

许钟麟 著

空气洁净

技术原理

中国建筑工业出版社

空气洁净技术原理

许钟麟 著

中国建筑工业出版社

本书系统地阐述了洁净技术的基本原理。叙述了微粒的分布特性，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；具体分析了过滤机理和过滤器的各项特性；探讨了空气洁净度级别问题以及它和成品率的关系；论述了洁净室的作用原理、特性和计算理论，以及具体计算方法和局部洁净区的研究成果；并详细介绍了采样和检测的方法及基本原理。书中还提供设计和测试用的数据、公式、计算方法、步骤等。

本书为作者多年的科研成果与心得的总结，是国内关于这门技术原理的第一本专门著述，提出了许多新观点、新方法，可供从事空调净化专业技术人员、研究人员及大专院校师生参考，也可供环保、卫生、电子等专业技术人员参考。

空气洁净技术原理

许钟麟 著

中国建筑工业出版社出版(北京西郊百万庄)
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售
中国建筑工业出版社印刷厂印刷(北京阜外南礼士路)

开本：787×1092毫米 1/16 印张：20 1/2 插页：1 字数：497 千字

1983年6月第一版 1983年6月第一次印刷

印数：1—10,000册 定价：2.80元

统一书号：15040·4475

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微米，一个电子元件的二氧化硅保护膜厚为0.5微米，光致抗蚀剂层厚度只有0.2微米，钽膜的深度只有0.1微米，而铬层甚至只有0.03微米。

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微米微粒的过滤器；还有能测0.1微米微粒的粒子计数器。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，本书的内容尝试作这样的安排：

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，在双对数纸上呈线性分布的验证，影响大气尘浓度和分布的因素等研究成果。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成果的总结，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和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。

本书的某几章曾蒙清华大学热能工程系副系主任吴增菲教授,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,空调所吴植娉工程师帮助审阅,提出了宝贵意见;此外,第一章草稿曾请空调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)空调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,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,特此一并致谢。

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

第一章 微粒的分布特性	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	2
1-2-1 粒径(2) 1-2-2 平均粒径(3)	
1-3 微粒的统计分布	6
1-3-1 粒径分布曲线(6) 1-3-2 按粒径的正态分布和对数正态分布(8) 1-3-3 在双对数纸上的粒径分布(11) 1-3-4 按密度的分布(12)	
1-4 微粒大小的集中度	14
1-5 对数正态分布的应用	15
1-5-1 集中度的确定(16) 1-5-2 平均粒径的计算(17) 1-5-3 粒径分布的几种关系(18)	
参考文献	19
第二章 大气中的悬浮微粒——大气尘	20
2-1 大气尘的概念	20
2-2 大气尘的发生源	20
2-2-1 自然发生源和人为发生源(20) 2-2-2 大气尘的发生量(21)	
2-3 大气尘的组成	23
2-3-1 无机性非金属微粒(23) 2-3-2 金属微粒(24) 2-3-3 有机性微粒(28)	
2-3-4 大气尘的一般组成 (29)	
2-4 大气尘的浓度	29
2-4-1 浓度表示方法(29) 2-4-2 计重浓度(30) 2-4-3 计数浓度(31) 2-4-4 计数浓度和计重浓度的对比(33)	
2-5 大气尘的粒径分布	34
2-5-1 全粒径分布(34) 2-5-2 在双对数纸上的分布(34)	
2-6 影响大气尘浓度和分布的因素	39
2-6-1 风的影响(39) 2-6-2 湿度的影响(41) 2-6-3 高度的影响(46)	
2-6-4 绿化的影响(46)	
参考文献	47
第三章 对微粒的过滤机理	48
3-1 概述	48
3-2 过滤器中的基本过滤过程	51
3-3 纤维过滤器的过滤机理	51
3-3-1 拦截(或称接触、钩住)效应(51) 3-3-2 惯性效应(52) 3-3-3 扩散效应(52) 3-3-4 重力效应(52) 3-3-5 静电效应(53)	

