

燃煤发电机组电除尘器节能减排改造实践

潘志强 钟金鸣

(浙江浙能节能科技有限公司, 浙江 杭州 310006)

摘要 介绍了高频电源相较于传统工频电源的优越性,并以某燃煤电厂4#机组(600 MW)电除尘器高频电源改造项目为例,分析并讨论了高频电源在燃煤机组上的应用特点及节能减排效果,为中国燃煤机组电除尘器节能提效改造提供了借鉴。

关键词 电除尘器 高频电源 节能减排

Technic upgrading of electrostatic precipitator in coal-fired power plant for energy conservation and emission reduction PAN Zhiqiang, ZHONG Jinming. (Zhejiang Energy-Saving Technology Co., Ltd., Hangzhou Zhejiang 310006)

Abstract: The superiority of high frequency power supply compared to traditional frequency power supply was introduced in this paper. The technic upgrading of electrostatic precipitator in a coal-fired power plant was performed by changing the traditional frequency power supply to high frequency power supply. The characteristic of high frequency power supply operated in coal-fired unit was investigated and its energy saving and emissions reducing effect was discussed. This paper provided practice reference of technic upgrading of electrostatic precipitator in coal-fired power plant for energy conservation and emission reduction.

Keywords: electrostatic precipitator (ESP); high frequency power supply; energy conservation and emissions reduction

近年来,我国中东部地区发生雾霾天气的范围日益扩大,并越趋频繁和严重。造成雾霾的主要原因之一是大气污染物排放负荷巨大,远超环境承载能力。因此,为了进一步削减大气污染物排放,缓解大气污染现状,2011年修订并发布的《火电厂大气污染物排放标准》(GB 13223—2011)规定烟尘排放限值为 30 mg/m^3 (特别排放限值 20 mg/m^3)。作为工业大气污染物排放主要污染源的燃煤火力发电企业承受着巨大的节能减排压力。

2009年,我国火电厂采用电除尘器的锅炉容量占95%以上^[1]。随着环保要求的不断趋严,布袋除尘器和电袋除尘器比例逐年提高,但是在近期内改变不了电除尘技术的主流地位。据统计,如要达到GB 13223—2011规定的烟尘排放限值,全国有74%以上的火电厂电除尘器需要进行技术改造。

与众多电除尘器节能提效技术相比,高频电源技术具有投资省、见效快、不需对电除尘器本体改造等诸多优点,因此被认为是火电厂电除尘器技术改造的重要技术措施之一。

1 高频电源技术概况

1.1 高频电源技术简介

工频电源和高频电源原理框分别如图1和图2

所示。

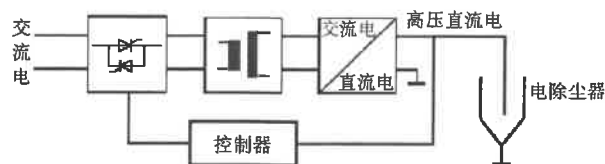


图1 工频电源原理框图

Fig. 1 Principle diagram of operating frequency power supply

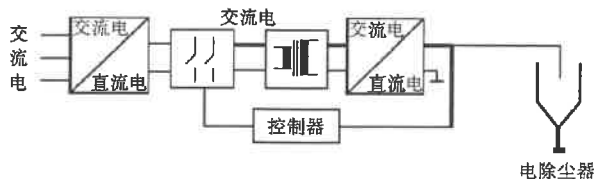


图2 高频电源原理框图

Fig. 2 Principle diagram of high-frequency power supply

传统的电除尘器普遍采用工频可控硅电源供电,其电路结构是两相工频电源经过可控硅移相控制幅度后,送整流变压器升压整流,形成100 Hz的脉冲电流送电除尘器。

高频电源则是把三相工频电源通过整流形成直流电,通过全桥逆变电路形成高频交流电,再经过整流变压器升压整流后,形成高频脉动电流送电除尘器,其工作频率可达到20~50 kHz。其主要包括3个部分:变换器、变压器、控制器。其中,全桥变换器

