

制冷技术 及其应用

金苏敏 主编



机械工业出版社

制冷技术及其应用

主 编 金苏敏
参 编 万锦康 龚毅 胡忆洛
欧阳勇 陈建中 赵薇华



机械工业出版社

本书分为基础篇和应用篇。系统介绍了制冷的理论基础、基本原理和制冷系统;制冷设备中的压缩机、换热器、节流装置的结构和工作原理,常用电器与控制,制冷剂与载冷剂;制冷装置的安装、调试、操作、运行管理、维修与故障排除;制冷技术在各个领域的应用与选型。书中附有大量图表,章末附有思考题。

本书可以作为制冷设备的安装、操作、管理、维修人员,工程技术人员以及大专院校有关专业师生的工作和学习参考书,也可作为制冷设备安装、调试、操作和维修技术工人的培训教材和自学教材。

图书在版编目(CIP)数据

制冷技术及其应用/金苏敏主编. -北京:机械工业出版社,1999.5
ISBN 7-111-07074-7

I. 制… II. 金… III. 制冷技术 IV. TB66

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 07477 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑:徐 彤 版式设计:霍永明 责任校对:李秋荣

封面设计:姚 毅 责任印制:路 琳

北京机工印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2000年1月第1版第2次印刷

787mm×1092mm¹/₁₆·17.25印张·417千字

3001—5500册

定价:28.00元



凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
本社购书热线电话(010)68993821、68326677-2527

前 言

随着我国经济的发展和人民生活水平的提高,制冷技术不仅在工业、农业、国防,而且在人民生活中得到了越来越广泛的应用。特别是改革开放以来,电冰箱、空调器、冷库、冷藏柜、冷冻医疗器械等制冷设备生产和使用的迅速发展,大大促进了我国制冷技术水平的提高。

制冷是利用人为手段来制取低于环境温度环境的一门技术,涉及工程热力学、传热学、流体力学等学科。制冷一定要借助专门的装置来完成,这种装置就是制冷装置。制冷装置的设计、制造、安装、维修和管理是一门专门的科学技术,从事制冷装置的设计、生产、使用、维修和管理的人员应接受专门的培训。为此,我们编写了《制冷技术及其应用》一书,作为空调、冷库等制冷装置的安装、操作、管理、维修人员,工程技术人员以及大专院校有关专业师生的工作和学习参考书,也可作为安装、调试、操作和维修技术工人的培训教材和自学教材。

本书分为基础篇和应用篇两部分。基础篇介绍了制冷的理论知识,制冷技术的基本原理,制冷设备各部件的结构,制冷剂与载冷剂的特性,常用电器与控制,以及制冷装置的安装、调试、操作、管理、维修和故障排除。考虑到适应各层次人员的使用,本书在编写中力求通俗易懂,不介绍过繁的公式推导。书中有大量的插图和参数表,每一章后都附有思考题以方便读者在学习中使用。应用篇介绍了制冷技术在各个领域中的应用与选型,冷库与冷藏、房间空调、汽车空调和低温箱的设计、维修和管理。

本书由南京化工大学金苏敏副教授编写第一至五、七、十、十一、十三章和第十五章第四节、第十八章,上海水产大学万锦康高级工程师编写第十二章和第十四章,郑州纺织工学院龚毅副教授编写第八章和第十五章第一至三、五节,合肥通用机械研究所胡忆洛高级工程师编写第六章,广东佛山粤海汽车空调机有限公司欧阳勇高级工程师编写第十六章,南京化工大学陈建中工程师编写第九章,上海制冷设备厂赵薇华工程师编写第十七章,金苏敏任主编。

