

赵荣义 主编

赵荣义 钱以明 范存养 薛殿华 张利群 编著

简明空调设计手册



JIANMINGKONGTIAO
SHEJISHOUCE

● 中国建筑工业出版社

TUS31

Z-697B

简明空调设计手册

赵荣义 主编

赵荣义 钱以明 范存养 编著
薛殿华 张利群



中国建筑工业出版社

879213

(京)新登字 035 号

图书在版编目(CIP)数据

简明空调设计手册/赵荣义主编. -北京:中国建筑工业出版社,1998

ISBN 7-112-03620-8

I. 简… II. 赵… III. 建筑-空气调节系统-建筑设计
IV. TU831.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(98)第 23765 号

本手册是为从事和即将从事空调行业的技术人员编写的。内容包括:空调技术原理,空调设计方法以及空调设计所需的基本资料。书中的内容反映了当前空调技术的发展,既介绍国内常用的空调系统和设备,又适当地介绍了国外已有的相关系统和设备,并对目前大规模建设的高层建筑、办公建筑等的空调设计专门阐述了其设计特点和方法。

本书既可供空调行业技术人员使用,也可供大专院校相关专业的师生参考。

简明空调设计手册

赵荣义 主编

赵荣义 钱以明 范存养 编著
薛殿华 张利群

中国建筑工业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)

新华书店经销

北京云浩印制厂印刷

开本:787×1092毫米 1/16 印张:28½ 插页:1 字数:725千字

1998年12月第一版 1998年12月第一次印刷

印数:1—3000册 定价:43.00元

ISBN 7-112-03620-8

TU·2797(8879)

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

随着我国国民经济的发展和人们物质文化生活水平的不断提高,空调的应用已不再局限于必要的工艺过程所需的环境控制和少数公共和居住建筑内创造舒适的空气环境,而是越来越普及到寻常百姓家,成为提高他们生活质量的一部分。

由于空调的广泛应用,就必然需要相当多地从事设计、生产、销售、安装和运行管理的人才,尤其是掌握空调设计的基本知识和能力的人才。

本手册的编写目的就是为从事或即将从事空调行业的技术人员提供空调技术的原理和空调设计方法,以及为空调设计提供所需的基本资料。

在手册编写内容方面尽量反映当前空调技术的发展,既介绍国内常用的空调系统和设备,又适当地介绍国外已有的相关系统和设备,对目前大规模建设的高层建筑、办公建筑等的空调设计专门阐述了其设计特点和方法。

本手册由赵荣义主编(1、5、6、13、14),钱以明(2、10、11、12),范存养(3、8、9)、薛殿华(4)及张利群(7)共同编写。由于编者的水平所限,难免存在缺点和错误,望读者给予批评指正。

目 录

1 空气调节基础知识	1
1.1 概论	1
1.2 湿空气的性质及焓湿图	2
1.2.1 湿空气的物理性质	2
1.2.2 湿空气的焓湿图	4
1.2.3 湿球温度与露点温度	8
1.3 焓湿图的应用	11
1.3.1 湿空气状态变化过程在 $i-d$ 图上的表示	11
1.3.2 不同状态空气的混合状态在 $i-d$ 图上的确定	12
1.3.3 空气状态参数的计算法	14
1.4 空调的卫生与工艺学基础	15
1.4.1 空调的卫生学基础	15
1.4.2 空调的工艺学基础	19
1.5 室内、外空气的空调设计参数	20
1.5.1 室外空气的空调设计参数	20
1.5.2 室内空气的空调设计参数	23
2 负荷计算与送风量确定	26
2.1 空调房间的冷负荷	26
2.1.1 围护结构传入室内热量形成的冷负荷	26
2.1.2 人体散热形成的冷负荷	56
2.1.3 灯光照明散热形成的冷负荷	58
2.1.4 设备散热形成的冷负荷	59
2.2 空调房间内的散湿量	61
2.2.1 人体散湿量	61
2.2.2 敞开水表面散湿量	61
2.3 建筑物制冷系统总冷负荷	62
2.4 建筑空调冷、热负荷的概算指标	62
2.5 空调房间送风量	64
2.5.1 夏季送风状态和送风量	64
2.5.2 冬季送风状态和送风量	65
3 空气调节系统	66
3.1 空调系统的分类	66
3.1.1 按负担室内热湿负荷所用的介质分类	66
3.1.2 按空气处理设备的集中程度分类	66
3.1.3 按被处理空气的来源分类	66
3.2 常用空调系统的比较和适用性	69

