



普通高等教育“十二五”规划教材

PUTONG GAODENG JIAOYU "12·5" GUIHUA JIAOCAI

除尘理论与技术

主 编 向晓东



冶金工业出版社
Metallurgical Industry Press



普通高等教育“十二五”规划教材

除尘理论与技术

主 编 向晓东

副主编 余新明

编 者 袁文博 张洪杰 范先媛



北 京

冶金工业出版社

2013

内 容 提 要

本书共分9章,前两章分别论述了粉尘的基本性质和在不同外力作用下粉尘粒子的运动。第3章至第6章分别介绍了机械式除尘器、袋式除尘器、湿式除尘器、静电除尘器的原理、构造、性能及应用。第7章较深入地讨论了一些典型的、用于微细粒子控制的复合除尘新技术。最后两章介绍了除尘系统设计和除尘检测技术。

本书可作为环境、安全、冶金、建材等相关专业本科生和研究生的教材或参考书,也可作为建筑、热能、通风、空调以及环境科学领域的科研院所、厂矿企业的科学研究、工程设计人员培训教材和参考书。

图书在版编目(CIP)数据

除尘理论与技术/向晓东主编. —北京:冶金工业出版社, 2013. 1

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-5024-5823-2

I. ①除… II. ①向… III. ①除尘—高等学校—教材
IV. ①X513

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 284838 号

出 版 人 谭学余

地 址 北京北河沿大街嵩祝院北巷 39 号, 邮编 100009

电 话 (010)64027926 电子信箱 yjchs@cnmip.com.cn

策划编辑 俞跃春 责任编辑 俞跃春 谢冠伦 美术编辑 李 新

版式设计 孙跃红 责任校对 卿文春 责任印制 李玉山

ISBN 978-7-5024-5823-2

冶金工业出版社出版发行; 各地新华书店经销; 北京印刷一厂印刷

2013 年 1 月第 1 版, 2013 年 1 月第 1 次印刷

787mm × 1092mm 1/16; 14.75 印张; 356 千字; 225 页

32.00 元

冶金工业出版社投稿电话: (010)64027932 投稿信箱: tougao@cnmip.com.cn

冶金工业出版社发行部 电话: (010)64044283 传真: (010)64027893

冶金书店 地址: 北京东四西大街 46 号(100010) 电话: (010)65289081(兼传真)

(本书如有印装质量问题, 本社发行部负责退换)

前 言

“除尘理论与技术”是以颗粒污染物控制为目标，致力于解决与人类健康、职业卫生、大气环境等密切相关的尘霾危害问题。因此，它不仅是环境科学与工程学科中的一门重要课程，而且也是安全科学与工程学科中一门非常实用的课程。

20 世纪 90 年代初，我们根据教学改革的需要自编了用于安全工程专业的《除尘理论与技术》讲义。为了推动我国除尘技术的发展，在总结教学与科研经验的基础上，该讲义经修订 2002 年作为专著由冶金工业出版社出版。该书自出版以来，一直作为我校安全和环境类专业研究生的教学用书，在人才培养、学科建设方面起到了突出作用。同时，也对国内颗粒污染物控制领域的发展产生了非常积极的影响。

然而，到目前为止，在颗粒污染物控制领域尚无适合冶金、建材、化工、安全、环保等专业通用的本科生和研究生教材，为了适应教学形式的发展，将原专著改编作为教材是必要的。

本书深入浅出、全面系统地论述了除尘技术的基本理论和方法，其教材体系分为基本理论、除尘设备、发展创新、设计检测四大部分。

全书共 9 章，由向晓东担任主编，其中第 3 章由余新明编写、第 4 章由张洪杰编写、第 8 章由袁文博编写、第 9 章由范先媛编写，其余各章由向晓东编写。本书得到了国家自然科学基金项目（50778139）、国家“863 计划”项目（2012AA062501）和工业烟尘污染控制湖北省重点实验室的资助。

