

92

高校建筑环境与设备工程学科专业指导委员会推荐教材

# 暖通空调

**Heating, Ventilating and Air Conditioning**

陆亚俊 马最良 邹平华 编著  
陆亚俊 主编  
赵荣义 主审

中国建筑工业出版社

## 图书在版编目 (CIP) 数据

暖通空调/陆亚俊主编. —北京: 中国建筑工业出版社, 2002

高校建筑环境与设备工程学科专业指导委员会推荐教材

ISBN 7-112-04850-8

I. 暖… II. 陆… III. ①采暖设备—高等学校—教材  
②通风设备—高等学校—教材③空气调节设备—高等学校—教材 IV. TU83

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 030161 号

本书为高等院校建筑环境与设备工程专业“暖通空调”课程的教材。

本书详细阐述了冷、热负荷计算, 各类采暖和空调系统、工业与民用建筑通风系统、建筑防排烟系统的工作原理和设计方法; 介绍了相关设备的结构与特点、系统运行调节方法和自动控制基本原理; 并介绍了一些特殊环境的控制技术和建筑节能基本概念。本书也充分反映了近年来暖通空调领域的新进展与新技术。

本书也可供从事采暖、通风、空调工作的工程技术人员与管理人员参考使用。

高校建筑环境与设备工程学科专业指导委员会推荐教材

## 暖通空调

### Heating, Ventilating and Air Conditioning

陆亚俊 马最良 邹平华 编著

陆亚俊 主编

赵荣义 主审

\*

中国建筑工业出版社出版 (北京西郊百万庄)

新华书店总店科技发行所发行

中国建筑工业出版社密云印刷厂印刷

\*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 24 ¼ 插页: 1 字数: 586 千字

2002 年 6 月第一版 2002 年 6 月第一次印刷

印数: 1—3000 册 定价: 38.00 元

ISBN 7-112-04850-8

TU·4327 (10329)

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.china-abp.com.cn>

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

# 前 言

1997年教育部对本科专业目录进行了调整,在原“供热、供燃气、通风与空调工程”专业的基础上组建了“建筑环境与设备工程”专业。新专业拓宽了专业面,明确了专业服务对象和学科基础。根据全国建筑环境与设备工程专业指导委员会拟订的本科教学计划的框架,“暖通空调”是主要专业课程之一,它涵盖了原三门专业课——供热工程、通风工程和空气调节工程的主要内容,主要阐述创造和维持建筑热、湿、空气品质环境的技术。

本课程的主要专业基础课是建筑环境学、热质交换原理与设备、流体输配管网等。本教材力图在紧密联系上述课程的基本理论的基础上,系统地阐明采暖、通风与空调技术的基本原理与应用,并能反映出这门技术当代的发展水平。以使学生在学完本课程,并辅以一定的实践环节训练后,能具有一般建筑的采暖、通风、空调系统的设计与管理的初步能力。本课程并非原“供热工程”、“通风工程”和“空气调节”三门课程主要内容的简单叠加,它有着自己的体系。本书内容按控制对象分两大部分——对建筑热、湿环境进行调节与控制;对建筑环境的污染物进行控制。前一部分将根据承担建筑内热、湿负荷的介质进行分类,依次编排章节。本书的特点有:(1)对建筑环境的控制大多是由一个系统来实现的,而不只是某个设备来实现的,因此本课程基本内容都按“系统”进行组合。(2)主要的暖通空调设备原则上都归入相应系统的章节中介绍,其中换热设备的热工计算方法应参考“热质交换原理与设备”,本书原则上不再进行介绍了。(3)调节与控制融入相应系统的章节中,既有利于学生理解调节与控制的基本原理,又使学生对系统有完整的概念。(4)暖通空调是能源消耗大户,本书不仅在相关章节中,而且单独设章,贯彻节约能源、保护环境和可持续发展的理念。(5)本书对最基本、常用的系统做了比较深入的分析与介绍,以达到以点带面的作用;同时也尽量反映本学科新进展与新技术。(6)本书尝试采用新的符号系统,大部分的符号及注释性的下脚标采用了英语名称的缩写字母,凡是符号上部有“·”表示是单位时间的量。

本书由陆亚俊、马最良、邹平华合编,陆亚俊担任主编。具体分工为:第1、6、8、10、11、12、14、15章和13.12、13.13节由陆亚俊编写,第2、7、9章和5.5、13.1、13.3、13.4、13.5、13.11节由马最良编写,第3、4章和5章的5.1~5.4及13.2、13.6、13.7、13.8、13.9、13.10节由邹平华编写。

