

中央空调



运行管理与维修

李援瑛 主编



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

中央空调的 运行管理与维修

李援瑛 主编



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书在简明扼要地讲述空气调节基础知识和空调、制冷设备结构的基础上,系统地讲述了中央空调系统的组成,各部分的基本概况、工作原理、测控方法及使用与维修的基本知识,着重阐述了中央空调系统及其制冷设备的启动、运行、正常停机、事故停机、紧急停机和故障维修等从业人员必备的操作技能。本书在编写过程中突出了实用性和可操作性。

本书是从事中央空调运行、管理与维修人员的工作参考书,同时也可作为各类职业培训教材使用。

图书在版编目(CIP)数据

中央空调的运行管理与维修/李援瑛主编. -北京:
中国电力出版社, 2001

ISBN 7-5083-0615-5

I. 中… II. 李… III. ①集中空气调节系统-管
理②集中空气调节系统-维修 IV. TB657. 2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 23495 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

北京市地矿印刷厂

各地新华书店经售

*

2001 年 8 月第一版 2001 年 8 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 16.75 印张 408 千字

印数 0001—4000 册 定价 25.00 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换)

前 言



近年来,随着我国现代化建设的发展,在各种大中型工业和民用建筑物中普遍使用集中对空气进行调节的中央空调设备。中央空调的使用极大地改善了科研和生产环境,为高科技产品的研发、生产提供了可靠的外部条件。中央空调的使用同时也大大地改善和提高了人们的生活质量和健康水平。中央空调已成为现代化进程中必备的技术保障设备。中央空调设备的大规模使用同时也为人们提供了许多工作机遇,使中央空调运行管理和维修成为新兴的热门行业。

中央空调的运行维护技术是一门集制冷技术、空气调节技术、设备运行管理知识为一体的专业性很强的技术门类。这就要求从业者必须具备制冷和空调原理、制冷设备和空气调节设备基础知识以及制冷设备和空调设备的管理、操作和维修技能。本书正是本着为从业者提供基础理论知识和基础操作、维修技能的目的进行编写的。

本着由浅入深、深入浅出的编写原则,本书以中央空调系统中的制冷设备及其运行管理和维修为基本组成核心,系统和完整地讲述了中央空调的基础知识,中央空调系统的基本构成及各种部件的结构、作用和工作原理,详尽地讲述了中央空调系统启动、运行和日常管理以及常见故障的维修等操作方法。

本书的重点放在了中央空调运行管理与维修技能的讲述上。全书在内容上覆盖了中央空调运行管理中常见的技术问题,反映了当前中央空调运行与维修的技术发展水平,可作为中央空调运行管理方面的培训和自修的专业技术教材。

本书的使用对象主要是具有中学以上文化程度的在职职工,也可供各个层次的制冷与空调人员、院校师生作为专业学习的参考书。

全书由李援瑛主编,参加编写的还有曹艳芬、高萍、丁钊等同志。

由于编写人员水平所限,对于书中疏漏和不足之处,恳切希望读者批评指正。

作 者

2001.2

目 录

前言

第一章 空气调节概述

第一节 空气调节及任务	1
第二节 空气的物理性质	1
第三节 空气的焓—湿图	5
第四节 空气的焓—湿图的应用	6
第五节 空气调节负荷的估算	11
思考与练习	12

第二章 空气调节系统

第一节 空气调节系统的分类	14
第二节 集中式空调系统	15
第三节 风机盘管空调系统	21
思考与练习	25

第三章 空调的热湿处理设备

第一节 空气调节的冷源与热源	26
第二节 喷水室	30
第三节 表面式空气热交换器	33
第四节 空气加湿的方法及设备	35
第五节 空气的去湿方法及设备	37
第六节 空气的净化设备	40
第七节 空气调节的水系统	43
第八节 空调系统的风系统	47
思考与练习	49

第四章 空调系统的制冷设备

第一节 制冷剂与载冷剂及冷冻润滑油	51
第二节 中央空调的冷源	62
第三节 活塞式制冷压缩机	64
第四节 螺杆式制冷压缩机	78

第五节 离心式制冷压缩机	89
第六节 吸收式制冷机	104
第七节 制冷系统的辅助设备	119
第八节 冷却塔	130
思考与练习	132

第五章 空调与制冷系统的测控装置

第一节 流动与液位控制器件	134
第二节 压力与温度控制器件	136
第三节 空调系统参数测量仪表	140
第四节 制冷空调系统的常用电器	147
思考与练习	157

第六章 空调系统的测定与调整

第一节 空调系统风量的测定与调整	158
第二节 空气热湿处理过程的测定	162
第三节 空调房间内空气参数的测定	164
第四节 空调系统测试后的调整	165
思考与练习	167

第七章 空调系统的使用与维护

第一节 集中式空调系统的使用与操作	168
第二节 集中式空调系统的故障分析和排除方法	171
第三节 风机盘管机组的运行调节	175
第四节 风机盘管机组维护	177
第五节 风机常见故障的处理方法	180
第六节 水泵与冷却塔的常见故障的处理方法	182
思考与练习	186

第八章 制冷设备的运行管理

第一节 制冷设备的管理细则	188
第二节 活塞式制冷压缩机运行管理	191
第三节 离心式压缩机的运行管理	200
第四节 螺杆式制冷压缩机的运行管理	227
第五节 溴化锂制冷机的运行管理	237
思考与练习	258

参考文献	260
------------	-----

第一章 空气调节概述

第一节 空气调节及任务

空调是空气调节的简称，它是通过对空气的处理使室内空气的温度、相对湿度、气流速度和洁净程度（简称“四度”）达到一定要求的工程技术。所谓达到一定要求就是指空气的参数必须稳定在一定的基数上，并且不超过允许的波动范围，常用空调基数和空调精度来表示。

空调基数是指空调房间所要求的基准温度和相对湿度。空调精度是指空调房间的有效区域内空气的温度、相对湿度在要求的连续时间内允许的波动幅度。例如，某空调房间温度(t)要求为 $20 \pm 2^\circ\text{C}$ ，相对湿度(ϕ)要求为 $55\% \pm 5\%$ ，那么，此房间的空调基数为 $t = 20^\circ\text{C}$ 、 $\phi = 55\%$ ，空调精度为 $\Delta t = \pm 2^\circ\text{C}$ 、 $\Delta \phi = \pm 5\%$ ，即空调房间的温度应在 $18 \sim 22^\circ\text{C}$ 之间，相对湿度应在 $50\% \sim 60\%$ 之间，只要在这个范围内，空调系统的运行就是合格的。

空调基数直接关系到空调装置的投资和运行费用。一般来讲，夏季提高空调基数，冬季降低空调基数可以减少投资、降低能耗。而空调精度主要与自动控制有关。

凡是 Δt 在 1°C 以上的空调系统叫做一般精度的空调，可通过手动来控制；凡是 $\Delta t = \pm 1^\circ\text{C}$ 的空调系统宜作成自动控制；凡是 $\Delta t < 1^\circ\text{C}$ 的空调系统叫做高精度空调，应采用自动控制。

空调技术的诞生，有效地完善了工业生产中需要不同温度、湿度的工艺过程，也创造了舒适的人工气候环境，为人们的居住、旅游和娱乐提供了良好的条件。

根据空调使用对象的不同，我们可以把它分为两类：

(1) 舒适性空调：其目的是使室内空气具有良好的参数，向人们提供一个适宜的工作或生活环境，从而有利于提高工作效率或维持良好的健康水平。

(2) 工艺性空调：其作用是满足室内的生产、科研等工艺过程所要求的空气参数。

第二节 空气的物理性质

空调技术主要与空气相联系，因此首先要了解空气的物理性质及其状态参数之间的关系。

一、空气的组成

自然界中的空气，是由数量基本稳定的干空气和数量经常变化的水蒸气组成的混合物。这种混合物称为湿空气，也就是我们常说的空气。

1. 干空气

干空气是湿空气的主要组成部分，它是由氮气、氧气、二氧化碳及其他稀有气体（如氩、氦等）按一定比例组成的混合物（见表 1-1）。

表 1-1

干空气的组成部分

气 体 名 称	质量百分比 (%)	体积百分比 (%)	气 体 名 称	质量百分比 (%)	体积百分比 (%)
氮气 (N ₂)	75.55	78.13	二氧化碳 (CO ₂)	0.05	0.03
氧气 (O ₂)	23.1	20.90	其他稀有气体 (Ar、He、Ne、Kr 等)	1.30	0.94

2. 湿空气

凡含有水蒸气的空气均称为湿空气。

绝对的干空气在自然界中是不存在的,因为地球表面大部分是海洋、河流和湖泊,每时每刻都有大量的水分蒸发为水蒸气进入到大气中,所以自然界中的空气都是湿空气,习惯上称为空气。

湿空气中水蒸气的含量不多,通常占空气质量比的千分之几到千分之二十几,但变化较大。它随季节、天气、水汽的来源情况而经常变化,给生产、科研及人类的生活带来很大的影响。

3. 饱和空气

干空气具有吸收和容纳水蒸气的能力,并且在一定温度下只能容纳一定量的水蒸气。我们把在一定温度下水蒸气的含量达到最大值时的空气,称为饱和空气,此时的空气就是干空气和饱和水蒸气的混合物,所对应的温度为空气的饱和温度。

由于水蒸气含量达到饱和的条件是与空气的温度有关,空气温度越高,饱和空气中的水蒸气含量就越大,因此,如果降低饱和空气的温度,空气中的水蒸气含量也会随之降低,并且多余的水蒸气会冷凝成液体。自然界中的结露现象就是这个道理。根据这一道理,我们可以利用制冷装置对空气进行冷却去湿处理。

在大自然中,空气中的水蒸气一般来说是不饱和的。

二、空气的物理性质

空气的状态参数是一些为了说明空气状态变化的物理量,主要有温度、压力、湿度和焓等。

1. 温度

温度是描述空气冷热程度的物理量,它有三种标定方法:摄氏温标、华氏温标和绝对温标(又叫热力学温标或开氏温标)。

摄氏温标用符号 t 表示,单位是℃;华氏温标用符号 t_F 表示,单位是°F(华氏温标为非法定计量单位);绝对温标用符号 T 表示,单位是 K。

三种温标间的换算关系如下:

$$T = t + 273$$

$$t = T - 273$$

$$t_F = \frac{9}{5} \times t + 32$$

$$t = \frac{5}{9} \times (t_F - 32)$$

因为水蒸气是均匀地混合在干空气中,所以,平常我们用温度计所测得的空气的温度既是干空气的温度又是水蒸气的温度。

2. 压力

空气的压力就是当地大气压,用符号 p 表示。

常用的压力单位有三种:工程制单位(非法定计量单位), kgf/cm²; 国际制单位, Pa

或 MPa；液柱高单位（非法定计量单位），毫米汞柱高 mmHg 或毫米水柱高 mmH₂O。

几种压力单位换算关系如下：

$$1\text{kgf/cm}^2 = 98066.5\text{Pa} \approx 0.1\text{MPa}$$

$$1\text{mmHg} = 13.5951\text{mmH}_2\text{O} = 133.3224\text{Pa}$$

正如空气是由干空气和水蒸气两部分组成一样，空气的压力 p 也是由干空气分压力和水蒸气分压力两部分组成的，即

$$p = p_g + p_c$$

式中 p_g ——干空气的分压力；

p_c ——水蒸气的分压力。

空气中水蒸气是由水蒸发而来的。在一定温度下，如果水蒸发越多，空气中的水蒸气就越多，水蒸气的分压力也越大，所以水蒸气分压力是反映空气所含水蒸气量的一个指标，也是空调技术中经常用到的一个参数。

在空调系统中，空气的压力是用仪表测量的，但仪表显示的压力不是空气的绝对压力值，而是“表压力”，即空气的绝对压力与当地大气压力的差值。

应当指出，只有空气的绝对压力才是其基本状态参数，一般情况下，凡未指明的工作压力均应理解为绝对压力。

3. 湿度

空气湿度是指空气中所含水蒸气量的多少，有以下几种表示方法：

(1) 绝对湿度。即每立方米空气中含有水蒸气的质量，用符号 γ_z 表示，单位为 kg/m³。

如果在某一温度下，空气中水蒸气的含量达到了最大值，此时的绝对湿度称为饱和空气的绝对湿度，用 γ_B 表示。空气的绝对湿度只能表示在某一温度下每立方米空气中水蒸气的实际含量，不能准确地说明空气的干湿程度，因为当温度不同时，空气的容积会发生变化。

(2) 相对湿度。为了能准确说明空气的干湿程度，在空调中采用了相对湿度这个参数。它是空气的绝对湿度 γ_z 与同温度下饱和空气的绝对湿度 γ_B 的比值，用符号 ϕ 表示。相对湿度一般用百分比表示，写作：

$$\phi = \gamma_z / \gamma_B \times 100\%$$

相对湿度 ϕ 表明了空气中水蒸气的含量接近于饱和状态的程度。显然， ϕ 值越小，表明空气越干燥，吸收水分的能力越强； ϕ 值越大，表明空气越潮湿，吸收水分的能力越弱。

相对湿度 ϕ 的取值范围在 0~100% 之间，如果 $\phi=0$ ，表示空气中不含水蒸气，属于干空气；如果 $\phi=100\%$ ，表示空气中的水蒸气含量达到最大值，成为饱和空气。因此，只要知道 ϕ 值的大小，即可得知空气的干湿程度，从而判断是否对空气进行加湿或去湿处理。

(3) 含湿量（又称比湿度）。它是指 1kg 干空气所容纳的水蒸气的质量，用符号 d 表示，单位是 g/kg（干空气）[或用 kg/kg（干空气）]。

在空气调节中，含湿量 d 是用来反映对空气进行加湿或去湿处理过程中水蒸气量的增减情况的。之所以用 1kg 干空气作为衡量标准，是因为对空气进行加湿或减湿处理时，干空气的质量是保持不变的，仅水蒸气含量发生变化，所以空调工程计算中，常用含湿量的变化来表达加湿和去湿程度。

4. 比焓

空气的焓值是指空气含有的总热量，通常以干空气的单位质量为基准，称作比焓。因此，空气的比焓（工程中常简称为焓）是指 1kg 干空气的焓和与它相对应的水蒸气的焓的总和，用符号 h 表示，单位是 kJ/kg 。

在空调工程中，参数比焓很有用处，我们可以根据一定质量空气在处理过程中比焓的变化，来判断空气是得到热量还是失去热量。空气的比焓增加，表示空气得到热量；空气的比焓减少，表示空气失去热量。利用这一原理，我们可以根据比焓的变化值（后面简称为焓值）来计算空气在处理前后得到或失去热量的多少。

在空气处理过程中，需要考虑的是空气焓值的变化量，而不是空气在某一状态下的焓值。所以，一般规定干空气的焓值以 0 为基准点（计算的起点），即 0°C 时 1kg 干空气的焓值为 0。

5. 密度和比容

空气的密度是指每立方米空气中干空气的质量与水蒸气的质量之和，用符号 ρ 表示，单位是 kg/m^3 。

由于湿空气是干空气和水蒸气的混合气体，两者均匀混合并占有相同的容积，因此，湿空气的密度等于干空气的密度与水蒸气的密度之和。

空气的比容是指单位质量的空气所占有的容积，用符号 v 表示，单位是 m^3/kg 。因密度与比容互为倒数，所以 ρ 与 v 只能看作一个状态参数。

三、相关概念

1. 露点温度

在饱和温度下，饱和空气有一个容纳水蒸气的极限值，这个值会随着温度的降低而减少。利用这一原理，我们可以通过降温的方法，使不饱和空气达到饱和，再由饱和到空气凝结出水珠，即结露。在结露之前，空气的含湿量保持不变。

因此，我们把一定大气压下，湿空气在含湿量 d 不变的情况下，冷却到相对湿度 $\phi = 100\%$ 时所对应的温度，称为露点温度，并用符号 t_L 表示。

如果空气温度降到露点温度以下，空气中水蒸气的含量超过该温度下所允许的最大限度值，此时，空气中的一部分水蒸气就会凝结成露珠而被析出，出现结露。空调器运行中蒸发器表面出现凝结水，夏天的早晨，草木、禾苗的枝叶上出现露水，都是这个原理造成的。

2. 机器露点温度

空气的露点温度与空调系统的“机器露点温度”是有区别的，后者是经过人为的对空气加湿或减湿冷却后所达到的近于饱和的空气状态。

表面式冷却器外表面的平均温度称为“机器露点温度”；经过喷水室处理的空气比较接近于 $\phi = 100\%$ 状态，习惯上将其状态称为“机器露点”。

3. 干、湿球温度

空气的干湿程度，用相对湿度 ϕ 表示，并且可以通过干湿球温度计测量出来。

干湿球温度计是由两个相同的温度计组成的，它的构造如图 1-1 所示。使用时放在通风处，其中一个放在空气中直接测量，测得的温度称为干球温度，用符号 t_g 表示；另一个温度计的感温部分用湿纱布包裹起来，纱布下端放在水槽里，水槽里盛满水，测得的温度称为湿球温度，用符号 t_{sk} 表示。

在测量过程中，除空气为饱和状态外，两个温度计读数总有差别。因为当空气未达到饱和时，湿球外面纱布上的水分总要在空气中蒸发，蒸发所需要的汽化热取自于水本身，因而水温降低，于是湿球温度就低于干球温度。

根据干湿球温度计的差值，即可确定空气相对湿度 ϕ 的大小。干湿球温度计的差值越大， ϕ 越小；反之，差值越小， ϕ 越大。这是因为空气吸收水蒸气的能力取决于空气的相对湿度 ϕ 的大小。 ϕ 值越小，空气吸收水蒸气的能力越大，湿纱布上的水分蒸发得也越多，湿球温度降得也越低，即干湿球的差值也越大。

在实际测量中，我们可以通过干湿球温度差值和湿球温度值从湿度表上查得 ϕ 值。例如：干湿球温度计上干球的温度为 36°C ，湿球的温度为 30°C ，干湿球温度的差值为 6°C 。当旋转中间的圆柱体在湿度表缝中的顶端露出数值 6°C 时，停止转动。再看湿球温度值 30°C 时所对应的湿度表上的数字，其值为 64，这个数字意味着当时当地空气的相对湿度 $\phi = 64\%$ 。

应当指出，风速大小对所测湿球温度的准确性有很大影响。当流过湿球的风速较小时，空气与湿球表面热湿交换不完善，湿球读数偏高。实践证明，当流经湿球表面的风速为 $2.5 \sim 4\text{m/s}$ 以上时，所测得的湿球温度几乎不变，数据最准确。

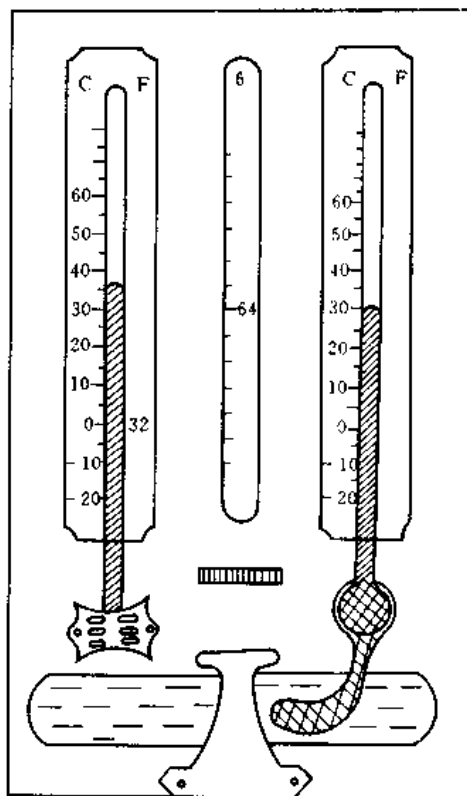


图 1-1 干湿球温度计的结构示意图

第三节 空气的焓—湿图

在上一节中，我们介绍了空气的状态参数，在实际的工作中，为了避免用公式繁琐地计算这些参数，人们把一定大气压下空气各参数间的关系用图线表示出来，这就是焓—湿图（即 $h-d$ 图，如图 1-2 所示）。这样一来，所有的计算工作都可转化为查图工作。

一、焓—湿图的坐标

为了使图面开阔，线条清晰，焓—湿图建立在斜角坐标上，纵坐标表示焓值，斜坐标表示含湿量，两坐标间夹角为 135° 。在实际应用中，为避免图面过长，常取一条水平轴代替含湿量 d 轴，这样， d 轴变成水平轴。

二、焓—湿图上的等参数线

1. 等焓线 (h)

等焓线是一组与纵坐标成 135° 夹角的相互平行的斜线，每条线代表一焓值且每条线上各点的焓值都相等。

2. 等含湿量线 (d)

等含湿量线是一组垂直于水平轴的直线，每条线代表一含湿量且每条线上各点的含湿量

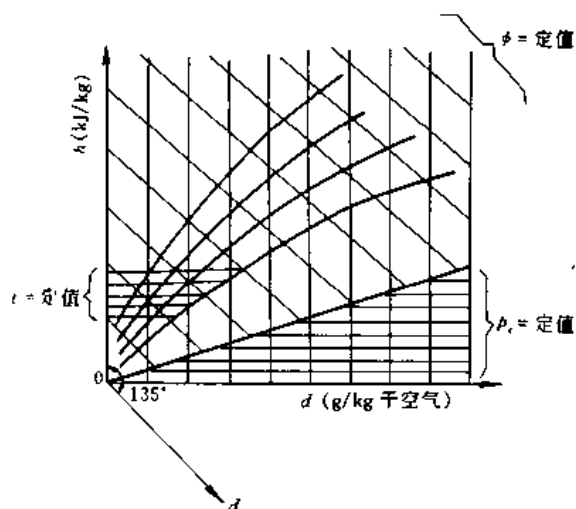


图 1-2 焓—湿图的组成

值都相等。

绘图时，两条等含湿量线的间距 A 与两条等焓线的间距 B 的比值应为 $1:1.5$ 。

3. 等温线 (t)

等温线是一组斜线，每条线代表一温度且每条线上各点的温度值都相等，但仔细看，可以发现这些等温线彼此间并不平行，温度越高的等温线斜率越大，即越向右上方倾斜。由于在空调范围 ($-10 \sim 40^\circ\text{C}$) 内，温度对斜率的影响不明显，所以等温线又近似平行。

4. 等相对湿度线 (ϕ)

等相对湿度线是一组向上延伸的散发形曲线，每条线代表一相对湿度且每

条线上各点的相对湿度值都相等。其中， $\phi = 0$ 的曲线，说明此时空气的含湿量 $d = 0$ ，即为图像的纵坐标； $\phi = 100\%$ ，说明空气的含湿量达到最大值，表示空气此时为饱和状态。

$\phi = 100\%$ 的饱和状态曲线把焓—湿图分成两个部分：饱和线左上方为空气的未饱和状态部分，即水蒸气的过热状态区；饱和线右下方为空气的过饱和状态部分，过饱和状态的空气是不稳定的，往往出现凝露现象，形成水雾，故这部分区域也称为雾状区域。

5. 等水蒸气分压力线 (p_c)

等水蒸气分压力线是一组平行于水平轴的直线，每条线代表一水蒸气分压力且每条线上各点的水蒸气分压力值都相等。

三、水蒸气分压力 p_c 与含湿量 d 的变换线

在一定的大气压下，水蒸气的分压力 p_c 值与含湿量 d 值之间是一一对应的，即给定一个 d 值就可以得到一个 p_c 值。为了表征这一关系，作一条 p_c - d 变换线，画在焓—湿图的右下角。这样，已知空气的 d 值时，通过的 p_c - d 变换线就可以直接查出 p_c 值；反之，已知 p_c 值，亦可以通过 p_c - d 的变换线查出 d 值。

在焓—湿图上的任何一点都代表了空气的一个状态，而每一条线都代表了空气的状态变化过程。

需要强调的是：空气的状态与大气压力有关，每张焓—湿图都是根据某一大气压力绘制的，查图时应选取合适的焓—湿图。

第四节 空气的焓—湿图的应用

焓—湿图不仅可用来确定空气的状态参数、露点温度、湿球温度，还可以表明空气的状态在热湿交换作用下的变换过程以及分析空调设备的运行工况。

一、确定空气状态参数

焓—湿图上的每个点都代表了空气的一个状态，只要我们已知 h 、 d (或 p_c)、 t 、 ϕ 中的任意两

个参数,即可利用焓—湿图确定其他参数。

例 1-1: 在 760mmHg 的大气压下, 空气的温度 $t = 20^\circ\text{C}$ 、 $\phi = 70\%$, 求空气的 h 、 d 、 p_c (见图 1-3)?

解: 首先根据 $t = 20^\circ\text{C}$ 、 $\phi = 70\%$ 的交点, 确定出空气的状态点 A, 过 A 点分别沿等焓线、等含湿量线查出空气的 $h = 46\text{kJ/kg}$ 、 $d = 10.2\text{g/kg}$ (干空气)。

p_c 值的查法是: 从 A 点沿等含湿量线向下作垂线, 与 p_c - d 变换线交于一点, 再由 B 点沿水平方向的等水蒸气分压力线查出 $p_c = 1626.7\text{Pa}$ (12.2mmHg)。

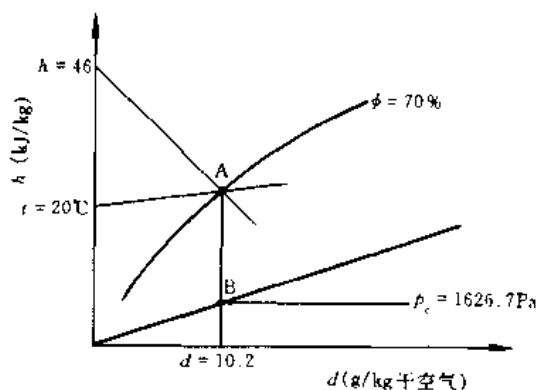


图 1-3 空气状态参数的确定

二、确定空气的露点温度 t_L

由露点温度的定义可知: 在含湿量不变的情况下给空气降温, 当空气的相对湿度 $\phi = 100\%$ 时所对应的温度即为露点温度 t_L 。

例 1-2: 在 760mmHg 的大气压下, 空气的温度 $t = 32^\circ\text{C}$ 、 $\phi = 40\%$, 求空气的 t_L (见图 1-4)?

解: 首先根据 $t = 32^\circ\text{C}$ 、 $\phi = 40\%$ 的交点, 确定出空气的状态点 A, 过 A 点沿等含湿量线向下与 $\phi = 100\%$ 相交于 L 点, L 点所对应的温度即为 A 点空气的露点温度, 查图得 $t_L = 17^\circ\text{C}$ 。

由图可知: 含湿量 d 相等的任何状态的空气 (如 A、B), 都会拥有相同的露点温度, 即等湿有同露。含湿量越大的空气 (如 A'), 露点温度就越高。

三、确定空气湿球温度 t_{sh}

湿球温度的形成过程是: 由于纱布上的水分不断蒸发, 湿球表面形成一层很薄的饱和空气层, 这层饱和空气的温度近似等于湿球温度。这时, 空气传给水的热量又全部由水蒸气返回空气中, 所以湿球温度的形成可近似认为是一个等焓过程。

因此, 求湿球温度的方法是: 从空气的状态点沿等焓线下行, 与 $\phi = 100\%$ 的交点所对应的温度即为湿球温度 t_{sh} 。

例 1-3: 在 760mmHg 的大气压下, 空气的温度 $t = 33.5^\circ\text{C}$ 、 $\phi = 40\%$, 求空气的 t_{sh} (见图 1-5)?

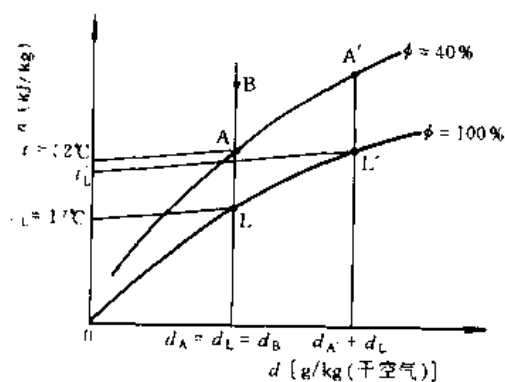


图 1-4 空气露点温度 t_L 的确定

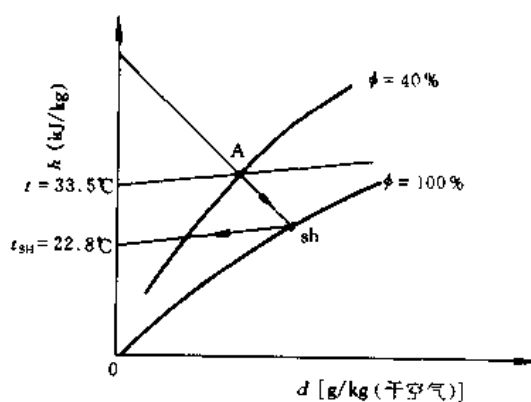


图 1-5 空气湿球温度 t_{sh} 的确定

解:首先根据 $t = 33.5^{\circ}\text{C}$, $\phi = 40\%$ 的交点, 确定出空气的状态点 A, 过 A 点沿等焓线下行与 $\phi = 100\%$ 相交于 Sh 点, Sh 点所对应的温度即为 A 点空气的湿球温度, 查图得 $t_{\text{Sh}} = 22.8^{\circ}\text{C}$ 。

由上图可知, 如果干、湿球温度计处于饱和空气的环境中 (即空气的 $\phi = 100\%$), 由于此时湿纱布上的水分不再蒸发, 则空气的干、湿球温度相等。

四、反映空气的状态变化过程

空气经加热、加湿、冷却、去湿处理时, 其状态要发生变化。其变化过程及变化方向仍然借助于焓—湿图, 用过程线来表示空气状态在热湿交换作用下的变化过程。

假设有空气状态原来为 A, 质量为 G (kg), 每小时加入空气的总热量为 Q (kJ), 加入的水蒸气量为 W (kg), 于是该空气因加热加湿变化到 B 点状态。连接 AB, 直线 AB 即表示空气从 A 到 B 的变化过程 (见图 1-6)。

在状态变化过程中, 对于 G (kg) 空气而言,

焓值变化为:

$$\Delta h = h_B - h_A = Q/G$$

含湿量变化为:

$$\Delta d = d_B - d_A = 1000W/G$$

我们把空气状态变化前后焓差 Δh 与含湿量差 Δd 的比值称为空气状态变化过程的热湿比, 常用符号 ϵ (kJ/kg) 表示, 即

$$\epsilon = \Delta h / (\Delta d / 1000) = Q/W$$

式中 Q ——加入的热量, kJ;

W ——加入的水蒸气量, kg。

热湿比 ϵ 实际上就是直线 AB 的斜率, 它反映了空气状态变化过程的方向, 故又称“角系数”。

如果知道某一过程的初状态, 又知道其变化的热湿比, 那么再知道其终点状态的一个参数即可确定空气状态变化过程的方向和变化后的终点状态。

由于斜率与起始位置无关, 因此起始状态不同的空气, 只要斜率相同, 其变化过程必定互相平行。根据这一特性, 可以在焓—湿图上以任意点为中心作出一系列不同值的 ϵ 标尺线, 见图 1-7 (a) 所示。实际应用时, 只须把等值的 ϵ 标尺线平移到空气状态点, 就可绘出

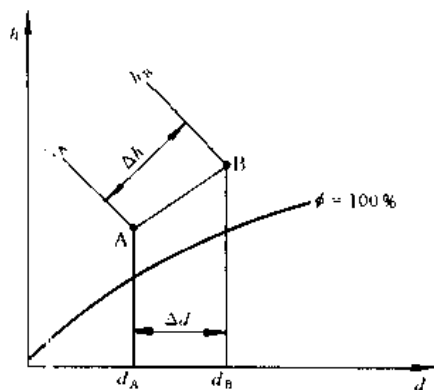


图 1-6 空气状态的变化过程

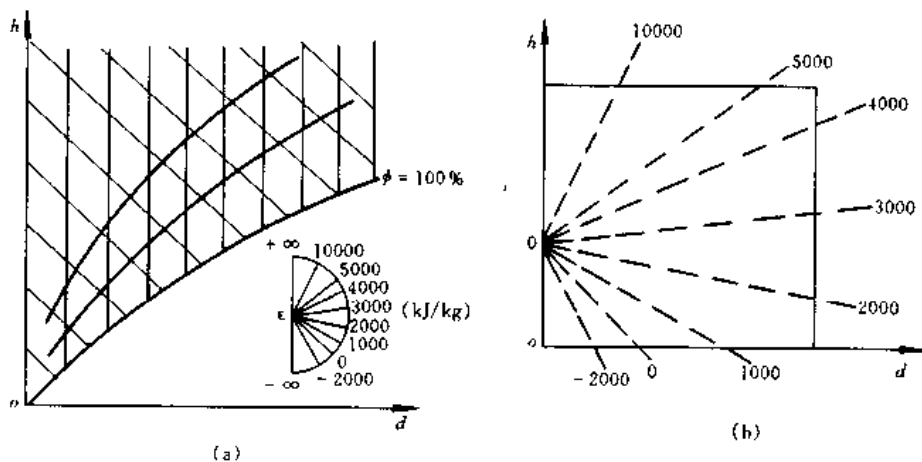


图 1-7 热湿比 ϵ 在焓—湿图上的表示

该空气的状态变化过程。

也可在焓—湿图上经过坐标原点画出不同 ϵ 值的标尺线，在焓—湿图的框外留下这些方向线的末端，以便作为推平行线的依据，这就使绘制热湿比线大大简化，见图 1-7 (b) 所示。

五、空气的处理在焓—湿图上的表示

空气的处理主要分为加热、冷却、加湿、去湿四种处理，如图 1-8 所示。

1. 等湿加热（也叫干式加热）处理

在空调过程中，常用电加热器或表面式热水换热器（或蒸气换热器）来处理空气，使空气的温度升高，但含湿量保持不变。处理过程如图 1-8 中 $A \rightarrow B$ 所示。

冬季用热水或水蒸气暖气片加热器的空气状态变化过程就属此类过程。

2. 冷却处理

(1) 等湿冷却（也叫干式冷却）处理。用表面冷却器或蒸发器处理时，如果表面冷却器或蒸发器的温度低于空气的温度，但又未达到空气的露点温度，就可以使空气冷却降温但不结露，空气的含湿量保持不变。这种处理称为等湿冷却处理。处理过程如图 1-8 中 $A \rightarrow C$ 所示。

(2) 去湿冷却处理。用表面冷却器或蒸发器处理时，如果表面冷却器或蒸发器的温度低于空气的露点温度，则空气的温度下降，并且由于多余水蒸气的析出，使含湿量也在不断减少。这种处理称为去湿冷却处理。表面冷却器盘管外表面平均温度称为“机器露点”。处理过程如图 1-8 中 $A \rightarrow D$ 所示。

3. 加湿处理

在冬季和过渡季节，室外含湿量一般比室内空气含湿量要低，为了保证相对湿度要求，往往要向空气中加湿。

(1) 等焓加湿处理。冬季，集中式空调系统用喷水室对空气进行喷淋加湿，加湿过程中使用的是循环水。在喷淋过程中，空气的温度 t 降低，相对湿度 ϕ 增加，由于空气传给水的热量仍由水分蒸发返回到空气中，所以空气的焓值 h 不变。处理过程如图 1-8 中 $A \rightarrow E$ 所示。

(2) 等温加湿处理。等温加湿可通过向空气喷水蒸气而实现。加湿用的蒸气可以兼用锅炉产生的低压蒸气，也可由电加湿器（电热式或电极式）产生。空气增加水蒸气后，含湿量 d 增加，但温度 t 近似不变。处理过程如图 1-8 中 $A \rightarrow F$ 所示。

4. 去湿处理

(1) 等焓去湿处理。用固体吸湿剂（硅胶或氯化钙）处理空气时，空气中的水蒸气被吸附，含湿量 d 降低，而水蒸气凝结所放出的汽化热使得空气温度 t 升高，所以，空气的焓值 h 基本不变。处理过程如图 1-8 中 $A \rightarrow G$ 所示。

(2) 冷却去湿处理。当用低于空气露点温度的水喷淋空气时，可使空气去湿和冷却；用低于空气露点温度的水或制冷剂通过表面冷却器时，可使流过表面冷却器管外的空气去湿和

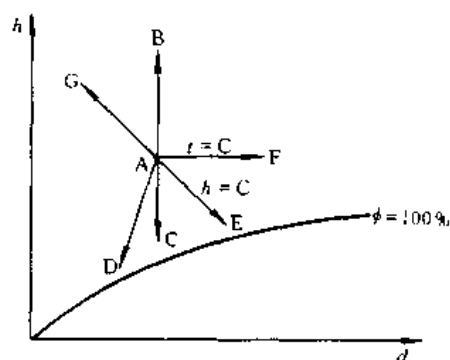


图 1-8 空气的处理在焓—湿图上的表示

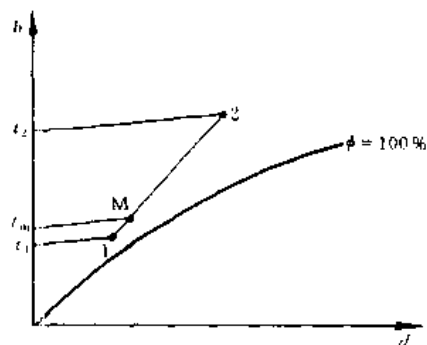


图 1-9 两种不同状态空气的混合过程

冷却。处理过程如图 1-8 中 A→D 所示。

六、确定两种不同状态空气的混合状态

在空调系统中，有时通常利用空调房间的一部分空气作为回风，与室外新风或集中处理后的空气进行混合，达到节能的目的。利用空气的焓—湿图可以方便地确定两种不同状态下空气的混合以后的状态参数，如图 1-9 所示。

设室内回风的质量为 m_1 ，状态参数为 h_1 和 d_1 ，室外新风的质量为 m_2 ，状态参数为 h_2 和 d_2 ，混合后的空气质量为 m ，状态参数为 h_m 和 d_m ，见图 1-9 所示。根据物质的能量守恒定律：混合后的空气总质量 m 应等于混合前两种空气的质量之和；混合后的空气总热量应等于混合前两种空气的热量之和；混合后的空气总含湿量应等于混合前两种空气的含湿量之和，即

$$m = m_1 + m_2$$

$$m_1 h_1 + m_2 h_2 = (m_1 + m_2) h_m = m h_m$$

$$m_1 d_1 + m_2 d_2 = (m_1 + m_2) d_m = m d_m$$

整理上式可得：

$$\frac{h_1 - h_2}{d_1 - d_2} = \frac{h_1 - h_m}{d_1 - d_m} = \frac{h_m - h_2}{d_m - d_2} \quad (1-1)$$

$$\frac{h_1 - h_m}{h_m - h_2} = \frac{d_1 - d_m}{d_m - d_2} = \frac{m_2}{m_1} = \frac{\overline{IM}}{\overline{M2}} \quad (1-2)$$

由式 (1-1) 可知：混合点 M 必定在点 1 和点 2 的连线上；

由式 (1-2) 可知：混合点 M 将 $\overline{12}$ 线段分为两段，两段的长度 $\overline{IM}$ 与 $\overline{M2}$ 仅仅同参与混合的两种空气的质量 m_1 和 m_2 成反比。

例 1-4：某空气处理装置，一次回风量为 1800kg/h ，状态为 $t = 22^\circ\text{C}$ ， $\phi = 60\%$ ，新风量为 200kg/h ，状态为 $t = 35^\circ\text{C}$ ， $\phi = 40\%$ ，求蒸发器前（即混合后）的状态参数？

解：首先，在 $h-d$ 图上找出回风状态点 1 和新风状态点 2 并连线（见图 1-10）。

求出参加混合的风量比， $m_1:m_2 = 1800:200 = 9:1$

将线段 12 分成 10 等份，因为新风量 m_2 小于回风量 m_1 ，所以混合点 m 应靠近回风点 1。

根据 $m_1:m_2 = 9:1$ ，按反比关系确定出混合点 n，从 $h-d$ 图上可查出在蒸发器前状态点

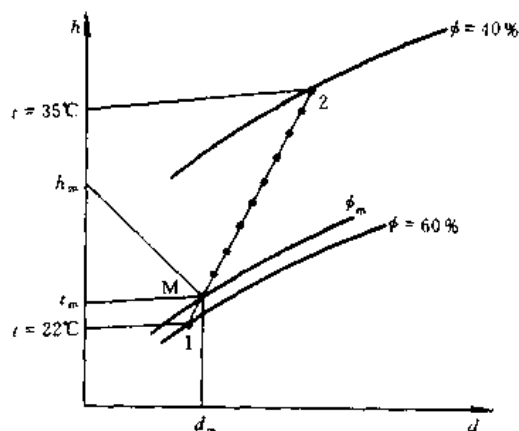


图 1-10 例题图

m 的各状态参数为: $h_m = 50.4 \text{ kJ/kg}$, $d_m = 10.5 \text{ g/kg}$ 干空气, $\phi_m = 58.5\%$, $t_m = 23.2^\circ\text{C}$ 。

第五节 空气调节负荷的估算

一、空调负荷的基本构成

空调的目的是要保持房间内的温度和湿度在一定的范围内。对于建筑物来说,客观上总存在一些干扰因素,使空调房间内的温度和湿度发生变化。空调系统的作用就是要平衡这些干扰因素产生的作用,使房间内的温度和湿度维持在要求的参数范围内。在空调技术中将干扰因素对室内产生的影响称为负荷。

在空调技术中,在某一时刻为保持空调房间内一定的温度条件而向房间内提供的冷量或热量称为空调系统的冷负荷或热负荷;为维持空调房间内的相对湿度所需要除去的湿量称为空调系统的湿负荷。空调系统的作用就是在排除室内热负荷的同时排除室内湿负荷,使室内同时维持要求的温度和湿度。

空调房间内的热湿负荷是由诸多因素构成的,其中热负荷主要由下述因素构成:

- (1) 通过房间的建筑维护结构传入室内的热流量;
- (2) 透过房间的外窗进入室内的太阳辐射的热流量;
- (3) 房间内照明设备的散热量;
- (4) 房间内人体的散热量;
- (5) 房间内电气设备或其他热源的热量;
- (6) 室外空气渗入房间的热流量;
- (7) 伴随各种散湿过程产生的潜热量。

上述因素中,除通过房间建筑维护结构和太阳辐射的热量及室外空气渗入的热流量是室外热源负荷外,其他均为室内热源负荷。

空调房间内的湿负荷是由下述因素构成的:

- (1) 房间内人体的散湿量;
- (2) 房间内各种设备、器具的散湿量;
- (3) 各种潮湿物表面或液体表面的散湿量;
- (4) 各种物料或饮料的散湿量。

空调负荷还可以分为房间负荷和系统负荷两种。发生在空调房间内的负荷称为房间负荷;还有一些发生在空调房间以外的负荷,如新风状态与室内空气状态不同所引起的新风负荷、风管传热造成的负荷等,它们不直接作用于室内,但最终也要由空调系统负担。将以上两种负荷统称为系统负荷。

二、空调负荷的估算

1. 夏季冷负荷的估算

(1) 简单计算法。估算时,以围护结构和室内人员的负荷为基础,把整个建筑物看成一个大空间,按各面朝向计算负荷。室内人员散热量按 116.3 W 计算,最后将各项数量的和乘以新风负荷系数 1.5 即为估算结果。

$$Q = (Q_w + 116.3n) \times 1.5 \quad \text{W}$$

$$Q_w = KA\Delta t \quad W$$

式中 Q ——空调系统的总负荷, W;

Q_w ——围护结构引起的总冷负荷, W;

n ——室内人员数;

K ——围护结构传热系数, $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$, 计算时查询相关手册;

A ——围护结构传热面积, m^2 ;

Δt ——室内外侧空气温差, $^\circ C$ 。

(2) 单位面积估算法。单位面积估算法是一种将空调负荷单位面积上的指标乘以建筑物内的空调面积, 得出制冷系统负荷的估算值。

部分建筑制冷系统负荷的估算指标:

办公楼	95~115	W/m^2
超高层办公楼	105~115	W/m^2
旅馆	95~115	W/m^2
餐厅	290~350	W/m^2
百货商场	210~240	W/m^2
医院	105~130	W/m^2
剧场	230~350	W/m^2

2. 冬季热负荷的估算

可利用单位面积估算法, 将空调负荷单位面积上的指标乘以建筑物内的空调面积, 得出供暖系统负荷的估算值。

部分建筑供暖系统负荷的估算指标:

办公楼、学校	60~80	W/m^2
旅馆	60~70	W/m^2
餐厅	115~140	W/m^2
医院	65~80	W/m^2
剧场	95~115	W/m^2

思考与练习

1. 什么是空调的“四度”? 衡量空调参数的两个指标是什么?
2. 空气的组成成分有哪些?
3. 描述空气状态的物理参数有哪些? 它们的符号及单位是什么?
4. 简述露点温度与机器露点温度的区别?
5. 若房间内空气的温度为 $18^\circ C$, $\Phi = 80\%$, 室外空气温度为 $4^\circ C$, 问关着的窗户上会不会结露? 为什么?
6. 什么是相对湿度? 根据相对湿度的定义解释 $\Phi = 0$ 、 $\Phi = 100\%$ 的物理意义?
7. 干湿球温度计为什么能测量空气的相对湿度? 如何使用?
8. 对 $1000kg$ 的 $t = 20^\circ C$, $\Phi = 50\%$ 的空气加入总热量 $Q = 5000kJ$, 总湿量 $W = 2.5kg$,

在焓—湿图上作出空气的变化过程线。

9. 简述空气的几种处理方法并用焓—湿图表示出来。

10. 一台空调设备送风量为 2400kg/h ，采用 80% 的一次回风，回风状态 $t = 20^\circ\text{C}$ ， $\Phi = 55\%$ ，其余为新风，新风状态 $t = 32^\circ\text{C}$ ， $\Phi = 65\%$ ，求混合后的空气参数？

11. 简述空调负荷的基本构成。

第二章 空气调节系统

第一节 空气调节系统的分类

空气调节系统的任务是对空气进行加热、冷却、加湿、干燥等处理,然后将其输送到各个房间,以保持房间内空气的温度、湿度与洁净度等参数稳定在一定范围内,满足人们生产和生活的需要。

空气调节系统一般由以下几个部分组成:冷热源部分、空气处理部分、空气输送及分配部分、冷热媒输送和自动控制部分等。在工程中由于空调场所的用途、性质、热湿负荷等方面的要求不同,空调系统可分为许多种类。

一、按空气处理设备的情况分类

1. 集中式空调系统

集中式空调系统是指空气处理设备和送、回风机等集中设在空调机房内,通过送、回风管道与被调节的空调场所相连,对空气进行集中处理和分配。集中式空调系统的特点是处理空气量大,有集中的冷源和热源,运行可靠,便于管理和维修,但机房占地面积较大。

2. 半集中式空调系统

半集中式空调系统是指送入空调房间的新风由空调机房集中处理,空调房间内的空气由分散在房间内的装置处理的系统。此种系统适用于空气调节房间较多,且各房间要求单独调节的建筑物。

集中式空调系统和半集中式空调系统通常又被称为中央空调系统。中央空调系统是指在同一建筑物内对空气进行净化、冷却(或加热)、加湿(或去湿)等处理,输送和分配的空调系统。

二、按负担室内热湿负荷所用的工作介质分类

1. 全空气式空调系统

空调房间的室内热湿负荷全部由经过处理的空气来承担的空调系统称为全空气式空调系统。它利用空调装置送出风调节室内空气的温度、湿度。由于空气的比热小,用于吸收室内余热、余湿的空气需求量大,所以这种系统要求的风道截面积大,占用建筑物空间较多。

2. 全水式空调系统

全部由经过处理的水负担室内热湿负荷的系统称为全水式系统。它是利用冷冻机处理后的冷冻水(或锅炉制出热水)送往空调房间的风机盘管中对房间的温度、湿度进行处理的。由于水的比热及密度比空气大,所以全水式系统的体积较全空气式系统小,能够节省建筑物空间,但它不能够解决房间通风换气的问题。

3. 空气—水式系统

由经过处理的空气和水共同负担室内热湿负荷的系统称为空气—水式空调系统。典型装置是风机盘管加新风系统。它既可解决全水式系统无法通风换气的困难,又可克服全空气系统要求风道截面积大、占用建筑空间多的缺点。

4. 制冷剂式系统

直接以制冷剂作为吸收房间空气热湿负荷的介质，这类系统称为制冷剂系统。它利用直接蒸发的制冷剂吸热来达到调节室内温度、湿度的目的。

三、按集中式空调系统处理的空气方式分类

1. 循环式空调系统（又称为全封闭式空调系统）

空调机组所处理的全部是再循环空气（室内回风），不补充新风的系统称为循环式空调系统。此系统能耗小，但由于没有新风补充，所以只适于在无人的环境中使用。

2. 直流式空调系统

空调机组所处理的空气全部为新风的系统称为直流式空调系统。空调处理装置送入房间内的空气进行热湿交换后，全部排到室外。直流式空调系统卫生条件好，但能耗大、经济性差，适用于散发有害气体，不宜使用回风的场所。

3. 一次回风系统

空调机组所处理的是由新风和循环空气（室内回风）混合的气体，此系统称为一次回风系统。它在空调箱内设有新、回风混合室，新风量最小占总风量的 10%。一次回风系统应用较为广泛，被大多数中央空调系统所采用。

4. 二次回风系统

二次回风系统是在一次回风系统的基础上将室内回风分成两部分分别引入空调箱中，一部分回风在新、回风混合室混合，另一部分进入第二混合室与一次混合室出来后经过处理的气体混合。二次回风系统较一次回风系统更为经济、节能。

四、其他分类

1. 按系统风量调节方式分类

此种分类是按照风机风量是否保持一定来划分类型的。如果空调系统的风机送风量一定，则此系统称为定风量系统。它的特点是依靠送风温度的变化来调节房间的温度和湿度。如果空调系统的风机送风量可以改变，此系统称为变风量系统。它的特点是通过改变风量的大小来适应室内负荷的变化，以达到调节室内所需参数的目的。

2. 按风道中风速分类

按风道中风速分类，空调系统可分为低速系统和高速系统。低速系统是指主风道风速在 $10 \sim 15 \text{ m/s}$ 之间，其特点是为保持整体送风量，风道截面积较大，占用建筑面积较多。高速系统是指主风道风速为 $20 \sim 30 \text{ m/s}$ ，其特点是风道截面积小，占用建筑面积较小，但与低速系统相比，高速系统的能耗、噪声都较低速系统大。

第二节 集中式空调系统

集中式空调系统是典型的全空气系统，是工程中最常用的系统之一。它广泛应用于舒适性或工艺性的各类空调工程中，例如会堂、宾馆、商场以及对空气环境有特殊要求（恒温、恒湿、洁净）的工业厂房等。

一、集中式空调系统的特点

集中式空调系统的特点为：

(1) 空气处理设备和制冷设备集中布置在机房内，便于集中管理和集中调节。

- (2) 过渡季节可充分利用室外新风, 减少制冷机运行时间。
- (3) 可以严格控制室内温度、湿度和空气洁净度。
- (4) 对空调系统可以采取有效的防震消声措施。
- (5) 使用寿命长。
- (6) 机房面积大, 层高较高, 风管布置复杂, 占用建筑空间较多, 安装工作量大, 施工周期较长。
- (7) 对于房间热湿负荷变化不一致或运行时间不一致的建筑物, 系统运行不经济。
- (8) 风管系统各支路和风口的风量不易平衡, 各房间由风管连接, 不易防火。

二、集中式空调系统的组成

1. 空气处理设备

它包括空气过滤器、预热器、喷水室、再热器等, 是对空气进行过滤和各种热湿处理的主要设备。它的作用是使室内空气达到预定的温度、湿度和洁净度。

2. 空气输送设备

它包括送风机、回风机、风道系统, 以及装在风道上的风道调节阀、防火阀、消声器、风机减振器等配件。它的作用是将经过处理的空气按照预定要求输送到各个空调房间, 并从房间内抽回或排出一定量的室内空气。

3. 空气分配装置

它包括设在空调房间内的各种送风口(例如百叶风口、散流口)和回风口。它的作用是合理地组织室内气流, 以保证工作区(通常指离地 2m 以下的空间)内有均匀的温度、湿度、气流速度和洁净度。

除了上述三个主要部分外, 还有为空气处理服务的热源(例如锅炉或热交换站)和热媒管道系统, 冷源(空调用制冷装置)和冷媒管道系统, 以及自动控制和自动检测系统等。

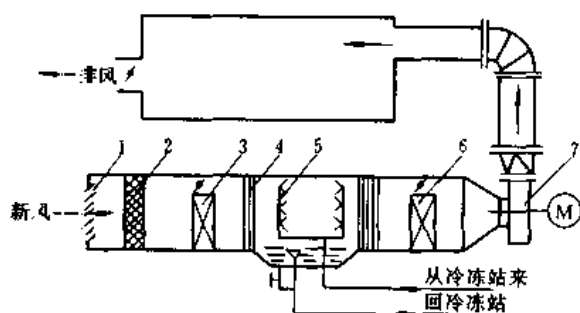


图 2-1 直流式空调系统流程图

- 1—百叶栅; 2—空气过滤器; 3—预热器; 4—前挡水板;
5—喷水排管及喷嘴; 6—再热器; 7—风机

工程上常见的集中式空调系统有三种: 直流式空调系统、一次回风式空调系统、二次回风式空调系统。

三、直流式空调系统

直流式空调系统全部使用室外新风, 空气从百叶栅进入, 经处理后达到送风状态, 送入房间。其结构见图 2-1。

1. 直流式空调系统的夏季处理过程

室外空气状态为 $W_x (h_{Wx}, d_{Wx})$ 的新风经空气过滤器过滤后进入喷水室冷却去湿达到机器露点状态 $L_x (h_{Lx}, d_{Lx})$ (习惯上称相对湿度为 90%~95% 的空气状态为“机器露点”状态), 然后经过再热器加热至所需的送风状态点 $O_x (h_{Ox}, d_{Ox})$ 送入室内, 在空调房间吸热吸湿后达到状态 $N_x (h_{Nx}, d_{Nx})$, 然后全部排出室外。整个处理过程可以写为:

$$W_x \xrightarrow[\text{除湿}]{\text{降温}} L_x \xrightarrow{\text{加热}} O_x \xrightarrow{\epsilon} N_x \longrightarrow \text{排出室外}$$

上述处理过程在 $h-d$ 图上的表示见图 2-2 (a)。

2. 直流式空调系统的冬季处理过程

冬季室外空气一般是温度低，含湿量小，要把这样的空气处理到送风状态必须进行加热和加湿处理。室外空气状态为 W_x 的新风经空气过滤器过滤后由预热器等湿加热到 W'_d (W'_d 应当位于送风状态点 O_d 机器露点 L_x 的等焓线上)，然后进入喷水室绝热加湿处理到 L_d 点，再从 L_d 点经再热器加热至所需的送风状态点 O_d 送入室内，在空调房间放热达到状态点 N_d 后被排出室外。整个处理过程可以写为：

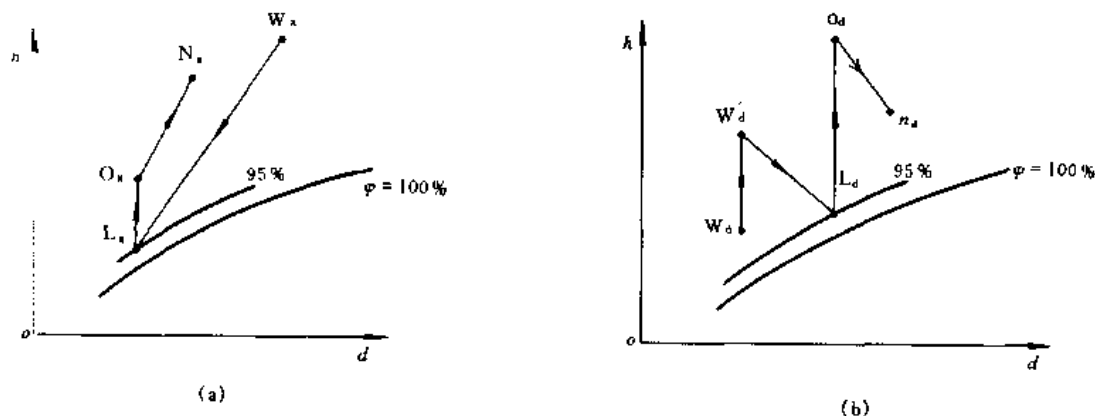


图 2-2 直流式空调系统空气处理过程

(a) 夏季处理过程；(b) 冬季处理过程

$$W_d \xrightarrow[\text{升温}]{\text{等湿}} W'_d \xrightarrow[\text{加湿}]{\text{绝热}} L_d \xrightarrow[\text{加热}]{\text{等湿}} O_d \xrightarrow{e} N_d \longrightarrow \text{排出室外}$$

上述处理过程在 $h-d$ 图上的表示见图 2-2 (b)。

直流式空调系统的房间内空气能够得到百分之百的交换，但此系统能量损失较大，运行不够经济，一般只有特殊的有毒车间、放射性实验室等场合应用。

四、一次回风式空调系统

工程上常见的采用一定量回风的空调系统有两种：一种是在喷水室或表面式冷却器前同新风进行混合的空调房间回风叫第一次回风，具有第一次回风的空调系统称为一次回风式空调系统；另一种是与经过喷水室或表面式冷却器处理之后的空气进行混合的空调房间回风叫第二次回风，具有第一次、第二次回风的空调系统称为二次回风式空调系统。

一次回风式空调系统是空调工程中使用较多的一种系统，其结构见图2-3。

1. 一次回风系统的夏季处理过程

室外空气状态为 W_x (h_{W_x} , d_{W_x}) 的新风与来自空调房间状态为 N_x (h_{N_x} , d_{N_x}) 的回风混合后进入喷水室冷却去湿达到机器露点状态 L_x (h_{L_x} , d_{L_x})，然后经过再热器加热至所需的送风状态 O_x (h_{O_x} , d_{O_x}) 送入室内吸热、吸湿，当达到状态 N_x (h_{N_x} , d_{N_x}) 后部分排出室外，部

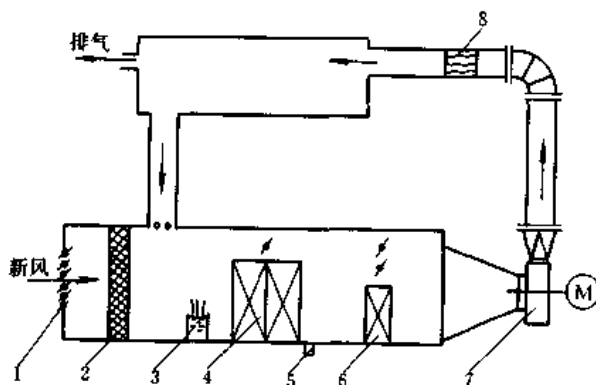
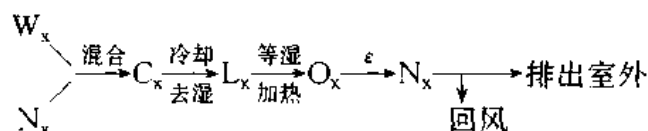


图 2-3 一次回风式空调系统流程图

1—新风入口；2—空气过滤器；3—电极式预热器；4—表面式冷却器；5—排水口；6—再加热器；7—风机；8—精加热器

分进入空气处理系统与室外新鲜空气混合，如此循环。整个处理过程可以写为：



上述处理过程在 $h-d$ 图上的表示见图 2-4 (a)。

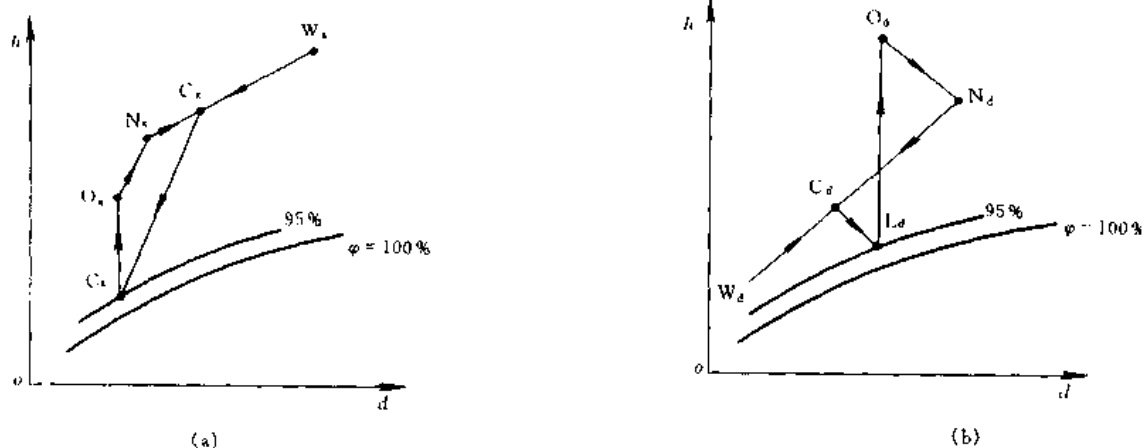


图 2-4 一次回风空调系统空气处理过程

(a) 夏季处理过程；(b) 冬季处理过程

一次回风式系统在喷水室内处理空气所需的冷量 Q_0 为：

$$Q_0 = G(h_{Cx} - h_{Lx})$$

式中 Q_0 ——处理室所需冷量，kW；

G ——系统送风量，kg/s；

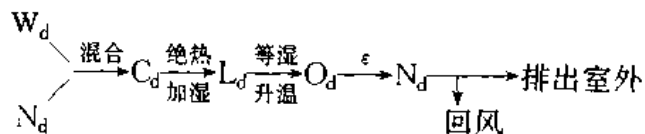
h_{Cx} ——混合后空气的焓，kJ/kg；

h_{Lx} ——喷水室后空气状态的焓，kJ/kg。

2. 一次回风系统的冬季处理过程

从节能角度看，冬季送风量应小于夏季，但目前工程上采用的大多数空调系统，冬、夏季使用同一风机送风，也就是说冬、夏季的风量是相等的。空调系统的送风机是按满足夏季所需送风量确定的。

冬季室外空气状态为 W_d (h_{Wd} , d_{Wd}) 的新风与室内空气状态为 N_d (h_{Nd} , d_{Nd}) 的回风混合至状态 C_d (h_{Cd} , d_{Cd})，进入喷水室绝热加湿（喷循环水）到状态点 L_d (h_{Ld} , d_{Ld})，再经再热器加热至送风状态 O_d (h_{Od} , d_{Od}) 送入室内。在室内放热湿达到室内设计的空气状态点 N_d (h_{Nd} , d_{Nd}) 后，一部分被排出室外，另一部分进入空气处理系统与室外新风混合，如此循环。整个处理过程可以写为：



上述空气处理过程在 $h-d$ 图上的表示见图 2-4(b)，一次回风系统冬季所需的加热量为：

$$Q_1 = G(h_{Od} - h_{Ld})$$

式中 Q_1 ——一次回风冬季系统所需热量, kW;

G ——冬季送风量, kg/s;

h_{Cd} ——冬季送风状态的焓, kJ/kg;

h_{Ld} ——冬季处理过程中机器露点的焓, kJ/kg。

在我国长江以南地区, 冬季室外空气温度和湿度较高, 如果按夏季规定的最小新风量来确定混合状态点 C_d , 则 C_d 的焓值可能高于 L_d 的焓值, 这时可用改变新风和回风混合比加大新风量的方法进行调节, 使 $h_{Cd} = h_{Ld}$ 。如在严寒地区, 应将室外空气用预热器加热后再与回风混合, 加热后的新风温度应不低于 5°C , 否则就可能出现混合后的空气达到饱和, 产生水雾或凝露现象。

五、二次回风式空调系统

在分析一次回风系统的夏季处理过程时, 我们可以看到这样一种情况: 一方面将状态为 C_x 的混合空气冷却降温至机器露点状态 L_x ; 另一方面又要用再热器将 L_x 状态的空气升温至送风状态 O_x , 方能送入空调房间。这种先冷却再加热的处理方法, 造成了能量浪费, 既不经济也不合理, 特别是在夏季, 还要为系统供蒸汽或用电加热器加热。下面要介绍的二次回风系统, 采用喷水室后的第二次回风代替再热器, 克服了一次回风系统的缺点, 节约冷量和热量, 其基本构成如图 2-5 所示。

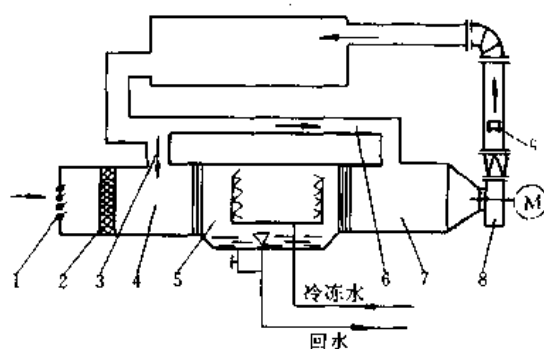


图 2-5 二次回风式空调系统流程图

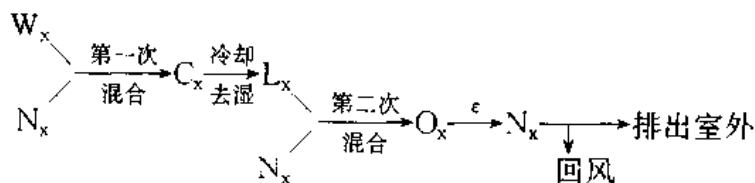
1—新风口; 2—过滤器; 3—一次回风管;

4—一次混合室; 5—喷雾室; 6—二次回风管;

7—二次混合室; 8—风机; 9—电加热器

1. 二次回风系统的夏季空气处理过程为

夏季室外空气状态为 $W_x (h_{Wx}, d_{Wx})$ 的新风与室内空气状态为 $N_x (h_{Nx}, d_{Nx})$ 的第一次回风混合至状态 $C_x (h_{Cx}, d_{Cx})$, 进入喷水室冷却除湿后到机器露点状态 $L_x (h_{Lx}, d_{Lx})$, 然后再与状态为 $N_x (h_{Nx}, d_{Nx})$ 的第二次回风混合至送风状态 $O_x (h_{Ox}, d_{Ox})$ 送入空调房间吸热吸湿, 当达到状态 $N_x (h_{Nx}, d_{Nx})$ 后部分排出室外, 部分进入空气处理系统进行混合, 如此循环。整个处理过程可以写为:



上述处理过程在 $h-d$ 图上如图 2-6 所示。

二次回风式系统在喷水室内处理空气所需的冷量 Q_0 为:

$$Q_0 = G_1(h_{Cx} - h_{Lx})$$

式中 Q_0 ——处理室所需冷量, kW;

G_1 ——新风与第一次回风的总风量, kg/s;

h_{Cx} ——混合后空气的焓, kJ/kg;

h_{Lx} ——喷水室后空气的焓, kJ/kg。

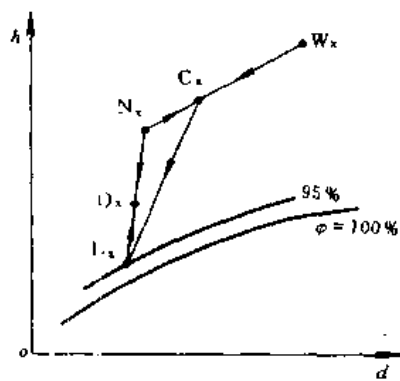


图 2-6 二次回风空调系统
夏季空气处理过程

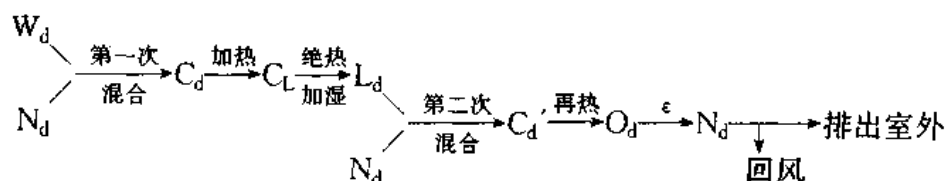
比较二次回风系统与一次回风系统后可以看出：

第一，二次回风系统通过喷水室的风量 G_1 小于一次回风系统的总送风量 G ，这说明二次回风系统不仅节省了再热器的加热量，也节省了一部分冷量，喷水室的尺寸也可缩小。

第二，由于二次回风系统的机器露点温度 t_{Lx} 低于一次回风系统的机器露点温度，而且第一次混合状态点 C_x 的焓值要比一次回风系统的 h_{Cx} 大一些，所以二次回风系统的冷冻机制冷效率将会有所降低，也使天然冷源的使用受到限制。

2. 二次回风系统的冬季处理过程

如前所述，对一般系统而言，冬季送风量与夏季相同。在冬季较寒冷的地区，室外新风与回风按最小新风比混合后，其焓值仍低于送风所需的机器露点的焓值，此时就要用预热器加热第一次混合后的空气，使其焓值等于 h_{Ld} ，再送至喷水室绝热加湿，最后与第二次回风混合再加热至送风状态 O_d 送入空调房间。整个处理过程可以写为：



上述过程可在 $h-d$ 图上如图 2-7 (a) 所示。

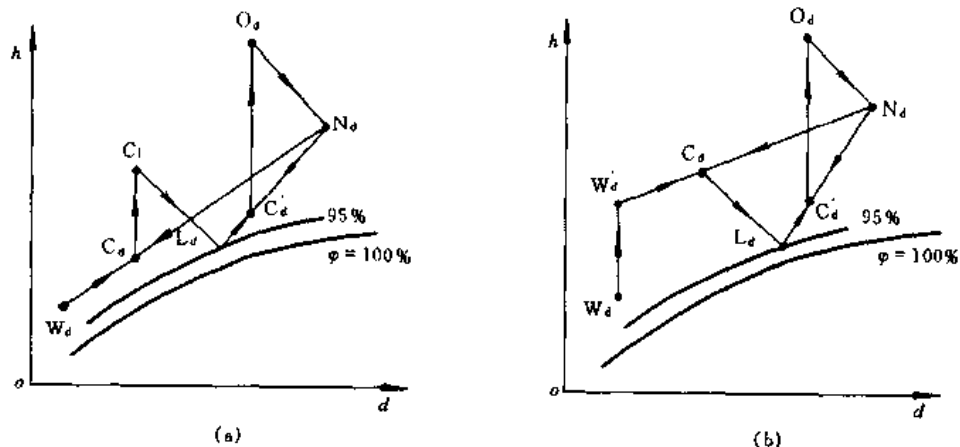


图 2-7 二次回风空调系统冬季空气处理过程
(a) 冬季空气处理过程；(b) 严寒空气处理过程

预热器的加热量 Q_1 为：

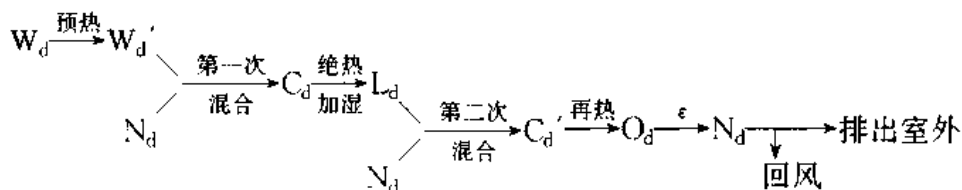
$$Q_1 = G_1(h_{Ld} - h_{Cd})$$

再热器的加热量 Q_2 为：

$$Q_2 = G(h_{Od} - h_{Cd'})$$

如果在严寒地区，就需要采用先加热新风再与第一次回风混合的系统。这种方法的送风

状态 O_d 、机器露点状态 L_d 与上面相同，不同之处在于预热器的位置和它的加热量。被预热后的新风 W'_d 与第一次回风混合后的焓值 h_{Cd} 应等于机器露点状态的焓值 h_{Ld} 。这种方案的空气处理过程如图 2-7 (b) 所示，可以写为：



预热器的加热量 Q_1 为：

$$Q_1 = G_W(h_{Wd'} - h_{Wd})$$

再热器的加热量 Q_2 为：

$$Q_2 = G(h_{Od} - h_{Cd'})$$

式中 G_W ——新风风量， kg/s 。

3. 关于一次回风系统和二次回风系统的选择

从夏季工况来看，二次回风系统比一次回风系统节省能量，尤其可以不用热源。但是二次回风系统机器露点温度较低，影响它在某些场合的应用。二次回风系统在空气处理设备构造和运行调节方面较一次回风系统复杂一些。对于夏季只作降温用的空调系统，如果对送风温差没有限制，即不必采用再热器或二次风来保证送风温差，这时采用一次回风系统就更合理。

第三节 风机盘管空调系统

风机盘管空调系统是将由风机和盘管组成的机组直接放在空调房间内，工作时盘管内根据需要流动热水或冷水，风机把室内空气吸进机组，经过过滤后再经盘管冷却或加热后送回室内，如此循环以达到调节室内温湿度的目的。房间所需的新鲜空气通常是将室外空气经新风处理机组集中处理后由管道送入室内。由于风机盘管所用的冷媒、热媒也是集中供应，所以风机盘管空调系统是半集中式空调系统。在这种系统中，冷量（或热量）分别由空气和水带入空调房间，所以它属于空气—水系统。

风机盘管空调系统广泛应用于旅馆、公寓、医院和办公室等高级多层的建筑中。对于需要增设空调的小面积、多房间的旧建筑来说，采用这种空调方式也是比较合适的，因为它占地面积小，易于安装施工。

一、风机盘管空调系统的特点

风机盘管空调系统的特点为：

(1) 与集中式空调系统相比，仅需要新风空调机房，机房占地面积小，层高也较低。风机盘管布置在空调房间内占据空间有限。

(2) 仅需新风系统，风管截面积较小，容易布置。

(3) 盘管既可通冷水，又可通热水，冬夏季兼用，但盘管易结垢，影响传热效果。

(4) 运行灵活，可自行调节各房间负荷，节能效果好，但不能实现全年多工况节能运行调节。

(5) 易于安装，施工时间较短，使用寿命长。

(6) 风机盘管分散布置，风管、水管、凝结水管等管线布置较复杂，水系统易漏水，维护管理较繁琐。

(7) 难于满足温度、湿度、清洁度的严格要求。

(8) 风机盘管都采用低噪声风机。

二、风机盘管的构造、类型

机组主要由风机、电动机、盘管、空气过滤器、凝水盘和箱体组成，还配有室温自动调节装置，其构造见图 2-8

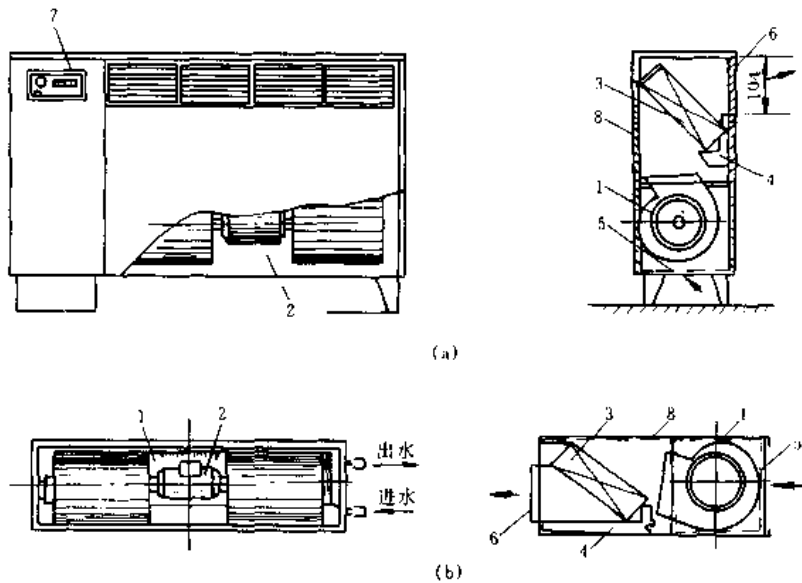


图 2-8 风机盘管构造图

(a) 立式风机盘管；(b) 卧式风机盘管

1—盘管；2—出风格栅；3—凝水盘；4—风机；5—箱体；

6—空气过滤器；7—电动机；8—控制器

机组箱体由钢骨架和薄钢板制成，其出风格栅做成固定式或可调式。围护面板可以拆卸，便于检修内部设备。明装机组箱体表面喷有彩漆，与建筑装饰相协调，可兼作室内陈设。出风口位置有上出风和前出风两种。

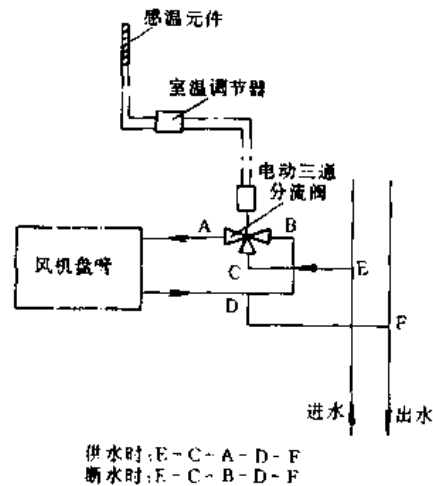


图 2-9 风机盘管室温自动调节装置

风机的型式为双进风离心式通风机，叶轮用铝板模压成型，噪声低，并由可调速的低噪声电动机驱动。它有高、中、低三档转速，可以改变风机风量。

盘管一般采用翅片式热交换器，铜管套铝片，管片结合紧密，传热性好，在其下方为收集凝结水设有凝水盘。

空气过滤器通常设在机组下部或侧部，用来过滤回风中的尘埃，其滤料一般采用粗孔泡沫塑料，过滤器作成抽屉式便于进行调换和清洗。

风机盘管机组的室温自动调节装置（如图 2-9 所示）是由感温元件、室温双位调节器和小型电动三通分流阀

门构成的。在感温元件作用下，通过调节器来控制水量阀，向机组断续供水而达到调节室温的目的。

风机盘管有立式明装和卧式暗装两个类型。风机盘管的选型及布置与空调房间的使用性质、建筑形式有关。对于宾馆客房，一般布置在进门的过道顶棚内，采用卧式暗装机组（如图 2-10 所示）。这种布置形式美观，不占用房间有效面积，噪声小。从室内气流组织和温度分布均匀的角度来看，这种方式特别适合于夏季使用。对于办公室、医院病房等顶棚无安装位置的房间，一般采用明装立式机组，将其布置在外墙窗下（如图 2-11 所示）。立式机组多用于空间较大的房间，冬季和夏季室内温度均匀性较好，特别适用于冬季送风。立式机组易于安装，维修方便，但需占用房间的有效使用面积。

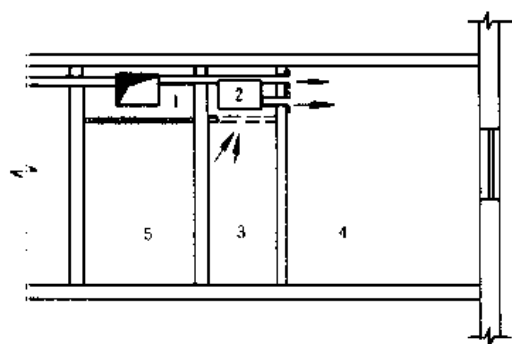


图 2-10 卧式风机盘管机组
与独立新风系统

1—新风管；2—风机盘管机组；
3—过道；4—房间；5—走廊

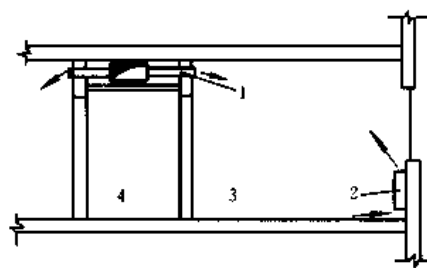


图 2-11 立式风机盘管和
独立新风系统

1—新风口；2—风机盘管机组；
3—房间；4—走廊

近年来，国内开始生产和使用吊顶式暗装机组。这种机组的主要优点是不占房间的使用面积，安装、检修、保养简单。但在冬季使用这种机组时，会使室内温度梯度大，一般不适用于以冬季采暖为主的场所。

三、风机盘管机组空调系统的新风供给方式

（1）室外空气靠房间的门窗等缝隙自然渗入和浴厕机械排风补给新风。这时机组处理的空气是室内循环空气。这种方案初投资和运行费都较低，但新风供给难以保证，故室内卫生条件较差。此外，无组织渗漏的新风使室内温湿度分布难以均匀，因此这种方式只适合旧建筑增设风机盘管空调系统且布置新风管有困难时使用。

（2）在房间外墙打洞引新风直接进入风机盘管机组。新风口做成可调节的型式，冬、夏按最小新风量运行，过渡季节尽量多采用新风。这种方式虽然新风能得到较好的保证，但室内温湿度受外界气候条件影响很大，室外噪声也会从新风口直接进入室内，另外也影响建筑物的外观。

（3）由独立的新风系统供给新风。经集中处理过的新风通过送风管路送入各空调房间。送风管的送风口可以从房间上部直接送入新风，也可以和风机盘管送风口并列共用一个百叶栅送风，还可以把新风送入风机盘管的回风箱经过与盘管热交换后送入房间。对于卫生条件较严格的空调建筑，采用单独的新风系统非常合适。我国近年来新建的宾馆大都采用这种方式向空调房间供应新风。这种新风供应方式可随室外空气状态的变化进行调节，以保证室内空气状态参数的稳定，另外，房间的新风量全年都可以得到保证。目前风机盘管空调系统的

新风供给多采用这种方式。

四、风机盘管机组的供水系统

1. 双水管系统（如图 2-12 所示）

具有供、回水管各一根的风机盘管水系统称为双水管系统。这种系统冬季供热水，夏季供冷水。其优点是系统简单、投资省。缺点是在过渡季节时，有些房间要求供冷而有些房间要求供热就不能全部满足要求。对这种情况往往采取将整个建筑物按朝向分几个区的方法，不同区域通过各自的区域热交换站控制供水温度并进行调节，来满足不同房间对温度的要求。

2. 三水管系统（如图 2-13 所示）

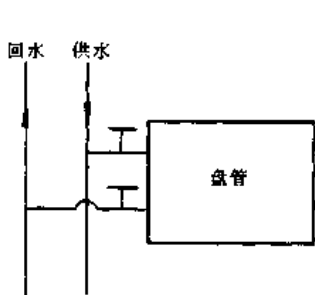


图 2-12 双水管系统

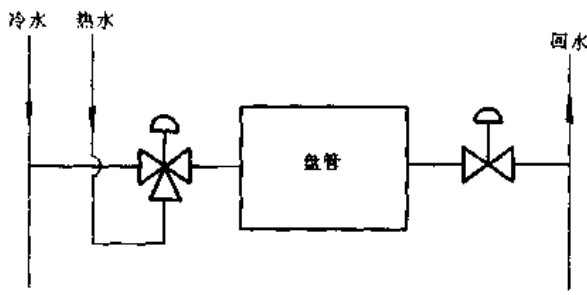


图 2-13 三水管系统

具有一根供冷水管、一根供热水管和一根公共回水管的风机盘管水系统称为三水管系统。三水管系统的每个风机盘管在全年内都可使用热水或冷水。而热水或冷水的接通是由温度调节器自动控制每一个机组上的水阀转换实现的。这种系统的最大缺点是回水管中可能出现冷、热水混合现象，造成冷量和热量的损失，故实际工程中很少采用这种形式。

3. 四水管系统

四水管系统有两种形式：一种是在三水管的基础上加一根回水管，如图 2-14 (a) 所示；另一种是把风机盘管分为冷却、加热两部分，使它们的供、回水系统完全独立，如图 2-14 (b) 所示。由于此种形式冷、热水的供给和回水完全分开，使其既能对房间温度实现灵活调节，又克服了三水管系统冷热量损失的问题。它的缺点是一次投资大、管道占用建筑空间较多。

在选择风机盘管空调的水管系统时，需对以上三种系统作全面综合比较。目前，在我国宾馆空调工程中多采用双水管系统供水。对舒适性要求很高的建筑物，在有可靠的自控元件

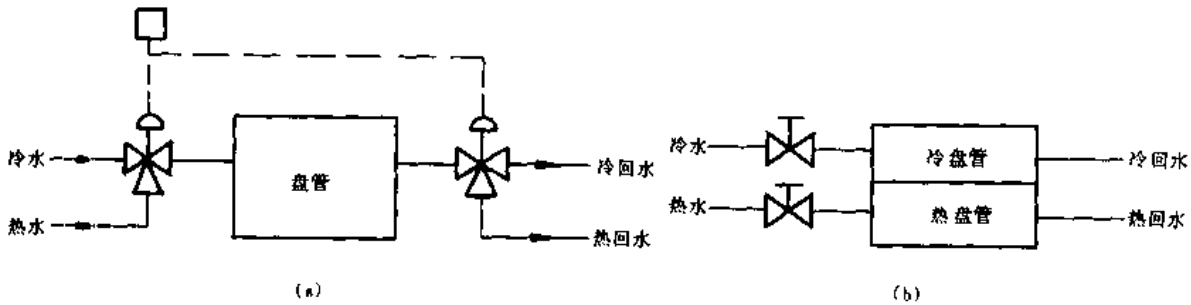


图 2-14 四水管系统和盘管的连接方式

(a) 单一盘管；(b) 冷热分开盘管

的前题下，也可采用四水管系统供水。

思考与练习

1. 集中式空调系统有何特点？
2. 中央空调的概念是什么？
3. 按负担室内热湿负荷所用的工作介质分类，空调系统可分哪几类？各类有何特点？
4. 一次回风系统的特点是什么？
5. 集中式空调系统三大组成部分各自的作用是什么？
6. 简述一次回风空调系统夏季和冬季处理空气的过程。
7. 简述二次回风空调系统夏季处理空气的过程。
8. 简述风机盘管空调系统的特点。
9. 简述风机盘管空调系统的新风供给方式的特点。
10. 简述风机盘管空调系统三种供水方式的特点。

第三章 空调的热湿处理设备

中央空调的任务,就是要在任何气候条件下,将空调区域内空气的温度、湿度、压力、气流速度和洁净程度及噪声等参数保持在一定范围内,以满足人们生产和生活中对空气参数的要求。

在中央空调系统运行中要实现对空气的处理,保证空调区域内空气的温度和湿度,就必须具备对空气进行处理的冷源和热源。

第一节 空气调节的冷源与热源

一、空调系统的冷源

空调系统的冷源,就是向空气处理装置提供冷量的装置。要提供冷量,就必须制冷,而所谓制冷就是使某一空间或物体的温度降到低于周围环境温度,并维持其低温状态。要实现制冷,就必须有冷源。冷源有两类,一类是天然冷源,如冰或深井水;另一类是人工冷源,即利用机械设备,从低于环境温度的某一空间或物体中吸取热量,并将其转移给环境介质。以消耗能量为代价,实现热量按人的需要进行转移的目标。

人工冷源的制冷设备主要有两大类,即蒸气压缩式和溴化锂吸收式。蒸气压缩式中又可分为活塞式、螺杆式和离心式三种。溴化锂吸收式又可分为蒸汽型、热水型和直燃型三种。溴化锂吸收式制冷装置又可分为单效和双效两种型式。

中央空调常用的几种人工冷源装置的优缺点见表 3-1。

表 3-1 常用冷源设备的优缺点

项目	压 缩 式			溴化锂吸收式	
	活 塞 式	离 心 式	螺 杆 式	单效或双效	
动力来源	以电能为动力			以热能为动力	
				蒸汽型或热水型	直燃型
制冷剂	R_{12} 、 R_{22}	R_{11} (高温)、 R_{12} 、 R_{22} 和替代工质 R_{123} 、 R_{134a}	R_{22} 、 R_{12}	水	
主要优点	(1) 在空凋制冷范围内(一般压缩比为 4 左右),其容积效率仍比较高 (2) 系统装置较简单 (3) 用材为普通金属材料,加工容易,造价低 (4) 采用多机头、高速多缸、短行程、大缸径后容量有所增大,性能得到改善	1. COP 高。对 R_{11} , 7~12℃ 冷水,冷却水进口温度为 32℃ 时,可达 5.67。改善热交换器的传热性能,增加中间冷却器后,理论 COP 可达 6.99。用替代工质则略低 2. 叶轮转速高、压缩机输气量大,单机容量大,结构紧凑,重量轻,相同容量下比活塞式轻 80% 以上。占地面积小	1. 与活塞式相比,结构简单,运动部件少,无往复运动的惯性力,转速高,运转平稳,振动小。中小型密闭式机组的噪声较低,机组重量轻 2. 单机制冷量较大,由于缸内无余隙容积和吸、排气阀片,因此具有较高的容积效率。单级活塞式压缩比通常不大于 10,且容积效率随压缩比的增加急剧下降。而螺杆式容积效率高,压缩比可达 20,且容积效率的变化不大。COP 高。多级压缩可用于冰蓄冷	1. 加工简单、操作方便,制冷量调节范围大,可实现无级调节 2. 运动部件少,噪声低、振动小。溴化锂溶液无毒,对臭氧层无破坏作用 3. 热水型蒸汽型对能源要求不高,可利用余热、废热及其他低品位热能	

续表

项目	压 缩 式			溴化锂吸收式
	活 塞 式	离 心 式	螺 杆 式	单效或双效
动力来源	以电力为动力			以热能为动力
				蒸汽型或热水型 直燃型
制冷剂	R_{12} 、 R_{22}	R_{11} (高温)、 R_{12} 、 R_{22} 和替代工质 R_{123} 、 R_{134a}	R_{22} 、 R_{12}	水
主要优点	(5) 模块式冷水机组系活塞式的改良型, 采用了高效板式换热器, 机组体积小, 重量轻, 噪声低, 占地少。采用标准化生产的模块片, 可组合成多种容量, 调节性能好, 部分负荷时的 COP 保持不变 (COP 约为 3.6)。其自动化程度比较高, 电脑控制单元模块的开、停, 制冷剂为 R_{22}, 对环境的危害程度小。安装简便。模块式单机容量可达 1040kW	3. 叶轮作旋转运动, 运转平稳, 振动小, 噪声较低。制冷剂中不混有润滑油, 蒸发器和冷凝器的传热性能好 4. 调节方便, 在 15%~100% 的范围内能较经济地实现无级调节; 当采用多级压缩时, 可提高效率 10%~20% 和改善低负荷时的喘振现象 5. 无气阀、填料、活塞环等易损件, 工作比较可靠	3. 螺杆式易损件少, 零部件仅为活塞式的十分之一, 运行可靠, 易于维修 4. 对湿冲程不敏感, 允许少量液滴入缸, 无液击危险 5. 调节方便, 制冷量可通过滑阀进行无级调节 6. 制冷剂为 R_{22} 的制冷机产品, 危害臭氧层的程度低, 温室效应小	4. 直燃型吸收式制冷机由于与锅炉结合为一体, 减少了许多中间环节, 热效率提高。直燃型制冷机与单效蒸汽型和热水型比较, 燃料消耗减少 40%。机组可直接供冷和供热, 一次投资、占地面积以及运行费用都较少。安全性比锅炉高, 没有锅炉要求严格。直燃型在部分负荷下运行时, 相对应的热效率不会下降。其调节性能比电动式优越 5. 吸收式制冷的成本低, 运行费用少。机房面积小, 且能安装在户外 6. 制冷主机用电量较少, 约为同等制冷量压缩式制冷主机用电量的 1/20。因此适用于电力紧缺的地区
主要缺点	(1) 往复运动的惯性力大, 转速不能太高, 振动较大 (2) 单机容量不宜过大 (3) 单位制冷量重量指标较大 (4) 当单机头机组不变转速时, 只能通过改变工作气缸数来实现跳跃式的分级调节, 部分负荷下的调节特性较差 (5) 模块式机组的主要缺点是由于制冷单元的水系统即蒸发器与冷凝器的进、出水没有相应的隔断措施, 不适用于变流量运行 (冷媒变流量可节约输送能的 25%~30%)。水管直径均为 $\phi 165\text{mm} \times 5.5\text{mm}$, 如果采用 13 片流速, 就将达到 4m/s 以上, 因此片数不宜超过 8 片。模块式的 COP 只能达 3.60 左右, 且价格昂贵	(1) 由于转速高, 对材料强度、加工精度和制造质量要求严格 (2) R_{11} 高温制冷剂在运行过程中, 低压侧在负压状态下工作, 容易漏入空气影响效率 (3) 当运行工况偏离设计工况时效率下降较快, 制冷量随蒸发温度降低而减少, 而减少的幅度比活塞式快。制冷量随转速降低而急剧下降 (4) 单级压缩机在低负荷下, 容易发生喘振 (5) R_{11}、R_{12} 等制冷剂对臭氧层的破坏作用大, 且目前以 R_{22}、R_{123} 和 R_{134a} 为工质的产品有待改进 (6) 小型离心式的总效率低于活塞式	(1) 单机容量比离心式小 (2) 转速比离心式低。润滑油系统比较庞大和复杂, 耗油量较大。噪声比离心式高 (指大容量) (3) 要求加工精度和装配精度高 (4) 部分负荷下的调节性能较差, 特别是在 60% 以下负荷运行时, 性能系数 COP 急剧下降, 只宜在 60%~100% 负荷范围内运行 (指目前国内机组)	(1) 使用寿命比压缩式短 (2) 耗汽量大, 热效率低。热力系数单效为 0.6 左右, 双效为 1.4 左右。直燃式可达 1.6 左右。如果专门修建锅炉, 或扩容以提供制冷机的低位能蒸汽 (甚至降压使用), 有时一次投资、运行费用虽然比较合算, 但是按热力学有效能理论, 从能源的利用角度出发是不合理的, 因为燃料燃烧所产生的是高温位能量, 如果把高温位的蒸汽热能先经过汽轮机进行热电转换, 变成高级能——电能, 把剩余的低温位热能再提供吸收式制冷机利用, 即按质供应较为合理
使用范围	(1) 单机容量 < 580kW (2) 有足够的电源	(1) 单机容量 > 580kW (2) 有足够的电源	(1) 单机容量 ≤ 1160kW (2) 有足够的电源	(1) 单机容量在 170~3490kW 之间 (2) 有余热、废热、蒸汽或燃油、燃气可利用的场合 (用电极少)

衡量各种冷源的优劣还有一个很重要的参数——性能系数。在制冷技术中性能系数一般用COP表示, (Coefficient of Performance)。它是冷源装置的一个重要的技术经济指标。COP数值越大, 说明冷源装置的技术经济指标越好。

各种冷源装置的性能系数COP见表3-2。

表 3 2 各种冷源装置的 COP 比较表

类 型		名 称	容 量 (kW)	动力消耗 [kW/kW 或 kg/ (kW·h)]	COP	
					二次能	一次能
电 动 式	供冷用	活塞式	69.8~139.5	0.315	3.2	1.12
		螺杆式	348.9~1744.2	0.307	3.3	1.16
		离心式	697.7~1744.2	0.281	3.6	1.26
	热泵	离心式(热回收)	697.7~1744.2	0.287/0.247	3.5/5.1	1.2/1.8
		空气+活塞式	69.8~139.5	0.353/0.333	2.84/4.0	1.0/1.4
		热泵+螺杆式	348.9~3489	0.301/0.533	3.33/3.1	1.2/1.1
吸 收 式	单效	348.9~3489	2.35kg/ (kW·h)	0.58	0.50	
	双效	348.9~3489	1.38kg/ (kW·h)	1.30	1.11	
	燃气直燃冷热水制冷机	348.9~3489	0.18m ³ / (kW·h)	0.97	0.83	

- 注 1. 冷水温度: 电动式为7~12℃, 吸收式为8~13℃, 冷却水入口均为32℃, 热泵热水温度为40~45℃。
 2. 热泵动力消耗栏和COP栏中数据分子表示供冷时的数据, 分母表示供暖时的数据。
 3. 表中COP值均为满载条件下的数据。
 4. 所谓一次能是指石化燃料(重油、煤油、天然气等)消耗量换算的能。考虑电厂效率为0.39, 输配电效率为0.9, 总效率为0.351。即1kW·h的电能在发电厂消耗的燃料的热量为: $860 \times 4.1868 / 0.351 = 10258$ kJ/(kW·h)。所谓二次能, 对电力来说, 就是电功率1kW·h的电按按发热量为3600kJ计的能。
 5. 该表数据摘自日本井上宇市《空气调节手册》。

二、空调系统的热源

中央空调系统的热源, 又可以称为中央采暖系统。一般中央空调系统的热源有以下几种方式:

- (一) 局部采暖热源: 每套住房内均设有一个热源。
- (二) 集中采暖热源: 建筑物内所有房间共用一个热源。其热源设备有锅炉、热风炉、热泵、太阳能等。
- (三) 集中供热的热源: 由一个供热中心向建筑群区域供热, 又可称为热力网供热系统, 其供热的热源通常为热电厂或大型锅炉房。

按采暖系统中使用的热媒不同, 中央采暖系统又可分为热水采暖系统、蒸汽采暖系统、热风采暖系统及热泵采暖系统、太阳能采暖系统、核能采暖系统等。

在中央空调的热源中, 由于各类型的建筑物不同, 因此, 在选择热源时, 应根据本身的特点, 选择不同的热媒, 以求达到最佳的采暖和经济效益。表3-3所示为不同建筑物采暖时宜采用的热媒推荐表, 可供使用时参考。

表 3-3

采暖系统热媒的选择范围

建筑类型		适宜采用热媒	允许采用热媒
民用及公共建筑等	居住建筑、医院、幼儿园、托儿所等	不超过 95℃ 的热水	(1) 低压蒸汽; (2) 不超过 110℃ 的热水
	办公楼、学校、展览馆等	(1) 不超过 95℃ 的热水; (2) 低压蒸汽	不超过 110℃ 的热水
	车站、食堂、商业建筑等	(1) 不超过 110℃ 的热水; (2) 低压蒸汽	高压蒸汽
	一般俱乐部、影剧院等	(1) 不超过 110℃ 的热水; (2) 低压蒸汽	不超过 130℃ 的热水
工业建筑	不散发粉尘或散发非燃烧性和非爆炸性粉尘的生产车间	(1) 低压或高压蒸汽; (2) 不超过 110℃ 的热水; (3) 热风	不超过 130℃ 的热水
	散发非燃烧性和非爆炸性有机无毒升华粉尘的生产车间	(1) 低压蒸汽; (2) 不超过 110℃ 的热水; (3) 热风	不超过 130℃ 的热水
	散发非燃烧性和非爆炸性的易升华有毒粉尘、气体及蒸汽的生产车间	与卫生部门协商确定	
	散发燃烧性或爆炸性有毒气体、蒸汽及粉尘的生产车间	根据各部委和主管部门的专门指标确定	
	任何体积的辅助建筑	(1) 不超过 110℃ 的热水; (2) 低压蒸汽	高压蒸汽
	设在单独建筑内的门诊所、药房、托儿所及保健站等	不超过 95℃ 的热水	(1) 低压蒸汽; (2) 不超过 110℃ 的热水

中央空调热源系统的分类型式及其应用范围见表 3-4。

表 3-4

中央采暖系统的分类型式及应用范围

系统分类	系统或设备型式	热源设备	适用范围
热水集中采暖系统	重力循环系统	热水锅炉、散热器串联	供热半径 ≤ 50m 的二层以下建筑 供水温度: 50 ~ 90℃
	机械循环系统	热水锅炉、散热器并联	室温有调节要求的四层以上或多层建筑 供水温度: 50 ~ 90℃
热水集中供热系统	中温热水系统	热水锅炉、低压蒸汽锅炉	适用于生活、生产、采暖供热, 供水温度 < 120℃
	高温热水系统	蒸汽锅炉、热水锅炉	供水温度 > 120℃
	低温热水系统	热水锅炉	供水温度 25 ~ 35℃
蒸汽集中采暖系统	低压蒸汽系统	低压蒸汽锅炉	供热半径 < 200m 供汽压力 < 0.5 × 10 ⁵ kPa
	高压蒸汽系统	高压蒸汽锅炉、背压式汽轮机、抽气式汽轮机	供汽压力 > 0.5 × 10 ⁵ Pa
热风集中采暖系统	(1) 大厅热风采暖 (2) 多房间热风采暖	各类热风炉、锅炉、冷暖机空调冷暖机组、各类热风炉	工业车间、展厅、会馆、商场、教堂; 住宅、办公楼、学校、写字楼

续表

系统分类	系统或设备型式	热源设备	适用范围
热泵采暖系统	压缩式电动热泵单元	能源: 电能 低温热源: 空气、井水、土壤等	住宅 (1~2 户) 游泳池
	太阳能吸收器热泵	能源: 电能、太阳能 低温热源: 空气	住宅, 游泳池
	压缩式热泵机组 (活塞式、螺杆式、涡旋式、离心式等)	能源: 电能 低温热源: 地下水或河水	办公楼、住宅群、宾馆、市场、商厦、娱乐中心、工业建筑、体育馆、候机 (车) 厅等
	吸收式热泵机组 ① 双效蒸汽型溴化锂吸收式热泵机组 ② 双效直燃型溴化锂吸收式热泵机组	能源: 城市煤气、天然气、 0°C 柴油、燃油、煤等 低温热源: 空气、地下水	办公楼、住宅群、宾馆、市场、商厦、娱乐中心、工业建筑、体育馆、候机 (车) 厅等
	燃气轮机热泵	能源设备: 燃气轮机或柴油机	游泳馆 体育中心 建筑物冷热兼供: 商店、超级市场、肉类加工场等
太阳能采暖系统	(1) 主动式装置 (2) 被动式装置 (3) 太阳能与热泵联合系统 (4) 太阳能与锅炉加热系统 (5) 太阳能与吸收式制冷机联合系统	热源: 太阳能 设备: 集热器, 有①平板式; ②蜂窝式; ③方形管道; ④聚光型	住宅 $[500\text{kJ}/(\text{m}^2\cdot\text{年})]$ 生活热水 游泳池 采暖与制冷兼供
核能采暖系统	供热堆采暖系统	能源: 核能	向城市和热用户供热、采暖

第二节 喷水室

中央空调系统中的喷水室是一种直接接触式的热湿处理设备。喷水室不仅能实现对空气的加热、冷却、加湿或去湿等多种处理, 而且还具有净化空气的能力。

一、喷水室的作用

喷水室的作用是采用喷淋方式对空气进行处理。在喷水室内, 空气与水直接接触进行热湿交换, 以达到所要求的温湿度, 实现对空气的多样处理。

二、喷水室的分类

喷水室的分类方式大致有三种, 即按放置形式分类、按空气流动速度分类和按喷水室的级数分类等。

1. 按放置形式分类

(1) 立式：空气垂直流动且与水流流动的方向相反，这种方式换热效果较好，但空气处理量较少，适用于小型空调系统。

(2) 卧式：空气水平流动，与喷水方向相同或相反。

2. 按空气的流动速度分类

(1) 低速喷水室：空气流速为 $2 \sim 3\text{m/s}$ ，应用较广。

(2) 高速喷水室：空气流速为 $3.5 \sim 6.5\text{m/s}$ 。

3. 按喷水室数量分类

(1) 单级喷水室：被处理空气和冷冻水进行一次热交换，为普通喷水室。

(2) 双级喷水室：将两个卧式单级喷水室串联起来就可以充分利用深井水等天然冷源或人工冷源，达到节约用水的目的。这样，空气与不同温度的水就可以连续进行两次热交换。

三、喷水室的工作过程

1. 单级卧式喷水室

单级卧式喷水室的基本结构如图 3-1 所示。被处理的空气经前挡水板进入喷水室进行热交换后，经后挡水板排出。

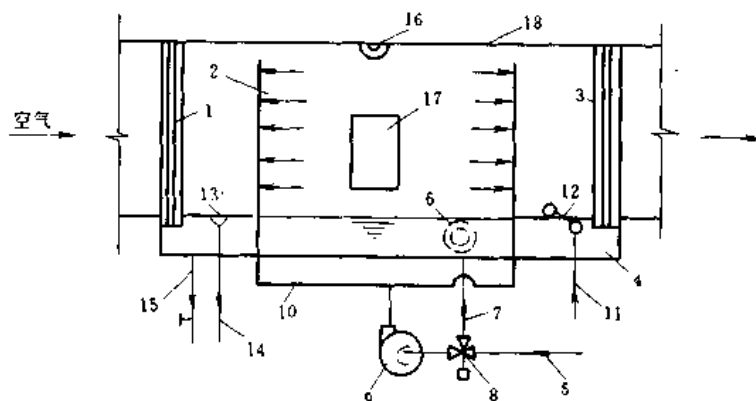


图 3-1 喷水室

- 1—前挡水板；2—喷嘴与排管；3—后挡水板；4—底池；5—冷水管；
6—滤水器；7—循环水管；8—三通混合阀；9—水泵；10—供水管；
11—补水管；12—浮球阀；13—溢水器；14—溢水管；15—泄水管；
16—防水灯；17—检查门；18—外壳

冷媒水由冷水管进入三通阀，在水泵的作用下进入排管，由喷嘴喷出，与空气进行热交换；热交换后的水滴落入底池，经滤水器过滤掉杂质后经循环水管被水泵抽回再利用。

在夏季，随着被处理空气温度的降低，空气中的水蒸气冷凝成水也落入底池，底池中的水就会逐渐增多，到达一定位置后，就会通过溢水管被水泵吸回冷水机组，重新冷却后再利用。在冬季，喷水室常用来给加热后的空气进行加湿。那么，底池中的水就会逐渐减少，当减少到一定程度时，浮球阀开启，向底池中重新补水。补到一定程度，浮球阀自动关闭，以保证底池中水位的一定。在底池底部还开有一个泄水管，目的是为了清洗、检修方便，在进行上述操作时，将底池中的水排空。

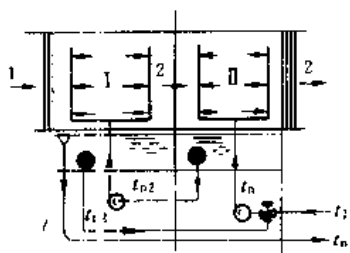


图 3-2 双级喷水室

1—进风；2—出风

2. 双级喷水室

双级喷水室的基本结构如图 3-2 所示。

被处理空气先进入 I 级喷水室，进行热交换后再进入 II 级喷水室。而冷冻水或深井水先进入 II 级喷水室交换热量后落入底池，由水泵带动进入 I 级喷水室喷出。这样被处理过的空气温度变化较大，相对单级喷水室而言节约了用水。

四、喷水室的零部件

1. 喷水室的外壳

喷水室外壳一般采用 1.5~2mm 厚的钢板制成，也可用砖及混凝土砌成。不论是采用何种材料，都要注意做好防水以及采取一定的保温措施。最近也有采用玻璃钢内嵌保温一次成型的喷水室外壳。

喷水室的横断面一般为矩形，大小根据通过的风量和风速确定。而喷水室的长度则应根据喷嘴排管的数量、排管间距及排管与前后挡水板的距离确定。

为了便于检修、清洁和测量，喷水室外壳还设有观测孔，两排喷嘴之间设密封检修门并装有防水灯。密封检修门的尺寸不小于 400mm×600mm。

2. 喷嘴

喷水室用喷嘴进行喷水，所以喷嘴是喷水室的重要部件，它的制作材料要求耐磨和防腐，常用黄铜、塑料、尼龙、陶瓷制成。其中黄铜耐磨性最好，但价格较高，而陶瓷最易损坏。所以目前常用尼龙喷嘴或铝喷嘴。这两种喷嘴的盖为铜制，而喷嘴本身用尼龙或铜制成。

国内目前最常用的是 Y-1 型喷嘴，其基本结构如图 3-3 所示。

工作时，带有压力的水从小管流入小室产生螺旋运动，由顶盖中心的小孔喷出。按小孔直径的大小，喷嘴可分为三类：

(1) 粗喷：孔径 4~6mm，水压为 0.05~0.15MPa，这时喷出水滴较大，水滴温度升高慢，不易蒸发常用于冷却干燥。

(2) 中喷：孔径为 2.5~3.5mm，水压为 0.2MPa，也适用于冷却干燥处理过程。

(3) 细喷：孔径为 2.0~2.5mm，水压大于 0.25MPa，这时喷出的水滴较小，升温快，易蒸发，适用于空气的加湿过程。但喷嘴孔径较小，易堵塞，对水质要求较高。

目前，国内还采用一种喷水量大的 BTL 型喷嘴，其喷水孔径较大，不易堵塞，射程和喷水量都比 Y-1 型大。其基本结构如图 3-4 所示。

喷嘴有特定的排列方式，这保证了喷出的水滴能尽量均匀地布满整个喷水室。最好为下图的梅花形布局，如图 3-5 所示。对于大型喷水室，也可排列成方格形，且布置成上密下疏，使水滴在喷水室内能均匀分布。

