

电收尘器

(理论·设计·使用)

中国建筑工业出版社

86.652

8806702

电 收 尘 器

(理论·设计·使用)

刘后启 林 宏 编著

中国建筑工业出版社

本书的重点是介绍电收尘器的设计和计算。此外，对电收尘的基本理论，影响电收尘性能的主要因素，电收尘器的实际应用和测试技术及其技术经济评价等方面都有较详尽的论述。本书的主要特点是实用，书中不仅提供了各种设计和计算的数据，还附有设计计算的实例。

本书可供各工业部门从事电收尘技术工作的科研、设计、生产技术人员和管理干部参考，对大专院校有关专业的师生以及各级环境保护部门从事粉尘治理的有关人员也都有参考价值。

责任编辑：侯廷久

电 收 尘 器

刘后启 林 宏 编 著

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：27¹/₂ 插页：2 字数：666 千字

1987年12月第一版 1987年12月第一次印刷

印数：1—4,890册 定价：5.50元

ISBN7-112-00225-7/TU·161

统一书号：15040·5278

序 言

在许多工业生产过程中，需要制取或处理不同的气体，而另一些工矿企业中需要将工艺生产过程中所产生的废气排入大气。一般工业气体中都含有不同物质的微小固体粒子（粉尘）或液体粒子（雾）。由于生产工艺过程和回收有价值物质的需要以及环境保护的要求，有必要除去工业气体中的固体或液体粒子。例如硫酸厂中塔式法制硫酸的焙烧炉气，其中含有细微的矿尘，如不设法除去，就会使塔发生堵塞和污染成品酸。若将上述的炉气用于接触法制硫酸，除了要除去矿尘外，还要除去毒害转化器中触媒的硫酸雾、砷和硒等。炭黑生产中的气体和有色金属冶炼厂的烟气，都要进行净化以回收其中的有价值物质。钢铁厂、水泥厂和热电站等排出的烟气经烟囱排入大气前，也需要进行净化，以防止大气被污染。

众所周知，粉尘在大气污染物中占有相当大的比重，据美国统计，1968年所产生的二亿吨污染物中，粉尘就占二千三百万吨。而我国现代化建设刚刚开始，工业基础还很薄弱，工业水平还不高，但是由于粉尘造成的污染已十分严重。按国家规定：城市每平方公里每月降尘量为6~8t，但据1979年3月监测，北京市居民区达到39t，首钢工业区高达285t。有些工业城市的工业区，高达500~600t，有的甚至高达1000t以上，超过规定标准几十倍到几百倍。不论从环境保护还是从经济观点来考虑，都不允许这样大的降尘量不经净化而排入大气。因此任何一个现代化的工业窑炉，都要采用高效的收尘装置以净化排出的烟气。因为保护和改善环境，是关系到保护人民身体健康，促进经济发展和民族后代生存繁衍的大事。1979年9月我国颁布了《中华人民共和国环境保护法》，要求一切排烟装置，包括工业窑炉、机动车辆、船舶等，都要采取有效的消烟除尘技术，使其粉尘排放符合国家规定的标准。同时国家在基本建设项目环境保护管理办法中规定：防止污染和其它公害的设施必须与主体工程同时设计，同时施工，同时投产；建成投产或使用后，其污染物的排放必须遵守国家或省、市、自治区规定的排放标准。

为了防止工业窑炉排出的含尘气体污染大气，采用各种类型的收尘装置是其中有效措施之一。常用的收尘装置有旋风收尘器、袋收尘器、颗粒层收尘器、洗涤器和电收尘器等。其中电收尘器是净化含尘气体最有效的装置之一。采用电收尘器虽然一次投资较其它类型的收尘装置要高，但是电收尘器的采用还是越来越普遍，这是因为电收尘器具有下列明显的优点：

1. 收尘效率高 如果设计合理，电收尘器可以达到任何所要求的收尘效率。现在电收尘器的效率大于99%的极为普遍，即使是处理微细粉尘，也能达到很高的收尘效率。

2. 阻力损失小 气体通过电收尘器的压降一般不大于200Pa，这是因为在电收尘器中，使气体与其中悬浮粒子分离的力——库伦力是作用于悬浮粒子本身，而不是象其它类型收尘装置的分离力是作用于全部气体。因而风机的耗电量少，按每小时处理1000m³烟气量计算，电能消耗约为0.2~0.8kW·h。

3.能处理高温烟气 一般常规电收尘器用于处理 350°C 以下的烟气, 如果进行特殊设计, 可以处理 500°C 以上的烟气。

4.能处理大的烟气量 现在电收尘器每小时处理 $10^5\sim 10^6$ 标 m^3 的烟气量已是很平常的事。随着工业的发展, 工艺设备日益大型化, 烟气量也相应增加, 如 $6\times 10^5\text{kW}$ 发电机组, 烟气量为 $3\times 10^6\text{m}^3/\text{h}$, 如采用袋式除尘器, 需要 3×10^4 多个袋(按袋直径 120mm , 高 2.0m , 过滤风速 $2.5\text{m}/\text{min}$ 计算), 这在实际设计和使用中是不可想象的。

5.能捕集腐蚀性很强的物质 如采用其它类型的收尘装置捕集硫酸和沥青雾几乎是不可能的, 而采用特殊结构的电收尘器, 就可以捕集腐蚀性很强的物质。

6.日常运行费用低 由于电收尘器的运动零部件少, 电耗低, 在正常情况下维修工作量较小, 可以长期连续安全运行, 所以相应日常运行费用较低。

7.对不同粒径的烟尘有分类富集作用 由于烟尘的物理化学性质与收尘效率的关系极为密切, 大颗粒而导电性较好的烟尘先被捕集, 因此能使不同粒径的烟尘, 在不同的电场中分别富集起来。这对有色冶金工业回收有价值的金属和水泥工业钾含量较高的原料制造钾肥都是极为有利的。

