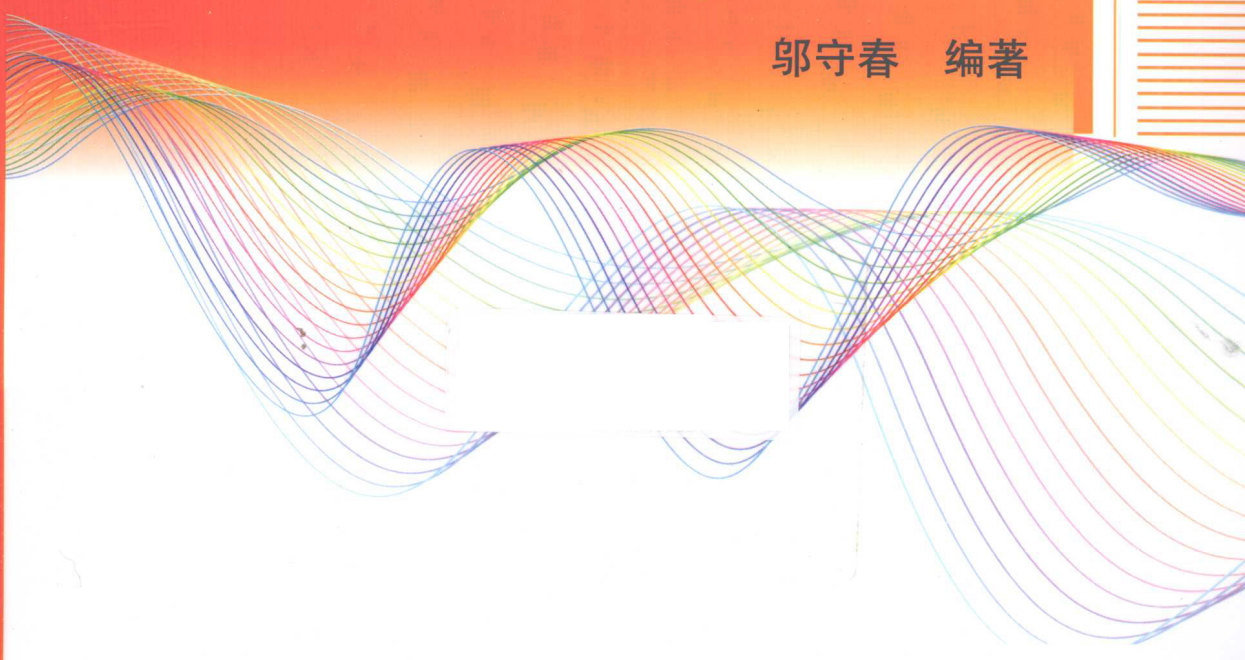




民用建筑暖通空调 施工图设计实用读本

邬守春 编著



中国建筑工业出版社

民用建筑暖通空调施工图设计 实用读本

邬守春 编著

中国建筑工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

民用建筑暖通空调施工图设计实用读本/邬守春编著. —北京:
中国建筑工业出版社, 2013.3
ISBN 978-7-112-15057-1

I. ①民… II. ①邬… III. ①民用建筑-采暖设备-建筑安装工程-工程施工-建筑制图②民用建筑-通风设备-建筑安装工程-工程施工-建筑制图③民用建筑-空气调节设备-建筑安装工程-工程施工-建筑制图 IV. ①TU83

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 012246 号

施工图是工程建设全过程中设计阶段的最终成果,从设计意图、设计方案、各种计算、技术措施、设备选型直至施工图绘制,应该是一个高智力的创造性劳动过程。编者在参加工程设计和施工图审查过程中,发现一些影响设计质量和施工图质量的问题,其中有的带有一定的普遍性,有的竟与专业基础理论、工程设计规范相悖。基于此,编写了本书。本书包括设计基础知识、民用建筑供暖通风与空气调节设计的主要内容、暖通空调系统设计的共性问题、建筑物防排烟设计、防空地下室通风设计和施工图设计文件编制及附录。书中反映了国家标准《民用建筑供暖通风与空气调节设计规范》GB 50736—2012 中的许多最新信息,列举了近 200 个工程案例并进行了简要的分析。

本书可供暖通空调专业工程设计、施工图审查和相关人员参考,也可以作为专业院校师生的教学参考资料。

责任编辑:姚荣华 张文胜

责任设计:赵明霞

责任校对:刘梦然 党 蕾

民用建筑暖通空调施工图设计实用读本

邬守春 编著

*

中国建筑工业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京科地亚盟排版公司制版

北京同文印刷有限责任公司印刷

*

开本:787×1092 毫米 1/16 印张:24½ 插页:1 字数:610 千字

2013 年 4 月第一版 2013 年 4 月第一次印刷

定价:62.00 元

ISBN 978-7-112-15057-1

(23114)

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)

序

人类营建居住场所已有万年，随着科技的进步和人类社会活动类型与规模的发展，营建能力不断进步，逐渐形成了“民用建筑”门类，建筑业中至今比重最大的仍是民用建筑，包括居住建筑和多种公共建筑。

回顾民用建筑的发展史，可以清晰地知道营建业历史非常辉煌，甚至对人类的发展都有重要作用，但民用建筑的发展也曾遭遇过困惑和瓶颈，为其解惑的重要角色却是暖通空调专业（暖通专业的出现是靠综合科学技术的积淀作基础，以社会的需求作推动力的）。

暖通空调专业出现之前，建筑业无法在辽阔的国土中各种气候区建造出理想的建筑。为更大规模，更多人员参考的社会活动场所，也因无法保护所需环境条件而规模受限。高级享用的建筑因无法达到希望的高标准，还得另辟蹊径。乃至为皇室营建的极品建筑——紫金城，还需另配避暑山庄轮换居住才能符合愿望，暖通空调专业出现之后，我们营建的人民大会堂，可容万人集会，可以全天候办公、居住，足以证明暖通空调专业对建筑业发展的重要。

