

## 燃煤电厂袋式除尘器发展趋势及其运行寿命的影响因素

江得厚 郝党强 王勤

(河南电力试验研究院)

**摘要:**电除尘器的除尘效率理论上可达到 99.5%以上,但实际运行时常受到烟尘物化特性影响,除尘效率会显著下降。而袋式除尘器基本上不受烟尘物化特性影响,除尘效率一般高达 99.95%以上,并且效率稳定,还可捕集微细颗粒 PM10 以下的粉尘和重金属。烟尘排放质量浓度低于 50 mg/m<sup>3</sup> 以下时,电除尘器的投资和运行费用远高于袋式除尘器。从达标排放和技术经济比较等方面考虑,使用袋式除尘器是发展的必然趋势。为提高袋式除尘器的运行可靠性和延长使用寿命,在设计、调试和运行中采用合理科学措施,达到减排浓度小于 30 mg/m<sup>3</sup>、使用寿命达 3 万 h 以上是完全可行的。

**关键词:**袋式除尘器; 运行寿命; 设计和运行

### 1 袋式除尘器是今后发展的必然趋势

#### 1.1 超微细粉尘对大气质量的影响

2006 年底,我国燃煤发电装机容量已达到 4.84 亿 kW,用煤 12 亿 t,烟尘排放量仍维持在 300 万 t 左右,其中约有 270 万 t 左右 PM10 的超微细粉尘可长期在空气中漂浮,影响大气质量和能见度,特别是 PM2.5 粉尘以气溶胶形式存在大气中[1],袋式除尘能较好地收集更多的重金属和 99.8%以上 PM10 以下的粉尘。

#### 1.2 烟尘治理环境标准要求越来越高

由于认识到烟尘的危害性,我国已制定烟尘控制标准,而各省市根据本地的状况也

制定出更严格的地方标准,如京、津、唐地区要求燃煤电厂烟尘排放质量浓度小于 30 mg/m<sup>3</sup>,河南省已拟出台电力、水泥行业烟尘排放质量浓度小于 50 mg/m<sup>3</sup>,2010 年前全国都会实行小于 50 mg/m<sup>3</sup> 的控制标准,使用 4 电场甚至 5 电场电除尘器都难达到此标准。老电厂改造由于场地所限,增加电场就更困难,只有采用袋式除尘器才能达到新标准。

#### 1.3 粉尘浓度对脱硫塔安全运行的影响

脱硫塔本身有除尘作用,设计人员往往将脱硫塔一般考虑有 50% 除尘效率,有些甚至设计为 80%除尘效率。以一台 300MW

责任编辑:毛宁 柳静献 孙熙

机组为例, 双室 3 电场电除尘器烟气出口质量浓度  $256 \text{ mg/m}^3$ , 排放量为  $506 \text{ kg/h}$ , 按脱硫塔除尘效率 50%设计, 就有  $253 \text{ kg/h}$  粉尘掺入石灰石浆液系统循环, 影响脱硫效率, 也加剧了循环泵和喷淋系统的磨损, 有的电厂运行不到半年, 循环泵及喷淋系统部件都因磨损更换。大量粉煤灰也影响石膏结晶和品质不利于销售。更重要的是 PM10 以下的粉尘不能去除, 只有采用 5 电场或 6 电场的电除尘器才有可能得到改善, 但在占用场地和技术经济比较方面电除尘就失去优势了。

