

## 220t/h 电站锅炉贫瘦煤掺烧烟煤试验研究

聂广华

巴陵石化公司热电部, 湖南 岳阳 414014

[摘要] 贫瘦煤掺烧烟煤是电厂提高锅炉热效率, 降低煤炭成本的一种方式, 但由于烟煤挥发分高, 极易引起煤堆自燃和燃烧器损坏, 需要全面了混煤的特性, 2017 年热电部通过试验, 从锅炉效率、煤价、制粉电耗、风机电耗、液氨消耗、污染物排放浓度等方面考察了锅炉在现有煤种中掺烧烟煤的安全经济性和环境影响, 对中储式煤粉炉混煤掺烧有一定的参考作用。

[关键词] 热效率; 结焦; 制粉系统; 配风; SO<sub>2</sub>; NO<sub>x</sub>

DOI: 10.33142/hst.v2i3.845

中图分类号: X773

文献标识码: A

### Experimental Study on Lean-lean Coal-blended Bituminous Coal for 220t/h Power Station Boiler

NIE Guanghua

Ministry of Thermal Power of Baling Petrochemical Company, Yueyang, Hunan, 414014, China

**Abstract:** Blending bituminous coal with lean coal is a way for power plants to improve boiler thermal efficiency and reduce coal cost, but because of the high volatile content of bituminous coal, it is easy to cause spontaneous combustion of coal pile and combustor damage, so it is necessary to comprehensively mix the characteristics of coal. In 2017, the Ministry of Heat and electricity passed the test from boiler efficiency, coal price, powder power consumption, fan power consumption, liquid ammonia consumption. The safety, economy and environmental influence of boiler mixing bituminous coal in the existing coal are investigated in terms of pollutant emission concentration, which can be used as a reference for the mixing of mixed coal in medium storage pulverized coal furnace.

**Keywords:** thermal efficiency; coking; flour making system; air distribution; SO<sub>2</sub>; NO<sub>x</sub>

#### 1 锅炉概况

巴陵石化热电部#9 炉为杭州锅炉集团有限公司制造的高温高压煤粉锅炉, 1997 年投产, 锅炉型号为 NG-410/9.8-M 型, 为单锅筒, 自然循环, 集中下降管, 单炉体负压炉膛, “π”型布置的固态排渣煤粉炉。锅炉采用角置水平浓淡直流式煤粉燃烧器, 燃烧器布置在炉膛的正四角, 锅炉采用中间仓储式制粉系统, 配两台 DTM 350/600 型钢球磨煤机和 8 台 NGF-9 型内启闭叶轮给粉机。脱硝装置采用低氮燃烧+选择性催化还原法 (SCR) 工艺、除尘装置采样电袋复合除尘器工艺, 脱硫装置采样石灰石-石膏湿法脱硫工艺。

##### 1.1 锅炉设计参数

表 2 锅炉的主要设计参数

序号	设计工作参数	单位	#9 炉
1	额定蒸汽量	t/h	220
2	汽包工作压力	MPa	11.28
3	过热蒸汽压力	℃	9.8
4	过热蒸汽温度	℃	540
5	给水温度	℃	215
6	排烟温度	℃	139.2
7	热风温度	℃	362.7
8	化学不完全燃烧热损失	%	0
9	排烟热损失	%	6.02
10	机械部完全燃烧热损失	%	2.3
11	锅炉散热损失	%	0.55
12	排渣物理热损失	%	0.099
13	锅炉热效率	%	91.031

## 1.2 煤质特性

表 3 煤质特性

煤种	低位发热量 (kJ/kg)	挥发份 Vad (%)	硫份 Sar (%)	水份 Mar (%)
长治煤	24832	11.43	0.35	6.69
宋寨煤	21799	10.6	0.4	8
烟煤	20950	25.27	0.54	10.1
长治:宋寨 1:1)	24400	10.89	0.38	8.1
长治:宋寨:烟煤=45:45:10	24237	12.8	0.42	6.6
长治:宋寨:烟煤=40:40:20	23430	13.6	0.44	6.6

## 2 试验工况

工况号	煤种	配比	负荷	制粉方式
工况一	长治:宋寨	50:50	180±5t/h	乙制粉
工况二	长治:宋寨:烟煤	45:45:10	180±5t/h	乙制粉
工况三	长治:宋寨:烟煤	40:40:20	180±5t/h	乙制粉

