



21st CENTURY
实用规划教材

21世纪全国高等院校
环境系列实用规划教材



室内环境监测与污染控制

主 编 李静玲
副主编 林小英 夏雪芬



赠送
电子课件
www.pup6.com

全面介绍室内环境品质以及室内污染相关知识
将车内污染及特点纳入室内环境污染讨论范畴
增加核事故污染和预防措施的介绍



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

21 世纪全国高等院校环境系列实用规划教材

室内环境监测与污染控制

主 编 李静玲
副主编 林小英 夏雪芬
参 编 吴 婧 陈荣国



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本书介绍了室内污染与监测的概念、室内空气品质的概念与评价方法、主要污染物的种类及其来源、对人体健康的危害等有关内容,较为详细地介绍了污染物的采集和测试方法、最新的国内外相关标准与规范。全书深入浅出,内容丰富,每章均配有习题,便于自学。

本书可作为建筑学、环境工程和建筑环境与设备工程等专业的教学用书,也可作为其他专业了解室内环境污染、监测以及污染控制等知识的辅助教材,还可作为相关部门科研、管理、工程技术人员以及关心该研究领域的各界人士的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

室内环境监测与污染控制/李静玲主编. —北京:北京大学出版社, 2012. 10

(21世纪全国高等院校环境系列实用规划教材)

ISBN 978-7-301-16068-8

I. ①室… II. ①李… III. ①居住环境—环境监测—高等学校—教材②居住环境—环境污染—污染控制—高等学校—教材 IV. ①X83②X506

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第197624号

书 名: 室内环境监测与污染控制

著作责任者: 李静玲 主编

责任编辑: 吴迪

标准书号: ISBN 978-7-301-16068-8/X·0042

出版者: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区成府路205号 100871

网 址: <http://www.pup.cn> <http://www.pup6.cn>

电 话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667 出版部 62754962

电子邮箱: pup_6@163.com

印刷者: 河北滦县鑫华书刊印刷厂

发 行 者: 北京大学出版社

经 销 者: 新华书店

787毫米×1092毫米 16开本 19印张 438千字

2012年10月第1版 2012年10月第1次印刷

定 价: 38.00元

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究

举报电话: 010-62752024

电子邮箱: fd@pup.pku.edu.cn

前 言

随着我国工业化和城镇化的不断推进，由此引发的环境污染问题时常打乱人们的生产或生活秩序，人们不得不对周边环境污染问题开始高度重视。很久以来，人们一直认为空气污染严重的是室外，而事实上，办公室、居室、饭店、影剧院、歌舞厅等建筑物的室内环境污染对人们健康的影响远比室外要大得多。从现实情况看，室内空气质量远劣于室外大气环境。人的一生约有 80% 的时间是在室内度过的，因此，室内环境质量的好坏直接影响到人体健康。长期生活和工作在现代建筑中的人们普遍感到头昏、鼻塞、喉干、胸闷、精神不佳等不适症状，一旦走出室内时，这些不适症状明显减轻。这就是由于室内空气品质的恶化导致人们的身心健康和工作效率都受到了很大影响，这种现象从专业上被称为病态建筑（SB）和病态建筑综合症（SBS）。

造成室内环境污染来源主要有以下几个方面：一是人们的生活和活动，包括呼吸、抽烟、厨房操作及空调使用等；二是装饰、装修材料及日常用品的使用；三是室外环境的污染。这些污染物随着呼吸进入人体内部，长期积累，严重危害着人们的身体健康。环保工作者提醒人们：室内空气污染程度常常比室外空气污染严重 2~3 倍，在某些情况下，甚至可达 100 多倍。在室内可检测出 300 多种污染物，68% 的人体疾病都与室内空气污染有关。“室内环境污染型”被公认为继“煤烟型”、“光化学烟雾”污染后的第三大类污染。

以我国《室内空气质量标准》（GB/T 18883—2002）以及《民用建筑工程室内环境污染控制规范》（GB 50325—2010）为标志的一系列有关室内环境质量控制的标准的颁布与实施，从源头上有效地控制了污染源进入室内环境，为控制室内环境污染提供了依据，为人们的生命与健康提供了有力的保障，推动了我国室内环境质量研究和室内污染控制技术的发展。

全书共分为 11 章，主要介绍了室内环境的基本概念以及影响因素、污染物的种类与来源、室内污染的消除与净化技术；介绍了室内空气品质的评价指标与方法；较为全面地收集了国内外有关室内环境标准，包括 WHO、美国 ASHRAE、EPA 以及中国等部分国家与地区相关标准；分列出甲醛、苯及苯系物、挥发性有机物、碳氧化物、氮氧化物以及氡及其子体等室内主要污染物标准限量，并详细地介绍了我国国家标准中主要污染物的监测方法。本书第一次将车内污染及特点纳入室内环境污染讨论范畴，并就车内污染物种类、来源、污染特点及我国第一部用于监测车内有害污染物的标准——《车内挥发性有机物和醛酮类物质采样测定方法》（HJ/T 400—2007）进行了讨论。

