

袋式收尘器手册

胡鉴仲 隋鹏程 等 编译

中国建筑工业出版社

袋式收尘器手册

胡鉴仲 隋鹏程 等 编译

中国建筑工业出版社

本手册是以日本粉体工业协会理事长井伊谷钢一教授主编的《袋滤器手册》为基础编译的。原书为十一章，结合国情删掉两章和附录，合并了某些章节，编译为八章。本手册集欧、美、日等先进工业国家袋式收尘技术之大成，针对国内的问题和需要，对袋式收尘器的各种实用类型、设计原理、试验方法、运行性能及维护手段等作了系统具体的介绍。经验效果及数据较全，特别是各各行业上的应用实例，介绍颇为详细具体，可供国内用户借鉴。

本手册可供工业、农业、运输业及商业等所属部门从事劳动保护、环境保护及粉尘回收的人员阅读。大专院校有关专业的师生可作教学参考。

责任编辑 侯廷久

袋式收尘器手册

胡鉴仲 隋鹏程 等 编译

中国建筑工业出版社出版(北京西郊百万庄)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

中国建筑工业出版社印刷厂印刷(北京阜外南礼士路)

开本: 787×1092毫米 1/16 印张: 26 $\frac{1}{4}$ 字数: 633千字

1984年10月第一版 1984年10月第一次印刷

印数: 1—6,600册 定价: 3.60元

统一书号: 15040·4618

前 言

袋式收尘器的设计、制造、测试和使用在我国劳动保护、环境保护方面占有重要地位，也是通风除尘界注视的问题之一。本手册是以日本粉体工业协会理事长井伊谷鋼一教授主编的《袋滤器手册》为基础，除结合国内情况删除了两章和一些附录、合并了某些章节、并增添了少量内容外，基本上保持了原书的基本体系，但篇幅上有所缩减。

本手册的编译分工是：主编译胡鉴仲、隋鹏程，第一章陈荣策，第二章桂明玺，第三章王金波，第四章马汝琳，第五章隋鹏程，第六章王金波、陈荣策，第七章胡鉴仲、桂明玺，第八章陈荣策。

本手册编译过程中得到鞍山焦化耐火材料设计研究院情报室和东北工学院采矿系通风教研室的许多帮助，谨致感谢。

由于学术和文字水平所限，有错误之处敬请读者批评指正。

编译者

1983年9月

原 书 序 言

袋滤器在除尘装置中，是一种除尘性能最好、能满足当前严格的公害法要求、最可信赖的除尘设备，但无论其设计计算或运转条件，都还不是在理论上阐明了的工程学科，而只是一门经验技术。这种状态今后仍将继续一段时间，因为，关于袋滤器的研究报告比较少，在书籍中有关袋滤器的介绍也不够充分。

另一方面是，美国从国家卫生学会到环境保护局的研究开发主持者们，都支持袋滤器的研制工作，而且近年来发表过很多报告，其中之一是C.E.Billings 和 J. Wilder两人在GCA公司任职期间发表的袋滤器技术手册1~4卷（1970年），其内容被美国文献广为引用。

日本粉体工业协会除尘分会经过一年多时间，把上述手册分送各公司译成日文，并进行巡回讲座，结果认为，如在日本也出版这样的书籍，将有益于普及和提高除尘技术。于是，在1975年秋，以除尘分会的重点公司各位先生为核心，开始筹备出版计划，并决定采取更精炼的内容，且以有利于实际应用为宗旨，研究了内容组成和编写分工。自1976年春开始编写，现在终于出版了。由于本书是由日本粉体协会编写，故优先遴选本会会员执笔，对此，敬请谅解。

由于本书是在各公司业务繁忙中编写的，以致有的作者行文不够流畅，有的校对不够细致。因此，在内容上会有某些不统一和表达不充分之处。但是，当前国内主要生产袋滤器和滤布的大部分厂家都参与了本书的筹划；书中包括了各公司的专门技术资料，表现了我国最高技术水平；也可以说是一本能满足读者期望的目前最好的参考书。因笔者在大学任教，年岁又最高，故而担任了主编，除逐章经本人过目外，并代为修改了部分原稿，不当之处，敬请原谅。因之，在内容方面如能得到批评指正，将不胜感谢。此外，谨向担任编辑的各位委员和工业技术中心的宇田川先生等的热心帮助表示谢意。希望本书当前作为“袋滤器大全”对防止公害技术人员和除尘技术人员能够有所帮助。谨此作为出版前言。