由于作者水平所限，书中不妥之处，诚请广大读者批评指正。

编 者

2012 年 8 月于武汉

目 录

1 粉尘的基本性质	1
1.1 粉尘的定义	1
1.1.1 粉尘的粒径范围	1
1.1.2 粉尘粒子的分区	2
1.2 粉尘的物理性质	3
1.2.1 密度	3
1.2.2 安息角与滑动角	4
1.2.3 润湿性	4
1.2.4 粉尘的含水率	5
1.2.5 粉尘的黏附性	5
1.2.6 磨损性	5
1.2.7 电性	6
1.2.8 自燃性和爆炸性	6
1.2.9 光学性质	7
1.3 粉尘的粒径与粒径分布	8
1.3.1 频率分布	9
1.3.2 密度分布	10
1.3.3 累积分布	11
1.3.4 分布函数	11
1.4 粉尘的危害	13
1.4.1 粉尘对人体健康的影响	13
1.4.2 粉尘对建筑物、植物、动物的影响	14
1.4.3 粉尘对能见度的影响	14
1.4.4 粉尘对设备、产品的影响	15
习题	15
2 粉尘粒子运动与捕集效率	17
2.1 气体对球形粒子的阻力	17
2.1.1 层流区	18

2.1.2 过渡区	18
2.1.3 紊流区	18
2.2 非连续性作用	19
2.2.1 滑移修正系数	19
2.2.2 非球形粒子的阻力特征	19
2.3 外力作用下气溶胶粒子的运动	19
2.3.1 重力作用下粒子的运动	20
2.3.2 离心力作用下粒子的运动	22
2.3.3 电场力作用下带电粒子的运动	22
2.4 平流中气溶胶粒子的悬浮	23
2.4.1 紊流脉动	24
2.4.2 环流效应	24
2.4.3 压差升力	27
2.5 除尘效率	28
2.5.1 总效率	28
2.5.2 分级效率	29
2.5.3 串联系统的除尘效率	29
习题	31
3 机械式除尘器	33
3.1 重力沉降室	33
3.1.1 层流情况下的粉尘重力沉降效率	33
3.1.2 紊流情况下的粉尘重力沉降效率	35
3.1.3 重力沉降室的种类	36
3.1.4 重力沉降室的设计	37
3.2 惯性除尘器	39
3.2.1 粉尘在绕弧形通道中的惯性沉降	39
3.2.2 惯性冲击分级器的分离效率	40
3.2.3 惯性除尘器的结构形式	43
3.3 旋流离心沉降	44
3.3.1 旋风除尘器的流场	45
3.3.2 旋风除尘器的分级效率	47
3.3.3 旋风除尘器的压力损失	50
3.3.4 旋风除尘器的分类与特点	50
3.3.5 旋风除尘器的选型原则与设计计算	51
3.3.6 旋风除尘器使用注意事项	53
3.3.7 除尘器的卸灰装置	54

习题	54
4 袋式除尘器	56
4.1 纤维滤料的结构	56
4.1.1 纺织滤料	56
4.1.2 无纺滤料	57
4.1.3 覆膜滤料	58
4.2 纤维的基本物理参数	63
4.2.1 纤维直径及分布	63
4.2.2 孔隙大小及分布	64
4.2.3 纤维排列	64
4.2.4 纤维过滤的影响因素	64
4.2.5 比表面积与孔隙率的关系	65
4.3 单根纤维过滤机理	65
4.3.1 拦截效应	66
4.3.2 惯性碰撞	67
4.3.3 扩散效应	67
4.3.4 静电效应	68
4.4 纤维层过滤效率	68
4.4.1 纤维层稳态过滤	69
4.4.2 纤维层非稳态过滤	70
4.5 纤维层压力损失	71
4.5.1 单根纤维阻力	71
4.5.2 洁净纤维层压力损失	71
4.5.3 纤维层非稳态压力损失	72
4.6 袋式除尘器的结构形式	73
4.6.1 袋式除尘器的分类	73
4.6.2 袋式除尘器的选型	77
4.7 滤料的性能与选用	80
4.7.1 滤料的性能	80
4.7.2 滤料的选用	84
4.8 袋式除尘器的清灰设计	90
4.8.1 反吹风袋式除尘器的清灰	90
4.8.2 脉冲喷吹袋式除尘器的清灰	91
习题	99
5 湿式除尘器	101
5.1 湿式除尘器的原理、分类与性能	101
5.1.1 湿式除尘器的工作原理	101

