

马俊 主编

煤矿呼吸性粉尘 监测分析技术

煤炭工业出版社

02

214

煤矿呼吸性粉尘监测分析技术

主编 马 骏

编写 马 骏 王秀兰 王丽华

付木森 张 涛 吴允萍

煤炭工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

煤矿呼吸性粉尘监测分析技术/马骏主编. —北京: 煤炭工业出版社, 1999.5

ISBN 7-5020-1678-3

I. 煤… II. 马… III. 煤尘-环境监测-分析-方法 IV. X831.02

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 00602 号

煤矿呼吸性粉尘监测分析技术

主编 马 骏

责任编辑: 黄 朝 阳

*

煤炭工业出版社 出版

(北京朝阳区霞光里 8 号 100016)

北京房山宏伟印刷厂 印刷

新华书店北京发行所 发行

*

开本 850×1168mm $\frac{1}{32}$ 印张 6 $\frac{1}{4}$

字数 158 千字 印数 1—2,300

1999 年 6 月第 1 版 1999 年 6 月第 1 次印刷

书号 4449 定价 15.00 元

版权所有 违者必究

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题, 本社负责调换

内 容 提 要

本书共分六章，第一章主要介绍煤矿粉尘的特性及其危害；第二章较系统地介绍了国内外粉尘监测的基本概念、历史及发展趋势；第三章叙述了呼吸性粉尘监测所用的各种仪器，侧重介绍我国常用的呼吸性粉尘采样器及流量计量仪器等；第四章介绍了1990年以来煤炭系统在呼吸性粉尘监测实施过程中积累的实用性经验，以及呼吸性粉尘监测的操作技术；第五章介绍了呼吸性粉尘中游离二氧化硅含量的分析方法，较详尽地介绍了我国目前较流行的红外光谱分析法；第六章较全面地介绍了我们研制开发的“中华人民共和国煤炭工业粉尘监测、治理及健康监护管理系统”软件的功能、使用说明等。书后附有我国现行的有关粉尘与尘肺的法规、条文。

本书适于基层厂矿卫生工作人员、高等学校师生及科研院所有关专业人员使用。

煤矿呼吸性粉尘监测分析技术编委会

主 任	范世义	向卓辉	马 骏		
编 委	王秀兰	马东锋	邓一夫	王丽华	王润生
	王素峰	卢正永	卢培杰	付木森	刘晓延
	刘忠卿	付 蓉	任爱国	张 涛	严 青
	吴允萍	李庆海	李福玉	杨祖六	屈峨彪
	周金生	郑河新	胡秀云	随晓华	陶桂琴
	韩 军	谢 峻			

前 言

粉尘作为煤矿五大自然灾害之一，一直是煤炭行业防治工作的重点。多年来，国家在控制粉尘危害、防止尘肺病的发生等方面投入了大量的人力、物力，并取得了明显的效果。近几年，由于采煤机械化程度不断提高，经济模式正由计划经济向市场经济转换等诸多因素的影响，井下粉尘浓度仍然较高，尘肺发病人数仍未得到有效控制。究其原因，除了经济能力、技术条件、卫生立法等方面因素外，我国在粉尘监督监测体系和手段的完整性和科学性方面应进一步加强和提高。

国外技术发达国家的经验证明，实施呼吸性粉尘监测能够促进针对危害人体健康的呼吸性粉尘的防降尘措施的改进和应用。我国从 90 年代初开始推广实施呼吸性粉尘监测，原煤炭工业部制定颁布了《煤矿呼吸性粉尘监测实施办法》，成立了煤炭工业煤矿粉尘监测研究中心及部分省（区）粉尘监测分中心、矿务局监测站，到目前为止，已在 30 多个局进行了呼吸性粉尘的监测试点。呼吸性粉尘监测是我国煤炭系统粉尘监测的发展趋势和必然。为满足广大基层工作人员的实际工作需要、加快我国煤炭行业粉尘监测的改革步伐，我们编写了此书。

本书较全面地介绍了煤矿粉尘的基本概念、粉尘监测仪器、呼吸性粉尘监测技术、呼吸性粉尘中游离二氧化硅含量分析、测定数据的计算机分析和计算机管理，以及监测过程中质量控制等内容，针对实际问题介绍了较实用的解决方法。

