



中等职业教育国家规划教材  
全国中等职业教育教材审定委员会审定

# 制冷原理

(制冷和空调设备运用与维修专业)

主编 周金坤



高等教育出版社

中等职业教育国家规划教材  
全国中等职业教育教材审定委员会审定

# 制 冷 原 理

(制冷和空调设备运用与维修专业)

主    编    周金坤  
责任主审    匡奕珍  
审    稿    魏    蔚

高等教育出版社

## 内容提要

本书是根据教育部 2001 年颁发的《中等职业学校制冷和空调设备运用与维修专业教学指导方案》中主干课程《制冷原理教学基本要求》，并参照有关行业的职业技能鉴定规范及中级技术工人等级标准编写的中等职业教育国家规划教材。

本书内容以蒸气压缩式制冷为主，着重阐述蒸气压缩式制冷循环的工作原理及其基本热力计算方法。本书还介绍了吸收式制冷循环的基本理论及其工作过程，对其他制冷方法本书也作了简要介绍。

本书可作为中等职业学校制冷和空调设备运用与维修专业教材，也可作为相关行业岗位培训教材或自学用书。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

制冷原理/周金坤主编. —北京:高等教育出版社,  
2002. 8 (2005 重印)  
中等职业学校制冷和空调设备运用与维修专业教材  
ISBN 7-04-010915-8

I. 制... II. 周... III. 制冷—原理—专业学校—  
教材 IV. TB61

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 044978 号

责任编辑 伦克己 封面设计 王 晔 责任绘图 朱 静  
版式设计 马静如 责任校对 陈 荣 责任印制 杨 明

制冷原理  
周金坤 主编

---

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010-58581118
社 址	北京市西城区德外大街 4 号	免费咨询	800-810-0598
邮政编码	100011	网 址	<a href="http://www.hep.edu.cn">http://www.hep.edu.cn</a>
总 机	010-58581000		<a href="http://www.hep.com.cn">http://www.hep.com.cn</a>
经 销	北京蓝色畅想图书发行有限公司	网上订购	<a href="http://www.landrac.com">http://www.landrac.com</a>
排 版	高等教育出版社照排中心		<a href="http://www.landrac.com.cn">http://www.landrac.com.cn</a>
印 刷	人民教育出版社印刷厂		
开 本	787×1092 1/16	版 次	2002 年 8 月第 1 版
印 张	9.5	印 次	2005 年 12 月第 4 次印刷
字 数	220 000	定 价	11.70 元

---

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题，请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 10915-00

# 中等职业教育国家规划教材出版说明

为了贯彻《中共中央国务院关于深化教育改革全面推进素质教育的决定》精神,落实《面向21世纪教育振兴行动计划》中提出的职业教育课程改革和教材建设规划,根据教育部关于《中等职业教育国家规划教材申报、立项及管理意见》(教职成[2001]1号)的精神,我们组织力量对实现中等职业教育培养目标和保证基本教学规格起保障作用的德育课程、文化基础课程、专业技术基础课程和80个重点建设专业主干课程的教材进行了规划和编写,从2001年秋季开学起,国家规划教材将陆续提供给各类中等职业学校选用。

国家规划教材是根据教育部最新颁布的德育课程、文化基础课程、专业技术基础课程和80个重点建设专业主干课程的教学大纲(课程教学基本要求)编写,并经全国中等职业教育教材审定委员会审定。新教材全面贯彻素质教育思想,从社会发展对高素质劳动者和中初级专门人才需要的实际出发,注重对学生的创新精神和实践能力的培养。新教材在理论体系、组织结构和阐述方法等方面均作了一些新的尝试。新教材实行一纲多本,努力为教材选用提供比较和选择,满足不同学制、不同专业和不同办学条件的教学需要。

希望各地、各部门积极推广和选用国家规划教材,并在使用过程中,注意总结经验,及时提出修改意见和建议,使之不断完善和提高。

教育部职业教育与成人教育司

二〇〇一年十月

# 前 言

本书是根据教育部 2001 年颁发的《中等职业学校制冷和空调设备运用与维修专业教学指导方案》中的主干课程《制冷原理教学基本要求》，并参照有关行业的职业技能鉴定规范及中级技术工人等级标准编写的中等职业教育国家规划教材。

本教材有以下一些主要特点。

1. 以教学基本要求为依据,充分体现教学基本要求的目的性、思想性和先进性。
2. 面向中等职业教育,加强教材的适用性。特别注意到教学内容体系完整,逻辑结构严密,内容的选择和组织方面注意少而精,使学生易学易懂,使教师易教。
3. 突出基础知识和基本技能。教材内容删繁就简,取消了烦琐的理论计算,降低了学习理论知识的难度。
4. 提高学生理论联系实际的能力,加强学生对所学知识的综合应用能力。
5. 严格执行国家有关的最新技术标准和规定。
6. 体现教材的科学性和先进性,反映时代特征,形成职业教育的鲜明特色。

