



21世纪高等学校“采矿与安全专业”十二五规划系列教材

DUST AND TOXIC GAS CONTROL TECHNOLOGY

王文才 主编

粉尘与有毒有害气体 防治技术



内蒙古大学出版社

●21 世纪高等学校“采矿与安全专业”十二五规划系列教材

粉尘与有毒有害气体防治技术

DUST AND TOXIC GAS CONTROL TECHNOLOGY

王文才 主编

王文才 刘业娇 任玉辉 侯殿坤 编



内蒙古大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

粉尘与有毒有害气体防治技术/王文才主编. —呼和浩特:内蒙古大学出版社,2012.8

21 世纪高等院校“采矿与安全专业”十二五规划系列教材

ISBN 978-7-5665-0169-1

I. ①粉… II. ①王… III. ①粉尘—污染防治—高等学校—教材②有毒气体—污染防治—高等学校—教材
③有害气体—污染防治—高等学校—教材 IV. ①X513②X51

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 182801 号

21 世纪高等院校“采矿与安全专业”十二五规划系列教材

粉尘与有毒有害气体防治技术

王文才 主编

内蒙古大学出版社出版发行

内蒙古军区印刷厂印刷

开本:787×1092/16 印张:18.5 字数:482 千

2012 年 8 月第一版第 1 次印刷

ISBN 978-7-5665-0169-1

全四册 定价:130 元

(本册定价:36.00 元)

内 容 提 要

任何工业场所均会不可避免地产生不同程度的粉尘或有毒有害气体。由于粉尘与有毒有害气体均同时通过呼吸对人体构成危害,所以对粉尘与有毒有害气体对人体的危害进行防治,是安全生产的一项基本工作。

本书在简单介绍粉尘和有毒有害气体对人体危害病理的基础上,系统讲解其防治技术,并侧重对一般工业生产中各种防治技术的原理、工艺和设备的讲解。本教材共分 11 章,第 1 章介绍粉尘与有毒有害气体的产生、分类、性质、危害及其综合防治措施,第 2 章至第 11 章分别介绍粉尘与有毒有害气体的测定、除尘系统的设计、机械除尘器、袋式除尘器、湿式除尘器、静电除尘器、有毒有害气体的冷凝回收技术、有毒有害气体的液体吸收技术、有毒有害气体的固体吸附技术以及有毒有害气体的燃烧净化技术等。本教材每章都有练习题,书中还有一些例题和设计计算所必需的数据图表等。

本书力求突出科学性、系统性、新颖性和实用性,内容丰富、知识层次合理,既有利于学生学习又有利于教师教学。本教材是安全工程本科专业教材,也可作为采矿、矿物加工和化学类专业的教材,可供安全、采矿、矿物加工和化学类专业的工程师和设计研究人员参考使用。

前 言

随着社会的发展和人类的进步,人们对劳动条件、生活质量和自身健康越来越重视,对生态环境和空气质量也越来越关注。然而,人类在生产过程中不可避免地要产生不同程度的粉尘与有毒有害气体,粉尘与有毒有害气体是生产场所中最常见、最主要的大气污染物,均可通过呼吸进入人体,它们不仅直接危害生产场所工作人员的人体健康,在其被排入大气后还可使大气受到不同程度的污染,严重影响人类生存的基本条件。粉尘污染还会造成生产场所能见度降低、设备磨损和各种职业病等,有毒有害气体还可腐蚀设备、建筑和影响生态环境。所以,防治粉尘与有毒有害气体对生产场所和大气环境的污染,并尽可能地回收和利用其中的有用物质,是各工业企业刻不容缓的重要任务。

除尘器系统是人类控制粉尘污染的重要技术和设施之一,而除尘器是除尘系统的关键设备。在工业生产中,广泛使用的除尘器有机械除尘器、湿式除尘器、袋式除尘器和静电除尘器,其中机械除尘器和湿式除尘器属于除尘效率较低的除尘器,袋式除尘器和静电除尘器属于高除尘效率除尘器。

有毒有害气体净化方法很多,常见的净化方法主要有冷凝法、液体吸收法、固体吸附和燃烧法。各种生产工艺排出的有毒有害气体种类繁多,性质各异。因此,应根据有毒有害气体的化学性质、物理性质以及作业条件等具体情况,分别采用不同的净化方法。

本教材适用于安全工程本科专业,也可供采矿工程、矿物加工和化学类专业使用。建议授课学时为40~48,当授课学时安排较少时,教材中的部分内容可少讲或由学生自学;建议课程结束后安排16~24学时独立的“粉尘与有毒有害气体防治实验课”,以切实掌握本课程的专业实践知识。本课程的先修课程有“流体力学”、“普通化学”和“分析化学”等。