本书在编写过程中得到了国际劳工组织的大力资助，在此表示衷心感谢。

由于我们水平有限，缺点、错误在所难免，敬请读者批评指正。

编 者

1998 年 8 月

目 录

第一章 煤矿粉尘的理化特性及其危害	1
第一节 煤矿粉尘的理化特性	1
第二节 粉尘在呼吸道的滞留和排除	4
第三节 煤矿粉尘的危害	7
第二章 粉尘监测概况	9
第一节 粉尘监测的有关概念	10
第二节 国外煤矿粉尘监测	15
第三节 我国煤矿粉尘监测历史、现状及发展趋势	22
第三章 呼吸性粉尘监测仪器	34
第一节 采样器	34
第二节 流量测量仪器	55
第三节 质量称量仪器	58
第四章 呼吸性粉尘监测操作技术及数据整理	73
第一节 个体呼吸性粉尘监测技术	73
第二节 定点呼吸性粉尘监测技术	77
第三节 呼吸性粉尘监测分析质量控制	79
第五章 呼吸性粉尘中游离二氧化硅含量的分析	84
第一节 测定游离二氧化硅含量的意义	84
第二节 粉尘中游离二氧化硅含量的分析方法	84
第三节 红外光谱分析法	89
第六章 煤炭工业粉尘监测、治理及健康监护	
管理软件	98
第一节 软件的主要功能	99
第二节 系统运行环境	100
第三节 系统安装	100
第四节 系统使用说明	102
第五节 系统维护	121

附录1 中华人民共和国尘肺病防治条例	124
附录2 《煤矿安全规程》有关工业卫生的规定	128
附录3 作业场所空气中呼吸性矽尘卫生标准	132
附录4 作业场所空气中呼吸性煤尘卫生标准	140
附录5 矿山个体呼吸性粉尘测定方法	149
附录6 作业场所空气中呼吸性煤尘接触浓度 管理标准	160
附录7 呼吸性粉尘个体采样器技术条件	162
附录8 作业场所空气中呼吸性岩尘接触浓度 管理标准	175
附录9 煤矿个体呼吸性粉尘监测实施办法(试行)	177
参考文献	188

第一章 煤矿粉尘的理化特性及其危害

第一节 煤矿粉尘的理化特性

一、煤的主要成分

煤是由被淹没在沼泽地中的植物（树、蕨及巨大石松等）和砂石等沉积物经不断的地质运动形成的。

地质运动使植物受到高压和高温作用，并引起化学变化，不同地质作用产生不同类型的煤。首先形成泥煤，泥煤逐渐变成褐煤，褐煤较泥煤含较多的碳和较少的氧及其它挥发物；尔后，褐煤变成烟煤，烟煤含有更多的碳，但氧及挥发物较少；最后烟煤变成无烟煤，无烟煤约含 95% 的碳和不到 5% 的氧及挥发物（主要为碳氢化合物）。

在考虑煤的生物学作用时，必须考虑到不同的煤其理化性质相差悬殊。根据煤的起源，它与沉积岩层密切相关，如煤砂岩、泥岩、页岩、淤泥岩和耐灶等，偶尔含有石灰石。不同的岩石类型使不同煤矿和同一煤矿不同部位的粉尘成份也不同，煤本身的游离二氧化硅（ SiO_2 ）含量通常是很低的，而且可以是没有的，但可能有少量的伴生矿物，如铁矿（黄铁矿、青铁矿、褐铁矿）和粘土（如高龄土）。煤层中煤的成份和生产中产生的粉尘成份，在不同岩层中是极其不同的，甚至在同一煤田也不同。

二、煤矿粉尘的来源

在煤矿开采过程中产生的粉尘称煤矿粉尘，依其在井下存在的状态称为浮尘和落尘，浮尘指悬浮在空气中的粉尘，落尘指浮尘在生产环境空气中由于重力作用，沉积在生产工作面、井下巷道周边等的粉尘。在煤矿井下回采、掘进、运输及提升等各生产过程中，几乎所有的作业操作（如打眼放炮、清理工作面、装

