



制冷空调技术 及控制原理

ZHILENG KONGTIAO JISHU
JI KONGZHI YUANLI

刘辛国 编著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

制冷空调技术 及控制原理

ZHILENG KONGTIAO JISHU
JI KONGZHI YUANLI

刘辛国 编著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书主要内容包括空调制冷及控制基础、制冷空调设备用电动机、制冷空调系统常用自动化仪表和元件、蒸气压缩式制冷、吸收式制冷系统、半导体制冷技术、房间空调器及其电气原理、中央空调及其控制、变频式空调器的工作方式和电气原理、制冷空调微型计算机控制、其他制冷系统电路分析、新型制冷技术简介等。

本书可作为高等工科院校智能建筑、电气工程、城建环能、自动化等专业的教材，也可作为从事空调系统工程以及空调维修的工程技术人员参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

制冷空调技术及控制原理/刘辛国编著. —北京: 中国电力出版社, 2016. 4

ISBN 978-7-5123-8981-6

I. ①制… II. ①刘… III. ①制冷装置-空气调节器-自动控制系统 IV. ①TB657. 2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 042467 号

中国电力出版社出版发行

北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>

策划编辑: 周 娟 责任编辑: 杨淑玲 责任印制: 蔺义舟 责任校对: 王小鹏

航远印刷有限公司印刷·各地新华书店经售

2016 年 4 月第 1 版·第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16·9 印张·219 千字

定价: 32.00 元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签, 刮开涂层可查询真伪

本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

前 言

为了满足新时期人才培养的目标和相关专业的多元化、综合性的要求,并结合电气类专业教学特点,本教材在内容设置方面,注重理论与实践结合,重视工程概念及其在实际问题中的应用,注重培养学生面向生产、面向实际、面向工程的实际运用能力。内容简明扼要,行文通俗易懂。既讲解了传统空调的结构及原理,又突出说明了当今先进的制冷空调设备及功能,同时还介绍了最新制冷方法和原理以及发展趋势,是一本非常实用的空调教材及参考书。

空调电气技术课程是智能建筑、电气工程、城建环能、自动化等相关专业的一门专业基础课程。通过本课程的学习,可使学生进一步了解和掌握现代空调及制冷设备电气控制系统的组成、工作原理,培养学生理解掌握空调电气技术涉及的各种基本知识、理论及方法以及空调的一般运行条件和要求,增加学生的专业知识。

本教材结合具体空调系统实例,介绍空调制冷电气控制的基本原理,鼓励学生自学为主,以提高综合素质为中心,强调培养学生的工程素养,结合专业特色,科学选择内容,突出重点,力求通过实例,增强学生对本专业工程技术的理解,以提高学生的综合素质。

作者在空调器生产厂工作多年,又有二十多年的电气类课程的教学经验,开设并讲授空调电气技术课程十多年,对空调系统的原理及结构有深入了解,对空调电气技术课程的设置和内容安排均有较成熟的思路,具备课程教学大纲、实验大纲等各种教学资料,并利用北京市智能建筑实验示范中心的空调设备提供完善的实验数据,以及成熟的教案及 CAI 教学课件,这些都为编著本教材奠定了良好的基础。

本书内容全面,讲解简明扼要,知识点连贯,循序渐进,编排合理,针对性强,应用灵活,适用于高等工科院校的智能建筑、电气工程、城建环能、自动化等专业开设相关课程时使用,同时还可作为从事空调系统工程专业人员以及空调维修的工程技术人员参考书。

本书由北京建筑大学电气与信息工程学院刘辛国编写,编写过程中得到了北京建筑大学、清华大学、北京建筑设计研究院、北京航空航天大学以及北京燃气热力集团等相关单位的教授、专家的指导和专业协助,在此一并表示感谢。

本书在编写过程中难免有疏漏,恳请读者批评指正。

编 者

目 录

前言

绪论	1
第1章 空调制冷及控制基础	4
1.1 制冷的物理意义及研究内容	4
1.2 热力学基础知识	5
1.3 热力学常用术语	7
1.4 空调冷(热)、湿负荷和送风量	10
1.5 空调系统的分类	10
1.6 空调系统的自动控制原理	11
第2章 制冷空调设备用电动机	14
2.1 耐氟电机及特点	14
2.2 单相交流电机	15
2.3 三相电动机	17
第3章 制冷空调系统常用自动化仪表和元件	21
3.1 开关电器	21
3.2 保护电器	23
3.3 起动装置	24
3.4 温度控制器	26
3.5 压力控制器	28
3.6 电磁四通换向阀	28
第4章 蒸气压缩式制冷	30
4.1 系统基本组成与制冷原理	30
4.2 蒸发器	31
4.3 冷凝器	32
4.4 压缩机	35
4.5 节流元件	40
第5章 吸收式制冷系统	42
5.1 吸收式制冷系统的基本组成与工作原理	42
5.2 无泵吸收式制冷原理	43
5.3 溴化锂吸收式制冷机的安全保护	46
5.4 溴化锂吸收式制冷机的能量调节	46
5.5 溴化锂吸收式制冷机的自动起停	47
第6章 半导体制冷技术	49
6.1 半导体制冷原理	49

