

孙正方 編

工业灰尘测定手册

工业灰尘测定手册

孙 正 方 編

中 国 工 业 出 版 社

本书介绍了灰尘的理化性质、空气采样及各种比较常用的测尘方法。每一种测尘方法按测定原理、仪器构造、使用方法、采样效率、优缺点及注意事项作了比较详尽的介绍，并附有必要的插图。本书适用于工矿通风防尘、安全技术及卫生防疫站工业卫生工作人员，对其他从事工业灰尘测定工作的人员也颇有参考价值。

工业灰尘测定手册

孙正方 编

*

冶金工业部科学技术情报产品标准研究所书刊编辑室编辑

(北京市灯市口71号)

中国工业出版社出版 (北京佟麟阁路西10号)

北京市书刊出版业营业许可证出字第110号

中国工业出版社第三印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

开本 $850 \times 1168 \frac{1}{32}$ ·印张 $4\frac{6}{25}$ ·字数124,000

1964年9月北京第一版·1964年9月北京第一次印刷

印数0,001—5,140·定价(科四)0.46元

*

统一书号: 15165·3136 (冶金-514)

編 者 序

中国共产党和政府对工人的安全与健康从来都非常关怀。解放后，我国在防尘工作方面取得了很大成績，采取了一系列的措施，改善了工作中接触灰尘的工人的劳动条件，这对保护工人的健康和提高劳动生产率都起到了极大的作用。在分析工人的劳动条件，研究灰尘对人体的危害及评价防尘措施的效果时，常常需要测定空气中的含尘量。灰尘测定工作在国外也只有四十年左右的历史；而国内此项工作则是近十年才比较普遍开展。测尘方法种类繁多，且无专门书籍，因此常使初次从事此项工作的人员感到很大的困难。为了帮助新从事灰尘测定工作的人员正确掌握测尘方法，本人根据国内外有关书籍中的材料并结合个人工作中的体会编写此书。由于编者学识经验有限，错误与不妥之处在所难免，尚希国内专家及读者指正。

本书在编写过程中承蒙李文铭医师热心指导，张印德及赵秉贤同志代为绘图和缮写稿件，均于此并致谢意。

孙正方

一九六三年二月

目 录

編者序

第一章 灰尘的理化性质	1
§ 1 尘灰的定义与分类	1
一、灰尘的定义	1
二、灰尘的分类	2
§ 2 灰尘的理化性质及其卫生学意义	3
一、分散度	3
二、灰尘的荷电性	12
三、灰尘的吸湿性	14
四、灰尘的扩散性	14
五、灰尘粒子的形状与硬度	15
六、灰尘的溶解度	16
七、灰尘的爆炸性	17
八、灰尘的化学成分	17
九、混合性灰尘对人体的影响	18
第二章 灰尘测定概論	19
一、灰尘测定目的	19
二、空气中灰尘度测定的内容	19
三、重量法和計数法的优缺点	20
四、灰尘浓度测定方法的选择	21
五、灰尘重量法和計数法結果間的关系	22
六、空气中灰尘的最高容許浓度	24

七、灰尘测定结果的卫生评价	25
八、灰尘度测定方法分类	30
第三章 空气采样	33
§ 1 空气采样要点	33
一、详细了解生产	33
二、正确选择采样管进口的抽吸速度和方向	35
三、采样地点的选择	36
四、采样时间及次数	37
五、对照	39
六、采样时的一些注意事项	39
七、详细填写采样记录	40
§ 2 空气采样动力	41
一、吸尘机	42
二、刮板泵	42
三、喷射器	42
§ 3 空气体积的测量	46
一、湿式气量计	47
二、孔口流量计	48
三、转子流量计	55
§ 4 空气体积换算成标准状况的方法	58
第四章 灰尘重量测定方法	63
§ 1 集尘管重量法	64
§ 2 滤纸法	86
§ 3 快速聚苯乙烯棉测尘法	92
§ 4 滤膜测尘法	95
§ 5 静电沉淀器	96

第五章 灰尘数量测定方法	99
§ 1 灰尘计数技术	99
一、灰尘标本的制备	99
二、灰尘标本的计数	101
三、决定计数测定准确度的一些因素	103
§ 2 撞击法	106
一、概論	106
二、柯贊氏尘埃計	108
三、奥文斯氏灰尘计数器	116
四、瀑布式撞击器	129
五、格氏撞击式采样器	132
§ 3 自然沉降法	148
一、沉降计数器	148
二、格林氏沉降器	152
§ 4 热沉淀作用——热沉淀計	155
§ 5 光学法連續式超显微鏡	159
§ 6 计数結果的比較	162
第六章 管道灰尘度的测定方法	163
第七章 灰尘大小及分散度的测定方法	174
§ 1 显微鏡检查法	174
§ 2 篩选分析法	186
附录	190
1. 卫生部、劳动部、全国总工会联合通知	190
2. 变色砂胶的制备	190
3. 生产场所灰尘浓度和分散度采样记录	191
4. 灰尘重量浓度测定原始记录	192

