

《电力技术情报》参考资料

发电厂袋式除尘译文集



山东省电力科学研究试验所
科技情报室

前 言

发电厂袋式除尘是一种新型的除尘方式，目前电力工业正密切注视着这一新发展。为了配合我省南定热电厂袋式除尘器的试验研究工作，几年来我室一直在收集这方面的资料。

受电力工业部环境保护办公室的委托，我们编译出版了这本集子，内容包括国外发电厂袋式除尘的发展概况、试验研究、设计安装、运行维护、布袋材料、经济性及分级效率等。资料来源主要选自国外近期期刊及特种文献，还有加拿大洲际工程公司最近来华座谈有关资料。

本资料仅供有关人员参考。由于我们的水平有限，文中难免存在错误与不当之处，望请读者批评指正。

本集在编译过程中得到了“袋式除尘器试验小组”的大力支持，并请锅炉室工程师徐麟同志审定，在此一并致谢。

山东省电力科学研究试验所科技情报室

一九八〇年五月

目 录

袋式除尘器在美国火电厂的应用	(1)
燃煤电站袋式除尘器	(12)
关于捕集飞灰用的玻璃纤维织品的研究	(17)
用于滤除煤飞灰的一种模型	(28)
一台全尺寸为400,000英尺 ³ /分的袋式除尘器有关的最佳 材料、设计、运行参数	(36)
在锅炉上应用袋式除尘器的设计问题	(41)
公用事业锅炉的高比率袋式除尘器	(45)
燃煤锅炉袋式除尘器的运行经验	(51)
纽克拉电站袋式除尘器的评价	(55)
克雷默电站袋式除尘器	(65)
在运行中检修袋式除尘器	(77)
预测袋式除尘器的性能	(78)
暗度监控技术预测袋式除尘器的维修	(85)
布袋损坏对袋式除尘器出口含尘量的影响	(88)
防止静电除尘器和袋式除尘器的堵塞问题	(93)
静电除尘器和袋式除尘器的经济性评定	(98)
圣勃雷电厂粉煤炉袋式除尘器的除尘效率	(103)
袋式除尘器和静电除尘器微粒排放比较	(109)
控制燃煤锅炉细灰的袋式除尘器	(120)
附：南定热电厂布袋除尘器试验装置1979年运行试验总结	(130)

袋式除尘器在美国火电厂的应用

一、引言

袋式除尘器的出现大约要追溯到100年以前, Beth (一家德国公司) 获得最初设计的专利。虽然从那时起其结构没有多大改变, 但效率却得到惊人的提高。由于它具有除尘效率高、性能好、投资少, 维护简单等优点, 在冶金、化工、水泥等工业部门中已被广泛采用。在许多工业部门成功应用是有资料可查的。但是能否应用到火力发电厂呢? 回答是肯定的。

二、在电力工业上的可用性

随着火力发电厂锅炉容量的增大、高灰分低硫煤使用量的增加和防止空气污染要求日趋严格, 对锅炉烟气除尘效率的要求也越来越高。在大多数电厂中, 除尘器的效率应不低于99%。美国火电厂的电气除尘效率, 在1953年~1973年期间, 由90%提高到99.5%同时电气除尘器的价格提高了2~3倍。现在在美国, 每千千瓦装机容量的电气除尘器造价为25~47美元。

电气除尘器的效率虽然提高了, 但是电厂飞灰的排放量还是相当大的。例如, 1974年美国火电厂的飞灰排放量为590万吨, 而在1968年, 大气飞灰污染造成了大约15亿美元的经济损失, 当时全年飞灰排放量为550万吨。因此, 减少火电厂的烟气飞灰排放量仍然是一项迫切的任务。

从60年代初期, 美国就开始了用袋式除尘器来进行火电厂烟气除尘的研究工作, 现在已有一些电厂采用这种形式的除尘器。与电气除尘器(平均效率99.5%)相比, 袋式除尘器具有更高的效率(99.99%)。表1示出几种主要除尘设备的性能数据比较。电气除尘器在不花费高代价的情况下, 对燃烧低硫煤所产生的高电阻飞灰不能进行有效地除尘, 而袋式除尘

表1 几种主要除尘设备的性能数据比较

设 备	除尘效率 %	压降英寸水柱	烟气速度 1000英尺/分	安装费用 美元/英尺 ³ ·分
旋风子除尘器	85~95	3.5~5.0	—	$0.40 \times 1.20 \times 10^3$
袋式除尘器				
振打式	99	2.5	0.002~0.006	$0.85 \sim 1.40 \times 10^3$
反吹—脉冲式	99+	3.5	0.018~0.028	$1.15 \sim 1.70 \times 10^3$
电气除尘器				
单电场	90	0.5	0.2~0.5	$0.75 \sim 2.50 \times 10^3$
多电场	90+	0.9	0.2~0.5	$1.00 \sim 3.50 \times 10^3$
文丘里湿式除尘器				
低能	95+	5~15	6 ⁽¹⁾ ; 0.6 ⁽²⁾	$0.85 \sim 1.70 \times 10^3$
中能	98+	15~20	9 ⁽¹⁾ ; 0.6 ⁽²⁾	$1.15 \sim 2.30 \times 10^3$
高能	99+	30~32	12 ⁽¹⁾ ; 0.6 ⁽²⁾	$1.35 \sim 2.70 \times 10^3$

注: (1) 在喉口 (2) 通过旋风分离器

器在这种情况下仍能保持高除尘效率，它对煤种特性则不象电气除尘器那样敏感。

袋式除尘器的造价比电气除尘器低得多。当两种除尘器的效率都是99.5%，处理烟气量为 120×10^3 米³/时时，袋式除尘器的造价为14万美元，而电气除尘器的造价则为27.9万美元。两者的运行费用相差无几。图1表示出几种主要除尘设备的安装费用和年运行费用比较。静电除尘器的费用当其效率接近99.9%时急剧地增长，一般都超过袋式除尘器，用袋式除尘器拥有99.9%这种效率则是一种固有的特性。