3.3 普通集中式空调系统	71
3.3.1 系统图式和处理过程	71
3.3.2 一次回风和二次回风方式的选定	73
3.3.3 新风量的确定	73
3.3.4 空调系统的风量平衡	75
3.4 集中式空调系统的划分和分区处理	76
3.4.1 系统划分	76
3.4.2 集中式空调系统的分区处理	77
3.5 双风道空调系统	78
3.5.1 系统构成	78
3.5.2 系统种类和特征	79
3.5.3 优缺点和适用性	79
3.6 变风量空调系统	81
3.6.1 变风量系统与定风量的区别	81
3.6.2 变风量装置的主要型式	82
3.6.3 节流型变风量空调装置	83
3.7 用末端风扇混合箱(空气动力箱)的一次风变风量系统	87
3.7.1 系统的构成与原理	87
3.7.2 风扇混合箱(FPB)的构造	88
3.7.3 FPB方式的适用性	88
3.8 风机盘管系统	89
3.8.1 系统构造、分类和特点	89
3.8.2 风机盘管系统的新风供给方式和新风终状态的选定	90
3.8.3 风机盘管机组的选择	93
3.8.4 风机盘管的调节方式	93
3.8.5 风机盘管系统的水系统	94
3.9 诱导器系统	95
3.9.1 系统的构造原理和分类	95
3.9.2 全空气型与空气-水型诱导器方式的处理流程和计算	97
3.9.3 诱导空调系统的适用性	98
3.10 局部空调机组	99
3.10.1 局部空调机组的特点	99
3.10.2 局部空调机组的分类	99
3.10.3 空调机组的性能和应用	101
3.10.4 几种新型的局部空调机组方式	103
3.10.5 闭环水源热泵(WLHP)系统	105
3.11 几种新型的空调方式	107
3.11.1 辐射供冷供热空调方式	107
3.11.2 下送风复合型空调方式	108
3.12 集中空调系统的计算例	109
3.12.1 全空气一次回风系统计算例	109
3.12.2 全空气二次回风系统计算例	110
3.12.3 双风道系统计算例	112

3.12.4	变风量空调系统计算例	114
3.12.5	风机盘管系统计算例	116
3.12.6	诱导器系统计算例	117
4	空气的热湿处理设备	119
4.1	喷水室	119
4.1.1	喷水室的构造和类型	119
4.1.2	喷水室性能的代表方法	121
4.1.3	低速喷水室热工计算方法	123
4.1.4	高速喷水室的热工计算方法	128
4.1.5	喷水室的空气阻力	131
4.2	表面式空气换热器	132
4.2.1	表面式换热器的构造与安装	133
4.2.2	部分国产表面式换热器简介	134
4.2.3	表面冷却器的热工计算方法	145
4.2.4	空气加热器的热工计算	153
4.2.5	表面式换热器的阻力计算	156
4.3	空气的加湿方法及设备	157
4.3.1	概述	157
4.3.2	等焓加湿设备	158
4.3.3	等温加湿	162
4.4	空气减湿设备	167
4.4.1	升温通风减湿方法与设备	167
4.4.2	冷冻减湿机	167
4.4.3	液体吸湿剂减湿	171
4.4.4	固体吸湿剂减湿	178
4.4.5	转轮式除湿设备	180
5	空气的输送与分配	188
5.1	空气在管道内流动的阻力	188
5.1.1	摩擦阻力的确定	188
5.1.2	局部阻力的确定	191
5.2	管道内的压力分布	197
5.3	空气管道的设计和阻力计算	199
5.4	均匀送风管道设计	207
5.5	空气管道的传热损失与漏风量	209
5.5.1	传热损失	209
5.5.2	空气管道的漏风量	211
5.6	通风机	211
5.6.1	通风机的性能曲线	211
5.6.2	通风机性能参数的换算关系	213
5.6.3	通风机管道联合工作	213
5.6.4	通风机的温升	214
5.6.5	选择风机的注意事项	214
5.7	空调房间空气分布的基本规律	215

