

袋式除尘 技术手册

中国环境保护产业协会袋式除尘委员会 组编
陈隆枢 陶 晖 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

袋式除尘技术手册

中国环境保护产业协会袋式除尘委员会 组编
陈隆枢 陶 晖 主编



机械工业出版社

本书共十三章，详细介绍了与袋式除尘技术有关的粉尘和含尘气体特性；袋式除尘的理论基础；袋式除尘滤料；清灰技术及装置；袋式除尘器的结构型式；袋式除尘器配件；袋式除尘系统的自动控制；袋式除尘器的设计选型；袋式除尘器用于特种烟尘的对策；袋式除尘器的安装、运行和维护；袋式除尘器性能测试；袋式除尘器故障诊断及排除。最后一章介绍了袋式除尘器在钢铁、水泥、有色冶金、火力发电、废弃物焚烧、纺织及其他行业的应用，并列出了相应的应用实例。

本书可供从事环境保护、粉料收集的科研、设计、制造、安装、维护管理的工作人员使用，也可供环境保护及相关专业的高等院校师生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

袋式除尘技术手册/陈隆枢, 陶晖主编. —北京: 机械工业出版社, 2010.3

ISBN 978 - 7 - 111 - 28958 - 6

I. ①袋… II. ①陈… ②陶… III. ①滤袋除尘器—技术手册
IV. ①TM925.31 - 62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 030436 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)
策划编辑: 赵玲丽 责任编辑: 赵玲丽 版式设计: 张世琴
封面设计: 姚毅 责任校对: 刘志文 责任印制: 乔宇
三河市国英印务有限公司印刷
2010 年 5 月第 1 版第 1 次印刷
184mm × 260mm · 25.75 印张 · 635 千字
0001 - 3000 册
标准书号: ISBN 978 - 7 - 111 - 28958 - 6
定价: 88.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心: (010) 88361066

门户网: <http://www.cmpbook.com>

销售一部: (010) 68326294

教材网: <http://www.cmpedu.com>

销售二部: (010) 88379649

读者服务部: (010) 68993821

封面防伪标均为盗版

《袋式除尘技术手册》

编写组

主 编：陈隆枢 陶 晖

主 审：郭丰年 王金波

编写人员：（以姓氏笔画为序）

王小兵	毛志伟	冯 斌	孙 熙	朱德生
吕维宁	陈隆枢	陈志炜	肖宝恒	肖容绪
吴善淦	沈恒根	周铁祥	姚 群	陶 晖
陶 岚	黄 翔			

前 言

作为高效实用的除尘设备，袋式除尘器在工业生产、节能减排、大气污染控制中发挥举足轻重的作用。袋式除尘器可获得极低的颗粒物排放浓度，有效控制影响大气质量和人体健康的微细粒子，去除有害气体；袋式除尘器是许多工业物料的回收设备，还是新能源开发和节能工程中的配套设备；袋式除尘器能够适应多种复杂条件而获得稳定的运行效果。近几十年来，我国大气污染物排放标准不断修订，排放限值显著降低，污染物排放量大幅度削减，袋式除尘技术的进步是重要原因之一。

我国袋式除尘技术的研究开发始于20世纪60年代。几十年来，袋式除尘技术在主机、滤料和滤袋、配件和自动控制、应用技术等诸方面都有了长足的进步。产品的门类持续增加，技术水平持续提高，产品质量持续改善，应用领域持续扩大，经济效益、社会效益、环境效益持续增长。改革开放的30年为我国袋式除尘技术和产业的发展提供了强大的动力和可靠的保障。进入21世纪，袋式除尘技术已成为我国发展最快、应用最广泛的除尘技术。

伴随袋式除尘技术的高速发展，我国已逐步形成了一支规模空前的袋式除尘产业队伍。长期以来，广大除尘工作者迫切希望有一本系统总结我国袋式除尘技术的理论和实践、全面反映我国袋式除尘现状和发展的专业手册，以供学习和参考。为了满足广大读者的迫切需要，同时促进袋式除尘技术的进一步发展，2006年3月，中国环境保护产业协会袋式除尘委员会决定组织编写《袋式除尘技术手册》。

本手册本着总结既往、指导未来的总体方针，以实用、求真、丰富、简明作为编写原则。

1) 实用：本手册主要面向从事袋式除尘工程的读者，为他们在实施袋式除尘工程的设计、制造、安装、调试、验收、使用以及运行管理和维护检修过程中提供指导和帮助。手册讲究实用，避免过多和过深的理论叙述，避免引列与袋式除尘工程关系不密切的公式和计算，避免过多过深地介绍袋式除尘行业自身的工艺过程。

