

胡志光 编著

# 电除尘器

## 运行及维修

DIAN CHU CHEN QI YUN XING JI WEI XIU

DIANCHUCHENQI YUNXING JI WEIXIU



中国电力出版社  
[www.cepp.com.cn](http://www.cepp.com.cn)

华北水利水电学院图书馆



209710053

TM925.31

H532

# 电除尘器

## 运行及维修

胡志光 编著



中国电力出版社

[www.cepp.com.cn](http://www.cepp.com.cn)

971005

## 内 容 提 要

本书对电除尘器的基本知识、基本理论、本体结构、供电控制设备、影响电除尘器性能的因素和电除尘器的试验等方面的内容都进行了详尽论述,对电除尘器的运行和维修等内容做了重点介绍。本书内容全面,突出电除尘技术的先进性和实用性,是电除尘器运行、维修和管理人员必备的参考书,亦可供从事电除尘技术工作的科研、教学、设计等专业人员参考

### 图书在版编目(CIP)数据

电除尘器运行及维修/胡志光编著. - 北京:中国电力出版社, 2004

ISBN 7-5083-2336-X

I. 电… II. 胡… III. ①静电除尘器-运行 ②静电除尘器-维修 IV. TM925.31

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 059756 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

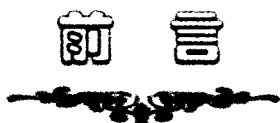
冶林印刷厂印刷

各地新华书店经售

2004 年 10 月第一版 2004 年 10 月北京第一次印刷  
787 毫米×1092 毫米 16 开本 13.5 印张 303 千字  
印数 0001—3000 册 定价 22.00 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换)



电除尘器作为消烟除尘的生产设备和保护大气环境的环保设备，在电力、冶金、建材、化工等行业得到了广泛应用。《电除尘器运行及维修》为普及推广电除尘技术，全面提高电除尘器的运行维护和管理水平，保障电除尘器长期安全、稳定、高效运行，将起到积极的推动作用。全书共分8章，内容包括电除尘器的基本知识、电除尘器的基本理论、电除尘器的本体结构、电除尘器的供电控制设备、影响电除尘器性能的因素、电除尘器的试验、电除尘器的运行和电除尘器的维修。本书内容全面，突出先进性和实用性，是电除尘器运行、维修和管理人员必备的参考书，亦可供从事电除尘技术工作的科研、教学、设计等技术人员参考。

兰州电力修造厂总工程师张德轩审阅了书稿，并提出了许多宝贵意见。本书在编写过程中，曾得到华北电力大学有关老师、福建龙净环保股份有限公司郭俊、兰州电力修造厂吕群、西柏坡电厂张春波、定州电厂郝建宏等有关单位和个人的大力支持。在此一并表示感谢。

由于作者水平有限，书中难免出现漏误之处，恳请读者不吝指正。

作 者

2004年3月

# 目 录



## 前言

### 第一章 电除尘器的基本知识

1

|               |    |
|---------------|----|
| 第一节 电除尘技术发展概况 | 1  |
| 第二节 电除尘器的基本原理 | 6  |
| 第三节 电除尘器的常用术语 | 12 |

### 第二章 电除尘器的基本理论

16

|                  |    |
|------------------|----|
| 第一节 电晕放电         | 16 |
| 第二节 尘粒荷电         | 22 |
| 第三节 荷电尘粒的运动      | 25 |
| 第四节 荷电尘粒的捕集和除尘效率 | 26 |
| 第五节 电极清灰         | 30 |

### 第三章 电除尘器的本体结构

36

|           |    |
|-----------|----|
| 第一节 收尘极系统 | 36 |
| 第二节 电晕极系统 | 44 |
| 第三节 烟箱系统  | 51 |
| 第四节 壳体系统  | 56 |
| 第五节 储卸灰系统 | 61 |

### 第四章 电除尘器的供电控制设备

65

|                        |    |
|------------------------|----|
| 第一节 智能电除尘器控制系统概述       | 65 |
| 第二节 电除尘器 H 型高压供电设备     | 75 |
| 第三节 电除尘器 DJ-96 型高压供电设备 | 83 |
| 第四节 电除尘器 DDX 系列低压控制设备  | 90 |

|     |                          |     |
|-----|--------------------------|-----|
| 第五节 | 电除尘器 DJ-96 型低压控制设备 ..... | 100 |
| 第六节 | 电除尘器新型供电电源简介 .....       | 108 |

## 第五章 影响电除尘器性能的因素

112

|     |                    |     |
|-----|--------------------|-----|
| 第一节 | 粉尘特性的影响 .....      | 112 |
| 第二节 | 烟气性质的影响 .....      | 117 |
| 第三节 | 本体结构参数及性能的影响 ..... | 121 |
| 第四节 | 供电控制质量的影响 .....    | 124 |

## 第六章 电除尘器的试验

131

|     |                  |     |
|-----|------------------|-----|
| 第一节 | 粉尘理化特性的测定 .....  | 131 |
| 第二节 | 管道内气体参数的测定 ..... | 136 |
| 第三节 | 电除尘器的性能试验 .....  | 147 |
| 第四节 | 电除尘器的其他试验 .....  | 151 |

## 第七章 电除尘器的运行

157

|     |                    |     |
|-----|--------------------|-----|
| 第一节 | 电除尘器的投运和停运操作 ..... | 157 |
| 第二节 | 电除尘器的运行调整 .....    | 164 |
| 第三节 | 电除尘器的运行值班制度 .....  | 168 |
| 第四节 | 电除尘器的常见故障及分析 ..... | 171 |

