

机电式 家用电器原理及维修技术

谢昌明 朴宜勇 陈爱群



电子科技大学出版社

前 言

本书共分七章,主要内容是对具有代表性、普及率高的电冰箱、空调器、洗衣机、电风扇、吸尘器、电热器具以及家用电器的核心部件——微电机等的结构、工作原理、使用和维修进行较为详尽的介绍。本书也讲述了一定的基础理论知识,系统性强,可满足各种层次的需要,重点突出实用的维修技术。并编制了大量的典型产品的图表资料,绘制了各类插图几百幅,使读者对产品结构一目了然。还编制了故障检查分析程序表,使读者分析故障顺理成章,心中有数。本书文字简练、通俗易懂、内容丰富、实用性强、适用面广。既可作为大专教材和参考书,又可作为中专、职业培训、短训班的教材和参考书,同时也是工厂、维修人员和用户学习的好资料和有力工具。

本书一、二章由谢昌明同志编写,四、五、六章由朴宜勇同志编写,三、七章由陈爱群同志编写。

我们参阅和借鉴了大量的书籍和资料,在编写过程中也得到了有关专家、教授的支持和帮助,并把关审查。参加审稿的有潘宗全、顾文龙、谈明、徐源、李德强、王泰元、刘学畴等同志。在此,对他们表示衷心地感谢。

在编写过程中得到了云南电大、贵州电大、四川电大、上海空调器厂、太苍冷气机厂,五洲阿里斯顿电冰箱厂、无锡洗衣机厂、济南洗衣机厂、重庆家电研究所等厂家和单位的关心和支持。在此,对他们表示衷心地感谢。

由于家用电器是一门综合技术,难度较大,加之我们水平有限,时间仓促,定有不少错漏和不足之处,我们恳切希望广大读者提出宝贵意见。

编者

1990年4月

目 录

第一章 电冰箱	(1)	三、按散热冷却方式分	(85)
第一节 制冷技术基础知识	(1)	第三节 窗式空调器的结构及工作原理	(85)
一、基本物理量	(1)	一、单冷却型窗式空调器	(85)
二、基本概念	(1)	二、热泵式窗式空调器	(87)
三、热力学基本定律	(4)	第四节 窗式空调器的主要部件	(88)
四、热机循环和卡诺循环	(4)	一、压缩机	(88)
五、制冷剂的压焓图($\lg p-h$ 图)	(5)	二、热交换器	(90)
六、制冷循环的压焓图分析	(6)	三、保护装置	(90)
第二节 电冰箱制冷系统的结构及原理	(10)	四、温度控制器	(91)
一、压缩机	(10)	五、启动继电器	(92)
二、冷凝器	(19)	六、中间继电器	(92)
三、节流器与干燥过滤器	(20)	第五节 柜式空调器	(93)
四、蒸发器	(21)	第六节 空调器的故障检修	(94)
五、制冷剂 and 润滑油	(22)	一、电源故障的检修	(94)
六、电冰箱电气控制系统	(25)	二、压缩机故障的检修	(94)
七、电冰箱电气系统实例分析	(34)	三、冷凝器和蒸发器故障的检修	(95)
第三节 电冰箱的使用和维修	(44)	四、毛细管、排液管和吸气管的故障检修	(95)
一、电冰箱的分类、规格和型号	(44)	五、制冷系统的漏和堵的故障检修	(95)
二、电冰箱的质量检查	(45)	六、检漏、抽空、充注制冷剂和灌油	(96)
三、电冰箱和使用的维护	(48)	七、电器零件的检修	(97)
四、电冰箱故障的初步检查方法	(51)	第七节 空调器的拆装	(107)
五、电冰箱的故障分析	(52)	一、拆除前面板和空气过滤器	(107)
六、制冷系统的检漏、抽空、干燥和充气	(55)	二、拆卸顶板及风扇	(107)
七、制冷系统的故障和检修	(59)	三、电器零件的拆卸	(107)
八、电气控制系统的故障和检修	(65)	四、压缩机及换热器的拆卸	(108)
九、箱体的整修	(69)	五、压缩机的电动机电路	(108)
第二章 空调器	(78)	第八节 部分空调器电路图	(110)
第一节 空调的基本知识	(78)	第三章 家用电动洗衣机	(116)
一、空气的成份	(78)	第一节 洗衣机的类型和重要指标	(116)
二、空气的基本物理性质	(78)	一、家用电动洗衣机的分类	(116)
三、湿空气的焓湿图	(80)	二、洗衣机的常见类型和型号	(118)
四、湿空气焓湿图的应用	(80)	三、洗衣机的重要指标	(118)
第二节 空调器的分类	(83)	第二节 波轮单桶洗衣机	(121)
一、按制冷量分	(83)	一、普通波轮单桶洗衣机的结构原理	(121)
二、按外形分	(83)		

二、半自动波轮单桶洗衣机的结构原理	(126)	四、PTC 元件微风档调速	(180)
三、单桶洗衣机主要零部件的拆修	(130)	五、电子无级调速电路	(180)
第三节 脱水机和双桶洗衣机	(134)	六、多功能电子控制器	(181)
一、离心脱水机的结构原理	(134)	七、台扇电容器	(182)
二、双桶洗衣机的结构原理	(136)	第三节 台扇故障的检修	(183)
三、双桶洗衣机主要零部件的拆修	(139)	一、台扇不能启动的检查	(183)
第四节 全自动波轮洗衣机	(143)	二、台扇转速变慢的检查	(184)
一、全自动波轮洗衣机的结构原理	(143)	三、台扇噪声大的检查	(184)
二、全自动波轮洗衣机整机的拆装	(150)	四、台扇的维修	(184)
三、全自动波轮洗衣机主要零部件的拆修	(151)	第四节 台扇的拆装	(188)
第五节 滚筒洗衣机	(152)	一、网罩和扇叶的拆装	(188)
一、滚筒洗衣机的结构原理	(152)	二、底座的拆装	(188)
二、新洗衣机的拆装	(158)	三、杠杆式摇头机构的拆装	(188)
三、滚筒洗衣机整机的拆装	(158)	四、滑板式摇头机构的拆装	(190)
四、滚筒洗衣机主要零部件的拆修	(160)	第五节 吊扇的结构、原理及拆装	(190)
第六节 洗衣机的常见故障及检修	(160)	一、吊扇的结构和原理	(190)
一、不能启动运转故障的检修	(161)	二、吊扇的拆装	(190)
二、运转不良的检修	(164)	第六节 转叶扇的分类、结构	(192)
三、振动过大的检修	(164)	一、转叶扇的分类	(192)
四、噪声过大的检修	(165)	二、转叶扇的结构	(192)
五、漏水故障的检修	(165)	第七节 冷风扇的结构、原理和维修	(193)
六、麻电的检修	(165)	一、冷风扇的工作原理	(193)
七、不进水和进水不畅的检修	(166)	二、冷风扇的分类	(193)
八、不排水和排水不畅的检修	(166)	三、冷风机的使用和维护	(194)
九、对衣物磨损严重的检修	(166)	第八节 国内电风扇的技术标准	(195)
第四章 电风扇	(170)	第五章 家用电器电动机	(197)
第一节 台扇的机械结构	(171)	第一节 家用电器电动机的分类	(197)
一、风叶	(171)	第二节 单相感应式异步电动机	(197)
二、网罩	(172)	一、异步电动机的转动原理和转差率	(197)
三、机头结构	(172)	二、单相异步电动机的旋转磁场	(198)
四、摇头机构	(172)	三、单相异步电动机的种类	(200)
五、定时器	(174)	第三节 电阻分相式电动机	(201)
六、调速开关	(175)	一、结构和原理	(201)
七、台扇的底座结构	(176)	二、分相式电动机的启动方式	(201)
第二节 台扇的电气结构	(177)	三、电阻分相式单相异步电动机的特性	(202)
一、电抗器调速	(177)	第四节 分相式电动机的应用——电冰箱电动机	(202)
二、电动机定子绕组抽头式调速	(178)	一、电冰箱电动机的性能特点	(202)
三、电容分压式调速	(179)		

