

室内环境污染 控制与治理技术



SHINEI HUANJING
WURAN KONGZHI
YU ZHILI JISHU



◎ 宋广生 王雨群 编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

室内环境污染控制与 治理技术

宋广生 王雨群 编著



机械工业出版社

本书从科学性、实用性出发,共分13章,全面解析了国内外的室内空气质量标准和相关规范、《绿色建筑评价标准》以及最新的ISO/DIS16814标准。全面介绍了室内环境污染与治理的发展历程、国内外建立的室内环境污染控制体系、室内环境评价、预评价系统知识及其在装饰装修工程中的应用;分析了室内环境污染种类、来源及新型污染物、污染特征和人体健康效应;介绍了最新的室内环境污染在线检测与控制技术以及车内空气污染与控制方法。

本书适用于广大环境污染控制、评价、监测与治理等相关领域的从业人员、研究人员、建筑装饰行业人员以及大专院校相关专业师生参阅。

图书在版编目(CIP)数据

室内环境污染控制与治理技术/宋广生,王雨群编著

—北京:机械工业出版社,2011 2

ISBN 978-7-111-32841-4

I. ①室… II. ①宋… ②王… III. ①居住环境-环境污染-污染控制 IV. ①X506

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第260567号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:薛俊高 责任编辑:薛俊高

版式设计:霍永明 责任校对:陈秀丽

封面设计:张静 责任印制:李妍

北京振兴源印务有限公司印刷

2011年1月第1版·第1次印刷

184mm×260mm·18.5印张·459千字

标准书号:ISBN 978-7-111-32841-4

定价:36.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010) 88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010) 68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010) 88379649

读者服务部:(010) 68993821

封面无防伪标均为盗版

前言

室内环境是人们生存的重要场所，而室内空气质量又与每个人息息相关。每个人在正常情况下平均每分钟呼吸空气约 16 次，每天约需空气 10m^3 ，约 13kg 左右，是正常人每天需水量的 4~7 倍、每天进食量的 7~10 倍，可见，空气对于人的生存是何等重要！

我国从 20 世纪 80 年代大规模室内装饰装修开始，历经“煤烟型”、“光化学烟雾型”污染之后进入以“室内空气污染”为主的第三污染期。室内空气质量恶化以建筑大量使用化学建筑材料、装饰装修材料、人造板材复合家具，以及各种家用电器、办公用品等从其中散发出的有毒有害气体为起因，还与建筑因节能要求、密封性提高、室内空气流通不畅、公共建筑中央空调系统新风量减少、二次污染等因素密切相关。新时期的特征污染物如挥发性有机污染物、病毒、细菌、 PM_{10} 甚至 $\text{PM}_{2.5}$ 等在室内空气中形成富集效应，它们除皮肤直接吸收进入体内外，在占 24h 中长达 80%~90% 以上的室内暴露时间中，大部分通过人体的肺被动地吸入肺泡，多种有害物质与表面积为 $60\sim 80\text{m}^2$ 的肺泡进行交换和扩散。可以想象，如此大的接触面积下，室内空气质量状况对人们身体健康的影响何等巨大！其结果是室内环境污染物使人体在心理上、精神上受到不良影响，产生“病态建筑综合症”、建筑相关疾病（BRI）、多种化学物质过敏症（MCS）等病症，造成人体在神经上、行为上和器官功能上的变化和异常，产生呼吸系统、心血管系统、免疫系统等病变，甚至引发各种癌症，而对婴幼儿、孕妇和老人等弱势群体的健康危害更是首当其冲，人们所遭受的现实与潜在危害是无法估量的。

历史上任何一次工业化革命、经济革命往往都会或多或少以环境污染和毁坏生态作为代价，同样，也开始了对环境保护的研究和探索。1997 年 Kaiser 在《Science》上发表的“决战洁净空气科学”一文，称“工业界和环境领域研究者正致力于与空气污染和疾病相关的研究，这被人们称为近几十年来最大的环境斗争”；国际室内空气领域著名专家 Fanger 教授特别指出：室内空气污染治理从某种意义上说比室外空气污染治理更重要。可见目前室内空气污染问题已被科学界与工业界广泛关注，室内空气污染控制与治理方面的研究也成为人们关注的热门话题之一。

作者在长期的室内环境监测与净化治理的工作实践和研究中，深刻感到室内环境质量的重要性。因此将环境监测与保护方面的工作经验、研究成果编写出来，作为从事室内环境保护工作从业人员的指导用书。通过本书使室内环境保护从业人员全面、系统地了解 and 掌握室内环境污染控制和治理技术，积极投身到室内环境保护和治理中，维护人类健康与生命安全。

本书共分 13 章，全面解析了国内外的室内空气质量标准和相关规范、《绿色建筑评价标准》以及最新的 ISO/DIS16814 标准。全面介绍了室内环境污染与治理的发展历程、国内外建立的室内环境污染控制体系、室内环境评价、预评价系统知识及其在装饰装修工程中的应用；分析了室内环境污染种类、来源及新型污染物、污染特征和人体健康效

应；介绍了最新的室内环境污染在线检测与控制技术以及车内空气污染与控制方法。

书中第1~10章、第13章由王雨群编写；第11章、12章由宋广生编写，其中第11章中电工知识的内容由吴吉祥提供。

本书从科学性、实用性出发，力图以最新研究成果解析室内环境污染物的控制技术与治理方法、技术发展现状以及研究发展方向。重点解析室内环境污染综合控制与治理的最新研究成果、原理和方法、产品及其应用，有针对性地介绍了居室、中央空调、车内空气净化技术、方法和产品；对人们普遍关注的人造板材有害物质控制技术、甲醛清除技术进行详细分析和研究；在净化技术中对物理吸附、机械过滤、化学净化法、微生物及植物多酚净化法、光催化净化法、酶催化生态净化法、活性炭、竹炭、活性炭纤维及其改性技术和产品、电气石负离子和电场等离子净化法等实用性强的新型净化原理、净化方法和应用进行了详细解析，介绍了室内空气净化器 and 净化材料检测与鉴定知识、室内环境污染治理程序与现场施工方面的应用知识，引用了大量文献资料。

