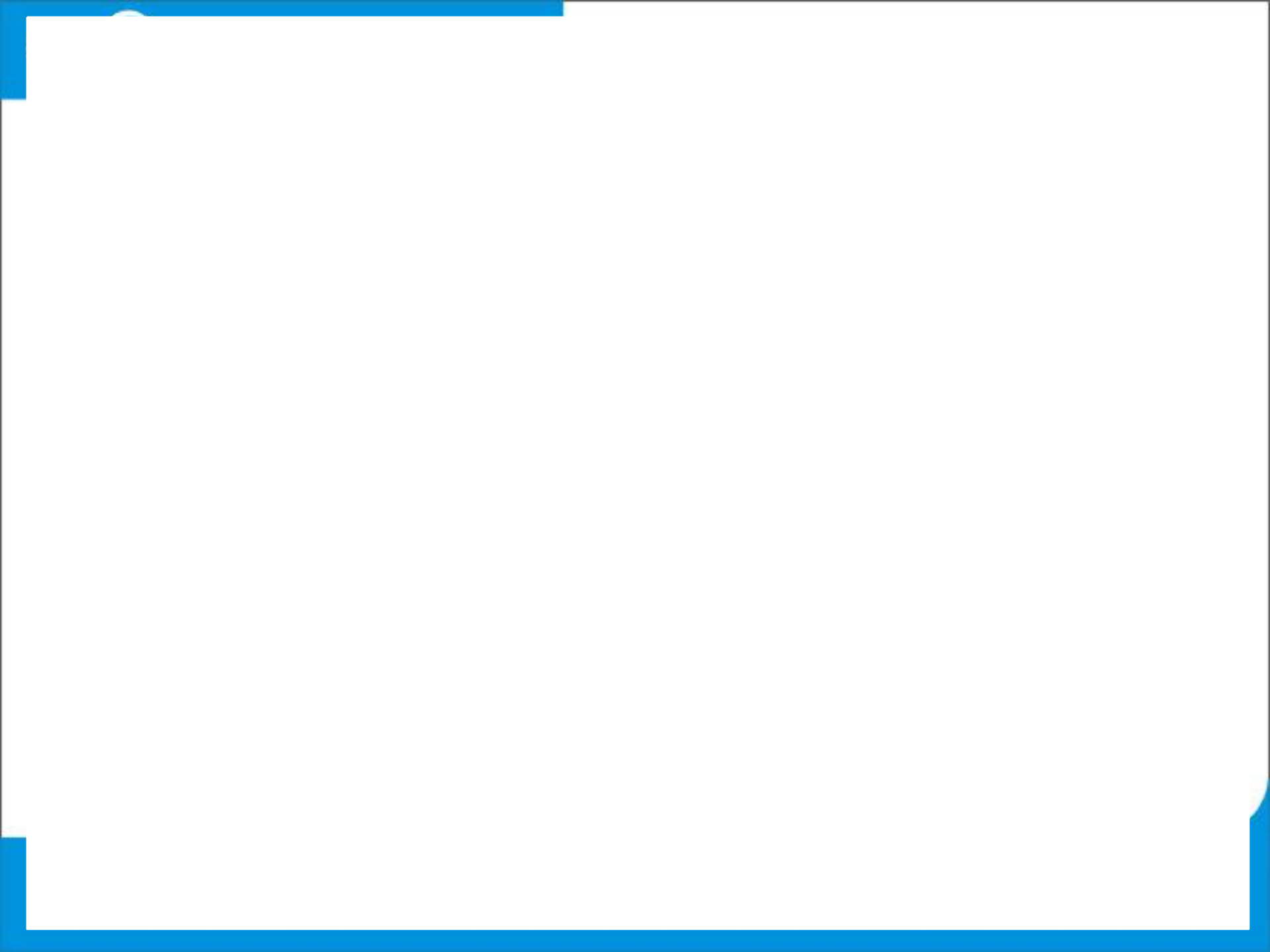


变频性能基本原理及其常见故障分析

技术研发中心

2020年11月3日



主要内容

前言：变频的定义以及命名

一、制冷系统简介

二、制冷系统的保护功能

三、常见故障分析和维修

四、变频维修小板的应用

五、其他注意事项

前言

- 什么叫变频空调器？
- GB/T 7725的定义是：
 - 转速可控型房间空气调节器variable speed room air conditioner: 空调器运行时，根据热负荷的大小，其压缩机的转速在一定范围内发生3级以上或连续变化的空调器，简称变频空调器。

前言

- 凡是美的变频空调器均采用“BP”两字母来表示变频：
 - BP1：省写为BP，表示交流变频，如：KFR-26GW/BPY-R。美的内销已经不生产交流变频空调器。
 - BP2：也常称为1D，表示压缩机为直流变频，室内外风轮电机为交流，如：KFR-26GW/BP2DY-M。美的今年的变频家族里的E，M，N，W均是BP2。
 - BP3：也常称为3D，表示压缩机、室内外风轮电机均为直流KFR-26GW/BP3DN1Y-C。美的今年的变频家族里的C系列为BP3。

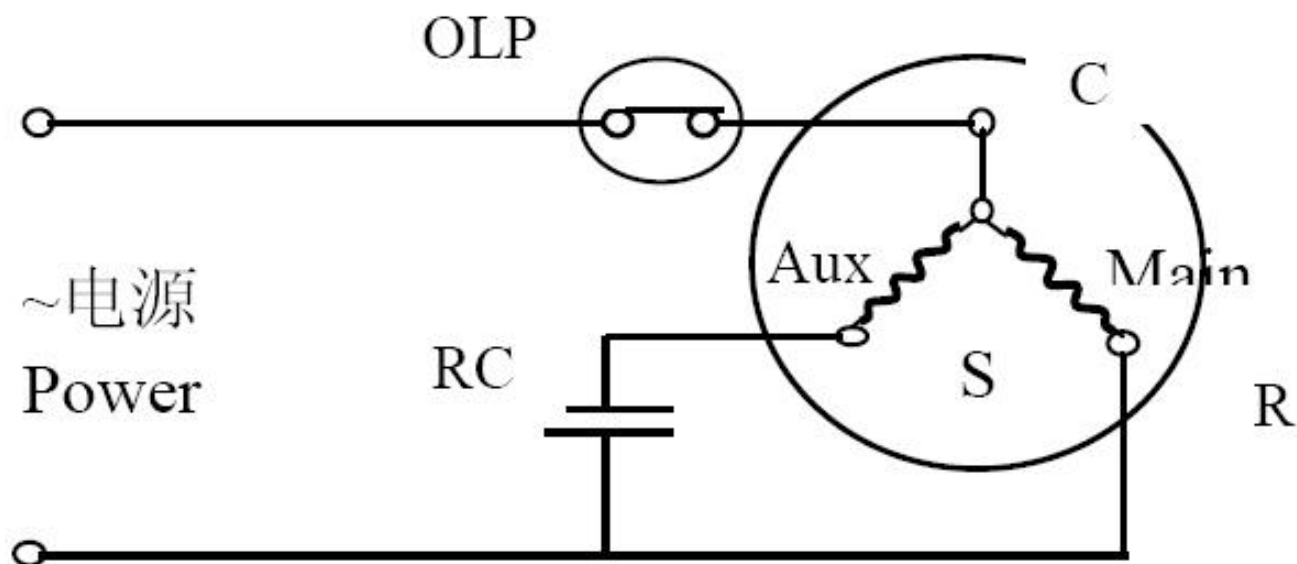
一、制冷系统简介

1. 定速机制冷系统的四大部件
2. 变频机制冷系统的四大部件
3. 变频机能力可调的原理
4. 定速机与变频机的区别
5. 变频机与定速机相比较的优势
6. 变频机的电控