二、国产电冰箱电动机的主要技术参数	(203)	一、罩极式电动机的结构	(230)
三、两极电动机的定子绕组	(205)	二、罩极式电动机的工作原理	(231)
四、电冰箱电动机的故障判断与维修	(206)	三、罩极式电动机的特性	(231)
第五节 电容式电动机	(207)	第十一节 空调器电机	(232)
一、电容式电动机的工作原理	(207)	第十二节 吸尘器电机	(234)
二、电容式电动机的分类和特点	(207)	一、单相串激机的运行原理及构造特点	(234)
第六节 电容运转式电动机的应用——洗衣机电动机	(210)	二、单相串激电动机的转速和转矩特性	(235)
一、波轮式洗衣机电动机	(210)	三、单相串激电机的结构	(236)
二、滚筒式洗衣机电机——电容运转式双速电动机	(212)	四、单相串激电动机的故障及修理	(237)
第七节 电容运转式电动机的应用——台扇电动机	(213)	第六章 吸尘器	(246)
一、台扇电容运转式电机的结构特点	(213)	第一节 吸尘器的分类	(246)
二、台扇电容运转式电机的定子绕组	(214)	一、落地式吸尘器	(246)
三、国产台扇电机的技术参数	(215)	二、便携式吸尘器	(246)
四、台扇电机的拆装	(217)	第二节 吸尘器的结构及工作原理	(247)
第八节 电容运转式电动机的应用——吊扇电动机	(218)	一、机壳	(247)
一、定子绕组的结构	(218)	二、滤尘部	(247)
二、定子绕组的拆卸	(218)	三、风机	(248)
三、绕组的绕制	(219)	四、自动盘线机	(250)
四、绕组的刷漆	(219)	五、灰尘指示器	(251)
第九节 异步电动机的常见故障及维修	(220)	六、消音装置	(251)
一、与绕组有关的几个基本概念	(220)	七、吸尘器附件	(251)
二、绕组的排列方法	(221)	八、吸力调节及无线电干扰的抑制	(251)
三、绕组的拆除	(221)	第三节 吸尘器的主要技术性能指标及测试方法	(251)
四、绝缘材料	(222)	第四节 吸尘器的维修、使用和保养	(254)
五、绕组的绕制	(222)	一、吸尘器不工作的原因及排除	(254)
六、定子槽内嵌线圈	(224)	二、吸尘器电机过热及排除	(255)
七、单相异步电动机的电气故障、原因及检修	(226)	三、吸尘器吸力下降的故障	(255)
八、单相异步电动机的机械故障、原因及维修	(229)	四、吸尘器的使用与保养	(258)
第十节 单相异步罩极式电动机	(230)	第五节 吸尘器的拆装	(258)
		一、吸尘器前部的拆装	(258)
		二、吸尘器后部的拆装	(259)
		三、吸尘器风机和电动机的拆装	(259)
		四、自动盘线机的拆装	(261)
		第七章 家用电热器具	(262)
		第一节 电吹风	(262)
		一、电吹风的结构	(262)
		二、电吹风的常见故障及维修	(263)

第二节 电熨斗	(264)	三、电饭锅的常见电气电路	(271)
一、电熨斗的结构	(264)	四、电饭锅的常见故障及维修	(271)
二、电熨斗的常见故障及维修	(266)	第四节 电烤炉	(272)
第三节 电饭锅	(269)	一、电烤炉的结构	(273)
一、电饭锅的类型	(269)	二、电烤炉的常见故障及维修	(274)
二、电饭锅的结构	(269)		

第一章 电冰箱

第一节 制冷技术基础知识

一、基本物理量

电冰箱和空调器的制冷,是利用制冷剂在制冷循环中状态发生变化而获得低温的。而制冷剂状态的变化常用一些基本物理量来表示。

1. 温度 在日常生活中,人们习惯于用感觉来判断物体的冷热,气温的高低等。因此温度是物体冷热程度的量度,是物质重要的状态参量之一。温度的单位有摄氏($^{\circ}\text{C}$)、华氏($^{\circ}\text{F}$)和热力学绝对温度(K)。摄氏温度与华氏温度的换算关系式为

$$^{\circ}\text{F}=9^{\circ}\text{C}/5+32$$

热力学常用绝对温度 K 表示。设绝对温度为 T ,摄氏温度为 t ,其换算关系式是

$$T=t+273 \quad (\text{K})$$

各种温度之间的关系如图 1-1 所示。

2. 压强 单位面积上受到的压力叫压强。压强的国际单位是牛顿/米²(N/m^2),又叫帕斯卡(Pa), $1\text{Pa}=1\text{N}/\text{m}^2$ 。因大气层中的空气有重量,所产生的压强叫大气压强。1 大气压强等于 760 毫米汞柱高,也等于 101325 帕斯卡,即 $1\text{atm}=760\text{mmHg}=101325\text{Pa}$ 。

