

◆ 环境保护知识丛书 ◆

除尘装置与运行管理

黄西谋 编著

冶金工业出版社

95081
8-2

环境保护知识丛书

除尘装置与运行管理

黄西谋 编著

冶金工业出版社

内 容 提 要

本书共分八章。主要内容有粉尘的产生、粉尘的物理性能、除尘原理、旋风除尘器、过滤式除尘器、静电除尘器、洗涤式除尘器、除尘系统以及除尘设备的安装与运行管理。

本书深入浅出、图文并茂，简明扼要地介绍了除尘方面的基本知识、各类除尘器的构造、原理以及运行管理。本书可供各工厂企业的环保管理人员、环保技术工人和科技人员阅读，也可作为环保人员培训教材。

环境保护知识丛书 除尘装置与运行管理 黄西谋 编著

冶金工业出版社出版发行
(北京北 河沿大街 嵩祝院北巷 39 号)
新华书店总店科技发行所经销
冶金工业出版社印刷厂印刷

850×1168 1/32 印张 $6\frac{1}{8}$ 字数 159 千字
1989 年 8 月第一版 1989 年 8 月第一次印刷
印数 00,001~4,100 册

ISBN 7-5024-0270-5

X·7 定价 3.80 元

前 言

随着工业的迅速发展和城市人口的集中，人们在生产和生活中排放的各种污染物越来越多，污染物对人类环境的影响日趋严重。环境问题成为当今世界所面临的重大问题之一。保护环境是我国的一项基本国策。1983年第二次全国环境保护会议，明确提出了我国到本世纪末的环境保护的奋斗目标：力争全国环境污染基本得到解决，自然生态基本恢复良性循环，城乡生产生活环境清洁、优美、安静，全国环境状况基本上能够同国民经济的发展和人民物质文化生活的提高相适应。为了实现这个目标，广大环保管理工作、环保技术人员和技术工人学习和掌握环境保护基础知识和基本技能是十分必要的。本丛书就是为了适应广大环境保护工作者的需要而编写的。

本丛书属于知识性科技读物。在内容上，力求做到知识性和技术性相结合，理论与实际相结合，并尽可能回答生产实践中经常遇到的种种实际问题。在写法上力求语言精练，深入浅出，概念明确，内容丰富。全套丛书包括八个方面的内容：环境工程入门、工业烟气净化、除尘装置与运行管理、废水处理技术、固体废物的处理与利用、工业噪声与振动控制、环境污染物监测和环保监测仪器的使用与维修。在每册书的最后，附有有关的标准和技术数据，以供读者参考、使用。

参加本丛书编写工作的有：（姓氏笔画为序）王檣、易洪佑、台炳华、何为庆、陈康、陈尚芹、张殿印、徐世勤、梁泽斌、黄西谋、崔志激和董保渊等同志。全书由陈康、张殿印总编。

由于环境保护涉及许多学科和领域，而编者的知识水平和实践经验有限，书中肯定存在不少缺点或不足之处，敬请广大读者批评指正。

编 者

一九八七年九月

目 录

第一章 概述	1
第一节 粉尘的产生及分类	1
第二节 粉尘的物理特性	3
第三节 粉尘的排放及危害	14
第四节 粉尘的卫生标准及排放标准	21
第五节 除尘器的分类	22
第二章 重力除尘和惯性力除尘	25
第一节 重力除尘原理	25
第二节 重力沉降室的构造及其性能	27
第三节 沉降室的计算	30
第四节 惯性力除尘原理	32
第五节 惯性除尘器的特性	33
第六节 惯性除尘器的构造形式	34
第三章 旋风除尘器	37
第一节 概述	37
第二节 旋风除尘器的构造及分类	41
第三节 多管旋风除尘器	45
第四节 几种典型的旋风除尘器	48
第四章 过滤式除尘器	61
第一节 袋式除尘器的工作原理	61
第二节 袋式除尘器的分类及构造	68
第三节 几种袋式除尘器	77
第四节 颗粒层除尘器	89
第五章 静电除尘器	94
第一节 静电除尘的基本原理及特点	94
第二节 电除尘器的分类	96

