

燃煤电厂电除尘PM₁₀和PM_{2.5}的排放控制 VI:以75 t/h工业锅炉为例分析讨论电除尘的运行(嘉兴协鑫环保热电分析)

马洪金¹,徐建元¹,王仕龙²,韩平²,郑钦臻³,李树然³,闫克平³

1. 嘉兴协鑫环保热电有限公司,嘉兴 314000
2. 神华国能集团有限公司,北京 100033
3. 浙江大学生物物质化工教育部重点实验室,杭州 310027

摘要 以嘉兴协鑫环保热电75 t/h工业锅炉为例,讨论电除尘器改造和运行降低PM₁₀和PM_{2.5}(粒径低于10和2.5 μm的颗粒物)的排放。单室四电场电除尘在传统单相高压电源供电下,电除尘出口PM₁₀和PM_{2.5}的排放可达120.4~219.7和9.6~22.3 mg·Nm⁻³,在本体检修和采用4台三相高压电源改造后,电除尘出口的PM₁₀和PM_{2.5}出口质量浓度可分别降至6.0~17.0和1.8~3.3 mg·Nm⁻³,电除尘出口PM_{2.5}与PM₁₀的比例通常在35%~52%。

关键词 工业锅炉;电除尘;细颗粒物;三相高压电源

中图分类号 X513

文献标志码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2015.18.002

PM₁₀ and PM_{2.5} emission control by electrostatic precipitator (ESP) for coal-fired power plants VI: Optimization of HV power source with 75 t/h industrial boiler (Jiaxing Xiexin Environmental Power Plant)

MA Hongjin¹, XU Jianyuan¹, WANG Shilong², HAN Ping², ZHENG Qinzheng³, LI Shuran³, YAN Keping³

1. Jiaxing Xiexin Environmental Power Plant, Jiaxing 314000, China
2. Shenhua Guoneng Energy Group Corporation Limited, Beijing 100033, China
3. Key Laboratory of Biomass Chemical Engineering of Ministry of Education, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China

Abstract This paper discusses the performance of a four-field electrostatic precipitator (ESP) used for a 75 t/h industrial coal-fired boiler. By using four traditional single-phase transformer-rectifiers (T/Rs), the PM₁₀ and PM_{2.5} concentrations at the ESP outlet are around 120.4~219.7 and 9.6~22.3 mg·Nm⁻³, respectively. After retrofitting the four rectifiers with four ZH type three-phase T/Rs, the PM₁₀ and PM_{2.5} concentration are about 6~17 and 1.8~3.3 mg·Nm⁻³, respectively. The PM_{2.5} to PM₁₀ ratio ranges from 35% to 52%.

Keywords industrial boiler; electrostatic precipitation; PM_{2.5}; three-phase T/Rs power source

燃煤锅炉可分为电站锅炉和工业锅炉,前者主要用于发电,后者主要是生产蒸汽或热水。截至2012年底,全国工业

锅炉约为61万台,年煤耗量达7亿多t^[1]。因工业锅炉大多应用在供热、冶金、造纸、建材和化工等行业,并主要分布在人

收稿日期:2015-05-20;修回日期:2015-06-21

基金项目:国家高技术研究发展计划(863计划)项目(2013AA065000);浙江省重点科技创新团队计划项目(2013TD07)

作者简介:马洪金,高级工程师,研究方向为燃煤电厂运行和管理,电子信箱:xjy018@126.com;闫克平(通信作者),教授,研究方向为环境科学与工程,电子信箱:kyan@zju.edu.cn

引用格式:马洪金,徐建元,王仕龙,等.燃煤电厂电除尘PM₁₀和PM_{2.5}的排放控制 VI:以75 t/h工业锅炉为例分析讨论电除尘的运行(嘉兴协鑫环保热电分析)[J].科技导报,2015,33(18):20-22.

