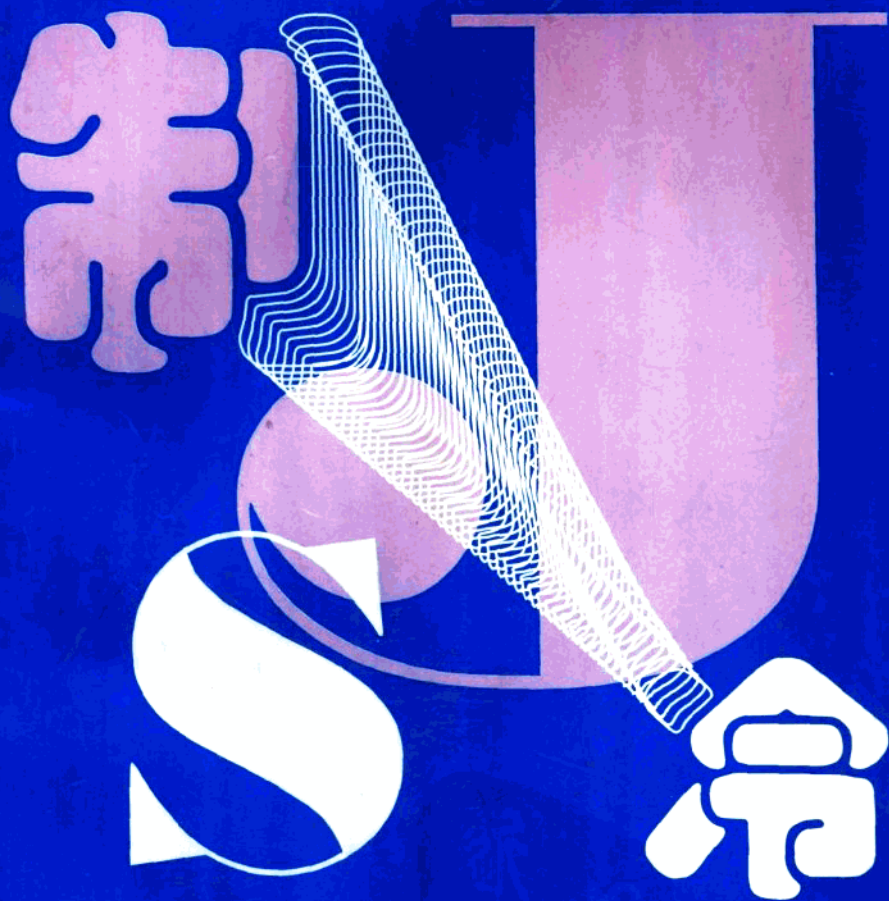


制冷技术

潘宗羿 主编



机械工业出版社

制 冷 技 术

主 编 潘宗羿

副主编 刘 衍



机 械 工 业 出 版 社

内 容 简 介

本书以掌握制冷装置的操作、维修、安装技能为主线,对制冷原理、制冷设备、制冷装置自动控制、电工基础、冷库建筑、制冷设备的选配等内容进行了较全面系统的论述,也对食品冷藏原理、电冰箱、空调技术、冷藏汽车等进行了扼要的介绍。其操作水平参考中级制冷工的要求,理论知识则参考高级制冷工的要求。

本书既是职业学校的试用教材,也可用于制冷工的岗位和岗前培训,也可供制冷技术人员、营销管理人员和大中专院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

制冷技术/潘宗羿,刘衍编. —北京:机械工业出版社,
1997.7

ISBN 7-111-05510-1/TB·249

I. 制… II. ①潘…②刘… III. 制冷技术 IV. TB66

中国版本图书馆CIP数据核字(96)第25721号

* * *

出版人:马九荣(北京市百万庄南街1号 邮政编码 100037)

责任编辑:王兴垣 杜焕生 张友鹤 封面设计:姚学峰

林业大学印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

1997年7月第1版·1997年7月第1次印刷

787mm×1092mm/16·32印张·800千字

0001—5000册

定价:48.00元

《制冷技术》编辑委员会

主 编 潘宗羿 副主编 刘 衍

编 委 (按姓氏笔划排列)

卫 琦	王玉林	邓李廉
冯愿军	吕炳强	李 政
余三元	沙文才	陈振华
吴望云	张振华	张振强
段海章	徐金锁	韩晋南
彭爱莲	魏武生	

主 审 霍廷祥

序

制冷技术的发展水平是衡量一个国家国民经济成就和人民生活水平的重要标志。随着我国改革开放的深入,国民经济得到迅速发展,人民生活得到极大提高,从事制冷的工厂企业得到空前发展。河南红宇机械厂是兵器工业总公司下属保军转民从事制冷生产的一个大型国有企业。它生产的 LK、ZLK 系列组装式冷库和 20 余种冷藏、保温汽车已行销全国各地,并远销国外。