1、定速机制冷系统的四大部件

- 压缩机
- 冷凝器
- 节流机构（毛细管，电子膨胀阀）
- 蒸发器

定速压缩机电机

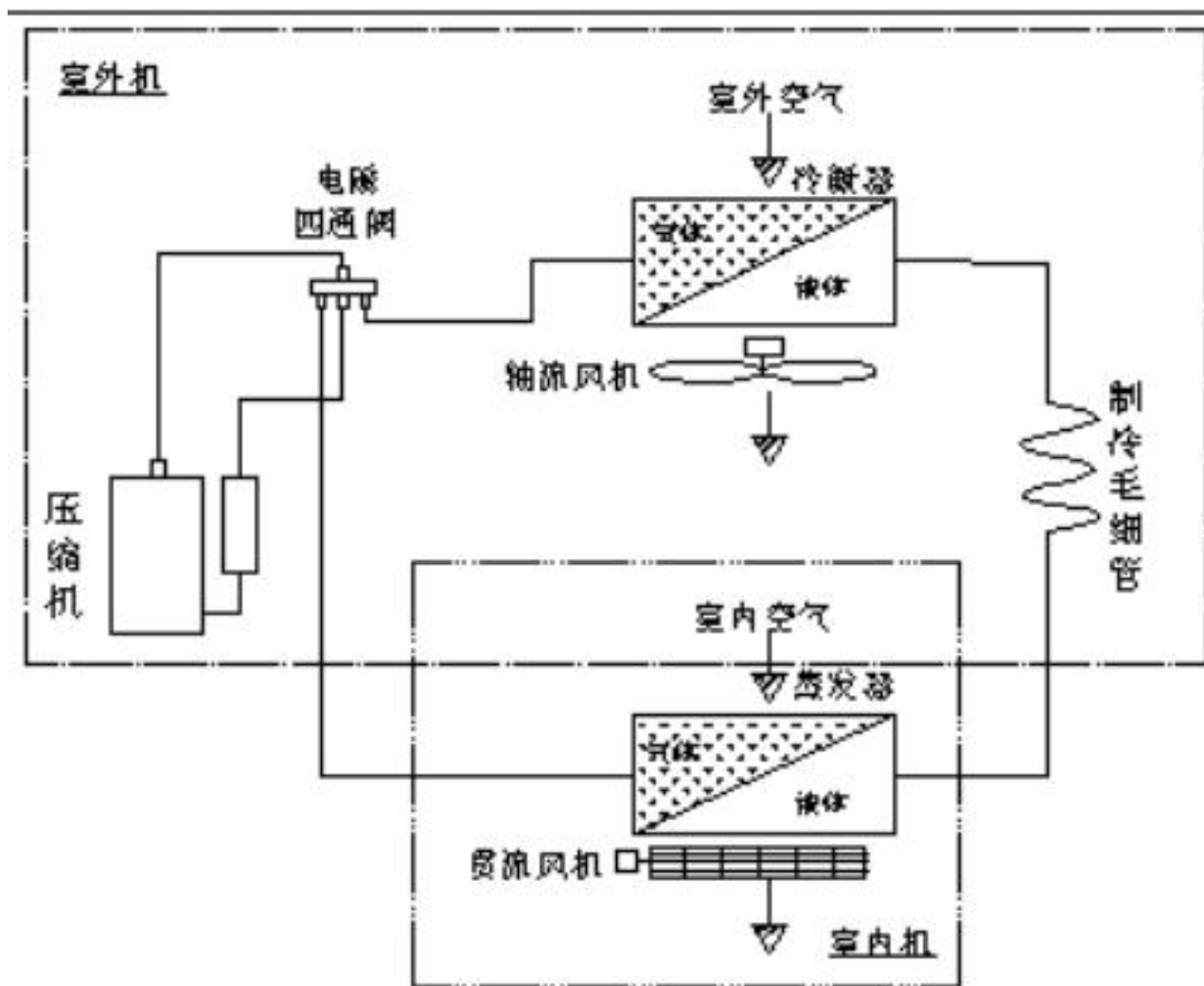


S: START (辅绕组 AUX WINDING)

R: RUN (主绕组 MAIN WINDING)

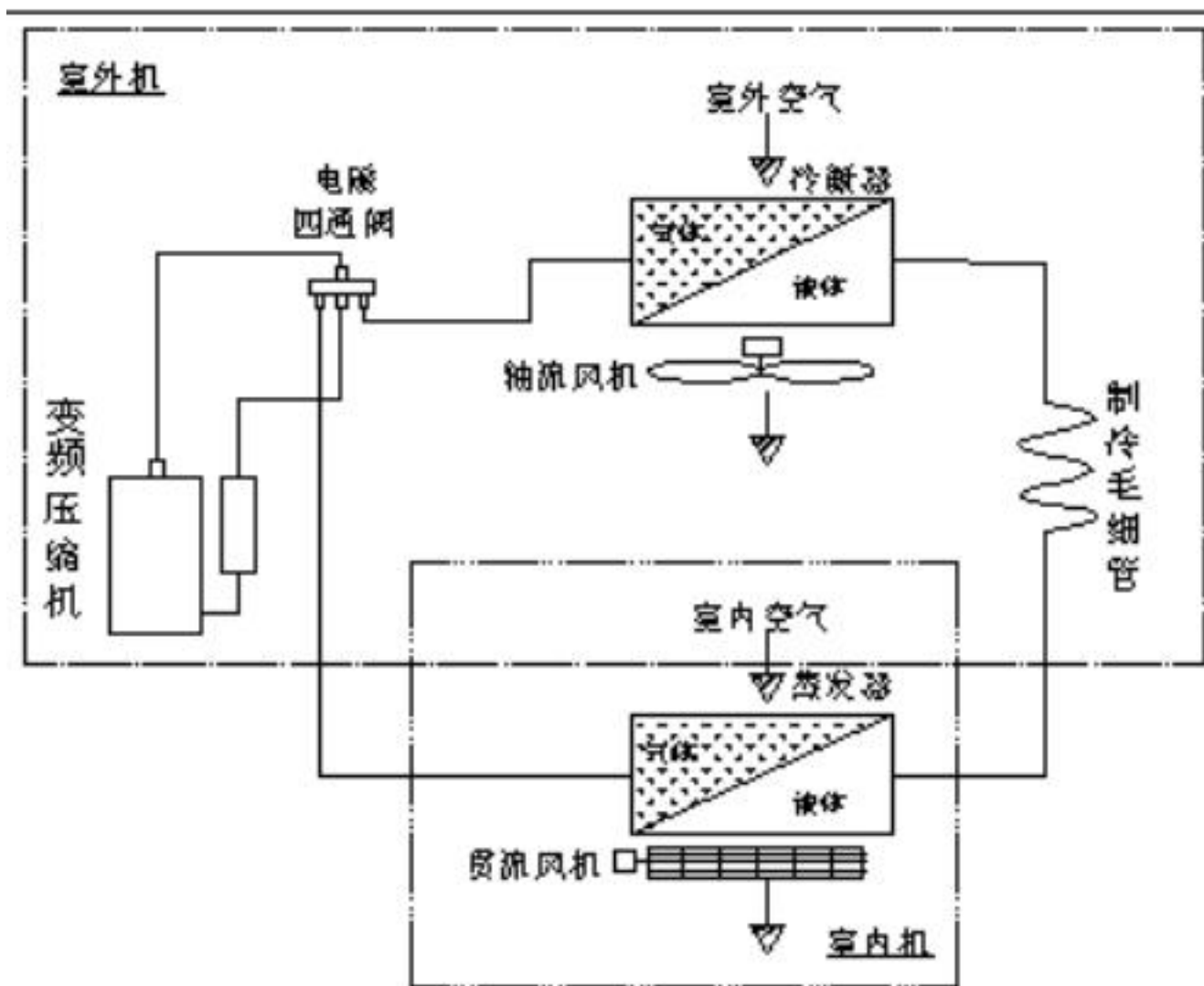
C: COMMON (共通)

RC: 运转电容 RUNNING CAPACITOR



2、变频机的制冷系统四大部件

- 变频压缩机
- 冷凝器
- 节流机构（毛细管，电子膨胀阀）
- 蒸发器

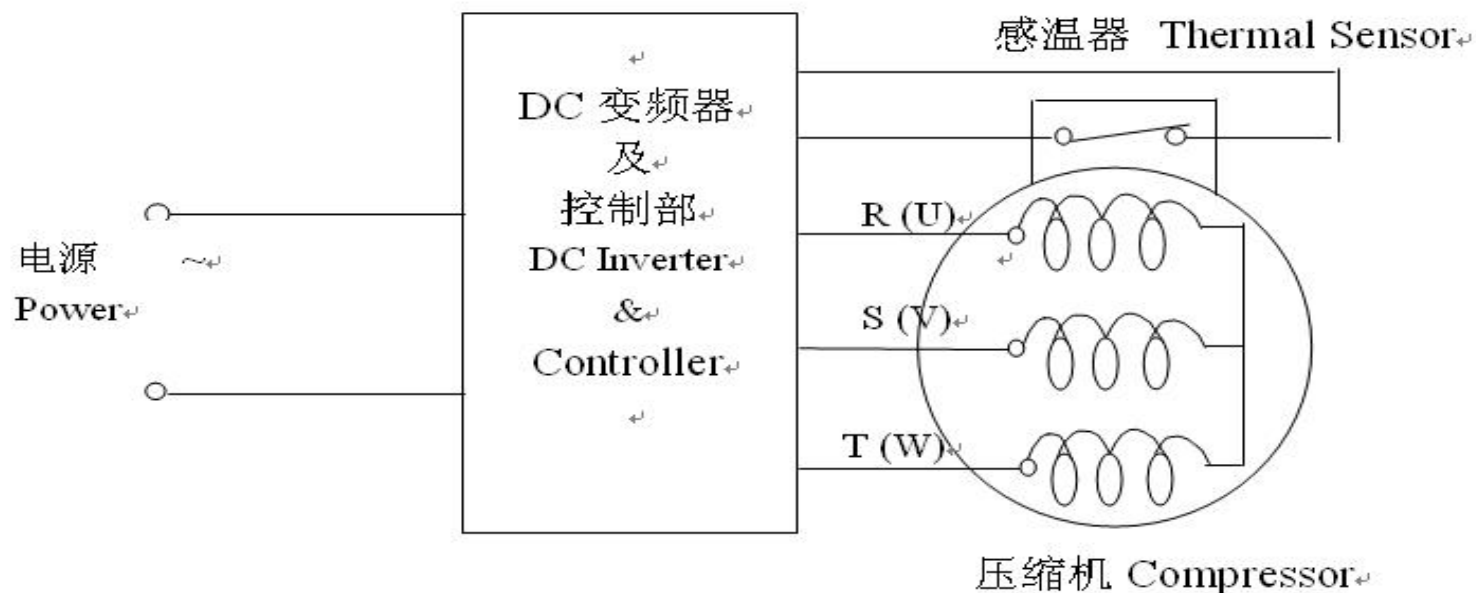


变频压缩机电机

配线接线图及电气部品规格

Wire Connection Figure & Electrical Parts Spec.

