

# 1 036 MW 超超临界燃煤机组锅炉等离子 点火系统的设计及应用

钟 斌, 李 庚, 钱 锋, 刘彦涛

(深圳东方锅炉控制有限公司, 广东 深圳 518057)

**摘 要:** 针对国内某电厂 1 036 MW 超超临界燃煤机组 4 号锅炉, 设计了含低  $\text{NO}_x$  等离子煤粉燃烧器的等离子点火系统, 实现了等离子煤粉燃烧器的流场和煤粉浓度分布可调。Fluent 模拟计算及实际应用效果表明: 当等离子煤粉燃烧器为点火燃烧器时, 等离子点火系统运行稳定, 煤粉燃尽率高, 锅炉升温、升压速率满足运行规程要求; 当等离子煤粉燃烧器为主燃烧器时, 很好地还原了锅炉原设计煤粉燃烧器的流场和煤粉浓度分布, 保证了锅炉的性能达到设计要求。

**关 键 词:** 等离子点火; 煤粉燃烧器; 等离子发生器; 无油启动

中图分类号: TK232.2 文献标识码: B  
DOI: 10.16146/j.cnki.rndlgc.2015.03.043

## 引 言

由于煤炭的着火和燃烧比石油困难得多, 燃煤电站锅炉在点火时, 传统方法是通过先燃油再投煤进行, 当锅炉在低负荷运行或燃烧不稳定时, 也需要利用燃油稳定燃烧。若机组启停频繁、经常调峰需要消耗大量的燃油<sup>[1-2]</sup>。

根据节能减排“十二五”规划要求, 重点推广燃煤机组等离子和微油点火等技术, 可节约和替代石油 800 万 t<sup>[3]</sup>。为完成这一目标, 各发电公司积极响应, 对新建机组和老旧机组进行等离子或微油点火技术改造。国内某厂 1 036 MW 超超临界燃煤机组 4 号锅炉, 设计并安装了 1 套 EPBS 型等离子点火系统, 实现了锅炉无油启动和运行, 为企业创造了巨大的经济效益和环境效益, 同时解决了以往等离子点火系统因等离子煤粉燃烧器与锅炉原设计燃烧器流场和煤粉浓度分布不一致影响锅炉性能的问题。

## 1 等离子点火技术工作原理

利用等离子电源产生的直流电流 180 - 250 A 接触短路起弧, 将压力为 3 - 10 kPa 的载体风介质

气体电离成等离子体电弧, 经强磁场压缩后电弧被吹出, 形成长度为 50 - 80 cm、温度高于 5 000 K 且温度梯度极大的等离子体火焰<sup>[4]</sup>, 如图 1 所示。煤粉燃烧器一级室内浓相煤粉颗粒通过该等离子体火焰的高温加热作用, 在极短的时间内破碎、瞬间释放出挥发分, 迅速着火燃烧, 然后由已着火燃烧的浓相煤粉在二级室内与稀相煤粉混合并点燃稀相煤粉, 实现了煤粉的分级燃烧, 燃烧能量逐级放大, 达到点火并加速煤粉燃烧的目的, 大大减少煤粉燃烧所需引燃能量<sup>[5]</sup>。从而实现电站锅炉使用等离子体点火启动及低负荷稳燃的目的。

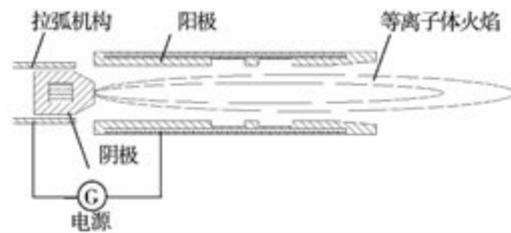


图 1 等离子点火工作原理图

Fig. 1 Chart showing the working principles of plasma ignition

## 2 等离子点火系统设计方案

### 2.1 总体方案

国内某电厂一期 4 号机组 1 036 MW 工程, 锅炉为超超临界参数、对冲燃烧方式, 配 48 只燃烧器, 按前 3 后 3 方式布置于锅炉前后墙。设计煤种为神府东胜煤、校核煤质一为 50% 的神府东胜煤加 50% 澳大利亚蒙托煤, 校核煤质二为山西晋北烟煤, 实际燃煤为印尼煤或澳洲煤。采用中速磨煤机、正压直吹式制粉系统。

