

空气洁净技术原理

(第三版)

许钟麟 著



科学出版社

www.sciencep.com

空气洁净技术原理

(第三版)

许钟麟 著

科学出版社

北京

内 容 提 要

本书为1983年出版的《空气洁净技术原理》专著的第三版,与1983年版相比,不仅反映了最新技术成果,而且更突出了理论上的系统性和解决实际问题的指导作用。

本书系统地建立了洁净室理论体系,首次提出洁净室特性指标、均匀分布与不均匀分布特性、最小检测容量、新风处理新概念和阻漏层理论等许多新观点、新方法,是作者近40年的科研成果与心得的总结。它的理论性、新颖性和系统性,使其成为空调净化专业的技术人员、研究人员及大专院校师生的必备参考书。

全书分17章,系统地论述了空气洁净技术的基本原理,内容主要包括:微粒及其分布特性;大气尘特性和我国大气尘的分布规律;悬浮微粒的特性和在室内的运动特性;过滤机理和过滤器的各项特性及高效过滤器的结构设计计算;空气洁净度级别的理论基础以及它和成品率的关系;工业洁净室和生物洁净室以及局部洁净区及主流区、阻漏层的作用原理、特性、计算理论与具体计算方法,以及采样和检测的理论与方法。书中还提供了—些设计和测试用的数据、公式、计算方法及步骤等。每章末列有参考文献,书末附有中、英、日常用术语对照和索引。

本书也可供环保、医药、食品、纺织、电子、仪表、气溶胶、精细化工、大气物理、生物工程、农业工程以及文物档案保管等专业的科技人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

空气洁净技术原理/许钟麟著. —3版. —北京:科学出版社,2003.6
ISBN 7-03-011233-4

I. 空… II. 许… III. 空气净化-研究 IV. X51

中国版本图书馆CIP数据核字(2003)第015326号

责任编辑:杨家福 杨解 /责任校对:栢连海

责任印制:刘士平 /封面设计:张 放

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

新蕾印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

1983年6月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2003年6月第 三 版 印张:36

2003年6月第一次印刷 字数:820 000

印数:1—3 000

定价:90.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈新欣〉)

第三版序

本书的初版于1983年10月出版,15年后即1998年第二版问世。为了反映我国经济建设和空气洁净技术发展的加速,特再次对原书进行修订,出第三版,以满足广大读者的需求。

作者在第一版前言中指出,“空气洁净技术已成为科学实验和生产活动现代化的标志之一”,这一技术在我国近20年的发展已证实了这一点。

在2001年中国科协学术年会上,杨振宁教授对今后三四十年间应用研究的发展所作的判断,为我们勾画出了科学技术发展的三大战略方向:(1)芯片的广泛应用,应用到大小建筑、家庭、汽车、人体、工厂、商店,到几乎一切地方;(2)医学与药物的高速发展;(3)生物工程。

然而,就今天人类发展的水平来看,技术进步了,设备进步了,人的知识水平提高了,但是惟独环境退步了,空气质量退步了,污染加重了。所以,为了向三大科技战略方向进军,除了工艺本身以外,最主要的是要向洁净挑战,创造一个洁净的室内微环境。

三大战略方向需要的微环境正是空气洁净技术中的工业洁净室、一般生物洁净室和生物安全洁净室,可见空气洁净技术和三大战略方向有着何等密切的关系,而今天它正面对着三大战略方向的新挑战。

20年来随着空气洁净技术应用的不断发展、扩大和深化,作为其基础的空气洁净技术原理也不可能一成不变,也发展出了新概念、新观点、新理论,国内文献的数量和质量也在不断提高,这些都是本书得以再版的养料。因此,作者对所有在本书中被引用到的研究者、实践者表示深深的敬意。

本版大体保持一、二版的格局,主要增加了关于阻漏层理论和实践的一章,增加了主流区和扩大主流区的理论和应用、对影响洁净度的微粒和分子态污染的分析及分子态污染物级别、由成品率计算洁净度的理论方法以及大气尘的最新实际和研究动向、特殊过滤器等,至于小的修改补充几乎每章每节都有,就不一一列举了。这里高兴地指出,在总结这些材料时得到了我国20年来大气尘状况逐渐改善的轨迹,其平均水平已好于国家三级年均值标准,此时总结统计资料的枯燥已为兴奋所替代。

藉本书出版之际,谨祝愿我国空气洁净技术在新世纪获得更大的发展。

许钟麟

2002年11月

第二版序

诞生于 20 世纪 60 年代初的我国空气洁净技术，在这 14 年间获得了很大的发展，不仅军工、高新技术必需这门技术，而且在环保、医疗、制药、食品、纺织、农业等行业中也得到广泛应用，特别是近几年在我国集成电路生产、特殊疾病的手术和治疗护理以及制药行业推行质量管理标准（GMP）方面发挥了重要作用，确确实实已成为我国生产活动和科学实验现代化的标志之一，从而促使更多的人需要了解和掌握空气洁净技术及其原理。