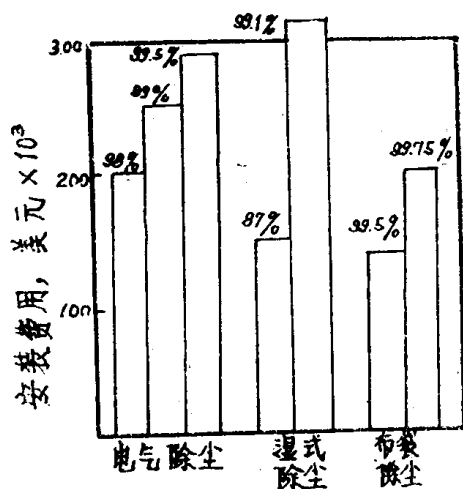


图1 (A) 安装费用比较

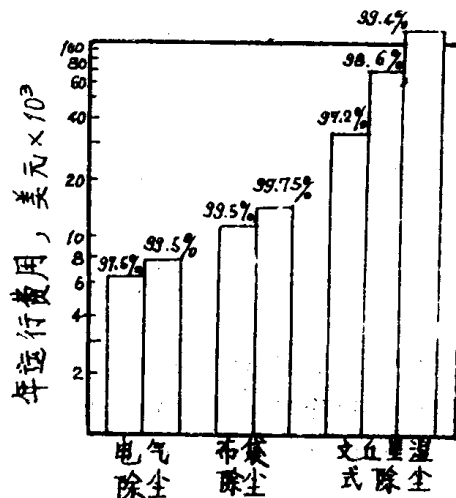


图1 (B) 年运行费用比较

通常评定除尘器特性是以重量表示除尘效率的。但是这种表示法不足以确切地说明除尘器的特性，因为在排放物中的超细和细的灰粒当收集时其重量是很小的，而正是这些超细和细灰的除去成为空气污染越来越被人们所关心的一件事。目前细灰的排放危害着公众的健康，已经证实细灰引起中毒或其他不良生理反应可能性的增加。而袋式除尘器在清除超细灰

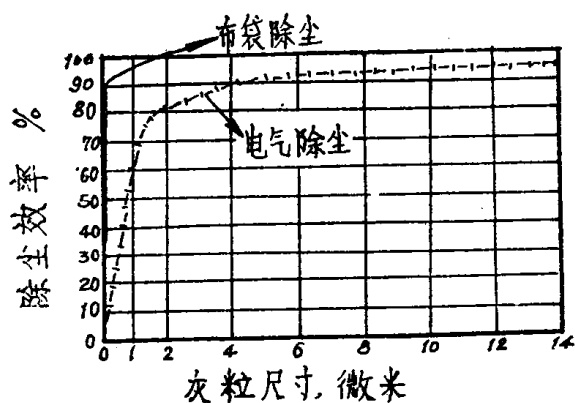


图2 当除尘效率为99.9%时，电气除尘器和袋式除尘器在除去灰粒大小的效率比较

粒方面具有优良的性能。静电除尘器有一个工业设计的99.5%的除尘效率，但它只能除去大约20%的0.5微米的灰粒，而袋式除尘器则可除去约95%的0.2微米的灰粒。图2

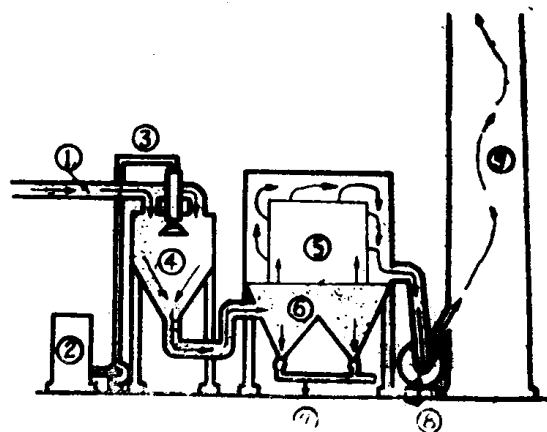


图 3

- ①来自锅炉的烟气 ②脱硫溶液箱 ③脱硫溶液 ④雾化干燥器 ⑤袋式除尘器 ⑥含SO₂的粒子和飞灰 ⑦干燥尘粒处理 ⑧引风机 ⑨烟囱

表示出当除尘效率为99.9%时,电气除尘器和袋式除尘器在除去灰粒大小的效率比较。这种特性的比较将随着灰特性的变化而变化绝对百分值,但是对每种除尘器特性的相对值基本上保持不变。

空气污染控制技术必须要满足灰粒和 SO_2 越来越严格的排放规定,而袋式除尘器这一控制设备在这一方面是最有发展前途的。美国环境技术公司和丹麦哥本哈根的一家公司正在合作发展一种同时从烟气中消除二氧化硫和飞灰的袋式除尘器。该除尘器的工艺流程(图3)是,使锅炉排出的烟气先进入一个“雾化干燥器”,同时喷入石灰或以钠为基础的溶液,以吸收烟气中的二氧化硫。喷进去的溶液在干燥器中蒸发,形成固态粒子。然后烟气进入袋式除尘器、同时除去其中含二氧化硫的粒子和飞灰。

