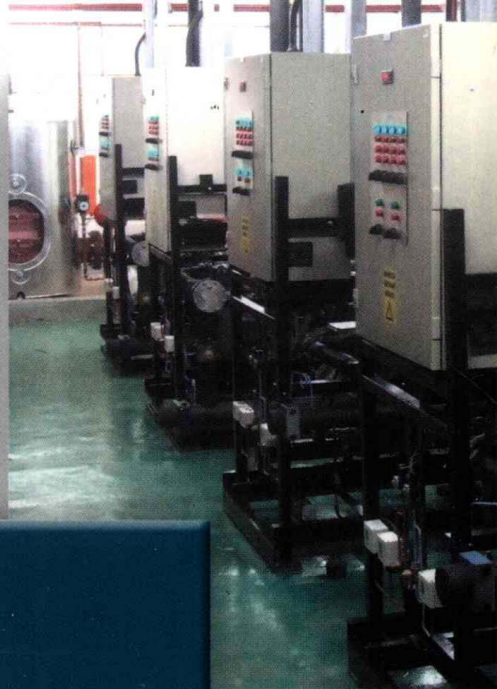


全国制冷空调安全技术培训试用教材

制冷空调 安全技术

连添达 主编

中国建筑工业出版社



全国制冷空调安全技术培训试用教材

制冷空调安全技术

连添达 主编

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

制冷空调安全技术/连添达主编. —北京: 中国建筑工业出版社, 2008

全国制冷空调安全技术培训试用教材

ISBN 978-7-112-10374-4

I. 制… II. 连… III. 制冷-空气调节器-安全技术-技术培训-教材 IV. TB657.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 140591 号

为贯彻国家安全生产法规, 规范制冷空调建设, 确保制冷空调安全运行, 保障人民生命财产安全, 根据《中华人民共和国安全生产法》和有关法律、行政法规及有关行业技术标准, 按照国家颁发的《制冷与空调作业人员安全技术培训大纲》和《制冷与空调作业人员安全技术考核标准》通用部分, 并采用最新版本国家标准和安全规范进行编写。主要内容包
括: 制冷空调基本概念和制冷原理、空调原理、自控原理及系统配置; 工程设计安全
要求; 工程施工安全要求; 设备安装安全要求; 系统操作安全要求; 机器及设备维修安全
要求; 安全监督与管理; 自动控制与安全装置; 事故与危险性分析; 常见故障与处理。

本书是制冷空调工程设计人员、工程施工、安装技术人员、设备操作、维护、检修人
员、企业管理人员等的安全技术等级考核和培训教材, 也可供大专院校相关专业师生
参考。

* * *

责任编辑: 胡明安

责任设计: 崔兰萍

责任校对: 安 东 孟 楠

全国制冷空调安全技术培训试用教材

制冷空调安全技术

连添达 主编

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

霸州市顺浩图文科技发展有限公司制版

北京同文印刷有限责任公司印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16·印张: 40 字数: 974 千字

2009 年 1 月第一版 2009 年 1 月第一次印刷

定价: 80.00 元

ISBN 978-7-112-10374-4

(17177)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

前 言

根据国家颁发的《制冷与空调作业人员安全技术培训大纲》和《制冷与空调作业人员安全技术考核标准》，采用相关制冷空调设计规范、工程施工及验收规范、工程质量检验评定标准等最新国家标准和安全规范、安全技术监察规程及制冷空调设备安全要求；结合编者主持的数百个大、中、小型制冷空调工程项目的设计、施工、安装、调试；经过设备的操作、维护、检修管理和各种故障处理的长期实践；于 2003 年为天津市安全生产监督管理局编写培训教材《制冷与空调安全技术》，并对天津市制冷空调人员进行在岗培训和安全教育取得明显成效。

为贯彻国家安全生产法规，规范制冷空调建设、确保制冷空调设备的安全运行，保障人民生命财产安全，依据《中华人民共和国安全生产法》和有关法律、行政法规及有关行业技术标准、规范、规定，经过几年的努力，组织编写出一套全新的《制冷空调安全技术》培训教材在全国推广使用。

大量事故表明，提高安全生产意识，加强安全生产教育是当前亟待解决的问题。操作者必须进行技术培训和安全教育，经过考核合格才能上岗，这是确保安全的最低要求。制冷空调是一种特殊行业，有爆炸、中毒、窒息、腐蚀、冻伤、坠落、倒塌、火灾、烧伤、电击等危险，一旦出现事故，将造成财产严重损失，甚至危害人生安全。各种事故案例不仅频频发生在工程的施工、安装、调试与日常设备的操作、维护、检修过程中，还经常在设计时就存在不安全隐患，隐藏着更大的危险性。同时，存在安全管理和事故处理很不规范，对国家标准、设计规范、施工验收规范、操作规程及设备安全要求执行不力，得不到有效的制度约束和法律支持，因此，恢复和加强制冷空调安全技术等级考核显得异常重要。

