

DOI: 10.19666/j.rlfed.202212295

# 某电厂不同类型锅炉掺烧新疆淖毛湖高碱煤适应性研究

蒙玉仓<sup>1</sup>, 李炎<sup>2</sup>, 杨忠灿<sup>2</sup>, 祁青福<sup>1</sup>, 蒋泰宇<sup>1</sup>, 赵小兵<sup>1</sup>, 聂明清<sup>1</sup>

(1. 酒钢集团宏晟电热公司, 甘肃 嘉峪关 735100;

2. 西安热工研究院有限公司, 陕西 西安 710054)

**[摘要]** 电站锅炉高比例掺烧高碱煤, 会造成受热面严重结渣沾污, 威胁电厂安全稳定生产。对比了甘肃某电厂3种不同类型锅炉掺烧新疆淖毛湖高碱煤炉况劣化前后的烟气温度变化, 并对受热面沾污的灰渣进行了XRD物相分析和化学成分分析。分析结果表明: 短时间粘结发展而成的灰块成分与煤灰成分接近, 质地疏松, 可通过优化吹灰保持受热面清洁; 长时间沾污形成的管壳状渣块中富集 $\text{SO}_3$ 、 $\text{Na}_2\text{O}$ , 烧结程度高、质地坚硬, 控制受热面入口烟气温度可有效缓解管屏沾污结渣; 管屏间距50 mm左右的对流受热面, 入口烟气温度应控制在800 °C以下; 管屏间距200 mm以上的对流受热面, 入口烟气温度应控制在1 000 °C以下。研究结果可为同类型锅炉掺烧高碱煤提供参考。

**[关键词]** 淖毛湖高碱煤; 掺烧; 结焦; 沾污; 锅炉

**[引用本文格式]** 蒙玉仓, 李炎, 杨忠灿, 等. 某电厂不同类型锅炉掺烧新疆淖毛湖高碱煤适应性研究[J]. 热力发电, 2023, 52(7): 142-149. MENG Yucang, LI Yan, YANG Zhongcan, et al. Adaptability research of different types of boiler burning Naomaohu high-alkali coal in one power plant[J]. Thermal Power Generation, 2023, 52(7): 142-149.

## Adaptability research of different types of boiler burning Naomaohu high-alkali coal in one power plant

MENG Yucang<sup>1</sup>, LI Yan<sup>2</sup>, YANG Zhongcan<sup>2</sup>, QI Qingfu<sup>1</sup>, JIANG Taiyu<sup>1</sup>, ZHAO Xiaobing<sup>1</sup>, NIE Mingqing<sup>1</sup>

(1. Hongsheng Electric Company of Jiuquan Iron and Steel Co., Ltd., Jiayuguan 735100, China;  
2. Xi'an Thermal Power Research Institute Co., Ltd., Xi'an 710054, China)

**Abstract:** Large proportion burning high-alkali coal will cause serious contamination to the heating surface of the boiler, and threat the device security and stable production of the power plant. The article compared flue gas temperature changes of three types of boilers burning Xinjiang Naomaohu high-alkali coal, XRD phase analysis and chemical composition analysis of ash slag was also performed. Analysis results indicate the composition of the ash block developed by short-term bonding is close to that of coal ash, and the texture is loose, and the heating surfaces can be kept clean by soot blowing optimization. The shell-like slag formed by long-term contamination is rich in  $\text{SO}_3$  and  $\text{Na}_2\text{O}$ , the degree of sintering is high, and the texture is hard, controlling the flue gas temperature of the heating surface inlet can effectively reduce the fouling and slagging of the tube panel. The flue gas temperature at the convection heating surface inlet with tube panel gaps of about 50 mm should be controlled below 800 °C, when the gaps are above 200 mm, the flue gas temperature should be controlled below 1 000 °C. The results of the research can be used as a reference for the same type of boiler burning high-alkali coal.

**Key words:** Naomaohu coal; blending; coking; fouling; boiler

我国新疆地区煤炭资源丰富, 预测煤炭储量约占全国预测煤炭储量的40%<sup>[1]</sup>。随着国内煤炭市场供需情况发生变化, 疆煤外运量逐年攀升, 甘肃、四川等省份的火电厂开始大量消耗新疆煤。新疆

准噶尔地区和哈密地区是新疆煤炭储量最为集中的区域, 均已实现了大规模露天集中开采, 疆煤外运以这2个地区煤炭为主。甘肃省目前主要燃用的是哈密淖毛湖煤。准东煤和哈密淖毛湖煤煤质特性

收稿日期: 2022-12-01

第一作者简介: 蒙玉仓(1968), 男, 高级工程师, 主要研究方向为电厂锅炉设备技术等, mengyucang@jiugang.com。

虽略有不同,但都属于高碱煤,具有高钠高钙的特点,作为发电燃料,会造成锅炉受热面严重沾污,威胁电厂安全稳定生产。甘肃省电厂燃用高碱煤的经验不足,在不同类型锅炉上持续跟踪高钠高钙煤掺烧过程,分析研究炉况劣化因果关系,优化掺配比例以及开展燃烧调整,对保证发电厂安全稳定生产及高碱煤在甘肃省的大规模推广应用无疑具有十分重要的意义。

