯燥乏味。初学者学习电工技术时,往往会遇到先学什么,再学什么,怎么学,怎样才能轻轻松松快速入门,怎样才能学以致用等一系列问题。鉴于此,我们组织有关专家学者和技术人员进行了深入系统的考虑和研究,并根据广大初学者的特点和实际需要,结合《国家职业标准——维修电工》初级与中级部分的相关知识 with 技能要求,编写了这套“轻轻松松学电工”系列图书。本套丛书可作为广大电工技术初学者的自学读物,也可作为岗前培训以及各类电工短期培训班的教材,还可供职业院校相关专业的师生学习相关课程时参考阅读。

本套丛书试图从读者的兴趣和认知规律出发,一步一步地、手把手地引领初学者学习电工职业所必须掌握的基础知识和基本技能,学会使用基本的电气工具、仪表和设备,识读常用电工电路图,书中内容实用性和针对性较强。本套丛书第一批包括《轻轻松松学电工——基础篇》、《轻轻松松学电工——器件篇》、《轻轻松松学电工——技能篇》、《轻轻松松学电工——应用篇》,由于特色鲜明、内容实用,出版后深受读者欢迎。为了帮助读者比较全面地掌握电工知识和技术,我们又组织编写了《轻轻松松学电工——识图篇》、《轻轻松松学电工——禁忌篇》和《轻轻松松学电工——电路篇》。

**《轻轻松松学电工——基础篇》:** 重点介绍初级电工必须掌握的基础知识,包括直流电、电磁现象、正弦交流电、电工工具、电工识图以及安全用电等内容。

**《轻轻松松学电工——器件篇》:** 重点介绍常用电子元器件、高低压电器、电工材料以及仪表的种类、检测和使用方法等内容。

**《轻轻松松学电工——技能篇》:** 重点介绍电工基本操作技能,如焊接、导线连接、照明线路安装、电动机的拆卸与装配、电动机控制线路以及其他常用电气设备的安装方法等。

**《轻轻松松学电工——应用篇》:** 重点介绍照明线路、电动机、变压器、常用电动工具及其他电气设备的使用、维护、故障检修方法和电工应用小技巧。

**《轻轻松松学电工——识图篇》:** 重点介绍常用电气符号、电工识图基本方法,以及识读供配电系统图、建筑电气图、电力拖动系统电气图、PLC 梯形图、变频器应用电路图和软启动器应用电路图等的方法和技巧。

**《轻轻松松学电工——禁忌篇》:** 重点介绍安全用电及安全生产、电工工具使用、常用高低压电器选用方面应禁止的操作,以及室内外线路安装、电动机安装与维护、PLC 和变频器的使用与保养等方面的禁忌事项。

**《轻轻松松学电工——电路篇》:** 重点介绍比较常用的传统经典电工电路和近年来应用较多的新型电路,适当涉及部分比较复杂的电路的安装、调试与检修知识,如照明电路、低压

供电电路、电动机控制电路、机电设备控制电路、电工测量电路和电子应用电路等。

本套丛书在编写时力图体现以下特点。

◆ 在内容安排上，立足于初学者的实际需要，旨在帮助读者快速提高职业技能，尽量做到少讲理论、多讲方法，不求高深、只求实用，任务驱动、目标明确，要点突出、上手容易，一看就懂、一学就会。读者通过学习本套丛书可构建自己的知识体系，掌握电工必备知识和操作技能，同时也可以从中了解电工新知识、新技术、新设备、新材料、新工艺和新方法，为今后工作和进一步学习打下基础。书中标有“\*”号的内容是对初级电工必备知识的提高和扩展，读者可根据实际情况自行安排学习。

◆ 在标题设置上，每一个章节标题都搭配了一句读者耳熟能详的成语、短语或流行语，这既是对主标题的补充说明，又显得诙谐风趣，留给读者较大的思索空间，有助于读者与常见事物相联系，加深对知识的理解和记忆（联想记忆）。

◆ 在写作方式上，用典故、成语或歇后语点题，大量采用比喻、拟人、类比等修辞手法，以细腻通俗的文字向读者娓娓道来，以拉近编者与读者的距离，增加亲切感；中间穿插“知识链接”、“器件应用”、“技能提高”、“思路点拨”、“想一想”、“考一考”、“能力PK”、“电工小百科”、“轻松一刻”等栏目，以增强趣味性和可读性；同时书中配以大量的图片和表格，形象直观，便于总结。

◆ 在版式设计上，克服了传统电工技术图书单调刻板的缺点，在图表的应用和版面的安排上进行了大胆尝试和创新，力求内容与形式相统一，带给读者新的阅读享受。

本书由维修电工高级技师杨清德主编，参加本书编写工作的还有杨卓荣、黎平、胡萍、余明飞、杨松、成世兵、康娅、杨国仕、兰晓军、邹奇林等。重庆电子工程职业学院彭克发教授审阅了本书并提出了许多宝贵意见，编者所在单位的领导对于本书的出版给予了很大的关心和支持，在此一并表示谢意。希望本套丛书的出版对广大初学者学习电工技术和走上就业岗位能够有所帮助。

由于编者水平有限，加之时间仓促，书中难免存在不足之处，敬请广大读者批评指正。关于对本书的任何意见和建议，请发电子邮件至 [yqd611@163.com](mailto:yqd611@163.com)。

编者

# 目 录

<b>第 1 章 常用照明电路——光明大道</b> .....	1
1.1 普通开关控制的照明电路——生活鸣奏.....	2
1.1.1 基本照明电路——开关串联火线上, 控制灯泡熄或亮.....	2
1.1.2 日光灯照明电路——镇流器串联相线间, 跳泡并联灯丝端.....	6
1.1.3 电子节能灯电路——开关电路生脉冲, 高频直流软启动.....	11
1.2 智能电子开关电路——智能又节电.....	15
1.2.1 声控照明电路——声音控制触发器, 灯亮灯熄很默契.....	15
1.2.2 光控照明电路——光敏电阻是关键, 电路通时光线暗.....	18
1.2.3 声光联控延时照明电路——声光信号作控制, 延时全靠振荡器.....	26
1.2.4 触摸控制照明电路——触摸电极生信号, 电平翻转亮灯泡.....	31
1.3 装饰照明电路——美化生活.....	36
1.3.1 彩灯串控制电路——控制电路无触点, 花样编程灯串闪.....	36
1.3.2 声控彩灯电路——声音进入振荡器, 灯光变幻真神奇.....	44
1.4 应急照明灯电路——用兵一时.....	49
1.4.1 自动光控应急照明电路——光敏装置是关键, 判定瞬时光变暗.....	49
1.4.2 手动应急照明电路——有电充电停电亮, 手动转换记心上.....	50
1.4.3 电子节能灯应急电源电路——逆变电路作保障, 应急照明灯光亮.....	51
<b>第 2 章 常用继电器——接触器控制电路——保障运行</b> .....	54
2.1 电动机基本控制环节——保障运行三把锁.....	55
2.1.1 点动与长动控制电路——松开即停为点动, 按钮自锁可长动.....	55
2.1.2 电动机正反转控制电路——正转反转相序变, 互锁连锁是关键.....	61
2.1.3 限位控制和循环控制电路——行程开关位置限, 控制电机速断电.....	65
2.1.4 电动机顺序控制电路——电机启动分先后, 时继延时足够.....	70
2.1.5 电动机多点连锁控制——按钮串联线圈中, 多点控制很轻松.....	72
2.1.6 电动机时间控制电路——时间延时继电器, 控制电路接触器.....	73
2.2 三相异步电动机启停保和速度控制电路——运行四态.....	75
2.2.1 三相异步电动机降压启动控制电路——初始启动先降压, 克服全压电流大.....	75
2.2.2 电动机电气制动控制电路——能耗反接两方式, 制动力矩速传递.....	87
2.2.3 电动机速度控制电路——改变电机磁极数, 手动自动调转速.....	94
2.2.4 电动机保护控制电路——巧用电流互感器, 过流断相电源闭.....	99

2.3	直流电动机控制电路——励磁方式可选择	102
2.3.1	直流电动机启动控制电路——电枢回路串电阻，逐步短接通无阻	102
2.3.2	直流电动机正反转控制电路——绕组电枢流向变，正反转向能实现	106
2.3.3	直流电动机制动控制电路——电机制动能量高，逐渐停转不会烧	109

## 第 3 章 电动机控制新技术电路——技术升级

3.1	电动机 PLC 控制电路——电机控制程序化	115
3.1.1	PLC 控制电动机正反转电路——正转反转不能乱，电气互锁是关键	115
3.1.2	PLC 控制电动机降压启动电路——I/O 地址分配明，降压启动全压行	119
3.1.3	用 PLC 改造普通机床控制电路——保持原有主电路，改造升级辅电路	122
3.2	电动机软启动电路——电机启动更灵活	130
3.3	交流电动机变频器控制电路——转速平稳又节能	142
3.3.1	变频器正转控制电路——KA 控制内电路，调节频率定速度	143
3.3.2	变频器正反转控制电路——正反转靠继电器，掌控速度变频器	144
3.3.3	变频器调速连锁正反转控制电路——正转反转能实现，电气连锁是关键	145
3.3.4	变频器并联运行控制电路——并联运行变频器，运行端子受控制	146
3.3.5	带抱闸的变频器控制电动机电路——电磁抱闸停平稳，预设频率是指令	147
3.3.6	变频—工频运行切换电路——故障报警变频停，切换工频可运行	148
3.3.7	变频器在自动供水系统中的应用电路——水位高度发指令，升降速端作反应	150
3.3.8	变频器配合 PLC 控制电动机电路——强强联合保运行，处理故障更聪明	152
3.4	固态继电器控制电动机电路——没有触点更安全	157
3.4.1	固态继电器控制电动机正反转电路——指令告知继电器，适当延时转向替	157
3.4.2	采用 SSR 和 PLC 控制的星—三角形电动机降压启动电路——设置程序一控三，降压启动新理念	162

## 第 4 章 常用机电设备电气控制电路——化整为零细分析

4.1	常用机床设备电气控制电路——主辅电路看明白	165
4.1.1	C620-1 型车床电气控制电路——电机均为单向行，直接启动控制灵	165
4.1.2	Z35 型摇臂钻床电气控制电路——摇臂升降到哪里，十字开关方向记	167
4.1.3	C616 型普通车床电气控制电路——主电机可正反转，保护电路较完善	172
4.1.4	X62W 型铣床电气控制电路——自动手动快速动，台面六向可运动	174
4.1.5	M7130 型磨床电气控制电路——磨床控制较复杂，分区读图好方法	181
4.1.6	T68 型镗床电气控制电路——镗床用于精加工，主轴电机可点动	186
4.1.7	C5225 型立式车床电气控制电路——加工大件有保证，七台电机齐上阵	190
4.1.8	Y3150 型滚齿机电气控制电路——刀架电机正反转，限位开关控触点	198
4.1.9	M1432A 万能外圆磨床电气控制电路——电机均设保护件，电气触点认真看	199
4.1.10	T612 型卧式镗床电气控制电路——主轴点动靠按钮，停车反接高要求	203

4.2	建筑工地机电设备控制电路——电闸控制筑高楼	209
4.2.1	电动葫芦电气控制电路——升降移动安全保护,各自工作分析清楚	209
4.2.2	塔式起重机电气控制电路——长期工作在室外,电气系统真不赖	211
4.2.3	混凝土搅拌机电气控制电路——进料出料及搅拌,料斗设有升降限	215
4.2.4	空压机电气控制电路——自动手动可控制,电气保护莫忽视	217
4.2.5	卷扬机电气控制电路——电磁制动定地点,把握电机正反转	218
4.2.6	水磨石机电气控制电路——倒顺开关挡位选,电机正转或反转	220
4.3	消防泵及水泵电气控制电路——水泵供水能掌控	221
4.3.1	消火栓泵电气控制电路——消火栓泵常待命,火灾信号发指令	222
4.3.2	消防喷淋泵电气控制电路——直接启动喷淋泵,一用一备有保证	226
4.3.3	磁力启动器水泵控制电路——电机正转控制件,组装于盒便接线	227
4.3.4	生活水泵电气控制电路——手动自动不一样,工泵故障备泵上	228

## 第 5 章 新型电力电子电路——控制利器

5.1	新型继电器电路——软触点速度更快	232
5.1.1	单结晶体管时间继电器电路——单结晶体管继电器,延时环节更容易	232
5.1.2	555 时基时间继电器电路——时基电路受控制,代替 VT 继电器	235
5.1.3	数显式时间继电器电路——电路状态有四种,方便操作与使用	238
5.2	新型电气开关电路——通断控制更方便	240
5.2.1	接近开关电路——物体接近感应面,不需接触可通断	240
5.2.2	单相漏电保护开关电路——漏电电流超过限,迅速保护切断电	243
5.2.3	光电开关电路——关键器件光敏管,自动识别亮和暗	245
5.2.4	温控开关电路——热敏电阻阻值动,电路通断温度控	246
5.2.5	晶闸管开关电路——脉冲触发电导通,控制电力很轻松	247
5.2.6	遥控调光开关电路——遥控开关能调光,分组控制最理想	249
5.2.7	液位自动控制开关电路——液位升降探极测,控制水泵转与歇	251
5.2.8	节能开关电路——电容降压灯节能,提高功率因数行	252
5.3	电工电子经验电路——智慧结晶	253
5.3.1	电动机绕组磁极检测电路——绕组正误与头尾,感应磁场来校对	253
5.3.2	电动机断相保护电路——两相运行毁电机,加装断相保护器	255
5.3.3	交流电源指示灯电路——一目了然指示灯,观察方便很省心	256
5.3.4	保安插座电路——家中电器漏电时,声光报警作提示	257
5.3.5	三相相序指示器电路——相序排列本有序,观察氛灯定相序	258
5.3.6	交流接触器无声运行电路——触点串联整流器,直流运行噪声息	259
5.3.7	电动机工作状态指示电路——工作正常绿灯亮,红灯指示有故障	260

## 第 6 章 LED 应用电路——绿色照明

6.1	电容降压式 LED 驱动电路——容抗限流又降压	263
-----	-------------------------	-----

6.1.1	最简单的 LED 电容降压电路——电容降压靠容抗，控制电压好发光	263
6.1.2	采用压敏电阻的电容降压 LED 驱动电路——突变电流可泄放，串联八十灯明亮	263
6.1.3	采用晶闸管的电容降压 LED 驱动电路——电路采用晶闸管，保证过流把路断	264
6.1.4	具有滤波单元的电容驱动电路——双重滤波性能好，LED 损坏少	265
6.2	白光 LED 驱动电路——背景照明亮度高	266
6.2.1	以 MAX684 为核心的电荷泵式 LED 驱动电路——锂电驱动效果好，背光照明很可靠	267
6.2.2	以 LTC3490 为核心的白光 LED 驱动电路——同步升压变换器，恒流驱动来补偿	268
6.2.3	采用 SP6682 的 LED 驱动电路——稳压电荷泵驱动，白光亮度精确控	270
6.2.4	一节碱性电池驱动白光 LED 的电路——两管组成升压器，低压驱动更容易	271
6.2.5	采用 LM2623 的 LED 台灯驱动电路——IC 控制充放电，恒流驱动节省电	272
6.2.6	采用 FSDM311 的 LED 恒流驱动电路——内含脉宽调制器，作为恒流驱动器	274
6.3	高亮度 LED 照明驱动电路——夜明珠	278
6.3.1	LED 数码门牌电路——门牌虽小亮度高，方便来客好寻找	278
6.3.2	LED 变色灯电路——红绿蓝灯芯片控，发出七彩色光动	279
6.3.3	太阳能 LED 照明电路——光电转换是关键，驱动电路很常见	280
6.3.4	LED 手电筒电路——新型手电明又亮，夜行不会迷方向	281
6.3.5	LED 装饰灯电路——光敏器件巧控制，二极管串作装饰	283
	参考文献	285

获取更多资料

微信搜一搜



# 第

# 1

# 章

## 常用照明电路

### ——光明大道

随着人们生活水平的提高以及科学技术的发展,室内外照明的电光器材不断更新,需要所采用的电路与器材的使用相适应。照明电路的设计与选用应遵守《民用建筑电气设计规范》等有关规定。

通过本章学习,要求达到以下目标。

#### 知识目标 |

- ① 掌握有关照明电路安装、维护的基础知识。
- ② 掌握基本照明电路的控制方法,尤其是开关必须控制灯具的相线(火线)。
- ③ 熟悉常用照明电路的主要组成部分及其作用。
- ④ 明确照明电路中的有关安全用电的基本要求。

#### 能力目标 |

- ① 会分析一般场所照明电路的工作原理。
- ② 能绘制常用照明电路的原理图。
- ③ 能根据电路图查找照明电路故障。

## 1.1 普通开关控制的照明电路——生活鸣奏

火线零线并排走，零线直接进灯座。  
 火线先入保险盒，再经开关进灯座。  
 开关电灯应串联，接线方法不能错。  
 异地控制一盏灯，双联开关莫选错。

220V 照明电路一般都是单相二线制，即一火一零（相线俗称火线），主要用于照明灯的安装；也有的采用单相三线制，即一火一零一地，主要用于插座的安装。对于线路控制，进户后由分路配电箱将用电分成若干路。室内照明使用最普遍的是单开关控制，即一盏灯、一只开关；还有单开双控开关，主要用于楼道照明，即一盏灯两个地方控制。

比较完整的照明电路结构原理图如图 1-1 所示，从进户线开始，包含计量、切换、保护、控制和负载五大部分。

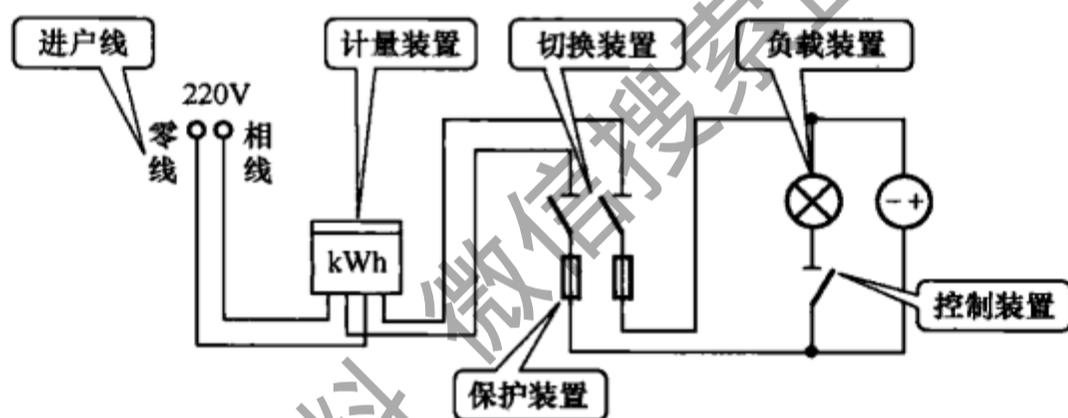


图 1-1 照明电路结构原理图

### 1.1.1 基本照明电路

#### 1.1.1

——开关串联火线上，控制灯泡熄或亮

安装照明电路首先需要考虑开关插座的数量及安装位置，尤其是双控开关的位置。生活中的大多数照明电路都是用普通开关来控制照明灯的，如拉线开关、扳动开关、跷板开关、钮子开关和防水开关等。

常见的基本照明电路有一只开关控制一盏灯照明电路、一只开关控制两盏及两盏以上照明灯电路、两个开关异地控制一盏照明灯电路等多种形式。

#### 1. 一只开关控制一盏灯电路

一只开关控制一盏灯电路是照明电路中最基本的电路，家庭中的白炽灯、台灯、日光灯和节能灯等基本上都采用这个电路，如图 1-2 所示。

该电路的特点如下。

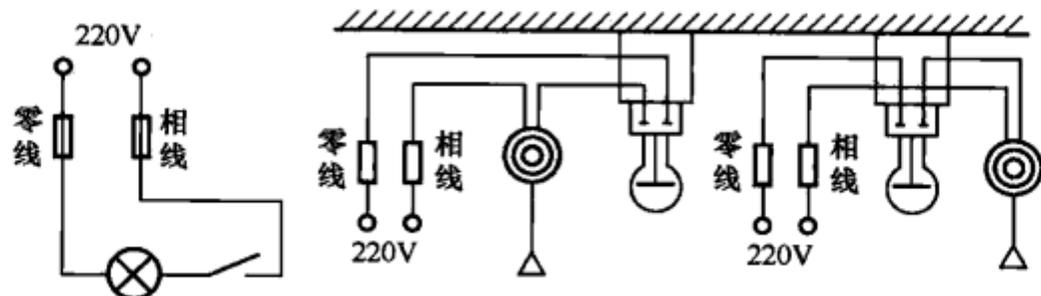
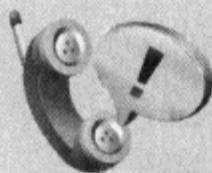


图 1-2 一只开关控制一盏灯电路

- ① 开关与相线串联，开关能控制照明灯的点亮和熄灭。
- ② 这是最基本、最常用的照明电路，安装简单，使用方便。



**提示**

相线进开关后再进入灯座，零线直接进灯座，这是照明电路的基本安装方法。安装时开关及灯座的安装位置及高度应符合安全规定，同时应方便使用，以下电路与此相同。

**知识链接**

### 家庭照明电路

一只开关控制一盏灯电路在家庭照明中的应用如图 1-3 所示。

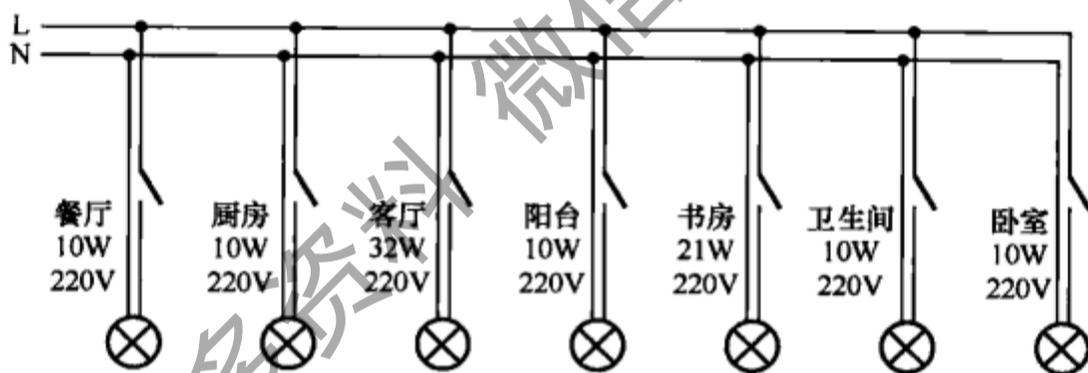


图 1-3 家庭照明电路示例

### 2. 一只开关一盏灯一插座或多个插座电路

在日常生活和生产中，一只开关一盏灯一插座或多个插座的电路是很常见的，如图 1-4 所示。除了为安全起见而安装一些带开关的插座外，一般情况下无论电路中其他用电器的工作情况如何，插座将始终处于带电状态。

该电路的特点如下。

- ① 开关能控制电灯的点亮和熄灭。
- ② 插座始终处于带电状态，与灯的点亮和熄灭以及其他用电器是否用电无关。

- ③ 插座可以安装在照明线路的前面，也可以安装在照明线路的后面。

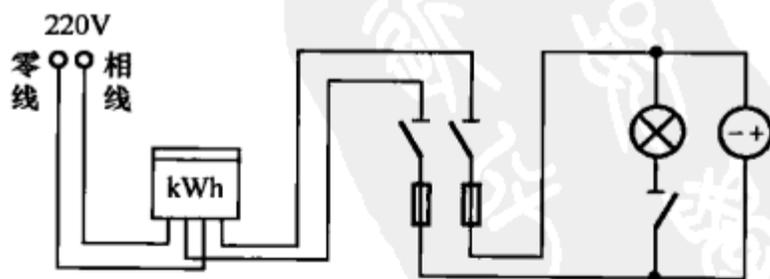
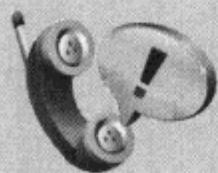


图 1-4 一只开关一盏灯一插座电路



**提示** 在通常情况下，可采用插座线与开关线共用一个接线柱的方法，如图 1-5 所示。采用这种“借桩头”的安装方法时最好不要将电线剪断，否则容易留下接触不良的故障隐患。

### 3. 一只开关控制两盏或两盏以上照明灯电路

在一些公共场合用一只开关同时控制两盏灯或两盏以上照明灯比较常见，电路原理如图 1-6 所示。

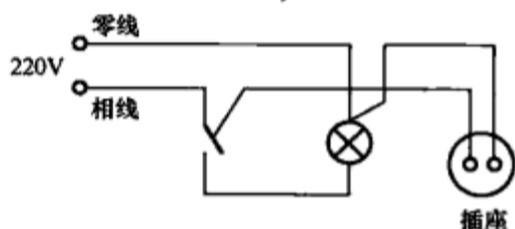


图 1-5 开关线与插座线共用一个接线柱

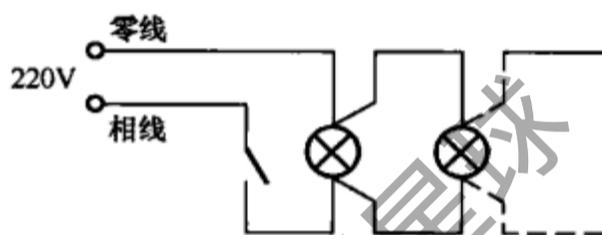
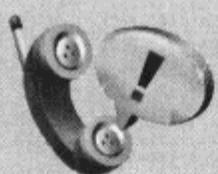


图 1-6 一只开关控制两盏或两盏以上照明灯电路

该电路的特点如下。

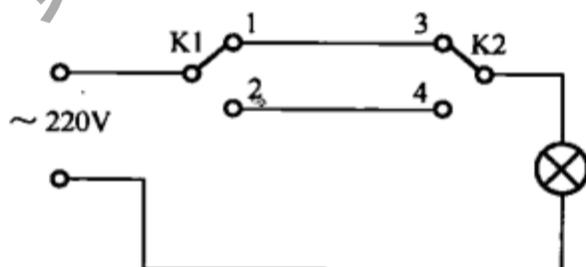
- ① 电路中使用的电器较少，控制方法简单可行。
- ② 开关能控制所有照明灯的点亮和熄灭。



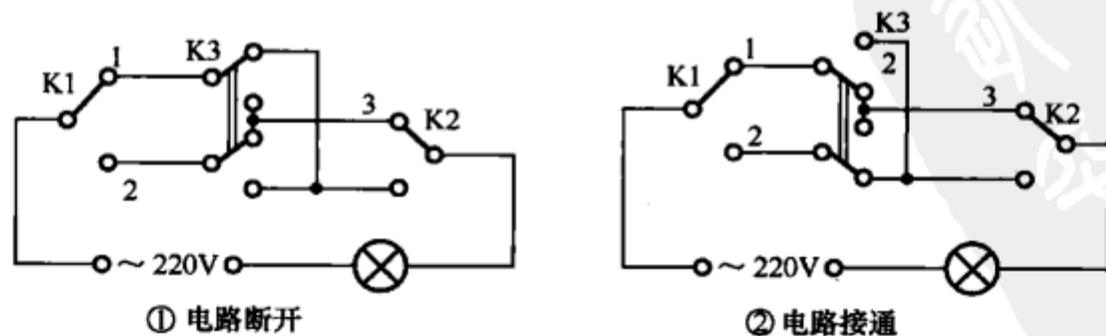
**提示** 所选用开关的额定电流必须大于所控制灯泡额定电流的总和，否则开关容易损坏。

### 4. 两个或多个开关异地控制一盏照明灯电路

两个或多个开关异地控制一盏照明灯电路适用于楼上、楼下或在室内的不同地方控制同一盏灯，例如楼梯灯、客厅灯、过道灯，如图 1-7 所示。不管灯的状态是点亮或熄灭，都可以



(a) 两地控制开关

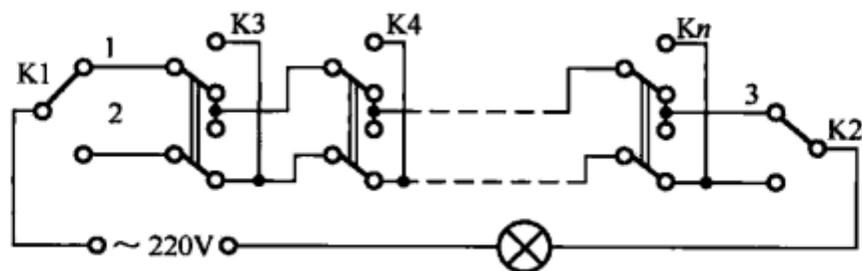


① 电路断开

② 电路接通

(b) 三地控制开关

图 1-7 两个或多个开关异地控制一盏照明灯电路



(c) 多地控制开关

图 1-7 两个或多个开关异地控制一盏照明灯电路 (续)

用任何一个开关控制灯泡的开与关，即变为相反的状态。例如，在楼上或楼下把灯打开或关闭，到楼下或楼上时可以把灯关闭或打开。

在图 1-7 (a) 中，当 K1 置于位置“1”，K2 置于位置“3”时，电路接通，电灯点亮。此时，再扳动任何一个开关都会使电路断开，电灯熄灭。

在图 1-7 (b) 中，在开关 K1 和 K2 之间接入了双刀双掷开关 K3，就可以实现三地控制同一盏灯。K1、K2、K3 处于图①位置时，电路是断开的，此时无论扳动哪一个开关都可以使电路接通，电灯点亮。K1、K2、K3 处于图②位置时，电路是接通的，此时无论扳动哪一个开关都可以使电路断开，电灯熄灭。

在图 1-7 (c) 中，根据实际需要可在开关 K1 和 K2 之间接入多个双刀双掷开关，达到多地控制同一盏灯的目的。

该电路具有以下特点。

- ① 使用方便，但线路较复杂。
- ② 普通开关是无法实现这一电路功能的，只能用单刀双掷开关（亦称双联开关）才能实现在楼上、楼下都可以控制一盏灯。
- ③ 每个控制开关之间有两条线连接，任意一个开关坏了或一条线断了，照明灯就无法点亮。

单刀双掷开关有 3 个接线桩头，如图 1-8 所示。其中桩头 a 为连铜片（简称连片），它就像一个活动的桥梁一样，无论怎样按动开关，连片 a 总要跟桩头 b、c 中的一个保持接触，从而达到控制电路接通或断开的目的。

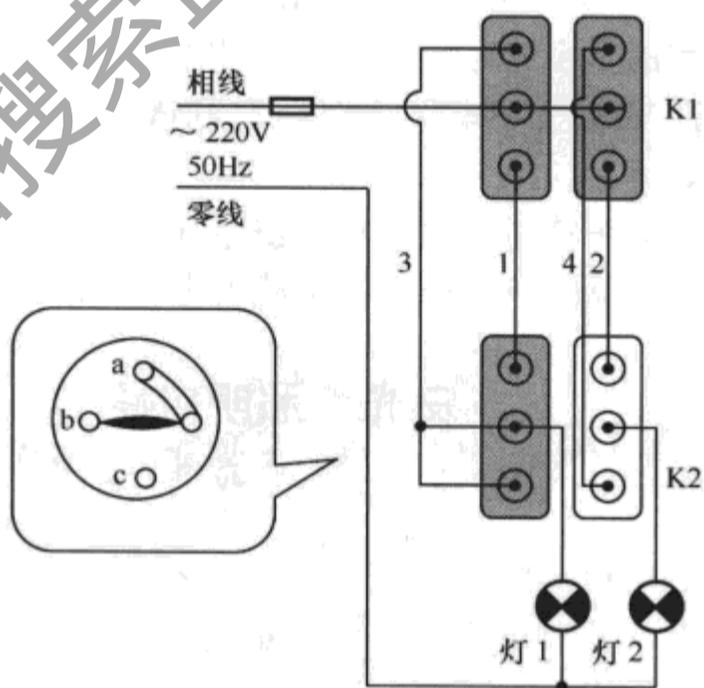


图 1-8 双联开关接线示意图

**提示** 安装时可先把零线连接好，再安装开关控制线。每两个开关之间应该敷设两根线。

**知识链接**

**多个开关控制一盏灯电路**

用两个开关控制的电路容易连接，用 3 个以上开关进行控制的电路就很麻烦了。采用图

1-9 所示电路可妥善解决这一问题，开关数量可以无限增加。该电路在旅馆、医院病房、走廊等场所尤其需要。

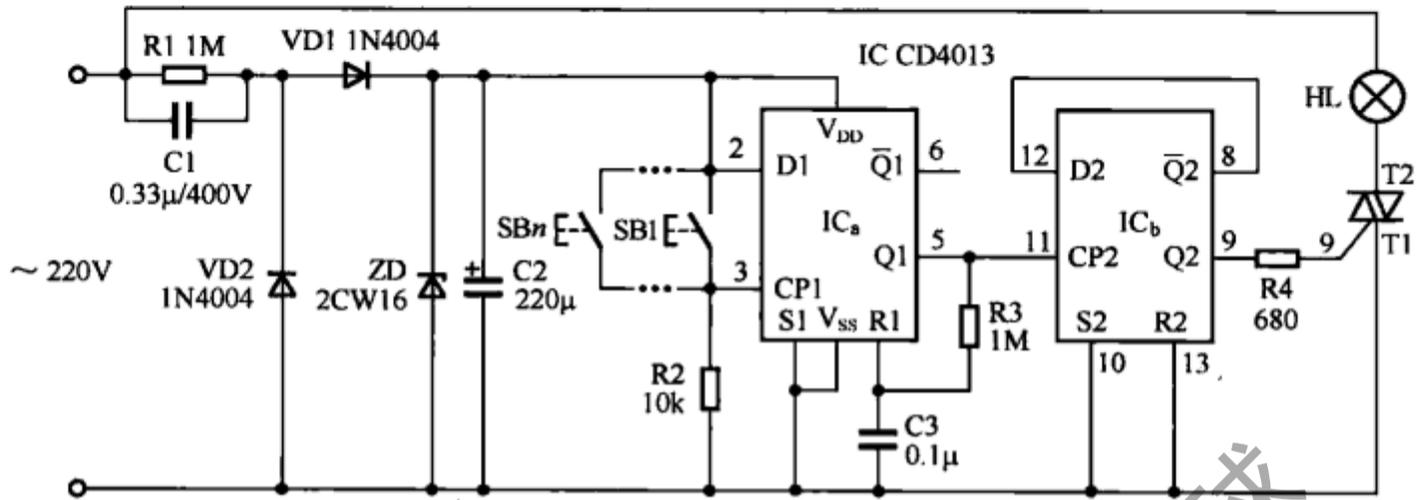


图 1-9 采用芯片控制的多个开关控制一盏灯电路

交流 220V 电压经降压、整流、滤波、稳压后，在 C2 上得到 9V 电压作 IC 的电源。IC 是一块双主从 D 触发器 CD4013，IC<sub>a</sub> 构成单稳电路，IC<sub>b</sub> 构成双稳电路。单稳电路的 D1 端接电源正端，故按动 SB1 ~ SB<sub>n</sub> 中的任一个按钮时都有 Q1=D1=1，Q1 端的高电平经 R3 对 C3 充电，当 IC<sub>a</sub> 的复位端 R1 达到复位转换电平时，便有 Q1=0。Q1 端的高电平同时加到 IC<sub>b</sub> 的 CP2 端，使 Q2=1，双向晶闸管受触发导通，灯亮。再按任一个按钮，Q1 端又输出高电平（以后自动恢复为低电平），CP2 端又受触发一次，Q2=0，晶闸管关断，灯灭。

单稳电路的作用是避免开关触点抖动引起触发状态发生紊乱，使按钮的作用准确可靠。双向晶闸管的选型视负载大小而定。

### 1.1.2 日光灯照明电路 ——镇流器串联相线间，跳泡并联灯丝端

日光灯又称荧光灯，具有发光效率高（约为白炽灯的 4 倍）、寿命长、光色柔和等优点，是日常生活中应用最普遍的一种照明灯具，尤其是在农村家庭及公共场所中得到了广泛应用。

#### 1. 电感镇流器式日光灯电路

常见的电感镇流器式日光灯电路如图 1-10 所示。其中，单线圈式单灯管电路的应用范围最为广泛。电感式日光灯电路的功率因数较低，通常在 0.5 左右，它会使用电设备的容量得不到充分利用，而且增加输电线路的损耗，一般可用并联适当电容器的方法来提高电路的功率因数，必要时可在电容器回路中再串联一只熔断器进行保护，这样效果会更好，如图 1-10 (d) 所示。

当开关闭合后，电源把电压加在启辉器的两极间，使氖气放电而发出辉光，辉光的热量使 U 形金属动触片膨胀伸长，跟静触片接触而使电路接通，于是镇流器的线圈和灯管的灯丝中就有电流流过。电路接通后，启辉器的氖气停止放电，U 形动触片冷却收缩，两个触片分开，电路自动断开。在电路突然断开的瞬间，镇流器的线圈因电流迅速减小而产生很高的感

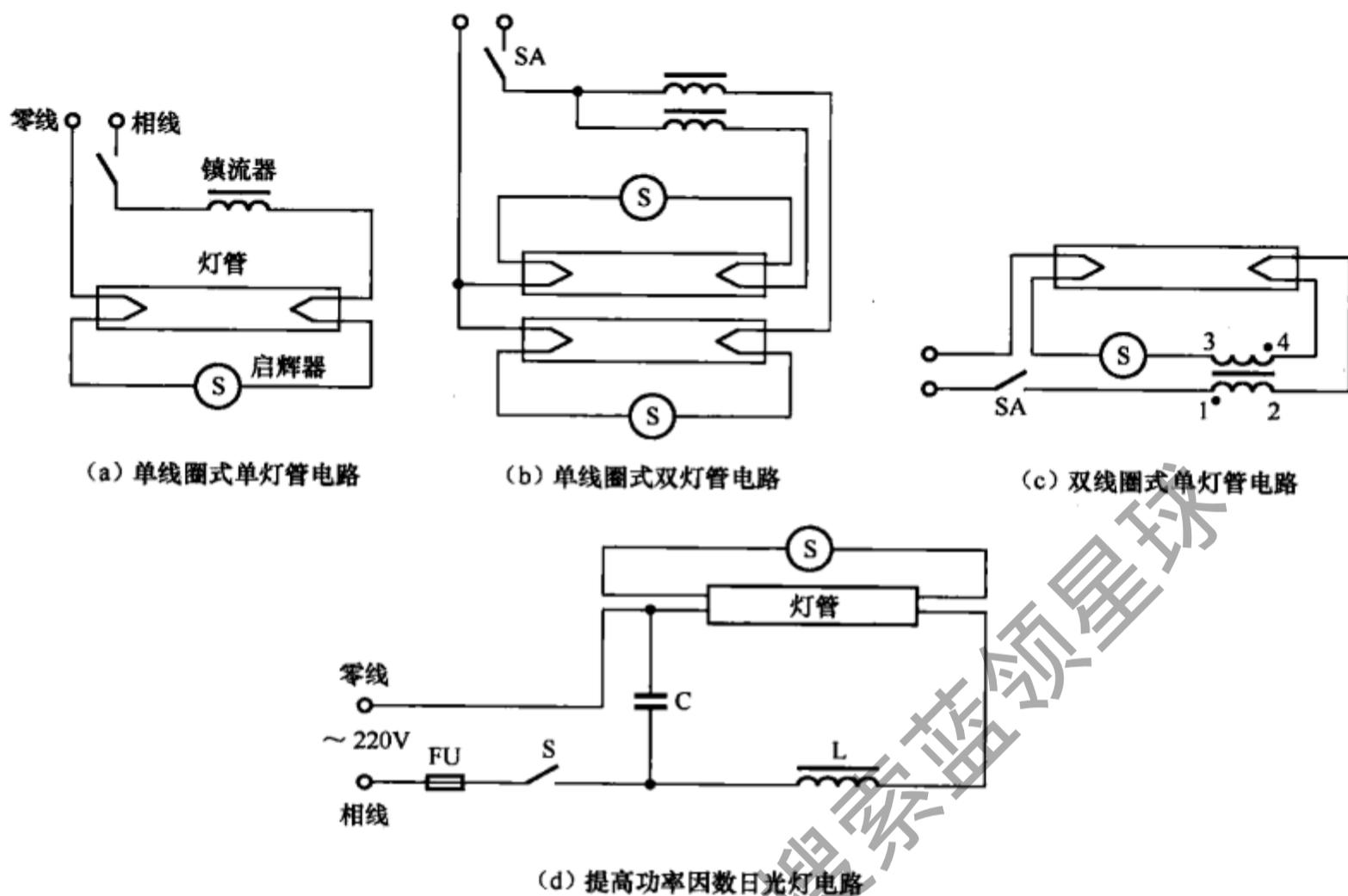


图 1-10 电感镇流器式日光灯电路

应电动势，其方向与原来电压的方向相反。这个感应电动势和电源的电动势叠加在一起，形成一个瞬时的高电压加在灯管的两侧，使灯管中的气体开始放电，于是日光灯管成为电流的通路开始发光。

启辉器俗称跳泡，在电路中起开关作用，它由一个氖气放电管与一个电容并联而成。启辉器中电容器的作用是消除对电源的电磁干扰并与镇流器形成振荡回路，增大启动脉冲电压幅度；同时，吸收辉光放电而产生的谐波，以免影响电视机、收音机、音响、手机等设备的正常工作。放电管中的一个电极用双金属片制成，利用氖泡放电加热，使双金属片在开闭时引起电感镇流器电流突变并产生高压脉冲加到灯管两端。镇流器的作用是升压和稳压，即产生高压启辉灯管，在灯管启辉后起镇流作用。



**提示**

① 启辉器是该电路中最容易损坏的器件，应急使用时可用一个开关代替启辉器。电工实践证明，用一只二极管和一只电容器可组成一个电子启辉器，如图 1-11 所示。该启辉器启辉速度快，可延长日光灯管的预热时间，延长其使用寿命，在冬季用此启辉器可达到一次性快速启动。

② 安装时，相线必须经过开关和镇流器。

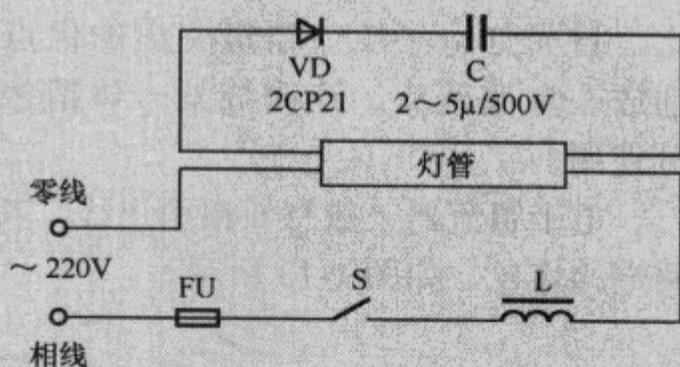


图 1-11 日光灯电子快速启辉器电路

知识链接

### 日光灯防闪烁电路

由于日光灯是利用惰性气体放电发光，在 50Hz 交流电源的作用下，日光灯发出的光每秒会产生 100 次明暗变化，这种现象称为频闪效应。虽然人的眼睛不易察觉，但如果在日光灯下观察运动的物体（如车床上转动着的工件）时，就会有光抖动的感觉。所以，车间、球场等场所的照明一般不采用日光灯。长时间在闪烁的光源下看书、工作，还会引起眼睛疲劳。

为克服日光灯的闪烁现象，可采用双管日光灯或者双绕组镇流器日光灯电路。这种电路在户外大型广告灯箱中常常使用。

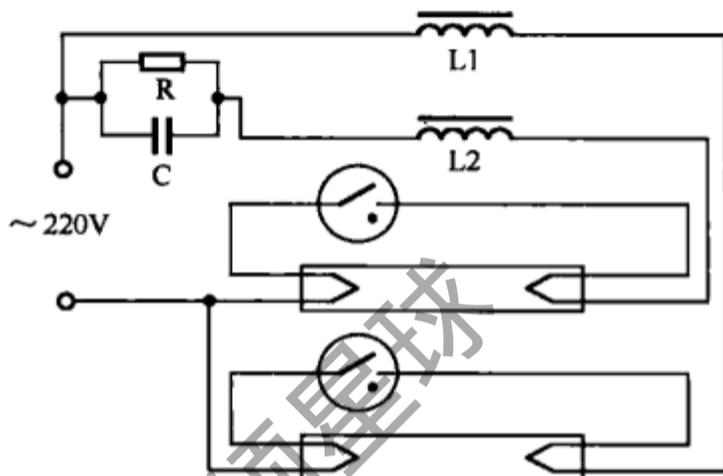
双管日光灯电路通过两根日光灯管交替亮暗，有效地克服了单管日光灯的闪烁现象。该电路如图 1-12 (a) 所示。

双绕组镇流器有 2 组线圈和 4 个引出线头，如图 1-12 (b) 所示。它的主要特点是能克服因电压偏低而造成的灯管启辉困难，同时它具有良好的电压特性。在电源电压有波动的情况下，双绕组镇流器工作电流的波动很小，可有效防止灯管的闪烁。双绕组镇流器还可以解决电源电压偏低、日光灯启辉困难甚至无法点亮的问题。

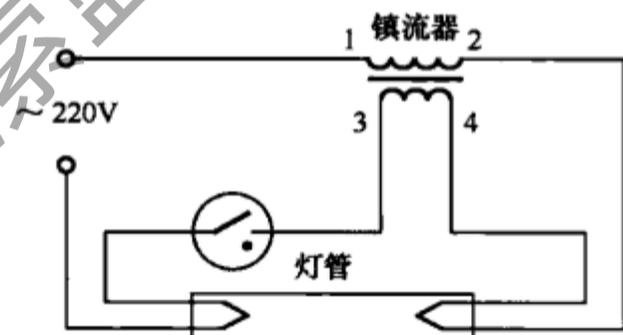
#### 2. 电子镇流器式日光灯电路

用电子电路取代普通日光灯的铁芯镇流器，不仅可以节省镇流器自身的耗电，还可彻底消除传统日光灯的频闪和铁芯震动引起的“嗡嗡”声，而且功率因数可达 0.9 以上，比普通日光灯提高 80%，效率大为提高。电子镇流器式日光灯具有省电、明亮、易启动、无频闪、电源电压范围宽等突出优点，使其得到越来越广泛的应用。与电感式镇流器相比，日光灯电子镇流器最突出的优点是节能。很多产品中的电子镇流器分成两部分，分别放在灯架两头，连同灯架一体销售。这样安装更容易，只要插上灯管，接入市电，便可使用。

电子镇流器一般有 6 根引出线，其中 2 根为电源进线，其余 4 根分成 2 组，分别接灯管两端的灯丝，如图 1-13 所示。



(a) 双管日光灯电路



(b) 双绕组镇流器日光灯电路

图 1-12 日光灯防闪烁电路

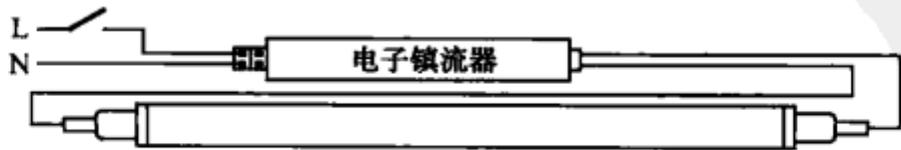
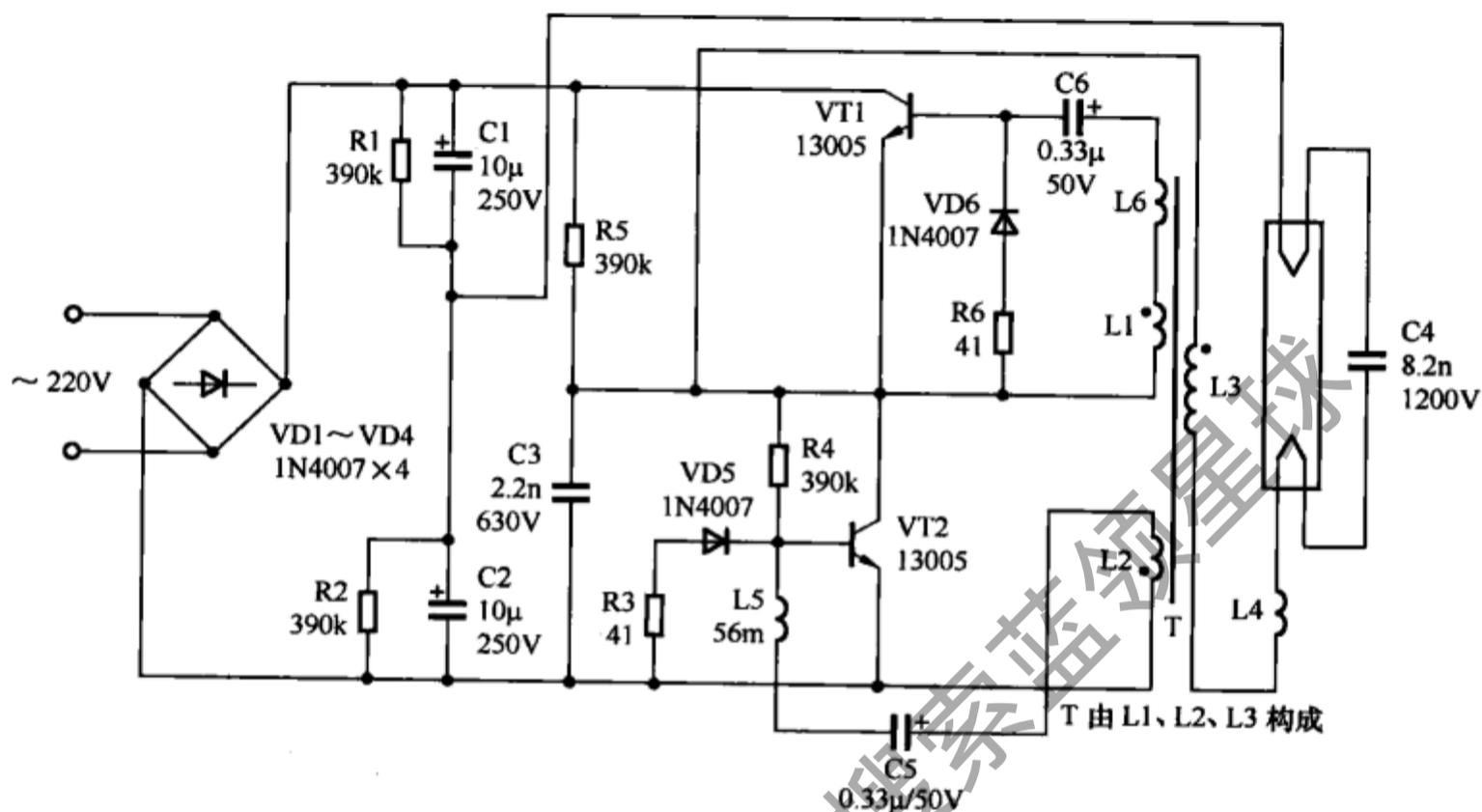


图 1-13 电子镇流器式日光灯电路

下面介绍电子镇流器的内部电路。

图 1-14 所示为一种采用分立元件的日光灯电子镇流器电路，该电路由整流/滤波电路、高频振荡电路和输出负载电路 3 部分构成。



(a) 原理图



(b) 实物图

图 1-14 日光灯电子镇流器电路原理图和实物图 (一)

交流 220V 电压经整流、滤波后输出约 300V 直流电压，为高频振荡电路提供电源。开机后，300V 电压经 R5 对 C3 充电，从而使 VT2 迅速饱和导通。此时，由于 T 的反馈作用，VT1 截止。VT2 一旦导通，则 C3 两端的电压下降，流过 L2 的电流减小，L2 两端产生一个上负下正的电压。据同名端原则，L1 得到上正下负的反馈电压，从而使 VT1 迅速饱和导通，同时 T 的正反馈作用又使 VT2 迅速截止，如此周而复始形成振荡方波 (R6、VD6，R3、VD5 起续流作用)。负载回路由 L3、L4、C4 构成。VT1、VT2 产生的高频振荡方波由 L3 加给负载作为激励源。灯管点亮前，由 C4、L4 等形成很大的谐振电流并流过灯丝，使管内的氢气电离，进而使水银变为水银蒸气，C4 两端的高电压又使水银蒸气形成弧光放电，激发管壁上的荧光粉发光。灯管点亮后，C4 基本上不起作用，此时 L4 起阻流作用。

以 VT1、VT2 为核心的高频振荡电路是本电路中的关键部分，在使用中若电源电压过低，常常会使开关晶体管 VT1、VT2 击穿损坏。



提示

- ① 该电路的电源直接由 220V 市电经整流得到，电工在使用、安装及维修时应注意安全。
- ② 电子镇流器的额定负载功率必须大于或者等于灯管的功率。

电子镇流器的电路形式很多，其工作原理基本相同。下面再介绍几种比较常用的电子镇流器电路，供大家使用时参考。

图 1-15 所示为某品牌日光灯电子镇流器电路，该电路的整流、滤波电路和输出负载电路与图 1-14 所示的电路基本相同，但其高频振荡电路有自己的特殊之处。由 R1、C2、VD5 组成启动脉冲产生电路，VT1、VT2 和 L1 组成振荡电路，同时完成功率放大并输出高频电压。L2 和 C4 组成串联谐振电路。VD5 为触发二极管。R4、C3 组成过压保护电路，当 VT2 导通时，VT1 截止，限制并吸收 L2 产生的过高的感应电动势，从而避免晶体管击穿损坏。

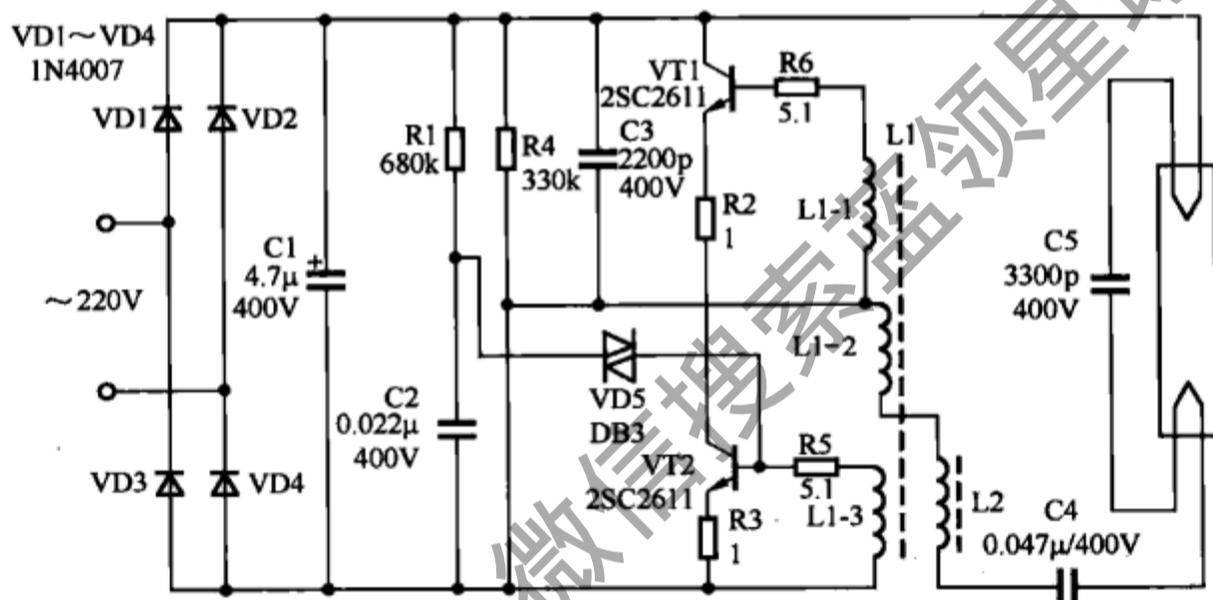


图 1-15 日光灯电子镇流器电路原理图 (二)

图 1-16 所示为另一种日光灯电子镇流器电路，该电路与前面两个电路最主要的不同之处在于：在整流电路前加入了由 C1、L1 组成的射频抑制电路，可消除高频振荡产生的谐波。L2、VD5、VT1、R1、R2 组成有源功率因数校正电路，由有磁环的一个绕组 T1-1 向 VT1 提供脉冲信号，控制 VT1 的开、关。VT1 和 VD5 轮流导通与截止，给 C2 充电，以保证交流

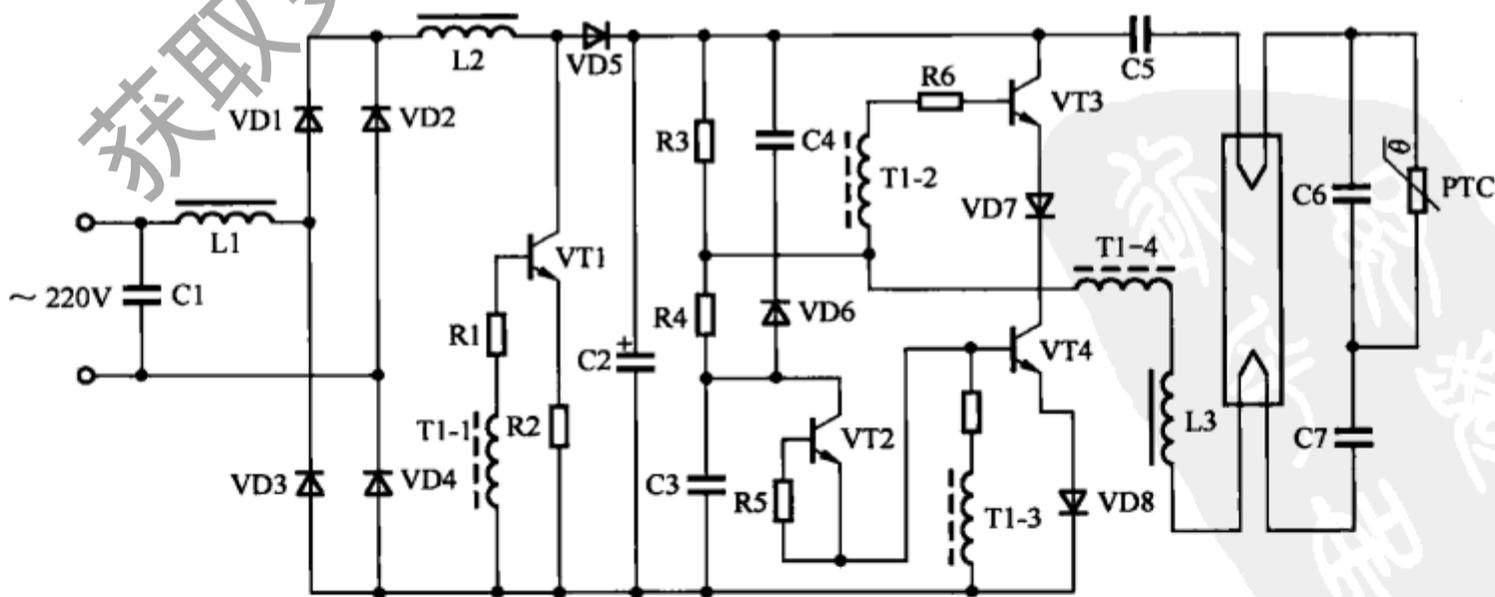


图 1-16 日光灯电子镇流器电路原理图 (三)

输入电流跟随电压呈正弦规律变化,降低电流的畸变,提高线路的功率因数。由于 VT2 注入 VT4 的启动电流较大,在 VT3、VT4 的发射极加一钳位二极管,以缩短共同导通时间,确保功率管可靠工作。

在 C6 上并联了 PTC 热敏电阻,变“硬启动”为预热启动,灯丝的预热时间达 0.4~2.0s,可有效地消除瞬间高压对冷态灯丝的冲击,可延长灯管寿命 4 倍以上。

图 1-17 所示为另外一种日光灯电子镇流器电路。该电路与前面几个电路最主要的不同之处在于:由电阻器 R8、R4、R5 以及电容器 C5 等组成启动电路;由晶体管 VT1、VT2,二极管 VD5、VD6,电阻器 R1~R6 以及变压器绕组 L1~L3 等组成高频振荡电路;由电抗器 B1、电容器 C1~C3 以及日光灯管等组成谐振输出电路。电容器 C3 用来防止灯光闪烁。

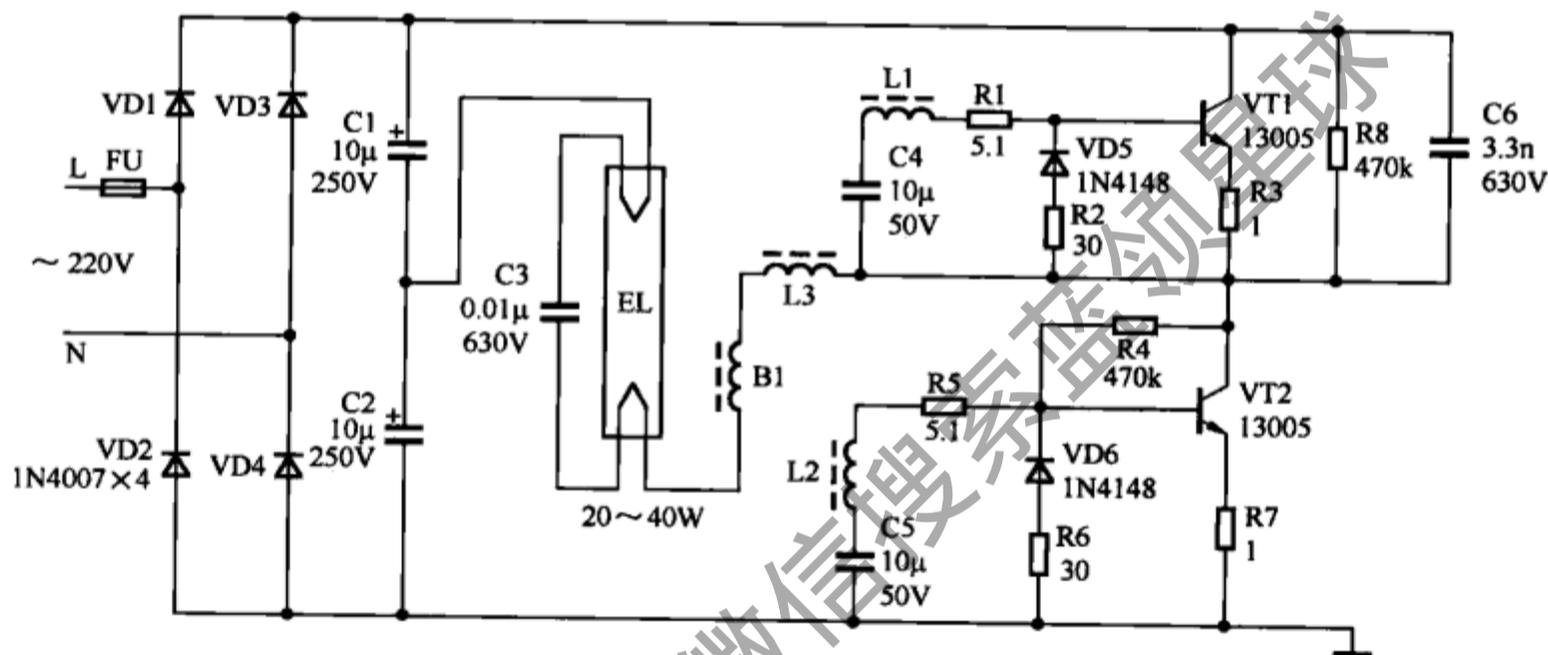


图 1-17 日光灯电子镇流器电路原理图 (四)

### 1.1.3

#### 电子节能灯电路

##### ——开关电路生脉冲,高频直流软启动

节能灯是指采用稀土三基色荧光粉为原料研制而成的节能灯具,它一般采用电子整流器来驱动。电子节能灯具有低电压启辉、无频闪、无噪声、高效节能、开灯瞬间即亮、使用寿命长(3 000h 以上,为普通白炽灯的 3 倍多)等优点,很受消费者的欢迎,尤其是在电源电压波动频繁的地区。

电子节能灯有玻璃型和裸露型两种,玻璃型又有球形、球柱形及工艺型 3 个系列,前两个系列均有全透明、刻花、彩色刻花和乳白色 4 个品种,具有外形美观、安装时不易损坏灯管、耐碰撞等优点。裸露型则有 H 型、UH 型、3U 型、4U 型、2D 型及螺旋形等类型。按发光的颜色分,节能灯可分为红、绿、蓝、黄(色温为 2 700K,属暖色光,类似于白炽灯的光色)、白(色温以 6 400K 居多,属冷色光,类似于日光灯的光色)。色温为 5 000K 的灯管因光色接近于自然光,对眼睛无刺激,更适合学生和从事精细工作者使用。

电子节能灯电路的基本原理是:220V 市电经整流后变成 300V 左右的直流电,再由开关电路来回振荡和升压,转化为高频脉冲电压,即可直接点亮日光灯管。由于开关电路本身功耗低,输出功率大,功率因数可以做得很高,若配上高效灯管,节能效果更佳。

### 1. 采用 ZSC3038 构成的电子节能灯电路

图 1-18 所示为由 ZSC3038 构成的电子节能灯电路，该电路具有很强的抗干扰能力，它既可以防止市电电源中的干扰窜入电路，也可防止节能灯电路产生的干扰信号窜入电网。该电路中设置有软启动（灯丝预热）电路，可延长灯管寿命，多用于护目灯和外销灯具中。

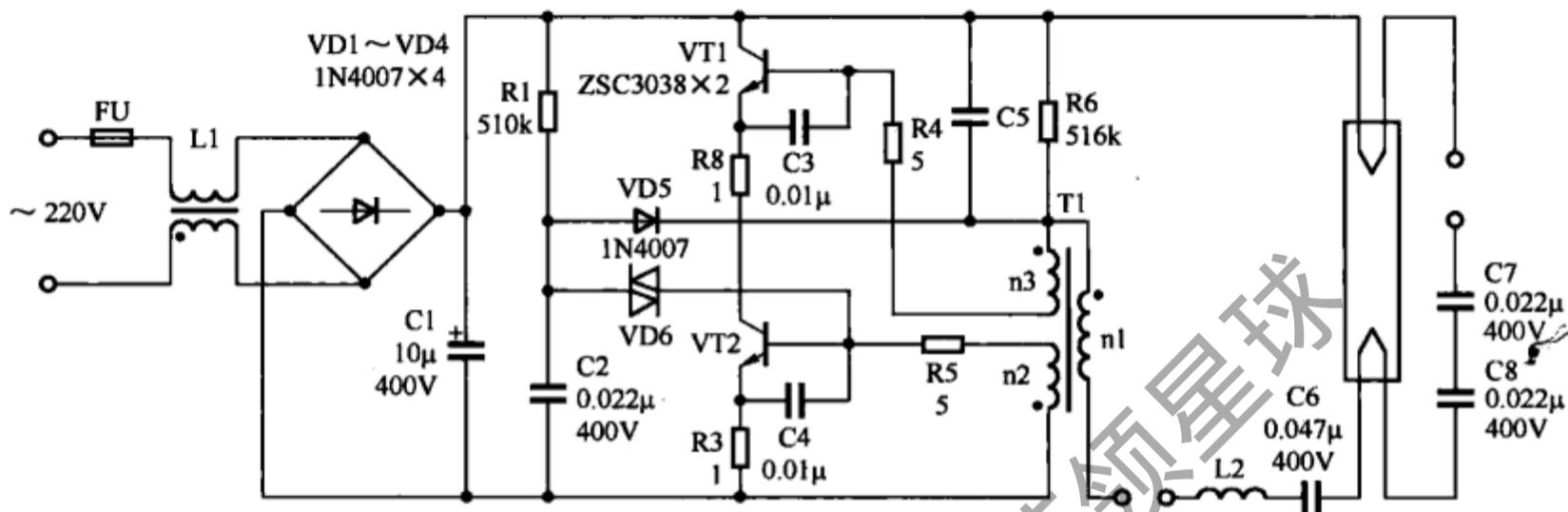


图 1-18 电子节能灯电路（一）

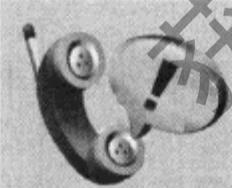
该节能灯电路主要由以 L1、VT1、VT2、VD6、T1 等为核心的元器件构成。其中，L1 是一种电磁滤波器，VT1、VT2 的型号均为 ZSC3038，VD6 是一种双向触发二极管，T1 为高频振荡升压变压器。该电路主要由抗干扰电路和高频振荡电路两个部分组成。

#### （1）抗干扰电路

在正常情况下，220V 交流电压经电感 L1、VD1~VD4、C1 整流滤波后输出 300V 左右的直流电压。由于 L1 采用共模绕制方式（即两组线圈匝数相等，绕向相反），故能有效抑制中、高频信号干扰电网。

#### （2）高频振荡电路

开关型高频振荡电路由 R1、C2、VD5、VD6、VT1、VT2 和 T1 组成。双向触发二极管 VD6 的击穿电压是 16V，在每次接通电源时，电容 C2 充电。当 C2 上的电压超过击穿电压时，VD6 导通，此时 VT2 也导通。由于变压器 T1 的正反馈作用，VT1 与 VT2 轮流导通，使电路产生自激振荡，经 L2、C6 提供给日光灯丝预热电流。C7、C8 上取得高电平，在 2s 内启辉点亮灯管。L2 采用空心线圈，如配用不同功率的灯管，调试时应适当增减匝数。



提示

因电子节能灯振荡电路未设静态工作点，不启振时振荡电路的电流和电压测不到。

### 2. 采用 BU406 构成的电子节能灯电路

图 1-19 所示为由晶体管 BU406 构成的电子节能灯电路，目前许多成品电子节能灯的电路都与此相同或相似。

该电路主要由功率推换管 VT1、VT2（型号为 BU406）以及振荡变压器 T1、双向触发二极管 VD6 等组成。在电路中，电容 C2 起隔直流作用，二极管 VD7 和 VD8 起电压峰值阻尼

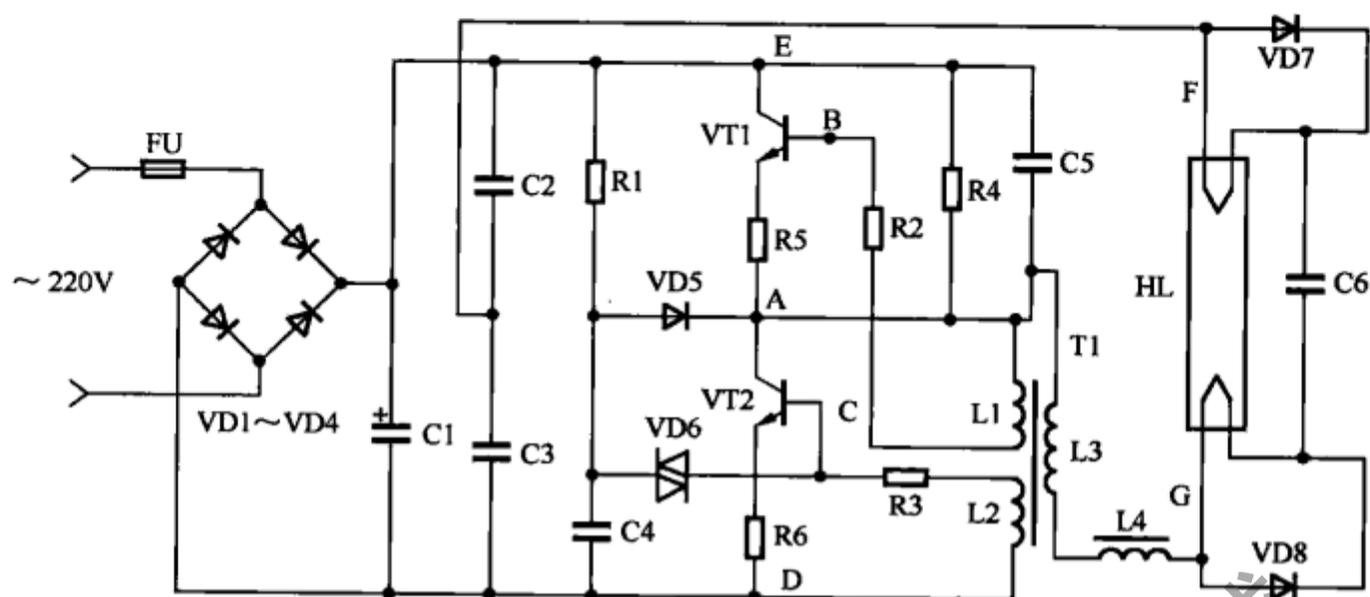


图 1-19 电子节能灯电路 (二)

作用，以防止灯管早期端头发黑。谐振电路的频率主要由电感 L4 和 C6 决定。

当电源接通后，VD1~VD4 与 C1 组成的供电电路将市电整流、滤波后提供给后级电路。当 C2 的充电电压超过 VD6 的触发电压时，VD6 导通，此时 VT2 也导通。由于变压器 T1 的正反馈作用，电路开始振荡，产生开关脉冲电压并送至 T2 和 C6 的串联谐振电路，形成近似正弦波的高频（30~60 kHz）振荡电压。日光灯从 C6 上取得高频电压而启辉，一旦启辉，电感 L4 即起限流作用。灯管点亮后，电流主要通过灯管，但 C6 支路仍有一定的分流而对灯丝有辅助和加热作用。



**提示** 维修时应注意，该电子镇流器组成的节能灯为一个系列产品，主要有 13W、15W、20W、30W 和 40W 共 5 种产品，它们所使用的电路连接方式均相同，但各元器件的参数有一些差异。

### 3. 采用 C2482 构成的电子节能灯电路

图 1-20 所示的节能灯电路比较简单，比较适合于电子爱好者或中学生实训时动手制作。

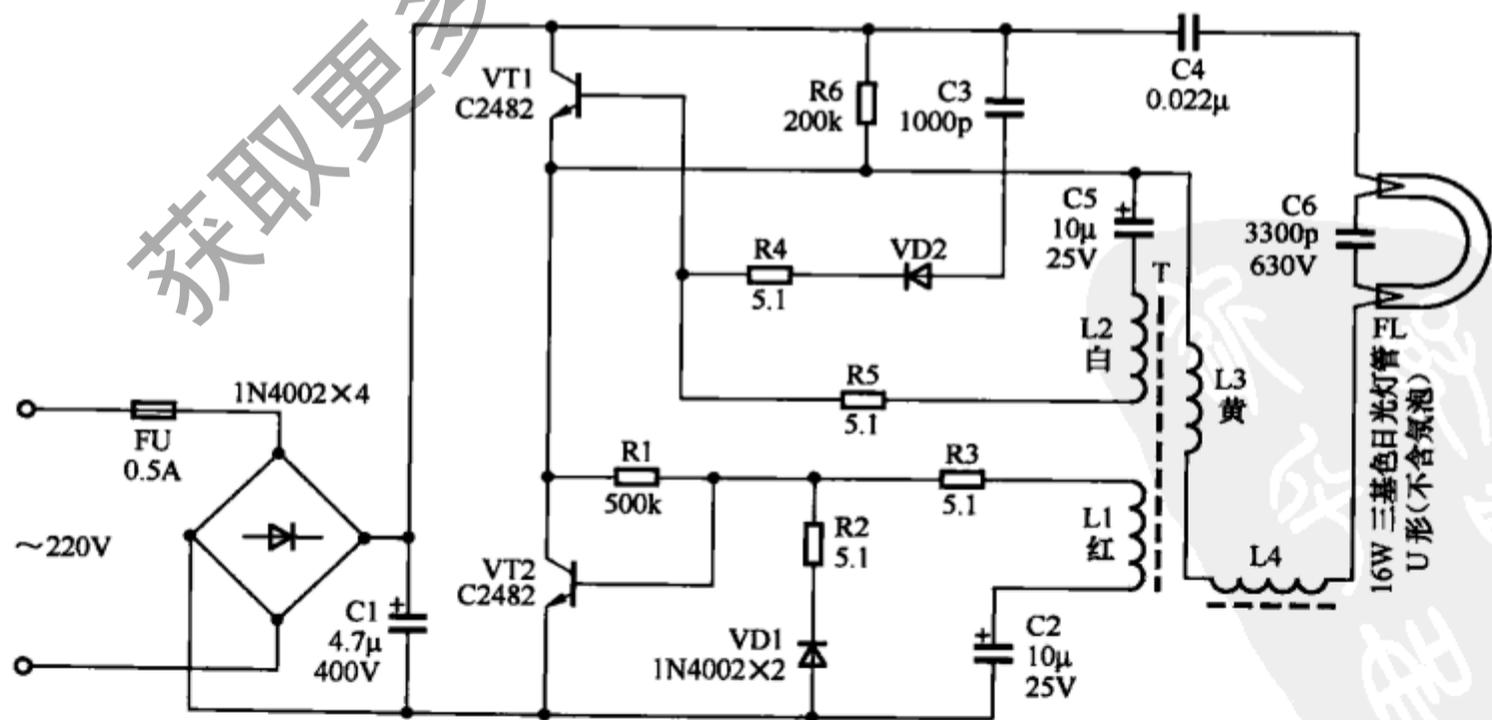


图 1-20 电子节能灯电路 (三)

该节能灯电路主要由桥式整流及滤波电路和以 VT1、VT2 为核心的电子开关电路等组成，由 C2~C5、R4~R6 以及隔直耦合变压器 T 组成的自激振荡电路形成高频电压，该电压通过 T、L4、C6 组成的 LC 串联型谐振电路在 C6 两端产生一个高电压，使灯管启辉。

元器件选择：开关管 VT1、VT2 为 C2482 型硅 NPN 中功率晶体管，电路中的二极管均采用 1N4002 系列，电阻为 1/8W 碳膜电阻器，C1、C2、C5 选用电解电容，C3、C4、C6 选用涤纶片状电容。高频变压器 T 需自制，L1~L3 同绕在一个  $\phi 10\text{mm}$  的磁环上，分别用有色胶线绕 3 匝、3 匝和 6 匝，作磁环电感用。L4 为扼流圈，用  $\phi 0.21\text{mm}$  漆包线在一个  $\phi 10\text{mm} \times 20\text{mm}$  的空心骨架上绕 300~500 匝，电感量为 4~6mH，直流电阻约为  $9\Omega$ 。灯管选用 2D16W 三基色日光灯管。



提示

维修电子节能灯时，首先要排除假故障。关灯后节能灯有间隙性的闪光，这并不是灯的质量问题，主要原因是电工线路安装不规范，将开关设在零线上造成的。只要把进线端的零线与相线调换一下即可。维修电子节能灯时，为安全起见，应用 1 : 1 隔离变压器隔离市电。

### 知识链接

#### 使用节能灯时的注意事项

- ① 节能灯不能在调光台灯、延时开关、感应开关的电路中使用。
- ② 应避免在高温、高湿的环境中使用节能灯。
- ③ 与其他照明灯具一样，电子节能灯不宜频繁开关。开关次数过多，将直接影响节能灯的使用寿命。
- ④ 更换节能灯时，应避免手握灯管，并注意断电后再更换。

#### 猜 一 猜

茅厕里挂闹钟，猜一成语。

满满一杯饮料，怎样才能喝到杯底的饮料？

“只”字加一笔，变成什么字？

什么人整天忙得团团转？

参考答案：有始有终；用吸管；冲（先使“只”字立起来）；芭蕾舞演员。



## 1.2 智能电子开关电路——智能又节电

楼道路灯需控制，手动开关不方便。  
智能开关很多种，声光控制最常见。  
触摸开关更聪明，延时熄灯节约电。  
开关串联火线上，安装使用都方便。

传统照明电路工作都需要使用机械开关，靠人工控制，有时使用起来极为不便。电子信息技术发展的主要目标是实现高度智能化，在减少乃至不需要人为干预的条件下使机器能独立处理各种工作。曾经不被人们所重用的声音、光等，如今在电子信息技术方面都得到了广泛的应用，尤其是光能更是有待人们开发的巨大的能源宝库。智能化照明电路也是如此，如我们所熟知的楼道照明电路的智能化实现方法是综合利用了声学—光学—电子学原理，而马路上的路灯则是应用了光学的原理。

### 1.2.1 声控照明电路 ——声音控制触发器，灯亮灯熄很默契

声控照明电路主要利用了声学 and 电子学的原理，即用声音传感器将声音信号转换成电信号，从而推动触发器触发使电路导通工作。智能化声控照明电路应具有以下功能。

- ① 能在声音的控制下实现电路的导通与截止。
- ② 能够接收的声音应是多方面的，如脚步声、物体打击声等。
- ③ 响应时间应越短越好。在选择电路元器件时，应选择灵敏度较高的声音传感器组成声控照明电路中控制电路的前端，同时还要为该传感器设置传感条件，如声音响度必须在 20dB 以上才能响应等。中间部分采用触发器构成，利用触发器不触不发、一触即发的特点去推动照明电路工作。触发器也应选择灵敏度高、响应时间短的，如 D 触发器、JK 触发器等。
- ④ 声控、光控与延时电路相结合，可有效节省电能资源。

#### 1. 声控延时门灯电路

图 1-21 所示为以音乐集成电路作为声控元件同时兼有延时作用的声控延时门灯电路，将它安装在室内门框边，能在夜晚有人敲门或进出门时点亮门灯。

该电路属于声控、光控与延时功能相结合的电路，这一技术在目前短时间使用的照明灯电路中应用得比较广泛，如楼道灯、门厅灯。控制部分采用全分立元件制作，成本低，应用效果好。

##### (1) 稳压电路

220V 交流电经 C1、R1、VD1、VD2、ZD1 和 C2 组成的电容降压、稳压电路供给控制电路。R2、ZD2 构成 3V 稳压电路，给音乐集成电路提供供电电压。

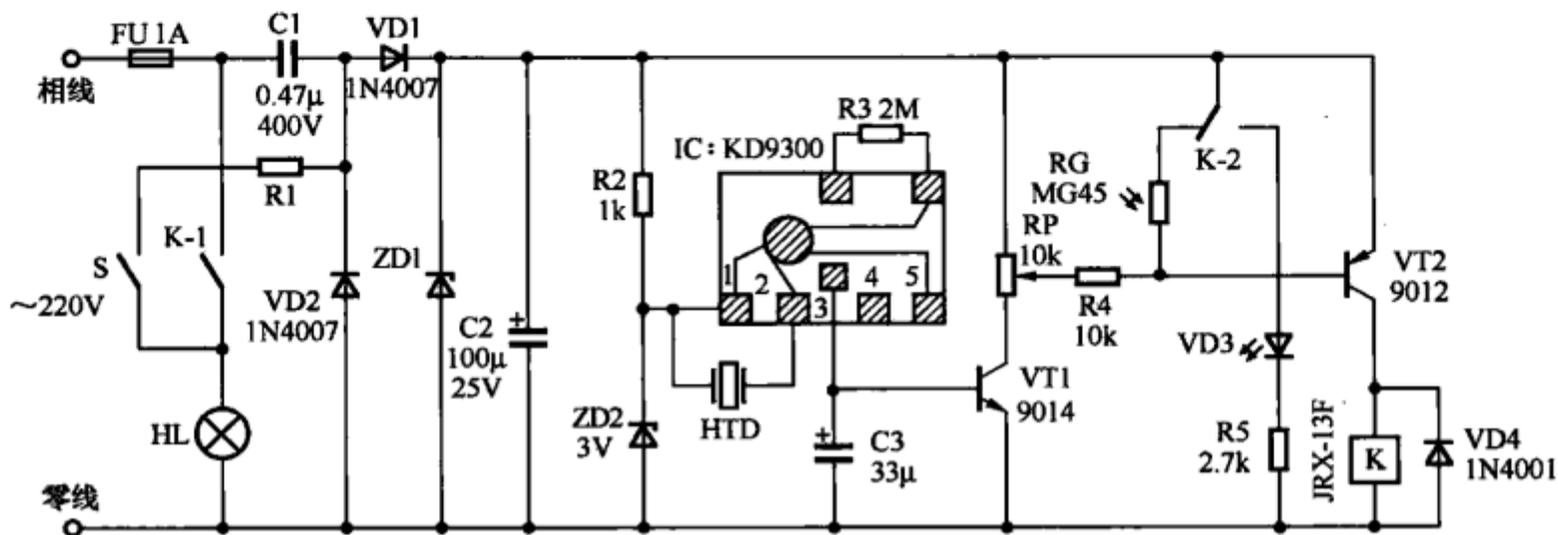


图 1-21 声控延时门灯电路

### (2) 声音发出电路

本电路采用音乐集成电路 KD9300 作为声源，每触发一次便自动演奏一首乐曲，其演奏速度由外接振荡电阻 R3 来决定。演奏时间的长短由 R3 的阻值决定，增大 R3 的阻值时，演奏时间会延长。

### (3) 声音控制电路

当压电片 HTD 受到一定强度的声音振动时，能将音频信号转换成电信号。该信号加在 KD9300 的触发端，其③脚有+1V 左右的直流电压输出，使 VT1 饱和导通。这样 12V 电压几乎全部加在了电位器 RP 两端。从 RP 的滑动端取出一定的电压送到由 VT2 等组成的开关电路中，VT2 导通，继电器 K 吸合而点亮门灯。

### (4) 白天亮灯控制电路

RG 是光敏电阻，接在 VT2 的基极与发射极之间，用以控制开关管 VT2。当白天有光照时，RG 的阻值很小，VT2 的基极与发射极间的电压较小，VT2 始终截止。白天或者室内光照较强时，不管是否有人敲门，KD9300 是否有信号输出，继电器均不会得电，门灯不亮；到了夜晚光敏电阻 RG 的阻值增大，当 KD9300 受声控触发而输出直流电压时，VT1 导通，经 RP、R4、RG 分压，VT2 的基极和发射极间电压超过 0.7V，VT2 导通，K 吸合。它的一组常开触点 K-1 点亮了门灯，另一组转换触点 K-2 断开了 RG，点亮了发光二极管 VD3。这样一方面可使 VT2 的饱和程度更深，另一方面使开关电路不受门灯光照的影响。经数分钟延时，KD9300 复位，其③脚无电压输出，VT1、VT2 均截止，门灯熄灭，电路恢复初始状态。

### (5) 手动控制电路

图中 S 是原门灯用的开关，保留该开关，以备不时之需。



提示

该电路中的继电器损坏后，可用有两组触点的继电器代换。

## 2. 声控节能灯电路（一）

由两只晶闸管构成的声控节能灯电路如图 1-22 所示。该电路主要以单向晶闸管 VS1 和

VS2、受话器 MIC、照明灯 EL 为核心构成。

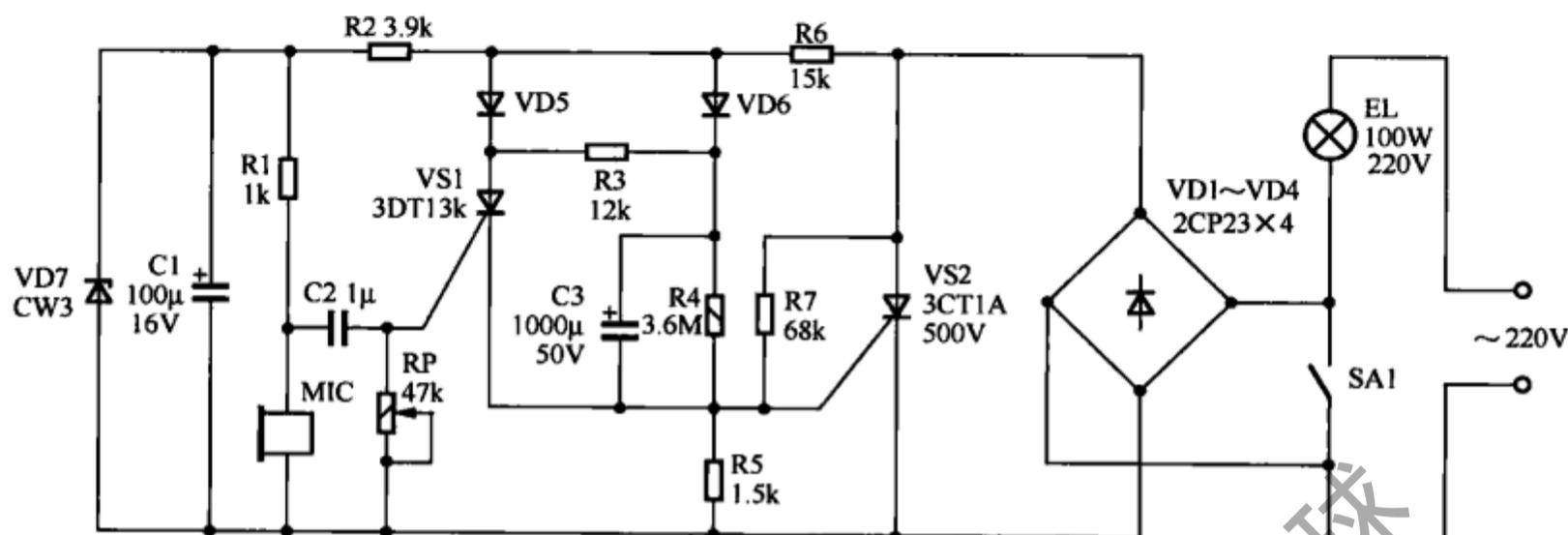


图 1-22 由两只晶闸管构成的声控节能灯电路

该电路由声音控制电路和手动控制电路两大部分组成。任一支路形成通路时，均会使灯泡 EL 点亮。

#### (1) 手动控制电路

SA1 为手动控制开关，当将 SA1 置于闭合位置时，灯泡 EL 点亮，同时也使声音控制电路进入工作状态，整流电路 VD1~VD4 通电，VS2 被触发导通。当将 SA1 置于断开位置时，VD1~VD4 形成的交流通路可使灯泡 EL 仍保持点亮状态。这时，随着 C3 充电的完成，晶闸管 VS2 的控制极电流逐渐减小，经过一段时间以后，晶闸管截止，灯泡会自动熄灭。

#### (2) 声控控制电路

VD1~VD4 组成桥式整流电路，R2 和 R6 组成分压电路。从分压电路中取出 31V 左右的电压并通过 VD5 加到晶闸管 VS1 的阳极，同时 R2 输出的电压还经 R1 为受话器供电。当灯泡熄灭以后，电容 C3 已经充好电，该电压约为 44V。

当有拍手声或讲话声时，声波被受话器 MIC 接收后，在受话器 MIC 的输出端便出现了一系列脉冲，第一个正脉冲便可使 VS1 导通。C3 通过 R3 和导通的晶闸管 VS1 进行放电，放电电流使晶闸管 VS1 仍保持着导通状态，持续时间约为 10s。

经过电阻 R6、VD5 和晶闸管 VS1 的是正弦脉动直流电流，可以将 VS2 触发导通，灯泡 EL 仍保持点亮。VD6 因电容 C3 上的电压极性与它反向而截止，所以，此时电容 C3 不能充电。当电容 C3 的放电电流减小到不能维持晶闸管 VS1 导通时，VS1 截止。此后，电容 C3 重新开始经电阻 R6、VD6 和 VS2 的控制极充电，晶闸管 VS2 仍保持导通状态，直至充电电流减小到不能触发晶闸管 VS2 时为止。



提示

电容 C2 为耦合电容。当受话器回路出现开路故障时，稳压管 VD7 用于限制落到电容 C1 上的过电压。受话器可采用任意型号的电容式受话器。

调整电位器 RP 的阻值，可以改变声音控制电路的接收灵敏度，当将其阻值调整到 47kΩ 时，在距受话器的 1m 左右范围内拍手时灯泡即可点亮；但其阻值低于 10kΩ 时灵敏度下降，且触发会受到影响。

### 3. 声控节能灯电路（二）

图 1-23 所示为由集成电路 LM386 构成的声控节能灯电路。

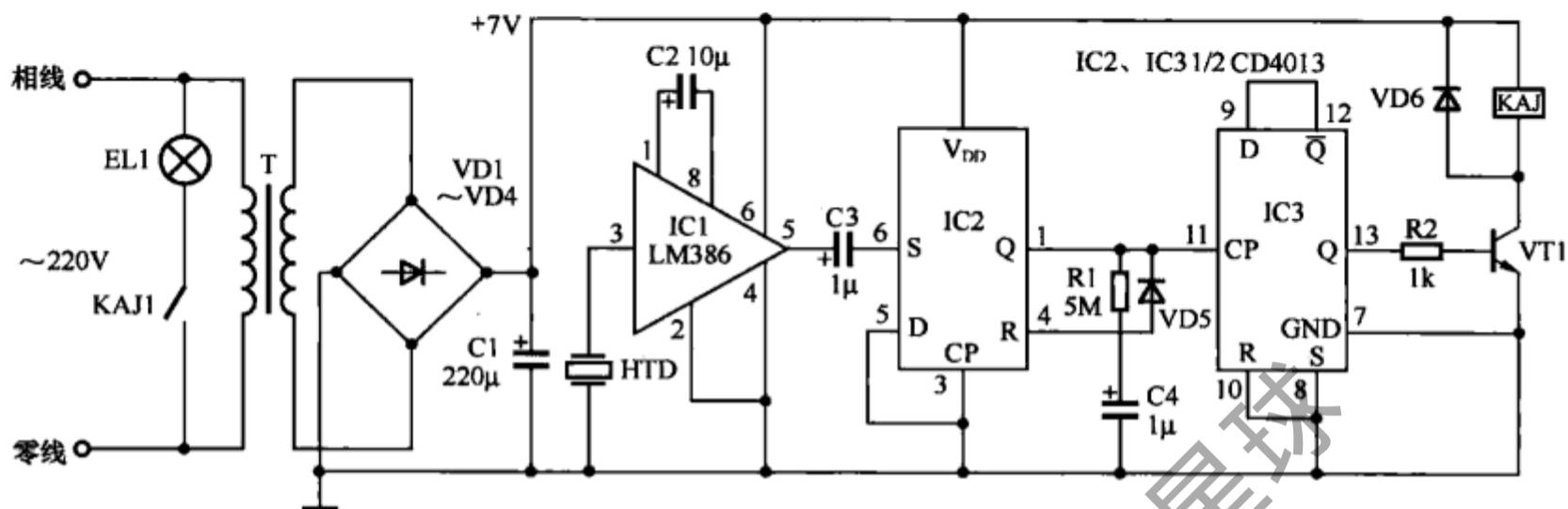


图 1-23 由 LM386 构成的声控节能灯电路

该电路中使用了两个集成电路。音频功率放大器 IC1 (LM386) 用于放大压电陶瓷片 HTD 拾取的声波信号；IC2 和 IC3 各为双 D 触发器 CD4013 中的一个 D 触发器，IC2 组成单稳态电路，IC3 组成分频器电路。

220V 交流电经变压器 T 降压、VD1~VD4 桥式整流、电容 C1 滤波后得到 +7V 电压，为控制电路提供工作电源。压电陶瓷片 HTD 拾取的击掌声等声波信号加至 IC1 的③脚，放大后的信号从 IC1 的⑤脚输出，经 C3 耦合加到 IC2 的⑥脚。

IC2 组成的单稳态电路对从⑥脚输入的声音信号进行整形，单稳态时间由 R1 和 C4 的参数确定。每击掌一次，IC2 的①脚只有一个稳定的高电平脉冲输出，该信号直接加到 IC3 的⑪脚。

IC3 组成的分频器电路可进行双稳态输出。当其⑪脚输入第一个脉冲信号时，⑬脚输出高电平，使晶体管 VT1 饱和导通，继电器 KAJ 的线圈得电，其动合触点 KAJ1 闭合，使灯泡 EL1 点亮。

当 IC3 的⑪脚输入第二个脉冲信号时，其⑬脚输出变为低电平。该信号经 R2 加到 VT1 的基极，使 VT1 截止，继电器 KAJ 的线圈失电，其动合触点 KAJ1 断开，灯泡 EL1 熄灭。

当 IC3 的⑪脚输入第三个脉冲信号时，其⑬脚再次输出高电平，灯泡 EL1 再次点亮。

上述过程如此循环。也就是说，每击一次掌，有一次冲击声波时，灯泡 EL1 就点亮或熄灭一次，从而达到了用声音控制照明灯的目的。



**提**

**示**

在电压陶瓷片 HTD 上加助声腔后效果会更好。晶体管 VT1 可选用 9013，二极管可选用 1N4007。该电路对阻容元件及工作电压无严格要求，只要安装正确，无须调试即可投入使用，声控距离可达 5~6m。

#### 1.2.2

### 光控照明电路

——光敏电阻是关键，电路通时光线暗

随着半导体光敏器件的快速发展，在设计光控电路时面临的问题已由怎样使光信号转化

为电信号变为怎样在电路中加大电信号的强度。这一问题如今得到了较好的解决。由于光敏器件的应用,在有光照的情况下其电参数发生变化,从而使其对电流的阻碍作用减小或增大,进而使电路导通或截止,光控转化为电控的功能便容易实现了。

利用光敏器件阻抗随光照强度的变化而变化的特点去控制电信号的强弱,再由传感器将变化的电信号传递给触发器,只要电信号强度达到一定程度,将触发器,使其导通工作。

光敏器件是光控电路功能实现的核心,必须保证其各项参数的精确、稳定。在选择这类器件时,一定要选择灵敏度高、工作稳定可靠的产品。当然,电路工作是否稳定,功能能否实现,并不仅仅和电路元器件有关,外加电源也不可忽视。与声控电路一样,最好也是给光控电路加上一个稳压电路,以确保其能正常工作。

光控照明电路的主要功能是当外界光照强度降低到一定程度时,使照明电路导通工作。在设计光控电路时,不但要尽量使电路结构简化,而且要使电路功能增强,功能的实现要可靠、稳定。

### 1. 光控照明电路(一)

图 1-24 所示为由一只晶体管构成的光控节能灯电路,适用于各种照明场合。

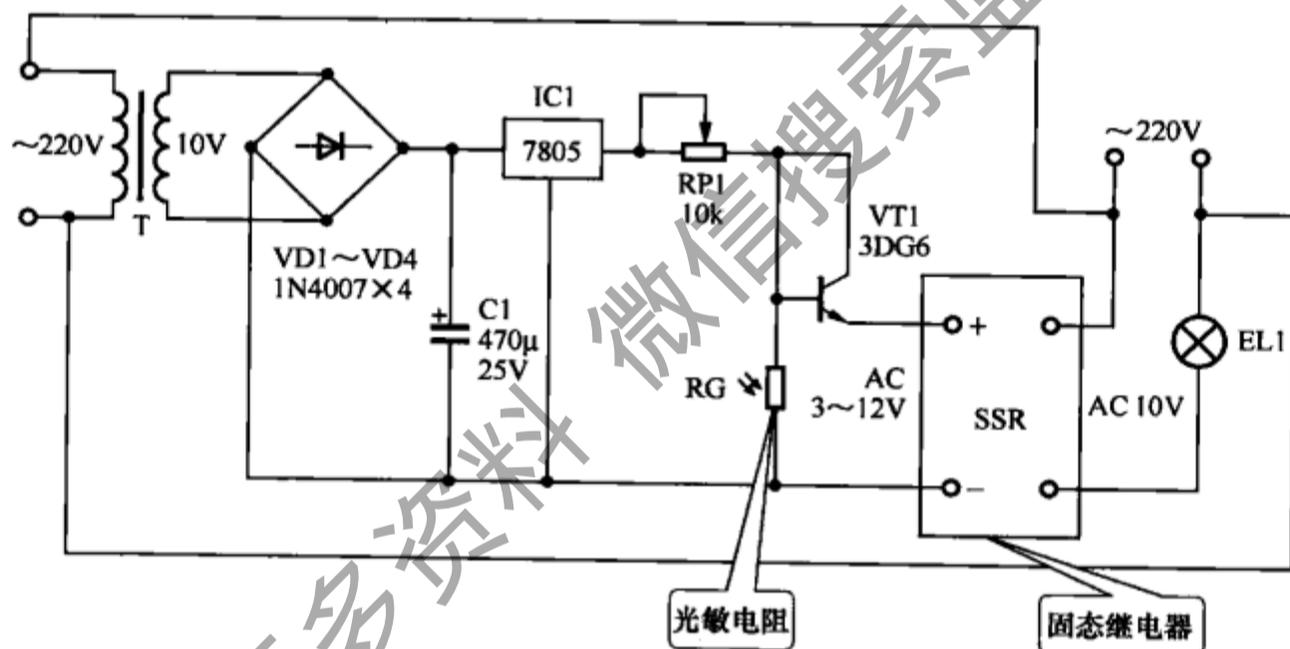


图 1-24 由一只晶体管构成的光控节能灯电路

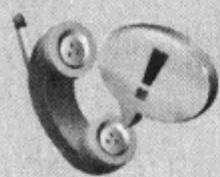
该电路比较简单,主要分为两个部分,即供电电路和光电开关控制电路。前者由 T、VD1~VD4、IC1 及 C1 组成,后者由 VT1、RG、SSR (固态继电器) 等组成。

#### (1) 供电电路

220V 交流电一路通过 SSR 与灯泡 EL1 连接;另一路加到电源变压器 T 的一次侧,从变压器二次侧输出 10V 交流低压,经 VD1~VD4 桥式整流、C1 滤波及 IC1 稳压后,得到 5V 直流电源并提供给光电开关控制电路。

#### (2) 光电开关控制电路

该电路由光敏电阻 RG、晶体管 VT1 及电位器 RP1 等组成。在白天, RG 受光照呈低阻状态, VT1 截止, SSR 不工作;在夜晚, RG 无较强光线照射时呈高阻状态, VT1 得到了合适的偏流而导通,从而使固态继电器输入端内的发光二极管导通发光, SSR 受控接通 EL1 的供电,使 EL1 得电点亮。



**提示**

电路调试时，在室内正常自然光照射到光敏电阻 RG 的情况下，调节 RP1 的阻值，让 SSR 处于临界状态即可。

**知识链接**

## 光敏电阻

光敏电阻是利用半导体的光电效应制成的一种阻值随入射光的强弱而改变的电阻器。用于制造光敏电阻的材料主要是金属的硫化物、硒化物和碲化物等。

通常，光敏电阻都制成薄片结构，以便吸收更多的光能。当它受到光的照射时，半导体片（光敏层）内就激发出电子—空穴对，参与导电，使电路中的电流增大。入射光强，电阻减小；光照越强，阻值越低；入射光弱，电阻增大；入射光消失后，由光子激发产生的电子—空穴对将逐渐复合，光敏电阻的阻值也就逐渐恢复为原值。

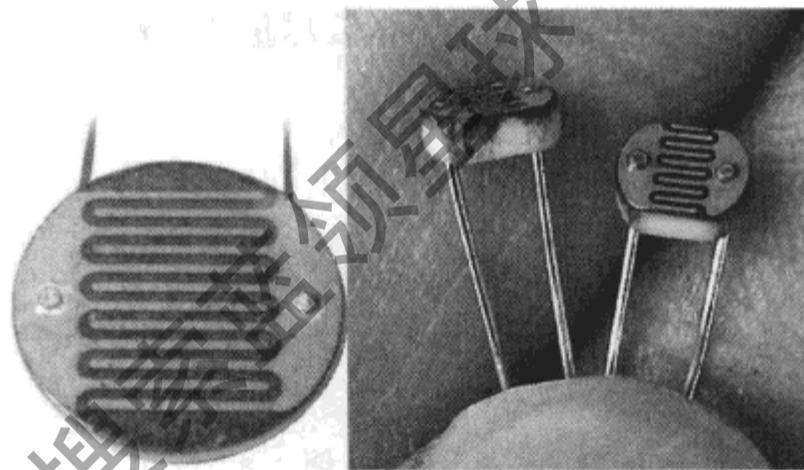


图 1-25 光敏电阻

在光敏电阻两端的金属电极之间加上电压，其中便有电流通过，受到适当波长的光线照射时，电流就会随光强的增大而变大，从而实现光电转换。光敏电阻没有极性，纯粹是一个电阻元件，使用时既可加直流电压，也可加交流电压。

光敏电阻一般用于光的测量、光的控制和光电转换（将光的变化转换为电的变化）。常用的光敏电阻的型号有密封型的 MG41、MG42、MG43 和非密封型的 MG45，它们的额定功率均在 200mW 以下。

测量光敏电阻的方法如下。

① 用一张厚纸片将光敏电阻的透光口遮住，用万用表对光敏电阻进行测量，所测得的阻值越大，说明光敏电阻的性能越好。若测得的阻值很小，说明光敏电阻已损坏。

② 重新将光源对准光敏电阻，此时万用表的指针应有较大幅度的摆动，阻值明显减小。阻值越小，说明光敏电阻的性能越好。若此值很大甚至为无穷大，说明光敏电阻内部电路已损坏，不能继续使用。

③ 将光敏电阻的透光窗口对准入射光线，将黑纸片在光敏电阻的透光口上部移动，使光敏电阻间断受光，此时万用表指针应随黑纸片的晃动而左右摆动。若万用表指针始终停在一个位置，说明光敏电阻已损坏。

## 2. 光控照明电路（二）

图 1-26 所示为一款光控定时照明电路，该电路适合于阅报栏自动灯光控制，在夜幕降临时会自动点亮报栏灯光，便于人们阅读。在后半夜行人稀少时，它会自动关闭灯光，从而节

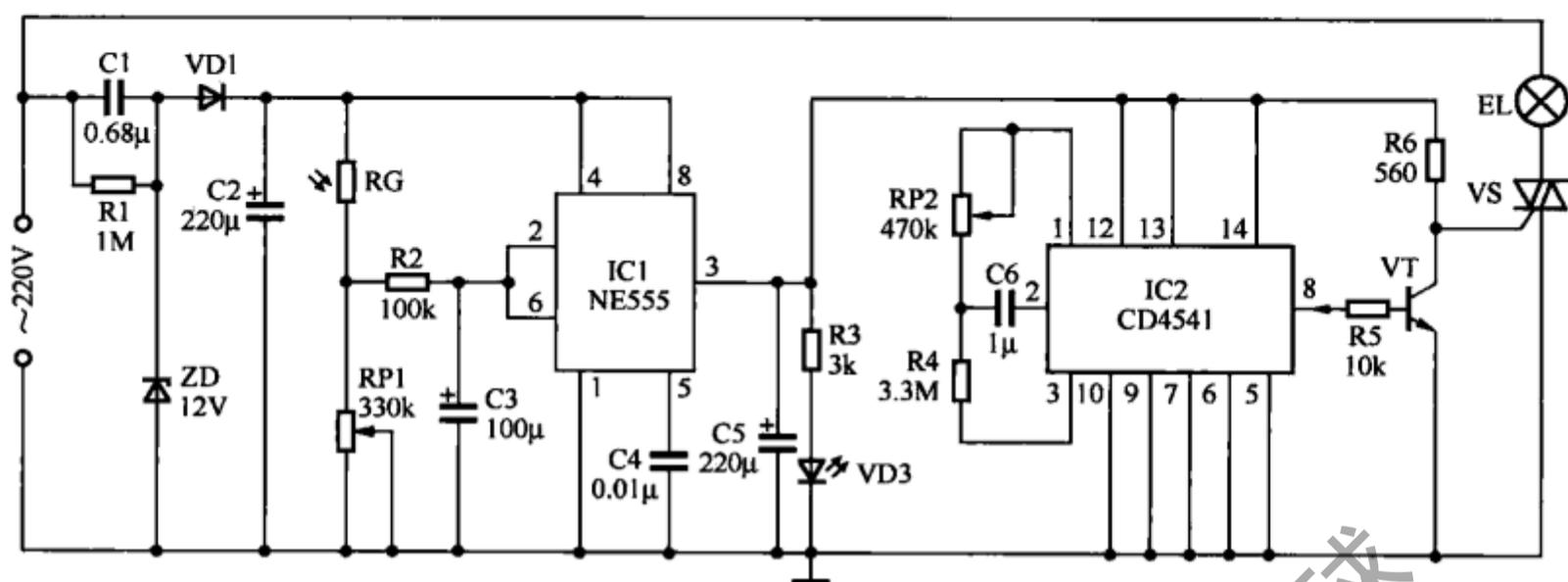


图 1-26 光控定时照明电路

约电能。

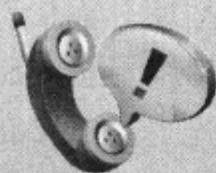
该电路主要由光控电路、定时电路、晶闸管开关及电源电路等几部分组成。该电路采用了两个集成电路：一个是时基电路 NE555；另一个是 CD4541，这是一个 CMOS 可编程定时集成电路，采用 14 脚双列直插式塑料封装结构。

220V 交流电经电容 C1 降压、VD1 整流及 ZD 稳压后，在电容 C2 两端可获得 12V 直流电压，以供 IC1 使用。IC1 与光敏电阻 RG、电位器 RP1、电阻 R2 等构成光控电路。时基集成电路 IC1 接成施密特触发器，白天外界的光线较强，光敏电阻 RG 呈低阻状态，IC1 的②、⑥脚为高电平，IC1 处于复位状态，其输出端③脚输出低电平，因此后级的定时器 IC2 与晶体管 VT 不工作，晶闸管 VS 因无触发电流而处于关断状态，报栏灯 EL 不亮。

当夜幕降临时，RG 呈现高阻状态，时基集成电路 IC1 的触发端②脚为低电平，IC1 翻转置位，③脚输出高电平，定时器 IC2 开始计时，因定时时间未到，其输出端⑧脚为低电平，VT 截止，其集电极输出高电平，即晶闸管 VS 的控制极可通过 R6 获得正向触发电流而开通，报栏灯 EL 点亮。定时时间一到，IC2 的⑧脚就输出高电平，晶体管 VT 导通，VS 失去触发电流，当交流电过零时即关断，EL 熄灭。

当外接电位器 RP2 和电容 C6 的参数值确定后，即可确定 IC2 内部振荡器的振荡频率。在夜幕降临，IC1 的置位端③脚输出高电平时，IC2 即接通电源，由于 IC2 的⑨脚为低电平，在复位状态下输出端⑧脚也为低电平，因此使得 VT 截止，VS 可通过 R6 而开通。当设置的定时时间一到，IC2 的输出端⑧脚便由低电平跳变到高电平，VT 导通，因此关闭了晶闸管 VS。

调节电位器 RP2，可以获得不同的定时时间。由于 IC2 的⑫、⑬脚都接高电平时定时系数  $n$  为 65 536，因此通过调节 RP2 最长可获得 9h 的定时时间，足以使电灯在后半夜关闭。



**提示**

该电路除可用于白炽灯自动控制外，也可用于控制高压钠灯、节能灯等各种灯具。R2 与 C3 组成干扰脉冲吸收电路，可防止短暂光线（如雷电闪光、车辆灯光等）干扰电路的正常工作。

### 3. 光控照明电路（三）

图 1-27 所示电路为以 IC1 (CB555)、IC2 (CD4017B) 集成电路为主构成的光控调光电路。

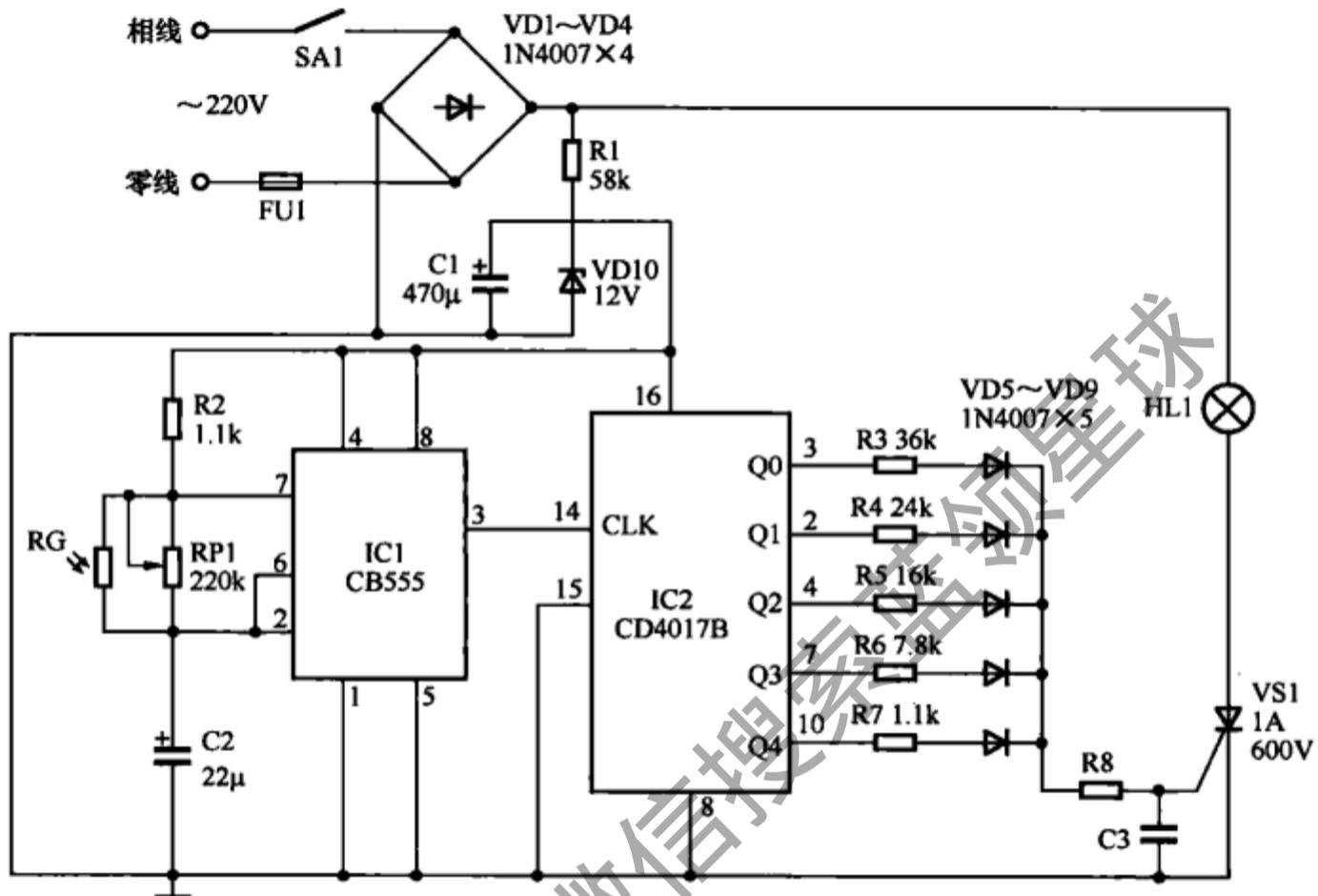


图 1-27 由 CB555 和 CD4017B 构成的光控调光电路

在该光控调光电路中，由目前应用广泛的时基电路 CB555 构成定时电路，其振荡频率由定时元件 RP1、RG 及电容 C2 的参数决定。

CD4017 数字计数器集成电路具有非常灵活的使用方法和极其通用的电路功能。CD4017 在计数分配方面应用得极为广泛，根据实际需要，经过参数的重新配置和电路的重新组合，与外接元器件组成各种不同用途的电路，例如脉冲计数电路、脉冲分频电路、单稳态电路、双稳态电路、无稳态电路等。本电路用 CD4017B 构成十进制计数电路，计数脉冲来自于 IC1 的③脚。

闭合开关 SA1，220V 交流电通过桥式整流电路整流后得到的直流电压分为两路，其中一路直接加在灯泡 HL1 上，另一路经 R1 降压、VD10 稳压和 C1 滤波后，为控制电路提供 12V 直流电压。

定时电阻 RP1 与光敏电阻 RG 并联。当环境光线很弱时，RG 的阻值较大，IC1 的定时时间较长，每隔数秒才输出一个宽时限脉冲。该脉冲信号从 IC1 的③脚输出，进入 IC2 的⑭脚。IC2 接收到 IC1 送来的定时脉冲后，将依次计数。

IC2 的计数输出端③、②、④、⑦和⑩脚分别串联有不同阻值的电阻。当从 IC1 输出的定时脉冲致使 IC2 的③、②、④、⑦和⑩脚的电位依次发生变化时，就会使单向晶闸管 VS1 的触发电流也随之改变，从而控制灯泡 HL1 以数秒改变一次亮度的方式进行调光。当 IC2 的计数输出跃升到⑩脚时，其计数输出被锁定，灯光被控制在该亮度上而不再变化。由于该调

光过程较为缓慢，故完全可以适应人们的视觉特点。

当环境光线较强时，IC1 的定时时间较短，其③脚每秒输出 2~3 个定时脉冲。在 IC1 输出的定时脉冲触发下，IC2 的计数输出不断改变，其输出过程只需约 2s。因此，该调光过程较为短暂。

在不同的环境光线下定时器 IC1 输出不同频率的脉冲，且当光线由暗向亮变化时，IC1 输出的脉冲频率也相应升高，IC2 的上述 5 个计数输出端会分别产生 5 种不同的触发电流，以控制单向晶闸管 VS1 的导通电流，从而控制灯泡产生 5 种不同的亮度等级。

在 IC1 的输出脉冲触发下，IC2 的计数输出电压从③、②、④、⑦、⑩脚依次跃升，当计数高电平跃升到⑩脚时，IC2 的计数输出被锁定，即使 IC1 不断输出触发脉冲，IC2 仍保持⑩脚输出不变，直到电源开关断开，IC2 断电为止。



提示

在该电路中，单向晶闸管 VS1 受 IC2 的控制，IC2 受 IC1 的控制，IC1 则受光敏电阻 RG 的控制。上述 3 个光控电路的负载能力都很有有限，只能控制一盏灯。

下面介绍的两个电路比较适合用于工厂、学校等用来自动控制路灯的开关。

#### 4. 光控照明电路（四）

图 1-28 所示为一款光电集中控制器电路。

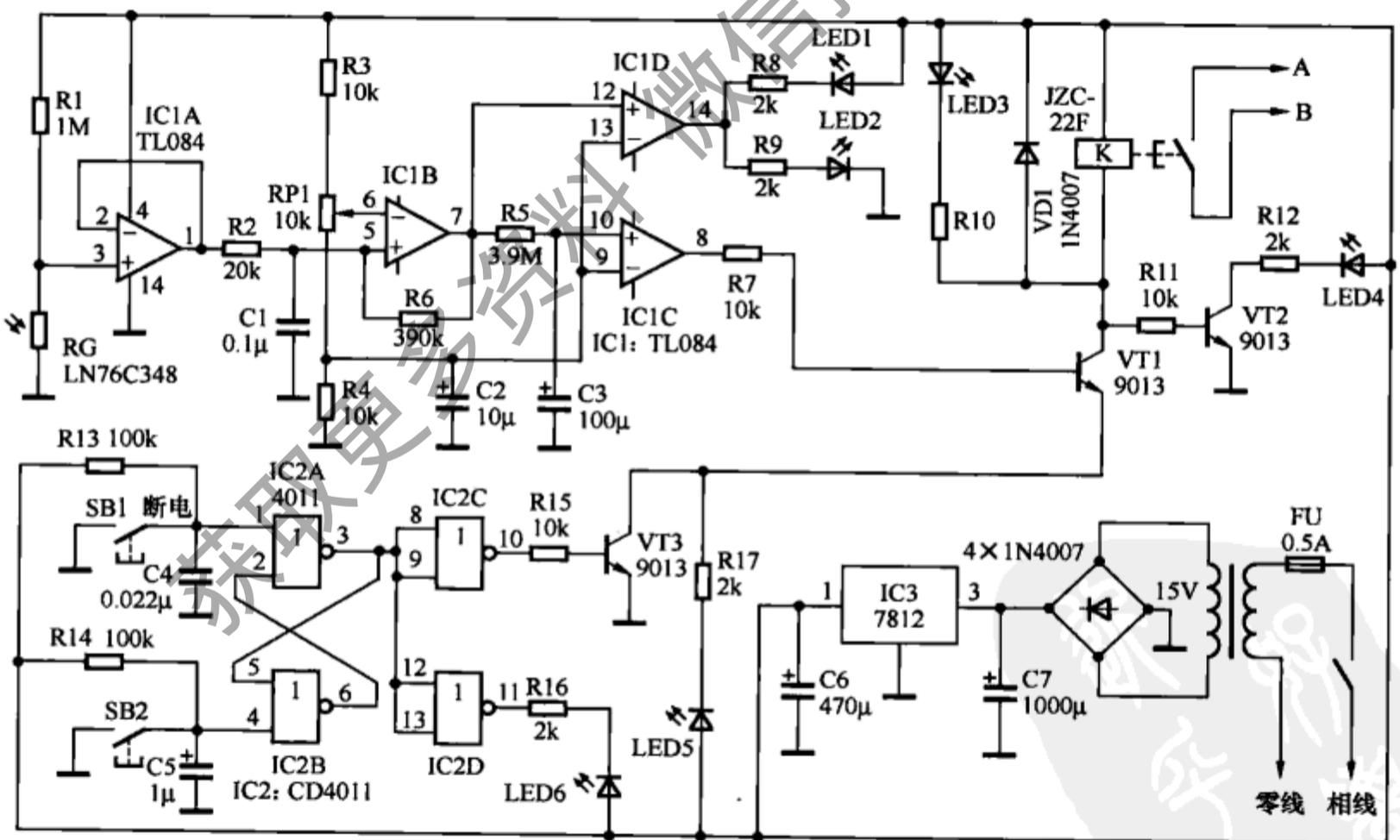


图 1-28 光电集中控制器电路

该电路采用了 3 个集成电路。IC1 为 TL084，这是一种最常用的四运放集成电路，有直插式和表面贴装式两种型号，如图 1-29 所示。IC2 为 CD4011，这是一种集成逻辑门电路，

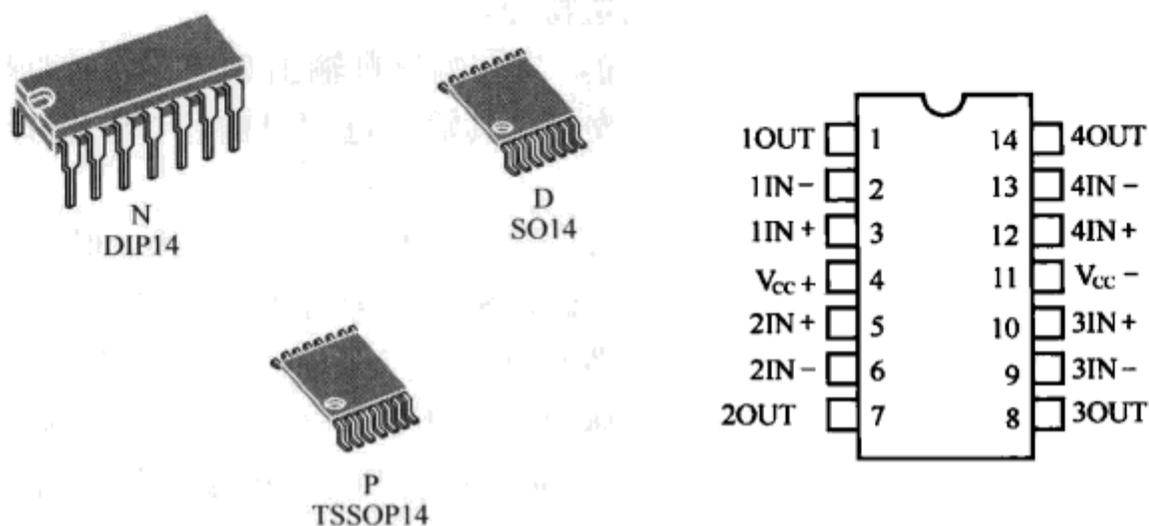


图 1-29 四运放集成电路 TL084

也有直插式和表面贴装式两种。IC3 为三端稳压集成电路 7812, 可为负载电路提供稳定的 12V 电压。

### (1) 白天熄灯夜间亮灯电路

光敏电阻  $R_G$  与  $R_1$  的分压信号经 IC1A 送入 IC1B 的⑤脚, 与由  $R_{P1}$  设定的 IC1B 的⑥脚的电平进行比较, 由此来决定白天熄灯、夜间亮灯。

在光照强度大于  $5lx$  时, 光敏电阻  $R_G$  呈低阻状态, 使送入 IC1B ⑤脚的电压低于⑥脚的设定电平, IC1B 的⑦脚输出低电平, 其中一路经  $R_6$ 、 $C_3$  等组成的延迟电路延迟约 2min 后, 送入第二级比较器 IC1C 的⑩脚, 使⑧脚也输出低电平。该电平通过  $R_7$  控制 VT1 截止, 继电器 K 释放, 此时电源通过 K 及  $R_{11}$  使 VT2 导通, LED4 亮, 指示此时路灯熄灭。IC1B 的⑦脚输出的另一路电压则直接送入 IC1D 的⑫脚, 使⑭脚输出低电平, LED1 点亮, 指示现在是白天。

在光照强度小于  $5lx$  时, 光敏电阻  $R_G$  呈高阻状态, 使送入 IC1B 的⑤脚的电压高于⑥脚的设定电平, IC1B 的⑦脚输出高电平, 其中一路经  $R_6$ 、 $C_3$  等组成的延迟电路延迟约 2min 后, 送入第二级比较器 IC1C 的⑩脚, 使⑧脚也输出高电平。该电平通过  $R_7$  控制 VT1 饱和, 继电器 K 吸合, LED3 点亮, 指示此时路灯点亮。同时 VT2 截止, LED4 熄灭, ⑦脚输出的另一路电压则直接送入 IC1D 的⑫脚, 使⑭脚输出高电平, LED2 点亮, 指示现在是夜间。

### (2) 自动控制与手动控制转换电路

自动控制与手动控制转换电路以 IC2 为核心。首次开机时, 因  $C_5$  的容量比  $C_4$  的容量大, 充电时间长, 由 IC2A、IC2B 组成的双稳态电路因⑥脚为低电平, 使④脚为高电平, ③脚为低电平。③脚输出的信号分为两路: 一路送入 IC2D, 使其⑪脚输出高电平, 此时 LED5 不亮; 另一路送入 IC2C, 使其⑩脚输出高电平, 通过  $R_{15}$  控制 VT3 导通, 以保障 VT1 饱和时继电器 K 可靠吸合。同时 LED5 点亮, 指示此时为自动控制状态。

轻触按钮 SB1 使 IC2A 置高电平, 通过 IC2C、IC2D 使⑩、⑪脚均为低电平, VT3 截止, LED5 熄灭, 此时即使 VT1 饱和, 继电器 K 也不吸合, 达到人工干预断电的目的。同时, LED6 点亮, 指示此时为人工断电状态。该状态主要用于白天或夜间供电线路故障时断电修理。再轻触按钮 SB2, 又恢复为自动控制状态。

继电器 A、B 触点的输出作为开关信号直接控制交流接触器, 控制功率由交流接触器触

点的容量决定。RP1 为照度转换设定调整电位器，通过调整电位器可确定照度转换数值。R2、C1 为抗干扰积分电路。R5 为正反馈电阻，它使 IC1B 成为施密特比较器。12V 稳压电路为整个电路供电。



**提示**

该电路具有以下特点。

- ① 光电全自动控制，光照强度大于 5lx 时灯灭，光照强度不大于 5lx 时灯亮，差值  $\pm 1lx$ 。
- ② 带有瞬间亮暗自动排除功能，时差为  $(2 \pm 0.3) min$ 。
- ③ 自动控制与手动控制轻触转换功能。
- ④ 功能齐全的监测显示功能。
- ⑤ 单线推出控制交流接触器，可任意扩展控制功率。

### 5. 光控照明电路（五）

图 1-30 所示电路是以集成电路 LM339 和 CD4011 为主构成的多功能光控照明电路。其中，IC1 (LM339) 内部装有 4 个独立的电压比较器，该电压比较器的特点如下。

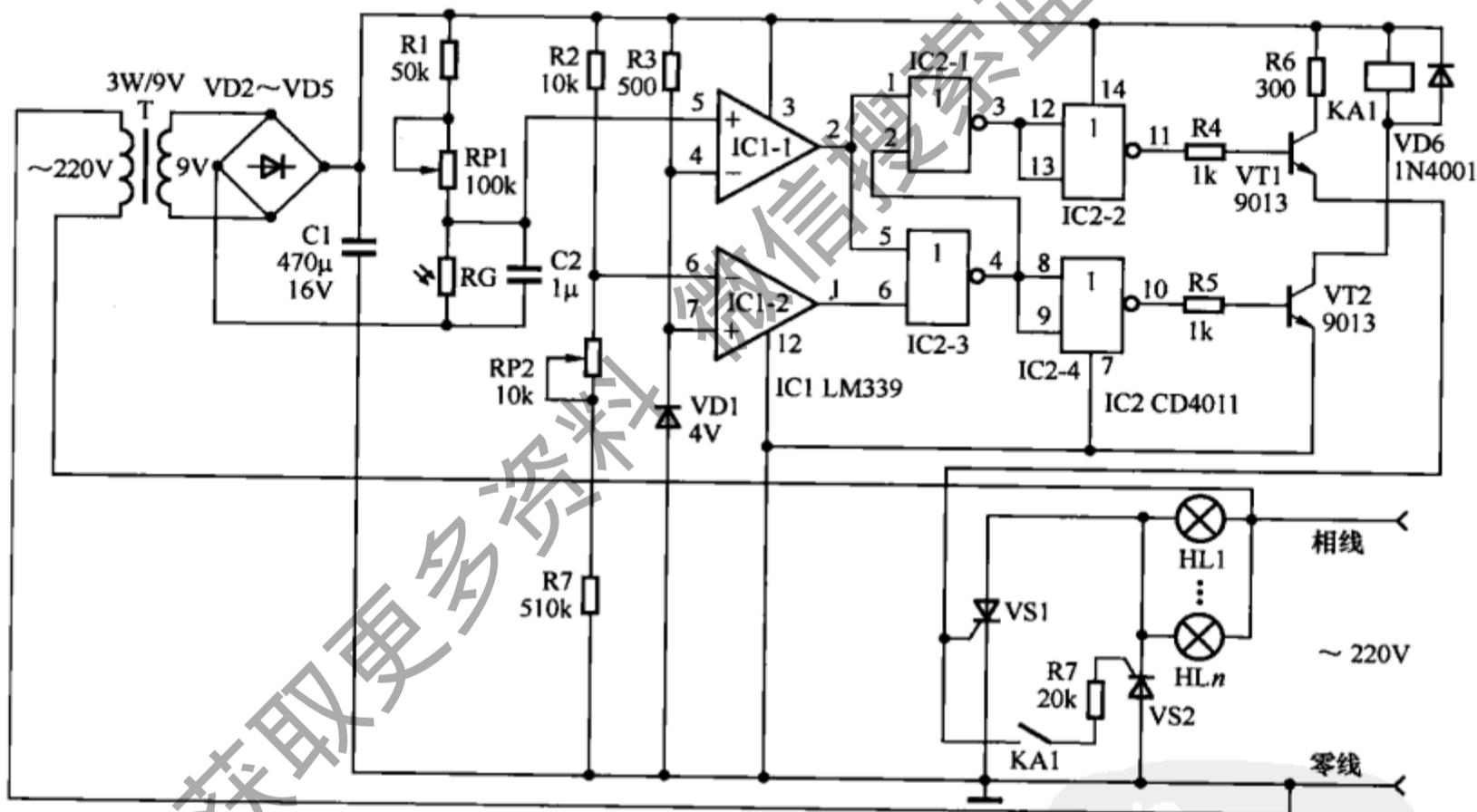


图 1-30 多功能光控照明电路

- ① 失调电压小，典型值为 2mV。
- ② 电源电压范围宽，单电源电压为 2~36V，双电源电压为  $\pm 1 \sim \pm 18V$ 。
- ③ 对比较信号源的内阻限制范围较宽。
- ④ 共模范围很大。
- ⑤ 差动输入电压范围较宽，大到可以等于电源电压。
- ⑥ 输出端电位可灵活方便地选用。

IC2 (CD4011) 是一块四 2 输入与非门集成电路。

光控电路由 R1、RP1、RG、IC1-1 等组成。在白天，光敏电阻 RG 由于受光照作用，其阻值变小，此时 IC1-1 的②脚输出低电平，致使 VT1 与 VT2 均截止，晶闸管 VS1 和 VS2 也截止，灯泡 HL1~HL<sub>n</sub>（灯泡的数量根据需要确定）不会点亮。在晚上，由于光敏电阻 RG 无光照，其阻值变大，使 IC1-1 的②脚输出高电平，解除了对 IC2-2 与 IC2-3 的封锁。此时，可能有以下两种情况。

① 当电网电压低于 220V 时，经 C1 滤波后的直流电压会随之下降，经 R2、RP2 分压后加到 IC1-2 的⑥脚上的电压也降低，其①脚输出高电平并加到 IC2-3 的⑥脚，IC2-3 的④脚输出低电平，经 IC2-4 内部反相后由⑩脚输出高电平，使 VT2 导通，KA1 的线圈得电吸合，其动合触点 KA1 闭合，VS1 与 VS2 均导通，灯泡点亮。

② 在夜晚，电网电压大于 220V 时，IC1-2 的⑥脚电压上升。当该脚电压大于 4V 时，IC1-2 的①脚输出低电平并加至 IC2-3 的⑥脚上，此时 IC2-3 的④脚输出高电平，IC2-4 的⑩脚输出低电平，使 VT2 截止，KA1 的线圈断电释放，其动合触点 KA1 不动作，VS2 截止。与此同时，IC2-3 的④脚输出的高电平也加至 IC2-1 的②脚，使其③脚输出低电平，经 IC2-2 内部反相后从⑪脚输出高电平，VT1 导通，VS1 得到直流触发电压也导通。由于 VS1 导通，故路灯获得的是经半波整流后的直流脉冲电压，灯泡消耗的功率减半，由此既可达到节能的目的，又可防止灯泡因夜里电网电压过高而被烧坏。



提示

在该电路中，VS1 与 VS2 均采用的是 20A/400V 单向晶闸管，实际使用时晶闸管的功率应根据灯泡功率而定，要大于灯泡的总功率；KA1 是一只 9~12V 的小型继电器，若负载电路中的灯泡较多，可适当加大其负载功率。该电路具有过电压保护功能，较其他光控电路而言，实用性更强。

### 1.2.3

## 声光联控延时照明电路

——声光信号作控制，延时全靠振荡器

在实际使用时，声、光、延时三部分电路是相互联系的。没有光控，电路智能化的实现不完善；没有声控电路，也谈不上延时；而没有延时电路，也谈不上智能化照明。该电路在电能节约方面处理得较好，但也存在一定的缺陷。如要使灯常亮，则该电路无法实现；要对电路进行维护，在白天需要亮灯，则该电路也无法实现。为此要对该电路进行升级，所谓升级就是对电路的功能进一步完善。可以为其添加一些硬件，使在不影响其正常智能化功能实现的前提下，电路能受人所控制，以便更好地为人们服务。

声光联控延时照明电路的主要原理就是利用光控部件控制电路白天不工作，而夜晚则由声控部件控制其工作，再由延时部件控制其工作时间。

延时电路就是利用电子计数器来实现定时功能。延时电路说白了就是一个计数器，其构成方案一般有 3 种：硬件构成、软件构成和软硬相结合构成。对于由硬件构成的定时器，一般是通过改变 R、C 元件参数值控制定时时间，其效率较高，但灵活性、通用性较差，如 555 定时器；而由软件构成的定时器是通过执行一段程序来实现定时的，其灵活性、通用性较好，但效率较低。现在设计定时器一般都是采用软硬相结合的方法，集两者之长，通过编程设定不同的延时常数，而由硬件控制定时过程，其效率和灵活性都得到了较大的

提高。

在一个实际的电路中，延时不是主要目的，而主要目的是为了完善电路功能。作为一个延时电路，在整个电路中其应在延时结束后发出一个结束信号，控制电路是否继续工作下去。所以，前述声控、光控电路尽管也能实现控制电路的功能，但其功能是不完善的，为此应对其进行改进。实施时有3种方案可行：声控延时、光控延时和声光联控延时，这3种方案可用于不同的场合。

### 1. 声光联控延时照明电路（一）

图 1-31 所示为由晶闸管组成的声光联控延时照明电路，常用于楼道等场合的照明控制。该电路由电源整流、声电转换、驱动放大、晶闸管开关等电路组成。

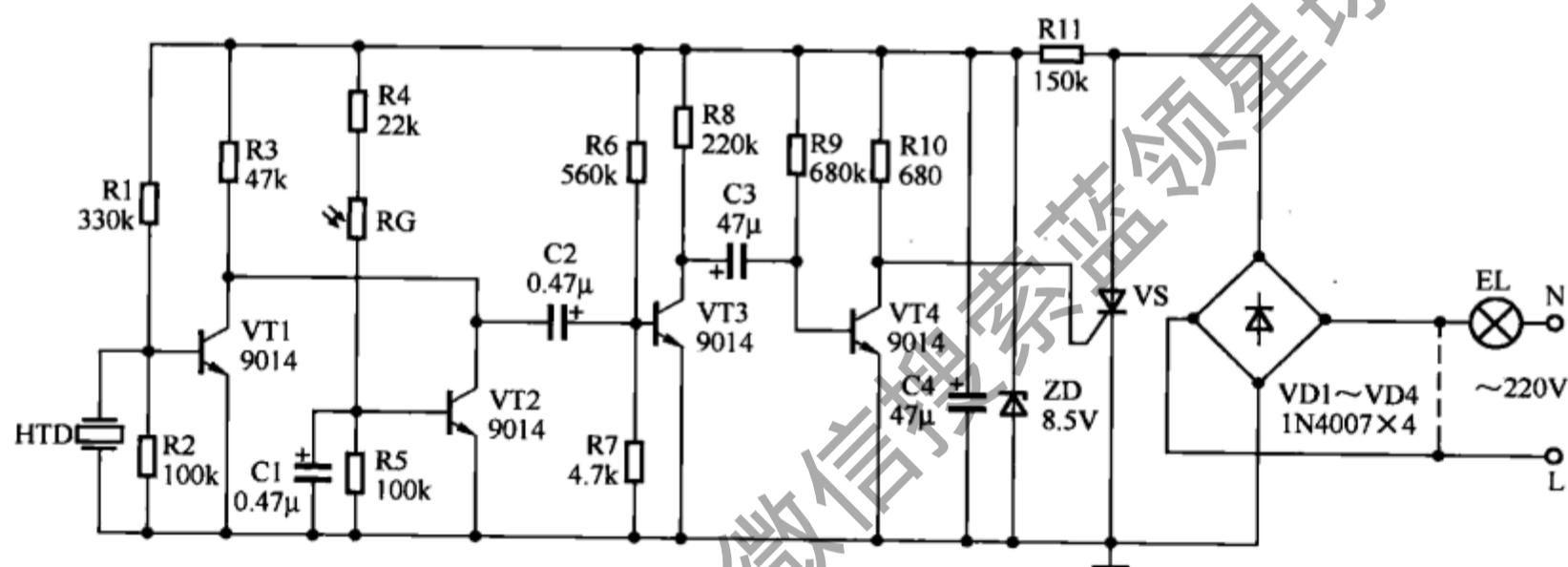


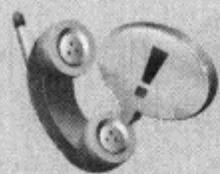
图 1-31 声光联控延时照明电路（一）

220V 交流电通过照明灯泡和 VD1~VD4 后分为两路，一路给单向晶闸管 VS 供电，另一路经 R11、C4、ZD 稳压、滤波后为声电转换及驱动放大电路提供 8.2V 的工作电压。

压电陶瓷片 HTD 和晶体管 VT1 组成声音拾取和信号放大电路。光敏电阻 RG 和 VT2 组成光控电路。晶体管 VT3、VT4 以及电容 C3 组成单向晶闸管 VS 的触发控制电路。

在白天光线较强时，由于光敏电阻 RG 的阻值较小，VT2 处于导通状态，将 VT1 的集电极下拉为低电平，使 VT1 截止。又由于 VT3 基极的上偏置电阻较大，在静态时 VT3 处于截止状态，而 VT4 处于导通状态，其集电极为低电平，单向晶闸管 VS 没有高电平触发信号而截止，灯泡 EL 不发光。此时电容 C3 充电到一定的电压，为左正右负。

在夜间或者光线较暗时，光敏电阻 RG 的阻值变得很大，VT2 由导通变为截止，从而失去了对 VT1 的控制作用。压电陶瓷片 HTD 接收到脚步声等声音时，将声音转换为电信号。该电信号经 VT1 放大后，再经电容 C2 耦合到 VT3 的基极，VT1 输出信号的正半周使 VT3 导通，其集电极跳变为低电平，电容 C3 放电。实际上是电源经 R9、VT3 对 C3 充电，极性为左负右正。在 VT3 导通的瞬间，VT4 的基极受到反向偏置而截止，其集电极变为高电平，触发晶闸管 VS 导通，灯泡 EL 被点亮。随着电容 C3 的充电，VT4 的基极电压逐渐升高，VT4 又导通，其集电极恢复为低电平，晶闸管 VS 截止，灯泡 EL 熄灭，电路回到等待状态，等待再次触发。



提示

灯泡点亮的时间与电容 C3 的容量有关，该电路中灯泡点亮的时间约为 1min，若需延长亮灯时间，只需将 C3 的容量适当增大即可。

## 2. 声光联控延时照明电路（二）

图 1-32 所示为一款声光联控延时照明电路，这种电路可以控制白天灯不亮，到晚上遇有响声时（如对话声、脚步声等），灯自动点亮，人走后灯自动熄灭（延时时间为 10s~5min）。此开关可应用于楼梯、走廊、仓库、厕所等无专人管理的场所，能节约用电，延长灯泡使用寿命。

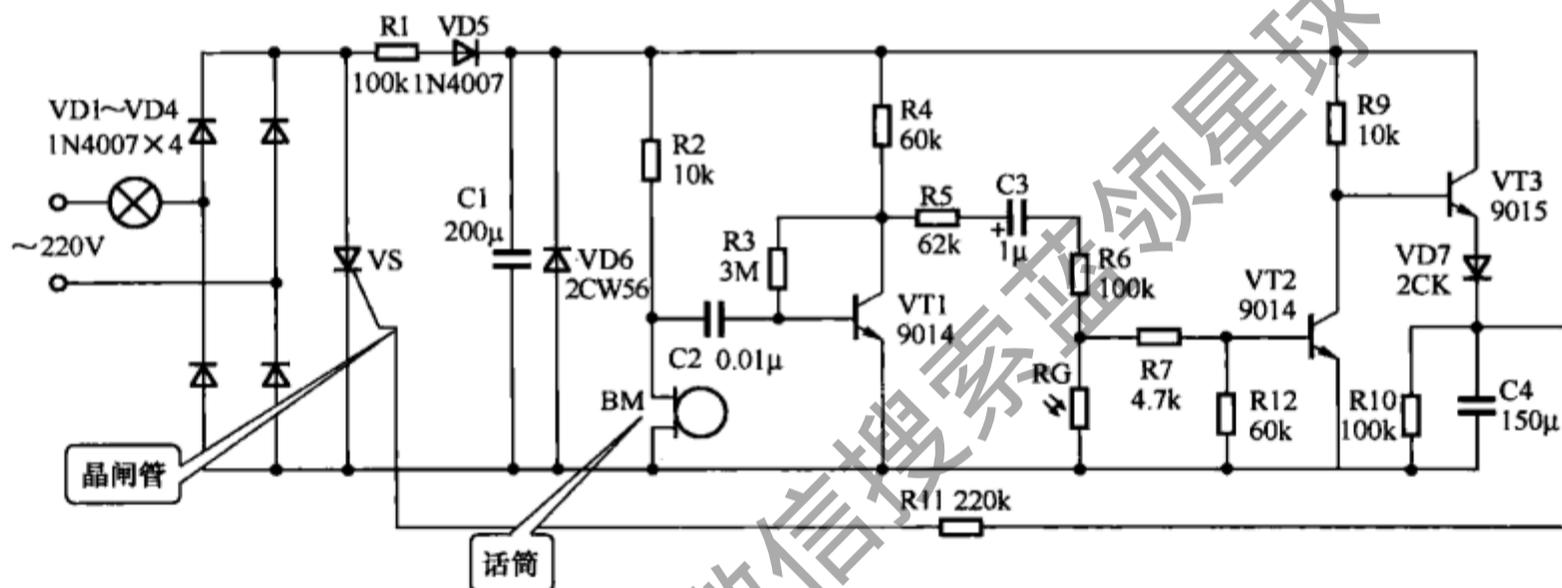


图 1-32 声光联控延时照明电路（二）

R1、VD5、C1、VD6 等组成的滤波、稳压电路为后级电路提供一个直流电压。VS 未被触发时，VD6 两端电压约为 23V；当 VS 被触发之后，VD6 两端电压将降得很低，约为 0V。

在白天，光敏电阻 RG 的阻值变得很小，使 VT2、VT3 均截止。C4 正极电位为零（或很低），无触发电压加到晶闸管 VS 的门极上，VS 不通，使得 VD1~VD4 组成的桥式整流电路不通，作为负载的灯泡中无电流流过，灯泡不亮，所以可控制白天灯不亮。

在夜晚或黑暗中，光敏电阻 RG 的阻值很大，为 VT2、VT3 导通创造了条件，此时如有声响被驻极体话筒 BM 接收，则 VT1 导通，C3 中有电流流过，经过 R6、R7 与 R12 分压，VT2 基极电位升高，VT2 由截止变为饱和导通，其集电极电位降低，VT3 也导通，C4 被迅速充电。C4 正极电位升高到一定程度时，VS 的门极被触发导通。VS 导通后，VD1~VD4 组成的桥式整流电路接通，灯泡中流过较大的电流而被点亮。随后 C4 通过 R10 放电，当 C4 正极电位低于晶闸管 VS 的触发电压时，VS 自动关断，灯泡熄灭。若再有声响，仍重复以上过程。



提示

灯亮的时间主要由 C4 与 R10 的参数值来决定，其值越大，则 C4 放电越慢，灯亮的时间越长，反之则越短，可以通过调整其值来改变灯亮的时间。必要时可去掉 R10，将 R11 的阻值适当减小。

R2、R3、R4 的阻值与电路的灵敏度有关，通过改变 R2、R3 的阻值可改变灵敏度的高低。注意，灵敏度不能太高，否则稍微有其他干扰噪声的侵袭，电路就容易误导通。

## 3. 声光联控延时照明电路 (三)

图 1-33 所示为以 LM324 为核心的声光联控延时照明电路。LM324 为高性能四运放集成电路，采用 14 脚双列直插式塑料封装结构。它的内部包含 4 组形式完全相同的运放，除电源共用外，4 组运放相互独立。图中的 A1、A2、A3、A4 就是 4 个运放。

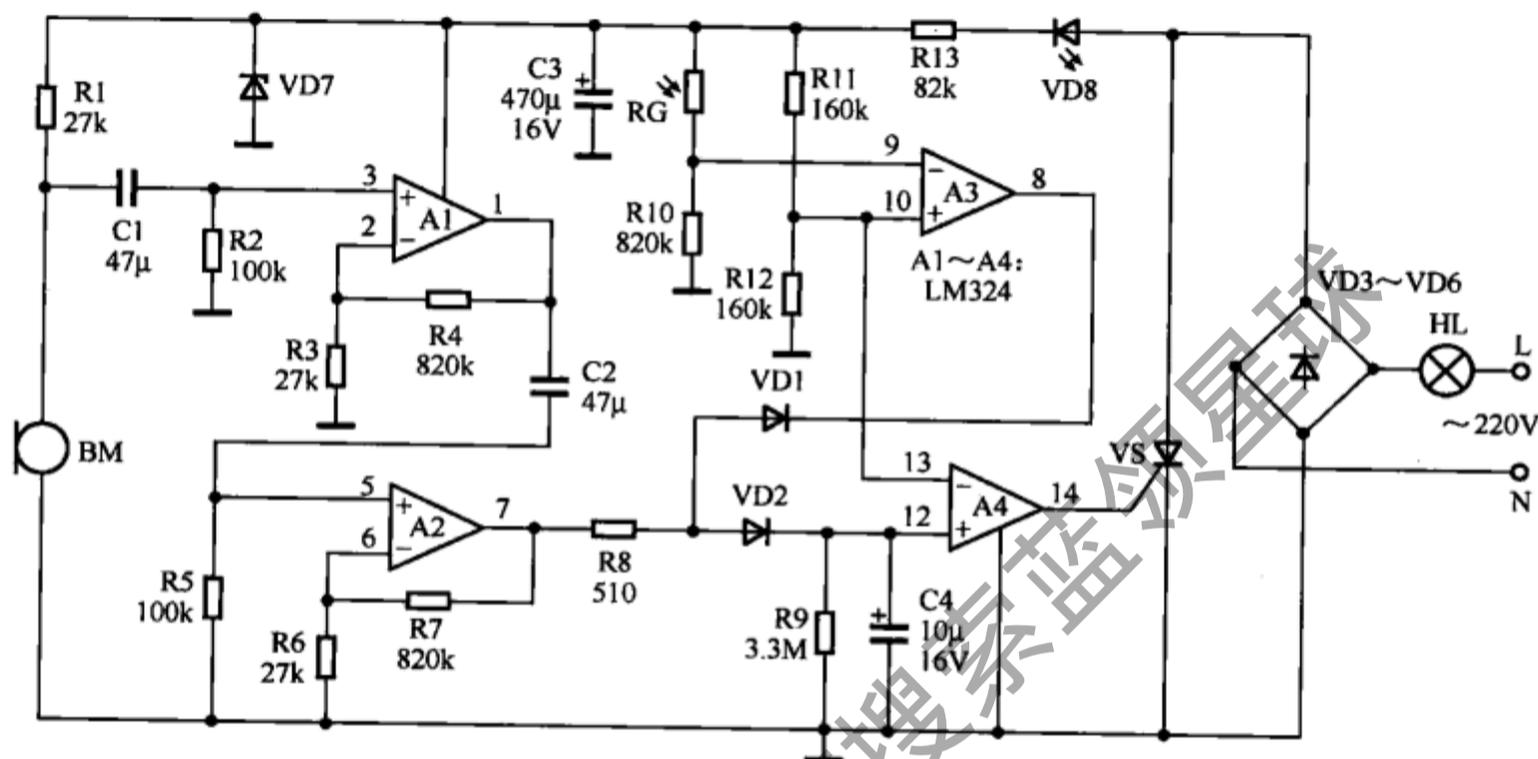


图 1-33 LM324 为核心的声光联控延时照明电路

二极管 VD3~VD6 和晶闸管 VS 组成照明开关的主回路，话筒 BM 和比较器 A1、A2 构成声控电路，光敏电阻 RG 和比较器 A3 构成光控电路，R9、C4 构成延时照明电路，发光二极管 VD8 为有电指示灯。

220V 市电经灯泡 HL 降压、VD3~VD6 整流、C3 滤波及 VD7 稳压后给比较器 LM324 提供 10V 的直流电压。

在白天，由于光线照射在光敏电阻 RG 上，其阻值变小，比较器 A3 的⑨脚输入高电平，其⑧脚输出低电平。此时无论比较器 A2 的⑦脚输出的是高电平还是低电平，⑧脚输出的始终是低电平，经 VD1、VD2 将比较器 A4 的⑫脚钳位在低电位，其⑭脚输出低电平，晶闸管 VS 因无触发信号而处于关断状态，灯泡白天始终不亮。

夜幕降临后，光线变暗，光敏电阻 RG 的阻值增大，使比较器 A3 的⑨脚输入低电平，其⑧脚输出高电平。此时 VD1 截止，起隔离作用，VD2 正极电位不受 A3 的⑧脚电位控制。如有人路过发出声响，声波经话筒 BM 转换成电压信号，并经电容 C1 耦合到比较器 A1 的③脚。这时 A1 的①脚输出高电平并经 C2 耦合到比较器 A2 的⑤脚，其⑦脚输出高电平并经 R8、VD2 输入到比较器 A4 的⑫脚，使⑭脚输出的高电平触发晶闸管 VS 导通，灯泡 HL 通电发光。声音消失后，A1 的③脚无信号电压，恢复低电平，则①脚输出低电平。于是 A2 的⑤脚输入低电平，其⑦脚输出低电平，使 VD2 截止，此时 A4 的⑫脚输出高电平（即电容 C4 两端的电压），经电阻 R9 放电。大约 30s 后，C4 上的电压低于⑬脚的基准电压，于是⑭脚输出低电平，VS 因无触发电压而自动关断，灯泡 HL 熄灭。此后，只要没有声音传入话筒 BM，灯泡始终保持熄灭状态。



提示

由于四运放集成电路 LM324 具有电源电压范围宽、静态功耗小、价格低廉等优点，该电路在白天的耗电量很小，故广泛用于自动照明控制。

在该电路中，二极管 VD1~VD6 选用 1N4007。VD7 选用 10V、1/2W 的稳压二极管。VS 选用 1A、400V 的塑封单向晶闸管，如 BT169。灯泡 HL 的功率应小于 60W。RG 选用 MG45 型，亮态时阻值小于 5kΩ，暗态时阻值大于 4MΩ。BM 为小型驻极体电容话筒，其他元器件按图中标注选用即可。



练习

识读图 1-34 所示的由 TC4011BP 构成的声光联控照明电路。

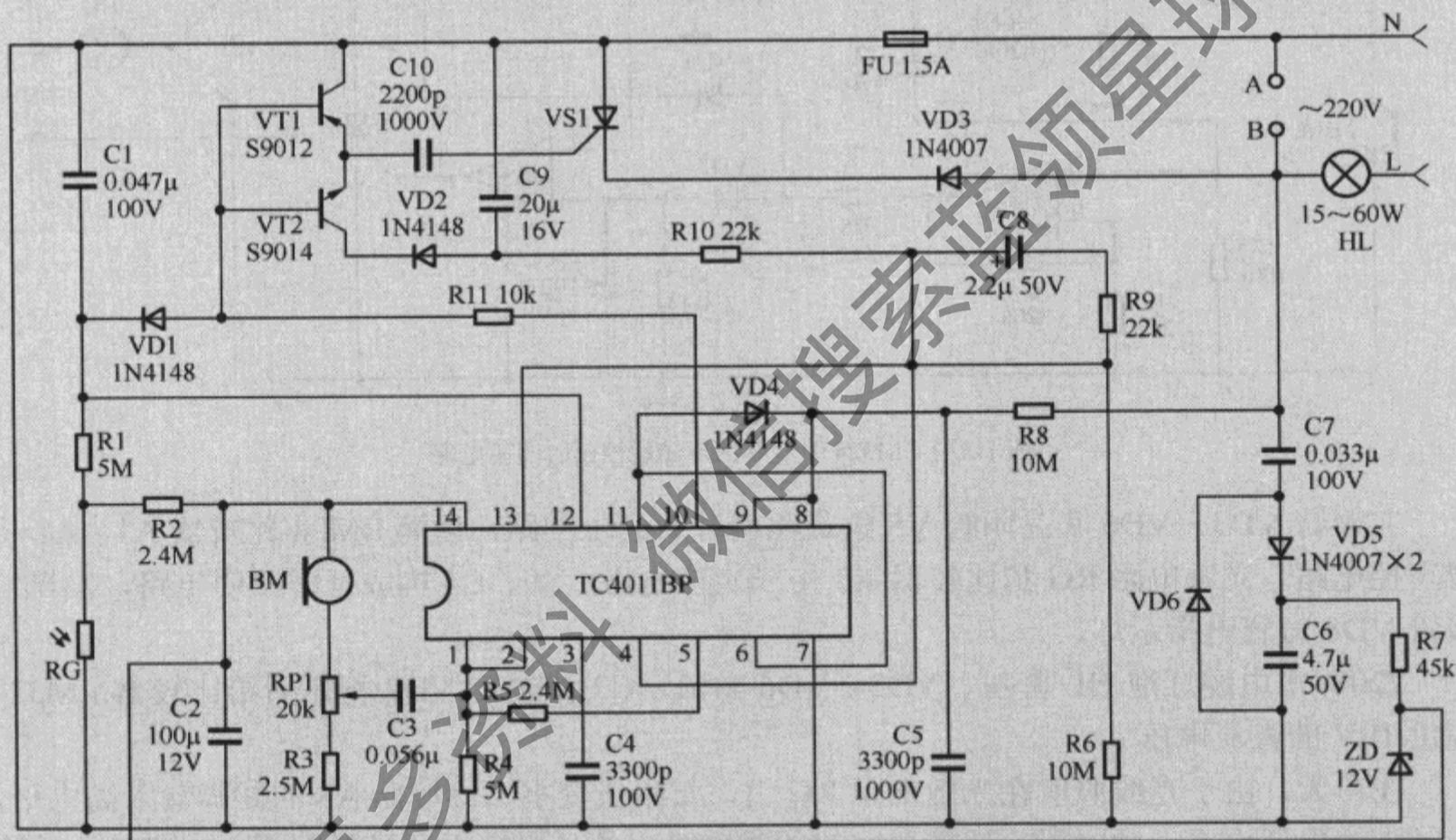
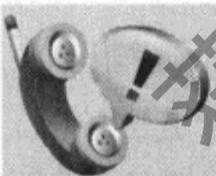
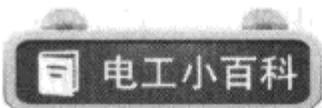


