



普通高等教育“十三五”规划教材
环境科学与工程系列教材

SHINEI HUANJING

室内环境 检测与治理

主 编 余 江

副主编 李云祯 徐 恒 李学东 王以尧



科学出版社

普通高等教育“十三五”规划教材
环境科学与工程系列教材

室内环境检测与治理

主 编：余 江
副主编：李云楨 徐 恒 李学东 王以尧



科学出版社

内 容 简 介

本书采用项目驱动模式,重点介绍室内环境检测与治理的相关知识与方法。全书分三篇,12章,包括室内环境污染概论、室内环境中的化学污染、室内环境中的物理污染、室内环境的生物污染、室内环境中的放射污染、室内环境检测基础知识、室内环境监测布点与采样、室内物理环境的检测、室内空气污染物检测、污染源控制、室内空气治理技术和室内环境检测治理行业发展前景。

本书可作为高等院校环境工程、环境科学、环境设计、建筑设计及相关专业的本科生及研究生教材,同时也可作为室内空气检测与技术人员的应用性工具书和参考书。

图书在版编目(CIP)数据

室内环境检测与治理/余江主编. —北京:科学出版社,2018.8
ISBN 978-7-03-057942-3

I. ①室… II. ①余… III. ①室内环境—环境监测 IV. ①X83
中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第131569号

责任编辑:冯 铂 韩雨舟/责任校对:江 茂
责任印制:罗 科/封面设计:墨创文化

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

成都锦瑞印刷有限责任公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2018年8月第 一 版 开本:16 (787×1092)

2018年8月第一次印刷 印张:19.5

字数:450千字

定价:59.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

随着我国国民经济的快速发展,人们对自身居住环境的要求越来越高,不断改善着住房条件,从单一的扩增居住面积到对住房的豪华装修,无不体现了现代人精益求精的价值理念,由此也带动了房产、装潢和家具市场的飞速发展。然而,随之也带来了较为严重的环境问题——室内环境污染。

据世界银行估计,中国每年因室内环境污染造成的经济损失约 32 亿美元。另据国际有关组织调查统计,世界上 30% 的建筑物中存在有害人体健康的室内空气。这些有害气体已经引起全球性的人口发病率和死亡率的增加。室内环境污染已经列入对公众健康危害最大的五种环境因素之一。人们在经历继“煤烟型污染”和“光化学污染”后,正进入以“室内环境污染”为标志的第三次环境污染时期。

据调查研究发现,人类生存离不开空气,人的一生约 80% 的时间是在室内度过的,特别是老、弱、病、残、孕等群体在室内活动的时间更长,室内环境质量的好坏对他们的身心健康更加重要。因此,加强室内环境的监测与治理,对保证国民健康,提高国民的整体素质十分重要。尤其像我国这样人口众多,而医疗保健水平又跟不上的国家,加强室内环境监测与治理,维持一个绿色的居住、办公场所,让广大人民群众都拥有一个健康的体魄,显得尤为重要。

随着生活水平和经济条件的极大改善,广大人民群众的健康意识逐步提高,国家对室内环境污染的重视程度也越来越高,室内环境监测与治理逐渐发展成一个新的国民经济产业。本书正是基于此背景,参考大量的相关资料,按照国家现行的标准、规范、规定和规程进行编写,不仅涵盖面广、内容先进丰富,而且具有较强的工程实用性。

从科学性、实用性出发,本书分为三篇,共 12 章。第一篇为室内环境污染概述,包括第 1~5 章,分别介绍室内环境污染概论、室内环境中的化学污染、室内环境中的物理污染、室内环境的生物污染、室内环境中的放射污染;第二篇为室内环境检测篇,包括第 6~9 章,分别介绍室内环境检测基础知识、室内环境监测布点与采样、室内物理环境的检测、室内空气污染物检测;第三篇为室内环境污染控制篇,包括第 10~12 章,分别阐述污染源控制、室内空气治理技术、室内环境检测治理行业发展前景。