3-1、配线接线图 Wire Connection Figure



U、V、W任何两个接线端之间的电阻值是一样的，与定速机不同

3、变频器能力可调的原理

- 变频器能力可调主要原因是采用了变频压缩机。
- 定速机只要压缩机开，其运行的频率就是**50Hz**，这个是与用户供电源的频率是一样的。
- 变频压缩机的运行频率是通过电控是可调的，比如，最低可以是**15Hz**，最高可以是**100Hz**。
- 为什么频率改变了就可以说是“能力可调”呢？

为什么频率改变 就“能力可调”呢？

- 一定工况下，制冷量与制冷剂质量流量成正比，即
 - $Q = q \cdot m$
 - 式中， Q — 制冷量， q — 制冷剂单位质量制冷量， m — 制冷剂质量流量
- 一定工况下，制冷剂质量流量与压缩机转速成正比例函数关系，即
 - $m = f(N)$
 - 式中 f — 制冷剂质量流量与压缩机转速的函数关系，不同结构的压缩机此关系式不同， N — 压缩机转速

- 综合上两式，有：

$$Q=q.f(N)$$

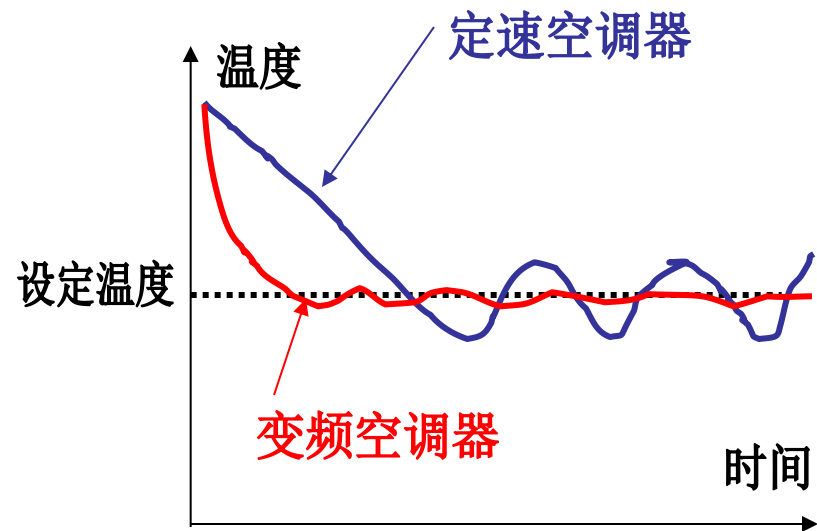
- 就可以通过调节压缩机转速（频率）实现空调制冷量的调节，这就是直流或交流变频空调变频能量调节的原理。
- 定速机压缩机的频率N是不变的，所以Q也不变。

4、定速机与变频机的区别

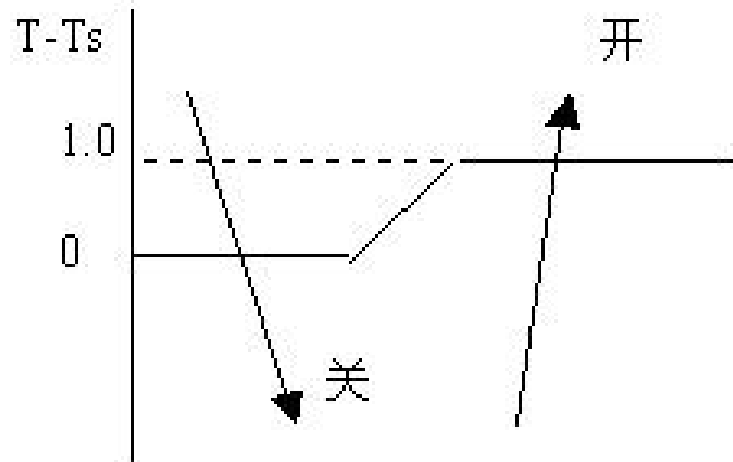
- 制冷系统不同
 - 定速空调器的压缩机运行频率不可变。例如 50Hz
 - 变频空调器的压缩机运行频率可以变化。例如 30Hz~100Hz。
- 电控不同
 - 变频空调器的控制器远比定速空调器复杂。
- 输出能力不同
 - 在一个工况下定速机只有一个能力输出
 - 变频机的输出能力是一个范围

- 舒适性不同

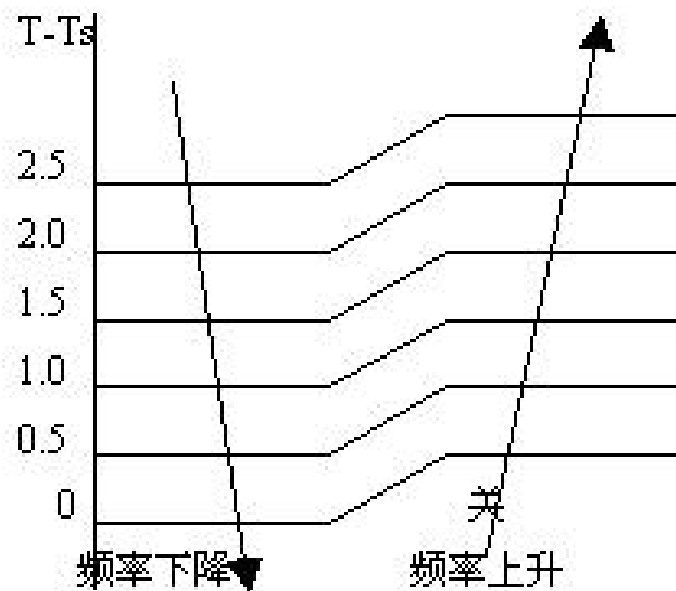
- 变频空调器的舒适性比定速空调器的好。
- 可以快速制冷或制热
- 温度波动小。



定速机与变频机的温度调节



常规空调制冷时温度调节



变频空调制冷时温度调节

- 对环境的适应性不同
- 节能
 - 从长期运行来说，变频空调器会比普通空调器节约30%以上的电量。

Note:频繁的开/关变频空调器不能节约电量。

5、变频器与定速机相比较的优势

序号	项目	常规空调	变频空调
1	适应负荷的能力	不能自动适应负荷变化	自动适应负荷的变化
2	温控精度	开/关控制, 温度波动大	降频控制, 温度波动范围小
3	启动性能	启动电流远大于额定电流	软启动, 启动电流很小
4	节能性	开/关控制, 不省电	自动以低频维持, 省电30%
5	低电压运转性能	180V以下很难运转	低至150V也可正常运转
6	制冷、制热速度	慢	快
7	热冷比	小	大
8	低温制热效果	0° C以下效果差	-10° C时效果仍好
9	化霜性能	差	准确而快速
10	除湿性能	定时开/关控制,	低频运转, 只除湿不降温
11	满负荷运转	无此功能	自动以高频强劲运转
12	保护功能	简单	全面
13	自动控制性能	简单	真正模糊化、神经网络化

