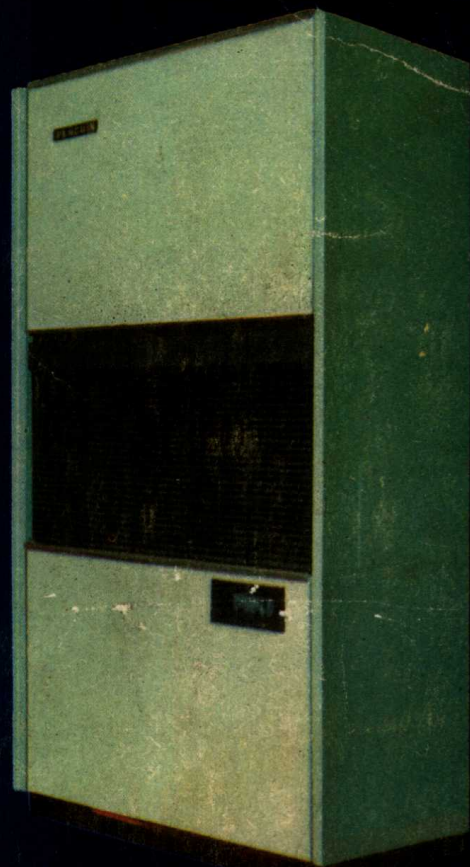
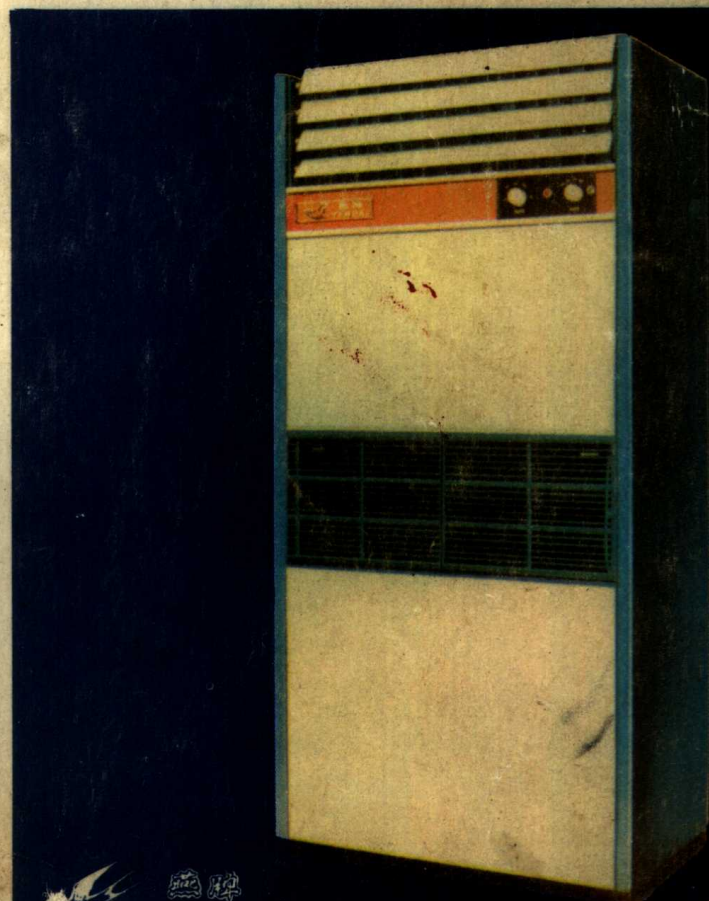


FULIANG ZHILENGJI

蒋能照 余有水 等编



氟利昂制冷机



上海科学技术出版社



氟利昂制冷机

蒋能照 余有水 等编

上海科学技术出版社

氟利昂制冷机

蒋能照 余有水 等编

上海科学技术出版社出版

(上海瑞金二路450号)

新华书店上海发行所发行 上海商务印刷厂印刷

开本 787×1092 1/16 印张 21.25 插页 3 字数 503,000

1983年5月第1版 1983年5月第1次印刷

印数 1—17,500

统一书号: 15119·2225 定价: (科四) 2.35 元

附对开插页一张

前 言

本书是在《氟利昂制冷机——结构操作维修》(1976年9月由上海机械学院内部出版)基础上,由蒋能照、余有水重新修改、增补后交上海科学技术出版社正式出版的。

1972年年底开始,上海机械学院制冷教研室的一些教师根据社会上的需要,在举办几期制冷机短训班的基础上,总结了上海市有关制冷机厂一些检修工人的经验,逐步充实资料,编写成《氟利昂制冷机——结构操作维修》一书。

当时参加该书编写工作的人员较多,初稿主编为余有水,其中,第一、二章由蒋能照、沈志光、刘才清编写;第三章由茅以惠编写;第九章由蔡祖恢、俞梅琴编写。缪道平对初稿进行了整理、修改,最后由蒋能照对全书进行了审订与定稿。该书的插图很多采用立体图,工作量颇大,设计与绘制插图的主要有:余有水、鲍忠兴、蒋能照、顾锡璋、缪道平等。此外,在编写过程中还得到了丁一鸣、叶根发以及制冷教研室其它许多同志的协助。上海市通用机械技术研究所董天禄同志对该书的编写给予了不少支持,上海空调机厂、上海冷气机厂、上海制冷设备厂、上海交通大学、同济大学、上海海运学院等有关工厂及兄弟院校提供了图纸与资料,现值公开出版之际,在此对有关单位及同志一并致谢。

该书自内部发行以来,制冷工业有了更快的进展,对技术资料的要求也更为迫切。根据这一情况,我们对该书进行了全面的修订与增补。

与内部发行版本相比,本书改动较多(除第三、七、八、十一、十二章改动较少外,其余各章均作了不同程度的改写,并把原第九章全部重写后分成第九、十两章),但保持了重点介绍氟利昂制冷机结构与操作维修的特点,又适当充实了基本的理论知识,反映了一些我国氟利昂制冷机近年来的进展。

