

# 除尘工程 设计手册

第二版

张殿印 王纯◎主编

CHUCHEN  
GONGENING  
SHEJISHUO



化学工业出版社

# 除尘工程设计手册

第二版

张殿印 王 纯 主编



化学工业出版社  
· 北京 ·

本书是一本环境工程专业的工具书。全书共分十二章，主要介绍了除尘工程设计常用数表；除尘工程设计标准；尘源控制与集气吸尘罩设计；除尘器设计与选型；输排灰装置与润滑系统设计；除尘系统设计；高温烟气冷却降温与管道设计；通风机；除尘设备涂装和保温设计；除尘工程消声与降振设计；除尘系统自动控制设计以及测试与调整。本书内容翔实，新颖实用，数表完整，查找方便，具有较强的理论性、实践性和可操作性。

本手册内容全面，便于查阅，侧重实用，可供环境工程等领域技术人员、科研人员及工矿企业广大环保工作者使用，也可供高等院校相关专业师生参考。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

除尘工程设计手册/张殿印, 王纯主编. —2 版.

北京: 化学工业出版社, 2010. 6

ISBN 978-7-122-08462-0

I. 除… II. ①张…②王… III. 除尘-设计-手册 IV. X513-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 079990 号

---

责任编辑: 刘兴春 管德存

文字编辑: 汲永臻

责任校对: 徐贞珍

装帧设计: 关 飞

---

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 刷: 北京市振南印刷有限责任公司

装 订: 三河市万龙印装厂

787mm×1092mm 1/16 印张 50 $\frac{1}{4}$  字数 1500 千字 2010 年 10 月北京第 2 版第 1 次印刷

---

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

---

定 价: 180.00 元

版权所有 违者必究

京化广临字 2010—30 号

## 《除尘工程设计手册》编委会

主 编 张殿印 王 纯  
副主编 俞非漉 王海涛 刘克勤 赵宇 朱晓华  
编 委 (按姓氏笔画为序)  
王 纯 王 冠 王宇鹏 王雨清 王海涛  
冯馨瑶 田雨霖 申 丽 白洪娟 任 旭  
刘克勤 安登飞 庄剑恒 朱晓华 杨伯如  
肖 春 肖敬斌 吴青贤 张 鹏 张学义  
张学军 张殿印 陈 媛 陈盈盈 俞非漉  
赵 宇 徐 飞 顾生臣 顾晓光 高华东  
魏淑娟

## 第二版前言

《除尘工程设计手册》于2003年出版以来深受读者欢迎。8年来原手册中所引用的标准、规范、技术经济指标发生很大变化，所选用的除尘设备有的已为新一代产品所取代，有的技术性能又有了新的提高，因此本手册有必要进行修订再版。

《除尘工程设计手册》修订再版增加以下内容：①补充第一版尚缺除尘设计需要的内容，如伴热设计、烟囱防腐等；②更新近些年修改的国家标准，如电厂污染物排放标准、工业企业噪声排放标准等；③补充节能减排新设备、新技术，如电袋复合除尘器、反吹风袋式除尘器改脉冲除尘器等。再版后的《除尘工程设计手册》将实现如下特点：①内容翔实、数表完整；②新颖实用、查找方便；③工程实用性和可操作性强。

参加本书编写的有（按章节顺序）：张殿印（第一章），王纯（第二章），俞非漉（第三章第一节、第二节），王海涛（第三章第三节、第四节），朱晓华（第四章第一节、第二节），刘克勤（第四章第三节、第四节），赵宇（第四章第五节、第六节、第七节），王冠（第五章第一节、第二节），庄剑恒（第五章第三节、第四节），徐飞（第五章第五节），王雨清（第六章第一节），王宇鹏（第六章第二节），白洪娟（第六章第三节），田雨霖（第六章第四节、第五节）、陈盈盈（第七章第一节、第二节），冯馨瑶（第七章第三节、第四节），任旭（第八章第一节、第二节），肖春（第八章第三节、第四节），魏淑娟（第八章第五节、第六节），吴青贤、顾生臣（第九章第一节、第二节），肖敬斌（第九章第三节），陈媛（第九章第四节、第五节），高华东（第十章第一节、第二节），张鹏（第十章第三节），张学军（第十章第四节），申丽（第十一章第一节、第三节），张学义（第十一章第二节），安登飞（第十二章第一节），杨伯如、顾晓光（第十二章第二节、第三节）。

杨景玲教授、戴京宪教授对全书进行了总审核。本书在编写和审阅过程中得到白万胜等多位专家的鼎力相助，陈满科提供了湿式除尘器的宝贵资料，在此一并深致谢忱。本书参考了一些科研、设计、教学和生产工作同行撰写的著作、论文、手册、教材和学术会议文集等，在此对所有作者表示衷心感谢。

限于编者学识和编写时间，书中疏漏和不妥之处在所难免，殷切希望读者朋友不吝指正。

编者  
2010年6月

# 第一版前言

地球环境构成人类繁衍发展的物质基础，承载着人类繁衍发展产生的种种后果。人类在生产和生活活动中，成年累月地向大气中排出各种污染物质，使大气遭到严重污染。与此同时，随着人类社会的不断进步、经济的持续发展、生活水平的日益提高以及对自身健康的重视，人们对生存环境条件越来越关注，对大气环境质量的要求越来越严格。1个人1d大约需要1kg食物、2kg水和13kg（10000L）的空气。1个人可以7d不进食，5d不饮水，但断绝空气5min就会死亡。大气对每个人都息息相关，至为重要，保护大气环境刻不容缓，势在必行。

除尘工程是防治大气污染的重要内容，是环境工程的重要组成部分。除尘工程设计是实施防治大气污染的具体步骤和条件。作者根据多年来积累的技术知识和文献资料，从除尘工程实际需要出发编写成本手册。本书宗旨在于给从事环境保护的同行提供一本内容翔实、新颖实用、数表完整、查找方便的设计工具书。全书分为常用数表、有关标准、尘源控制和吸尘罩设计、除尘器选型与设计、输排灰和润滑系统设计、除尘系统设计、高温烟气降温设计、通风机选型与调节、涂装和保温设计、消声与降振设计、电控设计和除尘系统测定与调整等共十二章。