日本粉体工业协会理事长兼除尘分会会长、京都大学教授井伊谷钢一

1976年11月

目 录

第一章 粉尘和气体的性质	1	二、滤布正常使用期的扑尘机理及收尘效率	53
第一节 粉尘的性质	1	三、滤袋的清灰对排放浓度的影响	54
一、粒径分布	1	第四章 滤布种类和选择	55
二、粉尘的密度 ρ_p	7	第一节 前言	55
三、粒子形状	8	第二节 过滤材料的组成因素	55
四、摩擦系数	8	一、概述	55
五、含水率(水分)	9	二、纤维	56
六、静电特性	10	三、丝线	59
七、粉尘爆炸	10	四、纺织物组织	70
八、粉尘的比表面积 S_m	11	第三节 滤布的种类和用途	73
九、粉尘浓度 C	11	一、织布	73
十、粉尘的其他性质	11	二、玻璃纤维织布	75
第二节 气体的性质	12	三、压缩毡	80
一、气体的温度	12	四、针刺毡	85
二、气体的密度 ρ	12	五、特殊滤布	96
三、气体的湿度	13	第四节 滤布的物性和选择条件	102
四、气体的粘度 μ	14	一、滤布的物性及其测定方法	102
五、气体的成分	15	二、根据气体和粉尘的物性选择滤布	105
第二章 袋式收尘器的测试方法	16	三、根据粉尘的性状选择滤布	107
第一节 袋式收尘器的性能测定法	16	四、根据清灰方式选择滤布	108
一、概述	16	第五章 袋式收尘器的设计和工程	
二、测定地点和运转的条件	18	措施	113
三、测定位置和测定点	19	第一节 设计依据的各种因素	113
四、各项性能的测定方法	21	一、处理风量	113
五、测定仪器、测定和计算	26	二、使用温度	113
第二节 袋式收尘器的试验方法	40	三、气体的组成	114
一、前言	40	四、入口含尘浓度	115
二、试验室内的收尘过滤试验	41	五、出口含尘浓度	115
三、现场的收尘过滤试验	47	六、粉尘的性质	115
四、结语	49	七、压力损失	117
第三章 滤袋收尘理论	50	八、处理压力	117
第一节 压力损失与清灰	50	九、尘源装置的运转状态	117
一、洁净滤袋的压力损失	50	十、设置环境	118
二、积尘滤布的压力损失	50	第二节 各种用途的袋式收尘器设计	
三、压力损失与清灰的关系	51	要点	118
四、压力损失随时间的变化	52	一、用于粉碎、分级机的产品收集	118
第二节 粒子的扑集机理与排放浓度	52	二、气力输送	119
一、滤布使用初期的扑尘机理	53	三、料仓的排气	120

四、焚烧炉、木屑锅炉的排气	121	第三节 反吹清灰方式	203
五、金属熔炼炉	122	一、AMERtherm袋式收尘器	203
六、干燥机	122	二、圆筒型反吹清灰袋式收尘器	206
七、煅烧窑	123	三、矩形反吹清灰(下进风)袋式收尘器	208
八、局部收尘	123	四、悬吊式圆袋收尘器TDC-R型 (毡类滤布反吹清灰)	209
九、屋顶收尘	124	五、往复反吹袋式收尘器DYNACLONE型	212
十、其它	124	第四节 反吹振动联合清灰方式	215
第三节 设计中可采取的各种对策	125	一、MS型袋式收尘器	215
一、高温高湿气体的处理	125	二、Dustube袋式收尘器(反吹—振动)CR型	217
二、预防爆炸和火灾的措施	126	三、MK式袋式收尘器	219
三、吸湿性、潮解性粉尘的收集	129	四、单元组合袋式收尘器	222
四、处理腐蚀性气体和粉尘的措施	130	五、Intensiv型袋式收尘器	225
五、处理磨琢性粉尘的措施	132	第五节 脉冲喷吹清灰方式	228
六、寒冷地区措施	133	一、PULSAIRE 袋式收尘器	228
七、粉尘排出方法	133	二、BMC扁袋脉冲袋式收尘器	230
八、高含尘浓度气体的处理	135	三、CARTRIDGE 袋式收尘器	232
九、低含尘浓度气体的处理	135	四、环隙喷吹袋式收尘器	235
十、含焦油雾的含尘气体的处理	136	五、顺喷式袋式收尘器(AMERPulse)	238
十一、要求极低排放浓度时的措施	137	六、复合结构顺喷式袋式收尘器	241
第四节 吸气罩和管道的设计	137	七、Posi-Pulse袋式收尘器	242
一、吸气罩的设计	137	八、NSE/SLY PACTECON “PC” 型 分室喷吹袋式收尘器	245
二、管道设计	151	九、Dalamatric袋式收尘器	247
第五节 袋式收尘器的辅助设备	156	第六节 反向喷吹清灰方式	249
一、预收尘器	156	一、气环反吹袋式收尘器	249
二、粉尘的后处理设备	158	二、AMERJet气环反吹袋式收尘器	252
三、通风机	161	三、喷射筒反向喷吹袋式收尘器	254
四、气体冷却设施	165	第七节 脉动反吹风清灰方式	257
五、助滤剂	169	一、脉动反吹平板滤袋袋式收尘器	257
第六节 噪声控制	170	二、Lugar-Taschen袋式收尘器	260
一、噪声的物理概念及声级	170	三、MDV型袋式收尘器	262
二、机器的噪声发生量	175	四、机械回转振动反吹袋式收尘器	264
三、消声设计的基础和措施	178	第七章 袋式收尘器应用实例	268
四、袋式收尘器及其附属设备的消声	181	第一节 概述	268
第六章 袋式收尘器的结构型式与 性能	182	第二节 袋式收尘器在炼铁、炼钢、 轧钢工业中的应用实例	269
第一节 概述	182	一、高炉出铁场收尘装置	269
一、袋式收尘器的结构型式	182	二、高炉贮矿槽收尘装置	271
二、袋式收尘器的性能	188	三、转炉炼钢厂收尘装置	272
第二节 振动清灰方式	190	四、钢坯火焰清理机收尘装置	275
一、悬吊式圆袋收尘器TDC型	190	五、热镀锌槽收尘装置	276
二、预附纤维层袋式收尘器TDC-U型	193	第三节 袋式收尘器在烧结、焦化工 业中的应用实例	278
三、预涂层袋式收尘器	196		
四、箱式袋滤机组	199		
五、组合式袋滤机组1100型收尘器	202		