本书阐述了普通制冷的基本工作原理,以蒸气压缩式制冷原理为重点,适当介绍了吸收式制冷,对蒸气喷射式制冷、空气压缩式制冷、混合制冷剂制冷和热电制冷原理也作了概要的介绍。

本书内容简明,文字通俗易懂,对重要的热力公式都列有应用方面的例题,每章后有思考与练习题,书末附有重要制冷剂的热力性质图表。

本书共分六章。绪论和第二章由山东商业职业技术学院匡奕珍编写,第一章由山东淄博商业学校胡玉叶编写,第三章和第四章由浙江商业职业技术学院周金坤编写,第五章由安徽省合肥粮食学校傅成良编写,第六章由浙江食品工贸学校陆勤丰编写,周金坤任主编。

本书通过全国中等职业教育教材审定委员会审定,由山东商业职业技术学院匡奕珍教授担任责任主审,山东商业职业技术学院魏蔚副教授审稿。他们对书稿提出了很多宝贵意见,在此表示衷心感谢。

由于编者水平有限,错误之处在所难免,敬请读者批评指正。

编者

2002 年 4 月

# 目 录

绪论 .....	1
思考与练习题一 .....	5
<b>第一章 制冷剂 and 载冷剂 .....</b>	<b>6</b>
第一节 制冷剂的种类 .....	6
第二节 制冷剂选用要求 .....	9
第三节 常用制冷剂的性质 .....	14
第四节 载冷剂 .....	21
思考与练习题二 .....	24
<b>第二章 单级蒸气压缩式制冷理论循环 .....</b>	<b>25</b>
第一节 压焓图与温焓图 .....	25
第二节 理想制冷循环 .....	26
第三节 单级蒸气压缩式制冷理论循环 .....	29
思考与练习题三 .....	33
<b>第三章 单级蒸气压缩式制冷实际循环 .....</b>	<b>34</b>
第一节 单级蒸气压缩式制冷的实际循环 .....	34
第二节 制冷剂液体过冷、蒸气过热及回热循环 .....	37
第三节 单级蒸气压缩式制冷循环的热力计算 .....	42
第四节 工况变化对制冷循环特性的影响 .....	48
第五节 单级离心压缩式制冷循环 .....	54
思考与练习题四 .....	56
<b>第四章 双级压缩及复叠式制冷循环 .....</b>	<b>58</b>
第一节 采用多级压缩制冷循环的原因 .....	58
第二节 两级压缩制冷循环 .....	59
第三节 双级压缩制冷循环的热力计算 .....	63
第四节 复叠式制冷循环 .....	68
思考与练习题五 .....	72
<b>第五章 吸收式制冷循环 .....</b>	<b>73</b>
第一节 吸收式制冷循环的工作原理与工质 .....	73
第二节 溴化锂吸收式制冷循环 .....	90
第三节 氨水吸收式制冷循环 .....	108
思考与练习题六 .....	111
<b>第六章 其他制冷循环及制冷方法 .....</b>	<b>112</b>
第一节 蒸气喷射式制冷循环 .....	112
第二节 空气压缩式制冷循环 .....	114

---

第三节 混合制冷剂制冷循环 .....	116
第四节 热电制冷 .....	117
思考与练习题七 .....	119
附录 .....	120
参考文献 .....	142

# 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一门技术。在长期的生产实践和生活过程中,人们发现许多现象与温度有着密切的关系。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,人们希望在天气炎热时能设法降温以保持环境舒适。所有的生物过程都会受到温度的影响。以牛奶为例,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,但保存4天后,酵母菌增殖4.5倍。当温度升高到 $15^{\circ}\text{C}$ 时,4天后牛奶中的酵母菌增殖达230 000倍,已不能保存。为了使这种生物过程缓慢地进行,甚至停止,则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。

在生产中,温度的影响也很大,如材料的某些重要特性就与温度有关。低温时,机械材料具有冷脆性,塑料、橡胶也具有同样的性质。金属的导电性随温度的下降而提高,当温度降到某一确定值时,有些材料的电阻会变为零,出现超导性。如果需要人为地利用材料的这些特性,就需要制冷技术。我们知道,物态与温度有关,利用降低温度时物态的变化,则可以进行混合气体的分离以及天然气的液化和贮运等。此外,扩散和化学反应也与温度有关系,在工艺过程中调整温度可以对产品的性能起到良好的促进作用。