6.2	热电制冷与蒸气压缩式制冷的比较	51
6.3	制冷热电堆	52
6.4	制冷热电堆产品	55
6.5	热电制冷器的散热方式	56
6.6	半导体制冷小型冷却器	57
6.7	热电冰箱	60
6.8	热电空调器	62
第7章	房间空调器及其电气原理	67
7.1	房间空调器的类型	67
7.2	房间空调器基本组成及结构	68
7.3	空调器的电气控制系统	71
7.4	分体式空调器	75
第8章	中央空调及其控制	80
8.1	户用中央空调及其控制	80
8.2	大型中央空调系统	88
第9章	变频式空调器的工作方式和电气原理	93
9.1	变频器工作原理	93
9.2	变频式空调器	94
9.3	中央空调变频控制	97
第10章	制冷空调微型计算机控制	102
10.1	微型计算机控制概述	102
10.2	单片机控制系统	103
10.3	新风机组的监测控制	107
10.4	空调系统的监测控制	108
10.5	变风量系统的控制	109
10.6	冷却水系统的监测控制	109
10.7	冷冻水系统的监测控制	111
第11章	其他制冷系统电路分析	113
11.1	电冰箱制冷系统	113
11.2	冷藏柜控制系统	123
11.3	冷藏库控制系统	125
第12章	新型制冷技术简介	129
12.1	制冷系统混合工质的研究和开发简介	129
12.2	太阳能吸附式制冷及其能量综合利用	132
12.3	余热吸附式制冷	134
12.4	吸附式蓄冷	136
	参考文献	138

绪 论

空调，即空气调节，调节的对象是自然界的空气。调节空气的温度、湿度、压力（压差）、清新度以及气流方向等参数，其中主要的是调节温度。温度调节就是使空气温度升高或降低。升温的方法是加热，比较容易。降温的方法是制冷，这是空气调节需要解决的主要问题。

1. 制冷技术在国民经济各部门中的应用

制冷最早是用来保存食品和调节一定空间的温度。制冷技术发展到今天，它的应用已渗透到国民经济的各个领域及人们的日常生活中。

(1) 制冷技术在商业、食品工业中的应用。制冷技术主要对易腐食品——鱼、肉、蛋、果类、蔬菜等，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均衡销售。

现代化的食品工业，从食品生产、储运到销售已经形成一条完整的冷链。所采用的制冷装置有冷库、冷藏汽车、冷藏船以及冷藏列车等。另外，还有供食品零售商店、食堂、餐厅等用的商业冷藏柜，各类冷饮设备和各种带有制冷设备的商品陈列柜。

(2) 制冷技术在化学、制药工业中的应用。利用冷却方法液化蒸气和其他气体，浓缩或分离混合的液体或气体、盐类的结晶等。

(3) 制冷技术在医疗卫生中的应用。冷冻治疗在临床中的广泛应用，如白内障、扁桃腺的切除手术及低温麻醉等，均需要制冷技术。除了低温保存药品外，还用冻结真空干燥法保存血液及皮肤等。

(4) 制冷技术在人民日常生活中的应用。制冷技术除提供家用电冰箱、冷藏柜、低温冷藏箱外，还为人们生活和工作创造舒适环境提供设备。例如，宾馆、剧场、地下铁道、大型公共建筑、汽车、办公室、居民住宅等的空调设备。

(5) 制冷技术在科学研究中的应用。如研究低温对某种物质的影响，低温对隔热建筑材料、金属材料、橡胶制品等的作用，研究某些发动机在低温条件下的工作状况，检查低温条件下各种航空仪表的正确性以及各种科研工作中所需的低温实验室。

(6) 制冷技术在其他方面的应用。

- 1) 钢铁热处理中的低温处理。
- 2) 矿井中的冻土护壁。
- 3) 建筑中的冻土法开采土方。
- 4) 农业中利用低温培植技术培育出耐寒新品种。
- 5) 体育运动中的人造滑冰场等。

2. 我国的制冷技术

我国是一个文明古国。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做出了卓越的贡献。早在 3000 年前的周朝，我国人民就知道利用天然冰块来冷藏食品和制作清凉饮料。

《诗经》中曾这样描写当时奴隶储冰劳动的情景：“二之日凿冰冲冲，三之日纳于凌阴。”古代的凌阴，即指冰窖。汉朝的《周礼》中就记载了周朝有专管冰的凌人官吏。

随着封建社会取代奴隶社会，社会前进了一大步，天然用冰制冷技术也有了发展。《汉书·艺文志》上载道：春秋时期，秦国皇家造有一座冰宫，冰宫中的大立柱是用铜管制作的，每逢夏天，在每根铜柱中放入冰块，用以降低宫廷温度。

