

PUTONG GAODENG XUEXIAO
JIANZHU HUANJING YU SHEBEI GONGCHENG
XILIE JIAOCAI



普通高等学校
建筑环境与设备工程系列教材

室内污染控制与 洁净技术

SHINEI WURAN KONGZHI YU JIEJING JISHU

●主 编 徐玉党
●主 审 沈晋明



重庆大学出版社

<http://www.cqup.com.cn>

PUTONG GAODENG XUEXIAO
JIANZHU HUANJING YU SHEBEI GONGCHENG
XILIE JIAOCAI



普通高等学校
建筑环境与设备工程系列教材

室内污染控制与 洁净技术

SHINEI WURAN KONGZHI YU JIEJING JISHU

●主 编 徐玉党
●副主 编 刘玉峰
●参 编 刘艳华 丛晓春 刘秋新 雷 飞
●主 审 沈晋明



重庆大学出版社

内 容 提 要

本书是高校新组建的“建筑环境与设备工程专业”的一门专业技术课程教材。本书系统地阐述了工业和民用建筑环境中空气污染控制的基本理论和方法以及室内空气洁净技术,充分吸收了近年来国内外相关领域中最新的研究成果。全书共分为7章,主要内容包括室内环境污染概述、室内空气污染源控制技术、室内空气污染控制的通风空调技术、空气中微粒控制机理与方法、空气中气态污染物控制机理与方法、洁净室及其控制技术和室内空气污染物测量等。

本书可作为全国高校建筑环境与设备工程专业的教学用书;同时,对于相关领域的广大工程技术人员,也是一本十分有益的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

室内污染控制与洁净技术/徐玉党主编. —重庆:重庆大学出版社,2006.9

(普通高等学校建筑环境与设备工程系列教材)

ISBN 7-5624-3805-6

I. 室... II. 徐... III. 室内空气—空气污染控制
—高等学校—教材 IV. TU834

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 107335 号

普通高等学校建筑环境与设备工程系列教材 室内污染控制与洁净技术

主编 徐玉党

主审 沈晋明

责任编辑:陈红梅 段 凯 版式设计:李长惠 陈红梅

责任校对:李定群 责任印制:秦 梅

*

重庆大学出版社出版发行

出版人:张鸽盛

社址:重庆市沙坪坝正街174号重庆大学(A区)内

邮编:400030

电话:(023) 65102378 65105781

传真:(023) 65103686 65105565

网址: <http://www.cqup.com.cn>

邮箱: fxk@cqup.com.cn (市场营销部)

全国新华书店经销

四川省内江兼升印务有限公司印刷

*

开本:787×1092 1/16 印张:16.5 字数:412千

2006年9月第1版 2006年9月第1次印刷

印数:1—3 000

ISBN 7-5624-3805-6 定价:23.00元

本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换

版权所有,请勿擅自翻印和用本书

制作各类出版物及配套用书,违者必究

特别鸣谢单位

(排名不分先后)

天津大学	重庆大学
广州大学	江苏大学
湖南大学	南华大学
东南大学	扬州大学
苏州大学	同济大学
西华大学	江苏科技大学
上海理工大学	中国矿业大学
南京工业大学	南京工程学院
华中科技大学	南京林业大学
武汉科技大学	武汉理工大学
山东科技大学	天津工业大学
河北工业大学	安徽工业大学
合肥工业大学	广东工业大学
重庆交通大学	福建工程学院
重庆科技学院	江苏制冷学会
西安交通大学	解放军后勤工程学院
西安建筑科技大学	伊犁师范学院
安徽建筑工业学院	江苏省建委定额管理站

前言

为适应专业调整与教学改革的需要,我们将专业目录中“空气污染控制”和“空气洁净技术”两门课程的内容有机地融为一体,并根据新的教学计划与教学大纲,结合长期教学、科研及工程实践经验,在充分吸收国内外近年来本学科领域中最新科技成果的基础上,编写了“室内污染控制与洁净技术”一书。

本书作为高等学校新组建的建筑环境与设备工程专业的主要课程教材,主要围绕建筑室内环境污染问题,全面、系统地讲述了室内空气污染控制的基本理论和方法,以及空气洁净技术。全书共分7章:第1章主要对室内空气质量和工业环境中污染若干问题进行理论分析、评价,提出室内环境污染的综合控制策略;第2章主要针对室内存在的污染源问题,如何从源头上消除或减少污染,并对室内主要污染源的控制方法进行论述;第3章阐述了通风空调技术在室内空气污染控制中的应用,并对特殊建筑(空间)环境中的空气污染控制问题亦做了介绍;第4章主要针对空气中微粒污染控制机理及方法进行了系统介绍;第5章对空气中气态污染物的控制机理与方法做了论述,其中除介绍几种较常规气态污染控制方法外,还重点介绍了近年来光催化净化和非平衡等离子体技术在空气净化方面的科研成果;第6章主要围绕洁净室及其控制技术进行了系统介绍;第7章针对室内主要污染物的测量方法、测量手段和所用设备仪器等做了系统论述。