### 1 高钠高钙煤掺烧概况

美国、德国在燃用高碱煤方面经验丰富,通常采用优化锅炉设计、降低热负荷及掺烧低碱煤等方式对高钠高钙煤加以利用。国内科研机构、高等院校及设备制造厂商针对准东高碱煤的燃用开展了大量研究与攻关,提出了增大炉膛尺寸、拉大对流受热面间距、增加吹灰器覆盖面、优化燃烧器设计等技术方向<sup>[2-7]</sup>,但对哈密淖毛湖煤质特性的研究较少。哈密淖毛湖煤具有高挥发分、含油率高的特点,煤灰中的钠钾含量较准东煤低,相关研究多以煤炭清洁利用为主,作为动力煤在甘肃省电厂应用的研究成果相对较少。

本文以甘肃某电厂 3 种不同类型锅炉掺烧淖毛湖煤为主的高钠高钙煤的炉况劣化情况进行总结,对受热面结焦沾污层进行形态和成分分析,提出运行调整和设计改进建议,研究结果可供甘肃省相关电厂掺烧高碱煤参考。

#### 1.1 设备概况

甘肃某电厂的火电装机容量超过 3 000 MW,包括一期 2 台超高压 125 MW 机组,锅炉设备型号为 HG-435/13.7-MQ6,采用四角切圆燃烧、再热汽温烟气挡板调节、固态排渣 II 型锅炉,钢球磨中间储仓式制粉系统;二期 2 台亚临界 300 MW 机组,锅炉设备型号为 HG-1025/17.5-YM24,采用四角切圆燃烧,再热汽温燃烧器摆动调节,固态排渣 II 型锅炉,双进双出钢球磨正压直吹式制粉系统;三期 6 台超临界 350 MW 机组,锅炉设备型号为 DG1208/25.4-II 4,采用前后墙对冲燃烧、螺旋管圈直流炉、再热汽温烟气挡板调节、固态排渣 II 型锅炉,辊式中速磨正压直吹式制粉系统。其中二期工程加大了燃烧器层高间距,调整了末级再热器受热面积;三期工程将单层燃尽风优化为双层燃尽风。

#### 1.2 煤质特性

表 1 为该厂燃用的设计煤种和 2 种淖毛湖高钠

高钙煤的煤质特性。2 种高钠高钙煤灰的碱酸比  $R_{B/A}$  分别达到 1.28 和 1.36,依据煤灰碱酸比  $R_{B/A}$  判断,结渣沾污风险等级达到了极高 I 级<sup>[8]</sup>,较设计煤大幅度升高。

表 1 设计煤及掺烧煤煤质分析  
Tab.1 Quality analysis of the design and blending coal

项目	哈动煤(设计)	广汇煤	疆纳煤	
工业分析	$w_t(M)/\%$	11.95	21.00	20.86
	$w_{ad}(M)/\%$	2.97	7.48	1.16
	$w_d(A)/\%$	17.01	8.82	6.22
	$w_{daf}(V)/\%$	28.52	45.38	49.15
	$w_{t,ad}(S)/\%$	0.18	0.48	0.21
	$Q_{net,ar}/(kJ \cdot kg^{-1})$	21 838	19 920	21 665
灰成分分析	$w(SO_3)/\%$	3.48	12.90	11.44
	$w(K_2O)/\%$	1.23	0.12	0.29
	$w(Na_2O)/\%$	0.26	3.36	3.08
	$w(MnO_2)/\%$	0.220	0.228	2.140
	$w(SiO_2)/\%$	47.55	20.23	21.21
	$w(Al_2O_3)/\%$	17.84	13.56	15.88
	$w(Fe_2O_3)/\%$	17.31	11.56	19.24
	$w(TiO_2)/\%$	1.02	0.41	0.35
	$w(CaO)/\%$	8.74	26.04	26.25
	$w(MgO)/\%$	1.90	2.68	2.14
	碱酸比 $R_{B/A}$	0.44	1.28	1.36
熔融特性	灰变形温度 DT/ $^{\circ}C$	1 060	1 170	1 150
	灰软化温度 ST/ $^{\circ}C$	1 100	1 190	1 190
	灰融化温度 FT/ $^{\circ}C$	1 130	1 210	1 200

#### 1.3 掺烧情况

该电厂最早在 2006 年就开始尝试掺烧新疆木垒等高碱煤,积累了较为丰富的掺烧经验<sup>[9]</sup>。2016 年之后,哈密淖毛湖广汇煤成为该厂 3 大主力煤种之一,消耗量逐年增加。图 1 为近 20 个月高钠高钙煤掺烧比例情况,高钠高钙煤掺烧比一般保持在 40%~50%,最大月份超过了 70%。

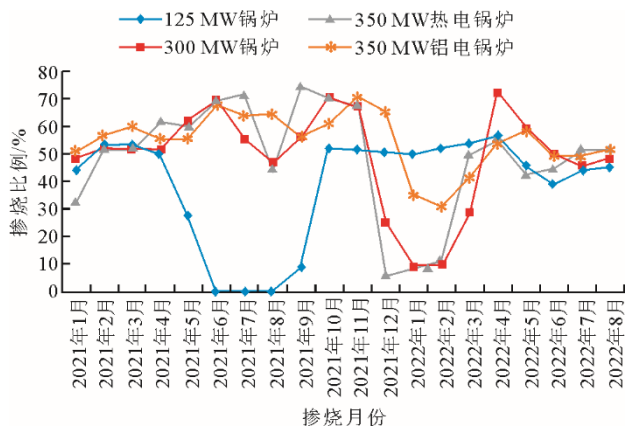


图 1 高钠高钙煤掺烧比

Fig.1 The blending ratio of high sodium and calcium coal

## 2 锅炉掺烧高碱煤炉况劣化分析

3 种类型锅炉在大比例掺烧高钠高钙煤后,均出现水冷壁结焦加重、炉膛出口温度升高、减温水量增加、对流受热面阻力增加等炉况劣化情况。统计期内,一期 125 MW 机组锅炉发生一起末级再热器管屏沾污堵灰、机组被迫减负荷并转检修事件;二期 300 MW 机组锅炉发生一起水冷壁熔融状结焦导致冷灰斗蓬焦非停事故;三期 350 MW 机组锅炉发生一起末级再热器管屏沾污堵灰、机组限出力事件。