5. 灰尘分散度测定原始记录	194
6. 灰尘中游离二氧化矽含量测定方法 ——焦磷酸法	194
参考文献	200

第 一 章

灰尘的理化性质

§ 1 灰尘的定义与分类

一、灰尘的定义 灰尘是能在一定时间内浮游于空气中的固体微粒。从胶体化学观点来看，灰尘是一种分散体系^①，其分散相是固体微粒，分散介质是空气。此种分散体系也叫做气溶胶（aerosol）。在工业生产过程中的灰尘叫做工业灰尘。

几乎在所有生产部门均能看到工业灰尘。例如在下列工业生产中都会产生工业灰尘：各种矿石、岩石的开采与加工；开山筑路，开掘隧道；钢铁工业中冶炼原料的准备（如破碎工序）；机械工业的铸造、研磨加工等工序；耐火器材、玻璃、水泥等建筑材料工业；陶瓷、搪瓷工业；纺织、皮毛加工工业的初步工序；化学工业中固态原材料及成品等的加工、处理、包装等操作。

工业灰尘的发生原因有四：1）固体物质的机械性粉碎；2）物质的不完全燃烧或爆炸；3）物质被加热时产生的蒸气在空气中凝结或被氧化，例如铸铜时形成的氧化锌；4）粉末状微粒物质的混合、过筛、运输及包装。

① 如果一种物质被粉碎并且多少均匀地分布于另一种物体的整个容积之内，即成为一种分散体系。

二、灰尘的分类 灰尘的分类在研究灰尘的危害及其预防时具有很大意义。根据灰尘的分类便能够系统地了解灰尘的来源、性质及其对人体的危害。一般可按不同特点进行分类。

(一) 按灰尘的来源进行分类：

1. 有机性灰尘：1) 植物性灰尘，例如棉、亚麻、面粉等；2) 动物性灰尘，例如兽毛、角质、毛发等；3) 人工性有机灰尘，例如染料、塑料、沥青等；

2. 无机性灰尘：1) 金属性灰尘，例如铝、铜、铁、铍等；2) 矿物性灰尘，例如石英、石棉、砂、石墨等；3) 人工性无机灰尘，例如金刚砂、水泥、玻璃等；

3. 混合性灰尘：生产中最为多见，系指上述各类灰尘混合存在的情况而言。例如，一些植物性或动物性灰尘（兽毛、棉花、破烂布等）中能含有3~50%的矿物性灰尘，而这些“夹杂物”却有更重要的卫生学意义。

(二) 按灰尘粒子的大小进行分类（Gibbs氏）：

1. 尘埃 粒子直径大于10微米，此种粒子在静止空气中停留时间很短，依加速度下降；

2. 尘雾 粒子直径介于10~0.1微米之间，在静止空气中下降慢，按Stokes法则作等速度下降；

3. 尘烟 粒子直径为0.1~0.001微米，因其大小接近于空气分子，受到气体分子冲撞而呈Brown运动①存在

① 浮悬于液体或气体中的显微镜微粒处在连续不断的无秩序的运动中，这种运动称为布朗（Brown）运动。该运动的法则为：介质温度愈高，微粒愈小，则微粒运动愈快。

于空气中，有相当强的扩散能力，在静止空气中几乎完全不降落或者非常缓慢曲折地降落下来。

(三) 按灰尘粒子的光学特性分类 (E. A. Вигдорчик 氏)：

1. 可见灰尘 粒子直径大于 10 微米，肉眼可以看见；
2. 显微灰尘 粒子直径为 0.25~10 微米，在普通显微镜下可以看见；
3. 超显微灰尘^① 粒子直径小于 0.25 微米，只有在超显微镜下才能看见。

(四) 按灰尘的形成方式进行分类：

1. 粉碎而成的气溶胶——固体物质机械粉碎时形成的气体分散体系，其中有大于 0.1 微米的粒子；
2. 凝聚而成的气溶胶 蒸气凝聚时形成的气溶胶系，其粒子大小有二种：1) 小于 0.1 微米的粒子（尘烟）；2) 随着粒子的变大（尘烟的衰老）出现第二种粒子——尘雾，其大小接近粉碎而成的气溶胶。

§ 2 灰尘的理化性质及其卫生学意义

一、分散度 分散度是表示物质被粉碎的程度，用来表示构成分散相的灰尘粒子大小的组成。组成分散相的灰尘粒子愈微小，分散度愈高；反之，则分散度愈低。总之，分散度就是和每个灰尘粒子大小相反的衡量值。分散

