



高等教育“十二五”规划教材

室内空气污染控制

Shinei Kongqi Wuran Kongzhi

主 编 刘 靖

副主编 刘惠卿 任晓芬

中国矿业大学出版社



高等教育“十二五”规划教材

室内空气污染控制

主 编 刘 靖

副主编 刘惠卿 任晓芬



中国矿业大学出版社

内 容 提 要

“室内空气污染控制”为建筑环境与设备工程的专业技术课程。本教材主要讲述工业与民用建筑环境污染物控制的基本理论及技术。本书内容包括:第一章介绍了室内空气污染的基本概念,分析了我国室内空气污染的现状、成因及控制对策,并介绍了相关标准及规范;第二章分析了室内空气污染物的种类、特性、散发源及对人体健康的影响;第三章讲述了空气污染控制技术参数、各种污染物发生量计算方法;第四章介绍了室内污染的迁移规律及计算方法;第五章阐述了室内各种污染源的控制技术;第六章讲述了采用通风稀释来控制室内污染的方法;第七章介绍了采用过滤、静电分离技术来去除空气中微粒的方法;第八章介绍了有害气体净化技术;第九章讲述了室内空气中细菌及微生物的去除技术;第十章介绍了某些特殊人工环境中污染物的控制技术。

本书可作为高等院校建筑环境与设备工程专业本科教学用书,也可供建筑物理、环境工程、热能动力工程、化学工程等领域的研究人员、工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

室内空气污染控制 / 刘靖主编. —徐州:中国矿业大学出版社,2012.12

ISBN 978 - 7 - 5646 - 1722 - 6

I. ①室… II. ①刘… III. ①室内空气—空气污染控制—高等学校—教材 IV. ①X510.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第275713号

书 名 室内空气污染控制

主 编 刘 靖

责任编辑 杨 洋

出版发行 中国矿业大学出版社有限责任公司
(江苏省徐州市解放南路 邮编 221008)

营销热线 (0516)83885307 83884995

出版服务 (0516)83885767 83884920

网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtpvip@cumtp.com

印 刷 徐州中矿大印发科技有限公司

开 本 787×1092 1/16 印张 17 字数 424 千字

版次印次 2012 年 12 月第 1 版 2012 年 12 月第 1 次印刷

定 价 24.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

前 言

大气污染的危害早已成为人类共识,世界各国不遗余力治理大气污染。实际上,室内空气污染往往比室外污染的危害更为严重,空气中的微粒、细菌、病毒和其他有害物质日积月累地损害着人类的身体健康,特别是长期处于封闭室内环境的人。因此,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%(包括交通工具)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。

目前,国内外室内空气污染十分严重,室内空气污染已成为危害人类健康的“隐形杀手”,也成为全世界各国共同关注的问题。美国已将室内空气污染归为危害人类健康的五大环境因素之一。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十大威胁。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。

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,已成为影响人们健康的一大杀手。据统计,我国每年由室内空气污染引起的超额死亡数可达 11.1 万人,超额门诊数可达 22 万人次,超额急诊数可达 430 万人次。严重的室内环境污染不仅给人们健康造成损失,而且造成了巨大的经济损失。而室内装修造成的空气污染已成为儿童白血病的一个重要诱因。

建筑环境与设备工程旨在营造健康、舒适、高效的人工环境(包括建筑环境、地下工程、交通工具、航天器等),为此,必须控制室内空气质量。作为本专业本科生,学习并掌握室内空气控制理论及技术尤为重要。

“室内空气质量控制”为建筑环境与设备工程专业一门专业技术课程。通过本课程的学习,使学生掌握建筑环境空气污染物控制的基本理论及技术,为从事建筑环境空气污染控制的设计及设备的运行管理打下基础。

本书内容按照全国高校建筑环境与设备工程专业指导委员会关于本课程的教学大纲编写,并做了适当扩充(如煤矿井下环境控制),各院校可根据各自的教学计划有所取舍,以满足教学需要。