6、变频机的电控

- 变频机的电控远比定速机的复杂，将由电控工程师专门介绍

二、制冷系统的保护功能

1. 定速机的常见保护功能

2. 变频机的保护功能

3. 保护功能的作用：

- 无论定速机还是变频机，保护的思路均是不让空调出现过高温、过低温、过高电流，保证空调器不被破坏。

1、定速机的常见保护功能

- 蒸发器低温保护
- 冷凝器高温保护
- 蒸发器高温保护
- 电流保护
- 传感器开路或断路保护
- 风机失速保护

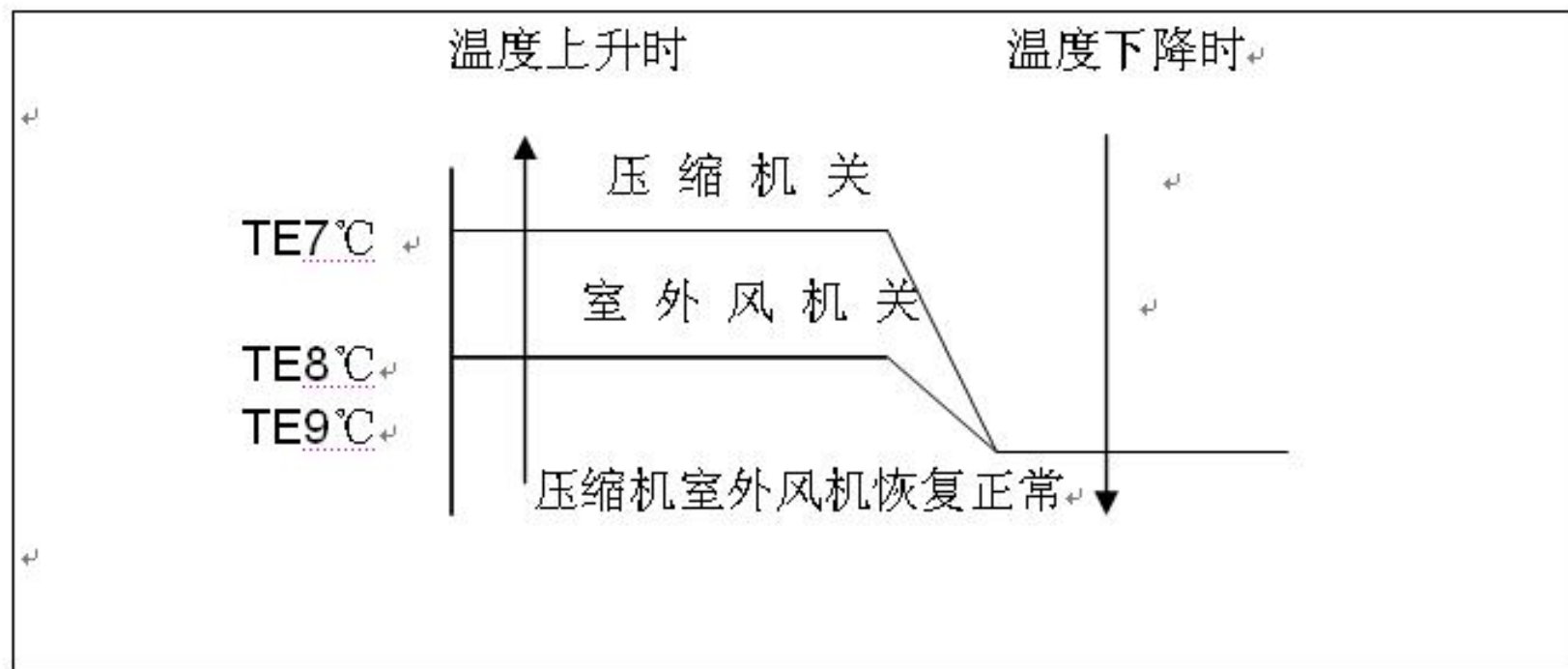
- **蒸发器低温保护**

- 若连续3分钟 $T2 \leq 2^{\circ}\text{C}$ ，则关压缩机、室外风机；当 $T2 \geq 8^{\circ}\text{C}$ 时退出保护。

- **冷凝器高温保护**

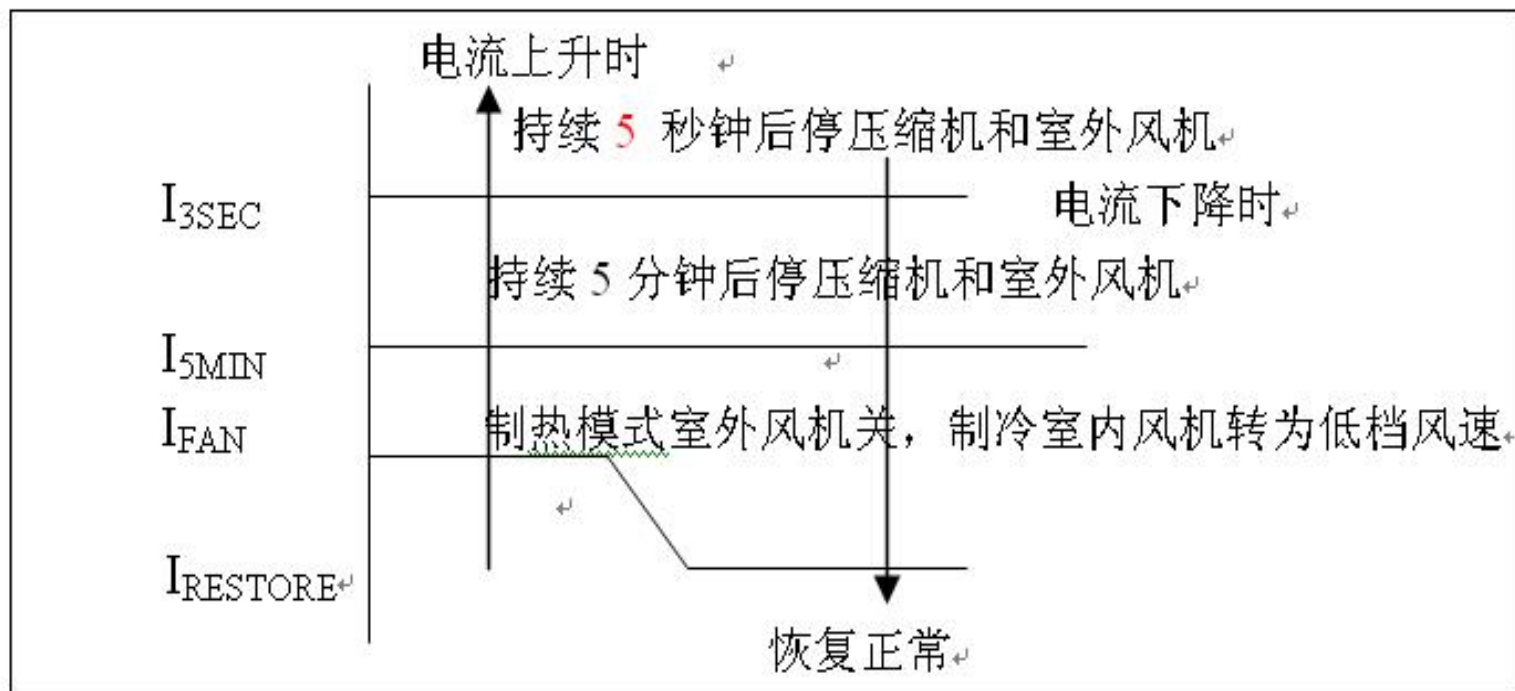
- 若连续3秒 $T3 \geq 65^{\circ}\text{C}$ ，则关压缩机、室外风机； $T3 < 48^{\circ}\text{C}$ 时退出保护。（有T3传感器的机器才有这个保护）

制热模式下的室内蒸发器高温保护



当 $T_2 > TE_7$ 时，进入压缩机关保护；当 $T_2 \leq TE_9$ 时，退出压缩机关保护；
当 $T_2 > TE_8$ 时，进入外风机关保护；当 $T_2 \leq TE_9$ 时，退出外风机关保护；

当整机的电流过大时，电流保护功能有效，具体的控制规则如下：



如果连续四次开压缩机5分钟内出现电流保护而关压缩机，则整机关机并且LED显示故障信息，不可恢复。

- 传感器开路或短路保护功能

- 若T1、T2传感器发生故障，则进入故障状态，整机关机，并且LCD显示故障信息，当AD采样恢复正常时则恢复正常工作。
- 当A/D值小于等于2时判为传感器开路，也就是说传感器开路故障时传感器端引入的阻值应大于600千欧（-20摄氏度时对应的阻值为 115.266千欧）
- 当A/D值大于等于252时判为传感器短路，也就是说传感器短路故障时传感器端引入的阻值应小于100欧（139摄氏度对应的阻值为222欧）