魏国曹植在《大暑赋》中曾有这样的诗句：“积素冰于幽馆，气飞积而为霜。”这表明我国古代已懂得应用冰来调节室内温度。

秦汉以后，冰的应用范围逐渐扩大。在唐朝，长安市场出现了冷饮。《唐摭言》云：“蒯人为商，卖冰于市。”那时有名的“槐叶冷淘”就是用槐叶汁加砂糖经冰镇制成的。诗人杜甫食后诗兴大发，赞叹道：“青青高槐叶，采摘付中厨，经齿冷于雪，劝人投此珠。”

元朝初，意大利著名旅游家马可·波罗曾来我国长期居住，并把冷饮生产技术带回意大利，传向欧洲。

由于天然冰在采集、保存、使用等环节存在种种限制，促使了人们对人工制冷的研究。1755年，化学教授库仑在爱丁堡利用乙醚蒸发制出了冰。他的学生布拉克又从本质上解释了融化和汽化现象，导出了潜热的概念。

美国发明家波尔斯 1834 年在伦敦造出了第一台以乙醚为工质的蒸汽压缩机，之后，卡列和林德又以氨代替了乙醚。从 1910 年冰箱的问世，到 1930 年氟利昂制冷工质的出现和氟利昂制冷机的使用……制冷技术有了突破性的进展。

我国古代劳动人民所开创的应用天然冰制冷技术应逐步向人工制冷方面发展。但是，由于我国长期的封建统治束缚了人们的手脚，禁锢着变革步伐，阻碍了我国制冷技术的发展，且延续至半封建半殖民地的国民党统治时期。

当时，我国仅上海、天津、汉口、南京几个城市有少数冷库，总库容量也不过 3000t，还大都掌握在外国资本家手中，成为他们掠夺中国农副产品的据点。上海仅有的几家小“冰箱厂”也只能依靠进口设备、零件，搞些修修补补，为官僚买办、剥削阶级服务。至于制冷专业教育和科学研究，则完全空白。

新中国成立后，在中国共产党领导下，我国制冷事业得到迅速发展。制冷设备制造工业从无到有，从小到大，从仿制到自行设计，不断茁壮成长。我国从 1954 年起制造出制冷机，到 1958 年已有很大发展。

20 世纪 60 年代，我国各大城市都建立了制冷机厂。1964 年我国制冷工业开始走上自行设计的道路，有 5 种缸径的活塞式制冷压缩机 22 个品种，最大标准制冷量为 440000kcal/h ($1\text{cal}=4.2\text{J}$)。

全封闭式压缩机系列的设计工作、蒸喷式制冷机的制作、溴化锂吸收式制冷机的设计试制和空调机的研制等都有了很大的进展，形成了一定的生产规模。

尽管如此，还需指出的是，制冷与制冷设备技术在我国还是一门年轻的学科，与先进国家相比仍有不少差距，赶上世界先进水平的任务极为艰巨。

3. 制冷空调自动控制的基本内容和控制方式

(1) 制冷空调自动控制内容。制冷空调系统由空气加热、冷却，加湿、去湿，空气净化，风量调节设备以及空调用冷、热源等设备组成。

这些设备的容量是设计容量，但在日常运行中的实际负荷在大部分时间里是部分负荷，

不会达到设计容量。所以，为舒适和节能，必须对上述设备进行控制，使其实际输出量与实际负荷相适应。

目前，对制冷空调系统容量控制已实现不同程度的自动控制，其内容也日渐丰富。被控参数主要有空气的温度、湿度、压力（压差）以及空气清新度、气流方向等。

（2）制冷空调自动控制功能。

1) 创造了舒适宜人的生活与工作环境。通过制冷空调自动控制系统，对室内空气的温度、相对湿度，清新度等加以自动控制，保持空气的最佳品质；使人们生活、工作在这种环境中，心情舒畅，从而能大大提高工作效率。

2) 节约能源。在建筑物的电器设备中，制冷空调的能耗是很大的，因此，对这类电器设备需要进行节能控制。现已从个别环节控制进入到综合能量控制，形成基于微机控制的能量管理系统，达到最佳化控制，其节能效果非常明显。