压强有两种不同的表示,一种是绝对压强;另一种是表压强。当绝对压强高于当地大气压时,有下列关系式

$$P_{\text{绝}}=P_{\text{表}}+P_{\text{大}}$$

标准大气压,是指温度为 0°C 时地球纬度 45° 的海平面上每平方厘米面积上所受到的空气的压力。

3. 密度和比容 某物质单位体积的质量叫密度,又称比重,用 ρ 表示,其单位是千克/米³(kg/m^3)。某物质单位质量的体积叫比容,用 v 表示,其单位是米³/千克(m^3/kg)。当前规定以 4°C 的纯水为密度和比容的测量基准。密度和比容互为倒数关系

$$\rho v = 1$$

4. 热量 物体吸收或放出的热,叫热量。常用的单位有千焦耳(kJ)、千卡(kcal)等。1kg 的纯水温度升高或降低 1°C 时,所吸收或放出的热量,就是 4.18kJ(1kcal)。

5. 比热 1kg 的某物体温度升高 1°C 时所吸收的热量叫该物体的比热,用 C 表示,其单位是 $\text{kJ}/\text{kg} \cdot ^{\circ}\text{C}$ 。

二、基本概念

1. 物体三态

同一物体有三种形态,即固态、液态和气态。例如水是液态,水蒸气是气态,冰是固态,它们都是一种物质(H_2O 分子)。

液态变为固体叫固化(凝固),固体变为液体叫液化(熔化),液体变为气体叫气化(蒸发),气体变为液体叫液化,固体直接变为气体叫升华。物态变化时,总要伴随着热量变化。图 1-2 为

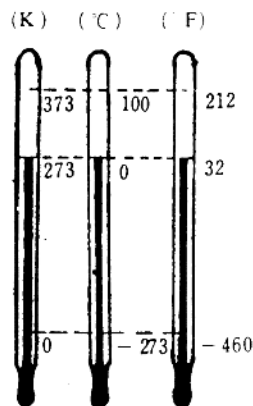


图 1-1 各种温度之间关系

物态变化示意图。

2. 显热和潜热

(1) 显热

物体在加热或移走热量时,温度发生变化而物态不发生变化,此热量叫显热。下式为显热的计算公式

$$Q = WC(t_2 - t_1)$$

式中, Q 为显热量; W 为物体重量; C 为比热; t_2 为高温温度; t_1 为低温温度。

但如果在 t_2 到 t_1 之间,物体状态有变化时,上式不成立。由此可引出潜热的概念。

(2) 潜热

潜热是指物体状态发生变化时所需的热量,此时温度不发生变化。例如冰的熔化潜热是 332.7 kJ/kg,水的蒸发潜热是 2252.2 kJ/kg,参看图 1-3 所示。表 1-1 列出几种氟利昂的蒸发潜热。

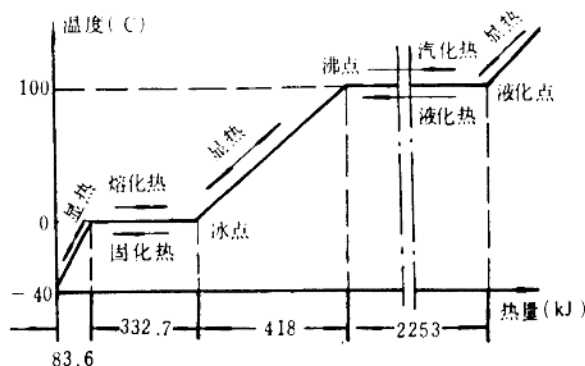


图 1-3 水的状态化(1kg 水在 1 个大气压下)

表 1-1 几种制冷剂在不同温度下的蒸发潜热

制冷剂	蒸发潜热 (kJ/kg)(-20°C)	蒸发潜热 (kJ/kg)(0°C)
R12	163.23	154.62
R22	220.58	206.62
R114	142.75	137.73
R502	133.02	149.77

潜热的计算式如下

$$Q = Wq$$

式中, q ——某物质的气化或熔化潜热。

例 1-1 求 5kg-10°C 的冰加热至全部变为蒸气需要多少热量。已知:冰的比热为 $C_1 = 2.09 \text{ kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C}$;冰的熔化潜热为 $q_1 = 334.4 \text{ kJ/kg}$;水的比热为 $C_2 = 4.18 \text{ kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C}$;水的蒸发潜热为 $q_2 = 2424.4 \text{ kJ/kg}$ 。

解:-10°C 的冰吸热升温为 0°C 的冰时,所吸收的显热为

$$Q_1 = WC_1\Delta t = 5 \times 2.09 \times [0 - (-10)] = 104.5(\text{kJ})$$

由 0°C 的冰吸热溶化成 0°C 的水,吸收的潜热为

$$Q_2 = q_1W = 334.4 \times 5 = 1672(\text{kJ})$$

由 0°C 的水升为 100°C 的水,吸收的显热为

$$Q_3 = WC_2\Delta t = 5 \times 4.18 \times 100 = 2090(\text{kJ})$$

由 100°C 的水沸腾成为 100°C 的蒸气吸收的潜热为

$$Q_4 = q_2 W = 5 \times 2424.4 = 12122(\text{kJ})$$

所以吸收的总热量为

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 = 15988.5(\text{kJ})$$

3. 饱和温度与饱和压力

在密封容器里的液体,不断地有液体分子离开液体,在容器内的空间作无规则的运动。它们之间又因与器壁和液面碰撞,一些分子又回到液体中。当从液体离开的分子数与返回液体中的分子数相等时,即处于动态平衡状态。液体与它的蒸气处于动态平衡状态而达到饱和。此态的蒸气叫饱和蒸气,此态的温度叫饱和温度,此态的压强叫饱和压强。这种动态平衡因温度、压力的改变而改变。对于各种不同的制冷剂,就是在相同的饱和压力下,其饱和温度也是各不相同的。通常所说的沸点就是指的饱和温度。例如在 $1.013 \times 10^5 \text{Pa}$ 的压强下, R12 的饱和温度是 -29.8°C , R22 是 -40.8°C 。

表 1-2 是几种液体在 $1.013 \times 10^5 \text{Pa}$ 的压强下的沸点(饱和)温度。图 1-4 为几种制冷剂饱和温度与压力的关系图。

表 1-2 几种液体的饱和温度

液体名称	水	酒精	R12	R22	R13	R14	氨
沸点($^\circ\text{C}$)	100	78	-29.8	-40.8	-81.5	-127.9	-33.4

