

# 直吹式制粉系统满足等离子点火浓度技术的应用

张孝勇, 张永彩, 张世凯, 李本伟

(烟台龙源电力技术有限公司, 山东 烟台 264006)

**摘要:** 等离子点火技术应用于双进双出磨直吹式制粉系统时, 能满足等离子点火浓度的技术及运行实况。选择合理的等离子燃烧器布置方式, 调整磨煤机的运行方式, 满足了锅炉等离子点火升温升压曲线的要求, 重点介绍了采用撞击离心分离浓缩装置解决了等离子点火浓度的问题。

**关键词:** 等离子燃烧器; 煤粉浓度; 点火

中图分类号: TK223.23 文献标识码: A

## 1 等离子点火装置的基本原理

等离子点火装置的基本原理是以大功率等离子体直接点燃煤粉。一次风粉送入等离子点火装置后, 浓煤粉进入等离子体核心, 在该区域内经过高温等离子体, 在约 1/10 s 内迅速着火, 并稳定燃烧; 经浓缩装置分离后的淡粉在适当的二次风支持下, 借助于已经燃烧的煤粉火焰接力燃烧, 向炉膛内喷出燃烧火焰。当达到一定的炉膛温度后, 根据锅炉升温升压速度的要求, 投入其它燃烧器, 达到无油启停锅炉的目的。

## 2 双进双出磨直吹式制粉系统锅炉设备概况

清河发电有限责任公司(以下简称清河发电厂) 1 号锅炉为 HG-410/100-1 型自然循环、悬浮式燃烧、固态排渣煤粉炉。设计煤种为铁法烟煤, 其煤质特性见表 1。

表 1 铁法烟煤特性

	设计煤质	校核煤质	实际煤质
$A_{ar}/\%$	24	33.18	33.18
$FC/\%$	34.8	26.66	—
$V_{daf}/\%$	40	44.74	35.01
$Q_{ar,net}/kJ^{\circ}kg^{-1}$	17 166	15 407	19 130

收稿日期: 2003-02-18

作者简介: 张孝勇(1967-), 男, 重庆梁平人, 烟台龙源电力技术有限公司工程师, 硕士, 现华北电力大学博士生。

采用 2 台双进双出钢球磨煤机直吹式制粉系统, 煤粉由球磨机两侧分配, 每侧 3 条煤粉管道送入炉膛, 每根管道可由一次风门单独关闭。A 磨供给上排 6 只燃烧器, B 磨煤供给下排 6 只燃烧器。

为了在上述双进双出磨直吹式制粉系统锅炉上应用等离子点火技术, 就必须解决等离子燃烧器的结构及布置方式、煤粉的来源、满足点火浓度的技术方案以及锅炉升温升压曲线的要求等一系列技术问题, 其中最重要的就是制粉系统启动初期满足等离子燃烧器的煤粉点火浓度。

## 3 等离子燃烧器的应用

### 3.1 等离子燃烧器的布置方式

根据清河发电厂的具体情况, 等离子点火煤粉燃烧器设计及布置方式采用将部分下排主燃烧器增加自点火功能。其结构是将原旋流燃烧器内的中心管直径由  $\Phi 300\text{ mm}$  增加到  $\Phi 400\text{ mm}$ , 将中心管本身做成点火燃烧器, 浓缩的煤粉由原旋流燃烧器外端引入。

### 3.2 煤粉浓度满足点火要求的措施

原油枪出力为 1~1.2 t/h, 为满足锅炉启动曲线要求, 单只等离子燃烧器出力应为 3 t/h, 约相当于 1 只 1.2 t/h 的油枪, 两台等离子燃烧器代替 2 只油枪的热出力。此时一次风管内一次风速为 23 m/s, 对应煤粉浓度为 0.18 kg/kg。而等离子点火装置对一次风速和煤粉浓度有一定的要求: 一次风速为 18~26 m/s, 煤粉浓度为 0.3~0.5 kg/kg。为了满足等离子点火的要求, 只有将 0.18 kg/kg 浓度的一次风粉进行浓淡分离, 使浓煤粉浓度达到 0.3 kg/kg 以

上,为此设计了3种分离方式的煤粉浓缩结构。

### 3.2.1 弧形导板式煤粉浓缩结构

利用一次风管道弯头的浓淡分离效果,用浓淡调节板将浓煤粉导入点火中心筒内,改变浓淡调节板的角度,调节进入中心筒的煤粉浓度,以达到等离子点火的要求,其结构如图1所示。