#### 1.4 电除尘器对粉尘性质敏感[2- 4]

电除尘器理论上除尘效率可达到 99.5% 以上, 但其对烟气性质较为敏感, 受烟尘的比电阻、浓度、粒径分布、温度、湿度和燃烧状况、运行中清灰效果、腐蚀等因素影响[1], 大多运行在 96.0% ~ 99.5%。最适合电除尘处理的粉尘比电阻为  $106 \sim 1011 \text{ cm}^2/\Omega \cdot \text{cm}$ [2], 比电阻低于  $104 \text{ cm}^2/\Omega \cdot \text{cm}$  或高达  $5 \times 1012 \text{ cm}^2/\Omega \cdot \text{cm}$  都将造成电除尘器效率明显下降。故煤的硫分和其他元素的影响很明显, 某电厂燃煤, 灰分约 20%, 硫分分别为 2.0% 和 0.5%, 对应的除尘效率为 99.75% 和 90.00%。另外, 当飞灰中  $\text{SiO}_2$  加  $\text{Al}_2\text{O}_3$  的质量分数超过 85%时, 除尘效率显著降低, 这是因为  $\text{SiO}_2$  在高温下的挥发再冷凝会形成极细的微粉,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  也常是以极微细的高岭土粉体存在, 不仅难收下, 而且会在极板面上附成一层膜, 难以振打清灰导致电除尘器工作恶化, 这 2 种成分还是极好的绝缘材料, 比电阻也很高, 导致粉尘粘附力相当大, 其粒径微小对荷电和收集都很难, 还会形成所谓电气扬尘和造成电晕电流的急剧增加。微量的  $\text{K}_2\text{O}$  和  $\text{Na}_2\text{O}$  在有水汽的条件下对降低比电阻很有效, 但当  $\text{Al}_2\text{O}_3$  和  $\text{SiO}_2$  的质量分数较高而  $\text{K}_2\text{O}$  和  $\text{Na}_2\text{O}$  的质量分数低且灰很轻时, 电除尘器难以收尘[4]。郑州热电厂曾由双室 3 电场改为双室 4 电场效果不明显, 所以继内蒙古丰泰电厂  $2 \times 200\text{MW}$  机组以后, 郑州热电厂和焦作电厂共有 6 台  $200\text{MW}$  机组都改用了袋式除尘器。电除尘器对微细粉尘捕捉能力有限, 所净化的气体

粉尘质量浓度在  $100 \sim 1500 \text{ mg/m}^3$ , 故大量的微细粉尘排入大气中[1]。另外, 当粉尘质量浓度达到某一极限时通过电场的电流趋近于零, 极易发生电晕闭塞而降低除尘效率。较低烟温和较高的湿度可提高除尘效率, 但也应考虑到烟气中含有  $\text{SO}_3$  导致除尘器出现糊板、腐蚀、破坏绝缘、影响电除尘器正常工作。

#### 1.5 电除尘与袋式除尘器技术经济比较[5-6]

以焦作某电厂  $220\text{MW}$  机组烟气量  $160 \text{ 万 m}^3/\text{h}$  电除尘改袋式除尘器为例。

(1) 投资费用及场地。要达到排放质量浓度  $50 \text{ mg/m}^3$  以下, 若用 4 电场除尘器, 投资费用约 2 000 万元, 若采用袋式除尘器并考虑到阻力加大, 更新 3 台引风机, 总投资费用约 1 900 万元, 大体上和改造 4 电场投资费用相当。若考虑老电厂的场地和拆迁费用, 电除尘器改造就比袋式除尘器高一些, 而占地面积比例为 4 : 3, 体积也大 1 倍。

(2) 技术指标。袋式除尘器改造投用后排放质量浓度通常都小于  $30 \text{ mg/m}^3$ , 而一台 4 电场除尘器一般只能在  $100 \text{ mg/m}^3$  左右, 所以, 电厂大都采用 5 电场甚至 6 电场除尘器, 占用场地可想而知。

(3) 能耗及运行维护费用。电除尘器总能耗为  $827.6 \text{ kW}$ , 袋式除尘器总能耗为  $644 \text{ kW}$ 。电除尘器较袋式除尘器能耗高  $183.6 \text{ kW}$ , 多耗电费约 33 万元/a。设备运行维护费用按 20 a 计算, 电除尘器按 4a 大修 1 次, 每次需用 400 万元, 年维护费用 20 万元, 20 a 总计 2 400 万元, 年均维护费用 120 万元。滤袋按 3 a 更换 1 次, 每次需 450 万元, 共计 2 925 万元, 加上年维护费用, 20 a 共计 3 325 万元, 年均维护费用 166.25 万元, 每年比电除尘多 46.25 万元, 20 a 总计高出 925 万元。按目前运行情况看, 按 4 a 换 1 次滤袋计算, 换袋共需 2 250 万元, 加上每年 20 万元的维护费, 共计 2 650 万元。年运行维护费袋式除尘器只比电除尘器高出 12.5 万元, 按 4 a 换 1 次滤袋算, 考虑能耗, 则少了 20.5 万元。国外滤袋使用寿命长达 6 ~ 8 a, 所以其运行维护

