

Dianchuchen Gongcheng Shouce

电除尘工程手册

主编 王俊民
主审 黎在时



 中国标准出版社

电除尘工程手册

主编 王俊民

总审 黎在时

中国标准出版社

北 京

图书在版编目(CIP)数据

电除尘工程手册/王俊民主编. —北京:中国标准出版社, 2007

ISBN 978-7-5066-4358-0

I. 电… II. 王… III. 静电除尘器-手册 IV. TU834.6-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 092751 号

中国标准出版社出版发行
北京复兴门外三里河北街 16 号

邮政编码:100045

网址 www.spc.net.cn

电话:68523946 68517548

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷

各地新华书店经销

*

开本 787×1092 1/16 印张 26.75 字数 650 千字

2007 年 8 月第一版 2007 年 8 月第一次印刷

*

定价 55.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换

版权专有 侵权必究

举报电话:(010)68533533

序

电除尘器能净化大量高温含尘烟气,除尘效率高,阻力低,能耗和维护工作量小,是治理大气粉尘污染的“重武器”,多年来对改善大气环境功不可没。

我国从20世纪50年代初开始应用电除尘器,起初用于有色冶金和水泥工业,数量不大。于20世纪70年代钢铁工业,特别是80年代火电工业普遍应用之后,电除尘器的增长突飞猛进。至今已“武装”了3.8亿千瓦的燃煤火电机组、2亿多吨/年的水泥生产线和3亿多吨/年的钢铁生产设备。这三种工业是中国电除尘器的三大用户,分别拥有全国电除尘器的75%、15%以及5%左右。此外在有色冶金和制酸化工工业中,电除尘器既是重要的环保设备,也是重要的工艺设备,地位重要,但总量仅占3%左右。电除尘器的其它用户分布在造纸、炼油、废物焚烧等行业之中,还有一定数量的出口。当前我国电除尘器及其电源的生产厂大小共有数百家,年产值约为60亿元。其中主力厂有30多家。从生产量来说,我国居世界首位。

我国大约有9家研究所、8所大学以及若干工厂的研究开发部门从事电除尘器的理论或工业应用研究,总体规模也不算小,研究成果相当丰富,不过理论研究的创新及应用研究的深度与国际先进水平相比,仍然有一定差距。

迈入21世纪以来的2001年~2005年期间,我国电力、水泥、钢铁工业高速发展,电除尘器工业也因此经历了前所未有的超速发展阶段。煤电从2.4亿千瓦增长到了4.3亿千瓦;5年内已经为电除尘器创造了约60亿元的价值。预计2010年煤电规模将达到5.3亿千瓦。钢铁从1.5亿吨增长到3.5亿吨,预计2010年将达到5.5亿吨。水泥从6.2亿吨增长到10.6亿吨,预计2010年将达到13亿吨。随着三大工业今后的稳健发展以及环保排放标准的提高,电除尘器产业还会持续兴旺下去,其中一部分市场会被布袋除尘器代替。考虑到这些情况,加上出口以及还会有相当数量的老电除尘器改造。2010年新建电除尘器的年产值可望达到80亿~90亿元。

我国现有的各类大小电除尘装置处理气体总量约在每小时17亿~19亿立方米之间。其中20世纪80年代以前建造的设计除尘效率大都为98%~99%,90年代者为99%~99.5%,2000~2003年达到99.8%。2004年1月执行新的大气污染物排放国家标准GB 13223—2003以后,要求达

到 99.83% 及以上。对于循环流化床半干法烟气脱硫塔后的电除尘器,设计除尘效率更要达到 99.995%。今后 5 年~10 年内,电除尘器设计效率一般将不会低于 99.8%~99.995%,也只有这样,我国才能抑制粉尘污染,恢复丽日蓝天。

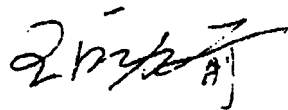
为了达到这样高的除尘效率,电除尘装置的每一个环节,包括设计选型、设备制造、施工安装、调试运行、维护管理都需要上升到新的水平。多年来的经验教训告诉我们,设计不留余地、制作粗糙、安装马虎、调试走过场、管理松懈、维修不到位等一直是我国的软肋。先进国家的电除尘器排放浓度早就稳定达到 $50\text{mg}/\text{m}^3$ 以下,现在正为达到 $10\text{mg}/\text{m}^3$ 而努力,而我们虽然也有不少电除尘器排放达到了 $20\text{mg}/\text{m}^3 \sim 30\text{mg}/\text{m}^3$,但是还难以时时确保 $50\text{mg}/\text{m}^3$,有时不得不求助于布袋除尘器,这是说不过去的。我国电除尘器的总体技术水平、制造能力都已经臻于国际先进水平,但是在工程实际效果上,落后了一大截,产业大而不强,装置多而低效,此为表现之一。

因此,对于电除尘器,我们要从整个产业的进步和工程项目的全过程着眼,保证每一个环节都达到高水准,而不是仅仅关注机械或电气设备本身的优劣,这样才能够充分发挥电除尘器的威力,做到上一个、好一个;一年好、十年仍然好!

