

微油点火在 600MW 超临界 W 火焰炉的应用研究

刘鹏远¹, 肖宏博², 赵兴华², 金坪学², 杜维毅³, 廖永浩¹

(1.华电电力科学研究院, 杭州 310030; 2.四川华电珙县发电有限公司, 珙县 644502; 3.山西晋王曲发电有限责任公司, 长治 047500)

The Study of Tiny-oil Ignition Application on a Down-fired Boiler of Supercritical 600MW Unit

LIU Peng-yuan¹, XIAO Hong-bo², ZHAO Xing-hua², JIN Ping-xue²,
CHENG Zhi-hai³, LIAO Yong-hao¹

(1.China HuaDian Electric Power Research Institute, Hangzhou 310030, China;

2.Gongxian Power Generation Co.,Ltd.,Gongxian 644502, China;

3. Wangqu Power Generation Co.,Ltd., Changzhi 047500, China)

Abstract : Application of tiny-oil ignition technology on a 600MW supercritical down-fired boiler is presented and the optimization experiments were carried out based on the operation of tiny-oil burners, which includes: The optimal adjustment of vent air damper, and the adjustment of milling system dynamic separator, and the adjustment of the primary air velocity and perimeter wind as well as withdrawal of the oil gun experiment. Experiment research shows that the tiny-oil ignition systems is simple and reliable, and the pulverized coal can be ignited when cold furnace startup with large oil fired gun, and unburned carbon in fly ash can low as 26%, and the heating-up and pressure rising rates of boiler is stable. Compared with none tiny-oil ignition, the oil consumption significantly reduced during the boiler start-up process, and the effect of oil saving is obvious. The tiny-oil ignition burner as a common boiler burner has no bad effect on the boiler performance. The oil consumption decreases during start-up process after the application of tiny-oil ignition technology and remarkable economic benefits have been achieved.

Key words: Down-fired boiler; tiny-oil ignition; oil saving

摘 要:介绍了微油点火技术在 600MW 超临界 W 火焰炉上的应用情况, 并进行了微油燃烧器运行方式优化试验, 包括: 乏气挡板优化调整、制粉系统动态分离器调整、一次风速和周界风调整以及撤油枪试验。通过试验得出, 微油点火系统简单可靠, 冷炉启动在大油枪伴燃的情况下煤粉可被点燃, 飞灰可燃物为 26%, 锅炉升温升压稳定。与不采用微油点火相比, 锅炉冷态启动过程油耗明显降低, 节油效果明显。微油点火燃烧器作为常用燃烧器并未对锅炉性能产生不良影响。采用微油点火措施后, 启动过程油耗下降, 具有明显的经济效益。

关键词: W 火焰锅炉; 微油点火; 节油率

1. 引言

微油点火技术在燃用烟煤、褐煤锅炉上已得到广泛应用。其基本原理是将微油量油枪放置在一次风喷口内, 煤粉采用浓缩技术后形成浓相煤粉, 利用油枪引燃浓相煤粉, 再由浓相煤粉着火燃烧放出的热量点燃更多的稀相煤粉, 煤粉分级燃烧, 燃烧能量逐级放大, 最终

实现用微油量启动锅炉的目的，节省启动用油^[1~3]。珙县电厂为燃用无烟煤的 W 火焰炉超临界机组，由于机组需要经常性参与调峰，为减少锅炉冲管、启停及低负荷稳燃阶段的油耗，锅炉设置了微油点火燃烧器，通过微油枪助燃来实现冷态条件下的直接投粉，从而减少锅炉基建调试及启动油耗。

2. 设备概况

珙县电厂一期 2×600MW 机组锅炉，为东锅首台 600MW 超临界 W 型火焰锅炉，型式为超临界参数、一次再热、垂直管圈水冷壁变压运行直流锅炉。锅炉采用正压直吹式制粉系统，配备 6 台双进双出钢球磨煤机，磨煤机采用动静态分离器，煤粉细度 R90 可控制在 6% 以内。24 只煤粉燃烧器顺列布置在下炉膛的前后墙炉拱上，每台磨煤机带 4 只双旋风煤粉燃烧器。燃烧器的布置型式如下图所示：

