

# 制冷原理

濮伟 主编

ZHILIENGUYUANLI

化学工业出版社

教材出版中心



# 制 冷 原 理

濮伟 主编

化 学 工 业 出 版 社  
教 材 出 版 中 心  
· 北 京 ·

## 制冷与空调专业教材编审说明

随着社会的不断发展、人民生活水平的不断提高，制冷与空调设备的应用几乎遍及生产、生活的各个方面，社会对制冷空调设备的安装、维修、管理专业人员的需求量也愈来愈大。近年来，全国已有不少化工中专先后开设和准备开设“制冷与空调”专业，以满足社会对制冷与空调专业技术人员不断增长的需求。

为了培养出具有化工特色的制冷与空调专业毕业生，以南京化工学校、常州化工学校、杭州化工学校、上海化工学校为主的几所化工中专于1996年11月召开了“制冷与空调”专业教学研讨会，并在全国化工中专教学指导委员会机械组指导下，着手组织有关教材的编审工作，历时两年，现已完成《制冷原理》、《空气调节》、《制冷机器》、《制冷与空调装置的自动控制》、《制冷与空调装置安装、维修及管理》等五本教材的编写，相关配套教材将陆续组织编写。

五本教材中，《制冷原理》主要介绍制冷剂与载冷剂，单级蒸气压缩式制冷循环，多级压缩与复叠式制冷循环，吸收式制冷循环等基本知识及基本原理；《空气调节》主要介绍湿空气的物理性质和焓湿图，空调房间的冷、湿负荷及送风量确定，空气的热湿处理，空气的净化处理，空气调节系统，空调系统的运行调节等基本知识；《制冷机器》主要介绍活塞式制冷压缩机，螺杆式制冷压缩机，离心泵，真空泵，风机等典型机器的结构种类、工作原理及选择使用；《制冷与空调装置的自动控制》主要介绍自动控制规律，制冷与空调装置的控制元器件，制冷与空调装置的基本控制电路，制冷系统的控制与保护，典型制冷与空调装置的自动控制等基本知识、基本结构、工作原理及其应用；《制冷与空调装置的安装、维修及管理》主要介绍制冷与空调装置安装维修的常用工具、设备的使用及主要操作工艺，冷冻冷藏设备的安装维修，工业制冷装置的安装维修及管理，房间空调器的安装维修，中央空调系统的安装维修及管理基本知识、基本原理及基本技能。

这套教材力求突出能力培养，贴近生产实际。与同类教材相比，内容上不仅讨论一般家用、商用制冷、空调设备，还讨论工业制冷装置，同时融入了编者丰富的实践经验，使之更加实用，既可作为中等专业学校制冷与空调专业用教材，又可作为专业人员岗位培训用教材。

教材出版后，我们衷心希望得到广大师生和读者的批评指正，以便不断完善和提高。

全国化工中专  
教学指导委员会机械组  
一九九九年七月

## 前 言

近年来随着化工类学校对制冷行业参与力度的逐渐加大，各校在总结了其他学校制冷类教材的基础上，都迫切感到需要编制自己的制冷类教材。华东区各化工类学校在全国化工中专教学指导委员会机械课程组的认可下，于1997年决定制定适合自己特点的制冷与空调类各科教材。供从事制冷空调技术的有关人员和大、中专学生学习和参考。

本书是根据华东区制冷协作组讨论的《制冷原理》课程大纲要点为基础，编写的四年制《制冷与空调》专业或相近专业使用的教材。内容包括：制冷剂与载冷剂、单级蒸气压缩式制冷系统、多级蒸气制冷系统、吸收式制冷系统、其他制冷形式简介、热泵简介。

参加本教材编写工作的是南京化工学校濮伟（第二、五章），杭州化工学校宋杏荣（第一、三章、附录），常州化工学校贺亚刚（第四、六章），由濮伟主编。本书经常州化工学校朱成林老师审阅，提出了许多宝贵意见和建议，对于提高教材质量起了重要作用。

本书对采用他人的论点和观点，理应在脚注中作说明，但是为了节省版面，均在书后列出了参考文献，如有疏漏，望能得到有关作者的谅解。

由于作者的理论水平、能力和知识面的限制，对于书中存在的缺点、错误，恳请读者批评指正。

作者

一九九九年六月

## 内 容 提 要

为了适应不同工业部门对“制冷与空调”专业人材不同要求，因而组织编写本套系列专业教材，本书是其中一本。

书中介绍的主要内容有：制冷与载冷剂的分类与特点，单级及多级压缩式制冷循环的组成，工作原理与过程、热力计算及影响因素分析，其他各类制冷循环原理与应用简介，热泵的原理与应用。书后附有制冷剂的热力性质的数表和图。

