

高等教育“十三五”规划教材


GAODENG JIAOYU “SHI SAN WU” GUIHUA JIAOCAI

# 矿井粉尘 防治理论与技术

程卫民 主编

吴立荣 聂文 副主编

KUANGJING FENCHEN  
FANGZHI LILUN YU JISHU

 煤炭工业出版社

高等教育“十三五”规划教材

# 矿井粉尘防治理论与技术

主 编 程卫民

副主编 吴立荣 聂 文

煤炭工业出版社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

矿井粉尘防治理论与技术 / 程卫民主编. -- 北京: 煤炭工业出版社, 2016

高等教育“十三五”规划教材

ISBN 978-7-5020-4810-5

I. ①矿… II. ①程… III. ①矽尘—防尘—高等学校—教材 IV. ①TD714

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 045507 号

---

矿井粉尘防治理论与技术 (高等教育“十三五”规划教材)

主 编 程卫民  
责任编辑 尹忠昌  
编 辑 王 晨  
责任校对 刘 青  
封面设计 盛世华光

出版发行 煤炭工业出版社 (北京市朝阳区芍药居 35 号 100029)  
电 话 010-84657898 (总编室)  
010-64018321 (发行部) 010-84657880 (读者服务部)

电子信箱 cciph612@126.com  
网 址 www.cciph.com.cn  
印 刷 北京玥实印刷有限公司  
经 销 全国新华书店

开 本 787mm × 1092mm<sup>1</sup>/<sub>16</sub> 印张 15<sup>3</sup>/<sub>4</sub> 字数 376 千字  
版 次 2016 年 2 月第 1 版 2016 年 2 月第 1 次印刷  
社内编号 7665 定价 36.00 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,电话:010-84657880

## 内 容 提 要

本书系统地阐述了矿井粉尘的基础知识，矿井粉尘防治措施的理论和技术，以及矿井粉尘的检测、监督与管理。全书分十章，主要内容有：矿尘及其危害、矿井防尘供水系统、矿井通风除尘、煤层注水防尘、湿式除尘、物理化学除尘、个体防护、矿井防隔爆技术、矿井粉尘测定、矿井粉尘监督与管理。

本书较为全面地汇集了国内外矿井粉尘防治理论与技术方面的最新研究成果，可作为高等院校安全工程、采矿工程及相关专业的教材，还可作为煤矿安全监察人员及安全工程技术人员、企业安全管理人员的参考书。

# 前 言

随着矿井机械化程度的不断提高,开采强度的不断加大,煤矿安全问题日趋突出。煤矿粉尘是影响工人健康、安全生产的重要因素之一,高浓度粉尘不仅严重危害作业人员的身体健康,引发尘肺病,而且一旦发生粉尘爆炸或引起瓦斯煤尘爆炸,则导致人员伤亡、财产损失,后果惨重。国家相继制定和修订了粉尘防治相关的规程、规范和标准。因此有必要依据现行的规程、规范和标准,结合煤矿粉尘防治中的实际问题,编写符合专业学习的教材。

通过本课程的学习,能够了解和掌握矿井粉尘的分类、特性,矿井防尘用水量、供水方式等基础内容,熟悉综合防尘措施的理论与技术,以及粉尘的检测方法和监督管理制度,以便于将来在工作实践中加以应用。

本教材教学大纲的确定,是在广泛征求国内有关专家的基础上,反复斟酌、修改,最后通过审定。参编者按照大纲的内容要求,依据粉尘防治相关的规范、标准及管理规定,参考矿井粉尘防治理论与技术发展动向和相关著作,并结合近年来教学实践和研究成果完成编写。