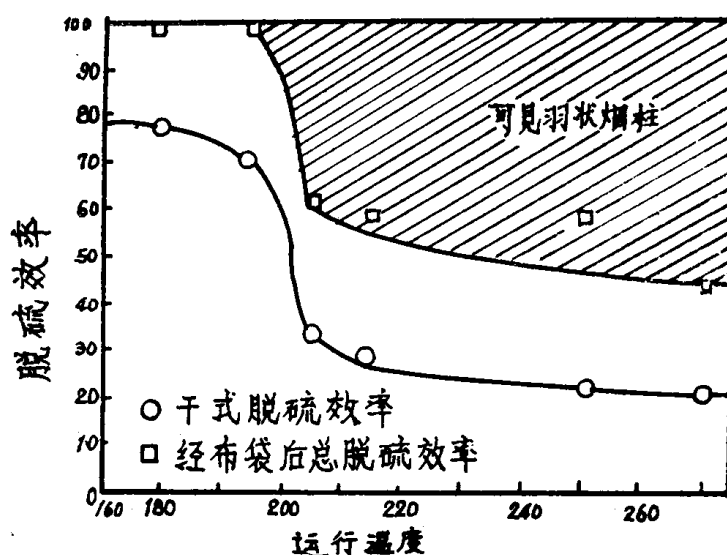


图 4

图4则表示出袋式除尘器在 SO_2 脱除效率和袋式滤器运行温度之间试验的关系。

此外,如果在水源不足的电厂,袋式除尘器比湿式除尘方式的优越性就更为突出。

三、在美国火电厂的应用及其展望

随着粉尘排放的控制越来越严格,袋式除尘器由于有如前所述的一系列优点,在美国电力工业正引起越来越广泛的兴趣,并且认为在今后将具有广泛采用的前景。美国环境保护局的一位发言人宣称,袋式除尘器将被推广到全国。在未来的4~5年内袋式除尘器可从传统使用电气除尘器的电力工业争夺30%的市场。根据美国电厂到1984年燃用化石燃料发电能力(表2)预计(引自1977年1月号《Power》)。

1. 现有燃煤机组的30%到1980年要改装袋式除尘器。
2. 计划安装的新燃煤机组的5%到1980年将安装袋式除尘器。
3. 计划安装的新燃煤机组的75%在1980年后将安装袋式除尘器。
4. 现有燃油/气机组的10%到1980年将改装袋式除尘器。
5. 计划安装的新的燃油/气机组的10%要装袋式除尘器。

美国现有30多台袋式除尘器在火电厂中运行,到1981年还将有21台投入运行。电力工业已经安装或定货了的有586.8万千瓦。据报导国外电力工业安装袋式除尘器的情况见表3。除了在宾夕法尼亚电力与照明公司所属袋式除尘器安在燃无烟煤的电站以外,其他袋式除尘器大都是密西西比河流域的电站订的货。但是袋式除尘器已经并将继续渗入美国东部燃煤电厂的烟气除尘设备市场。俄亥俄州爱迪生电气公司最近用6百万美元订购袋式除尘器,改装该公司Sammis电站4台锅炉,该除尘处理烟气能力为300万英尺³/分,其设计效率在99%

以上。1978年3月美国田纳西流域管理局所属肖尼 (Shawnee) 发电厂的10台17.5万千瓦机组决定改装袋式除尘器。已订购价值5500万美元的袋式除尘器, 包括35,000个长10.6米的人造纤维织成的布袋。这是目前电力工业采用袋式除尘器的最大订货。据称决定肖尼电站改装袋式除尘器的关键问题是, 污染控制标准越来越严格, 以及将来燃用的煤种不确定。该电厂原设计燃用当地高硫煤。十年前改装成除尘效率为98%的静电除尘器以满足联邦的排放标准。现在州的标准要求进一步降低灰粒和SO₂的排放水平。为此该厂改燃西部低硫煤, 由于这种煤的飞灰含硫少, 导电率低, 使原有静电除尘器的效率大大降低。改装袋式除尘器后将能适应煤种的变化和排放标准更严格的要求。安装袋式除尘器后预期每天除尘1,600吨, 该改造工程计划1981年9月完成。这项工程的完成对袋式除尘器工业将是一个重大突破, 对电力工业特别是大型火电厂采用袋式除尘器必将提供重要的技术资料。

表2 美国到1984年燃用化石燃料发电能力估算 单位 千千瓦

	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984
煤	196	209	223	241	257	270	282	294	301
油/气	169	175	180	186	191	196	202	207	212
合 计	365	384	403	427	448	466	484	501	513

四、宾夕法尼亚电力与照明公司的袋式除尘器

美国宾夕法尼亚电力及照明公司所属圣勃雷电厂1973年初在1、2号机组 (总容量17.6万千瓦, 共4台锅炉) 上投运了4台袋式除尘器, 这是美国火电厂煤粉炉上第一次正式采用袋式除尘器。1975年该公司霍尔图特电厂17号机组 (7.3万千瓦) 又投用了一台50%容量的袋式除尘器代替原来的电气—机械除尘器。

这两个厂采用袋式除尘器的原因是电厂的主要燃料是低硫无烟煤 (硫分0.7~0.8%), 飞灰的电阻率较高, 因此已有的电气除尘器的除尘效率低 (曾作过多次改进, 但效果很小), 另一方面, 由于地位限制, 又不能安装高温电气除尘器的缘故。该公司1961~1962年与制造厂合作, 在圣勃雷电厂一台试验用袋式除尘器上进行了一系列试验, 试验效果良好。因此决定该厂拆除已有的电气除尘器, 在引风机后装用袋式除尘器 (原有机机械除尘器保留)。

该公司1980年末将在布鲁纳岛电站投运一台价值2200万美元的袋式除尘器, 这将是美国第一个在应用东部高硫烟煤的发电机组上安装袋式除尘器。

三个电厂袋式除尘器的参数见表4。

圣勃雷电厂的袋式除尘器到78年9月已运行了5½年, 原来的5040个布袋中已经有119个损坏, 占2.36%, 只有两个布袋是在同一个位置上损坏的。具有同样布袋的许多滤室至少已经使用了3½年。起动时布袋用飞灰进行预涂, 通过较好地控制和改进清灰来纠正湿气问题, 有时需要用手振打。