2) 求真：在编写过程中对有关素材和资料都进行认真鉴别和核实，“去粗取精，去伪存真”，剔除那些不真实的、含糊的、过时的和商业宣传的成分，力求呈现给读者一本真实的、有效的、能够代表最新技术水平的“袋式除尘技术”专业手册。

3) 丰富：本手册全面总结我国袋式除尘技术的进步和创新，尽量反映各行业应用袋式除尘器应用的情况和业绩，包括必要的理论、公式、数据、图表、经验，并遴选典型的工程实例，力求使各种需求的读者都能从中受益。

4) 简明：手册的编写力求简化层次，内容直奔主题，避免不必要的渲染。文字力求简炼，避免教科书式的叙述，也避免过于深入到袋式除尘所属的专业。让读者利用尽量少的的时间得到所需要的帮助。

参加《袋式除尘技术手册》编写的人员共计17人，他们来自科研、设计、高校、

企业，都是该领域的专家、学者和领军人物，长期从事袋式除尘技术工作。经过全体编写、校审人员三年多的团结协作和辛勤劳动，终于完成本手册的编写。在手册编写过程中，得到袋式除尘委员会各委员单位的大力支持与协助，在此一并致谢！

本书编写分工：沈恒根（第一章）；陶晖（第二章、第九章和第十三章第一节）；孙熙、王小兵、陶晖（第三章）；陈隆枢（第四章、第五章、第十二章）；朱德生、陶晖（第六章）；冯斌（第七章）；吴善淦（第八章和第十三章第六节）；姚群、陈志炜（第十章）；孙熙（第十一章）；陶晖、陶岚、周铁祥（第十三章第二节）；毛志伟（第十三章第三节）；吕维宁、陈隆枢（第十三章第四节）；肖宝恒（第十三章第五节）；黄翔（第十三章第七节）；陶晖、肖容绪（第十三章第八节）。