本书适用于广大环境污染控制、评价、监测与治理等相关领域的从业人员、研究人员、建筑装饰行业人员以及大专院校相关专业师生参阅。

室内环境污染控制与治理领域是一个涉及多学科、跨领域的新兴研究空间，作为室内环境工作者，作者深知该领域的无穷与深奥，由于编者学术水平、编写能力、写作时间及经验所限，书中缺点和错误在所难免，敬请读者批评斧正，并向引用文献的作者致谢。

编 者

目 录

前言

第1章 室内环境污染及治理概述 1

- 1.1 室内环境污染及治理的发展历程 1
- 1.2 室内空气质量研究 4
- 1.3 室内空气质量研究领域 6
- 1.4 室内空气质量控制与治理 9
- 1.5 我国室内环境保护行业的形成、现状及发展前景和亟需解决的问题 9
- 1.6 室内环境污染治理行业自律公约与从业人员应具有的职业道德 14

第2章 室内环境污染控制体系、标准与评价方法 16

- 2.1 国内外室内环境污染控制体系的建立与发展 16
- 2.2 《室内空气质量标准》(GB/T 18883—2002) 解析 21
- 2.3 《民用建筑工程室内环境污染控制规范》(GB 50325—2010) 解析 24
- 2.4 《室内装饰装修材料有害物质限量标准》10项标准 29
- 2.5 《标准》、《规范》、《有害物质限量》10项标准之间的关系与区别 30
- 2.6 《公共场所集中空调通风系统卫生管理办法》解析 32
- 2.7 《绿色建筑评价标准》(GB/T 50378—2006) 解析 36
- 2.8 《建筑环境设计-室内空气质量-人居环境室内空气质量的表述方法》(ISO/DIS 16814) 标准解析 39

第3章 室内环境预测与评价方法及应用 43

- 3.1 室内环境预测与评价 43
- 3.2 室内空气品质的常用预测与评价模型 44
- 3.3 室内环境预评价的方法和指标 45
- 3.4 装饰装修工程室内空气品质预测与评价法应用 48

- 3.5 室内品质预测与评价在净化与治理中的作用 50

第4章 室内环境污染分析 51

- 4.1 室内空气污染物质的种类 51
- 4.2 室内空气污染来源 52
- 4.3 建筑装饰装修材料中有害物质散发引发室内空气污染 53
- 4.4 装饰装修引起民用住宅室内环境污染的新特点 56
- 4.5 大型公共建筑室内装饰装修对室内空气质量的影响 58
- 4.6 冬季各类民用建筑室内空气质量的新特点 58

第5章 室内环境污染在线监测与控制 60

- 5.1 室内环境污染在线监测 60
- 5.2 室内环境污染综合控制与对策 68

第6章 室内环境污染物与净化原理 75

- 6.1 室内环境污染的分类 75
- 6.2 物理净化法原理及其应用 86
- 6.3 化学净化法原理及其应用 93
- 6.4 微生物、植物及其活性提取物净化原理及其应用 101
- 6.5 光催化法原理及其应用 105
- 6.6 生态净化法及其应用 108
- 6.7 室内环境污染综合治理 110

第7章 中央空调通风系统和家用空调污染与控制 114

- 7.1 中央空调通风系统空气质量现状与危害 114
- 7.2 中央空调通风系统污染控制方法 120
- 7.3 家用空调的污染与控制方法 125
- 7.4 集中通风系统清洗方案的编制 126
- 7.5 集中通风系统清洗的具体操作程序和现场施工 131
- 7.6 集中通风系统清洗后的检测 136

第 1 章 室内环境污染及治理概述

1.1 室内环境污染及治理的发展历程

历史上任何一次工业化革命或者经济开发革命往往都会或多或少以环境污染和毁坏生态作为代价，同样也开展了对环境的研究和探索。人们进行环境污染治理的努力可以追溯到 14 世纪，以当时英国伦敦的烟雾法为代表。与此同时，人们对空气污染问题的研究源于 1952 年的伦敦烟雾事件，经过 50 多年的研究，人们对空气污染的成因、影响因素和代表性危害都有了较为全面的认识；同时，控制空气污染的方法或措施也不断完善，并形成了与室外空气污染控制相关的产业。只是，以往人们对环境科学研究主要集中在大气、水、土壤、垃圾和噪声污染以及它们的防治与治理措施等方面。

但是随着工业化、产业化的进程，环境科学的进一步深入研究和人民生活质量的提高，另一个与人们健康和生命息息相关的室内污染与防治问题的研究日趋重要。在现代社会背景下的室内空气质量控制，人们开展了与甲醛、挥发性有机污染物、传染性病毒的斗争，已经与传统的防止一氧化碳中毒、二氧化硫污染之类的问题有着天壤之别。

1.1.1 病态建筑综合症（SBS）的引发

20 世纪 70 年代后期，化学合成材料工业迅速发展，出现了大量人工复合型建筑材料和建筑装饰材料，它们在建筑中广泛被采用，其中一些材料排放有害气体。当时出于节约能源的考虑，建筑物的气密性大大提高，新风量减少，由此带来室内通风率不足，污染物在室内空气中形成富集效应，对人体产生危害，使得长期生活和工作在“现代”建筑中的人群中表现出一系列病态反应。

1. 病态建筑综合症（SBS）的主要表现

病态建筑综合症（SBS）有如下主要表现：

- 1) 眼睛，尤其是眼膜，鼻黏膜，以及咽喉感觉到刺激症状。
- 2) 嘴唇等黏膜干燥。
- 3) 皮肤红斑，麻疹，湿疹。
- 4) 易疲劳。
- 5) 频繁引发头痛和呼吸道感染。
- 6) 明显感觉气短，胸闷。
- 7) 没有外力的作用，也会引起过敏。
- 8) 头晕，恶心，呕吐反复发作。