全书介绍了室内环境品质以及室内污染等方面的知识，并收集了较为全面的国内外有关室内环境质量的标准，旨在让读者较全面地了解室内环境的品质及污染等相关内容。本书适用于从事室内环境评价、室内污染物监测与控制、建筑装修、装饰等工程技术人员以及大专院校有关专业师生查阅。鉴于日本福岛核电站发生严重的核泄漏事故，无论对日本还是世界各国的核电事业发展都带来了较大冲击，对日本及其周边地区和全球环境也带来了重大影响，为了澄清有关核泄漏事故给我们的生活带来的影响，我们及时编写了有关核事故污染章节，介绍了有关国内外核电事业发展、核污染概念、核污染带来的危害以及预



防措施等内容。

本书第1、10、11章由李静玲编写，第2、4章由林小英、李静玲编写，第5章由夏雪芬编写，第7章由林小英编写，第3、8章由吴婧编写，第6、9章由陈荣国编写，李世平参与了部分资料的收集，全书由李静玲统稿。

由于编写人员学术水平、编写时间以及编写经验不足等多方面原因，书中不足之处在所难免，敬请读者批评指正。

编者

2012年8月



目 录

第 1 章 概论	1
1.1 几个概念	1
1.1.1 室内环境和室内空气污染	1
1.1.2 室内空气品质	1
1.1.3 不良室内空气品质引起的 综合症	2
1.2 室内环境污染	3
1.2.1 室内环境污染及污染物的 分类及来源	4
1.2.2 室内噪声污染	6
1.2.3 室内空气污染的特点	6
1.2.4 室内环境污染的危害	8
1.3 国内外室内环境污染研究进展	8
1.3.1 国外室内环境研究 简况	8
1.3.2 我国室内环境研究现状及 差距	9
本章小结	10
习题	10
第 2 章 室内空气品质及其评价	11
2.1 室内空气品质	11
2.1.1 研究室内空气品质的 意义	11
2.1.2 室内空气品质对人体健康的 影响	14
2.1.3 改善室内空气品质的重要性和 必要性	15
2.1.4 室内外空气品质研究 现状	16
2.2 室内装修空气质量预评价	18
2.2.1 室内环境空气质量的 预评价	18
2.2.2 物料计算	19
2.2.3 建筑材料有毒有害气体 释放量的测定	19
2.2.4 有毒有害气体定量 计算	20
2.2.5 对策措施建议	20
2.3 室内空气品质评价	20
2.3.1 室内空气品质的评价 目的	21
2.3.2 室内空气品质评价 分类	21
2.3.3 室内空气品质评价 方法	21
2.4 我国室内空气品质调查方法	35
2.4.1 问卷调查方法	35
2.4.2 现场监测方法	36
2.4.3 我国部分城市室内空气 污染物监测结果	36
本章小结	41
习题	41
第 3 章 建筑室内环境舒适度的影响 因素	42
3.1 建筑热湿环境	42
3.1.1 建筑外环境对建筑物的 影响	42
3.1.2 建筑室内热湿环境(小气候)的 影响因素	47
3.1.3 建筑热湿环境的评价 指标	50
3.2 建筑光环境	56
3.2.1 光的性质与度量	56
3.2.2 室内光环境	58
3.2.3 舒适光环境的要素与评价 标准	60
3.2.4 光污染及其危害	64
3.3 建筑声环境	65
3.3.1 建筑声环境的基本知识	65
3.3.2 噪声评价	69
3.3.3 噪声对健康的危害	72



本章小结	73	5.1.2 颗粒物的采样	105
习题	74	5.1.3 共存污染物的采样方法	105
第4章 室内空气污染物	75	5.1.4 采样体积计算	106
4.1 室内空气污染物存在的状态	75	5.2 室内空气监测方案设计	106
4.1.1 气态污染物	76	5.2.1 采样点位置的设置	106
4.1.2 悬浮颗粒物	76	5.2.2 采样时间和频率的确定	107
4.2 室内空气污染物的来源	76	5.2.3 采样方式	108
4.3 室内主要污染物及其对人体		5.2.4 采样记录	108
危害	77	5.3 采样效率及其评价、污染物浓度的	
4.3.1 颗粒物 (Particulate Matter,		表示方法	109
PM)	77	5.3.1 采样效率及其评价	109
4.3.2 二氧化碳 (Carbon Dioxide,		5.3.2 空气中污染物的浓度表示	
CO ₂)	79	方法	110
4.3.3 一氧化碳 (Carbon Monoxide,		本章小结	111
CO)	79	习题	111
4.3.4 甲醛 (Formaldehyde)	80	第6章 室内主要污染物的检测	112
4.3.5 总挥发性有机化合物 (Total		6.1 室内空气污染物监测技术	
Volatile Compound, TVOC)	81	导则	112
4.3.6 苯及苯系物 (Benzene and Phe-		6.2 无机污染物的测定	113
nyl Compounds)	84	6.2.1 二氧化硫的测定 (副玫瑰	
4.3.7 氨 (Ammonia, NH ₃)	85	苯胺分光光度法)	113
4.3.8 多环芳烃 (Polycyclic Aro-		6.2.2 二氧化氮浓度的测定	
matic Hydrocarbons, PAHs)	86	(改进的 Saltzman 法)	118
4.3.9 氡 (Radon)	87	6.2.3 CO/CO ₂ 的测定方法 (非	
4.3.10 臭氧 (Ozone)	90	分散红外法)	120
4.3.11 微生物 (Microbe)	90	6.2.4 氨的测定 (纳氏试剂分光	
4.4 工业建筑室内主要污染物		光度法)	122
来源	90	6.2.5 臭氧的测定 (紫外	
4.5 车内空气污染	91	光度法)	125
4.5.1 车内空气污染		6.3 有机污染物的测定	130
现状	92	6.3.1 甲醛浓度测定 (乙酰丙酮	
4.5.2 车内空气污染来源	93	分光光度法)	130
4.5.3 治理车内空气污染的		6.3.2 总挥发性有机物的测定	
措施	93	(气相色谱法)	132
4.6 案例	96	6.3.3 苯及苯同系物的测定	
本章小结	100	(毛细管气相色谱法)	134
习题	100	6.4 厨房间油烟污染物的测定	136
第5章 室内空气监测	101	6.4.1 油烟雾的采样和分析	
5.1 室内空气样品采集	101	方法	136
5.1.1 采集方法	101	6.4.2 油烟雾气中多环芳烃的	
		检测	138