本书着重阐明在设计、施工、安装、调试、操作、维护、检修和监督管理及事故处理中的安全要求，明确了制冷空调系统及其设备的安全性能，掌握制冷空调自控元件调节功能及安全防护措施。为了实现安全生产，必须掌握蒸气压缩式制冷原理、吸收式制冷原理、空调原理和自动调节原理，能准确描述制冷空调基本概念，因此，制冷空调基本原理及其设备配置也作了必要的介绍。

该书力求内容简明突出，概念清晰，方便实用，深浅兼顾，适合各类人员的技术等级（高级、中级、初级）考核，可作为制冷空调工程设计人员、工程安装施工人员、设备操作、维护、检修人员、企业管理人员等的安全技术培训教材，也可供高等院校、大专院校相关专业师生参考。

本书由天津商业大学（原天津商学院制冷与空调工程系）研究生导师连添达教授主编，天津大学马九贤教授主审。

参加编写的人员有：王树久 徐 恒 陈子仪 李德龙 唐学祥 顾 群 邵春生
· 林 平 史俊红。

书中错误和缺点难免，恳请读者批评指正。

编 者

2008 年 7 月于天津商业大学

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 制冷空调技术的发展概况	1
1.2 制冷空调技术的应用	3
1.3 安全技术在制冷空调中的意义	5
第 2 章 制冷空调原理	6
2.1 基础知识	6
2.2 压缩式制冷原理及压—焓图 ($\lg p-h$ 图)	13
2.3 吸收式制冷原理及焓—浓度图 ($h-\zeta$ 图)	35
2.4 空调原理及空气焓—湿图 ($h-d$ 图)	61
2.5 自动调节原理及方框图	79
第 3 章 制冷空调设备及其系统配置	94
3.1 制冷压缩机与压缩冷凝机组及辅助设备	94
3.2 蒸发器及其蒸发系统末端装置	120
3.3 压缩式与吸收式冷水机组	126
3.4 空气热湿处理设备和空调风系统及其末端装置	151
3.5 水处理设备和空调水系统及其末端装置	156
3.6 空调蓄冷设备	161
3.7 其他设备	171
第 4 章 制冷空调设备选用计算及设计安全要求	172
4.1 设计依据与相关设计规范	172
4.2 制冷负荷计算	177
4.3 建筑围护构造热、湿计算	187
4.4 制冷设备选用计算	193
4.5 空调负荷计算	204
4.6 空调房间送风状态及送风量的确定	208
4.7 空调设备选用计算	210
4.8 制冷空调工程设计安全要求	214
第 5 章 制冷空调工程施工安全技术	221
5.1 工程施工与施工组织	221
5.2 制冷空调工程施工组织	225
5.3 制冷空调工程施工组织总设计	241
5.4 制冷空调单位工程施工组织设计	256
5.5 制冷空调工程工地施工业务组织	269

第 6 章 制冷空调设备安装、调试安全技术	275
6.1 设备安装前的准备工作	275
6.2 制冷空调机器安装	296
6.3 制冷空调设备安装	305
6.4 制冷空调管道、管件安装	313
6.5 空调风系统及其末端装置安装	317
6.6 空调水系统及其末端装置安装	324
6.7 电气设备安装	327
6.8 制冷空调隔热工程安装	330
6.9 制冷空调系统调试与工程验收	336
第 7 章 制冷空调系统安全操作	368
7.1 活塞式制冷设备安全操作	368
7.2 螺杆式制冷设备安全操作	374
7.3 离心式制冷设备安全操作	376
7.4 吸收式制冷机安全操作	378
7.5 制冷空调辅助设备安全操作	381
7.6 冷藏库安全操作	388
7.7 制冷剂充注安全注意事项	399
7.8 制冷空调系统正常运转标志	401
第 8 章 制冷空调机器设备的安全维护与检修	405
8.1 检修基础	405
8.2 制冷空调机器的安全维护与检修	408
8.3 制冷空调设备的安全维护与检修	440
第 9 章 制冷空调安全管理与监督	450
9.1 制冷空调机房安全技术	450
9.2 压力容器安全技术	455
9.3 冷藏库安全技术	458
9.4 制冷剂钢瓶使用的安全要求	460
9.5 安全防护器材	462
9.6 制冷剂泄漏中毒的紧急救护	465
9.7 空调系统防火排烟	467
9.8 制冷空调设备运行维护安全管理	468
9.9 制冷空调设备安装修理安全管理	473
9.10 制冷空调循环水的安全管理	474
9.11 安全技术培训大纲与考核标准	477
第 10 章 制冷空调自动调节与安全装置	486
10.1 自动调节基础知识	486
10.2 制冷空调参数调节	524
10.3 制冷空调设备控制	552
10.4 制冷空调自控实例	569