- 风机速度失控

- 当室内风机的速度连续**50**秒过低（低于**300RPM**）时，说明当前的风机速度失控，整机关并且**LED**显示故障信息，且不可恢复。

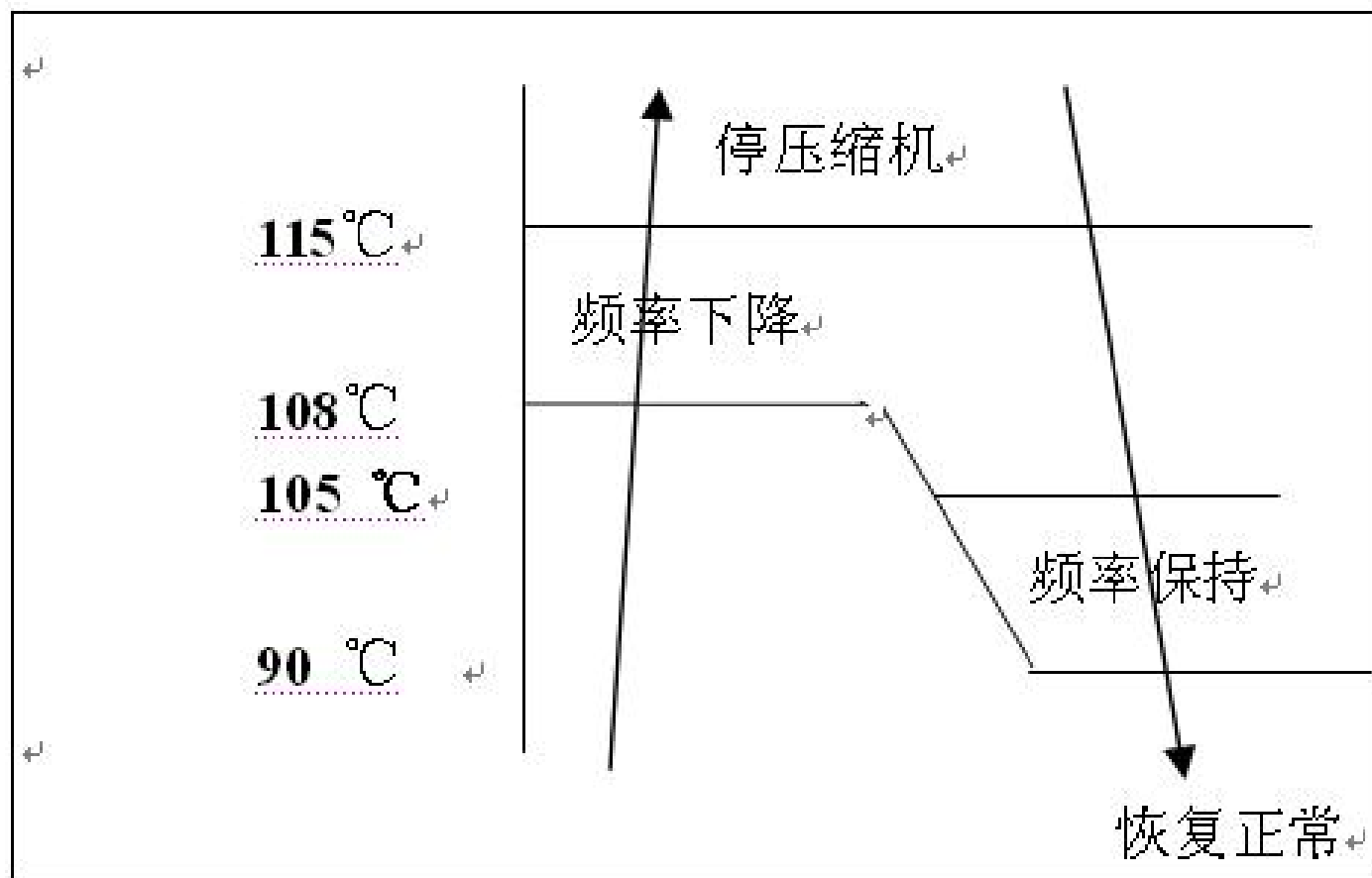
2、变频机的保护功能

- 定速机有的保护，变频机都有
- 变频机的保护
 - 排气温度保护
 - 压缩机顶部温度保护
 - 蒸发器低温保护
 - 冷凝器高温保护
 - 蒸发器高温保护
 - 电流保护
 - 压缩机预热防冻功能
 - 传感器开路或断路保护
 - 风机失速保护

- **压缩机顶部温度保护功能**

- 当压缩机顶部过载保护器断开时,停整机。
- 当压缩机顶部过载保护器恢复闭合时,重新启动压缩机（受三分钟保护限制）。

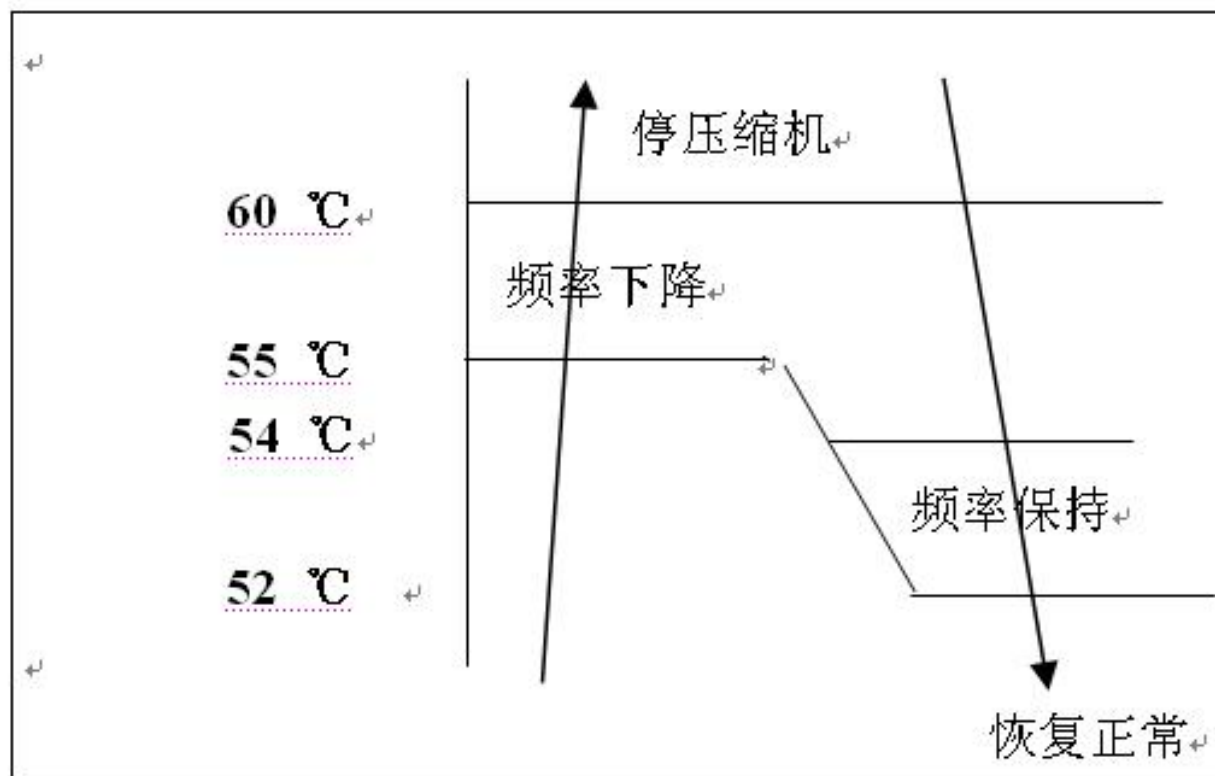
压缩机排气温度保护功能



• 蒸发器低温保护

- 当室内蒸发器温度降到 $<4^{\circ}\text{C}$,以频率下降一次运行1分钟的规则降低频率运行（包括停机）,直到该温度维持在 $4-6^{\circ}\text{C}$ 之间为止；若此温度回升到 $>7^{\circ}\text{C}$ 以上,则限制解除；当室内蒸发器温度降至 $<0^{\circ}\text{C}$ 时,关压缩机,此温度升至 $>5^{\circ}\text{C}$ 时恢复。

