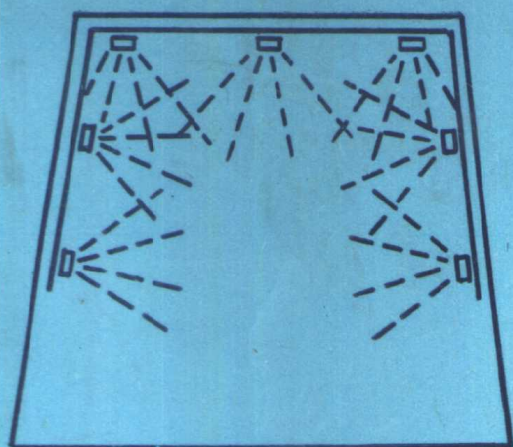


矿井防尘 理论及技术

赵益芳 主编



煤炭工业出版社

矿井防尘理论及技术

主 编 赵益芳

副 主 编 张 德

审 稿 卢鉴章 刘新强

编著人员 赵益芳 赵文才 张 德 宋文祥

周元宏 张秉哲 霍卫东 李伯瑜

煤炭工业出版社

(京)新登字042号

图书在版编目(CIP)数据

矿井防尘理论及技术 / 赵益芳主编. - 北京: 煤炭工业出版社, 1994

ISBN 7-5020-1099-8

I. 矿… II. 赵… III. 矿井空气-防尘-防尘 IV. T
D714

中国版本图书馆CIP数据核字(94)第12598号

矿井防尘理论及技术

主编 赵益芳

责任编辑: 辛广龙 金连生

*

煤炭工业出版社 出版

(北京安定门外和平里北街21号)

北京市冠中印刷厂 印刷

新华书店北京发行所 发行

*

开本787×1092mm¹/₁₆ 印张 14

字数329千字 印数1—1,600

1995年3月第1版 1995年3月第1次印刷

书号 3867 G0309 定价13.20元



内 容 提 要

本书系统地阐述了煤矿粉尘的基础知识，较全面地介绍了目前国内外煤矿粉尘防治的科研成果和实用技术。全书共七章，主要内容有矿井综合防尘技术措施、煤矿防隔爆技术措施和正确选择与具体实施的方法，以及煤矿粉尘的检测与监控、煤矿防尘技术管理和矿井防尘设计。

本书面向从事煤矿通风安全工作的科研、设计、生产的工程技术人员和管理干部，也可供煤炭高等院校采矿、通风安全专业师生参考，是一本实用性较强的图书。

前 言

随着矿井机械化程度的不断提高,煤矿尘害问题日趋突出。因此,了解矿尘的基本特性和煤矿产尘规律,认真做好煤矿防尘工作,进而控制尘肺发病率和煤尘爆炸事故,对于加强煤矿劳动保护、搞好安全文明生产、加速我国煤炭工业持续稳定地发展具有重要的现实意义。

建国以来,我国煤矿积累了丰富的防尘经验,特别是自1989年中国统配煤矿总公司作出《关于加强煤矿防尘工作的决定》之后,我国煤矿粉尘防治工作在理论研究及技术应用方面,都取得了显著的进展。

本书系统总结了目前国内外行之有效的防尘技术,立足于现场实际应用,在内容上以矿井防尘理论与技术实践为基础,汇集了近年来国内外防尘最新科研成果。书末还附有国内外有关测尘仪器的型号及技术参数等资料,以供参考。

本书由赵益芳任主编;第一章由赵益芳、张德编写;第二、四章由赵益芳编写;第三章由张德、赵文才编写;第五章由赵文才、李伯瑜、赵益芳编写;第六章由宋文祥、周元宏编写;第七章由赵文才、赵益芳、张秉哲、霍卫东编写。

在编写过程中,承蒙山西矿业学院通风安全教研室舒祥泽教授的支持和帮助,在此致谢。

由于编者水平所限,书中缺点和错误在所难免,恳请广大读者批评指正。

编 者

1993年7月8日于山西

ABA12/07

目 录

前 言

第一章 煤矿粉尘的基本知识	1
第一节 矿尘及其计量	1
第二节 矿尘的性质	4
第三节 矿尘的产生及危害	7
第四节 煤尘爆炸	9
第二章 煤矿防尘技术	15
第一节 防尘技术措施分类	15
第二节 通风除尘	16
第三节 湿式除尘	18
第四节 密闭抽尘	22
第五节 净化风流	23
第六节 个体防护	31
第七节 其它防尘措施	32
第三章 煤矿防隔爆技术	34
第一节 煤矿防隔爆技术分类	34
第二节 预防煤尘爆炸的技术措施	34
第三节 隔绝煤尘爆炸传播的技术措施	37
第四章 防尘技术的选择与实施	40
第一节 防治煤矿粉尘的基本原则	40
第二节 掘进工作面综合防尘	41
第三节 采煤工作面综合防尘	64
第四节 转载运输系统的防尘	102
第五章 煤矿粉尘测定	113
第一节 概述	113
第二节 粉尘浓度的测定	113
第三节 粉尘粒径分布的测定	122
第四节 粉尘中游离SiO ₂ 含量的测定	125
第五节 煤尘沉积速度(强度)的测定	126
第六节 综采工作面粉尘浓度分布的测定	127
第七节 综采工作面粉尘分布图的绘制	132
第八节 煤矿粉尘连续监测系统	137
第六章 煤矿防尘管理	140
第一节 煤矿防尘的一般管理	140
第二节 煤矿防尘工作的系统管理初探	147
第七章 煤矿防尘设计	157
第一节 防尘设计的内容和要求	157