参加本书编写的有（按章节顺序）：张殿印（第一章、第二章），王纯（第三章），杨景玲（第四章第一、二、五节），钱雷（第四章第三、四、六节），张学军（第五章第一、二、三节），彭亦明（第五章第四、五节），侯运升（第六章第一、二、五节），俞非漉（第六章第三、四节），张学义（第七章），饶宇洪（第八章第一节），岳优敏（第八章第二节），赵江翔（第八章第三、四节），刘克勤（第八章第五节），孙立文（第九章第一、二节），侯德中（第九章第三、四节），杨慧斌（第十章第一、二节），朱晓华（第十章第三、四节），申丽（第十一章第一、三节），郭小燕（第十一章第二节），吴明生（第十二章第一节），王海涛（第十二章第三节），董悦（第十二章第二、四节）。

本书引用了一些科研、设计、教学以及生产工作同行撰写的论著、手册、教材等，书后附有参考文献目录，在此深表谢意。

由于作者经验和水平有限，书中缺点和错误在所难免，殷切希望读者批评指正。

编者  
2003.06

# 目 录

第一章 除尘工程设计常用数表	1	第四节 噪声和振动标准	102
第一节 粉尘的基本性质参数	1	一、声环境质量标准	102
一、粉尘的分类和特性	1	二、工业企业厂界环境噪声标准	103
二、粉尘的密度	2	三、工业通风机噪声限值	104
三、粉尘的粒度和成分	4	四、城市区域环境振动标准	104
四、粉尘的黏附性和安息角	10	五、机械振动烈度	105
五、可燃粉尘的爆炸极限	14	第三章 尘源控制与集气吸尘罩设计	107
六、粉尘的摩擦性能	14	第一节 集气吸尘罩分类和工作机理	107
七、粉尘的比电阻	15	一、集气吸尘罩分类	107
第二节 气体基本性质参数	17	二、集气吸尘罩机理	107
一、空气的组成与特性	17	第二节 集气吸尘罩设计	110
二、空气物理参数的意义	17	一、集气吸尘罩设计原则	110
三、空气的主要物理数据	21	二、密闭集气吸尘罩	111
四、可燃气体爆炸极限	25	三、柜式集气吸尘罩	114
第三节 常用数表	28	四、外部集气吸尘罩	118
一、常用几何形体计算	28	五、吹吸式集气吸尘罩	125
二、焊接符号	29	六、屋顶集气吸尘罩	127
三、气象资料	34	第三节 生产设备排风量	129
第四节 常用金属材料	39	一、燃料燃烧排烟量和污染物量	130
一、常用金属材料性能	39	二、冶炼设备排烟量	134
二、棒材和型材	45	三、碾磨破碎设备排风量	136
三、钢管	63	四、运输设备排风量	139
四、钢板、钢带、钢板网、钢格板	65	五、给料和料槽排风量	144
五、紧固件	70	六、木工设备排风量	147
第二章 除尘工程设计标准	78	七、其他设备排风量	150
第一节 环境保护法律体系	78	第四节 无罩式尘源控制	151
一、环境保护法律体系	78	一、厂房内扬尘控制	152
二、环境标准分类	79	二、开敞式空间静电抑尘装置	156
三、法律责任	79	三、原料堆场粉尘控制	156
第二节 环境空气质量标准	80	四、尾矿坝粉尘控制	157
一、环境空气质量标准	80	第四章 除尘器的设计与选型	158
二、国家职业卫生标准	81	第一节 除尘器工作机理和性能	158
第三节 粉尘排放标准	83	一、除尘器工作机理和分类	158
一、大气污染物综合排放标准	83	二、除尘器的主要性能指标	159
二、锅炉大气污染物排放标准	85	三、除尘器选型要点	160
三、工业炉窑大气污染物排放标准	86	第二节 机械式除尘器的选型和设计	163
四、火电厂大气污染物排放标准	90	一、重力除尘器构造和设计要点	163
五、炼焦炉大气污染物排放标准	91	二、惯性除尘器结构形式和选型 计算	165
六、水泥工业大气污染物排放标准	93	第三节 旋风除尘器	168
七、煤炭工业污染物排放标准	94	一、旋风除尘器的分类和特点	168
八、钢铁工业大气污染物排放限制	95	二、旋风除尘器选型原则和步骤	171
九、生活垃圾焚烧污染控制标准	99	三、普通旋风除尘器	172
十、危险废物焚烧污染物排放限值	100		

