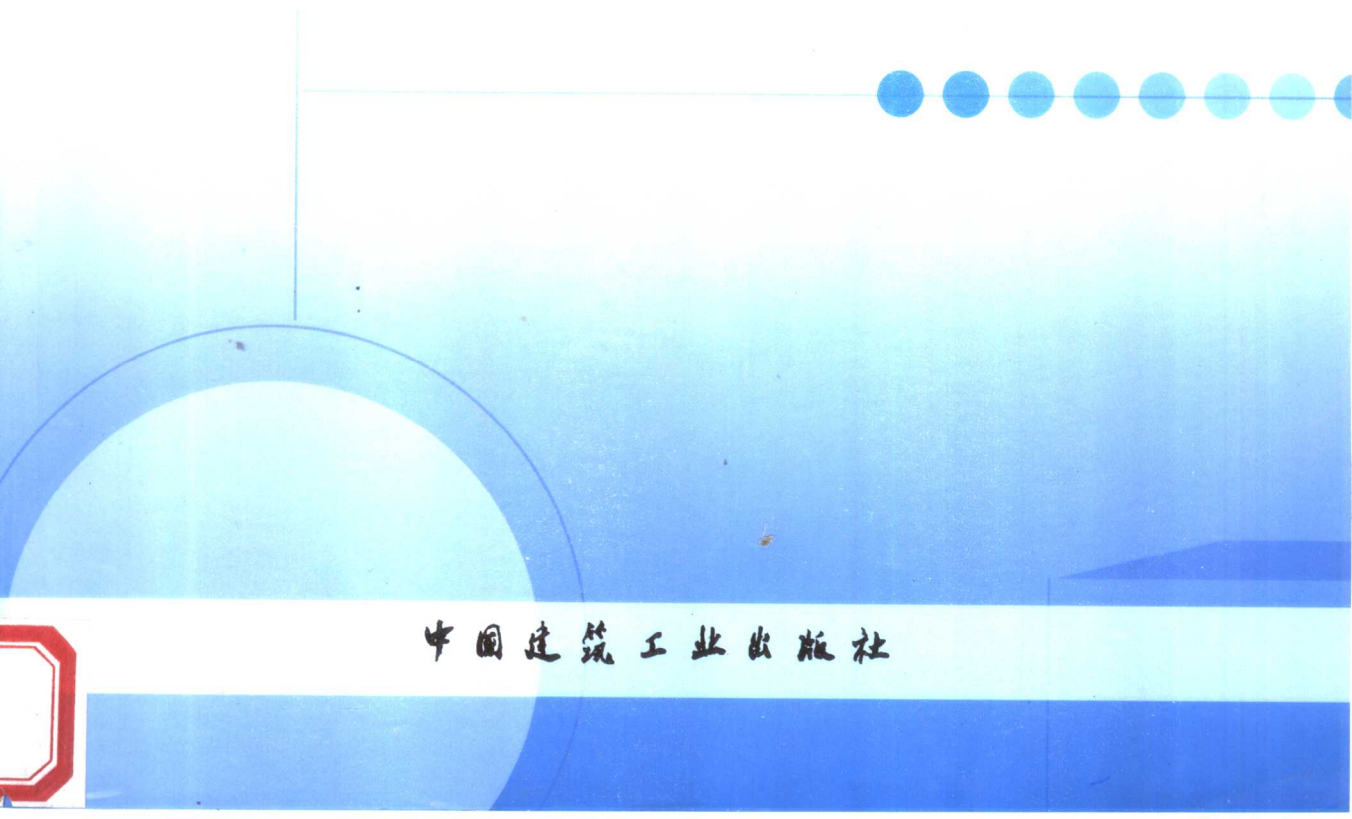




实用中央空调 设计指南

区正源 主编
孙一坚 主审



中国建筑工业出版社

实用中央空调 设计指南

区正源 主编
孙一坚 主审

中国建筑工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

实用中央空调设计指南/区正源主编. —北京: 中国建筑工业出版社, 2007
ISBN 978-7-112-09206-2

I. 实… II. 区… III. 集中空气调节系统-设计-指南 IV. TB657.2-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 045185 号

本书从湿空气性质和空气调节处理的一般规律入手, 综合了大量的工程实践, 对家用(商用)中央空调设计, 工艺性空调设计要点作了比较系统的分析。全书共分 6 篇, 内容包括: 家用中央空调设计、水环热泵空调系统设计、地源热泵空调应用与设计初探、中央空调设计的空气处理过程、冰蓄冷技术在空调系统中的应用等。

