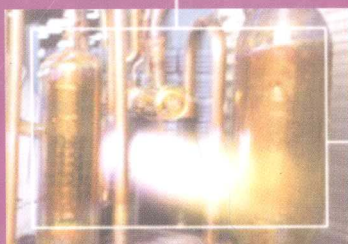




全国中等职业技术学校
制冷与空调设备维修专业教材



空气调节与中央空调装置

 中国劳动社会保障出版社



全国中等职业技术学校制冷
与空调设备维修专业教材

空气调节与中央空调装置

劳动和社会保障部教材办公室组织编写

江苏工业学院图书馆
藏书章

中国劳动社会保障出版社

图书在版编目(CIP)数据

空气调节与中央空调装置/金湖庭编写. —北京:中国劳动社会保障出版社, 2002.6
全国中等职业技术学校制冷与空调设备维修专业教材
ISBN 7-5045-3428-5

I. 空…

II. 金…

III. ①空气调节—基本知识 ②集中空气调节系统—基本知识

IV. TB657.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 046271 号

中国劳动社会保障出版社出版发行

(北京市惠新东街 1 号 邮政编码: 100029)

出 版 人: 张梦欣

*

北京隆昌伟业印刷有限公司印刷装订 新华书店经销

787 毫米×1092 毫米 16 开本 22 印张 548 千字

2002 年 7 月第 1 版 2006 年 6 月第 4 次印刷

定价: 36.00 元

读者服务部电话: 010-64929211

发行部电话: 010-64927085

出版社网址: <http://www.class.com.cn>

版权专有 侵权必究

举报电话: 010-64911344

前 言

随着科学技术的不断进步和国民经济的迅速发展,制冷技术及相关产品在工农业生产中的应用越来越广泛。特别是近几年,伴随着我国人民物质生活水平的提高,人们对生产、生活的环境质量要求越来越高,由此推动了办公、家用制冷产品生产的飞速发展。目前,空调、冰箱、冷柜等制冷产品已走进千家万户,从过去的奢侈品逐渐成为人民群众的生活必需品。另一方面,产业的迅速发展,使企业对制冷专业人才特别是操作技能型人才的需求越来越迫切,大力开展相关专业(工种)教学或岗位培训的工作,已成为我国制冷业持续稳定发展的重要保证。

为适应企业的用人要求,满足各地相关专业教学与培训的需要,我们组织编写了全国中等职业技术学校制冷与空调设备维修专业教材,分别是《制冷技术基础》《制冷基本操作技能》《小型制冷设备原理与维修》《空气调节与中央空调装置》《冷库技术》。

在本套教材的编写工作中,我们始终坚持了以下几方面的要求:一是提高教材的实用性,以满足学校培养目标的要求;二是合理引入新技术和新工艺的内容,以及由生产中总结出来的有价值的实践经验和操作技巧;三是贯彻相关工种的国家技术标准;四是强调教材内容应简明、生动,图文并茂,具有较强的可读性。

本套教材的编写工作得到了广东、浙江等省劳动和社会保障厅教研机构和有关学校的大力支持,在此表示衷心的感谢。

劳动和社会保障部教材办公室

2002年5月

简 介

本书是根据劳动和社会保障部培训就业司颁发的《制冷与空调设备维修专业教学计划与教学大纲》编写，供中等职业技术学校制冷与空调设备维修专业使用。

本教材共分三篇。第一篇介绍了空气调节的基础知识，分析了空气的状态变化过程和空气的处理方法，以及空气调节系统的气流组织、消音减振等。第二篇介绍了中央空调的基本设备，以及系统的自动控制。第三篇介绍了中央空调机组的安装、操作与维修管理的一般技术。

本书也可用作职业培训教材。

本书由金湖庭编写，徐雄华审稿。

目 录

第一篇 空气调节基础

第一章 湿空气的组成和性质	(1)
§ 1—1 空气调节	(1)
§ 1—2 湿空气的组成和状态参数	(3)
§ 1—3 湿空气的焓—湿图及应用	(7)
§ 1—4 空气状态的测量	(12)
练习题	(14)

第二章 空调的负荷计算	(15)
§ 2—1 空调房间负荷的计算	(15)
§ 2—2 空调负荷估算法	(19)
练习题	(21)

第三章 空气调节系统	(22)
§ 3—1 空气调节系统的分类	(22)
§ 3—2 普通集中式空调系统	(25)
§ 3—3 诱导式空调系统	(31)
§ 3—4 风机盘管空调系统	(33)
§ 3—5 变风量空调系统	(36)
§ 3—6 分散式空调系统——局部空调机组	(38)
§ 3—7 普通集中式空调系统的调节	(40)
练习题	(43)