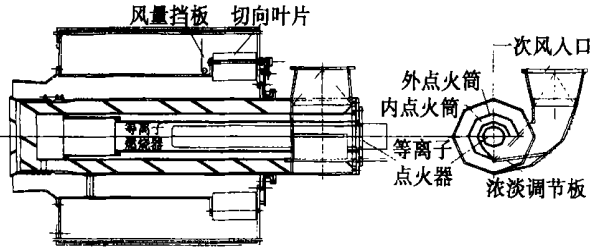


图1 弧形导板式煤粉浓缩结构示意图

### 3.2.2 叶栅式煤粉浓缩结构

百叶窗式叶栅布置在一次风粉进入燃烧器前的一次风管道的水平段。在布置叶栅处,从一次风管分岔出分流管,由轴向引入点火中心筒,示意图见图2。点火时,风粉流经叶栅时,被叶栅分离的浓煤粉由分流管进入点火中心筒,由等离子体点燃煤粉;淡煤粉经一次风管蜗壳切向进入中心筒的外筒(原燃烧器的一次风粉通道)被等离子燃烧器分级点燃。在点火完成后,将叶栅的叶片置水平状态,并关闭分流管使一次风粉仍按原主燃烧器的方式工作。

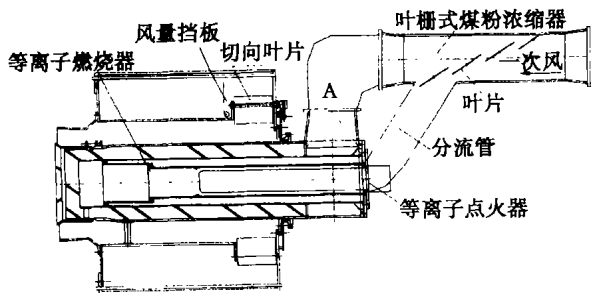


图2 叶栅式煤粉浓缩结构示意图

### 3.2.3 撞击式煤粉浓缩结构

撞击分离浓缩技术类似于在一次风管内布置叶栅的结构,只是将百叶窗叶栅更换为撞击块,置于适当的位置,起浓淡分离的作用,在分流管前布置隔断密封挡板,该挡板还兼有分流的功能。撞击式煤粉分离的结构简单,且阻力和磨损都小于百叶窗式叶栅分离的结构,其示意图见图3。

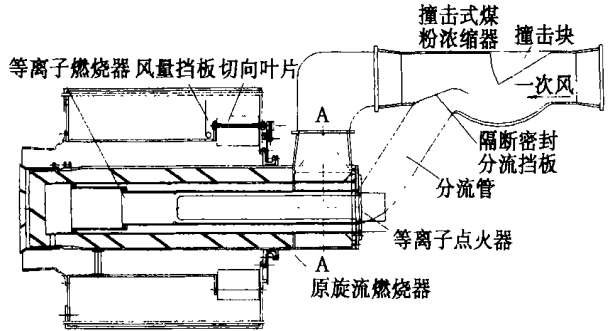


图3 撞击式煤粉浓缩结构示意图

### 3.3 煤粉浓缩装置的两相流冷态模化试验

该冷态模化试验台由2台送风机、3台引风机、一次风管道、二次风管道、试验燃烧器、三组两级布置的物料分离器、给粉机以及风量调节门等组成,模化试验结论如下:

- (1) 弧形板导流式煤粉浓缩结构浓缩效果欠佳。
- (2) 改变叶栅式煤粉浓缩结构的叶片数量、角度、叶片间距、遮盖度以及风速等参数,对浓缩效率的影响作了大量的试验研究。从中优选出了最佳的参数配合,分离效率为60%~65%,粉料(SiC)浓度达到0.3~0.6 kg/kg。
- (3) 改变撞击式煤粉浓缩结构的撞击块角度、高度、沿水平方向前后移动的位置,分流挡板的长度和角度,以及风速等参数,对浓缩效率的影响进行了

表2 Φ400 mm 中心筒的旋流燃烧器 试验结果

	$P = 300 \text{ Pa}$ $V = 16 \text{ m/s}$		$P = 500 \text{ Pa}$ $V = 20.6 \text{ m/s}$	$P = 550 \text{ Pa}$ $V = 21 \text{ m/s}$		
$n/r \cdot \text{min}^{-1}$	300	400	500	600	900	1000
$\mu/\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$	0.18	0.24	0.3	0.36	0.42	0.46
燃烧状况	中心筒喷口见火星	中心筒下半部已着火	燃烧基本稳定	燃烧状态良好	中心筒周围出现未燃尽煤粉	着火情况恶化

