

供暖通风与空气调节

GONGNUAN TONGFENG YU KONGQI TIAOJIE

重庆大学出版社

主编 何天祺
主审 田胜元
编著 何天祺
康侍民
卢 军



TU83
H-788

建筑环境与设备工程系列教材

供暖通风与空气调节

何天祺 主 编

何天祺 康侍民 卢 军 编 著

重庆大学出版社

内容简介

本书是高等学校新组建“建筑环境与设备工程专业”的主干专业课教材。全书共分十一章,系统阐述建筑室内环境控制中的暖通空调理论与技术,充分吸收近年来国内外相关领域的最新科技成果,主要包括环境污染负荷分析,室内热湿环境、空气品质及声环境的控制原理与方法,暖通空调系统的设计、运行、调试、能源有效利用与节能以及建筑物防火排烟等内容。它具有信息量大、编排合理、论述清晰、新颖实用的特点,适宜用作全国高等学校各专业“暖通空调”类课程教材,对相关领域广大工程技术人员或教学、科研人员的知识更新也是十分有益的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

供暖通风与空气调节/何天祺主编. —重庆:重庆大学出版社,2002.2

建筑环境与设备工程系列教材

ISBN 7-5624-2495-0

I. 供... II. 何... III. ①建筑—采暖—高等学校—教材②建筑—通风—高等学校—教材③建筑—空气调节—高等学校—教材 IV. TU83

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 002863 号

建筑环境与设备工程系列教材

供暖通风与空气调节

何天祺 主编

何天祺 康侍民 卢 军 编著

责任编辑 袁 江 刘家凯

*

重庆大学出版社出版发行

新华书店经销

重庆大学建大印刷厂印刷

*

开本:787×1092 1/16 印张:19 字数:474 千

2002 年 3 月第 1 版 2002 年 3 月第 1 次印刷

印数:1—3 000

ISBN 7-5624-2495-0/TU·99 定价:25.00 元

序

建筑环境与设备工程专业是按新的教育思想,以原供热供燃气通风与空调工程专业为主,与建筑设备等专业一起整合拓宽的一个新专业。学生毕业后从事的主要工程领域是公用设备工程,执业身份是注册公用设备工程师。

公用设备工程是一幢建筑、一个城市、一个国家现代化程度的主要标志之一,是一个十分广阔而且正在不断发展扩大的工程领域。为了学生能在有限的时间内全面完成注册公用设备工程师所要求的专业教育,必须构建好建筑环境与设备工程专业学科体系。在全国高校建筑环境与设备工程学科专业指导委员会的组织与指导下,各高校合作开展教学改革,构建了建筑环境学和流体输配、传热传质等工程学原理与关键技术组成的学科平台,并编写出版了推荐教材。

建成学科平台之后,紧接着需要在平台上展开公用设备工程的技术体系。

本系列教材就是为了满足上述要求而组织编写的。其目标是充分利用学科平台,全面展开公用设备工程技术体系的教学,显著拓宽专业口径,增强学生驾驭工程技术的能力。

本系列教材的突出特点是内容体系上的创新。它特别注意与学科平台的联系,努力消除原专业课程中的重复现象,突出公用设备工程的主体技术,提高学时效率,有利教学改革。

本系列教材的编者既有教学经验又有工程实践经验,而且一直同时处于教学和工程第一线。他们在编写这套教材时,十分重视理论联系实际,重视引入最新工程技术成果。

通过本系列教材的学习,学生能够把握建筑环境与设备工程专业的学科体系;结合生产实习、课程设计和毕业设计等实践教学环节的训练,掌握工程技术问题的综合处理方法,达到注册公用设备工程师所要求的专业教育水平。

学生和工程技术人员,也可站在学科平台上,自学这套系列教材,掌握公用设备工程技术体系。

预祝本系列教材在编者、授课教师和学生的共同努力下,通过教学实践,获得进一步的完善和提高。

付祥利

前 言

《供暖通风与空气调节》是高等学校重新组建的建筑环境与设备工程专业的主干专业教材。它是按照建设部高等学校专业指导委员会的统一部署,根据新的教学计划与教学大纲,在作者长期教学、科研与工程应用知识积累的基础上,充分吸收国内外近年来本学科领域的最新科技成果,以全新的观念、全新的结构与内容编著而成。

本教材突出以人为本的宗旨和可持续发展战略观,围绕建筑物室内环境质量控制这一中心,全面、系统地讲述暖通空调理论与技术。全书共分 11 章,主要包括环境污染负荷分析,室内热湿环境、空气品质及声环境的控制原理与方法,暖通空调系统的设计、运行、调试、能源有效利用与节能以及建筑物防火排烟等内容,在负荷计算、设备选择与系统设计等主要环节均配置有适量例题与附录。鉴于它具有信息量大、编排合理、论述清晰、新颖实用的特点,适宜用作全国高等学校各专业“暖通空调”类课程教材;对于相关领域广大工程技术人员或教学、科研人员的知识更新也将是十分有益的参考书。

需要特别说明的是,本教材继承了传统专业理论中的许多精髓,其中部分公式、图表、附录或例题资料直接源于原统编教材及其他参考书籍。在现代暖通空调新理论、新技术方面,则主要借助国内外其他众多信息源,在此,本教材编著者谨向被引用了各种资料的原作者们一并致以深切的谢忱。

