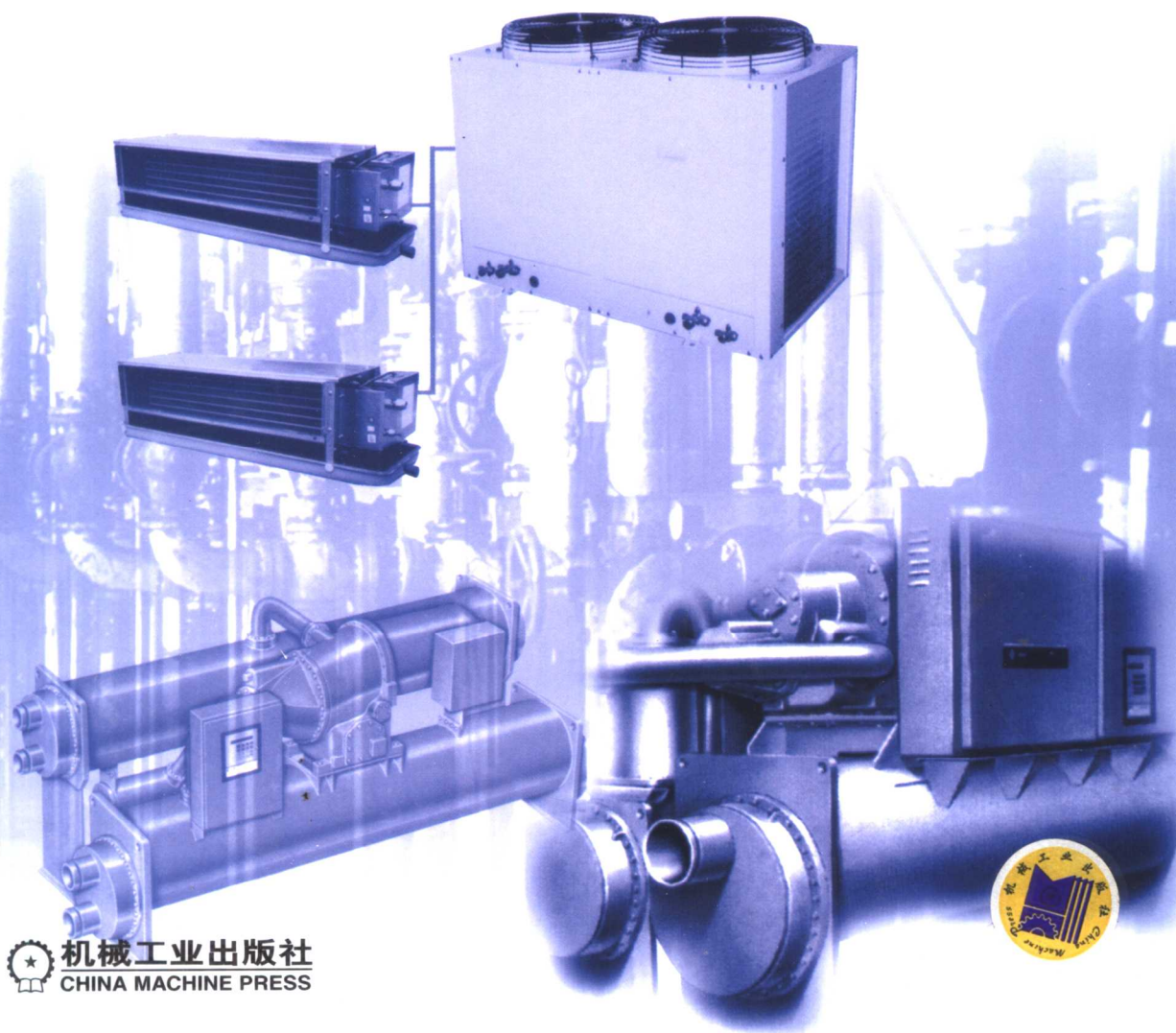




世纪供热通风与空调工程系列规划教材

通风与空气调节工程

主编 徐 勇
主审 布 林



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



21 世纪供热通风与空调工程系列规划教材

通风与空气调节工程

主 编 徐 勇

副主编 项士海 徐红梅

参 编 李奉翠 芦瑞丽

主 审 布 林



机械工业出版社

本书将通风工程和空气调节两部分内容进行了有机的融合。全书以培养学生的应用能力为中心,紧紧围绕工程应用这一主线,从负荷计算、方案确定、设备选用、风水系统水力计算、工程设计与实例到系统调试等,循序渐进,将专业理论与工程设计、施工及运行管理相互融合,构成了科学的、完整的课程体系,针对性和实用性强。为了加深理解,培养分析问题和解决问题的能力,本书在各章之后均配有习题与思考题。

本书可作为高职高专供热通风与空调、制冷与空调等专业的教材,也可供中等职业学校、函授、电大等相关专业师生使用,还可作为工程技术人员的参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

通风与空气调节工程/徐勇主编. —北京:机械工业出版社, 2005. 1

(21 世纪供热通风与空调工程系列规划教材)

ISBN 7-111-15462-2

I. 通... II. 徐... III. ①通风设备—建筑安装工程—高等学校—教材②空气调节设备—建筑安装工程—高等学校—教材 IV. TU83

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 135796 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑:李俊玲 版式设计:张世琴 责任校对:李秋荣