但是电收尘器作为防止空气污染装置决不是万能的, 除上述一次投资较高以外, 还有下列的缺点:

1.不易适应操作条件的变化 电收尘器的性能优劣与操作条件的变化密切相关。尽管电压实现自动控制有助于提高其适应性, 但是电收尘器只有当操作条件比较稳定时, 才能达到最佳的性能。

2.应用范围受粉尘比电阻的限制 由于有些粉尘的比电阻过高或过低, 采用电收尘器进行捕集比较困难。在有些情况下, 如果不采取相应的有效措施, 采用电收尘器不仅不经济, 有时甚至是不可能的。

3.不能用于捕集有害气体。

4.受含尘浓度的影响 净化粉尘浓度特高的烟气, 常常需要设置预收尘装置, 这意味着要增加压力损失, 相应地要增大电能消耗, 这就不能显示出电收尘器阻力损失小和电能消耗低的优点。

5.对制造、安装和操作水平要求较高 由于电收尘器的结构较其它类型收尘装置复杂, 所以对制造、安装和操作要求严格, 否则不能维持必需的电压。而且电收尘器是在高压下运行, 对人身安全也要相应采取特殊的预防措施。

6.钢材消耗量大 特别是薄钢板的消耗量大。据粗略统计, 三个电场(每个电场长 4m 左右)的电收尘器, 平均每平方米耗钢材 $3.5\sim 4\text{t}$, 如一台截面积为 85m^2 的三电场电收尘器的第二代产品, 其钢材消耗量为 340t 。一台外壳为混凝土的 60m^2 立式电收尘器, 其钢材消耗量也达 94t , 还不包括混凝土外壳所需的钢材量。

所以在决定选用电收尘器还是其它类型的收尘器之前, 应该进行综合比较。各种类型收尘器优缺点的比较如表0-1所示。电收尘器和其它类型收尘器的不同粒径的分级收尘效率以及处理烟气量和设备费用的比较分别如图0-1和图0-2所示。这些图表中所列数据可供设计选型时的参考。

自从1907年科特雷尔(F.G.Cottrell)将第一台电收尘器成功地用于工业生产以来, 到现在世界上已有几万台电收尘器在运行, 其处理的烟气量比其它任何类型收尘器都

要高。电收尘器总的处理能力，若按主要工业部门来分，其分配比例大致如下：

火力发电	60%
水泥工业	10%
钢铁工业	10%
造纸工业	7%
有色金属工业	7%
化学工业	6%

各种类型收尘器优缺点的比较

表 0-1

收尘器名称	捕集粒径 极限 (μm)	压力损失 (Pa)	动力费	操作 维护	优 点	缺 点	备 注
离心力收尘器 (旋风收尘器)	>10	500~1500	一般	容 易	1. 便 宜 2. 体 积 小 3. 与温度无关 4. 适合于高浓度	1. 不适合于粘性强的粉尘 2. 收尘效率低 3. 压力损失大	最适合 于预收尘
洗涤式收尘器 (文丘里洗涤器)	5~10	3000~10000	大	容 易	1. 便 宜 2. 体 积 小 3. 不受温度水分影响	1. 压力损失很大 2. 消耗水量大	需要有 废水处理 设备
过滤收尘器 (袋式收尘器)	0.1	1500~2000	大	维 修 费 用 大	1. 不受粉尘比电阻的影响 2. 收尘效率比较高	1. 不适合于处理高温烟气 2. 不适合于含水分大的粉尘 3. 压力损失大 4. 不适合于处理高浓度粉尘	动力 消耗 大
电 收 尘 器	0.01	100~200	小	容 易	1. 收尘效率很高 2. 耐 高 温 3. 压力损失很小 4. 动力消耗小	1. 设备费用高 2. 受粉尘比电阻的影响 3. 电极清扫还存在问题	

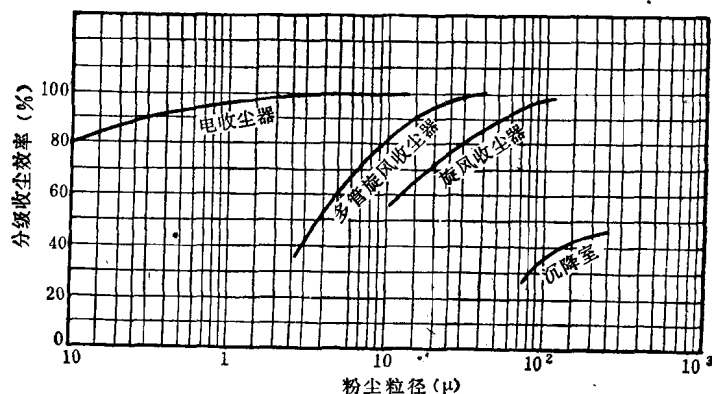


图 0-1 粉尘粒径不同和分级收尘效率的关系

随着世界各国对环境保护问题的日益关注，电收尘器会更加广泛地应用于各个工业部门，为了提高电收尘的技术水平，各国对电收尘器的理论、结构、制造、安装维护等方面进行了深入而又广泛的研究，尽管电收尘器的基本原理与1907年的第一台相比，没有实质上突破，但是电收尘器的机械结构，电极几何形状、振打装置、气流分布和高压供电装置等方面，都不断取得新的进展，现在电收尘器的性能基本能达到长期、高效率和安全运行的要求。随着科学技术的进步，电收尘技术也会有新的进展，相信电收尘技术今后会对环境保护和回收有价值物质等方面发挥更大的作用。

