

高硫煤机组低低温电除尘技术研究及工程应用

邹小刚¹, 李东阳¹, 张知翔², 周 飞¹, 李 楠¹,
车宏伟¹, 陆 军², 李文锋¹, 申冀康¹, 徐党旗²

(1. 西安西热锅炉环保工程有限公司, 陕西 西安 710054;
2. 西安热工研究院有限公司, 陕西 西安 710054)

摘要: 低低温电除尘器得到了广泛应用,但国内外鲜有高硫煤机组应用低低温电除尘器的案例。搭建了高硫煤机组低低温电除尘器试验台,测试了五种不同烟气温度下飞灰样本的比电阻、成分和粒径,提出了飞灰平均粒径与烟气温度的拟合公式;完成了国内首台高硫煤机组低低温电除尘器工程应用,并对低低温电除尘器进行了性能测试和运行优化。试验结果表明:烟气温度越低,飞灰比电阻越低,飞灰粒径越大;飞灰成分随着烟气温度变化较小;除尘效率随着烟气温度的降低明显提高;采用运行模式三和模式四相对日常运行模式可分别降低电除尘器电耗 28% 和 35%。

关键词: 高硫煤机组;低低温电除尘器;比电阻;成分;粒径;除尘效率;工程应用;运行优化

中图分类号: TK314 **文献标识码:** A

0 引 言

煤炭占我国能源消费的 59%,其中的 50% 以上用于电力行业。煤电装机容量占总装机容量的 53%,煤电发电量占总发电量的 64%,煤电仍然是我国的支撑性电源^[1]。“碳达峰、碳中和”规划对煤电机组提出了更加严峻的考验,深度节能降耗将成为煤电机组的重要工作之一。

静电除尘器具有效率高、阻力低、维护量少等优点,是占据电力行业锅炉容量 95% 以上除尘设备^[2]。而低低温电除尘技术更是具有除尘效率高、脱除 SO₃、节能收益高、降低脱硫水耗等优点,是节能减排和超低排放改造的首选技术路线。叶子仪等^[3]指出对于燃煤电厂电除尘器的提效改造,低低温电除尘技术具有突出的优势,可作为环保型燃煤电厂的首选除尘工艺,也可与其他成熟技术优化组合,适合在我国燃煤电厂中推广应用。崔占忠等^[4]认为我国火电机组燃煤的种类比较杂,含硫的范围比较宽,而该技术只应用于低硫煤,在中硫煤的应用上还需进行深入研究。赵海宝等^[5]提出了灰硫比的计算方法,灰硫比的定义

和通过调节灰硫比以提高低低温电除尘器性能的方法。陆军等^[6]在某 600 MW 高硫煤机组锅炉上搭建了低低温省煤器试验台,当低低温省煤器试验段出口烟温低于烟气酸露点时,SO₃ 协同脱除率为 70.9%~91.9%。陶雷行等^[7]通过测试得出低低温电除尘器、湿法脱硫吸收塔与湿式电除尘器对 SO₃ 有削减作用,各设备对 SO₃ 的削减份额分别占 SO₃ 总量的 40%、15%、5%。张知翔等^[8-9]通过测试研究得出,低低温省煤器对 SO₃ 的脱除率为 84.42%~88.93%,建议高硫煤机组低低温省煤器推荐采用自上而下的布置方式。东明等^[10]通过数值模拟得出增大烟气流速会对颗粒的捕集效果有弱化作用;烟气流速越大,颗粒的捕集效率越低。邹小刚等^[11]通过高硫煤机组低低温省煤器试验平台,测试了低低温省煤器不同管型、不同翅片间距、不同出口烟气温度下的阻力及不同材质的低温腐蚀特性,提出了高硫煤机组低低温省煤器主要选型参数,实现了国内首台高硫煤机组低低温省煤器工程应用,提出了高硫煤机组低低温省煤器设计原则。国外,尤其是日本,于 1997 年开始应用低低温电除尘技术,拥有逾

20 年的成功应用经验^[12-13]。国内随着超低排放改造和节能升级改造的实施,低低温电除尘技术也得到了广泛应用。但国内外鲜有高硫煤机组应用低低温电除尘技术的案例,而我国又是高硫煤资源大国,已探明的高硫煤占资源总量的 6.38%^[14],西南地区大多机组燃用高硫煤,其排烟温度达 140~170℃,具有巨大的节能潜力,且面临超低排放改造的压力。因此,研究高硫煤机组低低温电除尘技术具有重要意义。