针对该锅炉燃烧器分布及煤质情况, 保证锅炉

收稿日期: 2014-07-16; 修订日期: 2015-01-26

作者简介: 钟 斌(1981-), 男, 江西分宜人, 深圳东方锅炉控制有限公司工程师。

安装等离子点火系统后既能满足无油运行的要求,又能保证锅炉的整体性能不受影响,采用的设计方案为:在前墙最下层安装低 NO<sub>x</sub> 等离子煤粉燃烧器,采用等离子点火,增加等离子发生系统、控制系统和辅助系统。

### 2.2 低 NO<sub>x</sub> 等离子煤粉燃烧器

锅炉原设计燃烧器为 DBC - OPCC 型低 NO<sub>x</sub> 旋流煤粉燃烧器,煤粉分布为外浓内淡,而一般等离子煤粉燃烧器煤粉分布为内浓外淡,即等离子煤粉燃烧器改变了锅炉原设计燃烧器的流场和煤粉浓度分布,这将影响等离子煤粉燃烧器作为主燃烧器时氮氧化物排放、高负荷时煤粉燃尽率等锅炉的性能。为保证锅炉的整体性能不受影响,本研究设计了一种可动浓缩环的低 NO<sub>x</sub> 等离子煤粉燃烧器,当等离子煤粉燃烧器作为点火燃烧器时,可动浓缩环进到位,如图 2 所示,实现煤粉内浓外淡的分布,有利于煤粉顺利着火;当等离子煤粉燃烧器作为主燃烧器时,可动浓缩环退到位,如图 3 所示,实现煤粉外浓内淡的分布,保证锅炉的性能达到原设计要求。利用 Fluent 软件分别以图 2、图 3 所示等离子煤粉燃烧器为建模对象,进行气固两相三维流动数值模拟。建模时采用速度入口条件,一次风入口风速为 25 m/s;出口采用零压力条件;离散相的引入采用 Surface 方式,假设煤粉粒径平均 70 μm;投煤量按 2.22 kg/s 计。模拟计算结果如表 1 所示、煤粉浓度分布如图 4 所示。

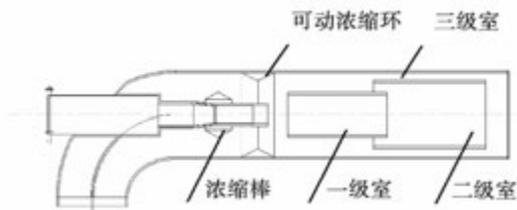


图 2 等离子煤粉燃烧器为点火燃烧器时结构图

Fig. 2 Structure chart of plasma pulverized coal burners acting as start-up burners

表 1 和图 4 表明,当等离子煤粉燃烧器为点火燃烧器时,一级室的煤粉浓度为 62.46%,远高于二级室和三级室的煤粉浓度,使煤粉更容易点燃。当等离子煤粉燃烧器为主燃烧器时,三级室煤粉浓度高于二级室、二级室煤粉浓度高于一级室,与锅炉原设计燃烧器煤粉外浓内淡的分布方式一致。

