

制冷空调 作业安全技术手册

ZHILENGKONGTIAO
ZUOYEANQUANJISHUSHOUCE

滕达 主编



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

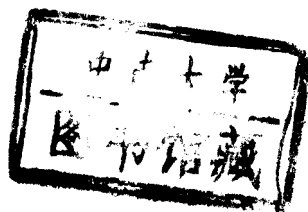
中南大学图书馆



100208633

制冷空调 作业安全技术手册

滕达 主编



中国电力出版社
www.cepp.com.cn



内 容 提 要

本书是为满足空调安全作业人员的工作需要而编写的。

本书主要讲述制冷与空调的基础理论知识,制冷与空调设备的结构、工作过程及安全要求,使读者通过学习能熟悉制冷系统安全装置与安全操作要领,能够对设备进行安全管理,会进行紧急事故的处理。

全书共分八章,内容主要包括制冷与空调基本知识,制冷系统和空调系统,制冷剂,制冷设备与空调设备,制冷系统的安全要求,制冷单位安全装置,制冷系统的安全操作,安全技术与安全管理。

本书可作为制冷空调作业人员的学习培训教材,也可作为空调专业相关技术人员和管理人员的工作参考书。

图书在版编目(CIP)数据

制冷空调作业安全技术手册/滕达主编. —北京:
中国电力出版社, 2005

ISBN 7-5083-3427-2

I. 制... II. 滕... III. 制冷-空气调节器
-安全技术-技术手册 IV. TB657.2-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 066892 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2005 年 10 月第一版 2005 年 10 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 15.625 印张 354 千字

印数 0001—4000 册 定价 25.00 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换)



前言

随着我国社会主义市场经济的迅速发展,人民生活水平不断提高,制冷与空调技术得到了迅速发展,与此同时,制冷空调作业的安全问题也日益引起人们的重视。

本书是为制冷空调工种作业人员编写的。本书全面系统地介绍了有关制冷与空调的基础理论知识,重点讲述了在制冷与空调系统的管理、维护修理及安装过程中的安全技术要求。使制冷空调作业人员进行专业基础理论学习的同时,能系统地掌握制冷空调作业安全技术和操作规程,提高安全素质,增加预防事故及处理紧急事故的实际能力,杜绝或减少恶性事故的发生。

本书由滕达研究员任主编,参加本书编写的还有杨柳女士。

此书可作为制冷空调作业人员的安全技术培训教材,又可供大、中专、职业教育学校有关师生学习参考。

由于时间仓促,本书不妥之处,恳请广大读者提出宝贵意见,以便进一步完善。

作者

2004年5月



前言

绪论	1
----	---

第一章 制冷与空调基本知识	4
---------------	---

第一节 制冷的概念	4
第二节 制冷方式	4
第三节 制冷设备的种类	11
第四节 食品冷加工的基本知识	12

第二章 制冷系统和空调系统	18
---------------	----

第一节 制冷系统	18
第二节 空调系统	24

第三章 制冷剂	35
---------	----

第一节 对制冷剂的要求及其选用	35
第二节 制冷剂的分类与代号	37
第三节 常用制冷剂	39
第四节 溴化锂溶液的性质	44
第五节 制冷剂的防护与充注	46
第六节 制冷剂的安全管理	47
第七节 冷冻机油与载冷剂	50

第四章 制冷设备与空调设备	55
---------------	----

第一节 制冷压缩机	55
第二节 溴化锂吸收式制冷机	67
第三节 冷(热)水机组	69
第四节 空调末端设备	76
第五节 其他辅助设备	83

第五章 制冷系统的安全要求	105
---------------	-----

第一节 基本要求	105
----------	-----

第二节	设计安装的安全要求	115
第三节	安装地点和人身保护	130
第四节	操作及维修的安全要求	139
第六章	制冷系统安全装置	147
第一节	温度显示控制仪	147
第二节	压力控制器	148
第三节	液位显示控制装置	153
第四节	安全阀与易熔塞	156
第五节	启动继电器和过载保护器	158
第六节	安全装置设置要求	161
第七节	吸收式制冷机自动安全保护系统	162
第七章	制冷系统的安全操作	164
第一节	制冷系统正常运转标志	164
第二节	制冷系统安全操作	166
第三节	活塞式制冷压缩机安全操作	172
第四节	螺杆式制冷压缩机安全操作	176
第五节	离心式制冷压缩机安全操作	178
第六节	辅助设备安全操作	180
第七节	吸收式制冷机安全操作	185
第八节	防护用品使用与管理	193
第九节	预防措施与紧急救护	196
第十节	制冷系统现场事故紧急处理	199
第十一节	制冷系统事故分析与预防处理	202
第八章	安全技术与安全管理	213
第一节	安全设施	213
第二节	制冷机房与空调机房安全技术	213
第三节	溴化锂制冷站设备的安全运行管理	218
第四节	冷藏库安全技术	229
第五节	压力容器安全管理	234
第六节	安全用电管理	237
第七节	制冷安全管理	238
参考文献		244



