

钱以明 主 编

钱以明 范存养 杨国荣 寿炜炜 林忠平 赵荣义 编 著

简明空调设计手册

(第二版)



中国建筑工业出版社

简明空调设计手册（第二版）

	钱以明	主编	
钱以明	范存养	杨国荣	编著
寿炜炜	林忠平	赵荣义	

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

简明空调设计手册/钱以明主编. —2版. —北京:
中国建筑工业出版社, 2016.12
ISBN 978-7-112-19819-1

I. ①简… II. ①钱… III. ①空调设计-手册
IV. ①TB657.2-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 217337 号

本手册在第一版的基础上根据最新的标准规范重新修订, 并且对人体舒适、空气质量品质、PM2.5, 冷负荷计算、空调处理设备、蒸发冷却、溶液除湿、下送风、辐射空调、空调水系统、洁净空调、建筑防排烟、建筑节能、制冷空调设备和系统的节能设计控制标准、耗能量计算、建筑能效和绿色建筑评估等方面的内容进行了全面改写。另外, 新增加了“空调建筑冷热源”一章。

本手册可供暖通空调设计人员参考, 也可供在校学生做课程设计或毕业设计时参考。

责任编辑: 姚荣华 张文胜

责任校对: 王宇枢 刘梦然

简明空调设计手册 (第二版)

钱以明 主编

钱以明 范存养 杨国荣 编著
寿炜炜 林忠平 赵荣义

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京海淀三里河路9号)

各地新华书店、建筑书店经销

霸州市顺浩图文科技发展有限公司制版

北京圣夫亚美印刷有限公司印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 36 1/4 插页: 1 字数: 900 千字

2017 年 2 月第二版 2017 年 2 月第十三次印刷

定价: 98.00 元

ISBN 978-7-112-19819-1

(29267)

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)



第二版前言

《简明空调设计手册》第一版出版于1998年,由赵荣义、钱以明、范存养、薛殿华、张利群编著,赵荣义担任主编。由于该手册提供了空调技术基本原理、空调设计方法和一些设计所需基本资料,是一本简明实用的设计手册。因此,深受广大读者的欢迎和青睐。但由于该手册出版至今已有整整十八年,在这十八年间,我国城市建设事业发展迅速,空调领域的新技术、新设备、新系统不断涌现,设计规范不断更新,设计水平不断提高,节能减排、节能建筑、绿色建筑的政策大力实施。作为应用性技术的设计手册,理应紧跟建筑事业的发展,不断更新和补充。为此,进行了第二版的修订。

这次修订的主要内容如下:

(1) 人体舒适、空气质量品质、PM_{2.5},冷负荷计算、空调处理设备、蒸发冷却、溶液除湿、下送风、辐射空调、空调水系统、洁净空调、建筑防排烟、建筑节能、制冷空调设备和系统的节能设计控制标准、耗能量计算、建筑能效和绿色建筑评估等。

(2) 增编了“空调建筑冷热源”一章,包括热泵空调、热回收热泵、水源热泵、蓄冷系统、燃气冷热电三联供、区域供冷供热站。

(3) 近年来,作为空调设计依据的重要国家规范和标准已进行了普遍修订,并已颁布执行。例如:《民用建筑供暖通风与空调设计规范》GB 50736—2012,《工业建筑供暖通风与空调设计规范》GB 50019—2015,《公共建筑节能设计标准》GB 50189—2015,《建筑设计防火规范》GB 50016—2014,《绿色建筑评价标准》GB/T 50378—2014,《建筑能效标识技术标准》JGJ/T 288—2012等。这些技术规范和标准是对空调工程设计具有规范性和约束性,很多条文具有强制性,是空调设计的依据之一,本手册根据这些规范和标准对全书有关内容进行了更新和呼应。