4. 过热蒸气和过冷液体

当保持压力不变时,对液体加热,达到饱和温度时,液体逐渐变成蒸气。如继续加热则温度不变,吸收的是潜热,这时容器内是液体与饱和蒸气的混合物,称为湿饱和蒸气。继续加热,液体全部气化为饱和蒸气,这时的蒸气称为干蒸气。如仍然加热,则干蒸气温度升高,超过饱和温度。这时的蒸气称为过热蒸气。过热蒸气的温度与饱和温度之差称为过热度;温度低于饱和温度的液体称为过冷液体,饱和温度与过冷液体的温度之差称为过冷度。

5. 焓的概念

在热力学中,气体的内能和外能之和称为气体的焓。焓是一种气体的能量,是气体热力学状态量。常用 h 表示焓,单位是 kJ/kg 。

我们把物体所有分子的动能与分子势能的总和叫物体的内能,用 U 表示,单位是 kJ/kg 。气体在任何条件下都具有和外力相对抗的能量,我们把这种相对抗的能量叫气体的外能。外能的大小决定于该条件下气体的压强 P 与比容的乘积,即 Pv 。则焓可由下式表示。

$$h = U + JPv$$

式中, J 为热功当量(4.18J/cal)。

6. 熵的概念

物体在状态变化过程中,如果吸收(放出)的热量为 dQ ,则 dQ 与此时物体的温度 T 的比值,称为此变化过程熵的变化量 dS 。

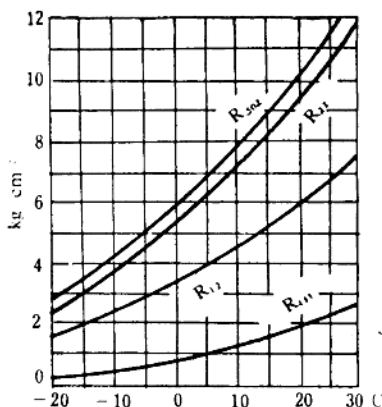


图 1-4 几种制冷剂的饱和温度与压力关系

$$\frac{dQ}{T} = dS = S_2 - S_1 \quad dQ = T \cdot dS = T(S_2 - S_1)$$

熵也是一种表示物体的状态参量,常用 S 表示熵,单位是千焦/开尔文(kJ/K)。若:

$dQ > 0$ 即物体吸收热量,则熵增大;

$dQ = 0$ 即物体没有热量交换,则为等熵过程;

$dQ < 0$ 即物体放出热量,则熵减小。

三、热力学基本定律

1. 热力学第一定律

热力学第一定律就是能量守恒及转换定律在热力学中的具体应用。热和功都是能,它们可以相互转换。实验证明,功和热之间存在着确定的数量关系,即 1kcal 的热量跟 4.18kJ 的功相当。这个相当的关系在物理学上用 $1\text{kcal} = 4.18\text{kJ}$ 来表示,它们之间转换公式为

$$J = Q/W \quad (\text{kcal/kJ})$$

J 在物理学上称为热功当量, $J = 4.18\text{kcal/kJ}$ 。

2. 热力学第二定律

热力学第一定律只说明了功和热之间的转换当量关系,而没有指明转换的条件和方向。热力学第二定律则指明了热能转换为功的条件和方向问题。具体表述为,热量能自动地从高温物体向低温物体传递;而不能自动地从低温物体向高温物体传递;欲使低温物体中的热量转移到高温物体中去,则必须消耗外界功。

电冰箱、空调器的制冷就是在消耗一定的外界功的条件下,利用制冷剂的状态变化,将热量由低温物体转移到高温物体中去,而达到制冷的目的。

3. 热力学第三定律

即不可能使一个物体冷却到绝对零度。也就是说,只能无限地接近绝对零度(0K),但无法达到。

四、热机循环和卡诺循环

1. 热机循环

热力学系统经过各种连续变化过程,又重新回到原来初始状态,这些连续变化叫热机循环。如图 1-5 所示,热机循环在 $P-v$ 图上,构成封闭 $ABCD$ 曲线。

从 $A \rightarrow B \rightarrow C$ 变化过程中,系统从高温物体吸收热量 Q_1 。从 $C \rightarrow D \rightarrow A$ 变化过程中,将热量 Q_2 放给低温物体。

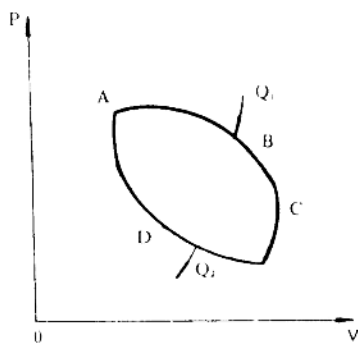


图 1-5 热机循环

在此循环中,把相当于 $Q_1 - Q_2$ 的热量转换为功。功的大小用 $ABCD$ 曲线围起来的面积来表示。

2. 卡诺循环

卡诺循环是一种理想循环,它是由两条等温线和两条绝热线组成。图 1-6 和图 1-7 是它的 Pv 和 TS 图。

$A \rightarrow B$: 温度 T_1 不变,系统向外界吸收热量 Q_1 ,等温膨胀而做功,熵增大。

$B \rightarrow C$: 系统绝热膨胀而温度下降到 T_2 ,熵不变。

$C \rightarrow D$: 系统等温压缩,放出热量 Q_2 ,熵减小。

$D \rightarrow A$: 绝热压缩后温度回升到 T_1 ,熵不变。

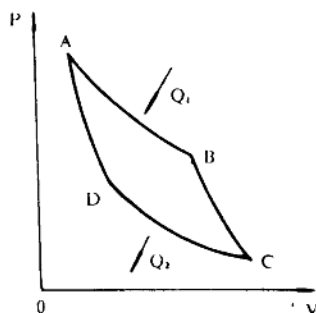


图 1-6 卡诺循环 $P-v$ 图

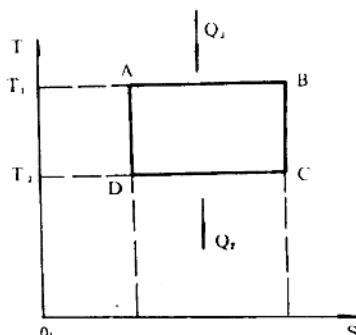


图 1-7 卡诺循环 $T-S$ 图

整个卡诺循环的热机效率为

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

从上式可以看出,其效率与使用的工质的性质无关,只受 T_1 和 T_2 的支配。而且在相同温度之间的任何热机的效率也无法与卡诺热机媲美。但实际上是不能实现的,是理想的热机。

