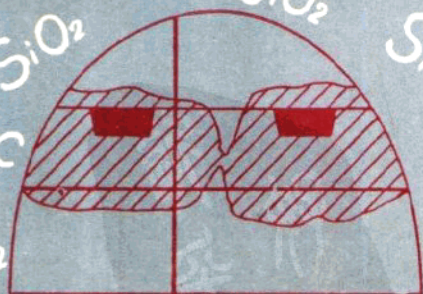


煤炭工业出版社

# 矿井粉尘防治

金龙哲 编著



10714

7-59

# 矿 井 粉 尘 防 治

金 龙 哲 编 著

煤 炭 工 业 出 版 社

818227

(京)新登字 042 号

### 内 容 提 要

本书是应联合国 CPR/87/022 国际项目文件的要求,为满足中国煤矿安全技术培训中心及全国各地地方煤矿安全技术培训中心的教学急需而编写的。

全书共分五章,分别对粉尘的特性、产生原因和运动规律,粉尘的检测方法、煤尘爆炸及其抑制、预湿煤体防尘方法以及综合防尘技术等 方面作了全面的阐述。

本书可作为全国各煤矿安全技术培训中心及煤炭高等专科学校和成人高校灾害防治课程的教材,亦可供煤炭系统普通高校师生、科研部门和煤炭企业的有关工程技术人员参考。

### 矿 井 粉 尘 防 治

金 龙 哲 编著

责任编辑: 贾 明 阳

煤炭工业出版社·出版

(北京安定门外和平里北街21号)

煤炭工业出版社印刷厂 印刷

新华书店北京发行所 发行

开本 787×1092mm<sup>1/32</sup> 印张 8<sup>1/2</sup>

字数 190 千字 印数 1—3,370

1993年11月第1版 1993年11月第1次印刷

ISBN 7-5020-0875-6/TD·810

书号 3640 G0273 定价 8.40元

## 前 言

《煤矿安全规程》第511条明确规定：“从事煤矿井下生产建设的职工，都必须经过安全技术培训，并须考试合格，取得《安全工作资格证书》。未经培训的人员，不许指挥生产，不准上岗操作。”所以，从事煤矿生产建设的干部和职工必须学习安全技术知识、掌握矿井灾害发生的规律、预防措施和处理方法，各级领导应制订在其职责范围内的矿井灾害预防和处理计划，如遇险情能采取应急措施，正确处理，以保障安全生产。

矿井粉尘是影响矿井安全生产，危害工人身体健康的主要灾害之一。为了彻底根治粉尘危害、杜绝煤尘爆炸事故，国内外有关各界对矿井除尘技术、尘肺病预防等方面都十分重视，广大科研和工程技术人员通过生产实践，积累了丰富的矿井粉尘防治经验，这对本书的编写工作提供了良好的条件。

本书是根据联合国劳工组织与中国煤矿安全技术培训中心 CPR/87/022 国际项目文件的具体要求，在国内外进行广泛调研、收集资料的基础上编写成的。本书系统地阐述了煤矿各生产环节中防治尘害的科学方法；结合中国实际，较多地介绍了国内外防尘新技术成果和防尘管理经验。具有内容丰富、实用性强等特点。

在本书的编写过程中，曾得到了中国煤矿安全技术培训中心各级领导和众多同志的支持和帮助，特别是方裕章副教

授提出了许多的具体修改意见，王家棣副教授作了具体指导，岑衍强副教授对书稿进行了认真审核，在此向他们表示衷心的感谢。

由于作者水平所限，加上时间仓促，书中不当之处在所难免，欢迎广大读者批评指正。

编著者

1993年2月

# 目 录

<b>第一章 矿尘及其危害</b> .....	1
第一节 概述 .....	1
第二节 粉尘的粒度、分散度和粒度分布 .....	5
第三节 矿尘的性质 .....	14
第四节 尘肺病 .....	16
第五节 煤矿尘肺流行病学调查分析示例 .....	26
<b>第二章 粉尘检测</b> .....	37
第一节 粉尘浓度测定 .....	37
第二节 粉尘粒度及粒度分布的测定 .....	51
第三节 煤尘沉积强度及游离二氧化硅的测定 .....	54
第四节 测尘组织机构、职责及报告制度 .....	62
第五节 测尘经验示例 .....	63
<b>第三章 煤尘爆炸及其抑制</b> .....	86
第一节 煤尘爆炸 .....	86
第二节 煤尘爆炸的抑制 .....	104
第三节 隔绝煤尘爆炸措施 .....	108
第四节 我国关于隔绝煤尘爆炸的规定 .....	120
<b>第四章 预湿煤体防尘</b> .....	125
第一节 预湿煤体概述 .....	125
第二节 煤层注水防尘 .....	130
第三节 采空区及巷道灌水防尘 .....	154
第四节 预湿煤体防尘的施工管理 .....	157
第五节 煤层注水经验示例 .....	159
<b>第五章 综合防尘技术</b> .....	171