鉴于本书内容具有信息量广泛、编排合理、新颖等特点,不仅可以作为高等院校建筑环境与设备工程专业本科教学用书,对相关领域的广大工程技术人员、科研人员也是一本十分有益的参考书。另外,本书配有电子教案,可方便读者自学(读者可登陆www.cqup.com.cn,进入“教学资源网”下载)。

本书由华中科技大学徐玉党担任主编,并承担了第4章、第6章的编写工作及统稿工作;5.2,5.3节由华中科技大学雷飞编写;第1章,2.1节由山东科技大学刘玉峰编写;2.2,2.3,5.1,5.4,5.5节由山东科技大学丛晓春编写;第7章由西安交通大学刘艳华编写;第3章由武汉科技大学刘秋新编写。本书承同济大学沈晋明教授主审。

本书编写过程中参阅了大量文献资料,在此谨向被引用了各参考文献的作者表示真诚的敬意和衷心的感谢。在统稿过程中,华中科技大学於仲义、冯顺新、吴伯谦等研究生做了大量工作,在此一并表示谢意。

室内污染控制与洁净技术涉及知识面广泛,由于编著者水平有限,编写时间仓促,书中难免疏漏与不足,恳请广大读者批评指正。

编者

2006年6月

教师信息反馈表

为了更好地为教师服务,提高教学质量,我社将为您的教学提供电子和网络支持。请您填好以下表格并经系主任签字盖章后寄回,我社将免费向您提供相关的电子教案、网络交流平台或网络化课程资源。

请按此裁下寄回我社或在网上下载此表格填好后 E-mail 发回

书名:		版次	
书号:			
所需要的教学资料:			
您的姓名:			
您所在的校(院)、系:	校(院)		系
您所讲授的课程名称:			
学生人数:	_____人	_____年级	学时:
您的联系地址:			
邮政编码:		联系电话	(家)
			(手机)
E-mail: (必填)			
您对本书的建议:		系主任签字	
		盖章	

请寄:重庆市沙坪坝正街 174 号重庆大学(A 区)

重庆大学出版社市场部

邮编:400030

电话:023-65111124

传真:023-65103686

网址:<http://www.cqup.com.cn>

E-mail:fxk@cqup.com.cn

目 录

1 室内环境污染概述	1
1.1 室内环境污染问题	1
1.2 室内主要污染物及其来源	7
1.3 室内环境污染的危害	13
1.4 室内环境污染的综合控制策略	17
2 室内空气污染源控制技术	19
2.1 避免或减少室内污染源	19
2.2 绿色技术及其应用	20
2.3 室内主要污染源的處理	24
3 室内空气污染控制的通风空调技术	34
3.1 自然通风控制技术	34
3.2 机械通风控制技术	41
3.3 通风控制室内污染物的效果分析	54
3.4 换气效率与通风效率对室内空气质量的影响	56
3.5 特殊建筑(空间)环境中空气污染控制技术	58
4 空气中微粒控制机理与方法	71
4.1 微粒控制技术基础	71
4.2 微粒控制技术	79
4.3 空气过滤器及其应用	84
4.4 静电过滤技术	98
5 空气中气态污染控制机理与方法	101
5.1 吸附净化	101
5.2 光催化(光触媒)净化	112
5.3 非平衡等离子体净化	123
5.4 负离子净化	133
5.5 臭氧净化	135

6 洁净室及其控制技术	139
6.1 洁净室的定义、分类及其应用	139
6.2 空气洁净度等级标准与控制对象	144
6.3 洁净室技术原理	152
6.4 生物洁净室技术	163
6.5 洁净室设计计算	171
6.6 洁净技术设备与应用	195
6.7 洁净室的运行管理	202
7 室内空气污染物测量	209
7.1 室内空气污染物采样及色谱分析	209
7.2 空气中气态物质测定方法	218
7.3 室内空气中可吸入颗粒物的测定	234
7.4 室内空气微生物污染测定	240
附 录	242
附录1 室内空气质量标准	242
附录2 室内装饰装修材料有害物质限量	243
附录3 公共场所室内环境卫生标准	246
附录4 室内主要空气污染物检验方法及相关参数	250
附录5 与洁净技术相关的标准和规范	251
参考文献	252