6.5 可吸入颗粒物的测定 (重量法)	143	本章小结	205
6.6 生物污染物的测定	144	习题	205
6.7 放射性核素的测定	145	第8章 国内外室内环境相关标准与 规范	207
6.7.1 放射性核素的 γ 能谱 分析方法	145	8.1 室内空气质量标准	207
6.7.2 氡浓度测定(两步 测量法)	148	8.1.1 国外有关室内空气品质 标准简介	207
6.8 热环境参数的评测	150	8.1.2 我国室内空气品质相关 标准与规范	213
6.8.1 温度(玻璃液体温度 计法)	150	8.2 有关我国室内环境品质标准 解读	226
6.8.2 湿度(通风干 湿表法)	151	8.2.1 《室内空气质量标准》 (GB/T 18883—2002)	228
6.8.3 空气流速(热球式电风速 计法)	152	8.2.2 《民用建筑工程室内环境 污染控制规范》(GB 50325— 2010)	229
6.8.4 新风量(示踪气体浓度 衰减法)	153	8.3 室内热环境的标准	230
6.9 车内空气污染物测量	155	8.4 我国室内声光环境标准解读	232
6.9.1 车内挥发性有机物和醛酮类 物质采样方法	155	8.5 国内外相关室内空气质量标准 对比	234
6.9.2 车内挥发性有机物组分测定 方法(热脱附/毛细管气相 色谱/质谱联用法)	159	本章小结	236
6.9.3 车内醛酮类物质测定方法 (固相吸附/高效液相色谱 法)	164	习题	236
本章小结	167	第9章 现代住宅与绿色建材	238
习题	167	9.1 健康住宅	238
第7章 室内环境污染控制	169	9.1.1 健康住宅定义	238
7.1 室内环境污染	169	9.1.2 健康住宅标准	239
7.2 室内空气污染控制	170	9.1.3 健康住宅评价指标	239
7.3 室内通风换气	171	9.1.4 健康住宅建设理念与 宗旨	240
7.3.1 自然通风	171	9.2 绿色住宅	241
7.3.2 机械通风	173	9.2.1 绿色建筑	241
7.3.3 空调系统	176	9.2.2 绿色住宅概述	241
7.4 室内空气净化技术	177	9.2.3 绿色建筑评价指标	241
7.4.1 室内空气污染净化分类	177	9.2.4 绿色住宅评估标准	242
7.4.2 颗粒状污染物净化技术	179	9.2.5 绿色住宅建设理念与 宗旨	243
7.4.3 气态污染物的吸收净化 方法	185	9.3 生态住宅	243
7.5 室内环境污染的综合控制 策略	203	9.3.1 生态住宅定义	244
		9.3.2 生态住宅标准	244



