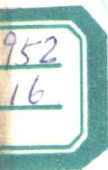
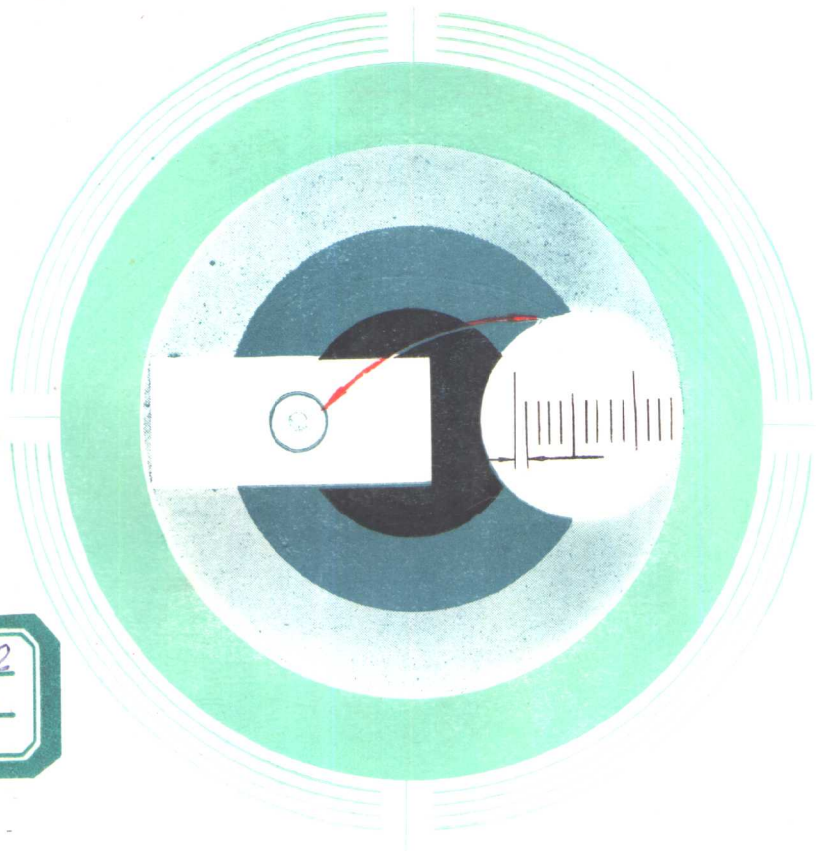


生产环境 粉尘测定

李烈勋 肖开万 刘后金 编



生产环境粉尘测定

李烈勋 肖开万 刘后金 编

冶金工业出版社

内 容 简 介

本书是安全环保工作者实用的工具书和参考书。全书共分四章，即生产性粉尘的危害及其浓度卫生标准；粉尘浓度的测定方法；粉尘分散度的测定方法；粉尘中游离二氧化硅含量的测定方法。书中总结了我国的测尘经验，对粉尘浓度标准及其制定原则作了较详细的介绍，同时还收集了美、日、苏等国家的粉尘浓度标准。

本书可供测尘工作人员使用，也可供安全工作者和环保工作者使用和参考。

生产环境粉尘测定

李烈勋 肖开万 刘后金 编

*

冶金工业出版社出版发行

(北京北河沿大街嵩祝院北巷39号)

新华书店总店科技发行所经销

冶金工业出版社印刷厂印刷

*

787×1092 1/32 印张5 1/4 字数115千字

1990年12月第一版 1990年12月第一次印刷

印数00,001~4,000册

ISBN 7-5024-0800-5

X·27 定价3.50元

前 言

为了正确评价生产环境粉尘的危害程度，加强防尘技术的基础建设和防尘措施的科学管理，保障职工的安全和健康，促进生产发展，我们在总结生产实践和科学研究成果以及国外先进技术的基础上，编写了《生产环境粉尘测定》一书。内容包括各种生产性粉尘对人体的危害，国内外生产环境中不同粉尘的浓度卫生标准，生产环境中粉尘浓度、分散度和游离二氧化硅含量的测定方法。本书可用作厂、矿企业测尘人员的培训教材，也可供从事通风防尘、劳动保护、环境保护工作的技术人员、管理干部参考。