第 11 章 制冷空调事故与危险性分析 580

11.1 制冷空调事故及特点 580

11.2 制冷空调事故原因与分析 583

11.3 制冷空调设备爆炸危害分析 595

第 12 章 制冷空调常见故障与处理 598

12.1 故障的检查方法 598

12.2 制冷空调事故处理 601

12.3 压缩机常见故障与处理 604

12.4 制冷空调系统常见故障与处理 612

12.5 冷水机组常见故障与处理 618

12.6 冷却塔、泵与风机常见故障与处理 620

附录 624

附录 1 R22lgp-h 图..... 624

附录 2 R502lgp-h 图 625

附录 3 R134algp-h 图..... 626

附录 4 R717lgp-h 图 627

附录 5 溴化锂溶液 h-ζ 图 628

附录 6 湿空气焓湿图 629

附录 7 制冷空调工程常用单位换算表 630

参考文献 631

第 1 章 绪 论

制冷空调技术人员应不断了解制冷空调技术的发展动态，随时掌握制冷空调新技术、新工艺、新材料、新设备的实际应用，并认真做好安全技术工作。

1.1 制冷空调技术的发展概况

制冷技术是研究人工制冷原理、方法以及如何运用机械设备获得低温的科学技术。制冷就是使某一空间内物体的温度低于周围环境介质的温度，并维持这个低温的过程。为了使某物体或某空间达到并维持所需的低温，就得不断地从它们中间取出热量并转移到环境介质中去。这个不断地从被冷却物体取出并转移热量的过程就是制冷过程。

很早以前，人类利用天然冷源（冰、雪或地下水）进行防暑降温 and 保存新鲜食品。直到 16 世纪以后，由于科学技术的发展，揭示了冰盐混合时的制冷效应，于是人们开始用冰盐混合的方法来冷却饮料，保存新鲜食物，但由于温度受到一定的限制，又不宜控制和调节，而且受到季节和地区的影响，所以难以满足生产、科学研究和日常生活的需要。于是在 19 世纪中叶开始出现了人工制冷技术。

1834 年在伦敦工作的美国发明家波尔金斯试制成功了第一台用乙醚为制冷剂的制冷机，这台机器可看作是现代制冷机的雏形。1844 年美国人约翰·高里在美国费城制成了用空气为制冷剂的可用来制冰和冷却空气的制冷压缩机。1852 年开尔文作出了用逆卡诺循环可以制冷的理论证明。1862 年法国人卡尔里制成了吸收式制冷机。1873 年波义耳发明了氨压缩机，在此基础上，于 1875 年德国人卡尔·林德设计成功氨蒸气压缩式制冷机，这被大家公认是制冷机的始祖，对制冷技术的发展起了重大的作用。到目前为止，氨仍旧是主要的制冷剂之一。同年，卡列提出了用二氧化硫水溶液的吸收式制冷机，并且还预言了可能试制氨水溶液吸收式制冷机。1875 年以后，氨压缩式制冷机和氨水溶液吸收式制冷机一直居于领先地位。到了 1881 年又出现了以二氧化碳为制冷剂的制冷机。1890 年出现了蒸气喷射式制冷机。当 1930 年出现了以氟利昂为制冷剂的制冷机时，为制冷机开辟出一条新的道路，快速地促进制冷技术的发展。到了 20 世纪 60 年代，半导体制冷又独树一帜，成为制冷技术的新秀，对微型制冷器的发展起了推动作用。

在制冷技术的发展道路上，蒸气压缩式制冷始终处于主导地位。从 20 世纪初开始，随着科学技术的进步，制冷机出现了多种类型，机器转速提高使设备紧凑，制冷剂性能逐步优化有利得到更低的温度，系统逐步完善并实现自动控制。这些进步，都促使制冷技术发展成为一个成熟的工程领域，在国民经济中占有一定的地位。

空调是空气调节的简称，空调技术是通过人工对空气进行处理，使室内空气的温度、湿度、气流速度、洁净度和新鲜度保持在规定参数值的一门工程技术。夏季空调离不开制冷所提供的冷源，因此制冷和空调是两门密切相关的应用技术。空气调节分为工艺性空调

和舒适性空调两大类。前者是为了满足生产、科研等工艺过程对空气参数的要求，以保证产品的质量和生产过程的顺利进行。后者是向人们提供一个适宜的生活、工作环境，有利于提高工作效率和保障人民身心健康。

19 世纪后半叶，纺织工业的迅速发展给空调技术带来巨大的挑战，美国工程师克勒默为美国部分纺织厂设计安装了空调系统，解决了车间的生产环境。1911 年，被称为“空调之父”的美国人开利尔研究得出了空气显热、潜热和焓值的计算公式，绘出了空气的焓湿图，成为空调理论的奠基人。1922 年，他发明了离心式制冷机，推进了空调技术的发展。1937 年他又发明了空气—水诱导系统。到 20 世纪 60 年代这种模式又发展为风机盘管系统，在世界各国盛行至今。20 世纪 20 年代，舒适空调得到了发展，成为家庭和办公的必备用品。60 多年来，空调技术发展迅速，窗式、分体壁挂式、分体柜式等多种类型满足了人们的需要，在功能上利用微电脑控制实现了制冷、制热、除湿、通风，使舒适性空调成为人们在工作、休息和娱乐中的一种享受。