1983 年，中国建筑工业出版社出版了拙著《空气洁净技术原理》，该书出版后受到各方面读者的厚爱，直到最近索要此书的信函、电话还很多，甚至出国学习、工作的人士也辗转托人代为索取。由于当时印行的一万册早已售完而无法满足他们的要求，深感遗憾，总感到对热心的读者和同行欠缺了点什么。当然，从另一个角度来说，这无疑也是对作者的莫大鼓励。

于是，三年以前，作者在好友——同济大学出版社副社长吴味隆教授的建议、联系和鼓励下，决定重写这样一本书。为了方便读者，仍用《空气洁净技术原理》的书名，新写、改写和补充都在原框架中进行。现在这本书，除了三章基本保留 1983 年版的原样外，其余各章或新写或大部分重写、补充，并使章数由原来的 13 章增至 16 章，字数则由 50 万字增至 90 万字。

具体地说，本书内容是这样安排的：

第一章、第二章和第六章是关于空气洁净技术的处理对象——微粒的知识，它是这门技术最重要的基础之一。第一章关于微粒分布的特性虽然是统计分布知识的应用，但紧密结合空气洁净技术，自成体系。第二章讲大气尘，是对处理对象的进一步深入了解，除了提供比较多的基础知识以外，着重介绍关于我国大气尘的分布规律、计算公式、在双对数纸上呈直线性分布的验证，以及影响其浓度和分布的因素等成果。第六章则介绍微粒在室内的运动特性，是研究室内污染控制所不可缺少的内容。

第三章至第五章是关于处理微粒的知识，即过滤机理和过滤器的原理。关于微粒的过滤理论头绪纷繁，诸说并存，而本章力求从这纷繁的头绪中深入浅出地地理出一个比较清晰的系统。第四章则具体地论述了过滤器和滤料的参数和特性。第五章专门运用前两章的原理，详细介绍了高效过滤器最佳结构设计理论。

第七章至第九章是关于运用过滤器等基本手段构成控制微粒的环境——洁净室的原理。第七章关于洁净环境的空气洁净度级别，阐述了对构成空气洁净度级别的诸因素的认识及其理论基础、计算方法，给出了探求产品合格率、成品率和洁净度之间关系的理论方法。第八章则主要是关于洁净室具体原理的系统总结，形成比较清晰的体系，特别是对乱流、单向流和辐流洁净室的作用原理，单向流洁净室的特性指标，压差控制原理与人、物净的关系，新风处理理论，全顶棚送风两侧下回风洁净室的特性等提出了新概念。第九章是专门关于生物洁净室的原理。

第十章至第十四章完全是关于洁净室和局部洁净区的具体计算理论、方法和特性的研究结果。

第十五章、第十六章是关于采样理论和检测理论的内容，并介绍了具体的步骤、做法和评定原则。

作者在重写本书时，尽可能遵循理论性、系统性和新颖性三个原则：一切问题环绕“原理”这个核心去展开，对从实践中提出的问题都在阐述了原理后给出充分的理论分析；力求在读者面前系统地展现出空气洁净技术的体系，特别是完整的洁净室原理体系，而不是个别领域知识的简单堆积；力求尽可能多地反映最新的成果，直到最新的科技信息、最新的国家统计数据、最新的国际标准内容。当然，限于个人水平，动机和效果不一定都能取得较好的一致，不妥之处，还望读者指正。

对于本书的此次出版，除了衷心感谢我的挚友吴味隆教授的关心帮助外，还要感谢中国建筑工业出版社原副总编吴文侯编审和姚荣华副编审给予的支持和方便。本书的出版，如果能对从事有关空气洁净技术工作的读者有所帮助，作者就十分欣慰了。

许钟麟

1997年3月16日于北京

第一版前言

随着现代工业的发展，对实验、研究和生产的环境要求越来越高，因而调节空气品质的技术——空气调节技术的内容也随之逐步扩大。现代空调技术不仅包含调节空气的温度、湿度和速度的概念，而且还包含了调节其洁净度、压力以至成分、气味的概念。

现代化的科学实验和生产活动对空气洁净度的要求主要是从下述四方面提出来的：

首先，加工的精密化。现代产品的加工精度已经进入到亚微米量级，而且正在向更小的量级发展：利用分子束外延技术已可按一个一个原子层来生长单晶材料；利用离子束刻蚀技术也可以对半导体材料进行一个一个原子的刻蚀剥离等等。因此，科学界提出了在本世纪末可能进入原子级加工的设想，即加工的几何图形宽度可以小到几个原子的线度。