全书共分10章,第一章由山东科技大学程卫民编写,第二、九、十章由山东科技大学吴立荣编写,第三章(第一节、第三至四节)、第五章(第一至三节、第五至六节)由山东科技大学周刚编写,第三章(第二节)、第四、六章由山东科技大学聂文编写,第五章(第四节)、第七章由山东科技大学陈连军编写,第八章由山东科技大学王刚编写。程卫民负责全书的统稿工作。本书在排版和校对等方面得到了王丹、白若男、黄亚楠和刘阳昊的帮助。在本书的编写过程中,还得到了煤炭工业出版社有关领导和工作人员的大力支持和帮助,在本书完成之际,向他们表示衷心的感谢。

本书在编写过程中参阅了大量的有关资料,在此,谨对原作者表示诚挚的谢意。

由于编者水平有限,书中难免有疏漏和错误之处,希望得到指正。

编 者

2015年5月

## 目 次

|                        |     |
|------------------------|-----|
| 第一章 矿尘及其危害             | 1   |
| 第一节 概述                 | 1   |
| 第二节 矿尘的产生及主要影响因素       | 4   |
| 第三节 矿尘的理化特性            | 5   |
| 第四节 煤尘的爆炸性             | 9   |
| 第五节 尘肺病                | 13  |
| 第六节 矿井综合防尘技术           | 15  |
| 习题                     | 18  |
| 第二章 矿井防尘供水系统           | 19  |
| 第一节 矿井防尘供水水源、水质要求及水的净化 | 19  |
| 第二节 矿井防尘用水量的计算         | 21  |
| 第三节 防尘静压供水和动压供水        | 25  |
| 第四节 管网系统               | 29  |
| 习题                     | 39  |
| 第三章 矿井通风除尘             | 40  |
| 第一节 矿尘在空气中的运动规律及排尘风速   | 40  |
| 第二节 掘进工作面通风除尘          | 43  |
| 第三节 采煤工作面风流、粉尘运移规律     | 55  |
| 第四节 采煤工作面通风除尘          | 57  |
| 习题                     | 60  |
| 第四章 煤层注水防尘             | 61  |
| 第一节 煤的孔隙及其渗流特征         | 61  |
| 第二节 煤层注水方式及其选择         | 67  |
| 第三节 煤层长孔注水及其工艺         | 73  |
| 第四节 煤层短孔注水及其工艺         | 92  |
| 第五节 采空区及巷道灌水           | 99  |
| 习题                     | 103 |

|                           |     |
|---------------------------|-----|
| <b>第五章 湿式除尘</b> .....     | 105 |
| 第一节 喷嘴及其喷雾降尘理论.....       | 105 |
| 第二节 掘进工作面湿式除尘.....        | 114 |
| 第三节 采煤工作面湿式除尘.....        | 121 |
| 第四节 湿式喷浆技术及工艺.....        | 134 |
| 第五节 转载运输系统喷雾降尘.....       | 146 |
| 第六节 净化水幕.....             | 150 |
| 习题.....                   | 154 |
| <b>第六章 物理化学除尘</b> .....   | 155 |
| 第一节 湿润剂除尘.....            | 155 |
| 第二节 泡沫除尘.....             | 162 |
| 第三节 其他除尘方法.....           | 171 |
| 习题.....                   | 175 |
| <b>第七章 个体防护</b> .....     | 176 |
| 第一节 个体防尘用具.....           | 176 |
| 第二节 自吸过滤式防颗粒物呼吸器.....     | 177 |
| 第三节 动力送风过滤式防尘呼吸器.....     | 179 |
| 第四节 隔绝式压风呼吸器.....         | 183 |
| 第五节 防尘服.....              | 186 |
| 第六节 个体防尘用具的选择、使用和维护.....  | 188 |
| 第七节 个体防护用品管理要素.....       | 190 |
| 习题.....                   | 191 |
| <b>第八章 矿井防隔爆技术</b> .....  | 192 |
| 第一节 概述.....               | 192 |
| 第二节 预防煤尘爆炸的技术措施.....      | 195 |
| 第三节 被动式隔绝煤尘爆炸传播的技术措施..... | 199 |
| 第四节 自动隔爆技术.....           | 206 |
| 习题.....                   | 211 |
| <b>第九章 矿井粉尘测定</b> .....   | 212 |
| 第一节 概述.....               | 212 |
| 第二节 粉尘测定方法.....           | 213 |
| 第三节 粉尘测定仪器.....           | 222 |
| 第四节 粉尘连续监测系统.....         | 227 |
| 习题.....                   | 228 |