本书承清华大学赵荣义教授细致审阅,得到多方面的指正,谨致谢意。

本书编写过程中得到院、系、教研室和同仁们的支持;研究生唐晓健、高井刚、于丹、李本强、孙丽颖、梁雪梅等同学为本书成稿做了很多辅助性工作,对此谨致谢意。

由于时间仓促,作者水平有限,难免有错误和不妥之处,恳请批评指正。

哈尔滨工业大学  
陆亚俊 马最良 邹平华  
2002年1月于哈尔滨

# 目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 采暖通风与空气调节的含义	1
1.2 采暖通风与空气调节系统的工作原理	2
1.3 采暖通风与空气调节系统的分类	3
1.4 采暖通风与空调技术的发展概况	6
参考文献	8
第 2 章 热负荷、冷负荷与湿负荷计算	9
2.1 室内外空气计算参数	9
2.2 冬季建筑的热负荷	12
2.3 夏季建筑围护结构的冷负荷	14
2.4 室内热源散热引起的冷负荷	17
2.5 湿负荷	20
2.6 新风负荷	21
2.7 空调室内的冷负荷与制冷系统的冷负荷	22
2.8 计算举例	24
参考文献	30
第 3 章 全水系统	31
3.1 全水系统概述	31
3.2 全水系统的末端装置	33
3.3 热水采暖系统的分类与特点	44
3.4 高层建筑热水采暖系统	48
3.5 分户热计量采暖系统	51
3.6 热水采暖系统的作用压头	53
3.7 热水采暖系统的水力计算	62
3.8 热水采暖系统的失调与调节	67
3.9 全水风机盘管系统	71
参考文献	74
第 4 章 蒸汽系统	75
4.1 概述	75
4.2 蒸汽采暖系统	77
4.3 蒸汽在通风与空调系统中的应用	84
4.4 蒸汽采暖系统专用设备	86
参考文献	93

第 5 章 辐射采暖与辐射供冷 .....	94
5.1 辐射采暖(供冷)的定义与辐射板的分类 .....	94
5.2 辐射采暖系统 .....	97
5.3 辐射采暖系统的设计计算 .....	101
5.4 电热膜辐射采暖 .....	104
5.5 辐射供冷 .....	105
参考文献 .....	107
第 6 章 全空气系统与空气—水系统 .....	109
6.1 全空气系统与空气—水系统的分类 .....	109
6.2 全空气系统的送风量和送风参数的确定 .....	110
6.3 空调系统的新风量 .....	112
6.4 定风量单风道空调系统 .....	114
6.5 定风量单风道空调系统的运行调节 .....	120
6.6 定风量双风道空调系统 .....	127
6.7 变风量空调系统 .....	130
6.8 全空气系统中的空气处理机组 .....	134
6.9 空气—水风机盘管系统 .....	138
6.10 诱导器系统 .....	142
6.11 空气—水辐射板系统 .....	145
6.12 空调系统的自动控制 .....	146
6.13 空调系统的选择与划分原则 .....	150
参考文献 .....	152
第 7 章 冷剂式空调系统 .....	153
7.1 冷剂式空调系统的特点 .....	153
7.2 空调机组的分类 .....	154
7.3 房间空调器 .....	155
7.4 单元式空调机组 .....	157
7.5 变制冷剂流量系统—VRV 系统 .....	161
7.6 水环热泵空调系统 .....	165
7.7 机组系统的适用性 .....	171
参考文献 .....	172
第 8 章 工业与民用建筑的通风 .....	173
8.1 工业与民用建筑中的污染物 .....	173
8.2 室内空气品质的评价与必需的通风量 .....	177
8.3 全面通风和稀释方程 .....	179
8.4 全面通风系统 .....	183
8.5 局部通风与事故通风 .....	186
8.6 排风罩 .....	188
8.7 空气幕 .....	193

8.8	自然通风基本原理	196
8.9	热车间的自然通风和隔热	201
8.10	通风房间的空气平衡和热平衡	203
8.11	改善室内空气品质的综合措施	205
	参考文献	207
<b>第9章</b>	<b>悬浮颗粒与有害气体净化</b>	<b>208</b>
9.1	工业建筑的除尘系统	208
9.2	悬浮颗粒分离机理和设备分类	211
9.3	除尘器与空气过滤器的技术性能指标	213
9.4	空气过滤器	216
9.5	袋式除尘器	219
9.6	重力除尘器和惯性除尘器	222
9.7	旋风除尘器	224
9.8	湿式除尘器	229
9.9	电除尘器	231
9.10	有害气体的吸收设备和吸附设备	236
	参考文献	243
<b>第10章</b>	<b>室内气流分布</b>	<b>244</b>
10.1	对室内气流分布的要求与评价	244
10.2	送风口和回风口	247
10.3	典型的气流分布模式	249
10.4	室内气流分布的设计计算	252
	参考文献	258
<b>第11章</b>	<b>民用建筑火灾烟气的控制</b>	<b>259</b>
11.1	建筑火灾烟气的特性及烟气控制的必要性	259
11.2	火灾烟气的流动规律与控制原则	260
11.3	自然排烟	263
11.4	机械排烟	264
11.5	加压防烟	267
11.6	加压防烟系统的几个问题分析	272
	参考文献	275
<b>第12章</b>	<b>特殊建筑环境的控制技术</b>	<b>276</b>
12.1	洁净室与生物洁净室的基本概念	276
12.2	洁净室和生物洁净室的空调系统	278
12.3	恒温恒湿空调	282
12.4	除湿系统	284
12.5	低温空调系统	288
	参考文献	289
<b>第13章</b>	<b>冷热源、管路系统及消声隔振</b>	<b>290</b>