本书可供暖通空调设计人员、施工管理人员使用, 也供大专院校师生教学参考。

* * *

责任编辑: 姚荣华

责任设计: 董建平

责任校对: 安 东 兰曼利

实用中央空调设计指南

区正源 主编

孙一坚 主审

*

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

霸州市顺浩图文科技发展有限公司制版

世界知识印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 16 $\frac{1}{4}$ 插页: 5 字数: 417 千字

2007 年 7 月第一版 2007 年 7 月第一次印刷

印数: 1—3500 册 定价: 40.00 元

ISBN 978-7-112-09206-2

(15870)

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)

本社网址: <http://www.cabp.com.cn>

网上书店: <http://www.china-building.com.cn>

序

空气调节在我国从无到有、从小到大，从无序到系列化、规范化、跨越了几十年的发展历程。这无不凝聚着我国几代人艰辛的劳动和不懈的努力。

特别是改革开放以来中国的城市建设得到了飞跃的发展。中央空调设计、施工、运行，大大小小工程建设锻炼了一大批高素质的专业空调队伍。作者积几十年的工作经验加以总结、归纳编写了《实用中央空调设计指南》，能很好地指导从业者进行中央空调系统的设计及施工。书中阐述的实际经验无疑是留给从业者一笔宝贵的财富。

衷心祝愿《实用中央空调设计指南》能为中央空调的设计与施工人员所喜爱。

陈育群

(上海嘉力思机电设备工程有限公司董事长)

编著者的话

本书从湿空气的性质及空气调节处理的一般规律入手,综合了大量的工程实践,对家用(商用)中央空调设计、工艺性空调设计等的设计要点作了比较系统的分析,对本专业从事营销、管理及设计的人员起着启蒙与指导作用,亦可作为学校参考用书,因此,本书不失为老少咸宜的读物。

本书第1篇至第5篇由区正源、尤骏、王东亮、黄卡等编著。

第6篇由陈永林编著,澹合勤、叶水泉审校。

工程概算范例的设备与材料价格分别由李兵与邓志军提供。

全书主要插图由徐亮绘制。

全书的总校对由徐德化完成。

值此出版发行之际,衷心感谢周祖毅对第3篇进行细致、认真的校审。

在编著过程中还得到如下空调设备厂家提供设计选型样本和资料,计有:(排列不分先后)

上海东方泵业(集团)有限公司

上海三鼎空调净化设备有限公司

上海艾克森新技术有限公司

上海南华换热器制造有限公司

上海太行水暖设备成套有限公司

镇江市东方制冷空调设备配件有限公司

杭州华源人工环境公司

上海科泰实业有限公司

艾默生环境优化技术(苏州)有限公司

至此,并对引用的文献参考书籍单位与作者均表示由衷的谢意。尽管历易数稿,限于编著者水平,挂一漏万在所难免,敬请读者批评、指正。

作者

2006.11.30

作者区正源简介:

1964年毕业于湖南大学土木系采暖通风供热供煤气专业,即任职于机械工业第二设计研究院(现中国联合工程公司)从事专业设计、施工工作至退休,其后从事监理工作多年。任职期间曾获多项部优秀设计与科技进步奖。仅此愿为暖通事业奉献微光和余热。

联系电话:021-64138408;021-29785265(小灵通)

目 录

第 1 篇 基础知识	1
1.1 引子	1
1.2 湿空气的物理特性	1
1.3 认识焓-湿图 ($h-d$ 图)	7
1.4 两种不同状态空气混合过程的计算	9
1.5 湿空气的基本过程处理	11
1.6 法定计量单位和单位换算	12
附图 1-1 常规空调工程用湿空气焓湿图	14
附图 1-2 湿空气的焓湿图	插页
第 2 篇 家用中央空调设计	15
2.1 引子	15
2.2 空调负荷的计算	17
2.2.1 稳定传热	17
2.2.2 不稳定传热	17
2.2.3 按经验指标计算传热	18
2.3 设备的选择与布置	20
2.3.1 室内机的布置	20
2.3.2 冷凝水管的选择与布置	22
2.3.3 室外机的布置	22
2.4 系统风管布置与水力计算	24
2.4.1 风管的布置原则	24
2.4.2 风管水力计算的步骤	25
2.4.3 不同风管材料摩擦阻力的换算	33
2.4.4 风管局部构件接管分析	34
2.5 风口布置与室内气流组织	35
2.5.1 侧送风气流组织	36
2.5.2 垂直下送气流组织	40
2.5.3 散流器送风的气流组织	41
2.5.4 集中送风的气流组织	43
2.5.5 回风风口的布置	46
2.6 室内温度的自动控制	47
2.7 结语	47
附录 2-1 沿程阻力标准管径图解法	48

