

DOI: 10. 3969/j. issn. 1674-1951. 2020. 07. 005

兰炭燃烧特性及其在 660 MW 机组上的大比例 掺烧试验研究

Combustion characteristics of semi-coke and its large-proportion co-combustion
experimental research in a 660 MW unit

王志超¹, 王莹燕², 李彦军³, 谭恺³, 蒋华⁴, 赵晓鹏³, 冯平安², 姚伟^{1*}
WANG Zhichao¹, WANG Yingyan², LI Yanjun³, TAN Kai³, JIANG Hua⁴,
ZHAO Xiaopeng³, FENG Ping'an², YAO Wei^{1*}

(1. 西安热工研究院有限公司, 西安 710054; 2. 陕西煤业化工集团有限责任公司, 西安 710049; 3. 宁夏京能
宁东发电有限责任公司, 银川 750400; 4. 山西中电神头第二发电有限责任公司, 山西 朔州, 036011)

(1. Xi'an Thermal Power Research Institute Company Limited, Xi'an 710054, China; 2. Shaanxi Coal and
Chemical Industry Group Company Limited, Xi'an 710049, China; 3. Ningxia Jingneng Ningdong
Electric Power Company Limited, Yinchuan 750400, China; 4. Shanxi Zhongdian Shentou No.2
Electric Power Company Limited, Shuozhou 036011, China)

摘要: 利用一维火焰炉和煤粉气流着火炉对兰炭及其混煤开展试验研究, 检测结果表明: 兰炭具有干燥无灰基挥发分较低、收到基低位发热量高、灰熔点低、冲刷磨损指数高等特点; 兰炭的着火温度为 710 ℃、燃尽率为 97.41%、结渣指数为 0.84, 属于难着火、易燃尽、严重结渣燃料, 着火和燃尽性能介于烟煤和贫煤之间, 结渣性能则明显强于典型贫煤和无烟煤。掺混兰炭会对不同煤种的着火、燃尽、结渣性能产生影响, 现场掺烧试验表明, 660 MW 烟煤机组安全稳定掺烧兰炭的比例上限为 50% 左右, 锅炉效率略有增加, 飞灰中碳的质量分数增加 0.3 个百分点, SO₂ 质量浓度降幅达 56%, NO_x 质量浓度小幅升高 15%, 而磨煤机出力降低 15%~20%。

关键词: 兰炭; 着火温度; 燃尽率; 结渣特性; 660 MW 机组; 大比例掺烧; 50%

中图分类号: TQ 536 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-1951(2020)07-0035-07

Abstract: Based on the experimental research made on semi-coke and its blends with other coals by a one-dimensional flame furnace and a pulverized coal-air mixture flow furnace, semi-coke was proved to be of low volatile content on dry ash-free base, high net calorific value as received basis, low ash melting point, high impingement abrasion index, etc. The testing results showed that semi-coke's ignition temperature was 710 ℃, and the burn-out rate was 97.41%; and the slagging index was 0.84, which indicated that semi-coke was a kind of fuel which was difficult to ignite, and easy to burn-out and slag. The ignition and burn-out performances of semi-coke were between that of bituminous coal and lean coal, while its slagging performance was significantly stronger than that of conventional lean coal and anthracite. Dosing semi-coke into the blends of different types of coal exerted effects on their ignition, burn-out and slagging characteristics. The co-combustion experiment made on a 660 MW bituminous coal boiler showed that 50% is the upper limit of semi-coke ratio in the blend for the safe and stable operation of the boiler. Meanwhile, the boiler efficiency slightly increased and the content of unburned carbon in fly ash increased by 0.3 percent point, and the mass concentration of SO₂ reduced by 56%, while the mass concentration of NO_x increased by 15%, and the output of coal mill decreased by 15%~20%.

Keywords: semi-coke; ignition temperature; burn-out rate; slagging characteristic; 660 MW unit; large-proportion co-combustion; 50%

0 引言

根据煤在不同转化阶段反应性的差异, 进行煤

炭分质分级转化和能量梯级利用是较合理的煤炭能源利用方式之一。与油页岩半焦、焦炭等不同, 兰炭是无黏结性或弱黏结性的高挥发分烟煤在中低温条件下干馏热解, 释放出挥发分、硫、氮等杂原子和水分后得到的产品, 与半焦类似^[1-5]。经过近 30

