

HUODIANCHANG
CHUCHEN JISHU

火电厂除尘技术

胡志光 胡满银 常爱玲 编著

火电厂除尘技术

胡志光 胡满银 常爱玲 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书全面介绍了火电厂除尘技术的基本知识和除尘系统的测试方法。对机械除尘技术、电除尘技术、袋式除尘技术和湿式除尘技术的基本理论、本体结构、性能特点、影响除尘性能的因素和除尘器的运行维护等方面的内容进行了详尽论述。本书内容全面,突出先进性和实用性,是从事除尘器运行、维护和管理人员必备的参考书,亦可供从事除尘技术工作的教学、科研、设计、生产等专业技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

火电厂除尘技术/胡志光,胡满银,常爱玲编著.
北京:中国水利水电出版社,2004
ISBN 7-5084-2438-7

I. 火... II. ①胡... ②胡... ③常... III. 火电厂—除尘 IV. TM621.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 115073 号

书 名	火电厂除尘技术
作 者	胡志光 胡满银 常爱玲 编著
出版 发行	中国水利水电出版社(北京市三里河路 6 号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 63202266 (总机)、68331835 (营销中心)
经 售	全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市兴怀印刷厂
规 格	787mm×1092mm 16 开本 17 印张 403 千字
版 次	2005 年 1 月第 1 版 2005 年 1 月第 1 次印刷
印 数	0001—4000 册
定 价	37.00 元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

前 言

除尘器作为消烟除尘的生产设备和保护大气环境的环保设备,在电力、冶金、建材、化工等行业得到了广泛应用。《火电厂除尘技术》是普及推广除尘技术的良师益友,对全面提高火电厂除尘器的运行维护和管理水平,保障除尘器长期安全、稳定、高效运行,将起到积极的推动作用。本书对火电厂除尘技术的基本知识、基本理论、本体结构、性能特点、影响除尘性能的因素、除尘器的运行维护和性能测试技术等方面的内容进行了详尽论述。本书在编写上力求内容丰富详实,突出先进性和实用性,是火电厂除尘器运行、维护和管理人员必备的参考书,亦可供从事除尘技术工作的教学、科研、设计、生产等专业技术人员参考。

全书共分6章,第二章(机械除尘技术)、第三章(电除尘技术)由华北电力大学胡志光教授编著;第四章(袋式除尘技术)、第五章(湿式除尘技术)由华北电力大学胡满银教授编著;第一章(除尘技术的基本知识)、第六章(除尘系统的测试技术)由华北电力大学常爱玲高级工程师编著。

本书经审阅,并提出许多宝贵意见;本书在编写过程中,曾得到华北电力大学李晓芸教授的大力支持,在此一并表示感谢。

由于作者水平有限,书中难免出现漏误之处,恳请读者不吝指正。

作 者

2004年9月

目 录

前 言

第一章 除尘技术的基本知识	1
第一节 粉尘的来源和危害	1
第二节 粉尘的性质	10
第三节 气体的性质	22
第四节 除尘器的组成和类型	28
第五节 除尘器性能	31
复习思考题	34
第二章 机械除尘技术	36
第一节 重力沉降室	36
第二节 惯性除尘器	42
第三节 旋风除尘器	46
第四节 机械式除尘器的运行维护	60
复习思考题	64
第三章 电除尘技术	65
第一节 电除尘器的基本知识	65
第二节 电除尘器的基本理论	72
第三节 电除尘器的本体结构	84
第四节 电除尘器的供电控制设备	96
第五节 影响电除尘器性能的因素	115
第六节 电除尘器的运行维护	127
复习思考题	138
第四章 袋式除尘技术	139
第一节 袋式除尘器的过滤机理	139
第二节 袋式除尘器的性能	141
第三节 袋式除尘器的分类	143
第四节 滤料的特性和种类	146
第五节 袋式除尘器的结构	152
第六节 袋式除尘器的选择、设计和应用	161
第七节 袋式除尘器运行与维护管理	171
复习思考题	179

第五章 湿式除尘技术	180
第一节 湿式除尘机理	180
第二节 洗涤式除尘器	182
第三节 旋风水膜除尘器	193
第四节 文丘里除尘器	197
第五节 斜棒栅水膜除尘器	208
第六节 湿式除尘器的烟气带水	211
第七节 湿式除尘器的运行维护	216
复习思考题	217
第六章 除尘系统的测试技术	219
第一节 测试条件的选择与等速采样	219
第二节 烟气参数的测定	225
第三节 烟气中粉尘浓度的测定	237
第四节 粉尘理化特性的测定	245
第五节 除尘器性能的测定	254
复习思考题	265
参考文献	266

第一章 除尘技术的基本知识

第一节 粉尘的来源和危害

一、粉尘的概念

在国家《采暖通风与空气调节术语标准》(GB50155—92)中,粉尘的定义为:“由自然力或机械力产生的,能够悬浮于空气中的固体微小颗粒。国际上将粒径小于 $75\mu\text{m}$ 的固体悬浮物定义为粉尘。在通风除尘技术中,一般将 $1\sim 200\mu\text{m}$ 乃至更大粒径的固体悬浮物均视为粉尘”。本书所述粉尘均在此定义范围之内。

