

煤炭集团

矿井粉尘防治理论

金龙哲
李晋平等 编著
孙玉福



科学出版社
www.sciencep.com

矿井粉尘防治理论

金龙哲 李晋平 孙玉福 等 编著

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书以基本概念为切入点,以基本理论为依据,汇集了近年来矿井粉尘防治的最新科技成果。以粉尘的特性、产生机理、预防治理、检测方法为主线,较为全面地介绍了如下内容:粉尘的湿润性、荷电性等性质;粉尘在采掘面的生成、分布及运移规律;煤尘爆炸机理及其抑制措施;尘肺病的病变机理及其调查方法;喷雾除尘、水膜降尘等湿式除尘方法的除尘机理;煤层注水等预湿煤体措施及其降尘机理;隔尘风帘防尘、泡沫除尘等物理化学防尘技术;粉尘浓度、分散度等尘害衡量指标的测定方法;机率窗口法、寿命表法等防尘效果评价法。

本书内容丰富、深浅适度,可作为安全工程专业本科生或矿山技术人员培训教材,也可供从事相关工作的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

矿井粉尘防治理论 / 金龙哲, 李晋平, 孙玉福等编著. —北京: 科学出版社, 2010

ISBN 978-7-03-025890-8

I. 矿… II. ①金…②李…③孙… III. 硅尘-防尘 IV. TD714

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 197109 号

责任编辑: 李 锋 黄 海 / 责任校对: 陈玉凤

责任印制: 钱玉芬 / 封面设计: 王 浩

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

北京佳信达艺术印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2010 年 1 月 第 一 版 开本: B5 (720×1000)

2010 年 1 月 第一次印刷 印张: 20 3/4

印数: 1—1 500 字数: 401 000

定价: 68.00 元

如有印装质量问题, 我社负责调换

《矿井粉尘防治理论》编委会

主 编 金龙哲 李晋平 孙玉福

副主编 郑丙建 张文平 王彦凯 刘 建

编 委 (按姓氏笔画排序)

王永珍 四旭飞 李东华 李会玲 李安昌

李杰男 周文豪 巫殷文 欧盛南 姚海飞

赵鹏伟 陶东云 秦清平 曾金元 曾晓莉

裴建勋 魏传光

前 言

随着矿井采掘机械化程度的不断提高，煤矿尘害问题日趋突出。煤尘不仅危害作业人员的身体健康，引发尘肺病，而且有可能引起煤尘爆炸，酿成矿井重大灾害事故。因此，了解矿尘的基本性质和矿尘的生成、分布及运移规律，掌握矿尘预防和治理的基本措施，对于控制尘肺发病率、预防煤尘爆炸、促进矿井安全高效生产具有十分重要的现实意义。

本书以基本概念为切入点，以基本理论为依据，汇集了近年来矿井粉尘防治的最新科技成果。以矿尘的特性、产生机理、预防治理、检测方法为主线，较为全面地介绍了如下内容：矿尘的湿润性、荷电性等性质；矿尘在采掘面的生成、分布及运移规律；煤尘爆炸机理及其抑制措施；尘肺病的病变机理及其调查方法；喷雾除尘、水膜降尘等湿式除尘方法的除尘机理；煤层注水等预湿煤体措施及其降尘机理；隔尘风帘防尘、泡沫除尘等物理化学防尘技术；粉尘浓度、分散度等尘害衡量指标的测定方法；机率窗口法、寿命表法等防尘效果评价法。本书内容丰富、深浅适度，可作为安全工程专业本科生或矿山技术人员培训教材，也可供从事相关工作的工程技术人员参考。

