

# 浅谈锅炉环保设备利用及改造

Discussion on utilization and retrofit of the boiler environmental protection equipments

尹君<sup>1</sup>, 杜刚民<sup>2</sup>, 尹民权<sup>1</sup>

YIN Jun<sup>1</sup>, DU Gang-min<sup>2</sup>, YIN Min-quan<sup>1</sup>

(1. 华电国际邹县发电厂, 山东 邹城 273422; 2. 水利部水工金属结构质量检验测试中心, 河南 郑州 450006)

(1. Zouxian Power Plant, Huadian Power International Corporation Limited, Zoucheng 273522, China;

2. National Center of Quality Inspection & Testing for Hydro Steel Structure,

Ministry of Water Resources, Zhengzhou 450006, China)

**摘要:**目前我国电力行业新机组不断投入运行,许多机组加装环保设备的改造步伐也在不断加快。为借鉴新上机组烟气脱硝工程经验,针对邹县电厂三期600 MW机组锅炉脱硫系统改造的经验和四期1000 MW机组锅炉脱硫系统同步投产后存在的问题,结合近年来电除尘器发生的事故以及脱硫工程改造中发生的问题,探讨了锅炉环保设备利用及设备改造的成功与不足,意在提醒环保设备的改造与利用中应注意的问题,提出了脱硫、脱硝设备的统筹规划方案,以避免重复建设投资。

**关键词:**环保设备;设备改造;烟气脱硫;烟气脱硝;烟气除尘

**中图分类号:**X 701.3;TK 22

**文献标识码:**A

**文章编号:**1674-1951(2008)03-0044-04

**Abstract:** At the present time quite a lot of new units put into operation unceasingly and many older units need to build environmental protection equipments in our country. According to the Retrofit experience of the desulphurization system of 600 MW unit in the third stage project and the operation problems of 1000 MW unit in the fourth stage as well as the accident occurred in the electric precipitator in recent years at Zouxian Power Plant, this paper discussed their advantages and disadvantages, and presented the overall plan scheme about flue gas desulphurization and denitrification in order to avoid investment with repetition.

**Key words:** environmental protection equipment; equipment retrofit; flue gas deSO<sub>2</sub>/deNO<sub>x</sub>; dust removing

## 1 问题的提出

随着科学技术的不断进步,人们的环保理念也在不断提升,已投产多年的机组正在加快环保设备的改造步伐,新设计安装的电厂也在综合考虑规范、设计、安装环保设备。电厂环保设备主要包括除尘、脱硫、脱氮、脱硝、除氯及除重金属等设施。电厂早期重点解决烟气除尘,近几年各种类型的脱硫系统不断投产,烟气脱硝项目也在逐步上马。上海外高桥电厂#8机组SCR烟气脱硝工程是国内首个1000 MW超超临界燃煤烟气脱硝工程。华电国际邹县发电厂四期2×1000 MW超超临界机组的#7机组已于

2006年12月4日投产,#8机组已于2007年7月5日投产,锅炉同步建设的烟气脱硫装置效率达95%以上,并在锅炉尾部烟道留有将来安装脱硝装置的接口。邹县发电厂三期工程2×600 MW机组分别于1997年1月和11月投产。三期工程设计时未考虑留有脱硫设施的布置位置,结合四期工程的建设,三期烟气脱硫技改工程于2005年4月动工,于2006年11月29日顺利通过了168 h试运行。

环保设备改造工程量、周期长,而超超临界锅炉结构特殊、操作安全性要求较高,如发生事故将严重威胁电网安全。烟气除尘、脱硫、脱硝系统作为锅炉的重要组成部分,其设计和运行的好坏直接影响超超临界机组的运行,对烟气脱硫、脱硝系统的设计有特殊的要求<sup>[1]</sup>。结合已投产电厂出现的问题和

