

国家“十一五”及“863”科技支撑计划项目

*Theory and Practice
of Civil Engineering Indoor Environmental Disaster
Reduction and Prevention*



民用建筑工程 室内环境减灾防灾 理论与实践



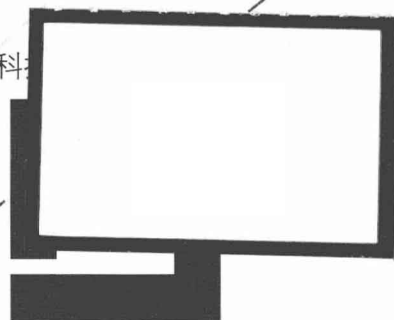
刘宏奎 李云龙 著



大连理工大学出版社

国家“十一五”及“863”科

*Theory and Practice
of Civil Engineering Indoor Environmental Disaster
Reduction and Prevention*



民用建筑工程 室内环境减灾防灾 理论与实践

刘宏奎 李云龙 著



大连理工大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

民用建筑工程室内环境减灾防灾理论与实践 / 刘宏奎, 李云龙著. — 大连: 大连理工大学出版社, 2011. 11
ISBN 978-7-5611-6630-7

I. ①民… II. ①刘… ②李… III. ①居住环境—环境污染—污染控制—研究 IV. ①X506

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 239989 号

大连理工大学出版社出版

地址: 大连市软件园路 80 号 邮政编码: 116023

发行: 0411-84708842 邮购: 0411-84703636 传真: 0411-84701466

E-mail: dutp@dutp.cn URL: <http://www.dutp.cn>

大连美跃彩色印刷有限公司印刷

大连理工大学出版社发行

幅面尺寸: 185mm×260mm

印张: 23.5

字数: 543 千字

2011 年 11 月第 1 版

2011 年 11 月第 1 次印刷

责任编辑: 汪会武

责任校对: 杨永生

封面设计: 波朗

ISBN 978-7-5611-6630-7

定价: 48.00 元

前 言

早在 1992 年,本书作者刘宏奎先生就开始关注民用建筑工程室内环境问题;2001 年,刘宏奎先生作为主编之一的《民用建筑工程室内环境污染控制规范》(GB 50325—2001)发布实施,拉开了我国民用建筑室内环境污染控制的序幕。十多年来,以刘宏奎先生为核心的研究团队,不断完善民用建筑室内环境污染控制的基础理论,在 2006 年对《民用建筑工程室内环境污染控制规范》(GB 50325—2001)进行了局部修订,2011 年完成了该规范的全面修订;围绕民用建筑工程室内环境污染控制的研究项目两次列入“863”国家高新技术计划,一次列入“十一五”科技支撑计划。

本书集十多年来研究成果之大成,理论与实践并重,系统地阐述了民用建筑室内环境污染的来源、危害、灾害类型、评价模型的建立与求解,以及近十年来在民用建筑工程室内环境污染控制方面关键设备的研发等成果,对于我国进一步控制民用建筑室内环境污染的研究和实践具有比较重要的参考价值。

更为难得的是,本书以减灾防灾的独特视角,从理论和实践两个方面,重新审视民用建筑工程室内环境问题,提出了“室内环境中爆炸气体毁伤准则与评价方法”等一系列理论与方法。

本书内容涉及数学、化学、核物理、建筑材料、建筑施工、建筑设计、减灾防灾、计算机及应用、环境等多个专业,可以作为相关专业教学的参考教材,也可作为相关领域研究人员重要的参考资料。

本书之部分基础材料来源于“863”国家高新技术计划和“十一五”科技支撑计划的合作单位:清华大学、海南大学、中国建筑材料研究总院等,对于他们多年来的协助和辛勤的劳动表示衷心的感谢!