四、异形旋风除尘器	176	一、排尘装置	317
五、组合式旋风除尘器	180	二、螺旋输送机	323
六、旋风除尘器的防磨损措施	188	三、刮板输送机	334
第四节 袋式除尘器	191	四、斗式提升机	347
一、袋式除尘器的分类和命名	192	五、带式输送机	355
二、袋式除尘器的选型计算	195	六、粉料装卸罐式汽车	357
三、滤料的性能与选用	197	第三节 粉尘的气力输送	360
四、简易袋式除尘器设计	206	一、气力输送系统	360
五、机械振打袋式除尘器	207	二、仓式泵输送装置	371
六、反吹风袋式除尘器	210	三、风动溜槽	374
七、脉冲喷吹袋式除尘器	229	第四节 粉尘的处理和回收	377
八、滤筒式除尘器	257	一、粉尘处理与回收设计注意事项	377
九、塑烧板除尘器	259	二、粉尘的处理方式	377
十、袋式除尘器防爆设计	262	三、贮灰仓	383
第五节 电除尘器	265	第五节 润滑系统设计	383
一、电除尘器的特点和分类	266	一、润滑的意义	383
二、电除尘器的选型计算	267	二、润滑系统组成和配管设计	383
三、GL型管式电除尘器	273	三、润滑部位耗油量计算和润滑泵选择	385
四、GD系列管板式电除尘器	274	四、润滑剂及压力损失计算	386
五、SHWB系列电除尘器	278	第六章 除尘系统设计	389
六、CDPK型宽间距电除尘器	278	第一节 除尘系统设计要点	389
七、SZD型组合电除尘器	283	一、除尘系统组成	389
八、湿式管式电除尘器	283	二、除尘系统分类及特点	389
九、圆筒电除尘器	286	三、除尘系统设计要点	392
十、电除尘器供电设计	290	第二节 除尘管道材料与部件	396
第六节 湿式除尘器	292	一、管道普通材料	396
一、湿式除尘器特点	292	二、管道耐磨材料	397
二、喷淋洗涤塔	293	三、常用管道部件	399
三、水浴除尘器	294	四、除尘管道阀门	403
四、水膜除尘器	295	第三节 除尘系统设计计算	414
五、泡沫除尘器	296	一、除尘系统设计计算步骤	414
六、卧式旋风水膜除尘器	296	二、管道内气体流速的确定	414
七、冲激式除尘机组	298	三、除尘管道直径和气体流量的计算	415
八、麻石水膜除尘器	302	四、管道中的阻力损失计算	415
九、文氏管除尘器	305	五、设备阻力的确定	435
十、SX型湿式除尘机组	307	六、除尘系统压力分布	463
第七节 除尘器改造设计	311	七、除尘系统通风机的选择	463
一、改造设计原则	311	第四节 排气烟囱的设计	465
二、反吹风袋式除尘器改造为脉冲袋式除尘器	312	一、烟囱设计注意事项	466
三、电除尘器改造为袋式除尘器	313	二、烟囱排烟能力的计算	466
四、电除尘器改造为电袋复合除尘器	314	三、烟囱尺寸计算	467
第五章 输排灰装置和润滑系统设计	316	四、烟囱高度的选择	468
第一节 输排灰装置工作原理和分类	316	五、烟囱的附属设施	469
一、输排灰装置工作原理	316	第五节 除尘系统安全防护设计	470
二、输排灰装置分类和主要性能	317	一、平台、梯子及照明	470
第二节 粉尘的机械输送	317	二、抗震加固	470



三、防雷及防静电 .....	471	三、三相异步电动机技术参数与 选择 .....	574
四、防火防爆 .....	472	第六节 通风机在除尘系统中工作 .....	580
<b>第七章 高温烟气冷却降温与管道设计</b> .....	476	一、通风机在除尘系统中工作 .....	580
第一节 高温烟气的特征 .....	476	二、通风机的联合工作 .....	581
一、高温烟气特性 .....	476	三、通风机的节流调节 .....	583
二、高温烟气露点 .....	479	四、液力耦合器 .....	585
第二节 高温烟气冷却降温 .....	480	五、调速变频器 .....	589
一、冷却方法的分类及特性 .....	480	六、电磁调速电动机 .....	598
二、吸风直接冷却 .....	482	七、三角胶带传动计算 .....	601
三、喷雾直接冷却 .....	484	八、风机调节阀门远动执行机构 .....	604
四、间接冷却器传热计算 .....	493	<b>第九章 除尘设备涂装和保温设计</b> .....	606
五、间接风冷 .....	494	第一节 涂装除锈 .....	606
六、间接水冷 .....	503	一、除锈等级划分 .....	606
第三节 高温烟气管道膨胀补偿 .....	506	二、除锈主要方法 .....	607
一、管道膨胀伸长计算 .....	506	三、除锈等级的确定 .....	609
二、高温管道膨胀补偿 .....	506	第二节 涂装设计 .....	609
三、柔性材料补偿器 .....	510	一、涂装设计注意事项 .....	610
四、波形补偿器 .....	514	二、常用涂料的特点和选择 .....	610
五、鼓形补偿器 .....	517	三、涂装设计要点与工程实例 .....	613
六、补偿器选用注意事项 .....	519	四、涂装施工方法及病态预防 .....	615
第四节 高温烟气管道支架配置与 计算 .....	519	五、埋地管道外防腐蚀设计 .....	619
一、管道支架布置注意事项 .....	519	六、烟囱的防腐蚀设计 .....	621
二、管道支架推力计算 .....	521	第三节 保温材料性能 .....	622
三、管道跨距计算 .....	522	一、保温设置的原则 .....	622
四、管道扭力计算 .....	523	二、保温材料的种类和性能 .....	622
五、管道支座 .....	526	三、保温材料和辅助材料的选择 .....	627
<b>第八章 通风机</b> .....	528	四、保护层材料的选择 .....	629
第一节 通风机的分类和型号 .....	528	第四节 保温设计和热力计算 .....	629
一、通风机的分类和命名 .....	528	一、保温层厚度的设计计算 .....	629
二、通风机型号及规格 .....	528	二、保温结构设计及选用 .....	639
三、通风机的传动方式和风口位置 .....	530	三、保温层和辅助材料用量计算 .....	641
第二节 通风机的主要性能参数 .....	531	四、保温施工 .....	642
一、主要性能参数 .....	531	第五节 除尘工程伴热设计 .....	645
二、通风机特性曲线 .....	534	一、伴热设计要点 .....	645
第三节 常用除尘通风机 .....	537	二、蒸汽伴热设计 .....	646
一、除尘常用通风机 .....	538	三、热水伴热设计 .....	649
二、4-72 型离心通风机 .....	538	四、电伴热设计 .....	649
三、G4-73、Y4-73 型通、引风机 .....	543	<b>第十章 除尘工程消声与降振设计</b> .....	653
四、9-19 型、9-26 型通风机 .....	547	第一节 吸声材料与结构 .....	653
第四节 通风机的选型和机房布置设计 .....	565	一、噪声评价与度量 .....	653
一、通风机的选型原则 .....	565	二、噪声级基本运算 .....	655
二、通风机的选型计算及注意事项 .....	566	三、常用的吸声材料 .....	657
三、通风机进出口风管的合理布置 .....	567	四、常用的吸声结构 .....	660
四、机房布置设计 .....	569	第二节 消声装置设计与选择 .....	663
第五节 电动机 .....	571	一、消声器的种类 .....	663
一、电动机的分类和型号 .....	571	二、消声器的设计 .....	664
二、电动机外壳的防护等级 .....	572	三、常用风机消声器及其选择 .....	669

