

锅炉烟气余热回收对静电除尘器的影响

苏建民

(神华福建能源有限责任公司,福建 福州 350005)

摘要: 通过分析 135 MW 循环流化床锅炉尾部烟道安装烟气余热回收装置工程应用,研究了锅炉烟气余热回收对静电除尘器性能及机组经济性的影响。通过烟气余热加热汽机凝结水,使烟气温度下降了 35 ~ 40 °C,凝结水温度上升了 40 ~ 50 °C。研究表明:随着烟气温度下降,飞灰的比电阻也相应减少,静电除尘器的除尘效率明显提升,当通过除尘器的烟气温度在 106 °C 左右时,除尘效率达到 99.89%,烟气粉尘排放质量浓度小于 30 mg/m³;同时,余热回收排挤部分低压加入器的抽汽份额,使汽机等效焓降明显增加,机组发电标煤耗约下降了 2.8 g/kWh。

关键词: 锅炉; 余热回收; 静电除尘器; 除尘效率; 经济性

中图分类号: TD849; TK223

文献标识码: A

文章编号: 1006-6772(2013)03-0102-04

Influence of waste heat recovery from boiler flue gas on electrostatic precipitator performance and economical efficiency of unit

SU Jianmin

(Shenhua Fujian Energy Co., Ltd., Fuzhou 350005, China)

Abstract: Analyse the practical utilization of waste heat recovery equipment in 135 MW CFB boiler. Investigate its effects on electrostatic precipitator performance and economical efficiency of unit. The waste heat is used to warm condensed water of steam turbine. The flue gas temperature decrease by 35 °C to 40 °C, however, the condensed water temperature increase by 40 °C to 50 °C. The results show that, with the decrease of flue gas temperature, the dust specific resistance of fly ash decrease, the dust removal efficiency increase significantly. When the temperature of flue gas through electrostatic precipitator is around 106 °C, the dust removal efficiency can reach 99.89 percent, the dust emission concentration is less than 30 mg/m³. The waste heat recovery remarkably decrease the equivalent enthalpy drop of steam turbine. The standard coal consumption of unit decrease by 2.8 g/kWh.

Key words: boiler; waste heat recovery; electrostatic precipitator; dust removal efficiency; economical efficiency

收稿日期: 2013-01-28 责任编辑: 孙淑君

作者简介: 苏建民(1966—),男,福建晋江人,高级工程师,主要从事 CFB 锅炉燃烧技术应用方面的研究。E-mail: lao.su@163.com。

引用格式: 苏建民. 锅炉烟气余热回收对静电除尘器的影响[J]. 洁净煤技术, 2013, 19(3): 102-105, 109.

0 引言

燃煤锅炉烟气温度一般为 $125 \sim 140\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，携带大量余热排放大气，造成严重的环境污染和资源浪费^[1-3]。国内已开始对这部分低品位热能的回收进行研究^[6-12]，但烟气温度下降对除尘效率的影响则研究较少^[13-14]，国外在这方面已经进行了深入的理论研究和实践应用^[15]，如日本的燃煤锅炉机组大多采用低温电除尘工艺，电除尘器的运行温度为 $90 \sim 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，明显改善了除尘器的除尘效率，粉尘排放质量浓度均小于 30 mg/m^3 。

本文结合一台燃烧劣质无烟煤的 135 MW 循环流化床(CFB)锅炉机组加装余热回收装置的应用，研究了对余热回收对节能减排的效果，分析了烟气温度降低对飞灰特性和电除尘器除尘效率的影响，

评价了余热回收对机组整体经济性的影响。

1 技术改造方案及测试方法

为了全面研究烟气余热回收装置对机组运行经济性及锅炉飞灰特性的影响，选择在一台配套双室五电场静电除尘器的 135 MW CFB 锅炉进行。烟气余热回收装置工程设计为水冷方式，受热面布置于电除尘前端，烟气温度较高，换热效果较好，同时，考虑换热后的烟气以较低温度流经电除尘器，可提高除尘效率。

