袋式除尘器设计指南

杨建勋 张殿印 主编

DAISHI CHUCHENQI SHEJI ZHINAN



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

袋式除尘器设计指南

杨建勋　张殿印　主编

机 械 工 业 出 版 社

本书共九章，系统地阐述了袋式除尘器的设计方法。分别介绍了袋式除尘器的分类、原理、构造、性能，袋式除尘器的设计原则、程序、原始资料，袋式除尘器的工艺设计方法、结构设计方法、气流设计方法、输灰设计方法，袋式除尘器的涂装、保温、防爆设计方法、袋式除尘器的自动控制设计方法以及技术经济分析等。读者利用本书可以进行袋式除尘器的基础设计和详细设计。

本书可作为科研设计院所、设备制造厂家的环保工程技术人员的工具书，也可作为高等学校相关专业师生的参考用书。

图书在版编目（CIP）数据

袋式除尘器设计指南/杨建勋，张殿印主编．—北京：机械工业出版社，2012.3
ISBN 978-7-111-37398-8

Ⅰ.①袋… Ⅱ.①杨…②张… Ⅲ.①滤袋除尘器—设计—指南
Ⅳ.①TM925.312-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2012）第 018868 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：刘　岚　责任校对：肖　琳
封面设计：陈　沛　责任印制：乔　宇
三河市国英印务有限公司印刷
2012年6月1版1次印刷
184mm×260mm · 25.75 印张 · 651 千字
标准书号：ISBN 978-7-111-37398-8
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
销售二部：(010)88379649　　教材网：http://www.cmpedu.com
读者购书热线：(010)88379203　　**封面无防伪标均为盗版**

前　言

环境保护相关产业是指国民经济结构中为环境污染防治、生态保护与恢复、有效利用资源，满足人居环境需求，为社会、经济可持续发展提供产品和服务支持的产业，它为我国环境保护事业的发展提供了重要的物资和技术保障。以除尘设备为代表的大气污染治理设备，在环境保护产品的生产中占有重要地位。

袋式除尘器是除尘设备中应用数量最多的设备，袋式除尘器设计制作是否优良，应用维护是否得当直接影响除尘工程的除尘效果。设计好袋式除尘器，对节能减排、搞好环境保护工作具有重要的意义。

为了满足除尘设备设计与开发人员的需要，我们编撰了《袋式除尘器设计指南》一书。全书分为九章，主要包括袋式除尘器分类、构造、原理、性能，袋式除尘器设计原则、程序、原始资料，袋式除尘器工艺设计、结构设计、气流设计、输灰设计，袋式除尘器涂装、保温、防爆设计，袋式除尘器自动控制设计以及技术经济分析等内容。

本书特点：针对性强，是一本专门介绍袋式除尘器设计的技术书；内容新颖，书中许多内容是同类书籍中所没有的；联系实际，书中有许多编著者在长期实际工作中积累的成功经验和研究成果。

参加本书编写的有（以姓氏笔画为序）于丽萍、王博、王胜男、田雨、母立伟、刘宝俊、宋丽爽、杨建勋、陈庆祝、张学义、张殿印、徐建军、高岗。全书由杨建勋、张殿印主编。

本书在编撰过程中得到了清华大学许宏庆教授等多位知名环保专家的帮助和有关单位的支持，在此深表谢意。成稿中还得到了李忠、张学军、张紫薇的帮助。书中参考和引用了一些科研、设计、教学和生产工作同行撰写的著作、论文、手册、教材和学术会议论文集等，在此对所有作者表示衷心感谢。编著者希望本书的出版，能为我国大气污染治理、控制和技术发展做出贡献。