表1 高频电源和工频电源技术指标对比

Table 1 Technical index of operating frequency power supply and high frequency power supply

电源	工作频率/Hz	电源	功率因素	效率	直流电压脉动/%	间歇脉冲/(m·s ⁻¹)	火花熄灭时间/μs
高频	40 000	三相	0.9	0.9	3	0.7	30
工频	50	单相	0.8	0.8	30	10.0	10 000

表2 高频电源和工频电源应用性能对比(以工频电源为基础)

Table 2 Performance comparison of operating frequency power supply and high frequency power supply

电源	比例/%							
	输出电压	输出电流	排放浓度	设备损耗	设备重量	控制室面积	系统能耗	电缆用量
高频	130	200	50~70	30	35	0	50	50
工频	100	100	100	100	100	100	100	100

实现直流到高频交流的转换,高频变压器/整流器实现升压整流输出,为电除尘器提供供电电源。

高频电源和工频电源的技术指标、应用性能对比见表1和表2^[2]。

1.2 高频电源提效及节能原理简介

大量的试验证明,采用脉冲电源(电流脉冲宽度在μs级)可以大幅度增强烟尘的荷电量,减少电场内无效的空气电离所消耗的能量,既能提高电除尘器除尘效率,又能减少能耗。高频电源正是在此基础上建立起来的新一代电除尘器供电电源,它采用现代高频开关电力电子技术,通过工频交流一直流—高频交流—高频脉动直流的能量转变形式,供给电场一系列幅度、宽度及频率均可调整的电流脉冲(脉冲宽度在5~20 μs),能够根据电除尘器的工况提供最合适的电压波形,在保证烟尘带有足够电荷及除尘效率的前提下,大幅度减少电除尘器电场供电能量损耗。

1.3 高频电源应用现状

根据国内外高频电源应用报告,高频电源可明显增加电除尘器电场电压和电场电流,提高除尘效率和降低能耗的作用。如上海外高桥第三发电有限公司2009年进行的8#机组高频电源改造,除尘效率由99.67%提高到了99.79%,能耗下降了53.85%^[3];河南三门峡华阳发电有限责任公司2#炉2007年底进行的高频电源改造,烟尘排放降低了37.3%,能耗下降了32.5%。诸多应用实践证明,在不同类型的电除尘器上,可降低烟尘排放量30%~70%,节能50%以上^[4]。

国外高频电源的应用主要是为了适应电除尘器的恶劣工况,以提高电除尘器除尘效率,尚未见到降低电除尘器能耗方面的报道^[5-7],而国内对高频电源的应用多为电除尘器的节能,或者是提效与节能的结合^[8-9]。

2 应用实践

2.1 某燃煤电厂4#炉电除尘器现状及改造目的

某燃煤电厂4#炉为单炉膛、前后墙对冲燃烧、平衡通风、超临界参数固态排渣变压直流炉,锅炉最大连续蒸发量为1 910 t/h。配置电除尘器一套两台,每台电除尘器为双室四电场除尘器,设计总集尘面积79 920 m²,设计比集尘面积98.67 m²/(m³·s),保证效率≥99.68%。机组于2007年投入商业运行。

2.1.1 电除尘系统能耗现状

4#炉改造前,电除尘系统总功率平均约为900 kW,厂用电率约为0.19%。

2.1.2 电除尘器运行性能

改造前电除尘器性能试验结果:在机组满负荷运行,燃煤收到基灰分29.32%(质量分数)、燃煤收到基全水分12.6%(质量分数),电除尘器投入15个电场分区,总处理烟气流337.9万m³/h时,其电除尘器的除尘效率为99.35%,出口烟尘质量浓度为54.5 mg/m³。性能试验结果表明,该电除尘器实际除尘效率并没有达到保证效率,其出口烟尘浓度较高。