年的发展,兰炭已经形成遍布中国的循环经济产业链,截至2009年年底,其总产能超过了1亿t^[6]。

在兰炭基础研究方面,Bai等^[7]研究了兰炭气化过程中碱金属的释放及对气化特性的影响,Li等^[8]研究了液化焦的物理化学特性,Wang等^[9]分析了兰炭燃烧过程中焦炭、挥发分、水分的耦合作用,Kim等^[10]研究了兰炭的热反应动力学特性,Liakos等^[11-12]分析了压力对兰炭燃烧以及兰炭粒径对燃烧器性能的影响,Sarkar等^[13]分析了生物质与低温兰炭混燃。在兰炭掺烧试验方面,韩志江等^[14]利用3 MW煤粉燃烧中试平台系统研究了大比例掺烧兰炭时混煤的燃烧特性及NO_x排放特性;杨忠灿等^[15-16]采用“炉前掺配、炉内混烧”的方式实现了135 MW电站锅炉掺烧33%兰炭的安全稳定运行,但进一步提高兰炭掺烧比例存在困难;刘家利等^[17-19]对纯燃兰炭的660 MW煤粉电站锅炉制粉系统进行了选型研究,但尚未有660 MW等级机组大比例掺烧兰炭的先例。

本文针对大容量高参数机组大比例掺烧兰炭可能存在的制粉系统、燃烧、结渣、污染物排放等方面的问题进行研究,对兰炭进行煤质分析,开展兰炭与不同煤种混煤的燃烧特性试验研究,初步判别大容量机组适宜的半焦掺烧比例,在660 MW烟煤机组上开展大比例掺烧兰炭试验,对兰炭与电站锅炉的适应性进行分析,可为电站锅炉大规模燃用兰炭提供理论支撑和技术参考。

1 试验设备及方法

1.1 煤粉气流着火温度试验系统

煤粉气流着火温度试验系统由炉体、给粉机、送风机、引风机、除尘器等设备构成,配置空气流量、压力、温度等测量仪表,如图1所示。炉体为立式电加热炉,有效高度为610 mm,内径为175 mm,2级炉膛均由双套管碳化硅烧制而成,配有调压器以调节炉壁温度,炉顶轴线上装有1个一次风喷嘴以及2个二次风喷嘴,气流由上而下流动且被加热至煤粉着火。

试验时,按照输入热量16.75 MJ/h计算给粉量。用加热元件缓慢均匀加热碳化硅炉壁,使壁温保持一定的升温速率(5~8 °C/min)。启动送、引风机,调整一、二次风量(风温为20 °C,一次风和二次风喷嘴出口风速分别为4,8 m/s)及炉膛负压(0~-50 Pa),同时通过一次风喷嘴以规定速度连续向下喷入规定质量浓度的煤粉。记录炉壁温度和煤粉气流温度。

着火温度反映煤粉气流着火的难易程度。定

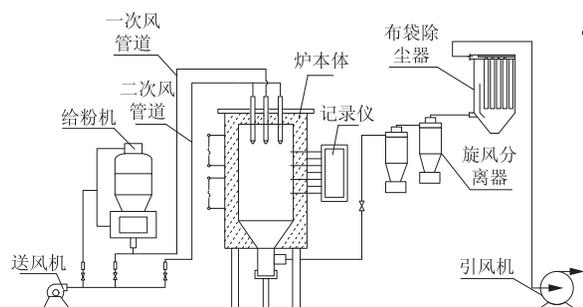


图1 煤粉气流着火温度测试炉及系统

Fig. 1 Testing furnace and system for the ignition temperature of coal-air

义炉内气流温度达到炉壁温度且后期持续超过炉壁温度时的温度为煤粉气流的着火温度。试验时需多次测量求平均值。

1.2 一维火焰炉燃烧试验系统

煤粉燃烧一维火焰炉试验系统包括送风、给粉、燃烧、除尘、测温及取样等,如图2所示。试验系统炉体高3 m,内径为175 mm,炉体立式布置,烟道水平布置,整体呈L形。炉体由锥形炉顶及6级可分别控制壁温的电加热级组成,炉体为电加热积木式结构,每一级均有测孔,可根据试验要求沿火焰行程测定火焰温度并抽取试样。气、粉混合物由锥体顶部引入,炉顶及第1级炉体的锥形渐扩结构使气粉混合物在加热过程中均匀膨胀,充满截面,消除了烟气回流,形成无轴向混合的柱塞状流动。沿炉膛轴向测定的参数可表征煤粉气流的燃烧过程。