本书的初衷是对多年来的研究心得加以总结,以期为今后的研究者提供一块垫脚石。由于作者水平所限,书中疏漏在所难免,恳请批评指正。

著 者

2011 年 5 月于郑州

目 录

上 篇 民用建筑工程室内环境污染控制基础理论

第1章 民用建筑工程室内环境灾害不容忽视	3
1.1 自然灾害与人类社会发展如影随形	3
1.2 中国是世界上自然灾害最为严重的国家之一	4
1.3 大气污染给人类带来的灾难性后果	5
1.4 民用建筑工程室内环境灾害不容忽视	6
1.4.1 短期突发性灾害的案例	7
1.4.2 长期缓慢危害的案例	8
第2章 民用建筑工程室内环境灾害因素分析	10
2.1 灾害及其发生的原因	10
2.2 民用建筑工程室内环境污染灾害的分类	10
2.2.1 “建筑物关联症”(Building-Related Illness, BRI)	10
2.2.2 “病态建筑综合征”(Sick Building Syndrome, SBS)	11
2.2.3 “多种化学污染物过敏症”(Multiple Chemical Sensitivity, MCS)	11
2.3 室内环境中污染物的来源和危害	12
2.3.1 甲 醛	12
2.3.2 氡(Radon, Rn)	13
2.3.3 苯及苯系物	15
2.3.4 总挥发性有机化合物(TVOC)	16
2.3.5 氨	21
2.3.6 家用燃气	22
2.3.7 可吸入颗粒	23
2.3.8 石 棉	23
2.3.9 铅及其他重金属	24
2.3.10 臭 氧	25
2.3.11 氯代烃	25
2.3.12 微生物	26
2.3.13 噪 声	26
2.3.14 光污染	28
2.3.15 电磁辐射污染	29
2.4 影响民用建筑工程室内环境的因素分析	34
2.4.1 室外环境因素对室内环境的影响	34
2.4.2 室内环境中影响空气质量的因素	34

2.4.3 建筑工程室内环境污染的影响因素	35
第3章 工程环境中的抽样与能力检验和定量风险评估技术	41
3.1 工程环境数据全国普查和抽样的检验方法	41
3.1.1 接收概率与 OC 曲线	41
3.1.2 计数标准型抽样检验	42
3.1.3 计数挑选型抽样检验	44
3.1.4 计数调整型抽样检验	46
3.1.5 计数序贯抽样检验简介	54
3.2 工程环境试验的过程能力检验方法	55
3.2.1 双侧规范情况的过程能力指数	55
3.2.2 单侧规范情况的过程能力指数	56
3.2.3 有偏离情况的过程能力指数 C_{pk} 的计算	57
3.2.4 C_p 和 C_{pk} 的比较与说明	57
3.2.5 过程能力指数 C_p 、偏离度 K 和不合格率 p 之间的关系	58
3.3 工程环境试验中人的可靠性分析方法(HRA)	58
3.3.1 HRA 的发展简述和问题	58
3.3.2 人员失误率预测技术(THERP)	60
3.3.3 人误评估与减少技术(HEART)	61
3.3.4 人的认识可靠性模型(HCR)分析技术	62
3.3.5 人因事件分析模式(THERP+HCR)	62
3.3.6 工程环境试验中人的可靠性分析方法中 HRA 具体分析过程	64
3.4 建筑工程环境中的定量风险评估技术	66
3.4.1 风险的表征方法和风险矩阵	66
3.4.2 建筑环境工程中风险可接受准则的设计方法	67
3.4.3 定量风险评估技术	68
3.4.4 风险等级	70
3.4.5 建筑工程室内环境灾害风险评估过程与计算	71
第4章 建筑工程室内环境关键模型建立和求解	76
4.1 环境要素的典型特点与环境系统的特性	76
4.1.1 环境要素的特点	76
4.1.2 环境系统的特性	77
4.1.3 室内环境的数学模型	78
4.1.4 环境系统中的数学模型	80
4.1.5 灰色系统建模法和概率统计、模糊数学、灰色系统的比对分析	82
4.2 室内环境中污染物在空气中的运动特征	84
4.3 室内环境质量三维基本模型建立和解析解	87
4.3.1 零维模型	87
4.3.2 三维模型	88
4.3.3 基本模型的解析解	89