参加本书编写工作的有（按章节顺序）：刘后金（绪论、第一章）、李烈勋（第二、三章）、肖开万（第四章）。全书由李烈勋同志统编，马秉衡同志审定。

由于我们水平有限，经验不足，难免有错误之处，诚恳地希望读者在使用过程中审查验证，并请提出批评指正。

编 者

一九八八年十二月

目 录

0 绪论	1
1 生产性粉尘的危害及浓度标准	3
1.1 生产性粉尘	3
1.2 粉尘的理化性质及其在卫生学和防尘上的意义	6
1.3 生产性粉尘对人体的危害	12
1.4 生产环境空气中粉尘浓度卫生标准	22
2 粉尘浓度测定方法	33
2.1 概述	33
2.2 测尘点的选择原则和采样位置的确定	38
2.3 常规滤膜测尘方法	43
2.4 个体采样和长周期采样方法	68
2.5 两级粉尘采样方法	76
2.6 快速测尘方法	79
3 粉尘分散度的测定方法	87
3.1 概述	87
3.2 数量分散度的测定方法	87
3.3 质量分散度的测定方法	95
4 粉尘中游离二氧化硅含量的测定	110
4.1 概述	110
4.2 焦磷酸质量法	115
4.3 红外分光光度法	123
4.4 X射线衍射法	137
4.5 其他分析方法	146
参考文献	162

0 绪 论

长期以来，许多学者和卫生专家对粉尘危害人体健康的问题作了大量研究工作，指出粉尘对人体危害是多方面的，如引起鼻炎、支气管炎、肺炎、中毒、肺癌、尘肺病等等，其中主要危害是导致尘肺病。矽肺病是尘肺病的一种，危害面广，危险性大。例如，我国接尘人员约为2000万，患有尘肺病和疑似尘肺病者约200万，目前已严重影响到我国千百万工人的健康，引起了各方面的极大关注。

长期研究表明，生产环境空气中的粉尘浓度、分散度和游离二氧化硅含量与导致矽肺病有密切关系。测尘是防尘工作的“耳目”和“尖兵”，是防尘工作不可缺少的部分。因为只有进行粉尘测定工作，才能了解生产环境中粉尘浓度、分散度及游离二氧化硅的含量情况，借以评定劳动卫生条件，制订并采取切合实际的防尘措施，最大限度地控制空气中的粉尘浓度，减少进入人体的粉尘量，从而减轻或消除粉尘的危害，防止矽肺病的发生。

国外测尘工作开始于本世纪初。我国测尘工作开始于中华人民共和国成立后。1963年9月28日国务院批准了《防止矽尘危害工作管理办法》，1973年10月30日国家计划委员会下达了《防止企业中矽尘和有毒物质危害的规划》，1982年冶金部颁布了《冶金企业测尘办法》，同年劳动人事部和卫生部组织有关科研人员编制了中华人民共和国国家标准《作业场所空气中粉尘测定方法》等；与此同时，各行各业先后开

展、改进、革新了测尘方法和研制了各种测尘仪器。但是，由于我国经济还不富裕，技术还不够先进，某些企业的领导对粉尘的危害性认识不足，对测尘工作重视不够，不能制定和采取有效防尘措施，至今粉尘危害不但未能有效控制，而且某些行业、地区和企业的矽肺发病率仍有上升趋势。因此，学习、宣传和普及测尘技术知识的工作，急待加强，这对防止粉尘危害，保障劳动安全，保护环境，提高效率，都是不可缺少的。

1 生产性粉尘的危害及浓度标准

1.1 生产性粉尘

1.1.1 生产性粉尘和尘肺

生产性粉尘是指在工农业生产过程中产生的、较长时间悬浮于生产环境空气中的固体微粒。接触粉尘作业的工人，由于长期吸入大量生产性粉尘所引起的肺部弥漫性变化的疾病，称为尘肺病。例如吸入石棉、滑石、水泥等粉尘可分别引起石棉肺、滑石肺、水泥肺；如果吸入多种混合性粉尘（如煤矿开采时，除煤尘外还有石英岩尘）可引起混合性尘肺。矽肺是尘肺病中的一种，是长期吸入含有游离二氧化硅粉尘所造成的结果，其危害最严重，也最常见，约占尘肺病人总数的95%以上。