本书由北京科技大学和潞安环保能源开发股份有限公司共同合作完成。参加编写的人员有：金龙哲（第7章）、李晋平（第5章）、孙玉福（第1章）、郑丙建（第9章）、张文平（第4章第1、2、3节）、王彦凯（第4章第4、5、6节）、刘建（第3章）、曾金元（第2章第2节）、魏传光（第2章第5节）、李安昌（第8章第2节）、姚海飞（第6章第3节）、陶东云（第8章第5节）、欧盛南（第2章第3节）、王永珍（第2章第4节）、秦清平（第6章第2节）、李东华（第6章第1节）、裴建勋（第6章第6节）、巫殷文（第8章第1节）、赵鹏伟（第6章第4节）、曾晓莉（第2章第6节）、周文豪（第8章第4节）、李杰男（第2章第1节）、四旭飞（第8章第3节）、李会玲（第6章第5节）等。

在本书的写作过程中，潞安集团总经理任润厚和矿区各级领导部门及基层各矿给予了大力支持和帮助，在此表示感谢！

由于作者水平有限，时间仓促，错误和不当之处在所难免，恳请读者批评指正！

作 者

2009年7月

目 录

前言

1 矿尘的性质	1
1.1 矿尘的物理化学性质	1
1.1.1 矿尘的比表面积	1
1.1.2 矿尘的密度和比重	1
1.1.3 矿尘的悬浮性及凝聚性	2
1.1.4 矿尘的湿润性	3
1.1.5 矿尘的荷电性	4
1.1.6 矿尘的光学特性	5
1.1.7 矿尘的燃烧性和爆炸性	6
1.1.8 矿尘的分散度	6
1.1.9 矿尘中游离二氧化硅含量	7
1.2 矿尘的粒度和粒度分布函数	8
1.2.1 矿尘的形状	8
1.2.2 单一粉尘粒径的定义	8
1.2.3 粉尘平均粒径	10
1.2.4 粒径的频谱分析	11
1.3 粉尘的极限许可浓度	17
参考文献	19
2 矿尘的生成、分布及运移规律	20
2.1 矿尘的产生、分类及危害	20
2.1.1 矿尘的产生	20
2.1.2 矿尘的分类	21
2.1.3 矿尘的危害	22
2.2 井下各生产环节的尘源形成与分布	23
2.2.1 采煤工作面尘源的形成与分布	24
2.2.2 掘进工作面粉尘的产生与分布	27
2.2.3 转载运输环节粉尘形成机理	29
2.2.4 锚喷环节粉尘产生机理	30
2.3 尘粒在风流中的运动规律	31

2.3.1	气体的运动方程	32
2.3.2	尘粒的运动方程	33
2.3.3	粉尘在静止空气中的沉降	33
2.3.4	粉尘在井巷中的沉降分布	33
2.3.5	粉尘的扩散	33
2.4	采、掘工作面的粉尘沿程分布及运移规律	34
2.4.1	综采工作面粉尘沿程分布及运移规律	34
2.4.2	掘进工作面粉尘沿程分布及运移规律	49
2.5	粉尘分散度分布规律	55
2.5.1	综采工作面粉尘分散度分布函数	55
2.5.2	不同工作面粉尘分散度的分布规律对比	62
2.6	矿井粉尘运移规律可视化模型	65
2.6.1	MATLAB 拟合粉尘分布函数	65
2.6.2	OpenGL 模拟巷道粉尘浓度分布模型	68
	参考文献	71
3	煤尘爆炸及其抑制	72
3.1	煤尘爆炸基础知识	72
3.1.1	煤尘爆炸机理	72
3.1.2	煤尘爆炸的必要条件	72
3.1.3	煤尘爆炸的影响因素	74
3.1.4	煤尘爆炸的特征及危害性	76
3.1.5	煤尘爆炸性鉴定	78
3.2	煤尘爆炸的预防	80
3.2.1	预防煤尘爆炸技术措施	80
3.2.2	预防煤尘爆炸组织措施	84
3.3	煤尘爆炸的抑制与隔绝	84
3.3.1	我国关于隔绝煤尘爆炸的规定	84
3.3.2	抑爆和隔爆原理	87
3.3.3	爆炸抑制技术	87
3.3.4	爆炸隔绝技术	90
3.3.5	自动防爆装置	98
	参考文献	101
4	尘肺病病变机理及其调查方法	103
4.1	尘肺的种类及我国尘肺发病现状	103
4.1.1	尘肺的种类	103