王俊民高级工程师长期从事电除尘器事业,发表过多篇学术论文,研究、编写电除尘器系列标准和规范,积累了丰富的素材、知识和经验。此次,编著《电除尘工程手册》一书,其寓意就在于为科技人员严格把握好电除尘工程的每一个环节提供方便,确保总体效果。笔者有幸先睹为快,浏览一遍,深感内容丰富,资料齐全,纲目分明,编纂得体。更佩服本书作者意图之恢弘与笔耕之辛劳。有此一书,《电除尘工程手册》在握,就像小型文库置于案头。不仅有助于青年学者进修,亦便于有经验的工程专家,从事环保、除尘工作的决策层及各级管理人员随时查阅,免除四处寻觅之苦,利莫大焉!

20 世纪 80 年代以来,电除尘器初学者深感电除尘器书籍缺少,近年来国内几位专家、教授编写了数册有关著作,系统地阐述了静电除尘的原理和国内外新的技术进展,初步弥补了这一缺憾。但是从工程实践角度著述,本书实为先河之举。笔者不揣,乐为之序。

国际电除尘学会理事
国际名人奖获得者



2006 年 12 月于南京

前 言

我国国民经济运行已步入快速、持续、稳健的发展轨道,然而,根据中国电力企业联合会 2005 年初发布的全国电力供需信息,尽管我国近几年来电力产业发展很快,但仍然满足不了国民经济快速发展的需要,全国电力供应缺口仍然很大。为缓解电力供需的紧张矛盾,加快电源和电网建设将是国家今后国民经济建设的重点。

国外以煤为燃料的趋势正在不断加强,中国是世界上最大的煤炭生产国。我国的能源也以煤炭为主,燃煤是提供电能、热能的主要方式,在今后相当长一个时期内将仍然如此。这些煤炭燃烧产生的大量烟尘、废气对大气的污染相当严重,与国民日益提高的生活水平不相适应,同时,已严重制约了国民经济的快速发展。以火力发电为代表的电力工业、以水泥厂为代表的建材工业、以钢铁厂为代表的冶金工业以及化工工业,是大气污染的主要污染源,而火力发电又是大气污染的第一污染源大户。控制火力发电对大气的污染已是国家治理大气污染源的重中之重。

人类生活在一个地球上,加强环境保护已是世界各国共同关注的事情。通过人类长期的探索和实验研究,普遍认为电除尘是净化烟气、控制大气污染的主要方式之一。我国从 20 世纪 80 年代开始,电除尘技术和产品发展很快,已形成一个新兴产业,在我国电力工业、建材工业、冶金工业以及化工工业都得到了广泛的应用,煤炭消费主要就集中在这四个行业,2002 年的煤炭消费已达到总消耗的 85%,电力用煤是煤炭消耗的主要推动力,随着国民经济的快速发展,这个趋势将会进一步发展。我国新上火力发电机组都装上了电除尘器,绝大部分老机组进行改造时,也启用了电除尘器(有少数采用布袋除尘器等)。由于采用了电除尘器,使我国大气污染得到了有效的控制,得到了周边国家,乃至全世界的认可。我国是水泥生产的大国,全国共有 7000 多家水泥厂,装有 13000 多台水泥窑,每家水泥厂又有数十个污染排放点和扬尘点。其中,回转窑多配有电除尘器,立窑应用电除尘器的也日益增多。自然,水泥工业也是对大气污染并采用电除尘器的大户。有一项统计很能说明问题,1990 年水泥污染物排放量是 972 万吨,到 2003 年水泥污染物排放量就降为 647 万吨。这个数字表明,自电除尘器在我国登陆以来,在控制大气污染方面发挥了十分巨大的作用。

