



普通高等教育“十二五”规划教材

空气洁净技术

石富金 李 莎 主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



普通高等教育“十二五”规划教材

空气洁净技术

主编 石富金 李 莎
编写 姜树余 石 捷
主审 张少凡



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本教材系统地介绍了空气洁净技术的发展和應用、环境污染物及污染源、对微粒的过滤机理、过滤器的特性、洁净环境的气流组织与品质要求、净化空调系统设计、洁净室设计、其他空气净化设备及风管附件、生物洁净室概述、洁净室的采样与检测、洁净室的运行管理等有关内容。以突出基础理论为基本原则，详细介绍了空气洁净技术工程在设计、应用过程中所涉及的基本知识。

本教材可作为高等学校建筑环境与能源应用专业的教学用书，同时也可供相关工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

空气洁净技术/石富金, 李莎主编. —北京: 中国电力出版社, 2015. 2

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978 - 7 - 5123 - 7088 - 3

I. ①空… II. ①石… ②李… III. ①空气净化—高等学校—教材 IV. ①X51

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 009252 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

北京丰源印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2015 年 2 月第一版 2015 年 2 月北京第一次印刷
787 毫米×1092 毫米 16 开本 10.5 印张 249 千字
定价 21.00 元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签，刮开涂层可查询真伪
本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

前 言

现代工业的发展,对科学研究、实验和生产环境都提出了较高的要求,尤其是航空、航天、生物技术,微电子技术,药品生产技术,食品加工、医疗卫生等领域技术的飞速发展,推动了空气洁净技术的蓬勃发展,原来单一的空气调节已不能满足生产技术的要求,空气洁净技术已成为现代工业生产的必要基础条件。目前,就全国各高等工科院校而言,设立建筑环境与能源应用(原暖通空调或建筑环境与设备工程)专业的院校越来越多,其毕业生在洁净技术领域就业的人数也在不断增加。该专业“空气调节”(或“暖通空调”)教材在内容篇幅上主要针对“空气调节”来讲授,对空气洁净技术的叙述相对不够详细。为了适应工科教育形势的发展,我们根据多年的教学实践,编写了这本教材以满足教学的要求。同时,本书可作为洁净技术行业初学者的入门教材。

本教材建议学时为30~40学时,可根据实际情况予以调整。空气洁净技术课程可在“空气调节”(或“暖通空调”)课程之后开设,教学效果会相对更好。

全书共分十一章,由天津商业大学石富金、天津工业大学李莎任主编。全书由石富金统稿,天津商业大学姜树余、张家口供电公司石捷承担了全书的资料汇总、文本修订、图片编辑等工作。南京理工大学张少凡教授担任本书主审,并对本书的初稿提出了宝贵意见,在此表示衷心的感谢。

本教材在编写过程中借鉴了诸多专家、学者的论文和专著,参阅了国内、外近年来发表的技术文献以及相关的标准和规范。在此,特向原作者表示衷心的感谢!

由于时间仓促,编者的水平有限,书中肯定存在着不足和不妥之处,恳请各位专家和读者同仁提出批评和指正。

编 者

目 录

前言

第一章 概述	1
思考题与习题	8
第二章 环境污染物及污染源	9
第一节 污染物的分类及污染源	9
第二节 微粒粒径的量度	14
第三节 大气尘浓度及其影响因素	18
思考题与习题	24
第三章 对微粒的过滤机理	25
第一节 概述	25
第二节 纤维过滤器的过滤机理	26
第三节 其他过滤器的过滤机理	29
第四节 影响纤维过滤器效率的因素	30
思考题与习题	33
第四章 过滤器的特性	34
第一节 空气净化系统中过滤器的分类与作用	34
第二节 过滤器的性能	38
第三节 过滤器的种类和结构	41
第四节 过滤器的使用寿命	45
思考题与习题	46
第五章 洁净环境的气流组织与品质要求	48
第一节 空气洁净度与洁净标准	48
第二节 洁净室的气流组织和送风量要求	50
第三节 洁净室的压力要求	56
第四节 洁净室温、湿度要求和空气新鲜度要求	58
第五节 洁净室的噪声要求	59
第六节 洁净室的照度和眩光要求	60
第七节 洁净室的静电要求	62
思考题与习题	63
第六章 净化空调系统设计	65
第一节 净化空调系统的分类	65
第二节 集中式净化空调系统	67

