

多炉一塔脱硫工艺烟气系统的优化^{*}

张彦锋^{1,2} 马永亮¹ 项光明² 颜 炜²

(1. 清华大学环境科学与工程系, 北京 100084; 2. 同方环境股份有限公司, 北京 100083)

摘要:多炉一塔脱硫工艺的烟气系统通常设置 GGH 和增压风机,但在工程实践中会出现较多运行问题,如失速、喘振、高能耗等。以某自备电厂 3 台 220t/h 燃煤锅炉烟气脱硫工程为例,针对多炉一塔湿法脱硫工艺是否设置 GGH 和增压风机进行了技术经济分析,并对烟气系统的控制监测方案进行了优化,最终采取了取消 GGH、改造引风机、优化烟气系统控制监测的设计方案。可为小型燃煤电厂多炉一塔脱硫工艺提供参考。

关键词:脱硫; 多炉一塔; 烟气系统; 优化

THE OPTIMIZATION OF THE FLUE GAS SYSTEM FOR THE FGD PROCESS OF MULTI-BOILER WITH ONE TOWER

Zhang Yanfeng^{1,2} Ma Yongliang¹ Xiang Guangming² Yan Wei²

(1. Department of Environmental Science and Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China;

2. Tongfang Environmental Co., Ltd, Beijing 100083, China)

Abstract: The flue-gas system in wet flue gas desulfurization (FGD) for multi-boiler with one tower, is usually installed with the gas-gas heater (GGH) and booster fan, which might cause some operational problems in practice, such as the surge, stall, and high energy consumption. Based on the design of FGD for three coal-fired boilers (3 × 220t/h) in a thermal power plant, the economic and technical comparison were carried out for FGD process with or without the GGH and booster fan, in terms of performance, energy consumption, operation and maintenance cost. The flue gas control and monitoring system has been optimized. The conclusions can be used as a reference for flue gas wet desulfurization systems design in small coal-fired power plant.

Keywords: wet flue gas desulfurization; multi-boiler with one tower; flue gas system; optimization

1 概述

据统计,2009 年电力行业全年二氧化硫排放量约 948 万 t^[1],脱硫任务仍很艰巨。容量较大的机组脱硫设施配套率较高,而规模较小的自备电厂或供热厂数量较多,但脱硫配套率较低,脱硫工作迫在眉睫。对于大容量机组,单炉单塔脱硫技术已很成熟,但对于自备电厂等较小的锅炉机组,单炉单塔脱硫不够经济。这些小机组普遍存在设施较老、场地狭小、资金困难等问题,多炉一塔工艺具有一定的适用性。

国内陆续有两炉一塔脱硫工艺系统建成投产,三炉一塔脱硫工艺也在天津一热得到了较好应用^[2]。这些案例中一般都有 GGH 和增压风机。在运行中也逐渐暴露出一些问题:

1) GGH 运行的故障较多,特别是换热元件的堵灰和腐蚀问题。所形成的堵灰不能在运行中得到有效清除,堵塞严重时还会引起风机失速。GGH 阻力较大,风机运行费用较高^[3]。

2) 多炉一塔工艺中,增压风机如选择并列布置方式,其之间负荷差异越大风机失速的可能性越大^[4],易引起风机喘振,危害很大。如选择原烟道混合后通过一台增压风机输送到脱硫塔,则在低负荷时,易进入失速区,且此时耗能高,效率低。

3) 多炉一塔的烟气系统控制是难点^[5]。控制方式不合理,监测不到位,就不能有效对其实施监控,无法保证主机和脱硫系统的安全。尤其是环保部要求对旁路挡板实施铅封后,此问题更显重要。

多炉一塔烟气系统出现的这些问题影响了其有效推广。本文将某企业自备电站多炉一塔脱硫工

^{*} 国家高技术研究发展计划重点项目(2007AA061703)。

艺设计为基础,在 GGH 取舍、增压风机选型、烟气系统控制监测等三个方面展开讨论。

2 设计基准参数

某企业自备热电厂有 3 台 220 t/h 锅炉,共用 1 座烟囱,脱硫设计区域有地下管网,需要改造,综合考虑场地和规模,决定采用“多炉一塔”脱硫工艺(本项目为“三炉一塔”)。原烟气参数详见表 1。