布袋材料的选择是决定袋式除尘器成败的关键。圣勃雷电厂是由涂有聚四氟乙烯塑料层的玻璃纤维织成的。最初根据其他材料的布袋运行经验, 估计使用寿命为两年, 但到现在已连续运行5½年, 仍然可继续使用。这是因为塑料层耐磨性好, 摩擦系数小, 经处理后, 玻璃纤维

表3 电力工业安装袋式除尘器情况

电 力 公 司	电 站	容量 (万千瓦)	煤	备 注
宾夕法尼亚电力与照明	圣勃雷 #1 和 #2 (4 台锅炉)	17.6	无烟煤 30%灰分 0.8%硫	1973年改装。美国燃煤机组第一台袋式除尘器
	霍尔图特 #17	7.3	无烟煤粉砂 35%灰分 0.7%硫	1975年改装。和湿式除尘器同时运行。另一个袋式除尘器将替换湿式除尘器以消除暗度问题。
	布鲁纳岛 #1	35	2.0~3.5%硫 12~18%灰	打算改装, 1980年运行
科罗拉多—犹他电气协会	纽克拉 #1、#2、#3	3.9	科罗拉多烟煤 12%灰, 0.7%硫	1973年安装。在机械化加煤炉排炉上改装。是美国燃煤的第一台袋式除尘器。
	布洛克 (两台炉)	1.2	科罗拉多烟煤	1977年12月改装投运。
克里斯浦县电力委员会 斯科迪尔, 佐治亚洲	克里斯浦	1.0	烟煤 10%灰 1.0%硫	1975年安装
内布拉斯加公用电力 管区	克雷默 (4 台炉)	12.5	怀俄明次烟煤 5—6 %灰 1 %硫	1977年 3 月改装投运
西南公用服务公司	哈林顿 #2	35.0	怀俄明次烟煤 5—6 %灰 1 %硫	安装在一台新机组上, 预计1978年运行
	哈林顿 #3	35.0	怀俄明次烟煤 5~6 %灰 1 %硫	计划1980年起动。新机组。
	阿马里洛	35.9		1978年
得克萨斯电力公司	蒙蒂塞洛 #1和 #2	57.5(每台)	褐煤8.1~21%灰 0.6%硫	1978年改装起运。
	罗伯逊城	150		1980年
科罗拉多公用服务公司	卡梅约 #1	2.2	科罗拉多烟煤 0.3~0.7%硫, 4—18%灰 4—17%水	1978年改装
	阿拉帕霍 #3	4.5	科罗拉多烟煤	1980年改装
	卡梅欧	7.5		1977年
	帕利塞德	2.2		1977年

电 力 公 司	电 站	容量 (万千瓦)	煤	备 注
科罗拉多斯普林斯城	德雷克 # 6 尼克松	8.5 20.0	15%灰 0.3%硫	1978年改装。将替换下低温电气除尘器 1980年新机组安装
联合电力协会	埃爾克河 (三台锅炉)	6.4	4.2—20%灰 0.7%硫	1978年在三台现有锅炉上改装, 两台炉为机械加煤炉
弗里蒙特城, 内布拉斯加	赖特 # 6	1.65	1.5%硫 (最大) 20%灰 (最大) 5—20%水	1978年改装
	赖特 # 7	2.2	同 上	1978年改装
罗彻斯特城, 明尼苏达	北布罗德韦	11.5	0.5—2.5%硫 5—10%灰 5—28%水	1978年改装
明尼苏达电力与照明	克莱博斯韦尔 #1和 #2 科拉塞特	6.4 (每台) 7.5		1978年 1978年
	哥伦比亚	3.85	1.5—3.6%硫 11.9—16%灰 42%水	1979年改装
堪萨斯, 堪萨斯城公用电力管理局	堪萨斯城	8.8	西部烟煤	1979年
奥特泰拉电力公司 塞拉太平洋公司	凯奥蒂	41.0	北达科他褐煤	袋式除尘器将和干式脱硫设备联合应用, 1981年启动
	瓦尔米 # 1	25.0	犹他无烟煤 0.3—1.5%硫 3—20%灰 3—32%水	1981年新机组
田纳西流域管理局	肖尼 # 1—#10	175.0	各种西部低硫煤	改装, 1981年完成, 到目前是最大的定货。
澳大利亚新南威尔士电力委员会	塔拉沃伦电站	3.9		1973年—1976年
	旺奇电站	18		1975年—1976年
丹麦	澳大利亚埃阿林电站	4×66		1980年—1983年
	安斯特德	3		1978年
	金德拜	3×6		1978年—1979年
加拿大艾伯塔电力公司	米勒纳电站	15		1979年

表4 宾夕法尼亚电力与照明公司两个电厂袋式除尘器参数

项 目	圣 勃 雷 电 厂	霍尔图特电厂	布 鲁 纳 岛
投运年月	1973年 2月一台 3月一台 4月一台	1975年 4月	1980年末
处理烟气量(实际米 ³ /时)	376,000	340,000	2,039,000
烟气温度(℃)	163	177	166
压力	正压(引风机后)	负压(引风机前)	负 压
布袋压降(毫米水柱)	40.5~99	73.8~107	203
整个系统压降(毫米水柱)	63.5~114	114~142	
进口烟气含尘量(克/米 ³)	~4.58	16.95~18.32	16.03
出口烟气含尘量(克/米 ³)	<0.039	0.039	
设计除尘效率%	99.2		
总过滤面积(米 ²)	10,720	82,000	65,800
净过滤面积(米 ²)	10,000	77,000	
净气布比(米 ³ /米 ² 分)•	0.63	0.74	0.61
过滤室数量	14	16	24
布袋			
每台除尘器布袋总数	1.26	1.920	6336
每个室布袋数	90	120	264
布袋材料	带聚四氟乙烯涂层的玻璃纤维	带聚四氟乙烯涂层的玻璃纤维	同 左
直径(毫米)	305	203	292
长度(米)	9.14	6.7	9.02
每台除尘器总尺寸(米)	长24.38×宽12.19×高18.29		
布袋清除方式	空气反吹	空气反吹和振动	空气反吹