其次，产品的微型化。原来体积为几千立方厘米的电子装配件，现在缩减到零点几立方厘米，其中：集成电路的图形线距已小到不足 $1\mu\text{m}$ ，一个电子元件的二氧化硅保护膜厚为 $0.5\mu\text{m}$ ，光致抗蚀剂层厚度只有 $0.2\mu\text{m}$ ，钽膜的深度只有 $0.1\mu\text{m}$ ，而铬层甚至只有 $0.03\mu\text{m}$ 。

第三，产品的高纯度（或高质量）。由过去认为很纯的“化学纯”进入今天“电子纯”、“超纯”时代的药品、试剂，以及各种超纯材料，都是在高纯度基础上才能使原材料充分发挥其固有特性或者呈现出新的特性。

第四，产品的高可靠性。高可靠性对于电子化自动化时代的产品，对于确保人的安全的无菌操作，对于分子生物学的遗传工程等都有着特殊重要的意义。

显然，在上述四种情况中，如果有微粒（固态的或者液态的）进入产品，这种微粒就可能构成障碍、短路、杂质源和潜在缺陷。上述四种要求越高，则允许存在于环境空气中的微粒数量越少，也就是洁净程度越高。因此，空气洁净技术已成为科学实验和生产活动现代化的标志之一。

空气洁净技术是一门新的技术，在国际上也只是在 20 世纪 50 年代中期以后才开始发展。我国在 50 年代末 60 年代初就已接触这一技术，起步的时间并不晚。1965 年，玻璃纤维滤纸的高效过滤器在国内试制成功并正式生产。高效过滤器是空气洁净技术的最基本和最必要的手段，由它派生出来的各种空气净化设备、各类洁净室也陆续试制了出来，现在生产这些设备的工厂已由最初的一家发展到二十多家。1974 年，光散射式自动粒子计数器和标准粒子试制成功，表明我国空气洁净技术提高到了新的水平，从此我国对于空气洁净度的监测也有了自己的测试手段和标定仪器的方法。1979 年，《空气洁净技术措施》出版，这是国内第一份关于洁净技术的综合性指导性措施，表明我国空气洁净技术的发展又进入到一个新的阶段。

最近几年，国内外空气洁净技术都在迅猛地发展着。目前国外已有了洁净度达到 1 级（相当于国内的 0.03 级）的洁净室产品，并有了效率为四个 9 以上的过滤 $0.1\mu\text{m}$ 微粒的过滤器，还有能测 $0.1\mu\text{m}$ 微粒的粒子计数器。在国内，目前 3 级平行流洁净室特别是生

物洁净室及有关设备已得到了迅速的发展，关于过滤器和净化设备的检验标准，关于净化厂房的设计规范也都正在制定之中。洁净技术已由军工领域逐步转移到民用领域，由单纯的精密工业应用广泛地进入到许多行业的应用。今后的任务将是创造更高洁净度的环境、更精良的测定仪器，以满足一些特殊的要求；同时要创造更经济实用的技术手段，以便更多部门可以采用。

作者多年从事空气洁净技术的研究工作，在实践中深深体会到，要想搞好上述两方面的工作，必须比较系统地深入地掌握这门技术的基本原理，发掘有关技术手段的内在规律。例如，通过对平行流洁净室的作用和特性的系统研究，了解了渐变流也可满足要求之后，才有可能进一步肯定两侧下回风的垂直平行流洁净室方案，用来代替过去习惯的过滤器顶棚和格栅地板做法，降低了造价；而通过对室内污染点源的包络线特性等研究，才有可能对平行流洁净室的下限风速做到心中有数，而不致为某些国外标准的高风速框住。又如，国外的大流量粒子计数器的问世，就可能使人对一切小流量计数器测定数据持否定态度，如果能对室内微粒分布的规律和采样理论有所了解，自会得出比较客观、科学的看法。

此外，有些问题在文献上也可看到结论，但是看不到所以然的道理。如果从专业角度能深入浅出地阐明其中的道理，也是很需要的。

因此，一本论述空气洁净技术原理的书籍正是作者本人迫切希望读到的。但是，这门技术还没有明确形成自己的原理体系，就以其中的洁净室来说，还无人比较系统地总结提出属于它的技术原理。在国内，除了上面提到的《空气洁净技术措施》以外，还没有这门技术的专门书籍。正是在这一需求推动下，在四化建设的大好形势的鼓舞和有关同志的鼓励下，作者才考虑以自己学习和研究工作的心得为基础，利用业余时间撰写这样一本书。使自己进行这一尝试的另一个原因，就是自己过去的一些研究成果，有的为内部交流资料，曾被有关书籍和手册引用，但由于一些原因，在引用中难免发生一些差错；还有的发表于其他专业刊物上，也有的还未发表，因此，感到对这些成果有整理的必要。于是抱着在总结的基础上去深化提高，希望能起一个抛砖引玉作用，也就决心试笔了。