为了提高职工队伍的素质,普及制冷技术,满足职业学校的教学需要,在兵器工业总公司教育局的大力支持下,河南红宇机械厂于 1990 年组织部分领导、专家、教师成立了制冷教材编委会,并决定由豫西红宇技工学校具体负责制冷教材的编写工作。6 年多来,本教材经豫西红宇技工学校和企业在职职工技术培训中使用,取得了良好的教学效果,并在教学的实践中逐步充实完善。1996 年又在河南省制冷学会的直接指导下,进一步作了修改,使之更趋完善。

本书的编者长期从事冷库、冷藏汽车的科研技术工作和制冷专业的教学工作,具有丰富的理论知识和实践经验。本书的编写以联合国劳工组织向各国推荐,我国劳动部和兵器工业总公司大力推行的“模块技能教学法(MES)”为指导方针,以制冷装置的安装、操作、维修为主线将有关各科的理论知识,相关工种的操作技能融为一体,具有理论与实际结合紧密,深入浅出,前后左右贯通自如的特点,既可作职业学校的制冷教材,也可供大中专院校制冷专业的师生阅读参考,还可供制冷工程技术人员、营销管理人员在工作中参考使用。

本书的出版,标志着河南红宇机械厂的制冷技术水平和产品质量水平达到了一个新的高度。

李 政

1996 年 12 月

编者的话

作者是多年从事职业学校制冷教学和制冷技术工作的教师。出于工作的需要，在长期的教学实践中完成了本教材的编写，并取得了良好的教学效果。

作者力图使本教材具有以下的特点：

1. 体现 MES，即“模块技能教学法”的精神。它以操作技能为主线，实现理论为操作技能服务的宗旨。由于制冷所牵涉的知识面极广，本书除了以制冷原理、制冷设备、制冷装置的操作维修安装为主体内容外，还包含了钳工、电工、焊工、冷藏工等相关工种及制冷设计的基础知识，以便读者通过本书的学习和相应的训练，全面掌握制冷的操作技能。

2. 热力学理论与制冷技术紧密结合，使理论更多地体现“冷”的专业特色，并努力使理论知识的阐述深入浅出，易为读者所接受和运用。

3. 博采其他制冷书籍之所长，更注重通过生产实践充实、验证、完善本教材，使内容正确、翔实。

本教材的深度和广度是在参考原商业部制定的“制冷工业业务技术等级标准”并结合工厂生产实践的需要确定的。

担任本教材主审的是中国制冷学会理事、河南省制冷学会秘书长霍廷祥先生。本书在编写过程中得到了兵器工业总公司教育局、河南省国防工业技术办公室主任沈柏英的亲切关怀和鼓励，并得到国营河南红字机械厂各级领导、广大工程技术人员、工人师傅的大力支持和帮助。在此一并表示最深挚的谢意！

作者在编写本教材的过程中，深感许多作者在“编者的话”中都要写到的“由于水平有限，书中的缺点错误在所难免，恳请广大读者批评指正”之类的话，确是所有作者的肺腑之言。我们更是如此。

1997年2月

目 录

序

编者的话

绪论..... 1

第一篇 制冷原理

第一章 制冷的热力学基础..... 3	第三节 制冷剂进出蒸发器的流动方式..... 57
第一节 基本概念..... 3	第四章 传热学基础..... 59
第二节 物质的相变和简单的 蒸气压缩式制冷循环..... 7	第一节 导热..... 59
第三节 理想气体..... 11	第二节 对流换热..... 61
第四节 热力学第一定律与制冷循环..... 18	第三节 热辐射..... 62
第五节 热力学第二定律与制冷循环..... 19	第四节 复杂换热..... 64
第六节 蒸气图表及使用方法..... 21	第五章 制冷剂..... 68
第七节 湿空气..... 24	第一节 对制冷剂的要求及其选用..... 68
第二章 蒸气压缩式制冷循环..... 30	第二节 制冷剂的分类与代号..... 70
第一节 逆卡诺循环..... 30	第三节 常用制冷剂..... 73
第二节 理论制冷循环..... 31	第六章 冷冻机油..... 77
第三节 单级压缩实际制冷循环..... 34	第七章 载冷剂..... 80
第四节 双级压缩制冷循环..... 41	第八章 其他的制冷方法..... 83
第五节 复叠式制冷循环..... 50	第一节 吸收式制冷..... 83
第三章 制冷系统..... 51	第二节 蒸汽喷射式制冷..... 86
第一节 制冷系统的冷却方式..... 51	第三节 空气膨胀制冷..... 87
第二节 制冷系统的供液方式..... 53	第四节 热电式制冷..... 88
	第五节 绝热去磁制冷..... 89