3-4	计算纤维过滤器效率的步骤	53
3-5	孤立单根纤维对微粒的捕集效率——孤立圆柱法	54
3-5-1	拦截捕集效率(54)	
3-5-2	惯性捕集效率(56)	
3-5-3	扩散捕集效率(56)	
3-5-4	重力捕集效率(57)	
3-5-5	孤立单根纤维对微粒的总捕集效率(57)	
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	59
3-6-1	有效半径法(59)	
3-6-2	结构不均匀系数法(60)	
3-6-3	实验系数法(61)	
3-6-4	半经验公式法(61)	
3-7	计算纤维过滤器总效率的对数穿透定律	61
3-7-1	对数穿透定律(61)	
3-7-2	对数穿透定律的适用性(63)	
3-8	影响效率的因素	65
3-8-1	微粒尺寸的影响(65)	
3-8-2	微粒种类的影响(67)	
3-8-3	微粒形状的影响(67)	
3-8-4	纤维粗细和断面形状的影响(67)	
3-8-5	过滤速度的影响(67)	
3-8-6	纤维填充率的影响(69)	
3-8-7	气流温度的影响(69)	
3-8-8	气流湿度的影响(69)	
3-8-9	气流压力的影响(69)	
3-8-10	容尘量的影响(69)	
	参考文献	69
第四章	过滤器的特性和设计	71
4-1	空气净化系统中过滤器的作用和分类	71
4-2	过滤器的特性指标	71
4-3	面速和滤速	72
4-4	效率	72
4-4-1	效率(72)	
4-4-2	穿透率(73)	
4-4-3	净化系数(73)	
4-5	阻力	73
4-5-1	滤料阻力(73)	
4-5-2	过滤器全阻力(76)	
4-6	容尘量	77
4-7	过滤器的设计效率	77
4-8	过滤器的串联效率	80
4-8-1	高效过滤器串联效率(80)	
4-8-2	中效过滤器串联效率(81)	
4-9	使用期限	82
4-10	滤纸过滤器	83
4-11	纤维层过滤器	89
4-12	发泡材料过滤器	91
4-13	静电自净器	93
4-13-1	静电自净器的用途(93)	
4-13-2	静电自净器的工作原理(93)	
4-13-3	静电自净器的结构(95)	
4-13-4	静电自净器的效率(96)	
4-13-5	二次电离式静电自净器(97)	
	参考文献	100
第五章	室内微粒的运动	101
5-1	作用在微粒上的力	101
5-2	微粒的重力沉降	101
5-3	微粒在惯性力作用下的运动	103
5-4	微粒的扩散运动	104
5-5	微粒在表面上的沉积	105

5-5-1 微粒在无送风室内垂直表面上的扩散沉积(105)	5-5-2 微粒在无送风室内底(平)面上的沉积(106)	5-5-3 微粒在送风室内平面上的沉积(107)
5-6 气流对微粒运动的影响.....	110	
5-6-1 影响室内微粒分布的因素(110)	5-6-2 微粒的迁移(111)	5-6-3 热对流气流的影响(113)
5-6-4 人走动的二次气流影响(117)		
5-7 平行气流中点源的污染包络线.....	118	
5-7-1 点源污染包络线(119)	5-7-2 污染源的实际微粒分布(120)	5-7-3 污染包络线的计算(126)
参考文献	127	
第六章 空气洁净度级别	128	
6-1 空气洁净度标准(级别)的沿革.....	128	
6-2 表示空气洁净度级别的平行线.....	130	
6-3 空气洁净度所要控制的对象.....	131	
6-3-1 控制的最小粒径(131)	6-3-2 控制的微粒数量(132)	
6-4 被控制的含尘浓度的具体规定.....	132	
6-5 由成品率确定空气洁净度的理论方法.....	133	
6-5-1 空气洁净度和单道工序合格率的关系(133)	6-5-2 多道工序的成品率(136)	
6-6 生物微粒的标准.....	137	
6-6-1 微生物的尺度(137)	6-6-2 浮游细菌数量和标准(137)	6-6-3 沉降细菌数量和标准(139)
参考文献	140	
第七章 洁净室原理	141	
7-1 控制污染的途径.....	141	
7-2 气流的状态.....	142	
7-2-1 几种基本流动状态(142)	7-2-2 紊流过程的物理状态(143)	
7-3 乱流洁净室原理.....	144	
7-3-1 乱流洁净室原理(144)	7-3-2 乱流洁净室的风口(145)	7-3-3 乱流洁净室的效果(146)
7-4 平行流洁净室原理.....	147	
7-4-1 平行流洁净室的分类(148)	7-4-2 平行流洁净室原理(151)	
7-5 平行流洁净室的三项特性指标.....	156	
7-5-1 流线平行度(156)	7-5-2 乱流度(158)	7-5-3 下限风速(161)
7-6 全顶棚送风,两侧下回风洁净室的特性.....	166	
7-6-1 线汇模型(166)	7-6-2 流场的特点(170)	7-6-3 允许室宽(173)
7-7 洁净室的压力.....	174	
7-7-1 静压差的确定(174)	7-7-2 维持静压差所需的换气次数(178)	
7-8 生物洁净室.....	179	
7-8-1 生物洁净室的应用(179)	7-8-2 微生物污染的控制(181)	7-8-3 一般生物洁净室(184)
7-8-4 隔离式生物洁净室(186)		
参考文献	189	
第八章 洁净室均匀分布计算理论	192	
8-1 乱流洁净室三级过滤系统.....	192	
8-2 乱流洁净室含尘浓度瞬时式.....	193	

