



面向 21 世纪 高职高专教材

制冷技术及设备 (制冷与空调专业)

● 濮 伟 主 编
● 刘培琴 副主编

上海交通大学出版社

面向 21 世纪高职高专教材

制冷技术及设备

(制冷与空调专业)

主 编 濮 伟

副主编 刘培琴

上海交通大学出版社

内 容 提 要

由于经济发展的需要,“制冷与空调”在各经济部门和家居中得到广泛应用,故而对专业人才培养和专业知识了解提出了新的要求,为满足此需要和行业特色,特编写这本书。本书是制冷与空调的理论用书,对制冷剂与载冷剂的性质、单级和多级蒸气压缩制冷循环、吸收式制冷循环的工作原理、热力计算、参数对工况的影响、热泵技术、制冷压缩机(包括活塞式制冷压缩机、螺杆式制冷压缩机、离心式制冷压缩机、涡旋式制冷压缩机等)和制冷设备(包括冷凝器、蒸发器、制冷系统附件、分离设备等)的工作原理、主要零部件及总体结构作了介绍;此外,对其他制冷系统和变频技术的应用也作了介绍。

本书可作为高职高专制冷与空调专业教材,还可供自学专科、成人专科、职业培训等作教材用书,也可供其他学校有关人员使用。

图书在版编目(CIP)数据

制冷技术及设备 / 濮伟主编. —上海: 上海交通大学出版社, 2006

制冷与空调专业

ISBN 7-313-04055-5

I. 制... II. 濮... III. ①制冷技术 - 高等学校: 技术学校 - 教材 ②制冷 - 设备 - 高等学校: 技术学校 - 教材 IV. TB6

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第060059号

制冷技术及设备

(制冷与空调专业)

濮 伟 主 编

上海交通大学出版社出版发行

(上海市番禺路 877 号 邮政编码 200030)

电话: 64071208 出版人: 张天蔚

常熟市文化印刷有限公司印刷 全国新华书店经销

开本: 787mm × 1092mm 1/16 印张: 21.75 字数: 533 千字

2006 年 3 月第 1 版 2006 年 3 月第 1 次印刷

印数: 1 - 3 050

ISBN 7 - 313 - 04055 - 5/TB · 069 定价: 34.00 元

版权所有 侵权必究

前 言

随着我国现代化水平的不断发展、人民生活水平的稳步提高,制冷技术及设备的应用几乎渗透到生产、生活的各个方面,使社会上产生了制冷技术人员严重不足的现象。同时社会对制冷技术人员的要求也愈来愈高。近年来,全国已有不少各类学校先后开设和正在准备开设“制冷与空调”类专业,以满足社会对制冷技术人员不断增长的需求。

本书着力体现能力培养的目标,并结合生产实际,编写内容包括:制冷剂与载冷剂性能,压缩式制冷、吸收式制冷的工作原理及热力性能分析,制冷压缩机、家用与商用制冷设备和工业制冷装置。本书是高职高专的首选教材,也可供自学考试、成人专科、电视大专等作教材选用,还可作为业务岗位培训和广大企业职工的自学读物。

本书由南京化工职业技术学院濮伟副教授担任主编,天津职业大学刘培琴讲师担任副主编。参加编写的有:濮伟(绪论、第8、9、10、11章);刘培琴(第1、2、3章);福州大学化学化工学院李学来(第4、5章);南京化工职业技术学院施健(第6、7章)。

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,只在书后列出了相关参考文献,如有疏漏,望能得到有关作者的谅解。