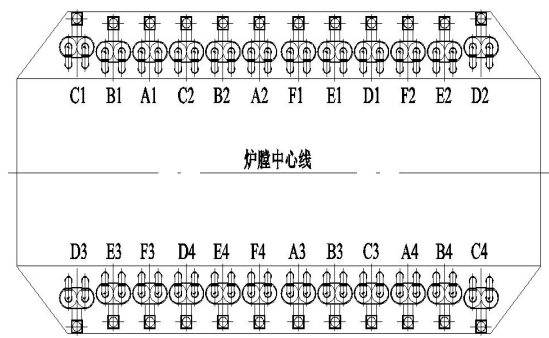


图 1 煤粉燃烧器布置图

Fig.1 Diagram of the arrangement of the burners

在 1 号和 2 号锅炉上皆采用了微油点火技术。在保留原有大油枪的基础上，将 B 磨和 E 磨对应的 8 只煤粉燃烧器改为可用于点火的独立配风、分级燃烧的微油煤粉燃烧器。在启动

时采用大油枪配合微油启动的点火方式。微油煤粉燃烧器在原 FW 双旋风煤粉燃烧器的基础上进行了改进，将原燃烧器的喷口直段延长，并在直段内设置分级煤粉燃烧室。带独立配风的微油油枪从燃烧器乏气弯头沿燃烧器轴向插入到一级煤粉燃烧室的入口。在旋风筒喉口区域设置了浓缩装置，将煤粉从边壁区域浓缩到位于中心的一级燃烧室内。其所涉及到与原燃烧器的改动为：将燃烧器拔高，相应一次风接口位置也升高；取消可活动的消旋杆，代之以固定的消旋叶片。除此之外，其余均同原燃烧器布置相同，保持了原大油枪的位置不变，保持原喷口的位置和大小不变，并保持原有的风量配比风速，基本保持了炉内总体流场分布和燃烧组织配风不变。

每支双旋风煤粉燃烧器配一支油枪，油枪紧靠煤粉喷嘴布置在拱上，设计总容量为 30%B-MCR 输入热量；油枪采用机械雾化，设计单支油枪出力为 1600 kg/h，在实际调试运行过程中将 B、E 磨油枪改为标称出力 1000 kg/h（2.7MPa）的雾化片，其余油枪改为标称出力 800 kg/h（2.7MPa）雾化片。本机组采用暖风器，利用邻炉蒸汽或启动锅炉产生的蒸汽来加热磨煤机的干燥风。当锅炉炉温逐渐升高，烟气温度上升，进入磨煤机的干燥风温度逐渐升高，可逐渐减小暖风器蒸汽供应量，最后停运暖风器。

3. 微油点火系统运行方式优化试验

3.1. 乏气挡板开度优化调整

在微油点火燃烧器安装以前，在冷态实验台上对其风量及粉量分配特性进行了测试。在乏气管上开孔，采用等截面取平均值的方法测量乏气风速。测试了三种一次风速下的乏气风速，风量对比如下图所示：

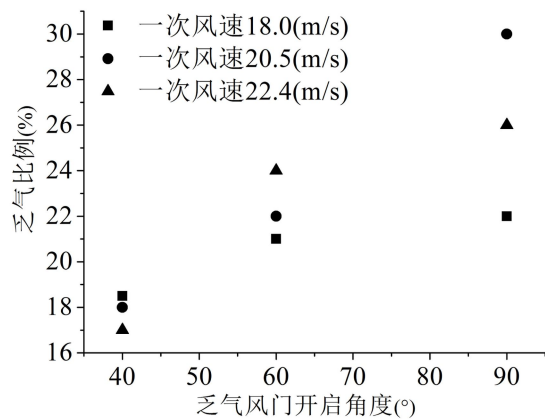


图2 乏气挡板开启角度和乏气量的关系

Fig.2 Relationship between the vent air damper opening and the vent air mass flow

在不同一次风速下，乏气蝶阀开启角度分别为 40°、60° 和 90° 时，乏气所占一次风量比例平均约为 18%、23%和 26%。

在乏气风门开启角度为 90° 时(即全开状态)对粉量的分配进行了测试，投粉量在 2-10 kg/min，一次风速控制在 16-20 m/s 之间，通过对乏气中携带的粉量进行收集称重。结果表明乏气含粉的比例很小，基本在 6%以下。在微油燃烧器投运时，为保证主喷口较好的煤粉浓缩效果，乏气风门开启角度调整到 90°。

