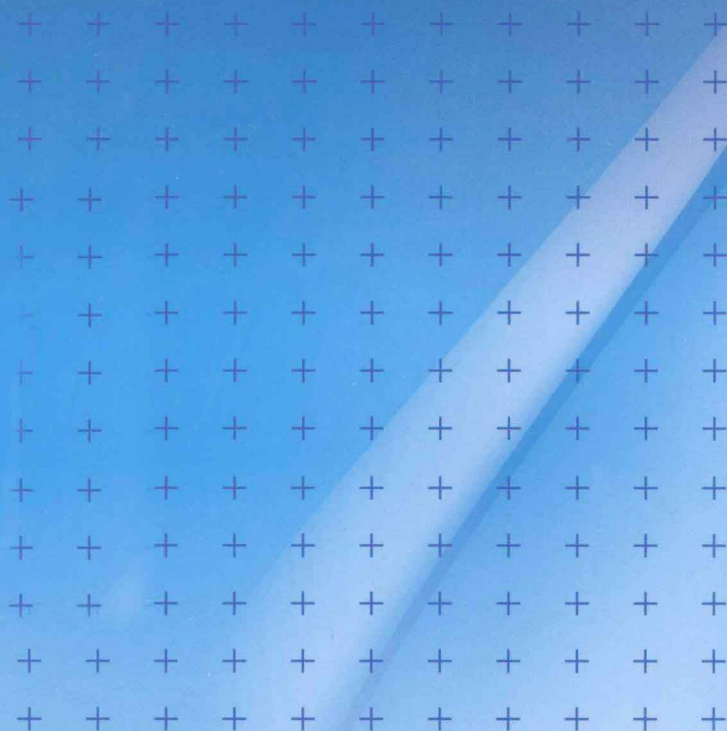


室内空气 污染与防治

SHINEI KONGQI
WURAN YU FANGZHI

第二版

韩 旻 白志鹏 裘著革 编著



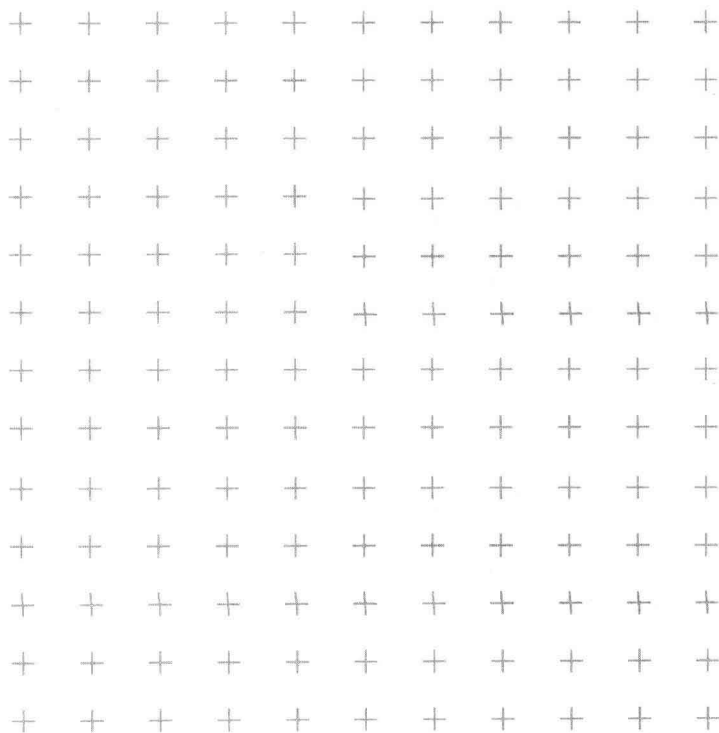
化学工业出版社

室内空气 污染与防治

SHINEI KONGQI
WURAN YU FANGZHI

第二版

韩 旻 白志鹏 裘著革 编著



化学工业出版社

· 北京 ·

本书共分 11 章, 主要包括室内空气污染概述、室内主要空气污染物的危害、室内空气质量相关标准、室内空气监测、室内装饰装修材料有害物质限量与测定、室内空气质量的评价、室内空气污染因素的暴露评价研究、室内氡对健康的影响、室内物理性污染与危害、室内空气净化技术、室内空气污染研究案例、室内环境相关标准(参考)等。本书涵盖了室内空气污染的各种要素, 基本反映了国内外空气污染研究的主要问题, 对室内空气污染来源、检测、暴露以及控制技术等进行了全面的阐述并附有实例分析。

本书可供室内环境科研机构相关专业的研究工作者参阅, 也可供高等院校本科生、研究生作为教材使用。

图书在版编目(CIP)数据

室内空气污染与防治/韩畅, 白志鹏, 裘著革编著. —2 版. —北京:
化学工业出版社, 2013. 6
ISBN 978-7-122-17303-4

I. ①室… II. ①韩…②白…③裘… III. ①室内空气-空气污染-
污染防治 IV. ①X51

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 093731 号

责任编辑: 满悦芝
责任校对: 陈 静

文字编辑: 荣世芳
装帧设计: 刘丽华

出版发行: 化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 刷: 北京云浩印刷有限责任公司

装 订: 三河市宇新装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张 13 $\frac{3}{4}$ 字数 329 千字 2013 年 9 月北京第 2 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888(传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 35.00 元