1 室内环境污染概述

室内环境污染问题最初的控制对象主要是指工业建筑,目的是解决厂房内热污染、工业性粉尘及有害气体的污染等问题,确保室内工作人员的身体健康且不受直接伤害,使生产顺利进行。随着社会经济的快速发展,特别是以微电子、生物工程、精密机加工为代表的科学实验和高科技生产过程,对产品加工的精密化、微型化、高纯度、高质量和高可靠性提出了更高的要求。室内生产环境不仅关系到从业人员生产活动中的健康和舒适性,而且关系到生产效率、产品质量,乃至生产过程能否进行的重要问题。

在强调工业环境问题日趋重要的同时,非工业建筑室内污染问题也逐步成为人们关注的焦点:一方面,随着社会的进步,人们自我保护意识大大增强;另一方面,国内外研究表明,目前室内环境污染日益严重,是继“煤烟型”、“光化学烟雾型”污染后现代人进入的第三污染时期的标志。

室内环境已成为与人关系最为密切的外环境,将对人类的健康和舒适、社会化生产等行为过程产生重要的影响。30多年来,有关室内空气污染问题的研究发展很快,围绕着这一主题颁布的标准、法规、政策,以及对人体健康影响和危险度的评价、建筑物通风设计、空气净化等问题正成为当今研究的热点。因此,创造优良的室内环境已是人类文明的共同愿望。

1.1 室内环境污染问题

1.1.1 室内环境污染

根据建筑物使用性质的不同,通常将建筑物分为工业建筑和非工业建筑(习惯上称“民用建筑”)。目前,我国通常将工业建筑分为软件园、工业园、科技园等各类园区,构成了新型工业建筑的重要组成部分;将民用建筑分为办公类建筑、居民住宅、职工公寓或宿舍、公共建筑(如医院、学校、餐厅、影剧院、托儿所、养老院等)等,构成民用建筑的主体。

所谓室内环境污染,广义上是指室内环境系统中一切不利于室内人员行为过程的因素,包括物质因素、能量因素、社会因素等;狭义上是指由于室内各种物理的、化学的、生物有害物质和放射性因素的存在及其扩散而对人类身心健康和生产过程造成危害的现象。

物理性污染主要指空气中的粉尘、烟雾、油烟、悬浮微粒等污染物对室内空气所造成的污染,该类型污染一般不会对人体造成严重的危害。由于室内空气中 CO 、 CO_2 、 NO_x 、 SO_2 等有害气体及细菌、霉菌均可吸附在悬浮微粒和粉尘上,当这些微粒和粉尘达到一定浓度时,就会引

发比较严重的人体健康问题。

放射性污染通常是指室内空气中来自地下水、土壤和岩石中的氡污染,以及微波等能量因素所造成的污染。

室内化学污染是指由于室内有害气体或蒸气的存在而形成的污染。在民用建筑物中,化学污染对室内人员的健康和舒适性产生重要影响,因而受到人们的普遍关注,已成为室内的主要污染问题。

生物污染是指室内微生物及其代谢物所形成的污染。以“军团菌”、“非典”病毒为代表的室内微生物污染问题越来越受到国内外的重视。据有关调查资料表明,约有 21% 的室内空气质量问题是由生物污染引起的。

不同类型的建筑物,其室内的空气污染状况一般是不同的,即使同一类建筑物,室内环境条件和污染状况也有很大的差别。但它们又有其共性:首先,室内环境污染是同时存在的室内污染过程和污染控制过程对立统一的结果,一定的污染过程和控制过程,必然形成一定的室内环境;其次,室内环境污染是动态过程,必然伴随着污染过程和控制过程的变化而变化。

本章就民用建筑和工业建筑的室内环境污染问题分述如下。

1.1.2 民用建筑中室内空气质量问题

民用建筑室内污染问题日趋严重,且有继续恶化的趋势,不仅严重地威胁着人们的身心健康,而且给社会经济带来巨大的损失。1987 年世界卫生组织(WHO)发表调查报告指出:在新建和改建住宅的居民中,约有 30% 的人患有由室内空气污染所造成的“建筑病综合症”;据美国环保局(EPA)调查显示,室内空气污染的程 度常是室外空气的 2~3 倍,在某些情况下甚至高达 100 倍。EPA 已将其与大气污染、工作间有毒化学品污染和水污染并列 为对公众健康危害最大的 4 种环境因素;来自世界银行的研究资料表明:目前,我国每年由于室内空气污染造成的经济损失,如果按照支付意愿价值估算,约合 106 亿美元。

