

DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2018.01.021

1 000 MW 二次再热机组建设无油电厂的技术经济性分析

吴阿峰, 谭灿燊, 范永春, 张翔宇, 石韬, 徐金苗
(中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司, 广州 510663)

摘要: 锅炉点火方案的选择对燃煤机组的运行费用及点火稳燃的可靠性至关重要, 以1 000 MW 二次再热机组为例从技术角度对可行的节能点火方案(微油点火、等离子点火、天然气点火)进行了对比, 并以具体工程为例进行了经济性计算, 1 000 MW 二次再热机组建设无油电厂综合技术经济性最优。由于1 000 MW 二次再热机组建设无油电厂尚无实际运行经验, 也对该配置方案的风险及对策进行了进一步分析, 以供工程实施参考。综合性技术经济性评价方法也适用于其他容量等级工程的点火系统设计方案优选。

关键词: 等离子点火; 天然气点火; 无油电厂; 经济性评价

中图分类号: TM621

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2018)01-0122-05

Technoeconomic Analysis about Oil-free Ignition Technology of 1 000 MW Double-reheat Coal-fired Power Plant

WU Afeng, TAN Canshen, FAN Yongchun, ZHANG Xiangyu, SHI Tao, XU Jinmiao

(China Energy Engineering Group Guangdong Electric Power Design Institute Co., Ltd., Guangzhou 510663, China)

Abstract: The ignition technology is extremely important for lower operating cost and ignition reliability of coal-fired power plant. The article discussed ignition technology (oil-less ignition, plasma ignition, natural gas ignition) about 1 000 MW double-reheat coal-fired power plant from technological aspect, and developed an economic evaluation based on the actual unit. The result shows that for 1 000 MW double-reheat power plant, oil-free ignition technology has lower operating cost. Because of no operation experience, the risks and countermeasures for 1 000 MW double-reheat unit to take oil-free ignition are processed furthermore to offer reference for execution. The integrated technoeconomic analysis method can also be applied for ignition technology selection about other capacity units with its broad applicability.

Key words: plasma ignition; natural gas ignition; oil-free ignition; economic evaluation

锅炉点火系统不但影响电厂建设的投资和以后的运行费用, 还直接影响机组的安全、稳定运行。随着燃油价格的不断提高, 节约燃油、降低运行成本成为目前国内电厂的关注重点。近些年来, 新式点火设备诸如等离子点火系统和微油点火系统已经成功应用于各大中小型电厂, 并且取得了明显的经济效益。

经过国内多个电厂的运行实践, 已经有多个电

厂取消了锅炉点火助燃油系统, 建设成无油电厂, 大大降低了运行维护成本。由于二次再热机组参数提高, 目前尚无建设无油电厂的工程实践运行经验, 下文以具体工程为例, 对可行的点火方式进行了技术经济性分析, 并给出了1 000 MW 机组建设无油电厂的风险和对策, 可以为后续工程方案决策实施提供参考。

1 节能点火方案

天然气点火方式适用于电厂内部或附近有天然气站的工程。天然气可通过管网(专用管网至电厂)

或罐车输送至厂内, 并设置专用的天然气调压站以满足锅炉点火启动要求。若选用罐车输送天然气, 电厂内部需要建设天然气储罐和气化站, 1 000 MW 机组工程约需要设置 15 个储气罐, 占地约 $7.0 \times 10^3 \text{ m}^2$ 。

结合 1 000 MW 二次再热机组, 拟就如下节油点火方案进行综合比选:

方案一: 1 套微油点火系统 + 燃油系统;

方案二: 1 套等离子点火装置 + 燃油系统;

方案三: 1 套等离子点火装置, 无燃油系统;

方案四: 2 套等离子点火装置, 无燃油系统;