限于编者的业务水平,书中错误与缺点在所难免,敬请广大读者对本书提出宝贵的意见。来信可寄上海机械学院制冷教研室。

编者

1981年10月

目 录

第一章 绪论	1
第一节 制冷技术在我国的发展	1
第二节 制冷技术在国民经济中的广泛应用	3
第二章 蒸汽压缩制冷原理	5
第一节 怎样实现制冷	5
第二节 一些基本术语	8
第三节 能量转换与热力学定律	15
第四节 制冷剂的相态变化与热力过程	17
第五节 稳定流动能量方程式及其在制冷中的应用	21
第六节 制冷剂的压焓图 ($\lg p-i$ 图) 及热力性质表	24
第七节 蒸汽压缩式制冷循环	27
第八节 两级压缩制冷	34
第九节 复迭式压缩制冷	38
第三章 制冷剂 and 载冷剂	40
第一节 制冷剂概述	40
第二节 常用的氟利昂制冷剂	42
第三节 制冷剂的选用原则	44
第四节 制冷剂的检漏和测定的简便方法	46
第五节 使用制冷剂的注意事项	47
第六节 载冷剂	48
第四章 活塞式制冷压缩机	50
第一节 概述	50
第二节 活塞式压缩机的工作原理	52
第三节 制冷压缩机的排气量及其影响因素	53
第四节 制冷压缩机的功率与效率	56
第五节 制冷压缩机的工况、运行特性与技术指标	57
第六节 制冷压缩机的分类和总体结构	64
第七节 制冷压缩机零部件的作用与结构	73
第八节 制冷压缩机的润滑	95
第九节 制冷压缩机的制冷量调节	104
第十节 制冷压缩机的装配和试运转	110
第五章 制冷换热器	114
第一节 换热器的基本原理	114

第二节	冷凝器的类型、结构和维护	121
第三节	蒸发器的类型与结构	127
第四节	中间冷却器	132
第五节	蒸发冷凝器	133
第六章	膨胀阀与其它调节阀	134
第一节	热力膨胀阀	134
第二节	定压膨胀阀、浮球调节阀、毛细管	144
第三节	背压阀与恒压阀	148
第四节	水量调节阀	154
第七章	辅助设备	156
第一节	润滑油分离器	156
第二节	贮液器	158
第三节	过滤器与干燥过滤器	159
第四节	电磁阀	162
第五节	制冷设备的隔热材料	165
第八章	电器控制	168
第一节	自动控制元件	168
第二节	常用控制电器	182
第三节	电器控制线路	197
第九章	空气调节装置	212
第一节	湿空气的性质	212
第二节	湿空气的焓湿图	216
第三节	湿空气的应用及空气处理在 $I-d$ 图上表示	218
第四节	空调方式及其特点	227
第五节	空调器的选用	238
第十章	常见的几种制冷设备	241
第一节	冷饮水箱	241
第二节	电冰箱	242
第三节	低温箱	247
第十一章	制冷机的安装和校验	252
第一节	安装和接管	252
第二节	检漏和充灌制冷剂	260
第三节	负荷运转与调试	267
第四节	日常运转中的检查与维护	270
第十二章	制冷机的故障分析与修理	273
第一节	制冷机的检查方法	273
第二节	检修基本操作	275
第三节	故障现象之一——电动机启动不起来	282
第四节	故障现象之二——电动机拖不动	283

第五节 故障现象之三——制冷机在运转中突然停车	284
第六节 故障现象之四——冷量不足	286
第七节 故障现象之五——无冷气	292
第八节 压缩机的常见故障	294
第九节 采用封闭式压缩机的制冷机的故障检查	299
第十节 低温箱故障分析与修理举例	301
第十一节 通风机常见故障	303
第十二节 检修用的通用工具、材料与专用工具	304
附录	309
附表 1 制冷工程常用单位换算	309
附表 2 F-12 饱和热力性质表	312
附表 3 F-22 饱和热力性质表	315
附表 4 F-142、F-502、F-13B1、F-13、F-14 饱和温度与压力关系	318
附表 5 F-12 的单位容积制冷量	319
附表 6 F-22 的单位容积制冷量	320
附表 7 盐水(氯化钠、氯化钙)性能表	321
附表 8 开启式制冷压缩机基本参数	322
附表 9 半封闭制冷压缩机基本参数	322
附表 10 全封闭制冷压缩机基本参数	323
附表 11 某些国产氟利昂制冷压缩机结构参数及装配间隙表	324
附表 12 饱和湿空气的物理性质表	326
附表 13 自然对流时干、湿球温度差与相对湿度 φ 的关系	327
附表 14 通风干、湿球温度差与相对湿度 φ 的关系	328
附表 15 RF 系列热力膨胀阀规格和主要技术参数	329
附表 16 电磁阀型号与技术参数	330
附图 1 F-12 的压焓图	
附图 2 F-22 的压焓图	
附图 3 湿空气的焓湿图	
附图 4 某些国产氟利昂制冷压缩机的性能曲线	

第一章 绪 论

第一节 制冷技术在我国的发展

中国是世界文明发达最早的国家之一。勤劳、勇敢的我国劳动人民在古代就有许多发明创造,曾为人类社会的进步作出了卓越的贡献。早在三千多年前,我国劳动人民就已经掌握采集天然冰来进行冷藏的技术了。《诗经》是留下来的我国最早的一部诗歌选集,它里面就有一首诗描述奴隶们一年到头的辛勤劳动,到了寒冬腊月也不得空闲,还要去“凿冰冲冲”、“纳于凌阴”(凌阴就是冰窖),为奴隶主采集和保藏冰这一天然冷源。制冷技术的发展和它技术一样,也是跟劳动人民的辛勤劳动和生产发展紧密地连系在一起的。

春秋战国时期,奴隶制度处于土崩瓦解之中,诸国差不多都建有藏冰的冰房。所以《左传》里就经常提及冰房窖冰之事。在《周礼》中,也记有总掌、管理藏冰、出冰之事的“凌人”,也记载了一种盛冰的器具——“冰鑑”。这种“鑑如甒,大口以盛冰,置食物于中,以御温气”。此外,还用冰放在死人的床下,叫做“寒尸”,其目的是使尸体不至于很快的腐烂发臭。在生产还相当落后的奴隶社会里,我国已经掌握了用天然冰来达到去热、防蝇虫、防腐烂的目的,是很可贵的。