四、隔声罩的设计 .....	673	第四节 除尘系统自动控制设计 .....	740
五、隔声室的设计 .....	687	一、除尘系统自动控制设计注意	
第三节 降振设计 .....	689	事项 .....	740
一、降振设计注意事项 .....	689	二、脉冲袋式除尘系统的自动控制 ..	740
二、降振设计程序 .....	689	三、电除尘系统自动控制 .....	745
三、风机隔振设计 .....	690	<b>第十二章 除尘系统的测试和调整 ..</b>	<b>748</b>
四、管道隔振设计 .....	691	第一节 除尘系统的测试 .....	748
第四节 降振部件 .....	694	一、测试项目和条件 .....	748
一、减振器的类别和选用要点 .....	694	二、采样位置选择和测试点的确定 ..	749
二、阻尼弹簧减振器 .....	695	三、气体参数测试 .....	752
三、橡胶隔振垫 .....	701	四、集气吸尘罩性能测试 .....	763
<b>第十一章 除尘系统自动控制设计 .....</b>	<b>709</b>	五、除尘器性能测试 .....	765
第一节 除尘系统自动控制组成 .....	709	六、风机性能的测试 .....	774
一、除尘系统自动控制特点 .....	709	七、振动和噪声的测量 .....	778
二、自动控制系统组成 .....	709	第二节 除尘工程的调试和验收 .....	781
第二节 除尘工程常用仪表 .....	710	一、除尘工程调试准备 .....	781
一、温度仪表 .....	710	二、试车调整试验 .....	783
二、压力仪表 .....	718	三、工程验收 .....	786
三、粉尘物位仪表 .....	726	第三节 除尘系统风量调整 .....	788
四、差压变送器 .....	731	一、风量调整的准备 .....	788
第三节 可编程序控制器 .....	734	二、除尘系统风量调整基本原理 ..	789
一、可编程序控制器的基本构成 ..	734	三、测试内容和方法 .....	789
二、可编程序控制器的主要功能和		四、风量调整注意事项 .....	790
特点 .....	735	<b>参考文献 .....</b>	<b>792</b>
三、可编程序控制器选型 .....	737		

# 第一章 除尘工程设计常用数表

在除尘工程设计中，常用的数表有粉尘的基本性质参数，气体基本性质参数，常用数表、金属材料及紧固件等物理参数。设计中使用这些数表应考虑这些数表的普遍性与具体工程特殊性的关系和使用条件，保证设计选用参数的正确性。

## 第一节 粉尘的基本性质参数

粉尘是由自然力或机械力产生的，能够悬浮于空气中的固体细小微粒。国际上将粒径小于 $75\mu\text{m}$ 的固体悬浮物定义为粉尘。在除尘技术中，一般将 $1\sim 200\mu\text{m}$ 乃至更大颗粒的固体悬浮物均视为粉尘。由于粉尘的多样性和复杂性，粉尘的性质参数是很多的。本节主要介绍常用的粉尘性质参数。

### 一、粉尘的分类和特性

#### 1. 粉尘分类

(1)按物质组成分类 按物质组成粉尘可分为有机尘、无机尘、混合尘。有机尘包括植物尘、动物尘、加工有机尘；无机尘包括矿尘、金属尘、加工无机尘等。

(2)按粒径分类 按尘粒大小或在显微镜下可见程度粉尘可分为：粗尘，粒径大于 $40\mu\text{m}$ ，相当于一般筛分的最小粒径；细尘，粒径 $10\sim 40\mu\text{m}$ ，在明亮光线下肉眼可以见到；显微尘，粒径 $0.25\sim 10\mu\text{m}$ ，用光学显微镜可以观察；亚显微尘，粒径小于 $0.25\mu\text{m}$ ，需用电子显微镜才能观察到。不同粒径的粉尘在呼吸器官中沉着的位置也不同，又分为：可吸入性粉尘即可以吸入呼吸器官，直径约大于 $10\mu\text{m}$ 的粉尘；微细粒子直径小于 $2.5\mu\text{m}$ 的细粒粉尘，微细粉尘会沉降于人体肺泡中。

(3)按形状分类 不同形状的粉尘可以分为：①三向等长粒子，即长、宽、高的尺寸相同或接近的粒子，如正多边形及其他与之相接近的不规则形状的粒细子；②片形粒子，即两方向的长度比第三方向长得多，如薄片状、鳞片状粒子；③纤维形粒子，即在一个方向上长得多的粒子，如柱状、针状、纤维粒子；④球形粒子，外形呈圆形或椭圆形。

(4)按物理化学特性分类 由粉尘的湿润性、黏性、燃烧爆炸性、导电性、流动性可以区分不同属性的粉尘。如按粉尘的湿润性分为湿润角小于 $90^\circ$ 的亲水性粉尘和湿润角大于 $90^\circ$ 的疏水性粉尘；按粉尘的黏性力分为拉断力小于 $60\text{Pa}$ 的不黏尘， $60\sim 300\text{Pa}$ 的微黏尘， $300\sim 600\text{Pa}$ 的中黏尘，大于 $600\text{Pa}$ 的强黏尘；按粉尘燃烧、爆炸性分为易燃、易爆粉尘和一般粉尘；按粉料流动性可分为安息角小于 $30^\circ$ 的流动性好的粉尘，安息角为 $30^\circ\sim 45^\circ$ 的流动性中等的粉尘及安息角大于 $45^\circ$ 的流动性差的粉尘。按粉尘的导电性和静电除尘的难易分为大于 $10^{11}\Omega\cdot\text{cm}$ 的高比电阻粉尘， $10^4\sim 10^{11}\Omega\cdot\text{cm}$ 的中比电阻粉尘，小于 $10^4\Omega\cdot\text{cm}$ 的低比电阻粉尘。