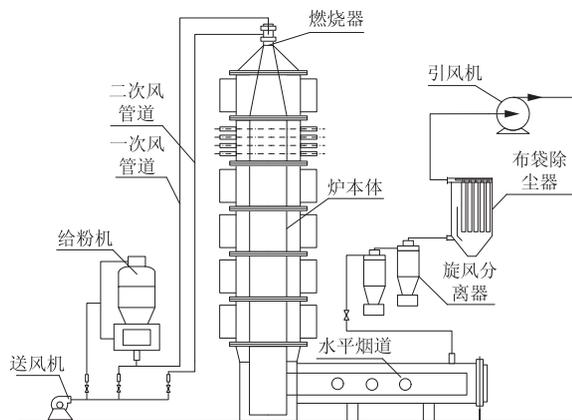


图2 煤粉燃烧一维火焰炉试验系统

Fig. 2 One-dimensional flame furnace test bench for pulverized coal

燃尽率直接影响锅炉燃烧效率和运行安全性。试验时,从一维火焰炉第6级测孔抽取试样。定义燃尽率 $B(\%)$ 为已燃尽的可燃质占初始燃质的百分数,其计算式为

$$B = [1 - (A_0/A)] \times 100 / (100 - A_0), \quad (1)$$

式中: A_0 为原煤粉干燥机灰分,%; A 为固体试样灰

分,%。

燃烧稳定后进行结渣性测试,将6只12 mm×8 mm×200 mm(宽×高×长)的碳化硅棒插入一维火焰炉每一级测孔内作为结渣源,使各碳化硅棒分别处于着火初期、火焰温度最高处、中等温度区及炉膛出口处,结渣时间为30 min。在结渣源上沉积的灰渣依照其黏结的紧密程度由强到弱分为熔融、黏熔、强黏聚、黏聚、弱黏聚、微黏聚及附着灰7个等级。根据6个结渣源上的渣型和对应的烟温,用结渣指数 S_c 对试验煤的结渣性能进行判别。

$$S_c = 100N_{\max} / [0.5(t_{\max} + t_2) - 1000], \quad (2)$$

$$S_c = 100N_{\max} / [t_{\max} - 0.25(t_{\max} + t_2) - 1000], \quad (3)$$

式中: N_{\max} 为结渣最严重渣型对应的赋值; t_{\max} 为结渣最严重渣型对应的炉膛温度; t_2 为次严重渣型对应的炉膛温度。

当最严重与次严重渣型相差1个等级时,采用公式(2);相差2个及以上等级时,采用公式(3)。结渣强于微黏聚的5种渣型对应的赋值见表1。

表1 不同渣型对应的赋值 N

Tab. 1 Valuation for different types of slag patterns(N)

渣型	弱黏聚	黏聚	强黏聚	黏熔	熔融
赋值 N	0.25	0.50	1.00	1.75	2.50

1.3 660 MW 电站煤粉锅炉设备

某电采用哈尔滨锅炉厂有限责任公司自主开发制造的HG-2210/25.4-YM16型660 MW一次中间再热、超临界压力变压运行锅炉,采用不带再循环泵的大气扩容式启动系统,单炉膛、平衡通风、固态排渣、全钢架、全悬吊结构、II形布置、紧身封闭。采用中速磨直吹式制粉系统,每炉配6台ZGM113 G-II型磨煤机,5运1备,煤粉细度 $R_{90}=18\%$ 。锅炉以最大连续出力(BMCR)工况参数为设计参数,在设计条件下,任意5台磨煤机运行时,锅炉能长期带BMCR负荷运行。炉膛断面尺寸为19.082 3 m×19.082 3 m(宽×深),水平烟道深5.322 0 m,尾部前烟道深8.618 0 m,尾部后烟道深9.098 0 m,水冷壁下集箱标高7.0 m,顶棚管标高75.5 m。

主燃烧器采用固定式燃烧器,共设6层水平浓淡煤粉一次风喷口、3层含油二次风喷口、4层分离型燃尽风(SOFA)室和8层辅助风室。其中,SOFA喷嘴采用水平摆动形式,可以调节燃烧火球在炉膛中的位置,并用于调节切圆燃烧产生的炉膛出口处的烟温偏差。主燃烧器布置在水冷壁的四面墙上,每层4只燃烧器对应1台磨煤机。SOFA燃烧器布置在主燃烧器上方水冷壁的四角,实现分级燃烧以降低 NO_x 排放。

锅炉布置有64只炉膛吹灰器、40只长伸缩式吹灰器、2只空气预热器吹灰器,均由程序控制。

2 试验结果与讨论

2.1 兰炭基本煤质特性

表2为兰炭的煤质分析数据,作为对比,这里给出了兰炭原煤以及不同典型煤种作为对比。与原烟煤相比,兰炭的主要变化是全水分下降较多,甚至略低于原煤的空干基水分;干燥无灰基挥发分明显降低,接近无烟煤;收到基低位发热量大提高,达到27.89 MJ/kg,远高于典型烟煤,达到无烟煤的水平;收到基碳含量升高较多,收到基氢下降较多,结合挥发分的变化,这些都导致兰炭的燃烧性能变差;哈氏可磨指数HGI下降幅度达26%,将导致磨煤机研磨出力降低;灰熔点与原烟煤接近,低于贫煤和无烟煤;冲刷磨损指数 K_c 显著升高,达到了24.8,明显高于典型烟煤、贫煤和无烟煤。根据电站磨煤机及制粉系统选型导则,对于此类高磨损性能煤种需采用钢球磨煤机。

