

作业环境粉尘危害的评价

倪守邦 施无右 董雪予 译

冶金工业部冶金安全教育指导站

世界卫生组织 (WHO) 出版物第80号

作业环境粉尘危害的评价

倪守邦 施无右 董雪予译

冶金工业出版社安全工程指导站

内容简介

本书系世界卫生组织1984年的出版物，系统地介绍了粉尘的性质，呼吸性粉尘，粉尘危及人体健康的生理学本质，粉尘采样和分析方法及有关仪器装置，各种滤料的性能和选择原则，作业环境粉尘危害的基本评价方法等。内容全面、深入，对从事这方面研究、教学、检测、评价的人员来说，是一本难得的参考资料。

作业环境粉尘危害的评价

倪守邦 施无右 董雪子译

冶金工业出版社安全教育指导站内部发行

冶金工业出版社安全环保院印刷厂印刷

1987年12月

译者的话

为了使我国工作环境粉尘检测工作与世界各国的粉尘检测工作现状沟通,我们翻译了世界卫生组织(WHO)的《作业环境粉尘危害的评价》一书。本书较系统地介绍了粉尘的性质,呼吸性粉尘、粉尘对人体的危害,粉尘的采样与分析方法、使用的仪器与装置、工作环境粉尘危害的评价方法等,对开展工作环境粉尘检测和评价有很好的参考价值。

本书第1、2、3章和第4章的4.1、4.2由施无佑翻译;第4章的4.3、4.4、4.5、4.6、4.7、4.8和第5章由倪守邦翻译;第6章和附录部分由董雪予翻译。全书由倪守邦审,秦仁礼校。

限于我们的水平,错误和不足之处在所难免,请读者提出宝贵意见。

译者

1987年12月

序

在工业生产过程对人体健康造成的各种危害中，接触粉尘及其它悬浮微粒显得特别重要。因为这种工作环境是普遍存在的，而且，其不良影响常常是在不知不觉之中加剧的。为了研究有效的措施，使工人们健康受损减少到最低程度，必须测定工作环境中有害物质的浓度，了解它们的化学和物理特性、及对人体的生理作用。

本书是世界卫生组织出版的职业卫生方面的指导书之一。第一版是在1979年11月世界卫生组织会议期间起草，1981年9月22~25日在埃及亚历山大东地中海地区举行会议时定稿的。

本书概述了悬浮微粒的特性和它们在人体内的作用，描述了总粉尘采样或呼吸粉尘采样的基本原理，并强调吸入这些粉尘后对人体健康产生的潜在不利影响。讨论了微粒捕集的原理和现在使用的仪器，并提出某些特殊的捕集方法的细节。

本书的目的是提供信息和指导，包括职业卫生的计划和执行大细，帮助从事工作环境悬浮微粒采样和分析的人员能在给定的条件下选择最合适的方法。书中也提出了关于数据整理和分析的建议，希望有助于进一步改进评价的方法，使工作环境中接触悬浮微粒的评价方法标准化。

目 录

序 言

1 概述.....	(1)
2 悬浮微粒的物理和化学特性.....	(3)
2.1 粒 径	(3)
2.2 形状和 长 宽比.....	(5)
2.3 表面积和 体 积.....	(7)
2.4 溶 解 度.....	(8)
2.5 成 分	(8)
2.6 放 射 性.....	(9)
3 微粒进入人体及其生理学特点.....	(11)
3.1 微粒在人的呼吸道中的穿透、沉降和清除	(11)
3.2 人体接触悬浮微粒的生理学反应.....	(13)
4 微粒采样和分析的基本原理.....	(19)
4.1 建立在人体呼吸道沉降试验基础上的悬 浮 微 粒采样方法.....	(19)
4.2 总粉尘和呼吸性粉尘 采 样.....	(23)
4.3 个体采样与定点 采 样.....	(25)
4.4 分 析 方 法.....	(26)
4.5 采样位置 选 择.....	(30)
4.6 统计 依 据.....	(34)
4.7 符合接触浓度检测标准的测定 原 则.....	(38)
4.8 记 录	(39)
5 微粒捕集原理和所使用的仪器.....	(41)
5.1 微粒的 沉 降.....	(41)
5.2 过 滤	(46)