图 1.1 为欧洲部分国家室内空气品质调查结果^[3]。表 1.1 为上海某 4 幢办公大楼室内环境调查结果。

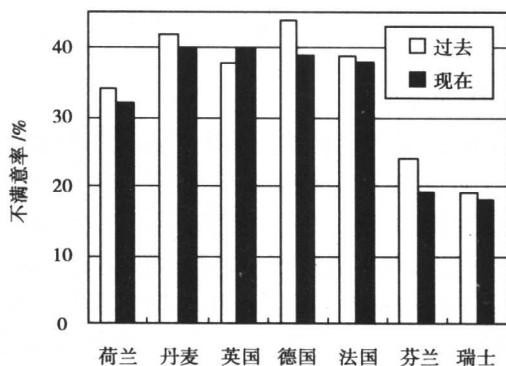


图 1.1 欧洲部分国家室内空气品质不满意率调查结果

表 1.1 上海某 4 幢办公大楼室内人员室内环境不满意率

单位: %

大楼代号	室内听觉环境	室内空气品质环境	人体活动环境	室内热环境	室内视觉环境
A	20.6	62.1	31.0	44.8	13.8
B	4.7	51.2	20.9	23.3	11.7
C	18.3	26.5	20.4	18.4	30.6
D	9.8	40.9	28.2	32.4	22.5
平 均	13.4	45.2	25.1	29.7	19.7

如何认识室内空气质量 (Quality: 习惯上称为品质) 问题是研究室内空气污染的首要问题。起初, 研究者们将空气质量等同于一系列的污染物。在这种思路下, 对室内空气品质进行研究、控制多年, 并没有取得满意的结果。Finnegan 和 Pickering 回顾了与建筑相关的不适症状, 提出“空调实际上不能形成预先期望的舒适和满意的室内空气环境”的观点。P. O. 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, 反之则为低品质; ASHRAE (美国采暖、制冷与空调工程师学会) 标准 62—1989R 中, 提出了“可接受的室内空气品质 (Acceptable Indoor Air Quality)”和“感受到的可接受的室内空气品质 (Acceptable Perceived Indoor Air Quality)”的概念。前者的定义为: 空调房间中绝大多数 (>80%) 人 (适应人) 没有对室内空气表示不满, 并且空气中没有已知的污染物浓度达到可能对人体健康产生严重危害的浓度。后者的定义为: 空调房间中绝大多数 (>80%) 人 (适应人) 没有因为气味或刺激而表示不满; 英国 CIBSE (Chartered Institute of Building Services Engineers) 认为: 如果室内少于 50% 的人能觉察到任何气味, 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, 则可以认为室内空气品质是可接受的。这些定义方法的共同特点是都将室内空气品质完全变成了人的主观感受, 用“主观愿望的满意程度”定义空气品质。

民用建筑室内空气质量问题与工业建筑室内污染相比, 其主要特征表现在: 低浓度污染物污染问题。尽管一再强调民用建筑室内污染水平有不断提高的趋势, 但相对于工业污染, 其污染水平仍然是较低的, 甚至无法用现有的技术手段检测出来; 民用建筑室内污染是众多低浓度污染物综合作用结果。目前, 能够被检测出的室内污染物多达数百余种。如此众多的低浓度污染物作用于人体所产生的反应并不清楚, 室内不适症状与某种污染物的相关性不强, 其作用时间长。由于人的行为过程绝大多数是在室内完成的, 长时间低浓度污染水平有可能对人的身心健康会产生影响, 其作用机理尚不清楚。低浓度污染水平不可能出现急性反应, 往往很缓慢, 有关其作用机理的研究, 特别是对众多污染物的综合反映尚为空白, 影响人群广, 危害面大。工业污染问题只是相对于生产者而言, 而民用建筑室内污染问题涉及老、小、弱、病、残等各类人群。

室内空气质量评价是认识室内空气品质的重要手段。通过对其评价, 可以了解、预测室内空气品质状况, 确定诱发室内空气品质问题的主要原因, 并为室内空气品质标准、控制方法研究提供依据。主、客观评价相结合的评价方法是公认的能够准确反映民用建筑室内污染状况的评价方法。其中, 客观评价方法是传统的评价方法, 直接采用污染物浓度、质量指数等指标

来评价室内空气污染状况,它具有明确的物理意义,易于理解并定量化,便于通风量的计算,但评价结果往往与人的主观愿望不符;主观评价方法直接以人的主观感觉来评价室内空气品质,因而最直接、可靠。应用主观评价方法时,存在2方面的问题:一是需要的样本量大,否则就无法排除社会、心理、工作、个人等因素的干扰,导致评价结果的可信度降低;另一方面,主观评价的量化问题。

