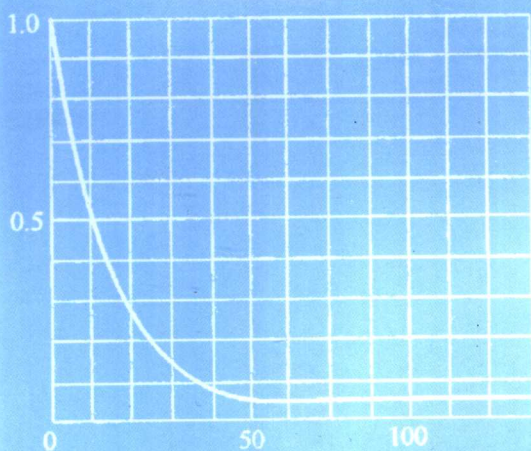



全国高职高专建筑环境与设备工程专业系列规划教材

# 通风空调与制冷技术

杨惠君 徐 勇 主 编  
苏长满 副主编  
刘智勇 主 审



 科学出版社  
[www.sciencep.com](http://www.sciencep.com)

全国高职高专建筑环境与设备工程专业系列规划教材

# 通风空调与制冷技术

杨惠君 徐 勇 主 编  
苏长满 副主编  
刘智勇 主 审

科学出版社

北 京

## 内 容 简 介

本书主要内容包括:制冷原理与制冷剂,蒸气压缩式制冷原理及系统组成,蒸气压缩式冷水机组,溴化锂吸收式制冷机,室内污染物的控制与通风,湿空气的物理性质和焓湿图,冷(热)、湿负荷与送风量的确定,空气的热湿处理及其设备,空气调节系统,空调风系统设计,通风空调系统的测定与调整等。本书既对基础理论进行了系统介绍,又注重实际应用,深度适中,符合应用型人才培养要求。

本书可作为高职院校相关专业的教材,也可作为空调工程设计人员、现场操作人员的参考用书。

### 图书在版编目(CIP)数据

通风空调与制冷技术/杨惠君,徐勇主编.—北京:科学出版社,2007  
(全国高职高专建筑环境与设备工程专业系列规划教材)

ISBN 978-7-03-016594-7

I. 通… II. ①杨… ②徐… III. ①房屋建筑设备:通风设备-高等学校:技术学校-教材 ②房屋建筑设备:空气调节设备-高等学校:技术学校-教材 ③制冷工程-高等学校:技术学校-教材 IV. ①TU83②TB6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 146084 号

责任编辑:童安齐 彭明兰 / 责任校对:耿 耘

责任印制:吕春珉 / 封面设计:耕者设计工作室

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

双青印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2007 年 2 月第 一 版 开本:B5 (720×1000)

2007 年 2 月第一次印刷 印张:20

印数:1—3 000 字数:392 000

定价:28.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈双青〉)

销售部电话 010-62136131 编辑部电话 010-62137026(VA03)

# 前 言

教材是课程的载体,是实现培养目标的工具,教材的质量直接影响培养目标的实现。高职教材不同于本科教材,应偏重知识的应用,是为培养各类既有理论知识又有实践技能的实用型人才服务的工具。本书既有一定的理论深度,又注重运用相关理论去解决实际问题,将这两者合理而科学地统一在一起。

随着我国工业化水平的提高,对生产环境的要求也越来越高。通风、空调技术在电子、航天、医疗卫生、生物工程、医药、精密机械加工、精细加工、食品饮料等多个领域得到广泛应用,相应的具有一定理论知识的实用型人才越来越受欢迎。为了适应这种社会发展的需要,培养更多的应用型人才,我们编写了本书。

本书包括制冷技术、通风和空气调节三部分内容。其任务是通过课堂教学、实践教学和课程设计等环节,使学生掌握通风、制冷、空调系统的构成、设备构造和工作原理,掌握管道系统和设备选择的基本方法。

本书共 11 章,具体编写分工如下:第 1~4 章由徐州建筑职业技术学院苏长满编写,第 5、第 11 章由徐州建筑职业技术学院陈益武编写,第 6~8 章由兰州交通大学杨惠君编写,第 9 章由徐州建筑职业技术学院徐勇编写,第 10 章由兰州交通大学班云霄编写。兰州交通大学刘智勇担任主审。