研究装置布置在空预器出口水平烟道处，左、右各一列，冷却水取自凝结水，经冷渣器后进入烟气余热回收装置，回水至 5 号低压加热器出口，如图 1 所示。通过冷却水量自动调节烟气温度，并实现烟气余热回收。

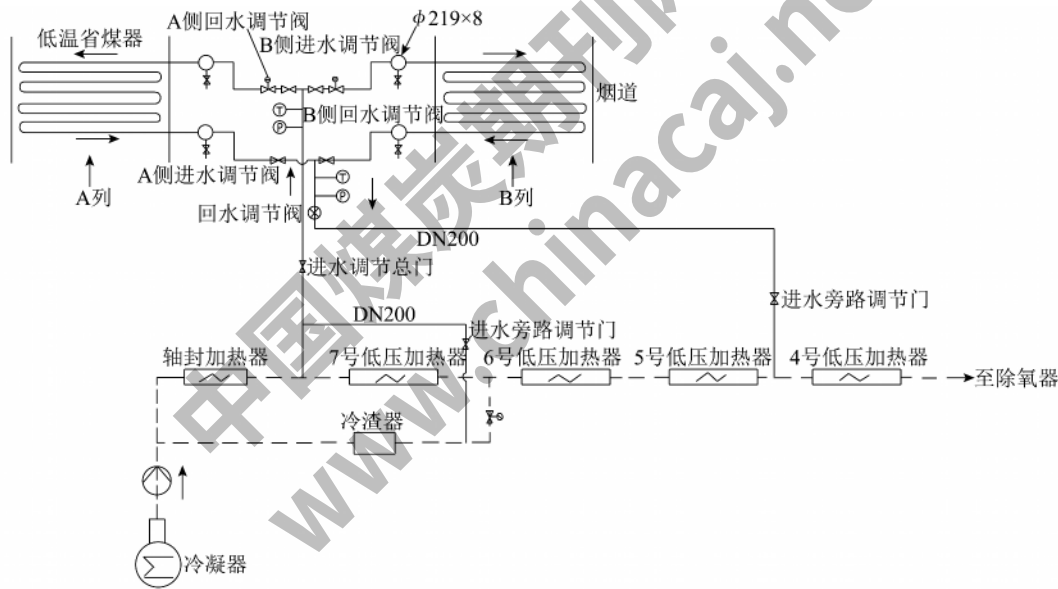


图1 锅炉余热回收装置热力系统

实验测试采样在进口烟道的测试断面，布置在与进口喇叭相接的一段水平直管段上，断面尺寸 3 m (宽) $\times 3\text{ m}$ (高)。在烟道顶部均匀布置 9 个测孔，每个测孔均匀布置 8 个测点，一个断面布置 72 个测点。出口烟道测试断面布置在一段较高的垂直管段上，断面尺寸 3 m (长) $\times 3\text{ m}$ (宽)。在烟道一侧均匀布置 4 个测孔，其中 2 个测孔安装了烟气流量在线监测仪，每个测孔均匀布置 8 个测点，一个断面布置 16 个测点。

粉尘浓度采用 TH-880FⅣ型微电脑烟尘平行

采样仪和 KCY-3A 型个体粉尘采样仪，比电阻的测量采用 BDL 便携式现场比电阻测定仪。

实验过程燃烧用煤种为低挥发分无烟煤，煤质分析见表 1。机组在满负荷工况运行，并通过炉添加石灰石的方式炉内脱硫， Ca/S 物质的量比为 2.8，试验结果见表 2。

表1 实验用煤煤质分析

$S_{t,ar}/\%$	$M_{ar}/\%$	$A_{ar}/\%$	$V_{daf}/\%$	$Q_{net,ar}/(\text{MJ}\cdot\text{kg}^{-1})$
0.83	8.3	36.01	3.35	18.69