绪论

你对制冷的第一印象，可能来自于童年时代，在炎热的夏季吃到的第一支冰棍，还记得当时好奇而激动的心情吗？

制冷，就是用人为的方法去获取低温，这是一个既古老又年轻的专业。

根据获取冷源方式的不同，制冷的的方法分为两类：

一类是利用天然冷源制冷。早在 3000 多年前，我国诗经上就记载了古代劳动人民在冬季采集冰雪，贮藏于冰窖，到夏季取出用于降温的活动。直至今日，天然冰在室内降温、食品冷藏方面仍有大量应用。近年来开发地下低温水，应用于空气调节系统。这类制冷方法，操作简便，不需要很高的技能和复杂的设备，但难以得到 0°C 以下的低温，温度又不易控制和调节，还要受区域、季节、贮存条件的限制。故远远不能满足社会发展的需要。

另一类是人工制冷。1834 年英国人波尔金斯制成了用乙醚作制冷剂的第一台制冷机。1844 年美国人高斯发明了空气压缩式制冷机。1862 年法国人卡尔里制成吸收式制冷机。1874 年德国人林杰发明了世界上第一台氨制冷机。开辟了制冷技术进入实际应用的广阔天地，被公认为制冷机的始祖。1930 年出现的氟利昂制冷机又为制冷机的发展应用，开辟了新的领域。20 世纪 50 年代发展起来的半导体制冷技术，是现代科学技术发展的新产物，有力地推动了微型制冷技术的发展。

所谓人工制冷，就是利用一定的装置，消耗一定的能源，强制地、间接地把热量从被冷却物体上不断地转移出去，使被冷却物体的温度低于周围环境介质的温度。

人工制冷的方法，克服了利用天然冷源制冷的缺陷。它不受季节、区域、贮存条件的限制，可以根据需要制取不同的低温。人们把环境温度以下至 -153°C 的温度范围，称为普通冷冻；把 $-153 \sim -268.85^{\circ}\text{C}$ 以内的温度，称为低温冷冻；把 -268.8°C 以下的温度，称为极低温冷冻。

根据制冷原理的不同，现代人工制冷方法可以分为物质相变制冷、空气膨胀制冷、半导体制冷和绝热去磁制冷等。凡是利用机械装置进行制冷的，又统称为机械式制冷。

蒸汽压缩式制冷，它的温度属于普通冷冻的范围，它的原理属于物质相变制冷，它的装置是机械的，属于机械式制冷。就使用的广泛性和制冷量而言，蒸汽压缩式制冷在制冷技术中，始终占有最重要的地位。

近 50 年来，随着现代科学技术的飞速发展，制冷技术以日新月异的速度发生变化。并且，正在现代国民经济、人民生活、国防科研、文化艺术等各领域发挥着日益重要的作用。

食品工业是应用制冷技术最早、最多的部门。如今，它以冷藏库、冷藏汽车、冷藏火

车、冷藏船、冷藏集装箱、冷藏柜、电冰箱等组成食品冷藏链，起着储存运输、调剂市场、保障供给、满足人们生活需要的重要作用。

近年来，空调进入千家万户和楼堂馆所、生产部门，向人们提供舒适的工作、生活环境和必要的生产条件。

可以断言,随着现代科学技术的发展和人类经济文化生活的不断提高,在制冷技术的发展和应方面必将显示出更加广阔、更加美好的前景。

我国的制冷事业，解放前一空二白，偌大的一个中国，只有几个外国人经办的冷库。解放后，制冷事业有了长足的进步。尤其是改革开放的二十多年来，制冷事业更犹如雨后春笋，迅猛发展。我国已成为电冰箱、空调器的主要生产国家。我国已能生产各种冷库、冷藏车、冷藏船、冷藏集装箱、各种制冷压缩机等大型的技术性较高的制冷产品。专业学术机构遍及全国各地，我国已发展成为当今世界上的制冷大国。

但是，我国的制冷事业与发达国家相比，在性能质量上、自动化的程度上、生产管理上、人均占有制冷量等方面还存在较大的差距。譬如，我国一个普通的万吨冷库，大约需要几百名职工进行操作管理，而某些发达国家的万吨冷库，从货物入库到完成冻结出库，只需要几名操作管理人员。

我国的制冷事业前景辉煌，制冷队伍任重而道远！

空气调节,简称空调,是研究造成室内空气环境符合一定的空气温度、相对湿度、空气的流动速度、清洁度,并在允许范围内波动的工程技术,也是一门应用技术。

空调与冷冻是互相联系的两门技术，它们共同的理论基础是热力学、传热学及流体力学。简单来说，就是冷冻为空调提供冷源，而空调则是冷冻技术应用的一部分。

随着我国现代技术的发展,许多工业部门如电子工业、纺织工业、精密机械加工和制造工业、光学研制部门、仪器仪表工业、计量中心、科研实验中心、国防尖端技术、电影制片及农业种子库等,都因生产特点不同,需要保持在一定的空气环境中工作。此外,陆上、海洋、空中的交通工具也少不了空调技术。

对于公共建筑如礼堂、剧院、大厦、宾馆、饭店、医院、体育馆等，空调也被广泛采用。随着四个现代化的逐步实现，人民生活水平日益提高，空调器将会像电视机、电冰箱一样普及到人们生活之中。