这些症状并没有显著的病理改变，一旦离开污染的建筑物，病症会明显的减轻或消失。

2. 国际上有关病态建筑综合症的定义

世界卫生组织（WHO）于 1982 年首次解释：“SBS 为在非工业区主诉具有急性非特异

症候群（眼、鼻和咽刺激症、头疼、疲劳、全身不适）的建筑物室内活动者的频数增加的情况。这些症状在离开该建筑物之后能得到改善”。WHO 在 1983 年对病态建筑综合症进行了定义，并将这些建筑和不良反应归纳为“病态建筑（Sick Building）”和“病态建筑综合症（Sick Building Syndrome）”。

1989 年 WHO 又提出新的定义：“SBS 为一种对室内环境的反应，大多数室内活动者的反应不能归因于某一明确的因素，例如对已知污染物或不良通风系统的过度暴露。这种症候群被假定为由若干暴露因素的多因素互相作用所引起，并涉及不同的反应机理”。

1991 年欧洲室内空气质量及其健康影响联合行动组织又重新划分了定义。SBS：专指由受到影响的工作人员所主诉报告的，在工作期间所发生的非特异症状，包括黏膜和眼刺激症、咳嗽、胸闷、疲劳、头痛和不适。

3. SBS 发病机理

尽管 SBS 的发病涉及不同的反应机理，因而很复杂，然而有关 SBS 发病机理的研究仍在不断深入。SBS 发病主要涉及刺激症状、过敏症状和全身症状。比较著名的研究成果有 W. S. Cain 学说和 G. D. Nielsen 学说。

在 G. D. Nielsen 等的学说中，SBS 的发病解释为：在眼、鼻、咽部和上呼吸道黏膜中分布有大量的三叉神经的无髓鞘 A_δ 纤维。在无髓鞘 C 纤维和薄髓鞘 A_δ 纤维膜中镶嵌有感觉性刺激受体（Sensory Irritant Receptors, SIR）和阳离子/钙通道（Cation/Ca²⁺ Channel）的蛋白复合体。VOC 和甲醛等能够通过物理性吸附和/或化学反应的方式激活 SIR，从而打开阳离子/钙通道，然后引起钙内流。细胞内钙的积累又可以导致神经细胞在局部和中枢的纤维末梢内 P 物质（Substance P, SP）和降钙素基因相关（Calcitonin Gene-related Peptide, CGRP）颗粒的脱颗粒。当 SP 和 CGRP 脱颗粒发生在中枢神经系统时，即可产生刺激感觉和全身症状，当发生在眼、鼻、咽部和上呼吸道黏膜，则会发生局部炎症等反应。参与这个过程的因素还有：VOC 和甲醛等在上呼吸道的代谢（-）；质子供体的调制作用（+）；SP 和 CGRP 在上呼吸道的代谢（-）；SP 和 CGRP 代谢的抑制（+）；SP 受体的拮抗剂（-）和激活剂（+）等。

1.1.2 建筑相关疾病（BRI）

建筑相关疾病（Building Related Illness, BRI）最普遍的症状是超敏性疾病，包括肺炎、湿疹、哮喘、过敏性鼻炎和感冒（infection），其病原已知，具有一致的临床表现，主要表现为呼吸系统疾病、心血管疾病、军团病及各种癌症（如肺癌）。

BRI 病原包括过敏原、感染原、特异的空气污染物和特定的环境条件（例如气温和相对湿度），是由于接触建筑环境中的抗原，刺激特殊抗体反应引起。

建筑相关疾病（BRI）的特点：

1) 患有建筑相关疾病的人群具有某些类型的临床不适反应，离开工作环境后症状也不会消失，并且能被医生诊断。

2) 病人和医生都很难意识到病人的工作环境和所患疾病之间的关系。

3) 建筑相关疾病通常只是个别发生。

4) 建筑部件的微生物污染是造成建筑相关疾病问题的主要原因。

建筑相关疾病的最著名的例子就是军团病事件。军团病是由军团菌引起的，被感染人群

有5%~15%死亡率。这种病最初在1976年美国得到了证实。

1.1.3 多种化学物质过敏症 (MCS)

多种化学物质过敏症 (multiple chemical sensitivity, MCS) 指在新的、密闭的办公楼中发生的原因不明的症候群。室内空气中一定数量的某种化学物质或生物物质, 对一般人群可能不会引起反应, 但对敏感人群, 却会引起过敏反应。对这种过敏是如何发生的, 现在还没有研究清楚。

1.1.4 军团菌 (Legionella)

军团菌 (Legionella) 是引起军团病 (legionnaires disease, LD) 的病原菌, 是兼性胞内寄生菌, 可入侵变形虫, 或是人类的巨噬细胞内, 系革兰氏阴性杆菌。是由于1976年在美国费城退伍军人年会中首次发现的急性发热性肺部疾病而被命名的, 这次聚会, 有221人被感染, 其中死亡34人。目前, 在世界范围内的大部分国家和地区, 均发现过军团菌病。

研究发现: 公共场所中中央空调、冷却水塔、热水沐浴器等系统中军团菌繁殖、传播是引起军团病感染、暴发的主要原因。目前, 国际上多个国家已将军团菌肺炎定为法定传染病之列。现已发现了30多种军团杆菌, 至少19种是人类肺炎的病原。据估计, 在美国每年都有8000~18000人感染上军团病。

1.1.5 传染性非典型肺炎 (严重急性呼吸综合症, SARS)

2002年冬~2003年夏, 我国香港、广东、北京、山西和内蒙古等地区发生传染性非典型肺炎 (严重急性呼吸综合症, SARS), 截至2003年5月14日, SARS已经传播到全球32个国家和地区, 据世界卫生组织2003年8月15日公布统计数字, 截至2003年8月7日, 全球累计非典病例共8422例, 涉及32个国家和地区。全球因非典死亡人数919人, 病死率近11%。