表 1 原烟气参数

项目	原烟气 (1 台炉)	原烟气 (3 台炉)
烟气流量(干态)/(m ³ ·h ⁻¹)	268 278	804 834
SO ₂ 6% O ₂ (干态)/(mg·m ⁻³)	2 323	2 323
温度/℃	125	125

净烟气 SO₂ 浓度按不大于 200 mg/m³(干态,6% O₂)设计。

3 GGH 的取舍

一般认为烟气脱硫净烟气经 GGH 加热,将烟温升至 80℃,可降低脱硫烟气对下游设备的腐蚀。然而,根据脱硫运行的实践经验,GGH 本身弊端很多,对脱硫影响很大。

3.1 GGH 对脱硫系统的影响

3.1.1 GGH 对烟道与烟囱腐蚀影响

大量实践证明,燃煤烟气经 GGH 加热后,局部烟温仍可能低于酸露点,依然会在烟道和烟囱中产生新的酸凝结,烟气再热只能减轻出口烟道和烟囱的腐蚀,但并不能完全防止。无论是否安装 GGH,湿法烟气脱硫工艺的烟囱都应采取防腐措施,并按照湿烟囱设计。

3.1.2 脱硫系统故障增加

GGH 运行在干湿烟气交替环境中,原烟气带来的飞灰极易粘结在换热元件上,形成堵灰,影响系统运行^[6]。需采用压缩空气或蒸汽进行吹扫,甚至采用高压水冲洗。随着运行时间的延长,GGH 的压降会增加很多,如不能及时处理,易造成事故停机。

3.1.3 增加相应的能耗水耗

FGD 中的 GGH 装置运行过程或停机后需压缩空气、蒸汽、高压水/低压水冲洗,增加能耗和水耗。冲洗水一般可循环利用,但在低负荷时,GGH 的用水量往往会破坏水平衡,影响正常运行。

3.2 有无 GGH 对大气环境的影响分析

排烟温度未列入我国环保标准,但我国有大气环境质量标准、大气污染物排放标准 and 环境影响评价导

则。据此可以对有无 GGH 进行分析评价。

净烟气中 SO₂ 浓度按 200 mg/m³ 考虑,周围大气敏感点有刘陈街区、华兴医院、胥浦镇街区等,进行主要大气污染物的监测。预测模型根据气象台常规气象和评价区域污染气象实测资料分析结果,采用有风点源扩散模式进行预测,分别考虑在最不稳定的 A 级和比较稳定的 D 级气象条件下,选取了 3 个环境敏感点及最大落地浓度点,以我国大气二级标准浓度作为参比标准,进行了评价分析。具体数据见表 2。

表 2 环境敏感点影响分析

项目		最大浓 度点	刘陈 街区	华兴 医院	胥浦镇 街区	稳定 级别
有 GGH	距离/m	1 180	1 800	3 000	4 000	A
(<i>T</i> = 80℃)	SO ₂ /(mg·m ⁻³)	0.0473	0.0359	0.0251	0.0219	
	占标准比例/%	9.46	7.18	5.02	4.38	
无 GGH	距离/m	1 020	1 800	3 000	4 000	
(<i>T</i> = 51℃)	SO ₂ /(mg·m ⁻³)	0.0687	0.0509	0.0343	0.0313	
	占标准比例/%	13.74	10.18	6.86	6.26	
有 GGH	距离/m	22 870	1 800	3 000	4 000	D
(<i>T</i> = 80℃)	SO ₂ /(mg·m ⁻³)	0.00027	0.000005	0.00001	0.00005	
	占标准比例/%	0.054	0.001	0.002	0.01	
无 GGH	距离/m	12 540	1 800	3 000	4 000	
(<i>T</i> = 51℃)	SO ₂ /(mg·m ⁻³)	0.0078	0.00004	0.0004	0.0014	
	占标准比例/%	1.56	0.008	0.08	0.28	

注:二级标准浓度限值为小时平均浓度的二级,即 0.50mg/m³。

可以看出,在最不稳定的 A 级条件下。无 GGH 方案中,SO₂ 最大落地浓度分别占二级标准限值的 13.74%,对各敏感点的影响,最大的仅占二级标准限值的 10.18%。可以认为对各敏感点的环境影响很小。