经验,探讨对环保设备设计、施工、管理等方面需要考量的问题,意在提高环保设备的利用效率。

## 2 环保设备出现的问题及注意事项

### 2.1 脱硫换热器出现的问题

#### 2.1.1 脱硫换热器跳闸

2008年1月华电国际邹县发电厂#8炉脱硫换热器(GGH)主机电流由35 A升至69 A并跳闸,联启辅助电机,20 min后辅助电机跳闸,重新启动GGH并开启高压冲洗水泵冲洗。对#8 GGH动静部分密封靴间隙进行调整,电流仍大幅度波动。被迫停运#8炉GGH,进入GGH内部进行检查,发现GGH冷端蓄热元件堵塞严重(经化验为石膏浆液的固化物),发现原烟气侧冷端密封靴上部及净烟气侧热端密封靴下部磨损严重。对GGH蓄热元件进行高压水冲洗后启动GGH,其运行正常。此外发现#8炉脱硫GGH本体与吹灰器顶枪处有摩擦声,造成GGH主机电流瞬间升高至65.5 A而跳闸。进行内部检查,发现GGH原烟气侧转子与GGH上吹灰器吹灰枪管摩擦,导致吹灰枪管严重弯曲变形。

#### 2.1.2 原因分析

在此之前就发现GGH前后差压大,当锅炉带满负荷时出现增压风机入口静叶全开后呈现风量不足的现象,且因GGH入口烟气侧烟道密封不严向外漏烟气。烟气脱硫(FGD)系统除雾器效果不良导致净烟气机械杂质携带造成GGH堵灰,一般采用高压水冲洗,如果水冲洗后干燥效果不理想(没有达到设计要求),会加剧GGH堵灰。

2008年1月,华电国际邹县发电厂#7炉脱硫GGH热端密封有摩擦现象,应厂家要求将GGH密封调节进气电磁阀关闭,停用#7炉GGH进行内部检查,发现上述问题由GGH高压水冲洗枪管开焊断开摩擦所致。

早在2007年7月就发现#6炉GGH上部吹灰器频繁出现卡涩、停吹等故障,检查中发现上部吹灰器密封风机电机烧毁,解体后发现该风机叶轮已经完全卡死,且壳体内有少量积水。针对此情况,随后对#5炉GGH下部吹灰器密封风机叶轮进行检查,发现其已被卡死而不能转动。

吹灰器密封风机在FGD系统正常工作时必须投用,当FGD系统停运时要尽可能保证密封风机一直工作(至少在FGD系统停运24 h内保持吹灰器密封风机工作)。密封风机对于吹灰器来说非常重要,如果没有它,烟气的泄漏将导致吹灰器链条及链

条齿轮轴承、托滚轴承被腐蚀损坏,不但会减少吹灰器枪管的使用寿命,而且会影响GGH正常工作。

### 2.2 烟气脱硫系统

锅炉本体设计的抗爆能力远远大于后部烟道,特别是过去老机组烟囱入口以前的水平烟道大多采用砖-砼混合结构,因没有考虑脱硫设备,加之吸风机以后的烟道呈负压运行,其设计抗爆能力较差。现在增加脱硫设备,为了克服系统阻力,设置了增压风机,在设备发生异常工况时,烟道会瞬时呈现正压,其破坏能力相当大。如果设备的安装施工质量存在问题,则会发生意想不到的问题和后果。

#### 2.2.1 烟道膨胀节损坏漏烟气

华电国际邹县发电厂#8机组于2007年7月5日投产,运行不到3个月就发现A、B吸风机至脱硫增压风机之间的膨胀节因腐蚀及质量问题而破碎,漏烟气严重。A增压风机由于机壳、出口扩压端的烟道没有按照施工工艺焊接,也导致烟气泄漏,漏出的烟气导致烟道外侧的壳体及设施严重腐蚀,2007年11月,利用停炉机会彻底进行了治理。

