

空气调节工程

郑爱平 编著

科学出版社

2002

内 容 简 介

本书系统地介绍了空气调节的基本原理、系统分类,冷(热)、湿负荷的计算方法,以及各类空调设备的结构、工作原理、安装要求、故障分析,空调系统消声、防振、防火、排烟和空调工程投资概算等基本知识,并简要地介绍了空调冷源及各类空调用冷水机组的结构、工作原理及选用原则,以及智能建筑空调环境控制基础。内容深入浅出,简明实用。

本书既可作为工科类院校给水排水工程、建筑环境与设备工程、房屋建筑设备与管理、土木工程、建筑学、建筑电气等专业的教材和教学参考书,也可作为从事空调工程设计、安装、运行管理、维修以及产品营销人员的参考书。

本教材还配有教学录像和整套 CAI 课件,供教学参考之用。

图书在版编目(CIP)数据

空气调节工程/郑爱平编著. —北京:科学出版社,2002
ISBN 7-03-010319-X

I. 空… II. 郑… III. 空气调节 IV. TU831

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 018809 号

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

新 蕾 印 刷 厂 印 刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2002年8月第 一 版 开本:720×1000 B5

2002年8月第一次印刷 印张:18 1/4 插页:1

印数:1—3 000 字数:355 000

定价:29.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈兰各〉)

前 言

为了适应 21 世纪我国社会主义现代化建设的需要,培养德、智、体、美全面发展、基础扎实、知识面宽、素质高、能力强、有创新意识的高级技术人才,从 1999 年起,全国普通高等学校在“给水排水工程”等本科专业的培养计划中,增加了“建筑暖通、空调”等专业课内容,从而体现知识面宽、又有特色的原则,达到厚基础、宽专业的目的。

随着国民经济与科学技术的发展以及人民生活水平的提高,空调制冷技术的应用日益广泛,相应地,从事这一技术的教学、科研、生产、工程等技术人员的数量也日益增多。为了适应空调制冷技术发展的要求和满足给水排水工程等土建类专业的需要,特编写了这本含空调冷源在内的“空气调节工程”教材,供高等院校有关专业师生以及从事空调制冷行业的技术人员参考。

本书原稿完成于 1999 年 5 月,并作为校内教材对本科生连续使用了三届。根据三年来的教学实践,并广泛征集了有关教师、学生以及工程技术人员的意见,对原稿进行了全面修改,并增加了冰蓄冷技术以及空调系统的智能化控制基础知识等比较新颖的内容。

本书共分十一章,内容涉及空气调节的基本知识、负荷计算、风道设计、设备选择、智能化控制、消声防振、防火排烟、工程概算以及空调用制冷技术的基本原理、系统结构、选用原则、故障分析等,内容深入浅出,简明实用。章末的复习思考题和习题可供教学、自修参考。