袋式除尘技术正在不断发展，新的技术和产品层出不穷，同时，由于主观和客观的原因，本手册在内容的系统性、完整性、文字的统一性方面定会存在不足之处，敬请读者指正。

主 编

2009年3月

目 录

前言

第一章 粉尘和含尘气体特性

第一节 粉尘

一、粉尘的定义与分类

二、粉尘的基本特性

三、粉尘的危害

第二节 含尘气体

一、含尘气体基本概念

二、含尘气体理化特性

三、含尘气体流体力学特性

第二章 袋式除尘理论基础

第一节 袋式除尘工作原理

一、过滤工况

二、清灰工况

第二节 过滤机理

一、孤立体捕集机理

二、纤维层过滤机理

三、容尘纤维层过滤机理

四、覆膜纤维层过滤机理

五、有毒有害气体净化机理

第三节 阻力特性

一、洁净滤料阻力

二、容尘滤料阻力

三、容尘滤袋阻力的试验公式

四、滤袋运行阻力的非稳态特性

第四节 过滤效率

一、过滤效率的理论计算

二、过滤效率的非稳态特性

三、过滤效率的影响因素

第三章 袋式除尘滤料

第一节 滤料构成要素

一、纤维

二、纱线

三、纤网

四、基布

第二节 滤料种类及制造工艺

一、对滤料的基本要求

二、滤料分类

三、织造滤料

四、非织造滤料

五、特种滤料

第三节 滤料处理技术

一、纱线处理

二、滤料后整理

三、热定型处理

第四节 滤料检测

一、滤料检验的内容及依据

二、形态检测

三、力学性能检测

四、流体动力性能检测

五、过滤性能检测

六、物理性能检测

七、化学性能检测

八、测试数据实例

第五节 滤料的选择

一、根据含尘气体的特性选用滤料

二、根据粉尘的性状选用滤料

三、根据除尘器的清灰方式选用滤料

四、根据其他特殊要求选用滤料

第四章 清灰技术及装置

第一节 袋式除尘器的清灰机理

一、机械振动清灰机理

二、反吹清灰机理

三、脉冲喷吹清灰机理

四、脉冲袋式除尘器清灰能力的评价 指标和清灰过程	101	二、回转管喷吹脉冲袋式除尘器	139
第二节 清灰装置	103	三、分室回转切换定位反吹袋式 除尘器	141
一、机械振动清灰装置	103	第七节 电袋复合除尘器	142
二、逆气流清灰装置	104	一、分区组合型电袋复合除尘器	142
三、脉冲喷吹清灰装置	107	二、一体组合型电袋复合除尘器	143
第五章 袋式除尘器的结构型式	110	第八节 特种袋式除尘器	143
第一节 分类	110	一、滤筒式除尘器	143
一、按清灰方式分类	110	二、陶瓷质微孔管过滤式除尘器	145
二、按过滤元件的形态分类	112	三、塑烧板除尘器	146
三、按容尘面分类	113	第六章 袋式除尘器配件	148
四、按除尘器的工作压力分类	113	第一节 过滤单元配件	148
五、按进出风位置分类	114	一、滤袋	148
第二节 振动清灰类袋式除尘器	114	二、滤筒	156
一、顶部振打袋式除尘器	114	三、塑烧板	158
二、中部振打袋式除尘器	115	第二节 清灰机构配件	160
三、整体框架振打式玻璃纤维扁袋 除尘器	116	一、振动清灰	160
第三节 分室反吹类袋式除尘器	117	二、反吹清灰	161
一、负压式分室反吹袋式除尘器	117	三、脉冲喷吹清灰	164
二、正压式分室反吹袋式除尘器	119	第三节 卸灰装置配件	169
三、旁插扁袋除尘器	120	一、灰斗破拱装置	169
四、菱形扁袋除尘器	123	二、卸灰装置	172
第四节 喷嘴反吹类袋式除尘器	124	三、无尘卸料装置	175
一、回转反吹袋式除尘器	124	第七章 袋式除尘系统的自动控制	178
二、气环反吹袋式除尘器	126	第一节 基本控制内容及控制 要求	178
第五节 脉冲喷吹类袋式除尘器	128	一、基本控制内容	178
一、中心喷吹脉冲袋式除尘器	128	二、控制要求	178
二、环隙喷吹脉冲袋式除尘器	129	第二节 袋式除尘系统自动控制 原理	179
三、低压喷吹脉冲袋式除尘器	130	一、除尘器阻力控制	179
四、长袋低压脉冲袋式除尘器	131	二、温度控制	180
五、防爆、节能、高浓度煤粉脉 冲袋式收集器	133	三、卸、输灰控制	180
六、高炉煤气脉冲袋式除尘器	134	四、工况检测、故障诊断	181
七、离线清灰脉冲袋式除尘器	136	第三节 自动控制硬件设计	181
八、气箱脉冲袋式除尘器	136	一、基本原则	181
第六节 大型袋式除尘器	138	二、硬件原理框图	181
一、直通均流脉冲袋式除尘器	138		

三、主控制器·····	183	四、选择滤料·····	199
四、一次检测器件·····	183	五、确定过滤速度·····	199
第四节 自动控制软件设计·····	185	六、计算过滤面积·····	199
一、软件功能任务书的编制·····	185	七、确定清灰制度·····	199
二、软件结构设计·····	187	八、确定除尘器型号、规格·····	199
三、程序设计·····	187		
四、软件调试·····	188	第九章 袋式除尘器用于特种烟尘	
第五节 自动控制设备的加工制作		的对策 ·····	200
及调试·····	188	第一节 概述·····	200
一、设备加工制作·····	188	第二节 高温高湿气体·····	200
二、调试·····	188	一、高温气体的冷却·····	200
第六节 自动控制系统的运行		二、高湿气体的调质·····	207
及维护·····	190	三、除尘器设计选型对策·····	208
一、运行监控·····	190	第三节 特种粉尘·····	208
二、维护·····	191	一、磨琢性粉尘的处理·····	208
第八章 袋式除尘器的设计选型 ·····	192	二、吸湿性、潮解性粉尘的处理·····	209
第一节 设计选型依据·····	192	第四节 特种含尘气体·····	210
一、处理风量·····	192	一、高含尘浓度气体的处理·····	210
二、运行温度·····	192	二、可燃性、爆炸性尘气的处理·····	212
三、气体的成分·····	192	三、含焦油雾气体的处理·····	215
四、粉尘的性质·····	193	四、腐蚀性气体的处理·····	217
五、含尘浓度·····	194	五、有毒有害气体的处理·····	218
六、排放要求·····	194		
七、系统配置·····	195	第十章 袋式除尘器的安装、运行	
八、尘源工况条件·····	195	和维护 ·····	220
九、环境条件·····	195	第一节 袋式除尘器的安装·····	220
第二节 设计选型要点·····	196	一、袋式除尘器安装前的准备·····	220
一、过滤速度及其合理选取·····	196	二、袋式除尘器的安装程序·····	222
二、箱体结构设计·····	196	三、袋式除尘器安装技术要求·····	224
三、灰斗·····	196	第二节 袋式除尘系统的调试	
四、气流分布装置·····	197	和验收·····	232
五、清灰供气系统设计·····	197	一、袋式除尘系统的调试·····	232
六、电改袋的基本型式·····	198	二、袋式除尘系统的验收·····	234
七、高温袋式除尘器设计·····	198	第三节 袋式除尘系统的运行·····	235
第三节 设计选型步骤·····	199	一、袋式除尘系统的启动·····	235
一、确定处理风量·····	199	二、袋式除尘系统的运行·····	235
二、确定运行温度·····	199	三、袋式除尘系统的停机·····	236
三、选择清灰方式·····	199	四、事故状态下袋式除尘系统的操作	
		与停机·····	236