第四章 空气的热湿处理	(44)
§ 4—1 用喷水室处理空气	(45)
§ 4—2 表面式换热器处理空气	(52)

§ 4—3 电加热器	(55)
§ 4—4 加湿器	(56)
§ 4—5 除湿机	(60)
练习题	(61)

第五章 空调房间的气流组织 (62)

§ 5—1 空气的输送与分配	(62)
§ 5—2 气流组织的形式及送、回风口	(66)
§ 5—3 空调建筑的防火排烟	(73)
练习题	(78)

第六章 空气净化和空调系统的消声、减振 (79)

§ 6—1 空气净化的要求和标准	(79)
§ 6—2 空气过滤器	(81)
§ 6—3 空气洁净室	(86)
§ 6—4 局部净化设备	(88)
§ 6—5 空气的特殊净化处理	(90)
§ 6—6 空调噪声的来源及其消除方法	(92)
§ 6—7 空调装置的减振	(99)
练习题	(101)

第二篇 中央空调设备与自动控制

第七章 制冷压缩机 (102)

§ 7—1 活塞式制冷压缩机概述	(103)
§ 7—2 活塞式制冷压缩机的主要零部件	(108)
§ 7—3 活塞式制冷压缩机润滑系统	(121)
§ 7—4 螺杆式制冷压缩机	(126)
§ 7—5 离心式制冷压缩机	(130)
练习题	(133)

第八章 制冷设备 (134)

§ 8—1 冷凝器	(134)
§ 8—2 蒸发器	(139)
§ 8—3 其他换热器	(142)
§ 8—4 冷却塔	(143)

§ 8—5 节流设备及辅助设备·····	(146)
练习题·····	(154)

第九章 离心泵与中央空调水系统····· (155)

§ 9—1 泵的主要性能参数和分类·····	(155)
§ 9—2 离心泵·····	(156)
§ 9—3 中央空调水系统·····	(164)
练习题·····	(170)

第十章 空调系统的自动控制····· (171)

§ 10—1 自动控制的基本概念·····	(171)
§ 10—2 制冷机组的自动控制·····	(177)
§ 10—3 空调房间的自动控制·····	(189)
§ 10—4 冷水机组的自动控制·····	(192)
§ 10—5 中央空调系统的自动控制·····	(216)
练习题·····	(226)

第三篇 中央空调机组的安装、操作与维修管理技术

第十一章 往复式冷水机组····· (227)

§ 11—1 往复式冷水机组的特点和性能数据·····	(227)
§ 11—2 往复式冷水机组的工作流程·····	(232)
§ 11—3 往复式冷水机组的安装与调试·····	(236)
§ 11—4 往复式压缩机和往复式冷水机组的操作·····	(239)
§ 11—5 往复式冷水机组常见故障与排除方法·····	(243)
练习题·····	(246)

第十二章 离心式冷水机组····· (247)

§ 12—1 离心式冷水机组的分类和性能·····	(247)
§ 12—2 离心式冷水机组的工作流程·····	(252)
§ 12—3 离心式冷水机组的安装·····	(260)
§ 12—4 离心式冷水机组的指示和安全保护仪表·····	(262)
§ 12—5 离心式冷水机组的启动、运行和停机·····	(265)
§ 12—6 离心式冷水机组的常见故障与排除方法·····	(270)
练习题·····	(273)

第十三章	螺杆式冷水机组	(274)
§ 13—1	螺杆式冷水机组的特点和性能	(274)
§ 13—2	螺杆式冷水机组的工作流程	(276)
§ 13—3	螺杆式冷水机组的能量调节和启停操作	(279)
§ 13—4	制冷机组的保养与维修	(281)
练习题		(289)

第十四章	溴化锂吸收式制冷机	(290)
§ 14—1	溴化锂水溶液的性质	(291)
§ 14—2	溴化锂吸收式制冷机制冷原理	(293)
§ 14—3	溴化锂吸收式制冷机组主要部件的结构	(303)
§ 14—4	溴化锂吸收式制冷机的安装	(313)
§ 14—5	溴化锂吸收式制冷机的调试	(316)
§ 14—6	溴化锂吸收式制冷机的操作	(322)
§ 14—7	溴化锂吸收式制冷机的维护保养	(327)
§ 14—8	溴化锂吸收式制冷机的常见故障及排除方法	(331)
练习题		(336)