口密集的城区,其污染物排放对城市环境质量影响较大。

工业锅炉主要有循环流化床锅炉和链条炉排锅炉,目前全国仍有大量的工业锅炉在使用中,同燃煤电站一样需要开展大面积的节能减排改造^[2],2012年中国发布了针对锅炉行业的《GB 13271—2012 锅炉大气污染物排放标准》,标准要求在用燃煤工业锅炉(10 t/h以上)颗粒物排放质量浓度限值低于 $90 \text{ mg} \cdot \text{Nm}^{-3}$,新建低于 $50 \text{ mg} \cdot \text{Nm}^{-3}$,重点区域则为 $30 \text{ mg} \cdot \text{Nm}^{-3}$ 。上述限值虽对燃煤工业锅炉提出了较高的除尘要求,但考虑到工业锅炉一般都在城市中心并采用较低烟囱排放,工业锅炉的一次及二次污染物排放必须更加严格才可能真正改善空气质量,工业锅炉的超低排放改造远比电站锅炉更加紧迫。本文探讨现有电除尘的本体和电源改造,分析工业锅炉超低排放的可行性和稳定性。

1 电除尘器提效改造

嘉兴协鑫有 3×75 和 1×100 t/h 循环流化床工业锅炉,配四电场电除尘和湿法脱硫。本文讨论的两台 75 t/h 锅炉分别于 2005 年 8 月和 10 月投入运行,原煤水分(收到基)在 $8\% \sim 30\%$,烟气设计负压为 3500 Pa ;原除尘器入口总烟气量 $10 \times 10^4 \sim 11 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{h}$,入口烟气温度 $130 \sim 150^\circ\text{C}$,当锅炉尾部燃烧时最高温度可达 370°C ;入口烟气含尘质量浓度 $25 \text{ g} \cdot \text{Nm}^{-3}$,飞灰含碳量小于 5% 。每台炉分别配置一套四电场电除尘器,改造前电除尘器概况如表 1。电除尘器的改造措施包括更换全部整流变压器及低压控制柜为三相电源^[3]对已有电除尘器进行内部大修,更换部分高压线等^[4]。有关 $\text{PM}_{2.5}$ 及 PM_{10} 的测试参见早期文献^[5]、^[6]。

表 1 改造前电除尘器运行参数

Table 1 Operating parameters of ESPs before upgrading

序号	参数	设备参数
1	本体阻力/Pa	<294
2	本体漏风率/%	3
3	电场外型尺寸(长、宽、高)/m×m×m	19.57×7.62×10.45
4	有效断面积/ m^2	72
5	长、高比	1.87
6	室数/电场数	1/4
7	比集尘面积/ $(\text{m}^2 \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{s}^{-1})$	88.45
8	烟气流速/ $(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$	0.68
9	壳体材料	Q235A
10	每台除尘器灰斗数量	4
11	灰斗加热型式	蒸汽加热
12	每台除尘器所配整流变压器台数	4
13	整流变压器型式(T型)	油浸式
14	整流变压器型号/ $\text{kV} \cdot \text{A}$	GGAJ02—0.6A/72V
15	改造前烟尘排放质量浓度/ $(\text{mg} \cdot \text{Nm}^{-3})$	>50

2 结果和讨论

图 1 显示电除尘器改造前 $\text{PM}_{2.5}$ 和 PM_{10} 的动态比例关系,两台炉的 PM_{10} 和 $\text{PM}_{2.5}$ 排放平均质量浓度分别为 170.0 和 $15.9 \text{ mg} \cdot \text{Nm}^{-3}$ 。1 号和 2 号锅炉电除尘器出口 PM_{10} 的质量浓度分

别为 $82 \sim 204$ 和 $85 \sim 370 \text{ mg} \cdot \text{Nm}^{-3}$,对应的 $\text{PM}_{2.5}$ 的质量浓度则分别为 $7.8 \sim 14.0$ 和 $14.5 \sim 29.8 \text{ mg} \cdot \text{Nm}^{-3}$,相应的 $\text{PM}_{2.5}$ 占 PM_{10} 的比例分别为 $6.9\% \sim 9.5\%$ 和 $8.1\% \sim 17.1\%$,造成如此高排放的主要原因之一是电除尘所采用的单相电源效率低^[4]。

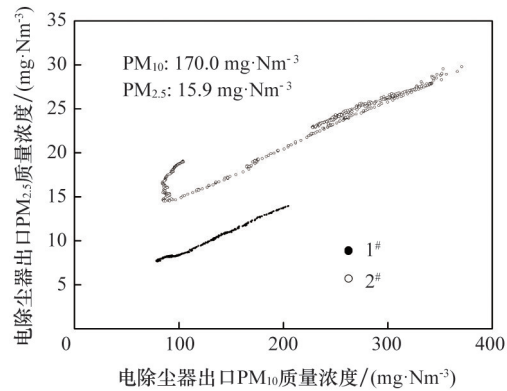


图 1 $2 \times 75 \text{ t/h}$ 锅炉改造前电除尘器出口 PM 排放情况

Fig. 1 PM emission at the ESP outlets of the $2 \times 75 \text{ t/h}$ boilers before upgrading