对上述的循环反向进行称为逆向卡诺循环。经过逆向循环之后,系统从低温热源吸收热量 Q_2 ,外界对系统做功 W ,而系统向高温热源放出热量 Q_1 。由热力学第一定律有

$$Q_1 = Q_2 + W$$

这种逆向卡诺循环也称为制冷循环。制冷循环的效率通常用从低温热源吸收的热量 Q_2 是外界做功 W 的多少倍来表示,叫制冷系数,即

$$\varepsilon = \frac{Q_2}{W} = \frac{Q_2}{Q_1 - Q_2} = \frac{T_2}{T_1 - T_2}$$

T_1 是高温热源的温度, T_2 是低温热源的温度。

压缩式制冷机,就是利用了制冷循环的原理而获得低温的。其制冷流程是易于液化的制冷剂气体在压缩机内被急速压缩,它的压强增大,且温度升高,而被排入到冷凝器中放热变为液体,经过节流器的小口通道后,降压降温,再进入蒸发器膨胀气化蒸发吸收热量,使冷源降温制冷。

例 1-2 已知空气的温度为 $t = 30^\circ\text{C}$,有一台电冰箱要求冷冻室的温度为 -18°C ,制冷剂在冷冻室内吸取 15.65kJ 的热量。计算制冷循环的制冷系数和消耗的功。

解:根据制冷系数的定义有

$$\varepsilon = \frac{T_2}{T_1 - T_2} = \frac{273 - 18}{(273 + 30) - (273 - 18)} = 5.31$$

又由 $\varepsilon = \frac{Q_2}{W}$ 得

$$W = \frac{Q_2}{\varepsilon} = \frac{15.65}{5.31} \approx 3(\text{kJ})$$

五、制冷剂的压焓图 ($\lg P-h$ 图)

在制冷系统中,制冷剂(简称“工质”)的状态参数,常用压力与焓所组成的压焓图来表示。在压焓图中,横坐标表示焓值,而为了使图形更紧凑,实用上纵坐标采用压力的对数值 $\lg P$,故也称为 $\lg P-h$ 图。通过这张图可以查到制冷剂在各种状态的参数,在制冷工程设计中它是最

重要的工具。下面通过简化的制冷剂 R12 的 $\lg P-h$ 图(见图 1-8)来说明图中各条线的意义

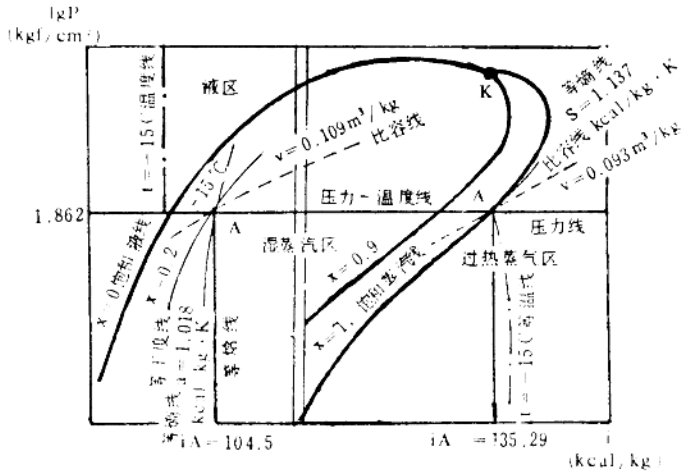


图 1-8 简化的制冷剂 R12 的 $\lg P-h$ 图

饱和液体线($x=0$)左侧为液体区。饱和蒸气线($x=1$)右侧为过热蒸气区。这两条线中间所围的区域为液气共存区(湿蒸气区)。K 为临界点,即液、气、过热蒸气三状态的交点。

等压线(P):以垂直于纵坐标的水平线表示。每一个压力值有一条等压力值的水平线。所表压力为绝对压力。

等焓线(h):以垂直于横坐标的竖直线表示。在等焓线上的各点焓值相等。

饱和液体线($x=0$):是一条由左下向上引的曲线。此曲线右侧湿蒸气区内有一与 $x=0$ 曲线近似平行的细线簇是等干度线。在线上各点的制冷剂含湿量相等。

饱和蒸气线($x=1$):在图的右侧由下往上引的粗线表示饱和蒸气线。在此线上的制冷剂为 100% 蒸气状态。图中 A' 以后制冷蒸气被继续加热温度上升,蒸气呈过热状态,而进入右侧的过热蒸气区。此时,若制冷剂蒸气压力不变,则温度上升。

等温线(t):在该线上各点温度相等,等温线在液体区时,由上而下几乎与等焓线平行。与饱和液体线相交后,向右水平转折与等相压线重合,到达饱和蒸气线时向右下方转折。

等比容线(v):是由左下方向右上方倾斜的曲线。该曲线上各点制冷剂的比容值相等。在饱和蒸气线右侧过热蒸气区部分,制冷剂的比容和湿蒸气区的比容值不同。

等熵线(S):在图的左半部呈上下稍向右倾斜的曲线;愈向右半部倾斜愈增大。

六、制冷循环的压焓图分析

1. 理想循环的压焓图分析

理想循环是假设制冷剂离开蒸发器时为干饱和蒸气,它在吸排气管道中流过时没有阻力和传热,即在压力和温度上没有变化;在进入压缩机时仍为干饱和蒸气,压缩机排气压力等于冷凝压力;还认为制冷剂蒸气在压缩机中的压缩过程时间很短,与外界不存在热交换,属于等熵压缩过程;进入毛细管节流器时的压力为冷凝压力的饱和液体。这样,制冷循环一次经历以下四个热力过程,如图 1-9 所示。

(1) 节流降压过程

制冷剂从流出冷凝器至进入节流器前都是冷凝压力下的饱和液体,故其状态用点 1 表示。

点 4 位于冷凝温 30°C 所对应的 R12 饱和压力 $7.58\text{kg}/\text{cm}^2$ (冷凝压力) 的水平等压线与饱和液体线的交点。其状态参数可直接在图中查出, $P_4=7.58\text{kg}/\text{cm}^2$, 温度 $t_4=30^{\circ}\text{C}$, 焓 $h_4=106.97\text{kcal}/\text{kg}$, 比容 $v_4=0.7734\text{ l}/\text{kg}$ 。