9.3.3	生态住宅评价指标	245	10.2	核污染及其防治	266
9.3.4	生态住宅建设理念与宗旨	245	10.2.1	核污染概念	266
9.4	国外住宅健康化、绿色化、生态化的研究进展	246	10.2.2	核污染种类	266
9.4.1	国外住宅的健康化	246	10.2.3	核污染来源途径	268
9.4.2	国外住宅的绿色化、生态化	247	10.2.4	公众接受核辐射限值	268
9.5	中国住宅健康化、绿色化、生态化的研究进展	249	10.2.5	核污染的危害	270
9.5.1	中国住宅的健康化	249	10.2.6	受到大剂量核辐射的症状	271
9.5.2	中国住宅的绿色化、生态化	249	10.2.7	核辐射污染预防与处置	271
9.6	绿色建材	250	附录一	《核电厂辐射防护规定》(GB 14317—1993)	273
9.6.1	绿色建材的定义	251	附录二	《电离辐射防护与辐射源安全基本标准(附录B)(标准的附录——剂量限值和表面污染控制水平)》(GB 18871—2002)	279
9.6.2	绿色建材的评价指标体系	251	本章小结		280
9.6.3	绿色建材的认证	252	习题		280
9.7	一些重要绿色建材	252	第11章	综合训练和实践	281
9.7.1	生态水泥	252	11.1	室内环境监测实践教学环节训练	281
9.7.2	绿色高性能混凝土	253	11.1.1	具体操作技能	281
9.7.3	绿色装饰材料	253	11.1.2	现场调查及综合分析能力的训练	282
9.7.4	其他绿色建材	253	11.1.3	综合设计实验能力的训练	282
9.8	国内外有关绿色建材研究进展	253	11.2	室内空气污染监测实习	282
9.8.1	国外绿色建材的发展概况	253	11.2.1	室内空气污染监测实习任务书	282
9.8.2	中国绿色建材的发展概况	254	11.2.2	室内空气污染监测实习指导书	283
本章小结		255	11.2.3	室内空气污染监测实习总结	283
习题		256	11.3	室内放射性氡及子体浓度监测案例	284
第10章	核事故污染防治与处置	257	11.4	综合训练与实践——室内污染物甲醛、苯系物及TVOC浓度监测与室内环境品质的综合评价	285
10.1	核能概况	257	本章小结		287
10.1.1	核能开发利用意义与必要性	257	习题		287
10.1.2	国外核能开发与利用概况	258	参考文献		288
10.1.3	我国核能开发与利用概况	258			
10.1.4	几次严重核事故及带来的重大影响	260			
10.1.5	国际核事件分级表	264			

第 1 章 概 论

学习目标和要求

本章简要介绍室内环境与室内空气污染,室内空气质量以及不良建筑物综合症等概念,并介绍室内主要空气污染物的来源、分类以及研究室内空气污染与控制的意义。通过本章的学习,要求学生了解有关室内环境、空气污染以及污染物,熟悉室内空气质量和不良建筑物综合症等概念,熟悉室内环境污染物的特点、危害及来源,了解室内污染研究的意义以及国内外相关研究领域的新进展。

人的一生中,大约有 2/3 的时间是在家里度过的,尤其对于居住在城镇人们来说,平均有 80% 以上的时间是在室内度过的。据报道,目前人们的许多不适或者亚健康状态,例如头晕、易疲劳、上呼吸道疾病、腹泻、过敏以及心理疾病等都可能与居住环境有关,有资料揭示白血病、肺癌等疾病与所处或者居住的环境内有毒有害的物质有关。室内常见的有害物质如甲醛、苯系物以及氡等如影随形般地影响着我们的生活、工作或学习。室内环境污染种类繁多、来源各异,由于该领域所涉及的知识专业性较强,不为公众所熟知,故对人体健康危害十分突出。如何做到让公众了解室内环境污染的种类、污染来源及危害性,并能采取有效措施控制或消除室内环境污染,这正是每一位从事相关领域研究工作者义不容辞的职责。改善室内空气质量正在成为社会民众普遍关心的大问题。随着一系列相关室内环境质量的国家标准出台和落实,以及公众环保意识的不断提高,有关如何减少室内环境污染,提高室内空气质量必将越来越受到人们的关注!

1.1 几个概念

1.1.1 室内环境和室内空气污染

室内环境(Indoor Environment, IE),主要指居室,广义上讲是人们生存和活动的重要场所,包括办公室、会议室、教室、医院等室内环境和宾馆、饭店、图书馆、候车室等公共场所以及汽车、火车、轮船、飞机等交通工具。室内环境从它的物理特性来定义,包括空气质量、照度、环境布置和噪声等。

室内空气污染(Indoor Air Pollution, IAP),由于室内引入能释放有害物质的污染源或室内生活、活动等因素在环境通风不佳的情况下,导致室内空气有害物质无论是从数量上还是种类上不断增加,并引起人们一系列不适症状,称为室内空气污染。

1.1.2 室内空气质量

室内空气质量(也称为室内空气质量, Indoor Air Quality, IAQ)的含义在不同的学科中有不同的解释。大部分学者把“是否影响人们健康和舒适的总的室内空气的质量”定义为

室内空气品质的优劣。

室内空气质量的定义,近二十年来发生了较大的变化。最初,室内空气质量几乎完全被等价于某些污染物浓度以及室内热参数。室内空气质量好坏被理解为室内空气受烟尘、有害气体、微生物的污染程度,以及空气温度、湿度、流动速度等热环境参数。在1989年室内空气质量研讨会上,丹麦 P. O. Fanger 教授提出,室内空气质量的高低反映了满足人们感觉要求的程度。如果对空气满意,就是高质量;反之,就是低质量。英国皇家特许建筑设备工程师学会(Chartered Institute of Building Services Engineers, CIBSE)机构提出,如果室内少于50%的人能察觉到异味、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%的人在短时间内感到烦躁,则可认为室内空气质量是可接受的。这两种观点开创了将室内空气质量评价建立在人们的主观感受上的做法。

1996年,美国供暖制冷和空调工程师协会(American Society of Heating, Refrigerating, Air-Conditioning Engineers, ASHRAE)公布的新通风标准62—1989R中,首次提出了可接受的室内空气质量(Acceptable Indoor Air Quality, AIAQ)和感受到的可接受的室内空气质量(Acceptable Perceived Indoor Air Quality, APIAQ)等概念。其中,可接受的室内空气质量定义如下: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质量定义如下:空调房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。有些气体如CO,因其没有气味,对人也没有刺激作用,不会被人感受到,却对人的健康和生命危害很大,因而仅用主观感受到的室内空气质量是不够的,必须同时引入可接受的室内空气质量。这一定义包括了客观指标和主观感觉两方面的内容。国内有学者认为,室内空气质量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,室内空气质量的优劣根据人们的具体要求而定。