表 2 为采用三相电源改造后各电场典型的二次电压和二次电流。为提高电除尘的效率第 2 电场采用满电流负荷下运行,第 1 电场采用火花自动优化运行,第 3 及第 4 电场采用小电流运行^[5]。1 号和 2 号锅炉的电除尘器出口 PM_{10} 的质量浓度分别为 $4.6 \sim 8.2$ 和 $3 \sim 29 \text{ mg} \cdot \text{Nm}^{-3}$, $\text{PM}_{2.5}$ 的质量浓度则分别为 $1.9 \sim 2.3$ 和 $0.6 \sim 2.8 \text{ mg} \cdot \text{Nm}^{-3}$ 。 $\text{PM}_{2.5}$ 在 PM_{10} 的占比分别为 $28\% \sim 41\%$ 和 $9.6\% \sim 20\%$ 。

表 2 改造后电除尘器运行参数

Table 2 Operating parameters of ESPs after upgrading

电场	一次电压/V	一次电流/A	二次电压/kV	二次电流/mA
第 1 电场	294	65	53	586
第 2 电场	313	142	73	994
第 3 电场	267	65	56	500
第 4 电场	228	44	54	300

图 2 显示典型的 $\text{PM}_{2.5}$ 和 PM_{10} 动态比例关系,对应的 PM_{10} 和 $\text{PM}_{2.5}$ 的平均排放质量浓度分别为 14.4 和 $2.3 \text{ mg} \cdot \text{Nm}^{-3}$ 。

图 3 比较电除尘器出口颗粒物的质量积分分布,与原电除尘器相比,采用新的三相整流变压器及相应控制器,可以大幅降低 PM_{10} 和 $\text{PM}_{2.5}$ 质量浓度。改造后 PM_{10} 可从 $120.4 \sim 219.7 \text{ mg} \cdot \text{Nm}^{-3}$ 降至 $10 \sim 17 \text{ mg} \cdot \text{Nm}^{-3}$, $\text{PM}_{2.5}$ 可以从 $9.6 \sim 22.3 \text{ mg} \cdot \text{Nm}^{-3}$ 降至 $1.8 \sim 3.3 \text{ mg} \cdot \text{Nm}^{-3}$ 。 $\text{PM}_{2.5}$ 占 PM_{10} 的比例也相应提高。

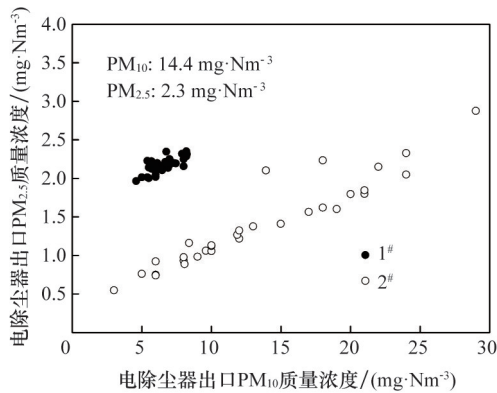


图2 2×75 t/h 锅炉电除尘器改造后出口PM排放情况
Fig. 2 PM emission at the ESP outlets of the 2×75 t/h boilers after upgrading

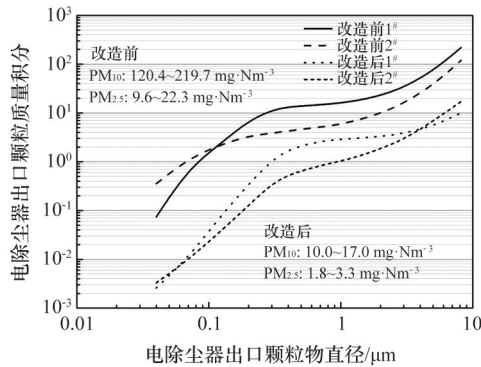


图3 75 t/h 锅炉电除尘器改造前后颗粒物质量积分与直径
Fig. 3 Integrations of particle mass distributions at the ESP outlets