附录	(337)
附录一 湿空气的密度、水蒸气压力、含湿量和比焓	(337)
附录二 饱和水蒸气与干饱和蒸汽表	(339)
附录三 通风管道统一规格	(341)
附录四 空调工程常用单位换算表	(343)
参考文献	(344)

第一篇 空气调节基础

第一章 湿空气的组成和性质

§1—1 空气调节

一、空气调节的任务和作用

空气调节,就是把经过一定处理之后的空气,以一定方式送入室内,使室内空气的温度、相对湿度、气流速度和洁净度等控制在适当范围内的专门技术。维持一定的温度、湿度,是指室内空气的温度、相对湿度必须稳定在一定的基数上,如 $t = 20^{\circ}\text{C}$, $\varphi = 50\%$, 即所谓空调基数。空调基数不得超出允许的波动范围,如 $\Delta t = \pm 1^{\circ}\text{C}$, $\Delta \varphi = \pm 5\%$, 即所谓空调精度。 Δt 在 1°C 以上的空调系统,叫一般精度的空调系统,可以通过手动进行控制。 Δt 小于 1°C 的空调系统,叫高精度空调系统,应采用自动控制。

根据使用对象的不同,空调可分为舒适性和生产性两类。

舒适性空调,其目的是为人们提供良好的工作条件或舒适的生活环境,以利于提高人们的工作效率,保障人们的身体健康。

实践证明,人们感到舒适的环境条件为:空气温度 $18 \sim 28^{\circ}\text{C}$, 相对湿度 $40\% \sim 60\%$, 空气流动速度 0.25 m/s 左右。

舒适性空调广泛应用于公共建筑中,如展览馆、影剧院、图书馆、博物馆、宾馆、医院、商场、写字楼等,现在已进入家庭、汽车等小空间。

生产性空调的作用是满足生产、科研等工艺过程所要求的空气参数。如果这些参数得不到满足,生产和科研就无法进行,产品质量就无法保证。对不同的工业部门,由于生产工艺不同,对空调的要求也不同。

生产性空调应用非常广泛,例如机械工业、纺织工业、印刷工业、胶片工业、食品工业、制药工业、卷烟工业以及产品性能试验和科学研究试验等。有的工业部门对空调精度要求高,像电子工业、仪表工业、精密机械工业、合成纤维工业及某些工厂和科研单位需要的控制室、计量室、检验室、计算机房等,要求室内空气温度波动范围在 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 以内,湿度波动范围在 $\pm 5\%$ 以内,这就是恒温恒湿空气调节。

此外,像制药工业和医院的手术室,不但对空气的温度和湿度有一定的要求,而且对空气的含尘浓度有严格的要求。对空气含尘浓度有严格要求的空调称为洁净室空调。

二、空气调节技术的发展概况

空气调节技术的形成是在 20 世纪初开始的,它随着工业发展和科学技术水平的提高而

日趋完善。

19 世纪后半叶，随着发达国家纺织工业的发展，促进了空气调节技术的发展。当时一位叫克勒谋 (Stuart W. Cramer) 的工程师负责设计和安装了美国南部 1/3 纺织厂的空气调节系统。系统中，已开始采用了集中处理空气的喷水室，装置了洁净空气的过滤设备等。空气调节的英语名 Air Conditioning 就是克勒谋在 1906 年所定名的。

在美国，开利尔 (Will H. Carrier) 对空调事业的进步和发展做出了突出的贡献。1901 年，他创建了第一所暖通空调方面的实验研究室，提出了好几个实践验证理论的计算方程式。1902 年，他通过实验结果，设计和安装了彩色印刷厂的全年性空气调节系统。在 1905 年以前，他把喷嘴和挡水板装置在喷水室内，改善了湿度控制的效果，使全年性空气调节系统能够满意地应用在 200 种以上不同类型的工厂。在 1911 年 12 月，他得出了空气干球、湿球和露点温度的关系，以及空气显热、潜热和焓值间关系的计算公式，绘制了湿空气的焓—湿图。这是空气调节史上的一个重要里程碑。

在空调系统方面，首先是全空气系统，随后又发展了空气—水系统。由于空气—水系统由水管来代替大部分的大截面风道，既节约了许多金属材料，又节省了风道所占建筑物的空间，经济效益很高。在空气—水系统方面，先是采用诱导器系统，这是开利尔在 1937 年所发明的。它在以后的 20 年中，曾风行于旅馆、医院、办公楼等公共建筑。在 20 世纪 60 年代，由于风机盘管的出现，消除了诱导器噪声大和不易调节等主要缺点，使空气—水系统更加具有生命力。全空气系统的进一步发展则是变风量的应用，它可以按负荷变化来改变送风量，起了节能的作用。因此近 20 年来，各国采用变风量的全空气系统日渐增多。