## 第八章 电除尘器的维修

181

|     |                   |     |
|-----|-------------------|-----|
| 第一节 | 电除尘器的维护保养 .....   | 181 |
| 第二节 | 电除尘器的小修 .....     | 182 |
| 第三节 | 电除尘器的大修 .....     | 184 |
| 第四节 | 电除尘器的安全工作制度 ..... | 200 |

|          |     |
|----------|-----|
| 附表 ..... | 203 |
|----------|-----|

|      |               |     |
|------|---------------|-----|
| 附表 1 | 常用物理常数表 ..... | 203 |
|------|---------------|-----|

|      |               |     |
|------|---------------|-----|
| 附表 2 | 常用单位换算表 ..... | 204 |
|------|---------------|-----|

|            |     |
|------------|-----|
| 参考文献 ..... | 209 |
|------------|-----|

## 第一章

# 电除尘器的基本知识

### 第一节 电除尘技术发展概况

#### 一、电除尘技术的发明与发展

早在公元前 6 世纪的时候，古希腊哲学家撒勒斯（Thales）就已经发现经过摩擦的琥珀能吸引微细纤维的现象。第一个演示静电除尘的装置是由德国人霍非尔德（M. Hohlfeld）在 1824 年完成的。他证明用莱顿瓶的电荷供给一个盛带烟雾的玻璃瓶，通过放在瓶中的金属线产生放电现象而使烟气被净化。1850 年美国吉塔尔德（C. F. Guitard）观察到无声电晕放电也有同样的作用。1880 年以来，英国物理学家洛奇爵士（Sir Oliver Lodge）一直致力于将电除尘技术应用于工业烟气净化的试验研究。1885 年洛奇与沃克（A. O. Walker）、哈钦斯（W. M. Hutchings）合作，在北威尔士炼铅厂建造了第一台电除尘试验装置。但是这套装置的试验未取得成功，其主要原因有二：一是静电感应起电机产生的高电压运行很不稳定；二是氧化铅烟尘极细，比电阻又很高，所以非常难捕集。虽然洛奇在 1903 年就获得了静电除尘技术的专利权，但直到 1907 年，才由美国加利福尼亚大学化学教授科特雷尔（F. G. Cottrell）将电除尘技术用于捕集硫酸雾并首次获得成功。他试验成功的关键在于他的试验装置是捕集比电阻较低的硫酸雾和采用了新发明的同步机械整流器。从此，电除尘器才正式成为净化工业气体的除尘设备。

随着科学技术的发展和工业技术水平的提高，从 20 世纪初叶开始，西欧各工业发达国家相继开展电除尘技术的研究工作。特别是第二次世界大战以后，一些发达的资本主义国家，在发展工业的同时，出现了大气污染的环境问题。在这种背景下，电除尘器以其独特的优越性而兴盛起来。到了 20 世纪 50 年代，电除尘器已被冶金和建材工业广泛采用，并迅速扩展到电力、化工、石油等领域。到了 60 年代，电除尘器已遍及各个工业部门，并在世界各国得到迅速发展。近年来，随着环境保护要求的日益提高，电除尘器的发展更加迅速，应用范围也更加广泛。

随着电除尘器的使用领域不断扩大，电除尘器的结构、性能和控制方式等也日臻完善。就电极构造而论，最早采用的是筒形管状收尘极和细圆线电晕极。20 世纪 40 年代出现了板状收尘极，使电场空间利用率大为提高。1945 年开始采用螺旋形细圆线代替直细

圆线作电晕极。与直细圆线相比,螺旋形线降低了起晕电压,这对捕集某些比电阻较高的粉尘是有利的。其后出现了星形电晕线,使电场电力线分布更为合理。1960年有人发现芒刺电晕线比螺旋线和星形线的起晕电压更低,更适合于捕集高比电阻粉尘和净化高浓度的烟气。从40年代~60年代,为了防止已被捕集的粉尘二次飞扬,带有各种防风槽的板状收尘极被设计出来,在实际使用中取得了良好的效果。到了70年代以后,对电除尘器本体结构的研究更加深入,研制出多种板、线结构,在提高气流品质、改善清灰效果、防止二次扬尘、优化本体结构等方面取得了许多成果,进一步促进了电除尘技术的发展。

电除尘技术的发展还与高压供电及其控制装置的演变密切相关。电除尘器的高压电源装置一般有升压、整流和控制三部分。用变压器升压是迄今仍在使用的经济而实用的方法,只是随着绝缘技术的进步,变压器的性能更为优越,体积更小。在整流方面,早期的电除尘器是采用机械同步整流方法,在20世纪50年代以前几乎这是唯一的方法。50年代以后,电子元件逐渐成熟,机械整流曾被电子管整流器所代替,但是电子管整流器在工业上并没有获得大规模应用。对于半导体整流器,曾经在试验设备上采用过氧化铜整流器,但由于重量大、造价高而未得到实际使用。1956年开始试用硒整流器,但体积庞大。在50年代末期,硅整流器出现了,很快就全部取代了硒整流器。在控制方面,随着电除尘技术的发展,控制方法也日新月异。早期的电除尘器是靠人工控制电压和电流,即采用自耦变压器或感应调压器来调节输入电压。虽然在20世纪20年代初期就已出现用直流磁场来改变交流线圈阻抗的理论,但是直到高导磁率的磁性材料和半导体整流元件大量生产和质量提高后,饱和电抗器才真正在自动控制方面得到应用。从50年代起,饱和电抗器就开始代替调压变压器,为电除尘器的自动控制奠定了基础。但采用饱和电抗器控制还存在缺陷,即响应滞后、易产生电弧放电和除尘效率低。因此,自60年代开始广泛采用晶闸管(可控硅)控制。利用晶闸管控制电压,使电除尘器的电源获得了新的控制特性,即快速降压和升压。这种特性使电除尘器有可能在电场发生闪络的瞬间立即降压而不产生弧光放电或击穿,同时又能立即使电压回升,让电场重新正常工作。这样,电场的工作电压会始终接近于击穿前的临界电压,从而能保证最高的除尘效率。到了70年代,利用晶体管实现火花自动跟踪控制技术开始被广泛应用。80年代初期开始利用运算放大器代替晶体管实现多功能控制,使电除尘器自动控制水平进一步提高,但模拟控制电路也更趋复杂。随着计算机控制技术的发展,到了80年代中期,兴起了利用微机对电除尘器进行控制的热潮,使电除尘器供电控制技术又进入了一个新的发展时期。火花强度控制、最佳火花控制、临界火花控制、浮动火花控制、间歇供电控制等多种控制方式相继出现,使电除尘器的控制特性、自动化程度和运行的可靠性都得到了进一步提高。进入90年代以后,随着计算机技术、网络通信技术、测量控制技术、信号处理技术和人机接口技术的迅猛发展,以工业控制计算机为上位机,以电除尘器高低压供电控制设备为下位机,以各种检测设备为耳目的集散型智能控制和管理系统便应运而生了,这标志着电除尘器的供电控制技术进入了数字化、信息化的时代,它必将对电除尘技术的进一步发展起到巨大的推动作用。