3. 挡水板

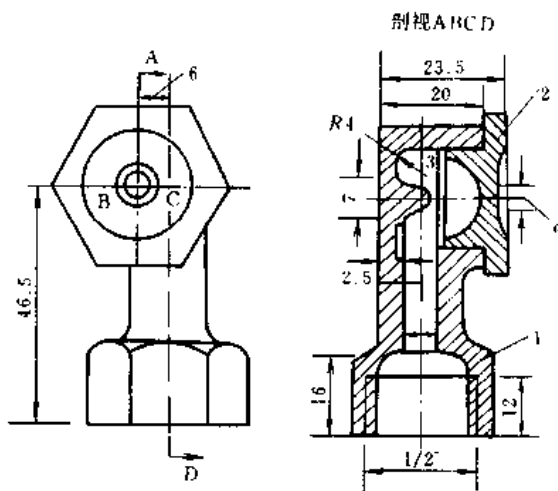


图 3-3 Y-1 型离心式喷嘴

1—喷嘴本体；2—顶盖；3—小室

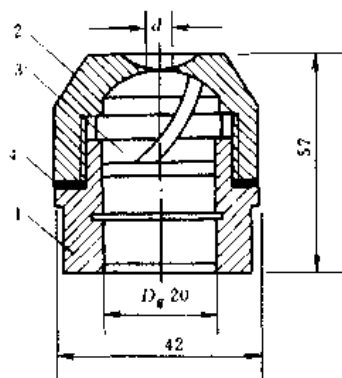


图 3-4 BTL 型喷嘴

1—喷嘴座；2—螺旋体；3—喷嘴帽；4—橡皮垫

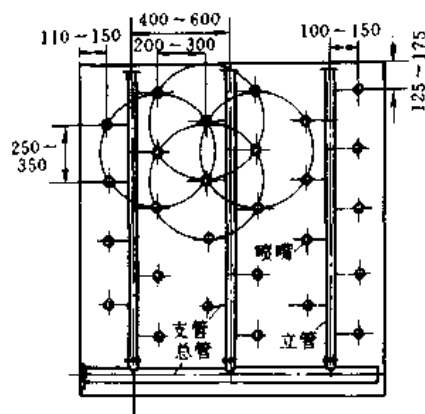


图 3-5 喷嘴的布置形式

挡水板可分为前挡水板和后挡水板。挡水板由多个直立的折板组成，用 0.75~1.0mm 厚的镀锌钢板或有机玻璃条拼装而成。

前挡水板可防止水滴溅到喷水室之外，另外还可使空气均匀地流入喷水室内，所以又称为均风板。后挡水板主要是用来阻止混在空气中的水滴进入管道和房间的。当被冷却后的空气在后挡水板间流动时，会不断地改变方向，空气中的水滴由于惯性的作用来不及改变运动方向而和挡水板相碰后沿挡水板流入底池。

挡水板挡水效果的好坏和挡水板的质量、形状、夹角、折弯及安装质量都有一定的关系。近来，双波形和蛇形挡水板都因其挡水效果好而得到越来越广泛的应用。

第三节 表面式空气热交换器

在空调系统中，水和空气通过壁面进行热交换的装置称为表面式空气换热器。

一、表面式空气换热器的作用

由冷水机组产生的冷媒水或热源提供的热水、蒸汽通过金属壁面与空气进行热交换，达到冷却、减湿或加热的目的。

二、表面式空气换热器的分类

1. 按表面式空气换热器的工作目的分类

- (1) 空气加热器。利用热水或蒸汽对空气加热以提高室内温度。
- (2) 表面冷却器。利用冷媒水对空气进一步冷却以降低室内温度。

2. 按其传热面结构形式分类

- (1) 板式。又可细分为螺旋板式、板壳式、波纹板式、板翅式。
- (2) 管式。又可细分为列管式、套管式、蛇形管式、翅片管式。目前最常用的是翅片管式表面空气换热器。

三、表面式空气换热器的结构

表面式空气换热器的基本结构如图 3-6 所示，主要由肋管、联箱、护板等组成。其中肋管是换热的主要部件，它的型式、质量、安装直接影响换热效果。

1. 对肋管的要求

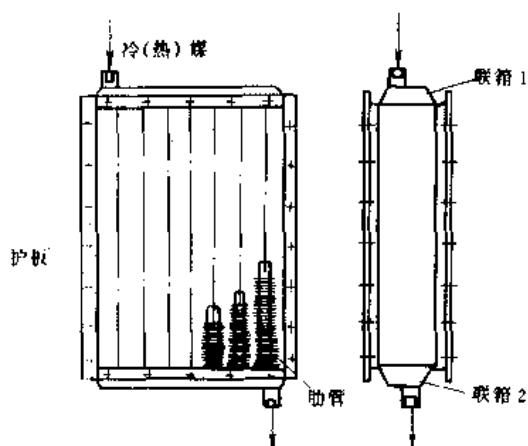


图 3-6 表面式换热器

- (1) 结构紧凑，金属消耗量小。
- (2) 肋片与管壁连接紧密，传热效率高。
- (3) 对空气的阻力小。
- (4) 性能稳定，成本较低。
- (5) 加工、维护简便，可防锈蚀。

2. 肋片型式

(1) 绕片式。按绕片形状又可分为：

1) 皱褶绕片式：将绕片切成长条，用轧皱将其折成皱褶后，用绕片机绕在光管上并搪锡。这种肋管传热效率高，性能稳定，但由于皱褶的存在造成空气阻力大且容易积尘，较难清理。结构如图 3-7 所示。

2) “L”型绕片式：将光滑的金属卷片轧成“L”型后绕在管子上。这种肋管维护简便，空气阻力小，但加工较难，传热效率略低于皱褶型肋管。

(2) 镶片式。它的制作方法是先在光管壁上制出螺旋槽，然后将金属卷带挤压进槽内。这种肋管性能稳定，对空气阻力小，但加工较难。

(3) 轧片式。用轧片机在管子的外表面上直接轧出肋片。这种肋管传热效率高，加工、维护简便，但其强度有限，而且对管子直径有限制，不能太小，所以其适用范围有限。

(4) 套片式。在肋片上冲好相应的孔，然后将管子插入，再用弯头将管连接起来组成套片式表面空气换热器。这种肋管由于可用液压扩管，所以肋片和管子结合紧密，而且肋片又可以做成各种有利于传热，所以传热效率高，空气阻力小，生产效率高，节省材料。还可以利用模具实现冲孔二次翻边，所以性能稳定，在空调工程中被广泛应用。

四、喷水式表面冷却器（简称表冷器）

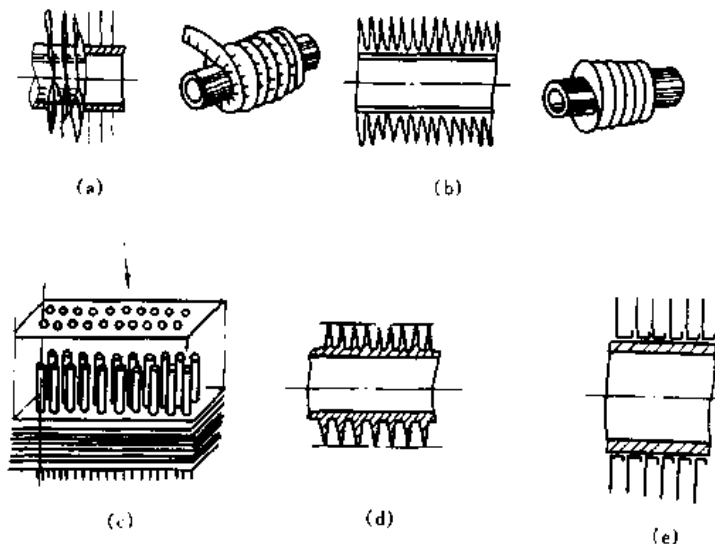


图 3-7 各种翅式结构

- (a) 皱褶式绕片；(b) 光滑绕片式（L型）；(c) 套片式；
(d) 轧片式；(e) 二次翻边式肋片

表面空气换热器结构紧凑，冷媒水在盘管中流动与空气不接触，所以对水质无要求且能节约用水，安装方便，但它不能对空气进行加湿处理且无净化作用。而喷水式表面冷却器则兼有喷水室和表冷器的双重作用，从而弥补了普通表冷器的不足，其基本结构如图 3-8 所示。

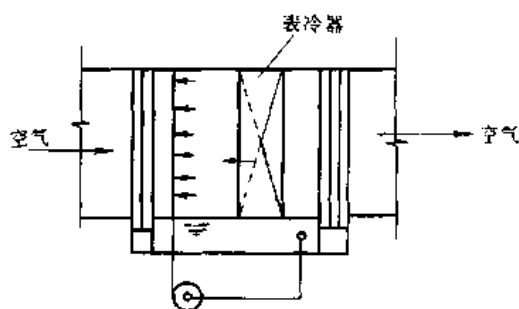


图 3-8 喷水式表面冷却器

它在表冷器前设置了喷嘴，将水喷在表冷器外表面形成一层水膜，而空气则通过与水膜进行热、湿交换来达到加湿和净化的目的。

第四节 空气加湿的方法及设备

一、空气加湿的意义

冬季供暖时，用表面式空气换热器对空气进行等湿加热以后，会使其相对湿度下降，空气变得比较干燥，这时就要对空气进行加湿处理。

二、加湿器的分类

1. 按对空气的处理方式分

根据对空气的处理方式可分为集中式加湿器和局部式加湿器。

(1) 集中式加湿器。就是在集中空气处理室中对空气进行加湿的设备。

(2) 局部式加湿器。就是在空调房间内补充加湿处理的设备，也称为补充式加湿器。

2. 按空气加湿的方法分

按空气加湿的方法可分为水加湿器、蒸汽加湿器和雾化加湿器。

(1) 水加湿器。水加湿器是在经过处理的空气中直接喷水或让空气通过水表面，通过水的蒸发来使空气被加湿的设备。

(2) 蒸汽加湿器。通过加热、节流和电极使水变成水蒸气，对被调节空气进行加湿的设备。

(3) 雾化加湿器。利用超声波或加压喷射的方法将水雾化后喷入风道，对被调节空气进行加湿的设备。

三、常用加湿器简介

1. 蒸汽加湿器

(1) 蒸汽喷管。蒸汽喷管是在喷管上开有若干个直径为 2~3mm 的小孔，在压力的作用下，蒸汽从小孔中喷出，与被调节空气混合，从而达到加湿的目的，但蒸汽喷管喷出的水蒸气中往往夹杂有水滴，这会影响加湿的效果。

(2) 干式蒸汽加湿器。它的基本结构如图 3-9 所示。

干式蒸汽加湿器的工作原理是：蒸汽

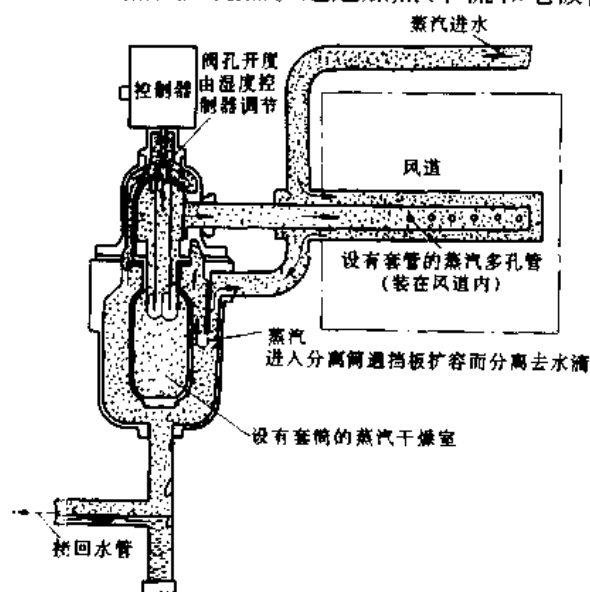


图 3-9 干式蒸汽加湿器

先进入喷管外套，加热管壁，再经挡板进入分离室，由于蒸汽流向的改变，通道面积的增大，蒸汽流速的降低，所以有部分冷凝水析出。分离出冷凝水的干蒸汽，由分离室顶部的调节阀节流降压后进入干燥室，第二次分离出冷凝水，处理后的干蒸汽经消声腔进入喷管，由小孔喷出，对被调节空气进行加湿。分离出的冷凝水由疏水器排出。

干式蒸汽加湿器具有加湿速度快，均匀性好，能获得高湿度，安装方便，节能等优点，广泛应用于医院手术室、电子生物实验室及精密仪器、元件的制造车间等。

2. 电加湿器

利用电能对水加热，使水汽化送入空气中加湿的设备，它又可以分为电极式和电热式。

(1) 电极式加湿器。基本结构如图 3-10 (a) 所示。

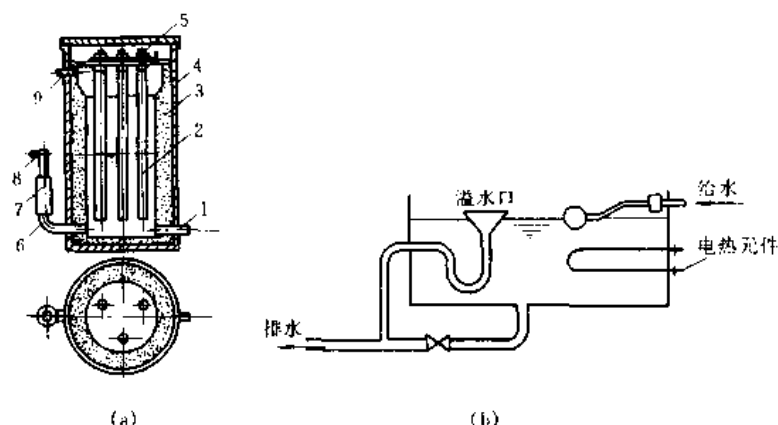


图 3-10 电加湿器

(a) 电极式加湿器；(b) 电热式加湿器

1—进水管；2—电极；3—保温层；4—外壳；5—接线柱；6—溢水管；7—橡皮管；8—溢水嘴；9—蒸汽管

电极插入水槽中，通电后，电流从正极流向负极，水被电流加热产生水蒸气，由排出管送入空调房间中，水槽中设有溢水孔，可通过调节溢水孔位的高低，调节水位并通过控制水位，控制蒸汽的产生量。

(2) 电热式蒸发器。其结构如图 3-10 (b) 所示。它的管状加热器直接加热水，产生水蒸气，由短管喷入被调节的空气中，对空气进行加湿。

3. 喷雾加湿器

这种加湿器直接安装在空调房间内，将常温水雾化后喷入房间，通过水雾吸收室内空气热量变成水蒸气来增加房间的湿度：

(1) 回转喷雾加湿器。其基本结构如图 3-11 所示。

回转喷雾加湿器的工作原理是：水进入转盘中心并随转盘一起转动，在离心力的作用下水被甩向转盘四周，经分水牙飞出，在与分水牙的碰撞中，水被粉碎成细小雾滴，在风机的作用下，送入房间。不易吹走的大水滴落回集水盘，沿排水管流出。

(2) 离心式喷雾加湿器。其基本结构如图 3-12 所示。

离心式喷雾加湿器的工作原理是：在电机的作用下，水被吸入管吸入喷雾环中心；在离心力的作用下，从喷雾环四周排出；与小孔碰撞，雾化并被继续提升至喷雾口，随风送入室内，以达到加湿的目的。

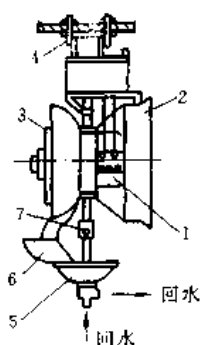


图 3-11 回转喷雾加湿器

1—电机；2—风扇；3—转动圆盘；4—固定架；
5—集水盘；6—回水漏斗；7—喷水量调节阀

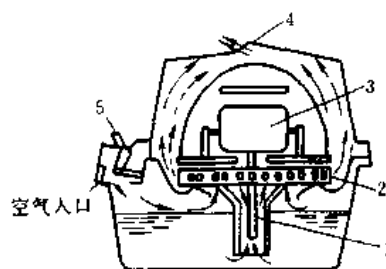


图 3-12 离心式喷雾加湿器

1—吸入管；2—喷雾环；3—电机；
4—喷雾口；5—调节开关

(3) 超声波雾化加湿器。它是通过超声波发生器发出的高频超声波将水雾化后送入室内，以达到加湿的目的。

第五节 空气的去湿方法及设备

一、空气去湿的意义和方法

夏季天气炎热，空气含湿量和相对湿度都很大，这时就要对空气进行去湿处理以减少其相对湿度，空气减湿的方法主要有加热通风除湿法、机械除湿法和吸附除湿法等。

二、空气去湿机的分类

根据去湿机的工作原理，空气去湿机可分为：

(1) 加热通风去湿机。在空气含湿量不变的情况下，对空气加热，使空气相对湿度下降，以达到减湿的目的。

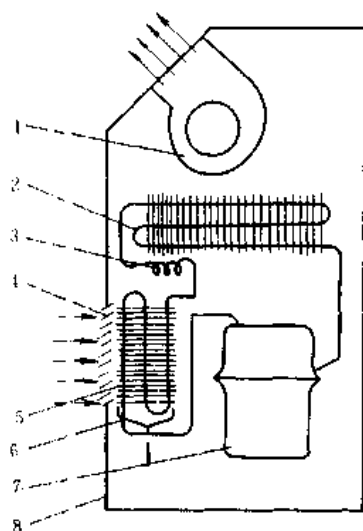


图 3-13 机械去湿机

1—风机；2—冷凝器；3—毛细管；4—
空气过滤器；5—蒸发器；6—集水盘；
7—冷冻机；8—机壳

(2) 机械除湿。利用电能使压缩机产生机械运动，使空气温度降低到其露点温度以下，析出水分后经加热送出从而降低了空气的含湿量和相对湿度，达到去湿的目的。

(3) 吸附式去湿。利用某些化学物质吸收水分的能力而制成的除湿设备。

三、常用去湿机的结构和工作原理

1. 加热通风去湿机

它由加热器、送风机、排风机组成。其工作是将室内相对湿度较高的空气排出室外，而将室外空气吸入并加热后送入室内，以达到对室内空气去湿的目的。这种方法设备简单、运行费用较低，但受自然条件限制，工作可靠性差。

2. 机械去湿机

机械去湿机的基本结构如图 3-13 所示。

机械去湿机由制冷系统、通风系统及控制系统组成。制冷系统采用单级蒸汽压缩制冷，由压缩机、冷凝器、毛

细管、蒸发器等实现制冷剂循环制冷，并使蒸发器表面温度降到空气露点温度以下。这样当空气在通风系统的作用下经过蒸发器时，空气中的水蒸气就凝结成水而析出，空气的含湿量降低。而后，空气又经冷凝器，吸收其散发的热量后温度升高，使其相对湿度下降后经通风系统返回室内达到去湿的目的。

3. 吸收式去湿机

按除湿物质的状态，吸收式去湿机可分为：

(1) 固体去湿机

① 硅胶去湿机。它是利用硅胶来吸收空气中的水蒸气，常见的硅胶去湿机有三种形式：抽屉式、固定转换式和电加热转筒式。

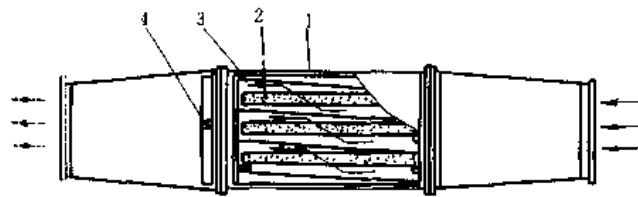


图 3-14 抽屉式硅胶除湿装置

1—外壳；2—抽屉式除湿层；3—分风隔板；4—密封门

抽屉式去湿机基本结构如图 3-14 所示。空气在风机的作用下由分风隔板进入硅胶层除湿，除湿后的干燥空气由风道送入房间。硅胶的吸水能力有一定限制，当硅胶失效后，应取出抽屉，更换新硅胶。

没有吸水的硅胶为淡紫色颗粒，随着吸收量的增加，颜色逐渐变为淡粉色，最终失去吸水能力。但失去吸水能力的硅胶还可以通过加热的方法再生。

固定转换式硅胶除湿机结构如图 3-15 所示。它的两个硅胶筒轮流进行吸水工作，空气经风机及转换开关进入左边的硅胶桶吸水后经转换开关 5 排出后由风道送入室内。同时空气还由风机 7 作用，经加热器升温后进入另一个硅胶桶给硅胶加热使其再生。它们通过转换开关控制。

电加热转筒式硅胶除湿装置如图 3-16 所示。

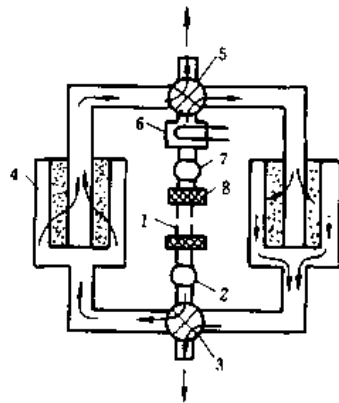


图 3-15 固定转换式硅胶除湿装置

1—湿空气入口；2、7—风机；3、5—转换开关；4、9—硅胶筒；6—加热器；8—再生空气入口

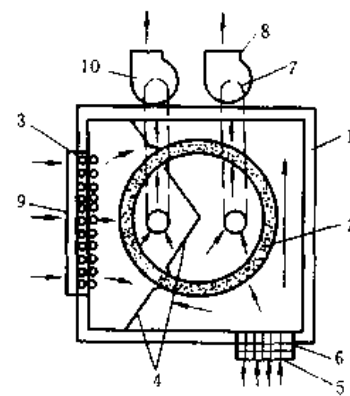


图 3-16 电加热转筒式硅胶除湿机

1—箱体；2—硅胶转筒；3—电加热器；4—密闭隔风板；5—湿空气进口；6—蒸发器；7—离心式风机；8—干空气出口；9—再生空气进口；10—再生空气出口

在机器中只有一个硅胶桶时，这个硅胶桶就缓慢转动，由密闭隔风板分成再生区和除湿区，空气经蒸发器降温后进入除湿区，除湿后由风机送入室内。与此同时，再生区的硅胶则

被加热而恢复吸水能力后再转到除湿区进行除湿。

2) 氯化锂除湿机。其基本结构如图 3-17 所示。

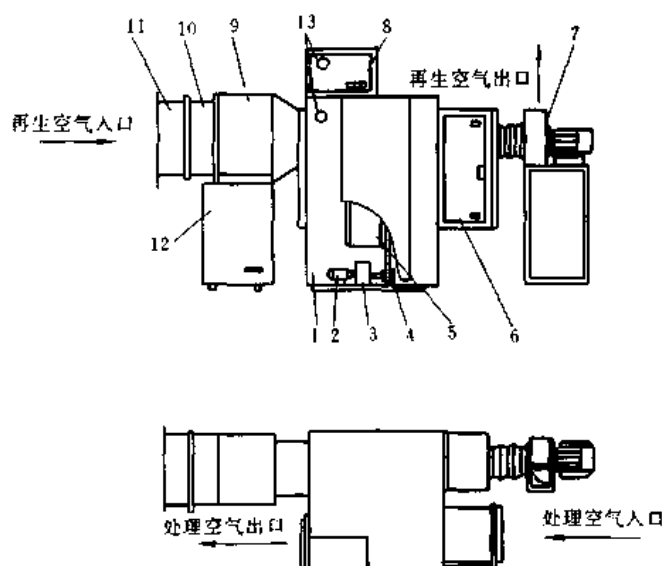


图 3-17 氯化锂转轮除湿机

1--机壳；2--电动机；3--减速器；4--传动装置；5--转芯；6--除湿空气用过滤器（楔形、泡沫塑料）；7--再生风机；8--电器控制箱；9--电加热器；10--调风阀；11--再生空气用过滤器（板式，泡沫塑料）；12--动力配电箱；13--电接点温度计

氯化锂除湿机也采用转轮式。它的除湿系统由吸湿转轮、风机、过滤器等组成。吸湿转轮是将吸湿剂和铝均匀地吸在两条石棉纸上，再将纸卷成具有蜂窝通道的圆柱体，其中吸湿剂是用来吸收水分的，而铝是将吸湿剂固定在石棉纸上。

其再生系统由电加热器、风机和隔板组成隔板将转轮分成再生区和吸湿区。

氯化锂转轮除湿机的工作原理如图 3-18 所示。

需要除湿的空气在风机的作用下进入吸湿转轮，失去水分后送入空调房间。再生空气在再生风机的作用下进入再生区，经加热器加热至 120°C 后，将转轮内水分气化后带出箱外并排出室外，可以连续地取得干燥空气。

(2) 液体除湿机

它是利用某些液体常温下可以吸水的特性而达到除湿的目的。常用的液体有氯化钙、氯化锂水溶液及三甘醇水溶液。前两种水溶液由于对金属有较强的腐蚀性而限制了它们的使用。而三甘醇水溶液因为无毒无味，对金属无腐蚀性且冰点低，稳定性好而得到广泛的应用。另外，溶液吸收水分以后，浓度下降，吸水能力也下降，即溶液浓度越高，其吸水能力就越强。当除去其中的水分，提高其浓度后，恢复其吸水能力，即液体吸湿后也可再生。

三甘醇去湿机结构如图 3-19 所示。

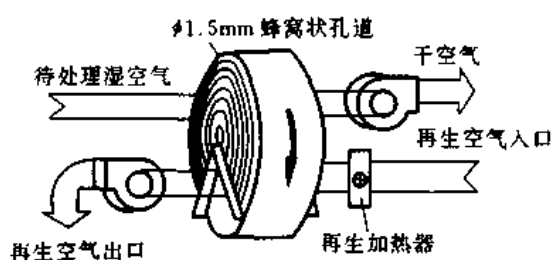


图 3-18 氯化锂转轮除湿机的工作原理图

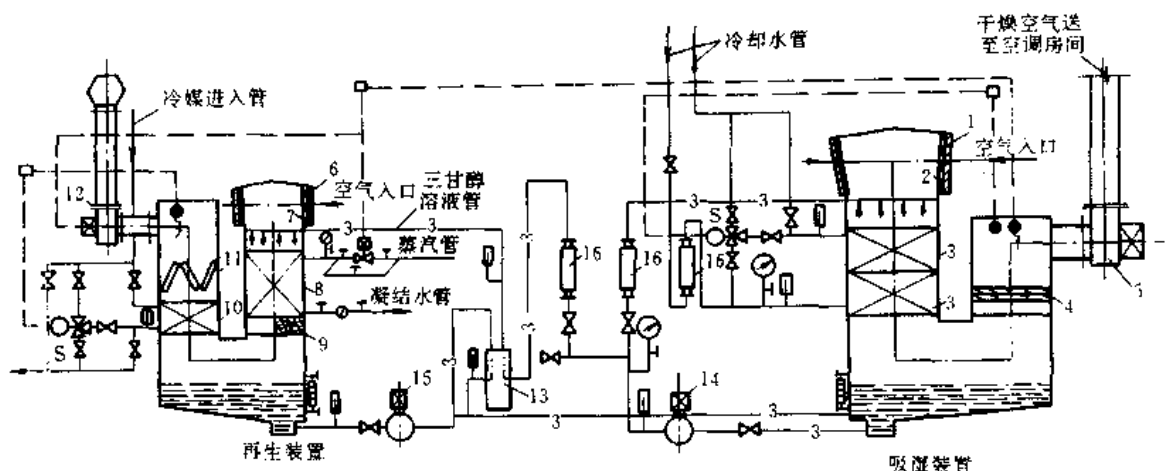


图 3-19 SC 型三甘醇除湿机基本工作原理图

1、6—进风百叶窗；2、7—滤尘器；3—冷却接触器；4、11—除雾器；5、12—风机；8—加热接触器；9—瓷环或波纹板；10—除雾冷却器；13—螺旋板式换热器；14—循环液泵；15—回液泵；16—转子流量计

吸湿装置由百叶窗、过滤器、喷嘴、表面冷却器、贮液箱、除雾器等组成。

再生装置由百叶窗、过滤器、喷嘴、加热器、除雾器等组成。

其工作原理为被处理室内空气经百叶窗进入去湿器，经过滤器除尘后与喷嘴落下的三甘醇浓溶液相接触，失去水分后在风机的作用下送入房间。而吸收水分后的浓溶液变成稀溶液并落入贮液池。被溶液泵输送，一路进入再生器，一路重新输送到喷嘴进行喷淋。

稀液经热器升温后进入再生器由喷嘴喷下。空气经百叶窗、过滤器与升温后的稀溶液在加热接触器上相混合。吸收稀溶液中的水分后经除雾器除掉少量三甘醇蒸气及液滴后由风机排入大气。而变成浓溶液的三甘醇集中在再生器底部并在溶液泵的作用下返回吸湿器贮液池。

第六节 空气的净化设备

一、空气净化的意义

空调系统中的空气净化设备能除去空气中的悬浮尘埃，以避免其对人体健康、产品质量以及空调系统热交换设备处理效果的影响。使室内空气的洁净度达到要求。

二、空气净化标准

按空调房间对洁净度的不同要求，将空气净化标准分为：

(1) 一般净化。用于一般的舒适性空气调节，采用粗效过滤器一次处理，无具体要求。

(2) 中等净化。用于对室内空气含尘量有一定要求的生产工艺车间。应先采用粗效过滤器后，再用中效过滤器。其含尘量用质量浓度 (mg/m^3) 来表示。

(3) 超净净化。用于电子产品生产、精密零件加工车间。这种场合应先用粗效过滤器，再用中效过滤器，最后用高效过滤器进行净化。空调房间的含尘浓度以粒/ m^3 或粒/L 来表示。我国规定的含尘浓度见表 3-5。

表 3-5

空气洁净度等级

等 级	每立方米 (每升) 空气中 $\geq 0.5\mu\text{m}$ 尘粒数	立方米 (每升) 空气中 $\geq 5\mu\text{m}$ 尘粒数
100 级	$\leq 35 \cdot 100 (3.5)$	
1000 级	$\leq 35 \cdot 1000 (35)$	$\leq 250 (0.25)$
10000 级	$\leq 35 \cdot 10000 (350)$	$\leq 2500 (2.5)$
100000 级	$\leq 35 \cdot 100000 (3500)$	$\leq 25000 (25)$

注 对空气洁净度为 100 级的洁净室内 $\geq 5\mu\text{m}$ 尘粒的计数, 应进行多次采样。当其多次出现时, 方可认为该测定数据是可靠的。

三、过滤器的种类

1. 粗效过滤器

粗效过滤器主要用于过滤掉 $10 \sim 100\text{mm}$ 的大颗粒灰尘。按其滤尘工作原理可分为:

- (1) 金属网格浸油过滤器。在金属网格上涂有油脂, 利用油脂的粘性来粘住空气中的灰尘。
- (2) 干式纤维填充式过滤器。它是由玻璃丝、石棉纤维或化学纤维等组成的。尘埃在重

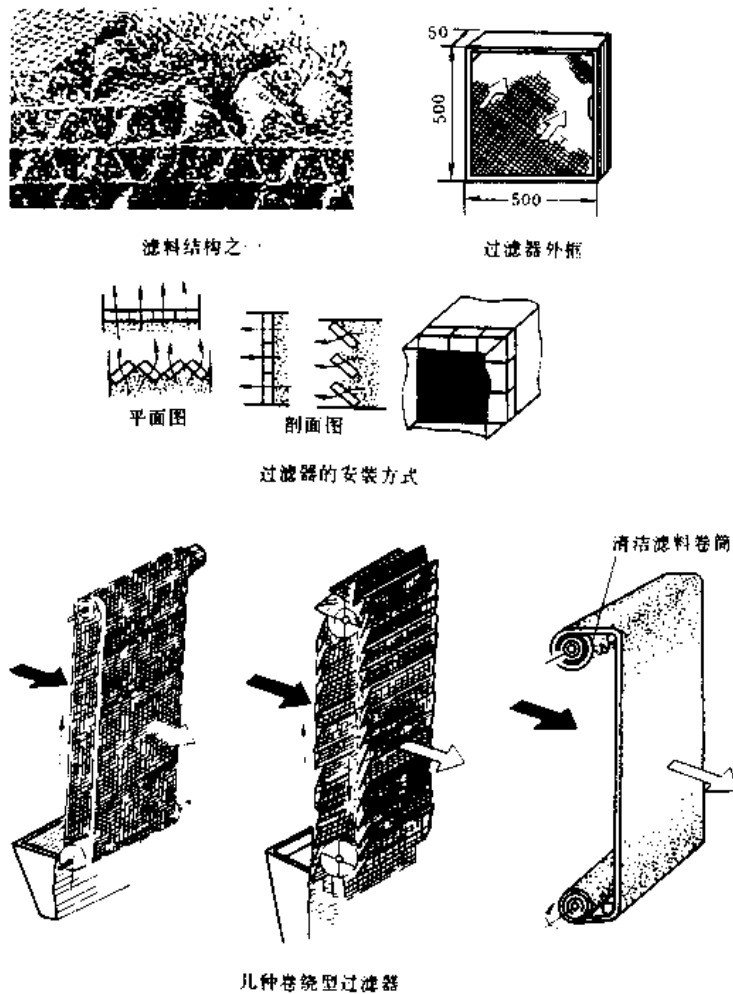


图 3-20 粗效过滤器

力、惯性的作用下被吸附在纤维上达到除尘的目的。

按过滤器的外形可分为抽屉式、块式和袋式。这几种过滤器都需要人工定期清洗和更换。传动卷绕式和自动清洗式过滤器则可以自动清洗，因而可以提高工作效率。

2. 中效过滤器

中效过滤器主要由泡沫塑料纤维组成，一般做成抽屉状或块状。孔径要比粗效过滤器小。

3. 高效过滤器

高效过滤器的材料采用超细玻璃纤维或超细石棉纤维，做成纸状且纸的孔隙很小。为了提高其工作效率，将滤纸多次折叠，并在两层折叠滤纸之间用波纹板分离，这样就增大了迎风面积，提高过滤效率。各种类型的过滤器如图 3-20、图 3-21 和图 3-22 所示。

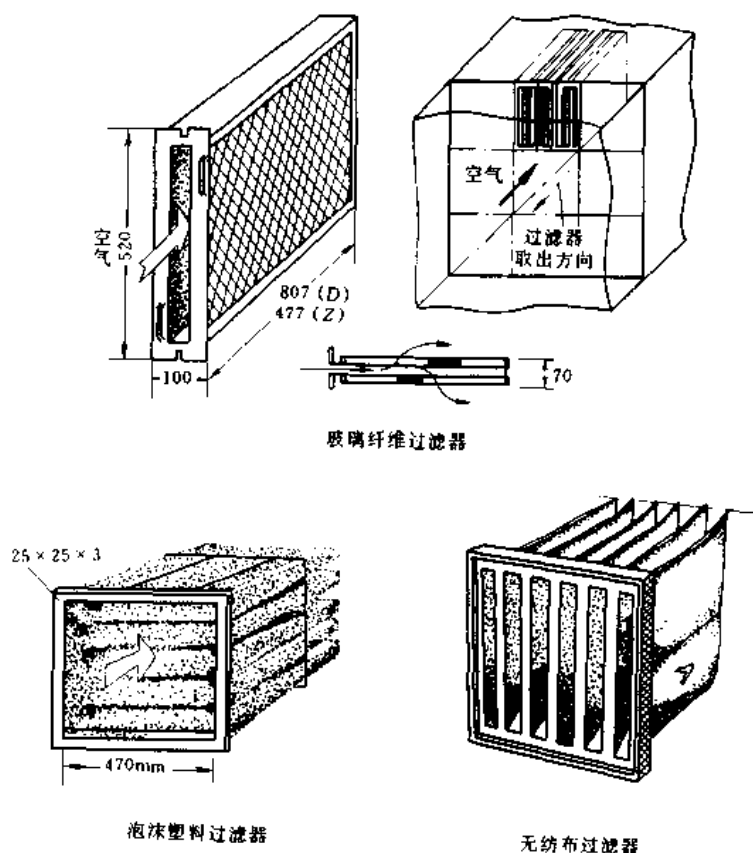


图 3-21 中效过滤器

四、过滤器在洁净过程中的作用

过滤器在洁净过程中的作用有如下几个方面：

- (1) 如果洁净室的末级过滤器是高效过滤器，那么在它之前应依次设置粗效和中效过滤器。否则，高效过滤器会在短时间内因被堵塞而影响其正常工作。
- (2) 超净房间必须要补充一定量的新风以维持房间正压来阻止外部污染空气的进入。一般压力应高于外界 10~20Pa。
- (3) 超净房间的高效过滤器应设置在正压段，且应安装于空调系统的末端。
- (4) 除设置净化装置外，还应考虑建筑材料房间的位置和周围环境对超净房间的影响。

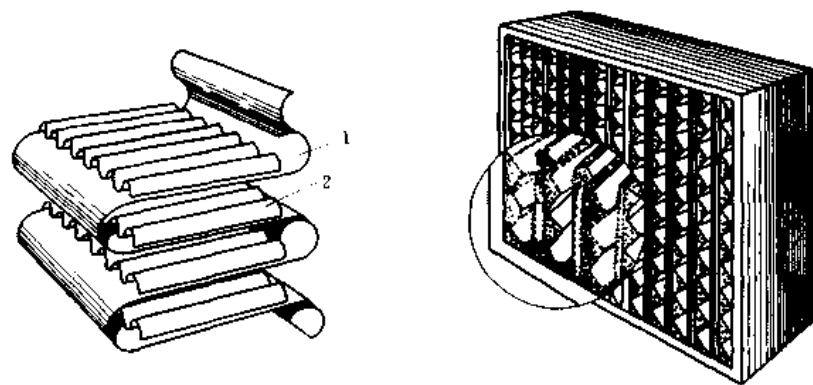


图 3-22 高效过滤器

1—滤纸；2—分割片

第七节 空气调节的水系统

空调的水系统是用来传输冷、热能量的，使系统的吸热量和散热量都能达到要求。

一、水系统的分类

1. 按管路和设备的布局分

(1) 开式系统。其末端水管与大气相通。所以凡是有冷却塔、喷水室、水箱等设备的水系统均为开式系统。

开式系统由于水和大气直接接触，所以空气中的灰尘、细菌等易进入系统而产生污染物堵塞管路。因此，开式系统需要高水压以克服管路中污染物的摩擦阻力及水箱、冷却塔处的压力损失，这样就会造成水泵能耗增大。所以在空调冷媒水系统中，开式系统会越来越少。

(2) 闭式系统。其水管是全封闭的而不与大气相通，因此闭式系统水泵能耗小，水处理及水管清洁费用较低。但系统中水的体积随温度的变化而变化，所以应在系统中设膨胀水箱。

2. 按水量变化分

(1) 定水量系统。它是通过改变供回水温差来适应空间温度的变化，系统中水流量不发生变化。

定水量系统是通过三通阀进行调节的。当室温没有达到要求时，室温控制器使三通阀的直通打开，旁通关闭，这样供水直接进入空气处理设备，与室内空气进行热交换后从回水管流回系统。这时供、回水之间有一定温差。当室温达到要求时，室温控制器将直通关闭，旁通打开，供水从回水流回，不经过室内热交换器，从而保持室内温度不变。这时，供、回水温度一致。

(2) 变水量系统。通过改变水量来适应室内温度的变化。系统供、回水温差不变。

变水量系统是通过直通阀进行调节的。当室温没有达到要求时，直通阀打开，与室内热交换器侧水进行热交换后，从回水管流回系统。当室温达到要求时，直通阀关闭，不再向室内热交换器供水，则水的流量发生变化，而此时回水温度保持在一个稳定的值。即供、回水温差未变。定水量和变水量系统的调节方式如图 3-23 和图 3-24 所示。

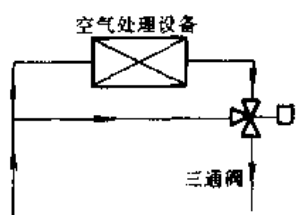


图 3-23 定水量系统

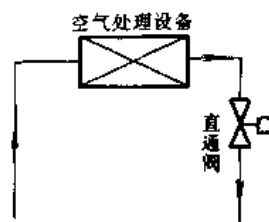


图 3-24 变水量系统

3. 按水泵配置情况分

(1) 单式水泵供水系统。冷、热源侧和负荷侧合用水泵的供水方式，适用于中小型建筑。单式水泵，如向变水量系统供水，应设置旁通管并安装电动两通调节阀和压差继电器，以保证通过冷、热源的水量一至。否则，就会引起锅炉干烧或制冷压缩机“液击”等故障。

(2) 复式水泵供水系统。在冷热源侧设置一次泵，在负荷侧设置二次泵。彼此相对独立。

4. 按回水管的布置方式分

(1) 同程回水方式，如图 3-25 所示。

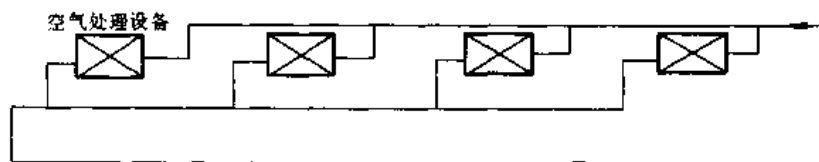


图 3-25 同程回水方式

此方式的各个空气热交换设备中水阻力大致相等。因为各并联环路管路总长基本相等，所以水的稳定性好，流量分配均匀。

(2) 异程回水方式，如图 3-26 所示。

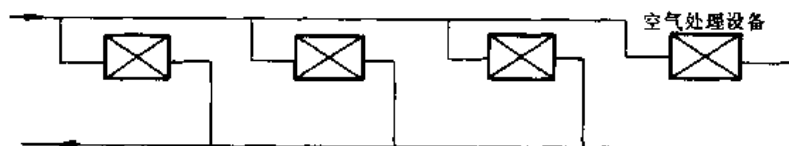


图 3-26 异程回水方式

此方式的各个并联环路管路长度不相等，阻力不平衡，流量分配不均，但水管配置简单，管材较省。

二、空气调节水系统的布置方法

1 表冷器水管布置方法（见图 3-27）

冷水供水管从空气流动的下风向接入，回水管在空气流动的上风向引出以提高空气与水进行热交换的效果。当表冷器并列设置时，管路也以并联方式接入并在供、回水管上设置三通阀门，在旁通管上设置直通阀。另外，管路中还应设置水过滤器和放气孔以保证水流通畅和排放空气的需要。

当用表冷器做降温减湿处理空气时，在管路上应设置滴水盘和凝结水管以收集冷凝水并排出。冷凝水管在出表冷器时应设水封。否则，空调送风时就会产生严重的带水现象，影响

空调的使用。

2. 喷水室的布置

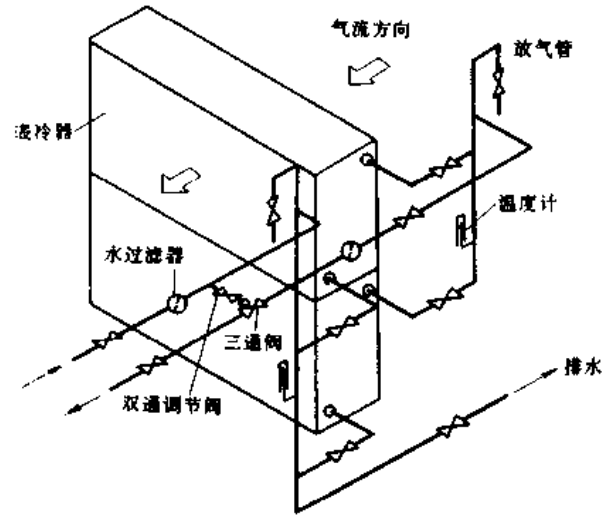


图 3-27 表冷器的配管布置

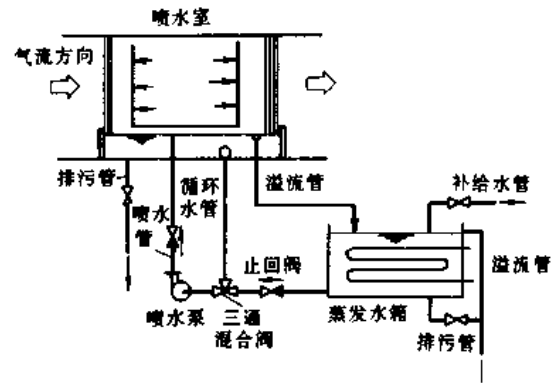


图 3-28 重力回水式喷水室水管系统

(1) 重力自流回水。当制冷系统的蒸发水箱位置低于喷水室时，可以采用重力回水。如图 3-28 所示。

经蒸发器冷却后的水经三通阀，在水泵的作用下由喷嘴喷出。热交换后由溢水管落回蒸发水箱。

(2) 压力回水方式。当蒸发水箱高于喷水室时，采用压力回水方式，如图 3-29 所示。回水泵将回水抽至蒸发水箱。

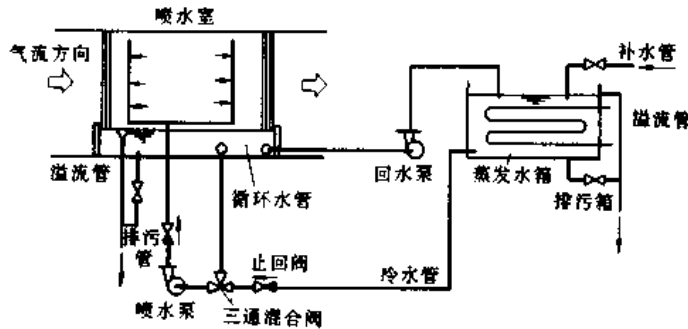


图 3-29 压力回水式喷水室水管系统

3. 冷却塔布置方法

出于对运行及维护的考虑应将冷凝器设在水泵的压出段。在冷却塔下方应设自动控制的补水和溢水管。

当多台冷却塔并联运行时，应在各进水管上设置阀门以调节进水量，同时在各冷却塔底池之间，设置均压管，并且出水干管的管径要比进水干管大两号以保证由于水量不平衡而引起底池溢流现象的发生。

4. 水泵布置

水泵的配管布置如图 3-30 所示，水泵的出水管上必须安装止回阀，以防止水泵停机后

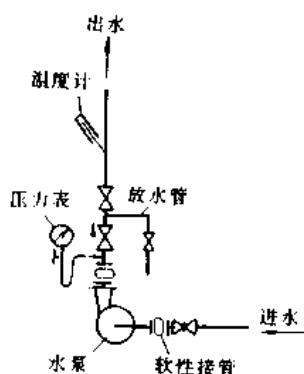


图 3-30 水泵的配管布置

水的倒流现象。

水泵的吸水管、出水管上都应设置进口阀和出口阀以便于维修。

水泵出水管上还应安装压力表和温度计，以利于检测。如果从低位水箱中吸水，水泵吸水管上还应安装真空表。所有阀或表的安装应便于操作和观察。

5. 膨胀水箱

其布置形式见图 3-31。膨胀管接于水泵的吸入端，要求膨胀水箱的箱底要高于水管系统最高点至少 1m，以便排气。箱体要做好保温工作并加盖，注意膨胀水箱的环境温度，并设置循环管，以防冬季水箱冻裂。

膨胀水箱的排气系统如图 3-32 所示，系统中的空气平时储存于集气罐中，应定期通过放气管放气或在水系统充水时打开放气。

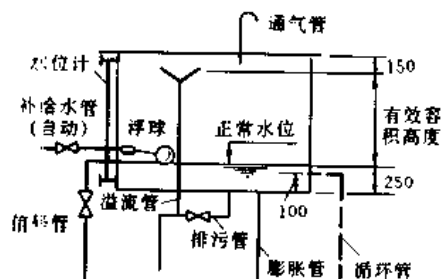


图 3-31 膨胀水箱的配管布置

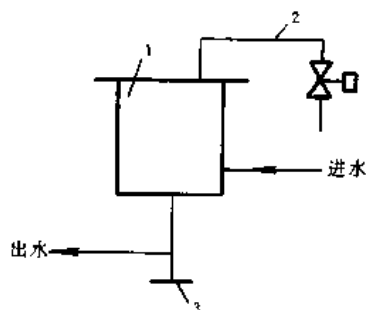


图 3-32 膨胀水箱的排气系统

1—集气罐；2—放气管；3—丝堵

三、水系统的主要设备

1. 集水器和分水器

集水器和分水器的设置主要是为了空调分区后的流量分配和调节。它实际上是一根直径较大的管子，在上面焊接了许多不同管径的管接头，以连接不同区域的空调水管。集水器和分水器用无缝钢管制成，其焊缝应按耐压要求焊接，底部应设排污管。

2. 除污器和水过滤器

它们的设置是为了防止管路的阻塞以保证系统的正常运行。它们安装在水泵的吸入管和热交换器的进水管上，有的还安装于各种阀体前的管路上。除污器和过滤器应定期检修、清洗、更换。为了检修方便，在其两侧应安装闸阀，以便在检修时不影响系统存水。平时闸阀都处于全开状态。

四、水系统的管材及保温

1. 管材

常用的管子有水、煤气输送管或无缝钢管。其中水、煤气输送管管壁有焊缝，其规格用 DN（公称直径）表示，且有镀锌和不镀锌两种。无缝钢管规格用外径乘以壁厚来表示如 DN。按制造方法可将其分为冷轧和热轧两种。当管径大于 57mm 时常选热轧管，当管径小于 57mm 时常选用冷轧管。

2. 管道保温

管道保温是为了减少管道的能量损失,防止冷水管表面结露并保证进入空调系统末端的水的温度。

管道保温一般由保温层和保护层组成。当管道位于地下室或管道输送低温水时,应加防水层。

保温层的做法应先清除管外的脏物和铁锈,然后刷两道防锈漆。要先抹一层 5mm 厚的胶泥,然后将预制管壳合上,管壳接缝要错开。水平敷设的管道,其管壳接缝应水平,管壳接缝处应用胶泥填实。最后进行捆扎,对于外径小于 200mm 的管壳,用两道镀锌铁丝缠牢。对于外径大于 200mm 的管壳,用镀锌铁丝网捆扎。

管壳外面应包裹油毡玻璃丝保护层,用镀锌铁丝捆扎,外涂沥青和油漆,用油漆颜色来区别不同用途的管道。以上仅为一般常用作法,更完备的内容可参阅有关手册。

第八节 空调系统的风系统

空气调节的风系统是将处理过的空气按设计要求送到各空调房间,并从房间内抽回一部分空气或排除一定量的空气。

一、空调系统风系统的组成

风系统由送风机、回风机、风道系统、风口,以及风量调节阀、防火阀、排污阀、消声器、风机减振器等配件组成。

二、风机的分类和特点

风机是利用电能带动叶片转动,对空气产生推动力的设备。它能使空气增压,以便将处理后的空气送入空调房间。按空气流向和主轴的关系,可将风机分为以下几类:

1. 离心风机

离心风机的空气流向垂直于主轴,它主要由叶轮、机壳、出风口、进风口、电动机组成。叶轮安装在电动机主轴上,随电动机一起高速转动。叶轮上的叶片将空气从进风口吸入,然后被甩向机壳,并由机壳收集、增压后由出风口排出。

离心式风机的特点是风压高,风量可调,相对噪声较低,可将空气进行远距离输送。适用于要求低噪声、高风压的场合。按离心风机的出口方向可分为右旋和左旋。从电动机一端正视,叶轮顺时针旋转称为右旋,逆时针方向旋转称为左旋。

2. 轴流风机

空气流向平行于主轴,它主要由叶片、圆筒型出风口、钟罩形进风口、电动机组成。叶片安装在主轴上,随电动机高速转动,将空气从进风口吸入,沿圆筒型出风口排出。

轴流式风机的特点是风压较低,风量较大,噪声相对较大,耗电少,占地面积小,便于维修。

3. 其他风机

(1) 贯流式风机。采用一个筒形叶轮,其噪声介于离心风机和轴流风机之间,可获得扁平而高速的气流,出风口细长,结构简单,常用于风幕机、风机盘管和家用空调室内侧风机。

(2) 混流式风机。也称子午加速轴流风机。其出风筒为锥形,空气在其中被加速,之既

能产生高风压，又能维持轴流风机的高风量，所以它兼有离心风机和轴流风机的优点。另外，混流式风机还具有结构简单、造价低，维修方便的特点。

(3) 筒形离心风机。将离心风机的出风口改为轴向输出，这样就使其占地面积减小，效率提高，所以它得到了广泛地应用。

三、风管的形式和材料

1. 风管的材料

普通空调多用薄钢板、铝合金板或镀锌钢板制做风道。在某些体育馆、影剧院也用砖或混凝土预制风道。另外，也可用木板、塑料板作为风道。在新型空调中，也有用玻璃纤维板或两层金属间加隔热材料的预制保温板做成的风道，但造价较高。

2. 风管的形式

常用的风管有圆形和矩形两种形式。其中，矩形风管容易和建筑配合，但保温加工较困难。圆形风管阻力小，省材料，保温制作方便。还有一种椭圆形风管，它兼有矩形和圆形风管的优点，但需专用设备进行加工，造价较高。

四、风管的保温

风管的保温是为了减少管道的能量损失，防止管道表面产生结露现象，并保证进入空调房间的空气参数达到规定值。

常用的保温结构由防腐层、保温层、防潮层、保护层组成。

防腐层一般为一至两道防腐漆。保温层目前为阻燃性聚苯乙烯或玻璃纤维板，以及较新型的高倍率独立气泡聚乙烯泡沫塑料板，其具体厚度应参阅有关手册进行计算。保温层和防潮层都要用铁丝或箍带捆扎后，再敷设保护层。保护层可用水泥、玻璃纤维布、木板或胶合板包裹后捆扎。设置风管及制作保温层时，应注意其外表的美观和光滑，尽量避免露天敷设和太阳直晒。

五、风口的作用及形式

1. 风口的作用

经过热、湿处理的空气是通过送风口送入室内的，经过热交换后的空气还会通过回风口回到空调系统进行处理。合理地选择送、回风口的形式，确定送、回风口的位置，就可以在整个房间形成均匀的温度、湿度、气流速度和空气洁净度，以满足人们对舒适性的要求。

2. 风口的形式

(1) 送风口型式。按气流扩散的方向分可分为：

1) 侧送风。气流沿送风口轴线方向送出，安装于室内侧墙或风管侧壁上，适用于宾馆客房，按风口型式可分为：

- a. 格栅送风口。格栅不可调，气流向前送出。
- b. 单层百叶送风口。叶片可调，可向上、下送风。
- c. 双层百叶送风口。叶片可调，可向上、向下、向左或向右送风。
- d. 条缝送风口。常作为风机盘管，诱导器的出风口。

2) 散流器。气流为辐射状向四周扩散。它通常装于房间天花板上。按风口形状可将其分为：

- a. 方形散流器。空气平送，用于房间高度较低的房间，适用范围极广。
- b. 圆形散流器。用于输送冷暖风，空气平送，风量大且均匀。

c. 圆盘形散流器。空气下送，用于输送冷暖风，能以较小的风量供给较大的地面面积。

(2) 回风口形式。有网格式、固定百叶式和活动百页式。

(3) 新风口型式。新风口应位于排风口上风向且高于室外地面 2m 以上。

六、气流组织的特点

房间内合理的气流组织主要取决于送风口的形式和位置。目前，常见的气流组织型式有：

1. 侧送风如图 3-33 所示

侧板送风是目前最常用的气流组织型式。风道位于房间上部，沿墙敷设，在风道的一侧或两侧开送风口。可以上送风，上回风，也可以上送风，下回风。

它的特点是风口应贴顶布置，形成贴附射流，回风区进行热交换。回风口设在送风口的同侧，风速为 $2 \sim 5\text{m/s}$ 。冬季送热风时，调节百叶窗使气流斜下方射出。

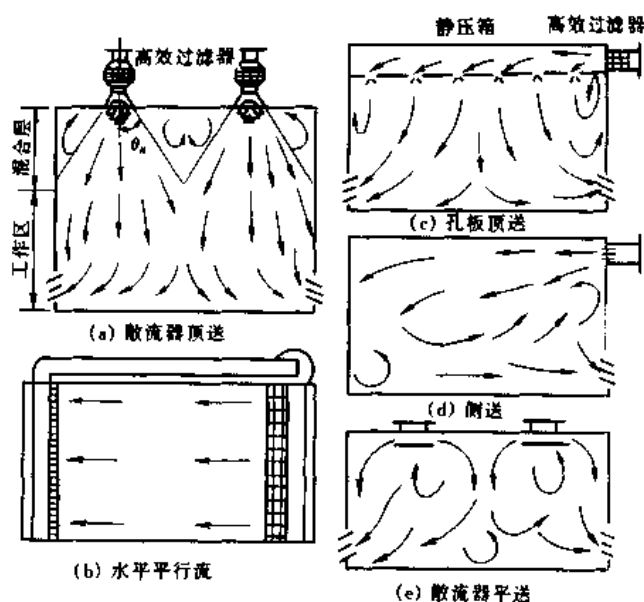


图 3-33 几种送风方式示意

2. 散流器送风

散流器送风可以进行平送和侧送。它也是在空气回流区进行热交换。射流和回流流程较短，通常沿顶棚形成贴附式射流时效果较好。它适用于设置顶棚的房间。

3. 条缝送风

通过条缝形送风口进行送风，其射程较短。温差和速度变化较快，适用于散热量较大而只求降温的房间，例如纺织厂、高级公共民用建筑等都采用条缝送风。

4. 喷口送风

经热、湿处理的空气由房间一侧的几个喷口高速喷出，流过一定的距离后返回。工作区处于回流过程中，这种送风方式风速高，射程远，速度、温度衰减缓慢，温度分布均匀。适用于大型体育馆、礼堂、剧院及高大厂房等公共建筑中。

5. 孔板送风

利用顶棚上面的空间作为静压箱。在压力的作用下，空气通过金属板上的小孔进入室内。回风口设在房间下部。

孔板送风时，射流的扩散及与室内空气混合速度较快，因此工作区内空气温度和流速都比较稳定，适用于对区域温差和工作区风速要求严格，室温允许波动较小的场合。

思考与练习

1. 什么是中央空调的冷源？
2. 什么是中央空调的热源？
3. 喷水室有几种分类方式？各种方式的基本特点是什么？

4. 简述单级卧式喷水室的工作过程。
5. 粗喷、中喷和细喷三种喷嘴各自的特点是什么？
6. 喷嘴有几种排列方式？各有何特点？
7. 空气加湿设备的分类方法是什么？
8. 蒸汽加湿器的工作原理是什么？
9. 空气除湿设备有几种？各自有何特点？
10. 简述固定转换式硅胶除湿装置的工作过程。
11. 简述氯化锂除湿机的工作过程。
12. 简述三甘醇除湿机的工作过程。
13. 空气净化标准中超净净化的要求是什么？
14. 空气过滤器分哪几类？各类的特点和作用是什么？
15. 空气调节的水系统有几种形式？
16. 开式和闭式水系统的区别是什么？
17. 什么是复式水泵供水系统？
18. 水系统中水泵是如何与系统连接的？
19. 水系统的管道保温应如何作？
20. 离心风机与轴流风机各有什么特点？
21. 风道的保温层应如何做？
22. 风口的作用是什么？

第四章 空调系统的制冷设备

第一节 制冷剂与载冷剂及冷冻润滑油

制冷剂，又称“制冷工质”，是在制冷系统的蒸发器内沸腾并从被冷却物体中吸取热量而气化，然后在冷凝器内将热量传递给周围介质（水或空气）而液化的工作物质。

载冷剂，又称“冷媒”，是在间接制冷系统中循环，将被冷却物体的热量传递给制冷剂的流体介质。

一、制冷剂的种类和一般分类方法

世界上的众多物质中，凡是在一定条件下能产生相态变化，并伴随着自身热力状态变化，与外界发生能量交换的物质，都可以是制冷剂。但是从技术、经济、安全等方面因素来考虑，在制冷工程上应用的制冷剂只有十余种。若按其化学、物理和热力学性质分类一般可分为四类。

为了书写方便，国际 GB7778—87 规定了各种通用制冷剂的简单编号方法，以代替使用其化学名称、分子式或商品名称。国标中规定：用字母 R 和它后面的一组数字及字母作为制冷剂的简写编号。规定要求字母 R 作为制冷剂的代号，后面的数字或字母则根据制冷剂的种类及分子组成按一定的规则编写。

1. 氟利昂类制冷剂

氟利昂是制冷、空调行业使用的主要制冷剂，它是饱和碳氢化合物氟、氯、溴衍生物的总称。目前使用的氟利昂制冷剂，主要是甲烷和乙烷的氟、氯、溴衍生物。即是以氟、氯、溴的原子取代甲烷或乙烷中的全部或部分氢原子而形成的化合物。

氟利昂制冷剂的种类繁多，一般常用其分子通式来命名各种氟利昂制冷剂的代号。

氟利昂的分子通式为： $C_mH_nF_xCl_yBr_z$ ，其中各元素的原子数分别用 m 、 n 、 x 、 y 、 z 表示，它们是按照下述规定方法来表示的：

(1) R 后面第一位数字表示氟利昂分子中含碳元素的原子数目 $m - 1$ 。若该值为零时，可省略不写。例如二氟二氯甲烷的分子式为 CF_2Cl_2 ，因为 $m - 1 = 0$ ， $n = 0 + 1 = 1$ ， $x = 2$ ，故代号为 R_{12} 。

(2) R 后面第二位数字表示氟利昂分子式中含氢元素的原子数目加上 1。如上例中的 $n = 0$ ，加上 1 后为 $n + 1 = 1$ 。

(3) R 后面第三位数字表示氟利昂分子式中含氟元素的原子数目。如上例中的 $x = 2$ 。

(4) 如果第一位数字计算结果为 0，则可省略不写，如上例中的 $m = 1$ ， $m - 1 = 0$ ，则省略不写。

(5) 若分子式中有溴原子存在，则在最后增加字母 B，并附以表示溴原子数的数字。例如三氟-溴甲烷，其分子式为 CF_3Br ，可写成 R_{13B1} 。

氟利昂类制冷剂化学性能稳定，可燃性低，基本无毒，只是其蒸气在与明火接触时才会

分解出剧毒光气。但是近年的科学研究证实 R_{12} 、 R_{11} 、 R_{22} 等氯氟烃类 (CFC) 制冷剂, 当其泄漏到大气中时, 会使地球同温层中的臭氧层衰减, 使地球上的生物遭受到紫外线的损害, 进而危及人类的生存与健康。因此, 氟利昂类中部分制冷剂的禁用, 将给空调制冷业带来新的技术问题。

2. 无机化合物制冷剂

这类制冷剂有氨、水、空气、二氧化碳等, 制冷剂水在吸收式制冷设备中应用最多。无机化合物制冷剂代号用 $R_{7\sim}$ 表示。例如水用 R_{718} , 二氧化碳用 R_{744} 表示。

3. 混合制冷剂

混合制冷剂又称共沸溶液制冷剂, 这种制冷剂是由两种或两种以上不同工质, 按一定比例混合而成的。其特点是此类制冷剂在一定的压力下能保持一定的蒸发温度, 其气相或液相始终保持组成成分不变, 但它的热力性质却不同于参与混合的原工质。对于已经商品化的混合制冷剂, 依应用的先后在 500 序号中顺次地规定其编号。例如 R_{500} 、 R_{502} 。

4. 碳氢化合物制冷剂

这类制冷剂分为饱和碳氢化合物和不饱和碳氢化合物两大类。

饱和碳氢化合物称为烷烃, 主要有甲烷、乙烷、丙烷、正丁烷等。

不饱和碳氢化合物称为烯烃, 主要有乙烯、丙烯等。

上述各类制冷剂中, 若按照其标准蒸发温度 t_0 和常温下冷凝压力 p_k 的高低及应用温度范围来分类, 又可分为高温 (低压)、中温 (中压)、低温 (高压) 三大类。

(1) 高温 (低压) 制冷剂: 一般 $t_0 > 0^\circ\text{C}$, $p_k \leq 0.3\text{MPa}$, 如 R_{11} 、 R_{21} 、 R_{113} 、 R_{114} 等。这类制冷剂多用于空气调节制冷系统的离心式压缩机中。

(2) 中温 (中压) 制冷剂: 通常 $t_0 = 0 \sim -60^\circ\text{C}$, $p_k = 0.3 \sim 2\text{MPa}$, 如 R_{12} 、 R_{22} 、 R_{17} 、 R_{142b} 、丙烯、丙烷等。这类制冷剂适用的温度范围较广, 一般为单元式空调机组常选用此类制冷剂。

(3) 低温 (高压) 制冷剂: 这类制冷剂的 $t_0 < -60^\circ\text{C}$, $p_k = 2 \sim 4\text{MPa}$, 如 R_{13} 、 R_{14} 、乙烯、乙烷等。它们多用于制取 -70°C 以下低温制冷或复叠式制冷装置中。

二、对制冷剂的要求

制冷剂应具备的基本要求有以下几个方面。

1. 热力学性质方面的要求

(1) 在标准大气压力下制冷剂的蒸发温度要低, 一般不应高于 -10°C 。在标准蒸发温度下的蒸发压力应高于或接近于大气压力, 以免空气渗入制冷系统。

(2) 在工作温度范围内制冷剂的冷凝压力不宜过高, 一般不宜超过 14.7MPa 。若冷凝压力太高, 对制冷设备的强度要求也就相应地提高。这样不仅会造成设备初投资加大, 而且还会导致压缩机功耗增加。

(3) 制冷剂的单位容积制冷量 (q_v) 要大。因为 q_v 值大, 表明在压缩机缸径和行程相同的情况下, 可以获取较大的制冷量。

(4) 制冷剂的临界温度要高些, 即在常温或普通低温下能获得制冷剂的液化, 制冷剂的凝固温度要低些, 以便取得较低的蒸发温度。

2. 物理化学性质方面的要求

(1) 制冷剂的粘度和密度尽可能要小, 以减少制冷剂在系统中的流动阻力。

(2) 制冷剂应有较强的换热性能, 以提高换热器的效率。

(3) 应有一定的吸水性, 当制冷系统中混入微量水分时, 不易形成“冰堵”, 影响系统正常工作。

(4) 应具有化学稳定性, 在工作压力、温度范围内不燃烧, 不爆炸, 高温下不分解, 对人体无害, 不腐蚀制冷系统的材料, 对密封材料的溶解作用小, 与润滑油不起化学变化。

三、制冷剂的热力性质

各种制冷剂的基本热力性质见表 4-1。

表 4-1 常用制冷剂的性质

名 称	化学分子式	制冷剂编号	标准蒸发 温 度 (℃)	凝固温度 (℃)	临界温度 (℃)	临界压力 (10 ⁵ Pa)	等熵指数	相对分子 质 量
氟利昂								
一氟三氯甲烷	CFCl ₃	R ₁₁	23.7	-111.0	198.0	43.7	1.13	137.39
二氟二氯甲烷	CF ₂ Cl ₂	R ₁₂	-29.8	-158.0	112.0	41.2	1.14	120.93
三氟一氯甲烷	CF ₃ Cl	R ₁₃	-81.5	-181.0	28.8	38.6	—	104.47
三氟一溴甲烷	CF ₃ Br	R _{13B1}	-57.8	-168.0	67.5	40.5	1.116	148.9
四氟甲烷	CF ₄	R ₁₄	-128.0	-184.0	-45.5	37.5	1.22	88.01
一氟二氯甲烷	CHFC1 ₂	R ₂₁	8.9	-135.0	178.5	51.66	1.16	102.92
二氟一氯甲烷	CHF ₂ Cl	R ₂₂	-40.8	-160.0	96.0	49.86	1.16	86.48
三氟甲烷	CHF ₃	R ₂₃	-82.2	-160.0	26.3	48.33	—	70.01
三氟三氯乙烷	C ₂ F ₃ Cl ₃	R ₁₁₃	47.7	-36.6	214.1	34.15	1.09	187.39
四氟二氯乙烷	C ₂ F ₄ Cl ₂	R ₁₁₄	3.5	-94.0	145.8	32.75	1.107	170.91
五氟一氯乙烷	C ₂ ClF ₅	R ₁₁₅	-38.0	-106.0	80.0	32.4	1.09	154.48
二氟一氯乙烷	C ₂ H ₃ F ₂ Cl	R ₁₄₂	-9.8	-130.8	137.1	41.5	1.135	100.48
三氟乙烷	C ₂ H ₃ F ₃	R ₁₄₃	-47.6	-111.3	73.1	37.76	—	84.04
二氟乙烷	C ₂ H ₄ F ₂	R ₁₅₂	-25	-117	113.5	44.9	—	66.05
四氟乙烷	C ₂ H ₂ F ₄	R _{134a}	-26.2	-96.6	101.1	40.7	—	102.0
无机化合物								
水	H ₂ O	R ₇₁₈	100	0.0	374.15	221.2	1.33	18.02
氨	NH ₃	R ₇₁₇	-33.3	-77.7	132.4	112.9	1.31	17.03
二氧化碳	CO ₂	R ₇₄₄	-78.52	-56.6	31.0	73.8	1.30	44.01
碳氢化合物								
甲 烷	CH ₄	R ₅₀	-161.5	-182.2	-82.5	46.2	—	16.04
乙 烷	C ₂ H ₆	R ₁₇₀	-88.6	-183.2	32.1	49.33	1.25	30.06
丙 烷	C ₃ H ₈	R ₂₉₀	-42.1	-187.1	96.8	42.56	1.13	44.1
乙 烯	C ₂ H ₄	R ₁₁₅₀	-103.7	-169.0	9.3	50.6	1.22	28.05
丙 烯	C ₃ H ₆	R ₁₂₇₀	-47.7	-185.0	91.8	46.0	1.15	42.08
共沸制冷剂								
R ₁₂ /R _{152a}	CF ₂ Cl ₂ CH ₃ ·CHF ₂	R500	-33.3	-158.8	105.0	44.55	R ₁₂ —73.8% R _{152a} —26.2%	
R ₂₂ /R ₁₁₅	CHF ₂ Cl CF ₂ ClCF ₃	R502	-45.6	—	90.2	43.67	R ₂₂ —48.8% R ₁₁₅ —51.2%	
R ₂₃ /R ₁₃	CHF ₃ CF ₃ Cl	R503	-88.7	—	19.5	42.93	R ₂₃ —40.1% R ₁₃ —59.9%	

制冷剂在制冷系统中连续不断地循环流动，要求其应有很好的热稳定性，在工作温度范围内不产生分解。在通常情况下，制冷剂是热稳定的，其分解温度远远高于制冷剂的工作温度。氟利昂制冷剂中氟分子的数量越多，其热稳定性越好。一般情况下，氟利昂单独存在时，它的热稳定性很好，但在有金属催化剂存在或与润滑油、水和空气接触时，其热稳定性就会变差。

制冷剂与水的作用有两种情况：相互溶解性和水解作用。

制冷剂氨极易溶于水，氟利昂制冷剂难溶于水。氟利昂分子中氟原子的数目愈多，溶于水的能力就愈弱。因此，当氟利昂制冷剂中的含水量超过其溶水能力时，游离态的水会在低温下析出，造成制冷系统“冰堵”。

氟利昂制冷剂对几乎所有金属都没有腐蚀作用，但当氟利昂中含有水分时就会因发生水解作用而生成酸性物质，对金属产生腐蚀作用，并且降低了制冷剂电气绝缘性能。

制冷剂根据豚鼠在其气体作用下的危害程度及作用时间，可将制冷剂的毒性分为六个等级。如表 4-2 和表 4-3 所示。表中的毒性级别的数字越小，其毒性越大，为更准确地表示毒性的太小，在相邻两级之间还用 a、b、c 等作了更细的等级划分，毒性依次递减。

表 4-2 制冷剂毒性等级

毒性等级	试验条件		危害程度
	制冷剂气体的体积百分比 (%)	作用时间 (min)	
1	0.5~1	5	致死
2	0.5~1	30	致死
3	2~2.5	60	开始死亡或重创
4	2~2.5	120	开始死亡或重创
5	20	120	有一定危害
6	20	120	不发生危害

表 4-3 一些制冷剂的毒性比较

制冷剂	毒性等级	对生物有重大危险的接触时间和体积分数	
		时间 (h)	体积分数 (%)
R ₁₁	5a	2	10.0
R ₁₂	6	2	28.5~30.4
R ₂₁	4~5	1/2	10.2
R ₂₂	5a	2	9.5~11.7
R ₁₁₃	4~5	1	4.8~5.2
R ₁₁₄	6	2	20.1~21.5
R ₅₀₀	5a	2	19.4~20.3
R ₅₀₂	5a	—	—
R ₄₀	4	2	2~2.5
R ₃₀	4~5	1/2	5.1~5.3
R ₇₁₇	2	1/2	0.5~0.6
R ₇₆₄	1	1/2	0.7
R ₇₄₄	5a	1/2~1	29~30
R ₁₇₀	5b	2	37.5~51.7
R ₂₉₀	5b	2	37.5~51.7

有些制冷剂虽然无毒，但若在空气中占有高浓度时，也会对人造成伤害，即造成空气中缺氧，使人窒息。

制冷剂与冷冻润滑油的溶解性是制冷剂的一个重要的热力性质。根据制冷剂与冷冻润滑油的互溶程度，可以分成三种情况：

(1) 制冷剂难溶于润滑油。这类制冷剂有 R₇₁₇、R₇₆₄、R₁₃、R₁₄、R₁₅ 等。他们与润滑油共存时有明显的分层现象，在制冷系统中润滑油很容易从制冷剂中分离出来。

(2) 制冷剂与润滑油完全溶解。这类制冷剂有 R₁₁、R₁₂、R₂₁、R₁₁₃、R₅₀₀ 等。他们与润滑油共存时会形成均匀溶液，没有分层现象。制冷剂在润滑油中的溶解度，随着压力的升高和温度的降低而增加。

(3) 制冷剂与润滑油的溶解随条件而变。这类制冷剂有 R₂₂、R₁₁₄、R_{152a} 和 R₅₀₂ 等。他们在高温时与润滑油完全互溶，低温时与润滑油的混合溶液就分成两层，一层含油量少，另

一层含油量多。氟利昂制冷剂与润滑油的溶解程度是随着氯原子数和溴原子数的减少而增加的。

制冷剂与润滑油互相溶解的好处是：在制冷系统的热交换器内表面不会形成油膜，避免了油膜对传热的不利影响；润滑油溶解于制冷剂中，可随制冷剂一道渗透到压缩机的各个部位，形成良好的润滑条件以及从冷凝器、蒸发器向压缩机回油好；制冷剂与润滑油互溶后可使润滑油的粘度和凝固点降低，有利于润滑油在低温条件下的流动。

制冷剂与润滑油互溶后的不足是：在压缩机长期停机后，制冷剂大量积聚在曲轴箱中。当压缩机重新启动时，曲轴箱中压力突然下降，制冷剂大量从润滑油中逸出，使润滑油沸腾，形成“奔油”现象，使压缩机的油压难以建立；制冷剂与润滑油互溶，会使润滑油的粘度降低，导致润滑表面因油膜太薄或形不成油膜而影响其润滑作用；制冷剂与润滑油互溶，会使制冷剂的特性发生变化，在相同压力下制冷剂中溶解的润滑油越多，则蒸发温度越高，溶解的润滑油越少，则蒸发温度越低。因此在相同的蒸发温度下，其相应的蒸发压力比不含润滑油的制冷剂低，导致压缩机制冷量下降。

四、常用制冷剂的特性

用作中央空调冷源的蒸汽压缩式制冷机组以氟利昂作为制冷剂。

氟利昂是一类无色透明、无味、基本无毒，又不易燃烧、爆炸、化学性能稳定的制冷剂。

氟利昂制冷剂的等熵指数小，因此排气温度低。又因各种氟利昂制冷剂的分子量不同，因此氟利昂类制冷剂可适用于活塞式、螺杆式和离心式压缩机。

中央空调用制冷机组常用的氟利昂的特性介绍如下：

(1) 氟利昂 11 (R_{11} ，一氟三氯甲烷，分子式为 $CFCl_3$)。

R_{11} 属于高温制冷剂，可用于离心式机组中。 R_{11} 传热性能与 R_{12} 相近；粘度比 R_{12} 大。 R_{11} 在标准大气压力下蒸发温度为 23.7°C ，用于离心式机组中工作时，其蒸发压力小于大气压力。

R_{11} 中有三个氯原子，其毒性比 R_{12} 大； R_{11} 与水不相溶；对金属和润滑油的作用与 R_{12} 相似。

R_{11} 与明火接触时易分解放出剧毒光气，因此使用 R_{11} 制冷剂的机房中要严禁明火。

(2) 氟利昂 12 (R_{12} ，二氟二氯甲烷，分子式为 CF_2Cl_2)。

R_{12} 属于中温制冷剂，可用于活塞式机组中。

R_{12} 无色，有微弱的芳香味，几乎无毒。当它在空气中的容积浓度超过 80% 时会引起人的窒息。

R_{12} 不燃烧、不爆炸，对金属无腐蚀作用，与水不相溶。当其含水量过多时，会产生卤酸，腐蚀金属。

因为 R_{12} 能溶解多种有机物，所以不能使用一般的橡胶作密封垫片，通常使用氯丁二烯人造橡胶或丁腈橡胶作密封材料。

R_{12} 液体与润滑油能完全互溶，不会因在传热表面形成油膜而影响传热。在压缩机曲轴箱中，由于 R_{12} 与润滑油的互溶作用，当压缩机停机时，曲轴箱中润滑油对 R_{12} 的溶解量增多。当压缩机再次启动时，曲轴箱内的压力降低到蒸发压力，润滑油中的 R_{12} 会大量蒸发出

来，使润滑油起大量泡沫，影响油泵的正常工作，因此，R₁₂制冷压缩机在启动前需先对曲轴箱内的润滑油加热，将 R₁₂从润滑油中挤出。

R₁₂的渗透性很强，因此对制冷系统的密封性要求很高。

(3) 氟利昂 22 (R₂₂，二氟一氯甲烷，分子式为 CHF₂Cl)。

R₂₂属于中温制冷剂，可用于活塞或螺杆式机组中。R₂₂在相同的蒸发温度和冷凝温度下，R₂₂比 R₁₂的压力要高 65%左右，单位容积制冷量要大 60%左右。

R₂₂无色、无味，不燃烧、不爆炸，毒性比 R₁₂略大，但仍属于安全制冷剂。

R₂₂的溶水性比 R₁₂稍大，但仍属于不溶于水的物质。在使用时系统上仍应装干燥过滤器。

R₂₂的化学性质不如 R₁₂稳定，对有机物的膨润作用更强，密封材料可采用氯乙醇橡胶。

R₂₂对大气臭氧层的破坏作用仅相当于 R₁₂的 5%。目前，国内正在研究在一些设备中以 R₂₂代替 R₁₂，以解决当前要逐渐停用 R₁₂的问题。

(4) 氟利昂 134a (R_{134a}，四氟代乙烷，分子式为 C₂H₂F₄)。

R_{134a}作为在电冰箱及中小型制冷设备中替代 R₁₂，在大型空调制冷装置中替代 R₁₂或 R₁₁的环保型制冷剂，备受关注。

R_{134a}的标准蒸发温度为 -26.5℃，它的主要热力性质与 R₁₂相似，其毒性也与 R₁₂相同。

R_{134a}对金属的腐蚀程度小于 R₁₂，其化学稳定性也比较好。其最大优点是对大气臭氧层没有破坏作用，安全而无害。使用 R₁₂为制冷剂的机组改用 R_{134a}以后，其制冷量和能效比不会有明显的变化，是 R₁₂最好的替换物质。R_{134a}与 R₁₂的主要性能比较见表 4-4。R_{134a}的主要热力性质见 4-5。

表 4-4 R_{134a}与 R₁₂的主要性能比较

工 质		R _{134a} (HFC-134a)	R ₁₂ (CFC-12)
化学分子式		CH ₂ FCF ₃	CCl ₂ F ₂
分子量		102.0	120.93
标准气化温度,℃		-26.5	-29.8
凝固点,℃		-101.0	-155.0
临界温度,℃		100.6	112.0
临界压力, MPa		3.944	4.12
临界比容, l/kg		2.047	1.793
25℃时液体密度, kg/l		1.203	1.309
25℃时蒸气压力, MPa		0.6618	0.6516
标准气化温度饱和蒸气密度, kg/m ³		5.05	6.33
25℃时液体比热, kJ/(kg·K)		1.129	0.971
25℃时, 常压下蒸气定压比热, kJ/(kg·K)		0.791	0.615
标准气化温度时的气化潜热, kJ/kg		219.8	165.3
25℃时的导热系数, W/(m·K)	蒸气	0.0083	0.0097
	液体	0.118	0.068
25℃时的常压下动力粘度, Pa·s	蒸气	1.23×10 ⁻⁵	1.11×10 ⁻⁵
	液体	—	2.52×10 ⁻⁴
24℃时的表面张力, N/m		0.0108	0.0091
25℃常压下在水中的溶解度 (质量百分比)		0.15	
空气中可燃性		无	无

表 4-5

R_{134a}在饱和状态下的热力性质

温度 t (°C)	压力 p (MPa)	密度 ρ (kg/m ³)		比焓 h (kJ/kg)		比熵 s [kJ/(kg·K)]		定容比热 c_v [kJ/(kg·K)]		定压比热 c_p [kJ/(kg·K)]		表面张力 σ (N/m)
		液体	气体	液体	气体	液体	气体	液体	气体	液体	气体	
-40	0.052	1414	2.8	0.0	223.3	0.000	0.958	0.667	0.646	1.129	0.742	0.0177
-35	0.066	1399	3.5	5.7	226.4	0.024	0.951	0.696	0.659	1.154	0.758	0.0169
-30	0.085	1385	4.4	11.5	229.6	0.048	0.945	0.722	0.672	1.178	0.774	0.0161
-25	0.107	1370	5.5	17.5	232.7	0.073	0.940	0.746	0.685	1.202	0.791	0.0154
-20	0.133	1355	6.8	23.6	235.8	0.097	0.935	0.767	0.698	1.227	0.809	0.0146
-15	0.164	1340	8.3	29.8	238.8	0.120	0.931	0.786	0.712	1.250	0.828	0.0139
-10	0.201	1324	10.0	36.1	241.8	0.145	0.927	0.803	0.726	1.274	0.847	0.0132
-5	0.243	1308	12.1	42.5	244.8	0.169	0.924	0.817	0.740	1.297	0.868	0.0124
0	0.293	1292	14.4	49.1	247.8	0.193	0.921	0.830	0.755	1.320	0.889	0.0117
5	0.350	1276	17.1	55.8	250.7	0.217	0.918	0.840	0.770	1.343	0.912	0.0110
10	0.415	1259	20.2	62.6	253.5	0.241	0.916	0.849	0.785	1.365	0.936	0.0103
15	0.489	1242	23.7	69.4	256.3	0.265	0.914	0.857	0.800	1.388	0.962	0.0096
20	0.572	1224	27.8	76.5	259.0	0.289	0.912	0.863	0.815	1.411	0.990	0.0089
25	0.666	1206	32.3	83.6	261.6	0.313	0.910	0.868	0.831	1.435	1.020	0.0083
30	0.771	1187	37.5	90.8	264.2	0.337	0.908	0.872	0.847	1.460	1.053	0.0076
35	0.887	1167	43.3	98.2	266.6	0.360	0.907	0.875	0.863	1.486	1.089	0.0069
40	1.017	1147	50.0	105.7	268.8	0.384	0.905	0.878	0.879	1.514	1.130	0.0063
45	1.160	1126	57.5	113.3	271.0	0.408	0.904	0.881	0.896	1.546	1.177	0.0056
50	1.318	1103	66.1	121.0	272.9	0.432	0.902	0.883	0.914	1.581	1.231	0.0050
55	1.491	1080	75.9	129.0	274.7	0.456	0.900	0.886	0.932	1.621	1.295	0.0044
60	1.681	1055	87.2	137.1	276.1	0.479	0.897	0.890	0.950	1.667	1.374	0.0038
65	1.888	1028	100.2	145.3	277.3	0.504	0.894	0.895	0.970	1.724	1.473	0.0032
70	2.115	999	115.5	153.9	278.1	0.528	0.890	0.901	0.991	1.794	1.601	0.0027
75	2.361	967	133.6	162.6	278.4	0.553	0.885	0.910	1.014	1.884	1.776	0.0022
80	2.630	932	155.4	171.8	278.0	0.578	0.879	0.922	1.039	2.011	2.027	0.0016
85	2.923	893	182.4	181.3	276.8	0.604	0.870	0.937	1.066	2.204	2.408	0.0012
90	3.242	847	216.9	191.6	274.5	0.631	0.860	0.958	1.097	2.554	3.056	0.0007
95	3.590	790	264.5	203.1	270.4	0.662	0.844	0.988	1.131	3.424	4.483	0.0003
100	3.971	689	353.1	219.3	260.4	0.704	0.814	1.044	1.168	10.793	14.807	0.0000

在制冷机组上若采用 R_{134a} 替代 R₁₂，要注意的问题是由于 R_{134a} 的分子比 R₁₂ 小，因此渗透性更强，而且 R_{134a} 对一般橡胶有腐蚀作用，因而要采用氢化丁腈橡胶 (HNBR) 等材料替代原来的丁腈橡胶 (NBR)，而润滑油要采用 PAG 或 POE (脂类合成油)，因为 R_{134a} 与原来的矿物冷冻油不相溶；干燥剂也要改用 XH-7 型分子筛，因为 R_{134a} 及与其相配套使用的冷冻润滑油的吸水性会更强些。

五、制冷剂的储存和测定

1. 制冷剂的储存

制冷剂要装在专用的钢瓶中，钢瓶应符合国家有关技术规定的要求并定期进行耐压试验。盛装不同品种制冷剂的钢瓶不要互相调换使用，更不能混装。充装制冷剂时，充灌量一般为钢瓶容量的 80%~90%，装有制冷剂的钢瓶在储存、运输过程中不可受热和曝晒，并应避免碰撞及剧烈振动，以免引起事故。

国家规定：盛装氟里昂类的钢瓶应漆成银灰色，在钢瓶的表面要标注所储存制冷剂的名

称或代号。

储存制冷剂的钢瓶上的控制阀常用一瓶帽加以保护，在使用钢瓶时，每次使用完毕，关闭好瓶阀后应带好瓶帽，以防在搬运过程中碰撞瓶阀造成制冷剂泄漏或其他意外事故。

2. 制冷剂的测定

通常对制冷剂种类和纯度的测定，应由化验部门进行，在空调制冷装置场所要判断制冷剂的纯度和种类可用简易方法进行。

制冷剂纯度的简易测定：测定制冷剂中油和杂质含量多少的一般方法为：取一张清洁的白纸，对着倒置的制冷剂钢瓶的瓶口，稍微放出一些液体制冷剂，观察它在自然蒸发后留在白纸上的痕迹。纯度高的制冷剂不会留下什么痕迹或痕迹不明显；纯度不高的制冷剂会在纸上留下明显的痕迹。若发现制冷剂纯度不好，应再做一次测试，确认制冷剂的纯度是否有问题，若纯度太差会对制冷系统的制冷效果有一定的影响，应考虑更换制冷剂或进行纯化。

测定制冷剂纯度的另一方法是：取一个清洁的硬质玻璃瓶置于保温材料之中，然后在瓶内放一支量程为 $-40 \sim 0^{\circ}\text{C}$ 的温度计，并向瓶内注入要测试的制冷剂液体，直到瓶内制冷剂的液面将温度计感温球浸没为止。待 $1 \sim 2\text{min}$ 后读取温度计的读数，看此读数与被测制冷剂在一个大气压下的沸点值是否相同。两值越接近，就说明制冷剂的纯度越高。若相差值较大，则说明制冷剂的纯度太低，应考虑更换。

六、制冷剂的限制问题

目前，制冷剂的编号都是按国际规定进行编写的，如 R_{12} 、 R_{22} 等。为了区别各类氟利昂对臭氧 (O_3) 的作用，1988 年美国杜邦公司建议采用新的命名方法。把不含氢的氟利昂写成 CFC，读作氯氟烃，如将 R_{12} 改写成 CFC_{12} 。把含氢的氟利昂写成 HCFC，读作氢氯氟烃，如将 R_{22} 改写成 HCFC_{22} 。把不含氯的氟利昂写成 HFC，读作氢氟烃，如将 R_{134a} 改写为 HFC_{134a} 。

在离地球表面 25km 处存在着一臭氧层，空气中的臭氧 90% 集中在该层中。在大气的组成成分中，臭氧起着举足轻重的双重作用。在都市烟雾中，臭氧主要起着负面作用。它严重地损害了人们的呼吸道，并导致农作物大幅度减产，全球每年由此造成的损失超过数十亿美元。但在离地面 25km 高空的同温层，臭氧层却成了一道天然屏障，能有效地阻止来自太阳的紫外线对地球表面的辐射危害，对地球上的生物起着极为重要的保护作用。

“臭氧”这个词源于希腊语，是“嗅”的意思。臭氧分子由三个氧原子组成，高度浓缩时呈淡蓝色，气味较臭。

由于构成臭氧分子的三个氧原子之间键合较弱，所以当 CFC 物质在大气中扩散，上升到臭氧层时，在紫外线的照射下会发生分解，释放出的氯原子与臭氧很容易产生亲和作用形成一氧化氯和氧分子。一氧化氯又会与游离的氧原子继续分成游离氯原子和普通氧原子，它们又会去破坏更多的臭氧分子。据测算，这种反应周而复始地进行下去，1 个氯原子最终会破坏 10 万个臭氧分子。

为减少 CFC 对臭氧层的破坏作用，人们在努力探索合适的替代制冷剂。合适的替代制冷剂应满足的基本条件是：

(1) 对环境安全。替代型制冷对臭氧的耗减潜能值 (Ozone Depletion Potential)，简称 ODP，必须小于 0.1。全球变暖潜能值 (Global Warming Potential)，简称 GWP，相对 R_{12} 来说必须小。

(2) 应具有良好的热力性能。工作时压力要适中, 制冷效率高, 并且与润滑油有良好的亲和性。

(3) 应具有可行性。可进行大规模的工业化生产, 毒性必须符合卫生要求, 对人体无不良影响, 并且价格应可被市场接受。

目前, 解决替代制冷剂的方法有短期、中期和长期三种。

短期的解决方法是采取措施, 尽量减少向大气中排放 CFC, 如改进生产工艺, 加强制冷系统的密封性, 使用 CFC 回收装置, 并逐年递减 CFC 的生产量。

中期的解决方法是采用短期替代物, 用 HCFC 物质替代 CFC 物质, 以达到技术过渡的目的。

长期的解决办法是采用 HFC 物质作为制冷剂。因为 HFC 不含氯, 对臭氧层没有破坏作用。在这方面研究较多的替代物是 R_{134a} 和 R_{152a} 。我国也在加紧研究 HFC 混合制冷剂的应用, 以寻求比较理想的和可以长期使用的制冷剂。

R_{134a} 已被用于替代 R_{12} , 它的消耗臭氧潜能值 ODP 为 0, 全球变暖潜能值 GWP 为 0.27。 R_{134a} 除可替代 R_{12} 之外, 也可以用在离心式压缩机中替代 R_{11} 或 R_{500} 。在对离心式制冷机的变速齿轮改装后, 几乎可以达到与使用 R_{11} 时相等的制冷量。但效率会比使用 R_{11} 时低一些。

R_{152a} 也是 R_{12} 的一种替代物。它的 ODP 值为 0, GWP 值为 0.04。也是目前主要的替代物制冷剂。 R_{152a} 的制冷系数 (COP) 比 R_{12} 略大, 但它的容积制冷量比 R_{12} 小。 R_{134a} 与 R_{152a} 的性能及与 R_{12} 和 R_{22} 的比较见表 4-6。

表 4-6 R_{152a} 和 R_{134a} 与 R_{12} 和 R_{22} 的性能比较

工 质	蒸发压力 ($\times 0.1\text{MPa}$)	冷凝压力 ($\times 0.1\text{MPa}$)	压比	排气温度 ($^{\circ}\text{C}$)	容积制冷量 (kJ/m^3)	单位制冷剂功耗 (kJ/kg)	COP
R_{12}	1.32	13.47	10.19	157.3	723.9	75.75	1.48
R_{22}	2.158	21.48	9.956	189.9	1206.7	108.77	1.46
R_{134a}	1.152	14.71	12.78	143.76	677.6	97.42	1.47
R_{152a}	1.049	13.14	12.53	169.41	669.2	154.9	1.55

七、载冷剂的种类

载冷剂是指在间接制冷系统中用夹传递热量的中间介质。载冷剂在热交换设备中被制冷剂冷却后, 送到冷却设备中, 吸收被冷却物体或环境的热量, 再返回到热交换器中被制冷剂重新冷却, 这样往复循环, 就能达到连续制冷的目的。

常用的载冷剂有水、盐水、有机化合物及其溶液等。中央空调系统主要使用水作为载冷剂。水作为中央空调系统的载冷剂的特点是: 比热大, 对流传热效果好, 价格低廉。但是其冰点温度较高。

八、常用的载冷剂的特性

对于需要获得低温的间接式制冷系统, 可以用有机化合物或其水溶液作为载冷剂。其物理特性见表 4-7。

表 4-7

几种常用载冷剂的热物理性质

使用温度 (℃)	载冷剂名称	浓 度 ξ (%)	密 度 $\rho \times 10^3$ (kg/m ³)	定压比热 c_p [kJ/(kg·K)]	热导率 λ [W/(m·K)]	动力粘度 $\mu \times 10^3$ (Pa·s)	凝固点 t_f (℃)
0	氯化钙水溶液	12	1.111	3.465	0.528	2.5	-7.2
	甲醇水溶液	15	0.979	4.1868	0.494	6.9	-10.5
	乙二醇水溶液	25	1.03	3.834	0.511	3.8	-10.6
10	氯化钙水溶液	20	1.188	3.041	0.501	4.9	-15.0
	甲醇水溶液	22	0.97	4.066	0.461	7.7	-17.8
	乙二醇水溶液	35	1.063	3.561	0.4726	7.3	-17.8
20	氯化钙水溶液	25	1.253	2.818	0.4755	10.6	-29.4
	甲醇水溶液	30	0.949	3.813	0.3878	—	-23
	乙二醇水溶液	45	1.080	3.312	0.441	21	-26.6
-25	氯化钙水溶液	30	1.312	2.641	0.441	27.2	-50
	甲醇水溶液	40	0.963	3.50	0.326	12.2	-42
	乙二醇水溶液	55	1.097	2.975	0.3725	90.0	-41.5
	二氯甲烷	100	1.423	1.146	0.2038	0.80	-96.7
	三氯乙烯	100	1.549	0.9976	0.1503	1.13	-88
	一氟三氯甲烷	100	1.608	0.817	0.1316	0.88	-111
-30	二氯甲烷	100	1.450	1.146	0.1898	1.04	-96.7
	三氯乙烯	100	1.578	0.7282	0.1712	1.90	-88
	一氟三氯甲烷	100	1.641	0.8125	0.1364	1.25	-111
-40	二氯甲烷	100	1.478	1.146	0.2213	1.37	-96.7
	三氯乙烯	100	1.590	0.4567	0.1957	3.40	-88
	一氟三氯甲烷	100	1.660	0.8340	0.1503	2.15	-111

九、冷冻润滑油的作用

冷冻润滑油简称润滑油。润滑是保证压缩机长期、安全、有效运转的关键。润滑油的作用主要是：

- (1) 润滑相互摩擦的零件表面，使相互摩擦的表面完全被油膜分隔开来，从而降低压缩机的摩擦功、摩擦热和零件的磨损。
- (2) 带走摩擦热，使摩擦零件的温度保持在允许的范围內。
- (3) 渗入压缩机各摩擦件密封面形成油封，起到阻挡制冷剂泄漏的作用。
- (4) 润滑油不断冲洗摩擦面，带走磨屑，减少摩擦件的损失。
- (5) 对于带有卸载—能量调节机构的压缩机，可利用润滑系统的压力油作为卸载机构动作的液压力。

十、对冷冻润滑油的性能要求

对冷冻润滑油的要求有：

- (1) 润滑油在与制冷剂混合的情况下，能保持足够的粘度。润滑油粘度一般用运动粘度来表示，单位是 m^2/s 。

一般氟利昂压缩机多采用 18 号和 13 号、25 号冷冻润滑油。而离心式压缩机多采用 30

号、40 号和 60 号润滑油。

(2) 凝固点应较低，一般凝固点应低于制冷剂蒸发温度 $5 \sim 10^{\circ}\text{C}$ 。

(3) 润滑油加热到当它的蒸气与明火接触即发生闪火时的最低温度，称为闪点。制冷压缩机选用的润滑油的闪点应比其排气温度高 $20 \sim 30^{\circ}\text{C}$ ，以免引起润滑油燃烧和结碳。

(4) 制冷压缩机所使用的润滑油不应含有水分和杂质。润滑油中若有水分存在，将会破坏油膜，并导致系统产生“冰堵”，引起润滑油变质和对金属产生腐蚀等作用。润滑油中若混有机械杂质将会使运动部件磨损加剧，造成油路系统或过滤器堵塞。

(5) 压缩机中的润滑油使用时应具有良好的化学稳定性，对机械不产生腐蚀作用。

(6) 润滑油要有良好的绝缘性，要求润滑油的击穿电压高于 2500V 以上。

我国生产并普遍使用的润滑油规格如表 4-8 所示。进口的制冷设备需要更换润滑油时，除了可以选用原润滑油外，也可以根据所用制冷剂的种类选择表中的润滑油。

表 4-8 国产冷冻机油规格

项 目	牌 号	石油 1213-59 13 号冷冻机油	石油 1220-65 18 号冷冻机油 (代号 HD-18)	石油 1219-65 25 号冷冻机油 (代号 HD-25)
运 动 粘 度 (50 $^{\circ}\text{C}$ 时) (厘 沱)		11.5~14.5	>18	>25.4
凝 固 点 ($^{\circ}\text{C}$) (不 高 于)		-40	-40	-40
闪 点 (开 口) ($^{\circ}\text{C}$) (不 低 于)		160	160	170
酸 值 (mgKOH/g) (不 大 于)		0.14	0.03	0.02
灰 分 (%) (不 大 于)		0.012		0.007
浊 点 ($^{\circ}\text{C}$) (不 高 于)			-28	
抗 氧 化 安 定 性: 氧化后沉淀物 (%) 氧化后酸值 (mgKOH/g)			不大于 0.005 不大于 0.05	
水 溶 性 酸 和 碱		无	无	
机 械 杂 质 (%)		无	无	不大于 0.007
水 分		无	无	无

十一、冷冻润滑油变质的原因及判断方法

冷冻润滑油变质的主要原因是：

(1) 润滑油中混入水分。当制冷剂中含有水分或者空气渗入制冷系统时都会将水分带入冷冻润滑油中。水分混入冷冻润滑油中，会引起其粘度的降低和造成对金属的腐蚀。

(2) 润滑油被氧化。由于制冷系统密闭程度不高，造成空气渗入制冷系统，空气中的氧与冷冻润滑油接触产生氧化变质。

(3) 润滑油混用。在设备维修时，在手头没有原型号的冷冻润滑油时，随意用其他型号的冷冻润滑油对机组进行补、换油工作，造成润滑油混用，继而产生化学变化，形成沉淀物，造成润滑油变质。

润滑油质量变化与否，应通过化验的方法得出结论。在没有化验的条件时，也可以从外观、颜色、气味直观地判断其好坏。其方法是：

(1) 观察法：好的冷冻润滑油应是透明的。当其变质时，颜色要变深。观察时可用滴管将待测润滑油的油样滴在白色吸水纸上，若在油滴中央部分无黑色痕迹，则说明没有变质；若能观察到有黑色痕迹，则说明润滑油已经变质。

(2) 对比法：取标准的冷冻润滑油倒入玻璃试管或量筒内静置一段时间后，作为标准试样。再从压缩机中放出一点需要判断的冷冻润滑油，也倒入同样大小的玻璃试管或量筒内，用眼睛对两者加以比较，如果从压缩机中放出来需要判断的冷冻润滑油的颜色、透明度与标准油的颜色、透明度差不多，就可判定润滑油没有变质。如果相对于标准油有点黄呈浅黄色或桔黄色时，则说明此油还可以用。如果需判断的冷冻润滑油的颜色、透明度与标准油相比有较大差别，已变成桔红色或红褐色的混浊状时，则说明该冷冻润滑油已变质，不能再用了。

为防止冷冻润滑油在没加入到压缩机前就发生变质，应在储存和加油时予以注意。一般采取的措施是降低润滑油储存温度。即将盛装冷冻润滑油的油桶放置在阴凉、温度较低的房间内，防止阳光曝晒。

油桶打开之前，应擦去盖上的污物和水分，然后根据压缩机的加油量进行小桶分装，并把小桶注满。使桶内尽量少留空气，以免水分侵入。加油时，应尽量把小桶内的润滑油一次加完。若加油前没有进行分装，就用大桶直接加油，会造成桶内剩下的润滑油混入较多的空气，影响油质。为避免此种情况发生，应把剩下的润滑油倒入小桶内加满后密封存放。

第二节 中央空调的冷源

中央空调所使用的冷源，按其制冷系统的工作原理分类，可分为三大类：蒸汽压缩式制冷系统、吸收式制冷系统和喷射式制冷系统。

制冷系统是指通过外能量的加入，实现热量从温度较低的物体（或空间）转移到温度较高的物体（或空间）的能量转换系统。

一、蒸汽压缩式制冷系统

蒸汽压缩式制冷系统所使用的制冷压缩机主要有：活塞式、离心式和螺杆式。

(1) 活塞式压缩制冷。压缩机的活塞在气缸中作往复运动，通过吸气、压缩、排气、膨胀四个工作过程，吸入来自蒸发器的低温低压制冷剂蒸汽，压缩后使蒸汽的体积变小，压力和温度升高，变成高温高压的过热蒸汽，排入冷凝器中，制冷剂蒸汽在冷凝器中向环境介质（空气或水）散热，冷却成为高压过冷液体，经节流阀减压节流后，以饱和湿蒸汽状态喷入蒸发器内气化，吸收空气（或冷媒）的热量后，又变成低温低压的饱和干蒸汽，被压缩机吸回，进行往复循环。

(2) 离心式压缩制冷。工作时，电动机通过增速箱带动离心式压缩机的主轴高速旋转，从蒸发器出来的制冷剂蒸汽由吸气室进入由叶片构成的通道，由于叶片的高速旋转产生的离心力作用，使气体获得动能和压力能。高速气流经叶轮进入扩压器，由于在扩压器中通流截面的面积逐渐增大，气流逐渐减速而增压，即将气体的动能转变为压力能。为了使气体继续增加，在多级离心式压缩机中，用弯道、回流器将气体均匀地引入下一级叶轮后，重复上述工作过程。当被压缩的气体从最后一级的扩压器流出后，用蜗室将气体汇集起来，由排气管输送至冷凝器中。

(3) 螺杆式压缩制冷。压缩机的两个螺杆——阳螺杆和阴螺杆，又称为阳转子和阴转子。两个转子相互啮合组成一对转子，在机壳内旋转完成对制冷蒸气的吸气、压缩和排气过程。

当转子转动时，两转子之间的齿槽容积随转子的旋转而逐渐扩大，并和吸入孔口相连通，由蒸发器出来的制冷剂蒸汽通过吸入孔口进入齿槽容积。当转子旋转到一定角度后，齿间容积越过吸入孔口位置与吸入孔口断开，吸气过程结束。

转子继续旋转，被机壳、吸、排气端座所封闭的齿槽内的气体，由于阴、阳转子的相互啮合而被压向排气侧，同时压力逐渐升高，压缩过程结束。

转子继续旋转，当齿槽空间与排气端座上的排气口相通时，气体已被压缩成高温、高压的过热蒸汽，由排气口排出，送至冷凝器中。在压缩与排气过程的同时，啮合线的另一侧又开始吸气过程，循环完成上述过程。

二、吸收式制冷系统

吸收式制冷系统是指以溴化锂吸收式制冷机为主体的制冷装置。

吸收式制冷机是以热能为动力的制冷机，它由发生器、冷凝器、蒸发器、吸收器、溶液泵和节流阀等部件组成。

吸收式制冷机中通常由两种不同沸点的溶液组成二元溶液，二元溶液中低沸点的溶液作为制冷剂，高沸点的溶液作为吸收剂，制冷剂和吸收剂统称为“工质对”。如在溴化锂吸收式制冷机中的工质对为水—溴化锂，水作为制冷剂，而溴化锂作为吸收剂。

溴化锂吸收式制冷机的工作原理如图 4-1 所示。

由蒸发器出来的低压制冷剂蒸汽，在压力差作用下流入吸收器中，被从发生器中回来的溴化锂浓溶液吸收，在吸收过程中释放出的热量被冷却水带走。吸收器中形成的水—溴化锂溶液由溶液泵输送至发生器中。水—溴化锂溶液在发生器中被其内部管道内的蒸汽或其他热源加热，提高了温度，制冷剂变为水蒸气从水—溴化锂溶液中分离出来，在压力差作用下进入冷凝器中被冷却水将其热量带走成为制冷剂水。制冷剂水经节流阀节流减压后进入蒸发器中汽化吸收冷媒水的热量后又变为水蒸气，在压力差作用下又流入到吸收器中继续循环。

吸收式制冷机是以发生器、吸收器、溶液泵代替了压缩式制冷装置中的压缩机。

三、喷射式制冷系统

喷射式制冷系统是指用高压蒸汽喷射来造成制冷剂相变制冷的制冷装置。

蒸汽喷射制冷也是中央空调使用的一种冷源。它与压缩式不同的是用蒸汽喷射器代替了压缩机，利用一定压力（一般为 $0.4 \sim 0.7 \text{ MPa}$ ）的蒸汽喷射、吸引和扩压来实现制冷剂的相变。它与吸收式制冷一样，也是以消耗热能来工作，以水为制冷剂的。它与吸收式制冷不一样的地方是：它只用单一工质（水）工作。

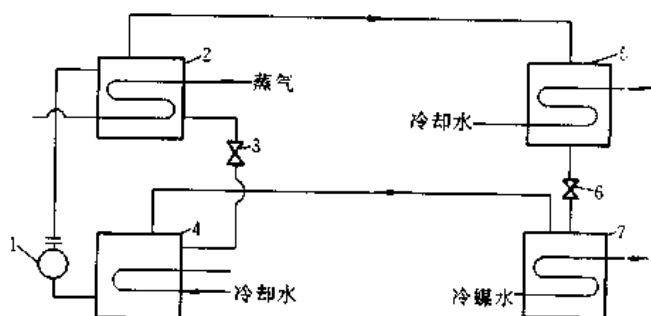


图 4-1 溴化锂吸收式制冷机工作原理

1—屏蔽泵；2—发生器；3—减压阀；4—吸收器；
5—冷凝器；6—节流阀；7—蒸发器

蒸汽喷射式制冷的工作原理如图 4-2 所示。喷射式制冷机由喷射器、冷凝器、蒸发器和水泵等部件组成。其工作蒸汽来自锅炉或废蒸汽。

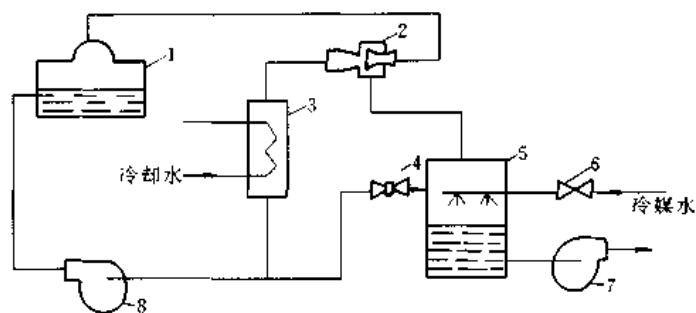


图 4-2 喷射式制冷机工作原理

1—锅炉；2—喷射器；3—冷凝器；4—节流阀；
5—蒸发器；6—节流阀；7—冷媒水泵；8—给水泵

从锅炉来的工作蒸汽进入喷射器，经迅速膨胀后在出口处形成一定程度的真空，吸引蒸发器中的蒸汽，于是蒸发器中的载冷剂——水（又称冷媒水）不断地蒸发，使水温下降，实现制冷的目的。蒸发器中的冷媒水用水泵输送到中央空调的空气处理装置中去冷却空气，也可以输送到风机盘管系统中作为冷源使用。

在空气处理装置中与空气进行热交换后温度升高了的冷媒水再返回到蒸发器中重新冷却；在喷射器出口处被吸引来的蒸汽与喷射蒸汽混合后，在喷射器的前部扩压段被压缩到冷凝压力后送入冷凝器中与冷却水进行热交换被冷凝成液体，从冷凝器中出来的冷凝水分成两路，一路经水泵返回锅炉，另一路经节流阀降压后进入蒸发器中作为冷媒水使用。

喷射式制冷在实际应用中，可以将 20°C 的冷媒水，降温至 5°C 送出。由于众多原因，喷射式制冷装置作为中央空调的冷源，应用不普遍，因此本书只对其工作原理进行介绍，以备使用它的技术人员参考，在后边运行管理章节中就不再作介绍了。

第三节 活塞式制冷压缩机

制冷技术中用于压缩制冷剂蒸汽并使其循环的设备称为制冷压缩机。制冷压缩机是制冷装置中的最主要设备，常称为制冷装置的主机。制冷压缩机在制冷系统中的作用是：在制冷系统中建立压力差，迫使制冷剂在系统中循环，实现制冷的目的。

一、活塞式制冷压缩机的分类

活塞式制冷压缩机的生产和使用历史比螺杆式和离心式长许多年，应用范围较为广泛，是中央空调压缩式制冷冷源的主力机型。活塞式压缩机机型种类很多，下面重点介绍一下通常使用的分类方法。