1.1.2 生产性粉尘的来源及分类

1.1.2.1 粉尘的来源

在工农业生产中，许多作业都可产生粉尘。例如采矿工业中的凿岩、爆破、支柱、运输及选矿；开山筑路、开拓隧道；冶金工业中的原料破碎和金属冶炼；机械铸造业的翻砂、拌料、造型、开箱、清砂以及零件的磨光；玻璃制造、耐火材料、建筑材料、陶瓷、搪瓷等工业的原料制备；农业中的播种、收割以及粮食加工；畜牧业中的饲料粉碎；搬运行业中的装卸与清仓等等。能够形成粉尘的作业种类虽然很多，但归纳起来，生产性粉尘的形成方式基本上可分为三种：(1)

固体物质的机械性粉碎；（2）物质的不完全燃烧或爆炸；
（3）加热物质时产生的蒸汽在空气中凝结或氧化（如在铸钢时形成的氧化锌粉尘）。表1-1和表1-2分别为某些有色冶炼过程和黑色冶金工厂产生烟尘的情况。

表 1-1 某些有色冶炼过程产生的烟尘

冶 炼 过 程	烟尘占原料质 量的百分数，%	烟尘中主要金属含 量，%
铅和锡的鼓风炉熔炼	3~13	5~50（铅或锡）
铅和锡的反射炉熔炼	3~10	5~10（铅或锡）
铜铈和镍铈的吹炼	3~7	25（铜或镍）
黄铜的反射炉熔炼	1~6	70（锌）
阳极泥的反射炉处理	5~20	5（银），0.02（金）
锌和铜精矿的沸腾焙烧	40~50	
氢氧化铝的回转窑处理	8~24	98（三氧化二铝）
辉钼矿的多层炉焙烧	18	5（三氧化钼）

表 1-2 某些黑色冶金工厂产生的烟尘

生产过程或炉子种类	烟尘量，kg/t产品
高炉	100
烧结	2~50
平炉（不吹氧）	0.8~1.0
平炉（吹氧）	4.6
电弧炉	2.2~19
转炉	7~22
吹氧转炉	10~30

注：数据为近似值，是采用除去措施之前的产尘量。

1.1.2.2 粉尘的分类

A 按卫生学要求的分类

按卫生学要求，粉尘分有毒粉尘、无毒粉尘、放射性粉

尘等。砷、汞、铅等粉尘为有毒粉尘；硅尘、硅酸盐粉尘、煤尘等为无毒矿物粉尘，此类粉尘可导致肺组织纤维化，引起矽肺、硅酸盐肺、煤尘肺等疾病。含放射性物质的粉尘可导致各种放射性疾病。

B 按理化性质分类

按理化性质分，粉尘可分为无机粉尘、有机粉尘和混合性粉尘。

(1) 无机粉尘。无机粉尘包括：1) 矿物粉尘，例如石棉、石英、滑石等粉尘；2) 金属性粉尘，例如铁、铅、锌、铝、锰、镍、镉、铜等粉尘；3) 人工无机粉尘，例如金刚石、水泥、玻璃等粉尘。

(2) 有机粉尘。有机粉尘包括：1) 植物性粉尘，例如棉花、亚麻、谷物等粉尘；2) 动物性粉尘，如兽毛、羽毛、毛发等粉尘；3) 人工有机性粉尘，例如有机染料等。

(3) 混合性粉尘。在生产中混合性粉尘最为多见，系指上述某些粉尘混合在一起的粉尘，例如一些植物和动物性粉尘（棉花、亚麻、兽毛）中，常混有30~50%的矿物性粉尘。

C 按粉尘中是否含有二氧化硅分类

(1) 硅性粉尘。硅性粉尘包括：1) 含游离二氧化硅的粉尘，例如石英、硅藻土、人造石英玻璃等；2) 混合性粉尘；二氧化硅粉尘与其他粉尘同时混合存在，例如煤矿的粉尘含有硅尘和煤尘等。

