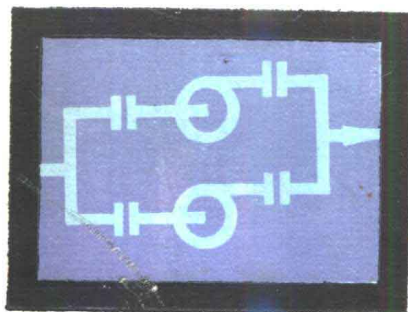


932223

安全与卫生工程系列教材安全与卫生工程系列教材

北京经济学院出版社



工业通风与防尘 工程学

苏汝维 郭爱清 郭建中 毛海峰 编著

安全与卫生工程系列教材

劳动保护管理学
安全分析与事故预测
工业防毒技术
工业通风与防尘工程学
噪声控制工程

作业环境空气检测技术
电气安全工程
起重与机械安全工程学
锅炉压力容器安全工程学
防火与防爆

• 安全工程系列教材 •

工业通风与防尘工程学

苏汝维 主编

郭爱清 毛海峰 郭建中

北京经济学院出版社

1990年·北京

内 容 简 介

本书侧重从实用角度出发,较系统地阐述了工业通风与工厂防尘的基本概念、基本原理、设计方法和应用技术,并论及近几年来在防尘领域所取得的新成果和新进展。全书包括粉尘危害与防尘综合措施,通风除尘,排风罩、除尘器,通风管道设计,通风机,其他防尘技术措施,测试技术等八个部分。

本书可作为高等学校安全工程和卫生工程专业的教材,也可供从事防尘工作的科研人员、工程技术人员、检测人员以及劳动保护和环境保护工作者参考使用。

工 业 通 风 与 防 尘 工 程 学

苏汝维 主编

北京经济学院出版社出版
(北京市朝阳区红庙)

北京通县永乐印刷厂印刷
新华书店北京发行所发行

787×1092毫米 16开本 21.75印张 556千字

1991年7月第1版

1991年7月第1版第1次印刷

印数: 0 031—7000

ISBN7-5638-0136-7/TH·1

定价: 8.65元

《安全与卫生工程系列教材》出版说明

安全与卫生工程是受到国内外普遍重视的一门新兴学科。它着重研究工业生产过程中危害劳动者安全和健康的各种因素，并以相应的工程技术措施及现代管理措施保障劳动者的安全和健康。在我国，安全与卫生工程学科的发展与技术措施的广泛应用，对贯彻“安全第一，预防为主”的劳动保护方针，消除事故根源，保障广大职工的安全和健康，促进社会主义建设事业的顺利进行起着重要作用。

我社出版的《安全与卫生工程系列教材》，是北京经济学院安全工程系以富有教学经验的教师组成编写组，在多年教学科研实践的基础上，吸收国内外先进技术和方法编写而成的。本套教材系统地、详尽地介绍了安全与卫生工程技术的原理和方法。力求概念准确，条理清楚，论述深入浅出，做到科学性、先进性和实用性相结合。本套教材注意理论联系实际，附有必要的工程数据和工程图表、资料以利实用。本套教材可作为高等院校、大专院校相应专业的教材或教学参考书，也可作为各产业部门、厂矿企业劳动保护干部、管理干部的培训教材。

《安全与卫生工程系列教材》共计10本：

《劳动保护管理学》

《锅炉压力容器安全工程学》

《防火与防爆》

《电气安全工程》

《起重与机械安全工程学》

《安全分析与事故预测》

《工业通风与防尘工程学》

《噪声控制工程》

《工业防毒技术》

《作业环境空气检测技术》

此外，还有一本《作业环境空气监测方法》可与《作业环境空气检测技术》配合使用。

1990年7月

前 言

五十年代以来,随着工业的迅速发展,工业生产中散发的各种粉尘已成为污染车间空气和室外大气的主要污染物,也是引起尘肺等职业病的主要原因。防尘工作是劳动保护和环境保护工作的重要组成部分,它的任务就是通过采取各种措施对尘源进行有效的控制,不使粉尘散发到室内和室外大气中。为广大职工和居民创造良好的劳动和生活环境,保障他们的身体健康,是从事防尘工作的科研、设计、工程技术人员和劳动保护、环境保护工作者的崇高职责。

为了适应防尘工作迅速发展和安全卫生工程专业教学的需要,我们在1980年所编的专业教材《工业通风与防尘技术》的基础上,根据近年来的教学实践和读者的意见与要求,作了全面修改和增删,编写成本书。本书在选材中,力求做到理论联系实际,反映本门学科的现代先进水平。全书内容较原书有较多更新。

本书在综述了粉尘的特性、危害和综合防尘措施的基础上,从实用角度出发,系统地阐述了工业通风与工厂防尘的基本概念、基本原理、设计方法和应用技术,以及近年来在防尘领域内取得的新经验、新成果和新进展。本书以国内外常用的较为成熟的通风除尘技术和用以作为监测手段的测定技术为主要内容,对其他防尘技术措施只作简要介绍。