我国自从1973年8月第一次全国环境保护工作会议和同年11月国家计委、建委和卫生部联合颁布了《工业“三废”排放试行标准》以后，近十多年来，我国在电收尘技术的各个领域都进展很快，取得不少科研成果，也设计出多台技术先进的大规格的电收尘器。但是有关电收尘的理论研究和设计技术水平还都远远赶不上国家建设的需要。特别是有关电收尘器设计计算方面的专业书籍更不多见。本书编写的目的，就是试图在总结多年设计经

验的基础上，将电收尘的理论和设计实践经验结合起来，进一步提高设计技术水平，以便设计出更多质量更高的电收尘器，以适应我国社会主义四个现代化对环境保护日益严格要求的需要。为了使读者了解电收尘技术的全貌，书中也对电收尘技术的理论和应用技术方面以及与电收尘技术密切相关的部分也进行了系统的阐述。本书一方面可供从事电收尘器设计人员的使用，也可供从事电收尘其它工程技术人员以及大专院校教学的参考。但是由于笔者水平有限，书中一定会存在不足之处，甚至有错误，敬请广大读者批评指正。

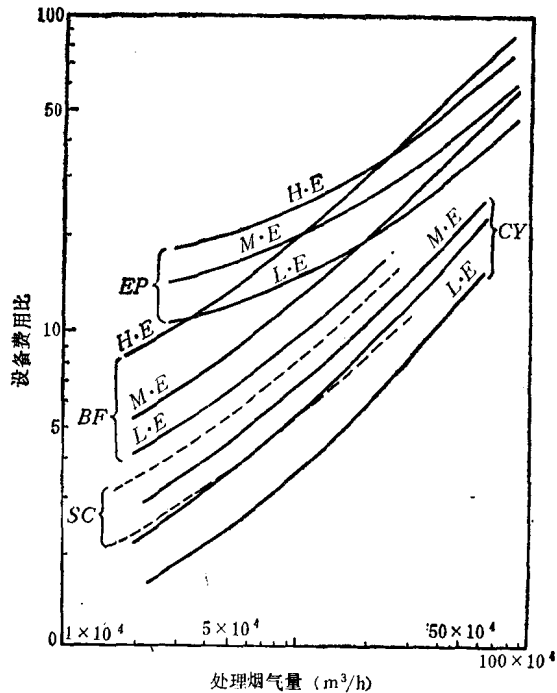


图 0-2 各类收尘装置设备费用的比较

目 录

序言

第一章 绪论 1

第一节 电收尘技术的发明及其发展

概况 1

第二节 我国电收尘技术的发展概况 4

第三节 电收尘器的基本原理和分类 6

第四节 电收尘器的结构概述 10

第二章 电收尘的理论基础 16

第一节 气体的电离 16

一、原子结构 16

二、碰撞电离 17

三、平均自由行程 18

四、离子的迁移率 20

五、气体电离和导电过程 22

六、电子雪崩的概念 24

七、电晕的形成 26

第二节 收尘空间尘粒的荷电 34

一、电场荷电 34

二、扩散荷电 40

第三节 荷电尘粒的运动和捕集 41

一、荷电尘粒所受的力及其
运动规律 42

二、荷电尘粒的捕集 50

三、电收尘的收尘效率公式 51

第三章 影响电收尘器性能的

主要因素 61

第一节 粉尘特性的影响 61

一、粉尘的粒径分布 61

二、粉尘的真密度的堆积密度 63

三、粉尘的粘附性 64

四、粉尘的比电阻 65

第二节 烟气性质的影响 77

一、烟气的温度和压力 78

二、烟气的成分 79

三、烟气的湿度 80

四、烟气的流速(电场风速) 80

五、烟气的含尘浓度 81

第三节 结构因素的影响 82

一、电极几何因素 82

二、气流分布的影响 84

第四节 操作因素的影响 88

一、伏-安特性 88

二、漏风 90

三、气流旁路 91

四、粉尘二次飞扬 93

五、电晕线肥大 96

第四章 电收尘器的总体设计 98

第一节 电收尘器主要参数的确定 98

一、电场风速 98

二、收尘极板的极间距 99

三、电晕线的线距 103

四、粉尘的驱进速度(ω 值) 104

第二节 电收尘器的总体设计与计算 109

一、电收尘器主要部件的结构型式 109

二、计算所需的收尘极面积 111

三、确定电场数 112

四、电收尘器各部尺寸的计算 112

五、供电设备的选型 124

第三节 电收尘器的工艺设计 127

一、关于高温电收尘器的问题 127

二、关于户外式、户内式的问题 127

三、关于收尘器内部构件的维修问题 127

四、关于收尘器在流程中的设置 128

五、收尘器的配套检测装置 129

第五章 电收尘器的结构设计 130

第一节 收尘极系统及振打装置 130

一、极板的设计 130

二、极板的悬吊	133	四、喷嘴的设计	239
三、极板的振打	136	五、增湿塔有关构件的设计	244
四、收尘极振打的传动装置	142	第二节 泵房及管路系统设计	247
第二节 电晕极系统及其振打装置	149	一、水泵的选型	247
一、电晕线	149	二、水箱设计	249
二、电晕线的固定	152	三、管路设计	250
三、电晕极的振打装置	155	四、储能罐设计	254
四、绝缘套管	160	五、泵房设计	256
五、保温箱及高压进线箱	162	六、泵的水量自动调节	256
第三节 气体的均布装置及其振打	165	第三节 增湿塔在工艺流程中的设置	257
一、模拟试验的方法	165	一、窑尾工艺流程	257
二、气流均布性的判定	167	二、辅助装置的设计	259
三、气体均布装置的设计	169	第七章 电收尘器的供电	263
第四节 槽形板的设计	174	第一节 供电质量与电收尘	
一、槽形板的粉尘沉积作用	174	性能的关系	263
二、槽形板装置的结构设计	175	一、捕集尘粒所需的能量	263