1.1.3 不良室内空气质量引起的综合症

20世纪80年代开始,欧美等经济发达国家的报纸杂志上频繁出现的病态建筑综合症(SBS)、建筑相关疾病(BRI)以及化学物质过敏症(MCS)等名称就是分别代表由于室内空气污染引发的不良室内空气质量引起的综合症。

室内空气污染所致的有限的健康影响的共同特点是非致死性、较低的医疗花费,但是往往波及的范围较广。按影响程度由高到低排序如下。

1. 多重化学物敏感症(Multiple Chemical Sensitivity, MCS)

化学物质过敏症是由于多种化学物质,作用于人体多种器官系统,引起多种症状的疾病。在室内,即使仅有微量的化学污染物存在,人们长期生活工作在这样的环境中,也可能出现神经、呼吸、消化、循环、生殖和免疫等各个系统的障碍,表现为眼刺激感、鼻咽喉痛、易疲劳、运动失调、失眠、恶心、哮喘、皮炎等症状。其特点为环境化学物的摄入方式多,成分不明确,病情涉及免疫毒性,严重患者可能失去工作能力。化学物质过敏症对健康的危害有时还相当长久。

2. 不良建筑物综合症(Sink Building Syndrome, SBS)

不良建筑物综合症为大多数居住人员对室内环境的一种特定的反应,主要表现为急性的不舒服,包括头痛,眼、鼻和喉咙受到刺激,干咳等刺激症状,皮肤发干或发痒,昏眩,注意力不集中,疲劳和对气味敏感等神经衰弱症状和全身不适(神经毒性),大多数患者离开建筑物症状减弱或消失,目前认为可能是多种作用机制、不同环境因素综合作用的结果。

3. 建筑物相关疾病(Building Related Illness, BRI)

建筑物相关疾病指的是由于建筑选址、设计、选材不当,造成室内空气质量不良引起的疾病,主要有呼吸道感染,心血管疾病,军团病及各种癌症(如肺癌)。离开了引起建筑物相关疾病的环境,症状也不会消失。例如军团病(Legionellosis),军团病的病原明确是军团菌,严重者可以导致军团菌性肺炎,但影响的人群范围较小。

4. 室内环境相关性过敏性疾病(Allergic Diseases, AD)

例如过敏性鼻炎、过敏性皮炎,特点为过敏原引起,影响的人数也较多。但是非过敏原性的化学物是否具有诱导和促进作用,目前还不清楚。

5. 空调综合症(Air Conditioning Syndrome, ACS)

由于房间安装空调系统,导致室内空气环境质量的恶化,引起人体出现异常临床表现,称为空调综合症。主要表现为疲乏、头痛、胸闷、恶心、甚至呼吸困难和嗜睡。主要的危险因子为空气负离子的减少,室内挥发性有机化合物、一氧化碳、二氧化碳和可吸入颗粒物等污染物浓度的增加。

6. 加湿器热(Humidifier Fever, HF)

加湿器热是一种波及免疫系统的感冒样疾病,与室内空气的生物性污染有关。通常X线透视无异常。它到底是由于致敏原、细菌内毒素或其他毒素引起,尚有争论,真正的病因还不清楚。但是可以肯定的是,接触微生物污染的加湿器系统的人群可能出现此病,这种情况在国内较为少见。

1.2 室内环境污染

随着我国科学技术的发展和人民生活水平的提高,大量新型建筑和装饰材料、日用化学品、家用电器等进入住宅和公共建筑物,使室内环境污染物的来源和种类日益增多,造成室内空气污染日趋突出。统计资料表明,室内空气污染往往超出室外2~5倍,有时甚至超出100倍。据统计,至今已发现的室内空气化学污染物有500多种,其中挥发性有机化合物达307种。例如,仅烹调油烟就产生多环芳烃、丙烯醛、颗粒物等200余种成分;烟草烟雾成分更复杂,已鉴定出3000多种化学物质;装修型污染物种类繁多,包括甲醛、苯系物、挥发性有机物(VOC)、氨、重金属等数百种化合物;生活型污染物部分来自人体的自然排出,如呼出气、汗液、大小便等,人体肺部排出25种有毒物质,呼气中含16种挥发性有毒物质。



1.2.1 室内环境污染及污染物的分类及来源

相对独立于外界环境，室内的有害环境因素与室外环境不同，有人将室内空气污染称为看不见的“杀手”。主要原因是室内空气污染物的来源和种类与室外的大气污染物相比，种类繁多、组成复杂。加之室内的密闭化程度不断提高，更是加剧了污染的程度危害性。室内空气有害物质可能来源于室外大气的污染；建筑和装饰材料；室内的家具、家电、燃料燃烧、人类的活动，包括人的呼吸、烹饪、各种日用化学品的使用、宠物的饲养以及吸烟等；甚至来源于房屋建设基地的不恰当的选定等。由于人们的活动、开窗换气以及建筑物的门窗缝隙，都会使室外有害环境因素进入室内，造成室内环境污染，例如室外的污染空气、噪声、汽车的尾气、城市或居住地的光线或灯光。