本书共分十章,第一、七、九、十章及附录1、附录2由河南理工大学刘靖编

写;第二章由中国矿业大学冯伟编写;第三、四章由河北工程大学任晓芬编写;第五、六、八章由华北水利水电学院刘惠卿编写。全书由河南理工大学刘靖统稿。

在本书编写过程中,硕士研究生杜铮做了大量的录入、校对工作,对此表示衷心的感谢。

由于作者水平所限,不妥或错误之处恳请读者指正,将有助于本书在今后的修订过程中不断充实及提高。

本书可作为高等院校建筑环境与设备工程专业本科教学用书,也可供建筑物理、环境工程、热能动力工程、化学工程等领域的研究人员、工程技术人员参考。

编 者
2012 年 9 月

目 录

第一章 室内空气污染概述.....	1
第一节 室内空气质量及其评价方法.....	1
第二节 室内空气污染及其特征.....	7
第三节 我国室内空气污染现状及成因.....	9
第四节 室内空气污染防治的综合技术措施	12
第五节 室内空气质量标准与相关规范	14
参考文献	24
第二章 空气污染物种类、来源及对人体健康影响.....	26
第一节 室内空气污染物的种类及其性质	26
第二节 室内空气污染物的来源	32
第三节 室内空气污染的健康效应	37
参考文献	46
第三章 室内空气污染物质发生量	49
第一节 空气污染控制的主要技术参数	49
第二节 颗粒物的发生量	51
第三节 主要气态污染物的发生量	62
第五节 室内余热、余湿的发生量.....	68
参考文献	77
第四章 空气污染物的迁移规律	81
第一节 颗粒污染物的迁移	81
第二节 气态污染物的迁移	88
第三节 热湿气体的迁移分析	93
第四节 病毒、病原体等微生物的传播规律.....	97
参考文献.....	101

第五章 空气污染源的控制	103
第一节 有限空间的密闭技术.....	103
第二节 非密闭空间原理与技术.....	107
第三节 气流诱导与隔断技术.....	113
第四节 负压排风原理与技术.....	119
参考文献.....	121
第六章 空气质量改善的通风措施	122
第一节 自然通风.....	122
第二节 机械通风.....	129
第三节 循环风与诱导通风.....	137
参考文献.....	139
第七章 气体中微粒的分离技术	140
第一节 纤维过滤分离技术.....	140
第二节 空气过滤器及其应用.....	144
第三节 静电分离技术.....	157
参考文献.....	159
第八章 有害气体净化	160
第一节 有害气体的吸收.....	160
第二节 有害气体的吸附.....	171
第三节 净化气态污染物的其他方法.....	174
参考文献.....	178
第九章 细菌与病原体的去除	180
第一节 空气离子化技术.....	180
第二节 紫外线照射技术.....	182
第三节 臭氧灭菌技术.....	184
第四节 光催化技术.....	185
参考文献.....	190
第十章 特殊环境室内空气污染控制	192
第一节 医院室内环境空气污染控制.....	192
第二节 地下停车场空气污染控制.....	198

第三节 公路隧道内空气污染控制·····	203
第四节 地下建筑空气污染控制·····	208
第五节 煤矿井下空气污染控制·····	213
第六节 煤矿井下热湿环境控制·····	219
参考文献·····	228
附录 1 《国家室内空气质量标准》(GB 18883—2002)·····	229
附录 1-A 室内空气采样技术导则(规范性附录)·····	232
附录 1-B 空气中苯浓度的测定(毛细管气相色谱法)(规范性附录)·····	234
附录 1-C 室内空气中总挥发性有机物(TVOC)的检验方法(热解吸/毛细管 气相色谱法)(规范性附录)·····	236
附录 1-D 室内空气中细菌总数检验方法(规范性附录)·····	240
附录 2 《民用建筑工程室内环境污染控制规范》(GB 50325—2010)·····	241
附录 2-A 材料表面氡析出率测定·····	252
附录 2-B 环境测试舱法测定材料中游离甲醛释放量·····	253
附录 2-D 新建住宅建筑设计及施工中氡控制要求·····	256
附录 2-E 土壤中氡浓度及土壤表面氡析出率测定·····	257
附录 2-F 室内空气中苯的测定·····	260
附录 2-G 室内空气中总挥发性有机化合物(TVOC)测定·····	261

第一章 室内空气污染概述

由于室内空气污染物及空调系统使用不当,降低了室内空气质量(品质),影响了人们的身体健康和工作效率。为此,我国制定了控制室内空气质量的相关标准及规范。本章介绍了室内空气质量的定义、评价方法及标准的主要内容,我国室内空气污染的现状、成因以及控制策略。

第一节 室内空气质量及其评价方法

一、室内空气质量及病态建筑综合征

(一) 室内空气质量的定义

室内空气质量(indoor air quality, IAQ)在建筑环境领域常被称为室内空气品质,其定义近二十几年中经历了许多变化。最初,人们把室内空气质量几乎完全等价为一类污染物浓度的指标。近年来,人们认识到这种纯客观的定义已经不能完全涵盖室内空气质量的内容,于是对室内空气质量的定义进行了不断发展。