4.1.2 我国尘肺病发病现状	104
4.2 尘肺发病的影响因素	106
4.2.1 粉尘的分散度	106
4.2.2 粉尘的浓度	107
4.2.3 粉尘物理和化学特性	109
4.2.4 个体因素及劳动条件	110
4.3 矽肺	111
4.3.1 游离二氧化硅致机体损伤机制	112
4.3.2 矽肺的病理变化	114
4.3.3 矽肺的临床特点	116
4.4 煤工尘肺	119
4.4.1 煤工尘肺的发病人群	119
4.4.2 煤工尘肺的发病机理	120
4.4.3 煤工尘肺的病理变化	124
4.4.4 煤工尘肺的临床表现	125
4.5 尘肺普查及统计分析方法	129
4.5.1 尘肺普查方法	129
4.5.2 统计分析方法	129
4.5.3 尘肺病调查分析应用实例	133
4.6 尘肺病的治疗	143
4.6.1 药物治疗	143
4.6.2 尘肺病氧气疗法	146
4.6.3 尘肺病雾化吸入疗法	149
4.6.4 机械通气法	152
4.6.5 肺灌洗方法	153
参考文献	154
5 湿式除尘机理	156
5.1 单一液滴的捕集机理和捕集效率的计算	156
5.1.1 捕集机理	156
5.1.2 各种机理的联合捕集效率	160
5.2 液滴群的分级效率的计算	164
5.3 水膜除尘机理	167
5.4 喷雾形成和降尘机理	169
5.4.1 喷雾形成机理	169
5.4.2 喷雾降尘机理	170

5.5	除尘效率与分级效率之间的关系	174
5.5.1	除尘效率	174
5.5.2	分级效率	175
5.5.3	分级效率与除尘效率之间的关系	175
	参考文献	176
6	预湿煤体防尘	177
6.1	预湿煤体防尘机理	177
6.2	预湿煤体防尘效果影响因素	178
6.2.1	煤体孔隙表面润湿机理	178
6.2.2	水的蒸发现象	182
6.2.3	煤的裂隙和孔隙特征	184
6.2.4	煤体孔隙率大小	188
6.2.5	上覆岩层压力及支承压力	189
6.2.6	注水参数	189
6.2.7	液体性质	189
6.2.8	煤层内瓦斯压力	190
6.3	煤层注水防尘	191
6.3.1	水在煤体中的运动规律	191
6.3.2	煤层注水方式及选择	194
6.3.3	长钻孔煤层注水	196
6.3.4	短钻孔注水	211
6.3.5	中深孔注水	213
6.3.6	深孔注水	213
6.4	煤层注水效果及其考察方法	213
6.4.1	煤层注水效果	213
6.4.2	煤层湿润效果的考察	214
6.5	采空区灌水防尘	215
6.5.1	采空区灌水防尘的实质	215
6.5.2	在工作面回风槽中铺设水管向采空区灌水	216
6.5.3	倾斜分层超前钻孔采空区灌水	216
6.5.4	水平分层采空区灌水	217
6.5.5	缓斜煤层水窝灌水法	217
6.5.6	技术效果及应注意的问题	218
6.6	预湿煤体防尘的施工管理	219
6.6.1	预湿煤体需具备的条件	219