本教材共分11章,分别为概述、粉尘与有毒有害气体的测定、除尘系统的设计、机械除尘器、袋式除尘器、湿式除尘器、静电除尘器、有毒有害气体的冷凝回收技术、有毒有害气体的液体吸收技术、有毒有害气体的固体吸附技术以及有毒有害气体的燃烧净化技术等。由于本教材侧重于一般工业生产过程中粉尘与有毒有害气体的各种防治技术,因而煤矿粉尘的防治技术问题没有专门列入。

教材中公式符号每章自成一个体系,即公式中的每一个符号在同一章中其物理意义和单位量纲是不变的,以方便学习和使用。

本教材由内蒙古科技大学王文才教授担任主编。教材的1~5章和8章内容由王文才教授编写;7和9章由内蒙古科技大学的刘业娇讲师编写,其中9.5.5内容由王文才教授编写;6和11章由内蒙古科技大学的任玉辉讲师编写;10章由内蒙古科技大学的侯殿坤教授编写。本教材的框架和目录拟定、编写风格设计和全书内容统稿由王文才教授完成。

在本教材编写过程中参考了许多同行的教材、专著和论文,在此编者表示衷心的感谢。

由于编写时间比较仓促以及编者的水平所限,缺点和错误在所难免,敬请大家批评指正。

王文才

2012年5月

目 录

第 1 章 概述	(1)
1.1 粉尘与有毒有害气体危害人体健康的途径	(1)
1.1.1 粉尘与有毒有害气体	(1)
1.1.2 粉尘与有毒有害气体危害人体健康的途径	(1)
1.2 粉尘的产生、分类、性质与危害	(2)
1.2.1 粉尘的产生	(2)
1.2.2 粉尘的分类	(3)
1.2.3 粉尘的性质	(3)
1.2.4 粉尘的危害	(12)
1.3 有毒有害气体的产生、分类、性质、危害与职业卫生标准	(13)
1.3.1 有毒有害气体的产生	(13)
1.3.2 有毒有害气体的分类	(13)
1.3.3 有毒有害气体的性质、危害与职业卫生标准	(13)
1.4 粉尘与有毒有害气体的综合防治措施	(21)
1.4.1 生产工艺和设备的技术改造	(21)
1.4.2 通风	(22)
1.4.3 净化	(25)
1.4.4 个体防护措施	(26)
1.4.5 卫生保健措施	(29)
1.4.6 管理与检测	(30)
本章习题	(30)
第 2 章 粉尘与有毒有害气体的测定	(32)
2.1 粉尘的计量指标与职业卫生标准	(32)
2.1.1 含尘量的计量指标	(32)
2.1.2 粉尘的职业卫生标准	(32)
2.2 粉尘质量浓度的测定	(35)
2.2.1 滤膜测尘法	(35)
2.2.2 快速直读式测尘仪法	(37)
2.3 石棉粉尘的纤维计数法	(38)
2.3.1 测定原理	(38)
2.3.2 现场采样	(38)
2.3.3 滤膜的透明固定	(38)
2.3.4 用相衬显微镜计测石棉纤维	(39)
2.3.5 纤维计数法浓度计算及误差检测	(40)

2.4 粉尘中游离二氧化硅含量的测定	(40)
2.4.1 焦磷酸质量法测定粉尘中游离二氧化硅	(40)
2.4.2 红外分光光度法测定粉尘中的石英含量	(42)
2.4.3 X 射线衍射法	(45)
2.5 粉尘分散度的测定	(46)
2.5.1 粉尘数量分散度的测定	(46)
2.5.2 粉尘质量分散度的测定	(48)
2.6 煤尘沉积速度的测定与应用	(50)
2.6.1 煤尘沉积速度的测定	(50)
2.6.2 沉积煤尘飞扬时所形成的煤尘浓度计算	(50)
2.7 有毒有害气体的检测与分析技术	(50)
2.7.1 采样	(51)
2.7.2 现场快速检测	(53)
2.7.3 仪器分析	(54)
本章习题	(56)
 第3章 除尘系统的设计	(57)
3.1 除尘系统及其除尘效率	(57)
3.1.1 除尘系统的组成	(57)
3.1.2 除尘系统的分类及其特点	(57)
3.1.3 除尘系统的划分原则	(59)
3.1.4 除尘系统的除尘效率	(59)
3.2 集气罩的设计	(60)
3.2.1 罩口气流分布的基本理论	(60)
3.2.2 集气罩的基本形式、设置位置和设计原则	(62)
3.2.3 密闭罩的设计	(64)
3.2.4 柜式半密闭罩的设计	(65)
3.2.5 外部集气罩的设计	(68)
3.3 除尘系统的管道设计	(78)
3.3.1 除尘系统的管道布置	(78)
3.3.2 管道的材料与部件	(79)
3.3.3 管道内气体流速和管径的确定	(81)
3.3.4 管道内气体流动的阻力计算	(82)
3.3.5 并联网络阻力平衡计算	(87)
3.3.6 除尘系统总阻力和总风量计算	(88)
3.3.7 选择通风机和电动机	(88)
3.4 除尘器的分类与选型	(89)
3.4.1 除尘器的分类	(89)
3.4.2 除尘器的选型	(89)
3.4.3 除尘器的防火防爆	(92)