本教材由重庆大学何天祺担任主编,并承担第 1 章、第 2 章、第 3.1~3.5 节、第 5.1, 5.4, 5.5 节的编写工作,康侍民承担第 3.4 节、第 4 章、第 5.2, 5.3 节、第 9 章、第 10 章和第 11 章的编写工作,卢军承担第 6 章、第 7 章和第 8 章的编写工作。

本教材承重庆大学田胜元教授主审。在教材编写、出版过程中,全国高校建筑环境与设备工程学科专业指导委员会副主任、博士生导师付祥钊教授及教研室、重庆大学出版社等许多同志给予了多方的指导与关心,谨此表示衷心感谢。

鉴于本教材特定的创新要求,而作者学识水平有限,编写时间也颇显仓促,疏漏与不足之处诚望广大读者批评、指正。

编著者

2001.10. 于重庆

目 录

第 1 章 建筑环境控制与暖通空调	(1)
1.1 建筑环境控制的意义与简史	(1)
1.2 建筑环境控制的基本方法	(2)
1.3 建筑环境控制技术的发展趋势	(4)
第 2 章 室内空气环境污染源与负荷计算	(8)
2.1 热湿负荷与其他空气污染物	(8)
2.2 室内外空气计算参数	(11)
2.3 建筑供暖设计负荷计算	(17)
2.4 建筑供冷设计负荷计算	(26)
第 3 章 空气热湿处理过程与设备	(40)
3.1 空气热湿处理的依据与途径	(40)
3.2 用喷水室处理空气	(47)
3.3 用表面式换热器处理空气	(53)
3.4 其他加湿处理过程与设备	(67)
3.5 其他减湿处理过程与设备	(71)
3.6 其他加热处理过程与设备	(79)
第 4 章 空气净化与空气品质	(94)
4.1 空气净化的要求	(94)
4.2 空气颗粒状污染物的净化处理	(96)
4.3 空气的除臭、灭菌和离子化	(105)
4.4 室内空气品质及其评价	(107)
第 5 章 室内环境控制(暖通空调)系统	(112)
5.1 空气系统	(112)
5.2 水系统	(131)
5.3 蒸汽系统	(150)
5.4 冷剂系统	(159)
5.5 综合应用	(165)

第 6 章 室内气流组织与风口	(171)
6.1 送、回(排)风口气流流动的规律	(171)
6.2 送、回(排)风口与气流组织形式	(175)
6.3 气流组织设计计算	(179)
6.4 空气分布性能的评价	(184)
第 7 章 暖通空调系统的运行调节	(187)
7.1 室外空气状态变化时的运行调节	(187)
7.2 室内热湿负荷变化时的运行调节	(193)
7.3 变风量空调系统的运行调节	(198)
7.4 半集中式空调系统的运行调节	(200)
7.5 暖通空调系统的自动控制	(205)
第 8 章 暖通空调系统的节能技术	(212)
8.1 暖通空调节能的基本原理	(212)
8.2 暖通空调系统的节能措施	(216)
第 9 章 暖通空调系统的消声与隔振	(230)
9.1 空调系统的噪声源	(230)
9.2 噪声控制标准	(232)
9.3 噪声控制措施	(232)
9.4 暖通空调装置的隔振	(238)
第 10 章 暖通空调系统的测定与调整	(244)
10.1 风系统的测定	(244)
10.2 空气处理过程的测定	(248)
10.3 室内空气参数的测定	(249)
10.4 暖通空调系统的调整	(252)
第 11 章 建筑物的防火排烟	(254)
11.1 防火排烟的基本概念	(254)
11.2 暖通空调系统的防火	(257)
11.3 防烟与排烟设计	(259)
11.4 防排烟系统的设备与部件	(265)
附 录	(267)
附录 1 国内部分城市空调室外计算参数	(267)
附录 2 围护结构外表面对太阳辐射的吸收系数	(267)
附录 3 北纬 40°太阳总辐射照度	(268)

附录 4	常用围护结构的传热系数	(269)
附录 5	温差修正系数	(269)
附录 6	渗透空气量的朝向修正系数 n	(269)
附录 7	民用建筑的单位面积供暖热指标	(270)
附录 8	北京地区建筑物单位体积供暖热指标	(270)
附录 9	围护结构的夏季热工指标(选录)	(270)
附录 10	北京市墙体的负荷温差	(276)
附录 11	北京市屋顶的负荷温差	(278)
附录 12	玻璃窗温差传热的负荷温差	(278)
附录 13	夏季(7月)部分城市日射得热因数值	(279)
附录 14	窗玻璃的遮挡系数	(280)
附录 15	窗内遮阳设施的遮阳系数	(280)
附录 16	北京市单层钢框玻璃的日射负荷强度 $J_{j,\tau}$	(281)
附录 17	设备器具散热的负荷系数 $JE_{\tau-T}$	(281)
附录 18	照明散热的负荷强度系数 $JL_{\tau-T}$	(282)
附录 19	人体显热散热的负荷强度系数 $JP_{\tau-T}$	(283)
附录 20	民用建筑空调面积冷指标(推荐值)	(284)
附录 21	部分民用建筑房间通风换气次数	(284)
附录 22	部分空气加热器的传热系数和阻力试验公式	(284)
附录 23	SRZ 型空气加热器技术数据	(285)
附录 24	部分水冷式表面冷却器的传热系数和阻力试验公式	(286)
附录 25	水冷式表面冷却器的 E' 值	(287)
附录 26	JW 型表面冷却器技术数据	(287)
附录 27	一些铸铁散热器规格及其传热系数 K	(288)
附录 28	一些钢制散热器规格及其传热系数 K	(288)
附录 29	散热器组装片数修正系数	(289)
附录 30	散热器连接形式修正系数	(289)
附录 31	散热器安装形式修正系数	(289)
附录 32	圆形散流器送风计算表	(290)
附录 33	圆形(多层锥面型)散流器性能	(291)
附录 34	常用离心式通风机的比声功率级	(292)
附录 35	轴流风机使用工况修正值	(292)
附录 36	各频带声功率级修正值	(292)
附录 37	主管内的最大风速	(292)
附录 38	送、回风口的面风速	(293)
空调工程常用单位换算表		(294)
主要参考书目		(295)