本书各章编著人员是:第一、四、七、九章苏汝维;第二、三章毛海峰;第五、八章郭爱清;第六章郭建中。全书由苏汝维主编。

由于我们经验不足,水平有限,不妥和错误之处,恳请读者批评指正。

编著者

1989年9月

目 录

第一章 粉尘危害与防尘综合措施	(1)
第一节 粉尘的来源.....	(1)
第二节 粉尘的特性.....	(4)
第三节 粉尘的危害.....	(16)
第四节 粉尘标准.....	(22)
第五节 防尘综合措施.....	(26)
第六节 防尘工作与经济效益.....	(29)
第二章 通风除尘	(32)
第一节 控制粉尘及有害物的通风方法.....	(32)
第二节 全面通风.....	(33)
第三节 局部通风.....	(36)
第四节 空气质量平衡与热平衡.....	(37)
第五节 通风除尘系统.....	(39)
第三章 局部排风罩	(43)
第一节 局部排风罩的基本型式及设计要点.....	(43)
第二节 密闭罩.....	(45)
第三节 外部罩.....	(52)
第四节 接受罩.....	(71)
第五节 吹吸罩.....	(77)
第四章 除尘器	(89)
第一节 除尘机理及除尘器分类.....	(89)
第二节 除尘器的性能指标.....	(90)
第三节 重力沉降室.....	(95)
第四节 惯性除尘器.....	(98)
第五节 旋风除尘器.....	(99)
第六节 袋式除尘器.....	(110)
第七节 电除尘器.....	(132)
第八节 湿式除尘器.....	(148)
第九节 静电强化复合式除尘器.....	(151)
第十节 卸尘装置与粉尘的后处理.....	(153)
第十一节 除尘器的选择.....	(156)
第五章 通风管道	(159)

第一节	风管的阻力	(159)
第二节	管道系统的压力分布	(167)
第三节	管道系统的设计计算	(169)
第四节	通风除尘管道设计中的几个问题	(180)
第五节	均匀送风与均匀吸风管道的设计计算	(186)
第六章	通风机	(201)
第一节	离心式通风机的结构原理和分类	(201)
第二节	离心式通风机的性能参数	(204)
第三节	离心式通风机的特性曲线	(207)
第四节	相似理论在通风机中的应用	(209)
第五节	离心式通风机在系统中的工作	(217)
第六节	离心式通风机的命名和选择	(224)
第七节	离心式通风机的安装和维护	(231)
第八节	离心式通风机的主要故障及其排除	(232)
第九节	轴流式通风机	(233)
第七章	其他防尘技术措施	(239)
第一节	工艺措施	(239)
第二节	湿法防尘与二次尘源的消除	(240)
第三节	高压静电抑(控)制尘源技术	(253)
第四节	个人防护	(259)
第八章	测定技术	(264)
第一节	粉尘真密度的测定	(264)
第二节	粉尘分散度的测定	(265)
第三节	管内气体参数的测定	(285)
第四节	通风除尘系统的测定	(304)
第五节	工作区测尘	(312)
第九章	我国通风除尘技术的现状及同国外的差距	(315)
第一节	通风技术	(315)
第二节	除尘技术	(318)
附录		(324)
附录1	单位名称、符号、工程单位和国际单位的换算	(324)
附录2	通风管道单位长度摩擦阻力线解图	(325)
附录3	局部阻力系数(ζ)表	(326)
附录4	圆形通风管道统一规格	(337)
附录5	各种粉尘粒度分析用的分散液和分散剂	(338)
参考文献		(339)

第一章 粉尘危害与防尘综合措施

第一节 粉尘的来源

一、粉尘

粉尘是指在生产过程中产生并能较长时间悬浮在空气中的固体微粒。

粉尘可以根据许多特征进行分类。按照通常的分类方法，可以分为下列几种。

(一) 按粉尘的成分可分为：

1. 无机粉尘，包括矿物性粉尘（如石英、石棉、滑石、石灰石、粘土粉尘等）、金属性粉尘（如铅、锌、锰、铜、铁、锡粉尘等）和人工无机性粉尘（如金刚砂、水泥、石墨、玻璃粉尘等）；

2. 有机粉尘，包括植物性粉尘（如棉、麻、谷物、烟草、茶叶粉尘等）、动物性粉尘（如兽毛、毛发、骨质、角质粉尘等）和人工有机性粉尘（如有机染料等）；

3. 混合性粉尘，是指上述两种或多种粉尘的混合物。混合性粉尘在生产环境中常常遇到，如铸造厂的混砂机在混碾过程中产生的粉尘，既有石英粉尘，又有粘土粉尘，又如用砂轮机磨削金属时产生的粉尘，既有金刚砂粉尘，又有金属粉尘。