3.5 除尘系统设计实例	(92)
本章习题	(94)
第4章 机械除尘器	(96)
4.1 重力除尘器	(96)
4.1.1 分类	(96)
4.1.2 结构	(97)
4.1.3 设计计算	(98)
4.2 惯性除尘器	(100)
4.2.1 惯性除尘器的工作机理	(101)
4.2.2 惯性除尘器的类型和结构	(101)
4.2.3 惯性除尘器的使用	(106)
4.3 旋风除尘器	(106)
4.3.1 分类	(107)
4.3.2 结构	(108)
4.3.3 工作原理	(110)
4.3.4 技术参数计算	(112)
4.3.5 设备选型	(113)
4.4 常用旋风除尘器	(114)
4.4.1 普通型旋风除尘器	(114)
4.4.2 旁路式旋风除尘器	(115)
4.4.3 扩散式旋风除尘器	(115)
4.4.4 直流式旋风除尘	(116)
4.4.5 旋流式旋风除尘器	(119)
4.4.6 双级蜗旋除尘器	(120)
4.4.7 多管旋风除尘器	(122)
本章习题	(123)
第5章 袋式除尘器	(125)
5.1 袋式除尘器的原理与性能	(125)
5.1.1 原理	(125)
5.1.2 性能	(126)
5.2 袋式除尘器的分类与命名	(129)
5.2.1 分类	(129)
5.2.2 国家标准对袋式除尘器的分类与命名	(131)
5.3 滤料	(133)
5.3.1 滤料的命名	(133)
5.3.2 滤料的技术要求	(135)
5.3.3 滤料纤维	(137)
5.3.4 常用的滤料	(138)

5.4 袋式除尘器的选型与设计	(144)
5.4.1 选型	(145)
5.4.2 设计	(146)
5.4.3 可采取的各种技术措施	(148)
5.5 机械振打袋式除尘器	(151)
5.5.1 工作原理	(151)
5.5.2 振打机构	(151)
5.5.3 常见的机械振打袋式除尘器	(152)
5.6 脉冲袋式除尘器	(153)
5.6.1 工作原理	(153)
5.6.2 结构	(154)
5.6.3 技术性能	(157)
5.7 反吹风袋式除尘器	(158)
5.7.1 特点	(158)
5.7.2 除尘机理	(159)
5.7.3 清灰方式	(162)
5.7.4 清灰方法	(164)
5.7.5 技术参数	(166)
本章习题	(167)
 第6章 湿式除尘器	 (168)
6.1 概述	(168)
6.1.1 湿式除尘器的除尘机理	(168)
6.1.2 湿式除尘器的分类	(170)
6.1.3 脱水器	(171)
6.2 喷淋塔	(172)
6.3 旋风洗涤除尘器	(173)
6.3.1 旋风水膜除尘器	(173)
6.3.2 中心喷雾旋风除尘器	(174)
6.4 冲击式除尘器	(175)
6.4.1 水浴除尘器	(175)
6.4.2 自激式除尘器	(176)
6.5 泡沫除尘器	(177)
6.5.1 结构及工作原理	(177)
6.5.2 几何参数	(178)
6.5.3 运行参数	(178)
6.5.4 应用特点	(179)
6.6 填料床洗涤器	(179)
6.6.1 填料塔	(179)
6.6.2 湍球塔	(180)