3) 创造了安全可靠的生产条件。自动控制的监测与安全系统，使制冷空调系统正常工作，在发现故障时能及时报警并进行事故处理。

（3）制冷空调自动控制方式。

1) 制冷空调模拟仪表自动控制。

2) 制冷空调微型计算机控制。

第 1 章 空调制冷及控制基础

1.1 制冷的物理意义及研究内容

在自然界，热量总是从温度高的物体传向温度低的物体或者从物体的高温部分传向低温部分，这就是自然冷却的规律。

自然冷却的程度受周围介质温度的影响，冬天可以将物体自然冷却到较低的温度，而在夏天，冷却达到的极限温度就较高。

要想把某物体的温度降低于它周围介质的温度之下，只能借助于人工冷却的方法。

冷却就是除去物体的热量，冷却过程中常伴随着温度的降低。

在空调、电冰箱及冷库中获得低温的方法很多，总体上可分为物理方法和化学方法两类。目前，在制冷技术中多采用物理方法。物理方法制冷是运用物质的物理变化来实现的，我们把这些物质称作制冷剂或制冷工质。

制冷技术是研究人工冷却的一门科学，其研究范围包括：

- (1) 制冷过程。
- (2) 制冷过程热力学原理和传热原理。
- (3) 制冷机器与设备的构造、性能、操作与维修等技术。

按照生产、科研或生活上的需要和制冷所达到的低温范围，制冷又可以分为以下几种类型：

- (1) 普通制冷，120K 以上。
- (2) 深度制冷（简称深冷），120~20K。
- (3) 低温制冷，20~0.3K。
- (4) 超低温制冷，0.3K 以下。

由于低温范围不同，所使用的工质、机器设备、采取的制冷方式及其所依据的原理有很大的差别。

制冷技术应用及对应制冷温度见表 1-1。

表 1-1 制冷技术的应用及对应制冷温度

温 度		应用范围
K	℃	
300~273	27~0	热泵、制冷装置
273~263	0~-10	冷藏运输、运动场滑冰装置
263~240	-10~-33	冷冻运输、食品长期保鲜
240~223	-33~-50	矿井工作面冻结、滚动装置的无滑冻结
233~200	-50~-73	制取干冰、低温环境实验室
200~150	-73~-123	乙烷乙烯的液化、低温医学生物学

续表

温 度		应用范围
K	℃	
150~100	-123~-173	天然气液化
100~50	-173~-223	空气液化, 空气分离
50~20	-223~-253	氦和氢的液化、宇航空间环境模拟
20~4	-253~-269	超导、氢液化
4~10 ⁻⁶	-269~-273.15	测量技术、物理研究

1.2 热力学基础知识

1.2.1 表征物理状态的基本参数

制冷剂在制冷系统中不断地进行状态变化, 即处于各种不同的热力状态。

用以描述制冷剂热力状态的宏观物理量称为热力状态参数, 简称状态参数。状态参数有温度 (T)、压力 (p)、质量体积 (u)、焓 (H)、熵 (S)、内能 (U) 等, 其中温度、压力和质量体积三个参数又称为制冷剂的热力状态的基本参数, 简称基本参数。

1. 温度

温度是表示物体冷、热程度的物理量, 是大量分子移动的动能平均值的标志。所有的气体、液体、固体都具有热。热度的数量就用温度表示。

温度采用仪表测量时, 为了使温度的测量准确一致, 需要有衡量温度的标尺 (称温标), 规定测量温度的基点和测量单位。目前, 在日常生活和制冷技术中常用的是摄氏温标制、华氏温标制和热力学温标制三种。

摄氏温标 t , 又叫国标百度温标, 单位是 “℃”。它是以纯净的水, 在一个标准大气压下的冰点为 0 度, 沸点为 100 度, 其间分 100 个等份, 每一等份定为摄氏一度, 记做 1℃。摄氏温标制为十进制, 简单易算。我国与俄罗斯等国多采用这种温标制, 相应的温度计为摄氏温度计。

华氏温标 F , 单位是 “℉”。它是以纯净的水, 在一个标准大气压下的冰点为 32 度, 沸点为 212 度, 其间分 180 等份, 每一等份定为华氏 1 度, 记做 1 ℉。因其分度较细, 故准确性较高, 但使用不便。英美各国仍采用这种温标制, 相应的温度计为华氏温度计。

热力学温标 T , 是国际制温标, 单位是 K。它规定以纯水的三相点作为基点。为了便于记忆, 将纯净的水在一个标准大气压下的冰点定为 273 度, 沸点为 373 度, 其间分 100 个等份, 每一等份为开氏 1 度, 记做 1K。在热力学中规定, 当物体内部分子的运动终止, 其热力学温度为零度, 即 $T=0\text{K}$ 。

按国际规定, 当温度在零上时, 温度数值前面加 “+” 号 (可省略); 当温度在零下时, 温度数值前面加 “-” 号 (不可省略)。三种温标的比较如图 1-1 所示。