(二) 按粉尘的颗粒大小可分为：

1. 可见粉尘，用眼睛可以分辨，粒径大于 $10\mu\text{m}$ 的粉尘；

2. 显微粉尘，在普通显微镜下可以分辨，粒径为 $0.25\sim 10\mu\text{m}$ 的粉尘；

3. 超显微粉尘，在超倍显微镜或电子显微镜下才可以分辨，粒径小于 $0.25\mu\text{m}$ 的粉尘。

在防尘技术中，有时用到超微米（亚微米粉尘）的名词，指的是粒径在 $1\mu\text{m}$ 以下的粉尘。

(三) 按生成的原因可分为：

1. 粉尘，指因机械过程而产生的固体微粒，如用破碎机破碎矿石时产生的粉尘即属此类；

2. 烟尘，指因物理化学过程而产生的固体微粒，如锅炉或水泥煅烧窑废气中的烟尘即属此类。

在本书中如无特殊说明，则用粉尘这一名词作为总称，也包括烟尘。

(四) 按燃烧和爆炸性质可分为：

1. 易燃易爆粉尘，如煤粉尘、硫磺粉尘、亚麻粉尘等；

2. 非易燃易爆粉尘，如石灰石粉尘等。

(五) 从卫生学角度可分为：

1. 呼吸性（又称可吸入性）粉尘，是指能进入人的细支气管到达肺泡的粉尘微粒，其粒径在 $5\mu\text{m}$ 以下。由于呼吸性粉尘能到达人的肺泡，并沉积在肺部，故对人体健康危害更大；

2. 非呼吸性（又称不可吸入性）粉尘。

此外，还可以分为有毒粉尘（如锰粉尘、铅粉尘等）、无毒粉尘（如铁矿石粉尘等）和放射性粉尘（如铀矿石粉尘等）。

（六）从环境保护角度可分为：

1. 飘尘，能长期飘浮在大气中，粒径为 $0.1\sim 10\mu\text{m}$ 的粉尘微粒；

2. 降（落）尘，粒径大于 $10\mu\text{m}$ ，在大气中靠重力作用能在较短时间内沉降到地面的粉尘。

二、粉尘的产生

许多工业生产部门，例如冶金行业的冶炼厂、烧结厂、炭素厂、耐火材料厂；机械行业的铸造厂；建材行业的水泥厂、石棉制品厂、砖瓦厂；轻工行业的玻璃厂、陶瓷厂、木材厂；化工行业的橡胶厂、农药厂、化肥厂、炭黑厂；纺织行业的棉纺厂、毛纺厂、麻纺厂等等在生产中均产生大量粉尘。产生粉尘的生产过程有以下几个方面：

1. 固体物质的机械破碎过程，如用破碎机将矿石破碎或用球磨机将煤块磨成煤粉；

2. 固体表面的加工过程，如用砂轮机磨削刀具或用喷砂清理铸件表面的粘砂和氧化皮；

3. 粉粒状物料的贮运、装卸、混合、筛分以及包装过程，如用皮带运输机和提升机转运物料或向料仓卸料；

4. 粉状物料的成型过程，如用压砖机对模具中的粉料进行冲压使之成型；

5. 物质的加热和燃烧过程以及金属的冶炼和焊接过程，如煤在锅炉中燃烧后产生的烟气就夹杂着大量粉尘。锅炉每燃烧1t煤可产生 $3\sim 11\text{kg}$ 的粉尘排放物，而冲天炉每熔化1t铁水平均要产生 7kg 粉尘排放物。又如焊接过程由于金属元素的蒸发和氧化也会产生大量金属粉尘。

三、粉尘的扩散

上面提到的破碎机、球磨机、砂轮机、压砖机等在生产过程中都会产生粉尘。我们把这些产生粉尘的设备或产生粉尘的地点（如喷砂作业点、焊接作业点）叫做尘源。

粉尘之所以构成危害，是由于其在尘源处产生后还会散布到周围空气中，污染车间空气，危害工人的身体健康。粉尘从尘源处产生后，悬浮于周围空气中并进而扩散蔓延的过程称为粉尘扩散。

粉尘扩散可以认为是如下两种气流连续作用造成的结果：一种是伴随生产过程产生的气流，称为一次尘化气流。一次尘化气流将粉状物料扬起，使物料尘化，形成局部含尘空气。另一种是外部空气的流动，称为二次气流。二次气流把局部含尘空气从形成地点带走，使其扩散蔓延。

一次尘化气流的产生，一般有四种情况：

1. 运动物体诱导的气流

物体或块、粒状物料在空气中高速运动时，能带动周围空气随其运动，这部分气流称为诱导气流，如图1—1所示。

图1—2是诱导气流造成尘化的一个实例，用砂轮机磨削金属零件时，连续产生大量高速运

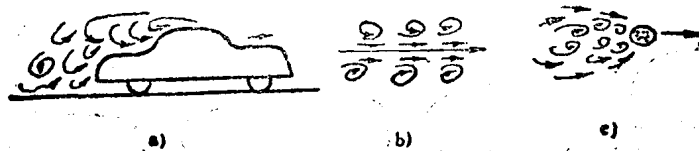


图1-1 诱导气流

a) 一车辆; b) 一平板; c) 一粉尘颗粒

动的磨削尘粒, 这些粗颗粒粉尘产生的诱导气流会夹带着微细粉尘随着粗颗粒粉尘一起向一个方向运动, 造成尘化。

2. 剪切作用产生的气流

铸件在震动落砂机上落砂时, 由于落砂机上下作往复运动, 使疏松的型砂不断受到挤压, 因而会把型砂间隙中的空气猛烈地挤压出来。当这些气流向外高速运动时, 由于气流和型砂之间的剪切作用, 带动微细粉尘一起逸出, 造成尘化, 如图1-3所示。