4.4 室内环境中风与无风瞬时点源的解	93
4.4.1 瞬时点源的解	93
4.4.2 有风条件下连续点源的解	95
4.5 室内楼面、地面和墙面的污染扩散模型	96
4.6 室内装饰线材、管材、可燃气体管道的污染扩散模型	97
4.7 整体套房的污染扩散模型	98
第5章 建筑工程室内环境中可燃气体的风险评估技术	100
5.1 室内环境中可燃气体小孔径泄漏模型	100
5.2 室内环境中可燃气体泄漏扩散计算	101
5.3 室内环境中可燃气体爆炸计算模型	102
5.4 室内环境中可燃气体爆炸冲击波作用时间和爆炸地震波计算与评估	104
5.5 室内环境中爆炸气体毁伤准则与评估方法	106
5.5.1 热辐射伤害准则(人体伤害准则)	106
5.5.2 冲击波毁伤准则(建筑物毁坏准则)	107
5.6 实际工程计算	110
5.6.1 天然气的泄漏	110
5.6.2 天然气泄漏的扩散范围的计算	112
5.6.3 天然气-空气预混云团的火灾及其危害评估	114
5.6.4 天然气-空气预混云团的爆轰及其破坏作用评估	116
5.6.5 天然气稳态燃烧的危害评估	118
5.6.6 危害评估结论	119
第6章 建筑工程室内环境的电离辐射灾害计算体系	120
6.1 室内环境中电离辐射特征和计算体系的基本规定	120
6.1.1 电离辐射、内照射和外照射、建筑材料、建筑主体材料和装修材料	120
6.1.2 天然长寿命放射性核素的基础特征	122
6.1.3 建筑工程室内环境的照射指数	123
6.1.4 计算的基本规定	123
6.2 室内环境中电离辐射的计算体系	125
6.2.1 基础回填土的照射计算和氡的防控设计	125
6.2.2 主体建筑材料和主体结构的计算	130
6.2.3 装饰装修材料的计算	130
6.2.4 建筑物室内照射的设计计算	132
6.3 室内环境中照射指数和氡浓度的关系与计算	136
6.3.1 统计模型的建立和本构模型的关系	136
6.3.2 氡设计水平的浓度计算	138
第7章 建筑工程室内环境的电磁辐射防护体系	139
7.1 电磁辐射的来源	139
7.2 电磁辐射的危害	141
7.2.1 电磁干扰	141

7.2.2 对人体的危害	142
7.2.3 信息泄漏	145
7.3 消除电磁污染的途径	145
7.3.1 电磁屏蔽技术	145
7.3.2 接地技术	146
7.3.3 电磁波吸收防护	146
7.3.4 线路滤波	146
7.3.5 远距离作业	146
7.3.6 个体防护	147
7.3.7 其他防护措施	147
7.3.8 电磁波吸收材料	147
7.4 电磁防护吸收材料	149
7.4.1 吸波材料的吸波原理	149
7.4.2 吸波材料分类	150
7.4.3 建筑吸波材料及其开发利用前景	156
7.5 建筑室内电磁辐射防护对策	158
7.5.1 广播、电视发射台的电磁辐射的防护	159
7.5.2 工业、科学和医疗设备电磁辐射的防护	159
7.5.3 建筑室内电磁屏蔽技术	161
7.5.4 无线局域网干扰的防护	166
7.5.5 日常生活中电磁辐射污染的防护	167
7.6 常用的电磁辐射防护产品	170
7.6.1 电磁辐射防护服装	170
7.6.2 电磁辐射防护卡	171
7.6.3 电磁辐射防护眼镜	172
7.6.4 电磁辐射防护窗帘	172
7.6.5 电磁辐射防护食品	173
7.7 其他电磁辐射的防护	174

下篇 民用建筑工程室内环境减灾防灾实践

第8章 在线监测建筑工程室内环境测试舱	179
8.1 国内外技术水平及现状	179
8.1.1 国际现状与发展趋势	180
8.1.2 国内现状与发展趋势	183
8.1.3 本项目研制的在线组合环境测试舱概述	184
8.2 测试舱系统组成	185
8.3 舱体	187
8.4 循环风系统	187
8.5 洁净空气处理系统	189
8.6 空气交换系统	190

8.7 控温控湿系统	190
8.8 污染物采样系统	191
8.8.1 标准化学采样系统	191
8.8.2 传感器采样系统	192
8.9 电器硬件系统	192
8.9.1 现场总线构成	194
8.9.2 温、湿度采集单元模块	195
8.9.3 开关量输入输出系统	196
8.9.4 污染物采集单元	197
8.10 软件系统	198
8.10.1 监控功能单元	198
8.10.2 调节控制功能单元	199
8.10.3 污染物监测单元	200
8.10.4 实验数据的统计分析	201
8.10.5 软件记录及报告系统	201
8.10.6 建筑物中甲醛释放量模型软件系统	202
8.10.7 网络监控及数据备份功能	202
8.11 其他系统	202
8.11.1 组合舱与独立单舱结构	202
8.11.2 组合舱与独立单舱结构控制系统	205
8.11.3 仪表控制系统	209
8.11.4 控制软件系统	209
8.12 在线监测组合式环境测试舱操作规程和自校规程	224
8.12.1 在线监测组合式环境测试舱操作规程	224
8.12.2 在线监测组合式环境测试舱自校规程	232
第9章 无机非金属建筑材料放射性检测仪器	234
9.1 概 述	234
9.2 仪器特点	235
9.3 使用环境	235
9.4 主要技术指标	235
9.5 硬件组成	236
9.6 软件系统	236
9.6.1 软件安装	236
9.6.2 软件的运行	239
9.6.3 仪器的刻度	242
9.6.4 建立标准库	247
第10章 建筑工程室内环境测试舱	261
10.1 甲醛及测试方法概述	261
10.1.1 甲醛概述	261