费用比电除尘器低。

(4) 环境社会效益分析比较。采用袋式除尘器改造后比原 3 电场除尘器可少排烟尘 1 890 t/a, 其中 PM10 以下微细粉尘 933.66 t/a, 少缴排污费和超标排污费 275.8 万元。由于减少了粉尘量的排放, 减少了对 3 台引风机的磨损, 也减少了停机检修次数, 节约检修费 90 万元/a, 减少停电损失约 500 万元[5], 其环境效益和社会效益显著。

(5) 综合效益比较。袋式除尘器与 4 电场电除尘器投资大体相当, 目前滤袋价格略有下降, 所以投资和运行费用比 4 电场电除尘略低一些, 但除尘效率比电除尘器高, 袋式除尘器排放质量浓度低于  $30 \text{ mg/m}^3$ , 而电除尘器则在  $80 \sim 150 \text{ mg/m}^3$ 。3 电场电除尘器未改用袋式除尘器时, 还要考虑引风机磨损检修费用, 这样袋式除尘器年运行维护费用比电除尘低 43.75 万元, 并可年均多发 1 281 万  $\text{kW} \cdot \text{h}$ , 增加上网电量收入约 500 万元左右[5]。

### 1.6 采用袋式除尘器是发展的必然趋势

从减少大气污染提高人民健康水平和达到越来越严环保指标要求来看, 势必要发展高效的除尘器, 电除尘器和袋式除尘器均属高效除尘器, 各有优缺点, 但要达到烟尘排放低于  $50 \text{ mg/m}^3$ , 电除尘则使用 5 电场甚至 6 电场, 增加投资和场地, 在维护工作量及费用上均比袋式除尘器大得多。而且电除尘器对煤种、锅炉的燃烧方式和烟尘物化特性很敏感而影响除尘效率, 从技术经济分析袋式除尘器也有明显优势, 所以, 近 2 a 来逐渐增多, 特别是老电厂改造更为明显, 成为今后燃煤电厂除尘发展的必然趋势。

### 2 国内袋式除尘器发展现状和存在的问题

随着大型脉冲喷吹长袋式除尘器的出现, 新型耐折、耐高温、耐腐蚀滤料开发应用, 清灰和保护系统自动化程度的提高, 使得袋式除尘器应用于电厂的技术问题得到了较好解决。所以, 目前袋式除尘器发展很快。国内已有 1 台 300MW 机组袋式除尘器投用, 1 台在调试; 200MW 机组已有 11 台投运, 3 台正在安装(其中有 1 台电+袋); 135MW 等级机组大约有 8 台投运(正安装的未统

计); 50MW 机组(其中有电+袋)则有 10 台以上投用。另有 1 台 300MW[7]和 1 台 200MW 机组反吹风清灰的袋式除尘器在试用。据以上不完全统计, 将近 40 台袋式除尘器在使用, 大多数都运行很好, 排放粉尘都低于  $30 \text{ mg/m}^3$ , 其中也有出现一些问题, 大多改进后得到解决, 运行维护和可靠性都有很大提高。使用的技术有引进的 ALSTHOM 高粉尘浓度有内、外沉降室低压脉冲行喷吹袋式除尘器和鲁奇的旋转喷吹袋式除尘器, 其他大部分是国产自己设计开发的产品。

总体来说, 我国已具备了自行设计袋式除尘器的能力, 配套的各种部件和加工国内都很齐全, 为燃煤电厂袋式除尘大发展创造了条件。

### 3 袋式除尘器设计参数的选择

为延长滤袋使用寿命, 能够正常稳定运行, 设计时对烟气参数、滤材、笼架、结构、喷吹系统要精细综合考虑和选择, 这些方面对设备运行寿命有很大影响。

#### 3.1 设计前测定烟尘的物化特性

燃用低硫煤, 比电阻超过  $10^{13} \Omega \cdot \text{cm}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  和  $\text{SiO}_2$  超过 85%而  $\text{K}_2\text{O}$  和  $\text{Na}_2\text{O}$  含量低, 而且灰很细, 电除尘器难以收集, 应考虑采用袋式除尘。这种情况就是采用了高投资的 5 电场、6 电场都很难长期稳定达到烟尘排放小于  $50 \text{ mg/m}^3$  的要求。