附录 2-2 沿程阻力非标准管径图解法	49
附录 2-3 冷热负荷计算表	50
附录 2-4 常用局部阻力系数汇总	50

第 3 篇 水环热泵空调系统设计

3.1 引子	56
3.1.1 适用范围及基本组成	56
3.1.2 水环热泵机组的制冷（热）原理	57
3.1.3 有关名词解释	58
3.2 负荷计算	58
3.3 水系统的划分	58
3.3.1 水环水循环系统	59
3.3.2 冷却水循环系统	59
3.3.3 热水循环系统	60
3.4 水系统的水力计算	61
3.4.1 计算目的	61
3.4.2 计算步骤	61
3.5 有关设备的选择	62
3.5.1 水泵	63
3.5.2 冷却塔	64
3.5.3 板式换热器	68
3.5.4 膨胀水箱与定压装置（闭式膨胀水箱）	74
3.5.5 辅助加热量与蓄热装置	79
3.5.6 太阳能热水器	81
3.5.7 用二通水阀直接向水环管路进行辅助加热	82
3.5.8 用三通水阀直接向水环管路进行辅助加热	83
3.5.9 用风冷热泵机组向水环系统进行辅助加热	83
3.6 水环热泵机组的选择与布置	84
3.6.1 室内机	85
3.6.2 主机	85
3.6.3 冷凝水管	85
3.7 监测与控制	85
3.7.1 设备自带自控	85
3.7.2 系统的监测	86
3.7.3 系统的监控	86
3.8 系统选择时应注意的事项	86
3.9 范例	86
3.9.1 设计计算部分	87
3.9.2 初步设计文件部分	95
3.9.3 提相关专业资料	100
3.9.4 工程概算	101
附录 3-1 水管系统的局部阻力系数	103

附录 3-2	水管摩擦阻力计算表	105
附录 3-3	水管管路阻力计算表	107
附录 3-4	不同型号电加热器的参数	107
附录 3-5	水环热泵空调系统范例局部阻力计算汇总表	108
附录 3-6	南京某厂综合办公楼设计图纸	109
第 4 篇	地源热泵空调应用及其设计初探	114
4.1	引子	114
4.2	空调系统的形式	114
4.3	空调系统的负荷计算	114
4.4	空调系统地下换热器换热量计算	114
4.4.1	夏季计算换热量 Q'	115
4.4.2	冬季计算换热量 Q''	115
4.4.3	地下埋管长度的计算	115
4.5	空调系统的布置	117
4.5.1	地面建筑物系统	117
4.5.2	地下埋管系统	117
4.6	空调水系统水力计算	117
4.7	设备选择	118
4.7.1	循环水泵的选型	118
4.7.2	膨胀水箱的选型	118
4.8	适用范围及提示	119
4.9	范例	119
4.9.1	设计计算部分	120
4.9.2	施工图设计图纸部分	125
4.9.3	提相关专业资料	126
4.10	结语	127
附录 4-1	建筑给水聚乙烯类 (PE、PE-X、PE-RT) 管道水力计算表	128
附录 4-2	水流速与动压对照表	132
附录 4-3	不同系列的管材壁厚水头损失修正系数	132
附录 4-4	不同系列的管材壁厚流速修正系数	133
附录 4-5	地源热泵空调系统范例局部阻力计算汇总表	133
附录 4-6	水管管路阻力计算表	135
附录 4-7	地源热泵空调施工图纸	136
第 5 篇	中央空调设计的空气过程一般处理与成功案例	149
5.1	引子	149
5.2	设计前有关资料的收集和对土建的要求	149
5.2.1	工艺性空调室内温湿度要求	149
5.2.2	空调房间对土建的要求	149