第 1 章 建筑环境控制与暖通空调

1.1 建筑环境控制的意义与简史

人类是自然界的一分子。亘古及今,人类在各种自然条件下,总是不断地创造、改善着自身的生存环境。

古代人类面对的首要问题是如何在恶劣的自然环境中保护自己,求得生存。巢居、穴居、钻木取火野处散居到建房造屋聚落而居的历程则是人类力图适应自然,利用自然,改造自然,不懈地改善其生存环境的真实写照。

迄今,人类赖以生存的环境早已发生了质的飞跃,并且具有远为深广的内涵。它既包括自然环境,也包括人工环境;不仅有自然的属性,还增加了社会的属性。但是,人与环境始终是一对对立统一的矛盾体,它们的关系是既相互对立,又相互依存,相互制约,相互作用和相互转化。研究这对矛盾对立统一关系的发生、发展及其调节、控制的规律与方法则是环境科学所应担负的使命。

建筑物一旦出现,其独特的功能注定它会成为人类活动最密切、最直接的场所,建筑环境及其控制等概念也就伴随产生。建筑环境其实就是在自然背景基础上,经过人为改造、加工所构建的凝聚着自然因素和社会因素交互作用的一种生存环境。它从一个侧面体现着人类历史进程中利用自然、改造自然到亲近自然的性质与水平,影响着人类的生活质量,关系着人类的生存与发展。

在改善建筑环境条件方面,人类经历了一个漫长的探索、实践与经验积累过程。比如,人们逐渐地懂得利用门窗、孔洞形成的“穿堂风”和摇扇扇风的方法,或者运用天然冰的冷却作用实现居室内的防暑降温;借助火炉、火炕或火墙、火地等各种取暖装置来驱除冬季的严寒;采用炉灶烧水以蒸汽加湿缓解室内空气的干燥状况;通过放置石灰之类的吸湿物质以达到防止室内物品受潮霉变。我国远在明朝时代就已在皇宫中开创了应用火地形式的烟气供暖系统以及手拉风扇装置等,至今在北京故宫、颐和园中尚可觅其踪影。凡此种种,对于改善居住环境均不失为一些简便、有效的方法,这也意味着一种初级的建筑环境控制技术已在逐步形成。

随着社会的进步,社会生产力和科学技术不断发展,一方面,人类对建筑环境控制的能力已大大增强;另一方面,人类的生活日趋丰富多彩,这就要求从更高层次上能动地控制建筑环境,以满足人们生活、工作、生产和科学实验等活动过程对室内环境不断提出的新的需求。在此背景下,针对多变的内外环境因素干扰,侧重于改善建筑内部热湿环境和空气品质的建筑环境控制与保障技术——供暖通风与空气调节(简称“暖通空调”)势将逐步形成和发展起来。

远在 15 世纪末叶欧洲文艺复兴时期,意大利的利奥纳多·达·芬奇(Leonardo Da Vinci)设计制造出了世界上第一台通风机。其后,蒸汽机的发明又有力地促进欧、美地区锅炉、换热设备和制冷机制造业的发展。19 世纪初欧洲首先出现以蒸汽或热水作热媒的集中供暖系统。1877

年美国纽约建成第一座区域锅炉房,集中向附近 14 家用户供热。1834 年美国人 J. 波尔金斯 (Jacob Perkins) 设计制造出最早的使用乙醚为工质的蒸汽压缩式制冷机。1844 年美国医生 J. 高里 (Jehn Gorrie) 用封闭循环的空气制冷机建立起首座用于医疗的“空调站”。很明显,通风机和冷热源设备的先后问世促使建筑环境技术产生巨大变革,为暖通空调技术的应用与发展提供了重要的设备保障。

19 世纪后半叶,欧、美发达国家纺织工业迅速发展,生产过程对室内空气温湿度和洁净度等提出了较严格的要求,暖通空调技术首先在这类工业领域得以应用。此后直至 20 世纪初,在大量实践、总结和理论研究的基础上,它作为相对独立的一个工程技术学科分支才算初步成形,作为开拓者与奠基人的两个美国人 S.W. 克勒谋 (Stuart W. Cramer) 和 W.H. 开利 (Willis H. Carrier) 为之作出过卓越的贡献。20 世纪 20 年代,伴随压缩式制冷机的加速发展,暖通空调技术开始大量应用于保证室内环境舒适为目的公共建筑、商用建筑的环境控制中。但是直到第二次世界大战以后,随着各国的经济复苏,暖通空调技术才逐步走上蓬勃发展之路。