(2) 非硅性粉尘。非硅性粉尘包括：1) 金属性粉尘；2) 有机性粉尘。

D 按粉尘在静止空气中沉降性质可分为：

尘粉——在静止空气中能够呈加速度沉降的尘粒；

尘雾——在静止空气中能够呈现等速沉降的尘粒；

尘云——在静止空气中不能沉降而随空气分子作布朗运动的浮尘。

E 按光学分类

可见粉尘——用肉眼可以看见的、大于 $10\mu\text{m}$ 的粉尘；

显微粉尘——用普通显微镜可以观察到的、粒径为 $0.25\sim 10\mu\text{m}$ 的粉尘；

超显微粉尘——只能用超显微镜才能观察到的、粒径小于 $0.25\mu\text{m}$ 的粉尘。

F 按粉尘的爆炸性质分类

按粉尘的爆炸性质可以分为易燃、易爆和非燃、非爆性粉尘。

1.2 粉尘的理化性质及其在卫生学和防尘上的意义

了解和研究生产性粉尘的物理和化学性质有以下两方面的意义。

从卫生学角度讲，要研究什么样的粉尘对人体健康的危害最大，何种粉尘被吸入人体后产生什么样的后果，以便采取相应的措施，防止粉尘对人体的危害，并为制订粉尘容许浓度提供依据。

从防尘方面讲，了解了粉尘的理化性质，能经济而又有效地设计或选择通风除尘设备类型、规格及粉尘的回收方法。对易燃易爆的粉尘还可采取相应的防爆措施，以确保除尘系统的安全。

1.2.1 分散度

分散度是指粉尘中各种粒径尘粒的质量或数量所占的比率，按质量计的为质量分散度，按数量计的为数量分散度。

粉尘中小颗粒所占的百分率大，称为分散度高；反之，称分散度低。粉尘分散度的高低与其在空气中的稳定程度有密切关系。分散度越高，其稳定程度越大，被吸入肺内的机会就越多，进入机体后的化学活性也越大，因而其危害性也大。从除尘的角度讲，分散度高的粉尘，不易被一般除尘器收集。某耐火材料厂的粉尘分散度情况列于表1-3和表1-4。

表 1-3 某耐火材料厂工作区粉尘的数量分散度

编号	取样地点	浓度 粒/ cm ²	分散度，%				
			<2 μm	2~4 μm	4~6 μm	6~8 μm	>8 μm
1	三号碾操作点	5380	96.7	2.3	0.7	0.3	
2	三号碾旁过道	4653	95.7	4	0.3		
3	大干碾操作点	923	95.3	3	1.7		
4	皮带机走廊	514	92.3	5	2	0.7	
5	压砖机操作点	720	94.4	4	1	0.3	0.3
6	烧成工段操作坑	623	96.3	2.7	1		
7	石灰破碎机近旁	295	97.3	2	0.7		
8	颚式破碎机近旁	584	93.7	4.3	1.7	0.3	
9	钢厂、炼钢车间1号碾近旁	623	96.3	2.7	1		
10	2号中型干碾近旁	494	74.0	19.3	4.3	1.7	0.7
平 均			93.2	4.93	1.44	0.33	0.10

1.2.2 荷电性

物料在粉碎加工时因摩擦而带电；尘粒吸附气体离子或与其他固体和液体表面接触时，互相摩擦也可带电。粉尘的荷电量取决于粉尘的大小、重量以及环境温度和湿度。高温下带电增多，湿度大时带电减少。

粉尘的荷电性对于尘粒在空气中的稳定程度有影响，对用电除尘进行净化时的净化效率则有决定性影响。例如，粉

表 1-4 耐火材料厂回转窑粉尘质量分散度

原料	采样地点	分散度, %				
		<4 μm	4~8 μm	8~16 μm	16~32 μm	>32 μm
镁 砂	旋风除尘器前	13	3	5	9	70
	电除尘器前	28	18	16	10	33
	电除尘器后	58	24	12	5	1
镁 砂	旋风除尘器前	2	4	3	4	87
	电除尘器前	16	6	6	9	63
	电除尘器后	28	9	10	11	42
白云石砂	旋风除尘器前	2	3	4	7	84
	电除尘器后	6	7	13	15	59
石灰石	旋风除尘器前	4	2	3	11	80
	电除尘器前	20	15	10	15	40
	电除尘器后	55	10	15	12	8
粘 土	旋风除尘器前	10	18	2	5	65
	电除尘器前	20	10	15	20	35
	电除尘器后	60	15	5	15	5