第五节 壳体设计	176	二、供电质量和收尘效率的关系	264
一、侧板设计	177	第二节 高压供电装置	266
二、进、出气箱的设计	181	一、高压供电装置的种类	267
三、屋顶板和屋面板设计	185	二、高压供电装置的控制方式	269
四、灰斗设计	187	三、高压整流器的整流电路	271
五、梁、柱的设计	190	四、变压器和电抗器	272
六、活动支座	192	第三节 高压硅整流装置	272
第六节 排灰装置	197	一、饱和电抗器调压的硅整流器	272
一、仓式泵	197	二、可控硅控制和调压的高压硅	
二、叶轮下料器	199	整流装置	278
三、螺旋输送机	200	三、火花跟踪自动调压的高压硅	
四、链式输送机	201	整流装置	284
五、双闸板阀	205	第四节 电收尘器供电系统的设计	293
第七节 煤磨电收尘器的设计	206	一、供电装置的选型	293
一、消除产生燃烧、爆炸的因素	206	二、接地保护	296
二、检测产生燃烧、爆炸的现象	212	三、整流室的设计	296
三、消除燃烧、爆炸的方法	216	四、供电装置的安装和维护	297
第八节 熟料冷却机电收尘器	221	第八章 烟尘和收尘器的测试	299
一、加大极间距	221	第一节 粉尘比电阻测定	299
二、采用富能控制特性的电源装置	222	一、平板电极法	299
三、喷水装置	222	二、探针法	300
第六章 烟气的调质处理	224	三、同心圆筒电极法	300
第一节 增湿塔的设计与计算	226	四、点-板法	301
一、增湿塔规格的确定	226	五、梳式比电阻测定仪	302
二、增湿塔喷水量的计算	229	六、针尖—平板现场测定仪	305
三、增湿塔塔体的设计计算	234	七、旋风器法	305

第二节 粉尘粒度分布的测定	307
一、显微镜法	307
二、重力沉降法	309
三、巴柯离心仪法	314
第三节 电场内的气流均匀性测定	317
一、测点布置	317
二、测量仪器及测试方法	317
第四节 震动加速度的测定	318
一、测试方法、仪器、测点	318
二、加速度计的测振原理	319
三、压电晶体加速度计	323
四、电荷放大器	324
五、加速度计的特性	325
六、加速度计的安装	326
七、电收尘器的振打加速度测定	327
第五节 电收尘器其它性能的测定	329
一、电极的伏安特性	329
二、电收尘器的漏风率测定	329
三、收尘器主要部件的机械性能试验	330
第九章 电收尘器在工业上的应用	332
第一节 电收尘器在水泥工业中的应用	332
一、回转窑和机械立窑	334
二、烘干机	341
三、烘干兼粉碎磨机	343
四、熟料篦式冷却机	344
五、水泥和干法原料磨机	346
六、煤磨	349
第二节 电收尘器在其它主要工 业上的应用	351
一、电力工业	351
二、钢铁工业	355
三、造纸工业	358
四、化学工业	358
五、城市垃圾焚烧炉	358
第十章 电收尘器技术性能的评价	361
第一节 评价因素	361
一、影响性能和可靠性的因素	362
二、评价基准	363
三、进行评价工作的顺序	366
第二节 根据有效驱进速度对性 能进行评价	367

一、不同因素对驱进速度的影响	367
二、根据驱进速度评价性能的方法	368
第三节 电收尘器投资技术评价	370
一、基本设计条件的评价	370
二、性能和保证	371
第四节 旧有电收尘器的技术评价	372
一、认识存在问题和评价资料 的准备	372
二、评价分析	373
三、评价结果及其改造方案	374

第十一章 电收尘器的安装、调试、

操作及维护	380
第一节 电收尘器的安装	380
一、主要部件的矫正	380
二、安装顺序及要求	382
三、机械结构的安装	383
四、高压硅整流器和其它附属 设备的安装	389
第二节 电收尘器的调试	395
第三节 电收尘器的操作及故障处理	397
一、电收尘器操作的一般要求	397
二、电收尘器常见故障及处理方法	399
三、一氧化碳测定仪可能发生的故障 和消除方法	401
第四节 电收尘器的维护	401
一、高压硅整流器的维护	401
二、收尘器本体的维护	402
三、CO测定仪的维护	403
四、CO ₂ 灭火装置的维护	404

附 录

附录一 国家建筑材料工业局部标准(水泥工 业用 ^{CDWY} _{CDWH} 系列电除尘器型式和基 本参数)	405
附录二 国家建筑材料工业局部标准(水泥工 业用 ^{CDWY} _{CDWH} 系列电除尘器技术 条件	408
附录三 主要工业窑炉粉尘的表 观比电阻	412
附录四 偏心受压构件的稳定系数	424