三种温标制, 由于在制冷技术中常需应用, 可采用数学手段导出, 它的换算关系如下

$$\begin{aligned} F &= (1.8t + 32) (\text{℉}) \\ t &= (F - 32) / 1.8 (\text{℃}) \\ T &= (273 + t) (\text{K}) \end{aligned}$$

$$t = (T - 273) (^{\circ}\text{C})$$

测量温度所使用的温度计种类很多, 制冷工程中常用的有玻璃温度计、热电偶温度计、电接点温度计、电阻温度计和半导体温度计等。

2. 压力

在空调、制冷工程中, 压力是指单位面积所承受的垂直作用力, 也叫压强, 用 p 表示。压力的国际单位是帕 (帕斯卡) Pa, 或者牛顿/平方米 (N/m^2), 它表示每平方米面积上所受的垂直作用力为 1 牛顿, 即

$$p = F/S$$

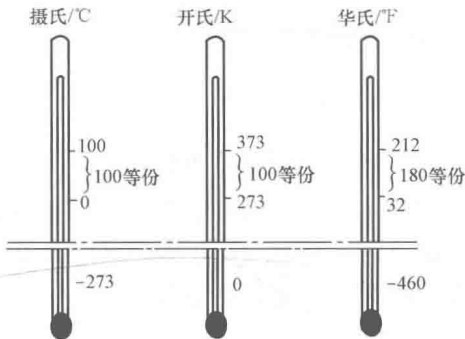


图 1-1 三种常用温标的比较

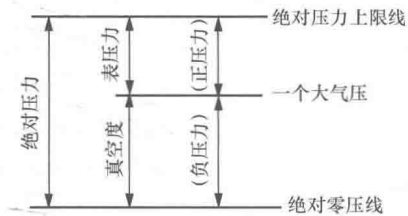


图 1-2 各种压力关系示意图

绝对压力是表示气体实际的压力值, 等于表压力和大气压力之和 (如图 1-2 所示), 即

$$p_a = p_o + p_g$$

式中: p_a 为绝对压力; p_o 为大气压力; p_g 为表压力。

另外, 国标废弃的压力单位有大气压 (atm) 和 “巴” (bar) 表示; 千克力, 如千克力/平方厘米 (kgf/cm^2); 液柱高度, 如毫米水银柱高 (mmHg) 或毫米水柱高 (mmH_2O)。为工作的方便, 现将各种压力单位的换算关系列出:

$$1\text{atm} = 101\,325\text{Pa}$$

$$1\text{bar} = 10^5\text{Pa}$$

$$1\text{mmH}_2\text{O} = 9.806\,65\text{Pa}$$

$$1\text{mmHg} = 133.322\text{Pa}$$

$$1\text{kgf}/\text{cm}^2 = 98\,066.5\text{Pa}$$

3. 质量体积

质量体积是指单位质量的制冷剂所占的容积, 用 u 表示, 其单位是立方米/千克 (m^3/kg) 或升/千克 (L/kg)。制冷剂蒸气的质量体积是决定压缩机制冷量的重要参数。

例如, 1kg 氟利昂 12, 在标准状态下 (绝对压力为 101 325Pa, 温度为 0°C), 其蒸气的容积是 155.97L, 它的质量体积则为 155.97L/kg; 其液体的容积是 0.6727L, 质量体积为 0.6727L/kg。

4. 焓、熵和热力学能

焓 (H) 和熵 (S) 是制冷热力计算中经常用到的状态参数。热力学能 (U) 是制冷系统内部能量的总称。

1.2.2 热力学基本定律

热力学第一定律是能量守恒定律。热和功可以相互转换，即一定量的热消失时必然产生一定量的功；消耗一定量的功，亦必然出现与之相对应的一定量的热。热和功之间的转换用下式表示

$$Q = AL$$

式中： Q 为消耗的热量，J或kJ； L 为得到的功， $\text{kg} \cdot \text{m}$ ； A 为功热当量度， $\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{m})$ 。

热力学第一定律说明了热能和机械能在数量上的相互转化关系，但没有指出能量转化的方向和必备条件。

人们从长期的生活实践中观察到，如果两个温度不同的物体相接触，热量总是从高温物体传向低温物体，而不可能逆向进行。机械能可以通过摩擦变为热能，而热能却不可能通过摩擦变为机械能。前一过程的进行不需要任何条件，是自发进行的，而后一过程却不可能自发进行，要使它成为可能，必须具备一定的补充条件，即消耗一定的外功。这个经验被归纳为热力学第二定律。

热力学第二定律说明，热量能自动地从高温物体向低温物体传递，不能自动地从低温物体向高温物体传递。要使热量从低温物体向高温物体传递，必须借助外功，即消耗一定的电能或机械能。例如，在制冷工程中，为了冷藏或冷冻食品，必须从低温物体（被冷冻对象）中吸收热，再把热能转移给高温物体（周围介质——水或空气），这需在制冷机上消耗一定的机械能才能实现。