尘荷电以后, 凝聚和附着性就会增强, 粒子增大, 因此易于沉降和除尘, 但附着性增加容易造成管壁和器壁挂灰, 又对除尘不利。粉尘粒子的荷电性对尘粒的进入肺内也有影响。一般说来, 带电尘粒比不带电的尘粒易于滞留在肺泡和支气管中。例如, 在含有69%的小尘粒(直径小于 $1\mu\text{m}$)和27%的大尘粒(直径介于 $1\sim 3\mu\text{m}$ 之间)的铝尘中呼吸, 结果有34%的不带电尘粒和66%的带电尘粒滞留于肺泡和支气管中。荷电程度不同的尘粒进入肺内能影响细胞对粉尘的吞噬速度。有人提出, 带电的粉尘不易被吞噬细胞吞噬, 对人体的危害性更大。

1.2.3 吸湿性

粉尘有一定吸湿性。其吸湿能力决定于粒子成分、大小、荷电状态等。吸湿能力还随环境压力增加而增加,随温度上升而下降。粉尘易被水湿润的称为亲水性粉尘,反之,称为疏水性粉尘(如焦油烟气中的粉尘)。了解粉尘的吸湿性后,可据此选用除尘或降尘方法,如加强湿式作业、采用湿式除尘器净化等,或在防尘用水中添加湿润剂,以提高除尘效率等。

1.2.4 溶解性

粉尘的溶解性对人体危害程度因粉尘的性质不同而异。一般来说,有毒粉尘如溶解性强其危害性大;无毒粉尘相反,容易溶解的粉尘危害性较小。硅尘被吸入人体后,在组织液和细胞浆中可以溶解一部分而形成二氧化硅的胶体溶液,这种胶体溶液在矽肺的发生、发展过程中起着重要的作用。

1.2.5 扩散性

粉尘具有扩散性。防尘口罩或除尘器正是利用了这一特性而将粉尘阻留吸附的。粒径 $0.1\sim 0.001\mu\text{m}$ 的微尘,由于它在空气中连续不断地不规则运动(布朗运动),其扩散性与气体分子相同,所以一般除尘器难以将其阻留或使之沉降,对这种粉尘须选用适当的除尘器,如旋流除尘器、水浴除尘器、静电除尘器等。

1.2.6 爆炸性

具有爆炸性的粉尘有高分散度的煤尘、铝尘、锌尘、硫磺等。这些粉尘如果达到一定浓度范围,在外界高温、明火、放电、碰撞和摩擦等作用下,能够引起爆炸。

粉尘可能发生爆炸的浓度范围,也取决于粉尘的成分、粒度和湿度等。尘粒愈小,比表面积愈大,爆炸危险性愈

大。粉尘和空气中的湿度愈小愈易爆炸。几种粉尘的爆炸浓度下限列于表1-5。

表 1-5 几种粉尘的爆炸浓度下限

名 称	爆炸下限, g/m ³
铝粉末	58.0
煤粉	114.0
沥青	15.0
硫磺	2.3
硫磺粉	13.9
硫的磨碎粉末	10.1
页岩粉	58.0
泥炭粉	10.1

1.2.7 比电阻

表 1-6 冶金企业有关粉尘的比电阻

粉尘种类	比电阻, $\Omega \cdot \text{cm}$	备 注
贫氧化铁矿	3.89×10^{10}	未烘干
中氧化铁矿	8.50×10^{10}	未烘干
富氧化铁矿	7.20×10^{10}	未烘干
转炉焙烧铁矿	$2.90 \sim 4.26 \times 10^{10}$	未烘干
烧结机尾粉尘	$1.47 \times 10^9 \sim 9.06 \times 10^{10}$	
平炉	2.08×10^{11}	烘干
高炉	$2.20 \sim 3.40 \times 10^8$	未烘干
转炉	$1.60 \sim 2.06 \times 10^{10}$	未烘干
转炉	$1.36 \sim 2.18 \times 10^{11}$	烘干
反射炉	8.60×10^{10}	烘干
盐湖镁砂	3×10^{12}	
镁砂	3×10^{12}	含湿量58g/m ³ 气温160°C
白云石砂	4×10^{12}	含湿量62g/m ³ 气温150°C
石灰	5×10^{12}	含湿量73g/m ³ 气温130°C
粘土	2×10^{12}	含湿量73g/m ³ 气温140°C