民用建筑室内空气污染控制方面的问题。研究室内污染问题的最终目的是采取经济有效的手段控制室内空气污染,以满足人们健康舒适性的需要。有关控制手段的研究除了认识方面的问题外,在控制策略方面也存在一些问题。室内空气污染问题是涉及多学科、跨专业的问题,而不仅仅是暖通专业所面临的问题。过去人们总是将室内空气污染与暖通联系在一起,实际上,如果不从室内污染的形成过程入手,实施过程控制仅从暖通方面考虑,勉为其难,因此“增加新风量,提高净化效率是改善室内空气品质”的认识只是片面追求了“量”的增加,而忽略了“质”的问题。

送风“质”的问题体现在2个方面:一是送风的有效利用问题,可以用房间的通风效率(排污效率)来表示;另一方面是送风的新鲜程度问题,可以用空气质点的空气龄(简称空气龄,是指空气质点自进入房间起至到达房间某点的时间)描述。研究证实,提高房间通风效率,缩短送风空气龄,特别是新风空气龄,对提高室内空气品质起到事半功倍的效果。

1.1.3 工业环境中污染控制若干问题

工业环境中污染物控制同民用建筑相比,历史悠久,并取得了显著成效,为保障社会化生产,特别是高科技产品的生产,促进社会经济的迅速发展起到了至关重要的作用。近年来,随着现代化科学技术和现代工业的飞速发展,对实验、研究和生产环境的要求越来越高,尤其是在高新技术产品的生产和加工的过程中,如何来满足加工的精密化、产品的微型化,高纯度(高质量)、高可靠性的需要等问题,对生产环境中的空气洁净度提出了更高的要求。另一方面,随着现代生物医学的发展,提出了工业环境空气中细菌数目、微生物污染的控制问题,以保证医药、制剂、医疗、食品等行业不受微生物污染或感染。工业洁净技术和生物洁净技术必将随着科学技术的发展和工业产品的日新月异而健康、快速地发展,成为现代工业生产和科学实验活动不可缺少的重要技术标志之一。

目前,洁净技术已广泛应用于各行各业的产品生产或其他要求防止粒子污染、微生物污染的环境控制。由于各行业间差距较大,且要求不同,因此控制环境的内容、指标均不相同。本节仅就典型的工业室内环境的控制要求分述如下。

1) 半导体、集成电路生产的工业环境的控制要求

半导体材料提纯是发展半导体器件的重要基础。由于大规模和超大规模集成电路的工艺要求,为得到高纯度的硅材料,原料和中间媒介的高纯度和生产环境的洁净度成为影响产品质量的一个突出问题。

表1.2是超大规模集成电路的发展和相应的控制粒子的粒径。集成电路芯片的成品率与芯片的缺陷密度有关,而芯片的缺陷密度与空气中粒子个数有关。图1.2为不同集成度的最小尺寸影响成品率的灰尘粒径范围。

表 1.2 超大规模集成电路的发展和相应的控制粒子的粒径

年 份 项 目	1997	1999	2001	2003	2006	2009	2012
集成度(DRAM)	256 MB	1 GB	1 GB	4 GB	16 GB	64 GB	256 GB
线宽/ μm	0.25	0.18	0.15	0.13	0.10	0.07	0.05
控制粒子直径/ μm	0.125	0.09	0.075	0.065	0.05	0.035	0.025