5.1.2 湿式除尘器的分类	101
5.1.3 湿式除尘器的性能	102
5.2 湿式除尘器介绍	102
5.2.1 喷淋塔	102
5.2.2 水浴除尘器	104
5.2.3 筛板塔	105
5.2.4 水膜除尘器	108
5.2.5 填料塔	114
5.2.6 文丘里除尘器	116
5.3 脱水方法	119
5.3.1 重力沉降法	119
5.3.2 离心法	119
5.3.3 过滤法	121
习题	122
6 静电除尘器	123
6.1 静电除尘器的基本理论	123
6.1.1 静电除尘原理	123
6.1.2 气体的电离	123
6.1.3 粒子的荷电量	124
6.1.4 电场强度	126
6.1.5 静电除尘器的捕集效率	131
6.2 线板式静电除尘器的结构与选型计算	132
6.2.1 静电除尘器的结构	132
6.2.2 静电除尘器的选型计算	133
6.3 静电除尘器的研究课题	135
6.3.1 分电场控制技术研究	135
6.3.2 反电晕控制技术	136
6.3.3 离子风效应	137
习题	137
7 除尘新技术	139
7.1 惯性静电除尘器	139
7.1.1 基本原理	139
7.1.2 除尘效率	139
7.2 静电增强纤维过滤	141
7.2.1 静电增强纤维过滤器的主要结构形式	141
7.2.2 单根纤维静电过滤效率	143
7.2.3 静电增强方式对过滤效果的影响	145

7.2.4 静电增强袋滤器存在的问题与发展	147
7.3 静电增强水雾除尘技术	148
7.3.1 基本原理	148
7.3.2 荷电水雾捕尘机理	148
7.3.3 水雾的荷电	149
7.3.4 荷电水雾喷嘴	151
7.3.5 静电增强水雾除尘技术的应用	153
7.4 静电凝并除尘技术	154
7.4.1 凝并机理	154
7.4.2 库仑凝并	155
7.4.3 低频交变电场中荷电粒子的电凝并	156
7.4.4 高频交变电场荷电粒子的电凝并	157
习题	157
8 除尘系统设计	159
8.1 集气罩	159
8.1.1 罩口气流分布的基本理论	159
8.1.2 集气罩的基本形式	161
8.1.3 集气罩的设计	163
8.1.4 集气罩的设计举例	170
8.2 除尘系统管道设计	174
8.2.1 管内压力损失	174
8.2.2 管道设计与计算	194
8.3 除尘系统压力损失计算	196
8.3.1 管道压力损失计算步骤	196
8.3.2 管道压力损失计算举例	197
8.3.3 风机选择	199
8.4 输灰系统设计与除尘设备的保温	200
习题	201
9 除尘检测技术	202
9.1 粉尘基本性质的测定	202
9.1.1 粉尘样品的分取	202
9.1.2 粉尘密度的测定	202
9.1.3 粉尘安息角的测定	205
9.1.4 粉尘润湿性的测定	206
9.1.5 粉尘含水率的测定	207
9.1.6 粉尘黏附性的测定	207
9.1.7 粉尘磨损性的测定	208

9.1.8 粉尘粒径的测定	209
9.2 除尘系统检测技术	209
9.2.1 除尘系统测试条件的选择	210
9.2.2 管道内温度的测定	212
9.2.3 气体含湿量的测定	212
9.2.4 管道内压力的测定	213
9.2.5 管道内风速的测定和流量计算	215
9.2.6 气体含尘浓度的测定	216
9.2.7 除尘器性能的测试	220
参考文献	222