第二篇 制冷设备

第一章 制冷压缩机..... 91	第七节 低压循环桶..... 141
第一节 制冷压缩机的作用和分类..... 91	第八节 氨液面指示器..... 142
第二节 活塞式制冷压缩机..... 92	第九节 空气分离器..... 143
第三节 螺杆式制冷压缩机..... 113	第十节 集油器..... 144
第四节 滑片式制冷压缩机..... 116	第十一节 紧急泄氨器..... 144
第五节 离心式制冷压缩机..... 119	第十二节 手动阀门..... 145
第二章 主要换热设备..... 121	第十三节 过滤器和干燥器..... 148
第一节 蒸发器..... 121	第十四节 回热器..... 149
第二节 冷凝器..... 129	第十五节 氟利昂水分指示器..... 150
第三章 其他辅助设备..... 134	第十六节 水泵..... 150
第一节 高压贮液桶..... 134	第十七节 氨泵..... 152
第二节 油分离器..... 136	第十八节 通风机..... 154
第三节 中间冷却器..... 137	第十九节 冷却塔..... 155
第四节 氨液分离器..... 139	第四章 制冷常用测量仪表..... 158
第五节 低压贮液桶..... 140	第一节 压力表..... 158
第六节 排液桶..... 140	第二节 温度计..... 160

第四节	自控元件的常见故障与排除方法	321	第三节	冷库建筑的组成	424
第五节	制冷系统事故分析与预防处理	325	第四节	冷库建筑的特点	426
第七章	活塞式压缩机的检修	330	第五节	冷库建筑的常用材料	428
第一节	压缩机检修的类别和内容	330	第六节	冷库常用隔热材料与防潮层的施工	438
第二节	零件损伤的原因与磨损规律	331	第七节	组装式冷库的结构	444
第三节	压缩机检修前的准备工作	333	第八节	组装式冷库的建筑施工	450
第四节	压缩机的拆卸	334	第九节	冷库的供水系统	458
第五节	压缩机的检修	337	第十节	冷库建筑的使用管理	461
第六节	压缩机的装配	348	第十二章	制冷压缩机及设备、管道的计算与选配	464
第八章	辅助设备的检修	351	第一节	冷库容量的计算	464
第一节	辅助设备检修的类别和内容	351	第二节	冷库耗冷量的计算	466
第二节	检修前的准备工作	352	第三节	制冷压缩机及电动机的计算与选配	469
第三节	清除垢层的方法	352	第四节	主要换热设备的计算与选配	472
第四节	泄漏与变形的检修方法	354	第五节	其他辅助设备的计算与选配	476
第五节	冷凝器、蒸发器等检修	355	第六节	制冷系统管道设计的基本知识	479
第六节	阀门的检修	357	附录		
第七节	泵的检修	360	附表一	R717 热力性质表	483
第八节	风机的检修	364	附表二	R12 热力性质表	485
第九章	制冷系统的安装	365	附表三	R22 热力性质表	487
第一节	制冷系统图基本知识	365	附表四	R134a 热力性质表	489
第二节	制冷设备的布置	367	附表五	立式和 V 型、W 型氨压缩机输气系数 λ	489
第三节	制冷系统安装总则	370	附表六	双级低压级 (立式、V 型、W 型) 氨压缩机输气系数 λ	489
第四节	制冷压缩机的安装	372	附图一	R717 的 $p-h$ 图	490
第五节	制冷辅助设备的安装	377	附图二	R12 的 $p-h$ 图	491
第六节	制冷系统管道、阀门及测量仪表的安装	382	附图三	R22 的 $p-h$ 图	492
第七节	氟利昂制冷系统的安装	390	附图四	R134a 的 $p-h$ 图	493
第八节	制冷装置自控元件的安装调试	393	附图五	湿空气的 $h-d$ 图	494
第十章	制冷装置正式运转前的试验和其他工作	405	附图六	压缩机输气系数图	495
第一节	压缩机的试运转	405	附图七	某 2000m ³ 氨冷库制冷系统原理图	497
第二节	制冷系统的排污	407	附图八	某 200m ³ 氨冷库制冷系统原理图	498
第三节	氨制冷系统的试压和检漏	408	附图九	某 200m ³ 氨冷库制冷系统平面图	499
第四节	氨制冷系统的抽真空	409	附图十	某 200m ³ 氨冷库制冷系统立面图	500
第五节	制冷系统的充氨试漏	410	附图十一	某 200m ³ 氨冷库制冷系统透视图	501
第六节	制冷设备及管路的隔热和涂色	410	附图十二	压缩机性能曲线图	502
第七节	制冷系统的加氨、降温和重车试运转	416	参考文献		504
第八节	氟利昂制冷系统的检查和试验	418			
第九节	冷库的验收和投产	419			
第十一章	冷库建筑与使用管理	421			
第一节	冷库的分类	421			
第二节	库址选择与冷库平面布置的基本要求	423			