2.2 兰炭作为电站动力用煤的燃料特性

表3为一维火焰炉和煤粉气流着火炉试验得到的兰炭及典型煤种的着火、燃尽、结渣数据。通过对比可以看出兰炭的特性:着火温度 t_i 为710℃,较原煤升高190℃,这正是挥发分降低带来的直接变化;着火性能为难着火,接近贫煤的着火水平,不及无烟煤;燃尽率 B 为97.41%,较原煤降低了2.34个百分点,燃尽性能为易燃尽,介于烟煤和贫煤之间,强于无烟煤;结渣指数 S_c 为0.84,较原煤略有增加,均属于严重结渣等级。

虽然兰炭的挥发分接近无烟煤,但其着火和燃尽性能均优于无烟煤,介于烟煤和贫煤之间;同时,兰炭的严重结渣性能又与原烟煤类似,加之极高的冲刷磨损指数,都将为兰炭在电站锅炉上的直接燃用带来挑战。

2.3 兰炭与典型煤种掺混后的燃料特性

2.3.1 着火特性

兰炭与典型烟煤、贫煤及无烟煤分别掺混后混煤的着火温度试验结果如图3所示。由图3可以看出:兰炭与极易着火的石炭烟煤掺混后,混煤的着火温度随着兰炭比例的增加几乎呈线性增加,着火等级也逐渐变为易着火和中等着火;兰炭与难着火的贫煤掺混后,混煤的着火温度随着兰炭比例的增加逐渐降低,着火等级几乎不变;兰炭与极难着火的无烟煤掺混后,混煤的着火温度随着兰炭比例的增加几乎呈线性降低,着火等级也逐渐变为难着火。

表 2 兰炭与不同典型煤种的煤质参数对比

Tab. 2 Coal quality parameters of semi-coke and typical coal samples

项目	符号	单位	兰炭原煤	兰炭	石炭烟煤	河北贫煤	晋城无烟煤	掺烧试验煤
全水分	$w(M_t)$	%	18.40	6.60	5.40	6.90	5.50	6.04
空干基水分	$w(M_{ad})$	%	8.88	6.33	4.61	0.52	0.70	0.44
收到基灰分	$w(A_{ar})$	%	9.04	10.62	23.81	20.02	22.81	35.49
挥发分	$w(V_{dat})$	%	37.34	5.64	37.53	15.36	6.65	39.80
收到基碳	$w(C_{ar})$	%	57.42	79.58	56.35	71.04	71.35	44.56
收到基氢	$w(H_{ar})$	%	3.23	1.53	3.34	3.31	2.18	3.12
收到基氮	$w(N_{ar})$	%	0.80	0.92	0.96	1.04	1.09	0.76
收到基氧	$w(O_{ar})$	%	10.59	0.43	9.12	3.71	1.23	8.59
收到基全硫	$w(S_{tar})$	%	0.52	0.32	1.02	0.46	0.81	1.48
低位发热量	$Q_{net,v,ar}$	MJ/kg	21.21	27.89	21.35	25.25	25.06	17.54
变形温度	t_d	°C	1 220	1 140	1 460	1 420	>1 500	>1 450
软化温度	t_s	°C	1 230	1 150	>1 500	>1 500	>1 500	>1 450
流动温度	t_f	°C	1 260	1 190	>1 500	>1 500	>1 500	>1 450
哈氏可磨指数	HGI		57	42	57	80	34	
冲刷磨损指数	K_c		1.00	24.80	0.46	1.20	1.80	

表 3 兰炭及典型煤种的燃料特性

Tab. 3 Combustion characteristics of semi-coke and typical coal samples

项目	兰炭原煤	兰炭	石炭烟煤	河北贫煤	晋城无烟煤
着火 $t_f/°C$	520	710	530	770	890
着火 级别	极易	难	极易	难	极难
燃尽 $B/\%$	99.75	97.41	99.35	95.57	92.37
燃尽 级别	极易	易	极易	中等	难
结渣 S_c	0.69	0.84	0.17	0.16	0.09
结渣 级别	严重	严重	低	低	低

