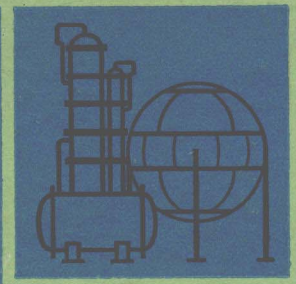


化工设备设计全书

除尘设备设计

化工设备设计全书编辑委员会



上海科学技术出版社

化工设备设计全书

除尘设备设计

主 编

化学工业部设备设计技术中心站 金国焘

编 写

河 北 工 学 院	王 全
上 海 化 工 研 究 院	夏兴祥 劳家仁 邵国兴
冶金工业部长沙有色冶金设计院	甘吉勇
上 海 化 工 专 科 学 校	周健民

上海科学技术出版社

内 容 提 要

本书阐述了粉尘的特性,全面论述了各种除尘设备的原理、结构、性能、设计方法和标准系列,以及对整个除尘系统的设计和含尘气流的测定进行了介绍。

本书可供从事除尘设备设计、制造、使用单位的技术人员以及高等院校有关专业的师生参考。

主 编

金国森 主编

副 编

全 王

副 编

工 业

出 版

兴 国

便 吉

因 封

化工设备设计全书

除 尘 设 备 设 计

化学工业部设备设计技术中心站 金国森 主编

上海科学技术出版社出版

(上海瑞金二路 450 号)

新华书店上海发行所发行 上海商务印刷厂印刷

开本 787×1092 1/16 印张 30.75 插页 4 字数 750,000

1985 年 11 月 第 1 版 1985 年 11 月 第 1 次印刷

印数: 1—13,000

统一书号: 15119·2357 定价: 7.65 元

前 言

鉴于广大化工设备设计人员的要求,在化学工业部的领导下,由化学工业部设备设计技术中心站组织全国近百所高校、工厂、科研和设计单位,共同编写了一部《化工设备设计全书》,供从事化工设备专业的设计人员使用。

《化工设备设计全书》以结构、强度的设计计算为主,从基础理论、设计方法、结构分析、标准规定、计算实例等方面进行系统的阐述,并对化工原理和设计计算作了简介。在实用的前提下,尽量反映国内及从国外引进的先进技术,并努力吸取当前国外新技术动向,总之,本书旨在搞好设备结构、强度设计的同时,结合化工过程的要求去研究改进设备的设计,提高设备的生产效率,降低设备的制造成本,实现化工单元操作的最佳化。

《除尘设备设计》分册主要是论述粉尘的特性,以及把这些粉尘从气体中分离出来的方法。内容着重设计和实用,从除尘过程的原理,各种除尘设备的原理、结构、性能、设计方法和标准系列,以及对整个除尘系统和含尘气流的测定进行全面的论述。

《除尘设备设计》分册由化学工业部设备设计技术中心站金国森主编,编写者第一章是河北工学院王全,第三章第一、三、四节是上海化工研究院夏兴祥,第三章第九节是上海化工研究院劳家仁,第五章是冶金工业部长沙有色冶金设计院甘吉勇,第六章是上海化工专科学校周建民,第八章是上海化工研究院邵国兴,第二章、第三章第二、五、六、七、八、十、十一、十二、十三节、第七章是化学工业部设备设计技术中心站金国森,曹龙英进行了协助。本分册由王全、金国森统一全稿,燕山石油化学总公司设计院洪国宝、南京化学工业公司黄力行和广东省石油化工设计院苏树明进行校审。

由于化工生产发展迅速,我们掌握情况有限,本分册的内容还会有不足和错误之处,热忱希望广大读者提出宝贵意见,以便再版时补充改正。

在本分册编写和审校的过程中,得到了很多单位和同志的大力协助和指导,在此致以深切的谢意。

《化工设备设计全书》编辑委员会

1983年

化工设备设计全书编辑委员会

主任委员

洪国宝 燕山石油化学总公司设计院

副主任委员

黄力行 南京化学工业公司

李肇璠 化学工业部第六设计院

姚北权 化学工业部第四设计院

琚定一 华东化工学院

寿振纲 国家医药管理局上海医药设计院

金国森 化学工业部设备设计技术中心站

委员

张冠亚 兰州化学工业公司设计院

杨慧莹 化学工业部第八设计院

汪子云 化学工业部化工设计公司

卓克涛 化学工业部第一设计院

苏树明 广东省石油化工设计院

会员委员会《化工设备设计全书》

1981

化工设备设计全书

设备设计

化学工业部设备设计技术中心站 金国森 主编

上海科学技术出版社出版

(上海南京路1088号)