封面设计:姚毅 责任印制:李妍

北京机工印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2005 年 2 月第 1 版第 1 次印刷

787mm × 1092mm ¹/₁₆ · 19 印张 · 1 插页 · 471 千字

定价:27.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话 (010) 68993821、88379646

68326294、68320718

封面无防伪标均为盗版

前 言

本书是高等职业院校供热通风与空调、制冷与空调等专业及相近专业的主干专业课教材。

本书针对现行教材存在的问题,在内容方面重新进行了整合和优化,突出了实用性和针对性,便于学生将专业知识融会贯通和综合应用,满足培养高等技术应用型人才的需要。本书主要有以下三个方面的特点:

(1) 以第一线实际工作及未来发展所需的人才规格为目标,以培养学生应用能力为中心,设计教学内容。打破了原有的教材体系,将通风工程与空气调节两部分内容进行了有机的融合。与以往教材相比在内容方面进行了大幅度增删、调整和整合。形成科学的、完整的课程体系。

(2) 将理论与实践融为一体。编写中坚持淡化理论、弱化一些不必要的理论论证,重点叙述基本概念、基本原理,重在应用的原则。在内容的次序安排上,紧紧围绕工程设计应用这一主线,从负荷计算、方案确定、设备选用、风水系统水力计算直到工程设计、工程实例到最后系统调试。循序渐进,将专业理论与空气调节工程设计、施工及运行管理相融合。

(3) 体现了“新工艺、新材料、新设备”三新技术,如变风量系统、VRV系统、透湿膜加湿技术、高层建筑防火排烟等。在编写中贯彻了国家现行的最新规范、标准和技术措施。

本书可供高等职业教育院校、业余大学、函授院校学生或专业培训人员使用,也可供本科学生和专业技术人员参考。

为了更好地配合教学,在各章之后均列有习题与思考题。

本教材由徐勇、徐红梅(徐州建筑职业技术学院)、项士海(沈阳建筑大学职业技术学院)、芦瑞丽(黑龙江建筑职业技术学院)和李奉翠(平顶山工学院)合编。徐勇担任主编。具体分工为:徐勇编写绪论、第五、六章;项士海编写第八、九、十章;芦瑞丽编写第一章;李奉翠编写第二、三章;徐红梅编写第四、七章。

本书由内蒙古建筑职业技术学院布林副教授主审。在编写过程中南京工业大学李志浩教授、徐州建筑职业技术学院于带书校长给予了指导,在此深表感谢。

由于编者水平有限,书中不免有一些错误和不妥之处,恳请读者批评、指正。

编 者

目 录

前言

绪论	1
第一章 室内污染物的控制与通风	6
第一节 室内污染物及其控制	6
第二节 局部通风	12
第三节 全面通风	20
第四节 自然通风	27
第五节 建筑物的防火排烟系统	33
习题与思考题	44
第二章 湿空气的状态参数与焓湿图的应用	46
第一节 湿空气的状态参数	46
第二节 湿空气的焓湿图	50
第三节 湿空气焓湿图的应用	53
习题与思考题	58
第三章 空调房间的冷(热)、湿负荷与送风量的确定	60
第一节 人体热舒适与室内空气计算参数的确定	60
第二节 室外气象和室外参数的确定	63
第三节 空调房间冷(热)、湿负荷的计算	66
第四节 空调房间送风状态与送风量的确定	79
习题与思考题	82
第四章 空气调节系统	84
第一节 空气调节系统的分类	84
第二节 新风量的确定和空气平衡	85
第三节 定风量式空调系统	88
第四节 变风量式空调系统	100
第五节 空气—水系统	103
第六节 分散式空调系统	107
习题与思考题	113
第五章 空气处理设备	114
第一节 空气热湿处理设备类型	114
第二节 喷水室	115
第三节 表面式换热器与电加热器	123
第四节 常用空气湿处理设备	136
第五节 空气净化处理设备	141
第六节 组合式空调机组	145
习题与思考题	146

第六章 空调风系统设计	148
第一节 空调房间的气流组织	148
第二节 通风空调风系统管路设计	160
第三节 通风空调系统的消声与隔振	171
习题与思考题	195
第七章 空调水系统管路设计	197
第一节 空调冷热水系统	197
第二节 空调冷却水系统	201
第三节 空调冷凝水系统	203
习题与思考题	204
第八章 空调系统运行调节与节能	205
第一节 定风量空调系统的运行调节	205
第二节 变风量空调系统的运行调节	210
第三节 风机盘管空调系统的运行调节	212
第四节 空调系统年耗能量的计算	214
第五节 空调系统节能措施	219
习题与思考题	224
第九章 通风空调系统的测定与调整	225
第一节 测定调整前的准备工作	225
第二节 通风空调系统风量风压的测定与调整	231
第三节 空调系统设备容量及系统工况的测定	235
第四节 通风与空调系统综合效果测定	237
第五节 空调系统调试过程中常见问题及解决方法	239
习题与思考题	242
第十章 空调工程设计	243
第一节 空调工程设计概述	243
第二节 空调工程设计实例	248
附录	256
附录 A 湿空气的密度、水蒸气压力、含湿量和质量焓	256
附录 B 湿空气焓湿图	插图
附录 C 部分城市室外气象参数	258
附录 D 围护结构外表面的太阳辐射热吸收系数 ρ	259
附录 E 围护结构瞬变传热引起冷负荷计算的有关系数	259
附录 F 照明、人体、设备和用具散热冷负荷系数	268
附录 G 部分水冷式表面冷却器的传热系数和阻力试验公式	270
附录 H 水冷式表面冷却器的 E' 值	271
附录 I JW 型表面冷水器技术数据	272
附录 J 部分空气加热器的传热系数和阻力计算公式	273
附录 K SRZ 型空气加热器技术数据	273
附录 L 通风管道单位长度摩擦阻力线算图	275
附录 M 钢板矩形风管计算表	276
附录 N 局部阻力系数	282