由于编著者水平和时间所限，书中不妥之处在所难免，诚请广大读者朋友批评指正。

编著者

2012. 1

目　　录

前言

第一章　袋式除尘器分类和性能 …… 1

第一节　袋式除尘器分类 …… 1

一、按除尘器结构型式分类 …… 1

二、按滤袋形状分类 …… 2

三、按清灰方式分类 …… 3

第二节　袋式除尘器结构 …… 4

一、袋式除尘器框架 …… 4

二、袋式除尘器箱体 …… 4

三、袋式除尘器清灰装置 …… 4

四、袋式除尘器滤袋 …… 4

第三节　袋式除尘器工作原理 …… 5

一、过滤机理 …… 5

二、过滤过程 …… 6

三、清灰过程 …… 6

第四节　袋式除尘器性能 …… 7

一、处理气体流量 …… 7

二、除尘效率 …… 7

三、压力损失 …… 11

四、除尘器排放浓度 …… 14

五、除尘器漏风率 …… 14

六、壳体耐压强度 …… 15

七、设备钢耗 …… 15

第二章　袋式除尘器设计条件 …… 16

第一节　设计原则和依据 …… 16

一、设计原则 …… 16

二、设计程序 …… 16

三、设计要点 …… 16

四、技术文件 …… 18

第二节　设计内容和注意事项 …… 18

一、设计内容 …… 18

二、设计注意事项 …… 19

第三节　气体基本性质参数 …… 28

一、空气的组成与特性 …… 28

二、空气的主要物理数据 …… 29

三、可燃气体爆炸极限 …… 33

第四节　粉尘基本性质参数 …… 37

一、粉尘的分类和特性 …… 37

二、粉尘的密度 …… 38

三、粉尘的粒度和成分 …… 39

四、粉尘的黏附性和安息角 …… 45

五、可燃粉尘的爆炸极限 …… 46

六、粉尘的摩擦性能 …… 50

七、粉尘的比电阻 …… 50

八、气象资料 …… 52

第三章　袋式除尘器工艺设计 …… 59

第一节　袋式除尘器工艺布置和技术计算 …… 59

一、袋式除尘器型式 …… 59

二、袋式除尘器工艺布置 …… 59

三、袋式除尘器进风总管配置 …… 60

四、走梯平台 …… 60

五、袋式除尘器主要技术参数计算 …… 60

第二节　人工和机械振动袋式除尘器工艺设计 …… 68

一、简易袋式除尘器设计 …… 68

二、机械振打袋式除尘器分类 …… 72

三、振打清灰结构设计 …… 73

四、振动袋式除尘器工作原理 …… 74

五、实例：微型机械振打袋式除尘器 …… 76

第三节　反吹风袋式除尘器工艺设计 …… 77

一、反吹风袋式除尘器分类 …… 77

二、反吹风袋式除尘器工作原理 …… 79

三、分室反吹风袋式除尘器构造设计 …… 80

四、反吹风清灰设计 …… 83

五、回转反吹袋式除尘器工艺设计 …… 86

六、实例：ZC 型系列回转反吹袋式除尘器 …… 90

第四节　脉冲袋式除尘器工艺设计 …… 93

一、脉冲袋式除尘器分类 …… 93
二、脉冲袋式除尘器工作原理 …… 95
三、脉冲袋式除尘器构造设计 …… 96
四、脉冲袋式除尘器清灰装置设计 …… 98
五、离线装置设计 …… 104
六、旁路装置设计 …… 106
七、气箱脉冲除尘器工艺设计 …… 107
八、圆筒式袋式除尘器工艺设计 …… 111
第五节　除尘滤料选用 …… 114
一、滤料纤维性能 …… 115
二、滤布的织造和整理 …… 116
三、常用滤料性能 …… 120
四、滤料的选用 …… 122
第六节　压缩空气系统设计 …… 123
一、供气方式设计 …… 123
二、用气量设计计算 …… 125
三、压缩空气管道设计计算 …… 128
四、储气罐选用 …… 130
五、气包设计要点 …… 131
第七节　压差装置系统设计 …… 132
一、取压测孔设计 …… 132
二、压差管道设计 …… 133
三、压力计选用和防堵 …… 134
第八节　滤筒式除尘器工艺设计 …… 134
一、滤筒式除尘器工艺特点 …… 134
二、除尘器滤筒设计 …… 137
三、除尘器滤筒常用滤料 …… 144
第四章　袋式除尘器结构设计 …… 146
第一节　结构设计内容 …… 146
一、结构设计内容 …… 146
二、袋式除尘器荷载分析 …… 152
三、袋式除尘器结构型式 …… 155
第二节　结构设计用材料 …… 158
一、材料材质 …… 158
二、钢材规格和性能 …… 159
三、焊接材料性能 …… 161
四、螺栓连接材料性能 …… 161
第三节　袋式除尘器结构设计计算 …… 162
一、计算的基本规范和原则 …… 162
二、荷载组合 …… 162
三、袋式除尘器结构计算模式 …… 164
四、地震作用计算 …… 165
五、设备基础荷载资料 …… 166
六、袋式除尘器设计计算 …… 167
七、构件连接计算 …… 172
八、实例：袋式除尘器结构计算 …… 181
第四节　圆筒形袋式除尘器结构设计计算 …… 190
一、分类和术语 …… 190
二、设计一般规定 …… 191
三、材料选用 …… 195
四、结构设计计算 …… 198
五、配套件选用与设计 …… 211
六、实例：圆筒形袋式除尘器设计 …… 217
第五章　袋式除尘器气流组织和均布设计 …… 220
第一节　气体流动理论 …… 220
一、气体流动概念 …… 220
二、稳定流动基本方程 …… 223
三、气流组织设计方法 …… 225
四、气流组织和均布的部位 …… 226
第二节　气流组织试验 …… 227
一、相似理论基础 …… 227
二、近似模拟试验方法 …… 232
三、实例：袋式除尘器气流分布试验 …… 233
第三节　数值模拟方法 …… 235
一、数值模拟理论 …… 235
二、湍流模型 …… 235
三、数值模拟计算 …… 237
四、实例：袋式除尘器气流数值模拟 …… 238
第四节　气流组织理论分析与计算 …… 241
一、气体流动能量损失 …… 241
二、除尘器结构阻力分析计算 …… 242
三、除尘器滤袋阻力分析计算 …… 258
第六章　袋式除尘器输灰系统设计 …… 262
第一节　输灰系统设计原则 …… 262
一、粉尘的输送方式 …… 262
二、粉尘的物性指标 …… 262
三、输灰系统设计原则 …… 263
第二节　除尘器排灰阀选择 …… 264