第二节 放顶煤综采工作面综合防尘设计实例.....	158
第三节 矿井防尘供水设计.....	175
附表1 国外主要测尘仪器的型号及技术特征	212
附表2 国内矿用测尘仪器的型号及技术参数	214
参考文献	215

第一章 煤矿粉尘的基本知识

第一节 矿尘及其计量

一、煤矿粉尘

一般说来,粉尘是能够较长时间呈浮游状态存在于空气中的一切固体微小颗粒。从胶体化学观点来看,含尘空气是一种分散体系,分散相是固体微小颗粒,分散媒是空气。这种分散体系叫做气溶胶。

生产过程中散放出的大量粉尘称为生产性粉尘。矿山粉尘就属于这类粉尘,它是矿井在建设 and 生产过程中所产生的各种岩矿微粒的总称。煤矿粉尘(简称粉尘)系煤尘、岩尘和其它有毒有害粉尘的总称。煤尘是从爆炸角度定义的,一般指粒径(尘粒平均的横断面直径)在 $0.75\sim 1\text{mm}$ 以下的煤炭微粒;岩尘是从工业卫生角度定义的,一般指粒径在 $10\sim 45\mu\text{m}$ 以下的岩粉尘粒。

此外,在煤矿井下还有少量的金属微粒、爆破时产生的人工有机粉尘(如烟尘)和砌碛、锚喷施工时产生的人工无机粉尘(如水泥粉尘)等附加粉尘。

二、矿尘分类

矿尘除按其成分分为煤尘和岩尘外,还可以有多种不同的分类方法。

1. 按矿尘粒径划分

(1) 粗尘。粒径大于 $40\mu\text{m}$,相当于一般筛分的最小粒径,在空气中极易沉降。

(2) 细尘。粒径为 $10\sim 40\mu\text{m}$,在明亮的光线下,肉眼可以看到,在静止空气中作加速沉降运动。

(3) 微尘。粒径为 $0.25\sim 10\mu\text{m}$,用光学显微镜可以观察到,在静止空气中作等速沉降运动。

(4) 超微尘。粒径小于 $0.25\mu\text{m}$,要用电子显微镜才能观察到,在空气中作扩散运动。

2. 按矿尘成因划分

(1) 原生矿尘。在开采之前因地质作用和地质变化等原因而生成的矿尘。原生矿尘存在于煤体和岩体的层理、节理和裂隙之中。

(2) 次生矿尘。在采掘、装载、转运等生产过程中,因破碎煤岩而产生的矿尘。次生矿尘是煤矿井下矿尘的主要来源。

3. 按矿尘的存在状态划分

(1) 浮游矿尘。悬浮于矿井空气中的矿尘,简称浮尘。

(2) 沉积矿尘。从矿井空气中沉降下来的矿尘,简称落尘。

浮尘和落尘在不同风流环境下可以相互转化。矿井防尘的主要对象是悬浮于空气中的矿尘,所以一般所说的矿尘就是指这种状态的矿尘。

4. 按矿尘的粒径组成范围划分

(1) 全尘 (总粉尘)。包括各种粒径在内的矿尘的总和。对于煤尘,常指粒径在1mm以下的所有尘粒。

(2) 呼吸性粉尘。主要指空气动力学直径为 $1\sim 2\mu\text{m}$ 的微细尘粒。它能够通过人体上呼吸道而进入肺泡区,是导致尘肺病的病因,对人体健康威胁甚大。

全尘和呼吸性粉尘是粉尘检测中常用的术语。在一定条件下,两者有一定比例关系,其比值大小与矿物性质及生产条件有关,可以通过多次粉尘粒径分布测定获得。

5. 按矿尘中游离 SiO_2 含量划分

(1) 硅尘。含游离 SiO_2 在10%以上的矿尘。它是引起矿工矽肺病的主要因素。煤矿中的岩尘一般多为硅尘。

(2) 非硅尘。含游离 SiO_2 在10%以下的矿尘。煤矿中的煤尘一般均为非硅尘。

6. 按矿尘有无爆炸性划分

(1) 有爆炸性煤尘。经过煤尘爆炸性鉴定,确定悬浮在空气中的煤尘在一定浓度和有引爆热源的条件下,本身能发生爆炸或传播爆炸的煤尘。

(2) 无爆炸性煤尘。经过爆炸性鉴定,不能发生爆炸或传播爆炸的煤尘。

(3) 惰性粉尘。能够减弱和阻止有爆炸性粉尘爆炸的粉尘,如岩粉等。

三、矿尘计量指标

1. 矿尘浓度

单位体积矿井空气中所含矿尘量叫做矿尘浓度。其表示方法有两种:

(1) 质量法。每立方米空气中所含浮尘的毫克数,单位为 mg/m^3 ;

(2) 计数法。每立方厘米空气中所含浮尘的颗粒数,单位为粒/ cm^3 。

我国规定的矿尘浓度标准为质量法。国外很多国家过去采用计数法,因其测定复杂和不能很好地反映矿尘的危害性,其中大多数已改用质量法。

矿尘浓度的大小直接影响着矿尘危害的严重程度,是衡量作业环境的劳动卫生状况好坏和评价防尘技术效果的重要指标。我国《煤矿安全规程》(以下简称《规程》)对井下有人工作的地点和人行道的空气中粉尘(总粉尘、呼吸性粉尘)浓度标准作了明确的规定,见表1-1。国外主要产煤国对矿山全尘和呼吸性粉尘的浓度标准也作了明确规定,见表1-2、表1-3。

由表1-1~表1-3可见,国内外矿山粉尘浓度标准的确定,均是以矿尘中 SiO_2 的含量多少为依据的。

表 1-1 我国煤矿粉尘浓度标准

粉尘中游离 SiO_2 含量(%)	最高容许浓度(mg/m^3)	
	总 粉 尘	呼 吸 性 粉 尘
1. <5	20.0	6.0
2. $5\sim 10$	10.0	3.5
3. $10\sim 25$	6.0	2.5
4. $25\sim 50$	4.0	1.5
5. >50	2.0	1.0
6. <10 的水泥粉尘	6.0	

表 1-2 国外主要产煤国矿山全尘浓度标准

国别	全 尘 浓 度 (mg/m³)
美国	非结晶SiO ₂ 为: $\frac{30}{\text{游离SiO}_2\text{含量}(\%)+3}$ 或 6
原苏联	含游离SiO ₂ 10%~70%的煤尘和岩尘为2 含游离SiO ₂ 2%~10%的煤尘和岩尘为4 SiO ₂ 含量低于2%的煤尘为10 石灰岩尘和白云岩尘为 6 游离SiO ₂ 含量>70%的硅岩尘等为 1 页岩尘为4
波兰	游离SiO ₂ 含量<2%时为10 游离SiO ₂ 含量2%~10%时为 4 游离SiO ₂ 含量10%~70%时为 2 游离SiO ₂ >70%时为 1

表 1-3 国外主要产煤国矿山呼吸性粉尘浓度标准

国别	呼 吸 性 粉 尘 浓 度			
美国	SiO ₂ 含量<5%时, 为2mg/m³ SiO ₂ 含量>5%时, 为 $\frac{10}{\text{游离SiO}_2\text{含量}(\%)+2}$ mg/m³ 天然砂藻土为1.5mg/m³ 非结晶SiO ₂ 尘为3mg/m³ 不含纤维滑石尘为2mg/m³ 含纤维滑石尘为2根/cm³			
波兰	游离SiO ₂ 含量2%~10%为2mg/m³ 游离SiO ₂ 含量10%~70%为1mg/m³ 游离SiO ₂ 含量>70%为0.3mg/m³			
原西德	含尘级	石英含量<5% (mg/m³)	石英含量>5% (mg/m³)	含 尘 级 系 数
	0	≤2.5	≤0.125	0.8
	I	2.5~5.0	0.125~0.25	1
	II	5.0~7.5	0.25~0.375	2
	III	7.5~9.5	0.375~0.475	3
	IV	9.5~12.0	0.475~0.60	5
英国	长壁工作面为5mg/m³ 掘进工作面为3mg/m³ 进风巷为3mg/m³ 矿柱、矿房及其它作业点为4mg/m³			
原东德	游离SiO ₂ 含量<10%为700颗/cm³ 游离SiO ₂ 含量10%~20%为600颗/cm³ 游离SiO ₂ 含量20%~30%为500颗/cm³ 游离SiO ₂ 含量30%~40%为400颗/cm³ 游离SiO ₂ 含量40%~50%为300颗/cm³ 游离SiO ₂ 含量>50%为200颗/cm³			

国别	呼 吸 性 粉 尘 浓 度
原 捷 克	岩尘或煤尘为 $5\text{mg}/\text{m}^3$ 褐煤尘为 $8\text{mg}/\text{m}^3$ 其它纤维的粉尘按 SiO_2 含量分: 低于10%者为 $5\text{mg}/\text{m}^3$ 10%~70%者为 $2\text{mg}/\text{m}^3$ 70%以上者为 $1\text{mg}/\text{m}^3$