第一章 绪 论

电收尘器是利用电力进行收尘的装置,国外多称静电收尘器。而实际上“静电收尘”这个名词并不确切,因为粉尘粒子荷电后和气体离子在电场力作用下,要产生微小的电流,并不真正是静电。但是习惯上将所有高电压低电流的现象也包括在静电范围之内,所以把这种收尘装置也称为静电收尘器。而我国习惯上叫电收尘器或电除尘器,本书沿用我国水泥工业的习惯叫电收尘器。

电收尘器的机理,就其特性而言,是属于物理学范畴,更确切地说,是属于电物理学。但是从电收尘的实践经验来看,还要涉及到许多其它学科,其中包括化学、气溶胶工艺学、化学工程学、电气工程学、电子学、空气动力学、机械工程学和公用工程学等。尽管电收尘的本质主要是属于物理性质的方法,但是多数有关电收尘的早期研究工作和实际的发展,大部分是由化学家和冶金学家开始研究和实现的。首先介绍一下国内外电收尘器的发展概况,对全面掌握电收尘技术是很有意义的。

第一节 电收尘技术的发明及其发展概况

经过摩擦过的琥珀能吸引微细纤维的现象,早在公元前六世纪的时候就已被古希腊的哲学家撒勒斯(Thales)所发现。关于静电力的平方反比定律和电晕放电的早期研究与库伦(Coulomb)和本捷明弗兰克林(Benjamin Franklin)的名字紧密相联。而利用静电力除去荷电尘粒的设想,大约是二百年前的事,但是由于当时工业技术十分落后,不可能提供稳定可靠的高压电源,所以也就不可能使电收尘成为现实。

静电收尘的第一个演示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满带烟雾的玻璃瓶,通过放在瓶中的金属线产生放电现象而使烟气被净化。类似于霍非尔德的演示在19世纪末叶由其他研究人员所完成。大约在霍非尔德的演示进行26年之后,美国人吉塔尔德(C. F. Guitard)在直径为18英寸,长度为9英寸的玻璃瓶内净化香烟烟雾的演示是其中的一例。他是用摩擦起电器来产生高压静电的。当然,想靠摩擦起电器供给稳定的高压是不可能的,所以他的演示,也只能是昙花一现,转眼即逝。

到二十世纪初叶,将静电收尘的原理成功地用于工业气体净化上,要归功于英国物理学家洛奇爵士(Sir Oliver Lodge)、美国加利福尼亚大学化学教授科特雷尔(F. G. Cottrell)和法国的莫勒(K. Moeller)等人。从1880年以来,洛奇就一直在进行将电收尘技术应用于工业烟气净化的试验研究。1883年,他在英国伦敦《自然》杂志上发表文章,指出这一试验成功的可能性。随后他与沃克(A. O. Walker)和哈钦斯(W. M. Hulchings)二人合作,在北威尔士的一家炼铅厂进行试验。试验装置是由设置在熔铅炉烟道中的一组金属尖刺组成,用两个直径为5英尺(1524mm)的维姆赫斯特

(Wimhurst) 静电感应起电机供给高压电, 每台起电机由一台一马力(746W)的蒸汽机带动。但是这套装置试验未成功, 其主要原因有二: 一是静电感应起电机产生的高压电运行很不稳定可靠, 二是氧化铅烟尘极细, 比电阻又很高, 所以非常难捕集。如果这套装置用于捕集导电良好的粉尘或烟雾, 像科特雷尔的第一次试验研究一样, 用于捕集硫酸雾, 可能静电收尘技术会提前25年试验成功。

随后由于交流电和电机的发展, 给变压器和同步机械整流器组合产生高压直流电创造了条件。因此, 洛奇在1903年获得了静电收尘技术的专利权。与此同时科特雷尔也进行了一系列试验, 终于在1907年将电收尘技术用于净化工业气体获得成功。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, 这种整流器一直使用到本世纪的四十年代。科特雷尔将电收尘技术用于捕集硫酸雾获得成功后, 电收尘器才正式成为一项工业设备。不久电收尘技术在美国推广到其他工业部门。1910年首先在冶炼铜、铅和锌时回收烟气中的金属氧化物。1912年水泥厂也采用电收尘器, 而且这台电收尘器是第一次采用细导线作放电电极, 操作电压可达45kV, 现代化电收尘器的许多特点在这台电收尘器上也都能找到。

随着世界科学技术的发展和工业水平的提高, 西欧各工业发达的国家, 在本世纪初叶, 相继开展电收尘的研究工作。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, 出现了大气污染的社会问题。自五十年代伦敦烟雾使四千余人在两周内丧命的事件发生后, 大气污染问题日益受到社会各阶层的关注。在这种背景下, 电收尘器以其独特的优越性而兴盛起来。本世纪三十年代, 一些国家的有色冶金工厂为了利用烟气中大量存在的 SO_2 来制硫酸, 便采用效率较高的电收尘器捕集烟气中的固体金属氧化物粒子。与此同时, 水泥工业也开始采用电收尘器净化回转窑的烟气。到五十年代, 黑色冶金部门才开始采用这一设备。1954年电收尘器第一次在净化高炉烟气方面获得成功, 1956年电收尘器又用于净化吹氧转炉的烟气, 同时在烧结、平炉、电炉、石灰窑、轧机等设备也都先后采用了电收尘器。五十年代可以说是电收尘器被广泛推广使用的年代。除了冶金和建材工业部门采用外, 迅速扩展到火力发电、化肥、造纸、石油、碳黑和合成纤维等工业部门。到六十年代, 电收尘器已遍及各个工业部门。这是由于从六十年代起不少工业发达的资本主义国家制订了有关环境保护法规, 各企业不得不采用高效的收尘装置来净化烟气, 因而世界各国每年投入运行的电收尘器台数猛增。据不完全统计, 仅在1965到1967三年内, 仅欧洲各国新投入运行的电收尘器总数就达2571台, 每年平均在800台以上。日本1971年电收尘器的销售额为251亿日元, 1975年增至351亿日元, 增加1.4倍。总台数由1971年的400台增至1975年的761台, 增加1.9倍。生产厂家也由22个增至27个。美国1966年电收尘器的总销售额为4000万美元, 1974年增至3.3亿美元。1950年处理总烟气量为 $2.3 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{h}$, 1970年增至 $12 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{h}$ 。此外, 收尘效率也有较明显提高。美国早期的电收尘器效率一般为90%左右, 而1975年平均为99%, 最高可达99.8%。联邦德国1964年~1968年仅有29%的电收尘器设计效率为99%以上, 1968年约80%的电收尘器的设计效率超过99%。以上情况表明, 近年来国外电收尘器的发展是很迅速的, 已经成为防止粉尘污染的一种主要手段。可以预计随着环境保护的要求日益迫切, 电收尘器的发展将更加迅速, 应用范围也将更加广泛。