向空气中放散粉尘的地点或设备称作尘源。在自然力或机械力作用下,使粉尘或雾滴从静止状态变为悬浮于空气中的现象称作尘化作用。

含有固体微粒或粉尘的气体,一般称为含尘气体。在术语标准中“气溶胶”是指悬浮于气体介质中的粒径为 $0.001\sim 1000\mu\text{m}$ 的固体、液体粒子所组成的气态分散体系。所以含尘气体也称为气溶胶。

按粉尘粒径大小可以把粉尘分为:

- (1) 可见粉尘。可见粉尘是指用肉眼可见、粒径大于 $10\mu\text{m}$ 以上的粉尘。
- (2) 显微粉尘。显微粉尘是指粒径为 $0.25\sim 10\mu\text{m}$ 可用一般光学显微镜观察的粉尘。
- (3) 超显微粉尘。超显微粉尘是指粒径小于 $0.25\mu\text{m}$,只有在超显微镜或电子显微镜下可以观察到的粉尘。

粉尘有多种多样的性质,按粉尘的物性分为:

- (1) 亲水性粉尘、疏水性粉尘。
- (2) 无粘粉尘、微粘粉尘、中粘粉尘、强粘粉尘。
- (3) 可燃粉尘、不可燃粉尘。
- (4) 高比电阻粉尘、中比电阻粉尘、低比电阻粉尘。
- (5) 纤维性粉尘、颗粒性粉尘。

二、粉尘的来源

粉尘来源可分为两大类:一类是人类活动引起的,另一类是自然过程引起的。后者包括火山爆发、山林火灾、沙尘暴、雷电等造成各种尘埃。自然过程对大气的污染,目前人类还不能完全控制,但这些自然过程多具有偶然性、地区性,而两次同样过程发生的时间往往较长。由于自然环境有一定的容量和自净能力,自然过程所造成的粉尘污染,经过一段时间后会自动消失,对整个人类的发展尚无根本性的危害。

当今,最令人担忧的是人类的生活和生产活动引起的粉尘污染。由于人类的生活及生产活动从不间断,这种污染也就从没停止过。100年以来,工业和交通运输业的迅速发展

展，城市的不断扩大，以及人口的高度集中，使得大气污染日趋严重。目前，全世界每年排入大气的煤粉尘及其他粉尘在 1 亿 t 以上，严重污染了大气，对人类健康构成了威胁。这种粉尘对大气的污染既然由人类活动引起，也就可以通过人类的活动而加以控制。

人类活动引起的粉尘主要来源于 3 个方面，即工业生产污染源、生活活动污染源及交通运输污染源。

(1) 工业生产污染源。如火力发电厂、钢铁厂、化工厂、矿山作业区等工业部门的生产及燃料燃烧过程，皆向大气中排入大量的粉尘及其他有害成分。工业生产污染源是造成粉尘污染的最主要的来源。

(2) 生活污染源。城市和工矿企业住宅区、商业区千家万户的生活炉灶，经营性炉灶以及采暖锅炉的烟囱，同样会向大气中排入烟尘。这些污染源分布广，污染物总量大，对局部的大气环境质量常有很大影响，也是不可忽视的。

(3) 交通运输污染源。汽车、火车、轮船、飞机等交通工具排放的尾气及行走二次扬尘都含有粉尘污染物。在交通运输业十分发达的今天，尤其在城市，它已成为粉尘污染的重要来源之一。

在各种粉尘来源中工业粉尘有以下特点：

(1) 集中固定源。工业企业生产地点固定，生产过程集中，所排出的粉尘对于邻近地区的大气环境污染最严重，随着离厂区距离的逐渐加大，污染情况逐渐减弱。例如，钢铁企业对大气的污染其影响范围基本为方圆 10km。

(2) 烟尘排放量大。火力发电、冶金、矿山、石油、化工及水泥等企业，生产规模大，烟尘排放量大。轻工业生产规模虽较小，但涉及众多的行业，粉尘排放总量也不容忽视。

(3) 连续排放。大多数企业生产不间断，每天向大气中连续排放粉尘。

大气中粒径小于 $1\mu\text{m}$ 的尘粒是由于凝结作用而产生的，而较大的尘粒则来自粉碎过程或燃烧过程。因为粉碎干磨方法很少产生小于几个微米的尘粒。燃烧过程会产生数种不同类型的尘粒，它们是由以下途径产生的：