暖通空调专业毕竟只有近百历史，是稚嫩的后起之秀，“配角”的印象远大于他前途无量的理念，为建筑服务的身份，淡化了专业的个性，也影响了对这个后起的暖通空调专业健康发展的关注和支持。在成熟的建筑业内，常被土建专业的传统和习惯羁绊，致使暖通空调专业执业不顺，常遇尴尬。是作剖析：

建筑行业中，土建专业，以部品的集成为主，设计图纸是为施工者按图施工之用，竣工后建筑就可验收使用，当发现了损坏，就哪坏修哪。年久陈旧，就投资再装饰，如此延续几千年，已成定式，十分顺畅。而此流程和规律用于暖通空调专业，就产生了尴尬。

暖通空调专业构建的是系统，是有生命性的有逻辑关系的设备联合工作的整套配置，而专业设计规定却含土建专业的特质，是选定主机设计系统、配套末端、增添自控。所以建成的暖通系统常缺乏整体性，没有系统质量的责任方，科学性合理性很难到位。

暖通空调系统的建设过程必有“调试”环节，其实这是土建的用语，暖通空调系统应该做“试调”，而且目的是“调适”，含有全面的整定之意，还需要到达动态适用。实际的工程中大部分是没做到位，有时把欠缺的“调适”工作，误归为“节能改造”，使原设计者受冤，使工程经济受损。

暖通空调专业是需要运行工种长期伴随着系统的使用的，而土建专业基本没有。系统运行的技术要求，在设计时设计者已有策划，但暖通空调专业的施工图的定式，是从土建专业引申的，并没有暖通空调专业特有的运行技术要求的传达通道，

竣工验收，暖通空调专业因要经历春、夏、秋、冬的试用，所以规定为交付使用一年后进行，但是因土建没有这个特质所以常常虽有规定，执行却很不严格，常常没有认真进行。

列举的各种尴尬，暖通空调专业的从业者感受最深刻，也一直在努力弥补和改进。我

们希望从暖通空调施工图设计的深化和详尽着手，如：施工图设计中含有更详尽的理论计算，提供更多的运行参数，介绍运行的合理逻辑，为使用者合理运行提供更为深刻的原创意图。某方面改进，解决因套用土建专业而不适合暖通空调专业的，施工图设计模式的先天不足，这方面的探究和改进正是暖通空调专业技术进步，工程和质量提高的重要方面。

本书作者邬守春校友是暖通专业出身的专业人士，半世纪的专业亲历，执业范围宽泛，经验十分丰富，积累工程资料详实典型。当他渡过执业生涯之后，选择了编写实用读本为专业贡献余热，十分可敬。而确定编写《民用建筑暖通空调施工图设计实用读本》真是太精彩了！足见他有真知灼见，他正是能用毕生积淀和智慧胜此重任的难得之士。此书对暖通空调专业各岗位执业者都有裨益，也是解决行业尴尬、推动行业进步的指导，还可为高校师生当作教材，能为教学提高质量起重要作用。大量工程实例的介绍能为读者避免许多工作中的不足，防止许多经济损失，这是不易计算数量的贡献。

我还希望本书能对建筑业界的广大工作者和有决策权的管理者起到宣传暖通空调专业特质的作用，从而推进暖通空调专业健康成长，在建筑业中增加话语权，使建筑品质有所提高。那么邬守春先生的贡献效果就更为巨大。

北京市建筑设计研究院有限公司顾问总工程师

中国建筑学会暖通空调分会副理事长 **吴德绳**

教授级高级工程师

2013 年春

前 言

随着我国社会经济的高速发展、城市化进程的加快和国民物质文化生活水平的不断提高,我国城镇建设的规模越来越大,档次越来越高,功能越来越齐全。供暖通风与空气调节技术作为一门工程技术,除了在工业生产、交通运输等领域得到广泛应用外,在民用建筑工程中更成为人们居家生活、工作和社会活动等必不可少的内容,暖通空调技术在民用建筑工程中的应用发展速度是十分惊人的。改革开放 30 多年来,“南方不宜供暖”、“北方不宜空调”的观念早已淡化,暖通空调设施已成为广袤国土上大江南北几乎所有公共建筑内必需的重要设施,而且也步入寻常百姓家庭,成为居家生活不可须臾离开的生活设施。

我国高等学校正式设立暖通空调专业至今只有 60 年左右的时间,但是短短 60 年的发展速度却是国人不敢想象的,仅开设暖通空调专业并招生的学校就从“老八校”发展到 180 多所,从教老师和在校学生均是成百倍地增加。随着我国城镇建设规模的扩大,大批本专业的毕业生陆续进入建筑工程领域,有的从事设计,有的从事施工,成为推动暖通空调事业发展的新生力量。

为了协助年轻的同行尽快进入本专业的实践过程,特别是帮助一些涉足工程设计领域的设计人员对设计技术有更多的了解,让大家在工作中少走弯路,编者根据自己的经历,编写了《民用建筑暖通空调施工图设计实用读本》一书,供专业设计人员及相关人员参考。本书仅侧重于施工图设计阶段,书中选取施工图设计中通常涉及的一些内容,以专业体系为主线,参考现行的工程建筑设计规范和相关规范,既对本书范围涉及的基本理论作适当的讲述,更结合工程设计实例,对施工图设计中出现的问题作简要的分析。在编者选取的近 200 个案例中,80%以上都是真实的案例;这些案例中,大部分具有一定的普遍性,但也不乏极个别的典型案例。编者对案例没有按“存在问题—原因分析—解决办法”的三段式进行叙述,问题是五花八门、千奇百怪的,原因是相同的,解决办法是相似的,对于书中提及的问题给出哪怕是“差强人意”的答案,也是编者力所不能企及的,重要的是提出了思考问题的方法。有时候选取和挖掘案例的过程本身就是解决问题的过程,一些典型的案例具有举一反三、触类旁通的启示作用。通过对案例的简要分析,明白了其中的道理,设计人员自然可以找到正确的答案。

谨以此书献给清华大学设立暖通空调专业 60 周年!

