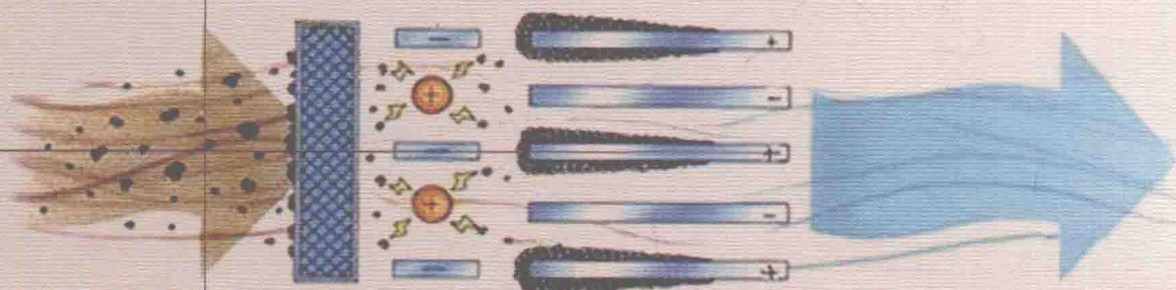


建筑室内PM_{2.5} 污染控制

赵 力 王清勤 陈 超 路 宾 等编著



Indoor PM_{2.5}
Pollution Control

中国建筑工业出版社

建筑室内 PM_{2.5} 污染控制

赵 力 王清勤 陈 超 路 宾 等编著

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

建筑室内 PM_{2.5} 污染控制/赵力等编著. —北京: 中国建筑工程工业出版社, 2016. 4

ISBN 978-7-112-19265-6

I. ①建… II. ①赵… III. ①室内空气-可吸入颗粒物-空气污染控制 IV. ①X513

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 056012 号

责任编辑: 张幼平

责任设计: 李志立

责任校对: 陈晶晶 姜小莲

建筑室内 PM_{2.5} 污染控制

赵 力 王清勤 陈 超 路 宾 等编著

*

中国建筑工程出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京科地亚盟排版公司制版

北京圣夫亚美印刷有限公司印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 17 字数: 378 千字

2016 年 5 月第一版 2016 年 5 月第一次印刷

定价: 68.00 元

ISBN 978-7-112-19265-6

(28539)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

主 编 赵 力 中国建筑科学研究院

副主编 王清勤 中国建筑科学研究院

陈 超 北京工业大学

路 宾 中国建筑科学研究院

编写委员 (以拼音为序)

曹国庆 中国建筑科学研究院

陈 华 广东申菱环境系统股份有限公司

陈紫光 北京工业大学

邓 鹏 远大建筑节能有限公司

范东叶 重庆大学

郭 阳 建研凯勃建设工程咨询有限公司

何春霞 中国建筑技术集团有限公司

胡 杰 远大空品科技有限公司

何健乐 广东申菱环境系统股份有限公司

康井红 中国建筑科学研究院

李国柱 中国建筑科学研究院

刘 亮 中国建筑科学研究院

李 冉 北京建筑大学

孟 冲 中国建筑科学研究院

彭 继 远大建筑节能有限公司

田 蕾 中国人民解放军军事医学科学院

田小虎 中国建筑技术集团有限公司

王军亮 重庆大学

王亮添 广东申菱环境系统股份有限公司

王 平 北京工业大学

王晓飞 重庆大学

王亚峰 北京工业大学

万亚丽 北京工业大学

夏聪和 中国建筑科学研究院

谢 慧 北京科技大学

袁著革 中国人民解放军军事医学科学院

于 丹 北京建筑大学

郑佰涛	中国石油天然气集团公司办公厅
左建波	中国金茂控股集团有限公司
张林勇	中油阳光物业管理有限公司
张 雪	北京建筑大学
赵乃妮	中国建筑科学研究院
朱荣鑫	重庆大学
赵 申	北京科技大学