人们喜欢用温区来描述制冷空调，划分为空调技术、制冷技术和低温技术。选用各自适合的工质（空调工质、制冷工质、低温工质）制造空调装置、制冷装置、低温装置。它们都是追求低温的制冷范畴，空调温区一般指 $\pm 0^{\circ}\text{C}$ 以上，而制冷和低温的温区：

120K (-153°C) 以上，普冷；

120~20K ($-153\sim-253^{\circ}\text{C}$)，深冷；

20~0.3K ($-253\sim-272.7^{\circ}\text{C}$)，低温；

0.3K (-272.7°C) 以下，超低温。

也可以将 120K 以下统称为低温制冷。

人工制冷和获取低温的方法很多：

相变制冷（利用物质在一定的温度和压力条件下产生融化、汽化、升华等相变，吸收周围介质热量，获取低温）是普遍采用的一种制冷方法。其中液体汽化制冷的应用最为广泛，它是利用液体汽化时的吸热效应实现制冷的。蒸气压缩式、吸收式、蒸气喷射式和吸附式制冷都属于液体汽化制冷。

为了制取特殊低温，还有气体绝热膨胀制冷；涡流管制冷，应用热管技术；绝热放气制冷；温差电制冷（利用珀尔帖效应半导体制冷）即热电制冷；顺磁盐或核绝热退磁制冷即磁制冷；氦稀释制冷；固体升华制冷，如利用固体 CO_2 （干冰）制冷；氦减压蒸发制冷； ^3He 绝热压缩制冷；沸石吸附制冷；利用宇宙空间的低温热汇（2~4K）辐射制冷等。

1877 年卡里捷与皮克捷用压缩与预冷一次绝热膨胀使氧液化，温度为 -183°C 。虽然液氧只保留了几秒钟，但打破了“永久性气体”的秘密。1883~1885 年奥利雪夫斯基和伏洛布列夫斯基用在真空下沸腾的乙烯预冷，一次绝热膨胀得到液态空气、液态氧及液氮，后来他们又经过 5 年的努力，用真空法得到液态空气和液态氧气，最低温度达到 -218°C 。1895 年林德设计了第一台高压空分设备。1898 年杜瓦用节流效应、换热器及在真空下沸腾的液空预冷，使氢液化，温度为 -252.6°C 。1908 年卡麦林-昂奈斯等用液氢预冷及一次绝热膨胀得到液氢，温度为 4.22K。在以后的 11 年研究中，他们不断用真空法，使液氮产量增加，温度降至 1K。20 世纪 50~60 年代，小型低温气体制冷机发展很快，可达 77~1.8K 的低温，用于空气、氮、氧、氩等气体液化。气体制冷机也用于飞机座舱的空气调节。1933 年乔克及马克·杜尔卡用顺磁盐绝热退磁制冷，达到 0.25~

0.27K 的低温。1956 年库尔提及其同事们利用铜核绝热退磁制冷, 可达 $20\mu\text{K}$ ($1\mu\text{K} = 10^{-6}\text{K}$) 的低温。当前, 最低温度可达 $1\mu\text{K}$, 是用核旋转的核绝热退磁法取得的。

地球南极为 -88.3°C ; 月球阴面为 -160°C ; 液氮温区在 -170°C ; 液态空气在 -190°C ; 液氦温区在 -269°C ; 接近绝对零度 -273.15°C 。制冷及低温技术的发展和應用將是一个广阔领域。

1.2 制冷空调技术的应用

制冷空调技术在国民经济中应用极为广泛, 它已渗透到许多领域。

1. 食品保鲜

制冷技术应用最早在食品工业。主要是对易腐食品例如肉类、水产品、蛋类、果蔬等进行冷加工、冷贮藏及冷藏运输, 以减少生产和分配中的食品损耗, 保持食品质量、原有风味和新鲜度, 延长食品的贮藏期限。采用的制冷装置有冷藏库、冷藏汽车、冷藏船、冷藏列车、冷藏集装箱、超市冷藏陈列柜直至家用冰箱等形成的冷藏链。

(1) 冷藏

冷藏分为低温冷藏与高温冷藏。

低温冷藏为 -18°C 冷藏, 采用的蒸发温度为 -28°C 系统 (出口标准 -20°C , 不同国家, 低温冷藏温度可能设为更低些)。主要是冷藏深加工后的食品, 如肉禽类、鱼虾、冰蛋等, 也可以冷藏感光材料等其他物品。

高温冷藏一般指 $\pm 0^{\circ}\text{C}$ 左右的冷藏, 其蒸发温度为 -15°C 系统。如冷藏鲜蛋、水果、蔬菜等“活体”食品, 也可以贮藏鲜花、种子等其他活体物品。冷藏活体难度较大, 需要考虑的因素较多, 高温冷藏要求稳定性好, 温度波动不能大, 温度精度控制一般较高。除了温、湿度的控制外, 还应考虑空气成分等其他因素的影响, 如实行气调贮藏。