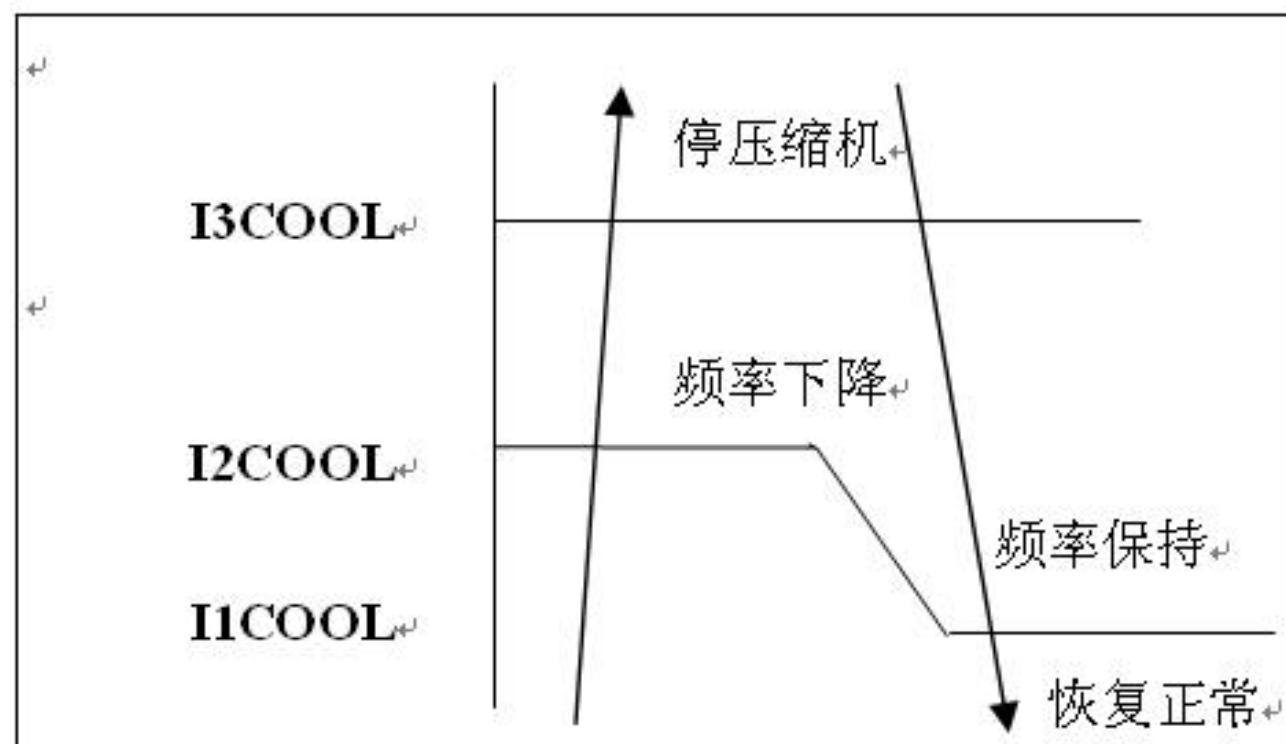
- 冷凝器高温保护



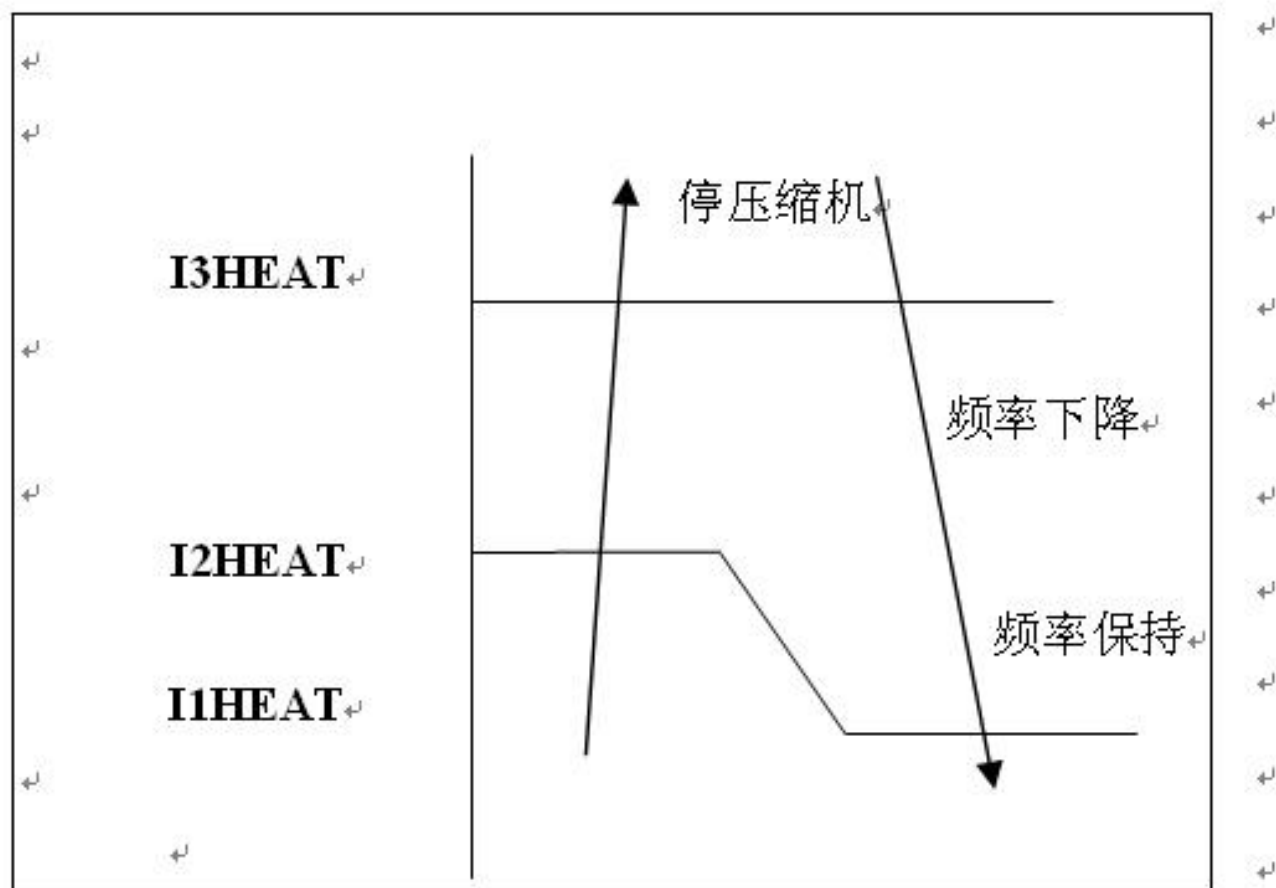
- 蒸发器高温保护

- 当室内蒸发器温度超过TEH2，则进行降频，频率保持20秒运行。如降至F1，室内蒸发器温度仍超过TEH2，并持续3分钟，则停压缩机 53°C
- 若室内蒸发器温度降到48°C以下，或在48°C- TEH2°C之间保持6分钟，则限制解除。
- 7.8.2当室内蒸发器温度超过60°C时，关压缩机，此温度降到48°C以下，压缩机重开。

制冷时室外机电流控制（见参数文件）：



制热时室外机电流控制：



- 压缩机预热功能（室内外芯片）
 - 室外主继电器闭合的前提下，室外温度 $<3^{\circ}\text{C}$ 且新插上电源时，进入预热状态
 - 室外主继电器闭合的前提下，室外温度 $<3^{\circ}\text{C}$ 且压缩机停止运转3小时以上。
- 预热方法（室外机功能）
 - 以小电流的方式从压缩机接线端引入压缩机，使压缩机在不转动的情况下因线圈发热而达到预热效果。
- 预热解除条件
 - 当室外温度 $>5^{\circ}\text{C}$ 时或用户开机使压缩机启动时，预热状态即解除。

- 以下保护与定速机相同
 - 传感器开路或断路保护
 - 风机失速保护

三、常见性能故障分析和维修

1. 变频机的故障很多情况下与定速机一样。
2. 电控方面的问题由电控工程师专门讲述。
3. 变频机在维修过程中要注意的问题特别指出

1. 变频压缩机常见故障

- 堵转
- 无吸排气能力、高低压串气
- 绕组开路、绕组漏电、绕组匝间短路
- 过载保护器坏
- 接线错误
- 退磁

压缩机维修注意事项

维修规范	隐患
严禁使用焊枪割管，应使用割管机切割；	可能引起火灾；容易产生氧化皮堵塞系统
必须在系统冷媒完全排空才可以更换压缩机；	可能引起冻伤事故以及压缩机油大量喷出
绝对禁止使用压缩机抽真空；	烧损压缩机电机
绝对禁止压缩机空气运行；	可能引起系统爆炸，造成人员伤亡
严禁短接各种压缩机保护；	不能从根本上解决用户问题，引起压缩机损坏
更换压缩机后应按照规定清洗系统	引起杂质进入新压缩机，导致新换上压缩机损坏

维修规范	隐患
<p>压缩机和系统的管口不能长时间敞开，压缩机吸排气管管口胶塞在拔除10分钟内应保证系统焊接完成，防止空气水分和杂志进入系统；</p>	<p>影响制冷效果，并有可能损坏压缩机</p>
<p>压缩机管口焊接时特别注意火焰方向不能对着接线座，绝对禁止火焰喷到接线座，造成接线座玻璃体融化或接线端子接触不良和腐蚀生锈；</p>	<p>接线座玻璃体熔化，接线座绝缘涂层被破坏，导致压缩机可靠性下降</p>
<p>不允许以任何原因添加冷冻机油；</p>	<p>添加的油并不一定适用原压缩机</p>
<p>安装维修过程中必须避免异物杂质进入系统；</p>	<p>影响制冷效果，并有可能损坏压缩机</p>

维修规范	隐患
<p>变频空调，一定要求更换与原配压缩机同型号的压缩机，绝对不能用其他型号压缩机代替</p>	<p>不同型号变频压缩机内电机参数是不一样的，电控参数一定要与压缩机参数对应才能运行（参见下页表的例子）</p>
<p>更换压缩机之后，压缩机三个端子线U、V、W一定要求与电控上的三个端子U、V、W保持对应</p>	<p>否则压缩机反转，不能压缩冷媒，而会烧坏压缩机（接线错开机后的表现）</p>
<p>更换压缩机，必须保证附近连接线不会与铜管相碰，间距较小的位置最好用在铜管上包上保温管后再用束紧带将连接线扎在铜管上，胶脚与垫片距离0.5—2.0mm，铜管之间的距离5mm以上，铜管与钣金距离10mm以上；</p>	<p>铜管与连接线相碰可能会导致安全事故，铜管相碰容易导致泄漏，并损坏压缩机</p>

某变频压缩机的电机参数

No	項目	参数	说明
1	コンプレッサタイプ	5CS160XAA23	压缩机型号
2	磁石材料、配置	稀土	永磁体材料，安装方式：IPM/SPM
3	巻線仕様	分布巻	定子线圈分布方式：集中巻/分布巻
4	極数（极）	4级	转子极数
5	運転周波数範囲（Hz）	15-120	运行频率范围
6	減磁限界電流（A）	40A	永磁体減磁電流（推荐38A）
7	DC電圧（V）	220V-3500rpm	直流電圧Vdc（参考）
8	d軸インダクタンス（mH）	3.8	d轴电感
9	q軸インダクタンス（mH）	10.4	q轴电感
10	巻線抵抗（Ω）	线间电阻1.148	定子线圈电阻（25°C）（说明是相间（line-to-neutral）还是线间电阻（line-to-line））
11	誘起電圧定数（Vrms/krpm）	40.1	感应电压常数（说明是相间（line-to-neutral）还是线间电压（line-to-line））
12	トルク定数（N·m/Arms）		电机转矩常数
13	電機子鎖交磁束（Wb·T）	0.535 Wb·T	电枢磁链（韦伯·匝）
14	慣性定数（Kg·m ² ）	1.22E ⁻⁰³	转动惯量

2、接线错开机后的表现与解决方法

- 表现：

- 电流与正常的变化不大
- 压缩机无吸排能力
- 低压侧压力较高，与常温一样。
- 开机后排气管不热，回气管不凉
- 如果是涡旋变频压缩机，则压缩机会剧烈晃动。转子的不会明显有振动。

- 解决方法

- 按压缩机胶垫或接线端子盖的UVW与电控上的UVW对应
- 如果无法确定对应关系，在接错线的情况下任意调换两个端子的接线。（与定速三相压缩机一样）

3、传感器故障

- 变频机的传感器较多，一般有几个
 - T1: 室内温度传感器
 - T2: 室内蒸发器盘管温度
 - T3: 室外冷凝器盘管温度
 - T4: 室外环境温度传感器
 - **T5: 排气温度传感器**
 - T7: 回气温度传感器
- 当故障代码显示有传感器故障要且要更换时，更换时注意区分**排气温度传感器**与其他传感器。
- 美的空调只有两种阻值的传感器