随着封建社会取代奴隶社会,社会前进了一大步,用天然冰制冷的技术也发展了。非但民间有冰窖,在中央统治机构内也设有较大规模的冰房。这从《汉书·惠帝记》中记载的“秋七月乙亥,未央宫凌室灾”就可看到。这个“凌室”就是冰房。由于没有详细记载,我们无法知道当时这个冰房规模有多大。到了三国时代,虽然当时战事频繁,曹操致力于统一战争,但他也很重视冰房的建设。据《邺中记》介绍,当时建造的一座“冰井台”规模十分壮观:“有屋一百四十间,上有冰室,室有数井,井深十五丈,藏冰及石墨……又有窖粟及盐,以备不虞”,“……其上藏冰。三伏之日以赐大臣”。可见,当时已经把用天然冰制冷及用煤炭作燃料,象对待粮食、食盐一样,当作战备物资加以贮藏,以备需用。到了盛夏,冰也是上层统治阶级的一种生活享受。我国在一千七百多年前就已经具有这样规模的冰库及贮藏技术,充分反映了古代文明史在制冷方面的伟大成就。

除了防暑降温、保存新鲜食物外,在《齐民要术》中还记载有:在农业上用雪水拌种,或把种子浸水后使其结冰,进行冰冻处理,以增强种子的抗寒性,改良种子性能达到提高产量的目的。这种方法除应用于五谷外,还用到蔬菜和其它作物上。近代农业上应用的制冷技术,可以说是在我国古代劳动人民所创造的成果基础上不断提高和发展起来的。

到了唐代,我国已有了冰商。而现代冰淇淋的早期形态“冰酪”与“奶冰”也发源于中国。元朝初意大利的著名旅游家马可·波罗曾来我国长期居住,是他把这种可口的冷饮生产技术带回意大利并传向欧洲的。

参观过北京故宫雄伟建筑的人们,在他们痛恨封建统治阶级穷奢极欲的同时,也会情不自禁地赞叹古代劳动人民的聪明才智。雄伟建筑的一砖一石凝聚着古代劳动人民的血和汗,可是,它也颂扬了古代劳动人民应用制冷技术的创造才能。当时为了把一块两百多吨重

的整块巨石从开采地运到建筑工地,就在沿路每百步开挖一井,到了寒冬,提水浇路,让路面结冰后,将巨石放在路面冰上进行拉运滑行。利用天然制冷来解决当时没有大型搬运机械的困难,这是当时在天然制冷技术上的一种巧妙应用。

照理说,我国古代劳动人民所开创的应用天然冰制冷的技术应该逐步向人工制冷、机械制冷方面发展。但是,由于我国长期的封建统治,束缚着人们的手脚,禁锢着劳动人民变革生产的步伐,阻碍了我国古代制冷技术的进一步发展。一直到半封建半殖民地的国民党统治时期,我国制冷工业始终没有多大发展。当十九世纪中叶西方资产阶级在工业革命带动下,陆续发展起人工制冷、机械制冷的工业,旧中国的民族资产阶级也开始购进一些西方资本主义国家的制冰机械,在国内开设机器制冰厂,进行人造冰的生产。但我国的民族制冷工业从一开始就受到西方资本主义的扼杀。例如:1898年,旧“上海制冰厂”被外国资本的旧“上海制冰公司”所挤垮,最后不得不以低廉的代价为后者所并吞。当时国内虽然也有一些小冷库,却都是为了便于帝国主义列强掠夺我国的农副产品而建造的。在旧中国,象上海等几个大城市,虽然也有些家用冰箱、空调机,但全是帝国主义国家的剩余物资,是用高价买来供剥削阶级享用的。那时,上海也有一些所谓“冰箱厂”,一般只有几个人,只能修修补补外国机器,甚至连零件坏了,也要从国外运来,这就是解放前在国民党统治下旧中国制冷工业的落后面貌。

中华人民共和国成立后,在党中央和毛主席的英明领导下,我国的制冷工业与国民经济其它部门一样获得了巨大的发展。在1954年就能自行制造活塞式制冷机。到六十年代,在我国各大城市差不多都建立了制冷机厂。由专业生产厂、研究所及高等学校联合,逐步形成与发展了制冷机行业。1964年起我国制冷工业走上了自行设计的道路。在一机部的组织下,已陆续制订与颁布了各种制冷机的型式与基本参数、技术条件以及试验方法等部标准。

目前,我国已能成批地生产1964年制订的活塞式制冷压缩机系列。它有五种缸径(50、70、100、125、170毫米),22种产品,最大标准制冷量为44万千卡/时。其特点是高转速、多气缸、三种制冷剂(氨、氟利昂-12、氟利昂-22)通用,并装有能量调节装置等。这些产品结构紧凑,效率较高,使用方便,通用性强,基本上达到六十年代中、后期国际水平。这种制冷压缩机的品种多,产量高,在中小型制冷机中应用最为广泛。对于缸径在50毫米以下的活塞式制冷压缩机,一般制成半封闭或全封闭结构。全封闭制冷压缩机系列的缸径为50、40毫米,目前正在试制、定型中。

除活塞式外,在中、大型制冷机中就要采用离心式或螺杆式制冷压缩机。1958年我国试制成功100万千卡/时空调用离心式制冷机,从此,我国在研制离心式制冷机方面有了很大的发展。我国自行设计的240万千卡/时KF-240空调用离心式制冷机已于1979年试制成功,由于设计中采用了很多新技术,该产品的各项技术指标均较先进。而螺杆式制冷机在1971年就试制成功,现正在逐步扩大品种。

除上述活塞式、离心式、螺杆式的压缩式制冷机外,我国已能自行设计与制造吸收式制冷机、蒸汽喷射式制冷机以及半导体制冷器。1979年试制成功的150万千卡/时XZ-150溴化锂吸收式制冷机是自行设计的,技术指标较先进。