由于编者的水平有限,书中错漏之处在所难免,恳请读者指正。

目 录

前言

基础篇

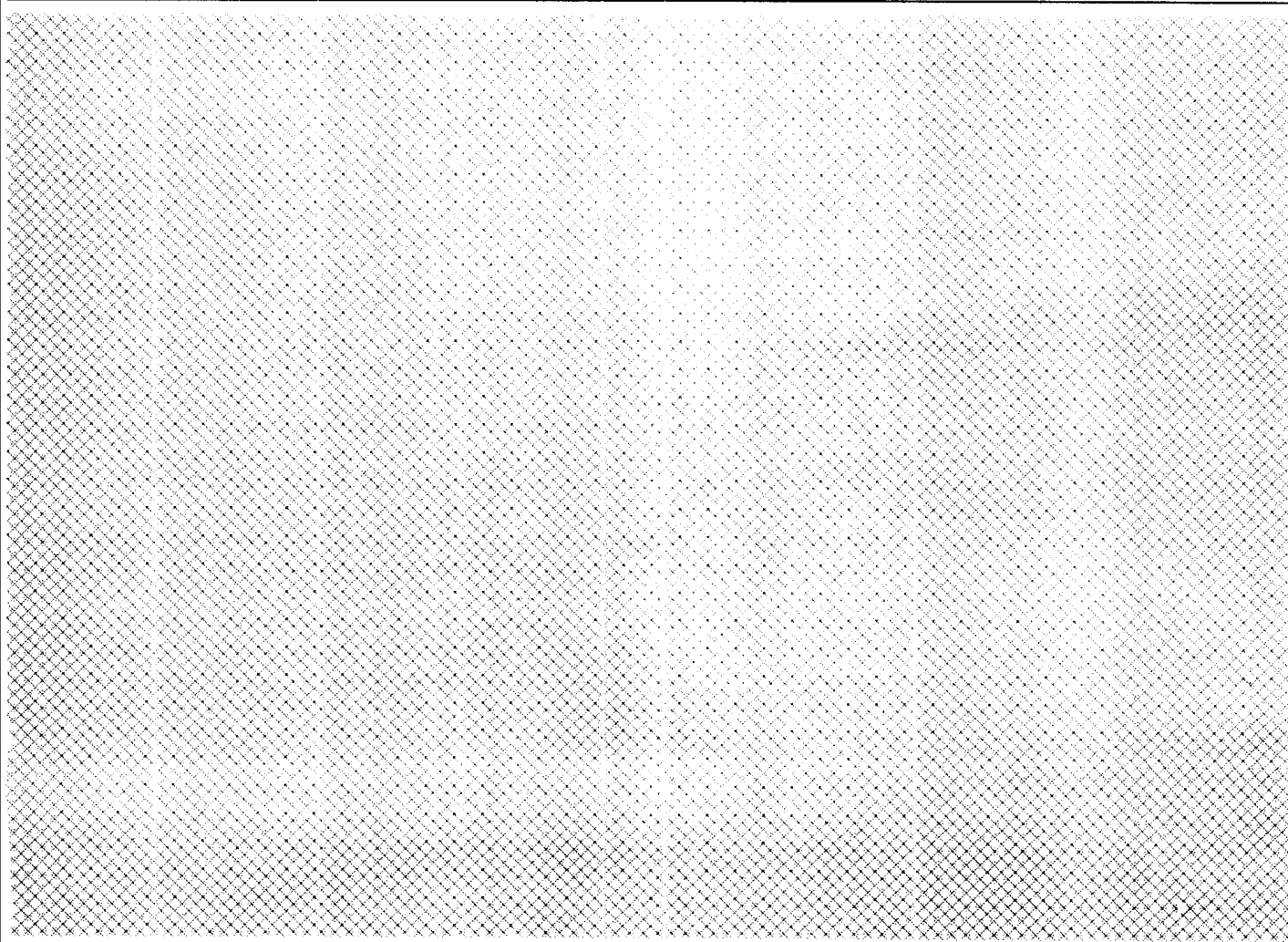
第一章 绪论	3
第一节 制冷的发展简史	3
第二节 制冷技术的应用	4
第三节 制冷的方法与种类	6
思考题	10
第二章 热工基础	11
第一节 传热学基础	11
第二节 流体力学基础	19
第三节 热力学基础	20
思考题	29
第三章 蒸气压缩式制冷循环	30
第一节 单级蒸气压缩式制冷循环	30
第二节 两级压缩式制冷循环	36
第三节 复叠式制冷循环	40
思考题	42
第四章 制冷剂、载冷剂和润滑油	43
第一节 制冷剂	43
第二节 载冷剂	49
第三节 润滑油	51
思考题	52
第五章 吸收式制冷	53
第一节 吸收式制冷原理	53
第二节 氨水吸收式制冷机	54
第三节 溴化锂吸收式制冷机	55
思考题	61
第六章 制冷压缩机	62
第一节 制冷压缩机的种类	62
第二节 活塞式制冷压缩机	67
第三节 螺杆式制冷压缩机	78
第四节 离心式制冷压缩机	81
思考题	84
第七章 换热器	85
第一节 冷凝器	85

第二节 蒸发器	91
第三节 其它换热器	95
第四节 换热器的计算	97
第五节 水冷却塔	99
思考题	100
第八章 节流装置、阀门与辅助设备 ..	101
第一节 节流装置	101
第二节 阀门	106
第三节 辅助设备	108
思考题	114
第九章 制冷设备的常用电器、电气控制与自动调节	115
第一节 常用电器	115
第二节 制冷装置的保护与控制器件	122
第三节 控制系统与控制电路举例	132
思考题	140
第十章 制冷设备的安装与调试	141
第一节 制冷设备的安装	141
第二节 制冷系统的吹污与气密性试验 ..	149
第三节 制冷剂的充注与取出	152
第四节 制冷设备的试运转与调试	154
思考题	157
第十一章 制冷设备的操作与管理	158
第一节 制冷设备的操作	158
第二节 制冷设备的安全管理	164
思考题	165
第十二章 制冷系统常见故障的分析与排除	167
第一节 制冷系统故障的检查	167
第二节 制冷系统的常见故障与排除	168
思考题	173
第十三章 制冷设备的维修	174
第一节 制冷设备维修的常用工具	174
第二节 制冷设备的维修	176
思考题	180