2. 产生强度

是指生产过程中, 采落煤中所含的粉尘量, 常用的单位为 g/t 。

3. 相对产生强度

是指每采掘1吨或1立方米矿岩所产生的粉尘量, 常用的单位为 mg/t 或 mg/m^3 。

凿岩或井巷掘进工作的相对产生强度可按每钻进1m钻孔或掘进1m巷道计算。

相对产生强度使产生量与生产强度联系起来, 便于比较不同生产情况下的产生量。

4. 粉尘沉积量

是单位时间在巷道表面单位面积上所沉积的粉尘量, 单位为 $\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{d}$ 。这一指标用来表示巷道中沉积粉尘的强度, 是确定岩粉撒布周期的重要依据。

第二节 矿 尘 的 性 质

了解矿尘的性质是做好防尘工作的基础。矿井防尘技术的选择(如除尘系统的设计和运行操作等)与矿尘的许多物性有着密切关系, 充分利用对除尘有利的矿尘物性或采取某些措施改变对除尘不利的矿尘物性, 可以大大提高除尘效果。

一、矿尘中游离 SiO_2 的含量

煤岩尘粒本身具有复杂的矿物成分和化学成分。矿尘中的游离 SiO_2 是危害人体的决定因素, 其含量越高, 危害越大。

游离 SiO_2 是许多矿岩的组成成分。在煤矿常见的岩石中, 游离 SiO_2 的含量通常多在20%~50%, 煤尘中游离 SiO_2 的含量一般不超过5%。

二、矿尘的密度和比重

单位体积矿尘的质量称矿尘密度, 单位为 kg/m^3 或 g/cm^3 。排除矿尘间空隙以纯矿尘的体积计量的密度称为真密度, 用包括矿尘间空隙在内的体积计量的密度称为表观密度或堆积密度。

矿尘的真密度是一定的, 而堆积密度则与堆积状态有关, 其值小于真密度。

矿尘的真密度对拟定含尘风流净化的技术途径(如除尘器选型)有重要价值。

矿尘的比重系指粉尘的质量与同体积标准物质的质量之比, 因而是无因次量。通常采用标准大气压($1.031 \times 10^5 \text{Pa}$)和温度为 4°C 时的纯水作为标准物质。由于在这种状态下 1cm^3 的水的质量为 1g , 因而粉尘的比重在数值上就等于其密度。比重和密度是2个不同的概念。

三、矿尘的比表面积

单位质量矿尘的总表面积称为比表面积, 单位为 m^2/kg 或 cm^2/g 。设尘粒为球形粒子,

则比表面积 $S_m(\text{m}^2/\text{kg})$ 为:

$$S_m = \pi d_p^2 / (6^{-1} \pi \rho_p d_p^3) = 6 / (\rho_p \cdot d_p) \quad (1-1)$$

式中 ρ_p ——矿尘的密度, kg/m^3 ;

d_p ——矿尘的直径, m 。

由式(1-1)看出, 矿尘的比表面积与直径成反比, 粒径越小, 比表面积越大。因而, 比表面积是衡量矿尘颗粒大小的指标之一。

四、矿尘的分散度

在气溶胶力学中常采用“分散度”这一概念, 以统计形式表征多分散性气溶胶集合体的粒径分布状况。在通风除尘技术中, 又常称分散度为粒径分布或粒度分布。

矿尘分散度表征岩矿被粉碎的程度, 是指矿尘整体组成中不同粒径范围(粒级)内的尘粒所占的百分比。通常说分散度高, 即表示矿尘总量中微细尘粒多, 所占比例大; 分散度低, 即表示矿尘中粗大的尘粒多, 所占比例大。

矿尘分散度的表示方法有两种:

(1) 计数分散度(又称个数标准的粒度分布)。

用粒子群各粒级尘粒的颗粒数占总颗粒数的百分数表示, 按下式计算:

$$P_{n_i} = n_i / \sum n_i \times 100\% \quad (1-2)$$

式中 P_{n_i} ——某粒级尘粒的数量百分比, %;

n_i ——某粒级尘粒的颗粒数。

(2) 重量分散度(又称重量标准的粒度分布)。

用各粒级尘粒的重量占总重量的百分数表示, 按下式计算:

$$P_{w_i} = w_i / \sum w_i \times 100\% \quad (1-3)$$

式中 P_{w_i} ——某粒级尘粒的重量百分比, %;

w_i ——某粒级尘粒的重量。

由于表示的基准不同, 同一种矿尘的计数分散度和重量分散度的数值不尽相同。如果矿尘是均质的, 个数标准与重量标准可用下式换算:

$$P_{w_i} = n_i d_i^3 / \sum n_i d_i^3 \times 100\% \quad (1-4)$$

式中 d_i ——某粒级粒径的代表粒径。

粒级的划分是根据粒径的组成和测试的目的确定的。从工业卫生角度, 我国工矿企业将矿尘粒级分为4级: 小于 $2\mu\text{m}$ 、 $2\sim 5\mu\text{m}$ 、 $5\sim 10\mu\text{m}$ 和大于 $10\mu\text{m}$ 。