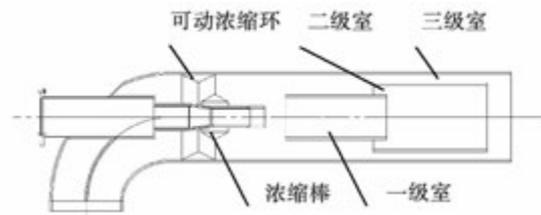


图 3 等离子煤粉燃烧器为主燃烧器时结构图

Fig. 3 Structure chart of plasma pulverized coal burners serving as main burners

表 1 等离子煤粉燃烧器模拟计算结果

Tab. 1 Simulation calculation results of a plasma pulverized - coal burner

参 数	点火燃烧器	主燃烧器
一级室风量/kg · s <sup>-1</sup>	1.82	1.412
二级室风量/kg · s <sup>-1</sup>	2.298	2.171
三级室风量/kg · s <sup>-1</sup>	2.232	2.66
一次风量/kg · s <sup>-1</sup>	6.242	6.243
一级室风率/%	28.66	22.62
二级室风率/%	36.19	34.77
三级室风率/%	35.15	42.61
一级室粉量/kg · s <sup>-1</sup>	1.386	0.66
二级室粉量/kg · s <sup>-1</sup>	0.516	0.691
三级室粉量/kg · s <sup>-1</sup>	0.317	0.869
总煤粉量/kg · s <sup>-1</sup>	2.22	2.22
一级室煤粉浓度/%	62.46	29.73
二级室煤粉浓度/%	23.25	31.13
三级室煤粉浓度/%	14.29	39.14

### 2.3 等离子发生系统

等离子发生器:通过输入直流电能量来获取等离子电弧的装置,主要由阳极、阴极和拉弧机构等组成,如图 1 所示。拉弧时,拉弧机构前进与阳极短路接触启弧;启弧成功后,拉弧机构后退,将弧转移至阴极和阳极之间,形成稳定的等离子电弧:

等离子电源:采集实际输出电流、电压值,通过 PID 算法、PWM 控制方式,来调节跟踪电流,使得实际输出的电流恒定跟踪设定电流值,为等离子体发生器提供持续的、稳定的直流电流。每台等离子发生器配 1 台等离子电源,等离子电源输入电源要求为 380 VAC、180 kVA,输出电压、电流、功率分别为 400 - 600 VDC、180 - 250 ADC、72 - 150 kW;