根据上述考虑，本书的内容尝试做这样的安排：

第一章、第二章和第五章是关于空气洁净技术的处理对象——微粒的知识。第一章谈微粒分布特性，这是这门技术最重要的基础之一，不了解微粒分布特性，甚至连看文献都是不方便的。本章内容虽然是关于统计分布知识的应用，但是紧密结合洁净技术，自成体系。第二章谈大气尘，这是对处理对象的进一步深入了解，除了提供比较多的基础知识以外，着重介绍关于我国大气尘的分布规律、计算公式、在双对数纸上呈直线性分布的验证、影响大气尘浓度和分布的因素等研究结果。本章内容虽然谈的是室外的悬浮微粒，但对研究室内悬浮微粒的特性也有重要参考价值。第五章则完全介绍微粒在室内的运动特性，除了根据气溶胶力学的几条基本原则外，主要是对微粒在表面的沉积、气流对其运动的影响和污染包络线等研究成果的总结。这一章的内容是研究室内污染控制所不可缺少的。

第三章、第四章是关于处理微粒的知识，即过滤机理和过滤器的原理。关于微粒的过滤理论头绪纷繁，诸说并存，而本章则力求从这纷繁的头绪中深入浅出地理出一个比

较清晰的系统。在第三章基础上，第四章结合对若干研究结果的总结，具体地论述了过滤器的参数和设计上的问题。

第六章、第七章是关于运用过滤器等基本手段构成控制微粒的环境——洁净室的原理。第六章谈的是洁净环境（室）的空气洁净度级别，但目的不是摘录一些标准作为资料，而主要是谈了对构成空气洁净度级别的诸因素的认识，介绍了初步尝试探求产品合格率与洁净度之间关系的理论方法，和确定生物洁净室标准等问题的研究心得。

第七章则主要是关于研究洁净室具体原理方面问题的比较系统的总结，特别是对洁净室作用原理、平行流洁净室的特性指标、压差计算方法、全顶棚送风两侧下回风洁净室的特性等提出了新看法、新概念。

第八章至第十一章完全是关于洁净室的具体计算理论、方法和特性的研究结果，不仅包括均匀分布理论和不均匀分布理论，而且包括在理论上提出的洁净室特性分析，还包括具体进行设计计算的方法、步骤和例题。

第十二章是根据国内外的研究结果对近年受到人们重视的局部洁净区作了概括的介绍。局部洁净区是对洁净室技术的重要补充。

第十三章是关于采样与检测的基本原理，除了对一般性的采样、检测方法作更深入一些的阐述之外，着重根据研究成果介绍了有关的采样理论和洁净室测定中采样和评定的原则、步骤及具体做法。

本书的大部分内容，曾作为空气净化三年制研究生的专业课，讲授过一百余小时，后又经过适当补充才成为现在这个样子。

本书的某几章承蒙清华大学热能工程系副主任吴增菲教授、清华大学水利系水力学教研组副主任余常昭教授、中国建筑科学研究院空气调节研究所吴元炜副所长在百忙中给予审阅，提出了许多宝贵意见；另有几节内容承同济大学暖通教研组范存养副教授、中国建筑科学研究院空气调节研究所吴植娱工程师帮助和审阅，提出了宝贵意见；此外，第一章草稿曾请中国建筑科学研究院空气调节研究所顾闻周工程师过目。在此，一并致以衷心的感谢。

在取得本书所提到的各项研究结果的过程中，我院（中国建筑科学研究院）空气调节研究所先后的负责同志都给予大力支持，空气净化研究室以及其他方面的有关同志给予很多的帮助，有些工作更是和有关同志一起进行研究的，这在引用中都注明了有关的集体或个人的名字，在此恕不列举，谨致诚挚的谢意。