一、烧结设备收尘装置	278	五、铝二次精炼收尘装置	339
二、锌矿烧结设备收尘装置	281	六、铅熔解精炼再生炉收尘装置	342
三、焦炉出焦及炉门的收尘装置	283	七、炼锌电炉收尘装置	344
四、焦炉拦焦车收尘装置	285	第九节 袋式收尘器在其它工业中的	
五、焦炭筛分设备收尘装置	287	应用实例	346
第四节 电弧炉应用袋式收尘器的若干		一、制氧设备用收尘装置	346
实例	289	二、饲料加工厂收尘装置	347
一、炼钢电弧炉收尘装置之一		三、木屑锅炉废气收尘装置	349
(炉内排烟式)	289	四、制动器研磨加工的收尘装置	351
二、炼钢电弧炉收尘装置之二		五、面粉厂收尘装置	353
(炉内和屋顶排烟并用式)	291	六、金属破碎机用收尘装置	355
三、炼钢电弧炉收尘装置之三		七、等离子切割机的排烟收尘装置	357
(炉内排烟与屋顶排烟并用式)	293	八、回收静电喷涂粉体用收尘装置	359
四、铁合金敞开式电弧炉收尘装置之一	295	第八章 袋式收尘器系统的运转与	
五、铁合金敞开式电弧炉收尘装置之二	297	维护	361
第五节 袋式收尘器在铸造工业中的		第一节 袋式收尘器的运转	361
应用实例	299	一、前言	361
一、铸造厂型砂处理工段收尘装置	299	二、试运转	362
二、铸造厂喷砂清理、喷丸清理作业收尘		三、日常运转	362
装置	300	第二节 袋式收尘器的维护	366
三、铸造型砂再生炉收尘装置	301	一、前言	366
四、化铁炉收尘装置	303	二、安全问题	366
第六节 袋式收尘器在建材工业中的		三、吸尘罩	366
应用实例	306	四、管道	367
一、水泥回转窑收尘装置	306	五、阀门	367
二、水泥熟料输送系统收尘装置	308	六、冷却装置	369
三、沥青混凝土生产设备收尘装置	310	七、安全阀	369
四、采石场破碎筛分设备收尘装置	312	八、灰斗	369
五、玻璃纤维熔窑干法除氟装置	315	九、粉尘输送装置	370
第七节 袋式收尘器在化工、制药工业		十、风机和电动机	371
中的应用实例	316	十一、清灰机构	373
一、石灰窑收尘装置	316	十二、滤袋	378
二、制造碳黑用收尘装置	319	十三、安装滤袋的机构	381
三、石油焦粉收尘装置	321	十四、监测仪表	384
四、喷雾干燥机收尘装置	323	十五、袋式收尘器系统维修合同实例	385
五、化肥干燥机收尘装置	325	十六、清灰机构的维修例	388
六、制药厂收尘装置	327	第三节 袋式收尘器系统的故障判断	399
七、农药厂收尘装置	329	一、前言	399
八、橡胶精炼用密闭式混合机的收尘装置	331	二、故障判断	399
第八节 袋式收尘器在有色金属加工		第四节 滤袋维护参考事项	404
工业中的应用实例	333	一、备用滤袋	404
一、铅粉制造设备用收尘装置	333	二、滤袋制作图	405
二、熔化黄铜用低频电炉收尘装置	334	技术名词索引	409
三、铜材加工厂低频感应电炉收尘装置	336		
四、铝电解炉收尘装置	338		

第一章 粉尘和气体的性质

(原作者: 井伊谷綱一)

收尘就是从气体中把粉尘粒子分离收集的操作过程, 因此必然与粉尘和气体的性质有很大关系, 现仅就有关的主要项目概述如下, 至于详细内容, 请参考其它文献。

第一节 粉尘的性质

一、粒径分布 (Particle Size Distribution)

对于收尘作业来说, 粒径分布是影响最大的一种粉尘性质, 越是微细的粒子, 越难于捕捉。目前, 收尘的主要对象是粒径在 $10\sim 0.1\mu\text{m}$ 范围内的粉尘, 因为大于 $10\mu\text{m}$ 的粉尘很容易被捕集, 而小于 $0.1\mu\text{m}$ 的粉尘对重量浓度影响很小, 并且工业上的测定方法还未能很好地建立起来。

(一) 粒径 D_p 或 $d_p[\mu\text{m}]$

粒径是表明单个粒子大小的尺度, 如果粒子是球形的, 即指其直径; 但粉尘粒子的形状是很复杂而无规则的, 为了有统计上的意义, 需要采用适当的代表尺寸来表示各个粒子的粒径, 许多文献介绍了用以表示粒径的当量直径的各种表示方法。实用上, 一般用显微镜观测时多采用定向径, 在工业上多采用沉降粒径。

1. 定向径。如图1-1所示, 是沿一定方向上测出的各个粒子投影面的最大尺寸(一维), 用其数值代表的粒径。称为定向径。它虽然没有物理学意义, 但具有统计学意义, 并且因为测定方法简便而多被采用。

