

Indoor Air Modern Test Technology
for Buildings

现代建筑室内空气 检测技术

徐 伟 刘志坚 主 编

现代建筑室内空气检测技术

Indoor Air Modern Test Technology for Buildings

徐 伟 刘志坚 主 编

内容提要

本书为现代建筑室内空气品质检测提供重要参考,主要阐述了室内空气环境物理、化学、生物、噪声及辐射等方面的检测技术。本书一共分为9章。第1章简要介绍了室内空气质量的定义、污染特征、质量检测及评价等相关基本概念;第2章介绍了室内空气污染来源,主要包括建筑外环境、空调通风系统、装修材料、室内常用设备及人员活动影响等;第3章介绍了室内空气污染的危害,主要包括颗粒物气溶胶、化学物质、生物气溶胶、辐射及噪声等;第4章介绍了室内空气气流参数检测,主要包括温度、速度、压力、湿度、换气次数及新风量等;第5章介绍了室内环境颗粒物检测、暴露及评价方法;第6章介绍了室内空气环境化学物质的检测、暴露及评价方法;第7章主要介绍了室内空气环境微生物的检测、暴露及评价方法;第8章主要介绍了室内空气环境辐射的检测、暴露及评价方法;第9章主要介绍了室内空气环境噪声的检测、暴露及评价方法。

本书可作为建筑环境与能源应用工程专业高年级本科生或研究生教材,同时可供从事室内空气品质及相关检测工作的广大科研人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

现代建筑室内空气检测技术 / 徐伟,刘志坚主编.
—天津:天津大学出版社,2016.7
ISBN 978-7-5618-5597-3
I. ①现… II. ①徐… ②刘… III. ①室内空气—质量检验 IV. ①TU834.8
中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 164114 号

出版发行 天津大学出版社
地 址 天津市卫津路 92 号天津大学内(邮编:300072)
电 话 发行部:022-27403647
网 址 publish.tju.edu.cn
印 刷 廊坊市海涛印刷有限公司
经 销 全国各地新华书店
开 本 185mm × 260mm
印 张 11.5
字 数 287 千
版 次 2016 年 7 月第 1 版
印 次 2016 年 7 月第 1 次
定 价 28.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页等质量问题,烦请向我社发行部门联系调换。

版权所有 侵权必究

前言

随着人们生活水平的不断提高,健康意识不断提升,国家对室内空气污染的重视程度也越来越高。但是,由于现代建筑室内环境过度装修及密闭性增强,导致室内环境污染不能有效排除,从而导致室内环境污染成为继“煤烟型”“光化学烟雾型”污染后的一个新的环境问题。据统计,我国每年由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也造成了巨大的经济损失。

随着国家对建筑节能标准的提升,“近零能耗建筑”成为我国建筑发展的最新趋势,实现建筑“近零能耗化”必然要增强室内环境的密闭性,如德国“被动房”要求在 50 Pa 室内外压差的前提下,换气次数不能超过 0.6 次。室内如此的密闭,一旦室内存在污染源,必然造成室内空气品质的下降,通过科学的手段,检测未来建筑室内空气环境的各种污染物浓度,势在必行。

人们在室内度过的时间超过 80%,室内空气品质的优劣对人体健康具有直接影响。良好的室内空气品质不仅依靠国家政策、法律法规保障,更需要规范、准确的检测技术,这不仅能保证检测数据结果的有效性和真实性,同时可为评估室内污染现状和保护人体健康提供科学数据。室内空气环境检测技术涉及暖通空调、医学卫生、建筑环境、环境工程、生理学以及心理学等诸多方面,其目的就是定量评估室内空气质量,从而进一步改善室内空气质量。

本书由中国建筑科学研究院徐伟研究员和华北电力大学刘志坚博士主编。第 1 章由中国建筑科学研究院徐伟研究员编写,第 2 章、第 5 章(5.2 节、5.3 节和 5.4 节)、第 6 章及第 7 章(7.3 节和 7.4 节)由华北电力大学刘志坚博士编写,第 3 章由华北电力大学李非老师编写,第 4 章和第 9 章由华北电力大学靳光亚工程师编写,第 7 章(7.1 节和 7.2 节)由湘潭大学孙宏发老师编写,第 8 章和第 5 章(5.1 节)由河南工业大学陈曦博士编写。全书由刘志坚博士统稿整理,中国建筑科学研究院徐伟研究员整体校稿。在本书的编写过程中,西安建筑科技大学熊静、杨长青博士协助整理了相关图片及图表,在此表示诚挚的谢意。本书初稿完成后得到天津大学出版社大力支持,在此一并表示感谢。