根据一些实测资料, 矿井中矿尘的数量分散度大致为: 小于 $2\mu\text{m}$ 的占 $46.5\%\sim 60\%$; $2\sim 5\mu\text{m}$ 的占 $25.5\%\sim 35\%$; $5\sim 10\mu\text{m}$ 的占 $4\%\sim 11.5\%$; 大于 $10\mu\text{m}$ 的占 $2.5\%\sim 7\%$ 。一般情况下, 小于 $5\mu\text{m}$ 的矿尘(即呼吸性粉尘)占 90% 以上。

矿尘分散度是衡量矿尘颗粒大小的一个重要指标, 是研究矿尘性质与危害时的一个重要因素。

(1) 矿尘的分散度直接影响着它的比表面积的大小, 矿尘分散度愈高, 其比表面积愈大, 矿尘的溶解性、化学活性和吸附能力等也愈强。如石英粒子由 $75\mu\text{m}$ 减小到 $50\mu\text{m}$ 时, 它在碱溶液中的含量由 2.3% 上升到 6.7% , 这对尘肺的发病起着重要作用。

煤尘比表面积愈大, 与空气中的氧气反应就愈剧烈, 更易引起煤尘自燃和爆炸。

随着粉尘颗粒比表面积的增大, 微细尘粒的吸附能力增强。一方面, 井下爆破后, 尘

粒表面能吸附诸如 CO、氮氧化合物等有毒有害气体；另一方面，由于充分吸附周围介质（空气）的结果，微细尘粒表面形成气膜现象随之增强，从而大大提高了微细尘粒的悬浮性，而尘粒周围气膜的存在，阻碍了微细尘粒间的相互结合，尘粒的凝聚性和吸湿性明显下降，不利于粉尘的沉降。

(2) 粉尘分散度对尘粒的沉降速度有显著的影响。粉尘在空气中的沉降速度主要取决于它的分散度、密度及空气的密度和粘度。粉尘的分散度愈高，其沉降速度愈慢，在空气中的悬浮时间愈长。如静止空气中的岩尘和煤尘，粒径为 $10\mu\text{m}$ 时，沉降速度分别为 7.86mm/s 和 3.98mm/s ；而粒径为 $1\mu\text{m}$ 时，沉降速度则仅为 0.0786mm/s 和 0.0398mm/s ；粒径小于 $1\mu\text{m}$ 时，沉降速度几乎为零。在实际的生产条件下，由于风流、热源、机械设备运转及人员操作等因素的影响，微细尘粒的沉降速度更慢。微细尘粒难以沉降，给降尘工作带来了不利因素。

(3) 粉尘分散度对尘粒在呼吸道中的阻留有直接影响。空气中悬浮的粉尘，随着气流吸进入体呼吸道，尘粒通过惯性碰撞、重力沉降、拦截和扩散等几种运动方式，进入并阻留在呼吸道和肺泡里。粉尘分散度的高低和被吸入人体后在呼吸道中各部位的阻留程度有着密切关系。 $30\mu\text{m}$ 的尘粒可达气管分支部； $10\mu\text{m}$ 的可达终末支气管； $3\mu\text{m}$ 的可达肺泡管； $1\mu\text{m}$ 的可达肺泡道和肺泡囊腔； $1\mu\text{m}$ 以下的，部分沉着在肺泡上，部分再呼出。

上述可见，粉尘的分散度愈高，危害性愈大，而且愈难捕获。

五、粉尘的湿润性

粉尘湿润是液体将尘粒表面气体挤出后，在其表面铺展的过程。在这一过程中，固—气界面消失，形成固—液界面和液—气界面。所以湿润过程也就是固—液—气三相界面上表面能变化的过程。

粉尘的湿润性是决定液体除尘效果的重要因素，它取决于液体的表面能（表面张力）和尘粒的湿润边界角。湿润边界角是指液体和尘粒界面（图1-1之AC）与液体表面的切线（AB）间的夹角。由图1-1知：

$$\cos\theta = (F_{d,w} - F_{d,a}) / F_{w,a} \quad (1-5)$$

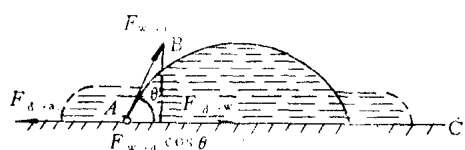


图 1-1 尘粒湿润示意图

式中 θ ——湿润边界角，度；

$F_{d,a}$ ——尘—气界面的表面张力；

$F_{d,w}$ ——尘—液界面的表面张力；

$F_{w,a}$ ——液—气界面的表面张力。

若 $\cos\theta < 0$ ，即 $\theta > 90^\circ$ 时，尘粒不被该液体湿润；若 $1 \geq \cos\theta > 0$ ，即 $\theta < 90^\circ$ 时，尘粒能被该液体湿润；如果 $\cos\theta = 1$ ，即 $\theta = 0$ 时，就能完全湿润。