2. 沉降粒径。沉降粒径是根据粒子在静止的流体中的沉降速度而间接计算出来的粒径, 也叫斯托克斯 (Stokes) 径, 是相当于在同一流体中沉降的具有相同密度的球形粒子的直径, 可由下式计算。

$$d_p = \sqrt{\frac{18\mu v_p}{(\rho_p - \rho)g}} \quad \text{m} \quad (1-1)$$

式中 v_p ——粒子的沉降速度, m/s ;

ρ_p ——粒子密度, kg/m^3 ;

ρ ——沉降介质流体的密度, kg/m^3 ;

μ ——流体的动力粘性系数, $\text{kg/m}\cdot\text{s}$;

对于水, 15°C 时, $\mu \approx 11.38 \times 10^{-4} \text{ kg/m}\cdot\text{s}$;

对于空气, 15°C 时, $\mu \approx 18 \times 10^{-6} \text{ kg/m}\cdot\text{s}$;

g ——重力加速度, m/s^2 。

上式适用于斯托克斯阻力区域, 即层流运动区域, 一般小于 $60\mu\text{m}$ 的粉尘, 皆可应用。

在收尘作业中, 粉尘粒子在气体中虽处于分散状态, 但有相当一部分产生凝集现象,

所以应在这一状态下测定并表示其粒径。这时, 为表示粉尘粒子在空气中的运动特性而采用“空气动力学粒径”这一术语, 它是气相沉降粒径的一种, 是取尘粒的比重为 1 时的粒径数值。

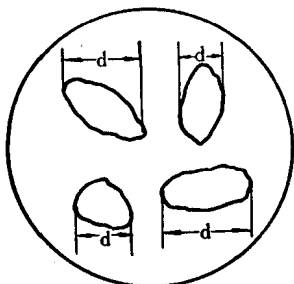


图 1-1 粉尘定向径示意图

(二) 粒径分布的表示方法

粉尘是由许许多多粒径不一的尘粒所组成的集合体, 通常采用在粉尘整体中各种粒径尘粒所占百分比的特征数即粉尘的粒径分布来表示粉尘的粒径组成状况。粉尘粒径分布有三种表示方法: 粒径分布百分数、粒径分布曲线和粒径分布函数式。

1. 粒径分布百分数。也叫粉尘分散度, 有个数基准(数量分散度)和重量基准(重量分散度)两种表示方法。在计测粉尘粒径分布时, 根据粉尘的组成状况及研究目的, 需将粉尘划分为若干个粒级区间, 并以各区间的平均粒径作为代表粒径。

(1) 个数基准分布百分数(数量分散度) 是用各粒级的尘粒颗粒数占计测总颗粒数的百分数表示, 即

$$P_{n_i} = \frac{n_i}{\sum n_i} \times 100\% \quad (1-2)$$

式中 P_{n_i} ——某(i)粒级尘粒的数量百分数, %;

n_i ——某(i)粒级尘粒的颗粒数。

(2) 重量基准的分布百分数(重量分散度) 是用各粒级尘粒的重量占计测粉尘总重量的百分数表示, 即:

$$P_{w_i} = \frac{w_i}{\sum w_i} \times 100\% \quad (1-3)$$

式中 P_{w_i} ——某(i)粒级尘粒的重量百分数, %;

w_i ——某(i)粒级尘粒的重量。

(3) 个数基准与重量基准间的关系 把粉尘看作是均质的, 可用下式表示两者间的关系

$$P_{w_i} = \frac{n_i \cdot d_{p_i}^3}{\sum n_i \cdot d_{p_i}^3} \times 100\% \quad (1-4)$$

式中 d_{p_i} ——计测(i)粒级粉尘的平均粒径。

从上式可以看出, 由于表示分布百分数的基准不同, 则同一粉尘的数量分布百分数与重量分布百分数在数值上相差是很大的, 所以必须是同样的基准才可直接对比。因此, 在给出分布百分数时, 必须说明表示的基准。

粒径分布百分数通常采用表格型式表示。

2. 粒径分布曲线。自然界和生产中产生的粉尘, 粒径分布一般是连续的, 可以用分布曲线或分布函数表示其分布状况, 常用的分布曲线有下述三种型式。

(1) 频率分布曲线(y) 在坐标纸上, 横轴表示粒径(d_p), 纵轴表示相应粒径尘粒所占百分数, 根据实测数值, 按划分的粒级在坐标纸上画出粒径分布柱状图, 连接各柱面的中点成平滑的曲线即为频率分布曲线, 如图1-2中的 y 曲线, 并可用下式表示其关系。

$$y = f(d_p) \quad (1-5)$$

(2) 累积分布曲线(R) 把粉尘粒径的频率分布按粒径顺序(d_p 由 ∞ 到0)累积起来即为粒径累积分布曲线,如图1-2中的R曲线。曲线上的任一点表示粉尘到该粒级的筛上残留率,也叫作筛上或残留率,用下式表示其关系。

$$R = \int_{d_p}^{d_{pmax}} f(d_p) dd_p \quad (1-6)$$

(3) 通过率曲线(D) 是与累积分布曲线对应的,把粉尘频率分布按粒径顺序由0到 ∞ 累积所得的曲线,它表示到某一粒级粉尘的筛下通过率,也叫作筛下,用下式表示其关系,