工业空调的目的在于使生产房间维持一定的空气环境，以便提高劳动生产率，确保产品质量，改善劳动条件。

由于生产工艺不同，它们对空气环境的要求也不同。有的需要恒温恒湿（如计量、精加工）；有的需要对空气净化或超净（如电子工业）；有的需要降温（如公共建筑）；对于地下建筑，又需要以除湿为主的空调。为保证各种空调对象达到不同的环境要求，除采用不同的空气处理方法外，一般都用自动控制来保证空调精度。

空调技术的发展史不过六七十年。解放后,我国空调技术发展较快,空调设备产品较多,有的已成为系列化生产,新设备不断出现。空调精度已能达到 $\pm (0.1 \sim 0.05)^\circ\text{C}$ 。但是与世界水平相比,还有一定的差距。目前,国外空调恒温精度可达 $\pm 0.001^\circ\text{C}$,恒湿精度能达到 $\pm 0.25\%$ 。目前,电子计算机用于空调自动控制系统,则大大提高了空调系统的

运行和管理水平。

如上所述，制冷技术的应用推动了人类的文明进步，但是也给人类带来了一定的危害。随着我国经济的迅速发展，人民的生活水平不断提高，制冷设备的应用更加普及，已深入到国民经济建设的各个领域。但由于设计、制造、使用管理上的原因，设备损坏、食品变质、人员伤亡的事故时有发生。

制冷剂多数为低沸点液体，常压下沸点温度在 -20°C 以下，一旦这些液体泄露出来，溅到人的身上，将会发生冻伤事故。大型工业制冷中采用氨作制冷剂，氨是有毒物质，如泄露出来，除了会冻伤人外，还将通过呼吸道及皮肤进入人体，使人中毒，严重时致人死亡，氨中毒引起的死亡事故在国内外均有文字记载。氨在空气中浓度达到一定程度还可能引起燃烧、爆炸。CFCS 制冷剂泄露到大气当中，对臭氧产生很大的破坏作用，致使臭氧层出现空洞，使紫外线照射量增加，导致皮肤癌患者增多。同时地球温度逐年升高，水位上涨。如不加以克服，将危及人类的生存。

制冷剂蒸汽在常温下液化，须施加很高的压力才能实现，通常液化时的压力达到每平方厘米十几公斤。这比一般锅炉的压力高出几倍。所以一旦容器强度出现问题，其危险性可想而知。如果在充注制冷剂时，充注过量，一旦温度升高还会引起制冷剂瓶爆炸。此外，制冷压缩机的传动部件外露，不注意可能会伤人；电动机及控制电路为 380V 电源，操作不当可能发生触电事故；冷藏库内温度为 -18°C 以下，如被误关进去出不来，还可能冻伤、冻死作业人员等。诸如此类，不胜枚举，可谓危机四伏，稍不注意，就可能带来意想不到的灾难。

因此认真学习制冷作业安全技术，正确操作制冷设备，就成为我们安全生产、保护人类生命和物质财产的必然选择。本书通过对制冷空调设备及系统的详细介绍，突出具体操作过程中的作业安全，是各种制冷作业人员学习安全操作知识的必备读物。



第一章

制冷与空调基本知识

第一节 制冷的概念

随着社会的发展、生产技术的进步和人们生活水平的提高,需要制冷设施的范围越来越广,需求量也越来越大,因而制冷技术也在突飞猛进的发展,制冷设备也与日俱增。

一、制冷的含义

人们常说的“制冷”,是一个广义的说法。顾名思义是要在某一特定环境内制造出比周围环境温度低的“冷”环境。所谓“特定环境”,是泛指某一房间、某一车间、某一空间或某一物体;所谓“周围环境”是指环绕前述那个某一“特定环境”周围的环境而言(如室外空气环绕着某一房间的周围墙体,热交换器中管外介质包围着管内另一种介质);所谓“冷”的环境是要使“特定环境”中介质的温度低于“周围环境”介质的温度。

实现制冷的方法很多,最原始的方法是使用天然冷源。天然冷源就是指天然资源中的天然冰和地下低温水等冷源。但由于天然资源有限,而且受到季节与地区的限制,难以满足各种制冷的需求,所以人工制冷就有了蓬勃的发展。人工制冷是用人工的方法,应用各种制冷设备把某一特定环境中的热量排到周围环境的介质中去,从而制造出“冷”环境的过程。

二、制冷的应用范围

制冷主要用于空调、冷藏、空气分离、生产工艺和冷冻医疗等方面。用于生产环境、科学实验等方面的空调称为工艺性空调,而为解决人体舒适感应用于宾馆、饭店、办公室和会议室等处的空调则称为舒适性空调。

第二节 制冷方式

一、压缩式制冷

压缩式制冷有活塞式、离心式和螺杆式三种方式。它们共同的特点是:对制冷剂蒸汽进行压缩,以便于冷凝。

(1) 活塞式压缩制冷。这是我国目前使用最为广泛的一种制冷方式。它具有运行可

靠、产冷量大、使用方便等特点。其标准产冷量在 4186.8 ~ 2001290kJ/h 范围内。但是这种制冷机械易磨损的零、部件较多,因而相应地增加维护保养的工作量。