5.3 空调房间的负荷计算	151
5.3.1 通过围护结构的传热	152
5.3.2 通过外窗进入的太阳辐射热	152
5.3.3 设备、器具散热散湿	154
5.3.4 人体散热、散湿	155
5.3.5 照明散热	155
5.3.6 不同工艺房间室内环境参数要求	156
5.4 设计的空气过程一般处理	160
5.4.1 空调系统风量的确定	160
5.4.2 新风量的确定	161
5.4.3 最常见的集中式空调系统	162
5.5 常见的气流组织形式	166
5.5.1 侧送送风	169
5.5.2 孔板送风	171
5.6 空调系统常见的自动控制方式	175
5.6.1 自控方式的划分	175
5.6.2 空调自控的一般概念	176
5.6.3 室温控制	176
5.6.4 室内湿度的控制	179
5.6.5 范例	180
5.7 成功案例	184
5.7.1 概况	184
5.7.2 设计方案的比较与选择	184
5.7.3 典型系统的流程与原理	185
5.7.4 试运转后发生问题的解决及部审评价	187
第6篇 冰蓄冷技术在空调系统中的应用	189
6.1 引子	189
6.2 蓄冷空调系统的原理和特点	189
6.2.1 基本原理	189
6.2.2 技术特点	190
6.2.3 应用条件	190
6.3 蓄冷系统分类	190
6.3.1 水蓄冷系统	190
6.3.2 优态盐	191
6.3.3 冰蓄冷系统	191
6.4 蓄冰装置的形式及其技术性能	191
6.4.1 直接蒸发制冰系统	192
6.4.2 载冷剂循环式制冰系统	194
6.5 负荷计算	206
6.5.1 设计气象参数	206
6.5.2 负荷估算	206

6.5.3 负荷计算需注意的若干事项	207
6.6 蓄冷模式	207
6.6.1 全量蓄冷	208
6.6.2 分量蓄冷	209
6.7 系统流程配置	211
6.7.1 并联流程	212
6.7.2 串联流程	213
6.7.3 串联双循环流程	214
6.7.4 基载主机	215
6.7.5 载冷剂直接供冷	215
6.8 设备选型	215
6.8.1 载冷剂式制冷主机	215
6.8.2 蓄冰设备	217
6.8.3 水泵	218
6.8.4 板式换热器	219
6.8.5 冷却塔	219
6.8.6 乙二醇系统定压补液装置	219
6.8.7 载冷剂	220
6.8.8 其他	220
6.9 自控系统	220
6.9.1 主机制冷蓄冰工况	221
6.9.2 边蓄冷边供冷工况	221
6.9.3 主机单独供冷工况	221
6.9.4 蓄冰装置单独融冰工况	221
6.9.5 主机与蓄冰装置联合供冷工况	221
6.10 低温送风系统	223
6.10.1 低温送风系统的优点	223
6.10.2 选择合适的冷源	223
6.10.3 确定室内参数	224
6.10.4 计算空调冷负荷	224
6.10.5 确定送风温度	225
6.10.6 计算风机和管道温升	225
6.10.7 计算送风量	226
6.10.8 设计低温送风表冷器	227
6.10.9 选择低温送风空调系统方式	228
6.10.10 选择末端装置	229
6.11 蓄冷空调系统的经济性	231
6.11.1 简单回收年限	231
6.11.2 净现值	232
6.12 工程应用实例	232
6.12.1 建筑及工程概况	232
6.12.2 冷源方案确定	232

6.12.3 蓄冰模式选择 232

6.12.4 主要设备选型 233

6.12.5 冰蓄冷空调系统运行策略 234

6.13 结语 235

附录 厂家名录 236

参考文献..... 249

第1篇 基础知识

1.1 引子

众所周知，包围着我们地球表面的是厚厚的一层大气层，它是由氮、氧、氩……等多种化学元素及水蒸气组成的混合气体。我们生活在赖以生存的空气里进行劳作与生活，我们不仅需要了解它的组成，还需要知道它有些什么物理特性，从而达到对其驾驭的目的，即对空气进行或加热、冷却，或干燥、加湿的所谓空气调节。