## 3 掺烧措施

### 3.1 烟煤混配措施

(1) 混配方式:通过老区#1 带与#19 带供煤在新区#22 乙带混合,经过#22 乙带和原煤仓两个落点交叉混配。

(2)混配比例:#1 带给煤机流量 80t/h,调速转数控制在 200 转/小时,按照 20%的比例与#19 带给煤机流量 350t/h,调速转数控制在 700 转/小时。

(3) 烟煤到厂后,按照烟煤挥发分偏高的特性,尽快安排配烧,存放时间不超过一周,每天白班安排老区与新区运行,按照计划每天消耗 150 吨。

(4) 严格配煤工艺,落实配煤指导书,瞬间煤量下调至 450 吨/小时,加强煤仓检查和班中询问,每趟煤检查间隔不准超过 3 小时,防止空仓或自燃,向调度询问不少于三次,接班后必须全面掌握上值的配煤比例,对锅炉运行状况出现的波动,及时汇报车间并做好详细记录。

### 3.2 制粉系统运行调整措施

(1) 严格控制磨煤机入口温度在 70-80℃,粉仓温度不得高于 80℃,司炉每小时查看一次粉仓温度,发现异常及时汇报班长和车间。

(2) 外操需对制粉系统 2h 巡检一次,加强制粉系统漏风漏粉检查,按时清理草筛和木块分离器,司炉加强调控,严禁跑粉及磨煤机满罐,粉仓粉位控制在 3.8 米以下,发现漏粉跑粉时应立即组织清理干净,防止煤粉堆积自燃。

(3) 制粉系统启动过程中,应调整好热风开度和启动时间,防止启动过程中制粉系统温度过高;停运制粉系统必须将磨煤机及系统内余粉抽干净,停止给煤后磨煤机继续运行 5-10 分钟,磨煤机停运后,可适当保持排粉机运行一段时间,抽空管道内余粉,磨煤机出口温度降至 65℃以下才能停排粉机。停运后必须检查给煤机盖板、木块分离器和磨煤机热风门是否关严,防止漏风。

(4) 发生堵煤或空仓时,应及时关小制粉系统热风量,温度过高时,可适当开启冷风冷却,期间磨煤机出口温度尽量维持在 80℃内。凡制粉系统发生超温运行或异常情况时,需比对制粉系统 DCS 数据变化,加强现场巡视,确认制粉系统设备运行良好。

(5) 制粉系统需检修消缺时,需按照制粉系统停运要求操作,确认磨煤机和管道内余粉已抽尽,方可开始检修。

(6) 制粉系统定期倒换,避免单台制粉系统长时间停运,在制粉系统管道及磨煤机出入口处长时间积粉,引起自燃。

### 3.3 锅炉燃烧调整措施

3.3.1 适当提高一次风压至 1.8-2.0KPa, 保持着火距离在 300-500mm, 每 2 小时看火一次, 观察着火距离、火焰颜色、结焦等情况), 发现结焦及时清除。掺烧期间观察火焰情况, 根据燃烧情况及时做出调整。

3.3.2 根据 SCR 入口 NO<sub>x</sub> 浓度, 适当关小上排燃尽风至 20-40%, 下排燃尽风 30-50%。

3.3.3 二次风配风方式仍维持缩腰配风(下大、中小、上大), 四角二次风压平衡, 根据燃烧和结焦情况, 可适当降低氧量。

3.3.4 开大周界风开度至 95%以上, 防止一次风速偏高, 而周界风风速较低时, 高温烟气卷吸到燃烧器喷口, 使煤粉燃烧提前, 烧坏燃烧器。

3.3.5 烟煤掺烧期间由于风粉管着火和喷口烧坏风险增加, 需适当提高炉膛负压, 确保炉膛处于负压状态。

3.3.6 严密关注核对一次风压风速风温、燃烧器壁温、排烟温度 DCS 数据, 发现非正常上升时及时调整处理, 每 2 小时巡回检查风粉管运行情况, 发现漏粉立即汇报并组织清理余粉, 防止煤粉堆积自燃, 消除缺陷, 消缺前将风管吹扫干净。