### 2.1 125 MW 机组锅炉劣化情况

125 MW 机组锅炉的对流受热面布置顺序为屏式过热器、末级过热器(水平烟道)、末级再热器(水平烟道)、立式低温再热器(转向室)、立式低温过热器(转向室)、水平低温再热器(前竖井)、水平低温过热器及省煤器(后竖井)。锅炉配置有 2 个原煤仓,按照分仓上料方式组织掺烧,50%掺烧方式下,屏底温度 1 200~1 250 °C,喷燃器、屏式过热器(屏过)、末级过热器(末过)有挂焦,末级再热器(末再)管屏有少量挂焦,总体上锅炉炉况能够维持稳定。末再搭桥堵灰炉况恶化后,末再入口温度较正常值抬升约 25 °C,两侧均值由 775 °C 升高至 800 °C,停炉检查情况如图 2 所示。由图 2 可知,燃烧器喷口周围大量挂焦,末再管屏间严重堵焦,形成烟气走廊。由此可知,烟气温度控制在大比例燃用高钙高钠煤过程中防止受热面结焦沾污至关重要。



图 2 125 MW 机组锅炉燃烧器区域和末再积灰堵塞情况  
Fig.2 Ash blocking of burner zone and final reheater of 125 MW boiler

### 2.2 300 MW 机组锅炉劣化情况

300 MW 机组锅炉布置有墙式再热器,对流受热面布置顺序为分隔屏过热器、后屏过热器、前屏再热器、末再(水平烟道)、末过(水平烟道)、立式低温过热器(转向室)、水平低温过热器(竖井)、省煤器(竖井)。锅炉配置有 6 个原煤仓,采用分仓

上料方式掺烧。随着高钠高钙煤掺烧比例增加,炉膛出口温度升高,减温水全开,出现过热器壁温难以控制的情况。按照高钠高钙煤 50%比例掺烧,屏底温度约 1 200~1 300 °C,锅炉炉况能够维持稳定。

图 3 为 300 MW 机组锅炉发生水冷壁熔融状结焦导致冷灰斗蓬焦时烟气温度的变化。由图 3 温度趋势可以看出,发生冷灰斗蓬焦与锅炉正常运行的温度趋势没有明显区别。图 4 为冷灰斗蓬焦照片。从图 4 的运行效果可以看出,由于最下层燃烧器距冷灰斗距离较大,该炉型结构对掺烧强结焦煤种最为有利。

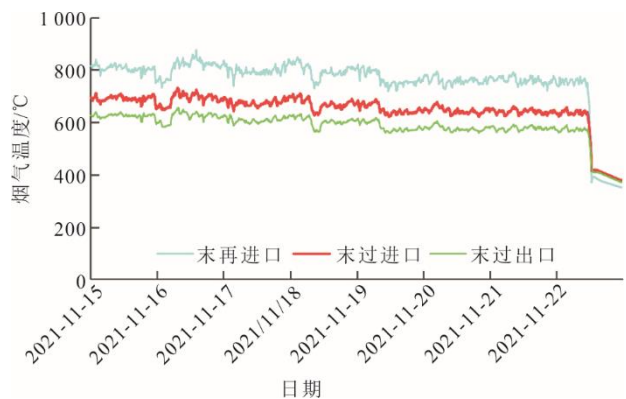


图 3 300 MW 机组锅炉冷灰斗蓬焦时烟气温度的趋势  
Fig.3 Flue gas temperature during coking in ash hopper of 300 MW boiler

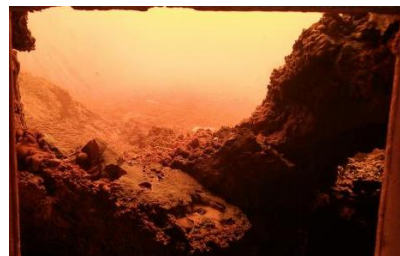


图 4 300 MW 机组锅炉冷灰斗蓬焦  
Fig.4 Coking in ash hopper of 300 MW boiler

### 2.3 350 MW 机组锅炉劣化情况

350 MW 机组锅炉对流受热面布置顺序与 125 MW 机组锅炉相同。大比例掺烧高钠高钙煤后,对流受热面沾污严重,排烟温度升高;高钠高钙煤 50%比例掺烧条件下,屏底温度达 1 300~1 400 °C。随着运行时间延长,锅炉普遍出现水平低温过热器(低过)堵塞、烟风阻力增加情况,需定期清灰疏通,锅炉负荷受到一定程度影响。图 5 为 350 MW 锅炉发生末再管屏结焦堵灰前后低再入口烟气温度的情况。由图 5 可知,水冷壁沾污加剧后,炉膛出口温度升高,水平低温再热器(低再)入口温度上升了约 100 °C,推断末再入口烟温应超过了 1 000 °C,水平低再入口