载体风系统:为等离子发生器提供持续稳定的介质气体,载体风取自仪用压缩空气,通过过滤减压

后将载体风压调节至 3 - 10 kPa。单台发生器耗气量为 45 - 75 Nm<sup>3</sup>/h。

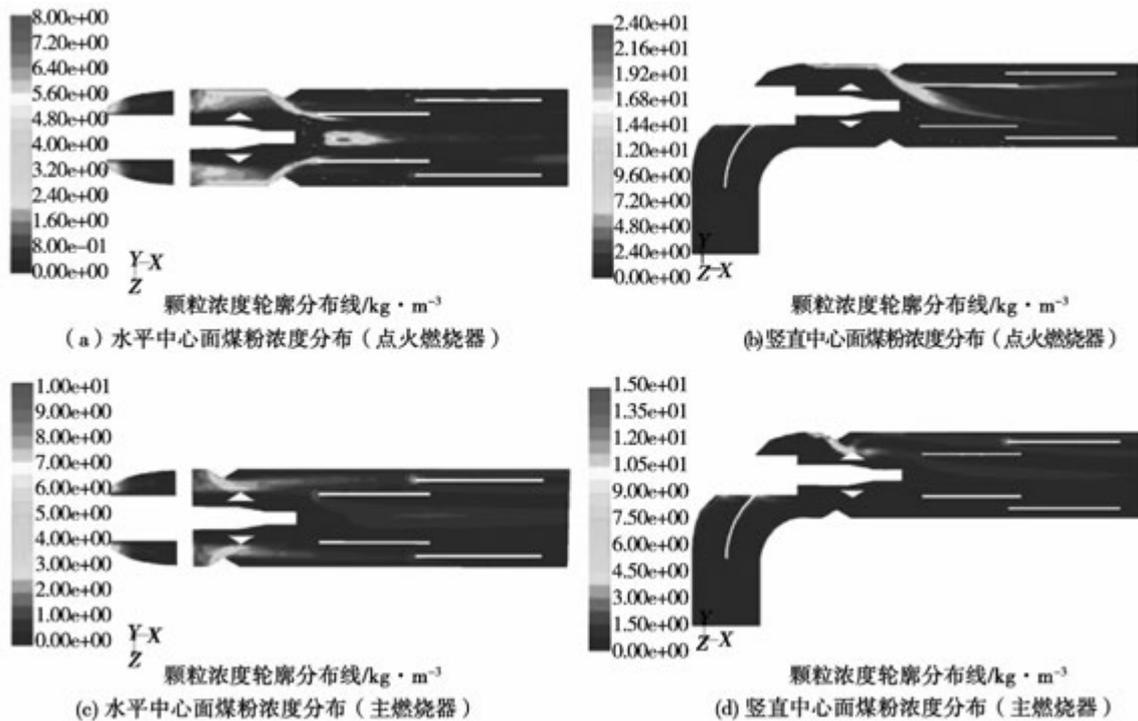


图 4 等离子煤粉燃烧器煤粉浓度分布图

Fig. 4 Coal concentration distribution diagram of plasma pulverized coal burners

### 2.4 控制系统

等离子点火控制系统重要的信号硬接线接入 DCS,非重要系统先接入 PLC 再通信接入 DCS 系统,通过 DCS 完成等离子点火系统的启停程控、故障报警和联锁保护等,系统设计主要包括点火程序设计和系统保护逻辑设计两部分。

点火程序设计:实现就地设备的远程单步操作和顺控;系统保护逻辑设计:在 DCS 上增加“等离子点火”模式,屏蔽某些启磨点火能量满足条件、修改等离子断弧时的跳磨程序等,保证点火过程等离子点火设备和锅炉设备的安全。

### 2.5 辅助系统

冷却水系统:等离子发生器在拉弧过程产生大量的热量,为冷却等离子发生器的阳极和阴极,需设计合适的冷却水系统。冷却水系统水源取自闭式冷却水,由水泵、管道、阀门、压力开关和连接软管等组成,保证发生器入口水压为 0.4 - 0.6 MPa、单台等离子发生器冷却水消耗量 ≥ 5 t;

冷炉制粉系统:冷炉制粉系统是直吹式制粉系统制取热风的换热装置,用于实现锅炉冷态时磨煤机磨制煤粉,主要由蒸汽管路、蒸汽换热器、疏水管

路组成。根据电厂实际情况,在等离子层对应磨煤机一次风入口安装一套蒸汽换热器,设计蒸汽换热器出口温度为 160 °C、换热量为 2.2 × 10<sup>7</sup> kJ/h。

图像火检:为监视等离子煤粉燃烧器的喷口火焰,便于运行人员进行燃烧调整,在每台等离子煤粉燃烧器二次风箱内安装 1 只图像火检探头,再通过视频电缆将视频信号接入集控室监视器。

## 3 应用情况

### 3.1 入炉煤煤质

等离子点火期间使用印尼煤,其入炉煤煤质报告如表 2 所示。

### 3.2 等离子点火期间取样及测量结果

等离子点火期间,对燃烧系统主要参数,包括飞灰含碳量、炉渣含碳量、空预器入口氧量、排烟温度等在不同给煤量下进行了测量,结果如表 3 所示。

机组负荷带至 400 MW 后,等离子切除,等离子对应的磨煤机正常投运,在 400、700 和 1 000 MW 工况下测量锅炉主要参数,包括飞灰含碳量、炉渣含碳量、空预器入口氧量、排烟温度、尾部烟道 NO<sub>x</sub> 浓度