为满足GB 13223—2011规定的限值(30 mg/m³),同时降低该电除尘系统的能耗,需要对其进行节能提效改造。

2.2 改造方案

本项目主要对4#炉电除尘器的电气部分进行改造,计划投资约320万元。采用高频电源供电装置代替原工频电源。改造后电除尘高压系统主要由1台上位机(工控机)、16个高频高压电源发生装置、两台网络服务器和交换机组成。

由于高频电源的使用兼有提效及节能两种效果,而除尘提效和节能之间在效果上又相互制约。因此,针对高频电源的不同运行参数设置了节能优先、能效兼顾和效率提高3种运行模式。

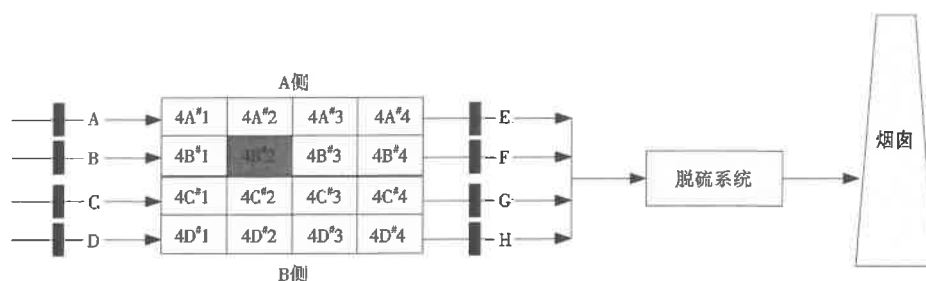


图3 4#炉电除尘器测试断面图

Fig. 3 Testing section of electrostatic precipitator in 4# unit

在设计原理上,节能优先运行模式是指在保证原有除尘效率的前提下实现最大程度的节能;效率提高运行模式则指最大限度地提高除尘效率而不考虑节能;能效兼顾运行模式则是介于两者之间,即实现一定节能率的情况下,达到优于改造前的除尘效率。

在实现方式上,由于在脉冲间歇模式下,通过调整脉冲宽度,可以增加或减少脉冲宽度内的供电波数;通过调整脉冲周期,则可以延长或缩短脉冲放电时间,如此调整可实现输出不同的电压波形,并最终体现在高频电源输出功率的调节,从而在相对稳定的运行工况下,控制电除尘器出口烟气浓度和除尘效率。因此,可通过调整高频电源在间隙供电状态下的脉冲宽度和脉冲周期(占空比或充电比)来实现3种运行模式的运行或切换。

电除尘高压控制系统通过通讯网由上位机(工控机)集中管理高频高压电源发生装置,所有高频高压电源发生装置的运行状态(运行参数设置、显示、故障状态)均在上位机集中控制和显示。低压系统保持不变并纳入到新的上位机系统。

2.3 改造过程

本改造项目在4#机组(600 MW)脱硝改造期间实施,施工时间为20 d。项目完工后先后进行了冷态调试和热态调试。热态调试的内容包括高频电源节能提效优化参数的选择、电除尘低压系统优化控制、浊度闭环的优化控制等。

2.4 电除尘器性能试验

2.4.1 试验条件

4#炉电除尘器性能测试期间,机组运行条件如下:机组发电负荷597~601 MW;锅炉主蒸汽流量1 751~1 817 t/h;锅炉主蒸汽压力23.96~24.74 MPa;锅炉主蒸汽温度562.8~566.1℃。

2.4.2 测点布置

根据《电除尘器性能测试方法》(GB/T 13931—2002)的要求,在4#炉电除尘器进、出口烟道设置A~H共计8个测试断面(见图3,其中4A#1~4A#4、4B#1~4B#4、4C#1~4C#4、4D#1~4D#4均为电