6.6.2	预湿煤体的施工管理	220
6.6.3	预湿煤体应执行的制度	220
	参考文献	221
7	物理化学防尘理论	223
7.1	隔离尘源防尘	223
7.1.1	隔尘风帘防尘	223
7.1.2	黏尘帘防尘	228
7.1.3	液压支架架间封闭尘源防尘	229
7.2	化学降尘剂防尘	232
7.2.1	降尘剂润湿机理	233
7.2.2	降尘剂的添加方法	233
7.2.3	应用前景分析	234
7.3	泡沫除尘	235
7.3.1	泡沫除尘机理	235
7.3.2	泡沫剂与泡沫剂溶液	238
7.3.3	发泡原理	238
7.3.4	泡沫剂主要性能	239
7.3.5	发泡装置主要参数的确定	239
7.4	黏结式防尘	240
7.4.1	黏尘剂作用原理	241
7.4.2	黏尘剂的种类及其应用	242
7.4.3	黏尘剂抑尘效果影响因素	243
7.4.4	黏尘剂抑尘方法的发展	245
7.5	磁化水除尘	245
7.5.1	磁化水降尘原理	245
7.5.2	影响水系磁化的因素	246
7.5.3	国产磁水器	247
7.5.4	应用前景分析	248
7.6	其他物理化学防尘技术	248
7.6.1	声波雾化降尘技术	248
7.6.2	预荷电高效喷雾降尘技术	249
7.6.3	电离水除尘	249
7.6.4	超声波除尘	250
7.6.5	生物试剂除尘	250
	参考文献	250

8 粉尘检测	252
8.1 粉尘物性检测	252
8.1.1 粉尘密度检测	252
8.1.2 粉尘比电阻检测	253
8.1.3 粉尘爆炸特性检测	259
8.2 粉尘分散度测定	263
8.2.1 滤膜溶解涂片法	264
8.2.2 自然沉降法	266
8.2.3 级联冲击计重法	267
8.2.4 粉尘分散度测定仪	271
8.3 粉尘浓度测定	272
8.3.1 粉尘浓度表示方法	272
8.3.2 滤膜质量测尘法	272
8.3.3 压电晶体差频法	277
8.3.4 光电法	279
8.3.5 β 射线吸收法	280
8.3.6 个体呼吸性粉尘检测	281
8.3.7 定点呼吸性粉尘检测	283
8.4 粉尘中游离二氧化硅测定	287
8.4.1 焦磷酸重量法	287
8.4.2 碱熔钼蓝比色法	291
8.4.3 X射线衍射法	292
8.4.4 红外分光光度法	292
8.5 煤尘沉积强度的测定	299
8.5.1 落尘的特性	299
8.5.2 煤尘沉积强度的测定方法	302
参考文献	304
9 矿井防尘效果评价	305
9.1 粉尘防治措施效果的统计分析方法	305
9.1.1 ASTM 检验法	306
9.1.2 粉尘防治措施效果分析的平均值检验法	306
9.2 矿井防尘措施对预防硅肺病发生效果的评价指标	308
9.3 防尘效果评价方法	312
9.3.1 机率窗口法	312
9.3.2 寿命表法	312

9.3.3 人年发病率法	313
9.4 矿井防尘效果评价方法应用实例	313
9.4.1 机率窗口法防尘效果分析	313
9.4.2 寿命表法防尘效果分析	316
参考文献.....	318

1 粉尘的性质

粉尘，一般指矿物开采或加工过程中产生的微细固体集合体。粉尘是煤矿生产中的六大自然灾害之一。它不仅影响矿工的身体健康，而且绝大部分矿区的粉尘还具有爆炸性，严重威胁着煤矿的安全生产。所以，了解粉尘的特性及其产生与运动的规律，有效地控制粉尘，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^[1]。

1.1 粉尘的物理化学性质

1.1.1 粉尘的比表面积

物料被粉碎为微细粉尘时，其比表面积显著增加。单位质量（或单位体积）粉尘的总表面积称为比表面积。假设尘粒为同体积的球形粒子，则比表面积 S_w 与粒径的关系为：

$$S_w = \frac{\pi d_p^2}{\frac{1}{6} \pi d_p^3 \rho_p} = \frac{6}{\rho_p d_p} (\text{m}^2/\text{kg}) \quad (1-1)$$