容易被水湿润的粉尘称亲水性粉尘，不容易被水湿润的粉尘称疏水性粉尘。对于亲水性粉尘，当尘粒被湿润后，尘粒间相互凝聚，尘粒逐渐增大、增重，其沉降速度加速，粉尘能从气流中分离出来，可达到除尘目的。矿井常用的喷雾洒水和湿式除尘器就是利用粉尘的湿润性使其沉降的。对于疏水性粉尘，一般不宜采用湿式除尘器，而多采用水中添加湿润剂、增加水滴的动能等方法进行湿式除尘。

煤的湿润边界角决定于煤的变质程度、岩石学成分和矿物成分以及煤的表面氧化程度。煤是疏水性物质，单纯用水除尘，效果往往不佳。

六、矿尘的荷电性

悬浮于空气中的尘粒，因空气的电离作用和尘粒之间或尘粒与其它物体碰撞、摩擦、吸附而带有电荷。尘粒的荷电性与电荷符号对防尘工作有重要的意义。

煤尘的电荷符号主要决定于煤的变质程度、灰分组分和破碎方式，可能带正电荷，也可能带负电荷。尘粒带有相同电荷时，互相排斥，不易凝集下沉；带有异电荷时，则可相互吸引、凝聚而加速沉降。

原苏联等国有利用粉尘的荷电特性而设计的电除尘器。目前在袋式除尘器和湿式除尘器中也越来越多地利用粉尘的荷电性来提高对粉尘的捕集性能。

但另一方面，由于矿尘具有带电性，带电的尘粒也较容易沉积在人体的支气管和肺泡中，从而增加了对人体的危害性。

七、矿尘的光学特性

矿尘的光学特性包括矿尘对光的反射、吸收和透光强度等性能。在测尘技术中，常利用矿尘的光学特性来测定它的浓度和分散度。

(1) 尘粒对光的反射能力。光通过含尘气流的强弱程度与岩粒的透明度、形状、气流含尘浓度及尘粒的大小有关，但主要取决于浓度和尘粒大小。当尘粒直径大于 $1\mu\text{m}$ 时，光线由于被直接反射而损失，即光线损失与反射面面积成正比。当浓度相同时，光的反射值随粒径减小而增加。

(2) 尘粒的透光程度。含尘气流（对光线）的透明程度，取决于气流含尘浓度的高低。当浓度为 $0.115\text{g}/\text{m}^3$ 时，含尘气流是透明的，可通过90%的光；随着浓度的增加，其透明度将大为减弱。

(3) 光强衰减程度。当光线通过含尘气流时，由于尘粒对光的吸收和散射等作用，会使光强减弱。

八、矿尘的燃烧性和爆炸性

有些矿尘（主要是硫化矿尘和煤尘）在空气中达到一定浓度时，在高温热源的作用下，能发生燃烧和爆炸。矿尘爆炸时能产生高温、高压，生成大量的有毒有害气体，对矿井安全生产威胁极大。

一般认为，含硫大于10%的硫化矿尘即有爆炸性，发生爆炸的粉尘浓度范围为 $250\sim 1500\text{g}/\text{m}^3$ ，引燃温度为 $435\sim 450^\circ\text{C}$ 。

关于煤尘爆炸将在第四节中讨论。

第三节 矿尘的产生及危害

一、矿尘的产生

煤矿作业的各个生产过程中都可以产生矿尘。能产生尘的作业工序主要有：

- (1) 钻眼作业，如气动凿岩机或煤电钻打眼、打锚杆眼、注水眼等；
- (2) 炸药爆破；
- (3) 采煤机割煤、装煤和掘进机掘进；
- (4) 采场支护、放顶；
- (5) 巷道支护，特别是锚喷支护；
- (6) 装载、运输、转载、卸载和提升；

(7) 通风安全设施的构筑等。

不同矿井由于煤层和岩层的地质条件不同,采掘方法、作业方式和机械化程度不同,矿尘的生成量多少有很大差异;即使在同一个矿井里,产生多少也因时因地发生着变化。矿尘生成量的多少主要取决于下列因素:

(1) 地质构造及煤层赋存条件。

在地质构造复杂、断层褶曲发育并且受地质构造破坏强烈的地区开采时,矿尘产生量较大;反之则较小。井田内如有火成岩侵入,煤体变脆变酥,产生也将增加。

一般说来,开采急倾斜煤层比开采缓倾斜煤层的产生量要大,开采厚煤层比开采薄煤层的产生量要高。

(2) 煤岩的物理性质。

通常,节理发育且脆性大的煤易碎,结构疏松而又干燥坚硬的煤岩在采掘工艺相近的条件下产生既细微量又大。

(3) 环境的温度和湿度。

煤岩本身水分低、煤帮岩壁干燥,而且环境相对湿度又低时,作业时产生会相对增大;反之,若煤岩体本身潮湿,矿井空气湿度又大,虽然作业时产生较多,但由于水蒸气和水滴的湿吸作用,矿尘悬浮性减弱,空气中矿尘含量会相对减少。