本文通过高硫煤机组低低温省煤器中试试验台,对五种不同烟气温度下飞灰样本的比电阻、成分和粒径进行分析,完成国内首台高硫煤机组低低温电除尘器工程应用,并测试烟气温度对粉尘排放的影响,优化低低温电除尘器的运行模式,以期对低低温电除尘技术在高硫煤机组上的应用进行指导。

1 试验概况

1.1 电厂概况

某电厂 360 MW 亚临界机组锅炉为法国进口、W 型火焰、中间再热、固态排渣、汽包炉,配置 2 台双室五电场静电除尘器。锅炉设计燃用高硫贫煤,硫份为 4.02%、灰份为 30.53%。2013~

2016 年间实际燃用煤质平均值见表 1,收到基硫份平均值为 3.11%,收到基灰份平均值为 28.36%,属于高硫高灰煤。

表 1 2013~2016 年锅炉煤质数据平均值

Tab. 1 Average value of boiler coal quality data for the period 2013-2016

年份	$w(M)_{ar}/\%$	$w(S)_{ar}/\%$	$w(A)_{ar}/\%$	$Q_{net,ar}/(MJ \cdot kg^{-1})$
2013	9.600	3.250	29.810	19.080
2014	8.910	3.070	28.510	20.060
2015	7.530	2.930	27.240	21.310
2016	7.490	3.170	27.860	21.080

注:M 代表水份;A 代表灰分。

1.2 试验台

试验台烟风系统如图 1 所示。低低温省煤器沿烟气流动方向共分为五组模块,即第一、二、三、四、五组模块。试验台的引风机(变频)由机组的空预器出口烟道抽取烟气,经试验台的低低温省煤器、试验台的静电除尘器后送入机组的静电除尘器入口烟道。低低温省煤器可控制各模块出口烟气温度,在各模块间设有声波吹灰器。试验台主要设计参数见表 2。

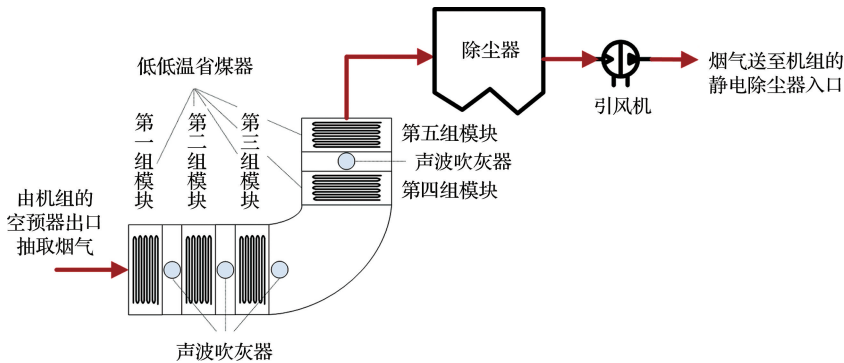


图 1 试验台烟气流程

Fig. 1 Test-bed flue gas flow chart

表 2 试验台主要设计参数表

Tab. 2 Main design parameters of test-bed

烟气量/ ($m^3 \cdot h^{-1}$)	烟道尺寸/ ($mm \times mm$)	烟道截面烟气 流速/($m \cdot s^{-1}$)	设计入口烟 气温度/℃	设计出口烟 气温度/℃	入口水温/ ℃	循环水量/ ($t \cdot h^{-1}$)	风机功率/ kW
10 000(标湿实际氧)	$\phi 630 \times 6$	15	180	85	75	42.5	22

1.3 飞灰取样

为研究高硫煤机组尾部烟气中飞灰的比电阻、成分、粒径随烟气温度的变化规律,试验台在运行时,将低低温省煤器第一组模块出口烟气温度控制为 135 ℃,第二组模块出口烟气温度控制为 120 ℃,第三组模块出口烟气温度控制为 110 ℃,第四组模块出口烟气温度控制为 100 ℃,第五组模块出口烟气温度控制为 90 ℃,并在运行过程中对飞灰进行取样分析。