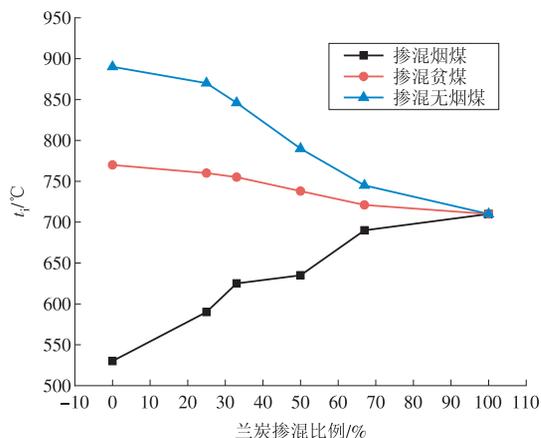


图 3 兰炭与典型煤掺混后的着火温度变化趋势
Fig. 3 Change trend of ignition temperature after the blending of semi-coke into typical coals

2.3.2 燃尽特性

兰炭与典型烟煤、贫煤及无烟煤分别掺混后混煤的燃尽率变化趋势如图 4 所示。由图 4 可以看出：随着兰炭比例的增加，与极易燃尽的石炭烟煤掺混时，混煤的燃尽率趋于降低，燃尽等级也由极

易燃尽变为易燃尽；与中等燃尽的贫煤掺混时，混煤的燃尽率逐渐增加，燃尽等级也变为易燃尽；与难燃尽的无烟煤掺混时，混煤的燃尽率显著增加，燃尽等级也变为中等燃尽。

虽然兰炭的挥发分较低，但其仍保留着烟煤的部分特性，与高挥发分的烟煤掺混后会导致燃尽率略有降低，与挥发分较为接近的贫煤以及无烟煤掺混后能够提高其燃尽率。

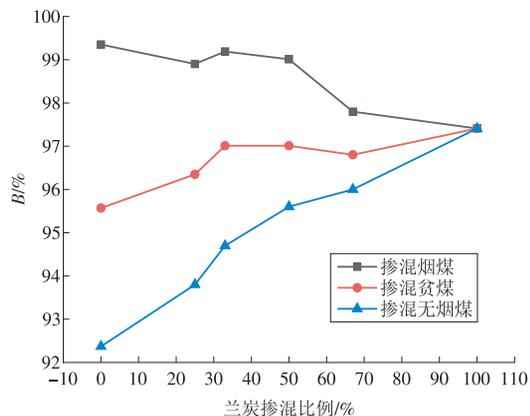


图 4 兰炭与典型煤掺混后的燃尽率变化趋势
Fig. 4 Change trend of burnout rate after the blending of semi-coke into typical coals

2.3.3 结渣特性

兰炭的灰熔点低、结渣指数高，将其与典型煤进行掺混可以有效改善兰炭的严重结渣性能。图 5 为兰炭与典型煤种掺混后混煤的结渣指数变化情况。由图 5 可以看出：由于典型烟煤、贫煤以及无烟煤的灰熔点高、结渣指数低，随着兰炭比例的增加，混煤的灰软化温度逐渐降低，特别是无烟煤；随着兰炭掺混比例的增加，混煤的结渣指数 S_c 逐渐升高；

与无烟煤掺混时,如果兰炭掺混比例超过 33%,混煤的 S_c 将超过 0.45,结渣性能由无烟煤的低结渣变为中等结渣;与烟煤和贫煤掺混时,如果兰炭掺混比例超过 67%,则混煤的结渣性能将由低结渣变为中等结渣。

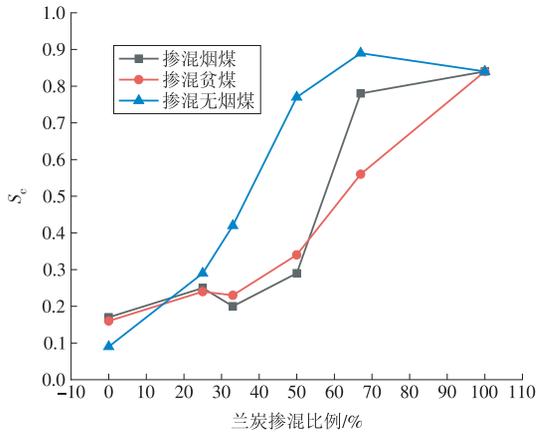


图 5 兰炭与典型煤掺混后的结渣指数变化趋势

Fig. 5 Change trend of slagging index after the blending of semi-coke into typical coals