为了提高教学质量、更新教学手段,长安大学配合本教材还编制了一盒 60 分钟“空调工程”教学录像,以及一整套 CAI 课件,可供课堂教学选择使用。

由于作者水平所限,书中缺点及不足之处在所难免,恳请读者批评指正。

目 录

前 言

绪 论	1
-----	---

第一章 空气调节的基本知识	4
---------------	---

1.1 湿空气的物理性质	4
--------------	---

1.2 湿空气的 $i-d$ 图及其应用	9
----------------------	---

1.3 空气调节的任务	13
-------------	----

1.4 空调系统的分类	14
-------------	----

1.5 空调建筑的热工要求	16
---------------	----

复习思考题	17
-------	----

习题	18
----	----

第二章 空调负荷计算与送风量	20
----------------	----

2.1 计算空调冷(热)、湿负荷的目的	20
---------------------	----

2.2 室内外空气设计参数	20
---------------	----

2.3 空调室内冷(热)、湿负荷计算	21
--------------------	----

2.4 空调房间的送风量和新风量	32
------------------	----

2.5 冷(热)负荷简化计算方法	36
------------------	----

复习思考题	42
-------	----

习题	43
----	----

第三章 空气处理设备	45
------------	----

3.1 常用的空气处理设备	45
---------------	----

3.2 装配式空调机组	59
-------------	----

复习思考题	63
-------	----

第四章 集中式空调系统	64
-------------	----

4.1 集中式空调系统的基本组成和工作过程	64
-----------------------	----

4.2 空调房间的气流组织	75
---------------	----

4.3 空调系统的安装	79
-------------	----

4.4 空调系统中常见故障及其排除方法	84
---------------------	----

复习思考题	86
-------	----

习题	87
----	----

第五章 半集中式空调系统	89
--------------	----

5.1	风机盘管空调系统的组成及其特点	89
5.2	风机盘管空调系统的布置方式	95
5.3	风机盘管机组的主要技术性能参数及机组的选择计算	96
5.4	风机盘管空调系统的调节方法	103
5.5	风机盘管机组的安装和使用	103
5.6	诱导器系统简介	105
	复习思考题	106
第六章	空调系统的风道设计	107
6.1	风道设计的基本知识	107
6.2	风道设计的基本任务	108
6.3	风道设计计算的方法与步骤	110
6.4	风道内的压力分布	118
	复习思考题	120
	习题	120
第七章	空调冷源与冷水机组	122
7.1	空调冷源的种类	122
7.2	冷水机组的工作性能及其选用	136
7.3	冷却塔	154
7.4	空调与制冷机房面积、荷载及设备用水量、用电量估算	162
	复习思考题	164
第八章	全分散式空调系统	165
8.1	房间空调器的种类及使用条件	165
8.2	窗式空调器	169
8.3	分体式空调器	174
8.4	恒温恒湿空调机组	179
8.5	房间空调器的应用及其故障分析	181
	复习思考题	190
第九章	空调系统的消声、防振与空调建筑的防火排烟	191
9.1	空调系统的消声	191
9.2	空调装置的隔振	197
9.3	空调系统的防火	199
9.4	民用建筑的防烟、排烟	202
9.5	防火规范简介	206
	复习思考题	207
	习题	207

第十章 智能建筑的空调环境控制·····	208
10.1 智能建筑的室内环境标准·····	208
10.2 智能建筑的冷(热)、湿负荷计算特点 ·····	210
10.3 智能建筑的空调方式·····	212
10.4 智能建筑的气流组织·····	213
10.5 智能建筑空调系统的监控·····	215
复习思考题·····	218
第十一章 空调工程投资概算及其他·····	219
11.1 空调工程投资概算·····	219
11.2 空调、制冷设备的使用寿命及其他 ·····	220
附录 1 空调工程常用单位换算表 ·····	222
附录 2 标准大气压强下湿空气的 $i-d$ 图 ·····	插页
附录 3 民用建筑空调室内设计参数的推荐值 ·····	223
附录 4 部分生产车间空调室内设计参数 ·····	224
附录 5 我国主要城市空调室外空气设计参数 ·····	225
附录 6 几种围护结构的传热系数 K ·····	227
附录 7 屋顶及外墙的冷负荷计算温度 $t_{lf}(^{\circ}\text{C})$ ·····	230
附录 8 冷负荷计算温度 t_{lf} 的修正系数 $t_d(^{\circ}\text{C})$ ·····	231
附录 9 夏季通过单层 3mm 厚普通玻璃进入室内的 太阳辐射热 $q_{fr}(\text{W}/\text{m}^2)$ ·····	232
附录 10 玻璃类型修正系数 C_s ·····	241
附录 11 遮阳系数 C_n ·····	241
附录 12 钢板圆形风道沿程压力损失计算表 ·····	242
附录 13 钢板矩形风道沿程压力损失计算表 ·····	248
附录 14 非标准尺寸的钢板矩形风道沿程压力损失计算表 ·····	260
附录 15 局部阻力系数表 ·····	264
附录 16 R717 的 $p-h$ 图 ·····	278
附录 17 R22 的 $p-h$ 图 ·····	279
附录 18 R134a 的 $p-h$ 图 ·····	280
附录 19 LiBr- H_2O 溶液的 $h-\zeta$ 图 ·····	281
参考文献·····	282

绪 论

人类改造客观环境的能力取决于社会生产力和科学技术的发展水平。随着生产力和科学技术的发展,人类从穴居到建造不同功能和不同质量的建筑物,从取火御寒、摇扇驱暑到人工地创造受控的空气环境,经历了漫长的岁月。

空气调节工程的发展可以追溯到 15 世纪末,意大利达·芬奇制造出了第一台通风机,为空调工程准备了基本条件。19 世纪锅炉工业在西欧的发展为空调工程提供了热源。1851 年法国卡莱设计制成了第一台氨吸收式制冷机,1872 年美国波义耳设计制成了第一台氨制冷压缩机,为空调工程的发展起到了很大的推动作用。

空调技术最早应用于纺织业。18 世纪 30 年代,第一次工业革命在英国产生了纺织业,19 世纪后半叶,随着纺织工业的发展,对空气调节提出了很具体的要求:

- (1) 加温或降温,能够调节空气温度。
- (2) 加湿或减湿,能够调节空气湿度。
- (3) 能够使空气具有一定的流动速度。
- (4) 能够使空气具有一定的洁净程度。

当时,一位多面手工程师克勒谋,根据上述要求设计并安装了美国南部约 1/3 纺织厂的空调系统,系统中包含有处理空气的喷水室、洁净空气的过滤设备,从而获得了 60 多项专利权。英语中 Air Conditioning 一词就是他于 1906 年定名的。