由于时间仓促,疏忽及漏引之处还望有关文献作者能及时指正,以便修改。由于编者水平和经验有限,不妥之处在所难免,请广大读者批评指正。

编者

2016 年 3 月

目 录

第1章 室内空气环境导论	1
1.1 室内空气质量的定义	1
1.2 室内空气污染特征	2
1.3 室内空气质量检测	3
1.4 室内空气质量评价	4
第2章 室内空气污染源	8
2.1 建筑外环境	8
2.2 空调通风系统	9
2.3 装修材料	14
2.4 室内常用设备	18
2.5 人员活动影响	18
第3章 室内空气污染的危害	20
3.1 颗粒物气溶胶	20
3.2 化学物质	24
3.3 生物气溶胶	37
3.4 辐射及噪声	39
第4章 室内空气气流参数检测	43
4.1 室内空气温度	43
4.2 室内空气速度	47
4.3 室内空气压力	49
4.4 室内空气湿度	51
4.5 换气次数	54
4.6 新风量	56
第5章 室内环境颗粒物检测	60
5.1 室内颗粒物的基本概念	61
5.2 室内颗粒物的分布运动机理	68
5.3 室内颗粒物的采样和检测技术	71
5.4 室内颗粒物暴露与评价	86
第6章 室内空气环境化学物质的检测	100
6.1 室内空气环境化学污染的基本概念	100
6.2 室内空气环境化学污染物的种类	100
6.3 室内空气环境化学污染采样和检测技术	100

6.4 室内空气环境化学污染暴露与评价	139
第7章 室内空气环境微生物的检测	140
7.1 微生物污染的基本概念	140
7.2 室内空气环境微生物污染种类	140
7.3 室内空气环境微生物污染检测技术	143
7.4 室内空气环境微生物污染暴露与评价	144
第8章 室内空气环境辐射的检测	147
8.1 室内空气环境辐射污染种类	147
8.2 室内空气环境辐射检测技术	149
8.3 室内空气环境辐射暴露与评价	159
第9章 室内空气环境噪声的检测	164
9.1 室内空气环境噪声污染的基本概念	164
9.2 室内空气环境噪声污染种类	165
9.3 室内空气环境噪声检测技术	166
9.4 室内空气环境噪声评价	173

第1章 室内空气环境导论

环境一词,最早出现在中国《元史·余阙传》:“抵官十日而寇至,拒却之,乃集有司与诸将议屯田战守计,环境筑堡垒,选精甲外捍,而耕稼于中。”即环绕所管辖的地区。从现代环境学角度而言,环境是指相对于人类这个主体而言的一切自然环境要素的总和。环境既包括以大气、水、土壤、植物、动物、微生物等为内容的物质因素,也包括以观念、制度、行为准则等为内容的非物质因素;既包括自然因素,也包括社会因素;既包括非生命体形式,也包括生命体形式。环境是相对于某个主体而言的,主体不同,环境的大小、内容等也就不同。

室内环境,又称为人工环境,是人类相对于室外环境而言的,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人工小环境。室内并不局限于人们居住的空间,而是包括日常工作生活的所有室内空间,如办公室、会议室、教室、医院诊疗室、旅馆、影剧院、图书馆、商店、体育场馆、健身房、舞厅、候车候机室等各种室内公共场所,还有民航飞机、汽车、客运列车等相对封闭的各种交通工具。广义上讲,室内环境应包括室内的工作场所和生产场所。

室内空气环境是指某个固定空间内,包围室内人员、设备等的气态空气微环境。室内空气环境主要包括室内热湿环境和室内空气品质。衡量室内空气环境优劣的主要参数包括温度、湿度、压力、通风气流参数及室内环境污染物浓度。本章主要介绍室内空气质量等相关概念,室内空气污染特征、室内空气质量检测及室内空气质量评价等相关内容。

1.1 室内空气质量的定义

室内空气质量,又称室内空气品质(Indoor Air Quality)。一般认为,室内空气质量是指定性和定量描述室内空气状况好坏的程度。室内空气品质不同于室内污染,最初关于室内空气品质的定义是指一系列污染物浓度指标,然而随着研究的不断深入,人们发现单个的污染物浓度指标不能准确地反映室内空气质量的优劣,人们在污染物浓度低的室内仍然感觉很难受,因此室内空气品质的好坏还与居住者的主观感受、心理和生理条件紧密相关。

P. O. Fanger 教授在 1989 年给室内空气品质的定义是:所谓品质就是反映满足人们要求的程度,如人们满意就是高品质,不满意就是低品质。英国屋宇设备工程学会(Chartered Institution of Building Services Engineers, CIBSE)认为:如果室内少于 50% 的人能够觉察到任何气味,少于 20% 的人感觉不舒服,少于 10% 的人感觉黏膜受到刺激,并且少于 5% 的人在不足 2% 的时间内感到烦躁,那么此时的室内空气是可以接受的。以上两者的共同点就是将室内空气品质完全变成了人的主观感受。

在美国采暖、制冷与空调工程师学会(American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers, ASHRAE)标准 62.1—2010 中,考虑了室内污染物浓度指标和人体