附录 O 冷冻水管道单位沿程阻力计算表	290
附录 P 冷却水管道单位沿程阻力计算表	292
附录 Q 某综合楼空调工程部分设计图	293
参考文献	298

绪 论

一、通风与空气调节的概念与作用

建筑物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。因此现代建筑不应仅具有挡风遮雨的功能，而且还应提供一个温湿度宜人、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车间要求温度恒定（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、磁鼓生产要求严格控制环境中的灰尘，抗菌素生产与分装、无菌实验等要求无菌环境，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通风与空气调节技术的产生与发展。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。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。

通风和空气调节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：

（1）通风（Ventilation） 通风是为改善生产和生活条件，采用自然或机械的方法，对某一空间进行换气，以形成安全、卫生等适宜空气环境的技术。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。通风的功能主要有：①提供人呼吸所需要的氧气；②稀释室内污染物或气味；③排除室内生产过程产生的污染物；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。

根据服务对象的不同通风可分为民用建筑通风和工业建筑通风。

民用建筑通风是对民用建筑中人员活动所产生的污染物进行治理而进行的通风。

工业建筑通风是对生产过程中的余热、余湿、粉尘和有害气体等进行控制和治理而进行的通风。

（2）空气调节（Air Conditioning） 使房间或封闭空间的空气温度、湿度、洁净度和气流流速等参数达到给定要求的技术。空气调节可对某一房间或空间内的温度、湿度、洁净度和空气流动速度（俗称“四度”）等参数进行调节与控制，并提供足够量的新鲜空气。空气调节简称空调。空调可以对建筑热湿环境、空气品质进行全面控制，它包含了通风的部分功能，以保证生产工艺和科学实验过程或人们对温度的舒适度需要。在某些场合，也需要对空气的压力、气味、噪声等进行控制。

按照传统的观念，人们习惯于将满足人体舒适、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。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,尤其是众多生产与科研部门的计量室、检验室、控制室这类场所使用的空调,除保证室内空气温度、湿度的基准参数外,还对这些基数规定了严格的波动范围,这类空调称为“恒温恒湿”。又如,在微电子工业的大规模集成电路生产过程中,随着芯片集成度的不断提高,即使粒径只有 $0.1\mu\text{m}$ 左右的尘粒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,这时空调的任务是控制空气中悬浮微粒粒径大小与含量,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多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”。

空调与通风既有区别又有联系。在工程上,将为保持室内环境中有害物质含量在一定卫生要求范围内的技术称为通风。空气调节与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、气流速度和洁净度通常被视为空调的基本参数,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。只有对空气能进行全面处理,即具有对空气进行加热、加湿、冷却、去湿和净化的技术才能称为空调。有人说空调是更高层次的通风。对于舒适性空调,在过渡季或非工作时间内,都要辅以适当的通风系统和开启窗户进行机械通风和自然通风。

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起着十分重要的作用。

二、通风与空气调节的主要内容

当通风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送入室内,或将室内污浊空气排向室外,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、粉尘和有害气体等有害物质的工业厂房时,通风的任务就是要针对工业污染物采取捕集、净化等有效的措施,使厂房内的污染物含量降低到标准或规范所允许的范围,达到既改善劳动条件、保护工人健康,又防止污染大气环境的目的。

通风系统一般应由进排风装置、风道以及空气净化设备几个主要部分组成。图 0-1 是通风系统示意图。送风系

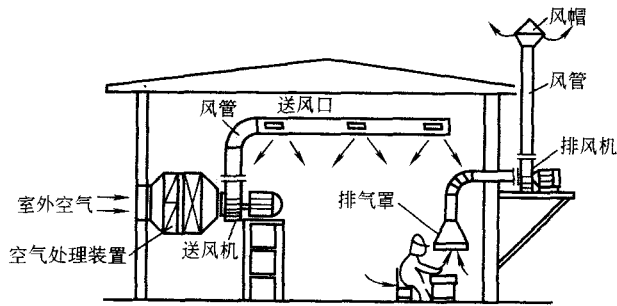


图 0-1 通风系统示意图

统主要由空气处理装置、送风机、风管和送风口等组成,其中空气处理装置是把室外的空气处理到设计参数要求;排风系统主要由排气口或排气罩、净化处理装置、排风机、风管和风帽等组成,其中净化处理装置是用于除掉空气中的工业有害物,使其符合排放标准。

本课程主要介绍与空调有关的通风的概念、原理及系统设备,对工业有害物的净化处理方法和设备不作介绍。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。