一、排灰阀的分类和工作原理 …… 264
二、插板阀 …… 264
三、翻板式卸灰阀 …… 266
四、回转式卸灰阀 …… 268
五、排灰装置的选用要求 …… 272
第三节 机械输灰系统设计 …… 273
一、机械输灰系统组成和设计要点 …… 273
二、螺旋输送机 …… 275
三、埋刮板输送机 …… 277
四、斗式提升机 …… 281
五、贮灰仓设计 …… 283
六、加湿机 …… 287
七、运灰汽车 …… 289
第四节 气力输灰系统设计 …… 290
一、气力输送的分类和特点 …… 290
二、稀相气力输送系统设计 …… 291
三、仓式泵输送装置 …… 301
四、风动溜槽 …… 304
第七章 袋式除尘器涂装、保温和防爆设计 …… 309
第一节 袋式除尘器涂装设计 …… 309
一、钢材除锈 …… 309
二、涂料选择和涂层结构 …… 310
三、涂装设计 …… 314
四、涂装施工注意事项 …… 319
五、涂膜性能检验 …… 319
第二节 袋式除尘器保温设计 …… 320
一、保温设计原则 …… 321
二、保温材料种类和性能 …… 321
三、保温材料选择 …… 323
四、保护层材料选择 …… 324
五、保温层厚度设计计算 …… 324
六、保温结构设计 …… 328
七、保温层和辅助材料用量计算 …… 330
八、保温施工 …… 332
第三节 袋式除尘器防爆设计 …… 334
一、设计原则 …… 334
二、袋式除尘器本体防爆设计 …… 335
三、泄压装置设计 …… 336
四、配套装置与选用 …… 336
第八章 袋式除尘器控制系统设计 …… 340
第一节 袋式除尘器控制功能需求 …… 340
一、除尘器清灰控制 …… 340
二、除尘器输排灰控制 …… 340
三、除尘器储灰控制 …… 341
四、其他控制功能 …… 341
第二节 袋式除尘器控制仪表 …… 341
一、袋式除尘器温度仪表 …… 341
二、袋式除尘器压力仪表 …… 349
三、粉尘物位仪表 …… 354
四、音叉式料位计 …… 358
五、差压变送器 …… 359
第三节 控制系统组成 …… 362
一、除尘系统控制特点 …… 362
二、控制系统组成 …… 362
三、可编程序控制器 …… 364
四、脉冲控制仪 …… 367
五、智能型脉冲控制器 …… 371
第四节 袋式除尘器控制系统设计 …… 374
一、袋式除尘器自动控制系统设计 …… 375
二、袋式除尘器控制技术发展趋势 …… 378
三、实例：脉冲袋式除尘系统自动控制 …… 378
四、袋式除尘器开机建议 …… 385
第九章 技术经济分析 …… 388
第一节 除尘设备成本估算 …… 388
一、设备设计费用 …… 388
二、设计阶段成本估算方法 …… 389
第二节 技术经济分析 …… 391
一、项目建设费 …… 392
二、设备折旧费 …… 397
三、设备运行维护费 …… 397
第三节 社会经济效益 …… 399
一、社会经济效益分类 …… 399
二、社会经济效益技术计算 …… 399
三、社会经济效益分析 …… 400
参考文献 …… 402

第一章　袋式除尘器分类和性能

袋式除尘器是利用由过滤介质制成袋状或筒状过滤元件来捕集含尘气体中粉尘的除尘设备。袋式除尘器的除尘性能不受尘源的粉尘浓度和气体量的影响。捕集对象的粉尘粒径超过 0.2μm，捕集效率一般可达 99% 以上；粒径在 1μm 以上的，捕集效率几乎达 100%。因此，出口气体的粉尘浓度可比国家规定的排放标准还要低，例如能降低到 $0.01g/m_N^3$ 以下。另外，压力损失的大小与操作条件和机种有关，一般在 500～2000Pa，因此，袋式除尘器在除尘工程中有广泛应用。

第一节　袋式除尘器分类

现代工业的发展，对袋式除尘器的要求越来越高，因此在滤料材质、滤袋形状、清灰方式、箱体结构等方面也不断更新发展。在除尘器中，袋式除尘器的类型最多，根据其特点可进行不同的分类。

一、按除尘器结构型式分类

袋式除尘器的示意简图如图 1-1 所示。

除尘器的分类，主要是依据其结构特点，如滤袋形状、过滤方向、进风口位置以及清灰方式。

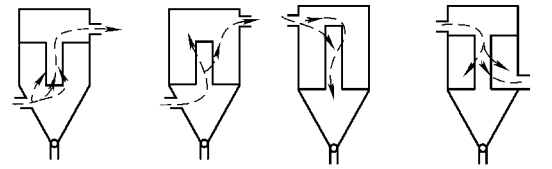


图 1-1　袋式除尘器的示意简图

1. 按过滤方向分类

按过滤方向分类，可分为内滤式袋式除尘器和外滤式袋式除尘器两类。

1）内滤式袋式除尘器。图 1-1b、d 所示为内滤式袋式除尘器，含尘气流由滤袋内侧流向外侧，粉尘沉积在滤袋内表面上，优点是滤袋外部为清洁气体，便于检修和换袋，甚至不停机即可检修。一般机械振动、反吹风等清灰方式多采用内滤型式。

2）外滤式袋式除尘器。图 1-1a、c 所示为外滤式袋式除尘器，含尘气流由滤袋外侧流向内侧，粉尘沉积在滤袋外表面上，其滤袋内要设支撑骨架，因此滤袋磨损较大。脉冲喷吹、回转反吹等清灰方式多采用外滤型式。扁袋式除尘器大部分采用外滤型式。

2. 按进风口位置分类

按进风口位置分类，可分为下进风袋式除尘器和上进风袋式除尘器两类。

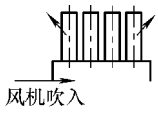
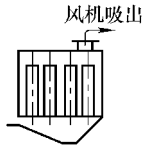
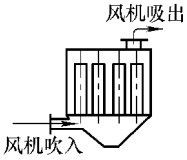
1）下进风袋式除尘器。图 1-1a、b 所示为下进风袋式除尘器，含尘气体由除尘器下部进入，气流自下而上，大颗粒直接落入灰斗，减少了滤袋磨损，延长了清灰间隔时间，但由于气流方向与粉尘下落方向相反，容易带出部分微细粉尘，降低了清灰效果，增加了阻力。下进风袋式除尘器结构简单，成本低，应用较广。

2）上进风袋式除尘器。图 1-1c、d 所示为上进风袋式除尘器，含尘气体的入口设在除尘器上部，粉尘沉降与气流方向一致，有利于粉尘沉降，除尘效率有所提高，设备阻力也可降低 15%～30%。