随着世界经济的发展,电除尘器在国内外仍处于发展的趋势。从2004年在南非召开的第九届国际电除尘学术会议获知,从20世纪90年代初开始,经过十几年的努力和发展,我国作为电除尘技术和产业的大国地位已经确立,到2000年,我国电除尘器总流通面积达到约 $35 \times 10^4 \text{ m}^2$,处理烟气量约 $1.7 \times 10^9 \text{ m}^3/\text{h}$ 以上,在国际同行中受到了重视。然而,要从重视演变为尊重,必须作到在电除尘技术上起到领跑的作用,在产业上处于品牌地位。我国国家标准GB 13223—2003《火电厂大气污染物排放标准》于2004年1月1日正式实施,该标准 $50 \text{ mg}/\text{m}^3$ (标准状态下)的允许粉尘排放浓度基本上已与国际接轨;据知GB 4915—2004《水泥工业大气污染物排放标准》也修订发表了,标准规定污染物排放浓度为 $30 \text{ mg}/\text{m}^3 \sim 50 \text{ mg}/\text{m}^3$ (标准状态下)。这样严格的大气污染物排放标准,历史的责任必然落到了电除尘器和袋除尘器身上。

应当指出的是,我国电除尘产业规模从20世纪80年代以来发展比较快,但却是在排放浓度要求较低的国家标准指导下取得的。新的国家环保质量标准发布实施后,电除尘技术和产品面临着新的压力和挑战,火电厂现有的电除尘器绝大多数很难达到GB 13223—2003规定的相应时段的污染物排放要求。这就要求我国电除尘技术和产品必须要上一个新的台阶才能满足新形式的需要,如果做得不好,电除尘器相当一部分市场将会被布袋除尘器取代。

随着我国经济的快速发展和综合国力的不断增强,国家正在加大对大气污染的治理力度,仅“十五”期间,大气污染的治理投资已达2800亿元。预测在“十一五”及以后,国家对大气污染的治理投入将会更大。电力要发展,新的发电厂要上,达不到GB 13223—2003相应时段污染物排放要求的原有电除尘器要改造,面临这些巨大的任务,电除尘器也将面临着繁荣的市场前景。但是,电除尘如何在技术上再上一个台阶,是摆在电除尘界志士仁人们面前的一个重大课题;在我国,近几年来钢材持续涨价对耗钢量巨大的电除尘器也提出了新的挑战,电除尘器不管在除尘性能上和降低投资上都面临着要上新台阶的要求。我国现在正在从“发电第一,环保第二”的观念,逐步迈进到国际上发达国家实行的“环保第一,发电服从环保”的先进行列。在这种形势下,电除尘界的同仁们有许多事情要做。

从目前出版的电除尘专著看,涉及电除尘器理论研究、设计计算和经验介绍的都有。但笔者通过编写电力行业标准《电除尘器》及参加国家环保协会电除尘器委员会主持编写的《火电厂电除尘技术规范》过程中感到,从事电除尘工作的决策层及一般管理人员、营销人员、设计、制造、安装和使用电除尘器的技术人员以及设备运行管理人员缺少一册介绍电除尘工程全过程的文本,这就是

编者意欲做的一件事了。本书精选并编入我国电除尘工程全过程的成熟的技术和管理信息,便于各层次、各类型从事电除尘工作的同仁携带使用。力求做到:“一册在手,全程皆知;开卷展页,俯首即拾”。本书是电除尘技术、经验的总结,同时精选电除尘界专家们的部分研究成果和实践经验,渴望能在本书中被读者广泛了解、掌握并投入使用。由于笔者水平有限,不知能否实现这个良好愿望。

在编写过程中,得到了著名的资深电除尘专家黎在时、王励前的指导和帮助,另有资深电除尘及各方专家、学者林宏、王莉雯、胡志光、李文华、祁君田、王金鉴、王传文、高斌、谈晓臣、李秋生、高人伟、杨绍琴、马牧、高人健、蔡志久、孟庆媛、高子惠、马玮、常进瑞、高媛、李峰、刘树雄、王莹、孙翠娥、张敏、孔兰芳等,对本书的编撰和出版也作出了贡献,在此表示由衷地感谢!