在夏季，民用建筑中的人员、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_2 、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，甚至会产生放射性物质，从而导致室内空气品质恶化。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，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。

空调系统一般由空气处理设备、冷热介质输配系统（包括风机、水泵、风道、风口与水管等）和空调末端装置组成，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。图 0-2 是空调系统示意图，该图是一个二次回风的全空气系统。对建筑室内环境的控制方案是：用室外的空气（新风）来稀释室内的污染物；由送入室内的空气来承担室内的全部冷、热和湿负荷。空气的流程是：室外新鲜的空气和来自空调房间的部分循环空气一并进入空气处理机组，依次经过过滤、冷却和减湿（夏季）或加热和加湿（冬季）等各种处理，待达到空调房间要求的送风状态点时，再由风机、风管和风口送入空调房间。送入室内的空气经过吸热、吸湿或散热、散湿后再经风机、风管排出，其中部分回风排至室外，部分回风循环使用。

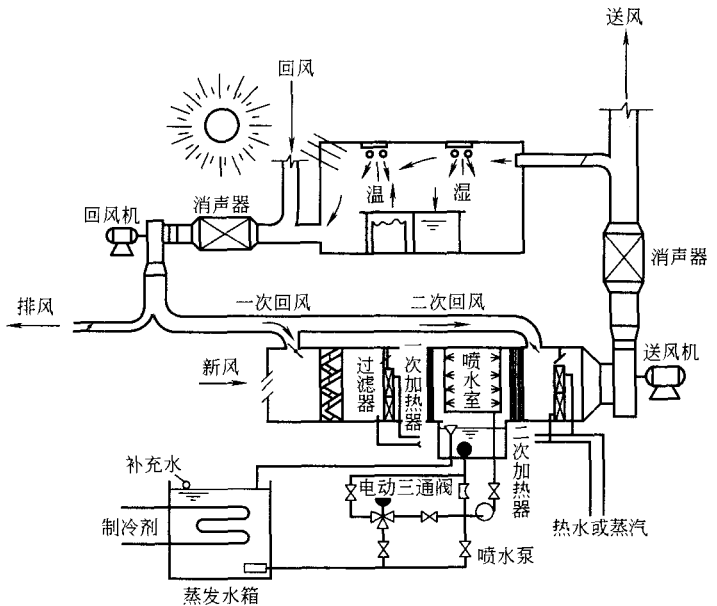


图 0-2 空调系统示意图

空调系统形式多样，按空气处理设备的设置情况可分为集中系统、半集中系统和分散系统；按负担室内空调负荷所用的介质可分为全空气系统、空气—水系统、全水系统和冷剂系统；按集中系统处理的空气来源，可分为封闭式系统、直流式系统和混合式系统；按介质输配特征可分为定流量系统和变流量系统；按风管中空气流速可分为低速系统和高速系统。

空调系统主要是研究房间热湿环境与空气品质、空调的负荷、空气的处理方案、空气的处理设备、空气的输送装置、冷热水系统、空调的冷热源和空调系统的检测与控制等内容。

三、通风与空气调节的发展概况

通风与空气调节有着悠久的历史。在古代，人们懂得利用门窗、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；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。

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。1834 年美国 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。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，而后形成了现在广为应用的湿空气焓湿图，成为该学科的开拓者与奠基人。20 世纪 20 年代，伴随压缩式制冷机的快速发展，暖通空调技术开始大量应用于以保证室内环境舒适为目的的公共建筑环境控制中。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。

现代的通风与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使用空调。建于 1931 年的上海大光明影院是最早用集中空调系统的建筑物，其空调系统采用离心式冷水机组，设备都是进口。在 20 世纪 50 年代，新中国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，污染严重的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，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。在这段时期建立了通风和制冷设备的制造厂，生产生活和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等，但基本上没有空调产品和专门为空调用的制冷设备。20 世纪 60~70 年代，电子工业发展迅速，促进了洁净空调系统的发展。舒适性空调也有一些应用，主要用在高级宾馆、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）、各种类型除尘器等；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。国家于 1975 年颁布了《工业企业采暖通风和空气调节设计规范》（TJ 19—1975），从而结束了采暖通风与空调工程设计无章可循的历史。

自 20 世纪 80 年代以来，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，促进了通风与空调技术的发展，空调已经从原来主要服务于工业转向民用。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、高档办公楼中空调已经很普遍了，空调器也陆续进入家庭。我国在 1990 年房间空调器生产量为 24 万台，2003 年增加到 4993 万台，14 年翻了 208 倍，产量已占世界首位。国际上一些知名品牌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通风空调设备的大型企业。我国空调产品的品种、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，有的产品生产量在国际上名列前茅。在这个行业中也涌现出了公认的著名品牌。在今天，暖通空调已不是某些特定对象享用的“奢侈品”，而成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。随着高新技术与网络经济、知识经济时代的到来，以舒适、健康、安全、高效为环境控制目标的智能建筑（Intelligent Building）应运而生，在更高的层面上加速了通风与空调技术的进步与发展。