10.1.2	甲醛的应用	261
10.1.3	木制品及装饰人造板挥发的甲醛是室内甲醛的主要散发源	262
10.1.4	穿孔法及干燥法测定甲醛含量概述	262
10.2	测试舱甲醛释放量测试标准条件及方法	262
10.2.1	测试舱甲醛释放量测试标准条件	262
10.2.2	标准化学方法获取测试舱法中试件甲醛释放量	263
10.3	测试舱自动采集甲醛浓度分析与研究	266
10.3.1	甲醛传感器采集读数时间的确定	266
10.3.2	对采集单元的数据校准与方法验证	266
10.3.3	相对湿度的影响	267
10.3.4	甲醛释放规律研究	267
10.3.5	人造板测试方法实验比较	270
10.4	挥发性有机化合物的测定	271
10.4.1	VOC 的概述与来源	271
10.4.2	室内空气中总挥发性有机化合物(TVOC)的测定	272
10.4.3	自动采集 VOC 散发测试舱经验模型	273
第 11 章	建筑工程氡污染控制专用设备的研制	274
11.1	高效 DSZ-3 组合标准氡室的研制	274
11.1.1	研究背景	274
11.1.2	氡室结构系统	274
11.1.3	高效标准氡室的性能测试技术与评估	289
11.1.4	结 论	313
11.2	利用高效标准氡室开展测氡仪比对研究	313
11.3	民用建筑防氡降氡系列实验装置	316
11.3.1	背 景	316
11.3.2	土围-建筑物模拟氡实验装置	317
11.3.3	氡模拟实验室	342
11.3.4	建筑材料氡析出率测试厢	355
11.4	氡快速寻迹测试仪	359
参考文献		361

上 篇

民用建筑工程室内 环境污染控制基础理论

第 1 章 民用建筑工程室内环境灾害不容忽视

1.1 自然灾害与人类社会发展如影随形

公元 89 年 8 月,古罗马帝国最繁荣的城市之一庞贝因维苏威火山爆发而被掩埋,死难人数达 1.5 万人。

公元 526 年,拜占庭帝国最大的贸易中心安条克因地震被毁,死难人数在 25 万人以上。

1201 年 8 月,发生在地中海东部的地震约造成 110 万人死亡,埃及和叙利亚地区受灾严重。

1900 年 9 月 8 日,美国得克萨斯州加尔维斯敦遭遇台风袭击,造成 8 000 人丧生。

1923 年 9 月 1 日,日本东京、横滨、神奈川县一带爆发了强烈地震,即关东大地震,并引发了火灾,导致十余万人死亡。

20 世纪 30 年代,美国中西部地区遭遇 3 次沙尘暴袭击,造成大量农作物被毁,约 50 万人无家可归。

1968~1984 年,非洲撒哈拉地区发生特大干旱,约 20 万人和数百万头牲畜因此丧生。此后撒哈拉及以南地区持续出现旱灾,截至 20 世纪 90 年代,受灾人口已达 3 亿人以上。