场),测试烟尘浓度及排放速率,并计算除尘效率。试验时,4#炉A侧电除尘器的4B#2电场处于停用状态,两侧电除尘器的投运电场总数为15个。

2.5 试验结果和分析

在电除尘器本体不作改造的情况下,电除尘器性能与高频电源的运行参数具有一定的关系。根据试验前的热态调试结果,在机组运行状态基本一致的情况下对电除尘器性能进行试验。

2.5.1 试验结果

试验结果列于表3。由表3可见,在设定的高频电源节能优先、能效兼顾和效率提高3种运行模式下电除尘器的除尘效率分别99.81%、99.85%和99.87%,出口烟尘质量浓度分别34.3、29.6、23.4 mg/m³,电除尘系统总功率分别为383.3、533.3、620.0 kW。3种运行模式下除尘性能都优于改造前的性能数据,且除尘效率超过了保证效率。

表3 高频电源3种运行模式下电除尘器性能试验结果
Table 3 The performance of electrostatic precipitator under 3 operating modes using high-frequency power supply

性能参数	运行模式		
	节能优先	能效兼顾	效率提高
发电机发电负荷/MW	600	600	600
燃煤收到基全水分/%	8.8	9.9	11.7
燃煤收到基灰分/%	22.58	23.64	20.06
投运电场分区个数/个	15	15	15
烟温/℃	120.4	118.4	124.3
本体漏风率/%	1.33	0.42	0.59
入口烟尘质量浓度(标干态)/(mg·m ⁻³)	18 386.8	20 788.1	18 814.2
出口烟尘质量浓度(标干态,6% (体积分数)O ₂)/(mg·m ⁻³)	34.3	29.6	23.4
除尘效率/%	99.81	99.85	99.87
烟尘排放量/(t·h ⁻¹)	0.07	0.06	0.05
总本体阻力/Pa	144.8	122.4	154.7
总电场能耗/kW	180.7	288.3	369.0
电除尘系统总功率/kW	383.3	533.3	620.0

2.5.2 运行模式分析

(1) 随着电场功率的提高,电除尘器的除尘效率成上升趋势。同时,随着电场功率的提高,电除尘器除尘效率上升幅度逐渐减少,说明在电除尘器本体不改造的情况下,高频电源的提效效果有极限值。

表4 4#炉A/B侧电除尘器在不同运行模式下的除尘性能

Table 4 Dust removal performance of electrostatic precipitator at A/B side of 4# unit under different operating modes

运行模式	电除尘器 序号	电场功率 /kW	进口风量(标干态) /(m ³ ·h ⁻¹)	入口烟尘质量浓度(标干态) /(mg·m ⁻³)	出口烟尘质量浓度(标干态, 6% O ₂)/(mg·m ⁻³)	除尘效率/%
节能优先	A侧	83.5	961 097	19 289.8	37.4	99.80
	B侧	97.2	987 436	17 482.2	31.3	99.82
能效兼顾	A侧	132.5	985 168	21 150.4	38.4	99.81
	B侧	155.9	961 097	20 416.6	20.5	99.90
效率提高	A侧	176.2	996 666	19 726.1	30.0	99.84
	B侧	192.8	1 081 040	17 973.4	17.4	99.90

(2) 从表4可以看出,由于A侧电除尘器停运了一个电场,因此A侧电除尘器电场功率大于B侧时,其除尘性能比B侧差。只有当A侧电除尘器的电场功率比B侧高一定值(如效率提高运行模式下的A侧电除尘器功率176.2 kW与节能优先运行模式下的B侧电除尘器功率97.2 kW相比)时,A侧电除尘器的除尘性能才优于B侧。

根据4#机组的2010年6月大修后的测试报告,在修后测试中,B侧电除尘器第4通道一电场停运,而A侧电除尘器电场悉数正常运行,其A侧、B侧除尘效率分别为99.51%、99.19%。