这种被世界卫生组织 (WHO) 称为“严重急性呼吸综合症” (Severe Acute Respiratory Syndrome, SARS) 的呼吸道急性传染病是由一种新的冠状病毒 (SARS相关冠状病毒) 引起的急性呼吸系统疾病, 主要通过短距离飞沫、接触患者呼吸道分泌物及密切接触传播。临床上以发热、头痛、肌肉酸痛、乏力、干咳少痰为特征, 严重者出现气促或呼吸窘迫。这是一种新的呼吸道疾病, 其临床表现与其他非典型肺炎相类似, 但具有传染性强的特点, 故中国医务工作者将其命名为传染性非典型肺炎。

尽管人们对这种冠状病毒研究和认识极其有限, 但通过其传播途径和传播方式分析, 它们可以通过空气气溶胶、昆虫、动物等途径传播, 显示出较强的传染力, 现实也再一次暴露了各种建筑气密性高、通风系统新风量不足等严重缺陷, 特别是中央空调通风系统的设计、使用和维护不当和缺陷, 使得室内环境对人体健康产生严重影响, 从而引起了全球前所未有的关注。

1.1.6 甲型 H1N1 流感

甲型 H1N1 流感病毒 [Influenza A (H1N1) virus] 是一种亚型流感病毒, 也是人类最常见的流行性感冒 (流感) 之一。有些株 H1N1 病毒会引起小部分地方性的流行, 有些是季节性的大流行。2006年大约有一半的人类流感病毒感染是由 H1N1 病毒株引起的。2009年6

月,世界卫生组织宣布,禽流感新菌株的猪源 H1N1 病毒流感大流行,此前这株通常被媒体称为“猪流感”,后改为甲型 H1N1 流感病毒。据 WHO2009 年 8 月 4 日公布的数据,甲型 H1N1 流感病毒目前已扩散到世界各大洲的 168 个国家和地区,已造成全球 1154 人死亡。甲型 H1N1 流感传染途径与季节性流感类似,通常是通过感染者咳嗽和打喷嚏产生的小液滴,然后通过空气气溶胶或接触性感染而传播,与患者近距离接触也有可能引起新的感染或发病。

1.2 室内空气质量研究

由于室内环境污染越来越严重、对人体健康的影响日益显著,各国政府、研究机构和广大研究人员,针对室内环境开展了多方面的研究和探索,开展了室内环境与人体健康的影响、室内空气品质与控制方面的广泛研究。

1.2.1 室内空气品质定义及其发展历程

1. 室内空气品质 (IAQ)

室内空气品质 (Indoor Air Quality, IAQ),是指在某个具体的环境内,空气中某些要素对人们生活、工作的适宜程度,它反映了人们的具体要求而形成的一种概念。如何评价室内环境质量是目前为人们所关心的主要问题之一。它包括室内空气的温度、湿度、空气新鲜度和洁净度等情况。

由于室内空气品质与每个人息息相关,这使得人们开始深入研究和探讨室内空气质量对人类健康的影响,污染物及其来源以及可行的解决途径等。于是,在一些西方国家研究室内环境的学者就提出了“室内空气品质 (IAQ)”学说,IAQ 是近 10 年国际环保界最关注的课题之一。

2. 室内空气品质定义的发展与不同解释

室内空气品质定义在近 20 年中经历了许多变化。最初,人们把室内空气品质几乎完全等价为一组污染物浓度指标。近年来,人们认识到这种纯客观的定义不能涵盖室内空气品质的内容。

影响较大的是在 1989 年国际室内空气品质讨论会上,丹麦的 Fanger 教授提出了一种空气品质的主观判断标准:空气品质反映了人们的满意程度。如果人们对空气满意,就是高品质;反之,就是低品质。英国的 CIBSE (Chartered Institute of Building Services Engineers) 认为:如果室内少于 50% 的人能察觉到任何气味,少于 20% 的人感觉不舒服,少于 10% 的人感觉到黏膜刺激,并且少于 5% 的人在不足 2% 的时间内感到烦躁,则可认为此时的室内空气品质是可接受的。这两种定义的共同点是都将室内空气品质完全变成了人们的主观感受。这种简单和直观的评价,成为国际上对室内空气品质评价的主流。

美国 ASHRAE 颁布的标准《满足可接受室内空气品质的通风》(ASHRAE 62—1989)中兼顾了室内空气品质的主观和客观评价,定义如下:良好的室内空气品质应该是“空气中没有已知的污染物达到公认的权威机构所确定的有害物浓度指标,且处于这种空气中的绝大多数人 ($\geq 80\%$) 对此没有表示不满意”。首次提出了可接受的室内空气品质 (acceptable indoor air quality) 和感受到的可接受的室内空气品质 (acceptable perceived indoor air quality)

等概念。其中,可接受的室内空气品质定义如下:空调房间中绝大多数人没有对室内空气表示不满意,并且空气中没有已知的污染物达到了可能对人体健康产生严重威胁的浓度。感受到的可接受的室内空气品质定义如下:空调空间中绝大多数人没有因为气味或刺激性而表示不满。它是达到可接受的室内空气品质的必要而非充分条件。由于有些气体,如氡、CO等没有气味,对人也没有刺激作用,不会被人感受到,但却对人危害很大,因而仅用感受到的室内空气品质是不够的,必须同时引入可接受的室内空气品质。

国际标准化组织 TC205 技术委员会编制的《建筑环境设计-室内空气质量-人居环境室内空气质量的表述方法》(ISO/DIS 16814)对室内空气质量的标准采纳了三种表述方法:一是应尽可能降低吸入的空气对人体健康造成的负面作用;因而对室内有害化学物质进行限量。二是基于感受到空气质量的表述,室内空气应使人感到舒适,可以接受。三是基于通风量的间接表述,对 IAQ 的间接表述首先是要确定满足人员健康要求和感受到空气质量要求的最小通风量,用实际风量与规定最小风量的大小关系来描述 IAQ。