$$D = \int_0^{d_p} f(d_p) dd_p \quad (1-7)$$

图中R、D两曲线交点所对应的粒径亦即累积分布为50%点所对应的粒径称为中位径,记为 d_{p50} 。

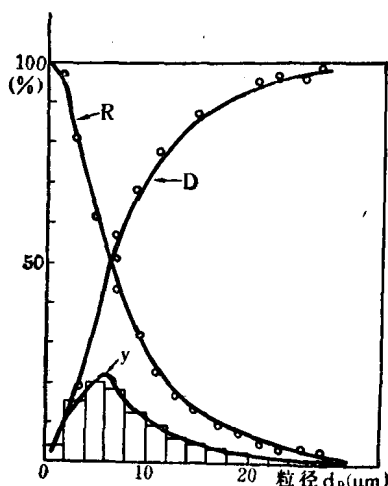


图 1-2 粉尘粒度分布曲线示意图

如下面将要阐述的那样,实际应用中,根据不同的粒径分布函数表达式,采用不同的粒径分布坐标纸。

(三)粒径分布函数表达式

工业粉尘的粒径分布是连续的而且有一定的规律性,可用一分布函数来表达。但因物料性质及产生过程不同,其粒径分布状况也不同,所以要用不同函数来表达,常用的有如下分布函数。

1. 对数正态分布函数式

$$R = \int_{d_p}^{\infty} \frac{100}{\sqrt{2\pi} \log \sigma_g} \exp \left[-\frac{(\log d_p - \log d_g)^2}{2 \log^2 \sigma_g} \right] d(\log d_p) \quad (1-8)$$

式中 d_g ——粉尘的几何平均粒径;

σ_g ——几何标准偏差。

$$\sigma_g = \frac{84.13\% \text{径}}{50\% \text{径}} = \frac{50\% \text{径}}{15.87\% \text{径}}$$

50%径、84.13%径、15.87%径分别为相应累积率时的粒径。

为描绘对数正态分布的累积分布曲线,多利用纵、横轴皆为对数分度的对数正态概率坐标纸,在这一坐标纸上,累积分布曲线成一直线。也就是说在对数正态概率坐标纸上,如果累积分布成一直线,则该分布即属于对数正态分布。机械破碎产生的粉尘多属于这种分布。

2. 罗辛——拉姆勒(Rosin-Rammlet)分布函数。1933年罗辛、拉姆勒等对破碎实验进行了概率、统计学的研究,归纳导出了粉尘粒径分布的表达式,称为罗辛——拉姆勒分布函数。因为式中的常数可根据具体粉尘来确定,所以适用范围比较广,表达式如下,

$$R = 100e^{-\alpha d_p^n} \% \quad (1-9)$$

式中 β 、 n 为实验常数, 可用以下方法确定。

(1) 将表达式改写成以10为底的指数函数, 即

$$R = 100 \times 10^{-\beta' d_p^n} \% \quad (1-10)$$

取两次对数后得

$$\log(2 - \log R) = \log \beta' + n \log d_p \quad (1-11)$$

以 $\log d_p$ 为横坐标, $\log(2 - \log R)$ 为纵坐标绘制成专用的概率坐标纸 (R 、 R 概率坐标纸), 如果粉尘粒径分布符合罗辛——拉姆勒分布规律, 则在该坐标纸上分布曲线呈直线, 直线的斜率即为指数 n , 粒径 $d_p = 1$ 时对应的 $(2 - \log R)$ 值则为 β' 值, 且 $\beta' = 0.434\beta$ 。

(2) 将表达式改变为如下形式,

$$R = 100 e^{-\left(\frac{d_p}{d_{p0}}\right)^n} \% \quad (1-12)$$

当 $d_p = d_{p0}$ 时, 则

$$R = 100 e^{-1} = 36.8\%$$

所以, 把实测值绘于 R 、 R 坐标纸上, 取 $R = 36.8\%$ 所对应的 d_p 值即为 d_{p0} , 并可按下式计算 β 值,

$$\beta = \frac{1}{d_{p0}^n} \quad (1-13)$$

指数 n 称为均一分布指数, n 值小, 表示粒径的分布范围比较广, n 值大, 表示粒径分布范围比较小。系数 β 值越大, 分布线越向左移, 表明粒径的组成越细。

在日本, 主要采用罗辛——拉姆勒分布曲线与对数正态分布曲线, 并都是用重量基准表示。利用其代表粒径 (d_{p30} 或 d_{p50}) 和均一分布指数 n 或标准偏差 σ , 这样两个变数, 可使按表达式得出的分布接近于实际分布。同时, 如实测值在 R 、 R 坐标纸上成一直线, 即表明粉尘粒度分布符合于分布式。

图1-3与图1-4是分别用上述两种坐标图表示的日本工业标准 (JIS) 试验用粉尘 (表1-1) 与实际粉尘的粒径分布情况。

为了研究袋式收尘器的性能, 需要有 $1 \mu\text{m}$ 以下到 $0.1 \mu\text{m}$ 左右的粒径分布。粒径分布有累积分布与频率分布两种表示方法, 实用上多用前者, 但后者具有直观性。

表1-2列举了各种粉尘的大致粒径范围, 可供参考。

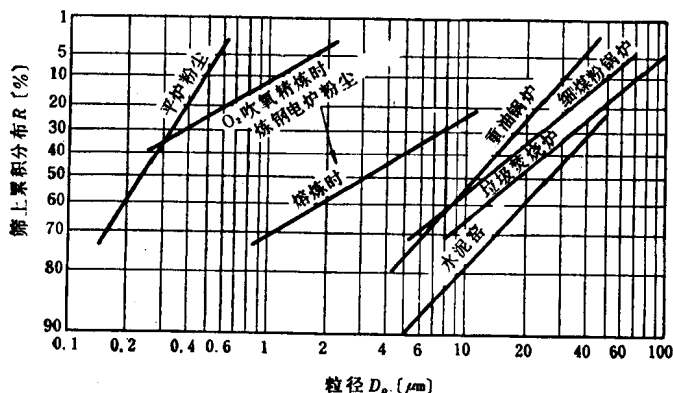


图 1-3 各种粉尘的罗辛-拉姆勒分布线图示例 (据JISZ8901)