本书承上海交通大学徐德胜教授主审,并在整个编写过程中给予编者全面指导和订正,在此谨致谢意。

本书出版后,衷心希望得到广大师生和读者的批评指正,以使本书不断完善和提高。

编者

2005年10月

绪论	1
第1章 制冷剂与载冷剂	6
1.1 制冷剂	6
1.2 载冷剂	14
小结	15
思考题	16
第2章 单级蒸气压缩制冷循环	17
2.1 单级蒸气压缩制冷的理论循环	17
2.2 液体过冷、吸气过热及回热循环	19
2.3 单级蒸气压缩制冷的实际循环与热力计算	24
2.4 冷凝、蒸发温度对制冷机性能的影响及制冷机的工况	33
小结	39
思考题	40
第3章 多级压缩与复叠式制冷循环	42
3.1 采用多级压缩与复叠式制冷循环的必要性	42
3.2 两级蒸气压缩制冷循环	43
3.3 三级蒸气压缩制冷循环	52
3.4 复叠式制冷循环	54
小结	57
思考题	58
第4章 吸收式制冷循环	60
4.1 吸收式制冷机的工质	60
4.2 吸收式制冷机的工作原理	71
4.3 溴化锂吸收式制冷机的理论循环及其计算	72
4.4 溴化锂吸收式制冷机的实际循环	77
4.5 单级氨吸收式制冷机循环	84
小结	87
思考题	88
第5章 其他制冷系统简介	89
5.1 相变制冷	89
5.2 无相变制冷	99
小结	115
思考题	117





2

第6章 热泵	118
6.1 热泵工作原理与特点	118
6.2 热泵的分类	122
6.3 压缩式热泵	123
6.4 吸收式热泵	127
6.5 喷射式热泵	130
6.6 热电式热泵(珀尔帖热泵)	134
6.7 热泵的应用	135
6.8 热泵的历史与发展	147
小结	149
思考题	149
第7章 制冷压缩机	150
7.1 制冷压缩机简介	150
7.2 活塞式制冷压缩机	157
7.3 螺杆式制冷压缩机	193
7.4 其他制冷压缩机	205
小结	218
思考题	218
第8章 制冷系统的换热设备	220
8.1 冷凝器	220
8.2 蒸发器	232
8.3 中间冷却器和回热器	249
8.4 冷凝-蒸发器	253
小结	253
思考题	255
第9章 节流器和主要阀件	256
9.1 概述	256
9.2 节流阀和毛细管	258
9.3 其他阀件	270
小结	277
思考题	278
第10章 制冷系统其他辅助设备	279
10.1 润滑油的分离及收集设备	279
10.2 制冷剂的贮存及气液分离设备	283

10.3 制冷剂的净化设备	287
10.4 安全保护及其他辅助设备	294
小结	301
思考题	302
第 11 章 变频新技术介绍	303
11.1 变频技术的研究发展动向	303
11.2 变频空调器控制技术的技术现状与发展趋势	306
11.3 螺杆变频压缩机简介	311
11.4 变频空调系统运行特性	313
附录一 制冷剂的热力性质表	321
表 1 R717 饱和液体及饱和蒸气热力性质表	321
表 2 R12 饱和液体及饱和蒸气热力性质表	323
表 3 R22 饱和液体及饱和蒸气热力性质表	325
附录二 我国开启式制冷压缩机基本参数表	330
附录三 制冷剂的热力性质图	331
图 1 R717lgp-h 图	331
图 2 R12lgp-h 图	332
图 3 R22lgp-h 图	333
图 4 R134algp-h 图	334
图 5 R600algp-h 图	335
图 6 NH ₃ -H ₂ O 溶液的 h-ξ 图	336
图 7 LiBr-H ₂ O 溶液的 h-ξ 图	337
参考文献	338



绪 论

制冷技术是为适应人们在生活和生产中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。

在漫长的生活和生产实践活动中,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°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°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得缓慢,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,这种热电效应既可用于测温,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,对制冷提出更高的要求。随着工业、农业、国防、建筑、科学技术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提高。

一、人工制冷

1. 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却到环境温度以下,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的机器和设备的总和称为制冷机,也把制冷设备和用冷设备的总和称制冷装置。

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、太阳能及其他形式的能量。

2. 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 120K 以上;
- ② 深度制冷 120~20K;
- ③ 低温制冷 20~0.3K;
- ④ 超低温制冷 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。故制冷温度不同,考虑问题的方法也应不同。