前言

2013 年以来,我国大部分城市雾霾天气频发,PM_{2.5}已经成为影响大气环境质量的首要污染物,也是人们最为关注的污染物。PM_{2.5}又称为细颗粒物或可入肺颗粒物,是指空气动力学直径 $\leq 2.5\mu\text{m}$ 的颗粒物。国内外的环保部门对大气中 PM_{2.5}进行监测和控制、标准规范对室内空气中 PM_{2.5}浓度进行限值要求,并非仅仅因为它会导致大气能见度下降,影响交通安全和人们日常生活,更重要的原因是 PM_{2.5}能够突破鼻腔,深入肺部,甚至渗透进入血液。如果长期暴露在 PM_{2.5}污染的环境中,会对人体健康,如呼吸系统、心脑血管系统、神经系统及免疫系统等造成伤害,并可能引发整个人体范围的疾病,这是对 PM_{2.5}进行监测和控制的一个重要原因。

现代人们大部分的时间是在室内度过的,当雾霾天气出现的时候,人们通常选择关闭门窗并留在室内。然而,建筑室内并不完全是“躲避”PM_{2.5}的“安全避风港”,因为室外的 PM_{2.5}能够通过空调通风系统和建筑围护结构缝隙等途径进入室内;若室内环境中存在 PM_{2.5}污染源且没有有效的控制措施,室内 PM_{2.5}污染程度可能比室外环境更加严重。可见,在雾霾未得到治理之前,室内环境中的 PM_{2.5}控制问题不容松懈。

中国建筑科学研究院在室内颗粒物污染控制技术方面有着多年的研究积累,具有较为丰富的研究经验和研究成果。在雾霾、PM_{2.5}尚未受到深度关注时就申请并承担了“十二五”国家科技支撑计划课题“建筑室内颗粒物污染及其复合污染控制关键技术研究(2012BAJ02B02)”的研究工作。室内 PM_{2.5}污染受雾霾天气影响而加重,亟需有效的控制手段。鉴于此,课题组特将课题相关研究成果进行梳理并总结成书,以期为建筑室内 PM_{2.5}控制提供技术参考和应用借鉴。

本书的主要内容来源于“十二五”国家科技支撑计划课题“建筑室内颗粒物污染及其复合污染控制关键技术研究(2012BAJ02B02)”的部分研究成果。全书分为 9 章,各章主要内容为:

第 1 章 室内 PM_{2.5}来源与污染控制现状

本章概述了室内 PM_{2.5}来源、污染现状、相关政策以及标准规范限值要求。从室内来源和室外来源两方面阐述了室内 PM_{2.5}的来源,进而对我国典型城市的室外 PM_{2.5}污染及不同类型建筑的室内 PM_{2.5}污染进行调查研究,以掌握我国目前 PM_{2.5}的污染现状。介绍了国内外关于 PM_{2.5}防治的主要法规与政策,并梳理了国内外有关 PM_{2.5}的控制标准。

第 2 章 PM_{2.5}与人体健康

本章阐述了 PM_{2.5}暴露、健康危害的毒理效应及可能引起的疾病。介绍了颗粒物

暴露水平及对健康的影响；叙述了颗粒物吸入与体内的分布，涉及颗粒物进入人体的途径以及颗粒物在呼吸道内的沉积。通过对呼吸系统、心血管系统、免疫系统、神经系统、生殖系统、致突变性与致癌性以及氧化损伤等方面内容的阐述，分析了颗粒物对人体健康危害的毒理效应。最后对未来发展进行展望。

第3章 $PM_{2.5}$ 的基本性质及动力学特征

本章对气溶胶科学的基本理论进行了阐述。 $PM_{2.5}$ 的运动与控制遵循气溶胶力学的基本理论，对气溶胶的基本物理性质、气溶胶粒子的动力学特性、气溶胶粒子的扩散与凝聚理论进行了介绍；进一步介绍颗粒物穿透建筑围护结构缝隙时的受力与运动特性。

第4章 室内外 $PM_{2.5}$ 污染实测与分析

本章基于实测数据，对室内外 $PM_{2.5}$ 关联关系进行了研究。选取北京、广州地区办公建筑为研究对象，并对室内和室外 $PM_{2.5}$ 进行连续监测。基于测试数据，研究了室外 $PM_{2.5}$ 质量浓度的日、周、月变化规律及其对建筑室内环境的影响，室外气象参数（风速、空气温度、空气相对湿度）变化与建筑室外和室内 $PM_{2.5}$ 质量浓度水平的关联关系。