第四节 袋式除尘器的维护管理	237	第十二章 袋式除尘器故障诊断及排除	256
一、袋式除尘器运行中的检查	237	第一节 清灰装置失效	256
二、袋式除尘器运行状态下的维护与检修	237	一、振动清灰方式	256
三、袋式除尘器停机维护与大修	237	二、反吹清灰方式、反吹—振动联合清灰方式	256
四、袋式除尘器备品备件的管理	238	三、回转反吹及脉动反吹清灰方式	256
第十一章 袋式除尘器性能测试	239	四、脉冲喷吹清灰方式	257
第一节 测试内容和条件	239	第二节 滤袋非常规破损	259
一、测试内容	239	一、含尘气流冲刷滤袋	259
二、一般要求	239	二、滤袋之间或滤袋与箱体板壁之间发生摩擦	260
三、测定位置	239	三、破损滤袋的连锁反应	260
四、测点数	239	四、滤袋框架的影响	261
五、测孔	241	五、炽热颗粒烧坏滤袋	261
第二节 粉尘粒径分布和密度的测试	241	六、脉冲喷吹气流偏斜	261
一、粉尘粒径分布的测试	241	七、反吹风袋式除尘器滤袋未张紧	262
二、粉尘密度的测试	244	八、粉尘或气体燃烧（或爆炸）而烧毁滤袋	263
第三节 除尘器风量测试及漏风率计算	246	九、滤袋被腐蚀	263
一、风量的测试	246	十、箱体漏风	263
二、漏风率的计算	247	十一、滤料质量差	264
第四节 含尘浓度和除尘效率测试	248	十二、灰斗堵塞	264
一、测试方法	248	第三节 灰斗积存粉尘过多	264
二、采样体积的测定	248	一、卸灰不及时	265
三、含尘浓度的计算	252	二、卸灰口漏风	265
四、除尘效率的计算	252	三、卸灰量过小	265
第五节 袋式除尘器过滤速度和设备阻力的计算	252	四、灰斗内粉尘架桥	265
一、过滤速度的计算	252	五、粉尘因潮湿而产生附着甚至粘结	265
二、设备阻力的计算	252	第四节 设备阻力过高	266
第六节 袋式除尘器气流分布测试	253	一、滤袋堵塞	266
一、袋式除尘器气流分布的主要功能	253	二、粉尘进入滤料深层	267
二、袋式除尘器气流分布的现场测试	253	三、过滤风速过高	267
		四、结构阻力过高	267
		五、压力计误报	267
		六、清灰周期过长	268
		七、清灰强度不足	268
		八、清灰装置发生故障	268

九、内滤式滤袋张力不足	268	三、烧成除尘	323
十、灰斗堵塞	268	四、产品制备及包装除尘	326
十一、滤袋间距过小	268	第四节 袋式除尘器在有色金属工业	
第五节 设备阻力过低	269	中的应用	330
一、过滤风速过低	269	一、铝冶炼除尘	330
二、处理风量未达到设计值	269	二、铝用炭素制品除尘	331
三、压力计误报	269	三、镁钛冶炼除尘	333
四、清灰周期过短	269	四、铜铅锌冶炼除尘	335
五、滤袋严重破损或滤袋脱落	269	第五节 袋式除尘器在燃煤锅炉烟气	
第六节 粉尘排放浓度超标	269	净化中的应用	344
一、滤袋破损	269	一、燃煤电厂锅炉烟气除尘	344
二、滤袋脱落	269	二、工业与民用中、小型锅炉烟气	
三、滤袋安装不合格	269	除尘	354
四、花板存在泄漏	270	三、锅炉烟气脱硫除尘	358
五、分隔尘气和净气的隔板存在泄漏	271	第六节 袋式除尘器在废弃物焚烧	
六、旁路阀密封不好	271	烟气净化中的应用	361
七、滤袋选择不当	271	一、生活垃圾焚烧烟气净化	361
		二、医疗废物焚烧烟气净化	371
第十三章 袋式除尘器的应用	272	第七节 袋式除尘器在纺织工业	
第一节 概述	272	中的应用	375
第二节 袋式除尘器在黑色冶金工业		一、生产工艺及污染源	375
中的应用	273	二、除尘系统设计	375
一、焦炉除尘	273	三、除尘设备选型	378
二、烧结除尘	278	第八节 袋式除尘器在其他行业	
三、高炉除尘	283	中的应用	385
四、混铁炉除尘	289	一、沥青混凝土搅拌站除尘	385
五、转炉除尘	291	二、陶瓷工艺除尘	387
六、炼钢电炉除尘	295	三、三聚磷酸钠工艺除尘	388
七、铁合金电炉除尘	302	四、橡胶混炼机除尘	390
八、轧机除尘	308	五、家具木制品加工除尘	391
九、石灰窑除尘	311	六、粮食饲料加工及仓储除尘	392
第三节 袋式除尘器在水泥工业		七、卷烟生产线除尘	393
中的应用	317	八、茶叶生产线除尘	394
一、水泥生产线的排放源	317	参考文献	396
二、原料制备除尘	319		