在欧盟国家被广泛采用的国际空气质量标准：《空气质量指南》(Air Quality Guidelines, AQGs)，该指南由世界卫生组织(WHO)颁布，由概述、人类健康危险度评价和生态毒理效应评价三部分组成，包括 16 种有机污染物、12 种无机污染物、4 种传统空气污染物和 3 种室内空气污染物限量值，详见表 1-1、表 1-2。

表 1-1 空气质量指南(WHO AQGs)所列污染物

序 号	有机污染物(Organic Air Pollutants)	序 号	无机污染物(Inorganic Air Pollutants)
1	丙烯腈(Acrylonitrile)	1	砷(Arsenic)
2	苯(Benzene)	2	石棉(Asbestos)
3	丁二烯(Butadiene)	3	镉(Cadmium)
4	二硫化碳(Carbon disulfide)	4	铬(Chromium)
5	一氧化碳(Carbon monoxide)	5	氟化物(Fluoride)
6	1, 2-二氯乙烷(1, 2-Dichloroethane)	6	硫化氢(Hydrogen sulfide)
7	二氯甲烷(Dichloromethane)	7	铅(Lead)
8	甲醛(Formaldehyde)	8	锰(Manganese)
9	多环芳烃(Polycyclic aromatic hydrocarbons, PAHs)	9	汞(Mercury)
10	多氯联苯(Polychlorinated biphenyls, PCBs)	10	镍(Nickel)
11	多氯代二苯并呋喃(Polychlorinated dibenzodioxins and dibenzofurans, PCDDs/PCDFs)	11	铂(Platinum)
12	苯乙烯(Styrene)	12	钒(Vanadium)
13	四氯乙烯(Tetrachloroethylene)		
14	甲苯(Toluene)		
15	三氯乙烯(Trichloroethylene)		
16	氯乙烯(Vinyl chloride)		

表 1-2 空气质量指南 (WHO AQGs) 所列污染物

序 号	传统空气污染物 (Classical Air Pollutants)	序 号	室内空气污染物 (Indoor Air Pollutants)
1	二氧化氮 (Nitrogen dioxide)	1	环境烟草烟雾 (Environmental tobacco smoke)
2	臭氧及其他光氧化物 (Ozone and other photochemical oxidants)	2	人造玻璃纤维 (Man-made vitreous fibres)
3	颗粒物 (Particulate matter)	3	氡 (Radon)
4	二氧化硫 (Sulfur dioxide)		

1. 室内环境污染物的分类

1) 按照室内污染物的性质分类

(1) 化学性污染, 包括氨、甲醛、苯系物、挥发性有机物 (VOCs)、硫、砷、镉、铅、汞等可溶性重金属、粉尘颗粒物等。

(2) 物理性污染, 包括放射性污染、电磁辐射、噪声、振动以及不适合的温度、湿度、风速和照明等等引起的污染。放射性污染物包括氡、钍、镭等放射性核素。电磁辐射污染包括使用复印机、计算机、电视机、微波炉、电磁炉等。

(3) 生物性污染, 包括军团菌、放线菌等细菌, 曲霉菌、葡萄状穗霉菌等真菌, 病菌, 花粉, 虫螨等。

2) 按照室内污染物的性状分类

(1) 悬浮固体污染物: 灰尘、可吸入颗粒物、微生物细胞 (细菌、病毒、霉菌、尘螨等)、植物花粉、烟雾。

(2) 气体污染物: NO_x 、 CO 、 CO_2 、 SO_2 、 SO_3 、 NH_3 、VOCs、甲醛、苯系物、氦气、 γ 射线等。

2. 按照室内污染物的来源分类

室内空气污染物的来源主要有以下几个方面。

(1) 室外空气污染。室外大气的严重污染和生态环境的破坏, 使人们的生存条件十分恶劣, 加剧了室内空气的污染。如大气中的粉尘、汽车和工业废气中的 NO_x 、 CO 、 SO_2 和可吸入颗粒物。

(2) 室内建筑的装饰、装修材料污染。目前造成室内空气污染的主要来源: 油漆、胶合板、刨花板、泡沫填料、内墙涂料、塑料贴面等材料均含有甲醛、苯, 甲苯、乙醇、氯仿等有害有机气体。

(3) 建筑物自身的污染。一种是建筑施工中加入了化学物质 (北方冬季施工加入的防冻剂, 渗出气体氡)。另一种是由地下土壤和建筑物中石材、地砖、瓷砖中的产生的氡、钍、镭等放射性核素。

(4) 人体自身的新陈代谢、日常用品及家用电器使用。如由人体代谢带来的 CO_2 、烹饪或取暖造成的 NO_x 、 CO 和粉尘, 吸烟烟雾, 清洁剂与杀虫剂中的挥发性有机化合物,

