

实用袋滤除尘技术

郭丰年 徐天平 编著

冶金工业出版社

内 容 提 要

本书详细介绍了袋式除尘器的过滤机理、技术性能、品种类型、滤料选择、应用领域、除尘系统技术措施以及除尘器的测试、调试、运行、维护检修等内容,是一部实用的袋滤技术参考资料。

本书可供包括环保、冶金、电力、垃圾焚烧、建材等行业在除尘技术开发与应用领域的设计、制造、科研、维护、教学、管理人员参考使用,也可为除尘器、滤料及配件企业的相关人员提供参考。

图书在版编目(CIP)数据

实用袋滤除尘技术/郭丰年,徐天平编著. —北京:
冶金工业出版社, 2015. 1

ISBN 978-7-5024-6706-7

I. ①实… II. ①郭… ②徐… III. ①滤袋除尘器
IV. ①TM925. 31

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 244382 号

出 版 人 谭学余

地 址 北京市东城区嵩祝院北巷 39 号 邮编 100009 电话 (010)64027926

网 址 www.cnmp.com.cn 电子信箱 yjcb@cnmp.com.cn

责任编辑 刘小峰 美术编辑 彭子赫 版式设计 孙跃红

责任校对 王永欣 责任印制 李玉山

ISBN 978-7-5024-6706-7

冶金工业出版社出版发行;各地新华书店经销;三河市双峰印刷装订有限公司印刷

2015 年 1 月第 1 版,2015 年 1 月第 1 次印刷

787mm × 1092mm 1/16;71 印张;1726 千字;1120 页

270.00 元

冶金工业出版社 投稿电话 (010)64027932 投稿信箱 tougao@cnmp.com.cn

冶金工业出版社营销中心 电话 (010)64044283 传真 (010)64027893

冶金书店 地址 北京市东四西大街 46 号(100010) 电话 (010)65289081(兼传真)

冶金工业出版社天猫旗舰店 yjgy.tmall.com

(本书如有印装质量问题,本社营销中心负责退换)

前 言

本书是一本袋滤除尘技术的参考文献。

国际上袋滤除尘技术的发展已有百余年历史。我国自 20 世纪 50 年代开始至今的 60 余年，特别是在改革开放的 30 余年中，在引进国外先进技术基础上，通过学习、消化、移植，使袋滤除尘技术实现了国产化，并得到了进一步的开发和创新，取得了迅猛的发展，目前已跻身于世界先进行列，并实现袋滤除尘技术的产品出口。我国在这段成长、发展过程中，积累了大量经验和教训，不少有志人士，为开发、研制除尘器或滤料，花尽毕生精力，为促进我国袋滤除尘技术的发展做出了卓越的贡献。

鉴于此，作者在学习、收集和归纳国内外文献、资料的基础上，特编写了本书，以提供一些具有实用性价值的资料，供从事袋滤除尘技术设计、制造、科研、教学以及大气污染治理行业相关的应用部门，在设计、使用、管理及维护袋滤除尘技术及产品时，能找到一些解决的方案。本书如能对当前国内袋滤除尘技术的发展和應用起到一点帮助，这将是作者编写本书的最大愿望。

本书的编写主要考虑以下三个方面：

第一，袋式除尘器是除尘器、滤料、配件三位一体的除尘设备，本书按照三位一体的思路进行总结；

第二，重点是国产化技术；

第三，突出实用性。

本书没有对袋滤除尘技术从理论上进行全面、系统的介绍，而是着力如实地记录我国袋滤除尘技术的发展历程以及国外的一些具有启发性的袋滤除尘技术及其今后发展的方向。

为此，作者期望本书是一本中国式、实用性、三位一体的袋滤除尘技术参考书。本书在编写中，引用了一些记载和见证我国袋滤除尘技术成长、演变、发展和成就的相关文献、资料，为资料收集和汇编提供了有利的帮助，特此深表谢意。同时，在编写及出版过程中得到了科林环保装备股份有限公司的鼎力

II 前言

支持，在此深致谢忱！

本书在接近编辑尾声时，深深感到，虽然作者已尽力将多年积累的技术、资料、经验及教训认真汇编，但有些问题还说不透、资料还不够完整，因此，本书只是一块砖，作者愿在有志者的协助下，继续再版，竭尽全力为使它成为一块中国玉而积极努力。