综上所述,为了满足生产和生活的要求,人们在实际生活中广泛使用制冷技术。随着社会的发展以及人民生活水平的不断提高,制冷技术在国民经济中的作用和地位也越来越重要。

## 一、制冷及其基本方法

制冷也称致冷,是指用人为的方法不断地将被冷却物质(物体或流体)的热量排至环境介质中去,从而使被冷却物质达到比环境介质更低的温度,并在必要长的时间内维持住这个温度。

这里所说的“冷”是相对于环境温度而言的。灼热的铁块放在空气中,通过辐射和对流的方法向环境传热,铁块会逐渐冷却到环境温度。一桶开水置于空气中,也会逐渐冷却成常温水。类似这样的过程,都是自发地传热降温,属于自然冷却不是制冷,只有通过一定的方式如将铁块或水冷却到环境温度以下,才可称为制冷。

一般说来,制冷的的方法主要有以下3种。一种方法是利用物质相变(如融化、蒸发、升华等)的吸热效应制冷,如蒸气压缩式制冷、吸收式制冷和蒸气喷射式制冷等;第二种方法是利用气体膨胀产生的冷效应制冷,如常用的空气压缩制冷等;第三种方法是利用珀尔帖效应的热电制冷,例如利用半导体的珀尔帖效应的制冷方法,也称为半导体制冷。除此之外,获得低温的方法还有绝热去磁制冷、热声制冷、涡流管制冷以及激光制冷等。

制冷过程中所需的机器和设备的总和称为制冷机,也叫制冷系统或制冷装置。制冷机中使用的工作介质称为制冷剂,也叫制冷工质。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。我们把制冷剂一系列状态变化过程的综合过程,称为制冷循环。为实现制冷循环,必须消耗能量,这些能量既可以是机械



能、电能、热能和太阳能,也可以是其他形式的能量。

制冷所能获得的各种温度,统称为制冷温度。制冷温度的范围很广,从低于环境温度到接近于 0 K。人们习惯于把环境温度以下到 120 K 以上的温度范围,称为普通制冷(简称普冷);把 120 K~4.2 K(氮气在标准大气压下的液化温度)的温度范围,称为低温制冷;4.2 K 以下至接近 0 K 的温度范围,称为超低温制冷。需要说明的是,普通制冷与低温制冷的温度界线不是绝对的,即一般应用于食品冷加工的制冷、空调制冷、某些生产工艺制冷等都属于普冷的范围。

本教材主要涉及普通制冷领域,文中所叙述的制冷除特殊说明外均指普通制冷。

## 二、制冷技术的应用

制冷最早用来保存食品和调节一定空间的温度,但制冷技术发展到今天,其应用已渗透到国民经济的各个领域及人们的日常生活中。

在食品加工工业中,制冷技术不仅作为加工手段,更重要的是作为冷藏手段。作为加工手段,可使食品在低温下获得更好的质量,例如冷饮制品、饮料和酿酒生产等;作为冷藏手段,是为了使食品从生产、运输、贮藏至销售和消费全过程中都保持低温条件下的冷藏链,这需要采用冷冻装置、冷库、冷藏船、冷藏列车、冷藏汽车、冷藏集装箱、冷藏陈列柜以及家用电冰箱等一系列的制冷装置。多种肉类、鱼类、水果和蔬菜都易于腐败变质,低温贮藏能防止这类食品腐败变质,最大限度地保持食品原有的风味与营养。食品加工工业中应用制冷技术,可使食品生产不受季节性和地区性的限制,可达到保证食品质量,调剂淡旺季,保障供应以及促进贸易的目的。

降温空气调节技术在工矿企业、住宅和公共场所的应用越来越广,降温空气调节技术对国民经济各部门的发展和人民物质文化水平的提高起着重要作用。受调节的空气环境不仅对各种工业生产过程的稳定运行和保证产品的质量有重要作用,而且对提高劳动生产率、保障人体健康、创造舒适的工作和生活环境也有重要意义。工业生产中的精密机械设备、仪器制造业以及精密计量室要求高精度的恒温恒湿环境,电子工业要求高洁净度的空调,纺织业则要求保证湿度的空调。随着经济的发展和人们生活水平的提高,家用空调器在我国广大的南方地区越来越普及,有些小区还采用了大型的中央空调,家用小型的中央空调也已开始进入家庭。在民用及公用建筑方面,随着改革开放和旅游业的蓬勃发展,有空调的宾馆、酒店、商店、图书馆、会堂、医院、展览馆和游乐场所也日益增多。运输工具如汽车、火车、飞机和轮船等,也不同程度地安装有空气调节设备。空气调节技术包括制冷、供暖、通风和除尘,其中制冷降温是空气调节的一项关键技术。