本书适用于化工、轻工中等专业学校制冷与空调专业教学使用，又可用于该专业人员的培训教学。

适用学时数约 50。

# 目 录

|                            |     |
|----------------------------|-----|
| 绪论                         | 1   |
| 第一章 制冷剂与载冷剂                | 6   |
| 第一节 制冷剂                    | 6   |
| 第二节 载冷剂                    | 14  |
| 复习思考题                      | 16  |
| 第二章 单级蒸气压缩制冷循环             | 18  |
| 第一节 热工基础知识                 | 18  |
| 第二节 单级蒸气压缩制冷的理论循环          | 27  |
| 第三节 液体过冷、吸气过热及回热循环         | 34  |
| 第四节 单级蒸气压缩制冷的实际循环与热力计算     | 39  |
| 第五节 冷凝、蒸发温度对制冷机性能的影响及制冷机工况 | 45  |
| 复习思考题                      | 51  |
| 第三章 多级压缩与复叠式制冷循环           | 52  |
| 第一节 采用多级压缩与复叠式制冷循环的必要性     | 52  |
| 第二节 两级蒸气压缩式制冷循环            | 53  |
| 第三节 三级蒸气压缩式制冷循环            | 71  |
| 第四节 复叠式制冷循环                | 73  |
| 复习思考题                      | 77  |
| 习题                         | 77  |
| 第四章 吸收式制冷循环                | 78  |
| 第一节 吸收式制冷机的工质              | 78  |
| 第二节 吸收式制冷机的工作原理            | 89  |
| 第三节 溴化锂吸收式制冷机理论循环及其计算      | 92  |
| 第四节 溴化锂吸收式制冷机的实际循环         | 98  |
| 第五节 单级氨吸收式制冷机循环            | 107 |
| 复习思考题                      | 111 |
| 第五章 其他制冷系统简介               | 113 |
| 第一节 相变制冷                   | 113 |
| 第二节 气体膨胀制冷                 | 117 |
| 第三节 涡流管制冷                  | 118 |
| 第四节 热电制冷                   | 119 |
| 第五节 磁制冷                    | 120 |
| 复习思考题                      | 120 |
| 第六章 热泵介绍                   | 121 |
| 第一节 热泵的原理、特点和热源            | 121 |

|  |     |
|--|-----|
| 第二节 热泵的分类和应用.....  | 123 |
| 复习思考题.....   | 127 |
| 附录 制冷剂的热力性质表.....  | 128 |
| 表 1 R12 饱和液体及饱和蒸气热力性质表 .....                             | 128 |
| 表 2 R22 饱和液体及饱和蒸气热力性质表 .....                             | 131 |
| 附图 1 NH <sub>3</sub> 的过热蒸气区的 $p-h$ 图 .....               | 135 |
| 附图 2 R11 的过热蒸气区的 $p-h$ 图 .....                           | 135 |
| 附图 3 R12 的过热蒸气区的 $p-h$ 图 .....                           | 136 |
| 附图 4 R22 过热蒸气区的 $p-h$ 图 .....                            | 136 |
| 附图 5 R502 过热蒸气区的 $p-h$ 图 .....                           | 137 |
| 附图 6 R12 的 $p-h$ 图 .....                                 | 138 |
| 附图 7 R22 的 $p-h$ 图 .....                                 | 139 |
| 附图 8 NH <sub>3</sub> -H <sub>2</sub> O 溶液的 $h-\xi$ ..... | 140 |
| 附图 9 LiBr-H <sub>2</sub> O 溶液的 $p-1/T$ 图 .....           | 141 |
| 附图 10 LiBr-H <sub>2</sub> O 溶液的 $h-\xi$ 图 .....          | 142 |
| 参考文献.....  | 143 |

# 绪 论

制冷技术是为适应人们对低温条件的需要而产生和发展起来的，是一门研究人工制冷原理、方法以及如何运用制冷装置获得低温的科学技术。

在长期的生产实践和生活活动中，人们发现许多现象与温度有密切的关系。人体对温度是相当敏感的。为了有一个舒适的工作和生活环境，人们希望在炎热条件下能设法降温。所有的生物过程都受温度的影响。以现代家庭每天食用的牛奶为例，温度为 $5^{\circ}\text{C}$ 时，保存1~2天，牛奶中的酵母菌数目几乎不增加；保存4天，酵母菌增殖4.5倍。但温度升高到 $15^{\circ}\text{C}$ 时，4天内牛奶中的酵母菌增殖达23万倍，已不能保存。为了使这种生物过程进行的缓慢，甚至尽可能停止（处于稳定状态），必须使温度降到环境温度以下。制冷对食品保鲜的重要作用正在于此。

生产中温度的影响也很大，材料的某些重要特性与温度有关，低温时机械材料具有冷脆性，塑料、橡胶也同样。金属的导电性随温度的下降而提高；当温度降到某一定值时，有些元素或化合物的电阻会变为零，出现超导性；人们要利用材料的这些特性，就需要制冷技术。又如，在由两种金属组成的回路中，由于温度的不同会在回路中产生电流，这种热电效应既用来测温，也可用来制冷。人们知道，物态与温度有关，利用降低温度时物态的变化，可以进行混合气体的分离、天然气的液化及贮运。此外，扩散和化学反应也与温度有直接关系；在生产过程上调整温度可以对产品性能产生良好的作用。

显然，为了满足生产和生活中的需要，更多的地方对制冷提出要求。随着工业、农业、国防、建筑、科学和技术现代化的发展以及人民生活水平的不断提高，制冷在国民经济中的作用和地位将日益重要。