等,结果如表 4 所示。

表 2 入炉煤煤质报告

Tab.2 Fired coal quality report

全水	内水	灰份		挥发份		固定碳		全硫	低位热值
$M_t / \%$	$M_{ad} / \%$	$A_{ad} / \%$	$A_{ar} / \%$	$V_{ad} / \%$	$V_{daf} / \%$	$FC_d / \%$	$FC_{ar} / \%$	$S_{ar} / \%$	$Q_{net.ar} / MJ \cdot kg^{-1}$
16.5	3.04	19.39	16.70	31.21	40.23	47.81	39.92	0.62	20.802

表 3 等离子点火期间参数测量结果

Tab.3 Parameter test result in the course of the plasma ignition

给煤量/ $t \cdot h^{-1}$	飞灰含碳量/ $\%$	炉渣含碳量/ $\%$	空预器入口氧量/ $\%$	排烟温度/ $^{\circ}C$
35	15.1/13.7	16.5	17.2/16.9	63/65
50	12.4/10.8	13.8	15.3/15.1	73/74

表 4 机组带负荷后参数测量结果

Tab.4 Parameter test result when the coal-fired unit is loaded

机组负荷/MW	飞灰含碳量/ $\%$	炉渣含碳量/ $\%$	空预器入口氧量/ $\%$	排烟温度/ $^{\circ}C$	$NO_x$ 浓度/ $mg \cdot m^{-3}$
400	2.08/1.87	4.28	4.2/5.0	111/115	51.6/99
700	1.36/1.06	0.40	2.7/2.5	116/121	158/145
1 000	0.83/0.46	0.06	2.3/1.9	129/128	216/192

### 3.3 应用效果

该次锅炉启动等离子点火系统共投运约 19 h,期间等离子点火系统运行正常,锅炉升温速率约为  $1.62 \text{ }^{\circ}C / \text{min}$ , 升压速率约为  $0.02 \text{ MPa} / \text{min}$ , 能够满足机组升温升压的需要; 在等离子点火系统退出运行后, 等离子煤粉燃烧器由点火燃烧器恢复成主燃烧器, 从表 4 可以看出, 锅炉的飞灰含碳量、排烟温度、 $NO_x$  排量等各项参数均达到锅炉设计要求, 由此可见, 4 号机组锅炉安装等离子点火系统后, 未影响锅炉的效率、 $NO_x$  排放, 即安装等离子点火系统后锅炉性能仍然达到设计要求。

## 4 结 论

本研究针对国内某电厂 1 036 MW 超超临界燃煤机组 4 号锅炉, 设计了含低  $NO_x$  等离子煤粉燃烧器的等离子点火系统, 通过调节等离子煤粉燃烧器内的可动浓缩环, 实现流场和煤粉浓度分布可调。利用 Fluent 软件对该等离子煤粉燃烧器建模并进行气固两相三维流动数值模拟, 同时, 该等离子点火系

统在 4 号锅炉进行了约 19 h 的点火启动应用, Fluent 模拟计算结果及实际应用效果表明, 当等离子煤粉燃烧器为点火燃烧器时, 等离子点火系统运行稳定, 煤粉燃尽率高, 锅炉升温、升压速率分别约为  $1.62 \text{ }^{\circ}C / \text{min}$  和  $0.02 \text{ MPa} / \text{min}$ , 满足集控运行规程升温升压的要求, 能够实现锅炉无油启动及运行的目标; 当等离子煤粉燃烧器为主燃烧器时, 很好的还原了锅炉原设计 DBC - OPCC 型低  $NO_x$  旋流煤粉燃烧器的流场和煤粉浓度分布, 保证了锅炉飞灰含碳量、排烟温度和  $NO_x$  排量等性能均达到设计要求, 为电厂无油运行和降本增效带来了显著地经济效益和社会效益。