8-3 乱流洁净室含尘浓度稳定式	194
8-3-1 单室的稳定式 (194)	
8-3-2 多室的稳定式 (195)	
8-4 有局部净化设备时的含尘浓度稳定式	197
8-5 瞬时式和稳定式的物理意义	197
8-6 乱流洁净室其他计算方法	198
8-7 平行流洁净室含尘浓度算法	199
8-8 乱流洁净室自净时间和污染时间的计算	200
8-8-1 概念 (200)	
8-8-2 自净时间的计算 (200)	
8-8-3 发尘污染时间的计算 (204)	
8-9 平行流洁净室的自净时间	205
参考文献	206
第九章 洁净室不均匀分布计算理论	207
9-1 不均匀分布的影响	207
9-2 三区不均匀分布模型	208
9-3 三区不均匀分布的数学模型	209
9-4 $N-n$ 通式的物理意义	211
9-5 不均匀分布计算和均匀分布计算对比	212
参考文献	213
第十章 洁净室特性	214
10-1 静态特性	214
10-2 动态特性	219
10-3 不均匀分布特性曲线	223
10-4 浓度场的不均匀性	227
10-4-1 主流区和回风口区浓度之比 (227)	
10-4-2 涡流区和主流区浓度之比 (227)	
10-4-3 涡流区和回风口区浓度之比 (228)	
10-4-4 不均匀分布和均匀分布浓度之比 (228)	
参考文献	229
第十一章 洁净室的设计计算	230
11-1 室内外计算参数的确定	230
11-1-1 大气尘浓度 (230)	
11-1-2 室内单位容积发尘量 (230)	
11-1-3 新风比 (234)	
11-2 高效空气净化系统计算	237
11-2-1 N 的计算 (237)	
11-2-2 n 的计算 (238)	
11-2-3 ψ 的计算 (238)	
11-2-4 三种设计计算原则 (240)	
11-2-5 例题 (241)	
11-3 中效空气净化系统计算	243
参考文献	246
第十二章 局部洁净区	247
12-1 主流区概念的应用	247
12-2 部分围挡壁式洁净区	251
12-3 气幕洁净棚	253
12-3-1 应用 (253)	
12-3-2 空气幕的隔离作用 (255)	
12-3-3 气幕洁净棚隔离效果的理论分析 (255)	
12-3-4 气幕洁净棚的性能 (257)	
参考文献	260