第5章 建筑外窗的缝隙通风特征与评价

本章就建筑外窗缝隙结构特征对 $PM_{2.5}$ 阻隔特性进行了研究。室外 $PM_{2.5}$ 可以通过建筑围护结构渗透进入室内。结合北京地区两栋临街办公建筑室内外环境 $PM_{2.5}$ 浓度及粒径分布的监测数据，比较分析了建筑外窗关闭且无室内源条件下，室外 $PM_{2.5}$ 在渗入建筑外窗缝隙过程中的穿透特性及其在传输过程中的沉降特性。结合数理统计学方法，构建了关于室内 $PM_{2.5}$ 质量浓度水平的预测模型。

第6章 $PM_{2.5}$ 污染控制技术

本章对室内 $PM_{2.5}$ 污染的控制技术进行了分析和阐述。室外 $PM_{2.5}$ 可以通过通风空调系统、外门窗缝隙、人员携带等途径进入室内。针对室外 $PM_{2.5}$ 进入室内的主要途径和普适的单项控制技术，对通风、滤料过滤技术、静电过滤技术及其他控制技术等的原理、性能、影响因素及产品设备等进行阐述，并对各项控制技术的组合应用进行了介绍。

第7章 $PM_{2.5}$ 污染控制解决方案

本章提出了一整套室内 $PM_{2.5}$ 污染控制设计方法。在室内 $PM_{2.5}$ 控制设计中， $PM_{2.5}$ 室外和室内设计浓度是重要参数，本章给出 $PM_{2.5}$ 室内和室外设计浓度的确定方法。在控制方法上，提出了系统的 $PM_{2.5}$ 污染控制设计方案，并给出了集中式、半集中式、分散式系统的 $PM_{2.5}$ 污染控制设计计算方法。通过实测给出了部分过滤器的计重效率、计数效率以及两者之间的关系。为兼顾通风空调系统的节能运行，提出了根据室外 $PM_{2.5}$ 污染变化而进行的控制系统节能运行策略。

第8章 建筑室内 $PM_{2.5}$ 污染控制工程案例

本章对室内 $PM_{2.5}$ 控制的典型工程进行分析讨论。实际的建筑类型和使用功能多样，通风空调系统集成复杂，加之不同地区室外 $PM_{2.5}$ 污染情况各异，导致建筑室内

PM_{2.5}的控制技术方案也不尽相同。为此,实践案例的选择考虑到了不同建筑类型、不同地区以及不同技术方案。每个案例主要从室内 PM_{2.5}控制设计和控制效果两方面出发,介绍不同功能的建筑室内 PM_{2.5}控制的设计思路与技术方案、关键技术以及控制效果。

第9章 PM_{2.5}产品检测与试验平台

本章介绍了不同功能和不同用途的颗粒物控制产品性能试验平台。大气环境中的 PM_{2.5}可以通过围护结构缝隙渗透、空调新风系统等途径进入室内,因此建筑围护结构对 PM_{2.5}的阻隔性能、过滤器对 PM_{2.5}的过滤性能至关重要。有必要通过专业的试验平台对它们的性能进行测试。本章选择了部分较为典型的用于阻隔和过滤 PM_{2.5}的产品检测与试验平台,对其功能、结构、测试及评价方法等内容进行了介绍。

本书编写过程中,清华大学张寅平教授、中国医学科学院秦川教授、上海市建筑科学研究院(集团)有限公司李景广教授级高工对本书的技术内容进行了审阅把关。中国建筑科学研究院赵力、王清勤、路宾以及北京工业大学陈超负责全书的统稿和审校工作,中国建筑科学研究院李国柱在统稿成书过程中做了大量工作。本书编写过程中,多处引用国家标准、规范、文献、著作以及网站空气质量数据,在此一并表示诚挚的谢意。

本书的编写凝聚了所有参编人员和专家的集体智慧,在大家辛苦的付出下才得以完成。由于编写时间仓促,编者水平所限,书中疏漏和不妥之处在所难免,恳请广大读者批评指正!