第一节	湿式作业 .....	171
第二节	通风除尘 .....	180
第三节	采煤工作面防尘 .....	184
第四节	个体防护 .....	203
第五节	物理化学除尘 .....	207
第六节	除尘器除尘 .....	236
第七节	煤矿综合防尘措施效果评价示例 .....	243
附录	国际单位制及书中符号解释 .....	262
参考文献	.....	269

## 第一章 矿尘及其危害

矿尘是煤矿生产的六大自然灾害之一。它不仅影响矿工的健康，而且绝大部分矿区的煤尘还具有爆炸性，严重威胁着煤矿的安全生产。所以，了解矿尘的特性及其产生与运动的规律，有效地控制矿尘，对改善劳动条件，提高生产效率及保证矿井的安全生产具有重要的意义。

### 第一节 概 述

#### 一、矿尘及其分类

##### (一) 矿尘

矿尘，一般指矿物开采或加工过程中产生的微细固体集合体。在我国从煤尘粒径大于 $1\text{mm}$ 的一般不能参与爆炸考虑，将粒径在 $1\text{mm}$ 以下的煤粒叫煤尘。从卫生角度考虑，岩尘粒径如大于 $5\mu\text{m}$ 尘粒很难进入肺泡，因而将粒径在 $5\mu\text{m}$ 以下的岩粒叫岩尘。岩尘中如果含有游离二氧化硅( $\text{SiO}_2$ )，当其含量超过 $10\%$ 时，称为矽尘。

从矿尘的存在状态讲，常把沉积于器物表面或井巷四壁之上的矿尘称为落尘，悬浮于井巷空间空气中的矿尘称为浮尘(或飘尘)。落尘与浮尘在不同风流环境下是可以相互转化的。防尘技术研究的对象，主要是悬浮于空气中的浮尘，所以一般所说的粉尘就是指悬浮于空气中的粉尘。

##### (二) 矿尘的分类

现在国际上还没有对矿尘进行统一的分类。按其性质和



形态，可作如下分类。

### 1. 按测定粉尘浓度的方法分类

1) 全尘。全尘是指各种粒度的煤尘和岩尘总和。在实际工作中，无法严格按粒度和成份测得全尘，通常把粉尘浓度近似作为全尘浓度；

2) 呼吸性粉尘。人在正常呼吸时，粒径较大的粉尘容易被阻留在呼吸道，而小于 $5\mu\text{m}$ 的粉尘有80%~90%能够随人的呼吸到达人的肺泡，对肺部危害很大，所以，把 $5\mu\text{m}$ 以下的粉尘叫做呼吸性粉尘。

### 2. 按粉尘产生的过程分类

1) 矿尘。矿物（岩石、煤等）由机械或爆破作用被粉碎而生成的细小颗粒称作矿尘。尘粒形状不规则，颗粒大小分布范围很广，其中 $1\sim 100\mu\text{m}$ 的尘粒能暂时悬浮于空气中；

2) 烟尘。由于燃烧、氧化等物理化学变化过程所伴随着产生的固体微粒称作烟尘。如井下煤的自然发火、外因火灾产生的烟尘，其直径一般很小，多在 $0.01\sim 1\mu\text{m}$ 范围，可长时间悬浮于空气中。