第十三章 采样与检测.....	262
13-1 采样.....	262
13-1-1 采样系统(262) 13-1-2 等速采样(266) 13-1-3 采样管中微粒的 损失(268)	
13-2 微粒浓度的测定方法	270
13-2-1 计重浓度法(270) 13-2-2 计数浓度法——滤膜显微镜计数法(272)	
13-2-3 计数浓度法——光散射式粒子计数器计数法(274) 13-2-4 相对浓度 法(279) 13-2-5 生物微粒测定法(279)	
13-3 过滤器的测定	281
13-3-1 测定范围(281) 13-3-2 过滤器效率的测定(285) 13-3-3 过滤器容尘量的 测定(289)	
13-4 检漏	292
13-4-1 渗漏的定义(292) 13-4-2 高效过滤器的检漏(293) 13-4-3 隔离式生物洁净 装置的检漏(294)	
13-5 洁净室的测定	295
13-5-1 洁净室测定的种类(295) 13-5-2 洁净室的测定状态(298) 13-5-3 最小检测 容量(298) 13-5-4 最小沉降面积(300) 13-5-5 必要测点数(300)	
13-5-6 洁净室测定结果的评定(302)	
参考文献	304
常用术语(中、英、日对照)	305
索引	309

第一章 微粒的分布特性

空气洁净技术的目的，就是要极大程度地将空气介质中的悬浮微粒除掉。含有分散相—悬浮微粒的空气介质是一种分散体系，被称为气溶胶。

气溶胶的微粒在空气中如何运动和分布，是空气洁净技术的重要基础。为了叙述方便，先介绍微粒的分布特性。

1-1 微粒的分类

1-1-1 按微粒的形成方式分类

1.分散性微粒 固体或液体在分裂、破碎、气流、振荡等作用下变成悬浮状态而形成。其中固态分散性微粒是形状完全不规则的粒子，或是由集结不紧、凝并松散的粒子组成的形状极不相同的集合体；液态分散性微粒是球形有规则的粒子，或是在凝并时互相并合而又形成球形的粒子。

2.凝集性微粒 通过燃烧、升华和蒸气凝结以及气体反应而形成。其中固态凝集性微粒，一般是由数目很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；液态凝集性微粒是比液态分散性微粒小得多、多分散性也小的粒子。

1-1-2 按微粒的来源分类

- 1.有机性微粒 例如植物纤维，动物毛、发、角质、皮屑，化学染料和塑料等。
- 2.无机性微粒 例如金属尘粒、矿物尘粒和建材尘粒等。
- 3.生物微粒 例如各种藻类、菌类、原生动物和病毒等。

1-1-3 按微粒的大小分类

气溶胶的微粒的范围从 10^{-7} 厘米到 10^{-1} 厘米，在这么宽的范围，随着微粒大小的变化，它的物理性质和规律都将发生变化。

- 1.可见微粒 肉眼可见，微粒直径大于10微米。
- 2.显微微粒 在普通显微镜下可以看见，微粒直径为0.25~10微米。
- 3.超显微微粒 在超显微镜或电子显微镜下可以看见，微粒直径小于0.25微米。

1-1-4 微粒的通俗分类

在气溶胶的技术领域中，经常采用如“灰尘”“烟”“雾”等术语，空气洁净技术中的一些名词概念也常涉及这些术语，（如空气含“尘”浓度，油“雾”仪等等）这就是对微粒的通俗分类。

1.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、扩散等多种因素的作用，是空气洁净技术接触最多的一种微粒。

2.烟 包括所有固态凝集性微粒，以及液态粒子和固态粒子因凝集作用而产生的微粒，还有从液态粒子过渡到结晶态粒子而产生的微粒。一般情况下，微粒大小为0.5微米

以下（如香烟的烟，木材的烟，油烟，煤烟等），在空气中主要呈布朗运动，有相当强的扩散能力，在静止空气中很难沉降。在空气洁净技术中常用发烟剂的烟流来检查空气过滤器有无渗漏。

3.雾 包括所有液态分散性微粒和液态凝集性微粒。微粒大小因生成状态而异，介于0.1~10微米之间。其运动性质主要受斯托克斯定律支配。例如从SO₂气体产生的硫酸雾，因加热和压缩空气的作用产生的油雾，就都是这种微粒，后者可作为试验空气过滤器的标准尘源。