13.1	冷热源的种类与组合方式	290
13.2	采暖系统与热源或室外管网的连接	293
13.3	空调水系统形式	296
13.4	空调水系统的典型图式	298
13.5	空调水系统的分区	300
13.6	水系统的定压及其设备	302
13.7	循环水泵的选择	309
13.8	管道热应力及热补偿	311
13.9	管道与设备的保温与隔热	312
13.10	管路附件及器具	315
13.11	暖通空调水系统的水质管理	321
13.12	空调、通风系统的消声	324
13.13	隔振与设备房的噪声控制	328
	参考文献	331
<b>第 14 章</b>	<b>建筑节能</b>	<b>332</b>
14.1	建筑、暖通空调与能源	332
14.2	建筑节能综合性措施的分析	333
14.3	太阳能在建筑中的应用	336
14.4	蒸发冷却在空调中的应用	340
14.5	地下水及其他可再生能源在建筑中的应用	343
14.6	建筑中的热回收	345
14.7	冷热源系统的节能	349
	参考文献	351
<b>第 15 章</b>	<b>暖通空调技术的应用</b>	<b>352</b>
15.1	暖通空调设计概述	352
15.2	住宅建筑	353
15.3	商场	354
15.4	餐饮厅	356
15.5	体育休闲俱乐部	357
15.6	办公楼	359
	参考文献	360
<b>附录</b>		<b>361</b>
附录 2-1	部分城市室外气象参数	361
附录 2-2	屋面构造类型	362
附录 2-3	外墙结构类型	363
附录 2-4	外墙冷负荷计算温度	364
附录 2-5	屋面冷负荷计算温度	364
附录 2-6	I ~ IV 型结构地点修正值	365
附录 2-7	单层窗玻璃的 $K_w$ 值	365

附录 2-8	双层窗玻璃的 $K_w$ 值	366
附录 2-9	玻璃窗传热系数的修正值	366
附录 2-10	玻璃窗冷负荷计算温度	366
附录 2-11	玻璃窗的地点修正值	367
附录 2-12	夏季各纬度带的日射得热因数最大值	367
附录 2-13	窗玻璃的 $C_s$ 值	367
附录 2-14	窗内遮阳设施的遮阳系数	367
附录 2-15	窗的有效面积系数值	367
附录 2-16	北区无内遮阳窗玻璃冷负荷系数	368
附录 2-17	北区有内遮阳窗玻璃冷负荷系数	368
附录 2-18	南区无内遮阳窗玻璃冷负荷系数	369
附录 2-19	南区有内遮阳窗玻璃冷负荷系数	369
附录 2-20	有罩设备和用具显热散热冷负荷系数	370
附录 2-21	无罩设备和用具显热散热冷负荷系数	370
附录 2-22	照明散热冷负荷系数	371
附录 2-23	人体显热散热冷负荷系数	371
附录 5-1	铝塑管的水力计算表	372
附录 5-2	铝塑管连接部件及管道的局部阻力系数表	376
附录 5-3	明设水平铝塑管的供热量	377
附录 5-4	明设垂直铝塑管的供热量	377
附录 6-1	湿空气焓湿图	插页



# 第 1 章 绪 论

## 1.1 采暖通风与空气调节的含义

建筑是人们生活与工作的场所。现代人类大约有五分之四的时间在建筑物中度过。人们已逐渐认识到，建筑环境对人类的寿命、工作效率、产品质量起着极为重要的作用。人类从穴居到居住现代建筑的漫长发展道路上，始终不懈地改善室内环境，以满足人类自身生活、工作对环境的要求，和满足生产、科学实验对环境的要求。人们对现代建筑的要求，不只有挡风遮雨的功能，而且还应是一个温湿度宜人、空气清新、光照柔和、宁静舒适的环境。生产与科学实验对环境提出了更为苛刻的条件，如计量室或标准量具生产环境要求温度恒定（称恒温），纺织车间要求湿度恒定（称恒湿），有些合成纤维的生产要求恒温恒湿，半导体器件、磁头、磁鼓生产要求对环境中的灰尘有严格的控制，抗菌素生产与分装、大输液生产、无菌实验动物饲养等要求无菌环境，等等。这些人类自身对环境的要求和生产、科学实验对环境的要求导致了建筑环境控制技术的产生与发展，并且已形成了一门独立的学科。建筑环境学中指出，建筑环境由热湿环境、室内空气品质、室内光环境和声环境所组成。采暖通风与空气调节是控制建筑热湿环境和室内空气品质的技术，同时也包含对系统本身所产生噪声的控制。

采暖、通风和空气调节这三部分是在长期的发展过程中自然形成的。虽然同为建筑环境的控制技术，但它们所控制的对象与功能有所不同，它们分别为：

采暖（Heating）——又称供暖，是指向建筑物供给热量，保持室内一定温度。这是人类最早发展起来的建筑环境控制技术。人类自从懂得利用火以来，为抵御寒冷对生存的威胁，发明了火炕、火炉、火墙、火地等采暖方式，这是最早的采暖设备与系统，有的至今还被应用。发展到今天，采暖设备与系统，在对人的舒适感和卫生、设备的美观和灵巧、系统和设备的自动控制、系统形式的多样化、能量的有效利用等方面都有着长足的进步。

通风（Ventilating）——用自然或机械的方法向某一房间或空间送入室外空气，和由某一房间或空间排出空气的过程，送入的空气可以是处理的，也可以是不经处理的<sup>[1]</sup>。换句话说，通风是利用室外空气（称新鲜空气或新风）来置换建筑物内的空气（简称室内空气）以改善室内空气品质。通风功能主要有：（1）提供人呼吸所需要的氧气；（2）稀释室内污染物或气味；（3）排除室内工艺过程产生的污染物；（4）除去室内多余的热量（称余热）或湿量（称余湿）；（5）提供室内燃烧设备燃烧所需的空气。建筑中的通风系统，可能只完成其中的一项或几项任务。其中利用通风除去室内余热和余湿的功能是有限的，它受室外空气状态的限制。