第一章 粉尘和含尘气体特性

第一节 粉 尘

一、粉尘的定义与分类

习惯上把灰尘、尘埃、烟尘、矿尘、沙尘、烟尘等统称为粉尘，其严格定义为：由自然力或机械力产生的，能够悬浮于空气中的固体微细颗粒物。粉尘可根据某一特征进行分类。

1. 按粉尘生成过程分类

1) 机械粉尘：指由机械过程（如破碎、筛分、运输等）产生的可悬浮固体颗粒物。粒径分布范围较宽，可以达到百位级（零到数百微米）；

2) 烟尘：指由高温分解或燃烧过程（如冶炼、燃烧、切割、焊接等）产生的悬浮于烟气中的固体颗粒物。粒径较细，可以达到十位级（零到数十微米）。

3) 烟炱：指由熔融或燃烧过程（如冶炼燃油、燃煤等）挥发的烟雾，冷凝后形成的固体悬浮粒子，粒径微细，大都在个位级（零到数微米）。

2. 按大气中粉尘颗粒的大小分类

1) 飘尘：指粒径小于 $10\mu\text{m}$ 的固体颗粒物，能较长期地在大气中飘浮，也称为浮游粉尘。

2) 降尘：指粒径大于 $10\mu\text{m}$ 的固体颗粒物。在重力作用下，它可在较短的时间内沉降到地面。

3) 总悬浮微粒：指大气中粒径小于 $100\mu\text{m}$ 的所有固体颗粒物。

3. 按工业卫生学分类

1) 总粉尘：指悬浮于空气中粉尘的总量。一般是指粒径小于 $100\mu\text{m}$ 的粉尘，简记为 TSP（总悬浮颗粒物）。

2) 可吸入粉尘：指由于呼吸作用能进入人体内部并沉积在呼吸系统内的粉尘。一般是指粒径小于 $10\mu\text{m}$ 的粉尘，简记为 PM10。

3) 呼吸性粉尘：指由于呼吸作用能进入人体内部并沉积在肺泡上的粉尘。一般是指粒径小于 $2.5\mu\text{m}$ 的粉尘，简记为 PM2.5。

二、粉尘的基本特性

1. 密度

单位体积粉尘所具有的质量称为粉尘的密度，分为真密度和堆积密度。

1) 真密度：粉尘的真密度是指除去粉尘中空隙体积后单位体积粉尘所具有的质量，与粉尘的沉降、输送、净化等特性密切相关。

2) 堆积密度：粉尘的堆积密度是指在自然堆积状态下单位体积粉尘所具有的质量，也称容积密度或假密度，是设计粉尘贮存、运输设备的重要参数。

真密度和堆积密度的关系取决于粉尘堆放体积中的空隙率 ϵ ，可用下式表示：

$$\rho_v = \left(1 - \frac{\varepsilon}{100}\right)\rho_p \quad (1-1)$$

式中 ρ_v ——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 (%)。

对于球形尘粒, $\varepsilon = 30\% \sim 40\%$, 非球形尘粒的 ε 值则大于球形尘粒的 ε 值。粉尘越细, ρ_v 越小, ρ_v/ρ_p 比值越大, 粉尘愈难捕集, $\rho_v/\rho_p > 10$ 时, 粉尘捕集困难。