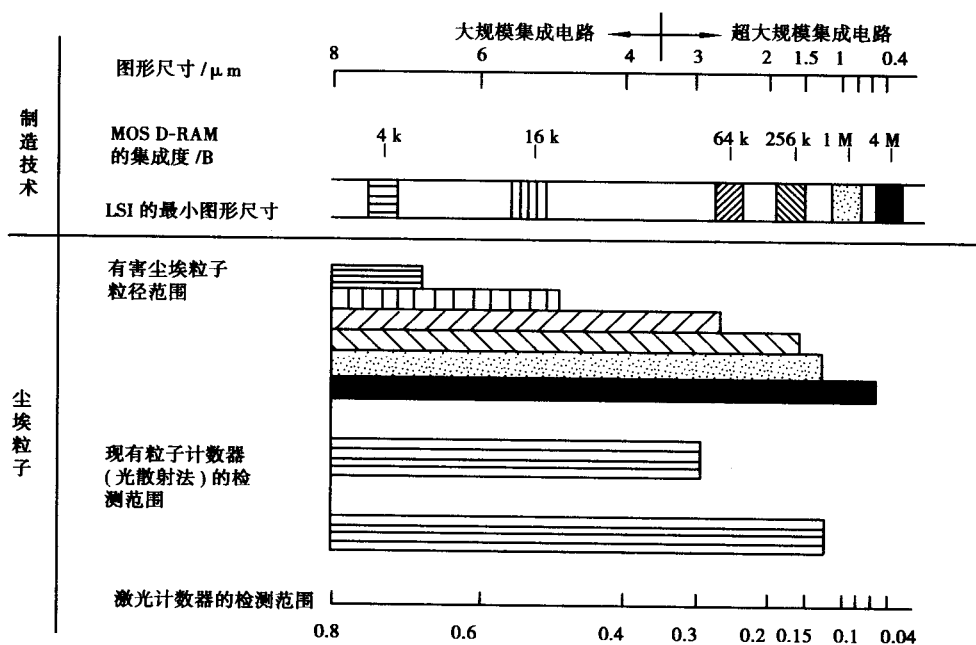


图 1.2 不同集成度的最小尺寸影响成品率的灰尘粒径范围

因此,集成电路的高速发展,不仅对空气中控制粒子的尺寸有极高的要求,而且 also 需进一步控制粒子数;同时,对于超大规模集成电路生产环境的化学污染控制也有相关的要求。集成电路对化学污染的控制指标,见表 1.3。

表 1.3 集成电路对化学污染的控制指标

年 份 项 目	1995	1997—1998	1999—2001	2003—2004	2006—2007	2009—2010
DRAM 集成度	64 MB	256 MB	1 GB	4 GB	16 GB	64 GB
线宽/ μm	0.35	0.25	0.18 ~ 0.15	0.13	0.10	0.07
硅片直径/mm	200	200	300	300	400 ~ 450	400 ~ 450

续表

年 份 项 目	1995	1997—1998	1999—2001	2003—2004	2006—2007	2009—2010
受控粒子尺寸/ μm	0.12	0.08	0.06	0.04	0.03	0.02
粒子数(栅清洗) /(个 $\cdot\text{m}^{-2}$)	1 400	950	500	250	200	150
重金属(Fe) /(原子 $\cdot\text{cm}^{-2}$)	5×10^{10}	2.5×10^{10}	1×10^{10}	5×10^9	2.5×10^9	$< 2.5 \times 10^9$
有机物(C) /(原子 $\cdot\text{cm}^{-2}$)	1×10^{14}	5×10^{13}	3×10^{13}	1×10^{13}	5×10^{12}	3×10^{12}

2) 精密机械和精细化工产品生产环境的控制要求

随着科学技术的发展,许多工业产品的生产加工对生产环境中的含尘浓度提出极高的要求,这就需要其生产环境中具有一定的空气洁净度等级和控制生产过程所需各类相关物质的供应质量。例如,在胶片生产中,胶片若受到了尘埃的污染,将会发生乳剂氧化,活性减弱,pH值变化等,从而影响胶片的感光性能。

同时,某些有害气体在一定条件下也给胶片造成严重危害。例如,硫化氢气体,即使它的浓度很低(甚至嗅觉感觉不出),当它与潮湿的乳胶剂接触时,几秒钟内便可以对乳胶剂产生黄色灰雾,使乳胶剂报废。另外,挥发性酸蒸气能使潮湿的乳胶剂 pH 值发生变化,从而使胶片在保存期间改变感光度;含有松节油的染料、油漆、地板蜡及含树脂丰富的木材,也会放出过氧化氢危害胶片。

3) 医疗应用及医学研究中的环境控制要求

以集成电路为代表的工业环境控制中多采用工业洁净技术和工业洁净室;而在医学中,多采用生物洁净室进行微生物污染控制。在生物洁净室里,这些微生物多由细菌和真菌组成,粒径尺寸在 $0.2 \mu\text{m}$ 以上,常见的细菌粒径都在 $0.5 \mu\text{m}$ 以上,并且多数依附在其他物质微粒上。生物污染渠道不仅是通过空气,还与人体、与操作人员的服装有关。国家卫生部颁布的《医院洁净手术部建设标准》于 2000 年 10 月起施行。

在医学研究领域,生物实验室、无菌实验室及供生物化学、医学实验用的“特殊饲养动物”饲养室也都十分需要控制微生物污染。《实验动物环境与设施》(GB/T 14925—94)规定了实验动物环境及设施的技术要求、建筑设施、设施分类学的要求及检测方法,适用于实验动物的饲养、实验、生产的环境设施等。

4) 医药产品工业环境的控制要求

药品是用于预防、治疗疾病和恢复、调整机体功能的特殊商品,它的质量直接关系到人的健康和安危。如果一些药品在制造过程中受到微生物、尘粒等污染或交叉污染,可能会产生预料不到的疾病和危害。所以,WHO 早在 1969 年就制订了《医药品制造和品质管理经验》(GMP),并做出决议向世界各国推荐。