空气调节（Air Conditioning）——实现对某一房间或空间内的温度、湿度、洁净度和空气流动速度等进行调节与控制，并提供足够量的新鲜空气。空气调节简称空调。空调可

以实现对建筑热湿环境、空气品质全面进行控制，或是说它包含了采暖功能和通风的部分功能。实际应用中并不是任何场合都需要用空调对所有的环境参数进行调节与控制，例如，寒冷地区，有些建筑只需采暖；又如有些生产场所，只需用通风对污染物进行控制，而对温湿度并无严格要求。尤其是利用自然通风来消除室内余热余湿，可以大大减少能量消耗和设备费用，应尽量优先采用。

作为建筑环境控制技术的采暖、通风与空气调节三个分支，既有不同点，又有共同点。他们经常被联系在一起。缩写 HVAC (Heating, Ventilating and Air Conditioning) 已为世界上业内人士所熟知。采暖、通风与空气调节习惯上简称为“暖通空调”。

## 1.2 采暖通风与空气调节系统的工作原理

采暖通风与空气调节如何实现对建筑室内环境控制呢？下面将通过典型例子来说明它的工作原理。图 1-1 分别表示对民用建筑与工业建筑室内环境进行控制的基本方法。在夏季，民用建筑(如图中(a))中的人员、照明灯具、电器和电子设备(如饮水机、电视机、VCD 机、音响、计算机、复印机等)都要向室内散出热量及湿量，由于太阳辐射和室内外的温差而使房间获得热量，如果不把这些室内多余热量和湿量从室内移出，必然导致室内温度和湿度升高。在冬季，建筑物将向室外传出热量或渗入冷风，如不向房间补充热量，必然导致室内温度下降。因此，为了维持室内温湿度，在夏季必须从房间内移出热量和湿量，称为冷负荷和湿负荷；在冬季必须向房间供给热量，称之为热负荷。在民用建筑中，人群不仅是室内的“热、湿源”，又是“污染源”，他们产生 CO<sub>2</sub>、体味，吸烟时散发烟雾；室内的家具、装修材料、设备(如复印机)等也散发出各种污染物，如甲醛、甲苯、甚至放射性物质，从而导致室内空气品质恶化。为了保证室内良好的空气品质，通常需要用排走室内含污染物的空气，并向室内供应清洁的室外空气的通风办法来稀释室内污染物。采暖通风与空气调节的任务就是要向室内提供冷量或热量，并稀释室内的污染物，以保证室内具有适宜的热舒适条件和良好的空气品质。采暖通风和空调的系统有多种形式，图 1-1(a)中对建筑室内环境的控制方案是：给房间送入一定量的室外空气(新风)，同时必有等量的室内空气通过门窗缝隙渗到室外，从而稀释了污染物；用风机盘管机组(由风机和水/空气换热器——盘管组成)向房间供应冷量(当室内有冷负荷时)，或供应热量(当冬季室内有热负荷时)；送入室内的新风先经空气过滤器除去尘粒，并经冷却、去湿(夏季)或加热、加湿(冬季)处理，因此新风系统同时也承担了部分冷、热负荷。

对于工业建筑，一般的厂房空间大、人员密度小，如夏季全面对厂房内温、湿度进行控制，其能耗和费用很高，因此，除了一些特殊的生产工艺的车间或热车间外，一般夏季不考虑对整个车间进行温、湿度控制。在冬季，在温暖地区的厂房，也不向室内供热以保持室内一定温度。但在厂房中，许多工艺设备散出对人体有害的气体、蒸气、固体颗粒等污染物，为保证工作人员的身体健康，必须对这些污染物进行治理，如设置排除污染物的排风系统(参见图 1-1(b))，同时必须有等量的新风进入室内，这些新风可以从门、窗渗入，也可以设置新风系统供入，或两者兼而有之，从而使厂房内的污染物浓度达到标准或规范所允许的浓度。新风一般只需经过滤即可。但在寒冷地区，冬季还需对新风进行加热，并且在车间内设采暖系统，以使厂房内保持一定的温度。车间内采暖系统和新风加热