图 1-34 由 TC4011BP 构成的声光联控照明电路



提示

该电路主要由光敏电阻 RG、话筒 BM 及二输入端四与非门集成电路 TC4011BP 等组成。在白天，RG 的阻值变小，TC4011BP 的⑭脚电位变低，声光联控开关电路不会动作。在晚上，RG 的阻值变大，从而使 TC4011BP 的⑭脚电位变高，控制照明灯可受声控而点亮，延时约 50s 后又会自动熄灭。



### 使用床头灯时的注意事项

床头灯的光线要柔和，光线过于明亮会刺激人的双眼，让人无法安然入睡；但若光线太

暗，又易影响人们睡前的情绪。因此，床头灯的光线应在确保柔和的同时还要亮度适中，这样也利于人们放松心情，既满足了阅读的需要，也创造了一个良好的睡前环境。

① 床头台灯应高于人坐卧时的高度。如果选择台灯作为床头灯，又有在睡觉前阅读的习惯，那就要注意让台灯的光照范围略高于自己坐卧时的高度。

② 选择壁灯时须预留电线头。壁灯的安装位置一般是在床头的上方，或中间一个双头壁灯，或两边各一盏。如果在装修前没有在墙上预留电线头，那就最好不选择壁灯进行床头照明。因为壁灯往往安装在靠墙的中间位置，没有暗线，所以，需要依壁灯的位置在墙上拉一条电线，这样光洁的墙面就显得不美观了。

③ 床头灯开关应伸手可触。无论是选择台灯、壁灯还是落地灯作为床头灯，都要考虑到灯具是否便于开关和调节。

④ 节能灯不可调光。由于节能灯本身就是低耗能光源，相对于普通灯泡，发同样的光时节能灯可以省很多电。如果对节能灯调光，则节能灯就会因频繁变换光效而缩短使用寿命。所以，需要调光时，应以购置普通灯泡为宜。

## 1.2.4

## 触摸控制照明电路

——触摸电极生信号，电平翻转亮灯泡

## 1. 触摸灯电路

图 1-35 所示为触摸灯电路，适合安装在门厅入口、阳台门口、床头附近等地方，使用很方便。

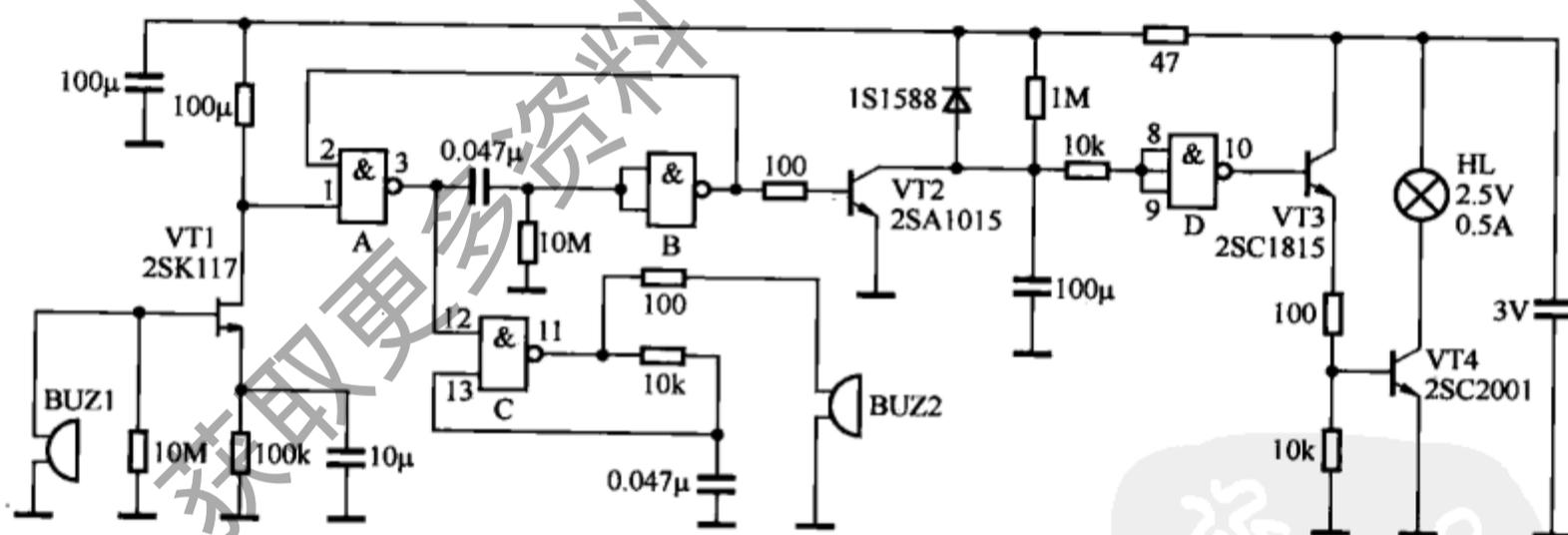


图 1-35 触摸灯电路

该装置采用压电蜂鸣器 BUZ1 将人手触摸盒身时的振动信号转换成电信号，然后经场效应管 VT1 (2SK117) 放大、整形后输出低电平，再经与非门 A 反相后输出高电平，使接成振荡器的与非门 C 启动 1s 左右，同时蜂鸣器 BUZ2 发出“噼、噼”声。在发声的同时，与非门 B 输出低电平脉冲，使 VT2 (2SA1015) 导通，其发射极所接的 100 $\mu$ F 电容放电，与非门 D 输出高电平，VT3 (2SC1815) 和 VT4 (2SC2001) 导通，电灯 HL 点亮。

触摸信号消失后，VT1、VT2 以及与非门 A、B 的状态均改变，VT2 发射极的电位逐渐

升高。一旦升至与非门 D 的翻转电平，VT3、VT4 将截止，HL 也随之熄灭。



**提示**

由于使用了 CMOS 集成电路，灯灭期间的耗电量几乎为零，两节 2 号电池可使用一年时间。该触摸灯装好后无须调试即可使用。如果觉得灵敏度不够高，可将压电蜂鸣器 BUZ1 的接线对调一下试试。

**知识链接**

### 挥手即控照明电路

图 1-36 所示为一款挥手即控照明电路，只要在它前方挥一下手，即可控制电灯的开或关。该电路由电源电路、红外探测电路、双稳态触发器和无触点开关等组成。

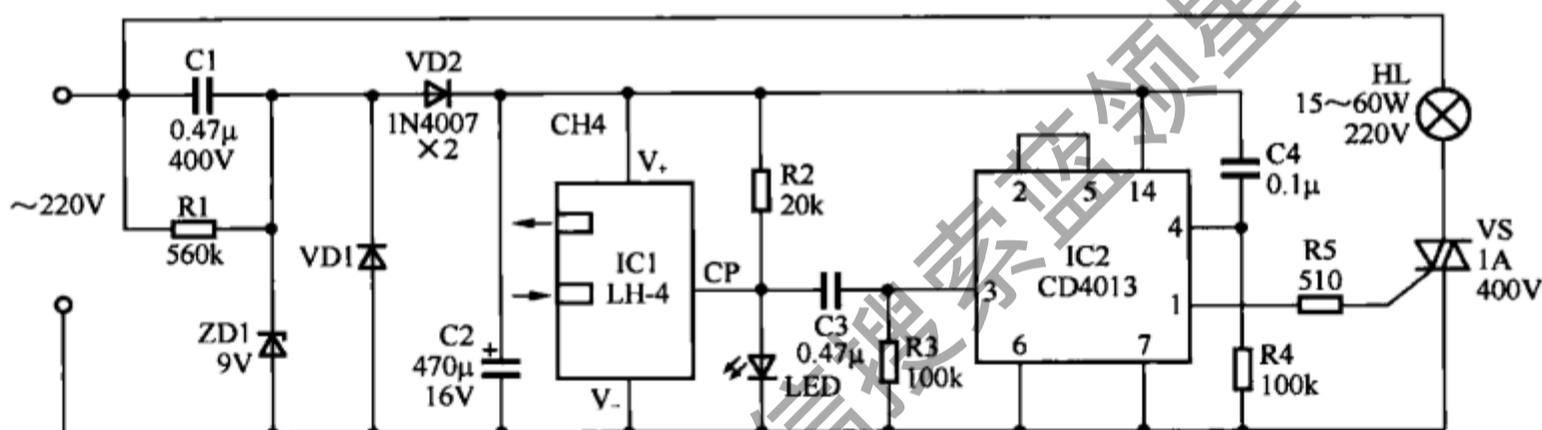


图 1-36 挥手即控照明电路

220V 交流电经 R1、C1 降压后由 ZD1 稳压，再通过 VD1、VD2 及 C2 组成的整流、滤波电路，得到 9V 直流电压为电路供电。IC1 为有源红外探测组件 LH-4（这是一种辐射能转换器，主要用于将接收到的红外辐射能转换为便于测量或观察的电、热能等其他形式的能量）。当 LH-4 发出的红外编码信号遇到障碍物反射后（如人手、人体或物体阻挡），经内部接收部分解码处理，其 CP 端输出低电平。IC2 在电路中组成双稳态触发器，由 C4、R4 组成复位电路，在通电瞬间为双稳态触发器清零，防止出现误开灯现象。

平时，IC1 发出的红外信号本身不能接收，其计数脉冲输出端 CP 保持高电位。当使用者在探测区域内挥手时，红外信号经人手反射后被其接收部分接收，解码后在 CP 端产生低电平脉冲信号。该脉冲信号经 C3 送至双稳态触发器 IC2 的③脚，IC2 内电平翻转，其①脚变为高电位，从而触发双向晶闸管 VS 导通，电灯 HL 点亮。当使用者再次在红外探测组件的作用区域内挥手时，IC1 输出的脉冲信号会使双稳态触发器再次翻转，IC2 的①脚输出低电平，双向晶闸管 VS 在市电过零时阻断，这时电灯 HL 自动熄灭。

发光二极管 LED 既用于电源指示，又可在黑暗环境中用于红外探测组件的定位显示。红外探测组件的有效探测距离为 1~5m。注意该开关电路的安装高度。

### 2. 单键触摸延时灯光控制电路

图 1-37 所示为单键触摸延时灯光控制电路。

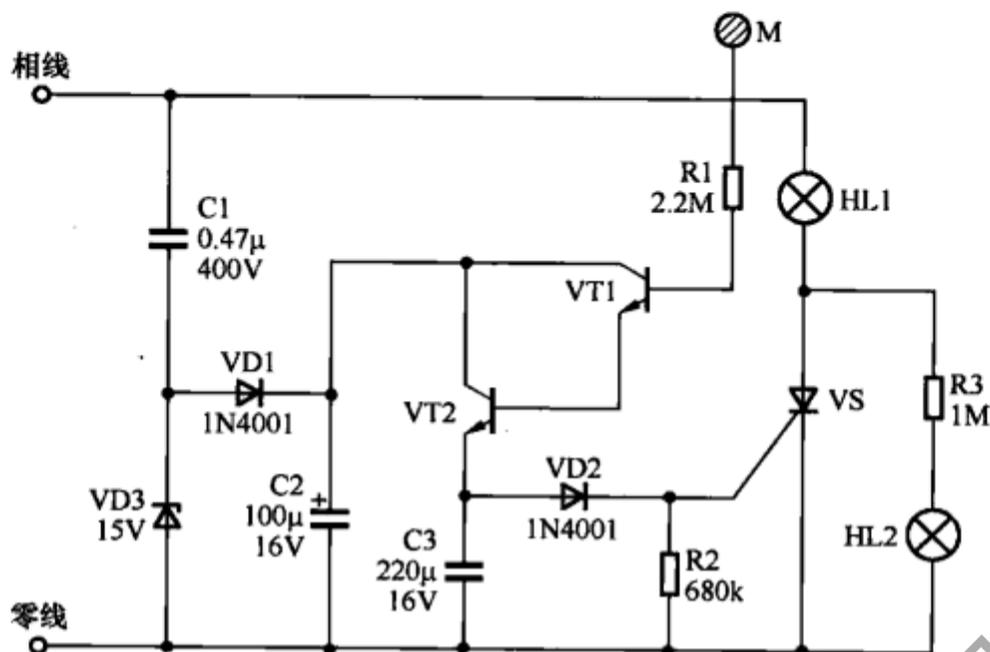


图 1-37 单键触摸延时灯光控制电路

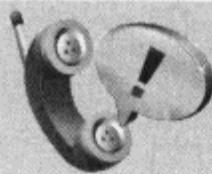
该电路由电源电路、触发电路、负载控制电路和电源信号指示电路 4 部分组成。负载控制电路包括晶闸管 VS 和负载 HL1。触发电路包括触摸电极 M、晶体管 VT1 及 VT2、电容 C3、二极管 VD2 以及电阻 R1 和 R2 等。电源电路包括降压电容 C1、稳压二极管 VD3、整流二极管 VD1 和滤波电容器 C2 等。电源信号指示电路包括灯泡内阻、限流电阻 R3 和氖泡 HL2 等。VT1 和 VT2 组成复合晶体管。

220V 交流电压经电容 C1 降压、二极管 VD3 稳压、二极管 VD1 半波整流和电容 C2 滤波后，输出约 12V 的直流电压。

在无外来触摸信号对触摸电极 M 作用时，由 VT1、VT2 组成的复合晶体管因为无基极电流而截止，致使晶闸管 VS 因无触发信号而处于关闭状态，因此灯泡 HL1 不亮。

当人体触及触摸电极 M 时，人体感应信号（泄漏电流）经 R1 降压后到达晶体管 VT1 的基极，由此产生的基极电流促使晶体管 VT1 导通，VT2 的基极同样获得电流而随之导通。在电源向 C3 充电的同时，电容器 C2 的能量也通过 VT2、VD2 和 R2 释放，由此产生的脉冲电压触发晶闸管 VS 导通，于是灯泡 HL1 点亮。人体离开 M 后，晶体管 VT1 的基极电流消失，VT1 恢复截止状态，在 VT1 关闭的同时，电容 C3 通过二极管 VD2 和电阻 R2 放电。当 R2 上端的电位低于晶闸管的开启电压，VS 失去触发电压，在交流电压过零时，晶闸管 VS 关闭，灯泡 HL1 熄灭。

该电路的延时时间主要与 R2、C3 放电时间常数，VT1 的放大倍数以及人手触摸的时间长短等因素有关。通常，人手触摸一次，电灯 HL 可持续点亮 1~2min。



**提示**

将灯丝电阻作为电源信号指示电路的一部分，目的是让灯泡在主回路未工作时提前处于热备用状态，这样可以在灯泡启动时减小其冷启动电流。



**练一练**

识读图 1-38 所示的触摸台灯电路。

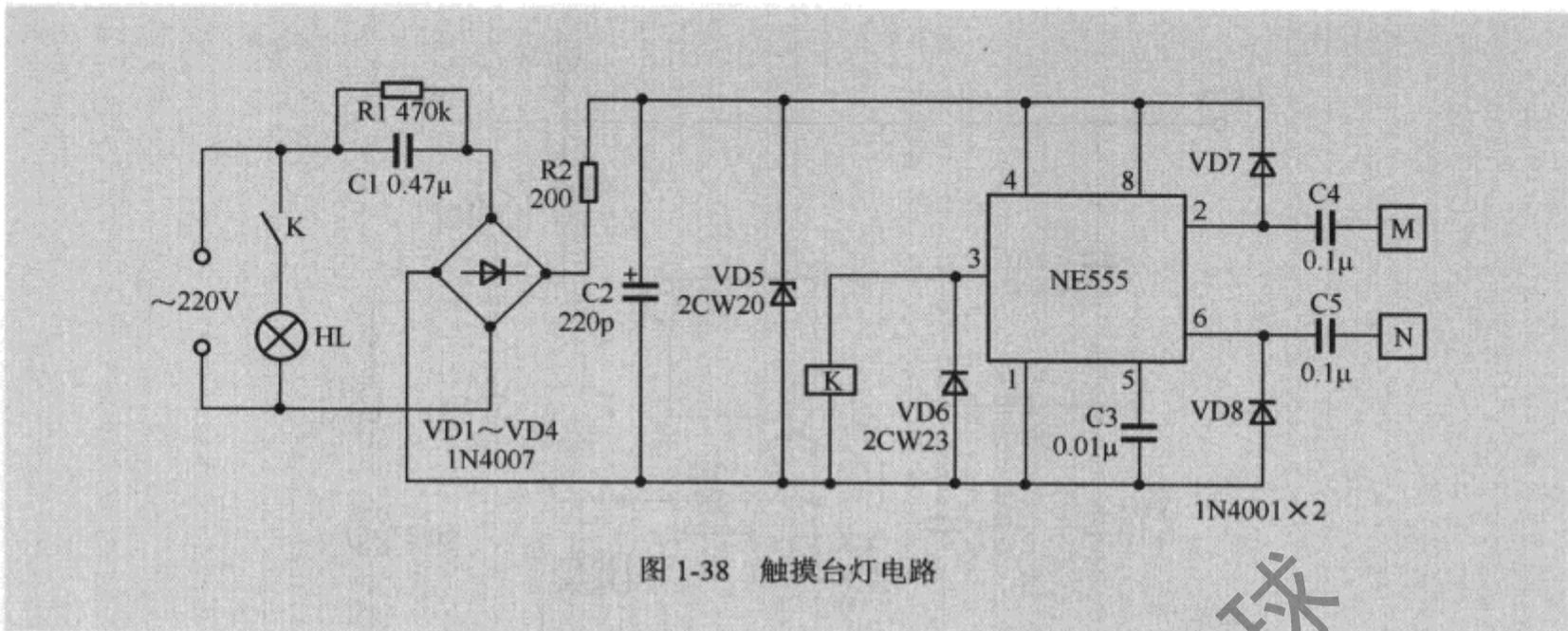
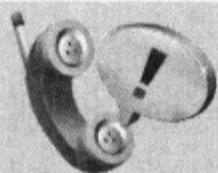


图 1-38 触摸台灯电路



**提示**

该电路由电源及稳压电路、触发电路、控制电路等组成。

电源及稳压电路：由 R1、C1、VD1~VD4、R2、C2 和 VD5 组成。220V 交流电经电容 C1 降压、VD1~VD4 整流、R2 限流、C2 滤波、VD5 稳压后，输出 10V 直流电压为后级电路提供电源。

触发电路：由触摸电极 M、N，电容 C4、C5 和集成电路 NE555 组成。NE555 为时基电路，接成双稳态工作方式。当人手触摸电极 M 时，人体感应的杂波信号经电容 C4 耦合进入 NE555 的②脚，此时其②脚得到负压，③脚输出高电平，继电器 K 吸合，其触点 K 闭合，接通台灯电源，台灯点亮。当触摸电极 N 时，人体感应的杂波信号经 C5 耦合进入 NE555 的⑥脚，其③脚输出低电平，继电器 K 释放，触点 K 断开，台灯熄灭。

**3. 触摸调光电路**

图 1-39 所示为一款触摸调光电路。

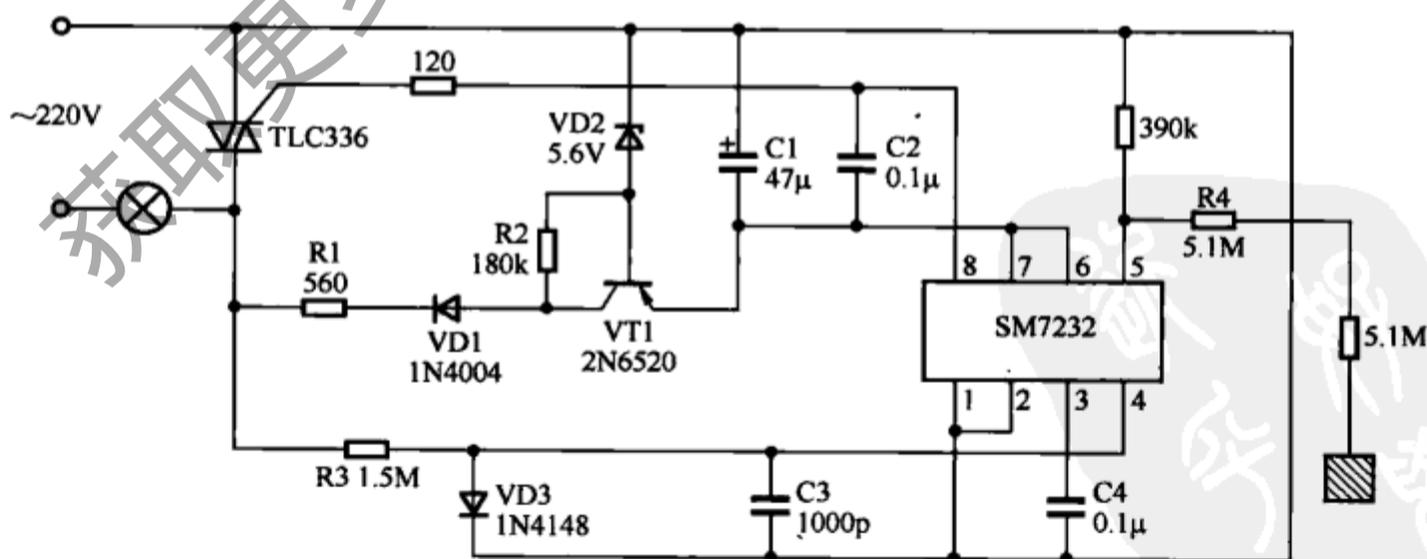


图 1-39 触摸调光电路

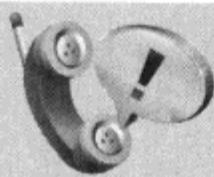
该电路采用负载串联接法。调整晶闸管在交流电周期内的导通角，就可控制灯泡的平均

电压。晶闸管导通时，其两端降压很小，交流电不可能给电路供电，所以，只有晶闸管不导通时才可能给电路供电。

人体触摸触发信号从 SM7232 的⑥脚输入后，⑧脚就会连续输出控制双向晶闸管导通角的控制脉冲。当触摸持续时间大于 32ms 而小于 332ms 时，SM7232 内部的控制电路处于开关工作状态。当触摸持续时间大于 332ms 时，控制电路为调光工作状态，输出触发脉冲相位角在  $41^\circ \sim 159^\circ$  之间连续变化，并根据人眼的感受力分为快、慢和暂歇 3 个过程。当触摸结束时，对该时的相位角进行记忆。若再施加大于 32ms 而小于 332ms 的触摸动作，电路呈关状态时，相位角仍由该部分记忆，保证电路在下次开状态时保持选定的相位角，光源保持原亮度。触发脉冲与市电的同步由锁相环保证，电路的工作时钟也由其产生。

随着双向晶闸管导通程度的变化，灯光也由暗变亮或由亮变暗，从而实现了灯光的调光。在调光过程中，当需要灯光由暗变亮时，可按住触摸键不断发送控制信号，这时可以看到灯光在逐渐变亮。当达到所需亮度时立即松开触摸键，这时灯光的亮度便停留在这个位置上。如果连续按下去，电灯又会由亮逐渐变暗，直至熄灭。

当灯泡未亮时，交流电在整个周期内全部加在供电电路上，VD1 对交流电进行半波整流，晶体管 VT1 工作在开关状态下。当峰值电压超过 VD2 的稳压值时，VT1 由导通变为截止，直流脉冲电压经 C1 滤波后，可以得到一个接近 VD2 稳压值的直流电压。当灯泡被开关电路调到最亮时，在交流电的一个周期内，晶闸管约有 5% 的时间不导通，这时交流电正好给电路供电。R1 的作用是避免对电容 C1 充电时 VT1 过流损坏。



**提示**

该电路采用了特殊的供电方式，是一种真正可靠的双线制调光开关电路。在灯泡被调到最亮或关闭时，该电路都能稳定工作。

SM7232 是 CMOS 专用触摸调光集成电路。VT1 选用反向电压不小于 350V 的小功率 PNP 管。R1 为 0.25W 金属膜电阻，VD2 为小功率稳压管，晶闸管选用 3A/400V 规格的产品。

### 忙中出错

电工小王为参加宴会，在公司门口急急忙忙地跳上一部的士，同时大声说：“我要赶时间，开快点儿！只剩下二十分钟了！”说完便打开手上的晚报来看。一直看了十几分钟，他才抬起头来，一看，车子还在公司门口，他大为生气，正要找司机发火时才发现司机正在埋头修车。



## 1.3 装饰照明电路——美化生活

普通照明明又亮，装饰照明作扮靓。  
彩灯点亮花样多，烘托气氛喜洋洋。  
声控彩灯更美丽，声音大小控灯亮。

在照明工程中，通常把工厂车间、学校、教室、办公室、实验室及体育场所等中以照明功能为主的照明系统称为普通照明或一般照明，而把宾馆、酒店、广告、橱窗、舞厅、餐厅等中以装饰性及艺术性为主的照明系统称为装饰与艺术照明，简称装饰照明。装饰照明包括室外装饰照明和室内装饰照明两大部分。

室外装饰照明一般用于建筑物的立面照明、庭院照明、广场道路照明和喷泉及造型照明等。室内装饰照明一般用于大堂、客房、餐厅、咖啡厅、酒吧、宴会厅、健身房、舞厅、会议厅等，也适合作为艺术装饰品照明（如雕塑、浮雕、壁毯、壁画等）和重点目的性照明。

### 1.3.1 彩灯串控制电路 ——控制电路无触点，花样编程灯串闪

#### 1. 流水彩灯电路

图 1-40 所示为由 3 组彩灯组成的流水彩灯电路。

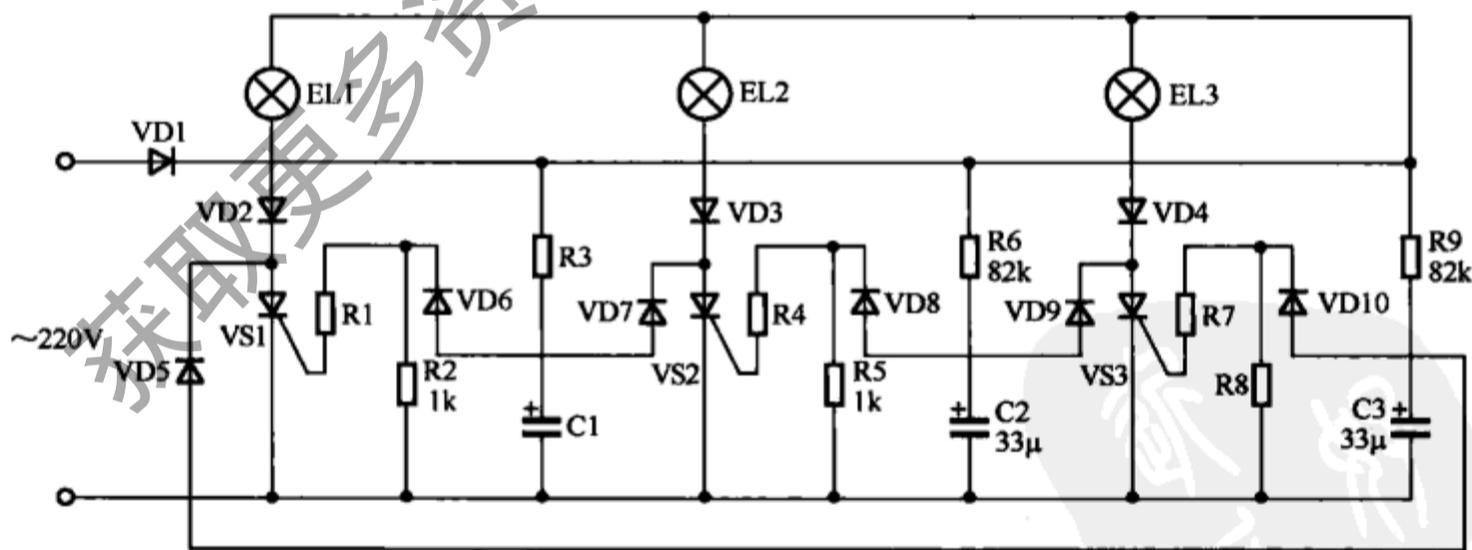


图 1-40 流水彩灯电路

该电路由 EL1、EL2 和 EL3 三只彩灯及相应的控制元件组成。220V 交流电压经 VD1 半波整流后给 C1~C3 充电，当电容上的充电电压达到一定数值时，会使晶闸管 VS1~VS3 导通，灯泡 EL1~EL3 点亮。

由于电容 C1~C3 上的充电不会完全同步，假设 VS2 先导通，EL2 先亮，此时 C3 继续

充电，而 C1 的电压经 VD3 和 VS2 放电，VS1 不能导通。随着 C3 的充电，其上电压继续升高，会使 VS3 导通，EL3 点亮。VS3 导通后构成了 C2 的放电回路，C2 上的电压下降，VS2 截止，EL2 熄灭。与此同时，C1 开始充电。经过一段时间后，VS1 导通，EL1 点亮。C3 放电，VS3 截止，EL3 熄灭，C2 充电……如此循环。从视觉上可以看到 EL1、EL2、EL3 三只彩灯顺序点亮，像流水一样，可增添喜庆气氛。



**提示** 图 1-40 中的二极管 VD1~VD4、VD5、VD7 和 VD9 选用 1N4001，而 VD6、VD8、VD10 选用 2CP 型整流管。晶闸管 VS1~VS3 选用 3CT 型晶闸管，其反向耐压应高于 400V，电流为 1A。

## 2. 用 TWH9104 构成的彩灯串控制电路

由集成电路 TWH9104 构成的彩灯串控制电路如图 1-41 所示，它由电源电路、控制集成电路 TWH9104 及无触点开关等组成。

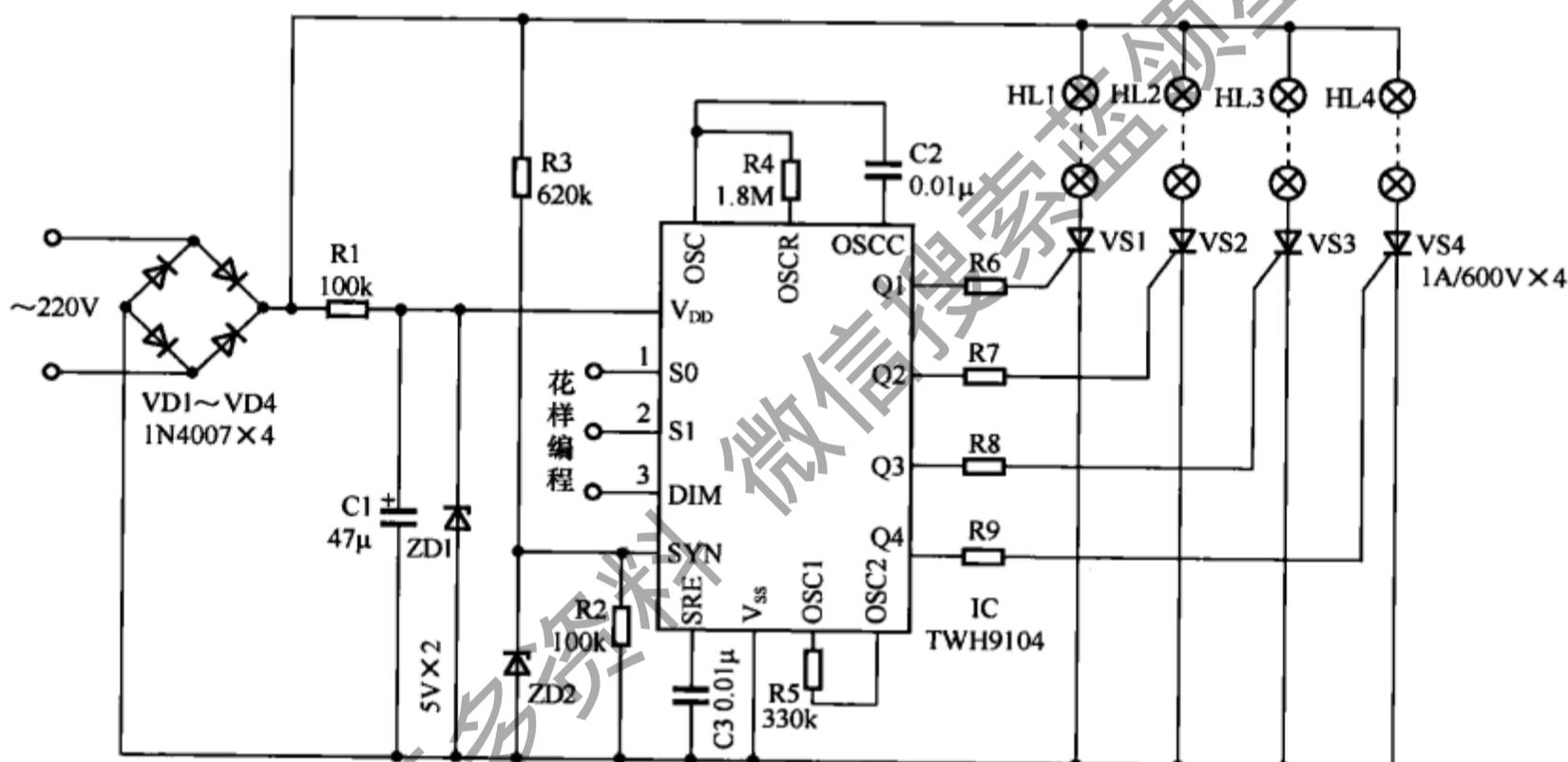


图 1-41 用 TWH9104 构成的彩灯串控制电路

220V 市电经二极管 VD1~VD4 整流、电阻 R1 限流降压、C1 滤波后，由稳压二极管 ZD1 将电压稳定在 5V，为集成电路 TWH9104 供电。OSC1、OSC2 为调光速率振荡端，其频率由外接电阻 R5 的阻值确定。OSC、OSCR、OSCC 为彩灯串追逐速度振荡端，其频率由外接的 R4 及 C2 的参数值决定。Q1~Q4 为 4 路彩灯串输出端，可驱动 4 只单向晶闸管 VS1~VS4，带动 4 路彩灯串作花样变化。S0、S1、DIM 用于花样编程，可以在这 3 个端子上安装 3 只 1×2 小型拨动开关，这样就可以随时改变其变化花样。

TWH9104 是一种利用计算机编程的、采用软封装的低成本彩灯专用集成电路，其典型应用电压为 5V (DC)。TWH9104 由黑胶固封在一块印制电路板上，其外围元器件可以直接焊接在印制电路板上。厂家出售时已配有外围元器件，因此用户使用起来非常简单。

TWH9104 的印制电路板如图 1-42 所示。它除了具备普通彩灯控制器的向前追逐、向后追逐功能外，还有调光控制、追逐及调光多种速度自动变化、调光与追逐混合变化等

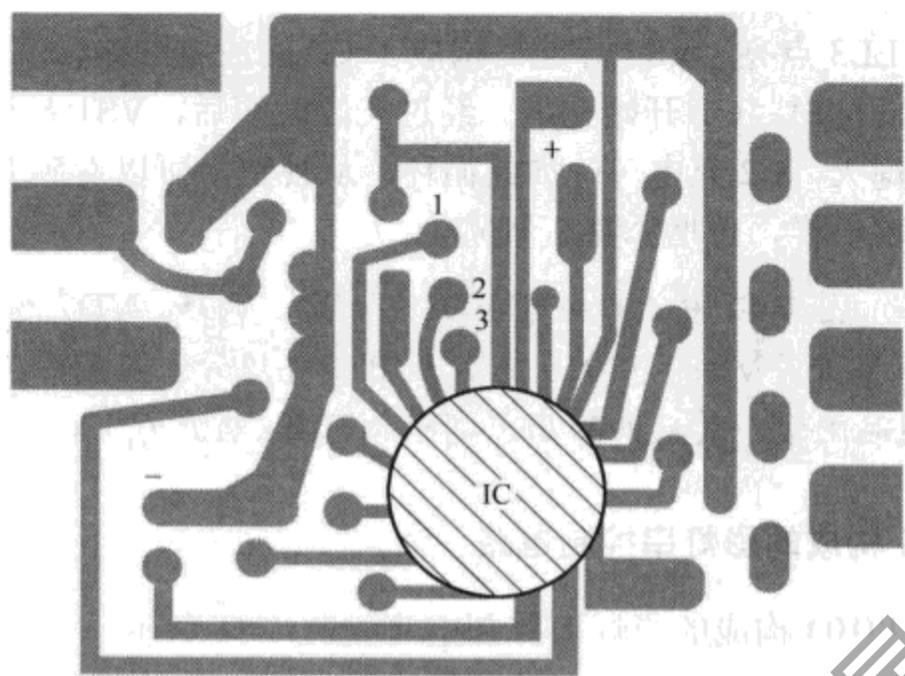


图 1-42 TWH9104 的印制电路板

功能。这种变化多端的编程逻辑可使普通彩灯或只具有单一追逐功能的节日彩灯变得丰富多彩多姿。

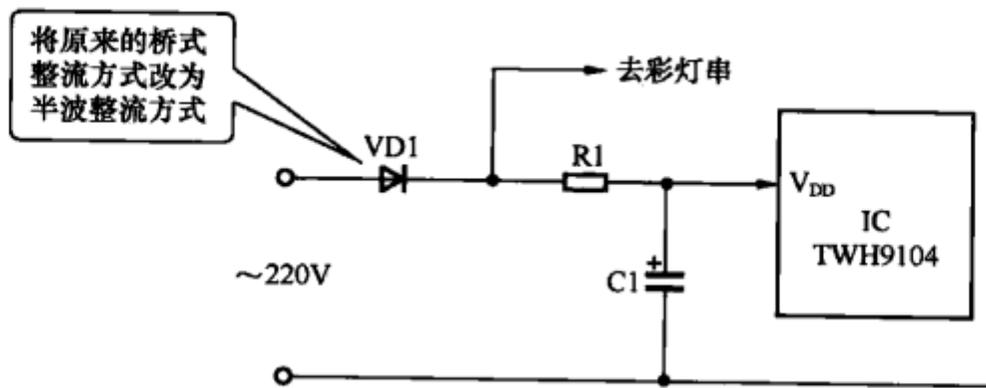
印制电路板中的编号 1、2、3 以及“+”和“-”是为锁定某些特有功能而设计的，其接线锁定功能如下。

- ① 当①、②、③脚接电源负极时，彩灯串只执行向前追逐单一功能。
- ② 当①脚接电源正极，②、③脚接电源负极时，彩灯串既能向前追逐又能向后追逐，每 20s 改变一次追逐方向。
- ③ 当①、③脚接电源负极，②脚接电源正极时，彩灯串将以多种不同速度向前追逐和向后追逐。
- ④ 当①、②脚接电源负极，③脚接电源正极时，所有彩灯串将同时采用从亮到暗、又从暗到亮的调光方式。
- ⑤ 当①、③脚接电源正极，②脚接电源负极时，彩灯串向前和向后呈波浪式调光。
- ⑥ 当①脚接电源负极，②、③脚接电源正极时，彩灯串采用鸳鸯式步进调光方式，不论是向前步进还是向后步进，相近的两路始终调光。
- ⑦ 如果将①、②、③脚全部空置，电路将处于全自动复合循环变化状态，由于逻辑上已具备多种功能，再加上时间、速度上的复合，即可使得彩灯串变化多端，趣味无穷。

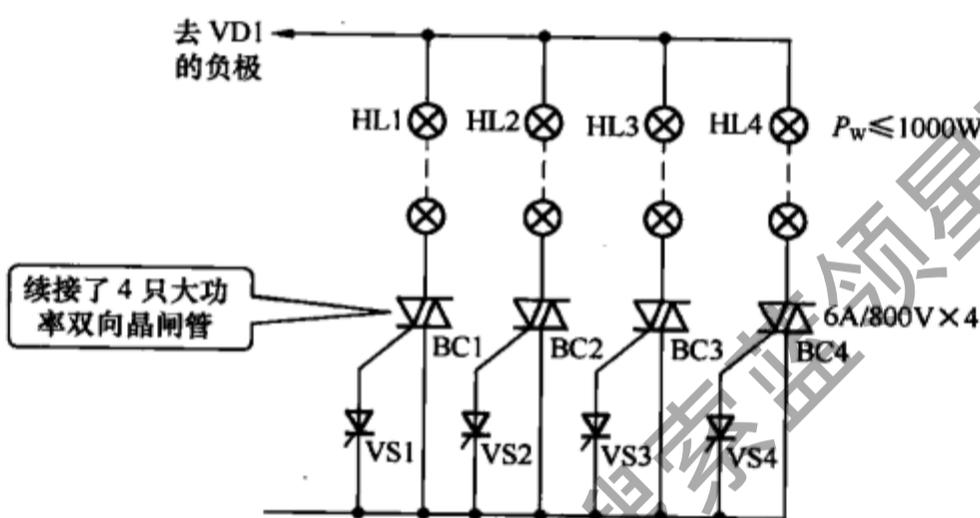
#### 知识链接

### 基于 TWH9104 的大功率彩灯串控制电路

TWH9104 的印制电路板在厂家出厂时的负载功率为 100W，能满足一般家庭及场面的需要，如要将其负载功率扩展至 1 000W 也是很容易办到的。具体的扩展方法是这样的，在原单向晶闸管 VS1 ~ VS4 后面续接 4 只大功率的双向晶闸管，并且将原来的桥式整流方式改为半波整流方式，去掉 3 只整流二极管，并且将负极用导线连通即可，如图 1-43 所示。所接的 4 只双向晶闸管一定要加装足够大的散热片。



(a) 电源电路的改进



(b) 输出电路的改进

图 1-43 1 000W×4 彩灯串控制电路

### 3. 用 SH808 构成的 4 路彩灯串控制电路

图 1-44 所示为用 SH808 构成的 4 路彩灯串控制电路。该电路可播放 16 首歌曲并驱动节日彩灯串工作，彩灯串随音乐节拍而闪烁，产生出相互追逐闪光以及渐明渐暗、波浪翻滚式等效果。

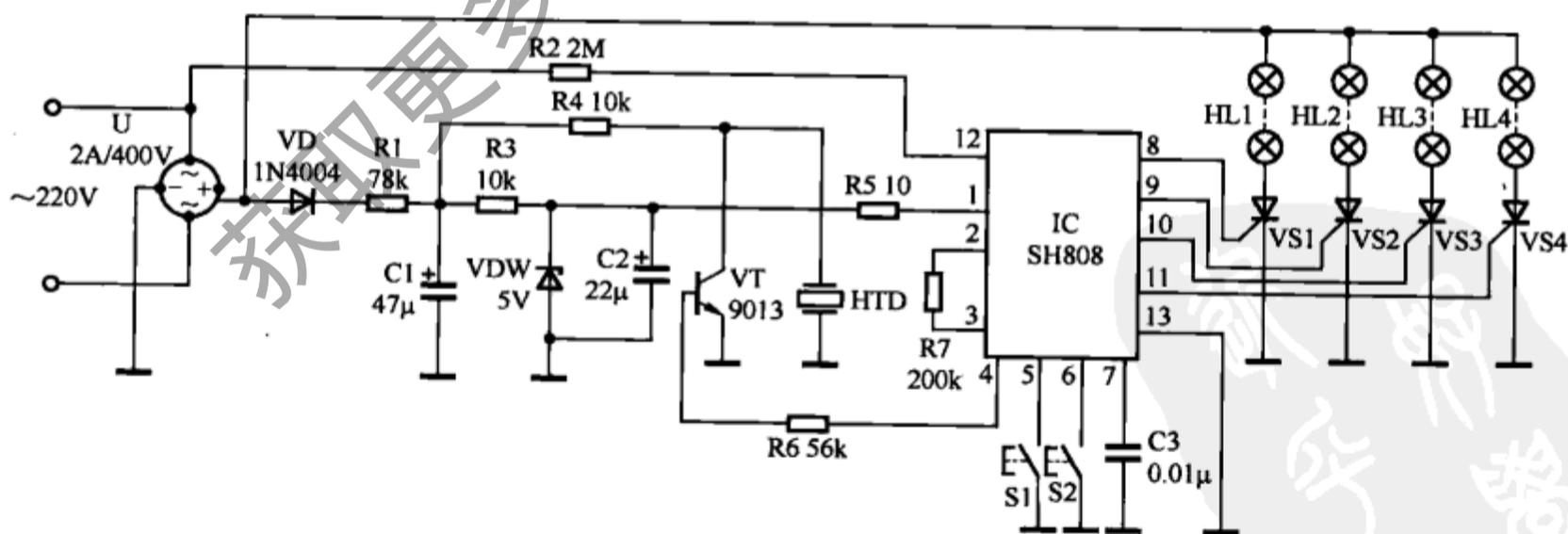


图 1-44 用 SH808 构成的 4 路彩灯串控制电路

SH808 采用软封装形式，共设有 13 个引脚，其外形及引脚排列如图 1-45 所示，引脚功能见表 1-1。

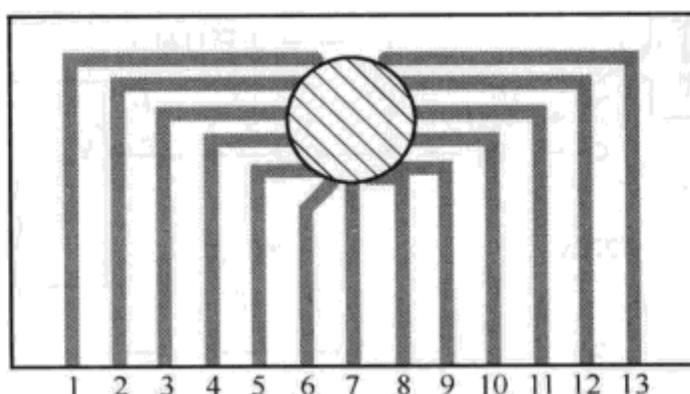


图 1-45 SH808 的外形及引脚排列

表 1-1 SH808 引脚功能

引脚号	功能及说明
1	接电源正极，其直流电压为 2~5V
2、3	外接振荡电阻端
4	音乐信号输出端
5	程序状态控制端
6	音量或速度控制端
7	高频滤波端，外接滤波电容
8、9、10、11	音乐输出及触发输出端，可驱动 4 路彩灯串
12	电源同相输入端
13	接电源负极端

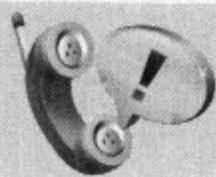
220V 市电经全桥 U 整流后，再由电阻 R1 限流降压和电容 C1 滤波，经 R3 限流后，由 VDW 将电压稳定在 5V，供集成电路 SH808 及音乐电路使用。

SH808 存储的花样程序由两只导电橡胶按钮 S1、S2 进行触发控制。其中，S1 是程序变换控制钮，S2 是音量及速度控制钮。按动 S1 一次即可变换一个程序，变换的顺序从 1~8 循环进行。这 8 个程序状态如下。

- ① 彩灯串全亮，无音乐，以检查所有灯泡的好坏。
- ② 彩灯串随音乐声而闪烁（歌曲 1~16 重复演奏）。
- ③ 彩灯串随音乐而闪烁（歌曲 1~4 重复演奏）。
- ④ 彩灯串随音乐而闪烁（歌曲 5~8 重复演奏）。
- ⑤ 彩灯串随音乐而闪烁（歌曲 9~12 重复演奏）。
- ⑥ 彩灯串随音乐而闪烁（歌曲 13~16 重复演奏）。
- ⑦ 彩灯串呈跑马式跳跃、追逐闪烁，但无音乐。
- ⑧ 彩灯串呈波浪式翻滚闪烁，但无音乐。

当程序处于②~⑥状态时，S2 成为音量控制钮。按动 S2 一次，歌曲的音量就变化一次，变化的顺序按音量大、中、小、无 4 段分级进行；当程序处于⑦~⑧状态时，按动 S2，彩灯串的跑马式跳跃与波浪翻滚的速度开始变化，其变化分为“快速”与“慢速”

两级。



提示

该电路中所用的单向晶闸管 VS1~VS4 可根据彩灯串的功率大小来选择。如要增大音乐的音量，可以在 VT 的后级续接功率放大电路。

#### 4. 用 VH5163 构成的 4 路彩灯串控制电路

VH5163 是一种多花样并具渐明渐暗功能的新颖彩灯串专用控制集成电路。图 1-46 所示为用 VH5163 构成的 4 路彩灯串控制电路。

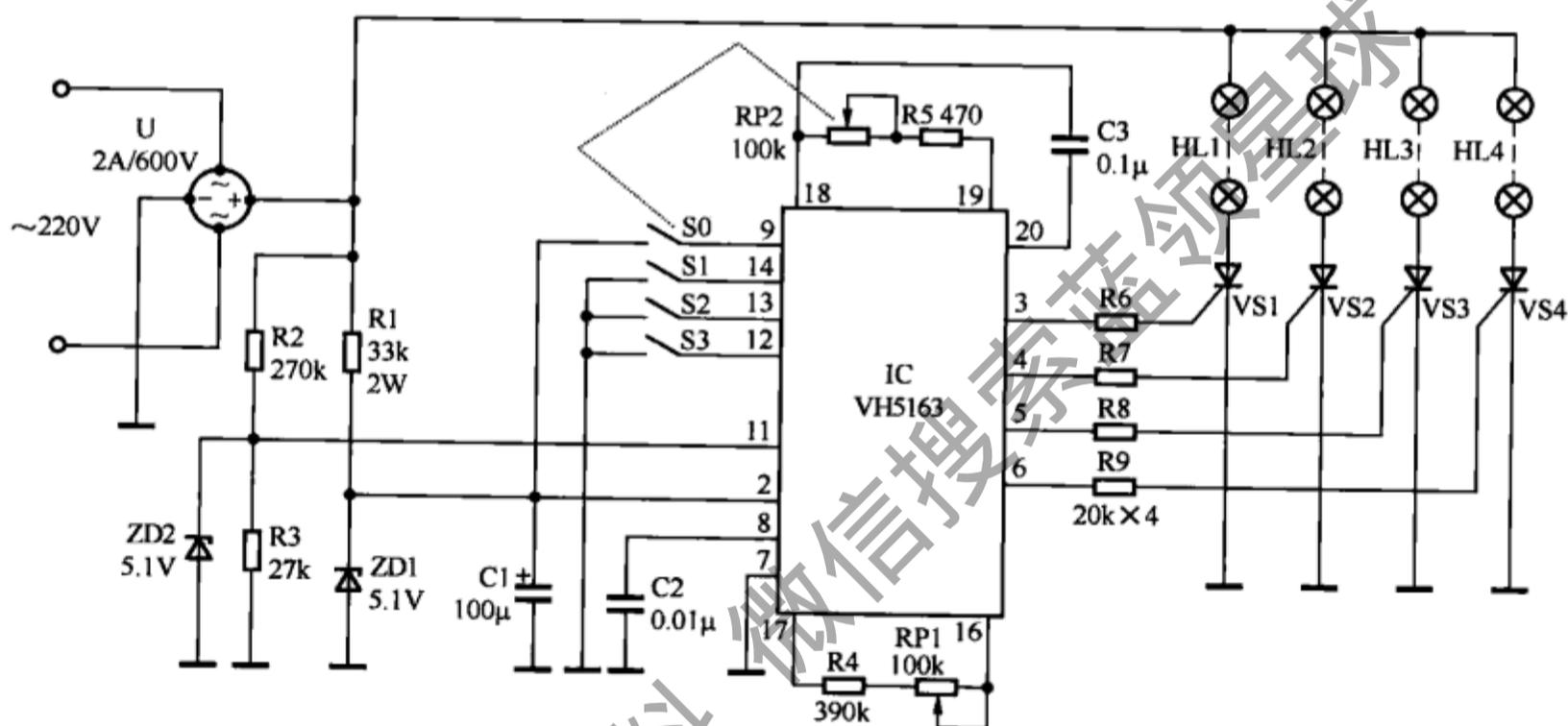


图 1-46 用 VH5163 构成的 4 路彩灯串控制电路

VH5163 采用 20 脚双列直插式塑封结构，具有 3 个编程端及 4 个信号输出端。它的引脚排列如图 1-47 所示，引脚功能见表 1-2。

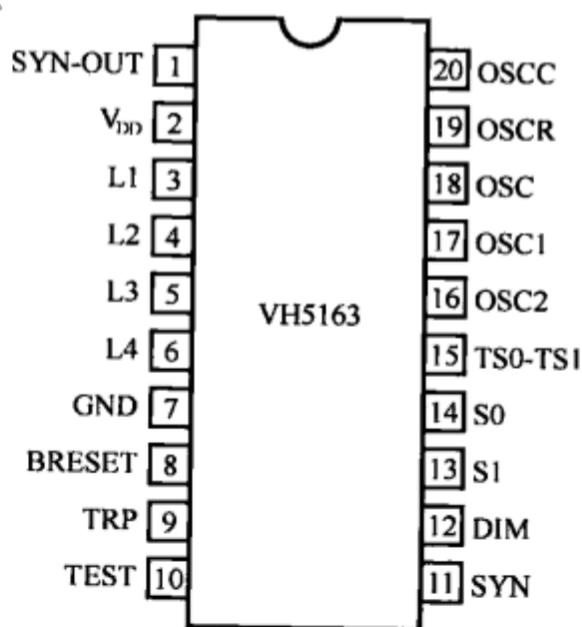


图 1-47 VH5163 的引脚排列

表 1-2

VH5163 的引脚功能

引 脚 号	功能及说明
1、10、15	测试端
2	接电源正极
3、4、5、6	4 路触发信号输出端
7	接电源负极
8	复位端，低电平有效
9	触发端
11	同步输入端
12、13、14	工作模式控制端
16	调光器振荡输出端
17	调光器振荡输入端
18	主振器输入端
19	振荡器反馈电容连接端
20	振荡器外接电容端

220V 市电经全桥 U 整流后，由电阻 R1 限流降压和电容 C1 滤波，再由 ZD1 将电压稳定在 5.1V，然后供给集成电路 VH5163。由电阻 R2、R3 构成 1/10 分压器，由 ZD2 将电压稳定在 5.1V。R4、RP1、R5、RP2 构成的振荡电路可以通过调节 RP1、RP2 的阻值来调速、调光。S1、S2、S3 可组合（高电平“1”及低电平“0”）成不同花样功能，如表 1-3 所示。其模式的具体花样如下。

表 1-3

VH5163 花样模式真值表

模 式	S3	S2	S1
A1	0	0	0
A2	0	0	1
A3	0	1	0
B1	1	0	0
B2	1	0	1
B3	1	1	0
T	—	1	1

模式 A1：前进循环。

模式 A2：进退循环。前进 20 步之后改为后退，后退 20 步后又改为前进，如此循环。

模式 A3：复合循环。先以 4 种速度前进，接着又以 4 种速度后退，其速度从高到低。

模式 B1：非闪烁调光。4 路彩灯串均从暗变到全亮后，再从全亮又变暗。

模式 B2：进退循环调光。4 路彩灯串顺序由暗变到全亮后，再由全亮变暗，每进行 4 次

后改变一次循环方向。

模式 B3: 复合循环调光。4 组彩灯串中的任意两组相邻的彩灯串从暗变到全亮后, 再从全亮变暗, 并顺序循环。每循环 4 次后改变一次循环方向。

模式 T: 触发模式。IC 依次改变如上述的 6 种花样, 每种花样的持续时间约为 20s。用户也可利用 S0 来选择工作模式, 如果将 S0 接  $V_{DD}$  端 (即闭合), 即固定了当前所处的工作模式。



提示

从前面介绍的几个彩灯串控制电路可以看出, 尽管由集成电路构成的彩灯串控制电路比较多, 但其基本结构大同小异, 所实现的功能也差不多。分析时只要能够抓住集成电路的引脚功能, 识读电路还是比较容易的。

## 5. 节日灯笼控制器电路

图 1-48 所示为一款节日灯笼控制器电路, 它可同时控制 4 盏灯笼 (或 4 串彩灯) 做出各种灯光变化。

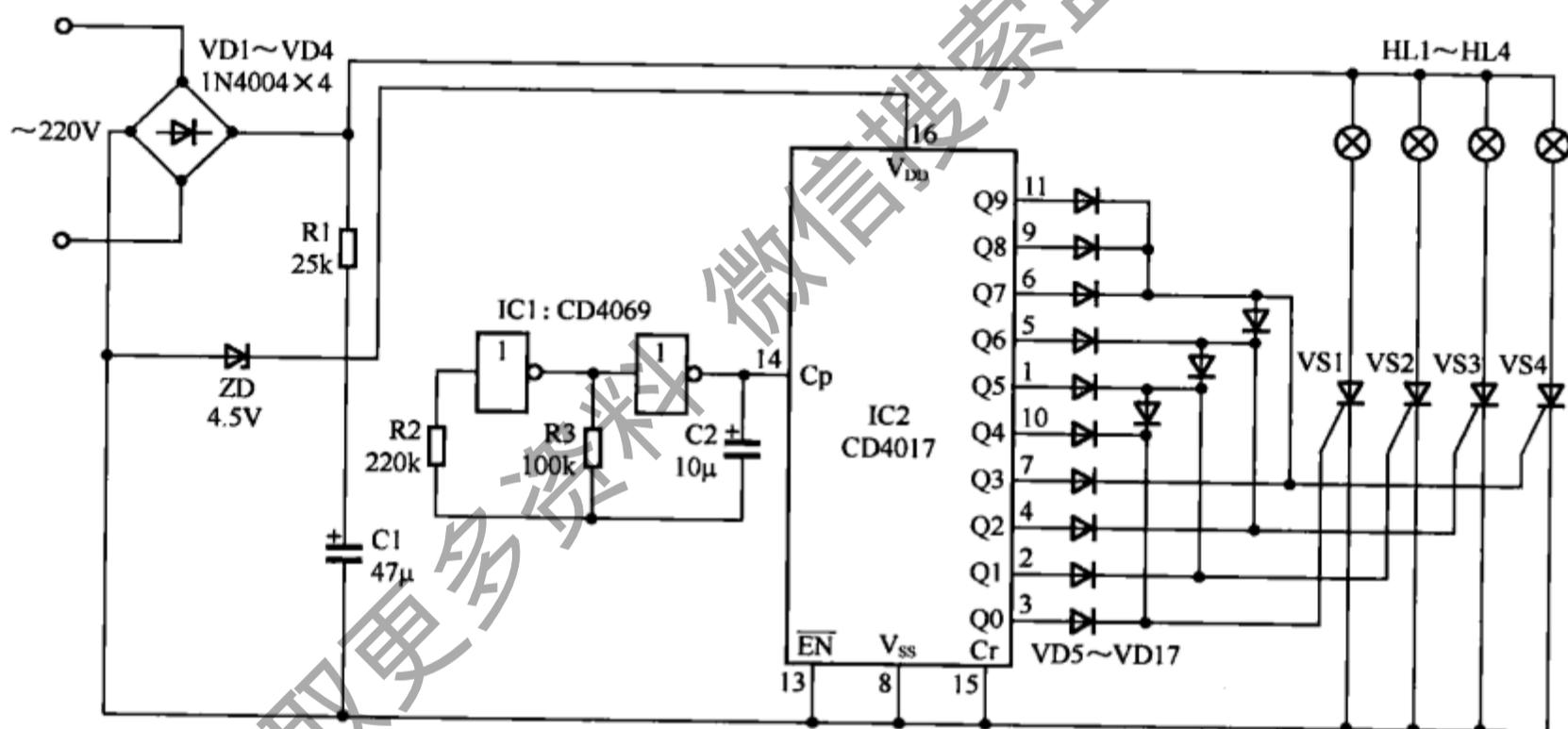


图 1-48 节日灯笼控制器电路

220V 交流电经  $VD1 \sim VD4$  整流后, 其中一路经过  $R1$  分压和  $ZD$  稳压后向  $IC1$ 、 $IC2$  提供约 5V 的工作电压。 $IC1$  中的两个非门构成一个多谐振荡器, 其振荡频率由  $R3$  及  $C2$  决定。由图中所给元件参数值得到的振荡频率为 0.5Hz, 即每 2s 向  $IC2$  送入一个 CP 触发脉冲。 $IC2$  为十进制计数/译码器, 在其 CP 端依次送入计数脉冲后, 输出端  $Q0 \sim Q9$  将依序出现高电平, 各个输出端分别控制  $VS1 \sim VS4$  不同的导通/截止状态。“1”表示白炽灯亮, 即晶闸管导通, “0”则表示灯熄灭。把白炽灯  $HL1 \sim HL4$  分别放入 4 个灯笼内, 当  $Q0 \sim Q3$  端依次出现高电平时, 其效果是 4 个灯笼依次点亮;  $Q4 \sim Q7$  端依次为高电平时, 效果是 4 个灯笼一个接一个点亮直至全亮;  $Q8$  和  $Q9$  保持全亮状态。



**提示**

R1 选用 1W 的电阻；非门选用 CD4069 中任意两个，要注意其余不用的非门输入端一定接高电平或接地，不能悬空；VS 选用微电流触发晶闸管，可选用 MCR100-8、PCR406、2N6565 等；白炽灯 HL1~HL4 的功率依晶闸管允许的电流大小而定，一般不大于 100W 即可；其他元器件按图中标注选用即可。

### 1.3.2

## 声控彩灯电路

——声音进入振荡器，灯光变幻真神奇

### 1. 声控音乐彩灯电路

图 1-49 所示是声控音乐彩灯电路。该电路由音频信号接入电路、变压器及无触点开关等组成。

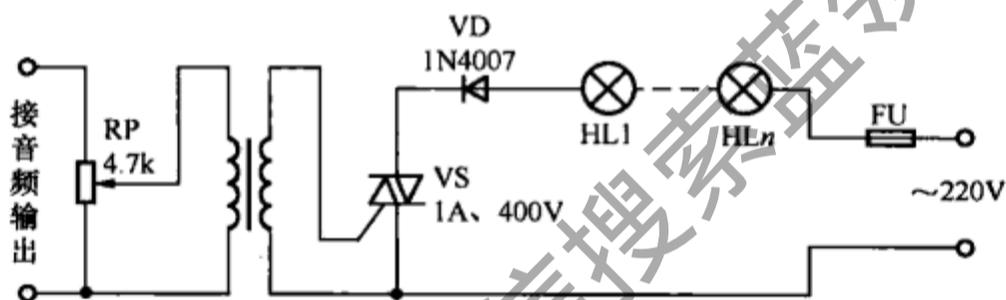


图 1-49 声控音乐彩灯电路

音频电压经分压后通过比较变压器触发双向晶闸管，使灯泡根据音乐信号的强弱交替发光。使用时，将电位器两端直接接到音响音频输出端即可。

该电路比较简单，容易制作。可将图中的电位器 RP、变压器、晶闸管 VS 和二极管 VD 等元器件装在一个小盒内，再分别引出两根输入线至音响的音频输出端，两根输出线串接在被控彩灯回路中。图中双向晶闸管 VS 可根据实际负载选定，原则上是 1kW 彩灯需选用 5A 以上的双向晶闸管，并且需加装散热器。



**提示**

该电路直接与交流电连接，安装时彩灯离地面的距离要达到 1.8m 以上。

### 2. 声控变色彩灯电路

图 1-50 所示为声控变色彩灯电路，该电路能随着音乐节奏不断变换灯光色彩，可作为歌舞厅的装饰灯。该声控变色彩灯电路由电源电路、声控电路、压控振荡器和控制电路等组成。

电源电路由降压电容 C1、限流电阻 R1、稳压二极管 ZD、整流二极管 VD 和滤波电容 C2 组成。声控电路由话筒 BM、电阻 R2~R4、电容 C3 和晶体管 VT1 组成。压控振荡器由晶体管 VT2、单结晶体管 VT3、电位器 RP、电阻 R5~R8 以及电容 C4、C5 组成。彩灯控

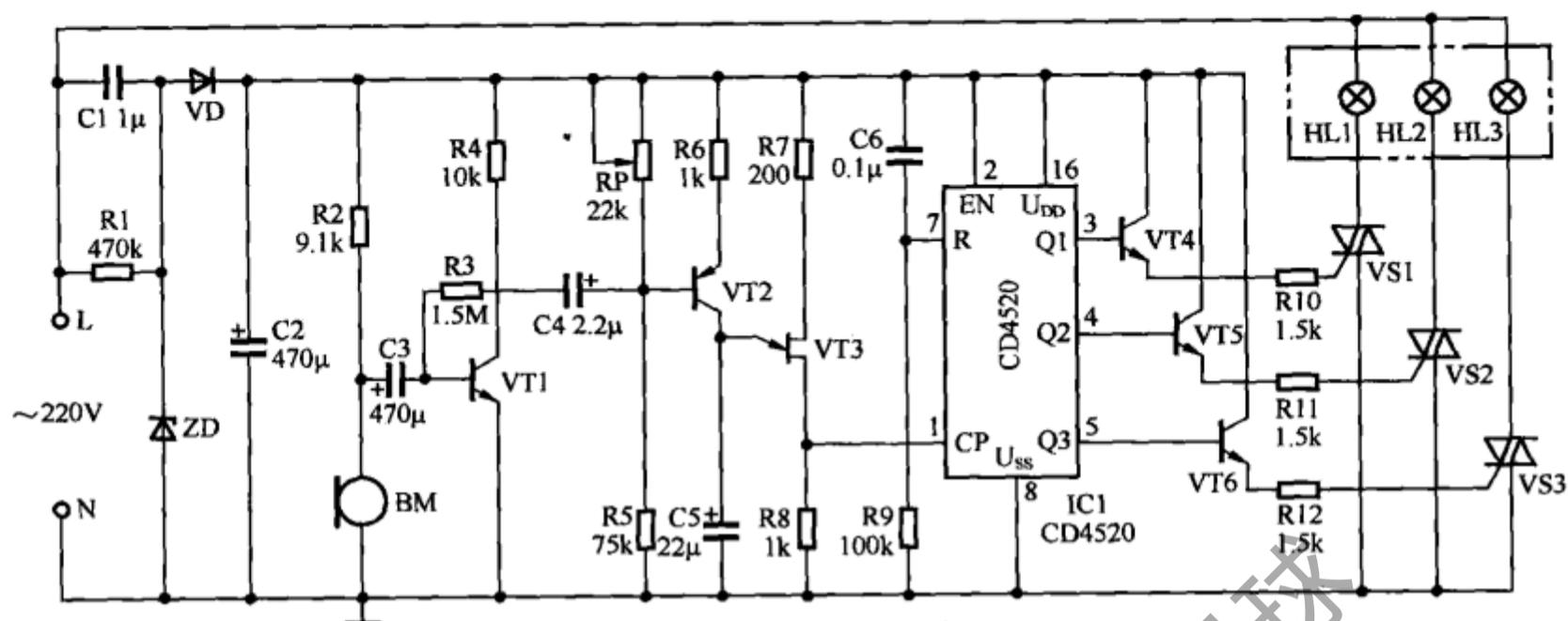


图 1-50 声控变色彩灯电路

制电路由电阻 R9~R12、电容 C6、同步加法计数器集成电路 IC1 (CD4520)、晶体管 VT4~VT6、晶闸管 VS1~VS3 组成。

交流 220V 电压经 C1 降压、ZD 稳压、VD 整流及 C2 滤波后，为声控电路、压控振荡器和控制电路提供 12V 左右的直流电压。

话筒 BM 将声音（例如音乐声）信号转换为电信号，该电信号经 VT1 放大后送入压控振荡器，使振荡器工作。VT1 输出的电信号使 VT2 的工作电流发生变化，C5 的充电时间也随之变化，VT3 输出的脉冲频率也随着音乐的节奏及强弱同步变化，为 IC1 的①脚（CP 端）提供计数脉冲。在计数脉冲的作用下，IC1 的 Q1~Q3 端输出变化的控制信号，通过控制 VT4~VT6 和 VS1~VS3 的导通与截止来控制 3 路彩灯（HL1~HL3）的亮与灭，产生合成灯光效果，其工作过程见表 1-4。

表 1-4 电路工作过程

CP 端 输入 脉冲 次数	IC1 的输出			驱动电路工作状态			彩灯工作状态			彩灯 组合 颜色
	Q1	Q2	Q3	VT4、VS1	VT5、VS2	VT6、VS3	HL1	HL2	HL3	
1	1	0	0	导通	截止	截止	亮	灭	灭	红
2	0	1	0	截止	导通	截止	灭	亮	灭	绿
3	1	1	0	导通	导通	截止	亮	亮	灭	黄
4	0	0	1	截止	导通	导通	灭	灭	亮	蓝
5	1	0	1	导通	截止	导通	亮	灭	亮	紫
6	0	1	1	截止	导通	导通	灭	亮	亮	青
7	1	1	1	导通	导通	导通	亮	亮	亮	白
8	0	0	0	截止	截止	截止	灭	灭	灭	不发 光
9	1	0	0	导通	截止	截止	亮	灭	灭	红



提示

调节 RP 的阻值, 可改变彩灯发光色彩变换的速度。

### 3. 555 声控彩灯电路

图 1-51 所示为 555 声控彩灯电路, 该电路可用于音乐室、舞厅以及家庭装饰。该电路由降压整流电路、声电转换及放大电路、单稳态定时电路和晶闸管等组成。

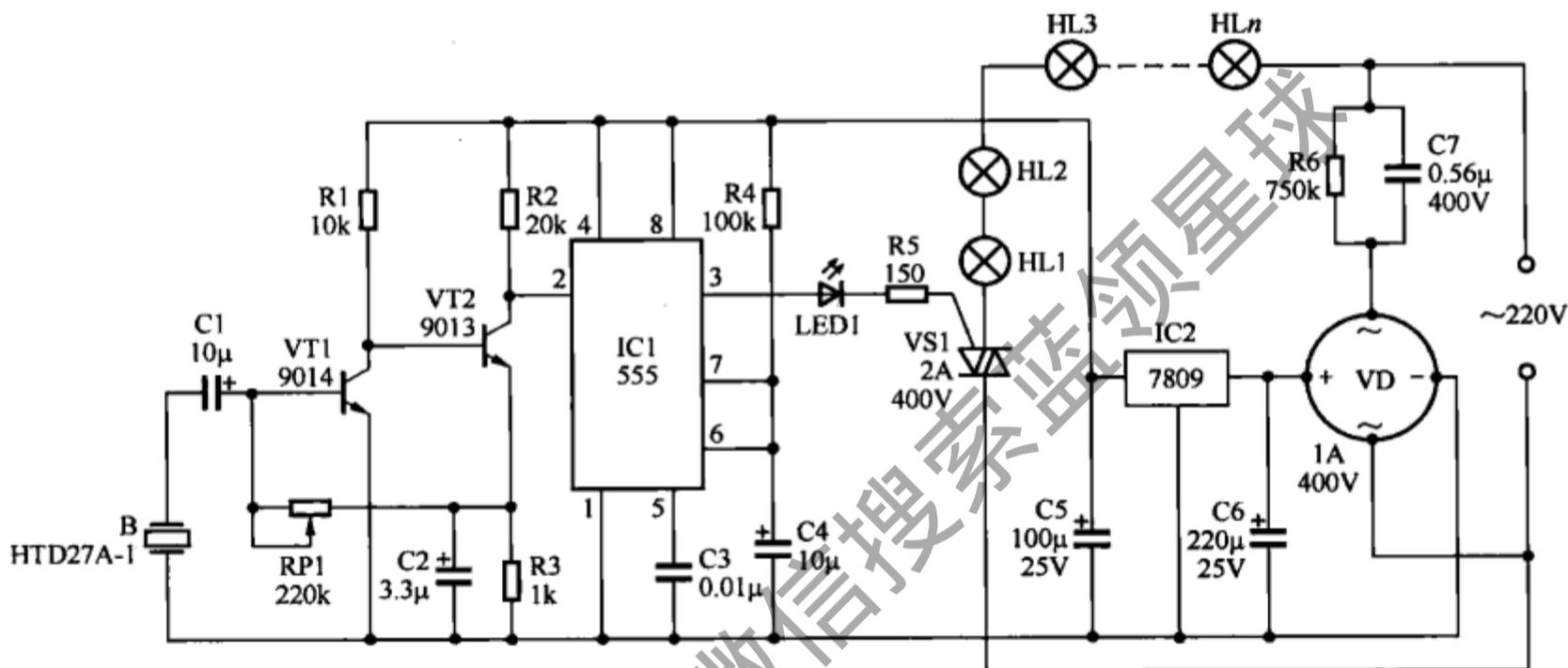


图 1-51 555 声控彩灯电路

由 VD、C6、IC2 等组成电源电路。整流后的+12V 直流电压经 IC2 稳压后得到+9V 的电压。

声电转换及放大电路由声电转换器 B 和级联放大器 VT1、VT2 等组成。B 采用压电陶瓷片 HTD27A-1, 它能将声音信号转换成电信号, 并通过 C1 耦合至 VT1、VT2 等组成的直接耦合放大级进行放大。该放大级由 R1、RP1 提供偏置电流, 通过调节 RP1 可调整放大级的反馈量及增益, 用以控制增益和灵敏度。C2 用以补偿放大级的交流增益。

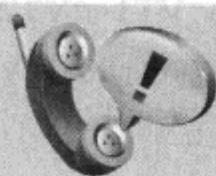
IC1 与 R4、C4 等组成单稳态触发定时电路。无声音信号时, IC1 的②脚呈高电位, IC1 处于复位状态, ③脚输出呈低电平, LED1 不亮, 晶闸管 VS1 截止; 当有音乐或声音信号时, 信号经 VT1、VT2 放大后, 负脉冲信号触发 IC1, 使其翻转置位, ③脚输出转为高电平, LED1 点亮发光, 并经 R5 限流后触发 VS1 导通, 串联的 HL1~HLn 彩灯得电点亮。为保障彩灯在猝发音响后有一定的点亮时间, 同时考虑到彩灯闪亮与乐曲或音乐不会有长的滞留时间, 将单稳态的暂稳态过程设为 1s 左右, 即:

$$t_a = 1.1R_4C_4$$

以该电路中的参数进行计算, 可得  $t_a$  为 1.1s。

在 IC1 输出高电平期间, 晶闸管 VS1 导通, 彩灯点亮, 此后自动熄灭, 为下一次点亮做准备。调节 RP1, 可改变声控灵敏度。若声音过强, 单稳态电路可能在暂稳结束之前又一次被触发, 使 IC1 的输出持续为高电平, 彩灯点亮时间相应延长。因此, 放大级的放大量不宜

调得过大。



**提示**

在元器件选用上，声敏元件可选用压电陶瓷片，如 HTD27A-1、HTD35A-1 等，也可采用驻极体微型话筒（灵敏度更高）。VS1 的容量应视彩灯的连接情况及负载情况来选定，若负载重，应选容量大的晶闸管，如 3CTS2A-D、3CTS3A-D、3CTS5A-D 等，型号末尾的“D”表示耐交流电压的级别，一般为 400V。降压电容 C7 可选用 CBB-400 型聚苯电容或耐压不低于 400V 的金属化纸介电容。

#### 4. 声控旋转彩灯控制电路

图 1-52 所示为一款声控旋转彩灯控制电路。

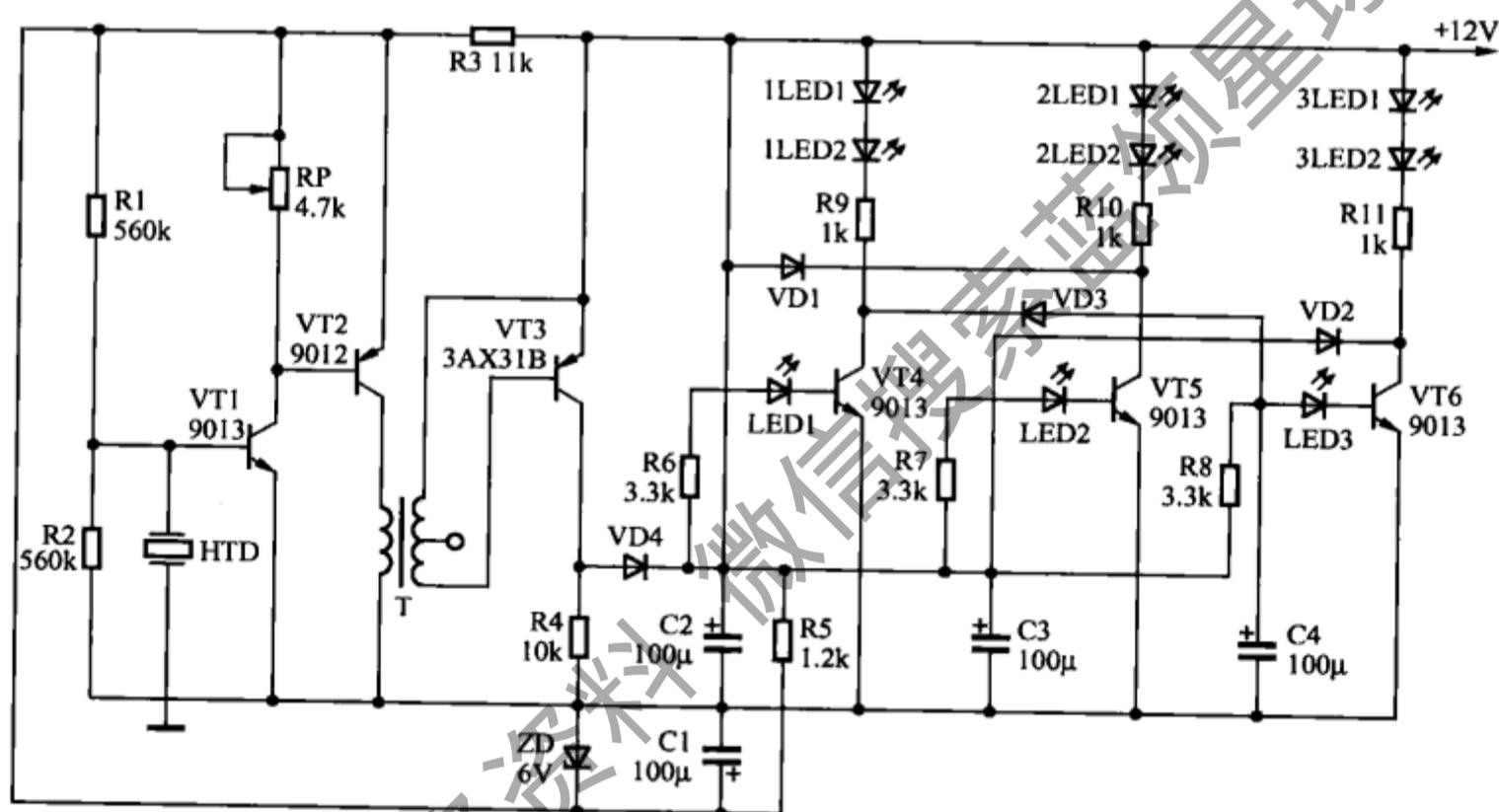


图 1-52 声控旋转彩灯控制电路

VT4~VT6 组成压控循环振荡器。当接通电源后，+12V 电压经 R3、ZD 和 C1 稳压后输出 6V 直流电，再由 R5 分别经 R6、R7、R8 向 C2、C3、C4 充电，使 LED1、LED2、LED3 的正极电位提高，所以，VT4~VT6 均有导通趋势。由于电路元器件参数不可能绝对均匀一致，假设 VT4 优先导通，第一组彩灯 1LED1、1LED2 发光。此时，VT4 的集电极为低电位，VD3 导通，C4 经 VD3 和 VT4 放电且无法充电，所以 VT6 截止。但 C3 仍可通过 R7 充电，当 C3 两端电压充至 1.6V (LED2 的正向压降) 加 0.65V (VT5 的导通电平) 时，VT5 导通，第二组彩灯 2LED1、2LED2 发光。此时，VT5 的集电极为低电平，VD1 导通，C2 即通过 VD1 和 VT5 放电，所以，VT4 立刻截止，第一组彩灯熄灭。这时 VT4 的集电极为高电位，VD3 截止，所以 C4 可通过 R8 充电，当 C4 两端电压高于  $(1.6+0.65)$  V 时，VT6 导通，第三组彩灯 3LED1、3LED2 发光，且 VT6 的集电极为低电位，VD2 导通，C3 通过 VD2 向 VT6 放电，VT5 立刻截止，第二组彩灯熄灭。这时 VT5 的集电极为高电位，VD1 截止，C2 又可通过 R6 充电，周而复始地形成振荡。

振荡频率决定光点的旋转速度，主要取决于 C2~C4 和 R6~R8 的充电时间常数和充电电源的电压高低。声控电路由 VT1~VT3 组成，HTD 接收室内声波信号，再由 VT1~VT2 两级放大后，经变压器 T 升压加到 VT3 的发射结进行整流。当信号电压在负半周大于 0.25V 时，VT3 导通，12V 直流电经 VT3、VD4 加到 R6~R8 上，使充电电压升高，振荡频率提高，旋转速度也相应加快。



**提示**

LED1~LED3 主要用来抬高 C2~C4 的充电电压，使 C2~C4 用较小的容量即可获得合适的振荡频率。如需要增加每组彩灯的发光管个数，只要适当减少 R9~R11 的阻值，每组最多可串联 5 个发光管。



知识链接

### 节日小彩灯

成串的小彩灯是串联的，但彩灯内部灯丝的结构与一般灯不同，每个彩灯灯丝下边多并联了一个电阻（一段涂有氧化铜的细金属丝），这个电阻的阻值远大于灯丝的电阻。因此，小彩灯在发光时绝大部分电流是通过灯丝的，只有少量电流通过电阻，于是小灯泡正常发光。一旦有一个彩灯灯丝熔断了，其他彩灯瞬间会熄灭，使这个灯泡两端的电压达到 220V，从而瞬间击穿那段细金属丝的氧化铜涂层，使这个彩灯重新形成通路，又使其他灯泡继续工作。这就是串联的小彩灯为什么其中有的灯丝熔断了，其他的还能继续工作的原因。我们会发现，这时亮的彩灯也比原来更亮了，因为那几个彩灯熔断后击穿金属丝相当于短路了，留下的灯泡两端各自分担的电压就多了，所以会比原来更亮。

识读图 1-53 所示光控鱼缸闪烁灯电路。



**练习**

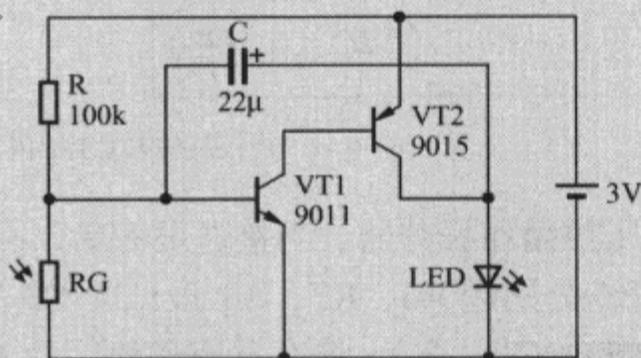
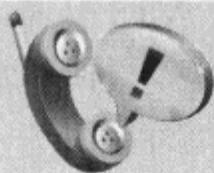


图 1-53 光控鱼缸闪烁灯电路



**提示**

由晶体管 VT1、VT2 组成互补型自激多谐振荡器，振荡反馈网络由电容 C 组成。VT1 的基极偏置电路由电阻 R 与光敏电阻 RG 共同组成。白天室内光线较强，RG 受强光照而呈低阻状态，VT1 的基极处于低电位，VT1、VT2 均截止，发光二极管 LED 不亮。晚上，室内光线较弱，光敏电阻 RG 的阻值升高，VT1 的基极电位上升。当 VT1 的基极电位上升至 0.65V 时，振荡器开始工作，LED 会按振荡器的振荡频率闪烁发光。

## 健 忘

经理对秘书说：“8月20日的会议十分重要，请你记着提醒我。”

秘书说：“这是前天的事了。”

经理说：“天啊！我居然忘记了参加会议！”

秘书说：“您已经去过了。”



## 1.4 应急照明灯电路——用兵一时

应急照明作备用，关键时刻派用场。  
平时电瓶自蓄电，停电自动灯点亮。  
电路结构较复杂，充电放电都一样。

所谓应急照明是指在非正常状态下才使用的照明设施，包括备用照明、疏散照明、安全照明。应急照明灯自带蓄电池（俗称电瓶），在失去外电源的情况下自动放电工作，而外部供电线路只起维持蓄电池内部能量的作用，在非常状况时几乎不起作用。

应急照明的控制一般有两种形式：一是光源平时处于常闭状态，只在正常照明回路失电时才自动点亮；二是作为正常照明的一部分并与其同时使用，当正常照明因故失电时，无论应急照明的控制开关处于何种状态（开、闭），都应自动点亮。

### 1.4.1

#### 自动光控应急照明电路

——光敏装置是关键，判定瞬时光变暗

图 1-54 所示为一款自动光控应急照明电路。它是在普通应急灯电路的基础上加装光控电路而组成的，图中虚线框以外为普通应急灯电路，虚线框内为加装的光控电路。在室内光线突然由亮变暗时，该电路可自动将应急灯点亮，1min 后应急灯自动熄灭，以便停电能及时找到应急灯。

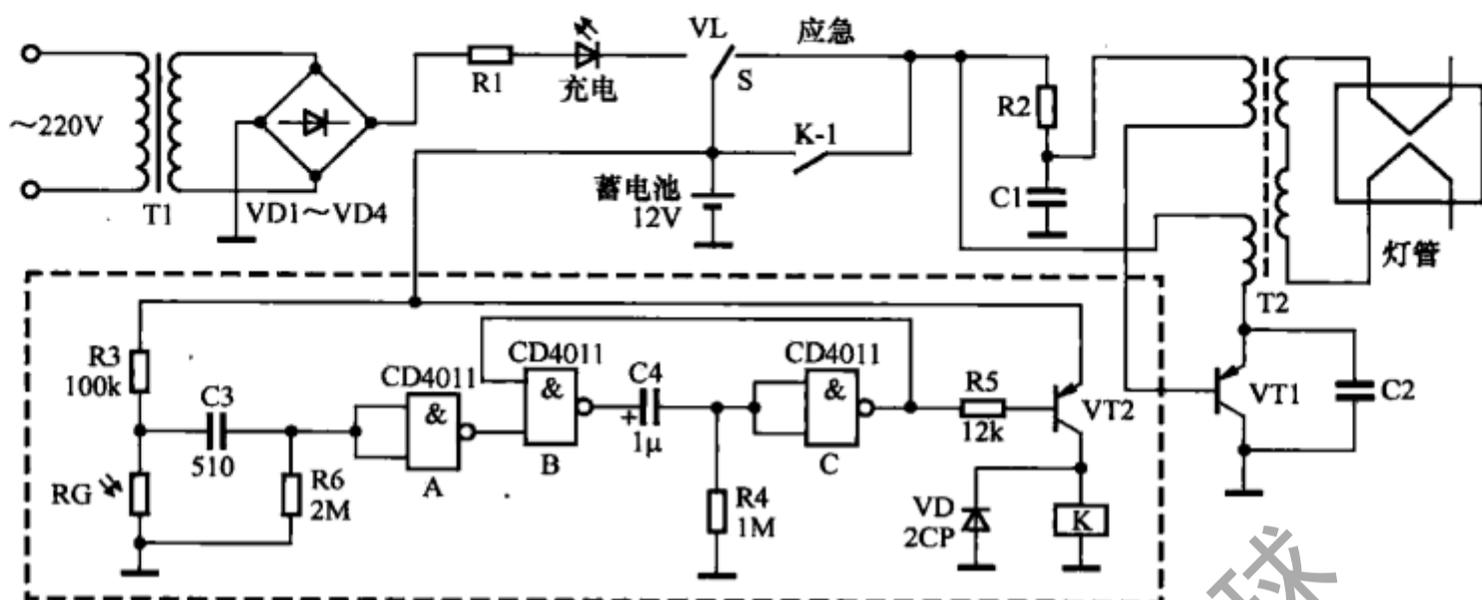


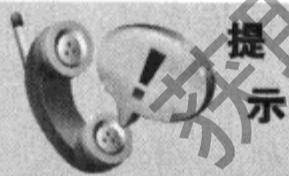
图 1-54 自动光控应急照明电路

光控电路主要由光检测电路、延时电路和驱动电路组成。其中，光敏电阻  $R_G$  和  $R_3$ 、 $C_3$ 、 $R_6$  一起组成光检测电路，用于判别室内光线变化的情况；延时电路由 CD4011 的 3 个与非门（A、B、C）和  $C_4$ 、 $R_4$  组成，其延时时间由  $C_4$  和  $R_4$  的参数值决定；驱动电路由限流电阻  $R_5$ 、 $VT_2$  和继电器  $K$  组成。当延时电路输出低电平时， $VT_2$  饱和导通并驱动继电器  $K$  动作，同时接通应急灯的“应急”触点  $K-1$ ，点亮应急灯。

当室内光线逐渐由强变弱或由弱变强时， $R_G$  的阻值发生缓慢变化，其两端电压也随之缓慢变化。由于微分电容  $C_3$  的隔离作用， $R_6$  两端电压仍保持为 0V，延时电路输出高电平，驱动电路不工作，应急灯不亮。

当室内光线突然由弱变强时（如晚上开灯照明）， $R_G$  的阻值突然变小，在  $R_G$  两端产生一负跳变电压（由高到低），通过微分电路  $C_3$ 、 $R_6$ ，使得  $R_6$  上端电压也为负脉冲，CD4011 的状态保持不变，应急灯同样不亮。

当室内光线突然由强变弱时（如停电、关灯就寝）， $R_G$  的阻值由小突然变大，则在  $R_G$  两端产生一正跳变电压（由低到高），通过微分电路  $C_3$ 、 $R_6$ ，使得  $R_6$  两端产生一正脉冲。该正脉冲触发延时电路工作，在延时电路的输出端产生 1min 的负脉冲，驱动晶体管  $VT$  导通 1min，继电器  $K$  动作，应急灯点亮 1min 后自动熄灭。



**提示** 光敏电阻选 MG45 型。晶体管选 9012 型 PNP 管。继电器可选 12V 单触点继电器，触点电流不小于 1A。微分电容的容量不宜过大，一般以 500~1 000pF 为好。调整  $C_4$ 、 $R_4$  的参数值，可以改变应急灯自动点亮的时间。

## 1.4.2 手动应急照明电路 ——有电充电停电亮，手动转换记心上

图 1-55 所示为一款手动应急照明电路。有电时应急灯处于充电状态，灯不亮；停电时，切换手动转换开关  $S$ ，应急灯内的蓄电池放电，灯亮。

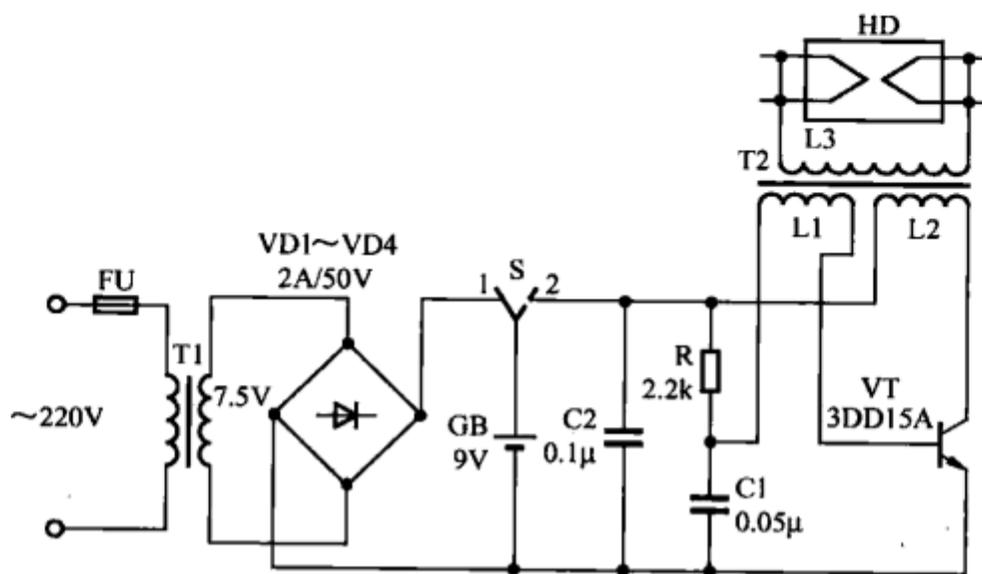
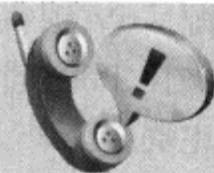


图 1-55 手动应急照明电路

当转换开关 S 在位置“1”时，220V 交流电经变压器 T1 降压、VD1~VD4 整流后向蓄电池 GB 充电。当停止交流供电时，可把开关 S 拨向位置“2”，此时蓄电池向逆变变压器 T2 的二次侧输出高电压，使灯管启辉。

逆变变压器采用铁氧体罐形磁芯绕制而成，规格为 GU26×16。绕制时，要注意高压绕组 L3 的绝缘。蓄电池可根据条件选用。电源变压器可用 10V·A 铁芯绕制。灯管可选用 7W 的 H 形或 U 形节能灯。



**提示**

电路安装无误后，如通电不起振，则有可能是反馈线圈接反。一般来讲，将 L1 两端对调，即可使其正常工作。调整 C1 的容量，可改变振荡频率，C1 的容量越大，振荡频率越低。

**知识链接**

### 逆 变 器

逆变器又称逆变电源，是一种电源转换装置，它将电池组的直流电转化成输出电压和频率稳定的交流电。它输出的交流电可供各类设备使用，最大限度地满足移动供电场所或无电地区用户对交流电的需要。

有了逆变器，就可将直流电（蓄电池、开关电源、燃料电池等）转换成交流电，为电器提供稳定可靠的用电保障。小型逆变器还可利用汽车、轮船、便携式供电设备在野外提供交流电。

#### 1.4.3

### 电子节能灯应急电源电路

——逆变电路作保障，应急照明灯光亮

电子节能灯应急电源可用于消防应急照明或停电应急照明，其主体结构由铁盒内的控制转换电路和外附的 6V 镍镉电池组及负载（节能灯）组成。图 1-56 所示为 106 型电子节能灯应急电源电路。

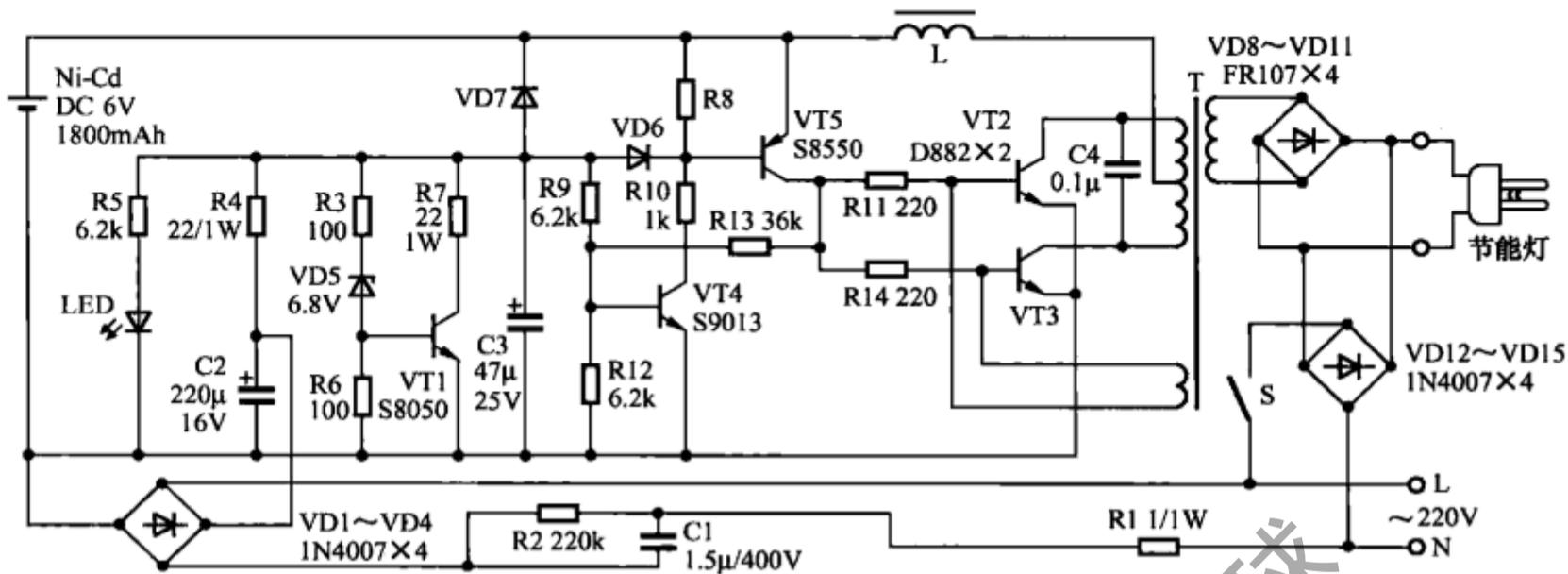
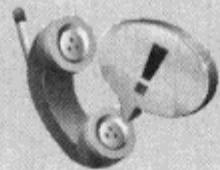


图 1-56 106 型电子节能灯应急电源电路

在由 220V 交流电源正常供电时，闭合开关 S 后，交流 220V 电压经 VD12~VD15 桥式整流之后变成略低于 220V 的直流电压，供给节能灯进行日常照明。此处采用直流电压供电，主要是因为该直流电源能对另一桥式整流电路 VD8~VD11 起反向隔离作用，从而阻断 220V 市电直接窜入应急电路部分中逆变变压器 T 的二次侧，以避免造成该部分电路及元器件损坏。在节能灯工作的同时，市电的另一路又由 R1、C1、VD1~VD4、C2 等降压、整流、滤波，在 C2 两端产生十几伏的直流电压。此后，电压经由 R4、VD5、VT1 等组成的并联式稳压电路处理后，使电解电容 C3 两端形成 7V 恒定电压，并经 VD7 为应急电路中的备用电源（6V 镍镉（Ni-Cd）电池组）充电。充电时，因充电电流经 VD7 产生压降，该压降经 VD6 加在 PNP 管 VT5 的基极和发射极，所以 VT5 的发射极和集电极不导通，使它之后的电路不得电而不工作。

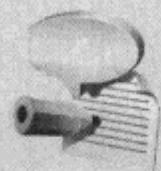
如遇 220V 市电电源异常或停电，C2、C3 开始放电，C3 经 R9 为 VT4 的基极和发射极提供偏置电流，可维持 VT4 的集电极和发射极回路持续导通。当 C3 上的电压降低到低于蓄电池电压（6V）时，蓄电池电压就通过 VT5 的集电极和发射极以及 R13、VT4 的基极和发射极，锁定 VT5 的发射极和集电极、R10、VT4 等电路为继续导通状态。VT5 导通后，其集电极上的电压就立即经 R11、R14 为 VT2 和 VT3 组成的推挽式振荡电路供电，使 VT2、VT3 产生振荡，并经高频铁氧体变压器 T，在其二次侧感应出 200V 左右的高频交流电。此电压经高频二极管 VD8~VD11 组成的桥式电路整流成直流电压后加到节能灯上，用于应急照明。而此时 VD12~VD15 同样又可对逆变整流后的电压起反向隔离作用，从而杜绝逆变电压外窜。

市电恢复正常后，转换控制电路就又自动恢复常态，蓄电池重新进入充电状态，同时 VT5 截止，使振荡电路停振，应急灯可恢复到日常照明状态。



**提示**

平时应经常对蓄电池进行维护，以免 220V 市电电源异常或停电时该电路不能发挥应有的作用。



**练一练**

自己动手制作家用应急照明灯。

图 1-57 所示为一款非常简单但却很实用的家用应急照明电路。它能在市电停电或家中保险丝（术语为熔断器）熔断后自动点亮小灯。该电路所用元器件少，价格低，制作简单，适合家庭安装使用。

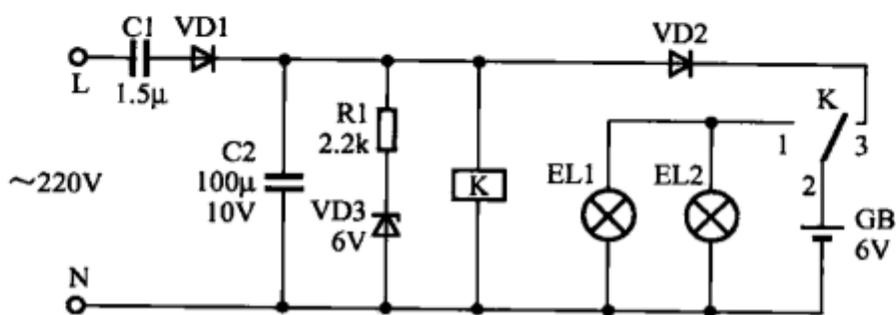


图 1-57 家用应急照明电路

当市电正常供电时，220V 市电电压经电容 C1 降压、二极管 VD1 半波整流和电容 C2 滤波后，得到稳定的 6V 直流电压，输出电流为 90mA。这个电源一方面为继电器 K 供电，其动断触点 K2-1 断开，故 EL1、EL2 失电不亮；另一方面动合触点 K2-3 闭合，脉冲电流对蓄电池 GB 进行浮充电。

一旦市电停电或保险丝熔断，继电器 K 就失电，因此 K2-1 闭合，EL1、EL2 点亮。

图中的 K 选用工作电压为 6V、电流在 90mA 左右的灵敏度较高的继电器，EL1、EL2 为 6.3V 的小电珠，GB 可使用一块 6V 蓄电池。

制作时，整机电路放置在一个绝缘性能良好的塑料小盒内，引出导线接好市电，根据需要将 EL1、EL2 放在不同的地方。由于电路直接与市电连接，制作时应注意安全，特别是通电后不要触摸电路。

对不起

甲：对不起，我的鸡没圈好，跑出来弄坏了你种的菜。

乙：没关系，我的狗已经把你的鸡吃了。

甲：噢！怪不得我从狗的肚子里发现了鸡骨头。

乙：……



# 第

# 2

# 章

## 常用继电器—接触器控制 电路

### ——保障运行

继电器与接触器都是电磁开关，常用在自动控制电路中。继电器一般不用于直接控制负载，多用于增加触点，或用于信号放大或其他特殊用途。接触器的触点容量大，可直接连接被控制电动机等负载。分析继电器—接触器控制电路时，必须搞清控制系统中各电动机、电器的作用以及它们的控制关系。在控制电路中，根据控制要求按照从上到下、从左到右的顺序进行识图和分析。

通过本章学习，要求达到以下目标。

#### 知识目标 |

- ① 掌握电动机基本控制环节、基本控制电路的工作原理。
- ② 能够正确分析电路的工作过程，尤其是继电器、接触器各个触点的动作顺序不能弄错。
- ③ 掌握常用三相交流异步电动机和直流电动机的控制方法。
- ④ 知道电动机启动电路、停止电路、保护电路和速度控制电路的控制过程。
- ⑤ 知道电动机控制电路中常用元器件的电气特性及作用。

#### 能力目标 |

- ① 能够根据生产实际合理选用电动机的控制方法和控制电路。
- ② 能根据故障现象依据电路图分析并查找故障部位。
- ③ 能对照电路图安装电动机基本控制电路。

资源库  
PDG

## 2.1 电动机基本控制环节——保障运行三把锁

自锁互锁和连锁，三把电锁很管用。  
电机控制环节多，点动长动最常用，  
顺序或者多地控，循环或者时间控，  
均是基本控制法，根据需要灵活用。

自锁、互锁和连锁俗称电动机基本控制环节的“三把锁”，它们在电动机整个控制环节中起着十分重要的作用。任何复杂的电气控制系统都是灵活运用了一些比较简单的基本控制环节，掌握这些基本环节和基本控制方法是进一步学习电气自动控制的基础。

点动与长动控制、顺序控制、多地控制、自动循环控制、时间控制等是电气控制的基本方法。

### 2.1.1

#### 点动与长动控制电路

——松开即停为点动，按钮自锁可长动

电动机点动控制是通过一个按钮控制接触器的线圈，从而实现用弱电来控制强电的功能。按下按钮后，接触器线圈得电且吸合触点，电动机得电旋转；松开按钮后，接触器失电，电动机停转。

点动控制用于短时间内需要电动机运转，但运转一会儿后就需要停止工作的设备，如机床和行车等设备的步进或步退控制。

电动机长动控制是指在按下按钮后，接触器线圈得电，主触点吸合后，接触器的辅助触点也同时吸合，即使按钮松开后接触器的线圈还因辅助触点始终处于吸合状态而得电，只有按下停止按钮后触点才会断开，使电动机停转。

长动控制用于电动机要长时间得电运转的设备，绝大多数机电设备都需要设置电动机长动控制电路。

#### 1. 电动机点动控制电路

图 2-1 所示为电动机点动控制电路，该电路适合于机床和行车等设备的步进或步退控制。合上开关 QS 后，因没有按下点动按钮 SB，接触器 KM 的线圈没有得电，其主触点断开，电动机 M 不得电，所以没有启动。

按下点动按钮 SB 后，控制电路中的接触器 KM 的线圈得电，使衔铁吸合，带动接触器 KM 的 3 对主触点（动合触点）闭合，电动机得电运行。

需要停转时，只要松开按钮 SB（按钮在复位弹簧的作用下自动复位），控制回路就断开 KM 线圈的供电，衔铁释放，带动主电路中 KM 的 3 对触点恢复原来的断开状态，电动机停止转动。

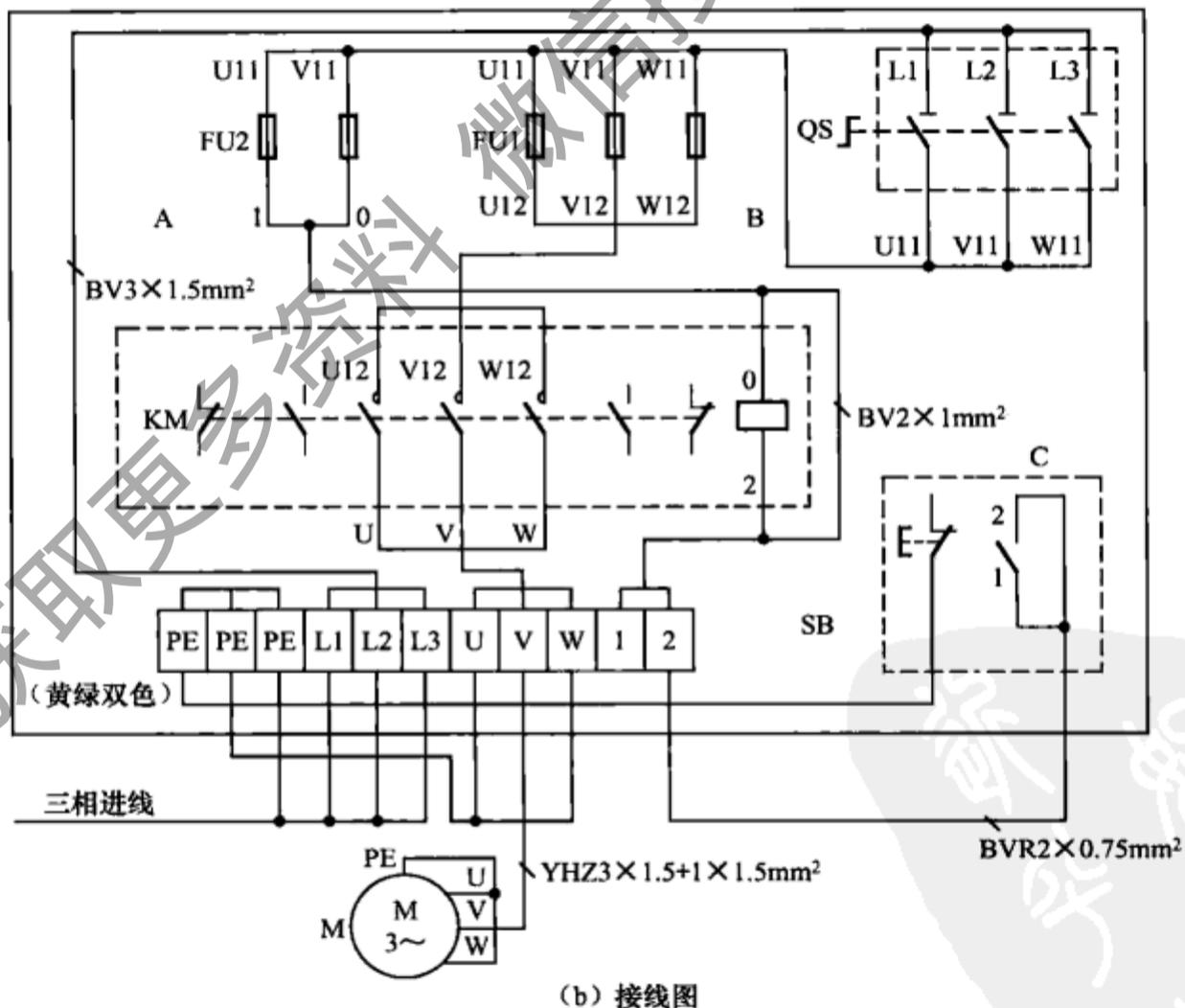
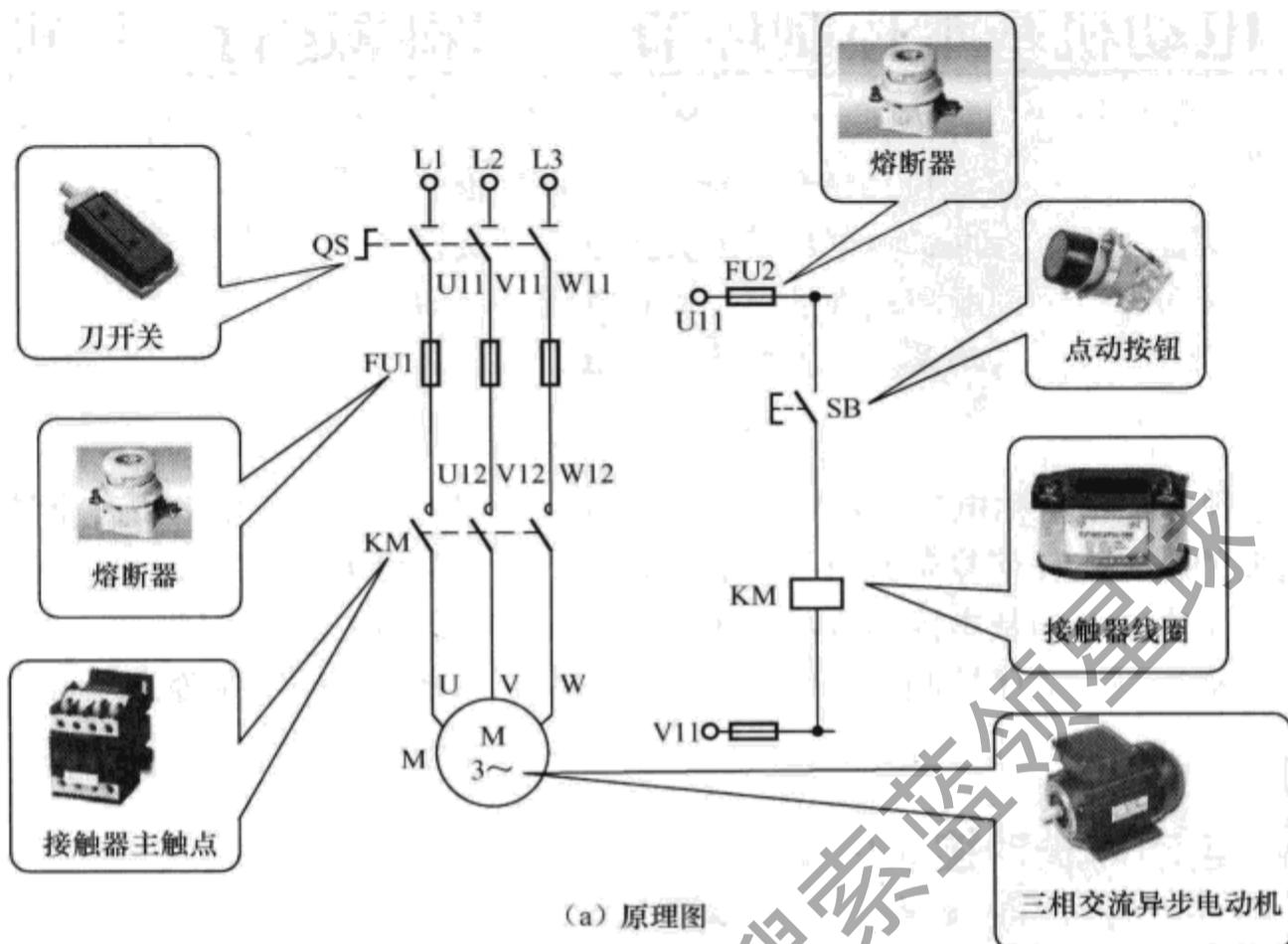
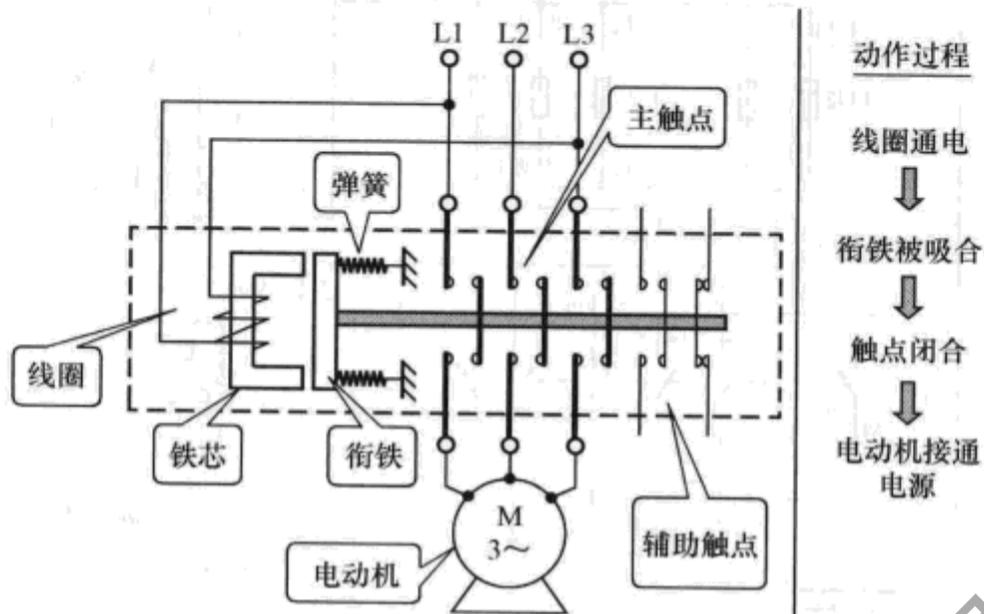


图 2-1 电动机点动控制电路



(c) 接触器的结构及动作过程

图 2-1 电动机点动控制电路 (续)



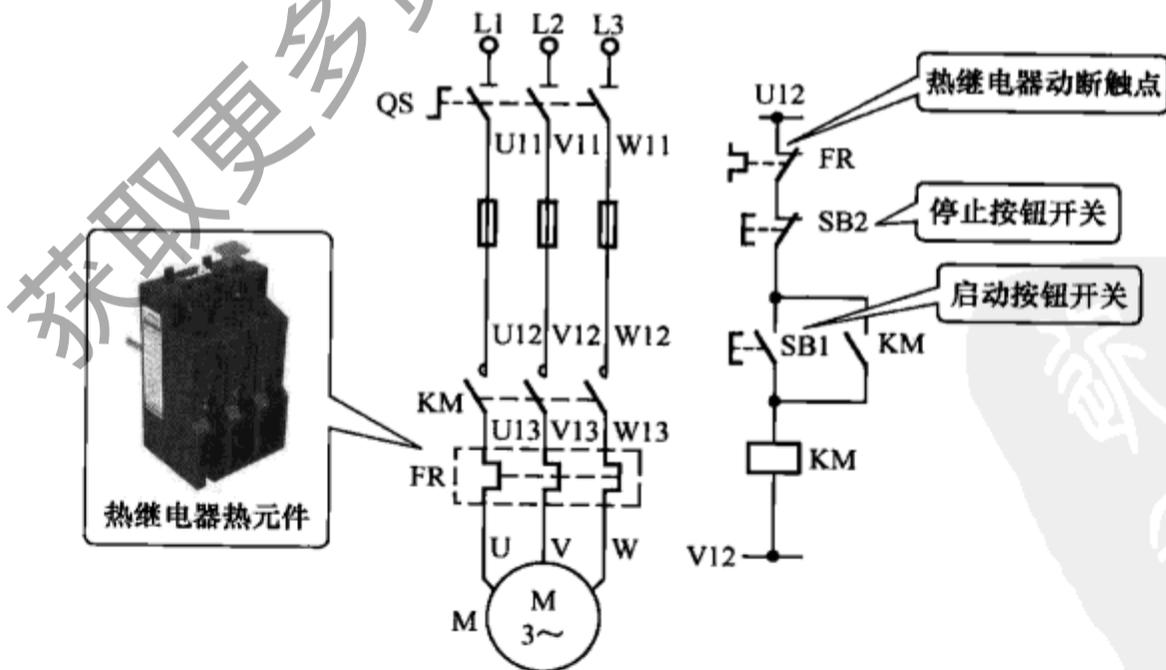
**提示**

该电路比较简单，用一只按钮 SB 控制交流接触器 KM 线圈的供电，按下 SB 后电动机开始运转，松开 SB 后电动机停止运转。

点动不需要交流接触器的自锁。由于电动机工作时间比较短，所以点动时可以不安装热继电器。

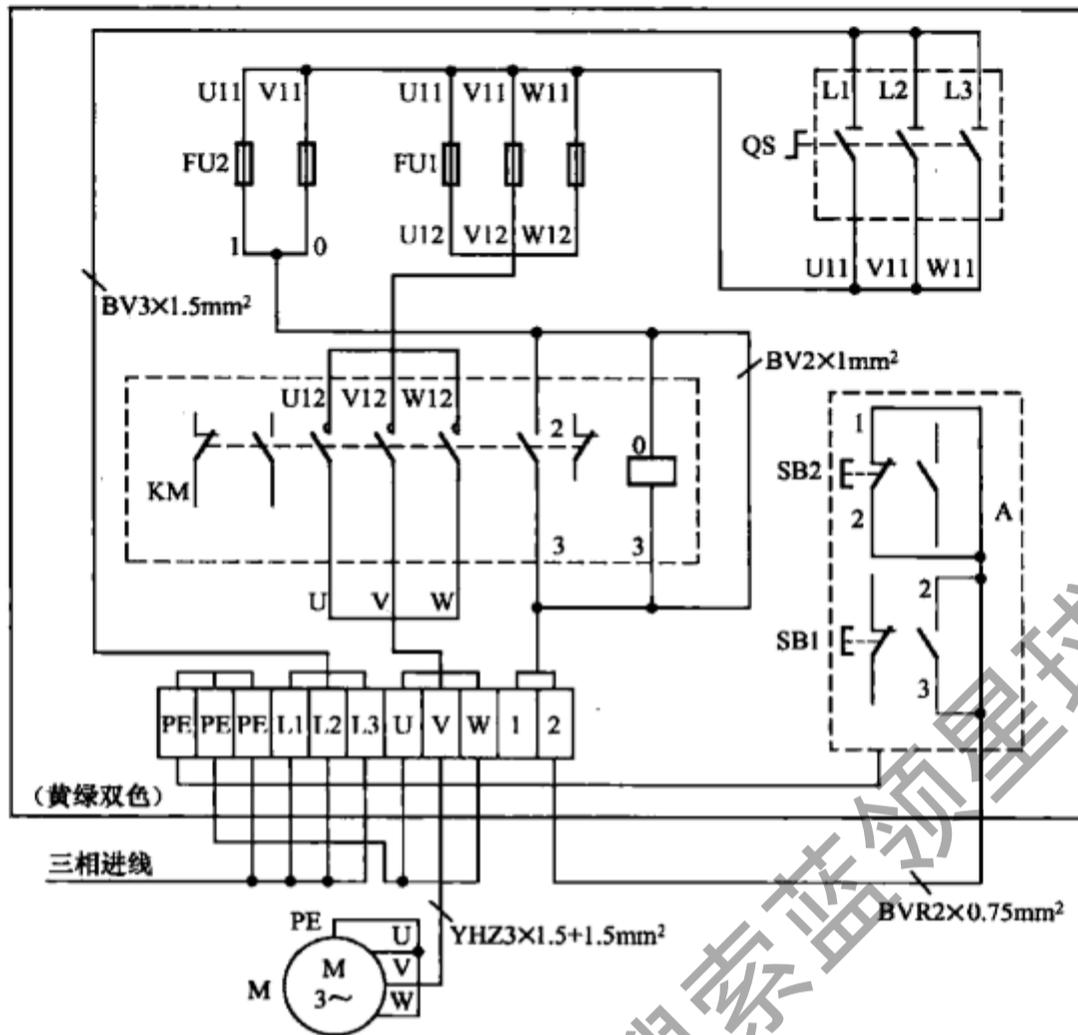
## 2. 电动机长动控制线路

图 2-2 所示为利用接触器本身的动合触点自锁来保证电动机长动控制的电路。该电路在点动控制电路的基础上增加了 SB2 和 KM 的自锁触点。

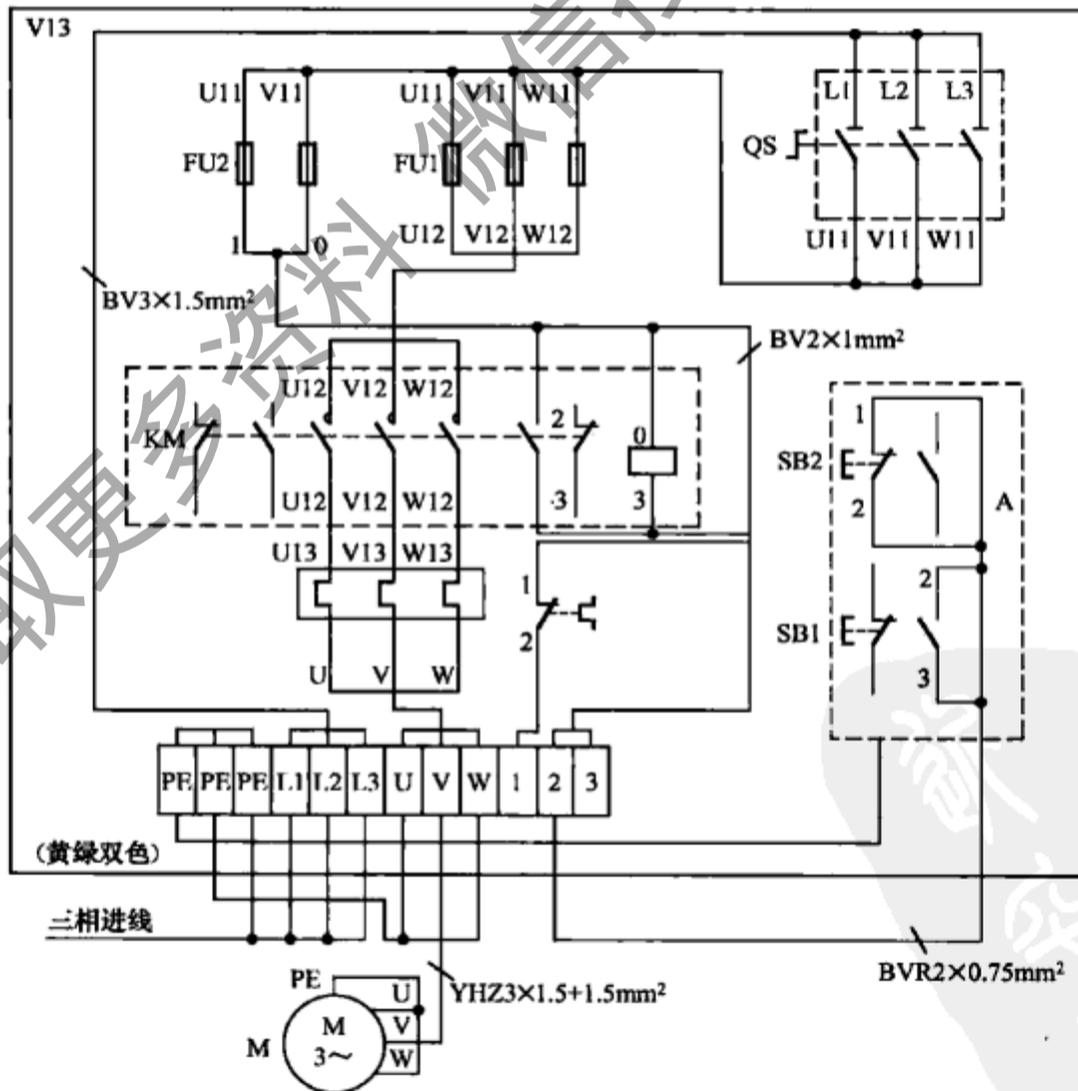


(a) 原理图

图 2-2 电动机长动控制电路



(b) 接触器自锁长动控制电路接线图



(c) 具有过载保护功能的接触器自锁长动控制电路接线图

图 2-2 电动机长动控制电路 (续)

在该电路中如果不安装热继电器，就成为接触器自锁控制长动电路；如果增加了热继电器（图中虚线框所示），就成为具有过载保护的接触器自锁长动控制电路。

### (1) 启动控制

当按下启动按钮 SB1 后，交流接触器 KM 的线圈得电吸合，其动合触点闭合后进行自锁，为电动机提供三相交流电，使其得电运转。由于 KM 触点的自锁作用，当松开 SB1 以后，控制电路仍保持接通状态，电动机 M 仍继续保持运转状态，所以，这个电路称为电动机长动控制电路。

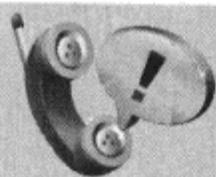
### (2) 停止控制

当需要停机时，按下停止按钮 SB2，KM 线圈断电释放，KM 的动合触点断开，电动机因为失去供电而停止运转。

### (3) 保护控制

在具有接触器自锁功能的控制电路中，还具有电动机失压和欠压保护功能。

失压保护也称为零压保护。在具有自锁的控制电路中，一旦发生断电（例如熔断器熔断），自锁触点就会断开，接触器 KM 的线圈就会断电，不重新按下启动按钮 SB1，电动机将无法自动启动。在具有接触器自锁功能的控制电路中，控制电路接通后，若电源电压下降到一定值（一般降低到额定值的 85% 以下），接触器线圈产生的磁通将减弱，电磁吸力减小，动铁芯在反作用弹簧的作用下释放，自锁触点断开而失去自锁作用，同时主触点断开，电动机停转，达到欠压保护的目。



**提示**

为确保电动机安全运行，在该电路中还可以串入热继电器 FR（如图 2-2（a）中虚线框所示），其作用是过载保护，其电路接线方法如图 2-2（c）所示。当电动机过载时，过载电流将使热继电器中的双金属片弯曲动作，使串联在控制电路中的动断触点断开，从而切断接触器 KM 的线圈回路，主触点断开，电动机脱离电源而停转。

## 3. 电动机点动与长动相结合的控制电路

图 2-3 所示是利用开关 SA 控制的既能长动又能点动的控制电路。图中 SA 为选择开关，

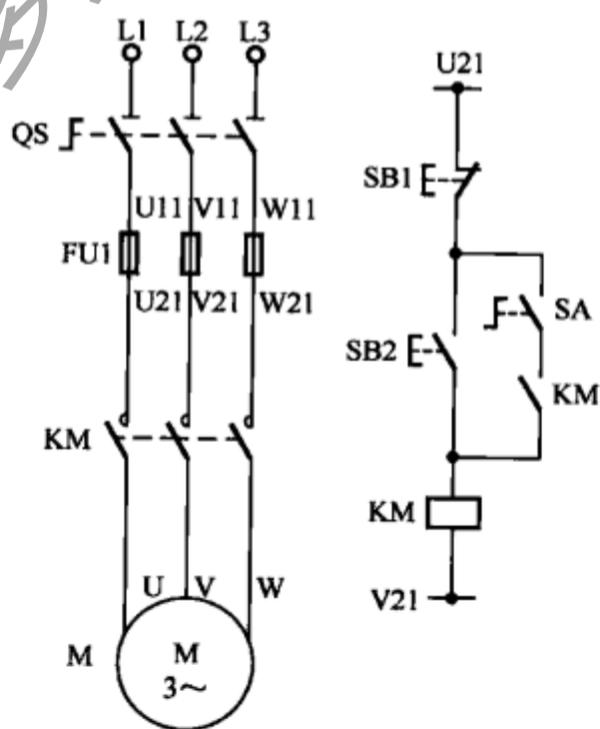


图 2-3 利用开关控制的长动和点动控制电路

当 SA 断开时，按 SB2 为点动操作按钮；当 SA 闭合时，按 SB2 为长动操作按钮。  
该电路控制过程如下。

点动 (SA 断开):  $SB2^+ \rightarrow KM^+ \rightarrow M^+$  (运转)

$SB2^- \rightarrow KM^- \rightarrow M^-$  (停车)

长动 (SA 闭合):  $SB2^\pm \rightarrow KM^+ \rightarrow M^+$  (运转)

$SB1^\pm \rightarrow KM^- \rightarrow M^-$  (停车)

为了分析原理时一目了然和叙述方便，本章采用的叙述符号见表 2-1。

表 2-1 本章分析电路原理时采用的叙述符号

符 号	含 义	符 号	含 义
$SB^+$	按下控制开关 SB	$M^-$	电动机失电停转
$SB^-$	松开控制开关 SB	$M^\pm$	电动机运转、停转
$SB^\pm$	先按下 SB，再松开	$KM_{\text{自}}^+$	接触器触点“自锁”
$M^+$	电动机得电运转	$KM^\pm$	接触器线圈先得电，后失电

分析图 2-4 所示的利用复合按钮控制的既能长动又能点动的控制电路。

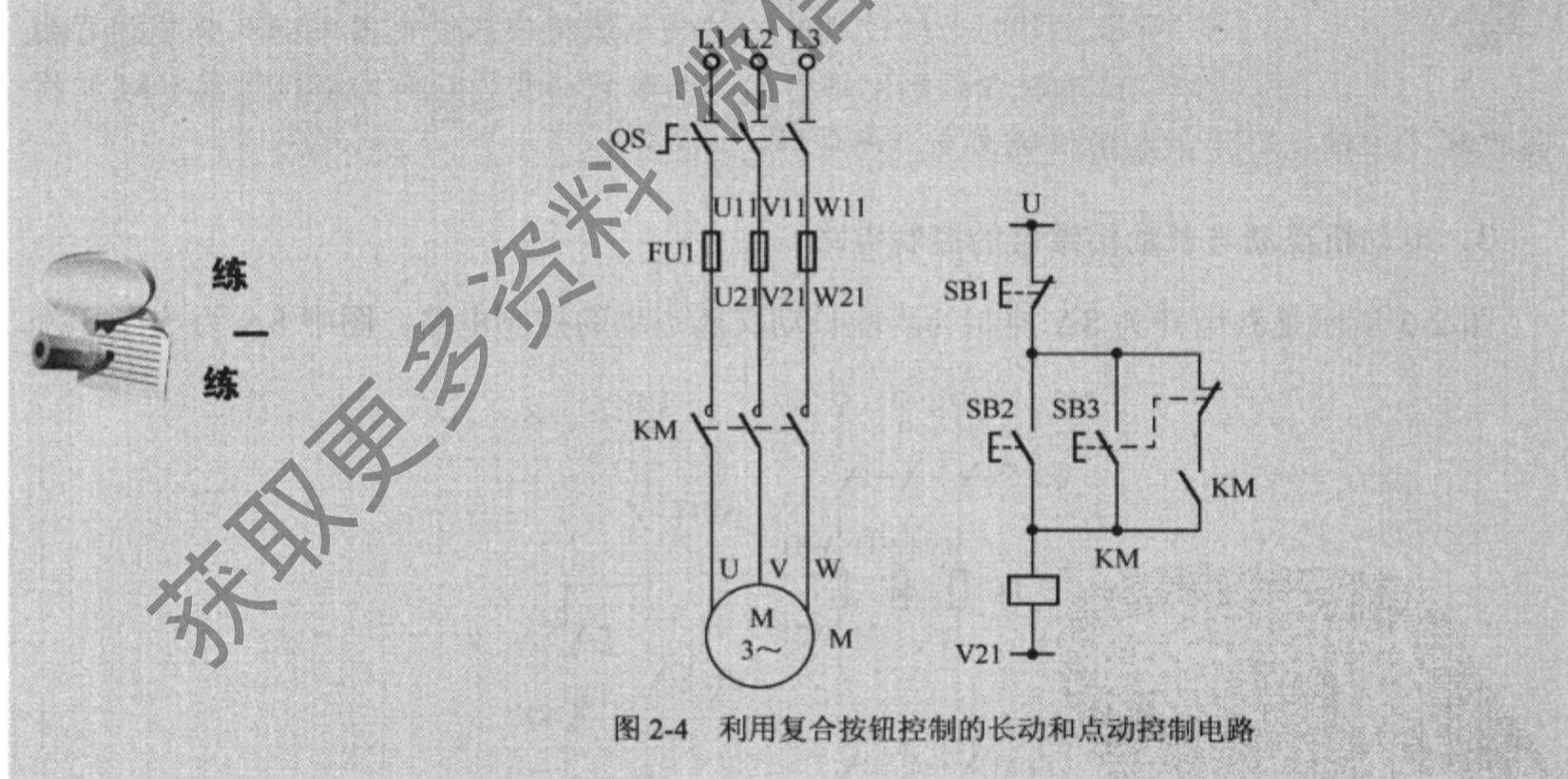


图 2-4 利用复合按钮控制的长动和点动控制电路



提示

图中 SB2 为长动按钮，SB3 为点动按钮，注意 SB3 使用了动合、动断各一对触点，其电路原理如下。

长动:  $SB2^\pm \rightarrow KM_{\text{自}}^+ \rightarrow M^+$  (运转)

长动:  $SB3^\pm \rightarrow KM^\pm \rightarrow M^\pm$  (运转、停车)

## 2.1.2

### 电动机正反转控制电路

——正转反转相序变，互锁连锁是关键

#### 1. 接触器互锁正反转控制电路

图 2-5 所示为接触器互锁正反转控制电路。

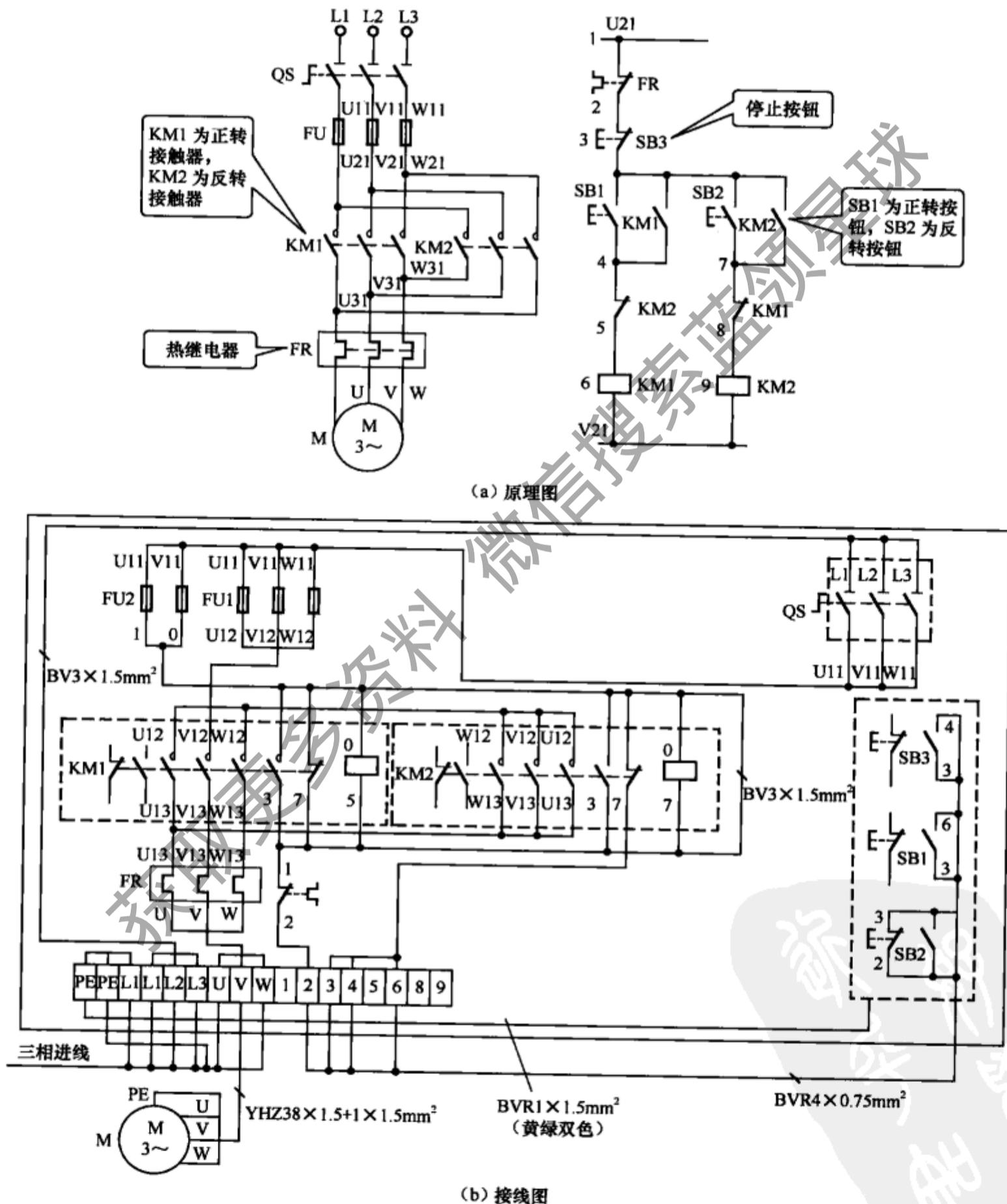
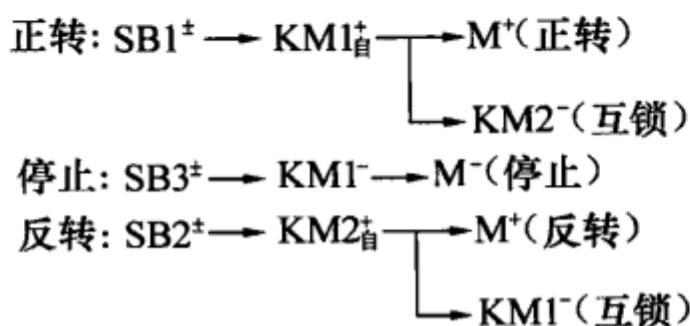


图 2-5 接触器互锁正反转控制电路

KM1 为正转接触器，KM2 为反转接触器。显然，KM1 和 KM2 的两组主触点不能同时闭合，否则会引起电源短路。

该电路控制过程如下。



通过以上分析可知，接触器互锁正反转控制电路的优点是工作安全可靠，缺点是操作不便。因电动机从正转变为反转时必须先按下停止按钮，才能再按下反转按钮，否则由于接触器的连锁作用，不能实现反转。



**提示**

在控制电路中，正反转接触器 KM1 和 KM2 的线圈支路中都分别串联了对方的动断触点，任何一个接触器接通的条件是另一个接触器必须处于断电释放状态。两个接触器之间的这种相互关系称为互锁，也称为电气连锁。

## 知识链接

### 自锁和互锁

自锁就是在接触器线圈得电后，利用自身的动合辅助触点保持回路的接通状态。通常是把动合辅助触点与启动按钮并联，这样，当按下启动按钮时，接触器动作，其辅助触点闭合并保持，若此时再松开启动按钮，接触器也不会失电断开。一般来说，除了启动按钮和辅助按钮并联，还要串联一个停止按钮，在点动开关中作启动用时选择动合触点，作停止用时选择动断触点。

互锁就是两个接触器利用自己的辅助触点去控制对方的线圈回路，进行状态保持，其工作原理和自锁控制基本一样。互锁可分为电气互锁和机械互锁。

#### 2. 按钮互锁正反转控制电路

图 2-6 所示为按钮互锁正反转控制电路。

SB2 为正转按钮，SB3 为反转按钮，SB1 为停止按钮。KM1、KM2 分别是正反转控制交流接触器，各有 4 组动合触点，其中一组用于自锁，另外 3 组用于电动机的正反转控制。

SB2 的动合触点控制正转交流接触器 KM1 的线圈接通电源，动断触点控制 KM2 的线圈断电；SB3 的动合触点控制反转交流接触器 KM2 的线圈接通电源，动断触点控制 KM1 的线圈断电。

该电路的工作原理与接触器互锁正反转控制电路的工作原理基本相同，其控制过程如下。

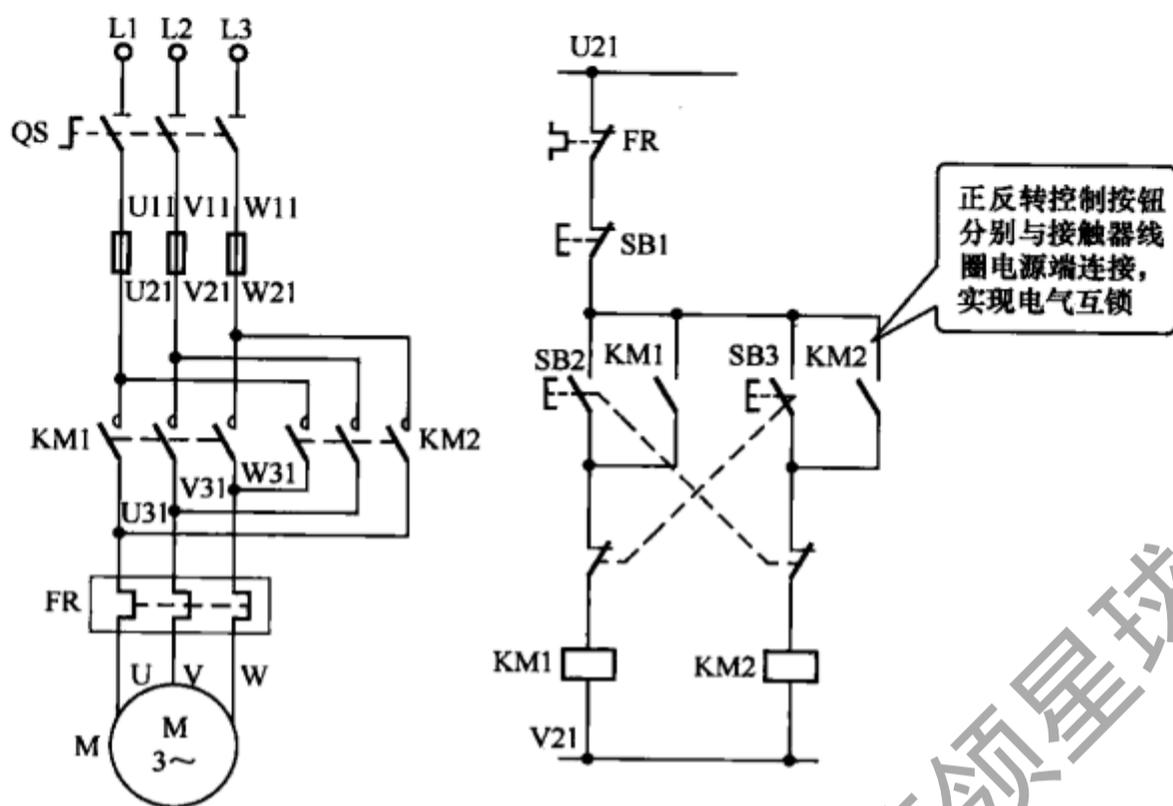
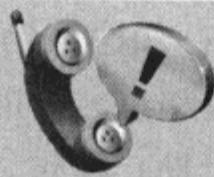


图 2-6 按钮互锁正反转控制电路



该电路的优点是操作方便，缺点是容易产生电源两相短路故障。例如正转接触器 KM1 发生主触点熔焊或机械卡阻等故障时，即使接触器线圈失电，主触点也不能分断。若直接按下反转按钮，KM2 得电动作，其主触点闭合，则会造成 L1、L3 两相短路。所以，该线路存在一定的安全隐患，还需要改进。



**提示**

控制电路中使用了复合按钮 SB2、SB3。在电路中将动断触点接入对方线圈回路中，这样只要按下按钮，就自然切断了对方线圈回路，从而实现互锁。这种互锁是利用按钮这样的纯机械方法来实现的，为了区别于接触器触点的互锁（电气互锁），称其为机械互锁。

在该电路中，如果 KM1、KM2 的主触点出现粘连故障，此时按下反转按钮 SB3，会发生短路故障。

### 3. 双重互锁正反转控制电路

为克服接触器互锁正反转控制电路和按钮互锁正反转控制电路的不足，在按钮互锁的基础上又增加了接触器互锁，构成了按钮、接触器互锁正反转控制线路，也称为防止相间短路的正反转控制电路。该电路兼有两种互锁控制电路的优点，操作方便，工作安全可靠。图 2-7 所示为按钮、接触器双重互锁正反转控制电路，由于这种电路结构完善，所以常将它们用金属外壳封装起来，制成成品直接供给用户使用，其名称为可逆磁力启动器（所谓可逆是指它可以控制正反转）。

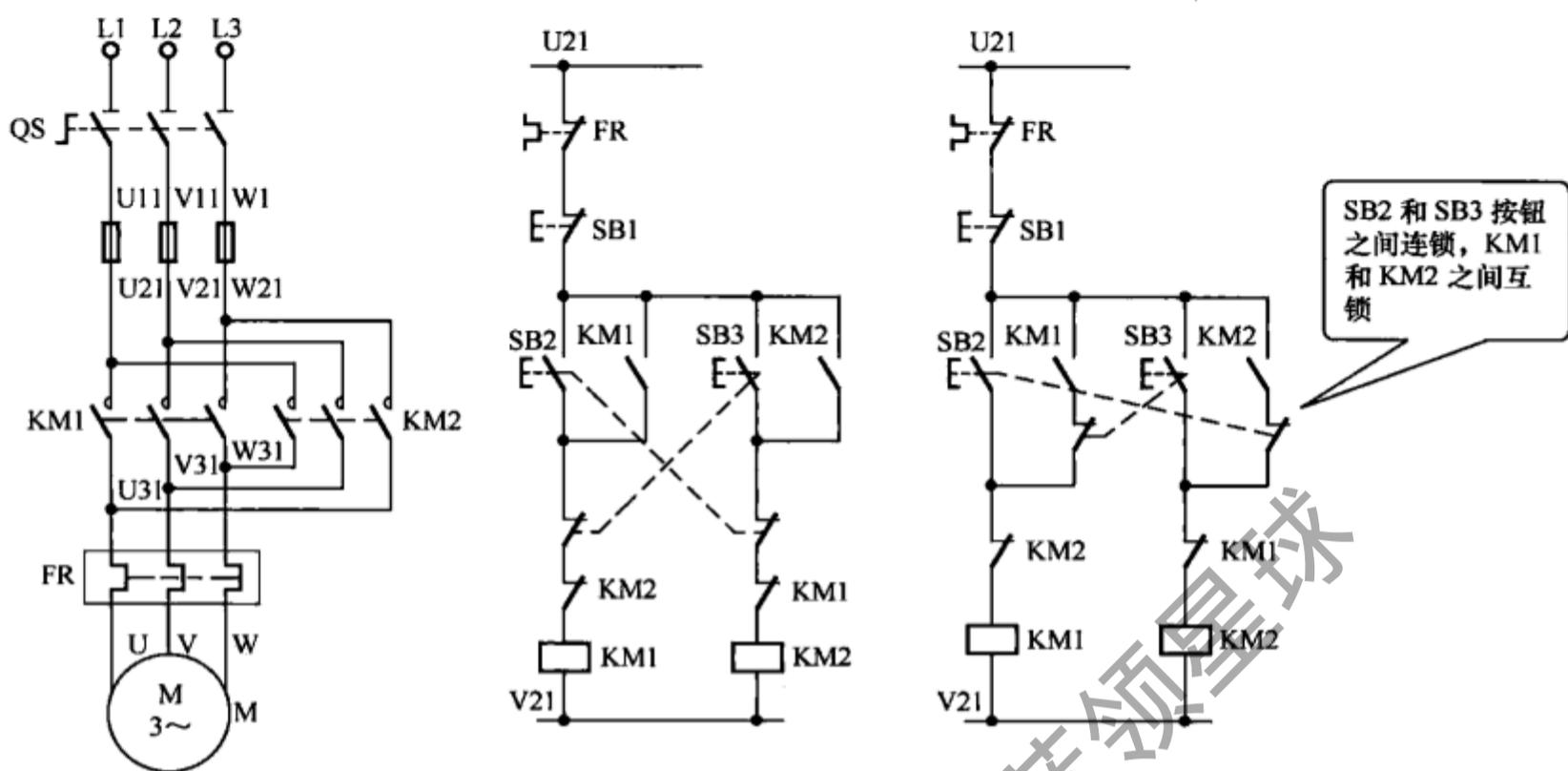
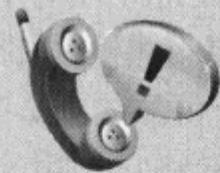


图 2-7 双重互锁正反转控制电路

主电路中开关 QS 用于接通和隔离电源，熔断器对主电路进行保护，交流接触器的主触点控制电动机的启动运行和停止，使用两个交流接触器 KM1、KM2 来改变电动机的电源相序。当通电时，KM1 使电动机正转；而 KM2 通电时，使电源线 L1、L3 对调后接入电动机定子绕组，实现反转控制。由于电动机是长期运行，热继电器 FR 用于过载保护。FR 的动断辅助触点串联在线圈回路中。

在控制电路中，正反向启动按钮 SB2、SB3 都是具有动合、动断两对触点的复合按钮。SB2 的动合触点与 KM1 的一个动合辅助触点并联，SB3 的动合触点与 KM2 的一个动合辅助触点并联。动合辅助触点称为自保触点，而触点上下端子的连接线称为自保线。由于启动后 SB2、SB3 失去控制，动断按钮 SB1 串联在控制电路的主回路中，用于停车控制。SB2、SB3 的动断触点和 KM1、KM2 的各一个动断辅助触点都串联在相反转向的接触器线圈回路中，当操作任意一个启动按钮时，SB2、SB3 的动断触点先分断，使相反转向的接触器断电释放，同时确保 KM1（或 KM2）要动作时必须是 KM2（或 KM1）确实复位，因而可防止两个接触器同时动作而造成相间短路。每个按钮上起这种作用的触点叫连锁触点，而两端的接线叫连锁线。当操作任意一个按钮时，其动断触点先断开，而接触器通电动作时，先分断动断辅助触点，使相反方向的接触器断电释放，起到了双重互锁的作用。



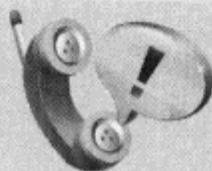
**提示**

按钮、接触器双重互锁正反转控制电路是正反转控制电路中最复杂的一个电路，也是最完美的一个电路。在按钮、接触器双重互锁正反转控制电路中，既用到了按钮之间的连锁，同时又用到了接触器触点之间的互锁，从而保证了电路的安全。



想  
—  
想

在电动机正反转控制电路中, 如果没有接触器互锁电路, 将会怎样?