3. 按除尘器内的压力分类

按除尘器内的压力分类，可分为负压式除尘器、正压式除尘器和微压式除尘器3类，见表1-1。

表1-1　袋式除尘器按工作压力分类

类　别	图　形	说　明
正压式 压入式		烟气由风机压入，除尘器呈正压，粉尘和气体可能逸出，污染环境，外壳可视情况考虑密闭或敞开，适用于含尘浓度很低的工况，否则风机磨损
负吸式 压出式		烟气由风机吸出，除尘器呈负压，周围空气可能漏入设备，增加了设备和系统的负荷，外壳必须密闭，负压式是最常用的形式
微压式		除尘器进出口均设风机，烟气由前风机压入，后风机吸出，除尘器呈微负压，有少量空气漏入设备，设备和系统的负荷增加不大。设计中应注意两台风机的匹配

1）正压式除尘器。正压式除尘器，风机设置在除尘器之前，除尘器在正压状态下工作。由于含尘气体先经过风机，对风机的磨损较严重，因此不适用于高浓度、粗颗粒、高硬度、强腐蚀性的粉尘。

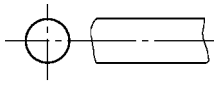
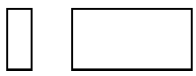
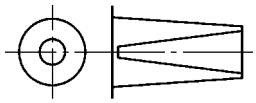
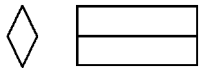
2）负压式除尘器。负压式除尘器，风机置于除尘器之后，除尘器在负压状态下工作。由于含尘气体经净化后再进入风机，因此对风机的磨损很小，这种方式采用较多。

3）微压式除尘器。微压式除尘器在两台除尘器中间，除尘器承受压力低，运行较稳定。

二、按滤袋形状分类

按滤袋形状袋式除尘器分为4类，即圆形袋除尘器、扁袋除尘器、双层圆筒袋除尘器和菱形袋除尘器，袋形及特点见表1-2。

表1-2　袋式除尘器按滤袋形状分类

类　别	图　形	特　点
圆袋		普通型，普遍使用，清灰较易，外滤式其直径为120～160mm，内滤式其直径为ϕ200～300mm或更大，它是应用最广泛的滤袋形式
扁袋		袋宽35～50mm，面积1～4m^2，可以排得较密，单位体积内过滤面积较大，为外滤式，有框架，主要用于回转反吹清灰方式和侧插袋安装方式
双层圆筒		为在圆袋基础上增加过滤面积将长袋折成双层，可增加面积近一倍（主要用在脉冲袋上）。主要用于反吹清灰方式
菱形袋		较普通圆形滤袋体积小，可在同样箱体内增加过滤面积，只适用于外滤式

三、按清灰方式分类

清灰方式是决定袋式除尘器性能的一个重要因素，它与除尘效率、压力损失、过滤风速及滤袋寿命均有关系。国家颁布的袋式除尘器的分类标准就是按清灰方式进行分类的。按照清灰方式，袋式除尘器可分为5大类：机械振动类；分室反吹类；喷嘴反吹类；振动反吹并用类及脉冲喷吹类。各类除尘器的特点见表1-3。

表1-3　袋式除尘器的特点

类　别		优　点	缺　点	说　明
自然落灰 人工拍打		设备结构简单，容易操作，便于管理	过滤速度低，滤袋面积大，占地大	滤袋直径一般为300～600mm，通常采用正压操作，捕集对人体无害的粉尘，多用于中小型工厂
机械振打	机械凸轮(爪轮)振打	清灰效果较好，与反气流清灰联合使用效果更好	不适于玻璃布等不抗摺的滤袋	滤袋直径一般大于150mm，分室轮流振打
	压缩空气振打	清灰效果好，维修量比机械振打小	同上，工作受气流限制	滤袋直径一般为220mm，适用于大型除尘器
	电磁振打	振幅小，可用玻璃布	清灰效果差，噪声较大	适用于易脱落的粉尘和滤布
反向气流清灰	下进风大滤袋	烟气先在斗内沉降一部分烟尘，可减少滤布的负荷	清灰时烟尘下落与气流逆向，又被带入滤袋，增加滤袋负荷	低能反吸（吹）清灰大型的为二状态清灰和三状态清灰，上部可设拉紧装置，调节滤袋长度，袋长8～12m
	上进风大滤袋	清灰时烟尘下落与气流同向，避免增加阻力	上部进气箱积尘须清灰	低能反吸，双层花板，滤袋长度不能调，滤袋伸长要小
	反吸风带烟尘输送	烟尘可以集中到一点，减少烟尘输送	烟尘稀相运输动力消耗较大，占地面积大	长度不大，多用笼骨架或弹簧骨架高能反吸
	回转反吹	用扁袋过滤，结构紧凑	机构复杂，容易出现故障，需用专门反吹风机	用于中型袋式除尘器，不适用于特大型或小型设备，忌袋口漏风
	停风回转反吹	离线清灰效果好	机构复杂，需分室工作	用于大型除尘器，清灰力不均匀
脉冲喷吹	中心喷吹	清灰能力强，过滤速度大，不需分室，可连续清灰	要求脉冲阀经久耐用	适于处理高含尘烟气，滤袋直径120～160mm、长度2000～6000mm或更大，需笼骨架
	环隙喷吹	清灰能力强，过滤速度比中心喷吹更大，不需分室，可连续清灰	安装要求更高，压缩空气消耗更大	适于处理高含尘烟气，滤袋直径120～160mm、长度2250～4000mm，需笼骨架
	低压喷吹	滤袋长度可加大至6000mm，占地减少，过滤面积加大	消耗压缩空气量相对较大	滤袋直径120～160mm，可不用喷吹文氏管，安装要求严格
	整室喷吹	减少脉冲阀个数，每室1～2个脉冲阀，换袋检修方便，容易	清灰能力稍差	喷吹在滤袋室排气清洁室，滤袋<3000mm为宜，且每室滤袋数量不能多
喷嘴反吹	气环移动清灰	与其他清灰方式比，滤袋过滤面积处理能力最大	滤袋和气环摩擦损坏滤袋，传动箱和软管存在耐温问题	适用于含尘大的烟气，烟气走向为内滤顺流式，袋直径一般为200～450mm，不分室，应用很少