1. 按标准工况制冷量大小分类

所谓工况，是指制冷压缩机运行的温度条件，即主要是指蒸发温度、冷凝温度、节流前（过冷）温度和压缩机吸气温度四个参数。

标准工况是指根据制冷压缩机在使用中最常遇到的工作条件，以及我国大部分地区一年里最常出现的气候条件为基础而确定的工况。我国活塞式制冷压缩机的标准工况参数见表 4-9。

表 4-9 标准工况

制冷剂	R ₇₁₇	R ₁₂	R ₂₂
工作温度 (°C)			
蒸发温度	-15	-15	-15
冷凝温度	30	30	30
吸气温度	-10	15	15
过冷温度	25	25	25

活塞制冷压缩机按标准工况制冷量的大小可分类如下

(1) 小型制冷压缩机：制冷量在 58kW 以下；

(2) 中型制冷压缩机：制冷量在 58 ~ 465kW；

(3) 大型制冷压缩机：制冷量在 465kW 以上。

目前，中央空调制冷机组使用的活塞式压缩机单机制冷量在 58kW 左右的居多。

2. 按制冷压缩机的密封形式分类

(1) 开启式。制冷压缩机曲轴的功率输入端伸出机体、用联轴器与电动机功率输出端联接。曲轴伸出机体处用轴封装置加以密封。这种机型由于轴封处不可避免地会产生制冷剂的泄漏，因此除老设备外，新型设备已很少采用。

(2) 半封闭式。制冷压缩机与电动机的壳体铸成一体，制冷压缩机和电动机同轴，消除了开启式压缩机轴封易泄漏的缺陷，密封性能大为改善。在机体上开有工作孔，用螺栓将盖板紧固予以密封，比较容易更换易损部件，此种机型被广泛用于新型空调冷冻机组中。

(3) 全封闭式。制冷压缩机的机体和电动机共同装入一个封闭式壳体内，壳体接缝处用电焊焊接。从外观上看，它只有吸气、排气接管和电动机接线柱。制冷压缩机和电动机在机壳内用弹簧支撑，运转平稳，噪声小。此种机型被用于组合式空气调节系统。

3. 按制冷压缩机汽缸的缸数和布置形式分类

开启式和半封闭式制冷压缩机按汽缸轴线布置形式分类，可分为立式、卧式、V 形、W 形和 S 形五种，如图 4-3 所示。

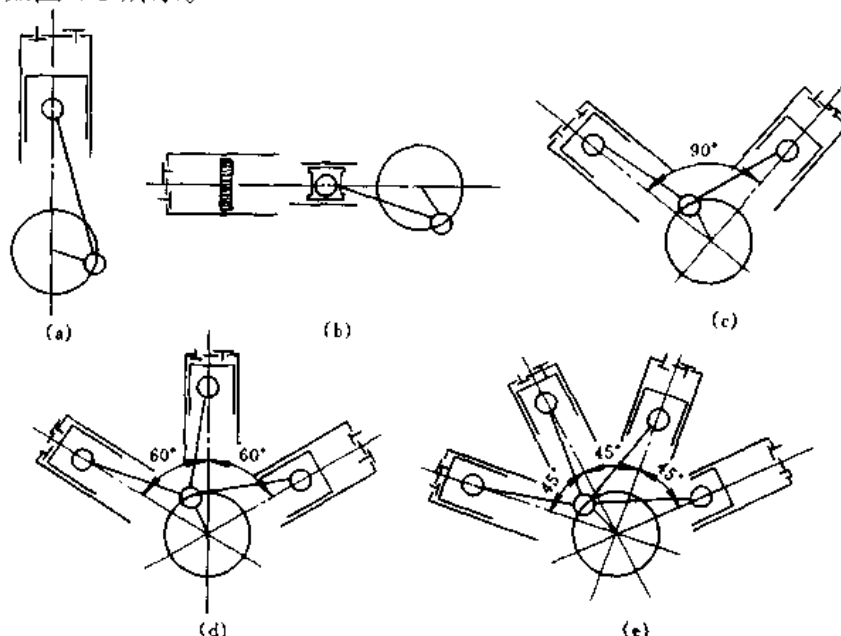


图 4-3 汽缸布置形式

(a) 立式；(b) 卧式；(c) 角度式—V 型；
(d) 角度式—W 型；(e) 角度式—S 型（双 V 型）

V形、W形和S形三种制冷压缩机的汽缸轴线成一定的夹角。机体结构紧凑，平衡性好。运转平稳，新型压缩机多采用此种形式。V形制冷压缩机有2缸和4缸两种；W形制冷压缩机有3缸和6缸两种；S形制冷压缩机有4缸和8缸两种。空调冷冻机组多采用W和S形制冷压缩机。

二、活塞式制冷压缩机的性能参数

要了解活塞式制冷压缩机的性能参数，常用到以下一些术语。

1. 压缩机转速 n

压缩机曲轴单位时间内的旋转圈数，称为压缩机转速，单位为 r/min 。

2. 上止点和下止点

当活塞在汽缸中沿中心轴线上移至运动轨迹最高点时（离曲轴中心最远点），称为上止点；当活塞下移至运动轨迹最低点时（离曲轴中心最近点），称为下止点。

3. 活塞行程 s

活塞在汽缸中作往复运动时，由上止点至下止点之间所移动的距离称活塞行程 s ，它等于曲轴回转半径 R 的2倍，即 $s = 2R$ 。

4. 汽缸直径 D

汽缸直径是指汽缸内圆直径，计量单位为 mm 。

5. 工作容积 V_g

活塞移动一个行程时在汽缸内所扫过的容积称为汽缸的工作容积，用符号 V_g 表示， $V_g = \frac{\pi}{4} D^2 \cdot S$ 。

6. 余隙容积 V_c

活塞处在上止点时，为了防止活塞顶部与阀板、阀片等零件撞击，并考虑热胀冷缩和装配允许误差等因素，活塞顶部与阀板之间必须要留有一定的间隙，这个间隙的直线距离称为直线（线性）余隙，直线余隙与汽缸壁之间所包含的空间（包括排气阀孔容积）称为余隙容积。

7. 相对余隙容积 C

余隙容积与汽缸工作容积之比称为相对余隙容积，即 $C = V_c / V_g$ ，相对余隙容积表示余隙容积占汽缸工作容积的比例。现代中小型活塞式制冷压缩机的相对余隙容积一般取 $C = 2\% \sim 6\%$ ，我国系列制冷压缩机的 C 值约为 $2\% \sim 4\%$ 。

活塞式制冷压缩机的主要性能参数：

(1) 单位容积制冷量 q_v

在吸气状态下，压缩机每吸入 $1m^3$ 制冷剂蒸气所制取的冷量称为单位容积制冷量，单位是 kJ/m^3 。单位容积制冷量的计算方法是：

$$q_v = \frac{q_0}{v_1}$$

式中 q_0 ——表示单位质量制冷量（即每 kg 制冷剂在蒸发器中所吸收的热量）；

v_1 ——压缩机吸入蒸气的比容。

(2) 单位压缩功 $A \cdot L_0$

在理想情况下，压缩机压缩 $1kg$ 制冷剂蒸气所消耗的功量称为单位压缩功。单位压缩功

的单位是 kJ/kg 。

(3) 理论功率 P_T

在理论情况下, 压缩机在压缩过程中所消耗的功率。理论功率单位是 W 或 kW 。其计算方法是:

$$P_T = G \cdot A \cdot L_0$$

式中 G ——制冷剂循环量。

(4) 指示功率 P_i

制冷压缩机压缩制冷剂蒸气时实际消耗的功率称为指示功率。指示功率的单位是 W 或 kW 。

(5) 指示效率 η_i

压缩机理论功率与指示功率之比称为指示效率, 即 $\eta_i = P_T / P_i$ 。

(6) 轴功率 P_e

电动机传递到制冷压缩机轴上的功率称为轴功率。轴功率的单位是 W 或 kW 。压缩机运转时, 其轴功率一部分直接压缩制冷剂蒸气, 另一部分则用来克服压缩机的摩擦功率。

(7) 摩擦功率 P_m

压缩机工作时, 用于克服压缩机各运动部件间的摩擦阻力和带动润滑油泵工作所消耗的功率, 称为摩擦功率。摩擦功率的单位是 W 或 kW 。

(8) 机械效率 η_m

压缩机的指示功率与轴功率之比, 称为机械效率。它的大小表示压缩机摩擦损失的程度, 即

$$\eta_m = P_i / P_e$$

机械效率一般在 $0.8 \sim 0.95$ 之间。

(9) 总效率 η_e

压缩机的指示功率与轴功率之比, 称为压缩机的总效率, 即

$$\eta_e = P_i / P_e$$

制冷压缩机的总效率一般在 $0.6 \sim 0.75$ 之间。

(10) 制冷系数 ϵ

制冷系数也叫性能系数, 是指制冷循环中制取的冷量 Q 与所消耗的功之比, 常用符号 ϵ 表示, 即

$$\epsilon = \frac{Q}{A \cdot L}$$

对于 1kg 制冷剂, 则可表示为:

$$\epsilon = \frac{q_0}{A \cdot L_0}$$

式中 q_0 —— 1kg 制冷剂所产生的冷量, kJ/kg ;

$A \cdot L_0$ ——压缩机压缩 1kg 制冷剂所消耗的功, kJ/kg 。

制冷系数 ϵ 值越大, 就表示压缩机运行中越节能。

(11) 最大压差工况

最大压差工况是指压缩机在能够产生最大压力差 ($p_k - p_0$) 时, 所具有的工况参数形成的工况。压缩机在运行过程中所承受的压差, 不得大于这一规定值。

(12) 最大功率工况

最大功率工况又叫做最大轴功率工况, 它是指压缩机在最大功率状态下运转时所具有的状态参数而形成的工况

(13) 标准工况

标准工况是指制冷压缩机用于低温制冷时, 在其一种特定工作温度条件下的运转工况。

(14) 空调工况

空调工况是指制冷压缩机用于空调时, 在其特定工作条件下的运转工况。

用于空调制冷的活塞式制冷压缩机的工况见表 4-10。

表 4-10 活塞式制冷压缩机的标准工况和空调工况

工 况	制冷剂	冷凝温度 ($^{\circ}\text{C}$)	蒸发温度 ($^{\circ}\text{C}$)	过冷温度 ($^{\circ}\text{C}$)	吸气温度 ($^{\circ}\text{C}$)
标准工况	R_{717}	30	-15	25	-10
	R_{22}	30	-15	25	15
	R_{12}	30	-15	25	15
	R_{502}	30	-15	25	15
空调工况	R_{717}	40	5	35	10
	R_{22}	40	5	35	15
	R_{12}	40	5	35	15

应当指出, 规定工况只是为了统一标示或考核压缩机的各项性能指标, 并不说明压缩机只能在这几种工况下运行。活塞式制冷压缩机的工况, 可以根据实际需要加以调整和改变, 但是在使用压缩机时, 应注意运转工况不能超出限定的工作条件, 否则, 其经济性和安全性都不能得到保证。制冷压缩机在标准工况下运行的制冷量称为标准制冷量, 而在空调工况下运行的制冷量称为空调整冷量。

三、活塞式制冷压缩机的特性曲线

活塞式制冷压缩机的制冷量, 功率消耗与选用的制冷剂和运行工况等因素有关。一般对选用某一制冷剂的压缩机, 用 t_k 、 t_0 和 Q_0 、 P_c 坐标图表示出它们之间的变化关系, 称作制冷压缩机的特性曲线。图 4-4 为 4FV10 制冷压缩机的特性曲线。

图上有两组曲线, 右面一组是功率曲线, 左面一组是制冷量曲线。它的横坐标是蒸发温度 t_0 , 纵坐标为制冷量或功率, 每条曲线都表示一种冷凝温度 t_k 。当一台压缩机的冷凝温度 t_k 和蒸发温度 t_0 确定以后, 就可以从它的特性曲线图上查出其制冷量和相应的功率消耗。例如, 从图 4-4 中可以查出当工况 $t_k = 30^{\circ}\text{C}$, $t_0 = 5^{\circ}\text{C}$ 的制冷量为 78.49kW, 而消耗的轴功率为 16.5kW。查找时的操作方法是: 从图中的横坐标为 5°C 处垂直向上, 分别与 $t_k = 30^{\circ}\text{C}$ 的功率曲线及制冷量曲线相交即可得出上述两值。

利用特性曲线来对压缩机运行状态分析, 可以看到两个规律:

(1) 当蒸发温度一定时, 若提高冷凝温度, 则压缩机的制冷量减少而功耗增加。因此,

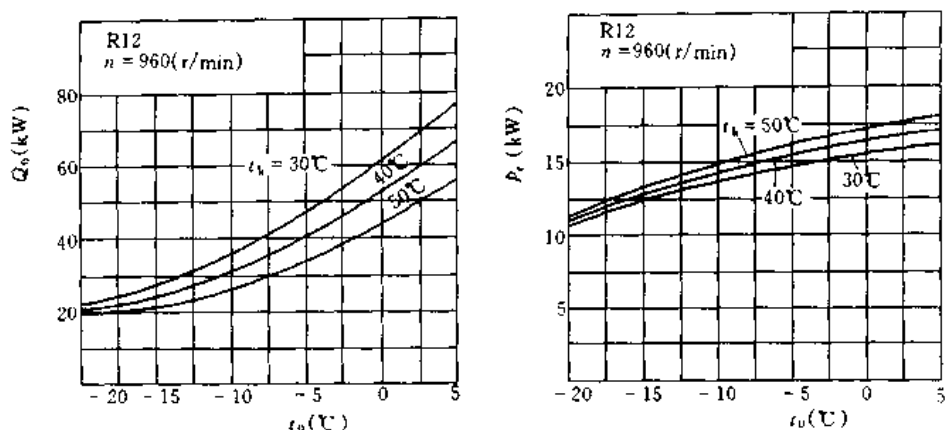


图 4-4 4FV10 型制冷压缩机的性能曲线

在条件允许的情况下，在设备运行时，应尽量设法降低冷凝温度，即降低冷却水进水温度，加大冷却水流量，以利于提高压缩机制冷量和降低功率消耗。

(2) 冷凝温度一定时，蒸发温度越低，压缩机的制冷量越小，功率消耗也会随之下降。但是应该看到：制冷量的下降速度往往大于功率的消耗下降速度，因此运行费用就会增大。

四、活塞式制冷压缩机的总体结构

活塞式制冷压缩机种类很多、构造各异，但主要部件基本相同。因此，了解其总体结构，才能正确地使用和维护好制冷压缩机。

制冷压缩机是由许多零部件组成。制冷压缩机的总体结构如图 4-5 所示。它主要由以下几个部分组成：

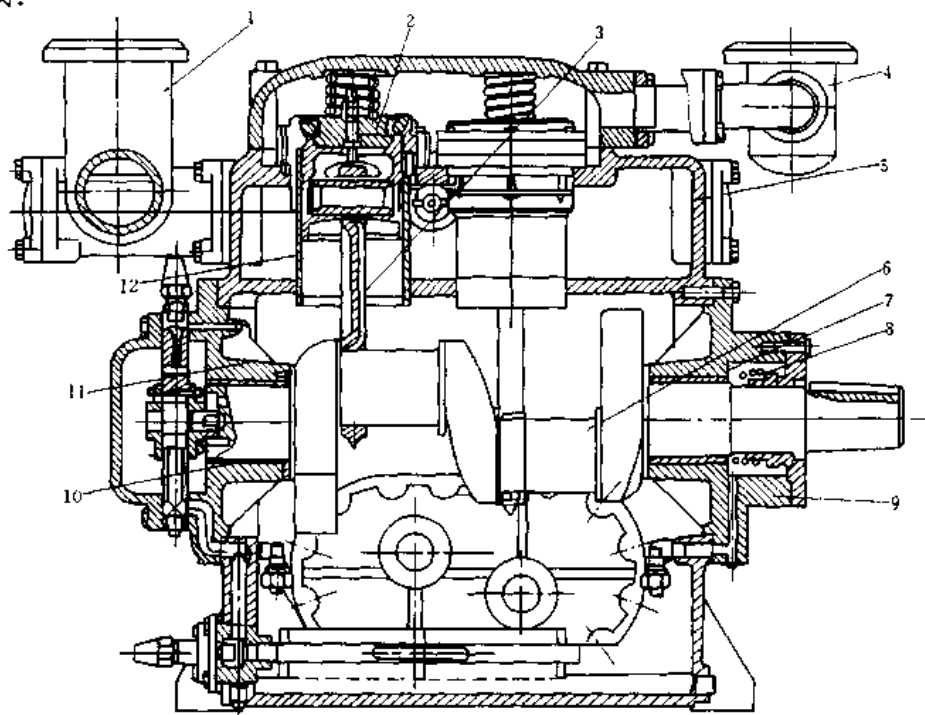


图 4-5 8FS10 型制冷压缩机的总体结构图

1—吸气管；2—顶盖；3—连杆；4—排气管；5—气缸；6—曲轴；7—前轴承；8—轴封；
9—前轴承盖；10—后轴承；11—后轴承盖；12—活塞

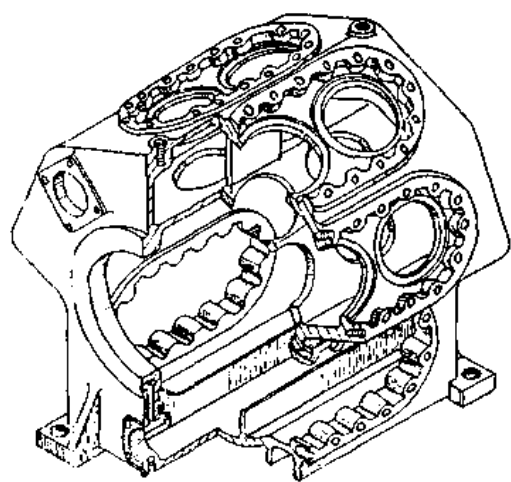


图 4-6 制冷压缩机的机体结构

1. 机体

制冷压缩机的机体是压缩机的机身，用来安装和支撑其他零部件以及容纳润滑油。其结构如图 4-6 所示。汽缸与曲轴箱铸成一体，汽缸孔以每两组为一列，轴向顺序布置，每列之间构成 45° 夹角。吸气腔与曲轴箱连通，排气腔在汽缸体上部，吸气腔与排气腔之间有隔板分开。曲轴箱两侧设有窗孔，以便于拆装机体内部的零件，平时用盖板密封，盖板上设有油面指示镜、回油孔及低压压力表接头等部件。机体的前后端开有两个轴承座孔，用以安装前后轴承。在后端盖上安装有润滑油泵。

2. 活塞组

制冷压缩机活塞组是活塞与活塞销及活塞环的总称。

活塞组的作用是与气阀、汽缸等组成一个可变的工作容积，将曲柄连杆所传递的机械能转变为制冷剂蒸汽的压力能。我国生产的系列活塞式制冷压缩机的活塞均采用圆筒形结构，如图 4-7 所示。

活塞销是活塞与连杆小头之间的连接件。其结构为中空圆柱体。活塞销与连杆小头衬套及活塞销座的连接，多采用浮动式配合。所谓浮动式配合是指活塞销无论是在销座中，还

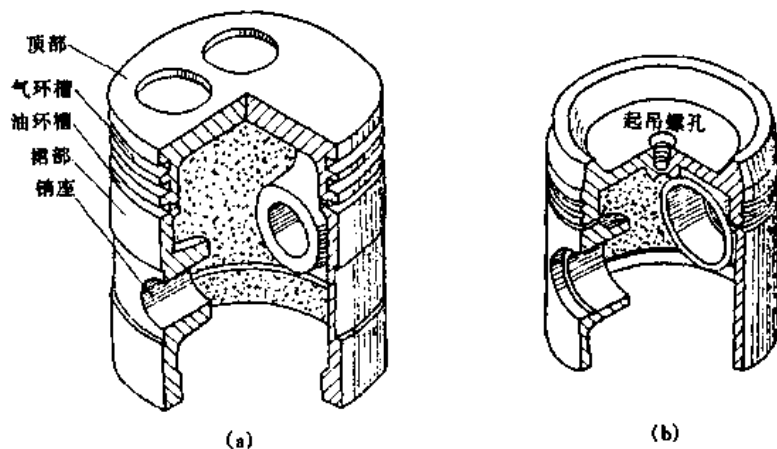


图 4-7 活塞的基本结构

(a) 活塞的主要部分；(b) 活塞的顶部

是在连杆小头衬套中，都没有被固定。工作时可以自由地相对转动，以减小摩擦面间的相对滑动速度，使其磨损小且均匀。为防止活塞销产生轴向窜动，一般在销座两端的环槽内装有弹簧挡圈。

3. 活塞环

制冷压缩机活塞组中活塞环是一个具有切口和弹性的开口环。它分为两种：一种称为气环；另一种称为油环，或称刮油环。

气环的作用是密封蒸气，以减少气缸里高压蒸汽活塞环与汽缸间隙的泄漏量。

油环的作用，是将粘附在汽缸壁上的润滑油刮下，使之流回曲轴箱，防止过多的润滑油进入制冷系统。

气环的切口有三种形式，即直切口、斜切口和搭切口，如图 4-8 所示。

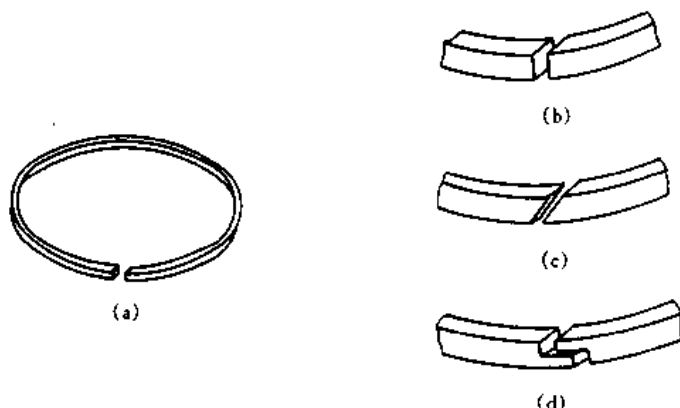


图 4-8 气环

为使气环在汽缸中有足够的弹力，在自由状态时气环的直径要比汽缸直径大。装配时，要注意把各环的切口错开一定的角度，以减小高压蒸汽通过切口间隙的泄漏量。工作时，气环靠其本身弹力和气体压力而紧贴汽缸壁，以达到密封作用。同时，气环在工作过程中还有一种泵油作用，即不断地把溅在汽缸壁上的润滑油向上输送，起到给汽缸壁润滑的作用。为防止过多的润滑油进入汽缸，在活塞环的下部还设置了一道油环。其工作过程是：当活塞往上止点运行时，借油环上端面的倒角，在汽缸壁上形成油膜，以润滑汽缸；当活塞往下止点运行时，油环下端面则将汽缸壁上过多的润滑油刮下来。刮下的润滑油沿刮油环圆周方向的小孔和切槽，通过活塞体上的小孔流回曲轴箱。

4. 连杆组件

制冷压缩机的活塞组件如图 4-9 所示，包括连杆体、连杆大头盖、连杆大头轴瓦、小头衬套和连杆螺栓、螺母等零件。

连杆是活塞与曲轴的中间连接件，它将曲轴的旋转运动转化为活塞的往复运动。连杆小头及其衬套通过活塞销与活塞连接，并随活塞一起在汽缸内作往复运动。连杆大头及大头轴瓦与曲柄销连接，随曲轴一起在曲轴箱内做旋转运动。连杆通常为工字形断面，连杆体中间有输送润滑油的通道，润滑油可以从连杆中的通道输送到小头衬套中。连杆大头多为剖分式结构。

连杆组是制冷压缩机中相当重要的组件，其加工要求和几何精度要求很高。当拆修制冷压缩机时，对连杆组要轻拆轻放，不能重击，不要用重物压连杆，以防连杆体变形。

5. 曲轴

制冷压缩机曲轴是曲柄连杆机构中将旋转运动变为往复直线运动的重要零件之一。制冷压缩机所消耗的全部轴功率就是经曲轴输送的，它是制冷压缩机一个重要的受力运动部件。

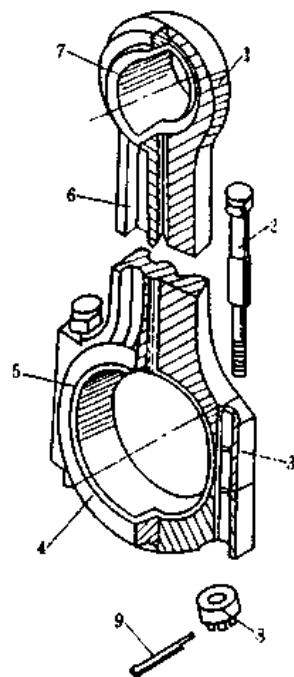


图 4-9 连杆组件结构图

1—连杆小头；2—连杆螺钉；3—连杆大头；4—连杆大头盖；5—连杆大头轴瓦；6—连杆体；7—小头轴套；8—螺母；9—开 1 销

制冷压缩机曲轴结构图如图 4-10 所示。曲轴的每个曲拐都是由主轴颈、曲柄和曲柄销三部分组成的。与主轴承相配合的部分称为主轴颈，与连杆大头瓦相配合的部分称曲柄销或连杆轴颈，连接主轴颈与曲柄销或连接相邻两个曲柄销的部分称为曲柄。此外，在曲柄朝曲柄销相反的方向上装有平衡块，其作用是当制冷压缩机工作时，利用平衡块自身的离心力和离心力矩，来平衡由于曲柄、曲柄销和部分连杆的旋转运动质量与活塞、活塞销做往复运动时引起的惯性力矩，以减小制冷压缩机运转时所产生的振动，同时，也可以减轻曲轴主轴承上的负荷，减少轴承的磨损。

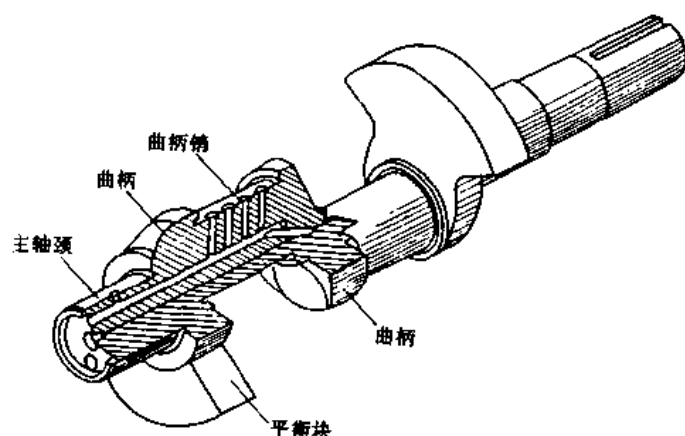


图 4-10 8FS10 型压缩机的曲轴结构图

6. 气阀

气阀是制冷压缩机气缸依次进行压缩、排气、膨胀和吸气工作过程的控制机构，气阀的工作示意图如图 4-11 所示。

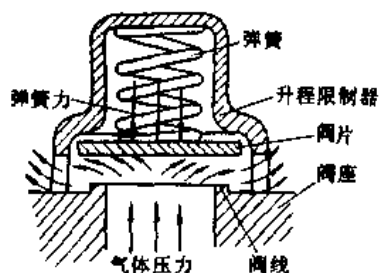


图 4-11 汽阀组成示意图

气阀由阀座、气阀弹簧、阀片及升程限位器组成。阀座上有环状阀线，阀片为气阀的主要运动部件。当阀片与阀线紧贴时形成密封面。其升程限位器是用来限制阀片开启高度的。

气阀有多种结构形式，它随不同的机型而不同。环状阀是应用最广泛的一种。图 4-12 是环状阀组成图。它的吸气

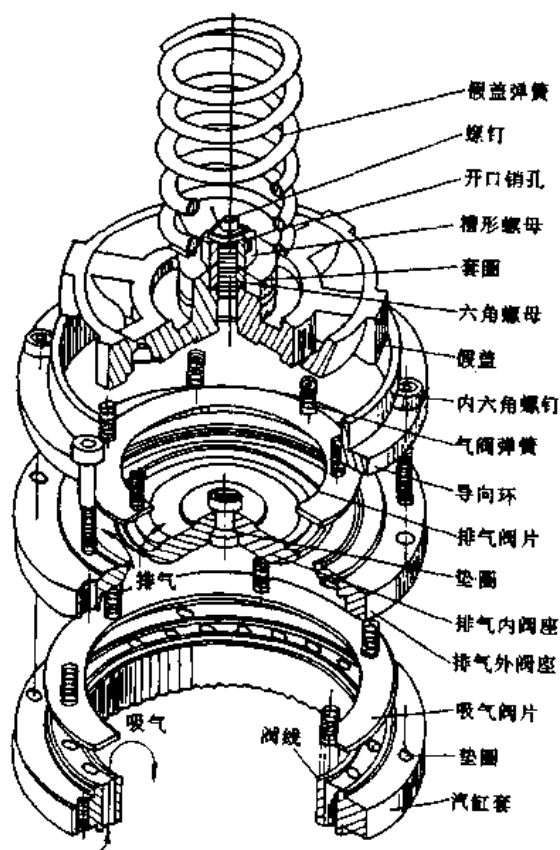


图 4-12 8FS10 型压缩机的环状阀组成图

阀座在气缸套的凸缘上，形成两圈宽度为1.5mm的密封面（又称阀线），环状阀片在气阀关闭时就座落在这两圈阀线上。阀线之间构成一环形凹槽，槽中有30个均匀分布的吸气孔与吸气腔相联通。吸气阀片上有6个气阀弹簧，排气阀座的下端面就是吸气阀的升程限制器。排气阀的阀座分内外阀座两部分，外阀座用螺钉与汽缸套一起紧固在机体上，而内阀座则用螺钉和槽形螺母与假盖固定在一起。排气阀也采用环状阀，它的两圈密封线分别做在内外阀座上，一面一圈，排气阀片上也压有6个气阀弹簧，它的升程限制器就是假盖。

假盖的作用是在正常运转时，假盖和排气阀内阀座靠强有力的假盖弹簧紧紧地压在排气阀外阀座上，只有当发生液击现象时，假盖才会被抬起，让液体及时排出，起到保证安全的作用（所以假盖实为安全盖）。

7. 轴封

开启式制冷压缩机的曲轴功率输入端要伸出曲轴箱外与传动件相连接，因此，在伸出轴与曲轴箱之间要设置密封装置，即轴封。

目前使用的轴封有两种形式：摩擦环式和波纹管式。

（1）摩擦环式轴封。摩擦环式轴封结构简单，密封性和耐磨性好，被广泛应用于50系列以上的制冷压缩机中，其结构如图4-13所示。

摩擦环式轴封由弹簧托板、弹簧、紧圈钢壳、轴封橡胶圈、动摩擦环、定摩擦环（压板）等部件组成。它有三个密封面：

1) 石墨环为动摩擦环，它随曲轴一起转动，压板为定摩擦环，两环之间的磨合面为径向动密封面；

2) 借助弹簧的弹力使轴封橡胶圈与动摩擦环压紧，称为径向静密封面；

3) 在紧圈作用下轴封橡胶依靠本身弹力紧箍在曲轴上形成轴向动密封。

橡胶环箍在轴上的松紧要适当。若箍得太松，第三密封面就会失效；若箍得太紧，第一、二密封面就会失效。合适的松紧标志是用手把整套轴封连同压板一起推至工作位置，松手后，各部件应能慢慢弹出。

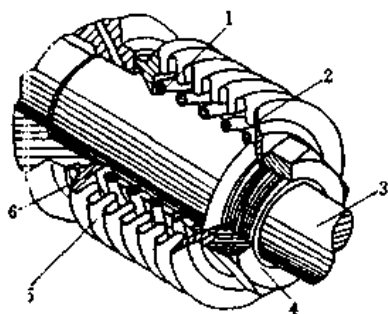


图 4-14 波纹管式轴封

1—弹簧；2—压板；3—曲轴；4—螺母；
5—波纹管；6—密封摩擦环

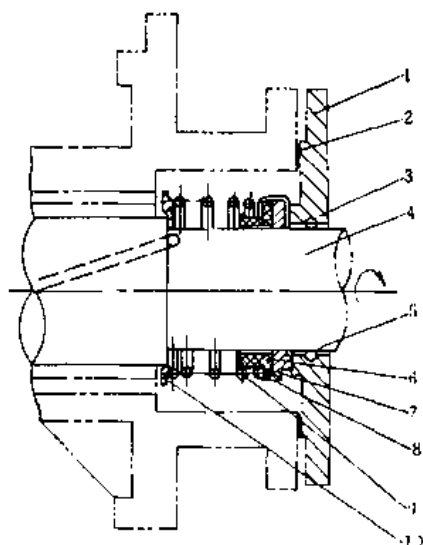


图 4-13 摩擦环式轴封

1—压板；2—纸垫；3—橡胶密封圈；4—曲轴；5—动摩擦环；6—轴封橡皮；7—紧圈；8—钢壳；9—弹簧；10—弹簧托板

（2）波纹管式轴封。波纹管式轴封主要用于小型开启式压缩机中，其结构如图4-14所示。由于空调制冷装置中很少使用小型压缩机，因此，对波纹管式轴封在此就不做详细介绍了。

五、活塞式制冷压缩机润滑系统

1. 润滑系统的作用

制冷压缩机的润滑是保证压缩机长期、安全、有效运行的关键。润滑系统的作用是：

（1）润滑油渗入制冷压缩机运动部件摩擦面形成油膜，用以改善摩擦面的工作条件，降低制冷压缩机的摩

擦功消耗, 保证制冷压缩机运转的可靠性和耐久性。

(2) 润滑油可以对摩擦部分起到冷却作用。

(3) 润滑油可以在各摩擦部分的密封面形成油封, 起到防止制冷剂泄漏的作用。

(4) 润滑油不断冲洗压缩机摩擦面, 带走磨屑, 减少摩擦面的磨损, 提高制冷压缩机的使用寿命。

(5) 向能量调节机构提供压力油。

2. 制冷压缩机的润滑方式

制冷压缩机的润滑方式有两种, 即飞溅式润滑和压力式润滑。

(1) 飞溅式润滑。飞溅式润滑是指依靠曲柄连杆机构的旋转运动, 把曲轴箱内的润滑油甩向各摩擦面的润滑方式。其工作过程是: 当曲轴旋转运动时, 曲拐和连杆大头与润滑油接触, 并将润滑油甩到气缸镜面及曲轴箱壁面, 因而使活塞、气缸、连杆等摩擦得到润滑。

(2) 压力式润滑。压力式润滑是指利用油泵产生压力油, 再通过输油管路将压力油送至压缩机各润滑部位进行润滑的润滑方式。

制冷压缩机压力润滑系统如图 4-15 所示。曲轴箱内的润滑油经过滤器过滤掉杂质后,

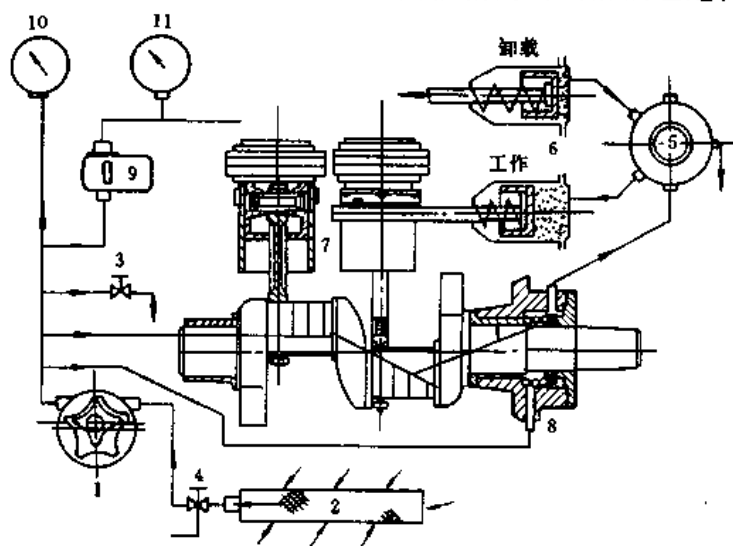


图 4-15 制冷压缩机压力润滑系统图

1—油泵；2—滤油器；3—油压调节阀；4—油通阀；5—能量控制阀；6—卸载油缸；
7—活塞连杆及缸套；8—轴封室；9—油压控制器；10—油压表；11—低压表

经三通阀进入油泵。提高压力后, 由油泵出来的润滑油的流面分为三路: 一路从曲轴后端进入曲轴中输油孔道, 向连杆体内油孔供油, 用以润滑连杆小头内的活塞销; 另一路直接送至前轴封室, 用以润滑和冷却轴封摩擦面; 最后一路是通向能量调节阀, 用作其液压动力。

各路润滑油最后都回到曲轴箱中。润滑油在工作过程中会由于吸收了摩擦热而升温。因此, 对于大中型制冷压缩机, 在曲轴箱中设有油冷却器来降低油温。为了回收随制冷剂排汽而排出压缩机的润滑油, 在压缩机排汽端设置了油分离器, 将润滑油从制冷剂蒸汽中分离出来, 用手动或自动的方法使其返回到压缩机的曲轴箱中。润滑系统中的三通阀是用于向制冷压缩机加入或向外排放润滑油的。油压调节阀的作用是调节润滑油油压的高低, 它实际上是

一只旁通阀。当此阀关闭时，系统油压就升高；当此阀打开时，就使润滑油得到分流，有一部分直接流回曲轴箱，从而降低了供油压力。

润滑油油泵目前常用的有两种形式：月牙型内啮合齿轮油泵和内啮合转子油泵。

月牙型内啮合齿轮油泵结构如图 4-16 所示。它由外齿轮、内齿轮、月牙体、壳体及端盖等零件组成，内齿轮通过传动块由曲轴带动旋转。月牙体和端盖将内外两个齿轮分割成数

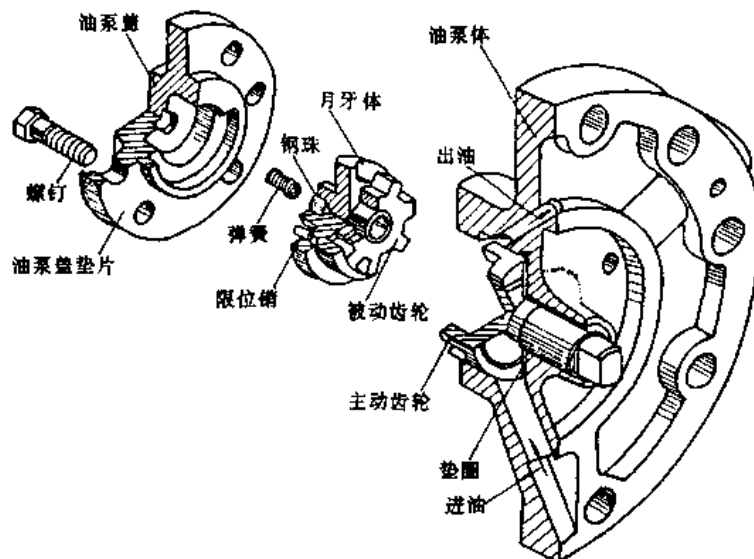


图 4-16 月牙型内啮合齿轮油泵结构图

个封闭空间。两齿轮旋转时，将充满封闭空间内的润滑油吸入输送至排出口。月牙形内啮合齿轮油泵结构紧凑，在齿轮正反转时，其输送润滑油的方向都不变。图 4-17 (a) 中齿轮为逆时针旋转，润滑油从下部吸入，从上部排出。图 4-17 (b) 中齿轮为顺时针旋转，此时，通过月牙体背面卡在油泵盖半圆周槽内的定位结构，使月牙体转过 180° ，外齿轮的轴心位置也转过 180° ，改变了两齿轮的啮合方式，使润滑油仍然从下部吸入，从上部排出。月牙体圆拱背面有一个限位销，它只能在泵盖上的半圆槽内做 180° 的回转动，从而保证了当曲轴转动方向发生改变时，月牙体位于正确的工作位置上。

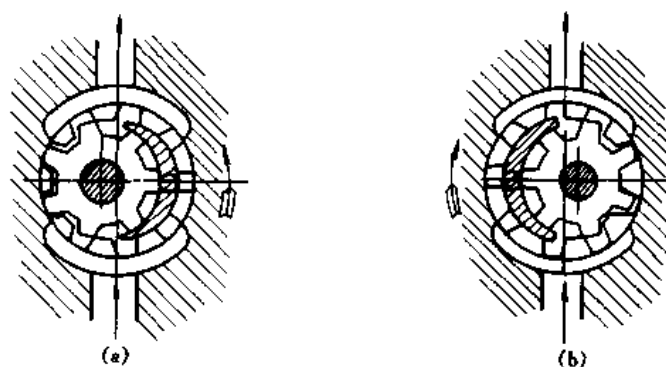


图 4-17 月牙型齿轮油泵正反转时的工作情况

(a) 主动齿轮反时针方向旋转；(b) 主动齿轮顺时针方向旋转

内啮合转子油泵如图 4-18 所示。它由内转子、外转子、壳体、泵轴等零件组成，其中内转子（外齿轮）是主动转子，由压缩机曲轴带动旋转；外转子（内齿轮）是被动转子，依

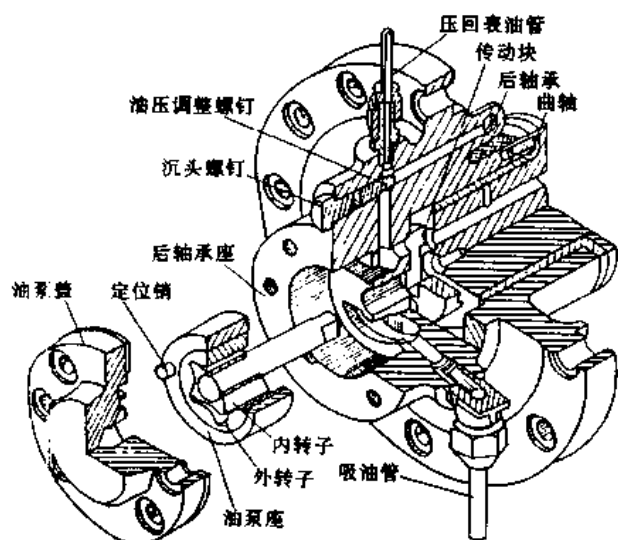


图 4-18 内啮合转子式油泵的结构

靠和内转子啮合而旋转。外转子为偏心安装，在转子的后端面设有吸油孔和排油孔。当内转子顺时针转动时，内外转子的齿间容积跟着发生变化和位移，使润滑油从吸油瓦输送至排油孔，其工作过程如图 4-19 中的 1~8 所示。

当转子逆时针转动时，由于偏心作用，内转子带动外转子和油泵座转动 180° ，使偏心位置也变化了 180° ，从而保证了润滑油仍从吸油孔吸油，向排油孔排油。油泵座上的定位销只能在泵盖上半圆槽内运动，确保了泵座也只能旋转 180° 。从而保证了压缩机曲轴正反转时都能正常供油。

六、活塞式制冷压缩机的能量调节

活塞式制冷压缩机在选型时，出于对设计要求的考虑，一般选用的制冷量，比中央空调

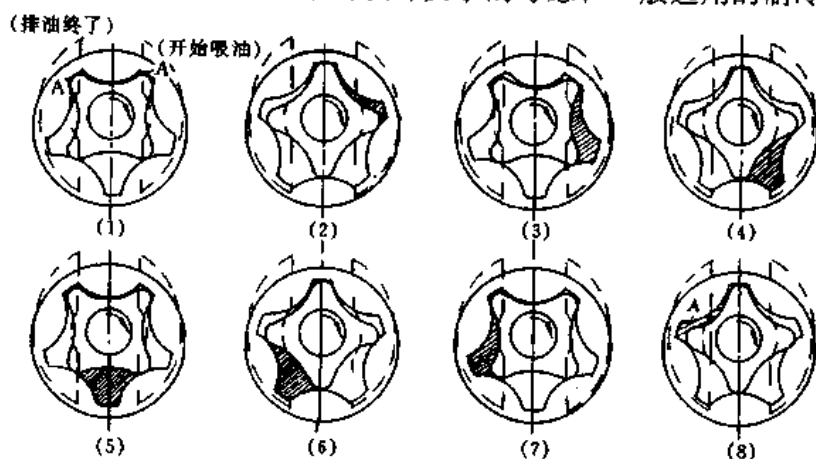


图 4-19 内-外转子吸排油过程中的动作分析

的制冷负荷所需要的制冷量偏大些，以满足由于环境变化所引起的冷负荷变化的需求。因此，在制冷机组运行时，为满足制冷负荷变化的要求，要随时对制冷压缩机的制冷量进行调节。这一调节是通过调节压缩机的排气量来实现的，这就是所谓的制冷压缩机能量调节。

中央空调用活塞式制冷压缩机的能量调节主要是通过卸载—能量调节机构进行。

制冷压缩机的卸载—能量调节机构的动作原理如图 4-20 所示。它主要由进、排油管路，卸载油缸，油活塞，弹簧，推杆，转动环，吸气阀片顶杆等部件组成。在能量调节系统中能量控制阀与润滑油泵的油路相通，以控制卸载油的工作。

1. 卸载工作状态

制冷压缩机卸载—能量调节机构的工作过程是：压缩机开始启动时，润滑系统的油压还没有建立，能量控制阀无压力油供给卸载油缸，油活塞在弹簧作用下连同推杆一起向右移

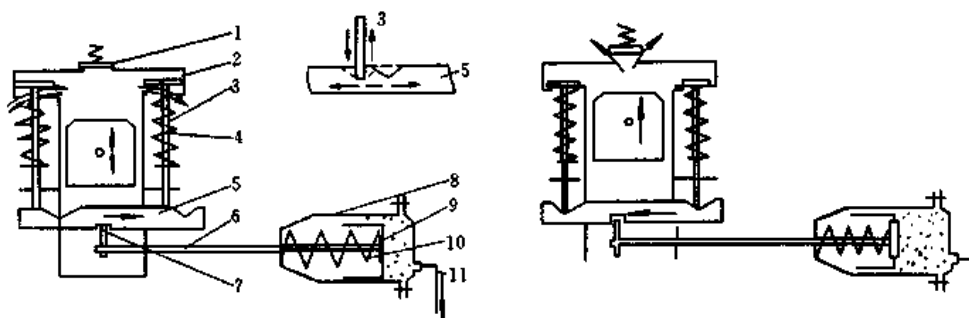


图 4-20 制冷压缩机的卸载—能量调节装置动作原理图

1—排气阀；2—吸气阀片；3—吸气阀片顶杆；4—顶杆复位弹簧；5—转动环；6—推杆；
7—传动杆；8—卸载油缸；9—油活塞；10—复位弹簧；11—油缸进、排油管

动，推杆又通过传动杆带动汽缸外的转动环转动。因此，坐落在转动环斜槽底部的顶杆便沿着斜面上升至斜槽顶部，顶开吸气阀片，于是汽缸处于卸载工作状态。

2 能量调节（负荷工作）状态

制冷压缩机启动后，油压逐步建立，能量控制阀把压力油供给卸载油缸，使油活塞克服弹簧力的作用连同推杆一道向左移动，推动转动环，使坐落在转动环斜槽顶部的吸气阀顶杆落至斜槽底部，吸气阀片便落在阀线上，汽缸则进入工作状态。制冷压缩机在运行过程中，若冷负荷减小，则可通过控制机构使卸载—能量调节机构反向动作，使吸气阀片被顶杆重新顶起到卸载位置。于是，卸载汽缸就因失去了吸排气能力而进入空载运行状态，从而改变了压缩机的制冷量，适应了冷负荷变化。卸载机构中，通过采用一个卸载油缸控制两个汽缸的工作。

通过上述分析可以看到：卸载—能量调节机构在工作过程中，只要向卸载机构输入一定压力的润滑油，便可控制压缩机汽缸，使其处于带负荷工作状态。而在压缩机启动前或运行中需要卸载时，则不向卸载机构供应压力油，卸载机构便使压缩机汽缸处于卸载工作状态。因此，压缩机在运行中的能量调节是通过控制其润滑压力油的输入情况来实现的。

空调用活塞式制冷压缩机现在一般是通过能量自动调节阀来实现运行中能量自动调节的。自动能量调节阀动作原理如图 4-21 所示。它由能量控制和信号接受两部分组成。图 4-21 (a) 的上部为能量控制部分，它包括油缸、油分配滑阀、阀座、平衡弹簧等。下部为信号接受部分，包括波纹管、波纹管座、调节螺杆、平衡弹簧等。上下两部分通过顶杆、杠杆、拉簧、球阀组成一个完整的能量调节机构。

能量调节阀的工作过程是：当制冷压缩机停止工作时，由于卸载机构无压力油供给，汽缸吸气阀片处于顶开位置。制冷压缩机刚启动时，油压尚未建立，吸气阀片仍处于顶开位置。压缩机由启动状态转入正常运转状态后，油泵输入一定压力的润滑油（压力应比低压力高 $0.15 \sim 0.3 \text{ MPa}$ ），通过分配滑阀上的小孔进入油缸。制冷运行刚开始时，压缩机吸入的蒸气压力较高，吸气压力压缩波纹管及平衡弹簧，进而使顶杆向左运动，在拉簧作用下杠杆做顺时针转动，杠杆上的球阀关闭。于是，油缸内建立起一定的压力，并推动滑阀左移。当滑阀移到使能量级钢球落入第一道槽内时，则第一道槽与压力油接通，压力油进入压缩机第一级卸载机构 [如图 4-21 (b) 所示]，使其所控制的汽缸进入正常工作。如果吸气压力

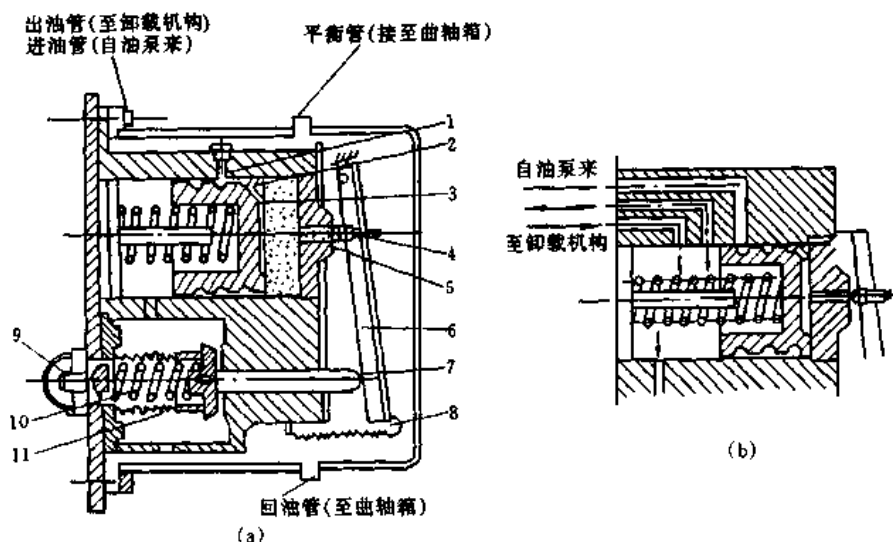


图 4-21 制冷压缩机能量自动调节控制阀动作原理

1—能量级钢球弹簧；2—油分配滑润小孔；3—油分配滑阀；4—球阀；5—球阀座；
6—杠杆；7—顶杆；8—拉簧；9—调节螺杆；10—平衡弹簧；11—波纹管

此时仍未下降到预定的吸气压力值，则将第二根油路与另一组卸载机构接通，使第二组卸载机构控制的汽缸进入正常工作。

相反，当压缩机吸气压力下降到预定压力时，能量调节阀中的波纹管及平衡弹簧开始伸张，推动顶杆右移。杠杆做逆时针转动，球阀开启，压力油即从油缸流至压缩机曲轴箱，从而使滑阀右边压力降低，滑阀在平衡弹簧作用下右移。在滑阀移动过程中，首先切断第二组卸载机构的油路，使第二组卸载机构控制的汽缸卸载。随着压力继续下降，滑阀将继续右移，再切断第一组卸载机构的油路，使第一组卸载机构所控制的汽缸卸载。

能量调节阀，是靠调节螺钉调节平衡弹簧的弹力大小来控制卸载机构动作的。弹簧弹力愈大，压缩机卸载时的低压压力就愈高；反之，则愈低。

第四节 螺杆式制冷压缩机

螺杆式制冷压缩机是一种容积型回转式压缩机，它是依靠气缸内螺杆的旋转造成螺旋状齿形空间的容积变化来完成对制冷剂蒸汽的压缩过程的。

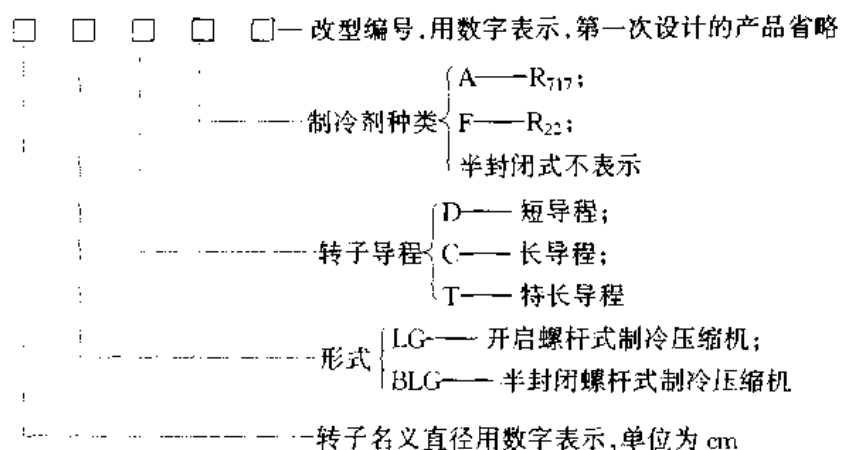
螺杆式制冷压缩机与其他类型压缩机相比，有无故障运转时间长，运转平稳可靠，使用维修方便，维修费用低，制冷压缩机体积小，重量轻，运动惯性小，易于启动等特点。因而被广泛用于中央空调的冷源。

一、螺杆式制冷压缩机的型式与参数

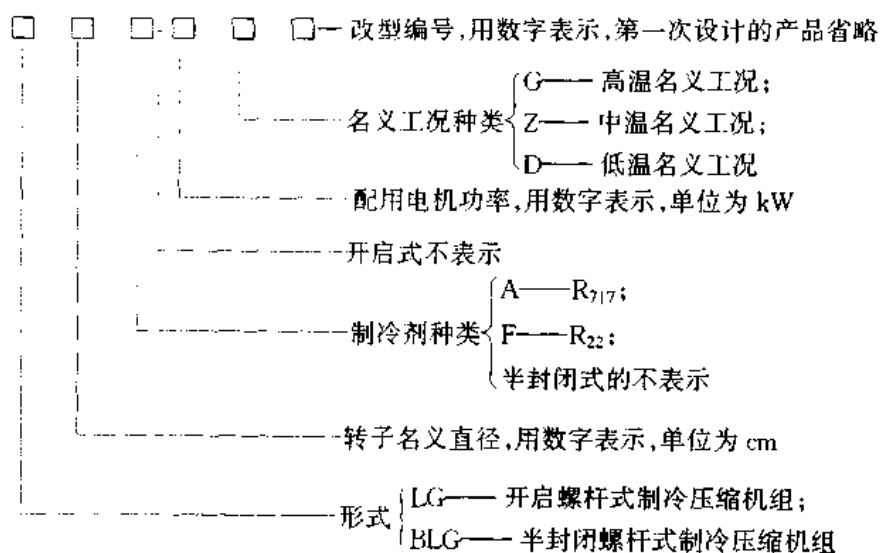
螺杆式制冷压缩机一般分为开启式、半封闭式和全封闭式三种型式。

ZB173080—89 规定，螺杆式制冷压缩机的型号由大写汉语拼音字母和阿拉伯数字组成，其表示方法见机械工业部标准 JB2780—79。本书仅对开启螺杆式制冷压缩机与半封闭螺杆式制冷压缩机的结构和工作原理做了介绍。

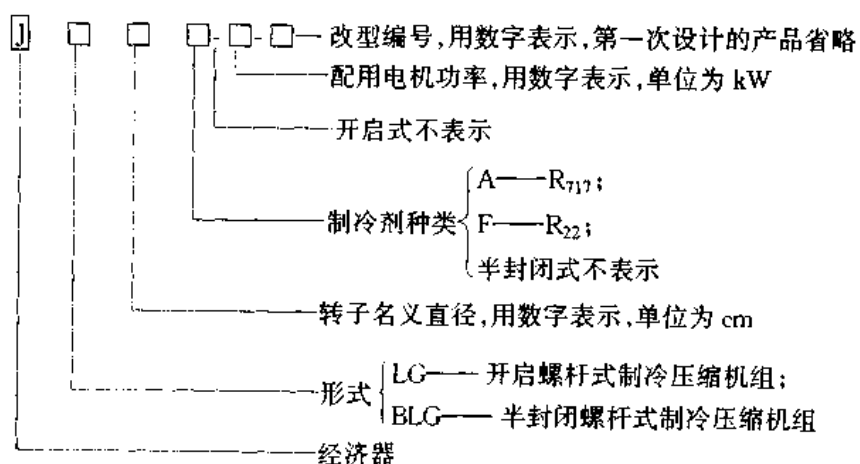
1. 螺杆式制冷压缩机型号的表示方法



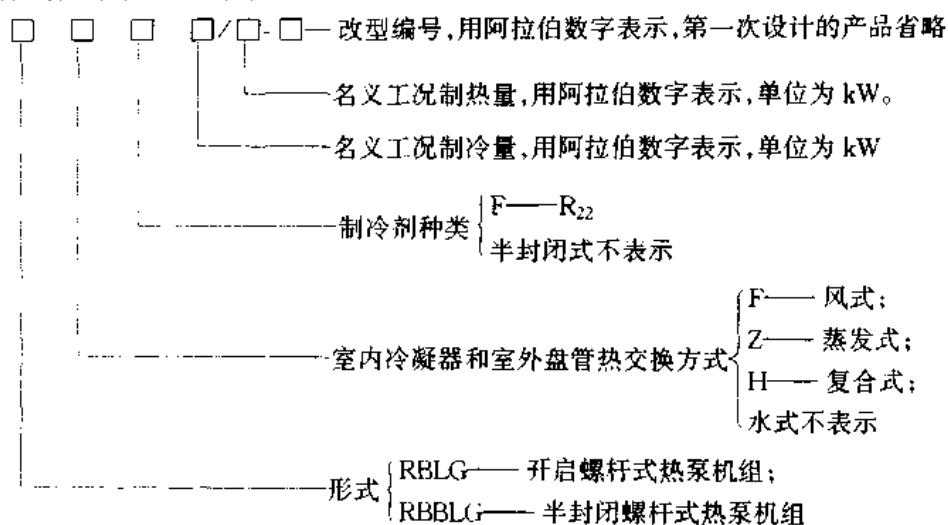
2. 螺杆式制冷压缩机组型号的表示方法



3. 经济器螺杆式制冷压缩机组型号的表示方法



4. 螺杆式热泵机组型号表示方法



型号示例

(1) LG16CA: 表示转子名义直径为 16cm, 以氨为制冷剂, 长导程的开启式螺杆单级制冷压缩机。

(2) BLG10DF2: 表示转子名义直径为 10cm, 以氟利昂为制冷剂, 短导程, 第二次改型的半封闭式螺杆单级制冷压缩机。

(3) LG16A100Z2: 表示转子名义直径为 16cm, 以氨为制冷剂, 配用电动机功率为 100kW, 用于中温名义工况的第二次改型的开启式螺杆单级制冷压缩机。

(4) BLG12.5F-55D1: 表示转子名义直径为 12.5cm, 以氟利昂为制冷剂, 配用电动机功率为 55kW, 用于低温名义工况的第一次改型的半封闭式单级螺杆制冷压缩机。

(5) JLG12.5F-55-1: 表示转子名义直径为 12.5cm, 以氟利昂为制冷剂, 配用电动机功率为 55kW, 第一次改型的经济器开启式单级螺杆制冷压缩机。

(6) RBLGHF500/350: 表示名义工况制冷量为 500kW, 名义工况制热量为 350kW, 室内冷凝器和室外盘管热交换方式为复合式, 以氟利昂为制冷剂的开启式螺杆热泵机组。

(7) RBBLGFF200/150: 表示名义工况制冷量为 200kW, 名义工况制热量为 150kW, 室内冷凝器和室外盘管热交换的方式为风冷式, 以氟利昂为制冷剂的半封闭螺杆式热泵机组。

中华人民共和国专业标准 ZB173030—89 对喷油螺杆式单级制冷压缩机组的基本参数与工况作了相应规定, 参见表 4-11~表 4-17。

二、螺杆式制冷压缩机总体结构

螺杆式制冷压缩机的总体结构如图 4-22 所示。它是由转子、机体、吸排气端座、滑阀、主轴承、轴封、平衡活塞等主要零件组成的。机体内部呈“∞”字形, 水平配置两个按一定传动比反向转动的螺旋形的转子: 一个为凸齿, 称阳转子; 另一个为齿槽, 称阴转子。

转子的两端安放在主轴承中, 径向载荷由滑动轴承承受, 轴向载荷大部分由设在阳转子一端的平衡活塞所承受, 剩余的载荷由转子另一端的推力轴承承受。

机体汽缸的前后端盖上设有吸气、排气管和吸气、排气口。在阳转子伸出端的端盖处, 安装有轴封。机体下部设有排气量调节机构——滑阀, 还设有向汽缸喷油用的喷油孔 (此孔一般设置在滑阀上)。

表 4-11

水冷开启式 R₂₂ 螺杆式制冷压缩机的基本参数

阳转子 转 速 (r/min)	阳 转 子 名义直径 (mm)	长径比	R ₂₂					
			名义工况制冷量 Q ₀ (kW)			名 义 工 况 制冷压缩机性能系数		
			G	Z	D	G	Z	D
4400	100	1	126.35	74.250	43.640	4.647	3.567	2.029
		1.5	191.78	112.69	66.230	4.647	3.567	2.029
	125	1	254.95	149.82	88.050	4.784	3.672	2.098
		1.5	385.81	226.72	133.24	4.794	3.680	2.093
2960	125	1	166.96	98.110	57.660	4.646	3.566	2.028
		1.5	254.95	149.82	88.050	4.700	3.608	2.052
	160	1	358.74	210.81	123.89	4.791	3.678	2.092
		1.5	541.49	318.20	187.01	4.809	3.691	2.100
	200	1	719.73	422.94	248.57	4.837	3.713	2.112
		1.5	1085.2	637.72	374.80	4.954	3.803	2.163
	250	1	1419.2	833.94	490.12	5.001	3.842	2.186
		1.5	2163.7	1271.5	747.26	5.070	3.892	2.214
	315	1	2893.5	1694.4	995.83	5.027	3.859	2.194
		1.5	4336.5	2548.2	1497.6	5.120	3.930	2.235

表 4-12

水冷开启式 R₇₁₇ 螺杆式制冷压缩机的基本参数

阳转子 转 速 (r/min)	阳 转 子 名义直径 (mm)	长径比	R ₇₁₇			
			名义工况制冷量 Q ₀ (kW)		名 义 工 况 制冷压缩机性能系数	
			Z	D	Z	D
4410	100	1	90.570	44.600	3.790	2.132
		1.5	138.16	68.040	3.793	2.134
	125	1	181.15	89.200	3.803	2.139
		1.5	271.72	133.80	3.810	2.143
2960	125	1	118.21	58.210	3.770	2.120
		1.5	181.15	89.200	3.814	2.145
	160	1	253.30	124.73	3.797	2.136
		1.5	382.25	188.23	3.964	2.230
	200	1	508.14	250.22	3.912	2.200
		1.5	766.04	377.22	4.014	2.258
	250	1	1002.5	493.64	4.022	2.263
		1.5	1529.0	752.93	4.089	2.300
	315	1	2043.3	1006.17	4.102	2.307
		1.5	3093.4	1523.24	4.141	2.329

表 4-13 水冷半封闭式 R₂₂ 螺杆式制冷压缩机组的基本参数

阳转子 转速 (r/min)	阳转子 名义直径 (mm)	长径比	R ₂₂					
			名义工况制冷量 Q ₀ (kW)			名义工况 制冷压缩机性能系数		
			G	Z	D	G	Z	D
4400	100	1	124.09	72.920	42.860	4.004	3.073	1.738
		1.5	189.52	111.37	65.450	4.038	3.099	1.573
	125	1	252.70	148.49	87.270	4.180	3.208	1.814
		1.5	381.30	224.06	131.69	4.210	3.224	1.824
2960	125	1	164.70	96.780	56.880	4.025	3.089	1.747
		1.5	250.44	147.17	86.490	4.051	3.109	1.758
	160	1	354.23	208.15	122.34	4.175	3.204	1.183
		1.5	536.98	315.55	185.45	4.205	3.227	1.826

注 制冷压缩机性能系数中的输入功率不包括单独驱动的油泵功率。

表 4-14 风冷开启式 R₂₂ 螺杆式制冷压缩机的基本参数

阳转子 转速 (r/min)	阳转子 名义直径 (mm)	长径比	R ₂₂					
			名义工况制冷量 Q ₀ (kW)			名义工况 制冷压缩机性能系数		
			G	Z	D	G	Z	D
4400	100	1	113.72	51.232	30.112	2.974	2.283	1.296
		1.5	172.60	77.756	45.699	2.974	2.283	1.296
	125	1	229.46	103.38	60.755	3.062	2.350	1.343
		1.5	347.23	156.44	91.936	3.068	2.355	1.340
2960	125	1	150.26	67.696	39.785	2.973	2.282	1.296
		1.5	229.06	103.38	60.755	3.008	2.309	1.333
	160	1	222.87	145.46	85.484	3.066	2.354	1.339
		1.5	487.34	219.56	129.04	3.078	2.362	1.344
	200	1	647.76	291.83	171.51	3.096	2.376	1.382
		1.5	976.68	440.03	258.61	3.171	2.434	1.384

注 制冷压缩机性能系数中的输入功率不包括单独驱动的油泵功率和风机功率。

表 4-15 风冷半封闭式 R₂₂ 螺杆式制冷压缩机的基本参数

阳转子 转速 (r/min)	阳转子 名义直径 (mm)	长径比	R ₂₂					
			名义工况制冷量 Q ₀ (kW)			名义工况 制冷压缩机性能系数		
			G	Z	D	G	Z	D
4400	100	1	110.44	47.398	27.856	2.683	1.721	0.975
		1.5	168.67	72.391	42.543	2.705	1.735	0.881
	125	1	224.90	96.519	56.726	2.801	1.796	1.066
		1.5	339.36	145.64	85.599	2.821	1.805	1.021
2960	125	1	146.58	62.910	36.972	2.697	1.730	0.978
		1.5	222.89	96.661	56.219	2.714	1.741	0.984
	160	1	315.20	135.30	79.521	2.797	1.794	1.055
		1.5	477.91	205.11	120.54	2.817	1.807	1.025

注 制冷压缩机性能系数中的输入功率不包括单独驱动的油泵功率和风机功率。

表 4-16

螺杆式制冷压缩机及机组的名义工况

名义工程	制冷剂	吸入压力 饱和温度 (℃)	吸入温度 (℃)	排出压力饱和温度 (℃)		制冷剂液体温度 (℃)	
				水冷式	风冷式	水冷式	风冷式
高温	R ₂₂	7	18	43	55	38	50
中温	R ₂₂	-7		35		—	
	R ₇₁₇		1				
低温	R ₂₂	-23	5				
	R ₇₁₇		-15				

表 4-17

螺杆式制冷压缩机设计及使用条件

设计和使用条件	制 冷 剂		
	R ₂₂		R ₇₁₇
	水 冷 式	风 冷 式	
最高排出压力饱和温度 (℃)	49	60	46
最低吸入压力饱和温度 (℃)	-40	-20	-40
最高吸入压力饱和温度 (℃)	10		5
最高排气温度 (℃)	105		

注 排出压力为油分离器前的压力。

三、螺杆式制冷压缩机的工作过程

螺杆式制冷压缩机的工作过程如图 4-23 所示。图中上部为吸气端，下部为排气端。在理想工作状态下它有三个工作过程，即吸气过程、压缩过程和排气过程。当转子上部一对齿槽和吸气口连通时，由于螺杆回转啮合空间容积不断扩大，来自蒸发器的制冷剂蒸气由吸气口进入齿槽，即开始了进行吸气过程 [见 4-23 (a)]。随着螺杆的继续旋转，吸气端盖上的齿槽被齿的啮合所封闭，即完成了吸气过程。随着螺杆继续旋转，啮合空间的容积逐渐缩小，气体就进入压缩过程 [见图 4-23 (b)]。当啮合空间和端盖上的排气口相通时，压缩过程结束。随着螺杆的继续旋转，啮合空间内的被压缩气体通过排气口将压缩后的制冷剂蒸气排入至排气管道中 [见图 4-23 (c)]，直至这一空间逐渐缩小为零，压缩气体全部排出，排气过程结束。随着螺杆的不断旋转，上述过程将连续、重复地进行，制冷剂蒸气就连续不断地从螺杆式制冷压缩机的一端吸入，从另一端排出。

四、螺杆式制冷压缩机机组

螺杆式制冷压缩机在实际运行中，为保证其安全运行，均组成机组形式，如图 4-24 所示。螺杆式制冷压缩机机组除制冷压缩机本身以外，还包括油分离器、油过滤器、油冷却器、油泵、油分配管、能量调节装置等。概括起来机组系统包括制冷系统和润滑系统两部分。

1. 制冷系统

螺杆式制冷压缩机机组制冷系统的工作过程是：来自蒸发器的制冷剂蒸汽，经过滤器、吸气止回阀进入吸入口。制冷压缩机的一对转子由电动机带动旋转，润滑油由滑阀在适当位置喷入，油与气在汽缸中混合。油气混合物被压缩后经排气口排出，进入油分离器。由于油

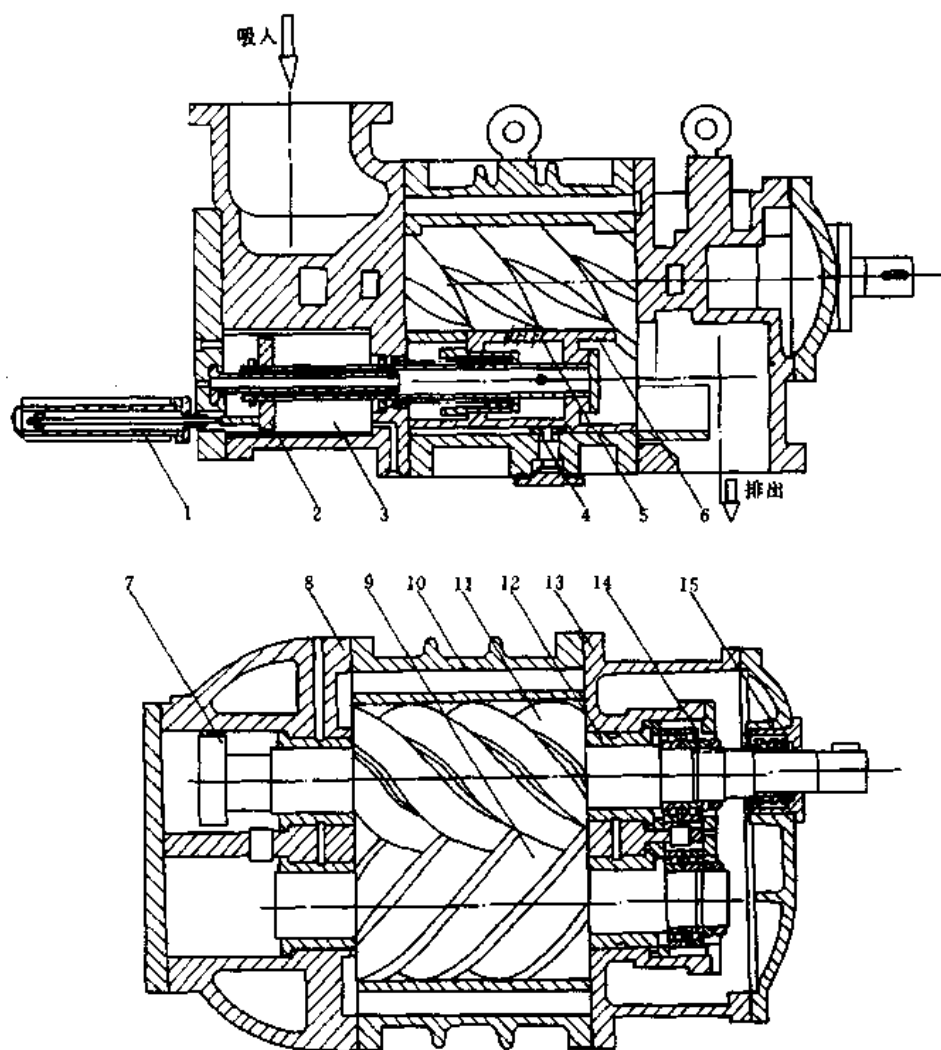


图 4-22 螺杆式制冷压缩机

1—负荷指示器；2—油活塞；3—液压缸；4—导向块；5—喷油孔；6—卸载滑阀；7—平衡活塞；8—吸气端座；9—阴转子；10—气缸；11—阳转子；12—滑动轴承；13—排气端座；14—推力轴承；15—轴封

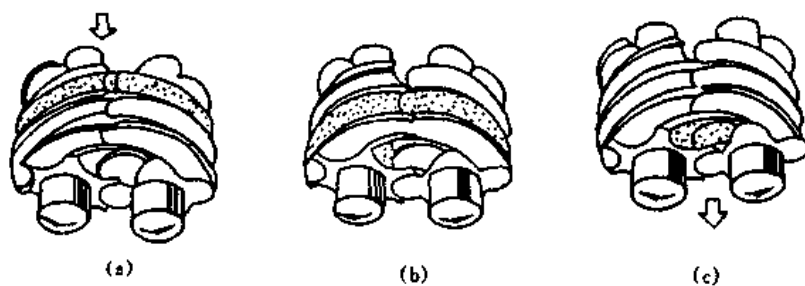


图 4-23 阴阳转子啮合齿间的基元容积变化过程

(a) 吸气；(b) 压缩；(c) 排气

气混合物在油分离器中的流速突然下降，以及油与气的密度差等作用，使一部分润滑油被滞留在油分离器底部，另一部分油气混合物，通过排气止回阀进入二次油分离器中，进行二次分离，再将制冷剂蒸汽送入冷凝器中。

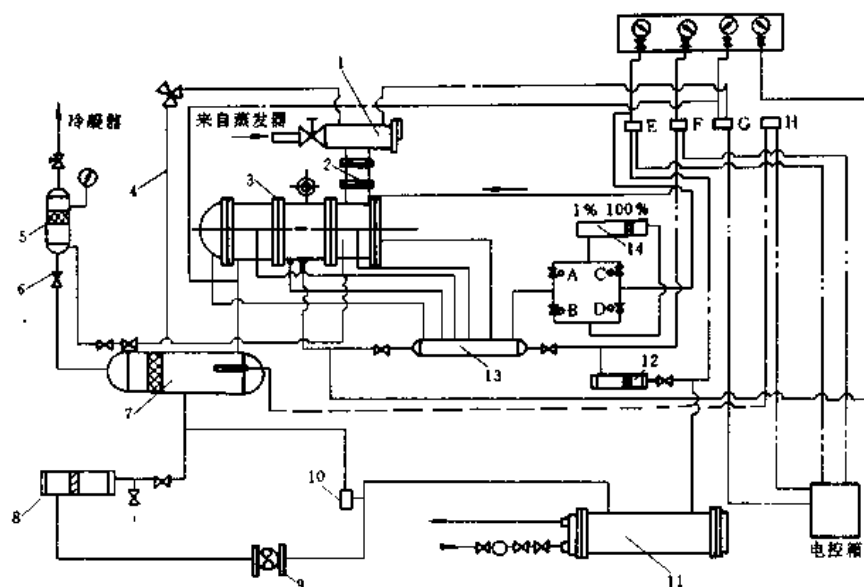


图 4-24 螺杆式制冷压缩机机组系统

——表示油路；-·-表示气路；-·-·表示电路；- - -表示温度控制线路

1—过滤器；2—吸气止回阀；3—螺杆式制冷压缩机；4—旁通管路；5—二次油分离器；

6—排气止回阀；7—油分离器；8—油粗过滤器；9—油泵；10—油压调节阀；

11—油冷却器；12—油精过滤器；13—油分配管；14—油缸

A、B、C、D—电磁阀；G、E—压差控制器；F—压力控制器；H—温度控制器

系统中设置吸气止回阀的目的是防止制冷压缩机因停机时转子倒转而使转子产生齿损。设置排气止逆阀的目的是防止制冷压缩机停机后，因高压气体倒流而引起机组内的高压状态。设置旁通管路的作用是当制冷压缩机停机后，电磁阀开启，使存在于机腔内压力较高的蒸汽通过旁通管路泄至蒸发系统，让机组处于低压状态下，便于再次启动。系统上压差控制器的作用是控制系统的高压及低压压力。

2. 润滑系统

螺杆式制冷压缩机一般采用喷油式压力润滑，即在制冷压缩机工作过程中，通过油泵将润滑油喷射至两螺杆工作部位及其他需要润滑的部位。其目的有四个：一是带走压缩过程中所产生的压缩热，使压缩过程接近于等温压缩，降低排气温度，从而防止机件受热变形；二是向汽缸内喷入润滑油，可使转子之间及转子与汽缸之间得到密封，减少内部的泄漏；三是对螺杆式制冷压缩机的运动部件起润滑作用，提高零部件的寿命，以达到长期、经济、安全地运行；四是喷油使螺杆式制冷压缩机的结构简化，对降低运转噪声起一定作用。

螺杆式制冷压缩机润滑系统的工作过程是：贮存在油分离器下部的温度较高的润滑油，经粗过滤器过滤后，被油泵加压送到油冷却器。在油冷却器中，润滑油被冷却水冷却降温后进入油精过滤器，经精过滤器进行精过滤后，被送入油分配管，再被分别送到轴封、滑阀喷油孔、前后主轴承、平衡活塞、四通电磁阀（能量调节装置）中。

送入轴封、前后主轴承、四通电磁换向阀的润滑油，经机体内油孔返回到低压侧。部分润滑油与制冷剂蒸汽混合后，由制冷压缩机压到油分离器中。转子机腔中的油气混合物，被排至油分离器进行油气分离，分离后的润滑油，积存在油分离器的下部，再循环使用。二次分离器中的润滑油，一般应定期放回制冷压缩机的低压侧。

五、螺杆式制冷压缩机的能量调节

螺杆式制冷压缩机与活塞式制冷压缩机一样,是通过调节排气量来调节日冷量的。目前使用的螺杆式制冷压缩机组均带有能量调节机构。

螺杆式制冷压缩机的能量调节一般是依靠滑阀来实现的。滑阀的结构如图 4-25 所示。它安装在螺杆式压缩机排气一侧的汽缸两内圆的交点处,其表面组成汽缸内表面的一部分,滑阀底面与汽缸底部支撑滑阀的平面相贴合,使滑阀可以做平行于汽缸轴线的移动。滑阀杆一端连接滑阀,另一端连接油缸内的活塞,依靠油活塞两边油压差,使滑阀移动。当滑阀移动而把回流口打开时,转子啮合齿槽吸入的气体一部分经回流口返回到吸入腔,从而使压缩机的排气量减少。能量调节机构中的油缸中的压力油来自压缩机的润滑系统。当油缸的进出油路均被关闭时,油缸内的活塞即停止移动,滑阀就停在某一位置上,压缩机即在某一排气量下工作。

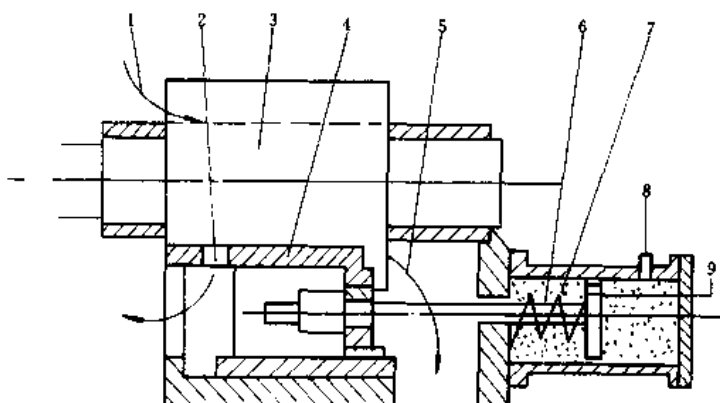


图 4-25 螺杆式制冷压缩机的能量调节机构

1—吸入口；2—回流口；3—转子；4—滑阀；5—排出口；6—油缸
7—平衡弹簧；8—进油口；9—负荷指示杆

螺杆式制冷压缩机的能量调节,主要与转子有效的工作长度有关。图 4-26 为滑阀的移动与能量调节时压缩机输气量变化及在 $p-V$ 图的表示的示意图。图 4-26 (a) 表示滑阀完全关闭回流口,制冷压缩机处于全负荷工作状态,输气量为额定输气量时的情况。图中阴影区表示一对齿槽的空间容积。图 4-26 (b) 表示制冷压缩机进行能量调节时的情况。图中的滑

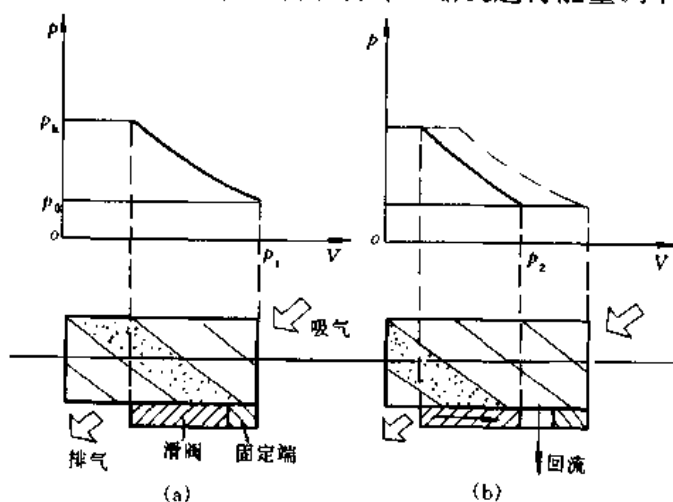


图 4-26 螺杆式制冷压缩机滑阀式能量调节时输气量的变化及在 $p-V$ 图上的表示

阀移向排气侧，在吸气侧出现空隙，形成了回流。当转子啮合线越过回流口以后，齿槽内的气体才开始被压缩，因而转子压缩行程短，齿槽空间容积减小，使制冷压缩机的排气量减少，因而使制冷量也随之减少。由于滑阀可以无级连续移动，因此，螺杆式制冷压缩机可以在 10% ~ 100% 的能量范围内实现无级能量调节。

螺杆式制冷压缩机的能量调节机构同时也是一个启动卸载机构。当制冷压缩机启动时，油压尚未建立，回流口处于开启位置，从而实现其卸载启动的目的。滑阀的移动可以通过电动或液压传动的方式，根据吸气压力或温度变化来进行能量调节。滑阀同油缸的活塞连成一体，由油泵供油推动油缸活塞带动滑阀移动。一般是通过四通电磁阀控制进油方向来达到能量调节目的的。

四通电磁阀是由四只电磁阀安装在一个共同阀体上组成的。现结合图 4-24 来分析其工作过程。图中 A、B、C、D 四只电磁阀组成了四通电磁阀，它们一般成对使用。当手动（或自动）使电源接通电磁阀 A、D 后，从供油分配管来的高压油，通过电磁阀 A 进入油缸的左室，而右室的油，经电磁阀 D 流入压缩机的低压侧，此时滑阀移向能量 100% 的位置，使压缩机的排气量增加。反之，当接通电磁阀 B、C 后，油活塞带动滑阀向能量 10% 的位置方向移动，使压缩机排气量减少。

当需要保持压缩机制冷量在某一档次内不变时，只需要在与此制冷量对应的滑阀位置上不接通电源，即使电磁阀 A、B、C、D 均处于关闭状态。螺杆式制冷压缩机启动时，应将能量调节到最低，以实现空载或低负荷启动。

六、螺杆式制冷压缩机机组

将螺杆式压缩机、电动机、油分离器、油冷却器、油过滤器、油泵、冷凝器及仪表控制盘组装在一起的机组称为螺杆式制冷压缩机机组。

螺杆式制冷压缩机机组按所选配的螺杆式压缩机的结构型式，可分为开启式和半封闭式两种。按所选配的冷凝器的冷却方式，可分为水冷式和风冷式两种。

图 4-27 所示为水冷式 NJBLG65Z 型螺杆制冷压缩机机组结构示意图。机组主要由螺杆

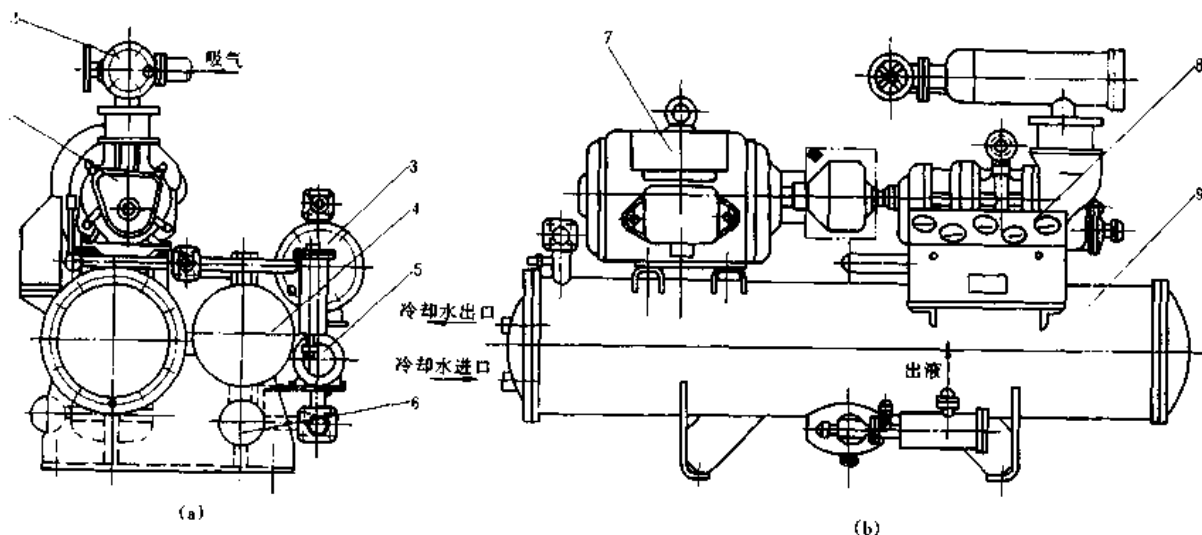


图 4-27 NJBLG65Z 型螺杆制冷压缩机机组

- 1—螺杆压缩机；2—吸气过滤器；3—油分离器；4—油冷却器；5—贮油器；
6—油过滤器；7—电动机；8—仪表控制盘；9—冷凝器

图 4-28 NJBLG65Z 型螺杆制冷压缩机管路系统

1—能量调节阀; 2—喷油阀; 3—吸气止回阀; 4—低平衡阀; 5—吸气截止阀; 6—维修截止阀; 7—安全阀;
8—油分配阀; 9—出油截止阀; 10—进油截止阀; 11—油压调节阀; 12—加油阀; 13—供油截止阀; 14—回
油阀; 15—高平衡阀; 16—排气止回阀; 17—排气截止阀; 18—放空阀; 19—供液阀; 20—充氮阀

式压缩机、电动机、油分离器、油冷却器、油过滤器、冷凝器、各种阀门、管道组成，冷凝器和油冷却器配置在机组下部，机组放在上部，仪表控制盘放在一侧，保证机组在整体结构上的紧凑性。

机组的管路系统如图 4-28 所示。机组管路系统主要由能量调节阀、喷油阀、吸气止回阀、安全阀、油分配阀、油压调节阀、排气止回阀、供液阀和充氟阀等各种阀门组成。

第五节 离心式制冷压缩机

离心式制冷压缩机是一种速度型压缩机。它通过高速旋转的叶轮对气体做功，使其流速增加，然后通过扩压器使气体减速，将气体的动能转换为压力能，这样就使气体的压力得到提高。此种压缩机多用于大型空气调节系统的冷冻站。

一、离心式制冷压缩机的总体结构

离心式制冷压缩机分为单级和多级两种类型，其结构示意图如图 4-29 和图 4-30 所示。

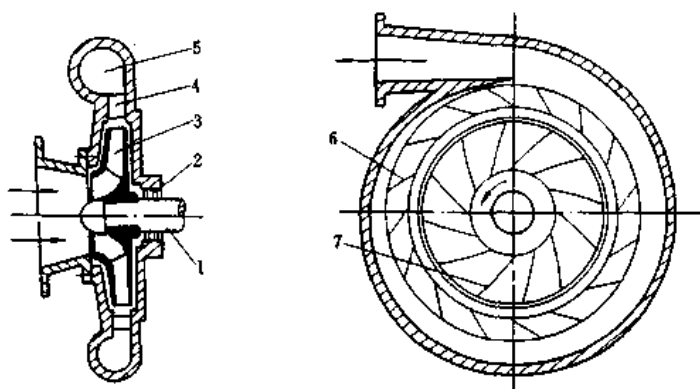


图 4-29 离心式制冷压缩机构造简图

1—轴；2—轴封；3—叶轮；4—扩压器；5—蜗壳；
6—扩压器叶片；7—叶片

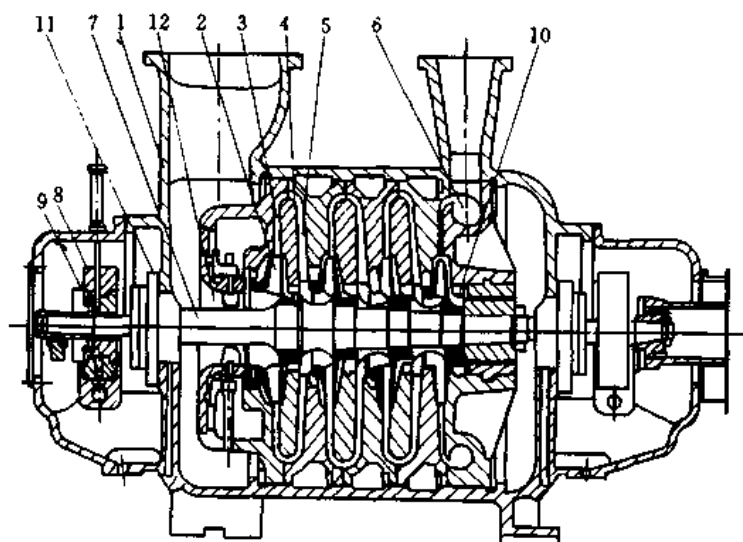


图 4-30 多级离心式压缩机简图

1—机体；2—叶轮；3—扩压器；4—弯道；5—回流器；6—蜗壳；7—主轴；
8—轴承；9—推力轴承；10—梳齿密封；11—轴封；12—进口导流装置

由图可见，离心式制冷压缩机主要由吸气室、叶轮、扩压器、弯道、回流器、蜗壳、主轴、轴承、机体、轴封等零部件组成。

离心式制冷压缩机的分类方法见表 4-18。

表 4-18 离心式制冷压缩机的分类

分 类 方 式	分 类	分 类 方 式	分 类
按驱动方式	蒸汽轮机驱动 燃气轮机驱动 电动机驱动	按压缩机级数	单级 双级 三级
按压缩机与电动机连接方式	半封闭式 开式	按能量利用程度	单一制冷型 热泵型 热回收型
按蒸发器、冷凝器的结构型式	单筒式 双筒式	按能耗指标	一般型能耗指标为 0.253kW/kW 节能型能耗指标为 0.238kW/kW 超节能型能耗指标不大于 0.222kW/kW
按冷凝器冷凝方式	水冷式 风冷式		

从压缩机与电动机的连接方式上看，离心式制冷压缩机除了可分为半封闭式和开启式的外，还有全封闭形式的离心式制冷压缩机。

二、离心式压缩机的工作原理

离心式压缩机的工作原理与鼓风机很相似。现以图 4-1 所示的离心式压缩机构造来分析其工作原理：离心式压缩机的叶轮称工作叶轮。当叶轮转动时，叶片就带动气体运动，或者说使气体得到动能，然后气体的动能转化为压力能，从而提高了制冷剂蒸汽的压力。

叶轮与其配合的固定元件组成“级”。压缩机工作时，轴和叶轮以高速旋转，因此将轴和叶轮组成的部件称为转子。转子以外的部分是不动的，称为固定元件。固定元件有吸气室、扩压器及蜗壳等。压缩机工作时，制冷剂蒸汽先通过吸气室，引导进入压缩机的蒸汽均匀地进入叶轮。为了减少气流的能量损失，流通通道的截面做成渐缩的形状，使气体通过时略有加速，进入叶轮。制冷剂蒸汽进入叶轮后，一边跟着叶轮作高速旋转，一边由于离心力的作用，在叶轮槽中作扩压流动，从而使气体的压力和速度都得到提高。从叶轮中流出的气体然后进入扩压器。扩压器是一个截面积逐渐扩大的环形通道，气体流过扩压器时，速度减小，压力提高。压力得到提高后的气体再进入蜗壳。蜗壳的作用是把由扩压器流出来的气体汇集起来，最后排入排气管。

离心式压缩机各主要部件的作用如下：

(1) 吸气室。它是用来将制冷剂蒸汽从进气管均匀地引入叶轮中去的固定部

件。

(2) 进口导叶。它是用于压缩机制冷量的调节的。通过转动进口可调动导流叶片，使进入叶轮的气流速度方向得到改变，从而改变进入叶轮的气体流量。进口导叶片由若干扇形叶片组成，其根部带有转轴，安装在吸气室内按圆周等距离分布的轴孔内。每个转轴的端部都与叶片调整机构联接，操纵调节机构时可使进口叶片同时转动。

(3) 叶轮。又称工作轮。压缩机工作时，制冷剂蒸汽在叶轮作用下作高速旋转，同时受旋转离心力的作用，被高速地甩向叶轮边缘上的出口。这样，叶轮的入口处气体的密度减小，形成低压区，从而使流体不断地得到补充。气流在流经叶轮的过程中，叶轮对气体作了功，使气体的速度增加，压力提高。因此，叶轮是将输入的机械能转化为气体能量的工作部件。

(4) 扩压器。气体从叶轮中流出时有很高的流动速度。为了将这部分动能充分地转变为压力能，同时也为了使气体在进入下一级时有较合理的流动速度，在叶轮后面设置了扩压器。它是由前、后隔板组成的流通截面逐渐增大的通道。随着通道直径的增大，通流面积增加，使流经气体速度逐渐减慢，压力得到提高。

(5) 弯道与回流器。在多级离心式制冷压缩机中，为了把气体引入下一级继续增压，在扩压器后面设置了使气流拐弯的弯道和将气体均匀地引入下一级叶轮入口的回流器。

弯道是一个弯曲形的环形空间，它使气流由离心方向改为向心方向。回流器是由两块隔板组成的，内部装有导向叶片，使气流能沿轴线方向进入下一级。

(6) 蜗室。又叫蜗壳。它的主要作用是将从扩压器出来的气体汇集起来，导出压缩机外，由于蜗室外径逐渐增大，也使其对气流起到一定的降速扩压作用。

(7) 推力盘。叶轮两侧的气体压力是不相等的，如双级或多级离心式制冷压缩机中，压缩机每级的压出侧的气体压力高于吸入侧的气体压力，因此，叶轮会产生指向吸入侧的轴向力。为了减小这种轴向推动力，在压缩机末级之后的主轴上设置推力盘，又称平衡盘。

另外，为了使离心式制冷压缩机持续、安全、高效率地运行，压缩机还设有一些辅助设备和系统，如增速器、油路系统、冷却系统、自动控制和检测及安全保护系统等。

三、离心式制冷压缩机的特性曲线

离心式制冷压缩机正式投入运行前，均要由生产厂通过试验作出其特性曲线，并在说明书中绘出。特性曲线表示一台压缩机运行时，由于某一参数（如制冷量 Q_0 、蒸发温度 t_0 、压缩机转速 n 等）发生变化，引起其他参数变化的情况。

离心式制冷压缩机的特性曲线，常是以蒸发温度 t_0 和压缩机转速 n 一定为前提进行绘制的。从图 4-31 可以看出当蒸发温度和压缩机转速一定时，离心式制冷压缩机的冷凝温度、轴功率及绝热效率随制冷量的变化而变化的关系。从图中还可以看到当 t_0 和 n 一定时，压缩机的制冷量随冷凝温度的升高而减少，在某一制冷量时（通常为设计工况）具有最大绝热效率，而当偏离设计工况时，运行效率将下降。

在图 4-31 的冷凝温度曲线上，A 点为喘振点，表示离心式压缩机达到喘振的工况。所谓喘振是离心式制冷压缩机经常出现的一种故障现象。其主要表现是：当压缩机的排气量小于特性曲线图上 A 点位置对应的值时，由于此时制冷剂蒸汽通过叶轮的能量损失很大，使

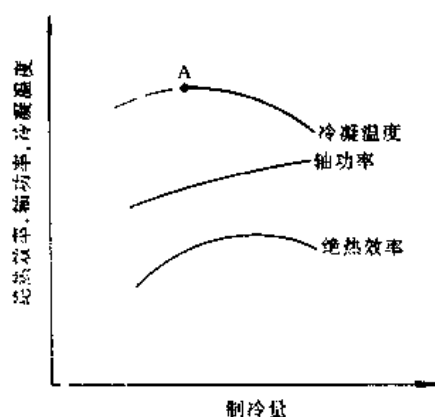


图 4-31 离心式压缩机
特性曲线

叶轮流道内的气流发生严重的脱离现象,造成压缩机排气压力突然下降,导致压缩机出口以外的气体倒流。倒流回的气体使叶轮中的流量增加,排气压力又升高,排出气体,而后,流量又不足,排气压力下降,又会产生气体倒流现象。如此不断地产生周期性的气体脉动,就称为喘振。压缩机发生喘振时,会使运行时噪声增大,机体和出口管道会发生强烈振动。若不能及时采取控制措施,就会造成压缩机的损坏。为防止喘振的发生,在压缩机运行时应使排气量尽量在 A 点位置,以防止喘振的发生。

四、离心式制冷压缩机的能量调节

离心式制冷压缩机在运行过程中为了适应空调负荷的变化和安全经济运行,需要对其制冷量进行调节。离心式制冷压缩机制冷量的调节方法主要有如下几种。

1. 吸气节流调节法

用改变压缩机吸气截止阀的开度,对压缩机吸入的蒸汽进行微量节流来调节压缩机的排气量。这种调节方法可使压缩机的制冷量有较大范围(60%~100%)的变化。

2. 转速改变调节法

对于可以改变转速的离心式制冷压缩机,可以采用改变主机转速的方法来进行制冷量的调节。当转速在 100%~80% 范围内变化时,制冷量在 100%~50% 范围内变化。

3. 进口导流叶片角度调节法

将设置在压缩机叶轮前进口导流叶片的角度发生改变时,即改变了制冷剂蒸气进入叶轮的速度和方向,从而使叶轮所产生的能量发生变化,改变了压缩机的制冷量。这种调节方法,制冷量可以在 25%~100% 范围内变化。

4. 冷却水量调节法

离心式制冷压缩机制冷量的调节也可以通过改变冷却水量的方法进行。当冷却水量减小时,冷却水带走的热量也少,使压缩机的冷凝温度升高,也使其制冷量减少。对于由不同的冷却水量带来的冷凝温度变化而引起的制冷量变化如图 4-32 所示。

5. 旁通热蒸气调节法

旁通热蒸气调节法,也称反喘振调节法,即通过在压缩机进气和排气管之间设置的旁通管路和旁通阀,使一部分高压气体通过旁通管返回到压缩机进气管,达到减少压缩机排气量,改变其制冷量的目的。在运用此种方法进行制冷量调节时,要注意不能使旁通的气体过多,以免造成排气温度过高,导致压缩机损坏。所以在调节时,必须在旁通阀后喷入液体制冷剂,使旁通气体降温,保证压缩机能正常运行。

冷却水量调节法和旁通热蒸气调节法的经济性很差。因此,一般情况下不使用这两种方法,只有在需

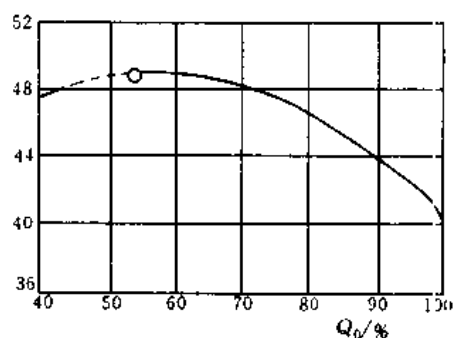


图 4-32 离心式制冷压缩机的
 Q_0-t_w 关系

要很小制冷量时才采用。

五、离心式制冷机组的分类

目前，用于中央空调的离心式冷水机组是由离心式压缩机、主电动机、蒸发器、冷凝器、节流装置、压缩机入口能量调节机构、抽气回收装置、润滑油系统、安全保护装置及微电脑控制系统等组成一个完整的制冷装置，它们共用一个底座。

离心式制冷压缩机机组按不同的分类方法可分为以下几个类型。

1. 按用途分类

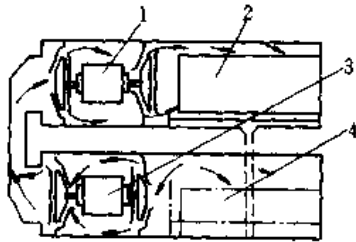
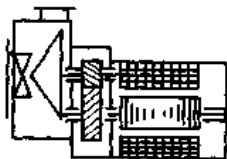
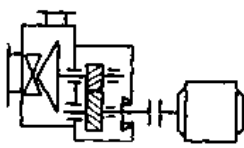
按用途可分为空调冷水机组和低温机组。空调冷水机组主要使用在机舱、船舱、楼宇空调、矿井、纺织厂、印刷厂等场合。其工作参数为：蒸发温度为 $0 \sim 15^{\circ}\text{C}$ 范围；制冷量为 $105 \sim 3450\text{kW}$ 范围，使用工质为 R_{11} 、 R_{12} 、 R_{22} 、 R_{113} 、 R_{123} 、 $\text{R}_{134\text{a}}$ 等。与之配合使用的载冷剂为空气、水等。

低温机组主要用于饮食业，在此不作介绍。

2. 按结构型式分类

按结构型式可分为全封闭式、半封闭式和开启式机组。其结构简图及特点见表 4-19。

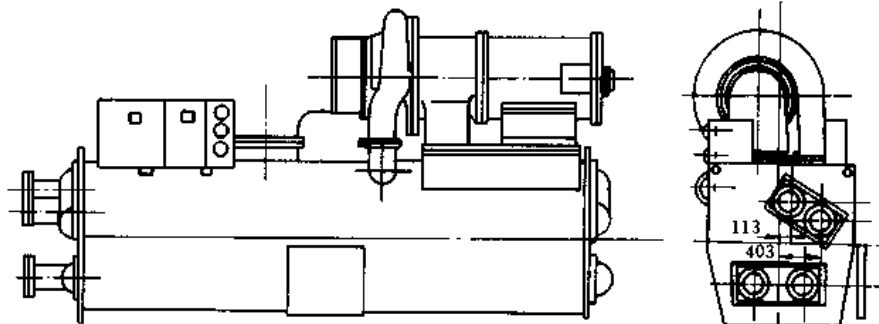
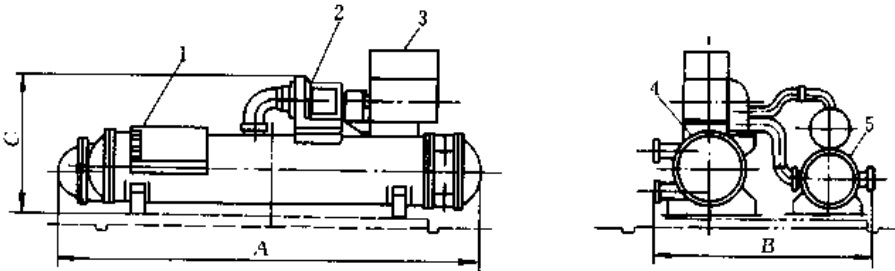
表 4-19 全封闭、半封闭、开启式机组的结构简图及特点

种类	结构简图	特 点
全封 闭式	 1、3—电动机；2—蒸发器；4—冷凝器	它把所有的制冷设备封闭在同一机壳内。一般用于飞机机舱或船只内的空调。具有制冷量小、气密性好、电动机在制冷剂中得到充分冷却，不会使电流过载。采用四级叶轮，由电动机直联，取消了增速装置，使结构简单、噪声低、振动小。有些机组采用气体膨胀机高速传动，结构更简单。
半封 闭式		压缩机封闭在一起，无泄漏。各部件机壳用法兰面联接，稍有泄漏。采用单级或多级悬臂叶轮，有的不用增速器。多级机组采用省功器，以节省能源。电动机需专门制造，采用制冷剂冷却并要考虑耐腐蚀性。润滑油系统为整体组合件，埋藏在占据冷凝器一端的油泵室中。蒸发器和冷凝器一般为单筒式，抽气回收装置放在其上部，浮球阀室则放在两筒体之间。启动和控制设备另设在机组一侧。
开启 式		开启式机组是指压缩机或增速器出轴端装有可靠的密封，电动机成在机组外面利用空气冷却的机组，它可节省能耗 $3\% \sim 6\%$。若机组改换制冷剂运行时，可以按工况要求的功率大小更换电动机。

3. 按蒸发器和冷凝器布置形式分类

蒸发器和冷凝器一般使用卧壳管式，有单筒和双筒两种布置方式，其结构简图及特点见表 4-20。

表 4-20 单筒式和双筒式离心式冷水机组的结构简图及特点

单筒式	结构	
	特点	把蒸发器和冷凝器布置在同一筒体内称单筒式蒸发—冷凝器。冷凝器位于上方，蒸发器位于下方，其间用圆弧板分开。浮球阀室（或固定的复式孔口节流装置）位于纵向中部下方。单筒式在冷水机组中已占绝大部分
双筒式	结构	 1—控制柜；2—压缩机；3—主电动机；4—蒸发器；5—冷凝器
	特点	当机组制冷量太小时，由于工艺制造上的原因，常做成双筒式。蒸发器和冷凝器各一个筒体，采取上下或横排的安放方式。在低温机组中得到广泛应用

六、离心式制冷压缩机组

与其他压缩式制冷机一样，离心式制冷压缩机组的工作循环也是由蒸发、压缩、冷凝和节流四个热力状态过程组成的，其工作流程如图 4-33 所示。压缩机叶轮不断地从蒸发器中抽出制冷剂蒸汽，使其压力下降，相应地也降低了蒸发器内的温度，并使制冷剂沸腾、蒸发。制冷剂在气化过程中吸收蒸发器管簇内的载冷剂的热量，降温后的载冷剂又重新输送至空气处理装置内。经压缩机压缩后变成高温高压状态的制冷剂蒸汽，进入冷凝器中进行冷凝，与冷却水进行热交换后冷凝成液态制冷剂。液态制冷剂由一个限流孔进入闪蒸过冷室，使一小部分制冷剂闪蒸为气体，吸收没有蒸发的制冷剂液体的热量，使其进一步冷却。闪蒸后变成气态的制冷剂蒸汽又进入冷凝器被冷却为液态，并同闪蒸过冷室中流出的过冷液状态的制冷剂一起流向浮球阀室。在浮球阀室有一只线性浮球阀，形成了液体密封，以防止过冷室的蒸汽进入蒸发器，影响其制冷效率。液体制冷剂在流过浮球阀室时被节流后进入蒸发器中蒸发，吸入载冷剂热量后气化为制冷剂蒸汽，又被压缩机吸入。上述过程完成了一个单级制冷循环过程。

空调用的离心式制冷压缩机一般均是单级的，其控制流程如图 4-34 所示。

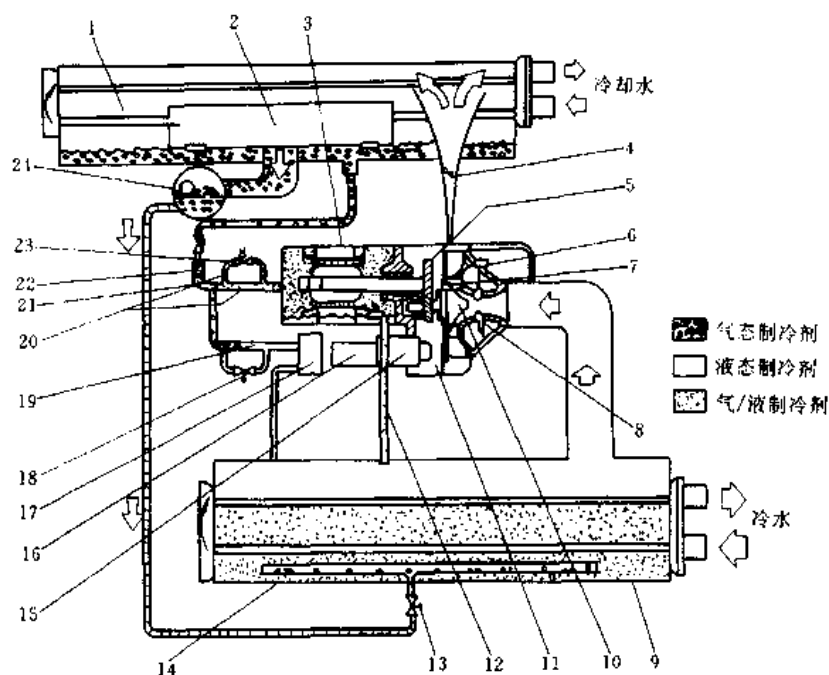


图 4-33 19X1 单级离心式冷水机组工作循环图

1—冷凝器；2—过冷室；3—电动机；4—冷凝器隔离阀；5—齿轮对；6—导叶电动机；7—扩压器；8—进口导叶；9—蒸发器；10—叶轮；11—油箱；12、19、20—孔板；13—蒸发器隔离阀；14—均液管；15—油泵；16—油过滤器；17—油冷却器；18—热力膨胀阀；21—制冷剂视镜玻璃；22—干燥过滤器；23—冷却电磁阀；24—线性浮阀室