第三节	干式电除尘器的构造和特性	101
第四节	粉尘比电阻对除尘效率的影响	110
第五节	湿式电除尘器及电除尘技术的发展趋势	113
第六章	洗涤式除尘器	115
第一节	洗涤式除尘器的工作原理	115
第二节	洗涤式除尘器的分类及其性能	117
第三节	几种典型的湿式除尘装置	117
第七章	除尘系统	139
第一节	密闭排气罩	139
第二节	系统管网的设计	149
第三节	通风机的性能及选择	157
第八章	除尘设备的制造安装及运行管理	169
第一节	除尘设备的制造与安装	169
第二节	除尘装置的运行管理	173
第三节	各类除尘装置的运行管理	179
附录一	钢铁工业废气粉尘排放标准值 ^③	183
附录二	轻金属工业废气排放标准值 ^④	185
附录三	重有色金属工业废气排放标准值 ^②	187
参考文献		188

第一章 概 述

第一节 粉尘的产生及分类

粉尘是日常生活及工业生产中经常接触到的一种物质。从工业通风及除尘研究角度来说,粉尘是指在一定时间内能悬浮在空气中的固体微粒。在气体介质中悬浮有固态或液态微粒的空间体系通常称为气溶胶,其中气体介质是连续的分散体系,固态或液态微粒是分散相。

尽管对悬浮在气体介质中的固体微粒习惯上有各种不同的称呼,如:粉尘、灰尘、尘埃、烟尘……等,但它们之间尚无严格的科学定义和明确的界限,为统一意见,在无特殊说明的情况下,本书对悬浮于气体介质中的固体微粒统称为粉尘。

一、一般工业性粉尘的产生

1) 生产过程中对固体物质进行机械性破碎、研磨……等产生粉尘。例如各种矿山和建设工地,使用钻具进行凿岩钻孔时,岩石被钻具冲击破碎和研磨后变成微小尘粒,从钻孔内逸出,弥漫在空气中;又如把矿石置于各种破碎机中破碎成不同规格的粒状物料,在破碎及筛分过程中也有大量微小尘粒从机器的缝隙逸出,均成为污染环境的尘源。

2) 金属冶炼或对物质进行加热时,因物理化学过程产生的升华物或蒸汽,在空气中凝结或氧化而形成微小的尘粒。例如炼钢过程中,对炉内吹氧冶炼时产生大量的氧化物粉尘;又如铅熔化或铅冶炼时,有大量微小的铅蒸汽从铅液表面蒸发出来,在空气中氧化凝结成氧化铅微粒,也就是通常所说的铅烟。

3) 有机物质燃烧或不完全燃烧时,排放物中含有大量微小的尘粒和烟雾。例如煤炭、油料及植物枝叶等有机物质燃烧时,因氧气供应不足或其它原因使之不能充分燃烧,随烟气排出物

中，除含有微小的炭粒外，还拌有不完全燃烧的游离炭黑（亦即烟炱），从而形成黑色烟雾；矿山爆破时，除产生大量矿物微尘外，同时伴有炸药不完全燃烧时产生的烟雾。

4）在对粉状物料的混合、转运、筛分、包装、卸料等生产过程中，有大量尘粒从设备缝隙间逸出。例如铝电解生产过程中，将粉状氧化铝从贮槽转运到电解槽料箱、从料箱向电解槽内添加氧化铝和氟化盐、对电解槽进行加工操作等工序，都有大量氧化铝和氟化盐粉尘逸出。