5.7.1 送风射流的一般规律	215
5.7.2 排(回)风口的气流流动	220
5.8 空气分布器及房间气流分布形式	221
5.8.1 空气分布器的型式	221
5.8.2 空间气流分布的形式	223
5.9 房间气流分布的计算	224
5.9.1 一般气流分布的计算方法	224
5.9.2 孔板送风的计算方法	231
5.10 气流分布性能的评价	236
6 空调系统的运行调节	239
6.1 室内热湿负荷变化时的运行调节	239
6.2 室外空气状态变化时的运行调节	240
6.2.1 一次回风空调系统的全年运行调节分析	240
6.2.2 变风量空调系统的运行调节	242
6.2.3 半集中式空调系统的运行调节	244
6.3 空调系统的自动控制	250
6.3.1 空调自控系统的基本构成及其品质指标	250
6.3.2 室内空气温湿度控制	252
6.3.3 某些处理设备的控制方法	253
6.3.4 集中式空调系统全年运行自动控制举例	254
6.3.5 洁净空调系统计算机监控举例	256
7 空气洁净技术和洁净室设计	258
7.1 空气洁净技术基础知识	258
7.1.1 空气洁净技术的发展和它的重要性	258
7.1.2 空气洁净度等级标准及规范	258
7.1.3 尘源	260
7.1.4 空气洁净度和洁净室	262
7.1.5 洁净室的密封技术	264
7.1.6 洁净室的负荷特点和节能	265
7.1.7 洁净室设计对生产工艺的要求	265
7.1.8 洁净室设计对建筑的要求	266
7.2 洁净室设计	266
7.2.1 洁净室的设计原则	267
7.2.2 洁净室设计必须掌握的基础资料	267
7.2.3 净化空调系统方案	268
7.2.4 净化空调系统的设计计算	275
7.3 空气洁净设备	278
7.3.1 过滤器	278
7.3.2 净化工作台、单向流罩、空气自净器等局部净化设备	282
7.3.3 装配式洁净室和空气净化单元	284
7.3.4 吹淋室、气闸室和传递窗	285
7.3.5 真空清扫设备	286
7.3.6 粒子计数器	287

8 空调系统的消声与防振	288
8.1 与建筑物有关的噪声、振动源分类	288
8.2 声的物理量度	289
8.2.1 声强与声压	289
8.2.2 声强级与声压级	289
8.2.3 声功率和声功率级	290
8.2.4 声压级与声功率级的转换	290
8.2.5 声源的叠加	290
8.2.6 噪声的频谱特性	291
8.3 噪声的主观评价和室内噪声标准	291
8.3.1 噪声的主观评价	291
8.3.2 室内噪声标准	292
8.4 空调系统的噪声源	294
8.4.1 风机噪声	294
8.4.2 风道系统的气流噪声	297
8.4.3 电机噪声	300
8.4.4 空调设备噪声	300
8.5 空调系统中噪声的自然衰减	301
8.5.1 噪声在风管内的自然衰减	301
8.5.2 风口反射的噪声衰减	303
8.6 空气进入室内的噪声衰减(风口声功率级与室内声压级的转换)	303
8.7 消声器消声量的确定	304
8.8 消声器	306
8.8.1 阻性消声器及其消声量	306
8.8.2 阻性消声器倍频带消声量	307
8.8.3 共振型消声器	309
8.8.4 复合型消声器	309
8.8.5 消声静压箱	309
8.8.6 消声器应用的注意要点	311
8.9 空调装置的防振	312
8.9.1 振动传递率	312
8.9.2 减振材料特性和减振器	314
8.9.3 空调装置隔振设计的注意要点	318
8.9.4 防振措施的若干实例	319
9 空调建筑的防火排烟	323
9.1 防火排烟的基本概念	323
9.2 建筑设计的防火分区与防烟分区	324
9.3 防排烟方式	325
9.3.1 自然排烟方式	326
9.3.2 机械排烟方式	326
9.3.3 机械加压送风的防烟方式	329
9.3.4 防排烟方式的选择	332
9.4 防排烟装置	333