#### 2.2.2 脱硫系统注意问题

华电国际邹县发电厂三期工程#5、#6炉每台设一套烟气脱硫系统,从锅炉引风机后的主烟道上引出的烟气经过脱硫后送入烟囱。脱硫岛与#5、#6锅炉烟气系统连接的脱硫烟道,初期设计平行布置系统长,跨越烟囱北边马路,占地面积大且影响交通,后来作者提出烟道垂直(上、下)布置的方案,节省了大量费用和施工时间。

#### 2.2.3 脱硫系统烟道凝结水外流

设计净烟气烟道内衬为1.8 mm玻璃鳞片树脂内衬,烟道的走向能确保满足冷凝液的排放,不允许烟道内有存水或冷凝液的积水坑。烟道要提供低位的排水和预防收集措施,位于水平烟道接触低温湿烟气的膨胀节通过膨胀节框架排水,排水孔须保证排水通畅,排水必须返回FGD区域的排水坑。有的施工单位为了赶工期没有安装排水系统,导致烟道中冷凝液向外流淌,滴水严重。

#### 2.2.4 脱硫系统烟道挡板存在问题

(1)主烟道上采用密封型单轴双百叶窗式挡板(Tandem型),旁路烟道上采用单百叶窗式挡板,挡板的叶片原烟气侧材质为碳钢,净烟气侧材质为1.4529(德国牌号)。挡板叶片之间密封材质为C276,由于烟气系统的挡板与密封片的材质不同和工地施焊条件的限制,因此,应在挡板出厂前全部焊接完成。曾有施工单位人员在华电国际邹县发电厂

组装挡板时,误认为密封片相抵触不规范,结果擅自将挡板上的 C-276 合金密封片割掉,造成主烟道漏烟气。

(2) 由于烟气通过脱硫装置后温度比原烟气低,经脱硫处理后的烟气中含有氟化氢和氯化物等强腐蚀性物质,因此,在设计 FGD 进、出口挡板门和旁路烟道挡板门时,应考虑到其严密性和防腐的需要,其性能参数应能承受各种工况下烟气的温度和压力,且不能出现变形或泄漏。为了达到烟气零泄漏,百叶窗式密封挡板应采用 2 台密封风机(一备一用)作为辅助密封。为了减轻烟气对挡板门的腐蚀,在密封风系统上还装有一套电加热系统,可保持风温在 150℃ 左右运行。经过试运行发现密封风温度达不到 90℃,这将会加剧腐蚀<sup>[2]</sup>。

### 2.2.5 脱硫系统故障

2006 年 10 月 18 日,山东某发电厂 300 MW 机组#3 炉大修后点火初期,脱硫系统调试人员在进行 #1 DPU 软件下装,下装至烟气旁路挡板调节指令发出页,调节挡板指令由 100% 变为 0,炉膛负压由 -70 Pa 突升至 2349 Pa,就地检查发现,#3 炉烟气脱硫系统烟气入口挡板对面烟道侧墙向外侧倒塌,将烟道侧下部的 2 个临时用作脱硫现场工作间的工棚屋顶砸塌,导致现场工作间内的 7 人被砸埋,最终造成 4 人死亡、3 人受伤的事故。

2006 年 8 月 29 日,华电国际邹县发电厂#5、#6 炉脱硫工程的调试过程中,临时借用的#7 炉至四期烟囱的烟道挡板(8 片)采用临时焊接拉筋固定,结果由于振动导致 6 片自动关闭,#5、#6 炉增压风机出口至四期烟道非金属膨胀节爆开,膨胀节与烟道连接钢板焊缝多处开裂。被迫将#5、#6 炉增压风机系统切回,停用增压风机。

## 2.3 烟气除尘设备

锅炉燃烧后的烟气早期采用各种干式和湿式除尘设备,该类除尘器效率只有 95% 左右。由于烟囱逸出的烟气具有动能和热浮力,可以使烟气不致迅速与周围的空气混合而继续上升,从而使其中的污染物得到更大程度的扩散和稀释,因此,烟囱就向更高的高度发展以减少飞灰污染,到了 20 世纪 80 年代,美国的烟囱达到 368 m,前苏联则高达 450 m。