上述各种粉尘，其粒径变化范围随产生条件不同而异。例如由各种高温冶炼炉及燃烧过程中，因物理化学变化而形成的尘粒（包括烟尘及烟雾），一般都比由机械加工或粉状物料生产过程中而产生的尘粒要细得多。前者可在1微米以下（1微米=10⁻⁶米），后者多在1微米以上乃至数百微米。

二、粉尘的分类

一般可按粉尘的不同特征进行分类。例如根据粉尘的理化特性不同，可分为有机性粉尘和无机性粉尘；根据粉尘粒径的大小可分为降尘和飘尘等。

1. 按粉尘的理化特性分类

（1）有机性粉尘

1）植物性粉尘——如粮食加工厂排出的谷物粉尘、米糠或纺织厂排出的棉、麻织物的纤维尘等。

2）动物性粉尘——如毛纺厂排出的兽毛纤维尘或饲料加工厂排出的兽骨粉尘等。

3）人工有机粉尘——如塑料和染料加工过程中产生的粉尘或沥青熔化、混捏时所产生的沥青烟尘等。

（2）无机性粉尘

1）矿物粉尘——如各种矿物开采过程中产生的粉尘，如石英、石棉、石墨及其它氧化物粉尘等。

2）金属性粉尘——如钢、铁生产过程中和有色金属冶炼时产生的各种金属氧化物粉尘等。

3) 人工无机性粉尘——如玻璃、陶瓷、耐火材料、水泥等加工过程中产生的粉尘。

(3) 混合性粉尘 顾名思义,混合性粉尘是指上述有机性和无机性粉尘混合在一起,也是一般生产场合最常见到的粉尘。例如铝电解生产过程中产生的粉尘,既有属无机性的氧化铝、氟化盐尘粒,又有属有机性的沥青挥发物凝结而成的沥青烟雾及各种油烟等。

2. 按粉尘粒径的大小分类

(1) 降尘 降尘一般指粒径大于10微米以上的尘粒。这种尘粒在静止的空气中,停留时间较短,比较容易沉降下来,一般认为这种尘粒按加速度沉降。这种尘粒用眼睛可以分辨,通常也称为可见性粉尘。

(2) 飘尘 一般把粒径小于10微米以下的尘粒统称为飘尘。其中粒径介于0.1~10微米之间的尘粒,因其粒径较小,能长时间在空气中飘浮。一般认为这种尘粒在静止的空气中按斯托克斯定律作等速下降,下降速度相当缓慢,这种尘粒在显微镜下才可分辨,通常称之为显微粉尘。粒径小于0.1微米的微粒,因其粒径极微小,扩张能力极强,一般认为这种尘粒在空气中按布朗运动扩散,即在空气中能连续不断地进行无规则的扩散运动,在静止的空气中几乎不能下降,这种尘粒只有在超倍显微镜或电子显微镜下才能分辨,通常称之为超显微粉尘。

第二节 粉尘的物理特性

粉尘具有许多不同的物理、化学特性,本节着重介绍与通风除尘关系比较密切的粉尘物理特性。

一、粉尘的密度和比重

1. 粉尘的密度 指单位体积粉尘所具有的质量。其计量单位通常用克/厘米³或千克/米³表示。

粉尘的密度有两种情况:一是在所指的粉尘体积中,不包括尘粒间的空隙在内的密度,称之为粉尘的真密度;二是指粉尘的

体积在自然堆放状态下，包括尘粒间的空隙在内的密度，通常称为堆积密度也叫假密度。无论真密度或假密度，都可用公式(1-1)表示。

$$\rho_b = \frac{m}{V} \text{ (克/厘米}^3\text{)} \quad (1-1)$$

式中 m ——粉尘的质量(克)；
 V ——粉尘的体积(厘米³)。

2. 粉尘的比重 比重是指一定体积物质的质量与相同体积标准物质质量的比值，称之为该物质的比重。由于标准大气压下，4℃时1厘米³纯水的质量为1克，因此习惯上都采用它作为标准物质。根据比重的定义，粉尘的比重可用公式(1-2)表示。