七、离心式压缩机的润滑系统

空调用离心式制冷机组的润滑系统，一般采用“组装式”，即将油浸式油泵、油泵电动机、油冷却器、油过滤器以及调节系统等组装在一起，全部密封在蒸发器左端的油槽内，油槽外壳将油槽与蒸发器分开，有的则装在压缩机底部。为保证停电或意外事故停机时使其润滑系统仍能向压缩机关键部位供应润滑油，在机组上部高位处设有高位油槽，可利用油位的落差以保持压缩机旋转部分的润滑。

图 4-35～图 4-37 是国内离心式冷水机组常用的润滑油系统流程图。其流程分析及其特点见表 4-21。

润滑油系统的主要零部件主要由油泵、油冷却器、油过滤器、油引射回收装置和油引射喷嘴等组成。图 4-38 和图 4-39 是油引射回收装置及油引射喷嘴示意图与结构图。在离心式制冷压缩机机组中，由于油槽以上空间是和进气室相通的，因此油雾就能进入压缩机内流通，凝结成液态后，润滑油就会沉积在进气室或蜗壳底部，为了使这些沉积的润滑油能返回油槽，设计和采用了油引射回收装置及油引射喷嘴。其工作原理是在蜗壳中部引一股高压制冷剂气体，通过喷嘴的引射作用，将压缩机底部的积油通过过滤网抽出，与喷嘴喷出的高压气体混合在一起后，由喷嘴出口管回收至油槽中。

油引射回收装置在使用时应注意在启动和停机过程中，应关闭喷嘴的前后波纹管阀，不能使用油引射回收装置。因为这时压缩机蜗壳内的气体压力尚未建立或压力较低，甚至低于油槽中的压力值。若此时使用油引射回收装置，就会导致油槽中较高油压的润滑油倒灌进压缩机的蜗壳内，这是不允许的。润滑油系统其他主要零部件的结构示意图和特点见表 4-22。

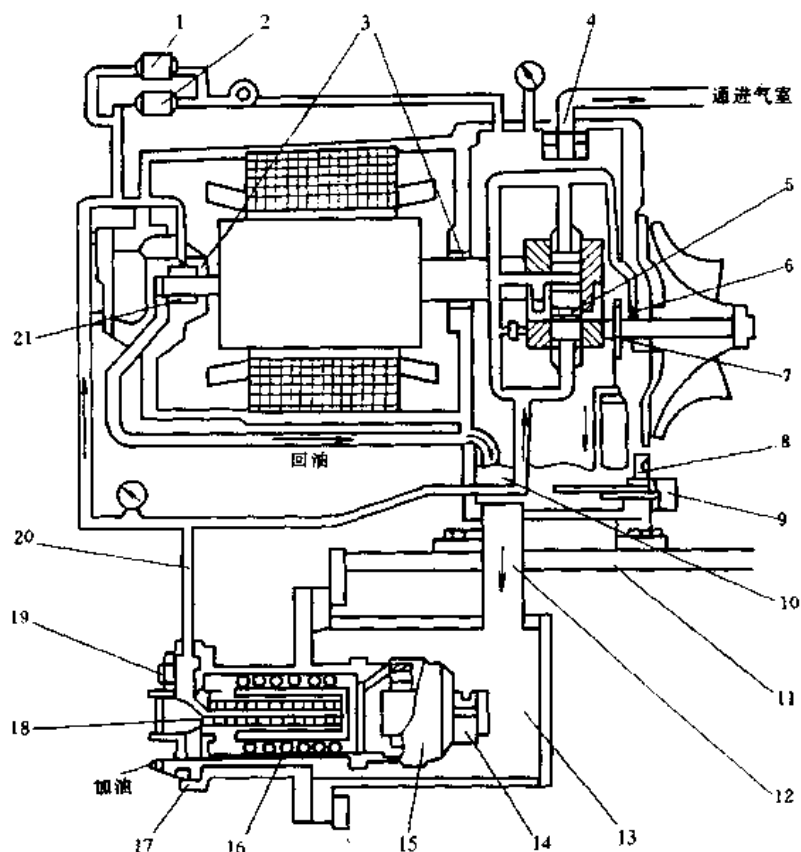


图 4-35 离心式制冷机的“组装式”润滑油系统流程

1—导叶开关联锁低压开关;2—低油压开关;3—迷宫密封;4—滤网;5—小齿轮轴承;6—主轴承;7—推力轴承;
8—视镜;9—油加热器;10—油箱;11—蒸发器筒体;12—总回油管;13—油箱;14—油泵;15—电动机;
16—管式油冷却器;17—油压调节器;18—油过滤器;19—磁性塞头;20—供油管;21—电动机轴承

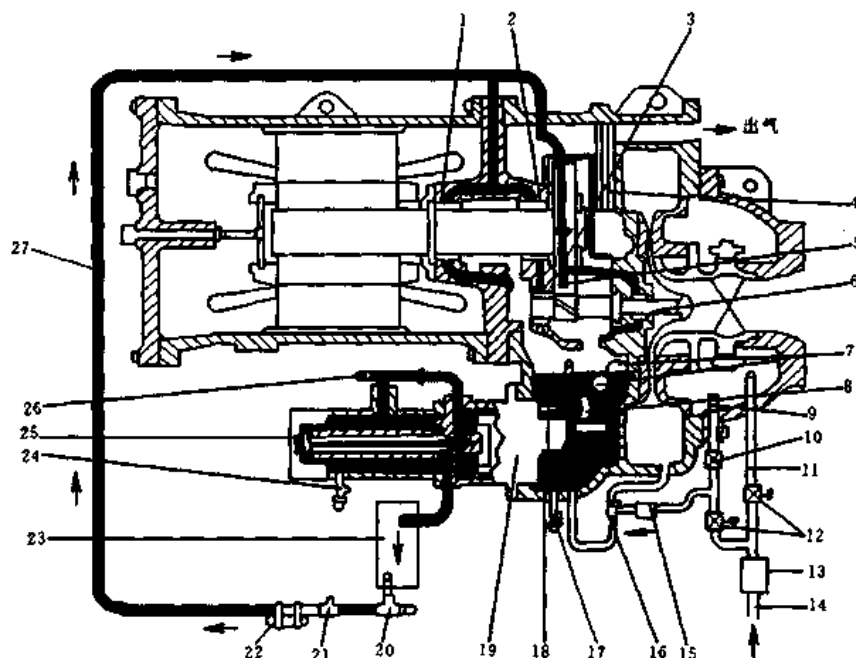


图 4-36 R22 离心式冷水机组润滑油系统流程图

1—后电动机轴承;2—前电动机轴承;3—后小齿轮轴承;4—去雾器;5—油喷嘴;6—高速轴推力轴承;7—油位视镜;
8—油温电加热器;9—油滤网;10—单向阀;11—导叶回油管线;12—电磁阀;13—过滤器;14—蒸发器回油管线;
15—滤网;16—油引射器;17—油充注阀;18—油压释放阀;19—油泵和电动机;20—油过滤器隔离阀;21—油压变送器;
22—热力膨胀阀温包;23—油冷却器;24—放油阀;25—油过滤器;26—油过滤器隔离阀;27—油管

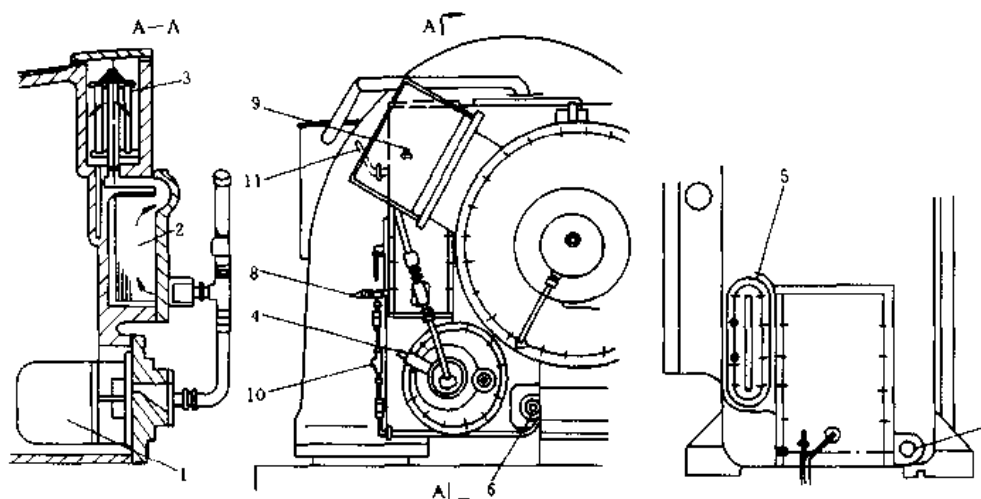


图 4-37 R123/R11 离心式冷水机组润滑油系统装置图

1—油泵；2—油冷却器；3—油过滤器；4—油压调节阀；5—油位计；6—油加热器；
7—充油阀；8—油温调节器；9—放油阀；10—冷媒水分显示器；11—供油温度计

表 4-21

离心式冷水机组中常用的润滑油系统的组成及其特点

润滑油系统类别	循环线路及零部件组成	特 点
R11 离心式冷水机组润滑油系统	供油线路走向如下：叶片式油泵（14）→油泵电动机（15）→水冷盘管式油冷却器（16）→油过滤器（18）→（经油压调整阀 17 调至规定油压）→ 油站出口 $\phi 10 \times 1$ 油管 → 电动机尾端径向滑动轴承（21） 油站出口 $\phi 25 \times 2.5$ 油管 → 高位油罐 → →（进入机壳） 大小齿轮啮合喷油孔 大小齿轮推力轴承、径向滑动轴承 叶轮主轴轴承（6、7） 花键、联轴器（如果有） 回油线路走向如下： 各轴承回油→油槽（10）$\xrightarrow{\text{电加热}}$总回油管（12）→油箱	（1）润滑油系统中的油浸型叶片式油泵—油泵电动机（14、15）、油冷却器（16）、油过滤器（18）、油压调整阀（17）等均组合在一起，称为“组装式”润滑油系统； （2）对大小齿轮轴承、叶轮主轴轴承、大小齿轮啮合处进油的支管均利用机壳和增速箱体铸造而成，不占有外部空间，结构十分紧凑； （3）该润滑油系统正常的运行规范： a) 供油压力：正常运行（导叶开度 60% 以上）时为 0.15~0.19MPa； b) 机壳下方油槽油温为 55~65℃，不得低于 38℃； c) 轴承供油温度为 35~50℃； d) 轴承温度 $\leq 70^\circ\text{C}$； e) 油槽视镜油位：水平中线上下 5mm 内

润滑油系统类别	循环线路及零部件组成	特 点
R12 离心式冷水机组润滑油系统	供油路线走向如下：油泵和电动机（19）→油过滤器隔离阀（26）→油过滤器（25）→制冷剂冷却的油冷却器（23）→油过滤器隔离阀（20）→油压变送器（21）→热力膨胀阀温包（22）→ { (进入压缩机壳体) { 大小齿轮啮合处喷嘴（5） 叶轮主轴推力轴承（6） 叶轮主轴径向滑动轴承 { (进入电动机壳体) { 后电动机轴承（1） 前电动机轴承（2） 后小齿轮轴承（3） 回油线路走向如下：各轴承回油→机壳下部油槽→油箱（油泵和电动机） 辅助回油线路走向如下： 蒸发器回油管线（14） 进口导叶回油管线（11） } →油过滤器（15）→油引射器（16）→机壳下部油槽 机壳下部油槽配置部件： a) 上、下二只圆形视镜：正常油位在上视镜（7）水平中线与下面视镜的顶部之间； b) 油温电加热器（8）； c) 油压释放阀（18）； d) 充油/放油阀（17）	(1)、(2) 与 R11 离心式冷水机组润滑油系统特点相同（油冷却器为制冷剂冷却）； (3) 润滑油回收系统特点：主要回收导叶罩壳底部和蒸发器制冷剂液位上部的润滑油部分，因而采用油引射器喷嘴。当机组载荷较小，引射器引入的制冷剂压缩蒸气速度尚不足以引射导叶罩壳中油的回收，也没有足够的压差把回收油抽回油箱时，回收管路的两只电磁阀将进行转换，使油引射器直接从蒸发器中抽出油和制冷剂，而将该混合液引射回到油箱； (4) 该润滑油系统正常运行规范： a) 供油压力：正常运行时为 0.103 ~ 0.172MPa； b) 机壳下部油槽油温 60~65℃； c) 轴承供油温度：43~49℃； d) 轴承温度为 60~74℃，停机温度为 83℃ e) 油槽视镜油位：上视镜水平中线与下视镜顶部之间，至少有一视镜可见油位
R123/R11 离心式冷水机组润滑油系统	供油路线走向如下： 内浸式齿轮油泵（1）→制冷剂冷却的板式油冷却器（2）→纸质过滤器（3）→油压调节阀（4） { 主电动机组合轴承 压缩机侧主电动机组合轴承 { 大齿轮轴径向滑动轴承及喷油 小齿轮轴径向滑动轴承及喷油 叶轮主轴主推力及径向滑动轴承 回油线路走向如下： 各轴承回油→油槽→油箱（油泵和油泵电动机） 机壳下部油槽配置部件： a) 油位计视镜（5）； b) 充油阀（7）； c) 油温电加热器（6）； d) 油压调节阀（4）； e) 制冷剂冷却的板式油冷却器前制冷剂管路上有冷媒水分显示器（10）、油温调节阀（8）	(1) 该润滑油系统的油泵、油泵电动机、油冷却器、油过滤器等均置于压缩机机壳体内，缩小管道尺寸，结构紧凑，拆装检修方便； (2) 油冷却器为铝合金的板式换热器型式；采用制冷剂冷却，冷却效果显著，结构小巧； (3) 该润滑油系统正常运行规范： a) 供油压力：正常运行时为 1.5~1.9MPa； b) 轴承供油温度为 35~50℃； c) 轴承温度≤70℃； d) 机壳下部油槽油温为 55~65℃； e) 油槽视镜油位：水平中线上下 5mm 内

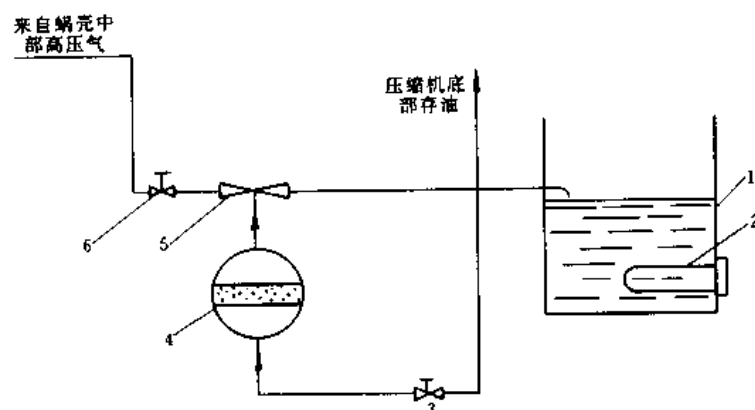


图 4-38 油引射回收装置

1—油槽；2—电加热器；3、6—波纹管阀；4—过滤器；5—油引射喷嘴

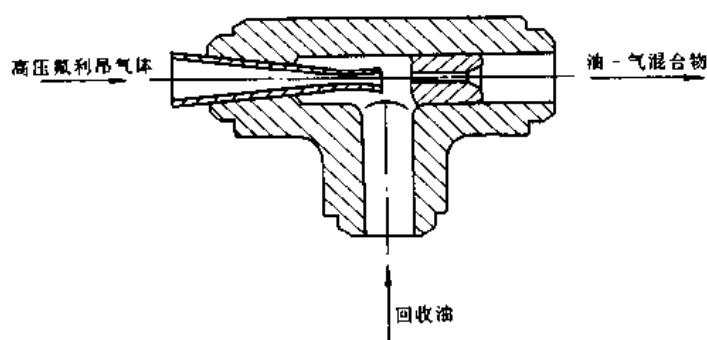
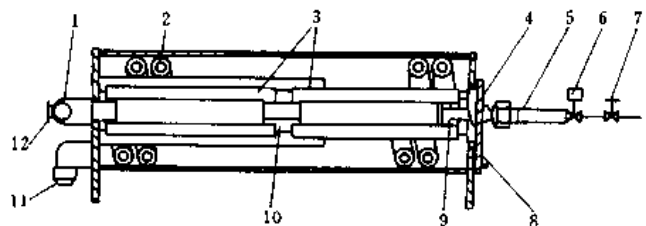


图 4-39 油引射喷嘴

表 4-22

润滑油系统主要零部件

名称	简 图	说 明
油泵		(1) 一般用两台“油浸型”齿轮式油泵，图中入口腔体处吸入为真空，吸入高度 $\leq 0.5\text{m}$ 油柱； (2) 齿轮和壳体的工作表面按表面粗糙度 $R_a 1.60\mu\text{m}$，轴颈表面按表面粗糙度 $R_a 0.40\mu\text{m}$ 加工； (3) 各处装配间隙：壳体中齿轮端部间隙取 $0.1 \sim 0.3\text{mm}$，是利用泵体和泵盖间的垫片调节的；油泵的轴承径向间隙取轴颈直径的 $0.001 \sim 0.002$ 倍；齿轮啮合间隙为 $0.1 \sim 0.25\text{mm}$。
油冷却器		油冷却器设在油泵之后。采用直管式（如左图）或盘管式。盘管式结构紧凑，但冷却容量受到限制。一般回油温度为 $55 \sim 65^\circ\text{C}$，供油温度为 $35 \sim 45^\circ\text{C}$，冷却器使油温下降 $15 \sim 20^\circ\text{C}$。用蒸发器的冷水或制冷剂在管内流动吸热。机组在启动和停机过程中，应关闭油冷却器的供水阀，以免因油槽内油温过低而使制冷剂大量溶入润滑油内，形成起泡现象并使油压下降，烧坏轴承。因此在冷却水管路上装有电磁阀，停机时，自动关闭，或采用手动截止阀，以确保出油温度。

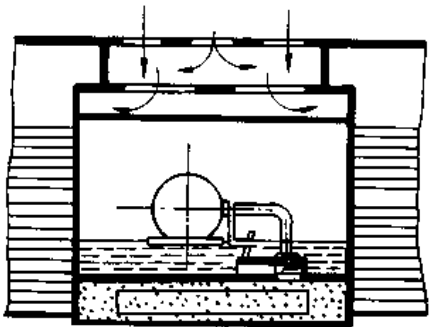
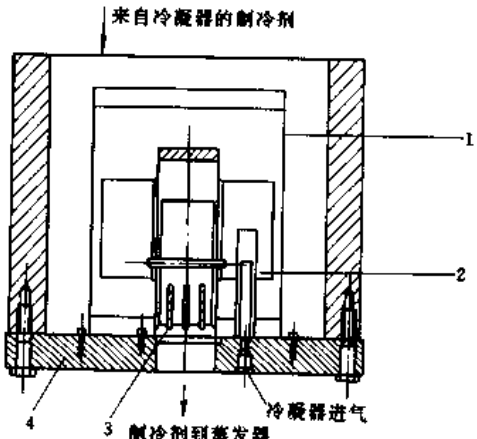
名称	简图	说明
油过滤器	 1—油出口；2—冷却盘管；3—过滤器；4—弹簧；5—冷却水入口；6—电磁阀；7—阀；8—盖子；9—旁通阀；10—过滤器；11—油入口；12—冷却水出口	有的装在冷却器内（如左图），有的则置于冷却器后，一般用双筒并联，以便切换时使用。筒内装有强磁铁以吸附未过滤掉的铁屑杂物，过滤网采用 200 目 cm^2 的钢丝布，当过滤器前后压差达 70~80kPa 时，表明已被脏物堵塞，此时应在不停机的情况下切换使用另一个过滤器。其出口有一旁通油路，与机壳下部油槽相连，该管路上装有调压阀，以调节轴承的供油压力

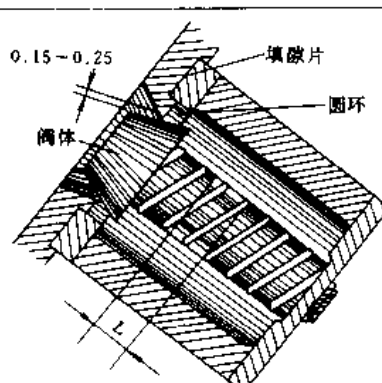
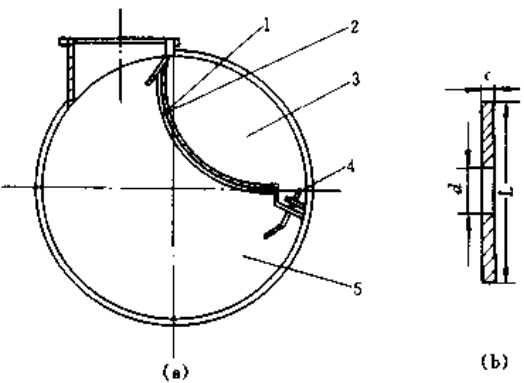
八、离心式制冷压缩机机组的节流机构

在空调用离心式制冷压缩机机组中，常采用浮球阀和节流孔口等多种方式的节流机构。其结构型式特点和作用见表 4-23。

表 4-23

空调机组的节流机构与作用

零部件名称	结构型式特点	作用
传统浮球阀室		(1) 从冷凝器底部流出的制冷剂液体，节流到接近于蒸发器内压力； (2) 浮球受浮力作用，自动调整液面，以控制流入蒸发器的制冷剂流量
线性浮阀	 1—滤网；2—浮腔；3—长圆形孔；4—盖	机组启动时，通过连接冷凝器顶部的铜管，将高压高温的制冷剂气体直接引入并抬升浮阀的浮腔，液封在浮腔内。 浮腔通过销与内衬筒连接，浮动的内衬筒调节下部长圆形孔的开度，达到调节制冷量的目的。当控制液位的目的停机时，浮腔在最低处也保持着最小开度，其调节性能好，不易被卡

零部件名称	结构型式特点	作用
提升阀	 提升阀 L—阀的行程	停机时, 阀体与圆环之间的最小间隙为 $0.15 \sim 0.25 \text{mm}$。开机后, 冷凝压力升高, 阀体被下压, 圆环与阀体间隙随压力增大而扩大。最高压力时, 阀体被下压至 L 行程的下止点, 此时节流流量最大。当冷凝流量减少时, 阀体受弹簧恢复力作用而上移, 间隙减小, 以达到调节流量的目的。
节流机构	 节流膨胀孔板 节流孔板与孔板管道 (a) 节流孔板所在位置; (b) 孔板 1—隔板; 2—隔热板; 3—冷凝器; 4—孔板管道; 5—蒸发器; D—孔板直径; d—孔口直径; c—孔板厚度	这种简单的节流孔板和孔板管道加工方便, 可在冷凝器下部设置一个或多个, 使冷凝器中制冷剂液体节流降压后分布均匀地进入蒸发器。 节流孔口直径 d 的确定: 根据额定的蒸发压力和冷凝压力的 40% 压差时制冷剂的循环量, 或按 115% 额定制冷剂的流量计算而定。 不同冷量的机组配有不同孔径 d 的节流孔板和孔板管道。

九、离心式制冷压缩机组中电动机的冷却方式

对离心式制冷压缩机组中的电动机有两个要求: 一是由于电动机被密封在机壳中, 其产生的热量必须要由冷却介质带走; 二是如果制冷剂选用的是具有一定腐蚀性的制冷剂 (如 R123) 时, 电动机的制造材料, 必须具有耐腐蚀性。

图 4-40 所示为离心式制冷压缩机中电动机结构及其冷却系统。该结构是由端盖、内盖、导流筒、转子后压圈、转子铁心轴以及径向通道、管形孔板、定子径向通道等组成的。

电动机冷却的工作流程是: 制冷剂液体从冷凝器底部通过电动机机座下面的进液箱进入电动机内部, 再由内盖和导流筒组成的径向及轴向混合通道, 均匀地将制冷剂导流到转子的铁芯端面的集液室内, 借助集液室的静止壁与旋转壁之间的梳齿密封装置的间隙, 泄漏出少量的制冷剂液体喷洒冷却线圈端部。集液室内的制冷剂在机轴的高速旋转作用下, 受离心力

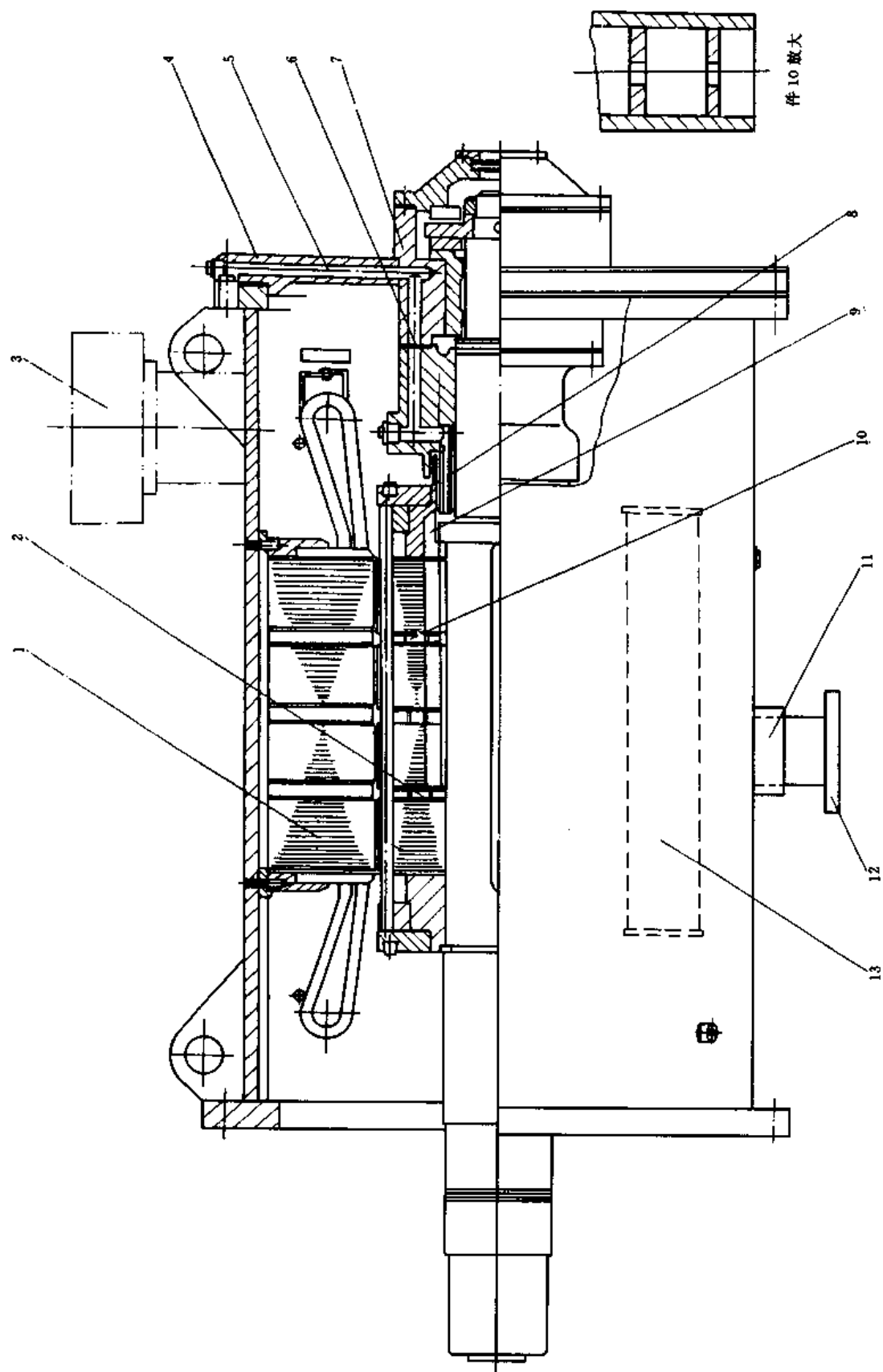


图 4-40 LSBLXR123 (R11) 电动机结构及其冷却系统

- 1 定子, 2 转子, 3 接线盒, 4 端盖, 5 端盖壁上的通道, 6 轴向及径向通道, 7 内盖;
8—梳齿密封; 9—集液室; 10—管形孔板; 11—进液箱; 12—回气管; 13—制冷剂回收箱

的作用被抛向集液室外壁，强迫导入转子轴向引液孔并进入转子轴向通道及径向通道。在转子径向通道上，设置了管形孔板以调制冷剂的流量。在机轴作用产生的离心力作用下，制冷剂液体被均匀地抛洒至定转子的间隙中，制冷剂液体汽化吸热以冷却转子、定子铁芯及线圈，制冷剂气化后形成的蒸汽吹拂定子铁芯与机壳之间的夹层表面和线圈端部，冷却了整个电动机。完成冷却任务的制冷剂最后回到电动机机座下部的回收箱内，并排放到机组的蒸发器内。

第六节 吸收式制冷机

吸收式制冷与蒸汽压缩式制冷一样同属于液体气化制冷，即都是利用低沸点的液体或者让液体在低温下气化以达到制冷的目的。所不同的是：蒸汽压缩式制冷是依靠消耗机械功使热量从低温物体向高温物体转移；而吸收式制冷则是依靠消耗热能来实现这种转移的。

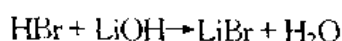
一、溴化锂溶液的基本特性

蒸汽压缩式制冷使用的工质一般为纯物质，如 R12、R22、R134a 等，而吸收式制冷使用的工质通常是一种二元溶液，由沸点不同的两种物质所组成。其中低沸点的物质为制冷剂，高沸点的物质为吸收剂。因此，二元溶液又称为制冷剂—吸收剂工质对。所谓二元溶液，是指两种互相不起化学作用的物质组成的混合物。这种均匀混合物的各种物理性质，如压力、温度、浓度等在整个混合物中各处都完全一致，不能用纯机械的沉淀法或离心法将它们分离为原组成物质。

溴化锂水溶液是由固体的溴化锂溶解于水中而形成的。溴化锂是由碱族中的元素锂 (Li) 和卤族中的元素 (Br) 构成的。在没和水溶解之前的无水溴化锂是白色、块状的，无毒、无臭、有咸苦味，在空气中极易因吸收水分而难于保存。因此，吸收式制冷机使用的溴化锂，一般以水溶液的形式供应和使用。

1. 溴化锂溶液的一般特性

溴化锂溶液是由固体溴化锂溶解于水中而形成的。通常由氢溴酸和氢氧化锂通过中和反应来制取。



由于锂和溴分别属于碱金属和卤族元素，因此它的一般性质与食盐相似，在大气中不变质、不分解、不挥发，是一种稳定的物质。未添加缓蚀剂 (Li_2CrO_3) 前，溴化锂溶液是无色透明的液体，无毒，入口有咸苦味，溅在皮肤上有微痒感。添加了缓蚀剂后呈微黄色。

溴化锂溶液的质量直接影响溴化锂吸收式制冷机组的性能，因此，应对它的质量指标进行严格控制，一般应达到下列技术指标：

浓度：50% ± 0.5%；

碱度：pH 值在 9.0 ~ 10.5 的范围内；

铬酸锂（缓蚀剂）含量：0.15% ~ 0.25%；

杂质最高含量：硫酸盐 (SO_4^{2-}) 为 0.05%；

多硫化物含量：溴酸盐 (BrO_3^-) 无反应。

另外，溶液中不应含有二氧化碳、臭氧等不凝性气体。

2. 溴化锂溶液的物理性质

(1) 相关的物理概念。

溶解：固体溶质（如溴化锂）溶于溶剂（如水）的过程。当把溶质浸泡在溶剂中时，由于溶质表面的分子在不断地运动，并受到水分子的吸引，使一些分子脱离溶质表面进入溶剂中，从而形成了溶液。

饱和溶液：在一定温度下，固体溶质溶于溶剂中的数量达到最大值时的溶液。

溶解度：在一定温度下，100g 溶剂中溶解的溶质达到饱和状态时，饱和溶液所能溶解溶质的克数。如 20℃ 时溴化锂的溶解度为 111.2g。

结晶：当降低饱和溶液的温度时，溶于溶液中的溶质分子出现晶体状并从溶剂中析出的现象。

(2) 物理特性。

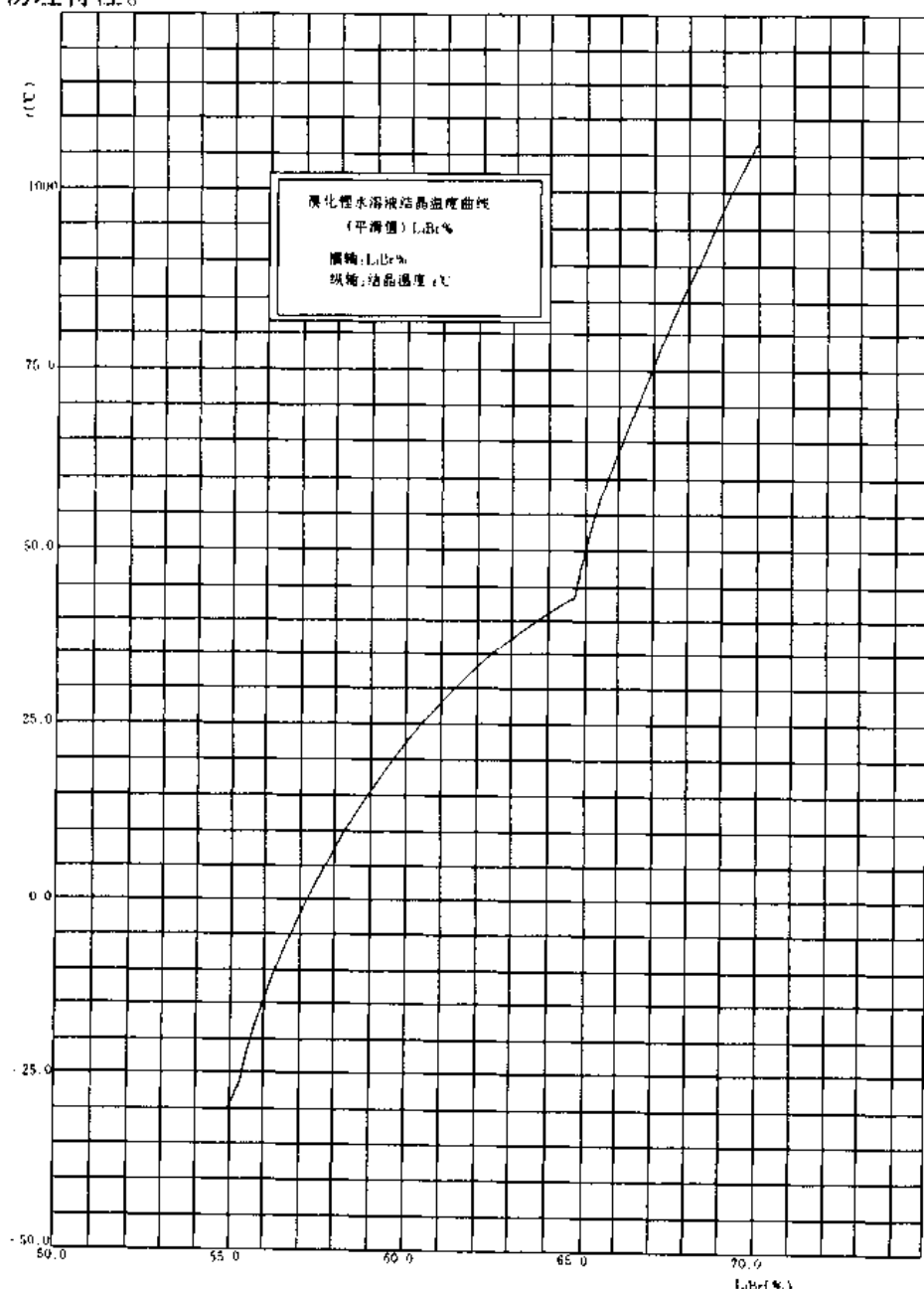


图 4-41 溴化锂水溶液结晶温度曲线

1) 溶解度曲线。

20℃时溴化锂的溶解度为 111.2g。溶解度的大小与溶质和溶剂的特性及温度有关，一定温度下的溴化锂饱和水溶液，当温度降低时，由于溶解度减小，溶液中会有溴化锂的晶体析出，形成结晶现象。将含有晶体的溴化锂溶液加热至某一温度时其晶体全部消失，这一温度即为该浓度溴化锂溶液的结晶温度。图 4-41 所示为溴化锂溶液结晶温度曲线，亦称溶解度曲线。图中纵轴表示结晶温度，横轴表示溶液的浓度。曲线上任意一点，均表示溶液处于饱和状态。图的左上方为液相区，溶液不会有结晶出现；右下方是固相区，溶液处于该区域中的任何一点时都会有结晶体析出。由此可以看出：溴化锂溶液中是否有晶体析出，取决于溶液的温度和浓度两个参数。作为制冷机工质，溴化锂溶液应始终处于液体状态，无论是运行或是停机期间，都不允许溶液中有晶体析出。

2) 浓度。

溴化锂溶液的浓度一般采用质量百分比浓度。溴化锂溶液的质量百分浓度是指在一定质量的溶液中，溴化锂所占的质量百分比。用符号 ξ 表示。

3) 比热。

溴化锂溶液的比热常采用定压比热。即在压力不变的条件下，单位质量溶液温度升高 1℃ 所需要的热量，用 c_p 表示。

溴化锂溶液的比热很小。如当溶液温度为 25℃，浓度为 51% 时，溴化锂的 $c_p = 2.1 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ ，而水的比热为 $4.2 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ 。溴化锂溶液比热小有利于提高制冷机组的效率，因为在发生过程中所需要加给溶液的热量较少，而吸收过程中必须从溶液中带走的热量也较少。

4) 比重。

物体的重量和其体积的比值称为比重。溴化锂溶液的比重与温度和浓度有关，其关系如图 4-42 所示。纵轴代表比重，横轴代表温度。它是一组等浓度线，温度不变时，浓度越大，比重越大；浓度不变时，温度越高，比重越小。在溴化锂机组运行过程中，若需要测定溶液的浓度，只要同时测出其比重与温度，便可以用此图查出对应的浓度。

5) 水蒸气压力。

溴化锂溶液的水蒸气分压力很小，它比同温度下纯水的饱和蒸汽压力要小得多，所以有很强的吸收水分的能力。

6) 腐蚀性。

溴化锂溶液对碳钢和紫铜等金属材料有腐蚀性，尤其在有空气存在时腐蚀更为严重，因此，在溴化锂机组运行时要在溴化锂溶液中加入缓蚀剂来减缓溴化锂溶液对金属的腐蚀性。

缓蚀剂的使用方法是：在溴化锂溶液温度不超过 120℃ 时，在溶液中加入 0.1% ~ 0.3% 的铬酸锂 (Li_2CrO_3) 和 0.02% 的氢氧化锂 (LiOH) 溶液，使溶液呈碱性，pH 值保持在 9.5 ~ 10.5 的范围，缓蚀效果较好。当溶液温度在 160℃ 时，除使用上述缓蚀剂外，还可以使用耐高温的缓蚀剂，如加入 0.001% ~ 0.1% 的氧化铅 (PbO)，或加入 0.2% 的三氧化二锡 (Sn_2O_3) 与 0.1% 的铌酸钾 (KNbO_3) 的混合物等，使溴化锂溶液对金属的腐蚀性降低到最低限度。

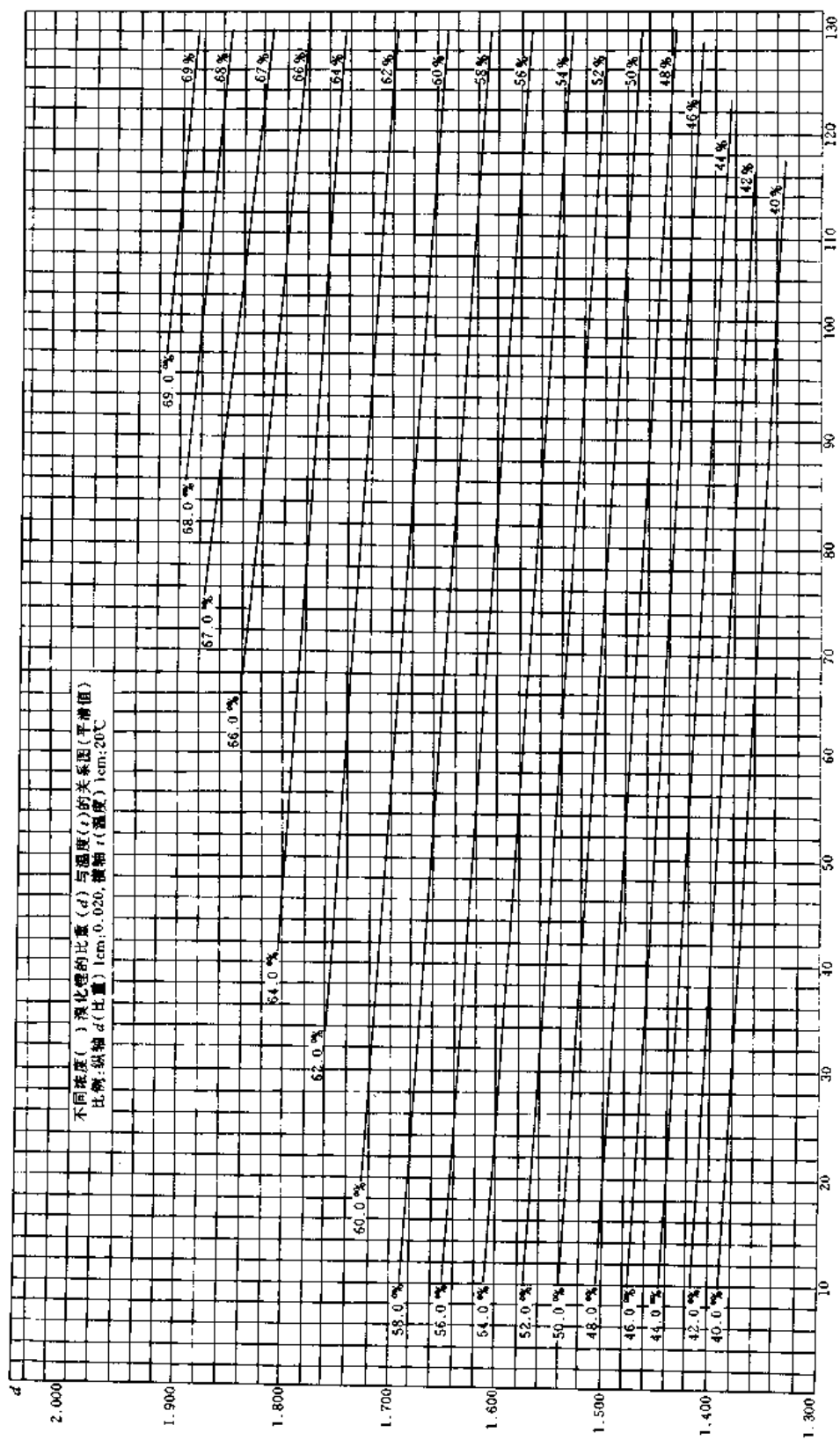


图 4-42 溴化锂溶液的比重曲线

二、溴化锂制冷系统的工作原理

图 4-43 所示为单效溴化锂吸收式制冷机的工作原理示意图。机组运行时，在发生器中的溴化锂被热源蒸汽加热后，溶液中的制冷剂——水被加热后变成水蒸气流入冷凝器中，在

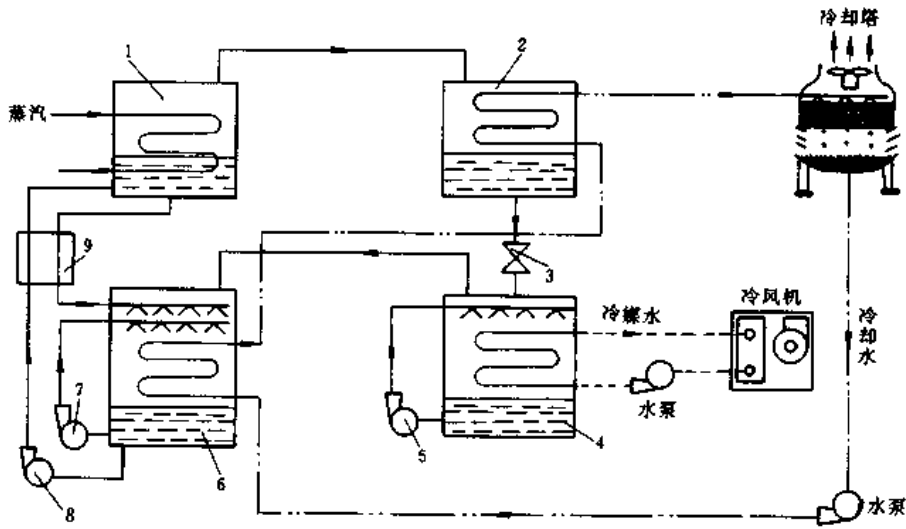


图 4-43 单效溴化锂吸收式制冷机的工作原理

1—发生器；2—冷凝器；3—节流阀；4—蒸发器；5—蒸发泵；6—吸收器；

7—吸收泵；8—发生泵；9—溶液热交换器

冷凝器中向冷却水放出热量后，凝结成冷剂水，冷剂水经节流装置节流后流入蒸发器中蒸发，吸收蒸发器中冷媒盘管中冷媒水的热量后变成水蒸气，进入吸收器中被从发生器回来的溴化锂浓溶液吸收，变成溴化锂稀溶液，然后经发生器泵升压后，流经溶液热交换器被从发生器中回流的浓溶液加热，送至发生器中，从而完成循环过程。

图 4-44 是一台单效双筒溴化锂制冷机组的工作流程示意图。单效溴化锂吸收式制冷机

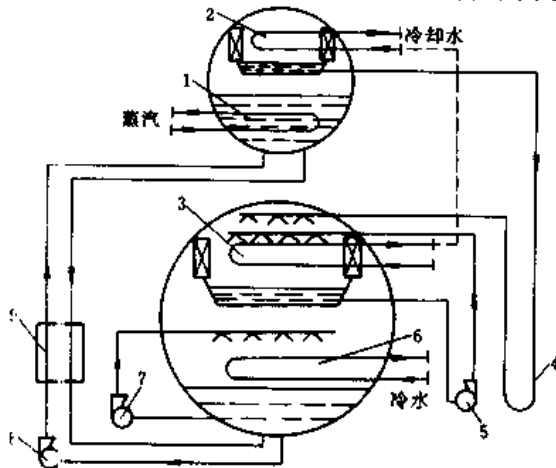


图 4-44 双筒单效溴化锂吸收式制冷机组的工作流程

1—发生器；2—冷凝器；3—蒸发器；4—U形管；

5—蒸发泵；6—吸收器；7—吸收泵；8—发生泵；

9—溶液热交换器

组是由发生器、冷凝器、蒸发器、吸收器、溶液热交换器以及屏蔽泵（溶液泵和冷剂泵）、阀门、管道等组成。

机组工作时，发生器与冷凝器中的压力较高，将二者密封在一个筒体内，称为高压筒。而蒸发器和吸收器内的压力较低，也将二者密封在一个筒体内，称为低压筒。在机组的布置上将高压筒设置在上，低压筒设置在下，这样有利于浓溶液依靠重力与压力差的作用自动从发生器回流至吸收器，高、低压筒之间通过管道连接。

在发生器中，浓度较低的溴化锂溶液被蒸汽加热，温度升高，并在发生压力下沸腾，冷剂蒸汽从溶液中逸出，溶液被浓缩，这一过程称为发生过程。

在发生器内，溴化锂稀溶液被升温加热产生冷剂蒸汽，变为溴化锂浓溶液，它的浓度是有一定变化范围的，这个范围单效溴化锂制冷机一般控制在 3.5%~6%。这一溶液浓度的变化范围，称放气范围（又称浓度差）。放气范围是溴化锂制冷机运行的重要经济性指标，对制冷量控制及其能耗有重要意义。

在发生器内，稀溶液中析出的冷剂水蒸气进入冷凝器中，淋洒在冷凝器内冷却水管簇外表面释放出凝结热，凝结成冷剂水，这一过程称为冷凝过程。凝结过程中放出的凝结热由冷却水携带排出。

冷凝过程产生的冷剂水，通过 U 形管节流送入蒸发器中。U 形管不仅起到控制冷剂水流量和维持上、下筒压力差的作用，而且还起到一定的水封作用，防止上、下筒压力串通，破坏上、下筒之间的压力差，这一过程称为节流过程。

进入蒸发器的冷剂水，由于压力急剧下降，一部分冷剂水即刻闪发，使蒸发器内部温度降低。没有闪发的冷剂水经蒸发器内冷媒水管管簇外表面向下流淌，积聚在蒸发盘内，由蒸发器泵输送并喷淋在蒸发器内冷媒管管簇的外表面，吸收通过蒸发器冷媒管簇内冷媒水的热量后蒸发为制冷剂蒸汽，这一过程称为蒸发过程。

发生器内的溴化锂稀溶液由于发生出冷剂蒸汽而形成温度较高的浓溶液，依靠上、下筒的压力差和溶液本身的重量，流经热交换器被低温稀溶液吸热降温后，自流进入吸收器，与吸收器中的溶液混合成中间浓度的浓溶液，由吸收器泵输送并喷淋到吸收器管簇外，吸收从蒸发器出来的冷剂蒸汽后，使溶液浓度降低，这一过程称为吸收过程。吸收过程中放出的吸收热，被通过吸收器管簇内冷却水带走。

由此可见，溴化锂吸收式制冷机的工作原理可分为以下两部分：

第一部分，二元溶液，即溴化锂水溶液在发生器内被热源加热沸腾，产生出制冷剂蒸汽在冷凝器中被冷凝为冷剂水。冷剂水经 U 形管节流后进入蒸发器，经蒸发器在低压条件下喷淋，冷剂水蒸发，吸收冷媒水热量，产生制冷效果。

第二部分，发生器流出的浓溶液，经热交换器降温、降压后自流进入吸收器，与吸收器中原有的溶液混合成中间浓度的浓溶液。中间浓度溶液被吸收器泵输送并喷淋，吸收从蒸发器出来的冷剂蒸汽变为稀溶液。稀溶液由发生器泵输送至发生器，重新被热源产生冷剂蒸汽再次形成浓溶液，进入下一个循环周期。

另外，由于溴化锂吸收式制冷机组是在高度真空的条件下工作的，周围空气极易漏入机组内，同时机组在运行过程中因溴化锂溶液对金属材料的腐蚀作用，也会产生氢气等不凝性气体。当不凝性气体积聚到一定数量时，就会破坏机组的正常工作状况，严重时，甚至会使制冷机组的制冷循环停止。所以，溴化锂制冷机组中还设有真空泵等抽气装置，以便及时排除渗入机组内的空气和机组产生的不凝性气体，保证机组正常工作。

目前，运行的溴化锂制冷机组是双效溴化锂吸收式制冷机组，图 4-45 所示为其工作原理图。

双效溴化锂吸收式制冷机组与单效溴化锂吸收式制冷机组的工作原理基本一样。所不同的是双效溴化锂制冷机组需要较高的热源，通常用 0.25~0.8MPa 表压的蒸汽（单效溴化锂制冷机组一般为 0.02~0.1MPa 表压的蒸汽）或其他 150℃ 以上的燃气等热源。在结构上双效溴化锂制冷机与单效溴化锂制冷机组相比，多了一个高压发生器、一个高温热源热交换器和一个凝水器。

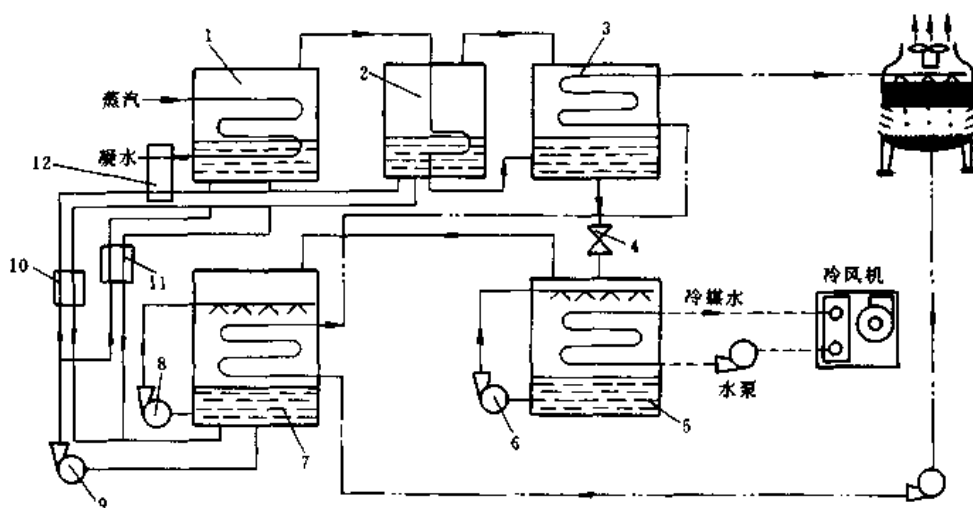


图 4-45 双效溴化锂吸收式制冷机的工作原理

1—高压发生器；2—低压发生器；3—冷凝器；4—节流阀；5—蒸发器；6—蒸发器；7—吸收器；
8—吸收泵；9—发生器；10—低温溶液热交换器；11—高温溶液热交换器；12—凝水器

双效溴化锂制冷机组工作时，在高压发生器中的稀溶液被热源加热，在较高的压力下产生冷剂蒸汽，因为该蒸汽具有较高的饱和温度，蒸汽冷凝过程中放出的潜热还可以被利用，所以冷剂蒸汽又被通入低压发生器中作为热源来加热低压发生器中的溶液。散出大量潜热后与低压发生器中产生的冷剂蒸汽一起送入到冷凝器中，向冷却水散出热量后凝结成冷剂水。冷剂水经节流装置节流后进入蒸发器中蒸发制冷。吸收冷媒热量后变为冷剂蒸汽在吸收器中被从高压、低压发生器中回来的溴化锂浓溶液吸收，变为溴化锂稀溶液。然后再由发生泵通过高、低温溶液热交换器和凝水器分别送入高、低压发生器中。从而完成工作循环过程。由于在循环过程中热源的热能在高压和低压发生器中得到了两次利用，因此称为双效溴化锂吸收式制冷机。

双效溴化锂吸收式制冷机与单效溴化锂吸收式制冷机相比，双效溴化锂吸收式制冷机增加了高压发生器、高温溶液热交换器、凝水器等部件，使热源得到了充分利用，节约了冷却水的循环量。

双效溴化锂吸收式制冷机根据稀溶液进入高、低温热交换器的方式，分为串联式流程和并联式流程两种。由于采用并联式流程机组的热效率高一些，因此，国内产品选择并联式流程的多一些，而国外产品则选择串联式流程的多一些。图 4-46 为双效并联式流程溴化锂吸收式机组的工作流程示意图，读者可根据图示了解其工作流程。

三、溴化锂吸收式制冷机的分类及参数

1. 分类

溴化锂吸收式制冷机组的分类方法很多。主要可以按以下几种方法分类。

按溴化锂吸收式制冷机使用的能源分可以分为：蒸汽型，热水型，直燃型，太阳能型。按溴化锂吸收式制冷机使用能源被利用程度分可分为：单效型，双效型。按溴化锂吸收式制冷机中各换热器布置情况分可分为：单筒型，双筒型，三筒型。按溴化锂吸收式制冷机的应用范围分可分为：冷水型，温水型。按溴化锂吸收式制冷机的综合方法分可分为：蒸汽单效型，蒸汽双效型，直燃型冷温水机组。

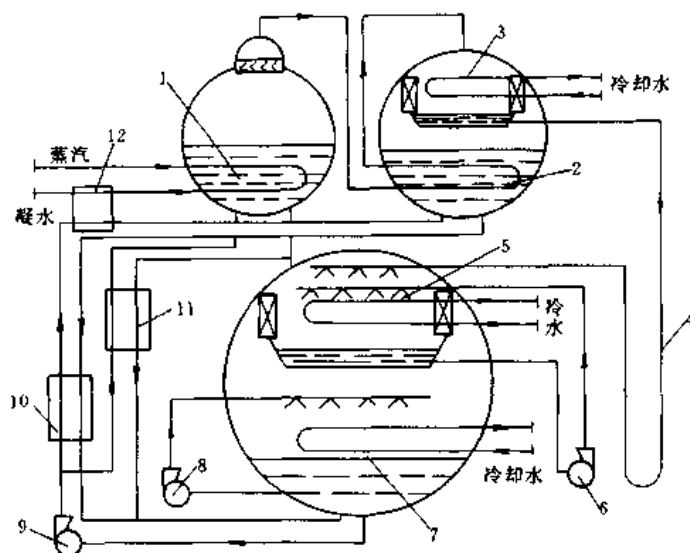
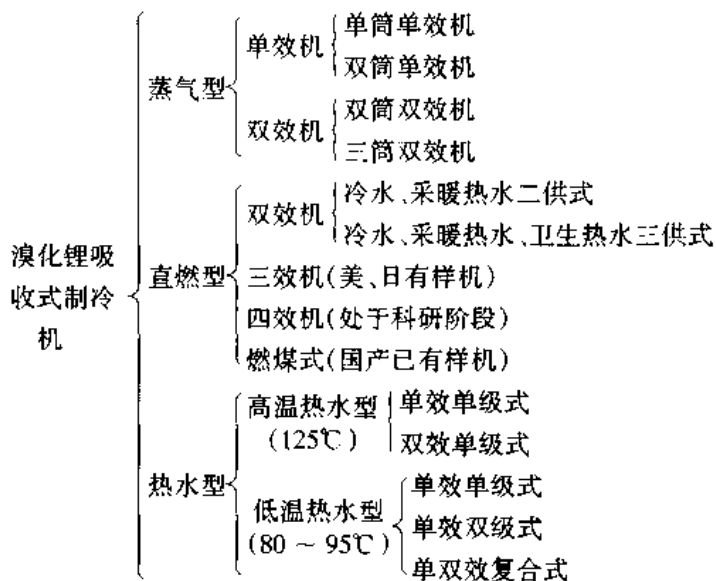


图 4-46 三筒双效溴化锂制冷机组的工作流程

1—高压发生器；2—低压发生器；3—冷凝器；4—U形管；5—蒸发器；6—蒸发泵；7—吸收器；
8—吸收泵；9—发生泵；10—低温溶液热交换器；11—高温溶液热交换器；12—凝水器

溴化锂吸收式制冷机的分类可归纳如下：



溴化锂吸收式制冷机分为单效机组、双效机组、热水机组三种形式。机组型号的含义为：

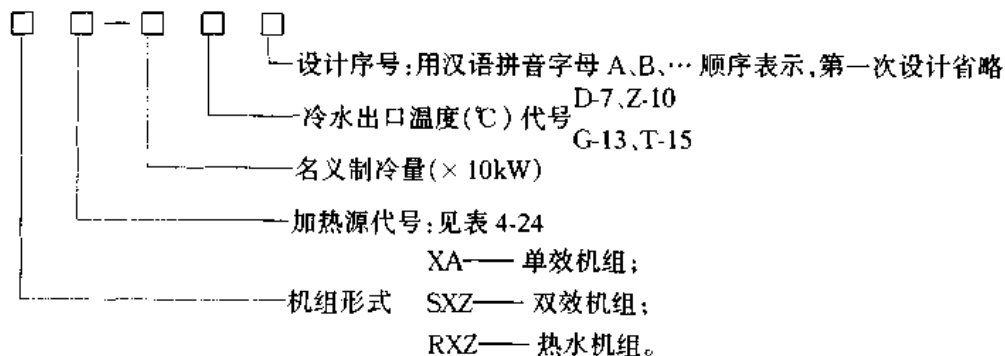


表 4-24 加 热 源 参 数

型式	加热源类型	加热源参数	代 号
XZ	蒸汽 MPa (表压)	0.1	不表示
SXZ		0.25	2.5
		0.4	4
		0.6	6
		0.8	8
RXZ	热水 (℃)	t_1	(t_1/t_2)

型号示例:

XZ-58 表示制冷量为 580kW 的单效溴化锂吸收式制冷机组。

SXZ4-175D 表示制冷量为 1750kW, 加热饱和水蒸气压力为 0.4MPa, 冷水出口温度为 7°C, 双效溴化锂吸收式制冷机组。

RXZ (95/85) -115ZB 表示制冷量为 1150kW, 进机组热水温度为 95°C, 出机组热水温度为 85°C, 冷水出口温度为 10°C, 第

二次改型的热热水溴化锂吸收式制冷机组。

2. 基本参数

(1) 冷媒水的出口温度

冷媒水的出口温度直接影响着机组的运行特性和运行合理性, 一般规定为 7°C。7°C 的冷媒水的出口温度能满足空调用冷媒水的要求, 即使在特殊情况下, 冷媒水的出口温度也不要低于 5~7°C, 因为随着冷媒水出口温度的降低, 机组的效率将会下降, 同时对设备的运行造成影响, 所以在能够满足温度需要的情况下, 应尽量使冷媒水出口温度提高一些。

(2) 冷却水温度

溴化锂吸收式制冷机对冷却水温的要求比蒸汽压缩式制冷机要低, 一般规定冷却水进口温度为 32°C。需要注意的是不能过低, 一般应在 20°C 以上, 以防止溶液产生结晶现象。

(3) 热源参数

一般规定单效溴化锂吸收式制冷机以蒸汽为热源时, 其蒸汽压力为 0.1MPa (表压), 双效溴化锂吸收式制冷机以蒸汽为热源时, 其蒸汽压力为 0.25~0.80MPa (表压)。蒸汽压力过高或过低都会对溴化锂吸收式制冷机的运行产生不利影响。若蒸汽压力过高就容易使溶液在发生器中产生结晶现象, 同时又会减弱缓蚀添加剂的作用; 若蒸汽压力过低则不利于发生器的传热, 也不利于蒸汽能量的充分利用及运行调节。

(4) 冷却水出口温度

冷却水在机组中通常是串联使用, 先经过吸收器吸收过程的热量后, 再流经冷凝器带走冷凝热。冷却水的总温升为 8~9°C, 其中间温度由吸收器和冷凝器的负荷比 (约为 1.4:1.1) 来确定。当冷却水的初温为 32°C 时, 若冷却水的总温升为 8°C, 中间温度就约为 36.5°C 左右。若总温升为 9°C, 则中间温度就约为 37°C 左右。

现在采用总温升为 9°C 的较多。较之 8°C 温升可以减少冷却水的流量, 冷却水系统的流动阻力也可降低, 水泵功率消耗也会相应地减少。

(5) 冷凝温度

溴化锂吸收式制冷机组运行时, 其冷凝温度一般比冷却水出口温度高 3~5°C。通常冷却水初温取 32°C, 温升取 8~9°C, 冷却水出口温度为 40~41°C, 冷凝温度一般取 45~46°C。

(6) 蒸发温度

溴化锂吸收式制冷机组运行时，其蒸发温度通常取比冷媒水出口温度低 $2\sim 5^{\circ}\text{C}$ 。

(7) 吸收器内溶液最低温度

溴化锂吸收式制冷机组运行时，其吸收器内溶液的最低温度应比吸收器的冷却水温度（即冷却水的中间温度）高 $3\sim 8^{\circ}\text{C}$ 。

(8) 发生器内溶液最高温度

溴化锂吸收式制冷机组运行时，其发生器内溶液的最高温度应比热媒（蒸汽）温度低 $10\sim 40^{\circ}\text{C}$ 。

(9) 放气范围

放气范围是指溴化锂浓溶液和稀溶液的浓度差。放气范围参数是溴化锂吸收式制冷机组一个重要的运行经济指标，通常浓度差取 $4\%\sim 5\%$ ，即一般稀溶液浓度取 $56\%\sim 60\%$ ，浓溶液浓度取 $60\%\sim 64\%$ 。

(10) 溶液循环倍率

溴化锂吸收式制冷机组的溶液循环倍率是指发生器中产生 1kg 冷剂水蒸气所需的稀溶液循环量。

四、溴化锂吸收式制冷机的性能

溴化锂吸收式制冷机在实际运行中，常常由于热源工作参数（压力或温度）的波动，季节、气候变化和使用负荷的改变，使制冷机不能在设计工况下工作，其工作性能产生一系列的变化。如引起制冷量、加热蒸汽量与冷却水的消耗量、制冷机的热力系数等的变化。当使用负荷发生变化时，制冷机的制冷量也应随时作相应地改变。因此，了解制冷机的性能，对正确操作制冷机有重要的意义。

1. 工作蒸汽压力的变化对制冷机性能的影响

工作蒸汽压力每提高 $1\times 10^5\text{Pa}$ ，制冷量就约要增加 $3\%\sim 5\%$ 。这是因为在发生器中由于蒸汽压力的提高，浓溶液温度上升，蒸发出更多的冷剂水蒸气，冷凝器中凝结的冷剂水量也增多，所以制冷量也随之增加。

另外，由于浓溶液的浓度增大，而稀溶液的浓度变化不明显（吸收器中吸收的水蒸气量，由于循环的冷剂水量增大而增大），因而放气范围变大，单位蒸汽消耗量减少，使得热力系数提高。

需要注意的是，加热蒸汽压力（温度）也不宜过高，否则，不但不会使制冷量增加缓慢，而且有发生结晶的危险，或者会削弱缓蚀剂的作用，所以采用铬酸锂为缓蚀剂时加热蒸汽温度不宜超过 132°C ，压力应在 $2.94\times 10^5\text{Pa}$ 左右。

2. 冷却水进口温度对制冷机性能的影响

当制冷机的其他工作参数不变时，冷却水进口温度降低可使制冷量增大。一般情况下，冷却水温度每降低 1°C ，制冷量约增加 $5\%\sim 6\%$ 。这是因为在冷凝器中，由于冷却水温度降低而使冷凝压力下降，促使发生器中冷剂水的蒸发量增多，冷凝器中产生的冷剂水量增多。另外，在吸收器中也因冷却水温的降低以及稀溶液温度的下降，使得吸收水蒸气的能力增强，稀溶液的浓度降低。同时，由于冷剂水循环量增多以及放气范围增大，使得制冷机的制冷量会提高，热力系数也会提高。

虽然降低冷却水进口温度可以提高制冷量，但是冷却水的温度受自然条件的限制不宜过低，否则，将会引起浓溶液结晶，所以一般不允许冷却水的进水温度低于 20°C 。

3. 冷媒水出口温度对制冷机性能的影响

当制冷机的其他工作参数不变时，它的制冷量随冷媒水出口温度的升高而增加。一般情况下，冷媒水出口温度每升高 1°C ，制冷量约增加 $4\% \sim 6\%$ 。这是因为当冷媒水出口温度升高时，蒸发压力也会随之升高，吸收器中溶液吸收能力也随之增强，使溶液吸收冷剂水蒸气的量增加，稀溶液浓度下降，制冷量增加。

相反，若冷媒水出口温度下降就可使制冷机的制冷量下降。这是因为，在蒸发器中由于冷媒水温度要求下降，蒸发压力也会随之降低，吸收器中因压力降低而使吸收能力减弱，稀溶液浓度上升，制冷量因此下降。

五、溴化锂吸收式制冷机的能量调节

溴化锂吸收式制冷机的制冷量调节，又称为能量调节。其目的就是使制冷量与冷负荷相适应。能量调节一般有：

1. 冷却水量调节法

这种方法是根据冷媒水出口温度，控制冷却水管上的三通调节阀或普通调节阀，调节冷却水的供应量，以达到适应负荷变化的目的。即当外界负荷降低时，蒸发器出口冷媒水温度会下降，减少冷凝器的冷却水量，使冷剂水量相应地减少，使制冷量下降，冷媒水出口温度又回复到原值。

此种调节方法目前使用不多，因为若使制冷量下降 20% ，冷却水量就下降 50% ，设备就会有产生结晶的危险，而且热效率下降很多，所以这种方法一般只能在 $80\% \sim 100\%$ 负荷范围内调节。

2. 加热蒸汽量调节法

这种方法是根据冷媒水出口温度的变化，控制蒸汽调节阀口的开启度，调节加热蒸汽的供应量，以达到调节制冷量的目的。当想减少制冷量时，就将加热蒸汽量减少，发生器中随之就会减少冷剂蒸汽，制冷量就随之减少。反之当增加蒸汽供应量时，冷剂蒸汽就增加，制冷量也随之增加。这种调节方法的制冷量调节范围为 $60\% \sim 100\%$ 。

3. 加热蒸汽凝结水量调节法

这种方法是根据冷媒水出口温度，调节加热蒸汽凝结水调节阀，调节凝结水的排出量，以达到调节制冷量的目的。当减少凝结水排出量时，发生器管内的凝结水会逐渐积存起来，使其有效的传热面积减少，因而产生的冷剂蒸汽就减少了，达到调节制冷量的目的。这种调节方法的制冷量调节范围也是 $60\% \sim 100\%$ 。

4. 稀溶液循环量调节法

这种方法是根据冷媒水出口温度，通过控制安装在发生器与吸收器的稀溶液管上的三通调节阀，使流向发生器的一部分稀溶液，旁通流向浓溶液管，改变稀溶液循环量，实现制冷量的调节。这种调节方法的制冷量调节范围为 $10\% \sim 100\%$ 。

5. 稀溶液循环量与蒸汽量调节组合调节法

这种方法是根据冷媒水出口温度，当要调节的制冷量在 50% 以上时，采用加热蒸汽量调节法来调节制冷量；当要调节的制冷量在 50% 以下时，同时采用稀溶液循环量调节和加热蒸汽量调节法，进行制冷量的调节，这样就可获得良好的效果。

六、蒸汽型单效溴化锂吸收式冷水机组

蒸汽型单效溴化锂吸收式冷水机组可分为单筒式和双筒式两种。

单筒式单效溴化锂冷水机组结构如图 4-47 所示。它主要由蒸发器、吸收器、发生器、冷凝器和溶液热交换器等组成。单筒式单效溴化锂吸收式制冷机的显著特点是将其主要部件全部安装在一个筒体内。

双筒式单效溴化锂冷水机组流程如图 4-48 所示。它是将冷凝器和发生器布置在上部的筒体内，而将蒸发器和吸收器布置在下部的筒体内，两筒之间用管道进行连接。

七、热水型溴化锂吸收式冷水机组

热水型溴化锂冷水机组是以热水为热源，利用吸收式制冷原理，制取冷媒水。热水型溴化锂冷水机组除具备蒸汽型溴化锂机组的一般特点外，还具有可利用余热、废热、地热及太阳能等低品位热能，节能效果大的特点。

热水型溴化锂冷水机组按照水温度的高低可分为高温热水型和低温热水型；按循环的流程可分为单级热水型和双级热水型；按能源利用的程度可分为单效型、双效型和多效型等。

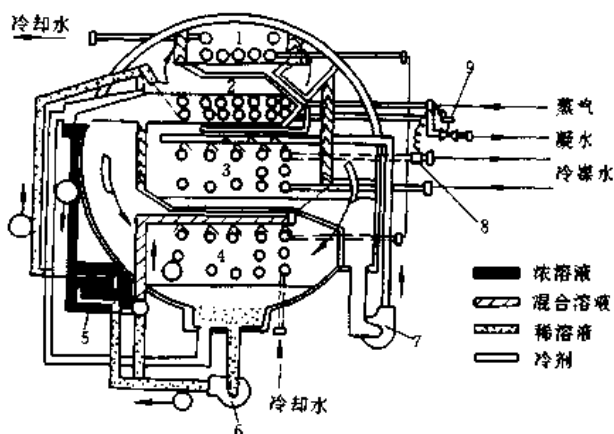


图 4-47 蒸气单筒式单效溴冷机结构图

1—冷凝器；2—发生器；3—蒸发器；4—吸收器；5—热交换器；6—溶液泵；7—冷剂泵；8—温度调节器；9—凝水控制阀

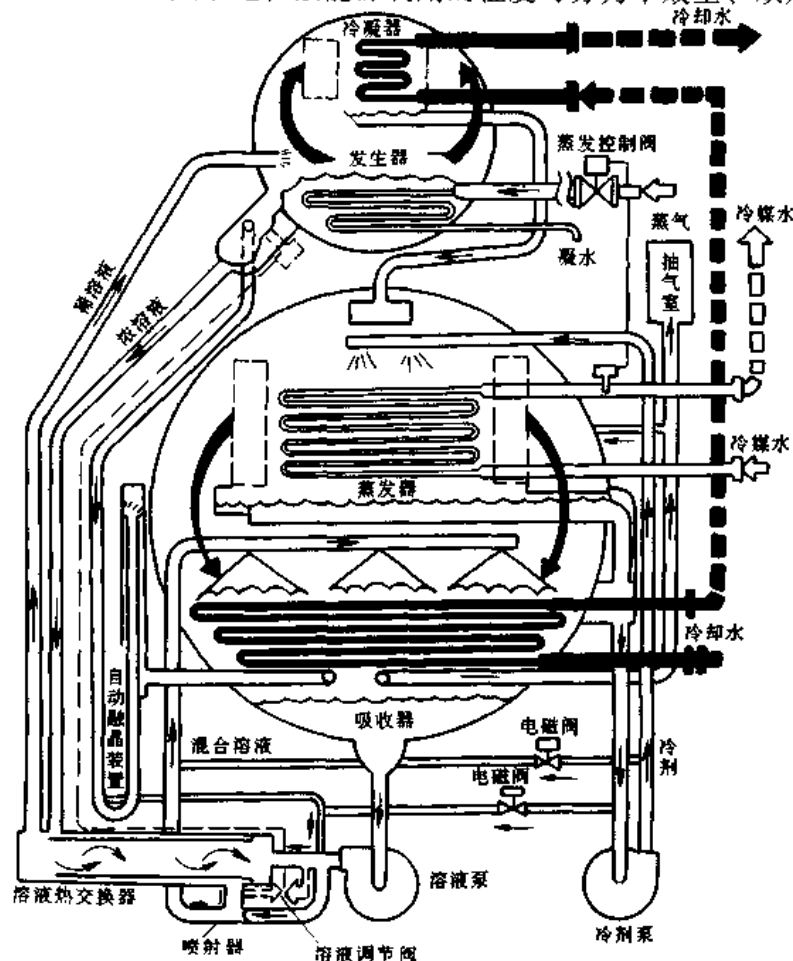


图 4-48 双筒式单效溴冷机流程图

热水型溴化锂冷水机组按其结构的组合方式可分为单筒型、双筒型和三筒型。

双级热水型溴化锂制冷机组一般做成上下两筒式。第一、第二发生器，冷凝器，第一吸收器为上筒体，其余为下筒体，热交换器放在两侧。

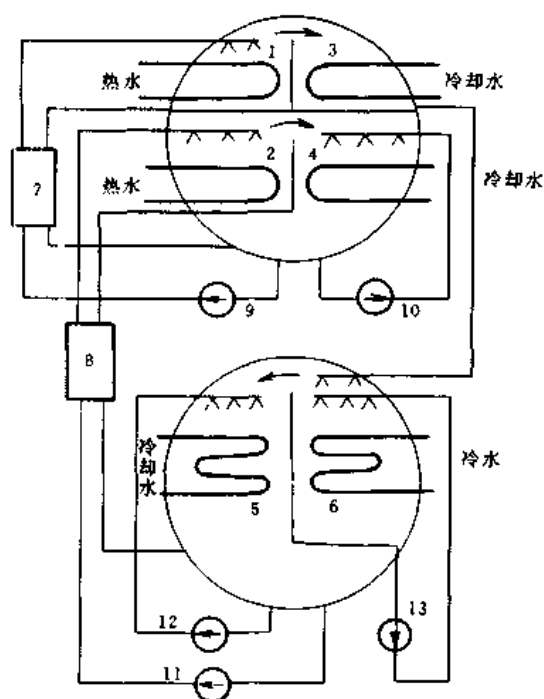


图 4-49 双级热水型溴冷机系统图

1—第一发生器；2—第二发生器；3—冷凝器；4—第一吸收器；5—第二吸收器；6—蒸发器；7—第一热交换器；8—第二热交换器；9—第一发生器泵；10—第一吸收器泵；11—第二发生器泵；12—第二吸收器泵；13—蒸发器泵

在高压循环中，第一发生器泵将第一吸收器中的稀溴化锂溶液经第一热交换器进行热交换，升温后送至第一发生器中，被加热后产生的制冷剂蒸汽进入冷凝器中被冷却成制冷剂水后，流入蒸发器中蒸发。在第一发生器中放出制冷剂蒸汽的浓溶液经第一热交换器又回到第二发生器中。

图 4-49 为双吸热水型溴化锂制冷机的系统图。其工作过程是分成高压循环和低压循环两个过程。

在高压循环中，第一发生器泵将第一吸收器中的稀溴化锂溶液经第一热交换器进行热交换，升温后送至第一发生器中，被加热后产生的制冷剂蒸汽进入冷凝器中被冷却成制冷剂水后，流入蒸发器中蒸发。在第一发生器中放出制冷剂蒸汽的浓溶液经第一热交换器又回到第二发生器中。

在低压循环中，第二发生器泵将第二吸收器中的溴化锂溶液经第二热交换器升温后抽至第二发生器中被加热后，放出的制冷剂蒸汽进入第一吸收器中，向冷却水放出冷凝热后与从第一发生器中回来的浓溶液混合，生成稀溶液，从而提高了第一发生器中稀溶液的放气范围，达到机组的制冷效果。在蒸发器中吸收了冷媒水热量后又成为水蒸气的蒸汽，被从第二发生器回来的浓溶液吸收，放出冷凝热后，又成为稀溶液，进入往复循环中。

环中。

热水型机组使用的热水一般为 $90\sim 95^{\circ}\text{C}$ ，可制取 7°C 左右的冷媒水。

八、直燃型溴化锂吸收式冷水机组

直燃型溴化锂吸收式冷水机组简称直燃机。直燃机是采用燃油或燃气产生的热量为热源，生产供吸收式制冷用的热源热水和供洗浴用的卫生热水。

直燃机是在蒸汽型溴化锂冷水机组的基础上，增加热源设备而组成的。直燃溴化锂冷（热）水机组的结构和工作原理如图 4-50 所示。机组的主要部件为高压发生器、低压发生器、冷凝器、蒸发器、吸收器、高、低温热交换器和热水器等。

1. 高压发生器

直燃机的高压发生器是由内筒体、外筒体、前管板、后管板、螺纹烟管及前、后烟箱组成。燃烧机从前管板插入内筒体，喷出火焰（约 1400°C ），使内筒体及烟管周围的溴化锂稀溶液沸腾，产生制冷剂蒸汽，同时使溶液浓缩，产生的制冷剂蒸汽进入低压发生器，而浓溶液经高温热交换器进入吸收器。

2. 低压发生器

直燃机的低压发生器是由折流板及前后水室组成。由高压发生器产生的制冷剂水蒸气进入

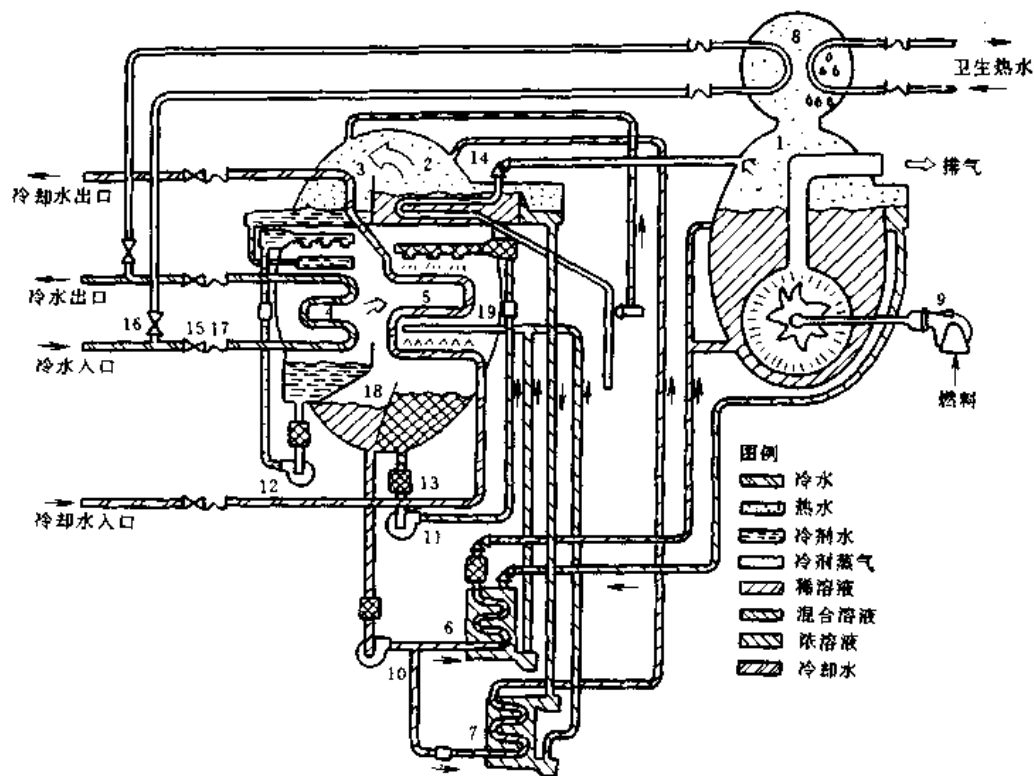


图 4-50 直燃溴冷（热）水机制冷原理图

1—高压发生器（压力 93.3kPa）；2—低压发生器（压力 8.0kPa）；3—冷凝器（压力 7.3kPa）；4—蒸发器（压力 0.86kPa）；5—吸收器（压力 0.84kPa）；6—高温热交换器；7—低温热交换器；8—热水器；9—燃烧机

前水室，将铜管外侧的溴化锂稀溶液加热，使其沸腾产生冷剂蒸气，同时使溶液浓缩。冷剂蒸汽进入冷凝器，而浓缩后的溶液经低温热交换器进入吸收器。同时铜管内的水蒸气被管外溶液冷凝后，经过一内节流阀（针阀），流进冷凝器。

3. 冷凝器

直燃机的冷凝器是由铜管及前后水盖组成的，冷却水从后水盖流进铜管内，使管外侧的来自高压发生器的冷剂水冷却和来自低压发生器的冷剂蒸汽冷凝；而冷却水从铜管流经前水盖进入冷却塔。冷却水带走了高压发生器、低压发生器的热量（即燃烧产生的热量）。

4. 蒸发器

直燃机的蒸发器是由铜管、前后水盖、喷淋盘、水盘、冷剂泵组成的。由空调系统来的冷媒水从水盖进入铜管（12℃），而管外来自冷凝器的冷剂水由于淋漓于铜管上获得热量而蒸发。部分没完全蒸发的冷剂水回落到水盘中，被冷剂泵吸入再次送入喷淋盘中循环，使其蒸发。冷媒水温可降至 7℃ 左右。

5. 吸收器

直燃机的吸收器是由铜管、前后水盖及喷淋盘、溶液箱、吸收泵和发生泵组成的。从冷却塔来的冷却水从水盖进入铜管，使喷淋在管外的来自高、低压发生器的浓溶液冷却。溴化锂溶液在一定温度和浓度条件下（如浓度为 63%，温度为 40℃ 时），具有极强的吸收水分的性能。它大量吸收由同一空间的蒸发器所产生的冷剂蒸汽，并将其吸收的汽化热由冷却水带

走，使溴化锂溶液变成稀溶液，由发生泵送入高、低压发生器中进行循环。

6. 高、低温热交换器

直燃机的高、低温热交换器是由铜管、折流板及前、后液室组成，分为稀溶液侧和浓溶液侧。其作用是使稀溶液升温，使浓溶液降温，以达到节省燃料、减少冷却水负荷、提高吸收效果的目的。

7. 热水器

直燃机的热水器实质上是一个壳管式气水换热器，使高压发生器产生的水蒸气进入热水器进行热交换，以加热供机组使用的热水和卫生热水，而水蒸气自身冷凝成液体后又回流到高压发生器中。

直燃型溴化锂机组的供暖可分为两种形式。

一是主体供暖。燃烧机燃烧加热高压发生器中的溴化锂溶液，分离出来的水蒸气直接进入蒸发器，加热其内部管道中的供暖水后自身被冷凝成液态，与高压发生器中产生的溶液混合，生成稀溴化锂溶液进行再循环。

二是热水器采暖。工作原理如图 4-51 所示。高压发生器产生的水蒸气直接进入热水器进行汽水换热，加热盘管中的供暖水，自身被冷凝成液态回到高压发生器。此种热交换方式可以提高水温达 95℃ 左右，可用于暖气片供暖。

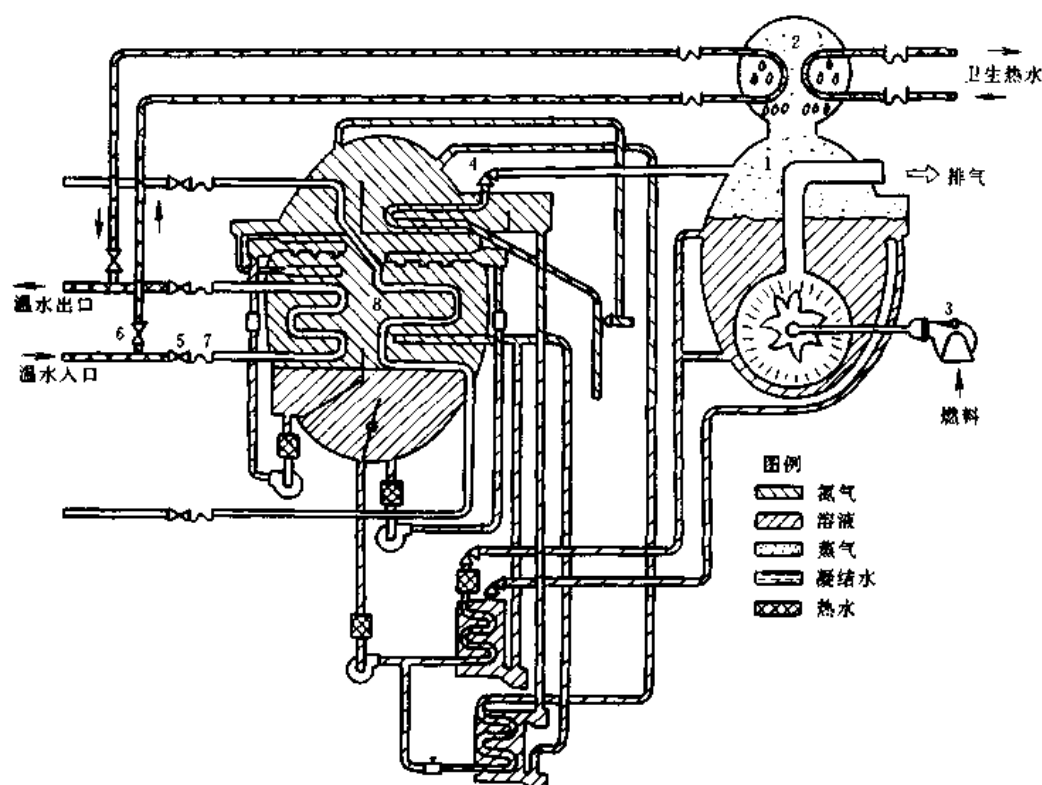


图 4-51 直燃机热水器采暖工作原理图

1—高压发生器；2—热水器；3—燃烧机；4—真空角阀（关）；5—冷水阀（关）；
6—温水阀（开）；7—软接头；8—主体（停止运转、充氮封存）

直燃机的通用参数见表 4-25。

表 4-25

直燃型溴化锂冷(热)水机组通用参数

序号	通用参数
1	冷水额定温度: 出口/入口 7℃/12℃, 冷却水额定温度: 入口/出口 32℃/37.5℃
2	温水额定温度: 出口/入口 65℃/57℃, 卫生热水额定温度: 出口/入口 60℃/44℃
3	冷水允许最低出口温度: 5℃ (特殊要求例外)
4	温水、卫生热水允许最高出口温度: 95℃ (标准大气压力时)
5	冷却水允许初始最低入口温度: 14℃, 冷却水允许运转入口温度: 24~38℃
6	冷水、冷却水、温水、卫生热水压力限制: 0.8MPa
7	冷水、冷却水、温水、卫生热水污垢系数: $0.86\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{kW}$ ($0.0001\text{m}^2\cdot\text{h}\cdot^\circ\text{C}/\text{kcal}$)
8	使用电源: 三相 380V/50Hz 或 380V/60Hz
9	溴化锂溶液浓度: 55%
10	直燃机运行额定排气温度: 制冷时 $180\pm 18^\circ\text{C}$, 制热时 $160\pm 16^\circ\text{C}$
11	直燃机运行排气余压: 9.8~98Pa (随负荷变化)
12	表 7-33 所列轻油燃料量, 以 0# 柴油计算, 低位热值 $12.09\text{kW}/\text{kg}$ ($10400\text{kcal}/\text{kg}$)
13	表 7-33 所列城市煤气按低位热值 $4.4\text{kW}/\text{Nm}^3$ ($3800\text{kcal}/\text{Nm}^3$) 计算
14	表 7-33 所列天然气按低位热值 $12.8\text{kW}/\text{Nm}^3$ ($11000\text{kcal}/\text{Nm}^3$) 计算
15	冷水允许流量调节范围: 50%~120%
16	冷却水允许流量调节范围: 30%~120%

第七节 制冷系统的辅助设备

制冷系统的辅助设备主要是指冷凝器、蒸发器、过冷器、中间冷却器等换热器以及节流机构、干燥过滤器、安全阀等保证制冷系统安全运行的辅助设备。

一、冷凝器

冷凝器的作用是使制冷压缩机排出的过热蒸汽, 在与介质进行热交换后, 冷凝成为高压过冷液。

冷凝器按冷却方式可划分为水冷式、空气冷却式等类型。用于中央空调冷源机组的冷凝器主要有水冷式中的卧壳管式、套管式及空气冷式。

卧壳管式冷凝器结构如图 4-52 所示。冷凝器采用水平放置, 主要结构为钢板卷制成的筒体, 筒体两端焊有固定冷却管, 冷却水管采用胀接或焊接在管板上。为提高冷却水在管内的

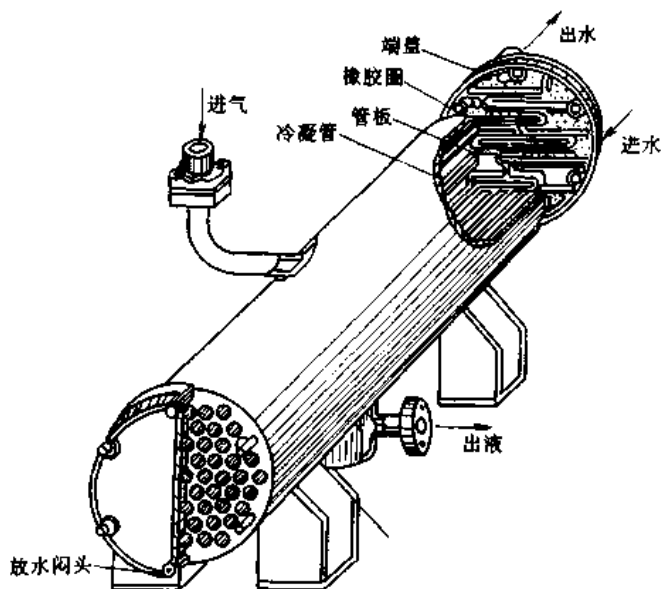


图 4-52 卧式管壳式冷凝器

流速, 在冷凝器的端盖上设计有隔板, 使冷却水在壳体内多流程, 快流速。

制冷剂蒸汽从冷凝器壳体上部进入，与冷却水管中的冷却水进行热交换，并在冷却水管表面凝结为液体以后，汇集到冷凝器壳底部。

壳管式冷凝器的冷却水进、出口设在同一端盖上，来自冷却塔的低温冷却水从下部管道流入，从上部管道流出，使冷却水与制冷剂进行充分地热交换。端盖的顶部设有排气旋塞，下部设有放水旋塞。上部的排气旋塞是在充水时用来排除冷却水管内的空气的，下部的放水旋塞是用来在冷凝器停止使用时，将残留在冷却水管内的水放干净，以防止冷却水管冻裂或被腐蚀。

壳管式冷凝器的工作参数为：冷却氟利昂制冷剂时，冷却水流速为 $1.8 \sim 3.0 \text{ m/s}$ 。冷却水温升一般为 $4 \sim 6^\circ\text{C}$ ，平均传热温差为 7°C ，传热系数为 $930 \sim 1593 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ 。

套管式冷凝器结构如图 4-53 所示。它是在一根大直径的无缝钢管内套有一根或数根小直径的紫铜管（光管或低肋管），并弯制成螺旋形的一种冷凝器。

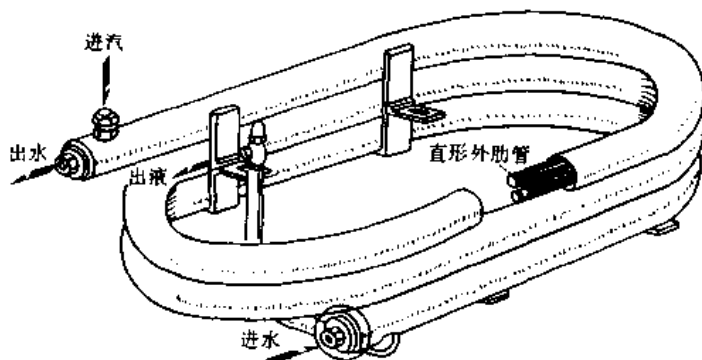


图 4-53 套管式冷凝器

氟利昂制冷剂蒸汽在套管空间内冷凝，冷凝成为高压过冷液后从下部流出。冷却水由下部进入管内（与制冷剂逆向流动），吸收制冷剂蒸汽放出的冷凝热以后从上部流出。由于冷却水在管内的流程较长，所以冷却水的进出口温差较大，约为 $8 \sim 10^\circ\text{C}$ 。当水流速在 $1 \sim 2 \text{ m/s}$ 时，传热系数为 $900 \sim 1200 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ 。

用于中央空调冷源机的风冷式冷凝器主要用于制冷量小于 60 kW 的中小型氟利昂机组。此种冷凝器的典型结构如图 4-54 所示。

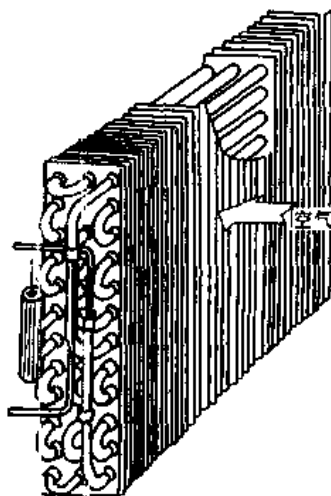


图 4-54 空冷式冷凝器

风冷式冷凝器一般用直径为 $\phi 10 \times 0.7 \sim 16 \times 1 \text{ mm}$ 的紫铜管弯制成蛇形盘管，在盘管上用钢球胀接或液压胀接上铝质翅片，采用集管并联的方式将盘管的进出口并联起来，使制冷剂蒸汽从冷凝器上部的分配集管进入每根蛇形管，冷凝成液体后沿蛇形盘管流下，经集液管排出。

风冷式冷凝器的主要工作参数：

当迎风面风速为 $2 \sim 3 \text{ m/s}$ 时，传热系数约为 $25 \sim 50 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ ，平均传热温差 $10 \sim 15^\circ\text{C}$ ，冷凝温度一般取比空气温度高 15°C 。空气进出口温差一般为 $8 \sim 10^\circ\text{C}$ 。冷却盘管排数约为 $4 \sim 6$ 排。

为了加强冷凝器的冷却效果，在中央空调冷源机组中还有使用蒸发冷凝器的。蒸发冷凝器的结构示意图如图 4-55 和图

4.56 所示。

蒸发式冷凝器常用的有吸风式和鼓风式两种。其冷凝过程是制冷剂蒸汽从冷凝器盘管的上部进入到盘管中，冷凝后的液体制冷剂从盘管下部流出。冷凝器的盘管组装在一个由钢板制成的箱体中，箱体的底部作为水盘，水盘内用浮球阀保持一定的水位。冷却水由水泵送到冷凝器的盘管上部，经喷嘴喷淋在盘管的外表面上，在盘管表面上形成一层水膜。水膜在重力作用下向下流动，在吸收了盘管内制冷剂的热量后，在流动空气的共同作用下，一部分变成了水蒸气被强迫流动的空气带走，其余的水沿着盘管流入水盘内，经水泵再送至喷嘴处循环使用。箱体上方的挡水板是用来阻挡空气中夹带的水滴，以减少水量损失的。

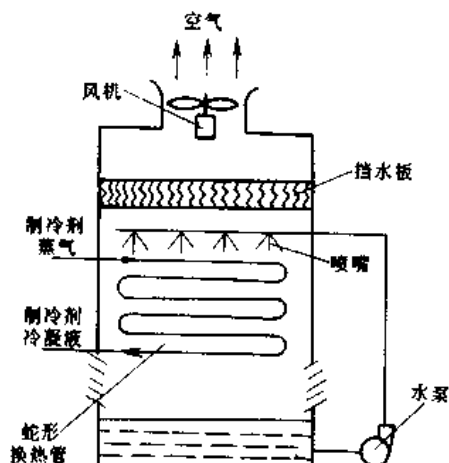


图 4-55 吸风式蒸发冷凝器

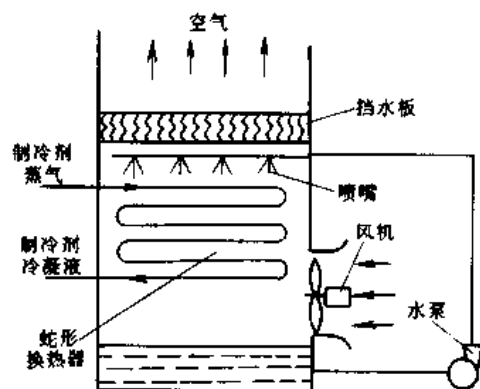


图 4-56 鼓风式蒸发冷凝器

蒸发式冷凝器中吸风式和鼓风式相比，鼓风式的使用效果要略好于吸风式。

蒸发式冷凝器的主要工作参数：耗水量为水冷式冷凝器的 5%~10%。风速一般为 3~5m/s，每 1kW 热负荷所需风量为 85~160m³/h，冷却水量 50~80kg/h，补充水为循环水量的 5%~10%。

二、蒸发器

蒸发器是制冷剂与被冷却介质进行热交换的设备。蒸发器可分为两大类，即冷却液体的蒸发器和冷却空气的蒸发器。

1. 冷却液体的蒸发器

常用于中央空调冷源的冷却液体的蒸发器有两种型式，即卧式管壳式蒸发器和干式蒸发器。

卧式管壳式蒸发器是用来冷却如水等液体载冷剂的蒸发器。它的典型结构如图 4-57 所示。它的外壳是用钢板做成的筒体，两端焊有管板，管板上用胀接或焊接的方法将钢管或铜管管簇固定在管板上。两端的端盖上设计有分水隔板。载冷剂在管内流动，制冷剂在壳内管簇间流动。载冷剂要在蒸发器内多次往返流动，一般流程为 4~8 次，以达到与制冷剂间的充分热交换。载冷剂的进、出口设在同一个端盖上，载冷剂从端盖的下方进入，从端盖的上方流出。

经过节流后的低温低压液态制冷剂，从蒸发器的下部进入，制冷剂的液面充满蒸发器内大部分空间，通常液面稳定在壳体直径的 70%~80%，因此，又称为满液式蒸发器。在工作运行时液面上只露 1~3 排载冷剂管道，以便使制冷剂气化形成的蒸汽不断上升至液面，

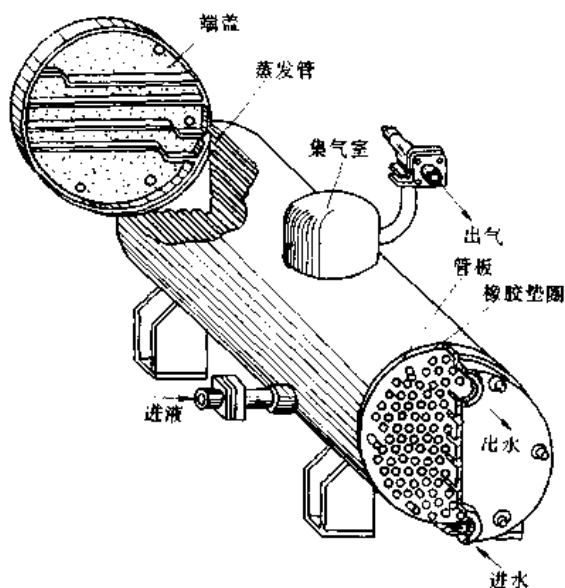


图 4-57 卧式管壳式蒸发器

从前端盖的下部进入蒸发器中的管道内，往返四个流程后，变成干饱和蒸汽从端盖上方被压缩机吸回。

经过顶部的集气室（又称分液包，分离出蒸汽中可能挟带的液滴，成为干蒸汽状态的制冷剂蒸汽被压缩机吸回。

卧式管壳式蒸发器使用氟利昂为制冷剂时，多采用紫铜管作为载冷剂管道、其平均传热温差为 $4 \sim 8^{\circ}\text{C}$ ，传热系数为 $465 \sim 523 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$ 。载冷剂在管道内流速一般为 $1 \sim 2.5 \text{ m/s}$ 。与冷凝器相比，蒸发器的传热系数要小些。

干式蒸发器的结构如图 4-58 所示。从外观上看，它与卧式管壳式蒸发器的结构相似。其内在不同点在于：干式蒸发器中的制冷剂是在管道中流动的，而载冷剂则是在制冷剂管簇间的蒸发器壳体内流动的。

经过节流后的低温低压制冷剂液体，从

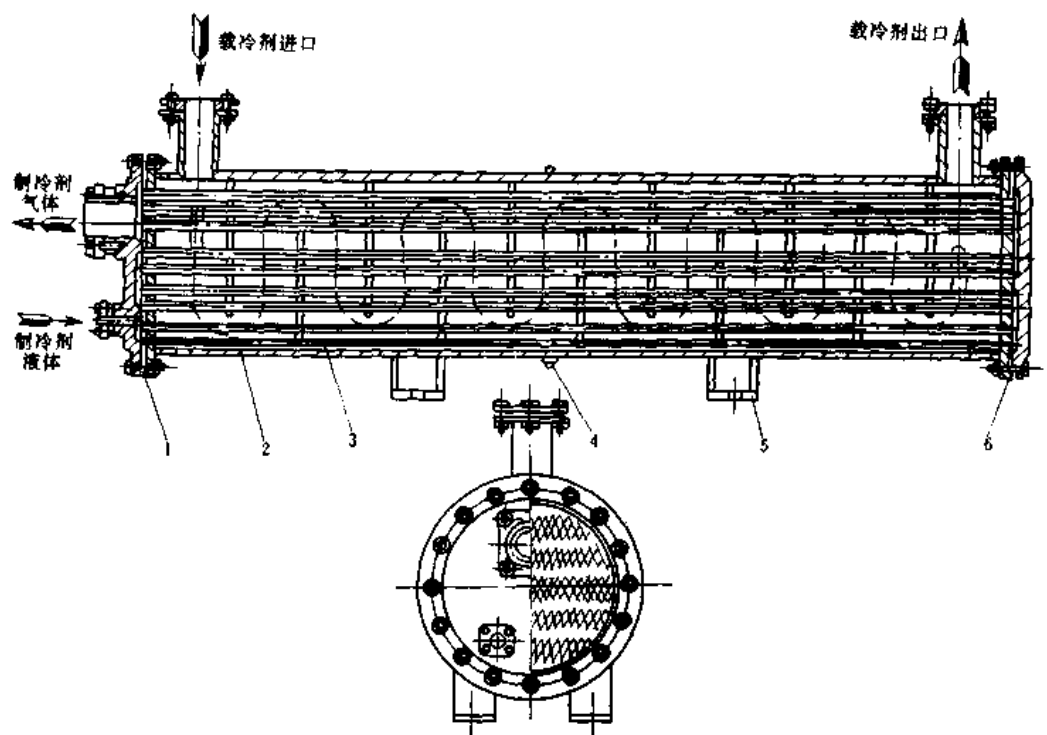


图 4-58 干式蒸发器

1—端盖；2—筒体；3—蒸发管；4—螺栓；5—支座；6—端盖

载冷剂由壳体上方的一端进入，从另一端流出。为了提高水流速度以强化传热，在蒸发器的壳体内装有若干块圆缺形的折流板。全部折流板用三根拉杆固定，在相邻两块折流板之

间的拉杆上装有等长度的套管，以保证折流板的间距。

干式蒸发器与卧式管壳式蒸发器相比，干式蒸发器中制冷剂的充注量比较少，一般可减少80%~85%。制冷剂在蒸发过程中因为没有自由液面，所以称其为干式蒸发器。

干式蒸发器中的换热用铜管一般选用 $\phi 12 \sim 16$ 的铜管。铜管分为光管和翅片管两种，其传热系数分别为 $523 \sim 580 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ 和 $1100 \sim 1160 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ 。当制冷剂在管内流速大于 4 m/s 时，就可以保证将润滑油带回压缩机中。这一点要优于卧式管壳式蒸发器。

2. 冷却空气的蒸发器

中央空调冷源使用的冷却空气的蒸发器一般为表面式蒸发器。其构造如图4-59所示。此种蒸发器的结构多为翅片盘管式，制冷剂在盘管内蒸发，空气在风机作用下从管外流动被冷却。盘管的材料为紫铜，直径一般在 $\phi 9 \times 0.5 \sim 16 \times 1.0 \text{ mm}$ 左右，翅片材料为铝片，其厚度一般在 $0.15 \sim 0.30 \text{ mm}$ ，片距为 $2.0 \sim 4.5 \text{ mm}$ 。

蒸发器的入口处安装有分离器（俗称莲蓬头），其作用是保证液态制冷剂能够均匀地分配给各路盘管，以使蒸发器的所有部分都得到充分利用。

表面式蒸发器的传热系数比较低，当空气的迎风面风速为 $2 \sim 3 \text{ m/s}$ 时，直接传热系数为 $30 \sim 40 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ 。

三、气—液热交换器

气—液热交换器俗称回热器。它的作用是利用从蒸发器出来的低温低压干饱和蒸汽，与节流前的高压液态制冷剂在其间进行热交换，使蒸汽温度升高，液体温度降低。达到两个目的：一是使节流前的液态制冷剂进一步过冷，以免在节流前气化，提高设备的制冷量；二是提高压缩机的吸气温度，减少吸气管道中的有害过热，改善压缩机的工作条件。

回热器的结构主要有四种形式：盘管式、套管式、并联管式和穿管式。

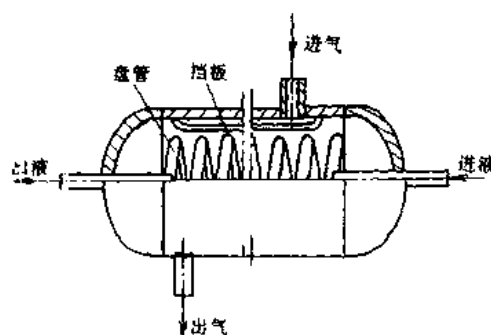


图 4-60 盘管式回热器

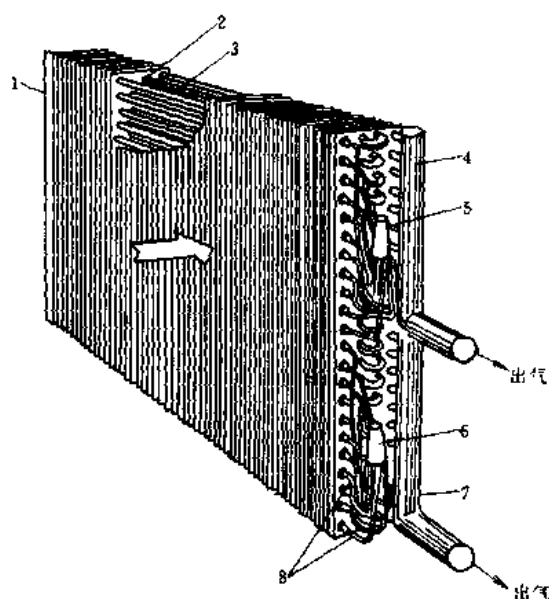


图 4-59 表面式蒸发器的构造
1—框架；2—肋片；3—蒸发管；4、7—集气管；
5、6—供液分液器；8—毛细管

图 4-60 所示为使用较普遍的盘管式气—液热交换器的结构示意图。它的外壳由无缝钢管制成一个密封容器，壳体设有制冷剂蒸汽的进、出口管，两端设有制冷剂液体的进、出口管。工作时制冷剂液体在盘管内流动，制冷剂蒸汽在盘管外横向掠过盘管，进行气—液态制冷剂间的热交换。