## 一、人工制冷

### （一）制冷、制冷循环

人工制冷作为一门科学是指用人工的方法在一定时间和一定空间内将某物体或流体冷却，使其温度降到环境温度以下，并保持这个低温。

在这里所说的“冷”是具有相对性的，是相对于环境温度而言的。灼热的金属块放在空气中，可通过辐射和对流向环境传热，逐渐冷却到环境温度；一杯热水置于空气中，逐渐冷却成常温水；类似这样的过程，都是自发的传热降温，属于自然冷却，而不是制冷。只有通过一定的方式将金属块或水冷到环境温度以下，才能称为制冷。因此，制冷就是从物体或流体中取出热量，并将热量排放到环境介质中去，以产生低于环境温度的过程。

人们将一般制冷中所需机器和设备的总和称为制冷机。

制冷机中使用的工作介质称为制冷剂。制冷剂在制冷机中循环流动，并且不断地与外界发生能量交换，即不断地从被冷却对象中吸取热量，向环境介质排放热量。制冷剂的一系列状态变化过程的综合称为制冷循环。为了实现制冷循环，必须消耗能量。该能量可以是机械能、电能、热能、太阳能及其他形式能量。

### （二）制冷温度范围

按照制冷所达到的低温范围，制冷可以温度为依据分成如下几个领域。



- |         |         |
|---------|---------|
| ①普通制冷为  | 120K 以上 |
| ②深度制冷为  | 120~20K |
| ③低温制冷为  | 20~0.3K |
| ④超低温制冷为 | 0.3K 以下 |

由于低温范围不同，所采用的工质、使用的机器设备、采取的制冷方式及其所依据的具体原理有一定的差别。固制冷温度不同，考虑问题的方法也应不同。

## 二、制冷技术在国民经济和生活中的应用

人类制冷方法的使用最早是用来保存食品和调节一定空间的温度。制冷技术发展到今天，它的应用已渗透到国民经济的各个部门及人们的日常生活中。

### (一) 在工业生产上

对钢进行低温处理（-70~90℃），可以改变其金相组织，使奥氏体变成马氏体，提高钢的硬度和强度；在机器的装配过程中，利用低温能方便地实现过盈配合。借助于制冷，可使气体液化，混合气的分离，带走化学反应中的反应热；盐类结晶、润滑油脱脂需要制冷；石油裂解、合成橡胶、合成树脂、燃料、化肥的生产需要制冷，天然气液化、贮运也需要制冷。钢铁工业中，高炉用风需要用制冷的的方法先将其除湿，然后再送入高炉，以降低焦比，保证铁水质量。

### (二) 在农牧业上

利用制冷对农作物种子进行低温处理，创造人工气候室育秧，培育耐寒品种。良种精卵的保存、微生物除虫、人造雨雪等都与制冷技术有着密切的关系。

### (三) 在建筑业上

利用制冷冻结土壤以利于挖掘；冷却巨型的混凝土块，以除去混凝土固化时所放出的热量，从而避免热膨胀和产生混凝土应力。

### (四) 在空气调节上

在空调方面，例如宾馆、剧场、地下铁路、大型公共建筑、汽车、飞机座舱、办公室、居民住宅等都广泛安装了空调设备；又如冶金、纺织、印刷、精密仪表、电子工业等工厂与某些有特殊要求的实验室、试验中心、计量室等为了保持必要的恒温和恒湿均需要安装空调设备。

### (五) 在食品工业上

在食品工业方面，制冷技术应用的最早。由于肉类、水产品、禽蛋、果蔬等易腐食品的生产有着较强的季节性和地区性，就需要将食品进行冻藏或冷藏，来延长食品的贮藏期限。因此使得冷库设施、冷藏船、冷藏列车、冷藏汽车以及冷藏柜、冰箱等装置的使用逐渐普及，所以食品工业的发展与制冷技术有着密切的关系。

### (六) 在国防工业上

在高寒条件下工作的发动机、汽车、坦克、大炮等常规武器的性能需作环境模拟实验；航空仪表、火箭、导弹中的控制仪器，也需在地面模拟高空低温条件进行性能实验，所有这些都需制冷为其提供实验的环境条件。甚至连原子能反应堆的控制也需要制冷。

### (七) 在医疗卫生上

如血清、疫苗、组织器官（如皮肤、眼球等）和各种生化药物需要在较低温度下保存。在抗菌素的生产中，有的还要采用真空冷冻干燥。另外，人工冬眠，低温麻醉和“冷手术刀”等先进医疗技术也都是制冷技术的应用。

### 三、制冷技术的发展概况

#### (一) 制冷技术总的发展趋势

现代制冷技术作为一门技术科学,是19世纪中期和后期发展起来的。在此之前,追溯到人类的祖先,人们很早已懂得冷的利用和简单的人工制冷了。直到16世纪以后,由于科学技术的发展,揭示了冰盐混合时的制冷效应,于是人们开始用冰盐混合的冷却方法来冷却饮料,保存新鲜食物,这种方法,一般称为化学制冷。目前应用在简易小冷库、冷藏列车以及在渔船上,用来短期贮藏新鲜食品。

天然冰和冰盐混合物制冷效应,由于温度受到一定限制,又不易控制和调节,而且受到季节和地区的影响,所以难以满足生产、科学研究和日常生活的需要。于是在19世纪中叶开始就出现了人工制冷技术。