1901 年,美国开利尔创建了世界上第一所暖通空调实验室,通过实验,提出了好几个实践验证理论的计算方程式,从而为克勒谋的设计提供了可靠的理论依据。1911 年,通过实验,他得出了空气干球、湿球和露点温度间的关系,绘制了湿空气的焓湿图($i-d$ 图),成为空调史上一个重要的里程碑,美国人尊他为“空调之父”。

在空气调节的发展史上,随着工业发展和人们生活水平的不断提高,改革变化很大。如制冷设备由往复式压缩机进步到离心式压缩机,提高了制冷效率;制冷剂由氨发展到氟利昂,提高了制冷系统的安全可靠性;到 20 世纪 20 年代末出现了整体式空调机组,它包括制冷机、通风机、空气处理装置等组合在一起的成套空调设备。几十年来,空调机组发展迅速,由庞大到小巧,由粗劣到精致,如今已生产出有各种用途的小型整体式或分体式空调机组。

空气调节应用于工业及科学实验过程一般称为“工艺性空调”,而应用于以人为主的空气环境调节则称为“舒适性空调”。美国的工艺性空调开始于 19 世纪后半叶,但舒适性空调却远远迟于工艺性空调,直到 20 世纪 20 年代,美国才出现了舒适性空调,在几百家影剧院设置了全空气空调系统。

在我国,工艺性空调和舒适性空调几乎是同时起步的。20 世纪 30 年代初,曾

有一个发展高峰时期,当时上海许多纺织厂已经有了空气调节系统,几座高层建筑的大旅馆和几家“首轮”电影院,先后都设置了全空气空调系统。但到1937年,由于日本侵略者的破坏,空调事业的发展被迫中断。

中华人民共和国成立以后,在党的领导下,我国空调、制冷技术人员奋起直追。尤其自20世纪80年代改革开放以来,我国各大城市的高级旅馆、影剧院、购物中心等先后都装置了空气调节系统,各式空调机组已进入学校、机关、医院以及平常百姓家。目前,我国许多工厂都能够生产出各种形式的制冷机以及整体式空调机组,许多产品的质量已接近或达到了世界先进水平。

空气调节的任务,就是在任何自然环境下,用人工的方法,将室内空气的温度、湿度、气流速度以及洁净程度维持在一定的范围之内,以保证生产工艺、科学实验或人体的生理需求。

空气调节的主要作用可归纳为下述几点:

(1) 造成合适的室内气候,以利于工业生产及科学研究的进行。例如纺纱车间,空气太干燥会使棉纱变粗变脆,加工时容易产生静电,造成飞花和断头,甚至纺不成纱;空气过于潮湿又会使棉纱粘结,不但影响生产效率,而且影响产品质量。电子工业的某些车间,不仅对空气的温、湿度有一定要求,而且对空气含尘颗粒的大小和数量也必须严格控制,否则就会影响微小元件的加工精度和质量,以致降低成品率。印刷品出现重印,其中一个原因就是由于套色过程中温、湿度的变化,纸张产生热胀冷缩,从而导致套色误差。

(2) 创造舒适环境,以利于人们工作、学习和休息。例如万人大会堂、宴会厅、影剧院、体育馆、商场、候车室等人们聚集的公共建筑,应及时排除污浊空气并送入具有一定温度和湿度的新鲜空气,以造成舒适的空气环境,增进人们的身体健康,保证工作和学习效率的提高。

(3) 创造特定的气候条件,如特殊医疗的气候条件,使一些需要特定气候环境的手术和治疗得以安全进行;模拟太空环境的气候条件,使太空实验得以顺利完成等等。

(4) 为妥善保存珍贵物品、博物馆藏、图书馆藏等创造条件,以利它们的珍藏,保护其不受霉潮侵害,得以长期保存。

空气调节对国民经济各部门的发展和对人民物质文化生活水平的提高具有重要意义。受控的空气环境不仅对工业生产过程的稳定操作和保证产品质量有重要作用,而且对提高劳动生产率、保证安全操作、保护人体健康、创造舒适的工作和生活环境有重要意义。实践证明,空气调节不是一种奢侈手段,而是现代化生产和社会生活中不可缺少的保证条件。因此,可以概括地说,现代化发展需要空气调节,空气调节技术的发展与提高则依赖于现代化。

当前,对空气调节的广泛应用也提出了挑战,主要表现在全球变暖和大气臭氧层遭受破坏这样两个全球性问题,以及内部空间的空气质量问题。因此,空气调节

技术的发展,不仅要在能源利用、能量的节约和回收、能量转换和传递设备性能的改进、系统的技术经济分析和优化设计及计算机控制方面继续研究和开发,而且在制冷技术领域内,寻求过渡性或永久性对大气臭氧层破坏性极大的氟利昂 12、氟利昂 11 的替代物已迫在眉睫。此外,创造有利于健康的、适于人类工作和生活的内部空间环境,还需要进一步研究。