上海发行所发行 上海南京路印刷厂印刷

开本 787×1092 1/32 印张 36.75 字数 1,100,000

1981年11月第1版 1981年11月第1次印刷

印数 1-15,000

统一书号: 15114·3957 定价: 7.00元

化工设备设计全书

分册名称	主要内容
化工设备用钢	钢的冶炼; 常温机械性能和断裂韧性; 热处理和可焊性; 中、高温机械性能和组织稳定性; 腐蚀及耐蚀性; 碳钢和低合金高强度钢; 低温用钢; 低合金耐热钢; 不锈钢及耐热高合金钢。
化工容器设计	旋转薄壳与平板的基本理论及应用; 筒体和封头; 特殊形状容器; 局部应力; 开孔补强; 法兰、支座、防爆膜设计; 容器附件; 容器焊接、制造及检验; 容器保温结构。
高压容器设计	力学基础; 断裂力学在压力容器上的应用; 厚壁容器; 蠕变; 密封设计; 高压容器零部件设计; 高压容器的开孔与衬里; 高压容器的用材、破坏与检验。
超高压容器设计	超高压容器的筒体结构型式; 应力分析及强度计算; 自增强技术及其应用; 疲劳及其设计计算; 零部件设计, 超高压容器的用材、检验和安全技术。
真空设备设计	真空技术的理论基础; 真空获得设备; 真空测量与检漏; 真空容器及化工设备设计; 真空密封; 真空系统设计及附件。
换热器设计	流体流动及传热; 管壳式换热器的结构设计; 管壳式换热器元件强度和刚度计算; 螺旋板式、板片式及其它换热器; 管壳式换热器的制造、检验、安装及维修。
塔设备设计	塔设备的化工设计; 塔盘形式及其化工计算, 塔盘结构设计; 填料塔、萃取塔设计; 受压元件的强度设计和稳定校核; 辅助装置及附件; 制造、安装及运输。
搅拌设备设计	搅拌过程与搅拌器; 搅拌设备的传热; 搅拌罐结构设计; 传动装置及搅拌轴; 轴封; 制造及检验。
球形容器设计	材料选用; 结构设计; 强度计算; 组装; 焊接; 检验。
大型贮罐设计	贮罐尺寸的选择; 化工贮罐的设计; 罐壁、罐底、罐顶设计; 低压贮罐设计; 贮罐附件及其选择; 消防及安全措施; 制造、焊接与检验; 贮罐对基础的要求; 贮罐搅拌器。
废热锅炉设计	结构设计; 热力计算; 阻力计算; 元件强度计算; 材料; 制造、安装与检验; 水处理; 运行。
干燥设备设计	干燥过程基础; 厢式、带式、流化床、气流、喷雾、滚筒、回转圆筒干燥器设计; 新型干燥器、组合式干燥器及其设计; 主要辅助设备设计。
除尘设备设计	粉尘的特性与除尘器的性能; 重力沉降室和惯性除尘器; 旋风、过滤式除尘器; 电除尘器; 湿式除尘器; 除尘系统设计; 含尘气流的测定。
铝制化工设备设计	材料; 设计计算; 结构; 制造与检验。
钛制化工设备设计	钛材的机械性能、物理性能和耐蚀性; 钛制设备的设计计算; 设备结构设计; 制造和检验。
硬聚氯乙烯塑料制化工设备设计	硬聚氯乙烯原材料及其性能; 设备设计与结构; 接管设计; 施工、安装与验收。
石墨制化工设备设计	不透性石墨材料及制造工艺; 不透性石墨制品设备及设计计算; 设备制造; 原材料分析及物性测定。
钢架设计	钢架材料及荷载; 设计原理; 梁、柱的设计; 构件连接构造及计算; 设备支架; 操作平台; 塔平台; 动荷载作用下的钢架设计; 抗震设计; 防腐和防火。

第一章 粉尘的特性与除尘器的性能	1
第一节 粉尘与气体的物理性质	2
第二节 除尘器的除尘性能	17
第三节 除尘器的分类与选择	29
一、除尘器的选择要点	30
二、除尘器的类型与性能	32
第二章 沉降室与惯性除尘器	37
第一节 沉降室	37
一、粉尘的重力沉降	37
二、沉降室	39
三、除尘效率和压力损失	40
四、沉降室应用实例	41
第二节 惯性除尘器	41
一、工作原理	41
二、百叶式除尘器	42
第三章 旋风除尘器	44
第一节 旋风除尘器的分离理论和结构参数	44
一、旋风除尘器的工作原理和气体流动概况	44
二、旋风除尘器的临界粒径与分离理论	49
三、旋风除尘器的压力损失和除尘效率	52
四、影响旋风除尘器性能的主要因素	55
五、旋风除尘器的分类及其选择	62
六、设计实例	64
第二节 CLT 型旋风除尘器	65
一、CLT 型旋风除尘器	65
二、CLT/A 型旋风除尘器	68
第三节 D 型旋风除尘器	76
一、D 型旋风除尘器的压力损失计算及其影响因素	76
二、D 型旋风除尘器的分级除尘效率计算及其影响因素	78
三、D 型旋风除尘器的结构尺寸	81
第四节 B 型旋风除尘器	84
一、结构特点	84
二、B 型旋风除尘器的阻力系数与其影响因素	86
三、B 型旋风除尘器的除尘效率计算与其影响因素	87
四、常用 B 型旋风除尘器的结构尺寸	89
五、B 型旋风除尘器的选择与设计	93
第五节 旁路式旋风除尘器	95
一、工作原理	95