1 粉尘的基本性质

1.1 粉尘的定义

除尘是将颗粒污染物从气体中分离出来。这里“尘”的概念是广义的，它是指在气体中以分散相处于悬浮状态的气溶胶粒子。气溶胶粒子包括固体粒子和液体粒子。

1.1.1 粉尘的粒径范围

表1-1列出了生活实践中常见的气溶胶粒子的粒径范围。尽管气溶胶粒子的定义对粒子的大小范围没有严格划分，气溶胶粒子可以是大小一样（单分散性粒子）粒子群，也可以是大小不一样的粒子群（多分散性粒子）。对于粒径大于 $50 \sim 100\mu\text{m}$ 的粒子，其沉降速度太快（大于 0.1m/s ），不能久存于气溶胶中。对于粒径在 $0.01\mu\text{m}$ 以下的粒子，由于布朗运动的凝聚作用会使粒子变大。所以，气溶胶粒子的粒径范围大致在 $0.001 \sim 100\mu\text{m}$ 之间。

空气中的颗粒物有多种不同的名称，粒子（particle）指单个物质，一般来说其密度接近于同样成分的大块物质的密度，单个粒子可能是一种化学成分或多种化学成分，可能由液体或固体组成，也可能兼而有之。粒子的形成可能很简单，如液滴；也可能很复杂，如纤维素或聚团。下列术语通常用来描述粒子的外观或来源。

（1）气溶胶（aerosol）：长时间悬浮在气体中能被观察或测量的固体或液体粒子。一般来说，气溶胶粒径为 $0.001 \sim 100\mu\text{m}$ 。

（2）生物气溶胶（bioaerosol）：来自于生物源的气溶胶，包括悬浮于空气中的病毒、花粉粒子、细菌和菌类孢子及其碎片。

（3）云（cloud）：悬浮在空气中的高密度粒子，通常有明显的边界。

（4）粉尘（dust）：母体物质通过破碎、筛分、运输、加工等机械或动力作用形成的固体颗粒物。粒子较粗，形状通常不规则，粒径的大小范围大致在 $0.1 \sim 100\mu\text{m}$ 之间。

（5）雾（fog 或 mist）：液态气溶胶粒子。通常由过饱和蒸汽凝结而成，或通过液体的物理剪切作用，如喷雾、喷射或沸腾而形成。

（6）烟尘（fume）：通常由加热、燃烧、金属冶炼、焊接、熔融、蒸发、升华、冷凝、凝聚而成，或者是木柴、纸张、布、油、煤、塑料、香烟等燃烧而成的固体产物，固体烟尘粒子通常是由一系列相似尺寸的亚微米量级（通常小于 $0.5\mu\text{m}$ ）的微粒构成，重力沉降作用很小。工业烟气温度的般较高，且含有害蒸气成分。

（7）烟（smoke）：固体或液体气溶胶，不完全燃烧所致或过饱和蒸气凝结而成。大多数烟粒子为亚微米级，常常是由非常小的粒子组成的复杂的链状凝聚粒子团，粒径范围在 $0.001 \sim 1\mu\text{m}$ 之间。

(8) 尘：很小的固体粒子，由破碎、筛分、运输、加工等机械或动力作用形成。粒子较粗，形状通常不规则，粒径的大小范围大致在 $0.1 \sim 100\mu\text{m}$ 之间。含尘气流温度通常小于 100°C 。

表 1-1 粒子特性与粒子分散体系

		粒子直径 / μm																																							
		0.0001				0.001				0.01				0.1				1				10				100				1000											
		2	3	4	5	6	8	2	3	4	5	6	8	2	3	4	5	6	8	2	3	4	5	6	8	2	3	4	5	6	8	2	3								
电磁波		X射线								紫外线								可见光				近红外				远红外								微波							
气溶胶粒子	固体									烟												尘																			
	液体																	霾												雾											
典型粒子和分散体系										松香烟																化肥、石灰粉															
										油烟												飞灰																			
										烟草烟												煤尘																			
										冶炼尘及其烟雾																															
																		氯化铵烟雾								水泥尘												海岸沙			
										炭黑												酸雾								喷粉煤											
										氧化锌烟雾												杀虫粉																			
										硅胶												油漆雾																			
																						滑石粉																			
																		碱金属烟雾								花粉															
																						面粉																			
空气净化设备																		呼吸性粉尘																							
		病毒																细菌								人发															
																										离心分离															
																						洗涤器												重力沉降室							
										填料床																															
										高效过滤器												普通过滤器																			
																	静电除尘器																								