4.烟雾 包括液态和固态，既含有分散性微粒又含有凝集性微粒。微粒大小从十分之几微米到几十微米，例如工业区空气中由煤粉尘、二氧化硫、一氧化碳和水蒸汽所形成的结合体（典型的如伦敦雾就是烟与雾的混合物，还有钢铁厂产生的氧化铁烟雾）就是这种烟雾型微粒。

图1-1给出了气溶胶微粒的大小和范围。

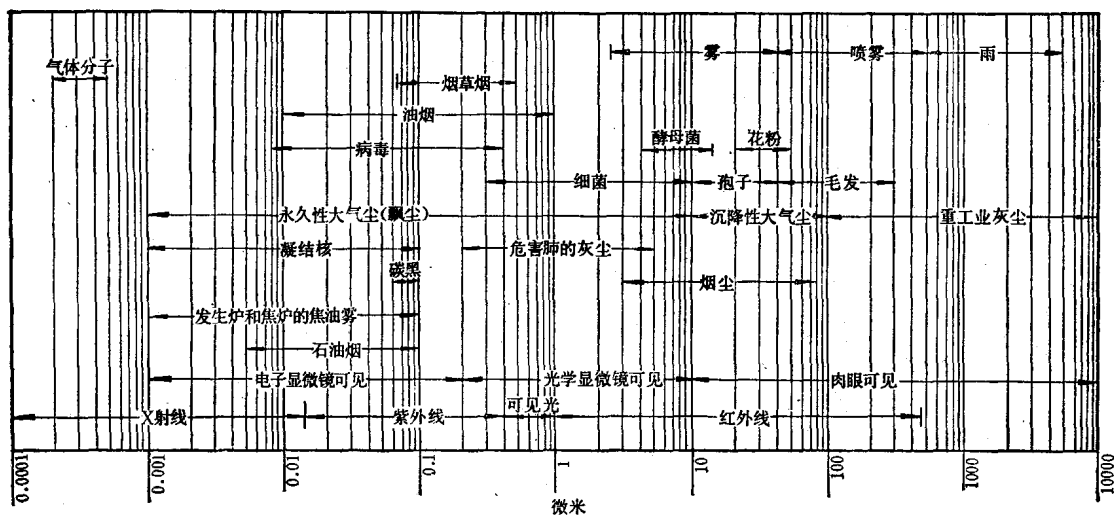


图 1-1 微粒的大小和范围

1-2 微粒大小的量度

1-2-1 粒径

微粒的大小通常以粒径表示。但是微粒特别是灰尘粒子并不都具有球形、立方等规则的几何外形，因此，通常所称微粒的“粒径”，并不是指真正球体的直径。在气溶胶及空气洁净技术中，“粒径”的意义通常是指通过微粒内部的某一个长度因次，而并不含有规则几何形状的意义。在分析微粒大小的时候，“粒径”就是指的这种含意。

例如，在灰尘采样以后，用普通光学显微镜来观测时，使灰尘标本向一个方向移动通过标尺，此时微粒投影通过测微标尺时，为标尺刻度线所切的两端的长度就代表粒径。顺序地、无选择地逐粒进行量测，遇尘粒的长径则测其长径，遇短径则测其短径（如图1-2所示）。这里的长径和短径叫做定方向切线径，当被测微粒足够多时，结果能正确反映样

本尘粒的平均断面。《空气洁净技术措施》就是按这种粒径定义的，这样对测定比较方便。但是也有规定只取投影最大线距为微粒直径的，例如美国关于洁净室的几个标准就是如此。显然，这就必须在测定时旋转测微尺，而且也不可能精确确定最大线距位置，所以日本的“洁净室中悬浮微粒测定法”（工业标准 JIS）就说明不必旋转测微尺，而只要估测投影最大径，并认为引起的误差很小。

也可以用和测量方法有关的各种当量直径来表示粒径。用光散射式粒子计数器测定时，“粒径”是指将所测微粒与标准粒子（如聚苯乙烯小球）作散射光强度的等效比较，而得到的综合效果，代表着某一个几何尺寸的范围，这是一种当量直径。还可以测出微粒沉降速度，按第五章所述斯托克斯定律求出沉降速度与所测速度相等的球体直径，称为沉降直径，也是一种当量直径，一般小于其他直径。西德标准 VDI—2083 就用当量直径表示粒径。