(4) 比较完整地收集了现行的设计规范和标准(见附录一),供设计人员查询。

本手册力求保持具有基本理论、基本计算方法,内容实用且简明扼要。

《简明空调设计手册》第二版的编写人员作了如下调整,本手册由钱以明、范存养、杨国荣、寿炜炜、林忠平共同编写,钱以明主编。具体分工:第1、2、4、6、12、13章及附录由钱以明编写,第3、5、11章由范存养编写,第10章由杨国荣编写,第7、14章由赵荣义、杨国荣编写,第9章由寿炜炜编写,第8章由林忠平编写。

由于水平有限,本手册内容难免有不足之处,敬请广大读者给予批评指正。

2016年7月

第一版前言

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

第1章 空气调节基础知识	1
1.1 湿空气的性质及焓湿图	1
1.1.1 湿空气的物理性质	1
1.1.2 湿空气的焓湿图	4
1.1.3 湿球温度与露点温度	6
1.2 焓湿图的应用	10
1.2.1 湿空气状态变化过程在 $h-d$ 图上的表示	10
1.2.2 不同状态空气的混合状态在 $h-d$ 图上的确定	11
1.2.3 空气状态参数的计算法	13
1.3 室内热环境和舒适度	14
1.3.1 人体热平衡和舒适感	14
1.3.2 人体热舒适方程和 PMV-PPD 指标	15
1.4 室内空气质量 (IAQ)	19
1.4.1 概述	19
1.4.2 室内空气中有毒物浓度限值	20
1.4.3 PM _{2.5} 质量浓度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) 限值	21
1.4.4 改善室内空气质量的有效途径	23
1.5 室内、外空气的空调设计参数	24
1.5.1 室外空气的空调设计参数	24
1.5.2 室内空气的空调设计参数	27
1.5.3 新风量	31
第2章 空调负荷计算与房间送风量确定	34
2.1 空调负荷计算的基本原理	34
2.2 空调冷负荷计算软件简介	35
2.3 空调冷负荷简化计算方法	35
2.3.1 围护结构传入室内热量形成的冷负荷	36
2.3.2 透过玻璃窗进入的太阳辐射得热形成的逐时冷负荷	53
2.3.3 人体散热形成的冷负荷	59
2.3.4 照明散热形成的冷负荷	60
2.3.5 电动设备散热量形成的冷负荷	60
2.4 空调房间的散湿量	65
2.4.1 人体散湿量	65
2.4.2 敞开水面的散湿量	65
2.4.3 食物的散热量和散湿量	67
2.4.4 化学反应过程中散湿量	67
2.5 建筑物空调区冷负荷、空调系统冷负荷、空调冷源冷负荷	67

2.5.1 空调区夏季冷负荷	67
2.5.2 空调系统的夏季冷负荷	68
2.5.3 空调冷源冷负荷	70
2.6 空调热负荷计算	70
2.6.1 基本耗热量	70
2.6.2 附加耗热量	71
2.7 空调房间送风量	72
2.7.1 夏季送风状态和送风量	72
2.7.2 冬季送风状态和送风量	73
2.8 建筑物空调冷、热负荷的概算指标	73
第3章 空气调节系统	78
3.1 空调系统的分类	78
3.1.1 按负担室内热湿负荷所用的介质分类	78
3.1.2 按空气处理设备的集中程度分类	78
3.1.3 按被处理空气的来源分类	78
3.2 常用空调系统的比较和适用性	81
3.3 普通集中式空调系统	83
3.3.1 系统图式和处理过程	83
3.3.2 一次回风和二次回风方式的选定	85
3.3.3 新风量的确定	85
3.3.4 空调系统的风量平衡	87
3.4 集中式空调系统的划分和分区处理	88
3.4.1 系统划分	88
3.4.2 集中式空调系统的分区处理	89
3.5 双风道空调系统	90
3.5.1 系统构成	90
3.5.2 系统种类和特征	91
3.5.3 优缺点和适用性	91
3.6 变风量空调系统	93
3.6.1 变风量系统与定风量的区别	93
3.6.2 变风量装置的主要形式	93
3.6.3 节流型变风量空调装置	95
3.7 用末端风扇混合箱(空气动力箱)的一次风变风量系统	99
3.7.1 系统的构成与原理	99
3.7.2 风扇混合箱(FPB)的构造	99
3.7.3 FPB方式的适用性	100
3.8 风机盘管系统	101
3.8.1 系统构造、分类和特点	101
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	102
3.8.3 风机盘管机组的选择	105
3.8.4 风机盘管的调节方式	105
3.8.5 风机盘管系统的水系统	106
3.9 诱导器系统	107