(1) 加热能使物质蒸发，这些物质随后凝结为 $0.1\sim 1\mu\text{m}$ 的尘粒。

(2) 燃烧过程的化学反应可能产生小于 $0.1\mu\text{m}$ 、存在期短的不稳定的分子团尘粒。

(3) 机械加工过程会排放出 $1\mu\text{m}$ 或较大的灰尘或燃料尘粒。

(4) 如使用液体燃料喷雾装置，会有极细的灰尘直接逸出。

(5) 矿物燃料的不完全燃烧会产生烟炱。

以汽油为燃料的车辆排放的颗粒物中含有碳、金属灰和烃类的气溶胶。金属颗粒物来自含铅抗爆剂的燃料燃烧。碳和未燃烧的烃类来自不完全燃烧。由柴油发动机排放的颗粒物主要含有碳和烃类的气溶胶，这是在发动机超负荷的条件下，由于不完全燃烧而产生的。工业生产过程及粉尘控制技术简介见表 1-1。

大气污染物总量中约有 10%~15% 是以粉尘颗粒物形式存在的。在颗粒物总量中，来自机动车辆的占 3%，来自工业方面的占 53%，由发电厂产生的占 13%，由工业锅炉排出的占 20%，由垃圾处理造成的占 9%。来自其他污染源的颗粒物有海洋盐类、火山灰、风蚀的灰尘、道路尘土、森林火灾的生成物以及植物花粉和种子。

一般来说,气载粉尘颗粒物的粒径为 $0.001\sim 500\mu\text{m}$,大部分粒径为 $0.1\sim 20\mu\text{m}$ 。粒径小于 $0.1\mu\text{m}$ 尘粒的运动类似于气体分子。其特征是由于与气体分子相撞击而产生很不规则的布朗运动。粒径大于 $1\mu\text{m}$,但小于 $20\mu\text{m}$ 的尘粒随运载介质气体运动,大于 $20\mu\text{m}$ 的尘粒具有明显的沉降速度。因此,大于 $20\mu\text{m}$ 的尘粒在空气中停留时间很短。密度为 $1\text{g}/\text{cm}^3$ 的尘粒沉降速度大致为:

尘粒直径	沉降速度
$0.1\mu\text{m}$	$4\times 10^{-5}\text{cm}/\text{s}$
$1\mu\text{m}$	$4\times 10^{-3}\text{cm}/\text{s}$
$10\mu\text{m}$	$0.3\text{cm}/\text{s}$
$100\mu\text{m}$	$50\text{cm}/\text{s}$

这些数值说明粉尘颗粒物在空气中存在着明显的差别。图 1-1 的中部显示了不同物质的颗粒大小的范围。任何一种除尘设备,都不可能把这样的粒径分布的颗粒物除尽。图 1-1 下端部分示出不同除尘设备适于捕集的颗粒物的粒径范围。虽然某种形式的除尘器能除去指定范围内的颗粒,但在很多情况下,除尘效率是随颗粒物的粒径而变的。例如,某种除尘器对一定范围内的大颗粒捕集效率可能高达 100%,但对于较小颗粒,该除尘器的捕集效率可能接近于零。

表 1-1 工业生产过程及控制技术简介

工业制造或加工	排 放 源	颗 粒 物	控 制 方 法
火力发电厂	发电锅炉	粉煤灰	旋风除尘器、袋式除尘器、电除尘器、湿式除尘器
钢铁生产	高炉、炼钢炉、烧结机	氧化铁、尘、烟	旋风除尘器、袋式除尘器、电除尘器、湿式除尘器
生铁铸造厂	化铁炉、振动落砂机、砂芯制作	氧化铁、烟、油尘、金属烟雾	袋式除尘器、旋风除尘器、湿式除尘器
有色金属冶炼	熔炼炉	烟、金属烟雾、油脂	电除尘器、湿式除尘器、袋式除尘器
石油精炼	触媒再生器、残渣焚烧器	触媒尘、残渣灰	旋风除尘器、电除尘器、洗涤器、袋滤室
建材、水泥生产	转窑、干燥器、物料转运系统	碱性粉尘及加工产生的粉尘	袋式除尘器、电除尘器、机械除尘器
造纸生产	回收炉、石灰窑、熔炼槽	化学粉尘	电除尘器、文丘里洗涤器
硫、磷酸生产	加热过程、矿石酸化、磨碎	酸雾、粉尘	电除尘器、网状烟雾分离器
焦炭生产	炼焦炉操作、骤冷、物料转运	煤和焦炭尘、煤焦油	袋式除尘器、湿式除尘器
玻璃与玻璃纤维生产	熔炉、成型及熟化处理	酸雾、碱性氧化物、粉尘、气溶胶	袋式除尘器、后燃装置、湿式除尘器