## 4 风险评估

表 4 掺烧烟煤风险评估

序号	问题描述	风险分析	防范措施
1	煤场着火、自燃	煤场火灾	1、增加#1 煤棚巡检, 每值四次。 2、在#1 煤棚增加 2 个摄像监控管理。 3、车间管理人员每天巡查。 4、每天计划消耗 150 吨。
2	落煤斗堵煤	堵塞下煤管, 影响配煤	1、每天增加 1 次落煤斗清理。 2、运行班组每趟煤运完后增加 1 次清斗。
3	#23 带煤粉自燃	积粉自燃	集控加强监控检查, 每天做好记录。 #23 带每天检查 3 次煤粉取样点有无漏粉
4	燃烧器不适应、配风调整不当	烧坏燃烧器或燃烧器附近结焦严重	1、适当提高一次风速, 一次风压提高至 1.8-2.0KPa, 加强燃烧器检查, 喷口着火距离保持在 300-500mm, 发现结焦、堵塞, 及时清除。 2、结焦严重时, 适当提高炉膛氧量, 每班定期清焦。
5	煤粉分层	锅炉燃烧不稳, 主汽压力波动	燃运加强配煤, 尽量混配均匀; 司炉监盘认真, 精细调整, 发现问题及时汇报班长。
6	粗粉分离器挡板积粉	积粉自燃、严重时系统发生爆炸	停制粉系统时, 停止给煤后, 磨煤机继续运行 5-10 分钟; 磨煤机出口温度降至 65℃以下才停止排粉机运行
7	磨煤机出口温度高	自燃或爆炸	控制磨煤机出口温度 70-80℃
8	粉仓温度高	粉仓自燃	司炉每小时查看粉仓温度一次, 控制磨煤机出口温度 70-80℃, 煤粉仓温度在 80℃以内。温度超温时, 采取降粉措施。
9	制粉系统发生漏粉	烟煤煤粉极易自燃, 造成设备损坏	加强巡检, 及时发现缺陷, 及时消除缺陷, 漏出的煤粉必须及时清理干净。
10	粉仓严密性差、粉仓粉位过高	粉仓跑粉、煤粉自燃	盖板盖好, 加强检查; 控制粉位不超过 3.8 米, 定期降粉
11	一、三次风管漏粉	一、三次风管烧穿着火	1、外操 2 小时巡检风粉管运行情况, 发现漏粉及时汇报处理余粉, 检修人员及时消缺。 2、司炉适当提高一次风速, 一次风压提高至 1.8-2.0KPa, 控制炉膛负压运行。 3、故障检修前, 风粉管必须吹扫干净, 给粉机停运后, 合理控制一次风门开度, 防止温度过高。
12	热风温度过高	自燃或爆炸	根据热风温度和燃烧器壁温, 适当提高一次风压和风速。
13	一次风管无侧冷风, 燃烧器壁温过高	烧坏燃烧器	1、及时根据燃烧器壁温调整一次风速和一次风门开度, 加强燃烧器检查。 2、适当提高一次风速, 一次风压提高至 1.8-2.0KPa, 加强燃烧器检查, 喷口着火距离保持在 300-500mm, 发现结焦、堵塞, 及时清除。 3、燃烧状况不好时, 考虑检修期间增设侧冷风。

## 5 安全、环保、经济性评价

### 5.1 安全性评价

从表 5 可以看出, 烟煤及混煤熔融温度在 1500° C 以上, 软化温度>1350° C 按照电站锅炉设计通用结渣性判别指标, 该煤种属于不结渣煤, 从表 6 可以看出, 除了甲角三次风与上二次风喷口之间温度 1420° C, 其它各层角温度均低于 1300° C, 且炉膛温度不均匀, 说明四角风量和燃料量有一定偏差, 试验中测得锅炉烟气 CO 含量 9-11ppm, 占比非常低, 炉内还原性气氛较少。经长期现场观察, 结焦情况有所改善。

制粉系统磨煤机出口温度控制在 70-80° C 以下, 粉尘温度控制在 80° C 以下, 在混煤干燥无灰基挥发分 18%以内, 基本满足安全要求。

表 5 煤质熔融特性表

序号	煤种	变形温度 (°C)	软化温度 (°C)	熔融温度 (°C)
1	烟煤	1300	1500	1500
2	混煤 (长治: 宋寨 1:1)	1300	1400	>1500
3	混煤 (长治: 宋寨: 烟煤 45:45:10)	1300	1490	>1500
4	混煤 (长治: 宋寨: 烟煤 40:40:20)	1300	1500	>1500

表 6 #9 炉掺烧 20%烟煤炉膛温度统计

项 目	甲	乙	丙	丁
下二次风	879	1115	990	963
下一次风	1118	921	1169	992
上一次风	1073	1244	1168	1283
中二次风	1180	1210	1234	1051
三次风与上二次风之间	1420	1254	1255	1242