3.9.1 系统的构造原理和分类	107
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	109
3.9.3 诱导空调系统的适用性	110
3.10 几种新型的空调方式与系统	111
3.10.1 下送风空调方式的构成及其系统适用性	111
3.10.2 辐射空调方式的构成及其系统方式	112
3.11 集中空调系统的计算例	114
3.11.1 全空气一次回风系统计算例	114
3.11.2 全空气二次回风系统计算例	115
3.11.3 双风道系统计算例	118
3.11.4 变风量空调系统计算例	119
3.11.5 风机盘管系统计算例	121
3.11.6 诱导器系统计算例	122
3.11.7 下送风空调系统计算例	123
3.11.8 辐射空调系统计算例	124
3.12 直接蒸发式单元型空调装置与系统	125
3.12.1 单元型机组空调系统及其性能	125
3.12.2 多联空调机组方式	130
3.12.3 多联机空调系统设计概要	132
第4章 空气的热湿处理设备	136
4.1 表面式空气换热器	136
4.1.1 表面式换热器的构造和安装	136
4.1.2 表面式换热器的结构性能参数	137
4.1.3 表面冷却器的热工计算方法	140
4.1.4 空气加热器的热工计算和阻力计算	150
4.2 喷水室	153
4.2.1 喷水室处理空气的特点	153
4.2.2 喷水室的构造和类型	154
4.2.3 低速喷水室的热工性能	155
4.2.4 低速喷水室的热工计算方法	156
4.3 蒸发冷却设备及其空调系统	161
4.3.1 直接蒸发冷却器	162
4.3.2 间接蒸发冷却器	163
4.3.3 蒸发冷却空调系统	164
4.4 全热交换器和显热交换器	169
4.4.1 转轮式热回收器	169
4.4.2 板式和板翅式热回收器	173
4.4.3 热管热回收器	174
4.4.4 盘管热环式热回收器	176
4.4.5 溶液吸收式全热回收装置	176
4.5 空气的加湿方法和设备	178
4.5.1 等温加湿设备	178
4.5.2 等焓加湿设备	184

4.6 空气的减湿方法和设备	188
4.6.1 冷冻减湿设备	188
4.6.2 转轮式除湿设备	192
4.6.3 固体吸湿剂减湿	199
4.6.4 溶液除湿	202
4.7 组合式空调机组	207
4.7.1 概述	207
4.7.2 组合式空调机组的技术要求	208
第5章 风道设计与室内气流组织	212
5.1 空气在管道内流动的阻力	212
5.1.1 摩擦阻力的确定	212
5.1.2 局部阻力的确定	215
5.2 管道内的压力分布	220
5.3 空气管道的设计和阻力计算	223
5.4 均匀送风管道设计	230
5.5 通风机的选定	232
5.5.1 通风机的种类	232
5.5.2 通风机的特性曲线	232
5.5.3 通风机在管路中的实际工况	234
5.5.4 通风机的效率、功率	234
5.5.5 风管内风量调节方法的选择	234
5.5.6 选择通风机的注意事项	235
5.5.7 空调风管系统房间压力分布	236
5.6 风管配件的布置	237
5.7 空调房间气流分布的设计原理	239
5.7.1 送风射流的一般规律	239
5.7.2 回风口的空气流动规律	246
5.7.3 房间气流分布的基本方式	247
5.7.4 侧面送风计算	253
5.7.5 散流器送风计算	257
第6章 空气调节水系统	259
6.1 空调水系统的基本形式	259
6.1.1 开式和闭式	259
6.1.2 二管制、分区二管制和四管制	259
6.1.3 同程式和异程式	260
6.1.4 定流量、变流量一级泵水系统	260
6.1.5 变流量二级泵水系统	263
6.1.6 集中空调水系统的选择原则	264
6.2 水系统的承压能力	266
6.2.1 水系统的承压	266
6.2.2 主要设备、管道和配件的承压能力	266
6.2.3 减小设备承压能力的布置方式	267
6.3 水系统的管路设计计算	269