目 录

第 1 章 设计基础知识	1
1.1 支撑专业的两大体系	1
1.2 室内、室外空气计算参数	15
1.3 如何掌握和应用工程建设专业技术规范	33
第 2 章 室内供暖系统	37
2.1 供暖系统分类、设计内容及任务	37
2.2 供暖热负荷计算	38
2.3 供暖系统的热水温度	50
2.4 供暖系统的形式	52
2.5 散热器供暖系统	60
2.6 低温热水地面辐射供暖	71
2.7 室内供暖系统节能设计	84
第 3 章 室内通风系统	93
3.1 通风设计参数及基本要求	93
3.2 汽车库通风设计	102
3.3 设备间和公共厨房通风设计	103
3.4 洗衣房、卫生间及其他场所的通风设计	106
3.5 风系统的设计计算	107
第 4 章 室内空调系统	120
4.1 空调负荷计算	120
4.2 集中式空调系统	126
4.3 多联分体式空调系统	142
4.4 能量回收技术与装置	151
4.5 空调水系统设计	174
4.6 冷热源系统与机房设计	186
4.7 室内空调系统节能设计	201
第 5 章 暖通空调系统设计的共性问题	214
5.1 水系统的补水定压	214
5.2 水系统的水压试验	220
5.3 管道的补偿与固定	224
5.4 管道的水力计算与水质处理	226
5.5 水系统的竖向分区	238
5.6 水系统的管材	247

5.7	管道设备的保温	250
5.8	管道设备的消声隔振	254
第 6 章	建筑物防排烟设计	275
6.1	防排烟目的及方式	275
6.2	自然防烟与机械防烟	277
6.3	自然排烟与机械排烟	279
6.4	加压送风和排烟补风系统的防火阀设置	282
6.5	审图中发现的问题及分析	284
第 7 章	防空地下室防护通风设计	288
7.1	防护通风系统	288
7.2	防护通风设计的基本数据	295
7.3	防护通风的计算与设计	297
7.4	防护通风系统的防毒监测取样实施	302
7.5	对规范、图集中若干问题的探讨	304
7.6	审图中发现的问题及分析	306
第 8 章	施工图设计文件编制	311
8.1	“设计说明”和“施工说明”的编写	311
8.2	施工图设计各级人员职责	316
8.3	施工图制图细节	318
8.4	施工图绘制存在问题及分析	322
结语		326
附录 A	干空气的热物理性质	328
附录 B	饱和水的热物理性质	329
附录 C	干饱和水蒸气的热物理性质	330
附录 D	渗透冷空气量的朝向修正系数 n 值	331
附录 E	夏季空调冷负荷简化计算方法计算系数表	334
附录 F	夏季太阳总辐射照度	352
附录 G	夏季透过标准窗玻璃的太阳辐射照度	359
附录 H	施工图设计文件编制深度规定	370
参考文献		380
后记		382

第 1 章 设计基础知识

我们从事暖通空调专业学习，刚开始是学习理论基础课，毕业前是学习专业课，而中间一段时间则是学习专业基础课。根据《全国高等学校土建类专业本科教育培养目标和培养方案及主干课程教学基本要求：建筑环境与设备工程专业》的要求，暖通空调专业学生应系统掌握本专业领域必需的一系列专业理论基础，居于前三位的就是热力学、传热学和流体力学。因此，热力学、传热学和流体力学可以说是暖通空调专业的三大理论基石，是每一个暖通空调专业人员都必须熟悉和掌握的。

1.1 支撑专业的两大体系

支撑暖通空调专业的两大体系是热量的传递和湿空气的焓湿图。

1.1.1 热量的传递

由传热学原理可知，热量传递有三种基本方式：导热、对流和热辐射。导热又称热传导，是指物体各部分之间不发生相对位移时，依靠分子、原子和自由电子等微观粒子的热运动而产生的热量传递现象。对流是指由于流体的宏观运动，从而流体各部分之间发生相对位移、冷热流体相互掺混所引起的热量传递现象。当物质原子内部的电子受激和振动时，产生交替变化的电场和磁场并发出电磁波向空间传播，这种由电磁波传递能量的现象称为辐射，其中因热的原因而发出辐射能的现象称为热辐射。

1. 复合换热过程

我们知道，热量传递有三种基本方式，但在实际问题中，这些方式往往不是单独出现的，大部分是由导热、对流换热和辐射换热同时作用的结果，这不仅表现在互相串联的换热环节中，而且同一环节也是如此，呈现一个复合的换热过程。例如，对于锅炉中的省煤器或制冷机组中的冷凝器，热量传递过程中各环节的传热方式如下：

(1) 省煤器的换热过程如图 1-1 所示。

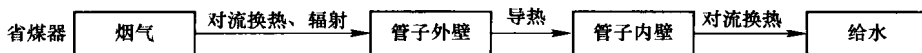


图 1-1 省煤器的换热过程

(2) 冷凝器的换热过程如图 1-2 所示。

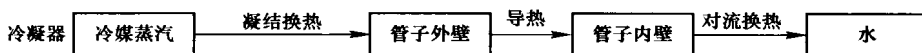


图 1-2 冷凝器的换热过程

分析一个复杂的实际传热过程由哪些串联环节组成，以及在同一环节中有哪些不同的热量传递方式，是暖通空调专业技术人员求解实际传热过程问题的基本功。例如在上述例子中，为什么从烟气到管子外壁的热量传递要同时考虑对流换热与辐射换热，而从管子内壁到水的热量传递只考虑对流换热。只有掌握了传热学的基本原理，才能对所有的传热问题有透彻的了解。