最近半个世纪里,暖通空调技术进入一个持续发展期,其进程可概括为 3 个重要阶段,这些发展阶段的主要特征是:伴随战后建筑业特别是高层建筑的蓬勃发展,在空调方式上引起一系列重大变革;以 20 世纪 70 年代“能源危机”为契机,全面推进以节能为中心的技术研究与开发;以跨世纪“可持续发展观”为指导,谋求节能、环保与社会经济的健康、协调发展。在这一发展时期里,美欧发达国家、日本、前苏联和中国都先后取得过许多举世瞩目的成就,不同程度地为促进暖通空调科技的进步与发展作出重要贡献。

综上所述,供暖通风与空气调节正是人与环境这对矛盾对立统一关系历经漫长岁月发展所凝炼而成的一种重要的环境控制与保障技术。它既是建筑环境控制技术的核心内容,也是环境科学这一新兴边缘科学的重要组成部分。今天,作为一门应用性的技术科学,它已肩负着这样的使命:遵循“以人为本”的宗旨,采用科学的环境控制技术,为人类创建一种健康、舒适而又富有效率的建筑环境,从而满足现代社会里人们在生活中、工作及其他活动中对室内环境品质日益增长的需求。显然,它对提高人民物质文化生活水平和促进国民经济现代化发展有着十分重要的意义,它也必然还将伴随现代物质文明与社会进步而不断发展。

1.2 建筑环境控制的基本方法

“建筑环境”一词指的是特定建筑空间内部围绕人的生存与发展所必需的全部物质世界。供暖通风与空气调节课程内容则更侧重于室内热湿环境与空气品质方面,并未囊括建筑环境质量的全面控制问题。

建筑物内部空间环境质量的优劣与稳定总是受着内外两种干扰源——多变的自然环境和人员、照明、设备及工艺过程等热、湿及其他污染源的综合影响。建筑环境控制的基本方法就是根据室内环境质量的的不同要求,分别应用供暖、通风或空气调节技术来消除各种干扰,进而在建筑物内建立并维持一种具有特定使用功能且能按需调控的“人造环境”。

供暖、通风与空调技术的应用中,一般总是借助相应的系统来实现对建筑环境的控制。所谓“系统”指的是若干设备、构件按一定功能、序列集合而成的总体,在广义的系统概念中尚应包括受控的环境空间。以下分别简介这些室内环境控制技术的有关应用问题。

- 供暖 (Heating)

供暖(亦称“采暖”)系统一般应由热源、散热设备和输热管道这几个主要部分组成。供暖技术一般用于冬季寒冷地区,服务对象包括民用建筑与部分工业建筑。当建筑物室外温度低于室内温度时,房间通过围护结构及通风孔道会造成热量损失,供暖系统的职能则是将热源产生的具有较高温度的热媒经由输热管道送至用户,通过补偿这些热损失达到维持室内温度参数在要求的范围内。

供暖系统有多种分类方法,按系统紧凑程度分为局部供暖和集中供暖,按热媒种类分为热水采暖、蒸汽采暖和热风采暖,按介质驱动方式分为自然循环与机械循环,按输热配管数目分为单管制和双管制,等等。热源可以选用各种锅炉、热泵、热交换器或各种取暖器具。散热设备包括各种结构、材质的散热器(暖气片)、空调末端装置以及各种取暖器具。用能形式则包括耗电、燃煤、燃油、燃气或建筑废热与太阳能、地热能等自然能利用。

• 通风(Ventilation)

通风系统一般应由风机、进排风或送风装置、风道以及空气净化设备这几个主要部分组成。当其用于民用建筑或一些轻度污染的工业厂房时,通风系统通常只需将室外新鲜空气导入室内,或将室内污浊空气排向室外,从而借助通风换气保持室内空气环境的清洁、卫生,并在一定程度上改善其温湿度和气流速度等环境参数。当其应用于散发大量热湿及粉尘、蒸汽等其他有害物质的工业厂房时,通风的任务着重针对工业污染物采取屏蔽、过滤、排除等有效的防护措施,从而达到既改善劳动条件,保护工人健康,维持生产的正常进行,又可防止大气环境污染的目的。

通风系统一般可按其作用范围分为局部通风和全面通风,按工作动力分为自然通风和机械通风,按介质传输方向分为送(或进)风和排风,还可按其功能、性质分为一般(换气)通风、工业通风、事故通风、消防通风和人防通风,等等。某些严重污染的工业厂房和特种(如人防)工程应用中,通风系统可能需要配备一些专用设备与构件,对空气介质的处理也有较严格或特殊的要求,但这类场合的通风技术不拟纳入本课程教学的基本内容。

• 空气调节(Air Conditioning)

空调系统的基本组成包括空气处理设备、冷热介质输配系统(包括风机、水泵、风道、风口与水管等)和空调末端装置,完整的空调系统尚应包括冷热源、自动控制系统以及空调房间。空调的过程是在分析特定建筑空间环境质量影响因素的基础上,采用各种设备对空调介质按需进行加热、加湿、冷却、去湿、过滤与消声等处理,使之具有适宜的参数与品质,再借助介质传输系统和末端装置向受控环境空间进行能量、质量的传递与交换,从而实现对该空间空气温湿度及其他环境参数加以调控,以满足人们生活、工作、生产与科学实验等活动对环境品质的特定需求。