第三节	干湿球温度计	162	第十三节	温度继电器	184
第四节	风速仪	163	第十四节	液位控制器	186
第五章	制冷装置自动化与自控元件	165	第六章	制冷电气控制系统	189
第一节	热力膨胀阀	165	第一节	常用电气元件	189
第二节	毛细管节流装置	167	第二节	电动机及电气控制线路	190
第三节	电磁阀	169	第三节	安全用电常识	207
第四节	恒压阀	171	第七章	制冷装置的自动控制系统	209
第五节	主阀	172	第一节	小型氟利昂冷库的自动 控制系统	209
第六节	背压阀	174	第二节	氨冷库的自动控制系统	212
第七节	冷凝压力调节阀	175	第八章	其他的制冷装置	216
第八节	止回阀	177	第一节	家用电冰箱	216
第九节	安全阀	177	第二节	空调器	223
第十节	浮球阀	178	第三节	食品冷藏运输工具	234
第十一节	压力继电器	180			
第十二节	压差继电器	181			

第三篇 制冷装置的操作检修与安装

第一章	食品冷加工的基本知识	238	第十节	气、液调节站的操作管理	273
第一节	食品冷藏的原理	238	第十一节	泵的操作管理	273
第二节	食品冷藏的条件	239	第十二节	玻璃管液面指示器的 操作管理	276
第三节	食品冷加工的内容和方法	241	第十三节	平板冻结器的操作管理	276
第二章	制冷装置的安全技术	245	第十四节	快速制冰机的操作管理	277
第一节	安全操作	245	第五章	制冷系统的操作管理	279
第二节	安全装置	247	第一节	制冷系统的工作参数与 操作原理	279
第三节	安全设施	248	第二节	冷间降温的操作调整	284
第四节	制冷剂钢瓶的安全管理	249	第三节	系统放油的操作管理	286
第五节	防毒面具的使用和保管	250	第四节	系统放空气的操作管理	287
第六节	预防措施与紧急救护	251	第五节	系统充注和放出制冷剂的 操作	289
第三章	制冷压缩机的操作管理	253	第六节	蒸发器的除霜操作	296
第一节	压缩机开机前的准备工作	253	第七节	氟利昂制冷系统的 吸潮操作	299
第二节	压缩机的起动	254	第八节	氨制冷系统的检漏操作	300
第三节	压缩机运转中的检查与调整	257	第九节	氟利昂制冷系统的检漏操作	300
第四节	压缩机的停机	260	第十节	冷冻机油的质量检查及再生处理	302
第五节	压缩机加放油的操作	262	第十一节	冷库制冷系统的节能	303
第六节	压缩机发生湿行程的操作调整	263	第六章	制冷系统的常见故障与 排除方法	305
第四章	辅助设备的操作管理	266	第一节	活塞式氨制冷系统的常见故障与 排除方法	305
第一节	冷凝器的操作管理	266	第二节	氟利昂制冷系统的常见故障与 排除方法	315
第二节	蒸发器的操作管理	267	第三节	螺杆式压缩机的常见故障与 排除方法	320
第三节	油分离器的操作管理	269			
第四节	高压贮液桶的操作管理	269			
第五节	中间冷却器的操作管理	270			
第六节	氨液分离器的操作管理	270			
第七节	低压贮液桶的操作管理	271			
第八节	排液桶的操作管理	272			
第九节	低压循环桶的操作管理	272			

绪 论

你对制冷的第一印象，可能来自你童年时代，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，就是用人力的方法获取低温。这是一个既古老又年青的专业。

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，到夏季取出降温使用的活动。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。本世纪 50 年代发展起来的半导体制冷，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°C 至 -268.85°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，而活塞式蒸汽压缩制冷又是其中主要的制冷方法。

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，满足人类生活需要的重要作用。

近年来空调器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。

在农副业生产中，制冷技术应用于化肥生产、良种培育、微生物除虫、人造雨雪、果蔬速冻加工等各个方面。

在工业生产中，制冷技术广泛地应用于炼钢、冶金、机械、纺织、石油化工、有机合成等各行各业的制氧、分离、精炼、结晶、浓缩、液化、冷处理等各个重要的生产环节。

在国防科研、核能开发、火箭航天等事业中，制冷技术广泛应用于各种产品的低温性能试验，获取高能原料等方面。

在许多近代的尖端科学技术部门中，如电子计算机、通讯卫星、超导体研究、高真空、红外线技术等方面，都离不开制冷技术的应用。

在工程建设中，制冷技术应用于冻结土壤、防止地下水流渗，在隧道、矿井等各种地下工程的施工中发挥着重要的作用。

在医疗卫生部门中，低温技术被广泛地应用于贮存血清、疫苗、器官、药物以及抗菌素等重要药品的生产。近年来兴起的人工冬眠、低温麻醉，冷手术刀等正作为新兴的医疗技术，为人类的健康造福。美国等一些国家还对多例患有绝症的人体进行低温贮存，以待将来医学发达时创造起死回生的奇迹。