3.2. 磨煤机优化运行

磨煤机配备了动静态分离器，通过调整动

态分离器转速，可对煤粉细度进行调节。在锅炉冷态启动过程中，为缩短煤粉着火时间，应保证较高的煤粉细度。采用小出力、高细度运行方式是冷态启动过程中保证煤粉着火的重要条件。此时动态分离器调节到最大转速，手动操作单台给煤机，以最小的给煤量 10 t/h 运行。此时对 B 磨的 4 跟粉管进行煤粉细度和均匀性测试，R90 平均值为 6.26%。各粉管细度和均匀性测试结果见下表：

表 1 B 磨煤粉细度

Tab.1 The pulverized coal-Fineness of the B mill

	B1		B2		B3		B4	
R ₉₀ (%)	均	均	均	均	均	均	均	均
	匀	R ₉₀ (%)	匀	R ₉₀ (%)	匀	R ₉₀ (%)	匀	匀
	性		性		性		性	性
7.90	0.90	5.85	0.85	4.50	0.57	6.79	0.82	

3.3. 微油枪一次风速优化调整试验

为掌握不同运行方式下燃烧器出口温度，将一根长热电偶从微油燃烧器 B3 的看火孔插入至燃烧器出口，热电偶测点位置如图 3 所示。在不投粉的情况下，投入 B 磨的微油枪。在微油枪投入初期，一次风速控制在 22 m/s，此时，B3 燃烧器的出口温度在 900℃左右。后逐渐降低一次风速，燃烧器出口温度迅速升高。测得的燃烧器出口温度变化趋势如图 4。

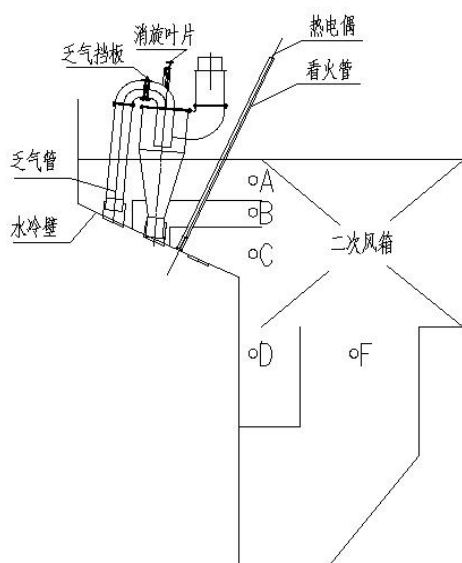


图3 热电偶测点位置示意图

Fig.3 Diagram for the thermocouple monitoring ports

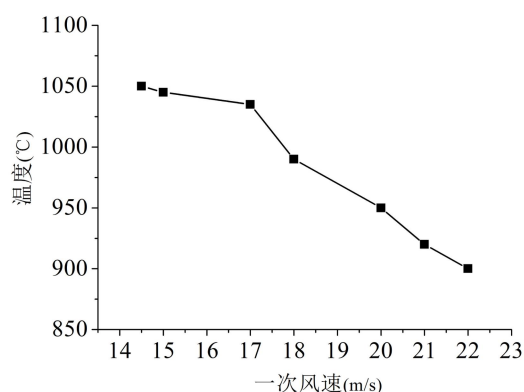


图4 燃烧器出口气体温度变化

Fig.4 Gas temperature variations of the outlet of the burner

从图4看出,随着一次风速降低,燃烧器出口温度逐渐升高。这主要是由于一次风量超过理论空气量,过多的一次风会冷却燃烧器出口温度。但是,当一次风速降到17 m/s后,继续降低一次风速对提高燃烧器出口温度的作用减弱,燃烧器出口温度升幅在10℃以内。因此为保证较高的温度,一次风速不宜过大,在不投粉的情况下应控制在17 m/s左右。

3.4. 锅炉冷态投粉试验和燃烧器周界风优化

锅炉在冷态投粉时水冷壁出口温度为65-70℃,一次风速为15m/s,燃烧器出口温度为1140℃。投粉后燃烧器温度开始急剧下降,投粉10分钟后燃烧器出口温度降至800℃。后调整一次风速至18 m/s,投粉16分钟后燃烧器出口温度降至610℃,随后将一次风速降至16 m/s,燃烧器出口温度升温至650℃;将风速降至15.5m/s,燃烧器出口温度升温至670℃;进一步将一次风速降至14.5m/s,燃烧器出口温度升温至700℃。此后燃烧器出口温度稳定在700-730℃。在投粉50分钟后,将B挡板由50%关至30%开度,燃烧器出口温度迅速升至840℃,后又将B挡板关至20%开度后,燃烧器出口温度迅速升至1000℃,此后燃烧器出口温度逐渐升高至1200℃左右,此时火焰明亮,燃烧稳定。整个调整过程见图5。