• 通过的实际烟气流量和净布面积之比,可以认为是烟气通过布的近似速度(米/分)
 圣勃雷电厂袋式除尘器总投资(包括灰处理设备)为550万美元,折合34美元/千瓦。两个厂袋式除尘器除尘效率试验结果如下表:

项 目	圣 勃 雷 电 厂	霍 尔 图 特 电 厂	备 注
进口烟气含尘量(克/米 ³)	4.58	16.95~18.32	—
出口烟气含尘量(克/米 ³)	0.0046	0.0115~0.0161	0.046
除尘效率%	99.2	99.91~99.94	—

不会因相互之间的摩擦而减弱强度。同时,聚四氟乙烯能耐受260℃高温;玻璃纤维和聚四氟乙烯都有良好的耐腐蚀性能,即使烟气温度在露点以下也不会腐蚀。该除尘器成功的原因还有:气布比低,入口烟速低,用空气反吹法清灰,布袋上装有防瘪环,用入口套管保护布袋端部,布袋间有较大间距。每台除尘器出口有一个烟色仪,借此可以很容易发现布袋损坏或安装

缺陷。布袋有损坏迹象时应及时更换，否则故障可能扩展到相邻的布袋。经常检查烟尘和漏泄情况。在锅炉每次停炉时对布袋进行预防性检修；换布袋时要特别小心，以避免损坏布袋。

图5示出圣勃雷电厂袋式除尘器防瘪环、套管的一些情况。该公司霍尔图特电厂，布袋的损坏已成为比较严重的问题。由于没装防瘪环清灰时发生塌瘪（扁平）现象。清灰时飞灰重新进入，停用期间发生水汽问题被迫由人工振打。超过设计流量以后，布袋除尘器不能处理比设计的16万英尺³/分更多的烟气流量。

尽管出现这些问题，但是袋式除尘器总体令人满意的特性已激励着宾夕法尼亚电力与照明公司在布鲁纳（Bruner）岛的一台35万千瓦机组上安装一台新的袋式除尘器。

在布鲁纳岛电站，将用袋式除尘器取代两台静电除尘器，并将大大增加除尘效率。这项设计既包括了该公司在圣勃雷和霍尔图特电站安装并得到成功应用的袋式除尘器的特点，也具有现代化技术，主要特点有：

- 预计将有大量次数的机组起动，因此袋式除尘器装有旁路烟道。
- 为了保持最低温度高于酸露点温度，装有再热系统。
- 为了保持袋室在周末停机期间高于酸露点温度，装有袋室预热系统。
- 装有通风系统，以保证任何时候隔离袋室进行运行中维修。
- 将用电磁仪监测压差，每个灰斗装有灰位指示器，并且对袋室的入口和出口温度进行记录。



图 5

五、克雷默（Kramer）电站袋式除尘器的运行经验

美国内布拉斯加州公用电力管理局的克雷默电站在1977年3月改装成袋式除尘器（图6）该电站容量为12.5万千瓦，有4台锅炉。改装后的4台反吹气流袋式除尘器到1978年8月运行了18个月。在这一期间，*1、*2和*3除尘器运行超过9,500小时，*4运行了7,700小时。实践证明，袋式除尘器和静电除尘器一样可作为电站污染控制的设备。

原设计规定，每个袋式除尘器的排放在60°F和1个大气压情况下，小于0.04克/标准英尺³。这是根据入口含尘量从1.4到4.6谷/标准英尺³的平均数2.27谷/标准英尺³而定的（谷：英制质量单位=64.8毫克）。当一个滤室停滤清灰时，额定气布比为2:1，在一个滤室维修的特殊情况下，气布比可达到2.36:1。*1、*2和*3锅炉的最大烟气流量为122,000英尺³/分，*4锅炉为192,000英尺³/分，燃用Wgoming（Kemmerer）煤，煤的水份为21%，灰分为3%，含硫量小于0.6%，标准发热量为10,000英热单位。*1、*2和*3除尘器有10个滤室，*4有16个滤室。每个滤室高54英尺、长15英尺、宽9½英尺。每个滤室都是角锥漏斗式结构。较小的滤室悬挂着72个用聚四氟乙烯B处理过的玻璃纤维布袋，布袋长35英尺4寸，直径11½英寸（100英尺²）。布袋中心距为15½英寸，借助于张

力支撑在J型钩上。花板端部由在12英寸高的碳钢套管上的一个不锈钢底座夹来固定住。5个防瘪环以6英尺的间隔从布袋顶部到底部安装着。下部防瘪环位于底座上面3英尺的地方。3312个布袋在50磅的张力下悬挂着，由自动程序计时器控制着反吹气流清灰。反吹清灰气流来自流量达1400英尺³/分的净化烟气侧。

在送风机入口上的蒸汽暖风器预热着燃烧空气，以便在轻负荷时使袋式除尘器的入口烟气温度最低在325°F，以保持排放烟气在300°F以上。由于四周绝热和漏斗少量加热，从而避免出现酸的露点工况。对于在停机、起动期间或备用设备工况所采取的这些预防措施和使之清洁的预热系统除了减少滤袋孔堵塞以外还可减少腐蚀问题。

只有8个布袋（#4除尘器上6个）已经替换过，这是在例行检查期间通过可见排放烟气证明有泄漏时找到的。在#4除尘器上发现两个滤室的布袋松动，并且一个布袋损坏引起了相邻的布袋损坏。最近安装的暗度检测仪能够在发生损坏之前进行报警。新近的布袋损坏（在#3除尘器上）是由于在布袋上拉破了一个洞引起的，损坏发生在和底部环接合处。