在工业生产过程中,制冷技术的应用也十分广泛,例如,机械制造业中,对钢进行低温处理,就可以改善钢的性能。在钢铁和铸造工业中,采用冷冻除湿送风技术,可以保证冶炼及铸件的质量。化学工业中,气体的液化、混合气分离、盐类结晶和润滑油脱脂,某些化学反应过程中的冷却、吸收反应热和控制反应速度等过程,都需要应用制冷技术。此外,石油裂解、合成橡胶、合成树脂、化肥、天然气液化及贮运等技术也需要制冷。工业生产用制冷机的特点是容量比较大,蒸发温度范围广,一个工厂往往需要几千至几万千瓦的制冷量,有的生产过程只需 0℃ 以上,有的生产过程则需要 -40℃ 以下,而天然气液化时蒸发温度则低至 -150℃。

在核工业中,制冷技术可用来控制原子能反应堆的反应速度,吸收核反应过程中放出的热量。在航天和国防工业中,航空仪表、火箭、导弹中的控制仪器以及航空发动机,都需要在高温或低温条件下进行性能实验。在高寒地区使用的汽车、拖拉机、坦克、常规武器、铁路车辆和建筑机

械等,也需要在模拟寒冷气候条件下的低温实验室里进行实验。因此,需要建造各种低温试验室,其所要求的蒸发温度一般比较低,大约为 $-40\text{ }^{\circ}\text{C}\sim-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。此外,有些科学实验要求建立人工气候室以模拟高温、高湿、低温、低湿及高空环境,这类空间特殊环境的模拟和控制,对军事和宇航事业的发展具有重要作用。

在建筑工业中,在挖掘矿井、隧道或者在泥沼、砂水处掘进时,可采用冻土法使工作面不坍塌,保证施工安全。混凝土加冰搅拌也已经普遍采用,例如,三峡工程大坝混凝土预冷系统就是在胶带机上淋洒冷水冷却骨料,然后用冷风机风冷,再加片冰拌和混凝土。这种方法是为防止坝体混凝土出现危害性的温度裂缝所必须采取的措施,建造这样的大坝工程需要大冷量的制冷机和片冰机。

在农业方面,制冷技术可对农作物种子进行低温处理。在人工配种时,牲畜良种精液的低温保存,以及在模拟阳光的日光型植物生长箱中育秧等均需要制冷技术。

在医药卫生部门,有些手术如心脏手术、肿瘤手术、白内障手术、扁桃腺的切除手术、皮肤和眼球的移植手术及低温麻醉等,均需要制冷技术。医药工业中,还可利用真空冷冻干燥技术保存疫苗、菌种、血液制品等热敏性物质以及制作各种动植物标本,而低温干燥保存技术则用于保存异种移植或同种移植的皮层、角膜、骨髓、主动脉、心脏瓣膜等组织。

此外,在微电子技术、光纤通信、能源、新型原材料、生物工程技术等尖端科学领域内,制冷技术也有着重要的应用。

### 三、制冷技术的发展历程

人类最早是将冬季自然界的天然冰雪保存到夏季使用,这在我国、埃及和希腊等文明古国的历史上都有记载。

人工制冷的方法是随着工业革命开始的。1748年,英国人柯伦证明了乙醚在真空下蒸发时会产生制冷效应。1755年,苏格兰人W. Cullen教授利用乙醚蒸发使水结冰。W. Cullen教授的学生Black从本质上解释了融化和汽化现象,导出了潜热的概念,并发明了冰量热器,这标志着现代制冷技术的开始。

1834年,美国发明家J. Perkins获得了乙醚在封闭循环中膨胀制冷的英国专利,并制成了冰。这项发明就是后来所有蒸气压缩式制冷机的雏形,它的重要进步是实现了闭合循环。

1856年,英格兰人J. Harrison发明了压缩式制冷机,采用二氧化碳、二氧化硫、氨、氯、甲烷作制冷剂。1859年,法国人F. Garre发明了氨水吸收式制冷机并申请了原理专利。

美国人D. Buok于1873年制造了第一台氨压缩机。次年,德国人林德建成了第一个氨压缩式制冷系统。此后,氨压缩式制冷机在工业上获得普遍应用,蒸气压缩式制冷机开始占据了统治地位。直至1929年氟利昂发现之后,氟利昂压缩式制冷机才快速发展起来,并在应用中超过了氨制冷机。

1844年,美国医生J. Gorrie发明了空气循环式制冷机,还为发烧患者建立了一座空调站。空气制冷机使他一举成名,并于1851年获得了美国专利,这是世界上第一台空调用制冷机器。1862年,英国基尔克发明了封闭循环的空气制冷机,并获英国专利。