应用篇

第十四章 冷库与冷藏设备	183	第二节 汽车空调系统的布置与结构	229
第一节 冷库的库体结构	183	第三节 汽车空调系统的零部件	236
第二节 小型冷库容量和制冷负荷 的确定	191	第四节 汽车空调系统的维修	245
第三节 冷库制冷设备的选型	196	思考题	250
第四节 冰箱与冷柜	198	第十七章 低温箱	251
思考题	201	第一节 低温箱的总体结构与布置	251
第十五章 空调原理与空调系统	202	第二节 低温箱的制冷系统	252
第一节 空气调节与湿空气	202	第三节 低温箱箱体绝热层厚度和制 冷负荷的确定	253
第二节 空调负荷的计算与送风量 的确定	208	思考题	255
第三节 空气处理过程与空调设备	214	第十八章 制冷技术的其它应用	256
第四节 空气的湿度控制	217	第一节 冷食品制造	256
第五节 空气调节系统	220	第二节 干燥	258
思考题	227	思考题	260
第十六章 汽车空调	228	附录	261
第一节 汽车空调的发展概况与特点	228	附录 A 制冷工程常用单位换算表	261
		附录 B 制冷剂 and 湿空气的热力性质图	262
		参考文献	267

基 础 篇



第一章 绪 论

制冷技术的应用和发展是由于社会生产和人民生活的需要而产生的。自改革开放以来,冰箱和空调的生产和普及大大促进了我国制冷技术的发展。

制冷技术是一门研究人工制取低温的原理、设备及应用的科学技术。在工业生产和科学研究中,通常把制冷分为“普冷”和“深冷”(也叫低温)。通常以 -120°C 为界,制冷温度高于 -120°C 称为“普冷”,低于 -120°C 的称为“深冷”,但它们的划分界限不是绝对的。

第一节 制冷的发展简史

早在三千多年前,我国劳动人民就已开始利用天然冰进行食品冷藏和防暑降温,在冬季采集、贮藏天然冰,存到冰窖中去,供夏季使用。到了唐朝,已开始生产冰镇饮料。

上述只是人们对天然冰的收藏利用,还谈不上制冷。现代制冷技术是在18世纪中叶开始的。

1755年爱丁堡的化学教授库仑(William Cullen)利用乙醚蒸发使水结冰。他的学生布拉克(Black)从本质上解释了融化和汽化现象,提出了潜热的概念,并发明了冰量热器,标志着现代制冷技术的开始。

1834年在伦敦工作的美国发明家波尔金斯(Perkins)造出了第一台以乙醚为工质的蒸气压缩式制冷机,并正式申请了专利。这是后来所有蒸气压缩式制冷机的雏型。这台机器的重要进步是实现了闭合循环。但所使用的乙醚工质易爆。到1875年卡列(Carre)和林德(Linde)用氨作制冷剂,大大减小了设备的体积,从此蒸气压缩式制冷机在制冷装置的生产和应用占了统治地位。

在此期间,空气绝热膨胀会产生显著降温的现象开始用于制冷。1844年,美国医生高里(Gorrie)用封闭循环的空气制冷机为发烧病人建立了一座空调站,发明了空气制冷机。

1859年,开利(Carre)发明了氨水吸收式制冷系统,并申请了原理专利。

1910年左右,马利斯·莱兰克(Maurice Lehlan)在巴黎发明了蒸汽喷射式制冷系统。

19世纪,由于早期资本主义社会急迫的供给问题,促使制冷技术迅速发展,制冷技术已基本成形。

20世纪后,制冷技术有了更大的发展,1910年家用冰箱问世,1917年在美国开始作为商品投放市场。1930年,氟利昂制冷工质的出现和氟利昂制冷机的使用给制冷机的使用和制冷技术带来新的变革。

近二十年来,制冷技术的发展主要体现在以下几个方面:

(1) 范围的扩展 目前人类能达到的最低制冷温度是用原子核绝热去磁的方法达到 10^{-6} K的低温。

(2) 热泵技术 人们利用逆向循环实现热量的转换,因此热泵技术也列入制冷技术的范畴。热泵技术已成功应用于空调、化工和干燥领域。

(3) 设备规模不断扩大, 机组的种类和形式不断增多。用于空调的冷水机组制冷量可达 7000kW。

(4) 计算机的应用 计算机技术的迅猛发展, 也大大推动了制冷技术的发展和应。计算机的应用主要在以下几个方面:

1) 计算机辅助设计 CAD 和计算机辅助制造 CAM 已开始制冷机生产厂家普及应用。

2) 计算机仿真技术的应用大大降低了制冷机在设计过程中出现的失误, 大大减少了设备研制工作的试验工作量。

3) 计算机神经网络制冷设备故障诊断系统在制冷机上的使用, 使得制冷设备的操作与检修向智能化发展。

4) 制冷设备的生产管理、计划管理、财务管理等也开始使用计算机。

(5) 新制冷剂的研究 地球大气层的外层有一层同温层, 主要由臭氧组成, 称为臭氧层, 可以过滤掉太阳光中大量的紫外线, 对地球上的人类和动植物起着保护作用。由于氟利昂制冷剂系列中的某一些氟利昂制冷剂对大气的臭氧层有破坏作用和产生温室效应, 1992 年通过了《蒙特利尔议定书哥本哈根修正案》, 规定 1995 年底停止使用 CFCs 物质, 并将于 2030 年前逐步淘汰 HCFCs 物质。我们的空调、冷藏设备、热泵和其它制冷装置中制冷剂主要是 R12、R11、R22, 其中 R12、R11 属于 CFCs 物质, R22 属于 HCFCs 物质, 因此研究可以替代 CFCs 和 HCFCs 物质而又安全可靠、价格低廉的新型制冷剂是目前全球都关注的重要课题。