制冷技术的发展,迄今大约有一百多年的历史。1834年英国人波尔金斯制成第一台用乙醚为制冷剂的制冷机,这台机器可看作是现代制冷机的雏形。以后就发展采用其他的制冷剂和较高压力下,以及建立在其他作用原理上工作的制冷机。1844年美国约翰·高里制成了用空气为制冷剂的可用来制冰和冷却空气的制冷压缩机。1862年法国人卡尔里制成了吸收式制冷机。1874年瑞士人皮克采用二氧化硫作为制冷剂,同年德国人林杰设计成功氨制冷剂,这被大家公认是制冷机的始祖,对制冷技术的发展起了重大作用。到目前为止,氨仍旧是主要的制冷剂之一。1881年林杰和文德豪津制成了用二氧化碳为制冷剂的制冷机,该制冷剂曾获得广泛流行。1890年以后出现的蒸汽喷射式制冷机,由于它能达到的温度限于 $0^{\circ}\text{C}$ 以上,且容量一般较大,故应用不太广泛。

近一百年以来,在制冷技术领域内,蒸汽压缩式制冷机的发展,始终处于领先地位。进入20世纪以后,压缩机的类型增多了,机器的转速提高了,设备紧凑,而且逐步向低温、多品种、自动化方向发展。同时制冷剂的种类也不断增多,除氨、二氧化碳、二氧化硫等无机化合物制冷剂外,随着化学、石油工业的发展,在1930年以后开始使用氟里昂制冷剂,以及近十几年来又出现使用氟里昂的共沸溶液和非共沸溶液作为制冷剂,特别是近年无氟制冷剂的出现,再次给蒸汽压缩制冷技术开辟了新的道路。

近几年制冷技术还在下述几方面有所发展。

1. 范围的扩展 人们利用逆向循环实现热量的转换,因此热泵也列入制冷技术的范畴。

设备规模不断扩大,机器的种类和型式不断增多。成套建筑空调用的冷水机组制冷量不断增加,可达7000kW。

2. 电子计算机在制冷技术上的应用 主要有以下方面。

(1) 辅助设计 利用电子计算机编制制冷装置可先靠性逻辑程序图和压缩机等部分子系统的数学模型,并分析装置与各元件的可靠性及联系。

(2) 辅助测试 用计算机代替部分人工测量、记录、整理数据,并将数据整理、分析、报告试验结果。

(3) 自动控制 电子计算机应用于制冷工程自动化,主要是使系统适应各种工况变化,取得运行的最佳技术经济效果。

(4) 生产管理 计划、财务、资料的管理,生产过程的模拟、制造系统等许多方面,均已开始广泛应用电子计算机。

#### (二) 制冷技术在我国的发展情况

我国在制冷技术方面的研究与使用起步都是很晚的,在20世纪80年代以前,所有空调

系统都只使用于科研与军事上；所有制冷系统几乎都只使用于冷冻、冷藏和科研。那时人们对生活的质量并不在意，随着国家政策的改变和改革开放的深入进行，提高全体人民生活质量成为制冷行业科研工作者的一项任务，有力地促进了我国制冷行业的发展，形成了几个主要的年代步骤。

(1) 80年代初 电冰箱开始逐步走进千家万户，但当时进口产品较多。

(2) 80年代的后期 空气调节器也逐步进入百姓家，也是进口产品较多。

(3). 90年代中期 所有通电的地区，90%以上的家庭拥有电冰箱，而且绝大多数为国产品牌。在空调器方面，以城市居民为主体，60%以上的家庭拥有空调器，仍然是国产品牌为主。

我国以春兰公司、海尔公司为代表的民族制冷行业，在政府政策的影响下，迅速发展壮大起来，不仅拥有巨大的国内市场，还将产品打入欧美市场。春兰公司的空调器等在欧洲，特别是在法国销售看好，1998年春兰公司向西班牙出售空调生产线；海尔公司的冰箱在德国的销售是别的欧洲国家产品无法可比的。

我国的制冷行业在广大科研工作者的努力下，在全体行业职工的辛勤工作下，在十几年的发展过程中，走过了国外四、五十年的发展之路，成为全世界冰箱和空调器生产量和销售量最大的行业群体。21世纪将为我国制冷行业的发展提供更为广阔的空间，是我国制冷行业产品进一步走向世界的世纪。

#### 四、《制冷原理》课的性质、任务和内容

《制冷原理》是化工及轻工中专制冷与空调专业的一门重要的专业基础课，是培养制冷与空调中等技术人才的一个组成部分。

在制冷与空调专业教学计划（四年制）的业务范围中明确提出应该培养学生具有三个能力：从事一般制冷机器和设备的维修、安装、制造及管理工作的能力；从事一般制冷与空调装置的设计工作能力；从事制冷与空调机器设备的使用、选型和技术改造的能力。

《制冷原理》担负着培养学生了解各种制冷剂，理解各种制冷装置的差异，能对不同制冷原理的装置进行设计计算与校核计算，要求学生能以此课程为基础掌握制冷机器设备的原理、性能、选型等方面的基础知识，为学生将来从事制冷与空调的管理和技术改造工作打下必要的基础。

#### 五、学习《制冷原理》课的要求和方法

《制冷原理》是一门理论性和实践性都很强的课程，通过本课程的学习，要达到下列基本要求。

- ①了解制冷剂、载冷剂的分类、特点。
- ②掌握热工的基础知识。
- ③掌握单级蒸气压缩制冷的组成、原理、热力计算及各种影响因素的分析。
- ④掌握多级蒸气压缩制冷的组成、工作过程及工作特点。
- ⑤了解吸收式制冷的原理、类型、工作过程与热力计算。
- ⑥了解其他各类制冷方法的简单原理。
- ⑦了解热泵的原理、特点、分类及应用。
- ⑧能查阅有关制冷方面的资料、标准、图表、规范和手册。
- ⑨了解当前制冷技术的状况及今后的发展方向。