世界卫生组织 1992 年对 GMP 中的“灭菌药品生产操作区的环境空气洁净度”提出了 4 级控制要求,见表 1.4。

表 1.4 GMP 灭菌产品生产的空气洁净度分类表

空气洁净度等级	尘粒的最大允许数/ m^3		微生物的最大允许数/ m^3
	0.5 ~ 5 μm	>5 μm	
A(单向流净化工作台)	3 500	无	<1
B	3 500	无	5
C	350 000	2 000	100
D	3 500 000	20 000	500

无菌制剂的生产操作分为 3 大类:第一类是将药品密封在最后容器中进行最后灭菌;第二类是滤过灭菌;第三类是既无法用滤过灭菌也无法最终灭菌,必须用无菌方法对起始原料生产制作。对于灭菌药品,其溶液配制可在 C 级环境中进行,在采用封闭容器配制时,溶液配制可在具有 B 级或 C 级背景的 A 级环境中进行,也可在 D 级环境中进行。非肠道药物的灌装应在 C 级环境中单向流净化工作台(A 级)下进行。其他灭菌药物,如软膏、霜剂、悬浮剂、乳剂的制备和灌装,在最后灭菌前,应在 C 级环境中进行。

除菌过滤的药品,起始原料和溶液配制应在 C 级环境中进行,如果过滤之前使用密闭容器,则可在 D 级环境中进行。经除菌过滤后,产品应在灭菌条件下操作及灭菌灌装,分别在具有 B 级或 C 级背景的 A 级环境中进行。

5) 化妆品、食品生产环境的控制要求

现代化妆品中大多含有蛋白质、维生素、氨基酸、植物萃取液等,这些组分为细菌、霉菌等微生物的滋生、繁殖提供了有利条件。因此,微生物的污染是影响化妆品质量的重要因素。化妆品生产过程中使用的洁净室的控制对象主要是尘粒、微生物,与药品生产用的洁净室要求类似。目前,化妆品生产用洁净室的空气洁净度等级可参照药品的 GMP 规范进行。

在食品工厂的生产过程中,设施的严格管理是确保食品的安全卫生,防止发生由于病原大肠菌、沙门氏菌造成的食物中毒或饮料中混入霉菌等的重要手段。20 世纪 90 年代至今,WHO 及一些发达国家引入 HACCP(危害分析重要控制点)系统,制定了利用卫生管理生产过程的食品生产承认制度。

1.2 室内主要污染物及其来源

1.2.1 室内污染物及其分类

室内污染物一般是指室内空气环境中对人体健康和舒适性产生不良影响的物质或能量因素。有关室内污染物的调查研究表明,室内有毒、有害物质达到数千种,常见的也有几十种。

如此众多的污染物有多种分类方法:

①按照污染物的存在属性分:物质型污染物(如粒子性污染物、气体污染物、生物污染物等)和能量型污染物(如工业余热、紫外线、微波辐射、空气离子、噪声等)。

②按照污染物的理化特性分:物理性污染物、化学性污染物、生物性污染物及放射性污染物,见表1.5。

③按照污染物的存在形态分:粒子型污染物和气态污染物。

④按照污染物的化学属性分:无机污染物和有机污染物。

表 1.5 室内空气污染物分类

污染物属性	代表物
物理性污染物	无机粒子:金属粒子,矿物粒子,玻璃纤维,石棉纤维等
	有机粒子:植物纤维,动物毛、发、角质、皮屑,化学染料,塑料等合成纤维
化学性污染物	无机气体:CO,CO ₂ ,SO ₂ ,NO ₂ ,H ₂ S,NH ₃ ,O ₃ 等
	有机气体:甲醛(HCHO),脂肪烃、芳香烃、卤代烃、酮、酯、醚等挥发性有机物(VOCs)
生物性污染物	细菌,霉菌,真菌,病毒,螨虫,单细胞藻类,原生动物等
放射性污染物	氡及子体

1.2.2 室内主要污染物来源

室内空气污染物主要来源有:室外大气、室内人员代谢物、室内人员行为过程、室内工作设施、室内燃烧和加热器具产物、室内各种化工产品(如建筑装饰材料、黏合剂等)和日用品(如化妆品、空气消毒剂、杀虫剂等)、室内微生物及其代谢产物等。

室外大气中的主要污染物有:SO₂,NO_x,H₂S,CO,氯气,烟雾,氨,花粉等。这些污染物主要来源于工业企业、交通运输、花木树丛,以及住宅周围的各种小锅炉、垃圾堆、臭水坑等。