鉴于作者的能力、水平及接触面所限，不足和疏漏之处在所难免，还望得到各界读者朋友的批评、指正，并能不断地加以充实、完善。

编著者

2014年5月

目 录

绪 言	1
1 袋式除尘器的沿革	2
1.1 国外袋滤技术的发展	2
1.1.1 除尘器清灰方式的改革	2
1.1.2 滤料品种的开发	3
1.2 中国袋滤技术的发展	3
1.2.1 除尘器的开发	3
1.2.2 滤料的发展	5
2 袋式除尘器的过滤机理	6
2.1 烟尘的特性	6
2.1.1 粉尘的概念	6
2.1.2 粉尘的分类	6
2.1.3 粉尘对人体的危害	7
2.1.4 粉尘的粒径	7
2.1.5 粉尘的分散度	8
2.1.6 粉尘的密度和比重	8
2.1.7 粉尘的安息角(堆积角、静止角)	10
2.1.8 粉尘的磨琢性	11
2.1.9 粉尘的浸润性	12
2.1.10 粉尘的自燃性	13
2.1.11 粉尘的爆炸性	13
2.1.12 粉尘的黏结性	14
2.1.13 粉尘的荷电性	15
2.2 气体的物理特性	15
2.2.1 气体的体积、压力和温度	15
2.2.2 气体的密度	17
2.2.3 气体的湿度与露点温度	17
2.2.4 气体的黏度	21
2.2.5 气体的排放浓度与烟气黑度	22
2.2.6 气体的排放标准	23
2.3 袋式除尘器过滤机理	23

IV 目 录

2.3.1	过滤效应	23
2.3.2	一次尘和二次尘	29
2.3.3	深层过滤、表面过滤	31
3	袋式除尘器的技术特性	37
3.1	袋式除尘器的特征	37
3.2	袋式除尘器的技术参数	37
3.2.1	处理烟气量	37
3.2.2	烟气温度	38
3.2.3	烟气湿度	40
3.2.4	烟气含尘浓度	42
3.2.5	过滤面积	44
3.2.6	过滤风速(气布比)	44
3.2.7	上升速度	49
3.2.8	压力降及滤料阻力系数(Drag)	51
3.2.9	袋式除尘器的清灰方法	57
3.2.10	除尘器的结构强度	59
3.2.11	除尘效率	59
3.2.12	滤袋寿命	63
3.2.13	保证值	63
4	袋式除尘器的结构及相关设计	64
4.1	袋式除尘器的设计	64
4.1.1	设计依据	64
4.1.2	设计中应考虑的主要因素	66
4.1.3	设计的原始参数	67
4.2	烟气入口形式	67
4.2.1	灰斗进风	67
4.2.2	箱体进风	70
4.2.3	直通均流式进风	75
4.3	气流分布装置	79
4.3.1	气流分布装置的作用	79
4.3.2	气流分布装置的形式	79
4.4	净气室(上箱体)	91
4.4.1	净气室的组成	91
4.4.2	揭盖式净气室	92
4.4.3	进入式净气室	97
4.5	灰斗	98
4.5.1	灰斗的作用	98

4.5.2	灰斗设计的注意事项	99
4.5.3	灰斗形式	99
4.5.4	灰斗粉尘再吸附	101
4.5.5	灰斗防搭桥	104
4.5.6	灰斗振动器	105
4.5.7	灰斗料位计	113
4.5.8	灰斗加热器	117
4.6	花板	122
4.6.1	花板的布置	122
4.6.2	花板与滤袋的连接	124
4.6.3	花板孔的尺寸要求	125
4.7	滤袋	126
4.7.1	滤袋的品种	126
4.7.2	滤袋的结构特性	145
4.7.3	滤袋的安装	156
4.7.4	滤袋常见的故障	167
4.7.5	滤袋的注意事项	167
4.8	滤袋的框架	167
4.8.1	框架的类型	167
4.8.2	框架的结构形式	168
4.8.3	框架的分节	174
4.8.4	框架的技术要求	176
4.8.5	框架的选材及表面涂层	178
4.8.6	框架的加工	181
4.8.7	框架的检验	186
4.8.8	框架的搬运、储存、包装、运输	188
4.9	管道设计	192
4.9.1	管道结构设计	192
4.9.2	管道构件	193
4.9.3	管网设计	218
4.10	阀门	220
4.10.1	阀门的设计及安装	220
4.10.2	阀门的类型	221
4.11	楼梯、平台	253
4.12	压缩空气装置	254
4.12.1	压缩空气入口装置	254
4.12.2	储气罐	255
4.12.3	压缩空气三联件	257
4.12.4	空气干燥器	262