维修问题涉及到吸风机、反吹气流风机。反吹气流管路上的泄漏、程序控制器、操作程序、指示灯、阀门、限制开关、套箍的泄漏和过度的压降，过度的压降是由于在起动期间采用的预涂方式不当而引起的。

在起动后进行的合格和验收试验表明，根据18次试验的平均值，效率在98.78%到99.15%。排放物在0.0063到0.0192克/标英尺³。SO₂约为1.5磅/百万英热单位，SO₃约为0.015磅/百万英热单位。这大大低于内布拉斯加州所规定的SO₂的排放为2.5磅/百万英热单位的限制。

最近由美国电力研究协会（EPRI）主持在#1和#3除尘器上进行了试验，试验后这两个除尘器已运行了6个月，最低效率为99.66%最大排放水平为0.0024克/实际英尺³。根据这些研究，清灰循环进行了改变，主要是增加了沉降期、再充气期和小停顿期，以此使效率最佳。

在大约一年的运行之后，美国电力研究协会重新评定了#3除尘器，进一步证明合适的清灰循环对提高除尘效率是有作用的。

图7是西南公用服务公司在哈林顿电站35万千瓦的2号机组安装的袋式除尘器，看起

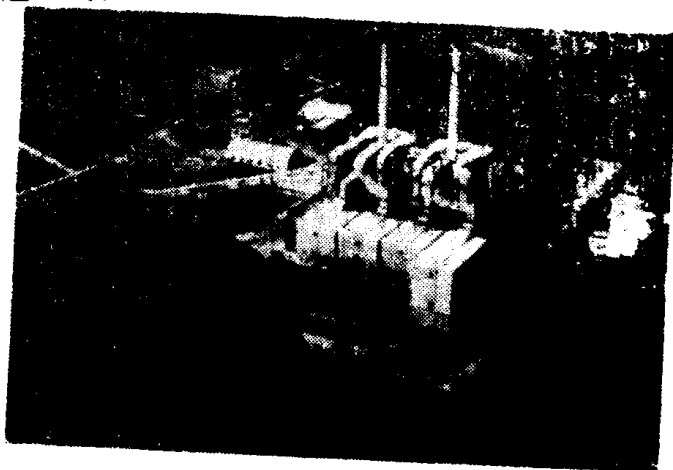


图 6

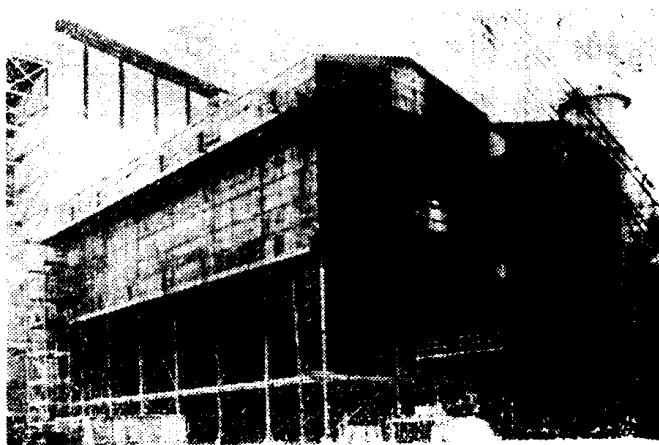


图 7

来相当大，但据该公司的工程师们称，袋式除尘器占的空间比静电除尘器要小。

六、哈林顿 (Harrington) 电站 #2 机组的袋式除尘器

1978年6月美国西南电力公司在所属的哈林顿电站的 #2 机组上安装了袋式除尘器 (图7)。#2 机组的容量为35万千瓦。锅炉采用角式燃烧。燃用西部煤的煤粉，蒸发量为2,688,000磅/小时。燃料的平均发热量为8425英热单位/磅，含硫量为0.3%，灰分为5.5%。锅炉排放的烟气通过预热器到袋式除尘器，然后从烟囱排出。

除尘器的设计是，在烟气温度为313°F时，处理烟气流量为1,650,000英尺³/分，效率最低为98.6%，排放物的损失小于0.1磅尘粒/百万英热单位。该除尘器分28个滤室，每个滤室有204个直径为11 1/2英寸，长为30 1/2英尺的玻璃纤维滤袋。玻璃纤维为66×30支纱、10 1/2盎司/码²重，滤袋表面涂有一层有机硅/石墨，其透气率为45~65。布袋必须在达到550°F的温度下运行，其气布比为3.16:1 (总的)、3.27:1 (一个滤室停滤时) 或3.40:1 (两个滤室停滤时)。

正常除尘时，打开出口挡板和进气挡板，关闭反吹气流挡板。清灰时，关闭进气挡板和出口挡板，打开口挡板。经过头一个30秒的沉降或清除期后，反吹气流挡板打开，布袋增压，使集结的灰块破碎。紧接着第二个沉降或清灰期是5到30秒的振打。在最后60秒的清除期后，在重新进入循环过滤除尘前，打出口挡板。

哈林顿电站 #2 机组用天然气起动，袋式除尘器在投入运行前，需要旁路几个星期。在这一初始阶段，所有挡板都关闭使滤室完全隔绝，以避免烟气冷凝。由于不是所有挡板都能作到不漏，因此所有滤室的门都要留孔，以便扫除任何湿的烟气。