1980 年 5 月 31 日,秘鲁瓦斯卡兰山发生特大雪崩,山下容加依城被全部摧毁,造成约两万人死亡。

1980 年 11 月,在强热带风暴“博拉”袭击原东巴基斯坦(现孟加拉国),造成特大洪水、暴雨灾害,死难人数在 30 万人以上。

1985 年 11 月 13 日,哥伦比亚内瓦多德尔鲁伊斯火山两次爆发,造成两个城镇完全被毁,约 2.5 万人死亡。

2004 年 12 月 26 日,印度洋发生大海啸,印度尼西亚、斯里兰卡、泰国受灾严重,有关各国死难总人数达 20 万人以上。

2005 年 10 月 8 日,巴基斯坦北部地区发生里氏 8.6 级强烈地震,造成巴基斯坦 8.6 万多人死亡,10 万多人受伤,约 200 万人无家可归。

表 1-1 列出了 20 世纪一些重大自然灾害造成的直接损失,在这些自然灾害中,多数造成了 10 亿美元以上的经济损失或造成 10 000 人以上的人员死亡。

表 1-1 20 世纪一些重大自然灾害造成的直接损失

日期	国家和地区	事件	死亡人数/人	经济损失/百万美元
1906. 04. 18	美国旧金山	地震	3 000	524
1908. 12. 28	意大利墨西拿	地震	85 926	116
1920. 12. 16	中国甘肃	地震	235 000	/

(续表)

日期	国家和地区	事件	死亡人数/人	经济损失/百万美元
1931. 08. 08	中国长江	洪水	140 000	/
1935. 05. 30	巴基斯坦奎塔	地震	35 000	25
1942. 10. 16	印度和孟加拉	龙卷风	61 000	/
1953. 02	英国	风暴潮	1 932	3 000
1970. 11. 12	孟加拉	台风	300 000	63
1970. 05. 31	秘鲁	地震, 滑坡	68 000	550
1976. 08. 28	中国唐山	地震	240 000	5 600
1988. 12. 08	亚美尼亚	地震	25 000	14 000
1991. 04. 29/30	孟加拉	台风	139 000	3 000
1994. 01. 18	美国北岭	地震	61	44 000
1995. 01. 18	日本阪神	地震	6 348	>100 000

以上是有史可考的、对人类社会造成重大影响的自然灾害。事实上,大大小小的自然灾害,时刻都在世界各地发生着,我们所赖以生存的地球,从来都没有安分过。可以毫不夸张地说,人类社会发展的历史也是一部人类同各种自然灾害相抗争的血泪史。

自然灾害的发生不以人类的意志为转移。何时何地发生,产生多大的危害,在人类社会的初期是难以预测的,因此,人类在面对自然灾害时只能被动地承受,唯一能做的就是向“上帝”、“神仙”祷告。随着人类社会的发展和科学技术的进步,人类在减灾防灾方面也不再一味地被动,至少在灾前预测和灾后重建方面取得了一定的成就,虽然无力阻止灾难的发生,但至少可以降低灾害对人类社会的危害。

1.2 中国是世界上自然灾害最为严重的国家之一

据统计,中国有 80% 以上的城市、50% 以上的人口分布在自然灾害频发的地区。除火山爆发外,洪涝、干旱、蝗灾、台风、地震、滑坡泥石流、森林草场火灾等危害严重的自然灾害在中国均发生频繁。