### 参考文献:

- [1] 於晓博, 姜 宇. 大型火电锅炉点火方式选择研究 [J]. 神华科技, 2011(2): 58 - 61.  
YU Xiao-bo, JIANG Yu. The selection and research on ignition measures of thermal power boiler of large scale [J]. SHEN HUA SCIENCE AND TECHNOLOGY, 2011(2): 58 - 61.
- [2] 王小龙, 陈宜阳. 1 000 MW 超超临界锅炉新型等离子点火系统运行优化 [J]. 华电技术, 2012(11): 34 - 38. WANG Xiao-long, CHEN Yiyang. Operation optimization of new plasma ignition system of 1 000 MW ultra supercritical boiler [J]. Huadian Technology, 2012(11): 34 - 38.
- [3] 节能减排“十二五”规划 [R], 北京: 2012.  
The 12th five-year plan for energy conservation and emission reduction [R]. Beijing: 2012.
- [4] 刘一思, 曹厚继. 等离子点火技术在电厂中的应用 [J]. 电源技术应用, 2013(8): 366 - 394.  
LIU Yi-si, CAO Hou-ji. Application of the plasma ignition technology in power plants [J]. Power Supply Technologies and Applications, 2013(8): 366 - 394.
- [5] 张人超. 等离子点火技术与微油点火技术在 1 000 MW 机组应用的技术性和经济性比较 [J]. 广东电力, 2013(3): 113 - 117.  
ZHANG Ren-chao. Comparison of application of technicality and economy of plasma ignition technology and micro-oil ignition technology in 1 000 MW unit [J]. Guangdong Electric Power, 2013(3): 113 - 117.

(单丽华 编辑)

bility of both systems. **Key Words:** total loss of plant service power supplies, unit tripping, bypass system, action process, reconstruction, reliability, verification test

1 036 MW 超超临界燃煤机组锅炉等离子点火系统的设计及应用 = **Design and Applications of a Plasma Ignition System for a 1 036 MW Ultra-supercritical Coal-fired Boiler Unit** [刊, 汉] ZHONG Bin, LI Geng, QIAN Feng, LIU Yan-tao ( Shenzhen Orient Boiler Control Co. Ltd. , Shenzhen, China, Post Code: 518057) //Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -2015, 30(3) . -478 -481

Described were the principles for the plasma ignition technology. For the Boiler No. 4 of a 1036 MW ultra-supercritical coal-fired unit in a domestic power plant, a plasma ignition system equipped with low  $\text{NO}_x$  plasma pulverized coal burners was designed. On this basis, the authors made it realized that the flow field formed by using plasma pulverized coal burners and the pulverized coal concentration distribution is controllable. The simulation calculation results by using the software Fluent and the practical operation effectiveness show that when the plasma pulverized coal burners serve as the ignition ones, the plasma ignition system can maintain a stable operation and has a high burn-out rate of the pulverized coal, the temperature and pressure rise speed of the boiler meeting the requirements stipulated in the operation specifications. When the plasma pulverized coal burners serve as the primary ones, the flow field and the pulverized coal concentration distribution originally designed for the boiler can be restored very well, thus guaranteeing that the performance of the boiler can meet the design requirement. **Key Words:** plasma ignition, pulverized coal burner, plasma generator, oil-free start-up

火电厂循环水泵节能提效研究 = **Study of the Enhancement in the Efficiency of a Circulating Water Pump in a Thermal Power Plant** [刊, 汉] CUI Chuan-tao, CHANG Hao, WANG Bao-yu, ZHUANG Zhao-yi ( Huadian Electric Power Science Research Institute, Hangzhou, China, Post Code: 310030) //Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -2015, 30(3) . -482 -486

In the light of the problem that the efficiency of circulating water pumps in thermal power plants is universally on the low side, the authors analyzed its causes and proposed a method for enhancing the operation efficiency of circulating water pumps. Through taking such measures as an optimized design of the flow path of a circulating water pump and optimization of the operation mode of the pump according to the actual operating conditions and others, the authors have made the operation efficiency of the pump increased by 20%. After the modification, using the pump can save millions of kilowatt-hour electricity each year, thus achieving a good power-saving result. **Key Words:** circulating water pump, plant service power, optimization modification