2.4 660 MW 机组大比例掺烧兰炭试验

基于前述试验结果,在某 660 MW 烟煤机组上开展截至目前国内兰炭掺烧比例最高(50%)的试验,在保证运行安全的前提下,对兰炭掺烧进行优化运行调整,考察对制粉系统、锅炉运行等的影响。

2.4.1 制粉系统的适应性

如图 6 所示,在相同的动态分离器转速下,兰炭的煤粉细度显著高于烟煤,表明兰炭的可磨性较烟煤差。通过增大动态分离器转速来降低兰炭的煤粉细度,将转速由 85 r/min 增至 105 r/min,可将兰炭的煤粉细度 R_{90} 由 22%~25% 降至 10% 左右,从而实现较好的燃烧效果。但增加分离器转速会导致磨煤机进出口压差和磨煤机电流增大,堵磨的风险增加,而且磨煤机的出力平均会降低 15%~20%。

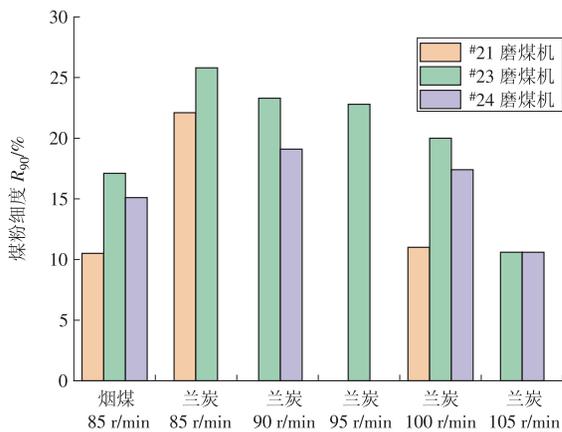


图 6 磨煤机动态分离器转速与煤粉细度的关系

Fig. 6 Relationship between the speed of dynamic separator and the fineness of pulverized coal

2.4.2 对锅炉效率的影响

如图 7 所示,兰炭掺烧比例为 20% 就会对燃尽和锅炉效率产生明显影响;随着兰炭掺烧比例的增加,飞灰中碳的质量分数升高、锅炉效率降低。采取将兰炭煤粉细度 R_{90} 降至 10%~15%、增大运行氧量至 3.5%、增大兰炭送入层上下二次风分量及调整运行方式等措施后,兰炭掺烧比例为 50% 左右时,飞灰中碳的质量分数略增加(0.3 百分点),而锅炉效率整体略提升。但受制粉系统出力和煤粉细度的限制,进一步提高兰炭掺烧比例已经较为困难。

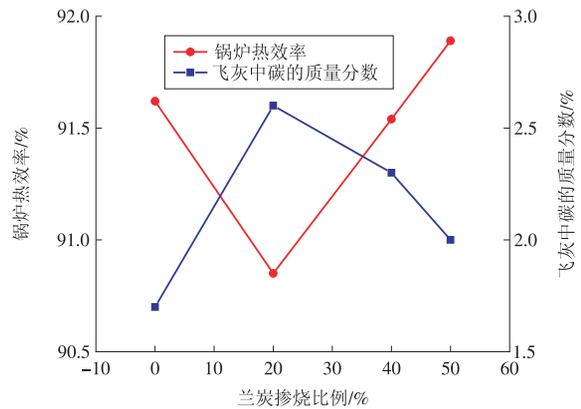


图 7 兰炭掺烧比例对锅炉效率和飞灰中碳的质量分数的影响

Fig. 7 Effect of blending ratios of semi-coal on the boiler efficiency and content of unburned carbon in fly ash

2.4.3 对污染物生成的影响

兰炭掺烧对污染物生成量的影响如图 8 所示。由于兰炭的燃烧特性较差,随着掺烧比例的增加, NO_x 质量浓度逐渐升高,虽然可以通过调整配风方式来控制,但与不掺烧相比,掺烧 50% 的兰炭使 NO_x 质量浓度由 230 mg/m^3 (标态,下同)增至 263 mg/m^3 ,增加约 14%;同时,由于兰炭的特低硫特性,与不掺烧相比,掺烧 50% 的兰炭后 SO_2 质量浓度由 6 136 mg/m^3 显著降至 2 662 mg/m^3 ,降幅超 56%。