版权所有 违者必究

前 言

人的一生有 70%~90% 以上时间在室内度过，室内空气污染成为人体接触环境污染物、造成健康危害的主要途径之一。空气质量的好坏直接关系到人类的生活、工作质量和身体健康，室内空气污染与健康的关系，目前已引起各国政府和公众的极大关注。随着我国人民群众物质生活水平的提高，室内装修装饰、大量电气产品、空调的普及、多种日用化学品的使用，致使室内产生大量的物理、化学、生物以及放射性污染因素，造成室内空气质量的严重下降。近年来，有关建筑和装修引发的室内空气污染投诉不断增加，室内空气污染给人们的健康带来了相当的危害，也给国家造成了巨大的经济损失。为了有效控制和治理室内空气污染，我国有关部门先后制定了有关室内环境的一系列标准，从建筑装饰材料、民用建筑工程和室内空气质量等方面对室内环境进行控制。本书从室内污染物的来源、种类以及污染物对人体所造成的健康影响等方面进行了阐述，并对一些主要污染物的污染相关研究作了介绍。

根据室内空气污染研究的进展，在本书再版时，对部分内容做了调整，更新、修订了一些标准内容。

本书由韩旸编写第 1 章~第 5 章、第 7 章、第 9 章、附录；白志鹏编写第 6 章、第 10 章、第 11 章；裘著革编写第 8 章。此外，游燕、郭婷、张利文、高翔、苗娟、燕丽、胡焱弟、张建芳、吴灿等人帮忙整理资料并进行了校对等工作。

本书的编写和出版得到许多同志的帮助，在此表示衷心的感谢。由于时间仓促，加之编著者水平所限，不足之处在所难免，恳请读者批评指正。

编著者

2013 年 6 月

目 录

第 1 章 室内空气污染概述	1
1.1 室内的定义	1
1.2 室内空气污染简介	1
1.2.1 我国室内空气质量现状	2
1.2.2 国外室内空气质量现状	4
1.3 室内空气污染源和污染物	4
1.3.1 室内空气污染物来自于室内多种污染源和室外空气	4
1.3.2 目前主要污染物的污染特点	10
1.4 我国室内空气典型污染物	13
思考题	17
第 2 章 室内主要空气污染物的危害	18
2.1 室内空气污染物的危害	18
2.1.1 不良建筑物综合征和刺激作用	18
2.1.2 呼吸系统疾病	18
2.1.3 室内空气污染所致过敏性疾病	19
2.1.4 室内空气污染对神经系统的毒性作用	20
2.1.5 室内空气污染对心血管系统的作用	20
2.1.6 室内空气污染的致癌作用	21
2.2 甲醛	22
2.2.1 甲醛的来源	22
2.2.2 甲醛对人健康的影响	22
2.3 挥发性有机化合物	24
2.3.1 室内挥发性有机化合物的来源	24
2.3.2 挥发性有机化合物的危害	25
2.4 氨气	27
2.4.1 室内氨气的来源	27
2.4.2 氨气的危害	28
2.5 颗粒物	29
2.6 环境烟草烟雾	30
2.7 烹调烟雾	31
思考题	31
第 3 章 室内空气质量相关标准	32
3.1 室内空气质量定义	32

3.2 我国室内空气质量相关标准研究的三个阶段	32
3.2.1 起步阶段	33
3.2.2 发展阶段	34
3.2.3 规范管理阶段	34
3.3 国家标准及作用	36
3.3.1 国家标准在控制室内污染中的作用	36
3.3.2 控制室内空气污染的主要标准	38
3.4 国外室内空气质量标准概述	42
3.4.1 空气污染物卫生基准	42
3.4.2 职业安全标准	42
3.4.3 公共场所室内空气质量标准	42
3.4.4 居民住宅室内空气质量指导标准	43
3.4.5 暖通空调 (HVAC) 的行业标准	43
3.4.6 室内甲醛浓度标准	43
3.5 我国室内空气质量标准与国外标准的比较	43
3.5.1 发展过程	47
3.5.2 类别和强制性	47
3.5.3 指标和标准值	48
3.6 建议	48
3.6.1 加强基础研究	48
3.6.2 实行 IAQ 进行统一管理	48
3.6.3 区分不同的室内类型进行管理	48
3.6.4 从源头控制室内污染	48
3.6.5 加快研制快速监测仪器	49
3.7 展望	49
思考题	49

第4章 室内空气监测 50

4.1 室内空气监测标准	50
4.2 室内空气监测采样	50
4.2.1 采样时间、位置的确定	51
4.2.2 几种重要室内污染物的采样	51
4.2.3 采样点布置、采样点的数量	53
4.3 室内环境有害物质监测方法	54
4.3.1 甲醛的监测方法	55
4.3.2 苯、甲苯、二甲苯的监测方法	58
4.3.3 氨	59
4.3.4 苯并 [a] 芘	60
4.3.5 总挥发性有机物的检测方法 (热解吸/气相色谱法)	62
4.3.6 VOCs 的生物监测	63