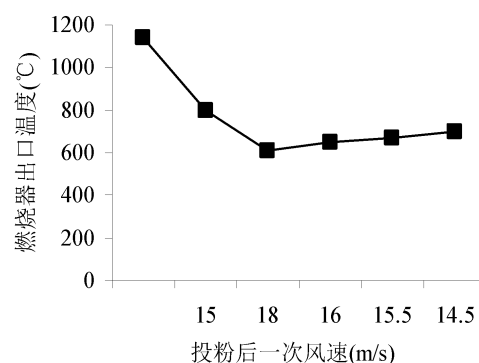


图5 投粉后一次风速变化对燃烧器出口温度的影响

Fig.5 Gas temperature variations at different velocity of the primary air

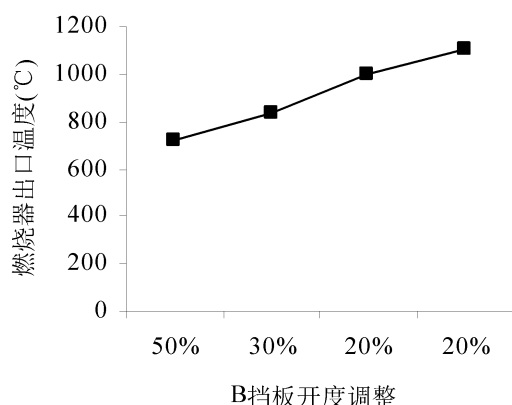


图 6 B 挡板开度调整对燃烧器出口温度的影响

Fig.6 The influence of the B damper opening to the gas temperature of the outlet of the burner

在冷炉直接投粉过程中，一次风速和燃烧器周界风量的调整对燃烧器出口温度影响很大。一次风速升高，燃烧器出口温度降低，煤粉的着火条件较差。当一次风速达到 18m/s 时，燃烧器出口温度降低到 600℃ 左右，可以被点燃的煤粉比例大幅度减少，所以在冷态投粉过程中要尽量降低一次风速。考虑到煤粉输送过程中的携带能力，防止煤粉管堵塞，冷态投粉启动过程中维持一次风速在 15m/s，进行投粉。该风速范围一方面可以满足煤粉输送的要求，另一方面又兼顾了尽量降低一次风速的需要。

主燃烧器周界风挡板（B 挡板）的开度调整对燃烧器出口温度影响显著。冷态启动过程中，随着 B 挡板开度的减小燃烧器出口温度显著升高，当 B 挡板开度达到 20% 时，燃烧器出口温度达到 1200℃。此时，燃烧器出口煤粉大部分已经被可靠点燃，稳定燃烧。因此在启动过程中将 B 挡板开度调整至 20% 再进行投粉，

可维持较高的燃烧器出口温度。此外，燃烧器有周界风冷却，投粉后燃烧器壁温最高不超过 350℃，可靠性较高，并未出现燃烧器烧损或超温结焦的问题。锅炉负荷较高时再将其调至 50% 左右，与其它燃烧器一致。

3.5. 燃烧状况分析

通过上述优化调整，在只投运 B 磨的情况下，对飞灰和底渣进行了取样分析。取样时给煤量维持在 20-25 t/h，氧量最开始投粉时在 17-18%，后通过降低总风量逐渐降至 15-16%。油枪只投运了 B 磨对应的大油枪和微油枪。试验时煤质与设计煤质对比见下表：

表 2 试验煤质分析

	C _{ar} (%)	H _{ar} (%)	O _{ar} (%)	N _{ar} (%)	S _{ar} (%)	V _{daf} (%)	M _a r (%)	A _{ar} (%)	Q _{net,a} r (kJ/kg)
设计值	50.50	2.10	2.17	0.68	2.80	7.50	9.50	32.25	19200
校核值	47.59	2.02	2.30	0.66	2.95	9.60	9.00	35.48	18000
试验值	48.66	2.02	2.09	0.66	2.70	14.01	7.11	36.76	18213