6.3.1 沿程阻力和局部阻力	269
6.3.2 冷热水泵扬程和台数	273
6.3.3 空调水系统的输送能效	275
6.3.4 空调水系统的补水	275
6.4 冷却水系统设计	276
6.4.1 空调系统中常用冷却塔	276
6.4.2 冷却塔的冷却水量和补水量	278
6.4.3 冷却水泵扬程	278
6.4.4 冷却水系统设计	278
6.5 水力失调和平衡阀	280
6.5.1 水力失调	280
6.5.2 平衡阀	280
6.6 凝结水管路系统的设计	282
6.7 空调水系统的其他配件	282
6.7.1 膨胀水箱	282
6.7.2 分水器 and 集水器	284
6.7.3 过滤器	284
6.7.4 集气罐	285
6.8 空调冷冻水系统的大温差设计	286
第7章 空调系统运行调节和控制	288
7.1 室内热湿负荷变化时的运行调节	288
7.2 室外空气状态变化时的运行调节	289
7.2.1 一次回风空调系统的全年运行调节分析	289
7.2.2 变风量空调系统运行调节	291
7.2.3 半集中式空调系统的运行调节	293
7.3 空调系统的自动控制	299
7.3.1 空调自控系统的基本构成及其品质指标	299
7.3.2 室内空气温湿度控制	300
7.3.3 某些处理设备的控制方法	302
7.3.4 集中式空调系统全年运行自动控制举例	303
7.3.5 洁净空调系统计算机监控举例	304
第8章 洁净空调技术与应用	306
8.1 洁净技术的应用	306
8.1.1 微电子工业	306
8.1.2 医药卫生	306
8.1.3 食品工业	306
8.2 污染物质	307
8.2.1 污染物的分类	307
8.2.2 污染物浓度	307
8.2.3 污染物来源	308
8.3 洁净室的洁净度等级标准	310
8.3.1 室内尘粒的级别标准	310
8.3.2 室内细菌浓度的级别标准	311

8.3.3 若干行业的洁净标准	313
8.4 洁净室的原理、构成与分类	313
8.4.1 洁净室的原理	313
8.4.2 洁净室的构成	314
8.4.3 洁净室的分类	315
8.5 空气过滤器的特性指标和种类	317
8.5.1 过滤器的特性指标	317
8.5.2 过滤器分类	320
8.5.3 空气过滤器的滤材和结构形式	322
8.5.4 静电空气过滤器	325
8.5.5 活性炭过滤器	325
8.5.6 高效过滤器的安装	327
8.6 局部净化设备及洁净室附属设备	328
8.6.1 局部洁净设备的应用和围挡	328
8.6.2 各种局部净化设备	328
8.6.3 洁净室的附属设备	330
8.7 洁净室的风量确定与气流组织	331
8.7.1 非单向流洁净室的风量确定	331
8.7.2 单向流洁净室的风量确定	334
8.7.3 洁净室的气流组织和换气次数	334
8.8 净化空调系统设计	336
8.8.1 净化空调系统的特点	336
8.8.2 实现各种不同级别洁净室的系统方式	337
8.8.3 净化空调方式应用实例	343
8.9 生物洁净室的设计	345
8.9.1 生物洁净室与工业洁净室的主要区别	345
8.9.2 医院洁净手术室设计	345
8.9.3 实验动物洁净设施设计	347
8.10 洁净室的节能	349
8.11 洁净室的综合要求与设计综合原则	350
第9章 空调建筑的防火排烟	353
9.1 防火排烟的基本概念	353
9.2 建筑设计的防火分区和防烟分区	354
9.3 建筑烟气控制设计	356
9.3.1 建筑防、排烟设置部位	356
9.3.2 性能化烟气控制设计	357
9.3.3 防烟设计	358
9.3.4 排烟设计	362
9.3.5 防排烟方式的选择	366
9.3.6 机械防排烟的控制程序	367
9.4 防排烟装置	368
9.4.1 风机	368
9.4.2 防火阀和排烟阀	369