(4) 采煤方法。

不同的采煤方法产生量差异很大。例如,急倾斜煤层采用倒台阶方法开采比用水平分层开采的产生量要大;全部冒落采煤法比水砂充填法的产生量要大得多。就减少产生而言,旱采(特别是机采)又远不及水采。

(5) 产生点的通风状况。

矿尘浓度的大小和作业地点的通风方式、风速及风量密切相关。当井下实行分区通风、风量充足且风速适宜时,矿尘浓度就会降低;如采用串联通风,含尘乏风再次进入下一个作业地点或风量不足、风速偏低时,矿尘浓度就会逐渐增高。保持产生点的良好通风状况,关键在于选择既能使矿尘稀释并排出,又能避免落尘重新飞扬的最佳风速。根据现场试验研究,回采工作面风速在 $1.2 \sim 1.6 \text{ m/s}$ 时,浮游煤尘最小;掘进工作面的风速以 $0.25 \sim 0.63 \text{ m/s}$ 为宜。

(6) 采掘机械化程度和生产强度。

煤矿采掘工作面的矿尘生成量是随着采掘机械化程度的提高和生产强度的加大而急剧上升的。在地质条件和通风状况基本相同的情况下,炮采工作面干放炮时矿尘浓度一般为 $300 \sim 500 \text{ mg/m}^3$;机采干割煤时矿尘浓度为 $1000 \sim 3000 \text{ mg/m}^3$;而综采干割煤时矿尘浓度则高达 $4000 \sim 8000 \text{ mg/m}^3$,有的甚至更高。在采取煤层注水和喷雾洒水防尘措施后,炮采的矿尘浓度一般可为 $40 \sim 80 \text{ mg/m}^3$;机采为 $30 \sim 100 \text{ mg/m}^3$;而综采为 $20 \sim 120 \text{ mg/m}^3$ 。

采用的采掘机械及其作业方式不同时,产生强度也随之发生变化。如综采工作面使用双滚筒采煤机组时,截割机构的结构参数及采煤机的工作参数均和产生量密切相关。

据有关资料统计,在现代化煤矿中,一昼夜煤尘的生成量可以达到矿井煤炭产量的3%。

二、矿尘尘源分布

煤矿粉尘的主要尘源是采掘、运输和装载、锚喷等作业场所。采掘工作面产生的浮游

粉尘约占矿井全部粉尘的80%以上；其次是运输系统中的各转载点，由于煤岩遭到进一步破碎，也产生相当数量的粉尘。

按产尘来源分析，在现有防尘技术条件下，各生产环节所产生的浮游粉尘量比例关系大致是：采煤工作面产尘量占45%~80%；掘进工作面产尘量占20%~38%；锚喷作业点产尘量占10%~15%；运输通风巷道产尘量占5%~10%；其它作业点产尘量占2%~5%。

井下各生产系统及各工序环节的产尘量并不是一成不变的，它受到多种条件的制约而经常在变化。

三、矿尘的危害

矿尘的危害主要表现在两个方面：一是对人体健康的危害，即工人长期吸入矿尘后（如硅尘和煤尘），轻者会患呼吸道炎症，重者会患尘肺病，而尘肺病引起的矿工致残和死亡人数，在国内外都十分惊人。世界各国都在积极开展预防和治疗尘肺病的工作，并已取得较大进展。

矿尘危害的另一个表现是燃烧和爆炸。例如煤尘，能够在完全没有瓦斯存在的情况下爆炸；对于瓦斯矿井，则有可能发生瓦斯煤尘同时爆炸事故。无论是何种爆炸，都将给矿井以突然性的袭击，酿成严重的灾害。

除此以外，矿尘能加速机械的磨损，减少精密仪表的使用时间；能降低工作场所的能见度，使工伤事故增多。

因此，认真做好矿尘防治工作，是矿井生产管理中必不可少的环节。

第四节 煤 尘 爆 炸

煤尘发生爆炸是有条件的，而且受一些因素的影响，伴随爆炸的发展过程，有其自身的特点和产物。

一、煤尘爆炸机理

煤尘爆炸是空气中氧气与煤尘急剧氧化的反应过程。

煤是复杂的固体化合物，煤尘爆炸的机理比可燃气体爆炸复杂。一般认为，煤炭被破碎成微细的煤尘后，总表面积显著增加，当它悬浮于空气中，吸氧和被氧化的能力大大增强，在外界高温热源的作用下，悬浮的煤尘单位时间内能吸收更多的热量，大约300~400℃时，就可放出可燃性气体，主要成分为甲烷以及乙烷、丙烷、丁烷、氢和1%左右的其它碳氢化合物；这些可燃气体集聚于尘粒周围，形成气体外壳，当这个外壳内的气体达到一定浓度并吸收一定能量后，链反应过程开始，游离基迅速增加，就发生了尘粒的闪燃；闪燃的尘粒被氧化放出的热量，以分子传导和火焰辐射的方式传递给周围的尘粒，并使之参与链反应，反应速度急剧增加，燃烧循环地继续下去；由于燃烧产物的迅速膨胀而在火焰面前方形成压缩波，压缩波在不断压缩了的介质中传播时，后波可以赶上前波；这些单波叠加的结果，使火焰面前方的气体的压力逐渐增高，因而引起了火焰传播的自动加速；当火焰速度达到每秒数百米以后，煤尘的燃烧便在一定的临界条件下跳跃式地转变为爆炸。