载、运输、转载、顶板管理等)过程中均能产生煤矿粉尘。据统计,煤矿粉尘的80%来自采掘工作面。

影响煤矿粉尘产生量的主要因素有:

1) 机械化程度。随着采掘机械化程度的提高,产生的煤矿粉尘浓度也随着增大。据统计,回采工作面总粉尘浓度大致为:综采工作面为 $200 \sim 300\text{mg}/\text{m}^3$,有的可达 $4000 \sim 8000\text{mg}/\text{m}^3$;机采工作面为 $100 \sim 200\text{mg}/\text{m}^3$;炮采工作面为 $50 \sim 100\text{mg}/\text{m}^3$ 。

2) 采煤方法。采煤方法不同,产生的粉尘数量也不同。例如,急倾斜煤层采用倒台阶采煤法比水平分层采煤法产生的煤尘量要大;全部垮落法处理采空区要比充填法所产生的煤尘量要大。

3) 采掘机械的结构。采用宽截齿、合理的截割速度、牵引速度、截割深度以及合理的截齿排列,均能减少粉尘产生量。

4) 地质构造。遇有断层、褶曲的地区,沉积岩浸入等因素使地质遭到破坏,这些地区开采时产生的粉尘量也大。

5) 煤层本身的特点。如脆性大、结构疏松、干燥的煤层,开采时产生的粉尘量大。

上述因素是产尘的内在因素,但若采取有效的防降尘措施,煤矿粉尘浓度则会大大降低。

三、煤矿粉尘的化学成份组成

煤矿粉尘是一种混合物,含有碳(大约60%)、各种粘土矿物和含量不等的石英。大量研究证明,煤矿粉尘中存在的某些物质能降低二氧化硅(SiO_2)对人体的危害作用。煤矿粉尘中游离二氧化硅与煤工尘肺发病有一定关系。因此,世界上绝大多数国家在制订粉尘卫生标准时,把游离二氧化硅含量作为一个十分重要的因素加以考虑。大多数国家在制订煤矿粉尘卫生标准时,把5%游离二氧化硅含量作为档次划分依据,对游离二氧化硅含量高于5%的粉尘制订一个标准,对游离二氧化硅含量小于5%的煤矿粉尘制订一个标准。例如,美国在煤矿粉尘游离二氧化硅含量小于或等于5%时粉尘标准为 $2\text{mg}/\text{m}^3$,在游离二氧化硅含量大

于5%，则标准随游离二氧化硅含量的增加而降低（按10除以二氧化硅（ $\text{SiO}_2\%$ ）计算）；欧共体推荐的煤矿粉尘接触限值为 $5\text{mg}/\text{m}^3$ （游离二氧化硅含量 $\leq 5\%$ ），在游离二氧化硅含量大于5%时，用25除以二氧化硅（ $\text{SiO}_2\%$ ）公式计算粉尘的限值；我国煤矿粉尘标准档次的划分是以游离二氧化硅含量为依据的。

一般地说，呼吸性煤矿粉尘石英含量小于5%，很少超过10%。据对全国近百个煤矿的几千个呼吸性粉尘样品中游离二氧化硅含量分析表明：第50个百分位数游离二氧化硅含量为3.1%，第60个百分位数游离二氧化硅含量为5.4%，第80个百分位数游离二氧化硅含量为10.2%，第90个百分位数游离二氧化硅含量为18.27%。

自20世纪60年代以来随着工业化国家采煤机械化的发展，常常使煤矿粉尘的游离二氧化硅含量增高，主要原因是机械割煤时割到了邻近的岩石。

四、煤矿粉尘的物理特性

1. 分散度

粉尘的分散度是表示构成分散相的粒子直径大小的术语。即分散相在分散介质中的分散程度。粒径小的粉尘粒子所占比例愈少，则表明分散度越低。分散度的高低，对粉尘的生物作用有很大影响。分散度越高，在生产环境空气中悬浮的时间就越久，被人吸入的机会就越大。当粉尘粒子比重恒定时，分散度越高则粉尘的沉降越慢，在空气中漂浮时间越长，粉尘粒子直径相同时比重大的沉降速度快，比重小的沉降速度则慢。因此在通风防尘措施中要考虑粉尘的比重不同而用不同的风速。