9.4.1 风机	334
9.4.2 防火阀	334
9.4.3 排烟风口	335
9.4.4 加压送风口	336
9.5 通风空调系统的防火	336
9.6 机械防排烟的控制程序	337
10 空调水系统	339
10.1 水系统的形式	339
10.1.1 双管制、三管制和四管制	339
10.1.2 开式和闭式	339
10.1.3 同程式和异程式	339
10.1.4 定流量和变流量	340
10.1.5 单式泵和复式泵	340
10.2 水系统的承压能力	340
10.2.1 系统承压能力	340
10.2.2 设备和管件承压能力	341
10.2.3 减小设备承压能力的布置方式	341
10.3 水系统的典型图式	343
10.3.1 单式泵水系统	343
10.3.2 复式泵水系统	343
10.4 水系统的管路计算	345
10.4.1 沿程阻力和局部阻力	345
10.4.2 水泵扬程	350
10.5 凝结水管路系统的设计	351
10.6 空调设备周围管路的布置方式	352
10.6.1 表冷器	352
10.6.2 喷水室	353
10.6.3 冷却塔	354
10.6.4 水泵的配管(见图 10-20)	354
10.6.5 膨胀水箱	354
10.6.6 集水器和分水器	356
11 某些建筑物的空调设计	357
11.1 高层建筑空调设计	357
11.1.1 空调负荷计算特点	357
11.1.2 空调分区	363
11.1.3 冷、热源设置	364
11.1.4 设备层	365
11.1.5 实用概算指标	365
11.2 办公建筑的空调设计	368
11.3 旅馆建筑空调设计	369
11.3.1 空调设计计算参数	369
11.3.2 空调方式	371
11.4 大空间建筑的空调设计	372

11.4.1	体育建筑	373
11.4.2	电影院、剧场空调设计	378
11.4.3	中庭的空调设计	382
11.5	商业建筑空调设计	383
11.5.1	空调设计计算参数	383
11.5.2	空调冷负荷	384
11.5.3	商业建筑空调方式	384
11.5.4	除尘和除臭问题	386
12	空调节能和耗能量计算	387
12.1	建筑节能	388
12.1.1	建筑物朝向和平面形状	388
12.1.2	建筑围护结构的保温	388
12.1.3	窗户隔热和建筑遮阳	388
12.2	热泵空调和热回收系统	391
12.2.1	空气热源热泵系统的设计	391
12.2.2	水热源热泵系统的设计	396
12.2.3	热回收热泵系统	399
12.3	全热交换器和显热交换器	401
12.3.1	转轮式热交换器	401
12.3.2	板翅式热交换器	402
12.3.3	热管热交换器	402
12.4	空调系统全年(或季节)总耗电量的计算	403
12.4.1	度日法	403
12.4.2	当量满负荷运行时间(τ_E)法	405
12.4.3	负荷频率表法	410
12.4.4	电子计算机模拟计算法	414
13	蓄冷空调系统设计	416
13.1	蓄冷模式	417
13.2	蓄冰的方法	418
13.3	蓄冰空调系统的运行模式	422
13.4	“低温”空调系统的设计	423
13.4.1	室内空气参数的确定	423
13.4.2	空气处理	423
13.4.3	送风末端装置	424
13.5	蓄冰空调系统的经济性	425
13.6	蓄冷空调系统的推广应用条件及设计原则	427
13.6.1	应用蓄冷空调的前提条件	427
13.6.2	蓄冷空调的设计原则	427
13.7	近年来我国应用蓄冷空调的工程实例	427
14	空调系统的测定与调整	429
14.1	空调系统测定与调整的意义和内容	429
14.2	风量的测定与调整	429

14.2.1 风管内风量测定	429
14.2.2 风口风量测定	431
14.2.3 风量调整	432
14.2.4 系统漏风量检查	433
14.2.5 室内静压调整	434
14.3 设备容量与效果检验	435
14.3.1 空气处理设备的容量检验	435
14.3.2 空调效果的检验	436
14.4 空调系统的故障原因和排除方法	438
附录	440
参考文献	442