还应提到的是，沈晋明同志认真仔细地为本书描绘了绝大部分插图，使本书得以按计划完成，特此致谢。

本书出版，如果能对从事有关空气洁净技术工作的读者有微薄的帮助，就是作者的最大心愿了。

由于本人水平所限，而某些为系统性需要的内容又不是自己擅长的，所以书中不妥或错误之处一定难免，恳请读者批评指正。

目 录

第三版序

第二版序

第一版前言

| | |
|----------------------------------|----|
| 第一章 微粒及其分布特性 | 1 |
| 1-1 微粒的分类 | 1 |
| 1-1-1 按微粒的形成方式分类 | 1 |
| 1-1-2 按微粒的来源分类 | 1 |
| 1-1-3 按微粒的大小分类 | 1 |
| 1-1-4 微粒的通俗分类 | 1 |
| 1-2 微粒大小的量度 | 3 |
| 1-2-1 粒径 | 3 |
| 1-2-2 平均粒径 | 4 |
| 1-3 微粒的统计分布 | 8 |
| 1-3-1 粒径分布曲线 | 8 |
| 1-3-2 按粒径的正态分布和对数正态分布 | 15 |
| 1-3-3 在双对数纸上的粒径分布 | 20 |
| 1-3-4 按密度的分布 | 21 |
| 1-4 微粒大小的集中度 | 24 |
| 1-5 对数正态分布的应用 | 26 |
| 1-5-1 集中度的确定 | 26 |
| 1-5-2 平均粒径的计算 | 28 |
| 1-5-3 粒径分布的几种关系 | 29 |
| 1-6 粒数统计量 | 30 |
| 参考文献 | 31 |
| 第二章 室外空气中的悬浮微粒——大气尘 | 32 |
| 2-1 大气尘的概念 | 32 |
| 2-2 大气尘的发生源 | 33 |
| 2-2-1 自然发生源和人为发生源 | 33 |
| 2-2-2 大气尘的发生量 | 35 |
| 2-3 大气尘的组成 | 38 |
| 2-3-1 无机性非金属微粒 | 38 |
| 2-3-2 金属微粒 | 39 |
| 2-3-3 有机性微粒 | 45 |
| 2-3-4 有生命微粒 | 46 |

| | |
|--|-----------|
| 2-3-5 大气尘的一般组成 | 46 |
| 2-4 大气尘的浓度 | 46 |
| 2-4-1 浓度表示方法 | 46 |
| 2-4-2 大气尘浓度的自然基础值 | 47 |
| 2-4-3 计重浓度 | 47 |
| 2-4-4 计数浓度 | 57 |
| 2-4-5 计数浓度和计重浓度的对比 | 59 |
| 2-5 大气尘的粒径分布 | 60 |
| 2-5-1 全粒径分布 | 60 |
| 2-5-2 在双对数纸上的分布 | 61 |
| 2-5-3 在垂直高度上的分布 | 67 |
| 2-6 影响大气尘浓度和分布的因素 | 69 |
| 2-6-1 风的影响 | 69 |
| 2-6-2 湿度的影响 | 71 |
| 2-6-3 绿化的影响 | 77 |
| 2-7 大气微生物的分布 | 77 |
| 2-7-1 浓度分布 | 77 |
| 2-7-2 粒径分布 | 79 |
| 参考文献 | 80 |
| 第三章 微粒的过滤机理 | 82 |
| 3-1 过滤分离 | 82 |
| 3-2 过滤器的基本过滤过程 | 84 |
| 3-3 纤维过滤器的过滤机理 | 85 |
| 3-3-1 拦截(或称接触、钩住)效应 | 85 |
| 3-3-2 惯性效应 | 86 |
| 3-3-3 扩散效应 | 86 |
| 3-3-4 重力效应 | 87 |
| 3-3-5 静电效应 | 87 |
| 3-4 计算纤维过滤器效率的步骤 | 88 |
| 3-5 孤立单根纤维对微粒的捕集效率——孤立圆柱法 | 88 |
| 3-5-1 拦截捕集效率 | 88 |
| 3-5-2 惯性捕集效率 | 90 |
| 3-5-3 扩散捕集效率 | 91 |
| 3-5-4 重力捕集效率 | 92 |
| 3-5-5 静电捕集效率 | 92 |
| 3-5-6 孤立单根纤维对微粒的总捕集效率 | 93 |
| 3-6 过滤器内单根纤维对微粒的捕集效率——纤维干涉的影响和修正方法 | 94 |
| 3-6-1 有效半径法 | 95 |
| 3-6-2 结构不均匀系数法 | 95 |