各类工艺过程排放粉尘性质见表 1-1。

表 1-1 各类工艺过程排放粉尘性质

序号	尘源	平均粒径/ μm	密度/ $(10^3\text{kg}/\text{m}^3)$		含尘质量浓度 (g/m^3 标准)	电阻率 ($\Omega \cdot \text{cm}$)
			真密度	堆积密度		
1	细煤粉锅炉	20~25	2.1	0.5~0.7	20~45	$10^{11} < 10^{13}$
2	重油锅炉	10~15	1.9	0.2	0.1~0.3	$10^4 \sim 0^6$
3	烧结机	5~10	3~4	1.7	0.5~3	$10^{10} \sim 10^{12}$
4	高炉	约 0.2	4.8	1.2	20~30	$10^7 \sim 10^9$
5	转炉	0.2~1.0	4.5~5	0.6~0.7	20~70	$10^8 \sim 10^{11}$
6	电炉	约 15	4.5	0.6~1.5	8~30	$10^9 \sim 10^{12}$
7	化铁炉	10~20	2.0	0.8	3~5	$10^6 \sim 10^{12}$
8	水泥(窑、干燥机)	约 20	3	0.6	10~40	$10^{11} \sim 10^{13}$
9	骨料干燥器	约 20	2.5	1.1	50~60	$10^{11} \sim 10^{12}$
10	黑液回收锅炉	0.1~0.3	3.1	0.13	5~6	10^9
11	铜精炼	<1.0	4~5	0.2	25~80	$10^8 \sim 10^{11}$
12	黄铜熔化炉	0.1~0.15	3.8~6	0.25~1.2	约 10	—
13	锌精炼	约 3	5	0.4~0.5	5~10	$\sim 10^{13}$
14	铅精炼	<1	6	—	<10	$10^{12} \sim 10^{14}$
15	铅熔化炉	约 0.5	5.5~7	约 1.2	10~30	$10^{11} \sim 10^{12}$
16	铝二次精炼	1.5~2.5	3.0	0.3	约 10	$10^{10} \sim 10^{12}$
17	垃圾焚烧	10~20	约 2.3	0.35	2~5	$10^8 \sim 10^{10}$
18	炭黑	0.1~2	1.9	0.4	0.3~10	$< 10^3$
19	铸造砂	0.1~15	2.7	约 1	0.5~15	—

2. 粒径与粒径分布

粉尘的粒径是表明单个尘粒大小的尺度。如是球形粒子, 即指直径; 如是多边形粒子, 可用定向径或斯托克斯 (Stokes) 径表示。

粉尘的粒径分布是指粉尘中各种粒径尘粒所占的百分数, 亦称颗粒的分散度。有按质量分数计量的质量粒径分布、按颗粒数计量的计数粒径分布以及按表面积计量的表面积粒径分布等多种表示方式, 除尘技术中一般使用质量粒径分布。表 1-2 为铸造工厂工艺粉尘的质量粒径分布, 表 1-3 为不同燃烧方式锅炉烟尘的质量粒径分布。

表 1-2 铸造工厂工艺粉尘质量粒径分布

工艺设备	粉尘类型	真密度 /(kg/m ³)	粉尘粒径分布 (质量分数) (%)						中位径/ μm
			<5 μm	5~10 μm	10~20 μm	20~40 μm	40~60 μm	>60 μm	
混砂机 (S114)	干型砂	2141.4	44.8	6.7	7.0	6.8	3.7	31.0	8.6
落砂机 (2×10t)	干型砂	2640.4	46.2	17.4	20.9	11.5	2.5	1.5	6.1
B=600mm 传动带头	干型旧砂	2644.4	35.3	6.6	6.2	6.5	3.4	42.0	24.0

表 1-3 不同燃烧方式锅炉烟尘质量粒径分布

工艺设备	粉尘质量粒径分布 (质量分数) (%)								
	>75 μm	60~75 μm	47~60 μm	30~47 μm	20~30 μm	15~20 μm	10~15 μm	5~10 μm	<5 μm
链条炉排	50.74	4.53	6.30	12.05	7.39	8.00	6.25	5.45	1.81
振动炉排	60.14	3.04	4.06	6.94	6.36	5.48	5.08	9.55	2.64
抛煤机	61.02	7.69	6.03	9.93	5.85	2.15	2.97	2.33	0.97
煤粉炉	13.19	13.23	10.20	14.94	11.6	3.21	15.36	11.65	4.08

3. 比表面积

粉尘的比表面积为单位质量 (或体积) 粉尘具有的表面积, 一般用 cm^2/g 或 cm^2/cm^3 表示。它是反映颗粒群总体的细度及活性的一个指标, 对粉尘的润湿、凝聚、黏附、爆炸等性能有直接影响, 大部分工业粉尘的比表面积为 $10^3 \sim 10^4 \text{cm}^2/\text{g}$ 。

4. 含水率

粉尘的含水率为粉尘中所含水分质量与粉尘总质量的比值, 范围在百分之几到百分之几十, 它影响粉尘的黏附性和静电特性。通常采用干燥称量法测定烘干前后的粉尘质量之差, 求得粉尘含水率。