6.7 文丘里洗涤器	(180)
本章习题	(183)
第7章 静电除尘器	(184)
7.1 静电除尘器的特点与分类	(184)
7.1.1 静电除尘器的特点	(184)
7.1.2 静电除尘器的分类	(184)
7.2 静电除尘器的工作原理	(186)
7.2.1 电晕放电	(187)
7.2.2 尘粒荷电	(189)
7.2.3 粒子的捕集	(192)
7.2.4 被捕集粉尘的清除	(195)
7.3 影响静电除尘器性能的主要因素	(195)
7.3.1 粉尘特性	(196)
7.3.2 烟气性质	(197)
7.3.3 设备情况对静电除尘效率的影响	(198)
7.3.4 操作条件对静电除尘器效率的影响	(198)
7.4 静电除尘器的结构	(199)
7.4.1 电晕电极	(200)
7.4.2 集尘电极	(201)
7.4.3 电极清灰装置	(202)
7.4.4 气流分布装置	(203)
7.4.5 除尘器外壳和保温箱	(203)
7.4.6 供电装置	(203)
7.5 静电除尘器的设计与选型	(204)
7.5.1 电除尘器的选型	(204)
7.5.2 电除尘器的设计	(205)
7.5.3 静电除尘器选用注意事项	(206)
7.6 静电除尘器的应用	(207)
7.6.1 静电除尘器应用范围	(207)
7.6.2 静电除尘器的其它应用方式	(208)
本章习题	(209)
第8章 有毒有害气体的冷凝回收技术	(211)
8.1 冷凝净化的原理与方法	(211)
8.1.1 饱和蒸汽压与温度的关系	(211)
8.1.2 冷凝回收的极限	(212)
8.1.3 冷凝净化的方法	(212)
8.2 接触式冷凝器	(213)
8.2.1 接触式冷凝器的种类	(213)

8.2.2 冷却水需要量的计算	(214)
8.3 表面式冷凝器	(215)
8.3.1 表面式冷凝器的种类	(215)
8.3.2 表面式冷凝器的热计算	(218)
本章习题	(221)
第9章 有毒有害气体的液体吸收技术	(222)
9.1 吸收过程的相平衡关系	(222)
9.1.1 气液平衡关系(溶解度曲线)	(222)
9.1.2 亨利定律	(224)
9.1.3 相平衡与吸收过程的关系	(224)
9.2 吸收速率方程	(225)
9.2.1 吸收过程的机理——双膜理论	(225)
9.2.2 吸收速率方程	(226)
9.3 吸收操作线和吸收剂用量	(228)
9.3.1 吸收操作线	(228)
9.3.2 吸收剂的用量	(228)
9.4 化学吸收	(230)
9.4.1 化学吸收机理	(231)
9.4.2 化学反应对吸收的影响	(231)
9.5 吸收设备及其计算	(232)
9.5.1 塔型选择	(232)
9.5.2 填料选择	(233)
9.5.3 填料塔的液泛速度和直径	(234)
9.5.4 填料层压降的计算	(236)
9.5.5 填料层高度的计算	(236)
本章习题	(240)
第10章 有毒有害气体的固体吸附技术	(242)
10.1 吸附的概念	(242)
10.1.1 发展过程	(242)
10.1.2 基本概念	(242)
10.2 吸附原理	(243)
10.2.1 吸附平衡	(243)
10.2.2 吸附等温线与吸附等温方程式	(243)
10.2.3 吸附速率	(246)
10.3 吸附剂与吸附工艺	(247)
10.3.1 吸附剂	(247)
10.3.2 吸附工艺	(251)
10.4 固定床吸附器	(253)

10.4.1	吸附过程	(253)
10.4.2	固定床吸附器的分类	(253)
10.4.3	固定床吸附器的设计计算	(254)
10.5	移动床吸附器	(260)
10.5.1	移动床吸附器的结构特征	(260)
10.5.2	移动床吸附器的设计计算	(261)
10.6	流化床吸附器	(265)
10.6.1	流化床吸附器的结构特征	(265)
10.6.2	流化床吸附器操作速度的确定	(265)
10.6.3	流化床吸附器设计举例	(267)
本章习题		(269)
第 11 章 有毒有害气体的燃烧净化技术		(270)
11.1	直接燃烧法	(270)
11.1.1	基本概念	(270)
11.1.2	直接燃烧法	(272)
11.2	热力燃烧法	(272)
11.2.1	热力燃烧过程与条件	(272)
11.2.2	热力燃烧炉	(274)
11.2.3	热力燃烧的应用	(275)
11.3	催化燃烧法	(275)
11.3.1	催化燃烧原理及工艺	(275)
11.3.2	催化剂	(276)
11.3.3	催化燃烧的应用	(278)
11.4	燃烧净化的热量回收系统	(278)
11.4.1	热量回收系统	(278)
11.4.2	热量回收设备	(278)
11.5	燃烧净化技术的安全措施	(279)
本章习题		(280)
参考文献		(281)

第 1 章 概 述

1.1 粉尘与有毒有害气体危害人体健康的途径

1.1.1 粉尘与有毒有害气体

人类生存一刻也离不开空气,新鲜的空气可使人身体健康,被污染的空气可使人得各种疾病。按空气污染物的存在状态,可将其概括为两类,一类是气溶胶污染物,另一类是气态污染物。