总之,空气调节的发展前景是广阔的,面对新的挑战,相信从事这一事业的人们将把握机遇,开拓进取。

第一章 空气调节的基本知识

空气调节是一门维持室内良好空气环境的工程技术,空气调节的主要研究对象是空气,因此熟悉和了解空气的物理性质,是掌握空气调节的必要基础。

1.1 湿空气的物理性质

1.1.1 湿空气的组成

自然界的空气是由多种气体和水蒸气组成的混合物,通常称为湿空气。从湿空气中除去水蒸气,剩下的混合气体称为干空气。干空气由氮(N_2 , 78.09%)、氧(O_2 , 20.95%)、二氧化碳(CO_2 , 0.03%),以及氖(Ne)、氦(He)、氩(Ar)等其他一些稀有气体(0.93%)所组成。

湿空气中水蒸气含量很少,并且没有固定比例,它随着气候以及产生水蒸气的来源情况而经常变化。实践表明,空气中含有水蒸气的多少,直接影响到人们的日常生活,影响到许多工业生产过程以及对产品和物质的贮存保管。因此,尽管水蒸气的含量很少,它却是影响空气物理性质的一个重要因素。

此外,在靠近地面上空的湿空气中,还含有一些尘粒、烟雾、微生物以及废气等污染物质,这些污染物质含量不多,却直接影响着空气的洁净程度。

1.1.2 湿空气的物理性质和状态参数

湿空气的物理性质不仅取决于空气的组成成分,而且还与所处的状态有关。表示湿空气状态的参数称为状态参数,常用的状态参数有:

1. 大气压力 P

地球表面单位面积上的空气压力称为大气压力,用符号 P 表示,单位为 Pa 或 kPa。

大气压力不是一个定值,它随着各个地区海拔高度的不同而存在着差异,同时还随着季节、天气的变化稍有变化。例如,上海市海拔高度为 4.5m,夏季大气压力为 1005.3mbar¹⁾,冬季大气压力为 1025.1mbar;西安市海拔高度为 396.9m,夏季大气压力为 959.2mbar,冬季大气压力为 978.7mbar;西宁市海拔高度为

1) 1bar $\approx$ 10⁵Pa,下同。

2261.2m,夏季大气压力为 773.5mbar 冬季大气压力为 775.1mbar。

大气压力随海拔高度的变化关系如图 1.1 所示。

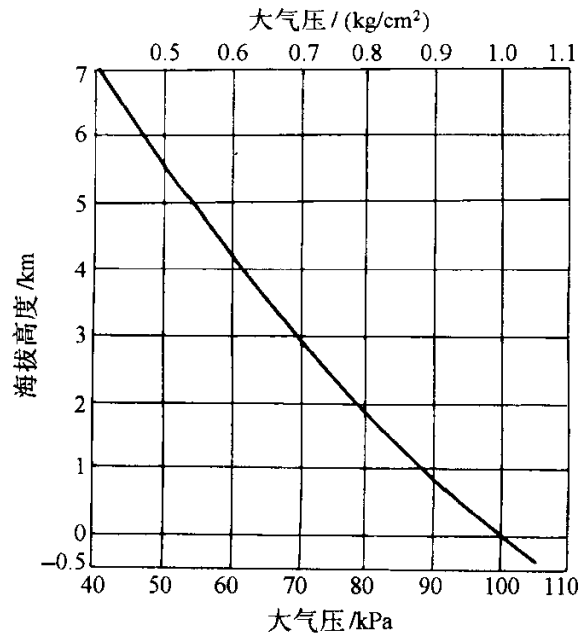


图 1.1 大气压力与海拔高度的关系

在相同的大气压力下,随着温度的变化,空气的容重和密度也发生着变化,如表 1.1 所示。

表 1.1 标准大气压下空气的容重和密度

温度 /℃	容重 /(N/m³)	密度 /(kg/m³)	温度 /℃	容重 /(N/m³)	密度 /(kg/m³)	温度 /℃	容重 /(N/m³)	密度 /(kg/m³)
0	12.70	1.293	25	11.62	1.185	60	10.40	1.060
5	12.47	1.270	30	11.43	1.165	70	10.10	1.029
10	12.24	1.248	35	11.23	1.146	80	9.81	1.000
15	12.02	1.226	40	11.05	1.128	90	9.55	0.973
20	11.80	1.205	45	10.72	1.093	100	9.30	0.947

2. 温度 T

温度是分子动能的宏观结果,分子动能越大,温度越高。

目前通用的温标有两个:

(1) 开尔文温标。也称开氏温标,用符号 T 表示,单位为 K,它是以分子热运动平均动能趋于零的温度为起点,定为 0K,以水的三相点温度为定点,定为 273.16K。

(2) 摄氏温标。用符号 t 表示,单位为 $^{\circ}\text{C}$,它是以水的冰点温度为起点,定为 0°C ,以水的沸点温度为定点,定为 100°C 。