除了集中式的空调系统外，在 20 世纪 20 年代末期出现了整体式的空调机组。它是将制冷机、通风机、空气处理装置等组合在一起的成套空调设备。空调机组发展迅速，现在通用的已有窗式、分体式和柜式等好几类机组，并发展了利用制冷剂的逆向循环在冬季供热的热泵型机组。

在我国，空气调节的发展并不太迟，生产性空调和舒适性空调几乎同时起步。1931 年，首先在上海纺织厂安装了带喷水室的空气调节系统，其冷源为深井水。随后，也在一些电影院和银行实现了空气调节，一些高层建筑的大旅馆也先后设置了全空气式的空调系统。到 1937 年，由于我国遭受日本侵略，空气调节技术的发展被迫中断。

新中国成立后，随着国民经济的发展，空调事业逐步发展壮大。我国第一台风机盘管机组是 1966 年研制成功的，组合式空调机组在 20 世纪 50 年代已应用于纺织工业。现在我们能独立设计、制造和装配多种空气调节系统，如高度精度的恒温恒湿洁净室、地下除湿、人工气候室以及大型公共建筑和高层建筑的空调系统。一些专门生产空调设备的工厂，已达到定型化、系统化生产各种空气处理设备和不同规格的空调机组。用于空调系统上的测量和控制仪表以及控制机构的生产，也有了一定的基础。在全国范围内，从事暖通空调专业的设计、研究和施工管理的队伍，已具有相当的规模。不少大、中、专院校设有供热通风和空气调节专业，以培养专门技术人才。

在发达国家里，用于空调的电能约占全国总消耗电能的 20%~30%。在我国，随着四个现代化的进展和人民物质生活水平的提高，应用空调设备的场所也会越来越多，所占总能耗比例也会越来越高。所以要求空调装置能够节约能源、节省投资是一种必然的趋势。

在节能方面所采取的措施，一是热量的回收利用，例如应用转轮式热交换器、板翅式热

交换器等；二是节约热源和改善冷源，例如，将分散的锅炉群改为区域供热的热网；三是研制和推广成本低、效能高的新型制冷循环、制冷机和制冷剂。太阳能和地热的利用也已走出小型、样机化阶段，逐渐达到商品化。在空调系统方面，由定风量系统发展到变风量系统，将逐渐在国内推广。在节省投资方面，应做到投资费用最省，并能节省大量的金属材料。例如，在空气—水系统中以水管代替风道，可以比全空气系统节省不少金属。

在有些空调房间，出于对生产工艺上的特殊要求，要求有较高的空调精度水平，例如 $\pm 0.001 \sim \pm 0.01^{\circ}\text{C}$ 的恒温， $\pm 0.25\% \sim 1\%$ RH 的恒湿， $0.1\text{ }\mu\text{m}$ M1 级的洁净环境。实现它要求空调技术水平有新的更大提高。但是实现高精度的代价是不小的，如果实际上不需要而盲目提出高精度指标，将是一种严重的浪费。

在设计、工艺、运行控制及管理方面广泛应用计算机技术，这肯定是空气调节技术发展的必然趋势。目前，计算机已广泛应用在暖通空调工程的专业计算、施工图绘制等方面。

§ 1—2 湿空气的组成和状态参数

一、湿空气的组成

自然界中的空气，是由数量基本稳定的干空气和数量经常变化的水蒸气组成的混合物。这种混合物称为湿空气，也就是常说的空气。

1. 干空气

干空气是湿空气的主要组成部分，它是由氮气、氧气、二氧化碳及其他稀有气体（如氩、氖等）按一定比例组成的混合物，见表 1—1。

表 1—1 干空气的组成成分

气体名称	质量分数	体积分数
氮气 (N_2)	0.755 5	0.781 3
氧气 (O_2)	0.231	0.209 0
二氧化碳 (CO_2)	0.000 5	0.000 3
其他稀有气体	0.013 0	0.009 4

2. 水蒸气

空气中水蒸气的含量是经常变化的，通常占空气质量的千分之几到千分之二十几。自然界中的空气都或多或少地含有一些水蒸气，因此，自然界中的空气都是湿空气。绝对的干空气在自然界中是不存在的。在空调中所调节的空气为湿空气。