1. 气溶胶污染物

气溶胶是指固体或液体微粒分散在空气中所形成的非均相的分散系统;按照气溶胶的物理性质,可将气溶胶污染物分为粉尘、烟和雾等。粉尘是能够较长时间飘浮于空气中的固体微粒,其直径多为 $0.1 \sim 10\mu\text{m}$,大都是固体物质经机械加工(粉碎、碾磨等)而形成的;如制造铅丹颜料时的铅尘,锰矿碾磨时产生的锰矿尘等。烟是指漂浮在空气中且其粒径一般在 $0.1\mu\text{m}$ 以下的固体微粒;常见的有金属熔化时产生的蒸气在空气中氧化冷凝形成的烟,如熔锌时放出的锌蒸气能产生氧化锌烟尘;有机物加热或燃烧时也可以产生烟,如某些塑料热加工时所产生的烟尘等。雾是指混悬在空气中的液体微滴,多为蒸气冷凝或液体喷散所形成;如喷漆作业时所形成的漆雾,电镀铬和酸洗作业时所形成的铬酸雾和硫酸雾等。

在生产场所的气溶胶污染物中,粉尘为最主要的污染物质。

2. 气态污染物

气态污染物主要指在常温、常压下呈气态的污染物质以及由固态物质的升华或液态物质的蒸发所形成的气态污染物质。如在生产场所的温度、气压条件下散发于空气中的氯气、一氧化碳和二氧化硫等,固体樟脑和萘等在常温下升华、汞和硫等在加热时升华形成的气体,沸点低的液体(如苯、乙醚等)在常温、常压下形成的蒸气,对液态物质进行加热、喷雾、搅拌、通风以及超声处理时也会促使其形成蒸气。所有这些气态污染物,就构成了空气中的有毒有害气体。

1.1.2 粉尘与有毒有害气体危害人体健康的途径

粉尘与有毒有害气体主要是通过人体的呼吸道、皮肤和消化道三个途径危害人体的健康。在一般情况下,主要通过呼吸道和皮肤这两个途径危害人体的健康。

1. 经呼吸道危害人体的健康

这是粉尘与有毒有害气体危害人体健康最主要的途径。人体的呼吸道具有较强的吸收粉尘与有毒有害气体的能力,主要吸收部位是支气管和肺泡,一般人体肺泡的总面积在 $55 \sim 120\text{m}^2$ 之间,而肺泡只有 $1 \sim 4\mu\text{m}$ 的薄壁,其表面为含碳酸的液体,肺泡壁有极其丰富的毛细血管,所以肺泡对粉尘与有毒有害气体的吸收能力非常强。有毒有害气体可直接进入肺泡区被肺泡吸收;对于粉尘颗粒,由于粉尘的重力沉降以及人体呼吸系统对粉尘的预防与清除功能,只有呼吸性粉尘(即小于 $5\mu\text{m}$ 的粉尘)才能进入肺泡,其中颗粒粒径小于 $3\mu\text{m}$ 的粉尘可直接被肺泡吸收。对于水溶性较大的粉尘与有毒有害气体,如二氧化硫、氯气在通过呼吸道时,易被上呼吸道黏液溶解而不易到达肺泡,但浓度高或呼吸深度大时,能否到达肺泡则取决于有毒有害气体的粒度和水溶

性。呼吸道吸收粉尘与有毒有害气体的速度除了取决于粒度与水溶性以外,还与粉尘与有毒有害气体在空气中的浓度、人体的肺通气量以及接触的时间等有关。经呼吸道吸收的粉尘与有毒有害气体,可直接进入血液循环而分布全身,在未经肝脏解毒之前这些毒物就产生其毒性作用。所以,粉尘与有毒有害气体从呼吸道进入人体具有更大的危害性。

2. 粉尘与有毒有害气体经皮肤进入人体

在生产过程中,粉尘与有毒有害气体直接经人体的皮肤吸收而产生中毒的情况也时有发生。如喷洒农药时,空气中的药雾被人体皮肤所吸收而产生农药中毒。经皮肤吸收的粉尘与有毒有害气体有三个途径:①毒物通过表皮屏障产生中毒。人体表皮角质层下的表皮细胞的胞膜富有磷脂,能阻碍水溶性物质的侵入,对皮肤起到屏障作用,所以水溶性的物质不能透过无损伤的皮肤。虽然脂溶性物质能透过表皮屏障,但如果该物质不具有一定的水溶性,则不能被表皮下的血液所吸收。如有机磷化合物和有机铅化合物的粉尘等;②毒物通过毛囊以及皮脂腺产生中毒。经毛囊及皮脂腺吸收的毒物有汞及其盐类、砷盐以及砷的氢化物等的粉尘与蒸气。③毒物通过汗腺产生中毒。通过汗腺进入人体的中毒情况比较少见。有些粉尘与有毒有害气体,能同时经表皮和毛囊两个途径进入人体,如氰化氢和硫化氢等气体。