由于作者的经验和水平有限,书中难免有不妥之处,敬请读者批评指正。

# 目 录

## 前言

<b>第 1 章 制冷原理与制冷剂</b> .....	1
1-1 制冷原理 .....	1
1-2 制冷剂 .....	3
1-3 载冷剂 .....	7
<b>第 2 章 蒸气压缩式制冷原理及系统组成</b> .....	9
2-1 单级蒸气压缩式制冷的理论循环 .....	9
2-2 单级蒸气压缩式制冷理论循环的热力计算 .....	11
2-3 单级蒸气压缩式制冷的实际循环 .....	14
2-4 制冷机的性能及工况 .....	17
<b>第 3 章 蒸气压缩式冷水机组</b> .....	21
3-1 活塞式制冷压缩机的构造及性能 .....	21
3-2 螺杆式制冷压缩机的构造及性能 .....	31
3-3 离心式制冷压缩机的结构及性能 .....	36
3-4 涡旋式制冷压缩机的构造及性能 .....	40
3-5 冷凝器和蒸发器 .....	44
3-6 节流装置、辅助设备 .....	56
3-7 制冷剂的储存、分离设备 .....	63
3-8 蒸气压缩式冷水机组的种类及工作原理 .....	69
3-9 蒸气压缩式冷水机组的选型 .....	73
<b>第 4 章 溴化锂吸收式制冷机</b> .....	76
4-1 吸收式制冷的工作原理 .....	76
4-2 溴化锂吸收式制冷机工作原理 .....	76
4-3 溴化锂吸收式制冷机的类型与结构 .....	82
4-4 溴化锂吸收式制冷机的能量调节 .....	87
<b>第 5 章 室内污染物的控制与通风</b> .....	91
5-1 室内污染物及其控制 .....	91
5-2 局部通风 .....	100
5-3 全面通风 .....	111
5-4 自然通风 .....	121
5-5 建筑物的防排烟系统 .....	127

<b>第 6 章 湿空气的物理性质和焓湿图</b> .....	139
6-1 湿空气的组成和状态参数 .....	139
6-2 湿空气的焓湿图 .....	144
6-3 湿球温度与露点温度 .....	147
6-4 焓湿图的应用 .....	148
<b>第 7 章 冷(热)、湿负荷与送风量的确定</b> .....	152
7-1 室内、外空气计算参数的确定 .....	152
7-2 太阳辐射能对建筑物的影响 .....	159
7-3 空调区域冷(热)、湿负荷的形成与计算 .....	162
7-4 空调房间送风状态及送风量的确定 .....	172
<b>第 8 章 空气的热湿处理及其设备</b> .....	176
8-1 热湿处理的途径和使用设备类型 .....	176
8-2 用表面式换热器处理空气 .....	177
8-3 用喷水室处理空气 .....	185
8-4 空气的其他热湿处理方法 .....	190
8-5 组合式空调机组 .....	196
<b>第 9 章 空气调节系统</b> .....	199
9-1 空气调节系统的分类 .....	199
9-2 新风量的确定和空气平衡 .....	201
9-3 定风量式空调系统 .....	204
9-4 变风量式空调系统 .....	219
9-5 空气-水系统 .....	222
9-6 分散式空气调节系统 .....	228
<b>第 10 章 空调风系统设计</b> .....	236
10-1 送、回风口空气流动规律 .....	236
10-2 送、回风口形式 .....	242
10-3 气流组织形式 .....	245
10-4 气流组织设计计算 .....	247
10-5 通风空调风系统管路计算 .....	256
10-6 通风空调系统的消音、防振 .....	263
<b>第 11 章 通风空调系统的测定与调整</b> .....	273
11-1 测定调整的工作内容 .....	273
11-2 通风空调系统风量风压的测定与调整 .....	279
11-3 空调系统设备容量及系统工况的测定 .....	286

11-4	通风与空调系统综合效果测定 .....	288
11-5	测定与调整过程中发现问题的分析和解决方法 .....	291
附录 I	湿空气焓湿图 .....	295
附录 II	北京地区部分室外气象参数 .....	296
附录 III	北纬 40° 太阳总辐射照度 .....	297
附录 IV	外墙(Ⅱ型)冷负荷计算温度 .....	298
附录 V	屋面冷负荷计算温度 .....	299
附录 VI	室外冷负荷计算温度地点修正值 .....	300
附录 VII	单层窗玻璃的传热系数 $K_w$ 值 .....	301
附录 VIII	双层窗玻璃的传热系数 $K_w$ 值 .....	302
附录 IX	北区无内遮阳窗玻璃冷负荷系数 .....	303
附录 X	北区有内遮阳窗玻璃冷负荷系数 .....	304
附录 XI	南区无内遮阳窗玻璃冷负荷系数 .....	305
附录 XII	南区有内遮阳窗玻璃冷负荷系数 .....	306
附录 XIII	设备显热散热形成的冷负荷系数 .....	307
附录 XIV	照明设备散热冷负荷系数 .....	309
附录 XV	敞开水表面单位蒸发量 $\omega$ .....	310
<b>参考文献</b>	.....	<b>311</b>

# 第 1 章 制冷原理与制冷剂

“制冷”是指用人工的方法将被冷却对象(如物体或空间)的温度降低到环境温度以下,并保持这个温度。

制冷过程与冷却过程的区别是热量的传递方向不同。冷却过程是热量自发地从高温热源传向低温热源的过程。制冷过程与冷却过程相反,故又称为逆向传热过程。人们把这个从低温热源取出热量的过程又称为向低温热源放出冷量的过程,即制冷。

根据热力学第二定律,制冷过程是不可能自发进行的。为使制冷过程得以实现,必须消耗一定的外界能量给予补偿。这种能量可以是电能、热能、太阳能或其他能量。实现人工制冷的机器和设备统称为“制冷机”。制冷机是一种耗能机械,多利用物质的状态变化来实现制冷的目的。工作在制冷机中的这类介质就称为制冷剂(或称为制冷工质)。人们对制冷机和制冷剂的不断研究和发展,使制冷技术在各领域的作用日益加强,在各领域得到了广泛的应用。