1.3 热力学常用术语

1.3.1 显热、潜热和质量热容

在物体吸热或放热过程中，仅使物体分子的动能增加或减少，即使物质的温度升高或降低，并没有物质形态的变化，它所吸收或放出的热能称为显热。

例如，水吸热后温度由 20°C 上升至 35°C ，其温度变化所吸收的热即为显热。显热可以用触摸而感觉出来，也可用温度计测出来。

当物体吸热或放热过程中，仅使物质分子的位能增加或减少，即使物质状态改变而其温度并不变化时，它所吸收或放出的热能称为潜热。

例如，在常压下把水加热到沸点 100°C ，这时水吸收的热量为潜热。同样， 100°C 的水蒸气，在常压下液化为同温度的水所放出的热量也称为潜热。潜热不能通过触摸感觉到，也无法用温度计测出来。

物体有固、液、气三态，这三态之间的变化都伴随热量的转移。仅仅使物体温度变化而形态不变的热为显热；使物体形态变化而温度不变的热为潜热。潜热有汽化热、液化热、熔解热和凝固热等，如图 1-3 所示和见表 1-2~表 1-4。

质量热容是指 1kg 某种物质温度升高 1°C 时所吸收的热量。不同物质的质量热容不同，

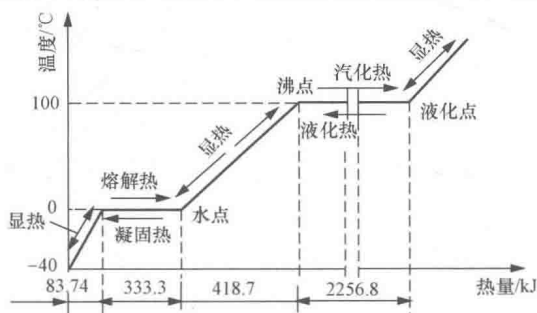


图 1-3 1kg 水在一个大气压下的各类热值

它的法定计量单位是 J/(kg · K)，常用单位为 kJ/(kg · °C) 或 J/(g · °C)，一般可以从各种物理手册中查出。

$Q = cm(t_2 - t_1)$

式中：c 为质量热容，kJ/(kg · °C) 或 J/(g · °C) 或 J/(kg · K)；m 为质量，kg 或 g；t₁，t₂ 分别为物质的初温和终温，°C；Q 为热量，kJ 或 J。

表 1-2 液体在一个大气压下沸点时的汽化热

物 质	水	氨	R ₁₂	R ₂₂	氯甲烷	二氧化硫
汽化热/(kJ/kg)	2256.8	1369.1	167.5	234.5	427.1	397.8

表 1-3 几种氟利昂制冷剂在不同温度下的汽化热

制冷剂	R ₁₂	R ₂₂	R ₁₁₄	R ₅₀₂
汽化潜热(−20℃时)/(kJ/kg)	163.50	220.94	142.98	163.29
汽化潜热(0℃时)/(kJ/kg)	151.10	206.96	137.96	150.02

表 1-4 几种物质的质量热容

物 质	铜	铝	钢	水	木材	空气	冰	R ₁₂ (30℃)	R ₂₂ (30℃)
质量热容/ [kJ/(kg · °C)]	0.389	0.879	0.575	4.187	2.5	1.005	2.09	1.005	1.424

1.3.2 物态变化

固体、液体、气体是物质存在的三种状态。

1. 汽化和液化

在日常生活中可以看到，把水泼在地面上，不久地面又慢慢恢复干燥，这是因为水变成水蒸气跑到空气里去的缘故。通常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，加热后的水温不断升高，与此同时，从水的表面不断有水蒸气逸出，这也是蒸发过程；但当水被加热到 100℃ 时，情况就发生显著变化，这时水面不断地翻滚，并从水里产生大量的气泡，这种现象称为沸腾。在沸腾过程中，尽管炉子还是继续加热，容器中水的温度却始终保持 100℃ 不变。蒸发与沸腾都是由液体变成气体的过程，都称为汽化过程，但两者之间有明显的区别。一般说，蒸发是在任何压力和温度下都在进行着，只是局限在表面的液体转为蒸气，而沸腾是在一定压力下只有达到与此压力相对应的一定温度时才能进行，且从液体内部大量地产生蒸气。例如，在一个大气压下，水温达到 100℃ 时沸腾；在 47.07kPa 绝对压力下，水温 80℃ 时沸腾。

液化与汽化过程恰恰相反，当蒸气在一定压力下冷却到一定温度时，就会由蒸气状态转变为液体状态，这种冷却过程称为液化过程或称凝结过程。日常生活中，液化（凝结）的例子是很多的，例如，把盛有热水的锅盖揭开，锅盖上就有许多水珠滴下来，这是汽化了的水蒸气遇到较冷的锅盖重新凝结的表现；又如冬天室外温度很低时，房间的玻璃上就有凝结的水珠，这是因为室内空气中的水蒸气遇到较冷的玻璃窗后凝结成水的缘故。