$$\gamma_b = \frac{\rho_b}{\rho_w} \quad (1-2)$$

式中 ρ_b ——粉尘的密度(克/厘米³)；
 ρ_w ——4℃时水的密度(克/厘米³)。

由于4℃时水的密度为1克/厘米³，因此粉尘的比重在数值上与该粉尘的密度值相等。

习惯上说的粉尘真比重和假比重，在数值上分别等于该粉尘的真密度和假密度。真密度和假密度之间有如下关系式：

$$\rho_e = (1 - \varepsilon) \rho \quad (1-3)$$

式中 ρ_e ——粉尘的假密度(克/厘米³)；
 ρ ——粉尘的真密度(克/厘米³)；
 ε ——粉尘的空隙率(%)。

空隙率是指尘粒之间的空隙体积与整个尘粒所占总容积之比。因此空隙率的数值永远小于1。

了解粉尘的比重，对于正确选择除尘装置有重要意义。例如即使粉尘的真密度(真比重)较大，但是若其假密度(假比重)很小，而且粒径很细，要想利用以重力、惯性力或离心力为主的除尘装置来实现对尘粒的捕集分离就相当困难；对这些尘粒即使有一部分已被捕集下来，也很容易被气流卷起，产生二次扬尘，

影响除尘效果。表 1-1 为常见工业粉尘的真密度和堆积密度。

二、粉尘的分散度

了解烟气中粉尘样品的分散度，对于确定采用的除尘方式，选择适宜的除尘装置，评价除尘器的工作特性，了解排放烟气对环境污染的影响及对人体的危害程度等都有积极意义。

1. 粒径的表示方法 尘粒尺寸的大小一般用粒径（微米）表示。由于尘粒产生的条件及方式不同，因而尘粒具有不同的形状。一般情况下圆球形或规则形状的尘粒很少，大多数尘粒的形状是不规则的，因此对不同形状尘粒粒径的大小表示方法也就不同。对于均匀球体状尘粒，其粒径多以微小球体的直径表示；对于非均匀球体的不规则形状尘粒的单一粒径，通常有以下三种表示方法：

（1）投影粒径 在显微镜下所观察到的粒径称为投影粒径。它们可分别用面积等分径、定向径、长径或短径等来表示。

（2）几何当量粒径 以某一几何量（例如面积、体积等）相同时的球形粒子的直径表示的粒径称为几何当量粒径。它们可用等投影面积径、等体积径、等表面积径等来表示。

（3）物理当量粒径 取某一物理量（例如阻力、沉降速度等）相同时的球形粒子的直径表示的粒径称为物理当量粒径。它们可用阻力粒径、自由沉降径、斯托克斯径等来表示。

2. 粉尘的平均粒径 一般工业除尘中所遇到的粉尘并不都是均一的尘粒，而是由各种不同尺寸的粒子所组成的尘粒群体。要确定这种尘粒群体的平均粒径，需先求出各个粒子的单一粒径，然后再加以平均即可。由于采用的平均方法不同，平均粒径的表达形式也就不同。几种常用平均粒径的表达式如下：

（1）算术平均径 用尘粒直径的总和除以尘粒的颗粒数。即

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

式中 N ——尘粒颗粒总数；

d_i ——第 i 种尘粒的直径;