提  
示

在电动机的正反转控制电路中, 如果没有互锁电路, 正转用接触器的主触点和反转用接触器的主触点同时闭合时, 将会怎样呢? 请看图 2-8 中三相电源的 R 相和 T 相, R 相和 T 相线间为完全短路状态, 有很大的短路电流流过, 会产生烧损事故。因此, 两个接触器的主触点决不可同时闭合, 而必须互锁。

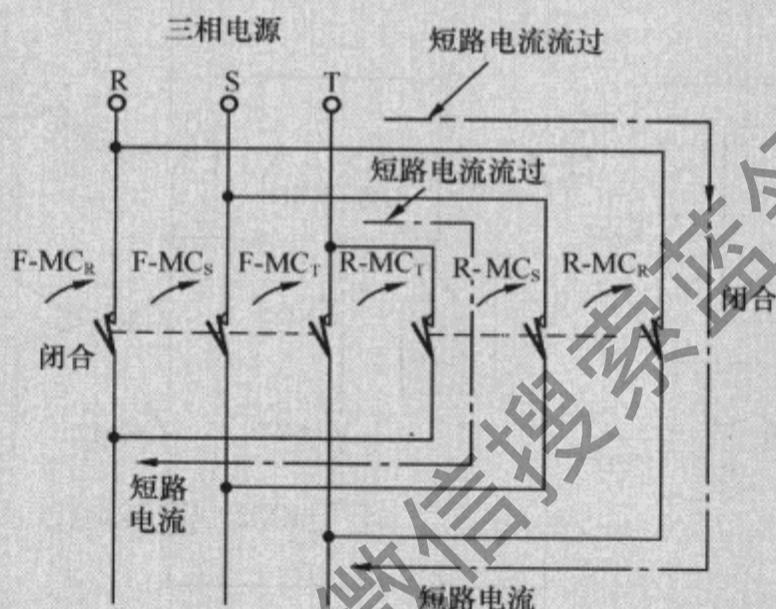


图 2-8 没有接触器互锁时电路中形成短路电流示意图

### 2.1.3

## 限位控制和循环控制电路

——行程开关位置限, 控制电机速断电

生产过程中一些生产机械运动部件的行程或位置要受到限制, 或者需要其运动部件在一定范围内自动往返循环等。如在摇臂钻床、万能铣床、桥式起重机及各种自动或半自动控制机床设备中就经常遇到这种控制要求, 而实现这种控制要求所依靠的主要电器是位置开关(如行程开关、接近开关等)。

### 1. 正反转限位电路

限位控制又称位置控制或行程控制, 是依靠位置开关的触点状态变化来实现对电路的控制。位置开关是一种将机械信号转换为电气信号以控制运动部件位置或行程的自动控制电器。而限位控制是利用生产机械运动部件上的挡铁与位置开关碰撞, 压下位置开关触点, 使触点状态发生变化来接通或断开电路, 以实现生产机械运动部件的位置或行程的自动控制。

限位控制可分为自动控制 and 手动控制两大类。图 2-9 所示为手动正反转限位控制电路，工厂车间的行车常采用这种电路。行车的两头各安装一个位置开关 SQ1 和 SQ2，将这两个位置开关的动断触点分别串接在正转控制电路和反转控制电路中。行车前后装有挡铁，行车的行程和位置可通过位置开关的位置来调节。该电路采用两个接触器。

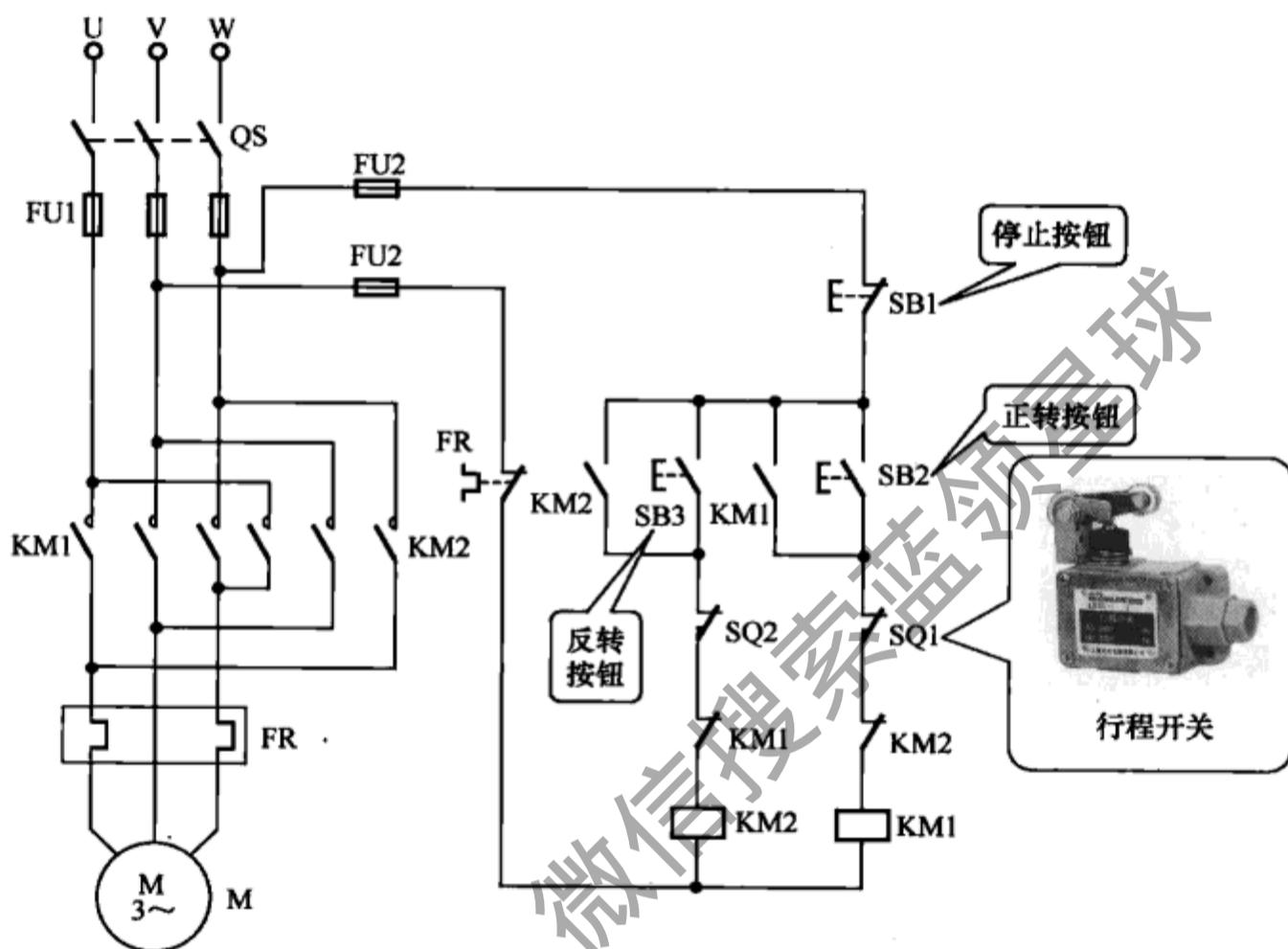


图 2-9 手动正反转限位控制电路

按下正转按钮 SB2，接触器 KM1 的线圈得电，电动机正转，运动部件向前或向上运动。当运动部件运动到预定位置时，装在运动部件上的挡块碰压行程开关 SQ1、SQ2（或接近开关接收到信号），其动断触点断开，接触器线圈失电，电动机断电、停转。这时再按正转按钮已不起作用。若按下反转按钮 SB3，则 KM2 得电，电动机反转，运动部件向后或向下运动，挡块碰压行程开关或接近开关接收到信号，其动断触点断开，电动机停转。若要在运动途中停车，应按下停车按钮 SB1。

将图 2-9 所示的手动正反转限位控制电路中的行程开关用 4 个具有动合、动断触点的行程开关（或接近开关）SQ1、SQ2、SQ3、SQ4 更换，如图 2-10 所示。其中，SQ1、SQ2 用来自动换接电动机正反转控制电路，实现工作台的自动往返行程控制；SQ3、SQ4 用于终端保护，以防止 SQ1、SQ2 失灵，工作台越过极限位置而造成事故。图中的 SB1、SB2 分别为正转启动按钮和反转启动按钮，如启动时工作台在右端，则按下 SB1 后工作台往左移动；如启动时工作台在左端，则按下 SB2 后工作台往右移动。

由此可见，在明白电路原理的前提下对电路进行局部改进，使其功能更完善，也没有多少高深莫测的学问，有一定经验的电工是完全能够做到的。

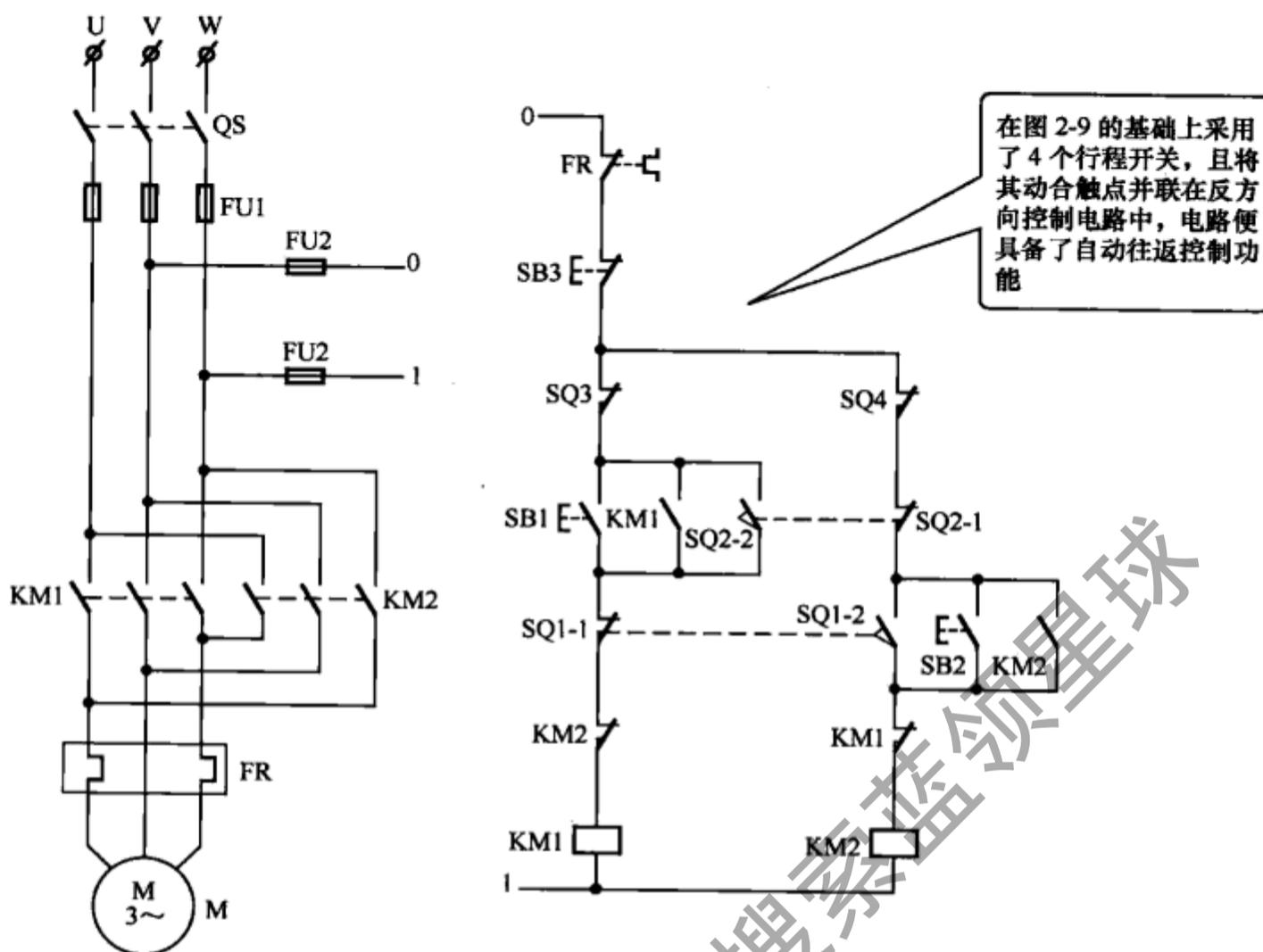


图 2-10 工作台自动往返控制电路

知识链接

限位断电控制电路和限位通电控制电路

限位断电控制电路如图 2-11 所示，运动部件在电动机拖动下到达预先指定位置时即自动断电停车。

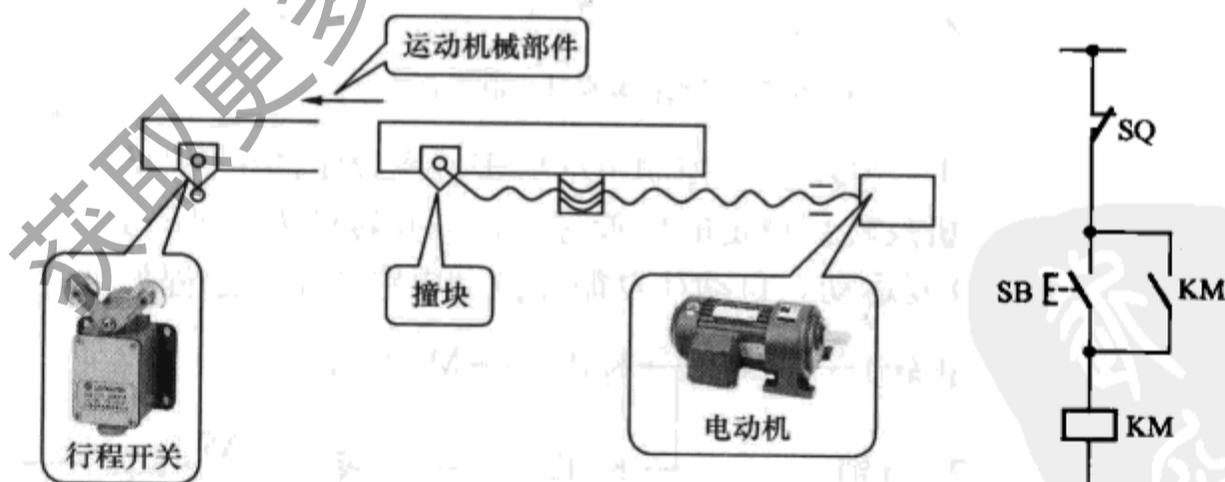


图 2-11 限位断电控制电路

该电路的工作过程如下。

$SB^+ \rightarrow KM \rightarrow M^+ (\text{启动}) \xrightarrow{\Delta S} SQ^+ \rightarrow KM^- \rightarrow M^- (\text{停车})$

其中， $\Delta S$ 是指运动一段距离，达到指定位置。

限位通电控制电路如图 2-12 所示，运动部件在电动机拖动下达到预先指定的地点后能够自动接通。图 2-12 (a) 所示为限位通电的点动控制电路，图 2-12 (b) 所示为限位通电的长动控制电路。

该电路的工作原理为：电动机拖动生产机械运动到指定位置时，撞块压下行程开关 SQ，使接触器 KM 的线圈得电而产生新的控制操作，如加速、返回、延时后停车等。

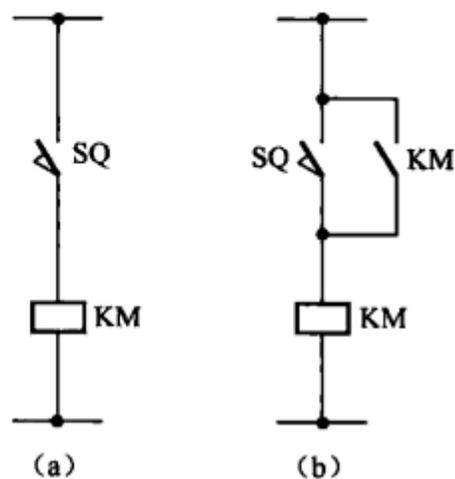


图 2-12 限位通电控制电路

## 2. 自动往复循环控制电路

图 2-13 所示为自动往复循环控制电路。

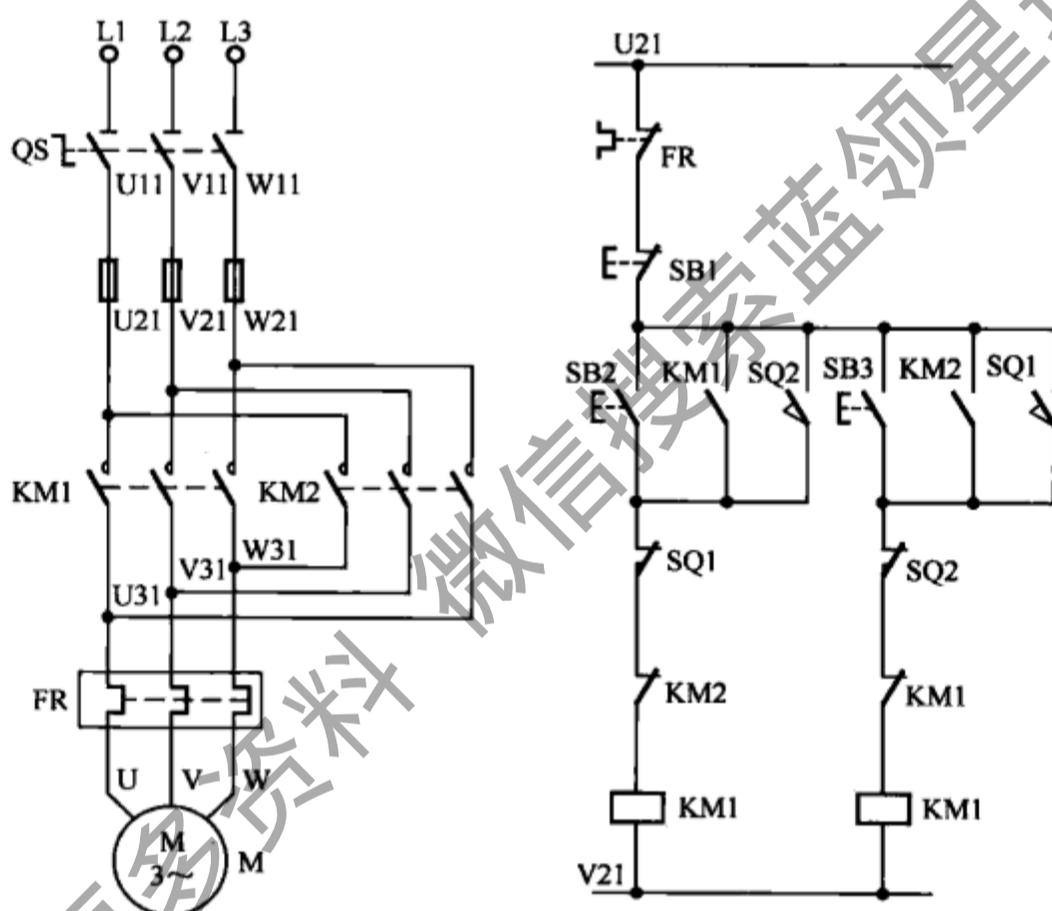
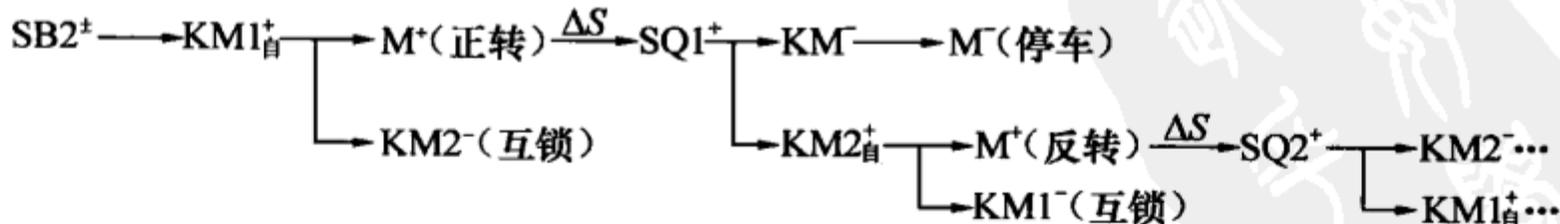


图 2-13 自动往复循环控制电路

行程开关安装在工作台上，SQ1 用于控制电动机正转到设定的位置时停止，并转换为反转方式；SQ2 用于控制电动机反转到设定的位置时停止，并转换为正转方式。工作台在行程开关 SQ1 和 SQ2 之间自动往复运动。自动往复循环控制电路的工作过程如下。

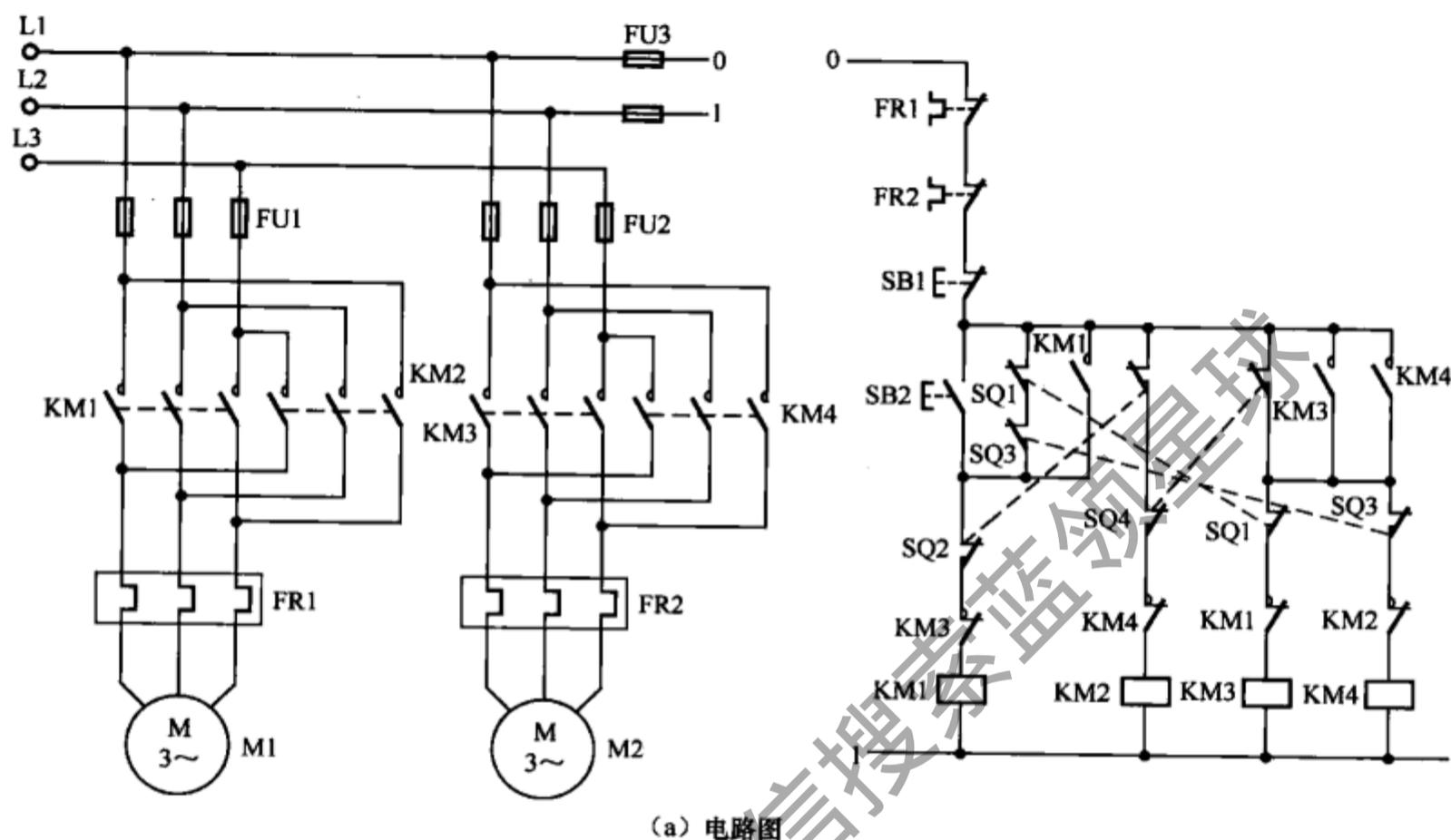


提示

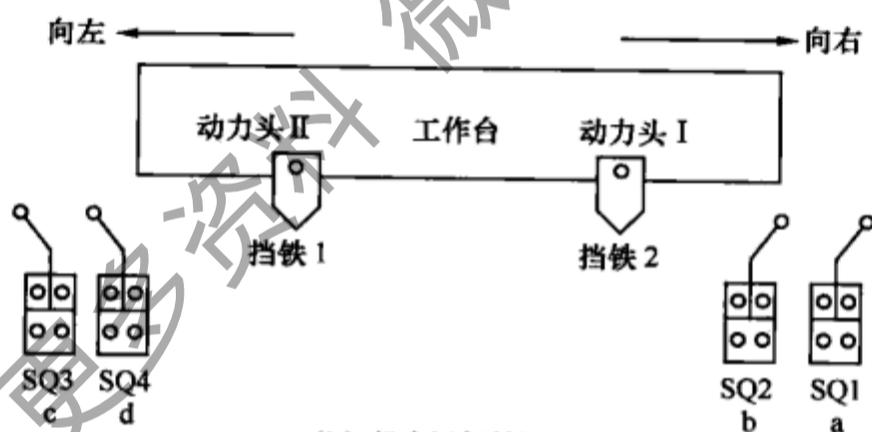
该电路适用于采用小容量电动机且往返不太频繁的控制场合。电动机带动工作台自动往复运动，若要在运动中停车，按下停车按钮 SB1 即可。

### 3. 两台电动机自动循环控制电路

图 2-14 (a) 所示为由两台电机构成的自动循环控制电路，其动力部件的构成及自动循环工作过程如图 2-14 (b) 所示。



(a) 电路图



(b) 机床运行简图

图 2-14 由两台动力部件构成的自动循环控制电路

此控制电路可完成这样一个工作循环：首先使动力头 I 由位置 b 移到位置 a 后停下，然后动力头 II 由位置 c 移到位置 d 停住，接着使动力头 I 和 II 同时退回原位停下。

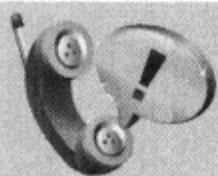
限位开关 SQ1、SQ2、SQ3、SQ4 分别装在床身上的 a、b、c、d 处。电动机 M1 带动动力头 I，电动机 M2 带动动力头 II。动力头 I 和 II 在原位时分别压下 SQ1 和 SQ2。电路的工作过程如下。

按启动按钮 SB2，接触器 KM1 得电并自锁，使电动机 M1 正转，动力头 I 由原位 b 点向 a 点前进。

当动力头到 a 点位置时，SQ2 限位开关被压下，结果使 KM1 失电，动力头 I 停止；同时使 KM2 得电动作，电动机 M2 正转，动力头 II 由原位 c 点向 d 点前进。

当动力头 II 到达 d 点时，SQ4 被压下，结果使 KM2 失电，与此同时 KM3 与 KM4 得电

动作并自锁，电动机 M1 与 M2 都反转，使动力头 I 与 II 都向原位退回。当退回到原位时，限位开关 SQ1、SQ2 分别被压下，使 KM3 和 KM4 失电，两个动力头都停在原位。同时，它们的动合触点闭合，使得 KM1 又得电，新的循环开始。



**提示**

该电路在机床运行电路中比较常见。SQ1、SQ2、SQ3 和 SQ4 的触点位置改变是工作台状态变换的条件。KM3 和 KM4 接触器的辅助动合触点起自锁作用，这样能够保障动力头 I 和 II 都能够退回到原位。如果只用一个接触器的触点自锁，那另一个动力头就可能出现没退回到原位而接触器就已失电的情况。

## 2.1.4

### 电动机顺序控制电路

——电机启动分先后，时继延时应足够

在装有多台电动机的生产机械上，各电动机所起的作用是不同的，有时需按一定的顺序启动或停止，才能保证操作过程的合理和工作的安全可靠，这就是顺序控制。顺序控制可以通过控制电路实现，也可通过主电路实现。

#### 1. 两台电动机顺序控制电路

图 2-15 所示为两台电动机顺序控制电路，必须是 M1 先启动运行后，M2 才允许启动，对停止则无要求。

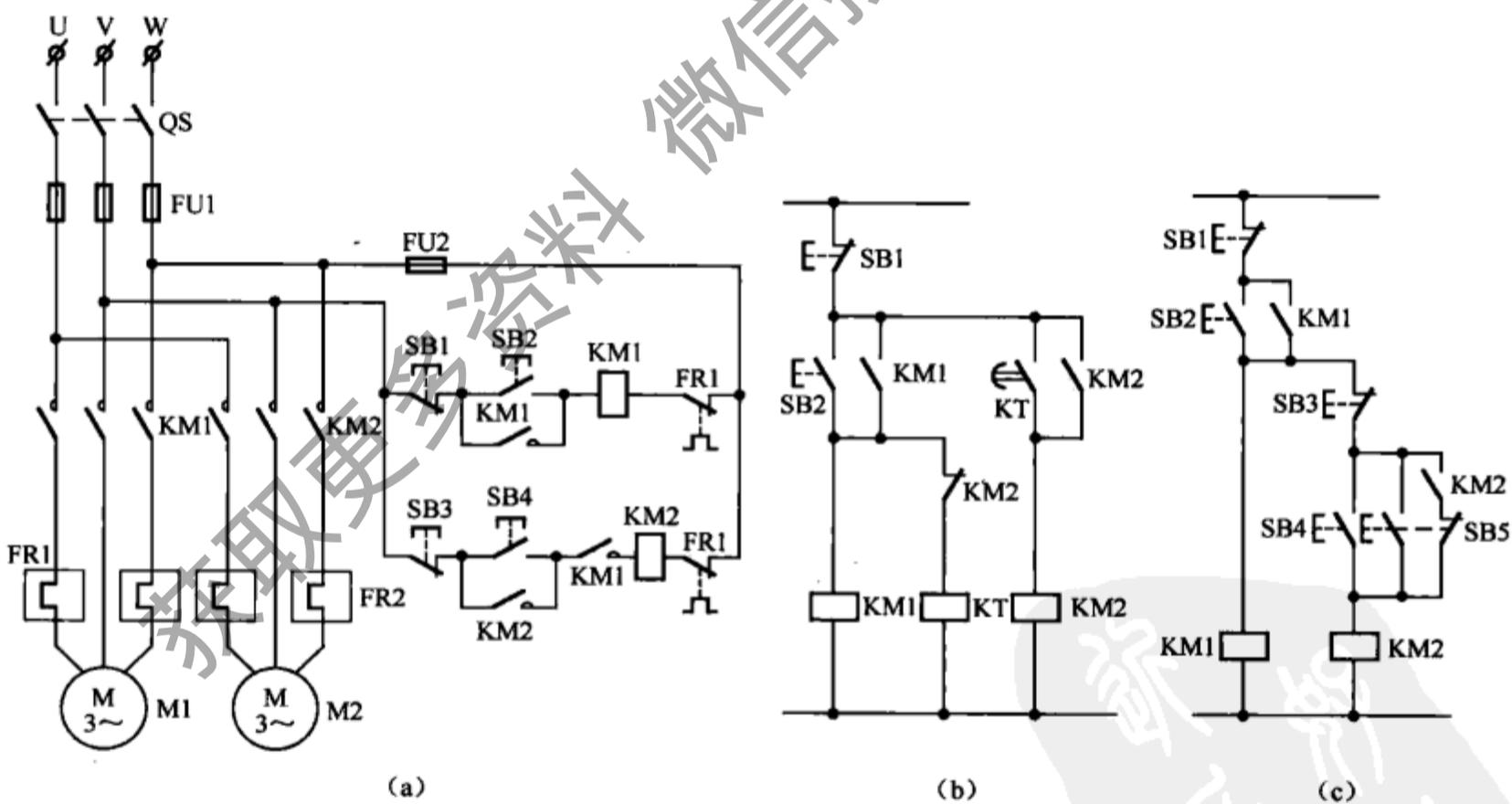


图 2-15 两台电动机顺序控制电路

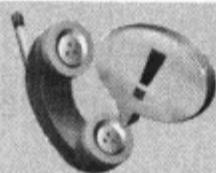
图 2-15 (a) 所示为两台电动机顺序启动连锁控制电路。启动时，必须先按下 SB2，KM1 才能得电而启动运行，同时 KM1 串联在 KM2 线圈回路中的动合触点闭合（辅助触点实现自锁），为 KM2 线圈得电做准备。当 M1 运行后，按下 SB4，KM2 得电，其主触点闭合（辅助触点实现自锁），M2 启动运行。

停止时有以下两种方式。

① 按顺序停止：当按下 SB3 时，KM2 断电，M2 停转；再按下 SB1，KM1 断电，M1 停转。

② 同时停止：直接按下 SB1，交流接触器 KM1、KM2 的线圈同时失电释放，各自的三相主触点均断开，两台电动机 M1、M2 同时断电停止工作。

图 2-15 (b) 所示是两台电动机自动延时启动电路。启动时，先按下 SB2，KM1 得电，M1 启动运行，同时时间继电器 KT 得电并延时闭合，使 KM2 线圈回路接通，其主触点闭合，M2 启动运行。若按下停车按钮 SB1，则两台电动机 M1、M2 同时停车。图 2-15 (c) 所示是一台电动机先启动运行，然后才允许另一台电动机启动运行并具有点动功能的电路。启动时，按下 SB2，KM1 得电而启动运行。这时按下 SB4，使 KM2 得电，M2 启动并连续运行。若此时按下 SB5，M2 就变为点动运行，因为 SB5 的动断触点断开了 KM2 的自锁回路。



**提示**

该电路的控制形式是在主电路中实现顺序控制。有的工作设备的操作是有顺序限制的，尤其是启动控制时先启动哪一个电动机。图 2-15 (b) 和图 2-15 (c) 的主电路与图 2-15 (a) 相同，接触器 KM1 和 KM2 分别用于控制两台电动机 M1 和 M2。

在电路中，继电器和接触器的线圈只能并联，而不能串联。

## 2. 两台电动机顺序启动逆序停止控制电路

图 2-16 所示为两台电动机顺序启动逆序停止控制电路。

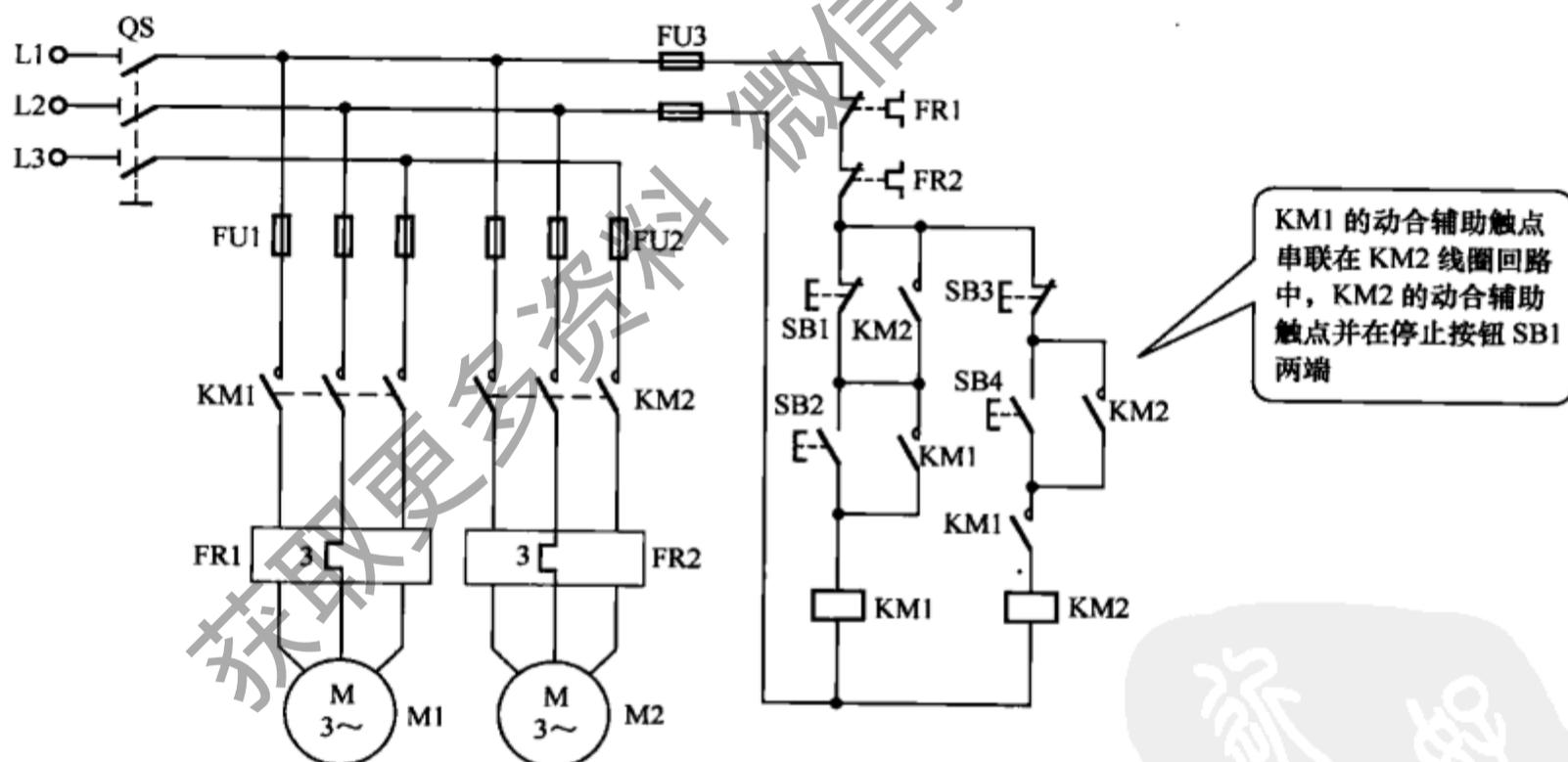
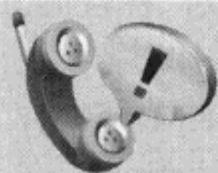


图 2-16 两台电动机顺序启动逆序停止控制电路

按下 SB2，接触器 KM1 得电吸合并自锁，其主触点闭合，电动机 M1 启动运转。由于 KM1 的动合辅助触点作为 KM2 得电的先决条件串联在 KM2 线圈回路中，所以，只有在 M1 启动后 M2 才能启动，实现了按顺序启动。

需要电动机停转时，如果先按下电动机 M1 的停止按钮 SB1，由于 KM2 的动合辅助触点作为 KM1 失电的先决条件并联在 SB1 的两端，所以，M1 不能停止运转。只有在按下电动机

M2 的停止按钮 SB3 后，接触器 KM2 断电释放，M2 停止运转，这时再按下 SB1，电动机 M1 才能停止运转。这就实现了两台电动机按照顺序启动、逆序停止的控制。



**提示**

该电路的控制形式：在控制电路中实现顺序控制。

该电路的控制特点：将 KM1 的动合辅助触点串联在 KM2 线圈回路中，同时将 KM2 的动合辅助触点并联在 KM1 的停止按钮 SB1 两端。这种连接方法实现的电路功能是，启动时启动 M1 后才能启动 M2，停止时 M2 停转后 M1 才能停转，即两台电动机按照先后顺序启动、以逆序停转。

### 2.1.5

## 电动机多点连锁控制

——按钮串联线圈中，多点控制很轻松

有时为减轻劳动者的生产强度，实际生产中常常在两处以上同时控制一台电气设备，这就是多地控制，也称为多点控制。图 2-17 所示为电动机两点控制电路。

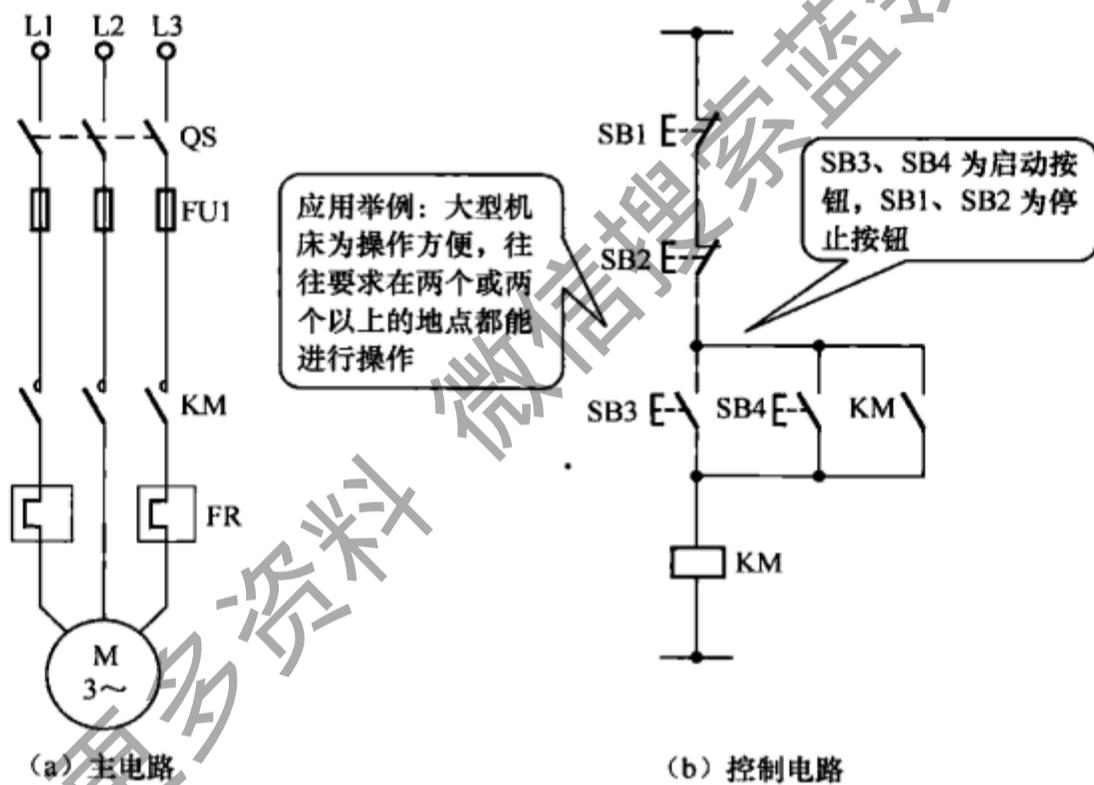


图 2-17 电动机两点控制电路

在该电路中，将启动按钮 SB3、SB4 全部并联在自锁触点两端，按下任何一个都可以启动电动机。停止按钮 SB1、SB2 全部串联在接触器线圈回路中，按下任何一个都可以停止电动机的工作。该电路可实现在两个地点控制同一台电动机的启动和停转。



**提示**

两地控制电路的主电路与电动机正转电路相同，不同的是控制电路。要实现三地或多地控制，只要把各地的启动按钮并联、停止按钮串联即可。

如果将上述控制电路用图 2-18 所示的电路更换，就可实现在三地控制一台电动机的启停。图中，SB1、SB4 为第一个地点控制按钮，SB2、SB5 为第二个地点控制按钮，SB3、SB6 为第三个地点控制按钮。

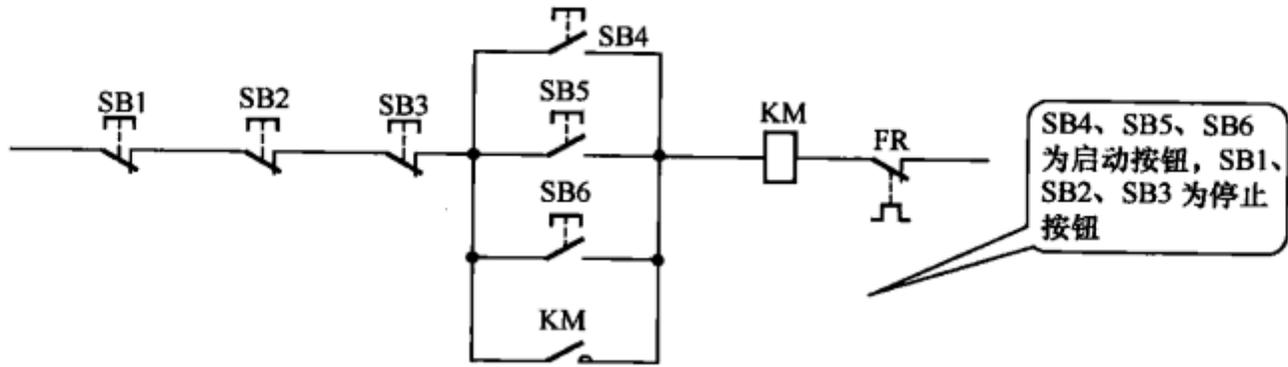


图 2-18 电动机三点控制电路

### 2.1.6

## 电动机时间控制电路

——时间延时继电器，控制电路接触器

### 1. 通电延时型时间继电器控制电路

图 2-19 所示为通电延时型时间继电器控制电路，其控制过程如下。

$$SB2^{\pm} \longrightarrow KA_{\text{on}}^{+} \longrightarrow KT^{+} \xrightarrow{\Delta S} KM^{+}$$

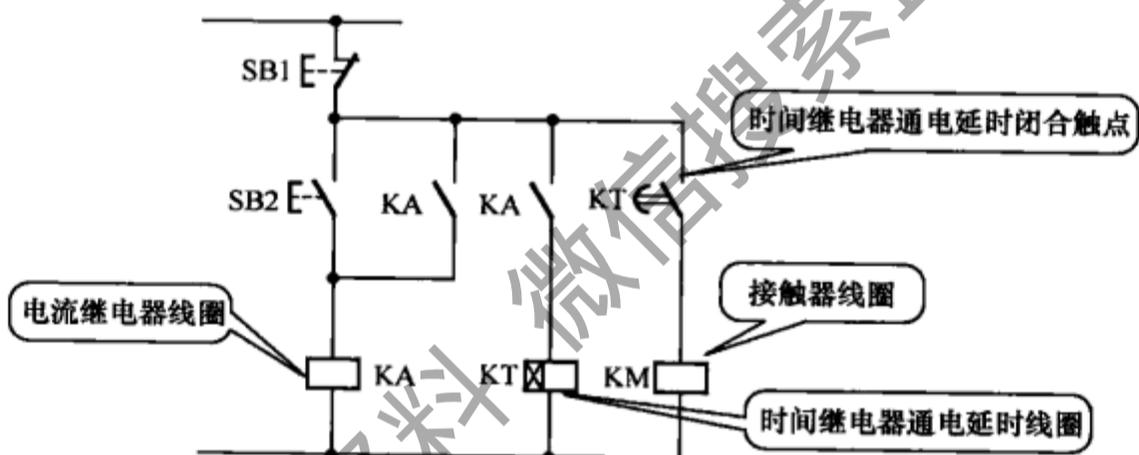


图 2-19 通电延时型时间继电器控制电路

### 2. 断电延时型时间继电器控制电路

图 2-20 所示为断电延时型时间继电器控制电路。KT 为断电延时型时间继电器，其动合延时断开触点在线圈得电时立即闭合，线圈断电后经延时后该触点断开。

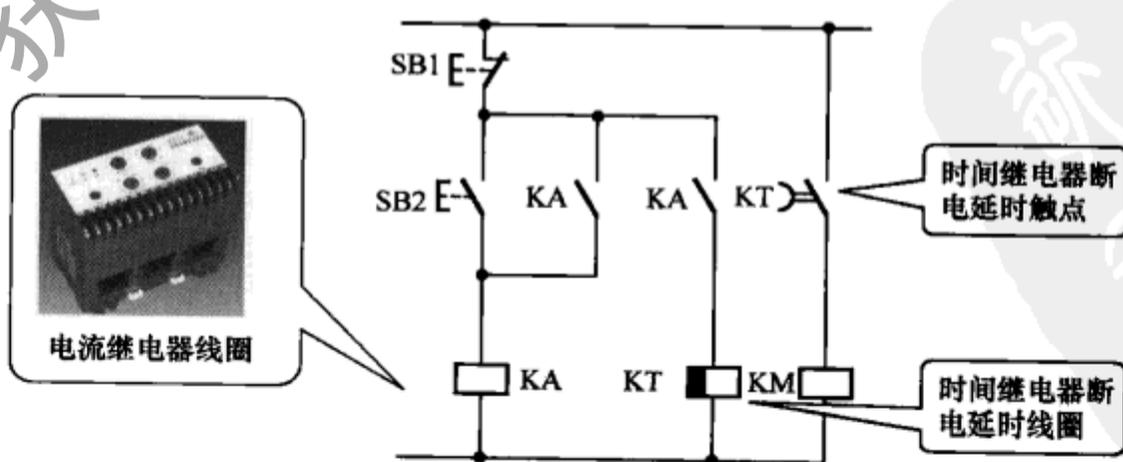


图 2-20 断电延时型时间继电器控制电路

该电路的控制过程如下。

$$SB2^{\pm} \longrightarrow KA^{+} \longrightarrow KT^{+} \longrightarrow KM^{+}$$

$$SB1^{\pm} \longrightarrow KA^{-} \longrightarrow KT^{-} \xrightarrow{\Delta t} KM^{-}$$

### 3. 按时间控制的自动循环控制电路

图 2-21 所示为按时间控制的自动循环控制电路。

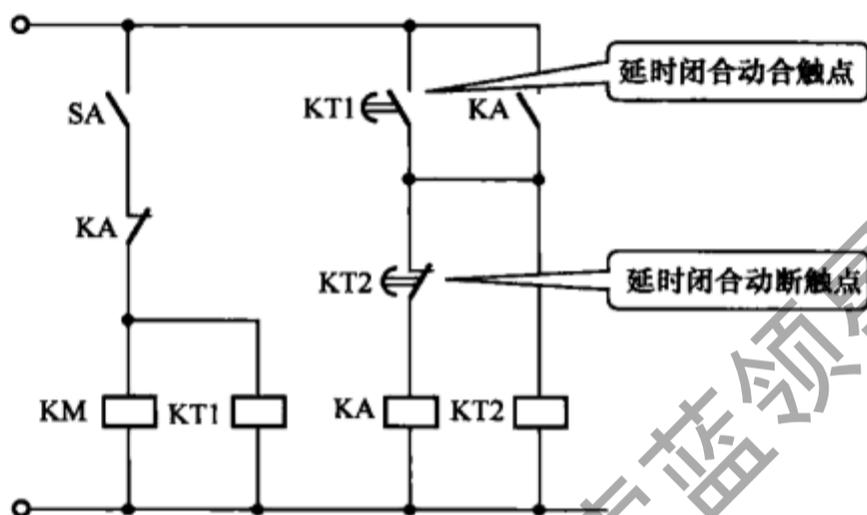


图 2-21 按时间控制的自动循环控制电路

当控制开关 SA 置于间歇运行位置时，开始时刻 KM 得电，使电动机启动运行，同时时间继电器 KT1 得电。当 KT1 的延时时间到时，其动合触点闭合，使中间继电器 KA、时间继电器 KT2 得电，KA 的动断触点断开，使 KM 失电，电动机停止运行。当 KT2 的延时时间（间歇时间）到时，其动断触点断开，使 KA 失电。KA 的动合触点断开，使 KT2 失电；KA 的动断触点闭合，使 KM 又得电，电动机启动运行，系统进入循环过程。

#### 知识链接

#### 时间继电器的选择

感受部分在感受外界信号后，经过一段时间才能使执行部分动作的继电器，叫做时间继电器。时间继电器的吸引线圈通电或断电以后，其触点经过一定延时后再动作，以控制电路的接通或分断。时间继电器的种类很多，主要有直流电磁式、空气阻尼式、电动机式和电子式等几大类。

选择时间继电器时主要应注意以下几点。

① 时间继电器的延时方式有通电延时和断电延时两种，因此，选用时应确定采用哪种延时方式更方便组成控制电路。

② 凡对延时精度要求不高的场合，一般采用价格较低的直流电磁式或空气阻尼式时间继电器；若对延时精度的要求很高，则宜采用电动机。

③ 应注意电源参数变化的影响。如在电源电压波动大的场合，采用空气阻尼式或直流电磁式时间继电器比采用电子式时间继电器好；而在电源频率波动大的场合，则不宜采用电动机式时间继电器。

④ 应注意环境温度变化的影响。通常在环境温度变化较大处不宜采用空气阻尼式和电子式时间继电器。

⑤ 对操作频率也要加以注意，因为操作频率过高不仅会影响电气寿命，还可能导致延时误动作。

### 法师和牧师

一个法师和一个牧师在讨论他们各自的募捐箱中的钱是如何分配的。

牧师说：“我们将五分之四交给基督徒慈善机构，剩下的五分之一归我们自己作为教区的维持费用。”

法师说：“每个星期，我和我妻子以及两个孩子分别抓住桌布的每一个角落，将钱放在中间，我们把钱高高抛向空中交给上帝，他需要，他就拿，落回地面的钱就归我们。”



## 2.2 三相异步电动机启停保护和速度控制电路——运行四态

额定容量为上限，不可随便改用途。  
电机运行有四态，启停保护和变速。  
启动电流力求小，停机之前要减速。  
电机过载发热快，得到保护应迅速。  
改变绕组磁极数，多速电机可调速。

三相异步电动机作为生产中最常见、最基本的动力源装置，它只允许在额定电流下运行，其基本运行工况有4种，即启动、停止、保护和变速控制。

### 2.2.1 三相异步电动机降压启动控制电路 ——初始启动先降压，克服全压电流大

大家知道，三相交流异步电动机直接启动电流很大，一般为正常工作电流的4~7倍，如果电源容量有限，则启动电流可能会明显地影响同一电网中其他电气设备的正常运行。因此，对于笼型异步电动机可采用定子串电阻降压启动、定子串自耦变压器降压启动、星—三角形降压启动、延边三角形降压启动等方式，而对于绕线型异步电动机还可采用转子串电阻启动、转子串频敏变阻器启动等方式以限制启动电流。

### 1. 定子串电阻降压启动控制电路

定子串电阻降压启动是指启动时在电动机定子绕组上串联电阻，启动电流在电阻上产生电压降，使实际加到电动机定子绕组中的电压低于额定电压，待电动机转速上升到一定值后，再将串联电阻短接，使电动机在额定电压下运行。

#### (1) 按钮控制电动机定子串电阻降压启动电路

图 2-22 所示为按钮控制电动机定子串电阻降压启动电路。

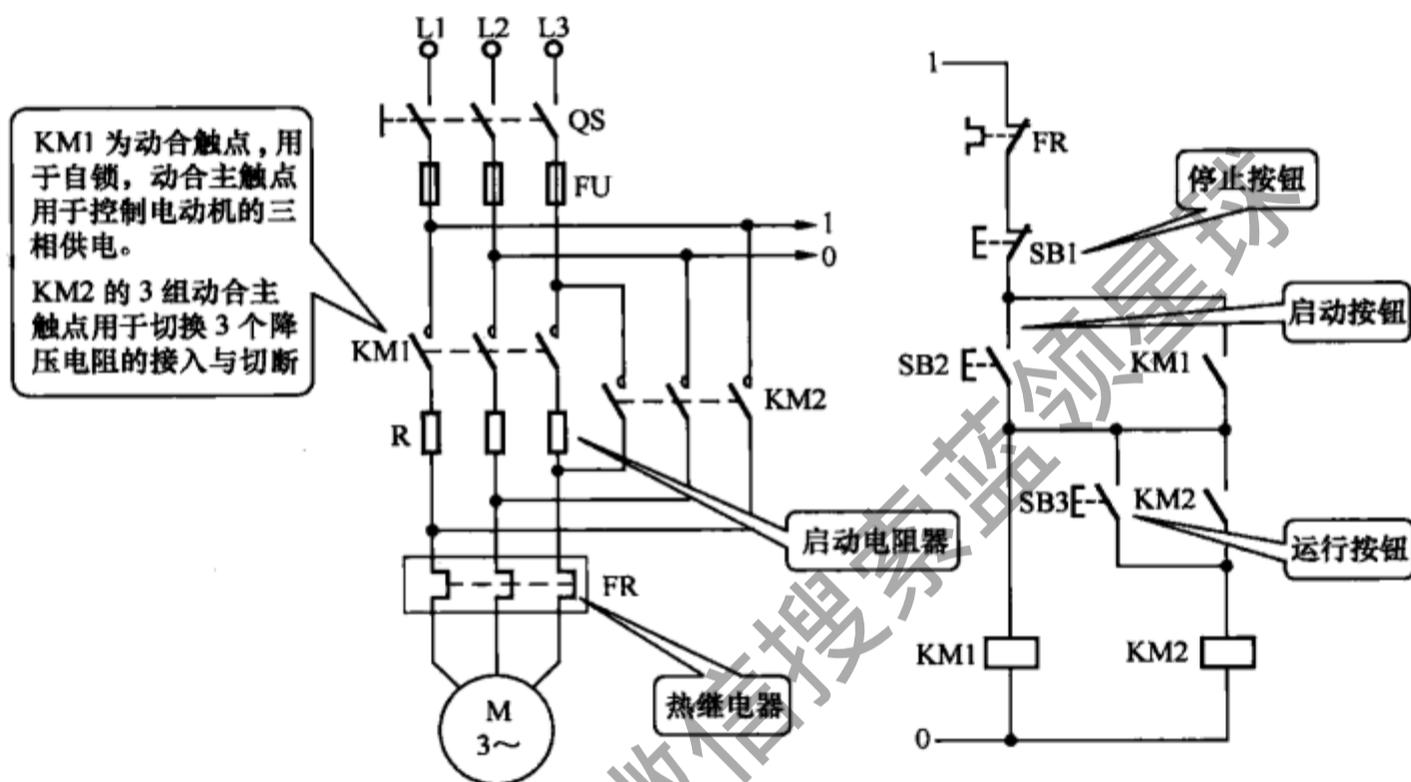


图 2-22 按钮控制电动机定子串电阻降压启动电路

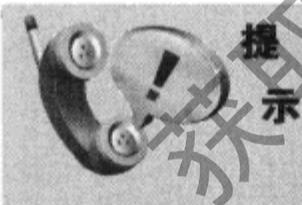
启动时，合上电源开关 QS。

SB2<sup>+</sup> → KM1<sup>+</sup> → M<sup>+</sup> (串电阻 R 降压启动) → n<sub>2</sub> ↑ ...

SB3<sup>+</sup> → KM2 (短接降压电阻 R) → M<sup>+</sup> (全压运行)

其中，n<sub>2</sub> ↑ 是指转子转速上升。

按下 SB1，电动机停止运行。



**提示**

定子串电阻降压启动控制电路的优点：结构简单，动作可靠，有利于提高功率因数。

定子串电阻降压启动控制电路的缺点：如果过早按下运行按钮 SB3，电动机还没有达到额定转速就加全压，会引起较大的启动电流，并且启动过程要分两次按下 SB2 和 SB3，也显得很不方便。因此，不能实现启动全过程自动化。通常在采用中、小容量电动机且不经常启动时，才采用这种方法。

#### 知识链接

#### 启动电阻的估算

启动电阻一般采用 ZX1、ZX2 系列的铸铁电阻。铸铁电阻功率大，能够通过较大的电流。

启动电阻 R 的阻值可用以下近似公式计算。

$$R = 190 \times \frac{I_1 - I_2}{I_1 I_2}$$

式中： $I_1$  为未串联电阻前的启动电流 (A)，一般  $I_1 = (4 \sim 7)I_N$ ， $I_N$  为电动机的额定电流 (A)； $I_2$  为串联电阻后的启动电流 (A)，一般  $I_2 = (2 \sim 3)I_N$ 。

启动电阻的功率可用公式  $P = I_N^2 R$  计算。因启动电阻仅在启动过程中接入，而且启动时间很短，所以，实际选用的电阻功率可为计算值的  $1/4 \sim 1/3$ 。

### (2) 时间继电器控制电动机定子串电阻降压启动电路

时间继电器控制电动机定子串电阻降压启动电路如图 2-23 所示，其主电路与图 2-22 相同。

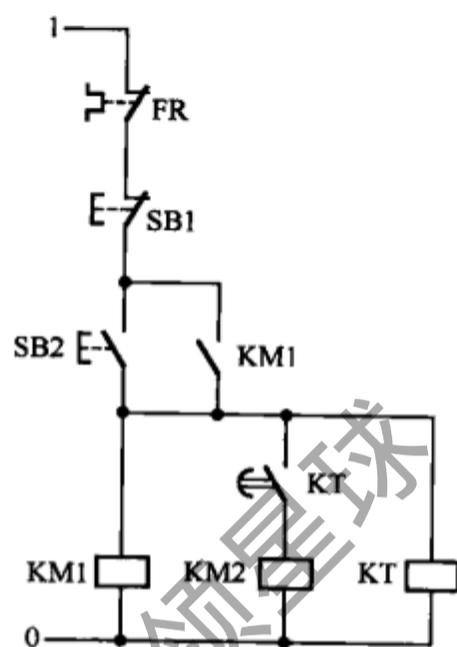
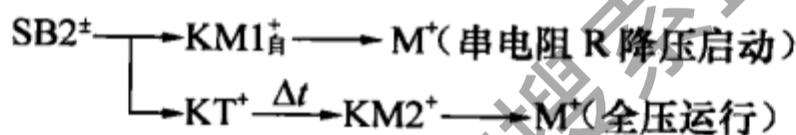


图 2-23 时间继电器控制电动机定子串电阻降压启动电路



该电路在图 2-22 所示的控制电路基础上增加了一个时间继电器。当合上开关 QS，按下启动按钮 SB2 后，交流接触器 KM1 与时间继电器 KT 的线圈同时得电工作。电动机得电启动工作，时间继电器 KT 的线圈得电以后进入延时状态，延时到预定时间时，其延时闭合触点闭合，又接通了交流接触器 KM2 线圈的供电，其动合主触点闭合，使 3 个启动电阻被短接，电动机顺利进入正常运行状态。

该电路的缺点是：按下启动按钮 SB2 后，电动机 M 先串电阻 R 降压启动，经一定延时（由时间继电器 KT 确定）后，电动机 M 才全压运行。但在全压运行期间，时间继电器 KT 和接触器 KM1 的线圈均通电，不仅消耗电能，而且缩短了电器的使用寿命。

该电路仅适用于对启动要求不高的轻载或空载场合。

## 2. 电动机星—三角形降压启动电路

对于正常运行时电动机额定电压等于电源线电压、定子绕组为三角形连接方式的三相交流异步电动机，可以采用星—三角形降压启动方式。它是指启动时将电动机定子绕组接成星形，待电动机的转速上升到一定值时，再换成三角形连接。这样，电动机启动时每相绕组的工作电压为正常时绕组电压的  $1/\sqrt{3}$ ，启动电流为三角形直接启动时的  $1/3$ 。

这种启动方法只适用于正常工作定子绕组作三角形连接的电动机，且只适用于空载或轻载启动。

### (1) 手动控制的电动机星—三角形降压启动电路

图 2-24 所示为手动控制的电动机星—三角形降压启动电路。手动控制开关 SA 有两个位置，分别对应的是电动机定子绕组的星形和三角形连接。

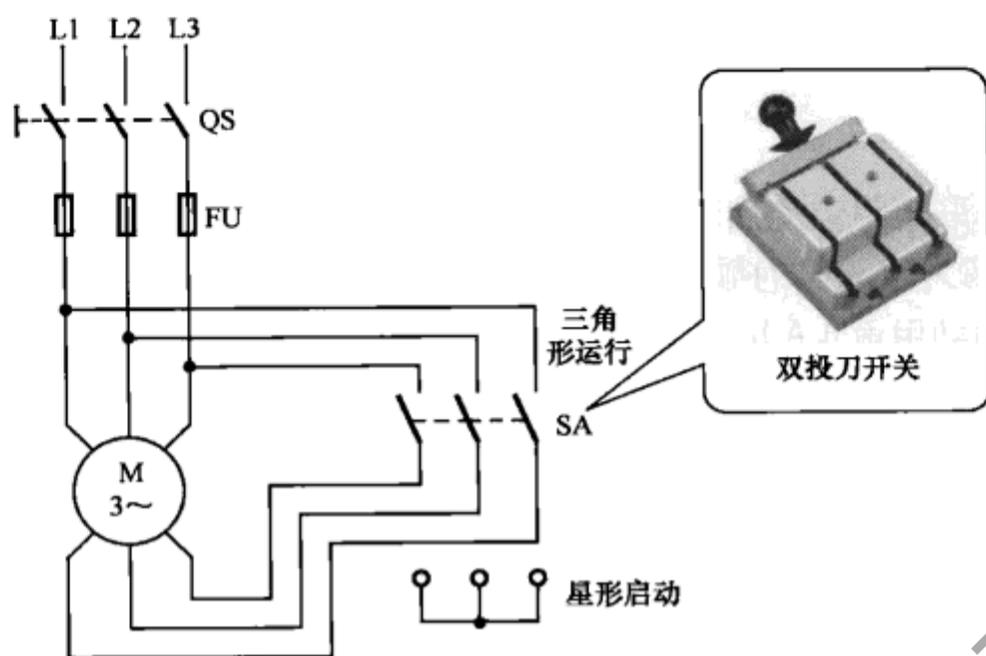


图 2-24 手动控制的电动机星—三角形降压启动电路

启动时，将开关 SA 置于“启动”位置，电动机定子绕组被接成星形，电动机降压启动。当电动机转速上升到一定值后，再将开关 SA 置于“运行”位置，电动机定子绕组接成三角形连接方式，电动机全压运行（正常运行状态）。



**提示**

该电路较简单，SA 可选用一把可双向控制的三相刀开关，也可用两把单向的三相刀开关。

### (2) 自动控制的电动机星—三角形降压启动电路

图 2-25 所示为采用接触器自动控制的电动机星—三角形降压启动电路。图中使用了 3 个接触器（KM1、KM2、KM3）、一个通电延时型时间继电器（KT）和两个按钮。时间继电器 KT 用于控制星形连接降压启动时间和完成星形和三角形的自动切换。

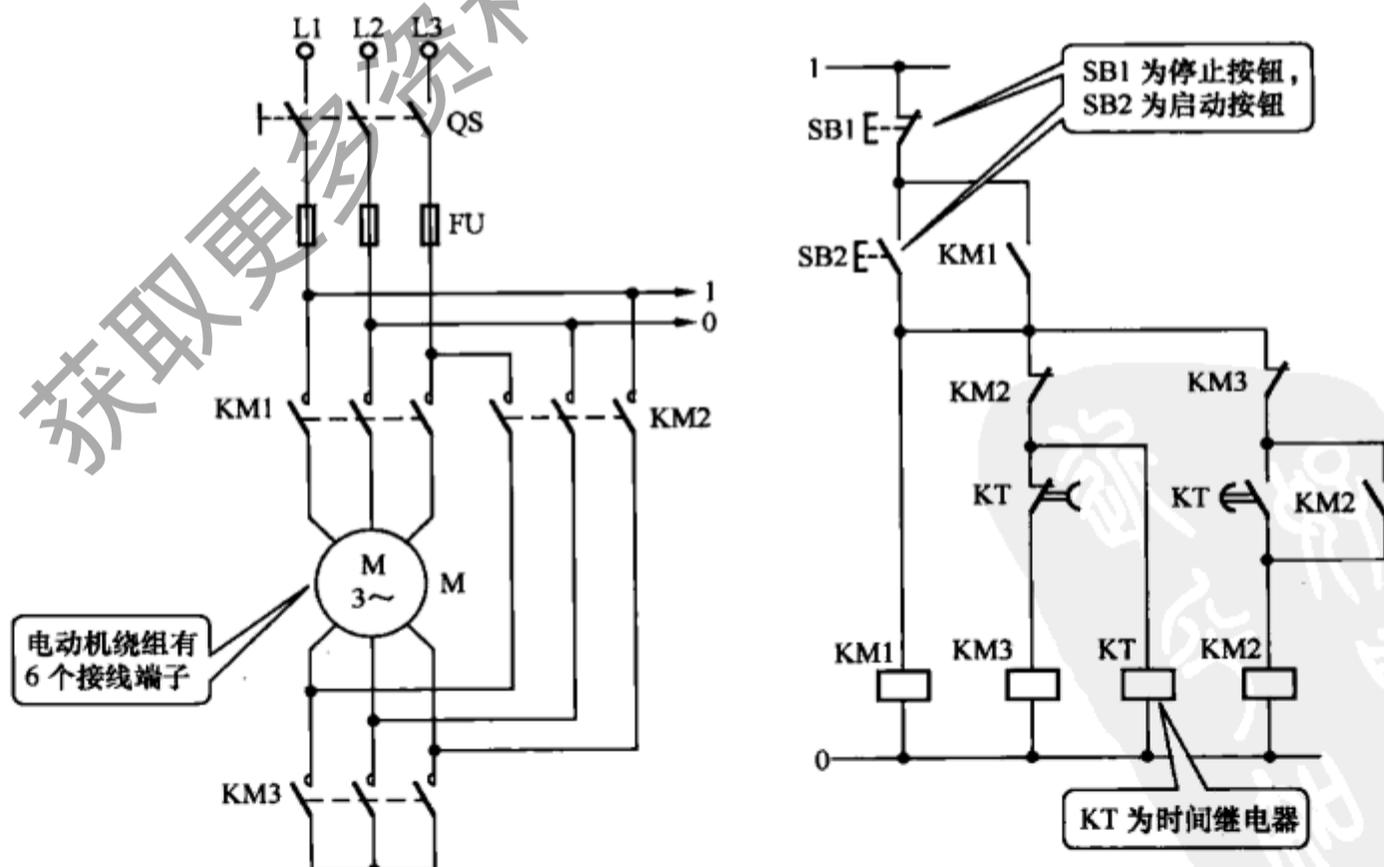
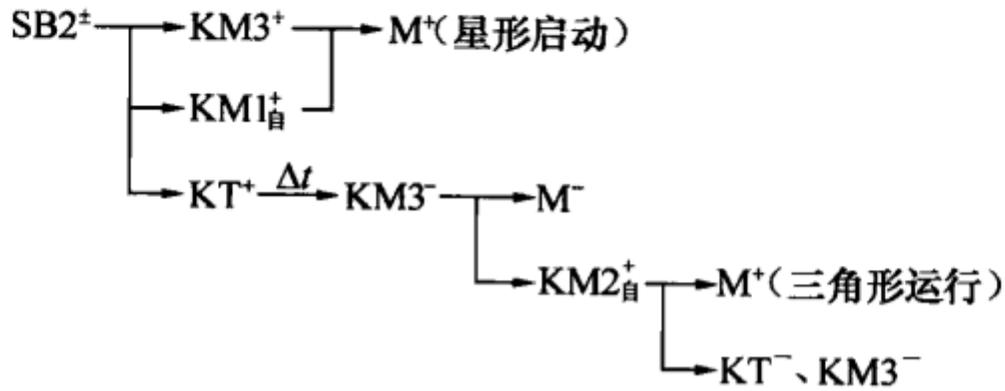


图 2-25 接触器自动控制的电动机星—三角形降压启动电路

当接触器 KM1、KM3 的主触点闭合时，电动机 M 按星形连接；当接触器 KM1、KM2 的主触点闭合时，电动机 M 按三角形连接。



停止时，按下 SB1 即可。

在该电路中，KM3 的主触点是在无负载的条件下闭合的，故可延长接触器 KM3 主触点的使用寿命。

在该电路中，电动机 M 三角形运行时，时间继电器 KT 和接触器 KM3 均断电释放。这样，不仅使已完成星—三角形降压启动任务的时间继电器 KT 不再通电，而且可以确保接触器 KM2 通电后 KM3 无电，从而避免 KM3 与 KM2 同时通电而造成短路事故。

在该电路中，由于星形启动时启动电流为三角形连接时的 1/3，启动转矩也只有三角形连接时的 1/3，转矩特性较差，因此，该电路只适用于空载或轻载启动的场合。

图 2-26 所示为另一种自动控制电动机星—三角形降压启动的电路。它不仅只采用两个接触器 KM1、KM2，而且电动机由星形接法转为三角形接法是在切断电源的同时完成的。按下按钮 SB2，接触器 KM1 通电，电动机 M 接成星形启动，经一段时间后，KM1 瞬时断电，KM2 通电，电动机 M 接成三角形，然后 KM1 再重新通电，电动机 M 按三角形全压运行。该电路的工作原理请读者自己分析。

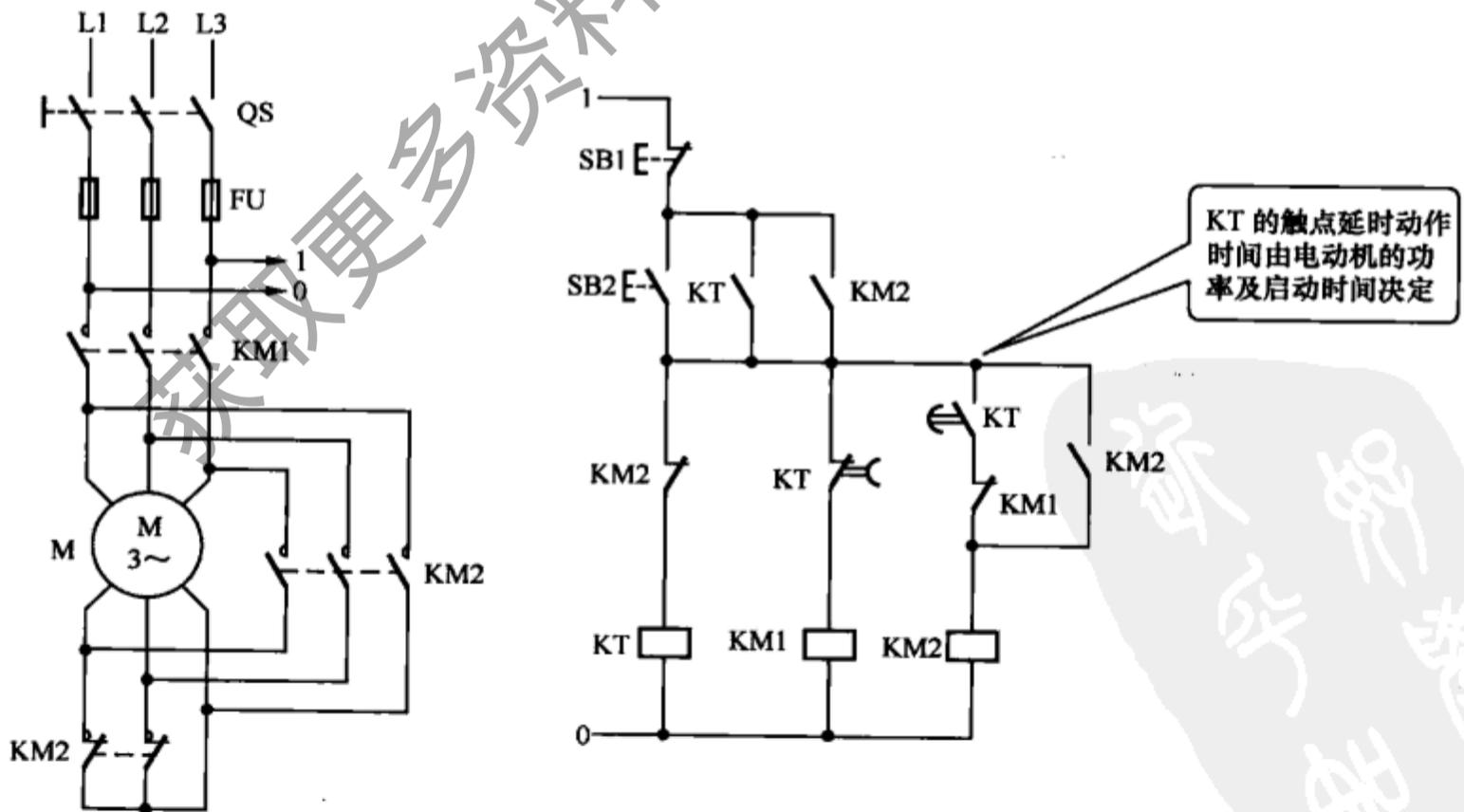


图 2-26 自动控制电动机星—三角形降压启动电路

### 3. 自耦变压器降压启动控制电路

对于容量较大的正常运行时定子绕组接成星形的笼型异步电动机，可采用自耦变压器降压启动。这里是指启动时将自耦变压器接入电动机的定子回路，待电动机的转速上升到一定值时，再切除自耦变压器，使电动机定子绕组获得正常工作电压。这样，启动时电动机每相绕组电压为正常工作电压的  $1/k$  ( $k$  是自耦变压器的匝数比， $k = N_1/N_2$ )，启动电流为全压启动电流的  $1/k^2$ 。

自耦变压器又称为补偿器，自耦变压器降压启动分为手动控制和自动控制两种。

#### (1) 自耦变压器降压启动手动控制电路

图 2-27 所示为自耦变压器降压启动手动控制电路。图中操作手柄有 3 个位置，即“停止”、“启动”和“运行”。操作机构中设有机械连锁机构，它使得操作手柄未经“启动”位置就不可能扳到“运行”位置，从而保证了电动机必须先经过启动阶段以后才能投入运行。

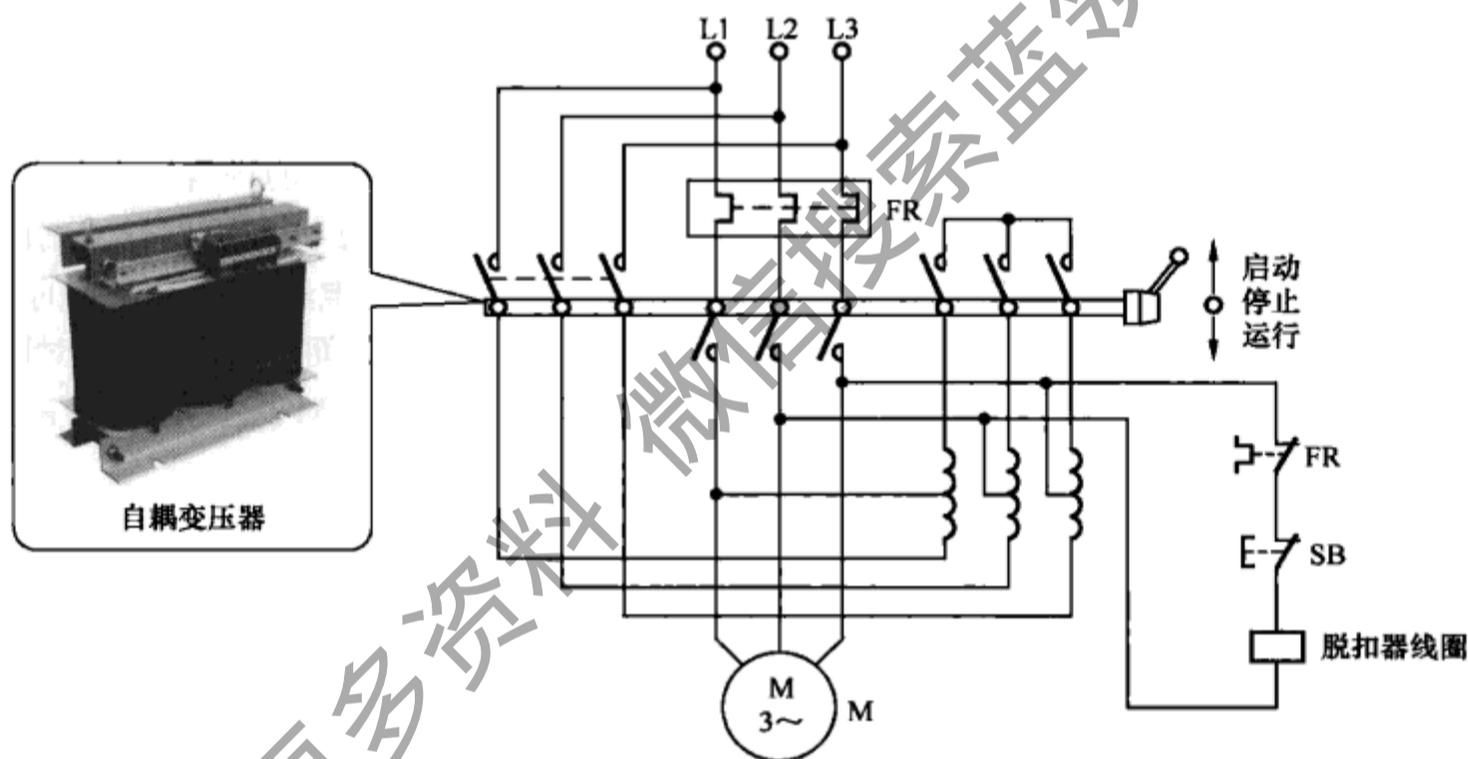
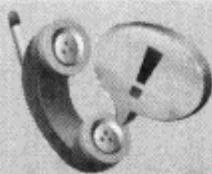


图 2-27 自耦变压器降压启动手动控制电路

当操作手柄位于“停止”位置时，所有的动、静触点都断开，电动机定子绕组断电，停止转动。

当操作手柄向上推至“启动”位置时，启动触点和自耦变压器的控制触点同时闭合，电流经启动触点流入自耦变压器，再由自耦变压器的 65%（或 85%）抽头处输出到电动机的定子绕组，使定子绕组降压启动。随着启动的进行，当转子转速升高到额定转速附近时，可将操作手柄扳到“运行”位置。此时启动工作结束，电动机定子绕组得到电网额定电压，电动机全压运行。

停止时必须按下按钮 SB，使失压脱扣器的线圈断电而造成衔铁释放，通过机械脱扣装置将运行触点断开，切断电源。同时也使手柄自动跳回到“停止”位置，为下一次启动做准备。



**提示**

自耦变压器只在启动过程中短时工作，在启动完毕后应从电源中切除。自耦变压器降压启动控制的优点是启动转矩和启动电流可以调节，缺点是设备庞大，成本较高。因此，这种降压启动方法适用于额定电压为220V/380V、星—三角形连接、功率较大的三相异步电动机的降压启动。

自耦变压器备有65%和85%两个电压抽头，出厂时一般是接在65%抽头上，可根据电动机的负载情况选择不同的启动电压。

(2) 自耦变压器降压启动自动控制电路

图2-28所示为自耦变压器降压启动自动控制电路，它是依靠接触器和时间继电器实现自动控制的。

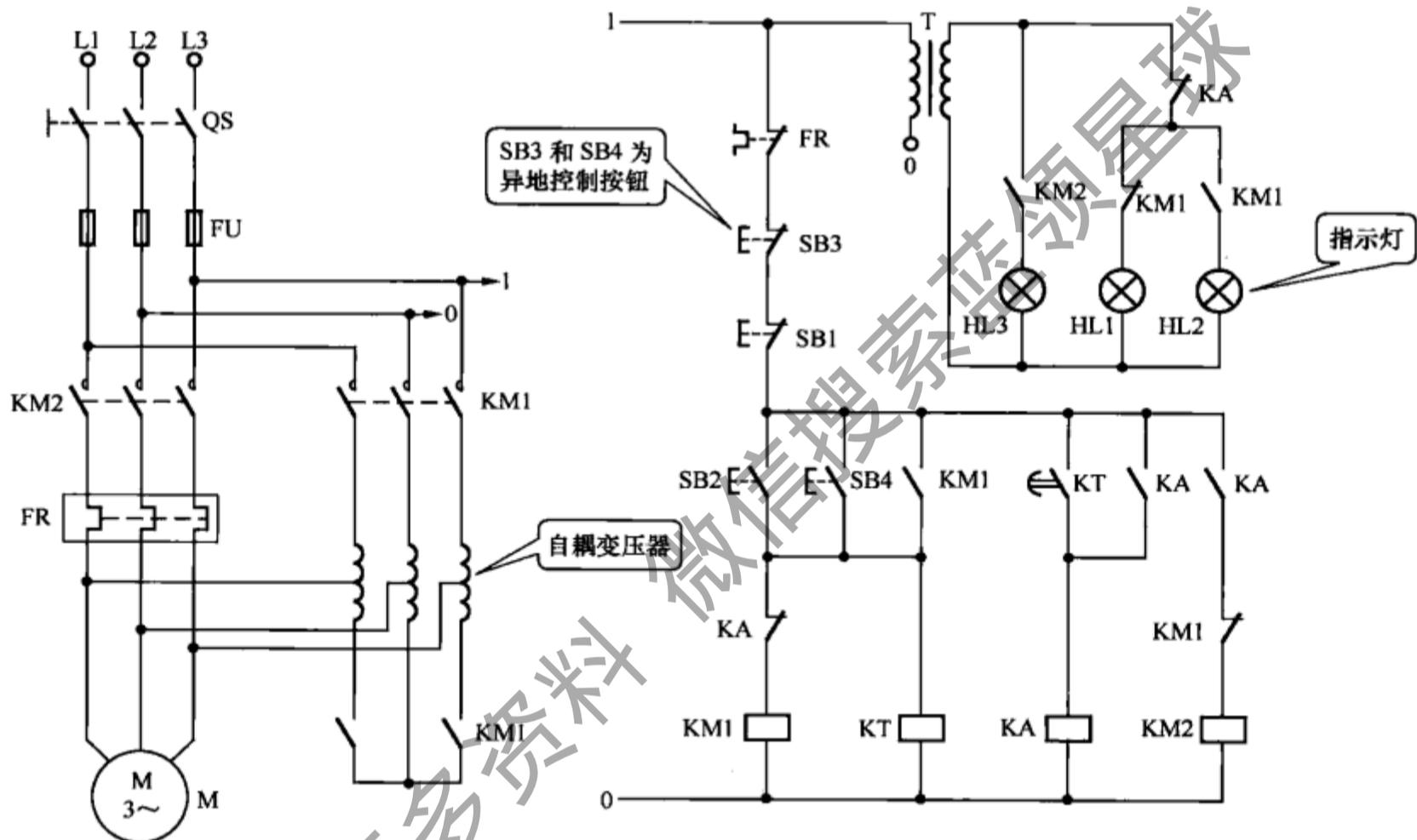
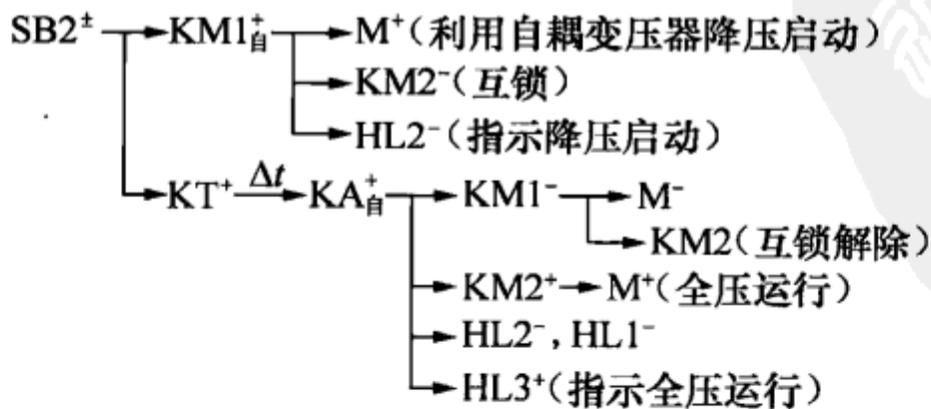


图 2-28 自耦变压器降压启动自动控制电路

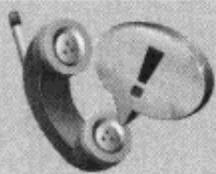
该电路由主电路、控制电路和信号指示电路3部分组成。其中，信号指示电路由变压器和3个指示灯等组成，它们分别根据控制电路的工作状态显示“启动”、“运行”和“停机”。该电路的控制过程如下。



指示灯 HL1 点亮，表示电源有电，电动机处于停止状态；指示灯 HL2 点亮，表示电动

机处于降压启动状态；指示灯 HL3 点亮，表示电动机处于全压运行状态。

停止时，按下停止按钮 SB2，控制电路失电，电动机停转。



**提示** 电路图中设置了 SB3 和 SB4 两个按钮，它们不安装在自耦变压器箱中，可以安装在外部，以便实现远程控制（异地控制）。在自耦变压器箱中一般只留下 4 个接线端，SB3 和 SB4 用引线接入箱内。

图 2-29 所示为另一种自耦变压器降压启动控制电路。该电路由 3 个接触器控制，主电路中增加了电流互感器 TA，它一般在容量为 100kW 以上的电动机降压启动控制电路中使用。热继电器 FR 的发热元件上并联的 KA 动合触点是启动时的短接发热元件，以防止因启动电流过大而造成误动作；而运行时，KA 的触点断开，主电路经电流互感器串入发热元件，达到过载保护的目的。3 个指示灯 HL1、HL2 和 HL3 分别表示停机且电路电压正常、降压启动和全压运行 3 种状态。SA 为选择开关，有自动（A）和手动（M）两个位置。

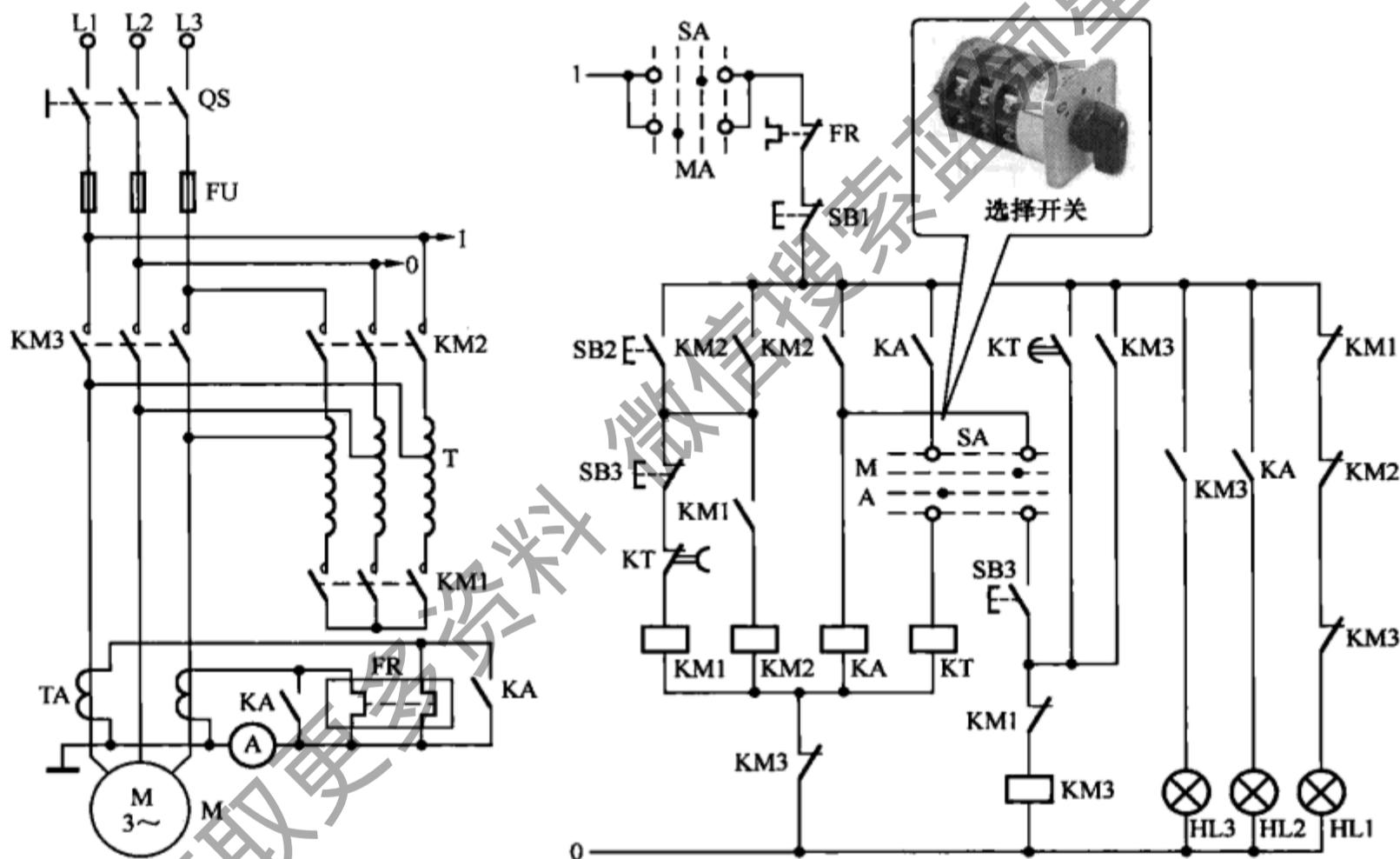


图 2-29 用 3 个接触器控制的自耦变压器降压启动控制电路

#### 4. 绕线式异步电动机电阻降压启动控制电路

绕线式三相交流异步电动机的转子中绕有三相绕组，通过滑环可以串入外加电阻（或电抗），从而减小启动电流，同时也可以增大转子功率因数和启动转矩。

##### (1) 转子串电阻启动控制电路

绕线式异步电动机转子回路串电阻启动主要有两种：一种是按电流原则逐段切除转子外加电阻，另一种是按时间原则逐段切除转子外加电阻。

图 2-30 所示为电流继电器控制绕线式异步电动机转子串电阻启动控制电路。

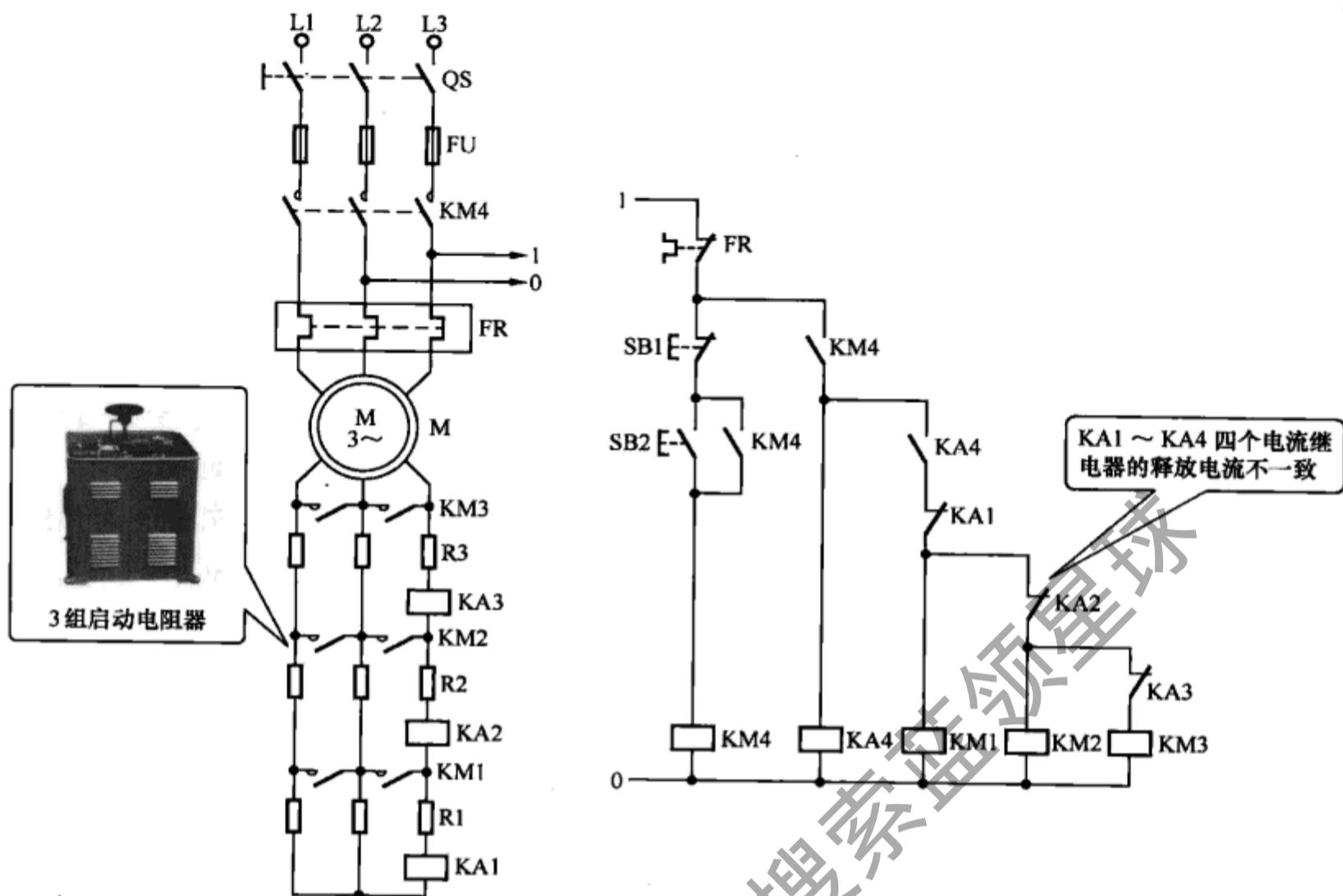


图 2-30 电流继电器控制绕线式异步电动机转子串电阻启动控制电路

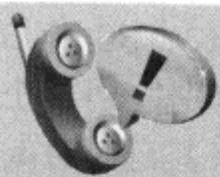
图中，KM1、KM2、KM3 为短接电阻接触器，R1、R2、R3 为转子外加电阻。KA1、KA2、KA3 为电流（中间）继电器，它们的线圈串联在转子回路中，由线圈中通过的电流大小决定触点动作顺序。KA1、KA2、KA3 三个电流继电器的吸合电流一致，但释放电流不一致，KA1 最大，KA2 次之，KA3 最小。

合上电源开关 QS，按下 SB1，在启动瞬间，转子转速为零，转子电流最大，3 个电流继电器同时全部吸合（电动机串全部电阻启动）。随着转子转速的提高，转子电流逐渐减小，由于 KA1 的整定值最大，所以它最早动作。然后，随着转子电流的进一步减小，KA2、KA3 依次动作，完成逐级切除电阻的工作。

启动结束，电动机在额定转速下正常运行。

SB2<sup>±</sup> → KM1<sup>+</sup> → M<sup>+</sup> (串 R1、R2、R3 启动，且 KA1<sup>+</sup>、KA2<sup>+</sup>、KA3<sup>+</sup>)  $\xrightarrow{n_2 \uparrow, I_2 \downarrow}$   
 KA1 → KM1 (切除电阻 R1)  $\xrightarrow{n_2 \uparrow \uparrow, I_2 \downarrow \downarrow}$  KA2 → KM2 (切除电阻 R2)  $\xrightarrow{n_2 \uparrow \uparrow \uparrow, I_2 \downarrow \downarrow \downarrow}$   
 KA3 → KM3 (切除电阻 R3) → M<sup>+</sup> (正常运行)

其中， $n_2 \uparrow$ 、 $n_2 \uparrow \uparrow$  和  $n_2 \uparrow \uparrow \uparrow$  表示转子转速逐渐提高， $I_2 \downarrow$ 、 $I_2 \downarrow \downarrow$  和  $I_2 \downarrow \downarrow \downarrow$  表示转子电流逐渐减小。



**提示**

串电阻降压启动的缺点是减小了电动机的启动转矩，同时启动时在电阻上消耗的功率也较大。如果启动频繁，则电阻的温度很高，对于精密的机床会产生一定的影响，故目前这种降压启动方法在生产实际中的应用正在逐步减少。

知识链接

### 启动电阻

常用的电阻有铸铁电阻、板形（框架式）电阻、铁铬铝合金电阻和管形电阻。

铸铁电阻的型号为 ZX1，它由铸造或冲压成形的电阻片组装而成，取材方便。其特点是：价格低廉，有良好的耐腐蚀性和较大的发热时间常数，但性脆易断，电阻值较小，温度系数较大，适用于交流低压电路，供电动机启动、调速、制动及放电等用。

框架式电阻的型号为 ZX2，是在瓷质绝缘件上绕制康铜电阻元件而制成的。其特点是耐震，具有较高的机械强度，适用于交、直流低压电路，但较适用于要求耐震的场合。

铁铬铝合金电阻有 ZX9 和 EX15 两种型号。前者由铁、铬、铝合金电阻带轧成波浪形式，电阻为敞开式，计算功率约为 4.6kW。后者由铁、铬、铝合金带制成的螺旋式管状电阻元件（ZY 型）装配而成，计算功率约为 4.6kW，适用于大、中功率电动机的启动、制动和调速。

图 2-31 所示为时间继电器控制绕线式异步电动机转子串电阻三级启动电路。

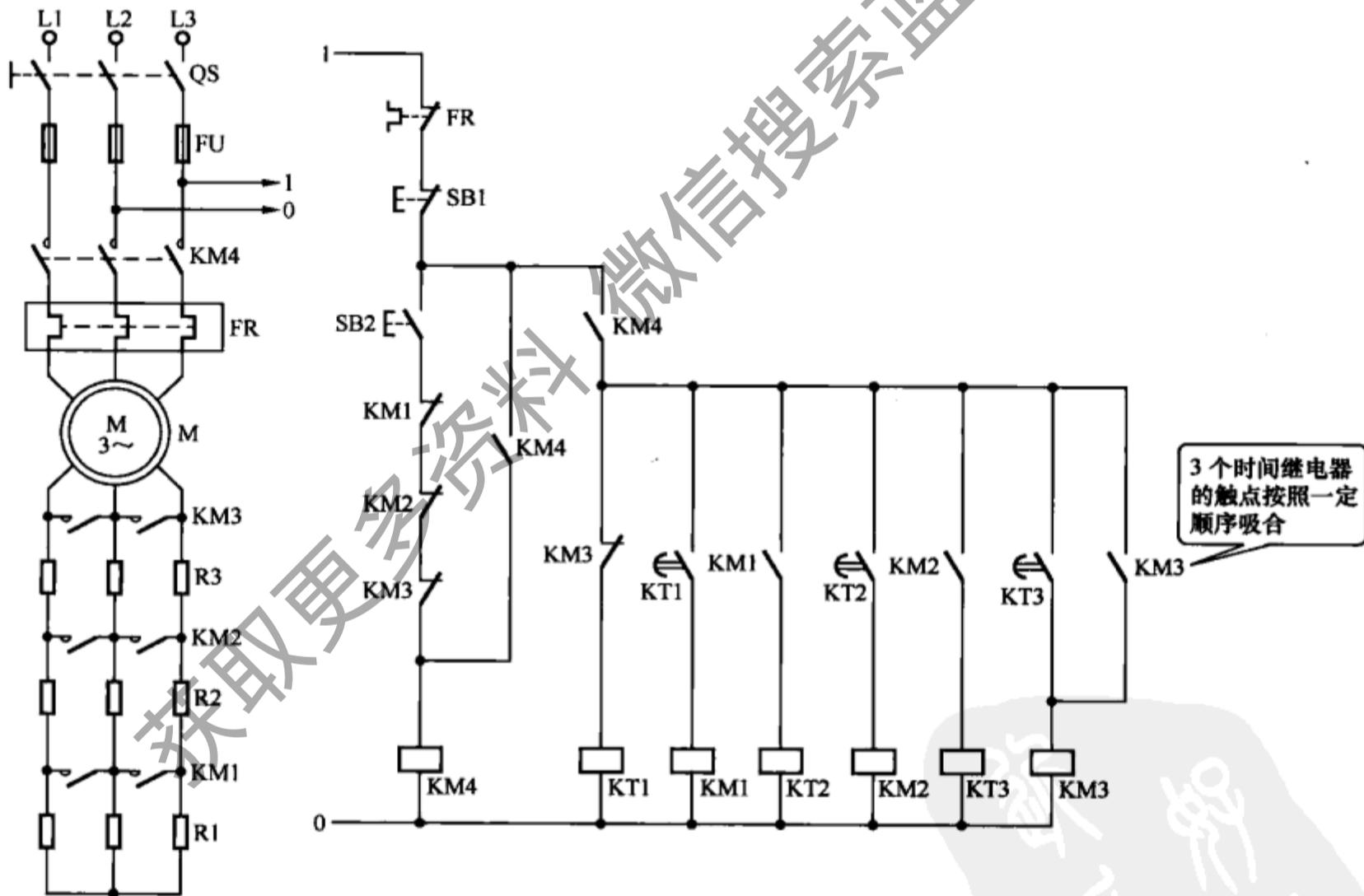


图 2-31 时间继电器控制绕线式异步电动机转子串电阻三级启动电路

图中，KM1、KM2、KM3 为短接电阻接触器，KM4 为电源接触器；R1、R2、R3 为 3 组启动电阻；KT1、KT2、KT3 为通电延时型时间继电器，这 3 个时间继电器分别控制 3 个接触器 KM1、KM2、KM3 按顺序依次吸合，自动切除转子绕组中的三级电阻（其延时时间的长短决定动作顺序，以达到按时间原则逐段切除电阻的目的）。

与启动按钮 SB2 串联的 KM1、KM2、KM3 三个动合触点的作用是保证电动机在转子绕组中接入全部启动电阻的条件下才能启动。若其中任何一个接触器的主触点因熔焊或机械故障而没有释放，电动机就不能启动。

该电路的工作原理与按电流原则控制绕线式异步电动机转子串电阻启动电路的工作原理基本相同，请读者自己分析。

### (2) 转子串频敏变阻启动控制电路

绕线式异步电动机转子回路串接电阻启动时，不仅使用的电器多，控制电路复杂，启动电阻发热消耗能量，而且在启动过程中逐段切除电阻，电流和转矩变化较大，对生产机械造成较大的机械冲击。

频敏变阻是一种静止的、无触点的电磁元件，它由几块 30~50mm 厚的铸铁板或钢板叠成的三柱式铁芯和装在铁芯上并接成星形的 3 个线圈组成。若将其接入电动机转子回路内，则随启动过程（转速升高或转子频率下降）的进行，阻抗自动下降。这样不仅不需要逐段切除电阻，而且启动过程也能平滑进行。

频敏变阻启动电路的连接方式有单组、两组串联、两组并联、二串联二并联等，如图 2-32 所示。频敏变阻在启动完毕后应切除，若电动机本身有短路装置，则可直接使用。如果没有短路装置，则可另外安装刀开关来短路，如图 2-32 (e) 所示。

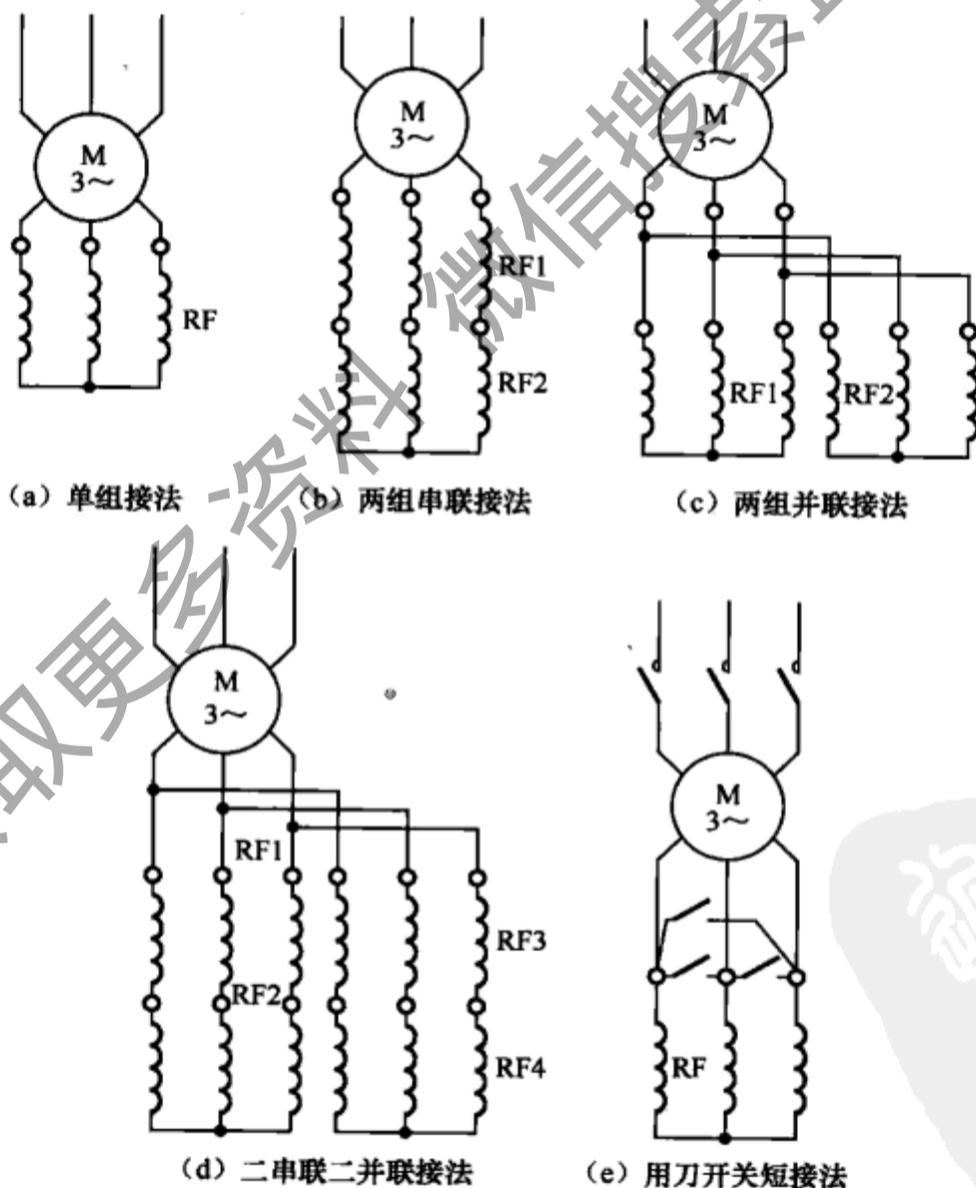


图 2-32 频敏变阻启动电路的连接方法

图 2-33 所示为绕线式异步电动机转子串频敏变阻启动控制电路，它是利用频敏变阻的阻抗随着转子电流、频率的变化而自动变化的特点来实现的。

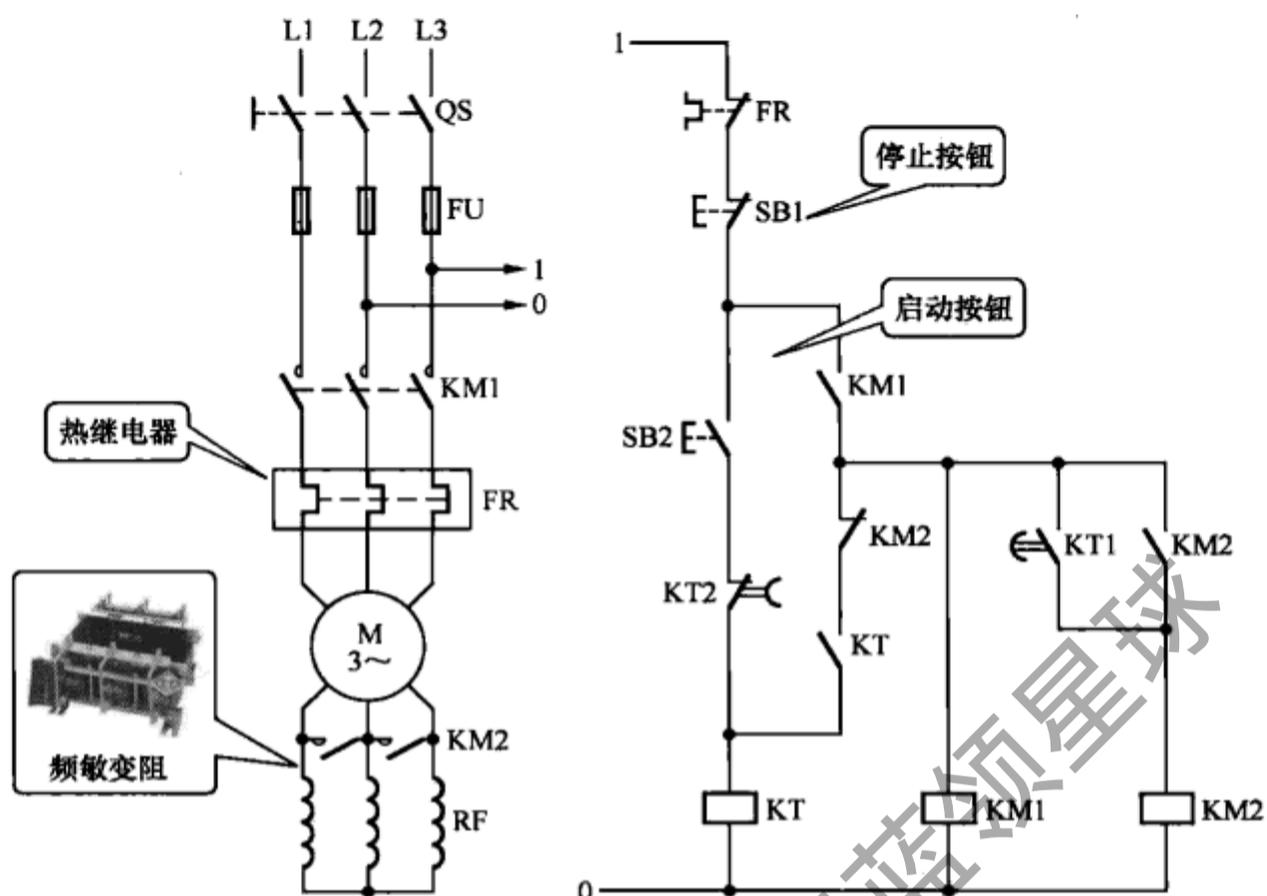


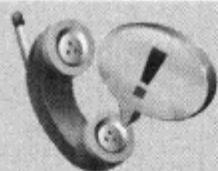
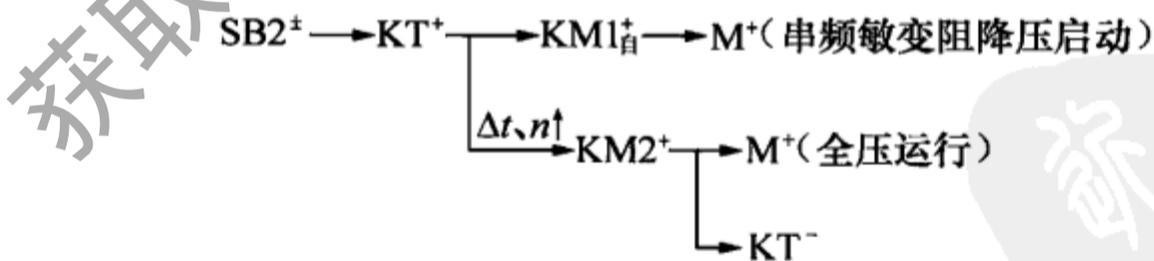
图 2-33 绕线式异步电动机转子串频敏变阻启动控制电路

在该电路中，RF 为频敏变阻，采用的是一种单组连接方法；SB1 为停止按钮，SB2 为启动按钮。KM1 的 3 组动合触点用于控制三相电动机的供电；KM2 为切换频敏变阻的交流接触器，KM2 的另一个触点用于控制时间继电器 KT 线圈的供电；KT 为时间继电器，KT1 为延时动合触点，KT2 为动断触点；FR 为热继电器。

启动时，按下启动按钮 SB2，交流接触器 KM1 的线圈得电吸合，其 3 组动合触点闭合后自锁，为三相电动机提供三相电源，电动机转子回路串入频敏变阻并启动。

在按下 SB2 以后，时间继电器 KT 的线圈也同时得电工作，经延迟一段时间后，其 KT1 触点闭合，接通交流接触器 KM2 线圈的供电回路，使 KM2 得电吸合，其动断触点断开，切断对时间继电器 KT 线圈的供电。KM2 的动合触点闭合，使频敏变阻 RF 被短接，启动过程结束，电动机进入正常运行状态。

上述工作过程可归纳如下。



**提示**

在使用过程中，如果发现启动电流过大、启动太快或者启动电流过小、启动转矩不够、启动太慢，可采用换接调整频敏电阻抽头的方法来解决（适当增加或减少匝数），应及时调整频敏电阻的匝数和气隙。

在刚启动时，启动转矩过大，有机械冲击现象；但启动结束后，稳定的转速又太低（偶尔启动用变阻启动完毕短接时，冲击电流较大），可增大铁芯气隙。

## 2.2.2

### 电动机电气制动控制电路

——能耗反接两方式，制动力矩速传递

所谓制动就是给电动机一个与转动方向相反的电磁转矩（制动转矩）使其迅速停止，常用的制动方法有机械制动和电气制动。

电气制动是使电动机停车时产生一个与转子原来的实际旋转方向相反的电磁力矩（制动力矩）来进行制动。常用的电气制动方式有反接制动和能耗制动等。

机械制动是利用机械装置（如电磁抱闸、电磁离合器），使电动机在切断电源后迅速停止转动的方法。

#### 1. 反接制动控制电路

反接制动是在电动机的原三相电源被切断后，立即通上与原相序相反的三相交流电源，以形成与原转向相反的电磁力矩，利用这个制动力矩使电动机迅速停止转动。这种制动方式必须在电动机转速降到接近零时立即切除电源，否则电动机仍有反向力矩，可能会反向旋转而造成事故。为防止电动机反向启动，常利用速度继电器来自动切断电源。

反接制动的优点是制动力强，制动迅速；缺点是制动准确性差，制动过程中冲击强烈，易损坏传动零件，制动能量消耗较大，不宜经常制动。因此，反接制动一般适用于制动要求迅速、系统惯性较大、不经常启动与制动的场合。

图 2-34 所示为三相异步电动机单向运转反接制动控制电路。该电路是在普通电动机控制电路的基础上增加了一只速度继电器而得到的。同时，在反接制动时增加了两个限流电阻。KM1 为正转运行接触器，KM2 为反接制动接触器；KV 为速度继电器，其轴与电动机轴相连接。

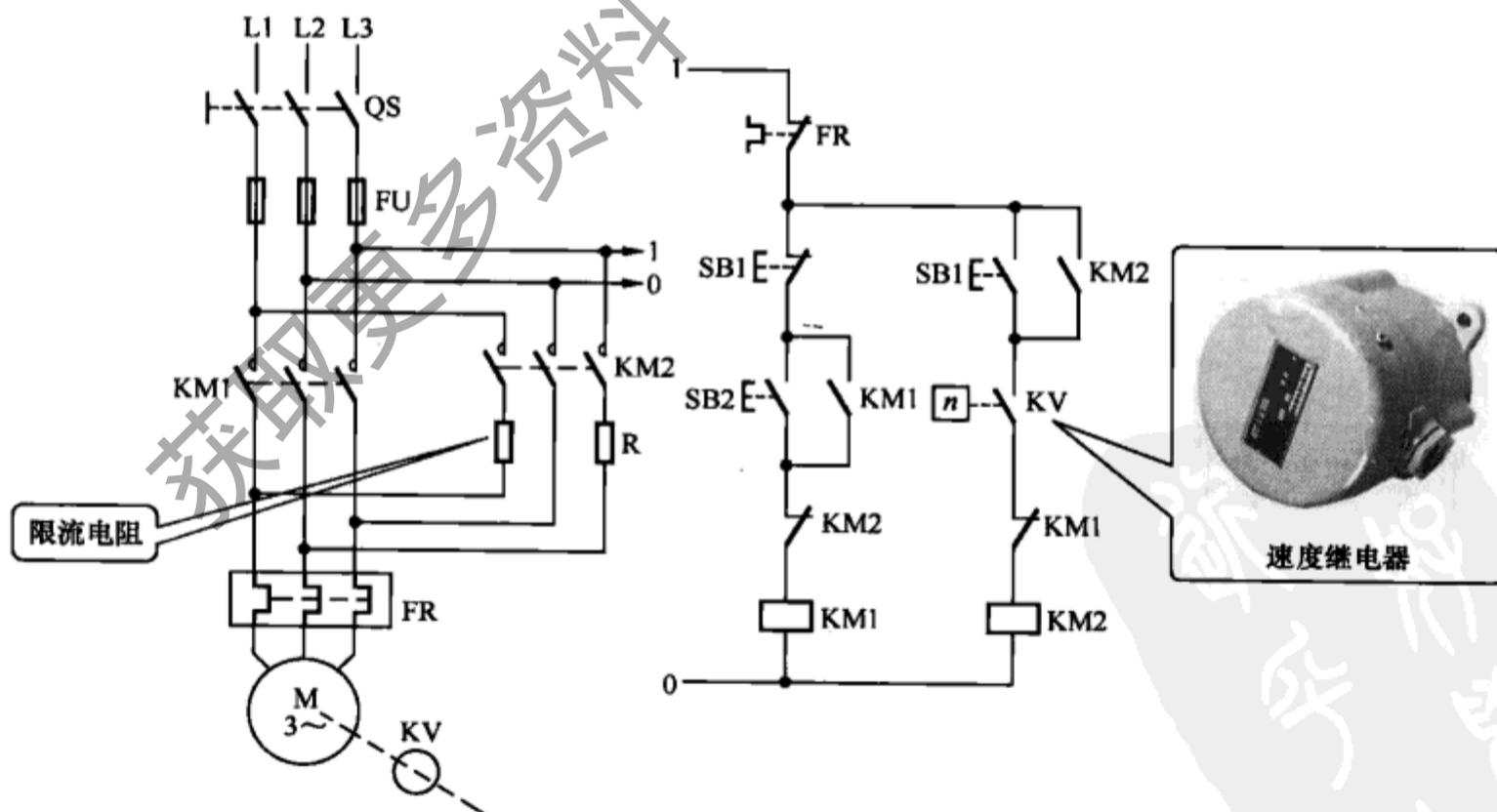
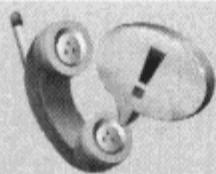
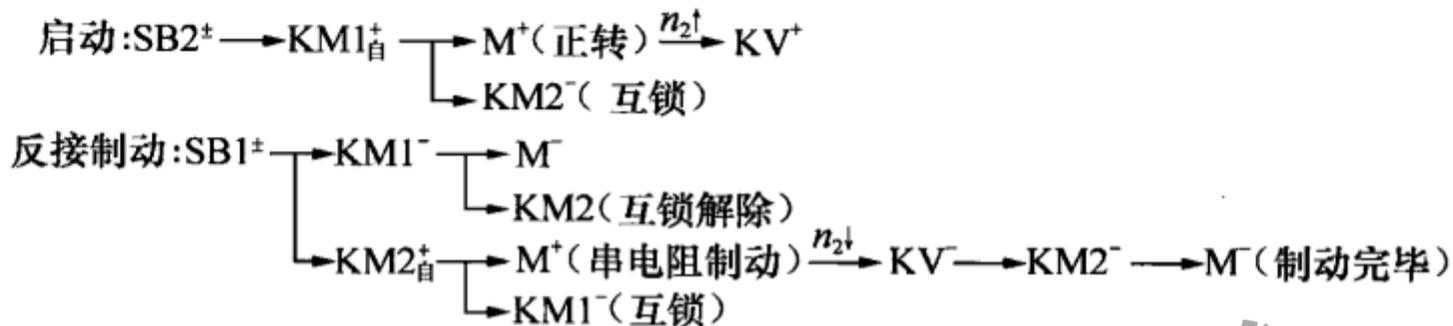


图 2-34 三相异步电动机单向运转反接制动控制电路

主电路中所串电阻 R 为制动限流电阻，可防止反接制动瞬间过大的电流可能会损坏电动

机。速度继电器 KV 与电动机同轴，当电动机转速上升到一定数值时，速度继电器的动合触点闭合，为制动做好准备。制动时电动机的转速迅速下降，当其转速下降到接近零时，速度继电器的动合触点断开，接触器 KM2 的线圈断电，防止电动机反转。

该电动机的控制过程如下。



**提示**

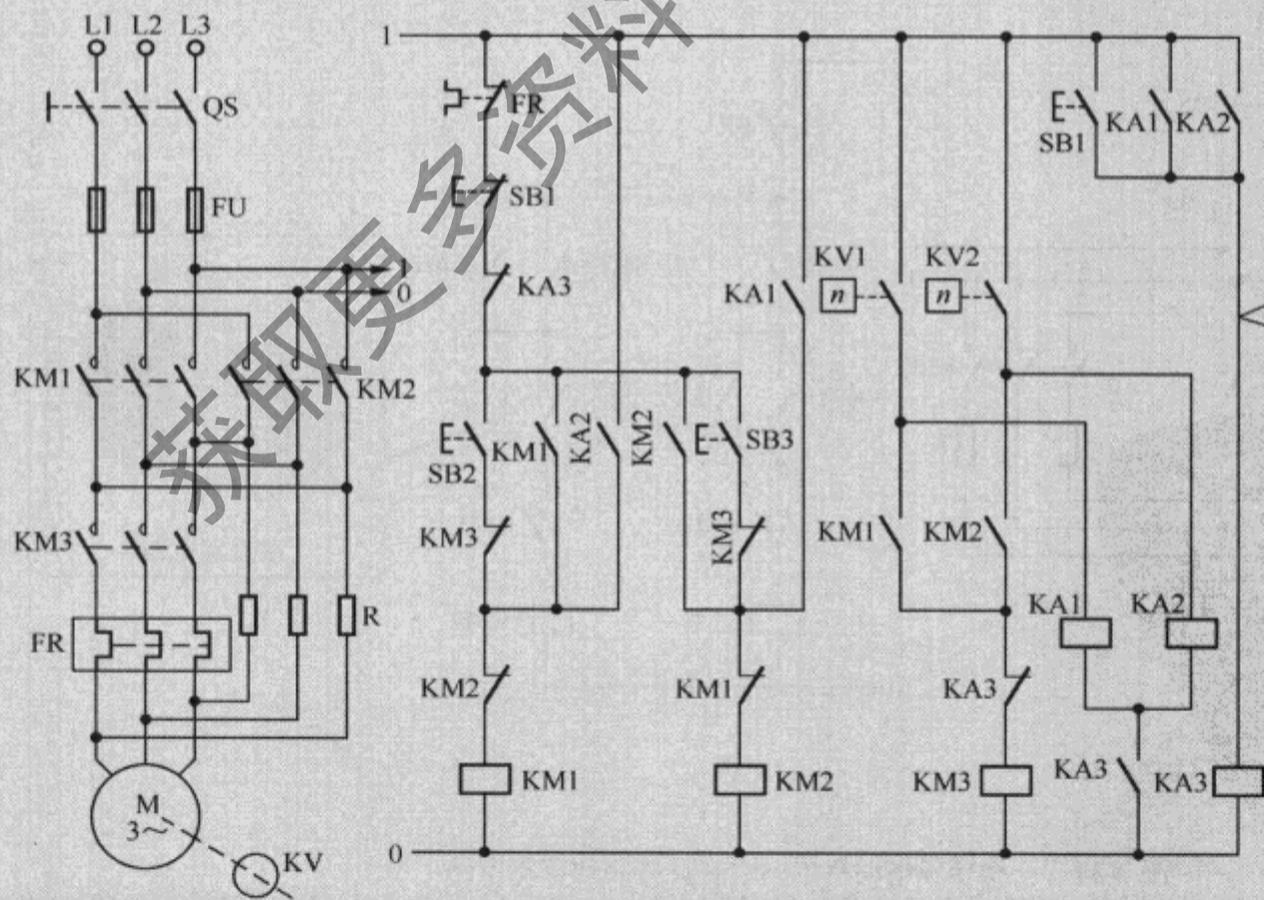
反接制动时，由于旋转磁场与转子的相对速度很高，故转子绕组中的感应电流很大，致使定子绕组中的电流也很大，一般为电动机额定电流的 10 倍左右。因此，反接制动适用于 10kW 以下小功率电动机的制动，并且对 4.5kW 以上的电动机进行反接制动时，需要在定子回路中串联限流电阻，以限制反接制动电流。

采用不对称电阻法只是限制转动转矩，没加制动电阻的一相仍有较大的制动电流。这种制动方法电路简单，但能耗大，准确性差。此法适用于控制容量较小且要求制动不频繁的电动机。



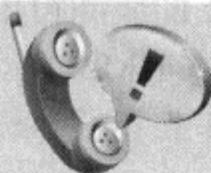
**练习**

试分析图 2-35 所示的电动机正反转反接制动控制电路。



SB1 为正反转制动按钮，  
SB2 为正转启动按钮，  
SB3 为反转启动按钮

图 2-35 电动机正反转反接制动控制电路



**提示** KM1、KM2 分别为正、反转接触器，KM3 为短接电阻接触器。KA1、KA2、KA3 为中间继电器。KV 为速度继电器，其中，KV1 为正转动合触点，KV2 为反转动合触点。R 为启动与制动电阻。

正转启动时，应按下 SB2；正转制动时，应按下 SB1。

反转启动时，应按下 SB3；反转制动时，应按下 SB1。

## 2. 能耗制动控制电路

在切断三相交流电源后，立即在定子绕组中加一个直流电源（用来产生一个静止磁场，利用转子感应电流与静止磁场的作用产生反向电磁力矩），迫使电动机停止转动的方法称为能耗制动，又称为动能制动。能耗制动时制动力矩的大小与转速有关，转速越高，制动力矩越大。随转速的降低，制动力矩也下降，当转速为零时，制动力矩消失。通入的直流电流越大，制动越迅速。

### (1) 时间继电器控制的能耗制动控制电路

图 2-36 所示为时间继电器控制的能耗制动控制电路，适用于笼型电动机的能耗制动。

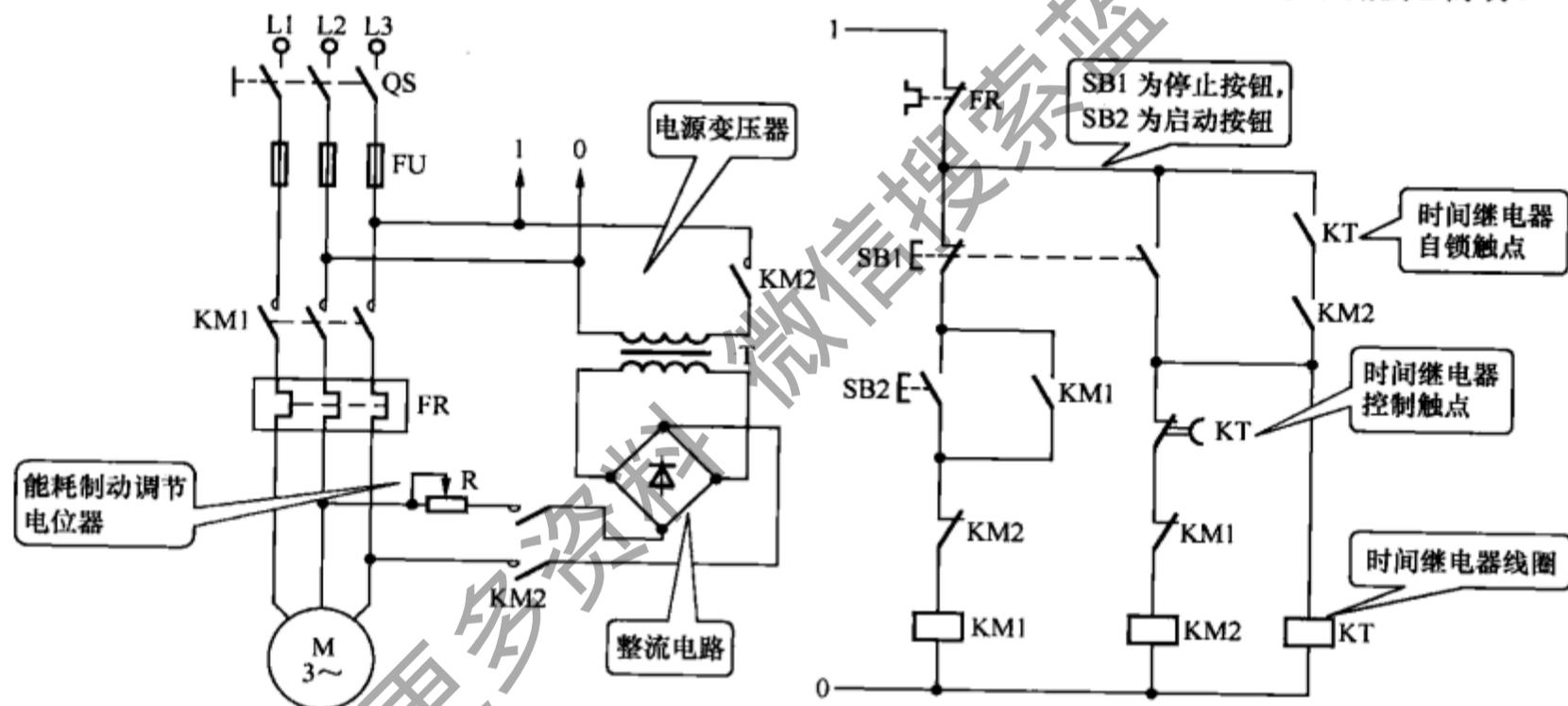


图 2-36 时间继电器控制的能耗制动控制电路

在图 2-36 中，主电路在进行能耗制动时所需的直流电源由 4 个二极管组成的单相桥式全波整流电路通过接触器 KM2 引入，交流电源与直流电源的切换由 KM1 和 KM2 来完成，制动时间由时间继电器 KT 决定。

当启动电动机时，按下启动按钮 SB2 后，交流接触器 KM1 的线圈得电吸合，其动合触点闭合后自锁，另一动合触点闭合后使时间继电器 KT 的线圈得电工作；KM1 的动断触点断开后，可防止 KM2 线圈误得电工作；KM1 的 3 组动合触点闭合后，电动机得电工作。

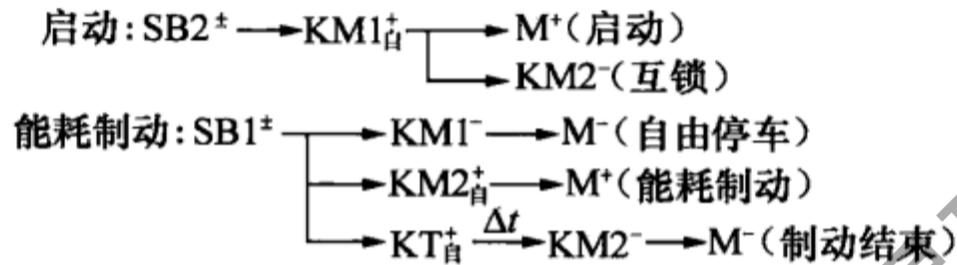
在时间继电器 KT 的线圈通电后，其动合延时分断触点瞬间接通，但由于 KM1 的动断触点已断开，故 KM2 不会得电工作。

在需要停机时，按下停止按钮 SB1 后，KM1 线圈断电释放，其所有触点均复位。当 KM1

已闭合的触点断开后，KT 线圈断电。KM1 触点复位闭合，使交流接触器 KM2 的线圈得电吸合，其动断触点断开，可防止 KM1 线圈得电误动作。KM2 的两组动合触点与 KM2 的动断触点闭合，使电源变压器 T 的一次侧得电工作。从 T 的二次侧输出的交流低压经桥式整流后得到的直流电压加到电动机定子绕组上，从而使电动机迅速制动停机。

经过一段时间后，时间继电器的延时分断触点断开，使 KM2 线圈的供电通路被切断，KM2 释放并切断直流电源，制动过程结束。

上述工作过程可归纳如下。



**提示**

能耗制动的优点是制动准确平稳且能量消耗较小；缺点是需附加直流电源装置，设备费用较高，制动力较弱，在低速时制动力较小。因此，能耗制动一般用于要求制动准确、平稳的场合。

能耗制动时产生的制动转矩的大小与通入定子绕组中的直流电流的大小、电动机的转速及转子电路的电阻有关。电流越大，产生的静止磁场就越强，而转速越高，转子切割磁力线的速度就越大，产生的制动转矩也就越大。对于笼型异步电动机，增大制动转矩只能通过增大通入电动机的直流电流来实现，而通入的直流电流又不能太大，因为过大会烧坏定子绕组。

(2) 速度继电器控制的能耗制动控制电路

图 2-37 所示为速度继电器控制的能耗制动控制电路。

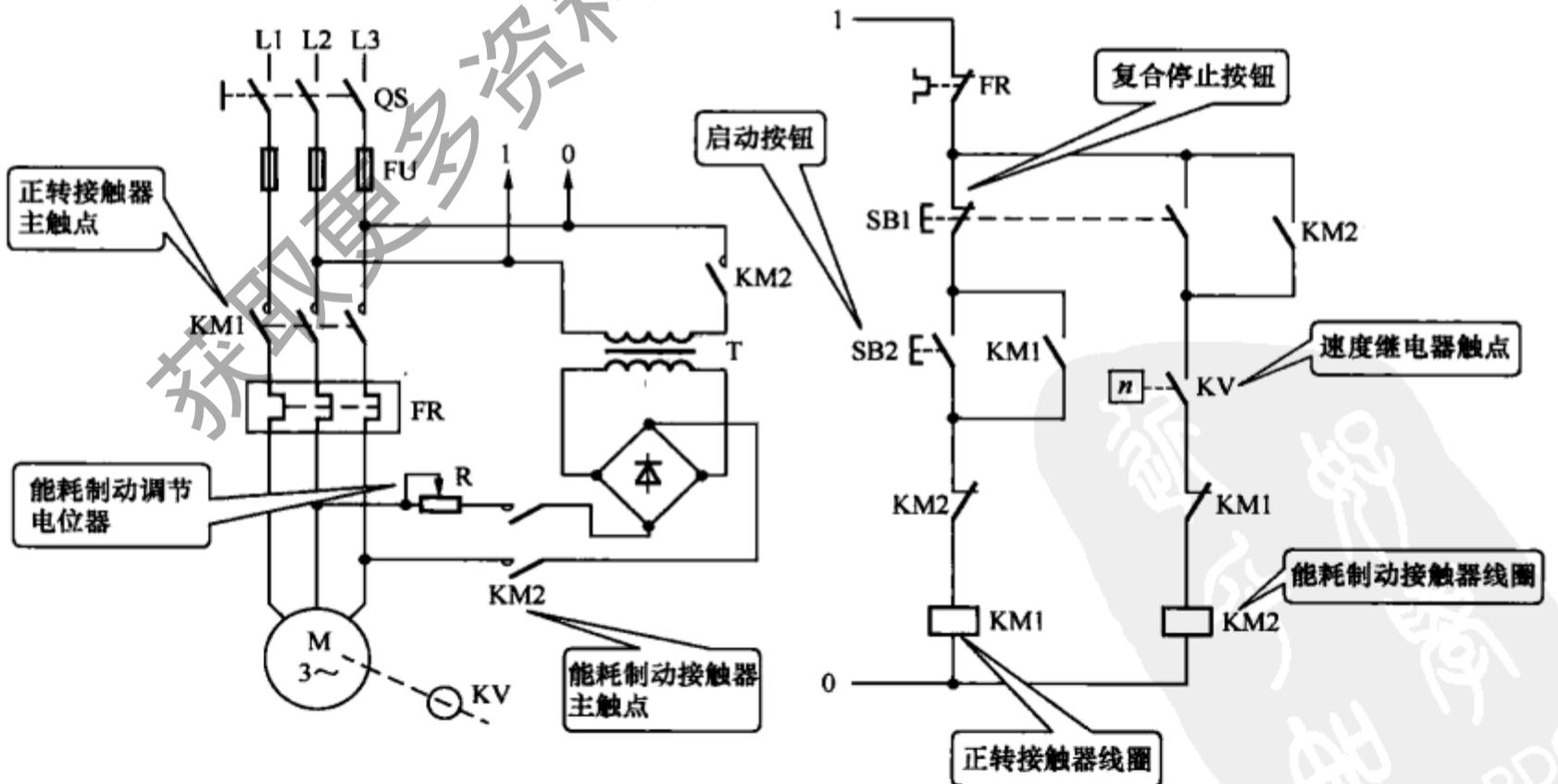


图 2-37 速度继电器控制的能耗制动控制电路

该电路的动作原理与图 2-34 所示的单向运转反接制动控制电路相似。合上电源开关 QS，按下正转启动按钮 SB2，接触器 KM1 得电吸合，电动机启动。当电动机转速超过 130r/min 时，速度继电器相应的正向触点闭合，接通 KM2，为能耗制动停车做准备。

停车制动时，按下 SB1，KM1 失电，其主触点释放断开，电动机靠惯性运行。此时，KM1 的辅助触点闭合自锁。由于 KM2 得电，其主触点吸合，电动机定子绕组接入脉动直流电，进行能耗制动。随着转速下降至 100r/min，速度继电器的触点断开，KM2 失电，其主触点断开，切除直流电源，能耗制动结束，以后电动机自然停车。



提示

全波整流能耗制动电路的制动电流较大，一般 10kW 以上的电动机常采用这种电路。

### (3) 无变压器单向能耗制动控制电路

图 2-38 所示为无变压器半波整流单向能耗制动控制电路。

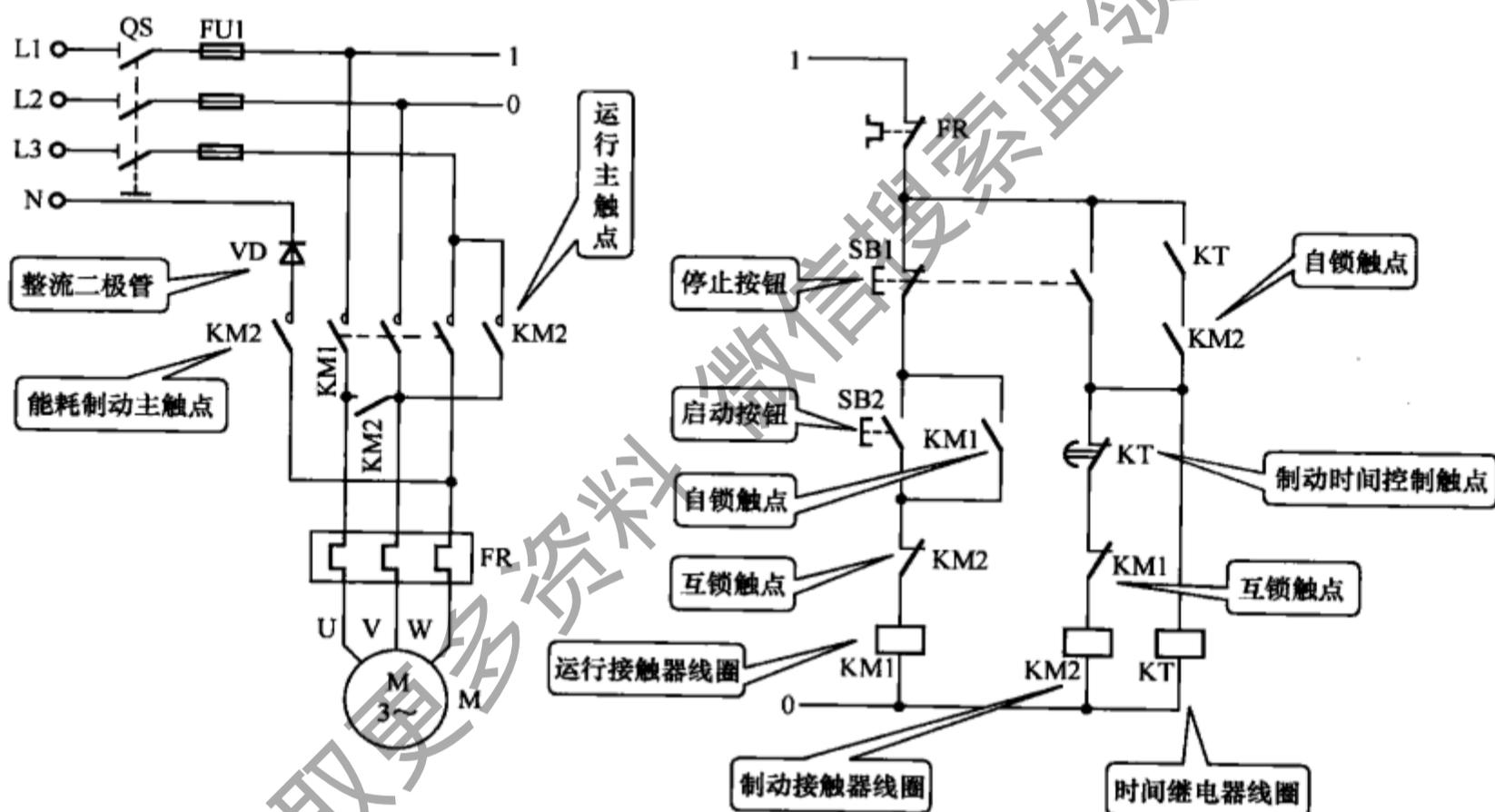


图 2-38 无变压器半波整流单向能耗制动控制电路

根据直流电源的整流方式，能耗制动分为半波整流能耗制动和全波整流能耗制动。该电路属于半波整流能耗制动。

在该电路中，KM1 为电动机运行接触器，KM2 为制动接触器，KT 为控制能耗制动时间的通电延时时间继电器。该电路中整流电源电压为 220V，该电压由 KM2 主触点接入电动机定子绕组，再经整流二极管 VD 与电源中性线 N 构成闭合电路（有的电路在二极管支路上还串联一个限流电阻，该电路没有这个电阻）。制动时电动机的 U、V 相与 KM2 的主触点并联，因此，只有单方向制动转矩。

启动时，合上电源开关 QS，按下启动按钮 SB2，接触器 KM1 的线圈得电吸合，KM1 的主触点闭合，电动机 M 启动。

停止制动时，按下停止按钮 SB1，接触器 KM1 的线圈断电释放，KM1 的主触点断开，电动机 M 断电后靠惯性运转。同时，接触器 KM2 和时间继电器 KT 的线圈得电吸合，KM2 的主触点闭合，电动机 M 进行半波能耗制动。能耗制动结束后，KT 的动断触点延时断开，KM2 的线圈断电释放，KM2 的主触点断开半波整流脉动直流电源。



**提示**

在该电路中，时间继电器 KT 的瞬时闭合动合触点与 KM2 自锁触点串联。当 KT 线圈断线或发生机械卡阻故障而导致 KT 的通电延时断开的动断触点断不开，瞬动的动合触点也合不上时，只有按下停止按钮 SB1，进行点动能耗制动。若无 KT 瞬动的动合触点串接 KM2 的动合触点，在发生上述故障时，在按下停止按钮 SB1 后电动机能迅速制动，同时避免三相定子绕组不致长期通入半波整流的脉动直流电源。

半波整流能耗制动电路一般用于采用 10kW 以下的小容量电动机且对制动要求不高的场合。



**练习**

请分析图 2-39 所示的电动机三相半波整流能耗制动电路。

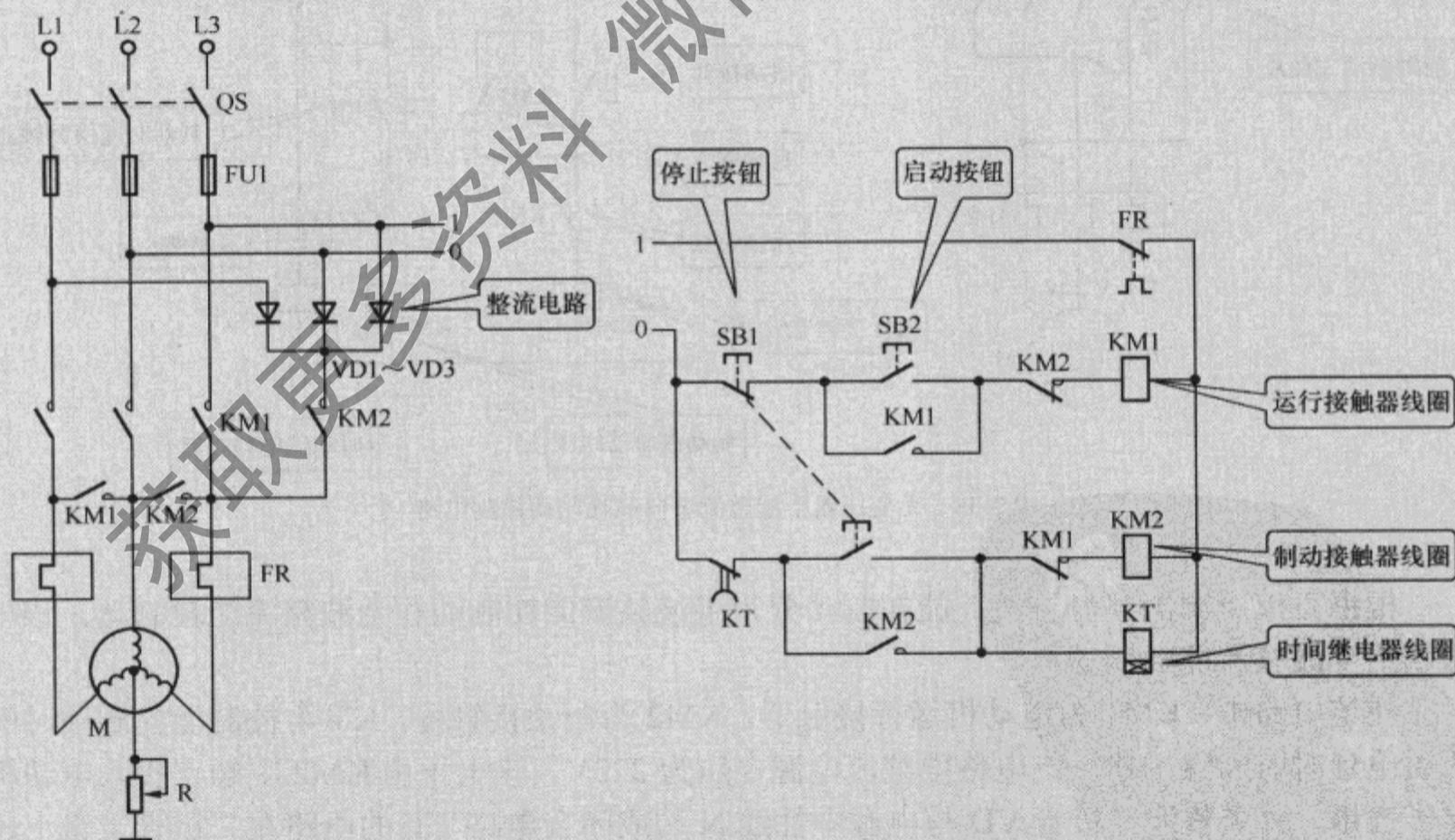
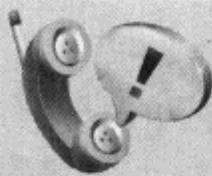


图 2-39 电动机三相半波整流能耗制动电路



**提示**

按下 SB1，当交流接触器 KM1 断开电源后，KM2、KT 的线圈便立即通电动作，KM2 的主触点短接电动机三相绕组引出线并通入三相半波整流电源。这时电动机定子绕组接成一端接零线的并联对称电路，从而达到制动的目的。然后，KT 延时断开，KM2 失电释放，制动结束。

这种制动电路适用于容量较大的采用星形接法的电动机能耗制动。

**知识链接**

**电磁抱闸断电制动控制电路**

制动的方法有机械制动和电气制动，比较普遍的机械制动方法是电磁抱闸制动。电磁抱闸是一种机械制动装置，它主要由制动电磁铁和闸瓦制动器两部分组成。

图 2-40 所示为电磁抱闸断电制动控制电路。这种制动是在电源切断时才起作用，机械设备不工作时，制动闸处于“抱住”状态。这种电路广泛应用于电梯、起重机、卷扬机等升降机械上。

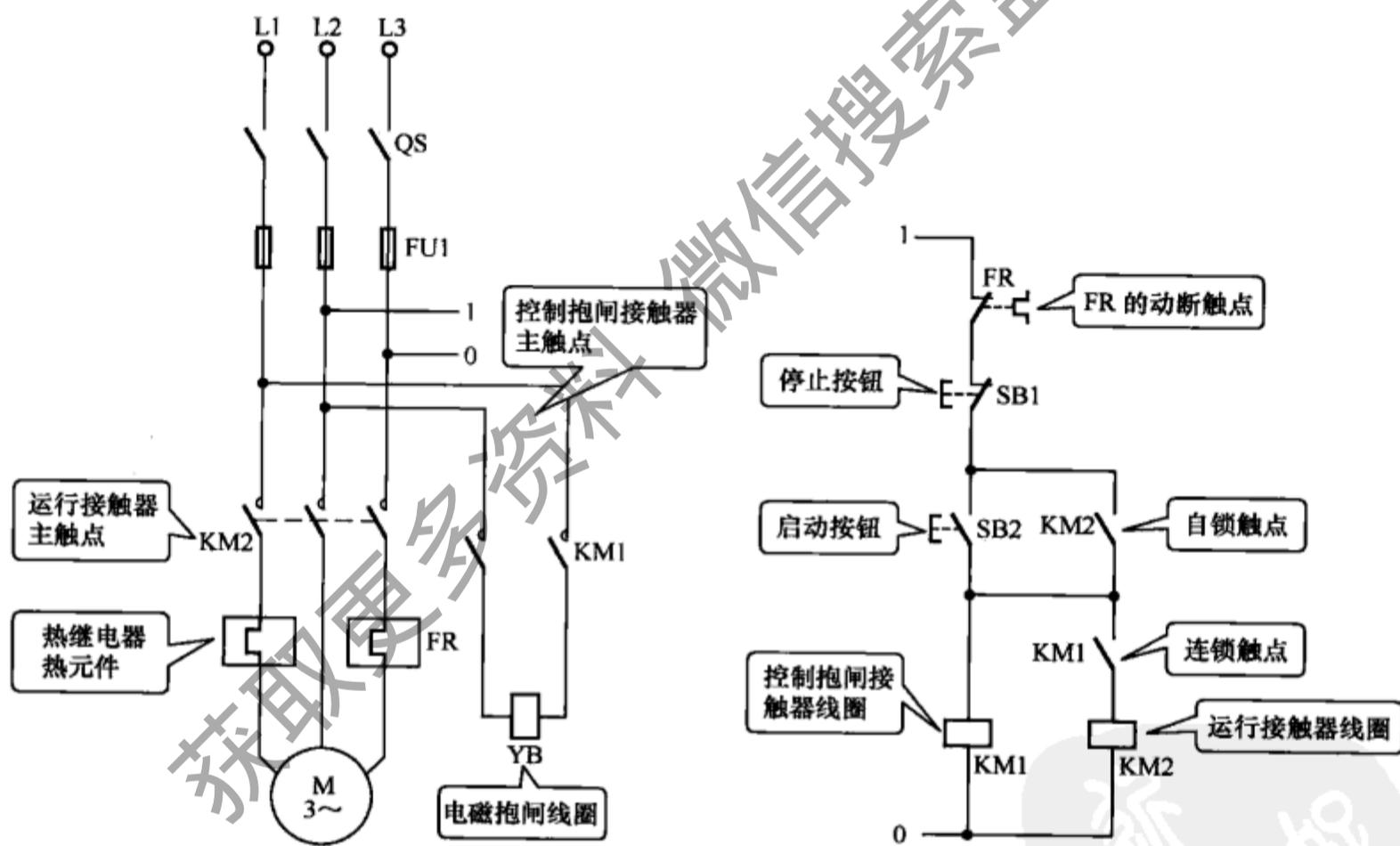


图 2-40 电磁抱闸断电制动控制电路

该电路的工作原理为：按下 SB2，KM1 得电，其主触点闭合，电磁抱闸的闸轮松开。同时，运行接触器 KM2 也得电，KM2 的自锁触点和主触点均闭合，电动机启动运行。

当制动时，按下停止按钮 SB1，接触器 KM2 失电释放，主触点断开，自锁触点解除自锁，电动机断电。同时 KM1 失电释放，主触点断开，连锁触点解除连锁，从而 YB 得电动作，使抱闸与闸轮抱紧，电动机停止运转。

松开 SB1，电磁抱闸线圈 YB 失电释放，抱闸放松，为下一次运行做好准备。

### 白看

球迷丈夫在看球赛，他的妻子则在厨房里忙活做饭。  
球赛完毕后，他的妻子探头问道：“进了多少球？”  
球迷丈夫高兴道：“零比零，打平了。”  
妻子叹道：“白看。”



## 2.2.3 电动机速度控制电路 ——改变电机磁极数，手动自动调转速

异步电动机变极调速是通过改变定子空间磁极对数的方式改变同步转速，从而达到调速的目的。在恒定频率下，异步电动机的同步转速与磁极对数成反比，磁极对数增加1倍，同步转速就下降一半，从而引起异步电动机转子转速的下降。显然，这种调速方法只能一级一级地改变转速，而不能平滑地调速。

### 1. 双速电动机手动调速控制电路

图 2-41 所示为双速三相异步电动机的手动调速控制电路。

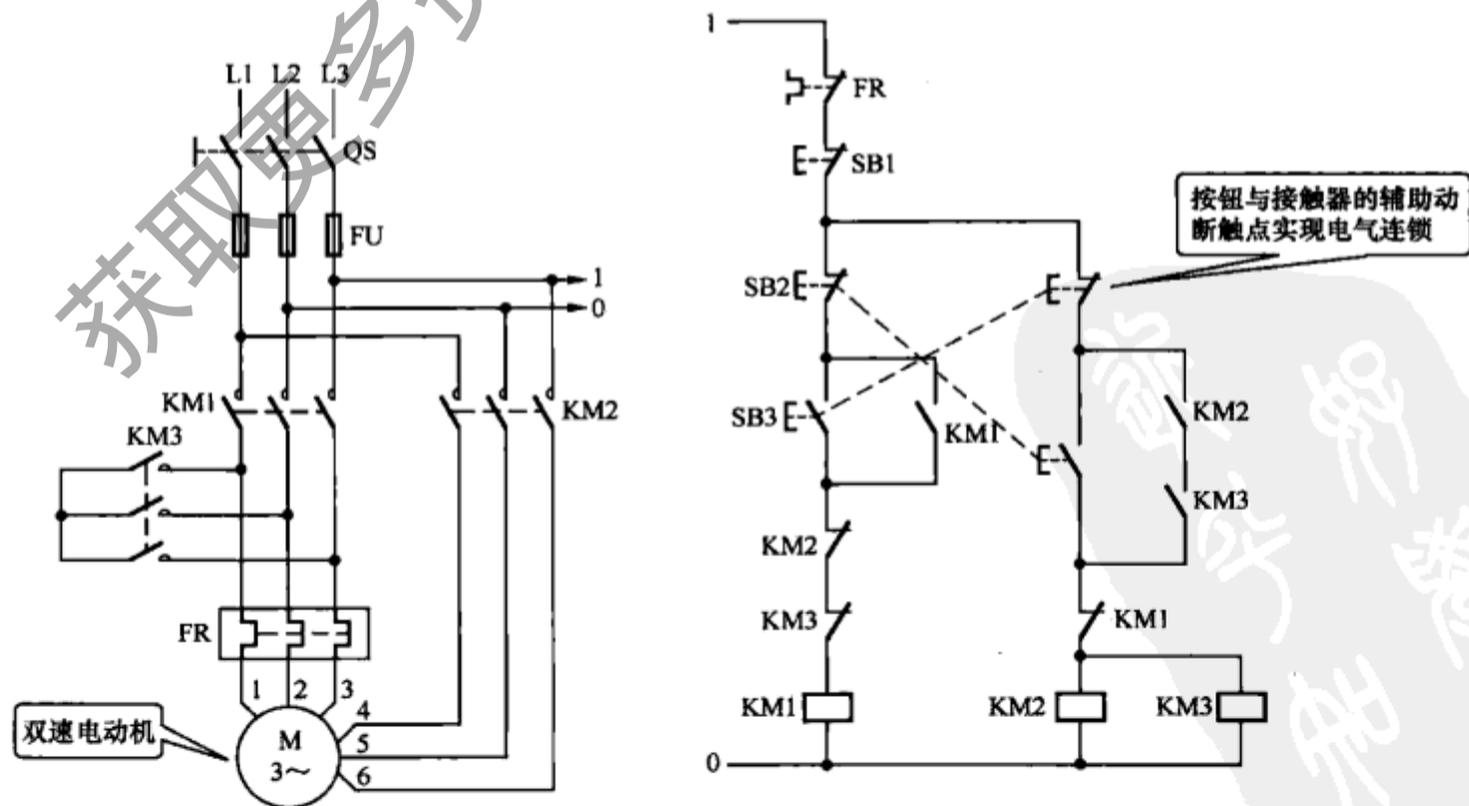


图 2-41 双速电动机手动调速控制电路



需指出的是，从一种接法改为另一种接法时，为确保方向不变，应将电源相序反过来。

## 2. 双速电动机自动加速电路

图 2-43 所示为双速电动机自动加速电路（变极调速）。

该电路的主电路与图 2-41 相同。

当开关 SA 在中间位置时，所有接触器和时间继电器都不接通，控制电路不起作用，电动机处于停止状态。

当 SA 选择“低速”时，接通 KM1 线圈回路，其触点动作的结果是电动机定子绕组接成三角形，以低速运转。

当 SA 选择“高速”位置时，接通 KM2、KM3 和 KT 线圈回路，电动机先低速运行，经过时间继电器 KT 延时后自动切换到高速。这时，电动机定子绕组接成双星形，转速升高 1 倍。