第三节	分散式净化空调系统	72
第四节	半集中式净化空调系统	74
第五节	净化空调的新风、排风系统	75
	思考题与习题	80
第七章	洁净室设计	81
第一节	洁净室设计的基本原则	81
第二节	净化空调系统及人体、物料净化方案的确定	84
	思考题与习题	87
第八章	其他空气净化设备及风管附件	89
第一节	其他空气净化设备	89
第二节	风管和附件	98
	思考题与习题	102
第九章	生物洁净室概述	104
第一节	一般生物洁净室简介	104
第二节	一般生物洁净室的特点	105
第三节	一般生物洁净室的应用	113
第四节	生物学安全洁净室简介	118
	思考题与习题	124
第十章	洁净室的采样与检测	125
第一节	微粒的采样与测定	125
第二节	洁净室的检测程序和认证	131
第三节	洁净室(区)性能测试要求和方法	134
	思考题与习题	145
第十一章	洁净室的运行管理	146
第一节	洁净室运行管理的目标和内容	146
第二节	洁净室人员管理	150
第三节	洁净室设备管理	152
第四节	某药用包装制品厂洁净室管理实例	154
	思考题与习题	158
参考文献	159

第一章 概 述

一、空气洁净技术概念

在科学研究、工业生产以及人们的日常生活中，往往需要对某一特定空间内的空气温度、湿度、洁净度和气流速度提出技术要求，并采取一定的技术手段创造和维持这一空间的空气品质，以满足生产工艺过程和人体舒适性要求。这就是通常所说的空气调节。在应用空气调节系统的建筑中，由于环境场合不同，对空气的温度、湿度、洁净度、气流速度的要求侧重点则不同。一般来说，空气调节任务的侧重点是对空气温度、湿度以及气流速度的调节，对空气洁净度没有过高的特殊要求，尤其是舒适性空调。而对于有些工业生产车间，如半导体、微电子工业、食品、制药、卫生等领域，不仅仅对其环境的空气温度、湿度、气流速度有一定的技术要求，更重要的是对空气洁净度（即生产环境空气中含尘浓度的高低）有严格和特殊的要求。为达到这一目的，所采取的技术措施称为空气洁净技术（俗称洁净技术或净化技术）。所以，空气洁净技术的任务，是在满足室内环境空气温度和湿度要求的前提下，将受控环境空气介质中的含尘悬浮微粒以及其他有关污染物除掉，并且使其达到生产要求的环境条件。对于采用了空气洁净技术使空气中悬浮微粒浓度、含菌浓度以及有毒有害气体受控而达到某种要求的房间（或限定的空间）称为洁净室。

二、空气洁净技术的由来

空气洁净技术是随着科学技术以及现代工业发展逐步形成的一门科学。从18世纪开始人们对洁净技术已经有了初步的认识。随着国际战争的爆发，不断刺激着军事工业的发展，于是对产品的微型化、高精度、高纯度、高质量、高可靠性等性能方面提出了更高的要求，这就需要有一个高洁净度的生产环境，而且生产技术越发展对生产环境的洁净度要求越高。因此空气洁净技术以及所需的设备和过滤材料随即产生并迅速发展。

20世纪20年代，美国首先在航空业的陀螺仪制造过程中提出了生产环境的净化要求，为消除空气中尘埃对航空仪表齿轮、轴承的污染，他们在制造车间和实验室建立了“控制装配区”，把轴承的装配工序与其他的生产、操作区隔开，同时供给一定量的经过过滤处理后的空气。飞速发展的军事工业，无论是提高原材料的纯度、零部件加工和装配、提高元器件和整机的可靠性与使用寿命，都要求有一个高品质的生产环境。据说，美国一家导弹公司曾发现，在普通的车间内装配惯性制导用陀螺仪时，平均每生产10个产品就要返工120次。当在一个特定的控制空气中尘埃污染的环境中装配后，返工率降低至2次。对在无尘和有尘（尘粒平均直径为 $3\mu\text{m}$ ，尘粒数为 $1000\text{pc}/\text{m}^3$ ）两种环境中装配转速为 $1200\text{r}/\text{min}$ 的陀螺仪轴承进行比较，其产品的使用寿命竟相差100倍。从这些生产实践中，人们认识到空气净化在军事工业中的重要性和迫切性，也构成了当时发展空气洁净技术的推动力。

20 世纪 50 年代初, 美国发明生产了高效空气粒子过滤器, 取得了在洁净技术上的第一次飞跃性成就, 使美国在军事工业和人造卫星制造领域建立了一批工业洁净室, 并相继在航空、航海的导航装置、加速器、陀螺仪、电子仪器等生产厂广泛应用。