1 空气调节基础知识

1.1 概 论

空气调节(简称空调)是伴随社会生产力的发展,在生产过程所要求的空气状态以及人类自身工作和居住所要求的空气状态不断提高的条件下产生和发展的。空调的技术基础是依赖于工程热力学、传热学、工程流体力学,以及建筑、机械及电工电子等学科。

生产过程、科学实验及人们生活和工作的某一特定空间内空气的温度、湿度、清洁度和流动速度构成了该空间的空气环境。采用技术手段创造并保持一定要求的空气环境就是空气调节的任务。

一个既定空间内的空气环境,一般要经受来自空间内部产生的热、湿和其它有害物的干扰及来自空间外部气候变化、太阳辐射和外气中有害物的干扰。消除上述干扰的技术手段是通过空气和水等介质,经热、质交换将多余的热、湿和有害物转移、置换或冲淡。一个空调系统一般由图 1-1 所示的各部分组成,其中空气处理装置是实现热、湿交换的核心部分。

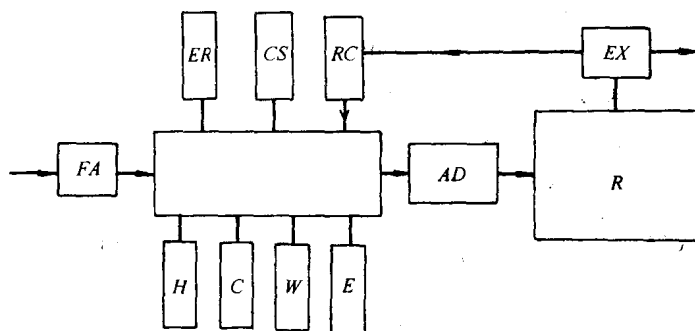


图 1-1 空调系统的基本组成

FA—新风采集;R—被调房间;ER—能量回收;E—供电;
CS—自动控制;W—供排水;RC—再循环;C—供冷;
EX—排风;H—供热;AD—空气输配

空调以其服务对象不同可分为舒适性空调和工艺性空调两类。前者以满足使用者和居住者的热舒适为主要目的;后者则以满足工艺生产过程对空气环境的要求为主要目的。

由于空调在保证工艺生产过程的稳定性和产品的质量,科学实验环境的精确性及保证人体在生产劳动过程中的工作效率和人民生活的环境质量等方面具有不可忽视的作用,因此,随着社会生产力的发展和人民生活水平的提高,空调的普及率也就日益增高。

值得注意的是空调的耗能量较大,同时,除了空调所具有的对生产和人民生活的正面作

用外,根据目前的研究表明,它还存在一定的负面作用,例如“空调适应不全症”及“病态建筑综合症”和“建筑相关病症”相连系的若干不良影响。在世界范围内,结合上述空调负面影响的研究,正在引发出一些新的空调技术的发展。在本手册中,将适当反映这些新进展。

1.2 湿空气的性质及焓湿图

湿空气是构成空气环境的主体,也是空调的基本工质。湿空气是由于空气和水蒸气混合而成。在实际工程计算中,将湿空气的压力、温度和体积之间的相关性按理想气体来对待,其精度是足够的。

干空气的主要成分为氮(体积百分比约为78%)、氧(21%)、氩、氦及其它惰性气体和二氧化碳等少量。由于空气和水蒸气组成的湿空气中,水蒸气的含量虽少,但其作用颇大,在某种意义上,空气调节的任务之一就是调节空气中水蒸气量的调节。

1.2.1 湿空气的物理性质

将湿空气近似地看作为理想气体,则可用理想气体状态方程式来表示干空气和水蒸气的主要状态参数——压力、温度、比容等的相互关系,即

$$P_g V = m_g R_g T \quad \text{或} \quad P_g v_g = R_g T \quad (1-1)$$

$$P_q V = m_q R_q T \quad \text{或} \quad P_q v_q = R_q T \quad (1-2)$$

式中 P_g, P_q ——干空气与水蒸气的压力, Pa;