本书编委会

2015年12月12日

主要名词及含义

细颗粒物 $\text{PM}_{2.5}$ (fine particulate matter, $\text{PM}_{2.5}$)

空气动力学当量直径小于等于 $2.5\mu\text{m}$ 的颗粒物，也称可入肺颗粒物，表征其质量浓度的常用单位为 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 或 mg/m^3 。

I/O 比 (I/O ratio)

室内颗粒物浓度与室外颗粒物浓度的比值，一般为质量浓度或数量浓度之比，无量纲量。 I/O 比直接反映了室内外颗粒物浓度关系，是室内外颗粒物浓度关联特性研究中最应用最广泛的参量。

气溶胶 (aerosol)

由固体或液体小质点分散并悬浮在气体介质中形成的胶体分散体系，分散相为固体或液体小质点，大小主要为 $0.001\sim 0.1\mu\text{m}$ ，分散介质为气体。

渗透系数 F_m (infiltration factor)

平衡状态下室外环境中颗粒物进入室内并保持悬浮的比例，无量纲量。渗透系数避免了和室内颗粒物源的混淆，特指由室外颗粒物进入室内并且还保持悬浮的那一部分。

穿透系数 P (penetration factor)

跟随渗透风穿过建筑围护结构进入室内的颗粒物质量浓度比例，无量纲量。穿透系数是描述颗粒物穿过建筑物围护结构缝隙机理最相关的参量。

沉降系数 k (deposition factor)

室内颗粒物向各壁面的沉降速度乘以该壁面面积的总和与房间体积之比，单位为 h^{-1} ，是表征室内颗粒物浓度衰减速度的重要参量之一。

气密性能 (air permeability performance)

外门窗在正常关闭状态时，阻止空气渗透的能力，单位为 $\text{m}^3/(\text{m}\cdot\text{h})$ 或 $\text{m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ 。我国现行的国家标准《建筑外门窗气密、水密、抗风压性能分级及检测方法》GB/T 7106—2008 中将建筑外门窗气密性能分为 8 级，从 1 至 8 级逐级升高。

洁净空气量 (clean air delivery rate, CADR)

空气净化器在额定状态和规定的试验条件下，针对目标污染物（颗粒物和气态污染物）净化能力的参数；表示空气净化器提供洁净空气的速率，单位为 m^3/h 。风道式净化装置不采用该指标。

$\text{PM}_{2.5}$ 负荷 Q ($\text{PM}_{2.5}$ load)

单位时间内室内的 $\text{PM}_{2.5}$ 获得量，单位为 $\mu\text{g}/\text{s}$ 。建筑 $\text{PM}_{2.5}$ 负荷由三部分构成，分

别为随渗透风进入室内的 $PM_{2.5}$ 渗透负荷 (Q_p)、随新风进入室内的 $PM_{2.5}$ 新风负荷 (Q_w) 以及室内污染源负荷 (Q_n)。

$PM_{2.5}$ 去除能力 (removal capacity of $PM_{2.5}$)

空气处理设备单位时间内去除 $PM_{2.5}$ 的量，单位为 $\mu g/s$ 。

目 录

前言

主要名词及含义

第1章 室内 PM _{2.5} 来源与污染控制现状	1
1.1 室内 PM _{2.5} 来源	1
1.1.1 室内源	1
1.1.2 室外源	3
1.2 PM _{2.5} 污染现状	4
1.2.1 2014 年大气 PM _{2.5} 污染状况	4
1.2.2 公共建筑室内污染现状	7
1.2.3 居住建筑室内污染现状	16
1.3 PM _{2.5} 污染控制主要法规与政策	19
1.3.1 国外法规与政策	19
1.3.2 国内法规与政策	21
1.4 国内外标准规范	22
1.4.1 环境 PM _{2.5} 限值标准	22
1.4.2 室内 PM _{2.5} 限值标准	26
参考文献	27
第2章 PM _{2.5} 与人体健康	31
2.1 暴露水平及对健康的影响	31
2.1.1 PM _{2.5} 暴露的影响因素	31
2.1.2 室内 PM _{2.5} 暴露对健康的影响	32
2.2 颗粒物吸入与体内分布	32
2.3 对呼吸系统的危害	33
2.3.1 对呼吸系统的毒性作用	33
2.3.2 对呼吸系统的致病机理	34
2.3.3 引发的呼吸系统疾病	37
2.4 对心血管系统的危害	38
2.4.1 对心血管系统的毒性作用	38
2.4.2 对心血管系统的致病机理	39
2.4.3 对凝血纤溶系统的影响	42
2.4.4 引发的心血管系统疾病	44