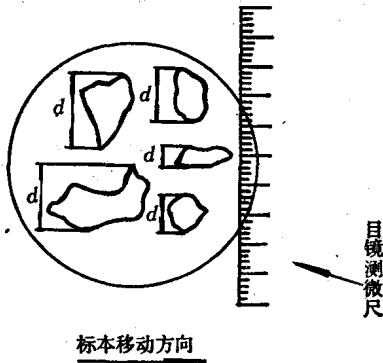


图 1-2 确定粒径的一种方法

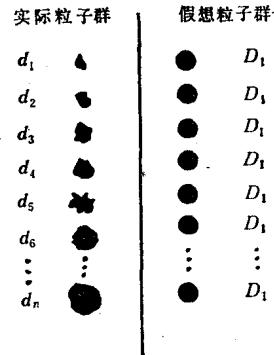


图 1-3 假想的粒子群和平均粒径

1-2-2 平均粒径

由于微粒形状极不相同，按上述方法得到的粒径，对于一个微粒群来说，也是不一样的，这在实际应用中就很不方便。因此，必须确定一种能反映全部微粒某种特征的平均数值，这就是“平均粒径”，它是用特殊的方法表示全部微粒某种特征的一个假设的微粒直径。

设实际的全部微粒粒径为 d_1, d_2, \dots, d_n （如图 1-3，是用前述方法确定的）。它们的某种特性（如光的散射特性）可用 $f(d_1), f(d_2), \dots, f(d_n)$ 来表示，则这一群微粒所具有的这种特性 $f(d)$ 和各别微粒的这种特性应有如下关系：

$$f(d) = f(d_1) + f(d_2) + \dots + f(d_n) \quad (1-1)$$

假想另有一群具有同样粒径 D 的微粒，和实际的微粒群有着相同的某种特性（如光的散射特性），那末就应该：

$$f(d) = f(D) \quad (1-2)$$

粒径 D ，就是针对某种特性而言的这群微粒的平均粒径。 D 可定为正六面体的一个边长，也可定为球体的直径，但一般用后者，即把假想的微粒群看作是一群一般大小的球。

最简单的一种考虑就是设想具有等直径 D_1 的一群微粒，其直径的总长度这一特性和实际的一群微粒的全部直径的总长度这一特性相同，则根据式（1-2）的定义可写出下式：

$$\begin{aligned} \sum n_i d_i &= \sum n_i D_1 = \sum n_i D_1 = n D_1 \\ D_1 &= \frac{\sum n_i d_i}{\sum n_i} \quad \text{或} \quad \frac{\sum n_i d_i}{n} \end{aligned} \quad (1-3)$$