V ——湿空气的容积, m^3 ;

m_g, m_q ——干空气与水蒸气的质量, kg;

R_g, R_q ——干空气与水蒸气的气体常数,

$$R_g = 287 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K}), R_q = 461 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K});$$

T ——湿空气的热力学温度, K。

由式(1-1)及式(1-2)可见, $v_g = \frac{V}{m_g}, v_q = \frac{V}{m_q}$, 分别为干空气和水蒸气的比容(m^3/kg)。

而干空气与水蒸气的密度则应为比容的倒数,即 $\rho_g = \frac{1}{v_g}, \rho_q = \frac{1}{v_q}$ 。

海平面的标准大气压为 101325 Pa 或 101.325 kPa, 相当于 1013.25 毫巴(mbar)。各种大气压力单位之间的换算见表 1-1。

大气压力单位换算表

表 1-1

帕(Pa)	千帕(kPa)	巴(bar)	毫巴(mbar)	物理大气压(atm)	毫米汞柱(mmHg)
1	10^{-3}	10^{-5}	10^{-2}	9.86923×10^{-6}	7.50062×10^{-3}
10^3	1	10^{-2}	10	9.86923×10^{-3}	7.50062
10^5	10^2	1	10^3	9.86923×10^{-1}	7.50062×10^2
10^2	10^{-1}	10^{-3}	1	9.86923×10^{-4}	0.750062×10^{-1}
101325	101.325	1.01325	1013.25	1	760
133.332	0.133332	1.33332×10^{-3}	1.33332	1.31579×10^{-3}	1

按照道尔顿定律,湿空气的总压力应为干空气压力与水蒸气压力之和,即

$$B = P_g + P_q \quad (1-3)$$

大气压力随海拔高度不同而变化。同时,在同一地区的不同季节,大气压力也有大约 $\pm 5\%$ 的变化。

在空调中,除湿空气的压力、温度外,还涉及一些常用参数,如含湿量、相对湿度、焓等,现分别列出如下:

(1) 含湿量(d):湿空气中,所含水蒸气的质量与干空气质量之比,即每公斤干空气所含有的水蒸气量。

$$d = \frac{m_q}{m_g} \quad \text{kg/kg}_{\text{干空气}} \quad (1-4)$$

由式(1-1)与式(1-2)可导出:

$$d = 0.622 \frac{P_q}{P_g}$$

或按式(1-3)可得

$$d = 0.622 \frac{P_q}{B - P_q} \quad \text{kg/kg}_{\text{干空气}} \quad (1-5)$$

如将 d 的单位改为 $\text{g/kg}_{\text{干空气}}$ 来表示,则式(1-5)可写成

$$d = 622 \frac{P_q}{B - P_q}$$

(2) 相对湿度(φ):定义为空气实际的水蒸气分压力与同温度下饱和状态空气水蒸气分压力之比,用百分率表示。即

$$\varphi = \frac{P_q}{P_{q,b}} \times 100\% \quad (1-6)$$

式中 P_q ——湿空气的水蒸气分压力;

$P_{q,b}$ ——同温度下湿空气的饱和水蒸气分压力。湿空气的饱和水蒸气分压力是温度的单值函数,可查表或用经验公式计算。表 1-2 仅列出几组数值供例题计算用。

湿空气的相对湿度亦可近似地用其含湿量和同温度下饱和含湿量之比,即

$$\varphi \approx \frac{d}{d_b} \times 100\% \quad (1-7)$$

这样计算的结果,可能会造成 $2\% \sim 3\%$ 的误差。

(3) 焓(i):物质所具有的一种热力学性质。定义为该物质的体积、压力的乘积与内能的总和。由热力学可知,对近似于定压过程,可直接用湿空气的焓变化来度量空气的热量变化。

若取 0°C 的干空气和 0°C 的水的焓值为 0,则 $t(^\circ\text{C})$ 时 1kg 干空气的焓为:

$$i_g = c_{p,g} \cdot t, \quad \text{kJ/kg}_{\text{干空气}} \quad (1-8)$$

式中 $c_{p,g}$ ——干空气的定压比热, $c_{p,g} = 1.005\text{kJ}/(\text{kg}\cdot^\circ\text{C})$, 近似可取 1.01。