在七十年代后期,由于国民经济各部门对制冷技术的迫切需要,也是提高人民生活水平的需要,促使我国制冷技术有更快的发展。全国各大中小城市的许多工厂都开始试制与生产各种制冷机,尤其是中小型活塞式制冷机的品种与产量有了飞速的发展,象窗式空调器、

柜式空调器、各种冰箱、高低温试验箱、小冷库及车用空调装置等产品的产量有大幅度增长。为了开发新能源,也开始了对太阳能制冷及地热制冷等的研究。对制冷技术人员的培养和科学研究工作也提出了新的要求。在高等学校、中等专科学校中有关制冷方面的专业设置有所发展;有关研究机构也在增设。中国制冷学会及各省市的制冷学会陆续建立,国际学术与科技交流活动逐年频繁,我国的制冷科技队伍正在朝气蓬勃地成长。

第二节 制冷技术在国民经济中的广泛应用

人类的生产活动是最基本的实践活动,是决定其它一切活动的东西。制冷技术也是这样,完全是由于社会生产的需要而发展起来的。反过来,它的发展又促进了社会生产和科学技术的发展。如今,制冷技术已广泛地应用于我国国民经济的各个部门。

制冷就是人工制取低温,也就是利用人类的技术来制取低于周围环境的温度,以满足人们生活或生产上的各种需要。

那末,有没有“冷”的极限呢?经过人们长期的实践与理论证明,冷的极限是摄氏零下273.15度。无论我们采用什么制冷方法使物体降温,只能使物体的温度逐步向这一极限趋近,但不可能到达这一极限。冷的极限亦称绝对零度,可用0 K表示。因此,0 K相当于 -273.15°C ;10 K相当于 -263.15°C ;水的冰点 0°C 相当于273.15 K,以此类推。

所需制冷的温度往往是由生产、科研或生活上的需要而定的。由于制冷的温度不同,所采用的制冷方法以及制冷设备的结构也就不同。我们可按所需制冷温度的高低来划分制冷技术的领域。习惯上可把低于环境温度到 -150°C 左右之间的温度范围称普通制冷(简称普冷);把 -150°C 以下到 -268.95°C (即4.2 K,氮气在一个大气压下的液化温度)之间的制冷技术称低温制冷或深冷;把4.2 K以下的制冷技术称极低温制冷或超低温制冷。普冷技术在我国国民经济中的应用极其广泛,而中小型制冷装置绝大多数是用氟利昂制冷机(结构以活塞式为主),因此,活塞式氟利昂制冷机在制冷技术中占有极为普遍而重要的地位。下面以普冷为主介绍现代制冷技术在国民经济中的应用。

一提起制冷,人们很容易想到它在食品方面的应用。冷冻贮藏是目前长期优质保存食品的最主要方式。我国农副产品供应充沛,市场繁荣,鲜鱼、鲜肉、蛋品以及蔬菜、水果等食品因国内、外贸易的需要都离不开冷冻加工、冷库贮藏与冷藏运输。除大型的冷藏库与冷藏运输外,成千上万的工厂、企业、团体单位的食堂直至家庭,为了防止食品的变质,都需要应用大量的各种冰箱。一些技术先进的国家,从冷冻食品的加工直到用户之间已形成了一环扣一环的“冷藏链”,以高质量地贮藏、运输与销售冷冻食品。在盛暑炎夏,为了改善人们生产劳动条件和保障市场的供应,各种冷饮商品已逐步普及到中小城市及广大农村,在这方面对制冷机的需要量正在激增。

在空气调节与去湿方面,是制冷技术应用的又一个广阔领域。纺纱织布,工具检测,精密机床的加工与装配,生产精密仪器、手表、电子元件,以及食品加工、糖果生产等等的车间及科研用的实验室等,为了保证产品质量和必要的工作条件,往往需要使室内的空气保持恒温(23°C 左右)和恒湿(相对湿度50~70%)。这样,在冬天,室内就要加热;在夏天,室内就要降温、去湿。能满足这种空气调节要求的制冷机就称为空调机。钢铁厂浇铸车间的行车驾驶室内,夏天的温度要高达 60°C 以上,驾驶员工作几分钟,就会汗流浹背,难以忍受,在这

些高温车间的行车控制室内,就要装设专用的空调机。目前,各种空调机已广泛地用于大会堂、大厦、宾馆、医院、影剧院、饭店、体育馆、办公楼、住宅等场所,还用于飞机、船舶、车辆等交通工具中。

近几年来,我国建设了不少地下工程,较重要的地下建筑都要安装空调去湿机,以保障工作人员的健康与防止机器、设备的锈蚀。空调去湿,就是用制冷的方法,使室内空气中高含量的水蒸汽冷凝后排除。

因此,空调机的应用是保证产品质量,改善劳动条件,提高工作效率的一项重要措施。

近年制冷技术已直接应用到许多工业部门的工艺过程中。在机械制造业中,金属的冷处理可防止工件的变形,提高工件的强度和使用寿命,象柴油机油泵的喷嘴、纺织机的梭子、光学仪器的某些零件,都需要在 $-60\sim-80^{\circ}\text{C}$ 的低温箱中进行冷处理;经过冷处理的刀具,其使用寿命可延长 $30\sim50\%$;某些精密机件的过盈配合,为了保证产品质量就必须用冷装配来代替热装配。至于各种电子元件、电子仪器仪表、金属材料、非金属材料、各种器械(甚至包括整辆汽车)等在低温环境中工作的性能测定与检验,都需要用制冷机来创造特定的低温环境。在石油、化工方面,如酸、碱等原料的生产,从石油裂解气中分离出乙烯、丙烯,从合成氨中分离成品氨,润滑油脱脂,三大合成(合成橡胶、合成塑料、合成纤维)化工过程中反应温度的控制,母液的结晶等等,在这些化工过程中的分解与化合中,都离不开“冷冷热热”的条件,这就需要大量地应用制冷技术。此外,用制冷技术来冻结土壤还可用于修筑水坝,开掘隧道及矿井工程中。