空气温度可用开氏温标表示,也可用摄氏温标表示,两种温标之间的关系为

$$t = T - 273.16 \quad (^{\circ}\text{C}) \quad (1.1)$$

3. 水蒸气分压力 P_q

湿空气中,水蒸气单独占有湿空气的容积,并具有与湿空气相同的温度时,所产生的压力,称为水蒸气分压力。

在空调技术中,将空气视为理想的混合气体,混合气体的总压力等于各组成气体的分压力之和,即

$$P = P_g + P_q \quad (1.2)$$

式中 P ——大气压力(Pa);

P_g ——干空气的分压力(Pa);

P_q ——水蒸气的分压力(Pa)。

显然,湿空气中水蒸气含量愈多,其分压力就愈大。换言之,水蒸气分压力的大小直接反映了水蒸气含量的多少。

4. 湿空气的密度 ρ

单位容积空气所具有的质量称为空气的密度,单位为 kg/m^3 。

湿空气的密度等于干空气的密度与水蒸气的密度之和,即

$$\rho = \rho_g + \rho_q = 0.003484 \frac{B}{T} - 0.00134 \frac{P_q}{T} \quad (1.3)$$

式中 ρ ——湿空气的密度(kg/m^3);

ρ_g ——干空气的密度(kg/m^3);

ρ_q ——水蒸气的密度(kg/m^3);

B ——当地大气压强值(Pa);

T ——湿空气的温度(K)。

由式(1.3)可见,湿空气的密度随水蒸气分压力的升高而降低,所以说:

(1) 湿空气比干空气轻。

(2) 空气越潮湿,水蒸气含量越大,则空气密度越小,大气压力也越低。所以,阴雨天大气压力比晴天低。

(3) 温度越高,则空气密度越小,大气压力也越低,所以,同一个地区夏天比冬天气压低。

在标准状况下($B=101325\text{Pa}$, $t=20^{\circ}\text{C}$),干空气的密度 $\rho_g=1.205\text{kg}/\text{m}^3$,而湿空气的密度取决于水蒸气分压力 P_q 值的大小,因此,湿空气的密度比干空气密度小,在实际计算时可近似取 $\rho=1.2\text{kg}/\text{m}^3$ 。

5. 湿空气的含湿量 d

在湿空气中,每千克干空气所含有的水蒸气量称为含湿量,用符号 d 表示,单位为 kg/kg 干(空气),或者 g/kg 干(空气),含湿量的计算公式如下:

$$d = 0.622 \frac{P_q}{B - P_q} \quad (\text{kg}/\text{kg} \text{ 干}) \quad (1.4)$$

公式(1.4)表明:

(1) 当大气压力 B 一定时,含湿量 d 随水蒸气分压力 P_q 升高而增大,反之亦然。

(2) 当含湿量 d 一定时,水蒸气分压力 P_q 随大气压力 B 升高而上升,随大气压力 B 降低而下降。

6. 相对湿度 φ

湿空气的干湿程度对于生产和人体生理的影响,并不单纯地取决于空气中含有水蒸气量的多少,而是取决于空气接近饱和的程度如何。相对湿度正是反映这种接近程度的一个状态参数,用符号 φ 表示,定义为空气中水蒸气分压力与同温度下饱和水蒸气分压力之比,即

$$\varphi = \frac{P_q}{P_{qb}} \times 100\% \quad (1.5)$$

式中 P_{qb} ——同温度时的饱和水蒸气分压力。

饱和水蒸气分压力与空气温度的关系如表 1.2 所示。

表 1.2 标准大气压下空气温度与饱和水蒸气压力和饱和含湿量的关系

空气温度 $t/^\circ\text{C}$	饱和水蒸气压力 P_{qb}/Pa	饱和含湿量 $d_b/(\text{g/kg 干})$
10	1225	7.63
20	2331	14.70
30	4232	27.20

由式(1.5)可知, φ 愈小,则空气饱和程度愈小,空气愈干燥,吸水能力愈强; φ 愈大,则空气饱和程度愈大,空气愈湿润,吸收水汽的能力愈弱。 φ 为 100% 的湿空气是饱和湿空气。

φ 和 d 同为湿空气的状态参数,但意义却不相同, φ 能够表示空气的饱和程度,但不能表示水蒸气的含量; d 则相反,它能表示水蒸气的含量,却不能够表示空气的饱和程度。 φ 和 d 的关系可用下式表达:

$$d = 0.622 \times \frac{P_q}{B - P_q} = 0.622 \times \frac{\varphi P_{qb}}{B - \varphi P_{qb}} \quad (\text{kg/kg 干}) \quad (1.6)$$

7. 湿空气的焓 i

湿空气的焓是指每 1kg 干空气的焓 i_g 和 $d\text{kg}$ 水蒸气的焓 i_q 两者的总和,用符号 i 表示,单位为 kJ/kg 干(空气) ,即

$$i = i_g + di_q \quad (\text{kJ/kg 干}) \quad (1.7)$$

式中

$$\begin{aligned} i_g &= C_{pg}t = 1.01t \\ i_q &= 2500 + C_{pq}t = 2500 + 1.84t \end{aligned}$$