在 1989 年室内空气质量讨论会上,丹麦技术大学教授 Fanger 提出:品质反映了满足人们要求的程度,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质量是可接受的。这两种定义的共同点是都将室内空气质量完全变成了人们的主观感受。

美国供暖制冷空调工程师学会标准 ASHRAE 62—1989R 中,首次提出了可接受的室内空气质量(acceptable indoor air quality)和感受到可接受的室内空气质量(acceptable perceived indoor air quality)等概念。其中,可接受的室内空气质量定义为: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为: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质量的必要而非充分条件。由于有些气体,如氡和 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质量是不够的,必须同时引入可接受的室内空气质量。

ASHRAE 62—1989R 标准中对室内空气质量的描述相对于其他定义最明显的变化是它涵盖了客观指标和人的主观感受两个方面的内容,比较科学和全面。例如,上述 CIBSE 指出在与舒适相关的定义中,并没有考虑诸如电磁波等无异味但可以对人体有潜在危害的物质。

（二）病态建筑综合征的定义

在过去的二十多年中,长期生活和工作在现代建筑物内的人们表现出越来越严重的病态反应,这一问题引起了专家学者们的广泛重视,并很快提出了病态建筑(sick building)和病态建筑综合征(sick building syndrome,SBS)的概念。根据世界卫生组织(WHO)1983年的定义,病态建筑综合征是因建筑物使用而产生的症状,包括眼睛发红、流鼻涕、嗓子疼、困倦、头疼、恶心、头晕、皮肤瘙痒等。近年来,有些专家学者建议将人们对室内气味产生的不满也纳入到病态建筑综合征中。大量调查分析表明,SBS的问题主要是由于室内空气质量不佳而引起的。

由于室内空气质量的原因,人们的身心健康和工作效率受到很大影响,一些现代化密闭写字楼的工作人员受到的影响尤其明显。与此同时,由室内空气质量间接引起的社会工作效率降低和病休、医疗费用支出等问题也受到了广泛的关注。另外,为了改善室内空气质量,很可能需要增加建筑和空调系统的初期投资和维护费用,这给业主和工程维护人员也提出了新的课题。

病态建筑综合征的直接诱因是室内空气质量的下降,首先应归咎于大环境的污染,这在大城市中尤为严重——过度密集的居住人口、大量排放的生活废弃物、无时不在的工业和交通污染。使得空气质量全面恶化,其次可归为工业文明的副作用。在工业文明浪潮的冲击下,人们抛弃了许多取自天然加工制作的生活和工作用品,取而代之的是大量新型建材、石油产品、电器产品以及能够产生挥发性有机物的用具,这些产品在给人们带来便利的同时,也在不断地生成各样的有害物质,威胁人们的身体健康。

（三）室内空气质量与病态建筑综合征的关系

1998年夏季在北京、上海、广州、重庆和成都5个城市进行的调查结果反映,较长时间使用室内空调有各种不舒服症状,可分为干燥、过敏、气喘、不明症状等。这些症状是由建筑本体及其附属设备在设计、施工、运行、管理上的问题所引起的,因此这种建筑被称为病态建筑。

从室内环境的角度来分析,产生病态建筑综合征的原因可能有以下三个方面。

1. 室内温度和湿度影响

生物气候学是研究气候因素对生物体影响的科学,该学科理论认为室内空调环境保持室内参数在热舒适状态长期不变,与正常可变的温度场、湿度场有很大的不同,可能是产生不良反应的重要原因。由于热湿环境的反常,包括不同温度的自然风,温度场垂直分布的改变,都会引起人们的神经紊乱,产生一系列不良症状。

2. 室内生物电环境

现在建筑材料(合成纤维板、塑料制品等)有减少负离子的作用,使空气离子的自然状态发生变化。同时,高密度使用电脑也是引起SBS的一个重要因素。有研究表明,办公室内电脑打开的数量多与少,与空气中离子数量总数和正离子数有关。当空气中正离子浓度增高,人体会感到头晕、疲倦等症状。因此负离子技术被引用到建筑物中,用于补充室内环境负离子的不足,保持空气清新。但这样的要求一般很难达到,有时甚至会产生过剩的 O_3 ,反而会造成不利影响。

3. 室内空气质量

室内空气质量是造成病态建筑综合征的最主要原因。室内空气质量变差,始于20世纪

60年代中期。其原因主要是大量新型建筑材料、装潢材料、涂料及黏结剂被采用,不断释放出有害气体;新型办公设备(如静电复印机)的使用会产生 O_3 ;大量使用清洁剂、杀虫剂、除臭剂等挥发性有机化合物导致种类繁多的化学品进入室内环境。此外,由于室外工业排放和汽车尾气排放造成大气污染程度加重,使更多的污染物进入室内,造成室内空气质量进一步下降。