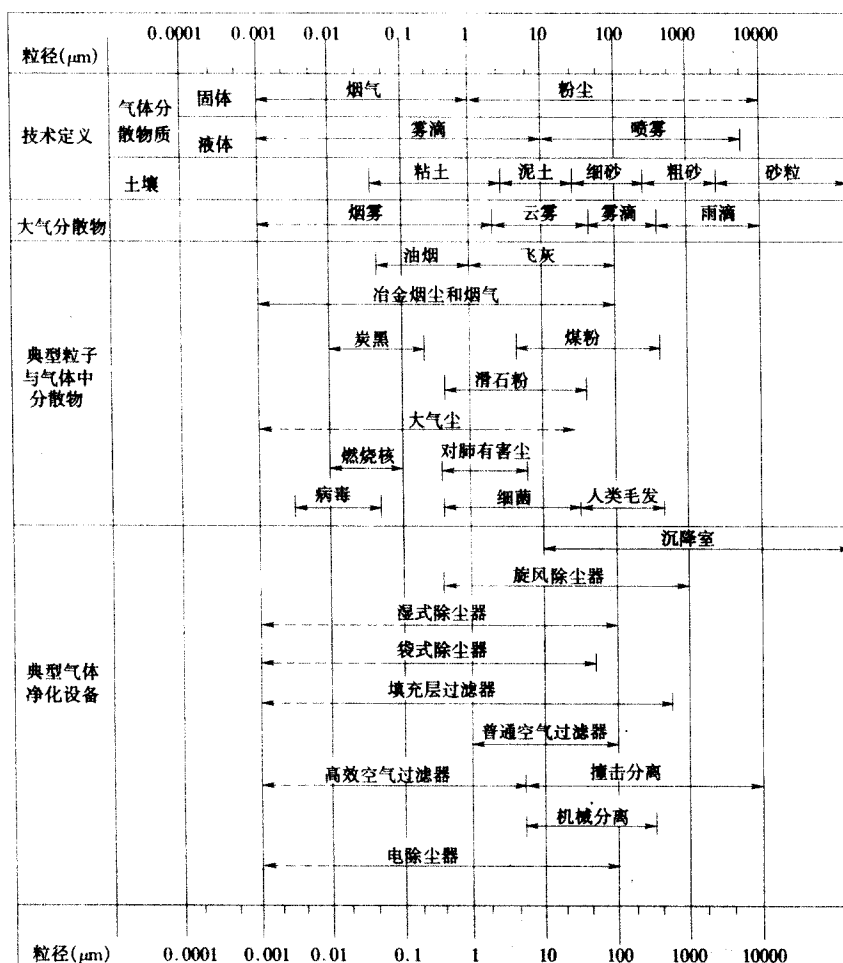


图 1-1 粉尘颗粒物特性及粒径范围

三、粉尘对人体健康的危害

粉尘的化学组成及粉尘的粒径分布对人体健康起着重要的作用；而粉尘的密度、溶解度、荷电性以及放射性等也与其危害程度密切相关。

粉尘的化学成分直接影响着对人体的危害程度，其中粉尘中含游离二氧化硅危害更大。长期大量吸入含结晶型游离二氧化硅的粉尘可引起硅肺病。粉尘中游离二氧化硅的含量愈高，引起病变的程度愈重，病变的发展速度愈快。粉尘分散度的高低与其在空气中的悬浮性能、被人体吸入的可能性和在肺内的阻留及其溶解度均有密切的关系。据估算，进入肺腔的粉尘粒度为 $0.01 \sim 0.1 \mu\text{m}$ ，其中大部分能被呼出，约 $10\% \sim 50\%$ 将沉积下来。

由于生产性粉尘的种类和性质不同，因而对机体引起的危害也不同，一般常引起的疾病有：

- (1) 呼吸系统疾病。尘肺是指由于吸入较高浓度或长时间吸入的生产性粉尘而引起的

以肺组织弥漫性纤维化病变。由于粉尘的种类和性质的不同,吸入后对肺组织引起的病理改变也有很大的差异,尘肺按其病因可分为硅肺、石棉肺、水泥尘肺、金属肺等,其中硅肺是尘肺中最主要的一种职业病,它是由于吸入含结晶型游离二氧化硅粉尘所引起的。

在很多厂矿的生产过程中都可以产生硅尘,如开矿采掘、开凿隧道、开山筑路,以及耐火材料、玻璃制造、陶瓷、搪瓷、铸造、石英砂加工等行业。如不注意防尘,粉尘浓度超过国家规定的标准,就可能发生硅肺病。硅肺的病因是粉尘中结晶型游离二氧化硅,即石英的沉积。因此在评价粉尘的危害性时,要经常测定粉尘中游离二氧化硅的含量。

在有机粉尘中,常混有沙土及其他无机性杂质,如烟草、茶叶、皮毛、棉花等,粉尘中混有这些杂质,长期吸入可以引起尘肺,也叫混合性尘肺。长期吸入游离二氧化硅含量较低的木尘、聚氯乙烯尘、蚕丝尘等也可引起尘肺。

(2) 其他系统的疾病。接触生产性粉尘除可引起上述呼吸系统的疾病外,还可引起眼睛及皮肤的病变。如在阳光下接触煤焦油沥青粉尘时可引起眼睑水肿和结膜炎。粉尘落在皮肤上可堵塞皮脂腺而引起皮肤干燥,继发皮毛囊炎、脓皮病等。有些矿物性粉尘,如玻璃纤维和矿渣棉粉尘,长期作用于皮肤可引起皮炎。也有一些腐蚀性和刺激性的粉尘,如铬、砷、石灰等粉尘,作用于皮肤可引起某些皮肤病变和溃疡性皮炎。