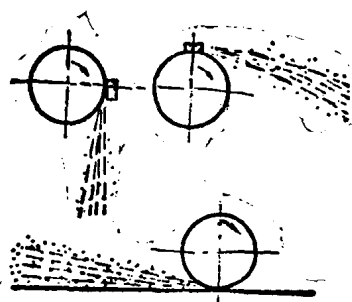


图1-2 诱导气流造成的尘化

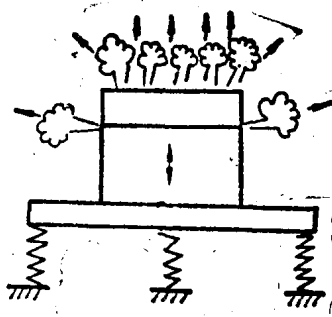


图1-3 剪切气流造成的尘化

3. 综合气流

实际上尘源的情况比较复杂, 常常遇到上述两种气流综合作用的情况。如粉粒状物料自皮带机从高处落下, 在下落过程中, 既受到诱导气流的作用, 又受到剪切气流的作用, 这两种气流都会使部分物料飞扬。另外, 粉粒状物料落到地面时, 由于气流和物料的剪切作用, 被物料挤压出来的高速气流会带着微细粉尘向四周飞溅, 如图1-4所示。

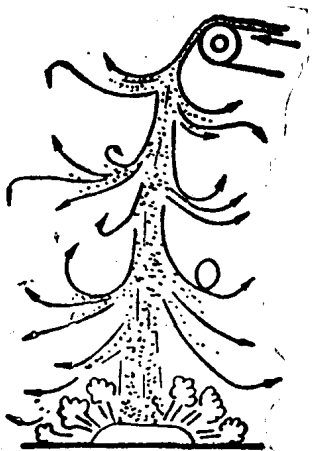


图1-4 综合气流造成的尘化

4. 热气流

当水泥锻烧窑的下料口或金属浇注设备(场地)周围的空气被加热上升时, 会带着粉尘一起运动。

根据资料介绍, 一个粒径为 $10\mu\text{m}$ 、密度为 $2700\text{kg}/\text{m}^3$ 的尘粒在重力作用下自由降落时, 其最大的降落速度约为 $0.008\text{m}/\text{s}$, 与一般车间内的空气流动速度($0.2\sim 0.3\text{m}/\text{s}$)相比是很小的。这说明, 粉尘的运动主要受室内气流的支配。当一个粒径为 $10\mu\text{m}$ 的水泥尘粒, 在静止空气中受到机械力作用以 $5\text{m}/\text{s}$ 的初速抛出后, 在距抛射点(即尘源点)约 4.5m 处, 其速度即降至 $0.005\text{m}/\text{s}$, 很快失去动能。这

表明,如果没有其他气流的影响,一次尘化作用给予粉尘的能量是不足以使粉尘在室内散布的,它只能造成局部地点的空气污染,范围有限。造成粉尘进一步扩散,污染车间空气环境的主要原因是室内的二次气流,即由于通风或冷热气流对流以及车辆来往或人员走动而形成的室内气流。二次气流带着局部地点的含尘空气在车间内流动,使粉尘散布到整个车间。二次气流的方向和速度,决定着粉尘扩散的方向和范围。

通过以上分析可以看出,采取削弱尘化强度、控制一次尘化气流、隔断二次气流和组织吸捕气流等措施,能够有效控制尘源,达到防止粉尘扩散的目的。

第二节 粉尘的特性

粉尘具有许多不同的特性。下面着重介绍与防尘技术关系密切的一些特性。

一、粉尘的粒径和粒径分布

(一) 粉尘的粒径

粉尘的颗粒大小不同,不但对人体和环境的危害不同,而且对粉尘的吸捕方法以及除尘器的除尘机理和性能都有很大影响,所以粒径是粉尘最基本特性之一。

粉尘的粒径对大小均匀的球形颗粒来说,是指它的直径。但在实际中的大多数尘粒,不但大小不同,而且形状也各种各样,所以只能根据赋予的定义,用某一个有代表性的尺寸作为粉尘的粒径。一般是将粒径分为代表单个尘粒大小的单一粒径和代表由各种不同大小的尘粒组成的颗粒群的平均粒径。

1. 单一粒径

粒径的测定和定义方法不同,所得粒径数值也不同。下面介绍几种常用的定义方法。

(1) 用显微镜法直接观测时测得的粒径为投影粒径,有以下几种定义方法:

- ① 定向粒径 d_F ——各尘粒在同一方向上的最大投影距离(图1-5a)。
- ② 定向面积等分粒径 d_M ——各尘粒按同一方向将尘粒投影面积等分为二的直线长度(图1-5b)。
- ③ 投影圆等值粒径 d_H ——与尘粒投影面积相等的圆的直径(图1-5c)。

因定向粒径测定方法较简便,故较为常用。

(2) 用筛分法直接测定时测得的粒径为筛分粒径,即尘粒能够通过的筛孔(小方孔)的宽度。因筛分法简便易行,且有时采用其他测定方法时需先用筛分法筛除较大尘粒,所以筛分法仍有一定用途。