在美国洁净技术快速发展的同时, 世界各发达国家也开始了洁净技术的研究和应用。

20 世纪 50 年代, 英国在陀螺仪生产等工厂中建立了洁净室; 日本在半导体工业应用洁净技术。

20 世纪 60 年代初, 在美国工业洁净室进入广泛应用时期, 开始尝试利用工业洁净室进行生物无菌实验。通过研究和实验, 人们认识到空气中的细菌和病毒是附着在尘埃上以群体存在的。人体或其他动物体以及土壤中产生的细菌、病毒, 会附着在尘粒、皮屑、毛发、水滴上随空气传播。由此可见, 尘埃和空气是传播细菌和病毒的媒介。空气中的尘埃越多, 细菌和病毒的传播机会越多。如果对空气中的尘埃粒子进行了控制和处理, 就是控制了细菌和病毒。在这个理论基础上, 20 世纪 70 年代初, 美国等技术先进的国家大规模地把工业洁净室技术用于防止以空气为媒介的微生物污染的领域, 从而诞生了现代生物洁净室, 使制药工业、化妆品工业、食品工业的产品质量大为提高。在医疗部门的手术室和特殊病房以及生物安全方面, 洁净室的推广和应用, 使人们的疾病治疗、手术和抗感染控制得到了保障。

由此可见, 目前空气洁净技术的应用可分为两个方面:

(1) 工业洁净。以工业生产工艺为目的的空气净化过程, 其控制对象为空气中的尘埃微粒, 如灰尘等。对于这类房间, 是以控制空气中的尘埃微粒为主要目的的, 通常称为工业洁净室。

(2) 生物洁净。以保健、卫生为目的的空气净化过程, 其控制对象除了灰尘微粒之外还有空气中的细菌、病毒等。对于这类房间, 由于采取了无菌化处理, 而且是以防止微生物污染为主要目的的, 通常称为生物洁净室, 例如, 医院的手术室、特殊病房、制药车间等。

三、空气洁净技术的发展

自 18 世纪人们对洁净技术开始认识, 到 20 世纪 20 年代美国在军事工业上应用, 空气洁净技术都是伴随着科学技术的发展而发展的, 并随着洁净技术的应用, 工业产品也得到了不断的提高和进步。其工业产品更向着微型化、精密化、高质量、高纯度和高可靠性方向发展。现代工业更是如此, 航空、航天、电子工业以及医药、医疗、生物工程等诸多领域, 无不在应用洁净技术。尤其是电子、微电子、集成电路产品, 从最初在数间房间内组合安装, 到现在的超大集成电路的微型化, 对空气中受控粒子粒径的要求从 $0.3 \sim 0.5 \mu\text{m}$ 发展到 $0.05 \mu\text{m}$, 甚至更小, 充分体现了现代工业对洁净技术的需求。

基于应用空气洁净技术的重要性, 洁净技术的发展已成为现代工业生产和科学实验活动不可缺少的重要标志之一。

如果说 20 世纪 60 年代洁净技术在美国、欧洲等发展国家的广泛应用, 是洁净技术的大发展时期, 那么此后就是洁净技术在全球各个领域快速和规范发展阶段。

1961 年美国制定了国际上最早的洁净室标准《美国空军技术条令 203》，并把编制联邦政府标准的任务交给了原子能委员会的出版机构。同时基本完善了单向流洁净技术，建造了 100 级洁净室。

1963 年底美国颁布了第一个军用部分的联邦标准 FS - 209。从此联邦标准“209”不仅是美国的著名洁净技术标准，而且成为国际上普遍通用的洁净技术标准。

1966 年美国颁布了修订后的 FS - 209A。

1973 年美国颁布了联邦标准 FS - 209B。

1976 年美国对联邦标准 FS - 209B 进行了修订；

1988 年美国颁布了联邦标准 FS - 209D；

1992 年美国颁布了联邦标准 FS - 209E。

在此期间，前民主德国、法国、苏联、日本、英国、澳大利亚等国家相继颁布和制定了各国的洁净技术标准和药品生产质量管理规范（GMP）。世界一些国家颁布的洁净室标准见表 1 - 1。