国家标准是国家一项重要的技术法规,是保障人民健康,保护环境质量的重要手段。所以国家对车间空气和环境空气中含尘浓度均做出规定。表1-2所列《工业企业设计卫生标准》(TJ36—79)中对车间空气中有害物质生产性粉尘的最高允许浓度规定。

表 1-2 生产车间粉尘的最高允许质量浓度

粉 尘 品 种	最高允许质量浓度限值 (mg/m ³)
含 10% 以上游离二氧化硅 (石英、石英岩等)	2*
石棉尘及含 10% 以上石棉的粉尘	2
含 10% 以下游离二氧化硅的滑石粉尘	4
含 10% 以下游离二氧化硅的水泥粉尘	6
含 10% 以下游离二氧化硅的煤尘	10
铝、三氧化二铝、铝合金粉尘	4
玻璃棉和矿渣棉粉尘	5
烟草及茶叶粉尘	3
其他粉尘	10

* 如二氧化硅含量不小于 80%, 则最高允许质量浓度限值应为 1mg/m³。

此外,国家还对环境空气中的粉尘质量浓度按功能区进行分类和标准分级《环境空气质量标准》(GB3095—1996),质量浓度限值见表1-3。

表 1-3 各项污染物的质量浓度限值

污染物名称	取值时间	质量浓度限值 (mg/m ³)			备 注
总悬浮颗粒物 TSP	年平均	0.08	0.20	0.30	
	日平均	0.12	0.30	0.50	

续表

污染物名称	取值时间	质量浓度限值 (mg/m ³)			备 注
可吸入颗粒物 PM ₁₀	年平均	0.04	0.10	0.15	标准状态
	日平均	0.05	0.15	0.25	

注 1. 表中 TSP 测定按重量法执行 (GB/T15432-95)《环境空气 总悬浮颗粒物测定——重量法》标准; PM₁₀测定按重量法执行 (GB6921-86)《大气飘尘浓度测定方法》标准。

2. 年平均取样时间每年至少有分布均匀的 60 个日平均值, 日平均值每日至少有 12h 的采样时间。

环境空气质量功能区分三类: 一类区为自然保护区、风景名胜区和需要特殊保护的地区; 二类区为城镇规划中确定的居住区、商业交通居民混合区、文化区、一般工业区和农村地区; 三类区为特定工业区。

环境空气质量标准分级: 环境空气质量标准分为三级。一类区执行一级标准; 二类区执行二级标准; 三类区执行三级标准。

四、粉尘爆炸的危害

在矿山开采、粉末冶金、粮食加工、食品生产、塑料工业、染料和涂料、洗涤剂、漂白剂、农药和医药制造业以及植物纤维纺织工艺等普遍存在着粉尘爆炸危险。与爆炸有关的场所和设备见表 1-4。

表 1-4 与粉尘爆炸有关的作业场所和设备

序号	粉尘种类	危险作业场所和设备
1	铝	铝粉末(风选)制造厂: 筛分室, 旋风除尘器, 袋式除尘器, 运送器, 建筑物。 铝箔制造工厂: 制箔机导管, 除尘系统, 作业场。 铝制品抛光作业: 除尘系统
2	铝的硬脂酸盐	粉碎机、干燥器、袋式除尘器
3	研磨金属粉	筛粉室、袋式除尘器
4	饲料、干草、粽子渣	粉碎机、箕斗运送机、旋风除尘器、袋式除尘器
5	亚麻仁粉、向日葵子	鼓干燥机、贮藏室、储仓
6	煤炭	回采工作面、粉碎机、选别机、旋风除尘器、输送管道、袋式除尘器
7	软木	粉碎机、运送器、选别机、除尘器、作业场
8	面粉	磨粉机、除尘器、干燥机与作业场储仓
9	赛璐珞	与旋转锯的排气部分连结的除尘器
10	可可粉	粉碎段的旋风器及其他除尘器
11	染料	粉碎与混合机
12	硬橡胶	连结与粉碎工程的旋风除尘器或袋式除尘器
13	镁	粉碎、球磨机、运送器、选别机、除尘器
14	聚苯乙烯	射出机、干燥器、除尘器、贮瓶、作业场
15	淀粉	制造工厂: 破碎机、干燥机、除尘器、升降机、糖果工厂的撒涂作业场
16	沥青	连结于粉碎机的旋风除尘器、箕斗升降机
17	砂糖	粉碎机、除尘器、筛分器、静电除尘器