---

|                    |     |
|--------------------|-----|
| 第十章 矿井粉尘监督与管理····· | 229 |
| 第一节 矿井防尘管理制度·····  | 229 |
| 第二节 矿井粉尘的监督管理····· | 233 |
| 习题·····            | 240 |
| 参考文献·····          | 241 |



# 第一章 矿尘及其危害

## 【本章概述】

矿尘是煤矿生产中五大灾害之一，不仅影响着工作人员的健康，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，了解矿尘产生主要影响因素、矿尘特性、危害以及矿尘防治技术，对改善工人劳动条件和保证矿井的安全生产具有重要的意义。本章介绍了矿尘的概念、分类，矿尘的产生与主要影响因素，矿尘的理化特性，煤尘的爆炸性和尘肺病，以及矿井综合防尘技术。

## 第一节 概 述

### 一、矿尘的概念

粉尘是指能够较长时间悬浮在空气中的固体颗粒。从胶体化学观点来看，含尘空气是一种气溶胶，悬浮粉尘散布在空气中与空气共同组成一个分散体系，分散相是悬浮粉尘，分散媒是空气。矿井粉尘是指在煤矿开拓、掘进、回采和提升运输等生产过程中产生，并能长时间悬浮于空气中的岩石和煤炭的细微颗粒，简称矿尘。

### 二、矿尘的分类

#### 1. 按矿尘成分划分

(1) 煤尘。采煤、煤巷掘进及运煤等过程中产生的，尘粒中以含固定碳可燃物为主的矿尘称为煤尘。

各个国家定义的煤尘的粒度范围是不相同的，没有统一的严格规定，例如：

美国规定为 0.64 mm 以下的煤粒。

英国规定为 0.59 mm 以下的煤粒。

中国规定为 1.0 mm 以下的煤粒。

(2) 岩尘。岩巷或半煤岩巷掘进中产生的，尘粒中不含或极少含有固定碳可燃物的矿尘称为岩尘。

煤矿井下作业产生的矿尘主要是煤尘和岩尘，此外，还有少量金属微粒和爆破时产生的其他尘粒等。

#### 2. 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 ~ 40  $\mu\text{m}$ ，在明亮的光线下，人眼可以看到，在静止空气中做等速沉降运动。

(3) 微尘。粒径为 0.25 ~ 10  $\mu\text{m}$ ，用光学显微镜可以观察到，在静止空气中做等速沉

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，在空气中做扩散运动。

### 3. 按矿尘产生来源划分

(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。

### 4. 按矿尘存在状态划分

(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。

### 5. 按矿尘粒径组成范围划分

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

(2) 呼吸性粉尘（呼尘）。主要指空气动力学直径  $5\ \mu\text{m}$  以下的尘粒。它能通过人体上呼吸道进入肺泡区，是导致尘肺病的病因，对人体健康威胁很大。

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。

### 6. 按矿尘中游离二氧化硅含量划分

(1) 硅尘。主要指含游离二氧化硅在 10% 以上的矿尘，是引起矿工硅肺病的主要因素，煤矿中的岩尘一般多为硅尘。

(2) 非硅尘。主要指含游离二氧化硅在 10% 以下的矿尘，煤矿中的煤尘一般均为非硅尘。

### 7. 按矿尘爆炸性划分

(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。经过煤尘爆炸性鉴定，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、矿尘的危害

在全球范围内，包括中国在内许多国家的煤矿都存在着粉尘灾害问题。世界主要采煤国家如美国、印度、澳大利亚、中国、俄罗斯、德国、波兰等，均不同程度地存在煤矿粉尘安全隐患和职业健康等问题。