近年来,为了减少飞灰污染,火力发电厂已经普遍采用静电除尘器,其除尘效率可以达到 99% 以上。

### 2.3.1 电除尘器效率降低

由于电除尘器工作环境恶劣,维护工作量大,时常出现振打装置故障、灰斗蓬灰以及电场短路等问题,影响除尘效果。近年来,华电国际邹县发电厂锅炉除尘效率不稳定,有时烟囱逸出的烟气浓度偏高,在厂区偶尔出现极细的飞灰结成的小灰团下落,在飞灰下落时不是细小灰尘,而是颗粒状的小灰团。作者观察发现落灰团的规律是:落灰团时间多发生在夜间,且在冬季出现的概率比较高,低负荷时比高负荷时明显<sup>[3]</sup>。通过在厂区不同位置做的多个飞灰沉降观测平台,发现三期烟囱落下的灰团颗粒比较小,颗粒直径约为 1 mm 左右,每平方米每日沉降飞灰颗粒大约有 13~19 个。一、二期烟囱落下的灰团颗粒比较大,颗粒直径约为 1.5 mm 左右,大约每平方米每日沉降飞灰颗粒 17~28 个。在锅炉停炉检修时,还发现电除尘器出口与吸风机入口之间水平烟道内积灰严重<sup>[3]</sup>。

### 2.3.2 除尘效率降低对吸风机叶片的影响

除尘效率的降低使烟气含尘量增加,从而导致吸风机叶片的磨损加重,直接影响吸风机叶片的寿命,如图 1 所示。从图 1 中吸风机叶片的更换周期可以看出烟气携带灰尘的一个侧面。自从 1997 年推行点检制,特别是 1999 年开展状态检修以来,检修工艺和质量有了明显的提高,2003 年至今没有更换过吸风机叶片,吸风机叶片寿命可以达到 8 年以上甚至更长。

### 2.3.3 电除尘器本体故障实例

除了维护好投产设备以外,也要加强新建电除尘器施工质量的监督。1995 年,在华电国际邹县发电厂三期工程 2×600 MW 机组设备到货现场验收时,作者发现了组装电除尘器阳极板和阴极线框架用的几十吨钢管制造厂家错用有(接)缝钢管替代 Ø32 mm 无缝钢管。及时提出后,得以将几十吨钢管全部按照设计标准重新提供合格的无缝钢管,保证了电除尘器的质量。

2005 年 1 月 1 日,湖北某电厂 300 MW 机组#1 机组电除尘器发生倒塌事故。2005 年 3 月 20 日,内蒙

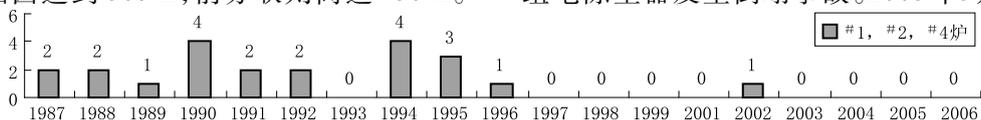


图 1 #1、#2、#4 炉 1997 年~2006 年更换的叶片套数

古某第二热电厂一台 200 MW 机组运行中,电除尘器灰斗因设备安装质量问题突然整体坠落。

2006年3月14日,安徽池洲某发电有限公司 300 MW #2 机组,DCS 系统“TMS”信号发出出现错误,造成灭火停炉。检查发现#2 炉 A 侧电除尘器向锅炉侧倾斜倒塌,导致电除尘器旁的电缆桥架倒塌;锅炉燃油管道、压缩空气管道断裂,幸未造成人员伤亡。

以上问题均暴露出电除尘器本体设计强度及系统设计欠合理、施工质量(尤其是焊接工艺)差、设备管理不到位等问题。特别是新厂将检修及运行维护全部委托外包给中标单位,存在着管理不到位、以包代管及电除尘器电场长时间停运和排灰系统故障等问题,导致电除尘器内部长时间超灰位,造成电除尘器钢支架的承载长期超过设计载荷,最终发生电除尘器坍塌设备事故。