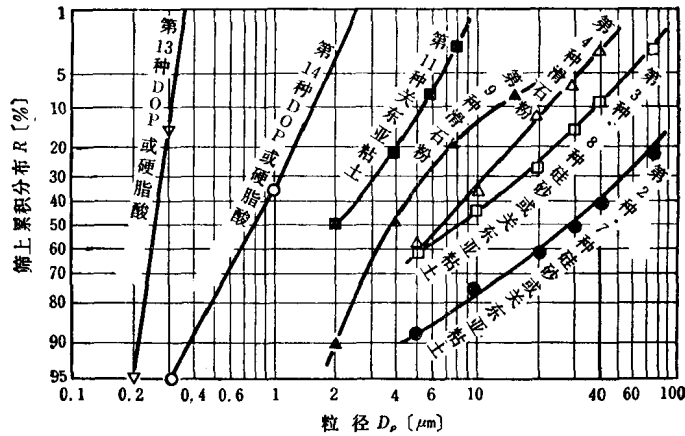


图 1-4 试验用粉尘的对数正态分布线图 (据JISZ8901)

日本工业标准 (JIS) 试验用粉尘的种类

表 1-1

种 类	粉 尘	形 状	真 比 重	中 位 径 $d_{50}(\mu\text{m})$	分 布 指 数 n
第 1 种	硅 砂	不规则粒状	2.6~2.7	193	19.3
第 2 种	硅 砂	不规则	2.6~2.7	30	0.95
第 3 种	硅 砂	不规则	2.6~2.7	8	0.77
第 4 种	滑 石 粉	近似斜方晶形	2.7~2.9	7	1.0
第 5 种	飞灰(煤烟灰)	球形	2.0~2.3	15	1.3
第 6 种	普通水泥	不规则	3.1~3.18	26	1.03
第 7 种	关东亚粘土	不规则	2.9~3.1	30	0.95
第 8 种	关东亚粘土	不规则	2.9~3.1	8	0.77
第 9 种	滑 石 粉	近似斜方晶形	2.7~2.9	4.2	1.0
第10种	飞灰(煤烟灰)	球形	2.0~2.3	5.1	1.3
第11种	关东亚粘土	不规则	2.9~3.1	2	1.2
第12种	碳 黑	球 形	1.7~1.9	0.05	1.3
第13种	气 溶 胶	球 形		0.3	
第14种	气 溶 胶	球 形		0.8	
第15种	混合粉尘	组成: 第 8 种72%、第12种25%、棉绒(直径约1.5 μm , 长度1mm以下)3%			

袋式收尘器虽然也难于捕集微细尘粒,但是,一旦捕集后,由于附着力很大,又难于清落,将成为滤布堵塞的原因。另一方面,粗大粒子易于捕集,也易于清落,但又是滤布磨损的一个原因,所以,如采用圆筒型内面过滤的滤袋,最好对10 μm 以上的粗粉尘进行预收尘处理。

(四) 粒径分布的测定

测定粉尘的粒径分布,利用粉尘的不同物理特性,有多种测定方法和装置,现时工业上应用较多的是显微镜观测法和液体沉降法。

显微镜观测法可以直接观测出粉尘的几何尺寸和形状,通常测定的是定向粒径,能直接计算出以颗粒数为基准的数量粒径分布,如需要重量粒径分布(重量分散度),则须进行换算。

各种工业粉尘的性质(一)

表 1-2

尘 源	平均粒径 (μm)	密度(比重)(g/cm^3)		含 尘 浓 度 (g/Nm^3)	比 电 阻 ($\Omega \cdot \text{cm}$)
		真	假		
1. 细煤粉锅炉	~ 20	2.1	0.6	20~50	$10^{11}(<100^\circ\text{C})$
2. 重油锅炉	~ 10	2.0	0.2	0.1~0.3	$10^4 \sim 10^6$
3. 烧 结 炉	5~10	3~4	1.0	0.5~2.5	$10^{10} \sim 10^{12}$
4. 转 炉	~ 0.2	5	0.7	20~70	$10^8 \sim 10^{11}$
5. 电 炉	$\sim 0.2 \sim 10$	4.5	0.6~1.5	3~30	$10^9 \sim 10^{12}$
6. 化 铁 炉	~ 15	2.0	0.8	3~5	$10^6 \sim 10^{12}$
7. 水泥(窑、干燥机)	$\sim 10 \sim 20$	3	0.6	10~40	$10^{11} \sim 10^{16}$
8. 骨料干燥器	~ 20	2.5	1.1	50	$10^{11} \sim 10^{12}$
9. 黑液回收锅炉	~ 0.2	3.1	0.13	~ 5	10^9
10. 铜 精 炼	< 0.1	4~5	0.2	25~80	$10^8 \sim 10^{11}$
11. 黄铜熔化炉	0.1~0.15	4~8	0.25~1.2	~ 10	—
12. 锌 精 炼	~ 3	5	0.5	5~10	$\sim 10^{13}$
13. 铝 精 炼	< 1	6	—	~ 5	$10^{11} \sim 10^{14}$
14. 铅再精炼	~ 0.5	~ 6	~ 1.2	10~30	$10^{11} \sim 10^{13}$
15. 铝二次精炼	$\sim 0.1 \sim 0.2$	3.0	0.3	~ 10	$10^{10} \sim 10^{12}$
16. 垃圾焚烧	~ 10	~ 2.3	~ 3.5	1~5	$10^8 \sim 10^{10}$
17. 碳	0.1~10	2	~ 0.3	0.3~10	$< 10^4$
18. 铸 造 砂	0.1~15	2.7	~ 1	0.5~15	—