此外，在体育馆里还有人造冰场；在摄影棚里还有人造雪景等等。连体育文化事业也与人工制冷结下了不解之缘。

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用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。尤其是改革开放的十多年来，制冷事业更是犹如雨后春笋，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。制冷学会等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，我国的制冷事业与世界上某些发达国家相比，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。

总之，我国的制冷事业前景辉煌，制冷队伍任重而道远！

现在，你已经对制冷专业有了初步认识，你也许已经喜欢上了这一曾经使你的童心产生悸动的职业，并且幻想将来成为一名制冷专家。人生贵在有志。千里之行始于足下。如果你真正能够在年青时选定的道路上持之以恒，锲而不舍，钻研理论，勤奋实践，那么，经过10年、20年的努力，你的理想一定能够实现。

习题

1. 按获取冷源方式的不同，制冷的的方法分为哪两大类？
2. 什么叫人工制冷？按制冷原理的不同，现代人工制冷的的方法可分为哪四大类？
3. 蒸汽压缩式制冷其温度属于_____的范围；其原理属于_____的范围；它在制冷技术中占有_____的地位。而_____又是其中主要的方法。
4. 学习绪论后，你对制冷有何新的认识？

第一篇 制 冷 原 理

第一章 制冷的热力学基础

热力学是一门研究热与力，即热能与机械能相互转换的学科。研究将热能转换为机械能的工程技术，称为热工学；研究将机械能转换为热能、用于降温目的的工程技术，称为制冷。热力学是热工学和制冷技术的理论基础。

第一节 基本概念

一、冷与热的微观实质

自然界是由物质组成的。组成物质的分子，始终在不停地运动着。分子的动能转换产生热能。热能也可以转换为分子的动能。分子的平均动能越大，产生的热能越多，物体变热；反之，物体变冷。

所以，分子运动在热力学中也称为分子热运动。

改变物质分子热运动的平均动能，物体的温度就会发生变化。例如，通过加热可以使物质分子热运动的平均动能增大，使物体的温度升高；通过制冷可以使物质分子热运动的平均动能减小，使食品的温度降低。

二、温度

温度、压力、比容是气体的三个基本状态参数。它们在制冷技术中有着非常重要的意义。宏观地讲，温度是指物体的冷热程度。微观地讲，温度是对分子热运动平均动能的度量。表示温度的标尺，称为温标。常用的有摄氏温标，华氏温标和绝对温标。

摄氏温标：它把纯水在标准大气压下的冰点定为 0° ，沸点定为 100° ，中间作100等分，每1等分称为 1°C ，以 t 表示其读数。制冷装置上的温度计、气象温度计一般都采用摄氏温标。

华氏温标：它把纯水在标准大气压下的冰点定为 32° ，沸点定为 212° ，中间作180等分，每一等分称为 1°F ，以 t_F 表示其读数。华氏温标分度较细，在欧美国家采用较多，我国的干湿球温度计，也标有华氏温标。

绝对温标：其分度方法与摄氏温标基本相同，即它也把水的冰点与沸点之间分为100等分，每一等分称为 1K ，以 T 表示其读数。它把利用理想气体定律推导出来的分子热运动完全

停止时的温度定为零度。 $0\text{K} = -273.15^\circ\text{C}$ 。

由于分子热运动不可能完全停止，所以无论采用何种方法制冷降温，物体的温度只能接近 0K ，而不能达到 0K 。这也是热力学第三定律的结论。

由于绝对温标的起点 0K 与物质的性质无关，而且不会以负值的形式出现，所以在热力学计算中被广泛采用。绝对温标又称为热力学温标或开氏温标。

摄氏温标、华氏温标和绝对温标的刻度关系见图1·1-1。它们的换算关系式如下：

$$t = \frac{5}{9} (t_F - 32)$$

$$t_F = \frac{9}{5} t + 32$$

$$T = 273.15 + t$$

三、热量

热量是热能发生转移时的物理量。制冷降温就是转移热量的过程。

当两个温度不同的物体相接触时，热量总是从温度高的物体传向温度低的物体，直到两个物体的温度完全相等为止。热量绝对不会从温度低的物体直接传给温度高的物体。这就是热量传递的客观规律。