在 D 级条件下,无 GGH 时,SO₂ 最大落地浓度占二级标准限值的 1.56%,仅是一级标准限值的 5.2%,对各敏感点几乎无影响。

整体来说,有无 GGH 对环境敏感点的影响都是非常小的,都是在安全范围之内的。不配置 GGH,在技术上是完全可行的。

3.3 技术经济效益分析

技术经济的比较采用电力行业认可的最小年费法^[7]。

3.3.1 运行模式

根据本工程情况,考虑到本工程是自备电厂机组,以带基本负荷为主,有一定的调峰运行量,按照年利用为 6 000 h、年运行 8 000 h,机组负荷率为 75%。

3.3.2 主体设备造价

根据设备选型和厂商报价,对于有无 GGH 的方案对比列于表 3。

表 3 主体设备投资 万元

项目	无 GGH	有 GGH
GGH	0	800
增压风机	240	260
烟道	120	160
烟囱防腐(套)	300	0
合计	660	1 220

注:1. 增压风机按一台考虑。

2. 烟囱防腐按贴衬泡沫玻璃砖方案考虑,有 GGH 方案的烟囱暂按不防腐考虑。

3.3.3 年运行成本

有无 GGH 方案运行成本对比见表 4。

表 4 有无 GGH 方案运行成本对比 万元

项目	无 GGH	有 GGH
年电耗成本	173.7	334.1
年水耗成本	0.0	1.2
设备检修成本	6.0	16.0
年运行费用	179.7	351.3

注:电耗只考虑增压风机和 GGH 系统两部分,电价按 0.4 元/(kW·h),水价按 0.50 元/t。

3.3.4 年费对比

根据设备投资、运行费用可得出年费对比见表 5。

表 5 有无 GGH 方案年费对比

项目	无 GGH	有 GGH
设备投资费用/万元	660	1 220
固定费用率	0.16	0.16
固定费/万元	105.6	195.2
年运行费用/万元	179.7	351.3
年费/万元	285.2	546.5
年费用最小排序	1	2

在设备造价、运行成本、技术方案年费对比表中,无 GGH 方案比有 GGH 方案有很大的优势。

在改造项目中,一般现场位置比较紧张,GGH 较

难以布置,鉴于 GGH 的优缺点及相关经济分析,故无 GGH 方案为首选。

4 增压风机的配置

4.1 增压风机配置方案设计

在本脱硫系统中,不考虑 GGH,增压风机必须保证在不同锅炉负荷下(1 台炉的 35% 负荷到 3 台炉的 100% 负荷)都能够正常运行。对于脱硫系统的增压风机设计方案有两个:

方案 A:对原有双吸离心式风机进行改造,更换大功率电机,提高引风机的压头。因 FGD 系统不设置 GGH,阻力较小,为本方案的实施提供了可能。经与风机厂商确认,改造后风机压头可在原设计基础上提高 2 500 Pa 左右。共需改造 6 台。BMCR 工况,风机压头由原来的 2 300 Pa,提高到 4 000 Pa,流量不变。

方案 B:原引风机不做调整,三台炉原烟气合并后,考虑到负荷区间较宽,配置动叶可调轴流增压风机一台,尽量避免低负荷时的风机失速问题。此种配置较为常用。BMCR 工况,动调风机的风机压头为 1 800 Pa。

对于方案 A、B,在烟气系统的设备配置上,FGD 正常启动或停运时,缓慢打开或关闭旁路挡板门,同时调节引风机(或增压风机)出力以满足烟气系统阻力的变化。整个启动或停运过程中,锅炉炉膛负压不会出现较大波动。

在工艺流程设计上,方案 A、B 都是可行的。另外,关于运行维护的灵活性特指的是与 3 台锅炉的运行状态的匹配。可以看出方案 A 灵活性高,能耗低,占地少,对周围设施的改造量也较小。

4.2 技术经济分析

增压风机的技术经济分析也采用最小年费法,运行模式参考 3.3.1 部分说明。年费对比详见表 6。

表 6 增压风机方案年费对比

项目	方案 A	方案 B
设备投资费用/万元	150.0	240
固定费用率	0.16	0.16
固定费/万元	24.0	38.4
年运行费用/万元	426.7	486.8
年费/万元	450.7	525.2
年费用最小排序	1	2