3. 制冷设备

制冷技术中常用的制冷机器设备有:制冷压缩机、冷凝器、蒸发器、节流器、中间冷却器、回热器等。而辅助设备有:油分离器、贮液器、集油器、阀件等。各种辅助设备虽然不参加制冷循环中的热力过程变化,但应用了辅助设备可提高整个系统的效率和安全性。

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。制冷技术和制冷空调机器设备不仅应用于国民经济各个领域,而且早已渗透到人们的衣、食、住、行等日常生活之中。

1. 食品工业方面

众所周知,肉类、鱼类、蛋类、果蔬等易腐食品,从生产、贮运到销售往往具有一定的周期,为确保易腐食品从生产到销售等环节中不发生腐烂变质,需将其冻藏或冷藏。目前,食品工业、商业流通中广泛应用各种制冷技术和制冷机器,如:冷藏库、冷藏汽车、冷藏列车、冷藏船、冷藏销售柜台、冰箱等,在啤酒、冷饮、罐头食品等生产、贮运、销售中也需应用制冷机器设备。通常,把这种从食品生产到销售的各个环节中不断采用冷藏保存的系统称为冷藏链。食品冷藏链既可以保证食品的质量,减少在生产和销售中的损耗,又可以调剂市场,平衡季节性和地区性的供需矛盾。

2. 空气调节工程方面

空气调节分舒适性空调和工艺性空调两大类。舒适性空调是为了满足人们工作和生活的需要,创造一个使人感到舒适的气候环境,以提高人们的工作效率和保障身心健康。如办公室、实验室、车间、车船、飞机等客运交通工具,宾馆、会堂、剧场、体育馆、候车(船、机)室等,都需要舒适性空调。工艺性空调是为了满足某些产品在生产工艺过程中的需要,如纺织厂、印刷厂、造纸厂、精密仪器加工和装配车间、精密计量室等,都需要工艺性空调。空气调节中的制冷机器设备,不仅可用于空气的冷却和干燥,而且还可以用来加热空气——供热,即所谓热泵供热。

3. 工业生产方面

对钢进行低温处理($-70\sim 90^{\circ}\text{C}$),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;合成橡胶、合成树脂、燃料、化肥的生产和石油裂解需要制冷,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。

4. 农牧业方面

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。

5. 建筑业方面

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。

6. 国防工业方面

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,所有这些都需要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。

7. 医疗卫生方面

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”等先进医疗技术也无不都是制冷技术的应用。

综上所述,制冷技术和制冷机器设备的应用是很广泛的,随着国民经济的发展,科学技术的进步,人民生活水平的不断提高,必定会促进制冷与空调行业的大发展。

三、制冷技术的发展概况

1. 制冷技术的发展历史

早在 200 多年前,1790 年,汤姆逊·哈里斯(Thomas Harris)和约翰·朗(John Long)最早在英国取得关于制冷机的专利。1834 年,英国人乔伯·泼金斯(Jacob Perkins)在英国取得用乙醚做工质的制冷机专利,其工作原理为:手动压缩机从蒸发器中吸出气化的乙醚蒸气,加压后经冷凝器冷凝成乙醚液体,再经重力阀进入蒸发器中。蒸发器中的乙醚因吸热汽化而使容器中的液体降温。

1851 年,约翰·高里(John Gorrie)在美国取得第一个制冷机专利,他采用压缩空气进行制冰。在澳大利亚,詹姆斯·哈里逊(James Harrison)发明了乙醚制冷机,并在 1860 年制造出世界首套制冰装置,用于啤酒生产。1873 年,英国人波义耳发明了氨制冷机。

1875 年,德国人林德发明了氨压缩式制冷机。

1881 年,世界上第一座冷库在伦敦和波士顿建成。1904 年制冷量为 82kW 的空调系统在纽约的斯托克交易所投入运行。20 世纪后,蒸气压缩式制冷机的发展很快,压缩机的种类、型式增多,机器的转速提高,结构更紧凑,重量更轻,效率和自动化程度不断提高,新型、高效制冷剂也不断出现。