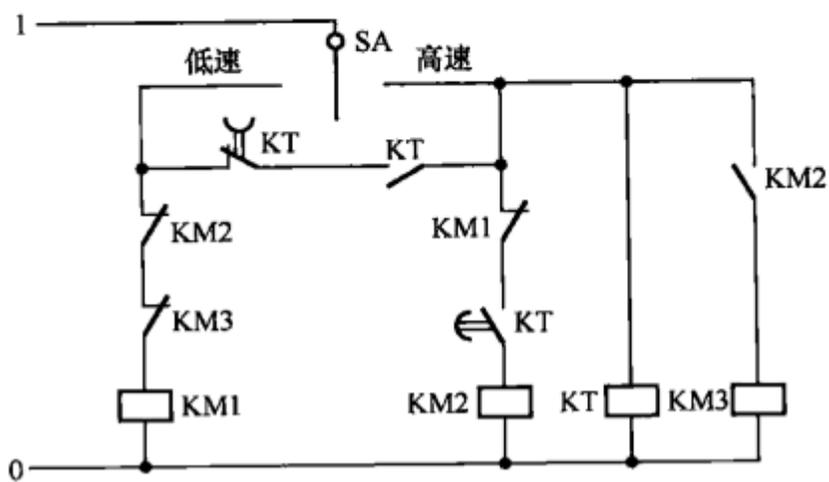


图 2-43 双速电动机自动加速电路



**提示**

该电路的高速运转必须从低速运转过渡。在使用时应根据说明书了解连接方法，做到接线正确。



知识链接

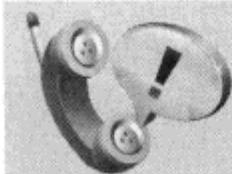
### 电动机转速的选择

- ① 对于不调速的高、中速生产机械（如泵、鼓风机），选择相应额定转速的电动机。
- ② 对于不调速的低速生产机械（如球磨机、粉碎机），选用相应的低速电动机或者传动比较小的减速机构。
- ③ 对于经常启动、制动和反转的生产机械，主要考虑缩短启、制动时间（取决于电动机的飞轮矩和额定转速，应选择较小的飞轮矩和较低的额定转速），以提高生产率。

## 3. 接触器控制三速笼型异步电动机调速电路

图 2-44 所示为接触器控制三速笼型异步电动机调速电路。图中，SB1、SB2、SB3 分别为低速、中速、高速按钮，KM1、KM2、KM3 分别为低速、中速、高速接触器。

按下任何一个速度启动控制按钮（SB1、SB2、SB3），对应的接触器线圈得电，其自锁和互锁触点动作，完成对本线圈的自锁和对其他接触器线圈的互锁。主电路对应的主触点闭合，实现对电动机定子绕组对应的接法，使电动机工作在选定的转速下。



**提示**

在该电路中，从任何一种速度转换到另一种速度时，必须先按下停止按钮，因为 KM1、KM2 和 KM3 三个接触器之间是电气互锁的。

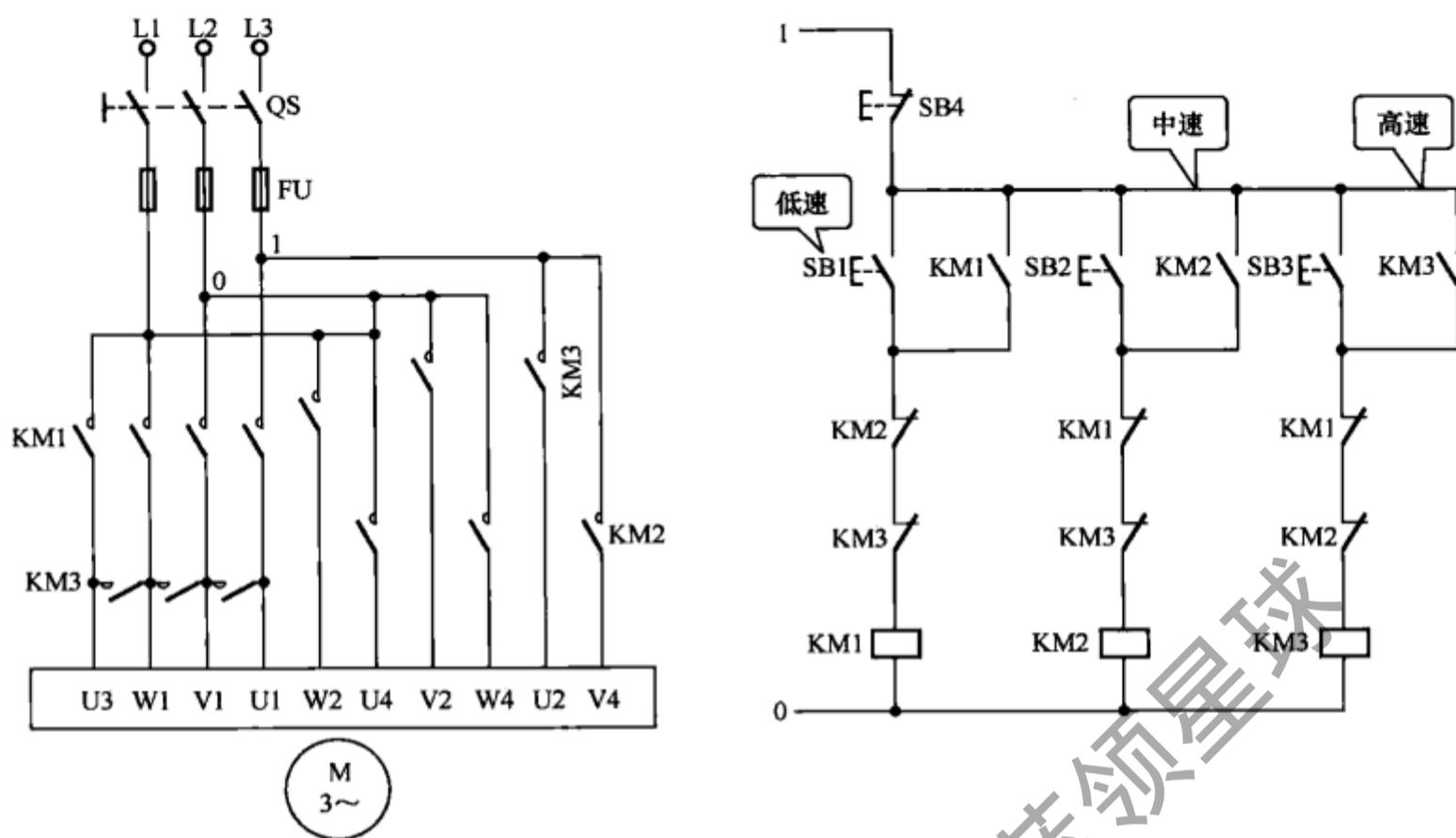


图 2-44 接触器控制三速笼型异步电动机调速电路

**知识链接**

**三速笼型异步电动机绕组的结构与接线**

三速笼型异步电动机的定子槽内安装有两套绕组，分别是三角形绕组和星形绕组，其结构如图 2-45 (a) 所示。低速运行时按图 2-45 (b) 接线，定子绕组为三角形接法；中速运

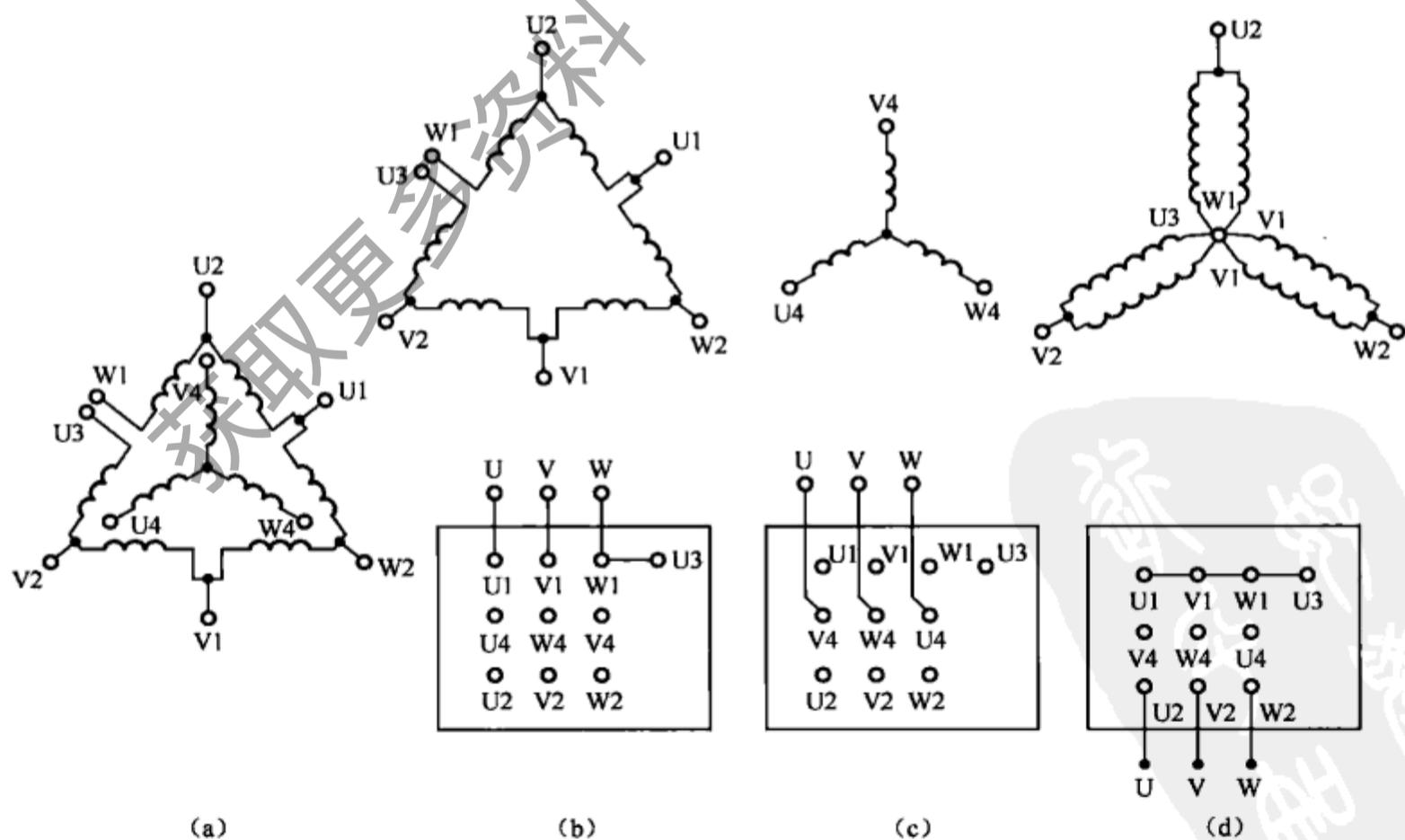


图 2-45 三速笼型异步电动机定子绕组接线图

运行时按图 2-45 (c) 接线，定子绕组为星形接法；高速运行按图 2-45 (d) 接线，定子绕组为双星形接法。

#### 4. 时间继电器控制三速笼型异步电动机调速电路

图 2-46 所示为时间继电器控制三速笼型异步电动机调速电路。该电路的主电路与图 2-44 所示的主电路相同。

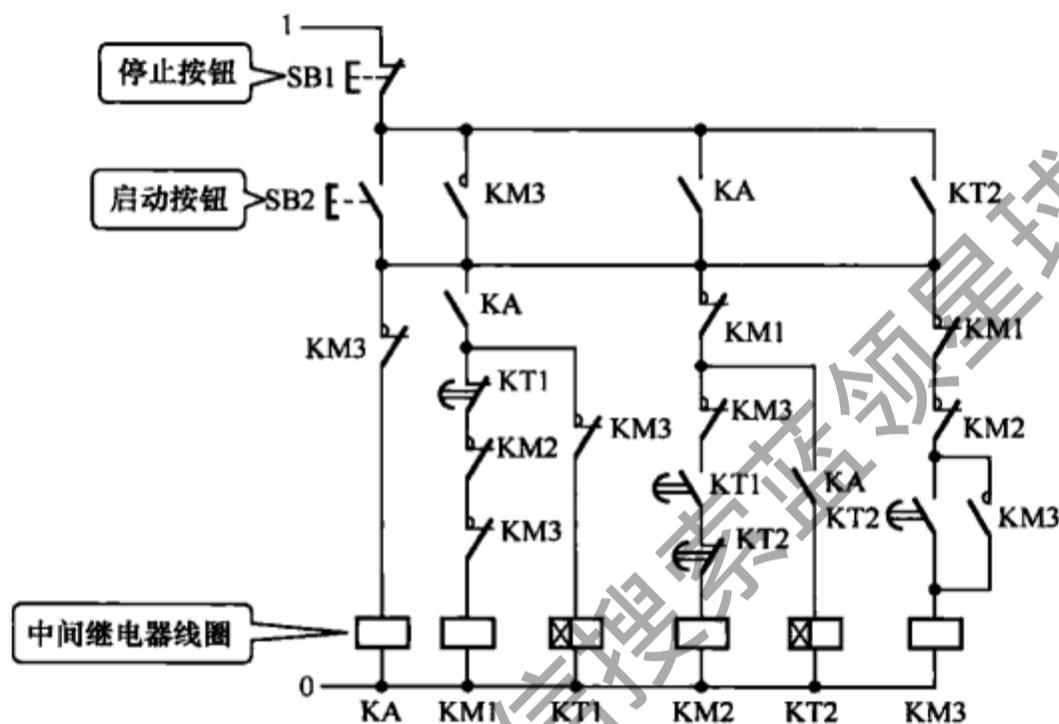


图 2-46 时间继电器控制三速笼型电动机调速电路

该电路共使用了 3 个交流接触器，KM1 为低速运行接触器，KM2 为中速运行接触器，KM3 为高速运行接触器；还使用了两个时间继电器，KT1 为中速运行的时间继电器，KT2 为高速运行的时间继电器。KA 为中间继电器，用于在控制电路中增加触点数量，以传递控制信号。

**低速运行：**按下启动按钮 SB2，中间继电器 KA 得电吸合并自锁，使 KM1 和 KT1 同时得电。接触器 KM1 得电后，其互锁触点断开，实现对接触器 KM2、KM3 以及时间继电器 KT2 的互锁。同时，KM1 的主触点闭合，电动机定子绕组按三角形连接，电动机启动后运转在低速状态下。

**中速运行：**在电动机低速运行期间，当到达 KT1 的整定时间后，KT1 延时断开的触点断开，KM1 失电释放，其主触点断开，电动机定子绕组暂时与电源断开。此时 KT1 延时闭合的触点闭合，使 KM2 得电吸合，其互锁触点动作，实现对 KM1 和 KM2 的互锁。主回路中 KM2 主触点闭合，电动机定子绕组按星形连接，此时电动机运转在中速状态下。

**高速运行：**在电动机中速运行期间，当到达 KT2 的整定时间后，KT2 延时断开的触点断开，使 KM2 失电释放，其互锁触点复位，解除对 KM3 的互锁；KM2 主触点断开，电动机定子绕组暂时与电源断开。KT2 延时闭合的触点闭合，使 KM3 得电吸合，其互锁触点动作，实现对 KM1、KM2、KA 的互锁。主回路中 KM3 的主触点闭合，电动机定子绕组按双星形方式连接，此时电动机运行在高速状态下。

按下 SB1, 电动机停止运行。

**提示** 调整好 KT1、KT2 的整定时间, 是该电路保证电动机由低速运行过渡到中速运行和由中速运行过渡到高速运行的关键。

## 2.2.4 电动机保护控制电路 ——巧用电流互感器, 过流断相电源闭

### 1. 电动机过电流保护电路

图 2-47 所示为电动机过电流保护电路。在该电路中, TA 为电流互感器, KA 为电流继电器, KT 为时间继电器, KM 为交流接触器, SB1 为停止按钮, SB2 为启动按钮。

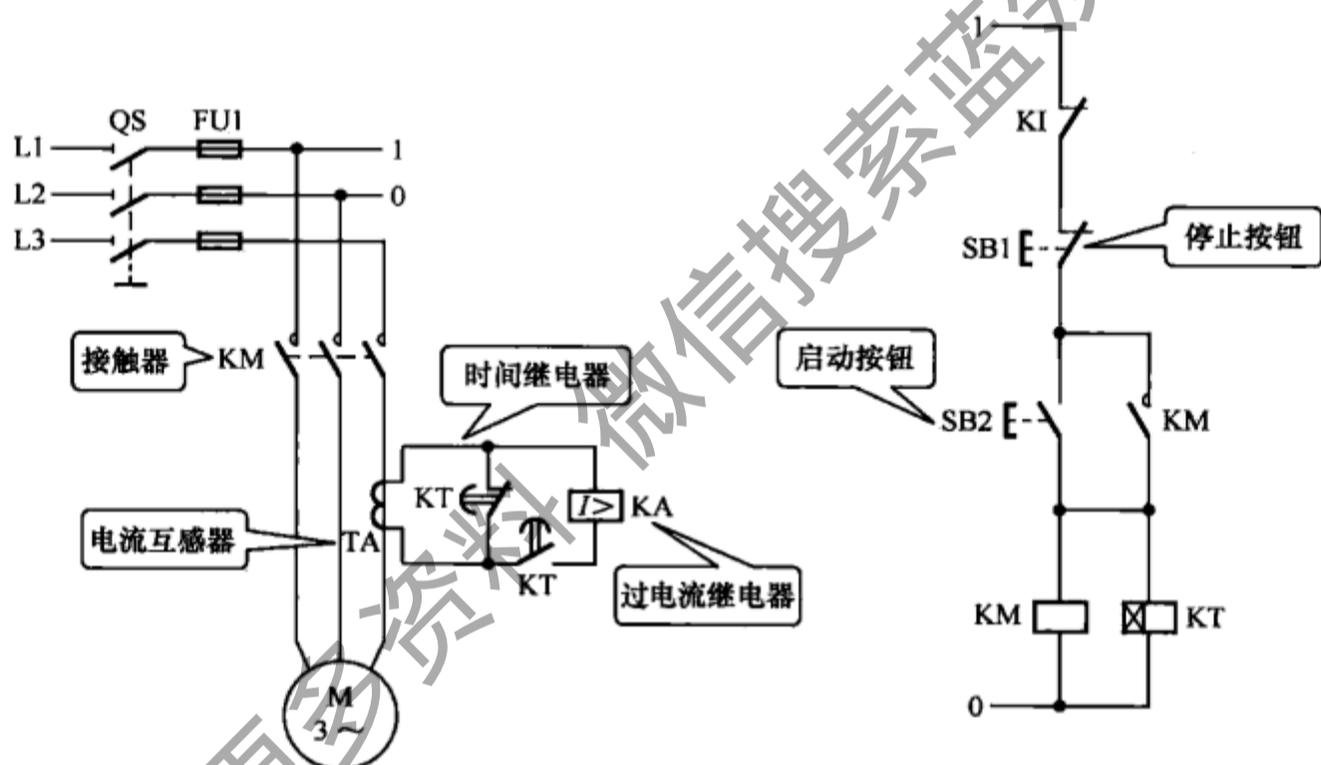


图 2-47 电动机过电流保护电路

在电动机启动时, 由于启动电流较大, 时间继电器的动断触点先短接电流互感器 TA, 以避免电动机启动电流流过 KA 而产生误动作。电动机启动完毕后, 电流下降至正常值, 时间继电器 KT 经延时后动作, 其动断触点断开, 动合触点闭合, 把电流互感器 TA 接入电流互感器线路中, 以便电动机运行感应电流。

一旦三相电动机运行电流超过正常工作电流, 过电流继电器 KA 达到吸合电流而吸合, 其动断触点断开, KM 失电释放, 使主回路断电, 从而在电动机过电流时断开电源。

**提示** 利用互感器及过电流继电器实现对电动机的过电流保护, 克服了热继电器过电流保护的缺陷。

## 2. 电动机断相保护电路

图 2-48 所示为电动机断相保护电路。

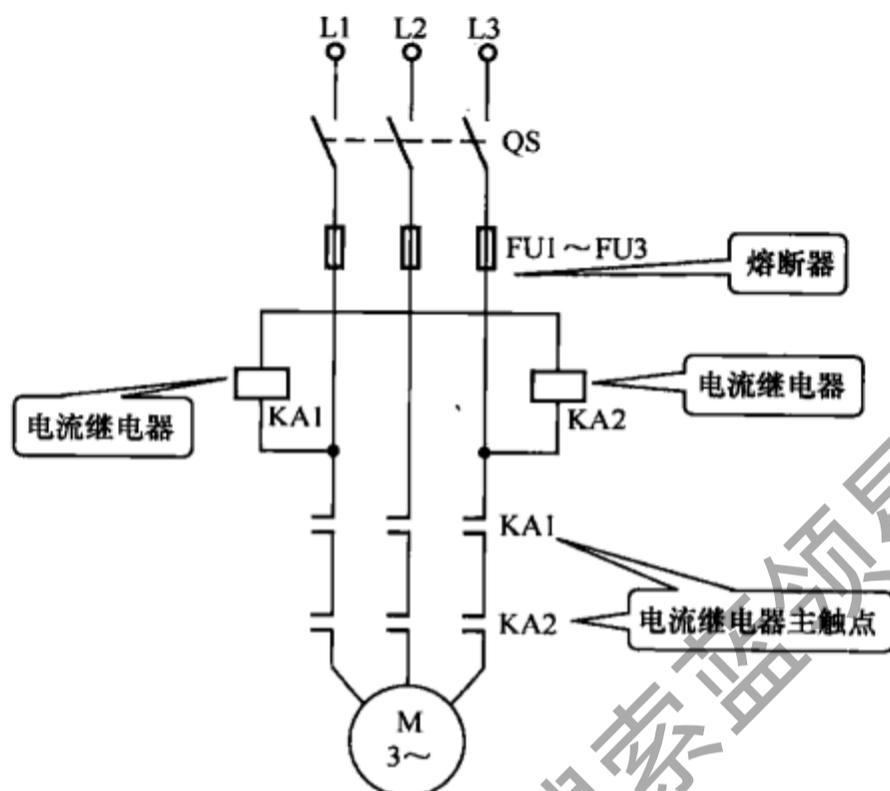
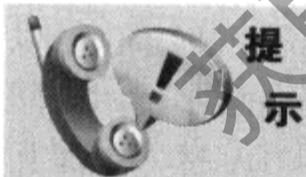


图 2-48 电动机断相保护电路

该电路的原理比较简单，把电流继电器 KA1、KA2 的主触点分别串联在电动机供电回路中。当三相电源正常时，继电器 KA1、KA2 同时得电吸合，并闭合其主触点，电动机能够正常工作。

无论是在电动机启动前还是在运行过程中，也无论是供电电源的原因还是控制电路中接触器故障等原因造成的电动机供电电路断相，其断相的线路中均没有电流通过，对应的电流继电器就会因失电而释放，从而断开电动机的电源。例如，若 L1 或 L2 相突然断电，则继电器 KA1 将失电跳闸；若 L2 或 L3 相突然断电，则继电器 KA2 将失电跳开，切断电源。所以，在 L1、L2、L3 三相之中缺少了任一相，电动机的电源均将被切断，起到了保护电动机绕组的作用。



**提示**

电流继电器 KA1、KA2 的线圈额定电压为 380V。由于电动机断相故障时电流很大，因此，要求电流继电器的触点应能满足电动机的最大电流量。

## 3. 电动机零序电流断相保护电路

图 2-49 所示为电动机零序电流断相保护电路。

按下启动按钮 SB1，交流接触器 KM 吸合，电动机 M 投入正常运行。此时电动机三相负载平衡，零序电流互感器 TA 的二次电流等于零，VT1 处于截止状态，VT2 处于导通状态，继电器 K（JR-4 型）吸合，KM 自锁。

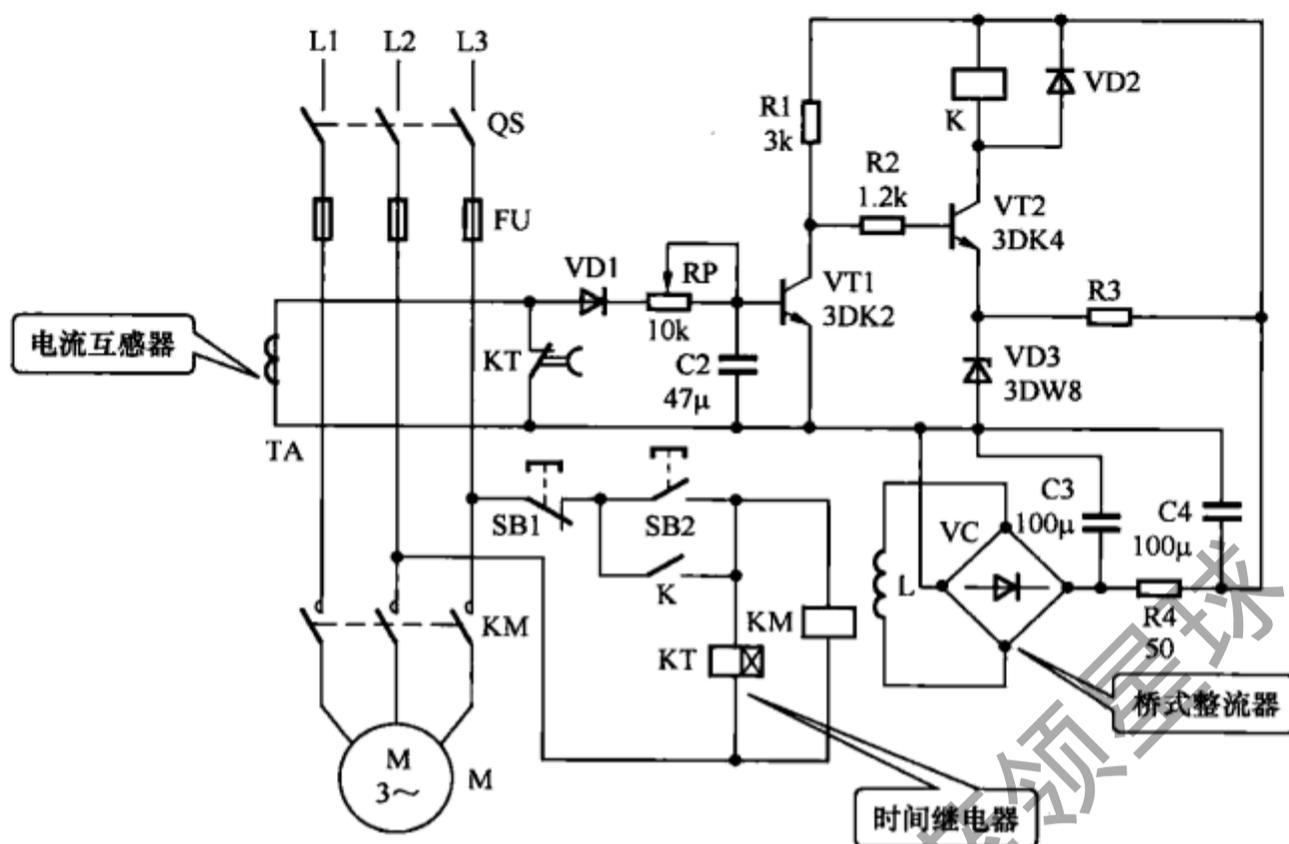


图 2-49 电动机零序电流断相保护电路

当三相电源中任意一相断电后，由于三相不平衡，TA 二次侧产生的感应电流经 VD1 整流，使 VT1 由截止翻转为导通，而 VT2 由导通翻转为截止（VT2 的电源由 KM 的线圈外加绕的 L 绕组取出 15~18V 电压，再经桥式整流器 VC 整流后供给）。K 失电后触点断开，切断 KM 回路，电动机 M 失电停转，达到断相保护的目。



**提示**

为避启动时的不平衡电流，可增加时间继电器 KT，其延时开启的动断触点将 TA 的二次侧在电动机 M 启动过程中暂时短路。对于自身三相平衡的小功率电动机则无须增加 KT。

### 家务事

甲：不知你买了电脑后还能否做些家务？

乙：天天做，在晚饭前将碗筷当图标排列一下，饭后清理桌面，偶尔也要清空一下垃圾篓（回收站）。



## 2.3 直流电动机控制电路——励磁方式可选择

直流电机用途广，无级调速力量猛。  
绕组供电称励磁，励磁方式有四种。  
并励串励最常用，电路结构要搞懂。  
各种励磁有特点，工作原理应该懂。

直流电动机具有调速精度高、能够实现无级平滑调速及可频繁启动等优点，应用非常广泛。直流电动机的励磁方式有他励、并励、串励、复励4种，本节主要介绍并励和串励两种直流电动机的启动、正反转、制动、调速控制电路。

### 2.3.1 直流电动机启动控制电路 ——电枢回路串电阻，逐步短接通无阻

为了减小启动电流及防止启动时对机械负载冲击过大，直流电动机通常采用降压启动方式。降压的方法有两种：一是电枢回路串联启动电阻启动，二是降低电源电压启动。

#### 1. 直流电动机手动启动控制电路

##### (1) 他励直流电动机三端启动器启动控制电路

他励直流电动机三端启动器控制电路如图 2-50 所示。

合上 QS 后，将手柄从位置“0”扳到位置“1”，他励直流电动机开始串入全部电阻启动，此时因串入的电阻最多，故能够将启动电流限制在比额定工作电流略大一些的数值上。随着转速的上升，电枢电路中的反电动势逐渐加大，这时再将手柄依次扳到“2”、“3”、“4”和“5”位置上，启动电阻被逐段短接，电动机的转速不断提高。

##### (2) 并励直流电动机手动控制电路

并励直流电动机手动控制电路如图 2-51 所示。

启动变阻器有 4 个接线端 E1、L+、A1 和 L-，分别与电源、电枢绕组和励磁绕组相连。手轮 8 附有衔铁 9 和恢复弹簧 10，弧形铜条 7 的一端直接与励磁电路接通，同时经过全部启动电阻与电枢绕组接通。在启动之前，启动变阻器的手轮置于“0”位，然后合上电源开关 QS，慢慢转动手轮 8，使手轮从“0”位转到静触点“1”，接通励磁绕组电路，同时将变阻

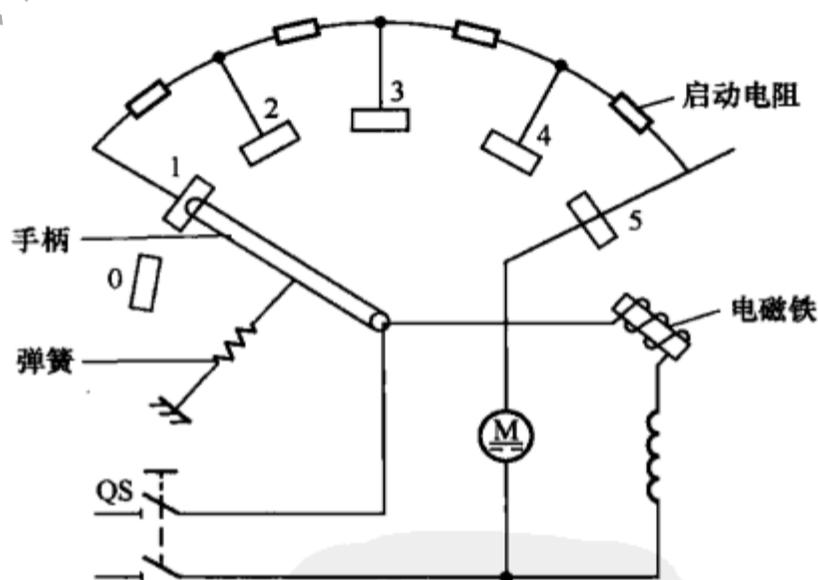


图 2-50 他励直流电动机三端启动器控制电路

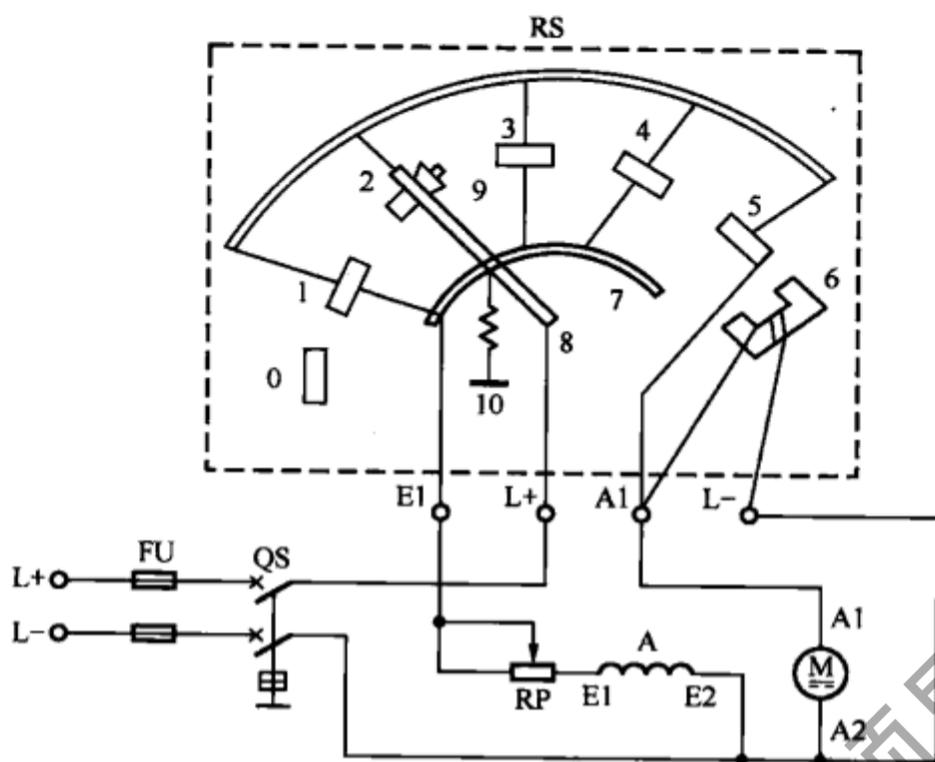


图 2-51 并励直流电动机手动控制电路

器 RS 的全部启动电阻接入电枢电路，电动机开始启动旋转。随着转速的升高，手轮依次转到静触点 2、3、4 等位置，使启动电阻逐级切除。当手轮转到最后一个静触点 5 时，电磁铁 6 吸住手轮衔铁 9，此时启动电阻逐级切除，直流电动机启动完毕，进入正常运转状态。

当电动机停止工作切断电源时，电磁铁 6 由于线圈断电吸力消失，在恢复弹簧 10 的作用下，手轮自动返回“0”位，以备下次启动。电磁铁 6 还具有失压和欠压保护作用。

由于并励电动机的励磁绕组具有很大的电感，所以，当手轮回复到“0”位时，励磁绕组会因突然断电而产生很大的自感电动势，可能会击穿绕组的绝缘，在手轮和铜条间还会产生火花，将动触点烧坏。因此，为了防止发生这些现象，应将弧形铜条 7 与静触点 1 相连，在手轮回到“0”位时励磁绕组、电枢绕组和启动电阻能组成一闭合回路，作为励磁绕组断电时的放电回路。

启动时，为了获得较大的启动转矩，应使励磁电路中的外接电阻 RP 短接，此时励磁电流最大，这样才能产生较大的启动转矩。

### (3) 串励直流电动机手动启动控制电路

串励直流电动机手动启动控制电路如图 2-52 所示。

串励直流电动机手动启动控制电路的工作原理比较简单，请读者自行分析。

## 2. 直流电动机自动启动控制电路

### (1) 他励直流电动机自动启动控制电路

利用接触器构成的他励直流电动机自动启动控制电路如图 2-53 所示。

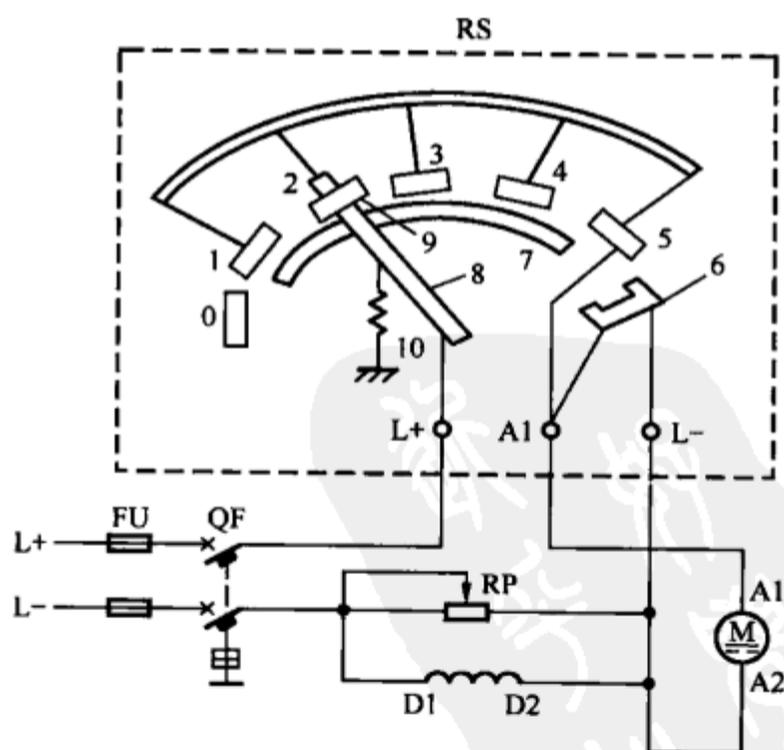


图 2-52 串励直流电动机手动启动控制电路

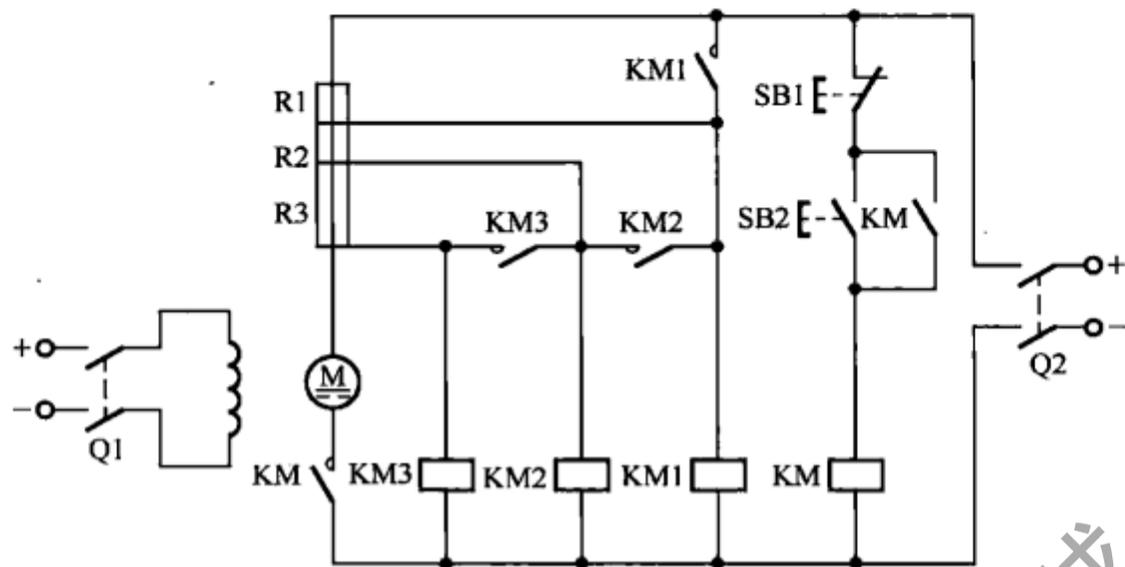


图 2-53 他励直流电动机自动启动控制电路

该电路的控制过程如下。

$Q1^+ \rightarrow SB2^+ \rightarrow KM1_{\text{自}}^+ \rightarrow M^+$  (串 R1、R2、R3 启动)  $\xrightarrow{n_2 \uparrow, U_{KM1} \uparrow} KM1^+ \rightarrow R1^- \xrightarrow{n_2 \uparrow \uparrow, U_{KM2} \uparrow} KM2^+ \rightarrow R1^- \xrightarrow{n_2 \uparrow \uparrow \uparrow, U_{KM3} \uparrow} KM3^+ \rightarrow R3^- \rightarrow M^-$  (全压运行)

图 2-54 所示为利用接触器和时间继电器配合他励直流电动机电枢串电阻降压启动控制电路。

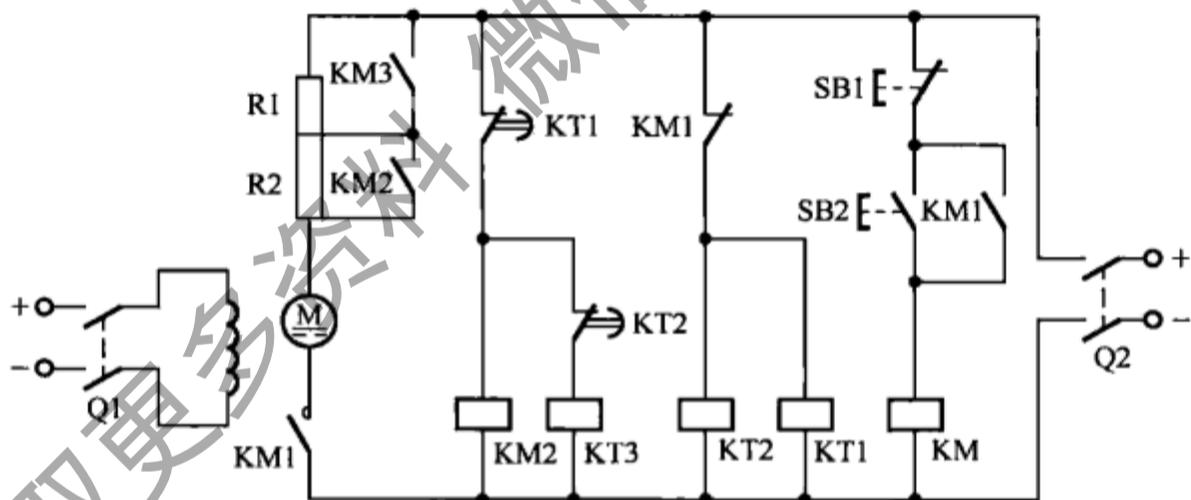
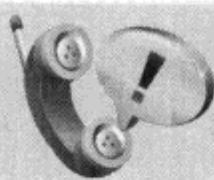


图 2-54 用接触器和时间继电器配合他励直流电动机电枢串电阻降压启动控制电路

该电路的控制过程如下。

$Q2^+ \rightarrow KT1^+ \rightarrow KM2^-, KM3^- \rightarrow SB2^+ \rightarrow KM1_{\text{自}}^+ \rightarrow M^+$  (串 R1、R2 启动)  
 $\rightarrow KT1^- \xrightarrow{\Delta t_1} KM2^+ \rightarrow R2^-$  (先切除 R2)  $\rightarrow M^+$  (串 R1 启动)  
 $\rightarrow KT2^- \xrightarrow{\Delta t_1} KM3^+ \rightarrow R1^-$  (后切除 R1)  $\rightarrow M^+$  (全压运行)

其中， $\Delta t_1 < \Delta t_2$ ，即 KT1 整定时间短，其触点先动作；KT2 整定时间长，其触点后动作。



**提示**

图 2-54 所示控制电路和图 2-53 所示控制电路比较，前者不受电网电压波动的影响，工作可靠性较高，而且适用于较大功率的直流电动机的控制；后者线路简单，所使用元器件的数量少。

### (2) 并励直流电动机启动控制电路

并励直流电动机启动控制电路如图 2-55 所示。

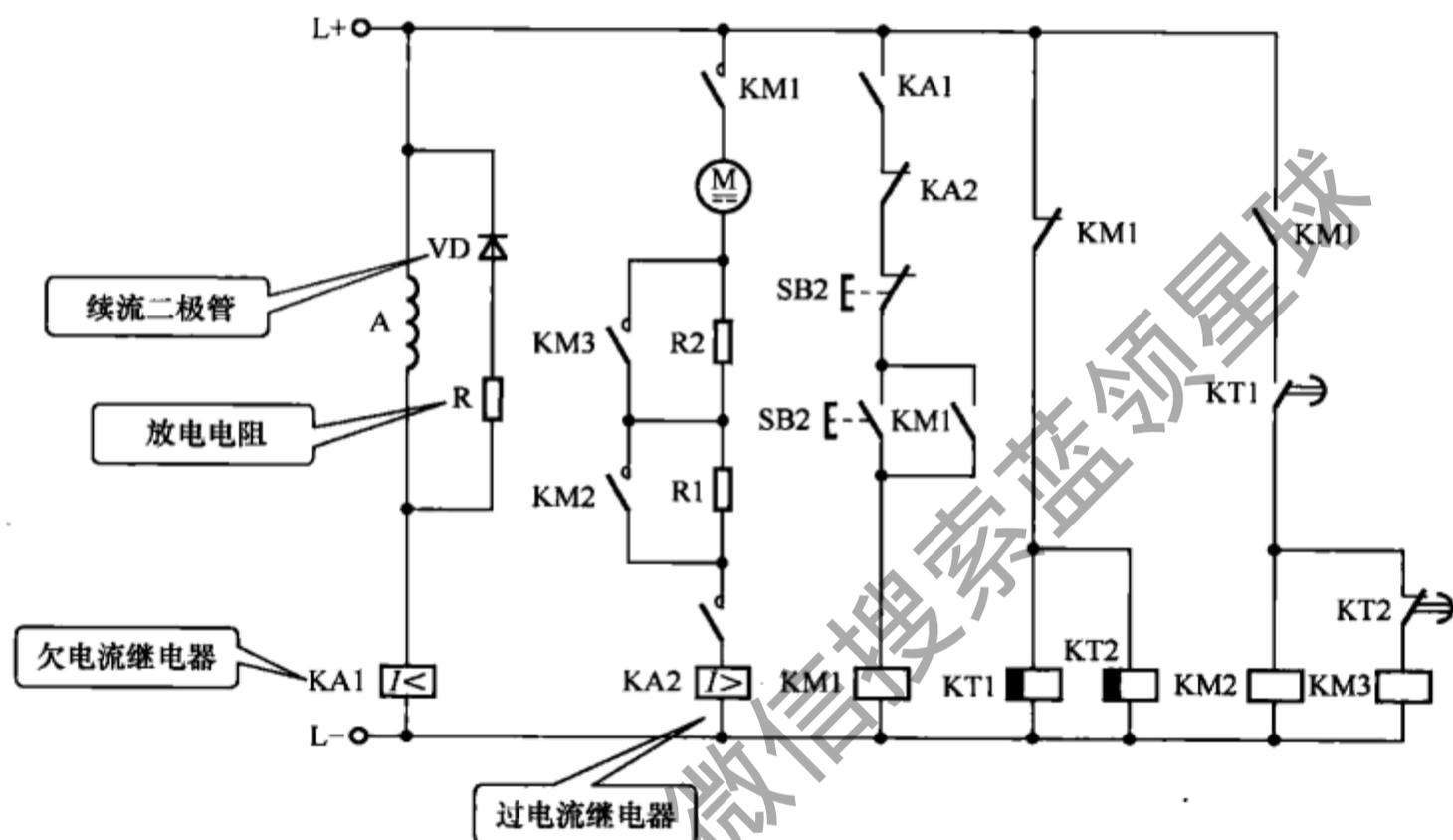


图 2-55 并励直流电动机启动控制电路

接通电源，励磁绕组 A 得电，同时断电延时时间继电器 KT1、KT2 的线圈得电并带动其动断触点瞬时断开接触器 KM2、KM3 的线圈回路，确保电阻 R1、R2 全部串入电枢回路，为电动机启动做好准备。

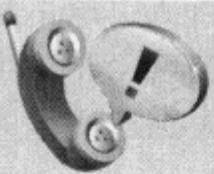
启动时：

SB1<sup>+</sup> → KM1<sup>+</sup> → 串联 R1、R2 启动

KT1、KT2 延时：KT1 闭合  $\Delta t$  → KM2<sup>+</sup> → 短接电阻 R1 → M<sup>+</sup>（串接 R2 继续启动）

KT2 闭合  $\Delta t$  → KM3<sup>+</sup> → 短接电阻 R2 → M<sup>+</sup>（启动结束，全压运转）

停止时，按下 SB2 即可。



**提示**

为避免过电压损坏直流电动机，在励磁电路中接有放电电阻 R，其阻值一般为励磁绕组阻值的 5~8 倍。

### (3) 并励直流电动机启动控制电路

并励直流电动机启动控制电路如图 2-56 所示。

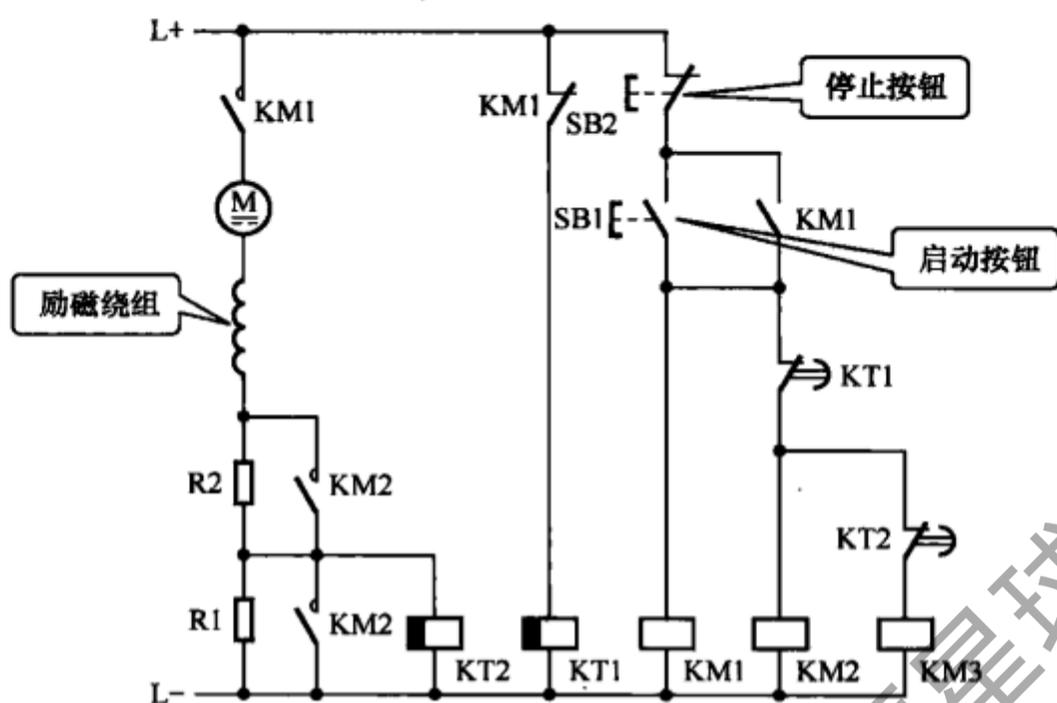


图 2-56 并励直流电动机启动控制电路

接通电源，时间继电器  $KT1$  得电动作，断开  $KM2$ 、 $KM3$  线圈，保证电动机启动时全部串入二级电阻  $R1$ 、 $R2$ 。

启动时：

$SB1^+ \rightarrow KM1^+ \rightarrow M$  串联  $R1$ 、 $R2$  启动

$KT1^-$  延时  $\Delta t \rightarrow KT2^- \rightarrow KM3^- \rightarrow KT1^+ \Delta t \rightarrow KM2^+ \rightarrow$  短接电阻  $R1$  和  $KT2$

$KT2^-$  延时  $\Delta t \rightarrow KM3^+ \rightarrow$  短接电阻  $R2 \rightarrow M^+$  (启动结束，全压运转)

停止时，按下  $SB2$  即可。

### 2.3.2

## 直流电动机正反转控制电路

——绕组电枢流向变，正反转向能实现

由于工艺需要，有的生产设备常常要求直流电动机既能正转又能反转。让直流电动机反转有两种方法：一是电枢反接法，即改变电枢电流方向，保持励磁电流方向不变；二是励磁绕组反接法，即改变励磁电流方向，保持电枢电流方向不变。

### 1. 并励直流电动机正反转控制电路

并励直流电动机正反转控制电路如图 2-57 所示。在实际应用中，并励直流电动机的反转常采用电枢反接法来实现。这是因为并励电动机励磁绕组的匝数多，电感大，当从电源上断开励磁绕组时，会产生较大的自感电动势，不但在开关的刀刃上或接触器的主触点上产生电弧烧坏触点，而且也容易把励磁绕组的绝缘击穿。同时励磁绕组在断开时由于失磁造成很大的电枢电流，易引起“飞车”事故。

该电路的控制过程如下。

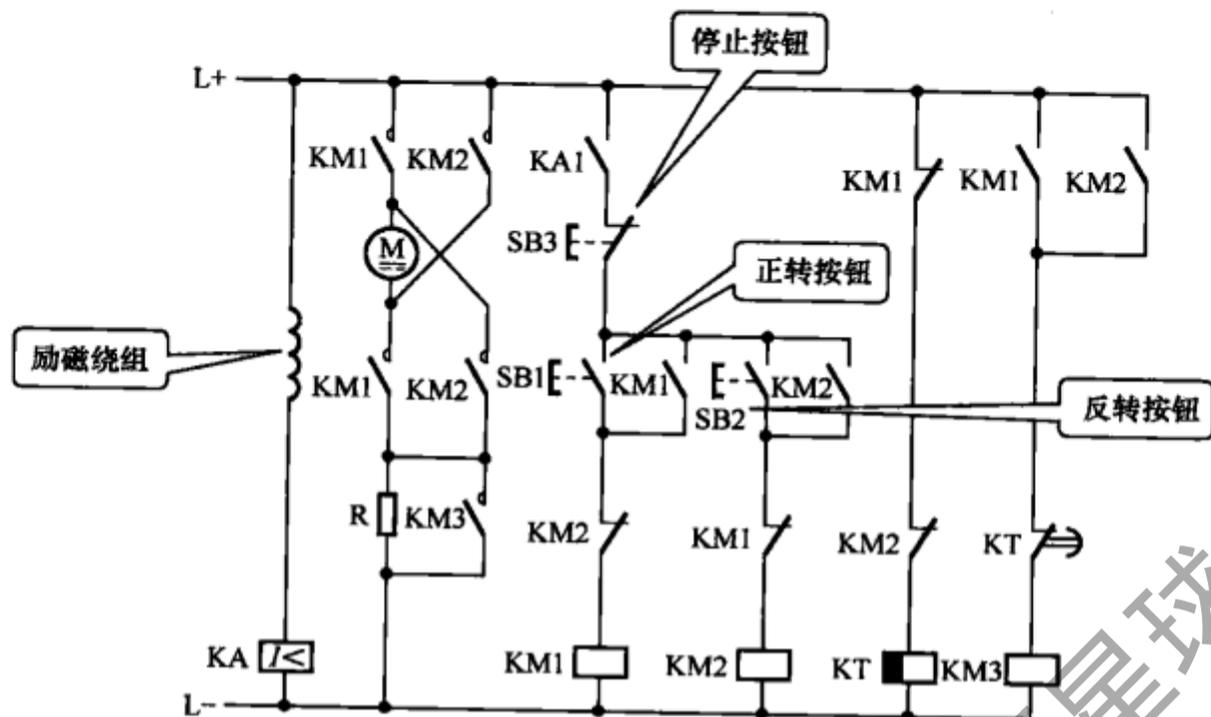
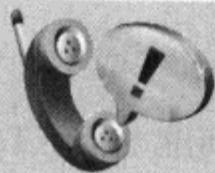


图 2-57 并励直流电动机正反转控制电路

接通电源  $\rightarrow$  励磁绕组得电  $\rightarrow$   $KA^+$   $\rightarrow$   $KT^+$   $\xrightarrow{\Delta t}$   $KM3^-$   $\rightarrow$  保证电动机串接电阻 R 启动  
 $SB1^+$  (或  $SB2^+$ )  $\rightarrow$   $KM1^+$  (或  $KM2^+$ )  $\rightarrow$  为  $KM3^+$  做好准备  
 $KM1^+$  (或  $KM2^+$ )  $\rightarrow$   $M^+$  (串电阻 R 正转或反转启动)  
 $KM1^-$  (或  $KM2^-$ )  $\rightarrow$   $KT^-$   $\xrightarrow{\Delta t}$   $KM1$  (或  $KM2$ ) 对  $KM2$  (或  $KM1$ ) 连锁  $\xrightarrow{\Delta t}$   $KM3^+$   $\rightarrow$   
 短接电阻 R  $\rightarrow$   $M^+$  (启动结束, 全压运转)

停止时, 按下 SB3 即可。



提示

值得注意的是, 电动机从一种转向变成另一种转向时, 必须先按下停止按钮 SB3, 使电动机停转后, 再按相应的启动按钮。

## 2. 他励直流电动机正反转控制电路

通过改变电枢电流方向控制他励直流电动机正反转的控制电路如图 2-58 所示。

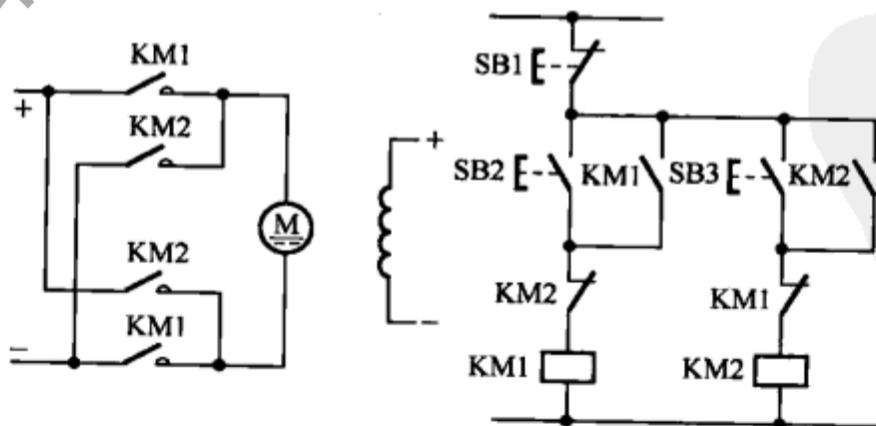


图 2-58 通过改变电枢电流方向控制他励直流电动机正反转的控制电路

该电路的控制过程如下。

正转:  $SB2^{\pm} \rightarrow KM1^{+} \begin{cases} \rightarrow M^{+}(\text{正转}) \\ \rightarrow KM2^{-}(\text{互锁}) \end{cases}$

停车:  $SB1^{\pm} \rightarrow KM1^{-} \rightarrow M^{-}(\text{停车})$

反转:  $SB3^{\pm} \rightarrow KM2^{+} \begin{cases} \rightarrow M^{+}(\text{反转}) \\ \rightarrow KM2^{-}(\text{互锁}) \end{cases}$

利用行程开关控制他励直流电动机正反转的控制电路如图 2-59 所示。

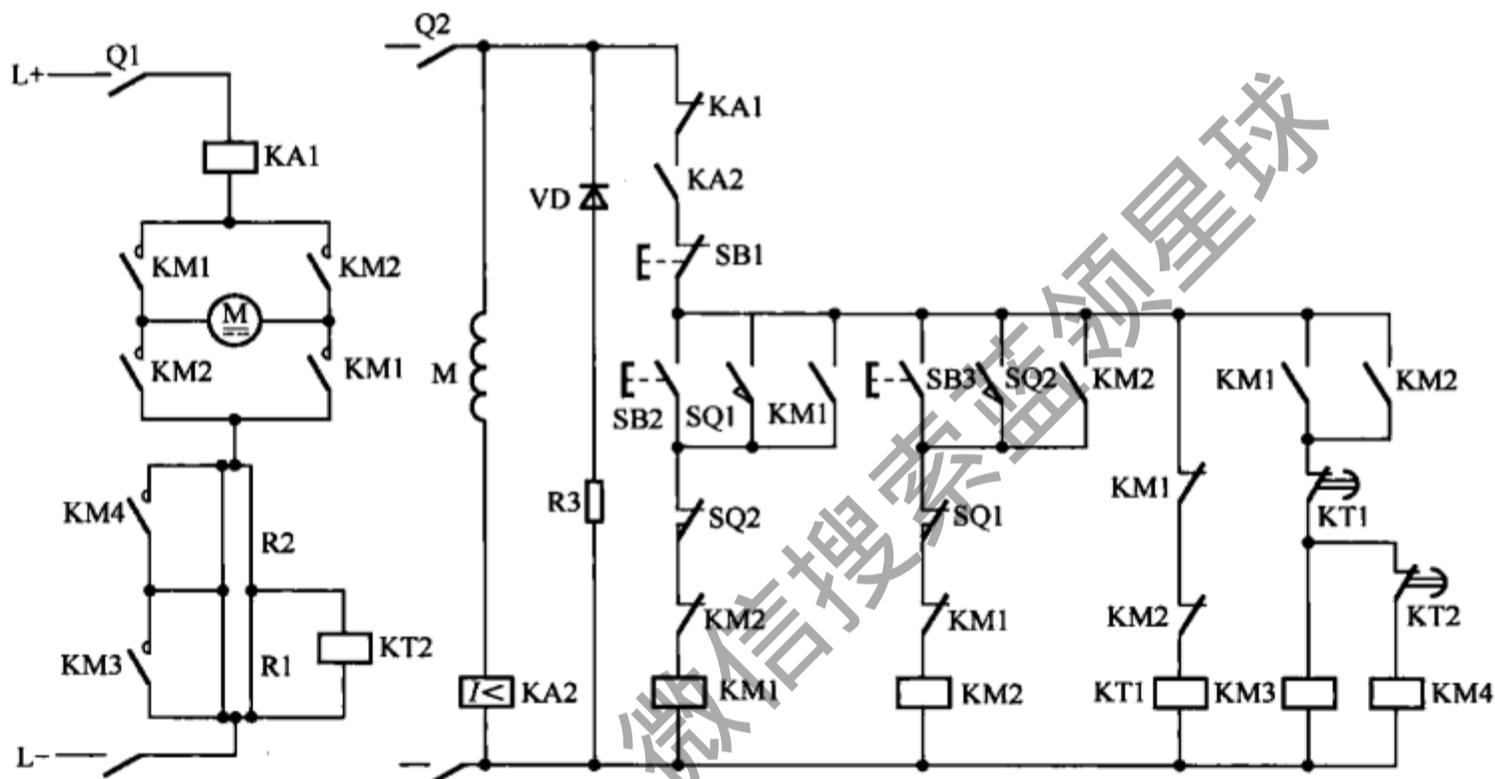


图 2-59 利用行程开关控制他励直流电动机正反转的控制电路

接通电源后,在按下启动按钮前,欠电流继电器  $KA2$  得电动作,断电型时间继电器  $KT1$  的线圈得电,接触器  $KM3$ 、 $KM4$  的线圈断电。

按下正转启动按钮  $SB2$ ,接触器  $KM1$  的线圈得电,时间继电器  $KT1$  开始延时。直流电动机电枢电路串入  $R1$ 、 $R2$  电阻启动。

随着转速不断提高,经过  $KT1$  设置的时间后,接触器  $KM3$  的线圈得电。电枢电路中  $KM3$  的动合主触点闭合,短接掉电阻  $R1$  和时间继电器  $KT2$  的线圈。 $R1$  被短接,直流电动机转速进一步提高,继续进行降压启动过程。时间继电器  $KT2$  被短接,相当于该线圈断电。 $KT2$  开始延时,经过  $KT2$  设置时间后,其触点闭合,使接触器  $KM4$  的线圈得电。电枢电路中  $KM4$  的动合主触点闭合,电枢电路串联启动电阻  $R2$  被短接,正转启动过程结束,电动机电枢全压运行。

### 3. 串励直流电动机正反转控制电路

串励直流电动机正反转控制电路如图 2-60 所示。

该电路的工作原理与三相交流异步电动机正反转控制电路的工作原理基本相同,区别在于正反转启动时,都需要在电枢回路中串联启动电阻。

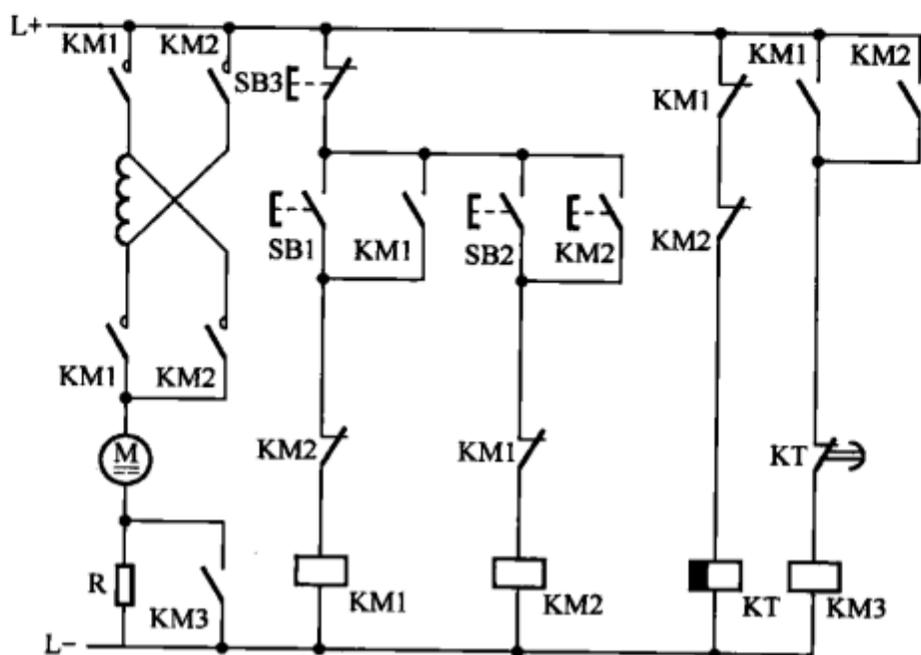


图 2-60 串励直流电动机正反转控制电路

知识链接

直流电动机额定电流的估算

直流电动机额定电流的估算方法如下。

- ① 220V 时，每千瓦为 5A。
- ② 110V 时，每千瓦为 10A。

2.3.3

直流电动机制动控制电路

——电机制动能高，逐渐停转不会烧

直流电动机的制动与三相异步电动机的制动相似，其制动方法也有机械制动和电力制动两大类。由于电力制动具有制动力矩大、操作方便、无噪声等优点，所以在直流电力拖动中应用较广。

1. 并励直流电动机单向启动能耗制动控制电路

图 2-61 所示为并励直流电动机单向启动能耗制动控制电路。

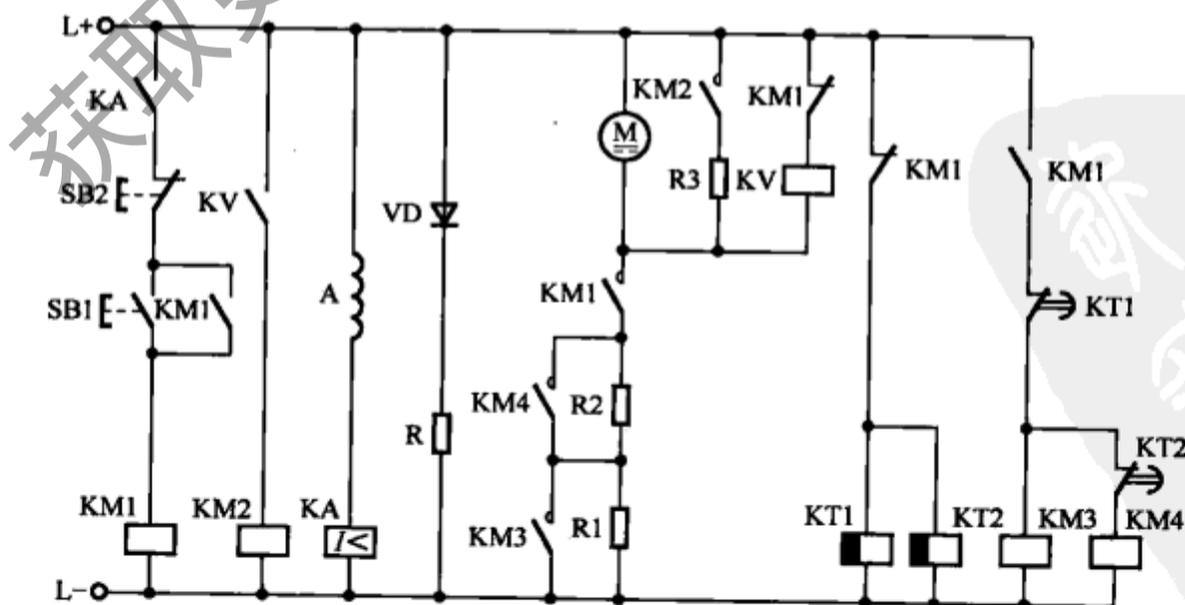


图 2-61 并励直流电动机单向启动能耗制动控制电路

该电路中电动机的启动原理可参照并励直流电动机串电阻二级启动电路的工作原理自己分析。能耗制动停转的原理如下。

SB2<sup>-</sup>→KM1<sup>-</sup>→KM3<sup>-</sup>、KM4<sup>-</sup>→电枢断电→KM1解除自锁→KT1<sup>+</sup>、KT2<sup>+</sup>  $\Delta t$  KV<sup>+</sup>→KM2<sup>+</sup>→RB接入电枢回路进行能耗制动  $\Delta t$  KV<sup>-</sup>→KM2<sup>-</sup>→能耗制动完成

### 2. 他励直流电动机能耗制动控制电路

他励式直流电动机能耗制动控制电路如图 2-62 所示。

按下制动按钮 SB1 时，接触器 KM2 的线圈得电，电枢电路中的电阻 R 串入，直流电动机进入能耗制动状态。随着制动的进行，电动机减速直到最后完全停转。

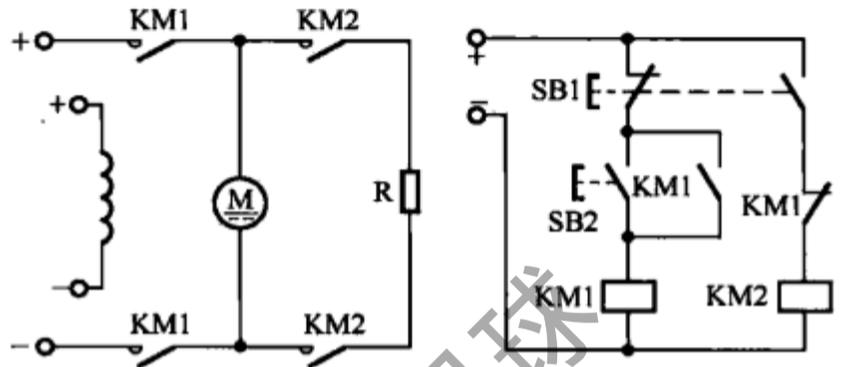
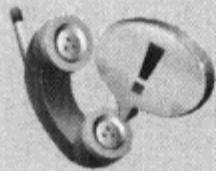


图 2-62 他励直流电动机能耗制动控制电路



**提示**

这种制动方法不仅需要专用直流电源，而且励磁电路消耗的功率较大，所以经济性较差。

### 3. 并励直流电动机反接制动电路

并励直流电动机反接制动电路如图 2-63 所示。

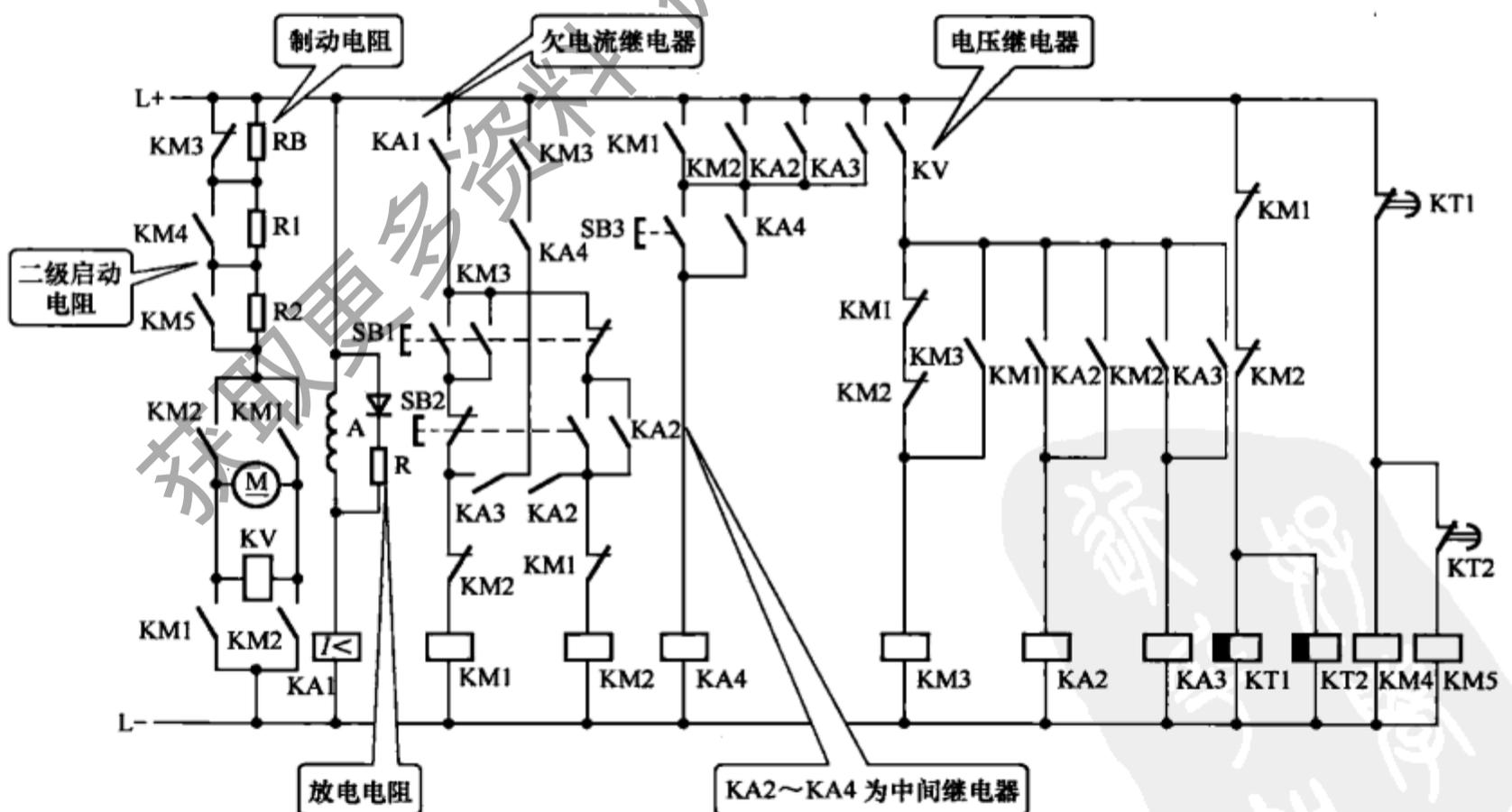


图 2-63 并励直流电动机反接制动电路

反接制动准备过程：在电动机刚启动时，由于电枢中的反电动势为零，电压继电器 KV 不动作，接触器 KM3 和中间继电器 KA2、KA3 均处于失电状态。随着电动机转速升高，反电动势建立后，电压继电器 KV 得电动作，其动合触点闭合，KM3 得电，其动合触点均闭合，为反接制动做好准备。

反接制动过程如下。

SB3<sup>-</sup> → KA4<sup>+</sup> → KM1<sup>-</sup> → M<sup>-</sup> (停止正转)

KM1 连锁触点闭合 → KM2<sup>+</sup>

KM1 动合触点复位 → KM3<sup>+</sup>、KT1<sup>+</sup>、KT2<sup>+</sup> → M 串入 RB → 反接制动开始 → KV → KM3<sup>+</sup>、KA2<sup>-</sup> → 反接制动完成



**提示**

并励直流电动机的反接制动是把正在运行的电动机的电枢绕组突然反接来实现的。因此，在突然反接的瞬间会在电枢绕组中产生很大的反向电流，易使换向器和电刷产生强烈火花而损伤，故必须在电枢回路中串入附加电阻以限制电枢电流，附加电阻的大小可近似等于电枢的电阻值。

当电动机转速等于零时，应及时、准确、可靠地断开电枢回路的电源，以防止电动机反转。

**知识链接**

### 直流电动机的励磁保护

直流电动机励磁保护的方法是：在励磁电路中串联欠电流继电器，当励磁电流合适时，欠电流继电器吸合，其动合触点闭合，控制电路能够正常工作。当励磁电流减小或为零时，欠电流继电器因电流过小而释放，其动合触点恢复断开状态，切断控制电路，使电动机脱离电源，起到励磁保护的作用。

#### 4. 他励直流电动机单向反接制动电路

他励直流电动机单向反接制动电路如图 2-64 所示。

按下启动按钮 SB2，接触器 KM1 的线圈得电，其自锁和互锁触点动作，分别对 KM1 线圈实现自锁，对接触器 KM2 的线圈实现互锁。电枢电路中 KM1 的主触点闭合，电动机电枢接入电源，电动机运转。

按下制动按钮 SB1，其动断触点先断开，使接触器 KM1 的线圈断电，解除 KM1 的自锁和互锁，主回路中 KM1 的主触点断开，电动

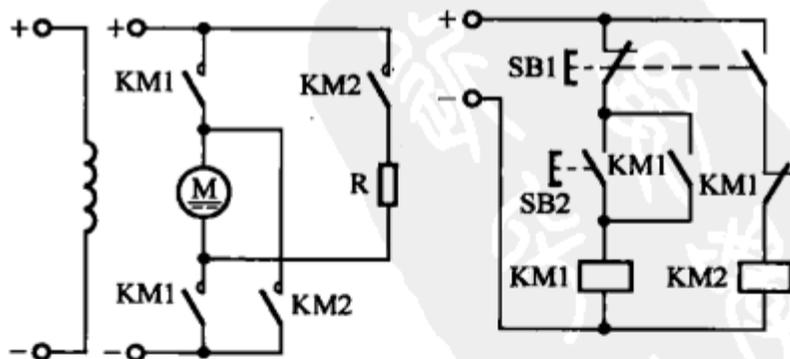


图 2-64 他励直流电动机单向反接制动电路

机电枢依靠惯性旋转。SB1 的动合触点后闭合，接触器 KM2 的线圈得电，电枢电路中 KM2 的主触点闭合，电枢接入反方向电源，串入电阻进行反接制动。

### 5. 串励直流电动机反接制动电路

串励直流电动机反接制动电路如图 2-65 所示。

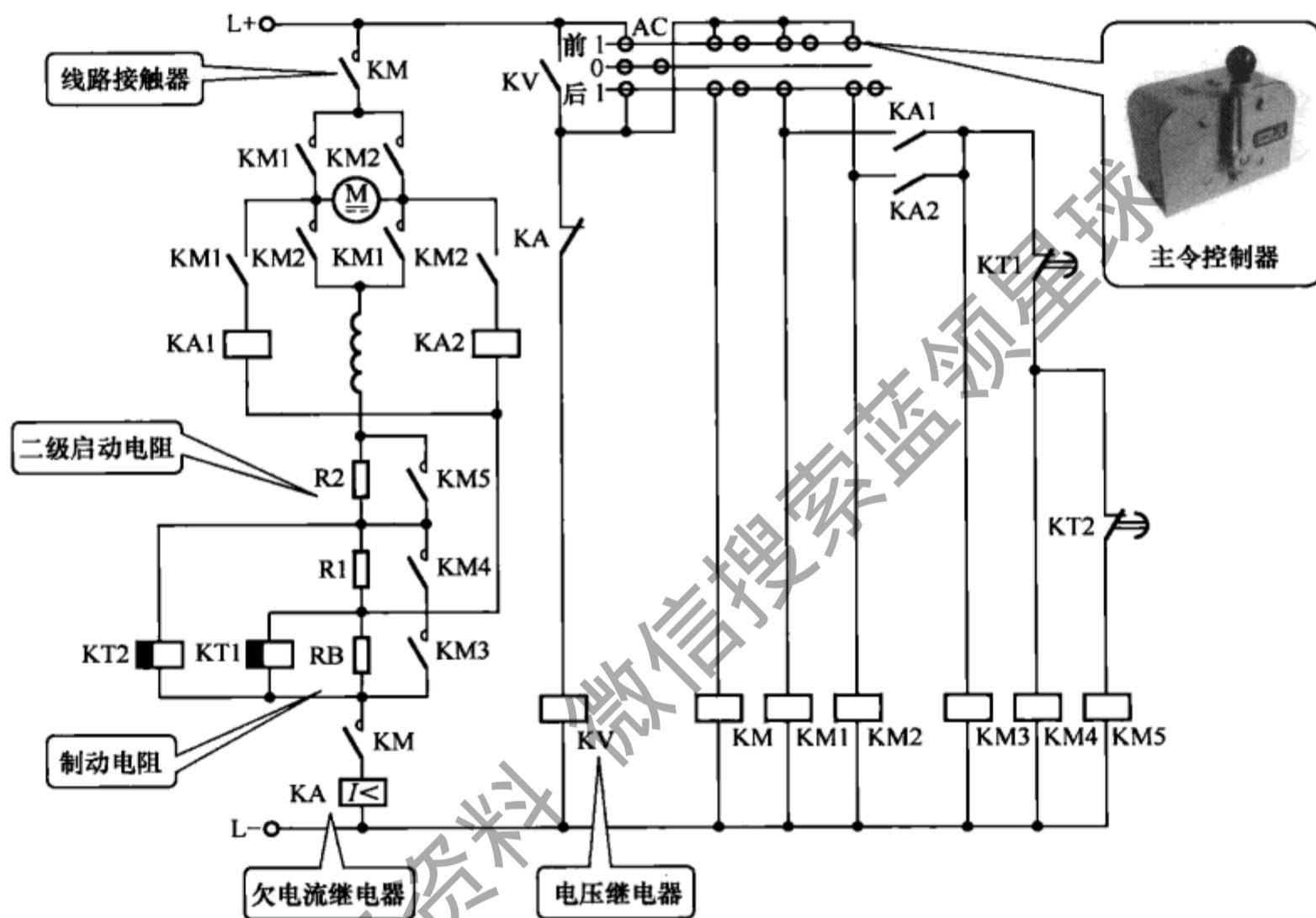


图 2-65 串励直流电动机反接制动电路

准备启动时，主令控制器 AC 的手柄置于位置“0”。接通电源，电压继电器 KV 得电，其动合触点闭合自锁。

电动机正转时，主令控制器 AC 的手柄置于位置“前 1”。

需要电动机反转时，将主令控制器 AC 的手柄由正转位置（“前 1”）向后扳向反转位置（“后 1”），其工作过程如下。

KM1<sup>-</sup>、KA1<sup>-</sup> → M 在惯性作用下仍沿正转方向转动 → 电枢电源使 KM<sup>+</sup>、KM2<sup>+</sup> → M<sup>+</sup>（反接制动状态） → KA2 动合触点分断 → KM3<sup>-</sup>、KM4<sup>-</sup>、KM5<sup>-</sup> → KM3、KM4、KM5 动合触点分断 → RB、R1、R2 接入电枢电路 → KA2<sup>+</sup> → KM3<sup>+</sup>、KM4<sup>+</sup>、KM5<sup>+</sup> → RB、R1、R2 依次被短接 → M<sup>+</sup>（反转启动运行）

需要电动机停转时，把主令控制器 AC 的手柄置于位置“0”。

### 黄蜂和蛇

一只黄蜂坐在一条蛇的头上，不停地用刺去叮它，差一点儿置蛇于死地。忍受着极大痛苦的蛇不知所措，它无法回避这个小小的仇敌，怎么也吓不跑黄蜂。这时，一辆满载木材的货车驶来，蛇便有意将头放到车轮底下并说：“让我和仇敌同归于尽吧！”



获取更多资料 微信搜索 蓝领星球



# 第 3 章

## 电动机控制新技术电路 ——技术升级

传统笼型异步电动机启动、制动等控制方式的实现通常由继电器—接触器控制系统来完成,虽然这种方式控制逻辑清晰,采用机电合一的组合方式便于普通机类或电类技术人员维修,但由于使用的电气元器件体积大、触点多、故障率高,因此,运行的可靠性较低,致使电动机及其拖动系统处于非经济运行状态,不但浪费大量的电能,而且生产效率也不高。

随着 PLC 技术、电动机软启动技术、变频器技术和新型继电器应用技术等的发展,采用新技术进行电动机的运行控制已成为必然趋势。

通过本章学习,要求达到以下目标。

### 知识目标

- ① 了解电动机 PLC 控制电路、软启动电路、变频器控制电路、固态继电器的组成及自动控制的基本概念。
- ② 能正确看懂电动机 PLC 控制电路、软启动电路、变频器控制电路、固态继电器的电路图,并能分析控制电路的主要控制过程。
- ③ 掌握 PLC 控制电路与传统继电器—接触器控制电路的区别。
- ④ 知道电动机 PLC 控制电路、软启动电路、变频器控制电路和固态继电器中主要元器件的作用。

### 能力目标

- ① 初步学会如何分配 I/O 地址。
- ② 能根据控制要求检查所设计的基本程序是否正确。
- ③ 能根据接线图正确安装与连接元器件。
- ④ 能根据生产实际需要选用合适的软启动器。
- ⑤ 能根据电路图维护变频器。
- ⑥ 能根据电路图进行固态继电器的接线操作。

## 3.1 电动机 PLC 控制电路——电机控制程序化

可编程序控制器，内部大量软电器。  
软接点，很可靠，方便编程来控制。  
采用可编程控制，可能用到继电器。  
输入输出分配表，控制电路之依据。  
梯形图和指令表，程序复杂看仔细。

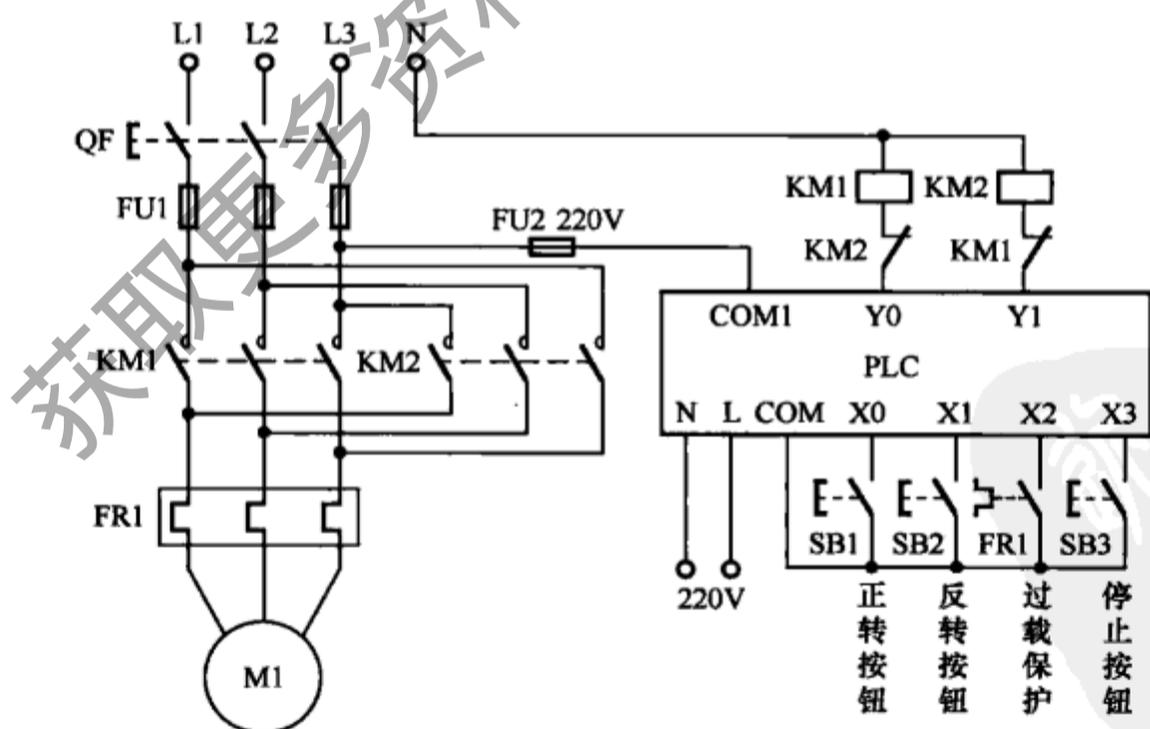
可编程序控制器（PLC）是在继电器控制和计算机控制的基础上开发的产品，其内部大量采用“软”电器、“软”接点和“软”线连接，使用软件控制它的“软硬件”，动作快，工作可靠性极高。控制功能改变时一般只需修改程序便可，使用极其方便，设计、施工与调试周期比继电器—接触器控制系统短。

### 3.1.1 PLC 控制电动机正反转电路 ——正转反转不能乱，电气互锁是关键

PLC 控制电动机正反转电路可采用多种方法来实现，下面列举两种电路供大家选用。

#### 1. PLC 控制电动机正反转电路（一）

图 3-1（a）为一种 PLC 控制电动机正反转电路接线图，图 3-1（b）、（c）所示为该电路的梯形图及指令语句表，其输入/输出地址分配如表 3-1 所示。



(a) 接线图

图 3-1 PLC 控制电动机正反转电路（一）

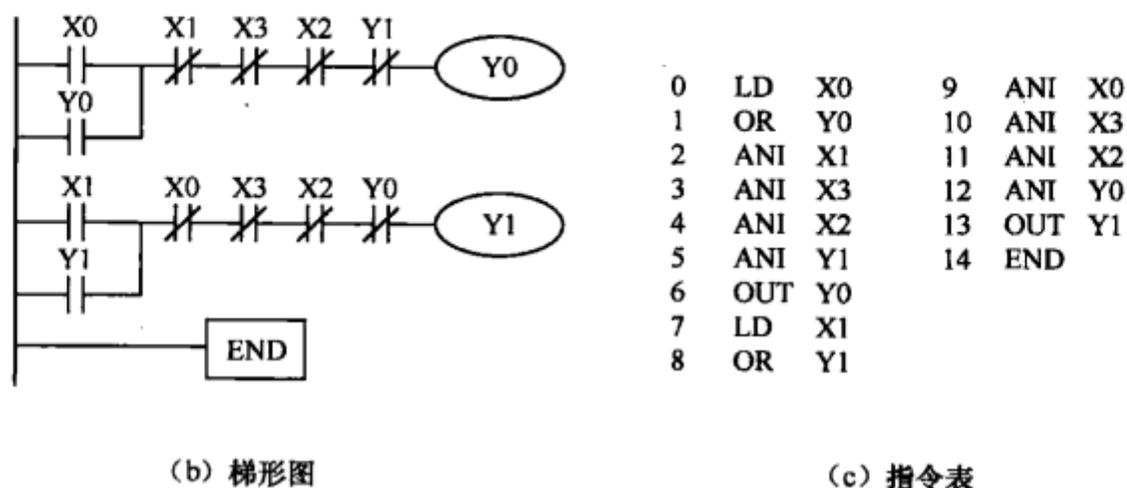


图 3-1 PLC 控制电动机正反转电路 (一) (续)

表 3-1 图 3-1 (a) 所示电路的 PLC 输入/输出地址分配表

输入 (I)			输出 (O)		
元器件	功能	信号地址	元器件	功能	信号地址
SB1	电动机正转控制按钮	X0	KM1	正转控制接触器	Y0
SB2	电动机反转控制按钮	X1	KM2	反转控制接触器	Y1
SB3	电动机停止控制按钮	X3			
FR1	热继电器触点, 用于过载保护	X2			

PLC 控制电动机正反转电路由主电路和控制电路两大部分组成。这与继电器—接触器电动机控制电路的组成是一致的。

当电动机加正转控制信号时, 输入继电器 X0 的动合触点闭合, 动断触点断开反转输出继电器 Y1 的线圈, 交流接触器 KM2 的线圈失电, 电动机停止反转。同时, Y1 的动断触点闭合, 正转输出继电器 Y0 的线圈带电, 交流接触器 KM1 的线圈得电, 电动机正转。

当电动机加反转控制信号时, 输入继电器 X1 的动合触点闭合, 动断触点断开。动断触点断开正转输出继电器 Y0 的线圈, 交流接触器 KM1 的线圈失电, 电动机停止正转。同时, Y0 的动断触点闭合, 反转输出继电器 Y1 的线圈带电, 交流接触器 KM2 的线圈得电, 电动机正转。

给正转信号, 电动机正转运行; 给反转信号, 电动机反转运行; 给停止信号, 无论电动机是正转还是反转都要停止运行, 即电动机的控制能实现正反转及停止。

在主电路中, KM1 为正转交流接触器, KM2 为反转交流接触器。KM1 和 KM2 这两个接触器的主触点不允许同时闭合, 并且必须保证一个接触器的主触点断开以后, 另一个接触器的主触点才能闭合。为此, 在 PLC 的输出回路中, KM1 的线圈和 KM2 的线圈之间采用了电气互锁措施, 主要是避免当交流接触器主触点熔焊在一起而不能断开时造成主回路出现短路。

为了保证电动机能从正转直接切换到反转, 梯形图中必须加类似按钮机械互锁的程序来实现互锁。在输出继电器 Y0 的线圈回路中, 加反转控制继电器 X1 的动断触点; 在输出继电器 Y1 的线圈回路中, 加正转控制继电器 X0 的动断触点, 这样能做到电动机正反转的直接切换。

热继电器 FR1 作为电动机的过载保护器件，当电动机出现过载时，其动合触点闭合，过载信号通过输入继电器 X2 加入 PLC，断开程序的运行，使输出继电器 Y0、Y1 同时失电，交流接触器 KM1、KM2 的线圈断电，电动机停止运转。



**提示**

由于输出继电器 Y0、Y1 的线圈不能同时带电，所以在梯形图中就要加程序互锁。在输出继电器 Y0 的线圈回路中，加 Y1 的动断触点；在输出继电器 Y1 的线圈回路中，加 Y0 的动断触点。当 Y0 的线圈带电时，Y1 的线圈因 Y0 的动断触点断开而不能得电；同样的道理，当 Y1 的线圈带电时，Y0 的线圈因 Y1 的动断触点断开而不能得电。

## 2. PLC 控制电动机正反转电路（二）

图 3-2 (a) 所示为另一种 PLC 控制电动机正反转电路接线图（主电路与图 3-1 相同，未画出）。图 3-2 (b)、(c) 所示为该电路的梯形图及指令语句表，其输入/输出地址分配如表 3-2 所示。

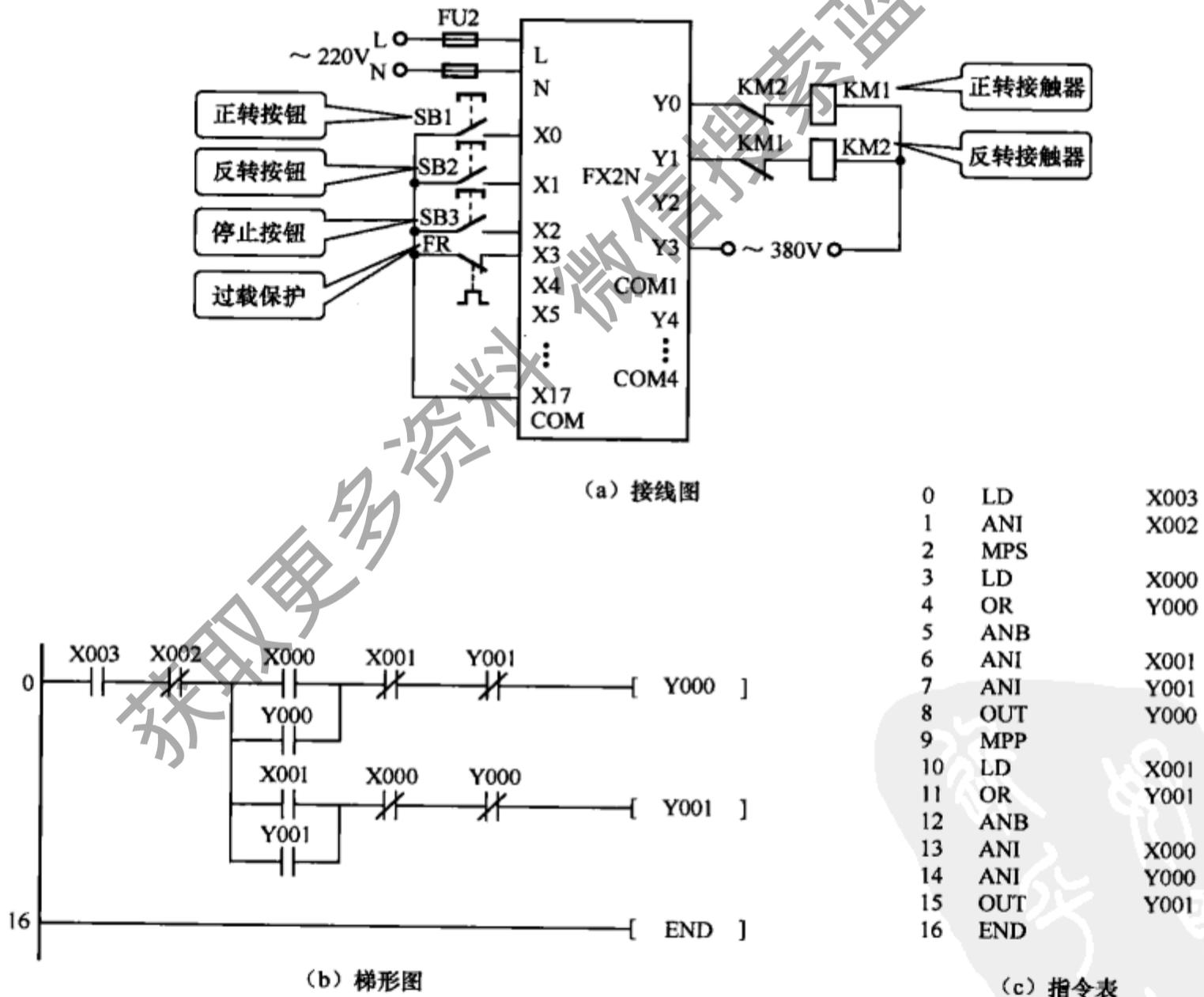


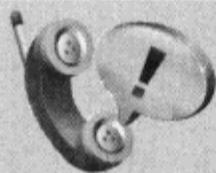
图 3-2 PLC 控制电动机正反转电路（二）

该电路的工作原理与图 3-1 所示电路基本相同，请读者自己分析。

表 3-2

图 3-2 (a) 所示电路的 PLC 输入/输出地址分配表

输入 (I)			输出 (O)		
元器件	功能	信号地址	元器件	功能	信号地址
SB1	电动机正转控制按钮	X0	KM1	正转控制接触器	Y0
SB2	电动机反转控制按钮	X1	KM2	反转控制接触器	Y1
SB3	电动机停止控制按钮	X2			
FR	热继电器触点, 用于过载保护	X3			



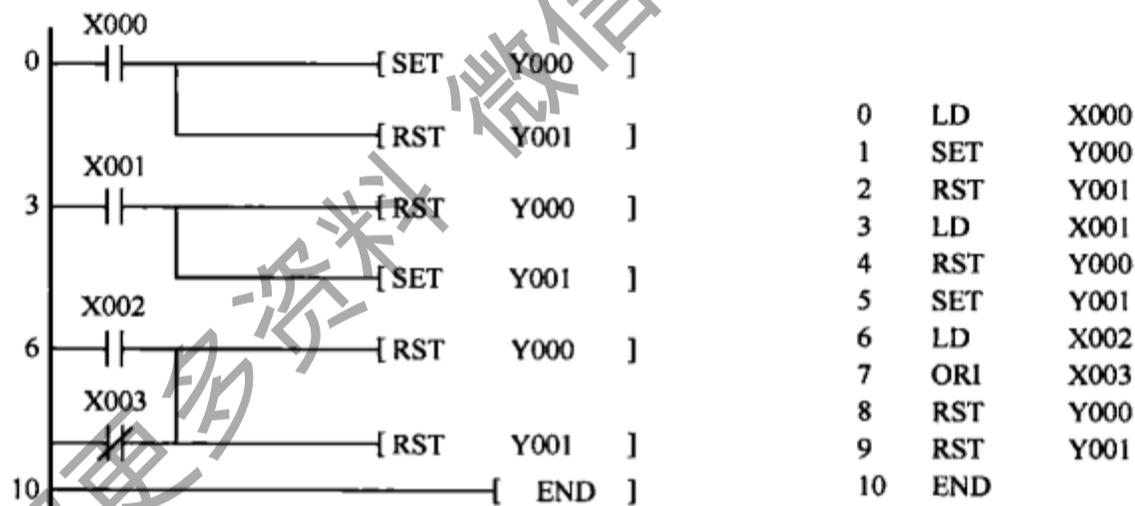
提示

在该电路中, 由于热继电器的保护触点采用动断触点输入, 梯形图中的程序 X3 (FR 动断) 采用了动合触点。

知识链接

### PLC 控制电动机正反转程序设计方法

PLC 控制电动机正反转电路的程序设计方法比较多。图 3-3 所示为采用置位与复位指令控制电动机正反转运行的程序, 图 3-4 所示为将停止按钮 X2 的动断触点与热保护继电器 X3 的动合触点分别串联到 Y0、Y1 控制回路中的程序。



(a) 梯形图

(b) 指令表

图 3-3 PLC 控制电动机正反转程序编写方法 (一)



(a) 梯形图

(b) 指令表

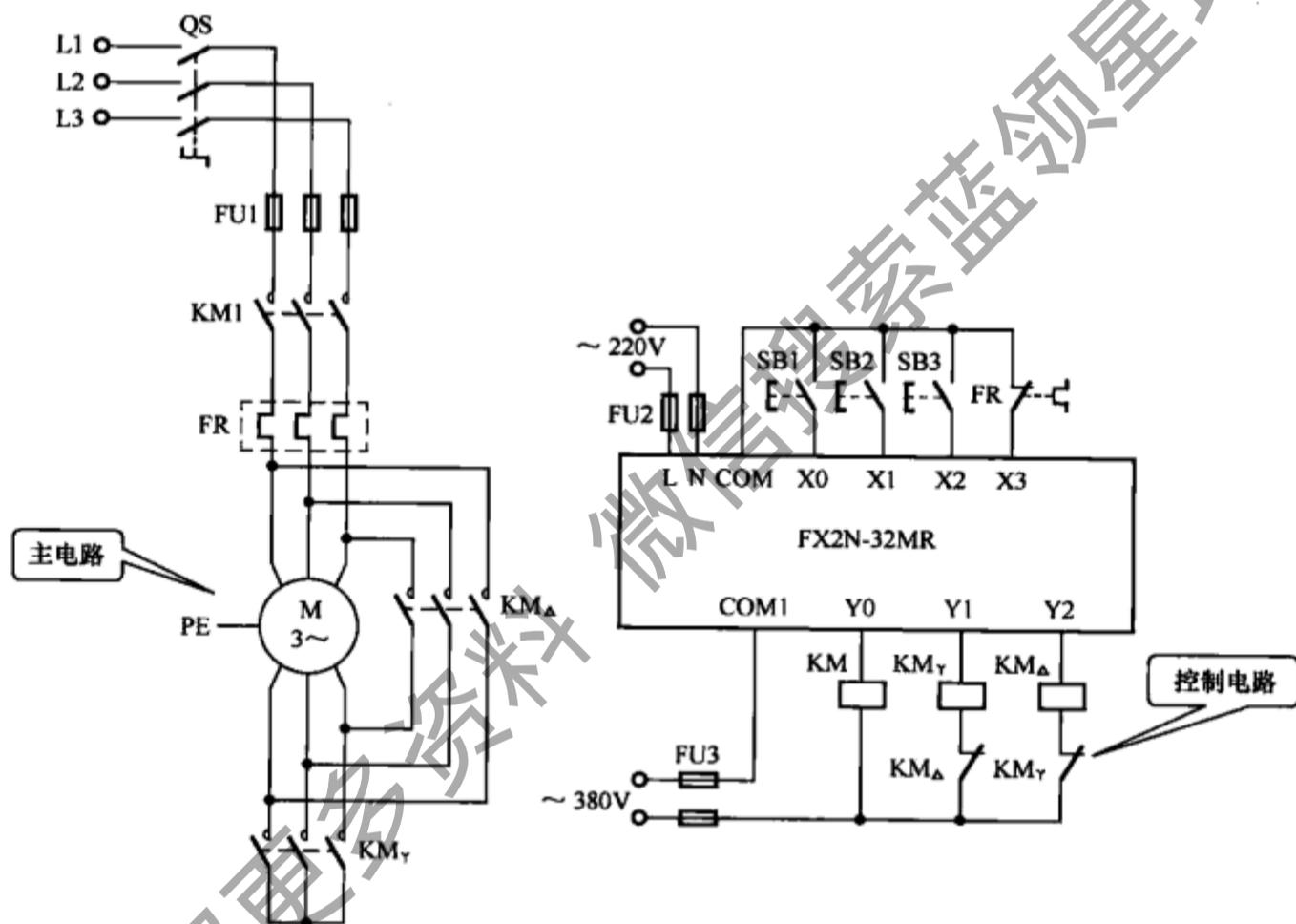
图 3-4 PLC 控制电动机正反转程序编写方法 (二)

### 3.1.2 PLC 控制电动机降压启动电路 ——I/O 地址分配明，降压启动全压行

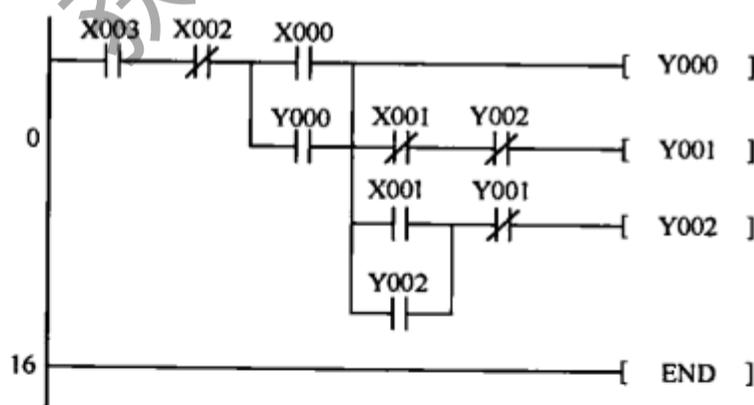
只有容量小的电动机才允许采取直接启动方式，容量较大的三相笼型异步电动机因启动电流较大，一般都采用降压启动方式。

#### 1. PLC 手动控制电动机星—三角形降压启动电路

电动机星—三角形降压启动是指在启动时将电动机定子绕组接成星形以降低启动电压，减小启动电流；当电动机的转速上升到接近额定值时，再把电动机的定子绕组改接成三角形，使电动机全压正常运行。图 3-5 所示为 PLC 手动控制电动机星—三角形降压启动电路的接线图、梯形图和指令表。



(a) 接线图



(b) 梯形图

0	LD	X003
1	ANI	X002
2	LD	X000
3	OR	Y000
4	ANB	
5	OUT	Y000
6	MPS	
7	ANI	Y001
8	ANI	Y002
9	OUT	Y001
10	MPP	
11	LD	X001
12	OR	Y002
13	ANB	
14	ANI	Y001
15	OUT	Y002
16	END	

(c) 指令表

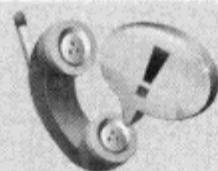
图 3-5 PLC 手动控制电动机星—三角形降压启动电路

PLC 输入/输出地址分配如表 3-3 所示。

表 3-3 图 3-5 所示电路的 PLC 输入/输出地址分配表

输入 (I)			输出 (O)		
元器件	功能	信号地址	元器件	功能	信号地址
SB1	星形降压启动按钮	X0	KM	接触器	Y0
SB2	星—三角形转换按钮	X1	KM <sub>Y</sub>	接触器	Y1
SB3	停止按钮	X2	KM <sub>Δ</sub>	接触器	Y2
FR	热继电器触点	X3			

按下启动按钮 SB1, 接触器 KM 的线圈通电, 同时接触器 KM<sub>Y</sub> 的线圈通电, 电动机定子绕组接成星形降压启动; 当转速上升并接近电动机的额定转速时, 按下按钮 SB2, 接触器 KM<sub>Y</sub> 的线圈失电, 接触器 KM<sub>Δ</sub> 的线圈通电, 电动机定子绕组接成三角形全压运行; 按下按钮 SB3, 接触器 KM 的线圈失电, 电动机停止运转。



**提示**

在编写梯形图时, 由于热继电器的保护触点采用动断触点, 因此程序中的 X3 (FR 动断) 常用的是动合触点。

其实, 要实现上述电路功能, 也可将停止按钮 X2 的动断触点与热保护继电器 X3 的动合触点分别串联到 Y0、Y1 的控制回路中进行控制, 如图 3-6 所示。可见, 采用 PLC 控制实现同一功能电路的程序编写是比较灵活的。

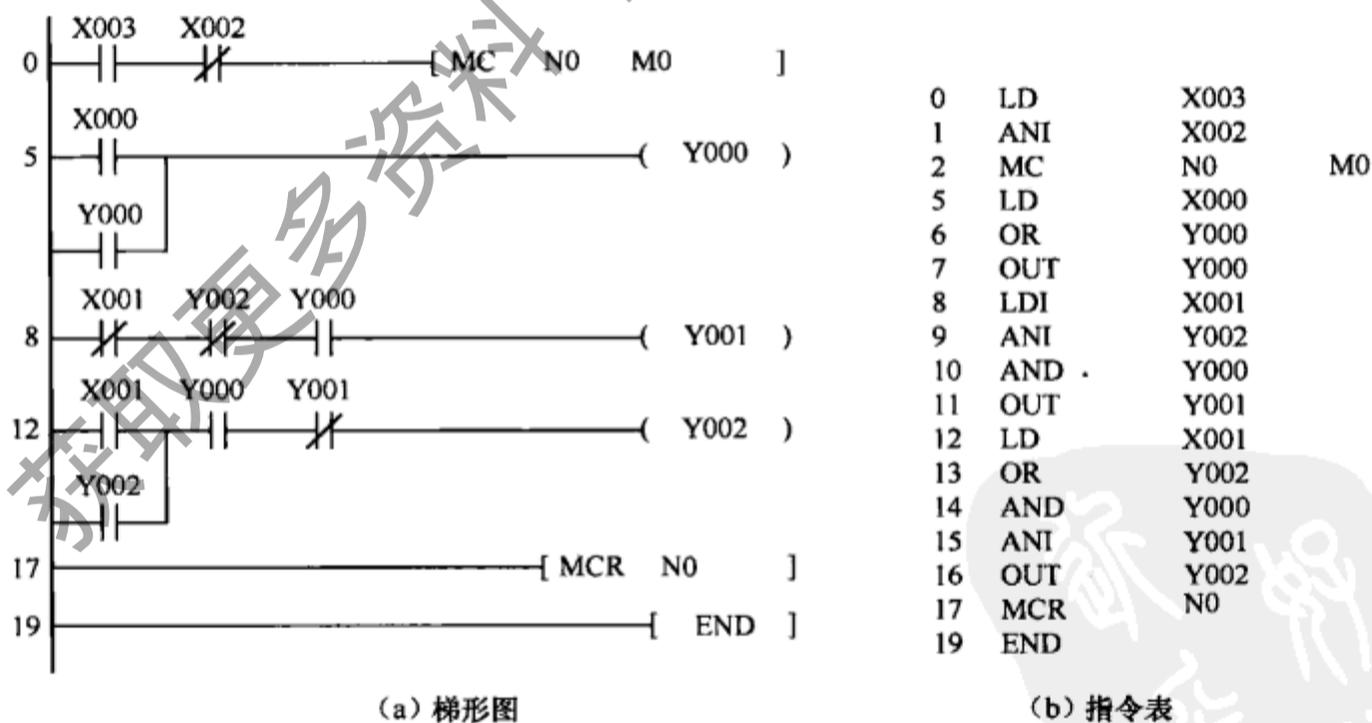


图 3-6 PLC 手动控制电动机星—三角形降压启动程序的另一种编写方法

## 2. PLC 自动控制电动机星—三角形降压启动电路

图 3-7 所示为 PLC 自动控制电动机星—三角形降压启动电路。

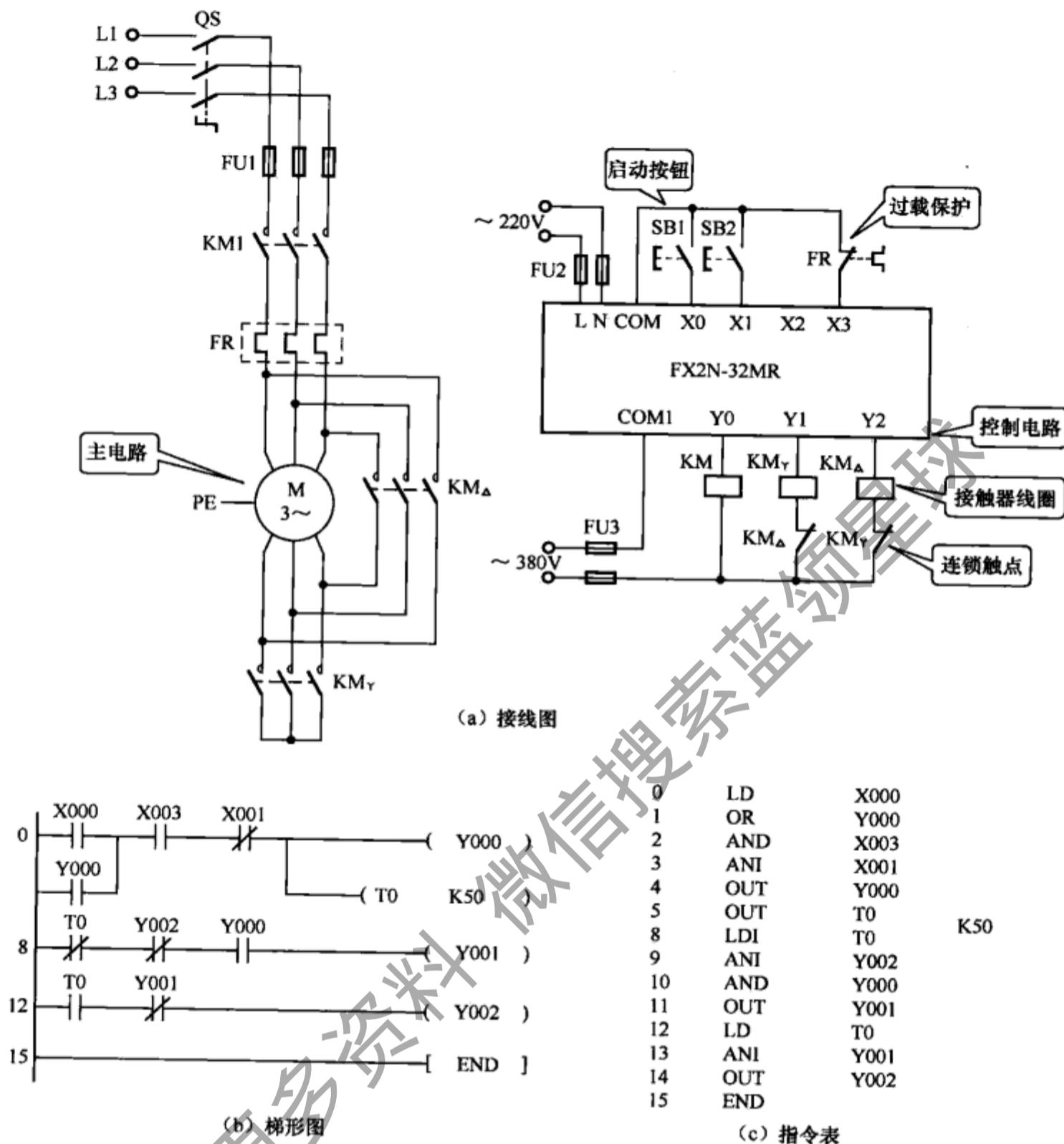


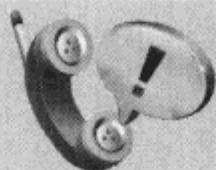
图 3-7 PLC 自动控制电动机星—三角形降压启动电路

按下启动按钮 SB1,  $KM_{\gamma}$  线圈得电,  $KM$  线圈也得电, 电动机接成星形降压启动。自动延时 5s 后, 切断  $KM_{\gamma}$  线圈回路并接通  $KM_{\Delta}$  线圈回路, 电动机接成三角形全压运行。按下 SB2,  $KM$ 、 $KM_{\Delta}$  线圈失电, 电动机停止运转。

PLC 输入/输出地址分配见表 3-4。

表 3-4 图 3-7 所示电路的 PLC 输入/输出地址分配表

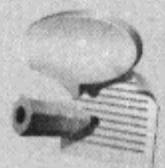
输入 (I)			输出 (O)		
元器件	功能	信号地址	元器件	功能	信号地址
SB1	星形降压启动按钮	X0	$KM$	接触器	Y0
SB2	停止按钮	X1	$KM_{\gamma}$	接触器	Y1
FR	热继电器触点	X3	$KM_{\Delta}$	接触器	Y2



提示

PLC 自动控制电动机星—三角形降压启动控制电路与图 3-5 所示电路比较, 只需要拆除 PLC 输入端 X2 与按钮 SB3 的连接线即可。

在接触器—继电器控制电路中, 通常需要考虑时间继电器完成定时后就切断时间继电器的线圈, 以利于节省能源和延长时间继电器的使用寿命。但在 PLC 控制程序中, 定时器是一种软元件, 因此, 不必考虑切断时间继电器线圈的问题。



练习

根据图 3-8 设计台车自动往返控制的梯形图。

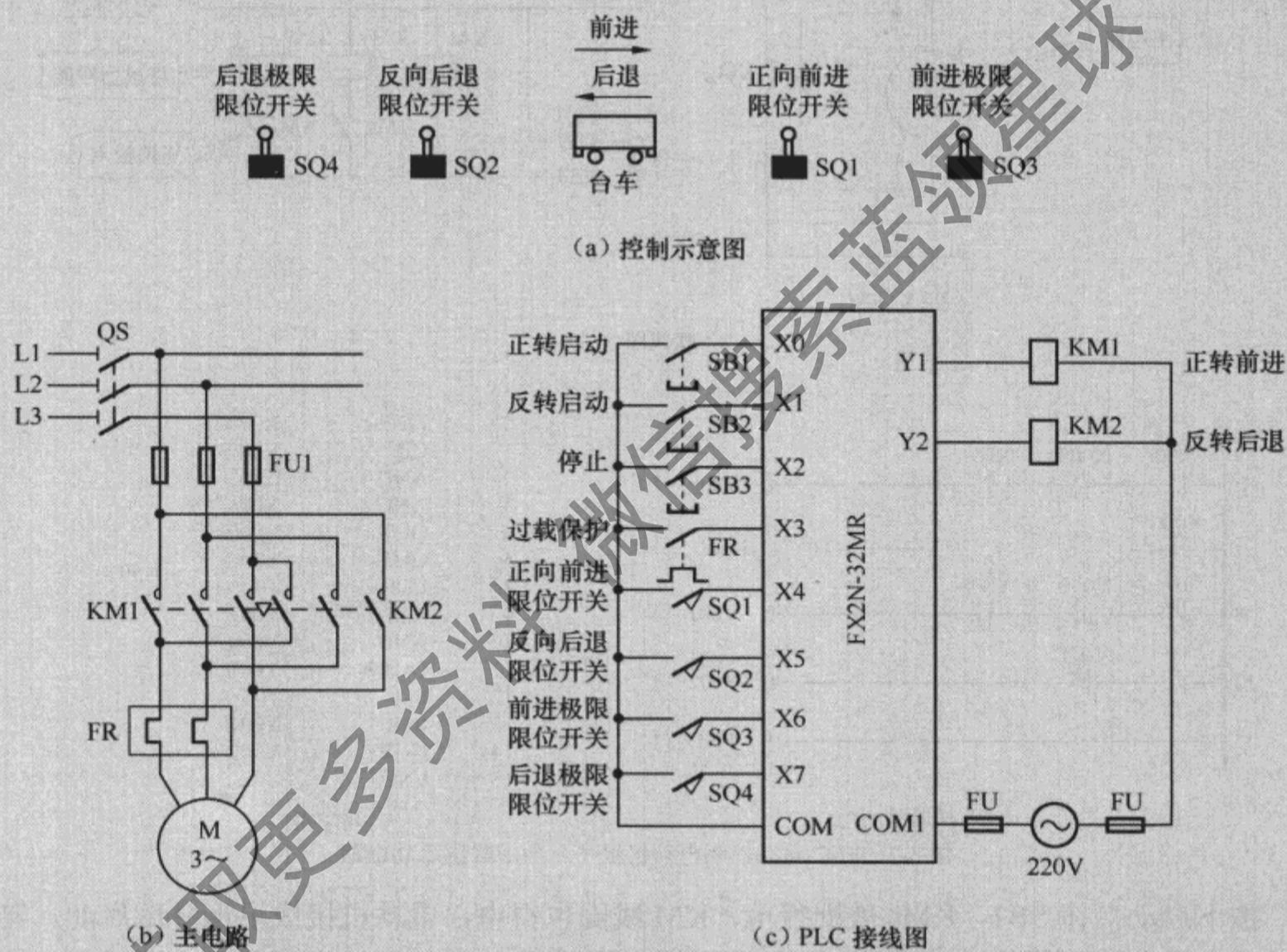


图 3-8 台车自动往返控制示意图和接线图

### 3.1.3

## 用 PLC 改造普通机床控制电路

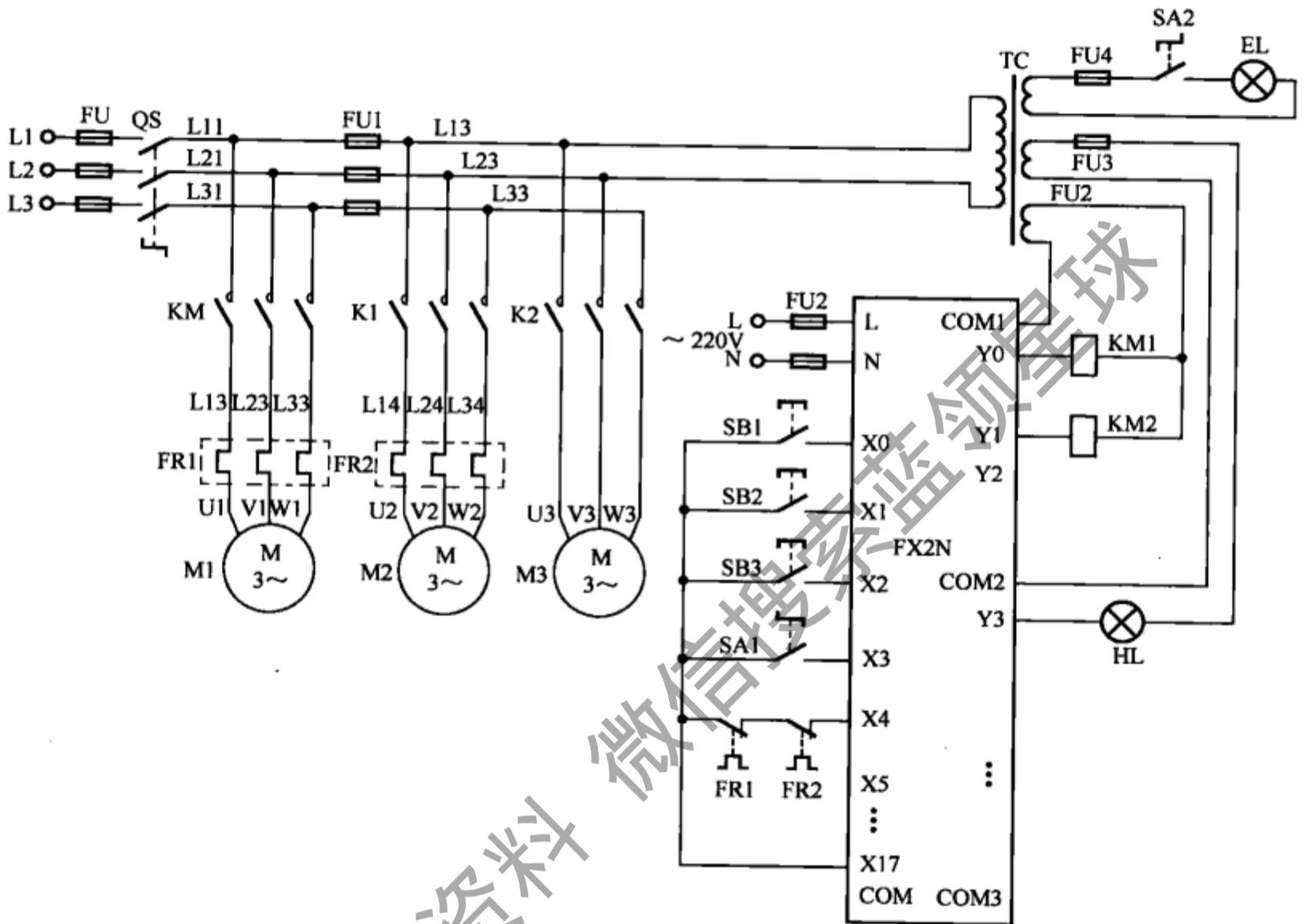
——保持原有主电路, 改造升级辅电路

### 1. 用 PLC 改造 C6140 车床电路

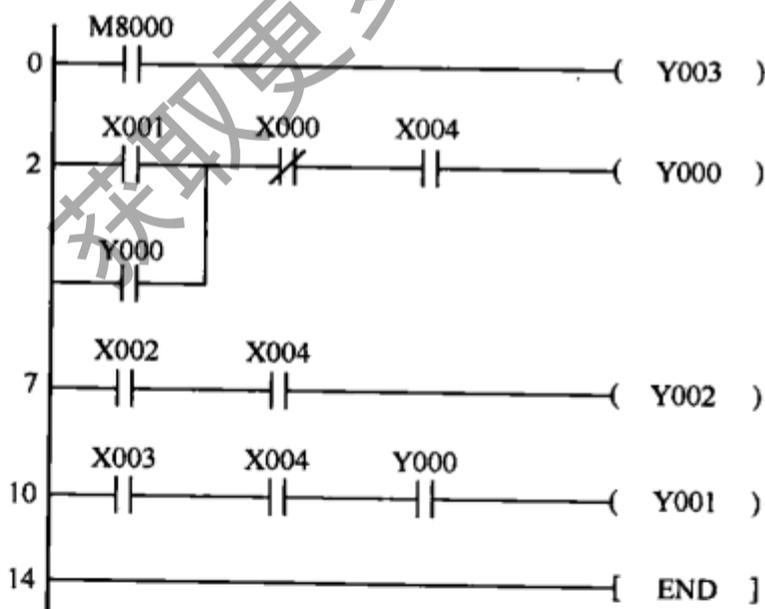
C6140 车床共有 3 台电动机, 其中 M1 为主轴电动机, M2 为冷却泵电动机, M3 为快速移动电动机。这 3 台电动机均采用全压直接启动方式。M1、M2 为连续运转的电动机, 分别

利用热继电器 FR1、FR2 进行过载保护；M3 采用点动控制方式，为短时工作电动机，未设过载保护。

采用 PLC 改造 C6140 车床的控制电路接线图、梯形图和指令表如图 3-9 所示，PLC 输入/输出地址分配见表 3-5。



(a) 接线图



(b) 梯形图

0	LD	M8000
1	OUT	Y003
2	LD	X001
3	OR	Y000
4	ANI	X000
5	AND	X004
6	OUT	Y000
7	LD	X002
8	AND	X004
9	OUT	Y002
10	LD	X003
11	AND	X004
12	AND	Y000
13	OUT	Y001
14	END	

(c) 指令表

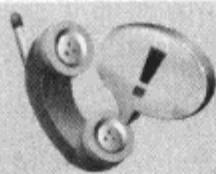
图 3-9 用 PLC 改造 C6140 车床的控制电路

表 3-5

图 3-9 所示电路的 PLC 输入/输出地址分配表

输入 (I)			输出 (O)		
元器件	功能	信号地址	元器件	功能	信号地址
SB1	M1 停止按钮	X0	KM	接触器	Y0
SB2	M1 启动按钮	X1	K1	中间继电器	Y1
SB3	M3 点动按钮	X2	K2	中间继电器	Y2
SA1	M2 手动开关	X3	HL	车床电源指示灯	Y3
FR1、FR2	热继电器触点	X4			

闭合电源开关 QS, Y3 闭合 (电源指示灯 HL 点亮), 表示电源正常。当 X1 (SB2) 闭合时, Y0 闭合并自锁, 主轴电动机 M1 启动运行; 当 X0 (SB1) 闭合时, Y0 释放, 主轴电动机 M1 停转。当 X2 (SB3) 闭合时, Y2 闭合, 快速移动电动机 M3 启动运行; 当 X2 (SB3) 断开时, Y2 释放, 快速移动电动机 M3 停转。在 Y0 闭合后, 若 X3 (SA1) 闭合, 则 Y1 闭合, 冷却泵电动机 M2 启动运行; 若 X3 (SA1) 断开, 则 Y1 释放, 冷却泵电动机 M2 停转。当 X4 (FR1 或 FR2) 断开时, Y0、Y1、Y2 均释放, 各电动机均停止运行。照明灯 EL 采用手动开关 SA2 独立控制。



### 提示

C6140 车床本来属于采用继电器—接触器控制电路的普通车床, 本例采用了三菱 FX2N-16MR 型 PLC 进行技术改造。在实际操作时, 可按照以下步骤进行。

① 由于 C6140 车床电路比较复杂, 因此, 必须认真分析该车床原来控制系统的控制要求, 如在初始状态下输入、输出设备的状态变化情况, 在启动操作过程中各输入、输出设备的状态转换情况, 在停止操作时各输入、输出设备的复位情况等。在此基础上拟定出 PLC 技术改造方案。

- ② 列出 PLC 的输入/输出 (I/O) 地址与被控系统中输入/输出设备的对应关系表。
- ③ 画 PLC 的外围接线图 (指 PLC 输入/输出接线示意图)。
- ④ 编制梯形图。
- ⑤ 输入梯形图程序并进行调试。

### 知识链接

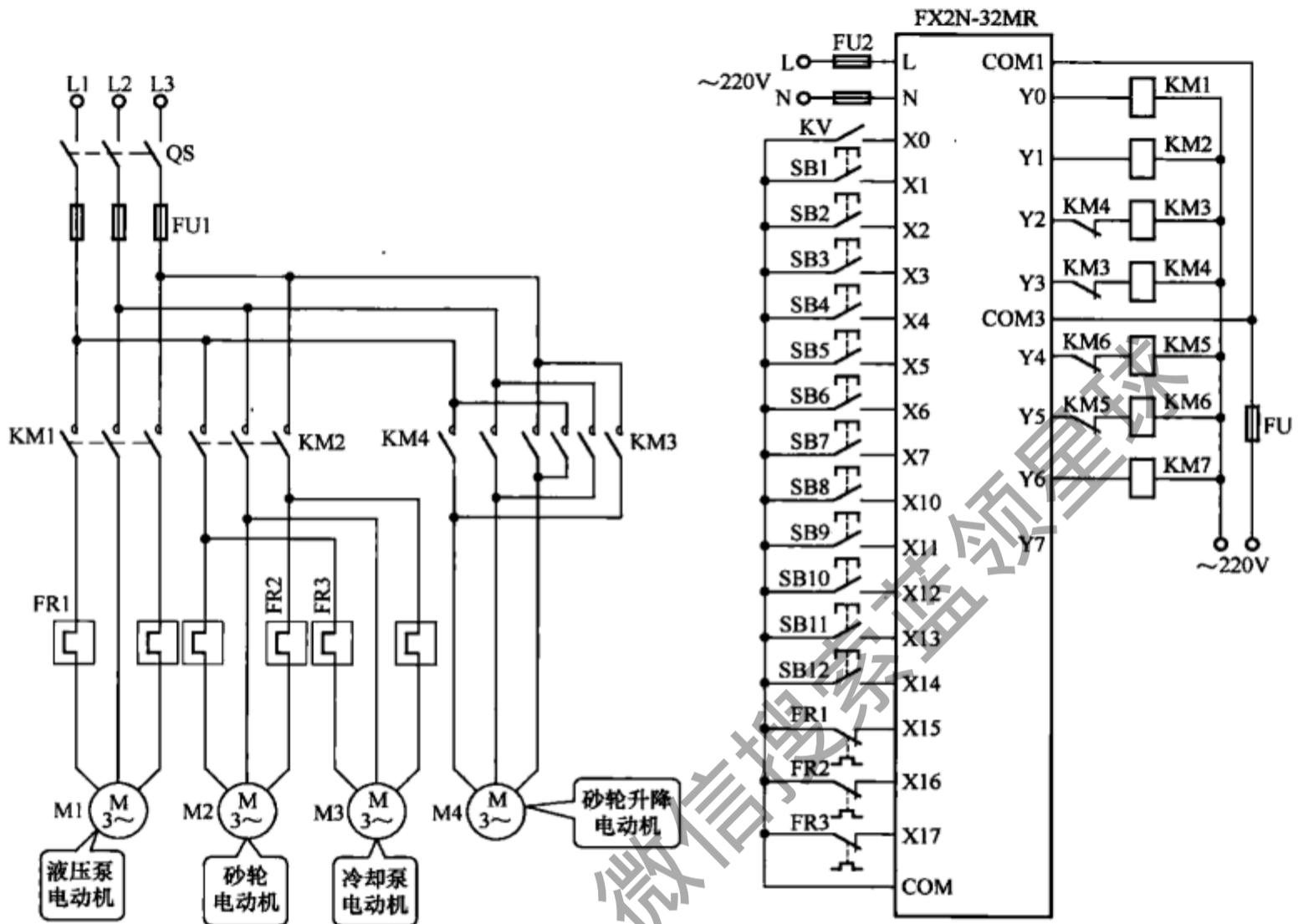
#### PLC 的工作原理

PLC 采用“顺序扫描, 不断循环”的工作方式。

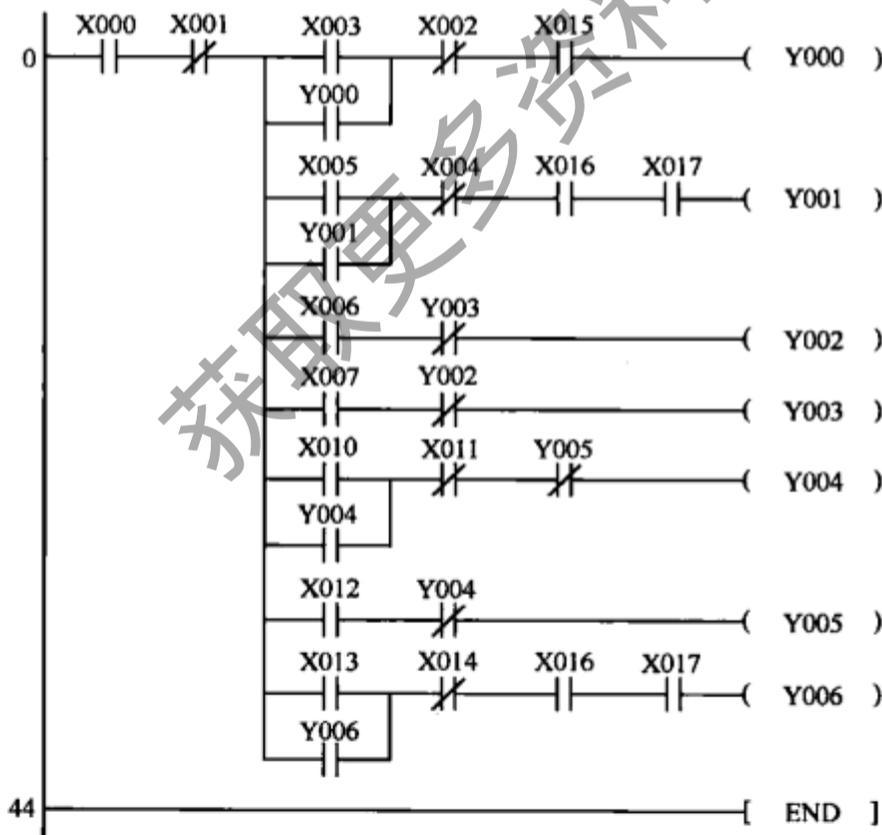
- ① 每次扫描过程。集中对输入信号进行采样, 集中对输出信号进行刷新。
- ② 输入刷新过程。当输入端口关闭时, 程序在执行阶段, 输入端有新状态, 新状态不能被读入。只有程序进行下一次扫描时, 新状态才被读入。
- ③ 一个扫描周期分为输入采样、程序执行和输出刷新 3 部分。
- ④ 元件映像寄存器的内容是随着程序的执行而变化的。
- ⑤ 扫描周期的长短由以下 3 个要素决定: CPU 执行指令的速度、指令本身占用的时间和指令条数。

## 2. 用 PLC 改造 M7120 平面磨床电路

图 3-10 所示为用 PLC 改造 M7120 平面磨床电路，表 3-6 为 PLC 输入/输出地址分配表。



(a) 接线图



(b) 梯形图

0	LD	X000	23	ANI	Y002
1	ANI	X001	24	OUT	Y003
2	MPS		25	MRD	
3	LD	X003	26	LD	X010
4	OR	Y000	27	OR	Y004
5	ANB		28	ANB	
6	ANI	X002	29	ANI	X011
7	AND	X015	30	ANI	Y005
8	OUT	Y000	31	OUT	Y004
9	MRD		32	MRD	
10	LD	X005	33	AND	X012
11	OR	Y001	34	ANI	Y004
12	ANB		35	OUT	Y005
13	ANI	X004	36	MPP	
14	AND	X016	37	LD	X013
15	AND	X017	38	OR	Y006
16	OUT	Y001	39	ANB	
17	MRD		40	ANI	X014
18	AND	X006	41	AND	X016
19	ANI	Y003	42	AND	X017
20	OUT	Y002	43	OUT	Y006
21	MRD		44	END	
22	AND	X007			

(c) 指令表

图 3-10 用 PLC 改造 M7120 平面磨床电路

表 3-6

图 3-10 所示电路的 PLC 输入/输出地址分配表

输入 (I)			输出 (O)		
元器件	功能	信号地址	元器件	功能	信号地址
KV	电压继电器	X0	KM1	液压泵电动机 M1 的接触器	Y0
SB1	总停止按钮	X1	KM2	砂轮电动机 M2 的接触器	Y1
SB2	液压泵电动机 M1 的停止按钮	X2	KM3	砂轮上升接触器	Y2
SB3	液压泵电动机 M1 的启动按钮	X3	KM4	砂轮下降接触器	Y3
SB4	砂轮电动机 M2 的停止按钮	X4	KM5	电磁吸盘充磁接触器	Y4
SB5	砂轮电动机 M2 的启动按钮	X5	KM6	电磁吸盘去磁接触器	Y5
SB6	砂轮升降电动机 M4 的上升按钮	X6	KM7	冷却泵电动机 M3 的接触器	Y6
SB7	砂轮升降电动机 M4 的下降按钮	X7			
SB8	电磁吸盘的充磁按钮	X10			
SB9	电磁吸盘的充磁停止按钮	X11			
SB10	电磁吸盘的去磁按钮	X12			
SB11	冷却泵电动机 M3 的启动按钮	X13			
SB12	冷却泵电动机 M3 的停止按钮	X14			
FR1	液压泵电动机 M1 的热继电器	X15			
FR2	砂轮电动机 M2 的热继电器	X16			
FR3	冷却泵电动机 M3 的热继电器	X17			

闭合电源总开关 QS, 当按下液压泵电动机 M1 的启动按钮 SB3 时, 接触器 KM1 闭合并自锁, 液压泵电动机 M1 启动运转; 当按下液压泵电动机 M1 的停止按钮 SB2 时, 接触器 KM1 释放, 液压泵电动机 M1 停止运转。

当按下砂轮电动机 M2 的启动按钮 SB5 时, 接触器 KM2 闭合并自锁, 砂轮电动机 M2 启动运转; 当按下砂轮电动机 M2 的停止按钮 SB4 时, 接触器 KM2 释放, 砂轮电动机 M2 停止运转。当砂轮电动机 M2 启动后, 通过接插件的插入和拔出控制其运行和停止, 由按钮 SB6 点动控制其正转, 由按钮 SB7 点动控制其反转。

电磁吸盘 YH 由按钮 SB8、SB9、SB10 控制其充磁和去磁。按下按钮 SB8, 接触器 KM5 闭合, 电磁吸盘 YH 充磁; 按下按钮 SB9, 电磁吸盘 YH 停止充磁; 按下按钮 SB10, 接触器 KM6 闭合, 电磁吸盘 YH 点动去磁。

该电路采用了三菱 FX2N-32MR 型 PLC。M7120 型平面磨床的主电路中有 4 台电动机, 其中: M1 为液压泵电动机, 它在工作中起到驱动工作台往复运动的作用; M2 为砂轮电动机, 可带动砂轮旋转, 用于磨削加工工件; M3 为冷却泵电动机, 用于砂轮磨削时的冷却; M4 为砂轮升降电动机, 用于调整砂轮与工作件的位置。M1、M2 及 M3 电动机在工作中只要求正转, 对冷却泵电动机还要求在砂轮电动机转动工作后才能使它工作, 否则没有意义。对于砂轮升降电动机, 要求它正反方向均能旋转。热继电器 FR1 用于液压泵电动机过载保护, 热继电器 FR2 用于砂轮电动机过载保护, FR3 用于冷却泵电动机过载保护。

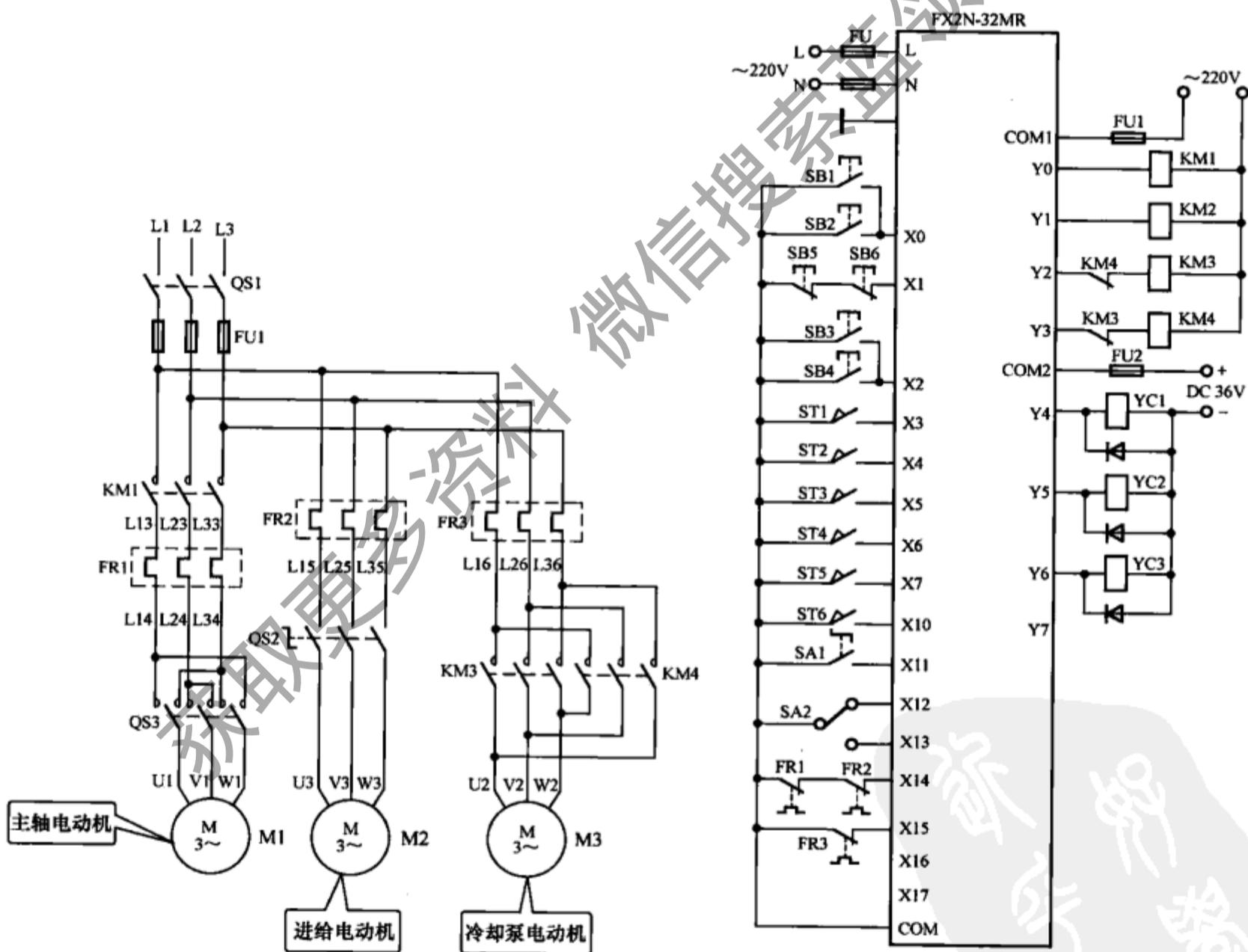
### 3. 用 PLC 改造 X62W 万能铣床电路

图 3-11 所示为用 PLC 改造 X62W 万能铣床电路，表 3-7 为 PLC 输入/输出地址分配表。

X62W 万能铣床采用了 3 台电动机，其中 M1 为主轴电动机，M2 为进给电动机，M3 为冷却泵电动机。主轴电动机 M1 由限位换向开关 QS3 和接触器 KM1 控制，限位换向开关置于不同的挡位时，可控制电动机正反转；进给电动机 M2 的正反转受接触器 KM3 和 KM4 控制；冷却泵电动机 M3 由转换开关来控制其开停。

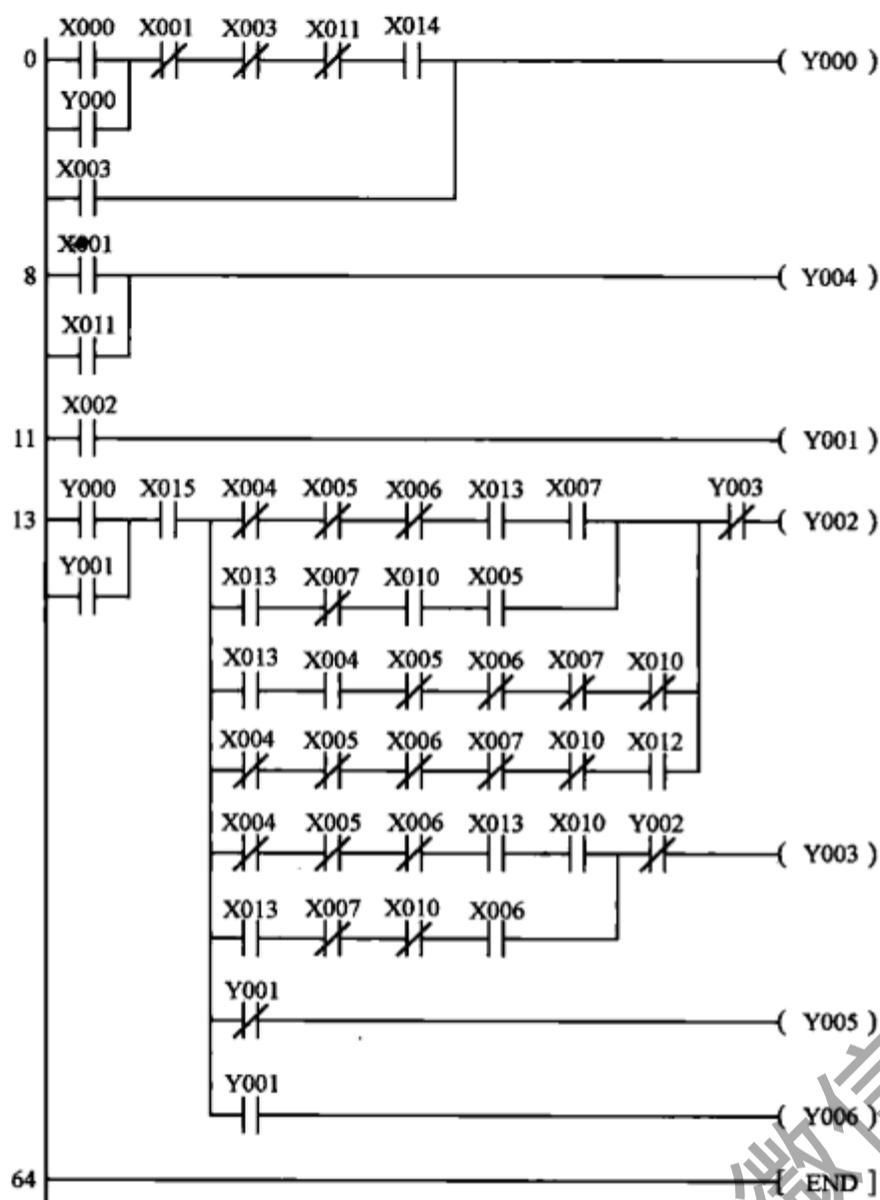
在 PLC 程序中，输入、输出均为开关量，需要 PLC 监测的输入元件有 6 个按钮、6 个行程开关和 2 个选择开关，PLC 输出控制元件有 4 个接触器。

按下按钮 SB1 或 SB2，接触器 KM1 通电闭合，主轴电动机 M1 启动运转；按下 SB5 或 SB6，主轴电动机 M1 停止运转。主轴变速盘瞬时触动行程开关 ST1，接触器 KM1 瞬时通电闭合，主轴电动机 M1 瞬时启动运转，对主轴变速齿轮进行触动。



(a) 接线图

图 3-11 用 PLC 改造 X62W 万能铣床电路



(b) 梯形图

0	LD	X000	22	LD	X013	44	MRD	
1	OR	Y000	23	ANI	X007	45	LDI	X004
2	ANI	X001	24	AND	X010	46	ANI	X005
3	ANI	X003	25	AND	X005	47	ANI	X006
4	ANI	X011	26	ORB		48	AND	X013
5	AND	X014	27	LD	X013	49	AND	X010
6	OR	X003	28	AND	X004	50	LD	X013
7	OUT	Y000	29	ANI	X005	51	ANI	X007
8	LD	X001	30	ANI	X006	52	ANI	X010
9	OR	X011	31	ANI	X007	53	AND	X006
10	OUT	Y004	32	ANI	X010	54	ORB	
11	LD	X002	33	ORB		55	ANB	
12	OUT	Y001	34	LDI	X004	56	ANI	Y002
13	LD	Y000	35	ANI	X005	57	OUT	Y003
14	OR	Y001	36	ANI	X006	59	MRD	
15	AND	X015	37	ANI	X007	58	ANI	Y001
16	MPS		38	ANI	X010	60	OUT	Y005
17	LDI	X004	39	AND	X012	61	MPP	
18	ANI	X005	40	ORB		62	AND	Y001
19	ANI	X006	41	ANB		63	OUT	Y006
20	AND	X013	42	ANI	Y003	64	END	
21	AND	X007	43	OUT	Y002			

(c) 指令表

图 3-11 用 PLC 改造 X62W 万能铣床电路 (续)

表 3-7

图 3-11 所示电路的 PLC 输入/输出地址分配表

输入 (I)			输入 (I)		
元器件	功能	信号地址	元器件	功能	信号地址
SB1、SB2	主轴电动机 M1 的启动按钮	X0	ST4	向后、向上行程开关	X6
SB5、SB6	主轴电动机 M1 的停止按钮	X1	ST5	向左行程开关	X7
SB3、SB4	快速进给按钮	X2	ST6	向右行程开关	X10
ST1	主轴冲动行程开关	X3	SA1	换刀控制开关	X11
ST2	进给冲动行程开关	X4	FR1、FR2	主轴、冷却泵电动机热继电器	X14
ST3	向前、向下行程开关	X5	FR3	进给电动机热继电器	X15

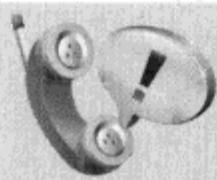
续表

输出 (O)			输出 (O)		
元件	功能	信号地址	元件	功能	信号地址
KM1	主轴电动机 M1 的接触器	Y0	YC1	主轴制动电磁阀	Y4
KM2	快速进给接触器	Y1	YC2	工作台快速移动电磁阀	Y5
KM3	向左、向前、向下接触器	Y2	YC3	工作台快速移动电磁阀	Y6
KM4	向右、向后、向上接触器	Y3			

主轴电动机 M1 启动后, 将工作台纵向操作手柄扳至“向左”或“向右”位置, 行程开关 ST5 或 ST6 压合, 接触器 KM3 或 KM4 通电闭合, 进给电动机 M2 启动正转或反转, 通过机械装置带动工作台向左或向右运动。将工作台横向和垂直手柄扳至“向前”或“向后”位置, 行程开关 ST3 或 ST4 压合, 接触器 KM3 或 KM4 通电闭合, 进给电动机 M2 启动正转或反转, 通过机械装置带动工作台向下或向上运动。将工作台横向和垂直手柄扳至“向下”或“向上”位置, 行程开关 ST3 或 ST4 压合, 接触器 KM3 或 KM4 通电闭合, 进给电动机 M2 启动正转或反转, 通过机械装置带动工作台向前或向后运动。当进给变速盘瞬时压合行程开关 ST2 时, 接触器 KM3 瞬时通电闭合, 进给电动机 M2 瞬时启动运转, 对进给变速齿轮进行触动。