1.1.2 粉尘粒子的分区

由上面看出，我们所讨论的悬浮于气体中的粉尘粒子的粒径范围在 $0.1 \sim 100\mu\text{m}$ 之间。对于粒径大于 $1\mu\text{m}$ 的粒子，可近似用牛顿力学描述。但粒径小于 $1\mu\text{m}$ 的粒子却具有

分子运动特征,即存在着随机的无规则运动,用经典力学描述其运动行为是困难的。显然,控制 PM1 也必将成为除尘理论及技术中的难点问题。

在气溶胶科学领域,为了讨论不同粒径范围内气溶胶粒子的空气动力学特征,根据粒子的大小或努森数 Kn 分 4 个区,见表 1-2。努森数 Kn 定义为

$$Kn = 2\lambda/d_p \quad (1-1)$$

式中 λ ——气体分子平均自由程,常温下, $\lambda \approx 0.066 \times 10^{-6} \text{m}$;

d_p ——粒子直径, m 。

表 1-2 根据不同粒径范围定义的气溶胶力学分类方法

名 称	粒子直径范围			
	自由分子区	过渡区	滑动区	连续区
Kn	> 10	$10 \sim 0.3$	< 0.3	< 0.1
$d_p/\mu\text{m}$	< 0.01	$0.01 \sim 0.4$	> 0.4	> 1.3

由分子动力理论,气体分子平均自由程为

$$\lambda = \frac{\mu}{0.499\rho\sqrt{\frac{\pi M}{8RT}}} \quad (1-2)$$

式中 M ——气体分子的摩尔质量, kg ;

R ——气体常数, $\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$;

T ——绝对温度, K ;

μ ——动力黏滞系数, $\text{Pa} \cdot \text{s}$;

ρ ——气体密度, kg/m^3 。

于是,可根据粒子所处的不同区域用不同的力学方法描述粒子的运动。如,在连续区可直接将粒子看成宏观问题用牛顿力学解决;在滑动区和过渡区,可用气溶胶力学提出的修正方程描述;在自由分子区则需要分子运动论分析。

1.2 粉尘的物理性质

1.2.1 密度

由于尘粒表面不光滑和内部有空隙,所以颗粒表面和内部吸附着一定的空气。设法将吸附在粒子表面和内部的空气排出后测得的粒子自身的密度称为颗粒的真密度 ρ_p 。呈堆积状态存在的粒子,将包括颗粒之间气体空间在内的粉体密度称为堆积密度 ρ_b ,若空隙率为 ε ,则真密度和堆积密度存在如下关系

$$\rho_b = (1 - \varepsilon)\rho_p \quad (1-3)$$

式中 ρ_b ——粒子堆积密度, kg/m^3 ;

ρ_p ——粒子真密度, kg/m^3 。

颗粒的真密度用于研究粒子的运动行为等方面,堆积密度用于存仓或灰斗的容积确定等方面。某些颗粒物的真密度和堆积密度列于表 1-3 中。

表 1-3 常见工业颗粒物的真密度和堆积密度

(kg/m³)

名 称	真密度	堆积密度	名 称	真密度	堆积密度
滑石粉	2750	590 ~ 710	电炉尘	4500	600 ~ 1500
烟尘	2150	1200	化铁炉尘	2000	800
炭黑	1850	40	黄铜溶解炉尘	4000 ~ 8000	250 ~ 1200
硅砂粉 (0.5 ~ 72μm)	3630	1550	铅冶炼尘	6000	500
烟灰 (0.7 ~ 56μm)	2200	1070	烧结炉尘	3000 ~ 4000	1000
水泥 (0.5 ~ 91μm)	3120	1500	转炉尘	5000	700
氧化铜 (0.9 ~ 42μm)	6400	2640	铜冶炼尘	4000 ~ 5000	200
水泥干燥窑	3000	600	石墨	2000	300
白云石粉尘	2800	900	铸造砂	2700	1000
烧结矿粉	3800 ~ 4200	1500 ~ 2600	黑液回收尘	3100	130
锅炉炭末	2100	600	石灰粉尘	2700	1100