空调系统形式多样,其分类更显复杂。比如,可按系统紧凑程度分为集中式、半集中式和分散式,按介质类型分全空气、空气—水、全水及冷剂方式,按处理空气来源分直流式、混合式和封闭循环式,按介质输配特征可分定流量和变流量方式,或低速与高速方式,或单管制、双管制与多管制,等等。空调设备品种繁多,按照不同用户的使用需求可采用组合式、整体装配式或各种小型末端空调器,也可采用自带冷热源的各种组合式、分体式或整体式空调机。空调冷热源既可是人工的,也可是天然的。冷热源设备包括各种类型的制冷机、冷(热)水机组或热交换设备,能源消费以电能为主,并尽可能采用与燃油、燃气等化学能及建筑废热和太阳能、地热能等自然能利用相结合的复合用能形式。

空气调节与供暖、通风一样担负着建筑环境保障的职能,但它对室内空气环境品质的调控更为全面,层次更高。在室内空气环境品质控制中,空气温度、湿度、气流速度和洁净度(俗称“四度”)通常被视为空调的基本要求,许多场合则可能进一步涉及必要的气压、成分、气味或安静度之类环境参数的调控。随着社会进步和科技的发展,空气调节不仅已经成为众多工业与民用建筑环境控制的重要技术保障,而且也越来越多地应用于农业栽培室、环境试验装置及特种地下水设施、机车、船舶、飞机乃至航天飞行器中。按照传统的观念,人们习惯于将旨在确保人体舒适、健康和高效工作的空气调节称为“舒适性空调”,它涉及到与人类活动密切相关的几乎所有建筑领域;另一类空气调节则以满足某些生产工艺、操作过程或产品储存对空气环境的特定要求为目的,称之为“工艺性空调”。工艺性空调的情况是千差万别的,根据不同的使用对象,对某些空气环境参数的调控要求可能远比舒适性空调严格得多。比如,一些精密机械加工、精密仪器制造及电子元器件生产等环境,尤其是众多生产、科研部门使用的计量室、检验室与控制室这类场所,空调要求除对室内空气温湿度给出必要的基准参数外,还对这些参数规定了严格的波动范围,这类空调称为“恒温恒湿”。又如,微电子工业中大规模集成电路生产过程随着芯片集成度的不断提高,即使粒径只有 $0.1\mu\text{m}$ 左右的微尘也可能在极其致密的电路导线间形成短路或断路,致使产品报废。其时,空调的任务则更着力解决空气中悬浮微粒粒径大小与浓度的控制,这就是所谓“工业洁净”。在医院烧伤病房和某些手术治疗过程以及药品、食品生产过程中,对室内空气洁净度的控制则更体现在对微生物粒子的严格限制,这种空调就是人们常说的“生物洁净”。

总而言之,供暖、通风与空气调节作为建筑环境保障技术的重要组成部分正日益广泛地应用到国民经济与国民生活的各个领域,它对促进现代工业、农业、国防和科技的发展以及人民物质文化生活水平的提高都担负着十分重要的使命。

1.3 建筑环境控制技术的发展趋势

社会的进步与发展使得人类与建筑环境空间的关系越来越密切,人们对现代生活及工作环境的质量要求也越来越高。供暖通风与空气调节作为建筑环境控制技术的重要组成部分,最近几十年间伴随建筑业的兴盛和建筑技术的进步获得了较快发展,其理论日臻完善,应用日趋成熟,设备加速更新换代,系统不断演化、创新。

自20世纪80年代开始,世界范围内新技术革命浪潮汹涌而来,计算机与其他高新技术加速应用,第三产业特别是信息产业迅速崛起,以舒适、健康、安全、高效率为环境控制目标的智能建筑(Intelligent Building)随之应运而生。在这世纪交替之际,社会已开始步入高新科技与网络经济、知识经济时代,对建筑环境的全面质量控制需求已进一步提了出来。与此同时,人类在前一阶段为追求舒适和局部效益而无节制地耗费地球资源、破坏地球环境的行为已经显现出严重恶果——全球暖化(温室效应)问题已严峻地摆到世人面前。人们不得不对此进行认真反思,并竭力在高质量环境需求与节能、环保之间寻求最佳平衡,于是基于保护地球资源与环境的可持续发展战略终于成为世界各国的共同纲领,所谓可持续建筑(Sustainable Building)或绿色建筑(Green Building)的概念也被提了出来。在今天,暖通空调的目的已远不限于为人类活动创建适宜的建筑环境,更着眼于室内环境质量的全面提升;它的应用也不再当作某些特定对象享用的“奢侈品”,更应视为人类提高生活质量、创造更大价值、谋求更快发展的必需品。

它不仅正在日益广泛地为人类提供良好的生产、生活、工作、学习、休憩、购物及文化娱乐等空间,更要为人类从事社交、经贸及高智力劳动等活动提供必要的环境保障。现代暖通空调科学与技术正是以这种高新科技应用和高水准环境品质需求为背景,以促进人居环境舒适性、健康性,保护地球环境及有效利用能源等基于可持续发展观点为原则,从而得以在更高的甚至全新的层面上加速进步与发展。