(3) 用沉降法(如移液管法、沉降天平法等)间接测定时,一般采用以下两种定义方法:

① 斯托克斯(Stokes)粒径 d_s ,指与被测尘粒密度相同、沉降速度相同的球形粒子直径。当尘

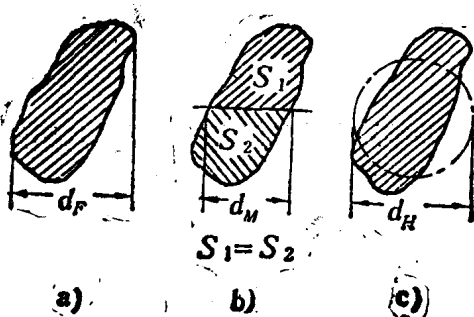


图1-5 尘粒的投影径

粒沉降的雷诺数 $Re \leq 1$ 时,按斯托克斯定律,可得到斯托克斯粒径的定义式为

$$ds = \sqrt{\frac{18\mu v_s}{g(\rho_s - \rho)}} \quad \text{m} \quad (1-1)$$

式中 μ ——流体动力粘性系数 ($\text{P} \cdot \text{s}$);

v_s ——沉降速度 (m/s);

g ——重力加速度 (m/s^2);

ρ_s ——尘粒密度 (kg/m^3);

ρ ——流体密度 (kg/m^3)。

② 空气动力粒径 d_{ae} , 指与被测尘粒在空气中的沉降速度相同、密度为 1g/cm^3 (1000kg/m^3) 的球形粒子直径。单位用微米 (μm), 并记为 μmA 。

斯托克斯粒径和空气动力粒径是除尘技术中应用最多的两种粒径, 原因在于它们皆与尘粒在流体中运动的动力特性有关。由两者的定义, 如果忽略空气密度 ρ 的影响, 可以得到 (ρ_s 的单位用 g/cm^3)

$$d_{ae} = d_s \rho_s^{1/2} \quad \mu\text{mA} \quad (1-2)$$

(4) 用光散射法间接测定时测得的粒径为球等体积粒径 d_v , 即与被测尘粒体积相等的球的直径, 其定义式为

$$d_v = \left(\frac{6V}{\pi} \right)^{1/3} \quad (1-3)$$

式中 V ——尘粒的体积。

(5) 分割粒径 (或称临界粒径) d_{c50} , 指某除尘器能捕集一半的尘粒的直径, 即除尘器分级效率为 50% 的尘粒直径。这是一种表示除尘器性能的很有代表性的粒径。

从上述可以看出, 同一粉尘按不同测定方法和定义所得到的粒径, 不但数值不同, 应用场合也不同。所以在选取粒径测定方法时, 除需考虑方法本身的精度、操作难易及费用等因素外, 还应特别注意测定的目的和应用场合。在给出或应用粒径测定结果时, 应说明或了解所用的测定方法。

2. 平均粒径

为了能简明地表示颗粒群的某一物理特性, 往往需要按照应用目的求出其平均粒径。由于“平均”的方法不同, 其平均粒径也有不同的定义。

(1) 算术平均粒径, 指各尘粒直径的总和除以尘粒总数。其计算公式为

$$\bar{d}_1 = \frac{\sum d_i n_i}{N} \quad (1-4)$$

式中 d_i ——第 i 种粉尘的粒径;

n_i ——粒径为 d_i 的粉尘的颗粒数;

N ——粉尘的颗粒总数。

(2) 几何平均粒径, 指 N 个粉尘粒径的连乘积之 N 次方根。设粒径为 $d_1, d_2, \dots, d_N$ 的粉尘的颗粒数分别为 $n_1, n_2, \dots, n_N$, 则其一般计算公式为

$$\bar{d}_g = \sqrt[n]{d_1^{n_1} d_2^{n_2} \dots d_N^{n_N}} \quad (1-5)$$

下面定义的众径 d_m 和中位粒径 d_{50} 也属于平均粒径, 且是除尘技术中常用的。

(二) 粉尘的粒径分布 (分散度)

1. 粒径分布的表示方法

粉尘的粒径分布也称粒径的频率分布或叫做分散度, 可用分组 (按粉尘粒径大小分组) 的质量百分数或个数百分数来表示。前者称为质量分布, 后者称为粒数分布。因质量分布更能反映不同粒径粉尘对人体和除尘器性能的影响, 所以在防尘技术中多采用质量分布。

粒径分布的表示方法有列表法、图示法和函数法。下面就以粒径分布的测定数据的整理过程来说明粒径分布的表示方法和相应的定义。

取一组粉尘试样, 质量 $m_0 = 4.28\text{g}$, 经测定得到各粒径范围 d_c (或组距 Δd_c) 内的尘粒质量为 Δm (g)。将这一组测定结果及按下述定义计算的结果同时列入表1—1和图1—6中。