从制冷的定义可以知道,从环境温度以下到接近 0 K 这个范围,都是制冷技术所研究的温度范围,人们利用各种制冷方法达到不同的低温。根据研究对象、制冷方法和人们的习惯不同,制冷学界多数人的观点是将制冷的温区划分为如下 3 个领域:

- 1) 普通制冷:120 K 以上。
- 2) 低温制冷:120~4.2 K。
- 3) 超低温制冷:4.2 K 以下。

普通制冷的常用方法有液体气化制冷、气体膨胀制冷和热电制冷。液体气化制冷利用低温制冷剂液体的气化吸收被冷却对象的热量,来达到制冷的目的,例如蒸气压缩式制冷、吸收式制冷、吸附式制冷和蒸气喷射式制冷等就是这样。气体膨胀制冷利用高压制冷剂气体在降压降温膨胀后,吸收被冷却对象的热量。热电制冷利用半导体热电偶通直流电后,两结点处出现一端吸热、一端放热的现象来实现制冷。其他制冷方法如磁制冷等正在研制开发中。

目前,空调工程中应用的制冷方法,主要是蒸气压缩式制冷和吸收式制冷,本课程制冷部分针对这两部分内容编写。制冷技术是以热工理论基础和流体力学等课程为基础的,学习过程中一定要重视理论联系实际,才能为工程实践打好基础。

## 1-1 制冷原理

理想制冷循环——逆卡诺循环没有不可逆损失。在两恒温热源间工作的理想制冷循环可以用逆卡诺循环来实现。逆卡诺循环由两个等温过程和两个等熵过程



组成。理论上,它可以在湿蒸气区域内,由压缩机、冷凝器、膨胀机和蒸发器组成一个循环系统,利用制冷剂在湿蒸气区的等温蒸发和等温冷凝实现制冷。这里要注意的是,逆卡诺循环是在假定蒸发和冷凝两过程与低温热源和高温热源间没有传热温差,高、低温热源恒定,制冷剂流动时没有流动阻力,压缩和膨胀过程为等熵过程的可逆条件下做出的,循环的全过程均是可逆过程,因此称其为理想制冷循环。

逆卡诺循环原理图如图 1-1 所示。制冷剂沿绝热线  $3' \rightarrow 4'$  膨胀,温度从  $T'_k$  降至  $T'_0$ ;然后,沿定温线  $4' \rightarrow 1'$  膨胀,在定温膨胀过程中制冷剂在  $T'_0$  温度下从要被冷却的物质中吸收热量  $q'_0$ ;制冷剂从状态  $1'$  被绝热压缩至状态  $2'$ ,温度从  $T'_0$  升至  $T'_k$ ;最后沿定温线  $2' \rightarrow 3'$  压缩,在定温压缩过程中,制冷剂在  $T'_k$  温度下向冷却剂放出热量  $q'_k$ 。将循环  $1' \rightarrow 2' \rightarrow 3' \rightarrow 4' \rightarrow 1'$  中的四个状态点表示在  $T$ - $S$  图(温-熵图)上,如图 1-2 所示。根据热工学的知识,可以得出其制冷系数的表达式为

$$\epsilon_c = \frac{Q_0}{W} = \frac{T_0}{T_k - T_0} \quad (1-1)$$

- 式中: $\epsilon_c$ ——理想制冷循环的制冷系数;  
 $Q_0$ ——循环的制冷量,kW;  
 $W$ ——循环消耗的功率,kW;  
 $T_0$ ——冷源温度(也是蒸发温度),K;  
 $T_k$ ——热源温度(也是冷凝温度),K。

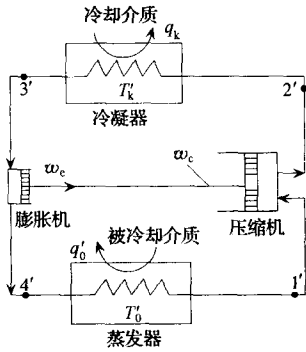


图 1-1 逆卡诺循环原理图

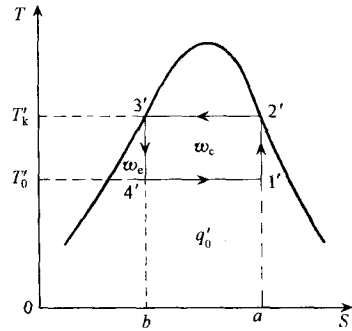


图 1-2 逆卡诺循环在  $T$ - $S$  图上的表示

制冷系数是制冷量与消耗压缩功的功耗之比,它是一个经济性指标,制冷系数越大,经济性越好。理想制冷循环的制冷系数最大,因此将其作为制冷循环的标准。实际制冷循环存在不可逆损失,制冷系数低于理想循环制冷系数,用热力完善度  $\eta$  来表示实际制冷循环接近理想制冷循环程度的指标。其表达式为

$$\eta = \frac{\epsilon}{\epsilon_c} \quad (1-2)$$

- 式中: $\eta$ ——热力完善度;  
 $\epsilon$ ——实际制冷系数。

热力完善度  $\eta$  越接近 1, 实际制冷循环的经济性越好, 它也是一个经济性指标。

**【例 1-1】** 设空调器工作条件为室外空气温度  $35^\circ\text{C}$ , 室内温度保持在  $25^\circ\text{C}$ , 制冷系数为 2.5。此空调器的热力完善度是多少?

**【解】** 据题意, 该空调器的实际制冷系数  $\epsilon = 2.5$ , 热源温度  $T_k = 35 + 273 = 308(\text{K})$ , 冷源温度  $T_0 = 25 + 273 = 298(\text{K})$ , 则工作在该条件下的理想制冷循环的制冷系数为