负压发生明显变化，判断水平烟道发生了搭桥堵灰。图 6 为停炉检查照片，高温再热器（高再）前后均出现严重结焦造成烟道局部堵塞。图 7 为各受热面沾污情况照片，各级受热面均出现严重沾污现象。

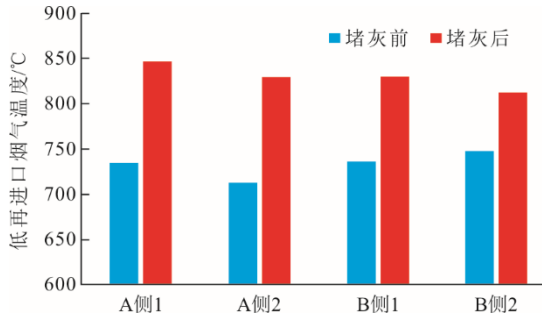


图 5 350 MW 机组锅炉末级再热器堵灰前后烟气温度对比  
Fig.5 Comparison of flue gas temperature before and after ash blocking of final reheater of 350 MW boiler

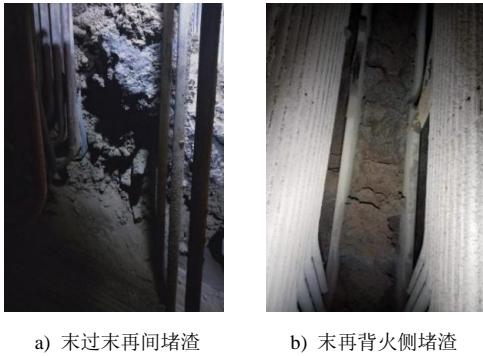


图 6 350 MW 机组锅炉水平烟道堵灰  
Fig.6 Ash blocking of horizontal flue of 350 MW boiler

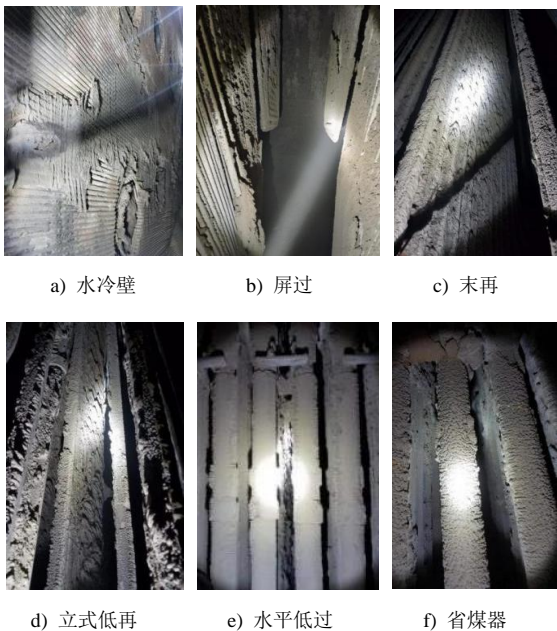


图 7 350 MW 机组锅炉受热面结渣沾污情况  
Fig.7 Fouling and slagging of heating surface of 350 MW boiler

### 3 对流受热面沾污层形态和成分分析

#### 3.1 宏观形貌特征

结合机组检修情况，对每台锅炉沾污形成的灰块进行了取样。不考虑水冷壁结焦，锅炉对流受热面灰块主要有水平烟道搭桥堵灰灰块、高过高再管壳状灰块和低温换热器生长型灰块 3 种形态。

图 8 为导致 125 MW 机组锅炉水平烟道搭桥堵灰的典型灰块。由图 8 可知：灰块大部分质地较为疏松，呈土沙色，重量轻；施加压力可碾碎成沙粒状，判断为短时间粘结发展而成；灰块内部夹杂具有一定烧特点、质地较硬的灰块，内部呈红褐色，重量略重。



图 8 125 MW 机组锅炉水平烟道堵灰灰块  
Fig.8 Ash in horizontal flue of 125 MW boiler

图 9 为 350 MW 机组锅炉末过、凝渣管、末再表面管壳状结渣。厚度 2~20 mm 不等，质地坚硬，烧结程度充分，表面土灰色，内部红褐色或紫褐色。

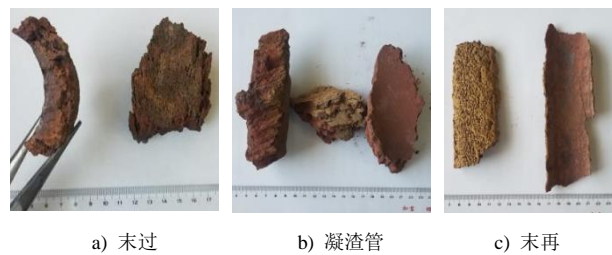


图 9 300 MW 机组锅炉对流受热面管壳表面渣  
Fig.9 Slag on pipe of convective surface of 300 MW boiler

图 10 为 350 MW 机组锅炉低过、低再结渣。灰块沿迎风面发展成山脊状，具有一定硬度，表面土灰色，内部红褐色或土黄色，夹杂沙粒状结构。

#### 3.2 灰渣 XRD 物相分析

图 11 为 125 MW 机组锅炉导致水平烟道堵灰的典型灰块 XRD 谱图。其中，钙铝黄长石（含镁）35.62%（质量分数，后同），钙长石（含钠）24.11%，