由此可见，除尘系统的粉尘爆炸危险不容忽视。锅炉除尘器由于炉内煤屑飞扬，易发生明火引爆事故。在粮食系统、木材加工工业、纺织工业等部门都出现过除尘系统中的可燃性粉尘着火、爆炸事件。仅以1987年3月15日发生在哈尔滨亚麻纺织厂的事故为例，除尘器内的粉尘爆炸沿通风除尘系统蔓延，将装有除尘器的中央换气室和房屋设备全部炸毁并引起大火，死亡58人，受伤177人，使189台（套）设备遭到不同程度的损坏。

除尘系统中如果粉尘浓度处于可爆炸浓度范围内，与气流混合，如与火源相遇，即可引爆。在除尘系统的设计和应用中要特别注意粉尘爆炸的危险。

五、粉尘对能见度的影响

当光线通过含尘气体介质时，由于尘粒对光的吸收、散射等作用，光强会减弱，出现能见度降低的情况。在一些污染严重的城市、工业地区以及一些粉尘作业场所能明显地察觉到能见度的降低。

能见度即正常视力的人在当时天气条件下能够识别目标物的最大水平距离，是以目力测定来判定大气透明度的一个气象要素。一般说来，能见度取决于光的传播和眼睛从视场背景中区别物体的能力。

光线通过含尘气体介质，光强减弱。初始光强为 I_0 (cd) 的光束经过距离 x (m) 后，光强衰减为 I ，则

$$I = I_0 \exp(-\mu x) \quad (1-1)$$

式中 μ ——消光系数，它是波长的函数， m^{-1} 。

在一定距离外观察一个孤立物体时，定义物体与背景间的对比度为

$$C_1 = \frac{I_1 - I_2}{I_2} \quad (1-2)$$

式中 I_1 ——物体的光强，cd；

I_2 ——背景光强，cd。

肉眼能辨别的最小对比度为 C_{10} ，相应的能见度为 S 。如果物体是理想黑体，则

$$C_{10} = -\exp(-\mu S) \quad (1-3)$$

或
$$S = -\frac{1}{\mu} \ln(-C_{10})$$

根据观察，通常假设对比度的阈值 C_{10} 为 -0.02 ，所以

$$S = -\frac{1}{\mu} \ln 0.02 = \frac{3.912}{\mu} \quad (1-4)$$

大气总消光是气溶胶散射、气体分子散射和特定波长下某些气体吸收的总和。表1-5列出了空气分子的散射系数 b 。

表 1-5 0℃、0.1MPa 下空气的瑞利散射系数

λ (μm)	b (m^{-1})	λ (μm)	b (m^{-1})
0.20	952.4×10^{-6}	0.55	12.26×10^{-6}
0.25	338.2×10^{-6}	0.60	8.604×10^{-6}
0.30	152.5×10^{-6}	> 0.65	6.217×10^{-6}

续表

λ (μm)	b (m^{-1})	λ (μm)	b (m^{-1})
0.35	79.29×10^{-6}	0.70	4.605×10^{-6}
0.40	45.40×10^{-6}	0.75	3.484×10^{-6}
0.45	27.89×10^{-6}	0.80	2.684×10^{-6}
0.50	18.10×10^{-6}		

从表 1-5 中可见, 若光波长为 $\lambda=0.5\mu\text{m}$ 时, 空气分子散射系数为 $18.10 \times 10^{-6} \text{ m}^{-1}$, 如果不计及其他的消光因素可算出能见度约为 200km。由此可知, 大气能见度的降低, 主要是气溶胶的消光造成的。

含尘气流对光强的减弱还取决于浓度的大小。当质量浓度为 $0.115\text{g}/\text{m}^3$ 时, 含尘气流是透明的, 可通过 90% 的光线。随着浓度的增加, 透明度会大大减弱。

能见度可以根据下面经验公式计算

$$S \approx \frac{A \times 10^{-3}}{C} \quad (1-5)$$

式中 S ——等效能见度, m ;

C ——粒子质量浓度, kg/m^3 ;

A ——比例系数, kg/m^2 。

比例系数 A 的数值见表 1-6。对主要由 $0.1 \sim 1\mu\text{m}$ 粒径粒子引起的光散射, 用散射系数 b 来代替消光系数 μ , 则式 $S=3.912/\mu$ 成为 $S=3.912/b$ 。式 (1-4)、式 (1-5) 和表 1-6、图 1-2 能直接表明能见度与气溶胶质量浓度之间的关系。

表 1-6 能见度与尘粒浓度间的关系

质量浓度 C (ng/m^3)	散射系数 b (m^{-1})	比例系数 A (kg/m^2)	能见度 S (km)
5	0.3×10^{-4}	0.6	120.0
10		1.2	
20		2.4	
15	1.0×10^{-4}	0.6	40.0
30		1.2	
60		2.4	
37.5	2.4×10^{-4}	0.6	16.0
75		1.2	
150		2.4	
50	3.3×10^{-4}	0.6	12.0
100		1.2	
200		2.4	
150	10.0×10^{-4}	0.6	4.0
300		1.2	
600		2.4	
500	33.0×10^{-4}	0.6	1.2
1000		1.2	
2000		2.4	