2 结果分析

2.1 对静电除尘器性能的影响

表2为余热回收投运前后烟气温度对粉尘排放浓度的影响,当余热回收装置中冷却水量最大时,电除尘器的入口烟气温度为106℃。

表2 余热回收装置投运前后对粉尘排放的影响

项 目	投运前	投运后
机组负荷/MW	135	135
冷却水量/(t·h ⁻¹)	0	121
冷却水进水温度/℃	—	53
冷却水回水温度/℃	—	94
除尘器入口烟气温度/℃	143	106
除尘器入口烟气流量/(10 ⁵ m ³ ·h ⁻¹)	5.447	5.018
除尘器入口烟尘质量浓度/(10 ⁴ mg·m ⁻³)	2.603	2.592
除尘器出口烟气流量/(10 ⁵ m ³ ·h ⁻¹)	5.545	5.109
除尘器出口烟尘质量浓度/(mg·m ⁻³)	79.02	28.50
除尘效率/%	99.69	99.89

从表2可以看出,烟气余热回收装置投运后,除尘器除尘效率提高了0.20%,电除尘器的烟尘排放质量浓度从79.02 mg/m³下降到28.5 mg/m³,粉尘减排效果显著,其主要原因可从烟气温度对比电阻、驱进速度、工作电压和比电晕功率等方面进行分

1) 烟气温度与入口工况飞灰比电阻的关系如图2所示。

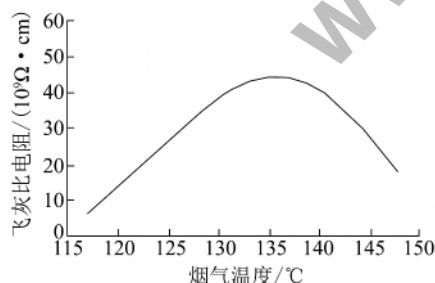


图2 烟气温度与入口工况飞灰比电阻的关系

从图2可知,当烟气温度为138℃时入口工况飞灰比电阻达到最高值,随着烟气温度的降低或升高,入口工况飞灰比电阻随之降低,当烟气温度降至117℃时,入口工况飞灰比电阻只有 $6.48 \times 10^9 \Omega \cdot \text{cm}$ 。由于原电除尘器的设计烟气温度为139℃,此时入口工况飞灰比电阻处于最高值,因此,在加

装置LSC装置后将烟气温度降至117℃以下,可将入口工况飞灰比电阻降低近一个数量级。有利于粉尘荷电,增加电场强度,从而提高除尘效率。

粉尘比电阻是衡量静电除尘器导电性能的重要指标,沉积在电除尘器收尘极表面的粉尘,必须具有一定的导电性能,才能传导电子流。高比电阻粉尘层电击穿的极限电流取决于粉尘自身的比电阻。进一步研究发现,存在一个粉尘比电阻区间,区间内除尘性能最佳,如图3所示,最适合电除尘器工作比电阻值为 $10^6 \sim 10^{11} \Omega \cdot \text{cm}$ 。

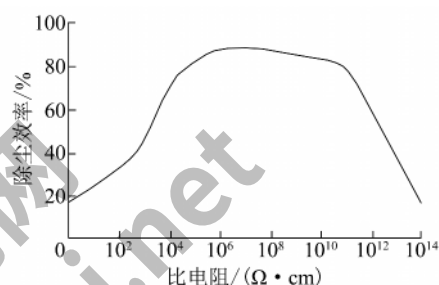


图3 比电阻与除尘效率的关系

显然,由于烟气温度下降,粉尘比电阻也相应减小,提高了除尘器性能。在同样机组运行负荷下,烟气余热回收装置投运后烟气温度下降约37℃,相应的出口烟气流量下降约7.9%。如图4所示,当烟气温度每降低10℃,烟气流量平均降低4.2%,比集尘面积提高4.2%,从而改善了除尘器性能,降低电除尘器出口浓度。