$$\epsilon_c = \frac{T_0}{T_k - T_0} = \frac{298}{308 - 298} = 29.8$$

因此, 该空调器的热力完善度为

$$\eta = \frac{\epsilon}{\epsilon_c} = \frac{2.5}{29.8} = 0.08$$

## 1-2 制 冷 剂

在制冷机中进行制冷循环的工作物质称为制冷剂(或称制冷工质)。目前, 制冷系统中使用的制冷剂有很多种, 归纳起来大体上有无机化合物、卤代烃(主要是甲烷和乙烷的卤族衍生物, 又称氟利昂)、碳氢化合物以及混合制冷剂。

### 1-2-1 制冷剂的命名

按国际通用方法规定制冷剂的编号, 我国标准把制冷剂的命名用代号 R  $\square\square\square$  表示,  $\square\square\square$  表示数字。无机物的代号用 R7  $\square\square$  表示,  $\square\square$  中的两个数字表示组成该物质的相对分子质量的整数, 例如, 氨的代号为 R717, 水的代号为 R718。氟利昂的化学分子通式为  $\text{C}_m\text{H}_n\text{F}_x\text{Cl}_y\text{Br}_z$ , 其代号在“R”后的数字依次为  $(m-1)$ 、 $(n+1)$ 、 $x$ 。若化合物中含有溴原子, 再在后面加“B”和溴原子个数。二氯二氟甲烷 ( $\text{CF}_2\text{Cl}_2$ ) 即 R12。碳氢化合物的命名方法与氟利昂的相同。混合制冷剂又分为共沸混合物和非共沸混合物两类。它们的区别在于饱和状态下气、液两相的组分是否相同。相同的属于共沸制冷剂, 不相同的属于非共沸制冷剂。共沸制冷剂用代号 R5  $\square\square$  表示, 非共沸制冷剂用 R4  $\square\square$  表示。后边  $\square\square$  中的位数字为发现的顺序。如 R502 为共沸制冷剂, R407C 为非共沸制冷剂(符号 C 表示同类混合物不同比例)。

### 1-2-2 常用制冷剂及其性质

#### 1. 无机化合物

作为常用制冷剂的无机化合物有氨和水。

##### (1) 氨(R717)

氨是一种很好的制冷剂, 主要优点是: 单位容积制冷量较大, 蒸发压力和冷凝

压力适中,对钢铁不腐蚀,价格低廉等。其主要缺点是:毒性大,对人体有危害,当空气中容积浓度达到 0.5%~0.6%时,人在其中停留 30min 即将中毒;易燃易爆,当空气中氨的容积含量达到 11%~14%时即可点燃,若含量达 16%~25%,遇明火即会爆炸,因此制冷机房需有良好的通风条件,并且不许使用明火;氨含水时对铜及铜的合金(磷青铜除外)有腐蚀作用。

## (2) 水(R718)

水作为制冷剂的优点是:无毒、无臭、不燃不爆、气化潜热大且极易获得。但水的蒸气比容很大,因此它的单位容积制冷量很小。水作为制冷剂只能制取 0℃ 以上的温度,目前用于溴化锂吸收式制冷和蒸气喷射式制冷。

## 2. 卤代烃(以下称氟利昂)

### (1) 氟利昂制冷剂的共性

氟利昂制冷剂主要有以下几方面的共性:

1) 存在冰堵现象。氟利昂溶水性极差,当制冷系统的蒸发温度低于 0℃ 时,就会在节流阀处结冰,造成“冰堵”现象。因此,氟利昂制冷系统蒸发温度低于 0℃ 时,系统应设置干燥器。

2) 存在镀铜现象。氟利昂中含水时,将水解生成  $\text{Cl}^-$  和  $\text{F}^-$ ,产生酸性物质,对金属产生腐蚀作用。这些酸性物质与铜制管道、阀门接触,便会产生铜离子。被溶解的铜离子随制冷剂循环再回到压缩机并与钢或铸铁件相接触时,又会析出并沉积在这些钢铁构件表面上,形成一层铜膜,这就是所谓的镀铜现象。这种现象会破坏轴的间隙、轴封的密封,影响压缩机气阀的密封性等,对制冷机极为不利。

3) 对某些高分子化合物存在“膨润”作用。氟利昂制冷剂是一种良好的有机溶剂,易溶解天然橡胶、塑料等高分子材料,能使之变软、膨胀和起泡,即称其为对高分子化合物的膨润作用。因此,制冷系统不得使用天然橡胶、普通塑料和树脂化合物等作为密封垫、电器绝缘材料,而应采用耐氟材料,如氯丁橡胶、尼龙或其他耐氟的塑料制品。

4) 理化特性存在一定的规律性。氟利昂分子中含氢原子多的,可燃性强;含 Cl 原子多的,毒性大;含氟原子多的,化学稳定性好;完全卤代烃(不含氢的)在大气中的寿命长。麦克林顿和迪第昂首先将氟利昂制冷剂按原子数量排列成三角形图,发现上述规律,如图 1-3 所示。