空气是一种混合气体，因而其物理性状不能用单一气体的性状来反映，特别是其中含有一定量的水蒸气，即湿空气，其特性决定了空气调节的特点。因为人类要在空气环境里进行活动因而各种活动场所如高精度的机床间、精密电子仪器仪表间、纺织印刷制造间等，都得首先不断输送符合生产要求的温、湿度与洁净度的新鲜空气以满足人们生存必需，其生产环境要补偿或带走其内部的湿、热量。由此产生了空气调节这门学科。为了便于管理、控制、节约能源特别是大型的，对温度、湿度、洁净度有严格要求的工程，必须进行空气的统一过程处理，有关的空气处理装置、制冷设备等集中或相对集中布置我们谓之中央（集中）空气调节。

1.2 湿空气的物理特性

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。湿空气的状态通常有压力、温度、含湿量与相对湿度、密度与比容、焓等参数。这些参数称之为湿空气的状态参数。

为了研究方便，我们将空调范围内遇到的常温常压下的干空气视为理想状态，而湿空气相对而言数量小。也可视为理想气体。可以用下列理想气体状态方程式表示：

$$Pv=RT \quad (1-1)$$

$$\text{或} \quad PV=mRT \quad (1-2)$$

式中 P ——气体的压力， N/m^2 ；
 v ——气体的比容， m^3/kg ；
 R ——气体常数，取决于气体性质， $\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ ；
 T ——气体的热力学温度， K ；
 V ——气体的总容积， m^3 ；
 m ——气体的总质量， kg 。

由式（1-1）和式（1-2）可见，气体的比容（ m^3/kg ）与气体的压力及温度有关， R

(气体常数) 实测所得, 对于干空气 $R_{\text{干}} = 287\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$, 对于湿空气 $R_{\text{湿}} = 461\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ 这是显而易见的, 当空气所在的地理位置不同时, 其比容 v 不同, 如高纬度地区大气压变小, 空气变得稀薄, 其比容大, 同理, 空气的温度愈高, 其比容也会变大。

以下分别对各空气状态参数进行介绍。

1. 压力 P

湿空气由干空气和湿空气混合组成, 空气层在单位面积上所形成的压力称为大气压力, 大气空气压力也就是当地大气压 P (或 B) 表示, 它是空气分压 P_g 与水蒸气分压 P_q 之和:

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

供空调设计, 运行管理的我国各主要城市冬、夏季大气压, 可从老的 GBJ 19—87 《采暖通风与空气调节设计规范》^① 室外气象资料中查得。

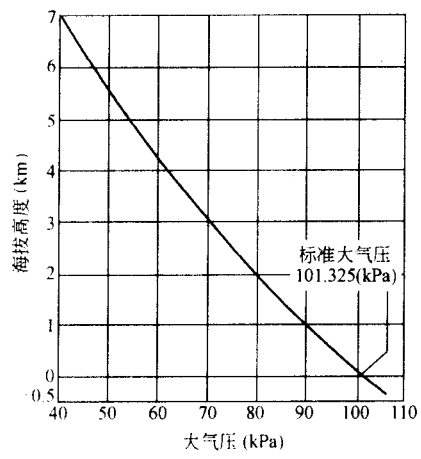


图 1-1 大气压与海拔高度的关系

大气压与海拔的关系见图 1-1。

压力的测量可以由压力表或压力计完成。

2. 温度 t

温度是表示物质冷热程度的指标, 湿空气的温度也就是干空气和水蒸气的温度, 在工程上一般用摄氏度 ($^{\circ}\text{C}$) 表示。热力学温度为 T , 单位为 K 。摄氏度 1°C 和 1K 是相等的。温度是空气调节的一个重要参数, 它代表其内部分子能量储备的程度, 当空气受热后其内部分子能量增大, 表现为温度升高。

测量温度的仪表称为温度计。

3. 含湿量 d

湿空气是由于干空气和水蒸气组成, 其中单位重量干空气所含水蒸气量称为含湿量 d ,

即:
$$d = \frac{m_q}{m_g} \quad (1-4)$$

式中 m_q ——湿空气中水蒸气质量, 以脚码 ‘ q ’ 表示 (下同), kg ;

m_g ——湿空气中干空气质量, 以脚码 ‘ g ’ 表示 (下同) kg ;