2 试验结果分析

飞灰比电阻测试方法遵照 TPRI/T1.4-QC-026-2002A《LS230 激光粒度测定仪作业指导书》,检测仪器为 LS230 粉尘粒度测定仪(编号 17-990F-02-0092)。飞灰成分测试方法遵照 GB/T1574-2007《煤灰成分分析方法》,检测仪器为 U-THERM 马弗炉(编号 MD6012113D)和 TAS-990SUPER F 型原子吸收分光光度计(编号 17-990F-02-0092)。飞灰粒径测试方法遵照 TPRI/T1.4-QC-026-2002A《LS230 激光粒度测定仪作业指导书》,检测仪器为 LS230 粉尘粒度测定仪。

2.1 飞灰比电阻分析

本试验对五组不同烟气温度的飞灰样本进

行了分析,其中,飞灰比电阻在不同测试温度下的分析结果如图 2 所示。由图 2 可知,飞灰比电阻与烟气温度的关系为凸型曲线。飞灰比电阻峰值处于 120 至 160 ℃ 的烟气温度区间内,为 $10^{11} \sim 10^{12} \Omega \cdot \text{cm}$ 量级。在 120 ℃ 以下随着烟气温度的降低,飞灰比电阻逐渐降低,为 $10^9 \sim 10^{11} \Omega \cdot \text{cm}$ 量级,处于电除尘器最适合的粉尘比电阻范围内^[15],有效提高电除尘器效率。

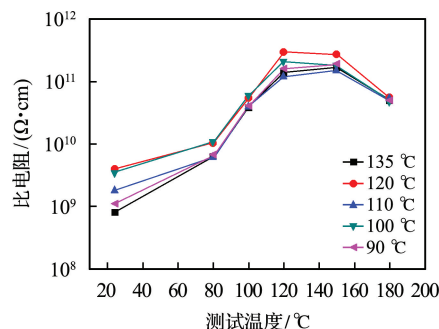


图 2 不同温度下飞灰比电阻

Fig. 2 Specific resistance diagram of fly ash at different temperatures

2.2 飞灰成分分析

五组飞灰样本的成分分析结果见表 3,由表 3 可以看出飞灰成分差别较小,无明显规律。

表 3 各试验段出口飞灰成分测试表($w/\%$)

Tab. 3 Test table of fly ash composition at the export of each test section ($w/\%$)

温度/℃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	SO ₃	MnO ₂	P ₂ O ₅
135	48.960	27.400	12.130	5.790	0.930	0.510	1.100	1.370	0.820	0.040	0.220
120	51.470	26.730	12.490	4.020	0.940	0.570	0.980	1.370	0.880	0.043	0.155
110	49.060	26.580	11.850	7.030	0.830	0.530	1.120	1.670	0.730	0.037	0.163
100	48.360	28.060	11.230	7.210	0.860	0.520	1.210	0.910	0.770	0.033	0.114
90	49.250	27.980	12.240	6.060	0.810	0.400	0.880	0.910	0.780	0.034	0.118

理论认为低低温除尘器进口烟温越低,飞灰对 SO₃ 的吸附率越高,对应的飞灰比电阻越低,飞灰内 SO₃ 的含量应该越高。但五组飞灰样品内 SO₃ 含量并未出现明显差别,且比电阻差别比较小,无明显规律。

分析原因主要是试验期间低低温电除尘器前烟气的灰硫比为 208~296,假设 SO₃ 全部被飞灰吸附,则飞灰中的 SO₃ 含量变化为 0.340%~

0.480%。当烟温低于 120 ℃ 时,SO₃ 的残余量仅为 33.300%~22.200%^[16],则飞灰中的 SO₃ 含量变化仅为 0.080%~0.160%,容易受到煤质波动的影响,因此,飞灰成分中的 SO₃ 和比电阻无明显规律。

2.3 飞灰粒径分析

五组飞灰样本的粒径测试结果如图 3 所示,可以看出平均粒径和中位粒径均随着烟气温度的

降低而明显增大。

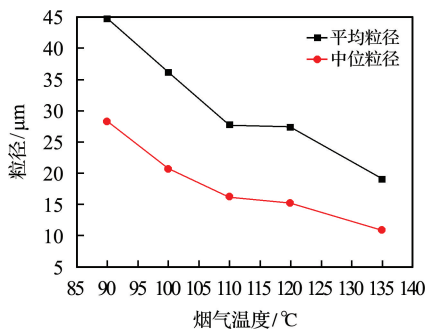


图3 各试验段出口飞灰粒径测试图

Fig. 3 Test diagram of fly ash particle size at the exit of each test section

根据平均粒径与烟气温度的试验数据,拟合出二者的关系:

$$D = 91.14 - 0.54t \quad (1)$$

式中: D 为平均粒径, μm ; t 为烟气温度, $^{\circ}\text{C}$;两个系数的拟合标准偏差分别为 8.95 和 0.08,校正决定系数为 0.92。