第二节　袋式除尘器结构

袋式除尘器由框架、箱体、滤袋、清灰装置和压缩空气装置、差压装置和电控装置组成。图 1-2 所示为脉冲袋式除尘器的构造。

一、袋式除尘器框架

袋式除尘器的框架由梁、柱、斜撑等组成，框架设计的要点在于要有足够的强度和刚度支撑箱体、灰重及维护检修时的活动荷载，并防范遇到特殊情况如地震、风、雪等灾害不至于损坏。

二、袋式除尘器箱体

袋式除尘器的箱体分为滤袋室和洁净室两大部分，两室由花板隔开。在箱体设计中主要是确定壁板和花板。

箱体外形有各种形状，如圆形、方形、长方形。其典型外形如图 1-3 所示。除尘器的不同形状是由除尘工艺条件和除尘器大小决定的，其中以长方形居多。

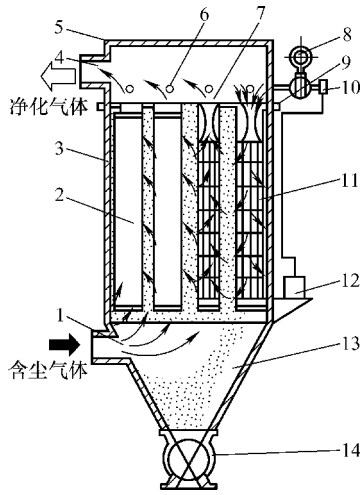


图 1-2　脉冲袋式除尘器

1—进气口　2—滤袋　3—中部箱体　4—排气口　5—上箱体
6—喷射管　7—文氏管　8—空气包　9—脉冲阀　10—控制阀
11—框架　12—脉冲控制仪　13—灰斗　14—排灰阀

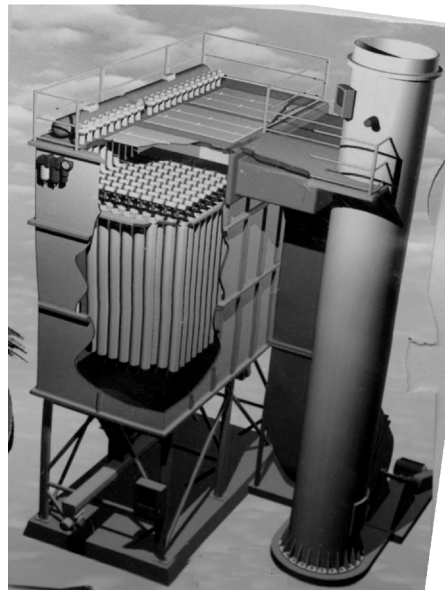


图 1-3　典型除尘器箱体外形

三、袋式除尘器清灰装置

不同除尘器的主要区别在清灰装置。各种清灰装置将在本章后面各节详述。

四、袋式除尘器滤袋

1. 安装方式

反吹风袋式除尘器的滤袋安装方式如图 3-45a 所示，滤袋为圆筒形。滤袋的下端固定在花板套管上，上端固定在帽盖上。处理气体从滤袋下部的开口处流入，一边上升一边分叉过

滤。被过滤的粉尘如图 3-45b 所示，粘附、沉积在滤袋里面，形成一种粉尘层，洁净气体流向滤袋外侧，至出口通风管，滤袋上端的帽盖固定在吊架上，吊架通过保持适当张力的弹簧固定在天花板上。设滤袋的内径为 D，有效过滤高度为 H，处理气体量 Q 所需要的滤袋个数为 n，则过滤面积 $A = \pi nDH$。过滤的直径 D 一般在 125 ~458mm，高度 H 在 2 ~12m 范围内。为了满足过滤要求，其高度和直径比 H/D 取 4 ~40。

2. 滤袋的材料

滤袋的材料取决于处理气体的温度、气体的酸碱程度、尺寸稳定性、透气性以及滤袋的使用寿命等。滤袋的寿命与使用条件和材料有关，短者几个月，长者几年。

滤袋一般采用天然纤维棉、动物纤维的羊毛，化学纤维的尼龙（聚酰胺类）、涤纶（聚酯类）、聚丙烯丝（聚丙烯类）、聚四氟乙烯（聚四氟乙烯类），无机纤维的玻璃纤维、石墨纤维等材料。

3. 滤布的编织方法

滤布的编织方法有平纹织、斜纹织、缎织以及针刺毡等。玻璃纤维主要以拉丝多的缎织为主，这是因为缎织法容易剥落尘饼，并且不容易堵眼。这些滤布的孔眼大约为 10 ~50μm。针刺毡孔眼的大小约为 10 ~50μm 的一半。针刺毡织造有针刺和水刺之分。

第三节　袋式除尘器工作原理

袋式除尘器工作原理就是一个过滤过程和一个清灰过程。脉冲喷吹袋式除尘器工作原理如图 1-5 所示。

一、过滤机理

当含尘气体进入袋式除尘器通过滤料时，粉尘被阻在其表面，干净空气则透过滤料的缝隙排出，完成过滤过程。完成过滤的主要有纤维过滤、薄膜过滤和粉尘层过滤。袋式除尘器是纤维过滤、薄膜过滤与粉尘层过滤的组合，它的除尘机理是筛滤、惯性碰撞、钩附、扩散、重力沉降和静电等效应综合作用的结果。