### (2) 常用氟利昂的性质

1) 氟利昂 12(R12)。R12 制冷剂由于其具有较好的热力性质和理化性质,一度成为较普遍使用的制冷剂。因其对臭氧层的破坏作用,被列为首批禁用的

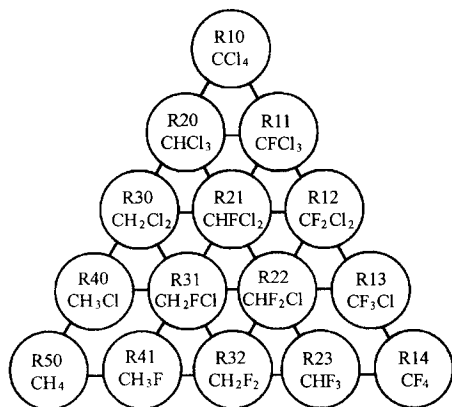


图 1-3 甲烷衍物的氟利昂系列

制冷剂,但旧的中小型制冷装置多使用 R12,在此仍给予介绍。

它在大气压下的沸点为 $-29.8^{\circ}\text{C}$ ,凝固点为 $-155^{\circ}\text{C}$ 。R12 的优点有:冷凝压力较低,用水冷却时冷凝压力不超过 1.0MPa,风冷时不超过 1.2MPa,因此压缩机的排气温度较低;因不含氢原子,不燃不爆;无毒(毒性等级 6 级),但遇明火会产生光气剧毒。其缺点是 R12 中水的溶解度很小,会产生冰堵现象。通常要求 R12 的含水量不大于 0.0025%。由于 R12 已全卤化,因而在大气中寿命长,约有 100 年。它对臭氧层有破坏作用,被列入首批限用制冷剂。R12 还是一种温室气体,ODP 值(臭氧耗损潜值,以 R11 为 1)为 0.82,GWP 值(全球变暖潜值,以  $\text{CO}_2$  为 1)为 10 600。

R12 易溶于润滑油,为确保压缩机的润滑,应使用黏度较高的冷冻机油。

2) 氟利昂 22(R22)。R22 在大气压下的沸点为 $-40.8^{\circ}\text{C}$ ,凝固点为 $-160^{\circ}\text{C}$ 。R22 的热力学性能与氨很相近,而且不燃不爆。其缺点是对电绝缘材料的腐蚀性比 R12 大,要求封闭式压缩机的绝缘等级比 R12 的高;略有毒性(毒性等级 5 级);对大气臭氧层有一定的破坏作用,在大气中的寿命约 20 年,ODP 值为 0.034,GWP 值为 1700。发展中国家在 2030 后限用。

3) 氟利昂 134a(R134a)。R134a 是一种新开发的制冷剂,可以作为长期替代制冷剂。其相对分子质量 102.03,大气压下沸点为 $-26.25^{\circ}\text{C}$ ,凝固点为 $-101^{\circ}\text{C}$ 。R134a 的热力性质与 R12 非常接近,无毒,但对电绝缘材料的腐蚀程度比 R12 还强。R134a 难溶于矿物油,因此采用 R134a 的制冷系统需要配用新型的润滑油,目前采用 POE 或 PAG 酯类油。虽然 R134a 不破坏臭氧层,ODP 值为 0,但 GWP 值为 1300。R134a 在大气中的寿命约为 8~11 年。

4) 氟利昂 123(R123)。R123 是一种新开发的制冷剂,相对分子质量为 152.93,大气压下沸点为  $27.61^{\circ}\text{C}$ ,凝固点为 $-107^{\circ}\text{C}$ 。R123 目前用在空调离心式制冷机组中。其优点是相对分子质量大,离心式压缩机的叶轮尺寸小;沸点高,冷凝压力低。R123 的热力性质与 R11 很相似,可以作为中期替代 R11 的制冷剂。其缺点是对臭氧层有破坏作用,ODP 值为 0.012,GWP 值为 120。R123 在大气中的寿命约为 1~4 年。

### 3. 混合制冷剂

混合制冷剂是由两种以上的氟利昂组成的混合物。混合制冷剂分为共沸制冷剂和非共沸制冷剂。由于混合制冷剂的热力性质比组成它的原单一制冷剂的热力性质要好,从而有利于改善和提高制冷机的工作特性。下面介绍两种混合制冷剂。

#### (1) 氟利昂 502(R502)

R502 是由质量百分比为 48.8%的 R22 和质量百分比为 51.2%的 R115 组成,属共沸制冷剂。与 R22 相比,压力稍高,在较低温度下制冷能力约大 13%。在相同的蒸发温度和冷凝温度下压缩比较小,因此,排气温度较低。采用单级蒸气压缩式制冷时,蒸发温度可低至 $-55^{\circ}\text{C}$ 。R502 曾大量用于空调制冷装置中。由于 R115 是首批禁用制冷剂,因此目前已被淘汰。

(2) R407C(R32/R125/R134a,23%/25%/52%)