式中 C_{pg} 、 C_{pq} ——分别为干空气和水蒸气的定压比热,其值分别为 1.01kJ/kg 和 1.84kJ/kg ;

2500—— 0°C 时水的汽化潜热,单位为 kJ/kg 。

所以

$$\begin{aligned} i &= 1.01t + d(2500 + 1.84t) \\ &= (1.01 + 1.84d)t + 2500d \quad (\text{kJ/kg 干}) \end{aligned} \quad (1.8)$$

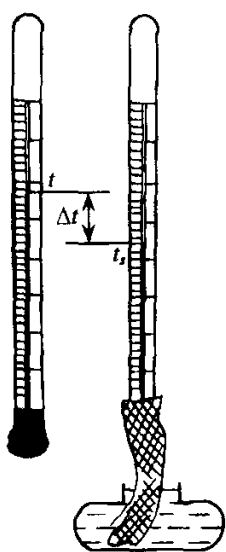
式中 $(1.01 + 1.84d)t$ ——随温度而变化的热量,称为“显热”;

$2500d$ —— 0°C 时 $d\text{kg}$ 水的汽化热,与温度无关,故称为“潜热”。

由此可见,湿空气的焓将随着温度和含湿量的升高而加大,随其降低而减小。

8. 空气的露点温度 t_l

由表 1.2 可知,饱和空气的水蒸气分压力决定于空气的温度。空气的温度 t 愈



高,相应的 P_{qb} 愈大。因此,当空气的温度改变时,随着 P_{qb} 值的变化,饱和空气和未饱和空气两种状态是可以相互转化的。在不改变空气压力和含湿量的前提下,若将水蒸气分压力为 P_q 的未饱和空气进行冷却,使其温度由原来的 t 降低到 t_l ,若对应于 t_l 的

P_{qb} 值恰与 P_q 值相等,则 $\varphi = \frac{P_q}{P_{qb}} = 100\%$,该未饱和空气就变成了饱和空气。这种在含湿量不变的条件下,使未饱和空气达到饱和状态的温度 t_l 叫做露点温度。如果空气的温度继续下降,则饱和空气中的水蒸气便有一部分凝结成水滴而被分离出来,这种现象称为结露。

空气结露是日常生活中常见的一种现象,例如秋季凌晨树

图 1.2 干、湿球 叶、草皮上的露珠,冬季玻璃窗户上的霜花等,都是由于空气接触到冷表面后,温度降到露点以下,以致达到饱和而析出凝结水的缘故。可见,当空气与低于其露点温度的表面接触时,将不仅使空气的温度降低,同时还有水分析出。在空调技术中,常应用这个原理来达到使空气冷却减湿的目的。

9. 空气的湿球温度 t_s

湿球温度 t_s ,是用湿球温度计在空气中测量出来的温度值。

湿球温度计和普通温度计构造一样,只是在感温包上裹以脱脂纱布,并将其下端浸在充水的小容器中,以使纱布保持湿润,如图 1.2 所示。

将湿球温度计置于通风处,其读数就为湿球温度。湿球温度计的读数反映了湿球纱布上水的温度。若空气中水蒸气达到饱和状态,那么纱布上的水就不会汽化,则湿球温度计的读数就与干球温度计相同。若空气中的水蒸气未达到饱和,那么湿球纱布上的水就会不断汽化,汽化需要吸收汽化潜热,水温就因此而下降,所以湿球温度一般低于干球温度。空气中所含水蒸气越少,其湿球温度越低,干、湿球温差就越大;反之,干、湿球温差越小,表明空气越湿润。

1.2 湿空气的 i - d 图及其应用

1.2.1 湿空气的 i - d 图

湿空气状态参数的计算不是一件复杂的事,但是,在实际工作中,如果频繁地进行计算,终究很不方便。于是有人根据湿空气的 4 个状态参数(t 、 i 、 d 、 φ)公式绘制成一种既能联系空气状态参数,又能表达空气状态的各种变化过程的线算图——湿空气的 i - d 图,如图 1.3 所示。图中横坐标为含湿量 d ,纵坐标为焓 i 。为使图面开阔,线条清晰,两坐标轴之间夹角大于或等于 135° 。图中有等温线 t ,等焓线 i ,等含湿量线 d 以及 d 轴上方的水蒸气分压力线 P_q 和等相对湿度线 φ 。