（1）筛滤效应　当粉尘的颗粒直径较滤料纤维间的空隙或滤料上粉尘间的孔隙大时，粉尘被阻留下来，称为筛滤效应。对织物滤料来说，这种效应是很小的，只是当织物上沉积大量的粉尘后，筛滤效应才充分显示出来。

（2）碰撞效应　当含尘气流接近滤料纤维时，气流绕过纤维，但 1μm 以上的较大颗粒由于惯性作用，偏离气流流线，仍保持原有的方向，撞击到纤维上，粉尘被捕集下来，称为碰撞效应。

（3）钩附效应　当含尘气流接近滤料纤维时，细微的粉尘仍保留在流线内，这时流线比较紧密。如果粉尘颗粒的半径大于粉尘中心到达纤维边缘的距离，粉尘即被捕获，称为钩附效应，又称拦截效应。

（4）扩散效应　当粉尘颗粒极为细小（0.5μm 以下）时，在气体分子的碰撞下偏离流线做不规则运动（亦称布朗运动），这就增加了粉尘与纤维的接触机会，使粉尘被捕获。粉尘颗粒越小，运动越剧烈，从而与纤维接触的机会也越多。

碰撞、钩附及扩散效应均随纤维的直径减小而增加，随滤料的孔隙率增加而减少，因而采用的滤料纤维越细，纤维越密实，滤料的除尘效率越高。

（5）重力沉降　颗粒大、相对密度大的粉尘，在重力作用下沉落下来，这与在重力除尘器中粉尘的运动机理相同。

（6）静电作用　如果粉尘与滤料的荷电相反，则粉尘易于吸附于滤料上，从而提高除尘效率，但被吸附的粉尘难于剥落下来。反之，如果两者和电荷相同，则粉尘受到滤料的排斥，效率会因此而降低，但粉尘容易从滤袋表面剥离。

1. 不同滤料除尘机理的差异

1）织物滤料的孔隙存在于经、纬纱之间（一般线经 300～700μm，间隙 100～200μm），以及纤维之间，而后者占全部孔隙的 30%～50%。开始滤尘时，气流大部分从经、纬纱之间的小孔通过，只有小部分粉尘穿过纤维间的缝隙，粗颗粒尘被嵌进纤维间的小孔内，气流继续通过纤维间的缝隙，此时滤料即成为对粗、细粉尘颗粒都有效的过滤材料，而且形成称为“初次粉尘层”或“第二过滤层”的粉尘层，于是粉尘层表面出现以强制筛滤效应捕集粉尘的过程。此外，在气流中粉尘的直径比纤维细小时，碰撞、钩附、扩散等效应增加，除尘效率提高。

2）针刺毡或针刺毡滤料，由于本身构成厚实的多孔滤床，可以充分发挥上述效应，但“第二过滤层”的过滤作用仍很重要。

3）覆膜滤料，其表面上有一层人工合成的，内部呈网格状结构的，厚 50μm、每 cm^2 含有 14 亿个微孔的特制薄膜，显然其过滤作用主要是筛滤效应，故称为表面过滤。

2. 合理的清灰周期

袋式除尘器在实际运行中，随着滤袋粉尘层的增加，需要对滤料进行周期性的清灰。随着捕集粉尘量的不断增加，粉尘层不断增厚，其过滤效率随之提高，除尘器的阻力也逐渐增加，而通过滤袋的风量则逐渐减小，这时，需要对滤袋进行清灰处理，既要及时、均匀地除去滤袋上的积灰，又要避免过度清灰，使其保留“初次粉尘层”，保证工作稳定和高效率，这对于孔隙较大的或易于清灰的滤料更为重要。

二、过滤过程

参见图 3-45，在每个滤袋里面装有圆筒形状的支承袋笼，含有粉尘的气体从滤袋的外侧向内侧流动。所以，粉尘被滤袋的外侧面过滤捕集，洁净气体通过内侧从上部排出。洁净室设有压缩空气管，靠压缩空气管喷出来的脉冲气流抖落粉尘。壳体、漏斗等振动式一样，处于封闭状态。从漏斗上部送进来的含尘气体，分路升至各个滤袋，被过滤捕集。

新滤袋在运行初期主要捕集 1μm 以上的粉尘，捕集机理是惯性作用、筛分作用、遮挡作用、静电沉降或重力沉降等。粉尘的一次粘附层在滤布面上形成后，也可以捕集 1μm 以下的微粒，并且可以控制扩散。这些作用力受粉尘粒子的大小、密度、纤维直径和过滤速度的影响。

袋式除尘器处理空气的粉尘浓度为 0.5～100g（粉尘）/m^3（气体），因此，在开始运动的几分钟内，就在滤布的表面和里面形成一层粉尘的粘附层。这层粘附层又叫做一次粘附层或过滤膜。如果形成一次粘附层，那么该粘附层就起过滤捕集的作用，其原因是粉尘层内形成许多微孔，粉尘层的孔隙率为 0.8～0.9。这些微孔产生筛分效果。过滤速度越低，微孔越小，粉尘层的孔隙率越大。所以，高效率捕集过程，在很大程度上依赖于过滤速度。

三、清灰过程

清灰时由脉冲控制仪（或 PLC）控制脉冲阀的启闭，当脉冲阀开启时，气包内的压缩

空气通过脉冲阀经喷吹管上的小孔，向滤袋口喷射出一股高速高压的引射气流，形成一股相当于引射气流体积若干倍的诱导气流，一同进入滤袋内，使滤袋内出现瞬间正压，急剧膨胀；沉积在滤袋外侧的粉尘脱落，掉入灰斗内，达到清灰目的。