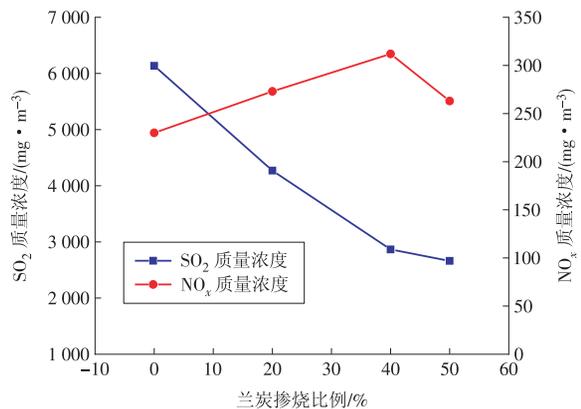


图 8 兰炭掺烧对污染物生成量的影响

Fig. 8 Effect of co-combustion of semi-coal on pollutant generation

3 结论

本文针对兰炭作为电站动力用煤开展研究,利用一维火焰炉和煤粉气流着火炉等试验设备研究了兰炭及其与典型煤种混煤的燃料特性,在一台 660 MW 现役电站煤粉锅炉上进行了兰炭掺烧比例达 50% 的掺烧试验,分析了大比例掺烧兰炭对机组锅炉运行的影响,得出的主要结论如下。

(1) 兰炭的干燥无灰基挥发分较低、收到基低位发热量高,均与无烟煤接近;灰熔点与低灰熔点烟煤接近;冲刷磨损指数 K_r 则明显高于常规烟煤、贫煤以及无烟煤。

(2) 兰炭属于难着火、易燃尽、严重结渣煤种,着火和燃尽性能介于烟煤和贫煤之间,结渣性能则明显强于典型贫煤和无烟煤。

(3) 兰炭掺烧会显著改善无烟煤的着火和燃尽,对贫煤的着火和燃尽也有一定的改善,但会使烟煤的着火和燃尽变差,兰炭与高灰熔点煤掺烧无一例外会加重结渣倾向。

(4) 现场掺烧试验表明,660 MW 烟煤机组安全稳定掺烧兰炭的比例上限为 50% 左右,锅炉各系统运行正常,飞灰中碳的质量分数略有增加, SO_2 质量浓度显著降低, NO_x 质量浓度增加,磨煤机出力受到一定影响。

(5) 电站锅炉燃用兰炭时需要控制兰炭比例,同时考虑强化着火和防止结渣问题。

参考文献:

- [1] LIU Hongpeng, LIANG Wenxue, QIN Hong, et al. Thermal behavior of co-combustion of oil shale semi-coke with torrefied cornstalk [J]. Applied Thermal Engineering, 2016, 109: 413-422.
- [2] LI Shuangshuang, MA Xiaoqia. Catalytic characteristics of the pyrolysis of lignite over oil shale chars [J]. Applied Thermal Engineering, 2016, 106: 865-874.
- [3] ZENG Xiongwei, ZHENG Shu, ZHOU Huaichun, et al. Char burnout characteristics of five coals below and above ash flow temperature: TG, SEM, and EDS analysis [J]. Applied Thermal Engineering, 2016, 103: 1156-1163.
- [4] 兰炭产品技术条件: GB/T 25211—2010 [S].
- [5] JAYARAMAN K, GÖKALP I, JEYAKUMAR S. Estimation of synergetic effects of CO_2 in high ash coal-char steam gasification [J]. Applied Thermal Engineering, 2017, 110: 991-998.
- [6] 榆林市兰炭产业发展调研组. 榆林市兰炭产业发展调研报告 [J]. 中国经贸导刊, 2010 (18): 20-23.
- [7] Yulin Blue-coke Industrial Development Research Group. Industry development research report of Yulin blue-coke [J]. China Economic & Trade Herald, 2010 (18): 20-23.
- [7] BAI Yonghui, ZHU Shenghua, LUO Kang, et al. Coal char gasification in $\text{H}_2\text{O}/\text{CO}_2$: Release of alkali and alkaline earth metallic species and their effects on reactivity [J]. Applied Thermal Engineering, 2017, 112: 156-163.
- [8] LI Xiaohong, MA Jiangshan, XUE Yanli, et al. Properties of semi-coke from co-pyrolysis of lignite and direct liquefaction residue of Shandong coal [J]. Journal of Fuel Chemistry and Technology, 2015, 43(11): 1281-1286.
- [9] WANG Chunbo, SHAO Huan, LEI Ming, et al. Effect of the coupling action between volatiles, char and steam on isothermal combustion of coal char [J]. Applied Thermal Engineering, 2016, 93: 438-445.
- [10] KIM Ryanggyoon, JEON Chunghwan. Intrinsic reaction kinetics of coal char combustion by direct measurement of ignition temperature [J]. Applied Thermal Engineering, 2014, 63(2): 65-576.
- [11] LIAKOS H H, THEOLOGOS K N, BOUDOUVIS AG, et al. The effect of pressure on coal char combustion [J]. Applied Thermal Engineering, 2001, 21(9): 917-928.
- [12] LIAKOS H H, THEOLOGOS K N, BOUDOUVIS AG, et al. Pulverized coal char combustion: The effect of particle size on burner performance [J]. Applied Thermal Engineering, 1998, 18(11): 981-989.
- [13] SARKAR P, SAHU S G, MUKHERJEE A, et al. Co-combustion studies for potential application of sawdust or its low temperature char as co-fuel with coal [J]. Applied Thermal Engineering, 2014, 63(2): 616-623.
- [14] 韩志江, 陈楠, 张建文, 等. 半焦大比例掺烧特性研究及锅炉性能数值仿真预测 [J]. 锅炉技术, 2019, 50(2): 43-48.
- [15] 杨忠灿, 刘家利, 王志超, 等. 半焦磨损特性及在电站锅炉上的防磨措施 [J]. 洁净煤技术, 2016, 22(3): 74-78.
- [15] YANG Zhongcan, LIU Jiali, WANG Zhichao, et al. Abrasion characteristics and anti-abrasion measures of semi-coke used for power station boiler [J]. Clean Coal Technology, 2016, 22(3): 74-78.
- [16] 杨忠灿, 王志超, 李炎, 等. 电站煤粉锅炉掺烧兰炭试验研究 [J]. 锅炉技术, 2017, 48(3): 31-36.
- [16] YANG Zhongcan, WANG Zhichao, LI Yan, et al. Experimental research on pulverized coal power station blending with semi-coke [J]. Boiler Technology, 2017, 48(3): 31-36.
- [17] 刘家利, 郭孟狮, 李炎. 135 MW 机组锅炉掺烧半焦试