3. 饱和空气

干空气具有吸收和容纳水蒸气的能力。我们把在一定温度下水蒸气的含量达到最大值时的空气，称为饱和空气，此时所对应的温度为空气的饱和温度。如果降低空气的饱和温度，空气中的水蒸气含量也会随之降低，并且多余的水蒸气会冷凝成液体。自然界中的结露现象就是这个道理。根据这一道理，可以利用制冷装置对空气进行去湿处理。因此，我们把一定大气压下，湿空气的含湿量 d 不变的情况下，冷却到相对湿度 $\varphi = 100\%$ 时所对应的温度称为露点温度，并用符号 t_L 表示。若再继续降温，就会有多余的水蒸气析出，

出现结露。

二、湿空气的状态参数

湿空气的物理性质除和它的组成成分有关外，还决定于它所处的状态。湿空气的状态通常可以用压力、温度、湿度等参数来表示，这些参数我们称为湿空气的状态参数。

在热力学中，我们将常温常压下（空调属于此范畴）的干空气视为理想气体。存在于湿空气中的水蒸气由于处于过热状态，加之压力低，比容大，数量微少，也可以近似地当做理想气体来对待。所以，由空气和水蒸气所组成的湿空气，也应遵循理想气体的规律，其状态参数之间的关系，可以应用下列理想气体方程式表示：

$$pV = mRT$$

式中 p ——气体的压力，单位 N/m^2 ；

V ——气体的总体积，单位 m^3 ；

m ——气体的总质量，单位 kg ；

T ——气体的绝对温度，单位 K ；

R ——气体常数，取决于气体的性质，单位 $\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ 。

对于干空气 $R_g = 287 \text{ J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$

对于水蒸气 $R_q = 461 \text{ J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$

下面将空调工程中经常遇到的几个湿空气状态参数叙述如下。

1. 压力

单位面积上所受到的垂直作用力，称为压力。气体对单位面积的器壁所产生的压力又称气体压力，它是由大量的气体分子频繁地碰撞器壁产生的。这种持续而均匀的压力，其方向是垂直于容器壁的。如以 G 表示垂直作用力， f 表示面积，则压力 p 可表示为：

$$p = G/f$$

根据法定计量单位规定，气体压力的单位以帕（Pa）或千帕（kPa）表示。

$$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$$

(1) 大气压力 大气压力简称大气压，是空调工程中广泛采用的压力单位。所谓大气压，就是指地球表面的空气层在单位面积上所形成的压力。常用的压力单位有三种：工程制单位（非法定计量单位） kgf/cm^2 ；国际制单位 Pa 或 MPa；液柱高单位（非法定计量单位），如毫米汞柱高（mmHg）、毫米水柱高（mmH₂O）或米水柱高（mH₂O）。

大气压不是一个定值，它除了因所在地区的海拔高度不同而存在差异外，同时还随着季节、天气的变化而稍有不同。例如，我国东部的上海市海拔 4.5 m，夏季大气压为 1 005 mbar (754 mmHg)，冬季为 1 025 mbar (769 mmHg)。应该指出，大气压不同，空气的状态参数也要发生变化。因此，在设计和运行中使用的一些空气参数，如果不考虑当地的气压大小，就会造成一定的误差。为了计算和使用方便起见，物理学上规定，在纬度 45° 的海平面上常年平均大气压定为 1 标准大气压 (atm)，或称 1 物理大气压。其值为 1 013.25 mbar 或 760 mmHg，即：

$$1 \text{ atm} = 1 013.25 \text{ mbar} = 760 \text{ mmHg}$$

$$1 \text{ atm} = 10 332.3 \text{ kgf/m}^2$$

工程上为了使用和换算方便，常将 1 kgf/cm^2 作为一个大气压，称为工程大气压(at)，即：

$$1 \text{ at} = 1 \text{ kgf/cm}^2 = 98 066.5 \text{ Pa} \approx 735.6 \text{ mmHg}$$

通过换算得：

$$1 \text{ mmH}_2\text{O} = 1 \text{ kgf/m}^2$$
$$1 \text{ mmHg} \approx 13.6 \text{ mmH}_2\text{O}$$

在空调系统中，空气的压力是用仪表测出的。但仪表指示的压力不是空气压力的绝对值，而是与当地大气压的差值。当所测空气的压力高于当地大气压时，其差值称为空气的表压力（或表压），这时所测空气的真实压力即绝对压力等于表压力与当地大气压之和。

$$p_{ju} = p_b + p_o$$

式中 p_{ju} ——绝对压力；
 p_b ——表压力；
 p_o ——当地大气压力。

反之，当所测空气的压力低于当地的大气压时，其差值称作空气的真空度，这时所测空气的绝对压力等于当地大气压与真空度之差。

$$p_{ju} = p_o - p_z$$

式中 p_z ——真空度。

从上述关系式中可以看出，表压力和真空度的大小都是相对值，它们不能代表空气压力的真正大小，只有空气的绝对压力才是空气的一个基本状态参数。

绝对压力、表压力、真空度三者之间的关系亦可以用图示法表示它们的换算关系，如图 1—1 所示。

(2) 道尔顿定律 为了阐明气体分压力的概念，必须提及道尔顿定律。假设某种混合气体由若干种气体组成，如果各组成气体单独存在，其温度都相等，且等于混合气体的温度 T ，其所占容积也都相等，都等于混合气体的容积 V ，这时作用于容器壁的压力 P 称为各组成气体的压力，如图 1—2 所示。