在清灰瞬间，压缩空气从喷吹管喷嘴中喷出时间很短，只有0.05～0.1s，但是喷出来的气流以很高的速度进入滤袋内，在滤袋口处，高速气流能转换成压力能。气流以压力波形式进入滤袋，到达滤袋底部的压力波使滤袋离开内部的支承框架，瞬间产生局部膨胀，于是破坏粘附在滤袋外侧上的粉尘层并使其脱落。由于压力波在滤袋内的压力大小是衡量清灰效果的一个重要指标，所以有经验的设计者经常把到达袋底压力控制在2000Pa以上。

第四节　袋式除尘器性能

一、处理气体流量

处理气体流量是表示除尘器在单位时间内所能处理的含尘气体流量，一般用体积流量 Q（单位为 m^3/s 或 m^3/h）表示。

实际运行的除尘器由于不严密而漏风，使得进出口的气体流量往往并不一致。通常用两者的平均值作为设计除尘器的处理气体流量，即

$$Q = \frac{1}{2}(Q_1 + Q_2) \tag{1-1}$$

式中　Q——处理气体流量（m^3/h）；

Q_1——除尘器进口气体流量（m^3/h）；

Q_2——除尘器出口气体流量（m^3/h）。

在选用除尘器时，其处理气体流量是指除尘器进口的气体流量，不考虑漏风率；在选择风机时，其处理气体流量对正压系统（风机在除尘器之前）是指除尘器进口气体流量，对负压系统（风机在除尘器之后）是指除尘器出口气体流量，此时已考虑漏风率。

二、除尘效率

总除尘效率是指在同一时间内除尘装置捕集的粉尘质量占进入除尘装置的粉尘质量的百分数，通常以“η”表示。

对于正在运行的袋式除尘器，除尘效率定义为

$$\eta = 1 - \frac{C_0}{C_{in}} \tag{1-2}$$

式中　η——除尘效率；

C_0——通过除尘器后的清净气体含尘浓度（kg/m^3）；

C_{in}——除尘器进口含尘气体的浓度（g/m^3）。

除尘器的除尘效率关系式有三种：一种是经理论推导的除尘效率与孤立粉尘捕集体综合捕集效率的计算式；另一种是根据实验数据而建立的半理论半经验的关系式；第三种是实测关系式。

1. 理论公式

1）当过滤器内所填充的为圆柱形纤维捕尘体时，纤维层过滤除尘器的除尘效率与单一纤维捕尘体的综合捕尘效率关系式为

$$\eta = 1 - \exp\left[\frac{4(\varepsilon - 1)\delta}{\pi d_D \varepsilon}\eta_{\sum}\right] \tag{1-3}$$

式中　η——纤维过滤除尘器的除尘效率；

ε——过滤层空隙率；

δ——过滤层厚度（m）；

d_D——纤维直径（m）；

$\eta_{\sum}$——单位纤维的综合捕尘效率。

2）纤维体总捕集效率：单根纤维体的总捕集效率受制于各单项捕集效应的综合作用，可用下式计算：

$$\eta_{\sum} = 1 - (1 - \eta_I)(1 - \eta_R)(1 - \eta_D)(1 - \eta_{\sum}) \tag{1-4}$$

式中　η_I——惯性效应产生的捕集效率；

η_R——拦截效应产生的捕集效率；

η_D——扩散效应产生的捕集效率；

$\eta_{\sum}$——静电效应产生的捕集效率。

各种作用产生的捕集效率与粉尘粒径的关系如图 1-4 所示。

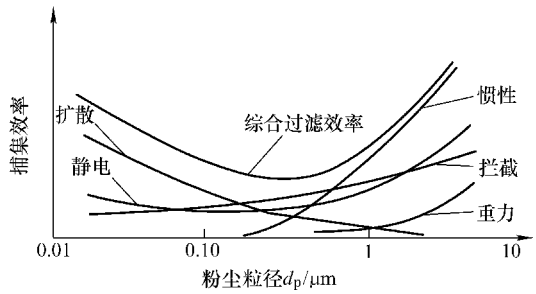


图 1-4　不同效应捕集效率与粉尘粒径的关系曲线

3）单根纤维体的单项捕集效率：

① 惯性效率：对势流中的圆柱捕集体，Landah 导出惯性效率半经验理论计算公式为

$$\eta_I = \frac{S^3}{S^3 + 0.77S^2 + 0.22} \tag{1-5}$$

式中　S——Stokes 数或称惯性碰撞系数，$S = \rho_d d_p^2 v_o / 18\mu d_c$；

d_p——尘粒直径（m）；

v_o——流体特征速度（m/s）；

d_c——捕集体直径（m）。

② 拦截效率：对围绕圆柱体的黏性流，Langmuir 导出拦截效率计算公式为

$$\eta_R = \frac{1}{La}\left[(1 + R)\ln(1 + R) - \frac{R(2 + R)}{2(1 + R)}\right] \tag{1-6}$$

式中　La——拉氏系数，$La = 2.002 - \ln Rec$；

R——截留系数，$R = d_p / d_c$；

Rec——黏性流流经捕集体的雷诺数，$Rec = \rho_g d_c v_o / \mu_o$。

③ 扩散效率：对纤维层过滤器，Langmuir 导出扩散效率计算公式为

$$\eta_D = \frac{1}{2La}\left[2(1+x)\ln(1+x) - (1+x) + \frac{1}{(1+x)}\right] \tag{1-7}$$

式中　$x = 1.308\,(La/pe)^{1/3}$；

pe——贝克来（peclet），$pe = v_o d_c / D$；

D——扩散系数。

④ 静电效率：过滤体的静电效应分为3种情况：一是捕集体荷电，尘粒中性，此时粉尘感应产生反相镜像电荷而相互吸引；二是尘粒荷电，捕集体中性，此时捕集体感应产生反相镜像电荷而相互吸引；三是粉尘、捕集体都荷电，此时视荷电性状，异性相吸，同性相斥。