按下按钮 SB3 或 SB4, 接触器 KM2 通电闭合, 工作台向 6 个进给方向快速移动。

将圆工作台开关 SA2 扳至“接通”位置, 接触器 KM3 通电闭合, 带动圆工作台运行。



提示

在改造时, X62W 万能铣床电气控制线路中的电源电路、主电路及照明电路保持不变。在该 PLC 程序中, 用了 6 个内部辅助继电器来简化程序设计, 主轴电动机正反转互锁和进给电动机正反转互锁提高了系统运行的可靠性。

知识链接

### 普通机床数控改造原则

对于普通机床的经济型数控改造, 在确定总体设计方案时, 应考虑在满足设计要求的前提下对机床的改动要尽可能少, 以降低成本。

① 数控系统运动方式的确定。数控系统按运动方式可分为点位控制系统、点位直线控制系统、连续控制系统。

② 伺服进给系统的改造设计。数控机床的伺服进给系统有开环、半闭环和闭环之分。由于开环控制具有结构简单、设计制造容易、控制精度较高、容易调试、价格低、使用维修方便等优点, 所以, 一般应优先采用开环控制系统。

③ 数控系统的硬件电路设计。任何一个数控系统都由硬件和软件两部分组成。硬件是数控系统的基础, 其性能的好坏直接影响数控系统的工作性能。有了硬件, 软件才能有效

地运行。

### 信 任

银行经理的助手不满地对经理说：“我觉得您根本不信任我。”

“你想到哪里去了？”经理说，“要知道，我甚至经常把保险柜的钥匙就放在敞开的抽屉里。”

“是的，可用它根本打不开保险柜。”



## 3.2 电动机软启动电路——电机启动更灵活

电机启动电流大，如何解决这难题。  
控制技术在改进，软启动器解难题。  
主电路串软启动，旁路有个接触器。  
接线端子看明白，安装连接没问题。

软启动实质上就是降压启动，目的是减小三相交流电动机启动时对电网及机械负载的冲击。在笼型三相异步交流电动机常用的降压启动方式中，软启动适用于启动负载较重的场合。

传统的降压启动方式，如串电阻启动、星—三角形启动、磁控式降压启动、自耦变压器启动等，要么启动电流和机械冲击过大，要么体积庞大。随着电力电子技术和微机技术、现代控制技术的发展，电动机软启动器技术出现并引起了人们的广泛重视。它不仅有效地解决了上述问题，还可以根据应用条件的不同设置其工作状态，有很强的灵活性和适用性。所以，在工程应用中，当电动机在直接启动中不能满足要求时，首先考虑的是电动机软启动器。电动机软启动为今后的智能控制系统化打下了良好基础。

### 1. TSQ-85A 电动机软启动器基本接线图

图 3-12 所示为 TSQ-85A 电动机软启动器基本接线图。

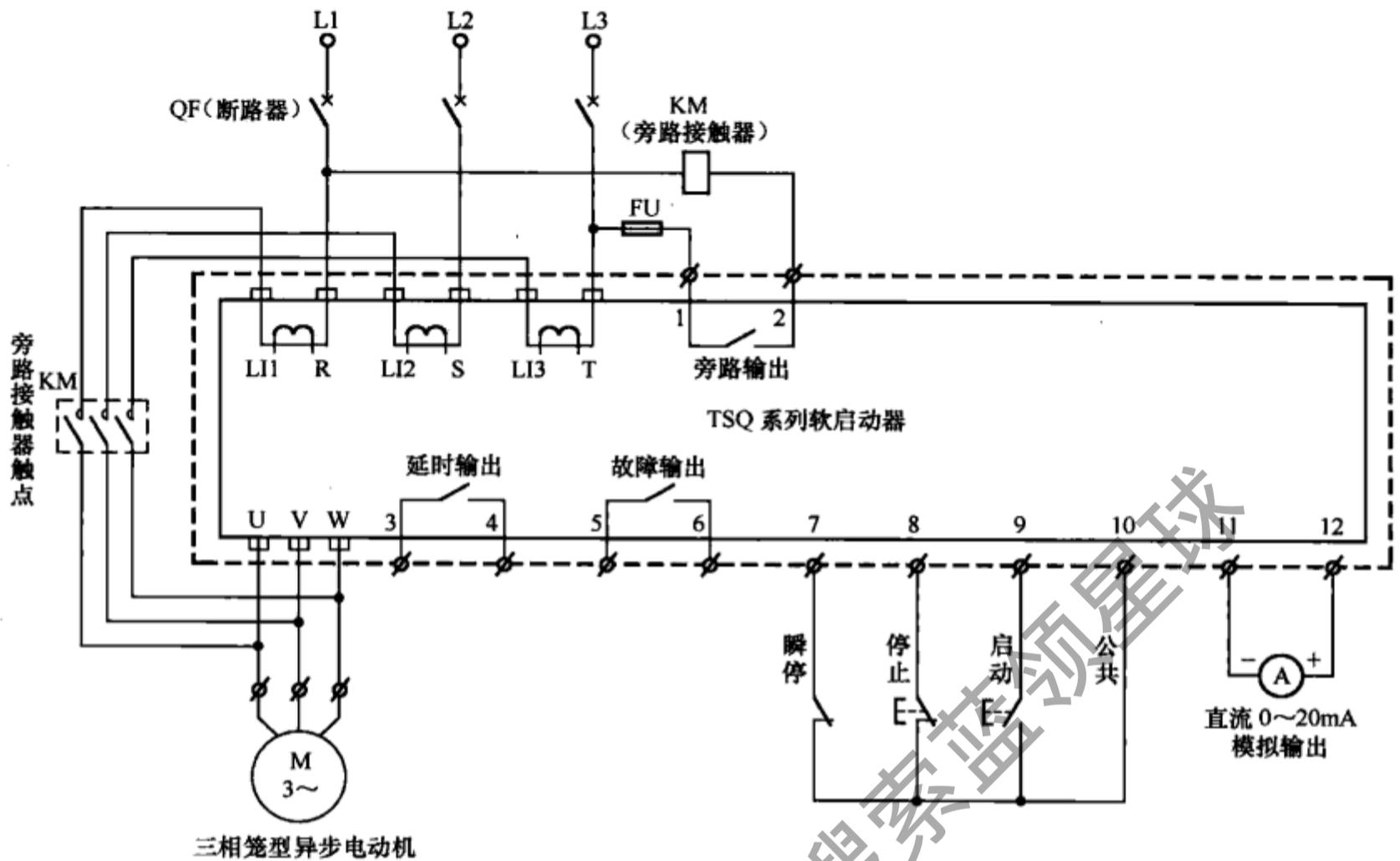


图 3-12 TSQ-85A 电动机软启动器基本接线图

(1) 电源输入端子 (R、S、T)

电源端子 R、S、T 通过线路保护用断路器或带漏电保护的断路器连接至三相交流电源，不需考虑连接相序。决不能采用主电路电源 ON/OFF 方法控制软启动器运行和停止，应待软启动器通电以后，选用软启动器上的控制端子或键盘面板上的 RUN 和 STOP 键控制软启动器的运行和停止。

(2) 软启动器输出端子 (U、V、W)

软启动器输出端子按正确相序连接至三相电动机。如电动机的旋转方向不对，则可交换 U、V、W 中任意两相的接线。软启动器输出侧不能连接电容器和电涌吸收器。软启动器和电动机之间的连接线很长时，导线间的分布电容会产生较大的高频电流，可能造成软启动过电流跳闸、漏电流增大、电流显示精度差等。因此，建议电动机连接线不要超过 50cm。

(3) 旁路连接端子 (L11、L12、L13)

旁路连接端子 L11、L12、L13 要连接电磁旁路接触器，否则会烧坏软启动器。软启动器启动完毕，主回路功率器件（晶闸管）退出，同时旁路电磁接触器工作，这时电动机投入正常运行，注意相序不能接错。

(4) 软启动器接地端子

为了安全和减小噪声，软启动器的接地端子必须良好接地。为了防止电击和火灾事故，电气设备的金属外壳和框架均应遵循国家电气规程。

TSQ-85A 电动机软启动器主电路的连接如图 3-13 所示。电源一定要连接在主电路电源端 R、S、T，无相序要求，如果接错电源，将损坏软启动器。接地端子必须良好接地，一方

面可以防止电击或火警事故，另外能降低噪声。导线两端必须进行压接处理，保证连接的高可靠性。

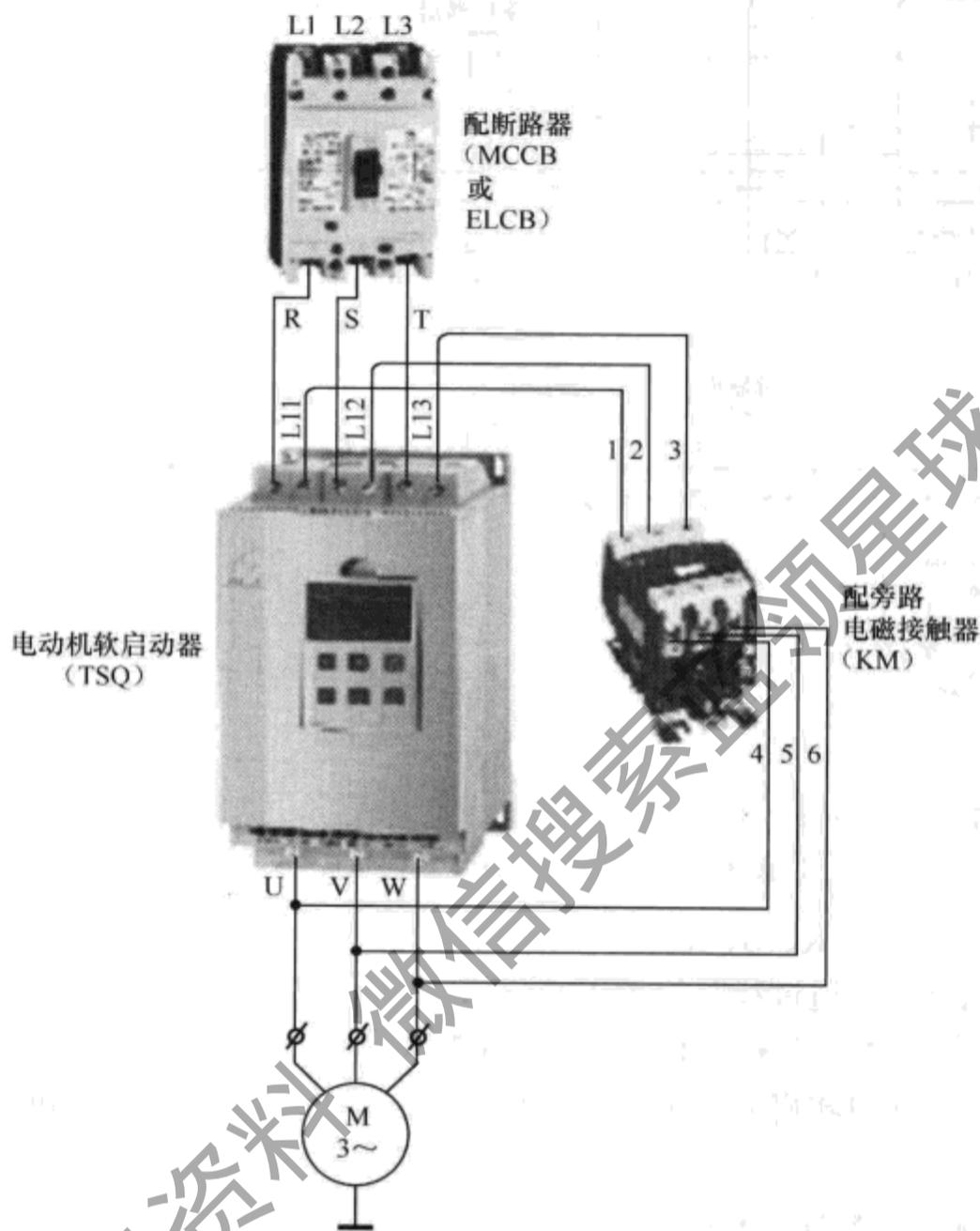


图 3-13 TSQ-85A 电动机软启动器主电路连接示意图

知识链接

### 电动机软启动方式

运用串接于电源与被控电动机之间的软启动器，控制其内部晶闸管的导通角，使电动机输入电压从零以预设函数关系逐渐上升，直至启动结束，赋予电动机全电压，即为软启动。在软启动过程中，电动机启动转矩逐渐增大，转速也逐渐升高。软启动一般有下面几种方式。

① 斜坡升压软启动。这种启动方式最简单，不具备电流闭环控制，仅调整晶闸管导通角，使之按时间以一定函数关系增大。其缺点是，由于不限流，在电动机启动过程中有时要产生较大的冲击电流而使晶闸管损坏，对电网影响较大，实际上很少应用。

② 斜坡恒流软启动。在电动机启动的初始阶段启动电流逐渐增大，当电流达到预先所设

定的值后保持恒定，直至启动完毕。在启动过程中，电流变化的速率是可以根据电动机负载调整、设定的。电流变化速率大，则启动转矩大，启动时间短。这种启动方式是应用最多的方式，尤其适用于风机、泵类负载的启动。

③ 阶跃启动。以最短时间使启动电流迅速达到设定值即为阶跃启动。通过调节启动电流设定值，可以达到快速启动效果。

④ 脉冲冲击启动。在启动开始阶段，让晶闸管在极短时间内以较大电流导通一段时间后回落，再按原设定值线性增大，连入恒流启动。这种启动方法在一般负载中较少应用，适用于重载并需克服较大静摩擦的启动场合。

## 2. CR1 电动机软启动器带进线和旁路接触器电路

图 3-14 所示为 CR1 电动机软启动器带进线和旁路接触器电路。

该电路的进线和旁路均采用了交流接触器。闭合断路器 QF，电源指示灯 HL1 点亮，表示电源接通。按下启动按钮 SB1，交流接触器 KM1 闭合，软启动器工作，电动机 M 开始软启动，其转速由慢到快逐渐上升。当 M 的转速达到额定值时，旁路接触器 KM2 自动闭合，将软启动器内部的主电路（晶闸管）短路，从而使晶闸管等内部元器件不致长期工作而发热损坏。

工作完毕，按下软停按钮 SB2 使旁路接触器 KM2 关断，M 软停车（转速由快到慢逐渐降低）。若电路或电动机 M 发生事故，按下急停按钮 SB3，电动机 M 则急停。在事故停车时，故障指示灯 HL3 点亮；电动机 M 正常运转时，旁路指示灯 HL2 点亮。

快速熔断器 FU1 用于保护软启动器内部的大功率晶闸管。



**提示**

安装时，接触器 KM1、KM2 的选择应参考技术手册的要求。软启动器应该牢固安装在一个垂直表面上，软启动器的周围应该留出适当的空间。在软启动器的下面不应该有发热设备或装置，以免影响它的正常工作。



知识链接

### 带旁路接触器的软启动电路

带旁路接触器的软启动电路是目前软启动设备应用的主体，也是多数工业用户从经济技术和运行角度经过思考后的首选方案，如图 3-15 所示。

图 3-15(a) 为一拖一方案，只设一只接触器 KM。图 3-15(b) 是一拖一远程控制方案，设了两只接触器 (KM1、KM2)，KM1 与 KM2 之间互锁运行。当由软启动转入旁路运行时，先将 KM1 打开，再将 KM2 合闸，软启动器的网侧就不会带电。

## 3. CR1 电动机软启动器正反转电路

图 3-16 所示为 CR1 电动机软启动器正反转电路。

合上断路器 QF，电源指示灯 HL1 点亮，接触器 KM1 吸合，控制电路带电。

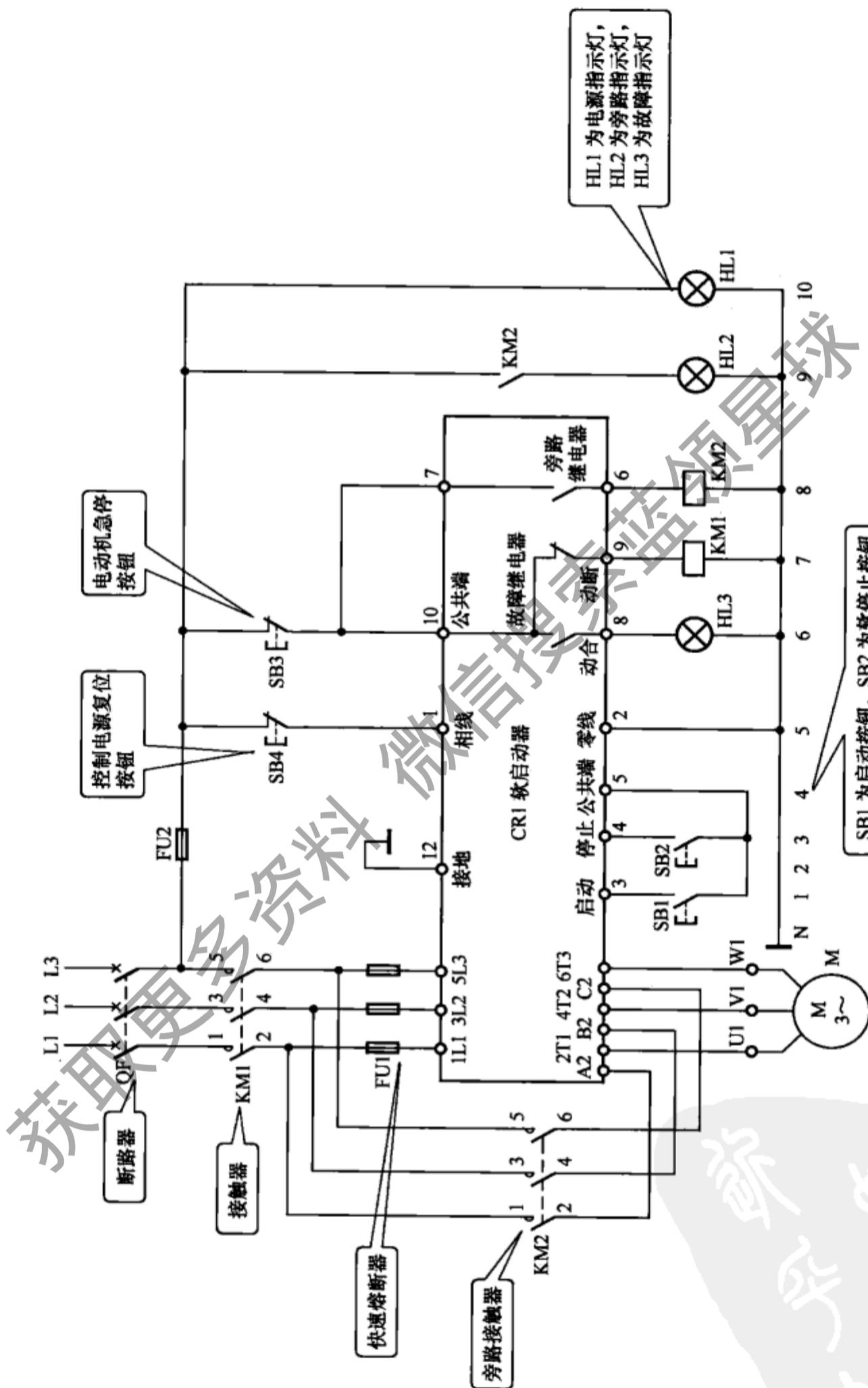


图 3-14 CR1 电动机软启动器带进线旁路接触器电路

需要正转启动时，按下正转启动按钮 SB1，中间继电器 KA1 及正转接触器 KM3 吸合，电动机启动正转，电动机正转指示灯 HL4 点亮。软启动器延时一段时间后，KM2 吸合，旁路指示灯 HL2 点亮，电动机 M 进入正转全压运行状态。

需要反转启动时，按下反转启动按钮 SB2，接触器 KM3 线圈电源被切断，反转接触器 KM4 吸合，电动机反转启动，反转指示灯 HL3 点亮，中间继电器 KA1 吸合，以确保 CR1 电动机软启动器内部程序正常。延时至启动时间结束时，旁路接触器吸合，旁路指示灯 HL2 点亮，电动机 M 进入反转全压运行状态。

需要电动机软停止时，按下软停止按钮 SB3，中间继电器 KA1 失电，CR1 软启动器执行软停程序，电动机 M 逐渐减速直至停车。软停止控制既适合反转运行操作，也适合正转运行操作。

如遇紧急情况需要紧急停车时，按下急停按钮 SB5 即可。

当软启动器发生故障自动停车后，应立即停车检查。排除故障后，再按一下复位按钮 SB4 即可正常操作。

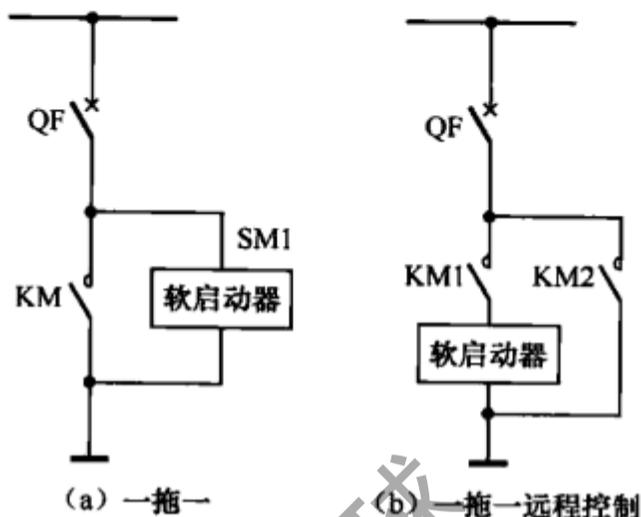
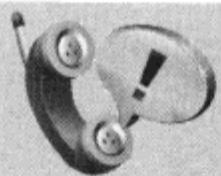


图 3-15 带旁路接触器的方案



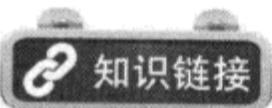
**提示**

在操作过程中，如果需要正反转切换操作，应在电动机完全停转后再进行相反方向的启动，否则极易造成软启动器损坏。为防止接触器 KM3 和 KM4 的触点同时吸合而发生电源短路事故，电路中采取了两项措施：一是 SB1、SB2 触点连锁，二是接触器 KM4、KM3 的触点互锁。



**想一想**

电动机软启动器正反转电路有何特点？安装与维护该电路时应注意哪些问题？



**知识链接**

**CR1 系列软启动器技术参数**

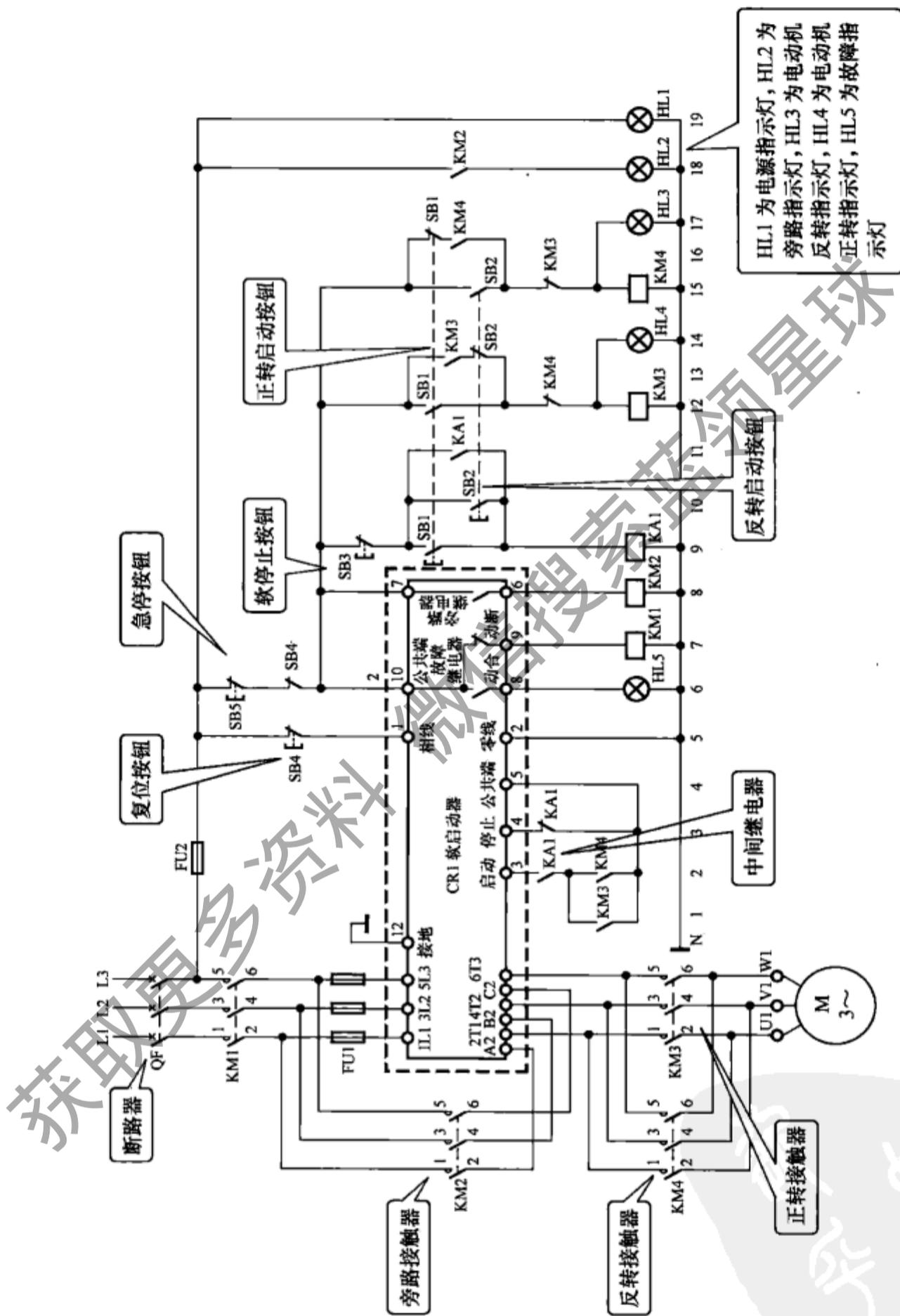
CR1 系列软启动器的技术参数见表 3-8。

**4. 用一套磁控软启动装置拖动多台电动机电路**

可用一套软启动装置依次软启动多台电动机。这样可以降低投资，节省空间。一套软启动装置一拖多的必要条件是：多台电动机的电压等级相同，容量相近。图 3-17 为用一套磁控软启动装置拖动多台电动机电路的接线图。

在电动机的定子回路中串入阻抗可自由改变的磁饱和电抗器，通过闭环控制系统，调整控制绕组直流电流的大小，在预定的时间内使磁饱和电抗器的阻抗由大到小自动无级减小，电动机端电压逐渐上升至全压，实现电动机的软启动。

磁控软启动装置 SR 是以低压晶闸管为核心的控制器件，通过控制晶闸管的导通角来改变控制绕组中直流电流的大小，改变铁芯的磁导率，从而改变高压绕组的阻抗，达到降压限



HL1 为电源指示灯, HL2 为旁路指示灯, HL3 为电动机反转指示灯, HL4 为电动机正转指示灯, HL5 为故障指示灯

图 3-16 CR1 电动机软启动器正反转电路

表 3-8 CR1 系列软启动器技术参数

型号	壳架代号	软启动器额定电流 $I_e$ (A)	被控制电动机额定功率 $P_e$ (kW)	额定工作电压 $U_e$	额定冲击耐受电压 $U_{imp}$	额定绝缘电压 $U_i$	额定控制电源电压 $U_s$	使用类别
CR1-30	63	30	15	交流 50Hz/400V	8 000V	690V	交流 50Hz/230V	AC-53a
CR1-40		40	18.5					
CR1-50		50	22					
CR1-63		63	30					
CR1-75	105	75	37					
CR1-85		85	45					
CR1-105		105	55					
CR1-142	175	142	75					
CR1-175		175	90					
CR1-200	300	200	110					
CR1-250		250	132					
CR1-300		300	160					

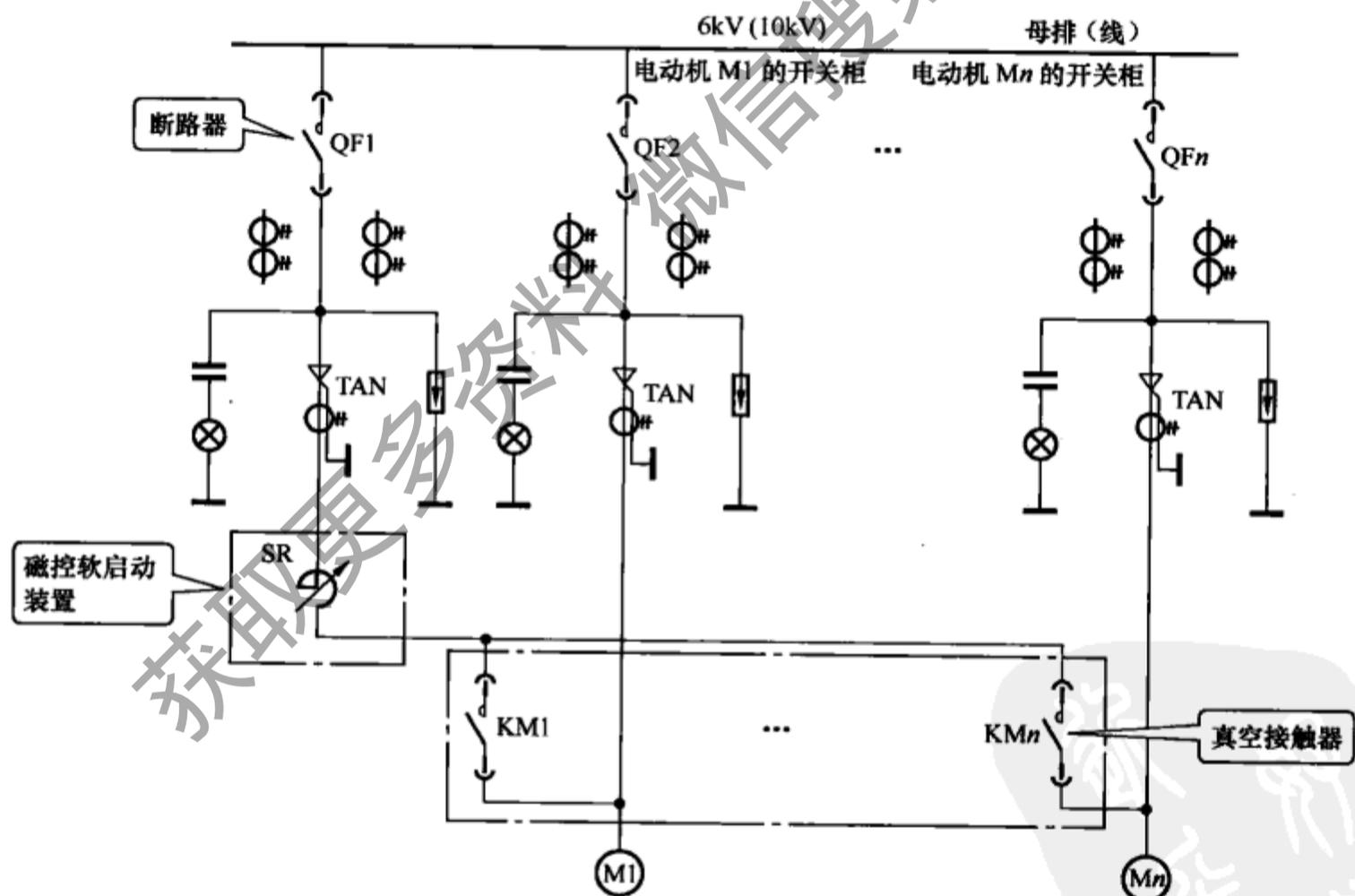


图 3-17 用一套磁控软启动装置拖动多台电动机电路的接线图

流的目的。图中，每台电动机 ( $M1 \sim Mn$ ) 都有一个开关柜，通过真空接触器  $KM1 \sim KMn$  进行切换，实现多台电动机的软启动。

启动时，通过磁控软启动装置柜门的选择开关确定启动电动机的序号（例如  $M1$ ），令

KM1 合闸，合闸后发出允许开机信号，经软启动装置的开关柜启动 M1。当检测到电动机 M1 的电流小于额定电流后，磁控软启动装置发出投全压信号给 QF2，高压断路器 QF2 合闸，M1 启动结束投入全压运转。

高压断路器 QF2 延时 2s，高压断路器 QF1 分闸，再延时 1s，KM1 断电，磁控软启动装置退出工作状态。如果还用磁控软启动装置启动其他电动机，操作方法相同。

该电路在软启动过程中，可通过操作 QFn 分闸来停车。在投入全压运行的过程中，可以控制各自的电动机开关柜来实现电动机停车。



**提示** 磁控软启动装置适用于带风机、泵等轻载启动的电动机，以及笼型转子的异步电动机或同步电动机。一般来说，绕线转子的异步电动机用在有重载启动要求的场合时，不宜采用磁饱和软启动装置。

### 5. ABB PST 软启动器一拖三主电路

ABB PST 为智能型数字交流电动机软启动控制器，是新一代电动机智能控制设备。它不但具有电动机软启动控制器的优点，而且还具有设定自动监测参数的功能，包括用中文菜单设定起始电压、设定起始电流、可编程故障监视编程报警设定等。同时，还具备相不平衡保护、反相保护、电动机堵转保护、晶闸管过热保护、电动机过载保护和欠载保护等保护功能。另外，该软启动器可拖动最多 3 台不同功率的电动机，如图 3-18 所示。

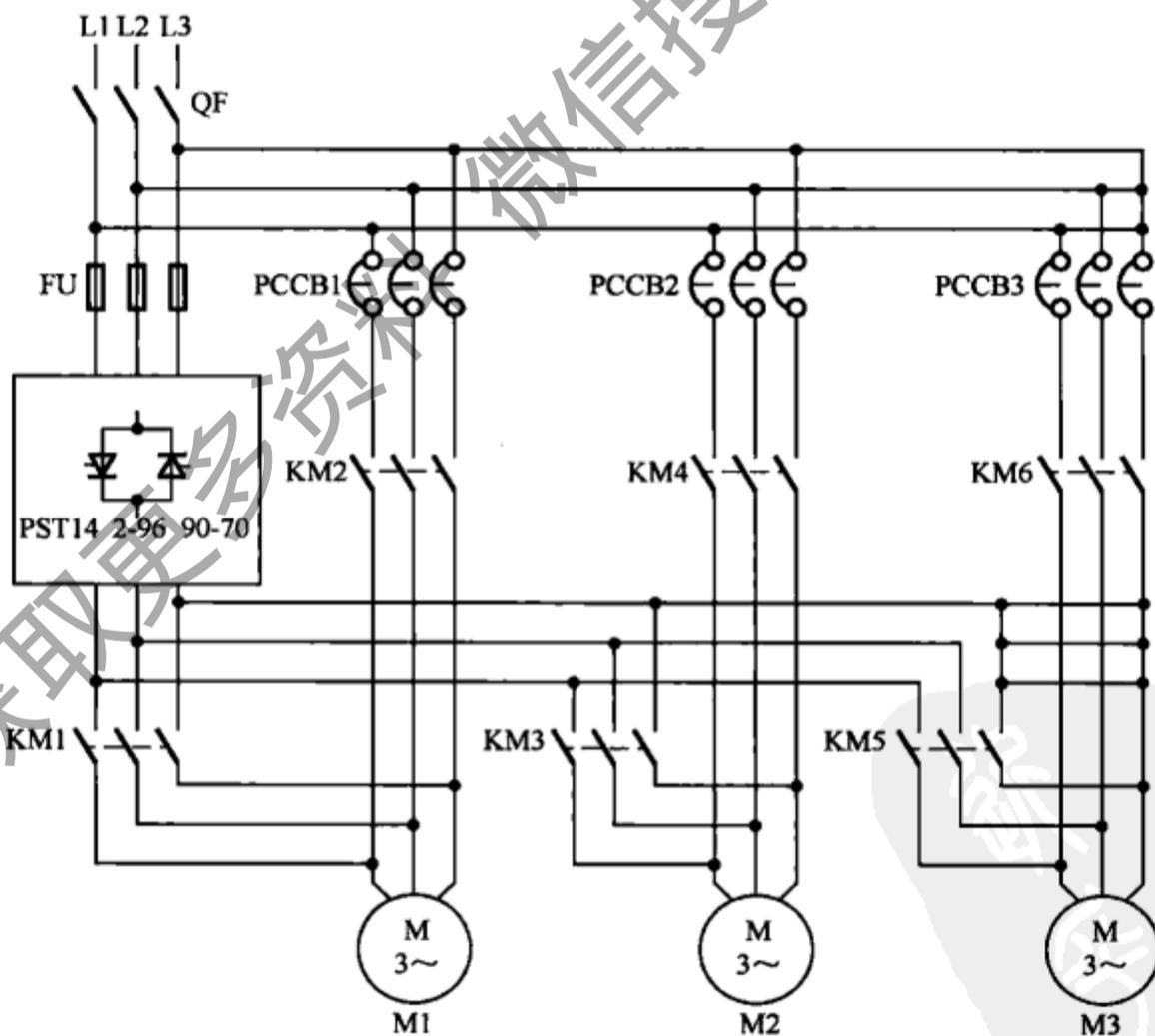


图 3-18 软启动器一拖三主电路

启动过程：首先选择一台电动机，在软启动器拖动下按所选定的启动方式逐渐提升输出电压，达到工频电压后旁路接触器接通。然后，软启动器从该回路中切除，为启动下一台电

动机做准备。

停止过程：先启动软启动器与旁路接触器使其并联运行，然后切除旁路，最后软启动器按所选定的停车方式逐渐降低输出电压直到停止。

软启动和停止过程只针对某一台电动机，电动机软启动、软停止具备互锁逻辑。



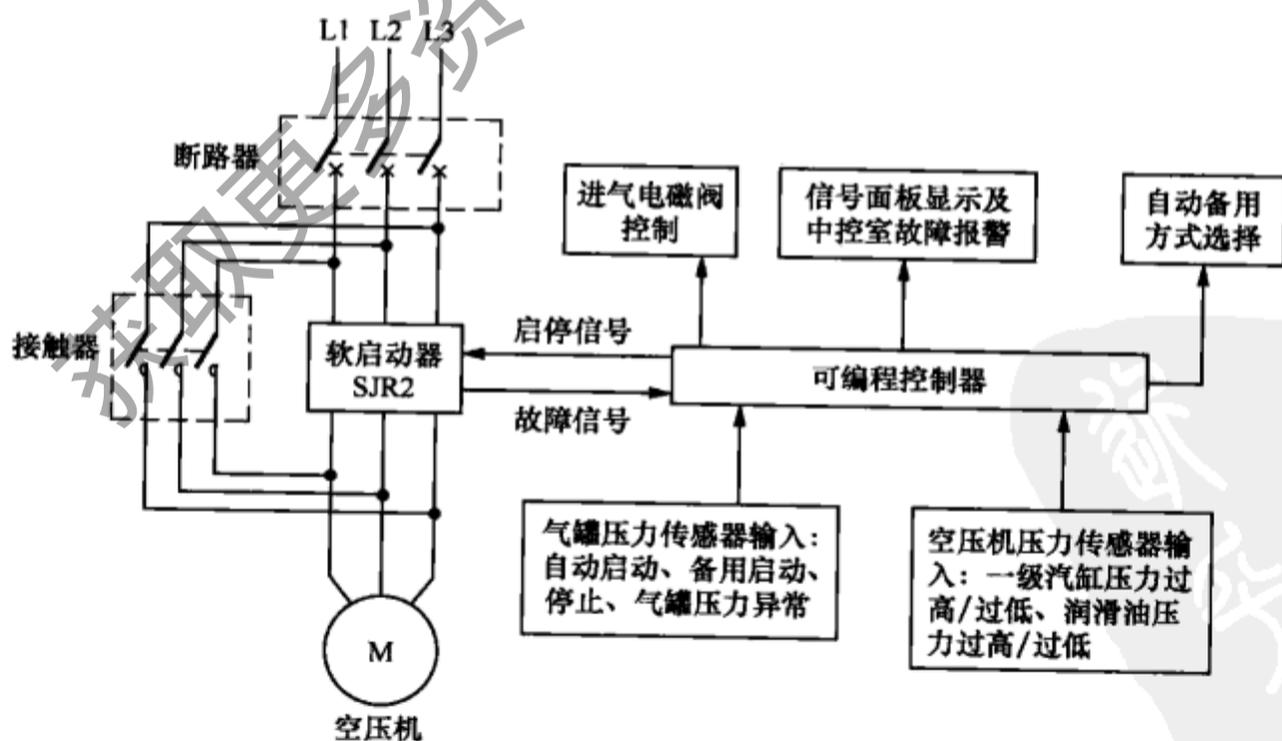
**提示** ABB PST 软启动器采用斜坡软启动方式，在电动机启动的初始阶段启动电流逐渐增大，当电流达到预先所设定的值后保持恒定，直至启动完毕。在启动过程中，电流变化的速率可以根据电动机负载来调整、设定。电流变化速率大，则启动转矩大，启动时间短。该启动方式尤其适用于风机、泵类负载的启动。

### 6. SJR2 软启动器在空压机中的应用电路

某电厂空压机系统由 2 台空压机和 4 个储气罐构成。2 套独立的控制系统各控制 1 台空压机，已运行 20 多年，设备严重老化，故障率高。受当时科技水平的限制，逻辑控制回路由继电器构成，启动方式为传统的频敏电阻降压方式，启动电动机执行元件是接触器。控制系统接线复杂，故障点多，对电动机的保护功能不全，启动电流大，对厂用电有较大的冲击，不利于其他设备的稳定运行。现在采用 SJR2 软启动器对该系统进行改造，新控制系统解决了原控制系统存在的诸多问题，而且有利于同正着手全面改造的新计算机监控系统接口。

新控制系统的结构如图 3-19 (a) 所示，它主要包括软启动器、接触器、可编程控制器、压力传感器和进气电磁阀。

当气罐气压降至空压机启动值时，可编程控制器向软启动器发出启动命令，软启动器通过晶闸管控制电动机的启动电压和电流，使空压机系统在空载状态下平滑启动。当电压达到额定值时，接触器吸合，晶闸管短路，三相电源直接加在电动机上，软启动器启动完成，并



(a) 控制系统结构图

图 3-19 控制系统结构图和原理图

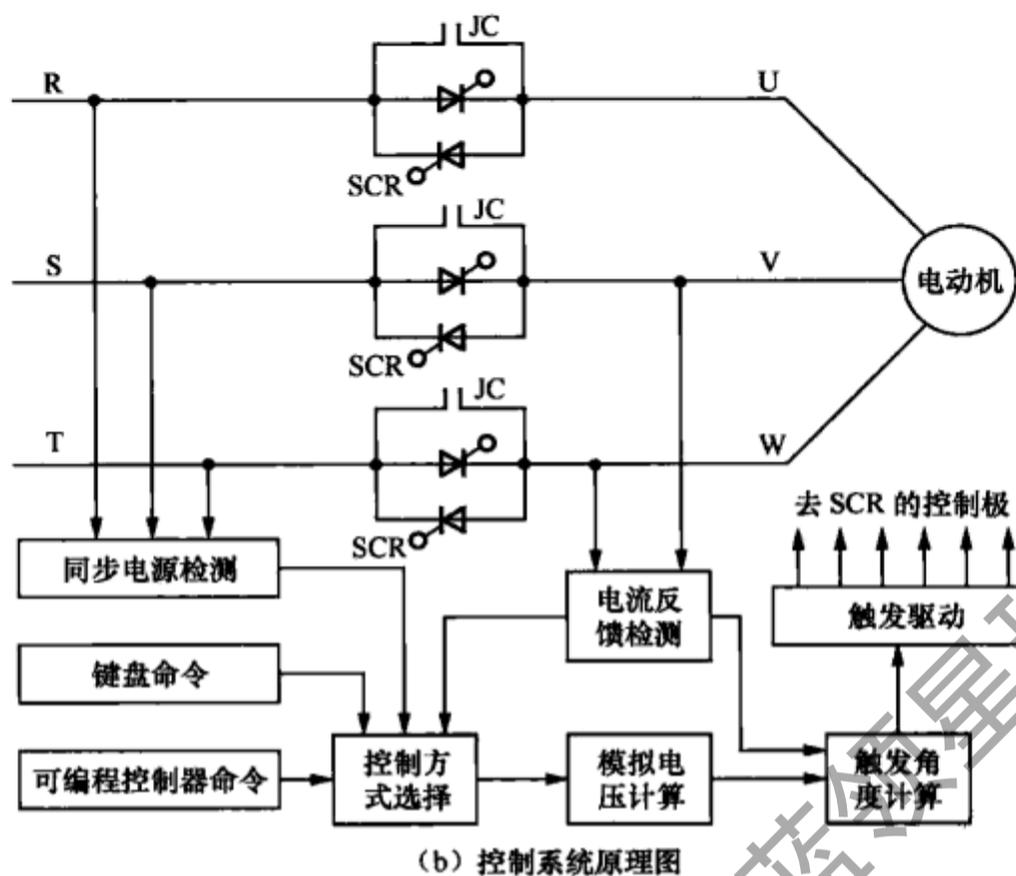


图 3-19 控制系统结构图和原理图（续）

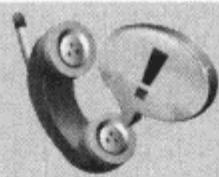
向可编程控制器发出启动完成信号。可编程控制器经过 9s 的延时投入进气电磁阀，空压机带载运行，向气罐打气；当气罐气压达停机值时，可编程控制器切断进气电磁阀电源，使空压机系统进入空载状态，2s 后向软启动器发出停机指令，在软启动器的控制下，电动机逐渐减速至完全停机，其原理如图 3-19（b）所示。

该控制系统具有以下功能。

① 控制功能。自动/手动控制空压机启停，控制方式通过工作方式切换开关来选择。采取自动工作方式时，根据气罐气压的变化自动启停空压机。采用手动方式时，可编程控制器退出运行，在软启动器控制面板上手动操作启停空压机。根据空压机系统的实际情况，选择电动机的启停方式是限流软启动和软停车。

② 保护功能。保护功能涉及整个空压机系统。当发现一级汽缸气压过高/过低、油缸压力过高/过低、排气温度过高以及断相、相序错误、电动机过流和过载等任一异常现象时，保护动作，自动停机。

③ 监视、报警功能。实时监视系统的运行工况，在控制盘上有主回路电流、电压指示，并显示系统运行状态。当系统出现故障时，控制盘上有详细的故障报警显示，同时向中控室发出报警信号。



**提示**

本控制系统在结构上采用软启动器作为控制输出执行元件，控制逻辑用可编程控制器实现，系统结构简单明了，提高了可靠性，也便于维护。

软启动器的限流启动方式将启动电流控制在安全范围内，改善了原控制系统因启动电流较大冲击厂用电而影响其他设备正常运行的状况。

启动过程采用双向晶闸管，启动过程完成后，利用接触器短接晶闸管，既避免了用接触器直接控制电动机时触点易拉弧、粘连、烧坏等故障的发生，也节约了能源。

知识链接

典型设备软启动效果及启动电流参考值

表 3-9 列出了典型设备软启动效果及启动电流参考值。

表 3-9 典型设备软启动效果及启动电流参考值

应用机械类型	选用功能	执行的功能	启动电流	启动时间 (s)
离心泵	标准启动	减小冲击, 消除水锤	300%	5~15
螺杆式压缩机	标准启动	减小冲击, 延长机械寿命	300%	3~20
离心式压缩机	标准启动	减小冲击, 延长机械寿命	350%	10~40
活塞式压缩机	标准启动	减小冲击, 延长机械寿命	350%	5~10
传送带运输机	标准+突跳	启动平稳, 减小冲击	300%	3~10
风机	标准启动	减小冲击, 延长机械寿命	300%	10~40
搅拌机	标准启动	减小启动电流	350%	5~20
磨粉机	重载启动	减小启动电流	450%	5~60

7. 三相晶闸管调压软启动电路

图 3-20 所示为三相晶闸管调压软启动电路。

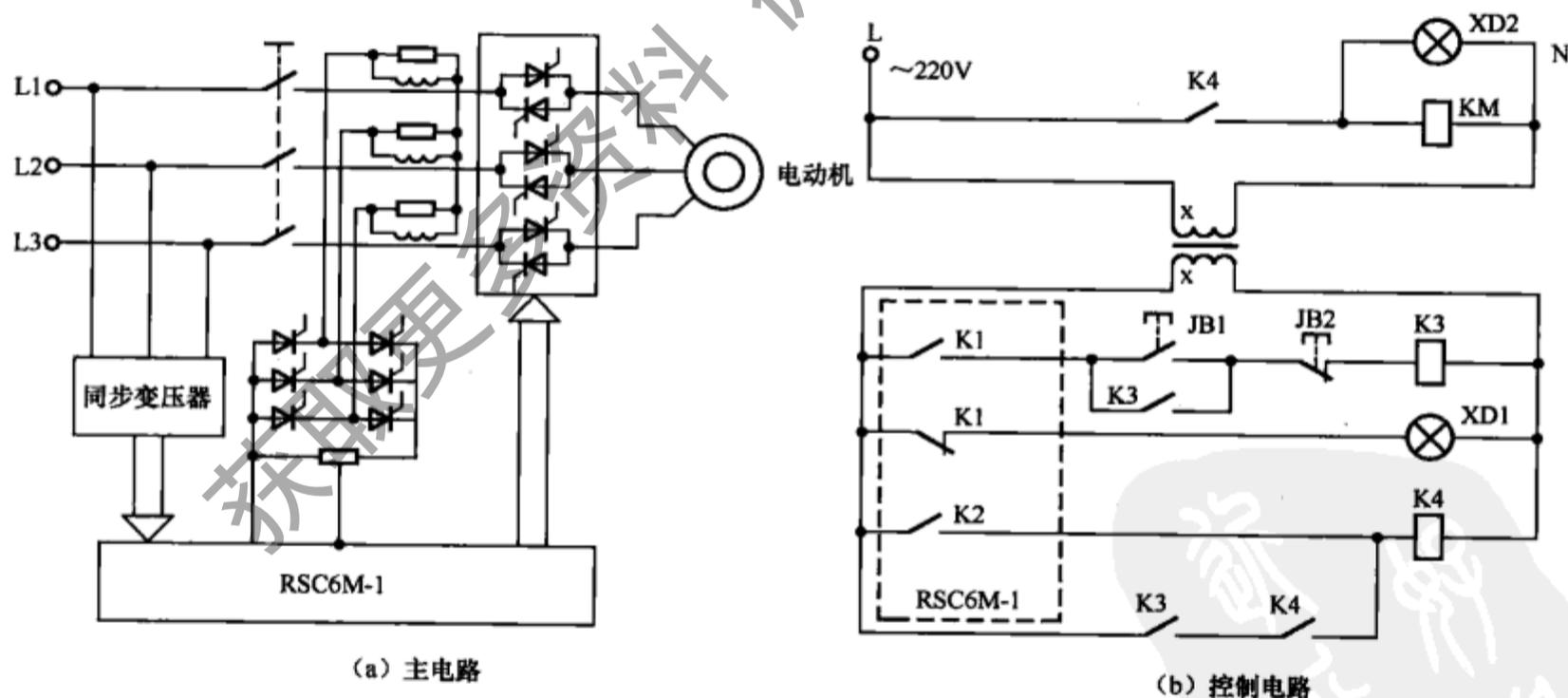
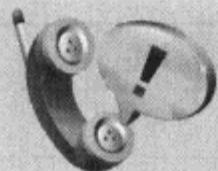


图 3-20 三相晶闸管调压软启动电路

该电路是基于交流电动机调速原理的斩波降压技术，其主要部件有三相同步变压器、三相星形连接的互感器、三相整流桥和 RSC6M-1 触发控制板。在每相电路串入了一个双相晶闸管，通过控制晶闸管的导通角来改变电压波形，使输出到电动机端的电压有效值发生

变化。

图中，K1、K2 为软启动控制板内部继电器，JB1 为启动按钮，JB2 为停止按钮，XD1 为故障指示灯，XD2 为启动完成指示灯。当系统内部正常，故障指示灯 XD1 不亮时，K1 吸合，允许启动。按下 JB1 按钮后，继电器 K3 的线圈得电使其触点自锁，开始启动。当启动完成后，继电器 K2 吸合，继电器 K4 得电自锁，并使交流接触器 KM 吸合，将电动机切换到电网电源上，同时启动完成指示灯点亮。



提示

三相晶闸管调压电子软启动器的启动转矩小，存在较大的谐波电压，启动过程中存在抖动现象，所以不适于重载启动。

### 保 密

某日，忙碌了一整天的阿姐还在加班加点赶明天的任务，忽然，她想起应该给家人打个电话，以免家人担心。于是她迅速拨起电话号码，一遍又一遍。“咦，怎么家里没人呢？”她喃喃自语，再一次仔细拨电话号码时，她才意识到自己把电话号码拨错了，可她怎么也记不起家里的电话了，于是把视线转移到了经理身上，求助道：“经理，你记得我家里的电话号码吗？”经理不动声色地说：“公司职员的电话号码是保密的，只能我一个人知道！”



## 3.3 交流电动机变频器控制电路——转速平稳又节能

交流电机变频器，无级调速又节能。  
变频器串主电路，功率富余才可行。  
控制电路很普通，就看完成啥功能。

变频器的诞生源于交流电动机对无级调速的需求，它是将工频电源转换成任意频率、任意电压的交流电源的一种电气设备。变频器的应用主要是调整电动机的功率、实现电动机的变速运行，从而达到节能和提高工作效率并实现自动控制的目的。

## 3.3.1

## 变频器正转控制电路

—KA 控制内电路，调节频率定速度

图 3-21 所示为变频器正转控制电路。该电路由主电路和控制电路两大部分组成。主电路包括低压断路器 QF、交流接触器 KM 的主触点、中间继电器 KA 的触点、变频器内置的交/直/交转换电路以及三相交流电动机 M 等。控制电路包括控制按钮 SB1~SB4、中间继电器 KA、交流接触器的线圈和辅助触点以及频率给定调节电位器 RP 等。

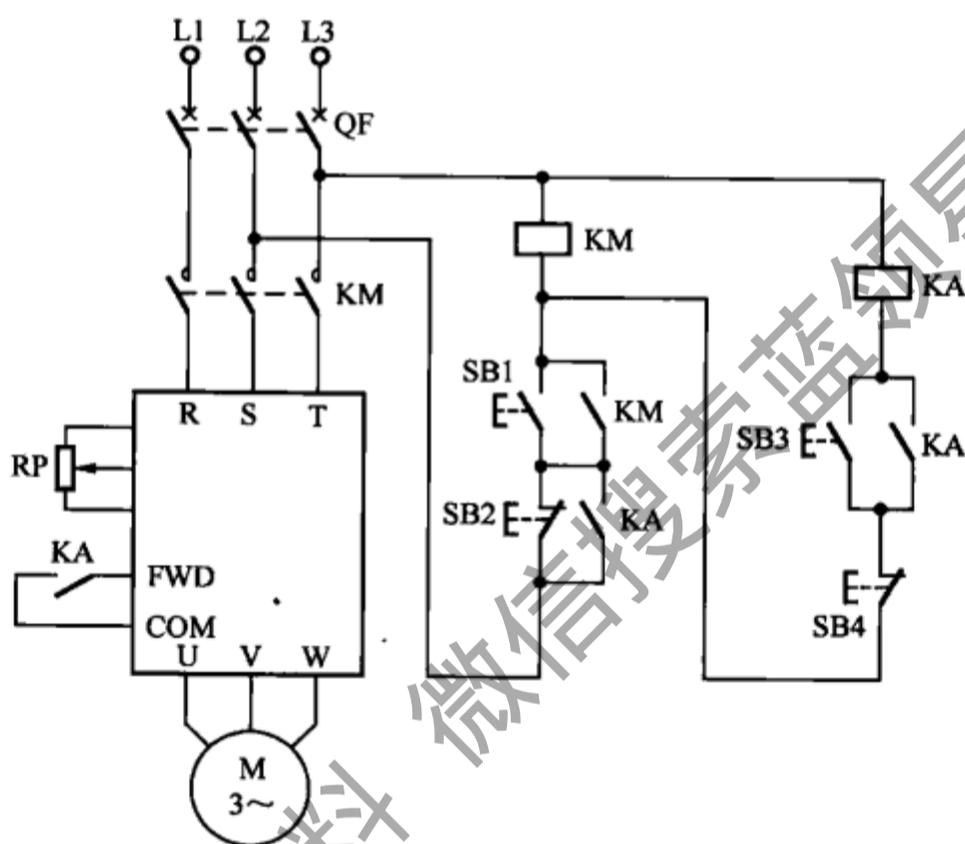


图 3-21 变频器正转控制电路

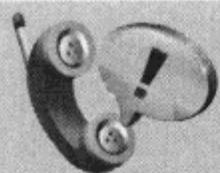
在该电路中，SB1、SB2 用于控制接触器 KM 的线圈，从而控制变频器电源的通断；SB3、SB4 用于控制中间继电器 KA，从而控制电动机的启动和停止。RP 为变频器频率给定调节电位器，通过调节其滑动触点得到频率给定信号。当电动机工作过程中出现异常时，KM、KA 线圈失电，电动机停止运行。

闭合电源开关 QF，控制电路得电。按下启动按钮 SB1 后，KM 线圈得电动作并自锁，为中间继电器 KA 运行做好准备；KM 的主触点闭合，主电路进入热备用状态。

按下控制按钮 SB3 后，中间继电器 KA 的线圈得电动作，其触点闭合并自锁，防止操作 SB2 时断电；变频器内置的交/直/交转换电路工作，电动机 M 得电运行。

停机时，按下 SB4，中间继电器 KA 的线圈失电复位，KA 的触点断开，变频器内置的交/直/交电路停止工作，电动机 M 失电停机。同时，KA 的触点解锁，为 KM 线圈停止工作做好准备。

如果设备暂时停止使用，就按下按钮 SB2，KM 线圈失电复位，其主触点断开，变频器的 R、S、T 端脱离电源。如果设备长时间不用，应断开电源开关 QF。

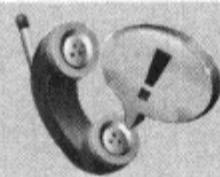


**提示** 该控制电路中的接触器与中间继电器之间有连锁关系：一方面，只有在接触器 KM 动作使变频器接通电源后，中间继电器 KA 才能动作；另一方面，只有在中间继电器 KA 断开，电动机减速并停机时，接触器 KM 才能断开变频器的电源。

变频器的通电与断电是在停止输出状态下进行的，在运行状态下一般不允许切断电源，因为电源突然停电时，变频器立即停止输出，运转中的电动机失去了降速时间，这对某些运行场合会造成较大的影响，甚至导致事故发生。



**想一想** 电动机使用工频电源驱动时，电压下降时电流增大；采用变频器驱动后，如果频率下降时电压也下降，那么电流是否增大？



**提示** 频率下降（低速）时，如果输出相同的功率，则电流增大；但在转矩一定的条件下，电流几乎不变。

### 3.3.2

#### 变频器正反转控制电路

——正反转靠继电器，掌控速度变频器

图 3-22 所示为变频器正反转控制电路。其中，QF 为低压断路器，KM 为交流接触器，KA1、KA2 为中间继电器，SB1 为通电按钮，SB2 为断电按钮，SB3 为正转按钮，SB4 为反

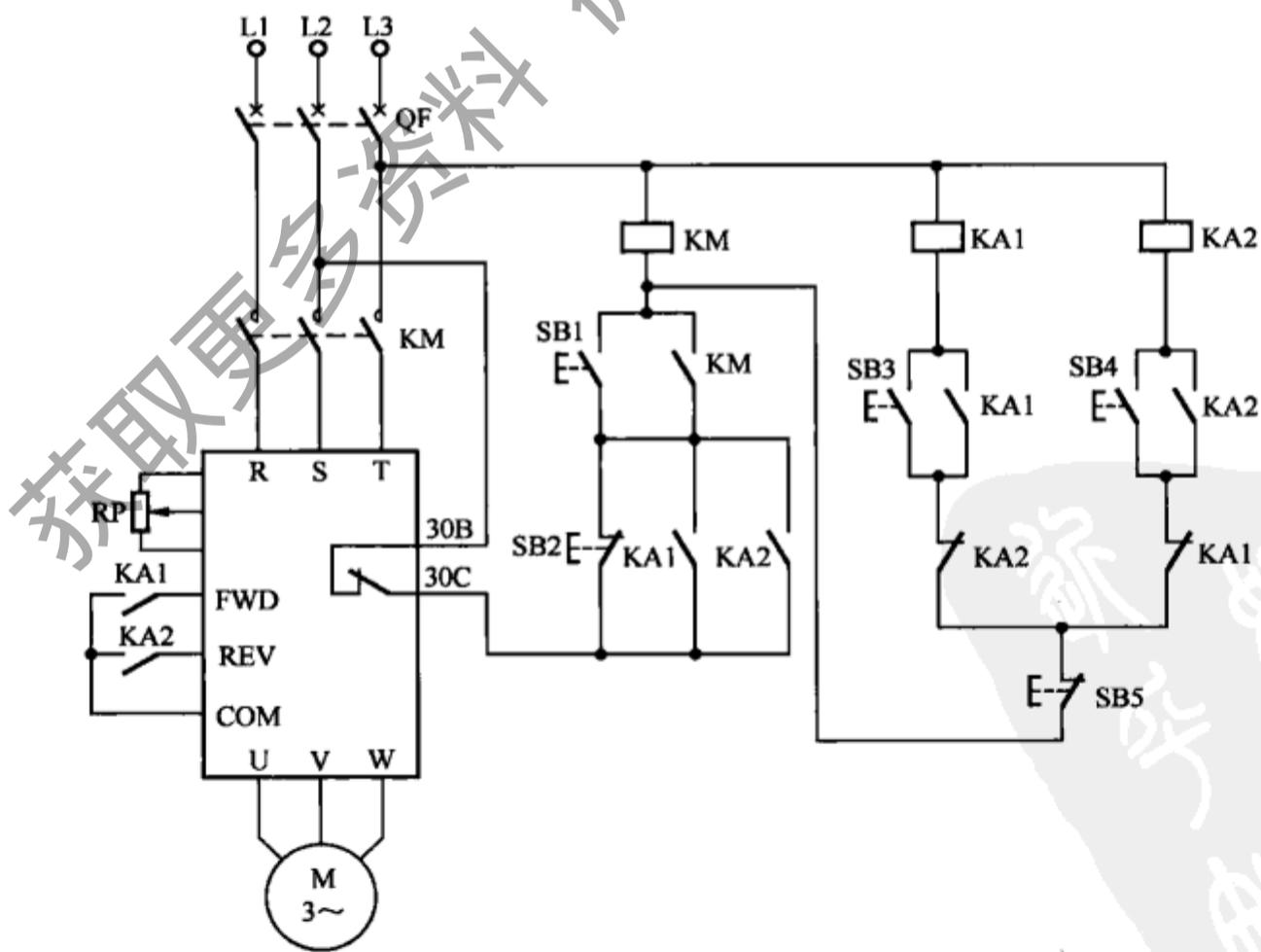


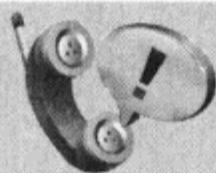
图 3-22 变频器正反转控制电路

转按钮，SB5 为停止按钮。30B 和 30C 为总报警输出端。RP 为频率给定调节电位器，频率给定信号通过调节其滑动触点得到。

该电路与变频调速电动机正转控制电路不同的是增加了 REV 端与 COM 端之间的控制开关 KA2。按下开关 SB1，接触器 KM 的线圈得电动作并自锁，主回路中 KM 的主触点接通，变频器输入端 (R、S、T) 获得工作电源，系统进入热备用状态。

按钮 SB1 和 SB2 用于控制接触器 KM 的吸合与释放，从而控制变频器的通电与断电。按钮 SB3 用于控制正转继电器 KA1 的吸合，当 KA1 接通时，电动机正转。按钮 SB4 用于控制继电器 KA2 的吸合，当 KA2 接通时，电动机反转。按钮 SB5 用于控制电动机停机。

电动机正反转主要通过变频器内置的交/直/交转换电路来实现。如果需要停机，可按下按钮 SB5，变频器内置的电子线路停止工作，电动机停止运转。



**提示**

电动机正反转运行操作必须在接触器 KM 的线圈已得电动作且变频器 (R、S、T 端) 已得电的状态下进行。同时，正反转继电器互锁，正反转切换不能直接进行，必须停机后再改变转向。

按钮 SB2 两端并联有 KA1、KA2 的触点，KA1、KA2 互锁，可防止电动机在运行状态下切断接触器 KM 的工作电源而直接停机。互锁保持变频器工作状态的平稳过渡，避免了变频器受冲击。换句话说，只有在电动机正反转工作都停止，变频器退出运行的情况下，才能操作按钮 SB2，通过切断接触器 KM 的工作电源而停止对电路的供电。

变频器故障报警时，控制电路被切断，变频器主电路断电，电动机停机。

### 3.3.3

## 变频器调速连锁正反转控制电路

——正转反转能实现，电气连锁是关键

图 3-23 所示为变频器调速连锁正反转控制电路。

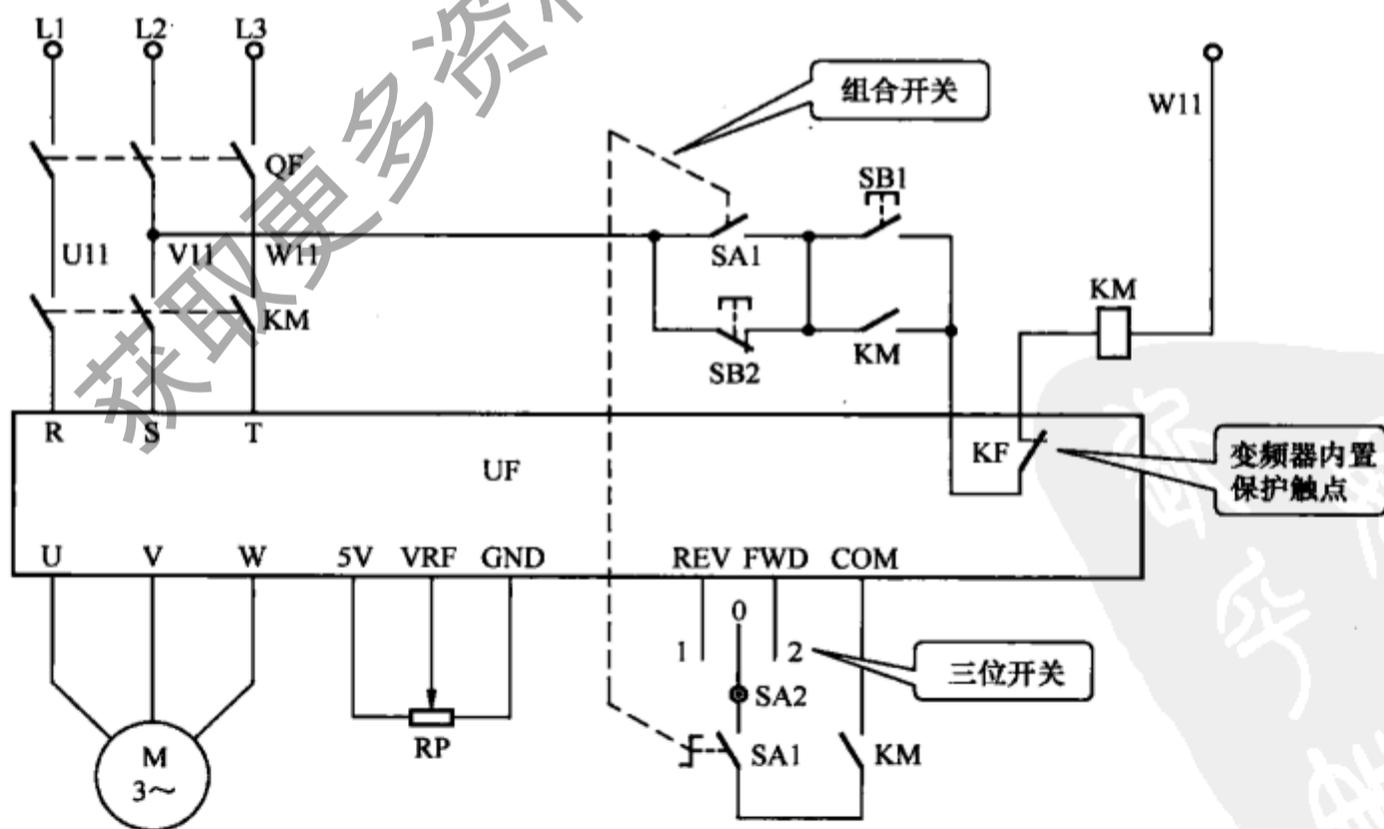


图 3-23 变频器调速连锁正反转控制电路

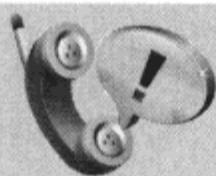
组合开关 SA1 为机械连锁开关，三位开关 SA2 是电动机正转、反转、停止的转换开关，接触器 KM 的触点作为电气连锁开关。SA1 接通时，SB2 退出；SA1 断开时，SB2 有效。接触器 KM 处的端子 COM 接通时，只有 SA1、SA2 都接通才有效；接触器 KM 处的端子 COM 断开时，SA1、SA2 接通无效。

闭合 QF，按下按钮 SB1，KM 线圈得电动作，其辅助触点同时闭合，变频器的 R、S、T 端得电进入热备用状态。

将 SA1 开关旋转到接通位置时，SB2 不再起作用，然后将 SA2 拨到位置“2”，变频器内置的交/直/交转换电路开通，电动机启动并正向运转。

如果要使电动机反向运转，应先将 SA2 拨到位置“0”，然后将开关 SA2 转到位置“1”，于是电动机反向运转。

停机时，将 SA1 转到位置“0”，断开 SA1 对 SB2 的封锁，做好变频器输入端（R、S、T）脱电准备。按下 SB2，KM 线圈失电复位，切断交流电源与变频器（R、S、T 端）之间的联系。



**提示**

如果一开始就要电动机反向运转，则先将旋转开关 SA1 转到接通位置（SB2 退出），然后按下 SB1，接触器 KM 的线圈得电动作，其辅助触点同时闭合，变频器的 R、S、T 端得电，进入热备用状态。将 SA2 转到“1”位置时，变频器内置的电路换相，电动机反向运行。

同样，如果在反向运转过程中要使电动机正向运转，则先将 SA2 拨到位置“0”，然后再将开关 SA2 转到位置“2”，电动机正向运行。



**想一想**

使用变频器时需要安装接地线吗？



**提示**

变频器正确接地是提高控制系统灵敏度和抑制噪声的重要手段，变频器接地端子的接地电阻越小越好。变频器的接地点必须与动力设备接地点分开，不能共地。

### 3.3.4 变频器并联运行控制电路 —— 并联运行变频器，运行端子受控制

图 3-24 所示为变频器并联运行控制电路。该电路采用了两台变频器，共用一套控制电路。

该电路的两台变频器的电源输入端并联，两台变频器的 VRF、COM 端并联。总电源受低压断路器 QF 控制。接触器 KM 控制两台变频器的通电、断电。两台变频器的故障输出端子（30B、30C）均串联在控制电路中，任何一个变频器控制报警时都要切断控制电路，从而切断变频器的电源。

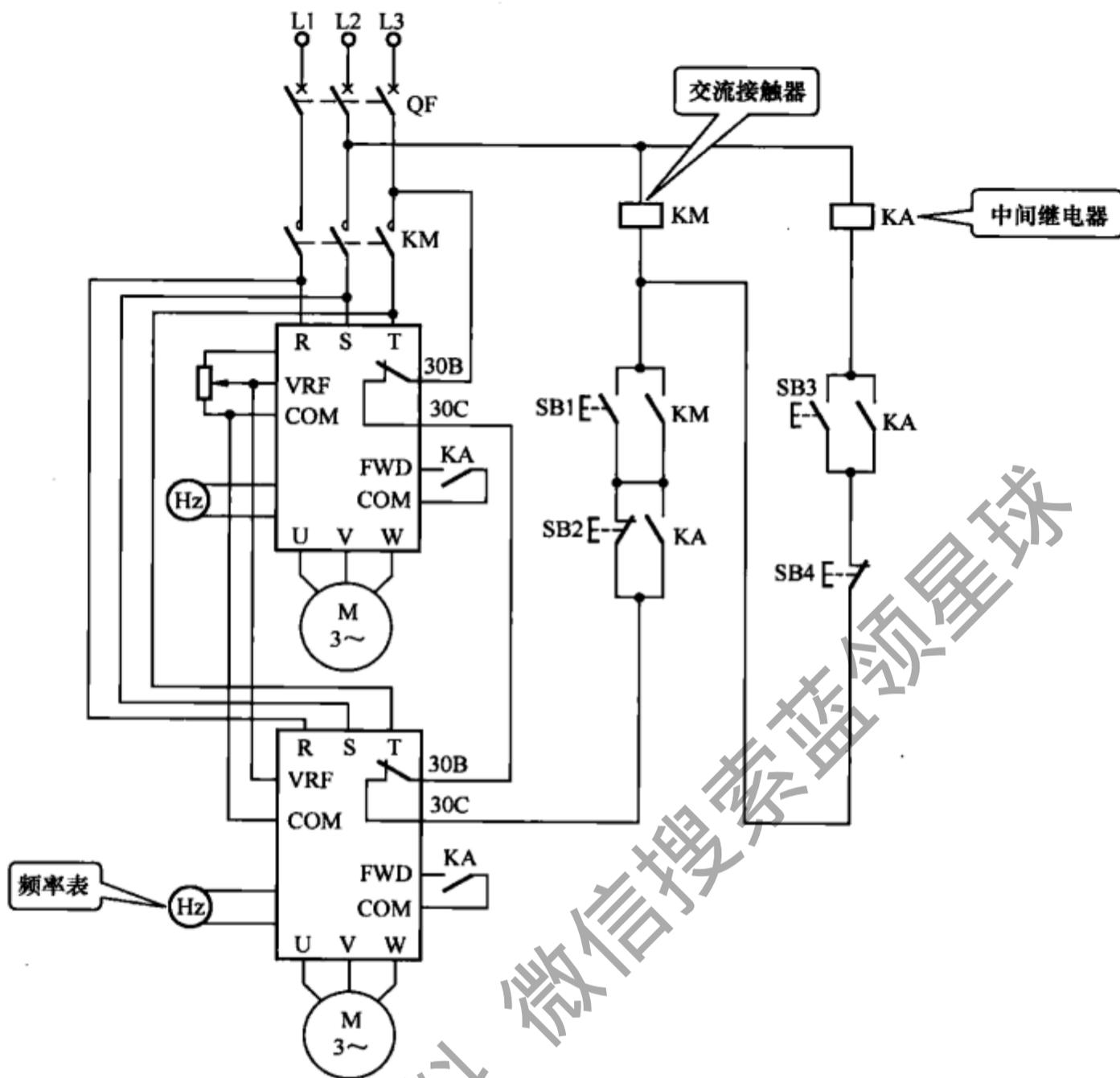


图 3-24 变频器并联运行控制电路

通电按钮 SB1 与接触器 KM 的动合触点并联，使 KM 能够自锁，以保证变频器能够持续通电；断电按钮 SB2 与接触器 KM 的线圈串联，同时与运行继电器 KA 的动合触点并联，受运行继电器 KA 的控制。

运行按钮 SB3 与运行继电器 KA 的动合触点并联，使 KA 能够自锁，以保证变频器可连续运行。停止按钮 SB4 与继电器 KA 的线圈串联，用于停止变频器的运行，但不能切断变频器的电源。

变频器并联运行、比例运行多用于传送带、流水线的控制。

两台变频器的速度给定控制采用同一个电位器。若两台变频器同速运行，可将两台变频器的频率增益等参数设置为相同。若两台变频器比例运行，应根据不同比例分别设置各自的频率增益，每台变频器的输出频率由各自的多功能输出端子所接频率表（Hz）指示。

两台变频器的运行端子由继电器触点控制。

### 3.3.5

#### 带抱闸的变频器控制电动机电路

——电磁抱闸停平稳，预设频率是指令

图 3-25 所示为带抱闸的变频器控制电动机电路。

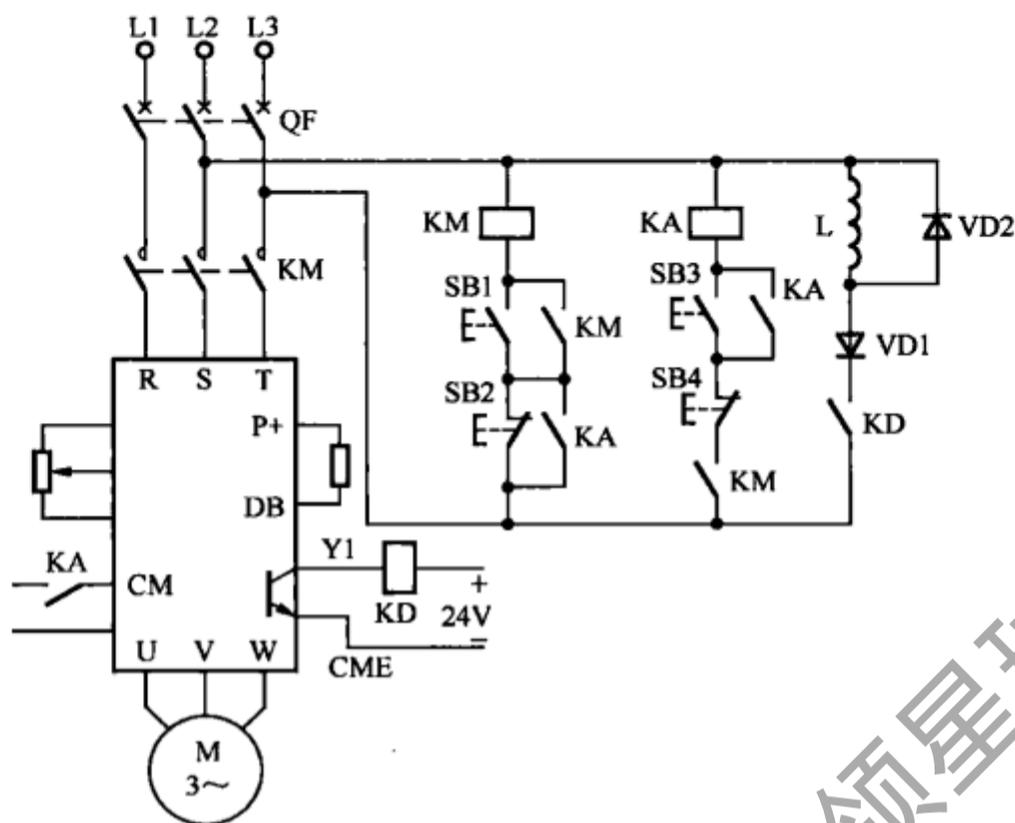


图 3-25 带抱闸的变频器控制电动机电路

当电磁线圈未通电时，由机械弹簧将闸片压紧，使转子不能转动而处于禁止状态；当给电磁线圈通入电流时，电磁力将闸片吸开，转子可以自由转动，处于抱闸松开状态。

将变频器的多功能输出端子设为频率到达功能，动合触点便输出信号，频率达到预置的 0.5Hz。

抱闸控制过程：当频率小于 0.5Hz 时，变频器内部的动合触点断开，抱闸继电器线圈失电，机械弹簧将闸片压在转轴上，转子不转动（禁止）。

松闸控制过程：当频率大于 0.5Hz 时，变频器内部的动合触点闭合，抱闸继电器线圈得电，转轴自由转动，电动机启动运行。



提示

这种制动方法在起重机械上得到了广泛应用，如行车、卷扬机、电动葫芦（大多采用电磁离合器制动）等，其优点是能准确定位，可防止电动机突然断电时重物自行坠落而造成事故。

### 3.3.6

#### 变频—工频运行切换电路

故障报警变频停，切换工频可运行

在变频器拖动系统中根据生产要求，常常需要进行变频—工频运行切换。例如，在变频器运行中出现故障时需及时将电动机由变频运行切换到工频运行。图 3-26 所示为变频—工频运行切换电路。

该电路由主电路和控制电路两部分组成。主电路由电源开关 QF、交流接触器 KM1~KM3、变频器内置的变频电路（交/直/交转换电路）以及三相交流电动机 M 等组成。控制电路由控制按钮 SB1~SB4、切换开关 SA、交流接触器 KM1~KM3 的线圈、中间继电器 KA1 和 KA2、时间继电器 KT、变频器内置的保护触点 30A 和 30C、选频电位器 RP、蜂鸣器 HA 以及信号指示灯 HL 等组成。

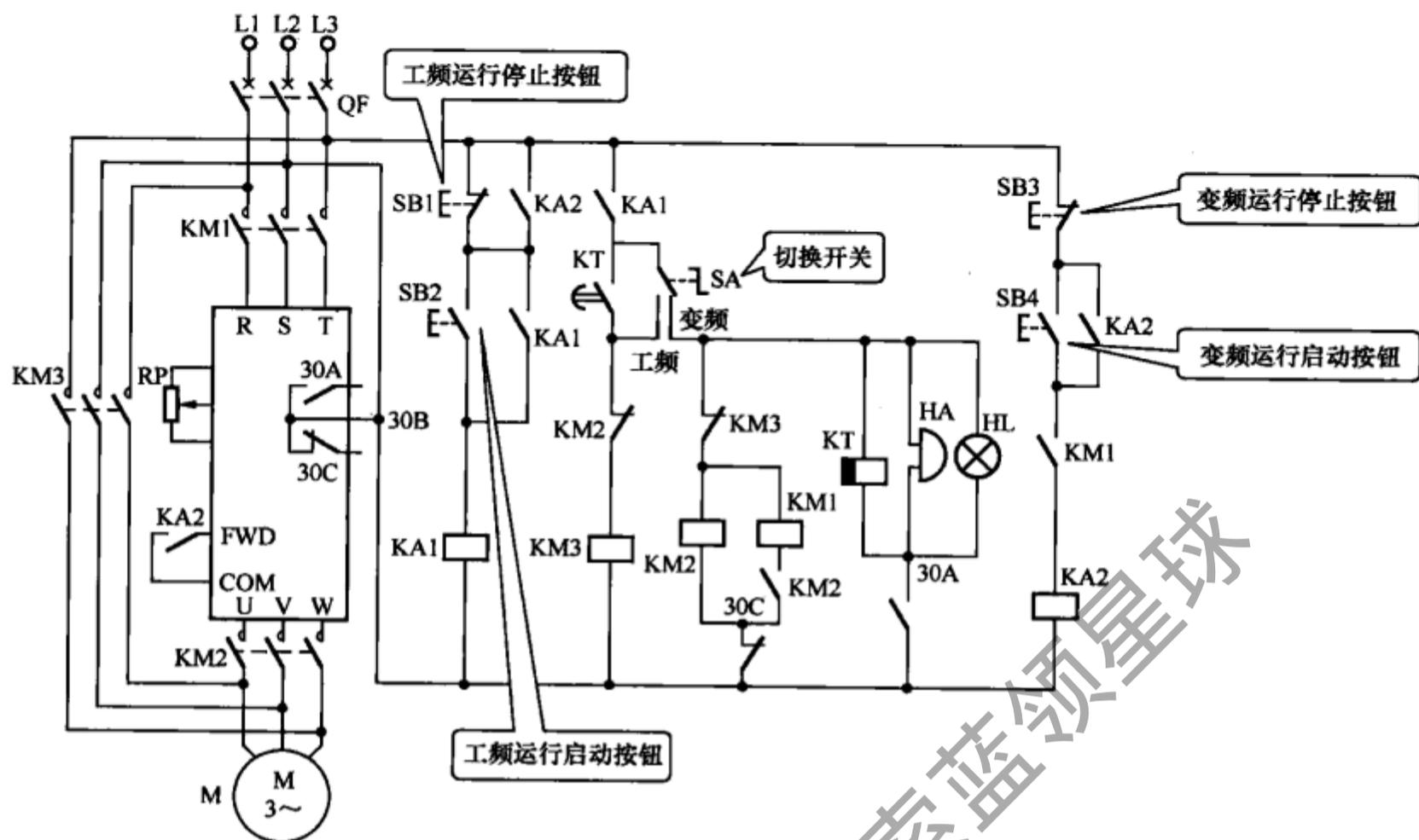


图 3-26 变频—工频运行切换电路

### (1) 工频运行方式

将开关 SA 切换到“工频”位置，按下启动按钮 SB2，中间继电器 KA1 的线圈得电后触点吸合并自锁，KM2 的触点吸合，KM3 线圈得电后动作，此时 KM3 的动断触点断开，禁止 KM1、KM2 参与工作。KM3 的主触点闭合，电动机按工频条件运行。按下停止按钮 SB1 后，中间继电器 KA1 和接触器 KM3 的线圈均失电，电动机停止运行。

### (2) 变频运行方式

将 SA 切换到“变频”位置，接触器 KM2、KM1 以及时间继电器 KT 等均参与工作。按下启动按钮 SB2 后，中间继电器 KA1 的线圈得电吸合并自锁，KA1 的触点闭合，接触器 KM2 的线圈得电动作，主触点闭合，其动断触点断开，禁止 KM3 线圈工作。此时与 KM1 线圈支路串联的 KM2 的动合触点闭合，KM1 线圈得电吸合，其主触点闭合，交流电源送达变频器的输入端 (R、S、T)。KM1 的主触点闭合，为变频器投入工作做好先期准备。

按下 SB4 后，KM1 的动合触点闭合，KA2 线圈得电动作，变频器的 FWD 端与 COM 端之间的触点接通，电动机启动并按变频条件运行。KA2 工作后，其动合触点闭合，停止按钮 SB1 被短接而不起作用，防止误操作按钮 SB1 而切断变频器工作电源。

在变频器正常调速运行时，若要停机，可按下停止按钮 SB3，则 KA2 线圈失电，变频器的 FWD 端与 COM 端之间的触点断开，U、V、W 端与 R、S、T 端之间的交/直/交转换电路停止工作，电动机失电而停止运行。此时交流接触器 KM1、KM2 仍然闭合待命。同时，KA2 与 SB1 并联的触点也断开，为下一步操作做好准备。

如果变频器在运行过程中发生故障，则变频器内置保护元件 30C 的动断触点将断开，KM1、KM2 线圈失电，从而切断电源与变频器之间以及变频器与电动机之间的联系。与此同时，变频器内置保护开关 30A 的动合触点接通，蜂鸣器 HA 和指示灯 HL 发出声光报警。时

间继电器 KT 的线圈同时得电，延时时间结束后，其速断延时闭合触点接通，KM3 线圈得电动作，主电路中 KM3 的触点闭合，电动机进入工频运行程序。

操作人员听到警报后，可将切换开关 SA 旋至“工频”或“停止”位置，声光报警停止，时间继电器因失电而停止工作。



**提示**

主电路中没有设置热继电器，应用时可根据实际情况在电动机三相绕组电源输入端增设热继电器，以便对电动机进行过载保护。

该控制电路的最关键之处是 KM3 和 KM2、KM1 的互锁关系，即 KM2、KM1 闭合时 KM3 必须断开，而 KM3 闭合时 KM2、KM1 必须断开，二者不能有任何时间重叠。

该电路调试时，在变频器投入运行后，可先进行工频运行，而后手动切换为变频运行。当两种运行方式均正常后，再进行故障切换运行。故障切换运行可设置一个“外部紧急停止”端子，当这个端子有效时，变频器发出故障警报，30C 和 30A 触点动作，自动将变频器切换为工频运行并发出声光报警。

变频器调试时，相关的功能参数要根据变频器的具体型号和要求进行预置。



**想一想**

在该控制电路中如何增设热继电器进行电动机过载保护？

### 3.3.7

## 变频器在自动供水系统中的应用电路 ——水位高度发指令，升降速端作反应

供水系统的水位控制系统及压力、水位信号切换电路如图 3-27 所示。

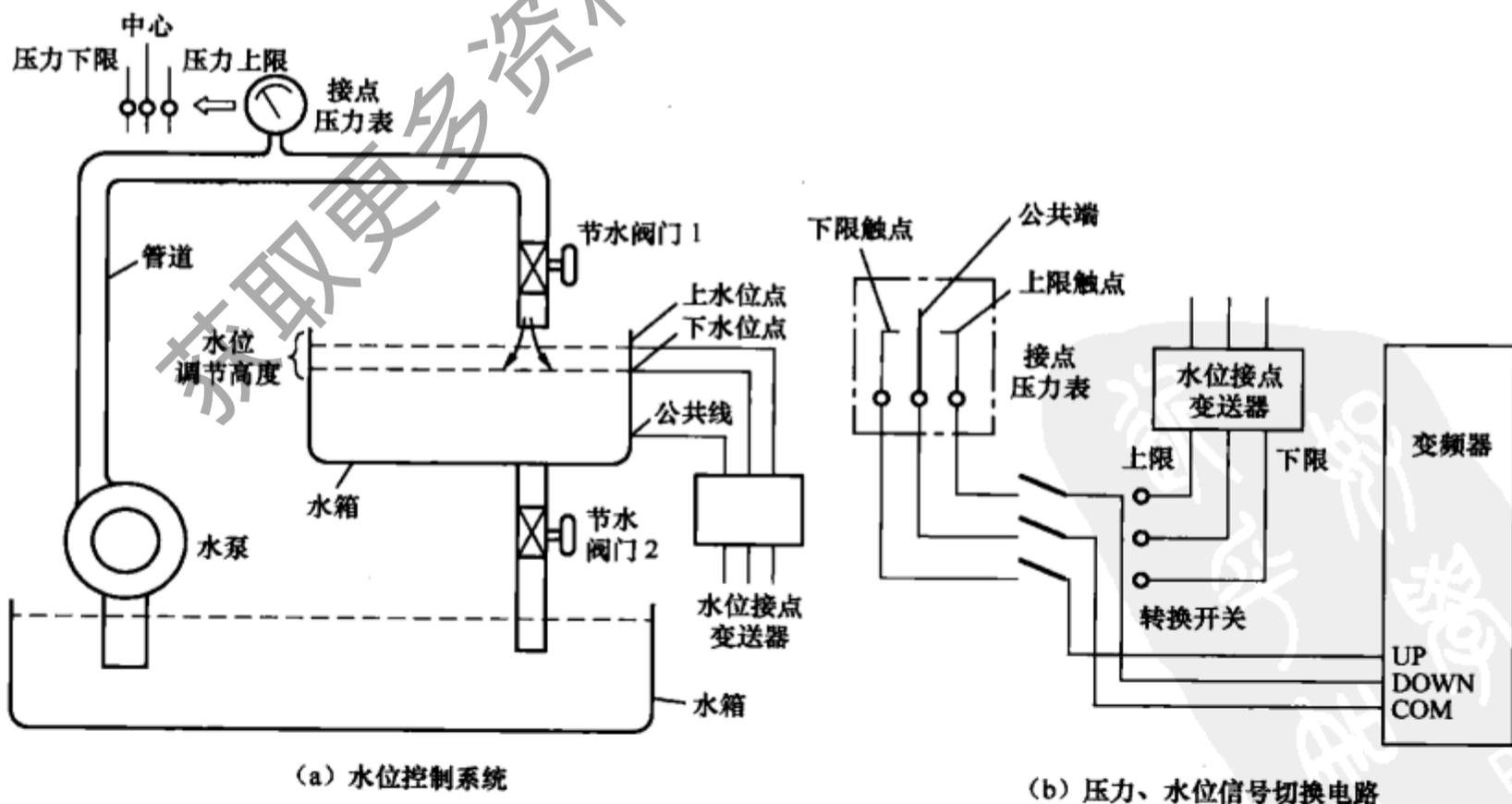


图 3-27 水位控制系统及压力、水位信号切换电路

水泵将水注入水箱，调节节水阀门 2，以模拟供水系统用水量的大小。在水箱中安装有上、下水位控制输出点，水位控制点连接到水位接点变送器上。当水箱中的水位达到上限水位或低于下限水位时，分别发出水位信号并由水位接点变送器输出到变频器的升、降速端子，控制水泵的转速，将水箱的水位限制在上、下限之间。

变频器的升、降速端子闭合时，变频器开始控制水泵正向升速运行。当转速上升到上限时，水泵保持恒速运转。



**提示** 将接点压力表和水位接点变送器的输出通过一只多位转换开关连接到变频器的升、降速端子。上限接降速端子，下限接升速端子。

**知识链接**

**VVVF 变频器恒压供水电路**

VVF 变频器恒压供水电路的主电路由变频器控制的水泵电动机 M1 和用一般方式控制的水泵 M2 组成，如图 3-28 所示。

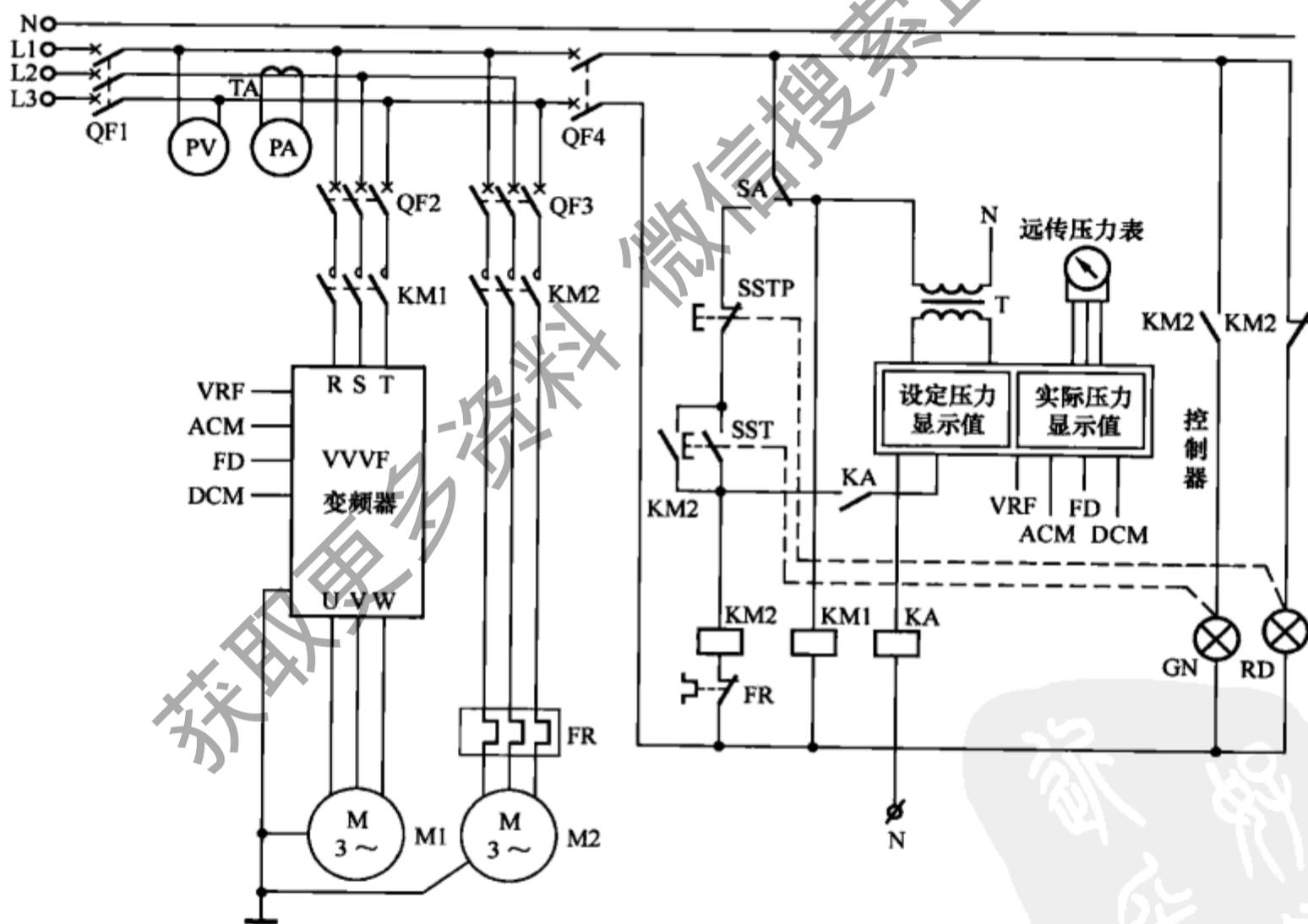


图 3-28 VVVF 变频器恒压供水电路

由于变频器厂家不同，变频器主回路的接线可能有一定的差异。但变频器不允许通过频繁地开、关断路器 QF 或接触器 KM 来实现运行和停止，变频器输出端 U、V、W 与电动机之间不需加装交流接触器，否则在变频器运行过程中，接触器吸合、断开时会产生大电流和引起

过电压，容易损坏变频器内部的主电路逆变桥功率模块。

变频器的额定容量与电动机的额定功率的比值以 3 : 2 为宜。比值小时影响有效力矩的输出，比值大时会使高次谐波量加大。

### 3.3.8

## 变频器配合 PLC 控制电动机电路

——强强联合保运行，处理故障更聪明

图 3-29 所示为变频器工频/变频运行切换 PLC 控制电路的接线图和梯形图，PLC 输入/输出地址分配如表 3-10 所示，其对应的控制程序如表 3-11 所示。该电路由主电路和以 PLC 为核心的控制电路组成。主电路包括电源开关 QF，接触器 KM1、KM2、KM3 的主触点，继电器 KA1 和 KA2 的触点，热继电器 FR，变频器内置的 AC/DC/AC 转换电路，电动机 M。控制电路包括 PLC，控制按钮 SB1~SB5，选择开关 SA1、SA2，接触器 KM1~KM3 的线圈，继电器 KA1 和 KA2 的线圈，蜂鸣器 HA 和指示灯 HL 等。

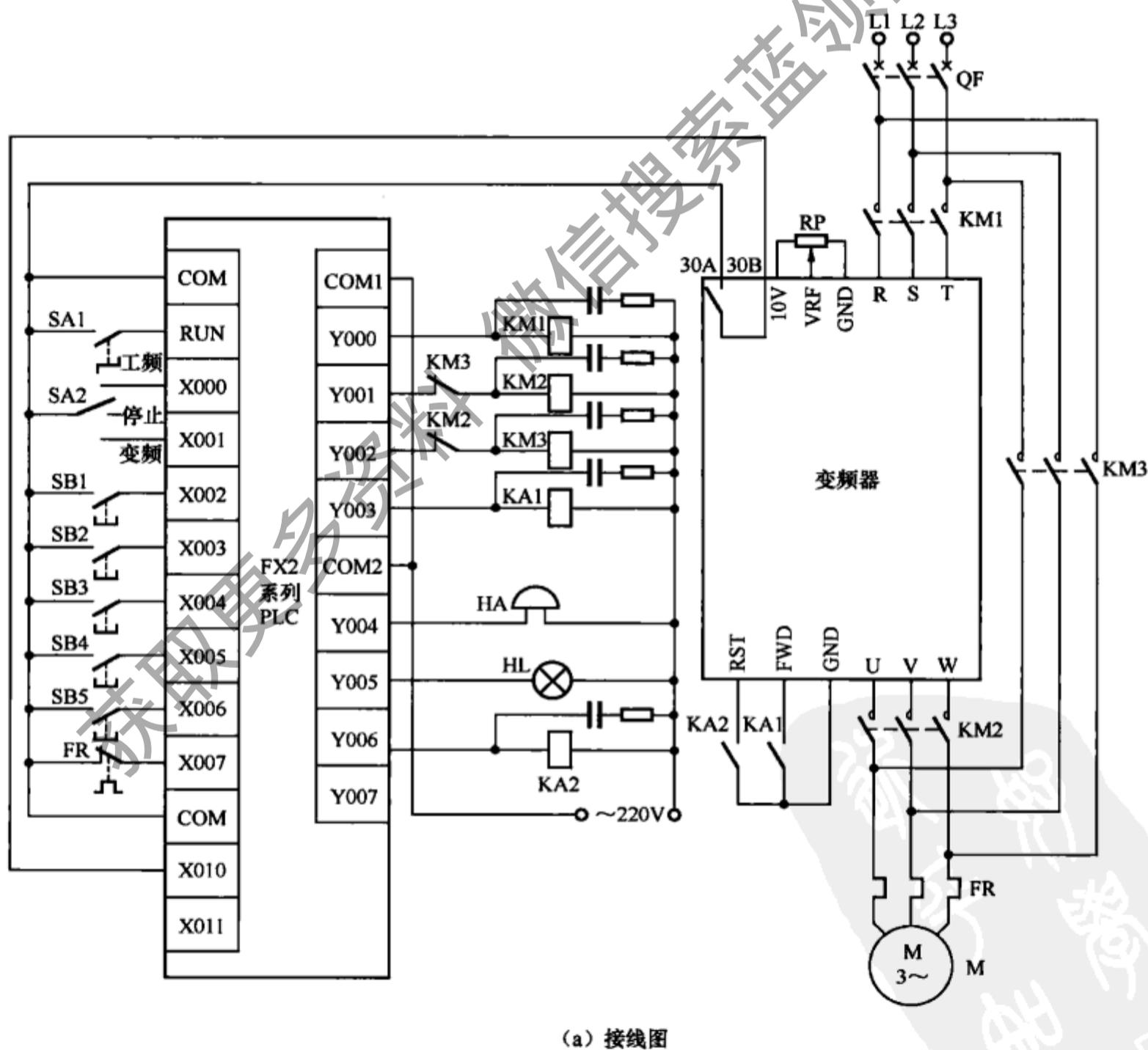
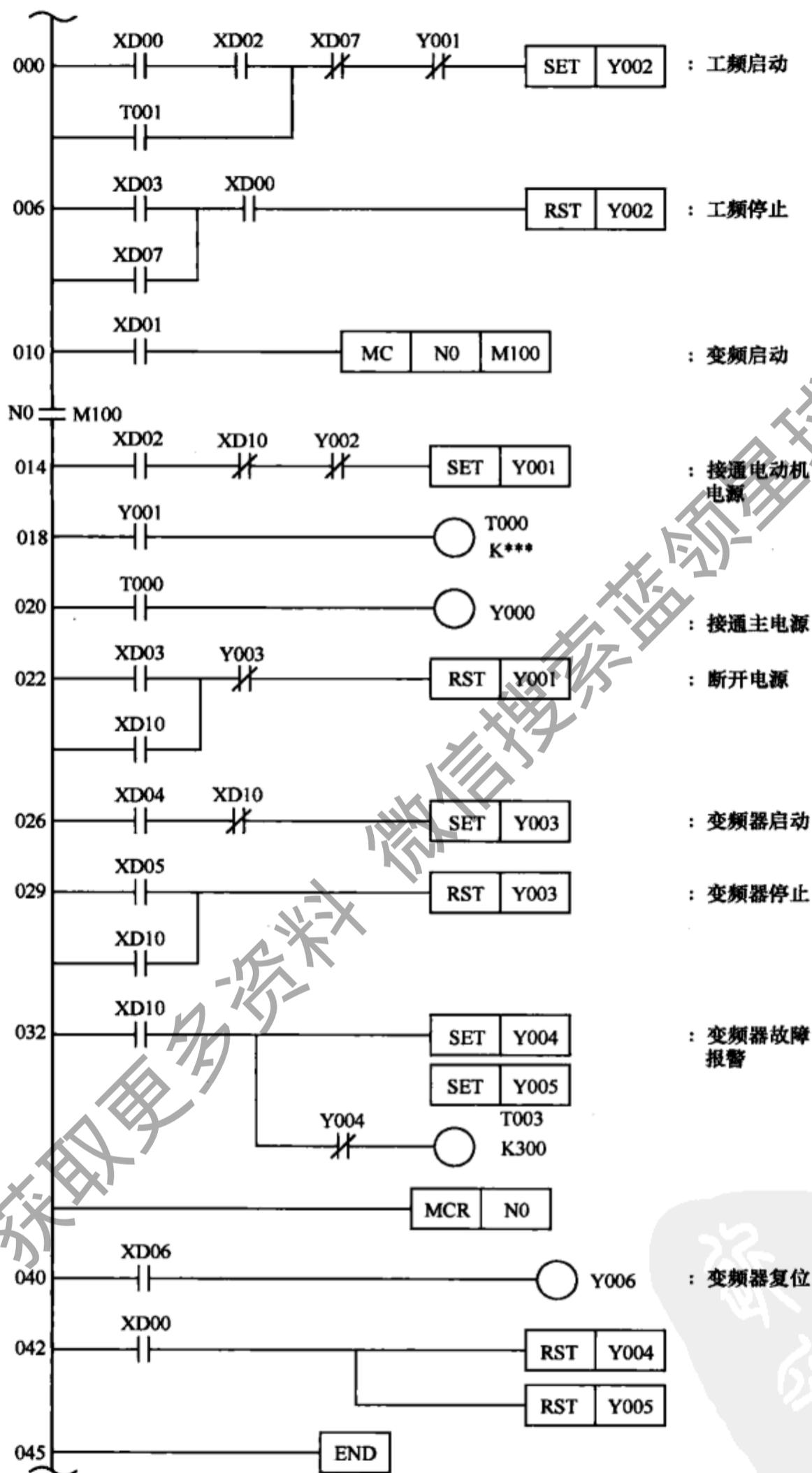


图 3-29 变频器工频/变频运行切换 PLC 控制电路接线图和梯形图



(b) 梯形图

图 3-29 变频器工频/变频运行切换 PLC 控制电路接线图和梯形图 (续)

表 3-10

图 3-29 (a) 所示电路的 PLC 输入/输出地址分配表

输入地址		输出地址
X000	工频运行方式	Y000 接通主电源至变频器, KM1
X001	变频运行方式	Y001 接通变频电源至电动机, KM2
X002	工频/变频启动	Y002 接通主电源至电动机, KM3
X003	工频/变频停止	Y003 变频器自动, KA1
X004	变频器运行启动	Y004 灯光报警, HL
X005	变频器运行停止	Y005 声音报警, HA
X006	复位	Y006 变频器复位, KA2
X007	热保护	
X010	系统异常	

表 3-11

工频/变频运行切换控制程序表

序号	指令	器件号
000	LD	X000
001	AND	X002
002	OR	T001
003	ANI	X007
004	ANI	Y001
005	SET	Y002
006	LD	X003
007	OR	X007
008	AND	Y000
009	RST	Y010
010	LD	X001
011	MC	N0
	SP	M100
014	LD	X002
015	ANI	X010
016	ANI	Y002
017	SET	Y001
018	LD	X000
019	OUT	T000
		K***
020	LD	T000

续表

序 号	指 令	器 件 号
021	OUT	Y000
022	LD	X003
023	OR	X010
024	ANI	Y003
025	RST	Y001
026	LD	X004
027	ANI	X010
028	SET	Y003
029	LD	X005
030	OR	X010
031	RST	Y003
032	LD	X010
033	SET	Y004
034	SET	Y005
035	ANI	Y004
036	OUT	001
037		K300
038	MCR	N0
040	LD	X006
041	OUT	Y006
042	LD	X000
043	RST	Y004
044	RST	Y005
045	END	

#### (1) PLC 控制工频/变频切换

KM1 用于切换变频器的通断电, KM2 用于切换变频器与电动机的接通与断开, KM3 用于控制电动机工频运行。KM2 和 KM3 在切换过程中不能同时接通, 需要在 PLC 内外通过程序和电路进行连锁保护。

变频器由电位器 RP 进行频率设定。KA1 的动合触点控制运行, KA2 的动合触点控制复位, 由 30A、30B 输出报警信号。

SA1 为转动开关, 用于控制 PLC 运行。

SA2 为工频/变频切换开关。SA2 旋至 X000 时, 电动机为工频运行; SA2 旋至 X001 时, 电动机为变频运行。

SB1、SB2 为工频/变频运行时的启动/停止按钮; SB3、SB4 为变频器运行/停止按钮; SB5 为复位按钮, 用于对变频器进行复位。

## (2) PLC 控制原理

在 PLC 梯形图中，各逻辑行所实现的功能如下。

000: 启动电动机工频运行。将开关 SA1 旋合，PLC 开始进入控制工作状态。将 SA2 旋至“工频”运行位置，X000 闭合，为工频运行做准备。按下 SB1 按钮，X002 闭合，Y002 置位，KM3 动作，电动机工频运行。同时 KM3 的辅助触点切断 KM2 的电源进行连锁。

006: 停止电动机工频运行。当需要停机时，按下 SB2 按钮，X003 闭合，Y002 复位，KM3 断开，电动机停止运行。在工频运行过程中，当电动机过热时，热继电器接通，X007 输入，Y002 复位。

010: 启动电动机变频运行。将开关 SA2 旋至“变频”运行位置，X001 闭合，为变频运行做准备。

014: 控制接通变频器电源到电动机。按下按钮 SB1，X002 闭合，Y001 置位，KM2 动作，将变频器与电动机接通。同时，KM2 的辅助触点切断 KM3 的电源进行连锁。

018: 延时控制。为了实现先接通变频器至电动机，再接通主电源至变频器，需利用定时器进行控制。

020: 控制接通主电源至变频器。Y000 输出，KM1 动作，接通主电源至变频器。

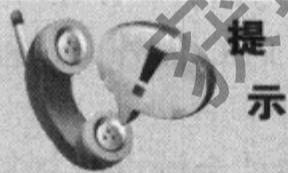
022: 断开工频电源。按下 SB2 按钮，X003 闭合，Y001 复位，切断变频器电源。

026: 启动变频器。按下 SB3 按钮，X004 闭合，Y003 置位，KA1 动作，变频器控制电动机运转。同时，Y003 的动断触点使 Y001 不能复位，即变频器在运行过程中不能切断电源。

029: 停止变频器运行。按下按钮 SB4，X005 闭合，Y003 复位，KA1 断开，变频器停止工作。

032: 变频器故障报警。在变频器运行过程中，若出现故障，变频器的 30A、30B 端闭合，X010 动作，Y004、Y005 闭合，进行声光报警。与此同时，X010 将 Y003、Y001 复位，即变频器先停止工作后断电。同时，Y004 启动定时器 T001，经过延时后将 Y002 接通，变频器转为工频运行。

040: 变频器复位。在变频器出现故障时，操作人员将 SA2 开关旋至“工频”运行位置，进行故障排除。在故障排除后，应按下复位按钮 SB5，使 X006 闭合，Y006 导通，KA2 动作，对变频器进行复位。



**提示**

当由于某种原因使变频器发出跳闸信号，变频器内部 30A、30B 端间触点断开时，输出继电器以及 KM2、KM1、KA1、KA2 也相继复位，变频器停止工作。与此同时，输出继电器 Y004、Y005 动作并保持，蜂鸣器 HA、指示灯 HL 同时发出声光报警。在 Y001 复位的情况下，变频器内置的时间继电器开始计时，其动合触点延时闭合，使输出继电器 Y002 动作并保持，KM3 得电动作，电动机自动转入工频运行状态。接到报警后，当班人员应立即将 SA2 旋至“工频”挡，使输入继电器 X000 动作，控制系统正式转入工频运行方式，使输出继电器 Y004、Y005 复位，声光报警停止。

## 多 少 钱

A君到一家公司推销变频器，公司老板问：“你卖的是什么产品？”

A君满怀激情地回答：“变频器！”

老板又问：“多少钱啊？”

A君说：“这个看你要多大千瓦的！”

老板不解地问：“那多少钱一千瓦啊？”



## 3.4 固态继电器控制电动机电路——没有触点更安全

新型固态继电器，取代机电继电器。  
无触点、无火花，电路通断依秩序。  
将它串入主电路，隔离电源和电器。  
恶劣环境使用它，确保运行更容易。

与机电继电器相比，固态继电器（SSR）是一种没有机械运动、不含运动零件的继电器。它具有与机电继电器本质上相同的功能，是一种有继电特性的无触点式电子开关。固态继电器由3部分组成：输入电路、隔离（耦合）电路和输出电路。按照输入电压的不同，输入电路可分为直流输入电路、交流输入电路和交直流输入电路3种。由于其中间采用隔离器件，可实现输入、输出的电隔离。对于某些在较恶劣环境（如煤场、灰场、水泥厂等）下使用的电动机，在控制电路中采用固态继电器，可延长电动机寿命，提高运行可靠性。

### 3.4.1

#### 固态继电器控制电动机正反转电路

——指令告知继电器，适当延时转向替

##### 1. 固态继电器控制的电动机正反转电路（一）

图3-30所示为采用固态继电器控制的三相交流电动机正反转电路。

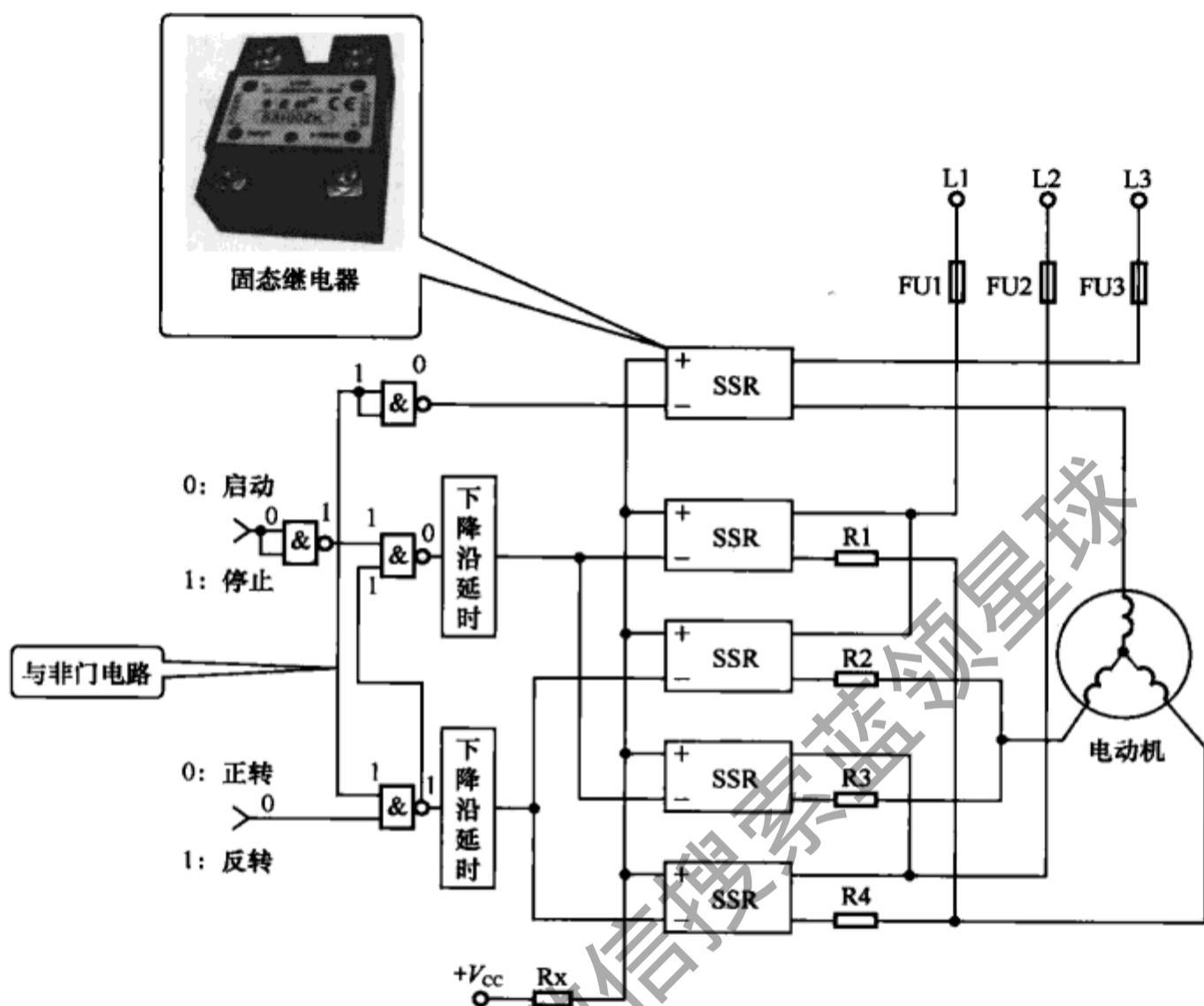


图 3-30 采用固态继电器控制的三相交流电动机正反转电路

该电路中采用了 4 个与非门电路，用 2 个信号通道分别控制电动机的启动、停止和正转、反转。当改变电动机转动方向时，给出指令信号的顺序应是“停止—反转—启动”或“停止—正转—启动”。延时电路的最小延时时间不小于 1.5 个交流电周期（用一个下降沿延时电路来完成），以免电动机换向太快而造成线间短路。

FU1、FU2、FU3 为熔断器，SSR 为固态继电器。当电动机允许时，可以在 R1~R4 位置接入限流电阻，以便在两线间的任意两只继电器均误接通时限制产生的半周线间短路电流，使其不超过继电器所能承受的浪涌电流，从而避免烧毁继电器，确保安全性，但副作用是正常工作时电阻上将产生压降和功耗。

**提示** 为确保使用安全，电路中的继电器要选用阻断电压高于 600V 和额定电压为 380V 以上的交流固态继电器。

**知识链接**

**固态继电器**

固态继电器是一种全部由固态电子元件组成的新型无触点开关器件，它利用电子器件

(如开关晶体管、双向晶闸管等半导体器件)的开关特性,可达到无触点、无火花地接通和断开电路的目的,因此,又被称为无触点开关。

固态继电器可以用几毫安的微小信号控制大功率负载的启动与关断,符合晶体管输出型 PLC 的特点,并且其输入信号(控制端)和输出信号(受控端)之间采用光电隔离电路,保证了输入与输出互不干扰。输出端采用无触点大功率输出电路,整个电路用环氧树脂浇铸为一体。因此,固态继电器运行时无火花,无噪声,无污染,不产生电磁干扰,与电磁继电器相比具有开关速度快、体积小、寿命长、耐震、耐腐蚀、防潮、防腐、输出端在接通瞬间无震颤现象等优点,可以在严重污染和震动的环境下使用,具有很高的灵敏度和很好的抗干扰能力,广泛应用于石油化工仪器设备、灯光照明设备、纺织机械、数控车床、娱乐设施等各种自动化控制领域,特别适合用在要求防腐蚀、防尘、防爆等的恶劣环境下及频繁开关场合。

固态继电器按使用场合可以分成交流型和直流型两大类,它们分别在交流和直流电源上作为负载的开关,不能混用。

## 2. 固态继电器控制电动机正反转电路(二)

采用固态继电器的三相电动机正反转电路如图 3-31 所示。

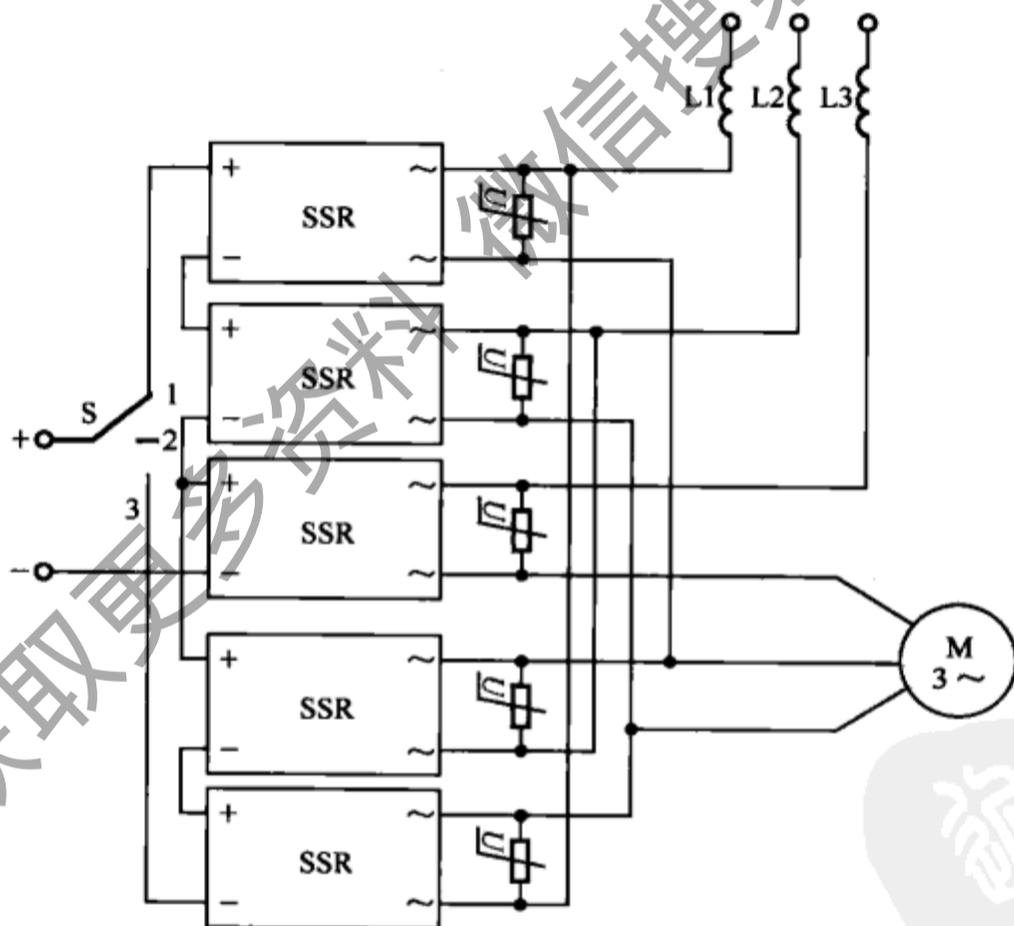


图 3-31 采用固态继电器的三相电动机正反转电路

当开关 S 置于“1”时电动机正转,置于“3”时电动机反转。当采用逻辑电路控制时,需要另外附加一个延时电路,使电动机正反转换向时有 50ms 以上的延迟时间。

在自动控制中,有时为了使被控对象在规定的某段时间里工作或者使下一个操作指令在适当的时刻发出,往往采用继电器延时电路。图 3-32 (a) 所示电路为缓放缓吸电路,在电

路接通和断开时，利用 RC 元件的充放电作用实现吸合及释放的延时，这种电路主要用在需要短暂延时吸合的场合。有时根据控制的需要，只要求继电器缓慢释放而不允许缓慢吸合，这时可采用图 3-32 (b) 所示的电路。当刚接通电源时，由于触点 K-1 为动合状态，因而 RC 延时电路不会对吸合的时间产生延时的影响，而当继电器 K 吸合后，其触点 K-1 闭合，使得继电器 K 的释放可缓慢进行。

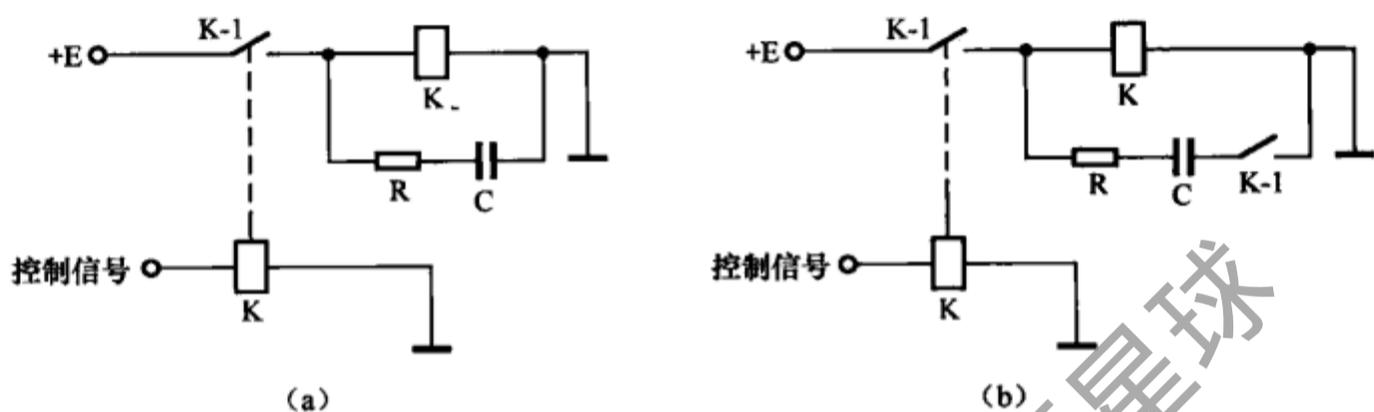


图 3-32 继电器延时电路

知识链接

三相交流固态继电器的基本接线

三相交流固态继电器集 3 只单相交流固态继电器于一体，并以单一输入端对三相负载进行直接开关切换，可以方便地控制三相交流电动机。图 3-33 所示为三相交流固态继电器的基本接线图。

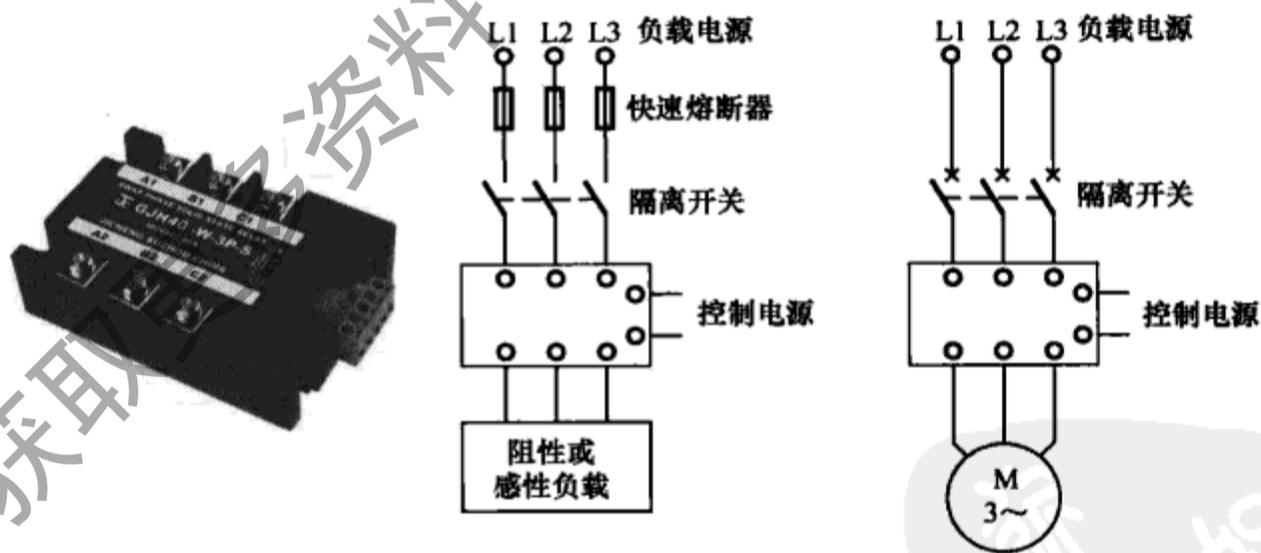


图 3-33 三相交流固态继电器的基本接线图

3. 固态继电器控制电动机正反转电路 (三)

对于某些在较恶劣环境（如煤场、灰场、水泥厂等）下使用的电动机，若采用接触器控制电动机正反转，接触器触点容易被粉尘污染而导致接触不良或粘连，烧毁接触器。为此，可采用固态继电器进行控制，电路如图 3-34 所示。

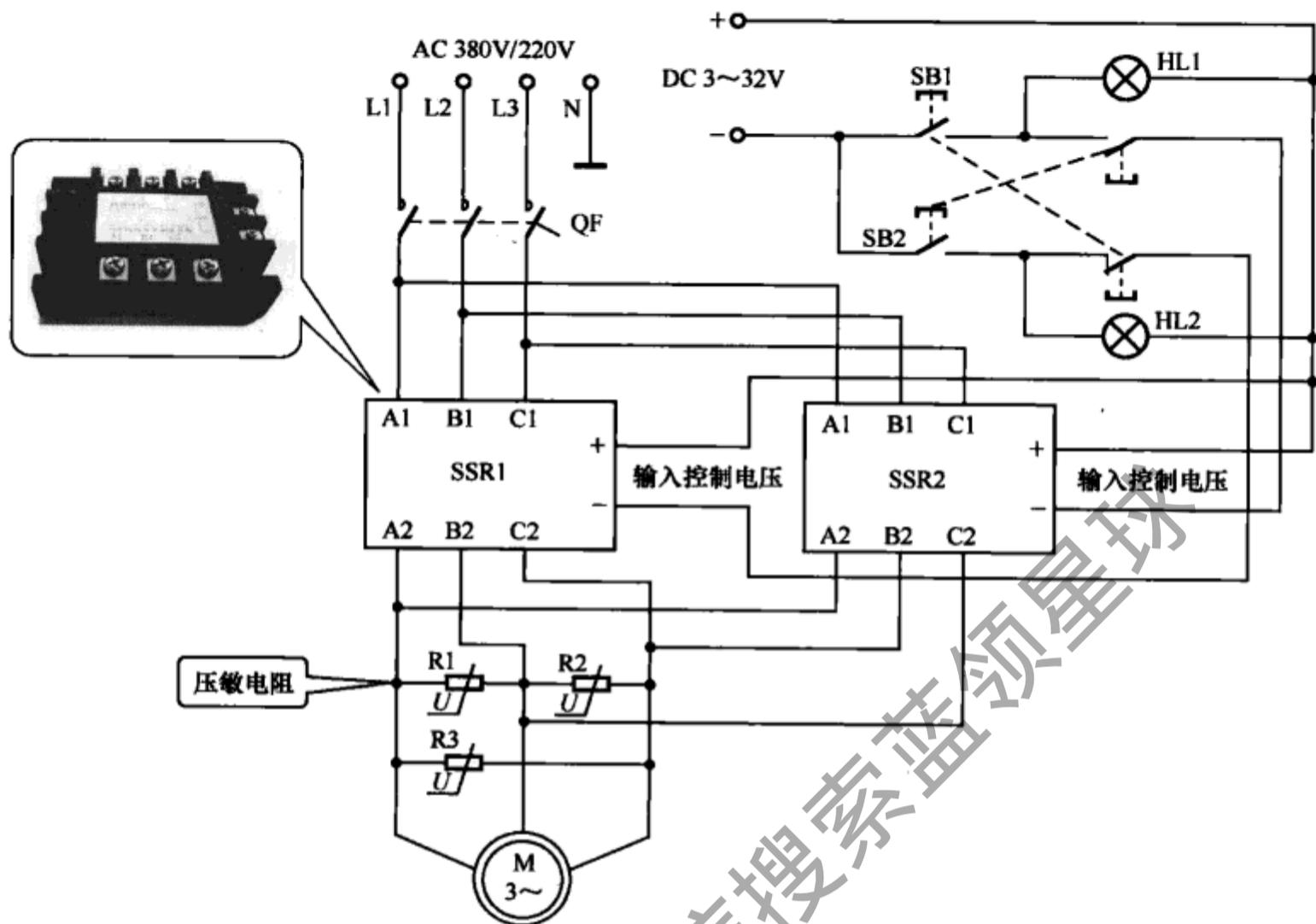
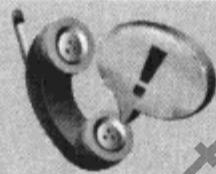


图 3-34 采用固态继电器的电动机正反转电路

合上电源开关 QF，电源开始供电。这时按下正转点动按钮 SB1，固态继电器 SSR1 的交流输入控制端导通，其三相交流输出受控端也导通，电动机 M 通电启动正向旋转，信号灯 HL1 点亮。如果需要 M 反转时，可按下反转点动按钮 SB2，这时固态继电器 SSR2 的交流输入控制端导通，其交流输出受控端也导通，三相电动机 M 反向运转。同时信号灯 HL2 点亮，HL1 熄灭。由于两按钮接线互相连锁，当同时按下 SB1 和 SB2 时不会引起短路事故，只会使电动机 M 停转。



**提示**

在该电路中，固态继电器 SSR1、SSR2 的交流输入控制电压为 220V，交流输出控制电压为 380V，其额定电流要有余量（即降额使用）。RY820V 压敏电阻用于保护 SSR1 和 SSR2。其余元器件按常规方法选择。

**知识链接**

### 无源固态继电器

多功能无源固态继电器是在一般固态继电器的基础上研制成功的一种新型固态继电器，其输入端可以不加电源，且能接受多种电参量的控制，在控制领域具有广泛的用途。多功能无源固态继电器分为四大类，其基本应用电路如图 3-35 所示。

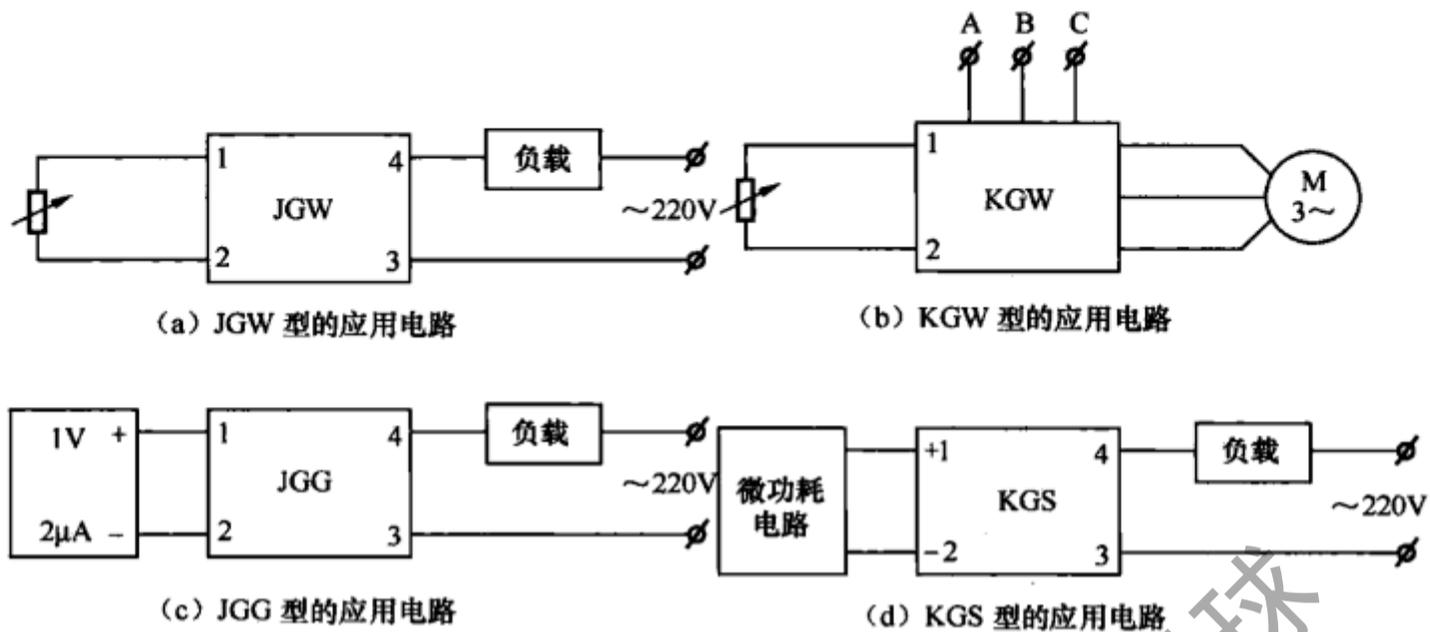


图 3-35 无源固态继电器基本应用电路

### 3.4.2 采用 SSR 和 PLC 控制的星—三角形电动机降压启动电路 ——设置程序一控三，降压启动新理念

图 3-36 所示为采用 SSR 和 PLC 控制的星—三角形电动机降压启动电路，它采用一个 PLC 和 3 个三相交流固态继电器实现对电动机的降压启动控制。其中 X1、X2 表示 PLC 的输入，用于控制电动机的启停；Y1~Y3 表示 PLC 的输出。当 Y1 和 Y3 有效时，对应的 SSR1 和 SSR3 也同时有效，此时电动机为星形接法。延时几秒后，Y3 失效，Y2 有效，则对应的 SSR3 的三相输出端断开，SSR2 的三相输出端合上，则电动机变为三角形接法，完成了星—三角形电动机降压启动。

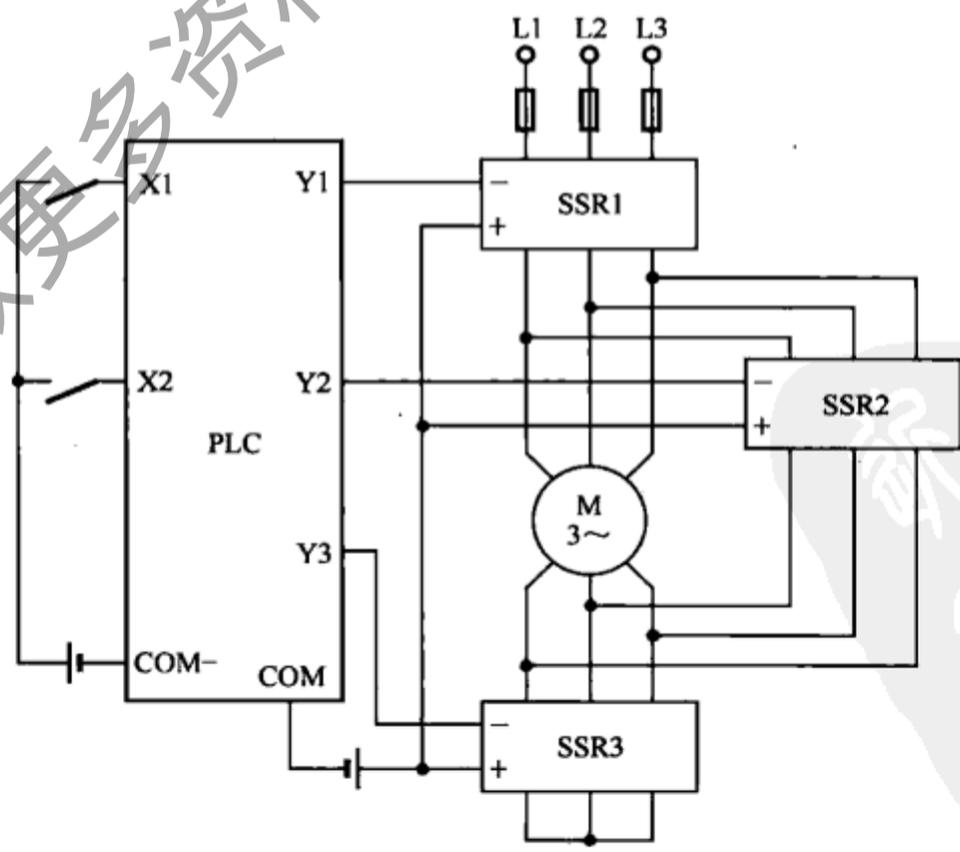


图 3-36 采用 SSR 和 PLC 控制的星—三角形电动机降压启动电路

### 爬 楼 梯

有一对兄弟，他们的家在80层楼上。有一天他们外出旅行回家，发现大楼停电了。虽然他们背着大包的行李，但看来没有什么别的选择，于是哥哥对弟弟说，我们就爬楼梯上去。于是，他们背着两大包行李开始爬楼梯。爬到20楼的时候，他们开始累了，哥哥说：“包包太重了，不如这样吧，我们把包包放在这里，等来电后坐电梯来拿。”于是，他们把行李放在20楼，继续向上爬。

他们又说又笑地往上爬，到了40楼，两人实在累了。想到还只爬了一半，两人开始相互埋怨，指责对方不注意大楼的停电公告，才会落得如此下场。他们边吵边爬，就这样一路爬到60楼。到了60楼，他们累得连吵架的力气也没有了。弟弟对哥哥说：“我们不要吵了，爬完它吧。”于是他们默默地继续爬楼，到了80楼，兴奋地来到家门口，两兄弟俩才发现他们的钥匙留在20楼的包包里了……

朋友，读完这个故事，你有何感想？



获取更多资料

资源库  
PDG

# 第 4 章

## 常用机电设备电气控制电路

### ——化整为零细分析

本章以几种典型机电设备的电气控制电路为例，帮助读者学会分析一般生产机械电气控制电路的方法。分析机电设备电气控制电路时，首先分析主电路，看设备由几台电动机拖动，各负责哪个机械运动，控制特点是什么。然后分析控制电路，看控制电路是如何实现这些控制的。在分析控制电路时可将控制电路“化整为零”，对各个环节分析清楚后再统观整个电路，尤其注意各个环节之间的连锁与保护及相互之间的互锁关系。

通过本章学习，要求达到以下目标。

#### 知识目标 |

- ① 理解车床、钻床、磨床、铣床、镗床、电动葫芦、塔式起重机、混凝土搅拌机、空压机、卷扬机和水磨石机等典型机电设备基本控制环节的电路组成。
- ② 掌握电气控制电路的一般分析方法和步骤。
- ③ 掌握典型机电设备控制电路的工作原理。
- ④ 了解控制元件在机电设备控制电路中的作用。

#### 能力目标 |

- ① 能正确分析车床、钻床、磨床、铣床、镗床、电动葫芦、塔式起重机、混凝土搅拌机、空压机、卷扬机和水磨石机等典型电气控制电路的基本控制过程。
- ② 能根据故障现象对照电路图分析故障范围，并能排除常见故障。

## 4.1 常用机床设备电气控制电路——主轴电路看明白

机床电路种类多，铣钻磨镗靠电路。  
机床电路较复杂，大体可分主辅路。  
主辅电路看明白，控制环节心有数。  
单元回路分别看，分析连锁与保护。  
典型电路先掌握，根据原理看电路。

电气控制系统是机床的重要组成部分。机床除了各种切削运动及其辅助运动需电气控制外，还有照明、冷却等许多电气控制内容，电气控制电路较为复杂。

机床电气控制电路的一般分析方法与步骤如下。

① 分析主电路。主电路的作用是保证机床拖动要求的实现。从主电路的构成可分析出电动机或执行电器的类型、工作方式，以及启动、转向、调速、制动等控制要求与保护要求等内容。

② 分析控制电路。主电路的控制要求是由控制电路来实现的，可按“化整为零”、“顺藤摸瓜”的原则，将控制电路按功能划分为若干个局部控制线路，从电源和主令信号开始，经过逻辑判断，分析电路的自动工作过程。

③ 分析辅助电路。辅助电路包括执行元件的工作状态显示、电源显示、参数测定、照明和故障报警等。这部分电路具有相对独立性，起辅助作用但又不影响主要功能。辅助电路中的很多部分是受控制电路中的元件控制的。

④ 分析连锁与保护环节。生产机械对安全性、可靠性有很高的要求，实现这些要求，除了合理地选择拖动、控制方案外，在控制电路中还设置了一系列电气保护和必要的电气连锁环节。在电气控制电路的分析过程中，电气连锁与电气保护环节是一个重要内容，不能遗漏。

### 4.1.1

#### C620-1型车床电气控制电路

——电机均为单向行，直接启动控制灵

C620-1型车床主要由车身、主轴变速箱、进给箱、溜板箱、溜板与刀架等几部分组成。机床的主运动是主轴的旋转运动，主轴电动机通过传动带带动主轴变速箱内的齿轮旋转，机床的其他进给运动是由主轴传给。

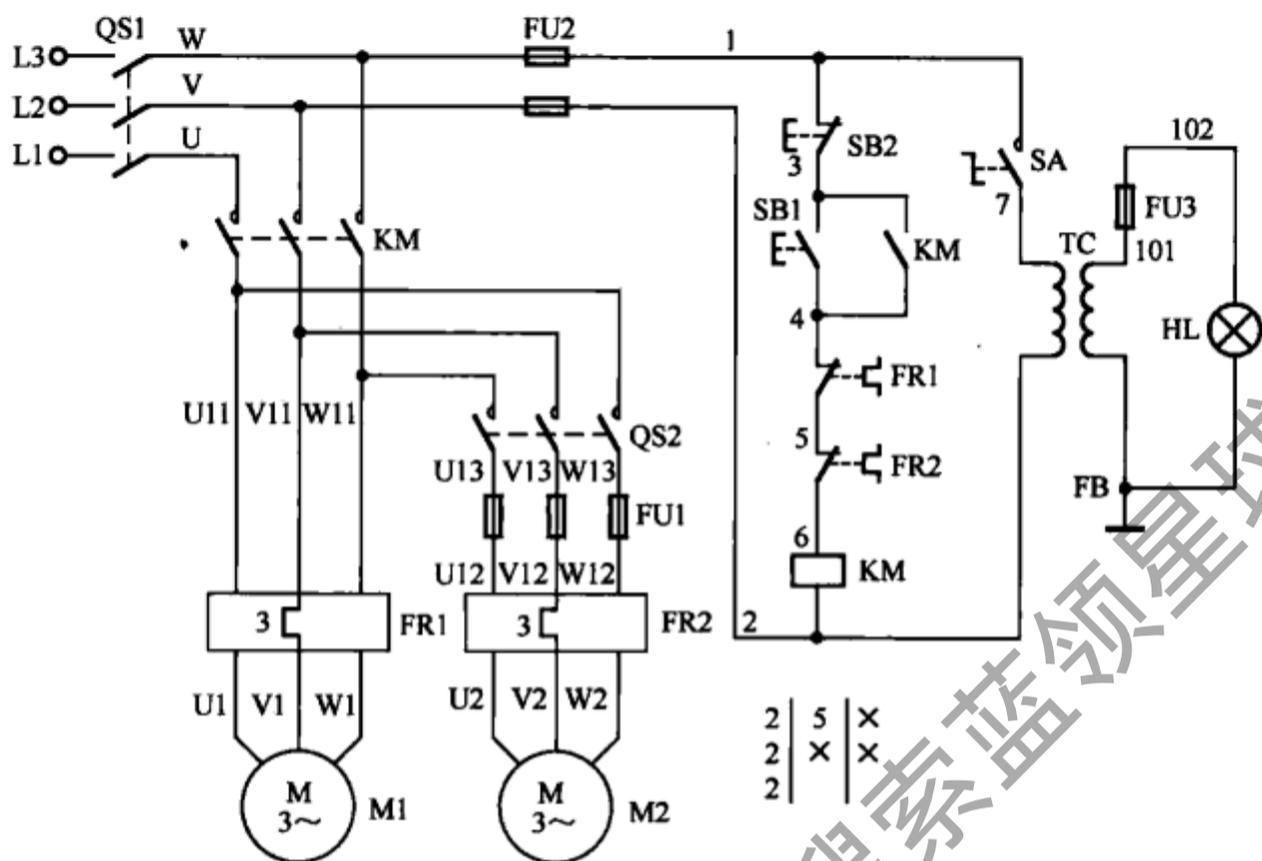
C620-1型车床电气控制电路和接线如图4-1所示，该控制电路包括主电路、控制电路和照明电路3个部分。

主电路中共有两台电动机，其中M1是主轴电动机，用于拖动主轴旋转和刀架作进给运动。由于主轴是通过摩擦离合器实现正反转的，所以，主轴电动机不要求有正反转，可用按钮和接触器控制。M2是冷却泵电动机，直接用转换开关QS2控制。

##### (1) 主电路

电动机电源采用380V交流电，由电源开关QS1引入。主轴电动机M1的启停由KM的

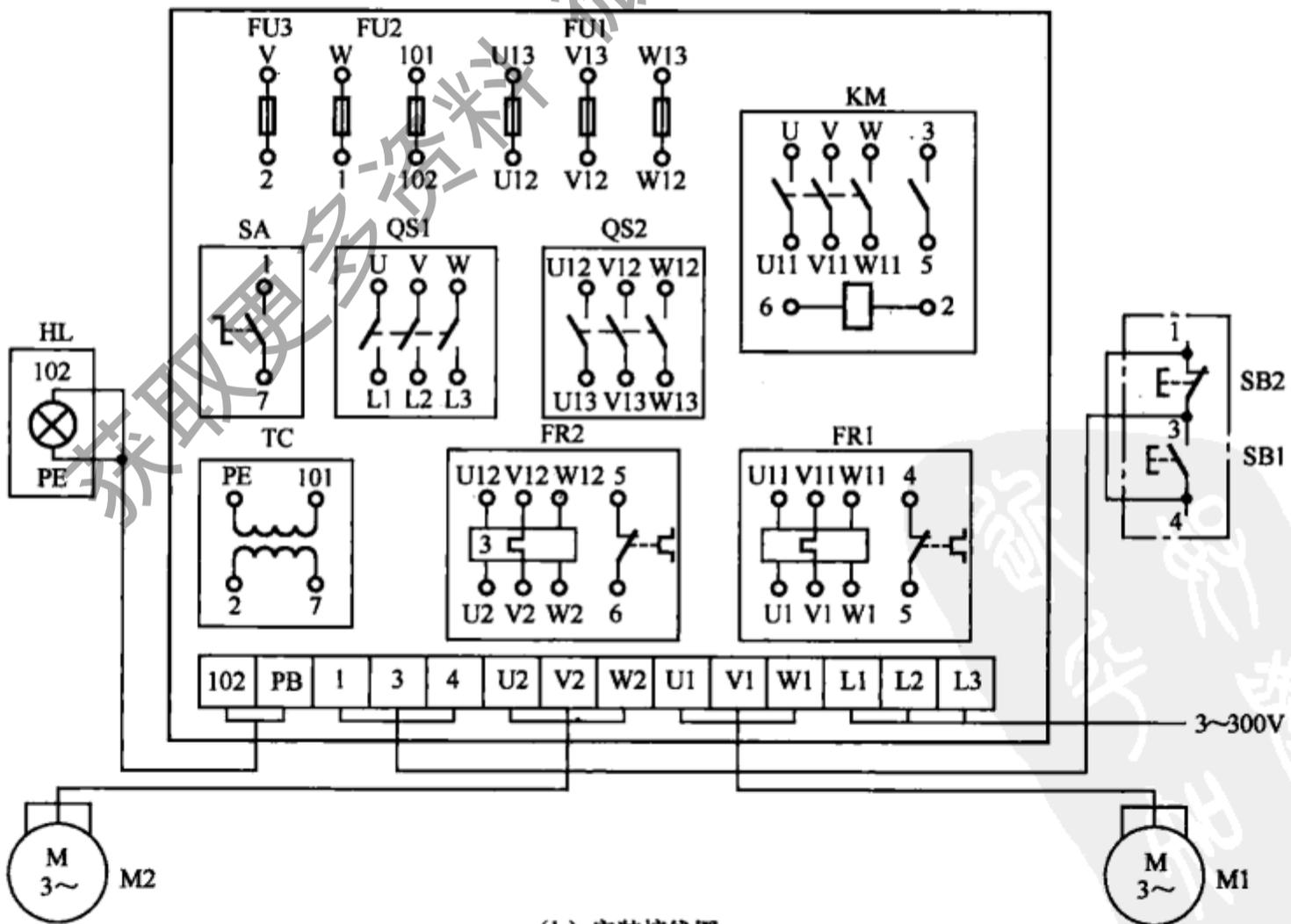
电源开关	主轴和进给传动	冷却泵	主轴控制	照明电源	照明灯
------	---------	-----	------	------	-----



代号	名称
M1	主轴电动机
M2	冷却泵电动机
KM	交流接触器
FR1	热继电器
FR2	热继电器
QS1	三相转换开关
QS2	三相转换开关
FU1	熔断器
FU2	熔断器
FU3	熔断器
SB1	控制按钮
SB2	控制按钮
TC	照明变压器
HL	照明灯

1	2	3	4	5	6	7
---	---	---	---	---	---	---

(a) 电气电路



(b) 安装接线图

图 4-1 C620-1 型车床电气控制电路及其接线图

主触点控制, 主轴通过摩擦离合器实现正反转。主轴电动机启动后, 才能启动冷却泵电动机 M2。是否需要冷却, 由电源开关 QF2 进行控制。熔断器 FU1 为电动机 M2 提供短路保护。热继电器 FR1 和 FR2 分别为电动机 M1 和 M2 的过载保护元件, 它们的动断触点串联后接在控制电路中。

### (2) 控制电路

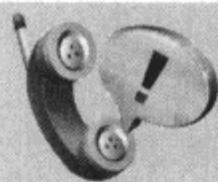
主轴电动机的控制过程: 合上电源开关 QS1, 按下启动按钮 SB1, 接触器 KM 的线圈通电使铁芯吸合, 电动机 M1 由 KM 的 3 个主触点吸合而通电启动运转, 同时并联在 SB1 两端的 KM 辅助触点 (3-4) 吸合, 实现自锁。按下停止按钮 SB2, M1 停转。

冷却泵电动机的控制过程: 当主轴电动机 M1 启动后 (KM 主触点闭合), 闭合 QS1, 电动机 M2 得电启动; 若要关掉冷却泵, 断开 QS2 即可。当 M1 停转后, M2 也停转。

只要电动机 M1 和 M2 中任何一台过载, 与其相对应的热继电器的动断触点就断开, 从而使控制电路失电, 接触器 KM 释放, 所有电动机停转。FU2 用于控制电路的短路保护。另外, 控制电路还具有欠电压保护功能, 因为当电源电压低于接触器 KM 线圈额定电压的 85% 时, KM 会自行释放。

### (3) 照明电路

照明电路由一台 380V/36V 变压器提供 36V 安全电压, 熔断器 FU3 用于短路保护。闭合开关 SA, 照明灯 HL 点亮。



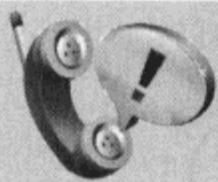
提示

该机床的两台电动机只能单向运转, 且采用全压直接启动方式。照明电路必须接地, 以确保人身安全。



想一想

怎样用万用表检查 C620-1 型车床的控制电路是否正常?