n_i ——粒径为 d_i 的尘粒颗数。

(2) 平均表面积径 用尘粒表面积的总和除以尘粒的颗数, 然后取其平方根。

$$\bar{d}_2 = \left(\frac{1}{N} \sum d_i^2 \cdot n_i \right)^{1/2} \quad (1-5)$$

式中符号同上。

(3) 面积长度平均径 用尘粒表面积总和除以尘粒粒径的总和。即

$$\bar{d}_3 = \frac{\sum d_i^2 \cdot n_i}{\sum d_i \cdot n_i} \quad (1-6)$$

(4) 体积面积平均径 用全部尘粒的总体积除以全部尘粒的总表面积。即

$$\bar{d}_4 = \frac{\sum d_i^3 \cdot n_i}{\sum d_i^2 \cdot n_i} \quad (1-7)$$

(5) 质量中位径 在粉尘样品中, 以某一直径为界将粉尘分为质量相同的两部分时的直径, 称为质量中位径。

(6) 计数中位径 在粉尘样品中, 以某一直径为界将粉尘分为颗粒数相等的两部分时的直径, 称为计数中位径。

3. 粉尘的粒径分布 在通风除尘技术中, 通常把粉尘的粒径分布称之为粉尘的分散度。它指的是在某一粉尘群体(样品)中, 不同粒径的尘粒在样品总数中所占的比例, 通常以百分数表示。不同粒径的尘粒如以质量表示者, 称为计重分散度; 如以颗粒数表示者, 称为计数分散度。

表示尘粒粒径分布的方法很多, 最简便而且最简单的方法是列表法。表1-2列出某种尘粒样品粒径分布情况。

然而, 通过不同坐标作图, 可以更直观地了解各种粒径的分布情况。图1-1为几种表示粒径分布的图式。

图1-1a表示粉尘群体中, 某一粒径范围与该粒径范围颗粒数(或质量数)的关系, 通常称为粒径频率分布。

表 1-1 常见工业粉尘的真密度和堆积密度

粉尘名称	真 密 度 (克/厘米 ³)	堆 积 密 度 (克/厘米 ³)	粉 生 名 称	真 密 度 (克/厘米 ³)	堆 积 密 度 (克/厘米 ³)
煤粉锅炉尘	2.1	0.52	造纸黑液炉尘	3.11	0.13
重油锅炉尘	1.98	0.20	飞灰	2.2(0.7~56微米)	1.07
水泥原料尘	2.76	0.29	炭粉	1.9	0.025
水泥干燥器尘	3.0	0.80	化铁炉尘	2.0	0.80
硫化矿烧结炉尘	4.17	0.53	电炉尘	4.5	0.6~1.5
烟道粉	4.88	1.11~1.25	黄铜熔解炉尘	4~8	0.25~1.2
硫酸盐水泥	3.12 (0.7~91微米)	1.5	铅槽炼炉尘	5.0	0.50
造型粘土	2.47	0.72~0.8	转炉尘	5.0	0.7
滑石粉	0.75	0.59~0.71	石墨	2	~0.3

表 1-2 尘粒粒径分布

区 段	1	2	3	4	5	6	7	8	9
粒 径 Δd (微米)	0.6~1.0	1.0~1.4	1.4~1.8	1.8~2.2	2.2~2.6	2.6~3.0	3.0~3.4	3.4~3.8	3.8~4.2
平均粒径 $\bar{d}_i$ (微米)	0.8	1.2	1.6	2.0	2.4	2.8	3.2	3.6	4.0
颗粒数 N (个)	370	1110	1660	1510	1190	776	470	187	48
质量 Δm (克)	0.1	1.0	3.55	6.35	8.6	8.9	8.05	4.55	1.6
质量百分数 ΔD (%)	0.23	2.35	8.3	14.95	20.1	20.85	18.8	10.65	3.77
相对频率 $\Delta D_i / \Delta d$ (%/微米)	0.58	5.88	20.8	37.4	50.3	52.1	47.0	26.5	9.6
筛上累计 R_j (%)	100	99.7	97.42	89.12	47.17	54.07	33.22	14.42	3.77
筛下累计 D_j (%)	0	0.3	2.58	10.88	52.83	45.97	66.78	85.58	96.23