室内人员在新陈代谢过程中产生大量的废物,并通过呼吸、汗液、活动等行为排入室内。

室内加热或燃烧设备所生成的污染物是指各种燃料、烟草、烹调油加热等过程中产生的有害物质,不同的燃烧物质其燃烧产物会有很大的差别。

室内建筑装饰材料、家具等高分子材料、复合材料所释放的有机物已成为当今室内的重要污染源,对室内人员的健康舒适性产生重要的影响。

室内工作设施及生产过程是重要的室内污染源,其释放的污染物视具体情况而定,如余热、工业粉尘、有害气体或蒸气等。

1)民用建筑室内主要污染物来源

(1)甲醛 它是一种无色、具有强烈气味的气体,也是一种易挥发的有机化合物,密度为1.06 kg/m³,略重于空气。由于其测试方法有别于挥发性有机物,在室内空气品质分析过程中需单独列出。

甲醛来源极为广泛。自然界中的甲醛是甲烷循环中的一个产物,室内来源主要有2方面:一是燃料和烟叶的不完全燃烧;二是建筑装饰材料,装饰物品及生活日用品等化工产品。甲醛

在工业中是生产黏合剂的重要原料,各种人造板(如刨花板、纤维板、胶合板等),新制作的家具、墙面、地面的装饰铺设,都要使用黏合剂,因而都含有游离甲醛。因此,凡是使用黏合剂的环节总会有甲醛释放,如某些化纤地毯、塑料地板、油漆涂料、建筑材料、化妆品、清洁剂、杀虫剂、消毒剂、防腐剂、印刷油墨、纸张、纺织纤维等都含有一定量的甲醛;另外,甲醛还是人体内正常代谢的产物,既是内生性物质(由蛋白质、氨基酸等正常营养成分代谢产生),也是许多外源性化学物质进入人体后的代谢产物。

(2)挥发性有机物(VOC) WHO 将挥发性有机物定义为沸点为 $50 \sim 260^{\circ}\text{C}$ 的有机化合物。具有较低沸点的有机化合物,称为易挥发性有机化合物(VVOC);较高沸点的有机化合物,称为半挥发性有机化合物(SVOC)。室内 VOCs 种类繁多,能够被检测出的达千余种。

需要指出的是,总挥发性有机化合物(简称 TVOC)广义上是指任何在常温、常压下,从液体或固体中自然挥发出的有机化合物。《民用建筑工程室内环境污染控制规范》中,TVOC 是指在指定的试验条件下所测得材料或空气中挥发性有机化合物的总量。严格地讲,VOC 和 TVOC 不是一般意义上的某种污染物,而是多种可挥发性有机物的总和。出于叙述方便,把 VOC 也作为一种特定的污染物来叙述。

室内 VOC 主要来源于:建筑装饰材料;家具;室内人员及其活动;室内工作设施及工作工程;室内管理用品及清洁用品;微生物代谢物;通风空调系统(由于系统内部污染而产生的二次污染);室外大气。另外,当室内 VOC 浓度较高时,室内某些材料、物品可能对其有吸附(或吸收)作用,随着 VOC 浓度的降低,被吸附的 VOC 又重新释放出来成为污染源。

随着社会经济的发展,人们对室内生活、工作环境更加注重舒适美观,经常对室内环境进行大面积装饰装修,由此引发了室内空气的严重污染。中国消费者协会于 2001 年 8 月初公布一项调查结果表明:在北京对 30 户装修后的室内环境污染进行检测,甲醛浓度超标达到 73%,最高超标 10 多倍。此外,TVOC 和苯的超标情况也很严重,分别占到了 20% 和 43%。许多消费者反映眼睛、鼻子和呼吸道不适。分析其原因,主要是由于使用劣质涂料、板材等引起的。装修所使用的油漆、胶合板、刨花板、泡沫填料、内墙涂料、塑料贴面等物品均会挥发甲醛、苯、甲苯、氯气等有毒气体。

现代化妆品、除臭剂及室内杀虫剂的使用,更增加了室内有机物污染的严重性,这些挥发性的有机物,能够刺激人体皮肤和呼吸道、消化道黏膜,使人眼睛流泪、刺痛,导致头疼、恶心、呕吐,并刺激人的神经系统,出现类似神经衰弱的症状。

(3)放射性污染物 根据美国国家环保局(EPA)调查,绝大多数建筑室内存在一定的放射性物质——氡。建造房屋的地基、地下土壤和建筑墙体材料和装饰石材,如地板砖、马赛克、瓷砖等含有大量的氡,能释放出对人体危害很大的 γ 射线,见表 1.6。

表 1.6 各种建筑材料的 γ 辐射量

建材名称	灰渣砖	花岗岩	瓷砖	马赛克	木材	大理石
辐射量/ $(\mu\text{m} \cdot \text{h}^{-1})$	25.03	23.17	19.6	17.5	17.5	15.5

据统计,地基和建筑材料的放射性污染的分担率为室内排放总量的 70% ~ 80%,通过自来水等其他渠道进入室内的放射性物质仅占 2% 左右。氡是一种放射性的惰性气体,无色无