提示

断开主电路接在 QS1 上的 3 根电源线 U、V、W, 切断 SA, 把万用表拨到  $R \times 100$  挡, 调零以后, 将两支表笔分别接到熔断器 FU2 的两端, 此时电阻应为零, 否则说明有断路问题。将两支表笔再分别接到 1、2 端, 此时电阻应为无穷大, 否则说明接线可能有误 (如 SB1 应接动合触点而错接成动断触点) 或按钮 SB1 的动合触点粘连而闭合。按下 SB1, 此时若测得一电阻值 (为 KM 线圈电阻), 说明 1-2 支路接线正常。按下接触器 KM 的触点架, 其动合触点 (3-4) 闭合, 此时万用表测得的电阻仍为 KM 的线圈电阻, 表明 KM 自锁起作用, 否则说明 KM 的动合触点 (3-4) 可能有虚接或漏接等问题。

## 4.1.2

### Z35 型摇臂钻床电气控制电路

——摇臂升降到哪里, 十字开关方向记

Z35 型摇臂钻床的电气控制电路如图 4-2 所示, 各元器件名称及作用见表 4-1。

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
电源、冷却泵电动机	主轴电动机	摇臂升降电动机	立柱松紧电动机	变压器照明指示	失压保护	主轴电动机旋转	摇臂上升	摇臂下降	立柱松开	立柱夹紧

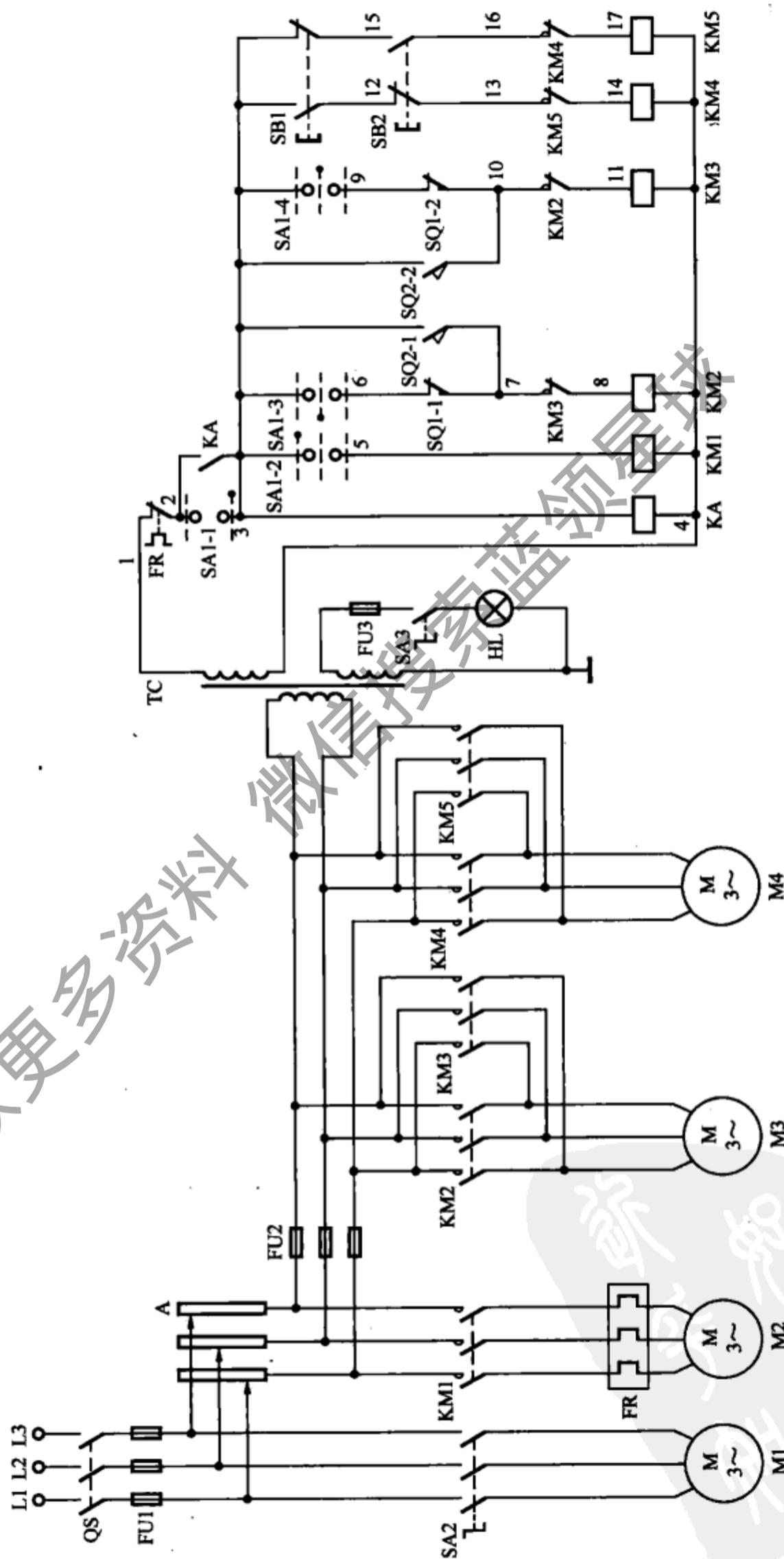


图 4-2 Z35 型摇臂钻床电气控制电路

表 4-1 元器件符号、名称及作用

符 号	元器件名称	作 用
M1	冷却泵电动机	供给冷却液
M2	主轴电动机	主轴转动
M3	摇臂升降电动机	摇臂升降
M4	立柱松紧电动机	立柱夹紧、松开
KM1	交流接触器	控制主轴电动机
KM2	交流接触器	摇臂上升
KM3	交流接触器	摇臂下降
KM4	交流接触器	立柱松开
KM5	交流接触器	立柱夹紧
FU1	熔断器	电源总保险
FU2	熔断器	M3、M4 短路保护
FU3	熔断器	照明电路短路保护
QS	转换开关	电源总开关
SA1	十字开关	控制 M2 和 M3
SA2	冷却泵电动机开关	控制冷却泵电动机 M1
SA3	照明开关	控制 HL
KA	零压继电器	失压保护
FR	热继电器	主电动机 M2 的过载保护
SQ1	限位开关	摇臂升降限位开关
SQ2	行程开关	摇臂夹紧行程开关
SB1	按钮	立柱松开 (M4 正转点动控制)
SB2	按钮	立柱夹紧 (M4 反转点动控制)
TC	控制变压器	控制、照明电路的低压电源
HL	照明灯泡	机床局部照明
A	汇流排	

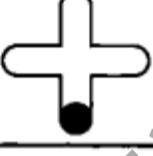
### 1. 主电路

在主电路中, M1 为冷却泵电动机, 用于提供冷却液, 由于其容量较小, 由转换开关 SA2 直接控制。M2 为主轴电动机, 由接触器 KM1 控制, 热继电器 FR 作过载保护。M3 为摇臂升降电动机, 由接触器 KM2 和 KM3 控制其正反转点动运行, 不装过载保护元件。M4 为立柱松紧电动机, 由接触器 KM4 和 KM5 控制其正反转点动运行, 不装过载保护元件。在主电路中, 整个机床用 FU1 作为短路保护, M3、M4 及其控制回路共用 FU2 作为短路保护元件。除了冷却泵以外, 其他的电源都通过汇流排 A 引入。

## 2. 控制电路

控制电路的电源为交流 127V，由变压器 TC 将 380V 交流电降为 127V 后得到。该控制电路采用十字开关 SA1 操作，十字开关由十字手柄和 4 个微动开关组成，十字手柄有 5 个位置，即“上”、“下”、“左”、“右”、“中”，如表 4-2 所示。十字开关每次只能扳到一个方向，接通一个方向的电路。

表 4-2 十字开关的操作说明

手柄位置	实物位置	接通微动开关的触点	控制电路工作情况
中		都不通	控制电路断电
左		SA1-1	KA 得电并自锁，零压保护
右		SA1-2	KM1 得电，主轴旋转
上		SA1-3	KM2 得电，摇臂上升
下		SA1-4	KM3 得电，摇臂下降

### (1) 零压保护

闭合电源前应首先将十字开关扳向左边，微动开关 SA1-1 接通，零压继电器 KA 的线圈通电吸合并自锁。当机床工作时，再将十字手柄扳向需要的位置。若电源断电，零压继电器 KA 释放，其自锁触点断开；当电源恢复时，零压继电器不会自动吸合，控制电路不会自动通电，这样可防止电源中断后又恢复时机床自行启动的危险。

### (2) 主轴电动机运转

将十字开关扳向右边，微动开关 SA1-2 接通，接触器 KM1 的线圈通电吸合，主轴电动机 M2 启动运转。主轴的正反转由主轴箱上的摩擦离合器手柄操作。摇臂钻床钻头的旋转和上下移动都由主轴电动机拖动。将十字开关扳到中间位置，SA1-2 断开，主轴电动机 M2 停转。

### (3) 摇臂的升降

将十字手柄扳向上边，微动开关 SA1-3 闭合，接触器 KM2 因线圈通电而吸合，电动机 M3 正转，带动升降丝杠正转。摇臂松紧机构如图 4-3 所示。升降丝杠开始正转时，升降螺母也跟着旋转，所以摇臂不会上升。下面的辅助螺母因不能旋转而向上移动，通过拨叉使传动松紧装置的轴逆时针转动，结果松紧装置将摇臂松开。在辅助螺母向上移动时，带动传动条

向上移动。当传动条压上升降螺母后，升降螺母就不能再转动了，而只能带动摇臂上升。在辅助螺母上升而转动拨叉时，拨叉又转动开关 SQ2 的轴，使触点 SQ2-2 闭合，为夹紧做准备。这时 KM2 的动断触点断开，接触器 KM3 的线圈不会通电。

当摇臂上升到所需位置时，将十字开关扳回到中间位置，这时接触器 KM2 因线圈断电而释放，其动断触点 KM2(10-11) 闭合，因触点 SQ2-2 已闭合，接触器 KM3 的线圈通电吸合，电动机 M3 反转，使辅助螺母向下移动。这样，一方面带动传动条下移而与升降螺母脱离接触，升降螺母又随丝杠空转，摇臂停止上升；另一方面辅助螺母下移时，通过拨叉又使传动松紧装置的轴顺时针转动，结果松紧装置将摇臂夹紧。同时，拨叉通过齿轮转动开关 SQ2 的轴，使摇臂夹紧时触点 SQ2-2 断开，接触器 KM3 释放，电动机 M3 停转。

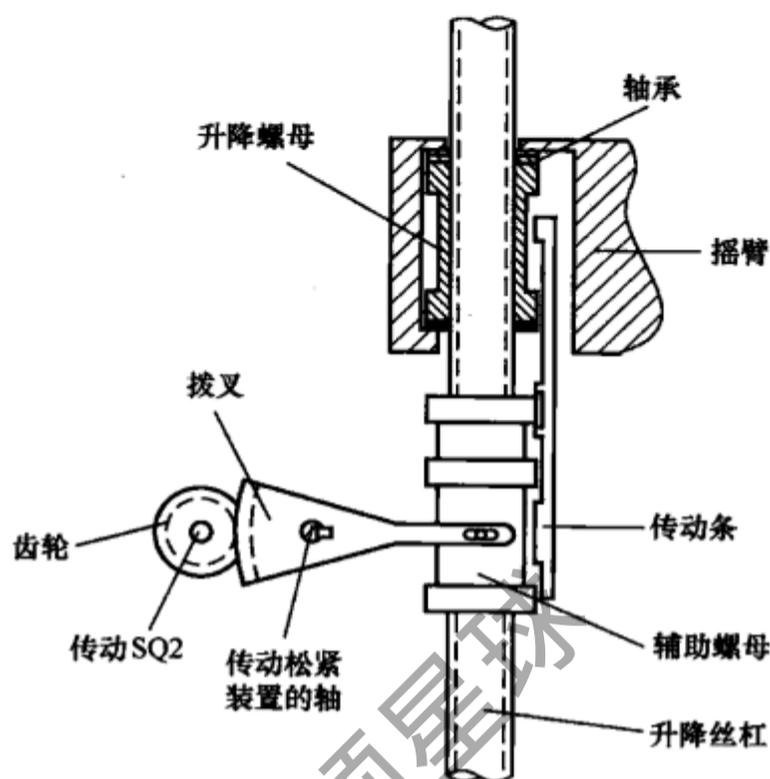


图 4-3 摇臂松紧机构结构示意图

将十字开关扳到下边，微动开关触点 SA1-4 闭合，接触器 KM3 因线圈通电而吸合，电动机 M3 反转，带动升降丝杠反转。开始时，升降螺母也跟着旋转，所以摇臂不会下降。下面的辅助螺母向下移动，通过拨叉使传动松紧装置的轴顺时针转动，结果松紧装置也是先将摇臂松开。在辅助螺母向下移动时，带动传动条向下移动。当传动条压住上升螺母后，升降螺母也不转了，带动摇臂下降。辅助螺母下降而转动拨叉时，拨叉又转动组合开关 SQ2 的轴，使触点 SQ2-1 闭合，为夹紧做准备。这时 KM3 的动断触点 (7-8) 是断开的。

当摇臂下降到所需要的位置时，将十字开关扳回到中间位置，这时 SA1-4 断开，接触器 KM3 因线圈断电而释放，其动断触点闭合，又因触点 SQ2-1 已闭合，接触器 KM2 因线圈通电而吸合，电动机 M3 正转，使辅助螺母向上移动，带动传动条上移而与升降螺母脱离接触。升降螺母又随丝杠空转，摇臂停止下降。辅助螺母上移时，通过拨叉使传动松紧装置的轴逆时针转动，结果松紧装置将摇臂夹紧。同时，拨叉通过齿轮转动组合开关 SQ2 的轴，使摇臂夹紧时触点 SQ2-1 断开，接触器 KM2 释放，电动机 M3 停转。

限位开关 SQ1 用来限制摇臂升降的极限位置。当摇臂上升到极限位置时，SQ1-1 断开，接触器 KM2 因线圈断电而释放，电动机 M3 停转，摇臂停止上升。当摇臂下降到极限位置时，触点 SQ1-2 断开，接触器 KM3 因线圈断电而释放，电动机 M3 停转，摇臂停止下降。

#### (4) 立柱和主轴箱的松开与夹紧

立柱的松开与夹紧是靠电动机 M4 的正反转通过液压装置来完成的。当需要立柱松开时，可按下按钮 SB1，接触器 KM4 因线圈通电而吸合，电动机 M4 正转，通过齿轮离合器，M4 带动齿轮式油泵旋转，从一定的方向送出高压油，再经一定的油路系统和传动机构将外立柱松开。松开后可放开按钮 SB1，电动机停转，即可用手推动摇臂连同外立柱一起绕内立柱转动。当转动到所需位置时，可按下 SB2，接触器 KM5 因线圈通电而吸合，电动机 M4 反转。通过齿轮式离合器，M4 带动齿轮式离合器反向旋转，从另一方送出高压油，在

液压作用下将立柱夹紧。夹紧后可放开按钮 SB2，接触器 KM5 因线圈断电而释放，电动机 M4 停转。

Z35 型摇臂钻床的主轴箱在摇臂上的松开与夹紧和立柱的松开与夹紧由同一台电动机 M4 和同一液压机构实现。

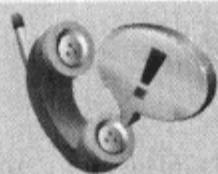
#### (5) 冷却泵电动机的控制

冷却泵电动机 M1 由转换开关 SA2 直接控制。

### 3. 照明电路

照明电路的电压是 36V 安全电压，由变压器 TC 提供。照明灯的一端接地，保证安全。照明灯由开关 SA3 控制，由熔断器 FU3 进行短路保护。

在电路中，零压继电器 KA 起零压保护作用。在机床动作时，若线路断电，KA 线圈断电，其动合触点断开，使整个控制电路断电。当电压恢复时，KA 不能自行通电，必须将十字开关手柄扳至左边位置，KA 才能再次通电吸合，从而避免了机床断电后电压恢复时的自行启动。



**提示**

由于 Z35 型摇臂钻床采用了 4 台电动机拖动，因此，分清每台电动机的功用是正确分析本电路的第一步。例如，M1 为冷却泵电动机，M2 为主轴电动机，M3 为摇臂升降电动机，M4 为立柱松紧电动机。其次，分清每个接触器的作用及工作状态是分析本电路的关键。

主轴电动机 M2 的启停和摇臂升降电动机 M3 的正反转由一个机械定位的十字开关操作；内外立柱的夹紧与放松是靠一套电气—液压—机械装置实现的；摇臂对外立柱的夹紧与放松则是在摇臂作升降操作时自动完成的，其机构是一套电气—机械装置。



**想一想**

若 Z35 型摇臂钻床的主轴电动机不能启动，应重点检查哪些线路？请你把检修思路写下来。若主轴电动机不能停转，又该如何检修？



**提示**

检查熔断器 FU1，若熔断器 FU1 熔断，应更换熔丝；检查十字开关的触点是否良好，如微动开关 SA1-2 损坏或接触不良，应更换或修复；如果十字开关良好，则应检查零压继电器是否损坏，接线是否松脱。如果接触器 KM1 会动作，电动机仍不启动，应检查接触器主触点的接线是否松脱，接触是否良好，电源电压是否过低。

主轴电动机不能停转的故障一般是由于接触器的主触点熔焊在一起造成的，更换熔焊的主触点后即可排除故障。

#### 4.1.3

### C616 型普通车床电气控制电路

——主电机可正反转，保护电路较完善

C616 型普通车床的电气控制电路如图 4-4 所示。

电源	主电动机		润滑	冷却	过载保护	零压保护	正转控制	反转控制	润滑控制	变压	指示	照明
	正转	反转										

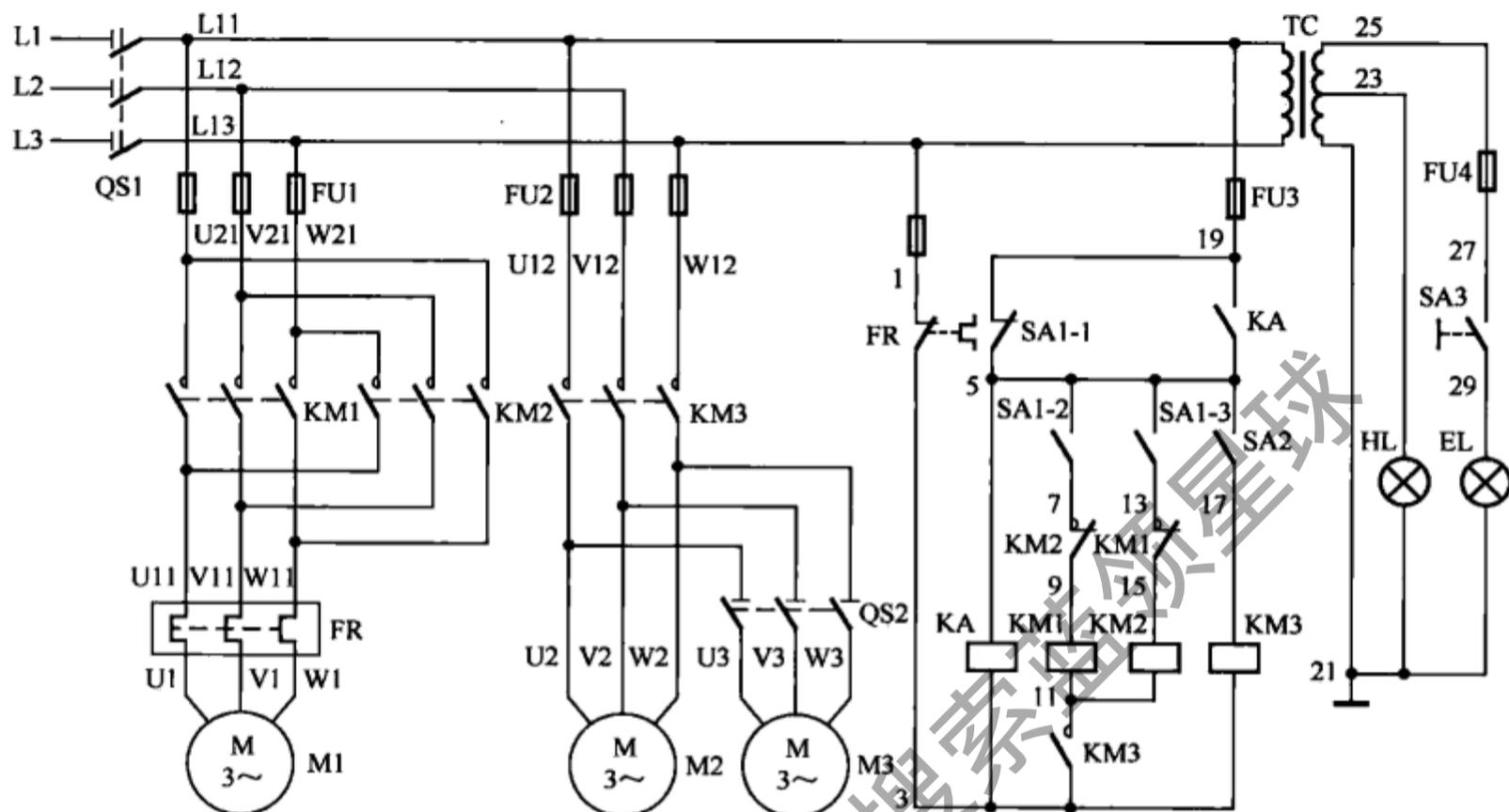


图 4-4 C616 型普通车床电气控制电路

C616 型车床有 3 台电动机，即主轴电动机 M1、润滑泵电动机 M2 和机床配件冷却泵电动机 M3，其中主轴电动机 M1 可正反方向转动。

该电路由 3 部分组成：从电源到 3 台电动机的电路称为主电路，这部分电路中通过的电流大；由接触器、继电器等组成的电路称为控制电路，采用 380V 电源供电；第三部分是照明及指示电路，由变压器 TC 的二次侧供电，其中指示灯 HL 的电压为 6.3V，照明灯 EL 的电压为 36V 安全电压。

接触器 KM1 控制主电动机 M1 正转电源的通断，接触器 KM2 控制其反转电源的通断，熔断器 FU1 用于主轴电动机 M1 的短路保护，热继电器 FR 用于主轴电动机 M1 的过载保护。机床配件熔断器 FU2 为润滑泵电动机 M2、冷却泵电动机 M3 及控制电路的总短路保护元件。润滑泵电动机 M2 为单向正转运行，它给机床润滑系统提供润滑油，由接触器 KM3 控制其电源的通断。冷却泵电动机 M3 除了受 KM3 控制外，还可根据实际需要由手动转换开关 QS2 进行控制。

#### (1) 启动准备

合上电源开关 QS1，接通电源，变压器 TC 的二次侧有电，指示灯 HL 点亮。合上 SA3，照明灯 EL 点亮。

此时，由于 SA1-1 为动断触点，故 L13→1→3→5→19→L11 的电路接通，中间继电器 KA 得电吸合，它的动合触点 (5-19) 接通，为启动做好了准备。

#### (2) 润滑泵、冷却泵启动

在启动主电动机之前，先合上 SA2，接触器 KM3 吸合。一方面，KM3 的主触点闭合，使润滑泵电动机 M2 启动运转；另一方面，KM3 的动合辅助触点 (3-11) 接通，为 KM1、

KM2 吸合准备了电路。这就保证了先启动润滑泵，使车床润滑良好后才能启动主电动机。

在润滑泵电动机 M2 启动后，可合上转换开关 QS2，使冷却泵电动机 M3 启动运转。

### (3) 主电动机启动

SA1 为手动转换开关，它有一对动断触点 SA1-1，两对动合触点 SA1-2 及 SA1-3。当启动手柄置于“零”位置时，SA1-1 闭合，两对动合触点均断开；当启动手柄置于“正转”位置时，SA1-2 闭合，SA1-1、SA1-3 断开；当启动手柄置于“反转”位置时，SA1-3 闭合，SA1-1、SA1-2 断开。

主电动机的工作过程如下：当启动手柄置于“正转”位置时，SA1-2 接通，电流经 L13→1→3→11→9→7→5→19→L11 形成回路，接触器 KM1 得电吸合，其主触点闭合，使主电动机 M1 启动正转。同时，KM1 的动断辅助触点（13-15）断开，将反转接触器 KM2 连锁。

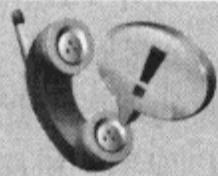
若需主电动机反转，只要将启动手柄置于“反转”位置，SA1-3 接通，SA1-2 断开，接触器 KM1 释放，正转停止，并解除了对 KM2 的连锁，接触器 KM2 吸合，使 M1 反转。

主电动机 M1 需要停转时，只要将 SA1 置于“零”位置，SA1-2 及 SA1-3 均断开，主电动机的正转或反转均停止，并为下次启动做好准备。

在以上主轴电动机 M1 正反转的控制过程中，SA1 始终只能有一对触点闭合，从而保证了主轴电动机 M1 的正反转接触器 KM1、KM2 在任何时候都不会同时闭合。同时，在接触器 KM1 和 KM2 的线圈回路中互相串入了对方的动断触点，组成了典型的接触器连锁正反转控制电路，具有很高的可靠性。

### (4) 零压保护

零压保护又称为失压保护，它是在电动机正常工作过程中，因外界原因断电时电动机停止运转，而恢复供电以后，确保电路不会自行接通，电动机不会自行启动运转的一种保护措施。该电路的零压保护是通过中间继电器 KA 实现的。当启动手柄不在“零”位置，即电动机 M1 在正转或反转工作状态下而断电时，中间继电器 KA 断电释放，其动合触点（5-19）断开。恢复供电后，由于手柄不在“零”位置，SA1-1 断开，KA 不会吸合，它的动合触点（5-19）不会自行接通，电动机 M1 不会自行启动，因而起到了零压保护的作用。



提示

三相电源由电源总开关 QS1 引入，控制电路中的各电器直接接在 380V 电源上。在该电路中，润滑泵电动机 M2 和冷却泵电动机 M3 没有设置用于电动机过载保护的热继电器。



想一想

有一台 C616 型车床，合上电源开关 QS1 后，润滑泵电动机 M2 能启动，但主轴电动机 M1 不能启动运行，请想一想如何检修？

## 4.1.4

### X62W 型铣床电气控制电路

——自动手动快速动，台面六向可运动

#### 1. 电路组成

X62W 型铣床电气控制电路如图 4-5 所示。

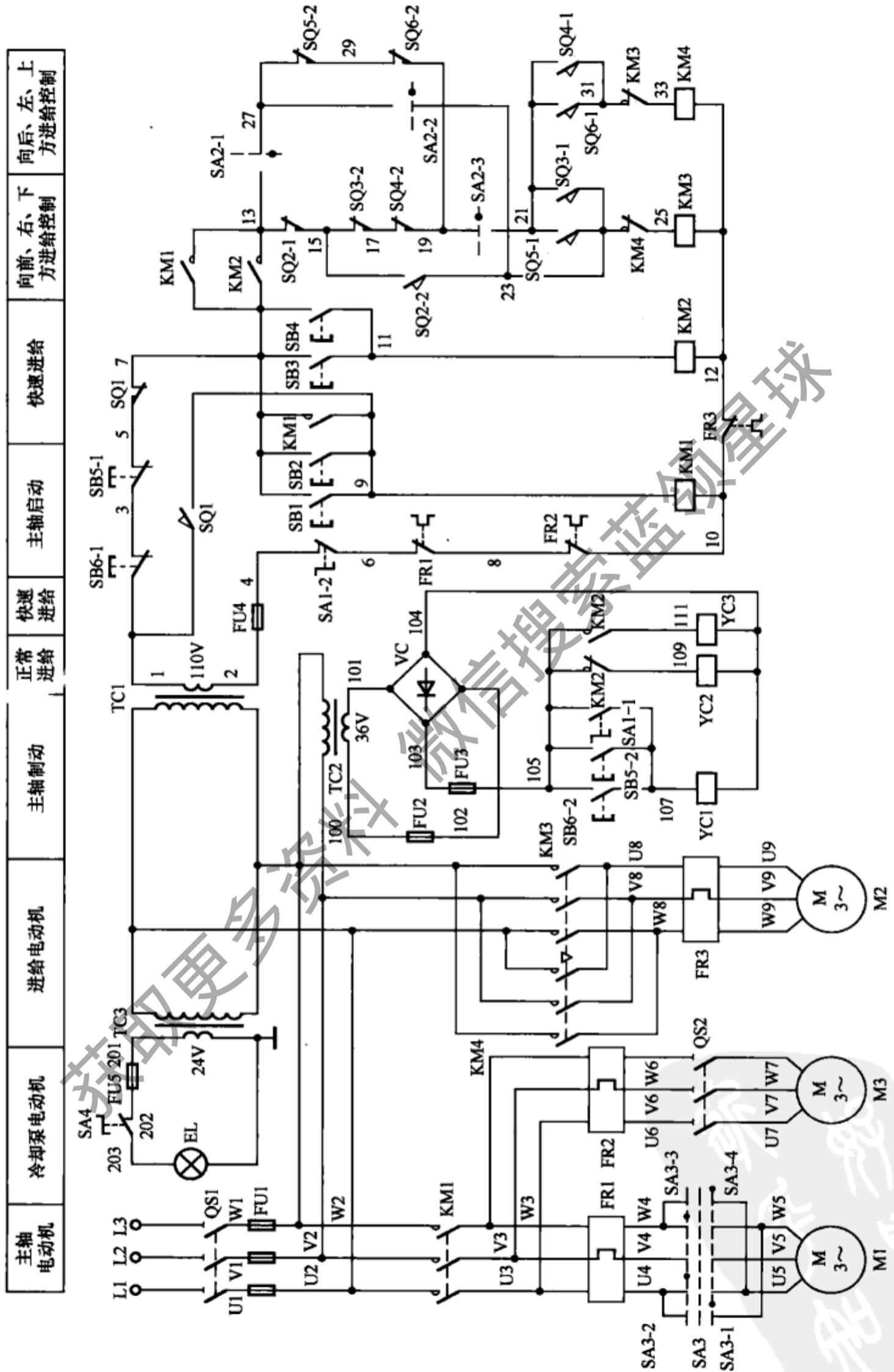


图 4-5 X62W 型铣床电气控制电路

主轴电动机 M1 由接触器 KM1 控制。为了进行顺铣和逆铣加工，要求主轴能够正反转。由于工作过程中不需要改变电动机旋转方向，故 M1 的正反转通过采用组合开关 SA3 改变电源的相序来实现。

进给电动机 M2 由接触器 KM3、KM4 控制其正反转。6 个方向的进给运动是通过操作选择运动方向的手柄与开关，配合进给电动机 M2 的正反转来实现的。为减小齿轮端面的冲击，要求变速时有电动机瞬时冲动（短时间歇转动）控制。

主轴运动和进给运动采用变速孔盘进行速度选择。为保证变速齿轮进入良好的啮合状态，两种运动分别通过行程开关 SQ1 和 SQ2 实现变速后的瞬时点动。

主轴电动机、冷却泵电动机和进给电动机共用熔断器 FU1 进行短路保护，过载保护则分别由热继电器 FR1、FR2、FR3 来实现。当主轴电动机或冷却泵电动机中有一个过载时，控制电路全部切断；但进给电动机过载时，只切断进给控制电路。

为了保证机床、刀具的安全，在铣削加工时同一时间内只允许工作台向一个方向移动，故 3 个垂直方向的运动之间设有连锁保护。使用圆形工作台时，不允许工件作纵向、横向和垂直方向的进给运动。为此，圆形工作台的旋转运动与工作台的上下、左右、前后 3 个方向的运动之间采用了连锁控制措施。为了保证更换铣刀方便、安全，设置了换刀专用开关 SA1。换刀时，一方面将主电动机的轴制动，使主轴不能自由转动；另一方面将控制电路切断，避免人身安全事故发生。

本铣床采用电磁离合器控制，其中 YC1 用于主轴制动，YC2 用于工作进给，YC3 用于快速进给，解决了速度继电器和牵引电磁铁容易损坏的问题。同时，采用了多片式电磁离合器，它具有传递转矩大、体积小、易于安装在机床内部、能在工作中接入和切除、便于实现自动化等优点。

X62W 型铣床电气控制电路中主要电气元器件的名称及作用见表 4-3，各开关位置及动作说明见表 4-4~表 4-8。

表 4-3 主要电气元器件名称及作用

符 号	电气元器件名称	作 用
M1	电动机	驱动主轴
M2	电动机	驱动进给
M3	电动机	驱动冷却泵
SQ1	开关	电源总开关
SQ2	开关	冷却泵开关
SA1	开关	换刀制动开关
SA2	开关	圆工作台开关
SA3	开关	M1 换相开关
FU1	熔断器	电源总保险
FU2	熔断器	整流电源保险
FU3	熔断器	直流电路保险
FU4	熔断器	控制回路保险
FU5	熔断器	照明保险
FR1	热继电器	M1 过载保护

续表

符 号	电气元器件名称	作 用
FR2	热继电器	M3 过载保护
FR3	热继电器	M2 过载保护
TC1	变压器	控制回路电源
TC2	变压器	整流电源
TC3	变压器	照明电源
VC	整流器	电磁离合器电源
KM1	接触器	主轴启动
KM2	接触器	快速进给
KM3	接触器	M2 正转
KM4	接触器	M2 反转
SB1, SB2	按钮	M1 启动
SB3, SB4	按钮	快速进给点动
SB5, SB6	按钮	停止、制动
YC1	电磁离合器	主轴制动
YC2	电磁离合器	正常进给
YC3	电磁离合器	快速进给
SQ1	行程开关	主轴冲动开关
SQ2	行程开关	进给冲动开关
SQ3, SQ4	行程开关	工作台垂直与横向进给开关
SQ5, SQ6	行程开关	工作台纵向进给开关

表 4-4 主轴转向转换开关

位置 触点	正 转	停 止	反 转
SA3-1	-	-	+
SA3-2	+	-	-
SA3-3	+	-	-
SA3-4	-	-	+

注：表中“+”表示触点接通，“-”表示触点断开。

表 4-5 工作台纵向进给开关

位置 触点	左	停	右
SQ5-1	-	-	+
SQ5-2	+	+	-
SQ6-1	+	-	-
SQ6-2	-	+	+

表 4-6 工作台垂直与横向进给开关

触点 \ 位置	前、下	停	后、上
SQ3-1	+	-	-
SQ3-2	-	+	+
SQ4-1	-	-	+
SQ4-2	+	+	-

表 4-7 圆形工作台转换开关

触点 \ 位置	接通	断开
SQ2-1	-	+
SQ2-2	+	-
SQ2-3	-	+

表 4-8 主轴换刀制动开关

触点 \ 位置	接通	断开
SQ1-1	+	-
SQ1-2	-	+

## 2. 电路原理

该铣床由 3 台异步电动机拖动。M1 为主轴电动机，担负主轴的旋转运动；M2 为进给电动机，机床的进给运动和辅助运动均由 M2 拖动；M3 为冷却泵电动机，用于将冷却液输送到机床切削部位，并进行冷却。

### (1) 主轴电动机的控制

① 主轴电动机启动控制。本机床采用两地控制方式，启动按钮 SB1 和停止按钮 SB5-1 为一组，启动按钮 SB2 和停止按钮 SB6-1 为一组。这两组控制按钮分别安装在工作台和机床床身上，实现两地控制主轴电动机启动与停止，以方便操作。启动前先选择好主轴转速，并将主轴换向的转换开关 SA3 扳到相应转向位置上。然后接通电源开关 QS1，按下启动按钮 SB1 或 SB2，接触器 KM1 通电吸合并自锁，主电动机 M1 按预选方向直接启动，带动主轴、铣刀旋转。KM1 的辅助动合触点 (7-13) 闭合，接通控制电路的进给线路电源，保证了只有先启动主轴电动机才可启动进给电动机，避免损坏工件或刀具。

② 主轴电动机制动控制。为了使主轴停车准确且减少电能损耗，主轴采用电磁离合器制动。该电磁离合器安装在主轴传动链中与电动机轴相连的第一根传动轴上。当按下停车按钮 SB5 或 SB6 时，接触器 KM1 断电释放，电动机 M1 失电。与此同时，停止按钮的动合触点 SB5-2 或 SB6-2 接通电磁离合器 YC1，离合器吸合，将摩擦片压紧，对主轴电动机进行制动，直到主轴停止转动，才可松开停止按钮。主轴制动时间不超过 0.5s。

③ 主轴变速冲动。主轴变速是通过改变齿轮的传动比进行的。当改变了传动比的齿轮组重新啮合时，因齿间的位置不能刚好对上，若直接启动，有可能使齿轮打牙。为此，本机床设置了主轴变速瞬时点动控制电路。变速时，先将变速手柄拉出，再转动蘑菇形变速手轮，调到所需转速上，然后将变速手柄复位。就在手柄复位的过程中压动了行程开关 SQ1，SQ1 的动断触点（5-7）先断开，动合触点（1-9）后闭合，接触器 KM1 的线圈瞬时通电，主轴电动机进行瞬时点动，使齿轮系统抖动一下，达到良好啮合。当手柄复位后，SQ1 复位，断开主轴瞬时点动电路。若瞬时点动一次没有实现齿轮良好啮合，可重复上述动作。

④ 主轴换刀控制。在主轴上刀或换刀时，为避免人身事故，应将主轴置于制动状态。为此，控制电路中设置了换刀制动开关 SA1。只要将 SA1 拨到“接通”位置，其动合触点 SA1-1 控制电磁离合器 YC1 将电动机轴抱住，主轴处于制动状态。同时，动断触点 SA1-2 断开，切断控制回路电源，保证了上刀或换刀时机床没有任何动作。当上刀、换刀结束后，应将 SA1 扳回“断开”位置。

## （2）进给运动的控制

工作台的进给运动分为工作进给和快速进给。工作进给只有在主轴启动后才可进行，快速进给是点动控制，即使不启动主轴也可进行。工作台的左、右、前、后、上、下 6 个方向的运动都是通过操纵手柄和机械联动机构带动相应的行程开关使进给电动机 M2 正转或反转来实现的。行程开关 SQ5、SQ6 控制工作台的向右和向左运动，SQ3、SQ4 控制工作台的向前、向下和向后、向上运动。

进给拖动系统用了两个电磁离合器 YC2 和 YC3，它们都安装在进给传动链中的第四根轴上。当左边的离合器 YC2 吸合时，连接上工作台进给传动链；当右边的离合器 YC3 吸合时，连接上快速移动传动链。

① 工作台的纵向（左右）进给运动。工作台的纵向运动由纵向进给手柄操纵。当把手柄扳向右边时，联动机构将电动机的传动链拨向工作台下面的丝杠，使电动机的动力通过该丝杠作用于工作台。同时，压下行程开关 SQ5，动合触点 SQ5-1 闭合，动断触点 SQ5-2 断开，接触器 KM3 的线圈通过 13→15→17→19→21→23→25 路径得电吸合，进给电动机 M2 正转，带动工作台向右运动。

当把纵向进给手柄扳向左边时，行程开关 SQ6 受压，SQ6-1 闭合，SQ6-2 断开，接触器 KM4 通电吸合，进给电动机反转，带动工作台向左运动。

SA2 为圆工作台控制开关，其状态如表 4-9 所示。这时的 SA2 处于断开位置，SA2-1、SA2-3 接通，SA2-2 断开。

② 工作台的垂直（上下）与横向（前后）进给运动。工作台的垂直与横向运动由垂直与横向进给手柄操纵。该手柄有 5 个位置，即上、下、前、后、中间。当手柄向上或向下时，机械机构将电动机传动链和升降台上下移动丝杠相连；向前或向后时，机械机构将电动机传动链与溜板下面的丝杠相连；手柄在中间位置时，传动链脱开，电动机停转。

以工作台向下（或向前）运动为例，将垂直与横向进给手柄扳到向下（或向前）位置，手柄通过机械联动机构压下行程开关 SQ3，动合触点 SQ3-1 闭合，动断触点 SQ3-2 断开，接触器 KM3 的线圈经 13→27→29→19→21→23→25 路径得电吸合，进给电动机 M2 正转，带动工作台进行向下（或向前）运动。

若将手柄扳到向上（或向后）位置，行程开关 SQ4 被压下，SQ4-1 闭合，SQ4-2 断开，接触器 KM4 线圈经 13→27→29→19→21→31→33 路径得电，进给电动机 M2 反转，带动工作台进行向上（或向后）运动。

③ 进给变速冲动。在改变工作台进给速度时，为使齿轮易于啮合，也需要使进给电动机瞬时点动一下。其操作顺序是：先将控制进给变速的蘑菇形手柄拉出，转动变速盘，选择好速度。然后，将手柄继续向外拉到极限位置，随即推回原位，变速结束。就在手柄拉到极限位置的瞬间，行程开关 SQ2 被压动，SQ2-1 先断开，SQ2-2 后接通，接触器 KM3 经 13→27→29→19→17→15→23→25 路径得电，进给电动机瞬时正转。在手柄推回原位时，SQ2 复位，进给电动机只瞬动一下。由 KM3 的通电路径可知，进给变速只有各进给手柄均在零位时才可进行。

④ 工作台的快速移动。工作台 6 个方向的快速移动也是由进给电动机 M2 拖动的。当工作台工作进给时，按下快移按钮 SB3 或 SB4（两地控制），接触器 KM2 得电吸合，其动断触点（105-109）断开电磁离合器 YC2，动合触点（105-111）接通电磁离合器 YC3，KM2 的吸合使进给传动系统跳过齿轮变速链，电动机直接拖动丝杠套，工作台快速进给，进给方向仍由进给操纵手柄决定。松开 SB3 或 SB4，KM2 断电释放，快速进给过程结束，恢复原来的进给传动状态。

由于在主轴启动接触器 KM1 的动合触点（7-13）上并联了 KM2 的一个动合触点，故在主轴电动机不启动的情况下也可实现快速进给。

### （3）圆工作台的控制

当需要加工螺旋槽、弧形槽和弧形面时，可在工作台上加装圆工作台。圆工作台的回转运动也是由进给电动机 M2 拖动的。

使用圆工作台时，先将控制开关 SA2 扳到“接通”位置，这时 SA2-2 接通，SA2-1 和 SA2-3 断开。再将工作台的进给操纵手柄全部扳到中间位置，按下主轴启动按钮 SB1 或 SB2，主轴电动机 M1 启动，接触器 KM3 线圈经 13→15→17→19→29→27→23→25 路径得电吸合，进给电动机 M2 正转，带动圆工作台进行旋转运动。

可见，圆工作台只能沿一个方向进行回转运动。由于启动电路途经 SQ3~SQ6 四个行程开关的动断触点，故扳动工作台任一进给手柄都会使圆工作台停止工作，保证了工作台进给运动与圆工作台工作不可能同时进行。

### （4）冷却泵电动机的控制

由主电路可以看出，只有在主轴电动机启动后冷却泵电动机 M3 才有可能启动。另外，M3 还受开关 SQ2 的控制。

### （5）控制电路的连锁与保护

① 进给运动与主轴转动的连锁。进给拖动的控制电路接在主轴启动接触器 KM1 的动合触点（7-13）之后，故只有在主轴启动之后，工作台的进给运动才能进行。

由于 KM1 的动合触点（7-13）上并联了 KM2 的动合触点，因此，在主轴未启动情况下也可实现快速进给。

② 工作台 6 个运动方向的连锁。电路上有两条支路：一条是与纵向操纵手柄联动的行程开关 SQ5 和 SQ6 的两个动断触点串联支路（27→29→19），另一条是和垂直与横向操纵手柄联动的行程开关 SQ3、SQ4 的两个动断触点串联支路（15→17→19）。这两条支路是接触器

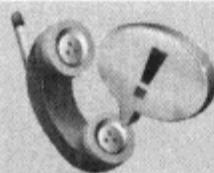
KM3 或 KM4 的线圈通电的必经之路。因此，只要两个操纵手柄同时被扳动，进给电路就立即被切断，实现了工作台各向进给的连锁控制。

③ 工作台进给与圆工作台的连锁。使用圆工作台时，必须将两个进给操纵手柄都置于中间位置，否则，圆工作台就不能运行。

④ 进给运动方向上的极限位置保护。采用机械和电气相结合的方式，由挡块确定各进给方向上的极限位置。当工作台运动到极限位置时，挡块碰撞操纵手柄，使其返回中间位置。相应进给方向上的行程开关复位，切断了进给电动机的控制电路，进给运动停止。

#### (6) 工作照明

变压器 TC3 将 380V 交流电变为 24V 的安全电压供给照明灯，用转换开关 SA4 进行控制。



**提示**

主电路、控制电路和照明电路都具有短路保护功能。6 个方向进给运动的终端限位保护是由各自的限位挡铁来碰撞操作手柄，使其返回中间位置以切断控制电路来实现的。

3 台电动机的过载保护分别由热继电器 FR1、FR2、FR3 实现。为了确保刀具与工件的安全，要求主轴电动机、冷却泵电动机过载时，除两台电动机停转外，进给运动也应停止，否则将撞坏刀具与工件。因此，FR1、FR3 应串接在相应位置的控制电路中。当进给电动机过载时，则要求进给运动先停止，允许刀具空转一会儿，再由操作者总停机。因此，FR2 的动断触点只串接在进给运动控制支路中。

#### 知识链接

### 采用反接制动的 X62W 型铣床电气控制电路

X62W 型铣床电气控制电路的形式较多，图 4-6 所示为采用反接制动的 X62W 型铣床电气控制电路。

#### 4.1.5

### M7130 型磨床电气控制电路

——磨床控制较复杂，分区读图好方法

M7130 型平面磨床电气控制电路如图 4-7 所示。

#### 1. 电动机控制电路

由电源开关 QS 控制整个机床电源的接通和断开。主电路中共有 3 台电动机，其控制电路如图 4-8 所示。其中 M1 为砂轮电动机，M2 为冷却泵电动机，M3 为液压电动泵电动机，均要求单向旋转。3 台电动机共用熔断器 FU1 进行短路保护，M1 和 M2 共用热继电器 FR1 进行过载保护。电动机 M1 和 M2 同时由接触器 KM1 的主触点控制。由于冷却泵箱和床身是分装的，所以，冷却泵电动机 M2 经插座 X1 与砂轮电动机 M1 的电源线相连接（接在接触器 KM1 主触点的下方），并和 M1 实现顺序控制，且 M2 实现单独关断控制。由于冷却泵电动机的容量较小，没有单独设置过载保护。液压泵电动机 M3 由接触器 KM2 的主触点控制，并由热继电器 FR2 进行过载保护。

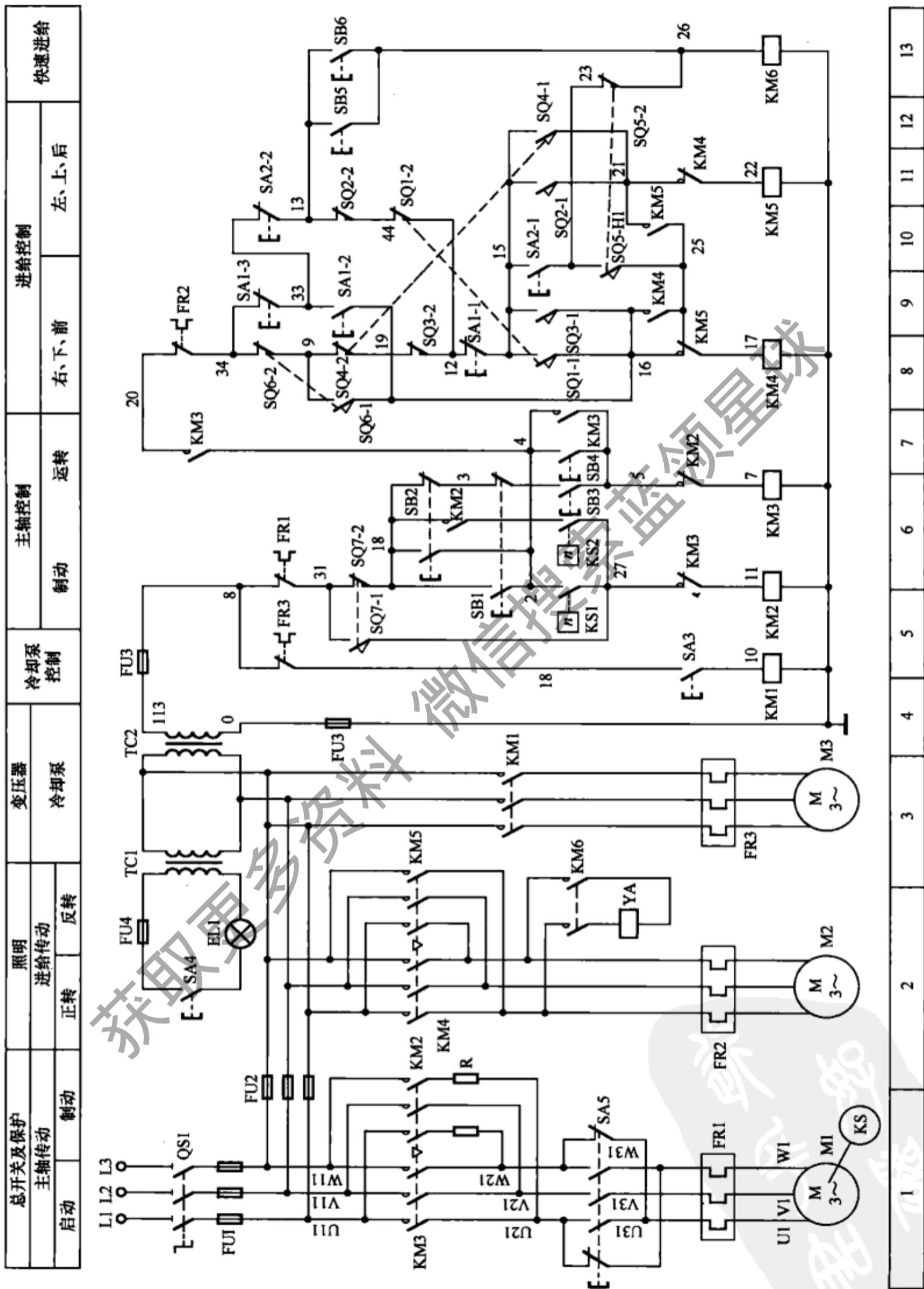


图 4-6 采用反接制动的 X62W 型铣床电气控制电路

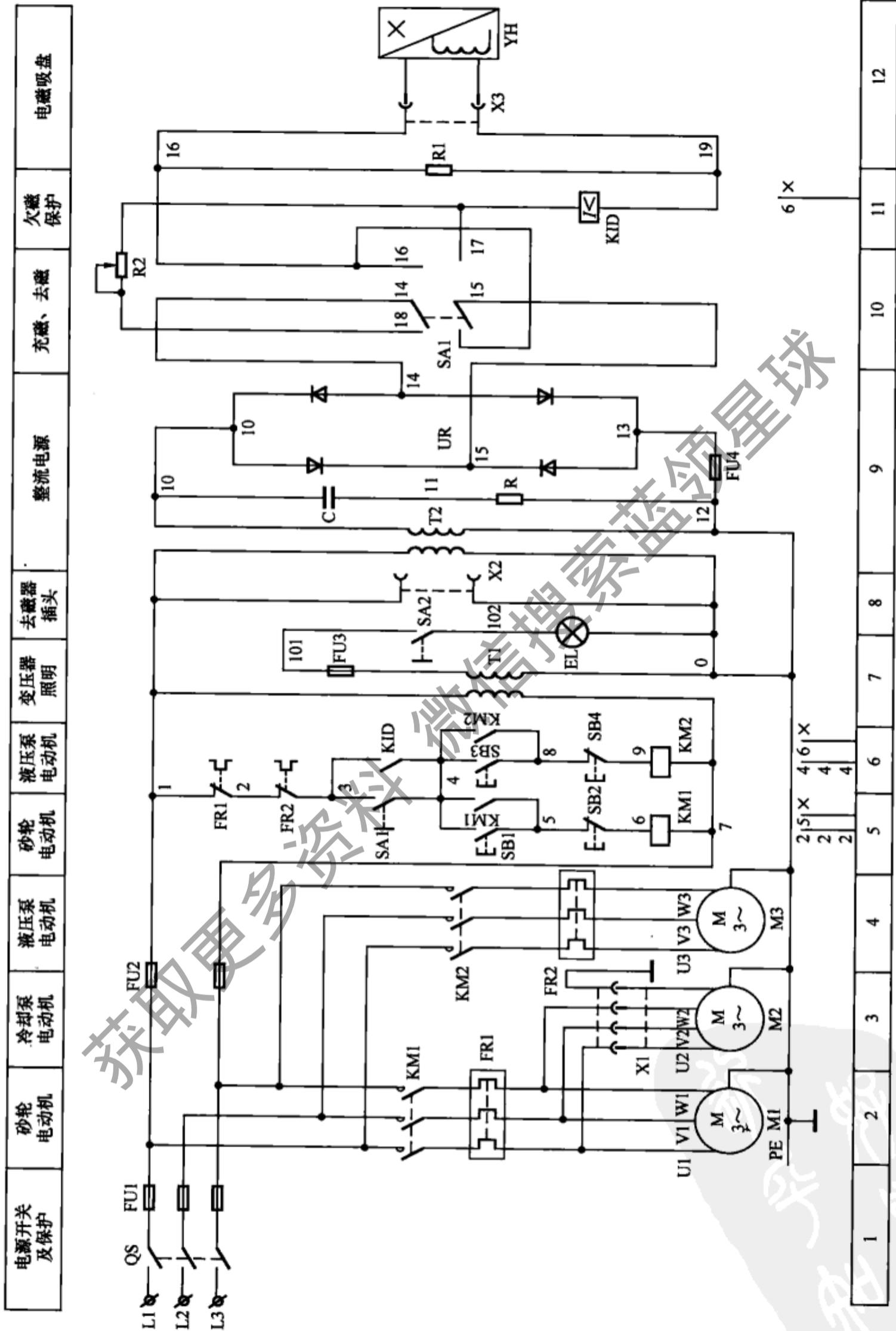


图 4-7 M7130 型磨床电气控制电路

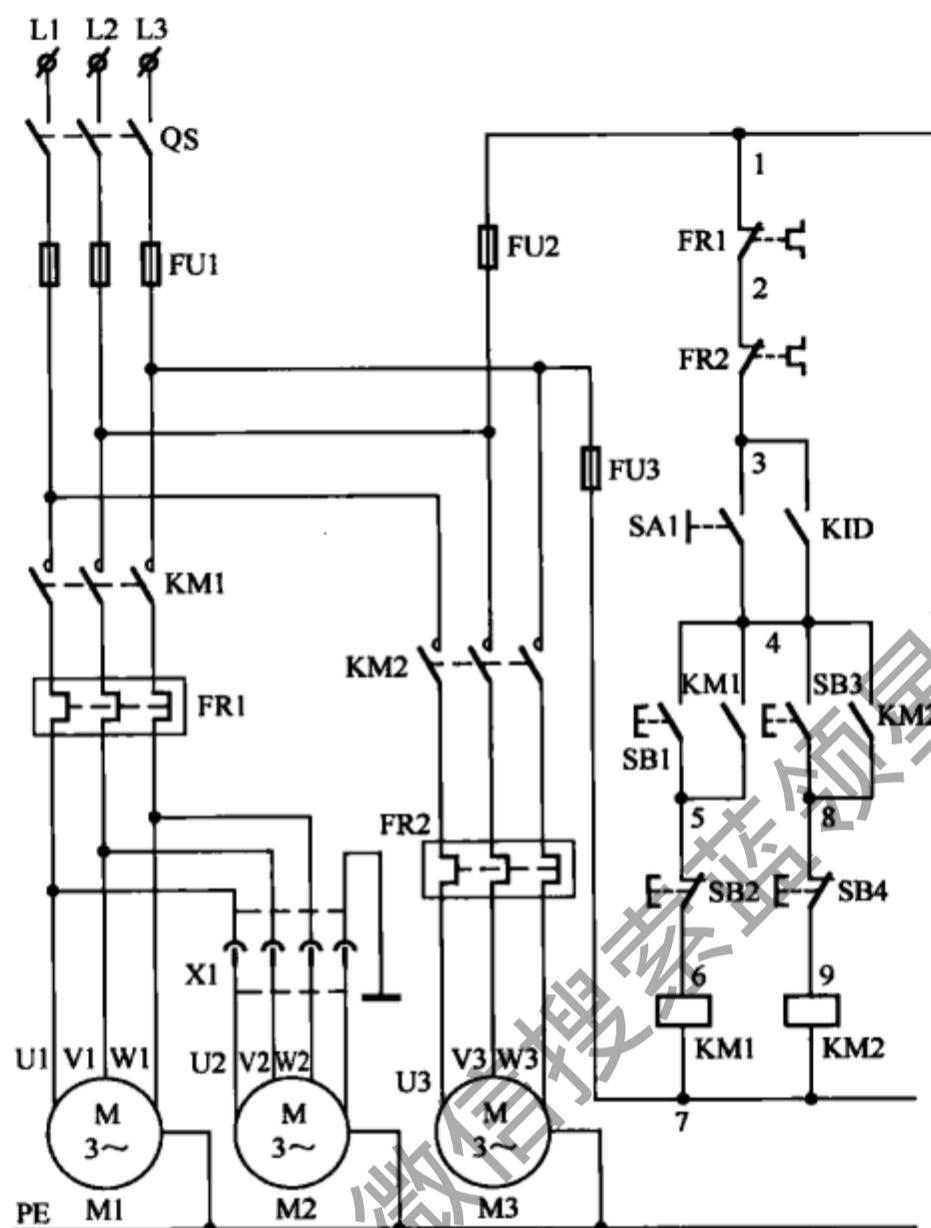


图 4-8 电动机 M1~M3 的控制电路

为了保护砂轮与工件的安全，当有一台电动机过载停机时，另一台电动机也应停转，因此，将 FR1、FR2 的动断触点串联接在总控制电路中。

砂轮电动机 M1 和冷却泵电动机 M2 的控制：由按钮 SB1、SB2 和接触器 KM1 的线圈组成砂轮电动机 M1 和冷却泵电动机 M2 单向运行的启动、停止控制电路。

液压泵电动机 M3 的控制：由按钮 SB3、SB4 和接触器 KM2 的线圈组成 M3 单向运行的启动、停止控制电路。

电动机 M1~M3 的启动：必须在电磁吸盘 YH 工作，触点 SA1 (3-4) 断开，且欠电流继电器 KID 得电吸合，其动合触点闭合的情况下方可启动 M3；或者在电磁吸盘 YH 不工作，但转换开关 SA1 置于“失电”位置，其触点 SA1 (3-4) 闭合的情况下启动 M3。

## 2. 电磁吸盘控制电路

图 4-9 所示为电磁吸盘控制电路，它由整流装置、控制装置和保护装置等组成。电磁吸盘整流装置由整流变压器 T2 与桥式全波整流器 UR 组成。整流变压器 T2 将 220V 交流电压降为 127V 交流电压，再经桥式整流电路后变成 110V 直流电压，通过转换开关 SA1 切换，使电磁吸盘处于吸合（充磁）、放松（失电）或去磁工作状态。

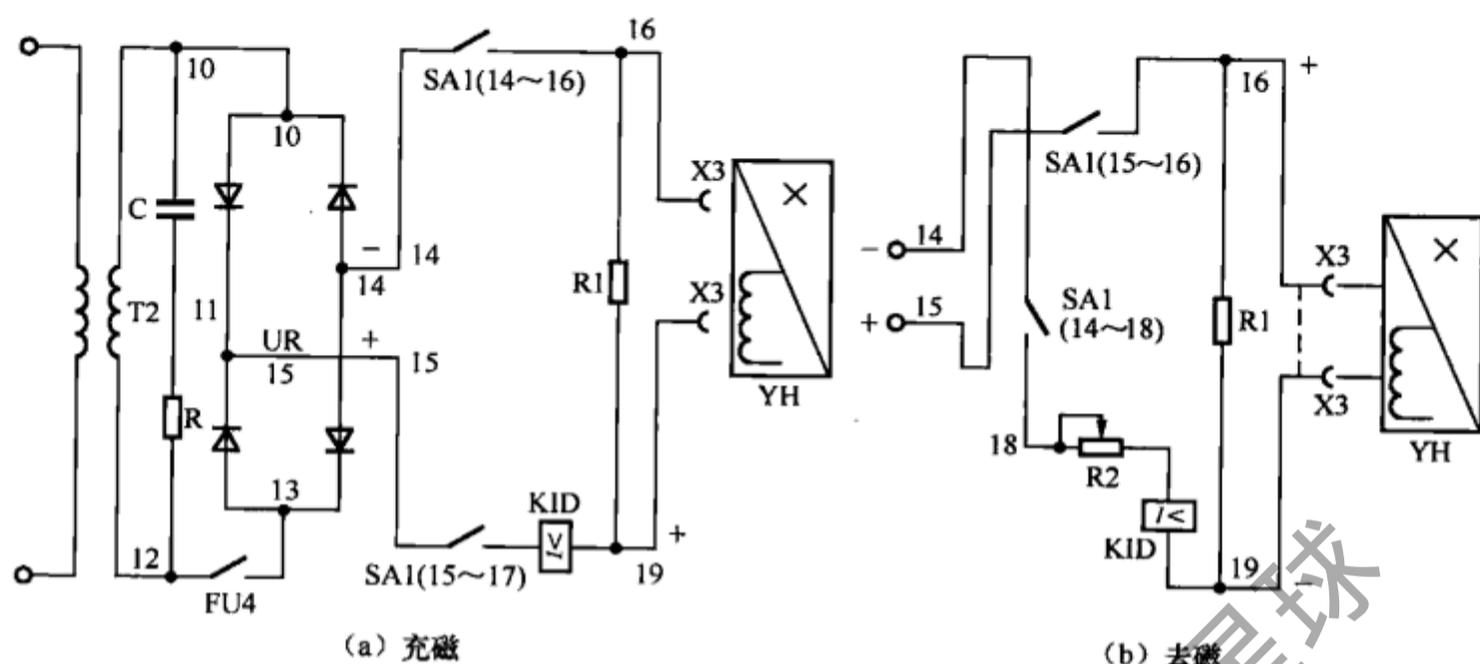


图 4-9 电磁吸盘控制电路

电源总开关 QS 闭合，电磁吸盘整流电源就输出 110V 直流电压，接点 15 为电源正极，接点 14 为电源负极。

当转换开关 SA1 置于“吸合”位置 (SA1 开关向右) 时，SA1 的触点 14-16、15-17 接通，110V 直流电压接入电磁吸盘 YH，工件被牢牢吸住。其电流通路为：电源正极接点 15→已闭合的 SA1 开关触点 SA1 (17-15)→欠电流继电器 KID 的线圈→接点 19→插座 X3→YH 线圈→插座 X3→接点 16→已闭合的 SA1 开关触点 SA1 (16-14)→电源负极 14。欠电流继电器 KID 的线圈通过插座 X3 与电磁吸盘 YH 的线圈串联。若电磁吸盘的电流足够大，则欠电流继电器 KID 动作，其动合触点闭合，表示电磁吸盘的吸力足以将工件吸牢，这时才可以分别操作控制按钮 SB1 和 SB3，从而启动砂轮电动机 M1 和液压泵电动机 M3 进行磨削加工。当加工结束后，分别按下停止按钮 SB2、SB4，M1 和 M3 停止旋转。

当转换开关 SA1 置于“去磁”位置 (SA1 开关向左) 时，SA1 的触点 14-18、15-16 以及 3-4 接通，电磁吸盘 YH 中通入较小的反向电流进行去磁 (因为并联了去磁电阻 R1)。

去磁结束，将转换开关 SA1 置于“放松”位置 (SA1 开关置中)，SA1 的所有触点都断开，此时就可将被加工的工件取下来。若工件对去磁要求严格，则在取下工件后还要用交流去磁器进行处理。交流去磁器是平面磨床的一个附件，在使用时将交流去磁器插在床身备用插座 X2 上，再将工件放在交流去磁器上来回移动若干次，即可完成去磁任务。

下面介绍电磁吸盘保护环节。

① 电磁吸盘的欠电流保护。为了防止在磨削过程中电磁吸盘回路出现失电或线圈电流减小，引起电磁吸力消失或吸力不足，造成工件飞出，引起人身与设备事故，在电磁吸盘线圈电路中串入欠电流继电器 KID 进行欠电流保护。若励磁电流正常，则只有当直流电压符合设计要求，电磁吸盘具有足够的电磁吸力时，KID 的动合触点才能闭合，为启动 M1、M3 电动机进行磨削加工做准备，否则不能开动磨床进行加工。若在磨削过程中线圈电流减小或消失，则欠电流继电器 KID 将因此而释放，其动合触点断开，KM1、KM2 失电，M1、M2、M3 电

动机立即停转，避免事故发生。

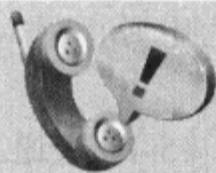
② 电磁吸盘的过电压保护。由于电磁吸盘线圈匝数多、电感大，在得电工作时线圈中储存着大量磁场能量，因此，当脱离电源时线圈两端将会产生很大的自感电动势，出现高电压，使线圈的绝缘及其他电气设备损坏。为此，在线圈两端并联了电阻 R1 作为放电电阻，以吸收线圈储存的能量。

③ 电磁吸盘的短路保护。短路保护由熔断器 FU4 来实现。

④ 整流装置的过电压保护。交流电路产生过电压和直流侧电路通断时，都会在整流变压器 T2 的二次侧产生浪涌电压，该浪涌电压对整流装置 UR 有害。为此，应在 T2 的二次侧接上 RC 阻容吸收装置以吸收尖峰电压，同时通过电阻 R 来防止产生振荡。

### 3. 照明电路

由照明变压器 T1 将 380V 电压降为 24V 的安全电压后供给照明电路。照明灯 EL 的一端接地，并由开关 SA2 控制。熔断器 FU3 用于照明电路的短路保护。照明变压器一次侧由熔断器 FU2 用于短路保护。



**提示**

根据电动机 M1 ~ M3 主电路控制元器件的文字符号为 KM1、KM2，在图 4-8 的 5、6 区中可找到 KM1、KM2 的线圈回路，由此可以找到电动机 M1 ~ M3 的控制电路。在 KM1、KM2 线圈回路中串联有动合触点 SA1 (3-4) 和动合触点 KID (3-4) 的并联电路。在图 4-7 中，由图区 10 可以看出，SA1 (3-4) 为转换开关 SA1 的一个动合触点；由图区 11 可以看出，KID (3-4) 为欠电流继电器 KID 的一个动合触点。

根据电磁吸盘的文字符号 YH，在图 4-7 的图区 9 ~ 12 中可以找到电磁盘控制电路，它通过转换开关 SA1 进行吸合、去磁控制。

由图 4-8 和图 4-9 可以看出，M1 ~ M3 控制电路和电磁吸盘控制电路通过转换开关 SA1 和欠电流继电器 KID 进行联系。当 SA1 扳到“吸合”、“去磁”位置时，可使吸盘工作，触点 SA1 (3-4) 断开，欠电流继电器 KID 得电吸合，其动合触点 KID (3-4) 闭合，方可通过 KM1、KM2 启动电动机 M1 ~ M3。若将开关 SA1 扳到“放松”位置，则电磁吸盘不工作，KID 线圈不吸合，其动合触点 KID (3-4) 不闭合，但 SA1 (3-4) 闭合，此时也可以通过 KM1、KM2 启动电动机 M1 ~ M3，以进行机床的调整试车。

## 4.1.6 T68 型镗床电气控制电路

——镗床用于精加工，主轴电机可点动

T68 型卧式镗床的电气控制电路如图 4-10 所示。

T68 型卧式镗床主要用于孔的精加工。它有 2 台电动机：一台是主轴电动机 M1，这是一台双速笼型异步电动机，它通过变速箱等传动机构带动主轴及花盘旋转并作为常速进给的动力，同时还带动润滑油泵，可进行点动或连续正反转控制；另一台电动机 M2 是快速进给电动机，它带动主轴完成轴向进给、主轴箱垂直进给、工作台横向和纵向进给等快速移动，因它是短时工作，故没有采用热继电器进行过载保护。



## 1. 主轴电动机的控制

### (1) 主轴电动机 M1 正反转控制

按下 SB2, 中间继电器 K1 因线圈得电而吸合, KA1 的动合触点闭合自锁, KA1 的动断触点分断连锁, KA1 的另一副动合触点 (12 图区) 闭合, 使接触器 KM3 因线圈获电而吸合 (此时限位开关 SQ4 和 SQ3 已被操纵手柄压合), KM3 的主触点闭合, 将制动电阻 R 短接, KM3 的动合辅助触点 (18 与 19 图区) 闭合, 接触器 KM1 的线圈得电吸合, KM1 的主触点闭合, 接通电源; KM1 的动合辅助触点 (22 图区) 闭合, KM4 的线圈获电吸合, KM4 的主触点闭合, 电动机 M1 按三角形连接正向启动。

按钮 SB3 控制反转, 其工作原理与正向运转相似, 请读者自己分析。

### (2) 主轴电动机 M1 的点动控制

按下 SB4 (或 SB5), 接触器 KM1 (或 KM2) 因线圈得电而吸合, KM1 (或 KM2) 的动合触点 (22 图区) 闭合, 接触器 KM4 的线圈得电吸合, KM1 (或 KM2) 和 KM4 的主触点闭合, 电动机 M1 接成三角形并串限流电阻 R 进行低速点动, 同步转速为 1 500r/min。

### (3) 主轴电动机 M1 的制动控制

T68 型镗床主轴电动机停车制动采用速度继电器 KS1、串联电阻 R 的双向低速反接制动方式。

当电动机 M1 正向运转速度达到 120r/min 以上时, 速度继电器 KS2 的动合触点闭合, 为停车制动做好准备。若要停车制动, 就按 SB1, 中间继电器 K1 和接触器 KM3 因线圈断电而释放, KM3 的动合触点分断, KM1 因线圈断电而释放, KM1 的动合触点分断, KM4 因线圈断电而释放。由于 KM1 和 KM4 的主触点分断, 电动机 M1 断电作惯性运转。与此同时, 接触器 KM2 和 KM4 因线圈得电而吸合, KM2 和 KM4 的主触点闭合, 电动机 M1 串联电阻 R 而反接制动。当转速降至 120r/min 时, 速度继电器 KS2 的动合触点分断, 接触器 KM2 和 KM4 因线圈断电而释放, 电动机 M1 停转, 反接制动结束。

若电动机 M1 反转时, 由速度继电器的另一副动合触点 KS1 协同制动, 其工作原理与正转的反接制动相似, 请读者自己分析。

### (4) 主轴电动机 M1 的正反转高速控制

低速运转时主轴电动机 M1 的定子绕组为三角形接法, 转速为 1 500r/min; 高速时定子绕组为双星形接法, 转速为 2 900r/min。

主轴电动机 M1 作三角形连接运行时, 变速手柄在“低速”位置, 使变速行程开关 SQ 处于分断状态, 时间继电器 KT 的线圈断电, 接触器 KM5 的线圈也断电, 电动机 M1 只能由接触器 KM4 接成三角形。

当需要电动机 M1 高速正向运转时, 先将变速手柄扳在“高速”位置, 使行程开关 SQ 压合, 然后按 SB2, KA1 因线圈得电而吸合, KT 和 KM3 因线圈同时得电而吸合。由于 KT 两副触点延时动作, 故 KM4 线圈先得电吸合, 电动机 M1 接成三角形而低速启动。以后 KT 的动断触点延时分断, KM4 因线圈断电而释放, KT 的动合触点延时闭合, KM5 因线圈得电而吸合, 电动机 M1 接成双星形高速运行 (约 2 900r/min)。

高速反转由反向启动按钮 SB3 控制, 其工作原理与高速正转控制相似, 请读者自己分析。

### (5) 主轴变速及进给变速冲动控制

主轴变速和进给变速冲动是通过操作各自的变速操纵手柄改变传动链的传动比来实现的。

若在主轴正转时变速,可不必按 SB1,只需将主轴变速操纵盘的操作手柄拉出,与变速手柄有机械联系的行程开关 SQ4 不再受压而分断, KM3 和 KM4 因线圈先后断电而释放,电动机 M1 断电作惯性运动。由于行程开关 SQ4 的动断触点闭合, KM2 和 KM4 因线圈得电而吸合,电动机 M1 串接电阻 R 反接制动。速度继电器 KS2 的动合触点分断,这时便可转动变速操纵盘进行变速。变速后,将变速手柄推回原位, SQ4 重新压合,接触器 KM3、KM1 和 KM4 因线圈得电而吸合,电动机 M1 启动,主轴以新选定的速度运转。

变速时,若齿轮卡住而手柄推不上,此时变速冲动行程开关 SQ6 被压合,速度继电器的动断触点 KS3 也已恢复闭合,接触器 KM1 的线圈得电而吸合,电动机 M1 启动。当转速高于 120r/min 时,KS3 又分断, KM1 因线圈断电而释放,电动机 M1 又断电。当转速降到 120r/min 时,KS3 又恢复闭合, KM1 因线圈又得电而吸合,电动机 M1 再次启动,重复动作,直至齿轮啮合后方能推合变速操纵手柄,变速冲动结束。

进给变速控制与主轴变速控制过程基本相同,只是在进给变速时拉出的操纵手柄是进给变速操纵手柄。

## 2. 快速移动电动机 M2 的控制及连锁保护装置

### (1) 快速移动电动机 M2 的控制

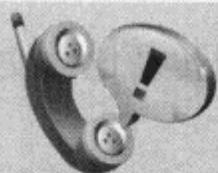
主轴的轴向进给、主轴箱(包括尾架)的垂直进给、工作台的纵向和横向进给等的快速移动,是由电动机 M2 通过齿轮、齿条等来完成的。将快速移动操纵手柄向里推时,压合行程开关 SQ8,接触器 KM6 因线圈得电而吸合,电动机 M2 正转启动,实现快速正向移动。将快速移动操纵手柄向外拉时, SQ7 压合, KM7 因线圈得电而吸合,电动机 M2 反向快速移动。

### (2) 连锁保护装置

为了防止在工作台或主轴箱自动快速进给时又将主轴进给手柄扳到自动快速进给位置的误操作,采用了与工作台和主轴箱进给手柄有机械连接的行程开关 SQ8(在工作台后面)。当把上述手柄扳至工作台(或主轴箱)自动快速进给位置时, SQ8 被压分断。同样,在主轴箱上还装有另一个行程开关 SQ7,它与主轴进给手柄有机械连接,当这个手柄动作时, SQ7 也受压分断。电动机 M1 和 M2 必须在行程开关 SQ8 和 SQ7 中有一个处于闭合状态时才可以启动。如果在工作台(或主轴箱)自动进给(SQ8 分断)时将主轴进给手柄扳到自动进给位置(SQ7 也分断),电动机 M1 和 M2 都将自动停转,从而达到连锁保护的目。

## 3. 照明和辅助指示电路

控制变压器 TC 的二次侧分别输出 24V 和 6V 电压,作为机床照明灯和指示灯的电源。HL 为机床电源指示灯,机床接通电源后,指示灯 HL 点亮。EL 为机床的低压照明灯,由开关 QS2 控制, FU3 用于短路保护。



提示

在分析机床控制电路时，首先要对该机床的结构、运动形式、工艺要求等有全面了解，然后明确对电气控制的要求，在此基础上去分析控制电路。T68型镗床有以下3种运动形式。

① 主运动：镗轴和花盘的旋转运动。

② 进给运动：镗轴的轴向移动、平旋盘刀具溜板的径向移动、镗头架的垂直移动、工作台的纵向和横向移动。

③ 辅助运动：工作台的旋转、后立柱的轴向移动、尾架的垂直移动以及镗头架、工作台的快速移动。



想一想

交流接触器 KM3 在电路中起什么作用？

知识链接

### T68 型镗床常见故障分析

- ① 主轴能低速启动，但不能高速运行。
  - 行程开关位置变动或松动。
  - 行程开关或时间继电器的触点接触不良或接线脱落。
- ② 主轴电动机不能制动。
  - 速度继电器损坏，其动合触点不能闭合。
  - 接触器 KM2、KM3 的动断触点接触不良。
- ③ 主轴变速手柄拉开时不能制动。
  - 主轴变速行程开关不能复位。
  - 速度继电器损坏，动断触点不能闭合，反接制动接触器不能吸合。
- ④ 主轴和工作台不能进给。
  - 主轴和工作台的两个手柄都扳到了进给位置。
  - 行程开关位置变动或撞坏，使其动断触点不能闭合。

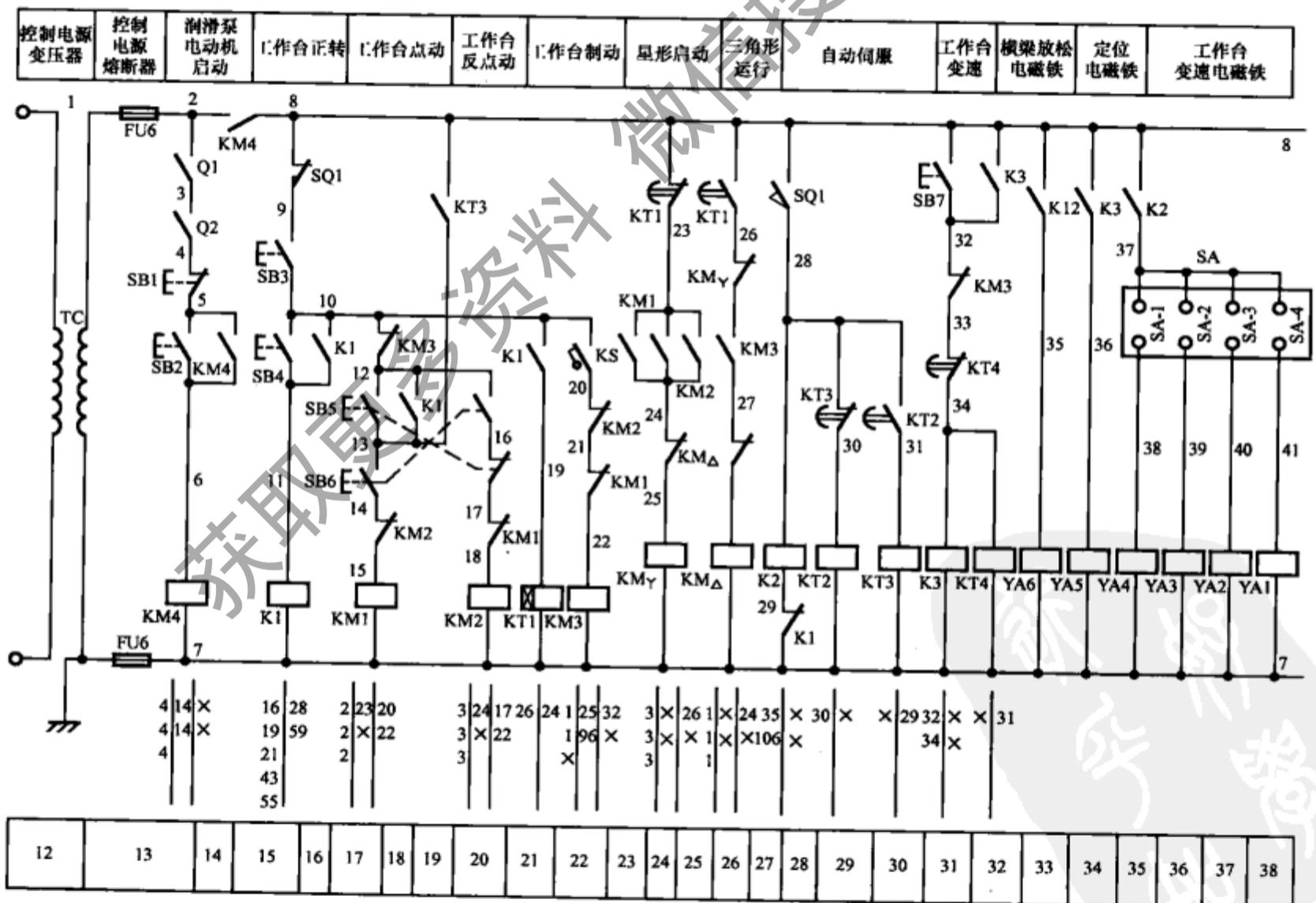
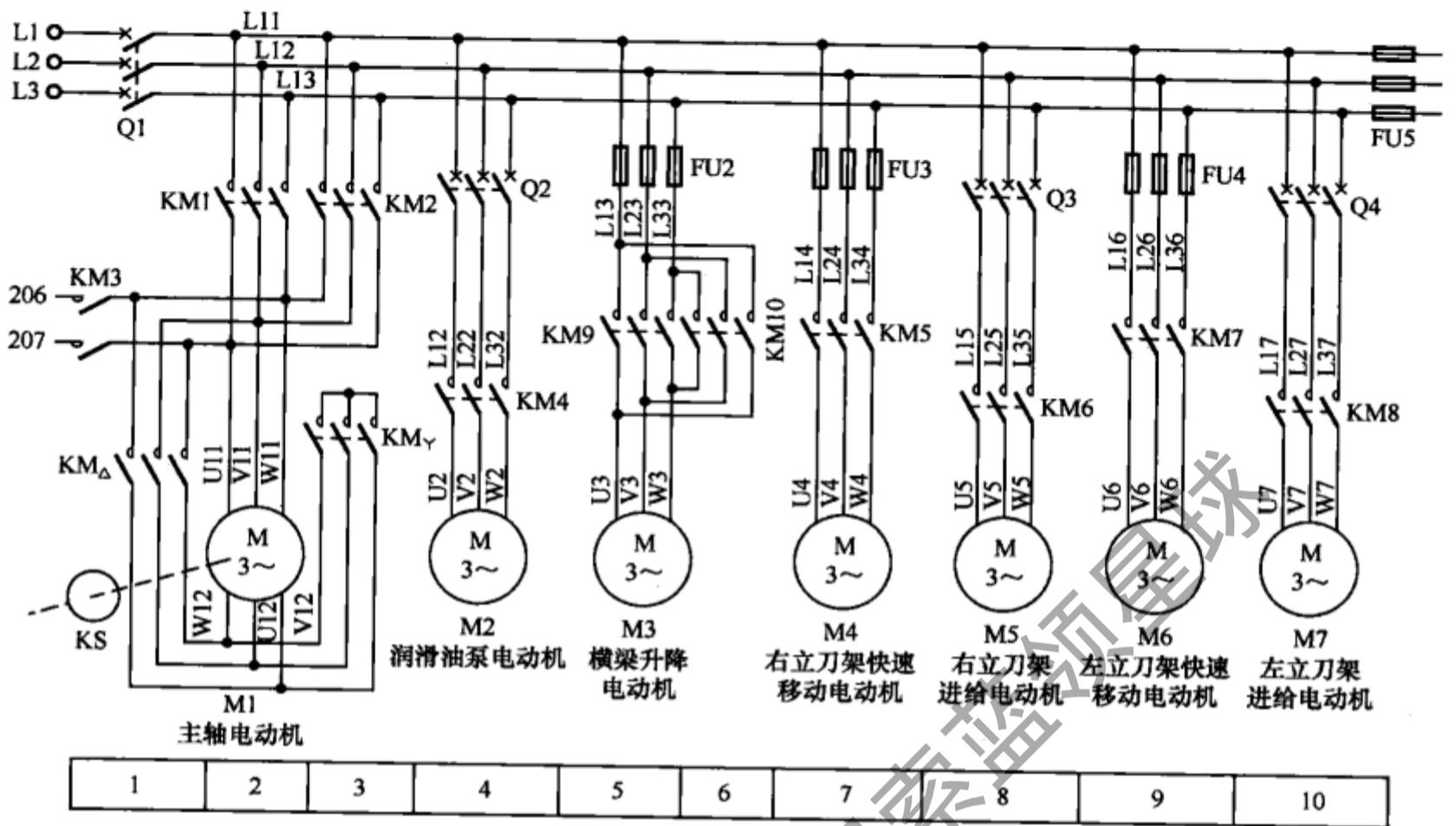
### 4.1.7 C5225 型立式车床电气控制电路 ——加工大件有保证，七台电机齐上阵

图 4-11 所示为 C5225 型立式车床电气控制电路。

#### 1. 主电路

主电路中一共有 7 台电动机，全部由 380V 交流电源供电。

M1 为主轴电动机。工作时，由接触器 KM1 接通和断开它的正转电源，接触器 KM2 接通和断开它的反转电源。接触器 KM<sub>Y</sub> 是主轴电动机 M1 启动时将其绕组接成星形接法的接触



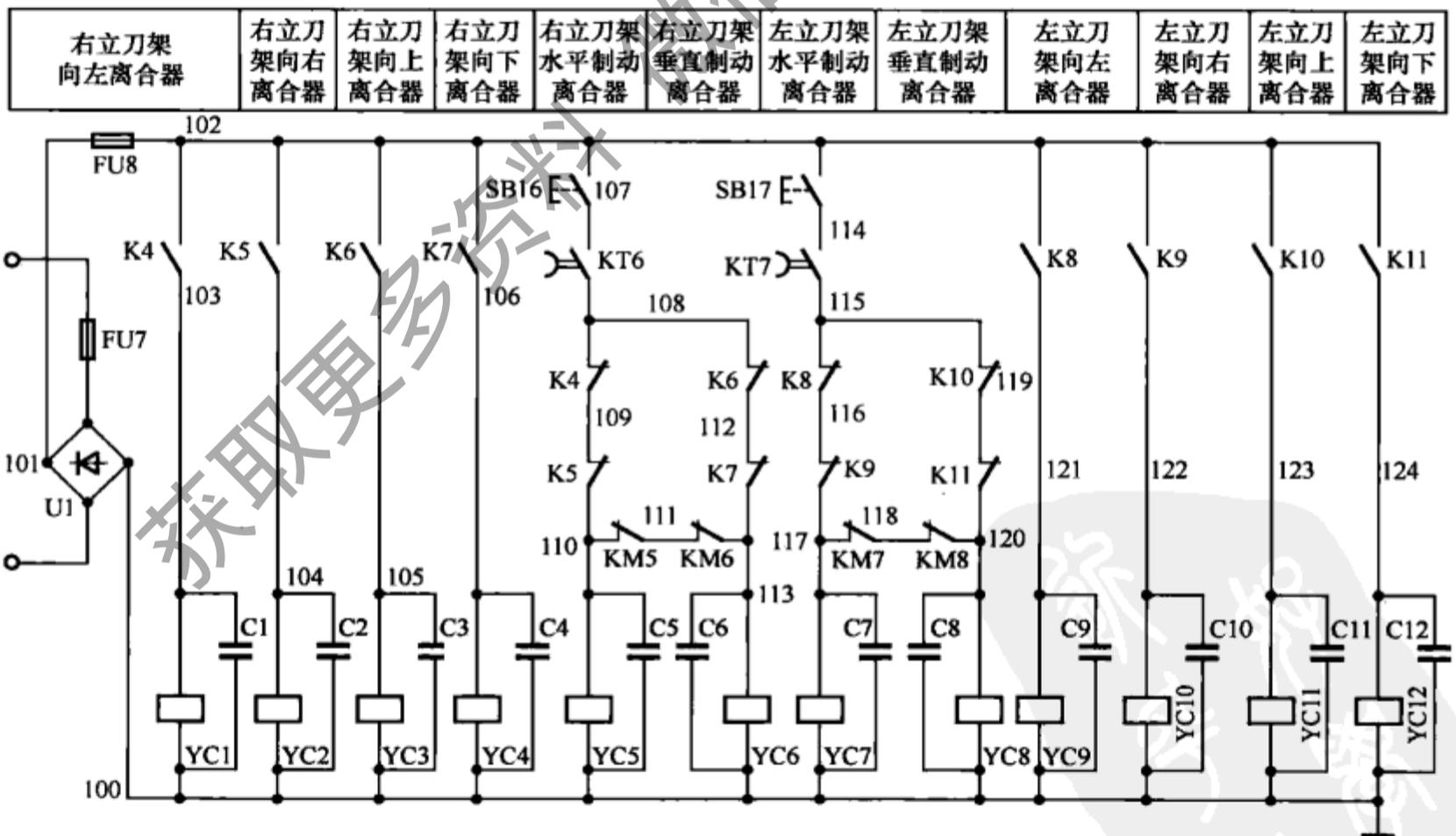
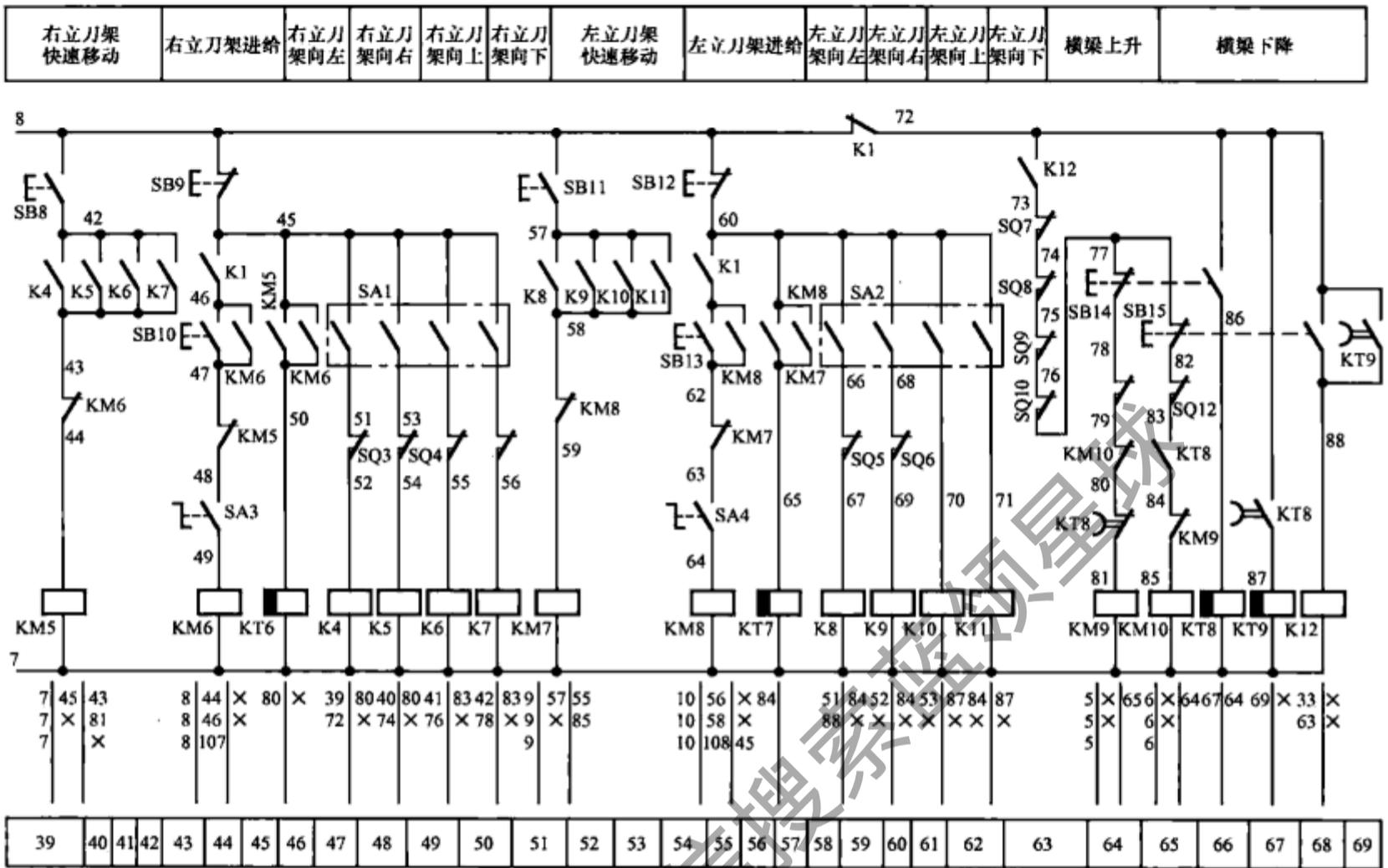
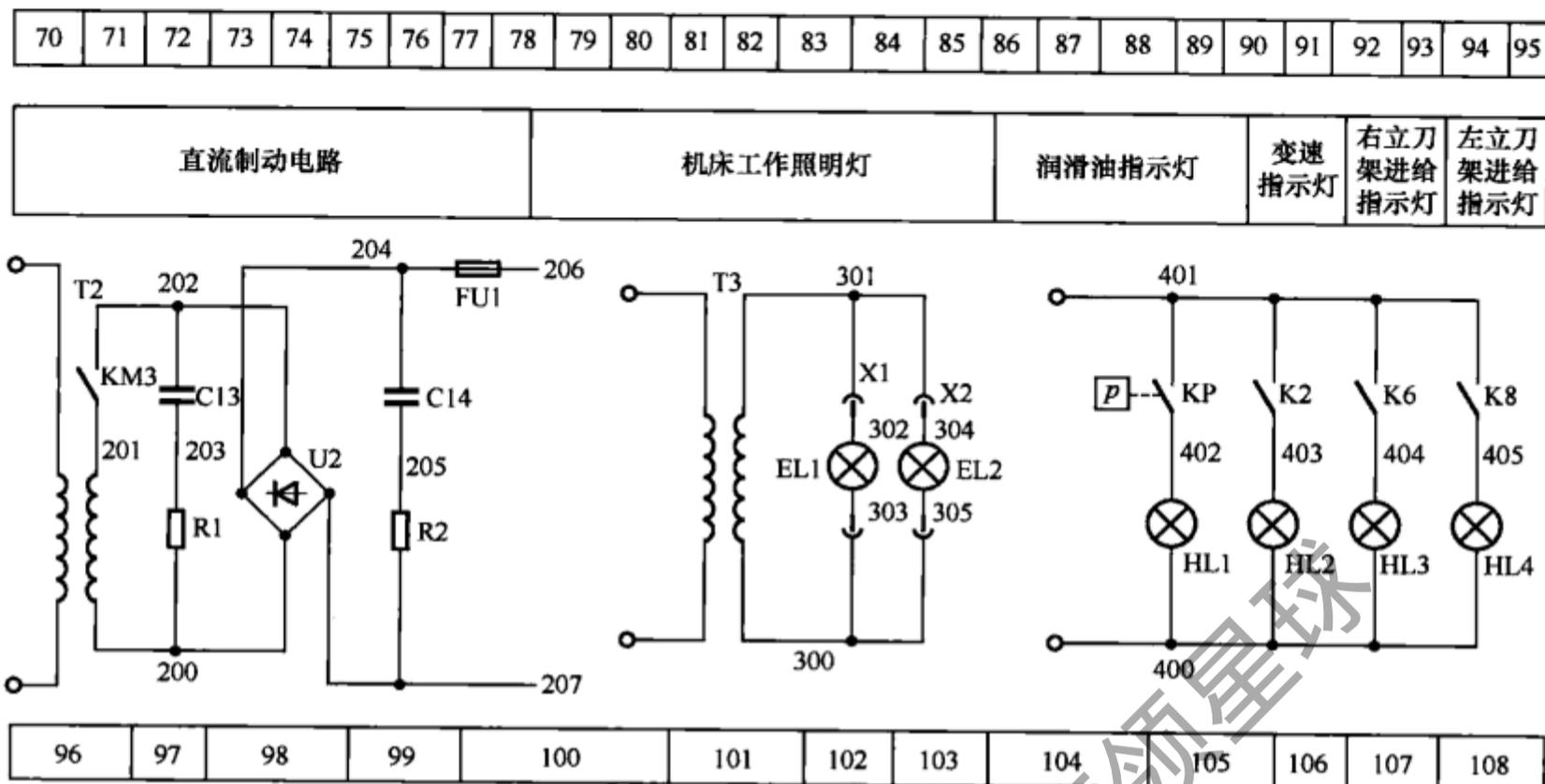


图 4-11 C5225 型立式车床电气控制电路 (续)



(b) 控制电路

图 4-11 C5225 型立式车床电气控制电路 (续)

器，接触器  $KM_{\Delta}$  则是主轴电动机 M1 全压运行时将其绕组接成三角形接法的接触器。车床速度继电器 KS、接触器 KM3 及桥式整流能耗制动电路 (96~100 区) 组成了主轴电动机 M1 的能耗制动电路。低压断路器 Q1 既是机床的电源总开关，又担负着主轴电动机 M1 的短路保护及过载保护职责。

M2 为润滑油泵电动机，主要供给机床工作台润滑油及液压系统的压力油，它只能单向运转。低压断路器 Q2 和接触器 KM4 控制 M2 电源的接通和断开。低压断路器 Q2 还担任着油泵电动机 M2 的过载保护和短路保护职责。接触器 KM4 的主触点是润滑泵电动机 M2 电源的接通和断开触点。

M3 为横梁升降电动机，它可正反向转动，带动横梁沿立柱导轨上下移动。接触器 KM9 的主触点为电动机 M3 正转电源的接通和断开触点，控制 M3 正转，通过机械传动使横梁沿立柱上升；接触器 KM10 的主触点为电动机 M3 反转电源的接通和断开触点，控制 M3 反转，通过机械传动使横梁沿立柱下降。熔断器 FU2 为横梁升降电动机 M3 的短路保护。

M4 为右立刀架快速移动电动机，它只能单向运转，带动右立刀架快速移动。接触器 KM5 的主触点为电动机 M4 正转电源的接通和断开触点，用于控制 M4 电源的通断。FU3 是 M4 的短路保护元件。

M5 为右立刀架进给电动机，它只能单向运转，带动右立刀架工作进给。低压断路器 Q3 和接触器 KM6 控制 M5 电源的通断，低压断路器 Q3 担负着 M5 的短路保护和过载保护职责。

M6 为左立刀架快速移动电动机，它只能单向运转，带动左立刀架快速移动。由 KM7 控制它的电源通断，FU4 为它的短路保护元件。

M7 为左立刀架进给电动机，它只能单向运转，带动左立刀架工作进给。由低压断路器 Q4 和接触器 KM8 控制它的电源通断，低压断路器 Q4 担负着 M7 的短路保护和过载保

护职责。

## 2. 控制电路

在 C5225 型立式车床控制电路中, 从第 12 区开始至 108 区分别为各个控制元件所在的区号, 下面逐一进行分析。

### (1) 润滑油泵电动机 M2 的控制

由于 C5225 型立式车床属于大型机床, 且加工工件时工作台要承受很大的重量, 如果缺少润滑油, 将会使机床发生重大事故, 故在主轴电动机 M1 启动之前要先将油泵电动机 M2 启动, 待机床润滑状况良好后, 主轴电动机和其他电动机才能启动。在电气连锁上, 只有在润滑油泵电动机 M2 启动后, 主轴电动机和其他电动机才能启动运转。

当机床需要启动时, 合上电源总开关 Q1, 再合上低压断路器 Q2, 接通接触器 KM4 的线圈回路中的辅助触点。按下油泵电动机 M2 的启动按钮 SB2 (13 区), 接触器 KM4 得电闭合并自锁, 其主触点接通润滑油泵电动机 M2 的电源, M2 启动运转, 供给机床工作台润滑油及液压系统的压力油。压力继电器的触点压合, 润滑油指示灯 HL1 点亮 (105 区), 表明机床润滑良好。在接触器 KM4 的主触点闭合及自锁的同时, 它的另一对动合辅助触点 (14 区) 接通了主轴电动机 M1 和其他电动机控制电路的电源, 使其他电动机能够启动运转。

当需要 M2 停止运转, 按下润滑油泵电动机 M2 的停止按钮 SB1, 接触器 KM4 的线圈断电, M2 停转。

### (2) 主轴电动机 M1 的控制

① 主轴电动机 M1 的星—三角形降压启动运行控制。按下主轴电动机 M1 的启动按钮 SB4 (15 区), 中间继电器 K1 的线圈得电闭合并自锁, K1 的动合触点 (18 区) 闭合, 接通接触器 KM1 线圈的电源, KM1 线圈得电, 其动合触点 (23 区) 闭合, 接通接触器 KM<sub>Y</sub> 线圈的电源, KM<sub>Y</sub> 闭合, 接触器 KM1 和 KM<sub>Y</sub> 的主触点将主轴电动机 M1 的绕组接成星形, M1 开始星形降压启动。在中间继电器 K1 闭合的同时, K1 的另一动合辅助触点 (21 区) 闭合, 将时间继电器 KT1 的线圈接通, KT1 通电延时。经过一定时间后, 当主轴电动机转速升至一定速度时, 时间继电器 KT1 的动断延时断开触点 (24 区) 首先断开, 动合延时闭合触点 (26 区) 闭合, 断开了接触器 KM<sub>Y</sub> 线圈的电源, 同时接通接触器 KM<sub>Δ</sub> 的电源。此时接触器 KM1 和接触器 KM<sub>Δ</sub> 的主触点将主轴电动机 M1 的定子绕组接成三角形, M1 从星形降压启动转换到了三角形全压运行。

由于接触器 KM<sub>Y</sub> 和 KM<sub>Δ</sub> 在各自的线圈回路中串接了对方的动断触点, 所以, M1 在降压启动时, 接触器 KM<sub>Δ</sub> 不能得电闭合; 当 KM1 转换到了三角形全压运行时, 接触器 KM<sub>Y</sub> 不能得电闭合。

② 主轴电动机 M1 的正反转点动控制。在正常加工过程中, 主轴电动机只需要正向运转。主轴电动机 M1 的正反转点动功能主要用于调整工件位置。当工作台需要正转点动时, 按下正转点动按钮 SB5 (17 区), 接触器 KM1 的线圈得电并接通接触器 KM<sub>Y</sub> 的线圈电源 (24 区), 接触器 KM1 和 KM<sub>Y</sub> 将主轴电动机 M1 的绕组接成星形, 主轴电动机带动工作台正向移动。松开 SB5, 工作台正向移动停止。同理, 按下反转点动按钮 SB6 (20 区), 接触器 KM2 的线圈得电闭合并接通接触器 KM<sub>Y</sub> 线圈的电源, 主轴电动机 M1 带动工作台反向移动。松开 SB6,

工作台反向移动停止。

③ 主轴电动机 M1 的能耗制动。KM1 的能耗制动功能不是单独设置的，而是与主轴电动机 M1 的停止按钮合为一体的。在 M1 停转时，能耗制动贯穿于停止的全过程。

当主轴电动机 M1 启动后其转速达到 120r/min 时，速度继电器 KS 的动合触点（22 区）闭合，为主轴电动机 M1 停车制动做好了准备。需要停车时，按下停止按钮 SB3（15 区），中间继电器 K1 的线圈（15 区）、接触器 KM1 的线圈（17 区）、时间继电器 KT1 的线圈（21 区）、接触器 KM<sub>Δ</sub>线圈（26 区）先后失电断开，其接触器 KM1 切断了主轴电动机 M1 的电源，也接通了 KM3 线圈回路的电源，KM3 得电闭合，其主触点接通了桥式整流能耗制动电路（96~100 区），使主轴电动机 M1 进行能耗制动，工作台速度迅速下降。当主轴电动机 M1 的转速下降至 100r/min 以下时，速度继电器 KS 的动合触点断开，接触器 KM3 的线圈断电释放，断开桥式整流能耗制动电路，结束主轴电动机 M1 的制动过程。

④ 工作台的变速控制。主轴电动机 M1 拖动的工作台变速控制电路位于 28~32 区及 34~38 区。工作台的变速控制是通过改变变速开关 SA 的位置，电磁铁 YA1~YA4（35~38 区）和液压传动机构推动齿轮来完成的。工作台变速开关 SA 的触点 SA-1、SA-2、SA-3、SA-4 分别控制电磁铁 YA1、YA2、YA3、YA4 线圈电压的通断。调整转换开关 SA 的位置，可得到电磁铁 YA1、YA2、YA3、YA4 通断的不同组合，从而得到工作台各种不同的转速。表 4-9 列出了 SA 处于不同状态时 YA1~YA4 线圈不同的接通情况及工作台不同转速的情况。

表 4-9 SA 通断情况及转速表

电磁铁	SA 开关触点	花盘各级转速电磁铁及 SA 通断情况（“+”表示接通，“-”表示断开）															
		2	5.5	3.4	4	6	6.3	8	10	15.5	16	20	25	31.5	40	50	63
YA1	SA-1	-	+	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-
YA2	SA-2	+	+	-	-	+	+	-	+	+	-	-	+	+	-	-	-
YA3	SA-3	+	+	+	+	-	-	-	-	+	+	+	+	-	-	-	-
YA4	SA-4	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-

当工作台需要变速时，将 SA 扳至所需的转速位置，然后按下工作台变速启动按钮 SB7（31 区），中间继电器 K3 闭合，其动合触点自锁（32 区），时间继电器 KT4 闭合，同时中间继电器 K3 的动合触点（34 区）闭合，接通锁杆油路定位电磁铁 YA5 线圈的电源。定位电磁铁 YA5 动作，接通锁杆油路，压力油进入锁杆油缸，将锁杆抬起，并接通车床变速油路。锁杆抬起时又压合位置开关 SQ1，SQ1 的动合触点（28 区）闭合，中间继电器 K2（28 区）和时间继电器 KT2（29 区）得电闭合。中间继电器 K2 的动合触点（106 区）闭合，变速指示灯 HL2 点亮，35 区的动合触点闭合，通过 SA 接通了相应的电磁铁，压力油进入了相应的油缸，使拉杆和拨叉推动变速工作台得到相应的转速。时间继电器 KT2 闭合后，经过一定时间，其延时闭合动合触点（30 区）闭合，时间继电器 KT3 得电闭合，它的瞬时动合触点（19 区）闭合，使得接触器 KM1 和 KM<sub>Y</sub> 先后得电闭合，接通主轴电动机 M1 的电源，M1 短时启动运转，促使变速齿轮啮合。在时间继电器 KT3 得电闭合经过一定时间后，它的延时断开动断触点（29 区）断开，使得时间继电器 KT2 的线圈失电断开，KT2 的延时闭合动合触点反过

来又切断时间继电器 KT3 线圈回路的电源，KT3 线圈失电断开，使得接触器 KM1、KMY 的线圈失电释放，主轴电动机 M1 停转。

KT3 失电后，其 29 区的延时断开动断触点闭合，又接通了 KT2 线圈回路的电源，KT2 又得电闭合，又开始使主轴电动机 M1 短时启动运转。当齿轮啮合后，机械锁杆复位，松开位置开关 SQ1，SQ1 复位，中间继电器 K2、时间继电器 KT2 和 KT3 及电磁铁 YA1~YA4 断电，完成了工作台的变速。

### (3) 横梁升降电动机 M3 的控制

横梁是由夹紧机构夹紧在立柱上的，所以，在升降前必须先放松横梁的夹紧装置。放松横梁的夹紧装置是由液压系统来完成的。

① 横梁上升。按下横梁上升控制按钮 SB15 (65 区)，中间继电器 K12 的线圈 (68 区) 得电闭合，它的动合触点 (63、33 区) 闭合。其 33 区的动合触点闭合后，接通横梁放松电磁铁 YA6 的线圈通路，YA6 得电动作，接通液压系统油路，使横梁夹紧机构放松，位置开关 SQ7、SQ8、SQ9、SQ10 (63 区) 复位闭合，接通接触器 KM9 的线圈回路电源。KM9 得电，其主触点闭合，横梁升降电动机 M3 正向启动运转，带动横梁上升。当横梁上升到需要高度时，松开 SB15，中间继电器 K12 失电断开 (68 区)，接触器 KM9 也失电断开，横梁升降电动机 M3 停转，横梁停止上升。同时 33 区和 63 区中间继电器 K12 的动合触点断开，电磁铁 YA6 断电释放复位，接通液压系统油路，使夹紧装置将横梁夹紧在立柱上，完成横梁上升控制。

② 横梁下降。当需要横梁下降时，按下横梁升降电动机 M3 的反向启动按钮 (横梁下降按钮) SB14 (64 区)，断电延时时间继电器 KT8 (66 区) 的线圈得电，其 67 区的瞬时闭合延时断开动合触点闭合，断电延时时间继电器 KT9 得电闭合，其 69 区的瞬时闭合延时断开触点闭合，使中间继电器 K12 得电闭合。KA12 的动合触点 (33 区) 闭合，接通了 YA6 电磁铁线圈电源。YA6 得电动作，液压系统将横梁放松，使位置开关 SQ7、SQ8、SQ9、SQ10 (63 区) 复位闭合，接通了接触器 KM10 的线圈回路电源 (65 区)。接触器 KM10 闭合，其主触点闭合，横梁升降电动机反转，带动横梁下降。当横梁下降到一定高度时，松开 SB14，时间继电器 KT8 失电，KT8 的通电瞬时闭合断电延时断开触点 (67 区) 断开，切断时间继电器 KT9 的线圈电源，断电延时时间继电器 KT9 失电释放。由于 KT9 动合触点 (69 区) 的延时作用，中间继电器 K12 仍得电。这样，接触器 KM9 便获电吸合，横梁电动机 M3 正转。这时由于横梁下降后尚未夹紧，所以横梁将短时回升，主要是为了消除蜗轮与蜗杆的啮合间隙。当 KT9 的动合触点延时断开后，KA12 线圈断电释放，横梁被夹紧。

### (4) 刀架控制

① 右立刀架快速移动电动机 M4 的控制。将十字选择开关 SA1 (47 区~50 区) 扳至“向左”位置，让 47 区的动合触点吸合，使中间继电器 K4 得电，其动合触点 (72 区) 闭合，接通右立刀架向左离合器 YC1 电磁铁线圈电源，YC1 闭合，右立刀架向左离合器齿轮啮合，为右立刀架向左快速移动做好准备。按下右立刀架快速移动电动机 M4 的启动按钮 SB8 (39 区)，接触器 KM5 得电，右立刀架快速移动电动机 M4 启动运转，带动右立刀架快速向左移动。松开启动按钮 SB8，接触器 KM5 断电，右立刀架快速移动电动机 M4 停转，右立刀架停止移动。

同理，将十字选择开关 SA1 扳至“向右”、“向上”、“向下”位置，分别可使右立刀架

各移动方向的电磁离合器 YC2~YC4 (74~79 区) 动作, 使右立刀架向右、向上、向下快速移动。

左立刀架各移动方向的快速移动控制是通过将十字选择开关 SA2 (59~62 区) 扳至不同方位来控制离合器 YC9~YC12 (89~95 区) 的通断及由左立刀架快速移动电动机 M6 的启动按钮 SB11 (51 区) 控制 M6 来实现的, 其工作原理与右立刀架向左快速移动相同, 这里不再重复叙述, 请读者自行分析。

② 右立刀架进给电动机 M5 的控制。右立刀架进给电动机 M5 由接触器 KM6 控制其电源的通断, 它的控制电路在 43 区和 44 区。工作台拖动电动机 M1 启动后, 中间继电器 K1 闭合, K1 的动合触点 (43 区) 闭合。合上单极开关 SA3 (43 区), 按下右立刀架进给电动机 M5 的启动按钮 SB10, 接触器 KM6 得电并自锁, 其主触点接通右立刀架进给电动机 M5 的电源, M5 启动运转, 带动右立刀架工作进给。按下右立刀架进给电动机 M5 的停止按钮 SB9, 接触器 KM6 失电, 其主触点断开 M5 的电源, M5 停转, 进给工作停止。

同理, 可分析左立刀架进给电动机 M7 的控制过程, 它由接触器 KM8 控制其电源的通断, 其控制电路在 55 区和 56 区, 请读者自行分析。

③ 左、右立刀架快速移动和进给制动控制。在上述左、右立刀架快速移动控制和左、右立刀架进给控制的过程中, 当接通接触器 KM5 或 KM6 及接触器 KM7 或 KM8 线圈回路时, 断电延时时间继电器 KT6 (45 区) 或 KT7 (57 区) 将会闭合, 其瞬时闭合延时断开触点 KT6 (80 区)、KT7 (84 区) 闭合。在松开左、右立刀架快速移动按钮及按下左、右立刀架进给停止按钮时, 时间继电器 KT6、KT7 断电延时, 在一定时间内, 其 80 区和 84 区的瞬时闭合延时断开触点仍然闭合。当欲停止左、右立刀架快速移动和进给运动时, 由于惯性的作用, 左、右立刀架快速移动和左、右刀架进给运动不能立即停止, 此时只需分别按下左、右立刀架垂直和水平制动离合器按钮 SB16 (80 区) 或 SB17 (84 区), 分别接通对应的制动离合器 YC5、YC6、YC7、YC8 (80~87 区) 的线圈电源, 使制动离合器动作, 对左、右立刀架的快速移动和进给进行制动。

### 3. 各运动连锁控制

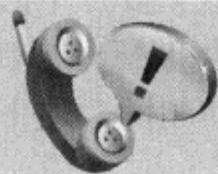
① 工作台运转与工作台变速系统及横梁的升降通过中间继电器 K1 和位置开关 SQ1 进行连锁, 当主轴电动机带动工作台运转时, KA1 的动断触点 (28 区) 断开, 车床工作台变速系统断电, 中间继电器 K1 的另一动断触点 (59 区) 断开, 切断横梁升降电路。工作台在变速时由锁杆压动行程开关 SQ1 (15 区) 断开, 工作台也不能启动。

② 位置开关 SQ3、SQ4 用于右立刀架左、右运动的限位保护, SQ5、SQ6 用于左立刀架左、右运动的限位保护, SQ11、SQ12 用于横梁上、下限位保护。

### 4. 工作照明和工作信号控制

机床工作照明和工作信号电路在 101~108 区中。EL1、E12 为机床工作照明灯 (102~103 区)。HL1 为机床润滑油正常指示灯, 当 M2 运行时, 压力继电器 KP (105 区) 的动合触点吸合, HL1 点亮。HL2 为工作台变速指示灯, 当工作台进行变速时, 中间继电器 K2 (28 区) 得电, 其动合触点 (106 区) 吸合, HL2 点亮。HL3 为右立刀架进给指示灯 (107 区)。

HL4 为左立刀架进给指示灯（108 区），当接触器 KM8 的主触点闭合时，左立刀架进给电动机 M7 启动运行，HL4 点亮。



提示

C5225 型车床的主电路和控制电路看起来好像比较复杂，其实并不难分析。按照分区法一点一点去分析，就会发现规律。



想一想

C5225 型车床左立刀架快速移动控制电路是怎样工作的？请你把它的工作过程写出来。

#### 4.1.8

### Y3150 型滚齿机电气控制电路

——刀架电机正反转，限位开关控触点

Y3150 型滚齿机适用于成批或单件生产加工各种圆柱形工件、圆柱形齿轮、螺旋齿轮和涡轮，可作顺铣法或逆铣法加工，以提高生产效率。

Y3150 型滚齿机电气控制电路如图 4-12 所示。该电路中有两台电动机，其中 M1 是刀架电动机，为正反转点动和单向启动运行；M2 为冷却泵电动机，由转换开关控制正转开停，它的控制电路中带有正反转限位开关。

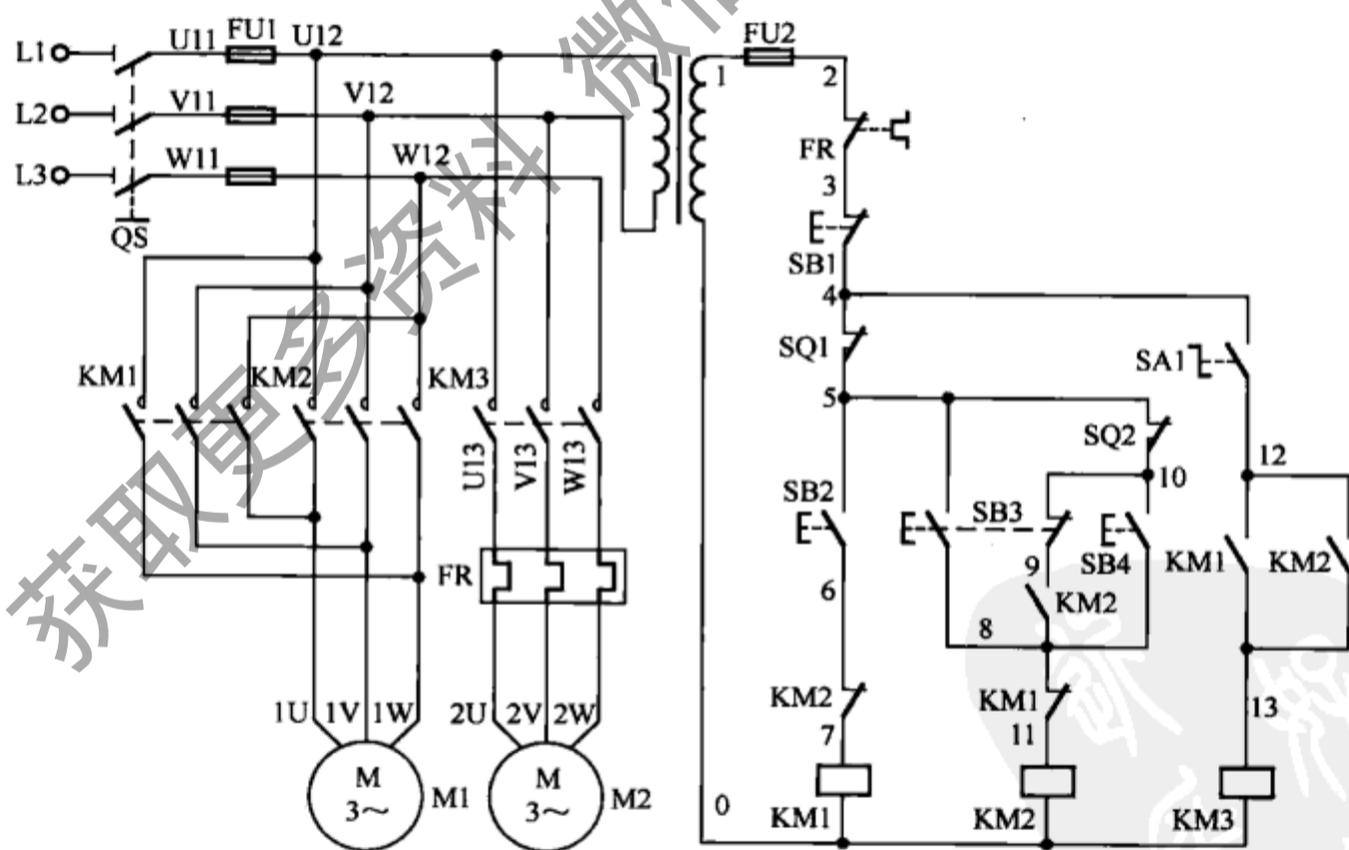


图 4-12 Y3150 型滚齿机电气控制电路

#### 1. 主轴电动机 M1 的控制

按下启动按钮 SB4，KM2 得电吸合并自锁，其主触点闭合，电动机 M1 启动运转。按下

停止按钮 SB1, KM2 失电释放, M1 停转。

按下点动按钮 SB2, KM1 得电吸合, 电动机 M1 反转, 使刀架快速向下移动; 松开 SB2, KM1 失电释放, M1 停转。

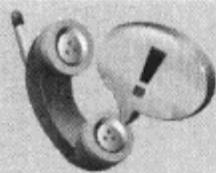
按下点动按钮 SB3, 其动合触点 (5-8) 闭合, 使 KM2 得电吸合, 其主触点闭合, 电动机 M1 正转, 使刀架快速向上移动, SB3 的动断触点 SB3 (9-10) 断开, 切断 KM2 的自锁回路; 松开 SB3, KM2 失电释放, 电动机 M1 失电停转。

## 2. 冷却泵电动机 M2 的控制

在主轴电动机 M1 启动后, 闭合旋钮开关 SA1, 使 KM3 得电吸合, 其主触点闭合, 电动机 M2 启动, 供给冷却液。

在 KM1 和 KM2 线圈回路中有行程开关 SQ1。SQ1 为滚刀架工作行程的极限开关, 当刀架超过工作行程时, 撞铁撞到 SQ1, 其动断触点 (4-5) 断开, 切断 KM1、KM2 的控制电路电源, 使机床停车。这时若要开车, 则必须先用机械手柄把滚刀架摇到使挡铁离开行程开关 SQ1, 让行程开关 SQ1 的触点 (4-5) 复位闭合, 然后机床才能工作。

在 KM2 线圈回路中还有行程开关 SQ2, SQ2 为终点极限开关。当工件加工完毕时, 装在刀架滑块上的挡铁撞到 SQ2, 使其动断触点 (5-10) 断开, KM2 失电释放, 电动机 M1 自动停车。



**提示**

行程开关 SQ1 需要手动复位, SQ2 可自动复位。

### 4.1.9

#### M1432 A 万能外圆磨床电气控制电路

——电机均设保护件, 电气触点认真看

M1432A 型万能外圆磨床可以用来加工外圆柱面及外圆锥面, 利用磨床上配备的内圆磨具还可以磨削内圆柱面和内圆锥面, 也能磨削阶梯轴的轴肩和端平面。M1432A 型万能外圆磨床的电气控制电路如图 4-13 所示。

该磨床共用 5 台电动机拖动: 液压泵电动机 M1、头架电动机 M2、内圆砂轮电动机 M3、外圆砂轮电动机 M4 和冷却泵电动机 M5。

砂轮电动机只需单向转动, 内圆砂轮主轴由砂轮电动机 M3 经传动带直接驱动, 外圆砂轮主轴由砂轮架电动机 M4 经三角带直接传动, 两台电动机之间有连锁。头架电动机 M2 用于带动工件旋转运动。M2 经塔轮式传动, 再经两组 V 形带传动, 带动天架的拨盘或卡盘旋转, 从而获得 6 种不同的转速。工作台的纵向往复运动采用液压传动, 实现平稳换向和无级调整。砂轮架周期自动进给和快速进退也是采用液压传动来实现的, 液压泵由液压泵电动机 M1 拖动, 要求只有 M1 启动后其他电动机才能启动。当内圆磨头插入工件内腔时, 砂轮架不允许快速移动以免造成事故。冷却泵电动机 M5 拖动冷却泵旋转, 供给砂轮和工件冷却液。

元器件型号及规格见表 4-10。

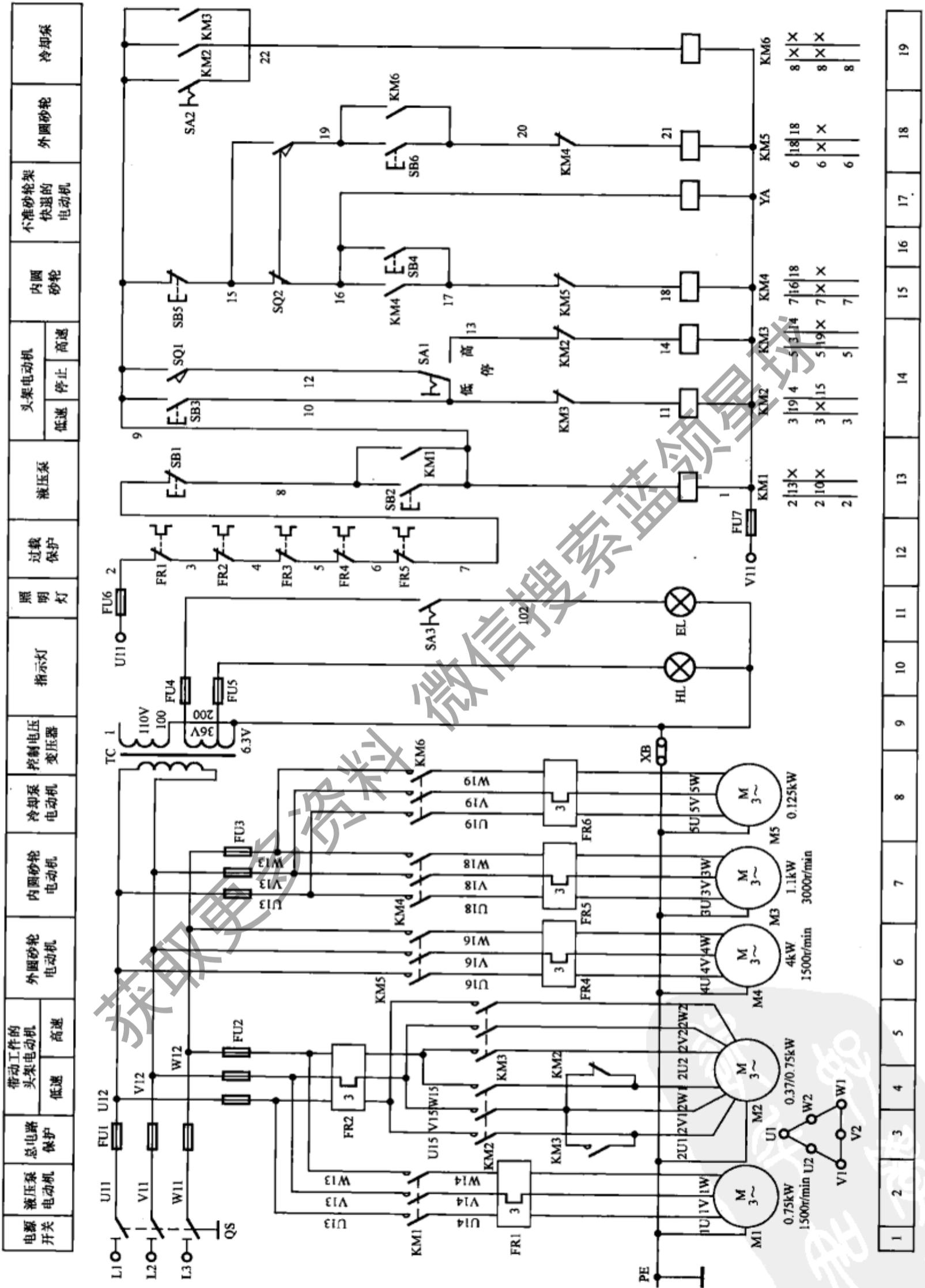


图 4-13 M1432A 型万能外圆磨床的电气控制电路

表 4-10

元器件型号及规格

代 号	名 称	型 号	规 格
M1	液压泵电动机	Y802-4/B5	0.75kW、380V、4极、1500r/min
M2	头架电动机	YUD90LA-814	0.37/5kW、380V、4极
M3	内圆砂轮电动机	Y302-2	1.1kW、380V、2极、3000r/min
M4	外圆砂轮电动机	Y112M-4	4kW、380V、4极、1500r/min
M5	冷却泵电动机	DB-25	0.125kW、380V、2极
KM	交流接触器	CJ10-10	380V、10A、线圈电压 380V
FR	热继电器	JR16B-20/3	20A、3极
FU1	螺旋式熔断器	RL1-60/25	380V、60A 配熔体 25A
FU2	螺旋式熔断器	RL1-15/10	380V、15A 配熔体 10A
FU3	螺旋式熔断器	RL1-15/10	380V、15A 配熔体 10A
FU4	螺旋式熔断器	RL1-15/2	380V、15A 配熔体 2A
FU5~FU7	熔断器	RL1-15/2	380V、15A 配熔体 2A
SA1	转速选择开关	LAY3-22*13	单极 3 位, 380V、6A
SA2	冷却泵开关	LAY3-11x/2	单极 3 位, 380V、6A
SA3	照明开关	LAY3-11x/2	单极 3 位, 380V、6A
SB	按钮	LA10-3H	380V、5A、3 位
SQ	位置开关	LX1-111	380V、5A
YA	电磁铁	MQW-0.7	380V、0.7A
TC	变压器	BKC-150	380/36V、24V、6V
EL	照明灯	JC6-1	24V、40W
HL	指示灯	DS22-2/T	0.15A、6~8V

## 1. 主电路

M1432A 型万能外圆磨床的主电路中共使用了 5 台电动机, 这 5 台电动机设置有短路和过载保护元件。M1 是液压泵电动机, 给液压传动系统提供压力油, 由 KM1 控制。M2 是双速电动机(叫头架电动机), 是带动工件旋转的电动机, 由 KM2、KM3 实现低速和高速控制。M3 是内圆砂轮电动机, 由 KM4 控制。M4 是外圆砂轮电动机, 由 KM5 控制。M5 是冷却泵电动机, 用于给砂轮和工件提供冷却液, 它由 KM6 控制。FU1 作为线路总的短路保护元件, FU2 作为 M1 和 M2 的短路保护元件, FU3 作为 M3 和 M5 的短路保护元件。

## 2. 控制电路

### (1) 液压泵电动机 M1 的控制

M1432A 型万能外圆磨床砂轮架的横向进给、工作台纵向往复进给及砂轮架快速进退等

运动都是采用液压传动，液压传动时需要的压力油由电动机 M1 带动液压泵供给。

启动时按下启动按钮 SB2，接触器 KM1 的线圈得电吸合，KM1 的主触点闭合，液压泵电动机 M1 启动。

除了接触器 KM1 之外，其余的接触器所需的电源都从接触器 KM1 的自锁触点后面接出，所以，只有当液压泵电动机 M1 启动后，其余的电动机才能启动。

### (2) 头架电动机 M2 的控制

头架是安装工件和使工件转动的部分。根据工件直径的大小以及粗磨和精磨的不同，头架的转速是需要调整的，一般是采用塔式带轮调换转速。

M1432A 型万能外圆磨床采用了双速电动机和塔式带轮，这样可得到更宽的调速范围和加倍的调速级数。

图中 SA1 是转速选择开关，分“低”、“停”、“高”3 挡位置。如果将 SA1 扳到“低”挡位置，按下液压泵电动机 M1 的启动按钮 SB2，接触器 KM1 的线圈得电吸合，液压泵电动机 M1 启动，通过液压传动使砂轮架快速前进。当砂轮架接近工件时压合行程开关 SQ1，接触器 KM2 的线圈得电吸合，它的主触点将头架电动机 M2 的绕组接成三角形，电动机 M2 低速运转。同理，若将转速选择开关 SA1 扳到“高”挡位置，砂轮架快速前进压合行程开关 SQ1，接触器 KM3 的线圈得电吸合，它的主触点闭合，将头架电动机 M2 接成双星形，电动机 M2 高速运转。

SB3 是点动按钮，便于对工件进行校正和调试。磨削完毕，砂轮架退回原处，行程开关 SQ1 复位断开，电动机 M2 自动停转。

### (3) 内、外圆砂轮电动机 M3 和 M4 的控制

内圆砂轮电动机 M3 由接触器 KM4 控制，外圆砂轮电动机 M4 由接触器 KM5 控制。内、外圆砂轮电动机不能同时启动，由行程开关 SQ2 对它们进行连锁。当进行外圆磨削时，把砂轮架上的内圆磨具往上翻，它的后侧压住行程开关 SQ2，SQ2 的动合触点闭合。按下启动按钮 SB4，接触器 KM5 的线圈得电吸合，外圆砂轮电动机 M4 启动。若进行内圆磨削，将内圆磨具翻下，行程开关 SQ2 复原，按下 SB4，接触器 KM4 线圈得电吸合，内圆砂轮电动机 M3 启动。内圆砂轮磨削时，砂轮架是不允许快速退回的，因为此时内圆磨头在工件的内孔中，若砂轮架快速移动，易造成磨头损坏及工件报废的严重事故。为此，内圆磨削与砂轮架的快速退回应进行连锁。

当内圆磨具翻下时，由于行程开关 SQ2 复位，电磁铁 YA 的线圈得电吸合，砂轮架快速进退的操纵手柄锁住液压回路，使砂轮架不能快速退回。

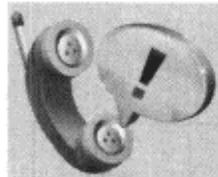
### (4) 冷却泵电动机 M5 的控制

当接触器 KM2 或 KM3 的线圈得电吸合时，头架电动机 M2 启动，同时由于 KM2 或 KM3 的动合辅助触点闭合，接触器 KM6 的线圈得电，KM6 的主触点闭合，冷却泵电动机 M5 启动。修整砂轮时，不需要启动头架电动机 M2，但要启动冷却泵电动机 M5。因此，备有转换开关 SA2，以便在修整砂轮时用来控制冷却泵电动机。

## 3. 电路保护及照明指示

5 台电动机分别配有热继电器 FR1、FR2、FR3、FR4 和 FR5 进行过载保护，熔断器 FU1、FU2 和 FU3 进行短路保护。

控制电路中还装有刻度指示灯 HL1、液压泵启动指示灯 HL2 和机床照明灯 EL。QS2 为 24V 机床照明灯的开关。



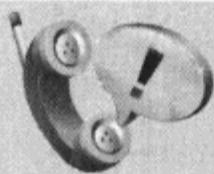
**提示**

主电路中有 5 台电动机，整个控制回路中有 5 条独立的小回路，对电路中的每一个回路、电器中的每一个触点的作用都应了解清楚，为分析控制过程做准备。由控制变压器 TC 将 380V 交流电压降为 110V、24V 和 6V，其中 110V 电压供给控制回路，24V 供给照明电路，6V 作为信号电路的电源。



**想一想**

若 M1432A 型万能外圆磨床的 5 台电动机都不能启动，应如何检修？



**提示**

①检查总熔断器 FU1 的熔体是否熔断；②分别检查 5 台电动机的热继电器是否脱扣，因为只要有一台电动机过载，它的热继电器脱扣就会使整个控制电路的电源被切断，若遇此情况时待热继电器复位后便可修复，但要查明这台电动机过载的原因并予以修复；③检查接触器 KM1 线圈的接线端是否脱落或断路，启动按钮 SB2 和停止按钮 SB1 的接线是否脱落、接触是否良好等，这些故障都会造成接触器 KM1 不能吸合及液压泵电动机 M1 不能启动，其余 4 台电动机也因此而不能启动。

#### 4.1.10

### T612 型卧式镗床电气控制电路

——主轴点动靠按钮，停车反接高要求

图 4-14 所示为 T612 型卧式镗床电气控制电路。

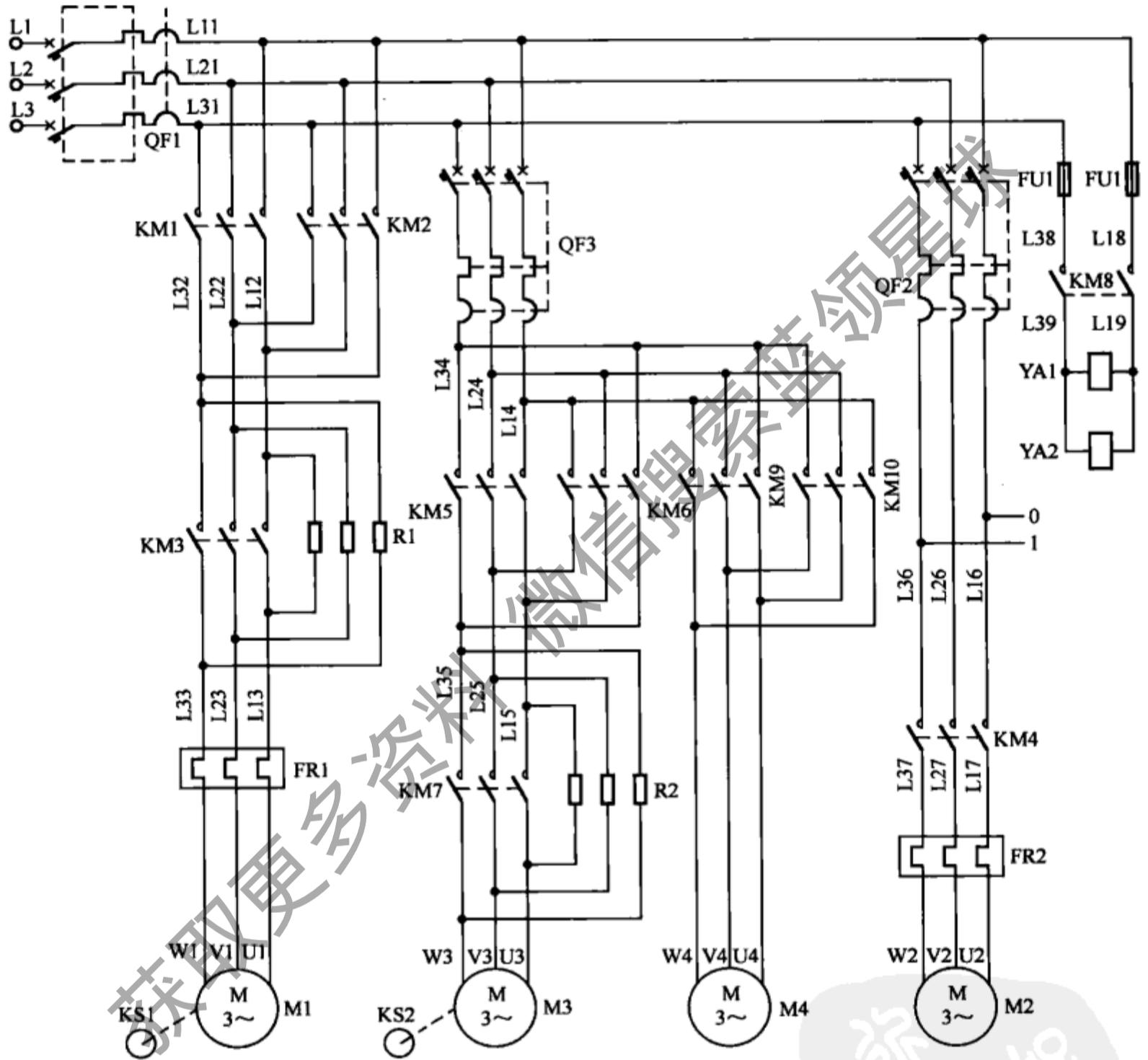
#### 1. 主电路

T612 型卧式镗床主电路采用 380V 三相交流电源供电，其控制回路、照明灯、指示灯则由控制变压器 TC 降压供电，电压分别为 127V、36V、6.3V。

M1 为主轴电动机，由接触器 KM1、KM2 控制；KM3 用于短接制动限流电阻 R1；热继电器 FR1 作为主轴电动机 M1 的过载保护元件；M2 为油泵电动机，由接触器 KM4 控制，热继电器 FR2 用于为油泵电动机提供过载保护；M3 为快速移动电动机，由接触器 KM5、KM6 控制；KM7 用来短接反接制动电阻 R2；M4 为工作台回转电动机，由接触器 KM9、KM10 控制。

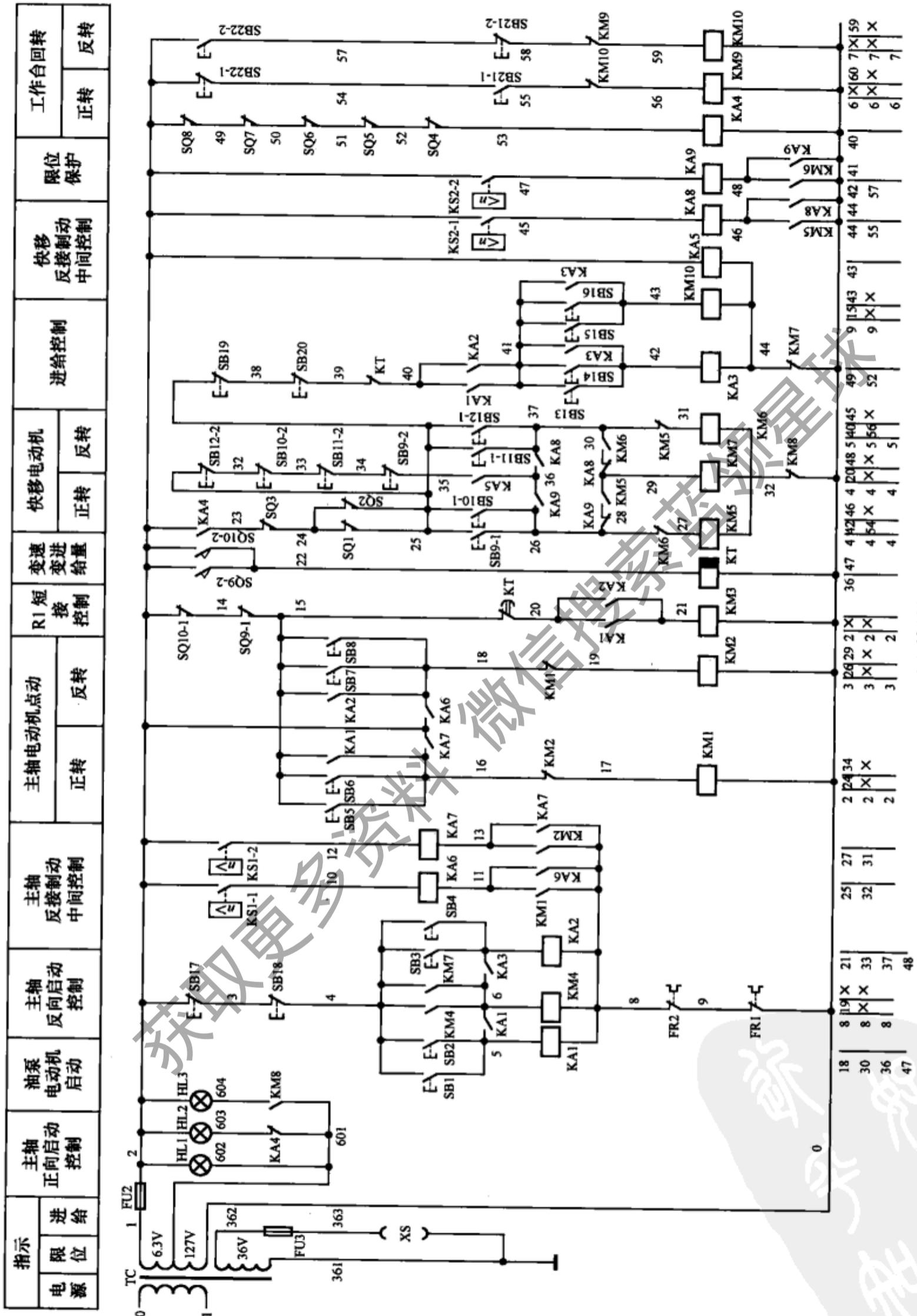
低压断路器 QF1 是机床的电源总开关，QF2 是油泵电动机 M2 和控制回路电源的开关，QF3 是快速移动电动机 M3 和工作台回转电动机 M4 的开关。QF1、QF2、QF3 均兼有短路保护和过载保护的功能。当 QF1、QF2 合上时，控制变压器 TC 的一次绕组接通电源，操纵台上的信号指示灯 HL1 点亮。

电源开关	主轴电动机	快移电动机	工作台回转电动机	油泵电动机	进给控制电磁铁	控制电源	工作照明
------	-------	-------	----------	-------	---------	------	------



(a) 主电路

图 4-14 T612 型卧式镗床电气控制电路



(b) 控制电路  
图 4-14 T612 型卧式镗床电气控制电路 (续)

## 2. 主轴电机 M1 的控制

### (1) 主轴正反转控制

由正、反转启动按钮 SB1 (或 SB2)、SB3 (或 SB4), 正、反转启动中间继电器 KA1、KA2, 正、反转接触器 KM1、KM2 组成主轴启动控制电路。

按下启动按钮 SB1 或 SB2, KA1 的动合触点闭合, KM1、KM3 和 KM4 线圈均得电, KM3 的主触点闭合, 短接限流电阻 R1, KM4 的主触点闭合, 使油泵电动机 M2 启动, KM1 的主触点闭合, 主轴电动机 M1 工作, 并且主轴电动机通过油泵电动机的控制接触器 KM4 完成自锁, 保证了机床工作时的润滑。

反向启动过程与正向启动基本相同, 参与控制的电器是反向启动按钮 SB3 (或 SB4)、中间继电器 KA2、反转接触器 KM2 和接触器 KM3。

### (2) 主轴停车反接制动控制

由主轴停车按钮 SB17 (或 SB18), 速度继电器 KS1-1, 中间继电器 KA6、KA7, 接触器 KM1、KM2、KM3 等组成主轴的反接制动控制电路。

如果主轴电动机 M1 停车前为正向转动, KA1、KM4、KM1、KM3 得电吸合, 速度继电器 KS1-1 的正转动合触点闭合, 中间继电器 KA6 得电并自锁, 为反接制动做好准备。需要停车时, 按下主轴停止按钮 SB17 或 SB18, KA1、KM4、KM1、KM3 线圈失电, 触点释放复位, KA6 的动合触点闭合使 KM2 的线圈得电, KM2 的主触点闭合, M1 串入限流电阻 R1 进行反接制动。当速度下降到 100r/min 时, 速度继电器 KS1-1 的动合触点断开, KA6、KM2 的线圈失电, 触点复位, 主轴电动机 M1 停车, 制动结束。

反向转动时的制动过程与正向转动时的制动过程基本一致, 参与控制的电器是速度继电器 KS1-2 的反转动合触点、中间继电器 KA7 和接触器 KM1。

### (3) 主轴点动控制

由正、反转点动按钮 SB5 (或 SB6)、SB7 (或 SB8) 以及正、反转接触器 KM1、KM2 组成主轴的正反转点动控制电路。

按下正向点动按钮 SB5 (或 SB6), 正转接触器 KM1 得电, 主轴电动机 M1 串入限流电阻 R1 低速正向旋转。松开 SB5 (或 SB6), 电动机通过速度继电器 KS1-1 的正转动合触点、中间继电器 KA6、反转接触器 KM2 制动停车。

反向点动与正向点动的动作过程相似, 参与控制的电器是按钮 SB7 (或 SB8) 和接触器 KM2。

## 3. 限位保护

限位保护电路由中间继电器 KA4 以及位置开关 SQ4、SQ5、SQ6、SQ7 和 SQ8 组成。其中 SQ4 用于限制上滑座行程, SQ5 用于限制下滑座行程, SQ6 用于限制主轴返回行程, SQ7 用于限制主轴伸出移动行程, SQ8 用于限制主轴行程。限位开关均未动作时, KA4 线圈得电, 其动合触点接通进给及快速移动的控制电路。

## 4. 进给控制

进给运动方式有自动进给和点动进给, 由自动进给按钮 SB13 (或 SB14)、点动进给

按钮 SB15 (或 SB16)、继电器 KA3、接触器 KM8 和牵引电磁铁 YA1、YA2 组成进给控制电路。

按下自动进给按钮 SB13 (或 SB14), 继电器 KA3 的线圈得电并自锁, KA3 的动合触点闭合, 接通接触器 KM8 线圈的电源, 使牵引电磁铁 YA1、YA2 得电吸合, 进给信号灯 HL3 点亮, 表明自动进给开始。

按下点动进给按钮 SB15 (或 SB16) 时, 接触器 KM8 直接得电吸合, 但不能自锁, 牵引电磁铁 YA1、YA2 吸合, 点动进给开始; 松开 SB15 (或 SB16) 时, KM8、YA1、YA2 相继断电, 点动进给停止。

### 5. 主轴变速与进给量变换的控制

需要主轴直接变速动作时, 可拉出主轴变速手柄, 将位置开关 SQ9 压下, SQ9-1 断开, 使 KM1、KM3 线圈失电, M1 断电; SQ9-2 闭合, 使 KT 的线圈得电, KT 的动断触点断开, 切断控制电路电源。与此同时, KT 的延时闭合动断触点断开, KS1-1 由于惯性闭合, KA6、KM2 得电, M1 串入限流电阻 R1 对电动机反接制动。当速度下降到 100r/min 时, 速度继电器 KS1-1 的动合触点断开, KA6、KM2 线圈失电, 触点复位, 主轴电动机 M1 停车。

如果齿轮啮合不好, 则应将变速手柄拉出, 然后再次推入, 使位置开关 SQ9-1 的触点瞬时闭合, 主轴电动机 M1 瞬时旋转, 直到齿轮啮合良好。

进给量变换的工作过程与主轴变速基本相同, 不同之处是拉出的是进给变速手柄, 受压动作的是进给量变换位置开关 SQ10。

### 6. 快速移动电动机 M3 的控制

可动机构的快速移动通过电动机 M3 来驱动。由正向快速移动按钮 SB9 (或 SB10), 反向快速移动按钮 SB11 (或 SB12), 正、反转接触器 KM5、KM6, 限流电阻 R2 及其控制接触器 KM7, 速度继电器 KS2, 中间继电器 KA8、KA9 等组成快速移动及快速移动制动控制电路。

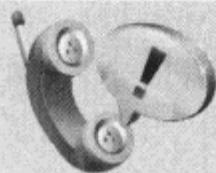
按下 SB9 (或 SB10), KM5 线圈得电, 其动合触点闭合, 使 KM7 线圈得电, KM7 的主触点闭合, 从而短接限流电阻 R2; KM5 的动断触点断开, 形成互锁; KM5 的主触点闭合, 快速移动电动机 M3 正转。当速度高于 120r/min 时, 速度继电器 KS2-1 闭合, KA8 的线圈得电, KA8 的动合触点闭合, 为接触器 KM6 的线圈得电和 M3 反接制动做好准备。同时, KA8 的动断触点断开且互锁, KA8 的动合触点闭合且自锁。松开 SB9 (或 SB10), KM5 和 KM7 的线圈失电, 触点复位, M3 惯性运转, 使 KA5 线圈得电, KA5 的动合触点闭合, KM6 的线圈得电, KM6 的主触点闭合, 使 M3 串入电阻 R2 反接制动。当速度下降到 100r/min 时, 速度继电器 KS2-1 的动合触点断开, KA8、KM6 的线圈失电, 触点复位, 主轴电动机 M3 断电停车。

反向快速移动的工作过程与正向快速移动的工作过程相似, 参与控制的电器是按钮 SB11 (或 SB12), 接触器 KM6、KM5、KM7, 速度继电器 KS2-2 的反转动合触点, 中间继电器 KA5 和 KA9。

为了避免快速移动和进给运动同时发生, 电路中通过接触器 KM8 和 KM7 的动断触点来实现互锁。

## 7. 工作台回转电动机 M4 的控制

工作台回转电动机 M4 由回转正、反转点动控制按钮 SB21、SB22 和正、反转接触器 KM9、KM10 进行控制。当按下按钮 SB21 或 SB22 时，接触器 KM9 或 KM10 的线圈得电吸合，电动机 M4 带动工作台正向或反向回转。



**提示**

位置开关 SQ1 和 SQ2 组成工作台横向进给或主轴箱进给与主轴或平旋盘进给的互锁电路。当两种进给的操纵手柄同时合上时，SQ1 和 SQ2 都被压下，其动断触点断开，切断进给和快速控制电路电源，保证两种进给不会同时发生，可避免损坏机床和刀具。

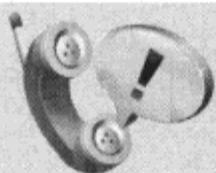
变速时，时间继电器 KT 得电，KT 的瞬时动断触点切断进给控制电路电源，保证主轴变速和进给量变换时不会发生进给运动。



**想一想**

① T612 型卧式镗床若出现主轴电动机停车时无制动作用故障，如何检修？请写出检修流程。

② T612 型卧式镗床出现点动进给正常而不能自动进给的故障时，如何检修？请写出检修流程。



**提示**

① 如果主轴电动机在正、反转运行时均不能制动，故障是 KS1 的胶木摆杆断裂，此外速度继电器内部元件异常也会造成该故障。如果是正向运转时不能制动，故障是 KA6 线圈回路中存在断点或 KA6 的动合触点有故障。如果是反向运转时不能制动，故障是 KA7 线圈回路中存在断点或 KA7 的动合触点故障。

② 通常为继电器 KA3 的线圈断线，KA3 的动合触点接触不良、接线松脱，自动进给按钮 SB13 或 SB14 接触不良。

### 帮 忙

在邮局大厅内，一位老太太走到一个中年人跟前客气地说：“先生，请帮我在明信片上写上地址好吗？”

“当然可以！”中年人按老人的要求做了。

老太太又说：“再帮我写上一小段话，好吗？谢谢！”

“好吧！”中年人照老太太的话写好后，微笑着问道：“还有什么要帮忙的吗？”

“嗯，确实还有一件小事。”老太太看着明信片说，“帮我在下面再加一句：字迹潦草，敬请原谅。”



## 4.2 建筑工地机电设备控制电路——电闸控制筑高楼

建筑工地设备多，机电设备占一半。  
 建筑施工活多变，天天要拉临时线。  
 注意多用软电缆，少用橡皮绝缘线。  
 如果电机选保险，额定电流两倍半。  
 合闸电机不动弹，准是电源断了电。  
 要是电机摇摇头，说明定是二相电。  
 憋得电机咕咕叫，料装太多快减限。  
 电机接地别忘掉，避免人体会触电。  
 电压过低闸老跳，设法提高用调变。  
 电机发热味不正，绕组故障要查验。  
 轴承故障响声大，换油或者轴承换。  
 设备安装在室外，防水防潮防雷电。  
 机电设备出故障，专业电工修或换。  
 安全措施请记牢，工程施工永无患。

为加快工程进度，提高工作效率，节约人工成本，建筑工地施工中使用了許多机电设备。本节介绍电动葫芦、塔式起重机、空压机、混凝土搅拌机和磨石机等几种最常用的建筑工地机电设备的电路原理，供读者参考。

### 4.2.1 电动葫芦电气控制电路 ——升降移动安全保护，各自工作分析清楚

电动葫芦是将电动机、减速器、卷筒、制动器和运行小车等紧凑地合为一体的起重机械，其典型电气控制电路如图 4-15 所示。

主电路三相电源通过开关 QS、熔断器 FU1 后分成两条支路。第一条支路通过接触器 KM1 和 KM2 的主触点到笼型电动机 M1，再从其中的电源分出 380V 电压控制电磁抱闸，完成吊钩悬挂重物时的升、降、制动等动作。第二条支路通过接触器 KM3 和 KM4 的主触点到笼型电动机 M2，完成行车在水平面内沿导轨的前后移动。

#### (1) 升降机构动作过程

**上升过程：**按下上升按钮 SB1，接触器 KM1 的线圈得电，KM1 的主触点闭合，接通电动机 M1 和电磁抱闸电源，电磁抱闸松开闸瓦，M1 通电正转，提升重物。同时，SB1 的动断触点 (2-7) 分断，KM1 的动断辅助触点 (9-1) 分断，与控制吊钩下降的 KM2 控制电路连锁。

**制动过程：**当重物提升到指定高度时，松开 SB1，KM1 断电释放，主电路断开 M1 的电源，电磁抱闸断电。闸瓦合拢，对电动机 M1 制动，使其迅速停转。

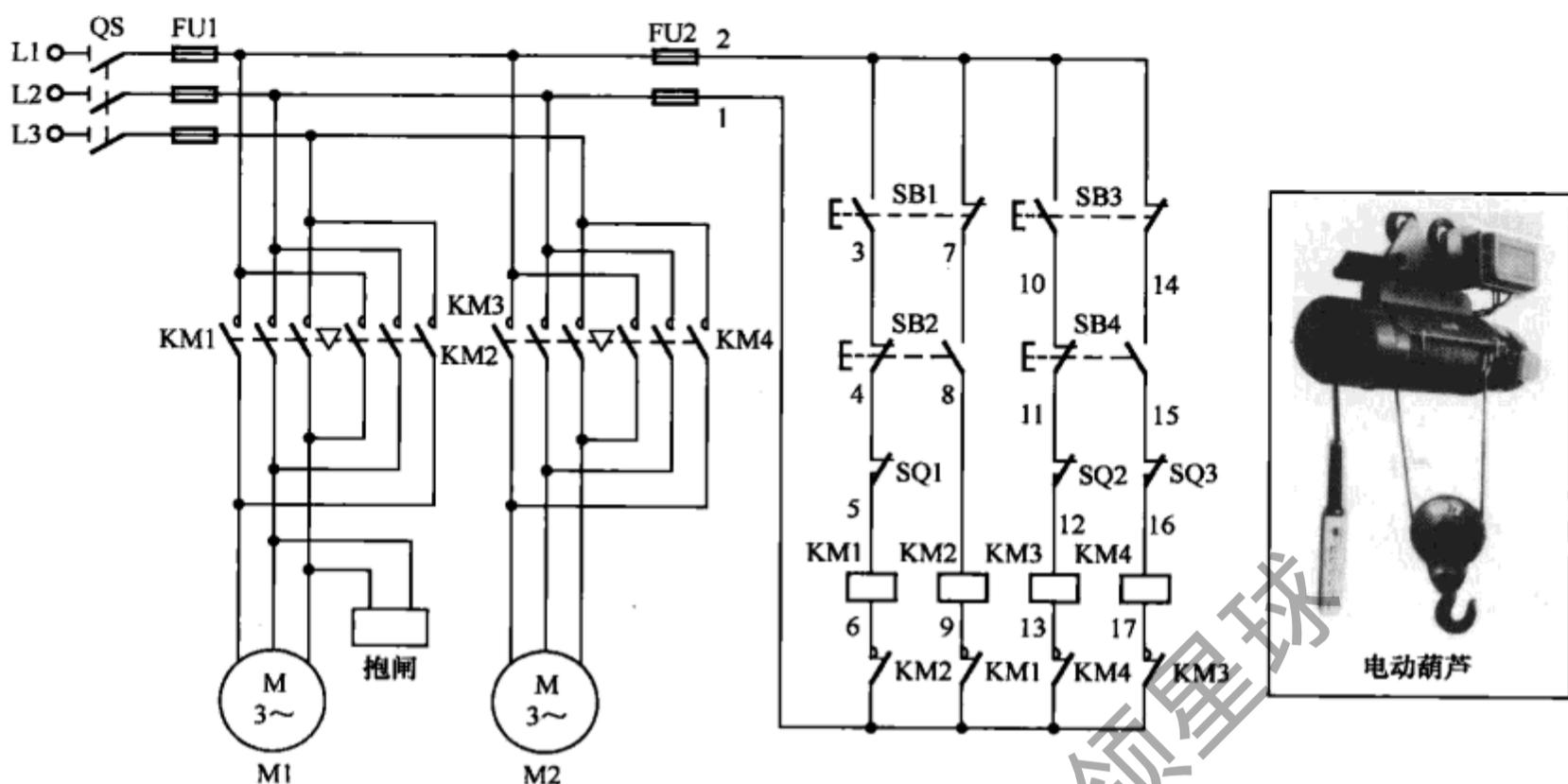


图 4-15 电动葫芦电气控制电路

下降过程：按下按钮 SB2，接通接触器 KM2，KM2 得电，主触点闭合，松开电磁抱闸且电动机 M1 反转，吊钩下降。

制动过程：当下降到要求高度时，松开 SB2，KM2 断电释放，主电路断开 M1 的电源，电磁抱闸因断电而对电动机制动，下降动作迅速停止。

### (2) 移动机构动作过程

前进过程：按下前进按钮 SB3，接触器 KM3 的线圈得电，KM3 的主触点闭合，电动机 M2 通电正转，电动葫芦前进。

前进停止过程：松开 SB3，KM3 断电释放，电动机 M2 断电，移动机构停止运行。

后退过程：按下 SB4，接触器 KM4 得电动作，接通电动机 M2 的反转电路，M2 反转，电动葫芦后退。

后退停止过程：松开 SB4，接触器 KM4 断电，M2 停止转动，电动葫芦停止后退。

### (3) 安全保护机构动作过程

在 KM3 线圈供电线路上串接了 SB4 和 KM4 的动断触点，在 KM4 线圈供电线路上串接了 SB3 和 KM3 的动断触点，它们对电动葫芦的前进、后退构成了复合连锁关系。行程开关 SQ2、SQ3 分别安装在前、后行程终点位置，一旦移动机构运动到该点，其撞块碰触行程开关滚轮，使串入控制电路中的动断触点断开，分断控制电路，电动机 M2 停止转动，避免电动葫芦超越行程而造成事故。