使物体的温度发生变化，而相态不发生变化的热量，称为显热。显热的大小与物质的比热容、质量及温度变化的范围有关，即

$$Q_{\text{显}} = cm (t_1 - t_2)$$

式中 $Q_{\text{显}}$ —— 物质的显热 (kJ)；

c —— 物质的比热容 [kJ/(kg·K)]；

t_1, t_2 —— 物质的始温和终温 (°C)；

m —— 物质的质量 (kg)。

使物体的相态发生变化，而温度保持不变的热量，称为潜热，如水在沸腾汽化时所吸收的热量。潜热的大小与物质的质量和比潜热有关，即

$$Q_{\text{潜}} = m \cdot r$$

式中 $Q_{\text{潜}}$ —— 物质的潜热 (kJ)；

m —— 物质的质量 (kg)；

r —— 单位质量物质的潜热，即比潜热 (kJ/kg)，与物质的性质和相变的温度有关。

几种物质的比潜热见表1·1-1。

热量的常用单位是 cal (卡) 或 kcal (千卡)。1cal 或 1kcal 分别表示 1g (克) 或 1kg (千克) 纯水从 19.5°C 上升到 20.5°C ，或温度作相反变化时所吸收或放出的热量。

热量的国际单位是 J (焦)，常用单位是 kJ (千焦)，它们分别相当于 $1\text{N} \cdot \text{m}$ (牛·米) 或 $1000\text{N} \cdot \text{m}$ (千牛·米) 的功所转换的热量。

$$1\text{J} = 0.2389\text{cal}, 1\text{kJ} = 0.2389\text{kcal}, 1\text{cal} = 4.186\text{J}, 1\text{kcal} = 4.186\text{kJ}.$$

工程上规定，对于某一系统来说，吸收的热量为正值，放出的热量为负值。如制冷系统从库房吸收的热量为正值。

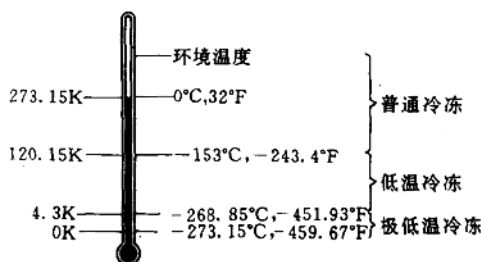


图1·1-1 三种温标的刻度关系

冷量是制冷技术中的一个专用名词，它是指用人为的方法从被冷却物体上转移出去的那一部分热量。冷量的单位与热量相同。

四、比热容

单位质量的物质升高或降低 1K，所吸收或放出的热量，称为该物质的比热容，用 c 表示，单位是 $[\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})]$ 。

不同的物质有不同的比热容。同一物质在不同的温度和相态下，比热容也有所变化。温度升高，比热容变大；温度降低，比热容变小。水的比热容比较大，约为 $4.186\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ ，而冰的比热容只有水的比热容的一半，为 $2.093\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ 。所以含水量的多少，冰点以上或冰点以下，对各种物质的比热容都有较大的影响。

物质在某一温度下的比热容称为真实比热容。物质在某一温度范围内比热容的平均值，称为平均比热容。在常温范围，为简化热量的计算，常采用物质的平均比热容。几种常见物质在常温范围的平均比热容见表 1-1-1。

表 1-1-1 几种常见物质的比热容、比潜热

名 称	比热容 $[\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})]$		比潜热 (kJ/kg)	名 称	比热容 $[\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})]$		比潜热 (kJ/kg)
	冰点以上	冰点以下			冰点以上	冰点以下	
水	4.186	2.093	2491 (0°C)	苹果	3.851	2.093	281
鲜鸡蛋	3.181	1.674	226	桔子	3.767	1.926	289
牛肉	3.181	1.758	209	梨	3.767	1.926	281
猪肉	2.260	1.340	126	香蕉	3.349	1.758	251
鲜鱼	3.433	1.780	243	牛奶	3.767	1.926	289

物质的比热容，对制冷降温过程中耗冷量的大小有重要的意义。根据被冷却物体的比热容 c 、质量 m 、温差 Δt 和比潜热 r ，可以很方便地计算出需要转移出去的热量，即耗冷量 Q ：

$$Q = Q_{\text{显}} + Q_{\text{潜}} = cm\Delta t + mr$$

五、压力

在制冷技术中，压力不仅是工程设计和操作调整的基本参数，而且是保证系统安全运行的主要控制参数。

工程上所讲的压力，即物理学中所说的压强，它是指物体在单位面积上所受到的垂直作用力。

气体的压力是气体分子频繁碰撞物体表面的结果。它与气体的密度和撞击力有关，即与气体的比容和温度有关。

压力的国际单位是 Pa（帕）， $1\text{Pa} = 1\text{N}/\text{m}^2$ 。工程上常用 MPa（兆帕）、bar（巴）、kPa（千帕）作为压力的实用单位。它们之间的关系是：

$$1\text{MPa} = 10\text{bar} = 10^3\text{kPa} = 10^6\text{Pa}$$

此外，常用的压力单位还有 atm（物理大气压）、at（工程大气压，也可写作 kgf/cm^2 ）、mmHg（毫米汞柱）、mmH₂O（毫米水柱）等。国际压力单位与常用压力单位的换算关系见表 1-1-2。