式中： ρ_p 为粉尘的密度， kg/m^3 ； d_p 为粉尘的直径， m 。

由式（1-1）可以看出，粉尘的比表面积与粒径成反比。粒径越小，比表面积越大。

由于粉尘的比表面积增大，它的表面能也随之增大，增强了表面活性，这对研究粉尘的湿润、凝聚、附着、吸附、燃烧和爆炸等性能有重要作用^[2]。

1.1.2 粉尘的密度和比重

单位体积粉尘的质量称为粉尘的密度。其中粉尘的体积不包括粉尘之间的空隙，因而称之为真密度 ρ_p (kg/m^3)。在一般情况下，粉尘的真密度与组成此种粉尘的物质密度是不相同的，因为粉尘在形成过程中，其表面甚至其内部可能形成某些孔隙，只有表面光滑又密实的粉尘的真密度才与其物质密度相同。通常粉尘的物质密度比其真密度大 20%~50%。粉尘的真密度可表示为：

$$\rho_p = \frac{\text{粉尘质量}}{\text{粉尘体积}} (\text{kg}/\text{m}^3) \quad (1-2)$$

粉尘的真密度在通风除尘中有广泛用途。许多除尘设备的选择不仅要考虑粉

尘的粒度大小,而且要考虑粉尘的真密度。如对于粗颗粒、真密度大的粉尘可以选用沉降室或旋风除尘器;对于真密度小的粉尘,即使是粗颗粒也不宜采用这种类型的除尘器。

粉尘呈自然扩散状态时,单位容积中粉尘的质量称粉尘堆积密度或表观密度 ρ_b 。由于尘粒之间存在空隙,因此堆积密度要比粉尘的真密度小。

$$\rho_b = \frac{\text{粉尘质量}}{\text{粉尘所占容积}} (\text{kg/m}^3) \quad (1-3)$$

粉尘的堆积密度对通风除尘有重要意义,如灰斗容积的设计,所依据的不是粉尘的真密度或物质密度,而是粉尘的堆积密度。在粉尘的气力输送中也要考虑粉尘的堆积密度。某些粉尘的真密度与堆积密度如表 1-1 所示。

表 1-1 几种工业粉尘的真密度与堆积密度

粉尘名称	真密度 /(kg/m ³)	堆积密度 /(kg/m ³)	粉尘名称	真密度 /(kg/m ³)	堆积密度 /(kg/m ³)
烟灰	2150	1200	烟灰 (56 μm)	2200	1070
炭黑	1850	40	硅酸盐水泥	3120	1500
硅砂粉	2630	1550	造型用黏土	2470	720~800
硅砂粉	2630	1450	烧结矿粉	3800~4200	1500~2600
硅砂粉 (8 μm)	2630	1150	氧化铜 (42 μm)	6400	2620
硅砂粉	2630	1260	锅炉炭末	2100	600
电炉	450	600~1500	烧结炉	3000~4000	1000
化铁炉	200	800	转炉	5000	700
亚铅精炼	5000	500	铜精炼	4000~5000	200
铅精炼	6000	—	石墨	2700	~300
铅二次精炼	3000	300	铅再精炼	~6000	1000
水泥干燥窑	3000	600	墨液回收	3100	130

粉尘的相对密度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力 $1.01 \times 10^5 \text{ Pa}$ 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 (g/cm^3)^[3]。

1.1.3 矿尘的悬浮性及凝聚性

一般把尘粒间互相结合形成新的大尘粒的现象称为凝聚;尘粒和其他物体结合的现象称为附着。粉尘的凝聚与附着是在粒子间距离非常近时,由于分子间引力的作用而产生的。一般尘粒间距离较大,需要有外力作用使尘粒间碰撞、接触,促进其凝聚和附着。这些外力有:粒子热运动(布朗运动)、静电力、超声

波、紊流脉动速度等。

(1) 悬浮性 尘粒粒度越小、质量越轻、比表面积越大，其吸附空气的能力也越强，在其表面一般形成一层空气膜。因此，粉尘不易降落，可以长时间地悬浮于空气中，粉尘的这种特性叫做悬浮性。直径大于 $10\mu\text{m}$ 的粉尘，在静止的空气中呈加速下降，很快落到底板；直径在 $0.1\sim 10\mu\text{m}$ 之间的呈等速下降；直径小于 $0.1\mu\text{m}$ 的尘粒基本不下降。

