

表面过滤技术在燃煤电厂烟气处理中的应用优势

戈尔过滤产品（上海）有限公司

[摘要] 本文介绍了袋式除尘器及表面过滤技术在燃煤电厂烟气处理应用中的优势，并介绍了部份国内外应用的案例，为新建电厂烟气处理系统及老电厂烟气处理系统的改造提供了借鉴之经验。

[关键词] 袋式除尘器 深层过滤 表面过滤

一. 概论

我国是一个煤碳大国也是一个电力需求大国，目前我国的电力供应仍然以燃煤发电为主。在国民经济高速发展的同时，电力环保透支日益严重，大量燃煤烟气的排放，对大气环境造成了严重的污染。由于一直采用的电站锅炉烟尘排放标准与发达国家标准相比存在较大的差距，甚至与其它生产领域如水泥、焚烧炉、钢铁、化工等比较，粉尘排放标准也可以说是最不严格的，有些地方电厂烟囱粉尘排放只要小于 $600\text{mg}/\text{Nm}^3$ 就可以达标，因此每年排放的有害气体与颗粒物极大地破坏了我国的自然生态环境与城市环境，2006 年全国城市大气检测中有 40% 以上的城市达不到国家 2 级标准，即人类健康生活的最低要求标准，排放的有害气体和细小悬浮烟尘严重危害到人体健康，烟囱冒烟也影响了城市景观和企业形象。

随着我国社会、经济的不断发展和人民生活水平的不断提高，人们对大气环境的质量要求将越来越高，为控制燃煤电厂大气污染物排放，保护生活和生态环境，实施可持续发展的战略，我国已于 2004 年开始实施新修订的国家污染物排放标准《火电厂大气污染物排放标准》(GB13223—2003)。分三个时段规定了火电厂大气污染物排放限值，提出了到 2005 年和 2010 年火电厂应执行的二氧化硫和烟尘排放限值，其中烟尘排放标准的低限值已接近或达到发达国家的标准 ($<50\text{mg}/\text{m}^3$)。

新标准的实施对我国目前无论是新建的燃煤电厂还是旧有燃煤电厂的除尘系统都提出了更高的要求，采取最有效最可靠的除尘技术已经势在必行。下面我们将介绍在国外燃煤电厂已经应用成熟并且在国内市场逐渐成为主流的袋式除尘和表面过滤技术，希望能为各燃煤电厂提供技术参考。

二. 燃煤电厂烟气处理技术的发展趋势

2. 1 静电除尘器和袋式除尘器

由于历史原因,目前我国燃煤锅炉烟气净化系统仍然大量采用静电和水膜除尘,这对燃煤电厂的烟气净化取得了一定的效果。尤其是静电除尘器,我国从20世纪80年代初开始引进应用,并在全国范围内全面推广,对燃煤电厂的除尘取得了良好的效果,使燃煤电厂的烟尘排放量大幅下降。静电除尘器维护简单,运行可靠,收尘效率能够满足当时国家要求的排放指标。但它对煤种的要求较高,在运行中受烟气温度、烟气流速、烟气成分等因素影响,并被灰的特性、化学成分、煤的含硫量所左右。由于电场积灰问题普遍存在,一般在运行一段时间后其除尘效率会下降,致使排放超标。同时电除尘器在收尘机理上存在着很大的缺陷:

- (1) 收尘效率直接受粉尘比电阻制约,若要获得高收尘效率,能耗及初投资都将远高于袋收尘。
- (2) 对微细粒子处理能力有限。对人体健康危害最大的 $0.1\sim 2\mu\text{m}$ 的尘粒的除尘效率较差。

这些都直接制约了电除尘器的应用,尤其是开始执行新标准后,对烟尘的排放标准大大提高。使得静电除尘器很难达到GB 13223-2003的排放标准。因此,需要采用效率更高的除尘技术。

目前在欧美,澳大利亚等发达国家已经把袋式除尘技术作为必须采用的主除尘技术,袋式除尘器相比较静电除尘器有如下特点:

- a) 设备结构简单,运行维护方便;袋式除尘器的安装和换袋非常容易,不需要大型的专用工具;
- b) 在同样的烟气流量及除尘效率下,其造价及运行费用低于静电除尘器;
- c) 能承受烟气中不同特性的粉尘,过滤效率不受气体和粉尘性质的影响;
- d) 处理气体量大,可处理高浓度的含尘气体;
- e) 除尘效率高,可过滤亚微米级的粉尘颗粒。一般过滤效率可达到99%以上,其出口烟气浓度

可以满足 $50\text{ mg}/\text{m}^3$ 的标准,如配合使用表面过滤技术的覆膜滤袋,其排放可达到 $<10\text{ mg}/\text{m}^3$;

随着袋除尘器技术的进步,特别是新型滤料的涌现,使袋除尘器的应用范围将更为广泛。由于国内对袋式除尘技术的介绍和关注非常多,相应的学术论文数量也相当多,笔者在此就不做详细的技术论述。

2. 2 深层过滤和表面过滤

由于燃煤锅炉烟气温度高,烟气中所含粉尘细以及含酸性腐蚀气体等特点,可能使袋式除尘器内滤袋的实际使用效果大大受到影响,如果滤袋使用不当,袋式除尘器的运行阻力将会持续升高,

而滤袋在高阻力条件下运行就会因本身应力高、频繁和高压力的清灰而使滤袋提前失效或破损。除尘器运行阻力高将导致系统通风量减小而直接影响锅炉的蒸汽产量；滤袋破损也会影响粉尘排放的达标。所以在袋式除尘器运用中，除尘效率高是和滤料分不开的，滤料性能和质量的好坏，直接关系到袋式除尘器的好坏和使用寿命的长短。它的性能和质量也促进袋式除尘技术进步，影响其应用范围和使用寿命。

目前在国内燃煤电厂的袋式除尘器上常用的玻纤、PPS、P84 等非覆膜普通滤料，属于“深层过滤”。所谓“深层过滤”是指最初接触滤料的粉尘将会滞留在滤料表面，形成一层“初次滤饼”使滤料孔隙减少而提高过滤效率。“深层过滤”就是利用这层“初次滤饼”层以实现有效的粉尘过滤/捕集的过程。随着过滤的进行，粉尘会顺气流压力不断渗入滤料，导致运行阻力不断上升，系统处理风量下降，能耗增加，并使得滤袋工作寿命大大缩短。另外，由于“初次粉饼”的存在，在处理含湿量大的气体时，滤料容易“板结”而过早失效。根据一些采用布袋收尘的国内电站提供的数据，普通 PPS 滤袋在电站锅炉上的平均使用寿命为 1.5~3 年，而滤袋失效最主要的原因是：布袋阻力太高，引风机超负荷，清灰次数过于频繁，清灰效果不明显。

由戈尔公司 (W.L.Gore&Associates Inc.) 研制的 Gore[®]覆膜滤袋解决了普通滤袋所存在的问题，该滤料的过滤表面复合了一层用“膨体”专利技术制成的多微孔、极光滑的膨体聚四氟乙烯 (ePTFE) 薄膜，见下图 1。由于膨体聚四氟乙烯 (ePTFE) 薄膜的纤维组织极为细密，结果使含尘气体经过滤料后的粉尘排放量接近于零；由于膨体聚四氟乙烯(ePTFE) 薄膜本身具有极稳定的化学性能 (抗酸、抗碱、抗氧化、抗水解) 和极好的物理特性 (不粘尘、憎水性、耐温 260℃)，使覆膜滤料具有了极佳的清灰性能，结果使得过滤工作压降始终能保持在很低的水平，而处理气流量则始终保持在较高流量的水平，从而实现袋式除尘器的“表面过滤”。