1kg 水蒸气的焓为:

$$i_q = c_{p,q} \cdot t + 2500, \text{kJ/kg}_{\text{水蒸气}} \quad (1-9)$$

空气温度、饱和水蒸气压力
及饱和含湿量($B = 101325\text{Pa}$) 表 1-2

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

式中 $c_{p,q}$ ——水蒸气的定压比热, $c_{p,q} = 1.84 \text{ kJ}/(\text{kg}\cdot^\circ\text{C})$;

2500—— $t = 0^\circ\text{C}$ 时,水蒸气的汽化潜热。

显然,湿空气的焓(i)应等于 1kg 干空气的焓与共存的 $d \text{ kg}$ (或 g)水蒸气的焓之和,即

$$\begin{aligned} i &= i_g + i_q \\ &= c_{p,g} \cdot t + (2500 + c_{p,q} \cdot t)d \end{aligned} \quad (1-10)$$

上式 d 以 kg/kg 干空气计。如以 g/kg 干空气计则应改为

$$i = c_{p,g} \cdot t + (2500 + c_{p,q} \cdot t) \frac{d}{1000}$$

顺便指出,已知水的质量比热为 $4.19\text{kJ}/(\text{kg}\cdot^\circ\text{C})$,欲求在 $t(^\circ\text{C})$ 下水蒸气的汽化潜热则应为:

$$\begin{aligned} r_t &= 2500 + 1.84t - 4.19t \\ &= 2500 - 2.35t \end{aligned} \quad (1-11)$$

(4) 湿空气的密度(ρ):湿空气的密度应为干空气的密度与水蒸气的密度之和,即

$$\begin{aligned} \rho &= \rho_g + \rho_q = \frac{P_g}{R_g T} + \frac{P_q}{R_q T} \\ &= 0.003484 \frac{B}{T} - 0.00134 \frac{P_q}{T} \end{aligned} \quad (1-12)$$

由于水蒸气的密度较小(ρ_q 小),故干空气与湿空气的密度在标准条件下(压力为 101325Pa ,温度为 293K 或 20°C)相差较小,在工程上取 $\rho = 1.2\text{kg}/\text{m}^3$ 已足够精确。

应该说明,在湿空气的含湿量与焓的计算中均以 1kg 干空气为基准,其原因在于干空气在热、湿处理过程中的质量是不变化的,而水蒸气量则可能有变化。

【例 1-1】 已知大气压力 $B = 101325\text{Pa}$,湿空气温度 $t = 20^\circ\text{C}$,相对湿度 $\varphi = 50\%$,求(1)湿空气水蒸气分压力;(2)含湿量;(3)焓;(4)湿空气的密度。

【解】 (1) 已知 $\varphi = 50\%$,即 $P_q/P_{q,b} = 0.5$,故

$$P_q = 0.5 \times P_{q,b}, \text{由表 1-2 知, } P_{q,b} = 2331\text{Pa}$$

所以

$$P_q = 0.5 \times 2331 = 1165.5\text{Pa}$$

$$\begin{aligned} (2) \text{ 已知 } d &= 0.622 \frac{P_q}{B - P_q} \\ &= 0.622 \frac{1165.5}{101325 - 1165.5} = 0.00724\text{kg}/\text{kg干空气} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (3) \text{ 已知 } i &= 1.01t + (2500 + 1.84t)d \\ &= 1.01 \times 20 + (2500 + 1.84 \times 20)0.00724 \\ &= 38.57 \text{ kJ}/\text{kg干空气} \end{aligned}$$

(4) 已知 $\rho = 0.003484 \frac{B}{T} - 0.00134 \frac{P_q}{T}$,代入已知各值则得:

$$\begin{aligned} \rho &= 0.003484 \frac{101325}{293} - 0.00134 \frac{1165.5}{293} \\ &= 1.2048 - 0.00533 = 1.1995 \approx 1.2 \end{aligned}$$