压力按其表示内容的不同，可以分为表压力，绝对压力和真空度。

表压力：压力表所指示的压力，称为表压力，用 $p_{\text{表}}$ 表示。压力表的工作原理建立在压力平衡的基础上。当容器内、外压力平衡时，压力表指示值为零；当内、外压力出现差值时，压

力表指针发生偏转,指示出压力差。由此可知,表压力实际上表示的是压力的差值。

表1-1-2 压力的国际单位与常用单位的换算关系

帕斯卡 (Pa 或 N/m ²)	工程大气压 (at 或 kgf/cm ²)	巴 (bar 或 10 ⁵ N/m ²)	毫米汞柱 (mmHg)	毫米水柱 (mmH ₂ O)	物理大气压 (atm)
1	1.01972×10^{-5}	10^{-5}	75×10^{-4}	0.102	9.868×10^{-6}
98066.5	1	0.980665	735.56	10^4	0.9678
10^5	1.01972	1	750	1.02×10^4	0.9868
133.3	0.00136	1.333×10^{-3}	1	13.6	1.3154×10^{-3}
9.80665	10^{-4}	9.80665×10^{-5}	7.3556×10^{-2}	1	9.678×10^{-5}
1.0134×10^5	1.0333	1.0134	760	1.033×10^4	1

绝对压力:器壁表面所受到的真实压力,称为绝对压力,用 $p_{\text{绝}}$ 表示。由于地球表面的物体都受到大气压的作用,而表压力只能表示出容器内、外的压力差,所以器壁内的绝对压力 $p_{\text{绝}}$ 应为表压力 $p_{\text{表}}$ 与当地大气压 B 之和,即

$$p_{\text{绝}} = p_{\text{表}} + B$$

真空度:容器内的绝对压力低于大气压的差值,称为真空度,用 $p_{\text{真}}$ 表示。

$$p_{\text{真}} = B - p_{\text{绝}}$$

在相同的大气压下,真空度越大,绝对压力越小。

六、比容

单位质量的物质所占有的体积,称为比容,用 v 表示。气体的比容一般采用 m^3/kg 作单位,液体的比容一般采用 L/kg 作单位。

比容对气体的状态有重要的意义:当比容增大时,表示分子间的距离变大,气体膨胀;当比容减小时,表示分子间的距离变小,气体被压缩。在一定的条件下,比容的变化还会引起温度和压力的变化。在制冷循环中,气体比容的变化影响压缩机的功耗和制冷量。

在一定的条件下,比容是物质气态与液态的相限。即当气体的比容减小至一定值时,气体变成液体;当液体的比容增大至一定值时,液体变成气体。

习题一

- _____是热工学与制冷技术的理论基础。制冷技术是研究将_____能转换为_____能并用于_____的工程技术。
- 冷与热的微观实质是什么?
- _____, _____, _____是气体的三个基本状态参数。
- 宏观地说,温度表示物体的_____;微观地说,温度是对_____的度量。
- 三种常用的温标是_____, _____和_____.进行热力计算一般采用_____温标。
- 0°C 相当于_____°F、_____K; 100°C 相当于_____°F、_____K。0K相当于_____°C _____°F。
- 判断题:现代先进的制冷方法可以把物体的温度降低到0K ()。
- 热量是热能_____时的物理量。冷量是制冷技术中的一个专业名词,它是指_____的热量。热量的国际单位是_____。

9. 叙述热量传递的客观规律, 并举两例。
10. 工程上规定, 系统吸收的热量为_____值; 放出的热量为_____值。
11. 什么叫显热? 什么叫潜热?
12. 显热的大小与物质的____、____及____有关; 潜热的大小与物质的____和____有关。
13. 判断题: 含水率高的食品比热容大 (); 食品冻结后比热容变大 ()。
14. $1000\text{N} \cdot \text{m} = \text{_____} \text{kJ} = \text{_____} \text{kcal}$; $1\text{kcal} = \text{_____} \text{kJ}$ 。
15. 气体的压强微观上指的是什么? 用这个观点分析它与温度、比容的关系。
16. 压力的国际单位是_____。
- $1\text{MPa} = \text{_____} \text{bar} = \text{_____} \text{kPa} = \text{_____} \text{Pa} = \text{_____} \text{N/m}^2$;
- $1\text{at} = \text{_____} \text{mmHg} = \text{_____} \text{MPa}$;
- $1\text{atm} = \text{_____} \text{MPa}$;
- 下式填>、<或=:
- $1\text{atm} \text{ _____ } 1\text{bar} \text{ _____ } 1\text{at}$ 。
17. 什么叫表压力、绝对压力和真空度?
18. 某密闭容器在当地大气压 $B=0.075\text{MPa}$ 的高原上的 $p_{\text{真}}=0.01\text{MPa}$ 。若将容器移到 $B=0.1\text{MPa}$ 的平原上, 问绝对压力和真空度如何变化?
19. 什么是气体的比容? 在制冷中有何意义?