361	三、操作条件的影响	252
361	第五节 电除尘器的结构设计	256
361	一、电除尘器的总体	256
361	二、气体分布板	257
361	三、沉尘电极	260
361	四、电晕电极	270
371	五、电除尘器的壳体	284
381	六、电除尘器的排灰装置和锁气器	295
381	第六节 电除尘器的供电	296
381	一、电除尘器对供电系统的要求	296
381	二、整流设备的台数和电除尘器的供电方式	297
381	三、电除尘器常用的供电设备	299
381	四、整流机室的负荷计算	302
381	五、供电系统的材料选择	305
381	六、整流系统的防雷和接地	307
381	七、振打机构的控制	307
381	八、安全措施	307
381	第七节 电除尘器的设计计算和应用实例	307
381	一、主要参数计算	307
381	二、电除尘器的总体计算	311
381	三、零、部件设计计算	313
381	四、供电系统选择	332
381	五、60 m ² 电除尘器	334
381	六、几种电除尘器的简介	334
381	第六章 湿式除尘器	343
381	第一节 湿式除尘的工作原理	343
381	第二节 洗涤塔	345
381	一、湍球塔	345
381	二、泡沫除尘器	350
381	三、旋流板塔	356
381	第三节 水膜除尘器	362
381	一、立式水膜除尘器	362
381	二、卧式旋风水膜除尘器	366
381	第四节 水浴除尘器	371
381	一、工作原理	371
381	二、喷头	372
381	三、水浴除尘器系列	373
381	第五节 冲激式除尘器	375
381	一、结构和工作原理	375
381	二、CCJ型和CCJ/A型冲激式除尘器机组系列	376
381	第六节 文氏管除尘器	384
381	一、工作原理	384
381	二、碗形喷嘴	385

三、压力损失	387
四、除尘效率	387
五、材质	389
六、在生产中的应用	389
第七节 复喷与复挡	391
一、复喷	391
二、复挡	394
第八节 污水及泥浆的处理	397
一、污水处理	397
二、泥浆处理	403
第七章 除尘系统设计	405
第一节 气体管道设计	405
一、除尘管道计算	405
二、管道中的压力损失	408
第二节 除尘器的排灰装置	426
一、干式排灰装置	426
二、湿式排灰装置	436
第三节 风机和电机	439
一、风机	439
二、电机	442
第八章 含尘气流的测定	445
第一节 取样	446
一、取样位置的选择	446
二、取样点的确定	447
三、取样孔	449
四、取样管	450
五、等速取样	451
六、取样口的方向	452
七、取样口直径	453
第二节 气体状态参数及粉尘性质测定	453
一、气体状态参数的测定	454
二、固体粉尘物性测定	459
三、气体中湿含量测定	462
第三节 气流含尘浓度测定	463
第四节 粉尘粒径分散度测定	466
一、冲击式测粒仪	467
二、Bahco 测粒仪	472
三、Coulter 测粒仪	472
符号说明	475
参考文献	477
附录	479
一、空气的湿焓图	479
二、常见标准筛制	480

第一章

粉尘的特性与除尘器的性能

化学工程把气体与粉尘微粒的多相混合物的分离操作称为除尘。微粒不一定局限于固体,也可以是液体微粒。多相混合物中处于分散状态的物质称为分散相或分散物质,通称尘粒或粉尘微粒,而包围分散相的另一物质则为连续相或分散介质,如气体或液体。

作为除尘对象的尘粒直径(简称粒径),一般在 $100 \sim 0.01 \mu\text{m}$ 之间。 $100 \mu\text{m}$ 以上的尘粒,由于重力作用很快将降落殆尽,不成为除尘对象。 $10 \mu\text{m}$ 以上尘粒易于分离,问题不大。成为问题的是 $10 \sim 0.1 \mu\text{m}$ 尘粒,特别是 $1 \mu\text{m}$ 以下的微尘粒分离较为困难,也有害于人体,是目前主要研究范围^{[1][2]}。