1.2.2 安息角与滑动角

尘粒自漏斗连续落到水平板上,堆积成圆锥体。圆锥体的母线同水平面的夹角称为粉尘的安息角。

滑动角是指光滑平板倾斜时粉尘开始滑移的倾斜角。通常滑动角比安息角略大。

安息角与滑动角是设计除尘器灰斗(或粉料仓)锥度、粉体输送管道倾斜度的主要依据。影响粉尘安息角与滑动角的因素有:粒径、含水率、粒子形状、粒子表面粗糙度、粉尘黏性等。一般粉体的安息角为 33° ~ 55°,滑动角为 40° ~ 55°。因此,除尘设备的灰斗倾斜角不应小于 55°。

1.2.3 润湿性

尘粒与液体附着的难易程度称为粒子的润湿性。液体对固体表面的润湿程度,取决于液体分子对固体表面作用力的大小。表面张力越小的液体,它对固体粒子就越容易润湿。例如,酒精、煤油的表面张力小,对颗粒的润湿就比水好。根据颗粒能被水润湿的程度,一般可分为亲水性粉尘和疏水性粉尘。粉体的润湿性可以用液体对试管中粒子的润湿速度来表征。通常,取润湿时间为 20min,测出此时间的润湿高度 L_{20} (min),于是润湿速度 v_{20} 为

$$v_{20} = \frac{L_{20}}{20} \quad (1-4)$$

按 v_{20} 作为评定粒子的润湿性的指标,可将颗粒物分为 4 类,见表 1-4。在除尘技术中,粉尘的润湿性是设计或选用除尘设备的主要依据之一。特别是对过滤除尘器来说,滤料的选择尤为重要。

表 1-4 水对粉尘的润湿性

粉尘类型	I	II	III	IV
润湿性	绝对憎水	憎水	中等亲水	强亲水
$v_{20}/\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$	<0.5	0.5 ~ 2.5	2.5 ~ 8.0	>8.0
颗粒物举例	石蜡、沥青	石墨、煤、硫	玻璃微珠、石英	锅炉飞灰、钙

1.2.4 粉尘的含水率

粉尘中含有的水分由3部分组成：附着在粒子表面上的水，包含在凹坑处及细孔中的自由水分，以及紧密结合在粒子内部的结合水分。化学结合的水分不属于水分的范围，例如洁净水作为粒子的组成部分，不属于水分的范围。干燥作业时，可以除去自由水分和一部分结合水分，其余部分作为平衡水残留，其数量随干燥条件而变化。

粉尘中水分的含量通常用含水率 $w(\%)$ 表示，其定义为粉尘中含水量 $m_w(g)$ 与粉尘总质量 $m_d(g)$ 之比

$$w = \frac{m_w}{m_w + m_d} \times 100\% \quad (1-5)$$

工业测定的水分是指总水分和平衡水分之差。测定水分的方法要根据粉尘的种类和测定目的来选择。最基本的方法是将一定量的尘样（约100g）放在约105℃的烘箱中干燥，恒重后再进行称量。烘干前后尘样质量之差即为所含水分。测定水分的方法还有蒸馏法、化学反应法和电测量法等。