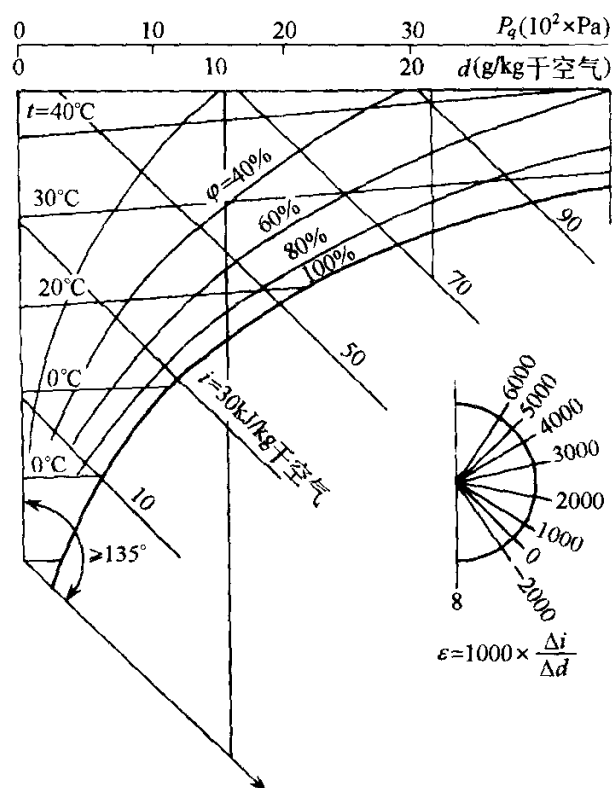


图 1.3 湿空气的焓湿图

在 i - d 图上,任意一点都代表着空气的一个状态,它的各种状态参数均可由图查出。此外,为了说明空气自一个状态到另一个状态的热湿变化过程,在 i - d 图的右下角还标有热湿比线 ϵ 。

ϵ 线也称为过程线或角系数线。当被处理空气由状态 A 变为状态 B 时,在 i - d 图上连接状态 A 和状态 B 的直线,就表示空气状态的热湿变化过程,如图 1.4 所示。它说明了空气状态变化的方向和特征,等于状态变化前后焓差和含湿量差的比值。

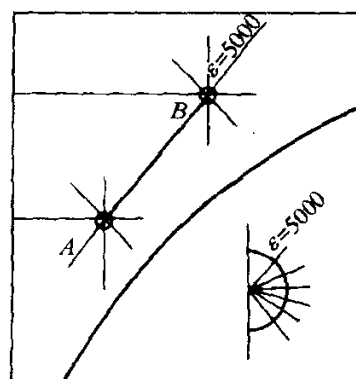


图 1.4 空气状态变化过程线

$$\epsilon = \frac{i_B - i_A}{d_B - d_A} = \frac{\Delta i}{\Delta d} = \frac{G \cdot \Delta i}{G \cdot \Delta d} = \frac{\sum Q}{\sum W} \quad (\text{kJ/kg}) \quad (1.9)$$

式中 $\sum Q$ —— 空气得到或失去的总热量(kJ/h);
 $\sum W$ —— 空气得到或失去的总湿量(kJ/h)。

1.2.2 i - d 图的应用

湿空气的 i - d 图不仅能够表示湿空气的状态和各状态参数,同时还能表示湿空气状态的变化过程,并能方便地求得两种或多种湿空气的混合状态。

1. 湿空气状态变化过程在 i - d 图上的表示

(1) 湿空气的干加热过程。

利用热水、蒸汽及电能等热源,通过热表面对湿空气加热,则其温度会升高而含湿量不变,因此,空气状态变化是等湿、增焓、升温过程。在 i - d 图上,这一过程可表示为 $A \rightarrow B$ 的变化过程,其 $\epsilon = \Delta i / \Delta d = (i_B - i_A) / 0 = +\infty$,如图 1.5 所示。