9.4.3 排烟口	371
9.4.4 加压送风口	371
9.5 通风空调系统的防火设计	371
第10章 空调建筑冷热源设计	374
10.1 空调建筑冷热源概述	374
10.1.1 冷热源设备	374
10.1.2 冷热源系统设计要求	378
10.2 热泵空调系统	380
10.2.1 空气热源热泵系统	381
10.2.2 水热源热泵系统设计	385
10.2.3 热回收热泵系统	387
10.2.4 土壤源热泵系统	388
10.3 蓄冷系统	397
10.3.1 冰蓄冷系统	399
10.3.2 水蓄冷系统	409
10.4 燃气冷热电三联供系统	415
10.4.1 系统种类与设备	415
10.4.2 系统规划	419
10.4.3 系统设计	423
10.4.4 发电机房设计	426
10.5 制冷机房与锅炉房设计	430
10.5.1 制冷机房设计原则与要求	430
10.5.2 锅炉房设计原则与要求	431
10.6 区域供冷供热站设计要求	433
10.6.1 区域供冷供热系统	433
10.6.2 区域供冷供热能源中心站房设计要求	434
10.6.3 东京新宿地区区域供冷供热系统简介	435
第11章 空调系统的消声与防振	438
11.1 与建筑物有关的噪声、振动源分类	438
11.2 声的物理量度和计算	439
11.2.1 声强与声压	439
11.2.2 声强级与声压级	439
11.2.3 声功率和声功率级	440
11.2.4 声压级与声功率级的转换	440
11.2.5 声源的叠加	440
11.2.6 噪声的频谱特性	441
11.3 噪声的主观评价和室内噪声标准	441
11.3.1 噪声的主观评价	441
11.3.2 室内噪声标准	442
11.4 空调系统的噪声源	444
11.4.1 风机噪声	444
11.4.2 风道系统的气流噪声	446
11.4.3 电机噪声	450

11.4.4 空调设备噪声	450
11.5 空调系统中噪声的自然衰减	451
11.5.1 噪声在风管内的自然衰减	451
11.5.2 风口反射的噪声衰减	453
11.6 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)	453
11.7 消声器消声量的确定	454
11.8 消声器	456
11.8.1 阻性消声器及其消声量	456
11.8.2 阻性消声器倍频带消声量	457
11.8.3 共振型消声器	459
11.8.4 复合型消声器	459
11.8.5 消声静压箱	459
11.8.6 消声器应用的注意要点	460
11.9 空调装置的防振	462
11.9.1 振动传递率和减振要求	462
11.9.2 减振材料和减振器	463
11.10 消声防振措施的一些实例	465
第12章 空调能耗和建筑物节能的设计标准	467
12.1 建筑物节能的意义和目标	467
12.1.1 建筑物节能的意义	467
12.1.2 我国建筑物节能的目标	467
12.2 建筑围护结构的节能	468
12.2.1 建筑围护结构的节能措施	468
12.2.2 我国建筑围护结构的节能标准和设计方法	470
12.2.3 国外节能建筑标准和设计方法	477
12.3 空气调节系统的节能措施	479
12.4 制冷空调设备和空调系统的节能设计标准	480
12.4.1 冷水(热泵)机组性能标准	480
12.4.2 空调系统的电冷源综合制冷性能系数(SCOP)	484
12.4.3 锅炉热效率	485
12.4.4 空气输送系统的节能设计标准	485
12.4.5 空调冷热水系统循环水泵的耗电输冷(热)比 $EC(H)R$	487
12.4.6 水输送系数(WTF)	487
12.4.7 空调风管绝热层最小热阻	489
12.4.8 管道与设备保温和保冷厚度	489
12.4.9 集中空调系统供冷季和供热季总能效比	491
12.5 空调系统全年(或季节)耗能量计算	492
12.5.1 建筑能耗模拟计算方法	492
12.5.2 度日(DD)法	493
12.5.3 当量满负荷运行时间 t_E 法	494
12.6 建筑能效标识制度	499
12.6.1 国外建筑能效标识制度	500
12.6.2 我国建筑能效标识制度	500