试验研究,其分离效率也可以达到叶栅式煤粉浓缩结构的水平,浓度达到 $0.3 \sim 0.6 \text{ kg/kg}$ ,而其结构较前两种简单。

根据冷态模化试验结果,推荐采用撞击式煤粉浓缩装置的技术方案。

### 3.4 等离子燃烧器中心筒点火试验

2001年11月,在烟台龙源公司的试验台上,对 $\Phi 400 \text{ mm}$ 中心筒的旋流燃烧器用等离子发生器进行了铁法烟煤点火试验,煤粉细度 $R_{90} \approx 20\%$ ,环境温度约 $10^\circ\text{C}$ ,试验结果如表2所示。

其中 $n$ 是给粉机转速, $\mu$ 是燃烧器中心筒煤粉浓度, $P$ 为一次风动压, $V$ 为对应于一次风动压值的相应喷口风速。

由表2可知,煤粉浓度最佳范围为 $0.3 \sim 0.36 \text{ kg/kg}$ ,相应喷口风速 $18 \sim 21 \text{ m/s}$ 。

## 4 等离子点火燃烧系统的运行

### 4.1 等离子点火投粉时间的分析与确定

根据燃烧器中心筒点火试验,分析现场具体情况,在不通风制粉方式下,原煤在小风量小煤量的条件下磨制,其煤粉细度 $R_{90}$ 将低于 $20\%$ ,煤粉水分也会较低。从燃烧器中心筒点火试验还表明,煤粉浓度由 $0.18$ 增加到 $0.24 \text{ kg/kg}$ 时,燃烧器中心筒下半部已着火。综合上述情况,分析认为在一次风门开启后的较短时间内,等离子点燃煤粉是可能的。

另一方面,根据撞击式煤粉浓缩器的试验结果,在一次风速为 $20 \text{ m/s}$ ,浓度达到 $0.3 \text{ kg/kg}$ 。当煤粉浓度达到 $0.24 \text{ kg/kg}$ 时,有相当一部分煤粉已燃烧。点火时控制炉内总风量大于 $30\%$ ,一部分未燃烧的煤粉被带出炉膛,加之煤粉进入炉膛后的扩散,其浓度低,数量更少,产生燃烧的可能性不大。

### 4.2 等离子燃烧器启动与运行

2001年12月启动试运。等离子点火功率为

$100 \text{ kW}$ ,一次风管内流速为 $20 \sim 21 \text{ m/s}$ ,以不通风制粉方式完成制粉。开启3号、5号一次风门后在 $1 \text{ min}$ 之内5号燃烧器首先着火,随即3号燃烧器点燃(3号一次风管较长)。开始炉膛火焰较暗,将等离子燃烧器的气膜风由全开关小,炉膛火焰逐渐转亮,燃烧趋于稳定,3号、5号燃烧器着火正常, $20 \text{ min}$ 后又将气膜风逐渐加大,这时气膜风对燃烧的影响减弱, $4 \text{ h}$ 后给煤量为 $24 \text{ t/h}$ ,投4号燃烧器,立即点燃,炉内燃烧稳定,逐步投入其它燃烧器,机组带正常负荷。

通过多次冷态启动和调峰运行实践表明,从启动一次风机投粉到等离子燃烧器着火的时间,少的只需 $30$ 几秒钟,大多数在 $1 \text{ min}$ 内着火。着火的瞬间着火孔处均无正压现象,从等离子角图像火检显示的火焰图像观察,燃烧稳定、火焰明亮。

等离子燃烧器点燃煤粉 $30 \text{ min}$ 以后取样分析,飞灰含碳量为 $26.3\%$ ,表明点火期间燃烧效率较高。

## 5 结 语

通过理论与冷态模化试验研究,选型设计的等离子燃烧器与撞击式煤粉浓缩装置成功地应用于直吹式制粉系统,表明等离子点火系统的结构设计达到了预期目的;煤粉浓缩装置能把 $0.18 \text{ kg/kg}$ 左右的一次风浓缩到 $0.30 \sim 0.35 \text{ kg/kg}$ ,满足了点火要求;调整磨煤机的运行方式,解决了锅炉等离子点火升温升压曲线问题。

### 参考文献:

- [1] GB-88, 电站锅炉性能试验规程[S].
- [2] DLZ-200型等离子点火装置技术性能考核试验报告[R]. 国家电力公司热工研究院, 2000.
- [3] 张孝勇, 陈学渊, 罗泽斌, 等. 等离子点火技术在烟煤锅炉上的应用[J]. 中国电力, 2002, 35(12): 15-18.
- [4] 西安热工研究院, 东北技术改进局. 燃煤锅炉燃烧调整试验方法[M]. 北京: 水利电力出版社, 1974.