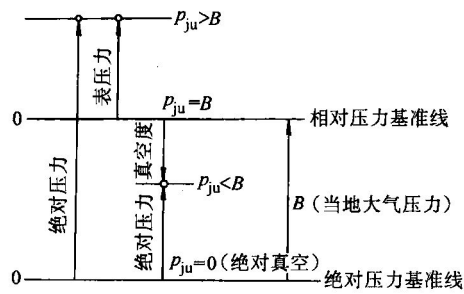


图 1—1 绝对压力与相对压力换算关系示意图

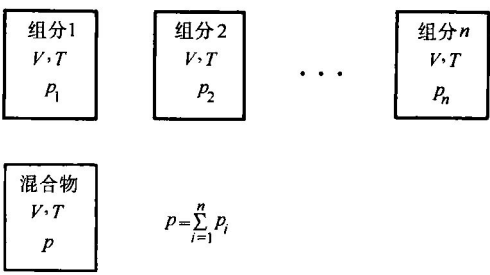


图 1—2 混合气体分压力示意图

根据道尔顿定律，混合气体的总压力等于组成气体分压力之和，即

$$p = p_1 + p_2 + \cdots + p_n = \sum_{i=1}^n p_i$$

大气是由干空气和水蒸气组成的混合气体，因此大气压力 p 应该为干空气分压力 p_g 与水蒸气分压力 p_q 之和，即

$$p = p_g + p_q$$

空气中水蒸气含量越多，其分压力也越大，所以水蒸气分压力是反映空气所含水蒸气量的一个指标，也是空调技术中经常用到的一个参数。

2. 温度

温度是分子动能的宏观结果，是描述空气冷热程度的物理量。温度有三种标定方法：摄氏温标、华氏温标和绝对温标（又叫热力学温标或开氏温标）。摄氏温标用符号 t 表示，单位是摄氏度（℃）。华氏温标用符号 t_F 表示，单位是华氏度（°F），华氏温标为非法定计量单位。绝对温标用符号 T 表示，单位是开尔文（K）。

三种温标间换算关系如下：

$$T = t + 273.15$$

$$t = T - 273.15$$

$$t_F = (9/5) \times t + 32$$

$$t = (5/9) \times (t_F - 32)$$

因为水蒸气均匀地混合在干空气中，所以，平常我们用温度计所测得的空气的温度既是干空气的温度又是水蒸气的温度。

3. 湿度

(1) 绝对湿度 即每立方米空气中含有水蒸气的质量，用符号 γ_Z 表示，单位为 kg/m^3 。如果在某一温度下，水蒸气的含量达到了最大值，此时的绝对湿度称为饱和空气的绝对湿度，用 γ_B 表示。空气的绝对湿度只能表示在某一温度下每立方米空气中水蒸气的实际含量，不能准确地说明空气的干湿程度。

(2) 相对湿度 为了能准确地说明空气的干湿程度，在空气调节中采用了相对湿度这个参数。相对湿度即空气的绝对湿度 γ_Z 与同温度下饱和空气的绝对湿度 γ_B 的比值，用符号 φ 表示。相对湿度一般用百分比表示，即：

$$\varphi = \gamma_Z / \gamma_B \times 100\%$$

相对湿度 φ 的取值范围在 0~100% 之间。如果 $\varphi = 0$ ，表示空气中不含水蒸气，属于干空气；如果 $\varphi = 100\%$ ，表示空气中的水蒸气含量达到最大值，成为饱和空气。因此，只要知道 φ 值的大小，即可得知空气的干湿程度，从而判断是否对空气进行加湿或去湿处理。

(3) 含湿量 湿空气是由于干空气和水蒸气组成的。所谓湿空气的含湿量可看做是 1 kg 干空气所对应的水蒸气的质量，用符号 d 表示，单位是 g/kg 干空气（或 kg/kg 干空气）。