12.7 绿色建筑评估体系	502
12.7.1 美国绿色建筑评估体系	502
12.7.2 日本绿色建筑评估体系	504
12.7.3 我国绿色建筑评估体系	506
第13章 典型建筑物的空调系统设计	512
13.1 高层办公楼建筑空调设计	512
13.1.1 办公楼建筑室内空调设计参数	512
13.1.2 高层办公楼围护结构负荷计算特点	512
13.1.3 空调分区	515
13.1.4 冷、热源设置	515
13.1.5 设备层	516
13.1.6 高层办公楼建筑空调方式	516
13.1.7 大型办公楼空调方式的新进展	517
13.2 旅馆建筑空调设计	519
13.2.1 旅馆建筑空调设计参数	519
13.2.2 旅馆建筑空调方式	521
13.3 商业建筑空调设计	525
13.3.1 商业建筑空调设计等参数	525
13.3.2 商业建筑空调方式	526
13.3.3 餐饮设施的空气调节	528
13.4 大空间建筑的空调设计	530
13.4.1 体育建筑	531
13.4.2 电影院、剧场空调设计	540
第14章 空调系统测定与调整	547
14.1 空调系统测定与调整的意义和内容	547
14.2 风量的测定与调整	547
14.2.1 风管内风量测定	547
14.2.2 风口风量测定	549
14.2.3 风量调整	550
14.2.4 系统漏风量检查	551
14.2.5 室内静压调整	552
14.3 设备容量与效果检验	553
14.3.1 空气处理设备的容量检验	553
14.3.2 空调效果的检验	554
14.4 空调系统的故障原因和排除方法	556
附录一 国家和部委现行设计规范和标准	558
附录二 单位换算表	561
参考文献	563

第 1 章 空气调节基础知识

1.1 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。湿空气是由干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、氖及其他惰性气体和二氧化碳等。由干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空气中水蒸气含量的调节。

1.1.1 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

$$P_g V = m_g R_g T \text{ 或 } P_g v_g = R_g T \tag{1-1}$$

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

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 101325Pa 或 101.325kPa，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

$$B = P_g + P_q \tag{1-3}$$

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±5%的变化。

在空气调节中，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。

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

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

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

如将 d 的单位改为 g/kg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

$$\varphi = \frac{P_q}{P_{q \cdot b}} \times 100\% \tag{1-6}$$

式中 P_q ——湿空气的水蒸气分压力；

$P_{q \cdot b}$ ——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。

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(℃)	饱和水蒸气压力 $P_{q \cdot b}$ (Pa)	饱和含湿量 d_b (g/kg干空气)
10	1225	7.63
20	2331	14.70
30	4232	27.20

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

$$\varphi \approx \frac{d}{d_b} \times 100\% \tag{1-7}$$

这样计算的结果，可能会造成 2%~3% 的误差。

(3) 焓 (h)：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℃ 的干空气和 0℃ 的水的焓值为 0，则 t (℃) 时 1kg 干空气的焓为：

$$h_g = c_{p \cdot g} \cdot t, \text{ kJ/kg干空气} \tag{1-8}$$

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

1kg 水蒸气的焓为:

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

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

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

显然, 湿空气的焓 (h) 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

$$\begin{aligned} h &= h_g + h_q \\ &= c_{p \cdot g} \cdot t + (2500 + c_{p \cdot q} \cdot t)d \end{aligned} \quad (1-10)$$

上式 d 以 kg/kg 干空气 计。如以 $g/\text{kg 干空气}$ 计则应改为

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

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 $P_q/P_{q \cdot b}=0.5$, 故

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

所以

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

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

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

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

$$\rho = 0.003484 \frac{101325}{293} - 0.00134 \frac{1165.5}{293}$$