(四) 室内空气质量影响因素

研究室内空气质量的目的就是要找出多数人 can 承受的客观因素,即可接受的室内空气质量,然后利用现有的各种技术实现或创造出所需的客观环境。从有关调查结果可以得出结论——除去人的主观因素外,影响室内空气质量的因素主要有两个方面:暖通空调系统设计或运行不当和污染物产生去除。下面就其中涉及的新风、污染物和气流组织等三个方面问题逐一介绍。

1. 新风问题

新风量和新风清洁程度是新风问题中的两个方面,现代空调设计中应该充分将它们综合考虑,以保证室内空气质量。

(1) 新风量

新风量大小是空调设计规范中有关室内空气质量考虑最多的一个问题,在空调发展的不同阶段,相应的通风标准也不同。

传统观念认为,新风是为了清除人所产生的生物污染,所以房间最小新风量仅由每个人最小新风量指标确定。以单人办公室为例,ASHRAE 62—1989R 标准为 $36 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{人})$ 。随着科学的发展,现代建筑中的装潢材料、家具用品、通风空调系统本身均为污染源,并且其气味强度远远超过人所产生的。因此,在 ASHRAE 62—1989R 标准中,认为用以确定新风量的污染物来自人和室内气体污染源两个方面,故房间最小新风量由每个人最小新风量指标 R_p 与每平方米地板所需最小新风量指标 R_b 之和确定。以单人办公室为例,ASHRAE 62—1989R 标准中: $R_p=10.8 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{人})$ 、 $R_b=1.26 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$,最小新风量=人数 $\times R_p$ +地板面积 $\times R_b$ 。这体现了人们观念的进步,同时也说明传统空调系统设计会导致新风不足。

另外,随着室内负荷及换气效率的变化,为减少能耗,空调运行中的室内送风量也会相应发生变化,但为满足人的舒适健康而确定的设计新风量(design ventilation rate,DVR)不应该发生太大变化。ASHRAE 62—1989R 标准中有关风量控制的内容明确指出,在整个变量运行中,新风量始终保证在设计新风量 90%以上。

(2) 新风清洁程度

新风清洁程度近来也受到人们的关注,这主要源于近年来室外环境逐步变化,空气污染严重,新风的质量下降。因此,有关新风处理的讨论也不断出现,国内有些学者也提出了新风三级过滤的思想。所谓新风三级过滤,就是将传统新风机组只含粗效过滤器的状况变为新风机组中除含粗效过滤器外,还包含中效甚至亚高效过滤器的设计模式。这种设计最大优点是极大降低了由新风带入室内的尘菌浓度,同时在一定程度上延长系统部件的寿命。需要指出的是,目前新风过滤主要考虑室外污染物(及附着其上的微生物)的除去,而室内空气质量涉及的除室外污染外,更多的是室内微生物污染和气态污染的影响。因此新风三级过滤对室内空气质量问题解决的作用到底有多大,新风过滤器是否应该考虑其他室外污染

物(如汽车尾气、 SO_2)的过滤等问题,仍然有待进一步的讨论。

2. 污染物的影响

污染物的种类有很多,它们对人体产生的影响有很大差异。另外,每一种污染物有它自身的污染源。这两个方面研究的内容不同,但它们对分析解决室内空气质量问题却同样重要。

(1) 污染物种类

广义上的污染物包含了固体颗粒、微生物和有害气体。考虑其中微生物多依附于固体颗粒或液滴传播,所以可以将污染物分为颗粒污染物和有害气体污染物,其中的固体污染物包括固体颗粒和微生物。

颗粒污染物根据其粒径的大小,分别会感染人体的呼吸道和肺部。附着在颗粒上传播的各种微生物和菌类也会造成呼吸道感染,产生如流行性感、结核等症状。

气态污染物种类繁多,除 CO 、 CO_2 、 NH_3 和氨等人们熟知的气体之外,还有各种挥发性有机化合物(VOCs)。一般认为它们会对人体的呼吸系统、心血管系统及神经系统有较大影响,甚至有些还会致癌。但是,据测室内的有害气体有数百种,将它们和人体的不适感科学的联系起来是一项长期而艰苦的工作。另外,许多调查结果都显示,即使人们抱怨很频繁,但很多情况下没有哪一种污染物单独超标。这一结果的最好解释是由于多种而不是单独某一种污染物的影响才导致了对室内空气质量的抱怨,同时也使得人们对现有污染物浓度指标的科学性和全面性提出怀疑。