颗粒的含水率与颗粒的吸湿性有关，颗粒的含水率的大小会影响到颗粒的其他物理性质，如导电性、黏附性、流动性等，所有这些在设计除尘装置时都必须加以考虑。

1.2.5 粉尘的黏附性

粉尘颗粒相互附着或附着于固体表面上的现象称为粉尘的黏附性。影响粉尘黏附性的因素很多，一般情况下，粉尘的粒径小、形状不规则、表面粗糙、含水率高、润湿性好以及荷电量小时，易产生黏附现象。粉尘的黏附性还与周围介质的性质有关，例如尘粒在液体中的黏附性要比在气体中弱得多；在粗糙或黏性物质的固体表面上，黏附力会大大提高。

利用粉尘的黏附性可以使粉尘相互凝聚和附着在固体表面上，这有利于粉尘的捕集和避免二次扬尘。但在含尘气体通过的设备或管道中，又会因为粉尘的黏附和堆积，造成管道和设备的堵塞。

1.2.6 磨损性

固体颗粒物的磨损性是含尘气流在流动过程中对器壁、管道壁和过滤材料的磨损性能。粒子对物体表面的磨损是一个较复杂的现象。对刚性壁面表现为碰撞磨损，对塑性壁面表现为切削磨损。在粒子的净化或输送中，经常碰到的是对塑性材料的磨损。其磨损率与粉尘入射角、入射速度、粉尘硬度、粒径、球形度和浓度等因素有关，如图1-1所示。

Zhu 等曾在 $H_p = 40 \sim 590 \text{ kg/mm}^2$ 的粉尘硬度范围内对7种不同塑性材料做了大量试验，得出磨损率的经验计算公式：

$$E = k M d_p^{1.5} v^{2.3} (1.04 - \phi) (0.448 \cos^2 \theta + 1) \quad (1-6)$$

式中 E ——磨损率， $\text{m}/100\text{h}$ ；

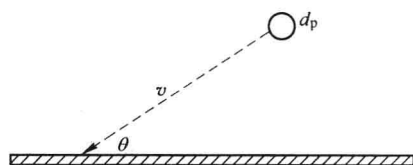


图1-1 固体颗粒对塑性材料表面的磨损

k ——系数, 对于 Q235 钢, $k = 1.5$;

d_p ——粒径, mm;

v ——入射速度, m/s;

ϕ ——球形度;

M ——向被磨损材料冲击的粒子通量, $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。若已知含尘质量浓度 c (kg/m^3), M 可由式(1-7)计算:

$$M = v c \sin \theta \quad (1-7)$$

固体颗粒物的磨损性直接关系到纤维滤料的使用寿命, 为了减轻对滤料的磨损, 需要适当地选取气流速度、降低含尘质量浓度和选用耐磨性好的滤料等。在必要的情况下, 可采用特殊的工艺对滤料进行表面处理。

1.2.7 电性

气溶胶粒子通常都带有电荷, 这是由于碰撞、摩擦、放射性照射、电晕放电等原因而荷电的。粒子的电性对净化设备的捕集和清灰斗有很大的影响。物质都有较固定的介电率(相对介电常数)。表 1-5 列出了常见物质的介电常数。从表中可看到固体颗粒物的介电常数通常在 3~10 之间, 所以, 一般无机材料的介电常数可近似取 5~7。

表 1-5 常见物质的介电常数

物质名称	介电常数	物质名称	介电常数
锌粉	12	滑石粉	5~10
硅砂	4	飘尘	3~8
炭黑	5~10	白砂糖	3
氧化铝粉	6~9	淀粉	5~7
重质碳酸钙	8	硫黄粉末	3~5
玻璃球	5~8	合成树脂粉	2~8

1.2.8 自燃性和爆炸性

当物料被研磨成粉料时, 总表面积增加, 表面能增大, 从而提高了颗粒物的化学活性, 特别是提高了氧化产热的能力, 在一定条件下会转化为燃烧状态。各类粉尘的自燃温度相差很大, 根据不同的自燃温度可将可燃性粉尘分为两类。第一类粉尘的自燃温度高于环境温度, 因而只能在加热时才能引起自燃。第二类粉尘的自燃温度低于环境温度, 甚至在不加热的情况下都可能自燃。这种粉尘造成火灾的危险性最大。

在封闭空间内可燃性悬浮粉尘的燃烧会导致化学爆炸。引起可燃性悬浮粉尘爆炸必须具备三个条件:

- (1) 有足够的氧气浓度;
- (2) 气体含尘浓度在爆炸限内;

(3) 存在足够的点火能或一定温度的火源。能引起爆炸的最低浓度称为爆炸下限, 最高浓度称为爆炸上限。可燃混合物的浓度低于爆炸下限或高于爆炸上限时, 均无爆炸危险。爆炸下限对防爆更有意义。表 1-6 列出了某些粉尘爆炸浓度的下限。

表 1-6 某些粉尘爆炸浓度的下限

(g/m³)

粉尘名称	爆炸浓度下限	粉尘名称	爆炸浓度下限	粉尘名称	爆炸浓度下限
铝粉末	58.0	玉黍粉	12.6	硫黄粉末	2.3
豌豆粉	25.2	亚麻皮屑	16.7	硫磺粉	13.9
木屑	65.0	硫磺碎粉末	10.1	页岩粉	58.0
渣饼	20.2	奶粉	7.6	烟草末	68.0
樟脑	10.1	面粉	30.2	泥炭粉	10.1
煤尘	114.0	茶	2.5	棉花	25.2
松香	5.0	燕麦	30.2	茶叶末	32.8
饲料粉末	7.6	麦糠	10.1	硬橡胶尘末	7.6
咖啡	42.8	沥青	15.0	谷仓尘末	227.0
染料	270.0	甜菜糖	8.9	电焊尘	30.0

1.2.9 光学性质

由于大气中气溶胶粒子对光的散射,使可见度大为降低,这也是一种空气污染现象,城市中这种污染最为强烈。粒子对光的散射是测定气溶胶粒子浓度、大小和决定气溶胶云的光行为的主要方法之一。

概括地说,单个粒子对光的散射与其粒径、折射指数、粒子形状和入射光波长有关。空间中任何一点的辐射强度是由光源的布置、气溶胶的空间分布、粒径分布和组成决定的。

光线射到气溶胶粒子上以后,有两个不同的过程发生:一方面,粒子接收到的能量可被粒子以相同的波长再辐射,再辐射可发生在所有方向上,但不同方向上有不同的强度,这个过程称为散射;另一方面,辐射到粒子上的辐射能可改变为其他形式的能,如热能、化学能或不同波长的辐射,这个过程称作吸收。在可见光范围内,光的衰减对黑烟是吸收占优势,而对水滴是散射占优势。气溶胶粒子对光的吸收和散射机理较为复杂。在此,不讨论微粒子的光学理论,而是介绍利用气溶胶的光学性质如何测定粉尘的粒度和浓度。

粉尘粒度传统的测定法有筛分法、显微镜法、重力沉降法等。用这些方法很费时,而且误差较大。另外,不同的测试(观测)者会得到不同的结果,因此可比性差。对于粒度和浓度的测定,现在有一种趋势(特别是国外),需采用自动的测定方法,且要求标明所用测定仪器的型号。于是,传统的人工测定方法已很少使用了。

利用气溶胶的光学性质测定粉尘粒度的方法主要有:离心沉降粒度分析仪、Zetasizer Nano S 纳米粒度仪、激光粒度分析仪等。所有这些粒度分析仪都是由计算机完成数据处理。

离心沉降粒度分析仪是将粉尘样品以液固两相状态放入样品盒(管)中,在有必要的情况下,用超声波分散器将处于凝聚态的粉尘团分散开。圆盘转速可从每分钟数百转到上万转,视粒度大小及测定范围而定,要求所测的颗粒越小,转速越高。通过转速的不同,可将不同颗粒大小的粒子分开,然后用光透射原理测定颗粒的粒度大小及分布。这类产品有 CLY 型圆盘离心沉降粒度分布仪、WQL 型粒度仪、LJK 型微粒度测定仪等。

Zetasizer Nano S 纳米粒度仪为英国生产的一种光学粒度分析仪,主要是利用粒子的光散射原理,能测量 0.6nm~6μm 的颗粒。