R407C 属非共沸制冷剂,标准压力下泡点温度(刚开始蒸发的温度)为 $-43.8^{\circ}\text{C}$ ,温度滑移为 $7.2^{\circ}\text{C}$ ,不破坏臭氧层,但GWP为1700,属温室气体。R407C的热力性质与R22相似,但它与矿物油不互溶,压缩机需要采用酯类油。R407C的缺点是存在温度滑移,即开始蒸发时的温度与蒸发终了的温度不同。在标准大气压下,两者温度相差 $7.2^{\circ}\text{C}$ ,因此,冷凝器和蒸发器均应采用逆流换热。同时,若制冷系统存在泄漏,则制冷剂的组分将改变,达不到预期的效果。

### 1-2-3 制冷剂的选用

各方面均满意的制冷剂是没有的,实际装置在选用制冷剂时,应综合考虑制冷剂的影响,达到综合效果良好的目的。一般从下列几个方面去考虑选用问题:

1) 首先应考虑制冷剂的适用温度范围。应根据制冷机工作的温度范围选用,选用的制冷剂在此温度范围内蒸发压力不低于大气压力,这样,制冷系统内不会进入空气。冷凝压力不太高,一般不应超过 $1.6\text{MPa}$ 。这样,压缩机和冷凝器的设计要求就会降低,工作时运行条件较好。

2) 压比要小。制冷剂在一定的冷凝温度和蒸发温度下,对应的饱和压力的比值应较小。这样可使制冷压缩机的效率提高,工作情况有所改善。

3) 考虑压缩机的类型。制冷系统中的压缩机是容积型的应选用单位容积制冷量大的制冷剂,是速度型的应选用相对分子质量大的制冷剂。

4) 价格合理。对于大容量的制冷装置,必须考虑到选用廉价易得的制冷剂。安装在人口稠密地区的制冷装置或空调用的制冷装置,最好不选用有毒性、易燃易爆的制冷剂。

5) 考虑环保。应尽量选用不破坏大气臭氧层、无温室效应的制冷剂。天然制冷剂应为首选,如冷库大量使用氨。其次是ODP值为零的制冷剂,如R134a、R407C等。考虑生产成本、设备改造的经济性,也可以选用近期可以使用的制冷剂,如目前有些离心式机组中使用R123,现在空调器中大量使用R22。制冷剂种类虽然多,但由于性质各异,故适用于不同类型的制冷系统。表1-1是目前几种常用制冷剂的适用范围。

表 1-1 常用制冷剂的适用范围

制冷剂	化学分子式	使用压力范围	使用温度范围	制冷机种类	用途
氨	$\text{NH}_3$	中压	低、中	压缩式、吸收式	冷藏、制冰等
R12	$\text{CCl}_2\text{F}_2$	中压	低~高	压缩式	冷藏、空调(已禁用)
R22	$\text{CHClF}_2$	中压	低~高	压缩式	冷藏、空调
R123	$\text{CHCl}_2\text{CF}_3$	低压	高	离心式	空调
R134a	$\text{CH}_2\text{FCF}_3$	中压	低、中	压缩式	冷藏、空调
R502	$\text{CHClF}_2/\text{CClF}_2\text{CF}_3$	中压	低、中	压缩式	冷藏、空调(已禁用)
R407C	$\text{CH}_2\text{F}_2/\text{CHF}_2\text{CF}_3/\text{CH}_2\text{FCF}_3$	中压	低、中	压缩式	空调
水	$\text{H}_2\text{O}$	低压	高	吸收式、蒸气喷射式	空调

## 1-3 载冷剂

在间接冷却系统中,将制冷机产生的制冷量传递给被冷却物体的中间介质为载冷剂。如中央空调中的冷冻水在冷水机组的蒸发器内被冷却,经过水泵输送到空调房间后去冷却空气,这里,冷冻水就是载冷剂。采用载冷剂的优点是能使制冷装置的各种设备集中布置在一起,减小制冷剂管路系统的总容积和减少制冷剂的充注量,施工安装方便。其缺点是增加了一套载冷剂系统,整个系统比较复杂,而且在被冷却物和制冷剂之间增加了一级传热温差,增加了冷量损失。

### 1-3-1 对载冷剂的要求

选择载冷剂时,应考虑下列一些因素:

- 1) 在工作温度范围内应为液体。沸点要高,凝固点要低,而且都应远离工作温度。
- 2) 载冷剂循环运行中能耗要低。要求载冷剂的比热要大,密度要小,黏度要低。
- 3) 载冷剂的工作要安全可靠。稳定性要好,对管道及设备不腐蚀,应不燃不爆,对人体无毒害。
- 4) 价格低廉,便于获得。

### 1-3-2 常用载冷剂

#### 1. 水

水可用作工作温度高于 $0^{\circ}\text{C}$ 的载冷剂。水的比热容大,对流传热性能好,价格低廉。水在空调系统中被广泛地用作载冷剂。作为载冷剂时水质要好。

#### 2. 盐水

盐水可用作工作温度低于 $0^{\circ}\text{C}$ 的载冷剂。常用的盐水是由氯化钙( $\text{CaCl}_2$ )或氯化钠( $\text{NaCl}$ )配制成的水溶液。