随着电收尘器的使用领域不断扩大, 电收尘器的结构、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。四十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,和直的细圆线相比,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。从四十年代到六十年代,为了防止已被捕集的粉尘产生二次飞扬,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。

就电收尘器的单机处理能力而论,发展也是很快的。在二十世纪初叶电收尘器的处理能力是很小的,每小时只能处理数千立方米烟气。其原因不是由于电收尘器本身的问题,而是受当时电源装置的功率和风机能力的限制。到四十年代,电收尘器的处理能力就突破了每小时 $1 \times 10^5 \text{m}^3$ 的大关。1954年,世界上最大的电收尘器投入运行,其处理风量为每小时 $5.5 \times 10^5 \text{m}^3$ 。到六十年代,由于大型火力发电站烟气净化的需要,电收尘器单机每小时处理能力已突破 $1 \times 10^6 \text{m}^3$ 大关,提高了一个数量级。

随着处理能力的大幅度增加,电收尘器的结构尺寸也越来越大。以板式收尘极为例,五十年代认为极板长度不能超过8m。但到1960年,极板长度就超过了10m。十年后又出现了20m长的收尘极板。七十年代以后的大型电收尘器,外貌像一座高层的钢铁大厦,其中某些构件的单重达数十吨。

电收尘技术的发展与高压供电及其控制装置的演变密切相关。电收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,体积更加缩小。在整流方面,早期的电收尘器是采用机械同步整流方法,在五十年代几乎这是唯一的方法。五十年代以后,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。在五十年末期硅整流器的出现,很快就全部取代了硒整流器。在控制方面,随着电收尘技术的发展,控制方法也日新月异。早期的电收尘器是靠人工控制电压和电流。最早就是采用自耦变压器或感应调压器来调节输入电压的。虽然在二十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。从五十年代起,饱和电抗器就开始代替调压变压器,为电收尘器的自动控制奠定了基础。采用饱和电抗器控制还存在缺陷,即电效率低,所以到六十年代广泛采用可控硅控制。由于可控硅的应用,使电收尘器的电源获得了新的控制特性,即快速降压和升压。这种特性使电收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,从而能保证最高的收尘效率。

由于电收尘器本体日益向大型化方面发展,高压供电机组的单机容量也要求相应增大。五十年代初约为20kVA,到七十年代最大容量已达270kVA,机组输出电流最大可达3500mA。电收尘器的本体和电源装置到现在已经发展到比较完善的阶段,也积累了丰富的经验,各国有关电收尘器申请专利数量的确切数字难以统计。但是电收尘器理论的进展还远远落后于实际应用技术的需要,许多问题还没有得到科学的解释。在设计方面也主要

是靠经验,今后要使电收尘技术有所新的突破,必须加强基础理论的研究工作,以下简略回顾一下电收尘理论的进展概况也会是有益的。

从1911年起,美国人斯特朗(W. W. Strong)开始研究电收尘的理论,他对诸如尘粒荷电、电场形态、收尘效率等方面的问题作了大量的分析,在今天看来,他的不少分析直到今天还是正确的,为电收尘的理论奠定了初步基础。到1922年多依奇(Deutch)假设在没有紊流的条件下推导出收尘效率的理论公式。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,成为目前收尘理论的基础。多依奇公式是在安德森(Anderson)关于电收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收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1951年怀特导出了更加精确的扩散荷电方程式。

1948年怀特和1961年波德尼尔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(Frandk),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)提出了包括影响电收尘器性能的理论 and 经验在内的数学模型,1975年克奇(Gooch)等人对这一模型作了改进。

从上所述,世界各国从事电收尘技术的学者,在电收尘理论方面的研究已取得很大的进展,但是与实际应用还有一段较大的距离,要缩小这一距离,只有靠各国从事电收尘技术的人员共同努力。相信随着科学技术的进步,以及试验和测试手段的日益现代化,在电收尘的理论研究方面取得某些新的突破是完全可能的。