(2) 污染源

固体颗粒污染除从室外和空调系统带入外,室内的燃料燃烧、二次扬尘等也是其产生的原因。各种微生物污染大多与室内湿度和空调系统冷凝水等状况有关。当前人们主要采用避免扬尘、增加过滤、控制湿度等方式来避免这方面的污染。

相对而言,气态污染物的产生要复杂得多。除室外带入外,室内人体的新陈代谢会产生和一些异味,建材、装饰材料会散发出 NH_3 、氨和各种 VOCs。但是,目前了解某种污染源会产生多少污染、污染物间如何相互反应等问题是解决污染的关键。从传统方式来讲,控制污染源是避免污染的最好方式,但是对气体的污染控制很难采用这种方式。这就需要将污染物的生成、排放特性弄清,以利用采用其他手段。

3. 通风气流组织

在暖通空调系统设计中与室内空气质量关系十分密切的除新风和污染物以外,气流组织的设计至关重要。气流组织设计得好,不仅可以将新鲜空气按质按量地送到工作区,还可及时地将污染物排出,大大提高室内空气质量。

(1) 通风换气的评价

对于空调房间,提高新风量往往伴随着空调初投资与运行费用的增加。因此,在一定的新风量下,对室内空气分布状况进行研究就显得尤为重要。这种研究的目的是在一定的新风量下,如何合理地设计通风方式,以便达到良好的房间通风换气效果。室内空气流动的基本形态以及房间局部存在的死区、短路等都将影响新鲜空气的利用程度。

目前,用于评价室内空气分布的指标很多,这给人们判定房间的通风效果带来了一定的方便,同时也存在容易混淆的情况。另外,在评价指标的分类方面也存在不同的体系,可以从多个角度分类:从时间的角度,可以分为动态和稳态两类;从指标所反映的物理意义角度,

可以包括热舒适指标、空气品质指标、通风效率有关的指标等;从气流的角度,又有单纯反映流动的指标和综合了室内条件等的指标。

李先庭教授把室内空气分布评价指标分为三大类,分别为送风有效性指标、污染物去除有效性指标和热舒适性及相关指标。送风有效性指标包括空气龄、换气效率和送风可及性等;污染物去除有效性指标包括排污效率、污染物年龄、污染源可及性、投入能量利用系数等;热舒适性指标很多,均与温度、湿度、风速分布及辐射温度有关,例如平均辐射温度、操作温度、PMV、PD、PPD、ADPI、不均匀系数等。

(2) 气流组织的研究方法和工具

在室内空气流动的研究上,传统方法是利用射流源流进行分析和预测,或利用相似性原理进行模型试验。近年来随着建筑空间日趋复杂化、大型化和多样化,前一种方法对许多问题无法给出令人满意的答案,而后一种方法需投入大量的人力、物力和花费较多的时间,有些问题甚至无法解决。设计人员在传统的设计方法下,难以预料不同通风方式下的气流组织情况,因而导致室内空气分布不合理的现象大量存在,这是产生室内空气质量问题的一个极重要的原因。

随着计算机的发展,利用计算流体力学对气流组织进行数值模拟的方法应运而生。数值模拟方法开始越来越多地进入暖通空调领域,用于分析速度场、温度场、污染物浓度场等。目前,国内外数值模拟方法在暖通空调领域应用较多。Chen 等利用低雷诺数 ϵ 模型对 6 种气流组织下的室内空气质量及热舒适状况进行了分析;Chow 等对办公室、体育场、地铁等 6 处强制通风下的空气流动做了分析;Jiang 等通过数值模拟分析了辐射热源及冷辐射板对室内空气流动、温度分层、污染物分布等的影响。国内对数值模拟方法开展的研究和应用也越来越多。刘传豪等对室内二维气流的速度场、温度场及浓度场进行模拟,计算了通风效率、温度效率等指标;李先庭等开发出了用于计算通风房间风速、温度、相对湿度、污染物浓度、空气龄等的三维非稳态程序 STACH-3,可用于对房间的热舒适指标 PMV、PPD 及通风效率和排污效率进行评价。

二、室内空气质量的评价方法

室内空气品质评价是人们认识室内环境的一种科学方法,它是随着人们对室内环境重要性认识不断加深而提出的新概念。由于室内空气质量涉及许多学科的知识,其评价应由建筑技术、建筑设备工程、医学、环境监测、卫生学、社会心理学等多学科的综合研究来完成。当前,室内空气质量评价一般采用量化监测和主观调查相结合的手段进行。其中量化监测是指直接测量室内污染物浓度来客观了解、评价室内空气质量,而主观评价是指利用人的感觉器官进行描述与评判工作。