方案五: 天然气点火系统, 无燃油系统。

2 点火方案的技术比较

无论采用等离子点火装置或是微油点火系统,

都只能在燃烧器内点燃少量煤粉, 大部分煤粉来不及被点燃就送入炉膛中。由于点火期间炉膛温度较低, 一部分煤粉未燃烬就离开了炉膛, 因此两种点火方式都存在点火初期飞灰含碳量高的问题, 目前只能采取措施缓解^[1]。由于微油点火系统的点火能量更高^[2], 在燃烧器内点燃的煤粉较多, 在点火初期飞灰含碳量稍低于等离子点火。

天然气易点易燃, 对煤种的适应性更强。天然气点火是用天然气枪替代常规的点火油枪, 点火初期可以实现逐根天然气枪投入, 不存在点火初期飞灰含碳量高和受热面升温过快的问题, 并能解决锅炉启动过程冒黑烟等问题^[3]。以 1 000 MW 二次再热机组工程为例, 若选用天然气点火方案, 需要设置 32 只气体燃烧器, 天然气耗量为 $3.84 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{h}$ 。

表 1 点火方式对比

Tab. 1 The technical comparison

项目	方案一	方案二	方案三	方案四	方案五
系统配置	1 套微油点火系统, 油罐区设施利用	1 套等离子点火装置, 油罐区设施利用	1 套等离子点火装置	2 套等离子点火装置	厂内天然气调压站及场外天然气输配管网
业绩	多	多	较多	多	较少
运行维护	较复杂, 燃油系统需要持续投运	较复杂, 燃油和等离子冷却系统需持续投运, 并定期更换等离子发生器的阴阳极	相对简单, 等离子冷却系统需持续投运, 需定期更换等离子发生器阴阳极	同方案三	管网输送系统相对简单, 罐车输送系统相对复杂
可靠性	常规燃油系统作为备用, 可靠性较高	常规燃油系统作为备用, 可靠性较高	无备用点火助燃系统, 可靠性略低	两套等离子点火系统互为备用, 可靠性较高	取决于天然气气源系统稳定性, 一般来说可靠性较高
对锅炉热应力影响及对策	点火初期, 煤粉点燃后释放的热量高于常规油枪, 对锅炉热冲击较大; 对策: 采用油枪点火, 节油点火装置低负荷稳燃, 但机组运行成本增加	同方案一	点火初期, 煤粉点燃后释放的热量高于常规油枪, 对锅炉造成的热冲击较大; 对策: 减小磨煤机给煤量, 降低点火装置的初始热功率, 采用邻机加热系统	同方案三	可以单根天然气枪投入, 控制炉膛升温速度, 几乎不会对锅炉造成热冲击
对锅炉效率的影响	点火期间会增加飞灰含碳量, 降低锅炉效率, 正常运行期间对锅炉效率几乎无影响 ^[4-5]	点火期间飞灰含碳量增肌, 正常运行期间, 若等离子点火燃烧器用作主燃烧器, 会降低锅炉效率, 但影响极小, 几乎可以忽略	同方案二	同方案二	天然气易点易燃, 几乎不会增加飞灰含碳量; 正常运行期间(点火系统不投用), 无影响
对污染物排放影响	点火期间, 未燃尽的油可能会对后续脱硝、除尘器和脱硫系统产生不利影响; 正常运行期间(点火系统不投用), 无影响	点火期间的未燃尽碳对后续设备的影响较小; 正常运行期间, 若等离子点火燃烧器用主燃烧器, 会增加 NO_x 排放量, 但影响极小, 几乎可以忽略	同方案二	同方案二	天然气主要成分是甲烷(CH_4), 燃烧后的主要产物是 CO_2 和水蒸气, 粉尘含量极低, 燃烧产生的 SO_x/NO_x 可以忽略不计