1858年,美国人尼斯取得了冷库设计的第一个美国专利,从此商用食品冷藏事业开始发展。19世纪下半叶,制冷技术迅速发展,现代制冷技术已基本形成。20世纪中,制冷技术有了更大的

发展。在家用冰箱方面,世界上第一台电冰箱是美国布兰工程师在1918年设计的,从此以后,制冷技术在人们生活中获得应用。空调技术的应用起始于1919年,当年美国芝加哥兴建了第一座空调电影院,次年开始在教堂配备了空调,1930年出现了空调火车。

随着制冷机制造技术的不断发展,制冷工质的种类也逐渐增多。最早在压缩式制冷机中应用的制冷剂是空气、二氧化碳和乙醚,在吸收式制冷机中应用的是水和硫酸,以后逐渐在压缩式制冷机中应用氯甲烷、二氧化硫和氨等。1929年以后,随着氟利昂制冷剂的出现,这种新的制冷工质为蒸气压缩式制冷机的发展开辟了新的道路。

20世纪50年代开始使用了共沸混合制冷剂,20世纪60年代又开始应用非共沸混合制冷剂。在20世纪80年代关于淘汰消耗臭氧层制冷剂的问题被正式公认以前,以各种卤代烃为主的制冷剂的发展几乎达到了相当完善的地步。

20世纪制冷技术的发展还在于制冷范围不断扩大,机器的种类和型号不断增多,设备规模亦不断扩大。计算机技术的发展推动了制冷技术的蓬勃发展,尤其是在动态仿真优化、辅助设计、辅助测试、自动控制、集成制造和生产工艺管理等方面。此外,家用电冰箱和空调器等家用电器的绿色化、智能化、网络化和信息化等,这一切都预示着制冷技术更加美好的未来。

我国解放前制冷工业十分落后,基本上没有制造制冷机的能力。到1949年全国解放时,全国冷库总容量只有35 000 t,仅相当于现在一个城市的制冷容量。到第一个五年计划末期,全国制冷机制造厂家发展到十几家,产品三十多种。改革开放以来,我国的制冷技术获得迅猛发展,基本上可满足国民经济发展的需要。

20世纪90年代以来,我国的制冷空调工业发展迅猛,空调器年产量达到近1 000万台,电冰箱社会拥有量数千万台,制冷空调工业已成为国民经济中的重要支柱产业。伴随着我国新型冻结设备的发展,全国冷冻食品的年产量已达100多万吨。

#### 四、我国制冷行业的发展前景

目前,我国制冷空调行业已具有品种比较齐全的大、中、小型制冷空调产品系列,产品质量、性能和技术水平较过去有很大的提高,并已形成了具有一定基础的科研、教学、设计和生产体系,正在缩小与国外先进水平的差距。

由于我国加入了世界贸易组织,国际国内市场的竞争将日趋平等和激烈,从整体而言,这种竞争将对我国经济发展起推动作用。我国的电冰箱、家用空调器、溴化锂吸收式冷(热)水机组等产品在国内外市场已形成一定的竞争力。许多具有我国特色的制冷空调产品的综合技术指标已达到世界先进水平,并逐步进入国际市场,受到国外用户的青睐。另外,我国与国际知名企业或跨国公司进行合资、合作的制冷空调企业已近百家,产品包括制冷压缩机、冷水机组、冷冻冷藏设备等,其产品的先进性和价格均具有很强的市场竞争力。需要说明的是,与跨国知名公司及其产品相比,国内企业无论是资本实力、生产规模、营销网络及方式、产品研究开发和生产能力还是品牌知名度与信誉度等都还有相当大的差距,特别是在制冷压缩机的研究开发与生产能力以及制冷系统控制、智能化、网络化运行等方面亦存在较大差距,不具备竞争能力。我国虽已发展成为制冷空调产品的生产大国,但还不是制冷空调产品的研发大国。

由于国家大规模的现代化建设,特别是基础设施建设和农业的产品结构调整及推进城市化进程等改革措施都将会给我国制冷空调行业发展带来新的机遇。目前,国家投入巨资对机场、地

铁、高速公路的建设将会拉动大型空调机组、列车空调、冷藏运输车辆等产品的生产,促进我国冷藏链建设。国家加大农业投入,加速调整农业产业结构,将会导致冷冻、冷藏、气调贮藏设备的需求有较大幅度的增长。可以预言,21世纪我国制冷空调行业将会更飞速地发展。

## 思考与练习题一

1. 什么叫制冷?冬天气温很低,使池塘里的水结成冰,请问这一过程是否为制冷过程?请举一日常生活中利用制冷过程的例子。
2. 制冷技术可以运用于哪些方面?
3. 简述制冷的发展历史。