图 1-1b 表示粉尘群体中, 某一粒径范围与该粒径范围内以百分数表示的相对颗粒数 (或相对质量数) 的关系, 称为相对频率分布。

图 1-1c 表示粉尘群体中, 某一粒径范围与大于 (或小于) 该粒径范围累计的颗粒数 (或质量数) 的关系, 称为累计分布。

三、粉尘的比电阻

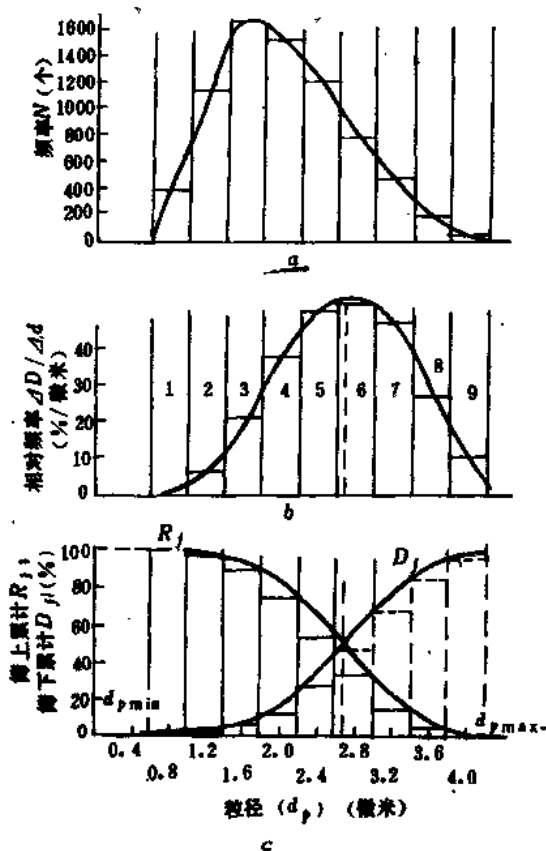


图 1-1 粒径频率分布与累计分布图

a—频率分布; b—相对频率分布; c—累计分布

粉尘的导电性不仅包括尘粒本身的容积导电，而且包括尘粒表面因吸附水分后形成的化学膜的表面导电。对电阻率高的粉尘，低温条件下主要表现为表面导电，而在高温条件下则以容积导电为主。因此粉尘的电阻率与测定条件（如温度、湿度、松散程度等）有关。

通常所说的比电阻是指粉尘表现的电阻率，也就是指1厘米厚的粉尘层，在1平方厘米面积的圆盘上所测得的电阻值，称为该粉尘的比电阻，通常以欧姆·厘米表示。

粉尘比电阻值的大小，除与尘粒本身的电阻有关外，与烟气参数有密切关系。一般来说烟气温度在 $100\sim 200^{\circ}\text{C}$ 范围内比电阻值最大。如果对烟气加湿（即增加烟气组分中水蒸气含量），则提高了尘粒的表面导电性，可使比电阻值下降。

研究粉尘的比电阻值，对电除尘器来说具有特殊重要的意义。实践表明：烟气中粉尘比电阻值维持在 $10^4\sim 5\times 10^{10}$ 欧姆·厘米时，最有利于电除尘器对粉尘的捕集，并能取得理想的除尘效果。低于或高于上述范围，将对除尘效果带来不利的影响。因而通过测试了解烟气中尘粒的比电阻，以便调整烟气参数，选择最佳的运行工况，以获得最理想的除尘效果。

图1-2表示粉尘比电阻与温度的关系。

四、粉尘的粘性

粉尘的粘性是指粉尘尘粒之间的凝聚或尘粒对除尘器内壁的粘附或堆积的附着力。

粉尘的粘性除与尘粒的组分特性及物理性质有关外，与尘粒的含水率、荷电量及粒径大小有密切关系。一般来说，含水率高、荷电量大的尘粒，其粘性也就大；相互碰撞时，粒径越细的尘粒越易粘附凝并成较大颗粒，对器壁的粘附力也越大。