主观感受两方面的因素,提出了可接受的室内空气品质(acceptable indoor air quality)和感受到可接受室内空气品质(acceptable perceived indoor air quality)两个概念。可接受的室内空气品质定义为:室内绝大多数人对空气没有表示不满意,并且空气中没有已知污染物浓度达到了可能对人体健康产生严重威胁的程度。感受到可接受室内空气品质定义为:室内的绝大多数人没有因为气味和刺激而表示不满,它是可接受的室内空气品质的必要条件,不是充分条件,有些气体如 CO、氨等,对人体危害非常大,但无刺激,故仅仅感受到可接受室内空气品质是不够的。

在我国《室内空气质量标准》(GB/T 18883—2002)中,室内空气品质指一定时间和一定区域内,空气中所含有的各项检测物达到一个恒定不变的检测值。它是用来指示环境健康和适宜居住的重要指标,主要的标准有含氧量、甲醛含量、水汽含量、颗粒物(Particulate Matter, PM)等,是一套综合数据,能够充分反映一地的空气状况。室内空气品质应无毒、无害、无异常嗅味。

1.2 室内空气污染特征

室内空气污染与人体健康密切相关。室外大气环境污染与气象参数(如风速、气压等)密切相关,具有直观可见性、可流动性及可觉察性。与室外大气环境相比,室内空气污染具有如下特征。

1. 累积性

在当今建筑节能的大背景下,室内环境的密闭性不断增强,尤其是“近零能耗建筑”在我国产生,室内环境空气换气次数不大于 0.6 次(室内外有 50 Pa 压差时),因此一旦污染物进入室内,需要较长的时间才能将其排出室外。以至于室内的各种有害物质(包括建筑装饰材料、家具、地毯、复印机、打印机等释放的化学物质,厨房炊事释放的油烟颗粒物,吸烟产生的环境烟草烟雾(Environmental Tobacco Smoke, ETS)等)不能及时排出,它们经过长期积累,浓度持续升高,进而对人体构成严重危害。

2. 长期性

人们在室内环境度过的时间超过 80%,而儿童和老人在室内环境度过的时间更长,有时甚至高达 90% 以上。即使室内环境污染物浓度没有达到控制标准的阈值,但如此长时间的接触与暴露,势必也会对人体健康产生不利影响。因此,长期性也是室内污染的重要特征之一。

3. 多样性

室内空气污染的多样性不仅体现在污染物种类多样上,还体现为室内污染物来源多种多样。室内空气污染存在诸如甲醛、总挥发性有机物(Total Volatile Organic Compounds, TVOC)、苯系物、二氧化硫、一氧化碳、氨气、臭氧等化学污染物;同时存在诸如 PM_{2.5}、PM₁₀ 及 TSP(总悬浮颗粒物, Total Suspended Particulates)等多种物理污染物;另外还存在真菌、细菌、病毒、虫螨等生物污染和放射性污染等。室内污染源多种多样,主要包括室外环境、厨房油烟、建材装修、室内设备、人体活动、家用化学品、空调系统等。室内污染源的多样性,决定了室内环境污染物的多样性,在一定程度上造成室内环境较难治理。

4. 隐蔽性

室内环境污染的隐蔽性不仅体现在室内污染物存在形式的隐蔽性上,还体现为污染源的隐蔽性。室内空气污染往往无色、无味,不易觉察。室内环境中,一氧化碳、二氧化碳等化学污染物不易被人体觉察;同时真菌、细菌、病毒及虫螨等,由于其微观尺度较小,肉眼很难分辨,同时以孢子及寄生的形式存在于被褥、地毯等不同部位,具有较强的隐蔽性;室内环境中氡的辐射,无色、无嗅、无味,除非用专业的仪器测试,否则无法察觉到它的存在;室内环境中电磁及电离辐射,包含不同波段的波谱,时刻存在于室内空气环境,对人体的伤害更是无声无息。室内环境污染源具有一定的隐蔽性,如室内装修材料的人造板及使用的胶黏剂所含主要成分脲醛树脂,其甲醛的释放周期为3~15年,一旦壁纸贴于墙壁,即成为甲醛污染源,其隐蔽性往往被忽略;同时室内环境中大理石释放出来的辐射,周期往往在20年以上,由于其长期存在,往往被人忽视。

5. 严重性

目前,室内空气污染与高血压、胆固醇过高及肥胖症等共同列为人类健康的十大威胁。美国环保署(Environment Protection Agency, EPA)历时5年的专题调查研究显示,许多民用建筑和商用建筑内的空气污染程度是室外空气污染的数倍至数十倍,有的甚至超过100倍。美国每年因室内空气质量低劣造成的经济损失高达400亿美元。全世界每年有2400万人的死亡与室内环境污染密切相关,我国每年由于室内空气质量超标死亡数高达210万人。1994年,我国有关部门在一次调查中发现,城市室内空气质量程度比室外严重,有的超过室外的56倍之多,人体受害程度也比室外严重,仅1994年统计室内污染造成的经济损失便高达800亿元。