当皮肤损伤或患病时,其屏障作用被破坏,此时,不能经皮肤吸收的毒物也可被吸收。强酸、强碱、强酚、黄磷等具有腐蚀性物质的粉尘或蒸气,是通过腐蚀作用经人体皮肤而进入人体的。毒物经皮肤侵入人体后,直接进入血液循环而分布于全身,一般不经过肝脏的解毒作用。而毒物经皮肤吸收的快慢和吸收量,除了与毒物的脂溶性、水溶性、浓度等有关外,还与环境中的温度、湿度以及皮肤的损伤情况等有关。

3. 粉尘与有毒有害气体经消化道进入人体

粉尘与有毒有害气体单纯被消化道吸收而引起的职业中毒,在工业生产中较为少见。而由呼吸道侵入的粉尘与有毒有害气体颗粒有些黏附在鼻咽部或混合于口、鼻、咽的分泌物中,这些分泌物可借助吞咽动作进入消化道而产生中毒。另外,在有毒物质的生产车间内饮食、吸烟或用被污染的手取食物等,毒物的粉尘可直接进入消化道而产生中毒。毒物的粉尘进入消化道后,主要被小肠所吸收,少部分在胃中吸收。消化道对毒物的吸收程度主要取决于毒物在胃液中的溶解度。应该注意的是,虽然有些毒物的水溶性较差,但在酸性的胃液中,其溶解度会增大,中毒的可能性也会增加。氰化物等某些脂溶性毒物和某些盐类的粉尘可经口腔黏膜直接吸收。毒物经消化道吸收和肝脏解毒后分布到全身。

1.2 粉尘的产生、分类、性质与危害

1.2.1 粉尘的产生

在工农业生产中,许多作业都可产生粉尘。例如,在采矿过程的凿岩、爆破、装运、支护等工序;矿物加工作业中的运输、破碎等工序;开山筑路、开拓隧道;冶金工业中的原料破碎和金属冶炼;机械铸造业的翻砂、拌料、造型、开箱、清砂以及零件的磨光;玻璃、耐火材料、建筑材料、陶瓷、搪瓷等工业的原料制备;农业中的播种、收割以及粮食加工;畜牧业中的饲料粉碎;搬运行业中的装卸与清仓等。能够形成粉尘的作业种类虽然很多,但归纳起来,生产性粉尘的形成方式基本上是由固体物质的机械性加工而产生的。

1.2.2 粉尘的分类

按照不同的分类依据和分类目的,粉尘有多种分类方法。

1. 按理化性质分类

按理化性质,粉尘可分为无机粉尘、有机粉尘和混合性粉尘。

(1)无机粉尘。无机粉尘包括:①矿物粉尘。例如煤、石棉、石英、滑石等粉尘;②金属性粉尘。例如铁、锌、铝、锰、镍、锑、铝、铜等粉尘;③人工无机粉尘。例如金刚石、水泥、玻璃等粉尘。

(2)有机粉尘。有机粉尘包括:①植物性粉尘。例如棉花、亚麻、谷物等粉尘;②动物性粉尘。例如兽毛、羽毛、毛发等粉尘;③人工有机性粉尘,例如有机染料等。

(3)混合性粉尘。在生产中混合性粉尘最为多见,系指无机粉尘和有机粉尘混合在一起的粉尘,例如一些植物和动物性粉尘(棉花、亚麻、兽毛)中,常混有 30% ~ 50% 的矿物性粉尘。

2. 按粉尘危害人体的健康状况划分

(1)全尘(总粉尘)。指粉尘采样时获得的包括各种粒径在内的全部粉尘。

(2)呼吸性粉尘。指粒径在 $5\mu\text{m}$ 以下的微细尘粒。它能够通过人体上呼吸道进入肺泡区,是导致尘肺病的主要病因,对人体危害甚大。

显然,全尘包括呼吸性粉尘。在一定条件下,两者有一定的比例关系,其比值大小与粉尘性质及生产条件有关,可以通过粉尘分散度测定获得。

3. 按矿尘中游离 SiO_2 含量划分

(1)硅尘。指游离 SiO_2 含量在 10% 以上的粉尘。它是引起矽肺病的主要因素。矿山中的岩尘一般多为硅尘。

(2)非硅尘。指游离 SiO_2 含量在 10% 以下的粉尘,如煤矿中的煤尘一般均为非硅尘。

4. 按矿尘的存在状态划分

(1)浮游矿尘。指悬浮于空气中的粉尘,简称浮尘。

(2)沉积矿尘。指从空气中沉降下来的粉尘,简称落尘。

浮尘和落尘在不同环境下可以相互转化。浮尘在空气中飞扬的时间不仅与尘粒的大小、重量、形式等有关,还与空气的湿度、风速等大气参数有关。防尘的对象是浮尘,通常所说的粉尘也是指浮尘。