电除尘技术除在本体结构和供电控制方面取得较大发展外,在电除尘理论方面的研究也取得了很大进步,为电除尘技术的发展奠定了理论基础。





从 1911 年起, 美国人斯特朗 (W. W. Strong) 开始研究电除尘的理论, 他对诸如尘粒荷电、电场形态、除尘效率等方面的问题做了大量的分析。在今天看来, 他的不少分析还是正确的, 为电除尘的理论奠定了初步基础。到了 1922 年, 多依奇 (Deutch) 假设在没有紊流的条件下推导出电除尘效率的理论公式。人们还常把效率与收尘极板面积和气体流量之间的数学表达式冠以多依奇的姓氏, 成为目前电除尘理论的基础。多依奇公式是在安德森 (Anderson) 关于电除尘指数定律的基础上导出的, 所以多依奇公式也称为安德森—多依奇公式。1950 年, 怀特 (H. J. White) 根据概率理论, 重新导出了多依奇公式。尽管多依奇公式是在理想的条件下导出的, 但是到现在一直是电除尘计算最基本的公式, 在历史上和技术上都有重要价值。

1923 年, 罗曼 (Rohman) 确立了电场荷电的原理。1932 年, 波德尼尔 (Pauthenier) 和莫罗—哈诺特 (Moreau - Hanot) 发表了粒子碰撞荷电和扩散荷电的方程式。到了 1951 年, 怀特导出了更加精确的扩散荷电方程式。

怀特、波德尼尔分别于 1948 年和 1961 年报导了捕集高比电阻粉尘时反电晕影响的研究结果。1918 年沃尔柯特 (Wolcott)、1934 年弗兰克 (Frank)、1960 年彭尼 (Penneg) 和克雷格 (Craig) 对火花放电进行了研究。1970 年奥格尔斯比 (Oglesby) 和尼科尔斯 (Nichols) 提出了包括影响电除尘器性能的理论和经验在内的数学模型, 1975 年古奇 (Gooch) 等人对这一模型做了改进。从 20 世纪 80 年代以后, 各科研机构对电除尘理论的研究扩展到极配形式、供电控制、节能管理、故障诊断、专家系统等领域。总之, 电除尘技术的发展与相关科学技术的发展密不可分, 电除尘理论的发展还存在着滞后实际应用的现象。随着科学技术的进步和对电除尘研究的深入, 电除尘技术必将得到进一步的完善和提高。

## 二、我国电除尘技术的发展概况

我国从事电除尘技术的研究起步较晚, 到了 20 世纪 70 年代, 电除尘器才在我国得到应有的重视和比较广泛地采用。1949 年以前, 由于我国工业落后, 因此全国只有沈阳冶炼厂、葫芦岛锌厂和本溪水泥厂等装有屈指可数的几台电除尘器, 而且性能很差, 其结构也非常陈旧。就是在新中国成立后一个较长的时期内, 由于工业还不发达, 而且许多工业还处于恢复阶段, 对环境保护的重要性认识不足, 因此对电除尘技术的发展没有引起重视。有的企业虽然新增设了电除尘器, 其主要目的也只是为了回收有价值的物质。如 1954 年我国自行设计制造的第一台  $12.6\text{m}^2$  卧式四电场电除尘器, 就是用于炼锌氧化多膛焙烧炉回收有价值的金属。随着我国经济建设的发展, 有色金属、水泥、化工等工业部门相继也采用了一些电除尘器。1965 年以前所使用的电除尘器, 一部分是从国外引进的, 一部分是按引进设备图纸仿造的。大多数有色金属、化工企业所采用的是套用苏联棒棒式电极的电除尘器, 黑色金属高炉采用管式湿式电除尘器。水泥行业大多采用民主德国的立式电除尘器, 少数采用鱼鳞状收尘极的卧式电除尘器。电力系统仅保定热电厂、吉林热电厂分别从民主德国和前苏联引进了几台电除尘器。新中国成立后, 水泥行业第一台自行设计和制造的  $60\text{m}^2$  立式电除尘器用于华新水泥厂回转窑的废气处理。原北京水泥工业设计院还设计了  $20 \sim 60\text{m}^2$  立式电除尘器系列, 有色金属工业也设计出多种棒棒式电除尘器, 而且技术水平较建国初期有较大提高。但是由于我国建设资金有限, 而电除尘器的一次投



资又较大，所以限制了电除尘器在我国快速发展，直到 1960 年，我国各个工业部门装设电除尘器的总台数还不超过 60 台。

我国有计划、有组织地开展电除尘技术的科研工作是从 1965 年开始的。当时由原冶金部组织武汉冶金安全技术研究所、鞍山矿山设计院、北京有色冶金设计院等单位，在包头着手进行电除尘的试验研究工作。试验设备是一台  $0.4\text{m}^2$  的小型电除尘器。通过试验，除掌握冶金生产系统部分粉尘捕集的资料外，同时对电除尘器的结构形式也进行了对比试验。此后北京有色冶金设计院，原北京水泥设计院等单位，设计了新型结构的卧式电除尘器，代替了原有的棒帙式和立式电除尘器。为了总结经验、统一结构、便于制造、降低成本，1972 年由原一机部、原冶金部和原建筑材料部共同组成了电除尘器系列化设计小组，在广泛调查的基础上，做出了从  $3\sim 60\text{m}^2$  电除尘器的系列设计，对我国广泛采用电除尘器起到了促进作用。与此同时，由于我国电子工业的发展，高压硅堆已经广泛应用于各工业部门。因此硅整流器逐步取代了过时的机械整流器。生产硅整流器的工厂也增加到十多家。1974 年由原一机部和原冶金部在郑州联合召开了硅整流器的鉴定会。不少厂家生产的硅整流器已达到国家标准所规定的技术指标。在自动控制方面，采用了饱和电抗器和晶闸管控制两种方式，基本上达到了火花跟踪和自动调压的要求。