(2) 冻结

冻结一般采用 -23°C 进行冷加工 (出口标准 -25°C), 即采用 -33°C 蒸发温度系统。规定在标准的冻结加工时间内完成, 如冻结鲜带鱼必须在标准冷加工温度下连续 8h 内完成。

(3) 预冷

预冷机主要用于产地采摘, 迅速去除田间热, 以保证产品的鲜度和风味。预冷有差压预冷、真空预冷和冷水预冷三种。

(4) 速冻

速冻机一般采用 -35°C (蒸发温度为 -45°C) 进行快速冻结。由于速冻食品 (如速冻饺子、速冻门丁、速冻空心粉、速冻蔬菜、速冻鸡、速冻分割肉、速冻虾、速冻鱼子等) 不同, 出现不同种类的速冻机, 如平板速冻机、流态化床速冻机、网传送式、链传送式、盘传递式速冻机、各种隧道式速冻机、螺旋速冻机、多层往复式速冻机、超宽带式速冻机、板式速冻机等, 这些速冻机大部分采用超低温冷加工和变频无级调速自动传送, 大大提高了产品质量和减少劳动强度。

(5) 制冰

制冰方式很多, 有盐水制冰 (大块冰)、用桶式和指形蒸发器的快速制冰 (轻型冰)、

有冰粒机制小颗粒饮用冰等。也可以人造滑冰场、人造冰雕游乐宫、隧道滑雪场、冰冷世界娱乐园等。

(6) 冷饮

各种饮料、鲜奶及奶制品和冰淇淋等各种冷饮生产过程与保鲜都离不开制冷。

(7) 商用冷藏陈列柜

冷藏陈列柜在超市、宾馆、饭店如雨后春笋地发展起来。品种也愈来愈多，有盘菜冷藏陈列柜、曲面玻璃窗鲜肉冷藏陈列柜、卧式和立式陈列柜、岛式冷藏陈列柜等。

(8) 真空冷冻干燥

真空冷冻干燥设备俗称冻干机，是一种采用升华脱水的制冷装置。经过冻干处理，可以无限期贮存而不变质，这在血液、精子贮存及遗传生物工程的研究无疑具有独特意义。当然，它也为民用或外贸出口带来广阔天地，如制作方便面、出口脱水大蒜等许多产品获得特殊价值。

2. 空气调节

例如冶金、纺织、印刷、造纸、胶片厂、精密仪器、电子工业等工厂及农村养蚕、养鸡场空调；某些有特殊要求的实验室，试验中心等，为了保证必要的恒温和恒湿的工作条件，以提高产品质量，需要进行空气调节，而制冷则是空调装置中不可缺少的组成部分。目前，剧场、影院、商场、医院、饭店、体育馆、会展中心等公共建筑，以至火车、汽车、轮船、飞机等交通工具都广泛地应用空气调节。

3. 农业用冷

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，保存动物良种精液以便进行人工配种等。

4. 工业冷却

在石油化工、激光电子、生物制药、仪器仪表、医疗卫生、国防工业、航空航天、通信、纺织、建筑等行业中，许多生产过程需要在低温条件下进行，才能保证生产和产品质量。如在化学工业中用于合成氨、苯胺等生产过程及溶液的浓缩等；石油化学工业中，用于合成塑料、合成纤维、合成橡胶等；炼油及天然气工业中用于石油脱蜡、油品精炼、石油气的液化及分离等；医药工业中利用真空冷冻干燥法在制取各种疫苗等时冻干生物制品、酶制剂等；冻干药品等；利用低温可以对如血清、疫苗、组织器官和各种有机药物在较低温度下进行保存；在医疗卫生方面，冷冻手术如外科、肿瘤、心脏、白内障、扁桃腺等切除手术；皮肤和眼球的保存和移植、低温麻醉等；另外，保存疫苗、药品、血液、皮肤和肢体胴体等，也与制冷技术息息相关；还有利用液氮制冷进行冷冻医疗、冷冻美容颇为盛行；棉纺织车间对空气温湿度度的要求；在建筑工业中，浇灌巨型混凝土大坝防坝体裂缝，提高混凝土强度，在搅拌混凝土时，以冰代水，排除混凝土凝固过程中析出的热量；在冻土中开掘矿井、隧道；利用制冷可实现冻土法开采土方，采用冻土法使工作面不坍塌，保证施工安全；在电镀工业中，要维持电镀液的温度来提高电镀元件的质量及合格率；利用制冷可以对钢进行低温处理（ $-70^{\circ}\text{C} \sim -90^{\circ}\text{C}$ ），可以改变其金相组织，使奥氏体变成马氏体，提高钢强度和硬度；在机器的装配过程中，利用低温能方便地实现过盈配合；仪器仪表的标定以及航空航天工业的净化、宇宙舱空间环境模拟、制造人工气候室等；在制作记忆合金中，以及盐类结晶，燃料、化肥的生产、贮运都需要制冷。