表1—1

粒径分布的测定和计算表

分组号	1	2	3	4	5	6	7	8	9
粒径范围 d_c (μm)	6~10	10~14	14~18	18~22	22~26	26~30	30~34	34~38	38~42
粒径组距 Δd_c (μm)	4	4	4	4	4	4	4	4	4
分组粉尘质量 Δm (g)	0.012	0.098	0.36	0.64	0.86	0.89	0.80	0.46	0.16
相对频数 ΔD (%)	0.3	2.3	8.4	15.0	20.1	20.8	18.7	10.7	3.7
频率密度 f (%/ μm)	0.07	0.57	2.10	3.75	5.03	5.20	4.68	2.67	0.92
筛上累计频率 R (%)	100	97.7	97.4	89.0	74.0	53.9	33.1	14.4	3.7
筛下累计频率 D (%)	0	0.3	2.6	11.0	26.0	46.1	66.9	85.6	96.3

(粉尘试样 $m_0 = 4.28\text{g}$)

(1) 相对频数 (或频率) 分布 ΔD (%), 指粒径由 d_c 至 $d_c + \Delta d_c$ 之间的尘粒质量占粉尘试样总质量的百分数, 即

$$\Delta D = \frac{\Delta m}{m_0} \times 100\% \quad (1-6)$$

并有

$$\Sigma \Delta D = 100\%$$

根据计算出的 ΔD 值 (填入表1—1中), 可绘出相对频数分布直方图 (图1—6a)。当 $\Delta d_c \rightarrow 0$, 可得到一条光滑的相对频数分布曲线。

(2) 频率密度 (简称频度) 分布 f (%/ μm), 指粒径组距为 $1\mu\text{m}$ 时的相对频数分布, 即 $\Delta d_c = 1\mu\text{m}$ 时尘粒质量占粉尘试样总质量的百分数, 所以

$$f = \frac{\Delta D}{\Delta d_c} \quad \%/ \mu\text{m} \quad (1-7)$$

同样, 可以绘出频率密度分布直方图或曲线 (图1—6b)。频率密度分布的微分定义式为

$$f(d_c) = \frac{dD}{dd_c} \quad (1-8)$$

它表示粒径为 d_c 的尘粒质量占粉尘试样总质量的百分数。

(3) 累计频率分布

① 筛上累计频率分布 R (%), 指大于某一粒径 d_c 的所有尘粒质量占粉尘试样总质量

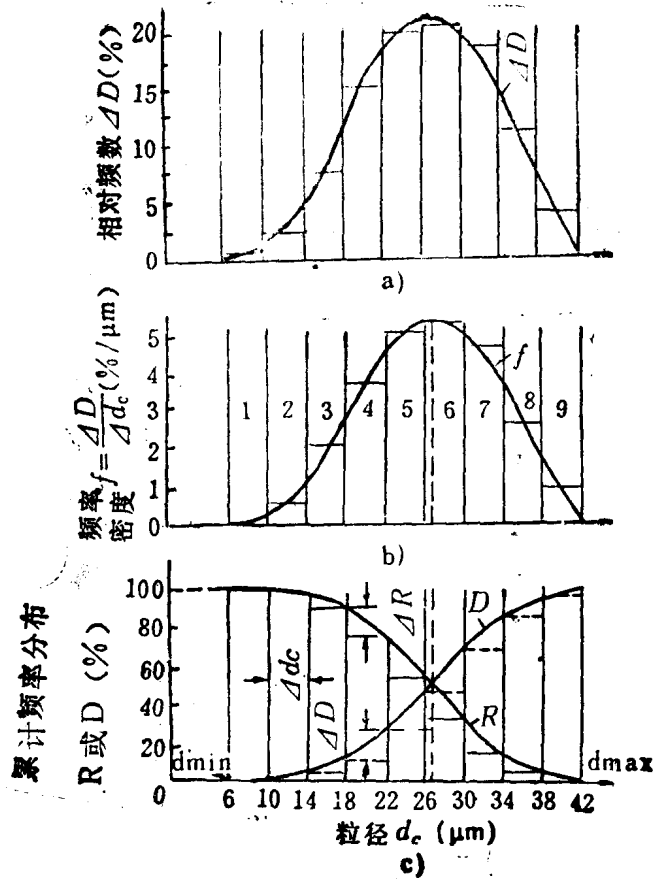


图1—6 粒径的相对频数、频率密度和累计频率分布

的百分数，即

$$R = \sum_{d_c} \Delta D = \sum_{d_c} f \Delta d_c \quad (1-9)$$

或取积分形式

$$R(d_c) = \int_{d_{\min}}^{d_{\max}} dD = \int_{d_c}^{d_{\max}} f(d_c) dd_c \quad (1-10)$$

② 筛下累计频率分布 D (%)，指小于某一粒径 d_c 的所有尘粒质量占粉尘试样总质量的百分数，即

$$D = \sum_{d_{\min}}^{d_c} \Delta D = \sum_{d_{\min}}^{d_c} f \Delta d_c \quad (1-11)$$

或

$$D(d_c) = \int_{d_{\min}}^{d_c} dD = \int_{d_{\min}}^{d_c} f(d_c) dd_c \quad (1-12)$$

由上述定义及图1—6c可知

$$\int_{d_{min}}^{d_{max}} R(d_c) + D(d_c) = \int_{d_{min}}^{d_{max}} f(d_c) dd_c = 100\% \quad (1-13)$$