从燃烧转变为爆炸的必要条件是由于化学反应产生的热能必须超过热传导和辐射所造成的热损失；否则，燃烧既不能持续发展，也不会转为爆炸。

二、煤尘爆炸的条件

煤尘爆炸必须同时具备三个条件：煤尘本身具有爆炸性；煤尘必须悬浮在空气中，并

达到一定的浓度；存在能引燃煤尘爆炸的高温热源。

1. 煤尘的爆炸性

并不是所有的煤尘都具有爆炸性。煤尘有无爆炸性，《规程》规定：“应由矿务局或地质勘探部门提供煤样，送部授权单位进行鉴定”。

2. 悬浮煤尘的浓度

井下空气中只有悬浮的煤尘达到一定浓度时，才可能引起爆炸。单位体积空气中能够发生煤尘爆炸的最低和最高煤尘量称为爆炸下限和上限浓度。低于下限浓度或高于上限浓度的煤尘都不会发生爆炸。煤尘爆炸的浓度范围与煤的成分、粒度、引火源的种类和温度及试验条件等有关。一般说来，煤尘爆炸的下限浓度为 $30\sim 50\text{g/m}^3$ ，上限浓度为 $1000\sim 2000\text{g/m}^3$ 。在爆炸的上、下限浓度之间，煤尘均可爆炸，其中爆炸力最强的浓度范围为 $300\sim 500\text{g/m}^3$ 。

一般情况下，浮游煤尘达到爆炸下限浓度的情况是不常有的，但是爆破、爆炸和其它震动冲击都能使大量落尘飞扬，在短时间内使浮尘量增加、达到爆炸浓度。因此，确定煤尘爆炸浓度时，必须考虑落尘这一因素，即通过试验得出落尘的爆炸下限，用作确定巷道按煤尘爆炸危险程度分类的指标。

3. 引燃煤尘爆炸的高温热源

煤尘的引燃温度变化范围较大，它随着煤尘性质、浓度及试验条件的不同而变化。我国煤尘爆炸的引燃温度在 $610\sim 1050^\circ\text{C}$ 之间，一般为 $700\sim 800^\circ\text{C}$ 。这样的温度条件，几乎一切火源均可达到，如爆破火焰、电气火花、机械摩擦火花、瓦斯燃烧或爆炸、井下火灾或明火等。根据80年代的统计资料，由于放炮和机电火花引起的煤尘爆炸事故分别占总数的45%和35%。

以爆破引燃煤尘爆炸为例，爆破作业时炸药释放的能量是导致煤尘氧化反应加速所需热能的主要来源。其引燃或引爆的原因有：（1）炸药爆炸时形成的空气冲击波的绝热压缩；（2）炸药爆炸时生成的炽热的或燃着的固体颗粒的点火作用；（3）炸药爆炸时生成的气态爆炸产物（也称爆炸瓦斯，如 NO_2 、 H_2 、 CO 和 O_2 等）及二次火焰的直接加热。这三种因素尽管其发火机制不同，但都能引燃甚至引爆，即都具有发火作用。这一点已被实验所证实。

三、煤尘爆炸的特征

1. 产生高温高压

煤尘爆炸的氧化反应主要是在气相内进行的。当煤尘云开始被点燃时，产生的火焰和冲击波两者的传播速度几乎相同，随着时间的延长，冲击波的速度加快。国外用化学方法算出的煤尘爆炸最大火焰速度为 1120m/s ，而在实验中所测得的火焰速度为 $610\sim 1800\text{m/s}$ 。计算出的冲击波速度为 2340m/s 。

据日本测定，煤尘爆炸火焰的温度是 $1600\sim 1900^\circ\text{C}$ 。煤尘爆炸产生的热量，可使爆炸地点的温度高达 2000°C 以上。这是煤尘爆炸得以自动传播的条件之一。

煤尘爆炸的理论压力为 736kPa ，但是在有大量沉积煤尘的巷道中，爆炸压力将随着离开爆源的距离的增加而跳跃式地增大。只要巷道中有煤尘，这种爆炸就会不停地向前发展，一直传播到没有煤尘的地点为止。对发生煤尘爆炸事故的矿井调查表明，一般距爆源 $10\sim 30\text{m}$ 以内的地点，破坏较轻，尔后离爆源越远，破坏越严重。根据煤尘爆炸平硐试验，距