随着农业现代化的发展,制冷技术的应用愈来愈展示出广阔的前途。据统计,一斤化肥约可增产三斤粮食,所以化肥的大量使用是农业增产的重要措施,而化肥的生产离不开制冷机。此外,由于大力开展科学种田,其中浸种、育苗、微生物除虫、生产农药、良种的贮存也都需要制冷机。

现代医疗事业的发展也需要广泛应用制冷技术。药品、血液等的保存固然需要大量的医用冰箱,而冰袋、低温麻醉及各种低温手术器械已直接用于手术台上。近几年来我国试制成功的“冷刀”手术器械,用它医治某些疾病已取得特殊的疗效。

在现代国防及科学技术各个领域,制冷技术的应用也极为广泛。

至于在 -150°C 以下的低温领域,制冷技术同样有着广泛的应用。不过在这些领域几乎不采用氟利昂制冷机,下面仅简单地提一下。

空气分离(简称空分)或制氧工程是低温技术的一个最主要的领域,要把空气中的氧、氮及氩、氦、氙等(稀有气体分离出来,就必须采用 -200°C 左右的低温技术。空分所得的这些气体或液体(在大气压力下,液态氮的温度约 -196°C ,液氧约 -183°C) 在炼钢、化工、国防及其它各部门有着重大而特殊的用途。此外,天然气的液化约需 -162°C 的低温;作为火箭燃料的液氢的获得约需 -253°C 的低温;而自然界中最难液化的元素——氦,它在大气压下的液化温度低达 -268.95°C 。

近代科学技术与国防工业的许多部门,如超导体的应用,卫星通讯,红外线探测,红外线夜间或高空摄影,宇宙空间的模拟,高真空的获得,半导体激光,高速电子计算机等,都需要应用低温制冷技术。

综合上述,制冷技术在现代工业、农业、国防和科学技术中占有重要的地位,它的发展也与人民生活水平的提高密切有关,我国的制冷技术必将有更迅速的发展。

第二章 蒸汽压缩制冷原理

第一节 怎样实现制冷

制冷到底是怎样一回事呢？为什么在炎热的夏天，冷库里却是寒气凌人，这种奇妙的景象怎么会形成的呢？

从日常生活可知，水总是会自发地由高处向低处流动，直至两连通容器中的水位相等为止。如果要把水从低水位送向高水位，就必须用水泵把水压至高处，这就要消耗功。若水从高水位自发流下的流量与水泵向上压送的流量相等，就能维持高、低水位差不变。

同理，从日常生活可知，两种温度不同的物体相接触，就会自发传热。热量总是会自发地由高温物体传给低温物体，直至两物体的温度相等，其传热才会停止。自然界中决不会出现低温体自发地向高温体传热的情况。如果有一个低温体，放在周围温度较高的环境介质中，那末不论低温体保温得怎样完善，热量还是会通过各种途径向低温体“渗漏”。此时为了维持低温体的温度不上升，或甚至还要使它的温度继续下降，就必需使用制冷机，把热量从低温体“抽送”到环境介质（高温体）。当然，制冷机是要消耗能量的（如机械功、电能或热能等）。

我们可以把水泵的工作情况与制冷机作一类比（见图 2-1）。这里，水位差相当于温度差，水量相当于热量，水泵相当于制冷机（有一种特殊用途的制冷机称为“热泵”），高位水通过管道自发地流向低水位相当于高温体的热量通过各种途径自发地传向低温体。上述只是一种直观性的比喻。严格地说来，热量和水量在本质上是不同的。必须指出的是：水泵向低位水源吸取的水量等于压送到高水位的水量；而制冷机向高温体排送的热量 Q_k 却等于它向低温体吸取的热量 Q_0 加上输入机械功所相当的热量 AL ，即 $Q_k = Q_0 + AL$ 。详细情况后面再介绍。

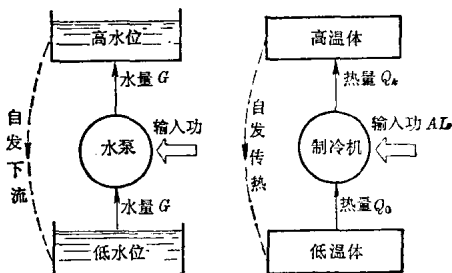


图 2-1 水泵与制冷机的类比

可见，制冷就是人工制取低温，也就是利用人类的技术来制取低于周围环境的温度，以满足人们生活或生产上的各种需要。

那末，怎样实现制冷呢？最常见的是蒸汽压缩式制冷。它的基本原理是利用某些低沸点的液体在汽化时能维持温度不变而吸收热量的性质来实现的。此外，尚有半导体制冷、吸收式制冷、蒸汽喷射式制冷、涡流管制冷等，其原理与蒸汽压缩式制冷不同，但这些不属于本书所讨论的范围，故不予叙述。

在日常生活中，我们都有这样的经验：当炎热的夏天来临时，屋子里非常热，这时只要在地上洒上一些水，由于水的蒸发，屋内就可凉爽一些。又如在皮肤上擦上一些酒精，酒精很快干了，这时，皮肤上就产生凉快的感觉。这些现象说明，物质在蒸发时要吸收周围物体的

热量,而周围物体由于失去热量,本身温度下降,于是收到制冷的效果。例如:常用的制冷剂氟利昂-12(代号 F-12),在一个大气压力下,其沸腾温度是零下 29.8°C 。若将钢瓶中的 F-12 液体喷射到某一物体上(图 2-2),我们就会看到,物体表面很快结上一层薄薄的白霜,这就是由于 F-12 液体在 -29.8°C 温度下喷到物体表面,立即从那里吸热,沸腾汽化,使物体表面温度迅速下降到接近于 -29.8°C 的程度。这时,周围空气中的水蒸汽遇着这个低温表面就会在其上凝结成一层白霜。如果我们把这贮有 F-12 的容器放在保温箱中(图 2-3),并少许打开容器口让 F-12 向箱外喷射。这时,容器内压力下降,于是容器内 F-12 由于本身温度(开始时等于周围环境温度)超过沸腾温度而开始沸腾。由于 F-12 在沸腾过程中要吸取热量,故使容器内 F-12 本身的温度逐渐下降,直至接近一个大气压力下 F-12 的沸腾温度 -29.8°C 为止。随着容器壁温度的下降,保温箱内介质的温度亦不断下降。由此可见,利用 F-12 这种工质的低温沸腾特性可以实现制冷的目的。