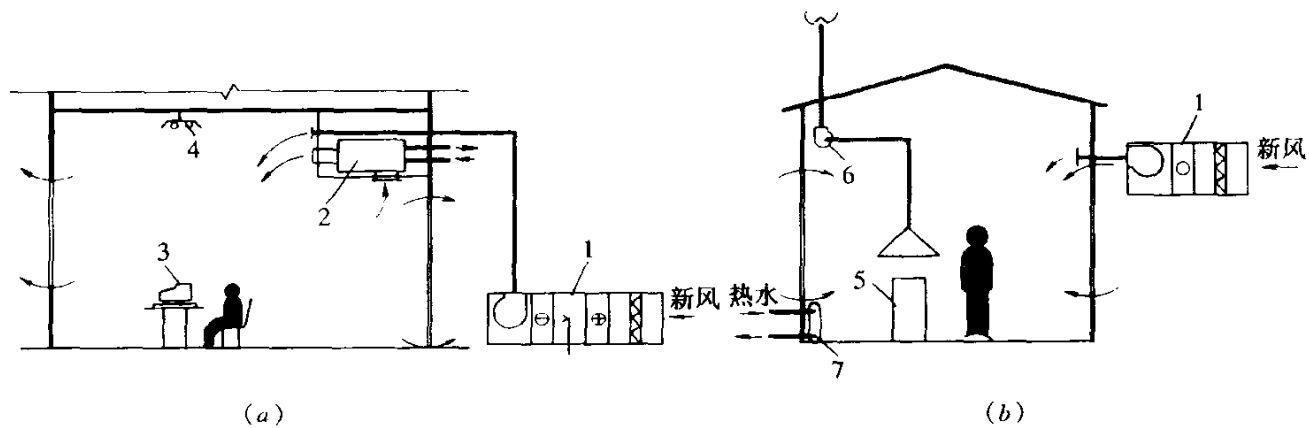


图 1-1 民用建筑和工业建筑的采暖通风和空调系统

(a) 民用建筑; (b) 工业建筑

1—新风的空气处理机组; 2—风机盘管机组; 3—电器和电子设备;  
4—照明灯具; 5—工艺设备; 6—排风风机及排风系统; 7—散热器

用的热媒可以是热水或蒸汽。

从上述两个例子可以看到, 采暖通风与空气调节的工作原理是, 当室内得到热量或失去热量时, 则从室内取出热量或向室内补充热量, 使进出房间的热量相等, 即达到热平衡, 从而保持室内一定温度; 或使进出房间的湿量平衡, 以保持室内一定湿度; 或从室内排出污染空气, 同时补入等量的清洁空气 (经过处理或不经处理的), 即达到空气平衡。进出房间的空气量、热量以及湿量总会自动的达到平衡。任何因素破坏这种平衡, 必将导致室内状态 (温度、湿度、污染物浓度、室内压力等) 的变化, 并将在新的状态下达到新的平衡。例如, 在冬季, 当室外温度下降, 房间向外传热量 (失热量) 增加, 如果这时向房间的供热量 (得热量) 保持不变, 则房间失热量大于得热量, 破坏了原来的平衡状态, 必然导致室内温度下降。随着室内温度下降, 房间失热量减少; 当室温下降到某一值时, 房间的失热量与得热量相等, 又达到了新的平衡, 但这时室内状态改变 (室温下降) 了。自动达到平衡时的室内状态往往偏离人们所希望的状态。因而所设置的采暖通风与空调系统必须能够控制进 (或出) 房间的热量、湿量和空气量, 以在所希望的室内状态范围内实现热湿量和空气量的动态平衡。另外, 空气量、热量和湿量平衡之间是互有联系的。例如, 当空气平衡发生变化时, 由于随着空气进入和排出房间, 同时伴随着热量和湿量进出房间, 因此也影响了房间的热量平衡和湿量平衡。

采暖通风与空气调节系统由于它控制对象不同、要求不同、所用的方法不同、承担冷热负荷的介质不同等等, 可以分成很多形式。本书将在以后章节中介绍各种系统的基本组成、设备特点、工作原理、设计要点等内容。

### 1.3 采暖通风与空气调节系统的分类

严格分类通常是不可能的, 我们只能根据主要属性来大致分类。本节只分大类, 更细的分类将在相应的章节中叙述。

#### 1.3.1 按对建筑环境控制功能分类

可以分两大类:

(1) 以建筑热湿环境为主要控制对象的系统——主要控制对象为建筑物室内的温湿度，属于这类系统的有空调系统（如图 1-1 (a) 的系统）和采暖系统。

(2) 以建筑内污染物为主要控制对象的系统——主要控制建筑室内空气品质，如通风系统（如图 1-1 (b) 的系统）、建筑防烟排烟系统等。

上述两大类的控制对象和功能互有交叉。如以控制建筑室内空气品质为主要任务的通风，有时也可以有采暖功能，或除去余热和余湿的功能；而以控制室内热湿环境的空调也具有控制室内空气品质的功能。

### 1.3.2 按承担室内热负荷、冷负荷和湿负荷的介质分类

以建筑热湿环境为主要控制对象的系统，根据承担建筑环境中的热负荷、冷负荷和湿负荷的介质不同分为五类。

(1) 全水系统——全部用水承担室内的热负荷和冷负荷。当为热水时，向室内提供热量，承担室内的热负荷，目前常用的热水采暖即为此类系统；当为冷水（常称冷冻水）时，向室内提供制冷量，承担室内冷负荷和湿负荷。

(2) 蒸汽系统——以蒸汽为介质，向建筑供应热量。可直接用于承担建筑物的热负荷。例如蒸汽采暖系统、以蒸汽为介质的暖风机系统等；也可以用于空气处理机组中加热、加湿空气；还可以用于全水系统或其他系统中的热水制备或热水供应的热水制备。

(3) 全空气系统——以空气为介质，向室内提供冷量或热量。例如全空气空调系统，它向室内提供经处理的冷空气以除去室内显热冷负荷和潜热冷负荷，在室内不再需要附加冷却。

(4) 空气-水系统——以空气和水为介质，共同承担室内的负荷。例如以水为介质的风机盘管向室内提供冷量或热量，承担室内部分冷负荷或热负荷，同时有一新风系统向室内提供部分冷量或热量，而又满足室内对室外新鲜空气的需要，图 1-1 (a) 就是这样的系统。

(5) 冷剂系统——以制冷剂为介质，直接用于对室内空气进行冷却、去湿或加热。实质上，这种系统是用带制冷机的空调器（空调机）来处理室内的负荷，所以这种系统又称机组式系统。