四、油冷却器

压缩机曲轴箱或机壳内的冷冻润滑油温度一般应限制在 $70 \sim 80^\circ\text{C}$ 以下。因此，在中央空调冷

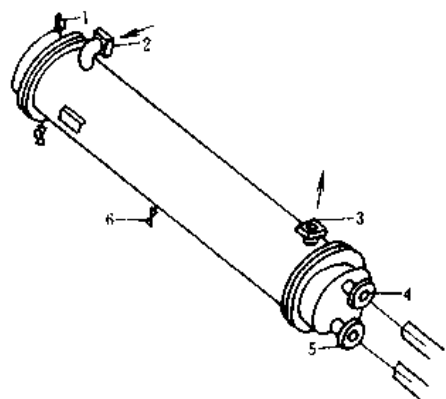


图 4-61 水冷型油冷却器

1—排空阀；2—进油管；3—出油管；
4—出水管；5—进水管；6—排油阀

源使用的大型压缩机中需要设置油冷却器对冷冻润滑油进行冷却。图 4-61 所示为水冷型油冷却器。它的内部结构与干式蒸发器相似，冷却水的进、出口均设在端盖的一侧，冷却水下进上出。冷冻润滑油在管壳内流动，为提高润滑油流速，增强换热效果，在壳体内设计有折流板。为了提高冷却能力，此种油冷却器也可以将冷却水换成制冷剂，利用制冷剂的蒸发将冷冻润滑油冷却。

油冷却器通常是安装在压缩机曲轴箱或机壳底部，浸没在润滑油中使用。

五、液流指示器

在氟利昂制冷系统中，为了指示制冷剂液体在管道中的流动情况，常在管路上装设有液流指示器。根据功用的不同，液流指示器可分为单纯功能的液流指示器和具有液流指示及制冷剂含水量指示双重功能的液流指示器。目前，在制冷设备中使用的多为称作含水量指示器的双重功能的液流指示器，其结构如图 4-62 所示。

液流指示器安装在制冷系统液体流动的管道上，用来显示制冷剂液体的流动情况（若安装在冷冻润滑油管路上，就可显示润滑油的流动情况）和制冷剂中含水量的情况。液流指示器的工作过程是：当制冷系统工作正常时，能从观察镜中看到稳定流动的液流；若制冷系统中制冷剂不足时，液流中会出现气泡。

液流指示器指示制冷剂中含水量变化的原理是：在液流指示器中装有一个指示含水量的纸质圆芯，在圆芯上涂有金属盐指示剂，含水量不同时，其指示剂显示的颜色会不同。

当制冷剂中的含水量在安全值以下时，指示剂呈现淡蓝色，表示制冷剂是干燥的；若指示剂呈现其他颜色时，则表示制冷剂中的含水量已超标，需要更换干燥过滤器中的干燥剂。

六、节流机构

节流机构是制冷系统中的重要部件之一，它的作用是将冷凝器（或贮液器）中冷凝压力下的制冷剂液体，节流后降至蒸发压力和蒸发温度，同时根据负荷的变化，调节进入蒸发器制冷剂的流量。

按节流机构在使用中的调节方式可分为四类：

- (1) 手动调节的节流机构，即手动节流阀；
- (2) 液位调节的节流机构，即浮球调节阀；
- (3) 蒸汽过热度调节的节流机构，即热力膨胀阀；
- (4) 不用调节的节流机构，即自动膨胀阀、毛细管等。

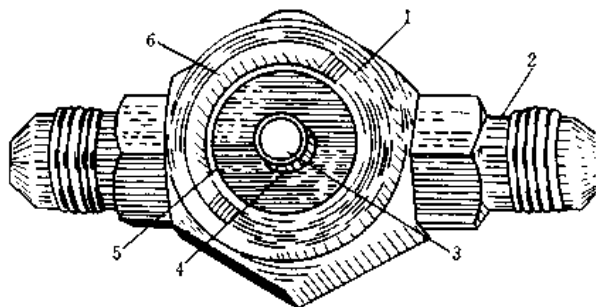


图 4-62 含水量指示器

1—壳体；2—管接头；3—纸质圆芯；
4—芯柱；5—观察镜；6—压环

在中央空调冷源的制冷系统中主要使用除不用调节的节流机构以外的三种节流机构。

1. 手动节流阀

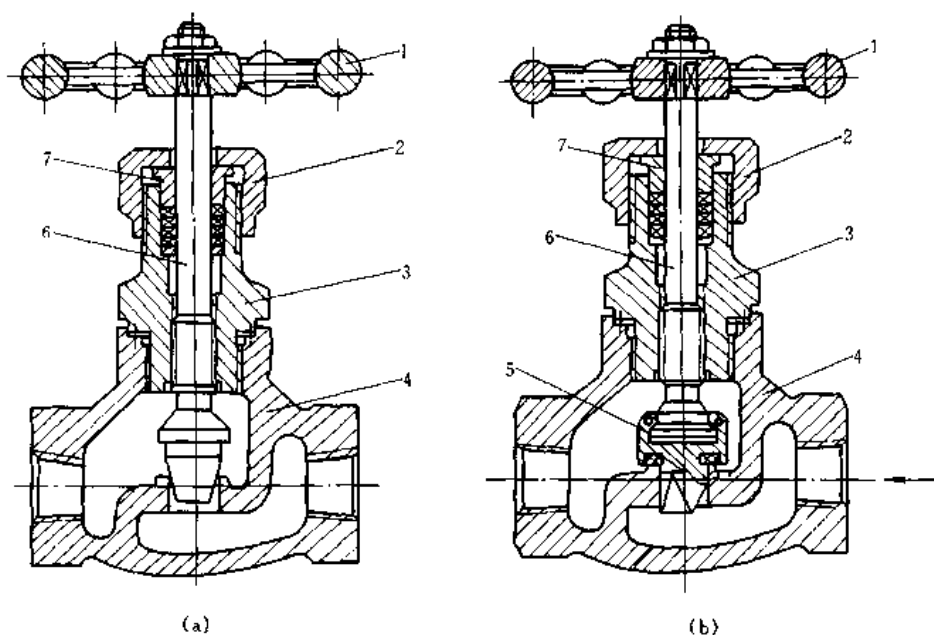


图 4-63 手动节流阀的结构

(a) 针形阀芯; (b) V 形缺口锥体阀芯

1—手轮; 2—上盖; 3—填料函; 4—阀体; 5—阀芯; 6—阀杆; 7—填料压盖

手动节流阀又称手动调节阀或膨胀阀，用于干式蒸发器。图 4-63 所示为手动节流阀的结构。它是由阀体、阀芯、阀杆、填料函、压盖、上盖和手轮等零件组成的。手动节流阀的阀芯锥度较小，呈针状或 V 形缺口的锥体，以保证阀芯的升程与制冷剂流量之间保持一定的比例关系。阀杆采用细牙螺纹，以保证手轮转动时，阀芯与阀座间空隙变化平缓，便于调节制冷剂流量。手动节流阀的开启度随负荷的大小而定，通常开启度为手轮旋转 $1/8$ 或 $1/4$ 圈，一般不超过一圈，否则，开启度过大就起不到节流的作用。

2. 浮球调节阀

浮球调节阀简称浮球阀，用于自由液面的蒸发器（如卧式管壳式蒸发器）的供液量的自动调节。现常用的浮球阀为低压浮球阀，它又分为直通式及非直通式两种。图 4-64 所示为直通式和非直通式浮球阀结构及非直通式浮球阀的管路系统图。

浮球阀是用液体连接管和气体连接管分

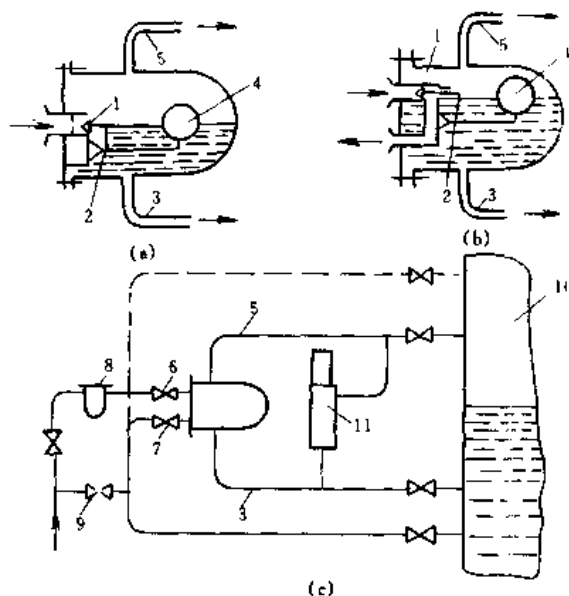


图 4-64 浮球调节阀

(a) 直通式; (b) 非直通式; (c) 非直通式管路系统

1—阀针; 2—支点; 3—液体连接管; 4—浮子;
5—气体连接管; 6—进液阀; 7—出液阀; 8—过
滤器; 9—手动节流阀; 10—蒸发器; 11—远离离
液面指示器

别与蒸发器的液体部分和蒸汽部分连通，因而浮球阀内的液面与蒸发器内的液面一致。当蒸发器内的液面降低时，浮球阀内的液面也随之降低，浮球下落，阀针便将阀孔开大，供液量增加。反之，当液面上升时，浮球上升，阀针将节流孔关小，使供液量减少。而当液面升高到一定的高度时，节流孔被关死，即停止供液，因此，浮球阀对供液量的调节方式属于此例调节。

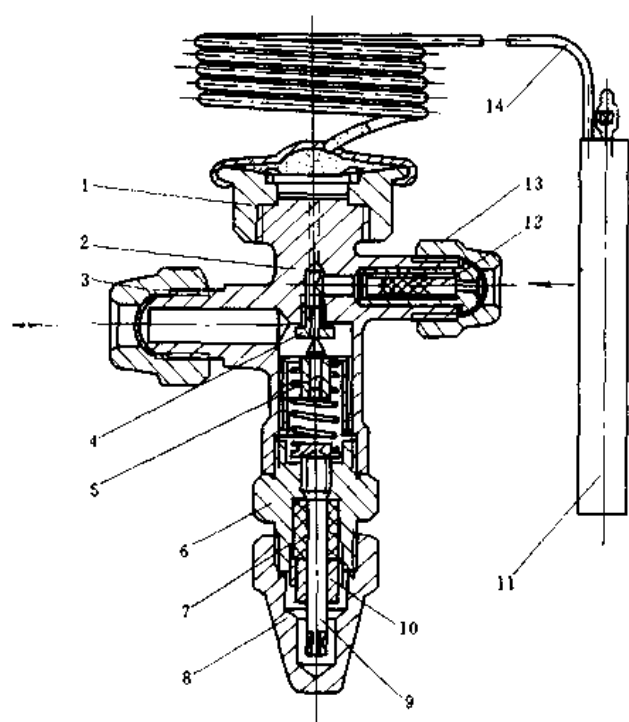


图 4-65 内平衡式热力膨胀阀结构

1—气箱座；2—阀体；3、13—螺母；4—阀座；5—阀针；
6—调节杆座；7—填料；8—阀帽；9—调节杆；10—填料
压盖；11—感温包；12—过滤网；14—毛细管

不同，热力膨胀阀可分为内平衡式和外平衡式两种。

内平衡式热力膨胀阀的结构如图 4-65 所示。它主要由感温包、毛细管、膜片、阀座、传动杆、阀针及调节机构等组成。在感温包、毛细管和膜片之间组成了一个密闭空间，称为感应机构。感应机构内充注有与制冷系统中工质相同的物质。

内平衡式膨胀阀安装在蒸发器的进液管上，感温包敷设在蒸发器出口管道上，用以感应蒸发器出口的过热温度，自动调节膨胀阀的开度。毛细管的作用是将感温包内的压力传递到膜片上部空间。膜片是一块厚约 0.1~0.2mm 的铍青铜合金片，通常断面冲压成波浪形。膜片在上部压力作用下产生弹性变形，把感温信号传递给顶针，以调节阀门的开启度。

内平衡式热力膨胀阀的工作原理是：蒸发器工作时热力膨胀阀在一定开度下向蒸发器供应制冷剂液体。若某一时刻蒸发器的热负荷因某种原因突然增大，使其回气过热度增加，此时，膨胀阀感温包内压力增大，膜片上部压力上升，使膜片向下弯曲，并通过传动杆推动阀座带动阀针下行，使膨胀阀的节流孔开大，蒸发器的供液量随之增加，以满足热负荷增加的变化。反之，若蒸发器的负荷减小，使蒸发器出口制冷剂蒸汽的过热度减小，感温包内压力也随之降低，膜片反向弯曲，在弹簧力的作用下，阀座带动阀针上行，将节流孔关小。蒸发

直通式浮球阀与非直通式浮球阀的不同之处在于：直通式浮球阀中液体经节流孔后先进入浮球阀壳体内，再经液体连接管进入蒸发器中。而非直通式浮球阀则是节流后的液体不直接进入浮球室内部，而是由出液阀引出，再从浮球阀的下部管道进入壳体内。

比较起来，非直通式的各项技术指标均优于直通式的。为了保证浮球阀的灵敏性和可靠性，在浮球阀前都设有过滤器，以防止污物堵塞阀口。在制冷系统运行中，应对过滤器进行定期检查和清洗。在浮球阀的管路系统中，一般都装有手动节流阀的旁路系统，一旦浮球阀发生故障或清洗过滤器时，可使用手动节流阀来调节供液。

3. 热力膨胀阀

热力膨胀阀是制冷系统中调节制冷剂流量的设备。它既对制冷剂进行节流，也自动调节向蒸发器的供液量。根据结构不

器的供液量随之减少。以适应热负荷减小的变化。

外平衡式膨胀阀结构如图 4-66 所示。它与内平衡式热力膨胀阀的主要区别是：作用在膜片下部的压力不是节流后的蒸发压力，而是通过外接平衡管将蒸发器出口端的压力引入传动膜片下部。由于外平衡式热力膨胀阀用在液流较大的制冷系统上，因此它采用圆锥形阀芯结构，而不是采用内平衡式膨胀阀的阀针式形式。另外不同的是：在外平衡式膨胀阀的感温包内一般都填有吸附剂（活性炭或硅胶等），并在感温机构中充注 CO_2 气体。在感温包内填有吸附剂后，可以改善膨胀阀的工作性能，使气箱内的压力只随感温包内的温度变化而变化，而与毛细管所处的环境温度无关。

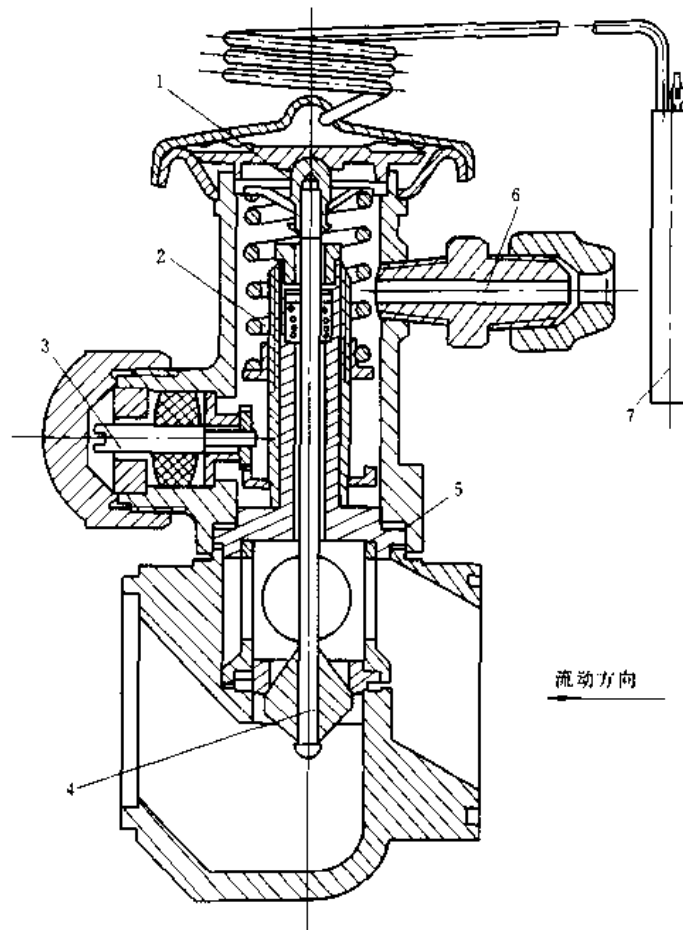


图 4-66 外平衡式热力膨胀阀结构

1—阀杆螺母；2—弹簧；3—调节杆；4—阀杆；5—阀体；6—外平衡接头；7—感温包

外平衡式热力膨胀阀的工作原理与内平衡式热力膨胀阀一样。在用途上外平衡式热力膨胀阀主要用于大型制冷系统蒸发压力损失较大的场合。如多用于中央空调冷源的蒸发器前的制冷装置上。

七、过滤器与干燥过滤器

为保证制冷设备安全运行，在系统中常安装有过滤器和干燥过滤器。

过滤器用于清除制冷剂中的机械杂质，如金属屑、焊渣、氧化皮等。过滤器分为气体过滤器 and 液体过滤器两种。气体过滤器安装在压缩机的吸气管路上或压缩机的吸气腔上，以防

止机械杂质进入压缩机气缸。液体过滤器一般安装在热力膨胀阀前的液体管路上,以防止污物堵塞或损坏阀件。过滤器的工作过程是用金属网阻挡污物。氟利昂用过滤器是由网孔为 $0.1\sim 0.2\text{mm}$ 的铜丝网制成的。图4-67所示为氟利昂液体过滤器。它是由一段无缝钢管作为壳体,壳体内装有铜丝网,两端有端盖用螺纹与壳体连接,再用锡焊焊接,以防泄漏。

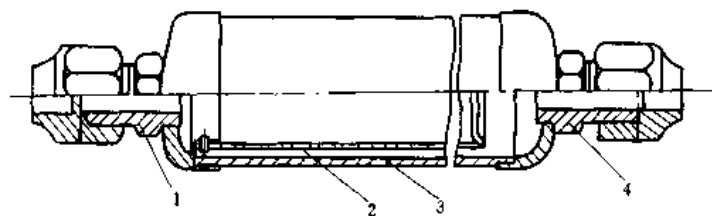


图 4-67 氟利昂液体过滤器

1—进液管接头; 2—铜丝网; 3—壳体; 4—出液管接头

干燥过滤器是在过滤器中充装一些干燥剂,其结构如图4-68所示。为了严格防止干燥剂漏入系统,在干燥过滤器两端安装有丝网,并在丝网前或后装有纱布、脱脂棉等。干燥过滤器一般安装在冷凝器与热力膨胀阀之间的管路上,以便除去进入电磁阀、膨胀阀等阀门前液体中的固体杂质及水分,避免引起制冷系统的冰堵。

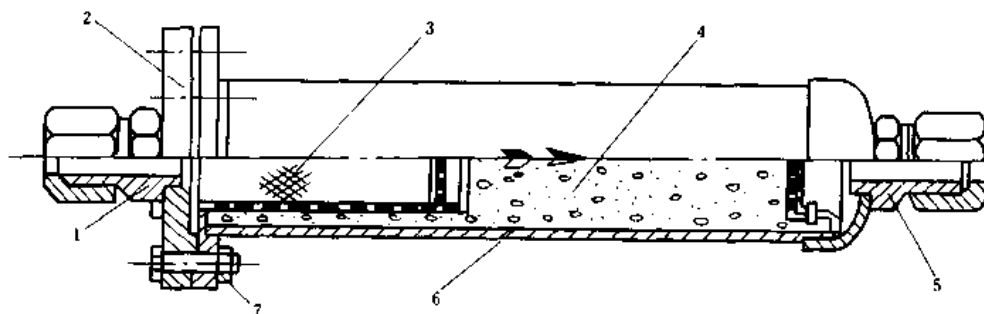


图 4-68 干燥过滤器

1—进液管接头; 2—压盖; 3—滤网; 4—干燥剂; 5—出液管接头; 6—壳体; 7—连接螺栓

干燥过滤器中使用的干燥剂一般为硅胶。鉴别硅胶质量的简易方法是:将手指插入硅胶颗粒堆中,有阴凉感觉者好;

拿一粒硅胶放在嘴唇上粘一下,往下拿时有不易拉脱的感觉者好;

将水滴滴在硅胶颗粒上,能听到有微微的崩裂声者为好。

在制冷设备运行中,干燥过滤器使用一段时间后,干燥剂中的含水量增加,因而吸附水分的能力降低,因此,作为保养方法,应经常更换干燥剂。更换下来的硅胶可再生使用。其方法是:加硅胶放在温度为 $100\sim 120^{\circ}\text{C}$ 的烘箱中加热2h。

八、截止阀与止回阀

压缩机的吸排气口处安装有截止阀,俗称角阀。其结构如图4-69所示。在阀体中设

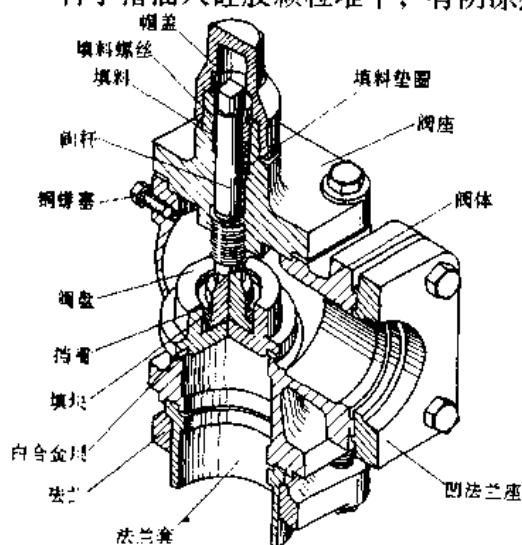


图 4-69 大口径截止阀

计有多用通道和常开通道。多用通道的作用是用来进行压缩机排空、充注制冷剂、补充冷冻润滑油或安装控制仪表等的，常在压缩机操作、调整、检修时使用。图 4-70 所示为截止阀工作状态图。截止阀的调整方法是：顺时针转动阀杆 2~3 圈，截止阀各通道处于互通状态，称为全开状态，若顺时针转动阀杆至不动位置，截止阀处于关闭状态，但此时多用通道仍处于导通状态，使其连接的控制仪表仍能测试此时的系统参数。

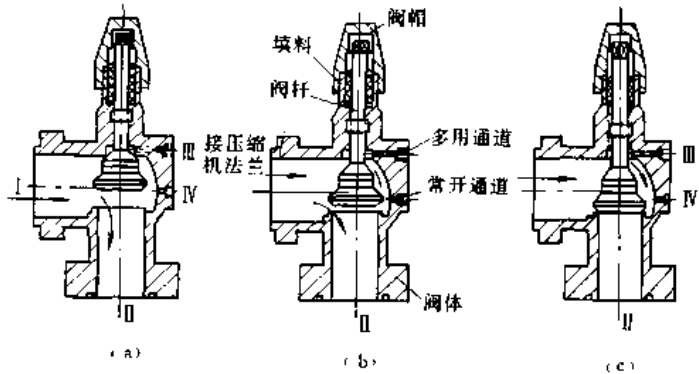


图 4-70 压缩机截止阀

(a) 多用通道关闭；(b) 全开状态；(c) 关闭状态

Ⅰ—接压缩机法兰；Ⅱ—接管道法兰；Ⅲ—多用通道；Ⅳ—常开通道

截止阀的阀杆与阀体之间装有耐油橡胶密封填料。使用中若沿阀杆有渗油或制冷剂泄漏现象，可将填料螺丝紧固一下。若有时在开启或关闭时，感觉阀杆很紧，可先将填料压紧螺丝放松半圈至一圈，在调整完毕后应将压紧螺丝再重新紧固好，并拧紧阀帽。

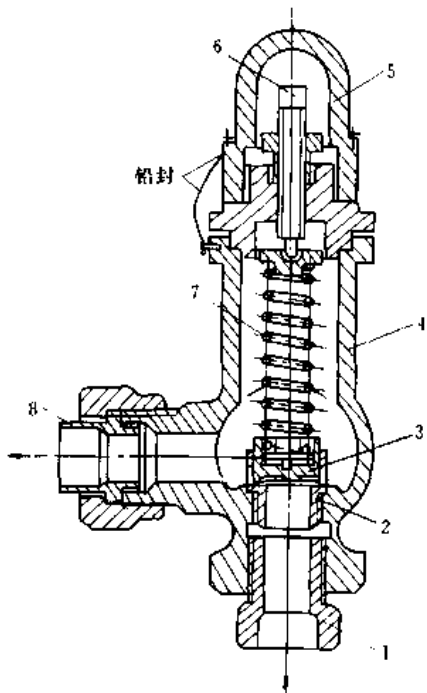


图 4-71 安全阀

1—接头；2—阀座；3—阀芯；
4—阀体；5—阀帽；6—调节
杆；7—弹簧；8—排出管接头

1. 安全阀

为防止制冷系统高压压力超过限定值而造成管道爆裂，需在制冷系统的管道上设置安全阀。这样，当系统中的高压压力超过限定值时，安全阀自动启动，将制冷剂泄放至低压系统或排至大气。图 4-71 所示为一种制冷系统常用的安全阀。它主要由阀体、阀芯调节弹簧、调节螺杆等组成。安全阀的进口端与高压系统

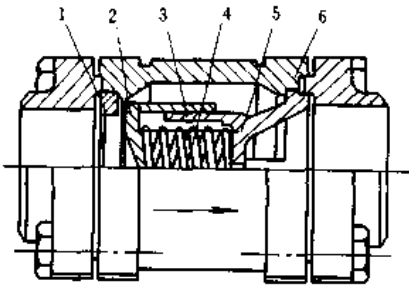


图 4-72 常用止回阀的构造

1—阀座；2—阀芯；3—阀芯座；
4—弹簧；5—支承座；6—阀体

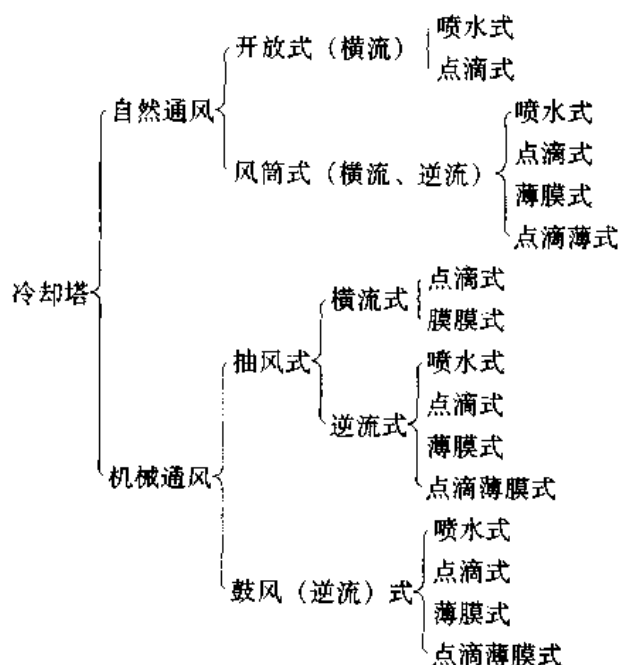
连接，出口端与低压系统连接。当系统中高压压力超过安全限定值时，高压气体自动顶开阀芯从出口排入低压系统。通常安全阀的开启压力限定值为： R_{12} 制冷装置 $1.6 \sim 1.8\text{MPa}$ ； R_{22} 制冷装置 $2.0 \sim 2.1\text{MPa}$ 。

2. 止回阀

止回阀的作用是在制冷系统中限制制冷剂的流动方向，制冷剂只能单向流动，所以又称为单向阀。图 4-72 所示为常用止回阀的构造示意图。当制冷剂沿箭头方向进入时，依靠其自身压力顶开阀芯而流动。反之，当制冷剂流中断或呈反向流动时，阀门关闭。止回阀多装在压缩机与冷凝器之间的管道中，以防止压缩机停机后冷凝器或贮液器内的制冷剂倒流。

第八节 冷 却 塔

冷却塔是借助空气使水得到冷却的专用设备。制冷机冷凝器中排出的热的冷却水，都是经过冷却塔冷却后循环使用的。按我国行业的不同分类方法，冷却塔可分为如下几种类型。



一、自然通风冷却塔

自然通风冷却塔中的开放式冷却塔结构简单，并且不使用风机，噪声小，冷却效果受自然风力及风向的影响，淋水密度小，一般只用于冷却水量较小的场合。风筒式自然通风冷却塔冷却效果比较稳定，运行费用比较低，在一些对噪声要求较高的中央空调冷却水装置中得到应用。

二、机械通风冷却塔

机械通风式冷却塔是依靠风机强迫通风使水冷却的冷却塔。

机械通风式冷却塔一般由塔体、淋水装置、配水系统、通风设备、空气分配装置、收水器和集水池等部分组成。

(1) 塔体。冷却塔的外围结构，一般选用玻璃材料制造。

(2) 淋水装置，(又称填料)其作用是将进入冷却塔的热水分成细小的水滴或很薄的

水膜，增加水和空气的接触面积和接触时间，增加水的散热效果。淋水装置可分为点滴式、薄膜式和滴薄膜式三种。

(3) 配水系统。它的作用是保证在一定的水量变化范围内，将水均匀地分布到整个淋水装置面上，以充分利用淋水装置使水降温。配水系统分为固定式和旋转式两种。

(4) 通风设备。它的作用是保证冷却塔内空气的快速流动，使水与空气迅速进行热交换，实现给热水散热的目的。

(5) 空气分配装置。它的作用是将空气均匀地分配到塔内各部分，使淋水装置中均匀分布的水得到最有效的冷却。空气沿冷却塔断面的均匀分配，使水形成最大散热面。逆流式冷却塔的空气分配装置包括进风口和导风装置两部分。横流式冷却塔只有进风口，无导风装置。

(6) 通风筒。它的作用是创造良好的空气流动动力条件，减少流动阻力，并将湿热空气送往高处，减少湿空气的回流。抽风式冷却塔的通风筒包括收水器以上的整个部分，即风机喇叭口和上部扩散筒。鼓风式冷却塔的通风筒包括鼓风机的进风喇叭口和扩散筒及空气排出口的风筒。

(7) 收水器。它的作用是防止随空气上漂的水滴排出冷却塔，减少水的流失及其对环境的污染。一般冷却塔的收水器是几排倾斜布置的板条。

(8) 集水池。它的作用是收集在淋水装置中冷却后落下来的冷水。一般设置在冷却塔的底部，同时还具有储存和调节水量的作用。

机械通风式冷却塔按其热工性能可分为三种系列，即标准系列，其进水温度为 37°C ，出水温度为 32°C ；中温系列，其进水温度 40°C ，出水温度 32°C ；高温系列，其进水温度 60°C ，出水温度为 32°C 。

机械通风式冷却塔的典型结构如图 4-73 所示。它主要由塔体、风机、电动机和风叶减速器、布水器、淋水装置、填料、进出水管系和塔体支架等组成。塔体一般由上、中、塔体及进风百叶窗组成，塔体材料为玻璃钢。风机为立式全封闭防水电动机，圆形冷却塔的风叶直接装于电动机轴端。而对于大型冷却塔风叶则采用减速装置驱动，以实现风叶平稳运转，布水器一般为旋转式，利用水的反冲力自动旋转布水，使水均匀地向下喷洒，与向上或横向流动的气流充分接触。大型冷却塔为了布水均匀和旋转灵活，布水器的转轴上安装有轴承。

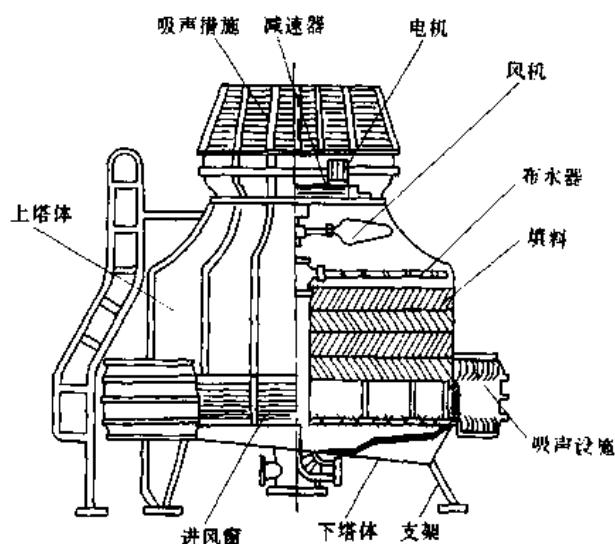


图 4-73 抽风逆流式冷却塔

冷却塔的填料多采用改性聚氯乙烯或聚丙烯等，当冷却水温达 80°C 以上时，则采用铅皮或玻璃钢填料。

有关冷却塔的技术术语如下：

冷却度：水流经冷却塔前后的温差。它等于进入冷却塔的热热水与离开冷却塔的凉水之间

的温度差。

冷却幅度：冷却塔出水温度同环境空气湿球温度之差。

热负荷：冷却塔每小时“排放”的热量值。它等于循环水量乘以冷却度。

冷却塔压头：冷却水由塔底提升到顶部并经喷嘴所需要的压力。

漂损：水以细小的液滴形式混杂在循环空气中而造成的少量损失。

泄放：连续或间接地排放少量循环水，以防止水中化学致锈物质的形成和浓缩。

补给：为替补蒸发、漂损和泄放所需补充的水量。

填料：冷却塔内使空气和水同时通过并得到充分接触的填充物，有膜式、片式、松散式、飞溅式填料之分。

水垢抑制剂：为防止或减少在冷却塔中形成硬水垢而添加在水中的化学物质，常用的有磷酸盐、无机盐、有机酸等。

防藻剂：为抑制在冷却塔中生成藻类植物而添加在水中的化学物质，常用的有氯、氯化苯酚等。

思考与练习

1. 制冷剂是如何定义的？
2. 什么叫载冷剂？
3. 按制冷剂的化学、物理和热力学性质对制冷剂进行分类，可将其分为几类？
4. 根据制冷剂与冷冻润滑油的互溶程度，制冷剂与润滑油可分为哪三种情况？
5. 简述 R_{22} 的基本特性。
6. 简述 R_{134a} 的基本特性。
7. 冷冻润滑油的主要作用有哪些？
8. 冷冻润滑油变质的主要原因有哪些？
9. 如何从外观、颜色、气味上直观判断冷冻润滑油的好坏？
10. 如何界定活塞式制冷压缩机的开启式、半封闭式和全封闭式？
11. 如何利用压缩机的性能曲线来确定其制冷量和功率消耗？
12. 简述螺杆式制冷压缩机制冷时的工作过程。
13. 简述螺杆式制冷压缩机喷油式压力润滑的四个作用。
14. 简述离心式压缩机的工作原理。
15. 简述离心式压缩机制冷量调节的主要方法。
16. 简述溴化锂溶液的一般特性。
17. 简述单效溴化锂吸收式制冷的工作原理。
18. 什么叫溴化锂吸收式制冷的高、低压筒？
19. 简述双效溴化锂吸收式制冷的工作原理。
20. 溴化锂吸收式制冷机的基本参数有哪些？
21. 溴化锂吸收式制冷机的能量调节有哪些方法？
22. 什么叫直燃式溴化锂制冷机？
23. 中央空调制冷机组用的冷凝器主要有哪些类型？

24. 卧式管壳式蒸发器的结构特点是什么?
25. 干式蒸发器有何特点?
26. 含水量指示器的作用是什么?
27. 简述内平衡式膨胀阀的工作原理。
28. 外平衡式膨胀阀与内平衡式相比有何不同?
29. 机械通风式冷却塔由哪些主要部分组成?
30. 冷却塔的技术术语主要有哪些?

第五章 空调与制冷系统的测控装置

空调与制冷系统中除了辅助设备外,为了使空调与制冷系统能够自动控制,安全经济运行,还需要设置一些测控装置。

第一节 流动与液位控制器件

一、电磁阀

电磁阀是制冷系统或中央空调冷媒水系统中控制制冷剂液体或冷媒水自动通、断的阀门。

使用在制冷系统中的电磁阀通常安装在制冷系统管路中的膨胀阀之前,并与压缩机同步工作,压缩机停机时电磁阀关闭,使液体制冷剂不能继续进入蒸发器内,防止液体制冷剂进入压缩机气缸中再次启动时造成“液击”故障,而使用在冷媒水系统中的电磁阀,通常安装在风机盘管供、回水管路上,控制其供、回水工作的调节过程。

目前常用的电磁阀有直接和间接启闭式两种。

直接启闭式电磁阀的构造如图 5-1 所示。它由阀体和电磁头两部分组成。当电磁头中的线圈通电时,线圈与衔铁产生感应磁场,衔铁带动阀针上移,阀孔被打开,流体正常流动。当电磁头中线圈断电时,磁场消失,衔铁靠自重和弹簧力下落,阀针将阀孔关闭,流体停止流动。即所谓直接启闭式电磁阀,就是利用电磁头中的衔铁直接控制阀孔的启闭。此种电磁阀的结构特点只适用于控制 3mm 以下的阀孔。

间接启闭式电磁阀的构造如图 5-2 所示。它能以较小的电磁头启闭较大的阀孔,因工作

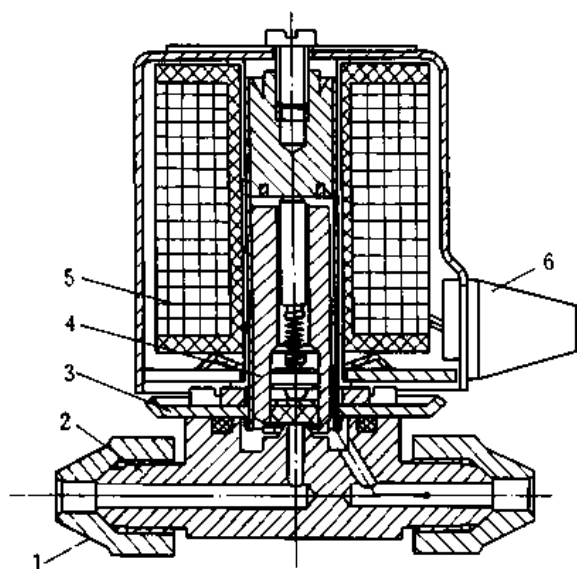


图 5-1 直接作用式电磁阀 (ZCF-3 型)

1—螺母；2—接头和阀体；3—座板；
4—衔铁；5—电磁线圈；6—接线盒

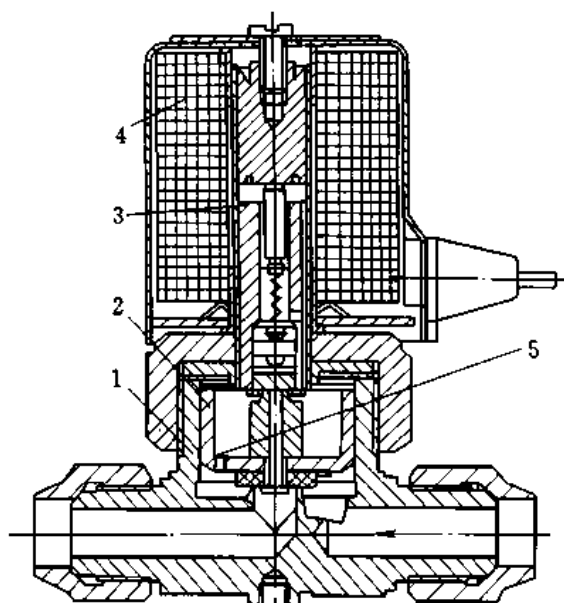


图 5-2 间接作用式电磁阀 (ZCF-6、8、10)

1—阀体；2—活塞式浮阀组件；
3—衔铁；4—线圈；5—平衡孔

时动作过程分两次进行（又称两次开阀）。

间接启闭式电磁阀的工作原理是：当电磁头中的线圈通电后，衔铁和阀针上移，首先打开操纵孔，使浮阀上部空间的制冷剂通过操纵孔流向阀的出口，上部压力迅速下降，这样浮阀在压差作用下上升并打开阀孔。当线圈切断电源时，衔铁和阀针下落并关闭操纵孔。制冷剂通过浮阀上的平衡孔进入上部空间，使浮阀两侧压力平衡，浮阀在自重和弹簧力的作用下而下落，将阀孔关闭。在使用过程中若浮阀发生故障，可转动调节杆强行顶开浮阀。

二、温度式液位调节阀

温度式液位调节阀在制冷系统中用于控制满液式蒸发器、气液分离器等容器中的液位。图 5-3 为一种温度式液位调节阀的结构图。

温度式液位调节阀从图形上看类似热力膨胀阀，不同的地方是在感温包中装有电加热器。工作时，感温包安放在容器内所要控制的液面高度处，电加热器安装在感温包内，电加热器通电后对感温包加热。当容器内的液位上升，制冷剂液体接触到感温包时，感温包中的热量则通过制冷剂液体逸散，感温包中的压力降低，使阀开度变小或者完全关闭。如果容器中的制冷剂液体降到感温包以下，使感温包处于制冷剂蒸汽中时，感温包中的热量较难散逸，感温包内的压力升高，使阀开度变大，系统的供液量增加。

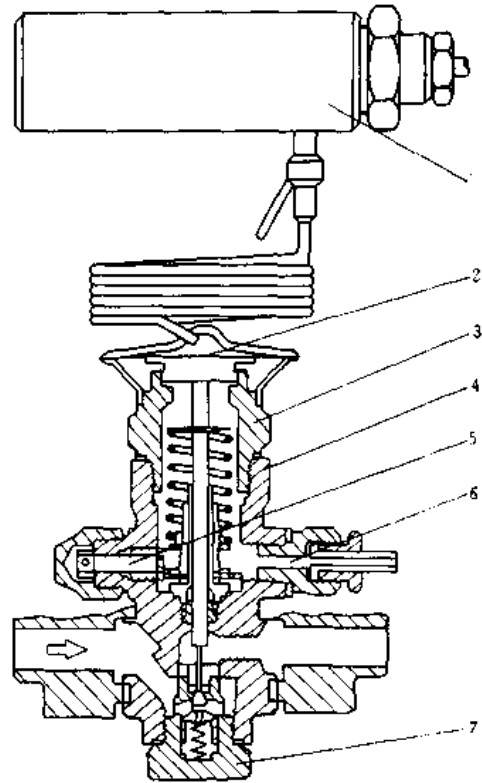


图 5-3 温度式液位调节阀 (Danfoss)

- 1—带有电加热器的温包；2—热力头；
- 3—连接件；4—阀体；5—设定杆；
- 6—外平衡管接口；7—节流孔组件

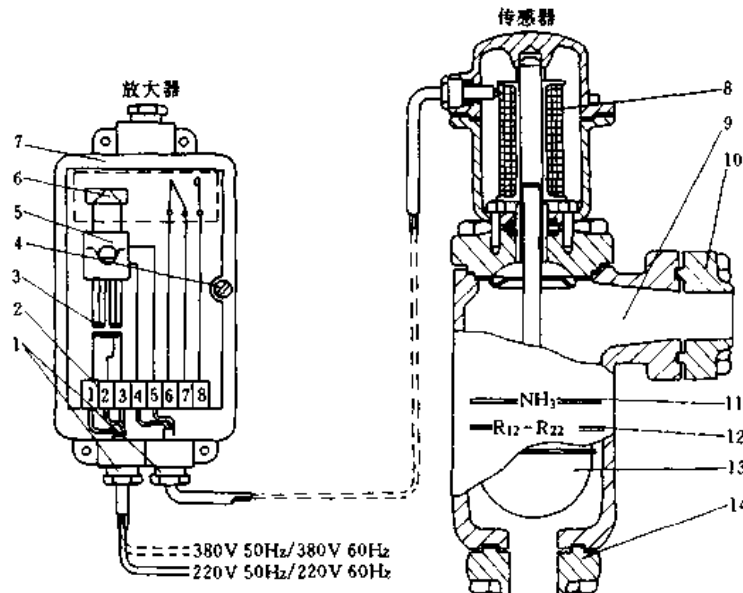


图 5-4 电感式液位控制器

- 1—接线柱；2—端子；3—主变送器；4—接地端；5—放大器；6—继电器；7—防水罩；8—电感线圈；
- 9—浮球室；10、14—法兰；11—NH₃ 的控制液位；12—R₁₂ 和 R₂₂ 的控制液位；13—浮球

三、电感式液位控制器

电感式液位控制器在制冷系统中用于控制满液式蒸发器、冷凝器或高压贮液器等容器中的液位进行双位控制。同时还可以起防止容器中液位过高或过低的作用。电感式液位控制器结构示意图如图 5-4 所示。

电感式液位控制器由传感器部分和放大器部分组成。传感器部分的上部为电感线圈，下部为浮球室。其工作原理是：浮球室通过上、下两个法兰口分别接收受控容器的气相和液相，使浮球室获得容器液位信号。浮球室中的浮球上面带有铁芯杆。当浮球随液位浮动时，铁芯杆插入或退出电感线圈，改变线圈的电抗量，引起线圈中电流的变化，从而将液位信号转换成电信号。通过导线将此信号送到放大器，使继电器触点的通断变化，用以控制容器进、出口管上的电磁阀的启闭，将容器的液位控制在要求的范围内。

第二节 压力与温度控制器件

制冷系统中的各种压力及温度的调节都是依靠各种专用阀来实现的。这些阀主要包括：冷凝压力调节阀、蒸发压力调节阀、曲轴箱压力调节阀及能量调节阀等。

一、冷凝压力调节阀

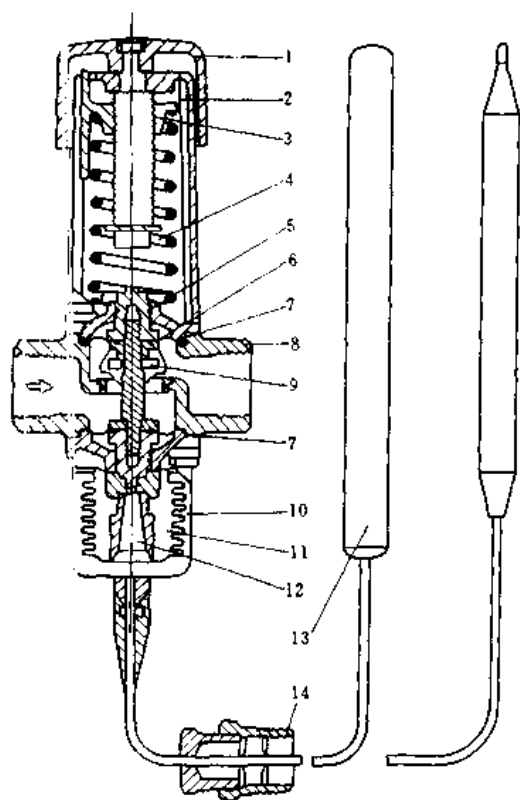


图 5-5 温度控制的水量调节阀（直接作用式）

- 1—手轮；2—弹簧室；3—设定螺母；4—弹簧；
5—O形圈；6—顶杆；7—膜片；8—阀体；
9—阀芯；10—波纹室；11—波纹管；12—压力顶杆；13—温包；14—毛细管连接密封件

制冷系统运行时，冷凝压力需维持在正常范围内。若冷凝压力过高，会引起制冷设备的损坏和功耗的增大；若冷凝压力过低，会引起制冷剂的液化过程和膨胀阀的工作，使制冷系统不能正常工作，造成制冷量的大幅度下降。

对于水冷式冷凝器的冷凝压力调节是通过调节冷却水的流量来实现的。按工作原理的不同冷凝压力调节阀又分为温度控制的水量调节阀和压力控制的水量调节阀。

温度控制的水量调节阀的结构如图 5-5 所示。它又分为直接作用式和间接作用式两种。直接作用式的工作原理是：调节阀的温包安装在冷却水出口处，将冷却水的出水温度信号转变为压力信号，并通过毛细管将这一压力信号传递到波纹室，使波纹管在压力作用下变形，使顶杆动作，并带动阀芯移动，改变阀口开度。当水温升高时，阀开大；水温降低时，阀关小。即根据冷却水温度的变化自动调节冷却水的流量，从而达到控制冷凝压力的目的。阀上手轮的作用是调节弹簧的张力，用以改变设定值的。直接作用式水量调节阀一般通径在 25mm 以下。而通径在 32mm 以上时则采用间接作用式水量调节阀。

间接式水量调节阀结构如图 5-6 所示。其工

作原理是温包安装在冷却水出口处，将冷凝器的出水温度信号转变为压力信号，控制导阀阀芯启闭。当温度升高时，导阀阀孔打开，主阀活塞上腔的来自冷却塔高压水经内部通道泄流到阀的出口侧，使活塞上腔压力降为阀下游压力。于是活塞在上下水流压力差的作用下被托起，主阀打开；当温度下降时导阀孔关闭，活塞上下侧流体压力平衡，活塞依靠自重落下，主阀关闭。根据冷却水温度的变化，自动调节向冷凝器的供水量，从而达到控制冷凝压力的目的。

压力控制的水量调节阀是直接利用冷凝压力作为控制信号来进行阀的开启控制的，其工作原理与温度控制的水量调节阀相同，在此就不在讲述其工作原理了。在结构上压力控制的水量调节阀也有直接作用式（如图 5-7 所示）和间接作用式（如图 5-8 所示）两种。

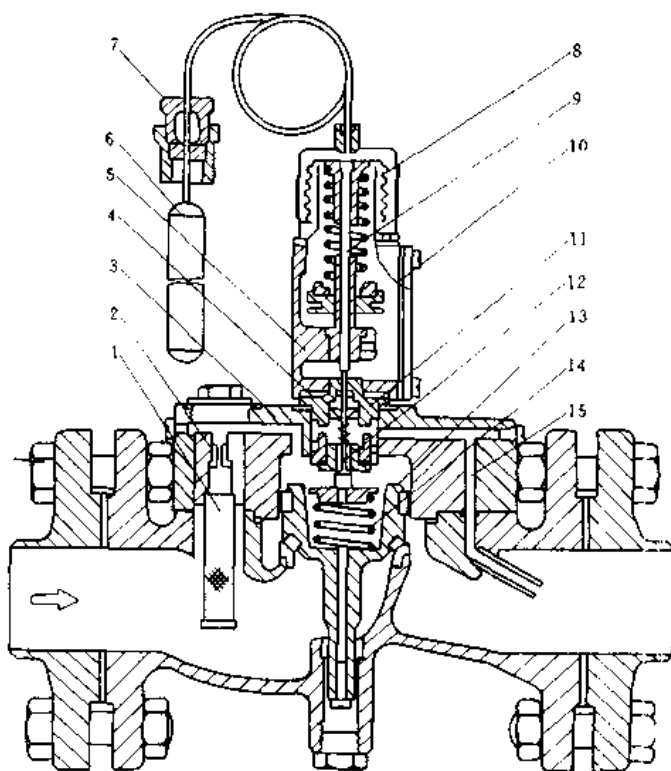


图 5-6 温度控制的水量调节阀（间接作用式）
1—过滤网；2—控制孔口；3—阀盖；4—密封垫；5—罩壳；
6—温包；7—连接及密封件；8—波纹管；9—压杆；10—密封垫；
11—导阀组件；12—导阀阀芯；13—活塞（主阀）；
14—弹簧；15—内部通道

二、蒸发压力调节阀

蒸发压力调节阀一般安装在蒸发器出口管道上，用以维持系统的蒸发压力稳定，蒸发压力调节阀分为直接作用式和控制式两种。

直接作用式蒸发压力调节阀的典型结构如图 5-9 所示。

这是一种受阀前压力控制的比列型调节阀。其工作原理是：阀盘受到入口处制冷剂液体压力和弹簧力的共同作用，当蒸发压力升高时，阀孔将开大，流出的制冷剂量会增加，使蒸发器内压力降低；反之，当蒸发压力升高时，阀孔将关小，流出的制冷剂量减小，使蒸发器内的压力升高。这样不断地变化，从而使蒸发压力恒定在设定值附近。

控制式又称间接作用式蒸发压力调节阀，由定压导阀与主阀组成。主阀采用气用常闭型，其结构如图 5-10 所示。其控制蒸发压力的工作原理如图 5-11 所示。定压导阀安装在主阀的控制压力引管上，从主阀前引蒸发器中的制冷剂压力作为控制压力。当蒸发压力超过定压阀的设定弹簧力时，导阀开启，主阀活塞上腔受到阀前较高流体压力的作用，主阀开启。蒸发压力增高，导阀口成比例开大，主阀也成比例开大，达到弹簧最大负荷时，导阀全开，主阀也全开，实现按比例时制冷剂流量的调节，从而实现对制冷系统蒸发压力的调节。

三、曲轴箱压力调节阀

曲轴箱压力调节阀是用来控制压缩机吸气压力（即曲轴箱压力），防止制冷机因吸气压力过高而引起电动机过载的，因此，又称为吸气压力调节阀。曲轴箱压力调节阀安装在压缩机的吸气管上，常用的直接作用式曲轴箱压力调节阀的结构如图 5-12 所示。其工作原理是：

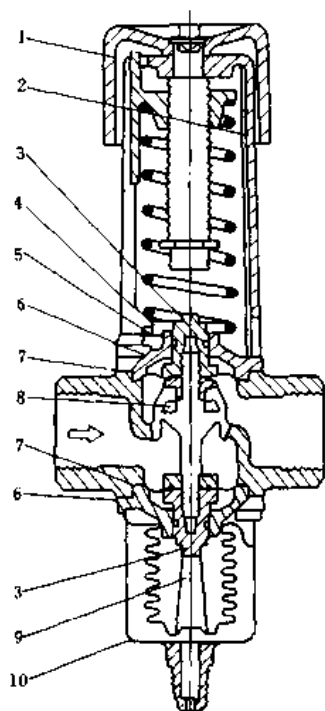


图 5-7 压力控制的水量调节阀（直接作用式）

1—手轮；2—弹簧室；3—导套；4—弹簧顶板；
5—O形圈；6—导套止动件；7—膜片；8—阀板；
9—顶柱；10—波纹管

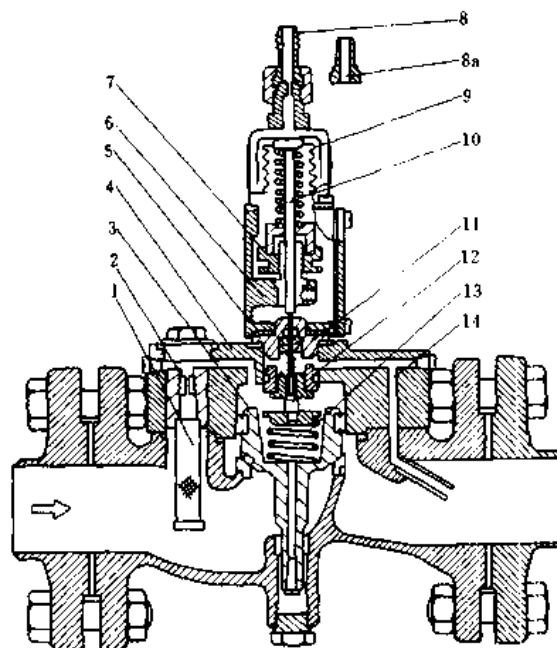


图 5-8 压力控制的水量调节阀（间接作用式）

1—过滤网；2—控制孔口；3—活塞；4—主阀盖；
5—密封垫；6—罩壳；7—调节螺母；8、8a—引
压接口；9—波纹管；10—顶杆；11—导阀组件；
12—导阀芯；13—弹簧；14—旁流通道

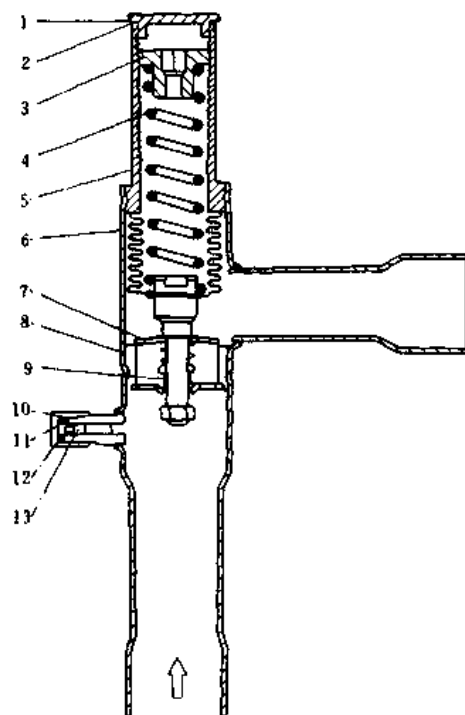


图 5-9 蒸发压力调节阀的构造

1—护盖；2—垫片；3—设定螺钉；
4—主弹簧；5—阀体；6—平衡波
纹管；7—阀板；8—阀座；9—阻
尼机构；10—压力表接头；11—接
头盖；12—垫片；13—堵头

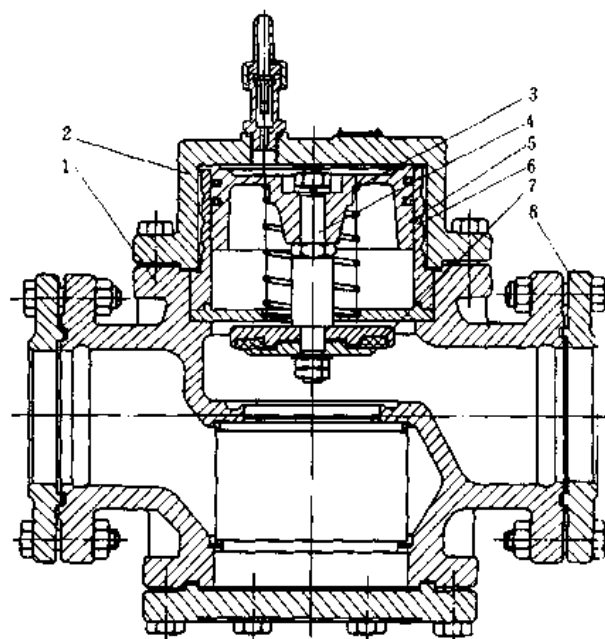


图 5-10 气用常开型主阀（ZFS-80、100QK 型）

1—阀体；2—阀盖；3—弹簧；4—阀杆；5—活塞；
6—活塞套；7—阀芯；8—法兰

调整好弹簧力，使压缩机曲轴箱内的制冷剂蒸汽压力稳定在所需的压力范围内。在压缩机运行过程中，若曲轴箱内压力高出设定值，曲轴箱压力调节阀的开度就变小，减少流入曲轴箱中制冷剂蒸汽的流量；而当曲轴箱内压力低于设定值时，曲轴箱压力调节阀的开度就大，增加流入曲轴箱中制冷剂蒸汽的流量，以维持曲轴箱内的压力稳定在设定的范围内。

四、能量调节阀

能量调节阀在制冷系统中属于旁通能量调节阀。它安装在连接压缩机排气侧与吸气侧的旁通管上。能量调节阀的典型结构如图 5-13 所示。其工作原理是：当压缩机负荷降低时，吸气压力降低，当降低到能量调节阀的开启设定值时，调节阀打开，使压缩机的高压排气有一部分旁通到低压侧，使制冷压缩机在低负荷时仍能维持较高的吸气压力继续运行。此阀的特点是：吸气压力越低，热气旁通量越大。

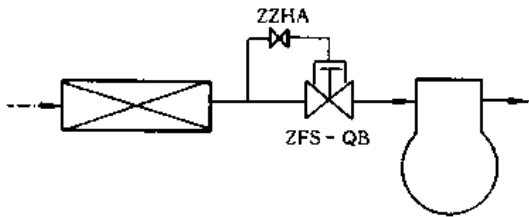


图 5-11 控制式蒸发压力调节原理

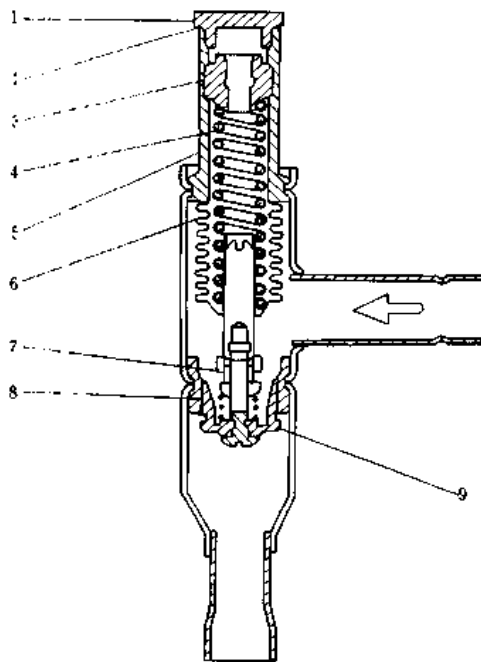


图 5-13 能量调节阀（直接作用式）
1—护盖；2—密封垫；3—设定螺钉；
4—主弹簧；5—阀体；6—平衡波纹管；
7—阻尼机构；8—阀座；9—阀板

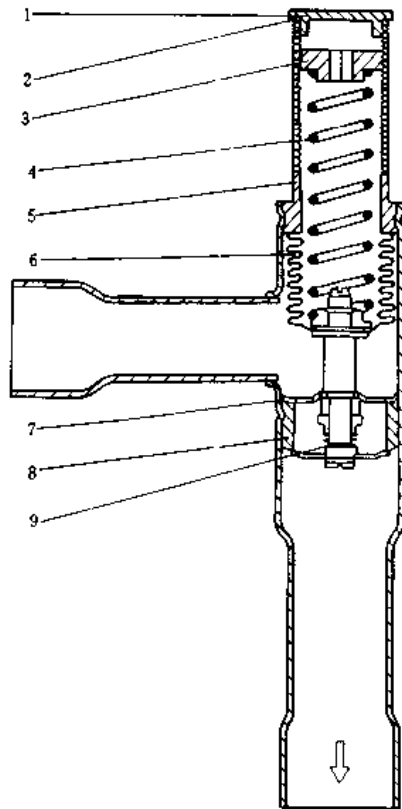


图 5-12 曲轴箱压力调节阀

1—护盖；2—垫片；3—设定螺钉；4—主弹簧；5—阀体；6—平衡波纹管；7—阀板；8—阀座；9—阻尼机构

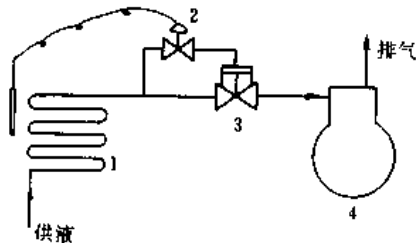


图 5-14 控制式温度调节阀的调节原理图
1—蒸发器；2—温度调节阀（恒温阀）；
3—主阀；4—压缩机

五、冷媒温度调节阀

冷媒温度调节阀是以冷媒温度作为信号而对蒸发器制冷量进行调节的一种能量调节阀。冷媒温度调节阀安装在蒸发器出口管上,通过阀的开启度变化调节蒸发器的制冷能力,从而控制冷媒的温度。一般常用的控制式冷媒温度调节阀的工作原理如图 5-14 所示。它是由温度导阀(恒温阀如图 5-15 所示)与主阀组合的调节系统,它实际上是个温度控制的蒸发压力调节阀。恒温阀的感温包感受冷媒温度。温度升高时,温包内的压力升高,使导阀(恒温阀)的阀口开大,主阀也随之开大;反之,若导阀口关小,其主阀的开度也就变小。

第三节 空调系统参数测量仪表

空调系统参数测量仪表主要是指温度测量仪表、相对湿度测量仪表及风速测量仪表等,在空调系统运行管理中常用的仪器仪表。

一、温度测量仪器

1. 液体温度计

液体温度计又称玻璃管液体温度计和棒式温度计。液体温度计是用玻璃毛细管和感温包内充注水银或酒精制成的。充注水银的称水银温度计;充注酒精的称酒精温度计。液体温度计是利用玻璃管内的液体受热膨胀、遇冷收缩产生体积变化,使与感温包相通的毛细管中液位发生变化来工作的。

液体温度计由温包、毛细管、膨胀泡、玻璃管及标尺组成,如图 5-16 所示。

液体温度计在构造上有棒式和内标式两种。两者的不同点是:棒式温度计的标尺直接刻在玻璃棒表面;内标式温度计是将乳白色玻璃板标尺嵌装在玻璃套或金属套管中。液体温度计的测量范围因内装液体不同而异。水银温度计测量范围一般为 $-30\sim 60^{\circ}\text{C}$;酒精温度计测量范围一般为 $-100\sim 75^{\circ}\text{C}$ 。其分度值有 1、0.5、0.2 和 0.02、0.01 $^{\circ}\text{C}$ 等几种。以 0.02 $^{\circ}\text{C}$ 和 0.01 $^{\circ}\text{C}$ 分度的温度计,只用于校正其他温度计或进行高精度测量。在空调系统测定工作中,一般选用 $0\sim 50^{\circ}\text{C}$ 或 $0\sim 100^{\circ}\text{C}$ 的水银温度计。

使用液体计时时要注意以下几个要求:

(1) 根据测量范围和测量精度要求选取相应分度值的温度计,并要事前进行校验。

(2) 测量温度时,人体要与温度计拉开一些距离,读数时要屏住呼吸,视线与水银液面及标尺线要平行,先读小数,后读整数。

(3) 由于水银温度计的热惰性较大,在使用时应提前 15min 左右将温度计放入被测介质中。

液体温度计的另一种形式是金属液体式温度计,也叫做压力式温度计。它的感温包和毛细管是用金属制成的。毛细管的一端与波登压力计相连,另一端与感温包相连,三者的空腔

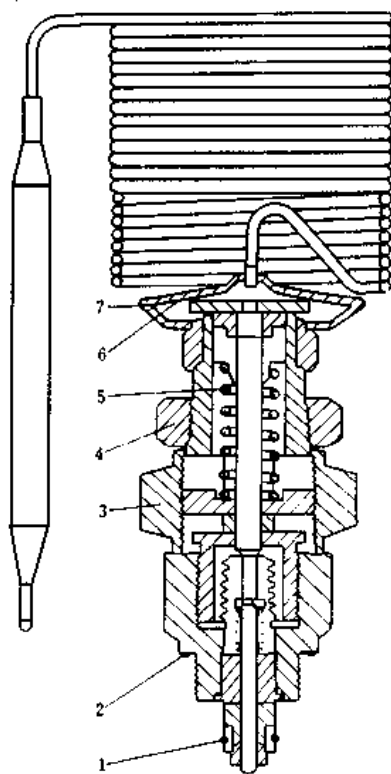


图 5-15 恒温阀结构图

1—O形环；2—密封垫；3—设定圈；4—锁圈；5—弹簧；6—膜片；7—热力头组件

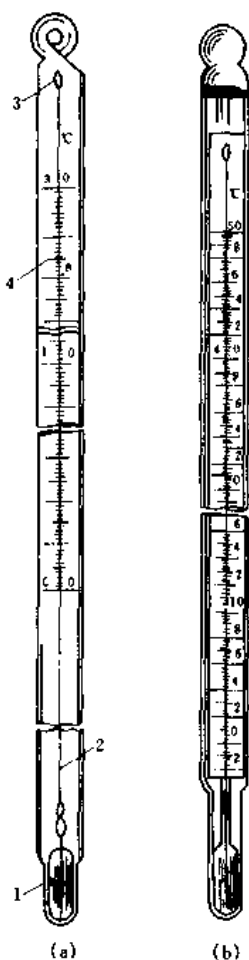


图 5-16 液体温度计

(a) 棒式；(b) 内标式

1—温包；2—毛细管；3—膨胀泡；4—标尺

2 双金属温度计

双金属温度计是一种固体膨胀式温度计。它利用两种膨胀系数相差很大的金属材料复合制成金属带，受热后使金属带向膨胀系数小的一侧弯曲，弯曲度的大小反映被测温度的高低。其原理图如图 5-18 所示。

图 5-19 是一种双金属自记温度计的外形。它是由双金属片感温元件、自记钟、自计针等组成的自动温度记录仪。

双金属温度计的自记钟机构，使记录纸随滚筒旋转，自动记录一天或一周的空气温度。它的测量范围为 $-35 \sim +40^{\circ}\text{C}$ 。

双金属温度计在使用前要用 0.1 刻度的水银温度计进行对比较正，如有误差可通过调整调节螺钉来校正。校正时，一次调整差值的 $2/3$ ，逐渐较准。在使用时，应将其水平放置，离开门窗或热源，放在室内有代表性的位置上。要将记录纸摆正，用金属压条压紧在记录筒上，加足墨水，在记录纸上填好日期，上足发条，并使记录笔与纸之间的接触松紧度合适。

3. 热电偶温度计

热电偶温度计是一种间接测量温度的仪表。它的特点是热惰性小、反映快，适用于远距

内充满液体（或气体）。当温包感受的温度发生变化时，其内部的液体体积膨胀或收缩，迫使波登管受压变形，并借指针指示出温度读数。这种温度计的特点是温包坚固，而且可以根据需要，确定毛细管长度，从而可以进行远距离测量。金属液体式温度计结构如图 5-17 所示。

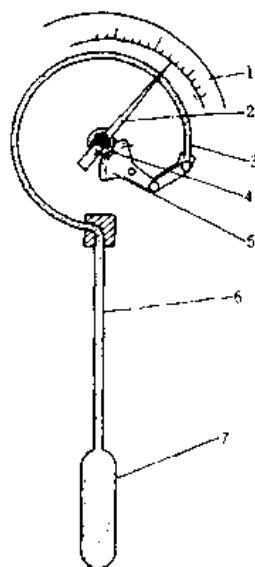


图 5-17 金属液体式温度计

1—标尺；2—指针；3—波登管；4—中心齿轮；5—扇形齿轮；6—毛细管；7—温包

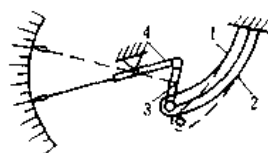


图 5-18 双金属温度计原理图

1—金属片(有较大膨胀系数)；
2—金属片(有较小膨胀系数)；
3—杠杆；4—记录笔

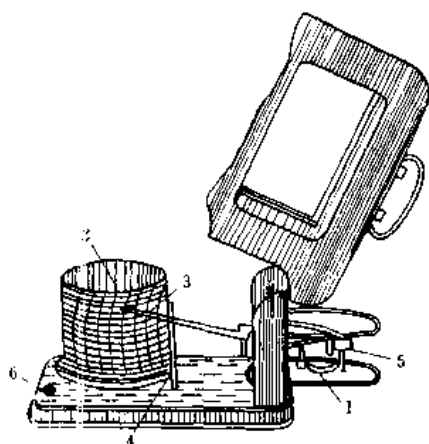


图 5-19 双金属自记温度计

1—双金属片；2—自记钟；3—记录笔；
4—笔挡手柄；5—调节螺钉；6—按钮

离和集中测量。

热电偶温度计的原理是：将两种不同性质的金属导体的两端连在一起，使其形成一个闭合回路。两端接点的温差越大，其电动势也越大。如果将一端接点的温度恒定，另一端接点置于被测的空气环境中，再接入一个毫伏计，所测得的热电势即为被测空气的温度的函数值。

二、测量相对湿度的仪器

空气相对湿度参数的测量在空调工程中与空气温度一样具有重要的意义。对空气相对湿度测量有下述几种常用的方法。

1. 普通型固定式干湿球温度计

普通型固定式干湿球温度计是将两个相同的水银温度计固定在一块平板上，其中：一个温度计的温包上缠有一直保持湿润状态的纱布，作为湿球温度计；另一个温度计的温包直接露在空气中，作为干球温度计。其结构如图

5-20 所示。

普通型固定式干球温度计测量相对湿度的原理是：湿球温度计由于温包上包裹了湿纱布，水分不断蒸发，使温包表面温度降低，其值一般会低于干球温度。干湿球温度的差值大小与空气相对湿度的高低有关，二者的差值越大，相对湿度就越小，空气就越干燥，二者差值越小则反之。由于通过湿球温包处的空气流速很小（小于 1.5m/s ），因此在实际使用中不能根据干湿球温度直接读出空气的相对湿度值，而必须使用专门制作的相对湿度查算表。查算表一般附在固定式干湿球温度计的平板上。

在使用普通型固定式干湿球温度计时，一般是将其悬挂于空调房间的某一固定位置上进行测量。这种温度计结构简单，价格便宜，但测量精度稍差，一般多用于测量精度要求不高的场所。

2. 通风式干湿球温度计

通风式干湿球温度计，是由两个精确度（刻度为 0.1°C 或 0.2°C ）较高的水银温度计组成：一支叫做干球温度计；另一支叫做湿度计。在两个温度计上部装有一个电动或机械（发条）驱动的小风扇，通过导管使气流以等于或小于 2.5m/s 的速度通过两个温度计的温包。温包的四周装有金属保护套管，以防止辐射热对它的影响。

通风式干湿球温度计的外形如图 5-21 所示。这种温度计测量精度较高，可以用它来校正测湿仪表。在使用时应始终保持湿球温度计的纱布松软，具有良好的吸水性。要提前 15min 放在测量地点，若有风的情况下使用时，人应在下风方向上，以免影响测量效果。

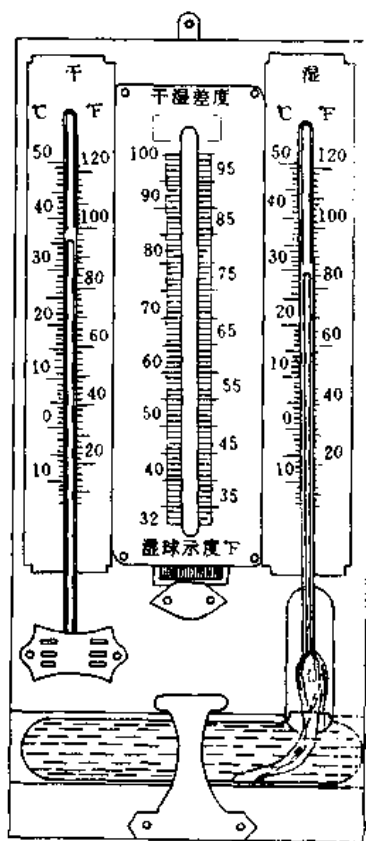


图 5-20 普通型固定式干湿球温度计

3. 毛发湿度计

毛发湿度计是利用脱脂毛发随环境湿度的变化而改变其长度的原理制成的一种测量空气湿度的仪器，其形式有指针式和自记式两种。

图 5-22 为指针式毛发湿度计。它是将一根脱脂毛发的一端固定在金属架上，另一端与杠杆相连。当空气的相对湿度发生变化时，毛发会随其发生伸长或缩短的变化，牵动杠杆机构动作，带动指针沿弧形刻度尺移动，指示出空气的相对湿度值。

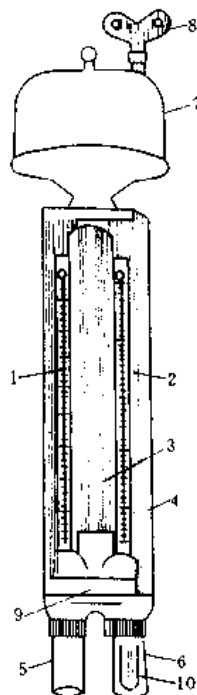


图 5-21 通风式干湿球温度计

- 1—水银温度计；2—水银温度计；3—金属总管；
4—护板；5—外护管；6—外护管；7—风扇外壳；
8—钥匙；9—塑料箍；10—内管

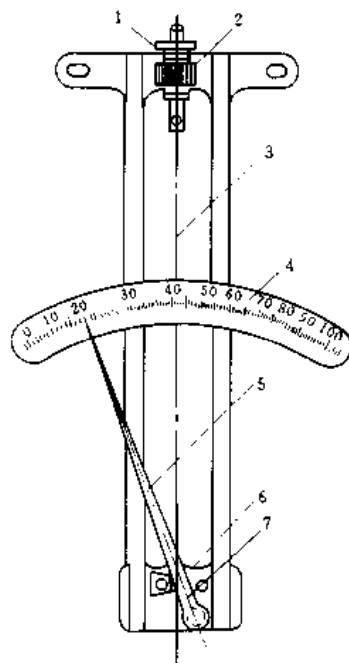


图 5-22 毛发湿度计

- 1—紧固螺母；2—调整螺钉；3—毛发；
4—刻度尺；5—指针；6—弧块；7—重锤

由于在与毛发相连的机构中存在轴摩擦时会影响它的正确指示，因此，在使用时要先将指针推向使毛发放松的状态，再让它自然复位，观察指示值是否有复现性。平时要保持毛发清洁，如果毛发不干净，可用干净的毛笔蘸蒸馏水轻轻刷洗。再次使用前也要用毛笔蘸蒸馏水洗刷毛发束，使其湿润。若要移动时，动作要轻，并将毛发调至松弛状态。

三、测量风速仪器

气体流动速度是空调工程中经常需要测试的基本参数之一。目前国产直接测量风速的仪表有叶轮风速仪、杯式风速仪和热球风速仪。

1. 叶轮风速仪

叶轮风速仪有两种形式：一种叫做自记式叶轮风速仪；另一种叫做转杯式风速风向仪。图 5-23 为自记

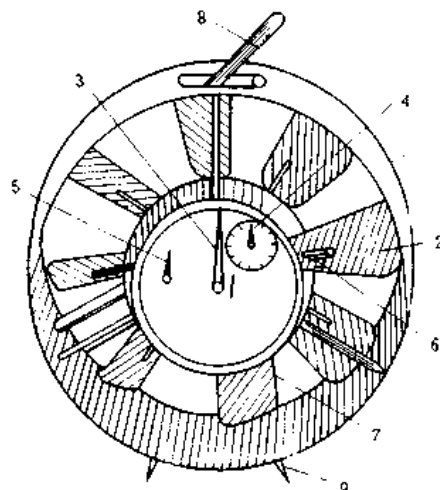


图 5-23 自记式叶轮风速仪

- 1—圆形框架；2—叶轮；3—长指针；4—短指针；5—记时红指针；6—回零压杆；7—自动杠杆；8—提环；9—座架

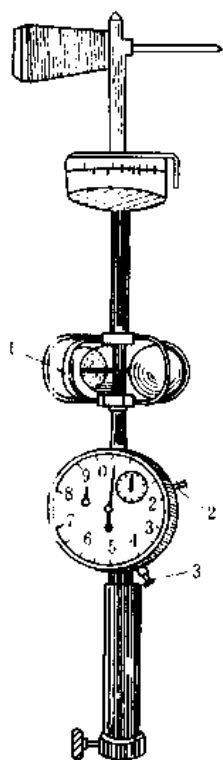


图 5-24 转杯式
风速风向仪

1—风杯；2—回零压
杆；3—启动压杆

式叶轮风速仪。它的转轮叶片由几片扭成一定角度的薄叶片组成。转轴与表盘平行或垂直。它的工作原理是：当叶轮受到气流压力作用产生旋转运动时，叶轮转数与气流风速成正比，其转数由轮轴上的齿轮传递给指针和计数器，在表盘上显示出风速值。

不自记叶轮风速仪是一种使用时需备秒表的风速测量仪表，它的风速大小可按下式计算：

$$\text{风速} = \frac{\text{终读数} - \text{初读数}}{\text{测定时间}} \text{ m/s}$$

叶轮风速仪测量范围为 0.5~10m/s，主要用于测量风口和空调系统装置中人能够出入的大断面的风速。

2. 杯式风速仪

杯式风速仪又叫转杯式风速风向仪。它的风速感应元件是三个（或四个）半球形风杯，转轴与记速表盘平行，如图 5-24 所示。

转杯式风速风向仪的工作原理与叶轮风速仪相似，使用时轮轮的旋转平面应平行于气流。它的测速范围为 1~40m/s。有的杯式风速仪上还带有风标，用以指示风向。杯式风速仪多用于大风速的测定。

3. 热球风速仪

热球风速仪是空调测试中常用的仪表。它是根据流体中热物体的散热率与流速存在一定函数关系而制成的风速测量仪表，其工作原理如图 5-25 所示。

热球风速仪由两个电路组成：一个是加热电路；另一个是测温电路。电路的工作原理是：当一定大小的电流通过加热电路的线圈时，电热线圈发热使玻璃球的温度升高，测温电路的热电偶产生热电势，由表头反映出来。玻璃球的温升、热电势大小与气流速度有关。风速愈大，球体散热愈快，温升愈小，热电势也就愈小。反之，风速愈小，球体散热就愈慢，温升愈大，热电势也就愈大。因此，在表头上直接用风速刻度即可读出风速大小。仪表箱上的粗调、细调是用来调整加热电路电热线圈的，使其保持稳定电流。

热球风速仪具有使用方便、反应快、热惰性小、灵敏度高特点。它的测速范围为 0.05~30m/s，测量低速风时尤为优越，是空调系统测试时的常用仪表。热球风速仪的测头结构娇嫩，易损，使用时要小心。

使用注意事项如下：

(1) 将测杆连接导线的插头按正负号或标记插入仪表面板的插座内。

(2) 测杆要垂直放置，头部朝上，滑套的缩紧应不使测头露出，应保证测头在零风速下校准仪表零位。

(3) 将选择开关由“断”旋转到“满度”位置，调节满度旋钮，使指针指示在上限刻度上。若达不到上限刻度，应调换电池。

(4) 将选择开关旋转到“零位”的位置上，然后调节“粗调”、“细调”旋钮，观察表针

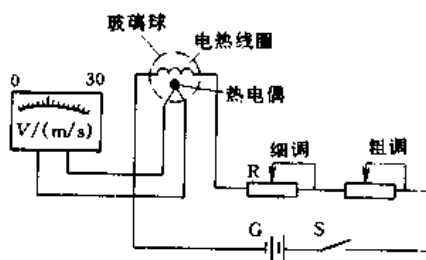


图 5-25 热球风速仪原理图

是否能处于零位上。若达不到零位应更换电池。

(5) 测量时将测头上的红点对着迎风面, 测杆与风向呈垂直状态, 即可读数。若出现指针来回摆动时, 可读取中间数值。

(6) 每次测量 5~10min 后, 要重新校对一下“满度”和“零位”

(7) 测量完毕后将滑套套紧, 使工作开关置于“断”的位置, 拔下插头, 收拾好装箱。

(8) 使用中不要用于触摸测头。测头一旦受污染, 将影响其正常工作。

(9) 使用完毕后要将电池取出, 搬运时要轻拿轻放。

四、测量风压的仪器

1. 液柱式压力计

液柱式压力计又叫做 U 形管压差计, 它是最简单的测量风压的仪表, 其外形如图 5-26 所示。液柱式压力计的测压原理是: 当被测系统内的压力高于外界大气压力时, 在系统内压力 p_1 和大气压力 p_2 的压差作用下, U 形管两端出现压力差:

$$\Delta p = p_1 - p_2 = 9.8\rho \cdot h \quad \text{Pa}$$

式中 ρ ——U 形管内注入液体的密度 (g/cm^3), 常用的液体有水、酒精等, 其密度分别为 $1.0\text{g}/\text{cm}^3$ 、 $0.81\text{g}/\text{cm}^3$;

h ——液体液面高度差, mm。

液柱式压力计主要在要求不高的测试中使用, 如用来测量各级过滤器的前后压差。

2. 倾斜式微压计

在空调系统的压力测量中, 为了测得较小的压力, 常采用倾斜式微压计。倾斜式微压计是在液柱式压力计的基础上, 将液柱倾斜放置于不同的斜率上制成的, 其结构原理图如图 5-27 所示。它由一根倾斜的玻璃毛细管做成测量管和一个横断面比测量管断面大得多的液杯构成。测量管与水平面间的夹角 α 是可调的。

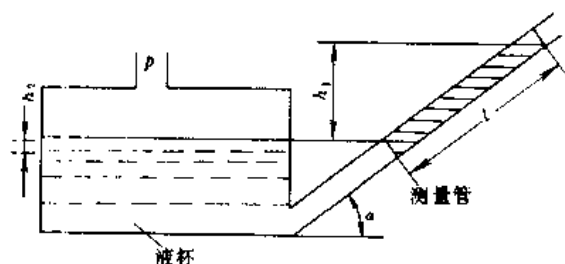


图 5-27 倾斜式微压计

当有一个压力 p 作用于液杯时, 设液杯液面下降高度为 h_2 , 测压管液面升高为 h_1 , 则液柱上升总高度为:

$$h = h_2 + h_1 = h_2 + l \sin \alpha$$

由于液杯面积远远大于测压管面积, 因此 h_2 实际很小, 可以忽略不计, 所以:

$$h = l \sin \alpha$$

于是所测压力为:

$$p = 9.8\rho h = 9.8\rho l \sin \alpha$$

式中 ρ ——工作液体的密度, 通常为 $0.81\text{g}/\text{cm}^3$ 的酒精;

l ——测量管液面上升长度, mm;

α ——测量管与水平面的夹角。

倾斜式微压计是空调系统风压测试的主要仪器, 因此, 使用时要认真阅读说明书, 严格

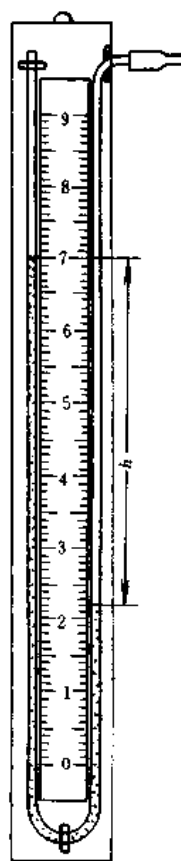


图 5-26 U 形管压差计

按说明书中规定的操作方法进行操作。同时还必须注意测量管与液杯连接管以及液体内部是否有气泡,若存在气泡将造成很大的测量误差。

3. 皮托管

皮托管又叫做皮托静压管,是一种与倾斜微压计配合使用,插入流体中与流体流向平行,管嘴对着流向,用以测量流体流速的管状仪器。

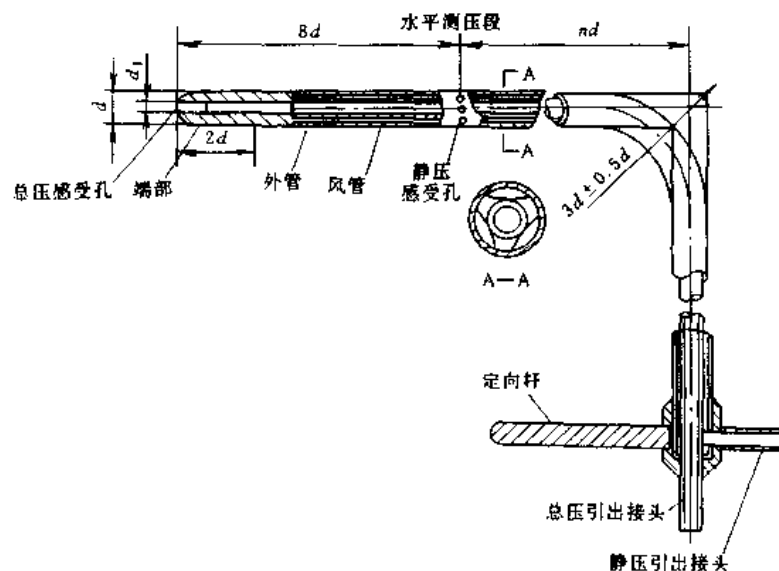


图 5-28 皮托管的构造

皮托管的构造如图 5-28 所示,由外管、内管、端部、水平测压段(测头)、引出接头、定向杆等部分组成。在皮托管测头部分的适当位置上钻有静压感受孔,测头感受的静压,通过内外管间的空腔传向静压引出接头。内管的一头与端部开口处(即总压感受孔)相连,另一端与总压引出接头连接。

用皮托管测压时,需用橡胶(或塑料)软管将其与倾斜微压计连接起来,由微压计指示出风管中的全压、静压和动压值。测试时的连接方法如图 5-29 所示。测试时全压孔必须对准气流,不准倾斜。

由于皮托管结构上的种种因素的影响,它所感受的动压与测试的实际动压间存在着差异。因此,必须用一系数对所测动压进行修正。我国采用的修正法公式为:

$$v = \sqrt{\frac{2}{\rho} \xi p_d}$$

式中 v ——气体流速, m/s;
 ρ ——气体密度, kg/m³;
 ξ ——皮托管校正系数;

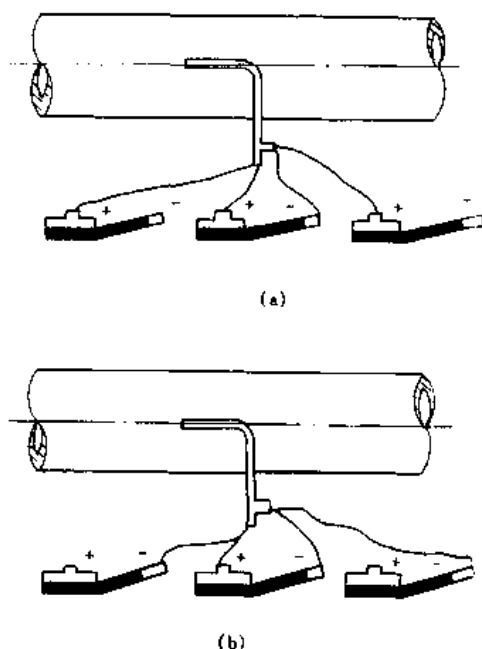


图 5-29 皮托管与微压计的连接
 (a) 正压管道中的连接; (b) 负压管道中的连接

p_d ——动压, Pa。

例 将皮托管放置在风管的某一测点上, 从微压计上测得动压 $p_d = 150\text{Pa}$ 。已知 $\rho = 1.2\text{kg/m}^3$, 校正系数 $\xi = 1.002$, 则该测点气流速度为:

$$v = \sqrt{\frac{2}{\rho} \xi p_d} = \sqrt{\frac{2}{1.2} \times 1.002 \times 150} = 15.83\text{m/s}$$

用于管内流速测试的皮托管, 其测头直径与所测管道直径之比一般可选为 $1/25$ 。测点应选在气流平直段处。

第四节 制冷空调系统的常用电器

制冷空调系统的常用电器主要是指交流接触器、压力继电器、压差继电器、热继电器及自动空气断路器等用于电路控制、保护的电器元件。

一、交流接触器

交流接触器是一种常用的低压电器。它是用电磁铁控制动、静触点的闭合或分断, 实现接通和切断电动机电路的目的。作为接通或断开电路的控制装置, 它便于集中控制和远距离操作, 具有频繁地接通和切断大电流电路的能力, 并有失压和欠压保护的功能, 是制冷空调系统中最常用的电器之一。图 5-30 所示为交流接触器的结构图。

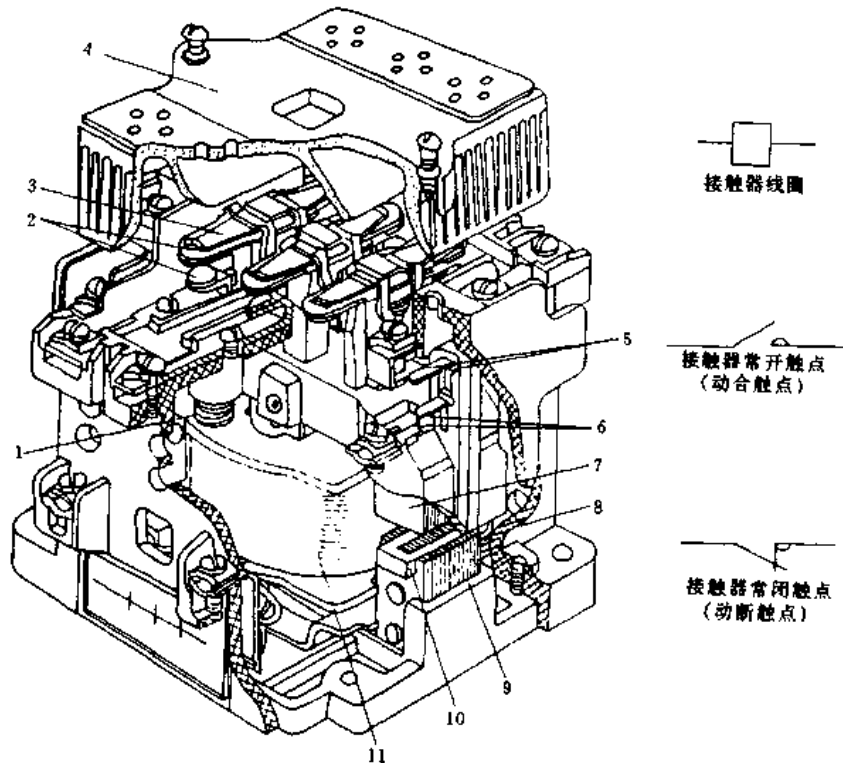


图 5-30 交流接触器的结构和符号

1—反作用弹簧；2—主触点；3—触点压力弹簧片；4—灭弧罩；
5—辅助常闭触点；6—辅助常开触点；7—动铁芯；8—缓冲弹簧；
9—静铁芯；10—短路环；11—线圈

交流接触器主要由电磁系统（动、静铁芯与线圈）和触头组成。线圈与静铁芯（下铁

芯)固定不动,当线圈通电时,铁芯线圈产生电磁吸力,将动芯(上铁芯)吸合,由于主触头和动铁芯固定在同一根轴上,因此使常开触头闭合,常闭触头断开,接通所控制的电动机电路,电动机启动运行,同时交流接触器也处于工作状态。当线圈断电时,电磁吸力消失,动铁芯与静铁芯依靠反作用弹簧的作用而分离,触头回复原位,即常开触头断开,常闭触头闭合,此时交流接触器的状态称为释放状态。

控制电路通断的接触器触头包括三副主触头和四副辅助触头。主触头起接通和断开主电路的作用,允许通过大电流,使用时分别串联在主电路内。辅助触头可以完成电路的各种控制要求,如自锁、联锁等,允许通过较小的电流,使用时一般接在控制电路中。触头又可以分为常开触头和常闭触头两类。常开触头是指线圈未通电时,其动、静触头处于分离状态,线圈通电后动、静触头才能闭合,因为又称为动合触头。常闭触头是指线圈未通电时,触头是闭合的,而线圈通电后则分离,所以又称为动断触头。交流接触器的主触头都是常开触头,而辅助触头有常开的,也有常闭的。常开触头和常闭触头都是联动的,即接触器线圈通电动作时,常闭触头先断开,随即常开触头就闭合。

交流接触器工作时,动、静触头在断开时会产生电弧,如不迅速熄灭,可能将主触头烧蚀、熔焊,因此,用在中央空调制冷系统电气控制电路中的大容量交流接触器都设有灭弧罩。

二、控制电器

属于控制电器的主要有中间继电器和时间继电器。中间继电器主要用于控制电气线路中控制各种电磁线圈,作为信号放大或多路控制的信号转换之用。如某些温度控制器的触头只允许通过较小的电流,不能使被控制的电磁阀或其他电器的线圈动作,此时可利用温度控制器先控制中间继电器的线圈,再由中间继电器控制电磁阀或其他电器的线圈动作。因此,将

这种放在中间环节使用的接触器就称为中间继电器。

中间继电器的工作原理和交流接触器相同,只是结构小巧一些,触头的数量多了一些。

时间继电器在电路中起着控制动作时间的功能。它的特点是当感测部分得到输入信号后,要经过一定的延时时间,其控制部分才会动作,从而输出信号才能形成控制回路。在制冷空调系统中,有时在电动机的启动过程中就要按时间原则控制电路的工作程序。如离心式水泵或风机等轻载启动的电动机,当采用Y-△减压启动时,就需要用到时间继电器。

时间继电器的种类很多,主要有电动式、气囊式、晶体管式等类型。一般在制冷空调系统中常选用JS7-A系列气囊式时间继电器,它的延时范围有0.4~60s和0.4~180s两种。

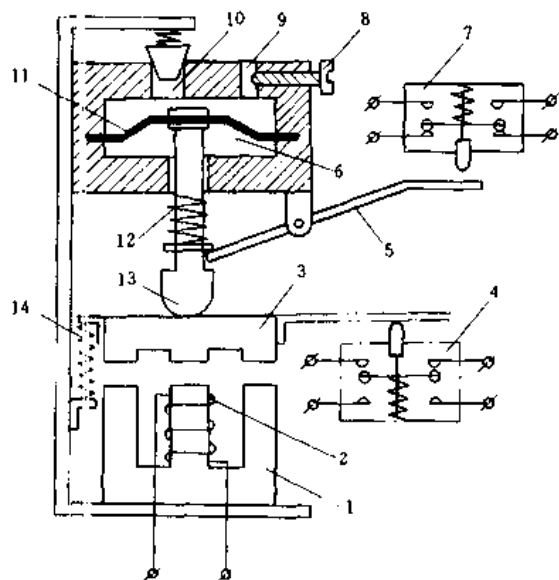


图 5-31 通电延时气囊式时间继电器的结构示意图

- 1—静铁芯; 2—线圈; 3—动铁芯; 4、7—微动开关; 5—杠杆; 6—气室; 8—进气孔调节螺钉; 9—进气孔; 10—排气孔; 11—橡皮膜; 12—释放弹簧; 13—活塞杆; 14—复位弹簧

气囊式时间继电器的工作原理是利用空气的阻尼作用使其触点延时动作，它有延时通电或延时断电的不同方式之分。图 5-31 是一种通电延时的时间继电器的结构示意图。其主要结构主要由电磁系统（铁芯和线圈）、气室和触点三部分组成。它的工作过程是：当线圈通电后，铁芯被吸下，使之与活塞杆之间有了一段距离，在释放弹簧的作用下，活塞杆与橡皮膜一起带动杠杆下降。橡皮膜由于受到下层气室中空气的压力，只能缓缓下降，而上层气室由于受进气孔处的节流作用，空气只能缓慢地流入，因此要经过一段时间，杠杆才能使微动开关动作。从线圈通电开始到触点完成动作为止，这段时间间隔称为延时时间。如果需要调整延时时间，就可以通过调节调节螺钉，改变进气孔的大小，来达到调节延时时间的目的。

气囊式时间继电器延时范围较大，不受电压和频率波动的影响，缺点是延时误差较大。

三、温度控制器

温度控制器是受温度控制的电开关。它常用作温度保护或温度的双位调节。制冷空调系统中最常用的是压力式温度控制器，它的工作原理是将温度信号较变成压力信号，与设定弹力相比较，在幅差范围内给出控制继电器通断的信号。

压力式温度控制器常用的有 WTZK 系列和 WTQK 系列。图 5-32 为 WTZK 系列温度控制器的结构及工作原理示意图。它主要由感温包、毛细管、波纹管室（气箱室）、主弹簧、差动器、杠杆、拨臂、动、静触点等部件组成。其中感温包、毛细管和波纹管室构成感温机构。在密封的感温机构中充有 R_{12} 、 R_{22} 或 R_{40} （氯甲烷）工质，作为感温剂。

它的工作原理是：感温包和波纹管室中的感温剂感受到被测介质的温度变化后，感温剂的饱和压力作用于波纹管室，此时波纹管室产生的顶力矩与主弹簧产生的弹性力矩的差值也发生变化，杠杆便在这力矩差值的推动下转动，当转动一定角度后，杠杆将遇到差动器中幅差弹簧的作用，因此杠杆在转动时，波纹管室所产生的顶力矩，不仅要克服主弹簧的反向力矩，而且还要克服幅差弹簧的反向力矩。当杠杆继续转动达到一定角度时，拨臂才能拨动动触点，使其迅速动作。

主弹簧也称定值弹簧，它的拉力大小的调节就是设定所需温度的下限值，即设定的停机温度值。其调节方法是用螺丝刀调节调节螺杆，其数值可从指针所指标尺的数值上看起来。

差动器中的幅差弹簧是调节回差值的。所谓回差值，就是当被测的制冷装置因工作温度降低到所需的数值后而停机，当温度上升后，不是一超过设定温度值的下限就开机，而是允许温度回升几度再开机，这一允许回升值就称为回差值，它可通过旋转差动旋钮来调节。更确切地说，调节幅差弹簧的压力的大小，就是设定温度控制器从触点断开状态到闭合状态的温度差值。

图 5-33 所示为 WTQK 系列温控器的结构示意图。WTQK 系列与 WTZK 系列温控器不同的是：WTQK 系列温控器波纹管内的压力直接作用于主弹簧。它通过差动调节件及调节套拨动微动开关，以接通或断开控制电路。其工作原理是：当被测工质的温度低于设定温度最低值时，弹簧推动顶杆下移，调节套驱动微动开关动作，控制回路被切断。而当被测工质的温度上升，感温包内压力增加，波纹管被压缩，并通过顶杆压缩弹簧，使差动调节件向上位移，驱动微动开关动作，接通控制回路。

在使用时，通过调节旋钮可以改变调节弹簧的弹力，便可以改变温度控制器断开时的温度值。调节弹簧的弹力愈大，微动开关断开的温度值就愈高。差动调节件可以改变它与调节套之间的间隙，间隙愈大，微动开关触点闭合温度与断开温度差值就愈大，因此差动调节件

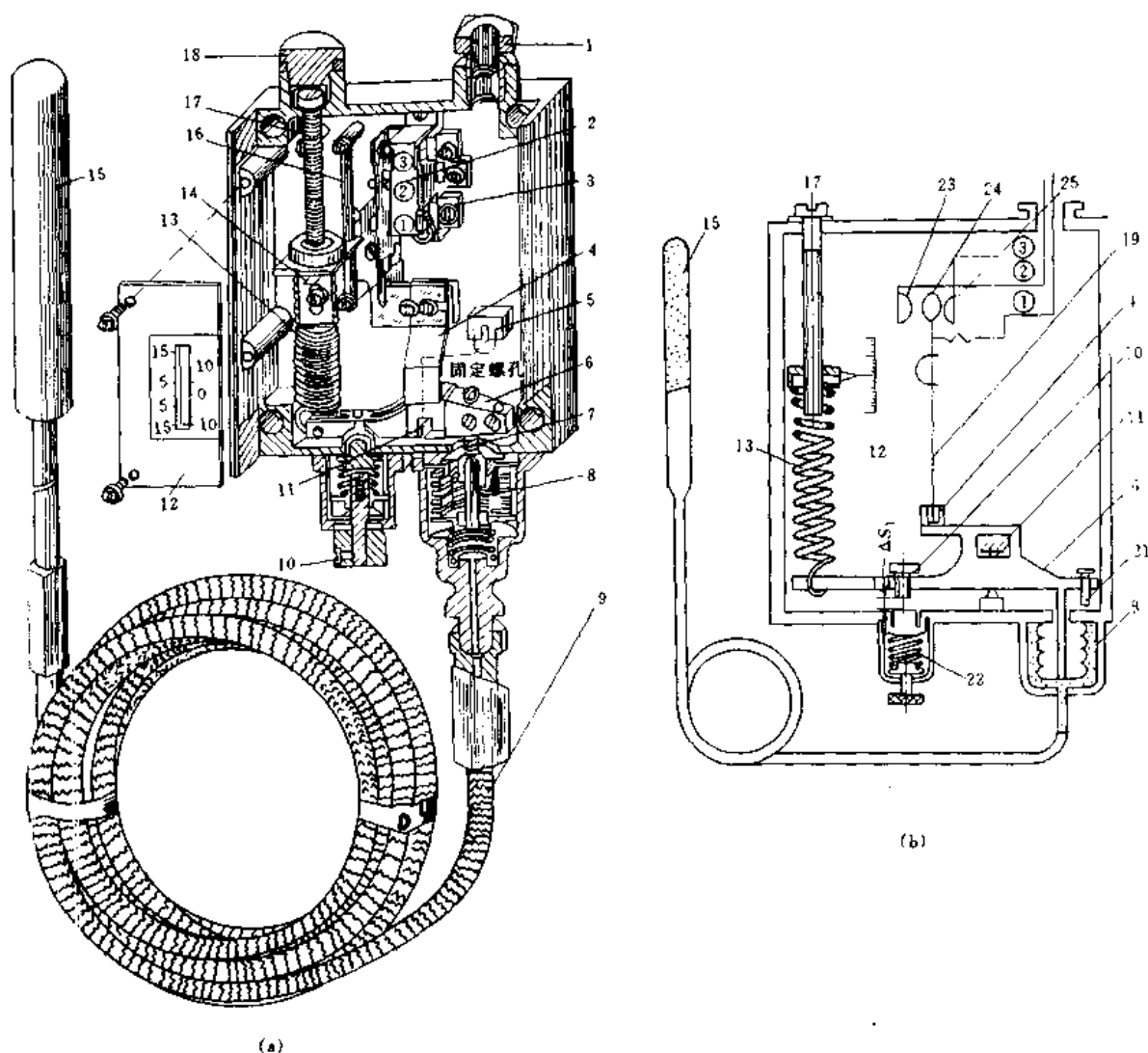


图 5-32 WTZK-50 型温控器 (原型号为 WT-1226 型) 结构与原理图

(a) 结构图; (b) 原理图

- 1—出线套; 2—开关; 3—接线夹; 4—拨臂; 5—刀支架; 6—杠杆;
 7—轴尖座; 8—波纹管室 (气箱室); 9—毛细管; 10—差动旋钮;
 11—刀; 12—标尺; 13—主弹簧; 14—指针; 15—感温包; 16—导杆;
 17—调节螺杆; 18—锁紧螺母; 19—跳簧片; 20—螺钉; 21—止动螺钉;
 22—差动器; 23—静触点 2; 24—动触点; 25—静触点 3

控制了欲控温度的最高值。

四、保护电器

保护电器主要是指在电路系统中对制冷空调装置起保护作用的压力控制器、压差控制器及热继电器。

压力控制器是由压力信号控制的电开关, 因此又叫压力继电器。

压力控制器若按控制压力的高低分类, 可分为高压控制器、中压控制器和低压控制器。高压控制器用作制冷压缩机的高压保护, 目的是防止因冷凝器断水或水量供应严重不足; 或者由于启动时排气管路上的阀门未打开; 或者制冷剂灌注量过多; 或者因系统中不凝性气体

过多等原因造成排气压力急剧上升而产生事故，当排气压力超过警戒值时，压力控制器立即切断压缩机电机的电源，使压缩机保护性停机。

中压控制器主要用于两级压力制冷系统，控制中间压力（低压级压缩机的排气压力）不超过设定值，以保护低压级压缩机安全、正常地工作。

低压控制器可以用来在小型制冷装置中对压缩机进行开机、停机控制；在大型制冷装置中可用于控制卸载机构动作，以实施压缩机的能量调节。同时低压控制器还可以起防止压缩机吸气压力过低的保护作用。

在实际使用中对一台压缩机而言，往往既要高压保护，又要以吸气压力控制压缩机的正常开、停。为了简化结构，常常将高压控制器与低压控制器做成一体，称为高低压力控制器。常用的高低压力控制器有 FP 型、KD 型和 YWK-22 型，另外，只用作高压控制的有 YWK-11 型，专用于低压控制的有 YWK-12 型。图 5-34 所示为 FD 型压力控制器（又称压力继电器）的工作原理图。

FP 型压力继电器结构主要由三部分组成：低压部分、高压部分和触头部分。高、低压气箱接口用毛细管分别与压缩机的吸、排气腔连接，吸、排气压力作用在波纹管外壁的气箱室中，产生一个顶力矩。它们分别与高低压调节弹簧的张力矩和拉力矩在某一转角位置平衡，使触头处于闭合状态。

FP 型压力继电器的工作原理是：

(1) 低压部分。当压缩机的吸气压力下降到稍低于低压控制器的调定值时，低压弹簧的拉力矩大于气箱中吸气压力所产生的顶力矩，弹簧拉着低压推杆逆时针方向绕着支点 A 旋转，带着推杆向上移动，到推动动触头时，使动触头与静触头分离而切断电源。当压缩机吸气压力上升到高于低压控制器的调定值时，气箱中的吸气压力所产生的顶力矩大于低压弹簧的拉力矩，气箱推着杠杆以顺时针方向旋转，推杆往下移动接通电源，触头板在永久磁铁的吸力作用下，使动静两触头迅速闭合以防发生火花而烧毁触头。