到了 20 世纪 70 年代中期，我国电除尘器的试验研究工作已向纵深发展，在常规电除尘器方面，除对极板和板线的形式进行研究外，还对电除尘器的气流分布、清灰振打强度、粉尘比电阻的测试方法以及用喷雾增湿方法对烟气进行调质等方面，进行了大量的试验研究，这些试验对保证电除尘器的正常运行和提高电除尘器的性能都起到积极的作用。有的研究成果已赶上世界先进水平。有的单位对超高压横向极板和双区等新型电除尘器也进行了试验，并取得了可喜的成果。现在粉尘污染比较严重的工业部门都有从事本行业电除尘技术研究和设计的专业机构，试验手段也日趋齐全和完善。特别是冶金和电力行业，还装备有电除尘的试验台，为电除尘器的设计和选型提供可靠的数据。

从 20 世纪 80 年代开始，随着我国工业生产的飞速发展和对环境保护要求的日益严格，我国电除尘产业得到了迅猛发展，在我国出现了几十家电除尘器本体和供电电源专业工厂，一大批专业技术骨干转行从事电除尘器的科研、教学、设计、制造、安装和调试工

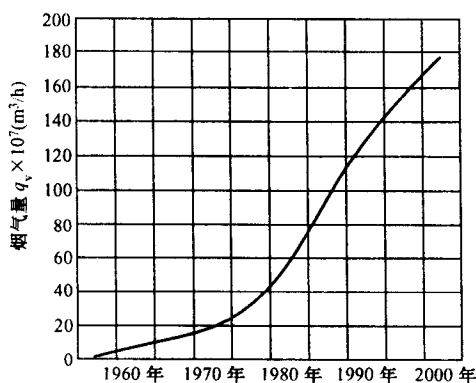


图 1-1 我国电除尘器处理烟气量的增长曲线

作，涌现出大量研究成果，使我国的电除尘技术水平得到迅速提高。据统计，截止到 2000 年，我国现有电除尘器总通流面积约为  $35\text{万 m}^2$ ，处理气体量达  $1.7 \times 10^9 \text{m}^3/\text{h}$  以上。如图 1-1 所示，为我国电除尘器所处理的烟气量历年增长情况。目前我国每年国产电除尘器的能力已达到 280kt 左右，年产值达 20 亿元左右，除满足国内大气污染治理的需要外，每年还有超千万美元产值的电除尘设备出口到 20 多个国家和地区。如今，电除尘器在我国的环保产业中，已经成为技术力量较为雄厚、装备水平较

高、开发能力较强的行业之一。国产电除尘器本体和供电控制技术已达到世界水平。中国已成为世界上电除尘大国，并正跻身于世界电除尘强国之林。

### 三、电除尘技术的发展趋势

综观近几年来国内外电除尘技术的发展情况，今后电除尘技术的发展趋势大致是：

#### 1. 致力于进一步提高除尘效率，以满足更加严格的排放标准的要求

1965 年斯普劳尔 Sproull 对振打作用的试验研究表明，在电除尘器出口的烟尘中，约 50% 是由于振打产生的二次扬尘造成的；1972 年塔西克 Tassicker 对 6 台高效电除尘器的测定表明，低温电除尘器出口的烟尘中约 30% 是振打产生的二次扬尘，而高温电除尘器出口的烟尘中振打产生的二次扬尘则高达约 60%。防止清灰振动引起部分已被捕集的粉尘再飞扬，提高对微尘的捕集能力，扩大对高比电阻粉尘的适应范围（后级电场粉尘细，比电阻较高），是世界各国电除尘领域关注的热点问题。对此，已进行了大量的研究工作，并取得了一些积极的研究成果。如日本电力部门确认，用半湿式电除尘器可以把燃煤锅炉的烟尘排放浓度控制在  $15\text{mg}/\text{m}^3$ （标准状态下）以下，能满足一些地区极其严格的排放标准。

#### 2. 减少电除尘器基建投资和现有设备改造费用

专家普遍认为宽间距不但能改善电除尘器的性能，而且有明显的经济效益。美国燃烧工程公司（CE）和南方研究所（SRI）进行的试验表明，同极间距可增大至 457mm 而不影响除尘性能。对电除尘器本体结构进行优化设计，选择最佳的极配形式，是减少电除尘器基建投资的重要手段。

#### 3. 在保证除尘效率的前提下，尽可能地节约能源

节约能源的措施之一是采用间歇供电，也就是供电一个或几个半波后停止供电几个半波。电除尘器在停止供电时如同一个大的电容器，平均电场强度几乎与常规供电方式时一样高。间歇供电尤其适用于捕集高比电阻粉尘。此时间歇供电因减小了板电流密度，故可减少收尘极板上粉尘层内的电场强度，使之不超出粉尘层内气体的击穿场强，从而控制了反电晕的产生。另一个措施是采用能源管理系统（EMS）。当电除尘器在烟气浊度很低（低于 5%）的情况下工作时，消耗能量很大。如果能够准确控制环保要求所允许的烟气浊度，则在稍许增加浊度的情况下可以获得较大的节能效果。