制冷剂经节流降压时, 既未对外做功, 也未对外进行热交换, 所以节流前后的焓相等。节流降压过程可用经过 4 点的垂直等焓线 4—5 来表示, 降压至蒸发压力。点 5 为此等焓线与蒸发温度 -15°C 所对应的 R12 饱和压力 $1.86\text{kg}/\text{cm}^2$ (蒸发压力) 的水平等压线的交点。制冷剂流出节流器后为湿蒸气, 所以点 5 位于压焓图的湿蒸气区。点 5 的状态参数为: 压强 $P_5=1.86\text{kg}/\text{cm}^2$, 温度 $t_5=-15^{\circ}\text{C}$, 焓 $h_5=106.97\text{kcal}/\text{kg}$, 比容 $v_5=0.024\text{m}^3/\text{kg}$, 熵 $S_5=1.028\text{kcal}/\text{kg} \cdot \text{K}$, 干度 $x_5=0.26$ 。

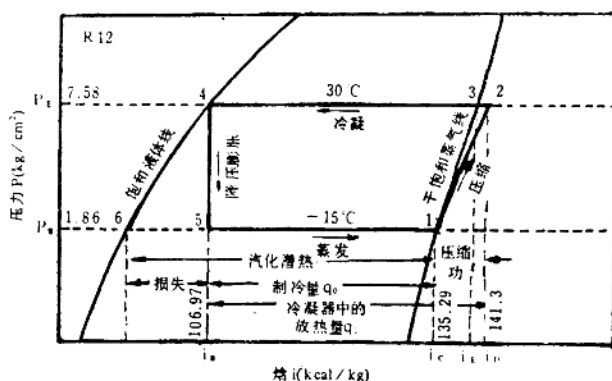


图 1-9 R12 制冷循环在压焓图上的说明

(2) 蒸发制冷过程

在蒸发过程中, 蒸发温度不变, 所以压焓图湿蒸气区中的等压线就是等温线。可用水平等压线 5—1 表示蒸发制冷过程。制冷剂流出蒸发器时的状态是: 压力为 $1.86\text{kg}/\text{cm}^2$ 、温度为 -15°C 的干饱和蒸气, 以点 1 表示。点 1 应位于 $1.86\text{kg}/\text{cm}^2$ 等压线与干饱和蒸气线的交点。点 1 的状态参数为: 压力 $P_1=1.86\text{kg}/\text{cm}^2$ 、温度 $t_1=-15^{\circ}\text{C}$ 、焓 $h_1=135.29\text{kcal}/\text{kg}$, 比容 $v_1=0.0926\text{m}^3/\text{kg}$, 熵 $S_1=1.137\text{kcal}/\text{kg} \cdot \text{K}$ 、干度 $x_1=1.0$ 。

制冷剂在蒸发器中蒸发时, 吸收冷冻室中的热量而进行制冷。它的焓增加, 每公斤制冷剂所吸收的热量 q_0 等于制冷剂在蒸发器进、出口两处的焓差, 亦即点 1 与点 5 的焓差。

$$q_0 = h_1 - h_5 = h_1 - h_4 = 135.29 - 106.97 = 28.32(\text{kcal}/\text{kg})$$

它少于每千克液体制冷剂在 $1.86\text{kg}/\text{cm}^2$ 压力下的蒸发潜热 ($38.75\text{kcal}/\text{kg}$), 这是因为在节流器中, 已有 26% 的液体制冷剂已经蒸发完毕。因此蒸发器中仅余 74% 的液体制冷剂在蒸发吸热, 进行制冷, 从而使冷量受到了损失。这部分损失在压焓图中以 6—5 表示, 用于制冷剂本身降温。

(3) 压缩过程

进入压缩机时与蒸发器出口处状态相同, 所以开始压缩时的制冷剂状态仍以点 1 表示。又因为压缩过程是等熵过程, 所以压缩后, 虽然压力升高为冷凝压力 $7.58\text{kg}/\text{cm}^2$, 但熵却无变化。用线 1—2 表示等熵压缩过程。点 2 应位于此等熵线与压力为 $7.58\text{kg}/\text{cm}^2$ 的等压线的交点。点 2 状态参数为: 压力 $P_2=7.58\text{kg}/\text{cm}^2$ 、温度 $t_2=38^{\circ}\text{C}$ 、焓 $h_2=141.3\text{kcal}/\text{kg}$ 、比容 $v_2=$

$0.025\text{m}^3/\text{kg}$ 、熵 $S_2=1.137\text{kcal}/\text{kg}\cdot\text{K}$ 。

在压缩时,压缩机的压缩功传给了制冷剂使其焓增加,压力和温度也都升高,成为高压过热蒸气,故点2位于压焓图的过热蒸气区。在压力为 $7.58\text{kg}/\text{cm}^2$ 时,R12 的饱和温度为 30°C 。现蒸发温度为 38°C ,所以过热度为 $38-30=8^\circ\text{C}$ 。

(4) 冷凝过程

制冷剂从压缩机排出后,在排气管和冷凝器中进行冷却。因为是在等压下冷凝,所以这一过程可用压力为冷凝压力 $7.58\text{kg}/\text{cm}^2$ 的等压线 2—3—4 来表示。其中 2—3 部分为由过热蒸气冷却为饱和蒸气,是在排气管和冷凝器的上部进行。3—4 部分为在冷凝器下半部的凝结过程,此时蒸气放出汽化潜热,成为饱和液体,其状态用点 4 表示,于是制冷剂完成了一个循环。3 点位于等压线与干饱和蒸气线的交点,压力 $P_3=7.58\text{kg}/\text{cm}^2$ 、温度 $t_3=30^\circ\text{C}$ 、焓 $h_3=140.08\text{kcal}/\text{kg}$ 、比容 $v_3=0.0243\text{m}^3/\text{kg}$ 、熵 $S_3=1.133\text{kcal}/\text{kg}\cdot\text{K}$ 。

在冷凝过程中,制冷剂蒸气放出的热量 q_2 为点 2 与点 4 的焓差,即

$$q_2 = h_2 - h_4 = 141.3 - 106.97 = 34.33(\text{kcal}/\text{kg})$$

其中,过热量为

$$h_2 - h_3 = 141.3 - 140.08 = 1.22(\text{kcal}/\text{kg})$$

汽化潜热为

$$h_3 - h_4 = 140.08 - 106.97 = 33.11(\text{kcal}/\text{kg})$$

制冷剂在冷凝过程中放出的热量 q_2 来自两个方面,一是由冷冻室吸来的热量 $q_0=h_1-h_5$, 一是由压缩机压缩功转换所增加的焓 $h_2-h_1=6.01\text{kcal}/\text{kg}$ 。所以

$$q_2 = 28.32 + 6.01 = 34.33(\text{kcal}/\text{kg})$$

2. 蒸气制冷的实际循环

蒸气制冷的实际循环与理想循环是有差别的,主要差别是:

- (1) 压缩过程是不可逆的,不是等熵过程;
- (2) 节流过程不是绝热过程,节流后焓值增大;
- (3) 制冷剂在蒸发器与冷凝器内的热传导过程存在温差;
- (4) 制冷剂在流经管道时,因有阻力、摩擦等,使压缩机的排气压力增高,而吸气压力降低。
- (5) 受压缩机制造中的余隙容积精度的影响。

由此,使实际循环的单位压缩功增大,单位制冷量减少,制冷系数降低。图 1-10 近似表示实际循环的压焓关系。

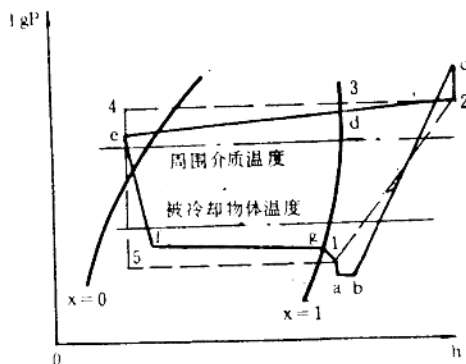


图 1-10 实际循环的 $\lg P-h$ 图

图中 1— a — b — c —2— d — e — f — g —1 为近似的一次实际循环过程。点 1 是制冷剂蒸发后在吸入压缩机的状态, a 点是吸气开始时气缸内的压力,因为吸气阀上弹簧有阻力,故 a 点的压力低于吸气阀前点 1 处的压力,但这一压力较小,故吸气时的过程可以近似地看为焓值不变,即 $h_1=h_a$ 。 $a-b$ 是吸气过程中低温蒸气与热的气缸壁之间的热交换,使吸入的蒸气温度升高。吸气开始与结束时,气

缸内的压力基本相等 $P_c = P_s$ 。b—c 是制冷剂在气缸内压缩过程,不是等熵过程。c—2 是压缩末了气缸内的蒸气,经过排气阀的过程,压差较小,可看着焓不变 $h_c = h_2$ 。2—d—e 是蒸气进入冷凝器并冷却成液体的过程。由于排气管道和冷凝器内有阻力,故而点 2 处的压力比点 e 处的压力要高。e—f 是冷凝后的液体经过节流后而进入蒸发器的过程。f—g 是制冷剂在蒸发器蒸发过程,即制冷过程。因蒸发器内有阻力,故进入蒸发器时的压力 P_f 大于离开时的压力 P_g 。g—1 是制冷剂蒸气在蒸发器出口至压缩机吸气阀这一段管道中的过程。因管道阻力,故 P_1 低于 P_f 。

由上述分析,可见实际循环比较复杂,而且有些数据也不易测定。因而在实际热力计算中,通常采用简化的理论循环,简化成图中的 1—2—3—4—5—1 的循环。

3. 热力估算

(1) 单位质量的制冷量 q_0

1kg 制冷剂在制冷循环中所制取的制冷量,称为单位质量制冷量。用压焓图中点 1 和点 5 的焓差来表示,即

$$q_0 = h_1 - h_5 = h_1 - h_4 \text{ (kJ/kg)}$$

(2) 单位容积制冷量 q_v

在制冷循环中,每产生 1m^3 的制冷蒸气所制取的冷量,称为单位容积制冷量。

$$q_v = \frac{q_0}{v} = \frac{h_1 - h_4}{v} \text{ (kJ/m}^3\text{)}$$

式中, v 为压缩机吸气状态下制冷剂的比容。

(3) 单位压缩功率 W_k

压缩机每压缩 1kg 制冷剂所消耗的功,称为单位压缩功率。在等熵压缩时,单位压缩功可用初、终态的焓差来表示,即

$$W_k = h_2 - h_1 \text{ (kJ/kg)}$$

(4) 制冷系数 ε

$$\varepsilon = \frac{q_0}{W_k} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1}$$

ε 越大,压缩机消耗的功越小,制冷机经济性能好。 ε 的大小,还与电冰箱的内外温度有关,温差越大,则 ε 就越小,所以天气越热,电冰箱耗电就越多。

(5) 单位冷凝热量 q_k

1kg 制冷剂在冷凝器内放出的热量,称为单位冷凝热量。

$$q_k = h_2 - h_4$$

在制冷循环中,冷凝器内放出的热量 q_k 大于蒸发器内吸收的热量 q_0 ,二者之差称为制冷剂失去的热量,正好等于压缩机消耗的功。

$$W_k = q_k - q_0$$

例 1-3 已知 $t_k = 30^\circ\text{C}$, $t_0 = 15^\circ\text{C}$, 估算制冷剂 NH_3 , R12 和 R22 理论循环的 q_0 , W_k 和 ε 。有关参数见表 1-3。

表 1-3 例 1-3 有关参数

制 冷 剂	参 数	$t_1 = t_0$ ($^\circ\text{C}$)	$t_4 = t_k$ ($^\circ\text{C}$)	P_0 (kPa)	P_1 (kPa)	h_1 (kJ/kg)	h_2 (kJ/kg)	$h_4 = h_5$ (kJ/kg)
NH_3		-15	30	236.2	1166.9	1734.5	1980	639
R12		-15	30	182.7	746.5	345.8	371	228.6
R22		-15	30	296.4	1188	399.2	436	236.7