第一种情况（即捕集体带电，尘粒中性）是最容易发生的。这种情况的静电效率计算公式为

$$\eta_{\sum} = 1.68N^{\frac{1}{3}} \tag{1-8}$$

式中　N——静电力无因次参数，$N = \dfrac{4}{3\pi}\left(\dfrac{\varepsilon_p - 1}{\varepsilon_p + 2}\right)\dfrac{cd_p^2 Q_o^2}{d_c^3 \mu v_o \varepsilon_o}$；

Q_o——单位长度捕集体电荷量（C）；

ε_p——尘粒介电常数（F/m）；

ε_o——捕集体介电常数（F/m）；

c——Cunningham修正系数。

2. 经验公式

基尔什、斯捷奇金和富克思等人提出纤维过滤器的除尘效率经验公式为

$$\eta = 1 - \exp\left(\frac{-d_D \eta_{\sum} \Delta p}{v_g \mu_g F}\right) \tag{1-9}$$

式中　Δp——过滤除尘器的阻力（Pa）；

v_g——粉尘粒子相对于捕集体的速度（m/s）；

μ_g——含尘气体粘度（Pa·s）；

F——过滤除尘器结构不完善参数，可按下式计算：

$$F = \frac{4\pi}{K_r} = 4\pi\left[-0.5\ln(1-\varepsilon) - 0.52 + 0.64(1-\varepsilon) + 1.43K_n\varepsilon\right]^{-1} \tag{1-10}$$

式中　K_r——气动因素；

K_n——克努德森准数。

其他符号同前。

3. 实测关系式

在许多场合，袋式除尘器的除尘效率是现场实测得到的。

如图1-5所示，根据实测若除尘器进口的气体流量为Q_1、粉尘的质量流量为S_1、粉尘浓度为C_1，装除尘器出口的相应量为Q_2、S_2、C_2，除尘器捕集的粉尘质量流量为S_3，则有：

$$S_1 = S_2 + S_3 \qquad S_1 = Q_1 C_1 \qquad S_2 = Q_2 C_2$$

根据除尘效率的定义有：

$$\eta = \frac{S_3}{S_1} \times 100\% = \left(1 - \frac{S_2}{S_1}\right) \times 100\% \tag{1-11}$$

$$\eta = \left(1 - \frac{Q_2 C_2}{Q_1 C_1}\right) \times 100\% \qquad (1\text{-}12)$$

若除尘器本身的漏风率为零，即 $Q_1 = Q_2$，则上式可简化为

$$\eta = \left(1 - \frac{C_2}{C_1}\right) \times 100\% \qquad (1\text{-}13)$$

利用上式通过称重可求得除尘效率，这种方法称为质量法，用这种方法测得的结果比较准确，主要用于实验室。在现场测定除尘器的除尘效率时，通常先同时测除尘器前后的空气含尘浓度，再利用上式求得除尘效率，这种方法称为浓度法。

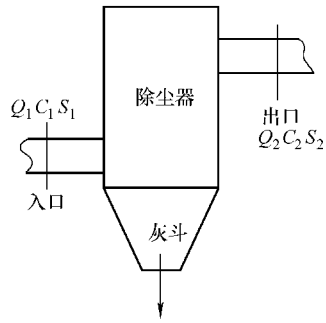


图 1-5　除尘效率计算示意图

4. 影响除尘效率因素（见图 1-6）

通常，袋式除尘器的除尘效率超过 99.5%。因此，在选择袋式除尘器时，一般不需要计算除尘效率。影响除尘效率的因素主要有以下方面：

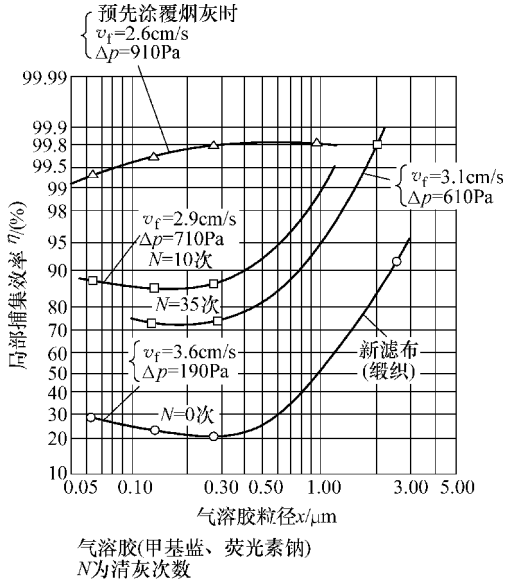


图 1-6　新滤布和粘附粉尘的滤布对气溶胶的分级捕集效率

1）粉尘的性质，包括被过滤粉尘的粒径、性状、形状、分散度、静电荷、含湿量等，对于有外静电场的除尘器，还要考虑粉尘的比电阻；

2）滤料性质，包括滤料原料、纤维和纱线的粗细，织造和毡合方式，滤料后处理工艺，滤料厚度、质量，空隙率等；

3）运行参数，包括过滤速度、阻力、气体温度、湿度、清灰方式、频率、强度等；

4）清灰方式，包括机械振打、反向气流、压缩空气脉冲和气环等。

5）气体参数，烟气的湿度、含尘浓度、湿度等。

而对粉尘排放浓度增高，主要有两个方面：

1）直通机制，在过滤中粉尘不被阻留而直接通过，尘粒通过时可能绕一条曲折的路线而过，也可能直接通过滤料表面的针孔而过，一般高的过滤速度可使针孔直通量增加；

2）渗漏机制，起初被滤料阻留的灰尘，由于清灰后变得松散而被吹过滤袋；或当过滤阻力增大时，一些已被捕集的灰尘又被挤压过去，有一些粉尘则从针孔漏去。在高滤速或织