在开始进行计划的起动程序时，系统由激励漏斗式加热器预热2到3天。机组此时并入电网，但不烧煤，当锅炉带到20万千瓦负荷时，打开所有的旁路挡板，将锅炉稳定在20万千瓦负荷下，并相应地减少天然气供应量，逐渐加大燃煤量直到50%。当空气预热器出口烟气温度达到300°F时，袋式除尘器准备起动。每次按顺序同时投入两个滤室，直到一半布袋投用为止，因为机组已带上了一半负荷。实际上，起动不是完全按顺序进行的。当布袋除尘器东西段外侧上的两个相邻滤室投入运行并且合用的旁路挡板关闭时，为了把压降从0.9降到0.7~0.8英寸水柱，需要把每一侧的一个附加滤室并入。此时，在那些先投入运行的滤室内的布袋上正在形成灰的结块而阻力仍在慢慢上升。由于入口和出口温度及通过布袋的压降合适，所以决定在关闭另一个旁路挡板之前再投运4个滤室。在第七个滤室投用之后，关闭第二个旁路挡板，剩下的滤室然后随着仅有的两个旁路挡板关闭而投运。此时，在每个布袋室上剩下的其他两个挡板慢慢关上。当然，这最后的动作指示出烟囱暗度明显降低。从第一个滤室投运到关闭最后的旁路挡板之间的整个时间是3小时50分钟。

在这一整个过程中，锅炉维持在20万千瓦的负荷，用煤稳定燃烧，而天然气只用来点火。袋室的压降大约为1.2英寸水柱，在带上20万千瓦负荷大约32小时以后，压降可达到4英寸水柱。此时起动回转清灰设备，每次清扫一个滤室，作为飞灰输送系统的引风机也同时启动。

大约在起动后三个星期，机组在只烧煤的情况下能够以满负荷 (36.2万千瓦) 运行，并且从那时起机组一直在20万千瓦以上，峰荷期间在25万千瓦情况下运行。清灰工况，虽然已

经作了整定,但仍然要继续进行调整,在不损坏布袋寿命的情况下按一定次序逐步地来控制压降。因为在初始张力40~45磅下允许布袋在抽气压缩期间在环形架上摺叠,所以布袋应保持到卖主试验数据所建议的60磅张力。

下面提出的变化,希望进一步改进整个布袋除尘器的性能:

1. 布袋张力增加到60磅。
2. 调整布袋清灰程序,以使特性最佳并延长布袋寿命。
3. 安装自动控制布袋压降的放气控制系统。
4. 在4个滤室的出口阀上增加压力测量孔,以测定出流线谱。
5. 其他织物的评价。
6. 每天对每个滤室进行检查(有4个布袋已发现有铅笔粗的洞)。
7. 为了更好地进行检查和维护,改进滤室上部冷却的通风系统。

总之,西南电力公司在哈林顿电站 *2 机组上为了控制排放物选用的袋式除尘器系统在大约90天的运行之后情况良好。由该公司执行的全部起动计划有效地进行,控制系统运转正常,系统使烟气清洁并且没有结露问题。

结 论

实践证明,袋式除尘器对煤的特性不敏感,效率高达99.98+%在耗资上与大型静电除尘器相竞争(燃用低硫煤电气除尘器尺寸要加大),需占空间与静电除尘器相仿,可望在将来使用添加剂而有同时清除SO₂的可能。其经济性要决定于织物的使用寿命。目前电力工业正密切注视着这一新发展。随着高灰分低硫煤使用量的增加和防止空气污染的要求日趋严格,预期这一新型除尘方式将在电力工业得到广泛的应用。

七、参 考 文 献

1. 美《空气污染控制协会会刊》1979年1月号
2. 美《电气照明与电力》1978年6月号、1978年1月号、1978年7月号
3. 美《动力》1975年11月号、1979年1月号、1977年12月号、1977年1月号、1979年11月号
4. 美《动力工程》1976年10月号
5. 美《燃烧》1977年10月号、1978年10月号
6. 美国动力会议论文集第28、38卷
7. 苏《国外动力》1977年5月号
8. 美《电世界》1978年4月15日
9. 美《空气污染》一书
10. 加拿大洲际工程公司来华座谈资料

朱世界编译

燃煤电站袋式除尘器

一、引言

自十九世纪末以来，织物过滤器已经用于工业。但是，只是在把合成纤维（尼龙、聚脂等）应用于袋式除尘器以后，这种形式的除尘器在工业上才得到突破。目前，这种除尘器和静电除尘器一起是最常用的除尘方式。袋式除尘器的现代设计在七十年代里对燃煤锅炉的除尘已变得越来越重要。

二、袋式除尘器的不同型式

在一个袋式除尘器中，烟气通过通常用布袋形式的织物介质，在布袋上粘结成一层灰饼。即使过滤细灰也能达到非常高的效率（高于99.95%）。灰饼的厚度（压降）可容许增长到一定的值，之后清灰将自动进行。

现在两种基本设计型式，看图1：

第一种型式：在布袋内侧集尘（从内侧到外侧过滤）

第二种型式：在布袋外侧集尘（从外侧到内侧过滤）

第一种是一种传统的所谓“低比率袋式除尘器”，这种除尘器采用编织的过滤介质，并且用通过振打、简单的反吹气流或者用两者相结合的方式清灰。经常做成一个大型装置，称之为“袋室结构”。

第二种型式的过滤器通常称之为“高比率过滤器”，其用另一种所谓“毡状织品”作为过滤介质，在同样的压力损失下，这种介质允许较高的过滤负荷，即过滤器可以是更紧凑的。由于含尘烟气是在布袋外侧的较大容积处输入，所以就可以容许较高的负荷。清灰则通常用压缩空气进行脉冲清灰。