客观评价的依据是人们受到的影响与各种污染物浓度、种类、作用时间之间的关系,同时还利用了空气龄、换气效率、通风效能系数等概念和方法。由于室内往往是低浓度污染,这些污染物长期作用时对人的危害还不清楚,影响人体舒适与健康的阈值和剂量也不清楚。大量的测试数据表明,室内这些长期低浓度的污染即使在室内空气质量状况恶化、室内人员抱怨频繁时也很少超标。另外,室内有成千上万种空气污染同时作用于人体,选用哪些污染物作为客观评价的标准还需进行大量的研究。所以室内空气质量的客观评价有局限性。人们的反应与个体特征密切相关,即使在相同的室内环境中,人们也会因所处的精神状态、工作压力、性别等因素不同而产生不同的反应。因此,对室内质量的评价必须将上述各

种主观因素考虑在内。

国外对室内空气质量评价进行了大量研究,内容包括对大量建筑进行客观评价、主观评价或者两者相结合,或室内空气质量与人体热舒适性评价相结合。国内学者亦提出了评价室内空气质量及提高室内空气质量的较为实用的具体工作流程。

目前,可采用的室内空气质量评价方法有暴露水平评价和主观问卷调查,分别介绍如下。

(一) 暴露水平评价

暴露是指人体与一种或一种以上的物理、化学或生物因素在时间和空间上的接触。而暴露评价就是对暴露人群中发生或预期将发生的人体危害进行分析和评估,通常这种方法是一种客观评价方法,它包括两个方面:对人体暴露进行定性评价和对进入机体内的有害物剂量进行定量评价,具体内容包括:

① 剂量水平——主要包括人群和暴露的联系、人群分布和个体状况。

② 污染来源——调查污染源、污染物传输途径与速率、污染物传输介质、污染物进入人体方式等。

③ 暴露特征——指污染物进入机体的方式和频率。

④ 暴露差异性——主要是指个体内的暴露差异、个体间的暴露差异、不同人群间的暴露差异、不同时间的暴露差异和暴露空间分布的差异。

⑤ 不确定性分析——主要指资料缺乏或不准确,暴露测量或模型参数的统计误差,危害确认和因果判定的不准确等构成的不确定性分析。

通常在进行上述分析的同时还需要人群或个体的“时间—活动”模式资料,这类资料主要记录研究对象每天的日常活动内容、方式与时间安排规律。国内外的研究普遍认为,通过问卷、日记、访视、观察和某些技术手段获得准确的“时间—活动”模式资料对于建立准确合理的室内暴露模型、分析不同人群的室内活动特征,从而对其暴露特征进行评估和研究具有重要的意义。

在上述暴露评价的基础上通过对以下指标进行测量、观察,可以评价室内空气质量的好坏。

1. 主观不良反应发生率

由于室内空气污染物种类繁多、浓度较低,这些污染对人体健康的影响通常是长期和缓慢的。在污染的早期,人群的反应不会立刻出现明显的疾病状态,而是以轻度的机体不良反应表现出来。因此人体不良反应发生率和室内空气质量的好坏有着定性的对应关系,可以用做评价室内空气质量的一个指标。

2. 临床症状和体征

发生于室内装修而造成的甲醛浓度过高可使得暴露人群早期出现眼痒、眼干、嗜睡、记忆力减退等,长期暴露后可能出现嗓子疼痛、急性或慢性咽炎、喉炎、眼结膜炎和失眠等,还可出现过敏性皮炎、哮喘等症状和体征。

3. 效应生物标志

很多室内污染物对健康的影响,早期由于暴露剂量低,人群的不良反应和临床表现不明显,不易察觉,此时可采用效应生物标志,这对于确定室内污染物对人体健康的“暴露—反应”关系,评价室内空气质量具有很多优越性。

4. 相关疾病发生率

人群长期暴露在低劣的室内空气质量环境中,除主观不良反应和临床症状外,还可能使得暴露人群发生各种相关疾病,比如过敏性哮喘、过敏性鼻炎和儿童白血病等。因此该指标也可用来评价室内空气质量。