4.3.7 室内空气中的细菌总数	67
思考题	68

第5章 室内装饰装修材料有害物质限量与测定 69

5.1 主要建筑装饰装修材料分类简介	69
5.1.1 木质装饰材料	69
5.1.2 地毯	69
5.1.3 塑料地板	69
5.1.4 金属装饰材料	70
5.1.5 石材	70
5.1.6 水泥	70
5.1.7 石膏和石膏制品	70
5.1.8 内墙涂料	70
5.1.9 建筑装饰用陶瓷制品	70
5.2 室内装饰装修材料人造板及其制品中甲醛释放限量与测定	71
5.2.1 人造板材及其制品中甲醛的来源	71
5.2.2 人造板及其制品中甲醛释放限量	71
5.2.3 甲醛含量的测定方法	72
5.3 涂料中有害物质限量与测定	72
5.3.1 室内涂料中的主要污染物	72
5.3.2 溶剂型的木器涂料限量	72
5.3.3 室内涂料中有害物质测定方法	73
5.4 胶黏剂中有害物质限量与测定	74
5.4.1 胶黏剂中有害物质限量	74
5.4.2 胶黏剂中有害物质的测定方法	74
5.5 木器家具中有害物质限量与测定	75
5.5.1 木器家具中有害物质限量	75
5.5.2 木器家具中的有害物质测定方法	75
5.6 壁纸中有害物质限量值与测定	75
5.6.1 壁纸中的有害物质限量	75
5.6.2 壁纸中的有害物质测定方法	76
5.7 聚氯乙烯卷材地板中有害物质限量与测定	76
5.7.1 聚氯乙烯卷材地板中的有害物质限量	76
5.7.2 聚氯乙烯卷材地板中的有害物质测定方法	76
5.8 地毯、地毯衬垫及地毯胶黏剂中有害物质限量和测定	77
5.8.1 地毯、地毯衬垫和地毯胶黏剂中的有害物质限量	77
5.8.2 地毯、地毯衬垫及地毯胶黏剂中的有害物质测定	78
5.9 混凝土外加剂中释放氨的限量与测定	78
5.9.1 混凝土外加剂中释放氨的限量	78
5.9.2 混凝土外加剂中释放氨的测定	78

5.10 建筑材料放射性核素限量与测定	78
5.10.1 建筑材料中天然放射性核素限量	78
5.10.2 建筑材料中天然放射性核素测定	79
思考题	79
第6章 室内空气质量的评价	80
6.1 室内空气质量评价的概念	80
6.2 室内空气质量评价的必要性	80
6.2.1 人们关心室内空气质量的最终目的	80
6.2.2 室内环境检测的局限性	81
6.2.3 人们对室内空气质量方面的要求不断提高	81
6.3 室内空气质量评价与室内环境检测的关系	81
6.4 室内空气质量评价的分类	82
6.4.1 预评价	82
6.4.2 现状评价	82
6.4.3 预评价和现状评价的关系	82
6.5 室内空气质量评价所涉及的要素	83
6.6 室内空气质量评价的一般方法	83
6.6.1 评价方法	83
6.6.2 用多区域方法进行评价的基本程序	85
6.7 评价举例——室内空气污染物对健康影响的危险度评价	85
6.7.1 健康危险度评价的基本概念	85
6.7.2 污染物理化特性和构效关系资料	86
思考题	87
第7章 室内空气污染因素的暴露评价研究	88
7.1 暴露评价	88
7.1.1 暴露评价的基本概念	89
7.1.2 定量估算暴露量的方法	90
7.1.3 暴露与剂量的关系	90
7.1.4 潜在剂量与呼吸速率	90
7.1.5 室内外空气中甲醛浓度的测定研究	91
7.1.6 室内外空气中 CO 的暴露量和潜在剂量	92
7.2 暴露评价内容	92
7.2.1 环境污染物的暴露情况	92
7.2.2 暴露人群特征的确定	92
7.2.3 外暴露量的计算	92
7.3 内暴露的评价	93
7.3.1 内暴露、吸收量、生物有效剂量及其推算	93
7.3.2 剂量-反应关系评定	96

7.3.3	关键研究和关键效应的选择	97
7.3.4	用 NOAEL (LOAEL) 和 UF 推导参考剂量	97
7.3.5	不确定性系数的选择	97
7.3.6	修正系数的选择	98
7.3.7	基线剂量法 (Bench Mark Dose, BMD)	98
7.3.8	无阈化学物质的剂量-反应关系评价	99
7.4	危险特征分析	100
7.4.1	对前三阶段结果的综合分析	100
7.4.2	危险度分析	101
7.5	室内化学污染的控制对策	103
7.6	室内空气污染物对健康影响的危险度评价	105
7.6.1	危险度评价的内容	105
7.6.2	危害鉴定	106
7.6.3	污染物理化特性和构效关系资料	107
7.7	城市人群 VOCs 的健康风险评价	107
7.7.1	监测方法	107
7.7.2	分析仪器	109
7.7.3	标准曲线的制作	110
7.7.4	具体采样方案	111
7.7.5	问卷调查	111
7.7.6	数据的分析与统计	112
7.7.7	室内外空气污染的个体暴露和潜在剂量的计算	113
7.7.8	VOCs 健康风险评估	113
	思考题	114

第8章 室内氡对健康的影响 115

8.1	自然界的氡均来自天然放射性衰变系列	116
8.1.1	有关放射性和氡及其子体的特定单位	116
8.1.2	表示氡及其子体的特定名词和单位	117
8.2	氡的测量方法	120
8.2.1	双滤膜法	120
8.2.2	固体径迹法	120
8.2.3	驻极体电离室氡探测器	120
8.2.4	闪烁瓶法	121
8.2.5	活性炭吸附法	121
8.2.6	氡的连续测量法	121
8.3	室内、外的氡浓度水平	121
8.4	居室空气中的氡暴露与居民肺癌发病率关系研究	124
8.5	降低室内氡浓度的措施	127
	思考题	130

第 9 章 室内物理性污染与危害	131
9.1 室内空气物理性因素污染研究	131
9.2 室内物理因素暴露限值存在的问题	131
9.3 室内噪声污染与健康	132
9.4 室内通气速率与健康	132
9.5 室内电磁辐射污染与健康	132
9.5.1 EMR 的热效应	133
9.5.2 EMR 的非热效应	133
9.5.3 EMR 与癌症	133
9.5.4 EMR 暴露的安全限值	134
9.5.5 心脏起搏器与 RF	134
9.6 居室内的放射性水平	136
9.6.1 居室放射性对健康的影响	136
9.6.2 氡与肺癌	137
9.6.3 有关室内放射性的标准	137
9.6.4 建筑材料放射卫生防护标准	137
9.6.5 天然石材产品放射防护分类控制标准	138
思考题	139
第 10 章 室内空气净化技术	140
10.1 室内空气污染净化的重要性	140
10.2 室内空气污染的特点	140
10.3 室内空气净化技术	141
10.3.1 室内空气净化技术分类	141
10.3.2 污染物分类净化法	145
10.3.3 纳米光催化技术的应用	146
思考题	147
第 11 章 室内空气污染研究案例	148
11.1 国内外民用建筑室内氨污染研究	148
11.1.1 我国室内氨污染调查	148
11.1.2 室内氨的来源	148
11.1.3 建筑装饰装修材料中的氨释放规律	149
11.1.4 室内氨污染对人体健康影响	149
11.1.5 室内氨污染控制	149
11.1.6 室内氨污染控制技术	150
11.1.7 国外室内氨污染研究进展	150
11.1.8 国内外对室内氨研究的特点	151
11.1.9 室内氨对人体健康影响	152