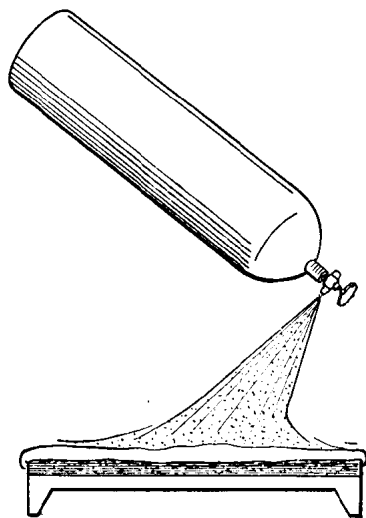


图 2-2 F-12 钢瓶喷液制冷

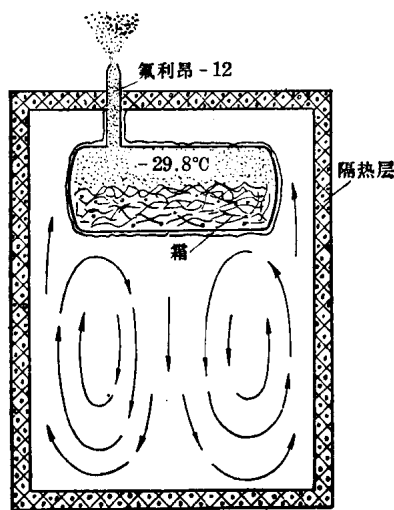


图 2-3 F-12 在容器内沸腾制冷

利用上述喷射 F-12 或让 F-12 在瓶内沸腾的方法来制冷,也同样要消耗能量的,这是

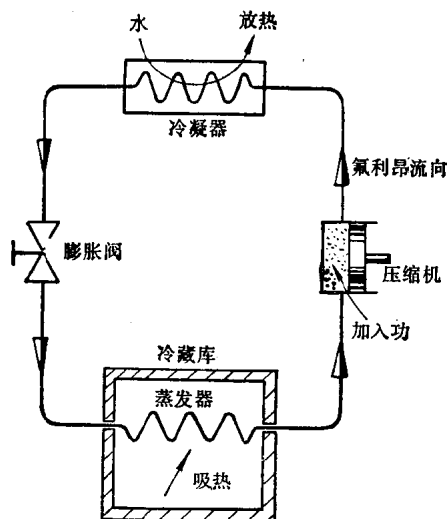


图 2-4 蒸汽压缩式制冷的基本部件

是指在制取钢瓶内液态 F-12 时所耗费的能量。不仅如此,用这种方法制冷, F-12 吸热汽化后便散失于大气之中,不能回收循环使用,因此,它是一种极不经济的制冷方法。

为了能经济而有效地连续制冷,人们经过长期的实践摸索,创造了多种行之有效的制冷方法。这里仅就广泛应用于氟利昂制冷机中的蒸汽压缩式制冷方法作进一步的说明。

蒸汽压缩制冷系统(图 2-4)主要是由制冷压缩机、冷凝器、膨胀阀(或毛细管)和蒸发器这四个最基本部件所组成的一个互相连接而又密闭的系统,工作时氟利昂制冷剂就在这系统中不断循环流动和产生冷量。这四个基本部件(即通常所谓氟利昂制冷

机的“四大件”)的作用是什么?它们是怎样相互连系起来成为一整体,并使其中氟利昂得以按照人们的要求达到连续制冷的目的呢?

图中低温氟利昂液体在蒸发压力下进入库房,在库房的蒸发器中,氟利昂液体吸收了库房内的热量不断沸腾汽化,使库房温度下降,达到制冷的目的。汽化后,低压蒸汽必须设法回复到液体状态,以便进行连续制冷,这就需要通过压缩机和冷凝器来完成。压缩机将从蒸发器来的氟利昂蒸汽进行压缩,使它的压力得到提高,以使氟利昂蒸汽能在常温下冷凝成液体状态。其冷凝过程如下:氟利昂蒸汽被压缩后,其温度亦随之升高到高于环境介质(水或空气)温度,因而当排至冷凝器时,就受到冷凝器中的冷却水或空气的冷却作用,而一直降温到冷凝压力下的饱和温度,并在这一温度下,冷凝成高压的氟利昂液体。这种高压的氟利昂液体还不能立即用以送入库房(蒸发器)进行制冷,因为它的温度还略高于冷却水或空气的温度。为此,还必须设法使氟利昂液体的温度进一步下降到低于库房温度才行。膨胀阀(或毛细管)就能起到这一作用。高压液体通过膨胀阀时因受到阻力而降压,在压力降低的同时,氟利昂液体因沸腾吸热而使其本身的温度也相应下降。因而,只要降压足够,就可使其温度降低到需要的低温。把这种低压低温的氟利昂汽液混合物引入蒸发器就能在库房里得到应有的制冷效果。

综上所述,要用氟利昂制冷剂实现连续制冷,一台制冷机必须具备这四个基本部件来促使氟利昂循环变化:蒸发器使氟利昂液体吸热汽化;压缩机压缩氟利昂蒸汽,使它的压力由低增高;冷凝器使高压蒸汽放热冷凝为高压液体;膨胀阀使高压液体膨胀为低压低温汽液混合物,不断供向蒸发器从而达到循环制冷的目的。在这过程中,人们所付出的代价主要表现在驱动压缩机运转所耗费的电力或其它动力上。