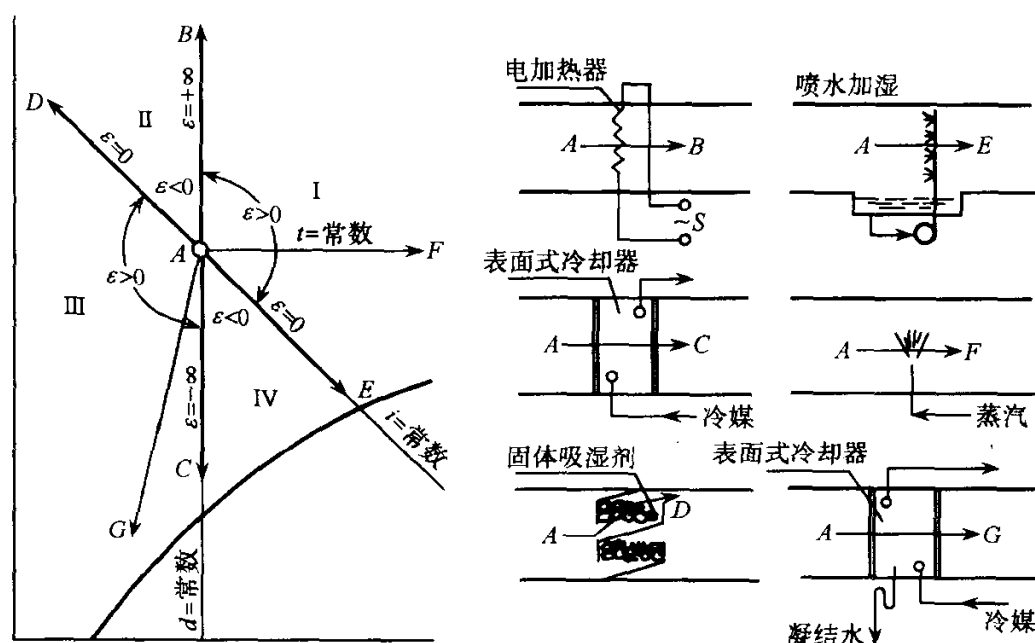


图 1.5 几种典型的湿空气状态变化过程

(2) 湿空气的干冷却过程。

利用冷水或其他冷媒通过金属表面对湿空气进行冷却,当冷表面温度等于或高于湿空气的露点温度时,空气中的水蒸气不会凝结,因此其含湿量也不会发生变化,只是温度将沿等 d 线出现降低现象,因此,空气状态变化为等湿、减焓、降温过程,也称为干冷却过程。过程线如图 1.5 中的 $A \rightarrow C$ 所示,其 $\epsilon = (i_C - i_A) / (d_C - d_A) = (i_C - i_A) / 0 = -\infty$ 。

(3) 等焓加湿过程。

用喷水室喷循环水处理空气时,水吸收空气的热量而蒸发为水蒸气。空气失去

显热量,温度降低。水蒸气扩散到空气中增加了空气的含湿量,同时增加了空气的潜热量。由于空气失去显热,得到潜热,因而空气焓值基本不变,所以此过程为等焓加湿过程。因过程中与外界没有热量交换,故又称为绝热加湿过程。此时,循环水温将稳定在空气的湿球温度上。空气状态的变化过程如图 1.5 中的 $A \rightarrow E$ 所示,其 $\epsilon = (i_E - i_A) / (d_E - d_A) = 0 / (d_E - d_A) = 0$ 。

(4) 等焓减湿过程。

利用固体吸湿剂干燥空气时,湿空气中的部分水蒸气在吸湿剂的微孔表面上凝结,湿空气的含湿量降低,空气失去潜热,而水蒸气凝结时放出的汽化热使空气温度升高,但焓值基本没变,只是略微减少了凝结水带走的液体热,空气近似按等焓、减湿、升温过程变化,如图 1.5 中 $A \rightarrow D$ 所示,其 $\epsilon = (i_D - i_A) / (d_D - d_A) = 0 / (d_D - d_A) = 0$ 。

(5) 等温加湿过程。

向空气中喷水蒸气来实现空气的加湿过程如图 1.5 中 $A \rightarrow F$ 所示。空气中增加水蒸气后,其焓和含湿量值都将增加,焓的增加量等于加入蒸汽的全热量,即

$$\Delta i = \Delta d \cdot i_q \quad (\text{kg/kg 干})$$

式中 Δd ——每千克干空气增加的含湿量(kg/kg 干);

i_q ——水蒸气的焓, $i_q = 2500 + 1.84t$ 。

此过程的 ϵ 值为

$$\epsilon = \frac{\Delta i}{\Delta d} = \frac{\Delta d \cdot i_q}{\Delta d} = i_q = 2500 + 1.84t$$

如果喷入蒸汽的温度 $t = 100^\circ\text{C}$ 左右,则 $\epsilon \approx 2690$,该过程线与等温线近似平行,故为等温加湿过程。

(6) 减湿冷却(或冷却干燥)过程。

利用喷水室或表面式空气冷却器处理空气时,若冷水温度或冷表面温度低于湿空气的露点温度,空气中的水蒸气将会凝结为水,使空气的含湿量降低,此时空气的变化过程为减湿冷却过程或冷却干燥过程。过程线如图 1.5 中 $A \rightarrow G$ 所示,其 $\epsilon = (i_G - i_A) / (d_G - d_A) = -\Delta i / -\Delta d > 0$ 。

以上介绍了空气调节中常用的 6 种典型空气状态变化过程。从图 1.5 中可以看到,具有代表性的 $\epsilon = \pm\infty$ 及 $\epsilon = 0$ 的两条过程线,将 $i-d$ 图平面分成了 4 个象限,每个象限内的空气状态变化过程都有各自的特征,详见表 1.3。

表 1.3 空气状态变化的 4 个象限及特征表

象限	热湿比	状态变化的特征
I	$\epsilon > 0$	增焓、加湿、升温(或等温、降温)
II	$\epsilon < 0$	增焓、减湿、升温
III	$\epsilon > 0$	减焓、减湿、降温(或等温、升温)
IV	$\epsilon < 0$	减焓、加湿、降温