21 世纪，中国的通风与空调行业市场发展的潜力很大，预示着行业的发展前景远大。但是，现代空调也面临着两大主要问题，即能源问题和环境问题。保护地球资源与环境的可持续发展战略已经成为世界各国的共同纲领。通风与空调是不可再生能源（石油、燃气、煤炭）的消耗大户（在我国消耗的能源主要是煤炭，约占总能耗的 75%），因此通风与空调的发展也意味着不可再生能源的消耗增长。煤炭燃烧还会产生烟尘、 SO_2 、 NO_2 等，都对大气环境造成污染。其中 CO_2 气体是温室气体，会导致地球变暖，改变地球的生态环境。此外空调冷源使用的 CFC 和 HCFC，对地球平流层（离地球 20 ~ 25km）内的臭氧层有所破坏，这也是当前的全球环境问题之一。除室外环境问题外，还有室内环境，即室内空气品质（IAQ）问题。现代建筑的密封越来越好，使室内污染物无法排出，带来了“空调病”。另外，室内各种装饰材料中的甲醛、石棉、玻璃纤维、氡等污染了空气；水源和空调系统本身也会产生尘埃、微生物等，室内污染物的含量大大超过了人所能承受的范围。从事通风与空调行业的人士，无论是研究、工程设计、系统管理、设备开发，都应该坚持可持续的发展观，提高节能和环保意识，为全面建设小康社会，提高人民物质文化生活水平和促进国民经济现代化发展做出更大的贡献。

第一章 室内污染物的控制与通风

第一节 室内污染物及其控制

随着人们生活水平的提高,对生活环境的美化要求也随之加强,与之相应的室内装饰装修的范围越来越广,档次也越来越高。然而其中有些新型的装饰材料会散发大量的有害物质,是造成室内环境污染的最主要因素之一。根据调查统计,现在有害于健康的室内空气已经引起全球性的人口发病率和死亡率的增加。世界上30%的新建和重建的建筑物中存在有害于健康的污染。

一、污染物的分类与来源

1. 污染物的分类

按污染物性质可分为化学污染物、物理污染物和生物污染物。化学污染物分无机污染物、有机污染物;物理污染物分为噪声、微波辐射和放射性污染物;生物污染物分为微生物和病毒污染。

按污染物在空气中的状态可分为:

(1) 气体污染物 气体污染物如 SO_2 、 CO 、 CH_4 、 NO_x 、 HF 、 O_3 等,沸点都很低,在常温下以气体分子形式分散于大气中。还有些物质如苯、苯酚等,虽然在常温、常压下为液体或固体,但其有挥发性,故能以气态进入大气中。无论是气体分子还是蒸气分子,都具有运动速度大、扩散快、在大气中分布比较均匀的特点,它们的扩散情况与自身的相对密度有关,相对密度大者向下沉降,如汞蒸气等;相对密度小者向上飘浮,并受气象条件的影响,可随气流扩散到很远的地方。

(2) 颗粒状污染物 颗粒状污染物(包括总悬浮颗粒物、可吸入颗粒物)是分散在大气中的微小液体和固体颗粒,颗粒在空气中的悬浮状态与其粒径、密度有关。粒径在 $100\mu\text{m}$ 以下的粒子在空气中呈悬浮状态。通常根据颗粒物在重力作用下的沉降特性,将其分为降尘和飘尘。粒径大于 $100\mu\text{m}$ 的颗粒物可较快地沉降到地面上,称为降尘;粒径小于 $10\mu\text{m}$ 的颗粒物可长期漂浮在大气中,称为飘尘。飘尘具有胶体性质,故称为气溶胶。它易随呼吸进入人体肺脏,在肺泡内沉积,并可进入血液,对人体健康危害极大。因为它们可以被人体吸收,又可称为可吸入粒子。通常飘尘以烟、雾、粉尘等形式存在于大气中。某些固体物质在高温下由于蒸发或升华作用变成气体散发于大气中,遇冷后凝聚成微小的固体颗粒悬浮于大气中形成烟;雾是由悬浮在大气中微小液滴构成的气溶胶,雾的粒径一般在 $10\mu\text{m}$ 以下,通常说的烟雾是烟和雾同时构成的固、液混合态气溶胶,如硫酸烟雾,光化学烟雾等;粉尘是分散在大气中的固体微粒,如粉碎固体时所产生的粉尘、燃煤烟气中含碳颗粒物等。我国公共场所卫生标准中对旅店等行业规定的室内可吸入颗粒物的阈值为 $0.15\text{mg}/\text{m}^3$,商场为 $0.25\text{mg}/\text{m}^3$ 。

2. 污染物的来源

工业建筑中的主要污染物是伴随生产工艺过程产生的,不同的生产过程有着不同的污染

物。污染物的种类和发生量必须通过对工艺过程详细了解后获得，通常应咨询工艺工程师和查阅有关的工艺手册得到。如油漆车间有刷漆、喷漆两类生产方式，刷漆时油漆中的溶剂（如松节油、苯等）在空气中挥发，喷漆的漆雾散发到空气中，被人吸入后会得职业病。再如棉纱织厂的清棉、梳棉、纺纱、织布等车间都有棉尘产生，其中含有棉绒、灰尘、细菌等，其中约有 7% ~ 16%（质量分数）是可吸入粒子，过多吸入棉尘后会得职业病——棉尘肺等。