石英 20.75%，2M 硅灰石 7.19%，四氧化三铁 6.56%，硅酸盐 5.32%，铝氧化物 0.43%。



a) 低再

b) 低过

图 10 350 MW 机组锅炉低过、低再结渣  
Fig.10 Slag on low temperature superheater and reheater of 350 MW boiler

图 12 为 350 MW 机组锅炉末再管壳状结渣 XRD 谱图。其中，硬石膏 67.42%，霞石 16.68%，赤铁 9.86%，氟鱼眼石 5.26%，钙铝榴石（含三价铁）0.43%，二氧化硅 0.36%。

图 13 为 350 MW 机组锅炉低过结渣 XRD 谱

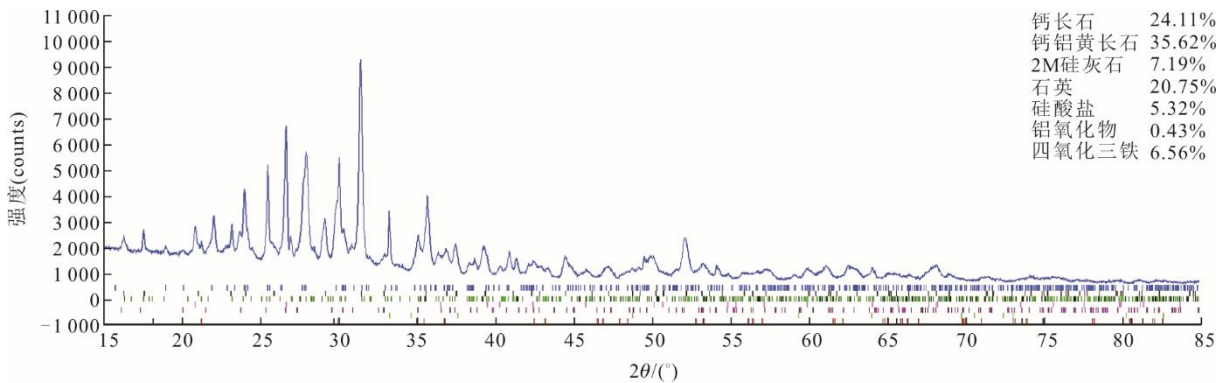


图 11 125 MW 锅炉末级再热器结渣的 XRD 谱图  
Fig.11 XRD spectrum of slag on final reheater of 125 MW boiler

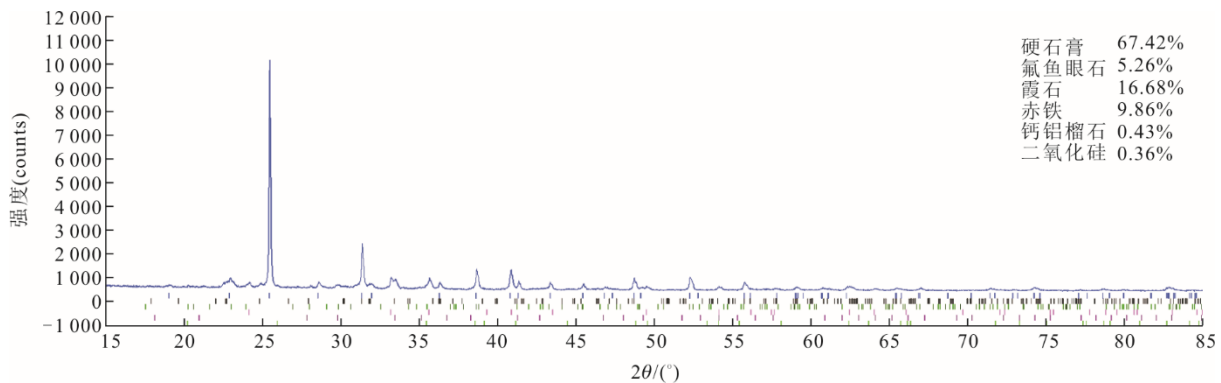


图 12 350 MW 机组锅炉末级再热器结渣 XRD 谱图  
Fig.12 XRD spectrum of slag on final reheater pipe of 350 MW boiler

图。其中，硬石膏 67.55%，赤铁 11.36%，霞石 9.91%，锰酸钾 6.18%，硅酸盐 3.21%。

对比不同炉型不同位置灰渣 XRD 谱图结果可知：水平烟道短时间粘结形成的灰快中主要以钙铝黄长石、钙长石、石英为主，质地较为疏松，前期可通过合理吹灰保证受热面清洁；而沾污形成的对流受热面附着渣块主要矿物为硬石膏、霞石和赤铁，质地较为坚硬，烧结程度较高，仅通过吹灰无法有效清除。

### 3.3 沾污层化学成分分析

对 3 类典型灰块进行了化学成分分析，图 14 为典型灰渣与 50%混煤不同区域灰样灰成分分析对比。由图 14 的对比可以看出，短时间粘结发展而成的水平烟道灰块成分与煤灰成分较为接近，而长期沾污形成的高过高再管壳状渣块中  $SO_3$ 、 $Na_2O$  质量分数占比较高，富集现象明显。按照有关研究结论，高钠高钙煤在燃烧过程更容易生成细颗粒物  $Na_2SO_4$ ，细颗粒沉积到受热面表面，形成黏性表面加速后续沉积颗粒的捕集<sup>[10]</sup>。