建筑环境质量的保障总是要以资源、能源的巨额消费为代价。在一些工业发达国家,建筑能耗已占到全国总能耗的 30% ~ 40%,而其中大约 2/3 则消耗在暖通空调系统中。能源是社会发展的重要物质基础,节能早已成为全世界共同关注的带战略性的根本问题。因此,建筑节能尤其是暖通空调的节能问题自然更具特殊意义,近 30 年来暖通空调科技领域已经取得的种种新成就可以说都是紧紧围绕节能这个中心来体现的。但是,西方国家近年来一些经验、教训也在告诫人们:以降低环境质量或抑制能量需求来换取节能是不可取的。现代建筑节能观更加强调基于可持续发展理论的综合资源规划(IRP)方法和能源需求侧管理(DSM)技术的应用,更为重视建筑物的合理用能,应当通过提高建筑的能源效率,用有限的资源和最小的能源消费代价获取最大的社会、经济效益,满足日益增长的环境需求。为实现建筑物的合理用能,既要不断提高电能与燃料等常规能源的利用效率,节约能量消耗,还应努力寻求新的替代能源,重视燃料电池、光电池技术开发,充分利用各种可再生能源。暖通空调领域一些行之有效的节能技术,诸如自然通风降温,太阳能供热,使用热管、热泵、蒸发冷却、全热交换器回收建筑余热或利用大气热能,应用变风量、变水量技术节约介质输送能耗等,也需继续推广与改进。空调冷热源应实现多元化用能(比如电力与燃气双能源并用,电力与自然能源并用等),逐步扩大燃气供暖的应用范围,发展热电联供与总能系统(TES),发展以燃气或电力为能源的区域供热供冷(DHC),以电力为能源的 DHC 系统尽可能利用夜间廉价电力进行蓄冷,积极推进太阳能、地热能热泵技术,同时还应重视蒸发冷却、去湿空调及置换通风空调等低能耗供冷技术的研究开发。

在 20 世纪 70 年代,一些西方国家出于节能的需要曾一度采取尽可能增强建筑密闭性、降低空调设计标准和减少新风供应量等措施,以图抑制空调能耗。建筑及其环境系统设计、管理方面的诸多失误以及其他一些未明因素导致内部污染日趋严重,致使居住者健康受损,甚至酿成 1976 年美国费城“军团病事件”之类的悲剧。有鉴于此,建筑环境的热舒适与室内空气品质(IAQ)问题很快成为国际关注的热点,吸引着众多学者投身这一研究行列。近年来对 IAQ 的研究已查明,现代建筑中室内装饰及设备、用具广泛应用有机合成材料,它所散发的大量挥发性有机化合物(VOC)和其他途径散发的 CO_2 、CO、甲醛、氡气、细菌等构成对人体健康最具威胁的室内低浓度污染物。人长期生活在这种换气不良的低浓度污染环境里会不同程度地出现头痛、恶心、烦躁、倦怠、神经衰弱及眼、鼻、喉发炎等症候群,人们称之为“病态建筑综合症”(SBS)。迄今,针对 SBS 等环境问题人们已陆续提出了一些有效的治理措施。

暖通空调设备、系统的研究开发方面,借助微电脑和高效传热、变频调速、人工神经网络与模糊控制等高新科技的应用,着力改善设备的能量转换性能,尤其是部分负荷下的运转性能,完善能量调节与自动化水准以提高系统的能量综合利用效率与节能效益。为适应人们在环境控制方面观念的转变及需求的增长,一些传统的暖通空调方式正在加速变革,大量兼具节能与环保效益的新的系统型式不断创生;设备则加速其升级换代,并朝着机组化、多功能、智能型方向发展。空调冷热源在逐步实现 CFCs 和 HCFCs 制冷工质的替换及不断提高机组运转性能的

同时,国内外还致力于一些新机种的开发与推广应用:压缩式制冷机容量范围不断向两极拓宽,小容量趋于以涡旋式取代往复式,大容量趋于发展多级压缩离心机组;电动热泵趋于发展热回收型及超级或多功能型机组;燃气直燃型吸收式冷热水机组的应用在逐步扩大,三效、四效溴化锂吸收式机组的开发也已着手进行。空调设备、系统方面近年来尤其在美、欧各国已经取得许多重大发展:传统的全空气集中空调系统已派生出利用集中空气处理设备(AHU)的多分区空调方式,在AHU内并设冷热盘管或带旁通道进行混合调温的分区空调方式,新风供应、下送风空调及洁净室专用型AHU方式;变风量(VAV)空调系统中传统的机械方式定静压节流型VAV末端装置已为DDC方式控制的电子式变静压阀板型VAV装置所取代,风机转速也开始采用微机直接控制,并且还演变出一种一次风变风量的风机动力型(FPU)系统;诱导空调系统因易于确保新风供应而重新受到关注,末端装置出现了吊顶式、圆柱侧送风型诱导器(IDV),以及诱导型通风冷却梁和诱导型置换通风器等多种新产品;风机盘管(FCU)空调系统继续扩展末端设备的类型、规格与功能,不断提高产品质量,扩大产品的适用范围;单元式空调机的研究开发则朝着高效、节能、低噪、轻量、高可靠性与智能调控的方向发展,带有热回收装置的穿墙式空调机组(TWU)重新受到重视,传统全分散的窗式空调器正逐步为分体、多联式空调机所取代,单元式机组的集中化应用已呈明显的发展趋势。伴随智能建筑、绿色建筑技术的发展,近年来,建筑环境控制中不断提出诸如整体系统化、可持续性与动态设计以及局部空调、背景空调、下部送风、置换通风与波动风等设计新思维,这有力地冲击着传统的设计观念,许多全新概念的环境系统——夜间通风、蓄热一通风、置换通风、新风湖泊加冷顶板、背景空调加桌面空调、定点供冷、森林浴、间接一直接蒸发冷却、去湿空调、冷剂自然循环(VCS)、变频控制变冷媒量(VRV)和水环热泵(WLHP)等新型暖通空调系统得以应运而生,其中许多已经或正在逐步走向成熟。可以预计,未来的暖通空调系统注定要朝着绿色化、个性化与智能化方向发展。