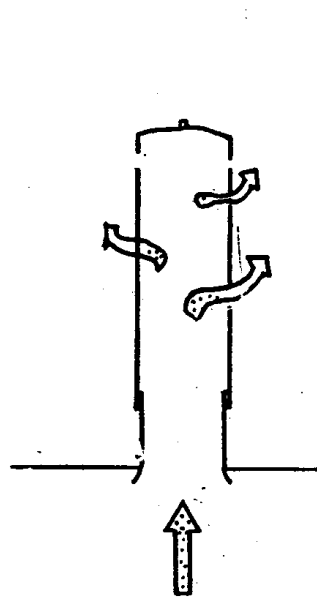


图1（左） 低比率设计——从内侧向外侧过滤

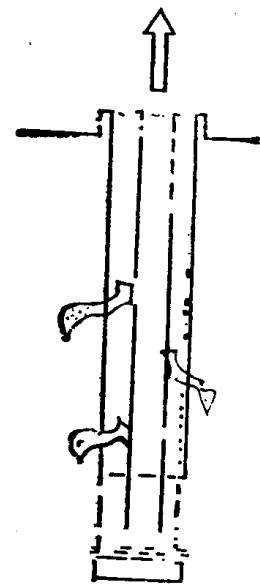


图1（右） 高比率设计——从外侧向内侧过滤

三、燃煤锅炉的袋式除尘器的安装

在燃用煤的国家中有几台袋式除尘器正在燃煤锅炉上运行着。第一台小型试验装置在六

十年代初期就已建成，但是较大规模的试验直到1965年才在美国进行，之后也曾在澳大利亚进行。从过滤的观点看，试验结果通常是肯定的。但是还存在诸如腐蚀、泄漏、磨损、布袋制造有毛病等运行问题。

第一台全尺寸的袋式除尘装置1972~1973年在澳大利亚的塔拉瓦拉（Tallawarra）和美国的圣勃雷投入运行。自1973年以来，用于不同的锅炉和燃料配合的袋式除尘装置的数量才显著地增加起来。在美国许多袋式除尘器都是在工业自备锅炉和公用事业的小型锅炉上运行。在1978—1980年期间，在美国才有几台大型袋式除尘设备开始工作。在澳大利亚，新南威廉斯州的电力委员会已购买了一些袋式除尘器用于4台66万千瓦的机组上。在加拿大、用于北美州的一个电站锅炉上的第一台高比率袋式除尘器已经开始工作。

这些装置表现出一个明显的趋势，即织物过滤器正被用来作为大型发电厂进行烟气除尘。

表 1 袋 式 除 尘 器 用 的 过 滤 材 料

型 式	连续运行温度℃	耐化学腐蚀	备 注
玻璃纤维	280	除氟化氢外，耐碱耐酸性良好。	应用温度范围由处理玻璃纤维的材料决定，处理增加了防止磨损的阻力；硅有机树脂280℃，聚四氟乙烯及大约260℃，只能买到编织的玻璃纤维过滤材料。这种材料价格低。
聚四氟乙烯R	260	极好	材料的脱水性限制了运行温度。尺寸恒定性和耐磨腐蚀阻力低。由于制造复杂密度高因而价格高。也可以得到带有薄膜的聚四氟乙烯纺织品。
芳族聚酰胺	大约190	在低温下，耐低浓度酸碱腐蚀很好。在烟气中出现水蒸汽和SO _x 的情况下，发生水解。	所要求的布袋寿命和温度变化决定了运行的温度。耐腐蚀力高。过滤介质价格高。
	大约120	耐酸性好，当在溶液中，耐碱性差。	尺寸恒定性在高于130~140℃时显著下降。价格低。

四、袋式除尘器过滤介质

在一台袋式除尘器上，最重要的组件是过滤介质。这种过滤方式可能表面过滤或者是深度过滤。前者的过滤介质是由编织的或薄膜状的材料制成的，后者是由毡状材料（通常是针状毡）制成的介质，使灰粒的收集就在各个纤维处来完成。

除去灰层的力可用机械方式或空气动力方式获得。机械力的得到是通过振打（几十倍的G的力）、气流反吹（使布袋变形，而在布袋和灰尘之间产生一种剪切力）或采用使过滤用的元件膨胀，达到相位移的压力脉冲（达到好几百倍的G的力）使灰尘脱落进行的。前两种方式通常用于纺织制的过滤材料，后一种用在毡状制的材料。

表1列出了目前可以买到的过滤飞灰的过滤材料的特性摘要。

不同材料之间目前的价格关系如下：

玻璃纤维	大约1
改性聚酰胺	大约2.5
丙烯晴	大约1.3
聚四氟乙烯	6—10

和其它材料相比，聚四氟乙烯的性能最佳，但是其价格目前还不能满足较大的工业设备要求。最常用的材料是玻璃纤维和丙烯腈。

五、影响袋式除尘器运行和效率的参数

下列参数影响袋式除尘器的灰尘收集：

——烟气特性

即温度、成份、变化过程、水及酸露点等。

——烟尘特性

即其硬度、形状、颗粒大小的分布、浓度、电荷等。

——过滤介质

即型式、材料、织物纤维的尺寸、导电性、孔隙数目及孔隙的大小、耐高温及耐化学腐蚀性能等。

——清灰方式

即清灰能量、清灰周期等。

——袋式除尘器的设计

即设计内侧过滤或外侧过滤的烟气入口，在运行期间堵塞破裂布袋或更换布袋的可能性。

灰尘的特性直接影响着过滤效果，并且也能影响布袋的寿命。不同型式的煤和锅炉产生出不同性能的灰。

由于大部分的过滤效果是在过滤介质灰层上得到的，因之灰饼的透气性是一个重要的参数。灰尘越细，透气性越低（压降越高），并且清灰条件越困难。

有些飞灰磨损可能很厉害，对高灰尘负荷的过滤器，设计者必须考虑到这一点，例如，可以增加一个特殊入口，在该入口处可以有一定的预除尘。

袋式除尘器比起静电除尘器来对烟尘特性的变化是不大敏感的。但是在某一方面，例如在接近酸露点情况下运行时，织物过滤器则较敏感。在这种情况下运行，除了可能发生腐蚀外，也可能引起由于冷凝而使过滤材料堵塞。

酸露点取决于多种因素，其中也决定于烟气中的水含量与煤的成份。实际上，酸露点的变化可以从具有高量碱的低硫煤（例如澳大利亚煤）的50℃左右变化到某些高硫煤（例如美国东部的煤）的130℃左右。