### 3. 按粉尘粒度分类

1) 粗尘。粒度大于 $40\mu\text{m}$ 的粉尘为粗尘，是一般筛分的最小粒径，极易沉降；

2) 细尘。粒度为 $10\sim 40\mu\text{m}$ ，在明亮的光线下，肉眼可以看到，在静止空气中呈加速沉降；

3) 微尘。粒度为 $0.25\sim 10\mu\text{m}$ ，用普通显微镜可以观察到，在静止空气中呈等速沉降；

4) 超微粉尘。即粒径小于 $0.25\mu\text{m}$ 的粉尘，要用超倍显微镜才能观察到，能长时间悬浮于空气中，并能随空气分子

作布朗运动。

#### 4. 其它分类方法

(1) 按粉尘的成分可分为煤尘、岩尘、石棉尘、水泥尘以及动、植物粉尘等；

(2) 按有无毒性可分为有毒、无毒或放射性粉尘等；

(3) 按爆炸性可分为易燃、易爆或非燃、非爆炸性粉尘。

## 二、矿尘的危害性

在煤矿井下的生产过程中，矿尘的危害主要表现在以下3个方面：

(1) 对人体健康的危害。长期从事采掘工作和粉尘作业的职工，易患职业病——尘肺病；

(2) 在采、掘等粉尘作业环境中，若矿尘达到较高的浓度，影响视野，操作中容易造成人身事故；

(3) 若矿井的煤尘具有爆炸性，对矿井安全生产会带来很大威胁。

## 三、矿尘的产生及其影响因素

无尘的矿井是没有的，能够被列为少尘的矿井也很少。从图1-1可以看出，地面和井下空气中的粉尘浓度相差甚大。图中的统计数字只是大概情况，矿内空气中的粉尘浓度一般较难确定，这是因为，矿尘随作业地点的不同，其变化范围很大，根据地点和条件的不同，其含量可从每立方米几毫克到每立方米几克。

### (一) 产生矿尘的主要环节

在煤炭生产过程中，几乎所有作业均可产生矿尘。例如，打眼、放炮、清理工作面、装载、运输、转载、支护、顶板管理、提升等都会产生矿尘或使矿尘飞扬。凡是在生产

过程中，因破碎或震动煤岩所产生的矿尘叫次生矿尘；而把煤岩层受地质构造运动或受支承压力的作用而产生的矿尘叫做原生矿尘。

## (二) 影响矿尘产生

生的主要因素

### 1. 自然条件

1) 地质构造情况。在地质构造复杂，断层褶皱发育，受地质构造运动破坏强烈的地区，开采时矿尘产生量大，反之较小。

2) 煤层的赋存条件。在同样的技术条件下，开采薄煤层比开采厚煤层矿尘产生量要大，因为在同样的钻眼爆破、装载运输条件下薄煤层工作空间小。

开采缓倾斜煤层比开采急倾斜煤层矿尘产生量小。

3) 煤、岩的物理性质。一般在节理发育、结构疏松、水份含量低、煤岩坚硬、脆性较大情况下，采掘时矿尘的产生量较大，反之较小。

### 2. 生产条件

1) 机械化程度。随着采掘机械化程度的提高，矿尘的产

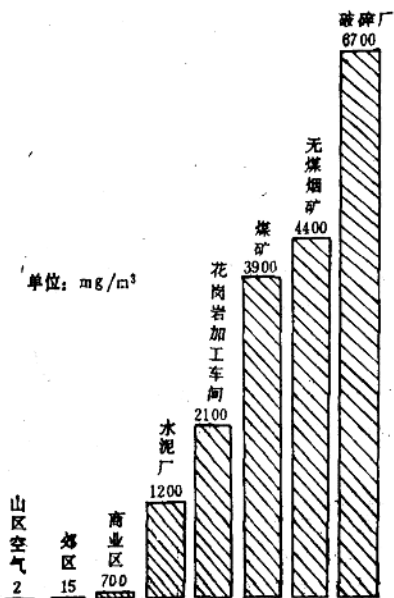


图 1-1 不同环境的平均粉尘浓度

生量也随之增大。据统计，采煤工作面矿尘浓度大致如下：综采工作面为 $200\sim 300\text{mg}/\text{m}^3$ ，普采工作面为 $100\sim 200\text{mg}/\text{m}^3$ ，炮采工作面为 $50\sim 100\text{mg}/\text{m}^3$ 。由此可以看出，机械化程度越高，矿尘危害越严重。

2) 生产的集中化程度。生产的集中化，使矿井的采掘工作面个数减少，采掘推进速度加快，人和设备集中，其结果是在较小的空间产生较多的矿尘。同时，因采掘集中化的要求，风量越来越大，扬起矿尘增多，使矿尘在井下巷道中浮游时间和距离增大，矿内空气中矿尘浓度增大。

3) 采煤方法。采煤方法不同，煤尘产生量也不一样。例如，急倾斜煤层采用倒台阶采煤法比水平分层采煤法煤尘产生量要大得多；全部垮落法管理顶板比充填法管理顶板产生量要大。