为了更形象起见,今以图 2-5 (见书末彩色插页)中 CD-3 型 12 米³冷藏库的实际结构为例来说明制冷机的工作过程。该冷库所使用的制冷剂是 F-12,运行时要求蒸发器中的蒸发温度为 -10°C ,冷凝器中冷凝温度为 30°C 。根据这些,可知 F-12 是在 -10°C 温度下在蒸发器里沸腾汽化。与此同时,它不断吸收库房里的热量,使库房的温度能维持在摄氏零下的低温状态。这时,蒸发器里的蒸发压力将是 2.234 公斤力/厘米²(其理由以后再述)。F-12 汽化后被压缩机吸入,为了防止压缩机中发生液击,故吸入时不能带入液滴。由于低温的吸气管被环境空气所加热,压缩机吸入的 F-12 气体温度比 -10°C 为高。在压缩机中,压缩机对 F-12 做了机械功,把它压缩成高压,其温度也随之增高。高温高压的 F-12 气体进入冷凝器,在冷凝器中通入冷却水对 F-12 进行冷却。冷却水带走的热量应该等于 F-12 从库房中吸取的热量加上压缩机所耗机械功的相当热量。高温高压的 F-12 气体,在冷凝器中被冷凝成 30°C 的液体,它的压力应是 7.596 公斤力/厘米²。严格说来,压缩机的排气压力应略高于 7.596 公斤力/厘米²。自冷凝器出来的温度为 30°C 的 F-12 液体,经过过滤器去除水分和杂质后,进入膨胀阀进行降压膨胀。在膨胀阀中有一狭窄的小孔,高压的 F-12 液体流过这小孔时受到很大的阻力,结果使 F-12 的压力下降到接近蒸发器内的压力。 30°C 的 F-12 液体经过膨胀阀后因压力下降而立即汽化吸热,其温度也随之急剧下降,故从膨胀阀流出的是 -10°C 的雾状汽液混合物。这种雾状 F-12 进入蒸发器中可继续汽化吸热。如此周而复始,组成了制冷循环。F-12 在制冷循环中的状态变化情况参见图 2-5 中的彩色标注。

图 2-5 所示的是单级压缩制冷系统,它是最基本的并得到广泛应用的制冷循环。

第二节 一些基本术语

从上述可知,制冷剂(或称工质)在制冷系统中一会儿由蒸汽变成液体,一会儿又由液体变成蒸汽,制冷剂的这种状态变化以及温度的升降,压力的增减,吸热和放热等现象是有一定的热力学内在关系的。为了深入理解制冷原理,必须介绍一些热力学的基本知识,这里先对常见的一些术语作些说明。

一、温度

温度就是物体冷热程度的量度。常用 T 或 t 表示。温度的标定方法有多种。最常见的是摄氏温标,以符号 t 表示,单位为 $^{\circ}\text{C}$ 。摄氏温标是取在标准大气压力(760 毫米汞柱)下,冰的熔点为 0°C ,水的沸点为 100°C ,把这两定点之间分成 100 等分,每一等分间隔为 1°C 。

另外,还有华氏温标,其单位为 $^{\circ}\text{F}$ 。它是取在标准大气压力下,冰的熔点为 32°F ,水的沸点为 212°F ,两定点之间分成 180 等分,每一等分间隔为 1°F 。

摄氏温度与华氏温度之间的关系为:

$$\text{摄氏温度 } [^{\circ}\text{C}] = \frac{5}{9} (\text{华氏温度 } [^{\circ}\text{F}] - 32)。$$

在制冷工程计算中,通常使用绝对温标,也称热力学温标或开氏温标,以符号 T 表示,单位为 $[\text{K}]$ 。在国际单位制(SI 制)中就是采用这一单位。绝对温度零度(0 K)等于 -273.15°C 。绝对温标的分度间隔与摄氏温标相同,即摄氏温差 1°C 就是绝对温差 1 K。绝对温度与摄氏温度之间的关系为:

$$\text{绝对温度 } [\text{K}] = \text{摄氏温度 } [^{\circ}\text{C}] + 273.15。$$

若绝对温度以 T 表示,摄氏温度以 t 表示,实用上常取两者之差为 273 已够精确,即:

$$T \approx t + 273。$$

当物体的温度发生变化时,它的某些性质也跟着发生变化,例如:液体的体积、气体的体积或压力、金属或半导体的电阻、热电偶的电动势等等,都随着温度的变化而发生变化。人们利用这些物性随温度的变化规律制成各种不同的温度计来测量温度。

在制冷机中常用的温度计有玻璃棒温度计、压力式温度计。此外尚有电阻温度计、半导体温度计及热电偶温度计等。

玻璃棒温度计(图 2-6)内充水银或乙醇等液体,它是根据液体的热胀冷缩的性质制成的。由于不同液体的冰点和沸点的限制,不同的温度范围要选用不同液体的玻璃棒温度计。在制冷工程中,一般水银温度计用于 $-30 \sim 300^{\circ}\text{C}$ 的测温范围;乙醇温度计用于 $-100 \sim 75^{\circ}\text{C}$;戊烷温度计可用于 $-200 \sim 20^{\circ}\text{C}$ 。

压力式温度计如图 2-7 所示。图中温包用毛细管连通一弹簧管压力计,它们组成一个密闭的测温系统,根据测量范围,在该系统内充以相应的液体,例如:氯烷、乙醚、氟利昂等。测量时,温包插在被测介质中,当被测介质的温度变化时,温包内液体的饱和蒸汽压力亦随之变化,此压力变化经毛细管传递给压力计中的单圈弹簧管(可参见图 2-8)并使其变形(增大或缩小),变形的大小随系统内的饱和蒸汽压力变化,也就是与被测介质的温度变化成一定的比例关系,借助与单圈弹簧管自由端相连的拉杆带动齿轮传动机构,使装有指针的转轴