### 5.2 环境影响

从表 7 可以看出, 随着烟煤比例的增加, 脱硫塔入口 SO<sub>2</sub> 浓度呈下降趋势, 但变化不大, 分析认为: 烟煤比例增加, SO<sub>2</sub> 浓度应呈上升趋势, 主要因为锅炉过剩空气系数过大, 一方面使部分 SO<sub>2</sub> 转化为 SO<sub>3</sub>, 另一方面氧量过大使烟气体积增大, 从而抵消了 SO<sub>2</sub> 浓度的增加; 脱硝 NO<sub>x</sub> 入口浓度呈下降趋势, 尽管送风机总送风量增加, 但主要是确保较高的一次风压, 在燃尽风开度仍保持较大时, 二次风压均有所降低, 使炉膛中下部二次风刚性减弱, 氧量减少, 抑制 NO<sub>x</sub> 的产生, 能保证外排大气 NO<sub>x</sub> 浓度远低于 200 mg/Nm<sup>3</sup> 的排放标准; 掺烧烟煤后挥发分增加, 灰分减少, 粉尘浓度降低明显。

表 7 大气污染物浓度统计

项目	单位	不参烧烟煤	掺烧 10%烟煤	掺烧 20%烟煤	备注
SO <sub>2</sub> 入口平均浓度	mg/Nm <sup>3</sup>	699	666	631	
SO <sub>2</sub> 出口平均浓度	mg/Nm <sup>3</sup>	44.92	32.36	30.47	数据来源于 9
脱硝入口 NO <sub>x</sub> 浓度	mg/Nm <sup>3</sup>	737	706	659	号炉环保在
脱硝出口 NO <sub>x</sub> 浓度	mg/Nm <sup>3</sup>	112.43	114.22	117.85	线监测平台
粉尘排口浓度	mg/Nm <sup>3</sup>	16.27	15.3	11.52	

### 5.3 经济性评价

从试验结果看出, 掺烧烟煤后热效率分别提升了 0.13%和 0.18%, 掺烧 20%烟煤的吨蒸汽成本比不掺烧烟煤降低 0.94

元，试验计算结果见表 8。

表 8 烟煤掺烧试验结果

序号	项目	单位	工况一	工况二	工况三
1	锅炉热效率	%	91.64	91.77	91.82
2	吨蒸汽耗标煤量	kg/t	95.77	95.66	95.61
3	混煤折标煤价格	元/吨	1016.000	1012.100	1008.200
4	吨蒸汽风机电量	kWh/t	6.005	5.932	6.043
5	吨蒸汽制粉耗电量	kWh/t	2.778	2.777	2.685
6	吨蒸汽液氨耗量	kg/t	0.145	0.138	0.126
7	电价	元/kWh	0.588	0.588	0.588
8	液氨单价	元/t	3190.000	3190.000	3190.000
9	吨汽液氨成本	元/t	0.046	0.044	0.040
10	吨汽辅机成本	元/t	5.164	5.121	5.132
11	吨汽煤炭成本	元/t	97.30	96.82	96.39
12	吨蒸汽综合成本	元/t	102.51	101.98	101.57

## 6 结论及建议

从实验室反复配煤试验到制粉系统及燃烧系统安全隐患排查，再到燃烧调整，热电部摸索出了烟煤掺烧的特性，达到了安全环保和经济效益预期；目前锅炉结焦情况有所改善，掺烧烟煤对总排口环保数据影响很小，液氨单耗略有下降，掺烧 10%、20%烟煤后热效率分别提升了 0.13%和 0.18%，掺烧 20%烟煤的吨蒸汽成本比不掺烧烟煤降低 0.94 元，因此在混煤低位热值 23000-24000kJ/kg，挥发分 13.6%左右时经济性最佳。

建议针对烟煤的特性，摸索最佳氧量，在最佳氧量的基础上摸索出最佳燃烧配风方式，以降低风机电耗；建议在 #9、10 炉制粉系统安装防爆门和充惰系统，适应高挥发分烟煤需要，降低制粉系统停运期间系统内的氧含量，降低自燃的几率；掺烧烟煤时经常检查清理制粉系统风管上的积粉，特别是与炉膛结合管段；煤场尽快配备消防喷淋系统，如增设消防炮等，采取输煤栈桥防溢尘措施；在混煤低位热值和干燥无灰基挥发分满足燃烧要求的基础上，尽量减少宋寨煤的配比，降低成本。

### [参考文献]

- [1] 中华人民共和国国家发展和改革委员会. 火力发电厂煤和制粉系统防爆设计技术规程[Z]. DL-T 5203-2005  
[2] 环境保护部国家质检监督检验检疫总局. 火电厂大气污染物排放标准[Z]. GB13223-2011.

作者简介：聂广华，男，工程师，毕业于邵阳学院热能动力工程专业，从事电厂热力试验和环保测试工作。