(2) 凝聚性 粉尘体积小，质量轻，比表面积大，增强了尘粒间的结合力。当粒子间的间距非常小时，由于分子力作用，尘粒相互结合而形成较大尘粒，粉尘的这种性质叫做凝聚性。若尘粒和其他物体相结合，则称这种现象为附着现象。利用超声波振动以及磁力作用可以促使粒子相互碰撞而使粉尘凝聚，加大粉尘的直径、体积和质量，使粉尘的沉降速度加快。因此，可利用粉尘的凝聚性对其进行捕集、分离。

1.1.4 粉尘的湿润性

液体对固体表面的湿润程度取决于液体分子对固体表面作用力的大小，而对同一尘粒来说，液体分子对尘粒表面的作用力又与液体的力学性质即表面张力有关。表面张力越小的液体，对尘粒越容易湿润。不同性质的粉尘对同一性质的液体的亲和程度是不相同的，这种不同的亲和程度称为粉尘的湿润性。

湿润现象是分子力作用的一种表现，是液体（水）分子与固体分子间的相互吸引力造成的。它可以用湿润接触角 (θ) 的大小来表示。如图 1-1 所示，湿润角小于 60° 的，表示湿润性好，为亲水性的；湿润角大于 90° 时，说明湿润性差，为憎水性的。几种矿物的粉尘湿润接触角如表 1-2 所示。粉尘的湿润性除决定于成分外，还与颗粒的大小、荷电状态、湿度、气压、接触时间等因素有关。

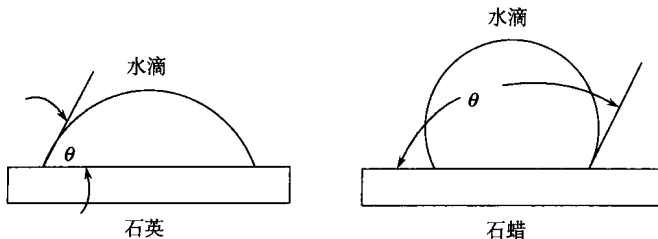


图 1-1 湿润接触角示意图

表 1-2 几种矿物的粉尘湿润接触角

名称	接触角/(°)	名称	接触角/(°)
黄铜矿	72	方解石	20
辉钼矿	60	石灰石	0~10
方铅矿	57	石英	0~4
黄铁矿	52	云母	0

粉尘的湿润性还可以用液体对试管中粉尘的浸润速度来表征。通常取浸润时间为 20min, 测出此时的浸润高度为 L_{20} (mm), 于是浸润速度 u_{20} 为:

$$u_{20} = \frac{L_{20}}{20} (\text{mm}/\text{min}) \quad (1-4)$$

以 u_{20} 作为评定粉尘湿润性的指标, 可将粉尘分为四类, 如表 1-3 所示。

表 1-3 粉尘对水的湿润性

粉尘类型	I	II	III	IV
湿润性	绝对憎水	憎水	中等亲水	强亲水
$u_{20}/(\text{mm}/\text{min})$	<0.5	0.5~2.5	2.5~8.0	>8.0
粉尘举例	石蜡、沥青	石墨、煤、硫	玻璃微球	锅炉飞灰、钙

在除尘技术中, 粉尘的湿润性是选用除尘设备的主要依据之一。对于湿润性好的亲水性粉尘 (中等亲水、强亲水), 可选用湿式除尘器。对于某些湿润性差 (即湿润速度过慢) 的憎水性粉尘, 在采用湿式除尘器时, 为了加速液体 (水) 对粉尘的湿润, 往往要加入某些湿润剂 (如皂角素等) 以减少固液之间的表面张力, 增加粉尘的亲水性, 提高除尘效率。