建筑环境控制系统绿色化建设关键性的技术支撑在于建筑自动化(BA),尤其是暖通空调等建筑设备与系统的能源管理自动化。自20世纪70年代以来,微电子工业、计算机工业以及计算机图像显示(CRT)、通讯、网络等高新科技相继取得快速发展,这有力地推动着暖通空调自动化的进程:自动化仪表在传统基地式调节仪表、单元式组合仪表的基础上发展了组装电子式(或功能模块式)调节仪表和直接数字控制式总体分散型控制装置;自动控制系统则由传统的单回路控制系统发展到功能齐全、结构复杂的多回路控制系统,由常规模拟仪表控制系统发展到微型计算机控制系统;在控制理论研究与应用方面则从单变量输入—输出的经典控制论进入到求解多变量系统的现代控制论及大系统理论。20世纪80年代以来微型计算机开始广泛用于各个工程技术领域,暖通空调首先从计算机辅助设计(CAD)方面着手进行技术开发。迄今,暖通空调CAD技术发展已由初期的编程计算、制图软件开发逐步向一体化软件开发和智能CAD技术方向发展,它将计算机高速、准确的计算、大容量信息存储及数据处理能力与设计者的综合分析、逻辑判断以及创造性思维能力有机地结合起来,不仅大大提高工作效率,使工程技术人员,从传统繁琐的手工劳动中解放出来,更为暖通空调系统通过动态特性模拟、能耗分析及方案比较,进而实现其最优化设计与运行管理提供了有力的技术保证。微型计算机应用的一个十分重要的方面是利用其强大的功能,代替常规的模拟调节器对暖通空调等众多建筑设备与系统实施复杂的可靠而高品质的监督、控制与调节,从而成为提高建筑能源及综合自动化管理水平的有力工具。微型计算机控制的典型应用方式包括数据采集和处理、直接数字控制(DDC)系统、监督控制(SCC)系统和分级分布式控制系统(简称集散系统),其中分级分

布式控制系统对于规模庞大、结构复杂、功能综合、因素众多的建筑自动化管理系统是最为理想的大系统综合控制方案,代表了当今建筑自动化发展的世界先进水平。

时空流转,物换星移,我们已进入了新世纪。面对知识经济时代的到来,作为环境科学一个重要的应用分支,建筑环境与设备工程学科有着一个极为广阔的发展前景,暖通空调领域既存在更良好的机遇,也将迎接更严重的挑战。应该看到,人居环境的舒适、健康、安全、高效尚涉及到其他一些生理或心理因素,其质量的提升也关联着更全面的建筑内外环境保障与绿色化建设,这就十分有赖于诸多学科、整个社会的共同努力。作为专业科技工作者,我们应更多地担负起保护地球、绿化环境这一光荣使命,用自己创造性的劳动为人类奉献一座广袤的优质的绿色的生存空间。

第2章 室内空气环境污染源与负荷计算

通过“建筑环境学”课程学习,已初步掌握建筑物内各种污染的成因、影响及其负荷定性、定量分析方法等知识。室内空气环境污染主要包括热湿污染及其他固态、气态有害物污染两方面,前者直接影响空气环境的温湿度与热舒适,后者则涉及空气品质的优劣。本章拟扼要阐述室内主要空气污染源及其污染物质的发散、传播与负荷分析,对热湿负荷计算侧重介绍一些实用方法的工程应用。

2.1 热湿负荷与其他空气污染物

2.1.1 热源与热负荷

建筑物处于自然环境中,室内空气环境必然受到存在于外部和内部的两类热源的综合热作用。外部热源主要是指太阳和大气;内部热源则可能包括人体以及与人类活动相关的照明、机电设备、器具或其他一些能量消费与传递装置。

热源总是具有与室内环境不同的能量品位,并总是以导热、辐射或对流方式与环境之间进行着热能的交换,进而形成加载于环境的热负荷。高温热源总是将热量传进室内,形成正值热负荷(夏季常称“冷负荷”);低温热源则自室内带走热量,形成负值热负荷(冬季往往表现为“热损失”)。