第二节 物质的相变和简单的蒸气压缩式制冷循环

一、物质的相

物质的相就是物质的形态。

在自然界中, 物质有三种相态: 即固态、液态和气态。如冰是固态, 水是液态, 水蒸气是气态。

为什么物质会有不同的相态? 它们的主要性质有何区别呢?

固体的分子距离很近, 并按一定的晶格排列, 分子间的作用力很大; 固体的形状和体积基本一定, 在温度变化时还具有热胀冷缩的特性。

液体的分子距离较远, 没有固定的排列规则; 液体的体积基本一定, 而形状随容器的形状而变化; 液体基本上不可压缩; 在温度变化时, 液体也有热胀冷缩的特性。

气体的分子距离很远, 分子间的作用力很小; 气体的形状和体积都不固定; 气体可以被压缩, 也可以膨胀而充满整个容器; 气体同样有热胀冷缩的特性。

气体可以压缩和液体不可压缩的性质, 对制冷技术具有重大意义。如制冷压缩机就是根据气体可以压缩这一特性设计的, 而压缩机吸入液体称为湿行程, 属制冷运行中的事故。

二、物质的相变

物质的相态发生变化, 称为物质的相变。物质在发生相变时, 分子的位能也发生变化, 物质要吸收或放出热量, 所以在物质相变的同时, 总会伴随着相应的热效应。

物质的相变有六种方式:

1. 固化：物质由液态变为固态。此时分子的位能变小，物质放出热量。
2. 熔化：物质由固态变成液态。此时分子的位能增大，物质吸收热量。
3. 液化：也称为冷凝，即物质由气态变成液态。此时分子的位能变小，物质放出热量。
4. 气化：物质由液态变成气态。此时分子的位能增大，物质吸收热量。
5. 凝华：物质由气态直接变成固态。此时分子的位能急剧变小，物质放出大量热量。
6. 升华：物质由固态直接变成气态。此时分子的位能急剧增大，物质吸收大量热量。

物质在熔化、气化或升华时吸收热量，使周围介质的温度降低，可用于制冷。如冷板制冷就是靠板内凝固的共晶体融化时吸热而达到降温的目的；蒸气压缩式制冷就是靠液体气化时吸收热量而降温的；干冰制冷就是利用固体二氧化碳（俗称干冰）升华时吸热降温的。物质在固化、液化或凝华时，放出热量，使周围介质的温度升高，可用于制热；在制冷中常被用于对物质相态的还原，以便重复循环制冷。

三、气化和冷凝

在物质相变制冷中，以蒸气压缩式制冷的应用最为广泛，它是通过制冷剂吸热气化和放热冷凝来实现循环制冷的，所以我们重点学习气化和冷凝的规律。

1. 气化 气化有蒸发和沸腾两种方式。

蒸发 液体表面的分子由于热运动而离开液面，逸入空间，称为蒸发。液体的蒸发能在任何实际条件下发生。

沸腾 液体表面和内部的分子同时发生气化现象，称为沸腾。这种现象只有在分子热运动的平均动能达到一定强度，即液体的温度达到沸点时才能发生。液体在沸腾过程吸收的热量（潜热），全部转换为液体气化时分子位能的增大，而分子热运动的平均动能没有变化，所以液体在沸腾过程中温度始终不变。

在工程技术中，习惯上把沸腾称为蒸发。我们在后面所提到的蒸发温度就是沸点，蒸发器就是沸腾器。

2. 冷凝 冷凝即气体的液化，它与蒸发是工质相变的两个互逆过程。

液体 $\xrightleftharpoons[\text{冷凝、放热}]{\text{吸热、蒸发}}$ 气体

在同一条件下，冷凝潜热 = 气化潜热。

气体的液化是气体分子之间的距离缩小到一定程度时发生的。冷凝时气体放出的热量全部来自分子位能的减小，分子热运动的平均动能没有变化，所以气体在冷凝过程中温度也始终不变。

同一物质在同一压力条件下，气体的冷凝温度也即液体的蒸发温度，譬如在蒸发过程中，锅内水蒸气压力为1个标准大气压时，100℃既是蒸发温度，也是冷凝温度。

在标准大气压下，几种常用制冷剂的气化潜热与蒸发温度见表1-1-3。

从表1-1-3可以看出，水的气化潜热很大，但沸点高。这是水不能用作低温制冷剂的原因之一。

3. 饱和温度与饱和压力 在环境温度不变的条件下，将装有液体的密封容器静置一段时间后，容器内的液面和压力就不再变化，进入空间的分子与经过碰撞从空间回到液面的分子数量相等，容器内的液体与气体处于动态平衡，这种状态称为饱和状态。