式(1)可以为高硫煤机组不同烟温下除尘器的效率计算提供参考。

图4所示为五组飞灰样本在各粒径范围内的平均粒径,可以看出随着烟气温度的降低,飞灰在各个粒径范围内的平均粒径均明显增加。

从试验结果分析可以认为,高硫煤机组烟气温度越低,其静电除尘器的效率越高,原因主要有:1) 烟气温度越低,飞灰比电阻越低,静电除尘

器效率越高;2) 烟气温度越低,飞灰粒径越大,静电除尘器效率越高;3) 烟气温度越低,烟气体积流量越小,比集尘面积越大,静电除尘器效率越高。

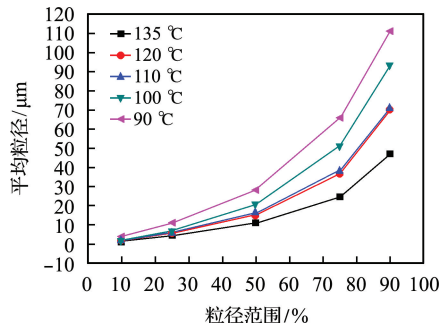


图4 各试验段出口飞灰各粒径范围内的平均粒径

Fig. 4 Average particle size of fly ash at the exit of each test section in the range of particle size

3 工程应用及优化

3.1 工程应用

基于低低温省煤器中试试验台的主要试验结果,该厂两台 360 MW 机组分别于 2016 年 10 月和 2017 年 4 月实施了低低温电除尘器改造工程,在静电除尘器入口增设了低低温省煤器,并同步进行了除尘器防腐和灰斗加热改造。烟风系统图如图 5 所示。设计工况下,低低温省煤器将除尘器入口烟气温度由 165 降低至 90 $^{\circ}\text{C}$,并且可调。

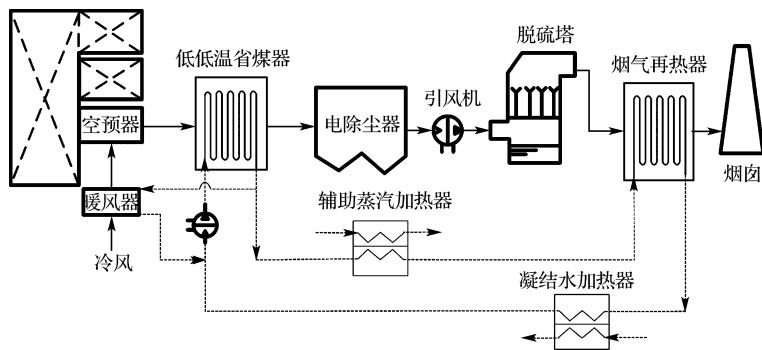


图5 低低温电除尘烟风系统

Fig. 5 System diagram of the low-temperature electrostatic precipitator

3.2 低低温电除尘器效率测试

日常运行模式下,低低温电除尘器的除尘效

率与烟气温度的关系如图 6 所示,除尘器出入口粉尘质量浓度与烟气温度的关系如图 7 所示。试

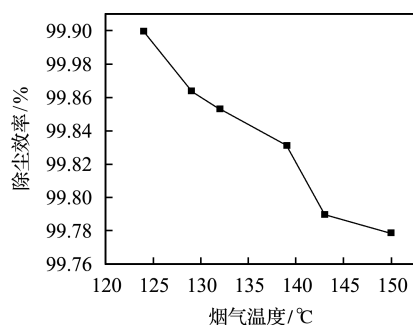


图 6 低低温电除尘效率与烟气温度的关系

Fig. 6 Relationship between the collection efficiency of low-low temperature electrostatic precipitator and flue gas temperature