除尘操作在化工生产中的应用可分为:

(1) 净化分散介质 如催化反应的原料气中如有固体微粒,会严重影响催化剂的效能,必须在原料气进入反应器之前把它除掉。

(2) 回收分散物质 如流化床反应器送出的气体中一般夹带着许多催化剂微粒,为降低成本,也为保护环境,这些催化剂必须加以回收。又如从干燥等工艺过程的气流中回收固体产品等等。

(3) 净化排放气 在生产中排放废气之前,要尽量分离出其中的固体微粒,以便开展综合利用和保护环境。

(4) 消除爆炸危险 某些含碳物质及金属细粉与空气混合能形成爆炸混合物。因此在混合之前应把能爆炸的物质除掉。

除尘设备在化工生产中应用极为广泛,而在某些基本化学工业如硫酸、合成氨等,除尘器历来被作为关键设备。随着化学工业的迅速发展,特别是装置日益大型化,在能量回收、气体净化、催化剂回收及防大气污染等工程中,高效除尘器则成为关键设备之一。

表 1-1 作业地点空气中粉尘的最高容许浓度
(TJ36-79 部分标准摘录)

粉尘名称	最高容许浓度 (mg/m^3)	粉尘名称	最高容许浓度 (mg/m^3)
含有 80% 以上游离二氧化硅的粉尘	1	铝、氧化铝、铝合金粉尘	5
含有 10% 以上游离二氧化硅的粉尘	2	烟草及茶叶粉尘	3
石棉粉尘及含有 10% 以上石棉的粉尘	2	其他各种粉尘*	10
含有 10% 以下游离二氧化硅的滑石粉尘	4	五氧化二钒烟	0.1
含有 10% 以下游离二氧化硅的水泥粉尘	6	五氧化二钒粉尘	0.5
含有 10% 以下游离二氧化硅的煤尘	10	铅烟	0.03
玻璃棉和矿渣棉粉尘	4	铅尘	0.05

* 系指由游离二氧化硅含量在 10% 以下,不含有毒物质的矿物性和动植物性粉尘。

注: ① 表中最高允许浓度是工人工作地点空气中有害物质所不应超过的数值。工作地点系指有工人为观察和管理生产过程而经常或定时停留的地点,如生产操作在车间内许多不同地点进行,则整个车间均算为工作地点。

② 工人在车间内停留的时间短暂,经采取措施仍不能达到上表规定的浓度时,可与当地卫生主管部门协商解决。

从环境保护的角度来看,粉尘是人体健康的大敌。尤其是粒径在 $0.5\sim 5\mu\text{m}$ 之间的飘尘(即长期甚至几年飘浮在大气中的粉尘),对人的危害最大。大于 $5\mu\text{m}$ 的尘粒,由于惯性作用可被鼻毛与呼吸道粘液排除;小于 $0.5\mu\text{m}$ 的尘粒,也可因气体扩散作用被粘附在上呼吸道表面而随痰排出。唯独 $0.5\sim 5\mu\text{m}$ 的飘尘则可通过呼吸道直接到达肺部而沉积,危害人体。据分析,有些飘尘微粒表面还附有致癌性很强的芳香族碳氢化合物,尤其是煤的粉尘是大气中各种毒物的元凶,所以世界各国都十分重视大气中粉尘的防护^[8]。

粉尘对环境和人体的危害还取决于粉尘的进入量。所以一般以空气中所含粉尘的浓度作为衡量的标准。为此我国已制订了《工业企业设计卫生标准(TJ36-79)》,规定作业场所空气中的粉尘最高容许浓度;《工业企业设计卫生标准(TJ36-79)》,规定居民区大气中的粉尘最高容许浓度;《工业“三废”排放试行标准(GBJ4-73)》,规定烟囱和除尘装置排放的气体粉尘最高容许浓度。如超过标准,必须采取除尘净化措施,使粉尘浓度低于标准规定。

表 1-2 居民区大气中粉尘、飘尘最高容许浓度
(TJ36-79 部分标准摘录)

物质名称	最高允许浓度 (mg/m ³)	
	任何一次测定值	任何一日平均浓度
飘尘	0.50	0.15
粉尘自然沉降量	3~5 吨/平方公里/月*	

* 在当地清洁区基础上容许增加的数值。

表 1-3 烟囱和除尘装置排放气体中粉尘最高容许浓度
(GBJ4-73 部分标准摘录)