表 1 - 1 世界一些国家颁布的洁净室标准

公布时间	各 国 标 准
1961 年 3 月	美国空军技术条令 T0.00 - 25 - 203
1963 年 7 月	美国空军技术条令 T0.00 - 25 - 203 第一次修订本
1963 年 12 月	美国联邦标准 FS - 209
1964 年	苏联标准（计重法）
1965 年 8 月	美国空军技术条令 T0.00 - 25 - 203 第二次修订本
1965 年	苏联标准 CH317 - 65（计数法）
1966 年 6 月	联邦德国标准
1966 年 8 月	美国联邦标准 FS - 209A
1967 年 8 月	美国国家航空与航天管理局 NASA 标准 NHB5340. 2
1968 年	民主德国标准
1972 年	法国标准 ASPEC Communication 7202
1973 年 4 月	美国联邦标准 FS - 209B
1973 年	苏联标准 OCT11 II - 170 - 050.001 - 73
1975 年	日本工业标准 B9920
1976 年 5 月	美国联邦标准 FS - 209B 修订
1976 年, 1977 年	联邦德国标准 VDI 2083
1976 年	英国标准
1976 年	澳大利亚标准
1987 年 10 月	美国联邦标准 FS - 209C
1988 年	日本工业标准 JIS B 9920 洁净室悬浮微粒的测定方法和洁净室洁净度的评价方法（修订案）
1988 年	日本空气洁净协会标准

续表

公布时间	各国标准
1988年6月	美国联邦标准 FS-209D
1992年11月	美国联邦标准 FS-209E
1996年	俄罗斯标准 GOSTR 50766-95
1999年5月	国际标准 ISO 14644-1

在制药工业方面,药品的质量反映在疗效、安全性和药品稳定性等要素上。影响这三个要素的重要环节是药品的配方和生产方法,而生产方法又包含了生产技术和生产环境两个方面。生产环境是环境控制的各项措施综合作用的结果,如制药车间的建筑设计、装修,空气净化系统的设计、运行、维护管理等。其环境控制的目的是为了防止药品因污染或交叉污染等任何危及产品质量的情况发生。

临床经验证明,用于静脉注射和滴眼药等药品制剂,在生产过程中被尘埃微粒污染并进入人体血液,可能会出现以下症状:

(1) 某些较大粒径的微粒随药液进入血管,可能会直接造成血管阻塞,引起肌体局部缺水而萎缩或水肿。

(2) 如果红细胞聚集在侵入的微粒等异物上,可能会形成血栓,导致血管闭塞和静脉炎等病症。

(3) 微粒侵入组织,在巨噬细胞的包围和培植下还可能引起异物肉芽肿。

(4) 微粒等异物的相互作用,可能引起过敏反应、血小板减少等症状。

当药剂在生产过程中被微生物污染,不仅会导致药效降低或药品变质,还会引起临床预料不到的疾病。如由微生物所产生的多糖物引起患者的热原反应;细菌污染药品可能引起败血症、内毒素中毒等。

片剂、散剂等普通药剂在生产过程中污染所引起的临床感染病症,在国外也已有实例报道。

医院是病人就诊、治疗和康复的特殊场合,也是病毒、细菌的滋生和传播源。医院内一旦发生感染和交叉感染,则关系到更多的就诊者和医护人员。发生在2003年春季的全球SARS(俗称非典)病毒感染,就说明了在医院采取对空气环境控制的重要性。

世界一些国家、地区、组织颁布的药品生产质量管理规范(GMP)见表1-2。

表 1-2 世界一些国家、地区、组织颁布的药品生产质量管理规范(GMP)

公布时间(年)	颁布规范的国家、地区、组织
1973	日本药品生产质量管理规范(JGMP)
1983	英国药品生产质量管理规范(橙色指南)
1984	加拿大药品生产质量管理规范
1984	韩国药品生产质量管理规范
1985	中国药品生产质量管理规范

续表

公布时间 (年)	颁布规范的国家、地区、组织
1988	东南亚国家联盟药品生产质量管理规范 (ASEAN GMP)
1989	中国兽药生产质量管理规范 (试行)
1990	药品生产检查互相承认公约的药品生产质量管理规范 (PIC GMP)
1990 (修订)	中国台湾地区“优良药品制造标准”
1991	美国现行药品生产质量管理规范 (CFR GMP)
1991	美国 FDA 生物技术检查指南
1991	美国 FDA 原料药检查指南
1992	世界卫生组织药品生产质量管理规范 (WHO GMP)
1992	欧洲共同体药品生产质量管理规范 (EEC GMP)
1992 (修订)	中国药品生产质量管理规范
1997	欧洲联盟药品生产质量管理规范 (EU GMP)
1998 (修订)	中国药品生产质量管理规范