| | | |
|------------|-------------------|------------|
| 3-6-3 | 实验系数法 | 96 |
| 3-6-4 | 半经验公式法 | 96 |
| 3-7 | 计算纤维过滤器总效率的对数穿透定律 | 97 |
| 3-7-1 | 对数穿透定律 | 97 |
| 3-7-2 | 对数穿透定律的适用性 | 99 |
| 3-8 | 影响纤维过滤器效率的因素 | 101 |
| 3-8-1 | 微粒尺寸的影响 | 101 |
| 3-8-2 | 微粒种类的影响 | 107 |
| 3-8-3 | 微粒形状的影响 | 108 |
| 3-8-4 | 纤维粗细和断面形状的影响 | 108 |
| 3-8-5 | 过滤速度的影响 | 109 |
| 3-8-6 | 纤维填充率的影响 | 110 |
| 3-8-7 | 气流温度的影响 | 111 |
| 3-8-8 | 气流湿度的影响 | 111 |
| 3-8-9 | 气流压力的影响 | 111 |
| 3-8-10 | 容尘量的影响 | 112 |
| 3-9 | 毛细管模型概说 | 112 |
| 3-10 | 颗粒过滤器的效率 | 117 |
| | 参考文献 | 119 |
| 第四章 | 空气过滤器的特性 | 121 |
| 4-1 | 空气净化系统过滤器的作用和分类 | 121 |
| 4-2 | 过滤器的特性指标 | 122 |
| 4-3 | 面速和滤速 | 122 |
| 4-4 | 效率 | 123 |
| 4-4-1 | 效率 | 123 |
| 4-4-2 | 穿透率 | 124 |
| 4-4-3 | 净化系数 | 124 |
| 4-5 | 阻力 | 124 |
| 4-5-1 | 滤料阻力 | 124 |
| 4-5-2 | 过滤器全阻力 | 126 |
| 4-6 | 容尘量 | 130 |
| 4-7 | 过滤器的设计效率 | 131 |
| 4-8 | 过滤器的串联效率 | 135 |
| 4-8-1 | 高效过滤器串联效率 | 135 |
| 4-8-2 | 中效过滤器串联效率 | 137 |
| 4-9 | 使用期限 | 137 |
| 4-9-1 | 过滤器寿命 | 137 |
| 4-9-2 | 寿命和运行风量的关系 | 138 |
| 4-10 | 计重效率的估算 | 141 |

| | |
|---------------------------------|-----|
| 4-11 滤纸过滤器 | 143 |
| 4-11-1 折叠形滤纸过滤器 | 143 |
| 4-11-2 管形滤纸过滤器 | 145 |
| 4-11-3 滤纸过滤器所用的滤纸 | 148 |
| 4-11-4 滤纸的一般特性 | 153 |
| 4-11-5 滤纸过滤器的发展 | 156 |
| 4-12 纤维层过滤器 | 157 |
| 4-13 发泡材料过滤器 | 160 |
| 4-14 静电自净器 | 160 |
| 4-14-1 静电自净器的用途 | 161 |
| 4-14-2 静电自净器的工作原理 | 161 |
| 4-14-3 静电自净器的结构 | 163 |
| 4-14-4 静电自净器的效率 | 164 |
| 4-14-5 二次电离式静电自净器 | 166 |
| 4-15 特殊过滤器 | 168 |
| 4-15-1 活性炭过滤器 | 168 |
| 4-15-2 杀菌过滤器 | 170 |
| 参考文献 | 170 |
| 第五章 高效过滤器的结构设计 | 172 |
| 5-1 高效过滤器气道内的流动状态 | 172 |
| 5-2 高效过滤器的全阻力 | 173 |
| 5-2-1 滤料阻力 ΔP_1 | 174 |
| 5-2-2 气道摩擦阻力 ΔP_2 | 175 |
| 5-2-3 进出口局部阻力 C | 176 |
| 5-2-4 全阻力 ΔP | 177 |
| 5-3 最佳波峰高度 | 177 |
| 5-4 最佳深度 | 179 |
| 5-5 波峰角 | 180 |
| 5-6 无分隔板过滤器的结构参数 | 182 |
| 5-7 管形过滤器的计算 | 184 |
| 参考文献 | 186 |
| 第六章 室内微粒的运动 | 187 |
| 6-1 作用在微粒上的力 | 187 |
| 6-2 微粒的重力沉降 | 187 |
| 6-3 微粒在惯性力作用下的运动 | 190 |
| 6-4 微粒的扩散运动 | 191 |
| 6-5 微粒在表面上的沉积 | 192 |
| 6-5-1 微粒在无送风室内垂直表面上的扩散沉积 | 192 |
| 6-5-2 微粒在无送风室内底(平)面上的沉积 | 194 |