本书由四川大学余江主编,四川省环境科学保护研究院李云祯、四川大学徐恒、四川大学李学东、成都市环境科学保护研究院王以尧副主编,四川大学余江修改审定。编写人员分工为,第 1 章:余江、徐恒、王以尧;第 2~5 章:李学东、余江、徐恒、谢世前;第 6~9 章:余江、徐恒、李慕、彭炜东、李云祯;第 10 章:余江、李云祯、冉宗信、贺玉龙;第 11 章:余江、徐恒、彭炜东、彭云霄、贺玉龙、邓思维;第 12 章:余江、杨春、魏威、王艺蒸。

在本书的编写过程中，得到了四川师范大学余毅教授、四川大学李正山副教授、电子科技大学蒋丽副教授、贵州师范大学李秋华教授、成都工业学院刘建泉老师、四川理工学院李瑞祯老师、成都市环境保护科学研究院王亚婷副所长等的支持和帮助，成都高思泊技术有限公司提供了新型材料及相关应用技术资料。编者谨在此向他们表示衷心的感谢。

编写本书旨在基于室内环境检测与治理的基础理论知识，紧密结合现代室内环境的各种污染特征和本专业的行业市场发展特点，运用大量创新理念和实时文献资料及案例，让学生或读者既能充分掌握该课程的基础理论知识，又能学以致用、学有所用。由于编者水平有限，时间仓促，不足之处，恳请读者和同行批评指正。

编者

2018年4月于成都

目 录

第一篇 室内环境污染概述篇

第 1 章 室内环境污染概论	3
1.1 基本概念	3
1.2 室内环境污染现状	4
1.3 室内环境污染特征	5
1.4 室内环境污染来源与特点	6
1.4.1 室内环境污染来源	6
1.4.2 室内环境污染特点	7
1.5 室内环境污染的种类	8
1.6 室内环境污染的判断	9
20 世纪八大公害事件	9
习题与思考题	13
第 2 章 室内环境中的化学污染	14
2.1 概念	14
2.2 室内化学污染的来源	14
2.3 室内空气中的无机污染物	15
2.3.1 二氧化硫(SO_2)	15
2.3.2 二氧化氮(NO_2)	16
2.3.3 一氧化碳(CO)	17
2.3.4 二氧化碳(CO_2)	18
2.3.5 氨(NH_3)	19
2.3.6 臭氧(O_3)	20
2.4 室内空气中的有机污染物	21
2.4.1 甲醛(HCHO)	21
2.4.2 苯(C_6H_6)及苯系物	23
2.4.3 总挥发性有机物(TVOC)	24

2.4.4 多环芳烃(PAHs)	25
2.4.5 苯并[α]芘(BaP)	26
2.5 室内空气中的浮颗粒物	26
室内化学污染案例	29
习题与思考题	33
第3章 室内环境中的物理污染	34
3.1 室内环境中的物理污染概念	34
3.2 室内环境中的物理污染的来源	34
3.3 室内主要环境物理污染简介	35
3.3.1 室内热湿环境	35
3.3.2 噪声污染	36
3.3.3 光污染	38
3.3.4 电磁辐射污染	39
室内物理污染案例	41
习题与思考题	45
第4章 室内环境中的生物污染	46
4.1 室内环境中生物污染的概念	46
4.2 室内环境中生物污染的来源	46
4.3 室内环境中生物污染的种类	46
4.4 室内环境中生物性污染的特点	47
4.5 室内环境生物污染的分类	48
4.6 室内主要生物污染物简介	48
4.6.1 细菌	48
4.6.2 粉螨	50
4.6.3 军团菌污染	51
4.6.4 寄生虫污染	52
4.7 室内生物污染的防治	52
4.7.1 源控制	52
4.7.2 通风换气	52
4.7.3 净化去除	52
室内生物性污染案例	53