#### 4. 采用经济有效的方法解决高比电阻粉尘的捕集问题

为减少二氧化硫对环境的污染，要求工厂尽量多烧低硫煤。低硫煤的飞灰比电阻一般较高，如何解决高比电阻粉尘的捕集问题，也是当务之急。曾出现“高温电除尘器”、“冷电极双区电除尘器”等，但由于种种原因，实际上应用得还不多。烟气调质处理是捕集高比电阻粉尘的有效办法，但费用较高。喷入的  $\text{SO}_3$  是否随烟气排放造成新的污染，也尚待进一步调查研究。国内曾在进口烟气含尘浓度高 [ $35 \sim 40\text{g}/\text{m}^3$ （标准状态下）]、粉尘比电阻高（ $10^{12}\Omega \cdot \text{cm}$  以上）、电场风速高（1.5m/s 左右）的大武口电厂 100MW 机组电除尘器上，以微机自动控制高、低压供电装置代替普通的模拟控制供电装置，在其他运行条件不变的前提下，运行参数明显提高，出口烟气含尘浓度大幅度降低。脉冲供电也是提高高比电阻粉尘捕集效率的有效手段。对于已建成而效率不能满足要求的电除尘器，可以在不变



动原本体结构和常规供电装置的条件下,加装脉冲电压发生与控制设备,原供电装置保留以供基础电压,可以获得显著的效益。所增加的费用比新建或改建电除尘器节约得多。

#### 5. 提高电除尘器对煤种变化的适应性

常规电除尘器对粉尘比电阻较敏感,粉尘比电阻小于  $10^4 \Omega \cdot \text{cm}$  (如飞灰可燃物大于 10%) 或大于  $10^{12} \Omega \cdot \text{cm}$  (如  $S_{\text{ar}} < 0.5\%$  的低硫煤烟尘) 都将造成除尘效率急剧下降。要维持高效率,则需增加电场数或降低电场风速,势必使电除尘器体积大、投资高的缺点更为突出。国内在烧低硫无烟煤或贫煤时,粉尘比电阻呈两极分化,其中细粉尘比电阻大于  $10^{13} \Omega \cdot \text{cm}$ ; 飞灰可燃物含量高的粉尘比电阻小于  $10^4 \Omega \cdot \text{cm}$ 。在焦作电厂 200MW 机组上,取用宽间距、鱼骨针放电极配辅助电极、末级电场出口设置横向槽板的 KFH 型电除尘器,除尘效率达 99.6% 以上,对其机理研究和结构的优化正在深入之中。

#### 6. 开发电除尘器智能控制软件, 进一步提高自动化水平

自从微机应用于电除尘器自动控制系统之后,电除尘器供电控制技术的开发研究从硬件转向软件,利用各种软件来丰富电除尘器的控制功能,是供电控制技术新的发展趋势。虽然在 1995 年我国已成功研制出以电除尘器的高压和低压供电控制设备为下位机,以工业控制计算机为上位机,以浊度仪等检测设备为耳目,以能量管理为目标,即五者联用,具有遥感、遥控、遥信、数据自测自记录、故障自诊断显示、高精度自动化、大幅度节能和全面计算机管理的现代智能运行控制系统。但是,该系统的智能控制水平还相对较低,还不能根据煤种和锅炉负荷的变化实行自动跟踪控制、优化控制或模糊控制,电除尘器专家知识库还不健全,专家在线故障诊断、专家在线优化控制、专家在线优化管理、专家在线运行帮助和远程通信、网络资源共享功能等还刚刚起步,有待进一步完善和提高。显而易见,随着电除尘器控制管理功能的不断丰富,在不久的将来,电除尘器的自动化程度会提高到一个新的水平。

总之,电除尘技术的发展只有近百年的历史,它还是一门年轻的学科,虽然在发展过程中存在着诸如理论还不能指导实践、结构型式不尽合理、供电电源达不到本体要求和高比电阻粉尘的影响等制约因素,又面临着环保标准日趋严格和袋式除尘器的挑战,但电除尘器仍蕴藏着巨大潜力,只要我们依靠科学的方法努力发掘,就一定能获得新的突破,得到它丰厚的回报。

## 第二节 电除尘器的基本原理

### 一、基本原理

电除尘器是利用直流高压电源产生的强电场使气体电离,产生电晕放电,进而使悬浮尘粒荷电,并在电场力的作用下,将悬浮尘粒从气体中分离出来并加以捕集的除尘装置。电除尘器有许多类型和结构,但它们都是由机械本体和供电电源两大部分组成的,都是按照同样的基本原理设计的。如图 1-2 所示,为管式电除尘器工作原理示意图。图中的接地金属圆管叫收尘极(也称阳极或集尘极),与直流高压电源输出端相连的金属线叫电晕极(也称阴极或放电极)。电晕极置于圆管的中心,靠下端的重锤张紧。在两个曲率半径相差较大的电晕极和收尘极之间施加足够高的直流电压,两极之间便产生极不均匀的强电场,

电晕极附近的电场强度最高,使电晕极周围的气体电离,产生电晕放电。电压越高,电晕放电越强烈。在电晕区气体电离生成大量自由电子和正离子,在电晕外区(低场强区)由于自由电子动能的降低,不足以使气体发生碰撞电离而附着在气体分子上形成大量负离子。当含尘气体从除尘器下部进气管引入电场后,电晕区的正离子和电晕外区的负离子与尘粒碰撞并附着其上,实现了尘粒的荷电。荷电尘粒在电场力的作用下向电极性相反的电极运动,并沉积在电极表面,当电极表面上的粉尘沉积到一定厚度时,通过机械振打等手段将电极上的粉尘捕集下来,从下部灰斗排出,而净化后的气体从除尘器上部出气管排出,从而达到净化含尘气体的目的。