| | | |
|------------|------------------|-----|
| 6-5-3 | 微粒在送风室内平面上的沉积 | 194 |
| 6-6 | 气流对微粒运动的影响 | 199 |
| 6-6-1 | 影响室内微粒分布的因素 | 199 |
| 6-6-2 | 微粒的迁移 | 201 |
| 6-6-3 | 热对流气流的影响 | 202 |
| 6-6-4 | 人走动的二次气流影响 | 207 |
| 6-7 | 气流中微粒的凝并 | 208 |
| 6-8 | 平行气流中点源的污染包络线 | 209 |
| 6-8-1 | 点源污染包络线 | 210 |
| 6-8-2 | 污染源的实际微粒分布 | 211 |
| 6-8-3 | 污染包络线的计算 | 217 |
| | 参考文献 | 218 |
| 第七章 | 空气洁净度级别 | 219 |
| 7-1 | 空气洁净度标准(级别)的沿革 | 219 |
| 7-2 | 空气洁净度级别的数学表达式 | 223 |
| 7-3 | 不同粒径的粒数换算关系 | 225 |
| 7-4 | 表示空气洁净度级别的平行线 | 225 |
| 7-5 | 空气洁净度所要控制的对象 | 228 |
| 7-5-1 | 控制的最小粒径 | 228 |
| 7-5-2 | 控制的微粒数量 | 229 |
| 7-6 | 被控制的含尘浓度的具体条件 | 230 |
| 7-7 | 由成品率确定空气洁净度的理论方法 | 231 |
| 7-7-1 | 空气洁净度对成品率的影响 | 231 |
| 7-7-2 | 计算成品率的理论公式 | 234 |
| 7-8 | 洁净环境中分子态污染物的级别 | 242 |
| | 参考文献 | 244 |
| 第八章 | 洁净室原理 | 245 |
| 8-1 | 控制污染的途径 | 245 |
| 8-2 | 气流的状态 | 245 |
| 8-2-1 | 几种基本流动状态 | 245 |
| 8-2-2 | 紊流过程的物理状态 | 247 |
| 8-3 | 乱流洁净室原理 | 248 |
| 8-3-1 | 乱流洁净室原理 | 248 |
| 8-3-2 | 乱流洁净室的风口 | 249 |
| 8-3-3 | 乱流洁净室的效果 | 251 |
| 8-4 | 单向流洁净室原理 | 251 |
| 8-4-1 | 单向流洁净室的分类 | 251 |
| 8-4-2 | 单向流洁净室原理 | 255 |
| 8-5 | 单向流洁净室的三项特性指标 | 259 |

| | | |
|------------|--|------------|
| 8-5-1 | 流线平行度 | 259 |
| 8-5-2 | 乱流度 | 261 |
| 8-5-3 | 下限风速 | 264 |
| 8-6 | 辐流洁净室原理 | 270 |
| 8-6-1 | 辐流洁净室的形式 | 270 |
| 8-6-2 | 辐流洁净室原理 | 270 |
| 8-7 | 洁净室的压力 | 273 |
| 8-7-1 | 静压差的物理意义 | 274 |
| 8-7-2 | 静压差的作用 | 274 |
| 8-7-3 | 洁净室与邻室间防止缝隙渗透的静压差的确定 | 275 |
| 8-7-4 | 洁净室与室外（或与室外相通的空间）之间防止缝隙渗透的静压差的确定 | 275 |
| 8-7-5 | 乱流洁净室防止开门时进入气流污染的静压差的确定 | 276 |
| 8-7-6 | 单向流洁净室防止开门时进入气流污染的静压差的确定 | 278 |
| 8-7-7 | 建议采用的压差 | 278 |
| 8-8 | 入室的缓冲与隔离 | 279 |
| 8-8-1 | 缓冲室和气闸室 | 279 |
| 8-8-2 | 空气吹淋室 | 282 |
| 8-9 | 全顶棚送风、两侧下回风洁净室的特性 | 286 |
| 8-9-1 | 线汇模型 | 287 |
| 8-9-2 | 流场的特点 | 292 |
| 8-9-3 | 允许室宽 | 298 |
| | 参考文献 | 298 |
| 第九章 | 生物洁净室原理 | 300 |
| 9-1 | 生物洁净室的应用 | 300 |
| 9-2 | 微生物的主要特性 | 306 |
| 9-3 | 微生物的污染途径 | 307 |
| 9-4 | 生物微粒的等价直径 | 308 |
| 9-5 | 生物微粒的标准 | 310 |
| 9-5-1 | 微生物的尺度 | 310 |
| 9-5-2 | 浮游细菌数量和标准 | 311 |
| 9-5-3 | 沉降细菌数量和标准 | 313 |
| 9-6 | 沉降菌和浮游菌的关系 | 314 |
| 9-6-1 | 奥梅梁斯基公式的证明 | 315 |
| 9-6-2 | 沉降量公式的修正 | 315 |
| 9-6-3 | 沉降菌法和浮游菌法在洁净室内的应用 | 318 |
| 9-7 | 过滤除菌 | 320 |
| 9-7-1 | 高效过滤器对微生物的过滤效率 | 320 |
| 9-7-2 | 细菌对滤材的穿透 | 322 |
| 9-7-3 | 微生物在滤材上的繁殖 | 322 |