5.3	干冲击	(52)
5.4	湿冲击	(54)
5.5	静电沉降	(54)
5.6	热沉降	(55)
6	采样与分析	(57)
6.1	常规采样	(57)
6.2	总粉尘和呼吸性粉尘采样	(60)
6.3	直读式仪器	(62)
6.4	样品的分析	(63)
6.5	特殊采样方法	(64)
附录A	总粉尘个体采样	(67)
附录B	呼吸性粉尘个体采样	(77)
附录C	确定悬浮粉尘中游离二氧化硅含量的化学分析方法	(80)
参考文献		(82)

1. 概述

接触悬浮微粒的职业是很普遍的，而且经常对人们的健康造成潜在的危險。

根据产生情况，悬浮微粒可以分成分散相和凝聚相两种主要类型。分散相包括从液体或固体大块材料上分解下来（如研磨、雾化等），凝聚相包括在加热和冷却后分子的聚集，这些气溶胶常常进一步被分为下述的亚类型。

粉尘（分散相气溶胶），由固体材料通过机械作用产生或在大自然中产生的，通常产生在采矿场、铸造厂、采石场、纺织厂等作业场所，以及材料加工过程，粉状材料运输，农业和林业。粒径愈大，沉降愈快，粒径大于 $50\mu\text{m}$ 的粉尘，沉降迅速。此外，微粒的密度和形状随着空气扰动将影响其沉降速度。

烟雾（凝聚相气溶胶），由热的固体物质通过蒸发和凝聚而产生，通常产生在铸造厂和其它冶金工厂，同样也产生在焊接作业中。

雾，由液体通过机械作用分散、汽化或蒸发凝聚而产生，它产生在现代农业、金属加工工业、电镀、喷漆和其它喷雾作业。

烟，由很细小的固体或液体微粒组成，它产生于煤炭的燃烧，被公认为是一种严重的公害，许多烟气中含有公认的致癌物。

虽然悬浮微粒的粒径比气体和蒸汽分子的粒径大，但是，能引起矽肺病的微细颗粒是肉眼看不见的，这种直观的效果往往使人误解。具有相同粒径的飘尘，在卫生学方面的含意可能与微粒不同，这决定于它们所含成分的毒性。例如

有一种含有少量剧毒物质的中性粉尘，如果这些粉尘长期停留在工人肺内，那么粉尘或“粗粒粉尘”（如高岑土、滑石）也可能有潜在的生物学活性。

因此，为了表示接尘条件的特征，确定污染是否表示一种潜在的或真实的危险，证实控制测量的需要，作业场所悬浮微粒的采样是必须的，确定这种测量的效果也是重要的。

目前，用来确定作业场所悬浮微粒浓度和成分的方法很多，对于不同的条件和一些特殊场所，都有合适的方法，但这些方法只能用于测量到达呼吸系统内部深处的呼吸性粉尘。

2. 悬浮微粒的物理和化学特征

空气中和进入人体内部的微粒的特性，取决于它们的物理和化学性质，如：微粒的尺寸、相对密度、形状等，这些因素不仅影响微粒的沉降速率以及滞留在空间的时间，而且也影响它们在呼吸系统内的穿透和沉淀。微粒的有害影响也取决于它们的化学和矿物学的组成、溶解度和生理活性。

从微粒对体表皮肤的影响来看，微粒尺寸大小并不重要，但还是应该加以考虑的。因为它影响沉降。虽然微粒沉降在体表皮肤不会产生直接的影响，但能够通过皮肤进入血液，而且含毒物（如铅、锰和其它有毒物质）的微粒将产生毒性作用。因此，微粒尺寸的大小也与媒介质的溶解度一样具有重要性。