分散度影响粉尘在人呼吸道的沉积，一般地说，大的粉尘在呼吸道被阻留，微细粉尘可达到呼吸道深部，粉尘直径在 $0.5\sim 0.1\mu\text{m}$ 时，因其重力极小，在空气中随空气分子运动而随呼气流排出，在呼吸道的阻留率反而下降。

2. 吸附性

粉尘有吸附能力，并随表面积增大而增强，欧共体就煤尘吸

附氮氧化物的毒性作用进行过深入研究，认为吸附的氮氧化物不会增加粉尘的致尘肺作用，但也有文献报道相反的结果，粉尘可以吸附氮及其子体，引起肺癌或加强了粉尘的致纤维化作用。

3. 荷电性

粉尘在粉碎过程中和在运动中因互相摩擦或吸附了空气中的离子而带电。尘粒的荷电量取决于粉尘的大小和比重，并与温度和湿度有关。温度增加荷电量增高，而湿度增加荷电量减少。粉尘的90%~95%均带正电或负电，矿井采掘工作面的新鲜粉尘较回风巷道中粉尘容易荷电。粉尘的荷电性对粉尘自然沉降有一定影响，同性电荷的粉尘相斥，不易凝并，增加其在空气中悬浮的稳定性，带有异性电荷的粉尘则相互吸引，凝并而加速沉降。另外经过研究认为，带异性电荷的呼吸性粉尘相吸，可变成非呼吸性粉尘，是呼吸性粉尘监测评价误差的原因之一。

粉尘的荷电性影响粉尘吸入后的阻留量。在其它条件相同时，荷电粉尘在肺内阻留量达70%~74%，而非荷电粉尘仅为10%~16%，粉尘荷电量越多，越易被肺巨噬细胞吞噬。

4. 粉尘的光学性质

在粉尘的光学性质中，主要是自然光的吸收、反射、散射、衍射和偏光。一些测尘仪器，往往应用这些方面的原理。例如德国应用的丁泽尔计测尘，就是依据光的散射原理。

5. 爆炸性

某些煤矿粉尘具有爆炸性，呈微细分散状态的煤尘，遇到明火，则可与空气中的氧急剧发生燃烧，引起强烈的爆炸，煤尘粒子越小，则其同氧的接触面越大，爆炸力越强。

第二节 粉尘在呼吸道的滞留和排除

一、沉积

只有那些可吸入的粉尘颗粒才能进入肺泡，并且最后进入肺组织，对尘肺的发病起着重要作用。空气中悬浮的总的颗粒性物质被吸入人体的份额多与少，依赖于颗粒特性、人体附近空气的

流速和方向，也依赖于人呼吸频率和呼吸方式。被吸入的颗粒可以沉积在人呼吸道的某些部位，也可能被排出。吸入颗粒在鼻腔、口、咽、喉、气管、支气管或细支气管树中的沉积主要取决于颗粒大小（空气动力学直径）、呼吸流速和解剖特点。在末梢气道，由于气道横径增加，使呼吸流速降低，大颗粒在流速快时直接碰撞并阻留在气道表面，例如支气管，而在较低流速时，它们以简单的重力沉降作用沉积在末梢气道，而微细颗粒（例如空气动力学直径小于 $5\mu\text{m}$ 的颗粒）则通过弥散作用，与肺胞壁接触。

颗粒在肺内的沉积，存在显著的个体差异，国际卫生组织肺动力等专业组提出了一个不同大小的颗粒在肺内的沉积曲线，如图 1-1 所示。

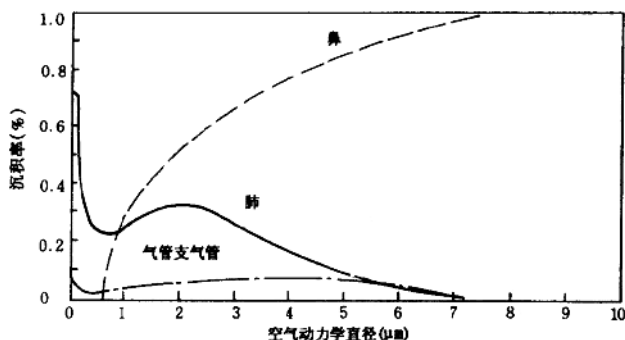


图 1-1 不同大小的颗粒在呼吸系统的沉积率
(呼吸 15 次/min，潮气量 1450ml)