(何静芳 编辑)

**基于粗糙集理论的汽轮机组回热系统故障诊断模型** = **Fault Diagnosis Model for the Regenerative Heating System of a Steam Turbine Unit Based on a Rough Set Theory** [刊, 汉] / WANG Wei-jie, HUANG Wen-tao, ZHAO Xue-zeng, et al (College of Mechanical Engineering under the Harbin Institute of Technology, Harbin, China, Post Code: 150001) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2003, 18(6). — 618 ~ 622

After an analysis of the insufficiency of current fault diagnostic methods used for the regenerative heating system of a steam turbine to resolve the problem of redundant fault symptoms the authors have proposed a new fault diagnosis model based on a rough set theory. With the typical fault modes of a regenerating heating system being taken into account a fault diagnostic decision table was established through a discretization of continuous fault symptom attributes. A reduction of the fault symptom attributes was realized by making use of a genetic algorithm. An optimal selection stratagem of minimal reduction is proposed based on domain knowledge. Then, a decision rules base for fault diagnosis was set up through the basic principle of decreasing the given decision rules. When the proposed model is employed for fault diagnosis the discretized fault symptom attributes to be diagnosed are first matched with the diagnostic decision rules in the rules base. The returned diagnostic decision rules will undergo a comprehensive evaluation with a diagnostic conclusion being reached. The simulation of typical faults by a power plant simulator was performed to verify the fault diagnosis model. Engineering practice shows that the proposed model is highly effective in reducing redundant fault symptoms and credited with a good fault-diagnosis effect as well as a fair fault-tolerant capability. **Key words:** steam turbine unit, regenerative heating system, fault diagnosis, rough set theory, genetic algorithm

**新型喷雾光学测量仪的研制** = **Development of an Innovative Mist-spray Optical Measuring Device** [刊, 汉] / WU Wei-liang, CHEN Han-ping, JIN Hao, et al (College of Machine and Power Engineering under the Shanghai Jiao-tong University, Shanghai, China, Post Code: 200030) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2003, 18(6). — 623 ~ 626

To measure the water droplet diameter and concentration as well as their variation in a humidifier, the key element of a humid air turbine (HAT) cycle, has long been an intractable problem during relevant experimental tests. In view of this the authors have developed an innovative mist-spray optical system for measuring the water droplet diameter and its changes at various locations during the mist-spray process of a dual-fluid nozzle in air. Meanwhile, at proper locations and under identical operating conditions a contrast measurement of mist-spray characteristics was conducted with the use of a phase Doppler anemometer. The measurement results indicate that the recommended system can be used for measuring nozzle mist-spray particle diameter and is well suited for the measurement of water droplet parameters in a humidifier.

**Key words:** mist-spray characteristics, mist spray measurement, humid air turbine cycle, humidifier, phase Doppler anemometer

**直吹式制粉系统满足等离子点火浓度技术的应用** = **Technical Version of a Direct-fired System for Attaining the Pulverized-coal Concentration as Required by Plasma Ignition** [刊, 汉] / ZHANG Xiao-yong, ZHANG Yong-cai, ZHANG Shi-kai, et al (Yantai Longyuan Electric Power Technology Co. Ltd., Yantai, Shandong Province, China, Post Code: 264006), // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2003, 18(6). — 627 ~ 629

Plasma ignition technology is applied to a dual-in dual-out direct-fired system, which satisfied pulverized-coal concentration requirements and practical operating conditions. The selection of a rational layout for a plasma burner and the proper adjustment of coal-mill operating mode have met the requirements of the temperature-rise and pressure-rise characteristics for the plasma ignition of a boiler. A detailed description is given of the use of an impact-type centrifugal separation-based concentration device for achieving the pulverized-coal concentration required by the plasma ignition. **Key words:** plasma burner, pulverized-coal concentration, ignition

**直控式液粘调速器的开发** = **Research and Development of a Direct-controlled Hydro-viscous Variable Speed Driver** [刊, 汉] / LI Fu-shang (Shandong Electrical Power Research Institute, Jinan, China, Post Code: 250002),