## 2.4 烟气脱硝设备

目前新投产大型机组均同步建设投产脱硝装置,从锅炉和脱硝设备性能的可靠性和整体布置的合理性方面进行综合考虑,大多选用选择性催化还原(SCR)技术,脱硝装置还原剂采用液氨,按高含尘方式布置(即脱硝装置布置在锅炉省煤器与预热器之间)。锅炉增加脱硝装置后对预热器有一定的影响,必须选用(或改造成)新型、能有效地防止由于脱硝引起预热器腐蚀及氨盐堵塞的脱硝预热器,一般预热器低温段温度较低,容易结露,形成弱酸后会造对蓄热元件材料进行腐蚀并沾结灰垢,形成低温腐蚀。烟气脱硝后,形成硫酸氢氨容易沾附在预热器的冷段蓄热元件表面,从而发生盐堵塞。因此,对空气预热器的防腐性能提出了更高的要求。以 1 000 MW 机组锅炉为例,预热器蓄热元件高度自上而下分别为 1 150 mm、1 150 mm 和 300 mm,高温段 1 150 mm 的蓄热元件为碳钢,中温段 1 150 mm 和低温(冷)段 300 mm 冷段采用低合金耐腐蚀钢蓄热元件。当采用脱硝技术后,为了防止盐堵塞,需要将预热器冷段蓄热元件高度增加为 1 000 mm,使得在任何负荷下将硫酸氢氨易沉积的温度区域设计在单层的冷段蓄热元件区域,这样可以有效降低硫酸氢氨对预热器的影响。根据经验,提高冷段蓄热元件高度能有效延长预热器阻力值增加 2 倍的周期。对于已经进行脱硫改造的机组,为了降低预热器的漏风,又在进行预热器受热面蓄热元件及密封的改造。根据形势的发展,将来都要增加脱硝装置,因为上脱硝设备后,预热器冷段蓄热元件的版型及材料的选取

必须充分考虑预热器的防结露、抗腐蚀以及堵灰性,冷段蓄热元件采用大波纹板型,使烟气在通过冷段蓄热元件时以层流形式流动而不是紊流(热段采用紊流),使得蓄热元件不易积灰,对防止预热器低温腐蚀和氨盐的腐蚀以及堵塞都将起到一定的作用。由此看来,对预热器的改造要用发展的眼光去看待,避免出现二次改造浪费人力物力。

## 3 结束语

(1) 以往人们对锅炉、汽轮机、发电机、变压器等重视程度较高,对于环保设备的重视程度远远低于四大主机。电除尘器、脱硫、脱硝等装置已被列入锅炉主要辅机的行列,其重视程度较低。环保设备大多数由民营或个体股份公司制造,其设计、制造、管理等技术方面有许许多多的问题。随着新型环保设备越来越多地投入运行后暴露出的问题会更多,使我们不得不重新认识环保设备质量管理的重要性。由于环保设备与锅炉(其他辅机)相比,从设计部门、制造厂家的技术力量以及用户的管理理念起步较晚。对于电除尘器本体框架、壳体板的强度设计及施工质量,到脱硫、脱硝设备的改造,一定要选质量好、有广泛业绩的产品。由于现场地理位置、费用、工期等条件的限制,更应该从选型、招标方面都应引起重视;管理上也应向管理四大主机一样严格对待。

(2) 现在,许多电厂在推行状态检修模式,机组大修周期延长。电除尘器属于易腐蚀、易磨损设备,故障暴露周期长,出现问题属于慢性病。根据电除尘器目前的现状,应该加大对其治理及改造的投资费用。提升设备、技术管理水平,总结制定出一套全方位的科学的管理标准,为管理好环保设备打下基础。

(3) 从发展的观点来看,脱硫、脱硝系统不必要附设旁路烟道,这样,可以更加高效率的利用好设备。如果旁路烟道利用率高,则系统内的设备腐蚀就会更加严重,故障率也会升高。