11.2	应用环境舱研究室内混凝土墙体中氨的释放规律·····	152
11.2.1	研究意义·····	153
11.2.2	研究方法·····	153
11.2.3	结论·····	156
11.2.4	讨论·····	156
11.3	氨气暴露评价·····	157
11.3.1	时间活动模式调查·····	157
11.3.2	调查表的设计和发放·····	158
11.3.3	统计结果·····	158
11.3.4	氨气的暴露量和剂量估算·····	159
11.3.5	模型的建立·····	160
11.3.6	模型的验证·····	162
11.4	过氧乙酸消毒剂对人体健康影响的调查及其室内浓度变化规律研究·····	163
11.4.1	过氧乙酸消毒剂对人体健康影响的调查研究·····	164
11.4.2	室内空气中过氧乙酸消毒剂浓度变化规律研究·····	166
11.5	室内涂料挥发性污染物的健康影响和排放规律研究·····	171
11.5.1	室内涂料挥发物的室内空气质量标准和限量标准·····	172
11.5.2	室内涂料中挥发性污染物排放规律的研究方法·····	173
11.5.3	室内涂料挥发性污染物排放规律实例研究·····	173
11.5.4	结论·····	175
11.6	大学生使用电脑及受其电磁辐射污染状况的调查·····	175
11.6.1	调查目标和方法·····	175
11.6.2	大学生宿舍内使用电脑类型的调查·····	176
11.6.3	大学生宿舍内电脑的使用及其电磁辐射污染情况调查·····	176
11.6.4	统计结果分析·····	180
11.6.5	讨论·····	180
11.6.6	结论·····	180
11.7	化学污染物释放规律研究·····	180
11.7.1	实验装置和仪器·····	180
11.7.2	采样和分析方法·····	181
11.7.3	涂料中苯系物的释放规律·····	181
11.7.4	细木工板甲醛释放规律研究·····	186
	思考题·····	190

附录	室内环境相关标准内容节选·····	191
----	-------------------	-----

参考文献·····	206
-----------	-----

第 1 章 室内空气污染概述

1.1 室内的定义

从广义上讲室内包括办公室、会议室、教室、医院等室内环境和宾馆、餐馆、影剧院、图书馆、商店、体育馆、网吧、候车室、候机室、托儿所、养老院等各种室内公共场所以及交通工具（如小汽车、公共汽车、地铁、火车、轮船和飞机）内等闭合空间。健康的室内环境主要是指无污染、无公害、有助于消费者身体健康的室内环境。室内的建筑、设计和装饰，不仅要满足人的生存、审美的需求，还要满足人的健康和安全需求。由国家质量监督检验检疫局、国家环保总局、国家卫生部制定的我国第一部《室内空气质量标准》，明确提出“室内空气应无毒、无害、无异常嗅味”^①。

1.2 室内空气污染简介

近年来，随着我国经济的高速发展，工农业现代化水平的不断提高，人们生活水平也得到了很大程度的改善，特别是在居住条件方面，人均居住面积大幅度增加，室内装潢也越来越讲究。但久居室内的人却出现了头痛、咳嗽、疲倦等多种不适症状，严重者甚至产生了多种疾病，研究发现这与室内空气污染有相当大的关系。许多地方室内空气中的污染物浓度要高于室外 2~5 倍，而城市人群每天有 70%~90% 的时间是在室内度过的。因此，重视室内空气质量，防范室内空气污染，检测治理室内空气污染成为大众关注的焦点。

国际上一些环保专家已将“室内空气污染”列为继“煤烟型”、“光化学烟雾型”污染之后的第三代空气污染问题。室内环境易受到各种物理、化学和生物因素的污染，污染程度比室外还要严重，尤其是位于城市交通主干道两侧的建筑物、办公楼、商场及住宅等典型场所。美国加州空气资源部（California Air Resources Board）监测发现，室内污染要比室外高 25~62 个百分点。室内空气污染已列为影响公众健康的世界最大危害之一，世界卫生组织在《2002 年世界卫生报告》中明确将室内空气污染、高血压、高胆固醇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超过 1/3 的呼吸道疾病，超过 1/5 的慢性肺病和 15% 的气管炎、支气管炎和肺癌；报告中特别提到居室装饰使用含有有害物质的材料会加剧室内的污染程度，这些污染对儿童和妇女的影响更大。国际有关组织调查后发现，世界上 30% 的新建和重建的建筑物中，存在着对身体健康有害的室内空气。儿童、孕妇是室内环境污染的最大受害者，家中有孕妇、儿童以及准备怀孕的夫妇要格外重视室内环境问题。

在过去，空气质量准则和标准均广泛应用于室外空气质量管理中，但对于室内空气质量还没有科学的、系统的方法可供应用。2006 年 10 月 23~24 日，世界卫生组织德国波恩办