以及其他活动引起的可吸入颗粒物等。另外，空调、加湿器等家用电器的使用也会带来多种细菌、真菌和孢子。

1.2.2 室内噪声污染

噪声是人们不愿听的各种声音。长时间接触噪声，对机体产生不良作用，这种作用包括听觉器官引起的“特异性”病变以及噪声作用下引起的非特异性病变。噪声对人体健康的危害体现在以下几个方面：①听觉系统；②神经系统；③消化系统；④女性生理以及胎儿的发育；⑤视觉。此外，噪声还会对呼吸系统、内分泌系统、人体免疫系统产生影响，总之，在高噪声环境中工作的人，一般健康水平会逐年下降，疾病发病率增高。

从目前研究来看，室内环境噪声污染的主要来源包括以下几个方面。

(1) 交通运输噪声。城市交通业日趋发达，给人们工作和生活带来便捷和舒适的同时，也促进了经济的繁荣与发展，但不可否认的是，随着城乡公路和铁路交通干线的增多，机车和机动车辆带来的噪声已成为交通噪声的元凶，占城市噪声来源的75%。

(2) 工业机械的噪声。它是室内噪声污染的主要来源。由于各种动力机、工作机做功时产生的撞击、摩擦、喷射以及振动，产生七八十分贝以上的声响。例如，纺织车间、锻压车间、粉碎车间和钢铁厂、水泥厂、气泵房、水泵房都是室内噪声污染的主要来源。虽然这些场所依照规定都做了一定程度上的降噪处理，但是仍然不能从根本上消除机器本身所带来的噪声污染。

(3) 城市建筑噪声。特别是近几年来城市化进程迅速发展，道路建设、基础设施建设、新城建筑开发、旧城区改造以及家庭的室内装修构成了城市建筑噪声，施工现场噪声一般在90dB以上，最高达到130dB。

(4) 社会生活和公共场所噪声。比如商业促销高音喇叭宣传、餐厅、公共汽车、旅客列车、人群集会等公共场所的噪声。据统计，社会生活和公共场所噪声占城市噪声的14.4%。随着现代化生活水平的日益提高，家用电器的日益普及，家用电器的噪声对人们的危害越来越大。据检测，家庭使用电视机、收录机以及卡拉OK机所产生的噪声可达60~80dB，洗衣机为42~70dB，电冰箱、空调为30~50dB。

近年来，对噪声的研究又进一步发现噪声的另外一些作用及作用机制，尤其对女性生理机能及子代健康方面的不良影响，引起了人们的普遍关注。噪声对人体健康的影响还作用于如中枢神经系统、心血管系统和内分泌系统等。

1.2.3 室内空气污染的特点

空气污染系指由于人类活动或自然过程引起的某些物质进入空气中，呈现出足够的浓度、持续足够的时间，并由此危害了人们的健康、舒适和福利或者危害了环境。由于人类自身的活动形成的空气污染，越来越受到人们的关注。空气污染是随着城市建设的扩大而加剧的，它贯穿人们全部的现代化生活，来自生产、运输过程以及为人们的生产、生活、娱乐等提供能源使用过程中，其中燃烧产能过程是造成空气污染的最主要的原因。空气污染的特点体现在：局地的严重性和全球性，产生全球气候、生态系统的慢性效应。空气污染包括全球气候模式变化、臭氧层破坏和酸雨。

与室外空气污染所处的环境不同，污染来源不同，室内空气污染具有以下特点。



(1) 累积性。室内环境是一个相对封闭的空间。从污染物进入室内导致浓度升高,到排出室外浓度趋于零,需要较长的时间。室内各种物品,包括建筑装饰材料、家具、地毯、复印机、打印机等都有可能释放出一定的化学污染物质。例如,室内装饰材料中最常见的污染物的甲醛释放衰减时间可达半年到数年之久。再比如,各种室内装饰装修材料在生产过程中均严格按照有关的规范执行,但是将这些合格的材料集中地安装在室内,室内空气中的污染物的浓度急剧增加,造成了室内空气的污染。这些现象就是室内空气污染的累积性造成的。

(2) 长期性。由于大多数人的大部分时间处于室内环境。即使浓度很低的污染物长期作用于人体后,例如低剂量的甲醛,也会引起慢性呼吸系统疾病。张卫国等针对新装修居室空气中总挥发性有机物污染情况进行调查,研究表明:该类新装修居室内污染严重,装修完工 147 天以后,居室空气中总挥发性有机物才能降低到标准值以下。

(3) 多样性。室内空气污染的多样性既包括污染物种类的多样性,又包括污染物来源的多样性。室内污染物的来源既有室外污染物进入造成的,又有室内装饰装修材料的来源,人类的生活、活动产生的污染。室内空气污染物有化学性污染物,甲醛、苯系物、氮氧化物、碳氧化物等;物理性的污染物,放射性污染物氡及其子体;生物性污染物,如细菌、病毒等。

(4) 受社会条件和气候影响大。室内空气污染是一种在人工环境条件下产生的现象,与自然形成的现象不同,受到包括社会文明程度、科学技术和经济发展水平、民族风俗习惯等多方面的社会条件因素的影响。例如城乡居民的生活习惯差异明显;西部偏远地区少数居民的生活习性与中西部经济发达地区人们的差异。同时大气候的变化对室内空气的污染影响很大。