我国的洁净室技术研究开始于 20 世纪 60 年代初, 70 年代洁净室技术主要用于我国的电子工业, 尤其是半导体集成电路生产用洁净室, 相继建成了一批洁净厂房, 并研制成功 5 级 (旧标准 100 级)、6 级 (旧标准 1000 级) 单向流工业洁净室和手术洁净室。

在我国虽然洁净技术研究起步较晚, 但发展较快。不仅逐步完善了洁净技术理论, 而且洁净厂房用设备和材料, 如高效过滤器、洁净工作台、层流罩、空气吹淋室、洁净传递窗等相继研制成功并投入生产和使用。到 20 世纪 70 年代末, 我国洁净室设计、建造和洁净技术的发展走向成熟阶段。

1984 年我国颁布了国家标准 GBJ 73—1984《洁净厂房设计规范》;

1991 年颁布了行业标准 JGJ 71—1990《洁净室施工及验收规范》;

1994 年颁布了 GB/T 14925—1994《实验动物-环境与设施》;

1996 年国家医药管理局颁布了《医药工业洁净厂房设计规范》;

2001 年修订了原 GBJ 73—1984《洁净厂房设计规范》, 颁布了新的国家标准 GB 50073—2001《洁净厂房设计规范》;

2002 年颁布了国家标准 GB 50333—2002《医院洁净手术部建筑技术规范》;

2013 年颁布了新的国家标准 GB 50073—2013《洁净厂房设计规范》和 GB 50333—2013《医院洁净手术部建筑技术规范》。

高洁净度洁净室的建成和技术规范的相继颁布, 标志着我国的洁净技术发展进入了一个新阶段。

四、空气洁净技术的应用领域

洁净技术在世界各国的广泛应用已经经历了半个多世纪的发展, 从军事工业开始到电子工业, 并逐步发展到其他行业, 其应用范围越来越广泛, 技术要求也越来越高, 应用领域已涉及军事、电子、食品、医药、卫生、生物实验等方面。

1. 电子（微电子）工业

电子工业已从过去的电子管发展到半导体分离器件、集成电路乃至超大规模集成电路，因此也大大地促进了空气洁净技术的发展。实践证明，集成电路制造工艺中，集成度越高，图形尺寸越细，对洁净室控制的空气尘埃微粒粒径尺寸要求也越小，且空气中含尘量要求越低。大规模集成电路的工艺发展状况见表 1-3。超大规模集成电路的发展及相应控制微粒的粒径见表 1-4。

表 1-3 大规模集成电路的工艺发展技术特征

年份 工艺特征	1980	1984	1987	1990	1993	1996	1999	2004
硅片直径 (mm)	75	100	125	150	200	200	200	300
集成度 (DRAM)	64K	256K	1M	4K	16M	64M	256M	1G
特征尺寸 (μm)	2	1.5	1	0.8	0.5	0.35	0.25	0.2~0.1
工艺步数	100	150	200	300	400	500	600	700~800
洁净度等级 (旧标准)	1000~100	100	10	1	0.1 μm	0.1 μm	0.1 μm	0.1 μm

表 1-4 超大规模集成电路的发展及相应控制微粒的粒径

投产年份 项目	1997	1999	2001	2003	2006	2009	2012
集成度 (DRAM)	256M	1G	1G	4G	16G	64G	256G
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

集成电路芯片的成品合格率与芯片的缺陷密度有关，而缺陷密度与空气中尘埃粒子个数有关。若假设芯片缺陷密度中有 10% 为空气中尘埃粒子沉降到硅片上引起的，则可以推算出每平方米芯片上空气尘埃粒子的最大允许值，见表 1-5。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更高的要求，而且对尘埃粒子的数量也有控制要求，即对生产环境的空气洁净度等级有控制要求。除此以外，集成电路生产环境对化学污染控制也有十分严格的要求，化学污染物控制指标见表 1-6。

表 1-5 每平方米芯片上空气尘埃粒子的最大允许值

集成度 (DRAM) 成品率 Y (%)	64M	256M	1G	4G	16G	64G
90	55	38	25	16	11	8
80	124	84	56	37	24	7
70	195	132	—	—	—	—
控制粒子尺寸 (μm)	0.035	0.025	0.018	0.013	0.01	0.007

表 1-6 化学污染物控制指标

项 目 \ 年份	1995	1997~1998	1999~2001	2003~2004	2006~2007	2009~2010
集成度 (DRAM)	64M	256M	1G	4G	16G	64G
线宽 (μm)	0.35	0.25	0.18~0.15	0.13	0.10	0.07
硅片直径 (μm)	200	200	300	300	400~450	400~450
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) (pc/m^2)	1400	950	500	250	200	150
重金属 (Fe) (原子/ 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/ cm^2)	1×10^{14}	5×10^{13}	3×10^{13}	1×10^{13}	5×10^{12}	3×10^{12}