盐水的性质与盐溶液的浓度有关,图 1-4 表示出了  $\text{NaCl}$ 、 $\text{CaCl}_2$  盐溶液的相平衡图。图 1-4 中左右各有一条曲线,左边是析冰线,右边是析盐线。两曲线的交点称为冰盐合晶点。水平线是凝固线。由析冰线可知,溶液的析冰起始温度随溶液浓度的增加而降低。由析盐线可知,溶液的起始析盐温度随溶液浓度的增加而升高。冰盐合晶点是盐水的最低凝固点。共晶浓度的盐水性质与纯液体的性质相同,即结晶时温度不变,液相与固相的浓度相同。氯化钠水溶液合晶点的温度(称作共晶温度)为 $-21.2^{\circ}\text{C}$ ,质量分数为 23.1%(称作共晶浓度),氯化钙水溶液在合晶点上二者的参数分别为 $-55^{\circ}\text{C}$ 和 29.9%。

盐水溶液的浓度越大,其密度也越大,流动阻力也增大。同时,浓度增大,其比

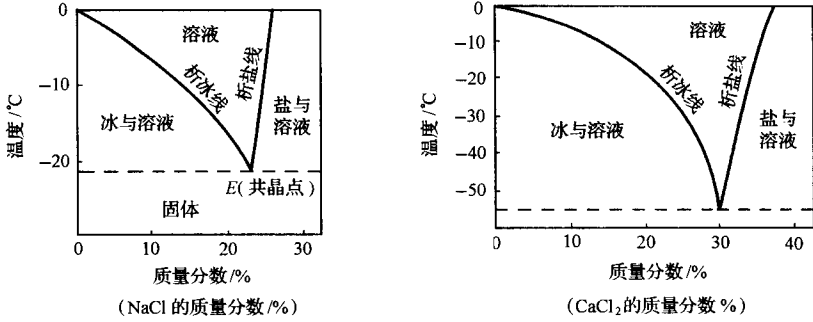


图 1-4 盐水的相平衡图

热容减小, 输送一定冷量所需盐水溶液的流量将增加, 造成泵消耗的功率增大。因此, 配制盐水溶液时, 其浓度应小于共晶浓度, 只要使其浓度所对应的凝固温度比制冷剂的蒸发温度低  $5\sim 8^{\circ}\text{C}$  即可。如制冰中, 盐水溶液的工作温度要求为  $-10^{\circ}\text{C}$ , 则制冷剂的蒸发温度为  $-15^{\circ}\text{C}$ , 因此, 配制盐水溶液的开始析冰的温度应为  $-21^{\circ}\text{C}$  左右。

盐水溶液对金属有腐蚀性, 尤其是略带酸性并与空气相接触的盐水溶液, 其腐蚀性更强。降低盐水对金属的腐蚀作用的方法常用的有采用闭式循环和添加缓蚀剂。盐水溶液中加入一定量的缓蚀剂可适当阻止腐蚀。一般采用的做法是:  $1\text{m}^3$  的氯化钙水溶液中加入  $1.6\text{kg}$  的重铬酸钠 ( $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ) 和  $0.432\text{kg}$  的氢氧化钠 ( $\text{NaOH}$ ) 或  $1\text{m}^3$  氯化钠水溶液中加入  $3.2\text{kg}$  的重铬酸钠和  $0.86\text{kg}$  的氧化钠。添加缓蚀剂的盐水应呈弱碱性, pH 值为 8.5。重铬酸钠对皮肤有腐蚀作用, 调配溶液时需注意。

### 3. 有机物载冷剂

在较低温度和有卫生等要求的场合, 常用有机载冷剂, 主要有乙二醇、丙三醇的水溶液。一些氟利昂如 R13、R120 和 R11 等都可以作为载冷剂。它们都是无色、无味、非电解性溶液, 冰点都在  $0^{\circ}\text{C}$  以下, 对金属管道、容器无腐蚀作用。丙三醇是无毒的, 可以与食品直接接触而不致污染。乙二醇略带毒性, 但无危害性, 价格和黏度比丙三醇低, 现大量使用在冰蓄冷空调中。

## 第 2 章 蒸气压缩式制冷原理及系统组成

蒸气压缩式制冷属液体气化制冷,目前这种制冷工艺应用非常广泛。

### 2-1 单级蒸气压缩式制冷的理论循环

#### 2-1-1 单级蒸气压缩式制冷的理论循环的形式

理想制冷循环中,膨胀机的膨胀功较小,回收的功率甚至不能克服膨胀机消耗的摩擦功率,因此往往用节流阀代替膨胀机。另外,压缩机吸入较多的湿蒸气时,会产生“液击”现象,造成对压缩机的破坏。因此,在蒸气压缩式制冷循环中,进入压缩机的制冷剂应是干饱和蒸气(或过热蒸气),这种压缩称为干压缩。同时,两个传热过程为有温差的定压过程。通过以上改进后的制冷循环即为蒸气压缩式制冷的理论循环。单级蒸气压缩式制冷理论循环原理图和其循环状态点在  $T-S$  图上的表示分别如图 2-1 和图 2-2 所示。