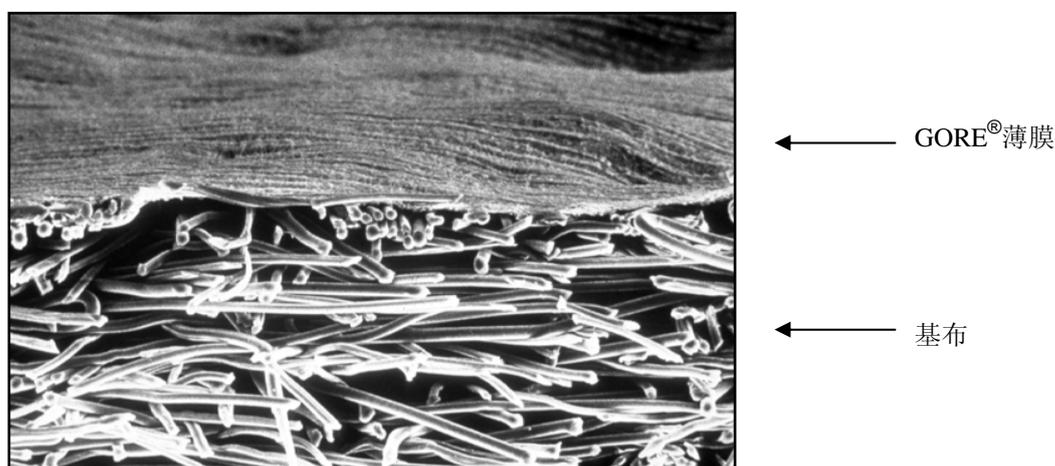


图 1 Gore[®]覆膜滤料的电子显微结构

2.3 表面过滤在燃煤锅炉上的应用特点

1. 运行阻力低，处理气流量大，可降低系统能耗，有效节能。见下图2

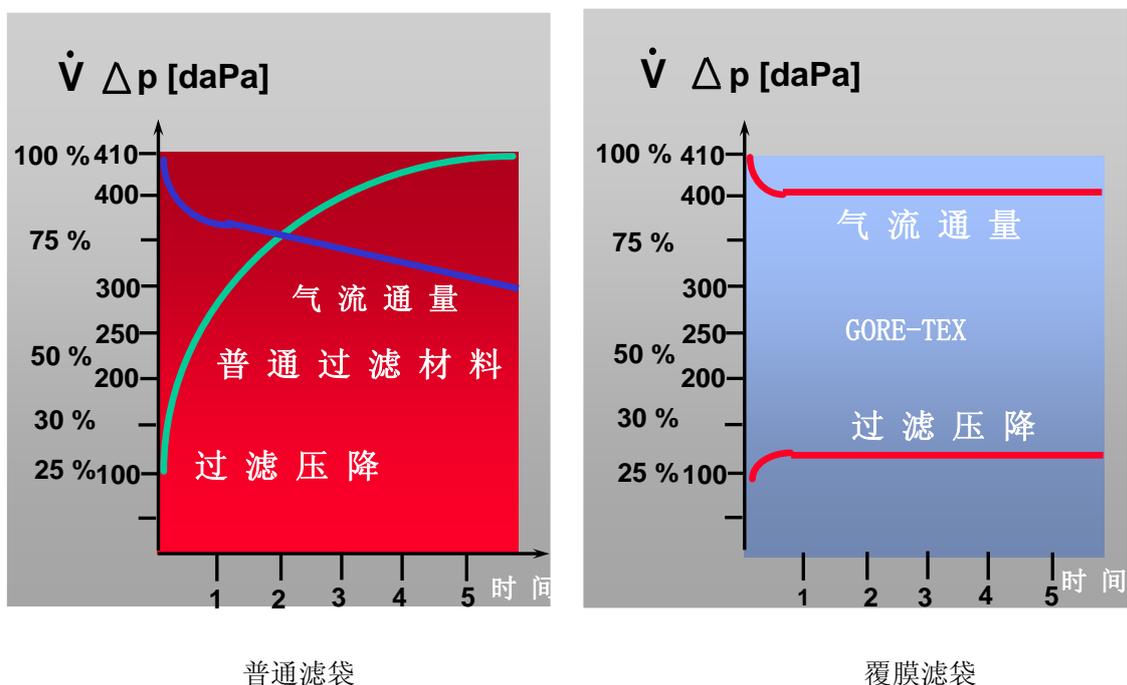


图2 滤袋性能比较

使用Gore®薄膜滤料气流量通常可增加30%以上，从而可大大提高系统的生产效率；过滤风速可比普通滤料提高1~2倍，从而可使除尘器体积减小，除尘器初始投资成本减少；同时降低了系统的风机动力和压缩空气消耗，减少系统的运行费用。同时支持更高的过滤风速，为今后提高产能做准备。通过实际经验以及科学计算，采用GORE®薄膜滤袋的系统能耗相比采用普通PTFE/P84/PPS滤袋的系统能耗：