19 世纪 50 年代试制出第一台氨水吸收式制冷机,1890 年试制出第一台蒸汽喷射式制冷机,1945 年试制成第一台溴化锂吸收式制冷机。随着半导体技术的发展,半导体制冷技术也得到了应用和发展。

2. 制冷技术在我国的发展情况

由于我国长期处于半封建、半殖民地的社会,制冷技术和制冷机器与其他机械工业一样得不到正常的发展,直至解放前夕,全国仅上海、天津、汉口等几个城市建有少数冷库,总库容量小于 3 万吨,上海有几家很小的“冰箱厂”仅能依靠进口零配件、进行维修业务。

解放后,制冷与空调行业得到飞速发展。50多年来,我国的商业、外贸、水产系统的冷库建设发展较快,目前冷库总容量在400万吨以上。制冷机工业也有较快发展,从20世纪50年代仿制苏、美活塞式制冷压缩机,到60年代开始自行设计和制造高速多缸活塞式制冷压缩机。1964年国家第一机械工业部制订了5种缸径的中小型活塞式制冷压缩机系列的有关标准。1958年试制成功离心式制冷压缩机。1971年试制成功螺杆式制冷压缩机。目前国内形成有一定基础的科研、教学、设计、生产体系,具有制造活塞式、螺杆式、离心式、蒸汽喷射式和热电式六大类制冷机的能力。

我国以科龙公司、海尔公司、美的公司、春兰公司为代表的民族制冷企业,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。科龙的品牌价值已达96亿人民币;科龙公司产品辐射亚洲、欧洲、非洲、澳洲和南、北美洲,成为国际市场上备受关注的中国家电产品;美的公司现在已建立起遍布五大洲60多个国家和地区的全球营销网络;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,一种能使空调制热量提高20%、化霜次数减少70%的智能化霜技术最近由春兰率先开发成功;海尔公司的冰箱在德国的销售量是欧洲国家产品无法比拟的,并在美国、中东、日本、亚太、欧洲设立了销售网。

我国的制冷技术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,在十几年的发展中,走过了国外需四五十年发展之路,制冷行业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。

制冷与空调设备的种类、型式日益增多。随着新技术、新工艺、新材料的研究和应用,促使高效、节能的新设备不断出现。特别在热交换设备和空气净化设备方面,研制和开发新产品一直是十分活跃的领域。过去在热交换设备中主要应用间壁式换热器,其中以管式换热器用得最为广泛。为了强化传热、提高单位面积换热量,使换热器的结构紧凑,各种新型的翅化式热交换管已广泛地用于制冷与空调装置的各种换热器中,例如采用绕金属丝的翅化管、36翅的低螺纹管、超热流C管和各種热管式换热器等,有效地增大了传热面积、提高了传热系统效率、节省了金属耗材、减少了设备体积,在空气净化设备中,人们对空气成分的要求越来越高,空气滤化器和空气发生器的应用日益广泛,计算机的普及应用,为制冷与空调设备的研究开辟了美好的前景。特别是计算机的快速计算、计算机的辅助设计和辅助制造(CAD、CAM)为方案的比较、工艺设计、设备制造都带来了很大的方便。因而为制冷与空调设备的开发、设计、制造创造了有利的条件。

3. 近几年制冷技术在下述几方面的发展

(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

主要有以下几方面:

① 辅助设计。利用电子计算机编制制冷装置可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益。

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。

四、“制冷技术及设备”课的性质、任务和内容

《制冷技术及设备》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(高职高专)教学计划(三年制)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。

《制冷技术及设备》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、性能、制冷设备的使用、选型和技术改造的能力,要求学生能掌握常用制冷设备的工作原理、性能、结构特点、运行维护和选型等方面的技术,为学生将来在制冷与空调行业从事制冷空调机器设备的使用、管理和技术改造工作打下一定的基础。