1.3 室内空气质量检测

目前而言,室内空气质量检测的概念无明确定义。一般而言,所谓的室内空气质量检测,是指运用现代科学的技术手段,依据室内空气质量检测标准和行业规范,对室内空气质量的相关参数进行有效的现场实测,并获取相关参数的定量数据的过程。室内空气质量检测是对室内环境污染进行信息采集、接收、分析和判断的过程,其主要检测流程如图1-1所示。

室内空气质量检测过程一般按照上述流程进行,其中现场布点的合理性、样品运输保存的时效性、分析测试的准确性至关重要。然而,综合检测报告结果与现场调查的基本信息,反馈分析得出影响室内空气质量的因素,对于改善室内空气质量具有重要意义。

室内空气质量检测通常分为物理性检测(如温度、湿度、风速、颗粒物浓度、辐射强度、噪声等)、化学性检测(如甲醛、甲苯、室内挥发性有机物、二氧化硫、二氧化碳、一氧化碳等)、生物性检测(如真菌、细菌、病毒、虫螨等)及放射性检测(如氡、电磁辐射及电



图1-1 室内空气质量检测流程

离辐射等)。

对于正常运行的建筑,室内空气质量检测主要用于评价室内空气质量的优劣;对于新建建筑,室内空气质量检测主要用于确定工程验收是否合格;同时,室内空气质量检测又是评价“绿色建筑”的重要指标;对于一些特殊的工业环境,如面粉厂、钢铁冶炼厂等,室内空气质量检测又是评价室内污染物时间空间分布特征及对人体健康影响的基础数据来源和科学依据。

1.4 室内空气质量评价

目前而言,室内空气质量评价是指针对具体的对象,运用科学的评价方法,分析室内空气质量的主要影响因素,预测其在一定时期内的变化趋势,确定其可能造成的危害程度,并提出经济可行的控制治理措施。室内空气质量评价的目的主要包括以下三个方面:

- (1) 掌握室内空气质量现状及变化趋势;
- (2) 评价室内空气对相关人员的身体健康的影响;
- (3) 为制定室内空气质量标准和控制空气污染提供科学依据。

室内空气质量评价不仅要依据有关污染物的标准作判据,而且要建立一套综合医学、建筑、环境监测、建筑设备工程、环境心理学、居住心理学等学科成果的研究模式和科学评价方法,使评价结果具有公正性、权威性和可比性;指导人们采取合理、有效的措施,使室内污染物在空气中的浓度降到最低,为良好的通风设计提供更精确的理论依据。室内空气质量常用的主要评价方法如下。

1. 客观评价法

客观评价法是指人们根据室内环境污染物的浓度、种类、作用时间,客观评价其室内空气质量对人体健康的影响。同时,综合利用空气龄、换气效率、通风效能系数等概念,评价室内空气质量。客观评价法一般包括单项指标评价法和当量指标评价法。

单项指标评价法通常选择具有代表性的污染物作为评价指标,来全面、公正地反映室内空气质量状况。通常选用二氧化碳、一氧化碳、甲醛、可吸入颗粒物(Inhalable Particles, IP)、氮氧化物、二氧化硫、空气环境细菌总数,加上温度、相对湿度、风速、照度以及噪声,共12个指标来定量反映室内空气质量。这是一种最基本的评价方法,此方法通过测定室内污染物浓度随时间的变化,并采用单因子评价方法,评价所有项目的浓度是否符合相应标准规定的浓度限值。

当量指标评价法是指引入合适的评价指标来评价室内空气质量,通常使用 decicarbdiolx (简称为 dCd) 和 decitvoc (简称为 dTv) 两个指标,这两个指标能够更好地模拟人体对气味强度的感觉。这个评价方法将二氧化碳和总挥发性有机物作为主要的室内污染物,由于二氧化碳和总挥发性有机物浓度变化幅度很大,并且与噪声类似,气味强度也由对数关系来确定,所以采用两个指标也有一定的理论依据。根据 Yaglou 的心理与物理换算理论,CO₂ 浓度、心理噪声和 dCd 的转换关系为 485 mg/L—0 dB—0 dCd;TVOC 浓度、心理噪声和 dTv 的转换关系为 50 μg/m³—0 dB—0 dTv,CO₂ 的上限为 15 000 mg/L—134 dCd,TVOC 的上限为 25 000 μg/m³—135 dTv。同时,丹麦学者 Fanger 提出采用 olf(污染源强度)和 decipol(空气

质量感知值)作为评价室内空气质量的指标。定义 1olf 为一个“标准人”的污染散发量,任何其他污染源都可以此基本量来换算表示。若室内其他污染源引起的不满意程度与一个“标准人”散发的污染所引起的不满意程度相同,则该实际污染原强度即为 1olf,依此推算出各种污染源的污染强度。并用 decipol 来定量空气质量。“pol”来自拉丁文“pollutio”,意思为污染。1decipol 表示一个“标准人”产生的污染(1olf)经 10 L/s 未污染空气通风稀释后的空气质量,即 $1\text{decipol} = 1\text{olf}/10\text{ L/s} = 0.1\text{olf}/(\text{L/s})$ 。