2. 供暖系统的热量传递

供暖系统的基本功能是给室内空气升温，在没有水分转移的情况下，容易造成室内空气干燥，相对湿度降低。供暖系统的热量传递过程如图 1-3 所示。

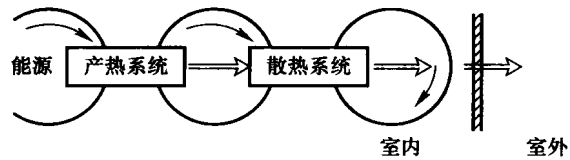


图 1-3 供暖系统的热量传递过程图示

3. 空调系统的热量传递

空调系统的功能包括空气温度调节、湿度调节、含尘量控制、改善室内空气品质、噪声控制、风速控制等。

空调系统诸多功能中只有温度调节与热量传递有关，编者将空调（温度）系统的热量传递过程总结为图 1-4（简称“五环图”）。

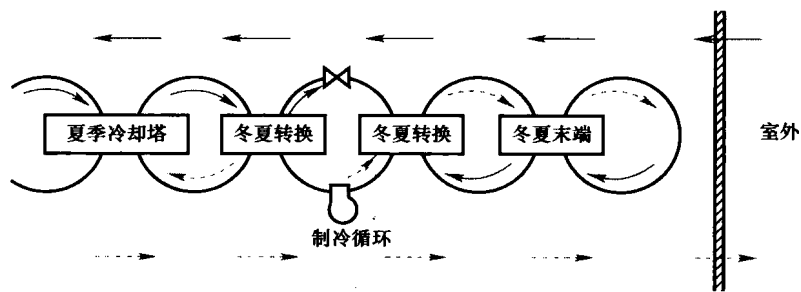


图 1-4 空调系统的热量传递过程图示

图中实线箭头为夏季制冷循环热流方向，以带冷却塔的水冷冷水机组为例；虚线箭头为冬季制热循环热流方向，以空气源（热泵）热水机组为例。

4. 暖通空调系统换热过程及换热方式举例

平时作设计，不论是只作末端，还是既作末端，又作冷热源，一定要全面系统地洞悉热量在制冷剂—水—空气之间的转换，在液相—汽相间的转换，切切牢记，现举例如下。

(1) 供暖系统换热过程（以散热器供暖为例，见图 1-5）

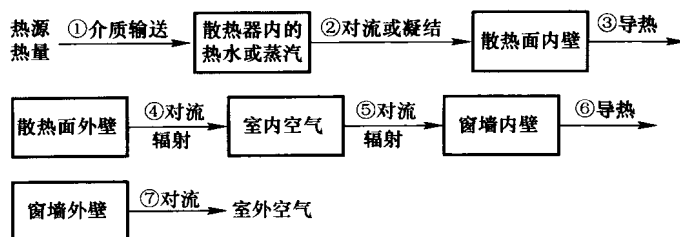


图 1-5 供暖系统换热过程

(2) 空调系统换热过程 (以冷却塔水冷冷水机组为例, 见图 1-6)

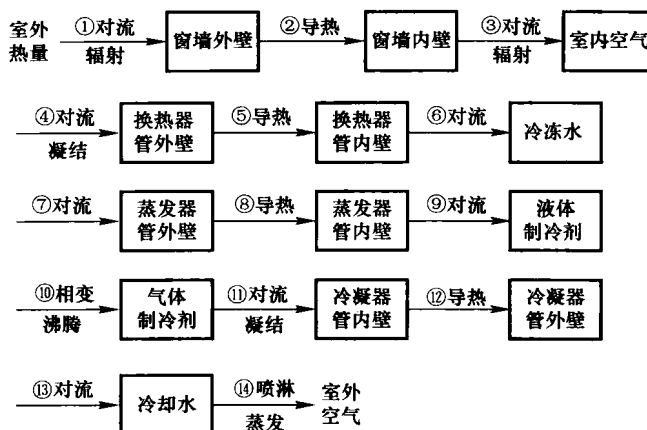


图 1-6 空调系统换热过程

由图 1-5 和图 1-6 可知, 散热器供暖系统的换热经过 7 个过程, 包括导热、对流换热和辐射换热, 没有发生相变, 没有潜热的转换, 相对比较简单; 而冷却塔水冷冷水机组制冷的空调系统换热经过 14 个过程, 包括导热、对流换热、辐射换热以及沸腾换热和凝结换热, 发生了相变和潜热的转换, 实际上包含了暖通空调制冷领域中几乎所有的换热过程, 是一个很经典的换热过程, 由此可以引申到空气源冷水 (热泵) 系统、变制冷剂多联机系统、地 (水) 源冷水 (热泵) 系统、蒸发冷却系统及其他各种空调供热系统, 其换热过程都包括在以上的经典过程之中。

1.1.2 空气的焓湿图及其应用

1. 空气的主要物理性质

干空气是氮、氧、二氧化碳、氢、氩等组成的混合物; 通常空气中总是含有水分的, 干空气与水分混合而成的空气称为湿空气, 如果没有特别冠以“干空气”的称谓, 平常所称“空气”就是指的“湿空气”。空气可以认为是理想气体, 其气体常数 $R=287\text{J}/(\text{kg}\cdot^{\circ}\text{C})$, 摩尔质量 $M=28.96\text{kg}/\text{kmol}$ 。

空气的参数是空调设计的重要基础数据, 这些参数中, 除了温度、压力、水蒸气的含量等外, 通过计算可以得到以下的重要参数 (干空气的热物理性质见附录 A)。

(1) 含湿量

空气中所含水蒸气质量 m_q 与干空气质量 m_k 之比, 称为湿空气的含湿量 (或称为比湿

度) d , 其单位为 $\text{kg}/\text{kg}_{\text{干空气}}$ 。

$$d = m_{\text{q}}/m_{\text{g}}$$

由理想气体状态方程可得:

$$d = \frac{p_{\text{q}} R_{\text{g}}}{p_{\text{g}} R_{\text{q}}}$$

式中, 干空气的气体常数 $R_{\text{g}} = 287 \text{J}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$, 水蒸气的气体常数 $R_{\text{q}} = 461.5 \text{J}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$, 带入上式得到:

$$d = \frac{287 p_{\text{q}}}{461.5 p_{\text{g}}} = 0.622 \frac{p_{\text{q}}}{p_{\text{g}}}$$