图 2-6 玻璃棒温度计

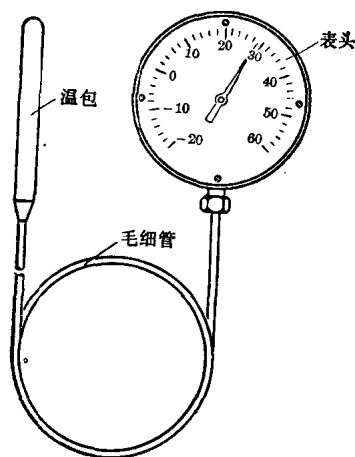


图 2-7 压力式温度计

偏转一定的角度，并在标度盘上指示出被测介质的温度值。

二、压力

作用于单位面积上的力称为压力，常用 p 表示。它的单位在工程上往往采用[公斤力/厘米²]，有时亦称之为工程大气压。1 公斤力/厘米²或 1 工程大气压等于每平方厘米面积上受到 1 公斤力的作用力。在压力小的场合，有时也用液柱（通常是水柱和汞柱）的高度来表示。它们之间的关系为：

$$1 \text{ 公斤力/厘米}^2 = 735.6 \text{ 毫米汞柱} = 10000 \text{ 毫米水柱}。$$

目前，英、美等国还常采用[磅力/英寸²]作为工程上的压力单位，它与公制单位的关系是

$$1 \text{ 公斤力/厘米}^2 = 14.22 \text{ 磅力/英寸}^2。$$

在国际单位制(SI 制)中力的单位是[牛顿](N)，面积的单位仍为[米²](m²)，故压力的单位是[牛顿/米²](N/m²)，也称为[帕斯卡](Pa)，简称[帕]。由于[帕]的单位太小，实用上可取它的 10⁵ 倍作为压力的计量单位，即[巴](bar)。上述这些压力单位之间的换算关系为：

$$1 \text{ 公斤力/厘米}^2 = 0.981 \times 10^5 \text{ 帕} = 0.981 \text{ 巴}；$$

$$1 \text{ 帕} = 1 \text{ 牛顿/米}^2 = 10^{-5} \text{ 巴} = 1.02 \times 10^{-5} \text{ 公斤力/厘米}^2。$$

当我们把贮气筒里的气体全部放掉，压力表指针立即回复到零，这时筒壁是否受到压力呢？我们说，这时的贮气筒内壁仍然有压力作用着，这个压力就是周围环境的大气压力（不过贮气筒外壁亦受到大气压力，气筒内、外壁压力相平衡）。大气压是随地理气候条件的变化而变化的。在一般压缩式制冷机运行中，近似地将大气压当作 1 公斤力/厘米² 已足够准确，因此，这时筒内壁实际上受到的是 1 公斤力/厘米² 的压力。而压力表指示值却为零。为区别这两种情况，我们将上述压力表指示的压力称为表压力；将筒内壁实际受到的压力称为绝对压力。绝对压力与表压力的关系为：

$$\text{绝对压力} = \text{表压力} + \text{当地大气压力} \approx \text{表压力} + 1 [\text{公斤力/厘米}^2]。$$

在以后的叙述中,除非特别加以说明,所有压力值是指绝对压力值。

当我们对贮气筒抽真空时,发现压力表的指针低于零,这反映了筒内的压力低于大气压力。低于大气压力的差值称之为真空度,它的单位和压力的单位一样,而这时筒内壁受到的绝对压力应为:

$$\text{绝对压力} = \text{当地大气压力} - \text{真空度} \approx 1 - \text{真空度} \quad [\text{公斤力/厘米}^2]。$$

在查阅图表时必须注意:一般图表上所注的压力都是指绝对压力值。因此,对于用压力表测得的读数,必须进行上述换算。

制冷系统内各部分的压力通常是用弹簧管压力表来测定的。在制冷机修理中,最常见的是同时能测表压与真空度的连程压力表(图 2-8),其量程在真空范围内用毫米汞柱刻度,在高于大气压时用[公斤力/厘米²]刻度。在压力不大时也可用 U 形管压力计(图 2-9)来测定,例如压缩机抽真空时用于测量真空度。管中介质可以是水银或水。

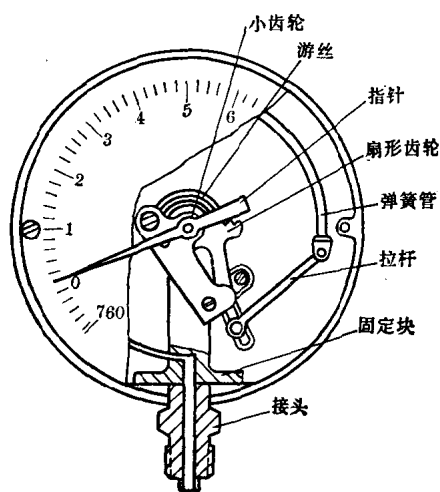


图 2-8 连程压力表

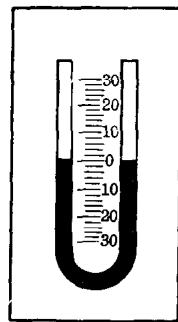


图 2-9 U 形管压力计

三、比容与重度

单位重量物质所占有的容积称比容,用符号 v 表示。在公制中气体的比容单位常取[米³/公斤],意即每公斤气体所占有的立方米数。

单位容积物质所具有的重量称重度,用符号 γ 表示。气体的重度单位常取[公斤/米³]。显然,比容与重度互为倒数,即:

$$\gamma = \frac{1}{v}; \text{ 而 } v = \frac{1}{\gamma}。$$

对于液体,由于其比容数值比气体小得多,故其单位常取[升/公斤]。同理,液体的重度单位常用[公斤/升]。在有关资料中查取液体的比容或重度时应注意其单位。

以上所述的温度(T)、压力(p)、比容(v)三者均可设法用仪表测量。 p 、 v 、 T 的数值说明工质所处的状态,它们是工质的基本状态参数。以后还会介绍工质的其它几个状态参数。

四、汽化与凝结

我们在日常生活中可以看到:把水泼在地面上,不久,地面又会慢慢恢复干燥,这是因为水变成水蒸汽跑到空气里去了的缘故。通常,我们把这种过程称为蒸发。另外,我们还可以看到烧开水的情况:把一盆水放在炉子上烧,加热后水温不断升高,与此同时,从水的表面上