2002 年我国制定的《室内空气质量标准》(GB/T 18883—2002)中借鉴了国外相关标准,不但涵盖了 19 项相关检测指标客观评价内容,还首次采用国际上对室内空气质量可感受的定义,加入了“室内空气应无毒、无害、无异味”主观感受与评价方式,与国际主流室内空气品质的观念相接轨,也标志着我国在室内环境质量的理念在加入 WTO 后,开始溶入世界上主流室内空气品质研究领域。

1.2.2 引起室内环境污染的危险因素

人们将不良建筑综合症(SBS)的危险因素分为四大类,见表 1-1。

表 1-1 不良建筑综合症的危害因素

分 类	危 害 因 素
物理因素	气温、相对湿度、通风、人工光照、噪声振动、离子、颗粒物、纤维
化学因素	吸烟、甲醛、VOC、生物杀虫剂、臭味物质、其他无机化学污染物、二氧化碳、一氧化碳、二氧化氮、二氧化硫、臭氧
生物因素	霉菌、皮屑、细菌、螨虫
心理因素	精神紧张、忧郁、压抑、烦躁

近年来,由于现代建筑中室内装饰装修材料增多、各种现代办公设备的广泛使用,直接导致室内化学污染物的增多;而建筑密闭性的提高、空调系统新风量不足或通风不畅,使室内有害气体得不到排放而富集,使污染物浓度升高;对人体舒适的室内温度、湿度也为真菌、细菌、致病菌等繁殖提供了合适条件,使它们的繁殖能力增强或加快。这些因素与 SBS、BRI、MCS 及“空调病”、“居室综合症”等多种人体不适和亚健康状态的产生密切相关。

1.2.3 室内环境污染的危害

尽管人们开展室内空气品质的研究已有 30 多年的研究历程,但人们在室内环境对人体健康影响的了解方面还处于初级阶段,有许多机理尚不清楚。但是室内环境污染对人体的危害及其后果确令人震惊。

据统计,人们平常有 80% 的时间处于室内,而室内某些污染物浓度又超过室外,因此人们对 IAQ 问题日益重视。一个成年人平均呼吸次数为 10 ~ 15 次/min,每次需要 0.5L 空

气,以平均 70 岁寿命来计算,每个人一生要用 27 万 m^3 空气。这些空气进入人体内,在总表面积为 $60 \sim 80 \text{ m}^2$ 的肺泡里,经物理扩散进入体内交换。可以想象在如此长的暴露时间、如此大的接触面积下,室内空气品质状况对人们身体健康影响何等巨大。人们不知不觉地、被动地吸入这些污染物,在其长期的干扰下,在心理上、精神上受到不良影响,导致植物神经系统的紊乱、免疫力减退,造成在行为上和器官功能上的变化,直接危害人体的健康,人们所遭受的潜在危害是无法估量的。

研究表明:继“煤烟型”、“光化学烟雾型”污染后,现代人正进入以“室内空气污染”为标志的第三污染时期,室内空气污染已被世界银行列为全球四个最关键的环境问题之一,全球每年因此而导致死亡的人数达 280 万人。

2002 年 3 月世界银行“室内空气污染”的报告中指出,在全球范围内颗粒物的暴露有 85% 发生在室内,它是引发各种肺病、过敏性疾病的主要因素。美国环境保护署(EPA)历时 5 年的专题调查结果显示,许多民用和商用建筑内的空气污染程度是室外空气污染数倍至数十倍,有的甚至超过 100 倍。EPA 的另一份报告中指出室内空气污染是有关国民健康的首要环境问题之一。据统计,室内环境污染已经引起 36% 的呼吸道疾病,22% 的慢性肺病和 15% 的气管炎,支气管炎。全世界每年有 2400 万人的死亡与室内污染紧密相关。因此,世界卫生组织(WHO)将室内空气污染与高血压、胆固醇过高及肥胖症等共同列为人类健康的十大威胁。Haymore 和 Odom 估计低劣的室内空气品质造成美国每年的经济损失超过 400 亿美元,这一数目令人触目惊心。1989 年美国环保署对新西兰的一项调查表明,每年由于室内空气品质不好造成的损失约占国民生产总值的 3%。而 1990 年对英国的调查表明,SBS 使生产力降低了 4%。在 1997 年,Menzies 的一项实验研究表明,好的室内空气品质提高了大约 11% 的生产力。经过估算,在 1996 年,美国因为 SBS 引起的经济损失高达 76 亿美元。《美国医学杂志》1985 年调查报告估计,在美国,每年因呼吸道感染而就医的人数达到 7500 万次,每年损失 1.5 亿个工组日,花费的医疗费用达 150 亿美元,而缺勤损失则高达 590 亿美元。

据世界银行有关资料显示,中国 2001 年因室内空气污染造成的损失为 106 亿美元,而每年因室内空气污染引起的超额死亡人数又达 11 万人,引发诸如其他血液病(尤其儿童白血病)、神经类疾病及各种癌症。据统计在我国室内空气污染所产生的疾病负担目前达 4%。在疾病负担因素中排序占第四位,目前我国儿童哮喘病率为 2%~5%,其中 1~5 岁儿童患病率高达 85%,在全国 65% 的儿童不同程度地患有哮喘。据报道北京每年由居室污染造成的中毒事件有 400 多起,死亡 350 多人,中毒者 1 万人以上,慢性中毒的范围更加广泛;长春仅 2002 年冬季取暖期间就有 30 多人死于室内 CO 和其他污染物中毒。而令人不安的是,2005 年的调查显示,目前我国,家庭绿色环保产品使用率还不到 30%,有 92.3% 的家庭对装修污染缺乏正确认识,70% 以上的家庭装修污染超标,而污染严重超标达 16~40 倍的已占到了 34%。