5. 特殊用冷

由于科学的发展,特殊低温技术的应用愈来愈广泛。比如低温超导技术在电力、交通、国防、探矿、医疗、核能等方面有着巨大潜在的用途。“超导磁体”是其中的例子:超导磁体没有电阻,就没有热损耗,容易产生强大的磁场,节省电力,5万高斯的强磁场只需几百瓦功率的电源。过去一个产生5万高斯磁场的磁体重量达20t,而超导磁体,只有几公斤,加上制冷绝缘设备,也还是轻得多。“超导磁体”的另一个重要用途,是解决了“受控热核反应”的“容器”难题。原来热核反应必须在近亿摄氏度的高温下才能进行,能承受这么高温度的容器是没有的,现在利用“超导磁体”产生的强大磁场,形成一个“磁瓶”,可以约束“反应”在其中进行。“超导磁体”还有一大贡献,是使磁悬浮列车成为现实,世界第一列磁悬浮列车,时速达500km,现在世界各国都在争相修建。

采用风能、海洋能、太阳能、地源地热、空气源、水源热泵等物理、化学能及半导体制冷、磁制冷、吸附制冷也在深入研究,取得不少成果,并研制出一些样机。

制冷空调技术的应用是很广泛的,随着国民经济的发展,科学技术的进步,人民生活质量的不断提高,在制冷空调的应用方面将展示出无限广阔的远景。

1.3 安全技术在制冷空调中的意义

制冷系统在使用中承受着一定的压力,有些制冷剂具有毒性、窒息、易燃和易爆的特点,给系统设备的安全运行提出了严格要求。为了确保制冷系统的安全运行,不仅要做到正确设计、正确选材、精心制造和检验,而且还必须做到精心施工、正确安装和调试,正确使用、操作和维护保养。

在生产运行中,为了严格控制压力、温度等工艺参数,就必须设置压力表、温度计、液位计、流量计等测量仪表,以便随时掌握上述参数的量值及其变化情况,及时采取措施加以调整。为了防止由于各种难以预料的情况,造成超压、超温运行,危及设备的安全,甚至人身安全,必须在制冷系统的设备上设置必要的安全阀和易熔塞、爆破片及高压、低压和高温、低温保护装置。

安全技术在制冷与空调作业中应用的显著特点是:以安全强化技术质量管理,又以技术质量保证安全。

为了保障制冷空调作业人员在作业过程中的安全和健康,确保制冷设备安全运行,国家有关部门颁布了相关安全技术管理法规和规程,安全生产监督管理部门将制冷空调作业列为特殊工种,对制冷空调设备安装、修理和运行单位及作业人员规定了许可证、登记注册等制度,把制冷空调作业作为专项监察的内容进行监督与管理。

制冷空调作业人员要认真学习 and 掌握制冷空调方面的专业知识和安全技术,要有高度的责任感,在作业中要严格执行安全技术操作规程和岗位安全责任制等各项管理制度,保证制冷空调设备和系统的安全运行,通过制冷空调安全技术培训和安全技术考核,持证上岗,以防止制冷空调作业事故的发生。详见参考文献[1]。

第2章 制冷空调原理

掌握制冷空调基本理论知识,学习制冷空调四大原理(压缩式制冷原理、吸收式制冷原理、空调原理和自动调节原理),并能逐步学会运用压-焓图($\lg P-h$ 图)、焓-浓度图($h-\zeta$ 图)、空气焓-湿图($h-d$ 图)以及自动调节方框图。才能真正理解制冷空调,从而为实现安全设计、安全施工、安装、调试,安全操作、维护、检修、提高安全管理水平提供必备的知识。本章内容力求简单易懂、由浅入深、概念清晰准确、实用性强。

2.1 基础知识

2.1.1 基本概念

1. 物态(物质状态)与物态变化

具有一定质量及占有空间的任何物体称为物质。自然界一切物质都是由分子组成的,分子间存在着相互作用力,同时分子又处在永不停息的无规则运动中,这种运动称之为热运动。

由于分子间的作用力及其热运动等原因,使物质在常态(物态)下呈现固态、液态和气(汽)态,称物质“三态”。

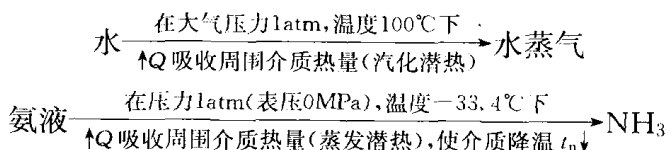
固态时,分子间的相互引力最大,固体中的分子紧密地排列在一起,热运动仅在平衡位置的附近作微小的振动,不能作相对移动。因此固态时的物质有一定的体积和形状,并具有一定的机械强度。