①《室内空气质量标准》（GB/T 18883—2002），2002 年 11 月 19 日批准发布，自 2003 年 3 月 1 日起实施，详细附录。

事处承办了“世界卫生组织室内空气质量准则制定”工作组会议 (Development of WHO guidelines for indoor air quality, working group meeting, Bonn, Germany)。按计划, WHO 的室内空气质量指导值报告将于近两年公布。

1.2.1 我国室内空气质量的现状

我国最初大规模出现室内空气污染问题是在 20 世纪 80 年代。为了改善城镇居民居住条件,各地大规模建造单元式居民楼,装空调的人数也为数不少。在居住条件大幅度改善的同时,室内空气品质却不断恶化。到了 20 世纪 90 年代,随着人们生活水平的提高,引起居室室内空气污染的最主要原因是不良装修,即在装修过程中使用了大量有害物质如甲醛、挥发性有机物 (Volatile Organic Compounds, VOCs) 等一些装饰材料。而传统的室内污染物,如二氧化硫 (SO_2)、一氧化碳 (CO)、二氧化碳 (CO_2)、氮氧化物 (NO_x) 等由于抽油烟机的广泛采用和燃料结构的变化,对室内空气的污染程度已大大降低。

我国目前室内空气质量的状况不容乐观,与城市现代化的发展不相适应,出现多起室内污染事故。根据 1998 年 9 月中央电视台“东方时空”栏目报道,青岛市某医院副院长全家搬进刚刚装修好的新居不久,他自己因甲醛中毒死亡,其家人均不同程度中毒。南开大学环境科学与工程学院 2000 年冬季曾对天津市某新建小区新装修的家庭进行了室内空气污染物监测,结果表明,装修后的室内空气中的甲醛、苯系物等污染物浓度明显高于装修前,且出现了超标现象。1997 年 6 月北京某写字楼爆发军团病,短时间内大楼内有 108 位人员患病,患病率高达 34.6%,患者出现浑身疼痛,部分人扁桃体发炎、腹泻、高烧。最近,北京市卫生局对北京部分住宅区和写字楼的抽检表明,新装修后的居室甲醛含量普遍超标,最高者竟超标 73 倍。天津市卫生防病中心调查监测了新建及新装修的幼儿园、写字楼、家庭居室,发现室内空气质量合格率仅为 34.7%。至于军团病的发生,据报道国内已有 7 次,其中建筑工地 2 起,宾馆 1 起,大专院校 1 起,集体单位 2 起,农村儿童 1 起。2003 年 3 月,我国首例车内环境污染案件在北京市朝阳区人民法院宣判,这也是我国首例汽车消费者状告汽车经销商胜诉的民事案件。2003 年 8 月,深圳市计量质量检测研究院的检测显示,新车甲醛超标严重,可达 10 倍以上。2004 年 2 月北京劳动保护研究所室内环境检测中心,对 52 辆新车和 54 辆旧车的甲醛、苯系物和其他可挥发有机物进行了检测,结果表明汽车内空气污染严重。检测的 106 辆车中,甲醛、苯、甲苯和二甲苯都不超标的车辆仅有 30 辆,超标的车辆占 72%。从以上这些数据可以看出,目前我国的车内空气污染问题是相当严重的。2003 年 9 月 6 日深圳晚报刊登了《新房甲醛超标孕妇痛失胎儿》的报道,孕妇痛失胎儿的罪魁祸首为甲醛,法院判决新居装饰公司赔偿 1.4 万元。2005 年 5 月 28 日成都商报《白血病孩童装修污染是疑凶》报道,2003 年 7 月,小雨轩突然变成了“玻璃人”,只要轻轻一碰,她的皮肤就会变得青紫,随后孩子被确诊为白血病。7 月底,小雨轩家人请专业人士对房间全面检测后发现,儿童柜甲醛含量已超出国家标准 11 倍多。但直到目前,有关装修造成的室内空气污染与儿童白血病病因的关系还在深入研究中。2001 年 10 月南京市民栗某对自己购买的一套 60 平方米的住宅进行装修,2002 年 1 月搬进了新房,结果入住新房才三个月,栗某及其母发现同患再生障碍性贫血。经南京市环境检测中心对住房进行室内环境检测,结果发现室内环境中甲醛超标 12.6 倍,挥发性有机物超标 3.3 倍。家住长沙市东风路 89 号的范先生搬进新居没多久,他的身体一直健康的女儿开始出现咳嗽、发烧等感冒症状,吃药打针均不见效,经医院检查确诊为白血病。范先生怀疑是装修污染所致,于是委托室内环境装饰材料和产品检测中心检测,当场测出 TVOC (总挥发性有机化合物) 超过国家标

准 28 倍。2009 年对杭州市近 3 年的 2000 多个室内 TVOC 进行采样分析, 杭州市的 TVOC 浓度限值在德国和英国的 2 倍多。杭州市装修 1 年以内的家庭房间 TVOC 超标率达 35.6%。很多学者认为 TVOC 浓度大于 $0.20\text{mg}/\text{m}^3$ 就会对人体产生刺激反应。2002 年 4 月召开的首届全国室内空气质量与健康学术研讨会上, 公布了一个惊人的数字: 据统计我国每年由室内空气污染引起的超额死亡人数可达 11.1 万人, 超额门诊数可达 22 万人次, 超额急诊数 430 万人次。严重的室内空气污染在给人体健康造成损失的同时, 也造成巨大的经济损失, 仅 1995 年我国因室内空气污染所导致的经济损失高达 107 亿美元。但直到目前, 有关装修造成的室内空气污染与儿童白血病病因的关系还在深入研究中。此外, 来自混凝土、水泥、花岗岩等建筑材料中的放射性元素——氡, 亦成为不容忽视的无形杀手, 据不完全统计, 中国每年因氡致肺癌约在五万人以上。全国室内污染投诉显著增加, 据全国消费者协会统计, 装饰、装修造成室内环境污染成为消费者投诉的五大问题之一。