各个方案的技术对比如表1所示。

方案一、二：当采用节油点火装置启动点火时，会对锅炉本体受热面造成热应力冲击，若采用常规燃油系统点火，仅低负荷稳燃采用节油点火装置，则会大大增加机组的运行成本。

方案三、四：启动点火时，会对锅炉本体受热面造成热应力冲击。等离子点火燃烧器作为主燃烧器使用时，可能会降低锅炉效率并增加锅炉的 NO_x 排放量。

方案五：当输气管网较长或者需要在电厂内设置专用储罐区时，初投资较高。但由于天然气属于清洁能源，该方案有利于提高机组的经济性和环保指标。

3 经济性评价

结合不同方案的系统配置对运行能耗进行分析，如表2^[6]所示。

表2 能耗分析

Tab. 2 Analysis about energy consumption

项目	方案一	方案二	方案三/ 方案四	方案五
启动及助燃过程	能量输入	燃油/燃煤/供油泵	燃煤/等离子发生器/空气压缩机/等离子冷却水泵/供油泵	燃气/燃煤
	能量输出	炉膛热量	炉膛热量	炉膛热量
正常运行过程	能量输入	供油泵	等离子冷却水泵/空气压缩机/供油泵	天然气调压站
	能量输出	无	无	无

下面以某1 000 MW二次再热机组工程为例，基于表2中的原理和思路进行经济性评价计算，计算过程中忽略了次要的因素(如全厂公用系统投资及运行成本差异)^[7]，按照电力行业认可的最小年费用法： $NF(\text{年费用}) = f(0.17) \times Z(\text{设备投资投资}) + U(\text{年运行费})$ 进行计算，年费用计算结果如表3所示。

方案三初投资最低，年费用最低，综合经济效益最好；方案四的年运行费用与方案三相同，但由于增加了一套等离子点火系统，初投资较高，故年费用略高；方案一尽管初投资略低，但由于燃油价

格较高，所以其年费用较高。方案二与方案三相比，

表3 年费用计算结果对比

Tab. 3 The economic calculation results

序号	项目	单位	方案一	方案二	方案三	方案四	方案五
初投资	点火系统	万元	180	400	400	800	1 510
	燃油系统(进口油枪)	万元	480	480	0	0	0
	天然气调压站及管网	万元	0	0	0	0	3 900
	总计	万元	660	880	400	800	5 410
	运行时间	h	40	40	40	40	40
点火	运行设备电功率	kW	160	1 392	1 232	1 232	0
	油枪总出力	kg/h	640	0	0	0	0
	天然气枪总出力	m ³ /h	0	0	0	0	24 000
	平均耗标煤量	t/h	63.13	62.84	62.84	62.84	26.43
	年运行费用	万元	243.5	221.3	221.2	221.2	395.9
稳燃	运行时间	h	300	300	300	300	300
	平均标煤耗量	t/h	106.2	105.6	105.6	105.6	93.50
	年运行费用	万元	2 956	2 782	2 780	2 780	3 365
正常运行	年利用小时数	h	5 500	5 500	5 500	5 500	5 500
	热备用设备功率	kW	50	57.5	7.5	7.5	0
	年运行费用	万元	6.3	7.24	0.94	0.94	0
等离子阴阳极年更换费用	万元	0	12.80	12.80	12.80	0	
年运行维护费用	万元	3 206	3 011	3 003	3 003	3 761	
年费用/NF	万元	3 318	3 160	3 071	3 139	4 680	
年费用排序		4	3	1	2	5	

由于保留了常规燃油系统，运行成本和初投资均略有增加。方案五采用天然气点火方式，初投资和运行成本均最高。需要说明的是，本工程附近无合适的天然气气源，需要单独建设4 km的管网或者设置电厂内储罐区，两个方案的初投资均较高，若不考虑该部分投资，则天然气点火方案的初投资相比其他方案增加的幅度不大。

4 二次再热机组建设无油电厂的风险与对策

综上所述，建设无油电厂方案(方案三、四)的综合经济性最优，下面针对二次再热机组相应的风险和对策进行简单论述，供后续工程项目参考^[8]。

4.1 等离子点火系统可靠性

等离子体点火系统的主要设备有等离子发生器，等离子燃烧器及冷却水泵等。等离子发生器的阴极设计寿命为20~150 h，阳极设计寿命为500

h, 目前定型产品的单台电极安装更换时间一般不超过 10 min, 只要做到及时更换即可满足可靠性要求。

等离子体燃烧器的前后壁温度及其温升速率应密切关注, 并设置壁温自动控制系统。当燃烧器壁温超过 300 °C 或燃烧器壁温达到 200 °C 且壁温升高速率过快(20 °C/min)时, 提出预警, 通过适当增加一次风流量和减少磨煤机煤粉投放实现温度控制。