解放前, 我国制冷机制造行业仅限于安装、修理。解放后, 我国在这些安装、修理厂的基础上, 从仿制到开始自行设计和制造制冷机, 并制定了有关的系列和标准规范。特别是改革开放以来, 我国在引进国外先进技术的基础上进行消化吸收, 使我国目前生产的制冷机技术上上了一个新台阶, 有些产品的技术性能已达到和接近国际先进水平, 产品品种有活塞式、螺杆式、离心式、吸收式、热电式和蒸喷式制冷机, 基本上满足了国内市场需求, 有的产品已打入国际市场。国内已形成了教学、科研、设计和生产的体系, 但是与工业发达国家相比, 存在着较大的差距, 需要不断努力, 把我国的制冷行业推向一个新的水平。

第二节 制冷技术的应用

制冷技术的应用范围非常广泛, 从工农业生产到我们的日常生活, 应用范围一般可分为三个温区:

低温区 (约 -120°C 以下) 主要用于气体分离、气体液化、超导和宇航等。

中温区 ($-120\sim 5^{\circ}\text{C}$) 主要用于冷藏、冷冻、化工生产工艺过程, 生化制品的生产等。

高温区 ($5\sim 80^{\circ}\text{C}$) 主要用于空调、除湿、热泵蒸发和热泵干燥等。

制冷技术在国民经济的各个部门及人们的日常生活中的应用主要在以下几方面:

1. 冷藏

制冷技术在冷冻与冷藏上的应用主要是对易腐食品 (如鱼、肉、蛋、果类、蔬菜等食品) 进行冷加工、冷藏及冷藏运输, 以减少生产和分配中的食品损耗, 保证各个季节市场的合理分配。采用的制冷装置有冷库、冷藏汽车、冷藏船、冷藏列车、冷藏商品陈列柜、冷柜和家用冰箱等。

2. 空气调节

随着人们生活水平的提高，为了满足人们舒适的生活和工作环境，空调技术的使用得到了很大的发展。例如宾馆、商场、剧场、大型公共建筑、汽车、飞机座舱、办公室、居民住宅等的空调设备，为人们提供了适宜的生活和工作环境，不仅有益于身心健康，而且可以提高生产和工作效率。

大型集中式空调系统供冷。例如我国的首都机场，拥有空调冷量 1.2 万 kW；美国的“世界贸易中心大楼”，楼高 410m，总建筑面积 120 万 m²，拥有空调冷量 17 万 kW；日本大阪的“国际博览会”，建筑面积 80 万 m²，拥有空调冷量 10 万 kW；法国某居民住宅的空调系统，拥有空调冷量 7 万 kW，可向 6000 户居民、100 万 m² 的居住面积供冷。

3. 除湿

高温生产车间，纺织厂、造纸厂、印刷厂、胶片厂、机器设备的操作控制房，精密仪器车间，精密机床加工车间，精密计量室，计算机房等的环境除了对温度要求调节外，往往对环境的湿度也有较高的要求，这时通常使用冷冻除湿机进行除湿，以保证产品的质量，或机器、仪表的精度，或精密设备的正常特性。

4. 工业生产

在工业生产中，借助于制冷，可使气体液化、气体分离，带走化学反应中的反应热。盐类结晶，燃料、化肥的生产，天然气的液化、贮运也需要制冷。利用制冷可以对钢进行低温处理（-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。在钢铁工业中，高炉鼓风需要用制冷的的方法先将其除湿，然后再送入高炉，以降低焦化比，保证铁水质量，一般大型高炉需几千千瓦冷量。

5. 农牧业

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，保存动物良种精液等。

6. 建筑工程

利用制冷可实现冻土法开采土方。在挖掘矿井、隧道、建筑江河堤坝时，或在泥沼、砂水处掘井时，可采用冻土法使工作面不坍塌，保证施工安全。拌和混凝土时，用冰代替水，借冰的熔化热补偿水泥的固化反应热，可以制出大型混凝土构件，有效地避免了大型构件因得不到充分散热而产生内应力和裂缝等缺陷。

7. 国防工业

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，在研制和生产过程中往往需进行环境模拟实验；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，这些都需要利用制冷为其提供低温和低压环境试验条件。原子能反应堆的控制也需要制冷。人防与地下工程需要进行除湿。

8. 医疗

除了低温保存疫苗、药品、血液及皮肤外，冷冻手术，如心脏、外科、肿瘤、白内障、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。生物化学产品、药品需要利用真空冷冻干燥。

此外，电子技术、能源、新型原材料、宇宙开发、生物技术等尖端科学领域中，制冷技术也起着重要的作用。

第三节 制冷的方法与种类

制冷的方法很多，常见的有以下几种：蒸气压缩式、吸收式、蒸气喷射式和吸附式制冷，它们的共同特点都是利用液体汽化时需要吸收大量的潜热来进行制冷的。当液体处在容器内时，液体汽化形成蒸气，若此容器内除了液体及液体本身的蒸气外不存在任何其它气体，那么液体和蒸气在某一压力下将达到平衡。如果将一部分饱和和蒸气从容器中抽走，液体中就必然要再汽化一部分蒸气来维持平衡。液体汽化时，需要吸收热量，此热量称为汽化潜热，汽化潜热来自被冷却对象，它使被冷却对象变冷，或者使它维持在低于环境温度的某一低温，从而达到制冷的目的。这种利用液体汽化制冷的的方法在制冷领域里应用的最为广泛。除了上面利用液体汽化制冷的的方法以外，还有以下几种制冷方法：气体膨胀制冷、涡流管制冷和热电制冷。