2.5 对免疫系统的危害	46
2.5.1 对免疫系统的毒性作用	46
2.5.2 对免疫系统的致病机理	46
2.5.3 引发的免疫系统疾病	49
2.6 对神经系统的危害	50
2.6.1 对神经系统的毒性作用	50
2.6.2 对神经系统的致病机理	51
2.6.3 引发的神经系统疾病	53
2.7 对生殖系统的危害	53
2.7.1 对生殖系统的毒性作用	53
2.7.2 对生殖系统的致病机理	53
2.7.3 引发的生殖系统疾病	54
2.8 对人体的致突变性、致癌性	56
2.8.1 致突变性	57
2.8.2 致癌性	59
2.9 对人体的氧化损伤	60
2.10 未来发展	61
2.10.1 实验动物资源建设	61
2.10.2 环境治理	62
参考文献	62
第3章 PM _{2.5} 的基本性质及动力学特征	69
3.1 PM _{2.5} 与大气气溶胶体系	69
3.2 基本物理性质	70
3.2.1 密度	70
3.2.2 安息角和滑动角	71
3.2.3 润湿性	71
3.2.4 磨损性	72
3.2.5 带电性	72
3.2.6 自燃性与爆炸性	73
3.2.7 光学性质	73
3.2.8 粒径分布	74
3.3 粒子动力学特性简介	77
3.3.1 不同粒径的分类原则	77
3.3.2 粒子的运动	77
3.4 扩散理论简介	82
3.4.1 扩散基本定律	82
3.4.2 在静止介质中的扩散	82

3.4.3 在流动介质中的扩散	84
3.4.4 在外力作用下的扩散	87
3.5 粒子凝聚简介	89
3.5.1 热凝并	89
3.5.2 声凝并	90
3.5.3 电凝并	90
3.6 建筑围护结构缝隙中的运动与受力	91
3.6.1 缝隙内综合受力分析	91
3.6.2 缝隙内气流运动特征	92
3.6.3 缝隙内颗粒物受力与运动	92
3.6.4 颗粒物缝隙穿透特性	94
3.6.5 颗粒物室内沉降特性	99
参考文献	99
第4章 室内外PM _{2.5} 污染实测与分析	103
4.1 实测对象及实测方法	103
4.1.1 实测对象概况	103
4.1.2 采样地点选取	103
4.1.3 采样仪器	104
4.1.4 数据处理	105
4.2 北京地区办公建筑污染现状及分析	105
4.2.1 北京办公建筑室内外PM _{2.5} 质量浓度实测数据分析	105
4.2.2 北京办公建筑PM _{2.5} 污染因素分析	110
4.3 广州地区办公建筑污染现状及分析	118
4.3.1 广州办公建筑室内外PM _{2.5} 污染现状分析	118
4.3.2 广州办公建筑室内外PM _{2.5} 污染因素分析	120
4.4 北京与广州实测结果比较	123
4.4.1 气象参数比较	123
4.4.2 室内外污染水平比较	124
参考文献	125
第5章 建筑外窗的缝隙通风特征与评价	127
5.1 常见建筑外窗的结构及开启形式	127
5.2 建筑外窗气密性及相关规范	129
5.3 不同气密性建筑外窗缝隙渗透特征对比	130
5.3.1 建筑外窗构造概况	130
5.3.2 大气颗粒物粒径分布特性	131
5.3.3 室内PM _{2.5} 质量浓度比较	132
5.4 室内外PM _{2.5} 质量浓度关联模型	134