#### 3.2 走出湿法脱硫塔作为除尘器使用的设计误区

现在设计中流行采用 4 电场或 5 电场电除尘器, 使除尘器出口排放达到  $100 \text{ mg/m}^3$ , 再加上湿法脱硫除尘 50%, 达到最后的排放  $50 \text{ mg/m}^3$  以下的方法[8], 实际工程应用中受烟尘物化特性的影响, 5 电场电除尘器也很难保证除尘效率达到  $100 \text{ mg/m}^3$  以下, 并且脱硫塔作除尘器用, 脱硫效率下降和部件磨损影响正常运行及石膏品质, 甚至失去 0.015 元/( $\text{kW} \cdot \text{h}$ ) 的脱硫电价, 这样做得不偿失, 值得思考。

#### 3.3 烟气参数的选定

(1) 烟气量: 滤袋过滤面积选择以实测参数为依据, 烟气量选择过高投资过大, 过

小则在某些工况时锅炉不能满负荷运行,要考虑实测时的漏风量和烟温,是否可通过省煤器、空气预热器检修得到降低,即使排除这些因素后,也还要考虑运行中积灰和漏风逐步加大和煤质变化等因素,所以实测烟气体量要适当加大 5%~10%,适当加大烟气体量还可以在“假性”糊袋时带不上负荷起一定缓解作用(即烟气水分偏大,烟尘易糊在滤袋表面,经运行一段时间干燥后,可通过反吹清除),若湿的烟尘进入滤袋纤维内部不能反吹清除的永久性糊袋,只好更换滤袋。

(2) 烟气温度:烟气温度不但影响烟气体量的数值,同时也影响选择滤袋的性能。烟温选定过高,再综合考虑烟气含氧量、NO<sub>2</sub>的数值,很可能选用高一档的滤布 P84,这样会使投资增加,所以适当为好。

### 3.4 滤袋及袋笼选择

(1) 滤袋的选择[8-10]:电厂烟气温度一般运行在 120~160℃,适合在这种温度段使用的只有 Nomex(亚酰胺)、PPS(聚苯硫醚)、P84(聚酸亚铵)。Nomex 化学性能较后 2 种差,都不选用。P84(或聚四氟乙稀)适宜高过 200℃使用,而价格贵得多,电厂一般选择 PPS,其性能较好,耐酸、碱最优,耐高温也较好,抗拉、抗磨、抗折较好,但其抗氧化性能较差,所以运行中要防止高含氧量运行。值得注意的是:其理化特性表明连续使用温度 190℃,瞬时温度 220℃,这种指标是在试验室做出的数据,试验条件与实际条件有一定差距,目前制造厂家大都改为连续使用温度为 180℃,瞬时高温 200℃,甚至建议的使用温度已戏剧性地下降到 160℃,因此,在运行使用时一定要留一定裕量。内蒙古某电厂 200 MW 机组由于旋转空气预热器卡涩[9],烟气温度在 5 min 内上升到 250℃,经 2 次报警,至 180℃才使 MFT 动作后又重启,被迫手动停炉,由于保护动作延误,致使滤袋受高温冲击 10 多分钟,几十条滤袋老化更换,因此,保护要可靠并要提前动作。“含氧量在 15%以下均可选用”也是有条件的,烟气含氧量及温度对 PPS 滤料使用寿命有影响,该滤料可在 180℃温度下连续使用,瞬时 200℃(每年累计

60 h 以下);在 160℃的热压釜中能保持 90%以上的强度,耐化学性非常好,抗酸、耐强碱效果很好[10],所以,在性价比上是燃煤锅炉最合适的滤料。

在 160℃运行的 PPS 纤维含氧量基于 8%(Vol)、NO<sub>2</sub> 小于 15 mg/m<sup>3</sup> 长期使用,若氧达到 12%建议温度降在 140℃运行。总之,含氧越高,使用的温度就要越低,因每增加 10℃,化学反应成双倍的增加[10],据澳大利亚电厂运行经验,烟气含氧大于 15%时 PPS 的耐氧性差,烟气含氧小于 10%时能长期使用。根据国外的使用经验,PPS 滤料在以上的烟气条件下使用寿命可达 30 000 h,但要求烟气含氧小于 10%、烟气温度不得超过 160℃,烟气温度超过 165℃每年不得超过 100 h,平时应作好锅炉烟气温度变化的详细记录。