而 $p_{\text{g}} = p - p_{\text{q}}$, 所以

$$d = 0.622 \frac{p_{\text{q}}}{p - p_{\text{q}}} \quad (1-1)$$

式中 p_{g} ——干空气的压力, Pa;

p_{q} ——水蒸气的分压力, Pa;

p ——湿空气的压力, $p = p_{\text{g}} + p_{\text{q}}$, Pa。

(2) 相对湿度

湿空气中水蒸气的摩尔分数 y_{q} 与饱和水蒸气的摩尔分数 $y_{\text{q},\text{b}}$ 之比, 称为湿空气的相对湿度, 其单位为%。

$$\varphi = \frac{y_{\text{q}}}{y_{\text{q},\text{b}}}$$

因为 $y_{\text{q}} = \frac{p_{\text{q}}}{p}$, $y_{\text{q},\text{b}} = \frac{p_{\text{q},\text{b}}}{p}$,

所以 $\varphi = \frac{p_{\text{q}}}{p_{\text{q},\text{b}}} \times 100\%$; (1-2)

因此 $p_{\text{q}} = \varphi \cdot p_{\text{q},\text{b}}$, 带入式 (1-1) 得到:

$$d = 0.622 \frac{\varphi \cdot p_{\text{q},\text{b}}}{p - \varphi \cdot p_{\text{q},\text{b}}}$$

则湿度 d 和相对湿度 φ 的关系式为:

$$\varphi = \frac{d p_{\text{g}}}{0.622 p_{\text{q},\text{b}}}$$

湿空气的相对湿度, 可近似地用水蒸气的含湿量 d_{q} 与饱和水蒸气的含湿量 $d_{\text{q},\text{b}}$ 之比来表示, 即:

$$\varphi = \frac{d_{\text{q}}}{d_{\text{q},\text{b}}} \times 100\% \quad (1-3)$$

干空气的相对湿度 $\varphi = 0$, 饱和湿空气的相对湿度 $\varphi = 1$, 湿空气的相对湿度在 0 与 1 之间。空气含有水分的多少, 取决于它的温度。因此, 即使空气的含湿量 d 不变, 空气的相对湿度随着温度的变化而变化。例如, 空气的含湿量 $d = 18.0 \text{g}/\text{kg}$, 当空气温度为 34.0°C 时, 相对湿度 $\varphi = 53.54\%$; 当空气温度为 28.0°C 时, 相对湿度 $\varphi = 75.36\%$ 。

(3) 焓

在空调工程中, 空气温度范围在 $-10\sim 50^{\circ}\text{C}$ 左右。在这个范围内, 干空气可视为理想气体, 并可取定压比热 $c_{p,g}=1.01\text{kJ}/(\text{kg}\cdot^{\circ}\text{C})$, 误差小于 0.2% , 可以忽略不计。

物质的体积、压力的乘积与内能的总和, 称为物质的焓 h , 其单位为 kJ/kg 。若取 0°C 的干空气和 0°C 的水的焓值为 0 , 则 $t^{\circ}\text{C}$ 时, 有:

1) 1kg 干空气的焓为

$$h_g = c_{p,g} \cdot t \quad (1-4)$$

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

2) 1kg 水蒸气的焓为

$$h_q = c_{p,q} \cdot t + 2500 \quad (1-5)$$

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 —— 0°C 时水蒸气的汽化潜热, kJ/kg 。

3) 1kg 湿空气的焓 h , 等于 1kg 干空气的焓 h_g 及与其共存的 d kg 水蒸气的焓 h_q 之和, 即

$$h = h_g + d \cdot h_q = c_{p,g} \cdot t + (2500 + c_{p,q} \cdot t)d \quad (1-6)$$

$$\text{或} \quad h = 1.01t + 0.001(2500 + 1.84t)d \quad (\text{g}/\text{kg}_{\text{干空气}}) \quad (1-7)$$

已知水的质量比热为 $4.19\text{kJ}/(\text{kg}\cdot^{\circ}\text{C})$, 则 $t^{\circ}\text{C}$ 时水蒸气的汽化潜热 r_t (kJ/kg) 为:

$$r_t = 2500 + 1.84t - 4.19t = 2500 - 2.35t \quad (1-8)$$

(4) 湿空气的密度

湿空气的密度 ρ 等于干空气的密度 ρ_g 和水蒸气的密度 ρ_q 之和, $\rho = \rho_g + \rho_q$, 单位为 kg/m^3 , 即

$$\begin{aligned} \rho &= \rho_g + \rho_q = \frac{p_g}{R_g T} + \frac{p_q}{R_q T} = \frac{p_g}{287T} + \frac{p_q}{461.5T} \\ &= \frac{0.003484p_g}{T} + \frac{0.00134p_q}{T} \end{aligned} \quad (1-9)$$

由于水蒸气的密度较小, 标准状态下, 干空气和湿空气的密度相差较小, 在工程上, 取 $\rho=1.2\text{kg}/\text{m}^3$ 已足够精确。

2. 湿空气的焓湿图

(1) 湿空气焓湿图的构成

通常的湿空气特性图, 是以焓 h 和含湿量 d 为坐标的焓湿图, 又称 $h-d$ 图。 $h-d$ 图是表示一定大气压力下, 湿空气各参数的值及其相互关系的图。焓湿图包括 5 个主要坐标 (参数) 和 1 个辅助坐标 (参数), 5 个主要坐标 (参数) 为: 等焓线 h ($\text{kJ}/\text{kg}_{\text{干空气}}$)、等含湿量线 d ($\text{g}/\text{kg}_{\text{干空气}}$)、等温度线 t ($^{\circ}\text{C}$)、等相对湿度线 φ ($\%$)、水蒸气分压力线 p_q (kPa); 1 个辅助坐标 (参数) 为热湿比线 ϵ , 热湿比定义为 $\epsilon = \frac{\Delta h}{\Delta d}$, 热湿比线 ϵ 并不在焓湿图的主图上, 而是在右下角单独绘出 (见图 1-7), 焓湿图上, ϵ 数值的范围从 -10000 到 $+10000$ 。