民用建筑中的空气污染不像工业建筑那么严重，但却存在多种污染源，导致空气质量下降。民用建筑中的各种污染物的来源主要有以下几个方面。

(1) 室内装饰材料及家具的污染 它们是造成室内空气污染的主要因素，如油漆、胶合板、刨花板、内墙涂料、塑料贴面、粘合剂等物品均会挥发甲醛、苯、甲苯、氯仿等有毒气体，且具有相当的致癌性。

(2) 无机材料的污染 如在建筑施工中，为了改变混凝土性能而加入的化学物质（北方冬季施工加入的防冻剂会渗出有毒气体氨）；由地下土壤和建筑物墙体材料和装饰石材、地砖、瓷砖中的放射性物质释放的氡气污染（氡气是无色无味的天然放射性气体，对人体危害极大）。

(3) 室外污染物的污染 室外大气环境的严重污染加剧了室内空气的污染程度。由室外空气带入的污染物有固体颗粒、 SO_2 、花粉等。

(4) 燃烧产物造成的室内空气污染 做饭与吸烟是室内燃烧的主要途径，厨房中的油烟和烟气中的烟雾成分极其复杂，目前已经分析出 300 多种不同的物质，它们在空气中以气态和气溶胶态共同存在，其中含有多种致癌物质。

(5) 人体产生的污染 人体自身的新陈代谢及各种生活废弃物的挥发也是室内空气污染的一个方面。人体本身通过呼吸道、皮肤、汗腺可排出大量的污染物。化妆品、洗涤剂、杀虫剂等的使用也会造成室内空气污染。另外，人数过多时会造成室内温度增高，促使细菌、病毒等微生物大量繁殖。

(6) 设备产生的污染 如复印机，甚至空气处理设备本身均会产生污染。

二、室内污染物的主要成分及其危害

工业建筑中的各种各样的污染物，大部分只在特定的工艺过程中产生，这些污染物的危害性这里不做讨论。本书只介绍在一般民用建筑中经常遇到的污染物的成分及危害性。

(1) 二氧化碳 (CO_2) 燃烧过程、人的呼吸、吸烟都产生 CO_2 。 CO_2 本身无毒，但空气中含量增多也会导致人体不适，产生中毒症状，甚至死亡。当 CO_2 含量在 0.03% ~ 0.04%（体积分数）时，人感觉正常；含量达到 0.5% 时，使人呼吸略有加大；含量在 1% ~ 3% 时，导致呼吸加深、急促；含量大于 3% 时有不适感、头痛；含量大于等于 5% 时产生中毒症状，精神忧郁；含量大于等于 10% 时会使人失去知觉，甚至死亡。

(2) 一氧化碳 (CO) 燃烧设备的燃烧、停车场的汽车排气、抽烟等都会产生 CO 。人吸入 CO 后，它比氧更易被血液所吸收而形成碳氧血红蛋白，该蛋白不能用来输送氧气，导致人缺氧，严重者窒息而死。一般 CO 的含量为 0.005%（体积分数）时，人无症状发生；含量达到 0.2% 时，1h 内致人死亡。目前，一般规定空气中 CO 的允许质量浓度为 $40\text{mg}/\text{m}^3$ （体积分数为 0.0035%）。

(3) 可吸入粒子 粒径在 5 ~ 30 μm 的粒子可沉附于气管和支气管壁上，粒径小于 1 μm

的粒子在扩散的作用下沉附在肺泡壁上。吸入肺部的粒子如果是可溶性的物质,则会引起炎症或全身中毒;难溶性的粒子则被巨噬细胞吞食,然后带入细支气管,通过气管上纤维运动被清理出来(咳嗽咳出),也有一部分进入淋巴结。粒子被清理出来的速度很慢,约需2~4个月。因此,有毒性的难溶性粒子会破坏肺细胞。人长期吸入难溶性粒子,可以使肺组织及淋巴组织纤维化,即所谓的硅肺、石棉肺、棉肺等。

(4) 烟卷的烟气 烟卷的烟气由粒子和多种气体组成,粒子几乎全部是可吸入粒子。烟空气中已被分析出的物质已超过2000多种,其中有颗粒状的尼古丁、焦油等,气体状的CO、CO₂、氮氧化物、甲烷、乙烷、丙烷、甲苯、苯、甲醛、丙烯醛等等。尼古丁是高毒化学物质,成人致死量约为40~60mg,儿童约为10mg。尼古丁进入人体后,使心律增加,气管中纤毛脱落,减弱了气管的自净能力。焦油能引起支气管粘膜上皮细胞增生和变异,并诱发癌变。焦油中含有10多种致癌物质。一般认为吸烟是最广泛、作用最强的肺癌致癌因素。

(5) 氮氧化物(NO_x) 氮氧化物包括二氧化氮(NO₂)、一氧化氮(NO)和四氧化二氮(N₂O₄)。NO₂和NO较为常见。NO₂是高度活泼的氧化剂,NO常与NO₂同时存在,并极易氧化成NO₂,因此通常用NO₂代表氮氧化物。NO₂含量大于等于0.01%(体积分数)时,可引起人发生化学性肺炎或肺水肿。民用建筑中氮氧化物的散发源主要是燃气灶、汽车、燃气热水器等。