在利用液体汽化制冷的的方法中，为了使液体汽化的过程连续进行，必须不断地从容器中抽走蒸气，再不断地将液体补充进去，通过一定的方法把蒸气抽走，并使它凝结成液体后再回到容器中，就能满足这一要求。从容器中抽出的蒸气，如果直接凝结成液体，所需冷却介质的温度比液体的蒸发温度还要低，而我们希望蒸气的冷凝过程在常温下实现，因此需要将蒸气的压力提高到常温下的饱和压力。这样，制冷工质将在低温、低压下蒸发，制取冷量后再在常温、高压下，向环境或冷却介质放出热量。因此，利用液体汽化方法的制冷循环由制冷工质汽化（蒸发）、蒸气升压、高压蒸气的液化（冷凝）和高压液体降压（节流）四个基本过程组成。

蒸气压缩式制冷、吸收式制冷、喷射式制冷和吸附式制冷都是根据上述原理工作的。唯一不同的是蒸气升压的方式不同。

1. 蒸气压缩式制冷

蒸气压缩式制冷系统由压缩机、冷凝器、膨胀阀、蒸发器组成（图 1-1），用管道将其连成一个封闭的系统。工质在蒸发器内吸收热量并汽化成蒸气，压缩机不断地将蒸气从蒸发器中抽走，将它压缩后，在高压下排出，这个过程需要消耗能量。经压缩的高温、高压蒸气在冷凝器内被常温冷却介质（通常是常温水或空气）冷却，凝结成高压液体。利用节流装置使高压液体节流，节流后的低压，低温湿蒸气进入蒸发器，再次汽化，吸收被冷却对象的热量，如此周而复始。

蒸气压缩式制冷机是目前应用最广泛的一种制冷机。

2. 吸收式制冷

液体汽化制冷除了上述使用压缩机不断吸走汽化产生的蒸气外，还可以利用某些物质对制冷剂蒸气有很强的吸收能力这一特性来吸收蒸气。例如水可以吸收氨蒸气，浓溴化锂溶液可以吸收水蒸气。将一只装有氨溶液的容器与一只装有水的容器共置于一个真空的球形罐内，两个容器内分别安置温度计以测量它们的温度变化，结果发现装有氨溶液的容器的温度不断的降低，而装有水的容器的温度不断的升高，这是由于水吸收氨蒸气，使氨蒸气不断汽化，汽化时从剩余的氨溶液中吸取汽化潜热所致，同时水吸收氨蒸气是一个放热过程，所以装有水

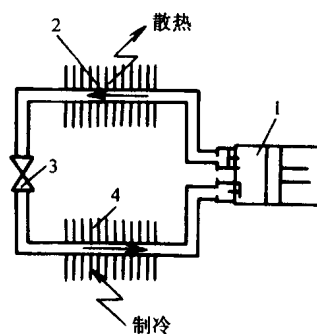


图 1-1 蒸气压缩式制冷系统
1—压缩机 2—冷凝器 3—节流装置 4—蒸发器

的容器的温度是升高的。在这一系统中氨称为制冷剂，水称为吸收剂。利用这个原理工作的制冷机称为氨水吸收式制冷机。应用浓硫酸和水制冷的系统称为硫酸水溶液吸收式制冷机。

吸收式制冷循环的工作原理如图 1-2 所示。如果将它和蒸气压缩式循环相比较，可以看出系统中的冷凝器、节流阀、蒸发器与蒸气压缩式循环的相应部件是完全相同的，而压缩机被吸收器、溶液泵、热交换器、溶液节流阀和发生器所代替，这一组部件起到和压缩机完全相同的作用。吸收器中充有氨水稀溶液，用它来吸收氨蒸气。溶液吸收氨的过程是放热过程，因此吸收器必须被冷却，否则随着温度的升高，吸收器将丧失吸收能力。由溶液泵将吸收器中形成的氨水浓溶液的压力升高，送入发生器。在发生器中溶液被加热至沸腾，产生的蒸气经过精馏后几乎是纯氨蒸气，然后被送入冷凝器。在发生器中形成的稀溶液返回吸收器中。为了保持发生器和吸收器之间的压差，在连接管道上安装了溶液节流阀。