焓湿图对于空调设计和运行管理是一个十分重要的工具。焓湿图的主要用途有：1) 利用两个独立的参数可以简便的确定空气状态点及其他的各项参数；2) 利用空气状态点的位置反映热湿交换作用下，空气状态的变化过程。

焓湿图都是针对一定的大气压绘制的，常用的是标准大气压 101325Pa 时的焓湿图。当当地大气压高于标准大气压时，焓湿图中的饱和曲线 ($\varphi=100\%$) 将向上移；低于标准大气压时，饱和曲线向下移。当空气温度和相对湿度相同而大气压力增高时，空气的焓和含湿量减小；而大气压力降低时，空气的焓和含湿量增大（与标准大气压下的焓和含湿量相比）。因此，使用焓湿图时，一定要注意建设工程地区的当地大气压；我国出版的文献中曾有六种不同大气压力下的焓湿图供设计人员使用，大气压力分别为：79993Pa (600mmHg)、86660Pa (650mmHg)、93326Pa (700mmHg)、97325Pa (730mmHg)、99325Pa (745mmHg) 和 101325Pa (760mmHg)。设计时，必须根据当地大气压选择较为接近的焓湿图，不能都用标准大气压 101325Pa 时的焓湿图，这一点应引起设计人员的注意。

(2) 湿空气状态参数的计算

已知当地大气压的情况下，只要已知任意两个独立参数，就可以确定湿空气的其他参数。确定湿空气状态参数的方法经历了 3 个阶段：

1) 早期的方法是利用不同当地大气压的焓湿图，通过在图上描点划线，在坐标图上求得参数。这样的方法都是根据人眼的观察来确定数值，速度慢，误差很大，直接影响最后的计算结果（见图 1-7）。

2) 后来一些科技人员利用计算机将各参数的计算结果制成表格——湿空气的焓湿表（见表 1-1），通过湿空气两个独立的参数直接读出其他的参数，经过几版改进后，现在编制的焓湿表中，空气温度范围为 $-20\sim 47^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度范围为 $5\%\sim 100\%$ ，可以满足绝大部分工程设计的需要。只要知道空气的干球温度、湿球温度（或相对湿度）两个参数，就可以直接读出相对湿度（或湿球温度）、比焓值、含湿量、露点温度及水蒸气分压力等参数，使用极为方便。由于制表时空气温度按 0.5°C 分档、相对湿度按 $2.5\%\sim 5\%$ 分档，因此有时仍需要用插入法，得到的只是近似值，精度差一些。

3) 在计算机已经普及的今天，利用数值计算或电子版焓湿图（见图 1-8）可以直接求得空气状态点的参数，而且速度快、十分精确，是目前设计人员常用的重要工具。但是，作为重要的理论基础，设计人员仍有必要熟悉各种参数的物理意义及计算方法。

① 湿空气的热力学温度 $T=273.15+t$ ； (1-10)

② 湿空气的饱和水蒸气分压力 $P_{qb}=f(T)$ 的经验公式：

• $t=-100\sim 0^{\circ}\text{C}$ 时，

$$\ln(P_{qb}) = c_1/T + c_2 + c_3 T + c_4 T^2 + c_5 T^3 + c_6 T^4 + c_7 \ln(T) \quad (1-11)$$

• $t=0\sim 200^{\circ}\text{C}$ 时，

$$\ln(P_{qb}) = c_8/T + c_9 + c_{10} T + c_{11} T^2 + c_{12} T^3 + c_{13} \ln(T) \quad (1-12)$$

式中 $c_1 = -5674.5359$ ； $c_2 = 6.3925247$ ； $c_3 = -0.9677843 \times 10^{-2}$ ； $c_4 = 0.62215701 \times 10^{-6}$ ； $c_5 = 0.20747825 \times 10^{-18}$ ； $c_6 = -0.9484024 \times 10^{-2}$ ； $c_7 = 4.1635019$ ； $c_8 = -5800.2206$ ； $c_9 = 1.3914993$ ； $c_{10} = -0.04860239$ ； $c_{11} = 0.41764768 \times 10^{-4}$ ； $c_{12} = -0.14452093 \times 10^{-7}$ ； $c_{13} = 6.5459673$

表 1-1

湿空气的焓湿表(局部)