在呼吸道里，有刺激性的粉尘的影响很大程度上取决于微粒的尺寸和溶解度。与上呼吸道不同，这些刺激常引起支气管痉挛或肺水肿。某些粒径相对来说较大的微粒可引起梗阻性肺病，粒径较小的能穿透肺泡而引起肺泡的病变。纤维粉尘是刺激呼吸道的主要原因。要把注意力集中到那些足以穿透肺泡空间、并在肺泡内沉降的微小微粒的危害上来。

含有毒物质的可溶性粉尘，如果沉降在呼吸道内的任何地方或被咽下，可能导致中毒。在对这种影响作出估计时，通常取一个总粉尘的样品。

2.1 粒径

粒径普遍被认为是悬浮微粒物最重要的物理特征。

微粒的粒径一般用直径来定义。除非知道它的几何形状，否则，可用长度和宽度指标来表示。如果微粒是一个球体，直径实际上是一个特殊的粒径指标。但对于非球形的微

粒来说，为了确定其粒径，必须采用某些规定。最普通的规定是：微粒的体积，按圆球的体积；微粒的质量，按圆球的质量；微粒的沉降速度按圆球的沉降速度；微粒的直径，按显微镜观察时的投影面积。

在卫生学评价方面定义微粒粒径最广泛使用的概念是从微粒在静止空气中下落速度得出的。当一个微粒在空气中由静止开始下落时，它受向下的重力支配，并克服大气阻力，这些力之间很快达到平衡，微粒以它已知的最终沉降速度匀速下落。空气动力学等效直径不涉及微粒实际长度的测量，但被定义为一个假设的单位密度 ($1\text{g}/\text{m}^3$) 球体的直径，这个单位密度球体与论及的微粒在空气中有相同的最终沉降速度，而不考虑它们的几何尺寸、形状和密度。空气动力学等效直径是目前建议用以表示微粒粒径的，这是由于它与穿透呼吸道并沉降在那里的微粒密切相关。

有时使用的斯托克斯等效直径是指相同平均密度和相同下降速度的一个球形微粒的物理直径。直径在 $1\sim 50\mu\text{m}$ 范围内的这种球形微粒，沉降速度是与它们的密度和直径的平方成正比的。非球形的微粒，通常下降速度比用斯托克斯直径表示的微粒的要低，因为，它们较大的单位质量投影表面积增加了下降的阻力。

粒径在 $0.005\sim 0.05\mu\text{m}$ 范围的微粒，通常是由高温或化学过程产生的蒸汽冷凝而成的。 $0.05\sim 2\mu\text{m}$ 范围的微粒，一般是由较小的微粒凝聚或由较小的微粒在蒸汽作用下凝聚而成的。粗的微粒是由机械作用（例如碾磨）产生的。微粒有不同的粒径范围，描述微粒粒径分布对评价微粒对人体健康的潜在危害是必须的。

通常，烟尘的平均粒径为 $0.01\sim 1.00\mu\text{m}$ ；雾粒的平均

粒径为 $0.5\mu\text{m}$ ；一般粉尘的粒径范围从小于 $1\mu\text{m}$ 到 $100\mu\text{m}$ 。不同的大气污染的微粒粒径范围示于图 2—1。

微粒进入肺泡，必须有一个小于 $3 \times 10^{-3}\text{m/s}$ 的穿透速度，这个速度是与粒径为 $7\mu\text{m}$ 的单位密度球体等效的。空气动力学等效直径大于 $10\mu\text{m}$ 的微粒，一般穿透范围不超出鼻咽部。大于 $50\mu\text{m}$ 的微粒，通过呼吸作用可被吸入口、鼻，但不能进入人体内部。这种大颗粒也不会在空气中停留很久。

大部分悬浮微粒的形状是不规则的，而且可能被聚集。微粒聚集的性能决定于它们的空气动力学特性（如尺寸和总聚集体的形状），不取决于它们的表观显微镜尺寸。煤尘的粒径大约 $15\mu\text{m}$ ，但它具有空气动力学直径为 $7\mu\text{m}$ 的球体的沉降速度。因此，微粒的空气动力学尺寸，在它们的评价方面是最重要的。