5.4.1 影响因素分析	134
5.4.2 关联模型建立	135
5.4.3 模型验证	136
5.5 建筑外窗缝隙渗透通风特征	137
5.5.1 建筑外窗缝隙渗透通风换气次数计算模型建立	137
5.5.2 换气次数推算结果	137
参考文献	140
第6章 PM_{2.5}污染控制技术	141
6.1 通风	141
6.1.1 技术原理	141
6.1.2 影响因素	143
6.2 滤料过滤技术	144
6.2.1 过滤机理	144
6.2.2 空气过滤器	146
6.2.3 技术性能	148
6.2.4 影响因素	150
6.3 静电吸附技术	151
6.3.1 技术原理	151
6.3.2 技术性能	152
6.3.3 影响因素	153
6.3.4 产品设备	153
6.4 组合控制技术	156
6.4.1 技术原理	156
6.4.2 系统方法	156
6.4.3 核心设备	157
第7章 PM_{2.5}污染控制解决方案	161
7.1 PM_{2.5}室外设计浓度确定	161
7.1.1 PM _{2.5} 室外设计浓度的确定方法	161
7.1.2 基于“保证率”的确定方法	162
7.1.3 基于“不保证天数”的确定方法	164
7.2 PM_{2.5}室内设计浓度	165
7.3 PM_{2.5}污染控制设计计算方法	166
7.3.1 PM _{2.5} 污染控制设计计算方法的提出	166
7.3.2 PM _{2.5} 污染控制设计计算方法的理论推导	166
7.4 PM_{2.5}污染控制设计计算方法在典型空气处理系统中的应用	169
7.4.1 新风未预处理的集中式系统	169
7.4.2 新风预处理的集中式系统	170

7.4.3 半集中式系统	173
7.4.4 分散式系统	174
7.5 空气净化装置的选择	175
7.6 PM _{2.5} 污染控制的系统节能	177
参考文献	178
第8章 建筑室内 PM_{2.5}污染控制工程案例	179
8.1 中国石油大厦	179
8.1.1 工程概况	179
8.1.2 室内 PM _{2.5} 控制设计	180
8.1.3 PM _{2.5} 控制效果	184
8.1.4 结束语	188
8.2 南京朗诗国际街区	189
8.2.1 工程概况	189
8.2.2 室内 PM _{2.5} 控制设计	190
8.2.3 效益分析	193
8.2.4 结束语	194
8.3 南昌众森红谷一品二期项目	194
8.3.1 工程概况	194
8.3.2 室内 PM _{2.5} 控制设计	195
8.3.3 结束语	197
8.4 湘阴 T30 酒店	197
8.4.1 工程概况	197
8.4.2 室内 PM _{2.5} 控制设计	198
8.4.3 PM _{2.5} 控制效果	201
8.4.4 结束语	204
8.5 上海大宁金茂府	205
8.5.1 工程概况	205
8.5.2 室内 PM _{2.5} 控制设计	206
8.5.3 结束语	210
8.6 武汉汉阳满庭春项目	210
8.6.1 工程概况	210
8.6.2 室内 PM _{2.5} 控制设计	211
8.6.3 PM _{2.5} 控制效果	215
8.6.4 结束语	216
8.7 中国建筑科学研究院科研楼	217
8.7.1 工程概况	217
8.7.2 室内 PM _{2.5} 控制设计	218