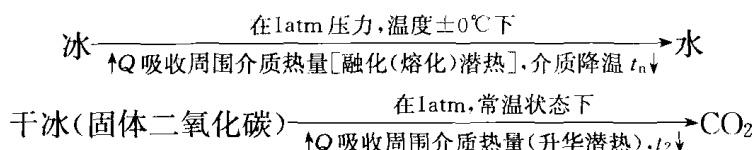
液态时,分子间的引力仍较大,使分子之间仍能保持一定的距离。因此液态物质有固定体积,并有自由液面。此外,液态物质的分子不仅在平衡位置附近振动,还可以相对移动,所以它具有流动性而无固定的形状。

气态时,分子间距大,引力很小,分子间不能相互约束。因此,它没有一定的形状和一定的体积,可以充满任何的空间。在热运动中可相互碰撞发生旋转运动。

同种物质在不同条件下,由于分子间作用力和分子热运动的结果也会以不同的状态存在。

当物质在吸热或放热时,除了温度变化以外,还有状态的变化(称相变),即固态、液态、气态之间的相互转化,气体变成液体的过程称为液化(或冷凝);液体变成固体的过程称为凝固;固体变成液体的过程称为融化(熔化);液体变成气体的过程称为气化;固体直接变化成气体的过程称为升华;反之称为固化(或凝华)。





人们利用物质相变过程向周围介质吸热，转移潜热，使周围介质降温进行制冷，如从液体变成气（汽）体、固体变成液体、固体直接变成气（汽）体所转移的相变潜热获取低温。相变转移的热量是潜热，非相变转移的热量是显热（如水在 1 大气压下，从 $\pm 0^\circ\text{C}$ 加热到 100°C ，它也是吸热过程，但没有相变，水还是水，这种吸收周围介质的热量叫显热，计算出的显热量是很少的）。潜热转移量（如蒸发量）才有制冷量，显热转移量几乎没有制冷量，即人们是采用相变制冷。

物质在状态变化过程中，伴随着吸热或放热现象，这种形式的热量统称为潜热，如融化（熔化）潜热、凝固潜热；气化潜热、液化潜热；升华热和固化热。在状态相互变化过程中潜热量相等。

不同物质获取不同低温。同一物质可以在不同的压力和温度下汽化（如水在真空度很高的情况下，便可在 $5\sim 10^\circ\text{C}$ 下汽化。产生汽化的压力和温度分别叫蒸发压力和蒸发温度，它们之间是对应关系），制冷空调常采用不同的蒸发温度系统形成液体变为汽（气）体的汽化过程来制取低温。详见参考文献 [4]。

(1) 蒸发与沸腾

气化有两种形式，即蒸发和沸腾。在任何温度下，在液体表面上进行气化的过程称为蒸发。在沸点温度下，在液体内部和表面同时发生剧烈的气化过程称为沸腾。在制冷技术中，制冷剂在蒸发器内不断吸收被冷却物体的热量，由液体变成气体，实际上这是沸腾，但习惯上常称为蒸发。

(2) 饱和蒸气

装在密闭容器里的液体，液体分子不断地从液面扩散到液体上面的气体中去，同时部分气体分子由于不规则运动又返回到液体中来，当两者达到平衡时称为饱和状态。在此状态下的蒸气称为饱和蒸气，与其对应的压力和温度称为饱和蒸气压力和饱和蒸气温度。

(3) 过热蒸气与过热度

在饱和压力下，继续对饱和蒸气加热，使其温度高于饱和温度，这种状态称为过热。这种蒸气称为过热蒸气。过热气体温度和其饱和温度之差为过热度。

(4) 过冷液体与过冷度

在饱和压力不变的条件下，饱和液体继续冷却，这时液体状态为过冷。其液体为过冷液体。液体的饱和温度和过冷液体温度的温差称为过冷度。

(5) 临界温度和临界压力

各种气体当压力升高时，其比容减小。随压力不断地升高，蒸气的比容逐渐接近液体的比容，当两者比容相等时称为临界状态。对应临界状态点的压力和温度称为临界压力和临界温度。在临界温度以上的蒸气，无论加多大的压力，都不能液化。

2. 流体状态参数

液体和气体统称为流体。流体的基本状态参数有温度、压力、比容、焓、熵和内能等。

(1) 温度

温度是物质冷、热程度的标志，而不是热的量。从物质分子运动来看，温度是分子运动平均动能的度量。温度高低的程度可用温度计来测量，常用温标有：

① 摄氏温标 在标准大气压下，把水的冰点定为 0°C ，沸点定为 100°C ，两点之间均分为 100 格，每格为摄氏 1°C ，以符号 t 表示，其测量单位记作 $^{\circ}\text{C}$ 。

② 绝对温标（即热力学温标，又称开氏温标） 在热工计算中常用绝对温度作为状态参数，符号用 T 表示，单位为开（尔文），代号为 K。它把纯水的冰点定为 273.15°C ，水的沸点为 373.15°C ，理论上把物质中分子全部停止运动之点作为零点称为绝对零度。其每一度的大小与摄氏温标相等。