在作业场所如果不能清晰地看到周围的事物，很容易在行动时发生失误、造成事故。长时间的能见度降低还会使视力疲劳，造成眼疾。

六、粉尘对建筑物、植物和动物的影响

空气中的尘粒本身可能是化学惰性的或活性的。它们如果是惰性的，也可从大气中吸收化学活性物质，或者它们会化合成多种化学活性物质。据其化学成分和物理性能，尘粒物质能对建筑物起到广泛的破坏作用。尘粒落在涂过涂料的建筑物表面、玻璃幕墙上，就会把它弄脏。每年，对建筑物和构筑物内外的重新涂装和清洗费用相当可观。

还有报道，大气中的粉尘和有害气体，对文物腐蚀速度加快，主要表现在金属文物锈蚀矿化，石质文物酥解剥落，纺织品、壁画褪色长霉。

更为重要的是，尘粒物质能通过固有的腐蚀性，或有排入大气中的惰性尘粒所吸收或吸附的腐蚀性化学物质的作用，产生直接的化学破坏。金属通常能在干空气中抗拒腐蚀，甚至在清洁的湿空气中也是如此。然而，在大气中普遍存在吸湿性尘粒时，即使在没有其他污染物的情况下，也能腐蚀金属表面。在文献中关于暴露在工业大气中的金属表面遭受腐蚀的例子已有充分记载。

关于颗粒物对动植物的影响一般了解得还很少。然而，人们已观察到几种特定物质所起到的破坏作用。含氟化物的尘粒能够引起某些植物损害。降落在农田上的氧化镁，曾使植物生长不良。动物吃了沾有毒尘粒的植物时，健康就会受到损害。这些有毒化合物会被吸收到植物组织或成为植物表面污染而存在下去。动物摄取带有含氟颗粒物的植物就能导致氟中毒。牛羊吃了有含砷颗粒沉降在上面的植物，就会成为砷中毒的牺牲品。

七、粉尘对机器设备的影响

含尘气流在运动时与壁面冲撞，产生切削和磨擦，引起磨损。含尘气流中的粉尘磨损性与气流速度的 $2\sim 3$ 次方成正比，气体速度越高，粉尘对壁面的磨损越严重。但粉尘浓度达到某一程度时，由于粉尘粒子之间的相互碰撞，反而减轻了与壁面的碰撞摩擦。

在除尘系统中，中高速的烟气强烈地冲刷着除尘器的内壁，使壳体磨损，离心式旋风除尘器的蜗壳和锥体部分的磨损就是一例。数毫米厚的钢板用不到1年甚至几个月就会被局部磨穿，极大地影响着除尘器的使用寿命。

含尘气体中的尘粒沉降到机器的转动部件上，将加速机件的磨损，影响机器工作精度，甚至使小型精密仪表的部件卡住不能工作。

一般认为 $5\sim 10\mu\text{m}$ 粒径的粉尘磨损性与颗粒大小和成分有关，微细粉尘比粗粉尘的磨损小，但在一些现代产品，如微型计算机、光学仪器、微型电机、微型轴承中都特别重视微细粉尘的沾污和磨损。对于计算机、光学仪器、精密机械来说， $1\mu\text{m}$ 以上粒径的尘粒就能影响精度。消除尘埃的沾污必须采用空气洁净技术。

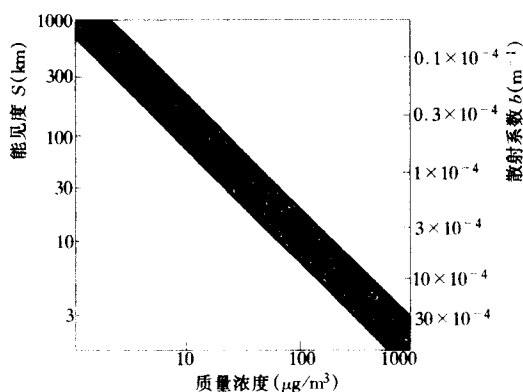


图 1-2 能见度与质量浓度间的关系

八、粉尘对产品质量的影响

粉尘污染不仅影响产品的外观，还能造成产品质量的下降。例如石膏粉产品在生产过程中被烘炉黑烟污染，不仅外观受影响，质量也要下降。许多电子产品、化学药品、摄影胶片等现代化产品，在生产过程中或操作使用中非常重视防止粉尘污染。在电子产品生产中，即使是 $0.3\mu\text{m}$ 的尘粒落到刻线间距只有亚微米的加工表面上，也会对产品造成危害，轻则影响产品性能，重则会使产品报废。

航空和宇宙飞船使用的电子仪表及大型计算机内，落入一粒尘埃就可能造成失误。在信息时代，设法除去空气中尘埃，确保产品的高质量、高可靠性有极其特殊的意义。

第二节 粉尘的性质

尘粒具有形状、粒径、密度、比表面积四大基本特征，还具有磨损性、荷电性、浸润性、粘附性以及爆炸性等重要性质。这些都是除尘技术的重要内容，本节将详细叙述粉尘的这些性质。