显微镜的放大倍数指的是长度而不是面积,由物镜的放大倍数和目镜的放大倍数的乘积得出,但也不能无限制的增大放大倍数,因为显微镜的分辨力是由物镜的分辨力决定的。一般光学显微镜是普通光线照明,干物镜的最大分辨力的分辨距离为 $0.4 \sim 0.5 \mu\text{m}$,所以用普通光学显微镜对 $0.5 \mu\text{m}$ 以下的尘粒,就不易测定出来。显微镜的放大倍数常用500~1000倍。

为在显微镜下观测,需制作样片,即将代表试样粉尘均匀地分布在载物玻璃片上。显微镜需要样品粉尘量很少,样品多时需进行缩分。样片制作方法有沉降法、冲击法、滤膜溶解涂片法、干式分散法等。采取何种方法为宜要根据样品及采样方法而定。

为计测尘粒的粒径大小,用标准尺度物镜测微尺标定好目镜测微尺的尺度,然后利用目镜测微尺进行观测。

表1-3是粉尘粒径分布(分散度)的测定计算例。

粉尘分散度测定计算例

表 1-3

序号	粒 级 范 围 (μm)	0.5~2	2~5	5~10	10~20	>20	Σ
1	计测粒数 n	240	42	15	2	1	300
2	数量分散度 $n/\Sigma n(\%)$	80	14	5	0.7	0.3	100
3	代表粒径 $d(\mu\text{m})$	1.25	3.5	7.5	15	20	
4	当量重 nd^3	469	1800	6328	6750	8000	23347
5	重量分散度 $nd^3/\Sigma nd^3(\%)$	2	7.7	27	29	34.3	100
6	重量累积 Σnd^3	23347	22878	21078	14750	8000	
7	重量累积分布 $R(\%)$	100	98	90.3	63.3	34.3	

液相沉降法 根据斯托克斯法则, 尘粒在静止液体中的沉降速度与直径的平方成正比即,

$$d_p = \sqrt{\frac{18\mu}{(\rho_p - \rho)g}} \sqrt{v_p} = K \sqrt{h/t} \quad (1-14)$$

式中 $K = \sqrt{\frac{18\mu}{(\rho_p - \rho)g}}$, 当液体的温度一定时, 液体的密度 ρ 与粘性系数 μ 皆为常数,

同时, 测试粉尘的密度 ρ_p 与重力加速度 g 亦是常数, 所以, 在一定条件下, K 为常数, 并可计算出其数值,

h —— 尘粒在液体中沉降距离, m;

t —— 尘粒的沉降时间, s。

h 与 t 可以直接测定出, 据此即可计算出相应的粒径。开始测定前, $t = 0$, 使各种粒径的粉尘在液体(水)中分布均匀, 静止后开始沉降, 在深度为 h 处, 经过 t_1 秒后, 相应大于 d_1 粒径的尘粒将全部沉降而通过该水平, 这时在 h 处采取的液体试样中将不包括大于 d_1 的粉尘。同理, 经过 t_2 秒后, 在 h 处采取的液体试样中将不包括大于 d_2 的粉尘。则在两次所取的相同体积的液体试样中的粉尘的重量差, 即为 $d_1 \sim d_2$ 粒径范围内的粉尘的重量。如此多次取样, 并根据初始粉尘浓度计算出取样体积内粉尘初始重量, 即可求出测试粉尘的重量分散度。

根据这一原理制作的测定仪器有: 安德烈亚森移液管 (Andreasen Pipette)、沉降天平或比重天平, 沉降管等。

在测定气体中有部分凝聚了的尘粒的粒径时, 目前多采用冲击式粉尘粒度测定仪 (Cascade Impactor)。

市场上虽然出售各种利用光散射原理的光电测尘仪, 但如不把粉尘浓度稀释到实验室要求的程度, 则不能进行测定, 所以不适合直接应用于收尘器。另外要注意, 要求等速取样, 同时又不能忽视沉积在取样头内和取样管内的粉尘量。

二、粉尘的密度 ρ_p (g/cm³)

单位体积物质所具有的质量称为密度。粉尘是非常微细尘粒的集合体, 尘粒之间存在着空隙并为空气所充满, 所以, 凝聚或堆积状态下包括空隙体积在内的粉尘密度叫作假密度(堆积密度), 组成粉尘物质的密度叫作真密度。因为用CGS单位制表示的密度数值与比重的数值相同, 所以, 在现场常常用比重代替密度, 并且相应地也有假比重与真比重之分。