(2) 离心式压缩制冷。离心式制冷压缩机在制冷系统中如同活塞式制冷压缩机一样起压缩气体的作用,由蒸发器送来的气体经由压缩机的进气室进入叶轮的吸入口,由于叶轮以高速转动,把叶片间的气体以高速度甩出去,气体在被甩出的过程中,叶轮对气体做了功,因此,气体速度增大,同时压力也增高。在叶轮的后面设有扩压器,它是环形通路,从叶轮甩出的气体,其速度很高,气体经扩压器时沿流动方向的截面积逐渐增大,因而气流的速度降低,压力进一步增高,由速度能转化为压力能,从扩压器出来的气体再由回流器引到下一个叶轮进行再次压缩。回流器也是一个环形通道,但其前端有一个弯道,将气体由离心方向改为向心方向,弯道后面,均有叶片,引导气体以一定的方向进入下一级叶轮。但对于单级离心式压缩机和多级离心式压缩机的末级,没有回流器,而是接一个蜗壳,它的作用将扩压器来的气体引导到排气管道,进入冷凝器。由此可知,离心式制冷系统,是依靠离心式压缩机中的高速旋转的叶轮产生的离心力,来提高制冷剂蒸汽的压力,以获得对蒸汽的压缩过程,然后经冷凝、节流降压、蒸发等过程来实现制冷的。

离心式制冷机具有结构简单、零部件少、体积小、质量轻、运行可靠、制冷量大等特点,用于大面积空调较为合适;但它存在单机制冷量不能太小、压力过高密封问题较难解决,以及工作转速高、高速齿轮增速器制造工艺要求高等缺点,这就限制了它的使用范围。

(3) 螺杆式压缩制冷。螺杆式制冷压缩机是容积式压缩机的一种,它是利用一个阳螺杆(阳转子)与一个阴螺杆(阴转子)相互啮合所组成的一对转子,在机壳内回转而完成吸气、压缩与排气过程的。

当转子转动时,齿槽容积随转子旋转而逐渐扩大,并和吸入孔口相连通,由蒸发系统送来的气体通过吸入孔口进入齿槽容积完成气体的吸入过程。在转子旋转到一定角度后,齿间容积越过吸入孔口位置与吸入孔口断开,吸入过程结束。

当转子继续转动时,被机壳吸、排气端座所封闭的齿槽内的气体,由于阴、阳转子的相互啮合而被压向排气侧,同时压力逐渐升高,完成压缩过程。

当转子转到使齿槽空间与排气端座上的排气孔口相通时,气体被压出并由排气法兰排出,进行排气过程。在压缩与排气过程的同时,啮合线的另一侧又开始吸气过程,循环往复地完成上述过程。

这种制冷机具有结构紧凑、体积小、质量轻、运行平稳可靠、操作方便、易损件少、使用寿命长等特点,是一种很有发展前途的制冷机械,目前因加工和噪声较大的问题,其应用受到一些限制。

二、吸收式制冷

1. 吸收式制冷原理

吸收式制冷属物质相变蒸气制冷方法。它通过消耗热能,利用溶液吸收制冷剂的特性,以吸收器、溶液泵、发生器和节流阀代替压缩机,实现对蒸气的压缩。其余的冷凝、节流、蒸发过程,与蒸气压缩式制冷循环基本相同。

吸收式制冷工作原理如图 1-1 所示。来自蒸发器的低温低压制冷剂蒸气，进入吸收器，被吸收剂溶解吸收，成为二元溶液。吸收过程中放出的溶解热则被冷却水带走。二元

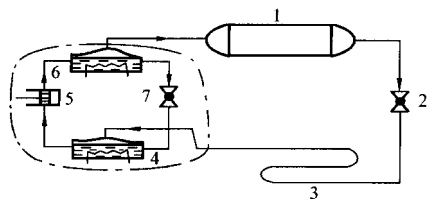


图 1-1 吸收式制冷原理图

1—冷凝器；2—节流阀；3—蒸发器；4—吸收器；5—溶液泵；6—发生器；7—节流阀

溶液由溶液泵送入发生器，被热蒸气或电能等热源加热升温后，吸收剂对制冷剂的溶解度变小，释放出来的制冷剂成为高压蒸气，进入冷凝器液化。而释放出制冷剂的吸收剂则经节流降压后，返回吸收器继续工作。

只有一个发生器的吸收式制冷机，称为单效吸收式制冷机，其制冷系数为 0.7。有高压、低压两个发生器，其热源用来加热高压发生器，所产生的

的高压高温制冷剂蒸气冷凝时放出的潜热，又用作低压发生器的热源，称为双效吸收式制冷机。它既降低了热能的消耗，又减少了冷凝器的冷却水量，制冷系数可达 0.9 以上。三效吸收式制冷机，有高压、中压、低压三个发生器，制冷系数可高达 1.5 左右。