2001 年 5 月, 国家质量监督检验检疫总局针对消费者反映较大的木制家具污染室内环境问题, 抽查了北京、上海、广东、浙江、江苏、福建、河北 7 省市 87 家生产企业的 87 种木制家具产品, 合格率仅为 64.4%。1999~2000 年, 中国人类生态学会、中国预防医学科学院劳动卫生与职业病研究所和北京市卫生防疫站联合主持了对北京 30 家高中低档餐馆和咖啡厅室内空气质量的测试研究, 结果显示所测 15 个项目中的绝大部分有超标现象, 其中可吸入颗粒物、二氧化氮、甲醛超标严重。

北京化学毒物检测研究所于 1998~1999 年对北京市 73 个不同类型的旅馆、饭店、宾馆和 17 个楼房住宅、4 个办公场所, 共 94 个不同用途建筑的室内环境进行了检测评价, 共测试了包括甲醛在内的 8 种挥发性有机化合物 (VOC) 的室内空气浓度, 结果显示: 6 类建筑物的甲醛最高值平均为 $135.3\mu\text{g}/\text{m}^3$, 高于国家标准。平均值比 WHO 报道的国外正常水平高出约 1 倍, 同时 7 种 VOC (不含甲醛) 的平均水平和总水平也比欧洲、美国、日本等国家和地区的相应数值高出 1 倍。对天津市内 6 区 100 户装修后一年内入住的住宅进行甲醛监测和住户随机调查, 结果显示合格率仅为 14%。对 25 户新装修住宅室内空气中甲醛的检出率为 100%, 超标率 68%, 最大超标倍数为 2.3 倍。

随着人们生活水平的提高, 家用轿车已经进入家家户户。据调查我国车内空气污染较为严重, 由车内污染引起的纠纷日益增多。其主要原因, 一是消费者对汽车舒适性和感观的要求越来越高, 汽车生产企业和装饰企业在设计、生产汽车和提供汽车装饰服务时, 使用了大量不同的金属、塑料、橡胶、纤维织物、黏合剂等内饰材料, 其中一些材料可能散放有害气体; 二是由于汽车工业水平的进步, 使汽车的密闭性及车内设施的装饰水平不断提高, 使车内污染物更容易聚积而产生污染; 三是近年来一些汽车生产企业或装饰企业, 为降低成本, 使用了一些质量不高甚至对人体健康有害的劣质材料; 四是社会公众的环境意识和自我保护意识不断提高, 对直接关系身体健康的车内环境空气质量日益关注。中国室内装饰协会室内环境监测中心发布了 2004 年第 1 号室内环境消费警示: 警惕新车内部的空气污染。

2003 年, 深圳市计量质量检测研究院随机抽检了使用不足半年的新车, 结果发现: 70% 的汽车车内有毒气体的浓度超过国家室内空气质量标准。北京市有关部门对 100 辆轿车抽检发现, 其中 90% 存在车内空气质量问题。据广州中科环境检测中心 2005 年对 2000 辆汽车车内空气质量检测, 也发现有 92.5% 的车辆存在车内空气质量问题。由中国科协工程学会联合会汽车环境专业委员会组织发起的“首次汽车内环境污染情况调查活动”, 经过近一个月的车内环境检测, 结果表明有 93.82% 的车内环境存在不同程度的污染情况, 存在有

害物质甲醛超标的达 23.4%；苯浓度超标的占 75.1%；甲苯超标的更高达 81.6%；二甲苯超标的有 24.5%；一氧化碳超标的为 44.1%；二氧化碳超标的有 4.9%；总挥发性有机物 (TVOC) 超标也高达 70.2%。调查显示，汽车内环境首要污染物质为甲苯，其次为二甲苯、苯、TVOC 和甲醛，这几种有害物质的污染情况均比较严重。如果长期与其接触，对驾乘者的身体健康会造成危害。中科国环环境技术研究中心广州分中心对 2000 辆车进行检测，92.5% 的车辆都存在空气质量问题。北京联合大学应用文理学院室内环境检测中心在通过计量认证取得 CMA 标志后，随即开始了汽车污染的有关的研究。2004 年 2 月北京劳动保护研究所室内环境检测中心，对 52 辆新车和 54 辆旧车的甲醛、苯系物和其他可挥发性有机物进行了检测。汽车内空气污染严重，检测的 106 辆车中，甲醛、苯、甲苯和二甲苯都不超标的车辆仅有 30 辆，超标的车辆占 72%。甲醛的污染不严重，平均值都小于限量值，52 辆新车中只有 6 辆超标，54 辆旧车中无一辆超标；苯平均值也都在限量值之下，仅有 21 辆超标，而且除 1 辆车外，超标值均很小；甲苯超标严重，新车平均值为限量值的 5 倍，52 辆车中有 61% 超标，严重者超标可达 47 倍、134 倍；旧车平均值也超标，54 辆车中 47% 有超标；二甲苯平均值也超标严重。新车中的甲苯值超过二甲苯值，由于甲苯比二甲苯的沸点低，释放快些，旧车中甲苯的值低于二甲苯值；苯乙烯在新车中的含量较高 ($0.495\text{mg}/\text{m}^3$)，它主要来自聚合物中的残留单体，挥发较快，在旧车中残余量变得很少 ($0.09\text{mg}/\text{m}^3$)。