结合上述现象分析,出现这种情况说明电除尘器投运电场的数量对电除尘器的运行性能有很大影响,即使进行了高频电源改造,一旦4个通道内的电场不能完全投运,则其首先影响的是提效效果,假如为保证除尘效率则会进而影响节能优先运行模式下的节能效果,因此需加强对设备可靠性的日常管理,保证其性能的发挥。

2.6 节能减排效益

对比改造前后电除尘器能耗数据和性能,可计算出3种运行模式下的烟尘减排量、节能率和节能量,具体见表5。

表5 3种运行模式下的节能减排效益¹⁾

Table 5 Energy conservation and emission reduction of 3 operating modes

运行模式	烟尘减排率/%	节能率/%	年节能量(以标准煤计)/t
节能优先	37.1	57.4	1 178
能效兼顾	45.7	40.7	836
效率提高	57.1	31.3	638

注:¹⁾年运行时间按7 500 h计;该燃煤电厂发电煤耗(以标准煤计)为304 g/(kW·h)。

由于在节能优先模式下,电除尘器出口烟尘质量浓度为34.3 mg/m³,经过其后烟气脱硫系统的洗涤后,烟尘浓度还会有进一步下降(洗涤率一般可达30%~50%),最终使得烟囱出口烟尘质量浓度达到30 mg/m³以下。鉴于该燃煤电厂自2014年7月1日起将执行30 mg/m³的烟尘排放限值,因此节能优先运行模式可作为日常运行模式。

3 结 语

(1) 高频电源的应用可明显改善电除尘器的除尘性能和降低电除尘器的运行功耗,可作为我国电除尘器节能提效改造的重要技术措施之一。

(2) 电除尘器电场的投运数量对高频电源的提效和节能效果有较大的影响,因此应加强电除尘系统的日常管理,提高设备的可靠性,确保高频电源性能的充分发挥。

(3) 通过高频电源的不同运行模式的试验表明,对于某些燃煤机组通过提高电场功率,电除尘器出口烟尘质量浓度可降至30 mg/m³以下,对于燃用煤质较好的机组甚至可降至20 mg/m³左右。相较于通过数千万初投资且能耗较高的布袋除尘器改造来满足环保达标,数百万初投资兼具节能效果的高频电源改造更具优势。

参考文献:

- [1] 中国电力企业联合会. 2009年全国电力年度统计数据[R]. 北京:中国电力企业联合会,2010.
- [2] 陈多. 高频电源在发电厂电除尘器上的应用与节能分析[J]. 自动化应用,2011(7):8-10.
- [3] 朱法华,李辉,王强. 高频电源在我国电除尘器上的应用及节能减排潜力分析[J]. 环境工程技术学报,2011,1(1):26-32.
- [4] 姜雨泽,韩乃民,王新美. 燃煤电厂电除尘采用高频电源供电的实验研究[J]. 环境工程学报,2010,9(4):2069-2072.
- [5] LILLIEBLAD L, MAURITZSON C. Upgrade technologies for ESP[C]//10th International Conference on Electrostatic Precipitation (ICESP X). Queensland: ISESP, 2006.
- [6] HERDER H, GUENTHER B, KLEMM G. Performance enhancements achieved with high frequency switch mode power supplies[C]//11th International Conference on Electrostatic Precipitation (ICESP XI). Hangzhou: ISESP, 2008.
- [7] VUKOSAVIĆ S, POPOV N, DESPOTOVIĆ Ž. Power electronics solution to dust emissions from thermal power plants [J]. Serbian Journal of Electrical Engineering, 2010, 17(2): 231-252.
- [8] 解标,严瑞峰,刘广恩,等. 高频电源在300MW燃煤机组电除尘器节能提效改造中的应用[J]. 电力科技与环保,2012,29(2):48-52.
- [9] 高维英,傅启文,卢泽峰. 电除尘器高压供电提效节能潜力探讨[J]. 华电技术,2008,30(6):32-35.

编辑:黄 苇 (修改稿收到日期:2013-07-19)