VI 目 录

4.12.5	压缩空气管道设计	268
4.13	电控装置	268
4.13.1	我国袋式除尘系统电控装置的沿革	268
4.13.2	袋式除尘的自动控制系统	269
4.13.3	反吹风袋式除尘器电控仪	272
4.13.4	脉冲袋式除尘器电控仪	276
4.14	灰尘的输送与处理	281
4.14.1	机械输送系统	281
4.14.2	气力输送系统	326
4.14.3	粉尘处理装置	333
4.15	保温装置	341
4.15.1	保温的目的	341
4.15.2	保温材料的分类	341
4.15.3	保温材料的选用原则	342
4.15.4	保温材料的种类	342
4.15.5	保温层的设计安装	354
4.15.6	保温层的计算	356
4.15.7	保温层的设计注意事项	360
4.16	风机与电动机	361
4.16.1	风机的结构	361
4.16.2	风机的类型	362
4.16.3	风机的特性曲线	364
4.16.4	风机的风量、风压的调节	365
4.16.5	风机的配置、安装	369
4.16.6	风机的隔振、喘振	373
4.16.7	风机的噪声及其防止	374
4.16.8	风机的耐磨	376
4.16.9	风机的防腐	377
4.16.10	电动机	379
4.16.11	风机的运行故障和排除方法	379
4.17	烟囱	381
4.17.1	烟囱的选择	381
4.17.2	烟囱的辅助部件	382
4.18	除尘器的耐腐蚀、涂装	382
4.18.1	耐腐蚀	382
4.18.2	涂装技术	385
5	袋式除尘器的品种类型	398
5.1	袋式除尘器的类型	398

5.2	振动式袋式除尘器	398
5.2.1	振动式袋式除尘器的沿革	398
5.2.2	振动式袋式除尘器的结构	399
5.2.3	振动式袋式除尘器的特征	402
5.2.4	振动式袋式除尘器的性能参数	402
5.2.5	振动式袋式除尘器的清灰	403
5.3	反吹风袋式除尘器	406
5.3.1	反吹风袋式除尘器的沿革	406
5.3.2	反吹风袋式除尘器的选型	407
5.3.3	反吹风袋式除尘器的特征	416
5.3.4	反吹风袋式除尘器的技术参数	416
5.3.5	反吹清灰装置及其控制方式	422
5.3.6	反吹风袋式除尘器的结构	434
5.4	脉冲袋式除尘器	455
5.4.1	脉冲袋式除尘器的沿革	455
5.4.2	脉冲袋式除尘器的分类	456
5.4.3	脉冲袋式除尘器的特点	458
5.4.4	脉冲袋式除尘器的脉冲喷吹技术	458
5.4.5	脉冲袋式除尘器的喷吹装置	470
5.4.6	脉冲袋式除尘器的品种	497
5.5	复合式清灰袋式除尘器	517
5.5.1	振动/反吹风袋式除尘器	517
5.5.2	脉冲/反吹风袋式除尘器	518
5.5.3	反吹风(振动)/声波袋式除尘器	518
5.5.4	电袋除尘器	527
6	袋式除尘器的滤料	575
6.1	国内外纤维、滤料的沿革	575
6.1.1	国外纤维、滤料的沿革	575
6.1.2	国内纤维、滤料的沿革	575
6.2	纤维、滤料的特性	576
6.2.1	纤维、滤料的特性	576
6.2.2	纤维、滤料的主要理化性能	579
6.3	纤维、滤料的品种	605
6.3.1	聚酯/涤纶 (Polyesters, PET, PE)	605
6.3.2	聚丙烯/丙纶 (Polypropylene, PP)	628
6.3.3	聚丙烯腈/亚克力 (Acrylics, PAN)	630
6.3.4	聚氨基化合物、尼龙6、尼龙6.6	635
6.3.5	偏芳族聚酰胺/诺美克斯、聚砜酰胺(芳砜纶)	637