2. 粒径分布函数表达式

尽管粉尘的粒径分布可以用表格或图形表示，然而在某些场合下用函数形式表示对于数学分析要方便得多。一般来说粒径的分布是随意的，但它近似地符合某种规律，因而可以用一些分布函数表示，常用的有正态分布函数、对数正态分布函数、罗辛—拉姆勒分布函数等。

(1) 正态分布（即高斯分布）

正态分布的频率密度函数式为

$$f(d_c) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{(d_c - \bar{d}_1)^2}{2\sigma^2} \right] \quad (1-14)$$

式中 σ ——标准差；

d_c ——粒径；

$\bar{d}_1$ ——算术平均粒径。

正态分布的特点是，在算术平均粒径的两侧形成对称的钟形曲线（见图1—7），因而众径 d_d （频率密度 f 达到最大值时的粒径）、中位粒径 d_{50} （累计频率分布 $R = D = 50\%$ 时的粒径）和算术平均粒径 $\bar{d}_1$ 互相重合，即 $d_{50} = d_d = \bar{d}_1$ 。标准差 σ 可以反映曲线的形状和特点。 σ 越大，曲线越平缓，说明粒径分布比较分散。 σ 越小，曲线越陡直，说明粒径分布比较集

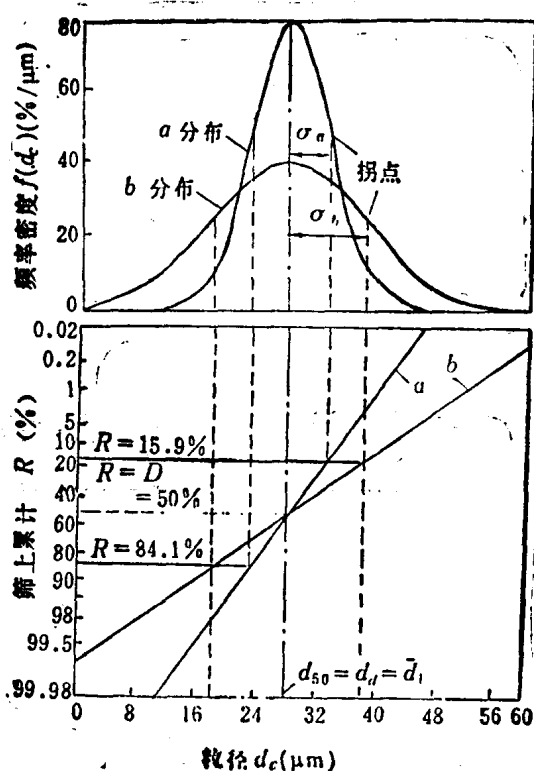


图1—7 正态分布曲线

中，大多集中在算术平均粒径附近。 $\bar{d}_1$ 和 σ 为正态分布函数的两个特征数，当已知 $\bar{d}_1$ 和 σ ，该函数就完全确定。

由图1—7可以看出，筛上（或筛下）累计频率分布在概率坐标图中为一直线。所以利用概率坐标纸表示正态分布曲线和求取特征数 $\bar{d}_1$ 和 σ 值非常简便。由该直线可以得出，在相应于累计频率为50%的尘粒直径（中位粒径）即为算术平均粒径，而标准差为

$$\sigma = \frac{1}{2} (d_c [R = 84.13\%] - d_c [R = 15.87\%])$$

$$[R = 84.13\%]) \quad (1-15)$$

$$\sigma = d_{50} - d_c [R = 84.13\%] = d_c [R = 15.87\%] - d_{50} \quad (1-16)$$

(2) 对数正态分布

在实际中，符合正态分布的粉尘是很少的，大多数粉尘的粒径分布呈偏态，并

多半像图1-8上图的曲线那样。如果横坐标用对数坐标代替,就可以将其转化为近似正态分布的对称曲线,如图1-8中图所示。这种曲线称为对数正态分布曲线,其分布函数式为

$$f(\lg d_c) = \frac{1}{\lg \sigma_g \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{(\lg d_c - \lg \bar{d}_g)^2}{2(\lg \sigma_g)^2} \right] \quad (1-17)$$

式中 σ_g ——几何标准差;

$\bar{d}_g$ ——几何平均粒径,等于中位粒径 d_{50} 。

与正态分布曲线相类似,将筛上(或筛下)累计频率分布绘于对数正态概率坐标纸上,可以得出一直线,如图1-8下图所示。利用对数正态概率坐标纸,可以很方便求出此种分布的特征数 $\bar{d}_g$ 和 σ_g 。 $\bar{d}_g = d_{50}$,而几何标准差为

$$\begin{aligned} \lg \sigma_g &= \lg d_c [R = 84.13\%] - \lg d_c [R = 50\%] \\ &= \lg d_c [R = 50\%] - \lg d_c [R = 15.87\%] \end{aligned} \quad (1-18)$$

或

$$\sigma_g = \frac{d_c [R = 84.13\%]}{d_{50}} = \frac{d_{50}}{d_c [R = 15.87\%]} \quad (1-19)$$