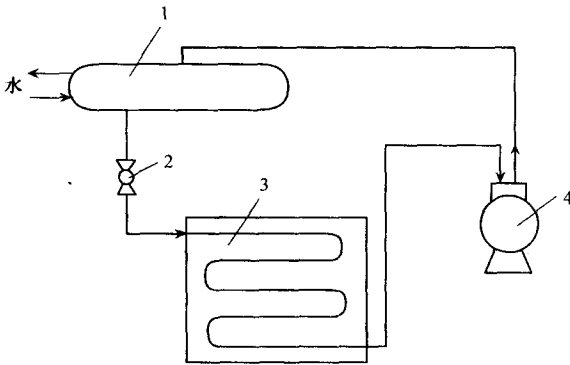


图 2-1 单级蒸气压缩式制冷理论循环原理图

1. 冷凝器;2. 节流阀;3. 蒸发器;4. 压缩机

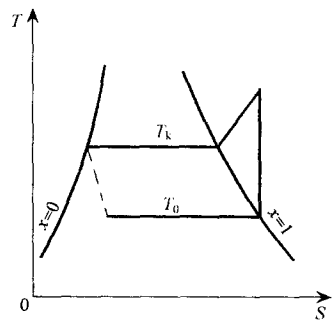


图 2-2 理论循环  
在  $T-S$  图上的表示

蒸气压缩式制冷循环由压缩机、冷凝器、节流阀和蒸发器四大部件组成。其工作过程如下:压缩机吸入蒸发器中低温低压的饱和蒸气,经压缩后排入冷凝器。在冷凝器中,高温高压的过热蒸气与冷却介质进行换热,放出热量,被冷却成相同压力下的饱和液体。高压液态制冷剂通过节流阀降压后,产生低温低压的液体和一部分蒸气(因在节流阀出口突然出现,这部分蒸气称为闪发蒸气,在蒸发器中不吸收被冷却物体的热量)进入蒸发器后,低温制冷剂液体在蒸发压力  $p_0$ 、蒸发温度  $T_0$ 。



下吸收被冷却物体的热量而沸腾,变成低温低压的蒸气,与闪发蒸气一道,被压缩机吸入。如此周而复始地循环,将被冷却物体的热量源源排向高温热源。

循环过程中,压缩机消耗机械能,压缩和输送制冷剂,并造成蒸发器的低压。冷凝器内制冷剂与冷却介质(通常是冷却水或室外空气)进行热交换,将低温物体的热量和压缩功转变的热量传给高温热源。蒸发器内制冷剂与被冷却对象(如空调中的冷冻水)进行热交换,吸收被冷却物体的热量,制冷剂由液态变为蒸气。节流阀起节流降压、调节流量的作用。通过制冷循环,制冷剂不断吸收被冷却物体的热量,使被冷却物体温度降低,达到制冷的目的。

### 2-1-2 单级蒸气压缩式制冷的理论循环在压焓图上的表示

在制冷循环的分析和计算中,通常借助制冷剂的压焓图和温焓图。由于制冷循环中各过程的功量与热量的变化在压焓图中均可用过程初、终态制冷剂的焓值变化来计算,因此压焓图在制冷工程中得到更广泛的应用。

#### 1. 压焓图

压焓图以绝对压力为纵坐标(为了缩小图面,通常取对数坐标,其上的压力数值不需换算),以比焓为横坐标来表示制冷剂的状态。在图上有一点、二线、三区域、五种状态、六条等参数线。图中一点为临界点  $K$ ;  $K$  点左边为饱和液体线(称为下界线),干度 = 0; 右边为干饱和蒸气线(称为上界线),干度 = 1; 临界点  $K$  和上、下界线将图分成三个区域: 下界线以左为过冷液体区,上界线以右为过热蒸气区,二者之间为湿蒸气区(即两相区),三个区的状态再加上饱和液和饱和蒸气状态,共有

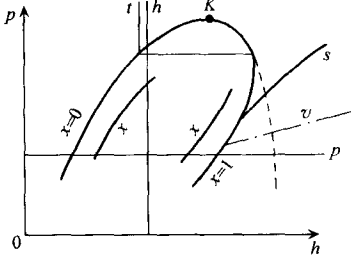


图 2-3 压焓图

五种状态; 六条等参数线簇: 等压线——水平线, 等焓线——垂直线, 等温线——液体区内几乎为垂直线, 湿蒸气区内等压线与等温线重合为水平线, 过热区内为向右下方弯曲的倾斜线, 等熵线——向右上方倾斜的实线, 等容线——向右上方倾斜的点划线, 较等熵线平坦, 等干度线——只在湿蒸气区域内, 其方向大致与饱和液体线或饱和蒸气线相近, 其大小从左向右逐渐增大。压焓图的示意见图 2-3。

压焓图是进行制冷循环分析和计算的重要工具,应熟练掌握和应用。

#### 2. 单级蒸气压缩式制冷理论基本循环在压焓图上的表示

根据以上的分析可知,单级蒸气压缩式制冷的理论循环各状态的特点是:压缩机吸入的制冷剂的状态是蒸发压力  $p_0$  下的饱和蒸气;离开冷凝器的制冷剂状态是冷凝压力  $p_k$  下的饱和液体;压缩机的压缩过程为等熵压缩;制冷剂在冷凝器、蒸发器内和系统管路中无任何压力损失,是等压过程,压力降仅在节流膨胀过程中产生。虽然以上的情况与实际有偏差,但这种简化便于分析研究,可以作为讨论实际