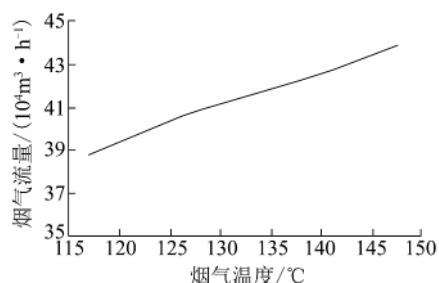


图4 烟气温度与烟气流量的关系

2) 烟气温度与工作电压的关系如图5所示。从图5可知:随着烟气温度的降低,工作电压升高;当烟气温度从138℃下降到127℃时,工作电压明显提高,提高了19.2%,电除尘器工作电压提高,电场强度和烟尘有效驱进速度也会提高,从而提高了除尘效率,降低了出口粉尘排放浓度。

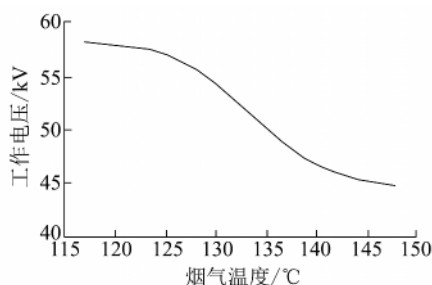


图5 烟气温度与工作电压的关系

3) 烟气温度与比电晕功率的关系如图6所示。随着烟气温度的降低,比电晕功率随之升高;当烟气温度由138℃下降到127℃时,比电晕功率变化非常明显,比电晕功率提高59.2%,并且随着温度的降低,比电晕功率继续增加,提高了除尘效率,降低出口粉尘排放浓度。

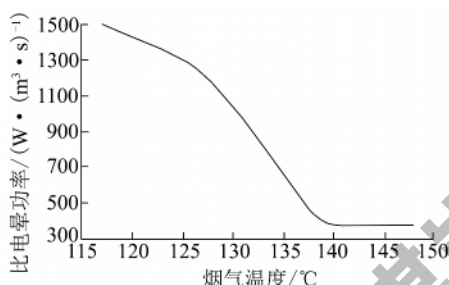


图6 烟气温度与比电晕功率的关系

4) 烟气温度的变化改变了灰和烟气的特性,改善了电除尘器的运行方式,提高了除尘效率。烟气温度与除尘效率的关系如图7所示,当烟气温度高于125℃时,除尘效率呈陡降趋势。

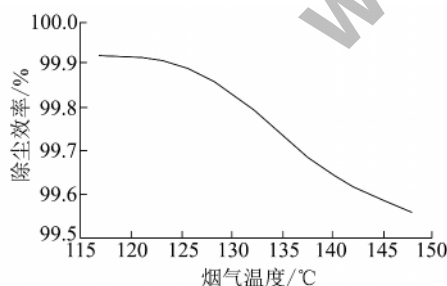


图7 烟气温度与除尘效率的曲线关系

2.2 对机组运行经济性的影响

烟气余热回收装置的冷却水来自汽机凝结水,通过与烟气的热交换,水温可上升40℃左右,这部分热量经5号低压加热器出口,汇入回热系统回路。根据等效焓降的定义,由于主路凝结水的减少,排挤了轴封加热器、7号低压加热器、6号低压加热器

的抽汽,这些排挤的汽量总和即为机组的等效焓降增量。为进一步检测烟气余热回收装置投运对机组主要参数和经济指标的影响,分投运前和投运后两个工况进行了热力试验,结果见表3。