1.3 室内空气质量研究领域

1.3.1 室内空气质量研究领域的划分

室内空气质量研究领域有两种划分方法,按社会属性划分,室内空气质量控制和改善可

分为以下几方面:城市建筑环境(居住建筑环境、办公建筑环境和公共建筑环境),农村建筑环境,交通工具内环境,特殊空间(医院、地下空间等),室外和室内环境的相互影响等。

按学科领域的技术属性划分,室内空气质量研究内容可分为室内空气质量对人舒适、健康和工作效率的影响;化学污染控制;微生物污染控制、颗粒污染控制、室内空气环境综合控制、室内外空气质量的关系等。

1.3.2 室内空气质量研究进展

有关室内空气品质的研究,可以追叙到20世纪70年代,当时,人们已经开始采用通风的方法来改善室内空气环境。制冷空调系统的出现,为人们创造了舒适的空调环境。70年代的全球能源危机,使制冷空调系统这一能源消耗大户面临严重考验,节能降耗成为空调系统设计的关键环节。为节能而提高建筑物的密封性和绝热性,降低了最小新风量标准,但是这一措施引起了室内空气环境恶化:由于建筑物内透气性变差、换气量减少,导致室内挥发性化学物质、微生物与可吸入颗粒物形成富集效应,污染物浓度增高,从而危害人体健康;为了增加室内的舒适性,而发明并使用加湿器,但随着室内湿度的增加,加剧了致病微生物的繁殖;导致了室内空气污染,出现了“病态建筑综合症”。

随后的几十年中,美国、德国、日本等发达国家,广泛深入地研究了室内污染的浓度水平、健康风险评估,制定了相应的法律或规范控制技术,基本解决了由室内装饰装修材料引起的室内污染问题,从源头上较好地控制了室内污染。20世纪80年代以来,制冷空调步入一个新的发展阶段,其中最为突出的就是由舒适性空调向健康空调的变革。

由此,室内空气质量研究已成为现代建筑科学的前沿研究课题,它涉及医学卫生、建筑环境工程、建筑设计等诸方面,研究的目的是创造一种卫生、健康、舒适的室内空气环境。

与此同时,国际上室内空气质量研究近几十年来发展迅速。1978年由丹麦著名学者Fanger教授发起,在丹麦哥本哈根召开了第1届国际室内空气大会(The 1st Inter. Conf. of Indoor Air),在世界不同国家举办国际室内空气大会,其后每3年1次。美国空气和废弃物处理学会(A&WMA),制冷空调暖通工程师学会(ASHRAE)年会中室内空气质量也都是重要专题之一。国际上现有国际室内空气学会(ISIAQ),1990年,又成立了国际室内空气科学院(International Academy of Indoor Air Sciences,简称IAIAS)。2005年我国清华大学成功主办了第10届国际室内空气大会(The 10th Inter. Conf. of Indoor Air)。清华大学发起的国际暖通空调大会(Inter. Conf. of Heating, Ventilating and Air-conditioning)自1991首次举办以来已举办5届,室内空气质量也成为了该系列国际会议的主要专题之一。室内空气质量(IAQ)研究领域中,生态建筑材料、室内环境与健康、暖通空调、室内空气净化等相关领域成为研究热点。

随着对于室内空气污染问题认识的不断深化,室内环境作为卫生和环境科学的重要组成部分越来越受到重视。一批专门从事室内环境检测、宣传教育、学术研究和学术交流、咨询和评估的机构开始形成。如美国工业卫生协会(AIHA)专门设立了室内环境质量(IEQ)委员会。“国际室内空气质量与气候协会(ISIAQ)”、“美国绿色建筑委员会(USGBC)”和“室内空气质量协会(IAQA)”也于1992年、1993年和1995年相继创立。就连北大西洋公约组织(NATO)这样的军事合作组织也在其科学与环境事务局所属的高级研究中心开展

“室内空气质量 (IAQ) 科学”的研究和教育培训计划, 每年都要在缔约国开展室内环境方面的培训工作。

与此同时, 室内空气质量的管理机构也开始在发达国家和地区形成, 如美国环保局于 1988 年在其空气与辐射司下设立室内空气质量 (IAQ) 程序办公室, 1995 年又与较早设立的氡分部合并成立了室内环境处, 并附设了两个与室内环境相关的国家实验室, 在相关部门设立了室内环境的监管、执法机构。如今, 美国的学校里都设有室内环境协调员, 管理和督导室内环境质量的监测和控制。法国政府也于 1999 年底成立了国家室内空气监测站, 并从 2001 年开始, 每年在全国选择 1000 个监测点, 对典型室内场所的氡、铅、霉菌、过敏源、VOCs、人造矿物纤维、杀虫剂及烟草烟雾等 10 多种有害物质进行检测, 并向公众通报检测结果。我国的香港特别行政区也于 1998 年在其环境署内设立了室内环境主管部门, 并于 1999 年公布了楼宇的 IAQ 指南。在室内环境管理机构的指导下, 室内环境立法也开始进行, 到目前为止, 欧美各发达国家, 亚洲的日本、韩国和我国香港地区, 以及世界卫生组织已建立比较完善的室内环境法规。