5. 按粉尘粒径划分

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

(2)细尘。其粒径为 $10 \sim 40\mu\text{m}$,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。其粒径为 $0.25 \sim 10\mu\text{m}$,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。其粒径小于 $0.25\mu\text{m}$,要用电子显微镜才能观察到,在空气中作扩散运动。

1.2.3 粉尘的性质

1. 粉尘的密度

①堆积密度。堆积密度也叫表观密度或松装密度,是指单位粉尘松装体积所具有的颗粒物质量。其中包含粉尘颗粒之间的空气成分,通常比真密度低,相当于后者的 $2 \sim 2.5$ 分之一以下。

②真密度。真密度是指单位体积(不包括颗粒之间的空隙、外开口及内闭孔的体积)的颗粒物质量。从理论上讲,粉尘的真密度应该与生成该种粉尘的块状固体材料的密度相同。

③真密度与堆积密度的关系。

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

式中: ρ_b —粉尘的堆积密度, kg/m^3 ; ρ_p —粉尘的真密度, kg/m^3 ; ε —粉尘的空隙率, 它是粉尘堆积体积中空隙所占的比率, %。

空隙率 ε 与粉尘的种类、粒径大小以及充填方式等因素有关。粉尘愈细、吸附的空气愈多, ε 值越大; 充填过程加压或进行振动, ε 值减小。常见粉尘的 ρ_b 与 ρ_p 值见表 1-1。

表 1-1 常见粉尘的 ρ_b 与 ρ_p 值

序号	粉尘名称及粒径范围	$\rho_p/\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$	$\rho_b/\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$
1	硅砂粉标准筛 105 μm 筛下成分	2630	1550
2	硅砂尘 $d_p = 0.7 \sim 56\mu\text{m}$	2200	1070
3	100 号白刚玉	3900	1490
4	石墨 $d_p = 150\mu\text{m}$	2200	800
5	滑石粉 $d_p = 1.5 \sim 45\mu\text{m}$	2700	700
6	高炉尘 $d_p = 5 \sim 10\mu\text{m}$	3000	500
7	烟灰 $d_p = 0.7 \sim 56\mu\text{m}$	2200	1070
8	钢铁厂烧结机尘 $d_p = 5 \sim 300\mu\text{m}$	3000 ~ 5000	1000
9	硅酸盐水泥 $d_p = 0.7 \sim 91\mu\text{m}$	3120	1500
10	钢铁厂转炉尘 $d_p = 0.2 \sim 20\mu\text{m}$	4000 ~ 5000	700
11	转炉环境尘 $d_p = 100 \sim 200\mu\text{m}$ (占 80%)	4000	700
12	烧结矿粉尘	3800 ~ 4200	1500 ~ 1600
13	炼钢电炉 $d_p = 0.2 \sim 1\mu\text{m}$ (占 60%) $d_p = 1 \sim 20\mu\text{m}$ (占 20%)	4000 ~ 5000	600 ~ 1500
14	电炉环境集尘 $d_p = 100 \sim 2000\mu\text{m}$ (占 80%)	4000	1000
15	水泥窑灰 $d_p = 0.5 \sim 20\mu\text{m}$	3000	600
16	垃圾焚烧炉 $d_p = 10 \sim 30\mu\text{m}$	2300	350
17	铜精炼炉 $d_p \leq 0.1\mu\text{m}$	5000	200
18	黄铜熔炉 $d_p = 0.1 \sim 0.15\mu\text{m}$	4000 ~ 8000	250 ~ 1200
19	锌精炼炉 $d_p = 1 \sim 5\mu\text{m}$	5000	500
20	铅精炼炉 $d_p < 1\mu\text{m}$	6000	1300 ~ 1700
21	磨料生产 $d_p = 5 \sim 30\mu\text{m}$	3000	1200
22	聚氯乙烯尘	1560	970

注: d_p 为粉尘的定向径。

2. 粉尘的分散度

分散度是指粉尘中各种粒径尘粒的质量或数量所占的比率, 按质量计的称为质量分散度(即各粒级尘粒的质量占总质量的百分数), 按数量计的称为数量分散度(即各粒级尘粒的颗粒数占总颗粒数的百分数)。