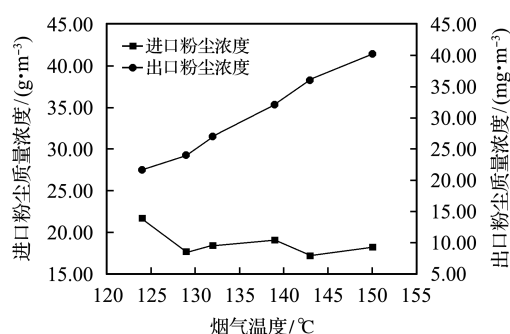


图 7 低低温电除尘进出口粉尘质量浓度与烟气温度的关系

Fig. 7 Relationship between the inlet and outlet dust concentration of low-low temperature electrostatic precipitator and flue gas temperature

验中入口粉尘质量浓度基本稳定在 19.00 g/m^3 左右。低低温省煤器未投运时,静电除尘器入口烟气温度为 $150 \text{ }^{\circ}\text{C}$,出口粉尘质量浓度为 40.27 mg/m^3 ,除尘效率为 99.78% 。随着入口烟气温

度的逐渐降低,低低温电除尘器的除尘效率逐渐升高,出口粉尘质量浓度逐渐降低。当烟气温度低于 $129 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,出口粉尘质量浓度低于 25.00 mg/m^3 ,机组最终能够实现粉尘超低排放。当烟气温度低于 $124 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,同等水平的入口粉尘质量浓度,出口粉尘质量浓度降低至 21.63 mg/m^3 ,静电除尘器的除尘效率能够达到 99.90% 以上。低低温电除尘器的除尘效率明显提高,出口粉尘质量浓度明显下降。

3.3 低低温电除尘器运行模式优化

针对低低温电除尘器相对较高的除尘效率,本文对电除尘器的运行进行了优化,旨在满足粉尘排放要求的前提下,降低电除尘器的运行能耗。

本文根据低低温电除尘器入口烟气温度和各电场电流的不同,提出了六种典型运行模式,各模式在 360 MW 机组负荷工况下的能耗分析见表 4。前四个模式低低温电除尘器入口烟温均为 $105 \text{ }^{\circ}\text{C}$,随着电除尘器运行能耗的降低,其出口粉尘质量浓度逐渐升高。模式一是在电除尘器最大能耗模式下运行,其出口粉尘质量浓度最低,为低低温电除尘器最大出力工况。模式二是在电除尘器日常运行模式下运行,其出口粉尘质量浓度及脱硫塔出口粉尘质量浓度保持较低水平运行。模式三降低电除尘器能耗至 $458 \text{ kW} \cdot \text{h}$,其出口粉尘质量浓度低于 30.00 mg/m^3 ,脱硫塔出口粉尘质量浓度低于 5.00 mg/m^3 ,距离排放指标(10.00 mg/m^3)有安全裕量,日常可在机组满负荷工况下运行,电除尘器能耗较日常模式降低 28% 。模式四降低电除尘器能耗至 $412 \text{ kW} \cdot \text{h}$,脱硫塔出口粉尘质量浓度低于 8.00 mg/m^3 ,离排放指标裕量

表 4 不同运行模式下的低低温电除尘能耗

Tab. 4 Low-temperature electrostatic precipitator energy consumption under different operating modes

模式	入口烟温/ °C	一电场 电流/ %	二电场 电流/ %	三电场 电流/ %	四电场 电流/ %	五电场 1 电流/ %	五电场 2 电流/ %	除尘电耗/ (kW·h)	除尘入口烟 尘质量浓度/ (g·m ⁻³)	除尘出口烟 尘质量浓度/ (mg·m ⁻³)	除尘 效率/ %	脱硫出口烟 尘质量浓度/ (mg·m ⁻³)
一	105	65	90	90	90	90	50	898	16.00~20.00	14.00~18.00	99.91	
二	105	65	60	60	60	60	50	632	18.00~21.00	22.00~25.00	99.88	2.00~3.00
三	105	65	50	45	45	45	45	458	15.00~21.00	24.00~29.00	99.85	3.00~4.00
四	105	60	40	40	40	40	40	412	17.00~19.00	28.00~35.00	99.83	5.00~8.00
五	127	65	50	45	45	45	45	451	18.00~20.00	27.00~32.00	99.84	
六	127	60	40	40	40	40	40	409	17.00~21.00	31.00~36.00	99.82	