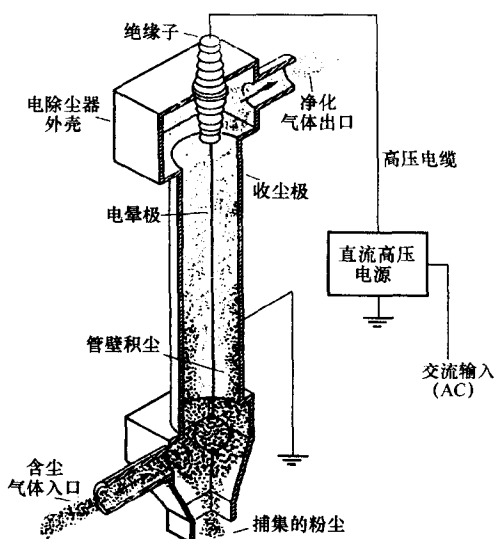


图 1-2 管式电除尘器工作原理示意图

实现电除尘的基本条件是:

- (1) 由电晕极和收尘极组成的电场应是极不均匀的电场,以实现气体的局部电离。
- (2) 具有在两电极之间施加足够高的电压,能提供足够大电流的直流高压电源,为电晕放电、尘粒荷电和捕集提供充足的动力。
- (3) 电除尘器应具备密闭的外壳,保证含尘气流从电场内部通过。
- (4) 气体中应含有电负性气体(如  $O_2$ 、 $SO_2$ 、 $Cl_2$ 、 $NH_3$ 、 $H_2O$  等),以便在电场中产生足够多的负离子,来满足尘粒荷电的需要。
- (5) 气体流速不能过高或电场长度不能太短,以保证荷电尘粒向电极驱进所需的时间。
- (6) 具备保证电极清洁和防止二次扬尘的清灰和卸灰装置。

## 二、电除尘器分类

由于各行业工艺过程不同,烟气性质各异,粉尘特性有别,对电除尘器提出的要求不同。因此,出现了不同类型的电除尘器,现将各种类型的电除尘器按以下分类方式介绍其各自的特点。

### 1. 按电极清灰方式不同分为干式、湿式、雾状粒子捕集器和半湿式电除尘器

(1) 干式电除尘器。在干燥状态下捕集烟气中的粉尘,沉积在收尘极上的粉尘借助机械振打清灰的称为干式电除尘器。这种电除尘器振打时,容易使粉尘产生二次扬尘,对于高比电阻粉尘,还容易产生反电晕,所以设计干式电除尘器时,应充分考虑这两个问题。大、中型电除尘器多采用干式,干式电除尘器捕集的粉尘便于处置和利用。干式电除尘器的结构示意图如图 1-3 所示。

(2) 湿式电除尘器。收尘极捕集的粉尘,采用水喷淋或适当的方法在收尘极表面形成一层水膜,使沉积在收尘极上的粉尘和水一起流到除尘器的下部而排出,采用这种清灰方法的称为湿式电除尘器,如图 1-4 所示。这种电除尘器不存在粉尘二次飞扬的问题,除尘

效率高，但电极易腐蚀，需采用防腐材料，且清灰排出的浆液会造成二次污染。

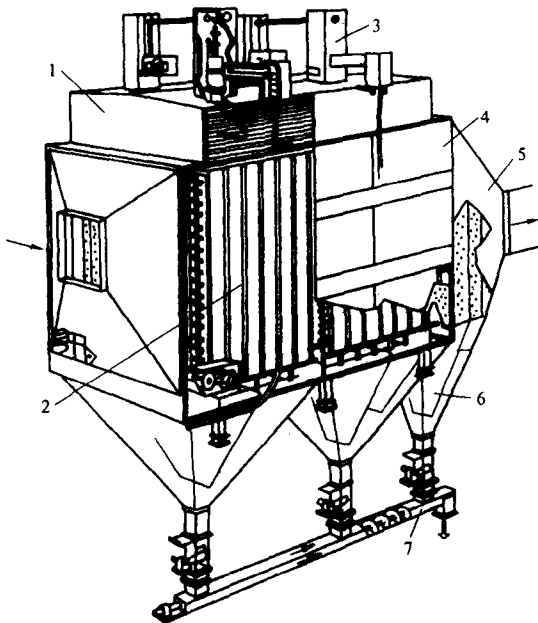


图 1-3 干式电除尘器结构示意图

- 1—进气烟箱；2—收尘极板；3—高压电源；4—壳体；  
5—出气烟箱；6—灰斗；7—螺旋输送机

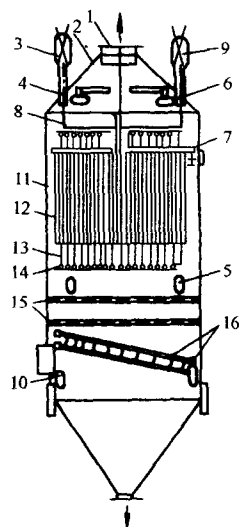


图 1-4 湿式电除尘器结构示意图

- 1—节流阀；2—上部锥体；3—绝缘子箱；4—绝缘子接管；5—人孔门；6—电极定期洗涤喷水器；7—电晕极悬吊架；8—提供连续水膜的水管；9—带输入电源的绝缘子箱；10—进风口；11—壳体；12—收尘极；13—电晕极；14—电晕极下部框架；15—气流分布板；16—气流导向板

(3) 雾状粒子电捕集器。这种电除尘器主要用于捕集硫酸雾、焦油雾那样的液滴，捕集后液态流下并除去，如图 1-5 所示，实质上也是属于湿式电除尘器。

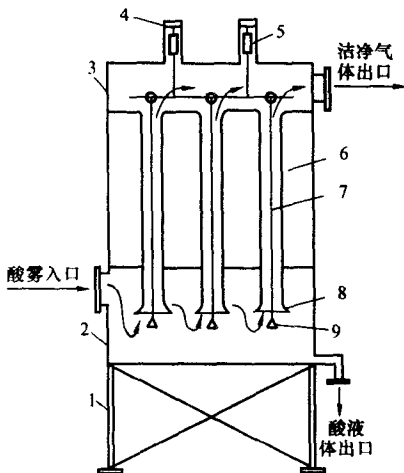


图 1-5 硫酸雾电捕集器

- 1—钢支架；2—下室；3—上室；4—空气清扫绝缘子室；5—高压绝缘子；6—铅管；7—电晕线；8—喇叭形入口；9—重锤

(4) 半湿式电除尘器。吸取干式和湿式电除尘器的优点，出现了干、湿混合式电除尘器，也称半湿式电除尘器，其构造系统如图 1-6 所示。高温烟气先经两个干式收尘室，再经湿式收尘室，最后从烟囱排出。湿式收尘室的洗涤水可以循环使用，排出的泥浆，经浓缩池用泥浆泵送入干燥机烘干，烘干后的粉尘进入干式收尘室的灰斗排出。