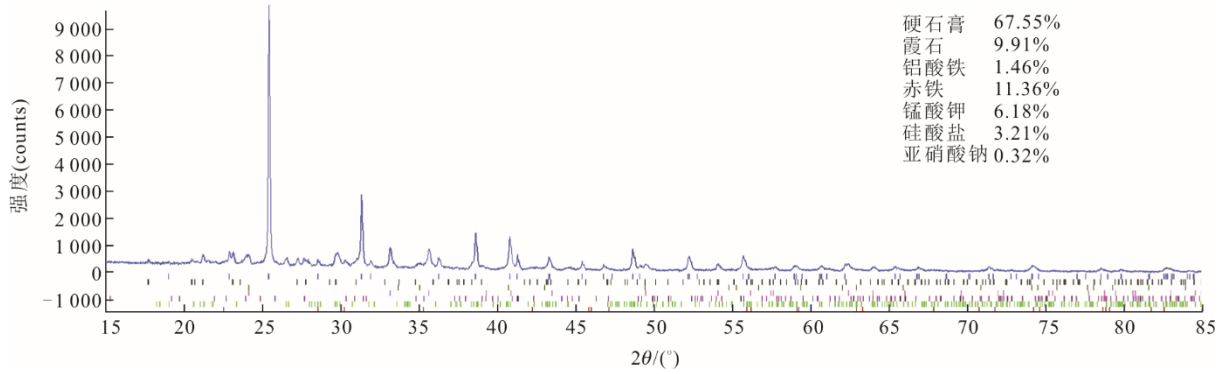


图 13 350 MW 锅炉低温过热器结渣的 XRD 谱图  
Fig.13 XRD spectrum of slag on low temperature superheater of 350 MW boiler

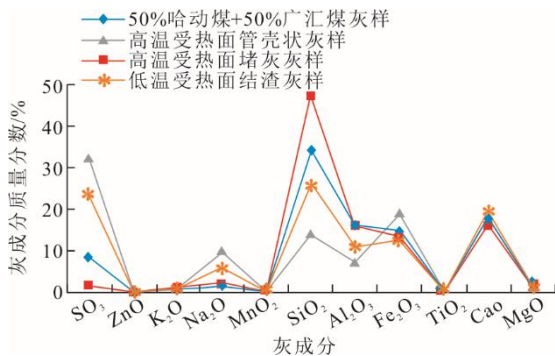


图 14 典型灰渣与 50%混煤灰渣成分对比  
Fig.14 Ingredient comparison of typical ash and 50% mixed coal ash

## 4 结焦沾污控制分析

### 4.1 水冷壁结焦防止

淖毛湖煤碱金属及碱土金属含量高，高比例掺烧会导致锅炉受热面出现严重结渣和沾污。对比 10 台锅炉运行效果，四角切圆燃烧锅炉有利于炉内的火焰场组织，形成风包粉环境，对水冷壁沾污控制更加有利。对冲燃烧锅炉，应注意提供较大的最下层燃烧器至冷灰斗拐点距离，以免出现冷灰斗堆焦影响锅炉运行安全。

防止水冷壁结焦的另一有效手段为吹灰优化，增加炉膛燃烧器区域吹灰器数量，消除吹灰盲区，增加吹灰器吹灰频次，每班（8 h）投运 1 次。

运行过程中还可以通过强化炉况参数监控、燃烧调整扰动、降负荷脱焦等措施，减轻高比例掺烧淖毛湖煤锅炉受热面的沾污程度，并总结对流受热面能够承受的烟气温度限值，从而确定高钠高钙煤的安全掺烧比例。通过控制掺烧比例，使水冷壁沾污达到一个新的平衡，可以保证锅炉状况处于一个可持续稳定状态，还可考虑采用添加剂来提高高碱煤的适应能力<sup>[11-12]</sup>。文中所述二期机组锅炉水冷壁熔融

状结焦堵塞冷灰斗，主要是调整措施跟进不及时造成的，可以通过加强巡检、参数监控等措施予以防范。

### 4.2 水平烟道管高温对流管屏搭桥堵灰防止

对流受热面管屏搭桥堵灰，一般发生在掺烧比例异常增大（如纯烧高钠高钙煤）时。当炉膛出口温度升高，烟气温度在 850~1150 °C 时<sup>[13]</sup>，高碱煤灰容易形成低温共熔体，具有较高黏性，从而加速沾污层的生长；当受热面管屏间距偏小，就会发生搭桥堵灰。125 MW 锅炉末再入口温度较长时间维持在 800 °C 以上出现了管屏搭桥堵灰，说明 58 mm 管屏间距的对流受热面，其入口烟气温度应尽量控制在 800 °C 以下。

300 MW 锅炉水平烟道末再管屏间距为 165.6 mm，入口烟气运行温度低于 850 °C；末过管屏间距为 101.4 mm，入口烟气运行温度推算低于 750 °C。水平烟道对流受热面未发生过搭桥堵灰情况。

350 MW 锅炉水平烟道末再管屏间距 294 mm，入口烟气温度一般低于 950 °C，可以维持稳定运行。当烟气温度达到 1000 °C 左右，灰渣出现熔融情况，塌落结渣未能顺利滑落至炉膛，灰渣堆积引发了部分管屏堵灰。

图 15 为 10 台锅炉不同管屏间距对流受热面的运行烟气温度统计（包含 2 次搭桥堵灰温度）。依据维持正常运行温度以及 2 次堵灰的烟气温度，可以简单设定安全运行区域。实际掺烧过程中，不同管屏间距对流受热面的烟气温度控制在图 15 中连线以下区域会相对安全。运行过程中主要通过降低火焰中心及增加炉膛及水平烟道受热面吹灰频次（每天投运 1~2 次），降低对流受热面区域烟气温度，防止受热面严重结焦。