若要想调节低压控制器的压力控制值（即切断电源的压力值），可旋转低压调节螺钉以调整低压弹簧的拉力矩，顺时针旋转时能增加拉力；逆时针旋转时则能减小拉力。

低压控制器的差动值（即触头分与合时的压力差），由低压差动调节螺钉来调整，差动

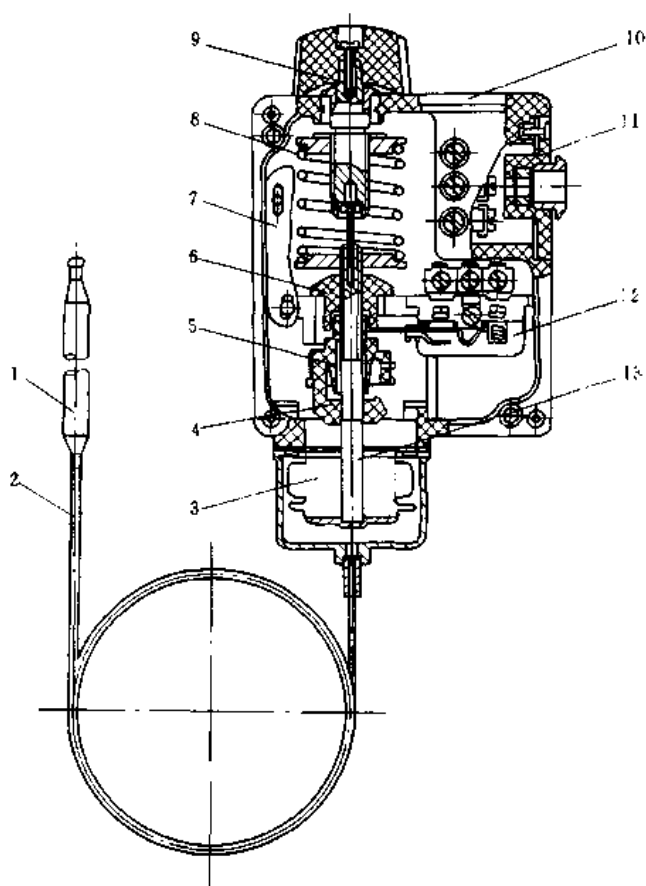


图 5-33 压力式温度控制器结构 (WTQK-11 型)

- 1—温包；2—毛细管；3—波纹管；4—调节座；
5—差动调节件；6—调节套；7—刻度板；8—弹
簧；9—旋钮；10—壳体；11—接线盒；12—微动开关；
13—顶杆

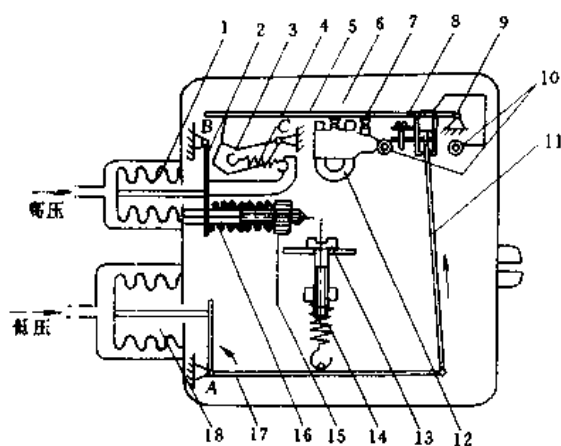


图 5-34 FP 型压力继电器工作原理

- 1—高压气箱；2—杠杆；3—跳板；4—跳簧；
5—动触头板；6—辅触头；7—主触头；8—低
压差动调节螺钉；9—转轴；10—接线柱；
11—推杆；12—永磁铁；13—低压调节螺钉；
14—低压弹簧；15—高压调节螺母；16—高压
弹簧；17—直角杆；18—低压气箱

转螺母，则减小弹簧的张力。可调节的压力范围为 $0.6 \sim 1.4\text{MPa}$ 或 $1.0 \sim 1.7\text{MPa}$ 。触头通断的差动值为 $0.2 \sim 0.4\text{MPa}$ 。要注意的是 FP 型高低压力控制器的差动值是不能调节的。

图 5-35 所示为 KD 型压力控制器结构原理图。KD 型压力控制器的结构主要分为低压、高压和接线等三部分。它的高、低压气相接口用毛细管分别与压缩机的吸、排气腔联接，气箱接受压力信号后产生位移，通过顶杆直接与弹簧的张力作用，并用传动杆直接推动微动开关，与 FP 型不同的是省去了杠杆机构，高、低压部分用两只微动开关分别控制电路，因而较 FP 型结构紧凑，调节方便。

KD 型压力继电器的工作原理为：

(1) 低压部分。当气箱内的吸气压力低于低压控制器的设定值时，弹簧的张力大于气箱的顶力，将传动杆向气箱方向推，传动杆脱开低压微动开关的按钮，按钮在内部的弹力作用下弹出，使微动开关的触头分离而切断电源。而当压缩机的吸气压力回升至高于它的设定值时，气箱中

值的调整是通过调节推杆端部的夹持器的直槽空行程的长短来实现的。空行程长，则差动值大；反之，差动值则小，压差调节螺钉每旋转一圈，压力差变化 0.04MPa 。

(2) 高压部分。当压缩机的排气压力上升至略高于高压控制器的调定值，高压气箱内的排气压力所产生的顶力矩大于高压调节弹簧的张力矩，顶力矩便推动高压杠杆以及时针方向绕着支点 B 旋转，杠杆推动跳簧向上拉，使跳板以刀口 C 为支点，按顺时针方向向上突跳式的旋转，撞击动触头板使触头分离而切断电源。当排气压力下降后，使动触头板复位，动、静触头便又闭合而接通电源。

高压控制器的压力控制值（即切断电源的压力值）的调整，可旋转高压调节螺母来调节高压弹簧的张力矩。当顺时针方向旋转螺母时，则增大弹簧的张力；反之，逆时针方向旋

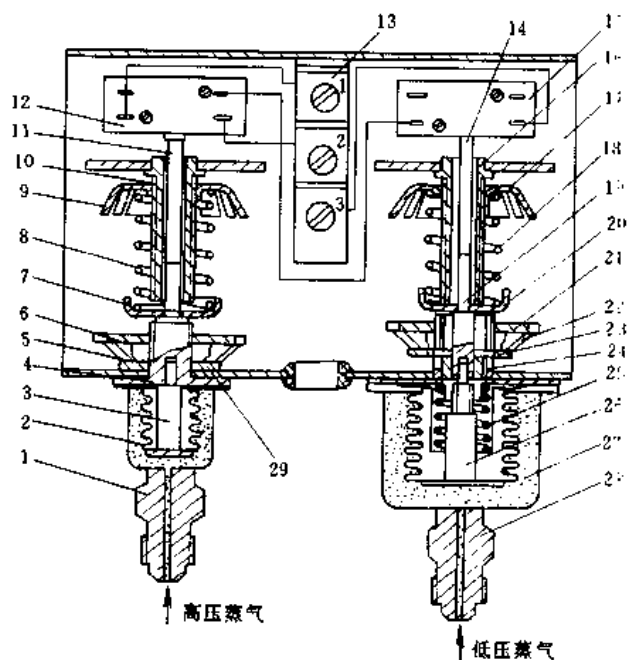


图 5-35 KD 型压力继电器结构原理图

- 1、28—高、低压接头；2、27—高、低压气箱；3、26—顶力棒；
4、24—压差调节座；5、22—碟形簧片；6、21—压差（差动）调
节盘；7、20—弹簧座；8、18—弹簧；9、17—压力调节盘；
10、16—螺纹柱；11、14—传动杆；12、15—微动开关；
13—接线柱；19—传力杆；23、29—簧片垫板；25—复位弹簧

的吸气压力所产生的顶力矩大于低压弹簧的张力，将传动杆反方向推动并将微动开关的按钮按下，使微动开关的触头闭合，电源又接通。

(2) 高压部分。当气箱内的排气压力高于高压控制器的设定值时，弹簧的张力小于气箱的顶力，气箱推动传动杆将微动开关的按钮下压，使开关内的触头分离，切断电源。而当压缩机的排气压力下降到设定值以下时，弹簧力大于气箱顶力，传动杆反向移动而脱离微动开关的按钮，开关触头闭合，电源又接通。

KD型的高、低压力控制器的压力调节可通过旋转各自的压力调节盘进行调整，顺时针转动为压紧弹簧，逆时针转动为放松弹簧。

KD型的压差调节盘是调节高、低压力控制器的各自差动值的。当顺时针旋转调节盘时，弹簧受到压缩差动值增加，反之，则减少。

KD型压力控制器有四种规格，即 KD155、KD255、KD155S 和 KD255S。型号后面有字母 S 的为有手动复位装置。

手动复位装置的作用是当制冷系统高压超出设定值，使触头分离后，压缩机停机，制冷系统内很快会因高低压力平衡而使高压压力值迅速下降至设定范围内，使压力控制器复位。此时若无控制触头复位装置，就会使压缩机在没有排除故障的条件下重新启动，然后又因故障而停机，如此反复频繁地停、开机很容易使电动机绕组烧毁。设有手动复位装置后，当压力控制器的高压部分微动开关的触头分离后有一自锁装置，使触头不能随系统内的压力平衡而复位，而是需要用手拨动或按下手动复位装置，触头才会闭合。因此，手动复位装置具有保护压缩机电机的作用。

由于 KD 型压力控制器没有控制值分度指示，不便于使用中随时调试，因此，近年来已被带有控制分度指示的 YK306 型等 YK 系列的压力控制器所取代。YK 系列压力控制器的结构与工作原理与 KD 型相似，在此就不作介绍了。

压力控制器出厂时，其高、低压力设定值已经调好，不需要在使用时进行再调整。如果在制冷装置运行中压缩机出现频繁开、停机现象，应检查制冷系统有无故障，并可在系统上安装高、低压压力表以检查高、低压压力有无超出正常范围。若没有超出，就可观察压力控制器的哪一部分动作，确定故障部位后再进行调节，修正设定值，以满足系统正常运行的参数要求。

压差控制器又称为压差继电器或油压继电器。

在制冷系统运行过程中，为了保证压缩机各运动摩擦部件能得到良好的润滑，必须使润滑系统有一定的油压。如果油压过低，在压缩机运转或启动过程中就会因运动部件得不到良好的润滑而造成压缩机的严重损坏。而在压缩机运转过程中，油压表所反映的压力并不是真正的润滑油的压力，真正的润滑油压力应该是油压表指示的压力与压缩机吸气压力的差值。因此，确切地说，压差控制器是一个维持油泵排出压力与压缩机吸气压力在一定范围内的压力控制器。当压缩机在运行过程中出现油泵排出压力与压缩机吸气压力的差值小于设定值时，控制器的微动开关就会动作，自动切断压缩机电机的电路，使压缩机停机。

压差控制器的主要型号有 JC3.5 型和 MP55 型。这两种压差控制器的结构、工作原理基本相同。下面就以 JC3.5 型压差控制器为例，看一下它的工作原理。

图 5-36 为 JC3.5 型压差控制器的动作原理图。其工作原理是：工作时高压波纹管接压缩机润滑油泵的出口；低压波纹管接压缩机曲轴箱。两个波纹管所产生的压力差通过角形杠

杆由主弹簧平衡。当压力差大于主弹簧的给定压力值时，压差开关的动触点 K 与静触点 DZ 闭合，使以下两个电路导通：一路自电源 L2 端引出的控制电路经 G、D、接触线圈、接点 E、接线柱 X 及延时开关的静触点 X1、动触点 K1、接线柱 SX 及接点下而回到电源 L1 端。此时，接触线圈通电，触点闭合，电动机启动，压缩机也启动运行。与此同时，另一路 L2、G、K、DZ、F、L1 接通，正常工作信号灯亮。

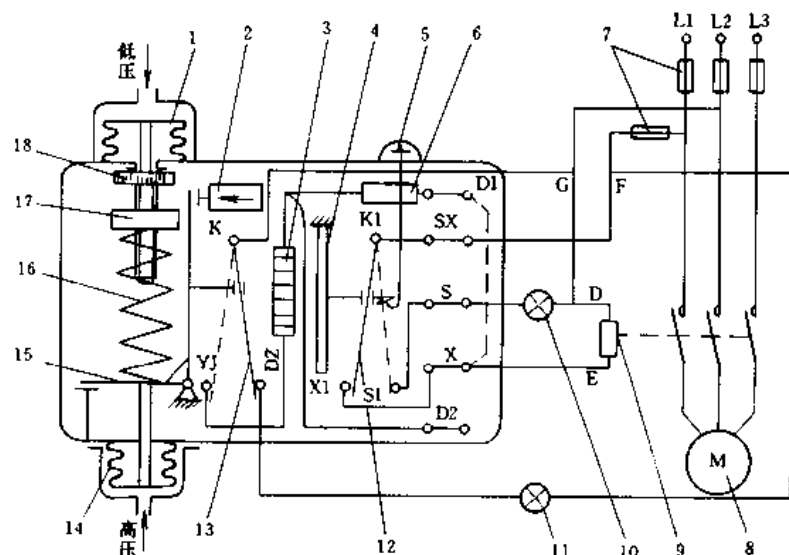


图 5-36 JC3.5 型压差继电器工作原理图

- 1—低压波纹管；2—试验按钮；3—电热器；4—双金属片；
5—复位按钮；6—降压电阻；7—熔断器；8—电动机；9—接
触器线圈；10—事故信号灯；11—正常信号灯；12—延时开关；
13—压差开关；14—高压波纹管；15—角形杠杆；16—主弹簧；
17—弹簧座；18—压差调节螺钉

当压差下降至小于给定值时，在主弹簧的作用下，角形杠杆逆时针偏转（处于虚线位置），使压差开关的动触点 K 与静触点 DZ 脱离而与 YJ 闭合，随即信号灯熄灭；与此同时，电流自 L2 端引出的电路经 G、K、YJ 至延时开关的电加热器，再经降压电阻、接点 D1、X、S1、K1、SX、F 回到电源 L1 端。此时，电加热器对双金属片加热，而自 L2 引出的另一路电流经 G、D、接触器线圈、接点 E、X、X1、K1、SX、F 回到电源 L1 端，此时压缩机仍在运转。当双金属片加热 60s 后，即向右侧弯曲，推动延时开关，使动触点 K1 与 X1 脱离，电路 L2、G、D、S1、K1、SX、F、L1 导通，事故信号灯亮，压缩机停机，同时电加热器停止加热。

由于延时开关设有自锁装置，因此，压差控制器不能自动复位再次启动压缩机。只有待故障排除后，按动复位按钮，使延时开关的动触点 K1 重新与 X1 闭合，接触器线圈通电，才能再次启动压缩机。

压差控制器中的延时机构的作用，是保证压缩机能在无油压的情况下正常启动，即给予压缩机从启动到建立正常油压 60s 的时间。若压缩机因故障在 60s 内仍不能建立正常油压，则压缩机随即停机，进行强制保护，待查明故障原因，排除故障后再次重新启动压缩机。

需要说明的是：在压缩机启动时，在延时时间（60s）以内，虽然电流已对电加热器通电，双金属片已被加热，但因弯曲不足，延时开关尚未动作，因此，压缩机仍在运行，事故信号灯也不亮，但此时因压差开关已脱离触点 DZ 而又未与触点 YJ 相接触，所以此时正常信号灯也不会亮。

JC3.5 型压差控制器正面装有试验按钮，用以检验延时机构的可靠性。检验时向左推动试验按钮，经 60s 后，电路被切断，压缩机自动停机，说明延时机构工作正常。

安装和使用 JC3.5 型压差控制器时，应注意以下几点：

(1) 高、低波纹管应分别与油泵排出口及曲轴箱相接通，切勿接反。

(2) 在与制冷系统电气线路连接时，必须根据工作电压，按线路图连接。压差控制器出厂时均按 380V 电压电源接线，若在实际接线中使 220V 电压电源，必须将 D1-X 间的接线拆去，而把 X-D2 接通，使降压电阻不起作用。

(3) 控制器接上电源后，必须按一下复位按钮才能正常工作，否则，不能启动压缩机，会误认为有事故，实属正常。

(4) 在延时机构工作一次后，要等待 5min 以后，待电加热器全部冷却后才能恢复正常工作。

热继电器的用途是对压缩机的电动机进行过载保护。当电动机长期过载或缺相运行时，其电流都可能超过额定电流，但又比其出现短路故障时电流小得多，所以电路中的熔断器不会起保护作用，若此时不迅速采取保护措施，时间一长会引起电动机绕组温升过高，影响其使用寿命，甚至引起电动机绕组的烧毁，因此在电路中使用热继电器作为长期过载保护之用。常用的热继电器主要有 JRO、JR5、JR15、JR16 等系列。

热继电器主要由双金属片、发热元件和动作机构及触点系统组成。图 5-37 所示为热继电器的外形与结构示意图。

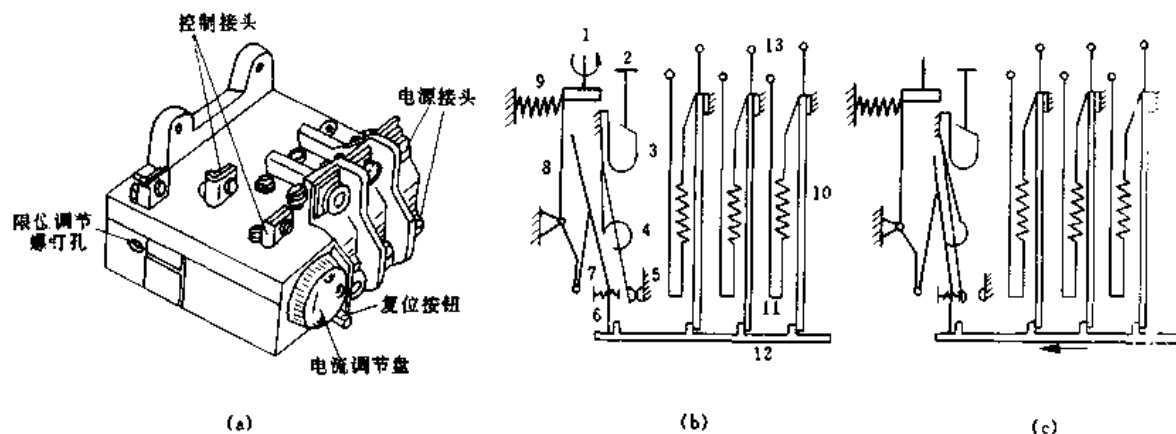


图 5-37 JRO 热继电器外形与结构示意图

(a) 外形；(b) 静止状态；(c) 动作状态

1—电流调节凸轮；2—复位按钮；3—复位簧片；4—触头簧片；

5—触头；6—限位调节螺钉；7—推杆；8—调节杆；9—弹簧；

10—双金属片；11—热阻丝；12—导板；13—电源接头

热继电器的发热元件是由阻值不大的电阻片或电阻丝绕制而成的，工作时串联在电动机三相定子绕组电路中，所以流过发热元件的电流就是流过电动机的电流。电流愈大，产生的

热量就愈多，此热量传给感温元件——双金属片。双金属片是用两层热膨胀系数相差较大的金属片扎焊在一起制成的。工作过程中当电动机是在额定负载下正常运行时，发热元件的发热量不足以使双金属片动作。而当电动机发生过载时，流过发热元件的电流较大，产生的热量也大，使双金属片受热产生足够的弯曲位移，通过动作机构，迫使串联在电动机控制电路中的常闭触点断开，使接触器线圈断电，接触器的主触点断开，切断电动机供电电路，从而起到过载保护的作用。

热继电器动作以后，有两种复位方式。一种是自动复位，即在热继电器动作后，经过一段时间（称复位时间）后，热继电器的常闭触点会自动闭合。另一种是手动复位，即在热继电器动作后，经过约 5min 左右的复位时间后，用手按一下复位按钮使其复位。

由于电动机等被保护对象的额定电流品种繁多，为了减少热继电器的规格，在热继电器上设有电流调节盘，调节范围是 66% ~ 100%，例如额定电流为 16A 的热继电器，最小的过载动作电流值可调定为 10A。

五、自动空气断路器

自动空气断路器又称自动开关，它在电路中既可以作为一个电源开关，同时又具有电路自动保护功能。当电路发生严重的过载、短路以及失压故障时，能自动切断故障电路。

自动空气断路器由主触点、灭弧室、操作机构、脱扣器、绝缘底座、外壳等组成。图 5-38 所示为自动空气断路器的工作原理图。

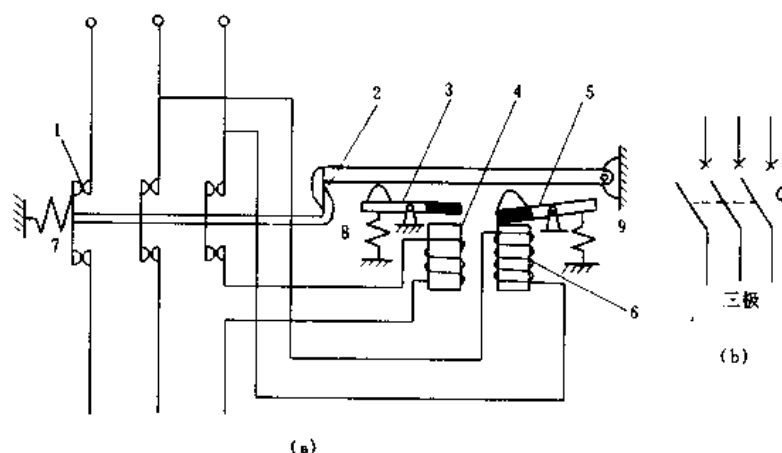


图 5-38 自动空气断路器工作原理图和符号

(a) 工作原理图；(b) 图形符号和文字符号

1—三对主触点；2—脱扣器锁扣；3—过电流脱扣器；4—过电流线圈；5—欠电压脱扣器；6—欠电压线圈；7、8、9—弹簧

自动空气断路器的工作原理是：当电路因某种原因发生短路故障时，短路电流使过流线圈产生很大的电磁吸引力，吸引过电流脱扣器上的衔铁下移，从而顶开锁扣，使主触点全部断开，从而切断了电源与负载间的联系。调整弹簧的松紧可以改变脱扣器动作电流的大小。调整或选用过电流脱扣器的整定电流的原则是应略高于电路所供负载的电动机启动电流的峰值。当动作时间在 0.02s 以下时应取 1.7 倍的启动电流；当动作时间大于 0.02s 时应取 1.35 ~ 1.40 倍的启动电流。

欠压脱扣器起欠压保护作用。当电源电压低于一定值时，欠电压线圈产生的电磁引力减

小，欠电压脱扣器的衔铁在弹簧的作用下使锁扣脱开，主触点也随之断开，切断电源，达到欠压保护的目。

另外，在自动空气断路器中还装有热脱扣器，起过载保护作用，其工作原理与前面所讲的热继电器相同。

自动空气断路器在使用时，只要按下“合”的按钮或扳键，其主触点就闭合，并自动锁住。如发生短路、过载或欠压故障时，会自动切断电路。当需要手动断开电路时，可将“分”的按钮或扳键按下或扳开即可。

思考与练习

1. 电磁阀的作用是什么？直接启闭式与间接启闭式的工作原理各是什么？
2. 简述温度式液位调节阀的工作原理。
3. 简述电感式液位控制器的工作原理。
4. 简述间接作用式水量调节阀的工作原理。
5. 曲轴箱压力调节阀的作用是什么？它是如何进行曲轴箱压力调节的？
6. 热球风速仪使用时应注意哪些内容？
7. 简述交流接触器的工作原理。
8. 时间继电器主要有哪几种？气囊式时间继电器是如何工作的？
9. 简述 WTZK-50 型温度控制器的工作原理。
10. 简述 FP 型压力继电器的工作原理。
11. KD 型压力控制继电器的工作原理是什么？
12. 压力继电器的手动复位装置的作用是什么？
13. 压差继电器在制冷装置控制系统中的作用是什么？
14. 安装和使用压差继电器时应注意哪些问题？
15. 简述热继电器的工作原理。
16. 简述自动空气断路器的工作原理。

第六章 空调系统的测定与调整

第一节 空调系统风量的测定与调整

空调系统风量的测定与调整的目的是使系统的风量包括送风量、回风量、新风量、排风量及各分支管的风量符合设计和使用要求。此项工作是空调系统的测定与调整中的首要工作。其他项目的测定与调整均应以风量得到满足要求为前提。

空调系统风量的测定与调整应满足下列要求：

- (1) 测量通风机的风量、风压和转数。若无条件做，可测定空调箱出口的送风量和风压。
- (2) 使系统风量与分支管风量或送回风口风量平衡。
- (3) 比较实测风量与设计风量（偏差应小于10%）。

对于新建系统，应先将系统中的风门包括各分支管和各个风口的调节风门等呈全开位置，三通调节阀处于中间位置。经测定和做必要的调整后再确定其最后的开启位置。

对于旧系统，测定与调整的主要任务是检查风量是否满足使用要求，然后再根据结果进行调整。

一、空调系统风量的测定

1. 空调系统管内风量的测定

空调系统管内的风量可在送风管道、回风管道、排风和新风管道及各分支管道上采用皮托静压管和微压计配合进行测量。

操作步骤如下：

(1) 选择测定断面。测定断面原则上应选择在气流均匀而稳定的直管段上，即尽量选在远离产生涡流的局部构件（如三通、风门、弯头、风口等）的地方。按气流方向，一般应选在离前一个产生涡流的部件4倍以上风管直径（或矩形管道的大边尺寸）、距后一个产生涡流的部件1.5倍以上风管直径（或矩形管道的大边尺寸）的地方为最好。若现场达不到上述要求，可适当降低，但也应使测定断面到前一个产生涡流部件的距离大于测定断面到后一个产生涡流部件的距离，同时应适当增加测定断面上测定点的数目。

(2) 确定测点。由于管道断面往往因为内壁对空气流动产生摩擦而引起风速分布不均

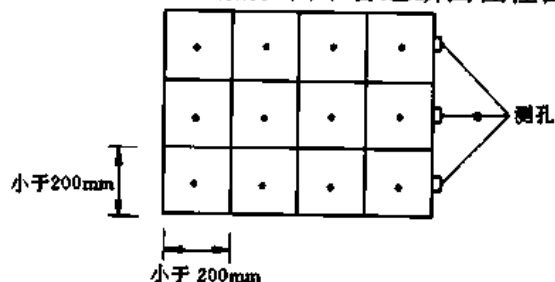


图 6-1 矩形风管的测点布置

匀，所以需要按一定的断面划分方法，在同一个断面布置多个测点，分别测得各点动压，求出风速，然后，各点风速相加除以测点数，得出平均风速。

从测量角度看来，测点愈多，所得结果就愈准确，但也不能太多，往往根据风管断面的形状和大小，划分成若干个小截面，在每一个小截面的中心布置测点。

矩形风管测点位置如图 6-1 所示，一般要求各小截面面积不大于 0.05m^2 （即边长小于 200 mm 左右）。

圆形风管应根据风管直径的大小，将其划分为若干个面积相等的同心圆环。圆环数由直径大小决定，每一个圆环测 4 个点，并且 4 个测量点应在互相垂直的两个直径上，测点位置如图 6-2 所示。

各测点距圆心的距离按下式计算：

$$R_n = R \sqrt{(2n-1)/2m} \quad \text{mm}$$

式中 R ——风管断面半径，mm；

R_n ——从风管中心到第 n 测点的距离，mm；

n ——从风管中心算起的测点顺序号；

m ——划分的圆环数。

圆形风管划分的圆环数见表 6-1。

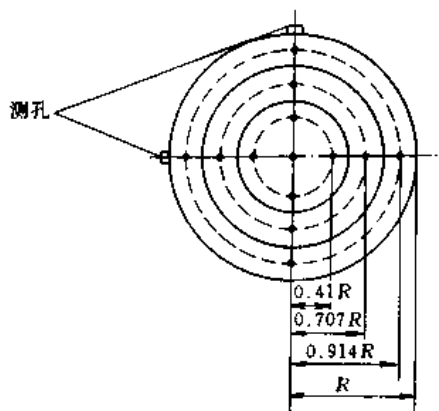


图 6-2 圆形风管的测点布置

表 6-1 圆形风管划分的圆环数表

圆形风管直径 (mm)	200 以下	200 ~ 400	400 ~ 700	700 以上
圆环个数 (个)	3	4	5	5 ~ 6

(3) 计算平均风速 v_p 。各个测点所测参数的算术平均值，可看作是测定断面的平均风速值，即

$$v_p = (v_1 + v_2 + \cdots + v_n)/n \quad \text{m/s}$$

式中 v_p ——断面的平均风速值，m/s；

$v_1, v_2, \cdots, v_n$ ——各测点的风速，m/s；

n ——测点数。

在风量测定中，如果是用皮托管测出的空气动力压值，实际上就是流动空气所具有的动能，即

$$p = (1/2g)v^2\rho$$

$$v = \sqrt{2gp/\rho} \quad \text{m/s}$$

式中 g ——重力加速度，一般取 $g = 9.8\text{m/s}^2$ ；

p ——风管内气流的动压， kg/m^2 ；

ρ ——风管内空气的密度，常温下 $\rho = 1.2\text{kg/m}^3$ 。

将 g 和 ρ 代入上式，则上式可简化为

$$v = 4.04 \sqrt{p}$$

利用上式求出每个测点的风速后，再求平均风速值 v_p 。

(4) 计算风量 L 。如果已知平均风速 v_p ，便可计算出通过测量断面的风量。

风管内风量的计算式为：

$$L = 3600\rho F v_p \quad \text{mg/h}$$

式中 ρ ——风管内空气的密度，常温下 $\rho = 1.2\text{kg/m}^3$ ；

F ——风管测定断面的面积, m^2 ;

v_p ——风管测定断面上的平均风速, m/s ;

在实际测量中, 测量截面可能处于气流不稳定区域。因此, 在测量仪器使用正确的情况下, 测量的动压可能出现负值, 这表明某些测点产生了涡流。在一般工程测量中, 遇到这种情况, 可在计算平均动压时, 近似假设负值为零, 但测点数不能取消。

2. 送风口、回风口风量测定

对于空调房间的风量或各个风口的风量, 如果无法在各分支管上测定, 可以在送、回风口处直接测定风量, 一般可采用热球式风速仪或叶轮风速仪。

当在送风口处测定风量时, 由于该处气流比较复杂, 通常采用加罩法测定, 即在风口外直接加一罩子, 罩子与风口的接缝处不得漏风。这样使得气流稳定, 便于准确测量。

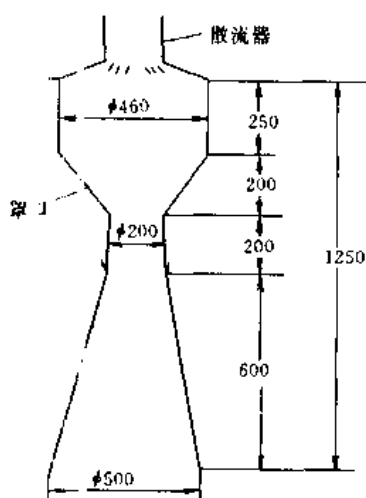


图 6-3 加罩法测定送风口风量

在风口外加罩子会使气流阻力增加, 造成所测风量小于实际风量。但对于风管系统阻力较大的场合 (如风口加装高效过滤器的系统) 影响较小。如果风管系统阻力不大, 则应采用如图 6-3 所示的罩子。因为这种罩子对风量影响很小, 使用简便又能保证足够的准确性, 故在风口风量的测定中常用此法。

回风口处由于气流均匀, 所以可以直接在贴近回风口格栅或网格处用测量仪器测定风量。

二、空调系统风量的调整 (调整的程序、原理、方法)

调整空调系统的风量, 目的是使经处理后的空气能按设计要求沿着干管、支干管及支管和送风口输送到各空调房间, 为空调房间所需要的温度和湿度环境提供保证。

对于一个正常工作的空调系统来说, 各空调房间送风口的实际送风量的总和应等于总的送风量, 回风口吸入的总回风量应等于各空调房间回风口实测的风量之和。

在空调系统运行过程中, 允许各空调房间全部送风口测得的风量之和与送风机出口处测得的总送风量之和有 $\pm 10\%$ 的误差。

1. 空调系统风量测定和调整的程序

一般按下列步骤进行:

- (1) 初测各干管、支干管、支管及送风口和回风口的风量;
- (2) 按设计要求调整送风、回风干管、支干管及各送风口和回风口的风量;
- (3) 在进行送风、回风系统的风量调整时, 应同时测定与调整新风量, 检查系统新风比是否满足要求;
- (4) 按设计要求调整送风机的总风量;
- (5) 在系统风量达到平衡后, 进一步调整送风机的总风量, 使其满足空调系统的设计要求;
- (6) 调整后, 在空调系统各部分调节阀不变动的情况下, 重新测定各处的风量, 以作为最后的实测风量;
- (7) 空调系统风量测定和调整完毕后, 用红漆在所有阀门把柄上作好标记, 并将阀门位

置固定, 不要随意变动。

2. 空调系统风量调整的原理

调整空调系统风量是通过改变阀门开启度来实现的。改变调节阀开启度实质上是改变阀门在管网中的阻力特性, 进而改变管网中管段的阻力, 阻力改变后, 风量也随之相应地发生变化。

由流体力学可知, 任一管段的阻力 ΔH 与风量 L 之间存在如下关系:

$$\Delta H = KL^2$$

式中 ΔH ——风管系统的阻力;

L ——风管内的风量;

K ——风管系统的阻力特性系数。

K 是同空气性质、风管长度、尺寸、局部管件阻力系数与摩擦阻力系数有关的比例常数。在给定的管网中, 如果只改变风量、其他 (包括阀门) 都不变, 则 K 值基本不变。

对于图 6-4 所示的风管系统, 管段 1 的风量为 L_1 , 阻力特性系数为 K_1 , 风管阻力为 H_1 ; 管段 2 的风量为 L_2 , 阻力特性系数为 K_2 , 风管阻力为 H_2 。则:

$$\Delta H_1 = K_1 L_1^2 \quad \Delta H_2 = K_2 L_2^2$$

由于管段 1 和管段 2 为并联管段, 所以 $\Delta H_1 = \Delta H_2$, 即有

$$K_1 L_1^2 = K_2 L_2^2$$

$$K_1/K_2 = L_2^2/L_1^2$$

若图中 A 点处的三通调节阀的位置不变, 即 K_1 、 K_2 不变, 仅改变送风机出口处的总调节阀, 使总风量改变, 则管段 1 和管段 2 的风量相应地变化为 L_1' 和 L_2' , 应符合:

$$K_1/K_2 = L_2'^2/L_1'^2$$

由以上公式可知:

$$L_2^2/L_1^2 = L_2'^2/L_1'^2$$

$$L_2/L_1 = L_2'/L_1'$$

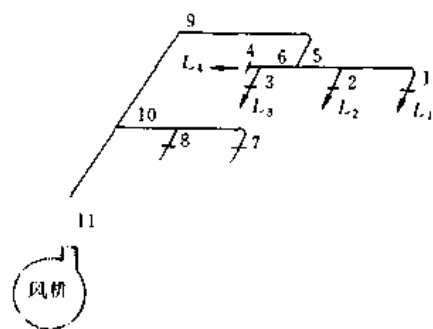


图 6-5 多支分管

上式表明, 只要三通调节阀的位置不变, 即系统阻力特性系数 K 不变, 无论总风量如何变化, 管段 1 和管段 2 的风量总是按固定比例进行分配的。也就是说, 若已知各风口的风量的比值, 就可以不管此时总风量是否满足设计要求, 只要调整好各风口的实际风量, 使它们的比值与设计风量的比值相等, 然后调整总风量达到要求值, 则各风口的送风量必然会按设计比值分配, 并等于各风口的风量。

3. 空调系统风量的调整方法

空调系统风量的调整应从最远房间的送风支管开始,逐步调向风机出口。如图 6-5 所示的系统中,风量的调整步骤是:

- (1) 首先调整 L_1 与 L_2 , L_3 与 L_4 , L_7 与 L_8 , 使它们分别等于对应的设计风量之比;
- (2) 调整 L_5 与 L_6 , 使之等于对应的设计风量之比;
- (3) 调整 L_9 与 L_{10} , 使之等于对应的设计风量之比;
- (4) 调整 L_{11} , 使其等于设计的总风量。

第二节 空气热湿处理过程的测定

空气热湿处理过程测定的目的是检查空气热湿处理设备的实际能力。空气的热湿处理是由加热、冷却和加湿等单项处理过程组成的。

一、空气冷却装置的测定

1. 测定条件的分析

空气冷却装置的测定主要是它的冷却能力的测定,一般要求应在设计工况条件下进行。但实际上往往难以做到,因而测量可在下列两种条件下进行:

(1) 测定时,室外实测空气状态接近设计的室外空气状态,并且室内空气的热湿负荷参数也基本达到了设计值。在这种情况下,可将一次混合比调整到设计工况下一次混合点的状态:将风量、水量、进口水温调整到与设计工况相同的条件。若空气终了状态的焓值接近设计工况的焓值,则说明冷却装置的冷却能力达到了设计要求。

(2) 室外实测空气状态与设计的室外空气状态相差较大时,冷却装置的测定仍可用上述方法进行。调节一次混合状态,使测定工况下一次混合点空气的焓值与设计工况下一次混合点空气状态的焓值相等;将风量、水量、进口水温调整到与设计工况相同的条件。若空气处理的焓差接近设计工况,则说明冷却装置的冷却能力达到了设计要求。

2. 空气冷却装置冷却能力的测定与计算

空调系统工况稳定以后,测定经过空气冷却装置前后的空气状态就可算出空气冷却装置的冷却能力 Q , 即:

$$Q = L(h_1 - h_2) \quad \text{kW}$$

式中 L ——通过冷却装置的风量, kg/s ;

h_1, h_2 ——冷却装置前后的空气的焓值, kJ/kg 。

冷却装置的冷却能力除用上述方法测定外,还可利用冷媒得到的热量来测定。以水作冷媒为例,则:

$$Q' = Wc(t_{w1} - t_{w2}) \quad \text{kW}$$

式中 W ——通过冷却装置的水量, kg/s ;

c ——水的定压比热,常压下 $c = 4.19 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$;

t_{w1}, t_{w2} ——冷却装置进、出口水的温度, $^\circ\text{C}$ 。

从上式可知,只要测量出水流量 W 和水温 t_{w1}, t_{w2} 即可知道冷却装置的冷却能力。

水流量可采用流量计进行测量,也可利用回水池采用容积法测定,公式为:

$$W = (A\Delta h\rho)/\tau \quad \text{kg/s}$$

式中 A ——水池横断面积, m^2 ;

Δh ——测定时间内水池中水位变化的高度, m ;

ρ ——水的密度, kg/m^3 ;

τ ——测定时间, s 。

进出口的水温一般在冷却装置的进、出口水管上测量。

二、空气加热装置的测定

空气加热装置的测定主要是对它的加热能力的测定。测定工作一般应在设计工况下进行。当实测条件无法与设计工况一致时,可在实测条件下测定加热能力,再通过下列关系推算出设计工况条件下的加热能力。

设计工况下的加热能力为:

$$Q = KA[(t_c + t_z)/2 - (t_1 + t_2)/2] \quad \text{kW}$$

实测条件下的加热能力为:

$$Q' = KA[(t'_c + t'_z)/2 - (t'_1 + t'_2)/2] \quad \text{kW}$$

测定时,使风量与热媒流量和设计工况相等。将两式进行比较,可得:

$$Q' = Q[(t'_c + t'_z) - (t'_1 + t'_2)] / [(t_c + t_z) - (t_1 + t_2)] \quad \text{kW}$$

以上式中 K ——加热器的传热系数, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$;

A ——加热器的传热面积, m^2 ;

t_c 、 t_z ——设计工况的热媒初、终温度(以蒸汽为热媒时, $t_c = t_z$), $^\circ\text{C}$;

t_1 、 t_2 ——设计工况的空气初、终温度, $^\circ\text{C}$;

t'_c 、 t'_z ——实测条件下的热媒初、终温度(以蒸汽为热媒时, $t'_c = t'_z$), $^\circ\text{C}$;

t'_1 、 t'_2 ——实测条件下的空气初、终温度, $^\circ\text{C}$ 。

加热能力的测定内容,包括通过加热装置的风量、空气和热媒进出温度(当热媒为蒸汽时应测定蒸汽的压力)。

当热媒为热水时,可以在进、出水管道上的测温套内插入量程相同的温度计测量,也可以用热电偶紧贴管道外表面,测水管表面温度,然后计算热媒温度。

当热媒为蒸汽时,可在加热器进口处设一高精度的压力表,测定进入加热器的蒸汽压力,相应的饱和蒸汽温度即为热媒的平均温度。蒸汽量可以通过加热器后的疏水器的凝结水量来测定,为了防止由疏水器排出的凝结水汽化,应在疏水器的后面设置一个冷却装置。

三、喷雾室性能的测定

喷雾室性能的测定主要包括喷水量、冷却能力、喷雾室的过水量。在测定过程中,各设备按最大容量启动。

1. 喷水量的测定

首先计算出喷雾室贮水池的容积,再准备秒表一支。然后在设计的喷嘴压力下喷水,同时启动秒表记录时间。根据喷水时间及水池积水容积,即可算出喷水量 W ,单位为 m^3/h 。

2. 冷却能力的测定

用校正过的普通干湿球温度计两支,分别放于前后挡水板处,以确定喷雾室前、后的空气状态(后挡水板处要防止水滴溅落到温度计的感温包上)。按设计的风量及喷水压力启动

喷雾室工作（此时冷冻系统也应按设计要求供给冷冻水），测出空气经喷雾室前后的状态参数。

根据测定结果，在相应于当地大气压的焓—湿图上，查出空气经喷雾室的焓差。每小时空气所失去的总热量 Q_1 可按下式进行计算：

$$Q_1 = L(h_1 - h_2)$$

式中 L ——空气流量，kg/h；

h_1 、 h_2 ——空气初、终状态的焓，kJ/kg。

除上述测定外，还应测出喷水初温 t_{w1} 及终温 t_{w2} ，以求出水与空气热湿交换后，水所获得的热量 Q_2 。

$$Q_2 = W(t_{w1} - t_{w2})$$

在测量中，如果 Q_1 和 Q_2 相差不大于 10%，就可认为测量数据可靠。

3. 挡水板过水量的测定

挡水板过水量是指后挡水板挡水效果不好，不能将空气中所含的小水滴分离出来，因而产生喷雾室过水量。测量时，需测出离开挡水板后的空气状态及送风机后的空气状态，并在焓—湿图上查出前后空气状态的含湿量 d ，计算出含湿量差值 Δd ， Δd 即为喷雾室过水量。

第三节 空调房间内空气参数的测定

空调房间内空气参数测定的内容主要有室内空气的温度、相对湿度、气流组织、洁净度和噪声等。测定应在系统风量和空气处理设备都调整完毕且送风状态参数符合设计要求和室内热湿负荷及室外气象条件接近设计工况的条件下进行。

一、室内温度和相对湿度的测定

室内温度和相对湿度的测定，可以用水银玻璃温度计（分度为 0.1°C ，量程为 $0 \sim 50^\circ\text{C}$ 即可）、热电偶温度计、通风干湿球温度计、相对湿度计等测温测湿仪器。

测点的选择要求是：要求精度高的空调房间，要沿房间高度选择几个有代表性的横断面测点和沿房间宽度选择几个纵断面测点。

如对于恒温恒湿房间测点应布置在离房间围护结构 0.5m ，离地高度 $0.5 \sim 1.5\text{m}$ 的范围内，纵断面上的测点间隔一般为 0.5m ，横断面上的测点按面积等分格（每一分格常为 1m^2 ）。

在系统运行达到稳定后，分别测定纵、横断面上的温度和相对湿度值，并按断面绘制温度和相对湿度分布图。

对于一般空调房间，测点要选择在工作区和工作面及人员经常活动的范围。

当无条件测定室内温度和相对湿度的分布时，可以在回风口处测定温度和相对湿度。一般空调区域均为回流区，所以可认为回风口的空气参数为室内空气的平均参数。

测定时系统必须连续稳定运行，每隔半小时至一小时测定一次，一般应连续一个白天或者一昼夜。

二、室内气流组织的测定

室内气流组织的测定仅对有下列要求的空调房间进行：

（1）恒温精度等级高于 $\pm 0.5^\circ\text{C}$ 的房间；

(2) 洁净房间；

(3) 有气流组织要求的房间。

室内气流组织的测定包括室内气流速度和气流流型（气流方向）的测定。

气流速度一般采用热球式风速仪测定。气流流型测定一般用轻细的纤维丝或烟雾来观察气流的方向，然后人工描绘下来（测定时人要远离气流流动方向）。

测定完毕后，应将测定结果绘制成速度分布图和气流流型图。

三、超净空调系统中空气含尘浓度的测定

超净空调系统中空气含尘浓度的测定应包括系统中各级空气过滤器效率和室内、外空气含尘浓度的测定。

测定应在系统清扫干净和调整完毕并经渗漏检验和堵漏后，再经连续运行一段时间（自净）后进行，一般采用尘埃粒子计数器测定。

送风含尘浓度应在送风口高效过滤器后测定；新风含尘浓度应在调试期间，选择最佳（雨后含尘量最少时）和最差（风沙天）的天气进行昼夜测定，记录下数据，绘出变化曲线。

室内空气含尘浓度的测定应在各种静态（测定时室内无生产并且无人员）和动态（测定时室内已处在实际生产）条件下进行多点测量，结果按下列条件乘以不同的系数，才是实际工作条件的含尘浓度。静态条件下，对于平行流净化系统，系数为 3；对于乱流高效过滤器空气净化系统，系数为 5；动态条件下，系数为 1。

四、室内正压的测定与调整

室内正压值是指室内的压力应高于室外压力的数值，宜采用微压计测定。一般空调房间应有 5~10Pa 的正压值。

测定应在系统送、回风量调整完毕后进行。测定时把被测房间的门窗关闭，将微压计的正、负压接口用橡皮管接至室内和室外（应避免管口迎风），此时通过微压计的压差值即为室内外压差值。

若正压值不满足要求，一般就通过调整房间回风口的风门（调整回风量）来调整室内正压值。

室内正压值的调整应在室内空气含尘浓度测定之前进行，以保证室内空气含尘浓度的测定。

第四节 空调系统测试后的调整

在对空调系统进行测定与调整的过程中，必然会发现系统中存在的问题，对此应根据情况进行详细分析并采取相应的改进方法。

一、送风量设计不符合要求

送风量设计不符合要求一般可分为两种情况：

(1) 实测送风量大于设计风量。

主要原因有两个：

1) 系统风管的实际阻力小于设计阻力，造成送风机在比设计风压低的情况下运行，使送风量增加。

2) 设计时风机选择不合适，造成风量或风压偏大，使实际送风量增大。

相应的解决方法：

1) 改变风机转速，降低送风量；

2) 无条件改变风机转速时，可用风机入口调节阀调节，即用增加系统阻力的方法来降低送风量，这样做简单，但运行不经济。

(2) 实测风量小于设计风量。

主要原因有三个：

1) 系统的实际送风阻力大于设计阻力，造成风机在比设计风压高的情况下运行，风量减小。

2) 风机本身质量不好或安装及运行不善造成风机转向不对、转速未达到设计要求等。

3) 送风系统向外漏风。

相应的解决方法：

1) 条件允许的情况下，应对系统中管道的局部构件（如弯头、三通、调节阀等）进行改进，减小送风阻力。

2) 若风机质量不好，造成风量和风压与铭牌不符，应调换风机；若转速不符，应检查风机与电机的连接皮带是否松动，并采取相应措施使转速达到要求。另外，应检查风机的转向是否正确，必要时还应测定电机的输入功率，检查电机的运行是否正常。

3) 对送风管道及空调箱等空气处理装置进行认真检漏。对于高速送风系统应做检漏试验；对于低速送风系统应重点检查法兰盘和垫圈质量，观察是否有泄漏现象；对于空气处理室的检测门、检测孔的密封性做严格检漏。

二、送风状态参数与设计工况不符

送风状态参数与设计工况不符主要有以下几种原因：

(1) 因热工计算有误造成所选择的空气处理设备的能力过大或过小。

(2) 空气处理设备的质量不好或安装质量不良。

(3) 冷、热媒参数与流量不符合设计要求。

(4) 空气冷却设备出口带水，如挡水板的过水量超过设计值，造成水分再蒸发，影响出口空气参数。

(5) 送风机和管道的温升或温降超过设计值，影响送风温度。

(6) 处于负压下的空气处理装置和回风管道漏风。

相应的解决方法：

(1) 空气处理设备的能力过大或过小可通过调节冷、热媒的进口参数和流量来改善空气处理设备的能力，满足送风状态参数。但对于能力过小的设备，若调节冷、热媒的进口参数和流量也不能解决问题，则应更换设备或增加设备。

(2) 当冷、热媒的参数和流量不符合设计要求时，则应检查冷冻系统或热源系统（锅炉或热交换器）的能力是否满足要求。另外，还应检查水泵的流量和扬程，冷、热媒管道的保温措施及管道系统有无堵塞，并应采取相应的改进措施。

(3) 空气冷却设备出口处带水，若为表面冷却器可在其后面增加挡水板，若已装挡水板，则应提高挡水板的挡水效果。对于喷水室，除了挡水板要有良好的挡水效果外，还应检查挡水板是否插入池底，挡水板与空调箱内壁间是否漏风等。

(4) 风机温升过大可能是由于风机的运行风压超过设计要求造成的，可通过降低管道的

阻力等措施来降低风机风压。管道的温升或温降过大时应检查管道的保温措施是否满足设计要求,并进一步改进。

(5) 采取措施避免系统的漏风。

三、室内空气参数不符合设计要求

室内空气参数不符合设计要求可能有以下几种情况:

- (1) 实际的热、湿负荷与设计负荷有出入或送风参数不满足设计要求。
- (2) 室内气流速度超过允许值。
- (3) 室内空气的清洁度和洁净度不符合设计要求。

相应的解决方法:

(1) 若送风参数不满足设计要求,则首先解决送风参数方面存在的问题。若送风参数满足设计要求,则可根据通风机及空气处理设备的能力来改变送风量和送风参数,以满足要求。若条件允许,就可采取措施减少建筑围护结构的传热量及室内产生的热量。可对建筑围护结构加设保温层,对玻璃窗设遮阳措施等,还应尽量减少室内设备的散热,排除室内局部热源产生的热量。

(2) 室内气流速度超过允许值一般是由于送风口速度过大或系统总风量过大。可通过增大送风口面积、改变风口型式(增加风口的紊流系数)的方法加以解决。对于总风量过大的情况应在满足室内换气次数的前提下减少送风量。

(3) 清洁度不符合设计要求的主要原因为:新风量不足或室内人员超过设计人数。可通过增加新风量的方法解决。

洁净度不符合设计要求的主要原因为:过滤器效率不高,施工安装质量不好以及运行管理不善和室内生产工艺流程与设计不符。解决方法是首先应提高过滤器效率,若过滤器本身质量不好应予以更换。对于施工安装质量不好的地方应采取措施加以改进。还可增加室内换气次数和增加室内正压值。要完善运行管理,使生产工艺流程满足设计要求。

思考与练习

1. 简述空调系统风量的测定方法。
2. 空调系统风量调整的原理是什么?
3. 简述空调房间室内温度和相对湿度的测定方法。
4. 如何进行空调房间室内气流组织的测定?
5. 简述室内正压的测定与调整的要求是什么?
6. 如何解决空调系统送风量与设计不符的情况?
7. 简述送风参数与设计工况不符的原因与相应的解决方法。

第七章 空调系统的使用与维护

空调系统运行正常与否,不仅直接影响空调系统能否保证空调房间的各种空气调节技术指标能否达到,而且对于运行费用也有很大的影响。空调系统运行正常,就能既满足空调房间的各种空气调节的技术指标,又能节省运行费用,所以空调系统的正确使用与良好的维护是一个细致、复杂的工作。

第一节 集中式空调系统的使用与操作

一、空调系统启动前的准备工作

空调系统启动前的准备工作主要有以下几点:

- (1) 检查电机:风机、电加热器、水泵、表冷器或喷水室、供热设备及自动控制系统等,确认其技术状态良好。
- (2) 检查各管路系统连接处的紧固、严密程度,不允许有松动、泄漏现象。
- (3) 对空调系统中有关运转设备(如风机、喷水泵、回水泵等),应检查各轴承的供油情况。若发现有亏油现象应及时加油。
- (4) 根据室外空气状态参数和室内空气状态参数的要求,调整好温度、湿度等自动控制空气参数装置的设定值与幅差值。
- (5) 检查供配电系统,保证按设备要求正确供电。
- (6) 检查各种安全保护装置的工作设定值是否在要求的范围内。

二、空调系统的启动

空调系统的启动就是启动风机、水泵、电加热器和其他空调系统的辅助设备,使空调系统运行,向空调房间送风。启动前,要根据冬夏季的不同特点,确定启动方法。

夏季时,空调系统应首先启动风机,然后再启动其他设备。为防止风机启动时其电机超负荷,在启动风机前,最好先关闭风道阀门,待风机运行起来后再逐步开启。在启动过程中,只能在一台风机电机运行速度正常后才能再启动另一台,以防供电线路因启动电流太大而跳闸。风机启动的顺序是先开送风机,后开回风机,以防空调房间内出现负压。风机启动完毕后,再开其他设备。全部设备启动完毕后,应仔细巡视一次,观察各种设备运转是否正常。

冬季时,空调系统启动时应先开启蒸气引入阀或热水阀,接通加热器,然后再启动风机,最后开启加湿器以及泄水阀和凝水阀。

三、空调系统的运行管理

空调系统启动完毕后便投入运行,值班人员应忠于职守,认真负责,勤巡视,勤检查,勤调节,并根据外界条件的变化随时调整运行方案。要随时注意控制盘上各仪表及电脑显示屏上的参数的变化情况,并按规定时间做好运行记录,读数要准确,填写要清楚,对空调运

行记录表（试样见表 7-1）中各种参数要逐一填写清楚，填写数据时，写错了只能重写，不允许涂改。应对刚维修过的设备加强运行监测，掌握其运转情况，发现问题应及时处理，重大问题应立即报告。

表 7-1		空调运行记录表											年 月 日			天气		上午	下午						
数据 项目 时间	室外	温 度	湿 度	一次混合温度	冷冻送水温度	喷雾水温度	露点温度	加热送水温度	加热回水温度	送风温度			回风温度			被调房间			设备开、停时间						
										干球 (℃)	湿球 (℃)	水蒸气 分压力 (kPa)	干球 (℃)	湿球 (℃)	水蒸气 分压力 (kPa)	(℃)			设备名称	上午		下午		晚上	
																01	02	03		开 机	停 机	开 机	停 机	开 机	停 机
																			风机						
																			喷水泵						
																			回水泵						
																			油过滤器						
																			电加热器						
																			备 注						
运行记录																									
值班员		上午		下午		晚班																			

- 空调系统进入正常运行状态后，应按时进行下列项目的巡视。
- (1) 动力设备的运行情况，包括风机、水泵、电动机的振动、润滑、传动、负荷电流、转速、声响等。
 - (2) 喷水室、加热器、表面冷却器、蒸汽加湿器等运行情况。
 - (3) 空气过滤器的工作状态（是否过脏）。
 - (4) 空调系统冷、热源的供应情况。
 - (5) 制冷系统运行情况，包括制冷机、冷媒水泵、冷却水泵、冷却塔及油泵等运行情况和冷却水温度、冷凝水温度等。
 - (6) 空调运行中采用的运行调节方案是否合理，系统中各有关调节执行机构是否正常。
 - (7) 控制系统中各有关调节器、执行调节机构是否有异常现象。
 - (8) 使用电加热器的空调系统，应注意电气保护装置是否安全可靠，动作是否灵活。
 - (9) 空调处理装置及风路系统是否有泄漏现象，对于吸入式空调系统，尤其应注意处于负压区的空气处理部分的漏风现象。
 - (10) 空调处理装置内部积水、排水情况，喷水室系统中是否有泄漏、不畅等现象。
- 对上述各项巡视内容，若发现异常应及时采取必要的措施进行处理，以保证空调系统正常工作。
- 空调系统运行管理中很重要的一环是运行调节。在空调系统运行中进行调节的主要内容有：

采用手动控制的加热器，应根据被加热后空气温度与要求的偏差进行调节，使其达到设计参数要求。

对于变风量空调系统，在冬夏季运行方案变换时，应及时对末端装置和控制系统中的夏、冬季转换开关进行运行方式转换。

采用露点温度控制的空调系统，应根据室内外空气条件，对所供水温、水压、水量、喷淋排数进行调节。

根据运行工况，结合空调房间室内外空气参数情况应适当地进行运行工况的转换，同时确定出运行中供热、供冷的时间。

对于既采用蒸汽、热水加热又采用电加热器作为补充热源的空调系统，应尽量减少电加热器的使用时间，多使用蒸汽和热水加热装置进行调节，这样，既降低了运行费用，又减少了由于电加热器长时间运行时引发事故的可能性。

根据空调房间内空气参数的实际情况，在允许的情况下，应尽量减少排风量，以减少空调系统的能量损失。

在能满足空调房间内的工艺条件的前提下，应尽量降低室内的正静压值，以减少室内空气向外的渗透量，达到节省空调系统能耗的目的。

空调系统在运行中，应尽可能地利用天然冷源，降低系统的运行成本。在冬季和夏季时可采用最小新风运行方式，而在过渡季节中，当室外新风状态接近送风状态点时，应尽量使用最大新风或全部采用新风的运行方式，减少运行费用。

四、空调系统的停机

空调系统的停机分为正常停机和事故停机两种情况。

空调系统正常停机的操作要求是：接到停机指令或达到定时停机时间时应首先停止制冷装置的运行或切断空调系统的冷、热源供应，然后再停空调系统中的送、回、排风机。若空调房间内有正静压要求时，系统中风机的停机顺序为：排风机、回风机、送风机；若空调房间内有负静压要求时，则系统中风机的停机顺序应为：送风机、回风机、排风机。待风机停止程序操作完毕之后，用手动或采用自动方式关闭系统中的风机负荷阀、新风阀、回风阀、一、二次回风阀、排风阀及加热器、加湿器调节阀和冷媒水调节阀等阀门，最后切断空调系统的总电源。

在空调系统运行过程中若电力供应系统或控制系统突然发生故障，为保护整个系统的安全需要做出紧急停机处置，紧急停机又称为事故停机，其操作方法是：

(1) 电力供应系统发生故障时的停机操作：迅速切断冷、热源的供应，然后切断空调系统的电源开关。待电力系统故障排除恢复正常供电后再按正常停机程序关闭有关阀门后，检查空调系统中有关设备及其控制系统，确认无异常后再按启动程序启动运行。

(2) 空调系统设备发生故障时的停机操作：在空调系统运行过程中，若由于风机及其拖动电机发生故障，或由于加热器、表冷器以及冷、热源输送管道突然发生破裂而产生大量蒸汽或水外漏，或由于控制系统中调节器、调节执行机构（如加湿器调节阀、加热器调节阀、表冷器冷媒水调节阀等）突然发生故障，不能关闭或关闭不严或者无法打开时，使系统无法正常工作或危及运行和空调房间安全时，应首先切断冷、热源的供应，然后按正常停机操作方法使系统停止运行。

若在空调系统运行过程中，报警装置发出火灾报警信号，值班人员应迅速判断出发生火

情的部位，立即停止有关风机的运行，并向有关单位报警。为防止意外，在灭火过程中按正常停机操作方法，使空调系统停止工作。

五、空调系统运行中的交接班制度

由于空调系统是一个需要连续运行的系统，因此，搞好交接班是保障空调系统安全运行的一项重要措施。空调系统交接班制度应包括下述内容：

(1) 接班人员应按时到岗。若接班人员因故没能准时接班，交班人员不得离开工作岗位，应向主管领导汇报，有人接班后，方准离开。

(2) 交班人员应如实地向接班人员说明以下内容：

1) 设备运行情况；

2) 各系统的运行参数；

3) 冷、热源的供应和电力供应情况；

4) 当班运行中所发生的异常情况的原因及处理结果；

5) 空调系统中有关设备、供水、供热管路及各种调节器、执行器、各仪器仪表的运行情况；

6) 运行中遗留的问题，需下一班次处理的事项；

7) 上级的有关指示，生产调度情况等。

(3) 值班人员在交班时若有需要及时处理或正在处理的运行事故时，必须在事故处理结束后方可交班。

(4) 接班人员在接班时除应向交班人员了解系统运行的各参数外，应对交班中的疑点问题弄清楚，方可接班。

(5) 如果接班人员没有进行认真地检查和询问了解情况而盲目地接班后，发现上一班次出现的所有问题（包括事故）均应由接班者负全部责任。

第二节 集中式空调系统的故障分析和排除方法

一、集中式空调系统的日常维护

空调系统的正常工作的基本保证是要做好日常维护。搞好集中式空调系统的日常维护要做好两个方面的工作，一是保证设备处于良好的技术状态，二是认真执行日常维护规程。

保证设备处于良好的技术状态的基本要求是：操作者在启动运行空调系统前，应对空调系统设备的结构、功能、技术指标、使用维护及技术安全方面的知识进行全面地学习和实际操作技能的训练，经过技术考核合格后，持证上岗。操作者上岗后要严格遵守“三好”原则。一是“管好”，就是对所操作的设备负责，应保证设备主体及其随机附件、仪器、仪表和防护装置等完好。设备启动运行后，不能擅离岗位，设备发生故障后，应立即停机，切断电源并及时向有关人员报告，不隐瞒事故情节。二是“用好”，就是严格执行操作规程，不让设备超负荷运行。三是“修好”，就是应使设备的外观和传动部分保持良好状态，发现隐患及时向有关人员报告，配合修理人员做好设备的修理工作。

在完成“三好”的基础上还应做到“四会”，即会使用，会保养，会检查，会排除简单的运行故障。会使用是要求操作者按操作规程对空调系统进行操作运行，并熟悉设备的结

构、性能等。会保养是要求操作者会作简单的日常保养工作，执行好设备维护规程，保持设备的内外清洁、完好。会检查是要求操作者在进行交接班时应认真检查各种设备的运行状态，系统的运行参数是否在要求的范围内，如果发现设备出现故障或运行中出现问题，应告知交班者进行处理或上报，待处理完毕后才能继续运行或交班离岗。在设备运行过程中，应注意观察各部位的工作情况，注意运转的声音、气味、振动情况及各关键部位的温度等。会排除简单的运行故障是要求操作者熟悉运行设备的特点，能够鉴别设备工作正常或异常，会做一般的调整和简单的故障排除，不能自己解决时要及时报告并协同维修人员进行排除。

认真执行日常维护规程的基本内容是：熟悉日常维护的四项基本要求，掌握操作维护规程的基本内容，熟知日常维护的工作内容。

日常维护的四项基本要求是：

- (1) 整齐。工具、工件、附件放置整齐，设备零部件及安全防护装置齐全。
- (2) 清洁。设备内外清洁，无跑、冒、滴、漏现象。
- (3) 润滑良好。按时给设备加油、换油，使用的润滑油质量合格。
- (4) 安全。熟悉设备结构，遵守操作和维护规程，精心维护，始终使设备运行在最佳状态。

设备维护规程的基本内容：

(1) 启动前应认真检查风机传动皮带的松紧程度，各种阀门所处状态是否处于待启状态。检查合格后方可启动。

(2) 必须按照说明书和有关技术文件的规定顺序和方法进行启动运行。

(3) 严格按照设备的技术条件要求进行运行，不准超负荷运行。

(4) 设备运行时，操作者不得离开工作岗位，并要注意各部位有无异味、过热、剧烈振动或异常声响等。若发现有故障应立即停止运行，及时排除。

(5) 设备上一切安全防护装置不得随意拆除，以免发生事故。

(6) 认真做好交接班工作，特别要向接班人员讲清楚设备发生故障后的处理情况，使接班者做到心中有数，做好防范工作。

二、空气处理设备的故障

空气处理设备的故障，主要是指对空气进行热、湿和净化处理的设备所发生的故障。表7-2所述为空气处理设备的常见故障及其处理方法，可作为空调系统维护操作时的参考资料。

表 7-2 空气处理设备的常见故障及处理方法

设备名称	故障现象	处理方法
喷水室	(1) 喷嘴喷水雾化不够。 (2) 热、湿交换性能不佳	(1) 加强回水过滤，防止喷嘴堵塞。 (2) 提供足够的喷水压力。 (3) 检查喷嘴布置密度形式、级数等，对不合理的进行改造。 (4) 检查挡水板的安装，测量挡水板对水滴的捕集效率
表面换热器	(1) 热交换效率下降。 (2) 凝水外溢。 (3) 有水击声	(1) 清除管内水垢，保持管面洁净。 (2) 修理表面冷却器凝水盛水盘，疏通盛水盘泄水管。 (3) 以蒸汽为热源时，要有 1/100 的坡度以利排水

续表

设备名称	故障现象	处理方法
电加热器	裸线式电加热器电热丝表面温度太高, 粘附其上的杂质分解, 产生异味	更换管式电加热器。
加湿器	(1) 加温量不够。 (2) 干式蒸汽加湿器的噪声太大, 并对水蒸气持有气味有要求	(1) 检查湿度控制器。 (2) 改用电加湿器
净化处理设备	(1) 净化不够标准。 (2) 过滤阻力增大, 过滤风量减小。 (3) 高效过滤器使用周期短	(1) 重新估价净化标准, 合理选择空气过滤器。 (2) 定时清洁过滤器。 (3) 在高效过滤器前增设粗中效过滤器, 增长高效过滤器的使用寿命
风道	(1) 噪声过大。 (2) 长期使用或施工质量不合格, 风管法兰联接不严密, 检查孔和空气处理室人孔结构不良造成漏风引起送风量不足。 (3) 隔热板脱落, 保温性能下降	(1) 避免风道急剧转弯, 尽量少装阀门必要时在弯头, 三通支管等处装导流片。 (2) 消声器损坏时, 更换新的消声器。 (3) 应经常检查所有接缝处的密封性能, 更换不合格的垫圈, 进行堵漏。 (4) 补上隔热板, 完善隔垫层和防潮层

三、集中式空调系统常见故障分析与解决方法

衡量集中式空调系统运行是否正常, 主要是看其运行参数是否合乎要求。若出现运行参数与设计参数出现明显的偏差时, 就弄清产生的原因, 找出解决方法, 保证系统安全、高效、节能地运行。表 7-3 所列为集中式空调系统常见故障分析与解决方法, 供大家维修时参考。

表 7-3 集中式空调系统的常见故障分析与解决方法

序号	故障现象	产生原因	解决方法
1	送风参数与设计值不符	(1) 空气处理设备选择容量偏大或偏小。 (2) 空气处理设备产品热工性能达不到额定值。 (3) 空气处理设备安装不当, 造成部分空气短路。 (4) 空调箱或风管的负压段漏风, 未经处理的空气漏入。 (5) 冷热媒参数和流量与设计值不符。 (6) 挡水板挡水效果不好, 凝结水再蒸发。 (7) 风机和送风管道温升超过设计值 (管道保温不好)	(1) 调节冷热媒参数与流量, 使空气处理设备达到额定能力; 如仍达不到要求, 可考虑更换或增加设备。 (2) 检查设备、风管, 消除短路与漏风。 (3) 加强风、水管保温。 (4) 检查并改善喷水室表冷器挡水板消除漏风

续表

序号	故障现象	产生原因	解决方法
2	室内温度、相对湿度均偏高	(1) 制冷系统产冷量不足。 (2) 喷水室喷嘴堵塞。 (3) 通过空气处理设备的风量过大、热湿交换不良。 (4) 回风量大于送风量, 室外空气渗入。 (5) 送风量不足 (可能过滤器堵塞)。 (6) 表冷器结霜, 造成堵塞	(1) 检修制冷系统。 (2) 清洗喷水系统和喷嘴。 (3) 调节通过处理设备的风量使风速正常。 (4) 调节回风量, 使室内正压。 (5) 清理过滤器使送风量正常。 (6) 调节蒸发温度, 防止结霜
3	室内温度合适或偏低, 相对湿度偏高	(1) 送风温度低 (可能是一次回风的二次加热未开或不足)。 (2) 喷水室过水量大, 送风含湿量大 (可能是挡水板不均匀或漏风)。 (3) 机器露点温度和含湿量偏高。 (4) 室内产湿量大 (如增加产湿设备, 用水冲洗地板, 漏汽、漏水等)	(1) 正确使用二次加热。 (2) 检修或更换挡水板, 堵漏风。 (3) 调节三通阀, 降低混合水温 (4) 减少湿源
4	室内温度正常, 相对湿度偏低 (这种现象常发生在冬季)	室外空气含湿量本来较低, 未经加湿处理, 仅加热后送入室内	(1) 有喷水室时, 应连续喷循环水加湿。 (2) 表冷器系统应开启加湿器
5	系统实测风量大于设计风量	(1) 系统的实际阻力小于设计阻力, 风机的风量因而增大。 (2) 设计时选用风机容量偏大	(1) 有条件时可改变风机的转数。 (2) 关小风量调节阀, 降低风量
5	系统实测风量小于设计风量	(1) 系统的实际阻力大于设计阻力, 风机风量减小。 (2) 系统中有阻塞现象。 (3) 系统漏风。 (4) 风机出力不足 (风机达不到设计能力或叶轮旋转方向不对, 皮带打滑等)	(1) 条件许可时, 改进风管构件, 减小系统阻力。 (2) 检查清理系统中可能的阻塞物 (3) 堵漏。 (4) 检查、排除影响风机出力的因素
7	系统总送风量与总进风量不符, 差值较大	(1) 风量测量方法与计算不正确。 (2) 系统漏风或气流短路	(1) 复查测量与计算数据。 (2) 检查堵漏, 消除短路
8	机器露点温度正常或偏低, 室内降温慢	(1) 送风量小于设计值, 换气次数小。 (2) 有二次回风的系统, 二次回风量过大。 (3) 空调系统房间多, 风量分配不均	(1) 检查风机型号是否符合设计要求, 叶轮转向是否正确, 皮带是否松弛, 开大送风阀门, 消除风量不足因素。 (2) 调节、降低二次回风量。 (3) 调节、使各房间风量分配均匀
9	室内气流速度超过允许流速	(1) 送风口速度过大。 (2) 总送风量过大。 (3) 送风口的型式不合适	(1) 增大风口面积或增加风口数, 开大风口调节阀。 (2) 降低总风量。 (3) 改变送风口型式, 增加紊流系数

续表

序号	故障现象	产生原因	解决方法
10	室内气流速度分布不均,有死角区	(1) 气流组织设计考虑不周。 (2) 送风口风量未调节均匀、不符设计值	(1) 根据实测气流分布图,调整送风口位置、或增加送风口数量。 (2) 调节各送风口风量使与设计要求相符
11	室内空气清洁度不符合设计要求(空气不新鲜)	(1) 新风量不足(新风阀门未开足、新风道截面积小、过滤器堵塞等)。 (2) 人员超过设计人数。 (3) 室内有吸烟或燃烧等耗氧因素	(1) 对症采取措施增大新风量。 (2) 减少不必要的人员。 (3) 禁止在空调房间内吸烟和进行不符合要求的耗氧活动
12	室内洁净度达不到设计要求	(1) 过滤器效率达不到要求。 (2) 施工安装时未按要求擦清设备及风管内的灰尘。 (3) 运行管理未按规定清扫、清洁。 (4) 生产工艺流程与设计要求不符。 (5) 室内正压不符合要求、室外有灰尘渗入	(1) 更换不合格的过滤器材。 (2) 设法清理设备管道内灰尘。 (3) 加强运行管理。 (4) 改进工艺流程。 (5) 增加换气次数和正压
13	室内噪声大于设计要求	(1) 风机噪声高于额定值。 (2) 风管及阀门、风口风速过大,产生气流噪声。 (3) 风管系统消声设备不完善	(1) 测定风机噪声,检查风机叶轮是否碰壳,轴承是否损坏,减振是否良好,对症处理。 (2) 调节各种阀门、风口,降低过高风速。 (3) 增加消声弯头等设备

第三节 风机盘管机组的运行调节

风机盘管机组的运行调节一般可分为两部分,一是由使用者根据使用情况(即空调房间内的湿、湿度,主要是温度情况),利用风机盘管机组的高、中、低三档风量调速装置,改变风机盘管的空气循环量,来满足空调房间内的空气状态要求;二是通过自动或手动控制方式来调节通过风机盘管机组的冷(热)水流量或温度,达到所供冷(热)量的调节,满足空调房间的使用要求。

风机盘管机组运行时的调节方法可分为局部运行调节方法和全年运行调节方法两种形式。

一、风机盘管机组的局部调节方法

风机盘管空调系统在设计时,一般是在考虑空调房间在最大不利条件下的最大冷(热)负荷来选择风机盘管机组。但风机盘管机组在实际运行中,由于室外、室内条件均在发生着不断的变化,为了适应变化了的条件,风机盘管机组设有三种局部调节方法来进行冷(热)量的调节。

1. 水量调节

当空调房间内、外条件发生变化时,为了维持空调房间内的一定的温、湿度条件,可通过安装在风机盘管机组供水管道上的直通或三通调节阀进行调节。即室内冷负荷减少会减少进入盘管内的冷媒水量,使盘管中的冷媒水吸收热量的能力下降,以适应冷负荷减少的变化。反之,室内的冷负荷增加会加大盘管中冷媒水的流量,使冷媒水的吸收热量的能力增加。

2. 风量调节

风机盘管机组是利用风量调节来实现其负荷调节的,是使用最为普遍的方法。它是通过风机盘管机组上风扇电动机的档位变化来实现的。当空调房间内的冷(或热)负荷发生变化时,导致室内温、湿度发生变化,使用者可以通过改变风扇电动机的转速,来改变通过风机盘管机组的空气处理量,实现空调房间内温湿度调节的目的。随着技术的不断进步,目前,风机盘管机组在调节风量时也有用无级调速方法的。

二、风机盘管机组的全年运行调节

风机盘管机组的全年运行调节是指新风不承担房间内的冷、热负荷或新风只负担房间围护结构温差传热所造成的冷、热负荷,而空调房间内的冷、热负荷均由盘管中的冷、热源承担的处理空气的方法。其调节方法是:

当空调系统的新风不承担室内显热冷负荷时,只须将新风温度处理到和室温相同时即可,使新风对室温不起调节作用,由盘管中的冷媒水承担全部室内显冷负荷。依靠风机盘管的局部调节来满足室内温、湿度的要求。

当空调系统的新风需要承担由围护结构温差传热所造成的冷(热)负荷,盘管只承担室内稳定冷(热)负荷(即人员和电器设备的冷、热负荷)时,可随着室外空气干、湿球温度的变化,采用新风处理设备中的二次加热器或冷却器集中升高或降低新风的温度,使新风的温度 t_1 满足下式:

$$t_1 = t_N - 0.99T(t_w - t_N + m)$$

式中 T ——对应于 1kg/s 新风量在室内外温差为 1°C 时围护结构的温差传热量, $\text{kJ}/(\text{kg}\cdot^\circ\text{C})$;

0.99 ——空气的质量定压热容, c_p 的倒数, $c_p = 1.01\text{kJ}/(\text{kg}\cdot^\circ\text{C})$;

m ——当量温差, $^\circ\text{C}$ 。

当量温差是指全年中,除围护结构传热外的室内最小显热负荷所相当的围护结构传热温差,通常取 $m = 5$ 。

对于普遍使用的双水管(两管制)的风机盘管机组在同一时间内只能供应所有机组同一温度的水(冷水或热水)。在过渡季节运行时,随着室外空气温度的降低,应集中调节新风的加热量,逐渐提高新风的温度,以抵消传热负荷变化带来的冷负荷。从而使进入机组盘管中的水温保持不变,此时风机盘管机组依靠水量调节方法来消除室内的瞬变负荷(室内照明、设备、人员和太阳辐射)的影响。当室外空气温度降低到某一值时,只采用新风就能吸收室内的显热负荷,此时只要向机组盘管内送入热水,即可适应过渡季节调整的需要。此后,随着显热冷负荷的进一步减少,只需调节盘管中的供水温度,即可保持室内的空气参数要求。

三、风机盘管机组的使用要求

风机盘管机组的使用要求主要有:

(1) 机组夏季供给冷媒的水温度应不低于 7°C ，冬季供给的热媒水温度应不高于 65°C ，水质要清洁、软化。

(2) 机组的回水管上备有手动放气阀，运行前需要将放气阀打开，待机组盘管中及系统管路内的空气排干净后再关闭放气阀。

(3) 风机盘管机组中的风扇电动机轴承因采用双面防尘盖滚珠轴承，组装时轴承已加好润滑脂，因此，使用过程中不需要定期加润滑脂。

(4) 风机盘管表面应定期吹扫，保持清洁，以保证其具有良好的传热性能。装有过滤网的机组应经常清洗过滤网。

(5) 装有温度控制器的机组夏季使用时，应将控制开关调整后至夏季控制位置，而在冬季使用时，再调至冬季控制位置。

第四节 风机盘管机组维护

一、风机盘管机组使用中的维护

风机盘管机组在使用中的维护工作主要有及时清洗或更换空气过滤器、盘管换热器的日常维护、风机的维护及机组底盘的定时清理等。

1. 空气过滤器的清洗和更换

风机盘管机组都装有空气过滤器，以作为对室外新风或回风空气净化滤尘之用。风机盘管机组在使用了一段时间后其空气过滤器表面将积存许多灰尘，若不及时清理，会增加通过风机盘管机组的空气阻力，从而影响机组的换热效率，使机组无法满足空调房间内的气流组织和温、湿度的要求。如果在空气过滤器上的灰尘厚度超过极限值，则有可能将进风通路堵死，使机组无法工作。因此必须及时清洗或更换空气过滤器。空气过滤器的清洗或更换周期由机组所处的环境、每天的工作时间及使用条件决定，一般机组连续工作时，应每半个月清洗一次空气过滤器，一年更换一次即可。

2. 风机盘管换热器的维护

机组在使用时为防止盘管及进、出水管结垢，应对冷媒水作软化处理；冬季运行时禁止使用高温热水或蒸汽作为热源，使用的热水温度不宜超过 60°C 。如果机组在运行过程中供水温度及压力正常，而机组的进、出风温差过小，应怀疑是否为盘管内水垢太厚所致，对盘管进行检查和清洗。

夏季初次启用风机盘管机组时，应控制冷水温度，使其逐步降至设计水温，避免因立即通入温度较低的冷水而使机壳和进、出水口产生结露滴水现象。

在运行过程中，若盘管与翅片之间积有明显灰尘，就可用压缩空气吹除，若发现盘管有冻裂或腐蚀造成泄漏时，应及时用气焊进行补漏。

3. 机组风机的维护

机组风机扇叶在长时间运转过程中会粘附上许多灰尘，以至影响风机的工作效率。因此，当风机扇叶上出现明显灰尘时，应及时用压缩空气予以清除。

4. 定期清理机组的滴水盘

风机盘管机组在夏季运行中，当盘管结露以后，冷凝水便落到滴水盘中，并通过防尘网流入排水管内排出，但由于空气中的灰尘慢慢地粘附在滴水盘内，造成防尘网和排水管堵

塞，如果不及时对其进行清理，冷凝水就会从滴水盘中溢出，造成房间滴水或污染天花板等现象。滴水盘一般应在每年夏季使用前清洗一次，机组连续制冷运行3个月后再清洗一次为宜。

5. 机组的排污和管道保温

风机盘管机组在使用过程中由于要进行冷、热水倒换，因此管道中会进入空气产生锈渣，积存在管道中。开始送水后便会将其冲刷下来带至盘管入口和阀门处，造成堵塞。因此，应在机组盘管的进、出水管上安装旁通管。在机组使用前，利用旁通管冲刷供、回水管路，将锈渣带到回水箱中，再设法清除。

机组在运行过程中，要随时检查管道及阀门的保温情况，防止保温层出现断裂，造成管道或阀门凝水污染天花板或墙壁。

二、风机盘管机组的常见故障及维修方法

风机盘管机组在使用中的常见故障及维修方法见表7-4。

表 7-4 风机盘管机组的常见故障与维修方法

序 号	故 障	原 因	维 修 方 法
	风机不转	(1) 停电; (2) 忘记插电源; (3) 电压低; (4) 配线错误或接线端子松脱; (5) 电动机故障; (6) 电容器不良; (7) 开关接触不良	(1) 查明原因或等待复电; (2) 将插头插入; (3) 查明原因; (4) 用万用表查线路, 修复; (5) 用万用表检查后修复或更换; (6) 更换; (7) 修复或更换
2	风机能转动, 但不出风或风量少	(1) 电源电压异常; (2) 反转; (3) 风口有障碍物; (4) 空气过滤器堵塞	(1) 查明原因; (2) 改变接线; (3) 去除; (4) 清洗
3	风不冷(或不热)	(1) 盘管内有空气; (2) 供水循环停止; (3) 调节阀关闭; (4) 阀被异物堵塞	(1) 从排气阀排出空气; (2) 检查水泵; (3) 将调节阀开启; (4) 取出异物
4	机壳外面结露	(1) 内部保温破损; (2) 机壳在装配时与火焰接触保温层烧毁; (3) 冷风有泄漏; (4) 室内有造成结露的条件	(1) 修补; (2) 不要接触火焰, 将保温层重新包好; (3) 修补; (4) 去除结露的条件
5	有异物吹出	(1) 由于腐蚀造成风机叶片表面有锈蚀物; (2) 过滤器破损、劣化; (3) 保温材料破损、劣化; (4) 机组内灰尘太多	(1) 更换风机; (2) 更换空气过滤器; (3) 更换保温材料; (4) 清扫内部

续表

序 号	故 障	原 因	维 修 方 法
6	漏电	电线有破损、漏电	修复线路
7	漏水	(1) 安装不良; (2) 接水盘倾斜; (3) 排水口堵塞; (4) 水管有漏水处; (5) 冷凝水从管子上滴下; (6) 接头处安装不良; (7) 排气阀忘记关闭	(1) 机组水平安装; (2) 调整; (3) 清除堵塞物; (4) 检查更换水管; (5) 检查后重新保温; (6) 检查后紧固; (7) 将阀关闭
8	关机后风机不停	(1) 开关失灵; (2) 控制线路短路	(1) 修复或更换开关; (2) 检查线路, 排除短路
9	有振动与杂音	(1) 机组安装不良; (2) 外壳安装不良; (3) 固定风机的部件松动; (4) 风的通路上有异物; (5) 风机电动机故障; (6) 风机叶片破损; (7) 送风口百叶松动; (8) 盘管内有空气; (9) 冷冻水(热水)流得太快; (10) 水内有大量空气进入; (11) 使用定量阀时, 差压太大	(1) 重新安装调整; (2) 重新安装; (3) 紧固; (4) 去除异物; (5) 修复或更换电机; (6) 更换; (7) 紧固; (8) 排空气; (9) 检查水的流速; (10) 去除水中空气; (11) 更换合适的阀
10	冷风(热风)效果不良	(1) 调节阀开度不够; (2) 盘管堵塞、通风不良; (3) 盘管内部有空气; (4) 电源电压下降; (5) 空气过滤器堵塞; (6) 供水(冷热水)不足; (7) 供水温度异常; (8) 风机反转; (9) 送风口、回风口有障碍; (10) 前板安装不正规; (11) 气流短路; (12) 室内风分布不均匀; (13) 设备选用不当; (14) 天花板吊顶式的机组连接处漏气; (15) 温度调节不当; (16) 房间日照或开窗	(1) 重新调节开度; (2) 清扫盘管; (3) 排空气; (4) 查明原因; (5) 清洗空气过滤器; (6) 调节供水阀; (7) 检查冷冻水(或热水)温度; (8) 重新接线; (9) 去除障碍物; (10) 安装正规; (11) 检查风口有无障碍; (12) 检查调整风口; (13) 重新设计选用; (14) 修理; (15) 重新调整送风档次; (16) 关窗, 挂窗帘

第五节 风机常见故障的处理方法

一、风机的启动

1. 风机启动前的检查

风机在启动前应进行认真的检查，其内容有：

(1) 检查风机准备加入的润滑油的名称、型号是否与要求的一致，按规定的操作方法向风机注油孔内加注额定量的润滑油。

(2) 用手盘动风机的传动皮带或联轴器，以检验风机叶轮是否有卡住和摩擦现象。

(3) 检查风机机壳内、皮带轮罩等处是否有影响风机转动的杂物，以及皮带的松紧程度是否合适。

(4) 检查风机及电动机的地脚螺栓是否有松动现象。

(5) 用点动方式检查风机的转向是否正确。

(6) 关闭风机的入口阀或出口阀，以减轻风机启动负荷。

2. 风机的启动

按启动顺序要逐台启动风机，若风机启动后发现叶轮倒轮，停机后须等叶轮完全停稳后才能再次启动。

风机启动以后逐渐调正风阀至正常工作位置。

二、风机的日常维护

风机在启动运行以后还要做好运行监测和日常维护工作。

风机的运行监测主要有以下几项工作内容：

(1) 监测风机电动机的运转电流、电压是否正常；

(2) 监测风机及电动机的运行声音是否正常，有无异常振动现象；

(3) 监测风机及电动机的轴承温度是否正常；

(4) 监测风机及电动机在运转过程中是否有异味。

一旦风机在运转过程中出现异常情况，特别是运行电流过大，电压不稳，出现异常振动或产生焦糊味时，应立即停机，进行检查处理，排除故障后才可继续运行，绝对禁止带病运行，以免酿成大祸。

风机的日常维护工作主要有以下几项内容：

(1) 随时用仪器测量风量和风压，确保风机处于正常工作状态；

(2) 检查皮带的松紧程度是否合适，用测量仪表检查风机主轴转速是否达到要求，用直尺检测风机与电动机的皮带轮是否在一个平面上，出现偏差应及时调整，经常用钳形电流表检查电动机三相电流是否平衡；

(3) 定期向风机轴承内加入润滑油；

(4) 经常检查风机进、出口法兰接头是否漏风。若发现漏风，应及时用石棉绳堵上；

(5) 经常检查风机及电动机的地脚螺钉是否紧固，减振器受力是否均匀；

(6) 检查风机叶轮与机壳间是否有摩擦声，叶轮的平衡性是否好；

(7) 随时检测风机轴承温度，不能使温升超过 60°C ；

(8) 监听风机的振动与运转噪声是否在允许的范围内。

三、风机常见故障的处理方法

风机常见故障和处理方法见表 7-5。

表 7-5 风机常见故障和处理方法

故障现象	原因分析	处理方法
轴承箱振动剧烈	(1) 机壳或进风口与叶轮摩擦。 (2) 基础的刚度不够或不牢固。 (3) 叶轮铆钉松动或皮带轮变形。 (4) 叶轮轴盘与轴松动。 (5) 机壳与支架、轴承箱与支架、轴承箱盖与座联接螺栓松动。 (6) 风机进出气管道安装不良。 (7) 转子不平衡	(1) 进行整修,消除摩擦部位。 (2) 基础加固或用型钢加固支架。 (3) 将松动铆钉铆紧或调换铆钉重铆,更换变形皮带轮。 (4) 拆下松动的轴盘用电焊加工修复或调换新轴。 (5) 将松动螺栓旋紧,在容易发生松动的螺栓中添加弹簧垫圈防止产生松动。 (6) 在风机出口与风道连接处加装帆布或橡胶布软接管 (7) 校正转子至平衡
轴承温升过高	(1) 轴承箱振动剧烈。 (2) 润滑脂质量不良、变质,填充过多或含有灰尘、砂垢等杂质。 (3) 轴承箱盖座的联接螺栓过紧或过松。 (4) 轴与滚动轴承安装歪斜,前后两轴承不同心。 (5) 滚动轴承损坏。 (6) 轴承磨损过大或严重锈蚀	(1) 检查振动原因,并加以消除。 (2) 挖掉旧的润滑脂,用煤油将轴承洗净后调换新油。 (3) 适当调整轴承座盖螺栓紧固程度。 (4) 调整前后轴承座安装位置,使之平直同心。 (5) 更换新轴承
电动机电流过大或温升过高	(1) 开车时进气管道内闸门或节流阀未关密。 (2) 风量超过规定值。 (3) 输送气体密度过大,使压力增高。 (4) 电动机输入电压过低或电源单相断电。 (5) 联轴器联接不正,橡皮圈过紧或间隙不均。 (6) 受轴承箱振动剧烈的影响。 (7) 受并联风机发生的故障的影响	(1) 关闭风道内闸门或节流阀(离心式)。 (2) 调整节流装置或修补损坏的风管。 (3) 调节节流装置,减少风量,降低负载功率。若经常有类似现象,需调换较大功率的电动机。 (4) 电压过低应通知电气部门处理,电源单相断电应立即停机修复。 (5) 调整联轴器或更换橡皮圈。 (6) 停机排除轴承座振动故障。 (7) 停机检查和处理风机故障
皮带滑下	两皮带轮中心位置不平行	调整两皮带轮的位置
皮带跳动	两皮带轮距离较近或皮带过长	调整电动机的安装位置
风量或风压不足或过大	(1) 转速不合适,或系统阻力不合适。 (2) 风机旋转方向不对。 (3) 管道局部阻塞。 (4) 调节阀门的开度不合适。 (5) 风机规格不合适	(1) 调整转速或改变系统阻力。 (2) 改变转向,如改变三相交流电动机的接线程序。 (3) 消除杂物。 (4) 检查和调节阀门的开启度。 (5) 选用合适的风机

续表

故障现象	原因分析	处理方法
风机使用日久后风量风压逐渐减少	(1) 风机叶轮、叶片或外壳锈蚀损坏。 (2) 风机叶轮或表面积积灰尘。 (3) 皮带太松。 (4) 风道系统内积有杂物	(1) 检修或更换损坏部件。 (2) 彻底清除叶轮和叶片表面的积尘。 (3) 调整皮带的松紧程度。 (4) 清除整理
风机噪声过大	(1) 通风机噪声较大。 (2) 振动太大。 (3) 轴承等部件磨损、间隙过大	(1) 采用高效率低噪声风机。 (2) 检查叶轮的平衡性, 检查减振器等隔振装置是否完好。 (3) 更换损坏部件

第六节 水泵与冷却塔的常见故障的处理方法

一、水泵的安装要求

水泵的安装方法基本上大同小异, 其主要安装要求是:

(1) 当泵房设在地面上时, 可用地脚螺栓直接固定在混凝土基础上。若泵房设在楼板上, 则可将水泵安装在减振装置上。可采用 WJ 型橡胶万能减振垫在泵座的四个耳朵处垫上 $150\text{mm} \times 150\text{mm}$ 的减振垫 4 块。当泵房设在高层建筑地下室时, 可不装配地脚螺栓, 而在水泵座的四角填垫 $240\text{mm} \times 240\text{mm}$ 的减振垫 4 块, 较大的泵可在泵座中部加垫两块减振垫。减振时, 除可配装橡胶减振垫外, 也可配装弹簧减振器。

(2) 水泵进出水管端必须安装橡胶软接头, 并且要在进水管上加装过滤器和阀门, 在出水管上加装止回阀和闸阀, 进出水管段必须固定。

(3) 为使水泵保持最佳运行性能, 应在水泵进出口处配装扩散管, 以减小阻力损失。散管扩口的流速应为: 吸水管流速 $v \leq 1.5\text{m/s}$, 出水管流速 $v \leq 2\text{m/s}$ 。

二、水泵的运行保养

(1) 对采用机械密封的水泵, 不准在断水状态下运转。调试时, 也只可作瞬间点动。正常运转时机械密封的摩擦环处不应有较大漏水出现, 否则, 应检修或更换动、静摩擦环。

(2) 对于采用半封闭型轴承的水泵, 出厂时已填充了高温润滑脂, 可连续运行两年, 两年后每年须加润滑脂一次。若使用机油润滑, 可从轴承体上的备用加油孔上加入机油即可。

(3) 如遇水泵叶轮损坏或轧入异物时, 应拆下轴承体和尾盖, 向后面拉出轴和叶轮进行检修, 泵体及进出水管可不动。

(4) 水泵应配套准备三年维修使用的主要易损件。(如联轴器弹性块、机械密封动静摩擦环和 O 型橡胶圈等。

三、水泵常见故障的处理方法

水泵常见故障及处理方法见表 7-6。

表 7-6

水泵常见故障及处理方法

故障现象	原因分析	处理方法
流量不足、压力不够或不出水	(1) 泵体和吸水管路内没有灌引水或灌水不足。 (2) 底阀入水深度不够。 (3) 底阀叶轮或管道阻塞。 (4) 吸水管路漏气。 (5) 扬程超过规定值。 (6) 吸上物程超过允许值。 (7) 密封环或叶轮磨损过多。 (8) 旋转方向错误。 (9) 转速低。 (10) 填料损坏或过松。 (11) 泵的水封管路阻塞	(1) 检查底阀是否漏水并重新向水泵内灌足引水。 (2) 底阀浸入吸水面的深度应大于进水管直径的 1.5 倍。 (3) 清除脏物。 (4) 拧紧法兰螺栓。 (5) 降低管路阻力。 (6) 减小吸上扬程、降低、吸水系统阻力。 (7) 更换磨损零件。 (8) 改变电动机接线相序。 (9) 检查电路的电压。 (10) 调换填料。 (11) 清除水封管路脏物
功率消耗过多	(1) 总扬程低于规定范围、供水量增加。 (2) 填料压得过紧。 (3) 水泵与电动机的轴线不同心。 (4) 泵轴弯曲或磨损过大	(1) 关小闸阀。 (2) 适当放松填料压盖。 (3) 调整水泵和电动机的轴线。 (4) 矫正或更换泵轴
产生振运、噪声大或滚球轴承发热	(1) 吸上扬程超过允许值、水泵产生气蚀。 (2) 水泵与电动机轴线不同心。 (3) 滚球轴承损坏。 (4) 泵轴弯曲或磨损过多。 (5) 润滑油不够。 (6) 有水进入轴承壳内使滚球轴承生锈	(1) 降低、吸上扬程要求或调换合适的水泵。 (2) 调整水泵的电动机轴线。 (3) 更换滚球轴承。 (4) 矫直或更换泵轴。 (5) 添加润滑油。 (6) 查出进水原因, 调换润滑油和滚球轴承
填料过热或填料函漏水过多	(1) 填料压得太紧, 冷却水进不去, 填料盖压得太松或磨损后失去弹性和密封作用。 (2) 泵轴弯曲和摆动, 或泵轴表面磨损。 (3) 填料缠法错误或接头不正确	(1) 调整填料压紧螺丝或更新填料。 (2) 检修泵轴。 (3) 更换填料

四、膨胀水箱

空调冷媒水系统中一般都要设置膨胀水箱。它的作用是容纳系统里的水因膨胀而增加的体积, 同时也兼有放气和稳定系统压力的作用。

膨胀水箱一般设置在水系统的最高点, 其底部高出出水管路的最高点 1.5m, 膨胀水箱的膨胀管接在水泵的吸入端, 膨胀水箱上的循环管和膨胀管接在回水管上。膨胀水箱及膨胀管和循环管应做保温处理。

中央空调冷媒水系统中的总容水量测算方法见下表 7-7。

表 7-7 水系统中总容水量

(L/m² 建筑面积)

状态 \ 类别	全空气系统	空气-水系统
供冷时	0.40~0.55	0.70~1.30
供热时	1.25~2.00	1.20~1.90

五、冷却塔的常见故障及处理方法

空调系统的冷却水必须符合水质标准, 否则, 不合格的冷却水中的金属离子会附着在管壁上结成水垢, 这样不但影响传热效果, 而且还会使管径缩小, 导致冷却水循环量不符合冷却需要, 引

起制冷系统制冷能力严重下降。另外, 当冷却水吸收制冷机的冷凝热量后送上冷却塔, 经冷却塔喷淋与大气直接接触, 使冷却水中的二氧化碳逸散, 溶解氧增加, 部分水分蒸发后使水中溶解盐类的浓度和浊度增大, 循环水水质恶化, 给水系统带来结垢、腐蚀、污泥和菌藻等问题。因此, 制冷、空调系统中使用的循环水必须符合表 7-8 的水质标准。

表 7-8

循环用水水质标准

项 目	单 位	水 质 标 准	危 害
浊度	毫克/升	根据生产要求确定, 一般不应大于 20。当换热器的形式为板式、套管式时, 一般不宜大于 10	过量会导致污泥危害及腐蚀
含盐量	毫克/升	投放缓蚀剂时, 一般不宜大于 2500	腐蚀、结垢随含盐量增加而递增
碳酸盐硬度	毫克当量/升	(1) 在一般水质条件, 若不采用投加阻垢分散剂, 不宜大于 3。 (2) 投加阻垢分散剂, 应根据所投加的药剂品种、配方及工况条件确定, 可控制在 6~9	
钙离子 (Ca ²⁺)	毫克当量/升	投加阻垢分散剂时, 应根据所投加药剂的品种、配方和工况条件确定, 一般情况低限不宜小于 1.5 (从腐蚀角度), 高限不宜大于 8 (从阻垢角度要求)	结垢
镁离子 Mg ²⁺	毫克当量/升	不宜大于 5, 并按 $Mg^{2+} (\text{毫克/升}) \times SiO_2 (\text{毫克/升}) < 15000$ 验证 (Mg^{2+} 以 $CaCO_3$ 计, SiO_2 以 SiO_2 计)	产生类似蛇纹石组成污垢, 粘性很强
铝 Al ³⁺	毫克/升	不宜大于 0.5 (以 Al ³⁺ 计)	起粘结作用, 促进污泥沉积
铜 Cu ²⁺	毫克/升	一般不宜大于 0.1, 投加铜缓蚀剂时应按试验数据确定	产生点蚀, 导致局部腐蚀
氯根 Cl ⁻	毫克/升	(1) 投加缓蚀剂时, 对不锈钢设备的循环用水中不应大于 300 (指含铬、镍、钛、钼等合金的不锈钢)。 (2) 投加缓蚀剂时, 对碳钢设备的循环用水不应大于 500	强烈促进腐蚀反应, 加速局部腐蚀, 主要是裂隙腐蚀、点蚀和应力腐蚀开裂

续表

项 目	单 位	水 质 标 准	危 害
硫酸根 SO_4^{2-}	毫克/升	(1) 投加缓蚀剂时, $\text{Ca}^{2+} \times \text{SO}_4^{2-} < 750000$ (2) 对系统中的混凝土材质的影响控制要求 应按 TJ21-77《工业与民用建筑工程地质规范》附录五的规定	它是硫酸盐还原菌的营养源, 浓度过高会出现硫酸钙的沉积
硅酸 (以 SiO_2 计)	毫克/升	(1) 不大于 175。 (2) Mg^{2+} (毫升/升, 以 CaCO_3 计) $\times \text{SiO}_2$ (毫克/升, 以 SiO_2 计) ≤ 15000	出现污泥沉积及硅垢
油	毫克/升	不应大于 5	附于管壁, 阻止缓蚀剂与金属表面接触, 是污垢粘结剂, 营养源
磷酸性 PO_4^{3-}	毫克/升	根据磷酸钙饱和指数进行控制	引起磷酸钙沉淀
异养菌总数	个/毫升	$< 5 \times 10^5$	产生污泥和沉积物, 带来腐蚀, 破坏冷却塔木材

为保证水质, 必须使用软化水(去离子水)或使用电子水处理仪对水进行处理, 并按标准进行日常管理, 每个月进行一次取样测试。

电子水处理仪是近年来被广泛应用于空调水系统中对水质进行处理的高科技产品, 它的基本工作原理是:

电子水处理仪是通过对流经处理仪的水施加高频电磁场, 使其物理结构和物理性质发生变化, 来实现防垢、除垢、杀菌、灭藻、防腐等功能。

水在高频电磁场的作用下, 原来缔合成链状的大分子断裂成单个水分子, 使其活性大大增强, 溶解在水中的盐类的正、负离子被单个水分子包围, 运动速度降低, 有效碰撞次数减少, 在管壁上无法成垢, 从而达到防垢的目的。

对于已经在管壁上形成的老的垢层, 其主要成分是垢分子(CaCO_3 、 CaSO_4 等), 通过分子间的作用力结合在一起, 以网状结构或方石结构附着在管道内壁上。而通过高频电磁场作用后, 水分子的偶极矩增大, 极性增强, 水分子处于较高的能量状态。它能有效削弱垢分子间的作用力及其与管壁的附着力, 使垢层逐渐软化, 龟裂在水流的冲刷下从管壁上脱落, 起到除垢效果。

高频电磁场除可破坏垢层结构以外, 还可在水体中激发出大量的自由电子, 能有效防止管道内壁的金属原子失去电子被氧化, 并能有效地破坏引起管道腐蚀的微电池效应, 从而起到防止管道氧化和腐蚀的作用。

另外, 电子水处理仪的高频电场还能使水中产生一定量的活性氧, 如超氧阴离子自由基 O_2^- , 过氧化氢 H_2O_2 , 羟基自由基 OH 及臭氧 O_3 , 这些物质对水中的细菌、藻类有极强的破坏能力, 因此, 电子水处理仪还具有显著的杀菌、灭藻的功效。

冷却水塔的日常维护与管理的主要内容有:

(1) 配水系统如有不均匀处, 应及时进行调整。

(2) 集水槽要定期清洗, 百叶窗上的杂物应清理干净。

(3) 管道、喷嘴每月清洗一次。

(4) 联轴器内轴承内的润滑油必须定期更换。

(5) 减速箱器的油位必须保持在油位以上, 新冷却塔在运行一个月后应更换一次润滑油 (使用 20 号或 30 号机油)。

(6) 随时检查风机的叶片有无腐蚀, 若有就必须及时更换。

(7) 若水系统中没有安装电子水处理仪, 可向水系统中放入阻垢剂 (聚丙烯酸钠、乙二胺四甲叉磷酸) 和杀菌灭藻剂 (如液氯、次氯酸钠、漂白粉等)。

(8) 每年停机后, 应对电动机进行检查, 发现问题应及时排除。

冷却塔常见故障和处理方法见表 7-9。

表 7-9 冷却塔常见故障和处理方法

故障现象	原因分析	处理方法
配水不均匀	(1) 喷嘴或配水管道断裂或堵塞。 (2) 供水量过大	(1) 检修损坏部件, 清除杂物和清理水过滤网。 (2) 调整供水量
冷水温度过高	(1) 回水温度过高, 室外湿球温度升高。 (2) 水量过大。 (3) 填料不正常。 (4) 风量不足	(1) 调整回水温度。 (2) 减少循环水量。 (3) 整理填料。 (4) 增加送风量
水量散失过多	(1) 布水系统不正常。 (2) 收水器效果不好或损坏。 (3) 水量过大	(1) 清洗喷嘴、喷孔。 (2) 检查和整理收水器。 (3) 减少循环水量
变速箱出现异常噪声	(1) 轴承或齿轮组磨损或歪曲。 (2) 油质不良或油位太低。 (3) 防护罩与齿轮摩擦	(1) 检修或调整轴承和齿轮组。 (2) 更换或添加润滑油。 (3) 调整间距, 消除摩擦
主轴和联轴器振动	(1) 联轴器中心线不正。 (2) 联轴器内有杂物。 (3) 地轴弯曲或偏离中心。 (4) 齿轮磨损	(1) 调整中心线。 (2) 清除杂物。 (3) 检修和调整。 (4) 更换齿轮

思考与练习

1. 空调系统启动前应做哪些工作?
2. 空调系统日常维护的主要工作内容有哪些?
3. 风机盘管机组运行调节的内容有哪些?