d ——含湿量, kg/kg 或 g/kg 。

可视干空气和水蒸气在常温常压下为理想气体, 其理想气体方程式有,

水蒸气:
$$P_q V_q = m_q R_q T_q \quad (1-5)$$

干空气:
$$P_g V_g = m_g R_g T_g \quad (1-6)$$

因为
$$V_q = V_g, T_q = T_g.$$

气体常数
$$R_q = 461\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$$

$$R_g = 287\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K}).$$

代入气体方程式, 整理后得,

① 此规范已被 GB 50019—2003 替代。

$$d=0.622 \frac{P_q}{P_g} \quad (1-7)$$

或
$$d=622 \frac{P_q}{P_g} \quad (1-8)$$

也可以写成:

$$d=622 \frac{P_q}{B-P_q} \quad (1-9)$$

式中 B ——大气压力。

式 (1-9) 表明, 当大气压 B 一定时, 湿空气的含湿量 d 与水蒸气分压力 P_q 近似为直线关系, 水蒸气分压力 P_q 愈大, 表示含湿量 d 愈大。

含湿量是表示湿空气所含水分重量的程度, 它是空调设计特别是除湿工程的一个重要计算参数。

含湿量没有直接测量的仪器, 一般都是通过计算或查表得到。

4. 相对湿度 φ

当大气压不变在一定的温度下, 湿空气所含的水蒸气量有一个最大限度, 超过这一限度, 多余的水蒸气会从湿空气中凝结出来, 这种含有最大限度水蒸气量的湿空气称作饱和空气。其含湿量和水蒸气分压力, 叫做该温度下湿空气的饱和水蒸气分压力和饱和含湿量。如果温度发生变化, 它们也随之变化。如表 1-1 所示。

不同温度的饱和水蒸气分压力、饱和含湿量

表 1-1

空气温度 $t(^{\circ}\text{C})$	饱和水蒸气分压力 $P_{q\cdot b}(\text{N/m}^2)$	饱和含湿量 $d(\text{g/kg干空气})^{\text{①}}$
10	1225	7.63
20	2331	14.70
30	4232	27.20

① 其含湿量系在大气压 $B=101325\text{Pa}$ (标准状态) 求得。

所谓相对湿度, 就是空气中水蒸气分压力和同温度下饱和水蒸气分压力之比:

$$\varphi = \frac{P_q}{P_{q\cdot b}} \times 100\% \quad (1-10)$$

式中 φ ——相对湿度;

P_q ——湿空气的水蒸气分压力;

$P_{q\cdot b}$ ——该温度下湿空气的饱和水蒸气分压力。

由式 (1-10) 可知, 相对湿度表征空气接近饱和的程度。 φ 值小, 说明空气饱和程度小, 吸收水汽的能力强; φ 值大则说明空气饱和程度大, 吸收水汽的能力弱。当 φ 为 100% 时, 指的是饱和空气; 反之, φ 为零, 指的是干空气。 φ 值比较确切地表示了空气的干燥与潮湿程度, 也是空气的一个重要参数。

相对湿度 φ 的测量, 可以通过干湿球温度计等获得。

5. 密度 (ρ) 与比容 (v)

单位容积, 空气所具有的质量称为空气的密度 ρ , 而单位质量的空气所占有的容积称为空气的比容 v 。两者互为倒数, 因此只能视为一个状态参数。

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{P}{RT} \quad (1-11)$$

$$v = \frac{1}{\rho} = \frac{V}{m} = \frac{RT}{P} \quad (1-12)$$

湿空气的密度等于干空气密度与水蒸气密度之和

即：

$$\begin{aligned} \rho &= \rho_g + \rho_q \\ &= \frac{\rho_g}{R_g T} + \frac{\rho_q}{R_q T} \end{aligned} \quad (1-13)$$

由式 (1-13) 看出，湿空气的密度与大气压、水蒸气分压力及空气温度有关。

在标准状态下（压力为 101325Pa 即 760mmHg，温度为 20℃）干空气的密度 $\rho_g = 1.205\text{kg/m}^3$ ，而湿空气的密度取决于 ρ_q 值大小，由于其值较小，因此湿空气的密度近似取 1.2kg/m^3 以便工程计算。如在标准状态下，用于精确计算，不同温度的湿空气密度时应查表 1-2 有关数据。它是通过实验室实测所得。