(5)其他分类中还有分为生产性粉尘和大气尘，纤维性粉尘和颗粒状粉尘，一次扬尘和二次性扬尘等。

#### 2. 粉尘特性

粉尘有很多特殊的属性，其中与除尘工程密切相关的有悬浮特性、扩散特性、附着特性、燃烧和爆炸特性、荷电特性以及流动特性等。

(1)悬浮特性 在静止空气中，粉尘颗粒受重力作用会在空气中沉降。当尘粒较细，沉降速度不高时，可按斯托克斯(Stoke's)公式求得重力与空气阻力大小相等、方向相反时尘粒的沉降

速度，称尘粒沉降的终端速度。

密度为  $1\text{g/cm}^3$  的尘粒的沉降速度大致如下：

尘粒直径	速度
$0.1\mu\text{m}$	$4 \times 10^5 \text{cm/s}$
$1.0\mu\text{m}$	$4 \times 10^3 \text{cm/s}$
$10\mu\text{m}$	$0.3 \text{cm/s}$
$100\mu\text{m}$	$50 \text{cm/s}$

实际空气绝非静止，而是有各种扰动气流，小于  $10\mu\text{m}$  的尘粒能长期悬浮于空气中。即便是大于  $10\mu\text{m}$  的尘粒，当处于上升气流中，若流速达到尘粒终端沉降速度，尘粒也将处于悬浮状态，该上升气流流速称为悬浮速度。作业场所存在自然风流、热气流、机械运动和人员行动而带动的气流，使尘粒能长期悬浮。粉尘的悬浮特性是除尘工程计算的依据之一。

(2) 扩散特性 扩散特性是指微细粉尘随气流携带而扩散。即使在静止的空气中，尘粒受到空气分子布朗运动的撞击也能形成类似于布朗运动的位移。对于  $0.4\mu\text{m}$  的尘粒，单位时间布朗位移的均方根值大于其重力沉降的距离；对  $0.1\mu\text{m}$  的尘粒，布朗位移的均方根值相当于重力沉降距离的 40 余倍。扩散使粒子不断由高浓度区向低浓度区转移，形成尘粒流经微小通道向周壁沉降的主要原因。

(3) 附着特性 尘粒有黏附于其他粒子或其他物质表面的特性。附着力有 3 种，即范德瓦尔斯力、静电力和液膜的表面张力。微米级尘粒的附着力远大于重力，直径  $10\mu\text{m}$  的粉尘在滤布上附着力可达自重的 1000 倍，当悬浮尘粒相互接近时，彼此吸附聚集成大颗粒，当悬浮微粒接近其他物体时即会附着其表面，必须有一定的外加力才能使其脱离。集合的粉尘体之间亦存在粉尘间的吸附力，一般称为粉尘的黏性力，若需将集合的粉尘沉积物剥离，必须施加拉断力。

范德瓦尔斯力使尘粒表面有吸附气体、蒸汽和液体的能力。粉尘颗粒愈细，比表面积愈大，单位质量粉尘表面吸附的气体和蒸汽的量愈多。单位质量粉尘粒子表面吸附水蒸气量可衡量粉尘的吸湿性。当液滴与尘粒表面接触，除存在液滴与尘粒表面吸附力外，液滴尚存在自身的凝聚能力，两种力量平衡时，液滴表面与尘粒表面间形成湿润角，表征尘粒的湿润性能。湿润角愈小，粉尘湿润性好；反之，说明粉尘湿润性差。

(4) 燃烧和爆炸特性 物料转化为粉尘，比表面积增加，提高了物质的活性，在具备燃烧的条件下，可燃粉尘氧化放热反应速度超过其散热能力，最终转化为燃烧，称粉尘自燃。当易爆粉尘浓度达到爆炸界限并遇明火时，产生粉尘爆炸。煤尘、焦炭尘、铝、镁和某些含硫分高的矿尘均系爆炸性粉尘。

(5) 荷电特性 由于天然辐射，离子或电子附着，尘粒之间或粉尘与物体之间的摩擦，使尘粒带有电荷。其带电量 and 电荷极性(负或正)与工艺过程环境条件、粉尘化学成分及其接触物质的电介常数等有关。尘粒在高压电晕电场中，依靠电子和离子碰撞或离子扩散作用使尘粒得到充分的荷电。当温度低时，电流流经尘粒表面称表面导电；温度高时，尘粒表面吸附的湿蒸汽或气体减少，施加电压后电流多在粉尘粒子体中传递，称体积导电。粉尘成分、粒度、表面状况等决定粉尘的导电性。

(6) 流动特性 尘粒的集合体在受外力时，尘粒之间发生相对位置移动，近似于流体运动的特性。粉尘粒子大小、形状、表面特征、含湿量等因素影响粉料的流动性，由于影响因素多，一般通过试验评定粉料的流动性能，粉料自由堆置时，料面与水平面间的交角称安息角，安息角的大小在一定程度上能说明粉料的流动性能。

## 二、粉尘的密度

单位体积粉尘的质量称为粉尘的密度。排出粉尘颗粒之间及其内部的空隙后，单位体积密实状态粉尘的质量称为真密度。包括粉尘颗粒之间及其内部空隙，单位体积松散粉尘的质量称为堆积密度。粉尘的真密度用在研究尘粒在气体中的运动、分离方面；堆积密度用在储仓或灰斗容积