2. 主观评价法

主观评价法是指通过人们的主观感受来评价室内空气质量的好坏。Fanger 教授提出: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。英国的 CIBSE 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% 的人感觉到黏膜受刺激,并且少于 5% 的人在不足 2% 的时间内感到烦躁,则可认为此时的空气质量是可接受的。

3. 主观与客观相结合的综合评价方法

这一评价主要包含客观评价、主观评价和背景调查三个过程。客观评价主要包括对室内空气中的污染物浓度和通风气流参数的测试;主观评价主要是利用人对室内空气环境的感知,得出对室内环境满意程度和粗略估算其对人体健康影响程度,用国际通用标准问卷或调查表来规范主观评价,以求得最大的信息量和可靠的数据;背景调查包括排他性调查和个人资料调查,主要用以排除背景差异和个人偏向的干扰,避免影响评价结果,有助于做出正确判断。最后综合三部分的评价资料,采用统计分析的方法来评价室内空气质量和等级,并作为依据进行仲裁和咨询服务,为客户提供整改对策。

4. 室内空气质量等级的模糊评价

目前而言,室内空气质量尚无一个统一的、权威性的定义。因此,通过模糊数学方法对室内空气品质进行研究具有一定的可行性。该方法的关键是建立室内空气质量等级评价的模糊数学模型,确定各类健康影响因素对可能出现的评判结果的隶属度。模糊评估模型中,确定室内空气质量因素种类、层次、权重因子及模糊数学模型的有效性至关重要。室内空气质量模糊综合评价流程如图 1-2 所示。

5. 计算流体动力学数值模拟评价法

随着计算机的发展,利用计算流体动力学(Computational Fluid Dynamics, CFD)对气流组织进行数值模拟的方法应运而生。数值模拟方法通过求解质量、动量、能量、气体组分质量守恒方程和粒子运动方程,得到室内各个位置的风速、温度、相对湿度、污染物浓度、空气龄等参数,从而分析评价室内空气质量。由于数值模拟方法具有周期短、费用低等特点,并且能够预先进行,因此是室内空气质量评价的有效方法。

目前,常用数值模拟软件有 Fluent、Airpak、Phoenix、CFX、Flovent、Star-CD、Stream 等。一般商业化软件基本基于有限元法(Finite Element Method, FEM)、有限容积法(Finite Volume Method, FVM)、有限分析法(Finite Analysis Method, FAM)和有限差分法(Finite Difference Method, FDM)。用 CFD 数值方法对气流组织进行仿真,通常包含以下几个主要环节:建立数学物理模型、数值算法求解、结果可视化。依据流动的性质,首先选用合适的湍流模

型,再选择合适的离散方法及数值算法,并建立合理的初始条件、边界条件,然后编制程序进行调试并计算分析。一般对室内空气环境而言,可采用 Launder 及 Spalding 等提出的双方程湍流模型。

数值模拟评价法是一种数值模拟法,其对室内空气质量评价的总体思路就是利用计算流体动力学方法来研究室内的空气动力学特性。通过求解连续方程、动量方程、能量方程、气体组分质量守恒方程,得到室内各个位置的风速、温度、相对湿度、污染物浓度、空气龄等参数的整体参数分布。通过对室内空气流动的速度场、温度场、污染物浓度场等进行模拟分析,得出室内各个位置的风速、温度、相对湿度、污染物浓度等参数,并根据热源、边界条件等进一步求出室内各点的辐射温度,结合人的衣着、活动量求得室内各点的预计热舒适指标(Predicted Mean Vote, PMV)。数值计算室内空气质量评价流程如图 1-3 所示。

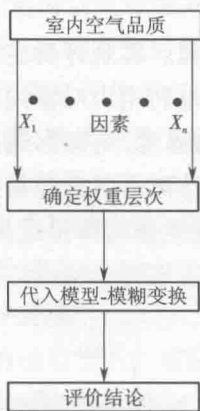


图 1-2 室内空气质量
模糊综合评价流程

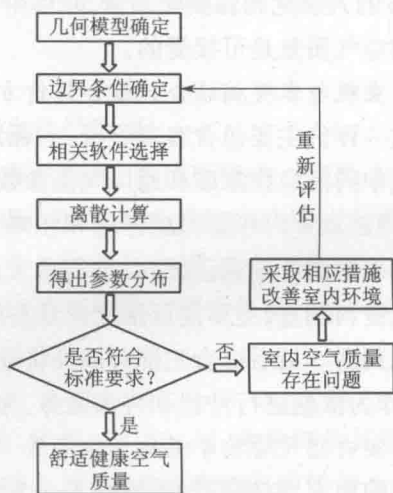


图 1-3 数值计算室内空气质量评价流程

室内空气质量的改善及其评价是一项系统工程,科学、系统地评价不同污染物相互作用对人体健康的影响,合理评估相关人员的暴露水平以及人体自身免疫力对室内环境的适应性等相关问题,需要广大科研人员继续探索。