(二) 主观问卷调查

室内空气质量好坏和人们主观感受联系密切,因此可用人的主观感受来评价室内空气质量,人对室内空气质量最敏感的是嗅觉,因此一般主观评价室内空气质量主要靠嗅觉。

人们对气味的敏感和识别能力随着连续暴露时间的增加而减弱。同时也受空气条件的影响,在干冷空气中的嗅觉敏感性下降。与湿热环境相比,人们在污染物浓度相同的干冷环境中容易觉得空气清新,空气质量好。

气味浓度则是一可测量,是通过将气味用无味清洁空气稀释到可感阈值或可识别阈值的稀释倍数来描述的。可感阈值定义为一定比例人群(一般为 50%)能将这种气味与无味空气以不定义区别区分开的污染物浓度。可识别阈值定义为一般比例人群(一般为 50%)能将这种气味与无味空气以某种已知区别区分开的污染物浓度。可识别阈值比可感阈值高 2~5 倍。

气味测量的单位为阈值稀释倍数,简称为 D/T。美国已制定测量标准——ASTM Method E679—91。一般调查对象被安排在 3 个不同的测试口测试,其中两个通无味的空气,另外一个口通有味空气,测试者尝试识别出有味的空气。测试从高稀释倍数开始,最初测试者一般不能判断出有味气体,但是随着稀释倍数的降低,测试者逐渐能够判断出有味气体。不同测试者判断阈值不同,取大部分人(一般为 50%)能够识别出的稀释倍数作为气味浓度的识别阈值。

主观评价室内空气质量即人们进入待测室内空气质量的空间中,对室内空气质量填写一张调查单,表示自己对空气质量的不满意率的百分比来表示,记为 PD,其和投票得到的可接受值 ACC (−1~1 之间的一个值如图 1-1 所示)之间存在以下关系:

$$PD = \frac{\exp(-0.18 - 5.28ACC)}{1 + \exp(-0.18 - 5.28ACC)} \times 100 \quad (1-1)$$

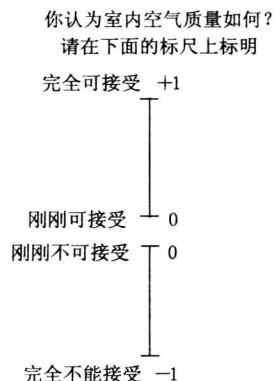


图 1-1 室内空气质量评价问卷

第二节 室内空气污染及其特征

一、室内空气污染的定义

室内环境是指采用天然材料或人工材料围隔而成的小空间,是与外界大环境相对分隔而成的小环境,包括居室、教室、会议室、办公室、候车(机、船)大厅和医院等各种非生产性室内场所。

通常所说的空气污染是指室外空气受到污染。我国的空气污染治理始于 20 世纪 70 年

代,主要围绕工业污染进行治理。随着国家对环保投入的加大,国民环保意识的提高,特别是全国主要城市空气污染日报及预报的发布是各界、各阶层人士对环境的重视,尤其是对人们自身生活范围环境的重视达到前所未有的程度。实际上,室内环境污染往往比室外污染的危害更为严重,空气中的微粒、细菌、病毒和其他有害物质日积月累地损害着人类的身体健康,特别是长期处于封闭室内环境的人尤其如此。因此,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:“室内空气净化治理从某种意义上说比室外空气净化治理更重要,因为绝大多数人 90%(包括交通工具)以上的时间在室内度过,良好的室内空气质量对人体健康至关重要。”

我国 20 世纪 80 年代以前室内污染主要是燃煤所产生的二氧化碳、一氧化碳、二氧化硫、氮氧化物。90 年代初期,由于室内吸烟、燃煤、烹调以及人体呼出的二氧化碳等 149 种有害物质对室内的污染,引发了室内空气换气剂的销售热潮,但因室外空气污染的日益严重,这种对室内空气污染的初级治理不久就渐渐退潮。20 世纪 90 年代末期,随着住宅改革和国民生活水平的提高,特别是建材业的高速发展和装修热的兴起,由装饰材料造成的污染成了室内污染的主要来源。尤其是空调的普遍使用,要求建筑结构有良好的密闭性能,以达到节能的目的。而现行设计的空调系统多数新风量不足,在这种情况下造成室内空气质量的进一步恶化。

因此,室内空气污染可以定义为:由于室内引入能释放有害物质的污染源或室内环境通风不佳而导致室内空气中有害物质无论是数量还是种类都不断增加,并引起人的一系列不适症状的现象。