在空气调节中，含湿量 d 是用来反映对空气进行加湿或去湿处理过程中水蒸气量的增减情况的。之所以用 1 kg 干空气作为衡量标准，是因为空气中水蒸气含量经常变化，但干空气的成分一般是不变的。假定空气的含湿量为 d g，则在 $(1 + d/1000)$ kg 湿空气中，含有 $(d/1000)$ kg 的水蒸气。

4. 比焓

空气的比焓（简称为焓）指 1 kg 干空气的焓和与它相对应的水蒸气的焓的总和，用符号 h 表示，单位是 kJ/kg 。在空调工程中，参数比焓很有用处，我们可以根据一定质量空气在处理过程中空气的比焓的变化，来判断空气是得到热量还是失去热量。空气的比焓增加，表示空气得到热量；空气的比焓减少表示空气失去热量。利用这一原理，我们可以根据比焓的变化值（简称为焓值）来计算空气在处理前后得到或失去热量的多少。

在空气处理过程中，需要考虑的是空气焓值的变化量而不是空气在某一状态下的焓值。所以，一般规定干空气的焓值以 0℃ 为基准点（计算的起点），即 0℃ 时 1 kg 干空气的焓值为 0。

5. 比容和密度

空气的比容是指单位质量的空气所占容积, 用符号 ν 表示, 单位是 m^3/kg 。密度是指每立方米空气中干空气的质量与水蒸气质量之和, 用符号 ρ 表示, 单位是 kg/m^3 。从数量关系上来说, 比容和密度两者互为倒数。由于湿空气是干空气和水蒸气的混合气体, 两者均匀混合并占有相同的容积, 因此, 湿空气的密度等于干空气的密度和水蒸气的密度之和。

§ 1—3 湿空气的焓—湿图及应用

一、焓—湿 ($h-d$) 图的构成

$h-d$ 图是以比焓 h 为纵坐标, 含湿量 d 为横坐标, 在一定的大气压 p 下绘制而成的。为使图面开阔、线条清晰, 将两坐标轴间的夹角定为 135° , 如图 1—3 所示。不同大气压下, 有