干球温度	相对湿度	5.0%	10.0%	15.0%	20.0%	25.0%	30.0%	32.5%	35.0%	37.5%	40.0%	42.5%	45.0%	47.5%	50.0%	52.5%	55.0%	57.5%
34.0	含湿量(g/kg)	1.64	3.29	4.94	6.61	8.28	9.96	10.81	11.65	12.50	13.35	14.21	15.06	15.92	16.78	17.64	18.51	19.38
	焓(kJ/kg)	38.54	42.76	47.00	51.27	55.56	59.87	62.03	64.20	66.38	68.56	70.75	72.94	75.14	77.34	79.56	81.77	84.00
	露点温度(℃)	-9.73	-1.67	3.74	7.89	11.21	13.99	15.22	16.38	17.47	18.50	19.47	20.39	21.27	22.11	22.91	23.68	24.42
	P _φ 5323.91	湿球温度(℃)	13.71	15.25	16.71	18.10	19.43	20.69	21.30	21.90	22.48	23.06	23.62	24.16	24.70	25.23	25.74	26.25
干球温度	相对湿度	5.0%	10.0%	15.0%	20.0%	25.0%	30.0%	32.5%	35.0%	37.5%	40.0%	42.5%	45.0%	47.5%	50.0%	52.5%	55.0%	57.5%
34.5	含湿量(g/kg)	1.68	3.38	5.08	6.79	8.52	10.25	11.12	11.99	12.86	13.74	14.62	15.50	16.38	17.27	18.16	19.05	19.94
	焓(kJ/kg)	39.16	43.51	47.87	52.26	56.68	61.11	63.34	65.58	67.82	70.06	72.32	74.57	76.84	79.11	81.39	83.67	85.96
	露点温度(℃)	-9.42	-1.33	4.13	8.30	11.63	14.41	15.66	16.82	17.91	18.94	19.91	20.84	21.72	22.56	23.37	24.14	24.89
	P _φ 5474.04	湿球温度(℃)	13.94	15.51	17.00	18.42	19.76	21.05	21.66	22.27	22.86	23.44	24.01	24.57	25.11	25.64	26.16	26.68
干球温度	相对湿度	5.0%	10.0%	15.0%	20.0%	25.0%	30.0%	32.5%	35.0%	37.5%	40.0%	42.5%	45.0%	47.5%	50.0%	52.5%	55.0%	57.5%
35.0	含湿量(g/kg)	1.73	3.47	5.23	6.99	8.76	10.54	11.43	12.33	13.23	14.13	15.04	15.94	16.85	17.77	18.68	19.60	20.52
	焓(kJ/kg)	39.79	44.26	48.75	53.27	57.81	62.38	64.67	66.97	69.28	71.59	73.91	76.24	78.57	80.91	83.26	85.61	87.97
	露点温度(℃)	-9.10	-1.00	4.53	8.71	12.05	14.84	16.09	17.26	18.35	19.38	20.36	21.29	22.18	23.02	23.83	24.60	25.35
	P _φ 5627.82	湿球温度(℃)	14.17	15.77	17.29	18.73	20.10	21.40	22.03	22.64	23.24	23.83	24.40	24.97	25.52	26.06	26.58	27.10
干球温度	相对湿度	5.0%	10.0%	15.0%	20.0%	25.0%	30.0%	32.5%	35.0%	37.5%	40.0%	42.5%	45.0%	47.5%	50.0%	52.5%	55.0%	57.5%
35.5	含湿量(g/kg)	1.78	3.57	5.37	7.18	9.01	10.84	11.76	12.68	13.61	14.54	15.47	16.40	17.34	18.28	19.22	20.17	21.11
	焓(kJ/kg)	40.42	45.02	49.64	54.29	58.96	63.66	66.02	68.39	70.77	73.15	75.54	77.93	80.34	82.75	85.16	87.59	90.02
	露点温度(℃)	-8.97	-0.66	4.92	9.12	12.47	15.27	16.52	17.69	18.79	19.83	20.81	21.74	22.63	23.48	24.29	25.07	25.82
	P _φ 5785.33	湿球温度(℃)	14.41	16.04	17.58	19.04	20.43	21.75	22.39	23.01	23.62	24.22	24.80	25.37	25.92	26.47	27.00	27.53
干球温度	相对湿度	5.0%	10.0%	15.0%	20.0%	25.0%	30.0%	32.5%	35.0%	37.5%	40.0%	42.5%	45.0%	47.5%	50.0%	52.5%	55.0%	57.5%
36.0	含湿量(g/kg)	1.83	3.67	5.52	7.39	9.26	11.15	12.09	13.04	14.00	14.95	15.91	16.87	17.84	18.80	19.77	20.75	21.72
	焓(kJ/kg)	41.06	45.78	50.54	55.32	60.13	64.97	67.40	69.84	72.28	74.73	77.19	79.66	82.13	84.62	87.11	89.60	92.11
	露点温度(℃)	-8.48	-0.33	5.32	9.52	12.89	15.70	16.96	18.13	19.23	20.27	21.26	22.19	23.08	23.93	24.75	25.53	26.28
	P _φ 5946.64	湿球温度(℃)	14.64	16.30	17.87	19.36	20.77	22.11	22.75	23.38	24.00	24.60	25.19	25.77	26.33	26.88	27.43	27.95

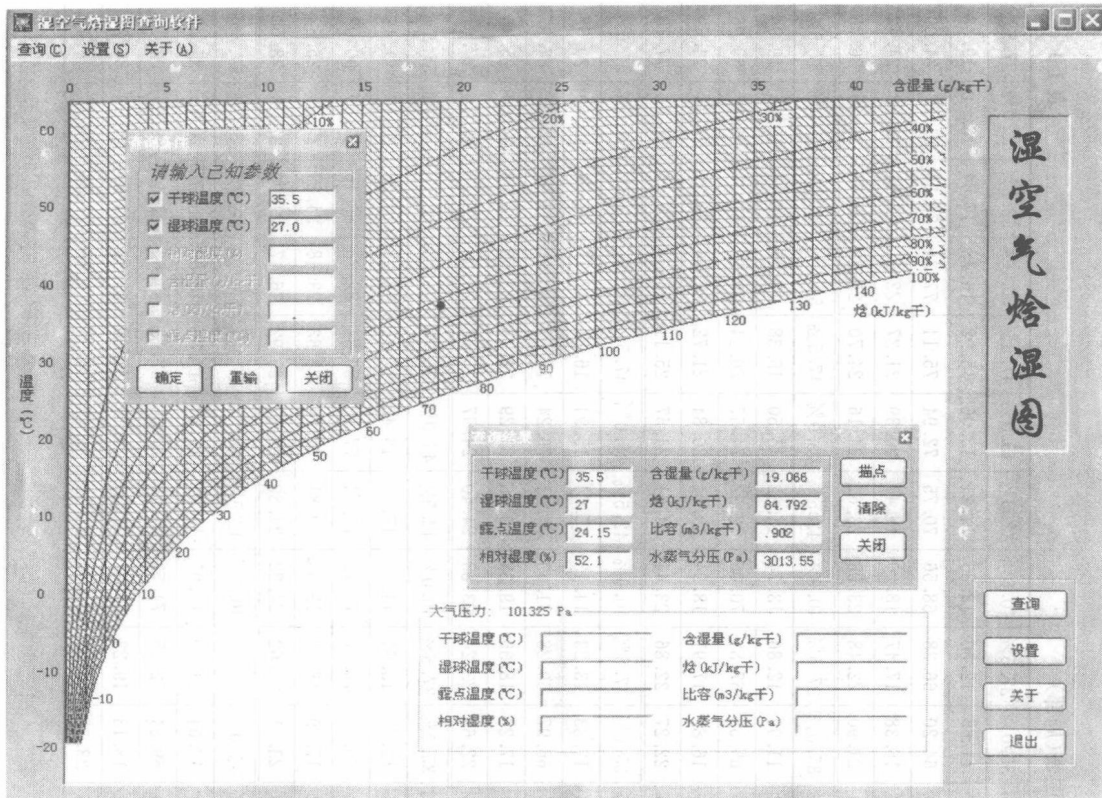


图 1-8 湿空气焓湿图 (电子版)