较小,日常可在机组中低负荷工况下运行,电除尘器能耗较日常模式降低 35%。模式五、六的低低温电除尘器入口烟气温度为 127 ℃,除尘器电耗分别与模式三、四相同。模式五较模式三粉尘排放质量浓度升高,易出现瞬时超标。模式六较模式四粉尘排放质量浓度同样升高,很难满足粉尘排放要求。试验过程发现,在电除尘器入口烟气温度为 127 ℃ 工况下,当粉尘质量浓度达到与 105 ℃ 时的同等水平时,电除尘器电耗会升高约 100 kW·h。

4 结 论

1) 高硫煤机组静电除尘器入口飞灰的比电阻与烟气温度呈凸型曲线关系,峰值处于 120~160 ℃ 内,120 ℃ 以下随着烟气温度的降低,飞灰比电阻逐渐降低。

2) 烟气温度降低,飞灰成分无明显差别,飞灰平均粒径和中位粒径逐渐增大。

3) 静电除尘器的除尘效率随着其入口烟气温度的降低明显提高,出口粉尘质量浓度明显下降。

4) 两种优化后的静电除尘器运行模式可分别降低电耗 28% 和 35%。105 ℃ 烟气条件下静电除尘器电耗较 127 ℃ 降低约 100 kW·h。

参考文献 (References):

- [1] 中国能源研究会. 中国能源发展报告 2018 [Z]. 北京: 中国建材工业出版社, 2018.
- [2] 林宗虎, 徐通模. 实用锅炉手册 [Z]. 北京: 化学工业出版社, 2009.
- [3] 叶子仪, 刘胜强, 曾毅夫, 等. 低低温电除尘技术在燃煤电厂的应用 [J]. 技术与工程应用, 2015(5): 22-25.
YE Ziyi, LIU Shengqiang, ZENG Yifu, *et al.* Application of LLW temperature ESP in coal-fired power plant [J]. *Technology & Engineering Application*, 2015(5): 22-25. (in Chinese)
- [4] 崔占忠, 龙 辉, 龙正伟, 等. 低温高效烟气处理技术特点及其在中国的应用前景 [J]. 动力工程学报, 2012, 32(2): 152-158.
CUI Zhanzhong, LONG Hui, LONG Zhengwei, *et al.* Technical features of lower temperature high efficiency flue gas treatment system and its application prospects in China [J]. *Journal of Chinese Society of Power Engineering*, 2012, 32(2): 152-

158. (in Chinese)
- [5] 赵海宝, 郦建国, 何毓忠, 等. 低低温电除尘关键技术研究与工程应用 [J]. 中国电力, 2014, 47(10): 117-121.
ZHAO Haibao, LI Jianguo, HE Yuzhong, *et al.* Research and application on low-low temperature electrostatic precipitator technology [J]. *Electric Power*, 2014, 47(10): 117-121. (in Chinese)
- [6] 陆 军, 刘永强, 周 飞, 等. 高硫煤机组低低温省煤器 SO₃ 协同脱除试验研究 [J]. 热力发电, 2016, 45(12): 30-36.
LU Jun, LIU Yongqiang, ZHOU Fei, *et al.* Experimental research on simultaneous control of SO₃ concentration by low-low temperature economizer of high-sulfur coal unit [J]. *Thermal Power Generation*, 2016, 45(12): 30-36. (in Chinese)
- [7] 陶雷行, 翁 杰, 李晓峰, 等. 燃煤烟气超低排放全流程协同削减三氧化硫效果分析 [J]. 中国电力, 2018, 51(03): 177-184.
TAO Leihang, WENG Jie, LI Xiaofeng, *et al.* Analysis on coordinated Reduction of SO₃ in whole process of ultra-low emission in coal-fired flue gas [J]. 中国电力, 2018, 51(3): 177-184. (in Chinese)
- [8] 张知翔, 徐党旗, 陆 军, 等. 高硫煤机组 SO₃ 迁移规律试验研究 [J]. 热力发电, 2020, 49(4): 25-28.
ZHANG Zhixiang, XU Dangqi, LU Jun, *et al.* Experimental study on SO₃ migration rule of high sulfur coal unit [J]. *Thermal Power Generation*, 2020, 49(4): 25-28. (in Chinese)
- [9] 张知翔, 许 良, 徐党旗, 等. 高硫煤机组低低温省煤器积灰特性研究 [J]. 热力发电, 2020, 49(12): 135-139.
ZHANG Zhixiang, XU Liang, XU Dangqi, *et al.* Study on ash deposition characteristics of ultra low temperature economizer of high sulfur power plant [J]. *Thermal Power Generation*, 2020, 49(12): 135-139. (in Chinese)
- [10] 东 明, 张宇轩, 李素芬, 等. 烟气流速对不同极线结构下静电除尘器内微细颗粒脱除的影响 [J]. 热科学与技术, 2018, 17(1): 41-48.
DONG Ming, ZHANG Yuxuan, LI Sufen, *et al.* Effect of flue gas velocity on removal of fine particles in electrostatic precipitator with different wires arrangement structures [J]. *Journal of Thermal Science and Technology*, 2018, 17(1): 41-48. (in