这就是算术平均直径。

式中 d_i ——用任意手段测得的粒径；
 n_i ——相应于每一种直径 d_i 的微粒数目；
 n ——微粒总数。

如果令实际的微粒群和设想的微粒群的面积（投影面积或表面积）总和这一特性相同，则同样由式（1-2）可得到：

$$D_s = \sqrt{\frac{\sum n_i d_i^2}{\sum n_i}} \quad (1-4)$$

这个直径称为平均面积直径。

微粒的平均直径

表 1-1

符号	名称	意义	算式
D_{mod}	模型直径	标本或试样中大多数的微粒的直径，是所有借频率分布算出的直径中最小的	从粒径频率分布曲线最高点求得
D_{50} 或 D_m	中值(或中位)直径	大于此直径的微粒数恰好等于小于此直径的微粒数，为粒数中值直径；大于此直径的微粒重量(质量)恰好等于小于此直径的微粒重量(质量)，为重量(质量)中值直径	从粒径累积频率分布曲线上50%的微粒数(重量或质量)处求得
\bar{D} 或 D_1	算术(或粒数)平均直径	是一种算术平均值，也是习惯上最常使用的粒径。但是由于作为气溶胶的微粒群中小颗粒常占多数，即使重量很小，也能大大降低算得的平均值，所以在反映微粒群中微粒的真实大小和该微粒群的物理性质上有很大局限性	$D_1 = \frac{\sum n_i d_i}{\sum n_i}$ n_i 为各粒径的粒数 $\sum n_i$ 为总粒数
D_2	比长度(或长度平均)直径	是各微粒的投影面积除以相应的直径的加和总数而得，即单位长度的平均直径	$D_2 = \frac{\sum n_i d_i^2}{\sum n_i d_i}$
D_3	比面积(或面积平均)直径	是由各微粒的总体积除以相应的断面积的加和总数而得，即单位面积的平均直径	$D_3 = \frac{\sum n_i d_i^3}{\sum n_i d_i^2}$
D_4	比重量(或重量平均、质量平均、体积平均)直径	基于单位重量的表面积而得，即单位重量(体积、质量)的平均直径，比其他各径都大	$D_4 = \frac{\sum n_i d_i^4}{\sum n_i d_i^3}$
D_s	平均面积直径	是按微粒粒数平均面积的直径	$D_s = \sqrt{\frac{\sum n_i d_i^2}{\sum n_i}} = \sqrt{D_1 \times D_2}$
D_v	平均体积(重量或质量)直径	是按微粒粒数平均体积(重量或质量)的直径	$D_v = \sqrt[3]{\frac{\sum n_i d_i^3}{\sum n_i}} = \sqrt[3]{D_1 \times D_2 \times D_3}$
D_g	几何平均直径	是对数正态分布时，频率最大的粒径，等于中值直径。总是等于或小于算术平均直径	<ul style="list-style-type: none"> 从对数正态分布曲线的最高点求得 $D_g = \left(\prod_i d_i \right)^{1/n}$ $\therefore \lg D_g = \frac{\sum n_i \lg d_i}{n}$ 或者：$\lg D_g = \overline{\lg d_i} = \frac{\sum n_i \lg d_i}{\sum n_i}$

如果令实际的微粒群和设想的微粒群的比长度面积（即单位长度的截面积）这一特性相同，则可写出：

$$\frac{\sum n_i \frac{\pi}{4} d_i^2}{\sum n_i d_i} = \frac{n \frac{\pi}{4} D_2^2}{n D_2}$$

即

$$\frac{\frac{\pi}{4} \sum n_i d_i^2}{\sum n_i d_i} = \frac{\pi}{4} D_2$$

∴

$$D_2 = \frac{\sum n_i d_i^2}{\sum n_i d_i} \quad (1-5)$$

这个直径称为比长度直径。

以同样的方法可以求出其它平均直径，微粒的面积可考虑用圆形（球形）或方形，此外，还可以根据粒径频率分布确定一些平均直径。现将这些平均直径列于表1-1。

对于表中所列平均粒径名称要注意的是，在文献中常出现互相颠倒的称呼，例如此处称“平均面积直径”，而彼处则称“面积平均直径”，所以只有知道其表达式才能弄清准确意义。至于选用哪种平均直径合理，这要看工作目的而定。研究计重测尘时显然应采用和重量有关的直径 D_V ；而研究微粒的光散射性质时宜用平均面积直径 D_S 或平均体积直径 D_V ，因为光散射量在不同的粒径范围内，可能与微粒面积或者微粒体积有关；在与光的折射性质有关的范围内的问题应采用算术平均直径 D_1 ，这种性质与微粒长度因次有关。

现举例计算微粒平均直径。

在钠焰法测尘中，用电子显微镜测得在送风气流中采样的某标本片上的823个氯化钠微粒尺寸如下：

粒 径 (微米)	<0.05	0.05~<0.1	0.1~<0.2	0.2~<0.4	0.4~<0.6	0.6~<1.0
粒 数	17	99	429	225	40	13