借助于空气动力学的分离—沉降、碰撞或离心，能够测定微粒粒径。也可以通过其它方法，包括光学显微镜、电镜、光衰减、散射、电传导。当使用沉降方法测定不规则形状的微粒粒径时，得出的直径是斯托克斯等效直径。这些方法的基本原理和应用范围都不相同。

微粒的粒径、形状与它的密度、表面性质一样是很重要的特性。这种特性不仅影响它在空气和呼吸道中的动力学特性、而且也影响其化学和生物学反应。

2.2 形状和长宽比

只有微粒粒径这个指标还不足以显示吸入悬浮微粒后引起的整个生物学本质。物理性质如形状、孔隙度、粗糙度，可能与产生的影响也有关。

材料的性质和构成的方法影响微粒的形状，这些典型的例子示于图 2—2 中。

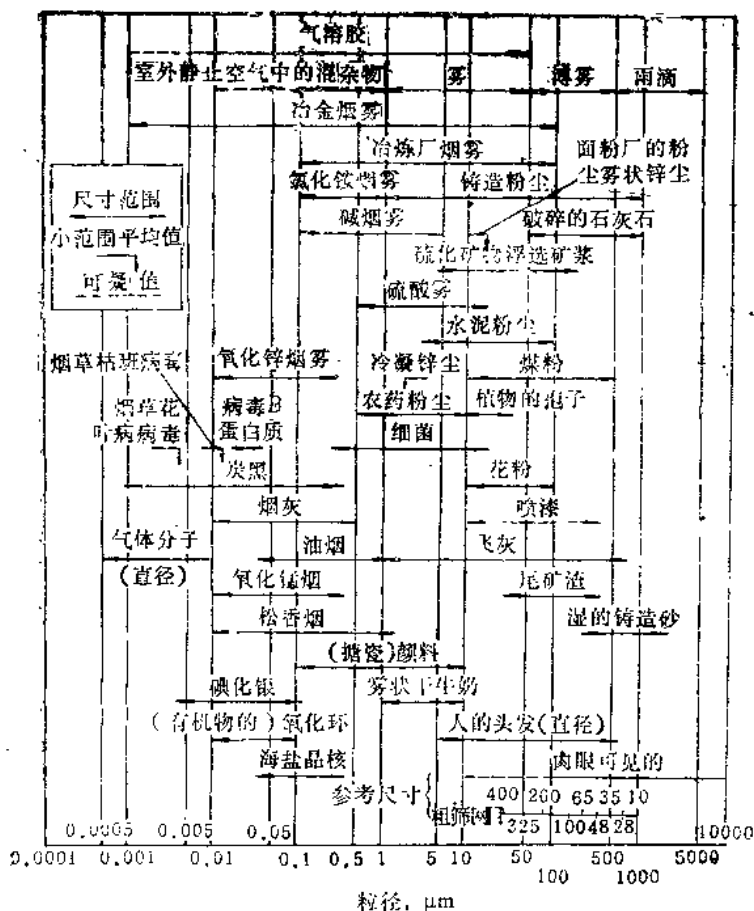


图2—1 悬浮微粒粒径范围

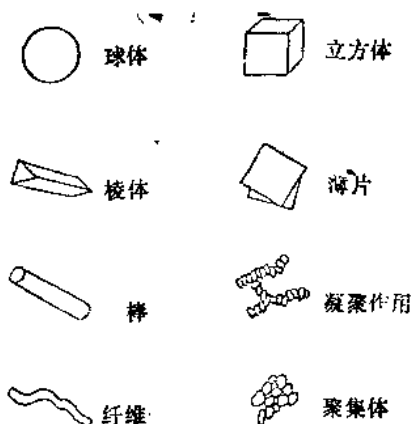


图2—2 微粒的形状

球状气溶胶有炭黑、氧化铁、飞灰、花粉；棱镜状气溶胶有铁、石英；纤维状气溶胶有石棉、棉花、矿渣棉、玻璃纤维；薄片状气溶胶有云母、茶叶、烟叶。

微粒的形状将确定微粒的表面积和体积之间的比例（见2.3）。

在茶些情况下，形状可能是很重要的微粒特征，如纤维。纤维棱定义为长宽比大于3的微粒。越来越多的证据表明，接触纤维粉尘可引起明显的生物学影响。一般认为，在某一尺寸范围内，纤维的长宽比是一个决定性的因素，对石棉纤维潜在的致癌作用有一定影响。某些动物试验（2.3）认为，对其它纤维来说也存在这种影响。