为了能学好本课程，要求做到以下几点：

### 1. 扎扎实实学好有关课程

本课程与热力学、传热学、流体力学等关系密切，与制冷机器、制冷与空调设备等专业课关系也非常密切。

### 2. 要有一定的制冷相关知识

学习本课程，除掌握制冷的基本原理外，还要了解与其他使用有关的制冷工艺方面的知识，只有这样才能科学地掌握《制冷原理》。

### 3. 理论联系实际

由于本课程的理论内容较多，实践性又较强，因此在学习时特别要注意理论联系实际。在各项实习中，在技能训练中，应将所学到的知识在生产实践中不断进行深化。

# 第一章 制冷剂与载冷剂

## 第一节 制冷剂

在各种人工制冷装置中，都需要用一定的机器和设备，而这些机器和设备的总和称为制冷机。在制冷系统中，完成制冷循环以实现连续制冷的工质，称为制冷剂或制冷工质。这类工质在常温或普通低温下易液化，因而它们的临界温度不是很低，一般标准沸点约在 $-150\sim 100^{\circ}\text{C}$ 之间。在此所讨论的制冷剂即指这类工质。

可作为制冷剂的物质已很多，随着制冷技术的发展，早期曾使用过的制冷剂，因环保问题，有的已不在使用，同时又有许多新的物质被作为制冷剂使用。

### 一、常用制冷剂的性质

在蒸气压缩式制冷系统中，能够使用的制冷剂有卤碳化合物类（即氟里昂）、无机物类、饱和碳氢化合物类等，目前使用最广的制冷剂有氟里昂、氨和氟里昂的混合溶液等。现将它们的主要性质介绍如下。

#### （一）水的特性

水属于无机物类制冷剂，是所有制冷剂中来源最广，最为安全而便宜的工质。水的沸点 $100^{\circ}\text{C}$ ，冰点 $0^{\circ}\text{C}$ 。适用于制取 $0^{\circ}\text{C}$ 以上的温度。水无毒、无味、不燃、不爆，但水蒸气的比容大，蒸发压力低，使系统处于高真空状态（例如，饱和水蒸气在 $35^{\circ}\text{C}$ 时，比容为 $25\text{m}^3/\text{kg}$ ，压力为 $5650\text{Pa}$ ； $5^{\circ}\text{C}$ 时，比容为 $147\text{m}^3/\text{kg}$ ，压力为 $873\text{Pa}$ ）。由于这两个特点，水不宜在压缩式制冷机中使用，只适合在空调用的吸收式和蒸汽喷射式制冷机中作制冷剂。

#### （二）氨的特性

氨也属于无机物类制冷剂，是最为古老的制冷剂之一，也是目前广泛被采用的中温中压制冷剂之一。

氨有较好的热力性质和物理性质，氨的标准蒸发温度为 $-33.4^{\circ}\text{C}$ ，凝固温度为 $-77.7^{\circ}\text{C}$ 。它在常温和普通低温范围内压力比较适中。氨的汽化潜热大，在标准沸点下，汽化潜热达 $23343\text{kJ}/\text{kmol}$ 。单位容积制冷量大，粘度小，流动阻力小，传热性能好。在相同温度下，制取相同制冷量时，氨制冷压缩机的尺寸较小。此外，氨的价格低廉，又易于获得，所以它是应用最早而且目前仍广为使用的制冷剂。

氨的主要缺点是毒性大，易燃、易爆。氨液飞溅到人的皮肤上会引起肿胀甚至冻伤。氨蒸气无色，有强烈的刺激性臭味。在空气中的容积浓度达 $0.5\%\sim 0.6\%$ 时，人停留半小时就会引起中毒。

氨是典型的难溶于润滑油的制冷剂，它在润滑油中的溶解度不超过 $1\%$ ，因此，氨制冷机的管道和换热器的传热表面上会积有油膜，影响传热效果。运行中，润滑油还会积存在冷凝器，贮液器及蒸发器的下部，这些部位应定期放油。

氨与水可以以任意比例互溶，形成氨水溶液，在普通低温下，水分不会析出造成冰堵，所以氨系统可以不设干燥器。但使用中仍然限制氨中的含水量不超过 $0.2\%$ 。这是因为，氨溶于水时要放出大量的热量；氨水溶液的蒸发温度比纯氨有所提高；更重要的是，水分的存在将

加剧对金属材料的腐蚀。

纯氨不腐蚀钢铁，但含有水分时腐蚀锌、铜、青铜及其他铜合金，只有磷锌铜例外。因此，氨制冷机中不允许使用铜和铜合金，只有那些需要润滑的零件，如活塞销、轴瓦、密封环等，才允许使用高锡磷青铜。

氨的检漏方法：从氨蒸气的刺激性臭味很容易发现系统漏氨。寻找漏氨部位可以用酚酞试剂或试纸检漏。如有泄漏，试剂或试纸呈红色。冷凝器检漏，取冷却水样，加纳氏试剂，如有泄漏，水样呈现黄色沉淀。盐水蒸发器检漏，则取盐水试样，用 NaOH 或 KOH 调定至呈碱性，水样蒸馏后用纳氏试剂检查。