五、学习“制冷技术及设备”课的要求和方法

“制冷技术及设备”是一门理论性和实践性都很强的课程,通过本书的学习,要达到下列基本要求:

- ① 了解制冷剂、载冷剂的分类、特点。掌握热工的基础知识。
- ② 掌握单级蒸汽压缩制冷的组成、原理、热力计算及各种影响因素的分析。
- ③ 掌握多级蒸汽压缩制冷的组成、工作过程及工作特点。
- ④ 了解吸收式制冷的原理、类型、工作过程与热力计算。
- ⑤ 了解其他各类制冷方法的简单原理,并了解热泵的原理、特点、分类及应用。
- ⑥ 了解制冷压缩机等机器的基本理论、工作原理、结构类型、性能、特点、应用、型号编制及选型方法,能正确使用、选型、维护保养及简单故障的排除。
- ⑦ 了解当前制冷技术的状况及今后的发展方向。
- ⑧ 能够查阅有关制冷技术及设备的相关标准、图表、规范手册等资料。
- ⑨ 了解制冷空调机器设备的现状和发展趋势。

为了学好本书,建议按以下方法进行学习:

① 切实掌握有关书本的相关知识。本书的学习与“机械制图”、“流体力学与传热”、“工程力学”、“机构与机械零件”等课程密切相关,若结合《制冷与空调装置安装修理及管理》等平行专业书一起学习,效果更佳。

② 必须理论联系实际进行学习。本书理论内容较多,实践性强,若能结合制冷装置安装修理实践课同步学习,动手拆装机器,定能获得事半功倍的效果:

第 1 章 制冷剂与载冷剂

1.1 制冷剂

制冷剂是制冷系统中完成制冷循环以实现连续制冷的工质,也称为制冷工质。目前作为制冷剂的化合物有很多,但用于冷藏、空调制冷技术的仅有十多种。

1.1.1 制冷剂的分类与代号

1. 无机化合物制冷剂

无机化合物制冷剂是最早被采用的一种制冷剂,主要有水、氨、二氧化碳、氮气等。为了书写方便,国际上规定用“R×××”作为表示制冷剂的代号,对于无机化合物制冷剂,“R”后面的第一位数字为 7,7 后面为该物质的分子量的整数,如表 1-1 所示。

表 1-1 制冷剂的代号

物质名称	NH ₃	H ₂ O	CO ₂	SO ₂	N ₂ O
分子量的整数部分	17	18	44	64	44
符号表示	R717	R718	R744	R764	R744a

表 1-1 中,因为 CO₂ 和 N₂O 分子量的整数部分相同,为区别起见,规定用 R744 表示 CO₂,R744a 表示 N₂O。

2. 碳化合物制冷剂(氟利昂)

氟利昂是饱和碳氢化合物的卤素衍生物的总称。氟利昂的化学分子式为 C_mH_nF_xCl_yBr_z,其原子数 m, n, x, y, z 之间有 $2m+2=n+x+y+z$ 的关系。氟利昂的代号用“R×××B×”表示。第一位数字为 $m-1$,该值为零则省略不写;第二位数字为 $n+1$;第三位数字为 x ;第四位数字为 z ,若为零则与字母“B”一起省略。例如:一氟一氟甲烷分子式为 CHF₂Cl,因为 $m-1=0, n+1=2, x=2, z=0$,故代号为 R22,称氟利昂 22;一溴三氟甲烷分子式为 CF₃Br, $m-1=0, n+1=1, x=3, z=1$,代号为 R13B1,称氟利昂 13B1。如表 1-2 所示。

表 1-2 氟利昂制冷剂的代号

化学名称	分子式	m, n, x, z 的数值	制冷剂代号
一氟三氟甲烷	CFCl ₃	$m=1, n=0, x=1$	R11
二氟二氟甲烷	CF ₂ Cl ₂	$m=1, n=0, x=2$	R12
二氟一氟甲烷	CHF ₂ Cl	$m=1, n=1, x=2$	R22
五氟一氟乙烷	C ₂ F ₅ Cl	$m=2, n=0, x=5$	R115
三氟一溴甲烷	CF ₃ Br	$m=1, n=0, x=3, z=1$	R13B1