习题与思考题	55
第5章 室内环境中的放射污染	56
5.1 室内环境中放射污染概述	56
5.2 室内环境中放射污染的来源	56
5.3 主要污染物简介——氡(^{222}Rn)	56
室内放射污染案例	58
习题与思考题	59
 第二篇 室内环境检测篇	
第6章 室内环境检测基础知识	63
6.1 基本概念	63
6.1.1 室内环境检测的目的和要求	63
6.1.2 室内环境检测的类型	64
6.1.3 室内环境检测方法	65
6.2 室内环境质量标准	66
6.2.1 室内空气质量标准	66
6.2.2 室内空气质量评价	68
习题与思考题	72
第7章 室内环境监测布点与采样	73
7.1 采样点布设	73
7.1.1 影响环境样品的因素	73
7.1.2 采样点布设	73
7.2 采样时间和采样频率	74
7.2.1 采样时间	74
7.2.2 采样频率	74
7.2.3 采样方式	75
7.3 室内环境样品采集方法	75
7.3.1 气态样品的采集方法	75
7.3.2 颗粒及气溶胶样品的采集方法	80
7.3.3 混合样品采集方法	82
7.4 采样仪器	84

7.4.1 采样仪器构成	84
7.4.2 常用采样器	86
7.5 采样效率和评价	88
7.5.1 采样体积的计算	88
7.5.2 污染物浓度的表示方式	89
7.5.3 采样效率的评价方法	89
7.5.4 采样效率	92
7.5.5 采样记录和报告	92
习题与思考题	93
第8章 室内物理环境的检测	94
8.1 室内微小气候	94
8.1.1 温度	94
8.1.2 湿度	96
8.2 气流和新风量的检测	98
8.2.1 空气流速	98
8.2.2 新风量	99
8.3 光照和色彩环境的检测	101
8.3.1 光照的检测	101
8.3.2 色彩的检测	107
8.4 噪声的检测	109
8.4.1 噪声的概述	109
8.4.2 噪声的检测	113
习题与思考题	116
第9章 室内空气污染物检测	117
9.1 空气中气态污染物的检测	117
9.1.1 常用现代仪器分析技术	117
9.1.2 常规指标检测	125
9.2 空气中可吸入颗粒物(PM ₁₀)测定	164
9.2.1 撞击式重量法	164
9.2.2 光散射法	166
9.2.3 压电晶体振荡法	168

9.3 空气中微生物污染测定	169
9.3.1 自然沉降法	169
9.3.2 撞击法	170
9.4 建材有害物质测定	172
9.4.1 建材有害物质的限量	173
9.4.2 常用的检测方法	181
9.5 室内环境监测质量保证	194
9.5.1 检测数据的质量保证	194
9.5.2 检测实验室的质量保证	202
9.5.3 检测方法的质量保证	206
习题与思考题	211
 第三篇 室内环境污染控制篇	
第10章 污染源控制	215
10.1 采用无污染或低污染材料取代高污染材料	215
10.1.1 简化家具装修	215
10.1.2 选购符合要求的建筑材料和家具	215
10.1.3 大力倡导绿色技术与绿色建筑	216
10.2 实行清洁生产及施工, 阻断污染物进入室内	217
10.3 采取措施降低建材使用后污染物的释放	218
10.3.1 室内通风换气	218
10.3.2 室内小气候控制	226
10.4 几种典型室内污染源的控制措施	227
10.4.1 室内氡污染源控制	227
10.4.2 室内电磁辐射污染源控制	231
10.4.3 室内氨污染源控制	231
10.4.4 室内苯污染源控制	232
10.4.5 室内挥发性有机化合物污染源控制	232
10.4.6 室内甲醛污染源控制	232
习题与思考题	234
第11章 室内空气治理技术	235