(6) 挥发性有机化合物(VOC) 挥发性有机化合物(Volatile Organic Compound——VOC)气体主要来自建筑的围护结构、装饰材料、油漆、地毯、清洁剂、香料、办公设备(如复印机等)、烹饪、香烟的烟气等。据国外的研究表明,在室内发现的VOC气体有50~300种之多,归纳起来主要是醛类、烷类和酮类气体,它们对人体都有害。有许多建筑物测定表明,单项污染物的含量可能并不超标,但TVOC(即VOC气体的总量)已超过了规定值。当TVOC含量(质量浓度)小于0.2mg/m³时,对人无影响;TVOC的含量为0.2~3mg/m³时,对人有刺激或感觉不适;TVOC的含量为3~25mg/m³时,对人有刺激和引起头痛;TVOC的含量大于25mg/m³时,引起头痛,对神经有毒害。

(7) 氡(Rn) 氡是一种放射性惰性气体,由镭衰变而成,无色无味,它易扩散,能溶于水和脂肪。在体温条件下,极易进入人体组织。其衰变产物——氡子体是具有化学活性的带电离子,它会附着于壁面或大气中的灰尘上,形成放射性飘尘。这些放射性飘尘被人体吸收后,沉积在肺部,导致肺部慢性病变,诱发肺癌或损害肺功能。室内的氡主要来自两方面:一是由于房屋的地基土壤内含有镭,一旦衰变成氡,即可通过地基或建筑物的缝隙、管道引入室内部位等处逸入室内,也可从下水道的破损处进入管内再逸入室内;二是从含镭的建筑材料中衰变而来。如果石块、花岗岩、水泥等材料中含有镭,一旦这些材料用于地基、墙壁、地面、屋顶等处,衰变出来的氡即可逸入室内。氡的α射线会致癌,其潜伏期约为15~40年,WTO认定的19种致癌因素中,氡为其中之一,仅次于吸烟。为了防止氡气对人体的危害,居室应尽量少用花岗岩类作装饰材料,居住新房一定要勤开窗,使空气流通。

(8) 甲醛 甲醛(Formaldehyde)是无色、具有强烈气味的刺激性气体,略重于空气,易溶于水,其含量为35%~40%(质量分数)的水溶液通称福尔马林。甲醛是一种挥发性有机化合物,污染源很多,污染物含量也较高,是室内环境的主要污染物之一。甲醛是原浆毒物,能与蛋白质结合。吸入高浓度甲醛后,会出现呼吸道的严重刺激和水肿、眼刺痛、头痛,也可发生支气管哮喘,这些,均可能是由于甲醛的致敏作用。皮肤直接接触甲醛,可引

起皮炎、色斑、坏死。经常吸入少量甲醛，能引起慢性中毒，出现粘膜充血、皮肤刺激症、过敏性皮炎、指甲角化和脆弱、指端疼痛等，全身症状有头痛、乏力、胃纳差、心悸、失眠、体重减轻以及植物神经紊乱等现象。

甲醛对室内暴露者的健康影响最敏感的是嗅觉和刺激。通常，人的甲醛嗅觉阈为 $0.06 \sim 0.07 \text{ mg/m}^3$ ，但个体差异很大，有的人嗅觉阈可高达 2.68 mg/m^3 。

室内空气中如果甲醛类物质含量过高，对眼睛和皮肤都有刺激作用，据研究，甲醛含量达 $1 \times 10^{-5} \%$ （体积分数）时，可引起咽部和上呼吸道的损伤，而含量达到 $2.5 \times 10^{-5} \%$ 时，气喘病人和儿童会感到呼吸困难。若长期接触，会使人感到周身不适、头痛、眩晕、恶心，甚至可引起鼻癌。

各种人造板（刨花板、纤维板、胶合板等）中由于使用了胶粘剂，因而可能含有甲醛。某些化纤地毯、塑料地板砖、油漆涂料等也含有一定量的甲醛。此外，甲醛还可来自化妆品、清洁剂、杀虫剂、消毒剂、防腐剂等多种化工轻工产品等。由于甲醛的来源很多，容易造成室内污染。我国大宾馆新装修后，甲醛质量浓度峰值可达 0.85 mg/m^3 左右，使用一段时间后可降至 0.08 mg/m^3 以下。一般住宅在新装修后的甲醛质量浓度峰值约在 0.2 mg/m^3 左右，个别可达 0.87 mg/m^3 ，使用一段时间后可降至 0.04 mg/m^3 以下。甲醛在室内的含量变化主要与污染源的释放量和释放规律有关，也与使用期限、室内温度、湿度以及通风程度等因素有关，其中温度和通风的影响最重要。