4) 通风状况。通风和矿尘的关系比较密切，风量大能稀释矿尘，将矿尘带出矿井。但是，若风量过大，风速过高，又能将已经沉降的矿尘吹扬起来，增加空气中的矿尘浓度。

各个矿井由于生产条件和自然条件不同，矿尘的产生量也不同。在同一矿井同一工作面不同地点矿尘产生量也不同。在同样的条件下，同一工序矿尘的产生量大致相同。

## 第二节 粉尘的粒度、分散度和粒度分布

### 一、粉尘粒度的定义

粉尘大小不一，形状各异，通常取其平均粒径来表示粉尘的大小。粉尘的粒径也叫粉尘的粒度，粒度单位采用微米( $\mu\text{m}$ )。 $1\mu\text{m}$ 等于 $0.001\text{mm}$ 。

粉尘颗粒形状很不规则，为了统计上的相似意义，需采用适当的代表尺寸来表示各个粒子的粒度。一般说有三种形式

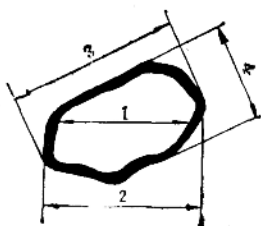


图 1-2 尘粒的投影径

1—面积等分径；2—定向径；  
3—长径；4—短径

的粒径；投影径、几何当量径、物理当量径。

### 1. 投影径

投影径是指尘粒在显微镜下所观察到的粉尘颗粒，图 1-2 为尘粒投影径。

1) 面积等分径。指将粉尘的投影面积二等分的直线长度，通常采用等分线与底边平行；

2) 定向径。指尘粒投影面上两平行切线之间的距离，它可取任意方向，通常取其与底边平行；

3) 长径。不考虑方向的最长径；

4) 短径。不考虑方向的最短径。

### 2. 几何当量径

取尘粒的某一几何量（面积、体积等）相同时的球形粒子的直径。如：

1) 等投影面积径  $d_A$ 。与粉尘的投影面积相同的某一圆面积的直径；

$$d_A = \sqrt{\frac{4A_p}{\pi}} = 1.128\sqrt{A_p} \quad (1-1)$$

式中  $A_p$ ——尘粒的投影面积。

2) 等体积径  $d_v$ 。与粉尘体积相同的某一圆球体积的直径；

$$d_v = \sqrt[3]{\frac{6V_p}{\pi}} = 1.24\sqrt[3]{V_p} \quad (1-2)$$

式中  $V_p$ ——尘粒的体积。

3) 等表面径  $d_s$ 。与尘粒的外表面积相同的某一圆球的直径:

$$d_s = \sqrt{\frac{S}{\pi}} = 0.56\sqrt{S} \quad (1-3)$$

式中  $S$  —— 尘粒的外表面积。

4) 体面积径  $d_{s,v}$ 。尘粒的外表面积与体积之比相同的圆球的直径:

$$d_{s,v} = \frac{d_v^3}{d_s^2} \quad (1-4)$$

### 3. 物理当量径

取尘粒的某一物理量相同时的球形粒子的直径。如:

1) 阻力径  $d_d$ 。在相同粘性的气体中, 速度相同时, 粉尘所受到的阻力  $p_D$  与圆球受的阻力相同时的圆球直径:

$$p_D = C_D A_p \rho_g \frac{u^2}{2} \quad (1-5)$$

式中  $C_D$  —— 阻力系数;

$A_p$  —— 垂直于气流方向的粉尘断面积,  $m^2$ ;

$\rho_g$  —— 气体密度,  $kg/m^3$ ;

$u$  —— 气流速度,  $m/s$ 。

而  $C_D$ 、 $A_p$  为尘粒直径  $d_p$  的函数, 由此可得出尘粒的阻力径  $d_d$ 。

2) 自由沉降径  $d_f$ 。在特定气体中, 密度相同的尘粒, 在重力作用下自由沉降所达到的末速度与同密度圆球所达到的末速度相同时的球体直径。

3) 空气动力径  $d_a$ 。在静止的空气中 尘粒的沉降速度与密度为  $1g/cm^3$  的圆球的沉降速度相同时的圆球直径。

4) 斯托克斯径  $d_{st}$ 。在层流区内 (对粉尘粒子的雷诺数

$R_{0.5} < 1$ ) 的空气动力径。

除上述之外，还可以根据尘粒的其它几何、物理量来定义粉尘的粒径。同一尘粒按不同定义所得的粒径在数值上是不同的。因此在使用粉尘的粒径时，必须清楚了解所采用的粒径含义。不同的粒径测试方法，得出不同概念下的粒径，例如：用显微镜法测得的是投影径；用沉降管测得的是斯托克斯径；用光散射法测定时为等体积径；过滤除尘常用几何径等等。