粉尘中小颗粒所占的百分率大称为分散度高; 反之, 称分散度低。粉尘分散度的高低与其在空气中的稳定程度有密切关系。分散度越高, 其稳定程度越大, 被吸入肺内的机会就越多, 进入

机体后的化学活性也越大,因而其危害性也大。从除尘的角度看,分散度高的粉尘不易被除尘器收集。

对同一粉尘,其数量分散度与质量分散度相差很大。我国现行的《作业场所空气中粉尘测定方法》中规定采用数量分散度。计测分散度粒级范围的划分,应根据粉尘的情况确定。我国矿山一般可划分为四个粒级范围,即:小于 $2\mu\text{m}$ 、 $2\sim 5\mu\text{m}$ 、 $5\sim 10\mu\text{m}$ 、大于 $10\mu\text{m}$ 。根据一些实测资料,矿井中粉尘的数量分散度大致范围为: $<2\mu\text{m}$ 占 $46.5\%\sim 65\%$ 、 $2\sim 5\mu\text{m}$ 占 $25.5\%\sim 35\%$ 、 $5\sim 10\mu\text{m}$ 占 $4\%\sim 11.5\%$ 、 $>10\mu\text{m}$ 占 $2.5\%\sim 7\%$ 。

分散度的表示方法有列表法、图示法和函数法等。函数法通常用正态分布函数、对数正态分布函数和罗辛-拉姆勒分布式三种。在实际应用中列表法最常见,一般是按粒径区间测量出粉尘数量分布关系,然后作图寻求粉尘分散度或通过统计计算得出粉尘的分散度函数式。

(1)列表图示方法

①分散度 ΔR 。如图1-1所示(图中有关数据见表1-2),即粒径 d 至 $(d+\Delta d)$ 之间粉尘质量(或个数)与粉尘试样总质量(或总个数)之比的百分数,统计时也称为粉尘的频数。

②分散度分布 f 。

$$f = \frac{\Delta R}{\Delta d} \tag{1-2}$$

式中: f —粒径 d 至 $(d+\Delta d)$ 之间粉尘的分散度分布(统计时也称为频度), $\%/\mu\text{m}$; ΔR —粒径 d 至 $(d+\Delta d)$ 之间粉尘的分散度, $\%$; Δd —粉尘的粒径变化量, μm 。

③筛上累积率 R 。是指大于某一粒径 d 的所有粒子质量(或个数)与粉尘试样总质量(或个数)之比的百分数。

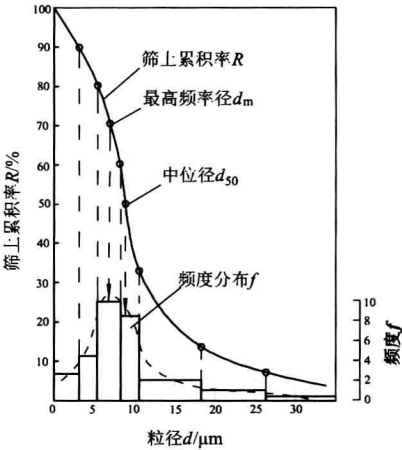


图 1-1 粒径频度和累积筛上率分布

$$R = \sum_d^{d_{\max}} \left| \frac{\Delta R}{\Delta d} \right| \Delta d = \int_d^{d_{\max}} f dx \tag{1-3}$$

$$D = 1 - R \tag{1-4}$$

式中: $d_{\max}$ —粉尘颗粒的最大直径, μm ; D —筛下累积率,即为小于某一粒径 d 的所有粒子质量(或个数)与粉尘试样总质量(或个数)之比的百分比, $\%$ 。

表 1-2 分散度列表表示

粒径范围/ μm	0	3.5	5.5	7.5	10.8	19.0	27.0	43.0
粒径粒变化量 $\Delta d/\mu\text{m}$	3.5	2	2	3.3	8.2	8	16	
频数 ΔR (实测值)/ $\%$	10	9	20	28	19	8	6	
频度 $f/\% \cdot \mu\text{m}$	2.86	4.5	10	8.5	2.3	1	0.38	
筛下累积率 $D/\%$	0	10	19	39	67	86	94	100
筛上累积率 $R/\%$	100	90	81	61	33	14	6	0
平均粒径 $d/\mu\text{m}$	1.75	4.50	6.50	9.15	14.9	23	35	

(2)函数表示法

①正态分布式。

$$f(d_p) = \frac{100}{\sigma \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(d_p - \bar{d}_p)^2}{2\sigma^2}\right) \tag{1-5}$$