我国大规模出现室内空气污染是在 20 世纪 80 年代。在居住条件大幅度改善的同时, 室内空气品质却不断恶化。较之国外, 我国研究室内空气品质起步较晚, 我国从事住宅室内空气污染的研究始于 70 年代, 当时主要是中国预防医学科学院钮式如研究员的研究室, 出发点是研究室内通风, 并针对二氧化碳等室内空气污染物。到 1980 年, 中国预防医学科学院何兴舟研究员所领导的环境流行病学研究室开始了云南宣威地区农村室内燃料燃烧与癌症发病率关系的研究, 这是我国较早的室内空气污染与健康关系的研究。同年, 武汉市卫生防疫站的杨旭医师在城区开展了室内空气污染的研究工作。1984 年, 在全国防疫站系统开展了大量的室内空气污染调查工作。最为突出的是 1988 ~ 1990 年间中国预防医学科学院秦钰慧研究员所领导的中国五城市室内空气污染与健康关系的调查研究, 研究历时两年, 空气污染物包括 IP 、二氧化硫、二氧化氮、一氧化碳等; 人群包括小学生、中学生、社会居民; 健康指标包括肺功能、碳氧血红蛋白等, 文章多次在国际会议上发表, 特别是在芬兰赫尔辛基大会 (IndoorAir'93) 时做过报告, 是那次千人大会上的重要发言。至此, 我国的室内空气污染研究还是集中在燃料上。

到了 20 世纪 90 年代, 引起居室室内空气污染最主要的原因是由于不良装修, 即在装修过程中使用了含有大量有害物质如甲醛、挥发性有机物等一些装饰装修材料。1993 年杨旭副主任医师首先开始了建筑物装饰材料的污染研究。1995 年秦钰慧研究员组织“室内化学品与健康关系的研究”, 室内空气质量和装饰建材研究是其重要的方面。并以此着手制定我国室内空气标准。此后中国预防医学科学院数次举办过关于室内空气质量研讨会。国家环境保护总局于 2000 年 8 ~ 9 月召开“室内空气质量相关法规及污染控制技术培训班”, 2001 年 5 月, 中国科学技术协会过程学会联合会举办了“全国室内环境质量研讨会”等。室内空气质量标准的制定, 直接关系到人体健康, 需要毒理学试验结果作为依据, 并且要进行卫生学的分析和评价, 这样的工作不是一个检测机构就能够完成的。还有污染源控制, 这是我国目前室内空气污染研究的一个热点问题。消除污染根本方法是消灭污染源, 停止使用了对能产生甲醛的脲醛泡沫塑料和产生石棉粉尘的石棉等建筑材料。一方面, 通过立法制定了室内环境卫生标准和产品质量标准, 在生产和装饰装修工程的过程中尽量控制这些建筑材料的污染物含量; 另一方面, 需要对室内究竟有哪些污染源、这些污染源可能产生什么样的污染物以

及这些污染物的释放特征进行研究,这样就可以在装修过程中对有可能造成室内空气污染的污染源进行控制。

1.4 室内空气质量控制与治理

1997年Kaiser在《Science》上发表的“决战洁净空气科学”一文中提到“工业界和环境领域研究者正致力于与空气污染和疾病相关的研究,这被人们称为近几十年来最大的环境斗争”,可见目前空气污染问题已被科学界与工业界广泛关注。但在环境工程和空气污染治理中,长期以来存在一个认识上的误区,即重视室外大气污染治理,轻视室内空气污染治理。丹麦技术大学的国际室内空气领域著名专家Fanger教授特别指出:室内空气污染治理从某种意义上说比室外空气污染治理更重要,因为绝大多数人90%以上的时间在室内度过。良好的室内空气品质对人体健康至关重要。

由于我国室内空气质量的恶化从20世纪80年代的大规模室内装饰装修开始,特别是近年来随着人民生活水平的提高,住房改革带来的购房、室内装修热潮,由于新建建筑多,装修量大,对建筑材料和装修材料有害气体散发量的限制标准或法规不够完善或执行不力,室内空气品质问题较发达国家严重得多。

室内环境研究领域包括:

(1) 室内环境基础研究 在室内环境研究领域中,从基础研究层面上,人们开展了如下方面的研究:

- 1) 室内污染源和污染特性的研究。
- 2) 室内空气质量评价。
- 3) 室内污染传播过程。
- 4) 室内污染对人体健康的影响与评价。

(2) 室内空气品质的控制与改善研究领域 在室内空气品质的控制与改善研究领域中,人们开展了如下方面的研究:

- 1) 暖通空调系统新风控制与稀释效应的研究。
- 2) 室内污染源的控制研究。
- 3) 空气净化方法、净化材料及净化装置的研究。

1.5 我国室内环境保护行业的形成、现状及发展前景和亟需解决的问题

1.5.1 室内环境保护行业的形成、现状及发展前景

我国室内环境净化治理行业最早始于20世纪80年代。当时市场上才刚刚出现室内环境质量的概念。2003年初,一起突如其来的非典极大地推动了人们室内环境质量意识的提高,推动着室内环境净化治理产业进入了新一轮快速发展阶段。

根据产品用途的不同,目前细化的空气净化治理产品主要有以下几种类型:一是普通空气净化器。这类产品主要包括空气加湿器、空气净化器、新风换气机,其主要用途为家庭、

办公室、室内公共场所等处。二是便携式空气净化装置。这类产品主要包括便携式净化器、车载净化器等,主要用于改善小的室内空间的空气质量。三是净化材料。产品主要包括各类空气清新剂、甲醛捕捉剂、苯、氨等有害物质清除剂,各种新型空气净化、过滤材料、光催化材料等。

国内目前生产空气净化材料的企业数量比较多,多为中小型企业,市场份额较小,缺少龙头企业。由于城市化进程的加快、消费者环保意识的逐渐提高和生活水平的不断改善,中国室内环境净化治理产品的需求量将会稳步提高,尤其在未来的几年内,产品需求将会延续较快的增速;而在产品供给方面,以纳米二氧化钛光催化、生态净化技术等新兴技术的广泛应用,将会有效提高空气净化产品的功效,更好地满足不同消费者的需求,有较好的市场发展前景。