③ 湿空气的水蒸气分压力:

$$P_q = P_{qb} - A(t - t_s)P \quad \text{或} \quad t_s = t - (P_{qb} - P_q)/(A \cdot P) \quad (1-13)$$

式中 A ——可根据风速 v (m/s) 按下式求出:

$$A = \left(65 + \frac{6.75}{v}\right) \times 10^{-5} \quad \text{一般取 } A = 0.000667。$$

④ 湿空气的露点温度 t_1 :

• 当 $t_1 = 0 \sim 93^\circ\text{C}$ 时, $t_1 = c_{14} + c_{15}\alpha + c_{16}\alpha^2 + c_{17}\alpha^3 + c_{18} (P_q)^{0.1984}$ (1-14)

• 当 $t_1 < 0^\circ\text{C}$ 时, $t_1 = 6.09 + 12.608\alpha + 0.4959\alpha^2$ (1-15)

式中 $c_{14} = 6.54$; $c_{15} = 14.526$; $c_{16} = 0.7389$; $c_{17} = 0.09486$; $c_{18} = 0.4569$;
 $\alpha = \ln P_q$ 。

⑤ 湿空气的湿球温度 t_s ($^\circ\text{C}$) 可近似用下式计算:

$$t_s = C \cdot \varphi + D \cdot t \quad (1-16)$$

式中 φ ——空气的相对湿度, %;

t ——空气的干球温度, $^\circ\text{C}$;

C 、 D ——计算系数, 见表 1-2。

计算系数 C、D

表 1-2

φ (%)	D ($^{\circ}\text{C} \cdot ^{\circ}\text{C}^{-1}$)	C ($^{\circ}\text{C}$)	φ (%)	D ($^{\circ}\text{C} \cdot ^{\circ}\text{C}^{-1}$)	C ($^{\circ}\text{C}$)
30	0.750256	-5.082366	70	0.928161	-2.536432
40	0.811202	-4.740581	80	0.955048	-1.666897
50	0.858568	-4.131947	90	0.978813	-0.824302
60	0.896106	-3.342766	100	1.000000	0.000000

⑥ 湿空气的相对湿度:

$$\varphi = (P_q/P_{q,b}) \times 100\% \quad (1-17)$$

⑦ 湿空气的含湿量:

$$d = 622 \times \varphi P_b / (P - \varphi P_b) \quad (1-18)$$

⑧ 湿空气的比焓:

$$h = 1.01t + 0.001d(2500 + 1.84t) \quad (1-19)$$

⑨ 湿空气的密度:

$$\rho = 0.003484P_g/T - 0.00134P_q/T \quad (1-20)$$

⑩ 100℃以下水面上水蒸气的压力值按下列公式计算:

$$L_{gp} = 28.59051 - 8.21g(t + 273.16) + 0.0024804 \times (t + 273.16) - 3142.31/(t + 273.16) \quad (1-21)$$

冰面上的水蒸气分压力值按下列公式计算:

$$L_{gp} = 10.5380997 - 2663.91/(t + 273.16) \quad (1-22)$$

(3) 湿空气焓湿图的应用

现将湿空气焓湿图的详细用途总结如下, 供设计人员参考。

1) 利用含湿图确定空气的状态点及参数, 例如:

① 根据夏季空调室外计算干球温度和湿球温度两个参数确定夏季室外空气状态点及其他参数。理论上, 空气湿球温度是在定压绝热条件下, 空气与水直接接触达到稳定热湿平衡时的绝热饱和温度, 也称为热力学湿球温度, 即可以理解为焓不变时, 空气加湿到饱和时的温度。因此, 可以根据夏季空调室外计算干球温度和湿球温度, 在焓湿图上求出夏季室外空气状态点 (见图 1-9)。

例如, 某地的当地大气压为 101325Pa, 夏季室外空气干球温度为 35.5℃, 湿球温度为 27.0℃, 试确定室外空气状态点 W 及其他参数。采用以下三种方法。

选用大气压为 101325Pa 的湿空气焓湿图 (见图 1-7), 根据干球温度 35.5℃ 和湿球温度 27.0℃ 确定室外空气状态点 W, 查图得到: 焓为 83.1kJ/kg、含湿量为 18.5g/kg、露点温度为 22.9℃、相对湿度为 52.1%。

查焓湿表 (见表 1-1) 得到: 焓为 85.16kJ/kg、含湿量为 19.22g/kg、露点温度为 24.29℃、相对湿度为 52.5%。

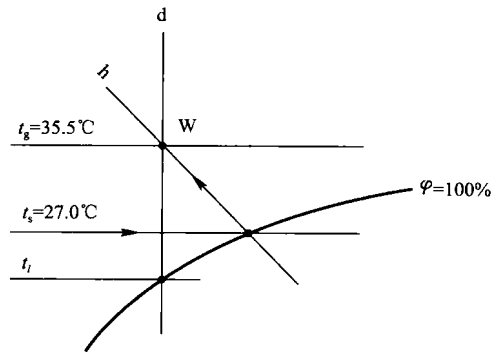


图 1-9 夏季室外空气状态参数