### 提示

控制电路由两相电源引出，组成 4 条并联支路。其中以 KM1、KM2 线圈为主体的左边两条支路控制吊钩升降，以 KM3、KM4 线圈为主体的右边两条支路控制行车的前后移动。这两个环节分别控制两台电动机的正、反转，并用 4 个复合按钮进行点动控制。这样，当操作人员离开现场时，电动葫芦不能工作，以避免发生事故。控制电路中还装设了 3 个行程开关，限制电动葫芦上升、前进、后退的 3 个极端位置。

## 4.2.2

## 塔式起重机电气控制电路

——长期工作在室外，电气系统真不赖

塔式起重机的电路系统由动力电路和控制电路两大部分组成，这和其他电力拖动系统差不多。但塔式起重机的工作环境、工作条件和需要完成的任务决定了它与别的电力拖动系统又不一样。塔式起重机的电气控制电路如图 4-16 所示。

## 1. 主电路

塔式起重机共使用了 5 台绕线式电动机，它们是提升电动机 M1、行走电动机 M2 和 M3、回转电动机 M4、变幅电动机 M5。图中所示笼型电动机 M 是电力液压推杆制动器上的电动机，它接在提升电动机 M1 的电路中，在提升电动机 M1 制动时使用。

由于塔式起重机的提升系统是满载启动、空中提升，既要克服重力还要克服惯性力，所以启动性能要好，不仅启动转矩要够，而且启动电流冲击又不能太大。加上塔式起重机常采用变极调速，切换速度就是重新启动，普通电动机适应不了这一要求，常规启动方法也不能用。所以，启动方法是电控系统的一个重要方面。在 5 台绕线式电动机中，提升电动机 M1 为转子串联启动电阻器 R 启动，其余 4 台电动机均为转子串频敏变阻器 RF 启动。电动机的工作状态由主令控制器 QM1~QM5 来完成转换。主令控制器是一种组合开关。

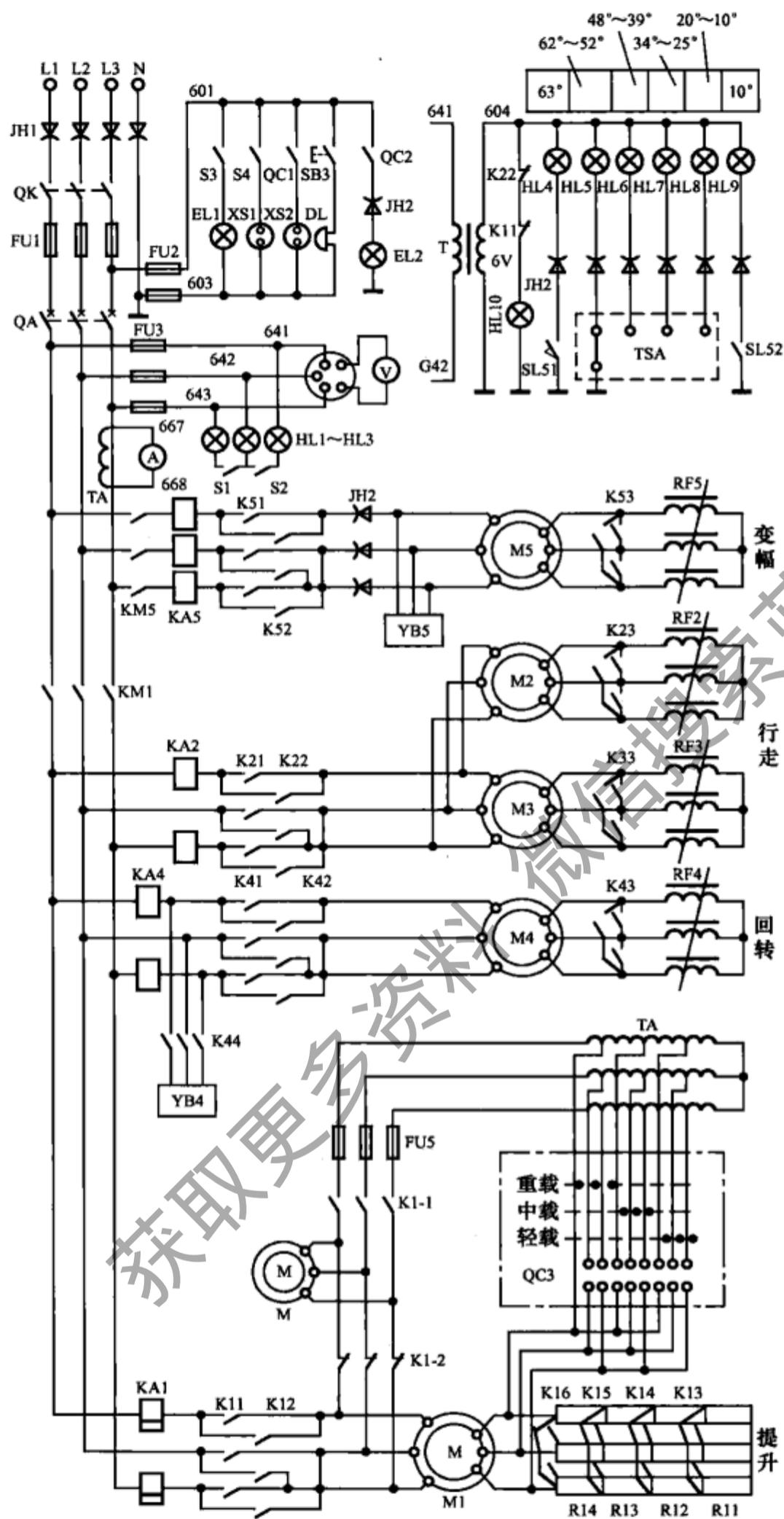
主电路最上部是单相电气回路，包括驾驶室照明灯 EL1、单相插座 XS1 和 XS2、开关 S4 及 QC1、电铃 DL、按钮 SB3、探照灯 EL2、开关 QC2。单相电气回路里用熔断器 FU2 进行短路保护。图中 N 线用接地符号表示。

单相电气回路下面是电源监视回路，包括电压表 V、电压表转换开关、电流表 A、电流互感器 TA、电源指示灯 HL1~HL3、开关 S1 和 S2。回路里有熔断器 FU3 作短路保护。

单相电气回路右侧是信号灯回路，信号灯电压为 6V，由控制变压器 T 提供。HL4~HL9 是变幅指示信号灯。其中，HL5~HL8 由变幅开关 TSA 控制；HL4 由位置开关 SL51 控制，是最高幅度限位信号灯；HL9 由位置开关 SL52 控制，是最低幅度限位信号灯。HL10 是提升指示灯，在提升电动机不转时点亮，由接触器 K11、K22 的动断触点控制。

从上向下的 4 台绕线式电动机分别为变幅、行走、回转电动机，其中两台行走电动机要同时动作，因此用一对接触器控制。每台电动机回路中都有 3 只接触器，其中编号为 K×1、K×2 的是正反转控制接触器，编号为 K×3 的是频敏变阻器控制接触器，启动完成后接触器 K×3 通电闭合，将频敏变阻器短路。每台电动机回路中都有两只过电流继电器 KA×作过电流保护。回转电动机和变幅电动机上装有制动抱闸 YB4 和 YB5。其中，YB5 在变幅电动机 M5 停转后抱死；在回转电动机 M4 停转后，YB4 在接触器 K44 的控制下通电抱死。

提升电动机 M1 的定子电路上也使用两只接触器作正反转控制，两只过电流继电器作过载保护。不同之处在于制动装置，制动电动机 M 上端接自耦变压器 TA，自耦变压器经组合开关 QC3 接在转子电路上。在不同转速下，自耦变压器上的电压不同，电动机 M 的转速也不同。M 的转速高，制动器就刹得松些；M 的转速低，制动器刹得紧些。可以根据起重量用

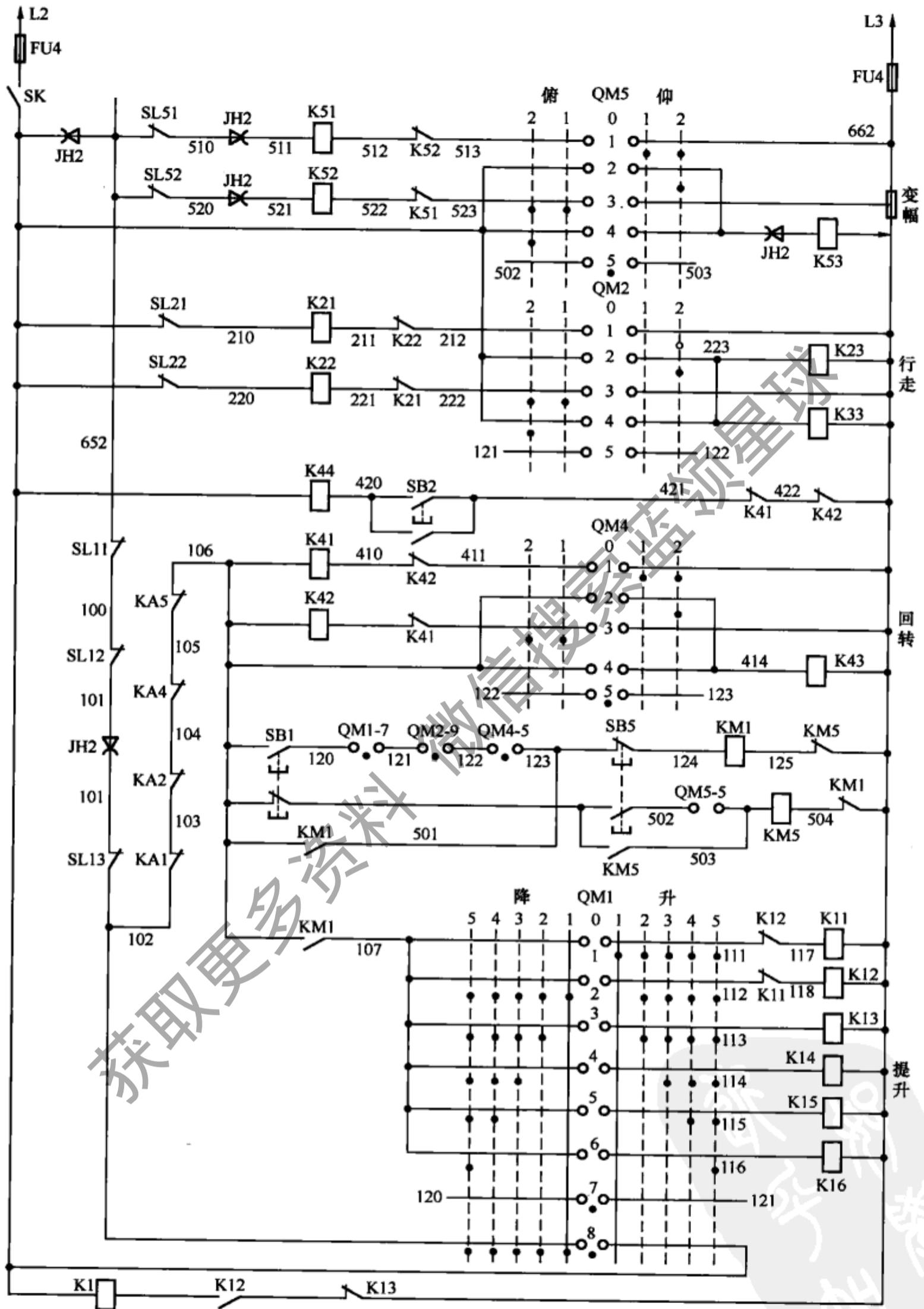


(a) 主电路

图 4-16 塔式起重机电气控制电路



塔式起重机



(b) 控制电路

图 4-16 塔式起重机电气控制电路 (续)

QC3 选择 M 上的电压, 这种制动方式只有在重物下降时使用。在提升时 M 下端接在 M1 电源上, M1 停转, 制动器立刻制动。M 的接线由中间继电器 K1 的触点控制。提升电动机转子回路串联启动电阻器, 由接触器 K13~K16 分段短接切除。

## 2. 控制电路

控制电路接在电源的 L2、L3 两相上, 用熔断器 FU4 作短路保护。电路中使用了 4 只组合开关 QM1、OM2、QM4 和 QM5 来代替按钮控制接触器线圈是否通电。其中 QM2、QM4、OM5 为 5 层 5 位开关, 在 1 位是串频敏变阻器启动状态, 在 2 位是短接变阻器后电动机正常运转状态。QM1 为 7 层 11 位开关, 用于分段短接切除启动电阻。在变幅、行走回路中都由接触器互锁, 并加入位置开关 SL, 对行走和变幅进行限位控制。

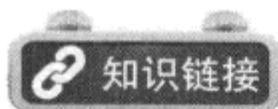
回转机构、行走机构都是惯性力特别大的拖动机构, 既要平稳启动又不能快速制动。为此, 回转电动机和提升电动机的控制回路接在各个过电流继电器的动断触点后面, 任何一个电动机过载, 塔式起重机都不能作回转和提升操作。同时, 在这一回路中还串入了超高限位开关 SL11、脱槽保护开关 SL12 以及超重保护开关 SL13, 当出现超高、超重、脱槽情况时, 塔式起重机也不能进行回转和提升操作。

在主电路中有接触器 KM1 和 KM5 的主触点, KM5 在变幅电动机回路中, KM1 在另外 4 个电动机回路中, 当出现超高、超重、脱槽情况时, KM1 和 KM5 的线圈断电, 所有电动机停转。

塔式起重机总电源由铁壳开关 QK 和低压断路器 QA 控制, 开机时合上 QK、QA 及控制电路事故开关 SK (出现事故时扳动此开关, 整个电路停止工作)。组合开关 QM1、OM2、QM4 处于 0 位断开状态, 按下按钮 SB1, 接触器 KM1 吸合, 可以进行提升、回转、行走操作, 但此时不能变幅。要变幅时按下按钮 SB5, 切断 KM1 线圈回路, KM1 释放, KM5 吸合, 进行变幅。按操作要求, 变幅与其他操作不能同时进行, 为此, 电路中通过按钮 SB1 和 SB5 连锁、KM1 和 KM5 的动断触点连锁来保证不会出现误操作。

图 4-16 (b) 所示控制电路的最下面一行是提升电动机的制动电动机 M 的控制回路, 提升电动机反转下降时, 接触器 K12 闭合; 组合开关 QM1 转到低速位置 1 时, 接触器 K13 断电, 动断触点闭合, 接触器 K1 通电闭合, 接通制动电动机 M 的电源, 制动电动机工作。

**提示** 由于塔式起重机长期在野外工作, 工作环境极差, 所有的元器件易于老化、失去绝缘性能或者锈蚀、接触不良, 因此, 塔式起重机的电气控制系统如果用一般的室内电气元器件就不太合适。  
图中所示的 JH1 和 JH2 是集电环, JH1 在起重机电缆卷筒上, JH2 在起重机塔顶。



知识链接

### 采用交流接触器控制的电焊机电路

为了更安全方便地控制电焊机, 采用按钮控制交流接触器线圈, 实现远距离操作, 其接线方法如图 4-17 所示。工作时, 合上刀闸开关 QS, 按下启动按钮 SB1, 交流接触器 KM 的

线圈得电吸合并自锁，KM 的主触点闭合，电焊机通电工作；欲停止工作时则按下停止按钮 SB2，交流接触器 KM 的线圈断电释放，主触点断开，电焊机停止工作。

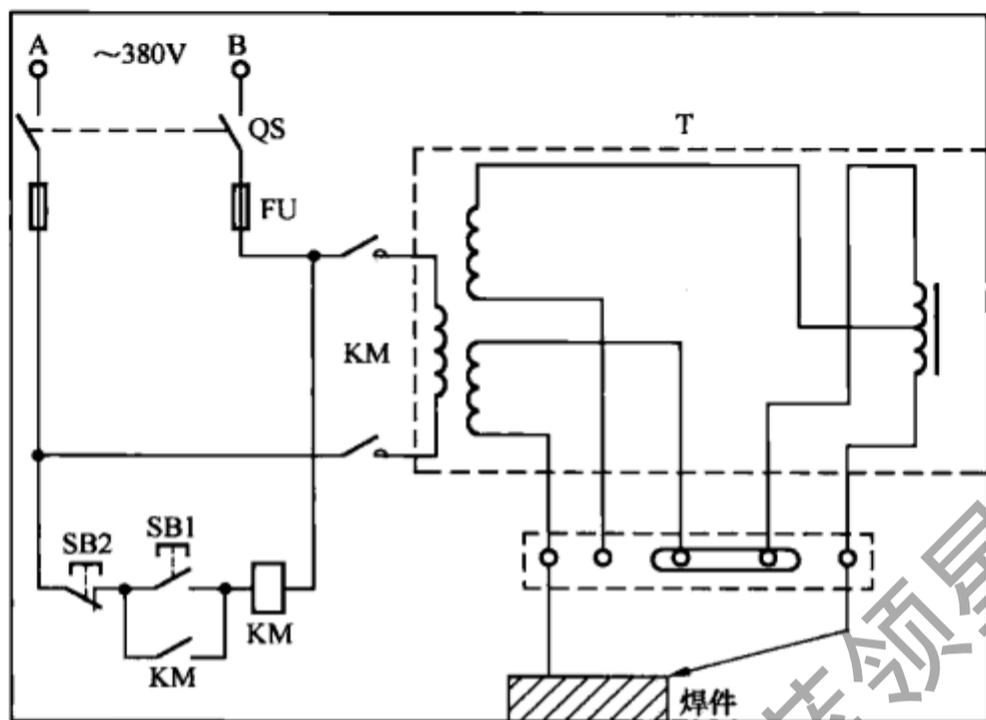


图 4-17 采用交流接触器控制的电焊机电路

### 4.2.3

## 混凝土搅拌机电气控制电路

——进料出料及搅拌，料斗设有升降限

JZ350 型混凝土搅拌机电气控制电路如图 4-18 所示。图中，M1 为搅拌电动机，M2 为进料升降电动机，M3 为供水泵电动机。混凝土搅拌的工序为：搅拌机滚筒正转时搅拌混凝土，反转时搅拌好的混凝土出料；进料升降电动机正转，牵引料斗起仰上升，将骨料和水泥倾入搅拌机滚筒内，反转使料斗下降放平（以接受再一次的下料）。在混凝土搅拌过程中，还需要由操作人员按动按钮，以控制给水电磁阀启动，使水流入搅拌机的滚筒中。加足水后，可手动或自动切断水源。

#### 1. 进料升降控制

把原料水泥、砂子和石子按比例配好后倒入料斗内，按下上升按钮 SB5，KM3 得电吸合并自锁，其主触点接通 M2 的电源，M2 正转，料斗上升。当料斗上升到一定的高度后，料斗挡铁碰撞上升限位开关 SQ1 和 SQ2，使接触器 KM3 断电释放，料斗倾斜，把料倒入搅拌机内。然后按下下降按钮 SB6，KM4 得电吸合并自锁，其主触点按逆序接通 M2 的电源，使 M2 反转，卷扬系统带动料斗下降。待下降到料斗口与地面相平时，挡铁又碰撞下降限位开关 SQ3，使接触器 KM4 断电释放，料斗停止下降，为下次上料做好准备。

#### 2. 供水控制

待上料完毕后，料斗停止下降，按下水泵启动按钮 SB8，使接触器 KM5 得电吸合并自锁，其主触点接通供水泵电动机 M3 的电源，M3 启动，向搅拌机内供水，同时时间继电器 KT

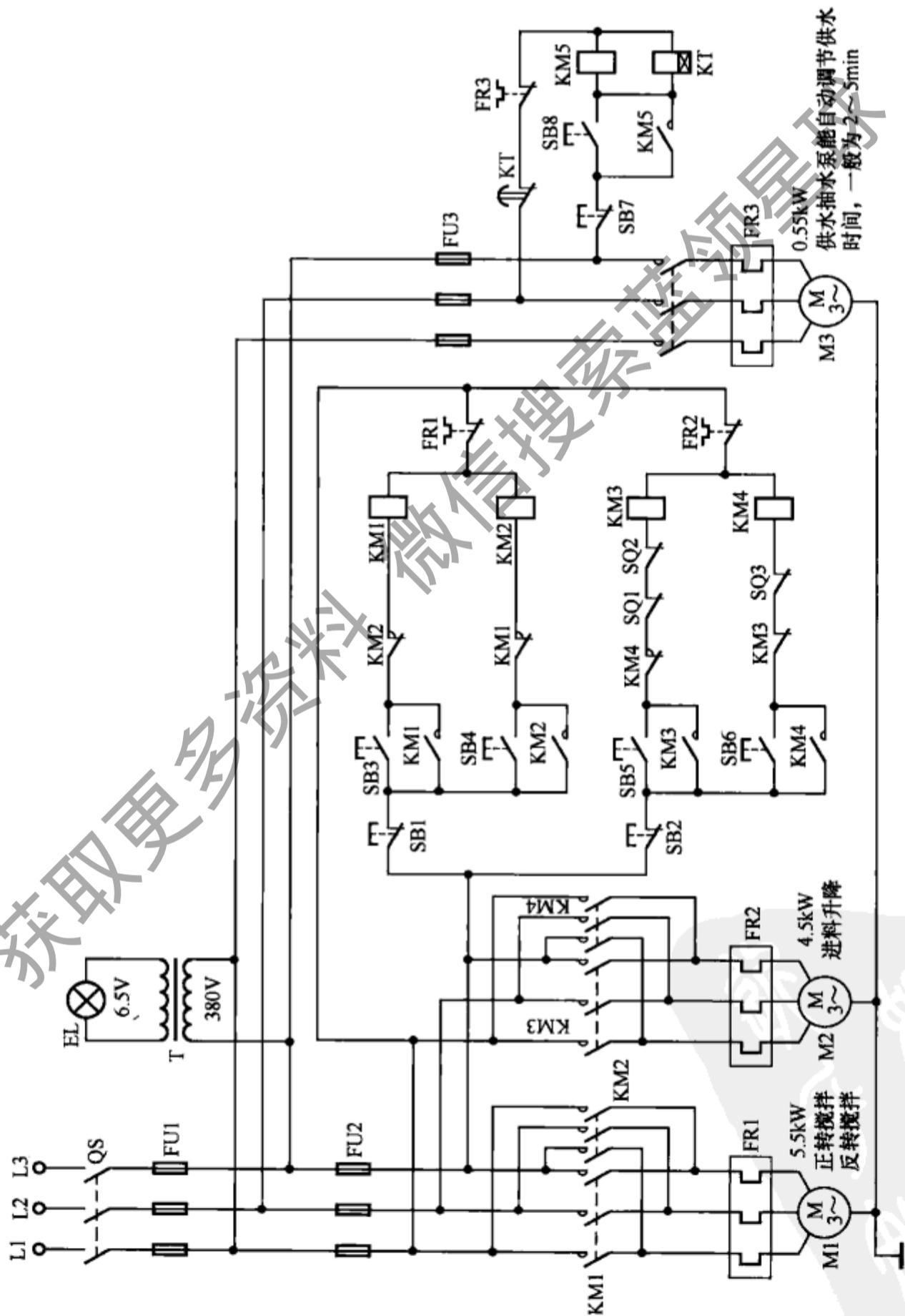
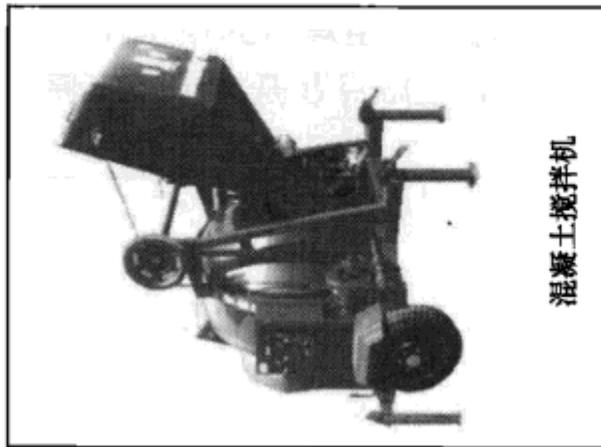


图 4-18 JZ350 型混凝土搅拌机电气控制电路

也得电吸合,待供水时间到时(按水与原料的比例,调整时间继电器的延迟时间,一般为2~3min),时间继电器的延时断开动断触点断开,使接触器KM5断电释放,供水泵电动机停止转动。也可根据供水情况,手动按下停止按钮SB7,停止供水。

### 3. 搅拌和出料控制电路

待停止供水后,按下搅拌启动按钮SB3,搅拌控制接触器KM1得电吸合并自锁,以正相序接通搅拌机M1的电源,搅拌机开始搅拌。待搅拌均匀后,按下停止按钮SB1,搅拌机停止工作。这时如需出料,可把送料的车斗放在锥形出料口处,按下出料按钮SB4,KM2得电吸合并自锁,其主触点以反相序接通M1电源,M1反转,把搅拌好的混凝土泥浆自动搅拌出来。待出料完或运料车装满后,按下停止按钮SB1,KM2断电释放,M1停止转动和出料。

### 4. 保护环节

电源开关QS装在搅拌机旁边的配电箱内,它一方面用于控制总电源供给,另一方面供出现机械性电气故障时紧急停电用。

3台电动机设有热继电器(FR1、FR2、FR3),用于短路保护和过载保护。3台电动机还设置有接地保护措施。

料斗设有升降限位保护功能。

为防止电源短路,电动机正反转接触器KM1、KM2间设有互锁保护措施,即接触器上的动断和动合触点互锁,正转控制线要经过反转接触器的动断触点,反转控制线要经过正转接触器的动断触点。

电源指示灯EL用于指示电源电路的通断状态。



**提示**

有部分厂家生产的混凝土搅拌机还在料斗电动机M2的电路并联一个电磁铁线圈(称为制动电磁铁)。当给电动机M2通电时,电磁铁线圈也得电,立即使制动器松开电动机M2的轴,电动机能够旋转;当M2断电时,电磁铁线圈也断电,在弹簧力的作用下,制动器刹住电动机M2的轴,则电动机停止转动。

## 4.2.4

### 空压机电气控制电路

自动手动可控制,电气保护莫忽视

空压机即空气压缩机的简称,在建筑上主要用于泵送混凝土,例如用压力输送混凝土到指定位置;其次,工地上喷漆时也需要使用小型空压机。图4-19所示为空压机电气控制电路。

空压机电气控制电路由主电路和控制电路两部分组成。

启动前,首先应检查润滑剂,如需要则添加润滑剂,确保主排放阀处于打开状态。闭合断路器QF,然后合上控制回路开关QK,拨动开关Q置于“自动”位置,接触器KM得电动作,其主触点闭合,电动机M启动并加载运行。如果将拨动开关Q置于“手动”位置,则需要按下按钮SB2,空压机才能启动运行。

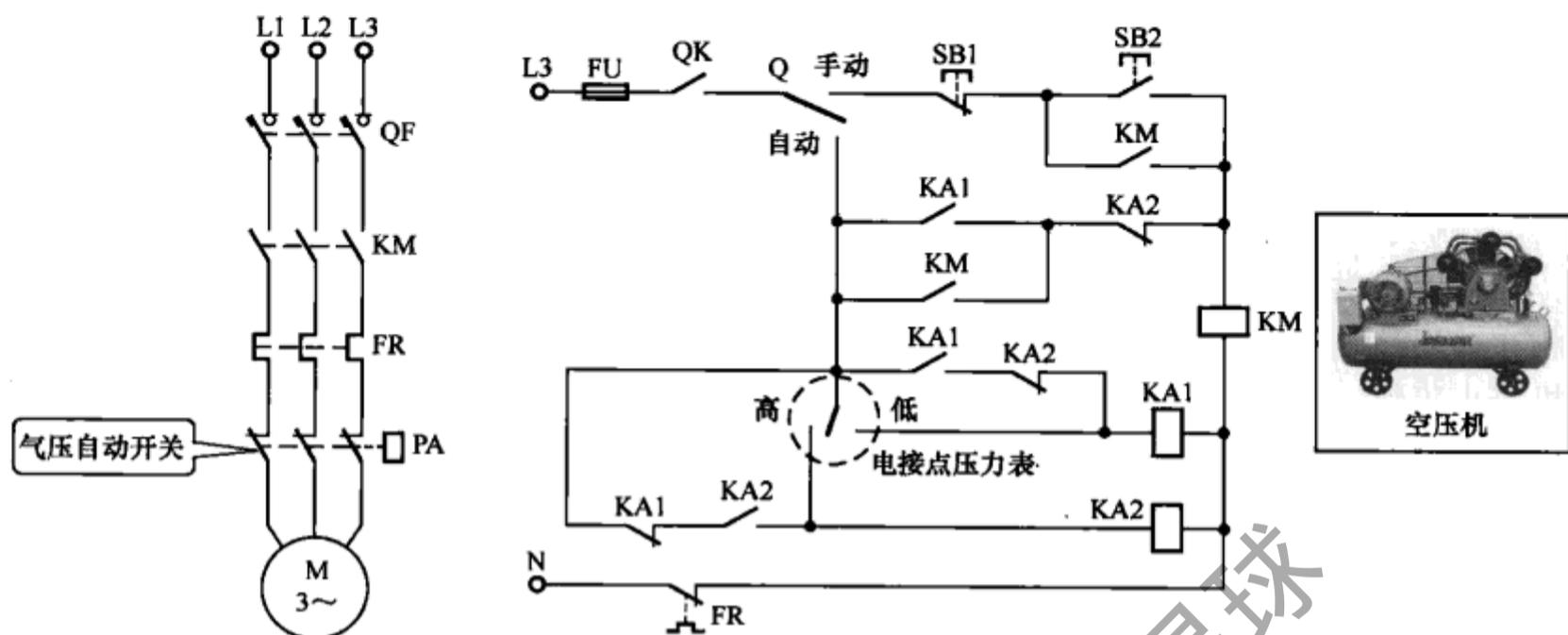


图 4-19 空压机电气控制电路

① 当空压机的汽缸压力低于低压设定点时，电接点压力表的动触点与低压设定点的静触点接通，中间继电器 KA1 得电动作，其动合触点闭合，接触器 KM 得电动作并自锁，空压机启动运行。

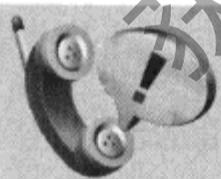
为了避免空压机启动或停止时由于惯性振动作用而对电接点压力表动、静触点的接触造成影响，对中间继电器 KA1、KA2 进行自锁。为了提高整个控制的可靠性，KA1、KA2 之间进行互锁。

② 压力逐渐上升，电接点压力表的动触点与低压设定点的静触点断开，但是由于 KA1 及 KM 自锁，空压机继续运行。

③ 当空压机的汽缸压力继续上升，高于高压设定点时，电接点压力表的动触点与高压设定点的静触点接通，中间继电器 KA2 得电动作并自锁，其动断触点断开，中间继电器 KA1 及接触器 KM 失电，空压机自动停止工作。

④ 当空压机的汽缸压力低于高压设定点时，因为 KA2 自锁，所以继电器 KA2 继续得电，其动断触点仍处于断开状态，空压机仍处于停止状态。

⑤ 当压力下降至低压设定点时，继电器 KA1 又得电动作并自锁，中间继电器 KA2 断开，其动断触点复位，接触器 KM 得电动作并自锁，空压机再次启动。如此循环往复，实现空压机自动控制的目的。



提示

PA 为气压自动开关，在控制电路中设置了上限和下限两个气压极限点，气压调节有一个较大的时间差，可克服空压机频繁启动的弊端。SB1 为紧急停机按钮，按下 SB1 后，空压机会立即停止工作。

## 4.2.5

### 卷扬机电气控制电路

——电磁制动定地点，把握电机正反转

建筑工地常用井架式卷扬机来升降重物，或用普通卷扬机来作牵引动力源，图 4-20 所示

为卷扬机电气控制电路，它由主电路和控制电路两部分组成。

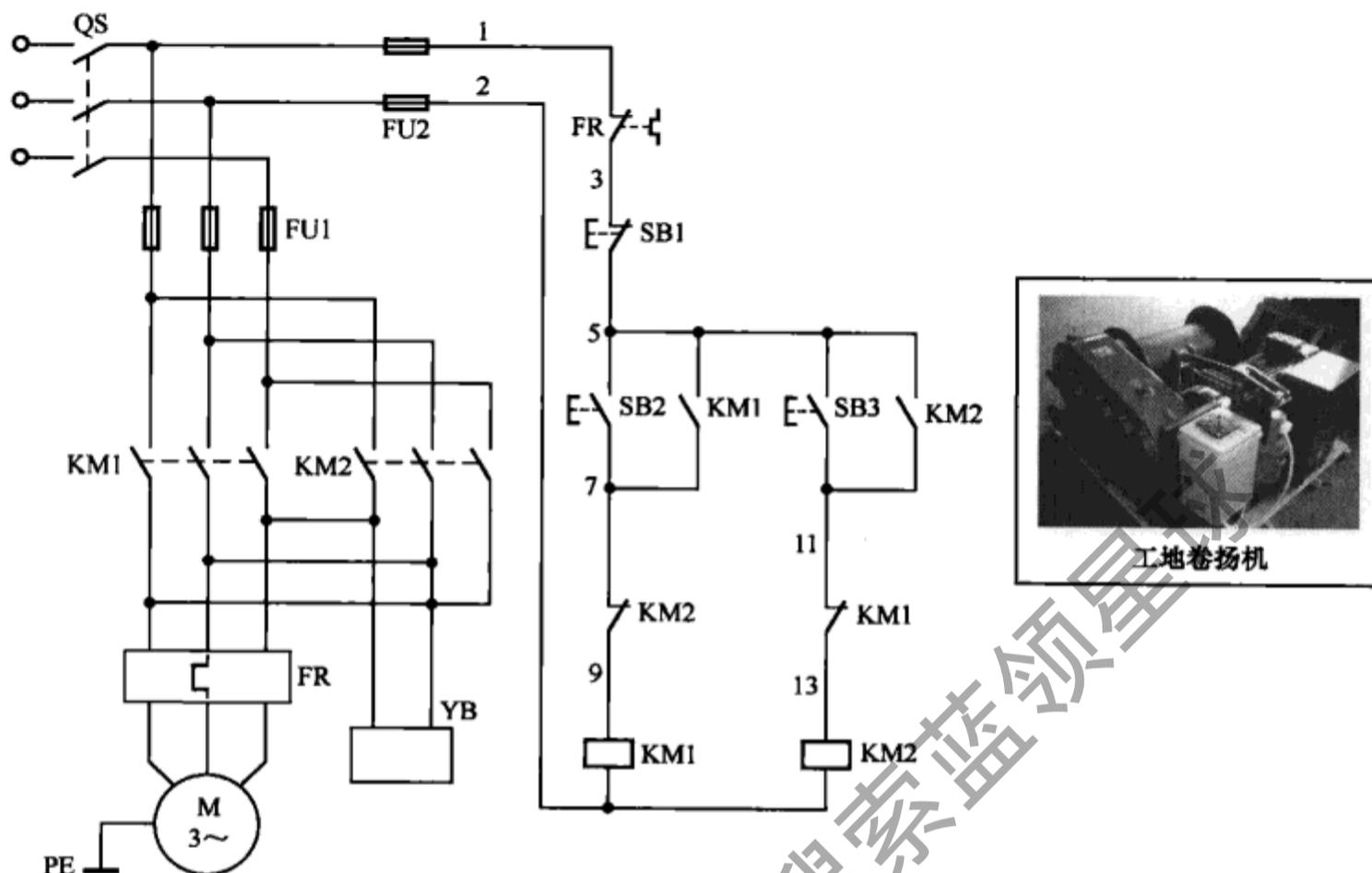


图 4-20 卷扬机电气控制电路

闭合电源开关 QS，电动机和电磁制动器电路同时被接通，此时电磁制动器 YB 的闸瓦打开，按下上升启动按钮 SB2，电动机上升运动（正转）接触器 KM1 得电吸合并自锁，电动机 M 开始旋转，将动力经弹性联轴器传入减速器，再由减速器通过联轴器带动卷筒，卷扬机卷筒正转放松钢丝绳，带动提升设备从井架向楼层高处运送物料；按下停止按钮 SB1，接触器 KM1 及电磁制动器 YB 均失电，闸轮抱住电动机进行制动，让设备到位固定不动。

按下下降启动按钮 SB3，电动机下降运动（反转）接触器 KM2 得电吸合并自锁，电动机 M1 开始反转，其反向下降运动过程与正向提升过程相同，请读者自己分析。

**提示** YB 为电磁制动器。接触器 KM1 和 KM2 必须采取电气互锁措施。

**知识链接**

### 建筑工地临时配电箱电路

建筑工地上的移动电动工具较多，一般设置有带防雨功能的小型临时配电箱，其电路如图 4-21 所示。该电路共有 6 个供电支路、2 个四孔插座、3 个三孔插座和 1 个两孔插座。小型动力配电箱（箱）与建筑配电总线电路之间可通过四芯橡皮电缆线进行连接。使用时应注意采取防雨及绝缘措施，以保证用电安全。各个插座还可加装分支闸刀。

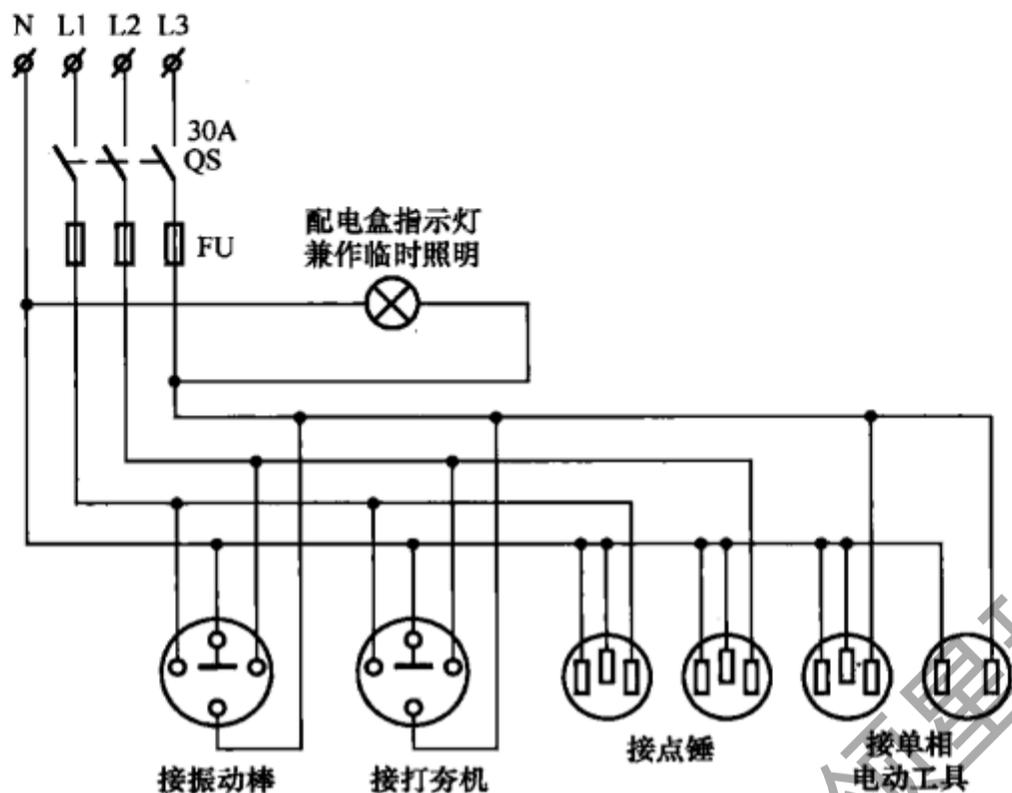


图 4-21 建筑工地临时配电箱电路

### 4.2.6 水磨石机电气控制电路 ——倒顺开关挡位选，电机正转或反转

水磨石机也叫磨石子机，在建筑施工中主要用于房屋的装修工程。水磨石机一般分为单盘和双盘两种，其结构基本相同，只不过是双盘水磨石机有两个磨盘，工作效率比单盘高。一般单盘水磨石机的电动机为 4.5kW 以下的单速电动机，也有单盘水磨石机采用双速电动机的，在工作时可变换为两种速度，分别用于粗磨和细磨。水磨石机的操纵手柄上安装有一个倒顺开关，手柄上装有橡皮套，以保证操作时的安全。双盘水磨石机电气控制电路如图 4-22 所示。

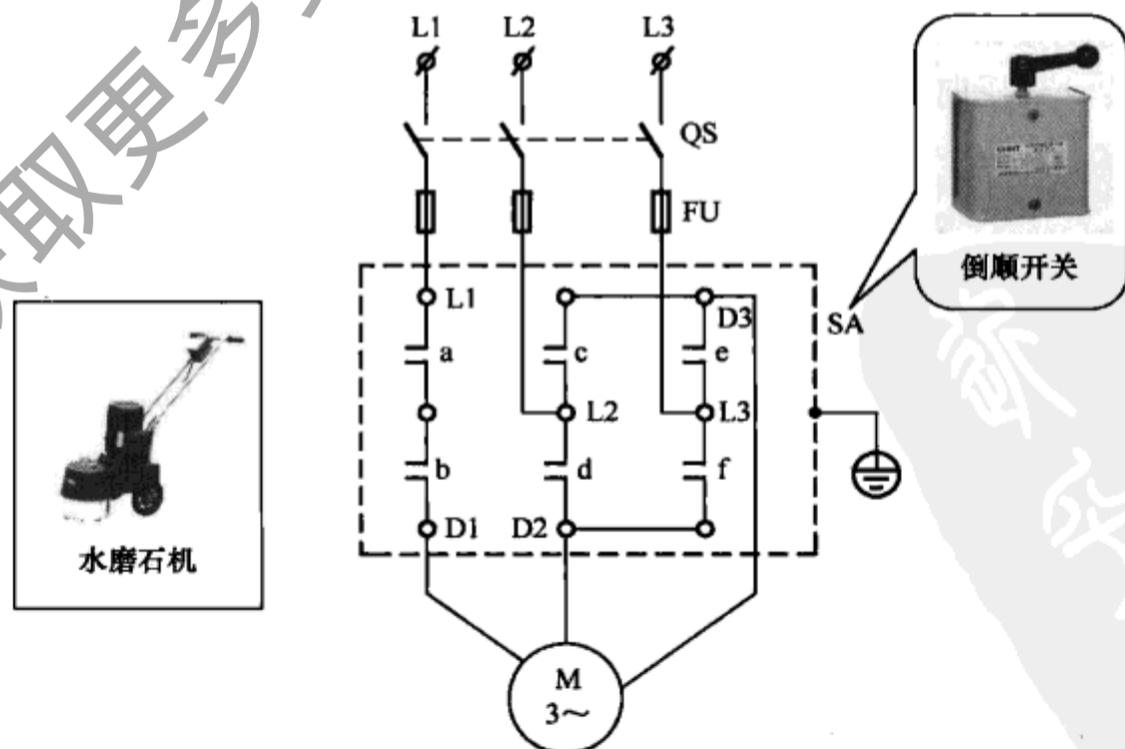
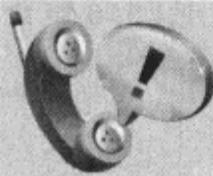


图 4-22 双盘水磨石机电气控制电路

电源经闸刀开关 QS、熔断器 FU 进入装在操作手柄内的倒顺开关 SA 里，由倒顺开关 SA 控制电动机的启动、正向运转、停止与反向运转。倒顺开关是专用于小容量异步电动机正反转控制的转换开关。开关内右侧装有 3 副静触点，左侧也装有 3 副静触点，转轴上固定有两组共 6 个动触点。开关手柄有“倒”、“停”、“顺”3 个位置，当手柄置于“停”位置时，两组动触点与静触点均不接触。在操作时，将手柄开关的转向调到电动机转向与水磨石机所标的方向一致，即可进行磨石操作。



**提示** 水磨石机在工作时由于与水接触，并且需用三相动力电源，因此，应特别注意用电安全。每次操作前要用 500V 兆欧表对电动机及水磨石机外壳和线路进行一次测试，如绝缘电阻值低于  $0.5M\Omega$ ，要进行干燥处理。

建筑工地上使用的混凝土振动泵的电气控制电路与水磨石机电气控制电路完全相同，也是以倒顺开关作为主要控制器件。

### 没人磨墨

一个富家子弟前去考试，父亲事先考了他一下，成绩很好，满以为一定能被录取，不料榜上竟没有儿子的名字。父亲去找县官评理。县官调来考卷查看，只见上面只有淡淡的一层灰雾，却看不到有什么字。

父亲一回家便责骂道：“你的考卷怎么写得叫人看也看不清？”

儿子哭道：“考场上没人替我磨墨，我只得用笔在砚上蘸着水写呀。”



## 4.3 消防泵及水泵电气控制电路——水泵供水能掌控

生活水泵消火栓，最好采用双电源。  
一主一辅两个泵，互为备用不能闲。  
控制电路较完善，保护电路也健全。  
手动自动作控制，维护保养制度全。

消防泵主要用于消防系统管道增压送水，也可用于工业和城市给排水、高层建筑增压送水、远距离送水、锅炉冷暖水循环增压、空调制冷系统送水等。控制电路的合理性是在

发生火灾时消防泵能正常发挥功能的重要保证，是将火灾损失减少到最低限度的比较有效的方法。

### 4.3.1 消火栓泵电气控制电路 ——消火栓泵常待命，火灾信号发指令

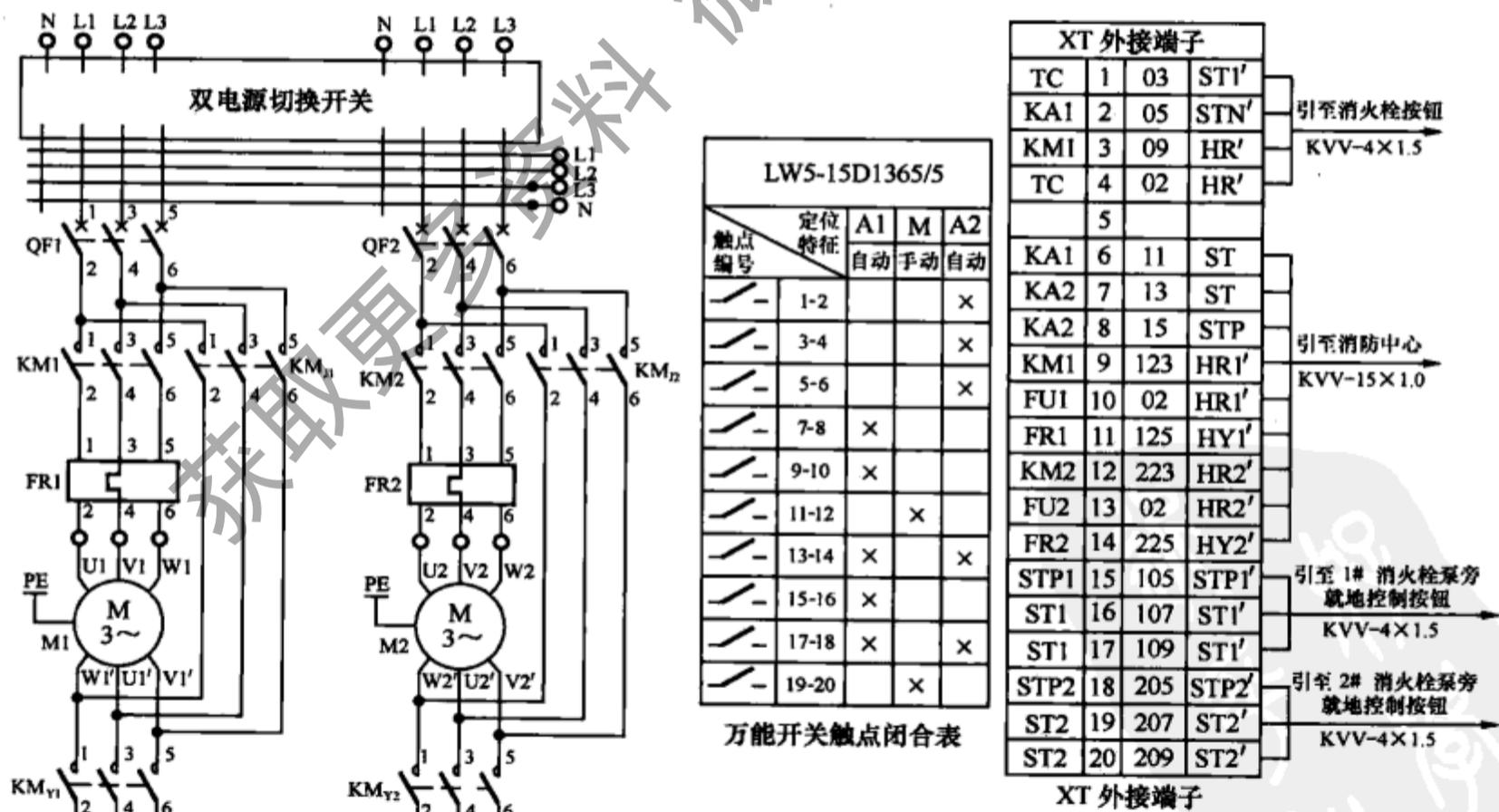
消火栓泵电气控制电路如图 4-23 所示，它由主电路、信号控制回路、主泵控制回路和备用泵控制回路 3 部分组成。

#### 1. 主电路

在主电路中采用了两台电动机 M1 和 M2，可互为主泵和备用泵。由于消火栓泵的容量比较大，所以采用了星—三角形降压启动方式。在总电源输入端采用了双电源切换开关。QF1、QF2 为断路器，KM1、KM2 为电动机主接触器，KM<sub>Y1</sub>、KM<sub>Y2</sub> 为电动机绕组星形连接时的接触器，KM<sub>J1</sub>、KM<sub>J2</sub> 为电动机绕组三角形连接时的接触器，FR1、FR2 为热继电器。

#### 2. 信号控制回路

信号控制回路用于控制综合消防控制室的远控信号、消防按钮的远控信号和备用泵自投信号等。通常采用时间继电器 KT 发出备用泵自投转换信号，当主泵因故障跳闸而使工作泵接触器 KM<sub>Y1</sub>、KM<sub>J1</sub> 失电或当 KM<sub>Y1</sub>、KM<sub>J1</sub> 不能正常吸合时，其动断触点接通 KT 线圈回路，经过  $\Delta t$ （整定时间）延时后接通备用泵控制线路，备用泵自行启动。备用泵自投时，发出声、光报警信号。其中声响信号经 KT 的延时时间后消除，而光信号直至故障排除、备用泵停止工作后方可消除。



(a) 主电路

图 4-23 消火栓泵电气控制电路

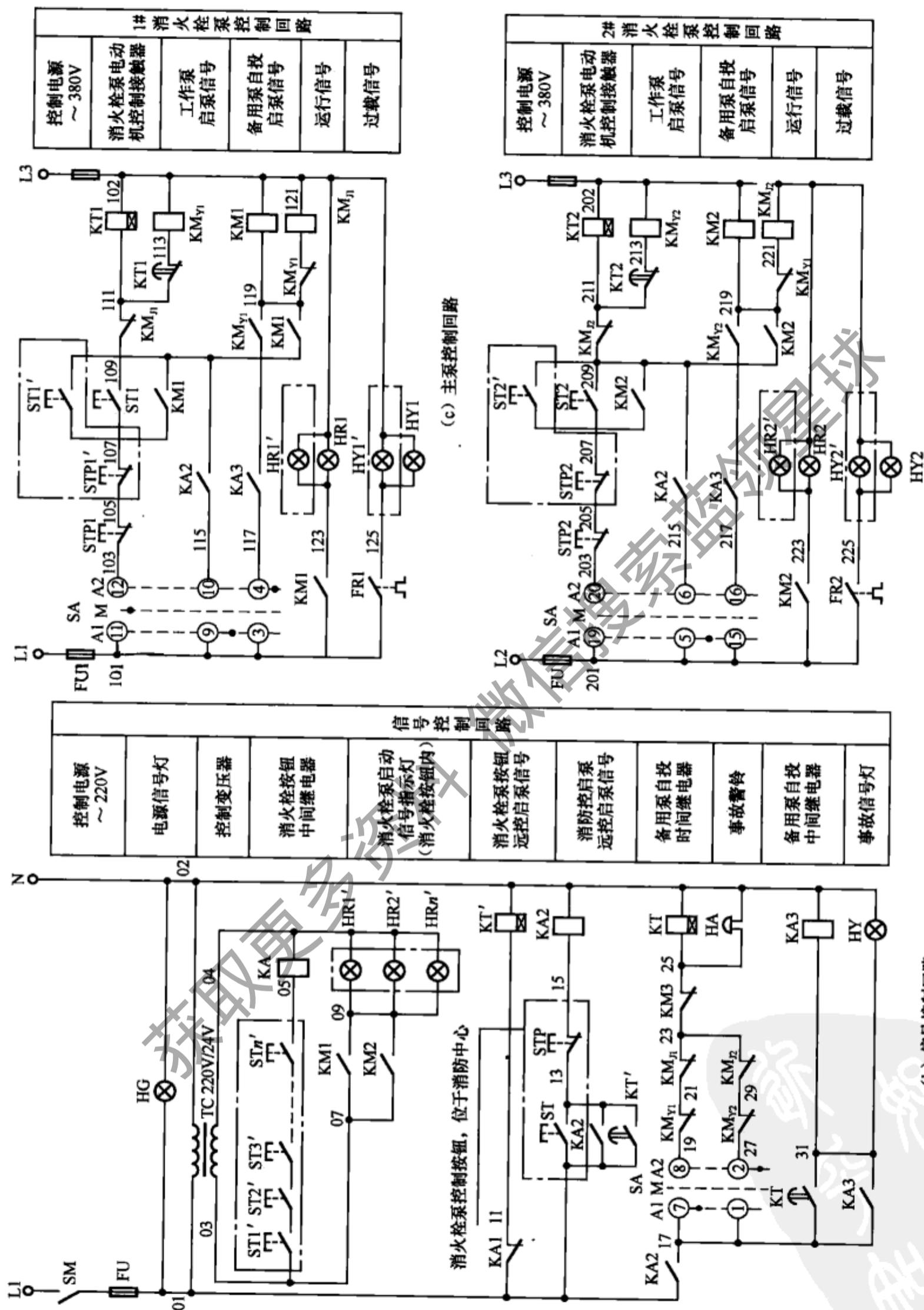


图 4-23 消防栓泵电气控制电路 (续)

### 3. 主泵和备用泵控制回路

主泵和备用泵的职能分配由转换开关 SA 实现。SA 有 3 挡，位于零位时为就地检修挡，此时信号控制回路不起作用，主泵及备用泵的启动及停止均由手动操作按钮进行控制。SA 位于左、右挡时，两台泵分别为 1#主、2#备和 2#主、1#备。由于线路左右对称，下面以 A1 挡为例进行分析。

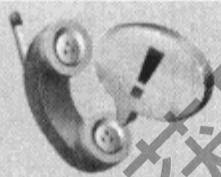
当 SA 打向“A1”挡时，信号控制回路中的触点(7-8)接通，主泵控制回路中的触点(9-10)接通，备用泵控制回路中的触点(15-16)接通。此时，若发生火灾，则打碎消火栓报警按钮玻璃后，其动合触点复位断开，KA1 失电，动断触点复位，KA2 接通；或消防控制室发出消火栓启泵信号，(按下 ST) 其动合触点复位断开，KA1 失电，动断触点(01-11)复位，时间继电器 KT 的线圈接通，延时  $\Delta t$ ，通电延时闭合动合触点(01-13)闭合，中间继电器 KA2 的线圈接通。此时，在 1#主泵控制回路中，回路 101—SA⑨—SA⑩—115—109—113—KM<sub>Y1</sub>—102 接通，KM<sub>Y1</sub> 线圈通电，1#泵电动机定子绕组为星形连接，回路 101—SA⑨—SA⑩—115—109—119—KM1—102 接通，KM1 线圈通电，1#泵电动机 M1 启动。到达 KT1 延时时间后，定子绕组换接为三角形，电动机全压运行。

若因 KM<sub>Y1</sub>、KM<sub>J1</sub> 故障而不能吸合，则在信号控制回路中，01—17—SA⑦—SA⑧—19—21—23—25—KT—02 接通，时间继电器 KT 的线圈得电。到达 KT 整定时间后，KT 的延时闭合触点(17-31)闭合，KA3 线圈接通，KA3 触点(217-219)闭合。回路 201—SA⑮—SA⑯—217—209—211—KM<sub>Y2</sub>—202 接通，KM<sub>Y2</sub> 线圈通电，2#泵电动机定子绕组为星形连接，回路 201—SA⑮—SA⑯—217—209—219—KM2—202 接通，KM2 线圈通电，2#泵电动机 M2 启动。到达 KT2 延时时间后，定子绕组换接为三角形，电动机全压运行，完成备用泵自投。

同理，可以分析转换开关 SA 打向“A2”挡时 2#主 1#备的工作情况。

工作泵或备用泵运行时，其运行信号由 KM1 或 KM2 的动合触点送出，通过控制电缆引至消防显示盘。

工作泵或备用泵过载时，其过载信号由热继电器的动合触点送出，通过控制电缆引至消防显示盘。



**提示**

消火栓泵一般采用多地控制方式，可通过楼层消火栓箱内(旁)的消火栓破碎玻璃按钮启动，也可以由消火栓泵控制柜启动，还可以由消防控制室通过手动控制盘直接起泵或停止。

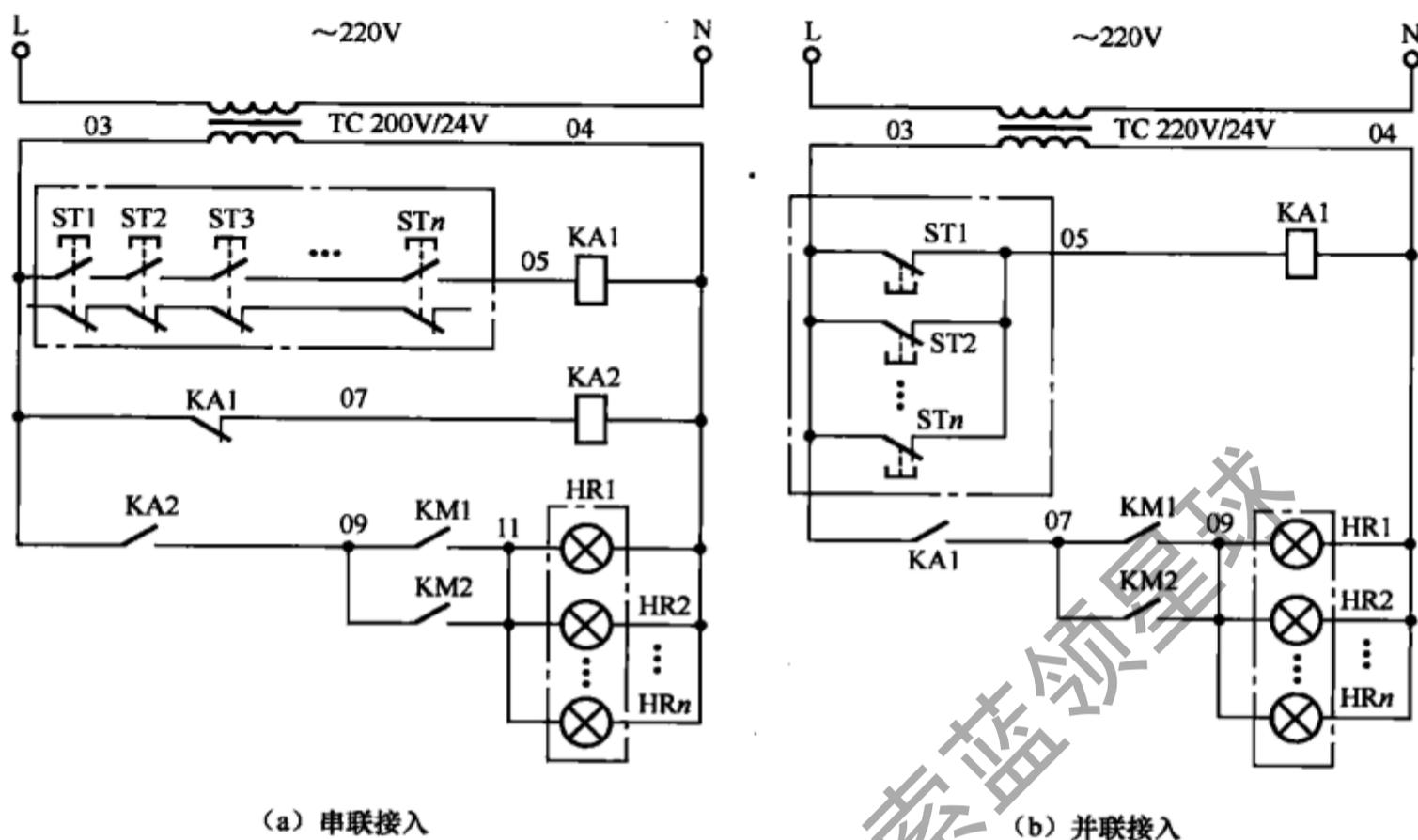
消火栓箱内左上角或左侧壁上方装有消防按钮，用于远距离启动消火栓泵。消防按钮为打碎玻璃启动的专用消防按钮。当打碎按钮面板上的玻璃时，受玻璃压迫而闭合的触点复位断开，发出启动消火栓泵的指令。

知识链接

#### 消火栓按钮接入控制系统的方式

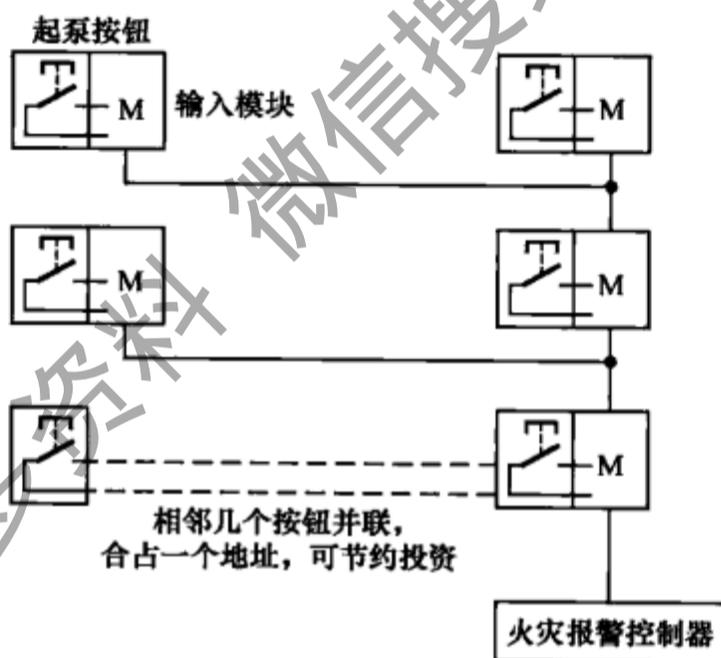
消火栓按钮在电气控制线路中的连接形式有串联、并联及通过模块与总线相接 3 种，如

图 4-24 所示。



(a) 串联接入

(b) 并联接入



(c) 通过控制模块接入

图 4-24 消火栓按钮接入控制系统的方式

图 4-24 (a) 为消火栓按钮串联式电路，图中消火栓按钮的动合触点在正常监控时均处于闭合状态。中间继电器 KA1 正常时通电，当任一消火栓按钮动作时，KA1 线圈失电，中间继电器 KA2 的线圈得电，其动合触点闭合，启动消火栓泵，所有消火栓按钮上的指示灯点亮。图 4-24 (b) 为消火栓按钮并联电路，图中消火栓按钮的动断触点在正常监控时是断开的，中间继电器 KA1 不得电。若火灾发生，当任一消火栓按钮动作时，KA1 即通电，启动消火栓泵。当消火栓泵运行时，其运行接触器的动合触点闭合，所有消火栓按钮上的指示灯点亮，显示消火栓泵已启动。在大中型工程中常采用图 4-24 (c) 所示的接线方式。这种系统接线

简单、灵活（输入模块的确认灯可作为间接的消火栓泵启动反馈信号），但火灾报警控制器一定要保证常年正常运行且常置于自动连锁状态，否则会影响泵启动。

### 4.3.2 消防喷淋泵电气控制电路 ——直接启动喷淋泵，一用一备有保证

消防喷淋泵主要用于高层大厦等固定消防系统中的消防栓灭火系统，一用一备的消防喷淋泵电气控制电路如图 4-25 所示。

在民用建筑电气工程中，喷淋泵的容量一般不大，通常采用直接启动方式。两台喷淋泵一用一备，其工作（备用）职能由转换开关 SA 分配。

#### 1. 自动控制

下面以 SA 位于 9 挡为例进行分析。当发生火灾时，温度上升，喷头上装有热敏液体的玻璃球达到动作温度时，由于液体的膨胀而炸裂，喷头开始喷水灭火。喷头喷水导致管网的压力下降，管网中的水流指示器感应到水流动时，经过一段时间（20~30s）的延时，发出电信号到控制室。当管网压力下降到一定值时，管网中压力开关（压力继电器）SP1 的动合触点闭合，中间继电器 KA1 的线圈得电，其动合触点闭合，启动 1#喷淋泵（工作泵）。同时，水流指示器因管网中的水流动而动作，接通中间继电器 KA2（KA3），将火灾信号送至消防控制室。由喷淋泵电源接触器动合触点接通信号指示灯，将启泵信号返回消防控制室。

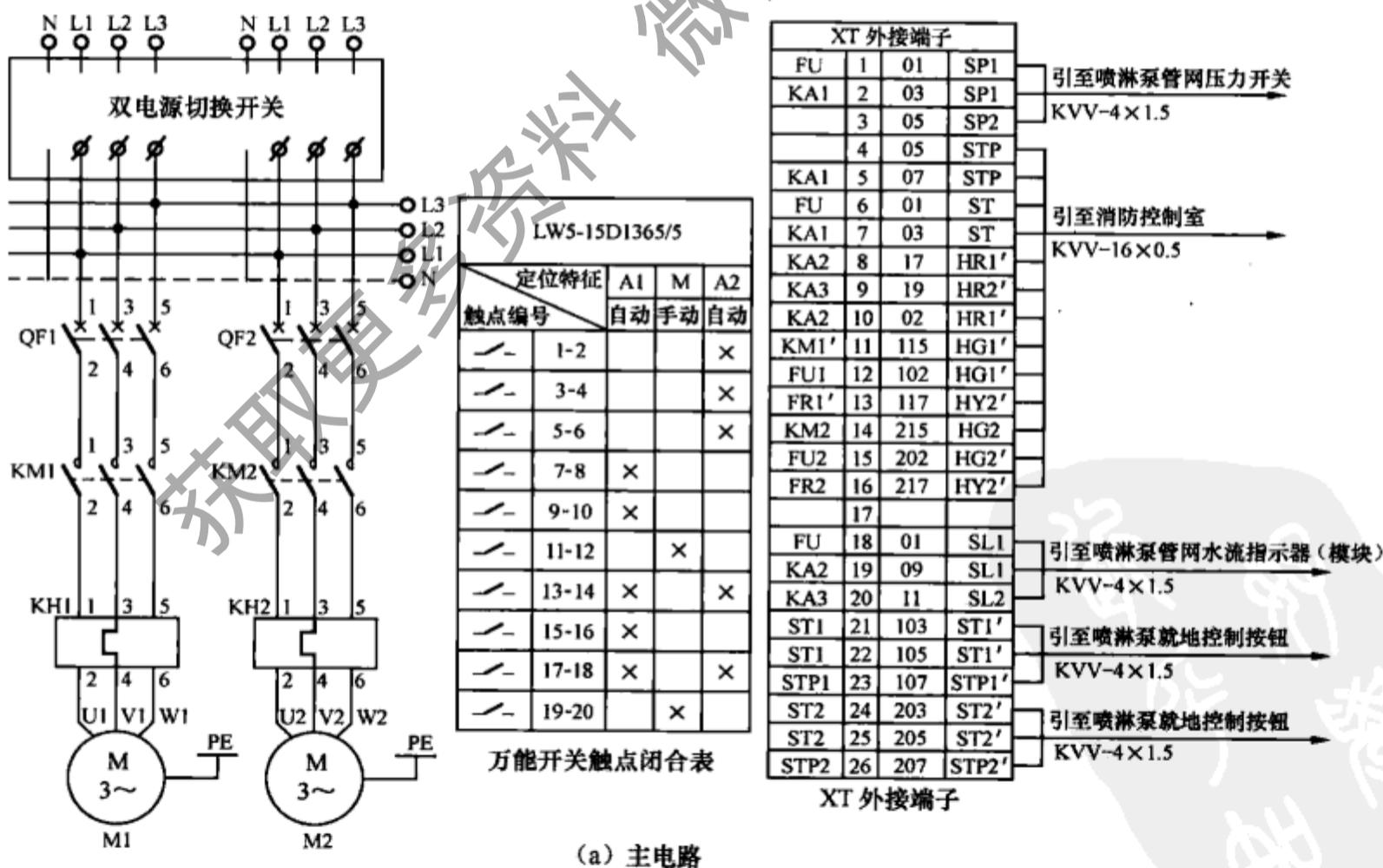


图 4-25 消防喷淋泵电气控制电路

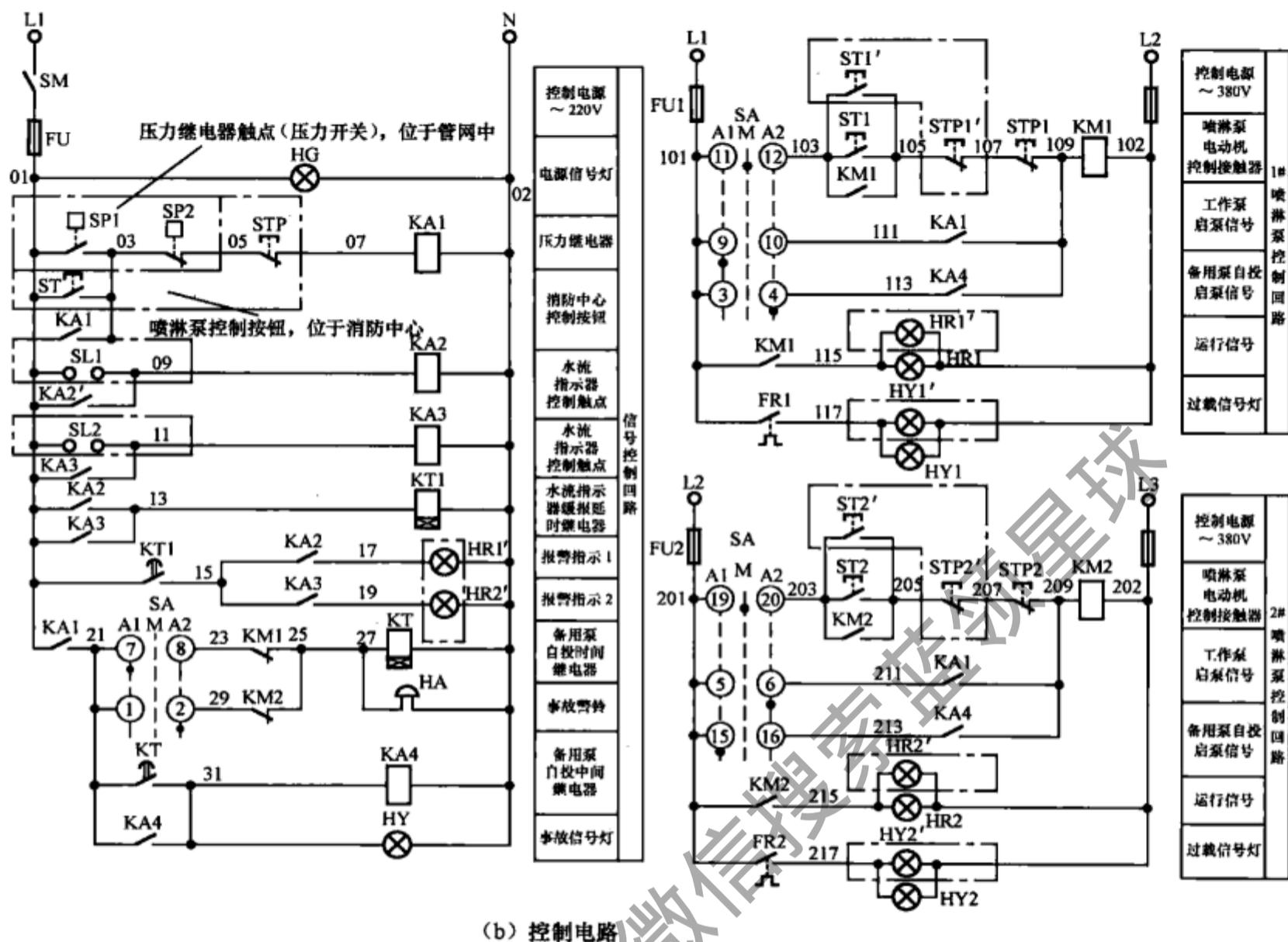
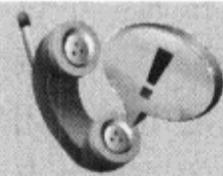


图 4-25 消防喷淋泵电气控制电路 (续)

当工作泵因接触器故障而不能启动时，KT 接通，经过短暂延时，中间继电器 KA4 的线圈得电，其动合触点闭合，启动喷淋备用泵。

## 2. 手动控制

将 SA 拨至“M”挡（手动控制挡）时，信号控制回路不起作用，1#、2#泵电动机分别由手动控制按钮 ST1（ST2）、STP1（STP2）及 ST1'（ST2'）、STP1'（STP2'）控制。本挡可用作检修挡。



提示

喷淋泵一般采用多地控制方式，通常采用直接启动方式。

### 4.3.3

#### 磁力启动器水泵控制电路

——电机正转控制件，组装于盒便接线

图 4-26 所示为磁力启动器水泵控制电路，这是一种比较简单也比较常用的水泵控制电

路，其实质就是一个电动机单向正转控制电路。

该电路由主电路和控制电路组成。主电路包括电源开关 QF、熔断器 FU1 和 FU2、交流接触器 KM 的主触点、热继电器 FR 以及交流电动机 M 等。控制电路包括按钮 SB1、SB2 以及交流接触器 KM 的线圈和辅助触点等。

使用时，合上电源开关 QF，按下启动按钮 SB2，电流依次流过 V11—FU2—SB1—SB2—FR 的触点（202-203）—KM 线圈—W11，接触器 KM 的线圈得电，其触点（201-202）闭合自锁，接触器 KM 的主触点闭合，电动机得电运行。需要停止抽水时，按下停止按钮 SB1，接触器 KM 的线圈失电复位，其主触点断开电动机的工作电源，电动机停止工作。

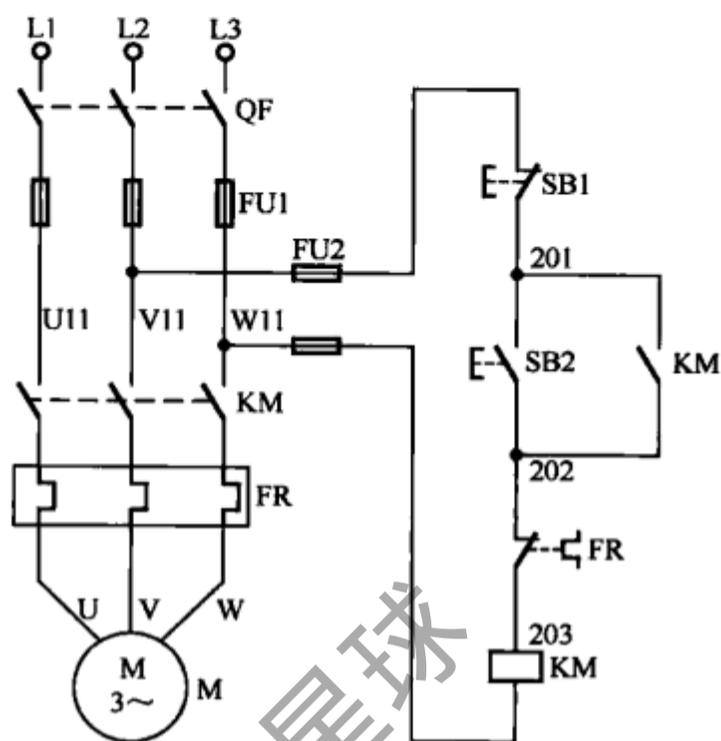
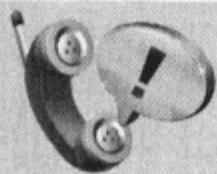


图 4-26 磁力启动器水泵控制电路



**提示**

磁力启动器由电源开关 QF、交流接触器 KM、启动按钮 SB2、停止按钮 SB1 以及热继电器 FR 组合而成，所有电气线路全部集中安装在一只控制盒内。现场安装时，只要引入三相交流电源线到电源开关输入端，将连接电动机的三相电源线接到热继电器出口线端即可。

#### 4.3.4

### 生活水泵电气控制电路 ——手动自动不一样，工泵故障备泵上

该供水系统设置地下水池和高位水箱，地下水池设于大厦底层，高位水箱设于大厦顶层。图 4-27 (a) 所示为水泵电动机主电路，电源为交流 380/220V；图 4-27 (b) 所示为控制电路，由水位信号控制回路、1#和 2#电动机控制回路组成，控制电压分别为交流 220V、交流 380V。

#### 1. 自动控制

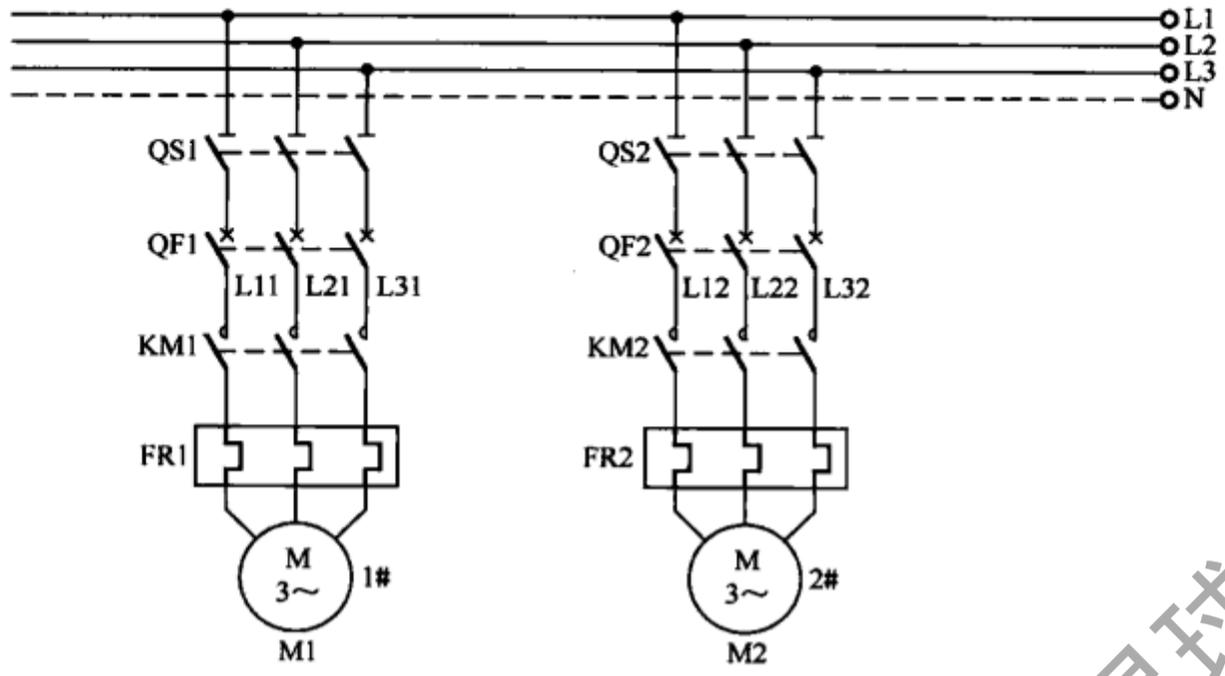
将转换开关 SA 转至“Z1”位置，其触点（5-6）、（9-10）、（15-16）接通，其他触点断开，控制过程如下。

##### (1) 正常工作时的控制

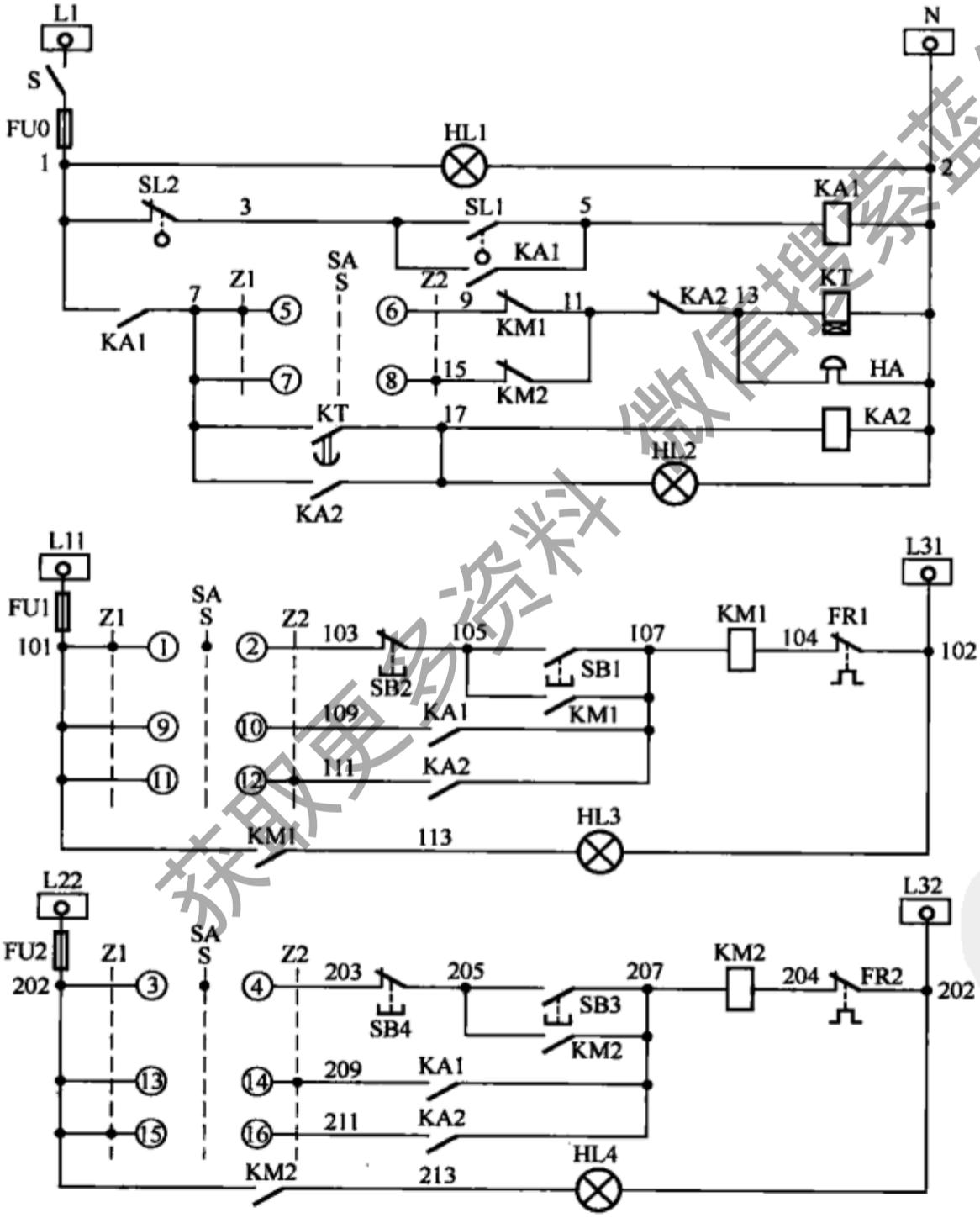
若高位水箱为低水位，干簧式水位信号器触点 SL1 闭合，回路 1—3—5—2 接通，水位继电器 KA1 的线圈得电并自锁，其动合触点（1-7）闭合，（109-107）接通，（209-207）也接通，则回路 101—109—107—104—102 接通，使接触器 KM1 的线圈得电，KM1 的主触点闭合，使 1#泵电动机 M1 启动运转。当高位水箱中的水到达高水位时，水位信号器的动断触点 SL2 断开，KA1 线圈失电，其动合触点（109-107）恢复断开状态，KM1 线圈失电，其主触点断开，使 1#泵电动机 M1 脱离电源停止工作。

##### (2) 备用泵自动投入控制

在故障状态下，即使高位水箱的低水位信号发出，水位继电器 KA1 的线圈得电，其动合触点闭合，但如果 KM1 的触点被机械卡住而不动作，或在电动机 M1 运行中保护电器动作导



(a) 主电路



(b) 控制电路

图 4-27 生活水泵电气控制电路

控制电源 220V	水位信号控制回路
电源指示	
水位信号继电器	
备用泵自投时间继电器	
事故音响	
备用泵自投中间继电器 备用泵自投信号	

控制电源 380V	1#电动机控制回路
手动控制	
自动控制	
备用泵自投	
运行指示	

控制电源 380V	2#电动机控制回路
手动控制	
自动控制	
备用泵自投	
运行指示	

致电动机停车，KM1 的动断触点（9-11）复位闭合，回路 1-7-9-11-13-2 接通，警铃 HA 发出事故音响信号，同时时间继电器 KT 的线圈得电。经预先整定的时间延时后，备用继电器 KA2 的线圈通电，其动合触点（211-207）接通，故回路 201-211-207-204-202 接通，使 KM2 线圈通电，其主触点闭合，备用 2#泵电动机 M2 自动投入。

由于线路的对称性，当万能转换开关 SA 的手柄转至“Z2”位置时，M2 为工作泵，M1 为备用泵，其工作原理与 SA 位于“Z1”挡时类似。

## 2. 手动控制

将转换开关 SA 转至“S”挡，其触点（1-2）、（3-4）接通，其他触点断开，接通 M1 和 M2 的手动控制电路。这时，水泵的启停不受水位信号控制。当按下启动按钮 SB1 或 SB3 时，KM1 或 KM2 得电吸合并自锁，可任意启动 1#泵 M1 或 2#泵 M2。此挡主要用于调试。

## 3. 信号显示

合上开关 S，绿色信号灯 HL1 点亮，表示电源已接通，水位控制信号回路投入工作。电动机 M1 启动时，开泵红色信号灯 HL3 点亮；M2 启动时，开泵红色信号灯 HL4 点亮；当备用泵投入时，黄色事故信号灯 HL2 点亮。信号灯采用不同的颜色，可以直观地区别电气控制系统的不同状态。



**提示**

为了实现手动和自动控制的切换，利用万能转换开关 SA 的不同挡位进行手动和自动控制之间的转换。自动控制时，由水位信号器发出信号启动工作泵或备用泵；手动控制时，直接由控制柜上的按钮送出控制信号。万能转换开关的操作手柄一般是多挡位的，触点数量也较多，其触点的闭合或断开在电路中是采用展开图来表示的。操作手柄的位置用虚线表示，虚线上的黑圆点表示操作手柄转到此位置时该对触点闭合。如无黑圆点，表示该对触点断开。



**想一想**

如果 1#泵手动、自动均不能停止，即使断开控制回路开关 S 也不能停泵，该如何检修？

## 消防车

一天下午，天下着大雨，一群人走在中华路上。突然，有三四辆消防车经过。

甲：雨下那么大，怎么可能有火灾，消防车出来干嘛？

乙：笨！你就不懂了，它是出来装水的！



# 第 5 章

## 新型电力电子电路

### —— 控制利器

随着电子技术的发展,目前许多机电设备的控制电路都纷纷采用了一些新型电子控制器件,如固态继电器、单晶体管继电器、数显式电子继电器、接近开关、光电开关、遥控开关、漏电保护开关和晶闸管无触点开关等。本章将逐一介绍其电路,同时还选择了一些电工电子经验电路,供读者在工作中借鉴和参考。

通过本章学习,要求达到以下目标。

#### 知识目标

- ① 了解单晶体管继电器、数显式电子继电器、接近开关、光电开关、遥控开关、漏电保护开关和晶闸管无触点开关等新型电力电子器件的结构、原理及应用范围。
- ② 了解新型电力电子器件应用电路的工作过程。
- ③ 掌握新型电力电子器件的一般检测方法。

#### 能力目标

- ① 能正确识别与测量本章中介绍的典型电力电子器件的好坏。
- ② 会查阅各种器件的性能参数手册及产品说明书。
- ③ 能借鉴本章介绍的电工电子经验电路提高自己的工作效率。
- ④ 能初步判断和分析以电力电子器件为主所构成的设备的一般故障,并能处理该设备的简单故障。
- ⑤ 会选用电力电子器件并组成常用电路。

## 5.1 新型继电器电路——软触点速度更快

各种新型继电器，控制动作准又快。  
先说固态继电器，小信号控大负载。  
单晶体管继电器，断电延时控负载。  
时基电路继电器，方便设置控负载。  
数显电子继电器，精确控制好自在。

传统机电式继电器由于采用模拟量控制方式，有机械机构动作，因此动作太慢，故障率高，精度不高。机电式继电器的线圈在断开时会产生“浪涌”电流，影响精密电气设备的正常工作。随着电力电子技术的进步，涌现出了固态继电器、单晶体管继电器和数显式电子继电器等新型继电器，已广泛应用到各种机电设备控制电路中。

### 5.1.1 单晶体管时间继电器电路 ——单晶体管继电器，延时环节更容易

#### 1. 单晶体管时间继电器电路（一）

图 5-1 中所示的单晶体管时间继电器属于断电延时型继电器，是一种在断电后能延时工作的时间继电器。该时间继电器可代替普通机械式断电延时继电器。

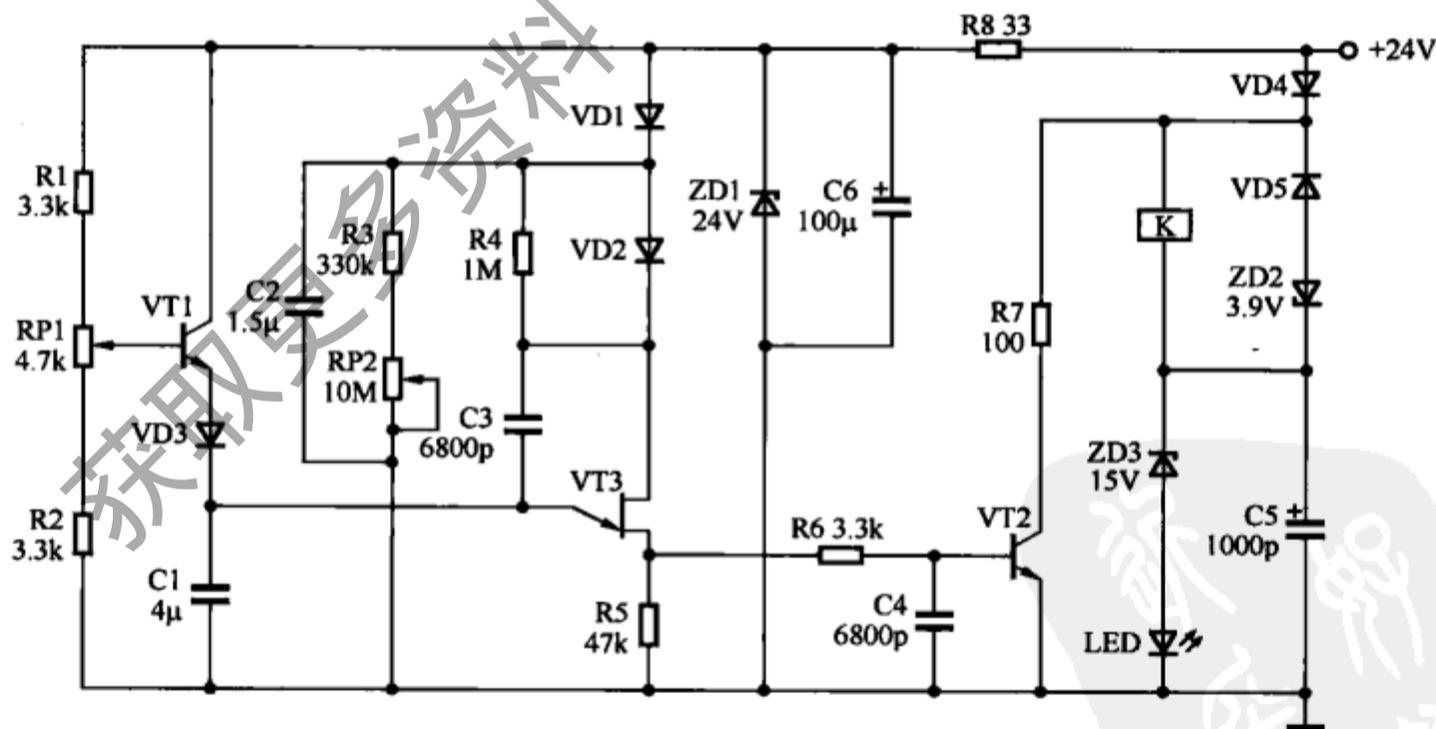


图 5-1 单晶体管时间继电器电路（一）

该时间继电器电路由稳压滤波电路、延时充放电电路和继电器控制电路组成。稳压滤波电路由电阻器 R8、稳压二极管 ZD1 和滤波电容 C6 组成。延时充放电电路由电阻器 R1~R5、电位器 RP1 与 RP2、晶体管 VT1、电容器 C1~C3、二极管 VD1~VD3 和单晶体管 VT3

组成。继电器控制电路由电阻器 R6 与 R7、电容器 C4 与 C5、二极管 VD4 与 VD5、稳压二极管 ZD2 与 ZD3、晶体管 VT2、发光二极管 LED 和继电器 K 组成。

接通+24V 电源, K 通电吸合, LED 点亮, VT1 导通, C1 通过 VD3 和 VT1 充电, C2 通过 VD1 充电, VT3 和 VT2 处于截止状态。电路断电后, VT1 熄灭, K 的衔铁在铁芯剩磁的作用下继续保持吸合状态。VT1 截止, C2 通过 R3 和 RP2 放电。当 C2 两端电压降至一定值时, VT3 导通, C1 通过 VT3 和 R6 对 VT2 放电, 使 VT2 导通, C5 通过 K 的线圈、R7 和 VT2 放电, 在 K 的线圈两端产生反向电压, 使 K 的铁芯退磁, K 释放, 延时过程结束。

调节 RP1 和 RP2 的阻值, 可改变延时时间 (调节范围为 0.5~20s)。



**提示**

R1~R6 均选用 1/4W 金属膜电阻, R7 选用 2W 的线绕式电阻, R8 选用 1/2W 金属膜电阻。RP1 选用多圈线绕式电位器, RP2 选用有机实心电位器。C1 和 C2 选用独石电容或 CBB 电容, C3 和 C4 选用高频瓷介电容或玻璃釉电容, C5 和 C6 均选用耐压值为 35V 的铝电解电容。VD1~VD5 均选用 1N4007 型硅整流二极管。ZD1~ZD3 均选用 1/2W 的硅稳压二极管。LED 选用  $\phi 5\text{mm}$  的发光二极管。VT1 选用 S9013 型硅 NPN 晶体管, VT2 选用 S8050 型硅 NPN 晶体管。VT3 选用 BT31 或 BT33 型单结晶体管。K 选用断电后铁芯仍有剩磁的直流继电器, 例如 0A8874.12 等型号。

**知识链接**

### 单结晶体管

单结晶体管 (UJT) 又称双基极二极管, 它是一种只有一个 PN 结和两个电阻接触电极的半导体器件, 它的基片为条状的高阻 N 型硅片, 两端分别引出两个基极 b1 和 b2。在硅片中间略偏 b2 的一侧用合金法制作一个 P 区作为发射极 e。单结晶体管的结构、符号和等效电路如图 5-2 所示。

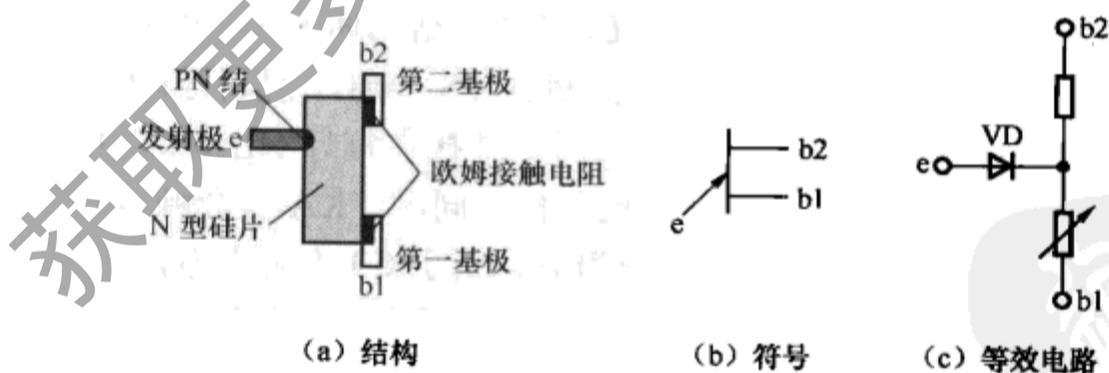


图 5-2 单结晶体管的结构、符号和等效电路

单结晶体管具有较大的脉冲电流能力, 而且电路简单, 因此, 在构成定时电路或触发晶闸管等方面获得了广泛应用。它的开关特性具有很高的温度稳定性, 基本上不随温度而变化。

单结晶体管性能的好坏可通过测量其各极间的阻值是否正常来判断。选用万用表的 R $\times$ 1k 挡, 用黑表笔接发射极 e, 红表笔依次接两个基极 (b1 和 b2), 正常时均应有几千欧至十几

千欧的电阻值。若测得某两极之间的阻值与上述正常值相差较大，则说明该二极管已损坏。再用红表笔接发射极 e，黑表笔依次接两个基极，正常时阻值为无穷大。

## 2. 单晶体管时间继电器电路（二）

图 5-3 所示的单晶体管时间继电器由延时环节、鉴幅器、输出电路、指示灯和稳压环节等组成。其中，电源稳压环节由电阻 R1 和稳压管 ZD 组成，用于为延时环节和鉴幅器供电；输出电路中的晶闸管 VS 和 J20 继电器 KA 则由整流电源直接供电；鉴幅电路由 VD2、R5、VT、C3、RP2 等组成；输出电路由继电器 KA、晶闸管 VS、R2 和 C2 等组成。

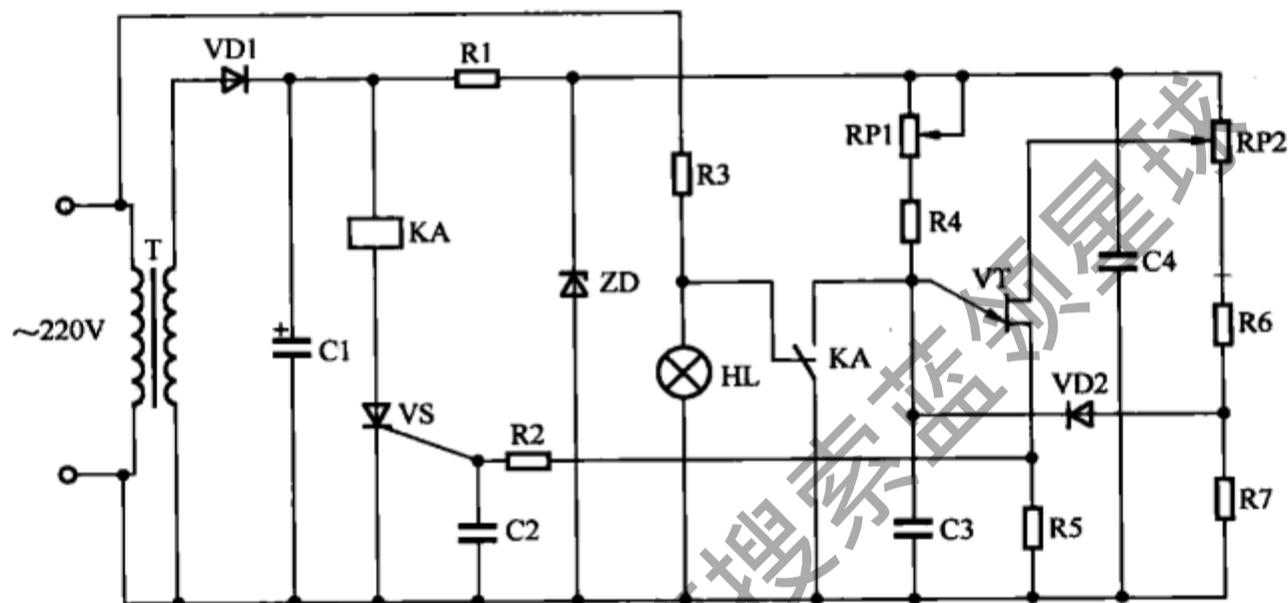
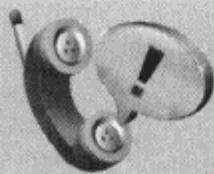


图 5-3 单晶体管时间继电器电路（二）

当接通电源后，220V 交流电压由电源变压器 T 降压、半波整流二极管 VD1 整流、电容 C1 滤波、稳压管 ZD 稳压后，给电路提供直流电压，通过 RP2、R6、VD2 预充电电路向电容 C3 快速预充电。预充电电压的幅度取决于 RP2、R6、R7 的分压值。预充电的作用是使主充电电路每次都能从一个较低的基准恒定电压开始，以消除电容 C3 上无规律的残存电压引起的延时误差。与此同时，还通过主充电电路 RP1、R4 向电容 C3 充电，但其充电时间常数要比预充电电流充电时间常数大很多。调节 RP1 阻值的大小，即可改变充电延时时间。当充电电压大于单晶体管 VT 的发射极峰点电压  $U_p$  时，单晶体管 VT 导通，为晶闸管 VS 的控制极提供一个触发脉冲，使晶闸管 VS 导通。晶闸管 VS 导通，使执行继电器 KA 得电吸合，其触点将接通或分断外电路，执行延时控制。此时，并接在氖灯 HL 两端的 KA 复合触点的动断触点断开，使氖灯 HL 启辉，以指示延时已动作。同时，KA 复合触点的动合触点闭合，将 C3 短接，使其迅速放电，为下一次工作做好准备。由于 C3 不再充电，VT 也停止了工作，因而延长了 C3 和 VT 的使用寿命。当切断电源时，继电器 KA 失电释放，触点复位，电路恢复原来的状态，等待执行新的任务。

微调电阻 RP2 一方面为预充电电路的充电电阻，另一方面可调整单晶体管的门限电压，即发射极的峰值电压  $U_p$ 。为了提高单晶体管的互换性，电路中采用 RP2 来调整单晶体管两基极间的电压，使不同单晶体管的门限电压大致相同。

R1 和 C4 组成去耦电路，C2 为抗干扰电容，以提高电路的抗干扰能力。为了提高延时精度，电路中的 C3 选用温度系数和漏电流小的钽电解电容，且为正温度系数。C3 与具有负温度系数的单晶体管配合，可进行适当的补偿，进而减小温度变化所引起的误差。



**提示**

JS20 的电路有单结晶体管和场效应管两类。

电容 C3 的充电回路有两条，一条回路通过主充电电路中的电阻 RP1、R4，另一条是通过由 RP2、R6、R7 组成的分压器经二极管 VD2 向电容 C2 预充电的电路。

**知识链接**

### JS14 系列电子时间继电器电路

JS14 系列电子时间继电器电路如图 5-4 所示。

#### 5.1.2

#### 555 时基时间继电器电路

——时基电路受控制，代替 VT 继电器

图 5-5 所示为 555 时基时间继电器电路。该时间继电器电路采用 555 时基集成电路，可代替 JSK1 系列的晶体管时间继电器。

该时间继电器电路由电源电路、单稳态电路和继电器控制电路组成。电源电路由电源变压器 T、整流二极管 VD1 和 VD2、三端稳压集成电路 IC1 以及滤波电容 C1 和 C2 组成。单稳态电路由电位器 RP、二极管 VD3、电容 C3 和 C4、时基集成电路 IC2 以及继电器 K1 的常闭触点组成。继电器控制电路由电阻器 R1 和 R2、继电器 K1 和 K2、二极管 VD4 以及发光二极管 LED 组成。

交流 380V(或交流 220V)电压经变压器 T 降压、整流二极管 VD1 和 VD2 全波整流、C1 滤波、IC1 稳压后，在 C2 两端产生+12V 电压，作为 IC2 的工作电源。+12V 电压还经 R1 加至继电器 K1 两端，使 K1 通电吸合，其常闭触点断开，C3 通过 RP 缓慢充电。

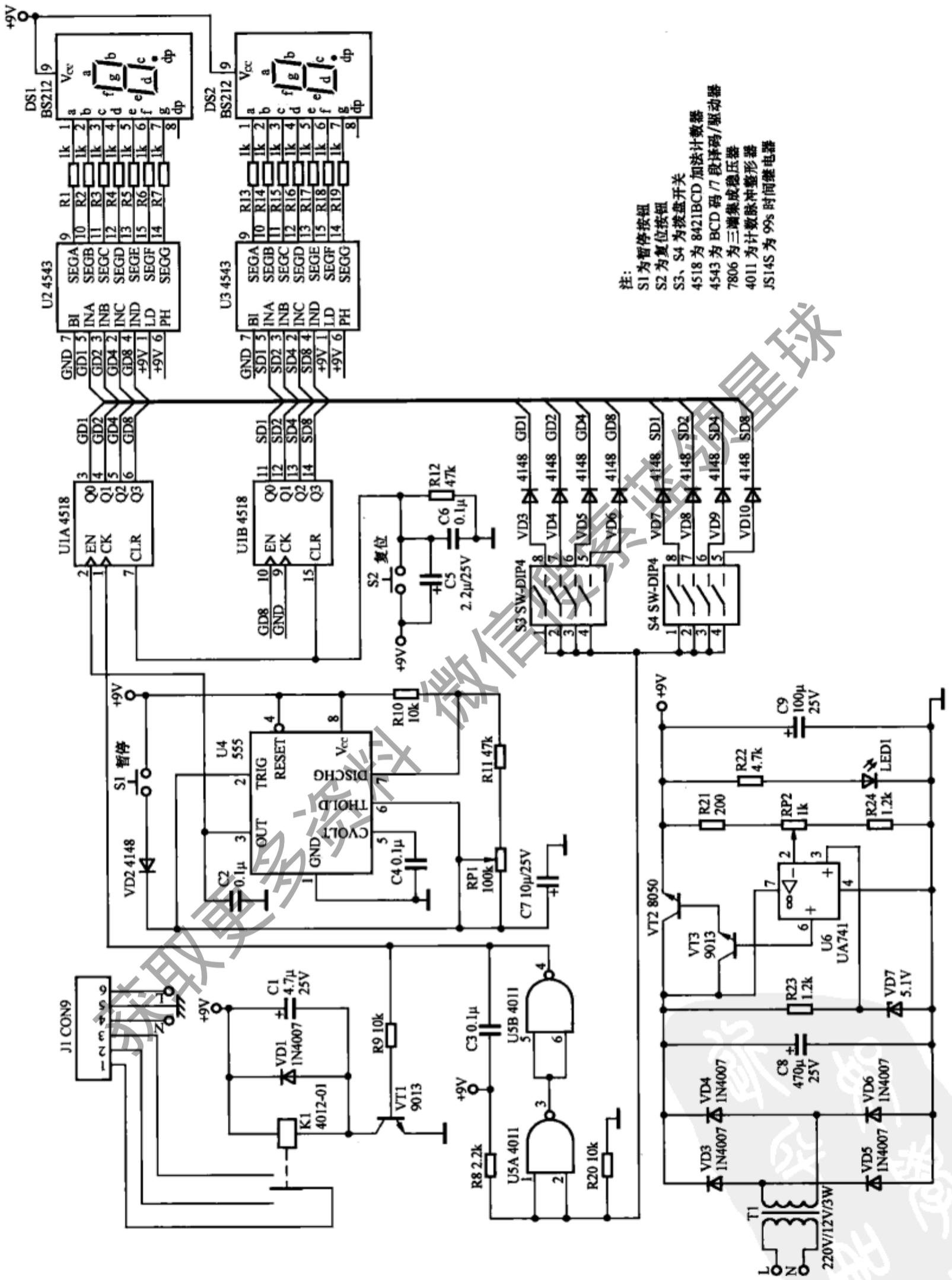
刚接通电源时，IC2 的②脚、⑥脚为低电位，③脚输出高电平，继电器 K2 不动作，LED 不发光。当 C3 两端电压充至 8V 以上时，IC2 内电路翻转，③脚变为低电位，K2 通电吸合，其常开触点接通，同时 LED 点亮。

改变 RP 的阻值和 C3 的容量，可改变时间继电器的延时时间（在 RP 的阻值为 15MΩ、C3 的容量为 33μF 时，延时时间为 9min；在 RP 的阻值为 10MΩ、C3 的容量为 33μF 时，延时时间为 6min；在 RP 的阻值为 1.5MΩ、C3 的容量为 22μF 时，延时时间为 1~30s）。



**提示**

R1 选用 1/2W 金属膜电阻，R2 选用 1/4W 金属膜电阻，RP 选用有机实心可变电阻；C1 选用耐压值为 50V 的铝电解电容，C2 和 C3 均选用耐压值为 13V 的铝电解电容，C4 选用独石电容或涤纶电容；VD1~VD4 均选用 1N4007 型硅整流二极管；LED 选用 φ3mm 的高亮度发光二极管；IC1 选用 1M7812 型三端集成稳压器，IC2 选用 NE555 型时基集成电路；T 选用二次电压为 24V（带中心抽头，380V/24V 或 220V/24V）的 3~5W 电源变压器；K1 和 K2 选用 JRX-13F 或 JRX-4 型 12V 直流继电器。



注：  
 S1 为暂停按钮  
 S2 为复位按钮  
 S3、S4 为拨盘开关  
 4518 为 8421BCD 加法计数器  
 4543 为 BCD 码 7 段译码/驱动器  
 7806 为三端集成稳压器  
 4011 为计数脉冲整形器  
 JS14S 为 99s 时间继电器

图 5-4 JS14 系列电子时间继电器电路

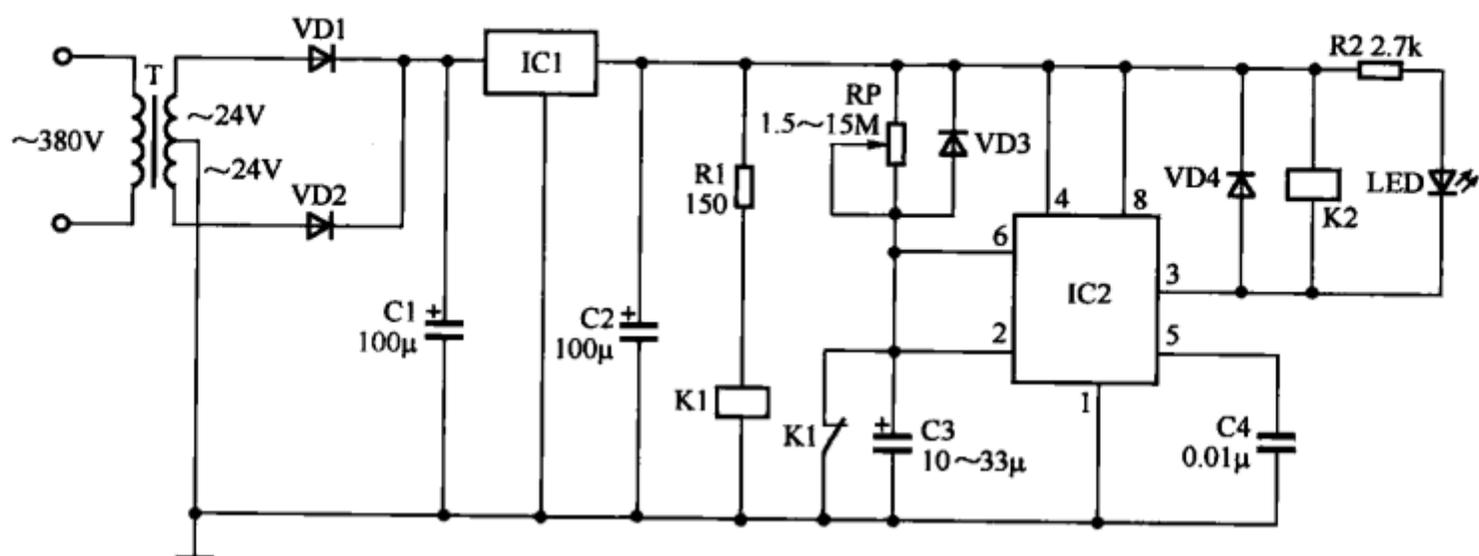
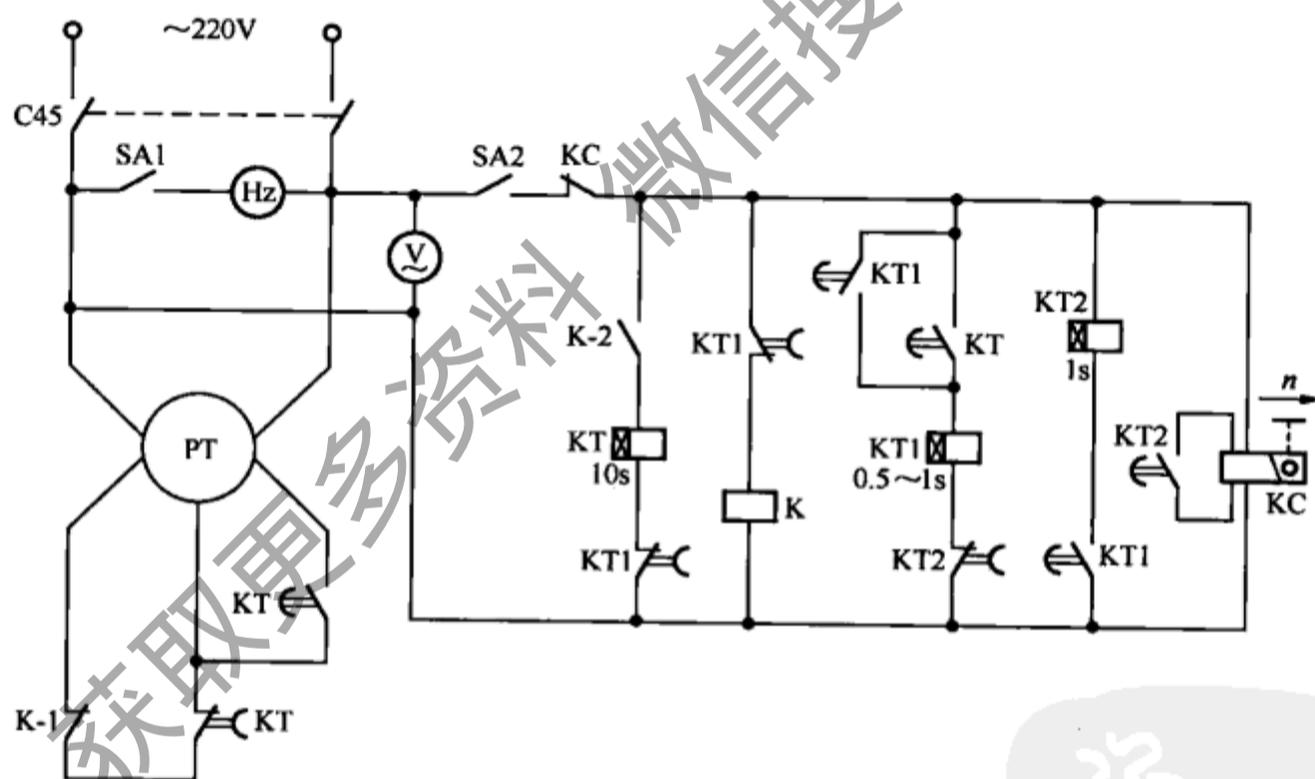


图 5-5 555 时基时间继电器电路

知识链接

典型时间继电器测试电路

图 5-6 所示为典型时间继电器测试电路。在检测开始前先闭合开关 SA1，采用频率表监视交流 220V 电压频率，电压表指示被测产品的工作电压，PT 石英计时仪设置为“S”挡（根据被测产品延时时间来确定）。



C45—小型断路器；SA1、SA2—控制开关；V—工作电压指示（AC）；Hz—频率表；KT—被测产品；K—小型中间继电器；KT1—保持用时间继电器；KT2—休止用时间继电器；KC—计数继电器；PT—石英计时仪  
图 5-6 典型时间继电器测试电路

将被测时间继电器 KT 接入检测线路中，闭合 SA2，中间继电器 K 得电吸合，其动合触点 K-2 闭合，KT 的线圈得电，延时开始。同时，继电器 K 的动断触点 K-1 断开，使 PT 石英计时仪与被测产品计时同步开始；当被测 KT 延时到达后，延时闭合的动合触点接通，延时断开的动断触点断开，使 PT 石英计时仪显示时间数据，保持暂停，开始记录其延时值，并使保持时间继电器 KT1 得电开始延时。当所设保持时间 0.5~1s 结束时，KT1 的延时闭合动合触点闭合，

延时断开的动断触点断开，使KT2的线圈得电开始延时，并对KT的延时闭合动合触点自锁，使KT1继续保持通电状态。当时间继电器KT2的延时时间到后，其延时闭合动合触点和延时断开动断触点分别接通和断开，动合触点加入KC计数继电器计数端，对被测产品测试次数进行计数。KT1失电，使中间继电器K又重新开始得电工作，对被测产品的延时参数进行下一次检测。

当被测次数  $n$  与 KC 计数继电器的预置值相同时，计数继电器 KC 控制常闭触点断开，使整个测试过程结束。

### 5.1.3 数显式时间继电器电路 ——电路状态有四种，方便操作与使用

图 5-7 所示为采用 QA64X707、QA64X717 的数显式时间继电器电路。

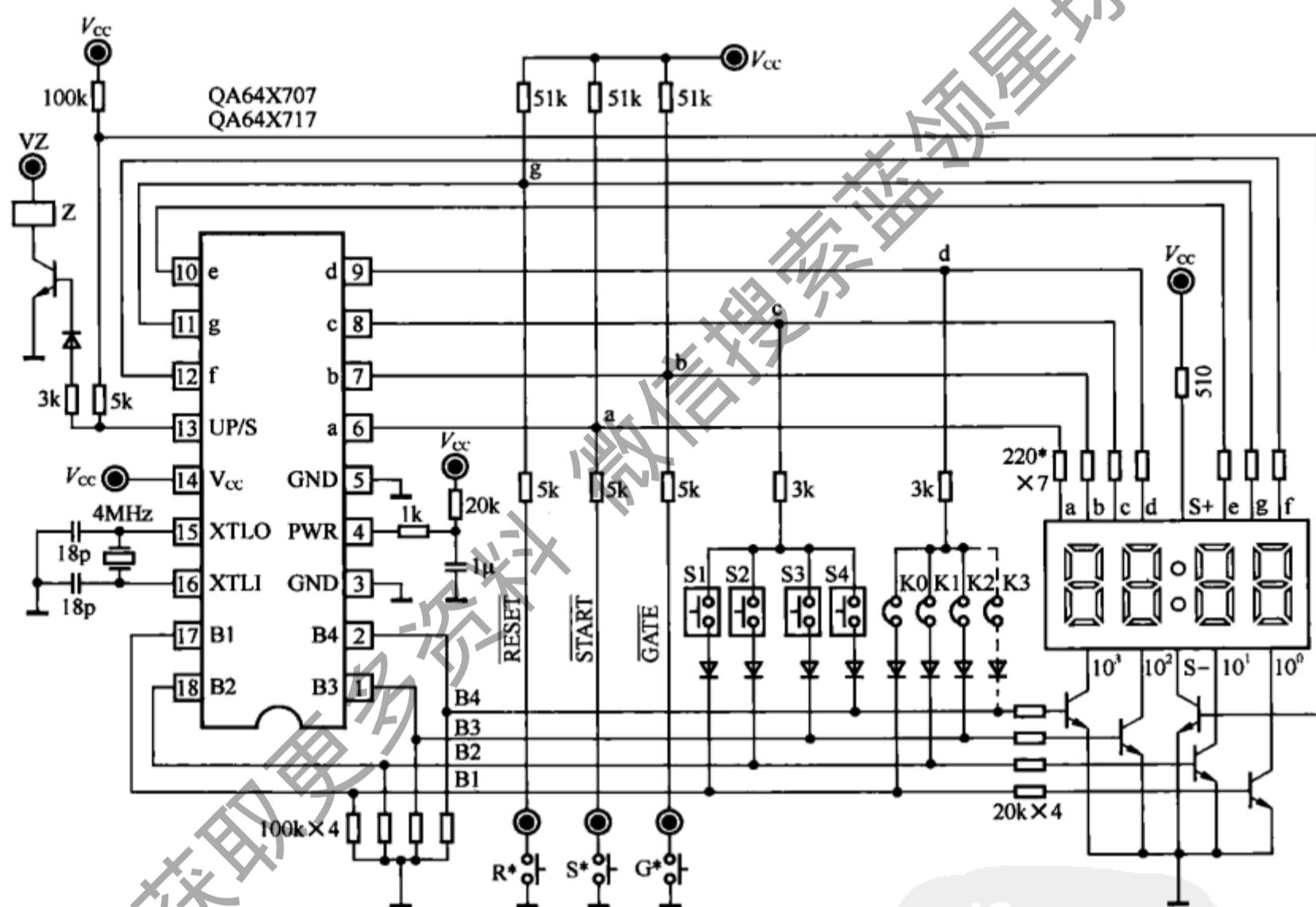


图 5-7 数显式时间继电器电路

该电路有 4 种工作状态：“上电后”状态、整定值设定状态、计时状态以及符合状态。

#### 1. 复位操作

无论处于上述何种状态下，若复位结束时  $\overline{\text{START}}$  端为“OFF”，则电路即进入整定值设定状态；若  $\overline{\text{START}}$  端为“ON”，则电路按原整定值进入计时状态。复位时计时值复位为初值（正计时为零值，倒计时为整定值），继电器控制输出端(UP)的状态如下：QA64X707、QA64X717 为“0”，QA64X708、QA64X718 为“1”。复位操作整定值保持不变。

## 2. 启动操作

无论处于上述何种状态下， $\overline{\text{START}}$ 端的一个从“OFF”到“ON”的负跳变将使电路重新启动，即按原整定值从初值开始重新计时。

## 3. 计时状态和符合状态

在计时过程中和达到整定值后的符合状态下， $\overline{\text{START}}$ 端保持“ON”、保持“OFF”或从“ON”到“OFF”的正跳变均不影响电路的正常工作。在计时状态下，四位数码管显示计时过程。在符合状态下，UP端上跳为“1”，计时停止，数码管停在计时终值显示（正计时为整定值，倒计时为零值）。高位无效“0”按消隐类型进行消隐。

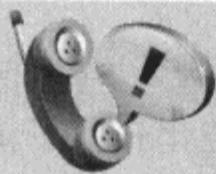
## 4. 设定状态

在此状态下，四位数码管先显示上次设定的“整定值”（刚上电为缺省（又称默认）整定值，显示为全“0”），此时通过按键S1~S4可分别更新设定4位整定值（S1~S4对应于低位至高位），每位均可由1~9循环选择。每按一次键，该位设定值便加1，四位数码管显示整定值设定过程，高位无效“0”不消隐。整定值被确认后，使 $\overline{\text{START}}$ 端为“ON”，便可进入计时状态。若进入计时状态时整定值为“0000”，则电路自动将整定值改为全“9999”。

## 5. “上电后”状态

若上电后 $\overline{\text{START}}$ 端为“OFF”，电路进入整定值设定状态，四位数码管显示上电缺省整定值“0000”。若上电后 $\overline{\text{START}}$ 端为“ON”（启动有效），则电路直接进入计时状态，此时的上电缺省整定值“0000”将被改为“9999”。

若整定值经设定后不断电，则可通过控制 $\overline{\text{START}}$ 端（下跳）或 $\overline{\text{RESET}}$ 端（复位操作， $\overline{\text{START}}$ 端完成设定后固定为“ON”），在一次计时结束后按原整定值重新启动另一次计时。



**提示**

QA64X707、QA64X717的引脚功能说明如下。

XTL1、XTLO: 外接4MHz晶体或陶瓷谐振器以提供时钟信号。使用晶体时外接电容值为 $(15 \sim 18\text{pF}) \times 2$ ，使用陶瓷谐振器时外接电容值为 $(20 \sim 330\text{pF}) \times 2$ 。片内设计有RC晶振起振时间定时器 $T_{\text{OSC}}$ 。上电后晶振起振前由 $T_{\text{OSC}}$ 定时20ms后，主定时器开始计时。主定时器的定时长度等于整定时间减 $T_{\text{OSC}}$ 时间。

UP/S: 复用端。

a、b、c、d、e、g、f: 是扫描开关的扫描输出端，高电平有效；也是四位共阴极LED数码管的段输出端，高电平有效。

B1、B2、B3、B4: 既是扫描开关的数据输入端，又是四位共阴极LED数码管的位选输出端，高电平有效。

PWR: 片内上电复位电路外接阻容端，正常工作时应为高电平。可直接接电源 $V_{\text{CC}}$ ，也可如应用举例接电阻、电容，以提高抗电源干扰能力和可靠复位。

$V_{\text{CC}}$ : 电源端。

### 春联集锦

冬去山川齐秀丽 喜来桃李共芬芳 横批：新年大吉  
日日财源顺意来 年年福禄随春到 横批：新春大吉  
发奋图强兴大业 勤劳致富建小康 横批：科技致富  
福旺财旺运气旺 家兴人兴事业兴 横批：喜气盈门  
福星高照全家福 春光耀辉满堂春 横批：春意盎然  
高居宝地财兴旺 福照家门富生辉 横批：心想事成



## 5.2 新型电气开关电路——通断控制更方便

控制电路自动化，电气开关功劳大。  
新型开关有很多，个个都很智能化。  
它们有个共同点，触点均被虚拟化。  
传统开关它代换，控制自如不用怕。

在各种控制电路中，电气开关不可或缺。接近开关、光电开关、遥控开关、漏电保护开关、晶闸管无触点开关等新型电气开关的出现，为电气控制自动化、智能化开创了新天地。

### 5.2.1 接近开关电路

——物体接近感应面，不需接触可通断

#### 1. 接近开关电路（一）

接近开关是一种不需要与运动部件进行机械接触而可以操作的位置开关，当物体接近开关的感应面到动作距离时，不需要机械接触及施加任何压力即可使开关动作，从而驱动交流或直流电器，或给计算机装置提供控制指令。接近开关是一种开关型传感器（即无触点开关），它既有行程开关、微动开关的特性，同时又具有传感性能，且动作可靠，性能稳定，频率响

应快，应用寿命长，抗干扰能力强等，并具有防水、防震、耐腐蚀等特点，广泛应用于机床、冶金、化工、轻纺和印刷等行业，在自动控制系统中可作为限位、计数、定位控制和自动保护环节。

图 5-9 所示为接近开关电路，它由振荡电路和继电器驱动电路组成。振荡电路包括电阻 R1~R3、电感线圈 L1 和 L2，电容 C1~C3 以及晶体管 VT1 等。继电器驱动电路包括触发信号电路和以晶闸管为主要器件的电子开关电路。触发信号电路由 L3、VD2、C4、R4、R5、R8 和 VT2 等组成。电路中的可调反馈电阻器 RP 用来调节触发电路的触发灵敏度。电子开关电路由 VS、R10、VD3、R7 和 VD4 等组成。继电器 KA 的线圈作为电子开关的负载，用来控制触点断开或接通。

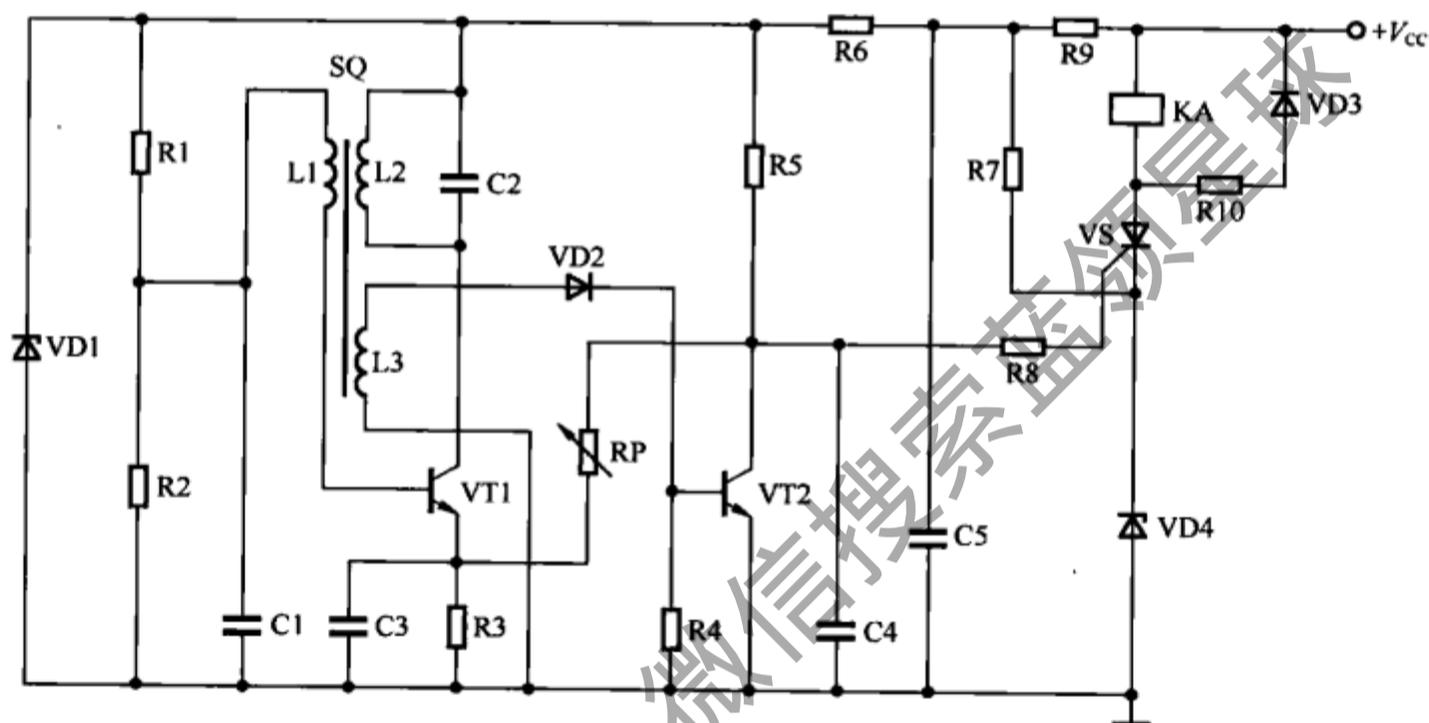


图 5-8 接近开关电路 (一)

接通电源，由 VT1、L1、L2、C1 和 C2 等组成的电路产生约 140kHz 的高频信号。在振荡维持期间，L3 上产生的感应电压经二极管 VD2 整流后，为 VT2 提供偏置电流，使 VT2 导通，电容器 C4 经晶体管 VT2 的 c、e 极迅速放电。因此，在 VT1 振荡期间，晶闸管 VS 的门极电压为零，晶闸管处于关断状态，继电器 KA 的线圈不能得电动作。

当有金属物体接近传感器 SQ (探头) 时，将在移动的金属体内产生涡流。由于涡流的去磁作用，线圈间的磁耦合大为减弱。由于 L1 上的反馈电压显著降低，振荡电路被迫停振，电感 L3 上无电压输出，晶体管 VT2 截止。此时，电源电压经 R5 对电容 C4 充电，使晶闸管 VS 的控制极电压高于阴极电压，门极处于正向偏置状态，晶闸管 VS 导通，继电器 KA 的线圈得电动作，其动断触点断开，动合触点闭合。



**提示** 由于接近开关的触点容量比较小，如果被控制对象需要的工作电流大于继电器 KA 的触点容量，可增加一级中间继电器来满足控制要求。

## 2. 接近开关电路 (二)

图 5-9 所示为金属接近开关电路，它由高频振荡电路、倍压整流电路和电子开关电路

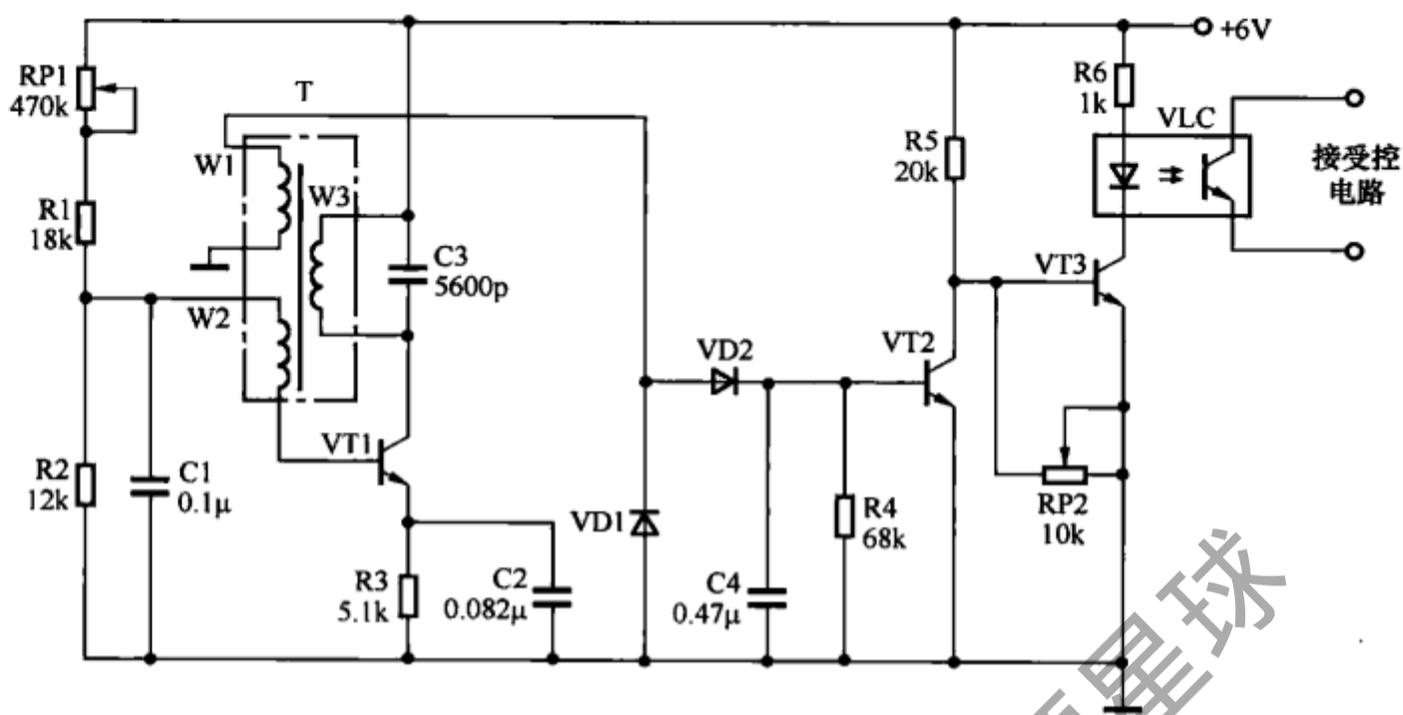


图 5-9 接近开关电路（二）

组成。

高频振荡电路由高频变压器 T、电位器 RP1、电阻 R1~R3、电容 C1~C3 和晶体管 VT1 组成。倍压整流电路由二极管 VD1 与 VD2、电容 C4 和电阻 R4 组成。电子开关电路由晶体管 VT2 与 VT3、电位器 RP2、光电耦合器 VLC 和电阻 R5、R6 组成。

高频变压器 T 作为检测探头对金属物体进行检测。在金属物体未靠近检测探头时，高频振荡器振荡工作，其输出的振荡信号经倍压整流电路倍压、整流后，产生一直流电压使 VT2 饱和导通，VT3 和 VLC 截止，电子开关处于关闭状态。当有金属物体靠近检测探头时，将产生涡流损耗，使高频振荡器停振，VT2 因基极的直流电压消失而截止，VT3 导通，VLC 内部的发光二极管点亮。当光敏晶体管导通时，电子开关处于接通状态。

调节 RP1 和 RP2 的阻值，可改变探测距离及探测灵敏度。

**提示** R1~R6 选用 1/4W 的金属膜电阻或碳膜电阻；RP1 选用有机实心电位器或可变电阻器，RP2 选用合成碳膜电位器或可变电阻器；C1、C2 和 C4 均选用独石电容，C3 选用高频瓷介电容；VD1 和 VD2 均选用 1N4148 型硅开关二极管；VT1 和 VT2 选用 S9013 或 3DG6 型硅 NPN 晶体管，VT3 选用 S8050 型硅 NPN 晶体管；VLC 选用 4N25 或 4N26 型光电耦合器；T 采用  $\phi 5\text{mm} \times 4\text{mm}$  的磁芯和  $\phi 0.12\text{mm}$  的漆包线绕制，W1 绕 25 匝，W2 绕 11 匝，W3 绕 60 匝。

### 3. 接近开关电路（三）

图 5-10 所示是用分立元件制作的电容传感式接近开关电路，它由一个射频振荡电路和一个探测板组成。

晶体管 VT1 与周围元器件构成一个射频振荡电路，金属感应电极片接在 VT1 的集电极上作为探测器。在没有其他导体接近感应电极片时，VT1 组成的振荡电路正常振荡，此时 VT1

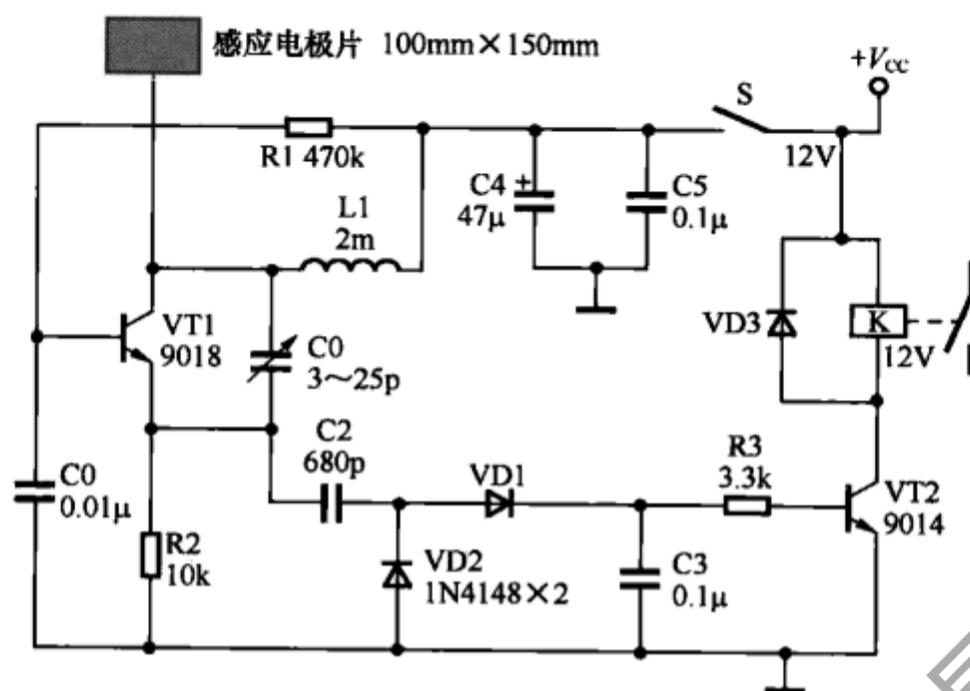
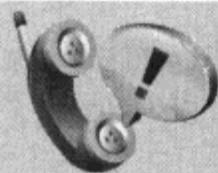


图 5-10 接近开关电路 (三)

发射极输出的射频电压信号经 VD1、VD2 检波后成为直流控制信号。该信号使开关管 VT2 导通，继电器得电吸合，接通被控电路的电源。当有导体接近感应电极片时，由于任何靠近感应电极片的导体都会感应出电极片和“地”之间的电容，而电容的增大就会降低振荡器的正反馈量直至振荡器停止振荡。如果振荡器停振，射频检波电路就不再输出直流控制信号，此时开关管 VT2 就会截止，使继电器失电断开，而且继电器断开后需要松开开关 S，S 再闭合后电路才能进入下一个振荡状态，否则继电器就一直断开。



**提示**

C0 是灵敏度调节电容，通过调节它的大小可以调整振荡器起振、停振的临界值，从而来调节控制器所控制物体的远近、大小等项目。

图 5-10 中，电感 L1 可以使用电感量为 1~6mH 的任何色码电感。如果电感量大于 4mH，就需要适当地增大 C0 的容量，以使电路能顺利起振，其他元器件参数如图中所示。

## 5.2.2

### 单相漏电保护开关电路

——漏电电流超过限，迅速保护切断电

#### 1. 单相漏电保护开关电路 (一)

漏电保护开关是用来防止人身触电和漏电引起事故的一种接地保护装置，当电路或用电设备的漏电电流大于装置的整定值，或人、动物发生触电危险时，它能迅速动作，切断事故电源，避免事故扩大，从而保障人身、设备安全。

图 5-11 所示为单相漏电保护开关电路，它包括漏电电流检测、控制处理、执行保护等部分。

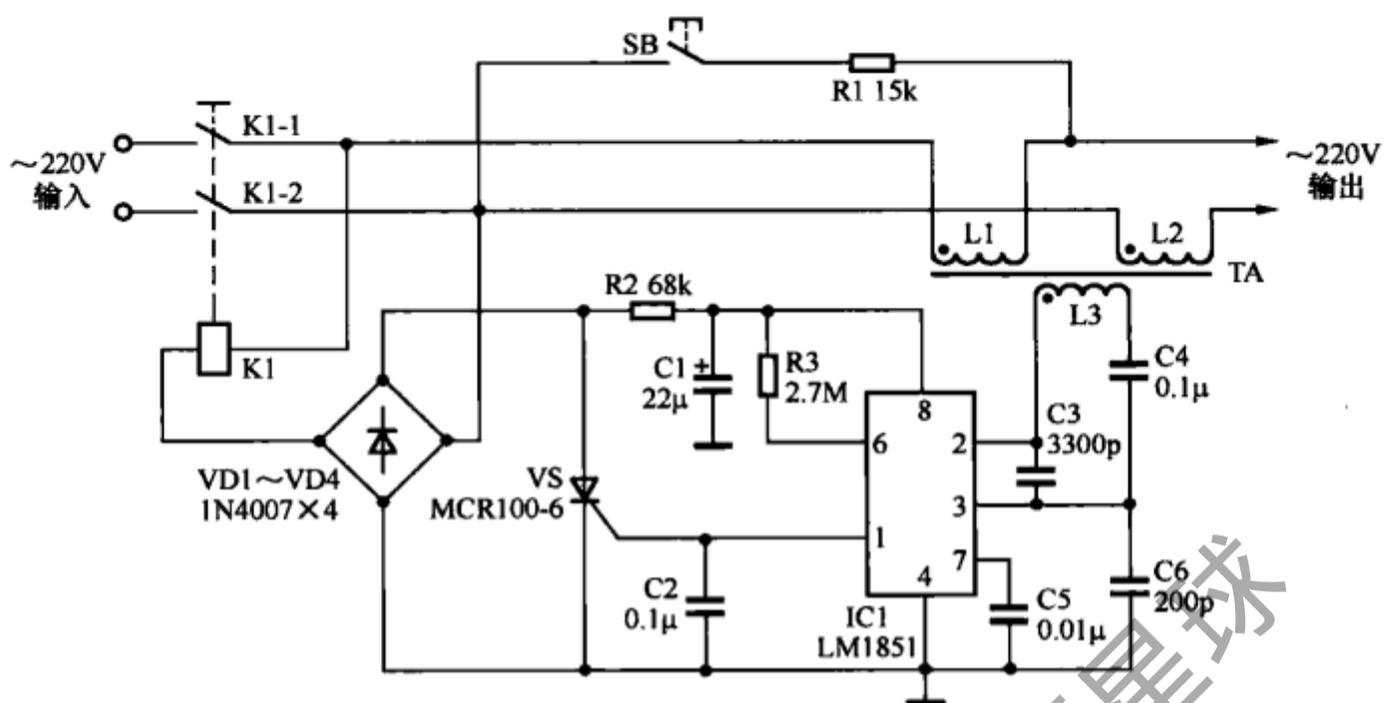


图 5-11 单相漏电保护开关电路 (一)

二极管 VD1~VD4 构成桥式整流电路, 并通过 R2、C1 降压滤波后, 为集成电路 IC1 提供工作电源。

220V 交流电经过保护开关 K1 和电流互感器 TA 后输出至负载。在正常情况下, 电源相线和零线的瞬时电流大小相等、方向相反, 它们在电流互感器 TA 的铁芯中所产生的磁通互相抵消, TA 的感应线圈 L3 上没有感应电压。

当发生漏电或触电时, 由于相线和零线的瞬时电流大小不相等, 它们在电流互感器 TA 的铁芯中所产生的磁通不能完全抵消, L3 上便产生一感应电压, 输入到集成电路 IC1 中进行放大处理后, IC1 的①脚输出触发信号, 使晶闸管 VS 导通, 保护开关 K1 得电动作而切断交流 220V 市电。保护开关 K1 的结构为手动接通、电磁驱动切断的脱扣开关, 一旦动作便处于“断”状态, 故障排除后需要手动合上。

电流互感器 TA 可检测出毫安级的漏电电流。

SB 为试验按钮。按下 SB 后, 相线与零线之间通过限流电阻 R1 形成一电流回路, 该电流回路的相线穿过了环形铁芯, 而零线没有穿过环形铁芯, 这就人为地造成了环形铁芯中相线与零线电流的不平衡, 模拟了漏电或触电的情况, 使得保护开关 K1 动作。



**提示**

该漏电保护开关是基于漏电或触电时相线与零线电流不平衡的原理工作的, 所以, 当相线与零线之间漏电或触电发生在相线与零线之间时, 此类漏电保护开关不起保护作用。

## 2. 单相漏电保护开关电路 (二)

图 5-12 所示为电流型漏电保护开关电路。

该漏电保护开关由电流互感器 TA、触发控制电路、驱动继电器以及供继电器工作的电源几部分组成。电流互感器为一绕在环形铁芯上的线圈, 即电流互感器的二次绕组、一次绕组是穿过互感器通向用户住宅室内的电源线。

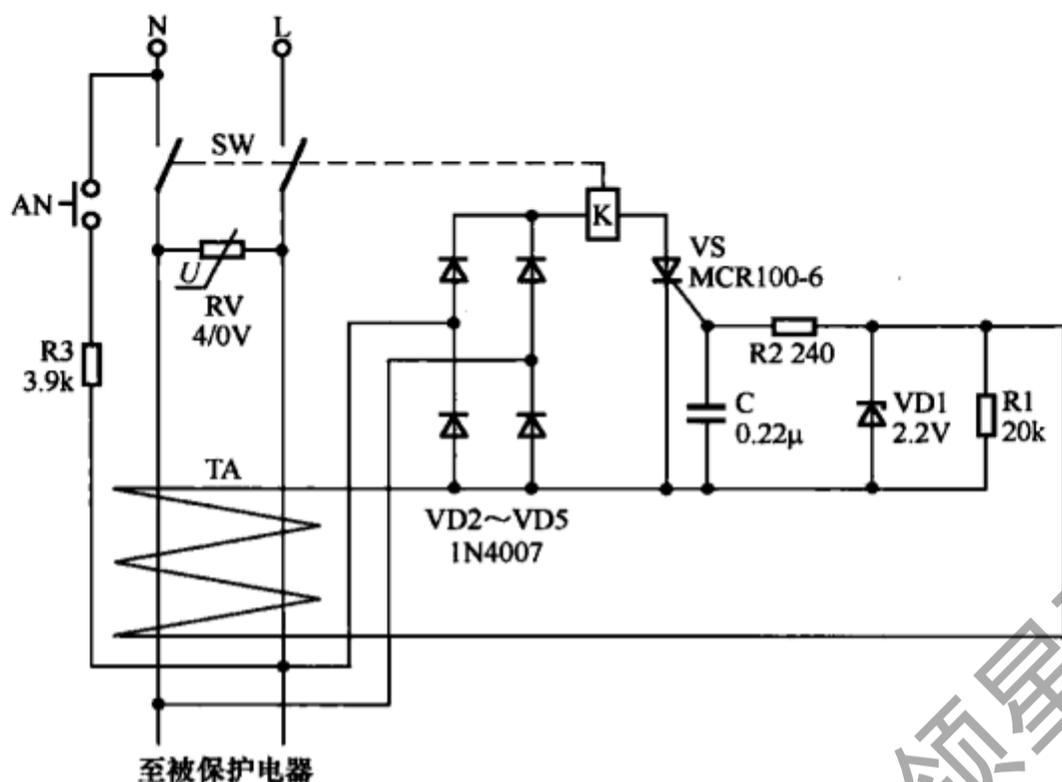


图 5-12 单相漏电保护开关电路 (二)

在正常情况下，即无漏电发生时，流过相线 L 和中性线 N 的电流大小相等、方向相反。两个电流通过互感器时，在铁芯中所产生的磁通也大小相等，但方向相反，互相抵消。因无磁通的变化，互感器二次绕组中也就无感应电动势，回路中无电流。

当被保护电路漏电时，比如发生接地、人身触电等，这时部分电流将由人体或导体经由大地返回，流经互感器 TA 的两个电流抵消后还有剩余电流。这个剩余电流引起磁通变化，互感器二次绕组中就产生了感应电动势。这个感应电动势加至由电阻 R1、R2 以及稳压二极管 VD1（此处稳压二极管的作用是旁路感应电动势中的负向成分及将触发脉冲限制在晶闸管触发极所能承受的电压范围之内）、电容 C 组成的触发脉冲形成电路上，输出一正向触发脉冲到单向晶闸管 VS 的控制极，晶闸管导通，继电器 K 的线圈中有电流通过，K 动作。再通过继电器的触点 SW 分断（这个 SW 一般由与之配套的带有过负荷和短路速断保护功能的低压断路器担任），从而切断电源。

由于这一系列动作的时间非常短（设计要求小于或等于 0.1s），电流也小（漏电流小于或等于 30mA），所以不会对触电者造成损伤。

继电器 K 的工作电源由交流 220V 电压经 VD2~VD5 组成的桥式整流电路整流后获得。

**提示** 图中 R3 和自复式开关 AN 组成试验电路，可以很方便地在现场或定期测试该保护开关是否正确动作。RV 为一阈值为 470V 的压敏电阻，用以防止瞬时高电压的侵入。

### 5.2.3 光电开关电路

——关键器件光敏管，自动识别亮和暗

图 5-13 所示为由  $\mu A555$  构成的夜间自动亮灯开关电路。

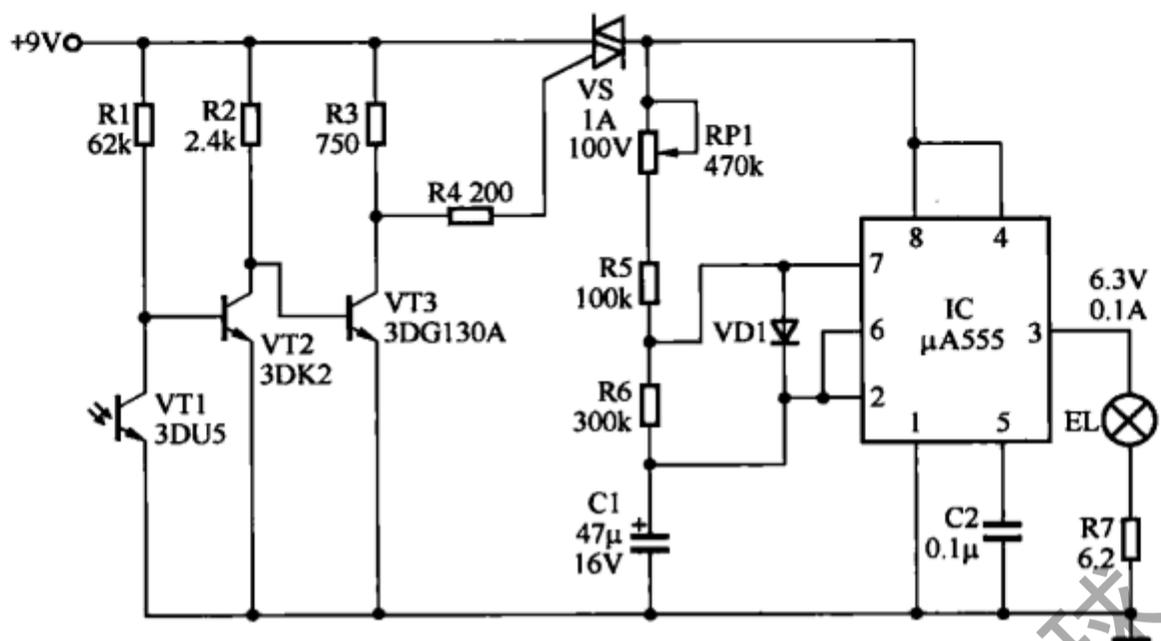
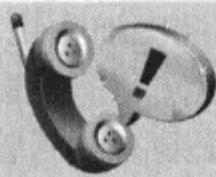


图 5-13 夜间自动亮灯开关电路

该电路由光电转换开关、多谐振荡器等组成。其中多谐振荡器由 RP1、R5、R6、C1 和集成电路  $\mu$ A555 等组成。图示参数对应的频率为 0.1~0.5Hz，调节电位器 RP1 可得到相应的频率。

光电开关中的 VT1 (3DU5) 为光敏晶体管，其在不同的光照下呈现不同的阻值。在白天，其因光照而呈低阻，使 VT2 截止，VT3 导通，晶闸管 VS 截止，振荡器因无电而不工作，指示灯不亮。夜晚，VT1 的集电极、发射极间呈高阻，使 VT2 导通，VT3 截止，晶闸管 VS 导通，相应振荡器因电源电路接通而开始工作，其输出的信号驱使指示灯 EL 发光，以引起人们的注意。调节电位器 RP1，可改变闪光的时间间隔。