PPS 浸渍 PTFE 或 VV 处理可延长滤袋使用寿命,如果选用表面具有混合 P84 纤维结构的 Optivel®PI 的 PPS,使用寿命会大大得到延长,这在我国已有 2 个电厂得到证实。考虑到滤袋物理特性、抗折和透气性及较长的使用寿命,滤布应选单位克重为 600 g/m<sup>2</sup> 为宜。覆膜滤布价格很高,常规燃煤锅炉在技术上也不必要,不建议采用。

(2) 过滤风速的选择[4, 11]:过滤风速实际就是气布比,既每分钟通过 1m<sup>2</sup> 滤料的烟气体量,该值选择过高滤袋寿命缩短,选择过低投资过高,合理选择过滤风速是必要的。根据国外和我国运行经验,使用 PPS 滤袋保证使用寿命 30 000 h,过滤风速一般选择 1.0m/min 左右,电除尘+袋除尘可以选用 1.2~1.3m/min,高粉尘浓度的袋式除尘器选用 0.8 m/min 以下,对气流均匀分布及延长滤袋寿命较为合理。

(3) 核校酸露点温度:运行在酸露点温度以下所产生的强酸同样对滤袋寿命有害。酸露点温度一般在 90~145℃,很多电厂烟气温度都高于这个范围,但低负荷运行时烟温降低,当低于酸露点时,烟气中水蒸气凝结;另一面,低负荷时燃烧过剩空气系数大,过剩氧量高,形成 SO<sub>3</sub> 含量会增加,酸露点也会增高,对滤袋和袋笼都有强腐蚀性

用。如果燃料含硫量高情况就更严重，因为烟气露点随烟气中 SO<sub>2</sub> 含量的增加下降，同时 SO<sub>2</sub> 含量越高，生成 SO<sub>3</sub> 也越多。设计时要根据煤的含硫量和低负荷时烟温核算酸露点温度，考虑对滤袋和袋笼的腐蚀影响，应控制除尘器的入口烟气温度在酸露点以上的对策。

(4) 袋笼的选择：考虑占地面积和保证滤袋循环反复的抗折皱能力及张力，在电厂一般采用 D130mm × 8 000mm 尺寸的滤袋。笼架有园形、多角星形和腰形二节或三节的，均可采用，但应有足够的强度、刚度和尺寸准确并垂直，所有焊点牢固，不允许脱焊、虚焊和漏焊，表面光滑，不允许有焊疤凹凸不平和毛刺[12]，必须作高温有机硅的防腐处理。建议采用 14 ~ 16 根 D4.0mm 的竖筋，横筋间距 250mm 的多角星形二节袋笼为宜。反吹风方式的袋笼采用长方型并采用玻纤的滤袋，大机组使用尚需进一步改进完善。

### 3.5 清灰方式

在电力系统应用袋式除尘器清灰大体有低压脉冲行喷吹、低压脉冲旋转喷吹以及在低粉尘浓度中使用的反吹风等方式。清灰方式对袋式除尘器使用寿命非常重要，清灰不足阻力增大；清灰过度（频繁喷吹）缩短滤袋使用寿命，而且导致较高的排放浓度[11]，设计时要加以重视。

清灰过程，一般认为喷吹时滤袋中部鼓胀后收缩，达到清灰的作用，其实从实验室喷吹过程的录波图和观察到，脉冲气团冲向滤袋，使滤袋快速从上而下产生振动波型，将滤袋表面灰层振动下来，喷吹压力过大，产生振幅也大，形成粉尘飞扬，造成二次吸附，恰当的喷吹压力的振幅形成块状脱落为最佳。调整脉冲宽度，可调整振幅大小，达到最佳清灰效果。同时，振幅过大，滤袋疲劳寿命缩短，振幅过小不利清灰。其次，是如何选用无油无水容量足够的压缩空气机，气包大小要保证有足够的储气量，喷吹后压力很快回升。喷吹管要校正到正好吹到袋口中心后牢靠固定。所用的控制设备灵活可靠，能够调整脉冲宽度小于 100ms 和必要的喷吹间

隔。曾有台炉由于运行中阻力不断加大，甚至超过 2 000 Pa，造成频繁喷吹，气包设计偏小，压力无法快速回升，造成喷吹失效。要缩短脉冲宽度，所用的 DCS 装置不能调到小于 100 ms，最后对气包和控制系统（喷吹控制部分改用 PLC 装置）都进行改造。另一个电厂喷吹管固定不好而吹偏造成大量破袋。