- 100MW机组系统（80万风量）每年能耗费用降低35万元人民币；
- 200MW机组系统（150万风量）每年能耗费用降低60万元人民币；
- 300MW机组系统（200万风量）每年能耗费用降低85万元人民币；
- 550~600MW机组系统（350万风量）每年能耗费用降低150万元人民币；
- 900~1000MW机组系统（500万风量）每年能耗费用降低210万元人民币。

（注：按每度电 0.3 元计，能耗节约计算参见案例 1。）

2. 过滤效果高，清灰性能好

能达到世界上最严格的粉尘排放标准；近于零的排放使空气再循环设备的成本大大降低，并节省了大量能源。同时 ePTFE 薄膜提供了极佳的滤饼剥离性/清灰性能。

3. 滤袋的使用寿命长

由于清灰效果好、清灰周期长、清灰强度较低，减轻了滤料的磨损，使滤袋的使用寿命大大延长。在燃煤电厂烟气处理系统中的一般使用寿命可在 4~8 年，最高使用寿命甚至超过了 10 年。下面是薄膜滤袋在国内外各个不同行业中所达到的最长滤袋使用寿命：

- 从大型电站锅炉袋收尘布袋12年寿命；
- 千吨水泥线高温窑尾袋收尘布袋15年寿命；
- 千吨城市垃圾焚烧锅炉10年寿命；
- 大型矿渣袋收尘布袋7年寿命

这些不同行业运用中滤袋最长使用寿命都是由戈尔公司的GORE®薄膜滤袋所创造的。

三 应用案例介绍

下面我们介绍几个在全球范围内，表面过滤技术在燃煤电厂收尘器中应用的案例。

案例 1 经济效益分析

应用场合 美国某能源公司位于德克萨斯州阿马里洛的电站

安装时间 2002 年 10 月

滤料种类 玻纤覆膜滤袋

运行条件

装机容量：540MW

工况风量：3,879,400 Am³/hr

运行时间：8640 小时/年 (按每天 24 小时，一年 360 天计)

平均电价：\$0.055/kwh

A. 风机电耗节约

$$\text{年节约费用} = \frac{P * S * H * K}{1000 * 3600 * E}$$

其中：

P = 压降 Pa (用薄膜滤袋可降低 400Pa 的工作压降)

H = 年运行时间 (8,640 小时/年)

K = 电价(\$0.055/kwh)

S = 风量 (3,879,400Am³/hr)

E = 系统效率 (包括全压效率和机械效率) (0.8)

电耗节约费用：400*3879400*8640*0.055/(1000*3600*0.8) = \$ 256,040 /年

B. 滤袋年损耗费用

覆膜玻纤滤袋的寿命按 8 年计（每条滤袋价格为\$ 140）
普通玻纤滤袋的寿命按 6 年计（每条滤袋价格为\$ 75）

滤袋总数：28 室 * 480 条/室= 13440 条

覆膜滤袋折合年费用： \$ 140* 13440 /8 = \$ 235200/年

普通滤袋折合年费用： \$ 75*13440/6 = \$ 168000/年

滤袋费用差额： \$ 235200 - \$16800 = \$ 67,200/年

C. 年综合净收益：

风机电耗节约- 滤袋费用差额= **\$ 188,840**

D. 其他优势（未包含在分析中）

- 降低更换布袋的人工费用；
- 减少收尘器维护费用(覆膜滤袋由于清灰频率低，可减少阀的损耗及人工维护等费用)。

目前，该电站收尘器已经正常运行了 4 年多的时间。

案例 2 问题解决之方案

应用条件 美国中部某燃煤电站，共有 6 台锅炉给两台 55MW 机组供过热蒸汽，每台锅炉烟气进入一台脉冲收尘器，原来采用的是 TRI-LOFT[®] 的普通玻纤织物滤袋，净气布比为 1.3。