确定等方面。主要粉尘、灰尘的密度见表 1-1。常见工业粉尘的密度见表 1-2。

表 1-1 主要粉尘、灰尘的密度

单位:  $\text{g}/\text{cm}^3$ 

粉尘、灰尘种类		真密度	堆积密度
金属 矿山 岩石	硝石、煤粉、石棉、铍、铊	1.8~2.2	0.7~1.2
	铝粉、云母类、滑石、蛇纹岩、石灰石、大理石、方解石、长石、硅砂、页岩、黏土(陶土、滑石)、白土(游离硅酸)	2.3~2.8	0.5~1.6
	关东土、钡	2.8~3.5	0.7~1.6
	闪锌矿、硫化铁矿、硒、锡、砷、钷	4.3~5.9	1.2~2.3
	方铅矿、铁粉、铜粉、钒、锑、铋、钴、镉、碲、锰	6~9	2.5~3
金属 氧化物	氧化硼	1.5	0.2
	氧化镁、氧化钛、氧化钒、氧化铝、氧化钙	3.2~3.9	0.2~0.6
	氧化砷、氧化钷、氧化锰	4~4.9	0.8~1.8
	氧化锌、氧化铁	5.2~5.5	0.8~2.2
	氧化锑、氧化铜	5.7~6.5	2.5~2.8
	氧化镉、氧化钠、氧化铅	8~9.5	1.1~3.2
化 学	樟脑、萘、三硝基甲苯、二硝基甲苯、特屈儿、二硝基苯、马钱子碱、氢醌、四乙基铅、硼砂、硫酸、砷酸钠	1~1.7	0.5
	五氯苯酚、石墨、石膏、硫(酸)铵、氰氧化钙、飞灰、含氟酸碱、硫、磷酸、苛性钠、黄磷、苦味酸	1.8~2.5	0.7~1.2
	炭黑	1.85	0.04
	碳酸镁、碳酸钙	2.3~2.7	0.5~1.6
	碳化硅、白云石、菱镁矿、硅酸盐水泥、硫化砷、牙粉、玻璃	2.8~3.3	0.7~1.6
	烟道粉尘、五氯化磷、铬酸	4.8~5.5	0.5~2.5
	砷酸铅	7.3	
有 机	木头粉末、天然纤维、聚乙烯、谷粉	0.45~0.5	0.04~0.2
	苯胺染料、酚醛树脂、硬质胶、尼龙、苯乙烯、轮胎用橡胶	0.8~1.3	0.05~0.2
	氯乙烯、小麦粉	1.3~1.6	0.4~0.7
其 他	水滴、灰尘	0.8~1.2	
	研磨粉	2.3~2.7	0.5~1.6

表 1-2 常见工业粉尘真密度与堆积密度

单位:  $\text{g}/\text{cm}^3$ 

粉尘名称或来源	真密度	堆积密度	粉尘名称或来源	真密度	堆积密度
精致滑石粉 (1.5~45 $\mu\text{m}$ )	2.70	0.90	铅精炼	6	—
			锌精炼	5	0.5
滑石粉	2.75	0.53~0.71	铝二次精炼	3.0	0.3
硅砂粉	2.63	1.16~1.55	硫化矿熔炉	4.17	0.53
烟灰 (0.7~56 $\mu\text{m}$ )	2.20	0.8	锡青铜矿	5.21	0.16
煤粉锅炉	2.15	0.7~0.8	黄铜电炉	5.4	0.36
电厂飞灰	1.8~2.4	0.5~1.3	氧化铜 (0.9~42 $\mu\text{m}$ )	6.4	0.62
化铁炉	2.0	0.8	铋反射炉	3.01	0.83~1.0
黄铜熔化炉	4~8	0.25~1.2	氧化锌焙烧	4.23	0.47~0.76

续表

粉尘名称或来源	真密度	堆积密度	粉尘名称或来源	真密度	堆积密度
铅烧结	4.17	1.79	炼焦备煤	1.4~1.5	0.4~0.7
铅砷硫吹炼	6.69	0.59	焦炭	2.08	0.4~0.6
水泥干燥窑	3.0	0.6	石墨	2	约0.3
水泥生料粉	2.76	0.29	造纸黑液炉	3.1	0.13
硅酸盐水泥 (0.7~91 $\mu\text{m}$ )	3.12	1.50	重油锅炉	1.98	0.2
			炭黑	1.85	0.04
铸造砂	2.7	1.0	烟灰	2.15	0.8
造型用黏土	2.47	0.72	骨料干燥炉	2.9	1.06
烧结矿粉	3.8~4.2	1.5~2.6	铜精炼	4~5	0.2
烧结机头(冷矿)	3.47	1.47	铅再精炼	约6	1.2
炼钢电炉	4.45	0.6~1.5	铅铁合金	1.28	0.52
炼钢转炉(顶吹)	5.0	1.36	钒铁合金	1.4~1.5	0.5
炼铁高炉	3.31	1.4~1.5			

### 三、粉尘的粒度和成分

#### 1. 一般粉尘的粒径和分散度

粒径是表征粉尘颗粒状态的重要参数。粉尘颗粒状态是颗粒大小和形态的表征。粉尘的粒径分布称为分散度。粉尘的分布和粒径大小见图 1-1 和图 1-2。粉尘分散度的表示方法见表 1-3。粉尘粒径与沉降速度的关系如图 1-3 所示。