其他配套系统运行业绩多, 可靠性较高。

4.2 受热面安全

点火初期锅炉温升较快且较难控制, 有可能出现再热器干烧, 受热面超温等影响受热面安全运行的问题。可行的缓解手段有: 采用螺旋水冷壁, 保证均匀受热, 有效控制水冷壁壁温偏差; 与磨煤机密切配合, 优化燃烧器结构, 保证煤粉在较小的初始热功率下快速着火和稳定燃烧。如果发现再热器超温, 可以通过调节煤量或者二次风配风系统, 以控制升温速度^[9]。

4.3 工况适用性

机组启动时, 等离子点火速度和功率需要满足煤粉的点火要求, 对常见煤种, 磨煤机入口热一次风温一般需要达到 160~180 °C。

等离子点火装置启动速度应满足机组甩负荷的要求。当载体风系统、冷却水系统及等离子点火装置对应的磨煤机在运行状态时, 等离子发生器可保证快速投入(最快约 4 s), 完全能够满足机组甩负荷时稳燃的要求。

4.4 炉膛安全性

锅炉启动点火初期时, 煤粉燃尽率低, 烟气中的飞灰含碳量较高, 一部分飞灰可能积存在锅炉尾部烟气通道中, 当通风量忽然增加, 且煤粉的质量浓度在(0.3~0.6 kg/m³)时, 可能产生爆燃。根据计算, 启动期间炉膛内煤粉质量浓度远低于最低爆炸质量浓度, 故基本不存在炉膛安全性问题。

4.5 尾部受热面安全措施

提高燃烧效率有利于保证尾部受热面安全, 可以采取如下措施:

1) 送粉管道均匀性调整。降低各送粉管道的风粉偏差(一般要求其风速误差应不大于 5%, 质量浓度分布不大于 10%), 有利于保证锅炉火焰中心稳定, 提高燃烧效率。

2) 调节磨煤机出口分离器开度适当控制煤粉细度。

3) 锅炉的最佳点火质量浓度一般在 0.30~0.35 kg/kg, 可以通过调整磨煤机的最小出力实现。

4) 点火初期短时间维持较低的一次风速, 可控制在 18 m/s 左右。

5 结论

结合技术经济性分析结果, 二次再热机组建设无油电厂技术经济性均较好, 可以作为首选方案; 天然气点火方式, 尽管技术上较优, 但是由于初投资和运行成本均最高, 经济效益较差, 可以作为备选方案。

若无油电厂选用一套等离子点火装置, 至少要在今后运行中做到如下要求:

1) 尽可能燃用原设计和校核煤种。当煤质成分波动较大时, 偏离原设计工况较多时, 等离子点火装置可能难以满足点火或者助燃的要求。

2) 定期对等离子点火发生器及其配套系统进行检修维护, 保证设备的可靠性。

3) 由于等离子点火装置尽可以通过对应的磨煤机进行点火及低负荷稳燃, 故应合理安排磨煤机检修计划, 避免机组出现点火或低负荷稳燃时, 磨煤机无法投运的情况。

参考文献:

- [1] 傅旭峰, 司顺勇, 马武明, 等. 超临界锅炉等离子无油点火的燃烧调整[J]. 锅炉技术, 2016, 47(2): 66-67.
FU X F, SI S Y, MA W M, et al. Combustion and justment of supercritical boiler under oil-less plasma ignition mode [J]. Boiler Technology, 2016, 47(2): 66-67.
- [2] 周俊虎, 聂欣, 周志军, 等. 无油点火燃烧器的数值试验研究[J]. 中国电机工程学报, 2004, 24(9): 243-247.
ZHOU J H, NIE X, ZHOU Z J, et al. Numerical simulation of oil-free ignition combustor [J]. Proceedings of the CSEE, 2004, 24(9): 243-247.
- [3] 刘圣勇, 张百良, 刘志刚, 等. 电站锅炉天然气点火装置的设计与研究[J]. 热能动力工程, 2002, 17(98): 180-182.
LIU S Y, ZHANG B L, LIU Z G, et al. Design and study of the natural gas ignition device of a utility boiler [J]. Journal of Engineering for Thermal Energy and Power, 2002, 17(98): 180-182.
- [4] 金非, 孙文华, 赵洪斌. 微油点火技术在直吹式制粉系统锅炉上的应用[J]. 中国电力, 2009, 42(9): 66-69.
JIN F, SUN W H, ZHAO H B, et al. Application of tiny-oil