2. 食品工业

食品工业的工艺主要有发酵、酿造、加工、灌封、包装等工序。在这些过程中,空气的洁净除菌是保证产品质量的关键之一。如灌封、包装过程中,如果包装容器除菌不彻底而带有细菌,那么食品的保质期必然缩短,严重时会影响食用者的身体健康。

实践证明,我们不仅要重视对食品内容物和灌包装容器的灭菌,而且不能轻视空气的污染。空气的污染一般来自两个方面,一方面是从室外进入室内的空气未经净化处理,带有大量微生物;另一方面,在食品加工车间的地面、墙壁、顶棚上,因为沾有糖分、淀粉、蛋白质等粒子,当环境温度、湿度适宜时,细菌就会在这些表面繁殖,并随着空气流吹散到房间的各个角落。因此食品生产工艺需要无菌操作。

食品生产的无菌操作不仅是对产品的防腐保质期限的影响,而且更重要的是在食品生产中,尤其是在酿造、发酵中对酵母菌的纯种培育、分离、接种、扩种以及防止杂菌体的污染,提高产品质量、保持食品在色、香、味、营养等方面,空气洁净技术有着重要的作用。

3. 医疗

如前所述,在医院这个特殊环境中,对空气环境进行控制是非常重要的。对空气环境控制包括两方面,其一是提高环境的舒适性。舒适的空调环境是治疗与康复的一个重要因素,在某些情况下,甚至是主要的治疗方法。大量的医学临床研究证明,病人在适宜的空调环境中,通常比在非控制环境中体质恢复得更快。例如,相对于干燥和适宜的空气温度,可防止手术或外伤病人因伤口渗出液及皮肤出汗而发生感染。另一方面,通过对空气环境的控制,可以防止病毒、细菌的传播,特别是某些特殊病房尤为重要,如手术室、白血病治疗室、烧伤病房、脏器移植病房等。

4. 生物实验

在遗传工程、病理检验、细胞组织培养、疫苗培养等研究方面,常常需要在无菌无尘的环境中进行操作,一方面要求试件不受其他微生物的污染以保证实验的精度;另一方面要求所研究的材料如病毒、高危险度病原菌、放射性物质不外溢,防止危害操作者的健康及污染环境。对于这类实验用洁净室,除一般洁净室所必须的设置要求外,还要求具有两

级隔离。第一级通常是用生物安全工作柜使工作人员与病原体等危险试样隔离；第二级是将实验区与其他环境区隔离，同时实验室内空气压力要求处于负压状态。

5. 实验动物饲养

为了临床试验的需要，某些医院或科研单位往往建有一定规模的实验动物饲养房，饲养某些特定的实验动物，用于对使用于人体的医疗设备、手术方案、药品制剂等相关试验，以监测其安全性。在实验动物中，控制微生物是特别重要的，也是借以研究其对人类生命健康影响的手段。如果实验动物感染了致病性微生物、病毒或寄生虫，就可能导致试验全部失败。因此，对于影响实验动物饲养房的环境因素，诸如空气温度、湿度、气流速度、微生物和尘埃颗粒物等，须按照动物种类和设施环境要求予以控制。

空气洁净技术除应用于上述领域之外，还广泛应用于航天、仪器仪表、精密机械制造等生产行业。



思考题与习题

1. 空气洁净技术是怎么产生的？
2. 空气洁净技术的发展经历了哪些过程？
3. 空气洁净技术应用在哪些领域？
4. 我国的空气洁净技术发展水平如何？
5. 我国在空气洁净技术方面制定和颁布了哪些技术规范？

第二章 环境污染物及污染源

空气污染是与空气洁净相对应的概念。所谓“污染”是指作为研究对象的物体或物质，由于某些物质如尘埃微粒、微生物等的混入、粘附和作用，而使研究对象本身所具有的功能和性能受到不良影响，或不良影响所导致的状态。通常我们把引起污染的物质称为污染物或污染物质。产生污染物的根源称为污染源。

空气洁净的目的，就是要极大程度地将空气介质中的污染物除掉。因此空气洁净包括两个方面，一是指对空气的净化“行为和过程”；二是指洁净空气所处的洁净“状态”，或维持空气的洁净状态。为实现这两个目的，净化空调系统及设施就必须能够有效地阻止室外污染物进入室内，同时迅速有效地排除室内产生的污染物，创造并维持一个洁净的空气环境。