(4) 在脱硫设备改造时,对于吸风机至烟囱的一段砖混旧烟道,应充分考虑此段烟道的抗爆能力,应全部去掉,必须重新设计、制作新的钢制烟道。对钢板制作的新烟道一定要采取两面施焊的工艺,并选择抗爆能力强的非金属膨胀节。必要时在烟道上设计一定数量的防爆门。

(5) 除了管理好脱硫设备,对于老机组改造新上脱硫设备,还应该统筹考虑,尽量做到脱硫、脱硝全盘考虑,争取同步上马。如果先(下转第66页)

给设备带来隐患。其次,在 25%  $n_c$  加闸时,风闸闸板易变形和发热,以至风闸有时落不下来,给检修和运行人员增加很多工作量。

改造后采用电气制动方式(混合制动),即在 60%  $n_c$  时采用电气制动,在 10%  $n_c$  时再投气制动。由于停机加闸转速的减小,使机组的线速度减小,减少了原来线速度(原来是 25%  $n_c$ )的 60%。因此,在低转速加闸,风闸闸板与制动环制动时磨损比改造前减少很多,产生的粉尘和制动时的噪音也比以前减少,闸板也不易发热和变形,从而提高机组转子和定子绝缘程度,同时也减少了检修人员的工作量,提高设备的稳定性。实际投运后的效果表明,采用电气制动不仅缩短了机组停机时间,而且提高了设备的安全性和自动化水平。

(5)保障措施。由于#5 机组是远离中控室,并且是无人值班、关门运行机组,采用计算机监控控制,所以,在机组 PLC 开机条件程序中加入短路刀

(上接第 47 页)期脱硫系统投入运行,将来需要上脱硝系统时,原有脱硫系统的一部分设备属于重复的浪费投资。因为上脱硝装置则脱硫系统的 GGH、低泄漏风机等不用设计。

参考文献:

[1]李锋,尹正明,余宇,等. SCR 烟气脱硝技术在超超临界燃煤机组上的应用[C]//中国电机工程协会清洁高效燃煤发电技术协作网 2007 年年会论文集. 北京:中国电机工程协会,2007:99-101.

[2]郭西清,尹君,尹民权. 600 MW 机组脱硫增压风机系统调试经验[C]//600MW 机组竞赛第十一届年会论文集. 北京:中国电力企业联合会,2007.

闸辅助接点闭锁,监控上位机开机流程中加入闭锁库,并且由交直流开关辅助接点送入监控系统,以保证在开机时短路刀闸在分闸位置;同时,在短路刀闸室内加装工业电视探头,以便运行人员在远方中控室及时巡检。

参考文献:

[1]王毓东. 电机学[M]. 杭州:浙江大学出版社,1990.

[2]陈怡. 电力系统分析[M]. 北京:中国电力出版社,2005.

[3]白延年. 水轮发电机设计与计算[M]. 北京:机械工业出版社,1982.

(编辑:白银雷)

作者简介:

张士军(1964-),男,浙江临海人,华电乌溪江水力发电厂厂长,高级工程师,从事水电厂管理和技术方面的工作。

周新有(1970-),男,浙江衢州人,华电乌溪江水力发电厂工程师,工程硕士,从事水电厂自动化技术方面的工作。

[3]郭修奎,尹君,商显新,等. 锅炉电除尘效率降低原因浅析[J]. 山东电力技术,2005(6):61-63.

(编辑:王书平)

作者简介:

尹君(1980-),男,山东德州人,华电国际邹县发电厂助理工程师,主要从事发电机组的集控运行方面的工作。

杜刚民(1957-),男,山西芮城人,水利部水工金属结构质量检测测试中心副总工程师,高级工程师,主要从事金属结构质量检测方面的工作。

尹民权(1953-),男,山东齐河人,华电国际邹县发电厂生产技术锅炉状态诊断组组长,高级技师,从事锅炉状态检修方面的工作。