8.7.3 PM _{2.5} 控制效果	219
8.7.4 结束语	221
8.8 北京凯晨世贸中心大厦	221
8.8.1 工程概况	221
8.8.2 室内 PM _{2.5} 控制设计	222
8.8.3 PM _{2.5} 控制效果	223
8.8.4 结束语	224
8.9 天津泰达国际心血管病医院	225
8.9.1 工程概况	225
8.9.2 项目改造与 PM _{2.5} 控制	225
8.9.3 PM _{2.5} 控制效果	227
8.9.4 结语	229
8.10 长沙远大品管办公楼	229
8.10.1 工程概况	229
8.10.2 室内 PM _{2.5} 控制设计	230
8.10.3 PM _{2.5} 控制效果与检测分析	230
8.10.4 结束语	232
第9章 PM_{2.5}产品检测与试验平台	233
9.1 建筑外窗颗粒物渗透性能测试台	233
9.1.1 功能概况	233
9.1.2 构成与装置	233
9.1.3 方法与评价	236
9.2 组合式空调机组过滤器性能试验平台	237
9.2.1 功能概况	237
9.2.2 构成与装置	237
9.2.3 方法与评价	239
9.3 PM_{2.5}净化装置性能检测系统	240
9.3.1 功能概况	240
9.3.2 构成与装置	240
9.3.3 方法与评价	243
9.4 空气净化器检测用环境试验舱	244
9.4.1 功能概况	244
9.4.2 构成与装置	245
9.4.3 方法与评价	245
9.5 国家空调设备质量监督检验中心空气净化设备检测试验装置	248
9.5.1 功能概况	248
9.5.2 构成与装置	248
9.5.3 方法与评价	252

第 1 章 室内 PM_{2.5} 来源与污染控制现状

近年来,细颗粒物(PM_{2.5})污染已经成为人们关注的热点,人们越来越意识到 PM_{2.5}对大气环境的破坏和对人类健康的危害。建筑室内的 PM_{2.5}不仅来自室内的发生源,而且还来自室外。为实现建筑室内 PM_{2.5}的有效控制,须知道室内 PM_{2.5}的来源、污染现状及相关的政策和标准,为此,本章针对以上四方面内容进行了阐述。

1.1 室内 PM_{2.5} 来源

室内 PM_{2.5}污染的来源可以分为两大类,一是室外 PM_{2.5}污染向室内环境的传输,二是室内 PM_{2.5}污染源的释放,两者共同作用决定了室内空气环境中 PM_{2.5}的浓度和组成。

1.1.1 室内源

1. 燃烧过程

室内 PM_{2.5}的主要污染源之一是暖器、壁炉、火炉等燃料的燃烧过程。采用分散式供暖的地区,居民住宅内往往设有供暖器和壁炉等,这些设备在使用过程中会产生大量 PM_{2.5},加剧室内颗粒污染程度,例如目前在发达国家已经被淘汰的煤油供暖器,其 PM_{2.5}颗粒发生率高达 9×10^{11} 个/min,石英供暖器和旋管加热器的 PM_{2.5}发生率也分别达到了 2.5×10^{10} 个/min 和 4×10^{10} 个/min^[1]。壁炉中燃烧木炭取暖时,产生的颗粒数量十分惊人,木炭在燃烧过程中产生的颗粒总量不少于 2.1g/kg,有的甚至多达 20g/kg,颗粒质量中值粒径为 0.17μm,属于 PM_{2.5}^[2]。在居室里以蜂窝煤为燃料取暖时,室内空气中 PM_{2.5}浓度达到了 200μg/m³,属于高浓度污染,以液化气为燃料的住户室内空气中的 PM_{2.5}浓度为 71μg/m³,以木材为燃料的家庭其室内 PM_{2.5}浓度可高达 212μg/m³,而在使用燃料前,室内 PM_{2.5}浓度都处在相对较低水平;以生物质燃料(水稻秆和木材)为燃料时,燃料燃烧时室内 PM_{2.5}的平均浓度明显高于燃料未燃烧时的 PM_{2.5}平均浓度水平,秸秆类燃烧对室内 PM_{2.5}浓度的影响大于木材^[3]。

香烟释放的烟雾是室内环境中 PM_{2.5}的主要来源,吸烟所产生的颗粒物大部分都小于 2.5μm,一支香烟在其燃烧周期中平均可释放 PM₁₀(22±8)mg,其中约 2/3 为 PM_{2.5}(14±4)mg^[4]。PTEAM^[5]研究发现,在没有明显室内污染源的情况下,室内 PM_{2.5}浓度的 60%~70%是来自室外污染源。在有吸烟者的家庭中,香烟烟雾粒子将占室内 PM_{2.5}的 54%,而室外污染源和其他室内污染源分别只占到 30%和 16%。Phillips^[6]等人对瑞士 17 个家庭室内外颗粒物浓度进行了研究,发现在室内无明显污染源