## 二、粉尘平均粒径

在自然界或工业生产过程中的粉尘，不仅形状不规则，其粒度的分布范围也很广，对于这种粉尘，由于“平均”的方法不同，其平均粒径也有不同的定义。

1) 算术平均值  $d_{10}$ 。指粉尘直径的总和除以粉尘的颗粒数：

$$d_{10} = \frac{1}{N} \sum d_i n_i \quad (1-6)$$

式中  $N$ ——粉尘的颗粒总数；

$d_i$ ——第  $i$  种粉尘的直径；

$n_i$ ——粒径为  $d_i$  的粉尘颗粒数。

2) 平均表面积径  $d_{20}$ 。指粉尘表面积的总和除以粉尘的颗粒数：

$$d_{20} = \left( \frac{1}{N} \sum d_i^2 n_i \right)^{\frac{1}{2}} \quad (1-7)$$

平均表面积径特别适用于研究粉尘的表面特性。

3) 体积（或重量）平均径  $d_{30}$ 。指各粉尘的体积（或重量）的总和除以粉尘的颗粒数，

$$d_{30} = \left( \frac{1}{N} \sum d_i^3 n_i \right)^{\frac{1}{3}} \quad (1-8)$$

一般情况下  $d_{10} < d_{20} < d_{30}$ 。除上述三种平均径外，尚有线性平均径  $d_{21}$ 、体积表面平均径  $d_{32}$ 、重量平均径  $d_{43}$ 、几何平均径  $d_g$ ，可以根据不同的要求选择平均径的表达式。例如：为了表示粉尘的光密度在重力场和惯性力下的沉降速度，应取平均表面径，对于通风除尘几何平均径具有重要意义。

### 三、粉尘的分散度

粉尘是由各种不同粒径的粒子组成的集合体。显然，单纯用平均粒径来表征这种集合体是不够的，它不能充分反映粒子群的组成特征。在气溶胶力学中经常用“分散度”这一概念。分散度是指粉尘整体组成中各种粒度的尘粒所占的百分比。分散度又叫粒度分布，有两种表示方法。

#### 1. 计数分散度

计数分散度是指某粒级的矿尘颗粒数占矿尘总颗粒数的百分比。其计算方法如下：

$$P_{n_i} = \frac{n_i}{\sum n_i} \times 100\% \quad (1-9)$$

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. 计重分散度（质量分散度）

计重分散度是指某粒级矿尘的重量占矿尘总重量的百分比。按下式计算：

$$P_{w_i} = \frac{W_i}{\sum W_i} \times 100\% \quad (1-10)$$

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, mg。

如果粉尘是均质的, 可用下式来换算计数分散度与计重分散度:

$$P_{wi} = \frac{n_i d_i^3}{\sum n_i d_i^3} \times 100\% \quad (1-11)$$

式中  $d_i$ ——某粒级尘粒的代表粒径。

从卫生角度考虑, 我国工矿企业把粉尘划分为4个计测粒级范围:  $<2\mu\text{m}$ ;  $2\sim 5\mu\text{m}$ ;  $5\sim 10\mu\text{m}$ ;  $>10\mu\text{m}$ 。

我国以计重分散度计量。

#### 四、矿井内的粉尘及其粒度分布

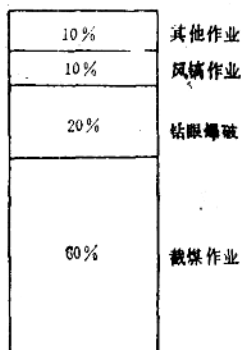


图 1-3 矿井中的粉尘来源

各个矿井内产生的粉尘量是不同的, 甚至在同一矿井里, 各个地点的粉尘浓度也不相同, 并且在一个工作班里也随时间而变, 矿井里的各种作业是按一定顺序重复进行的, 其产尘量也随之而变。在进行一定的作业(如钻眼)时, 在同样的具体条件下, 则可能产生大致相同的粉尘量。在煤矿井下, 粉尘主要来自截煤、钻眼、爆破等生产工艺,

如图1-3所示。但由于粉尘所具有的悬浮性, 风流可将粉尘带到矿井内的各个空间。这些粉尘可沉积于各空间的周壁形成落尘。

煤矿内的粉尘浓度比金属矿井高得多。其原因在于: 煤虽具有足够的脆性, 但强度比金属矿石低得多; 同时, 煤矿回采作业的集中化程度与机械化程度要比金属矿井高得多;