编 著 者

2007 年元月

目 录

第 1 章 电除尘概述及分析	1
1.1 电除尘——烟气净化的“大使” ...	1
1.2 电除尘的除尘原理	2
1.2.1 气体分子的电离	2
1.2.2 粉尘的荷电	3
1.2.3 粉尘的移动和捕集	3
1.2.4 粉尘的收集和运输	4
1.3 电除尘器及基本构成	4
1.4 电除尘常用术语	5
1.5 电除尘产业的现状与展望	8
1.5.1 电除尘产业的现状	8
1.5.2 电除尘产品的技术现状	8
1.5.3 电除尘产业技术发展和市场 展望	9
第 2 章 我国煤炭及燃煤飞灰物性	11
2.1 我国煤炭的分类、主要用途及 煤质分级	11
2.1.1 煤炭分类的目的和方法	11
2.1.2 我国煤炭分类介绍	11
2.1.3 我国各类煤的基本特性和 主要用途	16
2.1.4 我国煤炭的主要煤质指标 分类	18
2.1.5 我国各地产煤煤质工业分析 成分	23
2.2 我国燃煤飞灰的一般物性	26
2.3 几类用煤大户的用煤质量 要求	29
2.4 我国电力工业锅炉动力用煤 分类	32
第 3 章 电除尘工程的立项及实现	34
3.1 电除尘工程立项和选型	34
3.1.1 电除尘工程立项应考虑 的原则	34
3.1.2 电除尘器的设计选型	37
3.2 电除尘工程的实现过程	47
第 4 章 电除尘器的招标与投标	49
4.1 电除尘器的招标	49
4.1.1 招标要求	49
4.1.2 商务要求	49
4.1.3 技术规范书	49
4.2 电除尘器的投标	55
4.3 电除尘器技术协议书	58
4.3.1 总则	59
4.3.2 技术要求	59
4.3.3 设备的使用条件和环境 条件	60
4.3.4 技术细则	60
4.3.5 质量保证	60
4.3.6 性能考核试验	60
4.3.7 供货范围	61
4.3.8 包装、标志和储运	61
4.3.9 技术文件	61

4.3.10 技术服务	61	4.5 招标书、投标书、技术协议书及 合同书的评审	62
4.4 合同的生效与终止	61		
第5章 电除尘器的设计	63		
5.1 电除尘器的理论发展进程	63	要求	83
5.2 电除尘器的设备发展进程	64	5.7.2 现代智能电除尘器控制系统 主要构成及工作原理	83
5.3 电除尘器的结构特征	66	5.7.3 电除尘器电气系统子系统的 设计原则	87
5.4 电除尘器设计程序	66	5.7.4 电除尘器电气系统的设备 选型	90
5.5 电除尘器常用的设计计算公式 及设计规范	68	5.7.5 电除尘器的远程监控	92
5.6 电除尘器机械部件的设计 原则	78	5.7.6 我国电除尘器常用的几种供 电、控制设备	94
5.7 电除尘器电气系统的设计原则 与设备选型	83		
5.7.1 电除尘器电气系统设计的总			
第6章 电除尘器的制造	128		
6.1 电除尘器制造公司应具备的 基本条件	128	项的制造技术要求	133
6.2 电除尘器制造过程质量控制 ...	130	6.2.4 电除尘器工件未注公差 ...	137
6.2.1 通则	130	6.2.5 电除尘器制造工艺说明 ...	147
6.2.2 原材料质量控制	131	6.2.6 电除尘器产品质量的 控制	175
6.2.3 电除尘器关键件及主件、主			
第7章 电除尘器包装、标志和储运	210		
7.1 一般要求	210	7.3.1 箱装标志	213
7.2 包装	210	7.3.2 捆扎和裸装标志	214
7.2.1 箱装	210	7.3.3 特殊标识	214
7.2.2 捆扎式包装	211	7.4 储存	214
7.2.3 单件裸装	213	7.5 装车及运输	214
7.3 标志	213		
第8章 电除尘器的安装和调试	216		
8.1 安装质量对电除尘器性能的 影响	216	影响	216
8.1.1 气流分布装置安装质量的 影响	216	8.1.4 壳体密封性和护壳保温安 装质量的影响	216
8.1.2 异极距安装误差过大的 影响	216	8.2 电除尘器安装的技术要求及 质量控制要点	217
8.1.3 振打清灰装置安装质量的		8.2.1 电除尘器安装的基本技术 要求	217