3. 饱和碳氢化合物制冷剂

饱和碳氢化合物制冷剂的命名也按氟利昂的命名方式进行,如:甲烷为 R50、乙烷为 R170,但丁烷写作 R600。

4. 不饱和碳氢化合物制冷剂

不饱和碳氢化合物制冷剂及其卤族衍生物制冷剂的命名编写是在 R 后面先写一个“1”,然后按氟利昂命名规则编写。如二氯二氟乙烷为 R1112a、四氟乙烯为 R1114。

5. 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。共沸混合物制冷剂有一个沸点,在该点处,蒸气成分与溶液成分相同,在一定压力下,液体蒸发成气体时沸腾温度不发生变化。

已经商品化的共沸混合物制冷剂的命名是在“500”序号中按开发的顺序规定其识别编号。如 R500、R501、R502 等。

6. 高温、中温和低温制冷剂

高温制冷剂主要用于空气调节用制冷装置和热泵装置中,中温制冷剂用于一般的单级及双级压缩式制冷机中,而低温制冷剂则用于复叠式制冷装置的低温部分。

以上各种制冷剂按工作压力分类,如表 1-3 所示。

表 1-3 制冷剂按冷凝压力(或标准沸点)分类

类别	制冷剂	30℃时的冷凝压力 p_k (绝对压力)/MPa	标准沸腾温度 $t_{bs}/℃$
高压制冷剂 (低温制剂)	甲烷、乙烷、乙烯、R13、 R23、R503 等	2~7	≤ -50
中压制冷剂 (中温制剂)	R717、R12、R22、R500、 R502、丙烯等	0.3~2	≤ 0
低压制冷剂 (高温制剂)	R11、R21、R113、R114、 R142 等	≤ 0.3	> 0

1.1.2 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(氟利昂)、无机物类、饱和碳氢化合物类等。目前使用最为广泛的制冷剂有氟利昂、氨和氟利昂的混合溶液等,表 1-4 列出了一些常用制冷剂及物性参数。

1. 水的特性

水属于无机物制冷剂,是最容易得到、最为安全的物质。水的沸点 100℃,冰点 0℃,适于制取 0℃以上的温度。水无毒、无味、不燃、不爆,而且汽化潜热最大,约为 2500kJ/kg 左右。但在常压下水的饱和温度较高,达 100℃,且水蒸气比水的体积大,蒸发压力低,使系统处于高真空状态。所以水用作制冷剂的实用范围受到一定的限制,一般只适用于空调用的吸收式和

蒸汽喷射式制冷机中。

表 1-4 常用制冷剂及其物性参数

制冷剂名称	化学分子式	代号	分子量	标准气压下沸腾温度/℃	临界点温度/℃	临界压力/MPa	标准气压下凝固温度/℃
水	H ₂ O	R718	18.016	100.00	374.15	22.114	0.00
氨	NH ₃	R717	17.031	-33.40	132.4	11.290	-77.7
一氟三氯甲烷	CFCl ₃	R11	137.39	23.7	197.78	4.371	-111.0
二氟二氯甲烷	CF ₂ Cl ₂	R12	120.92	-29.8	112.04	4.112	-155.0
三氟一氯甲烷	CF ₃ Cl	R13	104.47	-81.5	28.78	3.865	-180.0
四氟甲烷	CF ₄	R14	88.01	-128.0	-45.45	3.744	-184.0
一氟二氯甲烷	CHFC1 ₂	R21	102.92	8.9	178.5	5.163	-135.0
二氟一氯甲烷	CHF ₂ Cl	R22	86.48	-40.76	96.0	4.932	-160.0
三氟三氯乙烷	C ₂ F ₃ Cl ₃	R113	187.39	47.68	214.1	3.412	-36.6
四氟二氯乙烷	C ₂ F ₄ Cl ₂	R114	170.01	3.5	145.8	3.273	-94.0
五氟一氯乙烷	C ₂ F ₅ Cl	R115	154.48	-38.0	80.0	3.234	-106.0
二氟一氯乙烷	C ₂ H ₃ F ₂ Cl	R142	100.48	-9.25	137	4.116	-130.8
乙烯	C ₂ H ₄	R1150	28.05	-103.7	9.5	5.057	-169.6
丙烯	C ₃ H ₆	R1270	42.08	-47.7	91.4	4.596	-185.0