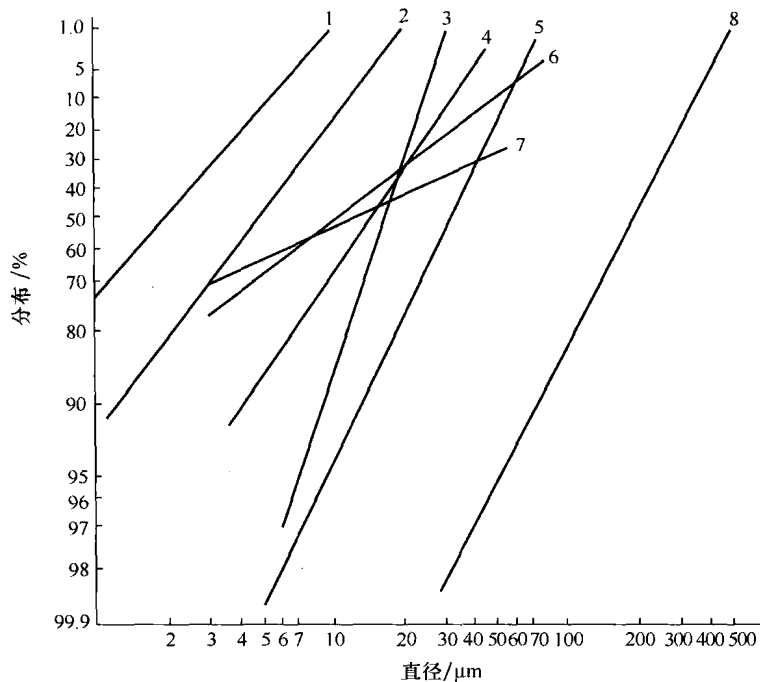


图 1-1 粉尘粒径分布

1—日本关东土；2—飘尘；3—软钢热轧粉尘；4—钢板等离子切割粉尘；  
5—重油锅炉粉尘；6—炼铝炉粉尘；7—焊接尘雾；8—硅砂

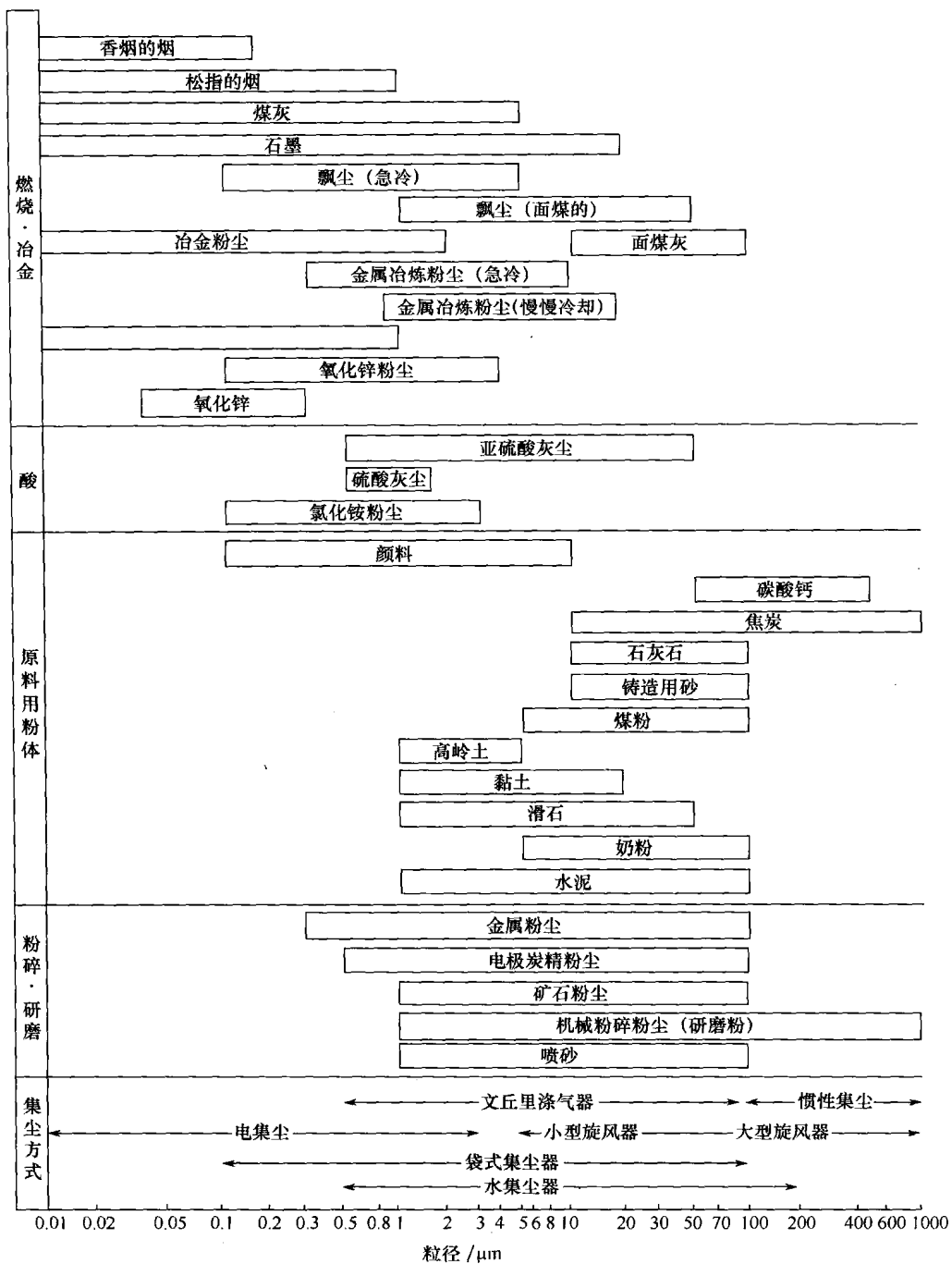


图 1-2 粉尘粒径范围

表 1-3 粉尘分散度的表示方法

区段	1	2	3	4	5	6	7	8	9
粒径 $\Delta d/\mu\text{m}$	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 $d/\mu\text{m}$	0.8	1.2	1.6	2.0	2.4	2.8	3.2	3.6	4.8
颗粒数 $N/\text{个}$	370	1110	1660	1510	1190	776	470	187	48
质量 $\Delta m/\text{g}$	0.1	1.0	3.55	6.35	8.6	8.9	8.05	4.55	1.6
质量分数 $\Delta D/\%$	0.23	2.35	0.3	14.95	20.1	20.85	18.8	10.65	3.77
相对频率 $\Delta D/\Delta d$	0.58	5.88	20.8	37.4	50.3	52.1	47.0	26.6	9.6
筛上累计 $R/\%$	100	99.7	97.42	89.12	47.17	54.07	33.22	14.42	3.77
筛下累计 $D/\%$	0	0.3	2.58	10.88	52.83	45.97	66.78	85.58	96.23