### 1. 职业病

矿尘的危害是多方面的，如污染劳动环境、降低生产场所的可见度、影响工人的劳动效率和操作安全。长期吸入大量矿尘，轻者能引起呼吸道炎症，重者可导致尘肺病，严重影响人体健康和寿命。尘肺病作为煤炭行业的一类多发职业病，是一种“隐性”矿难，

较之瓦斯爆炸等“显性”矿难更具杀伤力，它损害的群体更多、更广，潜在的危害性更大，破坏性更强。

1969年，美国颁布了《联邦煤矿健康和安法案》（*The Federal Coal Mine Health and Safety Act*）之后，几十年来，尘肺病作为煤矿工人的职业病得到了有效控制，患病率有所降低。然而，在20世纪90年代后，该病发病率开始出现明显上升趋势。2009年12月，美国矿业安全和健康管理局发起了终结尘肺病的运动，并举行听证会，收集公众意见。2013年8月，该管理局将提案交至美国联邦政府，经过近一年的等待，美国联邦政府确定了改革议程。此次改革创造了历史，但仍需严加监管。对于我国来说，不但煤矿接尘工人数在全世界居于首位，而且尘肺病患者率居高不下，带来了一系列的负面影响。例如：据卫生部的统计数据表明，2003年，国有重点煤矿新报告尘肺病1.2万例，约占当年井下工人总数的1.5%，这些数字还不包括职业危害更严重的原国有地方煤矿和乡镇煤矿。到2007年末，全国煤矿（包括乡镇小煤矿、小煤窑）累计尘肺病患者达70余万人，接近我国各行业尘肺病人数的一半，尘肺病患者累计死亡18.6万人。2009年，共报告尘肺病新病例14495例，其中煤工尘肺病和硅肺病占91.89%。2013年，煤矿职业病报告病例达15078例，是同年煤矿事故死亡人数的14倍。数量众多的职业尘肺病患者，要花费大量的人力、物力、财力来进行治疗，不仅经济损失巨大，而且也给患者及家属带来了很大的痛苦。从职业健康方面来看，我国煤矿粉尘防治工作刻不容缓。

## 2. 煤尘爆炸

矿尘中的煤尘具有可燃性，在遇有外界火源情况下，很容易引起火灾。有的煤尘还能导致爆炸事故，造成巨大损失。1906年，法国吉利耶尔煤矿发生煤尘爆炸，死亡1099人，这是世界上第一次发生煤尘爆炸。1907年，美国孟诺加煤矿发生煤尘爆炸，死亡362人。1942年，本溪煤矿发生了世界史上最大的一次瓦斯与煤尘爆炸事故，死亡1549人，伤残246人。1960年5月9日，山西省大同矿务局老白洞煤矿发生煤尘爆炸事故，造成684人死亡。1963年，日本三池煤矿发生煤尘爆炸，死亡458人，伤832人。2002年，原国有重点煤矿有532处矿井煤尘有爆炸危险，占总矿井数量的87.4%。小煤矿中91.35%煤矿的煤尘具有爆炸危险，其中高达57.71%的具有强爆炸性，煤尘爆炸及瓦斯爆炸时参与煤尘爆炸所造成的重大特重大事故占煤矿事故的很大比重。2005年11月27日，黑龙江省龙煤矿业集团七台河分公司东风煤矿违规爆破处理275带式输送机机道主煤仓堵塞，导致煤仓给煤机垮落，煤仓内的煤炭突然倾出，带出大量煤尘并造成巷道内积尘飞扬达到爆炸界限，爆破火焰引起煤尘爆炸，造成171人死亡，48人受伤。2006年2月23日，山东省枣矿集团联创公司（原陶庄煤矿）发生一起煤尘爆炸特大事故，在现场施工的27人中，15人死亡，12人受伤。2006年7月15日，山西省灵石县蔺家庄煤矿又发生一起重大煤尘爆炸事故，死亡53人。2013年12月13日，新疆维吾尔自治区昌吉回族自治州呼图壁县白杨沟煤矿违规实施架间爆破，引发瓦斯爆炸，冲击波扬起运输巷、运输平巷的煤尘参与爆炸，导致事故扩大，造成22人死亡。因此，有效降低矿井粉尘的浓度，解决煤矿工作面粉尘浓度高的问题迫在眉睫。