二、清除

沉积在人呼吸道颗粒的清除有二个途径，一个是气道壁纤毛运动将粉尘排出体外，另一个是被巨噬细胞吞噬。

粉尘颗粒被吸入后，它在气管、支气管、细支气管、肺胞管

中，通过气道壁上皮细胞纤毛运动被排到咽喉，沉积在肺泡的粉尘被巨噬细胞吞噬，然后被转送到支气管或肺间质和淋巴管。

已证实，粉尘颗粒从肺内清除存在快相和慢相。快相通常在24小时内，通过纤毛的运动排出，或通过溶解、吸收、清除附着在有纤毛气道的粉尘。慢相则需数月。

Baley等在志愿者身上通过吸入直径 $1.2\mu\text{m}$ 和 $3.9\mu\text{m}$ 单分散系难溶性的颗粒来研究放射性硅酸铝在支气管肺的清除过程，认为清除作用存在三个时相，快相在24h内清除4%的 $1.2\mu\text{m}$ 和40%的 $3.9\mu\text{m}$ 的颗粒；二相在20天内清除4%的 $1.2\mu\text{m}$ 和11%的 $3.9\mu\text{m}$ 颗粒；三相超过100天，且二种大小的颗粒被清除。在没有纤毛上皮的区域即肺泡、肺泡管内没有发现快相清除。

粉尘颗粒的沉积和清除不仅取决于它们的物理性质和颗粒大小，而且还存在个体差异。

粉尘在尘肺病、慢性支气管炎和吸烟等人群的气管、支气管和肺的沉积率增加。有人报道，在吸烟者和患慢性阻塞性气道疾病的病人中，第三相显著延长，并且在吸烟人群中，早期快相清除也延长。清除速率主要取决于纤毛上皮细胞的功能和肺巨噬细胞的吞噬功能。

沉积在肺泡的惰性颗粒容易在肺泡区滞留，并且主要通过支气管清除，这些粉尘被巨噬细胞吞噬并以肺泡游动到无纤毛的呼吸性细支气管区域。细胞毒性粉尘（如游离二氧化硅）则具有不同的作用。它们对巨噬细胞的致死效应是明显的，所以沉积在终末细支气管的颗粒仅有较少机会被巨噬细胞转送到有纤毛的区域被清除掉，到达终末细支气管的颗粒可能以细胞外方式被转运和清除掉。

三、滞留

粉尘在由肺泡腔进入附近的肺组织间隙过程中尚不能被完全清除。有人提出直径小于 $50\mu\text{m}$ 的粉尘，可能是直接穿破肺泡壁，而达到肺泡的大颗粒则由巨噬细胞吞噬后，转运到组织间隙，并且当巨噬细胞崩解时，这些颗粒进入组织间隙。另外有些

充满粉尘的巨噬细胞可到达淋巴管。

液体颗粒或固体颗粒的可溶性成份，能被沉积部位的肺组织吸收。如果这些液体颗粒或可溶性成份具有腐蚀性、放射性，则能够损伤沉积部位的组织；而不溶性颗粒则被转运到呼吸道其它部位，引起生物作用。

总之，仅有少量的吸入粉尘可到达肺泡区。粉尘最后的沉积量取决于吸入粉尘的质量、呼吸道的解剖条件和支气管清除能力的个体差异。当吸入的粉尘量超过呼吸系统的清除能力时，则肺内粉尘滞留量增加。