表3 余热回收装置投运前后对机组运行经济性的影响

项 目	投运前	投运后
试验发电机功率/MW	134.6	135.3
主蒸汽压力/MPa	12.97	12.74
主蒸汽温度/℃	533.1	532.8
再热蒸汽压力/MPa	2.65	2.67
再热蒸汽温度/℃	541.0	541.3
排汽压力/MPa	7.94	8.58
主凝结水流量/(kg·h ⁻¹)	350669	353514
余热回收装置回水流量/(kg·h ⁻¹)	0	87500
最终给水压力/MPa	15.2	15.0
最终给水温度/℃	238.5	239.0
最终给水流量/(kg·h ⁻¹)	391153	392041
修正后发电机功率/MW	137.3	140.7
修正后热耗/(kJ·kWh ⁻¹)	8745	8686

试验结果表明,余热回收装置投运后,汽机热耗率下降了59 kJ/kWh,对应的发电标煤耗率下降了2.8 g/kWh左右,机组运行经济性明显提升。

3 结 论

1) 通过在电除尘器入口加装烟气余热回收装置降低烟气温度,烟气温度的降低改变了灰和烟气的特性,改善了电除尘器的运行方式,并最终提高了除尘效率。实验工况烟气温度从143℃降低到106℃,电除尘器除尘效率从99.69%提高到99.89%,烟尘排放质量浓度从79.02 mg/m³下降到28.5 mg/m³。

2) 通过在电除尘器入口加装烟气余热回收装置,将电除尘器入口烟气温度降低到115℃左右后,入口工况飞灰比电阻可降低近一个数量级,有利于粉尘荷电,增加电场强度,从而明显提高了除尘效率,减少了出口烟尘排放浓度。

3) 通过在电除尘器入口加装LSC烟气余热回收装置,烟气温度每降低10℃,烟气流量平均降低4.2%,比集尘面积提高4.2%,除尘效率平均可提高41.6%。

4) 当烟气温度从138℃下降到127℃时,工作电压提高19.2%,比电晕功率提高59.2%,出口烟尘排放降低了56.7%。

(下转第109页)

- [7] Hanehara S, Tomosawa F, Kobayakawa M. Effects of water ratio, mixing ratio of fly ash and curing temperature on pozzolanic reaction of fly ash in cement paste [J]. Cement and Concrete Research, 2001, 31(1): 31-39.
- [8] 李桂中. 电力建设与环境保护 [M]. 天津: 天津大学出版社, 2000: 970-1000.
- [9] Woolard C D, Strong J, Erasmus C R. Evaluation of the use of modified coal ash as a potential sorbent for organic waste streams [J]. Applied Geochemistry, 2002, 17(8): 1159-1164.
- [10] Behrooz S G, Carl F S, Wojciech S J, et al. Simultaneous control of HgO , SO_2 , and NO_x by novel oxidized calcium-based sorbents [J]. Journal of Air and Waster Manage Association, 2002, 52(3): 273-278.
- [11] 赵宏, 陆胜, 解晓斌. 用粉煤灰制备高纯超细氧化铝粉的研究 [J]. 粉煤灰综合利用, 2002(6): 8-10.
- [12] 杨利香, 施钟毅. “十一五”我国粉煤灰综合利用成效及其未来技术方向和发展趋势 [J]. 粉煤灰, 2012(4): 4-9.
- [13] 国家发展改革委环资司. 推进大宗固体废物综合利用促进资源循环利用产业发展 [J]. 中国资源综合利用, 2010, 28(5): 18-19.
- [14] 吴韩. 粉煤灰在建筑材料中的应用 [J]. 中国建材科技, 2010(4): 63-67.
- [15] 刘关宇. 粉煤灰综合利用现状及前景 [J]. 科技情报开发与经济, 2010, 20(19): 167-169.
- [16] 周国成, 张饶, 张爱民, 等. 粉煤灰综合开发技术概述 [J]. 泸天化科技, 2011(4): 303-307.
- [17] 邓琨. 固体废物综合利用技术的现状分析 [J]. 中国资源综合利用, 2011, 29(1): 33-42.
- [18] 孙晓霞. 蒸压粉煤灰砖 走进新时代 [J]. 新材料产业, 2010(9): 79-82.
- [19] 陈丽. 浅谈西山煤电集团公司粉煤灰的综合利用 [J]. 科技情报开发与经济, 2010, 20(20): 164-165.
- [20] 陈珏. 大宗工业固体废物综合利用“十二五”规划 [J]. 砖瓦, 2012(2): 5-11.
- [21] 孙俊民, 姚强, 张战军, 等. 一种从高铝粉煤灰中提取二氧化硅、氧化铝及氧化镓的方法: 中国, 101284668 [J]. 2007-04-12.
- [22] 魏存弟, 杨殿范, 裴亚利. 一种制备氧化铝的方法: 中国, 1927716 [J]. 2006-08-29.
- [23] 王丽华. 利用高铝粉煤灰制备聚合氯化铝的实验研究 [J]. 北京: 中国地质大学(北京), 2006.
- [24] 聂铁苗, 刘淑贤, 牛福生, 等. 粉煤灰研究进展及展望 [J]. 混凝土, 2010(4): 62-65.
- [25] 国家发展改革委环资司. 国家发展改革委关于印发“十二五”资源综合利用指导意见和大宗固体废物综合利用实施方案的通知 [J]. 再生资源与循环经济, 2012, 5(1): 6-12.