解:根据条件作出理论循环的压焓图,如图 1-11 所示。

单位质量制冷量:

$$\text{NH}_3 \quad q_0 = h_1 - h_4 = 1104.5 (\text{kJ/kg})$$

$$\text{R12} \quad q_0 = 117.2 (\text{kJ/kg})$$

$$\text{R22} \quad q_0 = 162.5 (\text{kJ/kg})$$

单位压缩功:

$$\text{NH}_3 \quad W_k = h_2 - h_1 = 236.5 (\text{kJ/kg})$$

$$\text{R12} \quad W_k = 25.2 (\text{kJ/kg})$$

$$\text{R22} \quad W_k = 36.8 (\text{kJ/kg})$$

制冷系数:

$$\text{NH}_3 \quad \varepsilon = \frac{q_0}{W_k} = 4.67 \quad \text{R12} \quad \varepsilon = 4.65$$

$$\text{R22} \quad \varepsilon = 4.42$$

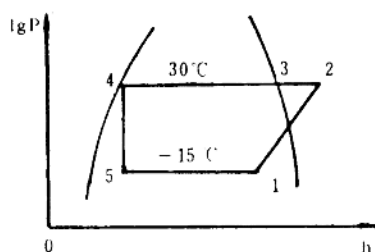


图 1-11 例题图

第二节 电冰箱制冷系统的结构及原理

电冰箱的制冷系统是由压缩机、冷凝器、蒸发器、节流器、毛细管和热力膨胀阀等主要部件组成(如图 1-12)。制冷系统是电冰箱最重要的组成部分,它对电冰箱的性能、特点、形状和经济效益等起着决定性的作用。本章我们将详细介绍各部件的结构和原理。

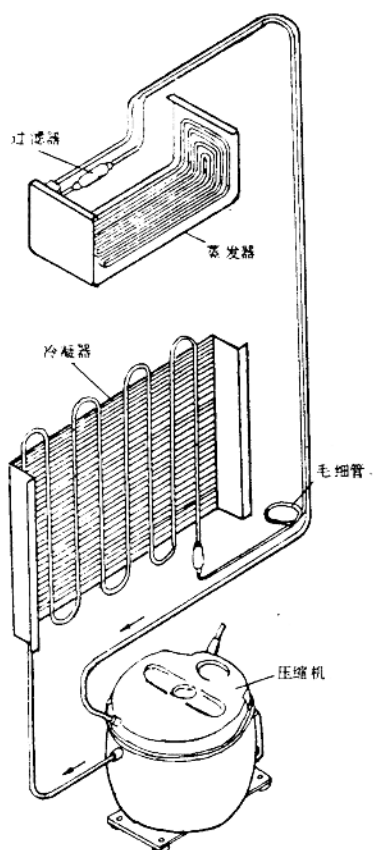


图 1-12 电冰箱制冷系统图

一、压缩机

制冷压缩机是电冰箱制冷系统的关键设备,是电冰箱的“心脏”,它的好坏直接影响电冰箱的制冷能力的高低、噪声的大小、寿命的长短等。

压缩机的种类非常多,本书主要对家用电冰箱的压缩机加以介绍。现代家用电冰箱大都使用的是全封闭式的压缩机。目前全封闭式压缩机主要有滑管式、连杆式和滚动转子式压缩机。

1. 滑管式压缩机

这种压缩机结构如图 1-13 和图 1-14 所示。它是由曲柄主轴、滑块、机座、汽缸、阀门及一个与滑管连成一体的活塞组成。电动机与机座相连,用三根弹簧吊装在机壳内,压缩机与电动机共轴装配在一个密封的钢制外壳里。机壳外面焊有低压吸气管、高压排气管和充入制冷剂的细钢管和电源接线座。

曲轴:由它传递电动机输入的动力,驱动活塞往复运动压缩制冷剂蒸气而做功。压缩机的曲轴由垂直方向的机座孔支撑,其主体部分称为主轴颈,上部在机座孔中旋转,下部

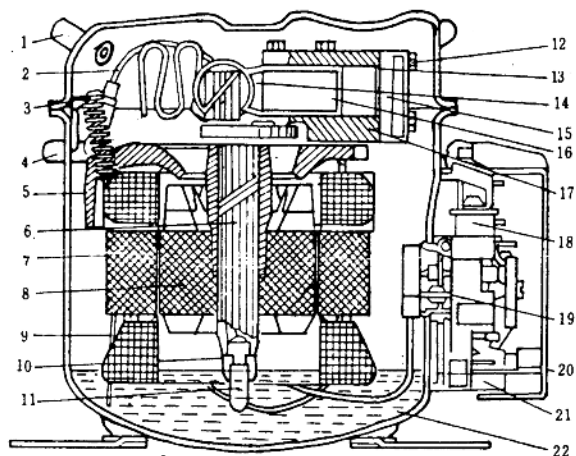


图 1-13 滑管式压缩机剖面图

- 1—吸入管 2—抽出缓冲管 3—减振吊簧 4—排出管 5—机座 6—曲轴 7—电机定子 8—电机转子
9—限位架 10—排除蒸气管 11—吸油管 12—气缸盖 13—排气阀片 14—滑块 15—吸气阀片
16—活塞 17—气缸 18—启动继电器 19—接线端子 20—过载保护继电器 21—接线板 22—润滑油

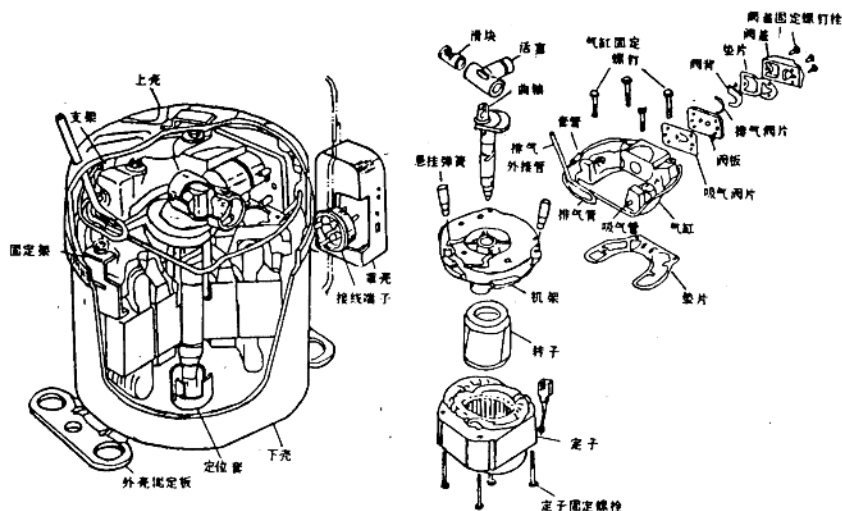


图 1-14 滑管式压缩机拆卸图

与电动机转子连接。曲柄部分与滑块孔采用间隙配合。曲柄与主轴颈连接处设有平衡块,可使压缩机运转平衡,以减少振动和噪声。

活塞:它由活塞头和滑管组成。将它们焊接在一起,在压缩机转动过程中,活塞对吸入的制冷蒸气进行压缩,使其成为高温高压过热蒸气而排入冷凝器中。