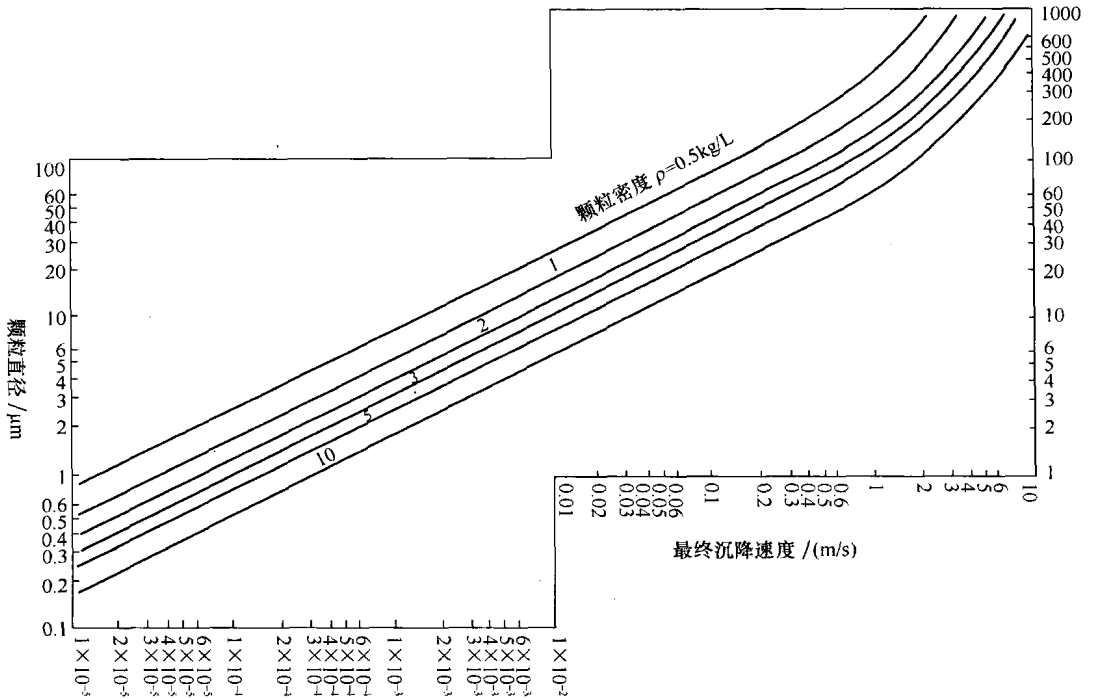


图 1-3 粉尘颗粒直径与沉降速度

## 2. 工业粉尘的粒径和成分

(1) 水泥工业粉尘化学成分和粒径 水泥生产过程中所产生的粉尘以一种不均质、不规则状态存在，属于无机粉尘，一般粉尘本身无毒。各种粉尘的化学成分见表 1-4；水泥窑和磨机粉尘分散度见表 1-5；车间粉尘分散度见表 1-6。



表 1-4 水泥厂各种粉尘的化学成分

粉尘名称	化学成分/%							
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	烧失量
窑灰	47.2	19.6	5.95	2.89	1.17	0.90 1.20	10.08	8.40
窑灰	59.8	16.8	6.68	2.91	1.17		3.20	7.60
窑灰	44.4	13.7	2.65	1.97	0.95		13.06	7.36
熟料	22.9	1.80	3.00	65.50	0.80		0.50	0.006
熟料	22.2	4.00	3.50	65.10	0.40		0.90	1.20
水泥	21.67	5.17	3.03	65.00	1.81		1.41	0.71
石灰石	6.30	2.00	1.30	49.50	0.80		0.70	
黏土	60.90	10.80	11.00	2.20	2.40		1.90	
矿渣	30.70	17.70	0.50	43.50	5.00			

表 1-5 水泥窑和磨机粉尘分散度

窑型	粒度比例/%					
	<15 $\mu$ m	15~20 $\mu$ m	20~30 $\mu$ m	30~40 $\mu$ m	40~88 $\mu$ m	>88 $\mu$ m
带余热锅炉干法窑	58	8	13	6	10	5
带悬浮预热器干法窑	94	2	2	1	1	0
不带过滤器的湿法窑	69	10	11	7	3	0
带过滤器的湿法窑	22	7	11	8	42	10
立波尔窑	39	17	5	15	16	8
干法原料磨	43	6.8	21.4	7.8	17.5	3.5
水泥磨	42	6.4	18.6	8.8	23.6	0.6

表 1-6 水泥厂车间粉尘的分散度

地点	粒度比例/%				
	0~3 $\mu$ m	3~5 $\mu$ m	5~7 $\mu$ m	7~10 $\mu$ m	>10 $\mu$ m
包装机房	51	24	7	5	13
窑头厂房	36	14	9	14	27

(2) 电厂锅炉飞灰的化学成分和物理性质 飞灰的化学成分主要为氧化硅、氧化铝, 两者总含量一般在 60% 以上。中国飞灰化学成分见表 1-7, 物理性质见表 1-8。

表 1-7 中国飞灰的化学成分大致分布范围

单位: %

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	C
33.9~59.7	16.5~35.4	0.5~15.4	0.8~10.4	0.7~1.8	0~1.1	0.7~3.3	0~23.5

表 1-8 中国电厂锅炉的飞灰物理性质

项目	表观密度 /(g/cm <sup>3</sup> )	堆积密度 /(g/cm <sup>3</sup> )	真密度 /(g/cm <sup>3</sup> )	80 $\mu$ m 筛余量 /%	45 $\mu$ m 筛余量 /%	透气法比 表面积 /(cm <sup>2</sup> /g)	标稠 需水量 /%
范围	1.92~2.85	0.5~1.3	1.8~2.4	0.6~77.8	2.7~86.6	1176~6531	27.3~66.7
均值	2.14	0.75	2.1	22.7	40.6	3255	48.0