1556 年 1 月,陕西华县发生 8 级地震,陕西、山西和河南三省受灾,死难者达 83 万人以上。

1886~1889 年,山西、陕西、河南、河北、山东等北方五省发生特大旱灾,时称“丁戊奇荒”,死难者达 1 000 万人以上。

1888 年春,黄河因暴雨在郑州急转弯处决口,洪灾死难者超过 90 万人。

1920 年,中国北方大旱。山东、河南、山西、陕西、河北等省 2 000 万人受灾,死难人数达 50 万人。

1920 年 12 月 16 日夜,宁夏海原地区发生里氏 8.5 级地震,死难者约 23.6 万人。

1959~1961 年“三年自然灾害”,旱灾、霜冻、洪涝、风雹、蝗灾、鼠灾等自然灾害在部分地区持续、轮番发生。

1976 年 8 月 28 日凌晨,河北唐山至丰南一带发生里氏 8.6 级地震,死难者约 24 万

人。

1998年6月中旬,长江流域和松花江流域发生特大洪水灾害,农田受灾面积达2 229万公顷,约4 150人遇难。

2003年初,全球“非典”型性肺炎爆发,全球累计“非典”病例共8 422例,其中,中国内地累计病例5 328例,死亡349人。

2008年5月12日14时28分,四川汶川发生里氏8.0级地震,涉及10个省、区、市,受灾群众达4 625万多人,69 228人遇难。

然而,中国人民历久弥坚、不屈不挠,在各种灾难之后之所以能够如凤凰涅槃、浴火重生,主要得益于我们的民族善于总结,勤于思考,减灾防灾意识、理论与技术不断进步。

1.3 大气污染给人类带来的灾难性后果

大气是人类赖以生存的重要要素之一。地球上的大气,有约78%为氮气、21%为氧气,二氧化碳和水以及惰性气体等约占1%。所谓大气污染,不同的学科有不尽相同的定义,按照国际标准化组织(ISO)的定义,“大气污染通常是指由于人类活动或自然过程引起某些物质进入大气中,呈现出足够的浓度,达到足够的时间,并因此危害了人体的舒适、健康和福利或环境污染的现象”。造成大气污染的原因,既有自然因素,如火山爆发产生的火山灰等;又有人为因素,如工业废气、燃烧、汽车尾气和核爆炸等。随着人类经济活动和工业生产的迅速发展,在大量消耗能源的同时,也将大量的废气、烟尘等物质排入大气,严重影响了大气环境的质量,因此,人为因素已经成为大气污染的主要因素,特别是在人口稠密的城市和工业区域。

近两个世纪以来,随着人类工业革命的迅猛发展,科技进步日新月异,城市化步伐不断加快,越来越多的人由乡村聚集到城市,人类的生存、生活条件不断地得到改善。与此同时,在工业革命和科技进步过程中,对资源的疯狂掠夺破坏了正常的生态系统和人类正常的生存条件,使人类在忍受自然灾害的威胁之外,还要为人类自身的无序发展带来的灾难买单。大气污染就是人类自身无序发展的恶果之一。

1952年12月5日至8日,英国伦敦发生过一起烟雾事件。由于工业和生活燃烧烟煤所产生的二氧化硫在空气中的积聚和变化,使伦敦上空的空气严重污染,几天内,呼吸道疾病患者及死亡率迅速增加,导致约4 000人丧生。事件发生后两个月内,还有约8 000人因此死亡。

1984年12月3日凌晨,坐落在印度博帕尔市郊的联合碳化杀虫剂厂一座存贮45吨异氰酸甲酯贮槽的保安阀出现毒气泄漏事故。1小时后有毒烟雾袭向博帕尔市,形成了一个方圆40公里的毒雾笼罩区。首先是近邻的两个小镇上,有数百人在睡梦中死亡,随后,附近的火车站里的几个乞丐死亡。事故发生4天后,受害的病人还以每分钟一人的速度增加。一周后,2 500人死于这场污染事故,另有1 000多人危在旦夕,3 000多人病入膏肓。这就是震惊世界的印度博帕尔公害事件。在这一污染事故中,有15万人因受污染危害而进入医院就诊,20多万人双目失明。博帕尔公害事件是有史以来最严重的因事故性污染而造成的惨案。



图 1-1 博帕尔公害事件中遇难民众的尸骨



图 1-2 一幅震撼几代人的照片

2008 年 4 月 16 日,贵州省息烽县小寨坝镇的贵阳中化开磷化肥有限公司发生二氧化硫气体泄漏事故,导致周边环境一度出现刺激性浓烟,16、18 两日,附近居民和学生先后有 450 人出现昏迷、抽搐等症状,其中有 141 名学生,被分别送进当地三家医院接受治疗。

如果说印度博帕尔公害事件、贵州息烽事件是突发性灾害事件,那么伦敦烟雾事件绝不是一朝一夕可以形成的。在我们注重于突发事件的恶劣后果的同时,对于那些可以由日常积累后形成灾难性后果的污染问题不能不给予足够重视。

世界卫生组织与联合国环境组织对曼谷、北京、孟买、洛杉矶、马尼拉、墨西哥城、新德里、雅加达、卡拉奇、伦敦、开罗、布宜诺斯艾利斯、加尔各答、莫斯科、纽约、里约热内卢、汉城(现名首尔)、圣保罗、上海和东京等 20 个大城市进行了 15 年的调查结果显示:空气污染已成为全世界城市居民生活中一个无法逃避的现实。重要的是,如何控制空气污染的进一步恶化,防止或者减少灾难性事件的发生。

1.4 民用建筑工程室内环境灾害不容忽视

对于大气污染,世界上各个国家自 20 世纪 60 年代已经开始给予关注,从缔结国际公约、制定排放标准、各国立法到规定碳排放指标等,采取了一系列措施。尽管污染依旧在加剧,但毕竟人类在行动,措施也在逐步细化落实。