8.2.2 电除尘器安装主要项目的技术要求	217	8.3.3 电除尘器安装、调试的相关事宜	226
8.3 电除尘器安装职责范围的划分与安装流程	225	8.4 电除尘器安装工作程序	232
8.3.1 电除尘器安装职责范围的划分	225	8.4.1 对电除尘器安装工作的一般要求	232
8.3.2 电除尘器安装流程	226	8.4.2 电除尘器安装程序	233
第9章 电除尘及电除尘器的试验	235		
9.1 电除尘技术的试验研究	235	9.2.2 电除尘器工程试验的分类及工作内容	236
9.2 电除尘器工程试验	236	9.2.3 电除尘器产品试验、验收与投运	237
9.2.1 电除尘器工程试验的目的和要求	236		
第10章 影响电除尘器性能的主要因素、测定方法及其对策	243		
10.1 影响电除尘器性能的主要因素与对策	243	静压、动压、全压)及电除尘器压力损失的计算	261
10.2 电除尘器性能影响因素的测定方法	256	10.2.11 管道内气体流速、流量的测定方法(含电除尘器的进、出口处)	262
10.2.1 煤中全硫分的测定方法	257	10.2.12 气体含湿量的测定方法	263
10.2.2 粉尘化学成分测定方法	257	10.2.13 烟气成分的测定方法	264
10.2.3 粉尘比电阻的测定方法	257	10.2.14 气体密度的测定	265
10.2.4 粉尘摩擦角的测定	258	10.2.15 烟气含尘浓度的测定方法(含电除尘器进口和出口处)	266
10.2.5 粉尘黏附性的测定方法	258	10.2.16 电除尘器粉尘透过率的测定(试验重复3遍,取其平均值)	266
10.2.6 粉尘粒度分布的测定方法	259	10.2.17 电除尘器本体漏风率的测定	267
10.2.7 粉尘密度的测定方法	259	10.2.18 电除尘器气流分布均匀性的测定	267
10.2.8 测定管道内气体的参数时,测定位置和测点的选择	259	10.2.19 电除尘器的振打特性测试	268
10.2.9 管道内气体温度的测定(含电除尘器的进、出口处)	261	10.2.20 电除尘器伏安特性试验	269
10.2.10 管道内气体压力的测定(含			

第 11 章 电除尘器的运行与管理	272
11.1 电除尘器的投运	274
11.1.1 电除尘器投运前的 检查	274
11.1.2 电除尘器投运前的试 运行	276
11.1.3 电除尘器的投运操作 程序	277
11.2 电除尘器的运行调整	278
11.2.1 变压器抽头的调整	278
11.2.2 电抗器抽头的调整	279
11.2.3 “电流极限”的调整	279
11.2.4 “火花率”的调整	279
11.2.5 高压供电设备控制方式的 调整	279
11.2.6 低压控制设备控制特性的 调整	280
11.2.7 电除尘器运行中异常情况 的处理	280
11.3 电除尘器的运行值班制度	282
11.3.1 电除尘器的监视与 记录	282
11.3.2 电除尘器的运行检查	283
11.3.3 电除尘器的定期试验	284
11.3.4 电除尘器运行不正常的可 能因素	284
11.3.5 电除尘器的安全工作 制度	286
11.4 电除尘器的停运	288
11.5 电除尘器投运与停运操作注意 事项	288
11.6 电除尘器停机后的检查与 维护	290
第 12 章 电除尘器的常见故障、维护和修理	291
12.1 电除尘器的常见故障及处理 方法	291
12.1.1 电除尘器本体的常见故障 及处理方法	291
12.1.2 高压供电设备故障	296
12.1.3 低压控制设备故障	299
12.1.4 运行参数及工况的 异常	301
12.2 电除尘器的维护和修理	302
12.2.1 电除尘器的维护保养	302
12.2.2 电除尘器的修理	304
第 13 章 各种电除尘器简介	323
第 14 章 电除尘器在各行业的应用	330
14.1 电除尘器在各行业的主要需求 特点	330
14.2 电除尘器在电力工业的 应用	331
14.3 电除尘器在冶金工业的 应用	332
14.3.1 电除尘器在炼铁厂的 应用	332
14.3.2 电除尘器在炼钢厂的 应用	332
14.3.3 电除尘器在轧钢厂的 应用	332
14.3.4 电除尘器在烧结厂的 应用	332
14.3.5 电除尘器在耐火材料厂的 应用	333
14.3.6 电除尘器在有色金属冶炼 厂的应用	333
14.4 电除尘器在建材工业的 应用	334