第二节 我国电收尘技术的发展概况

我国从事电收尘技术的研究起步较晚,电收尘器在我国得到应有的重视和比较广泛地采用,也只是近十多年的事。1949年以前,由于我国工业落后,所以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收尘器,而且性能很差,其结构也非常陈旧。如本溪水泥厂回转窑电收尘器的收尘极板是采用混凝土板是其中一例。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,所以对电收尘技术的发展没有引起重视。有的企业虽然新增设了电收尘器,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 12.6m^2 卧式四电场电收尘器,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,有色冶金、水泥、化工等工业部门相继也采用了一些电收尘器。1965年以前所使用的电收尘器,一部分是从国外引进的,一部分是按引进设备图纸仿造的。大多数有色冶金、化工企业所采用的是套用苏联棒棒式电极的电收尘器,黑色冶金高炉采用管式湿式电收尘器。水泥行业大多采用民主德国的立式电收尘器,少数采用鱼鳞状收尘极的卧式电收尘器。电力系统仅保定热电厂、吉林热电厂分别从民主德国和苏联引

进的几台电收尘器。解放后水泥行业第一台自行设计和制造的 60m^2 立式电收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 $20\sim 60\text{m}^2$ 立式电收尘器的系列, 有色冶金工业也设计出多种棒状式电收尘器, 而且技术水平较之建国初期有较大提高。但是由于我国建设资金有限, 而电收尘器的一次投资又较大, 所以限制了电收尘器在我国的发展, 直到1960年, 我国各个工业部门装设电收尘器的总台数还不超过60台。

我国有计划有组织地开展电收尘技术的科研工作, 是从1965年开始的。当时由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, 在包头着手进行电收尘的试验研究工作。试验设备是一台 0.4m^2 的小型电收尘器。通过试验, 除掌握冶金生产系统部分粉尘捕集的资料外, 同时对电收尘器的结构型式也进行了对比试验。此后北京有色设计院, 原北京水泥设计院等单位, 设计了新型结构的卧式电收尘器, 代替了原有的棒状式和立式电收尘器。为了总结经验, 统一结构, 便于制造, 降低成本, 于1972年由第一机械工业部、冶金工业部和原建筑材料工业部共同组成的电收尘器系列化设计小组, 在广泛调查的基础上, 作出了从 3m^2 到 60m^2 电收尘器的系列设计, 对我国广泛地采用电收尘器起到促进作用。与此同时, 由于我国电子工业的发展, 高压硅堆已经广泛地应用于工业。因此硅整流器逐步地取代了过时的机械整流器。生产硅整流器的工厂已增加到十多家。1974年由一机部和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可控硅控制两种方式, 基本上达到了火花跟踪和自动调压的要求。

到七十年代中期, 我国电收尘的试验研究工作已向纵深发展, 在常规电收尘器方面, 除对极板和板线的形式进行研究外, 还对电收尘器的气流分布、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, 这些试验对保证电收尘器的正常运行和提高电收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收尘器也进行了试验, 并取得可喜的成果。现在粉尘污染比较严重的工业部门都有从事本行业电收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, 还装备有电收尘的试验台, 为电收尘器的设计和选型提供可靠的数据。

目前全国已有十多家生产电收尘器本体专业工厂, 其中年生产能力在 2500t 以上的专业厂有七家, 装备有十多条轧制极板和极线的自动生产线, 保证了大型电收尘器加工精度的要求。现在已能制造最大有效截面积为 245m^2 , 极板高度为 12m 的电收尘器。

据不完全统计, 我国现已投入运行的电收尘器, 处理的烟气总量约为 $12.5 \times 10^8 \text{m}^3/\text{h}$, 其中按装备的台数计算, 钢铁工业占 30% , 有色冶金工业占 32% , 建材工业占 18% , 电力工业占 8% , 化学工业占 5% , 轻工业占 4% , 其它工业占 3% 。我国电收尘器所处理的烟气量历年增长情况大致如图1-1所示。

综上所述, 我国发展电收尘技术虽然起步较晚, 但近期发展还是比较快的, 随着我国

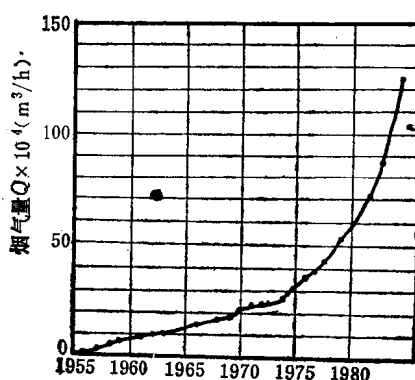


图 1-1 我国电收尘器处理烟气量的增长曲线

城市体制改革和工业生产的飞速发展，以及对环境保护要求日益严格的条件下，可以预计电收尘技术也会得到更迅速的提高和发展。

第三节 电收尘器的基本原理和分类

一、基本原理

电收尘器是在两个曲率半径相差较大的金属阳极和阴极上，通以高压直流电，维持一个足以使气体电离的静电场。气体电离后所生成的电子、阴离子和阳离子，吸附在通过电

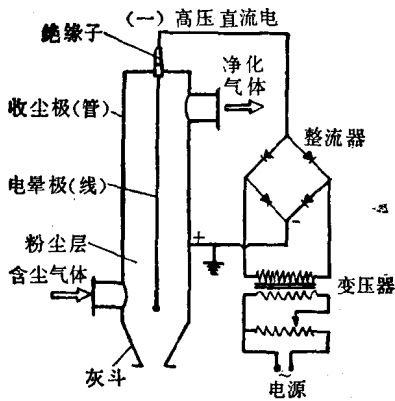


图 1-2 电收尘器基本原理示意图

场的粉尘上，而使粉尘获得电荷。荷电粉尘在电场的作用下，便向电极性相反的电极运动而沉积在电极上，以达到粉尘和气体分离的目的。如图1-2所示。图中的细金属线的一端用绝缘子悬挂在接地的金属圆筒的轴心上，并在其上施加负性高电压，当电压达到一定值时，在金属线的表面上就出现青蓝色的光点，并同时发出嘶嘶声，这种现象称为电晕放电。此时若从金属圆筒底部通入含尘气体，绝大多数粉尘粒子便会吸附运动中的负离子而荷电，在电场的作用下向圆筒运动而沉积在圆筒的内壁上。当沉积在圆筒壁上的粉尘达到一定厚度时，借助于振打机构使粉尘落入下部灰斗，净化后的气体便从圆筒上部排出。一般称圆筒为收尘极，金属线为电晕极或放电极。