在空气洁净技术中，含有悬浮微粒的空气介质是一种分散体系，我们把它称为气溶胶，把空气中的微粒称为分散相。以分散相处于悬浮状态的微粒粒子称为气溶胶粒子。根据国际标准化组织 ISO 的定义，气溶胶是指沉降速度可以忽略的固体微粒、液体微粒或固体和液体粒子在气体介质中的悬浮体。在日常生活及生产中，我们所处的空气环境或多或少都存在着悬浮微粒，不含悬浮物的理想洁净空气是不存在的。所以说我们所接触的空气是处于气溶胶状态。

第一节 污染物的分类及污染源

我们所接触的环境包括室外大气环境和建筑室内环境。当环境地点、工厂产品种类及生产工艺过程不同时，其污染物的种类不同，污染性质也不同。通常所指的空气污染物主要有以下三类：

- (1) 悬浮在空气中的粒状污染物，包括固体和液体微粒。
- (2) 悬浮在空气中的细菌、病毒等微生物。
- (3) 各种对环境、人体或生产过程有害的气体。

当洁净室的使用用途不同时，其所要净化的污染物的侧重点也不同。对于一般工业洁净室需要净化的污染物主要是悬浮在空气中的尘埃微粒；对于医院病房、手术室、生物实验室等建筑，包括细菌、病毒在内的空气中的微生物，把尘埃微粒作为载体附着，因此这一类生物洁净室除对尘埃微粒净化外，还应控制微生物在空气中的数量。

一、微粒状污染物

空气中的微粒状污染物是多种多样的，由于其物理、化学性质，颗粒大小的不同，对空气品质的影响也不同。为了便于对空气中微粒的危害进行分析，需要了解微粒的来源和性质。目前，对微粒的分类方法一般有以下几种：

(一) 按微粒的形成过程分

(1) 分散性微粒。固体或液体物质在分裂、破碎、气流、振荡等作用下变成悬浮状态而形成。其中固体分散性微粒是形状不规则的粒子，或是由集结不紧、凝聚并松散的粒子组合形成的类球形粒子。

(2) 凝集性微粒。通过物质的燃烧、升华和蒸汽凝结以及气体反应而形成，包括固态凝集性微粒和液态凝集性微粒。其中固态凝集性微粒是由数目较多的、有着规则结晶形状或者球状的原生粒子结成的松散集合体组成。液体凝集性微粒是由比液态分散性微粒小得多、多分散度的粒子组成。

大气中非生物性粒状物质大多是由固体、液体的破碎、蒸发、燃烧、凝集产生的，其形成过程有物理作用也有化学作用。经机械粉碎加工形成的粒子形状多为不规则形体，而经化学结晶作用形成的粒子形状为物质的结晶状，和物质的化学成分有关。液体粒子一般多为球状。

(二) 按微粒的大小分

空气中悬浮微粒的粒径范围一般为 $0.001\sim 100\mu\text{m}$ ，在这个范围内，随着微粒粒径大小的变化，它的物理性质和规律都将发生变化。

(1) 可见微粒。微粒粒径为 $d > 10\mu\text{m}$ ，通过肉眼可以观察到这些微粒。

(2) 显微微粒。微粒粒径为 $d = 0.25\sim 10\mu\text{m}$ ，在普通显微镜下可以看见。

(3) 超显微微粒。微粒粒径为 $d < 0.25\mu\text{m}$ ，在超显微镜或电子显微镜下可以看见。

这种分类只是人们按照观察手段对微粒分类的习惯划分方法。在 ISO14644 - 1 标准中，为了和空气洁净度相联系，把 $0.1\sim 0.5\mu\text{m}$ 的粒子称为微粒，把 $d < 1\mu\text{m}$ 的粒子称为超微粒子，把 $d > 0.5\mu\text{m}$ 的粒子称为大粒子。

(三) 按微粒的来源分

(1) 有机性微粒，如植物纤维、花粉、动物毛发、角质、皮屑、化学染料和塑料等。

(2) 无机性微粒，如金属尘粒、矿物尘粒和建材尘粒。

(3) 生物微粒，如各种藻类、细菌、菌类、原生动物和病毒等微生物。这一类微粒属于有生命微粒，所以我们可以把它放在生物污染物中。

(四) 微粒的通俗称谓

在日常生活和工作中，人们往往采用诸如灰尘、烟、雾等术语来表述空气的污染状况。这些术语在空气洁净技术中也常常被采用。

(1) 灰尘。灰尘包括所有固态分散性微粒。这类微粒在空气中的运动受到重力、风力、扩散力等多种因素的作用。是空气洁净技术中接触最多的一种微粒，习惯上也称为粉尘。这类微粒在工业区的空气中含量较多。如水泥厂、钢铁厂、石料粉碎、矿物装卸场、建筑工地、公路干线等地点。