绝对温度 $T(\text{K})$ 和摄氏温度 $t(^{\circ}\text{C})$ 之间的关系是：

$$T = t + 273.15 \approx t + 273 \quad (2-1)$$

③ 华氏温标 目前有些进口制冷和空调设备使用华氏温标 ($^{\circ}\text{F}$)。把它换算成摄氏温度的计算式为：

$$t = 5/9(^{\circ}\text{F} - 32) \quad \text{或} \quad ^{\circ}\text{F} = 9t/5 + 32 \quad (2-2)$$

(2) 压力

单位面积上所受到垂直作用的力称为压力。物理中习惯称为压强。

$$p = F/A \quad (2-3)$$

式中 p ——压力，Pa（帕斯卡，简称帕）；

F ——作用力，N（牛顿）；

A ——面积， m^2 。

1kPa （千帕）= 10^3Pa ， 1MPa （兆帕）= 10^6Pa

对于气体，压力是气体分子不断运动时碰撞容器器壁的结果，对于液体，自身重力也能产生压力。目前用液柱高度 H 来表示压力，液柱和帕的换算关系为：

$1\text{mmH}_2\text{O}$ （毫米水柱）= 9.806Pa ；

1mmHg （毫米汞柱）= 133.32Pa 。

此外，在物理学中将 0°C 时 760mmHg 所表示的压力为标准大气压（或称物理大气压）即在纬度 45° 的海平面上，大气的常年平均压力，用 atm 表示，其值 $1\text{atm} = 101325\text{Pa}$ 。

在实际使用中，经常遇到的是绝对压力、表压力和真空度。绝对压力是指容器内的气体或液体对于容器内壁的实际压力，用符号 p 表示。气体压力的大小常用弹簧管式压力表来测量。弹簧管式压力表测得压力为表压力，用符号 p_g 表示。表压力是指绝对压力与当地大气压力 (B) 之差，其关系式为：

$$p_g = p - B \quad (2-4)$$

在工程上常用表压力，但在计算时必须使用绝对压力。

当密闭容器中气体压力（绝对压力）低于大气压力时，大气压力与容器内气体压力差称为真空度，符号为 p_v 。其关系式：

$$p_v = B - p \quad (2-5)$$

在工程上，用于测量高于大气压力的压力仪表称为压力表，用于测量低于大气压力的压力表为真空表。既能测高压，又能测真空度大小的压力表叫真空压力表。

绝对压力、表压力和真空度之间关系可见图 2-1 和图 2-2。

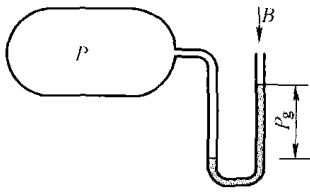


图 2-1 容器内压力大于大气压力

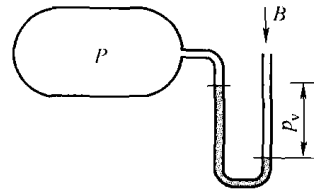


图 2-2 容器内压力小于大气压力

(3) 比容和密度

物质所占有的体积与其质量之比称为该物质的比容，比容符号为 v ，其单位为 m^3/kg 。比容和密度互为倒数。

(4) 热量和比热

热量是表示物体吸热或放热多少的物理量。它是能量的一种表现形式，只有在热能转移过程才有意义，热量用符号 Q 表示，其单位为 J （焦耳）。目前进口设备有采用米制热量单位 Cal （卡），英制单位 Btu （英热单位），和冷吨（冷冻吨），这些单位都不是法定计量单位，它们与法定计量单位的关系为：

$$1\text{Cal}=4.1868\text{J}$$

$$1\text{Btu}=1055\text{J}$$

$$1\text{USRT（美国冷吨）}=3.517\text{kW}$$

$$1\text{BRT（英国冷吨）}=3.923\text{kW}$$

$$1\text{JRT（日本冷吨）}=3.851\text{kW}$$

$$Q=m \cdot C \cdot \Delta t \quad (2-6)$$

式中 Q ——热量， kJ ；

m ——质量， kg ；

C ——比热， $\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ ；

Δt ——温差， $^{\circ}\text{C}$ 。

比热是指单位质量的物体温度升高（或降低） 1°C 所吸收（或放出）的热量，其符号为 C ，单位为 $\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ 。在压力不变的条件下的比热为定压比热，其符号为 C_p ；在容积不变条件下的比热为定容比热，用符号 C_v 表示。由于定压加热气体时气体要膨胀，部分热量消耗于气体膨胀做功，因此 $C_p > C_v$ 。 C_p 与 C_v 之比叫绝热指数，其值大于 1，比值符号为 k 。在制冷中气体制冷剂被压缩后的温度与绝热指数有关。

(5) 显热与潜热

物质在加热（或冷却）过程中，温度升高（或降低）所吸收（或放出）的热量叫显热。在这个过程中其状态不变。

物质在加热（或冷却）过程中，只改变原有状态，而温度不变所消耗（或得到）的热量叫潜热。

3. 气体物理性质