### (三) 氟里昂的特性

氟里昂是应用较广的一类制冷剂，目前主要用于中、小型活塞式、螺杆式制冷压缩机、空调离心式制冷压缩机、低温制冷装置及其特殊要求的制冷装置中。大部分氟里昂具有无毒或低毒，无刺激性气味，在制冷循环工作温度范围内不燃烧、不爆炸，热稳定性好，凝固点低，对金属的润滑性好等显著的优点。

#### 1. 常用氟里昂制冷剂

(1) R12 (二氟二氯甲烷,  $\text{CF}_2\text{Cl}_2$ ) R12 是应用广泛的一种中温中压制冷剂。其凝固点为  $-158^\circ\text{C}$ ，临界温度为  $112^\circ\text{C}$ ，标准沸点为  $-29.79^\circ\text{C}$ 。在常温下，蒸发压力较大气压力略高，用水冷却时冷凝压力不超过 1MPa，空气冷却时冷凝压力不超过 1.2MPa，压力比适中。R12 常用于能获得  $-50^\circ\text{C}$  以上的中、小型制冷压缩机和大型离心式制冷压缩机。

R12 的单位容积制冷量较小，因此 R12 制冷机的几何尺寸较相同制冷量的氨制冷机要大些。但 R12 的粘度较大，在相同温度时 R12 的干饱和蒸气比氨大 4~5 倍，因此在循环时有较大的阻力。为了减少阻力，应相应加大流通截面积。

R12 无色、无味、毒性小、不燃烧、不爆炸、对人体的生理危害小。它在空气中含量达 20% 时，人才开始有感觉，容积浓度超过 30% 才能使人窒息。

R12 与明火接触或温度达  $400^\circ\text{C}$  以上时，分解出对人体有害的 HF、HCl 和光气。所以，有 R12 的地方，严禁明火和高温。

R12 在水中的溶解度很小。 $0^\circ\text{C}$  时，其溶解度不超过 0.0026%，且温度越低，溶解度越小。若含水量超过其溶解度，那么在低温状态下 ( $0^\circ\text{C}$  以下) 很容易出现冰堵现象，同时，含水会对金属材料产生腐蚀作用。所以对使用 R12 的制冷系统，必须严格限制含水量：(a) 规定 R12 的出厂产品含水量在 0.0025% 以下 (见 JB 453—64)；(b) 制冷系统中的设备、管道和机器等在充灌 R12 之前，都必须经过干燥处理 (必要时进行烘干)；(c) 系统中要设置干燥器，及时除去运行中由于微量泄漏而带入系统中的水分。此外，向系统充注 R12 时，也应在钢瓶和制冷系统之间加干燥器。

纯 R12 对金属没有腐蚀作用，但能腐蚀镁和含镁超过 2% 的合金。R12 对天然橡胶和普通塑料有膨润作用，R12 制冷机的密封材料应采用耐氟的丁腈橡胶或氯醇橡胶，R12 封闭式制冷压缩机中的绕组导线应采用氟的聚乙烯醇缩甲醛树脂绝缘漆。电机采用 B 级或 E 级绝缘。

R12 对矿物性润滑油有无限的溶解性，由于这一特性，它在制冷系统的各部分中产生不同的影响：在冷凝器中，由于 R12 与油互溶，换热器表面不会产生油膜而影响传热；在贮液器中，R12 与油不出现分层，所以不能分离，R12 与油一起进入蒸发器，在蒸发器中，R12 不断蒸发，而油却积存下来，浓度越来越高，使蒸发温度也越来越高，传热系数降低。由于油比 R12 轻，不能直接从底部放油，所以，蒸发器多采用干式蛇管式，从上部供液，下部回气，润

滑油连同回气一道返回压缩机。有上升回气立管时，立管中的蒸气要保证有足够的带油速度。在压缩机的曲轴箱中，由于 R12 溶解在润滑油中，影响油的粘度，所以应采用高粘度的润滑油。此外 R12 在曲轴箱的润滑油中处于沸腾状态，压力越低，温度越高，液相中溶解的 R12 越少，因此，压缩机启动时，曲轴箱压力突然降低，R12 携带大量油滴从润滑油中蒸发（沸腾）出来，使油粘度突然增加，造成曲轴箱油位下降并产生大量泡沫，同时润滑油进入循环系统也会产生种种不利影响。为此，压缩机排气管道上应设高效油分离器，以使随 R12 进循环系统的润滑油尽量少。

R12 的渗透性很强，易通过机器设备的结合缝隙、铸件中的小孔及螺纹结合处泄漏，所以对机器设备管道的密封性要求高。检查 R12 泄漏常用肥皂水、卤素灯或卤素仪。

(2) R22 (二氟一氯甲烷  $\text{CHF}_2\text{Cl}$ ) R22 也是较常用的中温中压制冷剂。其临界温度为  $96^\circ\text{C}$ ，凝固点为  $-160^\circ\text{C}$ ，标准沸点为  $-40.8^\circ\text{C}$ 。在较低的温度下，R22 的饱和蒸气压力及单位容积制冷量都比氨高，同一温度下，R22 的饱和蒸气压力比 R12 约大 65%，压缩终温介于 R717 和 R12 之间，能制取的最低蒸发温度为  $-80^\circ\text{C}$ ，所以 R22 比 R12 和 R717 更适用于低温。