# 第一章 制冷剂 and 载冷剂

制冷剂,又称为制冷工质,它是制冷系统中完成制冷循环所必需的工作介质。制冷剂的热力状态在制冷循环中是不断发生变化的,如在蒸气压缩式制冷循环中,制冷剂在蒸发器中吸收被冷却系统的热量而蒸发成为蒸气,在冷凝器中将热量传递给周围环境介质(空气、水等)而被冷却冷凝成液体。制冷机借助于制冷剂的状态变化,完成制冷循环,达到制冷的目的。

载冷剂又称为冷媒,它是在间接冷却的制冷装置中,完成被冷却物质(物体或空间)与制冷剂之间热量传递的中间冷却介质。这种中间冷却介质亦称为第二制冷剂。载冷剂的循环是在蒸发器中被制冷剂冷却并送到冷却设备中吸收被冷却物质的热量,然后返回蒸发器将吸收的热量传递给制冷剂,而载冷剂重新被冷却,如此循环不止,以达到连续制冷的目的。

## 第一节 制冷剂的种类

目前,作为制冷剂的物质已有近百种,并且新的制冷剂还在不断发现和研制中,但常用的制冷剂只有十几种。制冷剂的表示方法是用英文单词“制冷剂”(Refrigerant)的首写字母 R 作为制冷剂的代号,在 R 后面用规定的数字及字母来表示制冷剂的种类和化学构成等,如 R12、R22、R134a、R600a、R717 等。通常制冷剂有两种分类方法。

### 一、按 ASHRAE 标准分类

按美国供暖制冷空调工程师协会标准(ASHRAE standard 34 - 78),即按制冷剂的化学种类分类,制冷剂的主要类别如下。

#### 1. 卤代烃制冷剂(氟利昂类)

卤代烃制冷剂是饱和碳氢化合物(如甲烷、乙烷和丙烷等)的卤素衍生物的总称,目前人们习惯用“氟利昂”一词作为这一类制冷剂的名称。

氟利昂的分子通式是  $C_m H_n F_x Cl_y Br_z$ ,其中  $2m + 2 = n + x + y + z$ ,氟利昂的代号规定为  $R(m-1)(n+1)(x)B(z)$ 。代号规定说明如下。

(1) 如果  $z=0$ ,则 B 可省略。

(2) 对于同分异构体,每一种都有相同的编号,而最对称的一种只用编号而后面不带任何字母来表示。当同分异构体变得越来越不对称时,以附加“a”“b”“c”以示区别。例如二氯四氟乙烷,  $CClF_2CClF_2$ ,命名为 R114;1,1-二氯四氟乙烷,  $CCl_2FCF_3$ ,命名为 R114a。

(3) 对于甲烷类衍生物,习惯上省略 R 后面的第一个数“0”,而写成两个数字。例如氯二氟甲烷,  $CHClF_2$ ,  $m-1=0, n+1=2, x=2, z=0$ ,按规则命名时写成 R22。

氟利昂制冷剂按其结构即碳氢化合物中氢被卤素取代的情况,又分为如下 6 种。

- (1) 全氟代烃  $\text{PFC}_s$ , 即碳氢化合物中的氢完全被氟取代, 如 R14、R116 等。
- (2) 氯氟烃  $\text{CFC}_s$ , 即碳氢化合物中的氢完全被氯和氟取代, 如 R11、R12、R13、R114 等。
- (3) 含氢氟代烃  $\text{HFC}_s$ , 即碳氢化合物中的氢只有一部分被氟取代, 如 R152a、R134a、R23、R32 等。
- (4) 含氢氯氟烃  $\text{HCFC}_s$ , 即碳氢化合物中的氢部分被氯和氟所取代, 如 R22、R21、R123a 等。
- (5) 含氯代烃  $\text{HCC}_s$ , 即碳氢化合物中的氢部分被氯所取代, 如 R20、R120 等。
- (6) 全氯代烃  $\text{PCC}_s$ , 即碳氢化合物中的氢完全被氯所取代, 如 R10、R110 等。
- 主要的氟利昂制冷剂见表 1-1。