参考文献

- [1] FANGER P O. Thermal comfort [M]. Copenhagen: Danish Technical Press, 1970.
- [2] ANSI/ASHRAE Standard 62.1—2010. Ventilation for acceptable indoor air quality[S]. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., 2010.
- [3] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. GB/T 18883—2002. 室内空气质量标准[S]. 北京: 中国标准出版社, 2003.
- [4] WANG S, ANG H M, TADE M O. Volatile organic compounds in indoor environment and photocatalytic oxidation: state of the art[J]. Environment International, 2007, 33(5): 694—705.

- [5] KAPSALAKI M, LEAL V, SANTAMOURIS M. A methodology for economic efficient design of Net Zero Energy Buildings[J]. Energy and Buildings, 2012, 55: 765 - 778.
- [6] LIU Z, LI A, HU Z, et al. Study on the potential relationships between indoor culturable fungi, particle load and children respiratory health in Xi'an, China[J]. Building and Environment, 2014, 80: 105 - 114.
- [7] SPENGLER J D, SEXTON K. Indoor air pollution: a public health perspective[J]. Science, 1983, 221 (4605): 9 - 17.
- [8] GARRETT M H, RAYMENT P R, HOOPER M A, et al. Indoor airborne fungal spores, house dampness and associations with environmental factors and respiratory health in children[J]. Clinical and Experimental Allergy, 1998, 28: 459 - 467.
- [9] 茹继平, 刘加平, 曲久辉, 等. 中国科学院2011—2020 学科发展战略研究专题报告集: 建筑、环境与土木工程[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2011.
- [10] U. S. Environmental Protection Agency, Sick Building Syndrome (SBS). Indoor Air Facts No. 4 (Revised). U. S. Environmental Protection Agency, Washington DC, 1991.
- [11] 吴伯谦, 於仲义, 袁旭东. 室内气流组织数值模拟及仿真软件[J]. 制冷空调与电力机械, 2006, 27 (4): 40 - 43.

2.2 空调通风系统

2.2.1 空调通风系统分类

空调通风系统是指为改善室内空气环境, 通过机械或自然方式, 将室外空气引入室内, 并对室内空气进行调节、净化、分配和排放的系统。根据系统形式和用途的不同, 空调通风系统可分为集中式、分散式和混合式三大类。

集中式空调通风系统是指由一个或多个集中式空调机组, 通过风管将处理后的空气分配到各个房间, 再将回风集中送回机组处理的系统。这种系统具有投资省、运行费用低、易于实现自动控制等优点, 广泛应用于大型公共建筑、工业厂房等场所。

分散式空调通风系统是指每个房间或区域都设有独立的空调机组, 空气在室内直接循环, 不与室外空气发生联系。这种系统具有安装方便、运行灵活、易于维护等优点, 广泛应用于小型商业建筑、住宅等场所。

混合式空调通风系统是指集中式与分散式相结合的空调系统。它通常由集中式空调机组处理新风, 再通过风管分配到各个房间, 而回风则由房间内的分散式空调机组直接送回集中式机组处理。这种系统兼具集中式和分散式的优点, 广泛应用于大型公共建筑、工业厂房等场所。

此外, 根据新风来源的不同, 空调通风系统还可分为全空气系统、半空气系统和全空气系统。全空气系统是指新风全部由室外引入, 经集中式空调机组处理后送入室内, 回风全部送回集中式机组处理的系统。半空气系统是指新风部分由室外引入, 部分由室内回风补充, 经集中式空调机组处理后送入室内, 回风全部送回集中式机组处理的系统。全空气系统是指新风全部由室外引入, 经集中式空调机组处理后送入室内, 回风全部送回集中式机组处理的系统。

第2章 室内空气污染源

正如第1章所言,室内空气污染多种多样,其中主要原因是室内环境污染来源较多。通过阐述室内空气污染的来源,对于控制室内空气质量 and 提高室内空气品质具有重要意义。部分室内空气污染源如图2-1所示。室外污染主要通过通风及渗透等途径进入室内环境,主要污染包括颗粒物、粉尘及工业气体等,而在室内往往通过散发的形式逐步进入室内空气环境。其中,室内污染源包括烹饪油烟、化学品、室内真菌、二手烟、虫螨、宠物等,而室外污染源主要包括空调系统和室外环境等。本章主要对室内空气污染源进行详述。