由煤质分析看出，冷态点火时所用煤的挥发份要高于设计值，这也为将煤粉点燃创造了有利条件。对微油点火工况的飞灰进行取样分析，结果如图 7 所示：

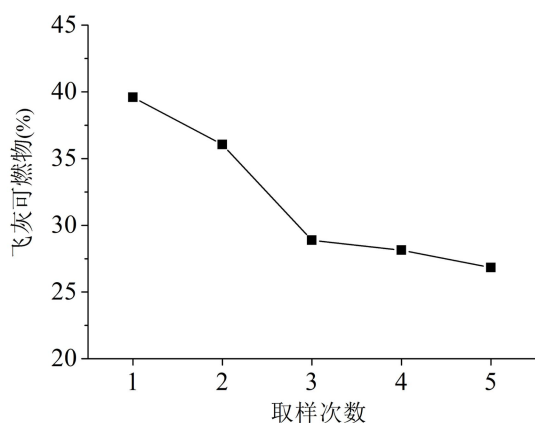


图7 锅炉启动初期飞灰可燃物变化

Fig.7 Variations of the unburned carbon in fly ash during the boiler start-up process

第一次取样是冷态投粉后约1小时，最后一次取样是冷态投粉后约8小时，中间基本间隔1.5小时取一次样。由趋势看出，刚投粉后炉膛温度较低，燃烧效果较差，飞灰可燃物在35%以上；后随着锅炉升温升压的进行，炉膛内温度提高，燃烧环境改善，飞灰可燃物逐渐降低。当主蒸汽压力达到8MPa、主汽温到455℃工况下，空预器入口烟温在340℃，飞灰可燃物降至26%左右。测试期间底渣平均含碳量为28.7%。由于煤粉燃尽效果较为理想，加之微油点火期间尾部受热面吹灰及时，并未发生尾部受热面二次燃烧问题。

3.6. 撤大油枪试验

微油燃烧器冷态初期投粉后，需要采用大油枪协助助燃。随着炉膛温度的升高，煤粉的着火条件改善，可以逐渐停止大油枪助燃，完全采用微油枪助燃来保证煤粉的稳定着火。大油枪的及早撤出对于启动过程的节油有着重

要影响。因此在一次启动并网过程中，进行了撤大油枪的试验。

锅炉冷态启动过程中，先投运B磨。在机组并网后，锅炉逐渐升负荷。在已投运B磨的基础上又投运了E磨，投E磨前先投运了E磨4支燃烧器对应的大油枪。因此在升负荷初期，除投入B磨和E磨微油外，还投入了B磨和E磨对应的4支大油枪。整个升负荷过程中，燃烧良好。待锅炉升负荷至150MW后，逐渐开始撤大油枪，稳定观察后，燃烧状况良好。最后E磨大油枪全部撤出，只留有B磨两支大油枪。此后空预器入口氧量维持在10-12%，入口烟温约340℃，燃烧稳定，火焰电视清晰可见。

通过撤油枪试验得出，锅炉负荷在150MW以上，已具备撤除大油枪的条件，只保留微油枪即可协助煤粉稳定的燃烧。

4. 锅炉升温速率及出口烟温分析

在用微油点火进行冷态启动时，一般先投入B磨，给煤量在10-20 t/h。起压后初期主汽温升温速率为1.4℃/min，再热汽温温升速率为1.3℃/min，满足电厂运行规定。

锅炉点火初期，由于高过和高再受热面未建立正常的冷却流量，因此需要控制炉膛出口烟温不超过管材的允许使用温度。当煤量在10 t/h时烟温探针温度为248℃，当煤量20 t/h时烟温探针温度为537℃，并未超过565℃的规定值。在点火初期过、再热器无超温问题。

5. 作为常用燃烧器的运行情况

微油燃烧器在锅炉启动后作为常用燃烧器一直投运。由于其内部结构在原燃烧器基础上做了一些改动，因此需要确保不会对锅炉的性能产生影响。从 1 号机组通过 168 小时试运后的运行情况来看，微油点火燃烧器的使用并未对锅炉燃烧效率产生不良影响，污染物排放也达到设计值。在满负荷情况下对 1 号炉进行了多次热效率试验，以判断微油燃烧器对锅炉性能的影响。试验所用煤质如下表，炉效按煤质低位热值进行计算，试验结果如表所示。