## 第二节 矿尘的产生及主要影响因素

### 一、矿尘的产生来源

为准确测定煤矿粉尘的特性、评价作业人员所受尘害状况及有针对性地采取粉尘控制技术，需要掌握煤矿粉尘的产生及来源。煤矿作业的各个生产过程均可以产生矿尘，能产生煤尘的作业工序主要包括以下几个方面：

- (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。

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，由于煤岩进一步被破碎，也会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为：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%，其他作业点产尘量占 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，会受到多种条件的制约而经常发生变化。

因此，在进行防尘工作时，要对上述各个产尘环节采取有效措施，使矿井粉尘浓度达到国家规定的卫生标准。

### 二、影响矿尘产生的主要因素

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，矿尘的产生量会有很大差异。即使在同一个矿井里，产尘量也会因地因时地变化。矿尘产生量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、断层褶曲发育且受地质构造破坏强烈的地区开采时，矿尘产生量最大，反之则较小。井田内如有火成岩侵入，煤体变脆变酥，产尘量也将增加。

一般来说，开采急倾斜煤层比开采缓倾斜煤层的产尘量要大，开采厚煤层比开采薄煤层的产尘量要高。

#### 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、干燥坚硬的煤岩在采掘工艺相近的条件下产尘细微且量大。

### 3. 环境的温度和湿度

在煤岩水分低,煤帮岩壁干燥,而且环境相对湿度小的情况下作业时,产尘量会相对增大;反之,在煤岩体潮湿,矿井空气湿度大的情况下作业时,由于水蒸气和水滴的吸湿作用,使矿尘的悬浮性减弱,空气中矿尘含量会相对减小。

### 4. 采煤方法

不同的采煤方法其产尘量差异很大。例如,对于急倾斜煤层,采用倒台阶法开采比采用水平分层开采的产尘量要大。全部垮落采煤法比水力充填法的产尘量要大得多。就减少产尘量而言,早采(特别是机采)又远不及水采。

### 5. 产尘点的通风状况

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。如果采用串联通风,含尘空气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。保持产尘点的良好通风状况,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,采煤工作面风速在 1.2 ~ 1.6 m/s 时,浮游煤尘量最小,掘进工作面的风速以 0.25 ~ 0.63 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产生量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。在地质条件和通风状况基本相同的情况下,炮采工作面爆破时矿尘浓度一般为 300 ~ 500 mg/m<sup>3</sup>,机采割煤时矿尘浓度为 1000 ~ 3000 mg/m<sup>3</sup>,而综采割煤时矿尘浓度则高达 4000 ~ 8000 mg/m<sup>3</sup>,有的甚至更高。

采取降尘措施后,炮采的矿尘浓度一般可为 40 ~ 80 mg/m<sup>3</sup>,机采的矿尘浓度为 30 ~ 100 mg/m<sup>3</sup>,而综采的矿尘浓度为 20 ~ 120 mg/m<sup>3</sup>。

采用的采掘机械及其作业方式不同时,产尘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与产尘量密切相关。

据有关资料统计,在现代化矿井中,一昼夜煤尘的产生量可以达到矿井煤炭产量的 3%。

## 第三节 矿尘的理化特性

### 一、矿尘的比表面积

煤或岩石被破碎为微细的矿尘,其总表面积显著增大。单位质量(或体积)矿尘的总表面积称为矿尘的比表面积。设尘粒为球形,则其比表面积  $S_w$  与直径  $d$  的关系为

$$S_w = \frac{\pi d^2}{\frac{\pi}{6} d^3 \rho_1} = \frac{6}{\rho_1 d} \quad (1-1)$$