① 这类灰尘在超显微镜下能看出是单个亮点的部分，又叫亚显微灰尘。

度的高低对灰尘的許多理化性质起着重大的作用。例如：

(一) 沉降速度 灰尘沉降的速度主要取决于尘粒的分散度和比重，部分也取决于粒子的形态。在静止空气中，尘粒呈浮游状态的持續時間，决定于方向相反的两个力的相互作用，即尘粒的重力和尘粒与空气間的摩擦阻力。对于球形粒子，其重力 F 可按下列公式計算：

$$F = \frac{4}{3}\pi r^3(\rho - \rho_1)g \quad (1)$$

式中 π ——3.14；

r ——粒子半径，厘米；

ρ ——粒子比重，克/秒²/厘米⁴；

ρ_1 ——空气比重，克/秒²/厘米⁴；

g ——重力加速度，等于981厘米/秒²。

根据 Stokes 法則，空气摩擦阻力 R 与介质的粘性系数、灰尘粒子的半径及其运动的速度成正比，即：

$$R = 6\pi\eta rV \quad (2)$$

式中 η ——静止空气粘性系数（当温度为21°C时，等于 1.81×10^{-4} ）；

V ——粒子的沉降速度，厘米/秒。

其它代表符号与公式 1 同。

随着沉降速度的增加，空气摩擦阻力也成比例地增大。如果重力大于摩擦力，尘粒便以加速度降落。根据計算，在静止空气中，当尘粒（球形的）的直径大于10微米时，是以加速度降落。换言之，只有可見灰尘才能在静止空气中加速降落。如果重力比較小（即尘粒的直径很小

时)，則随着下降速度的增加，会使重力与摩擦阻力完全平衡。这时尘粒的沉降以等速度进行。設公式 1 中的 F 与公式 2 中的 R 相等，即：

$$\frac{4}{3}\pi r^3(\rho - \rho_1)g = 6\pi\eta rV$$

$$\text{則：} \quad V = \frac{2}{9}r^2 \frac{\rho - \rho_1}{\eta}g \quad (3)$$

公式 3 为有名的 Stokes 法則的数学表示法。由此公式可得出，对同一物质的球形微粒，如果它的大小在能保持等式 $F=R$ 的范围内，則在靜止空气中（或在其它靜止分散介质中），該微粒的沉降速度与其半径的平方成正比。計算証明，显微灰尘的大小正好在此范围内。

因为 ρ_1 值比 ρ 小得多，可以忽略不計。将上述 η 及 g 各值代入公式 3，即得到在靜止空气中計算球形粒子等速度降落的簡化公式：

$$V = 1.2 \times 10^6 \times r^2 \times \rho \quad (4)$$

按此公式算出的石英球形尘粒（比重 = 2.62）在靜止空气中的降落速度如表 1 所示。

由表 1 可以看出，显微尘粒的降落速度随着直径的减小而急剧降低。10 微米或更大一些的粒子（可見灰尘）在靜止空气中很快地降落下来，不能在空气中較长久地保持浮游状态，而直径小于 10 微米的尘粒，其降落速度要慢得多，因此能較长久地在空气中保持浮游状态。例如，1 微米大小的石英尘粒从呼吸地带（即离地面 1.5 米高处）降落到地面，須經過 6 小时。同样形状和大小的煤尘粒子的

石英球形微粒在靜止空气中的降落速度 表 1

尘粒直径, 微米	降 落 速 度	
	厘米/秒	米/小时
100	78.6	2,829.6
10	0.786	28.296
1	0.00786	0.283
0.1	0.0000786	0.00283

降落速度, 約比石英粒子降落速度慢一半。

以上所討論的降落速度都是就球形粒子在靜止空气中而言。在生产条件下, 由于热源、机器轉动及工人不断走动等因素, 經常有气流存在, 而且大部分尘粒的形状不規則。所有这些均使尘粒的降落速度变慢, 延长它在空气中浮游的时间。在生产厂房空气中小于 2 微米的尘粒, 实际上往往不能降落, 而长久地浮游于空气中。

由此可以了解, 灰尘的分散度愈高, 其沉降速度愈慢, 也就是越能較长久地浮游于空气中, 因而被工人吸入的机会也就越多, 所以危害性越大; 在生产环境中空气含有的灰尘都是很小的粒子。据实际測定資料, 生产車間空气中的尘粒, 主要是在 10 微米以下, 其中 2 微米以下者占 40~90%。

当然, 尘粒的比重也决定尘粒在空气中的行动; 两个大小相等的尘粒, 比重較大者就比另一个重。由此可見, 灰尘在空气中的沉降, 不能只根据尘粒的大小来决定, 也須要考虑尘粒的比重。例如, 直径为 50 微米的球形金粒不