相对于室外的大气污染,建筑围护结构之内的室内环境污染一度被忽视。事实上,近三十年来的许多研究报告表明,室内大多数化合物的浓度均高于室外。英国研究结果证实,有机物总量室内为室外的 2.4 倍;美国环保署(EPA)的统计研究表明,室内空气污染常常超出室外的 2~5 倍,偶尔超出 100 倍。与此同时,由于现代人平均 80%~90% 以上的时间在室内度过,而正常成年人在平静时的呼吸频率为每分钟 16~20 次,每次吸入和呼出的气体量大约为 500 毫升,以平均 80 岁寿命来计算,每个人一生要用 31 万立方米空气。这些空气进入人体内,在总表面面积为 60~80 平方米的肺泡里,经物理扩散进入体内交换。可以想像在如此长的暴露时间,如此大的接触面积下,室内环境质量状况对人类身体健康的影响何等巨大。一旦室内环境污染物达到一定的量值,其造成的灾难性后

果是不容忽视的。

民用建筑工程室内环境污染对人类的危害大致有两种表现形式:一种是短期集中或者突然爆发,危及人类社会稳定;一种是长期缓慢积累,而后集中或者分散爆发,危及人类生命安全和健康发展。

1.4.1 短期突发性灾害的案例

1986 年在美国费城召开了退伍军人会,与会者中有 182 人突然生病,症状是发热、咳嗽、肺部有炎症,其中有 29 人死亡。美国疾病控制中心组织大量人力对病源进行调查,曾从毒素、细菌、真菌、病原体、病毒、原虫等方面考虑并进行分离,半年后偶然发现,是由空调系统滋生的革兰氏阴性杆菌引起的。这就是著名的军团病,也是迄今为止最著名的 BRI 病例“建筑物关联症”(Building-Related Illness),属于空调系统长期封闭运行引起的室内生活环境污染事件。

1984 年 8 月位于美国加州的一幢新落成的商业大厦,使用一周后就有不少人感到不舒服。两周以后,184 名员工中有 154 人(占总人数的 84%)诉说头痛、眼刺激、上呼吸道刺激、疲倦欲睡等 20 余种不同症状。当时,加州卫生机构组织大量科技力量投入调查,并动用先进的色质联用分析仪对环境测试结果进行分析,历经 5 周,从整幢大楼的里里外外查找原因,最后确认,由室内环境污染引起。这是一起非常典型的“病态建筑综合征”(Sick Building Syndrome, SBS),即由建筑装修材料引起的室内环境污染事件。此后,美国职业安全与卫生研究所(NIOSH)先后又调查了 500 多起“SBS”事件,发现这种建筑物综合征的病症中眼刺激、喉刺激、头痛、疲劳感等四种症状出现的频度最高,这项调查持续了 10 年以上。这样的例子,在西方其他发达国家,也出现过不少,从而使人们更加关注室内环境污染问题的重要性。20 世纪 80 年代后期美国环保署(EPA)对于挥发性有机化合物做了调查,发现由于室内环境污染源导致的有毒有机性挥发物(VOCs)对于人员的暴露影响远远高于由于工业污染导致的室外空气的影响。而哈佛大学对六座城市的调查更进一步揭示了室内环境污染(包括粒子、硫酸盐和氮氧化物等)对于人员暴露的影响。

2003 年,全球“非典”流行病爆发。据世界卫生组织统计数据,截至 8 月 8 日,全球累计“非典”病例共 8 422 例,涉及 32 个国家和地区。全球因“非典”死亡人数 919 人。其中,中国内地累计病例 5 328 例,死亡 349 人;中国香港 1 855 例,死亡 300 人,病死率近 17.2%;中国台湾 665 例,死亡 180 人,病死率近 28%;加拿大 251 例,死亡 41 人,病死率近 17%;新加坡 238 例,死亡 33 人,病死率近 14%;越南 63 例,死亡 5 人,病死率近 8%。很明显,中国内地和香港是感染“非典”的重灾区,感染人数占世界总病例的 84.1%。灾难的起因缘于来自广东的两位客人将“非典”病毒携带到香港。10 个或更多人的病毒都来自同一个感染源,而且这些病例都发生在建筑环境中,而并非医院或诊所。

许多专家认为,“非典”感染者所处环境的通风模式对病菌的加速传播具有至关重要的作用。根据香港卫生署和世界卫生组织的调查结果分析,爆发严重“非典”事件的原因主要是:①住房室内地漏的水封(U 形管)干涸,成为滋养细菌、外泄有害气体的通道,带有雾状的气溶胶的气体散发到空气中,形成传染源;②使用中的卫生间,因排风扇抽气的