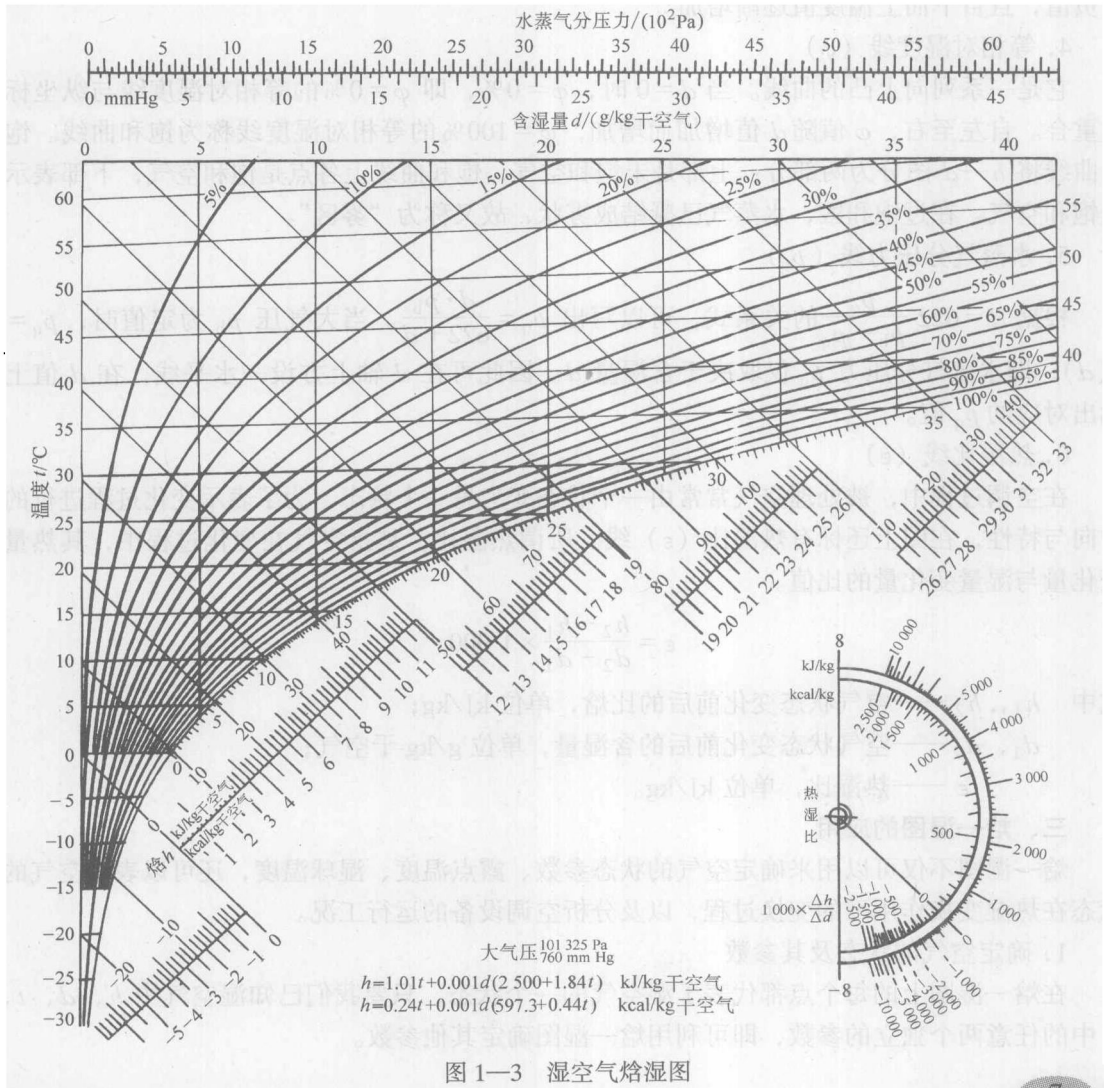


图 1—3 湿空气焓湿图

不同的 $h-d$ 图,使用时应注意选用与当地大气压相适应的 $h-d$ 图。图 1—3 中除坐标轴外,还有温度 t 和相对湿度 φ 两组等值线,水蒸气分压力 p_q 及表示空气状态变化过程的热湿比 ϵ 线。

二、焓—湿图上的等参数线

1. 等含湿量线 (d)

它是一系列与纵坐标平行的直线,从纵轴为 $d=0$ 的等含湿量线开始, d 值自左向右逐渐增加。

2. 等焓线 (h)

为了使图面清晰,等焓线为一系列与纵坐标成 135° 夹角的平行线。通过含量 $d=0$ 及温度 $t=0^\circ\text{C}$ 交点的等焓线,比焓值 $h=0$,向上等焓线为正值,向下等焓线为负值,自下而上比焓值逐渐增加。

3. 等温线 (t)

它是一系列看似平行而实际不平行的直线, $t=0^\circ\text{C}$ 以上的等温线为正值,以下的等温线为负值,且自下而上温度值逐渐增加。

4. 等相对湿度线 (φ)

它是一系列向上凸的曲线。当 $d=0$ 时, $\varphi=0\%$,即 $\varphi=0\%$ 的等相对湿度线与纵坐标轴重合。自左至右, φ 值随 d 值增加而增加, $\varphi=100\%$ 的等相对湿度线称为饱和曲线。饱和曲线将 $h-d$ 图分为两部分:上部是未饱和空气,饱和曲线上各点是饱和空气,下部表示过饱和空气。在过饱和区,水蒸气已凝结成雾状,故又称为“雾区”。

5. 水蒸气分压力线 (p_q)

根据 $d=622 \frac{p_q}{p_b - p_q}$ 的关系式,可以写出 $p_q = \frac{d \cdot p_b}{622 + d}$ 。当大气压 p_b 为定值时, $p_q = f(d)$,即水蒸气分压力 p_q 仅取决于含湿量 d 。因此可在 d 轴上方设一水平线,在 d 值上标出对应的 p_q 值。

6. 热湿比线 (ϵ)

在空调过程中,被处理空气常常由一个状态变为另一个状态,为了表示变化过程进行的方向与特性,在图上还标有热湿比 (ϵ) 线。所谓热湿比,是指空气在变化过程中,其热量变化量与湿量变化量的比值。

$$\epsilon = \frac{h_2 - h_1}{d_2 - d_1} \times 1000$$

式中 h_1, h_2 ——空气状态变化前后的比焓,单位 kJ/kg ;

d_1, d_2 ——空气状态变化前后的含湿量,单位 g/kg 干空气;

ϵ ——热湿比,单位 kJ/kg 。

三、焓—湿图的应用

焓—湿图不仅可以用来确定空气的状态参数、露点温度、湿球温度,还可以表明空气的状态在热湿变换作用下的变换过程,以及分析空调设备的运行工况。

1. 确定空气的状态及其参数

在焓—湿图上的每个点都代表了湿空气的一个状态,只要我们已知湿空气中 h, d, t, φ 中的任意两个独立的参数,即可利用焓—湿图确定其他参数。