### 3.6 气流分布的计算机模拟和物理模拟试验

气流分布均匀性直接影响滤袋的使用寿命、除尘器的效率及设备磨损等情况，因此，每项工程要对气流分布分别做计算机模拟和 10<sup>-1</sup> 的物理模拟试验，验证进气方式、分室方式、排列方式等方面的合理性[13]。特别是烟气循环流化床脱硫(CFB) 和 NID 脱硫除尘一体化系统在设计时更应做模拟试验。因为循环倍率高，除尘器入口粉尘浓度高达 1 000 g/m<sup>3</sup> 以上。NID 系统在 200MW 机组中用 4 组反应器，所以烟气分 4 路进入 4 组除尘器，气流分配不当，会造成中间 2 路烟尘量大、2 侧烟尘量小的可能性。采用均流板将 4 列烟气调均匀很有必要，这在焦作某电厂 2、3 号炉中得到证实，运行中取得了较好的效果。

高浓度烟尘是否需要设置预除尘；使用袋式除尘器可以考虑不用，例如 ALSTHOM 的 NID 除尘脱硫一体化技术得到很好体现，除尘器入口前有重力沉降的外沉降室，可以使粗的烟尘沉降 40%，进入除尘器内，烟尘又撞到斜的均流板，使烟气分左右侧下进风，成为内沉降室，烟尘又减少 40%，真正接触到滤袋的粉尘只有 20%。鲁奇公司采用下进风方式，从下向上进入滤袋前设有均流板，除均流作用外又起到撞击和重力沉降的作用，这些进风方式为简化系统、延长滤袋的寿命起了重要作用，通过模拟试验后，在工程设计使用中更有把握。如考虑到粉煤灰的综合利用设置预除尘是必要的。

### 3.7 是否设置旁路

焦作某电厂 3 台 200 MW 机组都曾设有旁路，都因旁路门关不严漏粉，只好焊死，建议取消旁路，同时也符合环保要求。但出现

事故只有停机。

#### 4 袋式除尘器使用寿命及运行

在我国煤种多变和运行操作不规范等情况下,袋式除尘器滤袋使用寿命比较合理的是 2 万多小时,但国外已有运行 3 万 h 以上的实例。滤袋使用寿命保证 3 万 h,是配合 4 a 大修 1 次而选定的,所以沿用至今,如果严格按上述设计要求,并遵循下面的运行措施,还是可以做得到的。

(1) 降低烟温,防止漏风,做好冷、热态气流分布的调试。a. 检修空气预热器和省煤器,提高其热交换效率,降低烟气温在 150 以下。b. 防止炉膛、空气预热器和烟道、除尘器的漏风,降低除尘器烟气中含氧量(小于 8%)。c. 除尘器保温要好,防止结露造成酸腐蚀。d. 做好冷、热态气流分布的调试。

(2) 控制好喷吹压力,延长喷吹间隔。新投产设备阻力较低可以适当调低喷吹压力、脉冲宽度和延长喷吹间隔,对延长滤袋寿命非常有利。大约运行 1 a 左右,滤袋阻力会逐步趋于稳定,根据需要可适当调大喷吹压力和缩短喷吹间隔。

(3) 启动前做好滤袋预喷涂。检查储灰罐要有足够的灰量,启动引风机,向袋式除尘器滤袋预喷涂,直到布袋表面积存 2~3 mm 厚的粉尘层(大约需 3 h 以上),锅炉方可投油点火。为保护滤袋,每次锅炉点火前都应对滤袋进行预喷涂,并检查预喷涂效果。点火油枪雾化要好、燃烧完全,防止大量未燃尽油滴带到炉后,造成糊袋。

(4) 正常运行时,滤袋差压大于 1 500 Pa(电+袋 1 200 Pa)开始喷吹,到 800、900 Pa 停止清灰。典型压差新袋为 1.0 kPa,接近寿命时为 2.5 kPa [11]。

(5) 锅炉正常运行时,炉膛内氧量应保持在 2%~3%,袋式除尘器入口含氧要小于 8%。

(6) 当排烟温度达到 150 时保护报警,司炉可以采取减负荷减送风、引风等措施,烟温达到 160 时第 2 次报警,继续减少负荷等措施达到降低烟温的目的,达到 170 报警的同时开始保护动作喷水。监视烟温