传感器温度阻值表

温度/°C	T1T2T3T4T7阻值/K	T5（排气温度）阻值/K
-20	115.266	542.7
-10	62.2756	307.7
0	35.2024	180.9
10	20.7184	109.8
20	12.6431	68.66
25	10	54.89
30	7.97078	44.17
40	5.17519	29.15
50	3.45097	19.69

4、冷媒泄漏后如何追加冷媒

- 定速机开制冷模式后从低压阀处直接追加就可以了，同时测试压力。
- 变频机的稍有不同，维修时最好带上维修小板进行查询。

变频器追加冷媒

- 这里先介绍R22冷媒的追加方法建议，R410A的在下午专门讲述。
- 现场测试压力。

现场测试压力的结果

- 每个人测试的压力是相同的？
- 每个人测试的压力是不同的？

变频器追加冷媒R22的建议

- 对于无T7的系统。

- 方法1:

- 建议采用在强制制冷的模式下加冷媒，这个时候压缩机频率固定不变，可以得到一个相对稳定的压力。
 - 如果不固定频率，压缩机的频率在变化，测试出来的压力是不稳定的，在这种状态下追加冷媒不准确。

- 方法2:

- 采用查看T5的方法来加冷媒，不同能效系统的排气温度是有所不同的，但是相差不太大。用遥控器进入额定制冷模式，排气温度约在75-80°C是比较合适的。

查看T5的方法

- 通过变频器维修小板可以查看变频空调器上的各种状态值。
- 详细的由电控工程师讲述。

遥控器进入额定制冷模式

- 在制冷模式，压缩机开启的情况下：
 - 遥控器设定温度为 17 °C
 - 遥控器设定风速为高风
 - 10秒钟内连续按强劲键6次（或6次以上）
 - 10秒钟到后，单音蜂鸣器的长响10秒（对于音乐蜂鸣器的则响开机铃声），进入额定制冷测试运转。
 - 压缩机的运转频率固定为额定测试频率，室内外风机风速固定为额定测试风速。

遥控器退出额定制冷模式

- 退出方法：
 - 断电
 - 通过摇控器改变设定温度**不是17 °C**
 - 通过摇控器改变设定风速**不是高风**
 - 通过摇控器改变运行模式**不是制冷模式**
 - 如果均不改变，**5小时**后会**自动退出额定制冷模式**

变频器追加冷媒R22的建议

- 对于有T7的系统，很方便，不用进入额定制冷模式或强制制冷模式
- 在开制冷模式的情况下，查看T2和T7，加冷媒时， $T7 = T2 + (1 \sim 3) \text{ } ^\circ\text{C}$

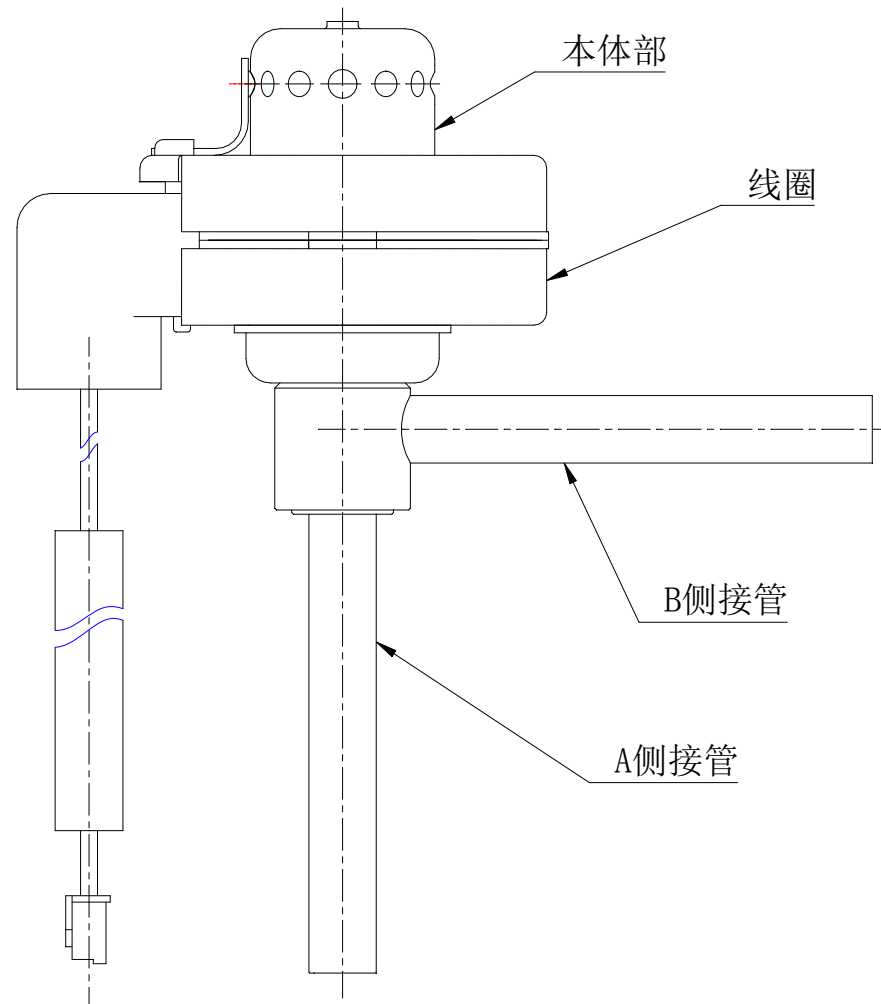
5、电子膨胀阀

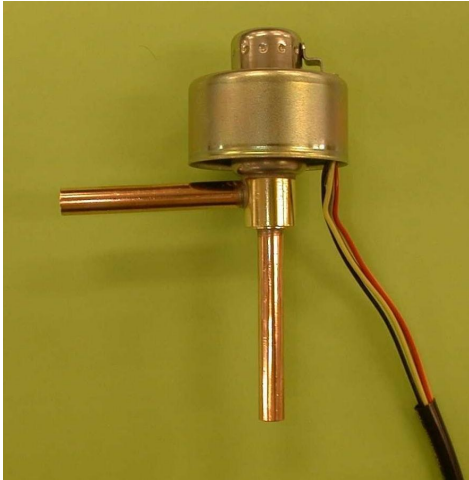
1. 结构
2. 使用中的注意事项
3. 产品型号介绍
4. 电子膨胀阀常见故障问题