表 3 试验煤质分析

Tab.3 The analysis of the coal during the tests									
	C _{ar} (%)	H _{ar} (%)	O _{ar} (%)	N _{ar} (%)	S _{ar} (%)	V _{daf} (%)	M _a r (%)	A _{ar} (%)	Q _{net,a} r (kJ/kg)
工况一	46.07	1.92	1.98	0.62	2.56	14.44	5.6	41.25	17383
工况二	46.27	1.92	1.99	0.62	2.57	15.45	5.87	40.76	17000

表 4 锅炉运行参数比较

Tab.4 The comparison of the boiler operation conditions of the tests			
项 目	设计值	工况一	工况二
主蒸汽流量(t/h)	1840.62	1834.5	1836.5
一次风粉温度(℃)	100	100	100
二次风温度(℃)	349	327	326
省煤器出口 O ₂ (%)	4.2	3.4	3.3
空预器出口 O ₂ (%)	5.3	6.55	5.20
飞灰可燃物含量(%)	5.3	3.41	3.48
底渣可燃物含量(%)	5.2	3.54	3.70
修正后排烟温度(℃)	125	124	121.3
修正后反平衡效率(%)	91.3	91.02	91.43
NO _x 排放浓度(mg/Nm ³)	1090	701	669

由数据看出，锅炉燃烧情况良好，飞灰和

底渣可燃物均低于设计值，锅炉效率达到设计值，NO_x 排放低于设计水平。

6. 节油率统计

对新建机组，调试期间的节油率和许多因素相关，如机组各部件的故障率、安装质量情况、MFT 次数等等，笼统比较机组调试期间的总油耗并不客观。因此拟用 1 号炉和 2 号炉的两次冷态启动油耗作为比较依据。以锅炉冷态启动到机组冲转作为计算节点，比较的蒸汽参数定在 8MPa，450℃左右。其中 1 号炉未使用微油点火，2 号炉使用了大油枪配合微油枪启动方式。统计油耗数据见下表：

表 5 1 号炉和 2 号炉启动油耗

Tab.5 The oil consumption of the No.1 and No.2 boiler during the start-up process					
项目	单位	1号炉		2号炉	
		第一次启动	第一次启动	第一次启动	第二次启动
给水压力	MPa	0.37	0.41	0.39	0.39
给水温度	℃	50	39	40	40
主汽压力	MPa	8	8	8	8
主汽温度	℃	405	445	455	455
累计油耗	t	114	82	73	52
平均油耗	t	98		62.5	

由于每次启动时略有差异，在保证主汽压力相同时，主汽温度略有不同，如上表所示。2 号炉在两次启动过程中所用的油耗明显低于 1 号炉的启动油耗，采用了大油枪配合微油枪启动方式的 2 号炉在两次启动过程中平均节油率为 36.2%。

7. 结论

计算分析[J]. 工程热物理学报, 2008, 29(4): 609-612.

1、通过微油枪的优化运行, 在大油枪协助下, 首次实现了无烟煤锅炉在冷态启动过程中直接投粉启动。采用高煤粉细度, 较低的一次风速及较小的燃烧器周界风挡板开度, 投粉后燃烧稳定, 火焰明亮, 火检信号正常, 火焰电视清晰可见。

2、投粉后随着炉膛温度的升高, 燃烧逐渐改善, 飞灰可燃物逐渐降低, 在单台磨投运外加4支大油枪的情况下飞灰可燃物最低可降至26%, 部分煤粉已被有效点燃。

3、及早撤出助燃的大油枪可以进一步节约启动用油。锅炉负荷在150 MW以上、省煤器出口烟温在330℃以上, 可以停止大油枪, 只保留微油枪即可协助煤粉稳定燃烧。

4、微油煤粉燃烧器作为常用燃烧器使用并未对锅炉性能产生影响, 锅炉效率和NO_x排放均可达到设计值。

5、采用大油枪配合微油枪启动方式, 2号炉在两次冷态启动过程中油耗明显降低, 与1号炉不采用微油点火相比, 平均节油率为36.2%。

参 考 文 献

- [1] 赵铁军, 宋绍伟. W型火焰锅炉节油技术应用[J]. 中国电力, 2009, 42(9): 61-65.
- [2] 束长勇. 微油点火稳燃技术在600MW机组中的应用[J]. 电力设备, 2008, 9(10): 74-76.
- [3] 车丹, 林树彪. 微油点火在燃用贫煤锅炉上的试验研究[J]. 山西电力, 2009, 3: 39-41.
- [4] 付忠广, 王志鹏, 史亮亮. 燃煤锅炉微油点火燃烧器的数值