下降趋势,回落到 160 以下停止喷水,继续监视,直到排烟温度恢复正常。超过 180 应紧急停炉。

(7) 从水位、流量、炉膛负压等参数和听到爆漏声等判断为水冷壁管泄露时,不得拖延时间,应紧急停炉,防止糊袋。在空气预热器出口最好加装湿度计,检测烟气含湿量,以提早检测出爆管泄漏,提前采取应急措施。

(8) 防止挥发分高的烟煤未燃尽的煤粉在烟道和除尘器死角积存,或锅炉突然灭火将煤粉抽致炉后造成二次燃烧,当发现除尘器入口温度突然升高很多,马上紧急停炉,采取停引风机联跳送风机和给粉等措施。

(9) 在运行中发现某一单元室差压变小导致排放浓度升高,即有破袋,且气流通过滤袋上很小的破洞会导致该滤袋及周围邻近滤袋的很快破坏,造成灾难性的损失。因此,必须检测除尘器,及时更换或关闭破袋。可用喷入荧光粉和用使荧光粉发光的紫外灯来检测定位破袋[11]。

(10) 如果滤袋在线更换,必须限制气流直到滤袋已充分调节好[11],即新袋要预涂粉尘层,尽可能使其阻力与其他滤袋相当,以免导致过滤风速过高而损坏滤袋。

(11) 低温运行可导致灰层上的酸冷凝,腐蚀滤袋和袋笼,锅炉管道泄漏可导致烟尘带水造成灰层硬化[11],燃油时操作不当可导致烟尘带油,造成部分滤袋失效,这是运行中最常见的故障,运行操作中要特别注意。

#### 5 结语

(1) 为减少大气污染,提高人民健康水平,达到国家减排指标和日趋严格的要求,发展袋式除尘器是大势所趋。

(2) 袋式除尘器投资和运行费用大致与 4 电场电除尘器相当,设计和运行得当时费用要低于 4 电场除尘器,但排放浓度远远低于 5 电场甚至 6 电场除尘器的指标。

(3) 设计、运行严格按上述要求进行,滤袋使用寿命可达到和超过 30 000 h,目前已用袋式除尘器的平均年破袋率低于 1%,维护工作量比电除尘更少。

(4) 国外已有 600 MW 和 1 000 MW 机组

袋式除尘器运行,我国可以考虑逐步推广到300MW和600MW机组上使用。

(5) 为保证脱硫装置安全可靠运行,可适当考虑采用袋式除尘加湿法脱硫系统的方式。

参考文献:

- [1] 姚群,陈隆枢,陈志炜,等. 燃煤电厂锅炉烟气PM10排放控制技术与应用[J]. 电力环境保护, 2007, 2(1): 52- 54.
- [2] 黎在时. 电除尘器的选型安装与运行管理[M]. 北京: 中国电力出版社, 2005.
- [3] 胡志光, 胡满银, 常爱玲. 火电厂除尘技术[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2005.
- [4] 肖宝恒. 袋式除尘器的发展及其在燃煤电厂的应用前景[J]. 电力环境保护, 2001, 9(3): 44- 47.
- [5] 刘贯连, 张积秋, 边彩霞. 布袋除尘器在670 t/h 燃煤锅炉上应用的技术经济分析[J]. 电力环境保护, 2005, 3(1): 30- 33.
- [6] 陈志炜, 姚群, 陈隆枢, 等. 火电厂锅炉烟气电除尘与袋式除尘技术经济比较[J].

电力环境保护, 2007, 8(4): 50- 52.

- [7] 刘志成, 郎鑫焱. FMFBD- 46000 型分室定位反吹袋式除尘器在 300 MW 燃煤锅炉上的应用[C] //2006 年火电厂环境保护综合治理技术研讨会文集, 2006.
- [8] 蒋春毅. 布袋除尘器在电站工程中的实际应用[C] //2006 年火电厂环境保护综合治理技术研讨会论文集, 2006.
- [9] 肖宝恒. 丰泰发电公司 2×200MW 机组袋式除尘器运行总结[J]. 电力环境保护, 2005(3): 18- 19.
- [10] 杨志红. 袋式除尘器在燃烧锅炉上的应用[C] //2006 年火电厂环境保护综合治理技术研讨会论文集, 2006.
- [11] 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[J]. 中国电力, 2002, 35(8): 56- 59.
- [12] 孙熙. 袋式除尘技术与应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 2004.
- [13] 胡安辉. 燃煤电厂袋式除尘技术及其应用[J]. 电力环境保护, 2006, 10(5): 29- 30.