2. 按气体在电场内的运动方向分为立式和卧式电除尘器

(1) 立式电除尘器。气体在电除尘器的电场内自下而上作垂直运动的称为立式电除尘器。这种电除尘器适用于气体流量小，除尘效率要求不很高，粉尘易于捕集和安装场地较狭窄的情况下，如图 1-7 所示。实质上图 1-4 和图 1-5 也可以说是属于立式电

除尘器。

(2) 卧式电除尘器。气体在电除尘器的电场内沿水平方向运动的称为卧式电除尘器，如图 1-8 所示。图 1-3 也是卧式电除尘器。

卧式电除尘器与立式电除尘器相比有以下的特点：

1) 沿气流方向可分为若干个电场，这样可根据电除尘器内的工作状况，各个电场可分别施加不同的电压，以充分提高电除尘器的效率。

2) 根据所要求达到的除尘效率，可任意增加电场长度。而立式电除尘器的电场不宜太高，否则需要建造高的建筑物，而且设备安装也比较困难。

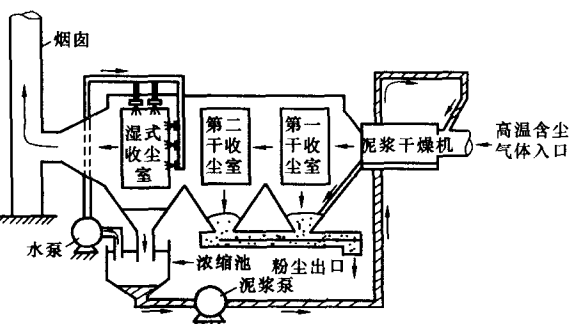


图 1-6 半湿式电除尘器示意图

3) 在处理较大的烟气量时，卧式电除尘器比较容易保证气流沿电场断面均匀分布。

4) 设备安装高度较立式电除尘器低，设备的操作维修比较方便。

5) 适用于负压操作，可延长引风机的使用寿命。

6) 各个电场可以分别捕集不同粒度的粉尘，这有利于有色稀有金属的富集回收，也有利于水泥厂当原料中钾含量较高时提取钾肥。

7) 占地面积比立式电除尘器大，所以老厂扩建或除尘系统改造时，采用卧式电除尘器往往要受场地的限制。

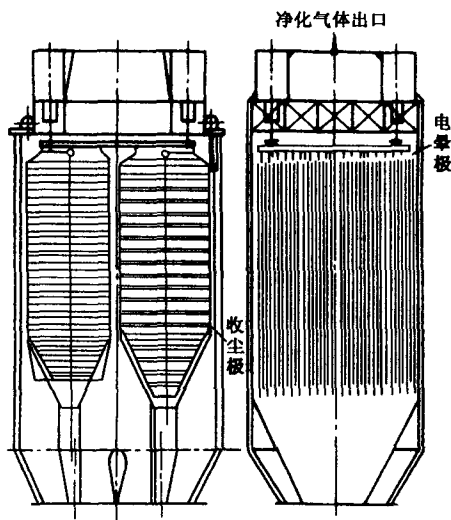


图 1-7 立式电除尘器结构示意图

3. 按收尘极的形式分为管式、板式和棒棒式电除尘器

(1) 管式电除尘器。这种电除尘器的收尘极由一根或一组呈圆形或六角形的管子组成，管子直径一般为 200~300mm，长度为 3~5m。截面呈圆形或星形的电晕线安装在管子中心，含尘气体自下而上从管内通过，如图 1-9 所示。图 1-2、图 1-4 和图 1-5 也是管式电除尘器。管式电除尘器多制成立式，且处理烟气量较小，多用于中小型水泥厂、化工厂、高炉烟气净化和炭黑制造部门。

(2) 板式电除尘器。这种电除尘器的收尘极由若干块平板组成，为了减少粉尘的二次飞扬和增强极板的刚度，极板一般要轧制成各种不同断面形状，电晕线安装在每两排收尘极板构成的通道中间，如图 1-3 和图 1-8 所示。板式电除尘器多制成卧式，结构布置较灵活，可以组装成各种大小不同的规格。因此，在各个行业得到广泛的应用。

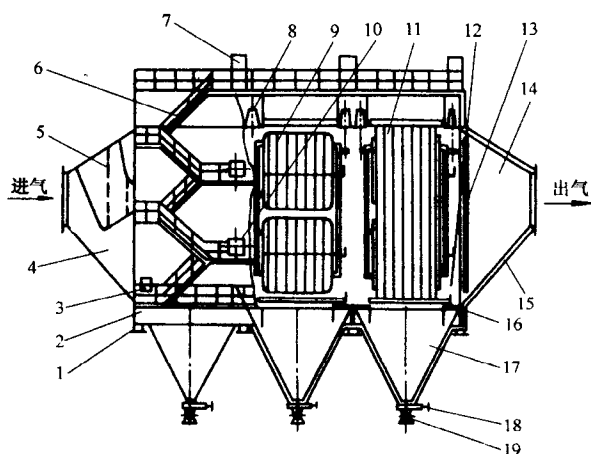


图 1-8 卧式电除尘器结构示意图

- 1—支座；2—外壳；3—人孔门；4—进气烟箱；5—气流分布板；  
6—梯子平台栏杆；7—高压电源；8—电晕极吊挂；9—电晕极；  
10—电晕极振打；11—收尘极；12—收尘极振打；13—出口槽型板；14—出气烟箱；15—保温层；16—内部走台；17—灰斗；  
18—插板箱；19—卸灰阀