11.1 物理化学治理技术	235
11.1.1 吸附净化技术	235
11.1.2 臭氧净化技术	247
11.1.3 过滤净化技术	249
11.1.4 静电净化技术	254
11.1.5 低温等离子体净化技术	259
11.1.6 光催化净化技术	263
11.1.7 光催化复合净化技术	272
11.2 生物净化技术	274
11.2.1 微生物净化法	274
11.2.2 植物修复法	278
11.3 新型室内空气净化技术及设备	283
11.4 室内空气污染控制综合对策	284
11.4.1 完善政府相关行政职能部门责任	284
11.4.2 生产企业规范生产实现源头控制	286
11.4.3 室内装饰装修的过程控制	286
11.4.4 改善室内空气质量要从个人做起	288
习题与思考题	290
第12章 室内环境检测治理行业发展前景	291
12.1 室内环境检测治理行业发展背景	291
12.1.1 室内环境检测治理行业的社会需求	291
12.1.2 室内环境检测治理行业的市场需求	292
12.2 室内环境检测治理行业的发展现状	293
12.2.1 政策发展现状	293
12.2.2 行业发展存在的问题	293
12.3 室内环境检测治理行业的发展前景	295
12.3.1 行业发展方向	295
12.3.2 行业发展前景	296
习题与思考题	296
参考文献	297

室内环境污染概述篇

第

一

篇

第 1 章 室内环境污染概论

1.1 基本概念

环境(environment), 在环境科学中是指以人类为主体的外部世界, 主要是地球表面与人类发生相互作用的自然要素及其总体。它是人类生存发展的基础, 也是人类开发利用的对象。《中华人民共和国环境保护法》中的环境是指影响人类生存和发展的各种天然的和经过人工改造的自然因素的总体, 包括大气、水、海洋、土地、矿藏、森林、草原、湿地、野生生物、自然遗迹、人文遗迹、自然保护区、风景名胜区、城市和乡村等。

室内环境(indoor environment), 包括居室、写字楼、办公室、交通工具、文化娱乐场所, 体育场所、医院病房、学校教室、活动室、饭店、旅馆、宾馆等场所。室内环境是家庭团聚、休息、学习和从事家务劳动的人为小环境, 是人们生活、工作、社交和活动的相对密闭的场所。

城市居民每天在室内工作、学习和生活的时间占全天时间的 90% 左右, 一些老人、儿童在室内停留的时间更长。因此, 室内环境与人类健康和儿童生长发育的关系极为密切。长期以来室外环境污染问题备受人们关注, 室内环境污染问题近年来也逐渐被人们重视起来。通常, 室内环境是人们接触最多的环境, 故室内环境污染的危害程度并不比室外低, 有时甚至比室外更高。特别是装有空调设施、装修豪华、配备现代化办公设备的室内环境, 如果对这种室内环境中的污染源不加控制和防范, 其对人的危害程度远远大于室外环境。

健康的室内环境(healthy indoor environment)越来越受到人们的重视。通常健康的室内环境是指无污染、无公害、可持续、有助于消费者身体健康的舒适的室内环境。它不仅能够满足消费者的生存和审美需求, 还能满足消费者的安全、健康需求。

健康的室内环境通常需满足热平衡、湿平衡、空气中污染物平衡以及以下五个方面的要求: ①控制温湿度、消除污染物、减少辐射; ②舒适的采光、照明; ③轻松的室内色彩选择和布置; ④消除噪音, 安静的居住条件; ⑤适合人心理健康的室内布置和装修。

室内环境污染(indoor environmental pollution)是人们为了在室内生活和工作需要, 引入了能释放有害物质并且会导致室内空气中化学、生物和物理等有害物质增加的污染源, 从而使室内环境(包括飞机、汽车、船等内部空间)中的污染物无论是从数量上还是种类上都不断增加, 并引起在室内环境中工作和生活的人产生一系列不适症状的现象。

当今国际上主要从以下几个方面定义室内空气质量(indoor air quality, IAQ)。

(1) 直接以一系列污染物浓度指标来定义, 这是较为客观的定义。

(2) 从主观感受的角度来定义。1989 年国际空气质量研讨会上, 丹麦哥本哈根大学

教授 Fanger 的观点：空气质量反映了满足人们要求的程度，如果人们对空气满意，就是高质量，反之，就是低质量。

(3)英国 CIBSE(chartered institute of building service)的观点：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 IAQ 是可接受的。