1、结构

本体、线圈外观图

电动式控制阀，由本体部、线圈部构成。驱动方式为永久磁体型步进电机直动式。





DPF



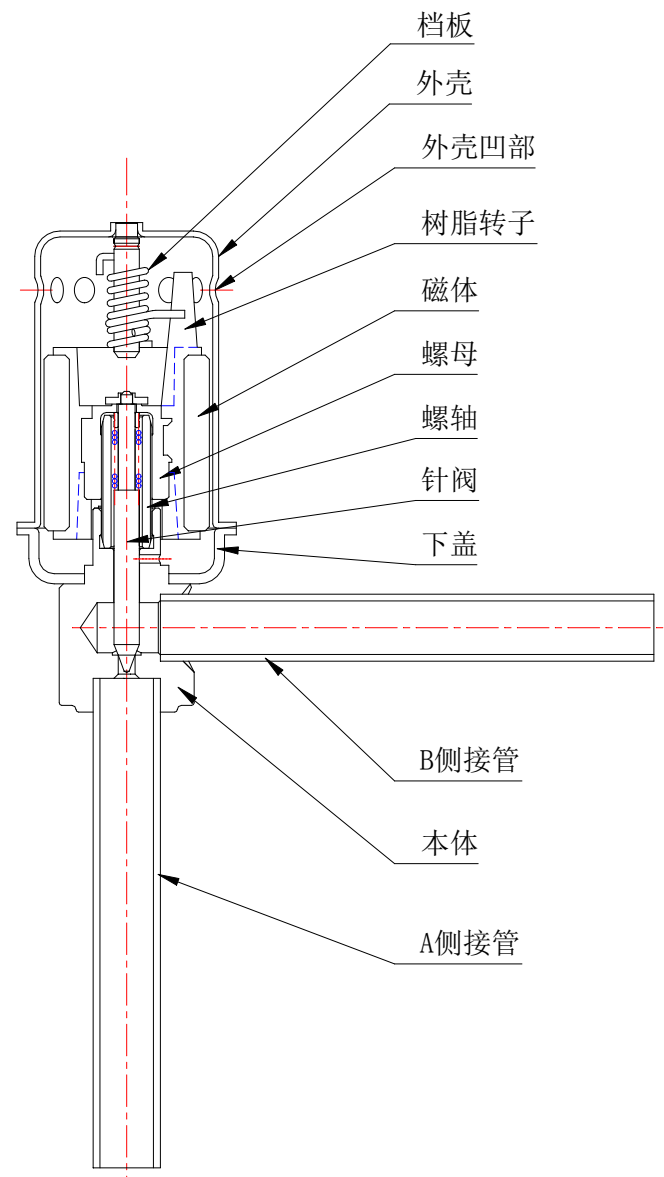
CPF



EPF

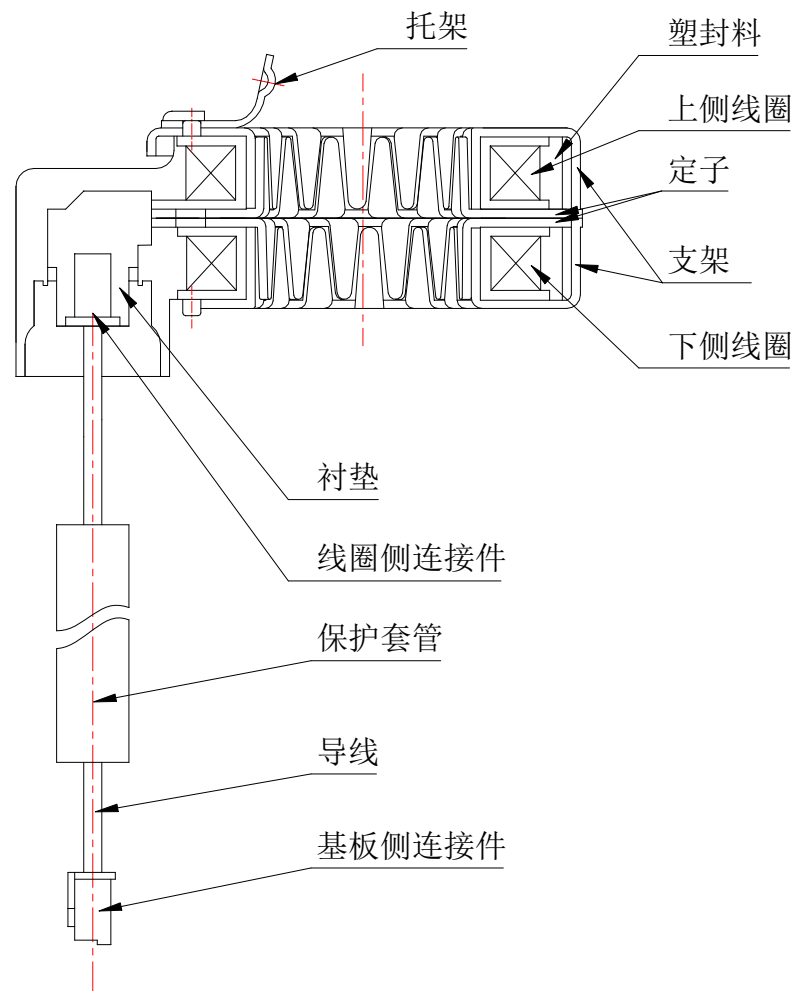
本体部内部结构

例) DPF-18D



线圈部内部结构

例) DPF用线圈



2、使用中的注意事项

- 安装位置为电机在正上方，与本体轴心垂直（ $\pm 15^\circ$ ）
 - 为防止电机的油份积存及对驱动螺丝的负荷
- 阀入口安装100~120目的网，防止异物进入。
 - 为防止异物造成误作动
- 钎焊时，本体部分不能在 120°C 以上。用水冷却时，阀内不能入水。
 - 为防止树脂材料等的热变形

- 线圈部不能有水珠，配管不能有结露水。
 - 为防止寿命降低和烧损
- 不要施加冲击性压力
 - 为防止误作动

- 安全注意事项

- 对线圈、本体、导线及连接件不要施加使其断裂、变形的冲击和荷重。 因为外力会使线圈和本体断裂，导线和连接件接触不良，由此使线圈烧损（冒烟）。
- 请在线圈图纸上标有的许容电压范围内使用。施加超许容电压会使线圈烧损（冒烟）。
- 线圈温度不能超过绝缘温度（E种115°C）使用。会使线圈烧损（冒烟）。

3、产品型号介绍

命名方式

例：DPF-18D15

DPF : 型号

18 : 阀口径 (YPF型除外)

D : 铜接管类型

15 : 设计系列号

4、电子膨胀阀常见故障问题

- 1、阀体安装时发现是全闭。
- 2、电子膨胀阀噪音。
- 3、电子膨胀阀不动作。
- 4、电子膨胀阀卡死。

电子膨胀阀出问题之后的表现

- 最大的问题是堵塞，或似通非通，出现这个问题的制冷系统的表现与定速机的毛细管堵或半堵的表现是一样的。
- 不能制冷或制冷效果差，蒸发压力下降，压缩机负荷下降，类似收冷媒。
- 不能制热或制热效果差，蒸发压力下降，压缩机负荷下降，类似收冷媒。

阀开度问题

- 阀体出厂时阀开度是480脉冲，但由于转子是通过螺纹结构固定，在运输过程中可能会由于振动而使转子位置发生改变，最终会有阀门关闭的情况。
- 这并不影响阀体性能。

噪音问题

- 在接通电源时阀体都有“KATA KATA”的动作音，是由于电控装置在空调通电时给电子膨胀阀施加一个全开或者全闭的脉冲，这种声音是由于电子膨胀阀的转子转到最大开度时与限位装置碰撞引起，并不是噪音。
- 电子膨胀阀动作时转子与螺轴都有一定的摩擦音，转子转动时碰到限位销的碰撞音，这些就形成了电子膨胀阀的动作音。
- 当空调系统内充满了冷媒，转子转动的阻力加大以及声音的传播方式有所改变，电子膨胀阀的动作音会变得很小。

不动作问题

电子膨胀阀确认不能动作的检查建议：

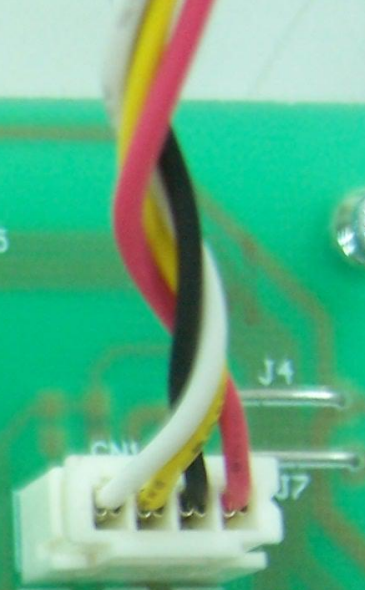
- 接通电源时请确认阀体有“KATA KATA”的动作音，如无动作音，请确认阀体完全套入线圈内（OK）
 - 线圈与电路板连接（OK）
 - 导线与端子连接正确（OK）
 - 线圈通电情况（ $12 \pm 1.2V$ ）（OK）
 - 阀体
- 确认线圈部没有问题 → 阀体能全开吗？ — — —
 - └→（OK）至阀全闭的脉冲数是480ps以上吗？
 - └→（NG）更换本体

卡死问题

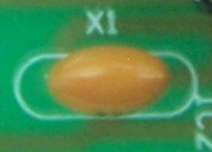
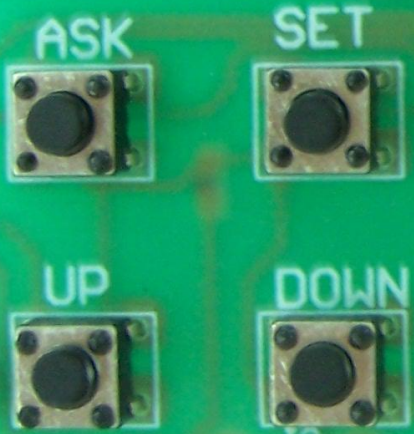
- 出现卡死情况是由于杂物在冷媒流动时进入电子膨胀阀内部并积聚，杂物嵌入到阀体内，就会使转子转动的摩擦力增大，引起卡死现象。
- 杂物类型有：管路异物、焊接氧化物等。
- 防止方法：加强管路清洁度、采取焊接保护减少氧化物、阀体两端安装100目以上的过滤器。

四、变频维修小板的应用

- 通过维修小板可以查看系统运行的：
 - 各状态点的温度值
 - 运行的频率值
 - 室外风机的转速值（直流电机）
 - 电子膨胀阀的开度值（如果有）
 - 设定压缩机运行频率值（在维修时不建议使用这个功能）
 - 显示各种故障代码



JD-E
94V-0



INU Outdoor Testboard V2.3

20080506

- 小板的功能由电控工程师详细讲解。

五、其他

- **N和W型变频分体机的电磁四通阀控制方法不同**
 - N和W的是反向的，制冷时电磁四通阀有电，制热时无电，更换时应该注意各管口的接法。不能接错了。
 - 其他变频机型电磁四通阀的动作与定速机的是一样的。

变频机的能效计算方法

- 定速机的能效计算很简单
 - $EER = \text{额定制冷量} / \text{额定制冷功率}$
 - $COP = \text{定额定热热量} / \text{定额定热功率}$
- 变频机的能效要通过专门的软件才能计算出来的，而且测试工作量也比定速机多很多，要测试：
 - 额定制冷量和制冷功率
 - 中间制冷量和中间制冷功率
 - 额定制热量和制热功率
 - 中间制热量和中间制热功率
 - 额定低温制热量和额定低温制热功率

- 变频能效的标准简介

- GB/T 7725-2004

- 以变频空调每年开制冷2399小时来计算能效

- GB 21455-2008

- 以变频空调每年开制冷1136小时来计算能效

- 定速机室外温度上升超过 $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时，其制冷效果会变差
- 变频器在室外温度上升超过 $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时，其制冷效果会变差（与自身机比）
- 定速机室外温度降低低于 $7\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时，其制热效果会变差
- 变频器在室外温度降低低于 $7\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时，其制热效果会变差（与自身机比）

- 提问交流时间

Thank You

李金波

lijb@midea.com.cn

0757-23601508