从表6中可看出,方案A投资费用、运行费用、年费都较低,为最优方案。

从整体脱硫工艺系统和经济分析的角度来看,取消增压风机,并对原引风机改造的方案最为合适,可有效避免增压风机失速喘振、启动调节等问题,从检修维护上也更为简单易行。

5 烟气系统控制与监测

在单炉单塔中,控制与监测相对简单,有入口、出口、旁路挡板等,而在多炉一塔中原有配置的安全性就不够了。多炉一塔脱硫工艺中合理的烟气系统控制与监测方案意义重大。

5.1 烟气控制与监测所遇到的问题

1) 在多炉一塔中,原烟道多引自主烟道,造成数台锅炉烟气同时脱硫或同时不脱硫,无法分别处理。

2) 在多炉一塔中,如果烟气超温,烟气连续监测系统无法判断是哪台锅炉烟气所导致,无法进行后续操作。打开旁路时可能无法监测到有效数据。

3) 温度压力的测点较少,如有仪表故障,影响安全运行。

4) 环保部发文要求铅封旁路挡板,对脱硫系统提出更高要求,烟气系统能否适应此要求。

5.2 优化措施

1) 每台炉均设置独立的入口、旁路挡板,以备锅炉点火或事故状态时走旁路通道进入烟囱排放,本项目根据现场情况设置了3套旁路挡板,保证了锅炉和脱硫系统的独立安全运行。旁路挡板采用双套电动执行机构,其中一套为调节型,防止快开,避免影响机组运行。

2) 在每台炉引风机后的原烟气烟道分别配置CEMS一套,单独的温度压力测点各1个,原烟气混合后再设置温度2重,压力2重,以保护吸收塔系统。本项目共配置了3套原烟气CEMS,1套净烟气CEMS,能够及时发现烟气参数的变化。

3) 净烟气CEMS设置在主烟道与烟囱接口处,以备开启旁路时,也能及时监测到烟气参数。

4) 考虑到烟囱的防腐,工期一般为1个月左右,在吸收塔顶的临时烟囱上设置CEMS监测孔并投运,烟囱防腐完毕后再挪至主烟道。

5) 考虑到不配置增压风机,脱硫系统的启停会对主机造成较大影响,故启停时间相对较长。为避免在启停时间或FGD失电的状态下对吸收塔的危害,在吸收塔入口配置了事故喷淋系统,此措施也可满足铅封旁路挡板后,如遇高温烟气时对吸收塔系统的保护要求。

6 结论

1) 在湿法脱硫工艺中,从设计、运行、维修、经济分析等角度来说,取消GGH是可行的,但须对净烟气烟道和烟囱进行防腐处理,并定期检查腐蚀情况。

2) 在多炉一塔湿法脱硫工艺中,取消增压风机也是可行的,可有效地避免低负荷或不对称负荷时,风机的失速喘振等问题,且大大降低投资外,但必须注意烟道的优化设计,避免相互影响。

3) 通过烟气系统控制与监测的优化,是非常重要的,脱硫系统的安全性和可操作性大大提高。

4) 多炉一塔脱硫工艺的成功实施可为大量的企业自备电厂的脱硫工艺设计提供很好的参考。

参考文献

- [1] 中华人民共和国国家发展和改革委员会. 经济形势分析, 2009年全国电力工业统计年报数据[EB/OL], http://www.sdpc.gov.cn/jjxsfx/t20100713_360615.htm, 2010. 7. 13.
- [2] 胡安辉, 薛建明, 王忠凯, 等. 三炉一塔脱硫工艺的研究[J]. 中国环保产业, 2007(3): 43-46.
- [3] 戴永阳. 湿法脱硫系统运行经济分析[J], 电力环境保护, 2009, 25(2): 26-27.
- [4] 谭厚章, 郭起旺, 郝润生, 等. 烟气湿法脱硫系统故障原因试验分析[J]. 电站系统工程, 2008, 24(3): 15-17.
- [5] 薛建明, 许月阳, 金定强, 等. 湿法脱硫工艺的拓展性创新与应用[J], 2009, 25(1): 21-23.
- [6] 卢仲颐. GGH和湿烟囱在FGD系统中的应用比较[J]. 工业前沿, 2008(1): 57-61.
- [7] 尹进. 1000MW超超临界机组引风机型式的选择[J]. 科技信息, 2008, 34: 374-376.

作者通信处 张彦锋 100083 北京市海淀区王庄路1号清华同方科技广场A座15层同方环境股份有限公司

电话 (010)82393949

E-mail zhangyanfeng@thtf.com.cn

2010-08-23 收稿