吸收式制冷机有高、低压两套吸收器、发生器、溶液泵、节流阀等设备，工质经过两次升压的称为双级吸收式制冷机，它适用于制取较低的蒸发温度，并有较好的经济性。

2. 吸收式制冷机的工质

在吸收式制冷机中，至少有两种工质——吸收剂与制冷剂，也称为工质对，如溴化锂-水工质对，氨-水工质对等。由工质对组成的溶液称为二元溶液。有的吸收式制冷机还采用由三种工质组成的三元溶液。对组成工质对的制冷剂和吸收剂，分别有不同的要求：制冷剂应易于蒸发，有较低的蒸发温度，吸收剂应较难蒸发，有较高的蒸发温度；温度较低时吸收剂善于吸收制冷剂，而温度升高时又善于放出制冷剂。因此，由溴化锂和水组成的工质对，溴化锂是吸收剂，水是制冷剂；由氨和水组成的工质时，则水是吸收剂，氨是制冷剂。

溴化锂吸收式制冷机在空调系统中使用日益普遍。溴化锂是一种无色粒状晶体。无水溴化锂的熔点为 549℃，沸点为 1265℃，是一种极不易挥发又极易溶于水而成溴化锂水溶液的物质。在常温下饱和溴化锂水溶液的浓度为 60%。溶液的浓度越高或温度越低，它的吸水能力就越强。溴化锂在空气中对钢铁有很强的腐蚀作用，但在真空状态下加入缓蚀剂，基本上不腐蚀金属。

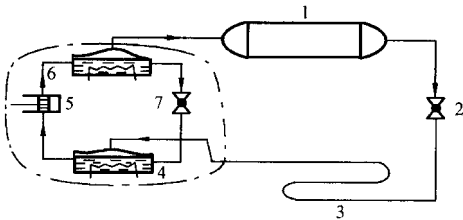


图 1-2 单效溴化锂吸收式制冷机流程图

1—冷凝器；2—发生器；3—蒸发器；4—吸收器；5—换热器；6—U形管；7—防结晶管

3. 常见的吸收式制冷机

按采用工质的不同，吸收式制冷机有很多种类。使用较普遍的有溴化锂吸收式制冷机、氨-水吸收式制冷机和吸收-扩散式制冷机等。

(1) 溴化锂吸收式制冷机的工作原理。溴化锂吸收式制冷机以溴化锂作为吸收剂，以

低压下低沸点的水作为制冷剂。受水凝固点的限制，溴化锂吸收式制冷机的蒸发温度不得低于 0°C ，故多用于空调系统。单效溴化锂吸收式制冷机流程图如图 1-2 所示。

(2) 氨-水单级吸收式制冷机工作原理。氨-水单级吸收式制冷机工作原理如图 1-3 所示。它把对氨具有极好溶解性能的水作为吸收剂，而把标准蒸发温度较低的氨作为制冷剂，蒸发温度可达 -30°C 左右。由于水也容易蒸发，故在精馏塔内蒸发的氨气中往往夹带较多的水蒸气，因此需要在发生器的上部设置分离水蒸气的回流冷凝器，对氨气进行精馏提纯。

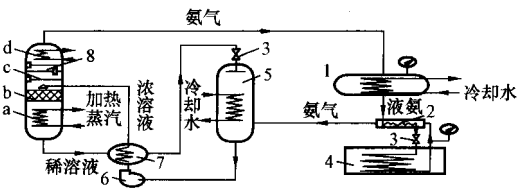


图 1-3 氨-水单级吸收式制冷流程图

1—冷凝器；2—过冷器；3—节流阀；4—蒸发器；
5—吸收器；6—溶液泵；7—溶液热交换器；8—精馏塔；
a—发生器；b—提馏段；c—精馏段；d—回流冷凝器

氨-水吸收式制冷机多用于 0°C 以下的低温系统。

图 1-4 为氨-水双级吸收式制冷机流程图。从蒸发器出来的低压制冷剂蒸气，经过低压精馏塔和高压精馏塔两次升压后进入冷凝器液化，在制取较低的蒸发温度时，有较好的经济性。

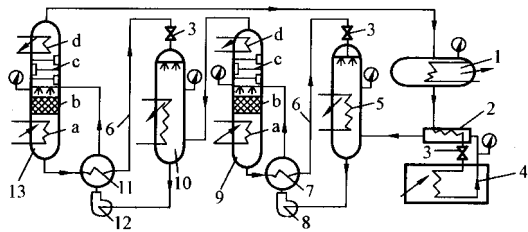


图 1-4 氨-水双级吸收式制冷机流程图

1—冷凝器；2—过冷器；3—节流阀；4—蒸发器；5—低压
吸收器；6—水路；7—低压热交换器；8—低压溶液泵；
9—低压精馏塔；10—高压发生器；11—高压热交换器；
12—高压溶液泵；13—高压精馏塔；a—发生器；b—提馏
段；c—精馏段；d—回流冷凝器