4. 风机盘管机组的使用要求的主要内容是什么？
5. 空调系统风机在启动前应做哪些工作？
6. 空调系统风机的日常维护工作的主要内容是什么？
7. 水泵运行保养的主要工作内容有哪些？
8. 电子水处理仪的工作原理是怎样的？

第八章 制冷设备的运行管理

在空调用制冷系统中,各单位根据自己的实际条件选择了不同的制冷机组。但无论是选择活塞式、离心式、螺杆式或溴化锂吸收式制冷机中的那一种,其目的都是为空调系统在运行中对空气的处理(冷却降温、除湿)提供冷源,以满足空调房间对空气的参数要求。因此,空调系统在运行中能否达到预期目标,对制冷系统的运行状况是有很大依赖性的。

为使空调系统安全、可靠、高效率地运行,除要抓好空调系统的运行管理之外,抓好制冷系统的运行管理也同样具有重要意义。若没有制冷系统的正常工作,空调系统的正常运行只是一句空话。

第一节 制冷设备的管理细则

一、管理的组织工作

制冷设备的管理是指对制冷设备的运行操作、维护修理、设备的更新改造及设备的报废处理全过程的管理。

单位主管部门应在建立健全空调制冷设备管理机制和管理体系之后,根据设备的规模定员定岗,将一般操作人员、技师、工程师的搭配比例调节合适,以保证设备安全和正常运行的需要。

1. 制冷设备的管理内容

制冷设备的管理内容包括:

- (1) 设备的选型、购置;
- (2) 设备的使用和维护保养;
- (3) 设备的检修计划;
- (4) 设备的事故处理预案;
- (5) 设备的技术改造、更新和报废处置;
- (6) 设备技术资料的管理。

2. 制冷设备的管理要求

制冷设备的管理要求包括:

- (1) 编制各类计划和规划,主要包括制冷设备大、中、小检修计划,备品、备件及材料的外购计划、设备的改造或更新计划、职工制冷专业知识和操作技能培训计划及实施方法。
- (2) 制定科学系统的管理制度。如安全操作规程、定期检查维护保养制度、交接班制度等。
- (3) 建立设备卡片和技术档案。
- (4) 制定合理的水、电、油、气等消耗定额。

3. 技术培训

技术培训工作是单位对职工进行安全生产教育的重要组成部分，也是提高操作管理人员素质的重要手段。因此，在用人原则上应遵循国家劳动和社会保障部的先培训、后上岗的用人要求，对新参加工作和转换岗位的职工必须先进行约 250 课时左右的培训和相应的考试，待取得国家劳动和社会保障部统一颁发的资格证书之后才允许正式上岗，独立操作。制冷设备的管理人员应具备大学专科以上学历，对与设备相关知识有扎实的基础。对设备的管理者和运行操作者，每年进行一次安全生产技术检查和考核，对合格者颁发任职资格证书或聘书，并记入个人技术档案。

二、制冷设备的操作规程

制冷设备使用单位应根据所使用的制冷设备特性和实际运行经验，制定本单位的技术规程，加强对设备的管理，提高设备的完好率，确保生产安全。技术规程的制定要科学合理，严格遵守现行规范和制造厂商的使用说明书，语言简明扼要，具有可操作性，以便于贯彻执行。

制定制冷设备运行操作规程的具体内容应包括以下内容：

(1) 试运行程序。

1) 单机试运行程序。

2) 主机润滑油的充加程序。

3) 制冷设备制冷剂的充加程序。

4) 制冷设备的启动程序。

5) 制冷设备运行中的注意事项。

6) 制冷设备启动及启动运转中的检查、调整内容和方法。

7) 制冷设备停机及停机后的善后工作。

(2) 制冷设备的正常启动程序。

(3) 制冷设备正常启动中的注意事项及检查内容和调整方法。

(4) 制冷设备正常运行时巡查的内容：正常运行中的调节方法；各部位参数是否在要求的范围内；设备运转时的振动和噪声是否正常。

(5) 设备运行中故障的排除预案。

(6) 设备正常停机的操作程序。

(7) 设备运行中故障停机的操作程序及善后处理。

(8) 设备运行中紧急停机的操作程序及善后处理。

(9) 设备运行中的安全防护措施。

制冷设备运行操作中关键程序的规定：

1. 启动前的准备

设备在启动前的准备工作应包括以下内容：

(1) 设备场地周围的环境清扫，以及设备本体和有关附属设备的清洁处理。

(2) 电源电压的检查。

(3) 制冷设备中各种阀门通、断情况及阀位的检查。

(4) 能量调节装置应置于最小档位或“0”位，以便于制冷设备空载启动。

(5) 制冷设备的“排空”处理。

(6) 润滑油的补充。

(7) 设备中制冷剂的补充。

(8) 向油冷却器等附属设备中提供冷却水。

2. 制冷设备的启动运行

制冷设备在启动运行中应注意对启动程序、运行巡视检查内容和周期以及运行中的主要调节方法做出明确的规定，以指导正确启动设备和保证设备的正常运行。

(1) 启动程序。

1) 首先应启动冷却水泵、冷却塔风机，使冷凝器的冷却系统投入运行。

2) 启动冷媒水泵，使蒸发器中的冷媒水系统投入运行。

3) 启动制冷压缩机的电动机，待压缩机运行稳定后，进行油压调节。

4) 根据冷负荷的变化情况进行压缩的能量调节。

(2) 启动过程中应注意的问题。

1) 在设备启动过程中，必须在前一个程序结束，并且运行稳定正常后，方可进行下一个程序。不准在启动过程中，前一个程序还没结束，运行还不稳定的情况下即进行下一个程序的启动，以免发生事故。

2) 在启动过程中要注意机组各部分运行声音是否正常，油压、油温及各部分的油面液位、制冷剂液位是否正常，如有异常情况，应立即停机，检查原因，排除故障后再重新启动。

(3) 设备运行中的巡视及注意事项。

1) 设备启动完毕投入正常运行以后应加强巡视，以便及时发现问题，及时处理。其巡视的内容主要是：制冷压缩机运行中的油压、油温、轴承温度、油面高度；冷凝器进口处冷却水的温度和蒸发器出口冷媒水的温度；压缩机、冷却水泵、冷媒水泵运行时电动机的运行电流；冷却水、冷媒水的流量；压缩机吸、排气压力值；整个制冷机组运行时的声响、振动等情况。

2) 正常运行中的注意事项

对于离心式压缩机组，在正常运行中导流叶片的开度应避免喘振区。

对于活塞式制冷压缩机组，在正常运行过程中，应注意节流装置的调整，防止发生“液击”事故。同时也要注意运行中不要出现“负压”，以免使空气渗入制冷系统。

(4) 运行中的调整。

制冷设备运行操作规程中应详细说明设备在运行中的主要调整方法，如压缩机油压、油温不合适时的调整，吸、排气压力不正常时的调整，冷媒水、冷却水温度不合适时的调节，冷负荷发生变化时的调节等。

(5) 运行中的经常性维护。

制冷设备运行操作规程中应具体说明设备在运行中经常性维护的具体操作方法，如在运行中冷冻润滑油、制冷剂的补充方法，制冷系统混入空气后的“排空”方法等。

3. 停机程序和注意事项

制冷设备的操作运行规程中应详细具体说明停机操作程序。其程序的基本内容是：先停制冷压缩机电动机，再停蒸发器的冷媒水系统，最后停冷凝器的冷却水系统。

在制冷设备停机过程中应注意的问题：

1) 停机前应降低压缩机的负荷，使其在低负荷下运行一段时间，以免使低压系统在停

机后压力过高。但也不能太低（不能低于大气压），以免空气渗入制冷系统。

(2) 在空调系统制冷运行阶段结束后，制冷设备停机后应将冷凝器中的冷却水、蒸发器中的冷媒水、压缩机油冷却器中的冷却水等容器中的积水排干净，以免冬季时冻坏设备。

(3) 在停机过程中，为保证设备的安全，应在压缩机停机以后使冷媒水泵和冷却水泵再工作一段时间，以使蒸发器中存留的制冷剂全部气化，冷凝器中的制冷剂全部液化。

4. 故障停机和紧急停机

在制冷设备运行中，遇到因制冷系统发生故障而采取停机称为故障停机；遇到系统中突然发生冷却水中断或冷媒水中断，突然停电及发生火警采取的停机称为紧急停机。在操作运行规程中，应明确规定发生故障停机、紧急停机的程序及停机后的善后工作程序。

三、运行记录和交接班制度

制冷设备运行记录记载着每个班组操作管理的基本情况，它是对设备进行经济考核和技术分析的主要依据。因此，要求运行记录填写要及时、准确、清楚，并按月汇总装订，作为技术档案妥善保管。

运行记录的主要内容应包括：开机时间、停机时间及工作参数，每班组的水、电、气和制冷剂的消耗情况，各班组对运行情况的说明和建议以及交接班记事。

操作人员应根据设备的运行记录、观察到的制冷设备工况参数的变化等情况，及时采取措施，正确调节设备，降低消耗，提高制冷设备的工作效率，确保设备的安全运行。

交接班制度是现代企业连续性生产的基本管理模式，操作人员应严格遵守。交接班工作的主要内容是：

- (1) 清楚当班生产任务、设备运行情况和用冷部门的要求；
- (2) 检查运行操作记录是否完整，记录是否清楚；
- (3) 检查有关工具、用品等是否齐全；
- (4) 检查工作环境和设备是否清洁，周围有无杂物。

交接班中间发现的问题应在当班处理，交班人员在接班人员协同下负责处理完毕后再离开。

第二节 活塞式制冷压缩机运行管理

一、启动前的准备工作

启动前的准备工作主要有以下工作内容：

(1) 检查压缩机。

- 1) 检查压缩机曲轴箱的油位是否合乎要求，油质是否清洁。
- 2) 通过贮液器的液面指示器观察制冷剂的液位是否正常，一般要求液面高度应在示液镜的 $1/3 \sim 2/3$ 处。

3) 开启压缩机的排气阀及高、低压系统中的有关阀门，但压缩机的吸气阀和贮液器上的出液阀可先暂不开启。

4) 检查制冷压缩机组周围及运转部件附近有无妨碍运转的因素或障碍物。对于开启式压缩机可用手盘动联轴器数圈，检查有无异常。

5) 对具有手动卸载—能量调节的压缩机，应将能量调节阀的控制手柄放在最小能量位置。

6) 接通电源, 检查电源电压。

7) 开启冷却水泵(冷凝器冷却水、汽缸冷却水、润滑油冷却水等)。对于风冷式机组, 开启风机运行。

8) 调整压缩机高、低压力继电器及温度控制器的设定值, 使其指示值在所要求的范围内。压力继电器的压力设定值应根据系统所使用的制冷剂、运转工况和冷却方式而定, 一般在使用 R_{12} 为制冷剂时, 高压设定范围为 $1.3 \sim 1.5\text{MPa}$; 使用 R_{22} 、 R_{717} 为制冷剂时, 高压设定范围为 $1.5 \sim 1.7\text{MPa}$ 。

(2) 开启冷媒水泵, 使蒸发器中的冷媒水循环起来。

(3) 检查制冷系统中所有管路系统, 确认制冷管道无泄漏。水系统不允许有明显的漏水现象。

二、氟利昂制冷压缩机的开机操作

(1) 启动准备工作结束以后, 向压缩机电动机瞬时通、断电、点动压缩机运行 $2 \sim 3$ 次, 观察压缩机, 电动机启动状态和转向, 确认正常后, 重新合闸正式启动压缩机。

(2) 压缩机正式启动后逐渐开启压缩机的吸气阀, 注意防止出现“液击”的情况。

(3) 同时缓慢打开贮液器的出液阀, 向系统供液, 待压缩机启动过程完毕, 运行正常后将出液阀开至最大。

(4) 对于没有手动卸载—能量调节机构装置的压缩机, 待压缩机运行稳定以后, 应逐步调节卸载—能量调节机构, 即每隔 15min 左右转换一个档位, 直到达到所要求的档位为止。

(5) 在压缩机启动过程中应注意观察: 压缩机运转时的振动情况是否正常; 系统的高、低压及油压是否正常; 电磁阀、自动卸载—能量调节阀、膨胀阀等工作是否正常等。待这些项目都正常后, 启动工作结束。

三、氟利昂活塞式制冷压缩机的停机操作

氟利昂活塞式制冷压缩机的停机操作对于装有自动控制系统的压缩机由自动控制系统来完成, 对于手动控制系统则可按下述程序进行:

(1) 在接到停止运行的指令后, 首先关闭贮液器或冷凝器的出口阀(即供液阀)。

(2) 待压缩机的低压压力表的表压力接近于零, 或略高于大气压力时(大约在供液阀关闭 $10 \sim 30\text{min}$ 后, 视制冷系统蒸发器大小而定), 关闭吸气阀, 停止压缩机运转, 同时关闭排气阀。如果由于停机时机掌握不当, 而使停机后压缩机的低压压力低于 0 时, 则应适当开启一下吸气阀, 使低压压力表的压力上升至 0, 以避免停机后, 由于曲轴箱密封不好而导致外界空气的渗入。

(3) 停冷媒水泵、回水泵等, 使冷媒水系统停止运行。

(4) 在制冷压缩机停止运行 $10 \sim 30\text{min}$ 后, 关闭冷却水系统, 停止冷却水泵、冷却塔风机工作, 使冷却水系统停止运行。

(5) 关闭制冷系统上各阀门。

(6) 为防止冬季可能产生的冻裂故障, 应将系统中残存的水放干净。

四、制冷设备的紧急停机和事故停机的操作

制冷设备在运行过程中, 如遇下述情况, 应做紧急停机处理。

(1) 突然停电的停机处理。制冷设备在正常运行中, 突然停电时, 首先应立即迅速关闭系统中的供液阀, 停止向蒸发器供液, 避免在恢复供电而重新启动压缩机时, 造成“液击”

故障。接着应迅速关闭压缩机的吸、排气阀。

恢复供电以后，可先保持供液阀为关闭状态，按正常程序启动压缩机，待蒸发压力下降到一定值时（略低于正常运行工况下的蒸发压力），可再打开供液阀，使系统恢复正常运行。

(2) 突然冷却水断水的停机处理。制冷系统在正常运行工况条件下，因某种原因，突然造成冷却水供应中断时，应首先切断压缩机电动机的电源，停止压缩机的运行，以避免高温高压状态的制冷剂蒸汽得不到冷却，而使系统管道或阀门出现爆裂事故。之后关闭供液阀、压缩机的吸、排气阀，然后再按正常停机程序关闭各种设备。

在冷却水恢复供应以后，系统重新启动时可按停电后恢复运行时的方法处理。但如果由于停水而使冷凝器上的安全阀动作过，就还须对安全阀进行试压一次。

(3) 冷媒水突然断水的停机处理。制冷系统在正常运行工况条件下，因某种原因，突然造成冷媒水供应中断时，应首先关闭供液阀（贮液器或冷凝器的出口控制阀）或节流阀，停止向蒸发器供液态制冷剂。关闭压缩机的吸气阀，使蒸发器内的液态制冷剂不再蒸发或蒸发压力高于 0°C 时制冷剂相对应的饱和压力。继续开动制冷压缩机使曲轴箱内的压力接近或略高于 0 时，停止压缩机运行，然后其他操作再按正常停机程序处理。

当冷媒水系统恢复正常工作以后，可按突然停电后又恢复供电时的启动方法处理，恢复冷媒水系统正常运行。

(4) 火警时紧急停机。在制冷空调系统正常运行情况下，空调机房或相邻建筑发生火灾危及系统安全时，应首先切断电源，按突然停电的紧急处理措施使系统停止运行。同时向有关部门报警，并协助灭火工作。

当火警解除之后，可按突然停电后又恢复供电时的启动方法处理，恢复系统正常运行。制冷设备在运行过程中，如遇下述情况，应做故障停机处理。

- (1) 油压过低或油压升不上去。
- (2) 油温超过允许温度值。
- (3) 压缩机气缸中有敲击声。
- (4) 压缩机轴封处制冷剂泄漏现象严重。
- (5) 压缩机运行中出现较严重的液击现象。
- (6) 排气压力和排气温度过高。
- (7) 压缩机的能量调节机构动作失灵。
- (8) 冷冻润滑油太脏或出现变质情况。

制冷装置在发生上述故障时，采取何种方式停机，可视具体情况而定，可采用紧急停机处理，或按正常停机方法处理。

五、活塞式制冷压缩机的正常运行标志

正常运行标志主要是指下列内容：

- (1) 压缩机在运行时其油压应比吸气压力高 $0.1 \sim 0.3\text{MPa}$ 。
- (2) 曲轴箱上若有一个视油孔时，油位不得低于视油孔的 $\frac{1}{2}$ ；若有两个视油孔时，油位不超过上视孔的 $\frac{1}{2}$ ，不低于下视孔的 $\frac{1}{2}$ 。
- (3) 曲轴箱中的油温一般应保持在 $40 \sim 60^{\circ}\text{C}$ ，最高不得超过 70°C 。
- (4) 压缩机轴封处的温度不得超过 70°C 。

(5) 压缩机的排气温度，视使用的制冷剂的不同而不同。采用 R_{12} 制冷剂时不超过 130°C ，采用 R_{22} 制冷剂时不超过 145°C 。

(6) 压缩机的吸气温度比蒸发温度高 $5\sim 15^{\circ}\text{C}$ 。

(7) 压缩机的运转声音清晰均匀，且又有节奏，无撞击声。

(8) 压缩机电动机的运行电流稳定，机温正常。

(9) 装有自动回油装置的油分离器能自动回油。

一般活塞式制冷压缩机在运行中主要检测部位及其正常状态见表 8-1。

表 8-1 活塞式制冷压缩机在运行中的检测部位及其正常状态

设备名称	检测部位	检测内容	正 常 运 转 状 态
制 冷 压 缩 机	吸气管	吸气压力	吸气压力 = 蒸发温度对应的饱和压力 - 吸气管压力降
		吸气温度	吸气温度 = 蒸发温度 + 过热度 (过热度一般取 $5\sim 15^{\circ}\text{C}$)
	排气管	排气压力	排气压力 = 冷凝温度对应饱和压力 + 排气管压力降
		排气温度	与使用的制冷剂种类有关，一般不应超过 145°C
	油 泵	油 压	油压 $\approx$ 吸气压力 + $(0.1\sim 0.3)\text{ MPa}$
		油 温	不得超过 70°C
	视油孔镜	油 位	保持在视油孔的中心线左右
		清洁度	透明，不浑浊
	气缸盖	温 度	与使用的制冷剂种类有关，一般不应超过 120°C
		声 音	清晰、有节奏的跳动声，无撞击声
轴 承	轴 承	轴承温度	在外部用手摸时感觉稍热，应低于 55°C
轴 封	漏 油	漏 油	不得出现滴油现象
电动机	电 源	电 压	在额定电压 $\pm 10\%$ 之内
		电 流	低于额定电流

六、活塞式制冷压缩机的运行管理

当压缩机投入正常运行后，必须随时注意系统中各有关参数的变化情况，如压缩机的油压、吸、排气压力，冷凝压力，排气温度，冷却水温度，冷媒水温度，润滑油温度，压缩机电动机、水泵、风机电动机等的运行电流。同时，在运行管理中还应注意以下情况的管理和监测。

(1) 在运行过程中压缩机的运转声音是否正常，如发现不正常应查明原因，及时处理。

(2) 在运行过程中，如发现气缸有冲击声，则说明有液态制冷剂进入压缩机的吸气腔，此时应将能量调节机构置于空档位置，并立即关闭吸气阀，待吸入口的霜层溶化后，使压缩机运行大约 $5\sim 10\text{min}$ 后，再缓慢打开吸气阀，调整至压缩机吸气腔无液体吸入且吸气管底部有结露状态时，可将吸气阀全部打开。

(3) 运行中应注意监测压缩机的排气压力和排气温度，对于使用 R_{12} 或 R_{22} 的制冷压缩机，其排气温度不应超过 130°C 或 145°C 。

(4) 运行中，压缩机的吸气温度一般应控制在比蒸发温度高 $5\sim 15^{\circ}\text{C}$ 范围内。

(5) 压缩机在运转中各摩擦部件温度不得超过 70°C ，如果发现其温度急剧升高或局部过热时，则应立即停机进行检查处理。

(6) 随时检测曲轴箱中的油位、油温。若发现异常情况应及时采取措施处理。

(7) 压缩机运行中润滑油的补充。活塞式制冷压缩机在运行过程中,虽然大部分随排气被带走的冷冻润滑油,在油气分离器的作用下,会回到压缩机,但仍有一部分会随制冷剂的流动而进入整个系统,造成曲轴箱内冷冻润滑油减少,影响压缩机润滑系统的正常工作。因此,在运行中应注意观测油位的变化,随时进行补充。

冷冻润滑油的补充操作方法是:当曲轴箱中的油位低于油面指示器的下限时,可采用手动回油方法,观察油位能否回到正常位置。若仍不能回到正常位置,则应进行补充润滑油的工作。补油时应使用与压缩机曲轴箱中的润滑油同标号、同牌号的冷冻润滑油。加油时,用加氟管一端拧紧在曲轴箱上端的加油阀上,另一端用手捏住管口放入盛有冷冻润滑油的容器中。将压缩机的吸气阀关闭,待其吸气压力降低到0时(表压),同时打开加油阀,并松开捏紧加油管的手,润滑油即可被吸入曲轴箱中,待从视油镜中观测油位达到要求后,关闭加油阀,然后缓慢打开吸气阀,使制冷系统逐渐恢复正常运行。

(8) 压缩机运行过程中的“排空”问题。制冷系统在运行过程中会因各种原因使空气混入系统中,由于系统混有了空气,将会导致压缩机的排气压力和排气温度的升高,造成系统能耗的增加,甚至造成系统运行事故。因此,应在运行中及时排放系统中的空气。

制冷系统中混有空气后的特征为:压缩机在运行过程中高压压力表的表针出现剧烈摆动,排气压力和排气温度都明显高于正常运行时的参数值。

对于氟利昂制冷系统,由于氟利昂制冷剂的密度大于空气的密度。因此,当氟利昂制冷系统中有空气存在时,一般会聚集在贮液器或冷凝器的上部。所以,氟利昂制冷系统的“排空”操作可按下述步骤进行。

(1) 关闭贮液器或冷器的出液阀(事先应将电气控制系统中的压力继电器短路,以防止它的动作导致压缩机无法运行),使压缩机继续运行,将系统中的制冷剂全部收集到贮液器或冷凝器中,在这一过程中让冷却水系统继续工作,将气态制冷剂冷却成为液态制冷剂。当压缩机的低压运行压力达到0(表压)时,停止压缩机运行。

(2) 在系统停机约1h后,拧松压缩机排气阀的旁通孔的丝堵,调节排气阀至三通状态,使系统中的空气从旁通孔逸出。若在贮液器或冷凝器的上部设有排气阀时,可直接将排气阀打开进行“排空”。在放气过程中可将手背放在气流出口,感觉一下排气温度。若感觉到气体较热或为正常温度,则说明排出的基本上是空气;若感觉排出的气体较凉,则说明排出的是制冷剂,此时应立即关闭排气阀口,排气工作可基本告一段落。

3) 为检验“排空”效果,可在“排空”工作告一段落后,恢复制冷系统运行(同时将压力继电器电路恢复正常)后,再观察一下运行状态。若高压压力表不再出现剧烈摆动,冷凝压力和冷凝温度在正常值范围内,可认为“排空”工作已达到目的。若还是有存有空气的现象,就应继续进行“排空”工作。

七、活塞式制冷压缩机常见故障分析及排除

1. 活塞式制冷压缩机的维护与保养

活塞式制冷压缩机的维护,以开启式压缩机为例,一般应根据运行时间来决定,一般正常运行情况下,压缩机累计运行1000h以后应进行小修;压缩机累计运行2000h以后应进行中修;压缩机累计运行3000h以后应进行大修。

活塞式制冷压缩机大、中、小检修的内容见表8-2。

表 8-2

活塞式制冷压缩机的检修内容

序号	主要部件	小 修	中 修	大 修
1	排气阀组、安全弹簧与阀	检查和清洗阀片、内外阀座, 更换已损坏的阀片及弹簧, 调整其开启度, 试验其密封性	检查安全弹簧是否有斑痕或裂纹现象; 检查余隙, 并进行调整; 修理或更换不严密的阀	检查修理和校验控制阀和安全阀, 更换阀的填料, 重浇合金阀座或更换塑料密封圈
2	气缸套与活塞	检查气缸套与吸汽阀片接触密封面及与阀座面是否良好, 检查气缸壁的粗糙度, 并清洗污垢	检查活塞环和油环的锁口间隙、环与槽的高度、深度间隙, 以及弹力是否符合要求。否则, 应更换新的。检查活塞销与销座的间隙及磨损情况	测量气缸套与活塞的间隙, 以及气缸套和活塞的磨损情况。若超过极限尺寸, 应更换气缸套或活塞 (包括活塞环和油环)
3	连杆体和连杆大头轴瓦	检查连杆螺栓和开口销或防松铅丝, 有无松脱及折断现象	检查连杆大头轴瓦径向和轴向间隙, 以及小头衬套的径向间隙和磨损情况。若超过极限尺寸, 应更换新的	依照修复后的曲拐轴径配大头轴瓦, 或重浇轴承合金; 以修复后的连杆大头孔来配大头轴瓦; 测量活塞销的椭圆度和圆锥度以及磨损情况; 测量连杆大头与小头孔的两个方向的平行度, 以确定连杆是否弯曲
4	曲轴和主轴承		测量各轴承的径向和轴向间隙, 需要时应修整	测量曲轴主轴颈与曲拐轴径的平行度, 或各轴颈的磨损度 (椭圆度和圆锥度), 以便修整或更换曲轴; 修整主轴承或重浇轴承合金
5	轴封		检查调整轴封的各零件配合情况。若密封性良好, 待大修时进行拆卸	检查静环和动环的密封面是否良好, 内、外弹性圈是否老化, 弹簧性能是否符合要求, 否则, 应更换新的
6	润滑系统	清洗曲轴箱及粗滤油器, 更换润滑油	检查和清洗油三通阀以及润滑系统; 检查卸载装置是否良好, 否则, 进行修理或更换新的	检查油泵齿轮的配合间隙, 或更换齿轮和泵轴轴衬; 检查和清洗精滤油器; 检查和清洗油分配阀, 如弹性圈老化, 就应更换新的
7	其他	检查卸载装置的灵活性, 查看油冷却器是否有漏水现象, 清除污垢, 检查和清洗吸气过滤器	检查电机与压缩机传动装置的倾斜度和轴的同心度; 检查压缩机基础螺栓和联轴器的紧固情况, 以及活塞销或橡胶套的磨损情况	检查和校验压缩机的压力表、控制仪表和安全装置; 检查和清洗回油浮球阀, 或进行修理; 清洗气缸盖水套的污垢

2. 活塞式制冷压缩机常见故障及排除

活塞式制冷压缩机常见故障及排除方法见表 8-3。

表 8-3

活塞式制冷压缩机常见故障及排除方法

故 障 现 象	故 障 原 因	排 除 方 法
压缩机不运转	(1) 电气线路故障、熔丝熔断、热继电器动作。 (2) 电动机绕组烧毁或匝间短路。 (3) 活塞卡住或抱轴。 (4) 压力继电器动作	(1) 找出断电原因, 换熔丝或复位按钮。 (2) 测量各相电阻及绝缘电阻、修理电机。 (3) 打开机盖、检查修理。 (4) 检查油压、温度、压力继电器, 找出故障, 修复后复位按钮
压缩机不能正常启动	(1) 线路电压过低或接触不良。 (2) 排气阀片漏气, 造成曲轴箱内压力过高。 (3) 温度控制器失灵。 (4) 压力控制器失灵	(1) 检查线路电压过低的原因及其电动机联接的启动元件。 (2) 修理研磨阀片与阀座的密封线。 (3) 校验调整温度控制器。 (4) 校验调整压力控制器
压缩机启动、停机频繁	(1) 温度继电器幅差太小。 (2) 排气压力过高, 高压继电器动作	(1) 调整温度继电器的控制温度。 (2) 检查冷凝器的供水情况
压缩机不停机	(1) 制冷剂不足或泄漏。 (2) 温控器、压力继电器或电磁阀失灵	(1) 检漏、补充制冷剂。 (2) 检查后修复或更换
压缩机启动后没有油压	(1) 供油管路或油过滤器堵塞。 (2) 油压调节阀开启过大或阀心损坏。 (3) 曲轴箱内有氨液, 油泵不上油	(1) 疏通清洗油管和油过滤器。 (2) 调整油压调节阀, 使油压调到需要数值, 或修复阀心。 (3) 及时停机, 排除氨油
油压过高	(1) 油压调节阀未开或开启过小。 (2) 油压调节阀阀心卡住	(1) 调整油压达到要求值。 (2) 修理油压调节阀
油压不稳	(1) 油泵吸入带有泡沫的油。 (2) 油路不畅通	(1) 排除油起泡沫的原因。 (2) 检查疏通油路
油温过高	(1) 曲轴箱油冷却器缺水。 (2) 主轴装配间隙太小。 (3) 油封摩擦环装配过紧或摩擦环拉毛。 (4) 润滑油不清洁	(1) 检查水阀及供水管路。 (2) 调整装配间隙, 使符合技术要求。 (3) 检查修理轴封。 (4) 清洗油过滤器、换上新油
油泵不上油	(1) 油泵严重磨损, 间隙过大。 (2) 油泵装配不当。 (3) 油管堵塞	(1) 检修更换零件。 (2) 拆卸检查, 重新装配。 (3) 清洗过滤器和油管
曲轴箱中润滑油起泡沫	(1) 油中混有大量氨液, 压力降低时由于氨液蒸发引起泡沫。 (2) 曲轴箱中油太多, 连杆大头搅动油引起泡沫	(1) 将曲轴箱中的氨液抽空, 换上新油。 (2) 从曲轴箱中放油, 降到规定的油面

续表

故 障 现 象	故 障 原 因	排 除 方 法
压缩机耗油量过多	(1) 油环严重磨损, 装配间隙过大。 (2) 油环装反, 环的锁口在一条垂线上。 (3) 活塞与气缸间隙过大。 (4) 油分离器自动回油阀失灵	(1) 更换油环。 (2) 重新装配。 (3) 调整活塞环, 必要时更换活塞或缸套。 (4) 检修自动回油阀, 使油及时返回曲轴箱
曲轴箱压力升高	(1) 活塞环密封不严, 高低压串气。 (2) 排气阀片关闭不严。 (3) 缸套与机座不密封。 (4) 氨液进入曲轴箱蒸发所致	(1) 检查修理。 (2) 检修阀片密封线。 (3) 清洗或更换垫片。 (4) 抽空曲轴箱氨液
能量调节机构失灵	(1) 油压过低。 (2) 油管堵塞。 (3) 油活塞卡住。 (4) 拉杆与转动环卡住。 (5) 油分配阀安装不合适	(1) 调整油压。 (2) 清洗油管。 (3) 检查原因, 重新装配。 (4) 检修拉杆与转动环, 重新装配。 (5) 用通气法检查各工作位置是否适当
排气温度过高	(1) 冷凝温度太高。 (2) 吸气温度太低。 (3) 回气温度过热。 (4) 活塞上死点余隙过大。 (5) 气缸盖冷却水量不足	(1) 加大冷却水量, 放空气。 (2) 调整供液量或向系统加氨。 (3) 按吸气温度过热处理。 (4) 按设备技术要求调整余隙。 (5) 加大气缸盖冷却水量
回气过热度过高	(1) 蒸发器中供液太少或系统缺氨。 (2) 吸气阀片漏气或破损。 (3) 吸气管道隔热失效	(1) 调整供液量, 或向系统加氨。 (2) 检查研磨阀片或更换阀片。 (3) 检查更换隔热材料
排气温度过低	(1) 压缩机来霜。 (2) 中冷器供液过多	(1) 调节关小节流阀。 (2) 关小中冷器供液阀
压缩机排气压力比冷凝压力高	(1) 排气管道中的阀门未全开。 (2) 排气管道内局部堵塞。 (3) 排气管道管径太小	(1) 开足排气管道中的阀门。 (2) 检查去污, 清理堵塞物。 (3) 通过验算, 更换管径
吸气压力比正常蒸发压力低	(1) 供液太多, 使压缩机吸入未蒸发的液体, 造成吸气温度过低。 (2) 制冷量大于蒸发器的热负荷。进入蒸发器的氨液未来得急蒸发吸热即被压缩机吸入。 (3) 蒸发器上的冰霜层过厚或内部积油太多, 造成氨液未能全部蒸发而被压缩机吸入	(1) 适当减少供液。 (2) 调整压缩机, 使制冷量与蒸发器的热负荷相一致。 (3) 进行除霜和放油
压缩机来霜	(1) 在正常蒸发压力下, 压缩机吸气温度过低, 氨液被吸入气缸。 (2) 低压循环贮液器氨液面超高。 (3) 中间冷却器液面超过。 (4) 热氨冲霜后恢复正常降温时吸气阀开启太快	(1) 关小供液阀, 减少供液量, 关小压缩机吸气阀, 将卸载装置拨至最小容量, 待来霜消除后恢复吸气阀和卸载装置。 (2) 关小供液阀或对循环贮液器进行排液。 (3) 关小中冷器供液阀或对中冷器进行排液。 (4) 应缓慢开启吸气阀, 并注意压缩机吸气温度, 运转正常再逐渐完全开启

续表

故障现象	故障原因	排除方法
压力表指针跳动剧烈	(1) 系统内有空气。 (2) 压力表失灵	(1) 进行放空气。 (2) 检修或更换压力表
气缸中有敲击声	(1) 活塞上死点余隙过小。 (2) 活塞销与连杆小头孔间隙过大。 (3) 吸排气阀固定螺栓松动。 (4) 安全弹簧变形, 丧失弹性。 (5) 活塞与气缸间隙过大。 (6) 阀片破碎, 碎片落入气缸内。 (7) 润滑油中残渣过多。 (8) 气缸与曲轴连杆中心线不正。 (9) 氨液进入气缸产生液击	(1) 按要求重新调整余隙。 (2) 更换磨损严重的零件。 (3) 紧固螺栓。 (4) 更换弹簧。 (5) 检修或更换活塞环与缸套。 (6) 停机检查更换阀片。 (7) 清洗换油。 (8) 检查修理。 (9) 调整操作
曲轴箱有敲击声	(1) 连杆大头瓦与曲拐轴颈的间隙过大。 (2) 主轴承与主轴颈间隙过大。 (3) 开口销断裂, 连杆螺母松动。 (4) 联轴器中心不正或联轴器键槽松动。 (5) 主轴滚动轴承的轴承架断裂或钢珠磨损	(1) 调整或换上新瓦。 (2) 修理或换上新瓦。 (3) 更换开口销, 紧固螺母。 (4) 调整联轴器或检修键槽。 (5) 更换轴承
气缸拉毛	(1) 活塞与气缸间隙过小, 活塞环锁口尺寸不正确。 (2) 排气温度过高, 引起油的粘度降低。 (3) 吸气中含有杂质。 (4) 润滑油粘度太低, 含有杂质。 (5) 连杆中心与曲轴颈不垂直, 活塞走偏	(1) 按要求间隙重新装配。 (2) 调整操作, 降低排气温度。 (3) 检查吸气过滤器, 清洗或换新。 (4) 更换润滑油。 (5) 检修校正
阀片变形或断裂	(1) 压缩机液击。 (2) 阀片装配不正确。 (3) 阀片质量差	(1) 调整操作, 避免压缩机严重来潮。 (2) 细心、正确地装配阀片。 (3) 换上合格阀片
轴封严重漏油	(1) 装配不良。 (2) 动环与静环摩擦面拉毛。 (3) 橡胶密封圈变形。 (4) 轴封弹簧变形、弹力减弱。 (5) 曲轴箱压力过高	(1) 正确装配。 (2) 检查校验密封面。 (3) 更换密封圈。 (4) 更换弹簧。 (5) 检修排气阀泄漏, 停机前使曲轴箱降压
轴封油温过高	(1) 动环与静环摩擦面比压过大。 (2) 主轴承装配间隙过小。 (3) 填料压盖过紧。 (4) 润滑油含杂质多或油量不足	(1) 调整弹簧强度。 (2) 调整间隙达到配合要求。 (3) 适当紧固压盖螺母。 (4) 检查油质, 更换油或清理油路油泵
压缩机主轴承发热	(1) 润滑油不足或缺油。 (2) 主轴承径向间隙过小。 (3) 主轴瓦拉毛。 (4) 油冷却器冷却水不畅	(1) 检查油泵、油路, 补充新油。 (2) 检修主轴承径向间隙, 达到要求。 (3) 检修或换新瓦。 (4) 检修油冷却器管路, 保证供水畅通

续表

故障现象	故障原因	排除方法
连杆大头瓦熔化	(1) 大头瓦缺油, 形成干摩擦。 (2) 大头瓦装配间隙过小。 (3) 曲轴油孔堵塞。 (4) 润滑油含杂质太多, 造成轴瓦拉毛发热熔化	(1) 检修清洗油泵、换上新瓦。 (2) 按间隙要求重新装配。 (3) 检查清洗曲轴油孔。 (4) 换上新油和新轴瓦
活塞在气缸中卡住	(1) 气缸缺油。 (2) 活塞环搭口间隙太少。 (3) 气缸温度变化剧烈。 (4) 油含杂质多, 质量差	(1) 疏通油路, 检修油泵。 (2) 按要求调整装配间隙。 (3) 调整操作, 避免气缸温度剧烈变化。 (4) 换上合理的润滑油

第三节 离心式压缩机的运行管理

一、离心式压缩机启动前的准备工作

离心式制冷压缩机启动前的准备工作的内容主要有以下几项:

1. 压力检漏试验

压力检漏是指将干燥的氮气充入离心式制冷压缩机的系统内, 通过对其加压来进行检漏的方法。其具体操作方法是:

(1) 充入氮气前关闭所有通向大气的阀门;

(2) 打开所有连接管路、压力表、抽气回收装置的阀门;

(3) 向系统内充入氮气。充入氮气的过程可以分成两步进行。第一步先充入氮气, 至压力为 $0.05 \sim 0.1 \text{ MPa}$ 时止, 检查机组有无大的泄漏。确认无大的泄漏后, 再加压。第二步对于使用 R_{12} 、 R_{22} 、 R_{134G} 为制冷剂的机组, 可加压至 1.2 MPa 左右 (对使用 R_{11} 、 R_{123} 机组加压至 0.15 MPa 左右为宜)。若机组装有防爆片装置的, 则氮气压力应小于防爆片的工作压力。

充入氮气工作结束后, 可用肥皂水涂抹机组的各接合部位、法兰、填料盖、焊接处, 检查有无泄漏, 若有泄漏疑点就应做好记号, 以便维修时用。对于蒸发器和冷凝器的管板法兰处的检查, 应卸下水室端盖进行检查。

在检查中若发现有微漏现象, 为确定是否泄漏, 可向系统内充入少量氟利昂制冷剂, 使氟利昂制冷剂与氮气充分混合后, 再用电子检漏仪或卤素检漏灯进行确认性检漏。

在确认机组各检测部位无泄漏以后, 应进行保压试漏工作, 其要求是: 在保压试漏的 24 h 内, 前 6 h 机组的压力下降应不超过 2% , 其余 18 h 应保持压力稳定。若考虑环境温度变化对压力值的影响, 可按下式计算压力变化的波动值 Δp 。

$$\Delta p = p_1 \cdot \frac{273 + t_2}{273 + t_1}$$

式中 p ——试验开始时机组内的压力, Pa ;

t ——试验开始时的环境温度, $^{\circ}\text{C}$;

t_2 ——试验结束时的环境温度, $^{\circ}\text{C}$ 。

2. 机组的干燥除湿

在压力检漏合格后，下一步工作是对机组进行干燥除湿。干燥除湿的方法有两种：一种为真空干燥法，另一种为干燥气体置换法。

真空干燥法的具体方法是：用高效真空泵将机组内压力抽至 666.6~1333.2Pa 的绝对压力，此时水的沸点降至 1~10℃，使水的沸点远远低于当地温度，造成机组内残留的水分充分汽化，并被真空泵排出。

干燥气体置换法的具体方法是：利用高真空泵将机组内抽成真空状态后，充入干燥氮气，促成机组内残留的水分汽化，通过观察 U 形水银压力计水银柱高度的增加状况，反复抽真空充氮气 2~3 次，以达到除湿目的。

3. 真空检漏试验

根据 JB/T 3355—91 标准中的规定，机组的真空度应保持在 1333Pa 的水平。真空检漏试验的操作方法是：

将机组内部抽成绝对压力为 2666Pa 的状态，停止真空泵的工作，关闭机组连通真空泵的波纹管阀，等待 1~2h 后，若机组内压力回升，可再次启动真空泵抽空至绝对压力 2666Pa 以下，以除去机组内部残留的水分或制冷剂蒸汽。若如此反复多次后，机组内压力仍然上升，可怀疑机组某处存在泄漏，应重作压力检漏试验。

从停止真空泵最后一次运行开始计时，若 24h 后机组内压力不再升高，可认为机组基本上无泄漏，可再保持 24h。若再保持 24h 后，机组内真空度的下降总差值不超过 1333Pa，就可认为机组真空度合格。若机组内真空度的下降超过 1333Pa，则需要继续做压力检验直到合格为止。

4. 充灌冷冻润滑油

离心式制冷压缩机在压力检漏和干燥处理工作程序完成以后，在制冷剂充灌之前进行冷冻润滑油的充灌工作。其操作方法是：

(1) 将加油用的软管一端接油泵油箱（或油槽）上的润滑油充灌阀上，另一端的端头上用 300 目铜丝过滤网包扎好后，浸入油桶（罐）之中。开启充灌阀，靠机组内、外压力差将润滑油吸入机组中。

(2) 对使用 R₁₁（或 R₁₂₃）机组，初次充灌的润滑油油位标准是从视油镜上可以看到油面高度为 5~10mm 的高度。因为当制冷剂充入机组后，制冷剂在一定温度、压力下溶于油中使油位上升。机组中若油位过高，就会淹没增速箱及齿轮，造成油溅，使油压剧烈波动，进而使机组无法正常运行。而对使用 R₂₂ 的机组，由于润滑油与制冷剂互溶性差，所以可一次注满。

(3) 冷冻润滑油初次充灌工作完成后，应随即接通油槽下部的电加热器，加热油温至 50~60℃ 后，电加热器投入“自动”操作。润滑油被加热以后，溶入油中的制冷剂会逐渐逸出。当制冷剂基本逸出后，油位处于平衡状态时，润滑油的油位应在视镜刻度中线 ±5mm 的位置上。若油量不足，就应再接通油罐，进行补充。

(4) 进行补油操作时，由于机组中已有制冷剂，使机组内压力大于大气压力，此时，可采用润滑油充填泵进行加油操作。

5. 充灌制冷剂

离心式制冷压缩机在完成了充灌冷冻润滑油的工作程序后，下一步应进行制冷剂的充灌

操作。其操作方法是：

(1) 用铜管或 PVC (聚氯乙烯) 管的一端与蒸发器下部的加液阀相连，而另一端与制冷剂贮液罐顶部接头连接，并保证有好的密封性。

(2) 加氟管 (铜管或 PVC 管) 中间应加干燥器，以去除制冷剂中的水分。

(3) 充灌制冷剂前应对油槽中的润滑油加温至 $50 \sim 60^{\circ}\text{C}$ 。

(4) 若在制冷压缩机处于停机状态时充灌制冷剂，可启动蒸发器的冷媒水泵 (加快充灌速度及防止管内静水结冰)。初灌时，机组内应具有 $0.866 \times 10^5 \text{Pa}$ 以上的真空度。

(5) 随着充灌过程的进展，机组内的真空度下降，吸入困难时 (当制冷剂已浸没两排传热管以上时)，可启动冷却水泵运行，按正常启动操作程序运转压缩机 (进口导叶开度为 $15\% \sim 25\%$ ，避开喘振点，但开度又不宜过大)，使机组内保持 $0.4 \times 10^5 \text{Pa}$ 的真空度，继续吸入制冷剂至规定值。

在制冷剂充灌过程中，当机组内真空度减小，吸入困难时，也可采用吊高制冷剂钢瓶，提高液位的办法继续充灌，或用温水加热钢瓶。但切不可用明火对钢瓶进行加热。

(6) 充灌制冷剂过程中应严格控制制冷剂的充灌量。各机组的充灌量均标明在《使用说明书》及《产品样本》上。机组首次充入量应约为额定值的 50% 左右。待机组投入正式运行时，根据制冷剂在蒸发器内的沸腾情况再作补充。

制冷剂一次充灌量过多，会引起压缩机内出现“带液”现象，造成主电动机功率超负荷和压缩机出口温度急剧下降。而机组中制冷剂充灌量不足，在运行中会造成蒸发温度 (或冷媒水出口温度) 过低而自动停机。

6. 负荷试机

负荷试机的目的主要是检查机组和对其技术性能进行调整。

负荷试机前的检查及准备工作的内容是：

(1) 检查主电源、控制电源、控制柜、启动柜之间的电气线路和控制管路，确认接线正确无误；

(2) 检查控制系统中各调节项目、保护项目、延时项目等的控制设定值，应符合技术说明书上的要求，并且要动作灵活、正确；

(3) 检查机组油槽的油位，油面应处于视镜的中央位置；

(4) 油槽底部的电加热器应处于自动调节油温位置，油温应在 $50 \sim 60^{\circ}\text{C}$ 范围内；点动油泵使润滑油循环，油循环后油温下降应继续加热使其温度保持在 $50 \sim 60^{\circ}\text{C}$ 范围，应反复点动多次，使系统中的润滑油温超过 40°C 以上；

(5) 开启油泵后调整油压至 $0.196 \sim 0.294 \text{MPa}$ 之间；

(6) 检查蒸发器视液镜中的液位，看是否达到规定值。若达不到规定值，就应补充。否则，不准开机；

(7) 启动抽气回收装置运行 $5 \sim 10 \text{min}$ ，并观察其电动机转向；

(8) 检查蒸发器、冷凝器进出水管的连接是否正确，管路是否畅通，冷媒水、冷却水系统中的水是否灌满，冷却塔风机能否正常工作；

(9) 将压缩机的进口导叶调至全闭状态，能量调节阀处于“手动”状态；

(10) 启动蒸发器的冷媒水泵，调整冷媒水系统的水量和排除其中的空气；

(11) 启动冷凝器的冷却水泵，调整冷却水系统的水量和排除其中的空气；

(12) 检查控制柜上各仪表指示值是否正常, 指示灯是否亮;

(13) 抽气回收装置未投入运转或机组处于真空状态时, 它与蒸发器、冷凝器顶部相通的两个波纹管阀门均应关闭;

(14) 检查润滑油系统, 各阀门应处于规定的启闭状态, 即高位油箱和油泵油箱的上部与压缩机进口处相通的气相平衡管应处于贯通状态。油引射装置两端波纹管阀应处于暂时关闭状态;

(15) 检查浮球阀是否处于全闭状态;

(16) 检查主电动机冷却供、回液管上的波纹管阀, 抽气回收装置中回收冷却供、回液管上波纹管阀等供应制冷剂的各阀门是否处于开启状态;

(17) 检查各引压管线阀门、压缩机及主电动机气封引压阀门等是否处于全开状态。

负荷试机的操作程序:

(1) 启动冷却水泵和冷媒水泵;

(2) 打开主电动机和油冷却水阀, 向主电动机冷却水套及油冷却器供水;

(3) 启动油泵, 调节油压, 使油压(表压)达到 $19.6 \times 10^5 \sim 29.6 \times 10^5 \text{ Pa}$ 以上;

(4) 启动抽气回收装置;

(5) 检查导叶位置及各种仪表;

(6) 启动主电动机, 开启导叶, 达到正常运行。

在确认机组一切正常后, 可停止负荷试机, 以便为正式启动运行做准备。其停机程序是:

(1) 停止主电动机工作, 待完全停止运转后再停油泵;

(2) 停止冷却水泵和冷媒水泵运行, 关闭供水阀;

(3) 根据需要接通油箱的电加热器或使其自动工作, 保持油温在 $55 \sim 60^\circ\text{C}$ 范围内, 以便为正式运行做准备。

二、离心式压缩机的开机操作

离心式压缩机的启动运行方式有“全自动”运行方式和“部分自动”即手动启动运行方式两种。

离心式压缩机无论是全自动运行方式或部分自动—手动运行方式的操作, 其启动连锁条件和操作程序都是相同的。制冷机组启动时, 若启动连锁回路处于下述任何一项时, 即使按下启动按钮, 机组也不会启动, 例如: 导叶没有全部关闭; 故障保护电路动作后没有复位; 主电动机的启动器不处于启动位置上; 按下启动开关后润滑油的压力虽然上升了, 但升至正常油压的时间超过了 20s; 机组停机后再启动的时间未达到 15min; 冷媒水泵或冷却水泵没有运行或水量过少等。

当主机的启动运行方式选择“部分自动”控制时, 主要是指冷量调节系统是人为控制的, 而一般油温调节系统仍是自动控制, 启动运行方式的选择对机组的负荷试机和调整都没有影响。

机组启动方式的选择原则是: 新安装的机组及机组大修后进入负荷试机调整阶段, 或者蒸发器运行工况需要频繁变化的情况下, 常采用主机“部分自动”的运行方式, 即相应的冷量调节系统选择“部分自动”的运行方式。

当负荷试机阶段结束, 或蒸发器运行的使用工况稳定以后, 可选择“全自动”运行方

式。

无论选择何种运行方式,机组开始启动时均由操作人员在主电动机启动过程结束达到正常转速后,逐渐地开大进口导叶开度,以降低蒸发器出水温度,直到达到要求值,然后将冷量调节系统转入“全自动”程序或仍保持“部分自动”的操作程序。

离心式压缩机启动的操作方法如下:

(1) 启动操作。

对就地控制机组(A型),按下“清除”按钮,检查除“油压过低”指示灯亮外,是否还有其他故障指示灯亮。若有就应查明原因,并予以排除。

对集中控制机组(B型),待“允许启动”指示灯亮时,闭合操作盘(柜)上的开关至启动位置。

(2) 启动过程监视与操作。

在“全自动”状态下,油泵启动运转延时20s后,主电动机应启动。此时应监听压缩机运转中是否有异常情况,如发现异常情况就应立即进行调整和处理,若不能马上处理和调整就应迅速停机处理后再重新启动。

当主电动机运转电流稳定后,迅速按下“导流叶片开大”按钮。每开启5%~10%导叶角度,应稳定3~5min,待供油压力值回升后,再继续开启导叶。待蒸发器出口冷媒水温度接近要求值时,对导叶的手动控制可改为温度自动控制。

在启动过程中应注意监测:

1) 冷凝压力表上读数不允许超过极限值 $0.78 \times 10^5 \text{Pa}$ (表压),否则会停机。若压力过高,必要时就可用“部分自动”启动方式运转抽气回收装置约30min或加大冷却水流量来降低冷凝压力。

2) 压缩机进口导叶由关闭至额定制冷量工况的全开过程,供油压力表上读数约下降 $(0.686 \sim 1.47) \times 10^5 \text{Pa}$ (表压)。若下降幅度过大,就可在表压 $1.57 \times 10^5 \text{Pa}$ 时稳定30min,待机组工况平稳后,再将供油压力调至规定值 $(0.98 \sim 1.47) \times 10^5 \text{Pa}$ (表压)的上限。

要注意观察机组油槽油位的状况,因为过高的供油压力将会造成漏油故障。压缩机运行时,必须保证压缩机出口气压比轴承回油处的油压约高 $0.1 \times 10^5 \text{Pa}$,只有这样才能使压缩机叶轮后充气密封、主电动机充气密封、增速箱箱体与主电动机回液(气)腔之间充气密封起到封油的作用。

3) 油槽油位的高度反映了润滑油系统的循环油量的大小。机组启动之前,制冷剂可能较多地溶解于油中,造成油槽视镜中的油位上升。随着进口导叶开度的加大、轴承回油温度上升及油槽油温的稳定,在油槽油面及内部聚集着大量的制冷剂气泡,若此时油压指示值稳定,则这些气泡属于机组启动及运行初期的正常现象。待机组稳定运行3~4h后,气泡即慢慢消失,此时油槽中的油位,才是真正的真实油位。

在机组启动时,由于油槽中有大量的气泡产生,供油压力会呈缓慢下降的趋势,此时,应严密监视油压的变化。当油压降到机组最低供油压力值(如表压 $0.78 \times 10^5 \text{Pa}$)时,应做紧急停机处理,以免造成机组的严重损坏。

4) 机组启动及运行过程中油槽中的油温应严格控制在50~60℃。若油槽中油温过高,可切断电加热器或加大油冷却器供液量,使油温下降。

5) 供油油温应严格控制在35~50℃之间,与油槽油温同时调节,方法相同。

6) 机组轴承中, 叶轮轴上的推力轴承温度最高, 应严格控制各轴承温度不大于 65°C 。

7) 机组在启动过程中还需注意以下几个问题: ①压缩机进口导叶关至零位。②油槽中油温需大于或等于 40°C 。③供油压力需大于 250kPa 。④冷媒水和冷却水供应正常。⑤两次开机时间间隔大于 20min 。

若①~⑤中任何一项不具备, 主电动机就不能启动。

(3) 离心式压缩机运行的正常操作参数 (见表 8-4)。

表 8-4 离心式压缩机运行的正常操作参数

操 作 参 数	正 常 值	操 作 参 数	正 常 值
油槽油位	油槽视镜水平中线 $\pm 5\text{mm}$	冷凝压力 (表压)	$< 0.076\text{MPa}$ (R123 型机 组)
油槽油温	$55\sim 65^{\circ}\text{C}$ (对 19DK/DM 机组为 $60\sim 65^{\circ}\text{C}$)	蒸发器冷水出水温度*	$(7\pm 0.3)^{\circ}\text{C}$
轴承供油温度	$35\sim 50^{\circ}\text{C}$	冷凝器冷却水进水温度*	$(32\pm 0.3)^{\circ}\text{C}$
轴承温度 ^①	$\leq 70^{\circ}\text{C}$ (不低于 45°C)	冷凝器与回收冷凝器压 差	$0.0137\sim 0.027\text{MPa}$
机壳顶部轴承位振动*	$\leq 0.03\text{mm}$ (双振幅)	主电动机电流	因机组的不同容量而异
轴承供油压力* (表压)	$0.1\sim 0.2\text{MPa}$ (对 19DK/DM 机组为 $0.138\sim$ 0.172MPa)	压缩机进口导叶开度	100%
主电动机端盖轴承部位 振动*	$\leq 0.03\text{mm}$ (双振幅)	蒸发器中制冷剂液位	视镜水平中线 $\pm 10\text{mm}$

* 测量应符合 JB/T 3355—91 标准中规定内容。

① 19DK/DM 型机组运行时, 要求轴承回油温度应在 $66\sim 80^{\circ}\text{C}$ 之间。

(4) 确认机组机械部分运转是否正常。

1) 注意监听压缩机转子、齿轮啮合、油泵、主电动机径向轴承等部分, 是否有金属撞击声、摩擦声或其他异常声响, 并判断压缩机在出现异常声响后是否停机。

2) 监视供油压力表、油槽油位、控制柜上电流表、制冷剂液位等的摆动、波动情况, 并判断发生强烈振动的原因, 决定是否停机。

3) 若需用“部分自动”方法停机时, 应记录 (或自动打印出) 停机时运行的各主要参数的瞬时读数值, 供判断分析故障用。

5) 检查机组外表面是否有过热状况, 包括主电动机外壳、蜗壳出气管、供回油管、冷凝器筒体等位置。

6) 冷凝器出水温度一般应在 18°C 以上, 为确保主电动机的冷却效果, 冷凝器的进水温度与蒸发器的出水温度之差应大于 20°C 。

7) 轴承回油温度与供油温度之差应小于 20°C , 且应在运行过程中保持稳定。

8) 机组运行记录表应妥善保存, 以备分析检查之用。

三、离心式压缩机正常运行的标志

(1) 压缩机吸汽口温度应比蒸发温度高 $1\sim 2^{\circ}\text{C}$ 或 $2\sim 3^{\circ}\text{C}$ 。蒸发温度一般在 $0\sim 10^{\circ}\text{C}$ 之间, 一般机组多控制在 $0\sim 5^{\circ}\text{C}$ 。

(2) 压缩机排汽温度一般不超过 $60\sim 70^{\circ}\text{C}$ 。如果排汽温度过高, 会引起冷却水水质的变化, 杂质分解增多, 使设备被腐蚀损坏的可能性增加。

(3) 油温应控制在 43°C 以上, 油压差应在 $0.15\sim 0.2\text{MPa}$ 。润滑油泵轴承温度应为 $60\sim 74^{\circ}\text{C}$ 范围。如果润滑油泵运转时轴承温度高于 83°C , 就会引起机组停机。

(4) 冷却水通过冷凝器时的压力降低范围应为 $0.06\sim 0.07\text{MPa}$, 冷媒水通过蒸发器时的压力降低范围应为 $0.05\sim 0.06\text{MPa}$ 。如果超出要求的范围, 就应通过调节水泵出口阀门及冷凝器、蒸发器的进水阀门进行调整, 将压力控制在要求的范围内。

(5) 冷凝器下部液体制冷剂的温度, 应比冷凝压力对应的饱和温度低 2°C 左右。

(6) 从电动机的制冷剂冷却管道上的含水量指示器上, 应能看到制冷剂液体的流动及干燥情况在合格范围内。

(7) 机组的冷凝温度比冷却水的出水温度高 $2\sim 4^{\circ}\text{C}$, 冷凝温度一般控制在 40°C 左右, 冷凝器进水温度要求在 32°C 以下。

(8) 机组的蒸发温度比冷媒水出水温度低 $2\sim 4^{\circ}\text{C}$, 冷媒水出水温度一般为 $5\sim 7^{\circ}\text{C}$ 左右。

(9) 控制盘上电流表的读数小于或等于规定的额定电流值。

(10) 机组运行声音均匀、平稳, 听不到喘振现象或其他异常声响。

四、离心式压缩机的停机操作

离心式压缩机停机操作分为正常停机和故障停机两种情况。

1. 正常停机的操作

机组在正常运行过程中, 因为定期维修或其他非故障性的主动方式停机, 称为机组的正常停机。正常停机一般采用手动方式, 机组的正常停机基本上是正常启动过程的逆过程。

正常停机的程序如图 8-1 所示。

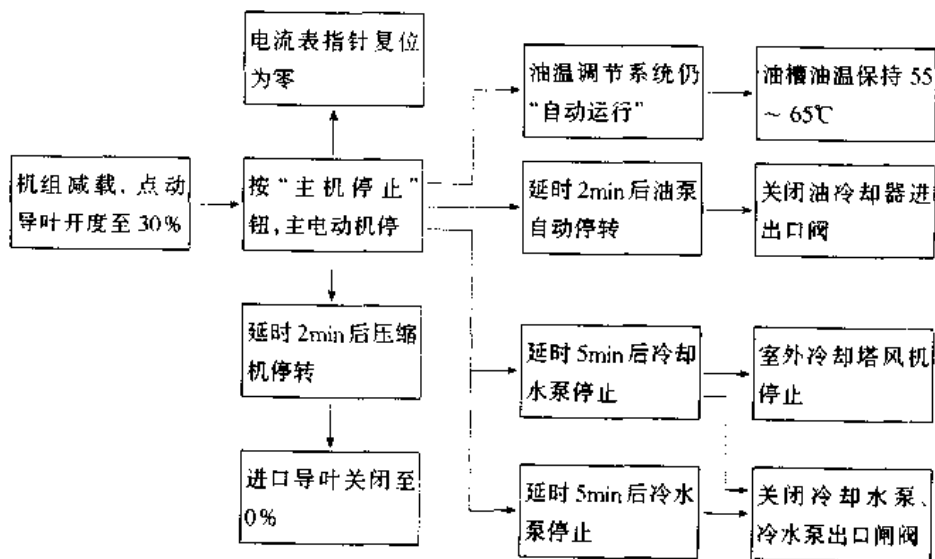


图 8-1 离心式制冷机组正常停机操作程序框图

机组正常停机过程中应注意以下几个问题:

(1) 停机后, 油槽油温应继续维持在 $50\sim 60^{\circ}\text{C}$ 之间, 以防止制冷剂大量溶入冷冻润滑油中。

(2) 压缩机停止运转后, 冷媒水泵应继续运行一段时间, 保持蒸发器中制冷剂的温度在 2°C 以上, 防止冷媒水产生冻结。

(3) 在停机过程中要注意主电动机有无反转现象, 以免造成事故。主电动机反转是由于

在停机过程中,压缩机的增压作用突然消失,蜗壳及冷凝器中的高压制冷剂气体倒灌所致的。因此,压缩机停机前在保证安全的前提下,应尽可能关小导叶角度,降低压缩机出口压力。

(4) 停机后,抽气回收装置与冷凝器、蒸发器相通的波纹管阀、小活塞压缩机的加油阀、主电动机、回收冷凝器、油冷却器等供应制冷剂的液阀,以及抽气装置上的冷却水阀等应全部关闭。

(5) 停机后仍应保持主电动机的供油、回油的管路畅通,油路系统中的各阀一律不得关闭。

(6) 停机后除向油槽进行加热的供电和控制电路外,机组的其他电路应一律切断,以保证停机安全。

(7) 检查蒸发器内制冷剂液位高度,与机组运行前比较,应略低或基本相同。

(8) 再检查一下导叶的关闭情况,必须确认处于全关闭状态。

2. 事故停机的操作

事故停机分为故障停机和紧急停机两种情况。

(1) 故障停机。机组的故障停机是指机组在运行过程中某部位出现故障,电气控制系统中保护装置动作,实现机组正常自动保护的停机。

故障停机是由机组控制系统自动进行的,与正常停机的不同处在于,主机停止指令是由电脑控制装置发出的,机组的停止程序,与正常停机过程相同。在故障停机时,机组控制装置会有报警(声、光)显示,操作人员可先按机组运行说明书中的提示,先消除报警的声响,再按下控制屏上的显示按钮,故障内容会以代码或汉字显示,按照提示,操作人员即可进行故障排除。若停机后按下显示按钮时,控制屏上无显示,则表示故障已被控制系统自动排除。应在机组停机 30min 后再按正常启动程序重新启动机组。

(2) 紧急停机。机组的紧急停机是指机组在运行过程中突然停电、冷却水突然中断、冷媒水突然中断和出现火警时突然停机。

紧急停机的操作方法和注意事项与活塞式制冷压缩机组的紧急停机内容和方法相同,可参照执行。

离心式压缩机停机后制冷剂的移出方法

由于空调用离心式制冷压缩机大部分为季节运行,在压缩机停运季节或需要进行机组大修时,均应将机组内的制冷剂排出。其操作方法是:

(1) 采用铜管或 PVC 管,将排放阀(即充注阀)与置于磅秤上的制冷剂贮液罐相连。从蒸发器或压缩机进气管上的专用接管口处,向机内充入干燥氮气,对机组内的液态制冷剂加压至 $(0.98 \sim 1.4) \times 10^5 \text{ Pa}$ 的压力(表压),利用氮气压力将液态制冷剂从机组内压入到贮液罐或制冷剂钢瓶中。

在排放过程中应通过重量控制或使用一段透明软管,来观测制冷剂的排放过程。当机组内的液态制冷剂全部排完时,迅速关闭排放阀,避免氮气混入贮液罐或制冷剂钢瓶中。

(2) 存贮制冷剂用的贮液罐或制冷剂钢瓶,不得充灌得过满,应留有 20% 左右的空间。制冷剂钢瓶装入制冷剂后应放在阴凉、干燥的通风处。

(3) 机组内液体制冷剂排干净以后,开动抽气回收装置,使机组内残存的制冷剂气体被抽气回收装置中的冷却水液化以后排入到制冷剂钢瓶中。

(4) 如果机组内的制冷剂混入了润滑油，并且润滑油又大量地漂浮在制冷剂液体表面时，可在制冷剂液体基本回收完毕时，断开向贮液罐或制冷剂钢瓶的输送，将机组内剩余的制冷剂与润滑油的混合物排入专用的分离罐中，然后再对分离罐进行加热，使油、气分离，对制冷剂进行回收。如果没有专用的分离罐时，也可将混有大量冷冻油的制冷剂排入污水沟，排放时应严禁烟火，并向室内机械通风。

(5) 对于已回收的制冷剂应取样进行成分分析，以决定能否继续使用。如果制冷剂中含油量大于 5% 或含水量大于 $2.5 \times 10^{-5} \text{g/g}$ ，就应进行加热分离处理后再使用。

五、离心式压缩机常见故障分析及排除

由于离心式压缩机是以机组形式工作的，因此，在运行过程中压缩机、冷凝器、蒸发器等各个部分都会出现一些常见故障。机组的常见故障及排除方法见表 8-5、8-6、8-7、8-8、8-9、8-10 和表 8-11。

表 8-5 离心式制冷压缩机常见故障及排除方法

故障名称	现象	原因	排除方法
振动过大	压缩机振动值超差，甚至转子件破坏	转子动平衡精度未达到标准及转子件材质内部缺陷	复核转子动平衡或更换转子件
		运行中转子叶轮动平衡破坏 (1) 机组内部清洁度差； (2) 叶轮与主轴防转螺钉或花键强度不够或松动脱位； (3) 转子叶轮端头螺母松动脱位，导致动平衡破坏； (4) 小齿轮先于叶轮破坏而造成转子不平衡； (5) 主轴变形	(1) 停机检查机组内部清洁度； (2) 更换键、防转螺钉； (3) 检查防转垫片是否焊牢，螺母螺纹方向是否正确； (4) 检查大小齿轮状态，决定是否能用； (5) 校整或更换主轴
		推力块磨损，转子轴向窜动	停机，更换推力轴承
		压缩机与主电动机轴承孔不同心	停机调整同轴度
		滑动轴承间隙过大或轴承盖过盈太小	更换滑动轴承轴瓦，调整轴承盖过盈
		密封齿与转子件碰擦	调整或更换密封
		压缩机吸入大量制冷剂液	抽出制冷剂液，降低液位
		进出气接管扭曲，造成轴中心线歪斜	调整进出气接管
		润滑油中溶入大量制冷剂，轴承油膜不稳定	调整油温，加热使油中制冷剂蒸发排出
		机组基础防振措施失效	恢复基础防振措施
喘振，强烈而有节奏的噪声及轰鸣声，电流表指针大幅度摆动		冷凝压力过高	见“冷凝器”中的分析
		蒸发压力过低	见“蒸发器”中的分析
		导叶开度过小	增大导叶开度

续表

故障名称	现象	原因	排除方法
轴承温度过高	轴承温度逐渐升高, 无法稳定	轴承装配间隙或泄(回)油孔径过小	调整轴承间隙, 加大泄(回)油孔径
		供油温度过高 (1) 油冷却器水量或制冷剂流量不足; (2) 冷却水温或冷却用制冷剂温度过高; (3) 油冷却器冷却水管结垢严重; (4) 油冷却器冷却水量不足; (5) 螺旋冷却管与缸体间隙过小, 油短路	(1) 增加冷却介质流量; (2) 降低冷却介质温度; (3) 清洗冷却水管; (4) 更换或改造油冷却器; (5) 调整螺旋冷却管与缸体间隙
		供油压力不足, 油量小 (1) 油泵选型太小; (2) 油泵内部堵塞, 滑片与泵体径向间隙过小; (3) 油过滤器堵塞; (4) 油系统油管或接头堵塞	(1) 换上大型号油泵; (2) 清洗油泵、油过滤器、油管; (3) 清洗或拆换滤芯; (4) 疏通管路
		机壳顶部油—气分离器中过滤网层过多	减少滤网层数
		润滑油油质不纯或变质 (1) 供货不纯; (2) 油桶与空气直接接触; (3) 油系统未清洗干净; (4) 油中溶入过多的制冷剂; (5) 未定期换油	(1) 更换润滑油; (2) 改善油桶保管条件; (3) 清洗油系统; (4) 维持油温, 加热逸出制冷剂; (5) 定期更换油
		开机前充灌制冷机油量不足	不停机充灌足制冷机油
	轴承温度骤然升高	供回油管路严重堵塞或突然断油	清洗供回油管路, 恢复供油
		油质严重不纯 (1) 油中混入大量颗粒状杂物, 在油过滤网破裂后带入轴承内; (2) 油中溶入大量制冷剂、水分、空气等	(1)、(2)换上干净的制冷机油
		轴承(尤其是推力轴承)巴氏合金严重磨损或烧熔	拆机更换轴承
压缩机不能启动	启动准备工作已经完成, 压缩机不能启动	主电动机的电源事故	检查电源, 使之供电
		进口导叶不能全关	检查导叶开闭是否与执行机构同步
		控制线路熔断器断线	检查熔断器, 断线的更换
		过载继电器动作	检查继电器的设定电流值
	油泵不能启动	防止频繁启动的定时器动作	等过了设定时间后再启动
		磁开关不能合闸	按下过载继电器复位按钮, 检查熔断器是否断线

表 8-6

主电动机的常见故障及排除方法

故障名称	原因	排除方法
轴承温度过高	轴弯曲	校正主电动机轴或更换轴
	联结不对中	重新调整对中及大小齿轮平行度
	轴承供油路堵塞	拆开油路, 清洗油路并换新油
	轴承供油孔过小	扩大供油孔孔径
	油的粘度过高或过低	换用适当粘度的润滑油
	油槽油位过低、油量不足	补充油至标定线位
	轴向推力过大	消除来自被驱动小齿轮的轴向推力
	轴承磨损	更换轴承
主电动机肮脏	绕组端全部附着灰尘与绒毛	拆开电动机, 清洗绕组等部件
	转子绕组粘着灰尘与油	擦洗或切削, 清洗后涂好绝缘漆
	轴承腔、刷架腔内表面都粘附灰尘	用清洗剂洗净
主电动机受潮	绕组表面有水滴	擦干水分, 用热风吹干或作低压干燥
	漏水	以热风吹干并加防漏盖, 防止热损失
	浸水	送制造厂拆洗并作干燥处理
主电动机不能启动	负荷过大	减小负荷
	电压过低	升高电压
	线路断开	检查熔断器、过负荷继电器、启动柜及按钮, 更换破损的电阻片
	程序有错误, 接线不对	
	绕线电动机的电阻器故障	检查修理电路, 更换电阻片
电源线良好, 但主电动机不能启动	一相断路	检修断相部位
	主电动机过载	减少负荷
	转子破损	检修转子的导条与端环
	定子绕组接线不全	拆主电动机的刷架盖, 查出该位置
启动完毕后停转	电源方面的故障	检查接线柱、熔断器、控制线路联结处是否松动
主电动机达不到规定转速	采用了不适当的电动机和启动器	检查原始设计, 采用适当的电动机及启动器
	线路电压降过大、电压过低	提高变压器的抽头, 升高电压或减小负荷
	绕线电动机的二次电阻的控制动作不良	检查控制动作, 使之能正确作用
	启动负荷过大	检查进口导叶是否全关
	同步电动机启动转矩过小	更改转子的启动电阻或修改转子的设计
	滑环与电刷接触不良	调整电刷的接触压力
	转子导条破损	检查靠近端环处有无龟裂, 必要时转子和端环
	一次电路有故障	用万用表查出故障部位, 进行修理
启动时间过长	启动负荷过大	减小负荷, 检查进口导叶是否全关
	压缩机入口带液, 加大负荷	抽出过量的制冷剂
	笼型电动机转子破损	更换转子
	接线电压降过大	修正接线直径
	变压器容量过小, 电压降低	加大变压器容量
	电压低	提高变压器抽头, 升高电压

续表

故 障 名 称	原 因	排 除 方 法
主电动机运转中 绕组温度过高或过热	过负荷	检查进口导叶开度及制冷剂充灌量
	一相断路	检修断相部位
	端电压不平衡	检修导线、结线和变压器
	定子绕组短路	检修, 检查功率表读数
	电压过高、过低	用电压表测定电动机接线柱上的线电压
	转子与定子接触	检修轴承
	制冷剂喷液量不足 (1) 供制冷剂液过滤器脏污堵塞; (2) 供液阀开度失灵; (3) 主电动机内喷制冷剂喷嘴堵塞或不足; (4) 供制冷剂液的压力过低	(1) 清洗过滤器滤芯或更换滤网; (2) 检修供液阀或更换; (3) 疏通喷嘴或增加喷嘴; (4) 检查冷凝器与蒸发器压差, 调整工况
	绕组线圈表面防腐涂料脱落、失效, 绝缘性能下降	检查绕组线圈绝缘性能, 分析制冷剂中含水量
电 流 不 平 衡	电压不平衡	检查导线与联结
	单相运转	检查接线柱的断路情况
	绕线电动机二次电阻联接不好	查出接线错误, 改正联接
	绕线电动机的电刷不好	调整接触情况或更换
电 刷 不 好	电刷偏离中心	调整电刷位置或予以更换
	滑环起毛	修理或更换
振 动 大	电动机对中不好	调整对中
	基础薄弱或支撑松动	加强基础, 紧固支撑
	联轴器不平衡	调整平衡情况
	小齿轮转子不平衡	调整小齿轮转子平衡情况
	轴承破损	更换轴承
	轴承中心线与轴心线不一致	调整对中
	平衡调整重块脱落	调整电动机转子动平衡
	单相运转	检查线路断开情况
	端部摆动过大	调整与压缩机联接法兰螺栓
金 属 声 响	开式电动机的风扇与机壳接触	消除接触
	开式电动机的风扇与绝缘物接触	
	底脚紧固螺栓松脱	拧紧螺栓
	喷嘴与电动机轴接触	调整喷嘴位置
	轴瓦或气封齿碰轴	拆检轴承和气封
磁 噪 声	气隙不等	调整轴承, 使气隙相等
	轴承间隙过大	更换轴承
	转子不平衡	调整转子平衡状况

续表

故障名称	原因	排除方法
主电动机轴承无油	油系统断油或供油量不足	检查油系统, 补充油量
	供油管路、阀堵塞或未开启	清洗油管路, 检查阀开度
主电动机内部浸水	蒸发器或冷凝器传热管破裂	左列原因, 应对各部件漏水情况分别处理, 并对系统进行干燥除湿。 对浸水的封闭型电动机必须进行以下处理: (1) 排尽积水, 拆开主电动机, 检查轴承本体和轴瓦是否生锈; (2) 检查转子硅钢片是否生锈并用制冷剂、除锈剂清洗; (3) 对绕组进行洗涤(用 R11); (4) 测定电动机导线的绝缘电阻, 拆开接线柱上的导线, 测定各接线柱对地的绝缘电阻。低电压时, 应在 $10\text{M}\Omega$ 以上; 高电压时, 应在 $15\sim 20\text{M}\Omega$ 以上(干燥后); (5) 通过电热器和过滤器向主电动机内部吹入热风, 热风温度应 $\leq 90^\circ\text{C}$, 排风口与大气相通; (6) 主电动机定子的干燥用电流不得超过定子的额定电流值。干燥过程中绕组温度不得超过 75°C ; (7) 抽真空(对机组)除湿。若真空泵出口湿球温度达到 2°C , 且两小时后无升高, 则认为干燥除湿处理结束
	油冷却器冷却水管破裂	
	抽气回收装置中冷却水管破裂	
	制冷剂中严重含水	
	充灌制冷剂时带入大量水分	
	水冷却主电动机外水套漏水	

表 8-7

冷凝器的常见故障及排除方法

故障名称	现象	原因	排除方法
冷却水压力过高	冷却水出水温度过高	水泵运转不正常或选型容量过小	检查或增选水泵
		冷却水回路上各阀未全部开启	检查各水阀并开启
		冷却水回路上水外溢或冷却水池水位过低	检漏并提高水位
		水路上过滤网堵塞	清洗水过滤网
		冷凝器传热管内结垢	传热管除垢, 检查水质
	冷却水进水温差和阻力损失减小	水室垫片移位或隔板穿漏	消除水室穿漏, 避免水不走管程现象
制冷剂压力过高	冷却水进水温度过高	冷却塔的风扇不转动	检查风扇
		冷却水补给水量不足	加足补给水
		淋水喷嘴堵塞	拆洗喷嘴
	制冷剂液温度过高	冷凝器内积存大量空气等不凝结气体	抽尽空气等不凝结气体
冷凝压力过低	冷凝压力过高	浮球未浮起或浮球上有漏孔或浮球室过滤网堵塞	检查浮球或清洗过滤网
	制冷剂冷却的主电动机绕组温度上升	冷却水量过大	减少水量至正确值
		冷却水进水温度过低	提高冷却水进水温度
	冷凝压力指示值低于冷却水温度相应值	压力表接管内有制冷剂凝结	不能有管子过长和中途冷却的现象, 修正管子的弯圈, 防止凝结

表 8-8

蒸发器常见故障及排除方法

故障名称	现 象	原 因	排 除 方 法
蒸发压力偏低	蒸发温度与载冷剂出口温度之差增大, 压缩机进口过热度加大, 造成冷凝温度高	制冷剂充灌量不足 (液位下降)	补加制冷剂
		机组内大量制冷剂泄漏	机组检漏
		浮球阀动作失灵, 制冷剂液不能流入蒸发器	修复浮球阀
		蒸发器中漏入载冷剂 (冷水)	堵管或换管
		蒸发器水室短路	检修水室
		水泵吸入口有空气混入参加循环	检修载冷剂 (冷水) 泵
	蒸发温度偏低, 但冷凝温度正常	蒸发器传热管污垢或部分管子堵塞	清洗传热管、修堵管子
		制冷剂不纯或污脏	提纯或更换制冷剂
	载冷剂 (冷水) 出口温度偏低	制冷量大于外界热负荷 (进口导叶关闭不够)	检查导叶位置及操作是否正常
		载冷剂 (冷水) 温度调节器上对出口温度的限定值过低	调整载冷剂 (冷水) 出口温度
		外界制冷负荷太小	减少运转台数或停开机组
蒸发压力偏高	载冷剂 (冷水) 出口温度偏高	进口导叶卡死, 无法开启	检修进口导叶机构
		进口导叶手动与自动均失灵	检查导叶自动切换开关是否失灵
		载冷剂 (冷水) 出口温度整定值过高	调整温度调节器的设定值
		测温电阻管结露	干燥后将电阻丝密封
		制冷量小于外界热负荷	检查导叶开度位置及操作是否正确、机组选型是否偏小

表 8-9

抽气回收装置的常见故障及排除方法

故障名称	现 象	原 因	排 除 方 法
抽气回收装置故障	小活塞压缩机不动作	传动带过紧而卡住或带打滑	更换传动带
		活塞因锈蚀而卡死	拆机清洗
		活塞压缩机的电动机接线不良或松脱, 或电动机完全损坏	重新接线或更换电动机
		断电	停止开机
	回收冷凝器内压力过高	减压阀失灵或卡住	检修减压阀或更换
		压差调节器整定值不正确, 造成减压阀该动作而不动作	重新整定压差调节器数值
		回收冷凝器上部的压力表不灵或不准	更换压力表
	回收冷凝器效果差或排放制冷剂损失过大	制冷剂供冷却管路 (采用制冷剂冷却的回收冷凝器) 堵塞或供液阀失灵	清洗管路, 检修供液阀
		所供制冷剂不纯	更换制冷剂
		冷凝盘管表面及周围制冷剂压力、温度未达到冷凝点 (温度高但压力低)	检查排气阀及电磁阀是否失灵
		回收冷凝器盘管堵塞	清洗盘管
		回收冷凝器与冷凝器顶部相通的阀未开启或卡死、锈蚀、失灵	检修阀或更换
		放液浮球阀不灵、卡死、关不住	检修浮球阀

续表

故障名称	现象	原因	排除方法
抽气回收装置故障	活塞压缩机油量减少	活塞的刮油环失效	检修或更换刮油环
		油分离器及管路上有堵塞现象	拆检和清洗油分离器及管路
	装置系统内大量带油	对压缩机加油的加油阀未及时关闭	及时关闭加油阀
		放液阀与放油阀同时开启,造成油灌入冷凝器	关闭放油阀或放液阀
		启动油泵时,油分离器底部与油槽相通的阀未关闭,油灌入油分离器内	注意关闭此阀
		制冷剂大量混入油中 (1) 排液阀不灵,制冷剂倒灌; (2) 机组供油不纯	(1) 检修排液阀; (2) 加热分离油与气

表 8-10

润滑油系统的常见故障及排除方法

故障名称	现象	原因	排除方法
压缩机无法启动	油压过低	油泵无法启动或油泵转向错误	检查油泵电动机接线正确与否
		油温太低 (1) 电加热器未接通; (2) 电加热器加热时间不够	(1) 检查电加热接线,重新接通; (2) 以油槽油温为准,延长加热时间
		油泵装配上存在问题 (1) 油泵中径向间隙过大; (2) 滑片油泵内脏物堵塞; (3) 滑片松动; (4) 调压阀的阀心卡死; (5) 油泵盖间隙过大	(1) 拆换油泵转子; (2) 清洗油泵转子与壳体; (3) 紧固滑片; (4) 拆检调压阀,调整阀心; (5) 调整端部纸片厚薄
		主电动机回油管未接油槽底部而直接联通总回油管,未经加热,供油压力上不去	重新接通油槽
	油质不纯	油脏	更换油
		不同牌号冷冻机油混合,使油的粘度降低,形不成油膜	不允许,必须换上规定牌号冷冻机油
		未采用规定的制冷机油	更换上规定牌号的油
		油存放不当,混入空气、水、杂质而变质	改善存放条件,按油质要求判断能否继续使用
	供油量不足	油泵选型容量不足	换上大容量油泵
		充灌油量不足,不见油槽油位	补给油量至规定值
	供油压力不稳定	制冷剂充灌量不足,进气压力过低,平衡管与油槽上部空间相通,油的背压下降,供油压力无法稳定而油压过低停车	补足充灌制冷剂量
		浮球上有漏孔或浮球阀开启不灵,造成制冷剂量不足,供油压力无法稳定而停车	检修浮球阀
		压缩机内部漏油严重,造成油槽内油量不足,供油压力难以稳定	拆机解决内部漏油问题

续表

故障名称	现象	原因	排除方法
油槽油温异常	油槽油温过高	电加热器的温度调节器上温度整定值过高	重新设定温度调节器温度
		油冷却器的冷却水量不足 (1) 供水阀开度不够; (2) 油冷却器设计容量不足	(1) 开大供水阀 (2) 更换油冷却器
		油冷却器冷却水管内脏污或堵塞	清洗油冷却器水管
		轴承温度过高引起油槽油温过高	按表 22-12 “轴承温度过高”故障处理
		机壳上部油-气分离器分离网严重堵塞	拆换分离网
	油槽油温过低	油冷却器冷却水量过大	关小冷却水量阀
		电加热器的温度调节器温度整定值过低, 油槽油温上不去	重新整定温度调节器温度值
		制冷剂大量溶入油槽内, 使油槽油温下降	使电加热器较长时间加热油槽油温
油压表读数偏高, 油压表读数剧烈波动	油压表读数偏高, 油压表读数剧烈波动	油压调节阀失灵或开度不够	拆检油压调节阀
		供油压力表后油路有堵塞, 油泵特性转移, 压力表上读数偏高	疏通压力表后油路
		油压表质量不良或表的接管中混入制冷剂蒸气和空气, 表指示紊乱	拆换压力表, 疏通排尽不良气体
		油槽油位低于总回油管口, 油泵吸入大量制冷剂蒸气泡沫, 造成油泵气蚀, 油压波动	补足油量至规定油位
		“油压过低”故障引起管路阻力特性频繁变化, 油泵排出油压剧烈波动	按本表中“油压过低”现象处理
		油压调节阀不良或损坏	拆检油压调节阀或更换
油泵不转	油泵不转, 油泵指示灯也不亮	油泵连续启动后, 油泵电动机过热	减少启动次数
		进口导叶未关闭, 主电动机启动转矩过大, 启动柜上空气开关跳闸, 油泵无法启动	启动时关闭进口导叶
	油泵不转, 油泵指示灯也亮	油泵电动机三相接线反位, 造成油泵反转	调整三相接线
		油泵电动机通电后, 由于电动机不良造成油泵不转	检查电动机
	油泵转动后又马上停转	油泵超负荷, 电动机烧损	选用更大型电动机
		油泵电动机内混入杂质, 卡死	拆检油泵电动机

表 8-11

离心式制冷机组的腐蚀故障及排除方法

故障名称	现象	原因	排除方法
机组腐蚀	机组内腐蚀	机组内气密性差, 使湿空气渗入	重新检漏, 做气密性试验
		漏水、漏载冷剂	检修漏水部位, 将机组内进行干燥处理
		压缩机排气温度达 100℃ 以上, 使制冷剂发生分解	在压缩机中间级喷射制冷剂液体, 降低排气温度
	油槽系统腐蚀	油加热器升温过高而油量过少	保持油槽中的正常油位
	管子或管板腐蚀	水质不好	进行水处理, 改善水质, 在冷却水中加缓蚀剂, 安装过滤器, 控制 pH 值

六、离心式压缩机组的保养

为保证离心式压缩机组的正常工作，延长其使用寿命，作为空调系统运行管理中的一个重要环节，就是要重视和强化机组的维护和保养，以保证机组的正常运行，提高使用寿命，并使机组各部分工作协调一致。

离心式压缩机组的维护保养，分为运行中的维护保养和停机后的维护保养两部分。

运行中的维护保养内容见表 8-12、8-13、8-14、8-15、8-16、8-17、8-18 和表 8-19。

表 8-12 离心式制冷压缩机正常运转中的维护要求

监视及控制项目	运行中的正常状态	维护目的及异常原因	维 护 措 施	注 意 事 项
油槽油位	油槽视镜水平中线上下 5mm	(1) 油位过高将使小齿轮浸入油中，运转时产生油飞溅，油温急骤上升，油压剧烈波动，轴承不能正常工作而故障停车； (2) 油位过低将使循环油量不足，产生供油压力低，油压表指针波动，轴承油膜破坏而故障停车	(1) 严格控制润滑油的初次充灌量（见各型机组《使用说明书》）； (2) 严格控制润滑油的规格质量； (3) 运转中通过加油阀吸入补足油量； (4) 严格控制油温在 55~65℃ 之间	(1) 机组启动时，油中溶有大量制冷剂，油位升高属假象。运转 4h 以上，油位趋于正常并稳定，这是实际油位； (2) 运转中油中含制冷剂量约 18% 左右，停机时约占 38% 左右
供油压力	(1) 单独运转油泵时应为 0.3~0.4MPa 的供油压力； (2) 正常运行（导叶开度 60% 以上）供油压力为 0.15~0.19MPa，对 19XL 型机组为 0.103~0.207MPa； (3) 油压稳定，可调，油压表指针无大摆动	(1) 保证轴承的强制润滑及冷却需要； (2) 确保压缩机及主电动机内气封封油压差，防止油的内漏	(1) 调整油压调节阀的开度，使油压达到正常值； (2) 油压急剧下降不可调时，应停止开大进口导叶角度	机组加载（开大导叶角度）时，油压有下窜趋势，故开大导叶角度时应谨慎缓慢，切忌过快过猛，造成油压剧烈波动
油槽油温与轴承温度	(1) 油槽油温严格控制在 55~65℃（见表 22-9），不得低于 38℃； (2) 各轴承最高温度与油槽油温之差为 2~3℃； (3) 轴承温度应控制在 ≤70℃	(1) 保证油质的一定粘度，确保形成轴承油膜； (2) 保证制冷剂在油中具有尽可能小的溶解度及尽可能高的挥发度； (3) 确保轴承温度低于报警停机极限值	(1) 调整油冷却器供液（水）阀的开度，控制冷却液（水）量大小； (2) 确保润滑油的过滤清洁度，清洗过滤器网心或更换； (3) 确保机组运行中自动切断电加热器； (4) 轴承温度的报警停机能自动、准确实现	轴承温度虽未达到报警停机值，但与油槽油温之差已超过 2~3℃，且有增大的趋势，应考虑是否停机检修

续表

监视及控制项目	运行中的正常状态	维护目的及异常原因	维 护 措 施	注 意 事 项
机组振动及异常噪声	(1) 各部位最大振动值(双振幅)应$\leq 0.03\text{mm}$; (2) 机组噪声的平均声压级应符合标准 JB/T 3355—91 中的规定	(1) 及时发现故障的征兆和起因,确保机械运转正常; (2) 防止出现压缩机及主电动机等旋转件的动不平衡状态。产生的原因有: 1) 机组内部清洁度差,叶轮结垢可达 3mm; 2) 转动件与定子件相碰撞; 3) 轴承不同轴、齿轮啮合不正确等装配质量差; 4) 压缩机喘振	(1) 严格控制充灌制冷剂的质量规格,定期抽样化验; (2) 定期清洗或更换制冷剂过滤网; (3) 及时判断蒸发器、冷凝器、油冷却器、抽气装置中回收冷凝器等的漏水事故; (4) 及时判断机组气密性是否失效,以便停机检漏(针对低压制冷剂机组)	(1) 机组出现剧烈振动并伴有异常噪声无法消除时,必须紧急停机,拆机检修; (2) 对不影响机组运行的振动值超差情况应减少负荷,分析振源,如长时间不能消除,应停机检查
润滑油质量	(1) 严格控制润滑油的规格型号及质量指标(见各产品《使用说明书》); (2) 正常油的外观颜色为微红色	(1) 确保轴承油膜形成良好,保证机组正常运行; (2) 防止油中杂质、水分带入轴承及其他润滑部位,以免造成运行故障	(1) 无特殊情况,每年更换一次油; (2) 特殊情况,按以下判断润滑油的变质: 1) 含水分 $(5 \sim 10) \times 10^{-6}$; 2) 含酸值 (mgKOH/g) 为新油时的 2 倍; 3) 含游离氯 50×10^{-6}。 上述任一指标达到,立即换新油; (3) 每次充灌新油前,应彻底清洗油系统; (4) 定期清洗或更换油过滤器	(1) 不同牌号的制冷剂油不允许混合使用; (2) 因水分和酸分均沉淀于油槽底部,取油样时应从油槽底部取出; (3) 不得使用化学合成润滑油; (4) 对电加热器使用时应注意: 1) 机组启停时,必须接通; 2) 长期停机,必须长期接通,维持规定油温; 3) 机组正常运行时,应断开(自动)

注 对于 19XL 型机组的轴承温度极限值设定不大于 85°C , 其正常运行值是 $60 \sim 74^{\circ}\text{C}$ 。

表 8-13

蒸发器正常运转中的维护要求

监视及控制项目	运行中的正常状态	维护目的及异常原因	维 护 措 施	注 意 事 项
制冷剂液位	(1) 液位在蒸发器下侧长视镜中横线上下 10mm; (2) 制冷剂色泽为无色透明,沸腾时有泡沫逸出	(1) 确保机组制冷剂的循环量及蒸发器的制冷量达到使用要求; (2) 制冷剂量过多会造成压缩机带液运行,主电动机超载停车。制冷量过少会造成油压不稳定、制冷量不足,蒸发温度过低等故障停机	(1) 严格按照机组使用说明书规定充灌制冷剂量; (2) 第一次充灌量占总量的 $70\% \sim 80\%$,以淹没、蒸发器自下而上的 $1/3$ 管排数为准。运行中逐渐充注到位	(1) 确保使用的制冷剂质量规格符合有关标准规定; (2) 脏污的制冷剂不得长期使用,抽样化验后决定是否更换

续表

监视及 控制项目	运行中的正常状态	维护目的及异常原因	维 护 措 施	注 意 事 项
蒸发器 冷水 出水 温度	(1) 对空调用冷水机组规定为 $(7 \pm 0.3)^{\circ}\text{C}$; (2) 冷水出水温度的使用范围规定为 $5 \sim 9^{\circ}\text{C}$	(1) 确保机组额定制冷量, 满足空调系统的正常使用; (2) 防止因冷水出水温度过高或过低, 造成的各种故障发生	(1) 冷水出水温度高于额定值 7°C 时, 应采取以下措施: 1) 开大进口导叶开度, 但防止电流过大; 2) 关小冷水供水阀 (泵出口) 开度, 减少冷水水量; 3) 外界热负荷过大时, 应切断部分供冷管路或增加机组台数; (2) 冷水出水温度低于 5°C 时, 应采取以下措施: 1) 关小进口导叶开度, 以不进入压缩机喘振区为限; 2) 在冷水水路中补充一定量的较高温度的自来水, 但防止主电动机超载; 3) 开大冷水供水阀 (泵出口) 开度, 加大冷水供水量; 4) 外界热负荷不足时, 应向建筑物补充热负荷 (通入热蒸汽等), 否则, 停机	(1) 由于冷水出水温度过高而未设置安全保护措施, 主要靠控制制冷剂量、冷水水量及进口导叶开度来调节; (2) 冷水出水温度的停机保护整定值一般为 $2 \sim 3^{\circ}\text{C}$, 保证蒸发器管内冷水不结冰
冷水 出水 温度 与 蒸发 温度 之差	(1) 对于一般低肋螺旋传热管, $t_{\text{L}} - t_0 = 5^{\circ}\text{C}$; (2) 对于多孔蒸发传热管, $t_{\text{L}} - t_0 = 1 \sim 2^{\circ}\text{C}$	(1) 冷水出水温度与蒸发温度的差值, 反映了传热管换热效果的优劣, 降低该差值始终是有利的; (2) 该差值在负荷不变时增大的原因是: 1) 传热管冷水侧结垢; 2) 制冷剂量减少; 3) 蒸发器内传热管有漏水情况; 4) 冷水供水量不足; 5) 冷水水质变差; 6) 制冷剂不纯; 7) 机组内真空度破坏, 有空气漏入 (对低压制冷剂机组)	(1) 监视该差值变化状况, 做好现场记录; (2) 超出正常差值 2°C 以上时应作为运行中的故障处理; 超出正常差值 $4 \sim 5^{\circ}\text{C}$ 以上时, 则应判断是否停机检修; (3) 针对左列原因 1) ~ 7), 采取相应的处理措施	(1) 监视冷水出水温度与蒸发温度之差值, 应在其他参数处于额定工况值情况下取得; (2) 读出蒸发温度值方法: 先在蒸发器的压力真空表上读出制冷剂压力 (真空) 值, 再利利用制冷剂的饱和压力和饱和温度附表或曲线, 查出与该制冷剂饱和压力和真空度对应的蒸发温度值

续表

监视及控制项目	运行中的正常状态	维护目的及异常原因	维 护 措 施	注 意 事 项
冷水 水量及 水质状 况	(1) 各型机组的正常额定冷水水量,应符合该产品的使用说明书中的规定值; (2) 水质要求应符合国家机械行业标准 JB/T3355—91 中规定的内容	(1) 冷水水量是确保蒸发器运行中达到额定换热效果及制冷效果的重要工作参数,不得轻易改动; (2) 对冷水(包括冷却水)水质的要求,是保证机组的制冷能力及运转寿命的重要指标。否则,将有两种主要危害: 1) 管内结垢,换热效果及机组制冷量下降; 2) 腐蚀、酿成蒸发器内漏水事故	(1) 定期对冷水(或冷却水)取水样进行化验分析,可利用兰格利(Langelier)饱和指数 I_s 及赖兹纳稳定指数共同进行判断; (2) 防止水结垢的措施有: 1) 添加过磷酸盐等药物,抑制碳酸钙的析出和结垢; 2) 加酸(硫酸),减少碱度,分解后的硫酸钙易溶于水; 3) 使用前对水进行适当的软水处理	(1) 在空调用的离心式冷水机组上往往不带水流量计,因此,应读取水泵的电动机电流值及水泵出口压力值,再根据水泵的试验特性线或图表上查出对应的水量值。若有偏差,应调节水泵出口管路上的调节阀开度,达到额定的冷水水量; (2) 冷水(包括冷却水)侧的污垢系数应符合标准 JB/T 3355—91 中规定,为 $0.086\text{m}^2 \cdot \text{K/kW}$; (3) 注意监视因蒸发器内漏水事故而造成的冷水水量下降情况

注 对 19XL 型机组,蒸发器压力范围是 $0.41 \sim 0.55\text{MPa}$,蒸发器温度范围是 $1 \sim 8^\circ\text{C}$ 。

表 8-14

机组对冷水(冷却水)水质的基本要求

项 目		单 位	基准值	项 目		单 位	基准值
参 考 项 目	酸碱度 pH (25℃)	—	6.5~8.0	参 考 项 目	铁 Fe	mg/L	<1.0
	电导率 (25℃)	μS/cm	<800		硫离子 S ²⁻		检不出
	氯离子 Cl ⁻	mg/L	<200		铵离子 NH ₄ ⁺		<1.0
	硫酸根离子 SO ₄ ²⁻		<100		二氧化硅 SiO ₂		<50
	酸消耗量 (pH4.8)		<100				
	全硬度		<200				

表 8-15

冷凝器正常运转中的维护要求

监视及控制项目	运行中的正常状态	维护目的及异常原因	维 护 措 施	注 意 事 项
冷 凝 器 压 力 值	(1) 在空调额定工况下对 R123 机组,冷凝器压力值控制为 $0.076 \sim 0.087\text{MPa}$ (表压)。对 R22 机组,冷凝器压力值控制为 $1.034 \sim 1.689\text{MPa}$ (表压)。或见运行机组的说明书; (2) 在空调额定工况下,对 R123 (R11) 机组冷凝器压力安全保护极限值整定为 0.098MPa (表压)。对 R22 机组整定为 1.793MPa (表压)。其他机组见说明书	(1) 当机组运行中出现冷凝器压力值偏高但又尚未达到安全保护的停机整定值,必须采取措施,确保机组正常运行; (2) 防止压缩机进入喘振区; (3) 防止压缩机转子轴向推力过大而破坏油膜,酿成推力轴承磨损事故	(1) 启动抽气回收装置,及时排除冷凝器顶部的过量空气及不凝性气体; (2) 有必要迅速降低冷凝器压力值时(如机组启动过程),可适当加大冷却水水量(监视主电动机电流值),当机组其他参数匹配正常后,再将冷却水水量调至额定值; (3) 关小进口导叶开度; (4) 若压力真空表或其他有关控制仪表有故障,必须停机检修或更换; (5) 检查冷却塔是否启动,必要时多台冷却塔并用	(1) 机组启动时,冷凝器压力急剧上升至安全保护停机。此时,不得再启动机组,较长时间开动抽气装置(30min 以上),排除废气; (2) 冷凝器压力表上读数已超过停机保护值,但并未实现自动保护停机时,应停机检查安全保护整定值是否有误; (3) 多台制冷机组使用时,其冷却塔之间应有联通管路,以备切换

续表

监视及控制项目	运行中的正常状态	维护目的及异常原因	维 护 措 施	注 意 事 项
冷却水水量及水质状况	(1) 各型机组的正常额定冷却水水量按产品使用说明书中的规定值; (2) 水质要求按标准 JB/T 3355—91 中规定的内容	与表 8-11 中蒸发器的“冷水水量及水质状况”内容相同	与表 8-14 中蒸发器的“冷水水量及水质状况”内容相同	与表 8-14 中蒸发器的“冷水水量及水质状况”内容相同
管内结垢及腐蚀	在空调用机组的额定工况下, 冷凝温度 t_k 与冷却水出水温度 t_{w2} 之差 $t_k - t_{w2} = 4 \sim 5^\circ\text{C}$ 为正常值	若发现温差 ($t_k - t_{w2}$) $> 4 \sim 5^\circ\text{C}$, 且冷却水进出水温差 ($t_{w2} - t_{w1}$) $< 4 \sim 5^\circ\text{C}$ 时, 则可能出现以下故障: (1) 管内结垢; (2) 管内腐蚀造成管内堵塞或穿孔漏水事故; (3) 空气漏入; (4) 冷却水水量不足; (5) 冷凝器水室隔板短路; (6) 制冷剂不纯	(1) 采用“兰格利指数”及“赖兹纳稳定指数”作数值判断是否结垢与腐蚀较为准确; (2) 一经发现漏水, 必须停机查明漏水管束, 采用堵塞或换管措施	若冷凝器运行中出现冷凝温度小于冷却水出水温度的情况, 是由于与冷凝器相通的测量仪表铜管内制冷剂液化后, 将管路堵塞, 造成冷凝器压力读数偏低, 应尽量减少管长、弯管、绕圈等或采取保温和放液措施

表 8-16

主电动机正常运转中的维护要求

监视及控制项目	运行中的正常状态	维护目的及异常原因	维 护 措 施	注 意 事 项
主电动机电流值	(1) 各类型号机组的额定电流值见各制造厂的电动机使用说明书或机组使用说明书; (2) 电流值的控制范围一般定为 100% ~ 105% 的额定电流值。安全保护停机值为 110% 的额定电流值; (3) 电流表精确度应达到 0.5 级	(1) 限定主电动机的超负荷电流值, 保护主电动机的正常运行; (2) 电流表上指针的摆动有如下几种情况: 1) 微小摆动。外界电网波动造成的正常现象; 2) 周期性大幅度摆动, 是电源三相不平衡或电源电压波动造成的; 3) 主电动机绝缘不合格, 电流表不合格; 4) 机组负荷突变, 是由于压缩机入口带液严重或压缩机喘振原因	(1) 关小进口导叶, 降低负荷 (可自动完成); (2) 若关小进口导叶无效, 且主电动机及压缩机内部声响异常, 应立即停机检查; (3) 机组启动过程, 采用闭式 Y/△ 启动方式比开式 Y/△ 启动方式其电流峰值约下降 20%。若采用固态启动器, 其启动电流值可平稳在 200% 的额定电流值以下	(1) 采用微机控制系统时, 当主电动机电流值达到额定电流值的 100% 时, 计算机控制进口导叶不能开大; 当电流值达到 105% 时, 计算机控制导叶关小, 直至额定电流值的 95% 以下负荷限令才解除。最低电流值可达额定电流值的 40%。[以上适用于 LSBLXR23 (R11) 型、19DK/DM 型及 19XL 型机组]; (2) 避免主电动机频繁启动。热态启动一小时内不超过 3 次; 冷态启动不得连续 2 次

续表

监视及 控制项目	运行中的正常状态	维护目的及异常原因	维 护 措 施	注 意 事 项
主电动机冷却状况	(1) 主电动机外壳表面的高温区(上部)温度$\leq 35^{\circ}\text{C}$, 以不过热, 不结露为宜; (2) 绝缘电阻值规定: 1) 对高压主电动机, 应大于 $10\text{M}\Omega$; 2) 对低压应大于 $1\text{M}\Omega$; (3) 主电动机的绕组温度规定: 1) 对 19XL 型机组, 绕组温度$\leq 93.3^{\circ}\text{C}$; 2) 对 19DK/DM 型机组, 绕组温度$\leq 100^{\circ}\text{C}$; 3) 对 HS 型机组, 绕组温度$\leq 100^{\circ}\text{C}$ (以上均为 B 级绝缘), 其他见机组说明书	(1) 防止主电动机过热或过冷; (2) 防止主电动机绝缘电阻下降。下降的原因有: 1) 绕组的绝缘恶化, 制冷剂中含水、酸分造成; 2) 制冷剂液体中含水分酸 (HCl) 时, 腐蚀绕组; 3) 制冷剂液喷射使绕组表面绝缘剥离; 4) 接线柱部位吸湿	(1) 确保制冷剂的纯度; (2) 冷却水出水温度与冷水出水温度之差不低于 20°C, 保证主电动机的充分冷却; (3) 制冷剂含水量严重超标时, 应停机对主电动机内部进行干燥处理	(1) 采用兆欧表测定主电动机绝缘电阻 $\text{绝缘电阻} = \frac{\text{外加电压}}{\text{泄漏电流}}$ (2) 主电动机绕组温度及绕组温升求法: $\frac{R_w}{R_c} = \frac{t_w + 234.5}{t_c + 234.5}$ 式中 R_w—停机时立即测出的主电动机绕组电阻, Ω; R_c—等于室温的主电动机绕组电阻, Ω; t_c—室温, $^{\circ}\text{C}$; t_w—绕组温度, $^{\circ}\text{C}$; 绕组温升为 $\Delta t = t_w - t_c \quad ^{\circ}\text{C}$

表 8-17

抽气回收装置运转中的维护要求

监视及 控制项目	运行中的正常状态	维护目的及异常原因	维 护 措 施	注 意 事 项
活塞压缩机及油分离器的视镜油位	正常油位应在视镜上下中央处	保证活塞压缩机的供油	(1) 油位过高时排油; (2) 油位过低时供油	(1) 供、排油后, 关上供油阀与放油阀, 防止油倒罐; (2) 注意油质颜色, 必要时换油
回收冷凝器的制冷剂液位	正常制冷剂液位在视镜上下中央处	维持制冷剂正常液位, 以便制冷剂及时回收	(1) 若制冷剂液位不见, 检查供液管及过滤器是否堵塞; (2) 放气阀排出制冷剂居多时, 检查回收冷凝器下部浮球阀是否卡死	(1) 所用自动排气的电磁阀必须确保产品质量; (2) 自动排气的放气阀若达到规定的压力值尚不能自动开启, 则应停止抽气装置运行, 检修或更换放气阀

续表

监视及 控制项目	运行中的正常状态	维护目的及异常原因	维 护 措 施	注 意 事 项
自动 启停状 况	(1) 机组启动前或启动过程中, 一般采用手动操作, 每次运行时间小于 30min; (2) 机组正常运行中抽气装置自动启、停整定值: 压差 0.027MPa 停; 压差 0.014MPa 启	(1) 确保该装置按整定值正常的自动启停; (2) 抽气装置自动频繁启停的原因: 1) 有大量空气等渗入机组内; 2) 从冷凝器上部引管上的节流器节流孔尺寸不合理(过大); 3) 压差控制器启停设定值有误; 4) 自动放气阀未开	抽气装置自动频繁启停持久时, 应停止制冷机组的运行, 检查分析原因	(1) 机组启动前, 抽气装置中的回收冷凝器尚无冷却手段, 故手动操作抽气装置的时间不宜长, 以免大量制冷剂排出; (2) 注意小活塞压缩机的电动机过热状况, 必要时停止运行; (3) 该抽气装置容量小, 不宜用于机组系统的加压或抽真空试验

机组停机的维护保养内容和方法见下述各表。

表 8-18

离心式制冷机组不需要拆机时的维护和保养

部件	正常停机一周以内		正常停机一周~三个月以内	
	项 目	维护保养内容	项 目	维护保养内容
压缩机及油系统	油槽油位	补足或排出油量至规定视镜的中央位置	蜗壳及罩壳底部积油	拆卸蜗壳及罩壳底部油回收接头, 排尽积油并记录积油量
	油槽油温	油加热器投入“自动运行, 油温控制在 50~60℃	油回收系统过滤器(网)	拆卸清洗, 发现网上漏孔应更换
	压缩机进口导叶及执行机构检查	应处于全关闭位置, 检查内外是否同步开关	压缩机进口导叶及执行机构检查	手动检查导叶开度是否与控制指示同步, 并处于全关闭位置。传动构件连接是否牢固
	油引射装置过滤器	拆卸清洗过滤网, 若有破损应换新网(拆卸时与机组断开)	油引射装置过滤器	拆卸清洗过滤网, 若有破损就应更换
	主供油管过滤器	拆卸清洗, 若有破损应更换(拆卸时与机组断开)	主供油管过滤器	拆卸清洗, 若有破损就应更换
	润滑油清洁度	若色泽暗红, 则应作油质化验, 判断是否换新油	(1) 润滑油处理; (2) 机壳顶部油一气分离器	(1) 排尽机组内全部润滑油, 盛油桶(罐), 必须密闭好。作油质化验, 按变质标准判断是否换新油; (2) 拆卸压缩机顶部平衡管, 检查清洗油一气分离器及过滤网

续表

部件	正常停机一周以内		正常停机一周~三个月以内	
	项 目	维护保养内容	项 目	维护保养内容
制冷剂及供制 冷液 管路	制冷剂液位	制冷剂不排出机外, 检查液位高度, 若不足就应补充到位	制冷剂处理	制冷剂酌情全部排出机外(充注干燥压力氮气)。对R134a、R22 制冷剂的排出, 可采用驱气压缩机将制冷剂转移至储液容器中, 机组内余留2.27~4.5kg, 以免空气漏入
	制冷剂清洁度	观察蒸发器侧视镜, 若制冷剂色泽浑黄, 则有大量润滑油和锈粉溶入, 应抽样化验成分; 若含水量超出规定, 则应更换或排出后提纯再回用	供主电动机冷却管路上的制冷剂湿度指示器和干燥/过滤器	观察制冷剂湿度指示器和干燥过滤器上反映出制冷剂内含水分程度, 若指示湿度大, 则应立即彻底的泄漏检查, 找出漏水根源, 杜绝机组漏水事故
	主电动机供冷却液过滤器	拆卸清洗或更换		清洗主电动机供冷却液过滤器, 若有破损就应予以更换
	浮球阀检查	观察浮球室视镜, 浮球应浮于液面上正常位置并节流板关闭	浮球室检查	(1) 拆下浮球室端盖, 检查过滤网是否破损, 网破损则更换; (2) 检查(手动)浮球阀各组件是否灵活轻巧, 检查节流孔有无堵塞, 各供液管口是否堵塞
水系统	各水泵出口调节阀	停机后应即时关闭	(1) 冷水(冷却水)系统; 2) 水质检查	(1) 停机后排尽积水; (2) 水质检查是判断水系统内结垢和腐蚀的重要依据, 抽样应在机组运行中进行
抽气回收装置	(1) 运转检查; (2) 各部件的油位油质观察	(1) 单独运转, 检查小活塞压缩机、电动机、带轮等工作是否正常。放气阀是否正常工作; (2) 包括有小活塞压缩机、冷凝室、油一气分离器的油位是否正常, 油质是否清洁。脏油应全部排放(拆卸时与机组断开)	(1) 运转检查; (2) 各部件包括小活塞压缩机、冷凝室、油一气分离器的检查	(1) 单独运行, 检查各部件及系统工作是否正常。管路是否畅通, 各阀门调节是否准确; (2) 拆卸后, 脏油全部排出
电控系统			(1) 安全保护装置及控制器检查; (2) 启动设备检查; (3) 控制中心(对微机控制系统)	(1) 每月自动测试一次, 检查各项安全控制整定值是否符合规定; (2) 接触器表面是否有磨损; (3) 吸去控制柜灰尘, 清理和紧固各连接处

续表

部件	正常停机一周以内		正常停机一周~三个月以内	
	项 目	维护保养内容	项 目	维护保养内容
机 组 系 统			(1) 机组泄漏检查; (2) 机组抽真空试验	若制冷剂的泄漏率已达充灌量的 10% 以上, 必须立即做泄漏试验; 采用电子、卤素检漏仪或肥皂泡溶液, 超声波检测仪进行正压检漏, 也可在停机后排出制冷剂, 用干燥压力氮气检漏 (0.1~0.15MPa); 停机一个月以上, 应做抽真空试验, 然后对机组充以 0.03~0.05MPa 的干燥氮气

表 8-19

离心式制冷机组需要拆机时的维护保养和检查项目

部件名称	保养与检查项目	保养与检查方式	保 养 与 检 查 要 求
压 缩 机 及 负 荷 调 节 机 构	连接部位密封性	拆卸	(1) 连接法兰间 (包括进气管、蜗壳、壳体、连接筒、主电动机壳体、出气管等) 的石棉橡胶垫片或 “O” 型圈必须更换; (2) 进气管上的防爆薄膜片及圆视镜是否破损或老化龟裂, 决定是否更换
	叶轮转子的振动与平衡	拆卸	(1) 查叶轮表面是否结垢, 分析原因, 决定是否对机组全面酸洗; (2) 叶轮与蜗壳若有摩擦痕迹, 应复核叶轮平衡试验, 其允许质心偏移量应符合标准 JB/T 3355—91 中规定; (3) 推力块与推力盘、轴瓦与轴之间是否有擦伤划痕, 若有就应修理; (4) 叶轮与主轴联接件是否有扭伤和裂纹, 键与键槽是否对号装配; (5) 叶轮前端端头螺母上的防转螺钉是否松脱失效, 若有就应采取牢固措施
	轴承装配间隙	拆卸、测量、记录	(1) 测量各轴承 (轴向或径向) 间隙值, 超差必须更换; (2) 轻微的推力面磨损可用人工刮削或研磨, 消除压伤、线痕、凹点等, 再调整轴向间隙至设计规定值
	齿轮啮合	拆卸	(1) 啮合面有无点蚀、损角、裂纹等, 啮合面积应符合有关标准规定; (2) 喷油孔 (嘴) 必须畅通; (3) 拆卸增速箱体时, 不得碰伤各轴承的钢、热电阻元件和外接测温线路
	油、气封状况	拆卸、测量	(1) 测量各油、气封间隙值, 应符合设计规定值 (见压缩机总装配图); (2) 油、气密封齿若大部分损伤, 应更换; (3) 各密封垫纸、垫片、各节流圈是否破损、失效或堵塞, 应及时更换; (4) 各充气密封内藏气孔道应畅通, 引气接头连接应牢固
	蜗壳、罩壳底部积油状况	拆卸	(1) 蜗壳、罩壳底部的回油孔应畅通, 排除杂物; (2) 从该积油状况判断漏油的几种途径: 1) 充气气封失效, 油沿轴表面进入压缩机流道和主电动机; 2) 平衡管过滤网厚度不够或节流孔径过大, 封油不严, 油漏入压缩机流道; 3) 机组启动时, 压缩机压力低、油压偏高, 造成油引射装置的 “倒吸” 作用, 油吸入蜗壳; 4) 主电动机回液腔与压缩机之间充气气封失效或回液管上节流圈孔径过大, 造成压缩机壳体内油雾渗入主电动机回液腔, 再进入蒸发器

续表

部件名称	保养与检查项目	保养与检查方式	保 养 与 检 查 要 求
压缩机及负荷(能量)调节机构	负荷(能量)调节机构	拆卸	(1) 对导叶转轴、铰链、滑轮孔等转动部位加润滑油脂, 手动检查导叶由全闭至全开是否灵活、同步; (2) 钢丝是否打滑, 调整钢丝适当紧度; (3) 拆卸导叶驱动轴, 密封胶圈、“O”型圈若磨损失效, 应更换
蒸发器及冷凝器	换热管泄漏	压力试验	(1) 对蒸发器和冷凝器管程加水压(设计压力的1.5倍), 维持30min, 根据压力下降状况, 逐步堵管找出泄漏部位, 采取堵管或换管措施; (2) 对蒸发器和冷凝器筒体加气压0.15~0.20MPa, 维持 $\geq 30\text{min}$, 根据压力下降状况, 逐步堵管找出泄漏部位, 采取堵管或换管措施
	水室流程短路	拆卸测试	(1) 水室内隔板是否缺损, 是否更换; (2) 水室胶垫不得移位或失效, 调整或更换; (3) 检测水程的压阻损失, 与规定值比较若下降明显, 则可判断有水室短路或泄漏情况
	冷水(冷却水)侧腐蚀	抽查	(1) 检查前, 先清洗换热管内部; (2) 采用管内窥镜或涡流探伤仪, 抽查一组管束, 若腐蚀管数占总管数60%以上, 则应逐根检查管子; (3) 腐蚀与结垢往往同时发生, 探测时应注意结垢现象
	制冷剂侧腐蚀	拆卸	(1) 观察制冷剂脏污程度, 决定是否更换; (2) 制冷剂本身的质量应合格, 应以化验数据为准; (3) 应从浮球室着手, 检查过滤网、浮球室金属构件等, 不得有破损或锈蚀; (4) 各制冷剂液管、引压管等不得堵塞
	排水(载制冷剂)		(1) 排尽冷水(载制冷剂)和冷却水, 防止冻结或漏水事故; (2) 各放水阀、放水孔、放气阀等必须全部开启
	干燥除湿	加热	(1) 对蒸发器、冷凝器或整个机组通以80℃热风, 排向大气; (2) 对蒸发器、冷凝器或机组充干燥氮气0.03~0.05MPa, 反复抽吸4~5次, 排尽水蒸气
	排尽制冷剂		(1) 打开蒸发器底部最底位置的排泄孔或阀, 排尽制冷剂至一单独贮瓶(罐)中, 抽样进行分析化验, 将贮瓶(罐)密封好; (2) 对机组充以干燥氮气, 将剩余制冷剂压出
	换热管内除垢	清洗	(1) 管刷清洗法: 采用尼龙丝做的等于管内径的圆柱形管刷, 管柄长应大于换热管长的一半。用加压机或压缩空气通入管内, 管侧水平来回刷动, 以除垢或杂物; (2) 化学洗涤法: 用含5%的盐酸溶液(或其他非氧化酸), 加入适当的缓蚀剂(如过磷酸盐等), 以调整水质的pH值足够大。洗毕应再检查管子是否有泄漏