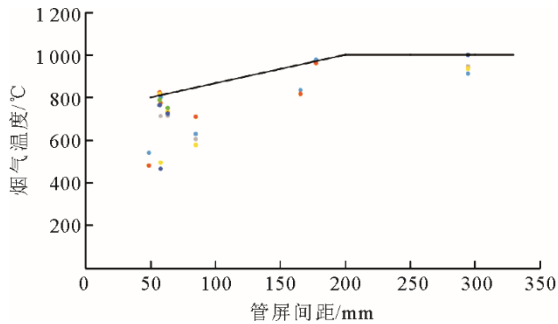


图 15 不同管屏间距对流受热面烟气温度控制界限  
Fig.15 Limit of flue gas temperature on convection heating surface with different panel spacing

另外, TP347 材质氧化膜较 T91、12Cr1MoV 更容易脱落<sup>[14]</sup>, 就应对沾污而言, 该材质具有一定自清洁功能, 因此提高材料等级对减轻受热面沾污也有一定改善作用。图 16 为结渣脱落效果照片。

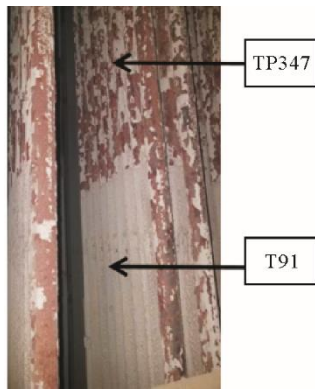


图 16 灰渣脱落后不同材质表面对比  
Fig.16 Comparison of the surfaces of different materials after ash fall off

#### 4.3 尾部竖井对流受热面沾污防止

相关试验研究表明, 燃用高钠煤时, 只要烟气温度高于 650 °C, 随着运行时间延长, 传热系数逐渐下降, 积灰沾污必定发生<sup>[15]</sup>。350 MW 锅炉尾部竖井转向室立式对流受热面烟气设计温度超过 800 °C, 积灰塌落堵塞下部水平低温受热面情况较为突出, 需要结合停炉检修, 定期进行疏通; 同时, 以硬石膏、赤铁、霞石为主的管子外部结渣非常坚硬、难以清理, 会对锅炉炉况带来长期影响。125 MW 及 300 MW 锅炉转向室立式对流受热面烟气设计温度 700 °C 左右, 正常运行温度更低, 不存在积灰塌落堵塞下部水平低温受热面情况。

由上述可以看出, 合理确定对流受热面进口烟温界限值并通过吹灰、掺烧等手段控制结焦沾污是十分必要的。

## 5 结论及建议

1) 随着新疆淖毛湖煤掺烧比例增加, 3 种典型锅炉水冷壁结焦沾污均有所加重。在不进行针对性改造情况下, 50% 比例掺烧高钠高钙煤, 通过多措并举, 可以维持炉况稳定。是否可以进一步提高掺烧比, 要视水冷壁结焦状况和对流受热面能够承受的烟气温度限值来确定。

2) 掺烧新疆淖毛湖煤, 水平烟道对流受热面搭桥堵灰的主要影响因素是烟气温度和管屏间距。建议 50 mm 左右管屏间距的对流受热面, 烟气温度应控制在 800 °C 以下运行; 200 mm 以上管屏间距的水平烟道对流受热面, 烟气温度应控制在 1000 °C 以下。

3) 尾部竖井进口烟气温度 800 °C 左右的立式对流受热面, 掺烧淖毛湖煤情况下, 管屏迎面面沾污生长较快。如果其下部布置有水平对流受热面, 随着运行时间延长, 塌落堵塞逐渐加重, 受热面阻力随之增加, 最终会影响锅炉带负荷能力。

4) 锅炉设备设计制造方面, 高比例掺烧新疆淖毛湖煤, 建议选用切圆燃烧风包粉布置。对冲燃烧锅炉要适当提高最下层燃烧器至冷灰斗拐点距离; 为了防止立式对流受热面结渣塌落堵塞管屏间距较小的对流受热面, 尾部竖井(含转向室)对流受热面的烟气设计温度应避开 800 °C 左右温度, 将尽可能多的高、中温(700 °C 以上)立式对流受热面布置在水平烟道靠前部分, 结渣脱落可以滚落至炉膛内。

5) 从维持受热面清洁角度考虑, 沾污严重管屏材质可以考虑使用 TP347 替代 T91 以及 12Cr1MoV。

#### [参考文献]

- [1] 杨忠灿, 刘家利, 何红光. 新疆准东煤特性研究及其锅炉选型[J]. 热力发电, 2010, 39(8): 44-46.  
YANG Zhongcan, LIU Jiali, HE Hongguang. Study on properties of Zhundong coal in Xinjiang region and type-selection for boilers burning this coal sort[J]. Thermal Power Generation, 2010, 39(8): 44-46.
- [2] 刘威, 张忠孝, 乌晓江, 等. 高碱煤燃烧特性试验研究[J]. 电站系统工程, 2014, 30(2): 20-22.  
LIU Wei, ZHANG Zhongxiao, WU Xiaojiang, et al. Experimental study of high-alkali coal on combustion characteristic[J]. Power System Engineering, 2014, 30(2): 20-22.
- [3] 王智化, 李谦, 刘敬, 等. 准东煤中碱金属的赋存形态及其在热解过程中的迁移规律[J]. 中国电机工程学报, 2014, 34(增刊 1): 130-135.  
WANG Zhihua, LI Qian, LIU Jing, et al. Occurrence of alkali metals in Zhundong coal and its migration during pyrolysis process[J]. Proceedings of the CSEE, 2014, 34(Suppl.1): 130-135.