表 1-1 常见的氟利昂制冷剂

代 号	化 学 名 称	化学分子式	类 别
R14	四氟化碳	$\text{CF}_4$	$\text{PFC}_s$
R11	三氯氟甲烷	$\text{CCl}_3\text{F}$	$\text{CFC}_s$
R12	二氯二氟甲烷	$\text{CCl}_2\text{F}_2$	$\text{CFC}_s$
R13	氯三氟甲烷	$\text{CClF}_3$	$\text{CFC}_s$
R113	1,1,2-三氯三氟乙烷	$\text{CCl}_2\text{FCClF}_2$	$\text{CFC}_s$
R114	1,2-二氯四氟乙烷	$\text{CClF}_2\text{CClF}_2$	$\text{CFC}_s$
R23	二氟甲烷	$\text{CHF}_3$	$\text{HFC}_s$
R32	二氟甲烷	$\text{CH}_2\text{F}_2$	$\text{HFC}_s$
R152a	1,1-二氟乙烷	$\text{CH}_3\text{CHF}_2$	$\text{HFC}_s$
R134a	1,1,1,2-四氟乙烷	$\text{CH}_2\text{FCF}_3$	$\text{HFC}_s$
R21	二氯氟甲烷	$\text{CHCl}_2\text{F}$	$\text{HCFC}_s$
R22	氯二氟甲烷	$\text{CHClF}_2$	$\text{HCFC}_s$
R123	2,2-二氯-1,1,1-三氟乙烷	$\text{CHCl}_2\text{CF}_3$	$\text{HCFC}_s$
R40	氯甲烷	$\text{CH}_3\text{Cl}$	$\text{HCC}_s$
R30	二氯甲烷	$\text{CH}_2\text{Cl}_2$	$\text{HCC}_s$
R10	四氯化碳	$\text{CCl}_4$	$\text{PCC}_s$

## 2. 饱和碳氢化合物类制冷剂

饱和碳氢化合物制冷剂的表示方法仍按氟利昂的编写规则书写, 但正丁烷写成 R600, 异丁烷写成 R600a, 见表 1-2。

表 1-2 饱和碳氢化合物类制冷剂

制冷剂代号	化 学 名 称	化学分子式
R50	甲烷	$\text{CH}_4$
R170	乙烷	$\text{CH}_3\text{CH}_3$
R290	丙烷	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_3$
R600	丁烷	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$
R600a	异丁烷	$\text{CH}(\text{CH}_3)_3$

### 3. 共沸混合物制冷剂

共沸混合物制冷剂是由两种或两种以上互溶的单组分制冷剂在常温下按一定的质量比或容积比相互混合而成的制冷剂。共沸混合物制冷剂与单组分制冷剂一样,在一定的压力下具有恒定的蒸发温度和饱和状态下汽液两相相同组分的特征,但共沸混合物制冷剂的热力性质与组成它原来单组分的制冷剂的热力性质不同,从而达到改善和提高其制冷循环性能的目的。已经商品化的共沸混合物制冷剂的命名是 R 后按开发的顺序从 500 开始排列,见表 1-3。

表 1-3 共沸混合物制冷剂

制冷剂代号	组 分	混合质量百分比
R500	R12/R152a	73.8/26.2
R501	R22/R12	75/25
R502	R22/R115	48.8/51.2
R503	R23/R13	40.1/59.9
R504	R32/R115	48.2/51.8
R505	R12/R31	78.0/22.0
R506	R31/R114	55.4/44.6
R507	R125/R143a	50/50

### 4. 非共沸混合物制冷剂

非共沸混合物制冷剂是由两种或两种以上相互不形成共沸混合物的单组分制冷剂混合而成的制冷剂。当混合物被加热时,在一定的蒸发压力下易挥发的组分蒸气的比例大,难挥发的组分蒸气的比例小,形成汽、液相不相同的组分,并且制冷剂在整个蒸发过程中温度是变化的。已经商品化的非共沸混合物制冷剂的命名是在 R 后按开发顺序从 400 开始排列,见表 1-4。

表 1-4 非共沸混合物制冷剂

制冷剂代号	组 分	混合质量百分比
R401A	R22/R152a/R124	53/13/34
R401B	R22/R152a/R124	61/11/28
R401C	R22/R152a/R124	33/15/52
R402A	R125/R290/R22	60/2/38
R402B	R125/R290/R22	38/2/60
R404A	R125/R143a/R134a	44/52/4
R407A	R32/R125/R134a	20/40/40
R407B	R32/R125/R134a	10/70/20
R407C	R32/R125/R134a	23/25/52
R407D	R32/R125/R134a	15/15/70
R410A	R32/R125	50/50
R410B	R32/R125	45/55

## 5. 无机化合物制冷剂

无机化合物制冷剂是较早被采用的一类制冷剂,主要有氨、空气、水和二氧化碳等。无机化合物类制冷剂的代号由R和700序号组成,700序号中的后两个数字表示该化合物相对分子质量的整数部分或近似整数部分。当有两种或两种以上的制冷剂相对分子质量整数部分或近似整数部分相同时,可在其余的制冷剂编号后加“A”、“B”等以示区别,见表1-5。