(3) 吸收-扩散式制冷机工作原理。

在吸收-扩散式制冷机的工质中，除了吸收剂与制冷剂外，还增加了扩散剂氢。它的作用是使冷凝后的高压液体制冷剂经扩散降压后，在蒸发器中实现蒸发制冷。其工作原理如图 1-5 所示。发生器中的浓氨水溶液被加热蒸发，大量氨蒸气夹带一部分水蒸气和水滴上升，在分水器中水滴被分离，精馏器中水蒸气被冷凝，纯净的氨蒸气进入冷凝器中液化，并进入蒸发器。由于加入了来自氢气筒中的氢，蒸气中混合气体的总压力达到了 1.4MPa ，其中氢气的分压力为 1.29MPa ，氨气的分压力仅为 0.11MPa 。因此高压液氨进入蒸发器后，立即降压扩散，蒸发制冷，成为 0.11MPa 的氨蒸气。氨气与氢气的混合气体离开蒸发器进入吸收器后，氨气被水吸收成为二元溶液进入发生器，重复循环；而氢气不溶于水，在吸收器中沿平衡管上升，返回氢气筒。

4. 吸收式制冷机的特点和应用

(1) 吸收式制冷机的特点：

- 1) 可以利用低温热能作为热源，如 $0.03 \sim 0.1\text{MPa}$ 的蒸气或 75°C 以上的热水。对于有废蒸气、废热水的工厂企业，采用吸收式制冷机，有良好的经济效益。
- 2) 耗电少。一般只有溶液泵用电。
- 3) 转动部件少，结构简单，运行平稳，无噪声，振动小，能量调节范围大，管理维

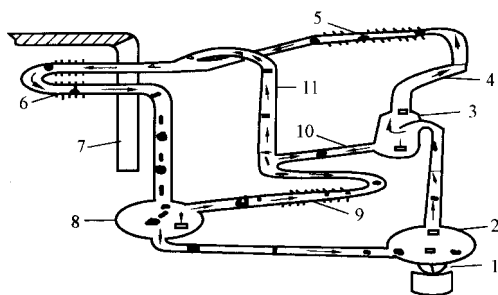


图 1-5 吸收-扩散式制冷机原理图

- 1—热源；2—发生器；3—氨水分离器；4—精馏器；
5—冷凝器；6—蒸发器；7—冰箱外壳；8—贮液器；
9—吸收器；10—下降管；11—平衡管

适用于需安静的空调场所，如影剧院、大会堂等，并适于有废蒸气、废热水的工厂、企业，采用太阳能吸收式制冷机经济效益更佳。多效吸收式制冷机，由于有较高的制冷系数，在 R12 等制冷剂将被逐步禁用，制冷技术面临着一场挑战的今天，正日益引起人们的重视并正在进一步研究、开发。

三、蒸汽喷射式制冷

1. 蒸汽喷射式制冷原理

蒸汽喷射式制冷，也属蒸汽制冷方法。它通过蒸汽喷射器高速喷射时周围所形成的负压，对蒸发器进行抽吸，使工质在较低的蒸发压力下蒸发，而获得较低的蒸发温度。同时，喷射出的低压混合蒸汽，经扩压器减速增压后，进入冷凝器液化。蒸汽喷射式制冷机只用单一的物质作工质，目前几乎都以水作工质。图 1-6 为蒸汽喷射式制冷机的工作原理。

压力约 800kPa 的工质蒸汽通过喷射器的缩放形喷嘴时，变成超音速的高速气流，在出口处形成高真空状态，把蒸发器内的蒸汽不断抽出，使蒸发器内的制冷剂在低压下蒸发降温，获得所需要的低温水。另外，从缩放形喷嘴喷射出来的高速气流与从蒸发器抽吸出来的低温低压蒸汽混合后进入也呈缩放形的扩压器，经减速增压后，在出口处达到冷凝压力。由于大气压力与蒸发器内压力的压缩比远大于 8，而喷射器无法在压缩比大于 8 的条件下正常工作，故蒸发器内的低压蒸汽不能直接排入大气中，而必须排入压力较低的冷凝器内，冷却液化后与冷却水从底部排出。

蒸汽喷射机如果只有一种蒸发温度，称为单效蒸发；具有两种或两种以上的蒸发温度的，称为多效蒸发。多效蒸发器用隔板将蒸发器隔成两个或多个蒸发压力、蒸发温度不同的蒸发室，由各自的喷射器

修方便。

4) 可以不使用将被禁用的 R12 等氟利昂制冷剂。

5) 其缺点是消耗金属材料多，制冷系数较低。

(2) 吸收式制冷机的应用和前景。吸收式制冷机的制冷量，小至几十瓦，大至上万千瓦，既可用于家用小冰箱，也可用于大型的制冷装置。当采用水作制冷剂时，可用于空调系统或制取低温生产用水；当采用氨等作制冷剂时，可用于 0℃ 以下的低温制冷。由于吸收式制冷机运行时无噪声、振动小，