第三节 煤矿粉尘的危害

煤矿工人长期在煤矿粉尘中工作可引起各种疾病，例如，尘肺病、肺气肿、尘源性支气管炎、慢性阻塞性肺部疾患等。危害最大的疾病首推尘肺病（矽肺、煤肺、煤硅肺）。尘肺是工人在生产过程中由于长期吸入高浓度的粉尘而导致的以肺组织纤维化为主的一种疾病。该病是不可逆转的，目前尚无有效的根治方法。早期病人可感胸闷、气短、咳嗽、咯痰，似流感症状，随着病情进展，气短将越来越重，病人持续性的咳嗽、咯痰，并伴有咯血，最后病人可因心衰、肺衰、肺部感染等而死亡。

尘肺病大大增加了病人伴发肺结核感染的机会，从而加速病情进展，加重症状，增加治疗难度，使其病死率增大。

1996年在日本召开的第九次国际职业性呼吸性疾患会议上，国际癌症研究机构已确认粉尘中二氧化硅为致癌性物质，有报道，尘肺病人的肺癌发病危险性远高于非尘肺患者，从而严重危害到工人的生命安全。

据不完全统计，至1996年我国煤炭行业累计尘肺病人数为17.5万人，且每年以3000~5000人的速度递增，尘肺年平均死亡2500人左右，是工伤死亡的3~5倍，尤其严重的是国有重点煤矿还有可疑尘肺病人20万，是可能发展为尘肺病人的潜在来源。据报道，我国尘肺病是全世界尘肺病人总数的50%，而目

前我国煤炭行业的尘肺病人数就占全国尘肺病人总数的 46.5%，也就是说，在全世界每 4 个病人中，就有一个来自我国煤炭行业，这与我国自改革开放以来国际地位日益提高，国民经济高速、持续增长的国际形象极不相称，应引起世人的高度关注。

尘肺病不仅给患者本人造成终生痛苦，也给煤炭生产造成巨大的经济损失。有报道，每年每例尘肺病人造成的直接及间接经济损失约 1.5 万（含住院补贴费、保健费、医疗费、护理费及抚恤费等），按 1996 年的现患数 12.5 万计，一年就给煤炭行业造成 18.7 亿元的经济损失。

粉尘不仅严重影响工人的身心健康，同时煤矿粉尘的另一大危害是井下的煤尘爆炸。当煤矿粉尘浓度达到一定时，遇到热源就可引发煤尘爆炸。建国以来我国煤矿曾先后发生过多起严重的煤尘爆炸事故，不仅严重威胁到矿工的生命安全，而且给煤矿造成不可估量的损失，惨痛教训应引以为戒。

第二章 粉尘监测概况

粉尘监测是执行国家粉尘卫生标准的主要手段，通过监测以便发现尘源，确定其规模，检查所采取的预防措施效果，通过粉尘监测，促进防降尘技术措施的改进和应用。

测定空气中粉尘浓度有二种方法：一种是测定一定体积空气中的粉尘数量（颗粒计数法），另一种是测定粉尘的质量（质量法）。颗粒计数法一直应用到 20 世纪 60 年代，目前用质量法表示粉尘浓度已被大多数国家采用，但是颗粒计数法对测定纤维粉尘（如石棉）仍是一种最重要的方法。

空气中粉尘质量浓度的测定分三种类型：

1) 不分离大小颗粒的采样（总粉尘采样）。用这种方法收集的粉尘样品可进一步进行分析，如颗粒计数（光学显微镜）、重量分析（样品称重）和化学分析，也能通过显微镜淘析和沉降技术进行粉尘分散度的分析等。

2) 大小颗粒分开的采样。这种采样方法使用的采样器带有某种分离部件，能在采样时按颗粒大小对采集的粉尘样品进行分离。例如将粉尘样品分成两部分（呼吸性和非呼吸性粉尘），或分成多部分，每一部分包括一定范围大小的颗粒，样品也可进行称量、颗粒大小及化学分析。

3) 不采样直接测定粉尘的质量。通过电学或光电学，不需采样就能测定空气中粉尘的质量浓度。

不管用何种理论解释尘肺的起因，只有那些能进入肺腔隙的尘粒和构成“呼吸性”粉尘部分才能停留在肺脏引起尘肺。因此世界上大多数国家煤矿均采用呼吸性粉尘监测。

要在工矿中采取代表性的粉尘样品，采样不能太靠近尘源。基本原则是：采样要在正常工作时间、采样头应放在空气中粉尘