VIII 目 录

6.3.6	聚苯硫醚/PPS (Ryton®)	655
6.3.7	聚苯并咪唑纤维 (polybenzimidazole fiber, PBI®)	672
6.3.8	P84®/聚酰亚胺 (polyimide)	675
6.3.9	Kermel® (可迈尔) Tech 芳香族-聚酰氨-氨氨	686
6.3.10	玻璃纤维	690
6.3.11	玄武岩纤维	730
6.3.12	PTFE/特氟隆 (Teflon®) (Polytetra Fluoroethylene)	737
6.3.13	复合滤料——混合纺 (blends), 组合纺 (hybrids)	741
6.3.14	超细滤料	807
6.3.15	碳素纤维	812
6.3.16	陶瓷滤料	816
6.3.17	金属纤维	843
6.3.18	梯度滤料	850
6.4	有基布针刺毡和无基布针刺毡	851
6.4.1	滤料的分类	851
6.4.2	针刺毡	853
6.4.3	有基布针刺毡	855
6.4.4	无基布针刺毡 (self supported needlefelts)	859
6.5	滤料的前处理、后处理和表面处理	868
6.5.1	定义	868
6.5.2	前处理	868
6.5.3	后处理	868
6.5.4	表面处理	874
6.5.5	滤料后处理及表面处理的作用	883
6.5.6	滤料后处理及表面处理在各行业中的应用	884
6.6	滤料的选择	886
6.6.1	选择滤料应具备的条件	886
6.6.2	入口烟气的性能参数	886
6.6.3	所选滤料的性能特性	886
6.6.4	根据烟气性能选择滤料	887
6.6.5	根据除尘器类型选择滤料	888
6.6.6	滤料的综合特性	890
6.7	纤维、滤料的检测	891
6.7.1	滤料检测的内容	891
6.7.2	滤料检测的依据	892
6.7.3	纤维、滤料的检测设备	893
6.8	纤维、滤料的失效控制	910
6.8.1	滤袋袋口吹破的控制	910
6.8.2	滤袋被火星烧坏	910

6.8.3	防止滤袋结露黏结	911
6.8.4	花板孔漏灰	912
6.8.5	滤袋底边摩擦、粘灰、搭桥	912
6.8.6	滤袋未热定型造成的后果	915
6.8.7	滤袋受框架竖筋、横圈处的腐蚀、磨损	915
6.8.8	除尘器滤袋袋底破损	917
6.8.9	滤料纤维剥离	918
6.8.10	滤袋缝线断裂	918
6.8.11	袋笼影响滤袋的损伤	918
6.8.12	预喷涂失效, 造成滤袋表面积灰	919
6.8.13	焚烧炉 P84 [®] 滤袋水解破损	921
6.8.14	维修、安装时滤袋的破损	922
7 袋式除尘器的应用 925		
7.1	各种烟气中的应用 925	925
7.1.1	高温烟气的处理 925	925
7.1.2	高湿烟气的处理 966	966
7.1.3	吸湿性、潮解性粉尘的处理 971	971
7.1.4	黏结性粉尘的处理 971	971
7.1.5	腐蚀性气体的处理 973	973
7.1.6	磨琢性粉尘的处理 973	973
7.1.7	爆炸性烟气的处理 974	974
7.1.8	高含尘浓度烟气的处理 979	979
7.1.9	空气的净化处理 981	981
7.2	各行业的应用 981	981
7.2.1	燃煤锅炉——燃烧 983	983
7.2.2	烧木材锅炉 986	986
7.2.3	燃油锅炉(辅助燃料) 987	987
7.2.4	垃圾焚烧锅炉 987	987
7.2.5	石油焦炭燃烧 988	988
7.2.6	甘蔗渣和其他植被的燃烧 989	989
7.2.7	谷物提升机——食品和饲料 989	989
7.2.8	牛奶干燥器——食品和饲料 990	990
7.2.9	硫酸工厂——无机化学 990	990
7.2.10	水泥厂——无机化学 990	990
7.2.11	化学肥料——无机化学 991	991
7.2.12	玻璃——无机化学 992	992
7.2.13	石灰窑——无机化学 993	993
7.2.14	杀虫剂——无机化学 993	993