1.2.2 湿空气的焓湿图

根据式(1-5),(1-6)及(1-10),及 $P_{q,b} = f(T)$ 的函数关系,在已知大气压力下,给定湿空

气温度,即可计算出饱和状态各参数。表 1-3 即为空气温度由 -20°C 至 100°C 的计算结果。同理,如例 1-1 所示,已知湿空气的相对湿度,也可计算出含湿量、焓及密度各参数。

常用的湿空气性质图是以 i 和 d 为坐标的焓湿图($i-d$ 图)。为尽可能扩大不饱和湿空气区的范围,两坐标间的夹角一般取等于或大于 135° (见图 1-2)。当然,也可以采取其它参数对作为坐标(如温湿图)。

在选定坐标比例尺及确定坐标网的基础上,则可按式(1-5),(1-6)及(1-10)画出等温线,等相对湿度线等。

(1) 等温线:由 $i = 1.01t + (2500 + 1.84t)d$ 可知,当 t 为常数时, $i = a + bd$ 的形式。显然, $1.01t$ 为 d 等于 0 时在纵坐标上的截距, $(2500 + 1.84t)$ 为等温线的斜率。各等温线之间并非为平行线,其差别在于 $1.84t$ 一项(见图 1-3 所示)。

(2) 等相对湿度线:由 $d = 0.622 \frac{P_q}{B - P_q}$ 可得

$$P_q = \frac{B \cdot d}{0.622 + d}$$

因此,给定不同的 d 值,即可求得对应的 P_q 值。在 $i-d$ 图上取一横坐标示出水蒸气分压力(见图 1-2)。

对应不同温度下的饱和水蒸气压力(查表 1-3)

可得 $\varphi = 100\%$ 的等 φ 线。又据 $\varphi = \frac{P_q}{P_{q,b}}$ 或 $P_q = \varphi P_{q,b}$,当相对湿度 φ 为常数时,则可求出各温度下的 P_q 值,联接在各等温线与相应求得的 P_q 值的交点,则得出某一等 φ 线。

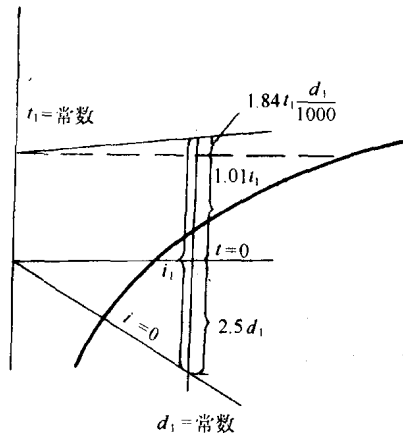


图 1-3 等温线在 $i-d$ 图上的确定

如此画出的 $i-d$ 图则包含了 B, t, d, i, φ 及 P_q 等湿空气参数。在 B 一定条件下, i, d, t, φ 中已知任意两个参数,在 $i-d$ 图上则可找到一个确定的点,也就是确定了一个湿空气的状态点,其余参数均可由此点查出。能在确定湿空气状态时独立起作用的参数称为独立参数,如 t, d, i, φ 等。但 d 与 P_q 却不能确定一个空气状态点,因而 d 与 P_q 只能有一个作为独立参数。

(3) 热湿比线:热湿比(ϵ)的定义是湿空气的焓变化与湿量变化之比,也称角系数。即

$$\epsilon = \frac{\Delta i}{\Delta d} \quad \text{或} \quad \epsilon = \Delta i / (\Delta d / 1000) \quad (1-13)$$

若在 $i-d$ 图上有 A, B 两状态点,则由 A 至 B 的热湿比为:

$$\epsilon = \frac{i_B - i_A}{d_B - d_A}$$

进而如有 A 状态的湿空气,其热量变化为 $\pm Q$ 和湿量变化为 $\pm W$,则其热湿比应为

$$\epsilon = \frac{\pm Q}{\pm W} \quad (1-14)$$

式中 Q 的单位为 kJ/s 或 kJ/h ; W 的单位为 kg/s 或 kg/h 。

可见,热湿比有正有负并代表湿空气状态变化的方向。

在图(1-2)的右下角示出不同 ϵ 值的等值线。如某状态点的 ϵ 值已知,则过该点作平行于 ϵ 等值线的平行线,这一直线则代表该湿空气状态的变化方向。