(上接第 105 页)

5) 在投入低温余热回收装置运行后, 汽机的热耗下降了 59 kJ/kWh, 对应发电煤耗率下降了 2.8 g/kWh 左右, 机组运行经济性明显提升。

参考文献:

- [1] 康晓妮, 马文举, 马涛, 等. 320 MW 机组锅炉加装低温省煤器的经济性研究 [J]. 热力发电, 2012(5): 8-11.
- [2] 福建龙净环保股份有限公司. 静电除尘器研究实验报告 [R]. 龙岩: 福建龙净环保股份有限公司, 2012.
- [3] 胡广涛, 岳益锋. 降低锅炉排烟温度利用烟气余热的实践与理论研究 [J]. 节能技术, 2012(4): 295-298.
- [4] 林峰. 基于低压省煤器技术的 200 MW 锅炉排烟余热利用改造 [J]. 科技与生活, 2012(19): 105-106.
- [5] 王晶晶, 赵振宁, 姚万业, 等. 回转式空预器漏风分布对热风及排烟温度影响的研究 [J]. 华北电力技术, 2012(8): 43-46.
- [6] 郭刚. 解析电除尘烟温与粉尘特性的最佳结合点 [J]. 中国环保产业, 2012(5): 59-61.
- [7] 周建军, 武英刚, 兰小军. 小型燃精细水煤浆锅炉电除尘的试验研究 [J]. 洁净煤技术, 2008, 14(5): 96-99.
- [8] 陈涛. 应用于低压省煤器的 H 型鳍片管传热分析 [J]. 科技广场, 2012(5): 116-119.
- [9] 杨群峰, 曹颖, 董哲, 等. 小型工业锅炉烟气余热利用新技术 [J]. 节能技术, 2012(4): 342-345.
- [10] 段立强, 李冉, 杨勇平. 烟气冷却器的节能效果评价 [J]. 节能技术, 2012(5): 387-391.
- [11] 张付新, 袁晓豆, 史月涛, 等. 1021 t/h 锅炉单侧增设低压省煤器降低排烟温度的实践 [J]. 电站系统工程, 2012(5): 21-23.
- [12] 吕中平. 锅炉热效率监测及分析 [J]. 计量与测试技术, 2012(8): 1-2.
- [13] 杜艳玲, 李斌, 李露, 等. 220 MW 机组增设低压省煤器的经济性分析 [J]. 电力科学与工程, 2012(10): 53-56.
- [14] 田贵山, 徐廷相. 高温高压煤(烟)气的除尘技术分析 [J]. 洁净煤技术, 1998, 4(4): 45-47.
- [15] 王乃计, 徐振刚. 美国高温气体除尘技术发展现状 [J]. 洁净煤技术, 1996, 2(4): 43-47.