存在问题 滤袋使用寿命只有 5~11 个月，在线维护时蒸汽量将减少 9000~13000kg。每班至少需要一个维修人员来更换滤袋，滤袋处于连续清灰状态，一个周期为 15 分钟，其喷吹压力高至 6.6bar。

解决方案 首先对收尘器进行了改造，但原来使用的 TRI-LOFT[®] 滤袋的使用寿命仍然没有改善。

于是 1992 年 6 月份，在其中一台收尘器上安装了 GORE[®] 薄膜/TEFLON[®] B 玻纤织物滤袋，而在其他五台收尘器上安装了普通的 RYTON[®] 针刺毡滤袋以进行对比。

运行结果 在满负荷运行下，安装有 GORE[®] 覆膜滤袋的收尘器工作压差清灰前为 1500Pa，清灰后在 1000~1200Pa，喷吹压力降至 3.5bar，清灰周期提高到 45~90 分钟。由于收尘器压差低，使得引风机风门只需开到 66% 即可保证锅炉一侧 -25pa 的负压；而另外 5 台采用普通 RYTON[®] 针刺毡滤袋的收尘器上，滤袋的喷吹压力需要 6.5~7bar，清灰压差同样设定在 1500Pa，而清灰后压差仍在 1400~1500Pa，清灰周期为 25~35 分钟。由于压差高，风机风门需要开至 95~100% 才能使锅炉侧维持在 -25~25Pa。由于 GORE[®] 覆膜滤

袋的喷吹压力低，清灰周期时间长，使得滤袋寿命大大延长，同时不降低锅炉蒸汽产量。

当燃煤的含水量较高时，使用RYTON[®]针刺毡滤袋的压差将达到 2300Pa，锅炉将减少 4500kg/hr的蒸汽量（或 1.5MW），按每度电 5 美分的价格计算，这相当于每小时损失

\$75 或每天损失\$1,800 的利润。而在使用GORE[®] 覆膜滤袋的锅炉线上没有出现该问

题。目前该电站 6 台锅炉收尘器上已经全部更换为GORE[®] 覆膜滤袋。

表面过滤滤袋在欧美及澳大利亚的电厂尤其是大容量机组上已经广泛使用，其中在澳大利亚就有 50 多台大型燃煤锅炉机组在使用 GORE[®]覆膜滤袋。而国内如马钢电厂、山西文峰电厂等大型燃煤电厂都已经开始使用 GORE[®]覆膜滤袋，并取得了良好的经济和社会效益。同时，值得一提的是：GORE[®]薄膜滤袋在国内焚烧炉工程运用中具有 90%以上的采用率，其中滤袋最长的使用年限已达到了 4 年以上没有更换，焚烧炉布袋除尘器的运行工矿条件与电站燃煤机组比较接近（焚烧炉在有害气体及酸性气体含量上更高一些）。

四 结论

1. 袋式除尘器与静电除尘器相比能够更好地控制烟尘排放，随着烟尘排放标准的日益严格会有越来越多的燃煤电厂采用袋式除尘器来处理锅炉烟气。
2. 代表最先进表面过滤技术的GORE[®]覆膜滤袋在国外的燃煤电厂烟气处理中的应用已经非常成熟，取得了良好的运行效果，在国内其他行业的烟气处理中也已经被普遍采用。并且在国内的燃煤电厂也已经开始逐步使用。
3. 优质高效的GORE[®]覆膜滤袋进一步推动了袋式除尘器在燃煤电厂的烟气处理系统中的应用，为推动我国的环保事业的发展起了巨大的作用。

参考文献

1. 祝平 “燃煤电厂应积极采用袋式除尘器” 山西能源与节能
2. 朱法华 “袋式除尘技术的发展及其在燃煤电厂烟气处理中的应用”
3. 孙宏 “表面过滤技术在垃圾焚烧发电厂烟气脱酸净化中的作用” 火电厂及垃圾焚烧电厂烟气净化技术论文集