当各种热源形成的热负荷加载于室内空气环境,使之产生不利于人体舒适、健康或生产工艺特定需求的过热效应或过冷效应时,也就意味着室内空气环境遭受到“热污染”。

太阳是最重要的外部高温热源。它首先以太阳辐射形式与建筑围护结构或室内器具表面进行热交换,就在材料层中产生吸热、蓄热和放热效应。材料蓄热升温后,或者分别向室外、室内两个方向传导热量,或者在室内各表面间反复进行长波辐射热交换,与此同时又逐渐向空气中放出对流热,形成室内的热负荷。

大气温度受自然环境和某些人为因素的影响,随时间、空间而有显著变化,属于一种典型的变温热源。它对室内环境的热作用分两种形式,其一是通过围护结构壁体以温差传热的形式直接或间接地将热量传入或传出室内,进入室内的热量以与太阳辐射类似的传递过程逐渐形成室内的热负荷;另一种则是伴随通风空调系统的新风供应或外围护结构的新风渗透将一定的热量带入或带出室内,并即时地转化为室内热负荷。

各种室内热源主要是借助温差作用与环境之间进行着显热交换,这种显热量同围护结构传热量一样包含着辐射成分和对流成分,故其在室内逐渐形成热负荷的过程是完全一致的。

建筑环境学知识告诉我们,温度对于人体热舒适是最为敏感的参数,微量的热刺激会因肌体反射性血管舒缩调整而引起感觉,室内环境的热污染必然导致室内空气温度、内壁面温度以及平均辐射温度偏离舒适范围,打乱人体的正常热平衡——高温环境促使排汗量增加,导致体

温上升,产生热感;低温环境导致体温下降,产生冷感。过热、过冷的环境不仅影响人体舒适、健康和工作效率,严重时甚至会危及人的生命。近年来西方一些学者所进行的热舒适研究指出:人体舒适的室内温度冬季宜控制在 23°C 以下;夏季则不宜超过 27°C ;在高温环境中易于出现注意力分散、理解力和工作效率下降等现象,但温度对体力劳动的影响要高于脑力劳动。此外,对某些生产、工艺过程来说,温度又是最基本的环境条件,一旦环境热污染导致难于保证既定的温度参数要求,也就不能指望维持正常的生产与工艺操作,或确保其产品与成果的质量。

2.1.2 湿源与湿负荷

建筑物处于自然环境中,室内空气环境在接受外部、内部热源综合作用的同时,也受到存在于外部和内部两类湿源的综合作用。湿源表面与环境空气间总会存在一定的水汽分子浓度差或分压差,由此推动水汽分子的迁移,并借助其蒸发、凝结或渗透、扩散作用实现与室内环境之间的湿交换,形成相应的湿负荷。当各种湿源的湿负荷加载于室内空气环境,使其湿度参数无法满足人体舒适、健康或生产工艺特定需求时,也就意味着该室内空气环境遭受到“湿污染”。

室外大气由于自然界中水分的蒸发、汽化而常以湿空气的面目出现,并成为主要的外部湿源。当然,这种湿空气中的水汽含量也因时间、空间和气候等影响而有差异。大气中的湿分主要借助通风空调系统新风供应或外围护结构的新风渗透传进或传出室内;在某些条件下,它也可能经围护结构的吸湿、透湿作用进行湿分传递。此外,外界尚有一些湿源还会借助部分生活、生产原材料的搬运过程而与室内空气环境进行一定程度的湿交换。

室内湿源是多种多样的。一般情况下,人体是基本的散湿源,此外包括与人类活动相关的生活用水器具、敞开容器炊事、餐饮以及生产工艺设备冷却与原材料清洗、加工过程,乃至地面积水等等。人体通过呼吸和体表汗液蒸发散发湿量,其他湿源则借助自由液面或器具、原材料表面水分的蒸发、汽化,通过对流扩散将水汽混入空气中。

室内湿负荷的大小影响着空气相对湿度的高低,而相对湿度既是影响人体热舒适的一个重要参数,也是影响人体健康的一个重要因素。人体热平衡在气温较高时更多地依靠汗液蒸发,其时相对湿度的影响将显得更为重要——高温高湿会令人感觉闷热难耐,并易罹患肺病、肺炎。相对湿度超过70%时,还将为许多微生物的滋长提供充足的水分和营养源。当然相对湿度过低也是不利的,特别在低温环境里会令人产生干冷的感觉。相对湿度过低还会促使呼吸系统粘膜上粘液和粘毛运动速度减缓,由此也为细菌、病菌的繁殖创造了良好的条件。近年来西欧一些研究成果表明,与人体热舒适相应的相对湿度应保持在40%~60%。另对花园式办公室建筑的调查也得出如下结论:当相对湿度高于34%时,认为舒适的人数显著增加;在冬季和夏季,当相对湿度超过49%时舒适感便趋于降低。

此外,相对湿度同温度一样,也是维持某些生产、工艺过程正常进行所必须具备的一种基本环境条件;适当的相对湿度对于防止静电作用、保护家具、保持艺术珍品和养护室内盆栽等也是十分重要的。

应当指出,湿源散湿过程中,伴随水汽的移动同时发生潜热的迁移,热源和湿源以及热传递与湿传递这两种物理概念在这里也就变得密不可分。因此,在研究室内空气环境控制时,人们已习惯于将湿源视为一种广义的热源,并且将湿负荷对环境的影响同热负荷以及空气流