(3) 棒棒式电除尘器。这种电除尘器的阳极是用实心圆钢或钢管垂直地吊挂在一条直线上，间距很密，制成棒状。其主要优点是机械强度高、耐腐蚀、不易变形和耐高温（370 ~ 427℃）。但棒棒阳极质量重、钢耗多、易积灰、二次扬尘严重。因此，棒棒式电除尘器除烟气温度高时使用外，在其他场所应用较少。

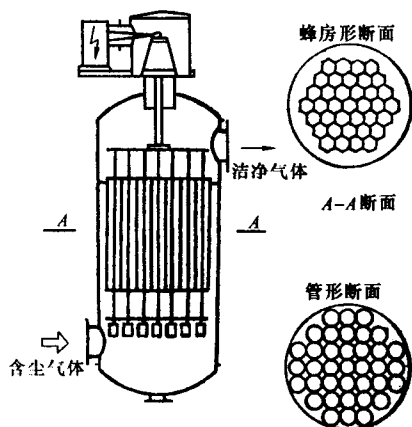


图 1-9 管式电除尘器结构示意图

4. 按收尘极和电晕极的不同配置分为单区和双区电除尘器

(1) 单区电除尘器。这种电除尘器的收尘极和电晕极都装在同一区域内，所以粉尘的荷电和捕集在同一区域内完成，可参看图 1-10。单区电除尘器结构简单，是各个工业部门广泛采用的电除尘装置。

(2) 双区电除尘器。这种电除尘器的收尘极系统和电晕极系统分别装两个不同的区域内。前区内安装电晕极，粉尘在此区域内进行荷电，这一区为电离区。后区内安装收尘极，粉尘在此区域内被捕集，称此区为收尘区。由于电离区和收尘区分开，所以既可以把电晕极电压由单区的几万伏降到一万余伏，又可采用多块收尘极板，增大收尘面积，缩小极板间距。因而收尘极可以用几千伏较低的电压。这样运行也更安全。双区电除尘器主要用于空气净化方面。

双区电除尘器和工业上用的电除尘器不同的主要一点是采用正电晕放电，即用正极性



的电极作为放电电极。由于正电晕容易从电晕放电向火花放电转移，只能施加较低的工作电压。由于正电晕产生的臭氧少，所以用于空气净化是很有利的。双区电除尘器的示意图如图 1-11 所示。

电除尘器除上述几种分类外，还可按极间距离分为窄间距（ $\leq 150\text{mm}$ ）和宽间距（ $> 150\text{mm}$ ）电除尘器，按气体温度分为常温（ $\leq 350^\circ\text{C}$ ）和高温（ $> 350^\circ\text{C}$ ）电除尘器。按气流的通道空间分为单室和双室电除尘器。按工况条件分为原式、防爆式和可移动电极式电除尘器等。虽然电除尘器的类型很多，但大多数工业窑炉采用的是干式、板式、单区、卧式电除尘器。

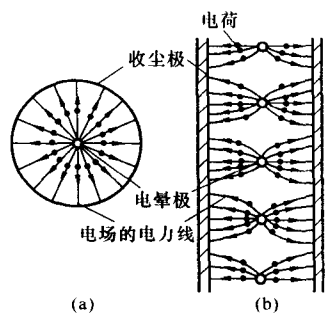


图 1-10 单区电除尘器的断面图  
(a) 管式；(b) 板式

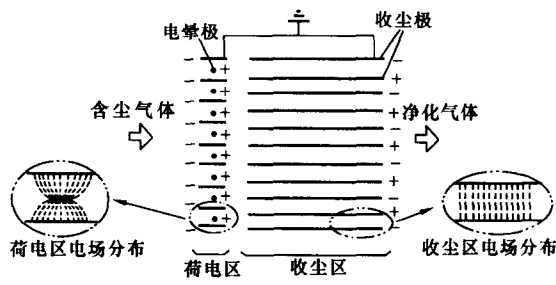


图 1-11 双区电除尘器的示意图

三、电除尘器的特点

1. 电除尘器的优点

- (1) 除尘效率高。电除尘器可以通过加长电场长度、增大电场截面积、提高供电质量和对烟气进行调质等手段来提高除尘效率，以满足任何所要求的除尘效率。对于常规电除尘器，在正常运行时其除尘效率大于 99% 是极为普遍的。对于粒径小于  $0.1\mu\text{m}$  的微细粉尘，电除尘器仍有较高的除尘效率。
- (2) 设备阻力小，总的能耗低。电除尘器的总能耗是由设备阻力损失、供电装置、加热装置、振打和卸灰电动机等能耗组成的。电除尘器的阻力损失一般为  $150 \sim 300\text{Pa}$ ，约为袋式除尘器的  $1/5$ ，在总能耗中占的份额较低。一般处理  $1000\text{m}^3/\text{h}$  烟气量约需消耗电能  $0.2 \sim 0.8\text{kW} \cdot \text{h}$ 。
- (3) 处理烟气量大。电除尘器由于结构上易于模块化，因此可以实现装置大型化。目前单台电除尘器最大电场截面积达到了四百多平方米，处理烟气量达到了  $200 \text{万 m}^3/\text{h}$ 。
- (4) 耐高温，能捕集腐蚀性大、黏附性强的气溶胶颗粒。一般常规电除尘器用于处理  $350^\circ\text{C}$  及以下的烟气，如果进行特殊设计，可以处理  $350^\circ\text{C}$  以上的高温烟气。对于硫酸雾和沥青雾等腐蚀性大和黏附性强的气溶胶颗粒，采用湿式电除尘器仍能保持良好的捕集性能。