2. 氨的特性

氨也属于无机物制冷剂,是应用较为广泛的制冷剂。沸点-33.4℃,凝固点-77.7℃。氨有较好的热力学性质和热物理性质,在常温和普通高温范围内压力比较适中。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,制取相同的冷量时,氨制冷压缩机的尺寸较小。此外,氨的价格低廉,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。

氨对人体有较大的毒性,易燃、易爆。氨蒸气无色,具有强烈的刺激性臭味。它可以刺激人的眼睛及呼吸器官。氨液飞溅到人的皮肤上会引起肿胀甚至冻伤。当氨蒸气在空气中容积浓度达到0.5%~0.6%时,人停留半个小时即可中毒。

氨能以任意比例与水互溶,形成氨水溶液,在普通低温下水分不会析出造成冰堵,所以氨系统中可不设干燥器。但氨系统中有水分时会加剧对金属的腐蚀,同时使制冷量减少,所以使用中仍限制氨中的水分含量不超过0.2%。

氨在润滑油中的溶解度很小,因此氨制冷剂管道及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、储液器及蒸发器的下部,这些部位应定期放油。

氨对钢铁不起腐蚀作用,但含有水分时将要腐蚀锌、铜、青铜及其他铜合金,只有磷青铜除外。因此,氨制冷剂中不允许使用铜和铜合金,只有那些连杆衬套、密封环等零件才允许使用高锡磷青铜。

由于氨具有强烈的臭味,人们依靠嗅觉就容易判别是否有泄漏。又由于氨极宜溶于水,因此不能用肥皂水检漏。通常用酚酞试剂和试纸检漏,如有泄漏,试剂或试纸会变成红色。

目前氨制冷机常用于蒸发温度在 -65°C 以上的大中型、单双级制冷机中。

3. 氟利昂的特性

氟利昂是应用较为广泛的一种制冷剂,目前主要应用于中小型活塞式、螺杆式压缩机、空调用离心式制冷压缩机、低温制冷装置及特殊要求的制冷装置中。大部分氟利昂具有无毒或低毒,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优点。

(1) 常用氟利昂制冷剂

① R12 R12是目前应用最广泛的中温制冷剂,沸点 -29.8°C ,凝固点 -155°C ,可用来制取 -70°C 以上的低温制冷量。

R12无色、无味、毒性小、不燃烧、不爆炸,但当温度达到 400°C 以上时,遇明火会分解出具有毒性的光气。R12等熵指数小,所以压缩机的排气温度较低。单位容积制冷量小,分子量大,流动阻力大,热导率较小。

R12在水中的溶解度很小,低温状态下水宜析出而形成冰堵,因此R12系统内必须严格限制含水量,并规定R12产品的含水量不得超过 0.0025% ,且系统中的设备和管道在充灌R12前必须经过干燥处理,在充液管路中及节流阀的管路中加设干燥器。

R12对矿物油有无限的溶解性,在传热管表面不宜形成油膜,但在蒸发器中,随着R12的不断蒸发,润滑油在其中不断积存,使蒸发温度升高,传热系数下降。由于润滑油的相对密度比R12小,油飘浮在R12液面上,无法直接从容器底部放出,因此,蒸发器多采用干式蛇管式,从上部供液,下部回气,使润滑油与R12蒸气一同返回压缩机。在压缩机曲轴箱内,油中会溶解R12,降低了油的粘度,因此应采用粘度较高的润滑油。另外,当压缩机停机时,曲轴箱内压力升高,油中R12的溶解量增多,当压缩机启动时,曲轴箱内压力突然降低,油中的R12便大量蒸发,将油滴带入系统,并形成泡沫,造成曲轴箱内油位下降,影响油泵的正常工作。所以往往在曲轴箱底部设有电加热器,启动前先对润滑油加热,使R12蒸发,以免启动时造成失油现象。