(4)从主客观两方面来定义。美国供热、制冷与空调工程师协会(ASHRAE)提出了“可接受的 IAQ”概念，其定义为：空调房间中绝大多数人没有对室内空气表示不满意，并且空气中已知污染物没有达到可能严重威胁人体健康的浓度。

1.2 室内环境污染现状

目前，人类正面临继“煤烟污染”“光化学烟雾污染”之后，以“室内环境污染”为主的第三次环境污染时期。在我国经济迅速发展的同时，由于建筑、装饰装修、家具造成的室内环境污染，已成为影响人体健康的主要因素。根据发达国家环境监测机构检测发现，人们所处的室内环境中 200 余种化学污染物、致病病毒等，其中致癌物质有 21 种，还有 18 种物质被怀疑对人体有致癌作用。其中危害较大的主要有甲醛、苯、氡等物质。经欧美科学家多次实验证明，室内空气环境的污染可以导致患癌概率大增，尤其是对婴幼儿身体的伤害最为明显。据 2001 年中国环境保护协会统计数据表明，有 90%的白血病患者家中曾进行过豪华装修；每年有 210 万儿童死于豪华装修；80%的家庭装修甲醛超标；70%的孕妇流产与环境污染有关；每年我国因室内环境污染引起的死亡人数高达 11.1 万人，平均每天 304 人死亡。室内环境污染已经成为严重影响人类健康的主要因素之一。当前，室内环境污染正面临以下几方面的威胁。

1. 全球气候变暖正在对人居环境造成影响

人体健康和人类生存息息相关。气候环境、气候灾害和气候变化直接影响人类健康，极端气候事件造成的危害则更为惊人。由于全球变暖，极端气候事件将会更为频繁，气候灾害对人类生命和健康的危害也会增大。例如：许多通过昆虫传播的传染性疾病对气候变化非常敏感，其中全球变暖将加剧疟疾和登革热的传播已广为人知。据有关部门统计，伴随全球变暖，仅疟疾和登革热两种疾病就将祸及全球 40%的人口。

不可忽视的是，气候变化造成部分物种灭绝的同时必然产生新的物种，物种的变化可能打破病毒、细菌、寄生虫和敏感原的现有格局，产生新的变种。如 2003 年春季，相继在我国广东、北京、山西等地爆发的重症急性呼吸综合征(SARS)，以及禽流感、甲型 H1N1 流感，都给人们的健康及生命带来极大的危害。

2. 室内环境污染严重威胁着人类健康

室内环境污染严重威胁着人们的健康，尤其对儿童和妇女的影响更大。有关统计显示，目前中国每年因上呼吸道感染而致死的儿童约有 210 万，其中 100 多万儿童的死因直接或间接与室内空气污染有关，特别是一些新建和新装修的幼儿园和家庭的室内环境

污染十分严重。近几年各大城市的白血病患者均呈上升趋势,而住在过度装修过的房间里是其重要原因之一。据加拿大卫生组织调查发现,68%的疾病起因与室内污染有关,80%~90%的癌症起因与居住环境和生活习惯有关。我国湖南省以9~10岁儿童为研究对象,研究空气污染对儿童免疫力的影响发现,污染区儿童的免疫能力不足清洁区儿童免疫能力的1/3。台湾成功大学郭育良教授研究发现,受环境因素影响,男性每毫升精液平均精子量由1940年的1.2亿个,下降到1990年的0.66亿个,近年还在下降,室内空气污染可能会导致人类失去生殖能力。有研究表明,1960~1991年,患特异性皮炎、支气管炎、花粉症等过敏性疾病的比例,从不足1%上升至30%,而且呈急剧增长趋势,其主要原因是因室内污染所致。而中国室内装饰协会室内环境检测研究中心对写字楼办公场所室内空气质量抽样检测结果发现,有害物质氨、甲醛、臭氧的超标率有的甚至高达80%以上。