X 目 录

7.2.15	炭黑——有机化学	993
7.2.16	塑料——有机化学	994
7.2.17	制药——有机化学	994
7.2.18	石油焦炭煅烧炉——有机化学	994
7.2.19	沥青厂——有机化学	995
7.2.20	油页岩——有机化学	996
7.3	有害气体和尘粒的复合净化技术	996
7.3.1	有害气体和尘粒的特性	996
7.3.2	复合净化技术	1000
8	袋式除尘系统的技术措施	1014
8.1	预喷涂技术	1014
8.1.1	预喷涂的功能	1014
8.1.2	预喷涂的作用原理	1015
8.1.3	预喷涂的形式类型	1016
8.1.4	预喷涂技术参数	1021
8.1.5	预喷涂启动程序	1022
8.2	喷水降温技术	1022
8.3	旁通措施	1023
8.3.1	旁通措施的条件	1023
8.3.2	旁通措施的形式	1023
8.4	滤袋荧光粉检漏技术	1024
8.4.1	荧光粉粉剂	1024
8.4.2	荧光粉的检漏	1025
8.4.3	荧光粉泄漏的检测步骤	1026
8.5	除尘器热风循环加热技术	1027
8.5.1	袋式除尘器的热风循环加热系统	1027
8.5.2	热风循环加热系统的启动步骤	1028
8.5.3	热风循环加热系统的示例——上海某焚烧炉厂	1028
9	袋式除尘器的测试	1029
9.1	测试条件的选择	1029
9.1.1	测试项目	1029
9.1.2	测定时间	1029
9.1.3	测定位置和测定点	1029
9.1.4	测定地点的安全操作	1034
9.1.5	烟囱排放物的测定	1034
9.2	气体温度的测定	1037
9.2.1	玻璃温度计	1038

9.2.2	热电偶温度计	1038
9.2.3	耐热性温度计	1043
9.2.4	灌入式温度计	1044
9.3	气体压力的测定	1045
9.3.1	气体的压力	1045
9.3.2	气体压力的测定	1045
9.3.3	测定仪器	1046
9.3.4	除尘器的压力计	1053
9.4	气体流速与流量的测定	1054
9.4.1	流速的测定	1054
9.4.2	流量的测定	1054
9.5	气体含湿量的测定	1058
9.5.1	冷凝器法的测定装置	1058
9.5.2	冷凝器法的测定步骤	1059
9.6	露点温度的测定	1059
9.6.1	含湿量法	1059
9.6.2	降温法	1059
9.6.3	露点仪法	1060
9.7	气体含尘浓度的测定	1061
9.7.1	采样装置	1061
9.7.2	测定步骤	1065
9.7.3	烟尘浓度的计算	1065
9.7.4	国产测尘仪简介	1067
9.7.5	烟囱透明度测定	1067
9.7.6	测尘仪(检漏仪)	1071
9.8	除尘效率及粉尘通过率	1074
9.8.1	除尘效率	1074
9.8.2	粉尘通过率	1074
9.9	粉尘粒径分散度的测定	1074
9.9.1	粉尘粒径分散度的测定仪器	1075
9.9.2	冲击式测粒仪	1075
9.9.3	贝库测粒仪	1078
9.9.4	库尔特测粒计	1079
9.10	粉尘的磨损性的测定	1080
9.10.1	粉尘磨损性的表示	1080
9.10.2	粉尘磨损性的测试	1080
9.11	粉尘密度的测试	1080
9.11.1	粉尘的真密度	1080