式中  $d$ ——尘粒的直径, m;

$\rho_1$ ——矿尘的密度, kg/m<sup>3</sup>。

由式(1-1)可以看出,矿尘的比表面积与粒径成反比。如果矿尘的粒径越小,那

么它的比表面积越大。因而，比表面积是衡量矿尘颗粒大小的指标之一。

## 二、矿尘中游离二氧化硅的含量

二氧化硅在岩石和矿物中的存在状态有两种：一种是结合状态的二氧化硅，即硅酸盐矿物，如长石（ $K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$ ）、滑石（ $3MgO \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O$ ）等，对人体危害不大；另一种是游离状态的二氧化硅，常见的煤系沉积岩（如页岩、砂岩、砾岩、石灰岩等）均含有不同数量游离状态的二氧化硅。矿尘中的游离二氧化硅是危害人体的决定因素，其含量越高，危害越大。在煤矿生产过程中，矿工接触的岩石粉尘中游离二氧化硅的含量为18%~80%，通常多在30%~50%。煤炭中也含有1%~5%的游离二氧化硅，无烟煤中游离二氧化硅的含量一般较烟煤高。游离二氧化硅是引起矿工硅肺病的主要因素。

## 三、矿尘的湿润性

当空气湿度较大或有水雾时，矿尘的粒子表面空气膜被水雾或水滴破坏，因而粒子相互碰撞时凝聚在一起，这种性质叫作矿尘的湿润性。

实际上，矿尘的湿润现象是液体（水）和固体（尘粒）分子之间的分子力作用的结果。如果水分子间的引力小于水与尘粒分子间的引力，则矿尘能被水湿润，反之不易被湿润。矿尘的湿润性除取决于矿尘的成分外，通常情况下，矿尘的湿润性随尘粒变小及表面积的增加而减弱，随温度的上升而下降，随压力的增加而加大，随矿尘与水接触时间的加长而变强。矿尘的湿润性还与液体的表面张力有关，表面张力越小的液体，越容易被尘粒吸湿。

井下矿尘具有一定的吸湿能力，矿尘的湿润性是决定液体除尘效果的重要因素，对于吸湿性好的矿尘，易与水分子结合，使尘粒质量增加而易于沉降。井下的各种喷雾洒水降尘及湿式除尘器就是利用了矿尘的吸湿性。对于吸湿性较差的矿尘，在采用喷雾洒水、煤体注水、湿式除尘器除尘等降尘措施时，就需要在水中加入适量的湿润剂，以降低水的表面张力，增加矿尘的吸湿性，以提高防尘效果。

## 四、矿尘的荷电性

同一种尘粒可带正电，也可带负电或不带电，而与其化学性质无关。矿尘粒子在被破碎过程中互相摩擦，表面得到或失去电子而使矿尘带电。悬浮在空气中的矿尘也可以直接吸附空气中的离子而产生电荷。

尘粒的荷电性与电荷符号对防尘工作有着重要的意义。同性电荷相斥，增加了尘粒在空气中的运动，不易凝聚沉降；异性电荷相吸，可使尘粒在碰撞时凝聚沉降。所以，在煤矿井下除尘时，可以利用矿尘的荷电性设计和使用电除尘器。尘粒的荷电量除取决于粒径大小和密度外，还与温度和湿度有关。当温度升高时，荷电量增加；而当湿度增大时，荷电量降低。由于矿尘具有荷电性，带电的尘粒也较容易沉积在支气管和肺泡中，从而增加了对人体的危害性。