粉尘导电性的表示方法和金属导线一样，也用电阻率来表示，其单位为 $\Omega \cdot \text{cm}$ ，简称比电阻。粉尘的比电阻是选用和操纵电除尘器时必须考虑的一项因素。比电阻在 $10^4 \sim 10^{10} \Omega \cdot \text{cm}$ 范围内的粉尘，适于用电除尘器净化。

粉尘的比电阻不仅与粉尘本身的性质有关，而且与含尘气体的温度、湿度、化学杂质的含量有关。冶金企业有关粉尘的比电阻列于表1-6。

1.2.8 形状和硬度

粉尘的形状是多种多样的，有球形、片形、菱形等等。尘粒的形态在某种程度上也能影响粉尘的稳定程度，质量相同的尘粒，其形态愈接近球形，降落时所受的阻力愈小。尘粒形状对引起疾病，在病理上有一定的意义，但也必须与硬度同时考虑。柔软的粉尘如棉尘和木炭易沉降在支气管壁上，在上呼吸道粘膜上覆盖着一层绒毛状物质，可引起慢性炎症，锐角和坚硬的尘粒能引起上呼吸道粘膜更多的损伤。在尘肺的发病学中，形状和硬度虽不起决定性作用，但在石棉肺的发病机制中，石棉纤维的形状所引起的机械刺激作用有着重要作用。

1.2.9 化学成分

粉尘的化学成分直接决定粉尘对机体有害作用的程度。粉尘组成中游离二氧化硅的含量越高，危害越大，越容易引起矽肺病。

1.2.10 粉尘的水硬性

粉尘吸水后形成不溶于水的硬垢的粉尘，称水硬性粉尘，如煅烧后的镁砂、白云石砂、石灰熟料等。由于这种粉尘容易结垢，造成堵塞，以致导致除尘系统瘫痪，所以一般不宜采用湿式除尘。

1.3 生产性粉尘对人体的危害

1.3.1 粉尘种类

在工业生产中,由于工艺流程及处理的物料不同,产生粉尘的种类和颗粒直径也各异。粉尘对人体的危害程度取决于粉尘种类、粒径和游离二氧化硅的含量。例如,当人体吸入过量的铅尘后,可扰乱人体的化学组成,构成铅中毒,影响红血球的功能,导致贫血症,降低人体的抗病能力和体力。如果再继续接触铅尘,将会引起严重的铅中毒,从而损伤身体某些主要机能,诸如消化系统失调,关节、骨骼、肌肉疼痛等症状,甚至引起神经系统损坏,造成周围神经炎、中毒性脑病等。

工人长期吸入大量的游离二氧化硅含量大于5%的粉尘后,肺泡内组织表面将形成具有化学活力的胶性硅酸,从而刺激吞噬细胞增生并吞噬硅尘,继而引起病变,由于此种吞噬细胞以及含游离二氧化硅的粉尘侵入肺泡周围淋巴间隙并进入淋巴管系统,最后汇入肺门淋巴结内,从而破坏了淋巴结内组织细胞并随之引起结缔组织增生。这种病变导致在肺门淋巴结群内形成以胶原性结节为主的形态改变。由于噬尘细胞和硅尘可在肺门淋巴向两肺外侧逆行,而招致在肺内各不同部分引起结缔组织增生性病变(包括胶原性结节性病变形成和间质、胸膜等纤维性改变)。

长期研究表明,有些金属粉尘还会致癌,如无机砷化合物(三氧化二砷)会导致皮肤癌和肺癌。据国际癌症研究中心(IARC)报导,铜冶炼厂工人的肺癌发病率高,是因为工人接触无机砷化合物所致。镍冶炼厂工人的鼻腔癌和肺癌的发病率高,多因接触镍尘所致。此外,铬、镉也会致癌。铅、砷、