1.2.2 国外室内空气质量现状

在美国、西班牙、澳大利亚、英国以及其他发达国家都曾爆发因室内污染引起的军团病（系军团菌引起，因美国退伍军人大会期间发现而命名），并导致大量人员死亡。美国 120 万商业建筑物中有 2500 万工作人员患建筑综合征，日本约有 30% 的住宅因为使用有害的化学物质而引发“新居综合征”。荷兰住房与建设部的报告指出，被调查的雇员中因患与工作环境质量有关的疾病平均每年请病假两天半，估计每年造成办公或营业场所员工的工作日损失达 100 万个。美国一项历时 5 年的专题调查发现，许多民用和商用建筑室内的空气污染是室外的 2~5 倍，有的甚至超过 100 倍。《美国医学杂志》1985 年调查报告估计，每年因呼吸道感染而就医的人数达 7500 万人次，损失 1.5 亿个工作日，花费的医疗费用达 150 亿美元，缺勤损失高达 590 亿美元，而室内空气是急性呼吸道疾病传染的主要传播媒介。

需要特别指出的是，控制污染由室外到室内的变化之间并没有不可逾越的界线。日本 20 世纪 50~70 年代的经济高速发展，带来了比较严重的环境污染问题。自 60 年代后期开始，日本政府在治理室外环境污染的同时，也着手制订有关法规，加强室内空气污染的控制并取得良好的效果，日本至今没有出现过普遍和严重的室内空气污染问题。

1.3 室内空气污染源和污染物

1.3.1 室内空气污染物来自于室内多种污染源和室外空气

室内空气污染包括物理、化学和生物污染，来源分为室内和室外两部分。

室内来源主要包括：日用消费品和化学品的作用、建筑材料和个人活动。如：各种燃料燃烧、烹调油烟及吸烟产生的 CO 、 NO_2 、 SO_2 、悬浮颗粒物、甲醛、多环芳烃等；室内淋浴、加湿空气产生的卤代烃等化学污染物；建筑、装饰材料、家具和家用化学品释放的甲醛

和挥发性有机化合物（VOCs）等以及放射性氡及其子体；家用电器和某些办公设备导致的电磁辐射等物理污染和臭氧等；通过人体呼出气、汗液、大小便等排出的 CO_2 、氨类化合物、硫化氢等内源性化学污染物，呼出气中排出的苯、甲苯、苯乙烯、甲醇、二硫化碳、氯仿等外源性污染物；通过咳嗽、打喷嚏等喷出的流感病毒、结核杆菌、链球菌等生物污染物；室内用具产生的生物性污染，如在床褥、地毯中孳生的尘螨等。图 1-1 为室内污染来源示意图。

室外来源主要有：室外空气中的各种污染物包括工业废气和汽车尾气通过门窗、孔隙等进入室内；人为带入室内的污染物，如干洗后带回家的衣服，可释放出四氯乙烯等挥发性有机化合物；将工作服带回家中，可使工作环境中的苯进入室内等。

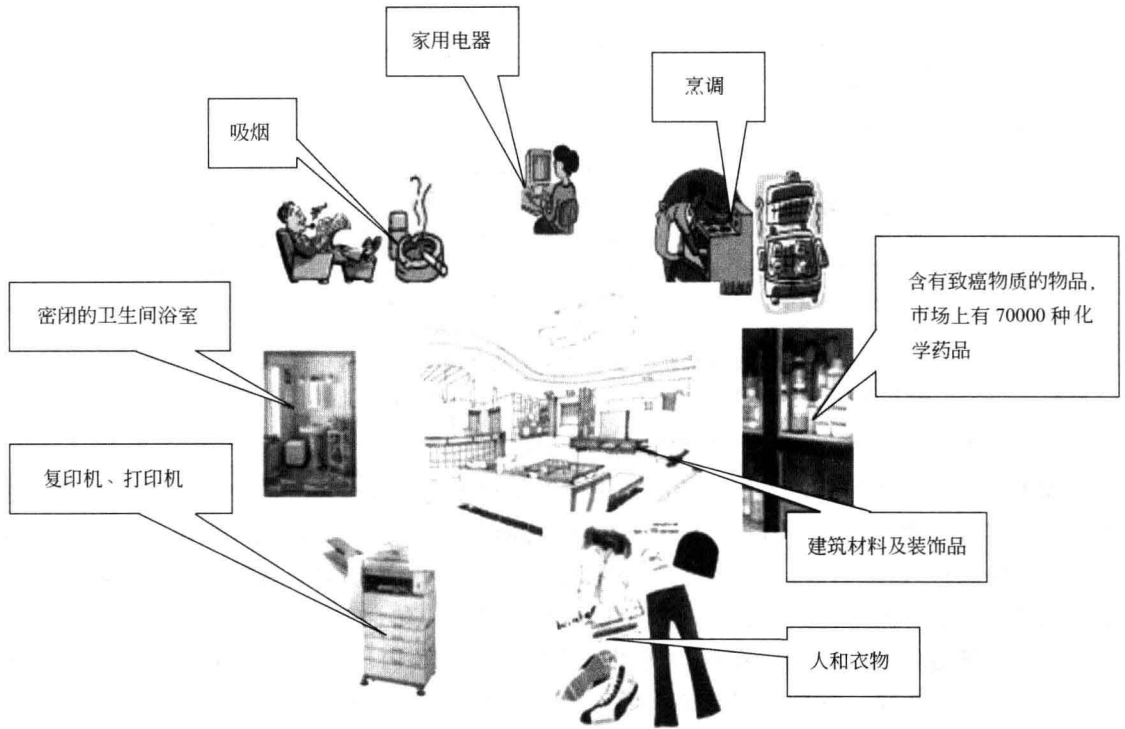


图 1-1 室内污染来源示意图

二氧化氮（ NO_2 ）、环境烟草烟雾（Environmental Tobacco Smoke, ETS）、病原微生物、甲醛污染是室内引起呼吸系统健康效应的主要因子。在发达国家，ETS 可能是导致室内空气污染最重要的因子。吸烟者家庭中室内空气中悬浮颗粒物浓度明显高于无人吸烟的家庭。许多研究者都研究了 ETS 对儿童呼吸系统症状和肺功能的影响，而对成人非癌症生物效应的研究还不充分。