5. 润湿性

尘粒与液体相互附着性质称为粉尘的润湿性。可用润湿角 θ 来表征, 见表 1-4。 $\theta \leq 60^\circ$ 的粉尘称为润湿性好的粉尘, 俗称亲水性粉尘, 如玻璃、石英、锅炉飞灰、黄铁矿粉等; $\theta > 90^\circ$ 的粉尘差称为润湿性差的粉尘, 俗称憎水性粉尘, 如石蜡、聚四氟乙烯、炭黑、煤粉等; 吸水后能形成不溶于水的硬垢的粉尘称为水硬性粉尘, 如水泥、熟石灰与白云石砂等。粉尘粒径越小, 润湿性越差, 一般粒径 $< 5\mu\text{m}$ 时, 粉尘很难被水润湿。

表 1-4 部分物质的润湿角

物质名称	润湿角/ ($^\circ$)	物质名称	润湿角/ ($^\circ$)
石英	0~4	石墨	60
石灰石	0~20	焦炭	60~85
方解石	20	石蜡	105
云母	0	煤及炭黑	>90

6. 黏附性

尘粒黏附于固体表面或尘粒之间互相凝聚的现象称为黏附。前者易使除尘设备和管道堵

塞，后者则有利于除尘效率的提高。黏附是物体表面之间存在的一种力的表现，这种力可以是分子力、毛细力或静电力，统称黏附力。粒径 $d_p < 1\mu\text{m}$ 的尘粒，主要靠分子力的作用而产生黏附；吸湿性、溶水性、含水率高的粉尘主要靠表面水分的毛细力产生黏附；带电尘粒主要靠异性静电力产生黏附；纤维粉尘的黏附则主要与壁面状态有关。

7. 堆积角、滑动角

粉尘通过小孔连续下落到某一水平面上自然堆积成的尘堆的锥体母线与水平面上的夹角称为堆积角或安息角。堆积角的大小与物料的种类、粒径、形状和含水率等因素有关，一般均值为 $35^\circ \sim 40^\circ$ ，见表 1-5。对于同一种粉尘，粒径愈小，堆积角愈大。

滑动角是指光滑平面倾斜到一定角度时，粉尘开始滑动的角度，一般为 $40^\circ \sim 55^\circ$ 。

粉尘的堆积角与滑动角是评价粉尘摩擦和流动特性的一个重要指标，是设计除尘器、输灰溜管以及除尘器灰斗和料仓的重要依据。

表 1-5 常见粉尘性质

粉尘名称	堆积角 / ($^\circ$)	介电率	爆炸下限浓度 / (g/m^3) (全部通过 200 目的粉尘)	粉尘名称	堆积角 / ($^\circ$)	介电率	爆炸下限浓度 / (g/m^3) (全部通过 200 目的粉尘)
铝粉	35 ~ 45	—	35 ~ 45	滑石粉	~ 45	5 ~ 10	—
锌粉	25 ~ 55	(12)	500	飘尘	40 ~ 45	3 ~ 8	—
铁粉 (还原)	~ 38	—	120	上等白砂糖	50 ~ 55	3	20 ~ 30
黏土	~ 35	—	—	淀粉	43 ~ 50	5 ~ 7	50 ~ 100
硅砂	28 ~ 41	4	—	硫磺粉	35	3 ~ 5	35
水泥	53 ~ 57	5 ~ 10	—	合成树脂粉	40 ~ 55	2 ~ 8	20 ~ 70
氧化铝粉	35 ~ 45	6 ~ 9	40	小麦粉	55	2.5 ~ 3	20 ~ 50
重质碳酸钙	~ 45	8	—	煤粉	—	—	35
玻璃球	22 ~ 25	5 ~ 8	—				

8. 磨损性

粉尘的磨损性是指粉尘在流动过程中对固体界壁的磨损性能，主要取决于颗粒的硬度、密度、粒径以及运动速度等因素，尤其与运动速度的 2 ~ 3 次方成正比。磨损还与冲刷面材料、放置角度有关，粒子以 90° 直冲器壁时，产生渐次变形磨损，对硬质壁板尤为严重；粒子以倾斜角冲刷器壁时产生微切割磨损，以 30° 冲角最为严重。

9. 静电特性

粉尘由于激烈的撞击、摩擦、放射性照射、电晕放电等原因而荷电。粉尘的静电特性对捕集和清灰都有很大影响。

物质具有固定的带电顺序，在互相接触时将按照其顺序各自带电，用电位表示。表 1-6 列出了部分物质的带电顺序。如果尘粒和滤料的带电顺序位置比较接近，则带电量少，对过滤和分离比较有利。