表3为典型的电除尘运行对PM₁₀与PM_{2.5}的排放影响,通过停运不同电场下的排放测试电除尘低排放各电场的相互影响。第1电场的关停不仅对PM₁₀有较大的影响,PM_{2.5}的排放质量浓度也从2.30 mg·Nm⁻³增加到7.07 mg·Nm⁻³。关停第2或第3或第4电场同样也会导致PM_{2.5}的大幅度提高。若电除尘器重任意一个电场出现运行故障,一台75 t/h 锅炉的PM_{2.5}排放可相当于2~3台正常炉的排放。

表3 电除尘运行状态与PM₁₀及PM_{2.5}的排放

Table 3 Operation of ESPs and the PM₁₀ and PM_{2.5} emissions

电除尘运行状态	PM ₁₀ / (mg·Nm ⁻³)	PM _{2.5} / (mg·Nm ⁻³)	(PM _{2.5} / PM ₁₀)/%
正常运行	6.46	2.30	35.6
第1电场停运其他正常	12.26	7.07	57.7
第2电场停运其他正常	9.36	4.94	52.8
第3电场停运其他正常	11.45	6.01	52.6
第4电场停运其他正常	10.22	4.92	48.1

3 结论

燃煤的工业锅炉与电站锅炉相比一般为单室四电场电除尘电除尘,电除尘的运行状态对PM₁₀和PM_{2.5}的排放有非常大的影响,当一台高压电源出现故障时,PM_{2.5}的排放可相当于2~3台炉的正常排放。采用高效的三相电源,电除尘出口PM₁₀和PM_{2.5}的排放可控制在10.0~17.0和1.8~2.5 mg·Nm⁻³。

参考文献(References)

- [1] 中国机械工业年鉴编辑委员会. 中国电器工业年鉴[R]. 北京: 机械工业出版社, 2014.
China Machinery Industry Yearbook Editorial Committee. China electrical equipment industry yearbook[R]. Beijing: Machinery Industry Press, 2014.
- [2] 肖创英. 促进燃煤电厂烟尘超低排放[J]. 科技导报, 2014, 32(33): 12.
Xiao Chuangying. Technical progress for achieving low particle matter emission from coal-fired power plant [J]. Science & Technology Review, 2014, 32(33): 12.
- [3] 王仕龙, 陈英, 韩平, 等. 燃煤电厂电除尘PM₁₀和PM_{2.5}的排放控制 I: 电除尘选型及工业应用[J]. 科技导报, 2014, 32(33): 23-33.
Wang Shilong, Chen Ying, Han Ping, et al. PM₁₀ and PM_{2.5} emission control by electrostatic precipitator (ESP) for coal-fired power plants I: ESP sizing and application[J]. Science & Technology Review, 2014, 32(33): 23-33.
- [4] 王仕龙, 陈英, 韩平, 等. 燃煤电厂电除尘PM₁₀和PM_{2.5}的排放控制 III: 电除尘电源及小分区改造与PM₁₀和PM_{2.5}的排放(以4×330 MW 机组为例)[J]. 科技导报, 2014, 32(33): 39-42.
Wang Shilong, Chen Ying, Han Ping, et al. PM₁₀ and PM_{2.5} emission control by electrostatic precipitator (ESP) for coal-fired power plants III: Application with a 4×330 MW power plant[J]. Science & Technology Review, 2014, 32(33): 39-42.
- [5] Zhu J, Zhao Q, Yao Y, et al. Effects of high-voltage power sources on fine particle collection efficiency with an industrial electrostatic precipitator [J]. Journal of Electrostatics, 2012, 70(3): 285-291.
- [6] 沈欣军, 郑钦臻, 宁致远, 等. 燃煤电厂电除尘PM₁₀和PM_{2.5}的排放控制 IV: 采用二维PIV除尘[J]. 科技导报, 2014, 32(33): 43-50.
Shen Xinjun, Zheng Qinzen, Ning Zhiyuan, et al. PM₁₀ and PM_{2.5} emission control by electrostatic precipitator (ESP) for coal-fired power plants IV: Investigation on electrostatic precipitation by means of 2D PIV technique[J]. Science & Technology Review, 2014, 32(33): 43-50.

(编辑 田恬)

《科技导报》“卷首语”栏目征稿

“卷首语”栏目每期邀请一位中国科学院院士和中国工程院院士就重大科技现象、事件,以及学科发展趋势、科学研究热点和前沿问题等,撰文发表个人的见解、意见和评论。本栏目欢迎院士投稿,每篇文章约2000字,同时请提供作者学术简历、工作照和签名电子文档。投稿邮箱:kjdbbjb@cast.org.cn。