## 五、矿尘的浓度

矿尘的浓度是指在单位体积的矿内空气中所含矿尘的数量。



## 1. 表示方法

(1) 质量法。用每立方米矿内空气中所含浮尘的克数或毫克数来表示, 单位为  $\text{g}/\text{m}^3$  或  $\text{mg}/\text{m}^3$ 。

(2) 计数法。用每立方厘米矿内空气中所含浮尘的颗粒数来表示, 单位为粒/ $\text{cm}^3$ 。

我国规定采用质量法来计量矿尘浓度。计数法因其测定复杂且不能很好地反映矿尘的危害性, 因而较少使用。矿尘浓度的大小直接影响着矿尘危害的程度, 是衡量作业环境的劳动卫生状况和评价防尘技术效果的重要指标。

## 2. 除尘效率

除尘效率 (也叫防尘率) 是表示除尘措施或除尘装置使空气中含尘量降低程度的指标, 其实质就是除掉的矿尘量与空气中原有的总含尘量之比的百分数。其计算式如下:

$$\eta = \frac{G_1 - G_2}{G_1} \times 100\% = \frac{C_1 - C_2}{C_1} \times 100\% \quad (1-2)$$

式中  $G_1$ ——原空气中的总矿尘量, g;

$G_2$ ——降尘后空气中的矿尘量, g;

$C_1$ ——原空气中的矿尘浓度,  $\text{g}/\text{m}^3$  或  $\text{mg}/\text{m}^3$ ;

$C_2$ ——降尘后空气中的矿尘浓度,  $\text{g}/\text{m}^3$  或  $\text{mg}/\text{m}^3$ 。

## 六、矿尘的分散度

矿尘的分散度是指矿尘中不同粒径范围内 (粒度分布) 的尘粒占总数的粒数或质量百分数, 用其表示煤岩等物质被粉碎的程度。一般来说, 分散度高, 表示矿尘中微细尘粒所占的比例大; 分散度低, 表示矿尘中粗大颗粒所占的比例大。

矿尘的分散度有质量百分比和数量百分比两种表示方法。

(1) 质量分散度。以各粒级尘粒的质量占矿尘总质量的百分数来表示。其计算式如下:

$$P_t = \frac{u}{W} \times 100\% \quad (1-3)$$

式中  $P_t$ ——质量分散度, %;

$u$ ——某粒级矿尘的质量, mg;

$W$ ——矿尘的总质量, mg。

(2) 数量分散度。以各粒级尘粒的颗粒数占矿尘总颗粒数的百分比来表示。其计算式如下:

$$P'_t = \frac{n}{m} \times 100\% \quad (1-4)$$

式中  $P'_t$ ——数量分散度, %;

$n$ ——某粒级尘粒的颗粒数, 粒;

$m$ ——矿尘的总尘粒颗粒数, 粒。

我国煤矿矿尘分散度, 按数量百分比划分为 4 个计测范围: I 级为小于  $2 \mu\text{m}$ , II 级为  $2 \sim 5 \mu\text{m}$ , III 级为  $5 \sim 10 \mu\text{m}$ , IV 级为大于  $10 \mu\text{m}$ 。在矿尘分散度的组成中, 小于  $5 \mu\text{m}$  的尘粒所占的百分比越大, 对人体的危害越大。

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% ~ 60%,  $2\sim 5\ \mu\text{m}$  的占 25.5% ~ 35%,  $5\sim 10\ \mu\text{m}$  的占 4% ~ 11.5%, 大于  $10\ \mu\text{m}$  的占 2.5% ~ 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构成的一个重要指标, 是研究矿尘性质与危害的一个重要参数。矿尘的分散度直接影响着它的比表面积的大小, 矿尘分散度越高, 其比表面积越大。

矿尘分散度对尘粒的沉降速度有显著的影响, 微细尘粒难以沉降, 给降尘工作带来了不利因素。矿尘分散度对尘粒在呼吸道中的阻留有直接影响。可见, 矿尘的分散度越高, 危害性越大, 而且越难捕获。