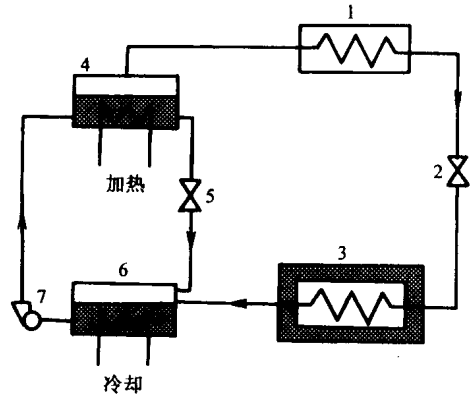


图 1-2 吸收式制冷机的工作原理
1—冷凝器 2—节流阀 3—蒸发器 4—发生器
5—溶液节流阀 6—吸收器 7—溶液泵

吸收式制冷机的另外一种类型是以水为制冷剂，溴化锂溶液为吸收剂，称为溴化锂吸收式制冷机。它与氨水吸收式制冷机的工作原理一样，只不过是用溴化锂水溶液代替了氨水溶液。由于水在 0°C 时会结冰，因此溴化锂制冷机只能制取 0°C 以上的冷量，溴化锂吸收式制冷机通常用于制取空调系统的冷水。

吸收式制冷机的加热热源可以是：蒸汽、高于 75°C 的热水、燃气、废热、化学反应热、太阳能热等。

3. 蒸汽喷射式制冷

蒸汽喷射式制冷机也是依靠液体的汽化来制冷的。这一点和蒸气压缩式及吸收式完全相同，不同的是它是利用喷射器完成从蒸发器中抽取并压缩蒸汽的。蒸汽喷射式制冷机主要由冷凝器、蒸发器、节流阀、泵、喷射器等组成。喷射器又由喷嘴 a、吸入室 b、扩压器 c 三个部分组成，如图 1-3 所示。喷射器的吸入室 b 与蒸发器相连，扩压器 c 与冷凝器相连。它的工作原理如下：

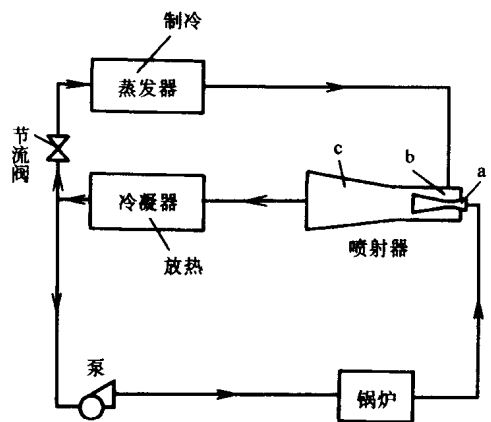


图 1-3 蒸汽喷射式制冷机的工作原理

从锅炉来的高温、高压蒸汽（称为工作蒸汽）进入喷射器，在喷嘴 a 中膨胀，获得很大的气流速度（可达 1000m/s 以上），从而在喷嘴 a 的出口处造成压力很低的真空（例如蒸发温度为 5°C ，相应的压力为 0.87kPa ），这就为蒸发器内的水在低温下汽化创造了条件。由于水汽化时需从未汽化的水中吸收汽化潜热，因而使未汽化水的温度降低（制冷），这部分低温水便可用于空气调节或其它生产工艺过程。蒸发器中产生的制冷剂蒸汽和工作蒸汽在喷嘴 a 出口处混合，一起进入扩压器 c。在扩压器 c 中，由于速度的降低而使压力升高（例如，当冷凝温度为 35°C 时，其相应压力为 5.63kPa ），然后进入冷凝器，与外部的冷却水交换热量，冷凝成液

体。出冷凝器时凝结水分为两路，一路通过节流阀降压后进入蒸发器，以补充蒸发掉的水量，另一路通过给水泵返回锅炉，重新加热，产生工作蒸汽。

图 1-3 表示的是一个封闭循环系统，在实际使用过程中，冷凝后的水往往不再入锅炉和蒸发器，而是排入冷却水池，作为循环冷却水的补充水使用，蒸发器和锅炉的补充水另设水源供给。

蒸汽喷射式制冷机同吸收式制冷机一样都是以热能代替机械能或电能，同时具有结构简单、加工方便、没有运动部件（除泵外）、运行安全可靠、使用寿命长等一系列优点，可用来制取空调用冷水，但是其制冷效率较低。由于溴化锂吸收式制冷机的效率高，因此在空调系统中蒸汽喷射式制冷机逐渐被溴化锂吸收式制冷机所取代。

4. 吸附式制冷

吸附式制冷机的驱动能源可以是工业废热、太阳能、化学反应热等低温热源。在吸附式制冷机中，制冷剂液体汽化吸收潜热制冷，汽化后的制冷剂蒸气是由对制冷剂蒸气有很强的吸附能力的吸附材料来吸收的。常用的吸附材料主要有沸石、分子筛、活性炭等，常用的制冷剂主要有水、氨、甲醇等。

沸石分子筛是一种铝硅酸矿物，具有强烈的吸水性，沸石的吸附水量对温度特别敏感，微小的温度变化将导致吸附量的较大改变，从而导致封闭系统中压力的较大变化，利用沸石温度的变化，便可使其起到压缩机的作用。