| | | |
|-------------|---------------------|------------|
| 9-8 | 消毒灭菌 | 323 |
| 9-8-1 | 概念 | 323 |
| 9-8-2 | 主要消毒灭菌方法 | 324 |
| 9-8-3 | 紫外线消毒灭菌 | 324 |
| 9-9 | 一般生物洁净室 | 331 |
| 9-9-1 | 形式 | 331 |
| 9-9-2 | 风速 | 332 |
| 9-9-3 | 局部气流问题 | 333 |
| 9-10 | 隔离式生物洁净室 | 335 |
| 9-10-1 | 标准 | 335 |
| 9-10-2 | 隔离方式 | 337 |
| 9-10-3 | 生物安全柜 | 338 |
| | 参考文献 | 339 |
| 第十章 | 洁净室均匀分布计算理论 | 341 |
| 10-1 | 洁净室三级过滤系统 | 341 |
| 10-2 | 乱流洁净室含尘浓度瞬时式 | 342 |
| 10-3 | 乱流洁净室含尘浓度稳定式 | 344 |
| 10-3-1 | 单室的稳定式 | 344 |
| 10-3-2 | 多室的稳定式 | 344 |
| 10-4 | 有局部净化设备时的含尘浓度稳定式 | 346 |
| 10-5 | 瞬时式和稳定式的物理意义 | 347 |
| 10-6 | 乱流洁净室其他计算方法 | 348 |
| 10-7 | 单向流洁净室含尘浓度算法 | 349 |
| 10-8 | 乱流洁净室自净时间和污染时间的计算 | 349 |
| 10-8-1 | 概念 | 349 |
| 10-8-2 | 自净时间的计算 | 350 |
| 10-8-3 | 发尘污染时间的计算 | 354 |
| 10-9 | 单向流洁净室的自净时间 | 355 |
| | 参考文献 | 356 |
| 第十一章 | 洁净室不均匀分布计算理论 | 357 |
| 11-1 | 不均匀分布的影响 | 357 |
| 11-2 | 三区不均匀分布模型 | 359 |
| 11-3 | 三区不均匀分布的数学模型 | 360 |
| 11-4 | $N-n$ 通式的物理意义 | 362 |
| 11-5 | 不均匀分布计算和均匀分布计算对比 | 363 |
| | 参考文献 | 364 |
| 第十二章 | 洁净室特性 | 365 |
| 12-1 | 静态特性 | 365 |
| 12-2 | 动态特性 | 370 |

| | | |
|-------------|---------------------|------------|
| 12-3 | 不均匀分布特性曲线 | 374 |
| 12-4 | 浓度场的不均匀性 | 378 |
| 12-4-1 | 主流区和回风口区浓度之比 | 378 |
| 12-4-2 | 涡流区和主流区浓度之比 | 378 |
| 12-4-3 | 涡流区和回风口区浓度之比 | 379 |
| 12-4-4 | 不均匀分布和均匀分布浓度之比 | 379 |
| 12-5 | 新风尘浓负荷特性 | 380 |
| 12-5-1 | 新风三级过滤的技术效果 | 380 |
| 12-5-2 | 新风尘浓负荷比 | 381 |
| 12-5-3 | 新风尘浓负荷比与部件寿命的关系 | 383 |
| | 参考文献 | 384 |
| 第十三章 | 洁净室的设计计算 | 385 |
| 13-1 | 室内外计算参数的确定 | 385 |
| 13-1-1 | 大气尘浓度 | 385 |
| 13-1-2 | 室内单位容积发尘量 | 385 |
| 13-1-3 | 新风比 | 390 |
| 13-2 | 高效空气净化系统计算 | 393 |
| 13-2-1 | N 的计算 | 393 |
| 13-2-2 | n 的计算 | 394 |
| 13-2-3 | ϕ 的计算 | 395 |
| 13-2-4 | 三种设计计算原则 | 398 |
| 13-2-5 | 例题 | 398 |
| 13-3 | 中效空气净化系统计算 | 401 |
| 13-4 | 有局部净化设备场合的计算 | 403 |
| 13-4-1 | 既有集中式空调系统又有专用空调机的机房 | 403 |
| 13-4-2 | 只靠专用空调机加新风处理的机房 | 404 |
| | 参考文献 | 405 |
| 第十四章 | 局部洁净区 | 406 |
| 14-1 | 主流区概念的应用 | 406 |
| 14-2 | 主流区的特性 | 410 |
| 14-2-1 | 气流分布特性 | 410 |
| 14-2-2 | 速度衰减特性 | 411 |
| 14-2-3 | 浓度场特性 | 412 |
| 14-2-4 | 主流区污染度 | 416 |
| 14-3 | 部分围挡壁式洁净区 | 419 |
| 14-4 | 气幕洁净棚 | 421 |
| 14-4-1 | 应用 | 421 |
| 14-4-2 | 空气幕的隔离作用 | 422 |
| 14-4-3 | 气幕洁净棚隔离效果的理论分析 | 424 |