ignition technology for direct-fired system boiler [J]. Electric Power, 2009, 42(9): 66-69.

[5] 黄文锋. 微油点火和超低负荷稳燃技术的应用 [J]. 发电设备, 2008(4): 299-302.

HUANG W F. Application of tiny-oil ignition and combustion stabilization technology for ultra low load operations [J]. Power Equipment, 2008(4): 299-302.

[6] 吴阿峰, 李明伟, 黄涛, 等. 烟气脱硝技术及其技术经济分析 [J]. 中国电力, 2006(11): 71-75.

WU A F, LI M W, HUANG T, et al. Several practical flue gas de-nox technologies and techno-economic analysis [J]. Electric Power, 2006(11): 71-757.

[7] 吴阿峰, 潘灏, 谭灿桑. 1 000 MW 超超临界燃煤锅炉引风机配置的技术经济分析 [J]. 发电设备, 2009(2): 136-139.

WU A F, PAN H, TAN C S. Configuration of induced fan for coal-fired boilers of 1 000 MW ultra supercritical power plants [J]. Power Equipment, 2009(2): 136-139.

[8] 刘国伟, 董芑, 别如山. 煤粉高温富氧无油点火实验和数值模拟研究 [J]. 动力工程学报, 2013, 33(11): 837-839.

LIU G W, DONG P, BIE R S. Experimental study and numerical simulation on high-temperature oxygen-enriched oil-free pulverized coal ignition [J]. Journal of Chinese Society of Power Engineering, 2013, 33(11): 837-839.

[9] 邹罗明. 超超临界机组邻炉蒸汽加热系统优化研究 [J]. 南方能源建设, 2016, 3(2): 127-130.

ZOU L M. Optimization research on adjacent boiler heating system of ultra supercritical unit [J]. Southern Energy Construction, 2016, 3(2): 127-130.

作者简介:



吴阿峰
1981-, 女, 山东青岛人, 高级工程师, 硕士, 主要从事电厂热机专业的设计研究工作(e-mail) wuafeng@gedi.com.cn。

WU A F



谭灿桑
1980-, 男, 广东东莞人, 高级工程师, 硕士, 主要从事电厂热机专业的设计研究工作 (e-mail) tancanshen @ ged i. com. cn。

TAN C S



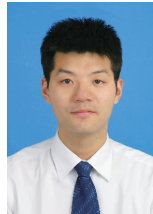
范永春
1980-, 男, 广东三水人, 教授级高级工程师, 本科, 主要从事电厂热机专业的设计研究工作 (e-mail) fanyongchun @ ged i. com. cn。

FAN Y C



张翔宇
1986-, 男, 山西大同人, 高级工程师, 硕士, 主要从事电厂热机专业的设计研究工作 (e-mail) zhangxiangyu @ ged i. com. cn。

ZHANG X Y



石韬
1986-, 男, 湖南湘潭人, 工程师, 硕士, 主要从事电厂热机专业的设计研究工作 (e-mail) shitao @ ged i. com. cn。

SHI T



徐金苗
1982-, 男, 湖北宜昌人, 高级工程师, 硕士, 主要从事电厂热机专业的设计研究工作 (e-mail) xujinmiao @ ged i. com. cn。

XU J M

(责任编辑 高春萌)

广 告

越南永新燃煤电厂一期项目.....	封二
500 kV 如画(桂南)输变电工程	封三
中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司.....	封四