**提示**

光敏晶体管和普通晶体管相似，也有电流放大作用，只是它的集电极电流不只是受基极电路和电流控制，同时也受光辐射的控制。通常基极不引出，但一些光敏晶体管的基极有引出，用于温度补偿和附加控制等。

### 5.2.4 温控开关电路 ——热敏电阻阻值动，电路通断温度控

温度开关可根据所要控制对象的温度来决定电路的通断，主要应用于电路需随温度变化而自动通断的场合，将器具温度控制在一恒定范围内。图 5-14 所示为温控开关电路。

集成电路 555 和热敏电阻 RT、电位器 RP1 和 RP2 以及电容 C3 等组成单稳态定时电路。当热敏电阻 RT 感受的温度超过设定值时，由于电阻加大，集成电路 555 的②脚电位下降到  $V_{DD}/3$ ，此时，555 置位，③脚呈高电位。这时，将与之配接由交流过零开关电路控制的降温或制冷电气设备接通，进行降温。当预置的

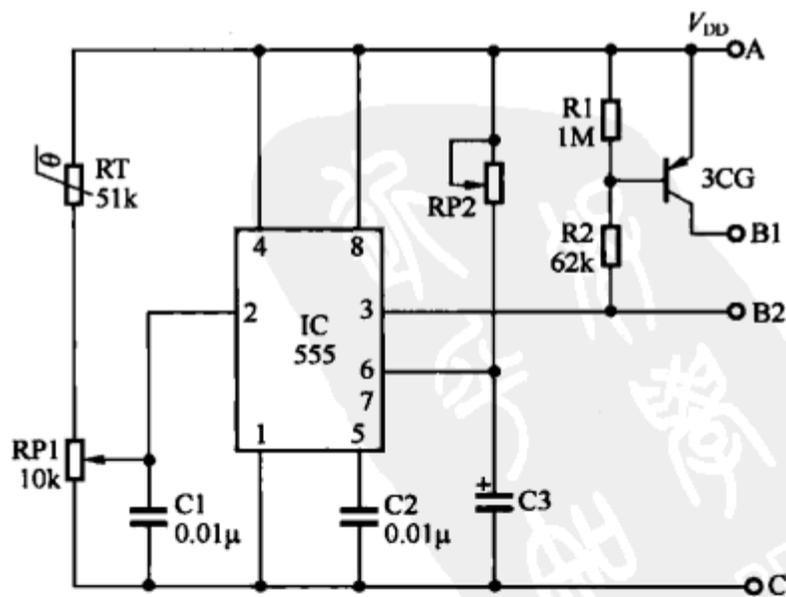
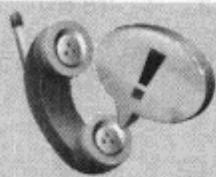


图 5-14 温控开关电路

定时时间 ( $t=1.1R_{RP2}C_3$ ) 一到, 555 就复位, 断开降温设备的电源。



提示

该电路有两个输出端, 输出端 B1 用于温度控制, 输出端 B2 用于进行温升报警。

## 5.2.5

### 晶闸管开关电路

——脉冲触发电导通, 控制电力很轻松

#### 1. 单相晶闸管无触点开关电路

单相晶闸管无触点开关电路如图 5-15 所示。

图 5-15 (a) 所示是晶闸管单相交流调压电路, 在电路中晶闸管作为开关使用, 其导通角不需要调节。在需要接通电路时, 让两个反向并联的晶闸管都正向全导通 (或触发延迟角为零); 在需要切断电路时, 不对两个晶闸管进行触发即可。

在图 5-15 (b) 中, 只用一个晶闸管, 当交流电压为正半周时, 晶闸管受正向电压作用, 但未加触发脉冲时, 它一直处于阻断状态, 整流桥不通, 交流电路因而被切断; 在给晶闸管加一系列高频触发脉冲时, 它全导通, 负载得到交流电流。

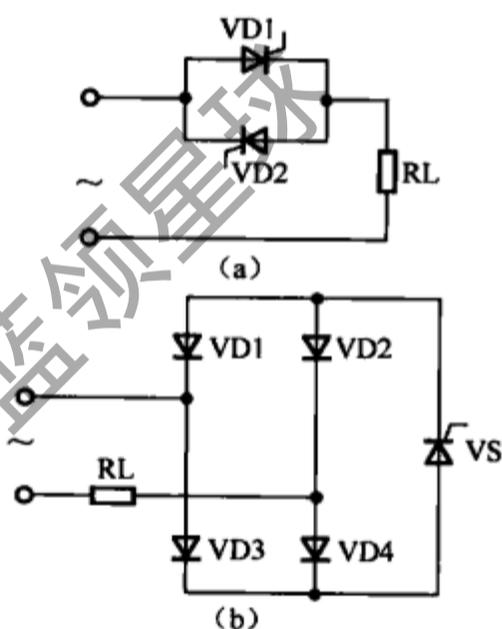
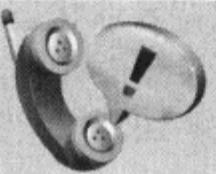


图 5-15 单相晶闸管无触点开关电路



提示

晶闸管是一种大功率半导体器件, 它能控制较大的电流和功率, 用来进行电动机调速、电镀、电解、充电、励磁、调压、稳压、变频等。

#### 知识链接

#### 晶闸管的测试

晶闸管分单向晶闸管和双向晶闸管两种, 都是 3 个电极。单向晶闸管有阴极 (K)、阳极 (A) 和控制极 (G)。双向晶闸管等效于两只单向晶闸管反向并联, 即其中一只单向晶闸管的阳极与另一只的阴极相连, 其引出端称 T1 极; 其阴极与另一只的阳极相连, 其引出端称 T2 极; 剩下的则为控制极 (G)。

单、双向晶闸管的判别: 先任测两个极, 若正、反向测试时指针均不动 ( $R \times 1$  挡), 则可能是 A、K 极或 G、A 极 (对于单向晶闸管), 也可能是 T2、T1 极或 T2、G 极 (对于双向晶闸管)。若其中有一次测量指示为几十至几百欧, 则必为单向晶闸管, 且红笔所接为 K 极, 黑笔接的为 G 极, 剩下的即为 A 极。若正、反向测试时示值均为几十至几百欧, 则必为双向晶闸管。再将旋钮拨至  $R \times 1$  或  $R \times 10$  挡复测, 其中必有一次阻值稍大, 则稍大的一次红笔接的是 G 极, 黑笔所接的为 T1 极, 余下的是 T2 极。

性能的差别：将旋钮拨至 R×1 挡，对于 1~6A 单向晶闸管，用红笔接 K 极，黑笔同时接通 G、A 极，在保持黑笔不脱离 A 极的同时断开 G 极，指针应指示几十欧至 100Ω，此时晶闸管已被触发，且触发电压低（或触发电流小）。然后瞬时断开 A 极后再接通，指针应退回无穷大位置，表明晶闸管良好。

对于 1~6A 双向晶闸管，用红笔接 T1 极，黑笔同时接 G、T2 极，在保证黑笔不脱离 T2 极的前提下断开 G 极，指针应指示几十至 100 多欧（视晶闸管电流大小、厂家不同而异）。然后将两笔对调，重复上述步骤测一次，指针指示还要比上一次稍大十几至几十欧，表明晶闸管良好，且触发电压（或电流）小。若保持接通 A 极或 T2 极时断开 G 极，指针立即退回无穷大位置，则说明晶闸管触发电流太大或损坏。

## 2. 双向晶闸管无触点开关电路

图 5-16 所示为双向晶闸管无触点开关电路。

按下控制按钮 SB1 时，负载 RL 得电工作，其上的 220V 电压经电容 C1 降压、二极管 VD 整流、稳压二极管 ZD 稳压、电容 C2 滤波后，得到的直流电压经过电位器 RP 限流后加到双向晶闸管 VS 的 G 极和 T1 极间。松开 SB1 时，VS 的 T2、T1 极加上了电压，G 极和 T1 极间也因 C2 上的电压不能突变而加上了电压，满足了 VS 导通条件，VS 进入导通状态。此后，市电通过处于通态的 VS 加到 RL 上的交流 220V 电压被转换成直流电压后加到 VS 的 G 极和 T1 极间，使 VS 继续保持导通状态。

VS 导通后，按下 SB2，则 VS 的 G 极和 T1 极间的电压降为 0，VS 立即进入截止状态，RL 上的 220V 电压便消失，而 C2 通过 RP 和 VS 的 G、T1 极间电阻迅速放电，使 VS 的触发电压变为 0V，因而松开 SB2 后，VS 不会重新导通。

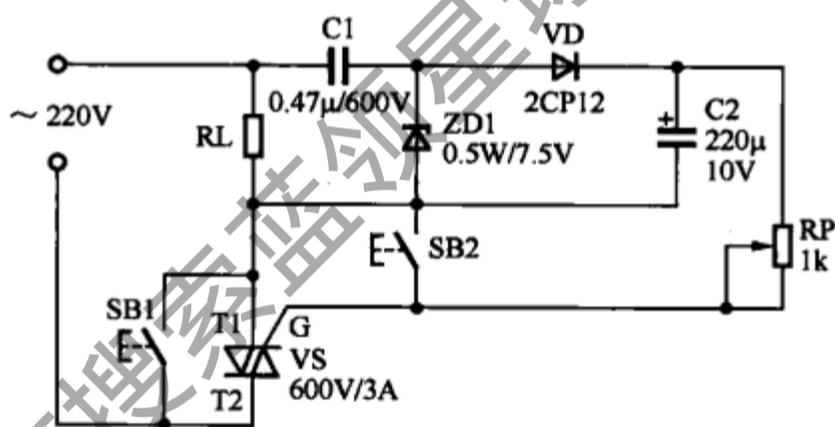


图 5-16 双向晶闸管无触点开关电路



提示

实验表明，当 C2 的容量为 100~330μF 时，SB1 触发 VS 导通有效，而且 SB1、SB2 不会出现“迟钝”现象。

## 3. 停电自锁开关电路

图 5-17 所示为停电自锁开关电路。

电网供电正常时，该停电自锁开关像普通开关一样使用。按一下 SB1，220V 交流电经 R1 和 R2 分压给双向晶闸管提供一触发电压，使双向晶闸管导通。晶闸管导通后，在电源电压正半周期间，少量电流经 R4、VD1 向 C1 充电，同时经 R3、R2 分压触发双向晶闸管 VS；在负半周期间，C1 向 R3 和 R2 放电并触发双向晶闸管，这样使双向晶闸管

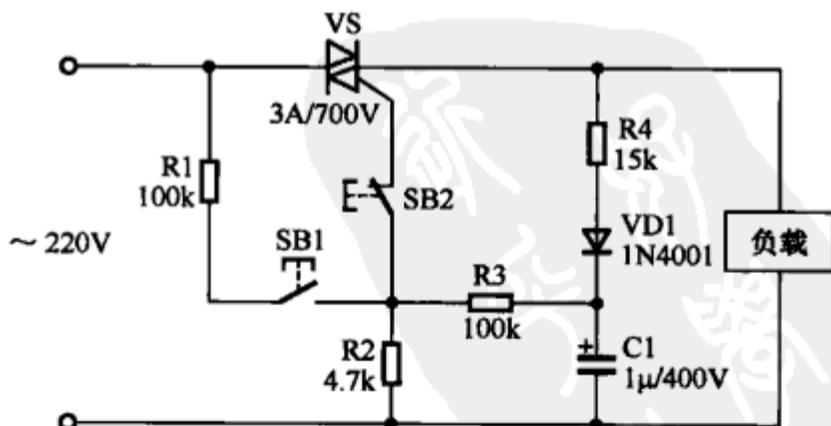
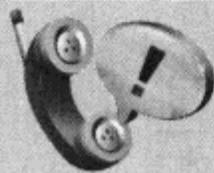


图 5-17 停电自锁开关电路

继续导通，保证负载正常工作。

一旦电网突然停电，C1 上的电荷经 R3 和 R2 放电。在电网恢复供电后，由于 SB1 常开，C1 上又无电压，不能使双向晶闸管触发导通，电路呈断开自锁状态，因此没有电流流过负载。只有重按一下 SB1，负载才能正常工作，从而有效地防止了因断电后恢复供电造成的浪费和事故，从而实现自锁作用。



提示

动合按钮 SB2 用于在正常供电情况下关断电路。

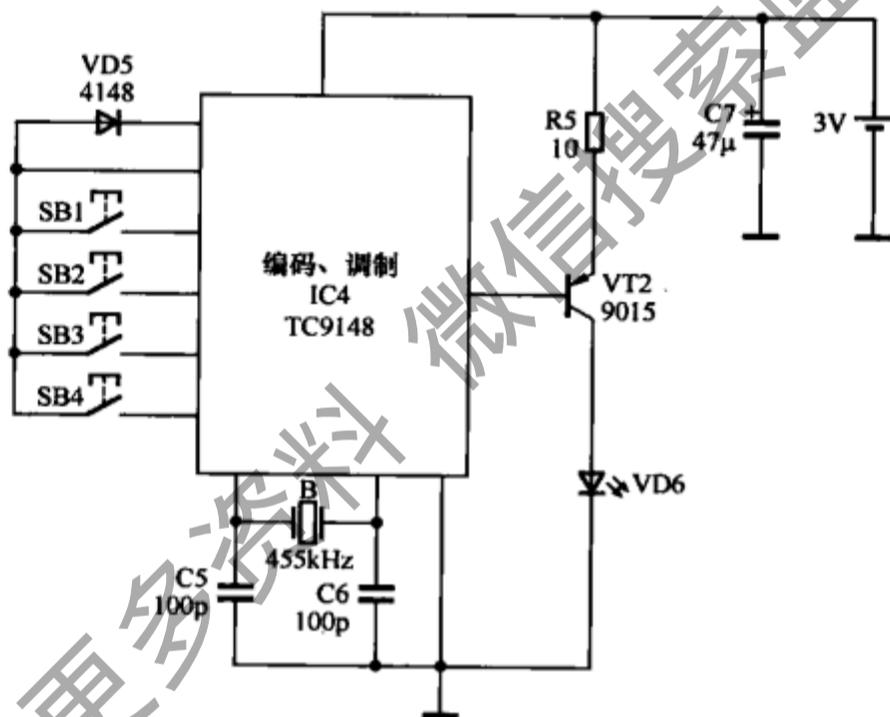
### 5.2.6

### 遥控调光开关电路

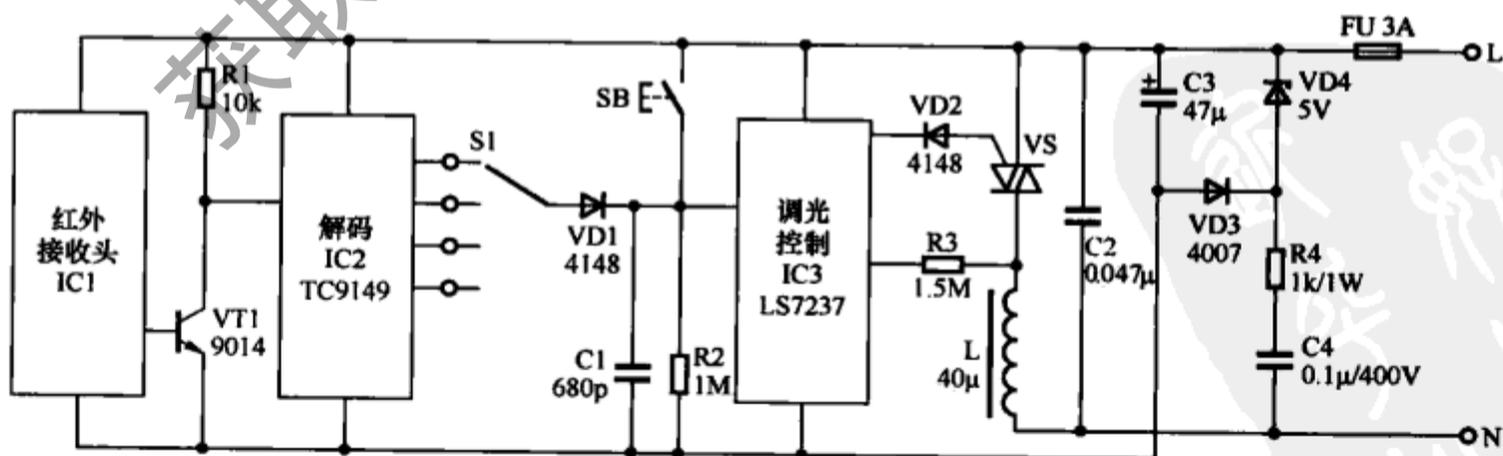
——遥控开关能调光，分组控制最理想

红外遥控调光开关通过遥控器即可控制照明灯的开关和灯光的明暗变化，并具有记忆功能，它由开关主体和遥控器两部分组成。

红外遥控发射电路如图 5-18 (a) 所示，它采用专用集成电路 TC9148 (IC4)，其内部包

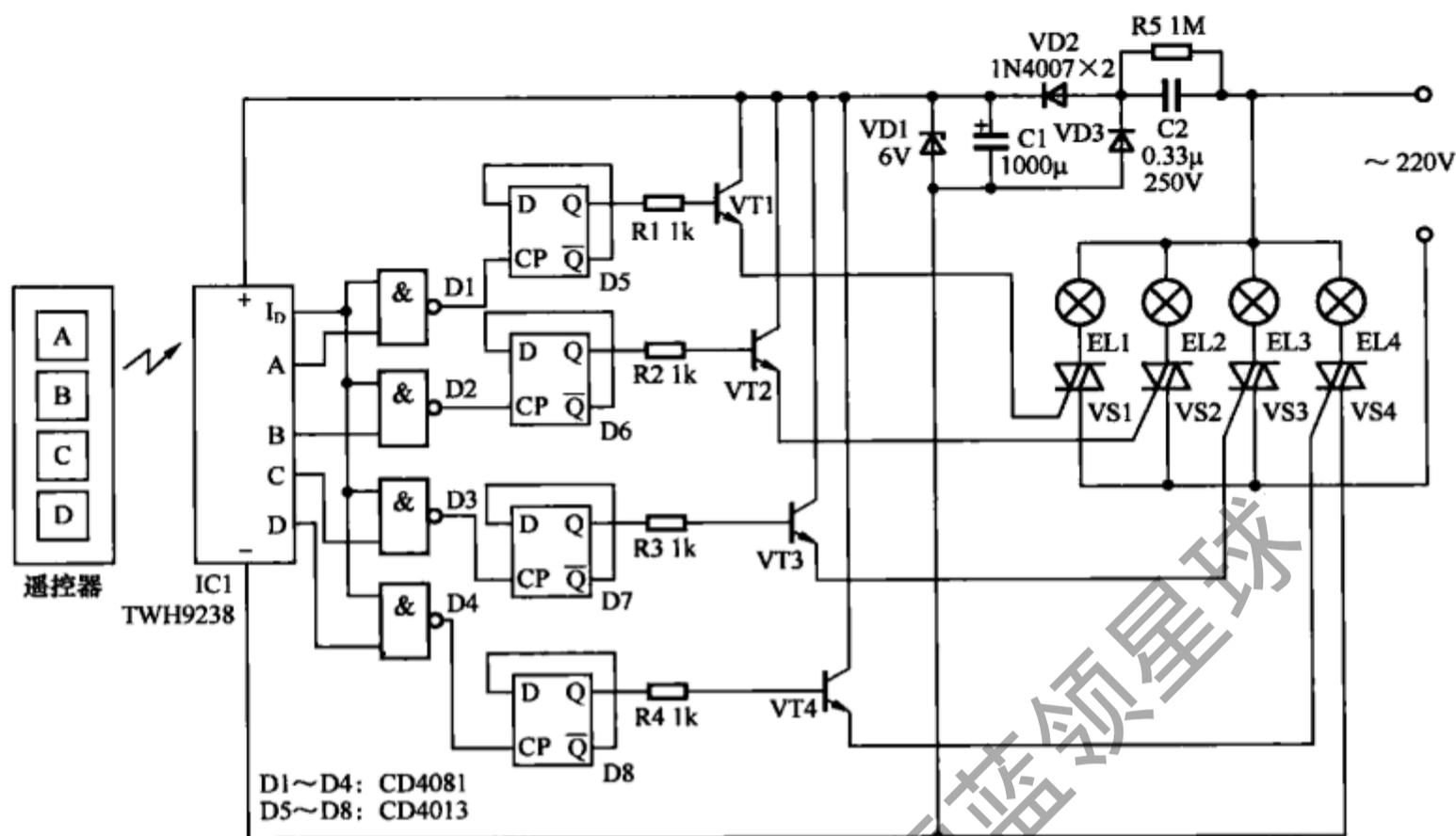


(a) 红外发射器电路



(b) 主电路

图 5-18 红外遥控调光开关



(c) 无线遥控分组开关电路

图 5-18 红外遥控调光开关 (续)

含编码、振荡、分频、调制、放大等单元电路。SB1~SB4 为 4 个遥控按钮，可分别控制 4 盏灯。当按下某一按钮时，IC4 便进行相应的编码并调制到 38kHz 的载频上，经 VT2 放大后，驱动红外发光二极管 VD6 发出红外遥控信号。

接收电路采用集成红外接收头 IC1 和与 IC4 相配套的解码集成电路 TC9149 (IC2)。SB 为手动控制按钮，S1 为遥控通道设定开关。如用一个遥控器控制 4 盏灯，则应将 4 个开关主体电路中的 S1 分别拨向不同的位置。

安装时，用调光开关主体直接取代原有的电灯开关即可。使用时，按一下遥控器上的按键（时间小于 0.4s），照明灯泡即亮；再按一下，灯泡即灭。按住按键不放（时间大于 0.4s），灯泡将会由亮渐暗再由暗渐亮地循环变化，在达到所需亮度时松开按键即可。此亮度会被电路记忆，下次打开电灯时即为此亮度。

无线遥控分组开关电路如图 5-18 (c) 所示，该电路可将吊灯等大型灯具的若干灯泡分为 4 组，通过遥控器分别控制各组灯泡的开与关。遥控器和接收模块 IC1 采用微型无线电遥控组件。

遥控器具有 A、B、C、D 共 4 个按键，每个按键控制一组灯泡的开关。在该电路中，IC1 为接收模块 TWH9238。通过遥控器上的 4 个按键，即可随意遥控大吊灯的 4 组灯泡的开或关。也可将天花板上的灯具分为 4 组，用该开关进行分组遥控。



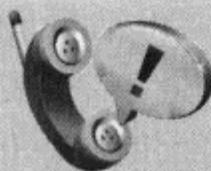
提示

调光开关主体可以直接取代电灯开关，控制电灯的点亮、熄灭和明暗变化；既可以用遥控器遥控操作，也可以手动操作。



想  
—  
想

如果本电路遥控、手动均不起作用，如何检修？



提  
示

可能是安装时将 L 端与 N 端接反，应将 220V 市电相线接入 L 端；也可能是电灯开关安装在 220V 市电零线一侧，遇此情况时应改接电源走线，使调光开关主体串接在市电相线一侧；还有可能是熔断器 FU 熔断，更换即可；另外，也可能是作为负载的灯泡已坏，更换即可。

### 5.2.7

## 液位自动控制开关电路

——液位升降探极测，控制水泵转与歇

图 5-19 所示为农用液位自动控制开关电路。

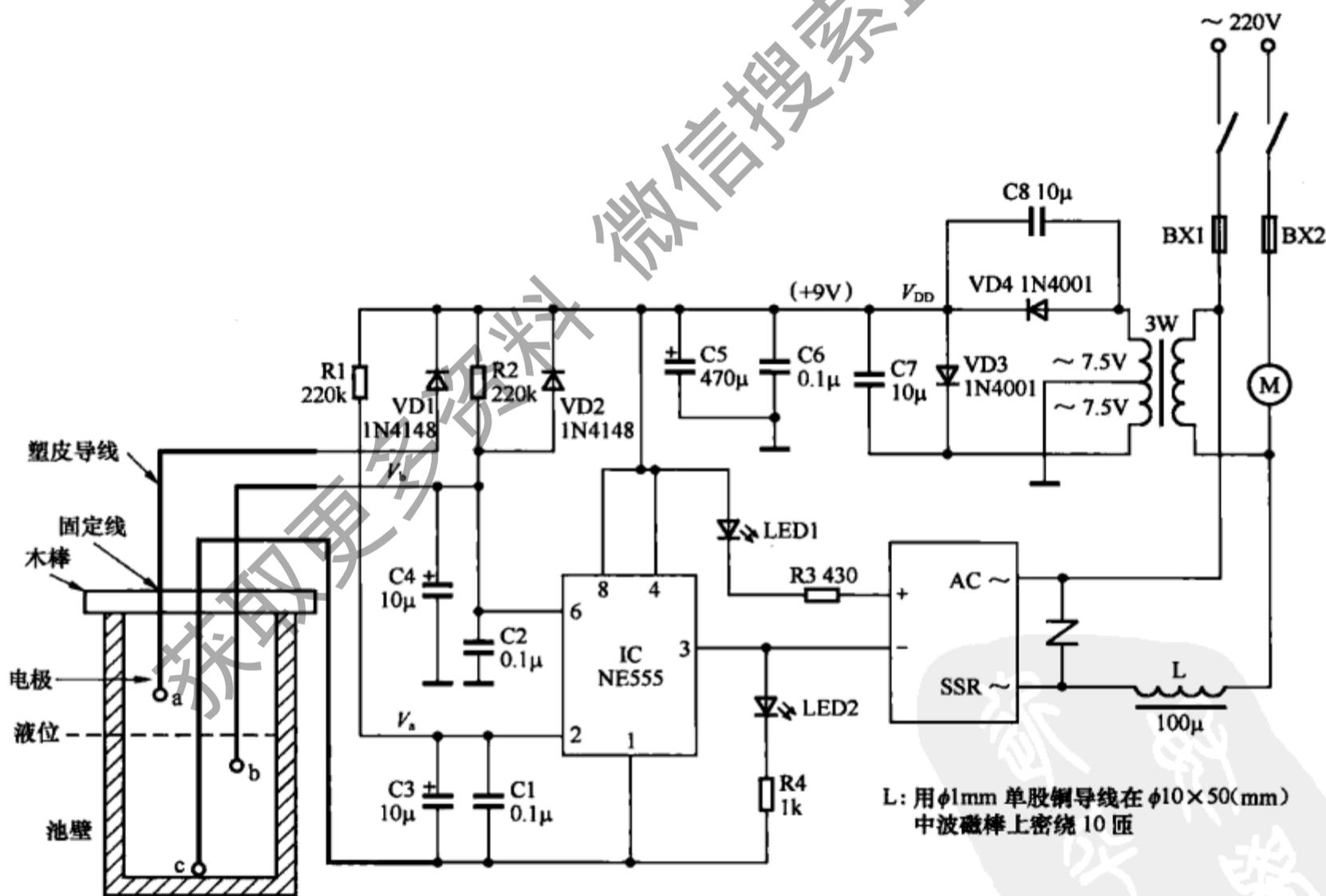
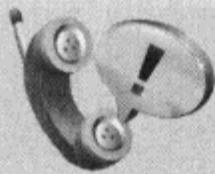


图 5-19 农用液位自动控制开关电路

该控制开关电路由降压整流电路、RS 触发器、固态继电器 (SSR) 控制电路等组成，其

中降压整流电路为整个控制电路提供 9V 的直流电压 ( $V_{DD}$ )。

当水池内无水时,若刚接通电源,则因 C3 上电压不能突变而使 IC (NE555) 的②脚为低电位,IC 被置位,③脚输出的高电平使 SSR 截止,电动机 M 不运转。此时 C3、C4 分别通过 R1、R2 进行充电。当 C4 上的电压充到  $2V_{DD}/3$  时,IC 复位,③脚输出的低电平使 SSR 内部的光电耦合器将交流 220V 电压接通,电动机 M 因得电而运转抽水。当水位上升至探极 b 时,C4 通过水进行放电,但 IC 仍输出低电平,电动机 M 继续转动。当水位升至探极 a 时,C3 通过水放电。当 C3 放电到使②脚电位低于  $V_{DD}/3$  时,IC 置位,③脚输出的高电平使 SSR 截止,电动机 M 因无电而停转,液位开始下降。当探极 b 露出水面时,C4 又充电,重复上述过程。这样周而复始,使液面保持一定的高度。



**提示** SSR 为交流过零型固态继电器,其内部为光电耦合器,使控制端与输出端隔离。该控制开关电路除可对农用液位进行自动控制外,还可对水塔液位等进行自动控制。

## 5.2.8

### 节能开关电路

——电容降压灯节能,提高功率因数

图 5-20 所示为电容降压节能开关电路,可用于楼梯、过道等不需要光线很亮的照明场所。它不仅能延长灯泡的使用寿命,还可提高电路的功率因数。

该电路利用电容作为降压元件串联在灯泡回路中,降低灯泡工作电压,使灯泡功率变小,以达到节能的目的。

图 5-20 (a) 是利用一只单刀双掷开关 S 进行控制的接法。这种接法可以使灯泡具有两种工作状态:当开关 S 的触点 2、3 连接时,由于电容 C 处于开路状态,灯泡正常发光;当开关 S 的触点 1、2 连接时,电路中串入电容 C 使灯泡功率变小。

图 5-20 (b) 只是在原电路中串入一只电容,灯泡只能在小功率状态下工作。

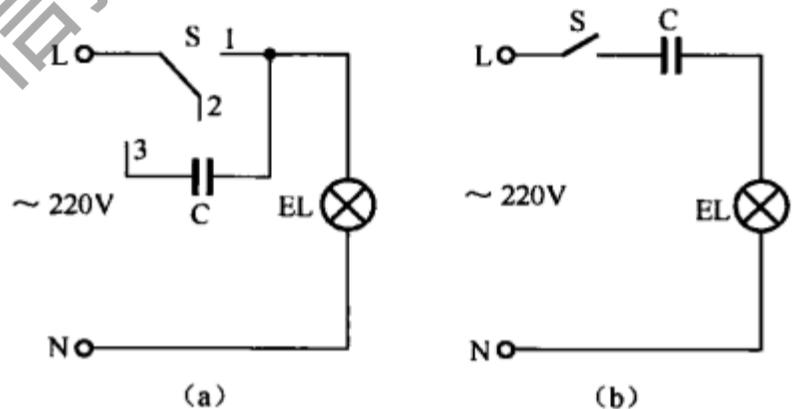


图 5-20 电容降压节能开关电路



**提示** 安装接线时,导线与电容应焊接在一起,接头处用胶布包好,并将电容固定在开关旁边的适当位置,以确保安全。

电容 C 可选用额定电压在 400V 以上、容量为  $0.66 \sim 4\mu\text{F}$  的瓷介电容或涤纶电容,不能采用电解电容。例如 100W 的灯泡串联  $1.47\mu\text{F}$  的电容后,其发光的实际功率为 4.75W,若要亮一点儿,可以改用容量稍大一些的电容。

### 假如我是经理

老师布置的作文题目是：假如我是经理。

不一会儿，几乎所有的同学都在动手写作文，唯有小明昂首挺胸、泰然自若地坐着。

“你怎么不写？”老师问。

小明答到：“等秘书啊！”



## 5.3 电工电子经验电路——智慧结晶

都说经验是财富，他山之石可攻玉。  
借鉴前人成功路，学习电工变容易。  
技能技巧多积累，分析判断应仔细。  
例如电机绕组判，磁极检测最容易。  
家中电器若漏电，声光报警作提示。  
经验电路比较多，此处抛砖盼引玉。

本节介绍几例电工电子经验电路，让读者在学习的同时可以直接将书中的电路应用到工作实践中，以提高自己的水平和操作技能。

### 5.3.1 电动机绕组磁极检测电路——绕组正误与头尾，感应磁场来校对

图 5-21 所示为电动机绕组磁极检测电路，可用于电动机定子或转子重绕时判断绕组嵌线的正误以及磁极绕组线圈的首尾端等。

集成电路 IC1 为单运算放大器 LF351H。磁场感应传感器是  $7\text{cm} \times 5\text{cm}$  的矩形线圈（可用  $\phi 0.1\text{mm}$  漆包线绕 600 匝，线圈外面用纱布包裹），线圈经过浸漆处理并留有两个引出线头。用于磁极电流及方向指示的检测仪表 mA 是一个中间置“0”、 $\pm 100\text{mA}$  双向指示的毫安表。VT1 与 VT2 组成高稳定的差分放大前置级，VT3 与 VT4 为输入级的差动放大器提供电流，VD3 用于为恒流源提供 1.2V 的基准电压。

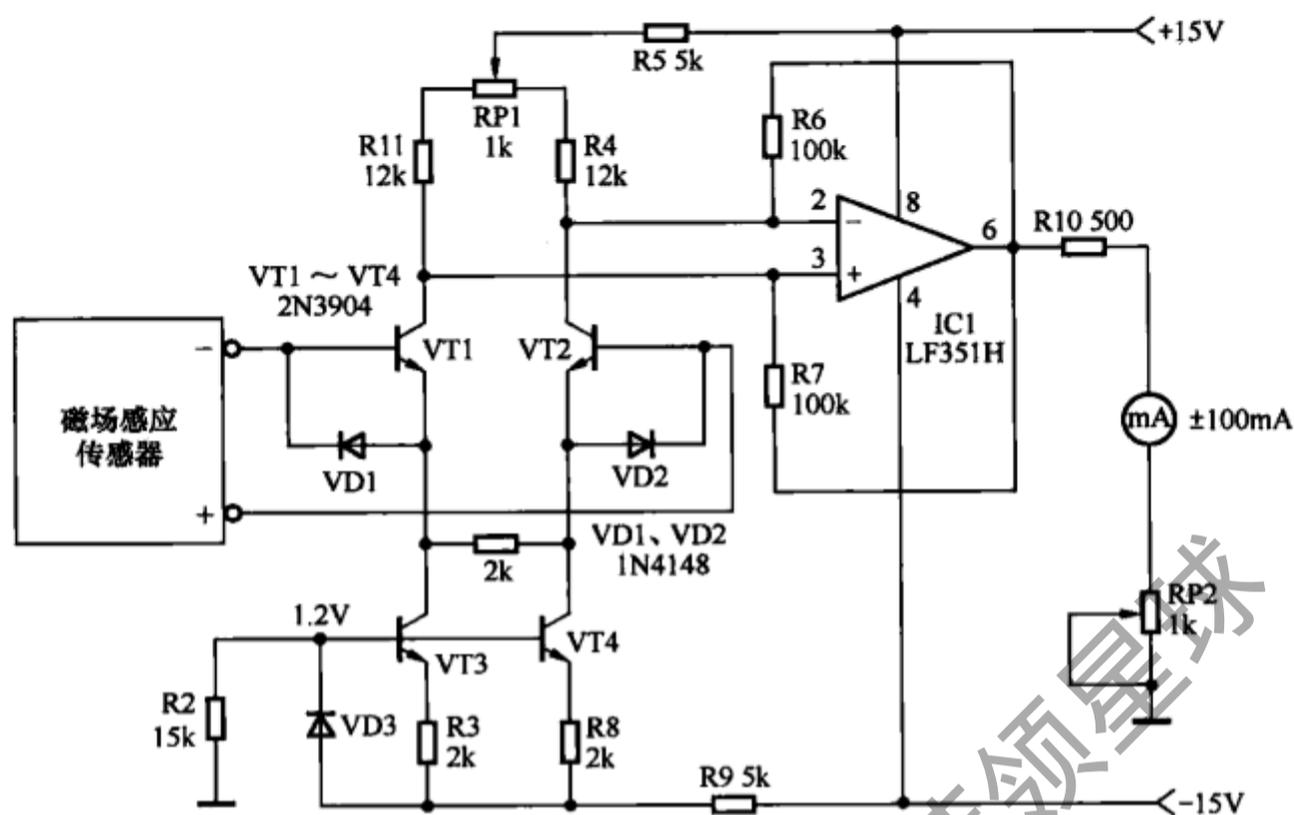


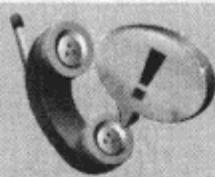
图 5-21 电动机绕组磁极检测电路

每相绕组均单独检测。在进行检测前，先调节 RP2 使电表指示零，再将所检测的线圈两端接上 15~20V 的直流电压，然后将感应线圈平行放在转子或定子的极相组磁极上。这样，磁场感应传感器线圈在通过电动机绕组磁场的瞬间会产生一个感应电流。根据电工学知识，该感应电流的方向与磁力线的方向有关，大小与磁场强弱有关。

磁场感应传感器检测到的微弱电流分别加到差分放大前置级 VT1 与 VT2 的基极，经差分放大以后从集电极输出，同时进入单运算放大器 IC1 的同相输入端③脚和反相输入端②脚。该直流信号进行放大并将差动输入变为单端输出，激励电流表线圈，电流表的指针会向正或向负方向摆动（注意，应记住摆动方向和摆幅），由此即可判定电动机转子或定子磁矩排列顺序和强弱是否符合嵌线规律和磁势曲线。依据检测结果，可及时发现电动机绕组是否嵌反，线间是否短路，匝数是否不相等。

采用同样的方法再检测下一个极相组磁极，又可读取一个正的或负的指示值，并与前一次指示值的方向和大小进行比较，根据下面 3 种情形判断电动机绕组是否存在故障。

- ① 电流表指针的偏向相同，偏转幅度一致，说明为线头与线尾相接的两极绕组。
- ② 电流表指针偏向相反，说明是线头与线头或线尾与线尾相接的极相组。
- ③ 对于单相两极电动机，则在主、副绕组上应分别出现摆动方向相反、摆幅一致的两次指示。



**提示**

检测三相异步电动机绕组时，必须对 A-X、B-Y、C-Z 共 3 组绕组分别进行检测，各相绕组的检测应相对独立。

检测时，要注意同一相绕组上的各极相组的磁力线方向和磁势的大小。如果出现电流表指示方向及偏转大小与要求不同的情况，通常多是由于某一极相组线圈的方向可能嵌反了，或者线圈之间的漆层被刮破，从而出现短路现象。

## 5.3.2

## 电动机断相保护电路

——两相运行毁电机，加装断相保护器

运行中的三相 380V 电动机缺一相电源后变成两相运行，如果运行时间过长，则有烧毁电动机的可能。为了防止缺相运行烧毁电动机，有多种保护方案可供选择，图 5-22 所示为其中的一种电动机断相保护电路。

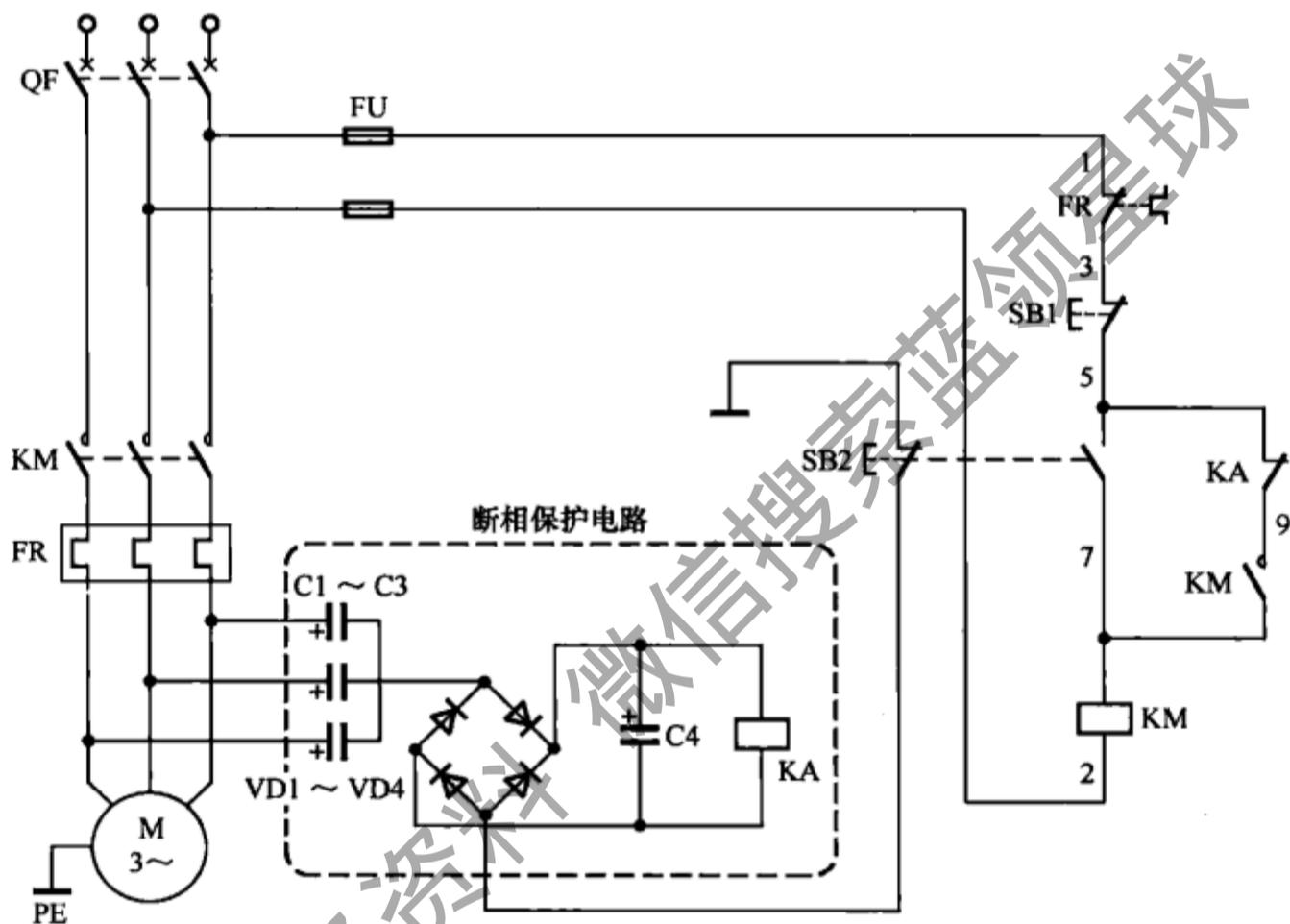
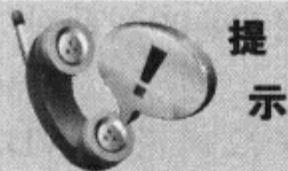


图 5-22 电动机断相保护电路

该断相保护电路由电容  $C1 \sim C4$ 、整流二极管  $VD1 \sim VD4$  和中间继电器  $KA$  等组成。

当在运行过程中某一相线路断线后，电动机处于缺相运行状态。由于三相电压不平衡，由  $VD1 \sim VD4$  组成的桥式整流电路则有电压输出，当输出的直流电压达到中间继电器  $KA$  的动作值时， $KA$  动作，于是其与自锁触点串联的动断触点断开，使  $KM$  线圈断电，其主触点全部释放，电动机停止转动。



提示

电容  $C1$ 、 $C2$ 、 $C3$  的参数为  $2.4\mu\text{F}/500\text{V}$ ，电容  $C4$  的参数为  $100\mu\text{F}/50\text{V}$ 。

整流二极管  $VD1 \sim VD4$ ：2CP12 $\times$ 4。

中间继电器  $KA$ ：直流 12V 继电器。

断相保护电路板安装示意图如图 5-23 所示。

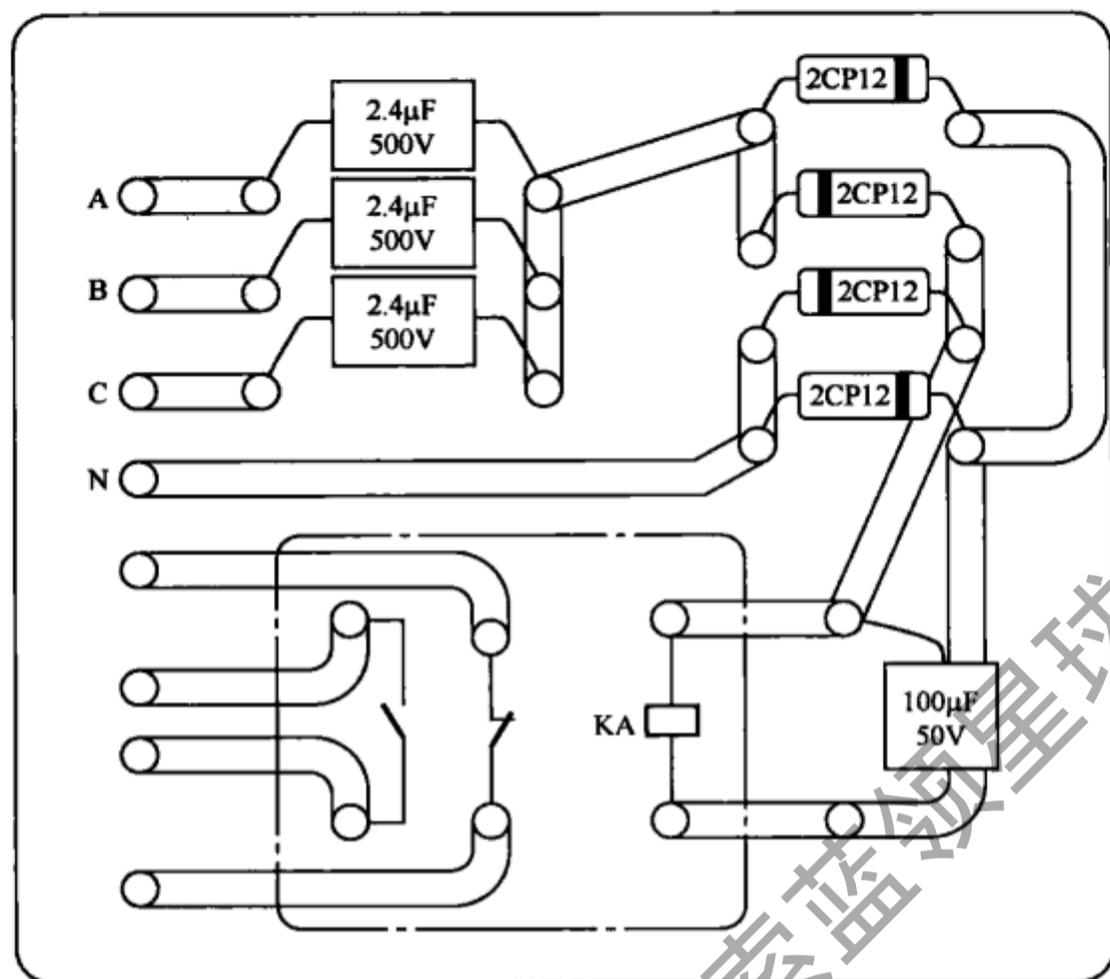


图 5-23 断相保护电路板安装示意图

### 5.3.3

## 交流电源指示灯电路

——一目了然指示灯，观察方便很省心

图 5-24 所示为发光二极管电源指示灯电路，该电路在电源插座、电源开关中使用。

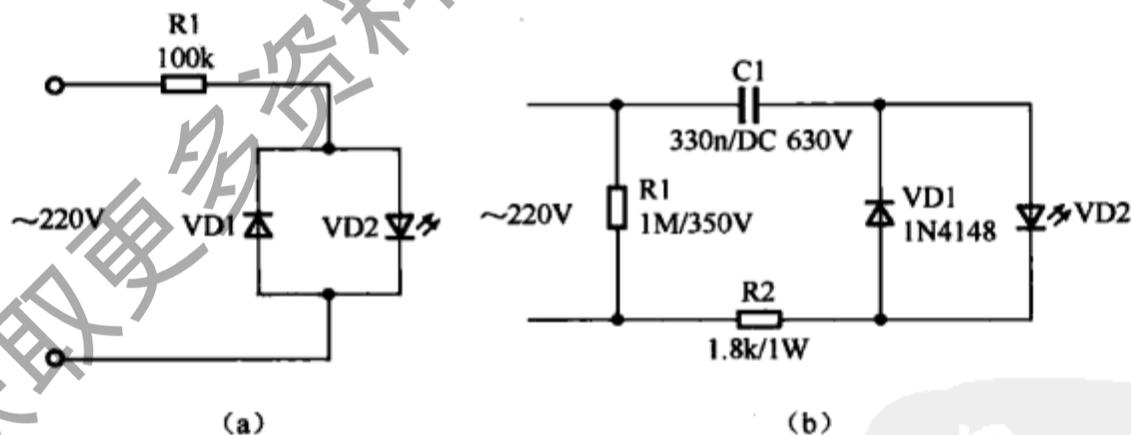


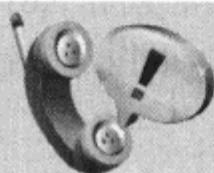
图 5-24 交流电源指示灯电路

图 5-24 (a) 所示为发光二极管指示电路。在交流电源下使用时，该电路采用了反向保护二极管，保护二极管的反向耐压要大于交流电源电压的峰值。VD1 可选用 1N400× 系列二极管，VD2 为发光二极管。

在 220V 交流电正半周期间，交流电通过限流电阻 R1 加到发光二极管 VD2 的正极，VD2 导通发光。这时，保护二极管 VD1 处于反向截止状态。在 220V 交流电负半周期间，交流电通过 R1 加到保护二极管 VD1 的正极，VD1 导通，其导通后两端的 0.6V 管压降加到发光二极管 VD2 上，发光二极管两端的反向电压很小，达到保护发光二极管的目的。电阻 R1 仍然

起着限流保护作用，用于保护二极管 VD1。

图 5-24 (b) 所示是具有电容降压功能的交流发光二极管指示电路。VD1 是保护二极管，VD2 是发光二极管。C1 是降压电容。R1 是电容 C1 的泄放电阻，还具有限流保护作用。电容 C1 利用容抗来进行降压，这样加到发光二极管上的交流电压减小，可以减小限流保护电阻 R1 的阻值，同时可减小整个指示电路的耗电量。



**提示**

电路中发光二极管的平均电流约为 10mA。由于这一电路中没有采用电源变压器隔离，所以整个电路带电，安装维护时要注意安全。

### 5.3.4

## 保安插座电路

——家中电器漏电时，声光报警作提示

若在三眼插座上加装一个如图 5-25 所示的漏电指示和报警电路，当家中电器外壳漏电时，可发出声光报警。这样可立即拔下电源插头进行修理，从而保证了用电安全。

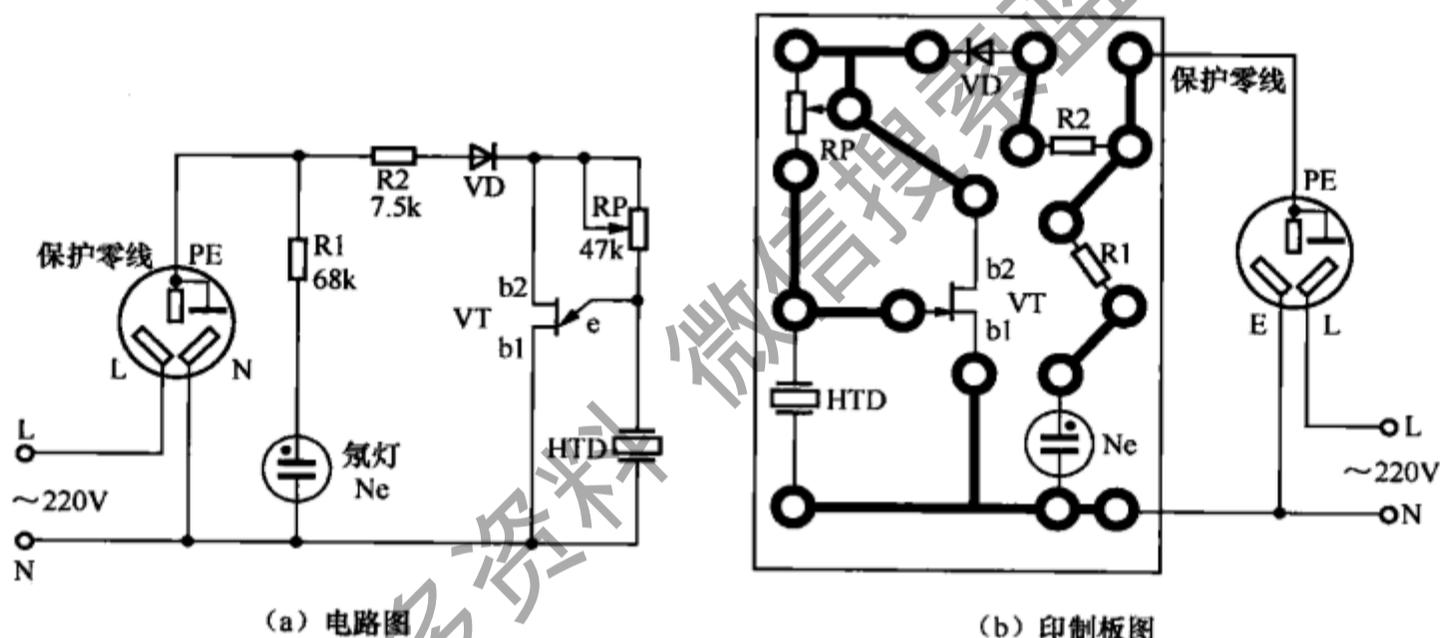
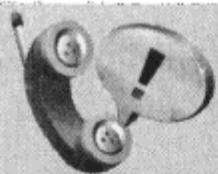


图 5-25 保安插座电路

图中，VT 为单结晶体管，HTD 为压电陶瓷片。该插座电路的声光报警电路由 VT、HTD 和可变电阻 RP 组成。电阻 R2 和二极管 VD 组成降压整流电路，为声音报警电路提供电源。漏电灯光指示电路由电阻 R1 和氖灯 Ne 组成。

当电器外壳漏电时，泄漏电流经 R1 使氖灯发亮，同时经 R2 降压及 VD 整流后使振荡器振荡，压电陶瓷片 HTD 发出尖厉的报警声音。



**提示**

将调试好的电路板安装在三眼插座板上，在插座板正面上的适当位置钻两个小孔。将准备放置氖泡的小孔用透明的塑料纸罩住，并在塑料纸上用红笔写下“危险”二字，目的是将氖灯 Ne 发出的漏电报警灯光透出来，以便于使用者观察。设计另一个孔的目的是将压电陶瓷片 HTD 发出的漏电报警声顺利地传出来。将氖灯和压电陶瓷片分别放置在这两个小孔中并固定好，发光报警插座就可使用了。

### 5.3.5

## 三相相序指示器电路

——相序排列本有序，观察氖灯定相序

安装三相电机时需要知道 3 根电源线的相序，以确定转向。三相相序通常用 A、B、C 3 种标记来加以区别。图 5-26 所示为三相相序指示器电路，用 3 只装在同一圆周上的氖灯 Ne1、Ne2 和 Ne3 来指示相序。如果 3 只氖灯按顺时针方向点亮，则说明相序正确；如果按逆时针方向点亮，则表示相序错误。

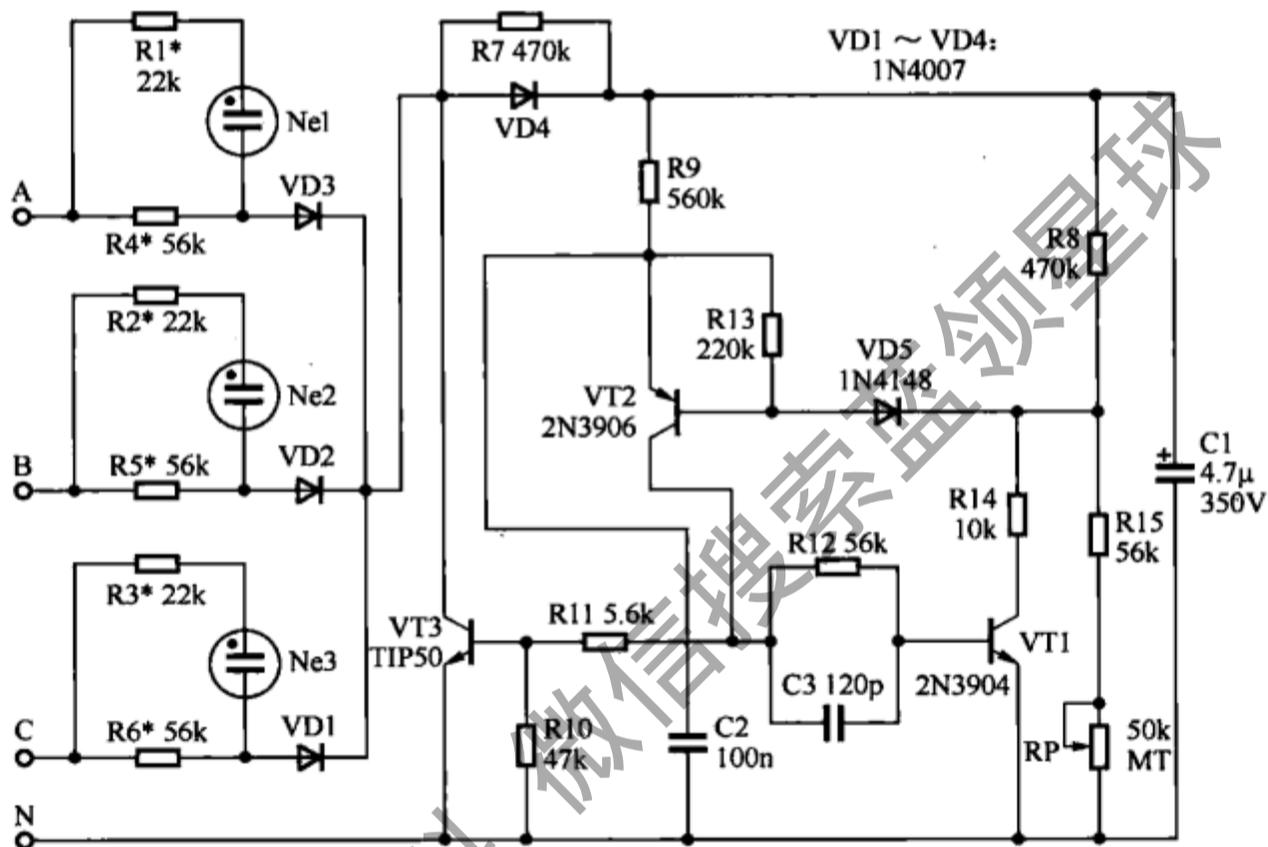
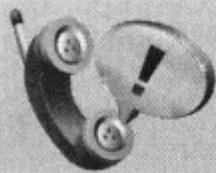


图 5-26 三相相序指示器电路

氖灯 Ne1、Ne2 和 Ne3 分别通过 R1、R2 和 R3 串联在各相输入电路中。三相电源分别经二极管 VD1~VD3 整流后连接在一起，该连接点被晶体管 VT3 接到中性线 N 上。其余电路用来控制 VT3 的导通，使氖灯按正确的顺序轮流与中线接通。

晶体管 VT1 与 VT2 组成单稳电路，为 VT3 提供频率约为 48MHz 的开关控制信号。当 VT3 导通时，二极管 VD1、VD2、VD3 的负极被 VT3 短接到中线 N 上，3 只氖灯之中就有一只被点亮。具体是哪一只氖灯点亮，要根据瞬间哪一相电压处于有效状态而定，这种状态将持续到下一相有效为止。

校验相序时，先将电位器 RP 按逆时针方向旋到头，再接上三相电源（注意，先接上中性线）。然后，沿顺时针方向缓慢地转动 RP，直到 3 只氖灯由交替闪亮变化为静止不动的状态。再将 RP 沿顺时针方向稍稍旋动一点儿，使 3 只氖灯以每秒大约两圈的速度沿顺时针方向轮流点亮。此时给 RP 点以少量的漆，使其锁定在这个位置上，校准即告完成。



**提示**

R8、R9、R15 选用金属膜电阻，C2 应选用聚酯薄膜电容，RP 采用多圈式电位器，氖灯选用带 22kΩ 串联电阻的合成型产品，C1 选用高压型电容。

## 知识链接

## 交流电相序指示器

图 5-27 所示为交流电相序指示器电路。它由电阻  $R1 \sim R3$ 、电容  $C$ 、氖灯  $Ne$  等元件组成。当电源按顺相序 A、B、C 接入时，氖灯  $Ne$  就点亮；按逆相序 B、A、C 接入时，则氖灯  $Ne$  不亮。

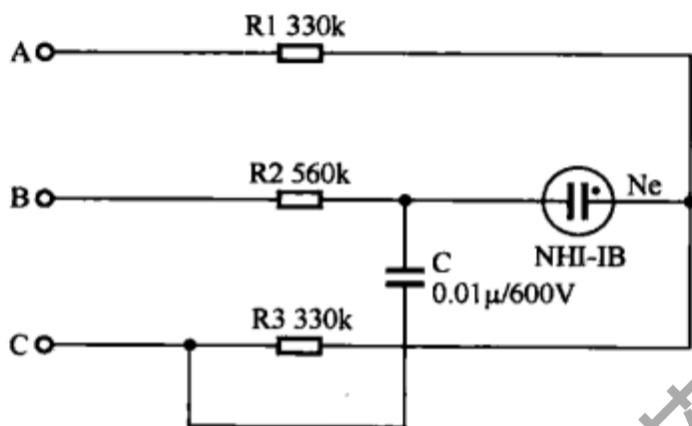


图 5-27 交流电相序指示器电路

## 5.3.6

## 交流接触器无声运行电路

——触点串联整流器，直流运行噪声息

在电气控制电路中，当交流接触器线圈得电吸合时，动衔铁所带动的主动触点与静触点相接触，容易产生电磁噪声。如果采用图 5-28 所示的交流接触器无声运行电路（它采用交流启动、直流运行方式，可以交、直流两用），可以取得节电、无声的效果。由于接触器运行温度低，可延长其使用寿命。

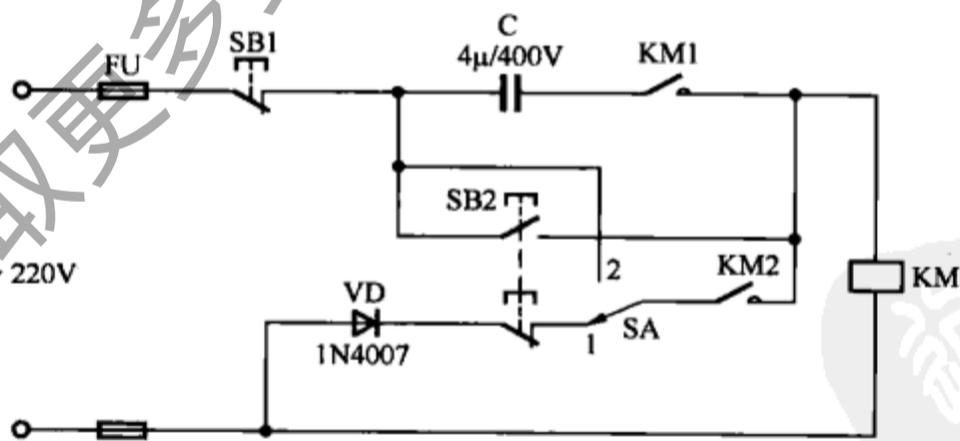


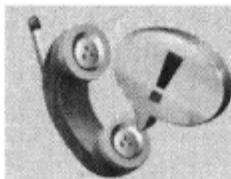
图 5-28 交流接触器无声运行电路

VD 采用 1N4007 型整流二极管，C 选用  $4\mu\text{F}/400\text{V}$  电容。开关 SA 为双掷开关，在电路中起交、直流转换作用。

在开关 SA 置于位置“1”时，按下启动按钮 SB2，电源经 SB1、SB2 给接触器 KM 的线圈供电，这时为交流启动，同时触点 KM1、KM2 闭合。松开 SB2 后，其动合触点断开，动

断触点尚未闭合时，电源经电容 C 降压后通过 KM1 触点继续给线圈供电。

等到 SB2 的动断触点闭合后，电源通过二极管 VD 将 SB2、SA、KM2 接入电路，这时线圈 KM 在正半周由电容 C 的放电电流供电，在负半周由二极管 VD 续流使其始终通有直流电。因为在启动时通过接触器线圈的是交流电，故接触器线圈获得了足够的启动电压，其力度可达到接触器的设计要求，同时在运行时可实现无声、节电运行。



提示

如果整流电路有故障，可将交、直流转换开关置于位置“2”，此时接触器进入交流运行模式，不会影响电气设备的正常运行。

### 5.3.7

## 电动机工作状态指示电路

——工作正常绿灯亮，红灯指示有故障

图 5-29 所示为电动机工作状态指示电路。

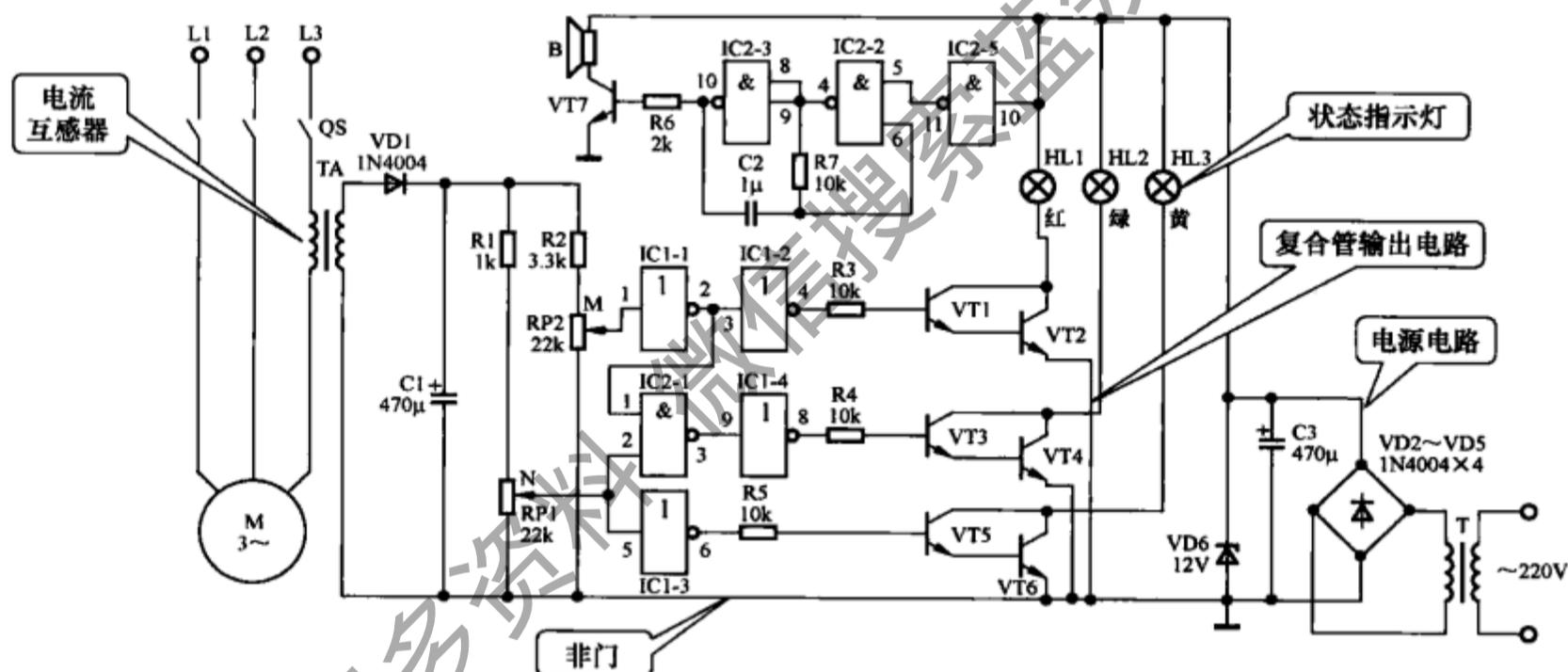


图 5-29 电动机工作状态指示电路

在该电路中，集成电路 IC1 为六反相器，其型号为 C033；集成电路 IC2 为二输入端四与非门电路，其型号为 CD4011；指示灯 HL1~HL3 的规格为 0.1A/11.5V。电流互感器 TA 可从电动机的任一相中检测出电流的大小，感应后的信号从其二次侧输出，经二极管 VD1 半波整流、电容 C1 滤波后，在上、下限电位器 RP2、RP1 上产生直流电压。

当电动机轻载时，由于 M、N 两点的电压均低于非门 IC1-1、IC1-3 输入端的门限值，所以 VT5 与 VT6 两复合晶体管可导通，从而使 HL3 指示灯（黄色）点亮。

当电动机正常工作时，由于 M 点的电压低于 IC1-1 的门限值，故通过 IC2-1 与 IC1-4 使 VT3 与 VT4 两复合管导通，从而使 HL2 指示灯（绿色）点亮。

当电动机过载运行时，由于 M、N 两点的电压均高于非门 IC1-1、IC1-3 的门限值，VT1 与 VT2 两复合管导通，从而使 HL1 指示灯（红色）点亮。由 IC2-3、IC2-2 构成的可控振荡器起振工作，驱动扬声器 B 发出报警声。



提  
示

该电动机工作状态指示电路以集成电路 CD4011 为核心，可识别电动机工作正常、轻载和过载等工作状态，可避免电动机在故障状态下重复启动，加剧电动机的损坏。



想  
一  
想

对电动机工作状态指示电路进行改进后能不能再用于其他电子线路？



警钟长鸣

### 错看工作票，合闸电死人

2007年3月26日，某35kV变电站值班人员万×根据本单位检修班填写的工作票，按停电操作顺序于9时操作完毕，并在操作把手上挂上“有人工作，禁止合闸”的标志牌。12时，万×与付×交接班，万×口头交待了工作票所列工作任务和注意事项后，又在值班记录本上填写“郎张线有人工作，待工作票交回后再送电”。

16时，付×从外面巡视高压设备区回到值班室，见到一张郎张线路工作票，以为郎张线工作已经结束，于16时36分将郎张线恢复送电。此时，检修班人员正在郎张线上紧张工作，线路维护工张×在郎张线路罐头厂配电变压器门形架上作业，其他人员均在变压器周围工作。由于工作前未挂短路接地线，在付×送上电的一刹那，张×触电，从5.1m高的门形架上跌落下来，经抢救无效死亡。付×听说送电电死人后吓得瘫倒在地。待清醒过来，一看那张郎张线工作票，却原来是昨天（3月25日）已执行过的。

读者朋友，你认为造成这一事故的原因有哪些？如何防范类似事故发生？

获取更多资料



# 第 6 章

## LED 应用电路

### ——绿色照明

LED 即发光二极管，它利用固体半导体芯片作为发光体，当其两端加上正向电压后，半导体中的载流子发生复合，放出过剩的能量而引起光子发射产生可见光。LED 光源使用寿命长，节能省电，应用简单方便，使用成本低，它作为绿色环保的清洁光源得到了广泛的认可。

近年来，LED 在景观照明、装饰照明、室内照明等领域的应用方兴未艾，几乎应用到了大多数需要照明的领域。一部分电工率先加入了 LED 工程施工的队伍。本章选择十余例 LED 应用电路予以介绍，以激发读者对 LED 的兴趣。关于 LED 工程技术应用的系统知识和技能，请读者参阅杨清德主编、人民邮电出版社出版的《LED 及其工程应用》一书（2007 年 12 月第 1 版）。

通过本章学习，要求达到以下目标。

#### 知识目标 |

- ① 了解 LED 驱动电路的作用及常见类型。
- ② 了解 LED 的连接方案。
- ③ 了解 LED 光源的主要特征。
- ④ 了解 LED 在生活中的广泛应用。
- ⑤ 了解 LED 驱动电路的组成。

#### 能力目标 |

- ① 会分析 LED 驱动电路的工作原理。
- ② 会检测、焊接 LED。
- ③ 会查阅资料选用 LED 驱动器。

资源库  
PDG

## 6.1 电容降压式LED驱动电路——容抗限流又降压

绿色照明新理念，节能环保发光管。  
LED怕高压，可用电容来降压。  
容抗限流又降压，电流恒定不用怕。  
电容降压驱动器，电路简单作用大。

电容降压电路是一种常见的小电流电源驱动电路，由于其具有体积小、成本低、电流相对恒定等优点，常应用于驱动LED。

### 6.1.1 最简单的LED电容降压电路 ——电容降压靠容抗，控制电压好发光

图6-1所示为最简单的LED电容降压电路。

交流220V电压通过C1的容抗来进行降压，利用两只反向并联的LED1、LED2对降压后的交流电进行整流。无论是在交流电的正半周还是负半周，都有一只LED发光。LED1导通发光时，其两端的0.6V管压降加到LED2上，LED2由于两端的反向电压很小而处于截止状态，达到保护LED2的目的。同理，LED2导通发光时，又可对LED1实施保护。由于经过电容C1降压后加到两只LED上的电压比较低，因此，可以减小限流电阻R2的阻值。

R1为C1的泄放电阻，对C1具有保护作用。泄放电阻的阻值与电容的大小有关，一般电容的容量越大，残存的电荷就越多，泄放电阻的阻值就要选小些。

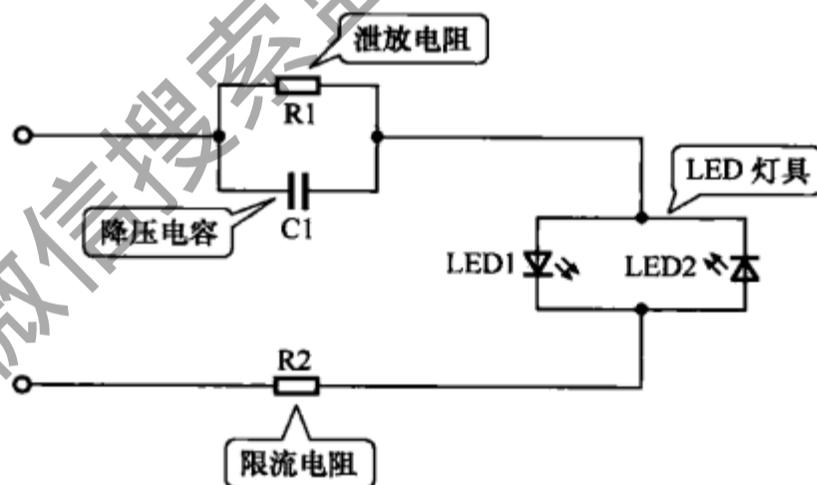
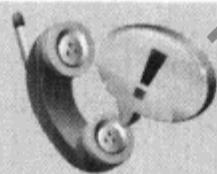


图6-1 最简单的LED电容降压电路



**提示**

该电路广泛应用于夜光灯、按钮指示灯及一些要求不高的位置指示灯等场合。

由于该电路没有直接与220V交流电连接，没有隔离措施，所以整个电路带电，因此要注意安全。

### 6.1.2 采用压敏电阻的电容降压LED驱动电路 ——突变电流可泄放，串联八十灯明亮

压敏电阻能在电压突变瞬间（如雷电、大用电设备启动等）有效地将突变电流泄放，从

而保护 LED 和电路中的其他元器件。瞬变电压抑制器的响应时间一般为纳秒级。图 6-2 所示为采用压敏电阻的电容降压 LED 驱动电路。

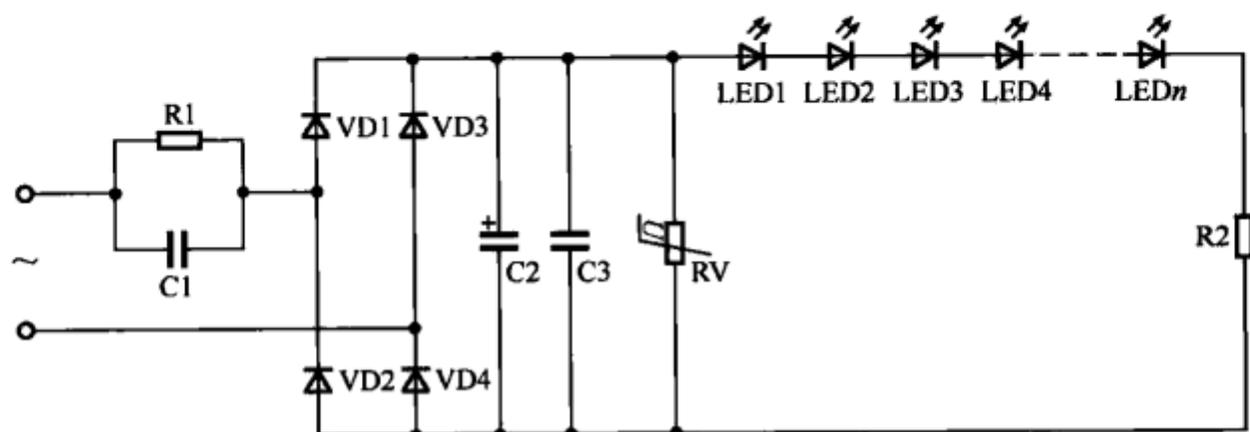


图 6-2 采用压敏电阻的电容降压 LED 驱动电路

电容 C1 的作用是降压和限流。VD1~VD4 组成桥式整流电路，用于将交流电整流为脉动直流电。C2、C3 为滤波电容，用于将整流后的脉动直流电压滤波成平稳的直流电压。压敏电阻 RV 的作用是将输入电源中瞬间的脉冲高压对地泄放掉，从而保护 LED 不被瞬间高压击穿。整流滤波后的直流电压加到若干个串联 LED 支路上，驱动 LED 发光。

串联的 LED 数量视其正向导通电压 ( $V_F$ ) 而定，在 220V 交流电路中最多可以达到 80 只左右。电容的耐压一般要求大于输入电源电压的峰值，在 220V/50Hz 的交流电路中，可以选择耐压为 400V 以上的涤纶电容或纸介质电容。表 6-1 为在 220V、50Hz 的交流电路中理论电流与实际测量电流的比较。

表 6-1 理论电流与实际测量电流的比较

电容 ( $\mu\text{F}$ )		0.047	0.1	0.22	0.47	1	2.2	4.7
电流 (mA)	理论值	3.2	6.9	15.2	32.4	69	152	324
	实测值	3.3	7.0	15	32.5	70	152	325

电容的容量视负载电流的大小而定。泄放电阻的阻值与电容的大小有关，一般电容的容量越大，残存的电荷就越多，泄放电阻的阻值就要选小些，经验数据见表 6-2，供设计时参考。

表 6-2 电容和泄放电阻的取值

$C_1$ 取值 ( $\mu\text{F}$ )	0.47	0.68	1	1.5	2
$R_1$ 取值 ( $\text{M}\Omega$ )	1	0.75	0.51	0.36	0.2~0.3

VD1~VD4 可选择 1N4007 系列的整流二极管。C2、C3 的耐压应根据负载电压而定，一般为负载电压的 1.2 倍，其容量视负载电流的大小而定。

该电路的缺点是一只 LED 开路后，其余 LED 均不能正常发光。

### 6.1.3 采用晶闸管的电容降压 LED 驱动电路 ——电路采用晶闸管，保证过流把路断

图 6-3 所示为采用晶闸管的电容降压驱动电路。

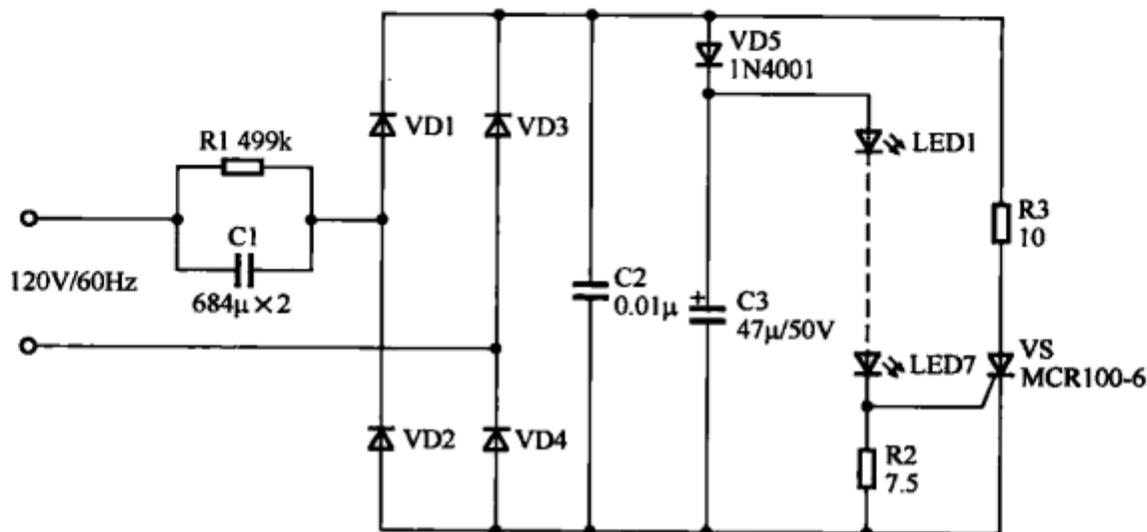
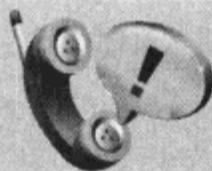


图 6-3 采用晶闸管的电容降压 LED 驱动电路

120V 交流电压经过 C1 降压后进入 VD1~VD4 组成的桥式整流电路进行整流，再经过 C2 滤波为 LED 供电。



**提示** 晶闸管 VS 和电阻 R3 组成保护电路。当流过 LED 的电流大于设定值时，VS 导通一定的角度，从而对电路中的电流进行分流，使 LED 工作于恒流状态，从而避免 LED 因瞬间高压而损坏。

### 6.1.4

#### 具有滤波单元的电容驱动电路 ——双重滤波性能好，LED 损坏少

图 6-4 所示为具有滤波单元的电容驱动电路。

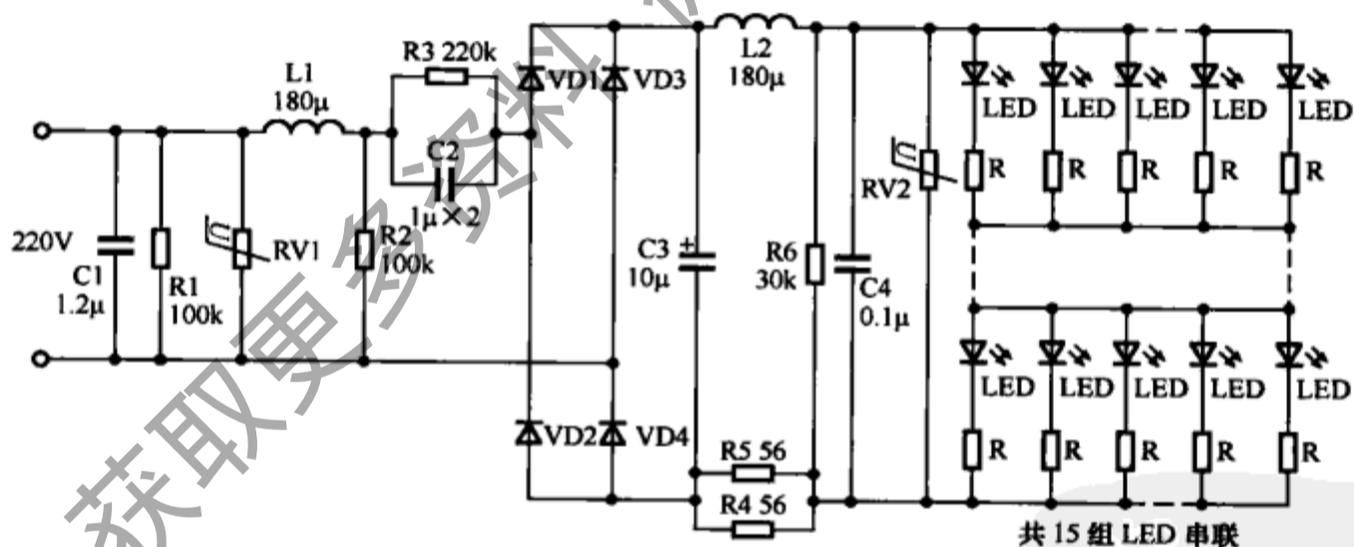
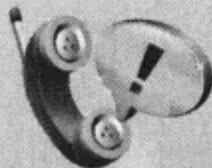


图 6-4 具有滤波单元的电容驱动电路

在电路中，C1、R1、L1 和 R2 组成电源一次侧滤波电路，用于将输入的瞬间高压滤除；C2、R2 组成降压电路；C3、C4、L2 组成整流后的滤波电路。此电路采用双重滤波电路，能有效地保护 LED 不被瞬间高压击穿损坏。



**提示** RV1 为压敏电阻，用于在电压突变瞬间（如雷电、大用电设备启动等）提供电流泄放通路，从而保护电路中的其他元器件不被瞬间高压击穿。RV2 用于输出过电压保护。

## 知识链接

## 采用电容降压时的注意事项

电容降压是利用电容在一定的交流信号频率下产生的容抗来限制最大工作电流，即电容降压实际上是利用容抗限流。在电路中，电容具有限制电流、动态分配电容及负载两端电压的作用。采用电容降压时应注意以下几点。

- ① 根据负载的电流大小和交流电的工作频率选取适当的电容，而不是依据负载的电压和功率。
- ② 限流电容必须采用无极性电容，绝对不能采用电解电容，而且电容的耐压须在 400V 以上。最理想的电容为铁壳油浸电容。
- ③ 电容降压不能用于大功率条件，因为不安全。
- ④ 电容降压不适合动态负载条件，也不适合容性和感性负载。

## 某领导讲话

同志们：在改革的过程中，我们一定要旗帜鲜明地肯定那些应该肯定的事物，否定那些应该否定的事物。我们不能只知道肯定应该肯定的事物，而不知道否定那些应该否定的事物；也不能只知道否定那些应该否定的事物，而不知道肯定那些应该肯定的事物，更不能肯定了应该肯定的事物，而否定应该肯定的事物。我的讲话完了。



## 6.2 白光 LED 驱动电路——背景照明亮度高

电子产品背光源，常用白光发光管。因为供电要求严，常用两种恒流源。一是电荷泵方案，利用电容传电源。若需驱动灯较多，一般采用灯并联。二是电感式方案，比较适合灯串联。体积虽小效率高，电池寿命能够延。

白光 LED 作为新一代光源具有极好的市场前景，通常用来为彩色 LCD 提供背景光照明。

因其尺寸小，输出的是白光，白光 LED 被应用于具有彩色显示器的小型便携式设备中，例如移动电话、个人数字助理（PDA）和 MP3 播放器等。

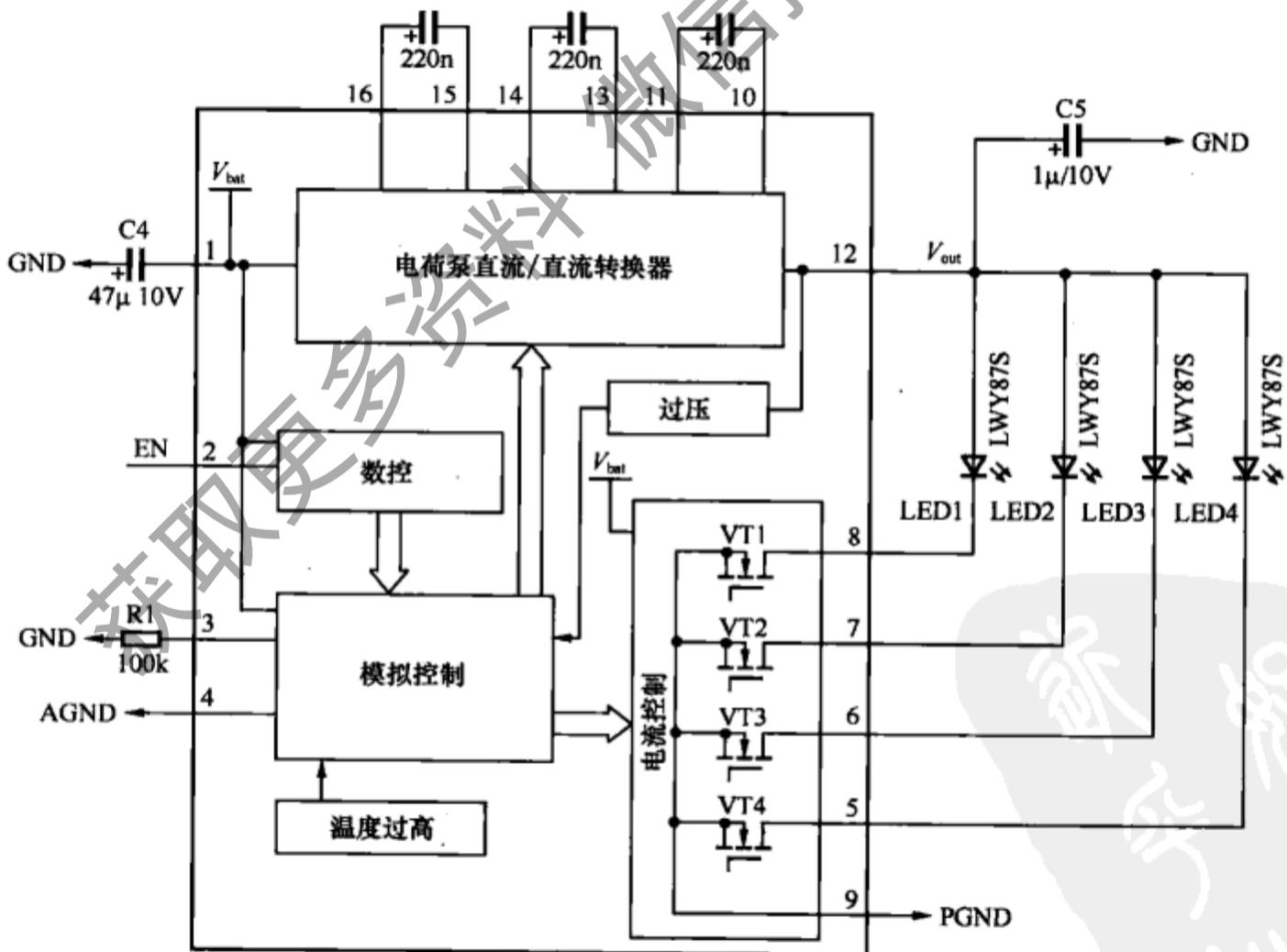
大多数产品都使用多只白光 LED 为显示器提供足够的背景光。因为白光 LED 的亮度依赖于其正向电流，所以多只白光 LED 通常串联起来使用，以保证流过每一只白光 LED 的电流都相同。由于白光 LED 对电源稳定性的要求比较苛刻，一般电流为 15~20mA，其正向电压约为 3.5V，因此需要一些特定的驱动电路。

白光 LED 驱动器可以看成向 LED 供电的特殊电源。采用恒压源驱动不能保证 LED 亮度的一致性，并且影响 LED 的可靠性、寿命和光衰。因此，超高亮度 LED 通常采用恒流源驱动。

所有专为驱动白光 LED 而设计的集成电路都提供恒定电流，其中绝大多数是基于电感或电荷泵的解决方案，这两种解决方案各有其优缺点。

### 6.2.1 以 MAX684 为核心的电荷泵式 LED 驱动电路 ——锂电驱动效果好，背光照明很可靠

白光 LED 的正向压降可以高达 4V，但是目前的大量手持电子设备多以单一锂电池供电，此时已经无法再由设备电源直接驱动白光 LED，而必须借助于各类电源变换器件。可以用作白光 LED 驱动器的电源变换器件有不少种类，其中电压输出型电荷泵电路最为简单。以 MAX684 为核心的电荷泵 LED 驱动器如图 6-5 所示。



(a) 原理框图

图 6-5 以 MAX684 为核心的电荷泵 LED 驱动器

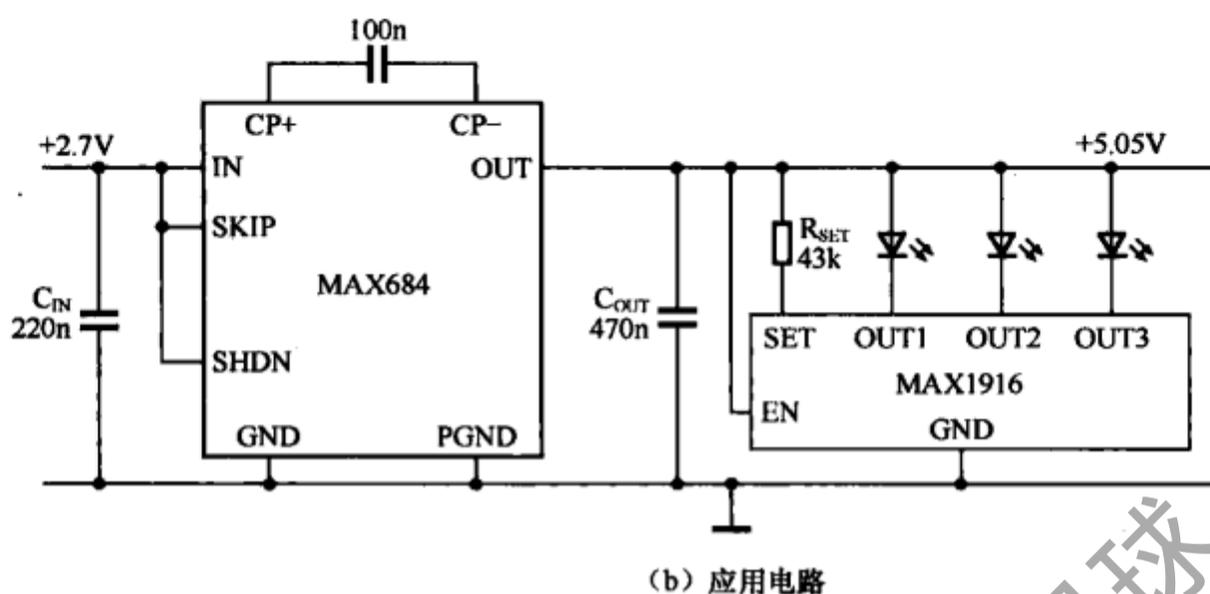


图 6-5 以 MAX684 为核心的电荷泵 LED 驱动器 (续)

并联配置能够利用电荷泵技术，用两个陶瓷电容将能量从电池传输到 LED 阵列。除了电荷泵转换器以外，每个 LED 控制器还包含一个电流镜像，此镜像的质量是 LED 间良好匹配的关键。

对于正向电压为 3.5~4.2V（在 20mA 条件下）的白光 LED，通常需要升压转换器，可以用电荷泵（如 MAX682~MAX684）与 MAX1916 共同构成这种 LED 的驱动电路。MAX682~MAX684 能够将 2.7V 的输入电压转换为 5.05V 电压输出，输出电流能够分别达到 250mA、100mA、50mA。利用 MAX684 的关断控制引脚或 MAX1916 的使能控制引脚可以关闭 LED。

在该电路中，MAX684 在关断模式下，电源电流降至 22 $\mu$ A； $R_{SET}=43k\Omega$  时，LED 电流为 22mA。

### 6.2.2 以 LTC3490 为核心的白光 LED 驱动电路 ——同步升压变换器，恒流驱动来补偿

为了保持白光 LED 的亮度，必须采用一个恒定电流来对白光 LED 进行驱动。在工艺和温度极限内，白光 LED 正向压降的变化范围为 2.8~4.0V。用于驱动白光 LED 的电路必须在维持恒定电流驱动的同时对该正向电压的变化加以补偿。

图 6-6 所示为 LTC3490 白光 LED 驱动电路，图中给出了两节电池电路和单节电池电路。

LTC3490 提供了一种用于把单节或双节电池电压提升至所需的白光 LED 正向电压以及通过白光 LED 负载来调节电流的简单解决方案。高频（1.3MHz）工作允许采用小值电感和电容。电流检测电阻和环路补偿组件是内置的，因而减少了组件数目。LTC3490 是一款同步变换器，从而免除了整流器二极管以及与之相关的功率损失，所需的外部组件仅有一个升压电感器和一个输出滤波电容器。若设有停机和调光功能，还需增加少量的电阻，在某些情况下还需增设一个输入电容。

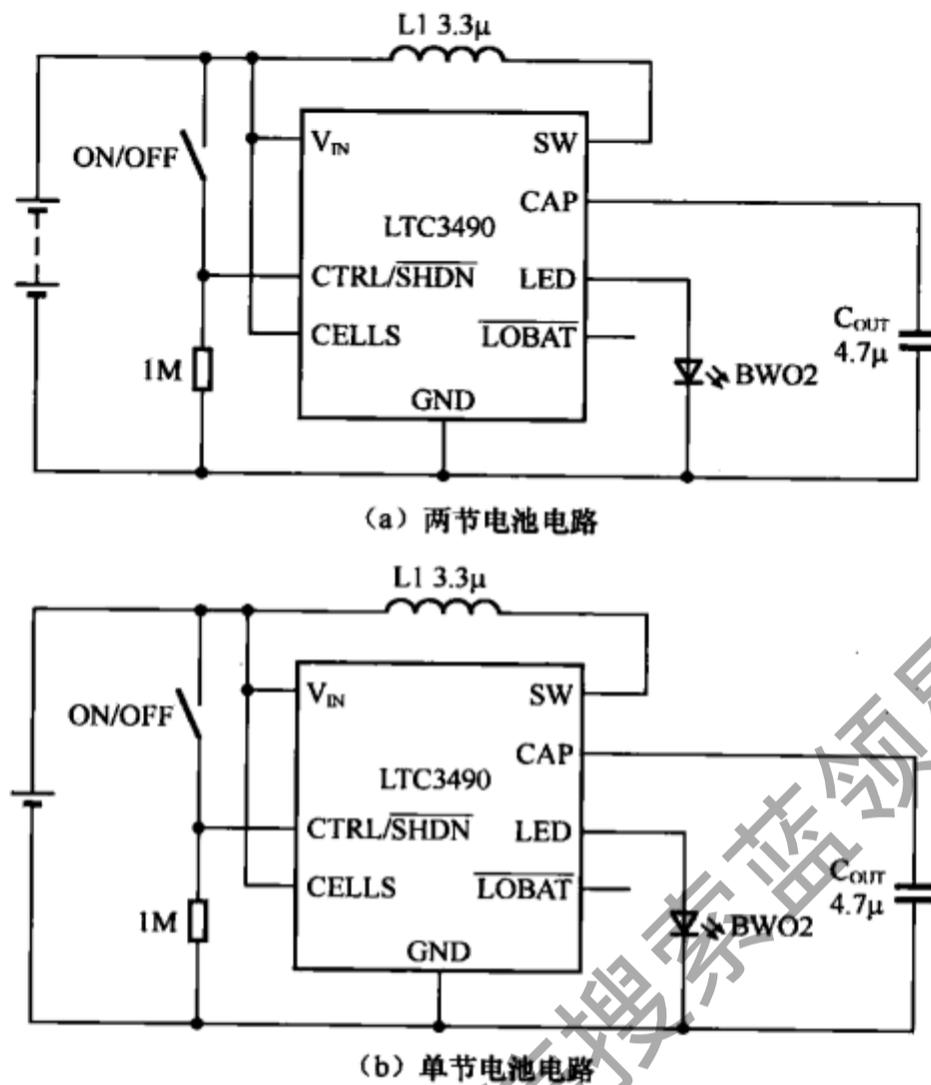


图 6-6 LTC3490 白光 LED 驱动电路

在两节电池应用中，LTC3490 的效率高达 90%；在单节电池应用中，LTC3490 的效率高于 70%。当输出电压高于 4.5V 时，过压检测器将强制 LTC3490 进入停机模式。过压检测器保持接通状态，并将在输出电压降至 4.5V 以下时恢复正常工作。

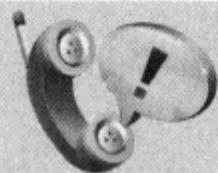
白光 LED 的电流利用一个位于高压侧的内部  $0.1\Omega$  电阻来检测，因此允许把白光 LED 的负极接地。检测放大器实现检测值与基准值的比较，并对比较后的差值进行积分运算，将其作为 PWM 控制器的给定信号，由 PWM 控制器控制白光 LED 的电流，而与白光 LED 的正向电压无关。

CTRL/SHDN 引脚用于逐渐减小白光 LED 的电流。CTRL/SHDN 引脚具有以下 3 项功能：停机、调光控制和恒定电流输出。该引脚电压与  $V_{IN}$  引脚电压之间存在一种比例关系，这使得能够采用简单的电阻分压器来设定电流值。当 CTRL/SHDN 引脚的电压低于  $0.2V_{IN}$  时，器件处于停机模式，而吸收电流极小；当 CTRL/SHDN 引脚的电压高于  $0.9V_{IN}$  时，器件处于 350mA 恒定电流模式；当 CTRL/SHDN 引脚的电压处于  $0.2V_{IN}$  和  $0.9V_{IN}$  之间时，白光 LED 的电流将在  $0\sim 350\text{mA}$  之间线性变化。

该集成电路可提供两个低电池电量检测电平，这些电平由 CELLS 引脚来设定，用于指示电池的节数。当 CELLS 引脚为低电平时，低电池电量检测电平被设定为 1.0V；而当 CELLS 引脚与  $V_{IN}$  引脚相连时，低电池电量检测电平则被设定为 2.0V。这分别对应于单节和双节电池操作。当电池电压降至检测电平以下时，LOBAT 引脚上的一个漏极开路输出将被拉至低电平。该输出可被用来驱动一个指示器，或被反馈至 CTRL/SHDN 引脚，以减小白光 LED

的电流，从而延长电池的工作时间。

LTC3490 还有一个欠压闭锁电路，该电路将在电池电压降至每节 0.8V 以下时关断 LTC3490。这能够防止电池电流过大（单节电池时）以及放电不均的镍氢电池中发生反接（两节电池时）。



**提示** LTC3490 是一款同步升压型变换器，利用一个低电压启动电路，它能够在输入电压低至 0.9V 的条件下正常启动。当输出电压超过 2.3V 时，升压电路将接通，而启动电路将被关断。该升压变换器采用的是一种固定频率和电流模式。

**知识链接**

**LED 的连接方案**

当 LED 的数量大于 1 时，就必须确定一种 LED 连接方案。在选择连接方案时并无硬性规定，有时只是偏爱问题，有时 LED 的连接方案可依据驱动器的选择来决定，有时可用供电电源和所需效能也会影响连接方案的选择。

LED 的连接一般分为 3 种主要结构，即串联、并联（共阳极、共阴极、共阳极与共阴极），以及串并混联（2 个 LED 串联、 $N$  个 LED 串联）。

**6.2.3 采用 SP6682 的 LED 驱动电路**  
——稳压电荷泵驱动，白光亮度精确控

图 6-7 所示为采用 SP6682 稳压电荷泵驱动白光 LED 的电路。

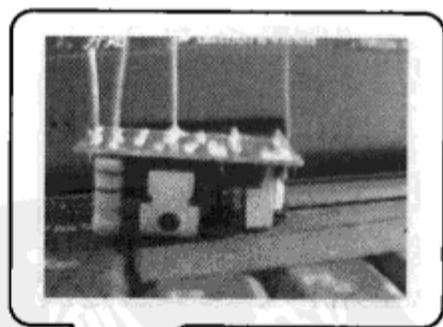
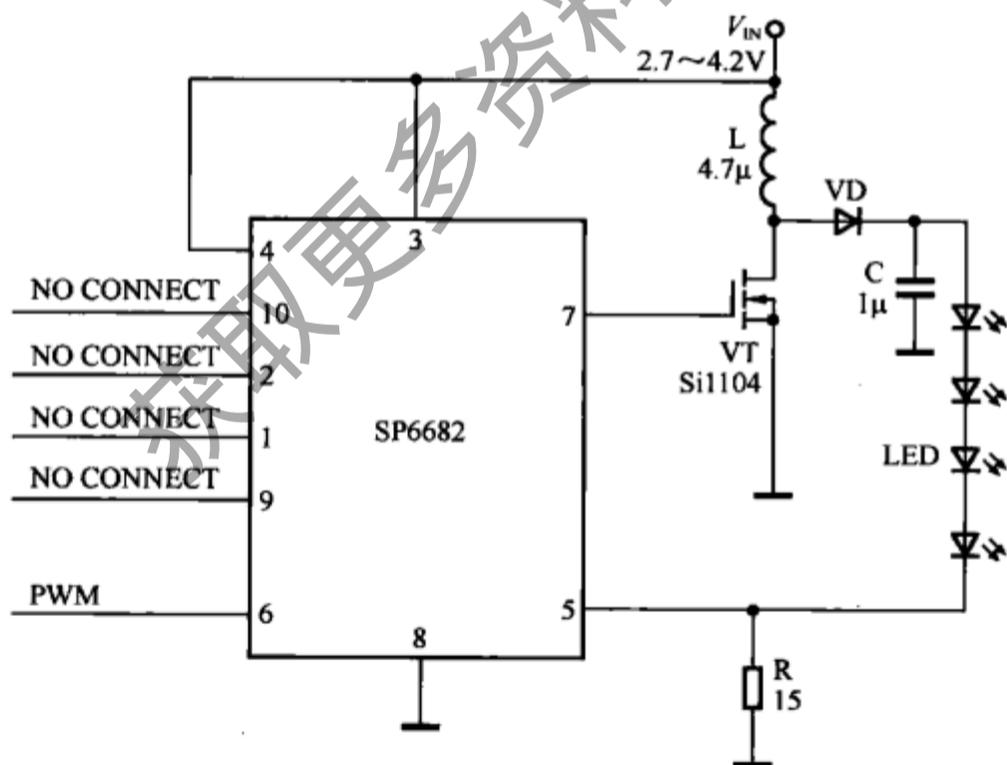


图 6-7 采用 SP6682 的 LED 驱动电路

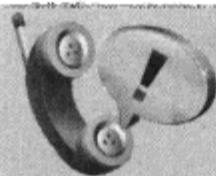
SP6682 包含一个内部的 500kHz 振荡器，用来驱动充电泵电容器，使输入电压增加 1 倍。

该电路没有采用电荷泵电容器,而是将振荡器的输出加到⑦脚上并驱动 VT 导通和截止。VT、L、VD 和 C 组成一个升压稳压器,使 C 两端的电压升高。当该电压超过二极管的正向压降时,电流开始流动。电路检测电阻 R 两端的电压并将其与芯片内的 0.3V 参考电压比较。该电路具有高达 87% 的效率,这一效率超过任何集成升压稳压器的效率。

提高该电路效率的因素有以下两个。

① SP6682 内的 0.3V 参考电压大大低于通常的 1.24V。该参考电压是与白光 LED 串联的,因此,效率的降低与参考电压成正比。

② 分立的 MOSFET 具有很小的导通电阻和很高的开关速度,这两个参数均优于任何其他集成开关。



**提示**

SP6682 电荷泵的驱动功能确保开关损耗很小。只要更改所用 MOSFET 的类型,就可以在期望的电路效率和成本之间进行折中。MOSFET 的击穿电压会限制最大输出电压,但这一电压可以调节,以便驱动具有所需数量白光 LED 的系统(较大的显示器使用 8~12 只白光 LED)。为了达到调光的目的,在启动引脚上加一个 PWM 信号就可使稳压器关闭和重新启动。这一功能可精确地控制白光 LED 的亮度。

## 6.2.4

### 一节碱性电池驱动白光 LED 的电路

——两管组成升压器,低压驱动更容易

图 6-8 所示为一节碱性电池驱动白光 LED 的电路。该电路采用了两个型号为 2N3904 的 NPN 晶体管,具有启动电压低、电池使用寿命长的优点。

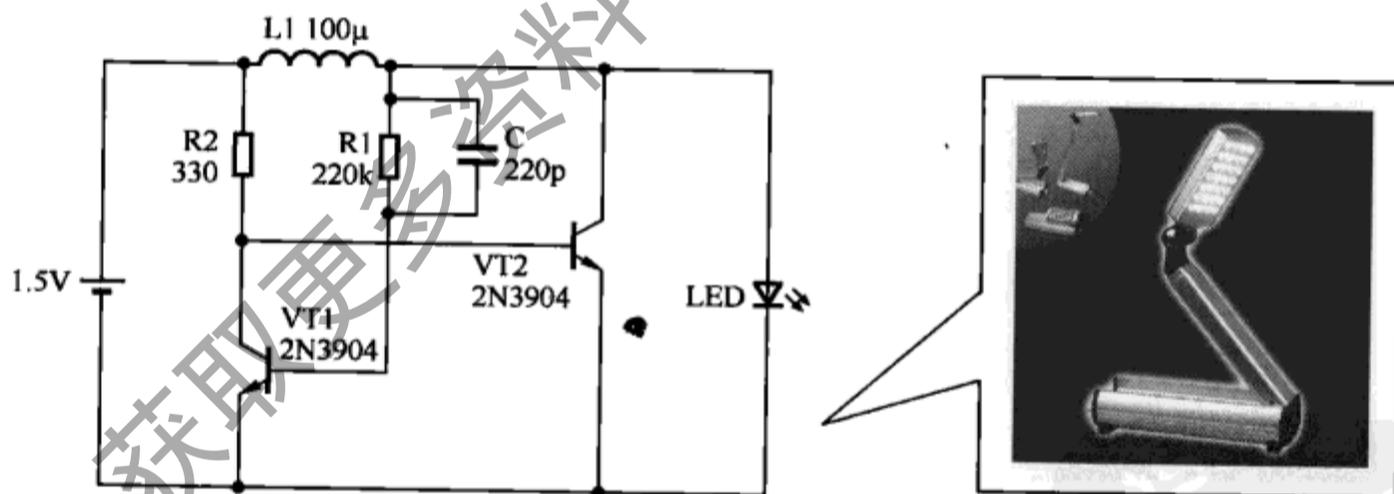


图 6-8 一节碱性电池驱动白光 LED 的电路

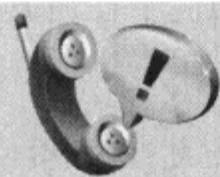
在正常工作情况下,白光 LED 在 20mA (最大值) 时需要 3.6V 电压,因此可采用电感型直流/直流升压电路来解决输出电压比输入电压高的问题。升压驱动器需要至少 1V 的启动电压,而图 6-8 所示的电路可在 0.7V 左右的电压下启动。该电路有一循环往复的工作过程。

当电池电压稍高于 VT2 的基极电压时,循环开始,在 VT2 的基极产生一个正向电流,随后 VT2 导通,电感 L 达到低电位,VT1 截止,L 内储存的磁场能增加。随着电流的增大,

电流也流过 VT2。当 VT2 的集电极电压足够高后，VT1 导通。VT1 的基极电压通过 R1 和 C 正反馈网络施加在 VT2 的集电极。R1 用于限制 VT1 的基极电流。

VT1 导通后，VT2 的基极分流到地，VT2 截止。L 把磁场能释放给 LED。L 的快速恢复使 LED 加上正向电压而发白光。由于 L 放电，VT1 又回到截止状态。在电池电压降低到 VT2 的基极和发射极电压以前，自激振荡一直持续。

L、VT1、VT2 的性能决定循环周期及振荡脉冲的占空比。LED 的亮度直接取决于流过 LED 的平均电流。VT2 截止时 LED 导通，反之则截止。



**提示**

能驱动该自举电路的电池的最大电压有一个极限值。因为 VT2 的基极通过 R2 直接连接到电池上，如果电池电压高于 1.5V，则将导致 VT2 的基极过电流，所以该电路最好采用单节碱性电池供电。

## 6.2.5

### 采用 LM2623 的 LED 台灯驱动电路 ——IC 控制充放电，恒流驱动节省电

图 6-9 所示为采用 LM2623 的 LED 台灯驱动电路。

该电路由线性稳压电路、电池充电电路、电池充电电压比较显示电路、直流/直流升压转换电路、电流过充电保护电路、电池过放电保护电路与正常供电恒流驱动电路组成。

C1、C2、IC1 (LM7806) 组成一简单的稳压电路，为 IC2 (LM393) 提供工作电压。C1、C2 分别是 IC1 的输入与输出滤波电容。R1、R2、R3、VT1、VD2、VD3 组成 Ni-MH 电池充电电路。R1 是 VT1 的栅极驱动电阻；R3 是充电限流电阻，调节 R3 的阻值可控制充电电流的大小。VD3 用于防止当电池充满电后电压倒灌，起隔离作用。IC2、VT2、VT3、LED1、LED2、R4~R12、C4~C6 等组成电池充电电压比较显示电路。IC2 的②脚（比较器反相输入端）接由 R5、R6 组成的分压电路，IC2 的③脚（比较器同相输入端）接由 R7、R8 组成的另一个分压电路。C4 是同相输入端的旁路电容，C5 是反相输入端的旁路电容，它们的作用是滤除来自电网的干扰信号，保证比较器输入端电压不受干扰，以免引起比较器误动作。

比较器 IC2 的工作原理是：②脚的电压设定在 2.5V，为一个恒定值；③脚通过 R7、R8 与电池的正极连接。当电池电压没充到额定值（4.2V）时，③脚的电压低于 2.5V，因反相端电压大于同相端，比较器的①脚输出低电平，LED1（红色）被点亮。当电池电压充到 4.2V 时，同相端电压大于反相端，比较器的①脚输出高电平，VT3 导通，LED2（绿色）被点亮。因比较器的输出电压很低，靠其本身的输出电压不足以使 VT3 导通。R11 为 VT3 基极的上拉电阻，通过调整 R11、R12 可调整 VT3 的基极电流，从而可调整 LED2 的发光强度。

每种电池都有额定的容量和最佳的充电终止电压与放电截止电压，任何过充电或过放电情况的发生都会对电池的使用寿命带来巨大的影响。因此，加入了电池过充电与过放电判别电路。R15~R19、C7、TL1、VT4 组成过充电保护电路，R15、R16、R17 组成分压电路，TL1 的 R 端电压设定在 2.5V。当电池的充电电压低于此值时，VT4 截止；当电池电压被充到额定值时，R 端电压达到 2.5V，使 VT4 导通，用来泄放掉过高的电池电压。当电池电压被泄放到额定值时，VT4 又进入截止状态。R20、R21、R22、VT5、VT6 组成电池过放电保护电

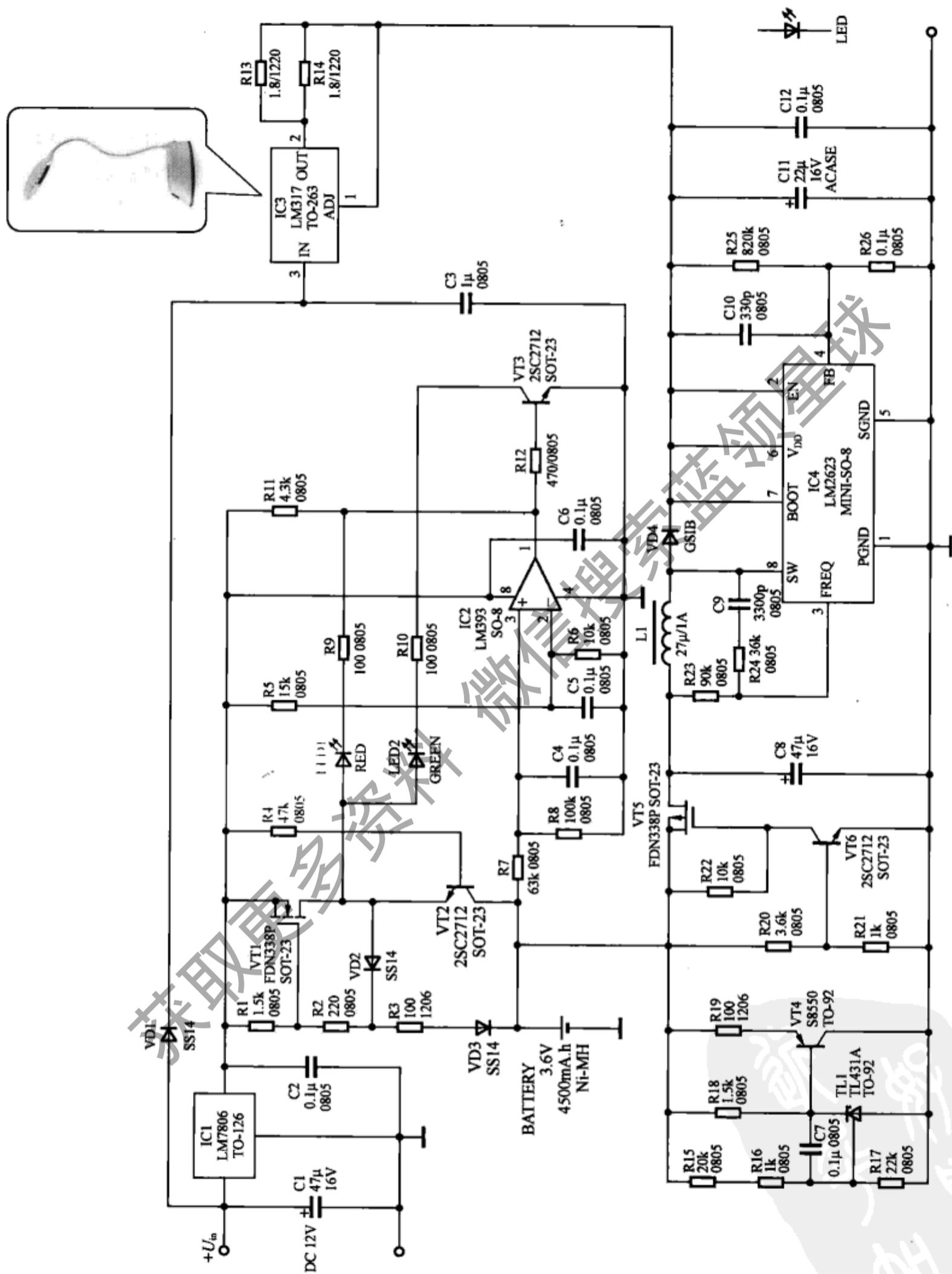


图 6-9 采用 LM2623 的 LED 台灯驱动电路

路，R20、R21 组成分压电路，VT6 的基极电压由 R20、R21 设定。当电池电压高于 VT6 的基极和发射极电压时，VT6 导通，使 VT5（P 沟道 MOSFET）的栅极电压降低，VT5 导通，向负载提供电能。当电池电压低于 1V 时，VT6 因基极电压低于 0.7V 而截止，从而使 VT5 也截止，停止电池继续对外放电。

IC4、L1、VD4、R23~R26、C11 等组成直流/直流升压转换电路。L1 是储能电感，因 LM2623 的工作频率较高，所以其值可取得较小。R23 决定了直流变换器的工作频率。R24、C9 为阻容反馈网络，通过调整其参数值可调整频率响应点。R25、R26 是输出端取样电阻，通过调整它们的比值可调整输出电压的取样值。C8 为直流变换器输入滤波电容，C11 是直流变换器输出滤波电容。

IC3、R13、R14 构成恒流供电电路。IC3 采用 LM317，为三端可调式直流稳压器，把它的 ADJ 端直接连到输出端。在原输出端回路内串入电流取样电阻 R13、R14，该电阻的取值可用下面的公式确定。

$$R_{13,14} = \frac{1.25V}{I_{OUT}} (\Omega)$$

式中：1.25V 为 ADJ 端的内部基准电压， $I_{OUT}$  为输出电流。



**提示**

电池充电方式有多种，如恒压、恒流或脉冲等。每一种充电方式各有其特点，重要的是考虑性价比。本例因用在 LED 灯具上对体积有较严的要求，同时输出功率不大，所用的电池容量较小，所以采用涓流充电法。Ni-MH 电池具有过充电和过放电性能良好、充放电时发热小、重量轻等优点，本例选用 3.6V/4 500mAh 的电池能满足放电时间要求。

LM2623 的引脚功能见表 6-3。

表 6-3

LM2623 的引脚功能

引脚号	符号	功能
1	PGND	IC 内部功率地
2	EN	使能端，低输入电压关闭端
3	FREQ	工作频率调整端，可通过一个外接电阻连接到电源端来调整工作频率
4	FB	输出电压反馈端
5	SGND	IC 内部信号地
6	V <sub>DD</sub>	电源端，IC 内部电路电源端
7	BOOT	内部功率 MOSFET 栅极驱动信号输入端
8	SW	开关端，内部功率 MOSFET 输出端

## 6.2.6

### 采用 FSDM311 的 LED 恒流驱动电路 ——内含脉宽调制器，作为恒流驱动器

FSDM311 属于内置 MOSFET 与 PWM 控制电路的单片集成电路，用 FSDM311 构成的 10W LED 恒流驱动电路如图 6-10 所示。



FU 是输入回路熔断器，以防止电源内部有器件损坏时影响供电系统。TH1 为负温度系数热敏电阻，用于控制输入回路的启动冲击电流。

C1、L1 组成输入 EMI 滤波电路，用于消除电网对开关电源工作的影响和抑制开关电源对电网的干扰。R1、R2 是 C1 的放电电阻，保证当电源关闭时印制电路板（PCB）上的裸露部分不带电，确保人身安全。

T1 是开关变压器，R3、C3、VD5 组成吸收回路，VD6、L2、C5、VT1、VD7、R4、C6 组成  $U_{CC}$  供电电路。在设计这部分电路时变压器的参数要特别计算，尽管输出电流是保持在 350mA 不变，但该类电源主要用于 LED 照明，实际使用时负载可能是一个 LED，也可能是 6 个 LED 串联，因此输出电压的范围很宽，为 +5~26V。而一般在设计变压器时只能按一种状态来考虑，不能满足输出电压为 5 倍的变化量。因此，在设计  $U_{CC}$  绕组的匝数时一定要先按 +5V 的输出电压来计算。然而，当实际输出是 +26V 时，因为变压器的匝数比等于电压比，按 +5V 设计的匝数又太多。因此，在该回路内加入了由 VT1、VD7、R4 组成的线性稳压电路，当输出为 +26V 时把整流电压控制在 IC1 所能允许的工作电压范围内。同时，为了防止 VD6 整流电压太高，又加入了电感 L2，以进一步抑制  $U_{CC}$  电压的变化范围。

R5 是过电流保护调整电阻，调整该电阻的阻值可改变过电流保护点，以便使变换器能工作在安全状态下。

C4 是为预防 EMI 不能顺利通过而预备的电容，可根据实际情况决定取舍。

VD8 是二次整流二极管，因输出是高频低压，一定要选反向恢复时间短的管子，否则会影影响电路的转换效率。

C10、L3、C11 组成  $\pi$  形滤波网络。

PC1、TL1、R10、R11、R13、R14 组成反馈电压取样电路，R12、C13 是 TL1 放大器的增益补偿元件。R7、R8、R9、VT2 组成电流取样电路。

C12 是慢启动电容，当在冷机满载启动时，可防止输出电容的冲击电流使恒流点提前动作而影响电路的正常使用。

电流取样电路的工作过程是：输出电流在 R7、R8 上形成右正左负电压降，其值是电阻值乘以通过的电流。当该电压降大于 VT2 的基极和发射极电压时，VT2 导通，对光电耦合器 PC1 中 LED 部分的电流进行分流。流过 R7、R8 的电流越大，压降也越大，则 VT2 导通的程度也越深，分流掉光电耦合器中的电流也越多，从而达到恒流的目的。

该电路由输入滤波电路、功率变换电路、辅助供电电路、二次整流滤波电路、电压反馈取样电路和电流反馈取样电路等组成。

变压器辅助供电回路的设计与试验特别重要，只有通过反复试验与分析才能找到合适的  $U_{CC}$  电压值。

FSDM311 的引脚功能见表 6-4。

表 6-4 FSDM311 的引脚功能

引脚号	符号	功能
1	GND	IC 内部逻辑控制地与一次功率管电流取样地
2	$V_{CC}$	IC 供电电源正输入端，该脚既与变压器的辅助绕组相连，同时又与⑤脚（启动电流端）相连。在启动时通过⑤脚给电容充电，当 $V_{CC}$ 电压上升幅度达到 9V 时，自动关断与⑤脚的连接，而由变压器的辅助绕组供电

续表

引脚号	符号	功能
3	$V_{fb}$	反馈电压与该脚相连接, 该脚为 IC1 内部 PWM 比较器的反相输入端, 反馈电压的正常值为 0.5~2.5V, 电流源能提供 0.4mA 的电流给光电耦合器的旁路电容充电。反馈电压大于 4.5V 时进入过功率保护状态 (OLP)。当反馈电压为 3~4.5V 时, 外部反馈电容具有延时功能, 仅消耗 5 $\mu$ A 的电流
4	Nc	数字控制
5	$V_{str}$	该脚直接连接到交流线路的整流电源上, 因为启动电路在 IC1 内部, 在启动后通过外部的电容建立 $U_{CC}$ 电压。当电容两端的电压充到 9V 以上时, 内部电流自动关闭
6、7、8	Drain	变压器一次绕组直接连接到该脚上, 内部 MOSFET 的 $U_{DS}$ 耐压是 650V, 保持最小的连接长度以避免因变压器的漏感而造成的反峰电压损坏 MOSFET

## 知识链接

## LED 光源的特征

① 发光效率高。LED 经过几十年的技术改良, 其发光效率有了较大的提升。目前, 单个 LED 的光通量研究水平可达 120lm/W, 产品水平不大于 60lm/W。LED 光源的单色性好, 光谱窄, 无须过滤即可直接发出有色可见光。

② 耗电量少。由于 LED 是冷光源, 与目前普遍使用的白炽灯、荧光灯相比, 节电效率可以达到 90% 以上。LED 的电能利用率高达 80% 以上, 单管功率为 0.03~0.06W, 采用直流驱动, 单管驱动电压为 1.5~3.5V, 电流为 15~18mA。

③ 使用寿命长, 可靠性高。LED 是半导体器件, 与白炽灯不同, 没有玻璃、钨丝等易损可动部件, 故障率极低, 可以免维修; 特别是体积小, 重量轻, 采用环氧树脂封装, 可承受高强度机械冲击和震动, 不易破碎。

在可靠性方面, LED 的半衰期 (即光输出量减少到最初值一半的时间) 大概是 1 万到 10 万小时, 其平均寿命达 10 万小时。LED 灯具的使用寿命可达 5~10 年, 可大大降低灯具的维护费用, 避免经常换灯之苦。相反, 小型指示型白炽灯的半衰期 (此处的半衰期指的是有一半数量的灯失效的时间) 的典型值是 10 万小时到数千小时不等, 具体时间取决于灯的额定工作电流。

④ 安全性好, 属于绿色照明光源。LED 发热量低, 无热辐射, 为冷光源, 可以安全触摸, 能精确控制光型及发光角度; 光色柔和, 无眩光; 不含汞、钠元素等可能危害健康的物质; 热量、辐射都很少; 内置微处理系统, 可以控制发光强度, 调整发光方式, 实现光与艺术的结合。

⑤ 环保 LED 为全固体发光体, 耐震、耐冲击, 不易破碎; 废弃物可回收, 没有污染; 光源体积小, 可以随意组合, 易开发成轻便、薄短小型照明产品, 也便于安装和维护。

⑥ 单色性好, 色彩鲜艳丰富。颜色饱和度达到 130%, 全彩色, 使灯光更加清晰柔和。

⑦ 响应时间短。响应时间只有 60ns, 特别适合作为汽车灯具的光源, 为司机争取了减

少事故的时间。由于其反应速度快，故可在高频下操作。

⑧ 平面发光，方向性强。LED 与点光源白炽灯不同，视角小于或等于  $180^\circ$ ，设计时一定要注意和利用 LED 光源有不同的视角和不能大于  $180^\circ$  这一特点。

⑨ 受温度影响大。LED 的发光效率随温度升高而下降，一般芯片温度超过  $120^\circ\text{C}$  时将失效。在灯具总成设计和制造工艺设计时，一定要考虑热设计。

### 假 酒

顾客：“你们卖的酒怎么没有酒味啊？”

服务员接过一闻：“啊，真对不起，忘记给您掺酒了，我马上纠正。”



## 6.3 高亮度 LED 照明驱动电路——夜明珠

LED 亮度高，如今应用非常广。  
室内室外都在用，本节仅把驱动讲。  
电容降压成本低，芯片驱动用途广。  
红绿蓝灯程序控，混色发出七彩光。

这几年高亮度 LED 光源因其制造技术突飞猛进，而其生产成本又节节下降，所以如今几乎所有的灯具都可以使用 LED 作为高亮度、高效率的照明光源。

### 6.3.1

#### LED 数码门牌电路

——门牌虽小亮度高，方便来客好寻找

LED 门牌号比其他形式的门牌号更加醒目，到了晚上，点亮 LED 背景灯，让号码牌上的数字变得清晰可见，访客能更加轻松地找到目的地。图 6-11 所示为 LED 数码门牌电路。

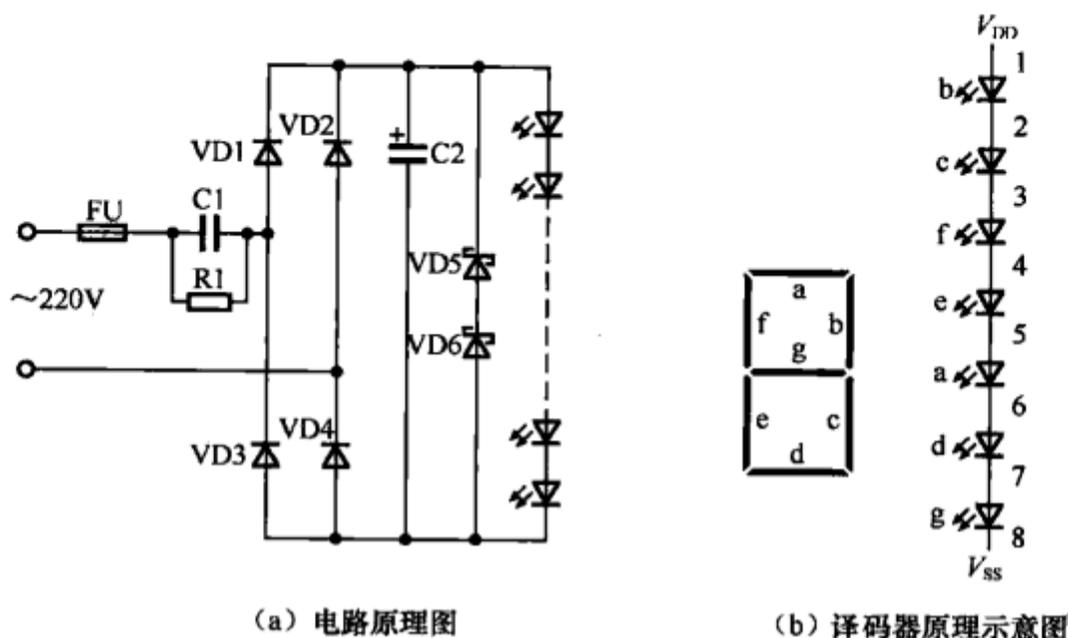
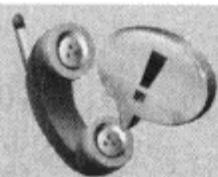


图 6-11 LED 数码门牌电路

在图 6-11 (a) 所示的电路中, C1 为降压电容, VD1~VD4 组成桥式全波整流电路, C2 为滤波电容, FU 和齐纳(稳压)二极管 VD5、VD6 起安全保护作用。 $n$  段数码管各显示段由 LED 串联组成, 采用特殊排列的串联顺序使译码简化。短路某些 LED, 使其不发光, 而另一些 LED 发光, 就可显示 0~9 这 10 个阿拉伯数字, 并可在电路板上用接插件直接完成译码。例如, 在图 6-11 (b) 中, 短路 3、8 两点, 则显示数码“1”; 短路 2、4 两点, 则显示“2”, 以此类推。由于采用高亮度 LED 作为数码光源, 故数码门牌光彩夺目, 美观且省电, 可替代现有的各种不发光门牌。



**提示**

该电路属于电容降压 LED 驱动电路, 这种降压方法存在一些不足之处。电容降压 LED 驱动电路只是一种小电流电源电路, 所提供的电流非常有限; 电容降压 LED 驱动电路在降压电容和电阻上的功率损耗较大, 效率很低, 并且输出电压随电网波动而变化, 会使 LED 的亮度不稳定。

### 6.3.2

#### LED 变色灯电路

——红绿蓝灯芯片控, 发出七彩色光动

图 6-12 所示为 LED 变色灯控制与驱动电路。

该变色灯电路由电源电路、变色控制电路和三基色 LED 阵列 3 个部分组成。

220V 电源经过电容 C1 降压后进入桥式全波整流器 (VD1~VD4) 进行整流, 再通过齐纳二极管 (VD9) 限幅, 得到稳定的 15V 直流电压。15V 直流输出电压作为 LED 阵列的供电电源, 经电容 C2 滤波后的电压 (约 14.5V) 为控制器 CD4060 的  $V_{DD}$  引脚供电。CD4060 是一种二进制计数器 CMOS 集成电路。它内含两个反相器, 外接两个电阻和一个电容, 可以组成振荡器。

在交流电源输入端串接一个电阻 R2, R2 上的 50Hz 交流电压信号经 R3 和 C3 组成的微分电路产生尖峰脉冲作为时钟信号加至 CD4060 的①脚。CD4060 的⑬、⑭和⑮脚输出二进制计数脉冲。当输出的计数脉冲为低电平时, 相应的 LED 串被点亮。

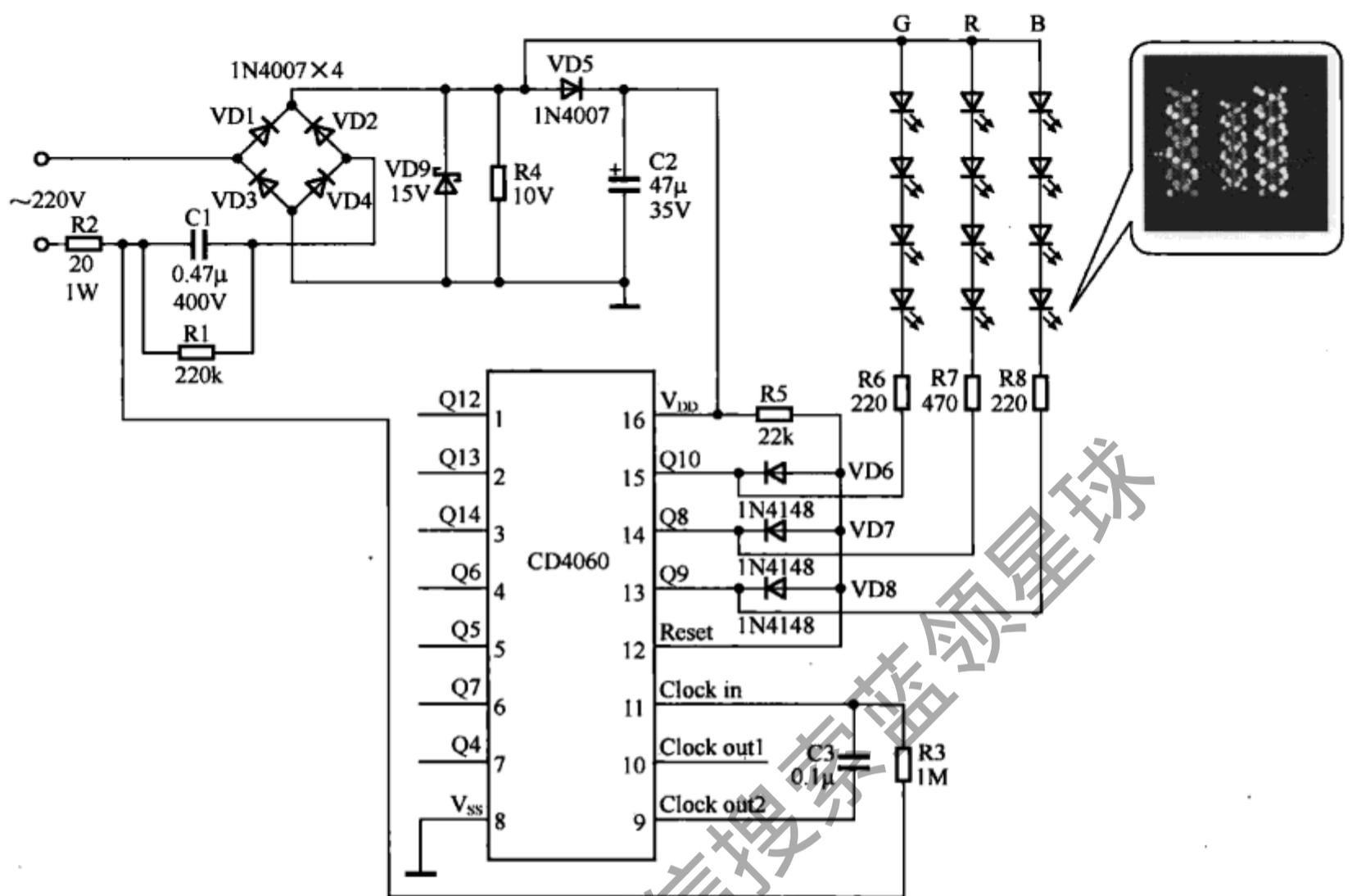


图 6-12 LED 变色灯控制与驱动电路

CD4060 控制和驱动红、绿、蓝 3 个 LED 串。若 CD4060 的 Q8 端为高电位，而 Q9、Q10 端为低电位，蓝光和绿光 LED 串被点亮，混色后则发出青色光。经过 2.56s 后，红光和绿光 LED 串点亮，混色的结果是发出黄光。在 Q8、Q9 和 Q10 三端刚出现高电平时，复位端 (⑫脚) 出现高电平。IC 复位后，所有输出端 (Q4~Q14) 均为低电平，3 个 LED 串都被点亮，形成白光，复位端立刻变为低电位，从而跳过了 2.56s 的灭灯情况。

**提示** 为了避免 CD4060 的 Q8、Q9、Q10 端都输出高电平，3 个 LED 串都熄灭，在这 3 个引脚上都连接了一个二极管 (VD6、VD7 和 VD8)，它们的正极都连接到复位端 (Reset)。

该电路可驱动功率约为 1W 的 LED 变色灯，灯被点亮后会按一定的时间间隔变色，循环发出绿、红、蓝、青、黄、紫和白色光。这种变色灯可适用于家庭生日派对和节日聚会，添加喜庆气氛，也可以用于娱乐场所及用作广告灯等。

### 6.3.3 太阳能 LED 照明电路 ——光电转换是关键，驱动电路很常见

我国的太阳能电池生产量很大，这为利用太阳能点亮白光 LED 灯创造了极为良好的条件。图 6-13 所示为太阳能 LED 照明电路。

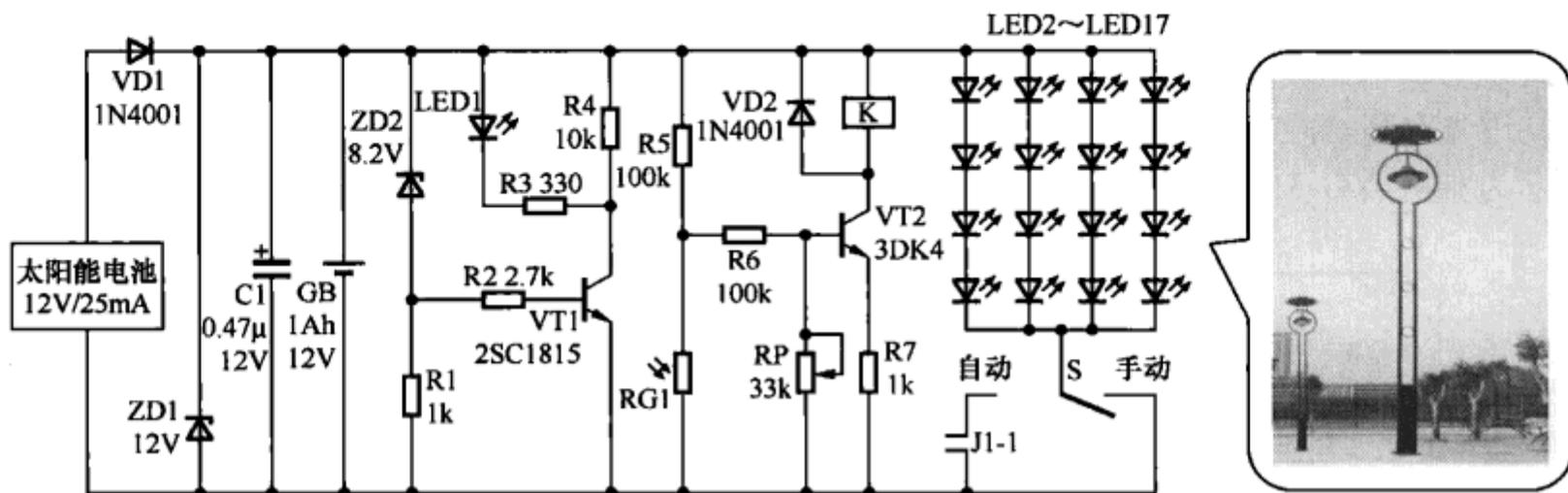


图 6-13 太阳能 LED 照明电路

太阳能电池组的容量由选用的蓄电池组容量、工作地点的日照条件确定，必须保证在平均光照条件下一天的日照就能够使蓄电池组完全充满电。本电路中的太阳能电池为 25cm×25cm 的硅单晶电池板，标称值为 12V/250mA，在阴天时输出为 12V/60mA。

太阳能照明灯尽管品种很多，但大多数都采用分立元件制作。

VD1 为防逆流二极管；ZD1 为 12V 稳压二极管，用于限制 C1 两端的电压。C1 为小容量超级电容器，与蓄电池结合使用。当 C1 和蓄电池上的电压使稳压二极管 ZD2 击穿时，VT1 导通，LED 发光。

光敏电阻 RG1 的型号为 MG45，其亮电阻不大于 5kΩ，暗电阻不小于 1MΩ。在白天由于受自然光照射呈现低阻抗，VT2 截止，继电器不吸合，LED 阵列 (LED2~LED17) 不发光。到天黑后，RG1 因无光照而呈现高阻值，VT2 导通，继电器 K 的动合触点闭合，LED 阵列发光。

S 为手动/自动开关，LED 的规格为 φ3mm~φ5mm，16 只 LED 采用先串后并的连接方式。

蓄电池的容量由选用的 LED 功率、需要的照明时间确定。本电路选用的蓄电池规格为 1Ah/12V。



**提示** 太阳能 LED 照明灯具作为冷光源产品，具有性价比较高、绿色环保、安全可靠、质量稳定、使用寿命长、安装维护简便等特点，可广泛应用于绿地照明、公路照明、广告灯箱照明、城市造型景观照明及家居照明，尤其可以分散地在边远地区、高山、沙漠、海岛和农村使用。它不仅可以节约电能，而且还免去了架设供电线路，因此很适合野外不方便使用市电供电的场合作夜间自动照明之用。

### 6.3.4

## LED 手电筒电路

——新型手电明又亮，夜行不会迷方向

### 1. 可充电 LED 手电筒电路

前几年生产的可充电 LED 手电筒一般采用普通高亮度白光 LED，单只 LED 耗电量为

30mA 左右。近年来大量生产的手电筒多采用草帽形高透明度树脂封装的高亮度白光 LED 灯，其封装的顶部曲率大（直径 8mm），散射小。LED 管芯距封装顶部只有 2mm，所以透光损耗小，透光率高。再加上采用镀膜抛物曲面反射杯，光照方向趋于直线，照度大大增强。图 6-14 所示为雅格 YG-3148 型可充电手电筒电路，这种手电筒具有双灯或四灯可调光功能。

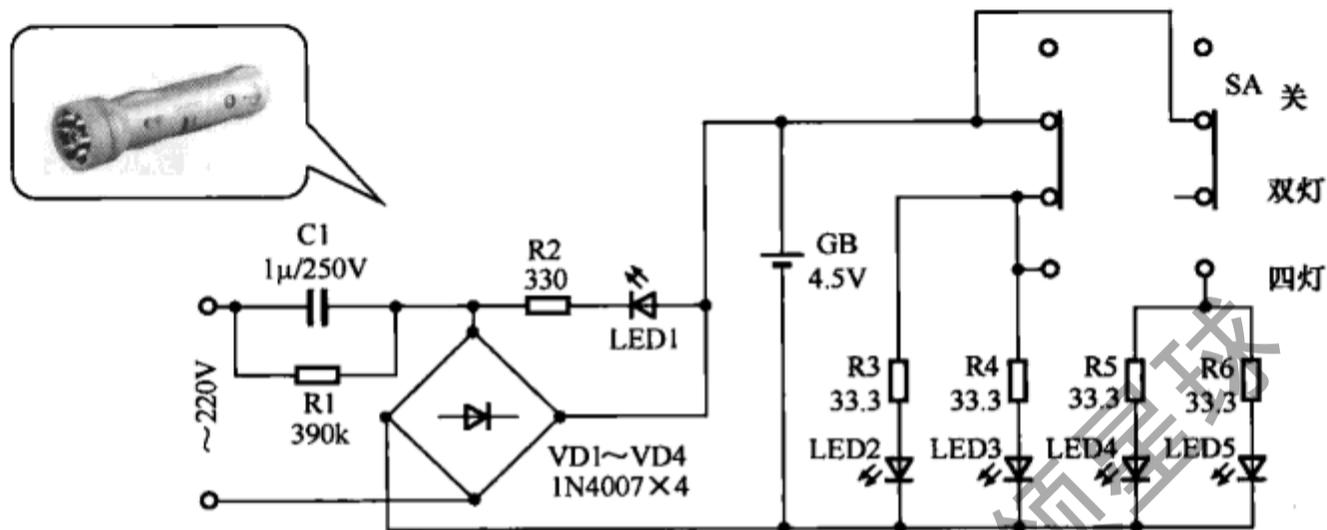
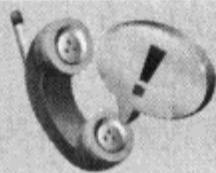


图 6-14 雅格 YG-3148 型可充电手电筒电路

需要充电时，当推伸式插头接入交流 220V 电源后，经 C1 (CL21 型电容) 降压和 VD1~VD4 整流给蓄电池 GB 充电。在交流电正半周，指示灯 LED1 不亮；在交流电负半周，LED1 经 R2 限流后点亮，显示当前的工作状态为正在对蓄电池充电。GB 为 07102 型密封式 4.5V 微型蓄电池组，容量为 400mAh。

将开关 SA 推接至双灯位时，LED2、LED3 点亮，可连续照明 14h 左右；若将 SA 推接至四灯位，LED2~LED5 全点亮，可连续照明 7h 左右。



提示

该电路由于没有设计充电限压自动断电控制功能，故限时（不大于 8h）充电，充满电后拔出并收缩电源插头（此时 C1 经 R1 放电）。

## 2. 采用电池供电的 LED 手电筒电路

市场上的 LED 手电筒安装有 5~8 个高亮度 LED，使用 1~2 节电池供电。由于使用高亮度 LED 的原因，发光效率很高，工作电流比较小。实测使用一节五号电池的 5 头手电筒，电流只有 100mA 左右，非常省电。如果使用大容量充电电池，可以连续使用十几个小时。图 6-15 所示为采用电池供电的 LED 手电筒电路。

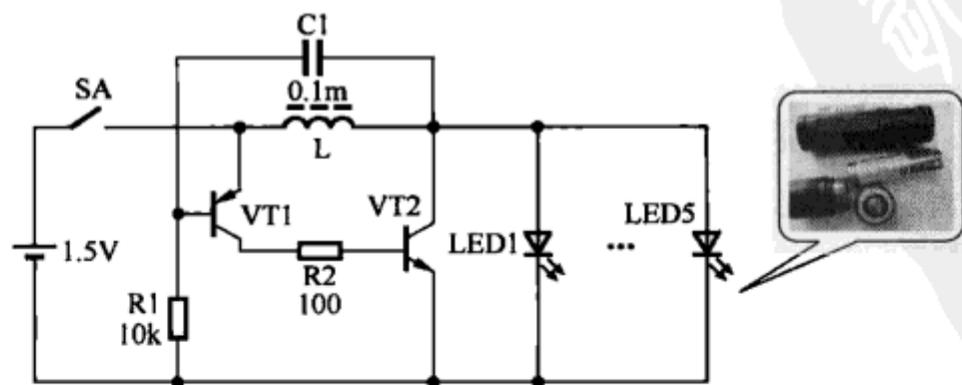


图 6-15 采用电池供电的 LED 手电筒电路

闭合 SA 后, VT1、R1 与电池负极连接, 故 C1 两端电压不能突变。VT1 的基极电位低于发射极, VT1 导通, VT2 的基极有电流流入, VT2 也导通。电流从电源正极经电感 L、VT2 的集电极流到发射极, 再流回电源负极。电源对 L 充电, L 储存能量, L 上的自感电动势为左正右负。经 C1 反馈, VT1 基极电位比发射极电位更低, VT1 进入深度饱和状态, 同时 VT2 也进入深度饱和状态。随着电源对 C1 充电, C1 两端电压逐渐升高, 即 VT1 基极电位逐渐上升,  $I_{b1}$  逐渐减小, 当  $I_{b1} < I_{c1}/\beta$  时 ( $\beta$  为晶体管放大倍数), VT1 退出饱和区, VT2 也退出饱和区, 对 L 的充电电流减小。此时, L 上的自感电动势变为左负右正, 由于 C1 的反馈作用, VT1 基极电位进一步上升, VT1 迅速截止, VT2 也截止, L 中储存的能量释放, 电源电压加到 L 上产生了自感电动势, 达到升压的目的, 此电压足以使 LED 发光。



提示

在本电路中, 如果有一只 LED 损坏, 另外 4 只 LED 的电流将大增, 时间久后会相继损坏。

### 6.3.5

## LED 装饰灯电路

——光敏器件巧控制, 二极管串作装饰

图 6-16 所示为 LED 装饰灯电路。

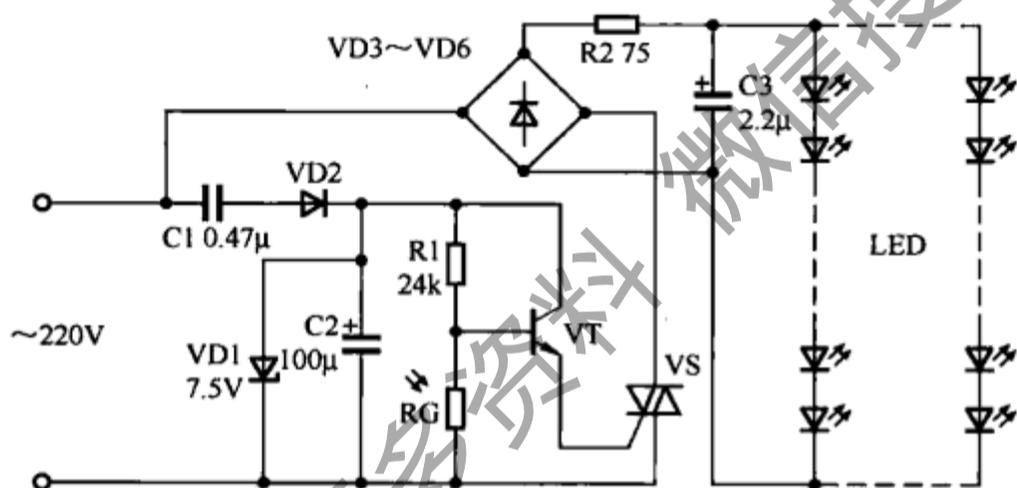


图 6-16 LED 装饰灯电路

该电路由电源电路、光控电路和 LED 显示电路组成。电源电路由降压电容 C1、整流二极管 VD2、稳压二极管 VD1 和滤波电容 C2 组成, 光控电路由光敏电阻 RG、电阻 R1、晶体管 VT 和晶闸管 VS 组成, LED 显示电路由整流桥堆 VD3~VD6、电阻 R2、电容 C3 和 LED 灯串组成。

220V 交流电压一路经 C1 降压、VD2 整流、VD1 稳压和 C2 滤波后, 得到 +7.5V 直流电压, 作为光控电路的工作电源; 另一路经 VD3~VD6 桥式整流、R2 限流降压及 C3 滤波后, 驱动 LED 发光。

光敏电阻 RG 是利用半导体光电导效应制成的一种特殊电阻, 对光线十分敏感, 它的电阻值能随着外界光照强弱 (明暗) 变化而变化。它在夜晚或光照较暗时呈高阻状态, VT 导通, 致使 VS 导通, LED 灯串发光; 在白天有光照时, 其电阻值迅速减小, VT 因基极呈低电位而处于截止状态, 其发射极无触发电压输出, VS 不导通, C3 上无电压, LED 不发光。



提示

该 LED 装饰灯电路适用于广告牌装饰照明，也可用于室内外节日装饰照明。若需要 LED 全天工作，可将 RG 去掉或换一只阻值为  $500\text{k}\Omega$  以上的固定电阻，使 VT 和 VS 通电后即导通。

### 知识链接

### LED 引脚的焊接注意事项

由于安装环境的限制，将 LED 的引脚焊接到电路板上时，有时需要折转方向或弯曲。当然，对于一些较简单的电路，也可以将 LED 直接搭焊在电路板的铜箔面上。采用元器件搭焊方式，可以免除在电路板上钻孔，简化了制作工艺。在对 LED 的引脚进行焊接时，应注意以下几点。

- ① 在对 LED 进行焊接前，如果需要作引脚整形的话，必须在焊接之前完成。
- ② 引脚弯曲的地方与树脂封盖的距离不得小于  $5\text{mm}$ ，而且保证不会有不恰当的外力作用于树脂，否则会使 LED 胶体里面的支架与金线分离。
- ③ 支架成形需保证引脚及间距与线路板一致。
- ④ 引脚在同一处的折叠次数不能超过 3 次（如果引脚被弯成  $90^\circ$ ，再回到原位置为 1 次）。
- ⑤ 引脚整形最好由专业人员用镊子等工具辅助完成。

### 报警电话

消防队：哪里着火了？  
报警人：我家。  
消防队：我是问在什么地方？  
报警人：在厨房。  
消防队：我是说我们怎么去？  
报警人：你们不是有消防车吗？



## 参考文献

- [1] 王兵. 常用机床电气检修. 北京: 中国劳动社会保障出版社, 2006.
- [2] 张胤涵. 机床电气识图. 北京: 中国电力出版社, 2009.
- [3] 龙莉莉, 肖铁岩. 建筑电气控制培训读本. 北京: 机械工业出版社, 2007.
- [4] 王俊峰. 最新生活电路 283 例. 郑州: 河南科学技术出版社, 2008.
- [5] 何晓帆, 等. 实用照明电路图集. 北京: 中国电力出版社, 2009.
- [6] 郑凤翼. 电工电路. 北京: 人民邮电出版社, 2008.
- [7] 杨清德, 康娅. LED 及其工程应用. 北京: 人民邮电出版社, 2007.

获取更多资料 微信搜索蓝领星球



[ General Information ]

书名 = 轻轻松松学电工 电路篇

作者 = 杨清德编著

页码 = 285

ISBN = 285

SS号 = 12586343

dxNumber = 000006919015

出版时间 = 2010.07

出版社 = 该引擎未能查询到

定价 : 35.00

试读地址 = <http://book.szdnet.org.cn/bookDetail.jsp?dxNumber=000006919015&d=E68617BDA463B5CABA951962D4B3B0A&fenlei=1815&sw=%C7%E1%C7%E1%CB%C9%CB%C9%D1%A7%B5%E7%B9%A4>

全文地址 = <http://img6.5read.com/image/ss2.jpg.dll?did=n25&pid=CB2813B507F47E71186FFEE1B7731376B21CFCAEF1A31A64D44ADD122D36C2353F05E9A7E6F7CFBB5C38A7F91AEA70EA113D09527E05560065FBFB5AC8670B6B437315BD4CBD34CD89BD21ADCC661FEB4517AF913F3EC8EE268A65D7C7A8081AA6702BD0D7979BA8D412C6C761684753DB48&jid=/>

获取更多资料 微信搜索 索书网