14.5 电除尘器在化工工业及其它工业的应用	334	14.5.2 电除尘器在造纸工业中的应用	334
14.5.1 电除尘器在硫酸工业中的应用	334	14.5.3 电除尘器在工业锅炉上的应用	335
第 15 章 蓬勃发展的我国电除尘器制造业	336		
15.1 我国主要电除尘器制造公司名录	336	15.3 我国引进的部分电除尘器先进技术	339
15.2 电除尘行业骨干企业经营状况	338	15.4 我国电除尘器出口情况	339
附录 1 DL/T 514—2004 电除尘器	341		
附录 2 JB/T 5910—2005 电除尘器	351		
附录 3 GB/T 13931—2002 电除尘器 性能测试方法	356		
附录 4 DL/T 461—2004 燃煤电厂电除尘器运行维护管理导则	369		
附录 5 GB 13223—2003 火电厂大气污染物排放标准	380		
附录 6 常用物理常数及常用单位换算表	386		
附录 7 近三届全国电除尘(及一、二届脱硫)学术会议论文目录	392		
附录 8 电除尘科技活动大事记	405		
参考文献	412		

第 4 章 电除尘概述及分析

1.1 电除尘——烟气净化的“大使”

我国在环境保护方面落后于世界经济发达国家。在近十几年的时间里,我国全面加强了环境保护工作,以较快的速度缩小了与发达国家的差距。我国从 1989 年开始发布了《中华人民共和国环境保护法》,接着又发布了《国务院关于环境保护工作的决定》、《国务院关于进一步加强环境保护工作的决定》、《国务院关于环境保护若干问题的决定》。电力行业也相继发布实施了《电力工业环境保护工作管理办法》、《关于进一步加强电力工业环境保护工作若干问题的意见》、《国家电力公司火电厂环境保护技术监督规定》等。这些法规总的精神非常强烈——严格环境管理!要求把工程项目建设与环境保护同步规划、同步实施、同步发展,把环境保护切实摆放在同生产和建设同等重要的位置。自此,国家投放环保的资金大幅增长,保护环境已成为国民经济持续发展的基本国策。

电力工业是环境保护的大户,电站燃煤锅炉,乃至冶金、建材、化工等行业都面临着迫切的消烟除尘的任务。世界各国环境科技工作者在环保设备方面做了大量的研究工作,发明并研制出了多种净化烟气的装置。主要有以下几种类型:

a) 惯性式除尘器。该除尘器主要是靠机械力除尘的,典型产品是旋风除尘器。用于除去烟气中较大的颗粒。优点是结构简单,造价低,坚固耐用。缺点:除尘效率低,约 90%。

b) 湿式除尘器。该除尘器是靠水膜对烟气进行洗涤来实现除尘的,典型产品有斜棒式洗涤水膜除尘器、离心式洗涤水膜除尘器等。优点:装置简单、造价低。缺点:洗涤污水造成二次污染,除尘效率较低,约 90%。

c) 过滤式除尘器。有以下几种:

- 使烟气通过固体物质颗粒层来净化烟气。优点:耐高温,适用于烧结厂、冶炼炉等。

- 缺点:效率稍低,约 96%。

- 使烟气通过滤袋进行过滤达到除尘的目的。优点:除尘效率高,达到 99.9% 以上,可以捕捉微细尘粒。缺点:阻力大,布袋易损坏,耗电量大,运行费用高。

d) 电除尘器。是通过高压电场的电晕放电使空气分子电离、从而使烟气中粉尘颗粒荷电,在电场力的作用下移动到集尘极板上,通过振打收集起来并运出去的一种方法。优点:除尘效率高,可达 99.80% 以上,可以捕捉微细尘粒,耗电较少,操作简便,运行费用较低。缺点:一次性投资较大。

消烟除尘界的志士仁人们,通过多年的反复试验研究,经历了从机械式到洗涤式,从洗涤式到过滤式,从过滤式到电气式除尘器的过程。现在,机械式除尘器已基本不用,或者与其它除尘方式联合使用,仅仅作为烟气的前级预处理设备。洗涤式除尘器不仅除尘效率满足不了国家新颁布的大气污染物排放标准的要求,而且,洗涤烟气的污水造成的二次污染是

个致命的缺陷。过滤式中的布袋除尘器除尘效率高,但运行阻力较大,化学纤维滤袋不能承受高温烟气以及滤袋寿命有限使其应用受到了一定限制。电除尘器是比其它控制空气污染设备更为有利的、独特条件下发展起来的。从 1905 年汤森(Townsend)和汤姆森(J. J. Thomson)创立电晕放电理论之后,经历了 100 年的历史,电除尘理论和技术经过不断的发展和完善,如今电除尘器已是受推崇的除尘设备,主要是因为其除尘效率高、能耗少、操作简便、运行费用低、适用范围广等优点,还能处理高温、特大流量的烟气。