对于利用机械力（重力、惯性力和离心力）的除尘设备，利用尘粒的粘附凝并作用，可以提高设备的除尘效率；但是尘粒对器壁的粘附堆积，易造成除尘管路堵塞，致使设备故障，对袋滤器来说，可使反吹清灰困难，阻力增加，另外由于粉尘的粘性可

造成电除尘器电极肥大积灰，不易被振打脱落，从而降低静电效应，造成除尘效率下降等。因此，了解粉尘的粘性对选择适宜的除尘设备，制订合理的运行操作制度有积极意义。

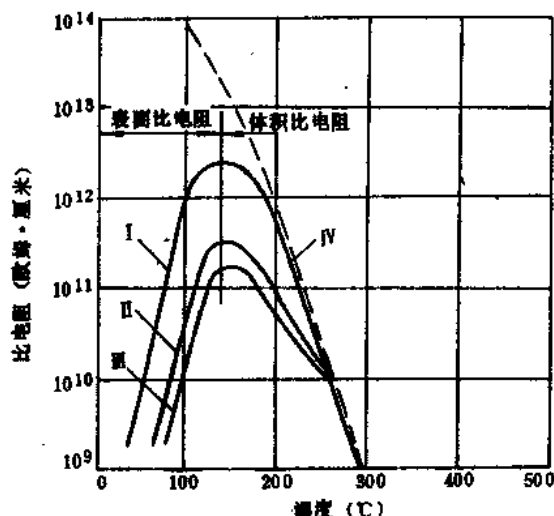


图 1-2 粉尘比电阻与温度的关系

I—露点温度10℃；II—露点温度45℃；

III—露点温度55℃；IV—在干燥大气中冷却

表 1-3 为苏联根据粉尘层的断裂强度而制订的粉尘粘性分类及其粉尘示例。

五、粉尘的安息角

将粉尘从一定高度的漏斗内连续落到水平板面上形成圆锥体，此时圆锥体的母线与水平面的夹角称之为安息角，也称静止角、堆积角或自然倾角。

安息角是粉状物料所特有的动力特性之一，它与物料的粒径、形状、粒子表面的粗糙程度、粘性及含水率等多种因素有关。实践表明：粒径愈小的尘粒，其比表面积越大，表面的吸附能力及粘性就愈大，因而其安息角就大；表面比较粗糙或含水率高的尘粒，其安息角也较大；含水率小、表面愈光滑，愈接近球

表 1-3 粉尘粘性分类

类别	粉尘粘性	粘性强度(帕)	示 例
I	不粘性	0~60	干矿渣粉、干石英粉、干粘土等
II	微粘性	60~300	未燃烧完全的飞灰、焦粉、干镁粉、页岩粉、干滑石粉、高炉灰、炉料粉
III	中等粘性	300~600	燃烧完全的飞灰、泥煤粉(灰)、湿镁粉、黄铁矿粉、氧化铝、氧化锌、氧化镉、炭黑、干水泥、干牛奶粉、面粉、锯末等
IV	强粘性	>600	湿水泥、石膏粉、熟料灰、含盐的钠、雪花石膏粉(石棉、棉纤维、毛纤维等)、纤维尘

形的尘粒，其安息角相对就小。

一般来说，粉尘安息角的大小可说明粉尘的流动性，安息角愈小，说明粉尘的流动性就愈好。

了解粉尘的安息角，对于合理设计料仓和除尘器灰斗的锥度，确定粉状物料输送管路和除尘管道的倾斜度有重大意义。

表1-4是几种常见工业粉尘的安息角。

六、粉尘的湿润性(亲水性)

表 1-4 几种常见工业粉尘的安息角

粉尘名称	静安息角(度)	动安息角(度)
白云石粉	—	35
粘土	—	40
高炉灰	—	25
烧结混合料	—	30~40
烟煤粉	37~45	30
无烟煤粉	37~45	27~30
飞灰	15~20	—
生石灰	45~50	25
水泥	40~45	35
吹氧平炉灰尘	43~48	—