### 1.3.3 按空气处理设备的集中程度分类

以建筑热湿环境为主要控制对象的系统，又可以按对室内空气处理设备的集中程度来分类，有以下三类：

(1) 集中式系统——空气集中于机房内进行处理（冷却、去湿、加热、加湿等），而房间内只有空气分配装置。目前常用的全空气系统中大部分是属于集中式系统；机组式系统中，如果采用大型带制冷机的空调机，在机房内，集中对空气进行冷却去湿或加热，这也属于集中式系统。集中式系统需要在建筑物内占用一定机房面积，控制、管理比较方便。

(2) 半集中式系统——对室内空气处理（加热或冷却、去湿）的设备分设在各个被调节和控制的房间内，而又集中部分处理设备，如冷冻水或热水集中制备或新风进行集中处理等，图 1-1 (a) 的系统就属于半集中式系统。全水系统、空气-水系统、水环热泵系

统（见 7.6）、变制冷剂流量系统（见 7.5）都属这类系统。半集中式系统在建筑中占用的机房少，可以容易满足各个房间各自的温湿度控制要求，但房间内设置空气处理设备后，管理维修不方便，如设备中有风机，还会给室内带来噪声。

(3) 分散式系统——对室内进行热湿处理的设备全部分散于各房间内，如家庭中常用的房间空调器、电采暖器等都属于此类系统。这种系统在建筑内不需要机房，不需要进行空气分配的风道，但维修管理不便，分散的小机组能量效率一般比较低，其中制冷压缩机、风机会给室内带来噪声。

### 1.3.4 空调系统按用途分类

以建筑热湿环境为主要控制对象的空调系统，按其用途或服务对象不同可分为两类：

(1) 舒适性空调系统——简称舒适空调，为室内人员创造舒适健康环境的空调系统。舒适健康的环境令人精神愉快，精力充沛，工作学习效率提高，有益于身心健康。办公楼、旅馆、商店、影剧院、图书馆、餐厅、体育馆、娱乐场所、候机或候车大厅等建筑中所用的空调都属于舒适空调。由于人的舒适感在一定的空气参数范围内，所以这类空调对温度和湿度波动的控制，要求并不严格。

(2) 工艺性空调系统——又称工业空调，为生产工艺过程或设备运行创造必要环境条件的空调系统，工作人员的舒适要求有条件时可兼顾。由于工业生产类型不同、各种高精度设备的运行条件也不同，因此工艺性空调的功能、系统形式等差别很大。例如，半导体元器件生产对空气中含尘浓度极为敏感，要求有很高的空气净化程度；棉纺织布车间对相对湿度要求很严格，一般控制在 70%~75%；计量室要求全年基准的温度为 20℃，波动  $\pm 1^\circ\text{C}$ ，高等级的长度计量室要求  $20 \pm 0.2^\circ\text{C}$ ，I 级坐标镗床要求环境温度为  $20 \pm 1^\circ\text{C}$ ；抗生素生产要求无菌条件，等等。

### 1.3.5 以建筑内污染物为主要控制对象的分类

#### 1.3.5.1 按用途分类

(1) 工业与民用建筑通风——以治理工业生产过程和建筑中人员及其活动所产生的污染物为目标的通风系统。

(2) 建筑防烟和排烟——以控制建筑火灾烟气流动，创造无烟的人员疏散通道或安全区的通风系统。

(3) 事故通风——排除突发事件产生的大量有燃烧、爆炸危害或有毒害的气体、蒸气的通风系统。

#### 1.3.5.2 按通风的服务范围分类

(1) 全面通风——向某一房间送入清洁新鲜空气，稀释室内空气中的污染物的浓度，同时把含污染物的空气排到室外，从而使室内空气中污染物的浓度达到卫生标准的要求。这种通风也称为稀释通风。

(2) 局部通风——控制室内局部地区的污染物的传播或控制局部地区的污染物浓度达到卫生标准要求的通风。局部通风又分为局部排风和局部送风。

#### 1.3.5.3 按空气流动的动力分类

(1) 自然通风——依靠室外风力造成的风压或室内外温度差造成的热压使室外新鲜空

气进入室内，室内空气排到室外。一些热车间有大量的余热，用通风的方法消除余热所需要的空气量大，通常是借助自然通风来实现。这种通风方式比较经济，不耗能量，但受室外气象参数影响很大，可靠性差。

(2) 机械通风——依靠风机的动力来向室内送入空气或排出空气。这是一种常用的通风系统。系统工作的可靠性高，但需要消耗一定能量。

## 1.4 采暖通风与空调技术的发展概况

采暖通风可以说有着悠久的历史。西安半坡遗址，发现有长方形灶炕，屋顶有小孔用以排烟，还有双连灶形的火炕，这就是说在新石器时代仰韶时期就有了火炕采暖。夏、商、周时代就有了火炉采暖。从发掘的古墓中发现，汉代就有了用烟气作介质的采暖设备。北京故宫中还完整地保留着火地采暖系统，也可以说以烟气作介质的辐射采暖。目前北方农村中还普遍应用着古老的采暖设备与系统——火炉、火墙和火炕。自然通风在古代已经被利用，如在古建筑的布局上利用穿堂风；利用气楼进行自然通风等。早在秦、汉年间，我国就有了以天然冰作冷源对房间进行冷却的“空调房间”，据《艺文志》记载：“大秦国有五宫殿，以水晶为柱拱，称水晶宫，内实以冰，遇夏开放。”