表1-5 无机化合物制冷剂

制冷剂代号	化学名称	化学分子式	相对分子质量
R702	氢	H <sub>2</sub>	2.015 9
R704	氦	He	4.002 6
R717	氨	NH <sub>3</sub>	17.03
R718	水	H <sub>2</sub> O	18.02
R728	氮	N <sub>2</sub>	28.013
R729	空气		28.97
R744	二氧化碳	CO <sub>2</sub>	44.01
R744A	氧化亚氮	N <sub>2</sub> O	44.02
R764	二氧化硫	SO <sub>2</sub>	64.07

## 二、按制冷剂的标准沸点和30℃时冷凝压力分类

在蒸气压缩式制冷循环中所应用的制冷剂常按其标准沸点 $t_s$ 和30℃下的冷凝压力 $p_k$ 分类,通常可分为高温低压、中温中压、低温高压制冷剂,见表1-6。

表1-6 制冷剂按 $t_s$ 和 $p_k$ 分类

类别	标准沸点	30℃时冷凝压力	制冷剂举例	应用举例
	℃/1 atm	MPa		
高温低压制冷剂	>0	<0.3	R11、R21、R113、R114、R142	离心式制冷空调系统
中温中压制冷剂	-60~0	0.3~2	R717、R12、R22、R502、R500	普通单级压缩和双级压缩的活塞式制冷压缩机, -60℃以上的制冷装置
低温高压制冷剂	<-60	>2	R13、R14、R23、R503	深冷设备和复叠式制冷装置的低温部分

## 第二节 制冷剂选用要求

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,同时也会影响到制冷循环



的形式、设备结构及经济技术性能。因此,合理地选用制冷剂是一个很重要的问题。通常从热力学、物理化学、安全性、对环境影响和经济性等方面对制冷剂的性能和要求加以考虑。

### 一、热力学方面的要求

1. 标准沸点  $t_s$  要求低。这是一个必要条件。这样不仅可以制取较低的温度,而且可以在一定的蒸发温度下,使其蒸发压力高于大气压力,以避免空气进入制冷系统影响制冷效果。另外,系统一旦发生泄漏时,也易于发现。

2. 要求制冷剂在常温下的冷凝压力  $p_k$  应尽量低些,以免处于高压工作下的压缩机、冷凝器及排气管道等设备的耐压要求过高。另外,冷凝压力过高会增加导致制冷剂向外渗漏的可能性和引起消耗功率增大。

3. 临界温度要高,凝固温度要低,以保证制冷剂在较广的温度范围内安全工作。临界温度高,制冷剂在常温条件下能够液化,既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。

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,可得到较大的单位制冷量。为得到相同的制冷量  $Q_0$ ,可减少制冷剂的循环量。

5. 对于大型制冷系统,要求制冷剂的单位容积制冷量  $q_v$  尽可能地大。在制冷量  $Q_0$  一定时,可减少制冷剂的循环量,从而减小制冷剂的用量和管道的直径。但对于小型制冷系统,要求单位容积制冷量  $q_v$  小些,这样可不至于让制冷剂所通过的流道截面太窄而增加制冷剂的流动阻力和降低制冷机效率,减少制造加工的难度。

### 二、物理化学方面的要求

1. 要求制冷剂的粘度尽可能小。粘度小可增加制冷剂的传热性能和减小流动阻力。

2. 导热系数要高。导热系数高可提高换热设备的传热系数,减少换热设备的换热面积。

3. 制冷剂的热化学稳定性要好,高温下不分解,对制冷机密封材料的膨润作用要尽可能小。

4. 与润滑油的溶解性。制冷剂在润滑油中的溶解性可分为完全溶解、微溶解和完全不溶解。当制冷剂与润滑油完全溶解时,能为机件润滑创造良好条件,即在冷凝器等热交换器面上不易形成油膜,传热效果较好。另一方面,当制冷剂与润滑油完全溶解时,也会使润滑油的粘度降低,使制冷剂沸腾时泡沫增多,造成蒸发器中的液面不稳定并在运行时使制冷剂的耗油量增大,也使系统中的油不易排除。当制冷剂与润滑油完全不溶时,制冷系统的蒸发温度比较稳定,在制冷设备中制冷剂与润滑油易于分离,但是会在热交换器换热表面形成油膜而影响换热。微溶于油的制冷剂的优缺点介于两者之间。

一般认为,R717、R13、R14 等是不溶于油的制冷剂;R22、R114 等是微溶于油的制冷剂;R11、R12、R21、R113 等是完全溶于油的制冷剂。氟利昂制冷剂在润滑油中的溶解性随氯原子的减少而增加。同时,制冷剂与润滑油的互溶性,除了与制冷剂的种类有关外,还与温度、压力、润滑油的成分有关。

5. 电绝缘性。在半封闭和全封闭压缩机中电动机线圈与制冷剂、润滑油直接接触,因此要