通风和空调系统是军团菌的主要来源。传染性微生物也可在其他地方繁殖，也就是说只要有符合它们生长需要的基质、温度和湿度即可。居室中，生物污染源更经常地形成于厨房或厕所的墙壁和地板潮湿处。室内装修采用的木质人造板和脲醛隔热泡沫材料是室内甲醛污染的主要来源，特别是劣质材料的使用，将会导致室内空气甲醛的长期污染，ETS 也是甲醛的重要来源。

表 1-1 为 1984 年世界卫生组织列出了室内常见的 VOCs 的来源。

表 1-1 1984 年世界卫生组织列出了室内常见的 VOCs 的来源

污 染 物	来 源
甲 醛	杀虫剂、压板制成品、尿素-甲醛泡沫绝缘材料(UFFI)、硬木夹板、黏合剂、粒子板、层压制品、涂料、塑料、地毯、软塑家具套、石膏板、接合化合物、天花瓦及壁板、非乳胶嵌缝化合物、酸化固木涂层、木制壁板、塑料、乙烯基(塑料)地砖、镶木地板
苯	室内燃烧烟草的烟雾、溶剂、涂料、染色剂、清漆、图文传真机、电脑终端机及打印机、接合化合物、乳胶嵌缝剂、水基黏合剂、木制壁板、地毯、地砖黏合剂、污点/纺织品清洗剂、聚苯乙烯泡沫塑料、塑料、合成纤维
四氯化碳	溶剂、制冷剂、喷雾剂、灭火器、油脂溶剂
三氯乙烯	溶剂、经干洗布料、软塑家具套、油墨、涂料、亮漆、清漆、黏合剂、图文传真机、电脑终端机及打印机、打字机改错液、油漆清除剂、污点清除剂
四氯乙烯	经干洗布料、软塑家具套、污点/纺织品清洗剂、图文传真机、电脑终端机及打印机
氯仿	溶剂、染料、除害剂、图文传真机、电脑终端机及打印机、软塑家具垫、氯仿水
1,2-二氯苯	干洗添加剂、去油污剂、杀虫剂、地毯
1,3-二氯苯	杀虫剂
1,4-二氯苯	除臭剂、防霉剂、空气清新剂、抽水马桶及废物箱除臭剂、除虫丸及除虫片
乙 苯	与苯乙烯相关的制成品、合成聚合物、溶剂、图文传真机、电脑终端机及打印机、聚氨酯、家具抛光剂、接合化合物、乳胶及非乳胶嵌缝化合物、地砖黏合剂、地毯黏合剂、亮漆硬木镶木地板
甲 苯	溶剂、香水、洗涤剂、染料、水基黏合剂、封边剂、模塑胶带、墙纸、接合化合物、硅酸盐薄板、乙烯基(塑料)涂层墙纸、嵌缝化合物、涂料、地毯、压木装饰、乙烯基(塑料)地砖、油漆(乳胶及溶剂基)、地毯黏合剂、油脂溶剂
二甲苯	溶剂、染料、杀虫剂、聚酯纤维、黏合剂、接合化合物、墙纸、嵌缝化合物、清漆、树脂及陶瓷漆、地毯、湿处理影印机、压板制成品、石膏板、水基黏合剂、油脂溶剂、油漆、地毯黏合剂、乙烯基(塑料)地砖、聚氨酯涂层

随着生活水平的提高,人们在外出、旅游等经常乘坐私家车。车内空气污染的成因,主要有汽车零部件和车内装饰材料中所含有害物质的释放、车外污染物进入车内以及汽车自身排放的污染物进入车内环境等。汽车零部件和车内装饰材料中所含有害物质的释放,包括汽车使用的塑料和橡胶部件、织物、油漆涂料、保温材料、黏合剂等材料中含有的有机溶剂、助剂、添加剂等挥发性成分,在汽车使用过程中释放到车内环境,造成车内空气污染。首先,车内所用地板革、顶棚、皮座椅及布艺座椅的黏合剂含有苯系物,其慢性挥发可造成车内空气污染。其次,内部装饰选用真皮、电镀、油漆、塑料装饰件等材料处理不当,会辐射出有害物质。为了保证车辆的舒适性,尤其是高档车,使用了保温防寒、隔声材料,而这些材料在制造过程中也使用了乙酸乙酯、甲醛等可挥发物,它们的残留物挥发在车内空气中。据调查,20世纪90年代时,我国汽车平均塑料用量只有14~28kg/辆,而同期发达国家为100~130kg/辆,此后随着材料技术的进步以及为满足降低车重的要求,汽车塑料用量不断增加。目前塑料用量已接近80kg/辆,黏合剂的用量也达到5~27kg/辆。污染物主要有苯、甲苯、甲醛、碳氢化合物、卤代烃等,车内材料释放的物质还是车内难闻异味的主要来源。

车外的污染物进入车内,如果密封不严,外界环境的污染物将进入车内环境,造成车内空气污染。污染物主要有碳氢化合物、一氧化碳、二氧化硫、氮氧化物、颗粒物等。汽车自身排放的污染物进入车内环境,包括通过排气管、曲轴箱、燃油蒸发等途径排放的污染物,或汽车空调长期使用后风道内积累的污物对车内空气造成污染。污染物主要有碳氢化合物、一氧化碳、氮氧化物、微生物、苯、烯烃、芳香烃等。汽车内的人体活动和人体代谢会产生上百种有害物质。如,呼出的二氧化碳,某些携带者产生的细菌、霉菌、过滤性病毒等生物