尽管我们古老文明也创造了采暖通风空调的应用技术，但是现代意义上的采暖通风空调技术的起源在西方。1673年英国工程师发明了热水在管内流动以加热房间，这是热水采暖的雏形；接着在1716年把热水采暖用于温室，1777年法国人把热水采暖用于房间。1784年在英国的工厂和公共建筑中应用蒸汽采暖。1904年在纽约建成斯托克斯交易所空调系统（制冷量450冷吨，即1406kW），同一时间在德国一剧院建成类似的空调系统。1911年美国开利（Carrier, W. H.）博士发表了湿空气的热力参数计算公式<sup>[2][3]</sup>，而后形成了现在广为应用的湿空气焓湿图，使得空调的计算更为合理。到1940年全美国制冷机总安装功率 $5 \times 10^6$  kW中有16%用于空调。而今天在发达国家中，“空调”一词已被一般人所了解，家用空调器在家庭中应用已相当普及，1996年日本销售家用空调器811.6万台。美国家用空调器销量一直保持在280~560万台/年；欧洲150~160万台/年。

现代的采暖通风空调技术在我国是近几十年发展起来的。在1949年前，只有在大城市的高级建筑物中才有采暖系统或空调的应用，设备都是舶来品。上海大光明影院是最早用集中空调系统的建筑物，建于1931年，采用离心式冷水机组。那时采暖通风空调系统的设备制造基本上是空白，只有一些修造厂。

新中国成立后，采暖通风与空调技术才得到迅速的发展。在20世纪50年代，迎来了工业建筑第一次高潮，前苏联援建了156项工程，同时带进了前苏联的采暖通风与空调技术和设备。这时建设在东北、西北、华北的厂房、工厂辅助建筑、职工住宅宿舍、职工医院、俱乐部等都采用了集中的采暖系统（大多是蒸汽采暖）。一些大型企业（如第一汽车厂）还采用了热电联供。但是，由于经济的原因，当时新建的住宅中还大量采用了经改进的火炉、火墙、火炕等烟气采暖系统。污染严重车间都装有除尘系统、机械排风和进风系统；高温车间的厂房设计考虑了自然通风。工艺性空调也得到了发展，例如在大工厂中都建有恒温恒湿的计量室，纺织工厂设有以湿度控制为主的空调系统。在这段时期建立了采暖、通风和制冷设备的制造厂，主要是仿制前苏联产品，生产所需的采暖通风产品，如暖

风机、空气加热器、除尘器、过滤器、通风机、散热器、锅炉、制冷压缩机及辅助设备。当时基本上没有空调产品和专门为空调用的制冷设备。为了培养采暖通风空调技术方面的人才，相继在八所院校设置了“供热、供燃气与通风”专业，完全按前苏联的模式进行培养。

20世纪60~70年代，我国经济建设走“独立自主，自力更生”的发展道路，从而形成了采暖通风空调技术发展的时代特点。从仿制前苏联产品转向自主开发。这段时期热水采暖得到快速的发展，过去采用的蒸汽采暖系统逐步被热水采暖所代替。城镇采暖的集中供热发展也很快。70年代末，东北、西北、华北地区集中供热面积已达1124.8万 $\text{m}^2$ 。这时期电子工业发展迅速，从而促进了洁净空调系统的发展，先后建成了十万级、万级、100级（即每立方英尺中含有 $\geq 0.5\mu\text{m}$ 的灰尘不超过100个）的洁净室。舒适性空调也有一些应用，主要应用在高级宾馆、会堂、体育馆、剧场等公共建筑中。采暖通风与空调设备的制造业也有相应的发展。独立开发了我国自己设计的系列产品，如4-72-11通风机，SRL型空气加热器（钢管绕铝片），钢板或模压散热器，钢管串片散热器，各种类型除尘器等。由于热水采暖的发展也促进了热水锅炉产品的发展。1969年生产了我国第一台2.9MW热水锅炉，以后陆续有新的热水锅炉问世。而且还开发了汽水两用炉，满足工厂同时需要热水（采暖）和蒸汽（工艺用）的要求。在这段时期内，也开发了一些空调产品，如JW型组合式空调机、恒温恒湿式空调机、热泵型恒温恒湿式空调机、除湿机、专为空调用的活塞式冷水机组等。1975年颁布了《工业企业采暖通风和空气调节设计规范》(TJ 19—75)，从而结束了采暖通风与空调工程设计无章可循的历史。这一规范也体现了我国专业工作者的一部分研究成果。

20世纪80~90年代是采暖通风与空调技术发展最快的时期。这时期是我国经济转轨时期，为采暖通风与空调提供了广阔的市场，以空调来说，从原来主要服务对象工业转向民用。从南到北的星级宾馆都装有空调，最差的也装有分体式或窗式空调器。商场、娱乐场所、餐饮店、体育馆、高档办公楼中设空调已经很普遍了，而且空调器也陆续进入家庭。我国1995年房间空调器销售量480万台，2000年增加到1050万台，5年内增长了119%。而日本1995~1999年期间房间空调器销售量在709万~894万台内起伏变化<sup>[4]</sup>。“空调”一词对中国百姓来说也不再是陌生的了。