也有人工合成沸石，如 3A、4A、5A、10x、13x 等，其中对水的吸附性能以 13x 为最好。

图 1-4 所示为沸石太阳能制冷系统的原理图。白天，沸石在密封的容器内被太阳加热，含水沸石在吸取热量后开始脱附水蒸气，分压力逐渐升高。当分压力达到与环境温度所对应的饱和压力时，水蒸气在冷凝器中放出潜热，凝结成水后进入储水器（蒸发器）。夜间，沸石温度逐渐降低，吸附水的能力逐步提高，于是开始吸附蒸发器中的水蒸气，并造成系统中更低的真空状态。此时储水箱便变成蒸发器，水在低温下蒸发（如果系统压力低于 0.6kPa，水将在 0℃ 以下蒸发），吸收被冷却空间的热量，从而达到制取冷量的目的。如果采用其它热源，只要对沸石间歇地进行加热和冷却，使沸石产生脱附和吸附作用，同样能达到制冷的目的。

沸石分子筛极易吸水，因此使用前必须进行活化处理，常压下活化温度一般在 400~500℃ 之间。如果温度过低，活化后残存水量较多；温度过高，沸石的晶格有可能遭到破坏，影响甚至丧失吸附性能。如果将沸石分子筛置于真空中活化，则可降低活化再生温度。

5. 空气膨胀制冷

高压气体绝热膨胀时，对膨胀机做功，同时气体的温度降低，用这种方法可获得低温。与蒸发式制冷相比，空气膨胀制冷是一种没有相变的制冷方式，所采用的工质主要是空气。此外，根据不同的使用目的，工质也可以是 CO₂、O₂、N₂、He 或其它理想气体。这种制冷方式曾经作为船用制冷的的主要方法用了大约 20 年，后来逐渐被蒸气压缩式制冷所取代，目前主要

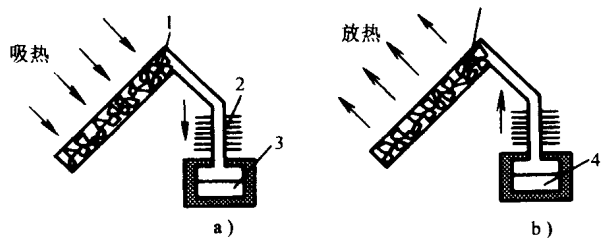


图 1-4 沸石太阳能吸附式制冷机的工作原理

a) 吸热脱附 b) 冷却吸附

1—沸石 2—冷凝器 3—储水箱 4—蒸发器

用于飞机机舱的空调系统。

6. 热电制冷

热电制冷又称温差电制冷。它是根据帕尔帖效应得到的一种制冷方式。

帕尔帖效应是法国物理学家帕尔帖 (Peltier) 发现的。1834 年, 帕尔帖在铜丝的两头各接上一根铋丝, 再把两根铋丝分别接在直流电源的正、负极上, 通电后, 发现一个接头是热的, 一个接头是冷的。这个现象称为帕尔帖效应, 是热电制冷的理论依据。

这种方法的制冷效果主要取决于两种材料的热电势。纯金属材料的导电性好, 导热性也好, 其帕尔帖效应很弱, 制冷效率不到 1%。半导体分为 N 型半导体 (电子型) 和 P 型半导体 (空穴型)。由 N 型半导体和 P 型半导体构成的热电制冷元件见图 1-5。用铜板和导线将它们连成一个回路, 铜板和导线只起导电作用, 回路由低压直流电源供电。回路中接通电流时, 一个结点变冷, 一个结点

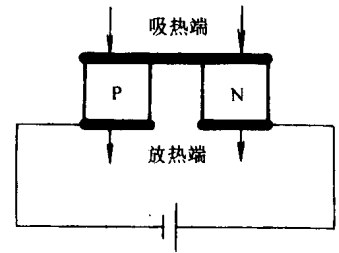


图 1-5 热电制冷的工作原理

如果改变电源方向, 冷、热结点的位置将发生变化。热电制冷的系统和过程显然不同于前面任何一种制冷方式。它不需要制冷剂来实现能量的转移, 整个装置没有任何机械运动部件。热电制冷的效率很低, 但由于它的灵活性很强, 使用方便可靠, 因此在冷量需求量较小的场合的应用越来越广, 如作为探测空间用飞机上的科学仪器、电子仪器和医疗器械中的制冷装置, 核潜艇中驾驶舱的空调设备等。目前, 手提式采用热电制冷的小型制冷装置也日见增多。

7. 涡流管制冷

涡流管制冷是使压缩气体产生涡流并分离成冷、热两部分, 其中冷气流用来制冷。

涡流管制冷首先是由法国人兰克 (Rauque) 提出的。他在 1933 年发明的涡流管 (又称兰克管) 可以使压缩气体产生涡流, 并将气流分离成冷、热两部分, 这种制冷方法称为涡流管制冷。1946 年黑尔什 (Hilsch) 研究了兰克管, 介绍了它的最佳尺寸和性能测定方法。涡流管制冷因经济性差, 所以用途受到限制。

涡流管装置的结构如图 1-6 所示。涡流室将管子分成冷、热端两部分, 孔板在涡流室与冷端管子之间, 热端管子出口处装控制阀, 组成管外为大气压, 喷嘴沿涡流室切向布置。