R22 蒸气无色、无味、不燃烧、不爆炸，有铁存在时，在  $550^\circ\text{C}$  下才会分解，毒性比 R12 稍大，但仍属于安全的制冷剂。

R22 的流动性比 R12 好，溶水性比 R12 稍大。 $0^\circ\text{C}$  时，水在 R22 中溶解度约为 0.006%，但仍属不溶于水的制冷剂。对 R22 的含水量仍限制在 0.0025% 之内。采取的措施同 R12。

R22 的化学稳定性不如 R12。它的分子极性比 R12 大，故对有机物的膨润作用更强。密封材料可采用氯乙醇橡胶或 CH-1-30 橡胶。封闭式压缩机中电机可采用 QF 改性缩醛漆包线 (E 级绝缘)，QZY 聚酯亚胺漆包线。

R22 有限溶解润滑油。在制冷系统高温侧，如在冷凝器和贮液器中，油在 R22 中的溶解度较大，呈均匀溶液；在低温侧，如在蒸发器和低温贮液器中，R22 与油的混合物处于临界温度以下时，才出现分层，上层主要是油，下层主要是 R22。可见润滑油在 R22 系统中所产生的影响与在 R12 系统中一样，所以在选择蒸发器型式，采取回油措施及设置油分离器时，所考虑的因素与 R12 系统也应相同。

R22 对金属的作用、泄漏性及检漏方法与 R12 相同。

(3) R134a (1, 1, 1, 2-四氟乙烷  $\text{CH}_2\text{FCF}_3$ ) R134a 是中温中压制冷剂，其物理性能与 R12 相近。R134a 传热性能好，化学稳定性好，不可燃，在替代 CFCs 制冷剂时，制冷系统与设备改动少，所以当前 R134a 被看作是 R12 的首选替代制冷剂，尤其用于汽车空调器中。

R134a 压力适中， $17^\circ\text{C}$  以下时，饱和压力比 R12 稍低，高于  $17^\circ\text{C}$  时，饱和压力比 R12 稍高，所以在相同的冷凝温度和蒸发温度时，R134a 的压缩比 ( $p_k/p_0$ ) 高于 R12。在汽车空调中，这一特性表现得不十分突出，而在低温装置中，表现突出。所以要求在低温下运行的配套制冷机的容量及尺寸作相应的增加。同样由于 R134a 的压缩比增大，使制冷机的能耗增大，制冷系数有所下降。

R134a 液体比热容比 R12 大，状态曲线中  $X=0$  线较平坦，R134a 的节流损失较 R12 大，为此在 R134a 制冷系统中可采取液体过冷来提高制冷效率。

R134a 对钢、铝等金属材料没有腐蚀作用，有时会在水分的作用下，产生“镀铜”现象。R134a 不含氯原子，与现有的矿物性润滑油的相容性差。研究表明 R134a 能与聚脂类等润滑油相容。但这类油亲水性较强，对系统运行很不利。解决的办法是研究相应的添加剂来钝化

这一特性，另外在使用时重新设计相应的干燥剂和干燥措施。

R134a 对密封材料要求较高，丁腈橡胶和氟化橡胶由于吸收 R134a 后会发生膨胀裂变，一般可采用聚丁腈橡胶（HNBR）、三聚乙丙橡胶（EPDM）或氯丁橡胶（CR）等，应增加封闭式制冷压缩机电机绕组的绝缘等级。

R134a 渗透性能高，并且不能用卤素检漏法检漏。

R134a 合成工艺较复杂，目前生产成本较高。

(4) R502 R502 是 R22/R115 按质量比 48.8/51.2 混合而成的共沸溶液制冷剂，是中温中压制冷剂。临界温度为 82.2℃，标准沸点 -45.4℃，比 R22 低，蒸发温度在 -45℃ 以上时，系统内不会出现真空，可避免运行时空气渗入系统。

R502 的优点之一是制冷压缩机的排气温度低，与 R12 相近，比 R22 低，从而使制冷机的油温和全封闭压缩机电机绕组温度有明显下降。排气温度低，使单级制冷压缩机的使用范围扩大，在冷凝温度不过高时，单级机可制取 -55℃ 左右的蒸发温度，从而简化制冷装置，节省投资。

R502 的饱和压力比 R22 高，温度越低，这一特点表现得越明显。在相同的蒸发温度和冷凝温度下，R502 的吸入压力较高，压力比较小，能使制冷压缩机的输气系数和制冷量都得到提高。

R502 的能效比，在蒸发温度低于 -15℃ 时，比 R22 增加约 20% 左右，在蒸发温度高于 -10℃ 时，比 R22 减少约 3%~4%，故在低温下使用 R502，可提高循环的制冷效率。

R502 制冷装置，多数可由 R22 系统直接改装。由于 R502 粘度比 R22 大，流动阻力大，改用后热力膨胀阀口径要适当增大，或减少毛细管长度。

R502 的油溶性比 R22 稍差，当蒸发温度为 -32℃ 时，制冷剂中油的含量超过 2% 时，油从 R502 中分离出来，而 R22 在 5% 时分离。为避免润滑油在蒸发器内的积存，可提高制冷剂的流速来解决。R502 的溶水性比 R12 大 1.5 倍。