序号	排放有害物质企业*	最高允许浓度(mg/m ³)
1	工业及采暖锅炉烟尘	200
2	炼钢电炉烟尘	200
3	炼钢转炉烟尘	200
	小于 12 吨	200
	大于 12 吨	150
4	水泥粉尘	150
5	硫酸(雾)排气筒高度 30~45 m	260
	排气筒高度 60~80 m	600
6**	含有 10% 以上的二氧化硅或石棉粉尘、玻璃棉和矿渣棉粉尘、铝化物粉尘等	100
7**	含有 10% 以下的游离二氧化硅的煤尘及其它粉尘	150

* 表中未列入的企业,其有害物质的排放量可参照本表类似企业。

** 系指局部通风除尘后所允许的排放浓度。

第一节 粉尘与气体的物理性质

除尘所涉及的多相混合物也称气相悬浮系或气溶胶。分散于其中的细小颗粒叫做尘粒或微粒,而尘粒的堆集状态叫做粉体。

根据成因的不同,气相悬浮系可分为两大类:分散性的和凝聚性的。

分散性的尘粒一般称为粉尘或尘灰,是将固体破碎或研磨成粉末或将液体喷成雾沫而成,或由于其它机械原因,致使固体或液体成为微粒,飞扬而悬浮于气体中。粉尘微粒大小,通常大于 $1\mu\text{m}$ 。

凝聚性的尘粒系气体或蒸汽质点的凝聚,或由两种气体或蒸气经过化学反应而得。凝聚所得微粒,固体的称为烟,液体的称为雾。如氯化氢与氨生成的氯化铵,三氧化硫与水蒸气生成的硫酸雾,各种炉烟中的粉尘也属此类。烟与雾的尘粒大小通常在 $10\sim 0.01\mu\text{m}$ 之间。表1-4为各种粒径范围的物质名称及其适用的除尘装置形式^[1]。

从表中可以看出,由于尘粒的粒径由大变小,其气相悬浮系将由非均一系统转变为均一系统。因为粒径小到 $0.2\sim 0.3\mu\text{m}$ 时,布朗运动就变得显著了,而均相的气体及其大分子的粒径可以大到 $0.005\mu\text{m}$ 。粒径在 $0.2\sim 0.001\mu\text{m}$ 的分散体系属胶体溶液范畴。由于尘粒大小不同,将形成不同性质的物系,因此测定粒径的方法和从分散体系中除去尘粒的方法也就不同。还可以看到各种除尘设备操作范围有一定程度的交叉,这是由于选择设备不但要按照尘粒大小,而且还要依据气量、粉尘浓度及粉尘的物理化学性质等因素而定。

为了正确地设计和选择除尘设备,必须掌握粉尘的各种物理化学性质及粉尘浓度等,以便确定本工程的设计卫生标准、回收价值和防尘措施。

现就主要物性,简述如下。

(一) 尘粒粒径与分散度

尘粒如呈球形,可取其直径为粒径。但实际上尘粒的形状是很复杂的,多为不定形的。若要求得单一尘粒粒径需借用不同的方法测出其代表性尺寸,叫做尘粒粒径。用得比较多的有如下几种方法^[2]:

(1) 显微镜粒径。对细微尘粒是借用透过的光测得多个尘粒的投影像的一边尺寸的平均值,作为平均粒径。还有以尘粒的投影面积与同面积的圆的直径或与正方形的一边尺寸表示的当量粒径。

(2) Stokes 粒径。按尘粒在分散介质中的平均沉降速度而确定的粒径。这种方法主要适合对 $38\mu\text{m}$ 以下的尘粒粒径的测定。

(3) 筛分粒径。对 $38\mu\text{m}$ 以上的粗尘粒可通过筛网分出尘粒大小,叫做筛分粒径。

由于测试方法不同,同一粉尘的粒径,一般是不会相同的。

粉尘的各种粒级(某一粒径范围,如 $5\sim 10\mu\text{m}$, $10\sim 15\mu\text{m}$ 等)所占重量或颗粒数的百分比(%),称为重量分散度或颗数分散度。粉尘的粒径值是粉尘的主要特性之一,其粒径分布大部分是细尘粒还是粗尘粒,是最关键的数据。

粉尘分散度对除尘工作具有重要意义,是除尘系统设计、管径计算以及选择除尘设备的主要依据之一。

(二) 尘粒的重度与堆积重度

尘粒本身有其重度(或真重度),而作为集合体,堆积状态的重度叫做堆积重度(或容重)。

重度对重力、惯性、离心式除尘器的除尘率关系很大,而堆积重度则与设计粉尘的贮存设备和粉尘的再飞扬问题有关。当粉尘的重度与堆积重度之比为10以上时,需要特别注意解决粉尘的二次飞扬问题。

尘粒之间的空隙体积与包括尘粒在内的总体积之比称为空隙率,如用 ϵ 表示。尘粒重度 $\gamma_0(\text{kg}/\text{m}^3)$ 与尘粒堆积重度 $\gamma_a(\text{kg}/\text{m}^3)$ 之间有如下关系:

表 1-4 尘粒与尘粒分散相的特性

	0.001(μm)		0.01		0.1		1		10		100		1000		10000	
	10(Å)	100	1000	10,000	5000	2500	1250	625	400	200	150	65	35	20	10	8
电磁波	X射线		紫外线		可见光线		近红外线		远红外线		超短波					
气			烟 (包括卷烟的烟)		雾		粉尘									
			对肺有害的尘		小麦粉		喷雾									
体	气体分子		炭黑		硫酸雾		煤粉									
			氯化铵烟		水泥烧成粉											
中			颜料		肥料用粉状石灰											
			氧化锌烟		杀虫剂微粒		焦炭粉尘									
分			胶体 硅酸		滑石粉											
			喷雾干燥乳剂		花粉											
散			亚硫酸雾		碳酸钙粉											
			氧化镁粉		金属粉尘											
物	病毒		细菌		人的毛发											
质			撞击器		特殊筛		筛分									
	超级显微镜		电子显微镜		显微镜											
粒			离心分离		风选											
	超离心分离		液体沉降													
径	X线衍射		透过		肉眼观察											
测			沉降室													
			电除尘器		旋风除尘器											
定			洗涤器													
			布袋除尘器													
方			空气过滤器		惯性分离											
			高效空气过滤器		机械分离											
法			热集尘(仅用于取样)													
			充填层													

$$\gamma_d = (1 - \varepsilon) \gamma_0$$

各种粉尘的重度如表 1-5 所示^{[5][6]}。

表 1-5 粉尘的重度

粉尘名称	重度 (g/cm ³)	堆积重度 (g/cm ³)	备注
硅砂粉 I	2.63	1.55	标准筛 105 μm 通过
II	2.63	1.45	沉降法得 $d=30 \mu\text{m}$
III	2.63	1.15	沉降法得 $d=8 \mu\text{m}$
IV	2.62	1.26	沉降法得 $0.5 \sim 72 \mu\text{m}$
精制滑石粉	2.70	0.70	沉降法得 $1.5 \sim 45 \mu\text{m}$
滑石粉 S100	2.75	0.53~0.62	$d=1.6 \mu\text{m}$
滑石粉 N013	2.75	0.56~0.66	$d=2.7 \mu\text{m}$
滑石粉 N011	2.75	0.59~0.71	$d=3.2 \mu\text{m}$
烟灰 I	2.20	1.07	沉降法得 $d=0.7 \sim 56 \mu\text{m}$
烟灰 II	2.15	1.20	球状粒子
烟道粉尘 K-1	4.88	1.11~1.25	$d=5.6 \mu\text{m}$
烟道粉尘 M	5.07	0.29~0.33	$d=0.24 \mu\text{m}$
硅酸盐水泥 I	3.12	1.50	沉降法得 $d=0.7 \sim 91 \mu\text{m}$
硅酸盐水泥 II	3.05	1.64	
氧化铜	6.40	2.62	沉降法得 $d=0.9 \sim 42 \mu\text{m}$
碳黑烟尘	1.85	0.04	
造型用粘土	2.47	0.72~0.80	$d=4.6 \mu\text{m}$
烧结矿粉尘	3.8~4.2	1.5~2.6	
镁粉尘	2.8	0.95	电除尘器回收粉尘
石灰粉尘	2.7	1.10	旋风除尘器回收粉尘
石灰粉尘	2.9	1.0	电除尘器回收粉尘
粘土粉尘	2.1	0.9	电除尘器回收粉尘
盐湖镁砂粉尘	3.0	1.1	电除尘器回收粉尘
白云石粉尘	2.8	0.9	电除尘器回收粉尘
飘尘、烟灰	—	0.72	
食盐(细粉)		0.74~0.8	
漂白粉		0.60~0.75	
漂粉精		0.95	
硫酸铜粉		1.41	

(三) 粉尘的凝聚性

粉尘微粒产生时的高温, 尘粒表面的电荷、布朗运动和声波的振动以及磁力作用, 可使尘粒相互撞击而引起凝聚。这一特性对除尘的原理和除尘效率起着不可忽视的作用。近年来发展的新型除尘器都设法利用这一特性, 超声波除尘器就是利用声波使尘粒凝聚成微粒团, 然后再送入一般旋风除尘器, 这样, 对于微小尘粒也能获得高效率。