1.5.2 我国室内环境污染治理行业发展现状

2005年2月17日召开的“中国首届室内环境净化治理行业发展研讨会”发布最新消息:我国室内环境净化治理行业已经形成年销售额104亿规模的新兴行业。2006年,随着我国经济建设的发展,我国以室内环境检测治理为主要内容的室内环境保护行业产值实现170个亿,2007年,中国的室内环境保护行业市场规模超过200个亿,2008年,我国室内环境保护行业的发展规模已经超过300亿人民币。据调查统计,未来几年内,室内环境净化治理行业仍处于快速成长期,预计将以每年28%的复合增长率增长。

从20世纪80年代开始,我国室内环境检测治理行业,经过多年的发展,形成了一个比较完整的新兴行业。这些行业已经发展成为包括:空气净化器、空气净化材料、空调净化和清洗系统;具有净化功能室内装饰装修材料;具有节能功能热交换系统;室内环境污染监测、控制、评价系统的一个相对完整行业体系。其主要表现为:

1) 全社会室内环境保护意识得到了迅速提高,而且形成一种全社会的共识。室内环境污染防治从家庭到学校、商场和各种公共场所都得到一定程度的普及。

2) 我国室内环境保护行业的相关标准已经初步形成。几年来,我国的室内环境相关标准不断发布实施,室内环境保护的标准体系已经基本形成。

3) 室内环境检测治理和净化产品已经形成规模,并且出现了多个在国内外具有影响的名牌企业。

4) 室内环境检测治理人员的职业资格和培训已经形成体系。国内培训机构开展的室内环境检测治理师培训已经形成规模。

但是,从总体上来看,我国室内环境污染治理行业还处于发展初级阶段,许多净化技术、净化产品都是从大气污染治理技术转移而来。生产企业较少、投资规模小、技术密集程度较低、产品适应市场发展的需求能力较差,针对室内空气中主要污染物净化能力较低,主流产品市场占有率不高。仍需全社会大力支持和推动。

自从21世纪以来,国际国内许多重大事件的发生,极大地促进了我国室内环境行业的发展,人们对室内环境污染的认知度得到极大提高。

1.5.3 “绿色奥运”对室内环境保护行业的大力推动

为了保证我国对全世界人民的承诺,保证奥运会开办成一届绿色、人文奥运会和成功

的、圆满的奥运会，保证奥运场馆接待的良好环境和良好的室内环境质量，北京奥运工程和相关接待场所采用了 168 项高科技技术，其中有 61 项先进空气处理技术，占全部技术的 36%。综合起来，绿色奥运室内环境保护的特点如下：

(1) 制定“绿色奥运”环保工程指南 为了控制室内环境污染，北京奥组委从筹办奥运会开始先后制定《奥运工程环保指南》、《奥运改扩建工程环保指南》以及《奥运临建工程环保指南》。在这些《指南》中明确规定，为了保证有良好的室内环境，在奥运工程的建设过程中，采取了严格的室内环境污染控制技术，包括建筑材料、水泥制品及混凝土、外加剂、墙体材料、建筑卫生陶瓷、门窗、防水材料和人造板、涂料、油漆、胶粘剂等室内装饰材料，都要按照奥运工程绿色材料的要求进行检测和预控，各项环保指标要求超过国标 E_1 级标准，达到《奥运工程环保指南》要求的 E_0 级标准。

(2) 奥运场馆室内通风新技术广泛应用 有效的通风是保证奥运场馆和接待场所室内环境质量的必要条件，加强通风、提高室内环境中的新风量是有效的解决方法。同时，一些具有节能功能的通风技术和设施在一些新建场馆得到了应用，这些技术充分利用建筑结构，经过巧妙地设计，实现了低能耗甚至零能耗的自然通风。让运动员和观众们时刻都能享用新鲜的空气，同时保证冷暖适宜。

例如在运动员集中休息的奥运村，为了提高室内环境质量，设计师采用了直接安装在窗上的专用的无噪声通风设备，这种设备不需要电力驱动，仅靠内部特殊的设计结构即能抗噪、防粉尘、交换室内外空气，因此，它自身也不会发出空调、排气扇那样的噪声。由于安装了这种设备，运动员可实现不开窗也能实时交换窗外新鲜空气，同时有过滤噪声、花粉、病菌等功能，保证运动员房间内的空气清新和宁静。

北京射击馆采用了生态型呼吸式遮阳幕墙，通过一种特殊的材料，在水帘下通过通风系统，集这几个技术的综合作用的结果，使空气能够在室内达到平衡。实现对建筑通风换气的全智能自动控制，一方面提高了室内空气质量，使室内冬暖夏凉，另一方面极大地减少了能源的耗能，为运动员发挥成绩创造了良好条件。

新建的中国农业大学体育馆，馆顶的天窗设计除了可以采光，还能够增强室内对流通风，为了有效降低温度，提高室内空气质量，减少空调使用，采用了屋顶的 400 多个高低错落分层排列的玻璃窗通风方法，玻璃窗打开后，经自然通风可以让体育馆内的空气和馆外的空气形成自然的对流。

被称为“魔方”的“水立方”在室内环境的设计上充分考虑了运动员和观众的需要，比赛大厅、戏水大厅都采用了百叶自然进风、上部机械排风，可替代强制新风量。

(3) 大量采用新型室内环境污染净化技术 “绿色奥运”为室内空气净化业提供施展产品和技术的机会，在“北京 2008 年奥运会独家供应商配套供应商招标大会”上发布，奥运会有近 20 亿元的室内空气净化器配套采购计划，吸引了 500 多家中国内地、港台及日本等境内外企业的先进室内环境净化产品和技术前来竞标。

北京亚都公司研制的解决室内环境污染问题的具有分子络合技术、负离子技术的各种空气净化器，成为提高奥运场馆空气加湿净化器的独家供应商。同时，国内外相关企业的产品和技术也出现在奥运工程和负责接待工作的宾馆和饭店，甚至车辆中。

(4) 新型集中空调清洗净化技术 北京市建立了 230 家集中空调清洗技术服务机构，采用了大量先进的集中空调清洗技术，包括清洗机器人、空调风管检测机器人、气吹机器