湿空气的密度、水蒸气压力、含湿量和焓

（大气压 $B=1013\text{hPa}$ ）

表 1-2

空气温度 t (℃)	干空气密度 ρ (kg/m^3)	饱和空气密度 ρ_b (kg/m^3)	饱和空气的水 蒸气分压力 $P_b(\text{hPa})$	饱和空气含湿量 d_b (g/kg干空气)	饱和空气焓 h_b (kJ/kg干空气)
-20	1.396	1.395	1.02	0.63	-18.55
-19	1.394	1.393	1.13	0.70	-17.39
-18	1.385	1.384	1.25	0.77	-16.20
-17	1.379	1.378	1.37	0.85	-14.99
-16	1.374	1.373	1.50	0.93	-13.77
-15	1.368	1.367	1.65	1.01	-12.60
-14	1.363	1.362	1.81	1.11	-11.35
-13	1.358	1.357	1.98	1.22	-10.05
-12	1.353	1.352	2.17	1.34	-8.75
-11	1.348	1.347	2.37	1.46	-7.45
-10	1.342	1.341	2.59	1.60	-6.07
-9	1.337	1.336	2.83	1.75	-4.73
-8	1.332	1.331	3.09	1.91	-3.31
-7	1.327	1.325	3.36	2.08	-1.88
-6	1.322	1.320	3.67	2.27	-0.42
-5	1.317	1.315	4.00	2.47	1.09
-4	1.312	1.310	4.36	2.69	2.68
-3	1.308	1.306	4.75	2.94	4.31
-2	1.303	1.301	5.16	3.19	5.90
-1	1.298	1.295	5.61	3.47	7.62
0	1.293	1.290	6.09	3.78	9.42
1	1.288	1.285	6.56	4.07	11.14
2	1.284	1.281	7.04	4.37	12.89
3	1.279	1.275	7.57	4.70	14.74
4	1.275	1.271	8.11	5.03	16.58
5	1.270	1.266	8.70	5.40	18.51
6	1.265	1.261	9.32	5.79	20.51
7	1.261	1.256	9.99	6.21	22.61
8	1.256	1.251	10.70	6.65	24.70
9	1.252	1.247	11.46	7.13	26.92
10	1.248	1.242	12.25	7.63	29.18

续表

空气温度 t (℃)	干空气密度 ρ (kg/m ³)	饱和空气密度 ρ_b (kg/m ³)	饱和空气的水 蒸气分压力 P_b (hPa)	饱和空气含湿量 d_b (g/kg干空气)	饱和空气焓 h_b (kJ/kg干空气)
11	1.243	1.237	13.09	8.15	31.52
12	1.239	1.232	13.99	8.75	34.08
13	1.235	1.228	14.94	9.35	36.59
14	1.230	1.223	15.95	9.97	39.19
15	1.226	1.218	17.01	10.6	41.78
16	1.222	1.214	18.13	11.4	44.80
17	1.217	1.208	19.32	12.1	47.73
18	1.213	1.204	20.59	12.9	50.66
19	1.209	1.200	21.92	13.8	54.01
20	1.205	1.195	23.31	14.7	57.78
21	1.201	1.190	24.80	15.6	61.13
22	1.197	1.185	26.37	16.6	64.06
23	1.193	1.181	28.02	17.7	67.83
24	1.189	1.176	29.77	18.8	72.01
25	1.185	1.171	31.60	20.0	75.78
26	1.181	1.166	33.53	21.4	80.39
27	1.177	1.161	35.56	22.6	84.57
28	1.173	1.156	37.71	24.0	89.18
29	1.169	1.151	39.95	25.6	94.20
30	1.165	1.146	42.32	27.2	99.65
31	1.161	1.141	44.82	28.8	104.67
32	1.157	1.136	47.43	30.6	110.11
33	1.154	1.131	50.18	32.5	115.97
34	1.150	1.126	53.07	34.4	122.25
35	1.146	1.121	56.10	36.6	128.95
36	1.142	1.116	59.26	38.8	135.65
37	1.139	1.111	62.60	41.1	142.35
38	1.135	1.107	66.09	43.5	149.47
39	1.132	1.102	69.75	46.0	157.42
40	1.128	1.097	73.58	48.8	165.80
41	1.124	1.091	77.59	51.7	174.17
42	1.121	1.086	81.80	54.8	182.96
43	1.117	1.081	86.18	58.0	192.17
44	1.114	1.076	90.79	61.3	202.22
45	1.110	1.070	95.60	65.0	212.69
46	1.107	1.065	100.61	68.9	223.57
47	1.103	1.059	105.87	72.8	235.30
48	1.100	1.054	111.33	77.0	247.02
49	1.096	1.048	117.07	81.5	260.00
50	1.093	1.043	123.04	86.2	273.40
55	1.076	1.013	156.94	114	352.11
60	1.060	0.981	198.70	152	456.36
65	1.044	0.946	249.38	204	598.71
70	1.029	0.909	310.82	276	795.50
75	1.014	0.868	384.50	382	1080.19
80	1.000	0.823	472.28	545	1519.81
85	0.986	0.773	576.69	828	2281.81
90	0.973	0.718	699.31	1400	3818.36
95	0.959	0.656	843.09	3120	8436.40
100	0.947	0.589	1013.00	—	—