室内空气的污染程度要比室外空气严重2~5倍,在特殊情况下可达到100倍。因此,美国已将室内空气污染归为危害人类健康的5大环境因素之一。世界卫生组织也将室内空气污染与高血压、胆固醇过高症以及肥胖症等共同列为人类健康的10大威胁。据统计,全球近一半的人处于室内空气污染中,室内环境污染已经引起35.7%的呼吸道疾病,22%的慢性肺病和15%的气管炎、支气管炎和肺癌。

据中国室内环境监测中心提供的数据,我国每年由于室内空气污染引起的超额死亡数达11.1万人、超额门诊数达22万人次、超额急诊数达430万人次。严重的室内环境污染不仅给人们健康带来危害,而且造成了巨大的经济损失,我国每年因室内环境污染危害居民健康所导致的经济损失高达107亿美元。

1.3 室内环境污染特征

1. 不良建筑物综合征

不良建筑物综合征(sick building syndrome, SBS),也称病态建筑综合征,是指某些建筑物内由于空气污染,空气交换率很低,以致在该建筑物内活动的人群产生一系列自觉症状,如眼、鼻、咽喉部位有刺激感,头痛,头晕,恶心,易疲劳,呼吸困难,皮肤及黏膜干燥,红斑,皮肤刺激,嗜睡,哮喘等非特异性症状。到目前为止,仍未查出造成这种病症的原因,这种病症可能仅局限于发生在一栋建筑的一个房间或一个区域,也可能整栋建筑里面都有。

1) 不良建筑物综合征的特点

- (1) 发病快,往往在人们迁入新落成或全新装修的建筑物后短时间内或数月内发病。
- (2) 患病人数多,在这些建筑物内工作和生活的人群中,有20%以上的人可患上此病,有些甚至高达90%。武汉市曾对某报社办公楼有关工作人员进行一次调查,结果发现,不良建筑物综合征相关症状的发生率为28%~82%。
- (3) 病因很难确定,很难找出该病的因果关系。

2) 产生不良建筑物综合征的主要因素

主要因素包括：①通风量不足；②空气和污染物的再循环；③室内化学污染物；④生物污染物，包括细菌、霉菌、花粉和病毒等。这些污染物可能滞留于管道、加湿器和排水槽中不流动的水中繁殖，也可能集聚在排水管沟、地毯或保温材料里的水中繁殖。

2. 建筑相关疾病

建筑相关疾病(building related illness, BRI)是指由于建筑选址、设计、选材不当，造成室内空气质量不良引起的疾病。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，其病原已知，具有一致的临床表现，离开此环境，症状也不会消失。BRI主要有呼吸系统疾病、心血管疾病、军团病及各种癌症(如肺癌)。BRI病原包括变应原、感染源、特异的空气污染物和特定的环境条件(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。建筑相关疾病的特点如下。

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

(2)患者和医生会忽视患者的工作环境与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的主要原因。

3. 多种化学物质过敏征

多种化学物质过敏征(multiple chemical sensitivity, MCS)是指在新的、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。但这种过敏史是如何发生的，尚未有准确的定论。

1.4 室内环境污染来源与特点

1.4.1 室内环境污染来源

室内环境污染主要来自以下几个方面。

(1)人体自身的新陈代谢及各种生活废弃物的挥发成分带来的污染。人在室内活动，除人体本身通过呼吸道、皮肤、汗腺可排出大量污染物外，其他日常生活，如化妆、灭虫等也会造成空气污染。因此，房间内人数过多时，会使人疲倦、头昏，甚至休克。此外，人在室内活动，会使室内温度升高，促使细菌、病毒等微生物大量繁殖，特别是在一些中小学校更加严重。

(2)家用电器使用不当带来的电磁辐射污染。所有电器、电路以及各种电子发射装置均可产生电磁波。此外，电脑、微波炉、电热毯、电视机、移动电话以及收音机等，都会或多或少地产生各种不同的电磁波。

(3)空调等气体交换设施带来的污染。长期在空调环境中工作的人，往往会感到烦闷、乏力、嗜睡、肌肉痛，感冒的发生概率也较高，工作效率和健康水平明显下降，这