一、粉尘颗粒的形状表征

粉尘颗粒的形状是指一个尘粒的轮廓或表面上各点所构成的图像。由于在工业和自然界中遇到的粉尘形状千差万别，表 1-7 中定性地描述了尘粒形状。

表 1-7 尘粒的形状

形 状	形 状 描 述	形 状	形 状 描 述
针 状	针形体	片 状	板状体
多角状	具有清晰边缘或有粗糙的多面形体	粒 状	具有大致相同量纲的不规则形体
结晶状	在流体介质中自由发展的几何形体	不规则状	无任何对称性的形体
枝 状	树枝状结晶	模 状	具有完整的、不规则形体
纤维状	规则的或不规则的线状体	球 状	圆球形体

测量得到的粉尘颗粒大小与颗粒的面积或体积之间的关系则称为形状系数。形状系数反映了尘粒偏离球体的程度。将尘粒的粒径与实际的体积、表面积和比表面积关联，可以定义 3 种最常见的形状系数：体积形状系数 φ_v 、表面积形状系数 φ_s 和比表面积形状系数 φ 。

(1) 体积形状系数和表面积形状系数。设一个尘粒的粒径为 d_p ，尘粒的表面积 S 为

$$S = \pi d_s^2 = \varphi_s d_p^2 = X_s^2 \quad (1-6)$$

尘粒的体积 V 为

$$V = \frac{\pi}{6} d_v^3 = \varphi_v d_p^3 = X_v^3 \quad (1-7)$$

式中 d_s 、 d_v ——与尘粒具有相同表面积或体积的圆球直径；

X ——尘粒尺寸。

X_s 和 X_v 与尘粒的粒径不同，它包含了形状系数。

(2) 比表面形状系数。对于一个尘粒，单位体积的表面积 S_v 和单位质量的表面积

S_w 分别是

$$S_v = \frac{S}{V} = \frac{6}{d_{sv}} = \frac{\varphi}{d_p} = \frac{1}{X_{sv}} \tag{1-8}$$

$$S_w = \frac{S_v}{\rho_p} \tag{1-9}$$

式中 d_{sv} ——与颗粒具有相同比表面积之球体直径；

ρ_p ——颗粒的密度。

对于球体， $\varphi=6$ 。

若以等体积当量直径 d_v 代替方程 $S_v = \frac{\varphi}{d_p}$ 中的 d_p ，则得

$$S_v = \frac{6}{\varphi_c d_v} \tag{1-10}$$

式中 φ_c ——卡门形状系数。对于球体， $\varphi_c=1$ 。

表 1-8 中列出了几种规则形状颗粒的形状系数，其中包括球形、圆锥体、圆板形、立方体和方柱体等。上述的形状系数是以球体作为基础的，这种方法在工程上有着广泛的应用。

表 1-8 粉尘颗粒的形状系数

颗粒形状	φ_s	φ_v	φ	颗粒形状	φ_s	φ_v	φ
球形 $l=b=h=d$	π	$\pi/6$	6	立方体形 $l=b=h$	6	1	6
圆锥形 $l=b=h=d$	0.81π	$\pi/12$	9.7	方柱及方板形			
圆板形 $l=b, h=d$	$3\pi/2$	$\pi/4$	6	$l=b$			
$l=b, h=0.5d$	π	$\pi/8$	8	$h=b$	6	1	6
$l=b, h=0.2d$	$7\pi/10$	$\pi/20$	14	$h=0.5b$	4	0.5	8
$l=b, h=0.1d$	$3\pi/5$	$\pi/40$	24	$h=0.2b$	2.3	0.2	14
				$h=0.1b$	2.4	0.1	24

注 表中 l 为尘粒的长度， b 为粒径的宽度， h 为尘粒的高度， d 为尘粒的当量直径。

粉尘形状的测量是用显微镜观测和照相。大颗粒粉尘用普通光学显微镜观测，小颗粒粉尘或要求严格时用电子显微镜观测。

粉尘的形状直接影响除尘器的捕集效果和清灰情况，例如对纤维性粉尘选用机械式除尘器和电除尘器时除尘效果往往不理想，对球形粉尘用各种除尘器都会取得满意效果。

二、粉尘的粒径

粒径是表征粉尘颗粒状态的重要参数。一个光滑圆球的直径能被精确地测定，而对通常碰到的非球形颗粒，精确地测定它的粒径则是困难的。事实上，粒径是测量方向和测定方法的函数。为表征颗粒的大小，通常采用当时粒径。所谓当时粒径是指颗粒在某方面与同质的球体有相同特性的球体直径。相同颗粒，在不同条件下用不同方法测量，其粒径的结果是不同的。表 1-9 是颗粒粒径测定的一般方法。由这些方法测定的粒径分析仪器有数百种。用显微镜法测出的粒径如图 1-3 所示。