- [4] 代百乾, 乌晓江, 张忠孝. 高碱煤燃烧过程中灰中主要元素的迁移规律[J]. 动力工程学报, 2014, 34(6): 438-442.  
DAI Baiqian, WU Xiaojiang, ZHANG Xiaozhong. Transition behavior of main elements in fly ash during high alkali coal combustion[J]. Journal of Chinese Society of Power Engineering, 2014, 34(6): 438-442.
- [5] 陈川, 张守玉, 刘大海, 等. 新疆高钠煤中钠的赋存形态及其对燃烧过程的影响[J]. 燃料化学学报, 2013, 41(7): 832-838.  
CHEN Chuan, ZHANG Shouyu, LIU Dahai, et al. Existence form of sodium in high sodium coals from Xinjiang and its effect on combustion process [J]. Journal of Fuel Chemistry and Technology, 2013, 41(7): 832-838.
- [6] 马达夫, 何翔, 周文台, 等. 新疆高碱煤沾污特性的分析[J]. 发电设备, 2016, 30(1): 7-10.  
MA Dafu, HE Xiang, ZHOU Wentai, et al. Analysis on fouling characteristics of Xinjiang high-alkali coal[J]. Power Equipment, 2016, 30(1): 7-10.
- [7] 王礼鹏, 赵永椿, 张军营, 等. 准东煤沾污结渣特性研究[J]. 工程热物理学报, 2015, 36(6): 1381-1385.  
WANG Lipeng, ZHAO Yongchun, ZHANG Junying, et al. Research on the slagging and fouling characteristics of Zhundong coal[J]. Journal of Engineering Thermophysics, 2015, 36(6): 1381-1385.
- [8] 郭洋洲, 白新奎, 张喜来, 等. 现役锅炉燃用高碱煤结渣沾污防控技术研究[J]. 热力发电, 2022, 51(3): 131-140.  
GUO Yangzhou, BAI Xinkui, ZHANG Xilai, et al. Study on techniques for slagging prevention and ash deposition control in existing boilers burning high-alkali coal[J]. Thermal Power Generation, 2022, 51(3): 131-140.
- [9] 董明钢. 高碱煤对锅炉受热面结渣沾污和腐蚀的影响及预防措施[J]. 热力发电, 2008, 37(9): 11-16.  
DONG Minggang. Influenc of high-alkalicoal on slagging contamination and corrosion on the heating surface of boilers[J]. Thermal Power Generation, 2008, 37(9): 11-16.
- [10] 曾宪鹏. 准东煤燃烧过程中灰的生成、沉积及控制机理研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2019: 1-5.  
ZENG Xianpeng. Ash formation, deposition and prevention during Zhundong coal combustion[D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2019: 1-5.
- [11] 张喜来. 高钠煤在电站锅炉中应用研究[R]. 西安: 西安热工研究院有限公司, 2014: 4-17.  
ZHANG Xilai. The application research of high sodium coal used for power plant boilers[R]. Xi'an: Xi'an Thermal Power Research Institute Co., Ltd., 2014: 4-17.
- [12] 李宇航, 张喜来, 张森, 等. 准东煤防结渣添加剂应用试验[J]. 热力发电, 2017, 46(9): 135-140.  
LI Yuhang, ZHANG Xilai, ZHANG Sen, et al. Experimental study on additives applied to against slagging of Zhundong coal[J]. Thermal Power Generation, 2017, 46(9): 135-140.
- [13] 张翔, 乌晓江, 陈楠. 新疆高碱煤沾污结渣特性中试试验研究[J]. 锅炉技术, 2016, 47(4): 44-47.  
ZHANG Xiang, WU Xiaojiang, CHEN Nan. Experiment study on Xinjiang high-alkali ash deposition and slagging behavior in a 3 MWth pilot-scale test facility[J]. Boiler Technology, 2016, 47(4): 44-47.
- [14] 蒙玉仓, 崔振涛. 350 MW 超临界锅炉氧化皮生成、脱落机理及关键控制措施[J]. 锅炉技术, 2022, 53(4): 57-61.  
MENG Yucang, CUI Zhentao. Mechanism and key control measures of oxide scale formation and exfoliation in 350 MW supercritical power plant boiler[J]. Boiler Technology, 2022, 53(4): 57-61.
- [15] 聂立, 白永刚, 冉燊铭, 等. 新疆高钠煤积灰特性试验研究[J]. 动力工程学报, 2015, 35(2): 108-112.  
NIE Li, BAI Yonggang, RAN Shenming, et al. Experimental study on ash deposition characteristics of high sodium coals from Xinjiang[J]. Journal of Chinese Society of Power Engineering, 2015, 35(2): 108-112.

(责任编辑 邓玲惠)