常温的压缩气体 (通常是空气, 也可以是 CO_2 、 NH_3 等其它气体) 进入喷嘴, 在喷嘴中膨胀并加速到音速, 从切线方向射入涡流室, 形成自由涡流。自由涡流的旋转角速率越到中心处越大, 由于角速度不同, 在环形流层之间产生摩擦, 中心部分的气体角速度逐渐下降, 外层气流的角速度逐渐升高, 因此存在着由中心向外层的动量传递。内层气体失去能量, 从孔板流出时具有较低的温度, 外层气体吸收能量, 动能增加, 又因与管壁摩擦, 将部分动能变成热能, 使得从控制阀流出的气流具有较高的温度, 由此看出, 涡流管可以同时得到冷、热

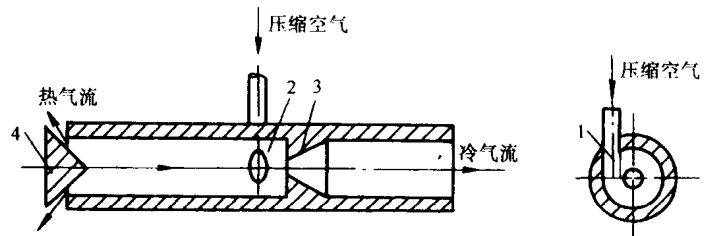


图 1-6 涡流管制冷机的结构示意图

1—喷嘴 2—涡流室 3—孔板 4—控制阀

两种流体。用控制阀控制热端管子中气体的压力，从而控制冷、热两股气流的流量及温度。如果阀全关，气体全部从孔板口经冷端口管子流出，过程是简单的不可逆节流。节流前后焓值不变，温度也不变，不存在冷、热分流的问题。如果阀全开，将有少量气体从外界经孔板吸入，涡流管相当于一只气体喷射器。只有在阀部分开启时，才出现冷、热分流现象。涡流管工作原理的定性解释比较清楚，但由于管内流体之间的传导和对流情况比较复杂，对冷、热端温度值进行定量的理论推导尚有困难。实验表明，当高压气体为常温时，冷气流的温度可达 $-10\sim-50\text{C}$ ，热端热气流温度可达 $100\sim130\text{C}$ 。

涡流管制冷因具有结构简单、维护方便、起动快、使用灵活等优点，所以常用在有压缩气体或可廉价获得压缩气体的场合，例如用于不长期连续使用的小型低温试验设备、冷却在高温矿井中作业的矿工的工作服、冷却刀具的刀头等。涡流管制冷的主要缺点是效率太低，因此其应用范围受到限制。

思 考 题

1. 简述近几十年制冷技术发展的状况。
2. 制冷方法有哪几种？各有何特点？
3. 制冷技术有哪些用途？

第二章 热工基础

第一节 传热学基础

传热是由于温度不同的物体（或同一物体的不同部分）之间发生的热量传递过程。传热是我们日常生活及工程领域中最普遍的现象之一。在制冷技术中，制冷系统中的换热器、冷库或空调房间的热负荷的确定，管道的隔热保温等都需要利用传热过程的规律来进行分析计算。

传热过程是很复杂的，传热有导热、对流换热和辐射换热三种基本形式，实际的传热过程都是由这三种基本的传热形式组成的。因此要想了解整个传热过程的规律，必须首先掌握这三种基本传热形式。

一、导热

导热是指物体各部分温度不同时，热量从物体的一部分传递到另一部分，或者不同温度的物体接触时，热量从温度高的物体传递给温度低的物体的过程。导热又称为热传导。导热机理对于不同的物质是不同的。导热在液体和固体介质中能量转移主要是依靠弹性波的作用来完成的；固体金属则主要依靠自由电子的运动来完成的；气体则主要依靠原子或分子的运动来完成的。导热可以在固体、液体及气体中发生，但单纯的导热只能发生在密实的固体，因为对于液体和气体当有温差时就会出现对流现象，难以维持单纯的导热过程。

下面讨论通过单层平壁的导热。如图 2-1 所示，平板的两个平行壁面之间的距离（平板的厚度为）为 δ ，两平壁之间的温差 $t_1 - t_2 = \Delta t$ ，平壁的面积为 F ，则单位时间里通过平壁的导热热量为

$$Q = \frac{F\lambda}{\delta}(t_1 - t_2) = \frac{F\lambda\Delta t}{\delta} = \frac{F\Delta t}{\delta/\lambda}$$

式中 Q ——导热热量 (W)；

F ——平壁面积 (m^2)；

λ ——平壁的导热系数 ($\text{W}/(\text{m}\cdot\text{C})$)；

δ ——平壁厚度 (m)；

Δt ——传热温差 (C)， $\Delta t = t_1 - t_2$ ；

δ/λ ——导热热阻 ($\text{m}^2\cdot\text{C}/\text{W}$)。

平壁单位面积的传热量称为热流密度，用 q 来表示，则上式可写为

$$q = \frac{Q}{F} = \frac{\lambda\Delta t}{\delta} = \frac{\Delta t}{\delta/\lambda}$$

式中 q ——热流密度 (W/m^2)。

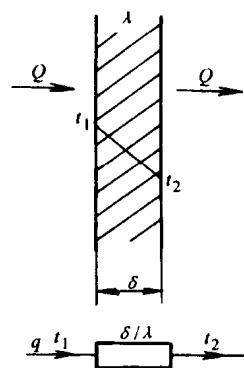


图 2-1 单层平壁的导热