- Chinese)
- [11] 邹小刚, 张知翔, 李楠, 等. 高硫煤机组低低温省煤器设计及应用 [J]. 热力发电, 2020, **49**(9): 133-137.
- ZOU Xiaogang, ZHANG Zhixiang, LI Nan, *et al.* Design and application of low-temperature economizer on high sulfur coal-fired units [J]. *Thermal Power Generation*, 2020, **49**(9): 133-137. (in Chinese)
- [12] Joint-stock Company IHI. *IHI Low Low-Temperature EP System Introduced* [R]. Ishikawajima-Harima: Joint-stock Company IHI, 2010, 6: 1-16.
- [13] MASAMI K, TADASHI T, YASUKI N, *et al.* *Method and System for Handling Exhaust Gas in a Boiler*: EP91101801.8 [P]. 1992-08-12.
- [14] 盛明, 蒋翠蓉. 浅谈高硫煤资源及其利用 [J]. 煤质技术, 2008(6): 4-6.
- SHENG Ming, JIANG Cuirong. Discussion on the resources and utilization of coal with high sulfur content [J]. *Coal Quality Technology*, 2008(6): 4-6. (in Chinese)
- [15] 尹连庆, 王晶. 粉尘比电阻对电除尘的影响及改进措施研究 [J]. 电力环境保护, 2009, **25**(5): 34-37.
- YIN Lianqing, WANG Jing. Study on the influences and improvement measures of dust resistivity to electrostatic precipitator (ESP) [J]. *Electric Power Environmental Protection*, 2009, **25**(5): 34-37. (in Chinese)
- [16] 张知翔, 李楠, 邹小刚, 等. 高硫低温高灰烟气环境中三氧化硫的行为研究 [J]. 中国电力, 2019, **52**(3): 23-28.
- ZHANG Zhixiang, LI Nan, ZOU Xiaogang, *et al.* Study on the behavior of sulphur trioxide in the high-sulphur low-temperature and high-ash flue gas environment [J]. *Electric Power*, 2019, **52**(3): 23-28. (in Chinese)

Research and application of low-low temperature electrostatic precipitator for high-sulfur coal-fired units

ZOU Xiaogang¹, LI Dongyang¹, ZHANG Zhixiang², ZHOU Fei¹, LI Nan¹,

CHE Hongwei¹, LU Jun², LI Wenfeng¹, SHEN Jikang¹, XU Dangqi²

(1. Xi'an Boiler and Environmental Protection Engineering Co., Ltd., Xi'an 710054, China;

2. Xi'an Thermal Power Research Institute Co., Ltd., Xi'an 710054, China)

Abstract: Low-low temperature electric precipitators have been widely used in recent years, but there are few cases of high-sulfur coal-fired units applying low-low temperature electric precipitators. The low-low temperature electric precipitator test platform for high-sulfur coal-fired units was built to test the resistivity, composition and particle size of different fly ash samples under five different flue gas temperatures. A fitting formula was proposed for the average particle size and the flue gas temperature. The engineering application of the first domestic low-low temperature electrostatic precipitator was realized for high-sulfur coal-fired units. The collection efficiency was tested and optimized for the low-low temperature electrostatic precipitator. The results show that the lower of the flue gas temperature, the lower of the fly ash resistivity and the larger of the fly ash particle size, the higher of the electrostatic precipitator efficiency. Fly ash composition is basically the same. The collection efficiency is significantly improved with the decrease of the flue gas temperature. The operation Mode Three and Mode Four can reduce the power consumption by 28% and 35% relative to the daily operation mode.

Key words: high-sulfur coal-fired units; low-low temperature electrostatic precipitator; resistivity; composition; particle size; collection efficiency; engineering application; operation optimization

[责任编辑: 郭万慧]