会浮游于空中，而要降落下来；但如果是软木塞或纸的尘粒，那么差不多完全不下降。几种灰尘的平均比重见表 2。

几种灰尘的平均比重

表 2

灰尘种类	比重,克/秒 ² /厘米 ⁴	灰尘种类	比重,克/秒 ² /厘米 ⁴
亚 麻 尘	1.2	砂尘(喷砂)	2.7
毛 尘	1.55	金刚砂尘	3.1
烟 草 尘	1.3	铁 尘	5.7~7.9
木 尘	1.5	铜 尘	7.7~8.2
无烟煤尘	1.6	铅 尘	11.8

在考虑通风除尘及决定灰尘采样速度时，应当考虑灰尘的比重这一因素，而采用不同的速度。

(二) 灰尘在呼吸道中的阻留 分散度的高低和灰尘被吸入后在呼吸道中的阻留有着密切的关系。最大的尘粒(50微米以上者)完全阻留在鼻、鼻咽、气管和大支气管内。大小为15~10微米的尘粒不能通过呼吸道到达肺泡而阻留于上呼吸道内。大小为10~5微米的尘粒虽能到达肺泡内，但大部分也同样被阻留于呼吸道内。大小为5~0.1微米的尘粒最容易阻留于肺泡内，而这样大小的尘粒常常为全部灰尘粒子的80~90%。图1为各个学者所研究的不同半径的灰尘粒子在呼吸道中阻留的百分率。

根据 E.B. Хухрина 氏的研究证明，尘粒大小由5微米到0.2微米的范围内，随着粒子直径的减小，尘粒在肺内阻留的百分率有规律地下降(如表3)；但是 E.A.

Вигдорчик 氏証明，直径小于 0.25~0.3 微米的超显微灰尘的阻留百分率却又急剧增加。根据 Е.А.Вигдорчик 氏的資料，石英的超显微灰尘的阻留百分率为 57~90%。

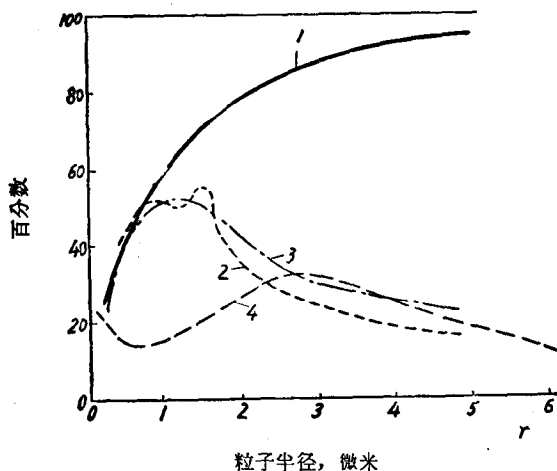


图 1 气溶胶在呼吸道中的沉淀

1. Vanwijk 和 Patterson (总沉积), $\tau=2.6$
2. Wilson, Lamer, $\tau=1.2$
3. Brown-Hatch, $\tau=2.6$
4. Ландауль等, $\tau=1.7$

(三) 比表面积 灰尘粒子愈小，即某种物质的分散度愈高，则其单位质量的总表面积即比表面积愈大。例如，某物质为一边长 1 厘米的立方体，它的表面积等于 6 平方厘米，把它粉碎成边长 1 微米的立方体后，其表面积

不同大小灰尘粒子在呼吸系统中的阻留率 表 3

(据 E.B. Хухрина 氏材料)

粒子大小 微米	阻 留 率 %	粒子大小 微米	阻 留 率 %
< 0.2	21.0	1.6	76.3
0.2	27.8	2.0	84.7
0.4	37.8	3.0	89.4
0.8	52.8	4.0	96.1
1.2	63.0	5.0	92.6

則增加为 6 平方米。这就是說，增加了 10,000 倍。假如繼續再把它粉碎成边长 0.1 微米的立方体，則其表面积等于 600000 平方厘米，即增加到原来的 100,000 倍。由于比面积的增大，物质的物理和化学的活性也就增高，因而容易参与化学反应。这是因为只有位于物体表面的分子才参与化学反应。只有当表层参与化学反应后，丧失了和物体的直接关系时，才露出下一层分子，于是下一层分子又参与相同的反应，如此不断地进行。

由于分散度高的灰尘的比表面积增大，显著增加了灰尘粒子在溶液中的溶解度。根据 С.С. Шаповка 氏的资料，石英粒子的大小由 75 微米减小到 5 微米时，它在碱溶液中的含量由 2.3% 上升到 6.7%。

灰尘比表面积愈大，它們与空气中氧气反应也就愈剧烈；由于这种反应的结果，可产生灰尘的自燃和爆炸。

随着物质比表面积的显著增大，物质表面层对空气中