## 七、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, 遇到外界明火、电火花, 或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  $435\sim 450\ ^\circ\text{C}$ 。

## 八、矿尘的可见度

在强烈的阳光下, 当背景颜色不同时, 可以见到  $10\ \mu\text{m}$  大小的尘粒。然而, 在照明条件很差的矿井里,  $100\ \mu\text{m}$  大小的尘粒人眼是看不见的, 这部分矿尘恰恰对人身体危害比较严重。

## 九、矿尘的密度和相对密度

单位体积矿尘的质量称为矿尘密度, 单位为  $\text{kg}/\text{m}^3$  或  $\text{g}/\text{cm}^3$ 。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。

矿尘的相对密度是指粉尘的质量与同体积标准物质的质量之比, 因而是无量纲量。通常采用标准大气压 ( $1.013\times 10^5\ \text{Pa}$ ) 和温度为  $4\ ^\circ\text{C}$  时的纯水作为标准物质。由于在这种状态下  $1\ \text{cm}^3$  水的质量为  $1\ \text{g}$ , 因而粉尘的相对密度在数值上就等于其密度值。

## 十、矿尘的光学特性

矿尘的光学特性包括矿尘对光的反射、吸收和透光程度等性能。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直径大小有关, 但主要取决于气流含尘浓度和尘粒直径大小。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积成正比。当浓度相同时, 光的反射值随着尘粒直



径值的减小而增加。

## 2. 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。

## 3. 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  $0.115 \text{ g/m}^3$  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。

# 十一、矿尘的吸附性和凝聚性

## 1. 吸附性

矿尘微粒之间存在着吸附力,与其粒径和分散度等参数有关。粒径越小,分散度越高,颗粒之间自然接触面积就越大,矿尘微粒之间的吸附力、溶解性和化学活性也随之增强。这些微粒一旦进入人体肺部,容易引起纤维性病变。

## 2. 凝聚性

矿尘体积小,质量轻,比表面积大,增强了尘粒间的结合力。当尘粒间的间距非常小时,由于分子引力作用,尘粒相互结合而形成较大尘粒,矿尘的这种性质叫作凝聚性。若尘粒和其他物体相结合,这种现象称为附着。

# 十二、矿尘的悬浮性及扩散性

## 1. 悬浮性

尘粒粒度越小,质量越轻,矿尘表面积越大,吸附空气的能力也越强。矿尘的表面形成一层空气膜,因此矿尘不易降落,可以长时间悬浮在空气中,矿尘的这种特性叫作悬浮性。粒径大于  $10 \mu\text{m}$  的矿尘,在静止的空气中加速沉降,很快落到底板;粒径在  $0.1 \sim 10 \mu\text{m}$  之间的矿尘等速沉降;粒径小于  $0.1 \mu\text{m}$  的矿尘基本不沉降。

## 2. 扩散性

悬浮于空气中的矿尘,如果存在浓度差别,则矿尘往往就会从高浓度区域向低浓度区域扩散移动,趋向于浓度均匀化,这种特性称为矿尘的扩散性。由于扩散作用,则向液滴或除尘滤料等降尘物表面附着的尘粒就越多。因此,扩散作用对矿尘的分离起着主要作用,有利于捕集粒径小于  $0.1 \mu\text{m}$  的矿尘。

## 第四节 煤尘的爆炸性

我国多数煤矿所产生的煤尘具有爆炸性。当空气中飞扬的煤尘达到一定的浓度,在引爆热源的作用下,可以发生猛烈的爆炸,给煤炭生产与井下人员的安全造成严重的危害。

### 一、煤尘爆炸的机理

煤尘爆炸是空气中氧气和煤尘急剧氧化的反应过程。煤是复杂的固体化合物,煤尘爆炸的机理与可燃气体爆炸的机理相比要复杂。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,温度为  $300 \sim 400 \text{ }^\circ\text{C}$  时,就可放出可