电除尘不仅适用于火力发电厂,也广泛应用于冶金、建材、化工等污染严重的行业,而这些行业都是国民经济稳步、持续、快速发展的重点行业。电除尘已在全球大气环境保护事业中充当起烟气净化的“大使”。

1.2 电除尘的除尘原理

电除尘器是依托多学科理论研制出来的一种净化烟气的高效率机电产品,基本属于电物理学范畴,外延涉及机械工程学、空气动力学、电气工程学、电子学、电化学、气溶胶工艺学、振动力学等。电除尘的除尘过程分四个阶段:

- a) 气体的电离,即在两电极之间施以高压直流电,产生电晕放电,使气体分子电离,产生电子、正离子和负离子。
- b) 使气体中粉尘颗粒荷电。
- c) 荷电粉尘颗粒在电场力作用下向异性电极移动,并附着在电极上。
- d) 用振打方式将电极上的粉尘收集起来运走。

1.2.1 气体分子的电离

物质是由分子组成的,分子由原子组成,原子由原子核及在其外层高速旋转着的电子组成。电子很容易受外力的影响而脱离原子核的束缚,成为带负电荷的“自由电子”。有些“自由电子”会附着在其它颗粒或分子上,成为带负电荷的质点,称为“负离子”。失去电子的分子呈现出带正电的性质,称为“正离子”。这种中性的气体分子受外力影响剥离为“正离子”、“负离子”和“自由电子”的现象,称为气体的电离。

空气基本上是不导电的绝缘体,但是,当气体获得足够的能量时,就可以使中性的气体分子内的电子脱离,形成电子、正离子和负离子,使气体变成了可以输送电流的介质,成为导电体。

气体的电离分为非自发性电离和自发性电离。非自发性电离是在外界能量作用下产生的,如空气受到 X 光、紫外线或其它辐射线的照射时,其分子因获得能量而放出电子,使中性分子形成正离子和负离子,带有电子的原子、分子或它们的混合体形成负离子;失去电子的气体分子形成正离子。非自发性电离的特征之一,是气体中电子和离子的数目不会连续增多,原因是产生电子和离子与不同极性离子的复合是同时发生的,一旦外界能量停止作用,气体就又恢复成绝缘体了。

气体的自发性电离,是在高压电场的作用下产生的。在高压电场中,电子沿电力线从负极向正极运动,沿途与中性原子或分子碰撞,而引起碰撞电离。这种过程是连续进行的。正由于这种连续不断的碰撞电离,使得电子数目像雪崩似的增加。这种现象称作“电子崩”或“雪崩电离”。就这样,由于气体中的电子、离子数目剧增,就使得本来绝缘的气体导电了。

电除尘器对气体的电离就是利用气体的非自发性电离和自发性电离原理实现的。具体手段是,在高压电作用下,在两电极间产生稳定的电晕放电过程,使气体电离成为导电体。

为了使电除尘器两极间产生稳定的电晕,从而使气体电离又不使整个电场击穿产生短路现象,必须采用非均匀电场,即在放电电极周围具有最大的电场强度,而远离放电电极的地方,电场强度较小。适合这种要求的只能从两电极的曲率半径上做文章,如采用一根细线对着直径较大的圆筒或者平板。通一高压直流电后,放电电极周围的高电场强度使气体电离,产生大量的“自由电子”和“正离子”,这些电子和离子向异性的电极快速移动过程中,碰撞中性分子,产生“雪崩电离”,并在此过程中使粉尘颗粒荷电,在电场力作用下驱往收尘极。

1.2.2 粉尘的荷电

只有荷电的粉尘才能在电场力作用下从气流混合物中分离出来。现在的问题是:在电除尘过程中,粉尘是如何荷电的呢?

通常认为,粉尘荷电有两种方式:电场荷电和扩散荷电。电场荷电的过程是,粉尘进入电场后,在电晕区边界和收尘极之间的区域进行。在此区域内,粉尘与沿电力线移动的带电离子碰撞并黏附其上,使粉尘荷电。人们又把这种方式叫做“轰击荷电”。这种荷电是在粉尘进入电除尘器的极短时间内完成的。粉尘另一种荷电方式是扩散荷电,也就是说,气体中的离子和分子一样都在进行热运动,这种运动使离子不断扩散。粉尘颗粒与离子碰撞后,黏附其上,使粉尘荷电。对大颗粒粉尘来说,电场荷电是主要的。对直径小于 $0.2\mu\text{m}$ 的细小粉尘来说,主要是靠扩散荷电来实现的。