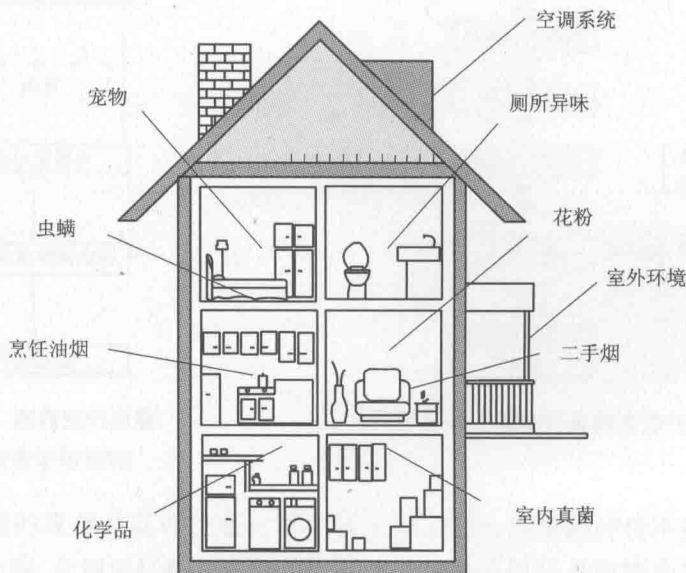


图2-1 部分室内空气污染源

2.1 建筑外环境

建筑外环境与室内空气环境密切相关,当建筑围护结构气密性较差的时候,建筑外环境对室内空气质量影响更大。自然通风及门窗渗漏是建筑外环境与室内空气相互联系的通道。自然通风具有节能和高舒适性等特点,在暖通空调领域备受推崇,但一旦室外空气质量较差,将直接影响室内空气质量。门窗渗漏是由于围护结构施工工艺等问题,导致室外空气不可避免地室内空气发生传热及传质交换。室内空气污染物的室外来源主要包括以下几个方面。

(1)室外空气污染:室内空气来自室外,当室外空气受到污染后,污染物通过门窗直接进入室内,影响室内空气质量,特别是居住在工厂周围、马路附近的居民受到的这种危害最大,主要污染物有颗粒物、二氧化硫、二氧化氮等,室外空气中颗粒物可以通过门窗缝隙进入室内。

(2)人为带入室内:人为将工作服等带入家中,使工作环境中的污染传入居室内,例如苯、铅、石棉等污染物。

(3)质量不合格的生活用水:生活用水往往用于室内沐浴、空调冷却、加湿空气等方面,以喷雾的形式进入室内,不合格的生活用水中可能存在的致病菌或化学污染物可随着水喷雾进入室内空气中,如军团菌、苯等。

室外污染物来源汇总见表 2-1。

表 2-1 室外污染物来源汇总表

	污染源	主要污染物	典型危害症状
室外 污 染 物	工业烟气	有机物,烟尘,SO ₂ ,NO _x ,HF	刺激眼睛、呼吸道,致癌
	汽车尾气	有机物,烟尘,NO _x ,HF,Pb,PAN,O ₃	刺激眼睛、呼吸道,致癌
	室外动植物	有机物,致病微生物	刺激呼吸道,致病,致癌
	房基地	氨,氡,放射性核素	刺激眼睛,致癌
	人为带入	致病微生物	传染疾病,致癌

2.2 空调通风系统

2.2.1 空调通风系统污染现状

2004 年 3 月,北京市对集中空调通风系统中的通风管道内积尘量进行了检测,共测定样品 88 件,其中包括空调机组、送风段及回风段内的风道表面的积尘量,检测结果范围为 2.6~499.3 g/m²。其中,污染较为严重的是饭店、酒店内的管道,平均积尘量为 75.0 g/m²,其次是办公写字楼和商场,均值分别为 67.39 g/m²和 60.4 g/m²。在所调查的空调通风系统中,管道内积尘量最高达 499.3 g/m²,超过国家标准 498 倍。所有被检测的系统均为中度或严重污染。2004 年 4 月,河南省对 8 个省辖市的 35 家三星级以上宾馆、大型商场和超市的集中空调通风系统进行了卫生调查,并对积尘量与积尘中细菌和真菌浓度等进行了检测,检测分析结果见表 2-2。其中,集中空调风管内表面积尘量最高达 147 g/m²,集中空调风管内积尘中细菌总数最高达 364×10⁴ cfu/g,真菌总数最高达 69×10⁴ cfu/g。

表 2-2 河南省对 35 家集中空调通风系统的检测结果

采样点	抽检数/ 个	积尘量/ (g/m ²)	细菌总数/ (×10 ⁴ cfu/g)	真菌总数/ (×10 ⁴ cfu/g)	污染程度	
					中度	严重
大型商场、超市	7	1~30	0.9~18	0.2~7.2	2	5
三星级以上宾馆	28	5~147	0.04~364	0.06~69	19	9

2005—2006 年,天津疾病预防控制中心对天津市 39 家公共场所的集中空调通风系统进行了调查,送风管道中细菌和真菌浓度超标率分别为 40.0% 和 20.0%,积尘重度污染率为 20.5%,积尘伴生细菌和真菌总数超标率分别为 41.0% 和 71.8%,中度污染以上程度达到 64.1%,具体数据见表 2-3。