二、室内空气污染的特征

室内空气污染包括化学性污染、生物性污染和物理性污染。化学性污染是指因化学物质,如甲醛、苯系物、氨气、氡及其子体和悬浮颗粒物等引起的污染。生物性污染是指因生物污染因子,包括细菌、真菌(包括真菌孢子)、花粉、病毒和生物体等引起的污染。物理性污染是指因物理因素,如电磁辐射、噪声、振动以及不合适的温度、湿度、风速和照明等引起的污染。

室内空气污染主要是人为污染,以化学性污染和生物性污染为主。污染物源于 6 个方面:室内装修和建筑材料、室内用品(家用化学品、室内家具和现代办公用品)、人类活动(烹调、取暖和吸烟)、人体自身新陈代谢活动、生物性污染源、室外大气污染物。室内空气污染的代表性影响包括危害人体健康、损害室内用品的审美和经济价值以及恶化人与人之间的关系和加重人的心理压力等。病态建筑物综合征、建筑相关疾病和化学过敏反应症是不良室内空气引起的典型病症。

由于所处的环境不同,室内空气污染与大气空气污染的污染特征也不同。室内空气污染具有如下特征。

(1) 累积性

室内环境是相对封闭的空间,其污染形成的特征之一是累积性。从污染物进入室内导致浓度升高,到排出室外浓度渐趋于零,大都需要经过较长的时间。室内的各种物品,包括建筑装饰材料、家具、地毯、复印机、打印机等都可能释放出一定的化学物质。如不采取有效措施,它们将在室内逐渐积累,导致污染物浓度增大,构成对人体的危害。而在通风较好的室内环境中污染物的浓度一般较低。

室外空气发生污染时,在某种意义上来说空气对污染物质有近似于无限稀释的能力。而采用空调等设备的室内,很显然其稀释能力是有限的,尤其是从节能考虑采取的减少换气次数等措施使这有限的稀释能力大为减少,致使室内空气污染物对人的危害大为增强。

(2) 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,又包括室内污染物来源的多样性。室内空气中存在的污染物既有生物性污染(如细菌),化学性污染物甲醛、氨气、苯、甲苯、一氧化碳、二氧化碳、氮氧化物、二氧化硫等,还有放射性污染物氡气及其子体。室内空气污染物的来源既有室外污染源,又有室内污染源。例如作为光化学产物的臭氧在汽车流量大的公路上其浓度一般较高,很有可能通过建筑物的空调换气装置向室内渗透。而家庭装修用的人造板材、墙纸、涂料油漆等会在室内长期释放出大量的甲醛、可挥发性有机物等有机污染物。

从固体的浮游粒子到分子态污染物,从放射性元素到微生物污染,仅就香烟烟雾一种就可以直接测出 2 000 多种化合物,并以证明其中至少有 40 种是致癌性物质,我们熟悉的尼古丁和 3,4-苯并[a]芘就是致癌物质,如果再考虑到各污染物对人体的相加、相乘和抵抗作用,就更复杂了。

(3) 长期性

调查表明,大多数人大部分时间处于室内环境。即使浓度很低的污染物,在长期作用于人体之后,也会影响人体健康。因此,长期性也是室内污染的重要特征之一。

(4) 污染物浓度低、危害大

室内空气污染物虽然种类繁多,但就某一种污染物来说,其浓度远低于国家标准,但它对人们的危害却是不可忽视的,因为它是多种低浓度污染物综合的、长时间的对人体起作用。

(5) 受气候和社会条件的影响

室内空气污染是在人工环境中产生的,不是自然现象,是受包括社会文明程度、技术经济发展水平、民族风俗习惯等多方面的社会条件因素的影响。另外,气候对室内空气污染也有影响。

第三节 我国室内空气污染现状及成因

一、我国室内空气污染现状

早在 20 世纪 80 年代,我国的预防医学工作者就开展了室内空气质量的研究,通过调查和检测发现,当时主要的空气污染物是燃料燃烧烟气、烟草烟雾和烹调油烟等。近年来,随着人民生活水平的提高和住房私有化进程的加快,购房和房屋装修成为人民群众的消费热点。然而,由于装修、建筑材料质量不合格和施工过程管理不严,使得室内空气污染物的来源和影响室内空气质量的因素越来越复杂,因装修、建筑材料释放有害物质引起的投诉,甚至法律诉讼越来越多。可以说,与装修和建筑材料相关的室内空气污染已经成为当前我国最主要的室内环境质量问题的,也最为人民群众所关注。

(1) 因建筑和装修产生的室内空气污染

产生于建筑和装修材料或施工过程的污染物主要包括甲醛、挥发性有机化合物、氨和氡气。装修用的人造板材是室内甲醛的主要释放源,这是由于——单板、刨花、纤维之类基材