由于被处理烟气的温度、压力、化学成分湿度、操作工艺条件、烟气含尘浓度、粉尘的粒度分布及其它性状的不同，电收尘器可设计成不同的类型，现将电收尘器的分类概述如下。

二、电收尘器的分类

（一）按电极清灰方式不同分为干式电收尘器、湿式电收尘器、雾状粒子捕集器和半湿式电收尘器等

1. 干式电收尘器

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收尘器。这种收尘器振打时，容易使粉尘产生二次飞扬，所以设计干式电收尘器时，应充分考虑粉尘二次飞扬问题。大、中型电收尘器多采用干式，干式电收尘器的一例如图1-3所示。

2. 湿式电收尘器

收尘极捕集的粉尘，采用水喷淋或用适当的方法在收尘极表面形成一层水膜，使沉积

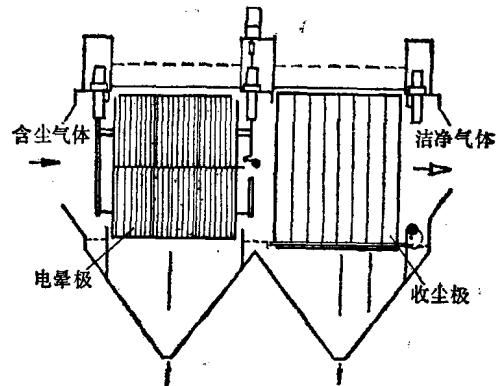


图 1-3 干式电收尘器

在收尘极上的粉尘和水一起流到收尘器的下部而排出，采用这种清灰方法的称为湿式电收尘器。如图1-4所示。这种电收尘器不存在粉尘二次飞扬的问题，但是极板清灰排出的水会造成二次污染。

3. 雾状粒子电捕集器

这种收尘器捕集像硫酸雾、焦油雾那样的液滴，捕集后呈液态流下并除去，如图1-5所示，实质上也是属于湿式电收尘器。

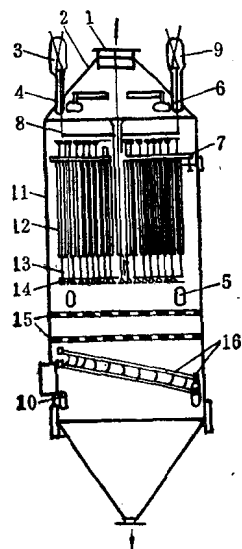


图 1-4 湿式电收尘器

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

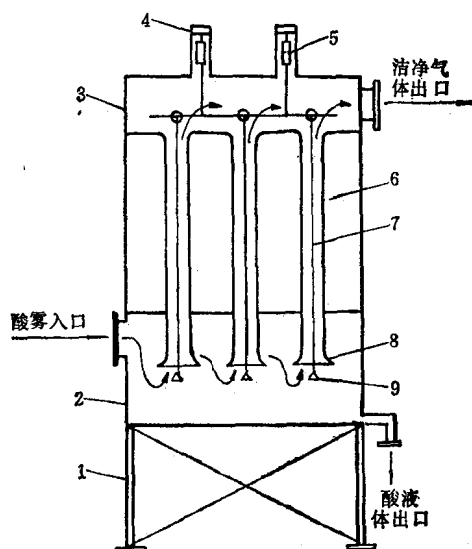


图 1-5 硫酸雾电捕集器

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

上述三种电收尘器中，前一种由于捕集下来的尘粒是干燥的，所以容易处理。但存在粉尘二次飞扬的问题，如捕集高比电阻粉尘，还存在反电晕问题。而后两种捕集的尘粒没有二次飞扬和反电晕现象，所以有很高的收尘效率，但是存在洗涤水的处理和水锈腐蚀的问题。

4. 半湿式电收尘器

吸取干式和湿式电收尘器的优点，出现了干、湿混合式电收尘器，也称半湿式电收尘器，其构造系统图如图1-6所示。高温烟气先经两个干式收尘室，再经湿式收尘室经烟囱排出。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，烘干后的粉尘进入第二干式收尘室，再经第一干式收尘室，最后经粉尘出口排出。高温烟气经高温合金气体入口进入。

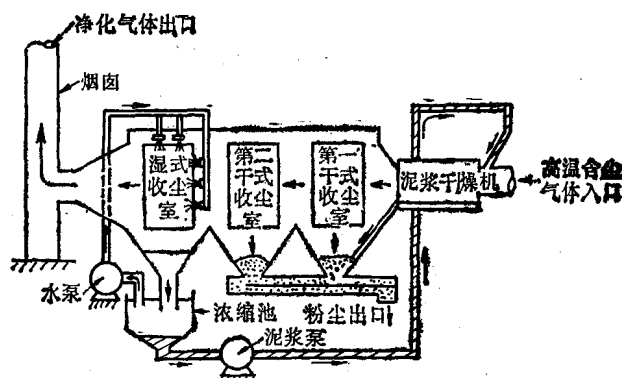


图 1-6 半湿式电收尘器系统图