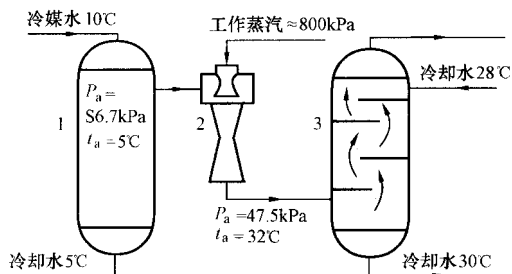


图 1-6 蒸汽喷射式制冷原理图

- 1—蒸发器；2—喷射器；3—冷凝器

与冷凝器相通。冷媒水的温度在多效蒸发器中逐步降低。冷凝器内低压水的顺利排出，则靠冷凝器安装高度所产生的静压力大于大气压力来保证。多效蒸发与多级压缩一样，使压缩比分解变小，节省了蒸汽的消耗量，并能得到温度不同的低温水。

2. 蒸汽喷射式制冷的特点和应用

蒸汽喷射式制冷机不消耗电能，只消耗热能，尤其适用于有废热能的工厂企业。

蒸汽喷射式制冷具有结构简单、投资小、加工方便、运行可靠、使用寿命长、占地面积小等优点，用水作工质还具有廉价、无毒、不燃烧、不爆炸、容易获得等优点。其缺点是制冷系数低，蒸汽消耗量大，冷却水消耗量大，噪声大，水泵耗电量大；为了让凝结水从容器底部流出，设备的安装高度需在 10m 以上；用水作工质，其蒸发温度不能低于 0℃，限制了它的使用范围。蒸汽喷射式制冷机通常用于空调系统或供应工艺用冷却水，可制取 2~20℃ 的冷媒水，其中以制取 10~20℃ 的冷媒水较为经济。

四、空气膨胀制冷

1. 空气膨胀制冷原理

空气膨胀制冷是利用压缩空气在绝热条件下膨胀，因消耗内能而降温的一种制冷方法。

空气膨胀制冷工作原理如图 1-7 所示。空气被压缩机吸入，经压缩后温度与压力升高，再进入冷却器作等压冷却，然后进入膨胀机作绝热膨胀降温，低温的气流进入低温室吸热制冷后，被压缩机重新吸入或直接排入大气中。

2. 空气膨胀制冷的特点和应用

空气膨胀制冷的的主要优点：

- (1) 以空气为工质，容易获得，且可使用一般的空气压缩机。
- (2) 制冷量和温度容易调节。
- (3) 降温性能可靠。制取 -80~-120℃ 范围的低温，机器设备比复叠式制冷简单。

空气膨胀制冷的的主要缺点：空气的比热容小，单位容积制冷量小。制冷温度高于 -80℃ 时，能耗大，且温度越高，能耗越大，所以不适用于 -80℃ 以上的制冷系统。

空气膨胀制冷，发明于 19 世纪 40 年代，曾一度是远洋冷藏运输的主要制冷方法，后来由于设备庞大，制冷系数较低，被蒸汽压缩式制冷所代替。近十几年来由于采用了透平膨胀机和回热技术等，性能有所改进，在深冷范围内有重要的应用价值。目前主要用于获取 -70℃ 以下的低温和飞机空调系统中。

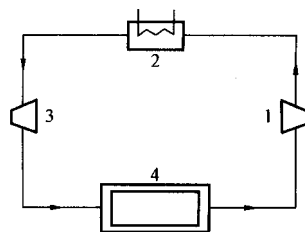


图 1-7 空气膨胀制冷原理图

1—压缩机；2—冷却器；
3—膨胀机；4—低温室

五、热电式制冷

1. 热电式制冷原理

热电式制冷又称温差电制冷，也称半导体制冷。这是在 20 世纪 70 年代初，随着半导

体技术的发展而迅速发展起来的现代新型制冷技术。

用两种不同的导体组成闭合回路，并接入直流电源，就会在两个联结点之间产生温差：一端温度升高，为热端；另一端温度降低，为冷端。这种由电流产生的温差现象，由帕尔帖在 1934 年发现，称为帕尔帖效应。其原理如图 1-8 所示。帕尔帖效应是热电制冷的基础。

用两种金属组成的电偶对，其热电效率很低，制冷系数不到 0.01，因此没有实用价值。用掺杂有其他元素的半导体材料制作的电偶对，具有良好的热电效率，制冷系数可达 0.12，从而为热电式制冷的应用开辟了广阔的途径。