R12对一般金属没有腐蚀作用,但能腐蚀镁和含镁量超过 2% 的合金。含水后会产生镀铜现象。R12对天然橡胶及塑料等有机物有膨润作用,故密封材料应采用耐氟的丁腈橡胶或氟醇橡胶,封闭式压缩机中电动机绕组导线要涂覆耐氟绝缘漆,电动机采用B级或E级绝缘。

R12的渗透性很强,故对铸件质量及系统的密封性要求较高。检查R12泄漏常用肥皂水、卤素灯或卤素仪。

R12由于压力适中,压缩终了温度低,热力性能优良,化学稳定性好,无毒、不燃、不爆等优点广泛应用于冷藏、冰箱、空调和低温设备,从家用冰箱到大型离心式制冷机中都有采用。

最近发现R12对大气臭氧层有严重的破坏作用,并产生温室效应,危及人类赖以生存的

自然环境,因此它将受到限用与禁用。

② R22 R22 也是较为常用的中温制冷剂,在相同的蒸发温度和冷凝温度下,R22 比 R12 的压力要高 60% 左右。R22 的沸点为 -40.8°C ,凝固点为 -160°C ,它在常温下的冷凝压力和单位容积制冷量与氨差不多,比 R12 要大,压缩终温介于氨和 R12 之间,能制取得最低蒸发温度为 -80°C 。

R22 无色、无味、不燃烧、不爆炸,毒性比 R12 略大,但仍然是安全的制冷剂。其传热性能与 R12 差不多,流动性比 R12 好,融水性比 R12 稍大,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,同时系统内应设干燥器。

R22 的化学性质不如 R12 稳定,它对有机物的膨润作用更强,密封材料可采用氯乙醇橡胶,密封电机线圈应采用 E 级或 F 级绝缘。

R22 有限溶解润滑油,温度高时溶解性较好,但在低温下(蒸发器中)会出现分层现象,采取的回油措施与 R12 相同。

R22 对金属的腐蚀性、泄漏性与 R12 相同。

R22 广泛用于冷藏、空调、低温设备,在活塞式、离心式、回转式压缩机系统中均有采用。由于它对大气臭氧层仅有微弱的破坏作用,故可作为 R12 的近期、过渡性替代制冷剂。

③ 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,属中温中压制冷剂。临界温度为 82.2°C ,标准沸点为 -45.4°C ,比 R22 低。当蒸发温度在 -45°C 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 的油溶性比 R22 稍差,当蒸发温度为 -32°C 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积存,可提高制冷剂的流速。R502 的溶水性比 R12 大 1.5 倍。

R502 系统中压缩机的排气温度较低,与 R12 接近,比 R22 低,从而使制冷剂的油温和全封闭压缩机电机绕组温度有明显下降。R502 的饱和压力比 R22 高,温度越低,这一特点表现越明显。

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,适用于半封闭和全封闭制冷压缩机中。

④ R134a 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。

R134a 压力适中, 17°C 以下时,饱和压力比 R12 稍低,高于 17°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。

R134a 液体比热容比 R12 大,节流损失比 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、铝等金属材料无腐蚀作用,有时会在水分的作用下,产生“镀铜”现象。R134a 不含氯原子,与现有的矿物润滑油的相溶性差。研究表明 R134a 能与聚酯类等润滑油相溶。但这类油亲水性较强,对系统运行很不利。

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和三聚乙丙橡胶或氯丁橡胶等,同时应增加封闭式压缩机电机绕组的绝缘等级。

R134a 渗透性能高,且不能用卤素检漏法检漏。其合成工艺较为复杂,目前生产成本