(2) 烟。烟通常是指有机物在燃烧过程中以及矿石在冶炼过程中形成的固体粒子气溶胶。包括所有固态凝集性微粒以及液态粒子与固态粒子因凝集作用而产生的微粒。此外还有从液态粒子过渡到结晶粒子而产生的微粒；烟在生成过程中总是伴有诸如氧化类的化学反应，如锅炉的烟气排放。一般情况下，烟的微粒大小远远小于 $0.5\mu\text{m}$ （如燃煤、木材、

燃油等物质未燃烧完全而形成的飞灰碳粒所产生的烟)，这类微粒在空气中主要呈布朗运动，具有相当强的扩散能力，在空气中很难沉降下来。

(3) 雾。雾是指空气中液滴悬浮体的总称，是水分蒸发冷凝后形成的水滴悬浮物，如冬、春季节的初期经常出现的大雾天气。雾包括所有液态分散性微粒和液态凝集性微粒。

(4) 烟雾。烟雾是烟和雾的混合物，包括所有液态和固态微粒，既含有分散性微粒又含有凝集性微粒。微粒大小不等，粒径分布非常广泛。最典型的是工业区空气中由煤粉尘、二氧化硫、一氧化碳和水蒸气所形成的结合体，如钢铁厂产生的氧化铁烟雾等。

表 2-1 中列出了各种微粒形成的过程。

表 2-1 微粒形成过程概述

微粒分类	名词	粒径 (μm)	形成过程
固态	灰尘 (粉尘)	100~1	固体物质的粉碎、装卸
	凝结固体烟雾	1~0.1	燃烧、升华、蒸发或化学反应产生的蒸汽的凝结
	烟	0.3~0.001	燃料燃烧
液态	烟雾 (霾)	100~1	蒸汽凝结、化学反应、液体喷雾
	雾	50~5	水蒸气凝结

二、生物污染物

生物污染物是指各种藻类、细菌、菌类、原生动物和病毒等微生物。在医院病房、手术室、生物实验室等建筑中，控制这类污染物更为重要。

在这些生物污染物微粒中，和空气净化关系最直接的是细菌、菌类（如真菌）和病毒。微生物不仅在空气中，而且在水中、土壤中，在动、植物的体内和体表面都有生存。环境地点温、湿度条件不同其微生物量也不同。不同环境的微生物量表 2-2。

表 2-2 不同环境的微生物量

环境	土壤 ($\text{pc} \cdot \text{g}^{-1}$)	水 ($\text{pc} \cdot \text{g}^{-1}$)	空气 ($\text{pc} \cdot \text{g}^{-1}$)	人体皮肤 ($\text{pc} \cdot \text{cm}^{-2}$)	地板 ($\text{pc} \cdot \text{m}^{-2}$)
微生物量	$10^4 \sim 10^{10}$	$10^{1 \sim 4}$	$10^{4 \sim 6}$	$10^{1 \sim 3}$	$10^{4 \sim 7}$

空气中的微生物主要附着在尘埃粒子上，微生物与其他污染物的最大区别在于它是有生命的，具有生长、繁殖及延续生物学全过程的能力。只要条件适宜就会通过细胞分裂繁殖生长。以细菌为例，在温度、湿度适宜的条件下，一般每 20~30min 就可分裂繁殖一次，其一昼夜的繁殖量可达 $2^{16 \sim 24}$ 个。微生物的另一个重要特征是生存能力强。许多微生物对恶劣环境有极强的抵抗力，可以耐高温、高寒，还能抗阳光辐射和紫外线等。当长期使用某一种杀菌剂后，有些细菌还会产生耐药性。

微生物是个群体概念，大约有 50 万种之多，所以微生物的粒径范围很宽。目前，对微生物进行研究的单位较多，并对微生物的粒径进行了测定。由于测试条件、手段、时间、地点的不同，其测定结果存在很大的差异。一般认为，约在 $0.002 \sim 30 \mu\text{m}$ ，细菌的颗粒粒径为 $0.3 \sim 35 \mu\text{m}$ ；病毒颗粒粒径为 $0.003 \sim 0.45 \mu\text{m}$ 。而室外大气中的悬浮尘埃微粒的