应用的增多，促进了采暖通风空调产业的发展。国际上一些知名品牌采暖通风空调设备公司纷纷到中国开办合资厂或独资厂。国内一些原有的专业生产厂经技术改造、引进技术或先进生产线，已成为行业中大型的骨干企业，同时也涌现了一些新的生产采暖通风空调设备的大型企业。产品的品种、规格与国际同步，大部分产品性能已达到国际同等产品的水平，有的产品生产量已在国际上名列前茅，例如，房间空调器2000年生产量已达到1400万台，产量已占世界首位。在这个行业中也涌现出了公认的著名品牌。

中国采暖通风与空调的市场潜力很大，预示着行业的发展前景远大。展望21世纪采暖通风与空调行业的发展，必将是一个稳步的可持续发展的道路。江泽民主席曾说“所谓可持续发展，就是既要考虑当前发展的需要，又要考虑未来发展的需要，不要以牺牲后代人的利益为代价来满足当代人的利益。”可持续性发展意味着资源持续利用、生态环境得到保护和社会均衡发展。其中能源是一项主要的资源，石油、燃气、煤炭等石化燃料都是不可再生的能源，那是需要经过几千万年甚至几亿年才能生成的。采暖通风与空调

是不可再生能源的消耗大户，同时也是直接或间接地影响着生态环境。我国 1995 年建筑采暖能耗已占总能耗的 10.7%，一些寒冷地区采暖能耗占了当地总能耗的一半以上。我国消耗的能源结构中，绝大部分是不可再生的石化燃料，主要是煤炭（约占总能耗的 75%）。因此采暖通风与空调的发展也意味着不可再生能源的消耗增长。不可再生能源的消耗，同时也污染了环境。燃料燃烧都会产生  $\text{CO}_2$ ，地球积累这些气体太多便产生温室效应，导致地球变暖，将会改变地球的生态环境。而煤炭燃烧还会产生烟尘、 $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_x$  等，都对大气环境造成污染。因此，采暖通风与空调在消耗不可再生能源的同时也间接的对环境造成污染。此外空调冷源使用的 CFC 和 HCFC，对地球平流层（离地球 20~25km）内的臭氧（ $\text{O}_3$ ）层有所破坏，这也是当前的全球环境问题之一。从事采暖通风与空调行业的人士，无论是从事研究、工程设计、系统管理、设备开发，都应该有可持续发展观，提高节能和环保意识，使我们从事的行业健康地发展。

### 参 考 文 献

- [1] ASHRAE Standard 62-1989. Ventilation for Acceptable Air Quality
- [2] Jordan, R. C., Priester, G. B. Refrigeration and Air Conditioning. Prentice-Hall, INC. 1956
- [3] 邱忠岳译. 世界制冷史. 中国制冷学会. 2001
- [4] 李宁, 李志浩. 房间空调器发展动态. 江苏制冷空调. 2001, (2): 1~4



## 第 2 章 热负荷、冷负荷与湿负荷计算

为了保持建筑物的热湿环境，在某一时刻需向房间供应的冷量称为冷负荷；相反，为了补偿房间失热需向房间供应的热量称为热负荷；为了维持房间相对湿度恒定需从房间除去的湿量称为湿负荷。

热负荷、冷负荷与湿负荷是暖通空调工程设计的基本依据，暖通空调设备容量的大小主要取决于热负荷、冷负荷与湿负荷的大小。因此，尽管空调负荷形成的原因、室内产热产湿量等问题在《建筑环境学》中已有阐述，但本章有必要从采暖通风与空调工程设计的角度，对热负荷、冷负荷与湿负荷的计算方法作一介绍。

热负荷、冷负荷与湿负荷的计算以室外气象参数和室内要求保持的空气参数为依据。

### 2.1 室内外空气计算参数<sup>[1]</sup>

#### 2.1.1 室外空气计算参数

室外空气计算参数是指现行的《采暖通风与空气调节设计规范》(GBJ 19—87) (简称《规范》) 中所规定的用于采暖通风与空调设计计算的室外气象参数。附录 2-1 中摘录了一些主要城市的室外计算参数。

室外空气计算参数取值的大小，将会直接影响室内空气状态和暖通空调费用。因此，设计规范中规定的室外空气计算参数是按全年有少数时间不保证室内温湿度标准而制定的。若室内温湿度必须全年保证时，需另行确定。

在暖通空调设计中，应根据不同负荷的计算，按现行规范选用不同的室外空气计算参数。室外空气计算参数主要有：

##### 1. 夏季空调室外计算干、湿球温度

《规范》规定，夏季空调室外计算干球温度取室外空气历年平均不保证 50h 的干球温度；夏季空调室外计算湿球温度取室外空气历年平均不保证 50h 的湿球温度（“不保证”系针对室外空气温度而言，下同）。这两个参数用于计算夏季新风冷负荷。

##### 2. 夏季空调室外计算日平均温度和逐时温度

夏季计算经建筑围护结构传入室内的热量时，应按不稳定传热过程计算。因此，必须已知夏季空调设计日的室外空气日平均温度和逐时温度。

夏季空调室外空气设计日的逐时温度 ( $t_{\tau}$ )，按下式确定：

$$t_{\tau} = t_{o,m} + \beta \Delta t_d \quad (2-1)$$

式中  $t_{o,m}$ ——夏季空调室外计算日平均温度，规范规定取历年平均不保证 5 天的日平均温度，℃；

$\beta$ ——室外空气温度逐时变化系数，按表 2-1 确定；