续表

部件名称	保养与检查项目	保养与检查方式	保 养 与 检 查 要 求
主电动机	轴承、气封状况	拆卸、测量、记录	(1) 检查磨损程度, 修复或更换; (2) 测量轴承、气封的间隙值, 做好记录
	定子与转子径向间隙	拆卸、测量	测出径向间隙, 应符合电动机制造厂设计值
	轴承回油孔	拆卸	疏通, 清洗, 吹净
	绕组吸湿处理	加热	(1) 绕组表面无水分, 但绝缘值下降, 采用下列干燥法: 1) 热风干燥: 送 80℃ 左右的热风, 吹过主电动机; 2) 低压干燥: 绕组内通以额定电流值的 60% ~ 70% 的电流、100V 的低压电流, 产生电阻热。绕组温度 $\leq 75^{\circ}\text{C}$, 并注意定子的温升情况。 上述干燥过程 2 ~ 3 天时间。绝缘电阻值上升至规定值后, 继续干燥一段时间, 或与机组共同做氮气干燥处理。再检查接线柱及连接线部位的绝缘情况; (2) 绕组表面若有水分, 即使测出合格的绝缘电阻值, 也应及时运回电动机制造厂处理; (3) 制冷剂有害组分超出标准规定时, 应洗净绕组, 再进行真空浸漆及干燥处理的工序
	测定绝缘电阻	试验记录	采用兆欧表测定主电动机绕组的绝缘电阻。对 380V 或以下的电动机绕组绝缘电阻值, 要求不小于 1M Ω ; 对 3000V、6000V 的电动机绕组绝缘电阻值, 要求不小于 10M Ω , 做好记录
	绕组清洁度	除污	清除杂物, 但不得损伤绝缘防腐涂层
	端子接头及接线部件	手动	检查接头或接线是否压紧压牢, 并保证气密性
	制冷剂供液管	拆卸	清洗并疏通
油泵及油系统	油泵状况	拆卸	(1) 排除运行中已发现、确定的故障; (2) 测量油泵定子与转子间隙; (3) 检查齿轮副、滑片的磨损腐蚀状况, 修复或更换; (4) 滑片式油泵端部的油压调节阀弹簧是否失效, 阀心是否处于正常位置
	油冷却器	清洗	(1) 清洗油程和水程、排污; (2) 对水程 (或制冷剂液流程) 进行通水加压试验, 方法与蒸发器、冷凝器水程相同, 发现泄漏, 修复或换管
	油系统清洁度	拆卸清洗	(1) 将过滤器拆卸、清洗或更换滤芯备件; (2) 各阀门是否关开到位、灵活, 修复或更换; (3) 油管、节流圈、接头处等是否畅通, 清洗疏通
	润滑油清洁度	化验	对 R11 机组着重检查润滑油的运动粘度 (50℃) 必须不小于 $40 \times 10^{-6} (\text{m}^2/\text{s})$ 及全酸值必须不大于 0.1 (mgKOH/g), 确保润滑油的纯度不小于 99% 质量分数。分析采取净化或换新油措施

续表

部件名称	保养与检查项目	保养与检查方式	保 养 与 检 查 要 求
抽气回收装置	小活塞压缩机	单独运转拆卸、清洗	(1) 关上抽气回收装置与蒸发器、冷凝器之间的波纹管阀, 松开小活塞压缩机吸气阀侧的接管与外套螺母, 开动压缩机直接吸入空气, 检查排气阀的自动控制系统是否正常。若排气压力值上不去, 就检查阀座是否变形产生间隙或夹有脏污物质, 修复或更换; (2) 小压缩机全部拆卸后, 清洗曲轴、轴封、连杆、轴瓦、活塞、气缸、阀片、阀座、油箱等, 调整或更换。确认零配件全部合格后, 涂上新油, 装配还原。确认系统畅通后, 运转 10min, 确认合格为止
	回收冷凝器浮球阀式自动排液机构	运转、拆卸	(1) 手动运转抽气回收装置, 使回收冷凝器上圆视镜液位“充满—排放—充满”, 反复 2~3 次, 以消除浮球阀的卡涩现象。此时回液阀用手动; (2) 拆检回收冷凝器中浮球阀机构, 检查浮球是否漏损
	抽真空试验及气密性试验	试验	与机组统一进行
电控系统	电控安全保护项目	运转校正	(1) 整定值见表 8-16; (2) 单独运转冷水及冷却水系统检查: ①冷水断水保护整定值; ②冷却水断水保护整定值; (3) 单独运转油系统检查: 供油压力过低保护整定值; (4) 控制仪表本身校正: ①蒸发温度过低保护整定值; ②冷凝压力过高保护整定值; ③抽气装置差压及减压阀整定值
	主电动机采用的高压开关、启动柜和制冷机控制柜(盘)	查线、测量、清洁、校正	(1) 关闭机组, 断开各配电盘电源; (2) 测量各配套设备中电动机的绝缘电阻值, 判断是否受湿并加热除湿; (3) 检查和理顺全部接线柱和布线, 标志清楚; (4) 清除配电盘内部灰尘垃圾, 保持清洁; (5) 检查高压盘断路器和电磁开关的机械结构件是否生锈、磨损, 弹簧和连杆是否折断, 绝缘材料表面的污损和吸湿的排除, 熔断器有否断线; (6) 接触器表面是否磨损, 触点是否粗糙, 但不允许用砂纸或锉打磨镀银接触器。按制造厂说明加油、调换、订购备件等; (7) 清除磁铁上的脏污锈迹。检查各连接螺钉有否松动; (8) 校准各电流表、电压表, 确保指示值在允许误差之内, 调零; (9) 按标准压力表校正压力传感器(油压、冷凝器压力、蒸发器压力); (10) 检查保护继电器的防尘和防湿; (11) 检查接地线路。检查高压控制盘电流互感器的二次电路, 保证不出现接线松动或断线事故, 否则, 会产生高压, 破坏绝缘; (12) 检查测温电阻管是否内部结露和受潮, 否则, 会引起冷水(载冷剂)出口温度调节作用失常

第四节 螺杆式制冷压缩机的运行管理

一、螺杆式制冷压缩机启动前的准备工作

1. 压力吹污和检漏

螺杆式制冷压缩机的压力吹污是指机组在进行大修或新安装结束后, 应使用 0.6MPa (表压) 压力的干燥空气或氮气对系统管路和各容器内部进行吹扫, 使系统中残存的氧化物、焊渣及其他污垢由机组底部的排污口排出。

压力检漏是指机组在完成排污工作后，向系统内打入压力氮气，进行气密性试验。其操作方法是：关闭机组中所有与大气相通的阀门，打开机组中各部分间的连接阀的阀门，然后用干燥空气或氮气向机组内充入 0.6MPa（表压力）压力的气压。此时，可用肥皂水对机组的阀门、焊缝、螺纹接头、法兰等部位进行气密性检查。当发现有泄漏现象时，应放掉试漏气体后再进行修补。

排除或没有发现机组泄漏后，可继续向机组内充入干燥空气或氮气，在充入气体的同时可混入少量的氟利昂气体，使机组内混合气体的压力达到 1.4MPa（表压），然后再用肥皂水进行检漏。没有查出漏点后，再用电子检漏仪做进一步细致的检漏，确认无泄漏问题后，进行 24h 保压试漏。在保压过程中，前 6h 内允许压力下降 0.03MPa，后 18h 内压力应稳定不动。24h 后确认机组确实无泄漏后，可将试漏气体由放空阀处排放出去。当压力降至 0.6MPa 时，可关闭放空阀，再次打开机组的排污口，进行再次排污。

2. 点车试机

点车试机是指在机组完成试漏工作以后，对于开启式机组，可拆下联轴节上的螺钉和压板，取下传动芯子，将飞轮移向电动机一侧，使电动机与压缩机分开，然后用点动方式通电，检查一下电动机的转动方向是否正确（对于半封闭或全封闭式机组，此项工作可不作），同时，再动一下油泵，检查一下油泵的转动方向是否与泵壳上所标的箭头方向一致。检查合格后，将联轴节上的传动芯子和压板装上，并用螺钉紧固。

3. 充灌冷冻润滑油

向螺杆式制冷压缩机充灌冷冻润滑油的方法有两种情况，一种是机组内没有润滑油的首次加油方法，另一种是机组内已有一部分润滑油，需要补充润滑油的操作方法。

(1) 机组首次充灌冷冻润滑油的操作。首次充灌冷冻润滑油有三种常用方法：

1. 使用外油泵加油。将所使用的加油泵的油管一端接在机组油粗过滤器前的加油阀上，另一端放入盛装冷冻润滑油的容器内，同时，将机组的供油止回阀和喷油控制阀关闭，打开油冷却器的出口阀和加油阀，然后启动加油泵，使冷冻润滑油经加油阀进入机组的油冷却器内。冷冻润滑油充满油冷却器后，将自动流入油分离器内。达到给机组加油的目的。

2. 使用机组本身油泵加油。操作时，将加油管的一端接在机组的加油阀上，另一端置于盛油容器内，开启加油阀及机组的喷油控制阀、供油止回阀，然后启动机组本身的油泵，将冷冻润滑油抽进系统内。

3. 真空加油法。真空加油法是利用制冷压缩机机组内的真空将冷冻润滑油抽入机组内的。操作时，要先将机组抽成一定程度的真空，将加油管的一端接在加油阀上，另一端放入盛有冷冻润滑油的容器中，然后打开加油阀和喷油控制阀，冷冻润滑油在机组内、外压差作用下被吸入机组内。

机组加油工作结束后，可启动机组的油泵，通过调节油压调节阀来调节油压，使油压维持在 0.3~0.5MPa（表压）范围。开启能量调节装置，检查能量调节在加载和减载时工作是否正常，确认正常后可将能量调节至零位，然后关闭油泵。

(2) 机组的补油操作方法。

机组在运行过程中，发现冷冻润滑油不足时的补油操作方法是：将氟利昂制冷剂全部抽至冷凝器中，使机组内压力与外界压力平衡，此时可采用利用机组本身油泵加油的操作方法向机组内补充冷冻润滑油。同时，应注意观察机组油分离器上的液面计，待油面达到标志线

上端约 2.5cm 时, 停止补油工作。

应当注意的是: 在进行补油操作中, 压缩机必须处于停机状态。如果想在机组运行过程中进行补油操作, 可将机组上的压力控制器调到“抽空”位置, 用软管连接吸气过滤器上的加油阀, 将软管的另一端插入盛油容器的油面以下, 但不得插到容器底部。然后关小吸气阀, 使吸气压力至真空状态, 此时, 可将加油阀缓缓打开, 使冷冻润滑油缓慢地流入机组, 达到加油量后关闭加油阀, 调节吸气阀使机组进入正常工作状态。

4. 机组的真空度要求

在制冷系统中充入一定量的冷冻润滑油之后, 就应该使用真空泵将机组内抽成真空状态, 要求机组内的压力达到绝对压力为 5.33kPa 左右。一般情况下, 不要使用机组本身抽真空, 以免油分离器内残存一部分空气无法排出。

5. 向机组内充灌制冷剂

当机组的真空度达到要求以后, 可向机组内充灌制冷剂, 其操作方法是:

(1) 打开机组冷凝器、蒸发器的进、出水阀门;

(2) 启动冷却水泵、冷媒水泵、冷却塔风机工作, 使冷却水系统和冷媒水系统处于正常的工作状态;

(3) 将制冷剂钢瓶置于磅秤上称重, 并记下总重量;

(4) 将加氟管一头拧紧在氟瓶上, 另一头与机组的加液阀虚接, 然后打开氟瓶瓶阀。当看到加液阀与加氟管虚接口处有氟雾喷出时, 就说明加氟管中的空气已排净, 应迅速拧紧虚接口;

(5) 打开冷凝器的出液阀、制冷剂注入阀、节流阀, 关闭压缩机吸气阀, 制冷剂在氟瓶与机组内压差作用下进入机组中。当机组内压力升至 0.4MPa (表压) 时, 暂时将注入阀关闭, 然后使用电子卤素检漏仪对机组的各个阀口和管道接口处进行检漏, 在确认机组各处无泄漏点后, 可将注入阀再次打开, 继续向机组中充灌制冷剂。

(6) 当机组内制冷剂压力和氟瓶内制冷剂压力平衡以后, 可将压缩机的吸气阀稍微打开一些, 使制冷剂进入压缩机内, 直至压力平衡。然后可启动压缩机, 按正常的开机程序, 使机组处于正常的低负荷运行状态 (此时应关闭冷凝器的出液阀), 同时观察磅秤上的称量值。当达到充灌量后将氟瓶瓶阀关闭, 然后再将注入阀关闭, 充灌制冷剂工作结束。

6. 负荷试机

(1) 试机前的准备工作。

1) 将机组的高低压力继电器的高压压力值调定到高于机组正常运行的压力值, 低压压力值调定到低于机组正常运行的压力值; 将压差继电器的调定值定到 0.1MPa (表压), 使其能控制当油压与高压压差低于该值时自动停机, 或机组的油过滤器前后压差大于该值时自动停机。

2) 检查机组中各有关开关装置是否处于正常位置。

3) 检查油位是否保持在视油镜的 $1/2 \sim 1/3$ 的正常位置上。

4) 检查机组中的吸气阀、加油阀、制冷剂注入阀、放空阀及所有的旁通阀是否处于关闭状态, 但是机组中的其他阀门应处于开启状态。应重点检查位于压缩机排气口至冷凝器之间管道上的各种阀门是否处于开启状态, 油路系统应确保畅通。

5) 检查冷凝器、蒸发器、油冷却器的冷却水和冷媒水路上的排污阀、排气阀是否处于关闭状态, 而水系统中的其他阀门均应处于开启状态。

6) 检查冷却水泵、冷媒水泵及其出口调节阀、止回阀是否能正常工作。

(2) 机组的试运行启动程序及运转调整。

1) 启动冷却水泵、冷却塔风机,使冷却水系统正常循环。

2) 启动冷媒水泵并调整水泵出口压力使其正常循环。

3) 对于开启式机组,应先启动油泵,待工作几分钟后关闭,然后用手盘动联轴器,观察其转动是否轻松。若不轻松,就应进行检查处理。

4) 检查机组供电的电源电压是否符合要求。

5) 检查系统中所有阀门所处的状态是否符合要求。

6) 闭合控制电柜总开关,检查操作控制柜上的指示灯能否正常亮。若有不亮者,就应查明原因及时排除。

7) 启动油泵,调节油压使其达到 $0.5 \sim 0.6 \text{MPa}$,同时将手动四通阀的手柄分别转动到增载、停止、减载位置,以检验能量调节系统能否正常工作。

8) 将能量调节手柄置于减载位置,使滑阀退到零位,然后检查机组油温。若低于 30°C 就应启动电加热器进行加热,使温度升至 30°C 以上,然后停止电加热器,启动压缩机运行,同时缓慢打开吸气阀。

9) 机组启动后检查油压,并根据情况调整油压,使它高于排气压力 $0.15 \sim 0.3 \text{MPa}$ 。

10) 依次递进,进行增载试验,同时调节节流阀的开度,观察机组的吸气压力、排气压力、油温、油压、油位及运转声音是否正常。如无异常现象,就可对压缩机继续增载至满负荷运行状态。

(3) 试机时的停机操作。

1) 机组第一次试运转时间一般以 30min 为宜。达到停机时间后,先进行机组的减载操作,使滑阀回到 $40\% \sim 50\%$ 位置,关闭机组的供液阀,关小吸气阀,停止主电动机运行,然后再关闭吸气阀。

2) 待机组滑阀退到零位时,停止油泵运行。

3) 关闭冷却水泵和凉水塔风机。

4) 待 10min 以后关闭冷媒水泵。

5) 关闭控制电源。

二、螺杆式制冷压缩机的开机操作

螺杆式制冷压缩机在经过试运转操作,并对发现的问题进行处理后,即可进入正常运转操作程序。其操作方法是:

(1) 确认机组中各有关阀门所处的状态是否符合开机要求。

(2) 向机组电气控制装置供电,并打开电源开关,使电源控制指示灯亮。

(3) 启动冷却水泵、冷却塔风机和冷媒水泵,应能看到三者的运行指示灯亮。

(4) 检测润滑油油温是否达到 30°C 。若不到 30°C ,就应打开电加热器进行加热,同时可启动油泵,使润滑油循环温度均匀升高。

(5) 油泵启动运行以后,将能量调节控制阀置于减载位置,并确定滑阀处于零位。

(6) 调节油压调节阀,使油压达到 $0.5 \sim 0.6 \text{MPa}$ 。

(7) 闭合压缩机,启动控制电源开关,打开压缩机吸气阀,经延时后压缩机启动运行,在压缩机运行以后进行润滑油压力的调整,使其高于排气压力 $0.15 \sim 0.3 \text{MPa}$ 。

(8) 闭合供液管路中的电磁阀控制电路,启动电磁阀,向蒸发器供液态制冷剂,将能量

调节装置置于加载位置,并随着时间的推移,逐级增载,同时观察吸气压力,通过调节膨胀阀,使吸气压力稳定在 0.36~0.56MPa(表压)范围内。

(9) 压缩机运行以后,当润滑油温度达到 45℃ 时断开电加热器的电源,同时打开油冷却器的冷却水的进、出口阀,使压缩机运行过程中,油温控制在 40~55℃ 范围内。

(10) 若冷却水温较低,可暂时将冷却塔的风机关闭。

(11) 将喷油阀开启 $\frac{1}{2}$ ~1 圈。同时应使吸气阀和机组的出液阀处于全开位置。

(12) 将能量调节装置,调节至 100% 的位置,同时调节膨胀阀使吸气过热度保持在 6℃ 以上。

(13) 机组启动运行中的检查。机组启动完毕,投入运行后,应注意对下述内容的检查,确保机组安全运行。

1) 冷媒水泵、冷却水泵、冷却塔风机运行时的声音、振动情况,水泵的出口压力、水温等各项指标是否在正常工作参数范围内。

2) 润滑油的油温是否在 60℃ 以下,油压是否高于排气压力 0.15~0.3MPa,油位是否正常。

3) 压缩机处于满负荷运行时,吸气压力值是否在 0.36~0.56MPa 范围内。

4) 压缩机的排气压力是否在 1.55MPa 以下,排气温度是否在 100℃ 以下。

5) 压缩机运行过程中,电机的运行电流是否在规定的范围内。若电流过大,就应调节至减载运行,防止电动机由于运行电流过大而烧毁。

6) 压缩机运行时的声音、振动情况是否正常。

上述各项中,若发现有不正常情况时,就应立即停机,查明原因,排除故障后,再重新启动机组。切不可带着问题让机组运行,以免造成重大事故。

三、螺杆式制冷压缩机正常运行的标志

螺杆式制冷压缩机正常运行的标志为:

(1) 压缩机排气压力为 $10.8 \times 10^5 \sim 14.7 \times 10^5$ Pa(表压);

(2) 压缩机排气温度为 45~90℃,最高不得超过 105℃;

(3) 压缩机的油温为 40~55℃ 左右;

(4) 压缩机的油压为 $1.96 \times 10^5 \sim 2.94 \times 10^5$ Pa(表压);

(5) 压缩机的运行电流在额定值范围内,避免因运行电流过大而造成压缩机电机的烧毁;

(6) 压缩机运行过程中声音应均匀、平稳,无异常声音;

(7) 机组的冷凝温度应比冷却水温度高 3~5℃,冷凝温度一般应控制在 40℃ 左右,冷凝器进水温度应在 32℃ 以下;

(8) 机组的蒸发温度应比冷媒水的出水温度低 3~4℃,冷媒水出水温度一般为 5~7℃ 左右。

四、螺杆式制冷压缩机的停机操作

螺杆式制冷压缩机的停机分为正常停机、紧急停机、自动停机和长期停机等停机方式。

1. 正常停机的操作方法

(1) 将手动卸载控制装置置于减载位置。

(2) 关闭冷凝器至蒸发器之间的供液管路上的电磁阀、出液阀。

- (3) 停止压缩机运行,同时关闭其吸气阀。
- (4) 待能量减载至零后,停止油泵工作。
- (5) 将能量调节装置置于“停止”位置上。
- (6) 关闭油冷却器的冷却水进水阀。
- (7) 停止冷却水泵和冷却塔风机的运行。
- (8) 停止冷媒水泵的运行。
- (9) 关闭总电源。

2. 机组的紧急停机

螺杆式制冷压缩机在正常运行过程中,如发现异常现象,为保护机组安全,就应实施紧急停机。其操作方法是:

- (1) 停止压缩机运行。
- (2) 关闭压缩机的吸气阀。
- (3) 关闭机组供液管上的电磁阀及冷凝器的出液阀,停止向蒸发器供液。
- (4) 停止油泵工作。
- (5) 关闭油冷却器的冷却水进水阀。
- (6) 停止冷媒水泵、冷却水泵和冷却塔风机。
- (7) 切断总电源。

机组在运行过程中出现停电、停水等故障时的停机方法可参照离心式压缩机紧急停机中的有关内容处理。

机组紧急停机后,应及时查明故障原因,排除故障后,可按正常启动方法重新启动机组。

3. 机组的自动停机

螺杆式制冷压缩机在运行过程中,若机组的压力、温度值超过规定值范围时,机组控制系统中的保护装置会发挥作用,自动停止压缩机工作,这种现象称为机组的自动停机。

机组自动停机时,其机组的电气控制板上相应的故障指示灯会点亮,以指示发生故障的部位。遇到此种情况发生时,主机停机后,其他部分的停机操作可按紧急停机方法处理。在完成停机操作工作后,应对机组进行检查,待排除故障后才可以按正常的启动程序进行重新启动运行。

4. 机组的长期停机

由于用于中央空调冷源的螺杆式制冷压缩机是季节性运行,因此,机组的停机时间较长。为保证机组的安全,在季节停机时,可按以下方法进行停机操作。

(1) 在机组正常运行时,关闭机组的出液阀,使机组进行减载运行,将机组中的制冷剂全部抽至冷凝器中。为使机组不会因吸气压力过低而停机,可将低压压力继电器的调定值调为 0.15MPa 。当吸气压力降至 0.15MPa 左右时,压缩机停机,当压缩机停机后,可将低压压力值再调回。

(2) 将停止运行后的油冷却器、冷凝器、蒸发器中的水卸掉,并放干净残存水,以防冬季时冻坏其内部的传热管。

(3) 关闭好机组中的有关阀门,检查是否有泄漏现象。

(4) 每星期应启动润滑油油泵运行 $10\sim 20\text{min}$,以使润滑油能长期均匀地分布到压缩机内的各个工作面,防止机组因长期停机而引起机件表面缺油,造成重新开机时的困难。

五、螺杆式制冷压缩机机组润滑油的补充与回收

1. 机组中润滑油的更换

机组运行一段时间后, 由于种种原因, 会使冷冻润滑油被污染变脏, 这时, 应对机组内的润滑油进行更换。其操作方法是:

(1) 在压缩机停机状态下, 将其吸、排气阀关闭, 同时启动冷媒水泵和冷却水泵运行。

(2) 使用抽氟机(另备)从机组的排气管上安全阀下部的放空阀处将气态制冷剂抽至冷凝器上部的放空阀处, 使其在冷凝器中被冷却成液体。当机组的高压压力表指示值接近零时停止抽氟。

(3) 打开机组的放油阀进行放油, 同时, 也从油冷却器、油分离器底部的堵丝处放油和排污。

(4) 污油放干净以后, 按试运转时的加油方法向机组内加入适量的合格润滑油。

(5) 机组加油结束后, 使用真空泵从放空阀处抽真空, 使机组的绝对压力为 5.33kPa 左右, 关闭放空阀, 停止真空泵工作。

(6) 打开压缩机的排气阀, 稍稍开启吸气阀, 使机组与系统压力平衡。

2. 机组中润滑油的补充

螺杆式制冷压缩机在运行过程中若发现润滑油不足, 就应及时进行补充。其操作方法是:

(1) 停止压缩机运行, 关闭压缩机的吸、排气阀, 同时使机组的冷却水和冷媒水系统正常运行。

(2) 用抽氟机从排气管上的放空阀处将制冷剂抽至冷凝器上部的放空阀处, 直至压缩机的高压压力表指针接近零时为止。

(3) 用试运行中所述的补油方法向机组补充适量的润滑油。

(4) 加油合适后, 用真空泵从放空阀处抽真空至绝对压力 5.33kPa 左右, 然后关闭放空阀, 停止真空泵运行。

(5) 打开压缩机的排气阀, 稍稍开启吸气阀, 使机组压力平衡, 补油工作结束。

3. 机组中蒸发器、冷凝器中润滑油的回收

在离心式压缩机运行过程中会因各种原因造成在机组的冷凝器和蒸发器中积存大量冷冻润滑油, 使机组无法正常工作, 因此必须及时进行回收润滑油的工作。下面我们以 LSLGF 500 型和 LSLG1000 型机组为例, 介绍其操作方法。

(1) 将机组的卸载装置调至“零位”, 停止机组运行, 断开蒸发压力保护器。

(2) 将供液电磁阀底部的调节杆旋进, 开启电磁阀, 使冷凝器中的氟利昂制冷剂与润滑油的混合物全部进入蒸发器中, 然后再将电磁阀的调节杆旋出, 关闭电磁阀。

(3) 按正常程序开机, 对蒸发器、冷凝器供水, 使机组在零位能量下运行, 然后打开供液电磁阀, 使其工作 30s 后再将其关闭, 同时, 也将冷凝器出液阀关闭。

(4) 使机组在零位能量下继续运行, 待蒸发器中的 $1/2$ 左右的氟利昂抽至冷凝器中后, 将能量调节装置调至 10%~20% 档位运行。

(5) 当在蒸发器中看不到液态制冷剂时, 其运行压力在 $0.2\sim 0.3\text{MPa}$ 时, 将能量调节装置调至“0”位, 同时停止压缩机运行。

(6) 关闭油冷却器的出油阀, 用回油管将蒸发器下部回油阀与机组的加油阀相连接, 上紧连接螺母, 然后缓慢地打开蒸发器下部的回油阀和机组的加油阀, 同时启动油泵使其工作, 将油抽至机组的油分离器中。

(7) 观察油分离器上的视油镜,待油面升至一定油位,并且不再上升时,将蒸发器下部的回油阀和机组的加油阀分别关闭,停止油泵运行,拆除回油管。然后再稍微开启蒸发器的回油阀,利用蒸发器内的制冷剂蒸汽将其内部的残油吹出。当观察到蒸发器下部的回油阀出口只有制冷剂气体吹出时,说明油已经排干净,应立即关闭回油阀。

(8) 润滑油回收结束后,打开油冷却器上的出油阀和冷凝器上的出液阀,并接通蒸发压力保护器,恢复机组正常工作。

六、螺杆式制冷压缩机常见故障的分析及排除

螺杆式制冷压缩机在日常运行过程中的常见故障分析及其排除方法见表 8-20。

表 8-20 螺杆式冷水机组常见故障的分析和处理方法

故障现象	故障分析	处理方法
自动负荷大,不能启动或启动后立即停车	(1) 能量调节未至零位; (2) 压缩机与电机不同轴度过大; (3) 压缩机内充满油或液体制冷剂; (4) 压缩机内磨损烧伤; (5) 电源断电或电压过低(低于额定值 10% 以上); (6) 压力控制器或温度控制器调节不当,使触头常开; (7) 压差控制器或热继电器断开后未复位; (8) 电动机绕组烧毁或短路; (9) 变位器、接触器、中间继电器线圈烧毁或触头接触不良; (10) 温度控制器调整不当或出故障不能打开电磁阀; (11) 电控柜或仪表箱电路接线有误	(1) 减载至零位; (2) 重新校正同轴度; (3) 盘动压缩机联轴节,将机腔内积液排净; (4) 拆卸检修; (5) 排除电路故障,按要求正常供电; (6) 按要求调整触头; (7) 按下复位键; (8) 检修; (9) 拆卸检查,修复; (10) 调整温度控制器的调定值或更换温控器; (11) 检查、改正
压缩机在运转中突然停车	(1) 吸气压力低于低压继电器调定值; (2) 排气压力过高,使高压继电器动作; (3) 温度控制器调得过小或失灵; (4) 电动机超载使热继电器动作或保险丝烧毁; (5) 油压过低使压差控制器动作; (6) 油精滤器压差控制器动作或压差控制器失灵; (7) 控制电路故障; (8) 仪表箱接线端松动,接触不良; (9) 油温过高,油温继电器动作	(1) 查明原因,排除故障; (2) 查明原因,排除故障; (3) 调大控制范围,更换温控器; (4) 排除故障,更换保险丝; (5) 查明原因,排除故障; (6) 拆洗精滤器、压差继电器调到规定值,更换压差控制器; (7) 检查原因,排除故障; (8) 查明后上紧; (9) 增加油冷却器冷却水量
机组振动过大	(1) 机组地脚未紧固; (2) 压缩机与电动机不同轴度过大; (3) 机组与管道固有振动频率相近而共振; (4) 吸入过量的润滑油或液体制冷剂	(1) 塞紧调整垫铁,拧紧地脚螺栓; (2) 重新校正同轴度; (3) 改变管道支撑点位置; (4) 停机,盘动联轴节将液体排出
运行中有异常声音	(1) 压缩机内有异物; (2) 止推轴承磨损破裂; (3) 滑动轴承磨损,转子与机壳摩擦; (4) 联轴节的键松动	(1) 检修压缩机及吸气过滤器; (2) 更换; (3) 更换滑动轴承,检修; (4) 紧固螺栓或更换键
排气温度过高	(1) 冷凝器冷却水量不足; (2) 冷却水温过高; (3) 制冷剂充灌量过多; (4) 膨胀阀开启过小; (5) 系统中存有空气(压力表指针明显跳动); (6) 冷凝器内传热管上有水垢; (7) 冷凝器内传热管上有油膜; (8) 机内喷油量不足; (9) 蒸发器配用过小; (10) 热负荷过大; (11) 油温过高; (12) 吸气过热度过大	(1) 增加冷却水量; (2) 开启冷却塔; (3) 适量放出制冷剂; (4) 适当调节; (5) 排放空气; (6) 清除水垢; (7) 回收冷冻机油; (8) 调整喷油量; (9) 更换; (10) 减小热负荷; (11) 增加油冷却器冷却水量; (12) 适当开大供液阀,增加供液量

续表

故障现象	故障分析	处理方法
压缩机本体温度过高	(1) 吸气温度过高; (2) 部件磨损造成摩擦部位发热; (3) 压力比过大; (4) 油冷却器能力不足; (5) 喷油量不足; (6) 由于杂质等原因造成压缩机烧伤	(1) 适当调大节流阀; (2) 停车检查; (3) 降低排气压力; (4) 增加冷却水量, 降低油温; (5) 增加喷油量; (6) 停车检查
蒸发温度过低	(1) 制冷剂不足; (2) 节流阀开启过小; (3) 节流阀出现脏堵或冰堵; (4) 干燥过滤器堵塞; (5) 电磁阀未全打开或失灵; (6) 蒸发器结霜太厚	(1) 添加制冷剂到规定量; (2) 适当调节; (3) 清洗、修理; (4) 清洗、更换; (5) 开启、更换; (6) 关小膨胀阀
油压过低	(1) 油压调节阀开启过大; (2) 油量不足 (未达到规定油位); (3) 油路管道或油过滤器堵塞; (4) 油泵故障; (5) 油泵转子磨损; (6) 油压表损坏, 指示错误	(1) 适当调节; (2) 添加冷冻机油到规定值; (3) 清洗; (4) 检查、修理; (5) 检修、更换; (6) 检修、更换
油压过高	(1) 油压调节阀开启度太小; (2) 油压表损坏, 指示错误; (3) 油泵排出管堵塞	(1) 适当增大开启度; (2) 检修、更换; (3) 检修
油温过高	油冷却器效果下降	清除油冷却器传热面上的污垢, 降低冷却水温或增大水量
冷凝压力过高	(1) 冷凝器冷却水量不足; (2) 冷凝器传热面结垢; (3) 系统中空气含量过多; (4) 冷却水温过高	(1) 加大冷却水量; (2) 清洗; (3) 排放空气; (4) 开启冷却塔
润滑油消耗量过大	(1) 加油过多; (2) 奔油; (3) 油分离器效果不佳	(1) 放油到规定量; (2) 查明原因, 进行处理; (3) 检修
油位上升	制冷剂溶于油内	关小节流阀, 提高油温
吸气压力过高	(1) 节流阀开启过大或感温包未扎紧; (2) 制冷剂充灌过多; (3) 系统中有空气	(1) 关小节流阀, 正确捆扎; (2) 放出多余制冷剂; (3) 排放空气
制冷量不足	(1) 吸气过滤器堵塞; (2) 压缩机磨损后间隙过大; (3) 冷却水量不足或水温过高; (4) 蒸发器配用过小; (5) 蒸发器结霜太厚; (6) 膨胀阀开得过大或过小; (7) 干燥过滤器堵塞; (8) 节流阀脏堵或冰堵; (9) 系统内有较多空气; (10) 制冷剂充灌量不足; (11) 蒸发器内有大量润滑油; (12) 电磁阀损坏; (13) 膨胀阀感温包内充灌剂泄漏; (14) 冷凝器或贮液器的出液阀未开启或开启度过小; (15) 制冷剂泄漏过多; (16) 能量调节指示不正确; (17) 喷油量不足	(1) 清洗; (2) 检修更换; (3) 调整水量, 开启冷却塔; (4) 减小热负荷或更换蒸发器; (5) 定期融霜; (6) 按工况要求调整阀门开启度; (7) 清洗; (8) 清洗; (9) 排放空气; (10) 添加至规定值; (11) 回收冷冻机油; (12) 修复或更换; (13) 修复或更换; (14) 开启出液阀到适当; (15) 查出漏处, 检修后添加制冷剂; (16) 检修; (17) 检修油路、油泵, 提高油量

续表

故障现象	故障分析	处理方法
压缩机结霜严重或 机体温度过低	(1) 热力膨胀阀开启过大; (2) 系统制冷剂冲灌量过多; (3) 热负荷过小; (4) 热力膨胀阀感温包未扎紧或捆扎位置 不正确; (5) 供油温度过低	(1) 适当关小阀门; (2) 排出多余的制冷剂; (3) 增加热负荷或减小冷量; (4) 按要求重新捆扎; (5) 减小油冷却器冷却水量
压缩机能量调节机 构不动作	(1) 四通阀不通; (2) 油管路或接头处堵塞; (3) 油活塞间隙大; (4) 滑阀或油活塞卡住; (5) 指示器故障; (6) 油压过低	(1) 检修或更换; (2) 检修、清洗; (3) 检修或更换; (4) 拆卸检修; (5) 检修; (6) 调节油压调节阀
压缩机轴封漏油 (允许值为6滴/min)	(1) 轴封磨损过量; (2) 动环、静环平面度过大或擦伤; (3) 密封环、O形环过松、过紧或变形; (4) 弹簧座、推环销钉装配不当; (5) 轴封弹簧弹力不足; (6) 轴封压盖处纸垫破损; (7) 压缩机与电动机不同轴度过大引起较 大振动	(1) 更换; (2) 研磨、更换; (3) 更换; (4) 重新装配; (5) 更换; (6) 更换; (7) 重新校正同轴度
压缩机运行中油压 表指针摆动	(1) 油量不足; (2) 精过滤器堵塞; (3) 油泵故障; (4) 油温过低; (5) 油泵吸入气体; (6) 油压调节阀动作不良	(1) 补充油; (2) 清洗; (3) 检修或更换; (4) 提高油温; (5) 查明原因进行处理; (6) 调整或拆修
停机时压缩机反转 不停(反转几转属正 常)	吸气止回阀故障(如止回阀卡住、弹簧弹 性不足或止回阀损坏)	检修或更换
蒸发器压力或压缩 机吸气压力不等	(1) 吸气过滤器堵塞; (2) 压力表故障; (3) 压力传感元件故障; (4) 阀的操作错误; (5) 管道堵塞	(1) 清洗过滤器; (2) 检修、更换; (3) 更换; (4) 检查吸入系统; (5) 检查、清理
机组跑油	(1) 在正常情况下发生跑油主要是操作不 当引起的; (2) 油温过低; (3) 供油量过大; (4) 增载过快; (5) 加油过多; (6) 热负荷减小	(1) 注意操作; (2) 提高油温; (3) 关小节流阀; (4) 分几次增载; (5) 放油到适量; (6) 增大热负荷或减小冷量
润滑油进入蒸发器 和冷凝器	(1) 吸气带液; (2) 油温低于20℃; (3) 停机时,吸气止回阀卡住	(1) 关小冷凝器出液阀; (2) 将油温升至30℃以上; (3) 检修吸气止回阀
制冷剂大量泄漏	(1) 蒸发器传热管冻裂; (2) 传热管与管板胀管处未胀紧; (3) 机体的铸件由于型砂质量较差或铸造 工艺不合理而形成砂眼和裂纹; (4) 密封件磨损或破裂,如吸、排气阀阀 杆和阀体O形环老化、磨损导致泄漏	(1) 更换冻裂的传热管; (2) 将蒸发器、冷凝器端盖拆下检查胀管处, 有泄漏重新胀紧; (3) 修补; (4) 更换密封件
石墨环炸裂	(1) 由于冷却水系统中混入空气或循环不 畅,冷凝器内制冷剂冷凝困难,压缩机排气 压力上升,轴端动、静环密封油膜被冲破, 出现半干或干摩擦,在摩擦热应力作用下石 墨环产生炸裂; (2) 压缩机启动时增载过快,高压突然增 大使石墨环炸裂; (3) 轴封的弹簧及压盖安装不当使石墨环 受力不均造成破裂; (4) 轴封润滑油的压力和粘度影响密封动 压液膜的形成而造成石墨环炸裂	(1) 停机更换,排除冷却水系统中的空气,降 低排气压力; (2) 更换,压缩机启动时应缓慢增载; (3) 停机更换,注意更换时使其受力均匀; (4) 停机更换,注意油压,粘度过低时应更换 符合质量标准的润滑油

第五节 溴化锂制冷机的运行管理

一、溴化锂制冷机运行前的准备工作

溴化锂制冷机运行前的准备工作主要有以下工作内容。

1. 机组的气密性检查

溴化锂制冷机组无论新机组还是已使用过的旧机组，在每次运行前都应进行气密性检查，其操作方法是：向机组的真空系统内充入 0.08~0.1MPa（表压）压力的氮气或干燥无油的压缩空气，然后在机组的各焊缝、法兰等连接处涂抹肥皂水，并仔细进行检查。若发现有肥皂泡连续出现的部位，即为泄漏点，发现泄漏点后就要作好记号，待将机组中试漏气体放出后，再作维修。

补漏的方法是：焊接处有砂眼、裂缝时可用焊接方法修补；传热管胀口泄漏，可采取重新扩张口进行维修；管壁破裂可焊补或更换；真空隔膜阀的胶垫或阀体泄漏则应更换。

对于视镜法兰的衬垫，如因发生断裂、破损而造成泄漏时，就应采用与原衬垫相同材料的衬垫进行更换。在更换衬垫时可在其表面涂真空脂，然后再与设备压紧，即可不再泄漏。更换时一般所使用的衬垫材料有耐热橡胶、高温石棉纸、聚四氟乙烯等。

若机组有的位置的裂痕或砂眼不太好进行焊接时，就使用铁粉与 102 粘合剂进行混合后涂抹到裂痕处即可。

机组在修补后应重做压力试验，直到确认无泄漏时为止。

为检验机组的密封性能，可在确认无泄漏后进行保压 24h 的试验。考虑到环境因素，一般要求 24h 后机组压降不得大于 66.65Pa。

通过上述试验确认机组无泄漏以后，放掉试漏用的气体后再做真空检漏试验。在进行真空检漏试验时，可采用真空泵对机组进行抽真空。抽真空操作时应注意：为防止真空泵因长时间工作而造成泵体内温度过高而影响其工作性能，可采取间歇抽空操作。当真空泵过热时，应及时更换机体内已经乳化了的泵油，并注意真空泵体表面不应出现凝露现象，若有凝露现象应使用热气将其除去。

当机组内压力达到 65Pa 以下，保压 24h 后，其压力回升值在 5~10Pa 范围内为合格。否则，应继续进行检漏、修补和真空试验，直到合格为止。

进行真空检漏时，常用的真空测量仪表有 U 形管绝对压力计和旋转式真空计等（见图 8-2、图 8-3）。这两种测量仪表均可直接读出机内的绝对压力。

绝对压力值与测量时的温度有关。考虑温度对绝对压力的影响时，机组内绝对压力升高值 Δp 应按下式计算：

$$\Delta p = p_2 - p_1 \times \frac{273 + t_2}{273 + t_1} \quad (\text{Pa})$$

式中 p_1 、 t_1 ——开始试验时机内的绝对压力，Pa，温度，℃；

p_2 、 t_2 ——试验结束时机内的绝对压力，Pa，温度，℃。

2. 其他方面的检查

(1) 电器、仪表的检查。检查的内容包括电源供电电压是否正常，控制箱动作是否可靠，温度与压力继电器的指示值是否符合要求，调节阀的设定值是否正确，动作是否灵敏，

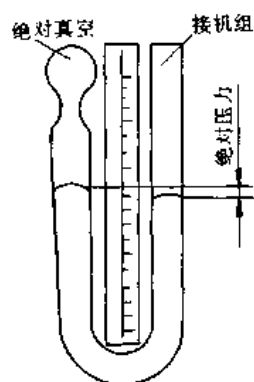


图 8-2 U形管绝对压力计

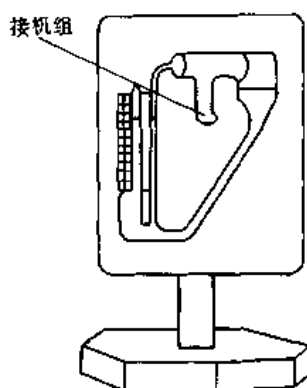


图 8-3 旋转式真空计

流量计与温度计等测量仪表是否达到精度要求。

(2) 检查各阀门位置是否符合要求。

(3) 检查真空泵油位与动作。真空泵油位应在视油镜中部。观察泵润滑油的颜色，若呈乳白色，就应更换新油。用手转动带盘，检查转动是否灵活，转向是否正确。

(4) 检查屏蔽泵电动机的绝缘电阻值是否符合要求。

(5) 检查蒸汽凝结水系统、冷却水系统和冷媒水系统的管路。若冷却水和冷媒水系统均为循环水时，还要检查水池水位。水位不足时，要添加补充水。

3. 机组的清洗

开机前的溴化锂机组在经过严格的气密性检验后，必须进行清洗，清洗的目的：一是检查屏蔽泵的转向和运转性能；二是清洗内部系统中的污垢；三是检查冷剂和溶液循环管路是否畅通。

清洗时最好选用蒸馏水。若没有蒸馏水，也可以使用符合表 8-21 水质要求的自来水。

表 8-21 清洗用水质要求

不纯物	容许限度	不纯物	容许限度
pH	7	Na ⁺ , K ⁺	50×10^{-6} 以下
硬度 (Ca, Mg)	20×10^{-6} 以下	Fe ²⁺	5×10^{-6} 以下
油分	0	HN ₃	少
Cl ⁻	10×10^{-6} 以下	Cu ²⁺	5×10^{-6} 以下
SO ₄ ²⁻	50×10^{-6} 以下		

清洗的操作方法是：

(1) 将蒸馏水或符合要求的自来水充入机组内，充灌量可略大于机组所需的溴化锂溶液量。

(2) 分别启动发生器泵和吸收器泵，并注意观察运行电流是否正常，泵内有无“咯咯”声。若有“咯咯”声则说明泵的转向接反了，应及时调整。

(3) 启动冷却水泵和冷媒水泵。

(4) 向机组内送入表压为 0.1~0.3MPa 的蒸汽，连续运转 30min 左右。

(5) 观察蒸发器视孔有无积水产生，如有积水产生就可启动蒸发器泵，间断地将蒸发器内的水旁通至吸收器内；若无积水产生就说明管道有堵塞，应及时处理。

(6) 清洗后将所有对外的阀门打开放气、放水。如果机体内过脏时，应反复进行上述过程，直至放出的水透明度良好时为止。

(7) 清洗工作结束后，可向机组内充入氮气，将机组内的存水压出、吹净。

(8) 完成以上各项操作后，启动真空泵运行，抽气至相应温度下水的饱和蒸汽压力状态。

4. 溴化锂溶液的充灌

溴化锂吸收式制冷机所使用的溴化锂溶液，目前都是以溶液状态供应的，其质量分数一般在 50% 左右。虽然溶液浓度较低，但在机组调试过程中可以进行调整，使其达到正常运行所需要的浓度要求。

市场供应的溴化锂溶液一般已加入 0.15% ~ 0.25% 的缓蚀剂（铬酸锂）。溶液的 pH 值已调至 9.0 ~ 10.5，可以直接加入机组中。其操作方法是：

(1) 检查机组内的绝对压力，使其保持在 6Pa 以下，若机组内有残余水分，则应保持与当时气温相应的饱和蒸汽压力。

(2) 溶液充灌时，一般可把溶液先倒入事先准备好的溶桶内，然后用橡胶管（硬橡胶管）与灌注瓶连好后，从溶液灌注瓶上引出一根橡胶管与溶液注入阀相连。溶液充灌示意图如图 8-4 所示。溶液注入瓶与橡胶管内应充满溴化锂溶液，以排除管内的空气，而溶液桶与溶液注入瓶之间的连接管不用注入溶液。

(3) 由于此时机组内真空度很高，因此打开溶液注入阀后，溴化锂溶液便会由溶液桶经橡胶管，进入溶液注入瓶中，然后再经橡胶管进入机组中。通过调节注入阀的开启度，可以控制注入速度，以便溶液注入瓶中的液位基本稳定。

充灌过程中应注意使橡胶管中充满溶液，并始终插入溶液中，以防止空气进入机组内。此外，还应注意使橡胶管的端口与桶底或瓶底保持 30 ~ 50mm 的距离，以免桶底或瓶底的异物被吸入机组内。

(4) 当预定的溶液量充灌完毕后，关闭注入阀，启动发生器泵，观察发生器和吸收器中的液位。若发生器的液位高于最高一排传热管 10 ~ 20mm，吸收器的液位也在抽气管下部与液囊上部之间，则可认为充灌的溶液量基本合适。否则，可停止发生器泵工作，继续进行充灌，直到满足要求为止。

5. 冷剂水的充灌

溴化锂吸收式制冷机中使用的冷剂水一般为蒸馏水或离子交换水（软水）。冷剂水的注入方法与溴化锂溶液的注入方法相同。其水质要求见表 8-21。

冷剂水的充注量与溴化锂溶液的浓度有关。对于浓度为 50% 的溶液，可先不加入冷剂水，而是通过机组运行时浓缩来产生冷剂水。如冷剂水量不足时再进行补充。机组中溴化锂溶液与冷剂水量是随着运转工况的变化而变化的。在高浓度下运行时（如加热蒸汽压力较高，冷却水进口温度较高，冷媒水出口温度较低），溴化锂溶液量会减少，而冷剂水量会增加，反之，低浓度下运行时（如加热蒸汽压力较低，冷却水进口温度较低，冷媒水出口温度较高），溴化锂溶液量会增加，而冷剂水量会减少。因此，在运行中应注意作适当的调整。

6. 冷剂水的取出

在溴化锂机组的运行过程中，如产生的冷剂水量过多，就会影响机组的正常运行，必须排出一部分冷剂水，才能将溴化锂溶液的浓度调整到所需要的范围。冷剂水取出的操作方法是：

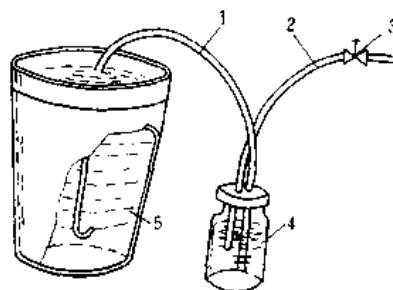


图 8-4 溶液充灌示意图

1、2—软管；3—溶液取样阀；4—溶液灌注瓶；5—溶液桶

(1) 在蒸馏水瓶的橡胶塞上打两个直径为6~8mm的孔,然后插入两根铜管,将两根铜管上分别套紧抽气管和取水管。

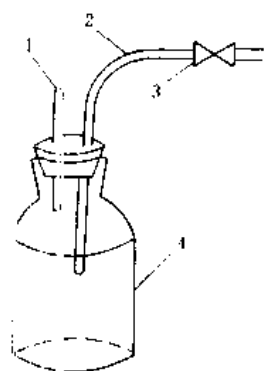


图 8-5 排出冷剂水的接管示意图

1—接真空泵; 2—软管; 3—冷剂取样阀; 4—玻璃容器

(2) 按图 8-5 所示的方法,将蒸馏水瓶与真空泵和机组的冷剂水取样阀连接好。

(3) 启动真空泵对蒸馏水瓶内进行抽真空运行 10~20min,然后再关闭真空泵。

(4) 启动冷剂水泵运行 10~20min 后,打开冷剂水取样阀,冷剂水会自动流入瓶中。当一瓶水灌满后,应关闭取样阀,拔出瓶塞,记录水量。然后可数次重复上述过程,直到冷剂水量符合要求时为止。

二、溴化锂制冷机的开机操作

溴化锂制冷机在完成了开机前的准备工作以后,就可以转入启动运行了。现以蒸汽双效型机组(并联流程)为例,分析一下溴化锂制冷机的开机操作方法。

机组的启动有自动和手动两种方式。一般机组启动时,为保证安全,多采用手动方式启动,待机组运行正常后再转入自动控制。

制。

手动启动的操作方法如图 8-6 所示。

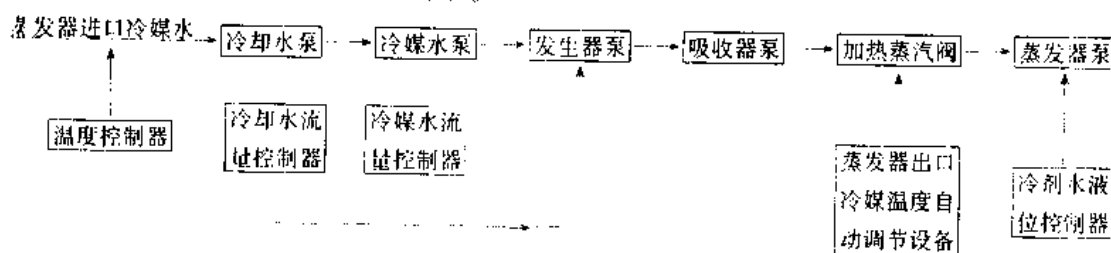


图 8-6 溴化锂冷水机组程序启动框图

溴化锂制冷机组启动过程中应注意以下几个问题:

(1) 启动冷却水泵和冷媒水泵后,要慢慢地打开两泵的排出阀,并逐步调整流量至规定值。通水前应将封头箱上的放气旋塞打开,以排除空气。

(2) 启动发生器泵后,调节送往发生器的两阀门的开度,分别调节送往高压发生器、低压发生器中的溴化锂溶液的流量,使高、低压发生器的液位保持一定。在采用混合溶液喷淋的两泵系统中,可调节送往引射器的溶液量,引射由溶液热交换器出来的浓溶液,使喷淋在吸收器管簇上的溶液具有良好的喷淋效果。

(3) 在专设吸收器溶液泵的系统,启动吸收器泵后,打开泵的出口阀门,使溶液喷淋在吸收器的管簇上。根据喷淋情况,调整吸收器的喷淋溶液量(采用浓溶液直接喷淋的系统,可省掉这一调节步骤)。

(4) 打开加热蒸汽阀时,应先打开凝结水放泄阀,排除蒸汽管道中的凝结水,然后再慢慢地打开蒸汽截止阀,向高压发生器供汽。对装有调节阀的机组,缓慢打开调节阀,按 0.05、0.1、0.125MPa(表压)的递增顺序提高压力至规定值。在初始运行的 20~30min

内，蒸汽压力不宜超过 0.2~0.3MPa（表压），以免引起严重的汽水冲击。

（5）当蒸发器液囊中的制冷剂液位达到规定值（一般以蒸发器视镜浸没且水位上升速度较快为准）时，启动制冷剂泵（蒸发器泵），调整泵出口的喷淋阀门，使被吸收掉的蒸汽与从冷凝器流下来的制冷剂水相平衡，机组至此也完成了启动过程，应逐渐转入正常运转状态。

（6）机组进入正常运行后，可在工作蒸汽压力为 0.2~0.3MPa（表压）的工况下，启动真空泵运行，抽出机组中残余的不凝性气体。抽气工作可分若干次进行，每次 5~10min。

三、溴化锂制冷机正常运行中的操作和管理

1. 操作

机组转入正常运行后，操作人员应做好以下工作：

（1）溶液浓度的测定与调整。

溴化锂制冷机运转初期，当外界条件如加热蒸汽压力、冷却水进口温度和流量、冷媒水出口温度和流量等基本达到要求后，应对进入高、低压发生器的溶液循环量进行调整，以便获得较好的运行效果。如果溶液循环量过小，就不仅会影响机组的制冷量，而且可能出现因为溶液量过小而产生的制冷剂蒸汽过多，使溶液浓度过高而引起结晶，影响机组的正常运转。反之，溶液循环量过大，也会引起制冷量降低，严重时，还会出现因发生器中液位过高而引起制冷剂水污染，同样影响机组的正常工作。因此，调节溶液循环量，是溴化锂制冷机运转初期的一项重要工作。

溶液循环量是否合适，可通过测量吸收器出口稀溶液的浓度和高、低压发生器出口浓溶液的浓度来判断，测量稀溶液浓度的方法比较简单，只要打开发生器泵出口阀用量筒取样即可。取样后，用浓度计可直接测出其浓度值。而测量浓溶液浓度取样就比较困难。这是因为浓溶液取样部分处于真空状态，不能直接取出，必须借助于如图 8-7 所示的取样器，通过抽真空的方式对浓溶液取样，把取样器取出的溶液倒入量杯，通过如图 8-8 所示的浓度测量装置来测量溶液的密度和温度，然后从溴化锂溶液的密度图表中查出相应的浓度。

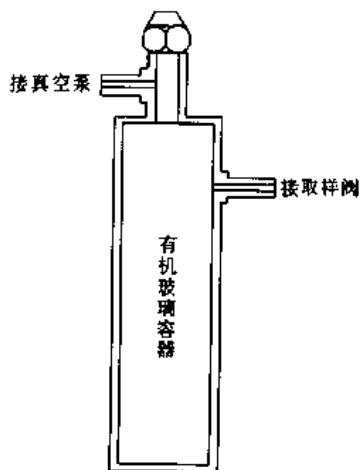


图 8-7 取样器示意图

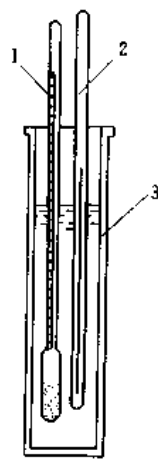


图 8-8 浓度测量示意图

1—比重计；2—温度计；3—量筒

通常高、低压发生器的放气范围为 4%~5%，通过调节进入高、低压发生器的溶液循环量，可调整两个发生器的放气范围，直到达到要求为止。

(2) 冷剂水相对密度的测量。

冷剂水相对密度(比重)正常是溴化锂制冷机正常运行的重要标志之一。测量时可按本章第四节所述冷剂水的取出中的方法,抽取冷剂水,然后用比重计直接进行测定。

一般冷剂水的相对密度小于 1.04 属于正常运行。若冷剂水的相对密度大于 1.04,则说明冷剂水中已混有溴化锂溶液,冷剂水已被污染。这时就应查出原因,及时予以排除。同时,应对已污染的水进行再生处理,直到相对密度接近 1.0 为止。

冷剂水的再生处理方法是:关闭冷剂泵出口阀,打开冷剂水旁通阀,使蒸发器液囊中的冷剂水全部旁通入吸收器中,冷剂水旁通后,关闭旁通阀,停止冷剂泵运行。待冷剂水重新在冷剂水液囊中聚集到一定量后,再重新启动冷剂泵运行。如果一次旁通不理想,可重复 2~3 次,直到冷剂水的密度合格为止。

(3) 溶液参数的调整。

机组运行初期,溶液中铬酸锂含量因生成保护膜会逐渐下降。此外,如果机组内含有空气,即使是极微量的,也会引起化学反映,溶液的 pH 值增加,甚至会引起机组内部的腐蚀。因此,机组运行一段时间后,应取样分析铬酸锂的含量、pH 值以及铁、铜、氯离子等杂质的含量。

当铬酸锂的含量低于 0.1% 时,应及时添加至 0.3% 左右;pH 值应保持在 9.0~10.5 之间(9.0 为最合适值,10.5 为最大允许值)。若 pH 值过高,就可用加入氢溴酸(HBr)的方法调整;若 pH 值过低就可用加入氢氧化锂(LiOH)的方法调整。添加氢溴酸时,浓度不能太高,添加速度也不能太快,否则,将会使筒体内侧形成的保护膜脱落,引起铜管、喷嘴的化学反应,以及焊接部位的点蚀。氢溴酸的添加方法是:从机内取出一部分溶液放在容器中,缓慢加入 5 倍以上蒸馏水稀释的适当浓度的氢溴酸(浓度为 4%),待完全混合后,再注入机组内。添加氢氧化锂的方法与添加氢溴酸的方法相同。

一般情况下,机组初投入运行时应对溶液取样,用万能纸测试其 pH 值,并作好记录。取出的样品应密封保存,作为运行中溶液定期检查时的对比参考。

机组中为减缓溶液对机组的腐蚀,一般用铬酸锂作为缓蚀剂。在机组运行过程中,因各种原因溶液中的缓蚀剂会消耗很大,为保证机组安全运行,应随时监视机组中溶液的颜色变化,并根据颜色变化来判定缓蚀剂的消耗情况,及时调整缓蚀剂的加入量。溶液颜色与缓蚀剂的消耗情况可参考表 8-22。

表 8-22 溶液的目测检查

项 目	状 态	判 断
颜 色	淡黄色	缓蚀剂消耗大
	无 色	缓蚀剂消耗过大
	黑 色	氧化铁多,缓蚀剂消耗大
	绿 色	铜析出
浮游物	极 少	无问题
	有铁锈	氧化铁多
沉淀物	大 量	氧化铁多

注 1. 除判断沉淀物多少外,均应在取样后立刻检验。

2. 检查沉淀物时,试样应静置数小时。

3. 观察颜色时,试样也应静置数小时。

在溴化锂制冷机组的运行中,为了提高机组的性能,在溶液中一般都要加入一种能量增强剂——辛醇。辛醇的添加量一般为溶液量的 0.1%~0.3%。辛醇的加入方法与加入氢溴酸的方法相同。机组在运行过程中,由于一部分辛醇会漂浮在冷剂水的表面或在真空泵排气时,随同机组内的不凝性气体被一同排出机外,使机组内辛醇循环量减少。判别辛醇是否需要补充的简单办法是:在机组的正常运行中,可在低负荷运行时,将冷剂水旁通至吸收器中,当发现抽出的气体中辛

辣味较淡时，可作适当的补充。

(4) 真空泵在运行中应注意的问题。

在溴化锂制冷机组的运行中，正确使用真空泵是保证机组安全有效运行的一个重要工作。真空泵在工作中应注意的问题是：

1) 正确启动真空泵。真空泵在启动前必须向泵体内加入适量的真空泵油，采用水冷式的真空泵应接好水系统，盖好排气罩盖，关闭旁通抽气阀，启动真空泵运行 1~2min。当用手感觉排气口时发现无气体排出，并能听到泵腔内排气阀片有清脆的跳动声时，应立即打开抽气阀进行抽空运行，直到机组内达到要求的真空度时为止。

当机组内真空度达到要求后，关闭机组的抽气阀，打开旁通抽气阀，即可停止真空泵运行。

2) 真空泵性能的检测。真空泵性能的检测分为两部分：一是运转性能。真空泵在运转中应使油位适中，传动皮带的松紧度合适。传动皮带与防护罩之间不能有摩擦现象，固定应稳固，泵体不得有跳动现象，排气阀片跳动声清脆而有节奏。二是抽气性能。检查抽气性能的方法是：关闭机组抽气阀或卸下抽气管段至真空泵吸气口，在吸气口接上麦氏真空计，启动真空泵抽气至最高极限，测量绝对压力极限值。如果真空计中测得的数值与真空泵标定的极限值一致，则说明抽气性能良好。

3) 使用真空泵的要求。溴化锂制冷机使用真空泵的要求是：①真空泵抽气的适应气压在 0.2~0.3MPa（表压）范围内。②吸收器内溶液的液位应以不淹没抽气管为准。③应在机组运行工况稳定时抽气。④机组在进行调整溶液的循环量及吸收器的喷淋量时不得进行抽真空。⑤抽气位置应在自动抽气装置（辅助吸收器）部位，而不应在冷凝器部位直接抽气。

4) 真空泵抽入溶液后的处理。真空泵在使用过程中，如果由于使用不当而造成溴化锂溶液进入泵体时，可按下述方法处理：①立即放出被污染的真空泵油，且在真空泵空车运行中连续多次换油，以稀释泵体内溶液的浓度，达到缓解腐蚀的效果。②拆洗真空泵，修理或更换被损坏的真空泵零部件并组装后，重新检测其性能。③在进行真空泵单机运转实验时，应堵住吸气口，盖上排气罩盖，以防止喷油。

5) 真空泵的保养。当真空泵油内出现凝结水珠时，其极限抽空能力由不大于 6×10^{-2} Pa 下降到 5.7×10^{-2} Pa，若此时发现真空泵油出现浮化，就应立即更换新油。将油排放到一个大容器内，待油水分离后可再用一次。

真空泵停止使用时要进行净缸处理，方法是：启动真空泵运行 3~5min 后停泵，打开放油口把油彻底放干净，最后再注入纯净的真空泵油进行保养。

真空泵若在操作中出现失误，溴化锂溶液有可能被抽入泵腔内，而发出“啪啪”音响，这时应立即停泵，将真空拆开进行彻底清洗，并用高压气体将润滑油孔道吹干净。重新组装完毕后，再充灌进适量的再生真空泵油，运转 10min 后将油放掉，如此反复 2~3 次，即可避免泵腔因接触溴化锂溶液而产生的腐蚀。

真空泵内进入溴化锂溶液后，应即时进行维修保养，若让溴化锂溶液在真空泵中停留 10d 以上，将会使真空泵受到严重的损坏。

真空泵应每年进行一次彻底的检修，其主要内容是：

(1) 滚动轴承的检查和更换。

真空泵上的滚动轴承，损坏率很高。应每年按水泵检修标准检修一次。

②滑动轴承的检修和更换。

真空泵高低压腔隔板上装有黄铜滑动轴承。滑动轴承在真空泵中兼有支撑转子和密封压腔的双重作用。滑动轴承的标准配合间隙应小于0.05mm，如配合间隙大于0.1mm，就应更换滑动轴承。

③轴封的检修。

真空泵的轴封是个橡胶密封件。检查的重点应是轴封的弹性、变形、锁紧弹簧张力以及轴与轴封的配合松紧程度等。若发现轴封有损坏部位，就应更换新轴封。

④真空泵性能试验。

真空泵检修后应检验其性能，其标准是：运行声音轻微且平稳，运转30~60min后，油温与环境温差小于40℃，双振幅振动小于0.5mm。真空泵常见故障及排除方法见表8-23。

表 8-23 真空泵故障原因及排除方法

故障内容	造成原因	解决方法
极限真空达不到要求	泵腔内配件间隙超差，轴封不严密，旋片弹簧折断，真空泵油缺少或乳化，密封件损坏等	检查后，进行检修或更换新品，放掉乳化油，加添新油至合理数量
运转时发出“拍拍”的响声	旋片弹簧失灵，旋片撞击缸腔壁，泵腔内进入溴化锂溶液	更换新弹簧，做彻底清洗，更换新油
油温超过40℃	排气量大，冷却水量少或水温高，油量不足，旋片和缸壁接触面粗糙	减少排气量，增加冷却水量，添加或更换新油，进行检修，提高光洁度
振动双振幅超过0.5mm	排气量过大，轴承游隙超差，油量过多	减少排气量，检查轴承质量，排放真空泵油

(5) 屏蔽泵的使用要求。

在溴化锂吸收式制冷机组中使用的屏蔽泵分为溶液泵和制冷剂泵两种。屏蔽泵是机组的“心脏”，因此在运行过程中应使机组无论在什么情况下都必须保证屏蔽泵的吸入管段内有足够的溶液，避免屏蔽泵叶轮处于较长时间的“空吸”状态，引起叶轮的气蚀和损坏，或者由于无液体润滑而使石墨轴承破裂或磨损量过大。在运行中应经常检查屏蔽泵电动机的运行电流及温升和有无异常运转声音等。当运行电流超过额定值、电动机外壳温度超过70℃时，应及时停机。有关屏蔽泵的故障分析和排除方法见表8-24。

表 8-24 屏蔽泵常见故障及排除方法

故障	原因	处理方法
通电后，电泵不能启动，发出嗡嗡的声音	电源电压过低	必须调整电压使其在342~418V范围
	三相电源有一相断电	检查线路是否良好，接头处是否接触良好
	电泵绕组烧坏	必须进行大修，调换线圈
运行中电泵迅速发热，转速下降	电压过低，电流增大，使线圈发热	调整电压
	二相运转	检查线路及接头是否良好
	过滤器阻塞	检查过滤器并清查过滤网
	定转子之间相擦	轴承磨损大，调换轴承
	电泵绕组短路	必须进行大修，调换线圈

续表

故 障	原 因	处 理 方 法
电动机启动时熔丝 烧坏或跳闸	电泵叶轮卡住	拆开检查, 清除垃圾
	电动机线圈短路	调换线圈
	定子屏蔽套破裂, 液体进入线圈、绝缘电	进行大修, 调换线圈及屏蔽套
	阻下降, 绕组对地击穿	
泵不出液体或流量 扬程不够	泵内或吸入管内留有空气	开启旋塞, 驱除空气
	吸上扬程过高或灌注头不够	减少吸入管阻力, 增大进口压力
	管路漏气	检查并拧紧
	电泵或管路内有杂物堵塞	检查并清理
	电路断线、轴承抱住轴而不转	检查并清理
消耗功率过大	密封圈磨损过多	更换叶轮或密封圈
	转动部分与固定部分发生碰撞	进行检查, 排除碰撞
泵发生振动	泵内或吸入管内有空气	开启旋塞, 驱除空气
	吸上扬程过高或灌注头不够	降低标高, 减少吸入阻力
	轴承损坏	更换轴承
	转子部分不平衡引起振动	作检查并消除之
	泵内或管路内有杂物堵塞	作检查并消除之

2. 管理

溴化锂吸收式制冷机启动过程中应注意下述问题:

(1) 在溶液泵和发生器泵启动后应注意使高压发生器和低压发生器内的液位在要求的范围内。否则, 应进行调整。

(2) 打开蒸汽阀向机组提供蒸汽时应逐步调整, 切忌一下到位, 以免发生因局部温度过高而发生胀裂事故。从打开蒸汽阀至达到供汽压力值的时间一般为 15~20min。同时应检查冷凝水的排水系统是否正常, 若不正常就应及时处理。

(3) 在向机组中送入蒸汽 10min 后, 要监测蒸发器内制冷剂水的液位, 适时启动冷剂泵运行, 将制冷剂水的液位调整合适。

(4) 当冷剂水量较少时, 可调整 (关小) 冷剂泵出口阀门, 减少冷剂水的循环量, 随着冷剂水的增多, 再逐渐开大冷剂泵的出口。若冷剂水很少, 就可暂时关闭冷剂泵, 待冷剂水积多时再启动冷剂泵。

(5) 当冷剂水液位过高时, 可开大冷剂泵的出口阀, 加大冷剂水的循环量, 也可打开冷剂泵与吸收器之间的旁通阀, 使一部分冷剂水旁通到吸收器中。

(6) 在向机组供应蒸汽前, 可打开机组的凝结水管道上的旁通阀, 供应蒸汽后应立即关闭。以免大量水蒸气从凝结水旁通管道上逸出, 造成浪费。

在调节中, 若将凝结水管路上的旁通阀关闭以后, 冷凝水不能顺利排出, 就可暂时打开旁通阀, 对疏水器进行检修。

(7) 运行中出现的一般问题的处理。

1) 机组运行不平稳。

溴化锂吸收式制冷机组运行不平稳主要是由于发生器的热负荷大于吸收器的热负荷, 从

而使蒸发器内制冷剂的水位逐渐上升，吸收器液位下降，溶液浓度和温度越来越高，从发生器至冷凝器之间的管路上发出汽—水撞击声。

产生此种问题的主要原因是：①由于制冷剂泵刚投入运行，机组运行的惯性使吸收器内液位下降过快，甚至出现吸空现象；②因为有不凝性气体出现或吸收器的负荷偏小而使低压筒体内压力偏高；③吸收器中喷淋溶液量小或发生器中溶液循环量大；④加热蒸汽的压力上升速度太快。

解决机组运行不平稳问题的方法是将制冷剂旁通至吸收器中，适当降低加热蒸汽压力，调整溶液的流量，减少发生器的循环量，加大吸收器的喷淋量。若冷却塔的负荷不能调节（风量），就可适当加大冷却水循环量；若冷却塔的风量可调，就可同时加大风量和冷却水循环量。并同时启动真空泵，抽出机组内的不凝性气体。

2) 机组运行中存有不凝性气体。

机组在运行过程中会因不同的原因而产生不凝性气体。积存于机组中的不凝性气体，会严重影响机组的工作效率，因此，应及时发现并予以排除，以保证机组安全高效地运行。判断机组内存有不凝性气体的方法是：溶液泵出口的稀溶液温度低于相同工况下的正常数值；抽气时冷媒水出口温度显著下降。

造成机组产生不凝性气体的原因主要有：清洗时残余存留下来的不凝性气体，由于缓蚀剂在预膜过程中引起的初始腐蚀产生的气体，机组检漏工作不彻底，有渗漏处，导致有气体渗入，隔膜阀漏气，真空泵抽真空能力下降等。

排除机组运行中存有不凝性气体的方法：清除存留下来的不凝性气体可以采用启动真空泵，对机组进行抽真空的方法排除。对于由于有渗漏问题而造成的不凝性气体，在运行高峰季节可用间断抽真空的方法维持运行，待长期停机时放出溶液后再进行检修。对于由于隔膜阀漏气而造成的不凝性气体，可一边抽气，一边瞬时开、关若干次阀门，看能否调整好。若此法无效，就可更换新阀。

3) 机组运行过程中制冷剂水被污染。

制冷剂水在机组运行中因各种因素被污染后的判断方法：机组工作时制冷量偏低；机组在低工况下运行时，制冷剂水量过多；吸收器液位下降；抽出取样的制冷剂水发黄，密度超过 $1.002\text{g}/\text{cm}^3$ 。

造成机组内制冷剂水污染的原因主要有：

机组启动时工作蒸汽压力提高太快；蒸汽调节阀失控；疏水器损坏；未关闭疏水器的旁通阀门；发生器（主要是低压发生器）液位太高；冷却水量过大，或冷却水进水温度偏低；冷凝器抽气阀未关闭等。

解决机组运行过程中制冷剂水被污染的方法有：降低蒸汽压力；检查疏水器的旁通阀，若旁通阀失灵就应予以更换；调节溶液循环量，适当降低低压发生器液位，减小冷却负荷，关闭抽气阀。在进行了上述针对性技术处理后，还应对制冷剂水进行再生处理，具体方法可参看前面有关章节。

(3) 制冷机组的运行记录。

制冷机在运行过程中应作好运行记录，以便分析运行情况，防患于未然。制冷机组的运行记录的内容见以蒸汽双效溴化锂制冷机运行记录为例的表 8-25。

四、溴化锂制冷机正常运行的标志

溴化锂制冷机正常运行的标志是：

(1) 冷媒水的出口温度为 7°C 左右, 出口压力根据外接系统的情况来定, 大约在 $0.2 \sim 0.6\text{MPa}$ 左右, 冷媒水流量可根据冷媒水进、出口温差为 $4 \sim 5^{\circ}\text{C}$ 或者按设定值来确定。

(2) 冷却水的进口温度要在 25°C 以上, 进口压力根据机组和冷却塔的位置, 大约在 $0.2 \sim 0.4\text{MPa}$ 左右, 冷却水流量大约是冷媒水流量的 $1.6 \sim 1.8$ 倍左右。出口的冷却水温度不高于 38°C 。

(3) 溴化锂溶液的浓度, 在高压发生器中为 62% 左右, 在低压发生器中为 62.5% 左右, 稀溶液为 58% 左右。

(4) 溶液的循环量, 在高低压发生器中以溶液淹没传热管为合适, 在其他部分的液面以液面计中间为宜。

五、溴化锂制冷机的停机操作

溴化锂制冷机的停机操作有手动停机和自动停机两种操作方式。

手动停机通常按下列程序进行:

(1) 关闭加热蒸汽截止阀, 停止对发生器或高压发生器供应蒸汽。

(2) 关闭加热蒸汽后, 让溶液泵、冷却水泵、冷媒水泵再继续运行一段时间, 使稀溶液和浓溶液充分混合 $15 \sim 20\text{min}$ 后, 再依次停止溶液泵、发生器、冷却水泵、冷媒水泵和冷却塔风机的运行。若停机时外界温度较低, 而测得的溶液浓度较高时, 为防止停机后结晶, 就应打开冷剂水旁通阀, 把一部分冷剂水通入吸收器, 使溶液充分稀释后再停机。

(3) 当停机时间较长或环境温度较低时, 一般应将蒸发器中的冷剂水全部旁通入吸收器中, 使溶液经过充分混合、稀释, 确定溶液不会在停机期间结晶后方可停泵。

(4) 停止各泵运行后, 切断电源总开关。

(5) 检查机组各阀门的密封情况, 防止停机期间空气漏入机组内。

(6) 停机期间, 若外界温度低于 0°C , 就应将高压发生器、吸收器、冷凝器和蒸发器传热管及封头内的积水排除干净, 以防冻裂。

(7) 在长期停机期间, 每天应派人专职检查机组的真空情况, 保证机组的真空度。有自动抽气装置的机组可不派人专职管理, 但不能切断机组和真空泵的电源, 以保证真空泵的自动运行。

溴化锂吸收式制冷机自动停机的操作方法是:

(1) 通知锅炉房停止送气。

(2) 按下“停止”按钮, 机组控制机构自动切断蒸汽调节阀, 机组转入自动稀释运行。

(3) 发生泵、溶液泵以及冷剂水泵稀释运行大约 15min 之后, 其温度继电器动作, 溶液泵、发生泵和冷剂泵自动停止。

(4) 切断电气开关箱上的电源开关, 切断冷却水泵、冷媒水泵、冷却塔风机的电源, 记录下蒸发器与吸收器液面高度, 记录下停机时间, 但应注意, 不能切断真空泵自动启停的电源。

(5) 若需要长期停机, 在按“停止按钮之前, 就应打开冷剂水再生阀, 让冷剂水全部导向吸收器, 使溶液全部稀释。并将机组内的残存冷却水、冷媒水放净, 防止冬季冻裂管道。

六、溴化锂制冷机的维护保养

溴化锂吸收式制冷机能否长期稳定运行, 性能长期保持不变, 取决于严格的操作程序和良好的保养。若忽视了严格的操作程序和良好的保养, 则会使机组制冷效果变差, 事故频率

高，甚至在3~5年内将机组报废。因此，除了要正确地掌握操作技能外，机组操作人员还应熟悉机组的维护保养知识，以便保证机组安全、高效地运行。

溴化锂吸收式制冷机的保养分为停机时的保养、定期检查保养和状态保养几种。

1. 机组停机时的保养

溴化锂吸收式制冷机组停机时的保养又分为短期停机保养和长期停机保养两种。

(1) 短期停机保养。所谓短期停机，是指停机时间不超过1~2周。此时的保养要做两件工作，一是要将机组内的溴化锂溶液充分稀释；二是要保持机组内的真空度，应每天早晚两次监测其真空度。为了准确起见，在观测压力仪表之前应把发生器泵和吸收器泵启动运行10min，而后再观察仪表读数，并和前一次做比较。若漏入空气，则应启动真空泵运行，将机组内部空气抽除。抽空时要注意必须把冷凝器、蒸发器抽气阀打开。

在短期停机保养时，如需检修屏蔽泵、清洗喷淋管或更换真空膜阀片等，应事先作好充分准备，工作时一次性完成。切忌使机组内部零部件长时间暴露在大气中，一次检修机组内部接触大气的时间最长不要超过6h。要尽快完成检修工作，工作结束后，及时将机内抽至规定的真空度，以免机内产生锈蚀。

(2) 长期停机保养。所谓长期停机，是指机组停机时间超过两周以上或整个冬季都处于停机状态。长期停机时应将蒸发器中的制冷剂水全部旁通到吸收器，与溴化锂溶液充分混合，均匀稀释，以防止在环境温度下结晶。在冬季，如果溶液浓度小于60%，室温保持在20℃以上时即无结晶危险。为了减少溶液对机组的腐蚀，在长期停机期间，最好将机组内的溶液排放至另设的贮液器中，然后向机组内充0.02~0.03MPa表压的氮气。若无另设的贮液器，也可把溶液储存在机组内，在这种情况下，应将机组的绝对压力抽至26.7Pa，再向机组内充灌氮气。向机组内充入氮气的目的是为了防止机组因万一有渗漏处而使空气进入机组。

另外，长期停机时还应把发生器、冷凝器、蒸发器和吸收器封头箱水室内的积水排净、有条件时最好用压缩空气或氮气吹干，然后把封头盖好。

2. 机组的定期检查和保养

(1) 定期检查。在溴化锂吸收式制冷机运行期间，为确保机组安全运行，应进行定期检查。定期检查的项目见表8-26。

表 8-26 溴化锂吸收式制冷机定期检查项目表

项 目	检 查 内 容	检 查 周 期				备 注
		每日	每周	每月	每年	
溴化锂溶液	溶液的浓度		✓		✓	
	深液的 pH 值			✓		9~11
	溶液的铬酸锂含量			✓		0.2%~0.3%
	溶液的清洁程度，决定是否需再生				✓	
制冷剂水	测定制冷剂水比重，观察是否污染，是否需要再生		✓			
屏蔽泵（溶液泵、制冷剂泵）	运转声音是否正常	✓				
	电动机电流是否超过正常值	✓				
	电动机的绝缘性能				✓	
	泵体温度是否正常	✓				不大于70℃
	叶轮拆检和过滤网的情况				✓	
	石墨轴承磨损程度的检查				✓	

续表

项 目	检 查 内 容	检 查 周 期				备 注
		每日	每周	每月	每年	
真空泵	润滑油是否在油面线中心	√				油面窗中心线
	运行中是否有异常声	√				
	运转时电动机的电流	√				
	运转时泵体温度	√				不大于 70℃
	润滑油的污染和乳化	√				
	传动皮带是否松动		√			
	带放气电磁阀动作是否可靠		√			
	电动机的绝缘性能				√	
	真空管路泄漏的检查				√	无泄漏, 24h 压力回升不超过 26.7Pa
	真空泵抽气性能的测定			√	√	
隔膜式真空泵	密封性				√	
	橡皮隔膜的老化程度				√	
传热管	管内壁的腐蚀情况				√	
	管内壁的结垢情况				√	
机组的密封性	运行中不凝性气体	√				
	真空度的回升值	√				
带放气真空电磁阀	密封面的清洁度			√		
	电磁阀动作可靠性		√			
冷凝水、冷却水、蒸汽管路	各阀门、法兰是否有漏水、汽现象		√			
	管道保温情况是否完好				√	
电控设备、计量设备	电器的绝缘性能				√	
	电器形状的动作可靠性				√	
	仪器仪表调定点的准确度				√	
	计量仪表指示值准确度校验				√	
报警装置	机组开车前一定要调整各控制器指示的可靠性				√	
水 泵	泵体、电动机温度是否正常	√				不大于 70℃
	运转声音是否正常	√				
	电动机电流是否超过正常值	√				
	电动机绝缘性能				√	
	叶轮拆检、套筒磨损程度检查				√	
	轴承磨损程度的检查				√	
	水泵的漏水情况		√			
	底脚螺栓及联轴器情况是否完好			√		
冷却塔	喷淋头的检查			√		
	点波片的检查				√	
	点波框、挡水板的清洁				√	
	冷却水水质的测量			√		

(2) 定期保养。为保证溴化锂吸收式制冷机组安全运行,除做好定期检查外,还要作好定期保养。

定期保养又可分为日保养、小修保养和大修保养三种形式。

日保养又分为班前保养和班后保养。班前保养的内容是检查真空泵的润滑油油位是否合适,按要求注入润滑油;检查机组内溴化锂溶液液面是否合乎运行要求;检查巡回水池液位及水管管路是否畅通;检查机组外部联接部位的紧固情况;检查机组的真空情况。班后保养的内容是擦洗机组表面,保持机组清洁,清扫机组周围场地,保持机房清洁等。

小修保养周期可视机组运行情况而定,可一周一次,也可一月一次。小修保养的内容是检查机组的真空度、机组内溴化锂溶液的浓度、缓蚀剂铬酸锂的含量、pH 值及清洁度;检查各台水泵的联轴器橡皮的磨损程度、轧兰的漏水情况;检查各循环系统管路的连接法兰、阀门,确定不漏水,不漏气;检查全部电器设备是否处于正常状态,并对电器设备和电动机进行清洁。

大修保养周期一般为一年一次。大修保养的内容有清洗制冷机组传热管内壁的污垢(包括蒸汽管道和制冷剂水管道);用油漆涂刷机组表面;检查视镜的完好和清晰度;检查隔膜或真空泵的密封,以及橡皮隔膜的老化程度;测定溴化锂溶液的浓度,铬酸锂的含量,并检查溶液的 pH 值和浑浊程度;检查机组的真空度;检查屏蔽泵的磨损情况,重点检查叶轮和石磨轴承的磨损情况;检查屏蔽套磨损情况及机组冷却管路是否堵塞等。

机组大修保养的操作:

1) 传热管水侧的清洗。

溴化锂运行一段时间后,水侧传热管如冷凝器、蒸发器和吸收器内的管道内壁会沉积一些泥沙、菌藻等污垢,甚至会出现水垢层,使其传热效率下降,引起能耗增大,制冷量减小,因此,在大修保养中必须对其进行清洗。清洗的方法有两种:一是工具清洗。用于只有沉积性污垢的清洗。方法是用 0.7~0.8MPa 压力的压缩空气将管道内的沉积性污垢吹除一遍,然后用特制的一头装橡皮头,另一头装有气堵的尼龙刷进行清洗。清洗时,将装有橡皮头和气堵的尼龙刷插入管口,用大于 0.7MPa 压力的压缩空气把刷子打向传热管的另一端,反复 2~3 次,即可将管内的沉积性污垢全部排出,然后再用 0.3MPa 压力的清水将每根管子冲洗 3~4 秒钟,然后再用 0.7MPa 压力的高压空气吹净管内的积水,最后用干净棉球吹擦两次。清洗后的传热管内壁要光亮、干燥无水分。二是药物清洗。对于水垢性污垢可采用药物清洗。方法是:在酸洗箱内分批配置 81-A 型酸洗剂,其溶液浓度以 10% 为宜,然后将溶液用酸洗泵送入被清洗的传热管内。为了增强溶垢能力,缩短酸洗时间,可将酸洗溶液加热至 50℃,并在整个清洗过程中始终保持 50℃ 左右的温度。酸洗泵的循环时间,一般为 4~5h 左右为宜。为防止酸洗过程中,由于化学反应,酸洗液中产生大量泡沫溢出酸洗箱,可向酸洗液中加入 50~100mL 柠檬酸三酐酯。

酸洗结束后,应立即用清水冲洗。方法是:放掉酸洗液,仍然使用酸洗循环装置用清水进行清洗循环,每次循环 20min,然后换水,再次清洗。然后再向酸洗部位充满清水,并加入 0.2% 的 Na_2CO_3 溶液进行中和,使清洗泵运行 20min 后放掉。当清洗水中的 pH 值达到 7 时,即为合格。最后用压缩空气或氮气将管内积水吹净,再用棉球吹擦两次,以保持干燥。

2) 机组的清洗。

在溴化锂机组进行大修保养时,还应对机组进行清洗。清洗的方法可用吸收器泵进行循

环清洗，其方法是：清洗前先将机组内的溶液排干净，然后拆下吸收器泵，将机体管口法兰用胶垫盲板封上，将吸收器泵的进口倒过来接在吸收器喷淋管口上（即把泵的进口倒过来接在出口管上），取下高压发生器的视镜，往机组内注入纯水或蒸馏水（其液位应到蒸发器的液盘上），再把视镜装回原来的位置上，启动发生器泵运行 1~2h，让杂质尽量沉积在吸收器内。再往机组内充入 0.1~0.2MPa 压力的氮气，然后再启动吸收器泵，将水从吸收器喷淋管中倒抽出来，以除去喷淋管中的沉积物，直到水位低于喷嘴抽不出来时为止，最后将吸收器内剩下的水由进口管全部放出，此时可将沉积物随水排出。

3) 水泵的保养。

机组大修保养中对水泵的保养内容为：检查水泵填料、水泵轴承、水泵轴承套的磨损情况；检查弹性联轴器的磨损情况，重新校正电动机与水泵的同心度；检查水泵、电动机座脚的紧固情况，清洗泵体并重新油漆。

电动机与水泵同心度的校正方法是：用平尺沿轴向紧靠联轴器依次测量出上、下、左、右四点的间隙量，然后调整水泵或电动机，使平尺贴靠联轴器的任何位置都平直，即为合格。电动机与水泵的不同心度允许差值为 0.1~0.2mm。联轴器的轴向间隔：小型水泵为 2~3mm，中型水泵为 3~5mm，大型水泵为 4~6mm。两个联轴器切不可密合在一起，以防电动机启动时轴向窜动造成巨大推力。

水泵大修后应达到的合格标准是：盘缠套部滴水每分钟应在 10 滴之内，其温升不超过 70℃；进行试运行时的允许运行电流比额定值偏高 3%~4%，正式运行时的电流应为额定值的 75%~85%。

4) 真空泵的保养。

机组大修保养中对真空泵的保养内容为：检查各运动部件的磨损情况；检查真空泵阻油器及润滑油的情况；检查过滤网是否污堵；更换各部件之间的密封圈，更换皮带圈；对于带放气电磁阀的真空泵，应清洗电磁阀的活动部件，检查电磁阀弹簧的弹性，更换各部件之间的密封圈。

检修后的真空泵应达到：阻油器清洁，过滤网无损坏，润滑油清洁，放气电磁阀动作灵活。座脚固定稳固。

5) 冷却塔的检修。

机组大修时对冷却塔的检修内容包括检查并清洁喷淋头，清洗风扇电动机的叶轮、叶片，整理填料等。

①冷却塔喷淋头（喷嘴）的检修。

冷却塔喷淋头的检修清洗方法有两种。一种为手工清洗，其方法是：将喷嘴拆开，把卡在喷嘴芯里的杂物取出来，用清水洗刷后再组装成套。在操作中要小心，不要损伤丝扣。第二种方法是化学清洗，其方法是：将喷嘴浸入浓度为 20%~30% 的硫酸水溶液中，浸泡 60min。喷嘴中的水垢和污垢可全部清除。然后再用清水对喷嘴清洗两次，直到清水的 pH 值为 7 时为止。以防冷却水将喷嘴中的酸性物质带入系统而造成管道的腐蚀加剧。

化学清洗后的废酸液不可直接排入地沟，应向废溶液中加入碳酸钠进行中和，使其 pH 值接近 6.5~7.5 时再进行排放。

在清洗、检修喷嘴的同时，也应同时进行喷淋管的清洁和防腐处理，其方法是：每年停机后应立即对其进行除锈刷漆，尤其对装配喷嘴的丝头，可采用汞明漆涂刷，不能用油脂，

以防油脂污染冷却水。在每年的维修保养工作中切不可忽视对喷嘴丝头的防腐处理,否则,一两年以后,在运行期间会发生喷嘴脱落,使喷淋水呈柱状倾泄而下,会把填料砸成碎片,落入冷却水中,严重时堵塞冷却水管道。

②冷却塔风机叶轮、叶片的检修保养。

由于冷却塔风机叶轮、叶片长期工作在高湿环境下,因此,其金属叶片腐蚀严重。为了减缓腐蚀,每年停机后应立即将叶轮拆下,彻底清除腐蚀物,并做静平衡校验后,均匀涂刷防锈漆和酚醛漆各一次。检修后应将叶轮装回原位,以防变形。

在机组停机期间冷却风机的大直径玻璃钢叶片很容易变形,尤其是在冬季,大量积雪会使叶片变形严重。解决这个问题的方法是:停机后将叶片旋转 90°,使叶片垂直于地面。若将叶片拆下分解保存,应分成单片平放,切不可堆置。

6) 停机后的压力监测。

溴化锂吸收式制冷机的维修保养的另一个主要工作是做好停机后的压力监测工作。通过定时监测随时发现泄漏,随时加以处理,以防止造成腐蚀,降低机组效率,缩短机组寿命。压力监测应由专人负责,并将监测结果填入表 8-27 所示的监测表中。

表 8-27 溴化锂制冷机停机压力监测表

记录时间 ____年 ____月		环境温度 (℃)	大 气 压		机 内 压 力 变 化			
			mbar (毫巴)	mmHg (毫米汞柱)	正压 (充氮)		负压 (真空)	
					mmHg (p_h)	比差 (p_h)	mmHg (p_v)	比差 (f)
1	8.00							
	16.00							
2	8.00							
	16.00							
3	8.00							
	16.00							
4	8.00							
	16.00							
5	8.00							
	16.00							
6	8.00							
	16.00							
7	8.00							
	16.00							
8	8.00							
	16.00							
9	8.00							
	16.00							
10	8.00							
	16.00							
⋮								

上表中的比差是指前一次监测和后一次监测的数值之差。比差值越大,说明机组泄漏越严重。但在测定比差时应考虑环境温度对比差的影响。

机组大修后,应参照表 8-28、表 8-29 和表 8-30 所列内容进行对照检查,确认机组的设备是否完好。

表 8-28

溴化锂制冷机设备完好技术条件

项 目	检 查 项 目	技 术 要 求	备 注
机	机组密封	24h 下降值小于或等于 66.7Pa (0.5mmHg)	
	传热管排清洁	管内壁光洁, 呈金属本色	
	机外防腐蚀包括血管管板、水室等	全部除锈, 涂防腐材料	
	隔膜式真空阀	密封良好, 隔膜无老化	
	控制仪表	灵敏、可靠	
	机体部分保温	完整无损坏	
	溶液: 溴化锂溶液浓度 pH 值 铬酸锂含量 浑浊情况	符合工艺要求 (一般为 56%~58%) 9.0~10.5 之间 0.1%~0.3% 纯净、无沉淀物	
屏蔽泵	石墨轴承与推力盘径向间隙	0.15mm	最大不超过 0.25mm
	叶轮与口径环径向间隙	0.2~0.3mm	最大不超过 0.6mm
	转子窜量	1.0~1.5mm	
	叶轮静平衡	摆动角度不超过 10'	
	过滤器	干净、无腐蚀孔洞	
	密封性能	正压检漏无泄漏	
真空泵	电机绝缘	不低于 0.5MΩ	
	定子、转子旋片粗糙度	保持平正光滑	不准有明显划伤、沟槽
	泵体内清洁	干净无污物	
	润滑油孔	畅通无堵塞	
	轴封与密封环	严密而可靠	
	阀片	灵活适中	
	电磁阀	性能可靠	
管道	极限真空度		
		按设计要求做好保温及防腐蚀, 不准有锈蚀、泄漏	
阀门		严密、灵活、无泄漏	
制冷量		不低于 90%	可结合设备实际状况和外界条件而定

表 8-29

冷却塔轴流风机完好技术条件

项 目	检 查 项 目	技 术 要 求	备 注
检修内容	叶片安装角度	$\pm 1^\circ$	
	叶片与周围间隙	$\leq$ 风机叶轮直径的 4‰	
	叶根与榫骨间隙	不小于 2mm 且不大于 5mm	
	喇叭口 (导风圈)	光滑、严密、与叶轮间隙均匀	亦可按轴径的 1‰ 检验
	轴弯曲	小于 0.05mm	
	轴承温升	环境温度 + 20℃	
	叶轮静平衡	摆动角度不大于 20'	或者偏重不大于 25g
	主轴与轴承配合	JS ₆ (过渡配合)	新国标
	主轴与叶轮配合	H ₆ (间隙配合)	新国标
	各部螺丝	无松动, 缺少	
	电器设备	安全、清洁、可靠、绝缘良好 (不低于 0.5MΩ)	
	防腐蚀	防腐涂料全面、有效	
试运转	时间	不少于 12h	
	机械状态	轴承温升低于环境温度 + 20℃、无振动、异常响声, 润滑良好	
	性能	风量及耗电达到设计要求	

表 8-30

溴化锂制冷站离心水泵完好技术条件

项 目	检 查 项 目	技 术 要 求	备 注
检修内容	泵座水平	纵向 0.5mm, 横向 0.35mm	
	泵轴弯曲	小于轴径 1‰	
	叶轮静平衡	摆动角不大于 15°	或者小于 3g (直径小于 300mm 以下)
	轴与轴承配合	JS ₆ (过渡配合)	
	轴与水轮配合	H	
	叶轮与口环间隙	0.35mm (半径方向)	
	联轴器同心度	小于 0.1mm	
	联轴器间隙	2~4mm, 四周均匀一致	
	联轴器与轴配合	h ₆	
	盘螺 (密封填料)	松紧适宜 (允许滴水 40~60 滴/min)	
	出口阀门	灵活严密	
试运转	时间	不少于 12h	
	机械状态	轴承温升小于室温 + 20℃, 无异常响声, 无大的振动, 润滑良好	
	性能	输水量、水压力、耗电达到设计要求	

七、溴化锂制冷机常见故障分析及排除方法

溴化锂制冷机组在运行过程中会发生各种各样的故障, 其主要故障现象、形成原因和排除方法见表 8-31。

表 8-31

溴化锂吸收式冷水机组常见故障及其排除方法

故障现象	原 因	排 除 方 法
启动运转时, 发生器液面波动、偏低或偏高, 吸收器液面随之而偏高或偏低 (有时产生汽蚀)	溶液调节阀开度不当, 使溶液循环量偏小或偏大	调整送往高、低压发生器的溶液循环量
	加热蒸汽压力不当, 偏高或偏低	调整加热蒸汽的压力
	冷却水温低或高时, 水量偏大或偏小	调整冷却水温或水量
	机器内有不凝性气体, 真空度未达到要求	启动真空泵, 排除不凝性气体, 使之达到真空度要求
制冷量低于设计值	送往发生器的溶液循环量不当	调节送往发生器的溶液循环量, 满足工况要求
	机器密封性不良, 有空气漏入	运转真空泵并排除泄漏
	抽气不良	测定真空泵的抽气性能, 并排除故障
	喷淋管喷嘴堵塞	冲洗喷淋管喷嘴
	传热管结垢	清洗传热管内的污垢与杂质
	冷剂水中溴化锂含量超过预定标准	测定冷剂水相对密度, 超过 1.04 时进行再生
	蒸汽压力过低	调整蒸汽压力
	冷剂水和溶液充注量不足	添加适量的冷剂水和溶液
	溶液泵和冷剂泵有故障	测量泵的电流, 注意运转声音, 检查故障, 并予以排除
	冷却水进口温度过高	检查冷却水系统, 降低冷却水温
	冷却水量或冷媒水量过小	适当加大冷却水量或冷媒水量
	阻汽排水器故障	检修阻汽排水器
	结晶	排除结晶
	能量增强剂不足	添加能量增强剂

续表

故障现象	原 因	排 除 方 法
结晶	蒸汽压力高, 浓溶液温度高	降低加热蒸汽压力
	溶液循环量不足, 浓溶液浓度高	加大送往发生器的溶液循环量
	漏入空气, 制冷量降低	运转真空泵, 抽除不凝性气体, 并消除泄漏
	冷却水温急剧下降	提高冷却水温度或减少冷却水量, 并检查冷却塔及冷却水循环系统
	安全保护继电器有故障	检查溶液高温、冷剂水防冻结等安全保护继电器, 并调整至给定值
	运转结束后, 稀释不充分	延长稀释循环时间, 检查并调整时间继电器或温度继电器的给定数值, 在稀释运转的同时, 通以冷却水
冷剂水中含有溴化锂溶液	送往发生器的溶液循环量过大, 或发生器中液位过高	调节溶液循环量, 降低发生器液位
	加热蒸汽压力过高	降低加热蒸汽压力
	冷却水温过低或水量调节阀有故障	提高冷却水温度并检修水量调节阀
	运转中由冷凝器抽气	停止从冷凝器中抽气
浓溶液温度高	蒸汽压力过高	调整减压阀, 压力维持在给定值
	机内漏入空气	运转真空泵并排除泄漏
	溶液循环量少	加大溶液循环量
冷剂水温度低	低负荷时, 蒸汽阀开度值比规定的大	关小蒸汽阀并检查蒸汽阀开大的原因
	冷却水温过低或水量调节阀有故障	提高冷却水温度, 并检修水量调节阀
	冷媒水量不足	检查冷媒水量与冷媒水循环系统
冷媒水出口温度越来越低	外界负荷大于制冷能力	适当降低外界负荷
	机组制冷能力降低	见制冷量低于设计值时的排除方法
	冷媒水量过大	适当降低冷媒水量
运转中突然停机	断电	检查电源、排除故障, 继续供电
	溶液泵或冷剂泵出现故障	见表 26-9
	冷却水与冷媒水断水	检查冷却水与冷媒水系统, 恢复供水
	防冻结的低温继电器动作	检查低温继电器刻度, 调整至适当位置
真空泵抽气能力下降	真空泵有故障: (1) 排气阀损坏; (2) 旋片弹簧失去弹性或断折, 旋片不能紧密接触定子内腔, 旋转时有撞击声; (3) 泵内脏及抽气系统内部严重污染	检查真空泵运转情况, 拆开真空泵。 (1) 更换排气阀; (2) 更换弹簧; (3) 拆开清洗
	真空泵油中混入大量冷剂蒸汽, 油呈乳白色, 粘度下降, 抽气效果降低。 (1) 抽气管位置布置不当; (2) 冷剂分离器中喷嘴堵塞或冷却水中断	更换真空泵油。 (1) 更改抽气管位置, 应在吸收器管簇下方抽气; (2) 清洗喷嘴, 检查冷却水系统
	冷剂分离器中结晶	消除结晶
	溶液泵出口无溶液送至自动抽气装置	检查阀门是否处于正常状态
自动抽气装置运转不正常	抽气装置结晶	消除结晶
机组因安全装置而停机	电动机因过载而不转	使过载继电器复位, 寻找过载的原因
	屏蔽泵因过载而损坏	寻找原因, 若泵汽蚀, 则加入溶液或冷剂水, 若泵内部结晶, 则熔晶; 若泵壳温度过高, 则应采取冷却措施
	冷剂水低温继电器不动作	检查温度继电器动作的给定值, 重新调整
	安全保护装置动作而停机	寻找原因, 若继电器的给定值设置不当, 则重新调整

溴化锂制冷机组主要故障的排除方法：

(1) 冷媒水断水的故障排除方法。

在溴化锂制冷机组的运行过程中，流经蒸发器的冷媒水若突然断水，就易造成蒸发器传热管冻裂事故。

造成冷媒水断水的原因有：动力电源突然中断；冷媒水泵出现故障；水池水位过低使水泵吸空。

冷媒水断水故障的排除方法：关闭蒸发器泵和吸收器泵，打开冷剂水旁通阀门，稀释溶液以免结晶；打开冷媒水循环阀门，迅速将蒸发器中冷媒水排管中的积水排干净，以免冻裂管道；通知热力供应部门停止供汽，或在打开紧急排汽阀门的同时关闭加热蒸汽；保持发生器泵和冷却水泵运行，若断水故障在短时间能够排除，就可继续开机进行正常制冷运行。

(2) 冷却水断水的故障排除方法。

溴化锂制冷机组冷却水断水的原因与冷媒水断水的原因基本相同。若不及时处理，就易造成溶液结晶和屏蔽电动机温升过高而受到损坏。

冷却水断水的处理方法是：立即通知热力供应部门停止供应蒸汽，防止发生器中溶液浓度持续升高，形成结晶危险；关闭蒸发器泵出口阀，并打开冷剂水旁通阀稀释溶液；停止吸收器泵运行；当溶液温度下降到 60°C 左右时，关闭发生器泵和冷媒水泵，停止机组运行，进行停机维修。

机组突然断电的处理方法是：溴化锂制冷机组在运行过程中，若发生突然断电，就应迅速关闭加热蒸汽，使动力箱电源开关及所有溶液泵和水泵电源按钮调整到关闭位置，并同时关闭水泵出口阀门，使整个系统处于停机状态。待机组恢复正常供电后，按正常启动程序，重新启动机组。

屏蔽电动机烧毁的处理方法是：溴化锂制冷机组在运行过程中，出现屏蔽泵电动机烧毁故障时的处理方法是：立即更换备用泵。其操作程序是：检查备用屏蔽泵的完好程度，测试水轮转动是否轻快；检查电动机的绝缘电阻是否在 $2\text{M}\Omega$ 以上，通电运转几秒钟后，看能否正常启动运转；然后切断机组的总电源；关闭屏蔽泵进、出口真空阀门，放净管内溶液，并拆除烧毁的屏蔽泵；将备用屏蔽泵安装就位后，进行局部正压检漏。其方法是通过屏蔽泵出口取样阀向屏蔽泵内充氮气，使其压力达到 0.2MPa （表压）；正压试漏完毕并确认无泄漏后，进行局部抽真空操作。其方法是用橡胶管连接屏蔽泵出口取样阀和抽气系统测试阀，启动真空泵运行 $20\sim 30\text{min}$ ，确认泵体和管内无空气时，打开屏蔽泵进出口真空阀门；启动发生器泵和吸收器运转 10min 后，观察机组内的真空度，如果无大的变化，就可认为机组无泄漏部位，然后启动真空泵运行 $1\sim 2\text{h}$ ，对机组进行抽真空处理。最后可按正常启动程序，重新启动机组运行。

机组运行中溶液结晶的处理方法是：溴化锂制冷机组在运行过程中，由于加热蒸汽压力过高，冷却水进口温度过低，溶液循环量过小或有不凝性气体存在等原因，都会引起溶液结晶，造成机组无法正常运行。机组中最容易结晶的部位是溶液热交换器的浓溶液出口处。因为此处的溶液浓度较高，当其温度降低时就易出现结晶。出现结晶后，由于浓溶液出口被堵塞，使发生器中的液位逐渐升高，当液位超过 J 形管口时，溶液就绕过低温热交换器，经 J 形管直接进入吸入器。因此，用手感觉 J 形管觉得发烫是溶液产生结晶的主要特征之一。同时，由于此时低压发生器中液位升高，使机组制冷量下降，会使冷媒水出口温度上升。

机组出现轻度结晶时,可通过J形溶晶管自动消除。但若出现严重结晶情况,用J形溶晶管就无法消除,此时可采取下列方法予以排除:适当减少供汽量和冷却水供应量;控制稀溶液温度在 60°C 左右;间断启动发生器泵,使低压发生器中温度较高的溶液,沿着稀溶液的管路经低温热交换器回流到吸收器。如此反复操作几次,可消除结晶。若是机组中的高温热交换器产生结晶,就会使高压发生器液位升高,排除方法也可采用间断启动发生器泵的方法来消除。若机组的结晶严重,上述方法不能奏效时,可用蒸汽凝结水或用蒸汽在浓溶液出口侧进行加热来排除。

另外,在日常运行中遇到下雨天气时,冷却塔出水温度会降低到 20°C 左右,此时应停止风机运行,减少冷却水循环量,以防低于 26°C 的冷却水进入机组而造成结晶。

思考与练习

1. 制冷设备管理中的组织工作的主要内容有哪些?
2. 制冷设备管理中的操作规程的主要内容有哪些?
3. 制冷设备管理中的运行记录应包括哪些内容?
4. 活塞式制冷压缩机启动前应做哪些准备工作?
5. 活塞式制冷压缩机的开机操作程序有哪些内容?
6. 活塞式制冷压缩机的停机操作程序有哪些内容?
7. 活塞式制冷压缩机的正常运行标志是什么?
8. 活塞式制冷压缩机在运行管理中应注意哪些问题?
9. 离心式制冷压缩机启动前应做哪些准备工作?
10. 应如何向离心式制冷压缩机机组中充灌制冷剂?
11. 离心式制冷压缩机负荷试机的操作程序是什么?
12. 离心式制冷压缩机的开机操作程序有哪些内容?
13. 离心式制冷压缩机正常运行标志是什么?
14. 离心式制冷压缩机停机操作程序有哪些?
15. 离心式制冷压缩机停机后移出制冷剂的操作方法是什么?
16. 螺杆式制冷压缩机启动前应做哪些准备工作?
17. 应如何向螺杆式制冷压缩机机组中充灌制冷剂?
18. 螺杆式制冷压缩机负荷试机的操作程序是什么?
19. 螺杆式制冷压缩机的开机操作程序有哪些内容?
20. 螺杆式制冷压缩机在运行过程中应做哪些方面的检查工作,以确保机组的安全运行?
21. 螺杆式制冷压缩机正常运行的标志是什么?
22. 螺杆式制冷压缩机停机操作程序有哪些?
23. 制冷压缩机在运行过程中的紧急停机指的是什么?应如何操作?
24. 溴化锂制冷机启动前应做哪些准备工作?
25. 溴化锂机组应如何进行清洗?
26. 向溴化锂制冷机中充灌溴化锂溶液应如何操作?

27. 向溴化锂制冷机中充灌制冷剂水应如何操作?
28. 溴化锂制冷机的开机操作程序有哪些?
29. 溴化锂制冷机组在运行中应如何进行操作与管理?
30. 溴化锂制冷机组的真空泵应如何使用?
31. 溴化锂制冷机组的屏蔽泵在使用时应注意什么?
32. 溴化锂制冷机在运行过程中应如何管理?
33. 溴化锂制冷机在运行过程中会出现哪些常见故障? 应如何处理?
34. 溴化锂制冷机停机操作程序有哪些?
35. 溴化锂制冷机应如何进行保养?
36. 溴化锂制冷机组大修保养应做哪些工作?
37. 冷却塔应如何进行检修保养?
38. 溴化锂制冷机组停机后应如何做好保养、监测工作?

参 考 文 献

- 1 李全川编著. 空调运行管理手册——原理、结构、安装、维修. 上海: 上海交通大学出版社, 2000
- 2 尉迟斌主编. 制冷工程技术辞典. 上海: 上海交通大学出版社, 1987
- 3 卜啸华主编. 制冷与空调技术问答. 北京: 冶金工业出版社, 机械工业出版社, 2000
- 4 何耀东主编. 空调用溴化锂吸收式制冷机. 第二版. 北京: 中国建筑工业出版社, 1996
- 5 周邦宁主编. 中央空调设备选型手册. 北京: 中国建筑工业出版社, 1999
- 6 李援瑛主编. 空调系统运行与管理. 北京: 高等教育出版社, 1998
- 7 张祉祐主编. 冷藏与空气调节. 北京: 机械工业出版社, 1999
- 8 柳建华主编. 制冷空调装置安装操作与维修. 北京: 中国商业出版社, 1997
- 9 卢士勋主编. 制冷与空气调节技术. 上海: 上海科学普及出版社, 1992
- 10 嵇耀庆主编. 实用供热空调设计手册. 北京: 中国建筑工业出版社, 1993
- 11 金苏敏主编. 制冷技术及其应用. 北京: 机械工业出版社, 2000
- 12 李树林主编. 空调用制冷技术. 北京: 机械工业出版社, 1995
- 13 郭庆堂主编. 简明空调用制冷设计手册. 北京: 中国建筑工业出版社, 1997
- 14 张祉祐主编. 制冷空调设备使用维修手册. 北京: 机械工业出版社, 1998
- 15 陆亚俊, 马最良, 庞志庆编著. 制冷技术与应用. 北京: 中国建筑工业出版社, 1992
- 16 许第斌, 董盛川编著. 空调与冷冻设备的使用与维修. 北京: 机械工业出版社
- 17 徐德胜, 韩厚德主编. 制冷与空调. 上海: 上海交通大学出版社
- 18 冻沛霖, 岳孝芳主编. 空调与制冷技术手册. 上海: 同济大学出版社