物质具有固定的介电率，见表 1-5。粒子或滤料的介电率大，利用静电效应的除尘作用将比较有效。

表 1-6 带电顺序表

物质名称 (主要是纤维)	产生的电位	物质名称 (主要是纤维)
(正)		小麦粉
石棉		氧化铝系磨粒
玻璃		↓
		玻璃云母
		↑
羊毛	+20	
硅加工的玻璃 (长、短纤维)	+15	
羊毛毡织物	+11	
尼龙 (短纤维)	+7 ~ +10	
丝织物		
粘胶丝		
棉 (缎纺织)	+6	
纸		
奥纶 (长纤维)	+4	
达柯纶 (长纤维)	0	
代涅尔	-4	
奥纶 (短纤维)	-5 ~ -14	
达柯纶 (短纤维)	-10	
钢 (管内侧)	-10	
聚苯乙烯		
聚丙烯 (长纤维)	-13	
醋酸纤维	-14	
莎纶	~17	
聚乙烯 (长、短纤维)	~20	
赛璐珞		
氯乙烯		
(特氟纶) (管内侧)		
硝酸纤维		
(负)		(钢)
		↑
		硅 砂
		↓
		(特氟纶)

粉尘电阻率是指横断面积为 1cm^2 、厚度为 1cm 粉尘层所具有的电阻, 也称比电阻, 是评定粉尘导电性能的一个指标, 见表 1-1。一般通过实测由下式求得:

$$\rho_b = \frac{U}{I} \cdot \frac{A}{\delta} \quad (1-2)$$

式中 ρ_b ——电阻率 ($\Omega \cdot \text{cm}$);

U ——施加在粉尘层上的电压 (V);

I ——通过粉尘层的电流 (A);

A ——粉尘层面积 (cm^2);

δ ——粉尘层的厚度 (cm)。

粉尘电阻率对静电除尘器的有效运行具有显著影响。

10. 爆炸性

当物质的比表面积增加时, 其化学活性迅速增强。某些在堆积状态下不易燃烧的可燃物粉尘, 当它以粉末状悬浮于空气中时, 与空气中的氧有了充分的接触机会, 在一定的

温度和质量浓度下可能发生爆炸。这个能够引起爆炸的可燃物质量浓度称为爆炸质量浓度，能够引起爆炸的最低质量浓度称为爆炸下限质量浓度。部分粉尘的爆炸下限质量浓度见表 1-5。

三、粉尘的危害

粉尘排入大气，对人体健康、自然景物与生态环境、产品质量与经济发展都有影响。影响的严重程度取决于排出的总尘量、粉尘的物理化学性质以及排放源的周围环境。

1. 对人体健康的影响

1) 呼吸器官：由于大量粒径小于 $2.5\mu\text{m}$ 的二氧化硅、石棉、水泥、重金属微尘等引起各种职业性尘肺；

2) 毒性反应：由于氟化盐、铍尘等毒性粉尘引起各种中毒病理；

3) 对眼睛或皮肤的刺激：由于酸雾、微粒或纤维尘引起眼睑水肿、结膜炎和皮肤病。

2. 对自然景观与生态环境的影响

1) 污染：由于排出的大量粉尘及焦油或胶黏性粉尘造成环境污染；

2) 混浊度（降低能见度）：由于排出大量微细粉尘（即粒径小于 $1\mu\text{m}$ ）造成阴霾或尘雾。

3. 对产品质量与经济的影响

1) 材料和设备（活性和非活性）的损坏：由于腐蚀性、磨琢性粉尘引起对产品质量的侵害；

2) 污染防治：增加对粉尘污染的治理费用；

3) 二次经济损失：由于区域环境污染而引起投资环境恶化及经济萎缩。

第二节 含尘气体

一、含尘气体基本概念

气体作为运载粉尘的介质在通风除尘中占有重要地位。一般通风除尘涉及的含尘空气、工业炉窑除尘净化涉及的烟气统称为含尘气体。

1. 空气

通常我们讲的空气是指含 78% 的氮气、21% 氧气以及多种稀有气体和杂质组成的混合物。空气的成分不是固定的，随着高度、气压的改变，它的组成比例也会改变。

2. 含尘空气

含尘空气通常指由各种机械加工过程（如破碎、筛分、贮运等）产生的常温空气和固体微粒的混合物。在工业通风除尘中，也有以 N_2 等其他气体为载体的，统称为含尘气体。

3. 含尘烟气

含尘烟气通常指由各种物理化学过程（如燃烧、焙烧、冶炼、焊接等）产生的高温气体与固体、液体微粒的混合物，烟气中含有 CO 、 CO_2 、 SO_2 、 H_2O 、 NO_x 等多种气体成分。

二、含尘气体理化特性

1. 粉尘浓度

含尘气体粉尘浓度通常分为工况浓度和标况浓度，前者为袋式除尘器应用场合含尘气体的实际操作浓度，单位为 mg/m^3 ；后者为载体体积折算到标准工况（ 0°C ， 101.32kPa ）的干