(四) 粉尘的湿润性

粉尘粒子能被水(或其他液体)湿润的现象, 叫做湿润性。所有粉尘可根据被水湿润的程度分为疏水性粉尘和亲水性粉尘。但是湿润性还随粒径的减小和温度的升高而降低。例如悬浮于空气中小于 $1.0 \mu\text{m}$ 的尘粒很难被水湿润而凝并, 因为微小尘粒和水滴在空气中均存在着环绕气膜现象, 尘粒与水滴在空气中必须冲破环绕气膜才能接触凝并。为此尘粒与水滴必须具有足够的相对速度。此外, 表面能力愈小的液体愈容易湿润固体表面, 反之则不易。各种湿式除尘器, 就是主要依靠粉尘与水的湿润效果来除尘的。为减小水的表面能力, 可以加入少

表 1-6 粉尘的荷电性质

粉尘种类	带正电粒子(%)	带负电粒子(%)	不带电粒子(%)
铁矿尘	54.3	36.4	9.3
石英岩粉尘	42.5	53.1	4.4
砂岩粉尘	54.7	40.2	5.1

表 1-7 工业中常见粉尘的比电阻

粉尘种类	温度 (°C)	相对湿度 (%)	比电阻 (Ω·cm)
水泥窑尘	120~180		$5 \times 10^9 \sim 5 \times 10^{10}$
水泥磨和烘干机尘	60	10	10^{12}
	95	10	10^{13}
铜焙烧烟尘	144	22	2×10^9
	250		1×10^8
铅烧结机烟尘	144	10	1×10^{12}
	52	9	2×10^{10}
	40	7.5	1×10^6
铅鼓风炉烟尘	204	5	4×10^{12}
	149	5	2×10^{13}
含锌渣烟化炉烟尘	204	1.3	4×10^9
	149	1.3	2×10^{10}
回转窑氧化镍烟尘	20		3×10^{10}
	65.5		8×10^9
	121		6×10^9
	177	1.3	5×10^8
	232		1×10^8
回转窑氧化铝微尘	20		3×10^8
	65.5		3×10^{11}
	121		2×10^{12}
	177		5×10^{10}
	232		8×10^8
烧结机粉尘	烘干		1.3×10^{10}
高炉粉尘	未烘干		$2.2 \times 10^8 \sim 3.40 \times 10^8$
转炉粉尘	烘干		2.18×10^{11}
白云石粉尘	150		4×10^{12}
石灰石粉尘	130		5×10^{12}
菱镁矿、镁砖、镁砂粉尘	160		3×10^{13}
氧化镁粉尘	180		3×10^{12}
平炉粉尘	232		9×10^8
A 飞灰			8×10^5
B 飞灰	21		3×10^8
C 飞灰			2×10^{10}
石灰	121		1×10^{11}
	177		3×10^{11}

量的皂角素、平平加等湿润剂，以提高其湿润效果，从而使微小尘粒甚至布朗运动很明显的微粒分散系(属胶体溶液)也凝并为较大的尘粒而除去。

(五) 粉尘的荷电与导电性

粉尘在它的产生过程中，由于物料的激烈撞击，尘粒彼此间或尘粒与物料间的摩擦，放射线照射以及电晕放电等作用而发生荷电，它的物理性质将有所改变，如凝聚性和附着性增强，并影响尘粒在气体中的稳定性等等。

粉尘的种类、温度与湿度影响尘粒的荷电性。导电性强的粉尘荷电与失电均较快，故不稳定，反之则较稳定；温度升高带电能力增强，湿度增加带电能力减小。

尘粒荷电后更容易沉附于肺泡和支气管中，所以对人体的危害性也增强。某些粉尘的荷电性如表 1-6 所示^[6]。

粉尘的导电性在除尘工程中用比电阻(或称视电阻)来表示，单位为 $\Omega \cdot \text{cm}$ 。它是自然堆积的断面为 1.0 cm^2 、高为 1.0 cm 的粉尘圆柱，沿其高度方向测得的电阻值。

粉尘的比电阻与组成粉尘的各种成分的电阻有关，而且与粉尘的粒径、分散度、湿度、温度、空隙率以及空隙的气体的导电性等因素有关，它对电除尘器的除尘效率有着重要的影响。

现在已知粉尘的比电阻值在 $10^4 \sim 10^{11} \Omega \cdot \text{cm}$ 范围内能获得理想电除尘效果，而比电阻低于 10^4 或高于 $10^{11} \Omega \cdot \text{cm}$ 都将使除尘效果恶化。具体情况及应采取的措施详见第五章第四节。

一些粉尘的比电阻如表 1-7 所示^[4]。

某些粉尘的比电阻随温度的变化关系如表 1-8 所示^[7]。

(六) 粉尘的自然堆积角

粉尘的自然堆积角也称安息角，即粉尘在水平面上自然堆放时，所堆成的锥体的斜面与水平面所成的夹角。粉尘从一定高度自由沉降，所堆积成的堆积角称为动堆积角；粉尘在空气中以极其缓慢的速度自由沉降，所堆积成的堆积角称为静堆积角。