表 2-3 天津市 39 家集中空调通风系统的检测结果

采样点	样本数/ 个	积尘量/ (g/m ²)		细菌总数/ (×10 ⁴ cfu/g)		真菌总数/ (×10 ⁴ cfu/g)		污染程度		
		范围	均值	范围	均值	范围	均值	轻度	中等	严重
三星级 以下宾馆	8	1.3~43.3	13.29	0.38~10.5	2.99	0.07~16.2	2.85	0	1	7
三星级 以上宾馆	12	1.0~33.3	7.88	0.14~10.9	8.33	0.01~87.0	8.3	1	1	10
商场	19	1.0~59.6	14.83	0.05~14.7	1.93	0~87.0	1.03	0	5	14

2004 年,沈阳市对 12 家宾馆和 10 家商场超市的集中空调通风系统的管道、回风口及送风口的 179 个积尘样本进行了检查,具体数据见表 2-4。其中,严重污染的样本 49 个,占总数的 27.37%;中等污染的 128 个,占 71.51%;中等污染以下的 2 个,占 1.12%。其中,宾馆空调通风系统积尘污染率高于商场超市,中等污染率低于商场超市,而积尘中的细菌、真菌浓度均低于商场超市,均未检出溶血性链球菌。

表 2-4 沈阳市 22 家集中空调通风系统的检测结果

采样点	样本数/ 个	积尘量/ (g/m ²)		细菌总数/ (×10 ⁴ cfu/g)		真菌总数/ (×10 ⁴ cfu/g)		污染程度		
		范围	均值	范围	均值	范围	均值	轻度	中等	严重
宾馆	105	0.60~136.21	23.21	1.6~140	18	0~78	5.3	2	62	41
商场超市	74	1.10~52.42	8.56	3.6~850	120	1.5~64	2.1	0	66	8

2004 年,杭州卫生监督局对杭州市的 10 家三星以上的宾馆、商场、超市的集中空调通风系统进行卫生调查,具体数据见表 2-5。其中,10% 的空调通风管道系统卫生学评价为严重污染,90% 为中度污染。

表 2-5 杭州市 10 家集中空调通风系统的检测结果

采样点	采样数量/ 个	积尘量/ (g/m ²)		细菌总数/ (×10 ⁴ cfu/g)		真菌总数/ (×10 ⁴ cfu/g)		污染程度
		范围	均值	范围	均值	范围	均值	
宾馆 1	6	4.06~45.94	22.32	1.0~5.9	2.7	0.6~2.6	1.2	严重
宾馆 2	6	3.74~12.97	8.00	0.1~3.2	1.1	0.5~1.4	0.6	中等
宾馆 3	6	2.45~15.80	9.71	0.2~4.0	2.1	0.4~12.0	4.0	中等
宾馆 4	6	2.58~14.76	10.51	1.9~15.0	7.1	0.7~5.1	2.5	中等
宾馆 5	3	9.52~21.70	17.01	8.3~6.4	2.8	0.8~1.4	1.2	中等
超市 6	6	3.54~9.66	5.92	0.1~5.7	2.0	0.1~10.0	1.9	中等
超市 7	6	4.91~11.17	7.79	9.5~32.0	20.0	3.3~7.9	5.4	中等
超市 8	6	1.91~35.69	17.04	0.01~48.0	14.0	0.6~17.0	5.9	中等
超市 9	3	0.77~7.25	3.53	3.4~200.0	80.0	11.0~56.0	29	中等
商场 10	3	5.48~9.12	6.94	5.0~23.0	1.3	0.2~8.0	4.1	中等

2004 年 3 月和 9 月,湖南疾病控制中心对湖南省 6 个直辖市 62 家宾馆、商场和超市、酒店及事业单位的集中空调通风系统进行调查,具体数据见表 2-6。其中,严重污染的 3 家,中等污染的 56 家,合格的 3 家,合格率仅为 4.84%。

表 2-6 湖南省 62 家集中空调通风系统的检测结果

场所	户数	积尘量/ (g/m ²)		细菌总数/ (×10 ⁴ cfu/g)		真菌总数/ (×10 ⁴ cfu/g)		污染程度		
		均值	标准差	均值	标准差	均值	标准差	严重	中等	合格
商场、超市	25	5.98	4.7	2.43	3.88	6.55	23.70	0	23	2
宾馆、酒店	30	7.88	7.08	233	1 120	11.10	47.50	3	26	1
事业单位	7	8.44	4.71	0.31	6.34	0.62	7.06	0	7	0
合计	62	7.18	5.99	114	781.0	8.73	36.10	3	56	3

2004—2005 年,广西对 30 家公共场所的集中空调通风系统进行了管道积尘和微生物指标检测,具体数据见表 2-7。其中,全部为重度污染,送风口空气的细菌总数和真菌总数的合格率分别为 15.6% 和 30%。