6. 焓 h

焓是工程热力学中的一个常用而重要的单位，它表示单位重量的工质所包括的内能即热量。单位 kJ/kg ($1\text{J}=0.24\text{cal}$)

湿空气的焓是指 1kg 干空气的焓加上与其同时存在的 d (kg) 水蒸气的焓，即

$$h = h_g + h_q \times d \quad (1-14)$$

而

$$h_g = C_{p.g} \times t$$

$$h_q = 2500 + C_{p.q} \times t$$

式中 $C_{p.g}$ ——干空气的定压比热，在常温下 $C_{p.g}=1.005$ 取 1.01 , $\text{kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$;

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

2500 —— 0°C 时水的汽化潜热， kJ/kg 。

代入：

$$\begin{aligned} h &= C_{p.g} \times t + (2500 + C_{p.q} \times t) \times d \\ &= 1.01 \times t + (2500 + 1.84 \times t) \times d \\ &= (1.01 + 1.84d) \times t + 2500 \times d \end{aligned} \quad (1-15)$$

由式 (1-15) 得出，空气的焓由两部分组成，前者 $(1.01 + 1.84d) \times t$ ，是随温度为主的热量称之为空气的“显热”。而后者 $(2500 \times d)$ 是 0°C 时 $d\text{kg}$ 水的汽化热，它仅随含湿量 d 变化与温度无关，称之为“潜热”。显热加潜热称之为“全热”，也就是湿空气的焓值。焓值的大小取决于干空气的温度和含湿量两参数。在空调工程设计中湿空气的状态经常发生变化，需要确定变化过程能量的交换量。如对空气或加热或冷却，得先确定空气过程变化系吸收或放出的热量。常规的空调工程可视为常压，计算其焓差值的变化，也就知道空气热量的变化。从而确定空调设备的制冷或加热负荷，以便选择相关设备。

湿空气焓值目前还没有仪器能直接测量得到。

7. 湿球温度 t_{sh}

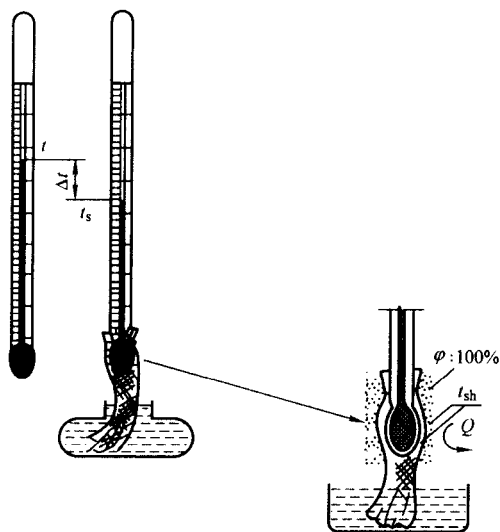


图 1-2 干、湿球温度计

相对于空气干球温度（即温度）而言，对应有湿球温度之说，在查找气象资料室外参数时出现，如上海地区，夏季空气调节室外计算干球温度为 34°C ，而室外计算湿球温度为 28.2°C ，根据干、湿球温度值查得空气的相对湿度 φ 为 65% 。用 t 和 t_{sh} （或 φ ）可以确定室外计算的空气状态点。

所谓湿球温度，缘于湿空气的空气状态内水蒸气的不饱和，愈是干燥的空气，它愈能吸收更多的水蒸气进入其中至空气水蒸气量饱和后，水分便不再吸收。在吸收水分成为水蒸气的过程，会消耗空气中的热量，从而使其周围的空气温度下降，如图 1-2 所示。

干、湿球温度计的测量原理，如图 1-2