(9) 苯 苯 (Benzene) 是一种无色、具有特殊芳香气味的液体，沸点为 80.1°C ，能与醇、醚、丙酮和四氯化碳互溶，微溶于水，苯的嗅觉阈值为 $4.8 \sim 15.0 \text{ mg/m}^3$ 。甲苯、二甲苯属于苯的同系物，都是煤焦油分馏或石油的裂解产物。目前室内装饰中多用甲苯、二甲苯代替纯苯作各种涂料、胶粘剂和防水材料的溶剂或稀释剂。苯具有易挥发、易燃、蒸气有爆炸性的特点。人在短时间内吸入高浓度的甲苯、二甲苯时，可出现中枢神经系统麻醉，轻者有头晕、头痛、恶心、胸闷、乏力、意识模糊，严重者可致昏迷以致呼吸、循环衰竭而死亡。如果长期接触一定浓度的甲苯、二甲苯会引起慢性中毒，可出现头痛、失眠、精神萎靡、记忆力减退、神经衰弱等病症。长期吸入苯还能导致再生障碍性贫血。苯化合物已经被世界卫生组织确定为强致癌物质。苯主要来自建筑装饰中大量使用的化工原材料（如涂料），由于室内用涂料及胶粘剂难以做到绝对无苯，因此有关规范中规定，在每千克溶剂型涂料和胶粘剂中，苯的含量应不大于 5 克。

(10) 病原微生物 病原微生物有细菌、病毒（比细菌小）、真菌（比细菌大，又称霉菌）、螺旋体（比细菌大，细长螺旋形）、立克次体（大小形态与细菌相似，由昆虫传播）等。病原微生物进入人体的途径很多，如通过呼吸道、伤口、消化器官、昆虫（蚊、虱等）传播，与感染者直接接触，如悬浮于空气中的带菌者因咳嗽、喷嚏等从口鼻飞散出的飞沫或带菌的尘埃，再通过人的呼吸、伤口等处进入人体。病原微生物进入身体后引起组织变形和坏死，继而局部出现毛细血管充血，血浆成分渗出，稀释和中和毒素；白细胞渗出，不断向炎症区集中，吞噬和消灭病原微生物。另外来自骨髓的单核巨细胞也参与吞噬较大的病原微生物。炎症后期，受损组织通过临近的组织再生而修复。

三、室内空气品质 (Indoor Air Quality——IAQ) 及其评价

随着人们生活水平的提高，人们对室内环境的要求已经不再只停留在过去的温度和湿度的基本条件上了，建筑室内的热舒适性、光线、噪声、视觉环境和空气品质等因素也综合影响着

人们的身体健康，这些因素中空气品质是一个极为重要的因素，它与身体健康有直接关系。

最初室内空气品质用一系列污染物含量指标来衡量。近年人们认识到这种纯客观的定义不能完全涵盖空气品质的内容。丹麦哥本哈根大学的 P. O. Fanger 提出：品质反映了满足人们要求的程度，如果人们对空气满意，就是高品质；反之，就是低品质，即衡量室内空气的标准是人们的主观感受。1989 年美国采暖制冷和空调工程师学会颁布的 ASHRAE62—1989 标准中提出了合格空气品质的新定义：合格的空气品质应当是空气中没有含量达到有关权威机构确定的有害程度指标的已知污染物，并且在这种环境当中人群的绝大多数（80% 或更多）没有表示不满意。这个定义的前一句话的意思是用已知污染物的允许含量指标作客观评价指标；后一句话是用人的感受作主观评价指标。合格的空气品质应当既符合客观评价指标，又符合主观评价指标。

目前，室内空气品质评价一般采用量化检测和主观调查结合的方法进行。其中的量化检测是指直接测量室内污染物含量来客观看、评价空气品质，而主观评价是利用人们的感受器官进行描述与评判工作。如某一环境，各项已知污染物指标都不超过允许含量，但该环境中 20% 以上的人们对空气品质不满意，则定为该环境的空气品质不合格。主观的方法利用人类极敏感的嗅觉器官感受空气品质，解决了很多情况下仪器不能或难以测定室内空气品质综合作用的困难。

《室内空气质量标准》（GB/T 18883—2002）是客观评价室内空气品质的主要依据。2002 年 12 月 18 日，由国家质检总局、环保局、卫生部联合制定并发布了我国第一部《室内空气质量标准》。该标准从保护人体健康出发，首次全面规定了空气的物理性、化学性、放射性四类共 19 个限量值，明确提出“室内空气应无毒、无害、无异常臭味”的要求。该标准已于 2003 年 3 月 1 日正式实施。表 1-1 列出了《室内空气质量标准》的数据参数。

表 1-1 《室内空气质量标准》(GB/T18883—2002)

序号	参数类别	参数	单位	标准值	备注
1	物理性	温度	℃	22 ~ 28	夏季空调
				16 ~ 24	冬季采暖
2		相对湿度		40 ~ 80%	夏季空调
				30 ~ 60%	冬季采暖
3		空气流速	m/s	0.3	夏季空调
				0.2	冬季采暖
4		新风量	m ³ /h × 1	30	
5	化学性	二氧化硫	mg/m ³	0.5	1h 均值
6		二氧化氮	mg/m ³	0.24	1h 均值
7		一氧化碳	mg/m ³	10	1h 均值
8		二氧化碳		0.10%	日均值
9		氨	mg/m ³	0.20	1h 均值
10		臭氧	mg/m ³	0.16	1h 均值
11		甲醛	mg/m ³	0.10	1h 均值
12		苯	mg/m ³	0.11	1h 均值
13		甲苯	mg/m ³	0.20	1h 均值
14		二甲苯	mg/m ³	0.20	1h 均值
15		苯并 [a] 芘 B (a) P	mg/m ³	1.0	日均值
16		可吸入颗粒	mg/m ³	0.15	日均值
17		总挥发性有机物	mg/m ³	0.60	8h 均值