近年来大量人群流行病学研究资料表明,大气污染[指主要大气污染物,包括颗粒物(PM)、二氧化硫(SO₂)、二氧化氮(NO₂)和臭氧(O₃)]对人群健康确有不良影响,即使在较低的污染水平,短期暴露和长期暴露都会造成不良健康效应。WHO 估计全球每年有 80 万人死亡和 460 万人健康受损归因于大气污染。

2003 年 12 月 23 日发生在重庆“12·23”中石油川东北气矿特大井喷事故,由于含有 125.53g/m³高浓度硫化氢的天然气扩散造成了 1 公里之内常住居民的巨大伤亡:243 人因硫化氢中毒死亡,2142 人因硫化氢中毒住院治疗,65000 人被紧急疏散安置,直接经济损失达 6432.31 万元。据中国职业病诊断国家标准——《职业性急性硫化氢中毒诊断及处理原则》(GB 8789—88)揭示:人处于硫化氢浓度达 200~300mg/m³的空气中暴露一小时后,明显的结膜炎,呼吸道受刺激;500~700mg/m³浓度空气中失去知觉,几分钟内呼吸停止并死亡;吸入 1000mg/m³/数秒钟,很快出现急性中毒,呼吸加快后呼吸麻痹而死亡。国家对车间空气卫生标准中硫化氢限量为 10mg/m³。WHO 确定硫化氢致癌限量为 150μg/m³(平均 24h)。

2008 年 12 月 2 日,陕西省榆林市定边县堆子梁学校一女生宿舍发生 12 名学生由于煤炉取暖造成的一氧化碳中毒重大事件,造成 11 名 4 年级的女生遇难,其中年龄最大的孩子只有 11 岁。陕西发生学校重大一氧化碳中毒事件,引发全社会对冬季一氧化碳中毒防控工作的重视。中国室内环境监测委员会和国家室内环境质检中心发布警示,要求全社会建立科学防控冬季室内环境一氧化碳污染中毒的防控体系。

1.2.4 室内环境污染的危害

室内环境污染对社会产生的危害主要有以下两个方面。

1. 危害人的身体健康甚至生命安全

目前由装饰、装修材料所造成的污染是室内污染的主要来源。陈利群等选择锦州市装修的23户家庭在装修后的1月、3月、6月进行室内空气采样,测定室内空气中甲醛、苯的浓度,同时对家庭成员装修前后眼部及呼吸系统的不良反应进行流行病学调查。结果表明:室内空气甲醛浓度超标1.9倍以上,苯超标4.25~12.4倍,装修后室内空气污染物浓度随着时间的延长呈现下降趋势。家庭成员中流泪、打喷嚏、支气管炎或咳嗽、哮喘、头晕的阳性率在装修前分别为0%、3.5%、3.5%、0%,装修后分别上升至7.1%、8.2%、7.1%、8.2%。室内装修可导致室内空气中甲醛和苯系物污染,污染程度与装修的复杂程度成正比,并与装修材料的质量有关,装修还导致家庭成员眼部及呼吸系统的不良反应阳性率上升。

再例如,用做室内装修的胶合板、细木工板、中密度纤维板和刨花板等人造板材中都含有甲醛,即使低剂量的甲醛,如果长期接触也会引起慢性呼吸系统疾病;而高浓度的甲醛对神经系统、肝脏系统等部位都有毒害,长期接触高浓度的甲醛会出现急性精神抑郁症。世界卫生组织所属的国际癌症研究会在关于《甲醛是人类的致癌物》的公告中指出:“在白血病方面的结论也反映出,基于目前可以获得的资料,虽然流行病学家在人群研究中发现的证据十分充分,但是白血病诱发机制的研究资料尚不完备,并不足以证明甲醛可以诱发白血病”;“通过提出在白血病方面研究的进展,国际癌症研究会确定了尚需进一步研究证实的方向,进一步提供公共卫生服务”。

2. 室内环境污染影响人们的工作效率

由于室内空气污染对人们身体健康的损害,致使劳动效率和出勤率下降,由此造成缺勤和医药费用的巨大损失。由于室内环境污染导致的各种疾病使得人们的生活和工作效率受到了很大的影响。据《美国医学杂志》于1985年进行的调查报告估计,在美国,每年因呼吸道感染而就医的人数高达7500万人次,损失1.5亿个工作日,为此花费的医疗费用达150亿美元,由此造成缺勤的损失高达590亿美元。这些还不包括由于室内空气质量而使业主与房地产商或装修公司产生纠纷,甚至对簿公堂所造成的人力和财力的损失。

1.3 国内外室内环境污染研究进展

1.3.1 国外室内环境研究简况

围绕室内空气质量的系统研究最初着眼于室内与室外空气质量的关系,以及室内空气污染物对人体健康的影响。1965年,荷兰学者Biersteker等进行了世界上第一个系统的、大规模的室内与室外空气质量关系的研究。他们以鹿特丹60个住户为对象,测定了室内外SO₂和烟尘的关系,获得了空气污染事件期间的室内环境相对安全性、抽烟对于室内溶胶生成的影响、室内衰减与建筑物新旧程度的关系等重要信息。这一研究表明室内与室外