1.1.5 矿尘的荷电性

悬浮于空气中的尘粒通常带有电荷, 使粉尘带有电荷的原因很多, 如粒子间撞击、天然辐射、物料破碎时摩擦、电晕放电等, 且粉尘的正电荷与负电荷两部分几乎相等, 因而悬浮于空气中的粉尘整体呈中性。粉尘荷电量的大小取决于物料的化学成分和与其接触的物质, 如高温可使带电量增加, 高湿则减少带电量。经测定, 浮游于空气中的尘粒有 95% 左右带正电或负电, 有 5% 左右的尘粒不带电。采掘工作面刚刚产生的新鲜尘粒较回风道中的尘粒易带电。通常在干燥空气中, 粉尘表面的最大荷电量约为 $2.7 \times 10^9 \text{C}/\text{cm}^2$, 而粉尘由于自燃产生的电量却仅为最大荷电量的很小一部分。一般而言, 非金属粉尘与酸性氧化物 (如二氧化硅、三氧化二铝等) 常常带正电, 金属粉尘和碱性氧化物则带负电荷。异性荷电尘粒的相互吸引、黏着、凝结, 增大尺寸而加速沉降; 同性电荷尘粒由于排斥作

用, 增加漂浮于空气的相对稳定性。美国亚利桑那大学研究结果表明, 呼吸性粉尘 ($8\mu\text{m}$ 以下) 一般带负电, 大颗粒粉尘则带正电或呈电中性。一方面, 我们可利用粉尘的电性质研制电除尘设备; 另一方面, 由于某些学者认为带电尘粒吸入肺组织, 较易沉积于支气管、肺气管中, 增加对人体的危害, 因此, 对其研究有利于人体健康的保护。

1.1.6 矿尘的光学特性

粉尘的光学特性包括粉尘对光的反射、吸收和透光程度等。在通风除尘中, 可以利用粉尘的光学特性来测定粉尘的浓度和分散度^[3]。

通过含尘气流的光强减弱程度与粉尘的透明度和形状有关, 但主要取决于粉尘粒子的大小及浓度。尘粒大于光的波长和小于光的波长对光的反射和折射的作用是不相同的。对于大小为 $0.6\sim 0.7\mu\text{m}$ 的粒子反射光的能力可用下式表示:

$$I = KS/d_p \quad (1-5)$$

式中: I 为反射光强; K 为消光系数; S 为单位体积内粉尘的质量浓度。

$$S = \frac{\pi}{6} \rho_p d_p^3 n \quad (1-6)$$

式中: n 为单位体积内尘粒的个数。于是式 (1-5) 可写成:

$$I = K'S/d_p \quad (1-7)$$

式中: K' 为与粉尘特性有关的物理常数。

由式 (1-7) 可以看出, 尘粒大小对光线的反射能力有很大影响。当粒径大于 $1\mu\text{m}$ 时, 光线由于直线反射而消失, 光线损失与反射面面积成正比。当粉尘浓度相同时, 光强的反射值随粒径的减少而增加。

当光线穿过含尘介质时, 由于尘粒对光的吸收和散射等, 光强被减弱。减弱的程度与介质中的含尘浓度和尘粒粒径有关。对于尘粒大小与光波波长接近的均匀微细尘粒, 其光强减弱的程度可用下式表示:

$$I = I_0 \exp\left(-Kn \frac{V^2}{\lambda^4}\right) \quad (1-8)$$

式中: I 为通过的光强; I_0 为照射的初始光强; K 为消光系数; n 为单位体积介质中的尘粒数; V 为尘粒的体积; λ 为光波波长。

由式 (1-8) 可以看出, 通过介质的光强减弱的程度与波长的 4 次方有关, 而与粒径的 6 次方 (体积的平方) 成反比。因此, 光强的衰减与粒径有着密切的联系。

对于粒径大于波长的尘粒, 通过的光强服从几何光学的“平方定律”, 即正比于尘粒所遮挡的横断面面积。当粒径大于 $1\mu\text{m}$ 时, 通过的光强实际上与波长