根据这个数据列成表1-2。

平均粒径计算表

表 1-2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
粒 径 区 间 (微米)	平均值 d_i	粒 数 n_i	$n_i d_i$	d_i^2	$n_i d_i^2$	d_i^3	$n_i d_i^3$	d_i^4	$n_i d_i^4$
<0.05	0.025	17	0.425	6.25×10^{-4}	1.06×10^{-2}	0.16×10^{-4}	2.72×10^{-4}	0.39×10^{-6}	6.63×10^{-6}
0.05~<0.1	0.075	99	7.425	56.25×10^{-4}	55.69×10^{-2}	4.23×10^{-4}	418.77×10^{-4}	31.64×10^{-6}	3132.36×10^{-6}
0.1~<0.2	0.15	429	64.350	2.25×10^{-2}	956.25×10^{-2}	33.75×10^{-4}	14479×10^{-4}	506×10^{-6}	200000×10^{-6}
0.2~<0.4	0.3	225	67.500	9×10^{-2}	2025×10^{-2}	270×10^{-4}	60750×10^{-4}	8100×10^{-6}	1822500×10^{-6}
0.4~<0.6	0.5	40	20.000	25×10^{-2}	1000×10^{-2}	1250×10^{-4}	50000×10^{-4}	62500×10^{-6}	2500000×10^{-6}
0.6~<1.0	0.8	13	10.400	64×10^{-2}	832×10^{-2}	5120×10^{-4}	66560×10^{-4}	409600×10^{-6}	5324800×10^{-6}
Σ		823	170.10		48.68		19.2		9.85

由表1-2可以求出:

算术平均直径

$$D_1 = \frac{\sum n_i d_i}{\sum n_i} = \frac{170.10}{823} = 0.207 \text{微米}$$

比长度直径

$$D_2 = \frac{\sum n_i d_i^2}{\sum n_i d_i} = \frac{48.68}{170.10} = 0.286 \text{微米}$$

比面积直径

$$D_3 = \frac{\sum n_i d_i^3}{\sum n_i d_i^2} = \frac{19.2}{48.68} = 0.394 \text{微米}$$

比重量直径

$$D_4 = \frac{\sum n_i d_i^4}{\sum n_i d_i^3} = \frac{9.85}{19.2} = 0.513 \text{微米}$$

平均面积直径

$$D_s = \sqrt{D_1 \times D_2} = \sqrt{0.207 \times 0.286} = \sqrt{5.92 \times 10^{-2}} \\ = 0.243 \text{微米}$$

$$\text{平均体积直径 } D_v = \sqrt[3]{D_1 \times D_2 \times D_3} = \sqrt[3]{0.207 \times 0.286 \times 0.394} = \sqrt[3]{2.33 \times 10^{-2}} \\ = 0.286 \text{微米}$$

几何平均直径

$$\therefore \lg D_g = \frac{\sum n_i \lg d_i}{\sum n_i} = -\frac{623}{823} = -0.757$$

$$\therefore D_g = 0.175 \text{微米}$$

钠焰法测定所用的光电火焰光度计的读数,与氯化钠的含量(质量)成比例,所以上面计算的氯化钠微粒平均直径以取重量平均直径 D_4 较好,在上例中 $D_4=0.513$ 微米,而国外标准规定的该粒径是0.6微米。

1-3 微粒的统计分布

在空气洁净技术中经常要接触许多关于微粒大小的数据,例如把空气中的灰尘采在化学微孔滤膜上,当在显微镜下观察这种滤膜时,就可以看到大大小小形状不一的灰尘,而且即使是同一个时间采集的标本,也不一样,灰尘大小的数据在表面上完全是杂乱无章的。但是,就在这杂乱无章的数据里蕴藏着有用的“信息”,如果对这些数据作一番科学的整理与分析,就可能充分和正确地提取出有用的“信息”,从而可以作为测尘、防尘和除尘净化所采取技术措施的依据。这种对微粒大小的数据进行整理分析的工作,就是要找出微粒按粒径分布和按密度(在一定空间或面积中的粒数)分布的规律。

1-3-1 粒径分布曲线

微粒的许多特性只依靠算出粒子的平均粒径是不足以表示的,在很大程度上更取决于粒径分布的规律。

微粒按粒径的分布也就是微粒的分散度,它反映一群微粒中不同粒径的微粒各占总体