2. 饱和温度与饱和压力

液体沸腾时所维持不变的温度称为沸点，又称为在某一压力下的饱和温度。与饱和温度

相对应的某一压力称为该温度下的饱和压力。例如，水在一个大气压下的饱和温度为 100°C ，水在 100°C 时饱和压力为一个大气压。

饱和温度与饱和压力之间存在着一定的对应关系，例如，在海平面，水到 100°C 才沸腾，而在高原地带，不到 100°C 就沸腾。一般来说，压力升高，对应的饱和温度也升高；温度升高，对应的饱和压力也增大。

作为制冷剂的主要特点是沸点要低，这样才能利用制冷剂在低温下汽化吸热来得到低温。

3. 过热和过冷

在制冷技术中，过热是针对制冷剂蒸气而言的。过热是指在一定压力下，制冷剂蒸气的实际温度高于该压力下相对应的饱和温度的现象；同样，当温度一定时，压力低于该温度下相对应的饱和压力的蒸气也是过热。例如，R12 制冷剂，蒸发温度为 -15°C 时，对应的饱和压力应为 182.7kPa 。如果温度不变，压力低于 182.7kPa ，则此蒸气为过热蒸气；如果压力不变，温度高于 -15°C ，也称为过热蒸气。过热蒸气的温度与饱和温度之差称为过热度。如一个大气压力下的过热水蒸气温度为 105°C ，其过热度则为 $105^{\circ}\text{C} - 100^{\circ}\text{C} = 5^{\circ}\text{C}$ 。

在制冷技术中，过冷是针对制冷剂液体而言的。过冷是指在某一定压力下，制冷剂液体的温度低于该压力下相对应的饱和温度的现象。例如，R12 制冷剂的饱和温度为 30°C 时，对应的饱和压力为 743.442kPa ，如果将压力为 743.442kPa 的 R12 制冷液体冷却到 25°C ，那么这时的制冷剂液体称为过冷液体。过冷液体比饱和液体温度低的值称为过冷度。例如，压力在 743.442kPa 下的 R12 制冷剂液体的温度为 25°C 时的过冷度为 $30^{\circ}\text{C} - 25^{\circ}\text{C} = 5^{\circ}\text{C}$ 。

4. 临界温度与临界压力

气体的液化与温度和压力有关。增大压力和降低温度都可以使未饱和蒸气变为饱和蒸气，进而液化。气体的压力越小，其液化的温度越低；随着压力的增加，气体的液化温度也随之升高。温度升高超过某一数值时，即使再增大压力也不能使气体液化，这一温度叫作临界温度。在这一温度下，使气体液化的最低压力叫作临界压力。低于临界点温度的气体称为蒸气。制冷剂蒸气只有将温度降到了临界点以下时，才具备液化条件。对临界温度和临界压力的研究，在制冷技术中有着特别重要的意义。比如，对于制冷剂有临界温度高、临界压力低、易于液化的一般要求。

5. 湿度和露点

在自然界中，空气总是或多或少地含有水蒸气，这种空气叫作湿空气。湿度是湿空气的状态参数之一，它表示空气中所含水分的量。在一定温度下，空气中所含水蒸气的量达到最大值，这种空气就叫饱和空气。

湿度的表示方法有绝对湿度和相对湿度两种。绝对湿度是指在 1m^3 湿空气中所含水蒸气的质量，单位为 kg/m^3 。但是，仅知道绝对湿度还不能说明湿空气是否处于饱和状态，还需用相对湿度来说明。相对湿度是指空气中所含水蒸气的质量（湿空气中的绝对湿度）与同温度下饱和空气中所含水蒸气的质量之比。常见干湿球湿度计如图 1-4 所示。

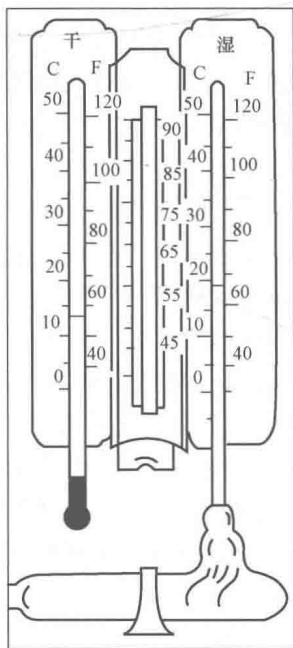


图 1-4 干湿球湿度计

1.4 空调冷(热)、湿负荷和送风量

空调房间冷(热)、湿负荷是确定空调系统送风量和空调设备容量的基本依据。

1. 冷负荷

在某一时刻,为保持房间恒温恒湿,需向房间供应的冷量称为冷负荷。

2. 热负荷

为补偿房间失热而需向房间供应的热量称为热负荷。

3. 湿负荷

为维持室内相对湿度所需由房间除去或增加的湿量称为湿负荷。

4. 送风量

为消除室内余热余湿,以维持空调房间所要求的空气参数而需要送入房间的空气量称为送风量。

1.5 空调系统的分类

分类通常有按空调系统的集中程度分类、按负担室内热湿负荷所用的介质分类及按空调的使用日分类等,这里只介绍前两种分类方式。

1.5.1 按空调系统的集中程度分类

1. 集中式空调系统

将所有空气处理设备(包括输送设备风机、水泵等)都集中在一个空调机房内,然后由送风机把处理后的空气,经风道送到各空调房间。这种空调系统处理空气量较大,需要设集中冷源和热源。