表 1-8 烟尘在各种温度下的比电阻

烟尘(粉尘)种类	在 各 种 温 度 下 的 比 电 阻 ($\Omega \cdot \text{cm}$)				
	21°C	66°C	121°C	177°C	232°C
三氧化二铁	3×10^7	2×10^9	9×10^{10}	1×10^{11}	1×10^{10}
碳酸钙	3×10^8	2×10^{11}	1×10^{12}	8×10^{11}	1×10^{12}
二氧化钛	2×10^7	5×10^7	1×10^9	5×10^9	4×10^9
氧化镍	2×10^6	1×10^6	4×10^5	2×10^5	6×10^4
氧化铅	2×10^{11}	4×10^{12}	2×10^{12}	1×10^{11}	7×10^9
三氧化二铝	1×10^8	3×10^8	2×10^{10}	1×10^{12}	2×10^{12}
硫	1×10^{14}	—	—	—	—
飞灰 A	8×10^5	8×10^5	8×10^5	1×10^6	1×10^6
B	3×10^8	5×10^9	2×10^{11}	4×10^{11}	1×10^{11}
C	2×10^{10}	3×10^{11}	7×10^{12}	5×10^{12}	7×10^{11}
水泥粉尘	8×10^7	7×10^8	7×10^{10}	3×10^{11}	9×10^9
石灰	1×10^8	1×10^9	1×10^{11}	3×10^{11}	1×10^{11}
矾土粉尘	3×10^8	3×10^{11}	2×10^{12}	5×10^{12}	8×10^8
平炉粉尘	1×10^8	3×10^9	3×10^{11}	1×10^{11}	9×10^8
氧化铬粉尘	2×10^8	4×10^8	2×10^{10}	9×10^{10}	3×10^{10}
氧化镍窑粉尘	3×10^{10}	8×10^9	6×10^9	5×10^8	1×10^8

表 1-9 各种粉状物料的堆积重度和自然堆积角

物料名称	堆积重度 (g/cm ³)	自然堆积角 (度)	
		运 动	静 止
高炉炉灰	1.4~1.5	25	—
铜精矿	1.7~2.1	—	35~45
粉状镁砂	2.1~2.2	—	45~50
轧钢皮	2.0~2.5	35	—
烧结混合料	1.6	35~40	—
烧结运矿	1.4~1.6	35	—
铁精矿	1.6~2.5	33~35	—
铅精矿	1.9~2.4	—	40
锌精矿	1.3~1.7	—	40
铂铑精矿	1.3~2.4	—	40
铁粉 (0.36 mm)	2.37	—	42
铁粉 (0.25 mm)	2.42	—	41
铁粉 (0.18 mm)	2.24	—	40
铁粉 (0.13 mm)	2.21	—	40
粉状熟石灰	0.55	30~35	—
无烟煤粉	0.84~0.98	30	37~45
烟煤粉	0.4~0.7	—	37~45
粉状石墨	0.45	—	40~45
平炉渣	1.6~1.85	—	45~50
铁铝矾土(细粉)	1.09	—	30
水泥	0.9~1.7	35	40~45
造型砂	0.8~1.3	30	45
亚铅矿(粒状焙烧)	1.76	—	38
石灰	0.72	—	40
铅锌水碎渣	1.5~1.6	—	42
生石灰	1.7~1.8	25	45~50
泥煤	0.29~0.5	40	45
焦炭	0.36~0.53	35	50
干煤灰	0.64~0.72	—	15~20
磁铁矿	2.5~3.5	30~35	40~45
赤铁矿	2.0~2.8	30~35	40~45
锰矿	1.7~1.9	—	35~45
铜矿	1.7~2.1	—	35~45
褐煤	0.6~0.8	35	35~50
砂糖(微粉状)	0.75~1.61	—	30
硫	1.96~2.07	—	35

堆积角的大小与粉尘的种类、粒径、形状和含水率等有关。粉尘愈细，含水率愈大则此值愈大；表面愈光滑的粉尘及愈趋近于球形的粉尘，此值愈小。各种物料的自然堆积角见表 1-9。设计除尘装置时，应使管道和贮灰斗等倾斜角大于粉尘的自然堆积角，以防淤积堵塞。

(七) 粉尘的爆炸性

某些粉尘(如表 1-10 所示)在空气中达到一定浓度时，在外界的高温、明火、摩擦、振动、碰撞以及放电火花等作用下会引起爆炸，这类粉尘称为具有爆炸危险性粉尘。

有些粉尘(如镁粉、碳化钙粉)与水接触后会引引起自燃或爆炸，这类粉尘也称为具有爆炸危