9.11.2	粉尘的堆积密度	1081
9.12	粉尘安息角的测定	1082
9.13	粉尘浸润性的测定	1082
9.13.1	毛细作用法	1082
9.13.2	浮沉分析法	1083
9.13.3	国内粉尘浸润性测试仪	1083
9.14	粉尘黏度的测定	1083
9.14.1	粉尘黏性力的测量方法	1083
9.14.2	粉尘黏性力的测定步骤	1083
9.14.3	测定时的注意事项	1084
9.15	除尘器的气密性(漏风率)的测定	1084
9.15.1	气密性试验的方法	1084
9.15.2	实用定量法气密性试验法	1085
9.16	气体成分的测定	1088
9.16.1	CO、CO ₂ 、O ₂ 等气体的分析	1088
9.16.2	SO ₂ 、SO ₃ 的测定	1089
9.16.3	氮氧化物(NO _x)的测定	1093
9.16.4	氟化物(F)的测定	1095
9.16.5	碳氢化合物的测定	1098
9.17	袋式除尘器性能监测仪表(BPM™)	1098
9.18	Elkem整体移动式除尘器现场试验装置	1100
9.18.1	整体移动式除尘器现场试验装置的特征	1100
9.18.2	整体移动式除尘器现场试验装置的技术参数	1101
10	袋式除尘器的调试、维护、维修	1102
10.1	袋式除尘器的调试	1102
10.1.1	试运转前的准备工作	1102
10.1.2	单机调试	1103
10.1.3	联动运转	1104
10.1.4	空载试车	1104
10.1.5	启动条件	1104
10.1.6	负载试车	1105
10.1.7	操作步骤	1105
10.1.8	事故处理	1105
10.2	袋式除尘器的开机、停机	1106
10.2.1	开机	1106
10.2.2	停机	1107
10.3	袋式除尘器的维护管理	1108

10.3.1	日常的维护管理	1108
10.3.2	各类袋式除尘器的维护管理	1108
10.3.3	袋式除尘器各部件的维护管理	1110
10.4	袋式除尘器的维修	1112
10.4.1	袋式除尘系统的日常维护	1112
10.4.2	袋式除尘系统的大修、中修、小修	1113
10.4.3	袋式除尘器的安全措施	1114
参考文献		1116

绪 言

袋式除尘器、静电除尘器及文丘里洗涤器是国际公认的微粒控制三大除尘设备，在设计选型、系统配置、参数确定、加工制造及维护管理等条件下，都具有良好的净化效率。然而在不同的工况环境下，三大除尘设备都各有优劣与高下，只有在达到环保排放标准的前提下，通过技术经济分析比较，才有“最佳选择”之论。

袋式除尘器是三大除尘设备中应用范围最广、适应性最强、净化效率最高的一种除尘器。

中国袋滤除尘技术经历了半个多世纪从无到有，从小到大，从单机到成套的发展历程，目前已跻身于世界先进行列。无论是袋式除尘器的类型，还是滤料等配件品种，都达到了国际相当水平，并具有中国自己的特色。

上海宝山钢铁公司是我国具有国际水平的、现代化的钢铁企业，在1985年9月投产的一期工程中，所选用的袋式除尘器全部从日本引进，一些体积较大的风管、箱体壁板以及灰斗等部件，需要从日本拆分后海运到上海再组装。然而，在1992年5月投产的二期工程中，袋式除尘器则几乎全部是国产设备。在宝钢三期工程建设期间，袋式除尘器不仅全部国产化，一些品牌企业的袋式除尘器还出口到国外。由此可见，我国袋滤除尘技术通过对国外技术的学习、消化、移植以及研制、开发，已日趋成熟，为我国环保事业做出了巨大贡献。

袋式除尘器主要是依靠其“清灰方式的改革”、“滤料的开发”及“袋式除尘结构设计的改进”而取得不断的完善与发展。同时通过对除尘系统及除尘设备的设计提升，使其应用范围日趋广泛。目前我国袋式除尘器不仅可以满足一般含尘气体高效净化的需要，而且还可以对高温、高湿、黏结性、爆炸性、磨琢性以及超细烟尘等气体进行高效净化，同时还可以作为生产过程中物料回收的工艺设备。

综上所述，当前我国各行业在袋式除尘器的设计选型时，可以根据本行业及本企业的生产工艺特性，参考《实用袋滤除尘技术》一书对以往半个多世纪所积累的经验教训、科技成果及国内外一些成功运行管理经验。相信目前国内袋滤除尘技术与产品能够满足各行业、各企业日趋严格的环保排放达标要求。

本书是一部较实用的参考书，书中各章节根据实际应用需要进行了汇集和编辑。其内容主要包括袋式除尘器的过滤机理、技术性能、结构设计、品种类型、滤料选择、应用领域，除尘系统技术措施以及除尘器的测试、调试、运行、维护检修等有关章节，希望能为各行业企业的粉尘及烟气净化的设计选型及运行管理提供参考。

为了便于学习、借鉴国外先进经验和工程实际运用，书中个别地方保留了英制单位和工程单位，以满足查阅原文数据的需要。