2. 半集中式空调系统

也称为混合式空调系统,对空气既有集中处理又有局部处理装置。如风机盘管加新风系统,新风经过新风机组集中处理后送至各房间,房间内设有风机盘管等末端装置,对空调房间的空气作进一步的补充处理。

人们习惯上把集中式和半集中式系统统称为中央空调系统。

3. 局部空调系统

也称全分散空调系统,是由分散在各空调房间内的空调机组来承担空调任务的,该机组将冷、热源和空气处理、输送设备集中设置在一个箱体内,例如窗式空调器、恒温恒湿机、冷风机组等。

1.5.2 按负担室内热湿负荷所用的介质分类

1. 全空气系统

利用空气作为负担室内负荷的介质,将经过处理的空气送入空调房间内,同时消除室内的余热和余湿;或者在消除余湿的同时,向室内补充热量。由于空气的比热较小,为消除余热或余湿所需送风量较大,风道尺寸也大。因此,占用较多的建筑空间。属于集中式空调系统。

2. 空气-水系统

使用空气和水作为负担室内负荷的介质,如风机盘管加新风系统,就属于这一类,属半

集中式空调系统。由于室内负荷大部分靠设在空调房间内的风机盘管机组来负担,向室内送入新风只是为了满足房间的卫生要求,因此风量不大,风道尺寸较小,新风仅负担小部分负荷。风机盘管所需冷、热水是集中供应的。

3. 全水系统

空调房间的热湿负荷全靠水作为冷热介质来负担。水的比热比空气大得多,所以在相同条件下只需较小的水量,从而使管道所占的空间减小许多。但是,仅靠水来消除余热余湿,并不能解决房间的通风换气问题。因而通常不单独采用这种方法。

4. 冷剂系统

这种系统是将制冷系统的蒸发器直接放在室内来吸收余热余湿。这种方式属于局部空调系统,通常用于分散安装的局部空调机组,如窗式空调器。近年来,VRV(变制冷剂流量)系统也应用到集中空调系统上,其室内外管路最长可达100m,最大高、低落差为50m。

1.6 空调系统的自动控制原理

1.6.1 制冷空调自动控制内容

制冷空调系统由空气加热、冷却,加湿、去湿,空气净化,风量调节设备以及空调用冷、热源等设备组成。这些设备的容量是设计容量,但在日常运行中的实际负荷在大部分时间里是部分负荷,不会达到设计容量。所以,为舒适和节能,必须对上述设备进行控制,使其实际输出量与实际负荷相适应。目前,对其容量控制已实现不同程度的自动控制,其内容也日渐丰富。被控参数主要有空气的温度、湿度、压力(压差)以及空气清新度、气流方向等,在冷热源方面主要是冷、热水温度,蒸气压力。有时,还需要测量控制供、回水干管的压力差,测量供、回水温度以及回水流量等。在对这些参数进行控制的同时,还要对主要参数进行指示、记录、打印,并能监测各机电设备的运行状态及事故状态和报警。

制冷空调设备有如下自控系统:风机盘管控制系统、新风机组控制系统、空调机组控制系统、冷冻站控制系统、热交换站控制系统及有关给排水控制系统等。

1.6.2 制冷空调自动控制功能

制冷空调自动控制是集制冷、空调、给排水与自动控制技术、计算机技术为一体的综合技术,是多方面技术与设备的集成。

制冷空调自动控制的设计需要建筑、机电、空调、制冷、给排水、弱电等多种设计部门配合,由他们提出各自的监控信号和控制要求,然后由自控设计工程师汇总。对暖通工程师来说,应根据空调过程,准确地提出空调、制冷系统所需监测的物理点(温度、湿度、压力、流量……)、参数控制的要求、节能控制的要求和安全控制的要求等。在硬件设计方面应选择自动调节阀的型号、规格。

为了进行制冷空调的自动控制,要求制冷空调系统本身的设计符合节能措施,具有经济性和高效性。设想,一个没有节能措施、无经济性、设备容量调节功能不全、内部存在着缺陷的病态空调系统,无论进行怎样的自动化投资,也无法达到空调最佳控制。

1.6.3 制冷空调自动控制方式

1. 制冷空调模拟仪表自动控制

由模拟控制器(又称模拟控制仪表)、传感器、执行器与被控对象组成的自控系统,是利用反馈控制原理组成的闭环控制系统,也是早期发展起来的、理论成熟、使用经验丰富的