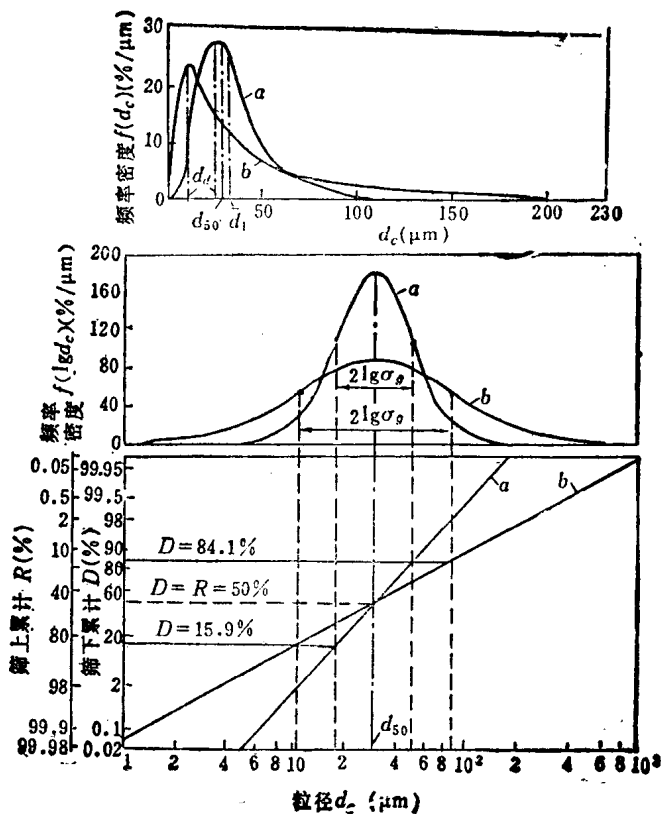


图1-8 对数正态分布曲线

(3) 罗辛—拉姆勒 (R-R) 分布

尽管对数正态分布函数在解析上较方便,但对破碎、研磨、筛分过程中产生的细尘粒和分布很广的各种粉尘,常有不相吻合的情况。这时可以采用适应范围更广的罗辛—拉姆勒分布,其分布函数的一种形式为

$$R(d_c) = 100 \exp(-\beta d_c^n) \% \quad (1-20)$$

式中 β ——分布系数,

n ——分布指数。 n 值越大, 粒径分布范围越窄。

对式(1-20)两边取二次对数可得

$$\lg\left(\ln \frac{100}{R}\right) = \lg \beta + n \lg d_c \quad (1-21)$$

若在以 $\lg d_c$ 为横坐标, $\lg(\ln 100/R)$ 为纵坐标的坐标纸上作线图, 即可得到一条直线。直线的斜率为分布指数 n , 对纵坐标的截距是 $d_c = 1 \mu m$ 时的 $\lg \beta$ 值, 即

$$\beta = 1n \frac{100}{R(d_c = 1)} \quad (1-22)$$

若将中位粒径 d_{50} 代入式(1-20)可求得

$$\beta = \frac{\ln 2}{d_{50}^n} = \frac{0.693}{d_{50}^n} \quad (1-23)$$

将式(1-23)代入式(1-20), 则得到一个常用的 $R-R$ 分布函数表达式为

$$R(d_c) = 100 \exp\left[-0.693 \left(\frac{d_c}{d_{50}}\right)^n\right] \% \quad (1-24)$$

西德国家标准采用 RRS 分布函数, 其表达式为

$$R(d_c) = 100 \exp\left[-\left(\frac{d_c}{d'_c}\right)^n\right] \% \quad (1-25)$$

式中 d'_c ——粒径特征数, 为筛上累计频率 $R = 36.8\%$ 时的粒径。

粒径特征数 d'_c 与中位粒径的关系, 由式(1-24)和式(1-25)相等可导出

$$d_{50} = d'_c (0.693)^{1/n} \quad (1-26)$$

如果粉尘的粒径分布符合 $R-R$ 分布规律, 则在 $R-R$ 坐标纸或 RRS 坐标纸上皆为直线。利用该坐标纸, 可以很方便求出此种分布的特征数 n 、 β 、 d_{50} 或 d'_c 。

粉尘的分散度高, 即表示小粒径粉尘占的比例大, 反之则小。分散度的高低, 与尘源情况和附近气流的流动情况有关。表1-2为铸造车间各作业地点的除尘分散度, 表1-3和表1-4分别为水泥生产车间和水泥窑废气的粉尘分散度。

粉尘的分散度不同, 对人体的危害以及除尘机理和所采取的粉尘方式也不同, 掌握粉尘的分散度是评价粉尘危害程度, 评价除尘器性能和选择除尘器的基本条件。

二、粉尘中游离二氧化硅含量

粉尘中游离二氧化硅含量对尘肺的发生和发展有重要影响, 它是对粉尘作业危害程度进行分级的三项指标之一。所谓游离二氧化硅是指不与其他元素的氧化物结合在一起的二氧化硅。如单体石英。粉尘中的游离二氧化硅含量(用质量百分数表示)可以用物理方法(如X线衍射法、红外分光光度法等)或化学分析方法(如焦磷酸法)测定出来。表1-5列出我国常见粉尘中游离二氧化硅含量。