## 电厂飞灰系统性能考核试验应注意的几个问题

邬澍文<sup>1</sup> 王达峰<sup>2</sup>

(<sup>1</sup>浙江省电力建设有限公司; <sup>2</sup>浙江省电力试验研究院)

**摘要:** 电厂飞灰系统性能考核试验中系统调整、灰位测量、电除尘仓泵的卸灰方式、试验开始时间的确定、堆积密度的测量和灰浆浓度监测。

**关键词:** 飞灰系统; 性能考核; 试验

北仑电厂二期工程飞灰系统设备及控制技术均由美国 ALLEN- SHAMEN-HOFF(ASH)公司提供。另外,电除尘分A、B 2台,各有5个电场,每台电除尘的每个电场再分为2个供电分区,每个分区下各有2个灰斗(共有40个灰斗和仓泵)。飞灰系统采用稀相正压气力输送。

### 1 性能考核试验内容

在北仑电厂二期性能考核试验的内容主要有:系统功耗、气力输送能力、灰库远距离湿排放能力等。

### 2 试验中的几个关键点

#### 2.1 试验前的系统调整

在飞灰气力输送能力试验前应模拟试验条件,尽量将试验侧飞灰系统的各项参数调到最佳(包括:气化风压力、飞灰输送风压力),并根据锅炉实际负荷估计单侧电除尘第 1 排灰斗积累足够灰量所需的时间。

## 2.2 试验前的准备工作

试验前应将锅炉出力调到额定容量,同时要求所提供的煤种为同一种煤种,以设计煤种或校核煤种为佳。根据煤种计算出大致的飞灰量及积灰时间,一般应不少于 6 h 或 10 h。试验前确认参加试验的该台电除尘的第 1 个电场工作正常;确认气化风机、输送风机工作正常;仓泵的顶阀、底阀开关正常;参加试验的气化风管路及气化板通畅、无堵塞现象。在参加试验的该侧电除尘第 1 电场的仓泵上各加装 1 路取样管,中间分别用 1 个隔离阀隔离,以方便取样。将柱塞泵进口的浓度计调整到较精确的程度,以供运行时参考。

## 2.3 试验时系统灰位的测量

(1) 在灰库顶 2 个检修口用绳子直接测量灰层顶部至库顶的距离,取平均值。(2) 为了使灰库中的灰平面尽量平整,在测量之前,必须确保该灰库在停止进/卸灰后依然保持气化风机运行足够长的时间(在实际操作中控制为不小于 1.5 h)。停运气化风机后,为了使所有飞扬的灰沉降下来,还需再等待一段时间(同样控制为不小于 1.5 h)。(3) 为了便于排灰,试验时应通过 CRT 密切监视灰库的灰位,保证在整个试验过程中灰库灰位不

低于 20%,以保证所测灰位在灰库底部圆锥体以上,确保灰位测量的代表性。(4) 做气力输送试验的灰库不进行排灰操作,做湿排放试验时,该灰库不进灰。

## 2.4 试验时电除尘仓泵的卸灰方式

分时间排放方式和压力排放方式,此试验时采用了压力排放方式。

## 2.5 试验开始时间的确定

试验起始时间计算方式可分为按输送风机出口阀打开开始计时,或按第 1 仓泵顶阀打开开始计时。本次试验按后一种方式计时。

## 2.6 堆积密度的测量

试验前经试验各方协商讨论后,决定参考 97 版美国 ASTM 标准“金属粉末和化合物密度确定测试方法标准—输送设备制造商协会”中的有关章节。在灰样取样后,振动 1 min 再进行堆积密度测试,气力输送试验时,在电除尘仓泵出口处取样,湿排放试验时由于试验对象是灰库下部的灰,故取样在灰库旋转给料机出口,以保持所取灰样的代表性。堆积密度测量方法:取体积为  $V$  的灰样置于量筒中,称出其净质量  $M$ 。这样可得出灰样的堆积密度  $m=M/V$ 。

## 2.7 灰浆浓度监测

在湿排系统运行时可通过喂料泵出口的核浓度计对灰浆浓度进行监控,随时对旋转给料机的转速进行调整,直至柱塞泵出口压力达到阻尼抗振器最低动作值以上,试验时应将浓度调到柱塞泵出口压力达到额定值为止。