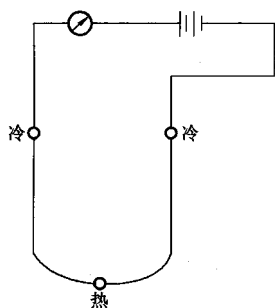


图 1-8

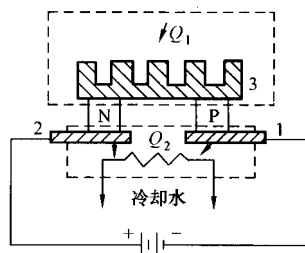


图 1-9

用作热电式制冷的半导体材料很多，如碲化铅（PbTe）、铋化锌（ZnSb）等。

热电式制冷其工作原理如图 1-9 所示。它由一个载流子多数为电子，少数为空穴的 N 型半导体元件和一个载流子多数为空穴，少数为电子的半导体元件 P 组成电偶对，中间用铜片 3 焊接，与电源、导线组成一闭合环路。电子在铜片中的势能小，在 N 型半导体元件中的势能大；空穴在铜片中的势能小，在 P 型半导体元件中的势能大。在环路中空穴流与电子流的方向相反。当空穴流从铜片 3 进入半导体元件 P 时，必须吸收能量，增大势能，于是铜片 3 的内能消耗，温度降低。当空穴流从半导体元件 P 进入铜片 1 时，所需势能减小，于是转化为热能放出，使铜片 1 的温度升高。同理，当电子流通过半导体元件 N 时，也使铜片 3 的温度降低，而使铜片 2 的温度升高。这样，当有直流电通过上述的半导体电偶对闭合环路时，即出现以铜片 3 为冷端，以铜片 1、2 为热端的热电式制冷过程。如果改变闭合环路电流的方向，则电偶对的热端与冷端发生置换。

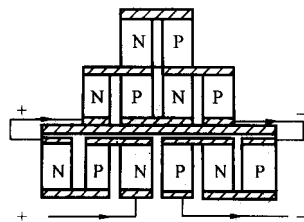


图 1-10 三级热电偶
制冷原理图

一个热电偶产生的热电效应较小。在实际应用中通常把多个热电偶串联成热电堆，并通过各种方式加强散热，如水冷或风冷，以增大制冷量。还可以采用两级或多级热电式制冷，即以第一级热电偶的冷端作为第二级热电偶热端的散热面。又以第二级热电偶的冷端作为第三级热电偶的热端，以此类推，制成多级热电式制冷器，以制取更低的温度。图 1-10 是三级热电偶制冷器的工作原理图。

2. 热电式制冷的特点和应用

热电式制冷的主要优点是没有机械转动部件、无噪声、无振动、使用寿命长、工作可

靠、体积小、质量轻、无需制冷工质等。一个体积只有香烟盒大小的四级热电式制冷器，可制得 -100°C 的低温。它的主要缺点是：必须使用直流电、耗电量大、造价高、制冷量较小。但是随着现代科学技术的发展，特别是半导体技术的发展，热电式制冷作为一门新兴的制冷技术，正在得到迅速的发展和日益广泛的应用。目前，热电式制冷已能获取 -133°C 的低温、制冷量已超过 35kW 。在航空航天、卫星地面站、深潜装置和医疗技术中，采用热电式制冷的微型制冷装置正在发挥日益重要的作用。

六、绝热去磁制冷

1. 绝热去磁制冷原理

绝热去磁制冷是现代最新的低温制冷技术之一。它建立在顺磁性盐具有的磁热效应基础上，顺磁性盐磁化时放出热量；在绝热的条件下去磁，则消耗内能，温度降低。采有多级绝热去磁，即可获得极低的温度。

常用的顺磁性盐有铁铵矾 $[\text{FeNH}_4(\text{SO}_4)_2]$ 、铬钾矾 $[\text{CrK}(\text{SO}_4)2\cdot 12\text{H}_2\text{O}]$ 和硝酸铈镁 $[\text{Ce}_2\text{Mg}(\text{NO}_3)22\cdot 4\text{H}_2]$ 等。

图 1-11 是绝热去磁制冷装置的工作原理图。分为四个工作步骤：

图 1-11 (a) 所示将顺磁性盐悬挂在装有低压气态氮的管子中。关闭管子下部的阀门，放进装有温度在 1K 左右的减压液氮的杜瓦瓶中，使低压气态氮与顺磁性盐的温度也降至 1K 左右。

图 1-11 (b) 所示缓慢加入磁场，顺磁性盐发生磁化，放出的磁化热通过气态氮传递给液态氮，温度继续保持在 1K 左右不变。

图 1-11 (c) 所示打开阀门，抽空管内的氮气，使顺磁性盐失去传热介质，处于绝热条件下。

图 1-11 (d) 所示打开阀门，移去磁场，顺磁性盐失磁，在绝热的条件下消耗内能，温度降低，实现制冷。

2. 绝热去磁制冷的特点和应用

目前，绝热去磁法所能获取的温度在各种方法中是最低的。利用多级绝热磁法中可获得 $10\sim 6\text{K}$ 的极低温度。如果再利用核子去磁的方法，便可获得 $10\sim 8\text{K}$ 的更低温度。

绝热去磁制冷主要用于原子能核工业和科研事业中。

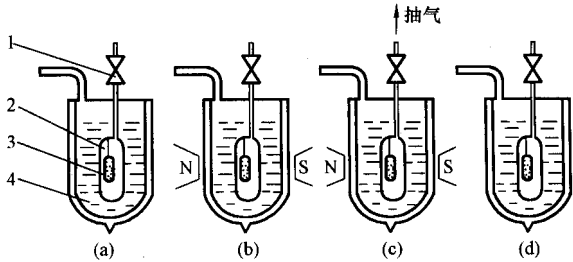


图 1-11 绝热去磁制冷原理图

1—阀; 2—装有低压气态氮的管子;
3—顺磁性盐; 4—减压液氮

第三节 制冷设备的种类

制冷设备的分类见图 1-12。