R502 的毒性小，不爆炸、不燃烧，化学性能比 R22 更不活泼，它对橡胶、绝缘材料和塑料等的作用更弱，更适用于半封闭和全封闭制冷压缩机中。

## 2. 氟里昂的化学性能

氟里昂几乎对所有金属都无腐蚀作用，但 Mg 和含 Mg2% 以上的镁合金例外。有水分存在时，氟里昂水解成酸性物质，对金属有腐蚀作用。氟里昂与润滑油的混合物能够溶解铜，所以，当制冷剂在系统中与铜或铜合金部件接触时，铜便溶解到混合物中，当与钢或铁部件接触时，被溶解的铜离子又会析出，并沉积在钢铁部件上，形成一层铜膜，这就是所谓的“镀铜”现象。

氟里昂制冷剂是一种良好的有机溶剂，很容易溶解天然橡胶和树脂；对高分子化合物虽不溶解，但却能使它们变软，膨胀和起泡，即所谓“膨润”作用。所以，在选择制冷剂的密封材料和封闭式压缩机的电器绝缘材料时，应注意不要使用天然胶、树脂化合物，而要用耐氟里昂膨润的材料，如氯丁乙烯、氯丁橡胶、尼龙或耐氟塑料。

## 3. 氟里昂的电气性能

在全封闭和半封闭式压缩机中，电动机的绕组与制冷剂和润滑油直接接触，因此要求制冷剂有较好的电绝缘性。

电击穿强度是表示制冷剂和冷冻油电绝缘性能的一个指标。冷冻油和制冷剂的电击穿强度一般要求 10kV/cm 以上，一些制冷剂气体在压力为 100kPa，温度为 0℃ 时的电击穿强度见



表 1-1。

表 1-1 制冷剂气体的电击穿强度/kV/cm

| 制冷剂   | R11 | R12 | R13 | R14 | R22 | R113 | R717 |
|-------|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|
| 电击穿强度 | 108 | 148 | 53  | 38  | 170 | 170  | 31   |

#### 4. 氟里昂和水与润滑油的关系

(1) 氟里昂与水的关系及影响 通常氟里昂溶水性极低，所以系统必须保持干燥，所采用的氟里昂应尽可能保持无水，否则在系统的低温低压部位易形成冰堵而使制冷系统无法工作。此外，当氟里昂中含有水分时，随着时间的延长与金属共存时会慢慢发生水解，生成酸性物质，并产生“镀铜”现象。这将破坏制冷压缩机吸排气阀片的严密性和轴颈的间隙，不利于制冷压缩机的正常工作。

(2) 氟里昂与润滑油的关系及影响 各种氟里昂与润滑油的互溶性与氟里昂、润滑油的特性，制冷剂和润滑油混合所处的压力、温度有关，大致可分为以下三种类型。

①制冷剂与润滑油很难相溶，如 R13、R14、R115 等。这些制冷剂在油中的溶解度极微或完全不溶。在制冷系统内氟里昂与润滑油分层，并易分离。

②制冷剂与润滑油部分相溶，如 R22、R114、R152、R502 等。常温下，这些制冷剂与润滑油相溶，当低于某一温度时，制冷剂与润滑油相互分离。

③制冷剂与润滑油完全相溶，如 R11、R12、R21、R113、R500 等。这类制冷剂与油的相容性，随压力、温度升高而增加。

氟里昂与润滑油互溶，会使润滑油的粘度和凝固点下降，有利于低温装置，也会使制冷剂的蒸发温度、制冷能力发生变化。

氟里昂与矿物性润滑油的混溶程度可用下式判断

$$Z = \frac{n_1}{n_1 + n_2 + \frac{1}{4}n_3 + 2n_4}$$

式中  $n_1$ 、 $n_2$ 、 $n_3$ 、 $n_4$  分别为 F、Cl、H、Br 原子数。

当  $Z \leq 1/2$  时，为完全相溶；当  $\frac{1}{2} < Z \leq \frac{2}{3}$  时，为部分相溶；当  $Z > \frac{2}{3}$  时，为难溶。

#### 二、对制冷剂的选择要求

制冷剂的性质将直接影响制冷机的种类、构造、尺寸和运转特性，同时也影响到制冷循环的形式，设备结构及经济技术性能。因此，合理地选择制冷剂是一个很重要的问题。通常对制冷剂的性能要求从热力学、物理化学、安全性和经济性方面加以考虑。

##### (一) 热力学方面的要求

(1) 沸点要求低 这是一个必要的条件，这样可以获得较低的蒸发温度。

(2) 临界温度要高、凝固温度要低 以保证制冷机在较广的温度范围内安全工作。临界温度高的制冷剂在常温条件下能够液化，即可用普通冷却介质使制冷剂冷凝，同时能使制冷剂在远离临界点下节流而减少损失，提高循环的性能。凝固点低，可使制冷系统安全地制取较低的蒸发温度，使制冷剂在工作温度范围内不发生凝固现象。

(3) 要求制冷剂具有适宜的工作压力 要求蒸发压力接近或略高于大气压力，冷凝压力不能过高。尽可能使冷凝压力与蒸发压力的压力比 ( $p_k/p_0$ ) 小。

(4) 要求制冷剂的汽化潜热大 在一定的饱和压力下，制冷剂的汽化潜热大，可得到较