关于物质的真密度, 通过查阅手册或辞典即可了解到。但实际上, 由于凝聚粒子很多, 而接近于假密度, 并且随着充填度的不同, 数值也不同, 因而不易确定。

一般采用液体置换法(比重瓶法)测定密度, 即向质量为 m_0 (g)、容积为 V_0 (cm³) 的比重瓶内注满密度为 ρ_0 的水, 则其总质量 m_1 为,

$$m_1 = m_0 + V_0 \rho_0 \quad (1-15)$$

然后, 将质量为 m_2 (g) 的干燥尘粒放入比重瓶内, 设尘粒的实体积为 V_p (cm³), 再向比重瓶内注水到规定的体积 V_0 , 这时水的体积为 $(V_0 - V_p)$, 则尘粒、水和比重瓶的总质量 m_3 为,

$$m_3 = m_0 + \rho_0 (V_0 - V_p) + m_2 \quad (1-16)$$

将两式整理之得

$$V_p = \frac{m_1 + m_2 + m_3}{\rho_e} \quad (1-17)$$

所以, 尘粒的密度 ρ_p 为,

$$\rho_p = \frac{m_2}{V_p} = \frac{m_2 \rho_e}{m_1 + m_2 + m_3} \quad (1-18)$$

因尘粒本身有裂隙, 尘粒之间有空隙且尘粒表面吸附有气体, 所以, 充分排出粉尘内的气体是很重要的。一般认为采用抽真空的排气方法(液体真空置换法)是比较准确的, 有效数字可达三位数。亦有用加温或振荡方法排气的, 效果稍差。

用气体置换法测定密度, 在市场上虽然可以买到简便的测定仪器, 但精确度差, 有效数字为两位数。

尘粒的密度对其在空气中运动的影响, 从斯托克斯计算沉降速度的公式

$$V_p = \frac{(\rho_p - \rho)gd_p^2}{18\mu} \quad (1-19)$$

可知是以 $\rho_p d_p^2$ 的形式发生作用的, 而且密度的数值范围也不很大, 一般为 $1 \sim 8(\text{g/cm}^3)$, 与粒径相比, 对运动性能的影响要小得多。实际上, 各种密度的尘粒混在一起的情况很多, 所以, 确定密度是比较困难的。因而, 实用上常常不得不采用概略的数值, 表 1-2 列出了各种工业粉尘的大致的比重数值。

三、粒子形状 (Particle Shape)

粒子的形状是多种多样的, 因而还未能建立起具有普遍性的、实用的定义和测定方法。简单的表示方法有用面积或体积形状系数与圆形度或球形度等, 但如用沉降粒径或空气动力学粒径来表示粒径时, 已经包括了形状与密度的因素, 就不需再单独考虑形状了。

对袋式收尘器来说, 在附着一定程度的粉尘后, 粉尘具有比较容易清灰的粒子形状是有利的, 但关于粒子形状的影响, 尚未进行研究。

四、摩擦系数 (摩擦角) (Friction Coefficient)

使粉尘从漏斗状开口徐徐地落到水平面上, 将形成一个圆锥体。这一圆锥体的母线与水平面的夹角称休止角或安息角。作为安息角除测定出的表面摩擦角之外, 还有内部摩擦角

各种粉尘的性质 (二)

表 1-4

粉尘名称	安息角 (度)	介电率 (一)	爆炸下限浓度 (g/m^3) (全部通过200 目的粉末)	粉尘名称	安息角 (度)	介电率 (一)	爆炸下限浓度 (g/m^3) (全部通过200 目的粉末)
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
粘土	~35	—	—	淀粉	43~50	5~7	50~100
硅砂	28~41	4	—	硫黄粉末	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	—				

和壁面摩擦角。安息角与粒子的种类、形状、粒径分布、湿润情况等因素有关，可用来表示粉尘的摩擦特性和流动特性。这些角的正切即是摩擦系数，其值越大，附着力越大。

对于滤袋来说，粉尘如果没有一定的附着力，将失去捕集粉尘的性能，而附着力过大，清灰又将困难，所以附着力最好在适当的范围内。粉尘越细，摩擦角也越大。设计灰斗时要考虑粉尘的安息角，以利灰尘排出。

表1-4列出了各种粉尘的安息角。

测定粉尘安息角可用堆积法、回转圆筒法（以上测表面摩擦）、剪断试验法（内部摩擦）、倾斜板法（壁面摩擦）等方法进行。

带电顺序表

表 1-5

物质名称(主要是纤维)	产生的电位	物质名称(主要是粒子)
(正)		
石 棉		小 麦 粉
玻 璃		氧化铝系磨粒
		玻 璃 母
		玻 云
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	氯 乙 烯
纸		
奥 纶(长纤维)	+4	
达 柯 纶(长纤维)	0	
代 涅 尔(短纤维)	-4	
奥 纶(短纤维)	-5~-14	
达 柯 纶(短纤维)	-10	
钢(管内侧)	-10	(钢)
聚苯乙烯		
聚 丙 烯(长纤维)	-13	
醋酸纤维	-14	
沙 纶	-17	
聚 乙 烯(长、短纤维)	-20	硅 砂
赛 璐 璐		
氯 乙 烯		
(特氟纶)(管内侧)		(特氟纶)
(负)硝酸纤维		

五、含 水 率 (水 分)

粉尘的含水率可从百分之零点一到百分之几十，无机物一般比较小，有机物特别是植物则比较大。含水率也和附着力有关系，特别是影响清灰作用，并和静电特性有关，所以，要从清灰和捕集两方面加以研究。

采用干燥称量法测定含水率是比较准确的方法。