1.2.3 粉尘的移动和捕集

在电除尘器中,粉尘的移动是有规律的,各自依其自身荷电的极性向与其相反的电极运动。促使带电粉尘移动的作用力主要是电场力。在电场力作用下,若是负电晕放电,则在电晕线附近,有少量带正电荷的粉尘向放电电极移动,并附着其上。而大量的粉尘都处在电晕线之外的大空间里,它们带负电荷。因此,它们向阳性收尘极板运动,并附着其上。

粉尘按粒径的大小和风速的不同,它们在收尘极板上沉降的位置不同。大致是,风速小时,例如 1m/s , 粒径 $\geq 20\mu\text{m}$ 的大颗粒粉尘在移动 100mm 以内就沉降了;而风速大时,例如 2m/s , 粒径 $\geq 20\mu\text{m}$ 的大颗粒粉尘在移动接近 200mm 时才能沉降。粉尘越细,其移动的距离越远才能沉降在收尘极板上。气体的电离、粉尘的荷电、移动及捕集原理见图 1-1。

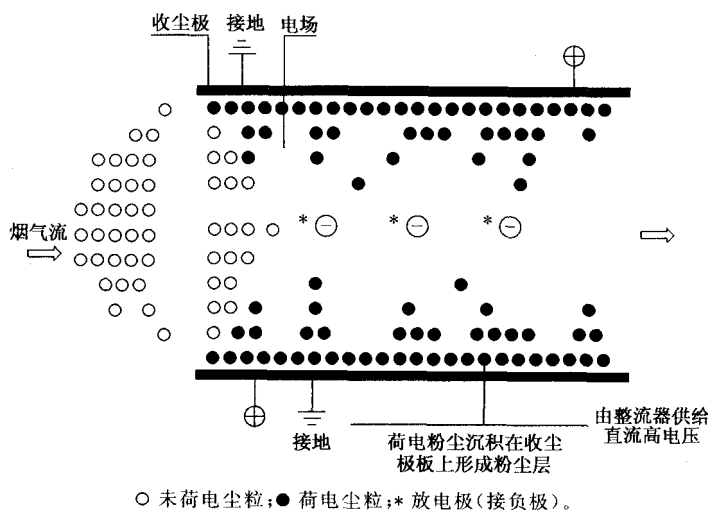


图 1-1 电除尘器除尘原理示意图

1.2.4 粉尘的收集和运输

烟气在流经电除尘器时,大量荷电粉尘被吸附在收尘极板上。经净化后从烟囱冒出的烟气再不是浓浓黑烟,而犹如丝丝“白云”了。除尘效率特别好的电除尘器,想看烟囱高端的这些“白云”也很难了。

那么,吸附在收尘极板上粉尘如何处理呢?一般方式是通过振打使粉尘落入灰斗中经卸灰器排入输灰管道,通过气力输灰(水冲洗方式已基本淘汰)方式输送到几公里以外的灰场,另有他用。

1.3 电除尘器及基本构成

电除尘器是一种理想的、有效的除尘设备,基本构成包括机械本体部分和电气系统。

机械本体部分包括阴极系统(放电极系统)、阳极系统(收尘极系统)、槽形极板系统、壳体、进出气烟箱、储灰系统、管路系统等。

电气系统包括高压电气设备及控制系统、低压设备及控制系统。

电除尘器系统构成及基本构件见表 1-1。

表 1-1 电除尘器系统构成及基本构件(常规结构型)

序号	所属系统	基本构件	备 注
1	阴极系统(放电极系统)	阴极绝缘支柱	
2		阴极大框架	
3		阴极小框架	
4		阴极振打系统	
5		电缆引入室(绝缘子室、保温箱)	
6	阳极系统(收尘极系统)	阳极板(收尘极板)	
7		悬吊杆	
8		冲击杆	
9		阳极振打系统	
10	槽形极板系统	槽形极板	配制在末电场,有的工程无
11		槽形极板振打系统	
12	壳体	大梁	
13		底梁	
14		立柱	
15		墙板	
16		屋面板	
17		保温层	
18		检修门	
19		走道、平台	
20		安全装置	
21		支承	
22	进出气烟箱	扩散喇叭(烟气进口)	水平式烟箱
23		气流分布板(烟气进口)	水平式烟箱
24		收缩喇叭(烟气出口)	水平式烟箱
25		槽形板(烟气出口)	水平式烟箱
26		上升竖井(烟气进口)	竖井式烟箱