2.3 表面积和体积

微粒的形状决定它的表面积和体积之间的比例，一定体积的微粒，愈偏离球形其表面积愈大，这主要影响它的沉降速度，而且有粒大的生理学意义。微粒的总面积（吸附面

积)包括存在外部通道的全部微粒孔隙面积,以及微粒的物理化学性质决定它吸收气体和蒸汽的能力及包含的电荷。某些物质,例如硅藻土、二氧化硅凝胶和活性碳,可能有复杂的内孔隙结构,这种内孔隙结构使微粒有比预计更大的表面积。

微粒的活性与它的表面积大小有密切关系。当粒径减小时,因对应的表面积迅速增加,微粒的活性增加。如同提高微粒的化学活性一样,可燃性物质微粒的爆炸性,可能是由于这个原因造成的。

与表面特征有关的微粒特性,包括比表面积、附着力、光散射、静电荷、吸附能力、溶解度和脱水率。很明显,在环境特征如温度、湿度和空气质量发生变化时,能够改变悬浮微粒的表面积和吸附特性。

2.4 溶解度

在水介质或类脂物中的物质微粒,其溶解度有很大的生物学意义,因为它影响身体的吸收率。溶解度也可能影响所选择的采样方法和分析方法。

能引起刺激或全身中毒危险的物质,溶解在各种液体中的速度可能有决定性的意义。而直接进入肺里的纤维状微粒,其溶解度是很小的。例如石英通常认为是不溶解的,因此它是非常有害的。

液体或固体的溶解度(蒸气压)可以大大增加标准采样的困难(典型的例子是多环芳香族水化合物的取样)。

2.5 成分

微粒物的化学成分对人体健康的影响很大,一般它与原材料有关,但也可能在加工过程中混入其它成分(如切削油的高温分解)。一般可以根据危险物质的种类来确定化学分

析的项目。大块样品的分析结果，不能很好地代表悬浮微粒的成分。因此，需要分析作业场所空气中的样品，因为这种样品最能代表人体接触的危害。为了有足够的样品供化学分析之用（除用显微方法），收集大量的气体样品（例如用大流量采样器）是必须的。

在不同的相对湿度条件下，微粒吸湿量可能不一致，当直径为0.2~0.5微米的烟草烟微粒被吸入时，在呼吸道的高湿度条件下，这些微粒吸收水分，体积膨胀，直径增加到2~3微米（这说明吸入和呼出的纸烟烟尘微粒之间的明显不同）。因此，吸湿微粒在空气中的粒径，可能不代表它们被吸入之后在呼吸道内的粒径。在不同的空气湿度条件下采集这些微粒的样品，可能导致不同的分析结果。

经常被采集的微粒，是在诸如矿山、采石场、某些工业的作业面上产生的粉尘，它们对人体健康的影响一般取决于粉尘的成分。因此，矿相分析也是很重要的。

另外，在对植物尘或有生物活性的动植物微粒进行评价时，可能需要进行生物学方面的化验。

水分子能够与微粒以化学的、物理的、机械的方式结合。通过干燥能除去水分，而且必须从分析的样品中除去水分。

有时在内外因素的影响下，化学成分可以随时间而变化。被空气氧化和光分解作用是外部作用，物质之间的相互作用（氧化—还原、中和）是内部作用。因此，采样后样品应该尽快进行分析。

2.6 放射性

工人们处在有悬浮放射性物质微粒的作业面上，例如在开采放射性矿石或含有放射性物质的矿石（如磷酸盐矿）时，以及在原子能工业或实验室处理放射性物质微粒时，目前

已认识到放射性物质的特殊性，而且用特殊设计的技术可采集有代表性的样品。