验及经济性分析[J]. 洁净煤技术, 2017, 23(2): 86-91.
LIU Jiali, GUO Mengshi, LI Yan. Economic analysis for a 135 MW pulverized coal fired boiler blending with semicoke [J]. Clean Coal Technology, 2017, 23 (2) : 86-91.

[18]刘家利, 杨忠灿, 王志超, 等. 兰炭作为动力用煤的燃烧性能研究[J]. 洁净煤技术, 2016, 22(2): 84-88.

LIU Jiali, YANG Zhongcan, WANG Zhichao, et al. Combustion characteristics of blue-coke as fuel for pulverized coal boiler [J]. Clean Coal Technology, 2016, 22(2): 84-88.

[19]刘家利, 姚伟, 王桂芳, 等. 660 MW 机组半焦煤粉锅炉制粉系统选型[J]. 热力发电, 2016, 45(11): 75-81.

LIU Jiali, YAO Wei, WANG Guifang, et al. Type selection of coal pulverizing system for 660 MW coal-fired boiler burning semi-coke [J]. Thermal Power Generation, 2016, 45(11): 75-81.

(本文责编:刘芳)

作者简介:

王志超(1986—),男,河南信阳人,高级工程师,工学博士,从事燃料特性以及电站锅炉高效清洁技术研究(E-mail: wangzhichao@tpri.com.cn)。

姚伟(1964—),男,四川乐至人,研究员,从事燃料特性以及电站锅炉高效清洁技术研究(E-mail: yaowe@tpri.com.cn)。

“资源化烟气治理技术”专刊征稿启事

烟气治理是地球环境保护的重要一环,也是多数工业生产过程必不可少的组成部分。在燃煤电站、钢铁、化工、冶金、水泥、玻璃、化工等典型烟气源行业中,烟气治理的投资成本可达总投资成本的10%~50%,而运行成本可达总生产成本的10%~40%,经济负担和资源/能源的消耗量都是巨大的。然而,烟气治理中的目标污染物经过合适的处理和转化,也可成为工业资源,如SO₂或H₂S可以转化为单质硫或硫酸、硫酸盐;氮氧化物可制备硝酸;一氧化碳、VOCs等可氧化提供热量等。资源化的烟气治理可以使烟气中的污染物变废为宝,节约工业资源并产生经济效益,是环境与资源可持续发展的有效助力。为此,《华电技术》作为行业科技创新、技术交流平台,特推出“资源化烟气治理技术专刊”,并邀请山东大学程星星教授、华北电力大学肖海平副教授担任特约主编,欢迎业内同仁踊跃投稿。

一、征文范围

1. 协同资源回收的脱硫技术:烟气中硫的转化路径;硫的资源化产品价值分析;硫资源化利用新技术;兼顾资源回收的脱硫技术;脱硫废水的资源回收技术等。

2. 氮氧化物的资源化治理:烟气中氮氧化物的资源转化产物和潜力分析;低能耗低物耗的氮氧化物治理技术;提高氮氧化物治理过程可持续性的新技术及其过程研究等。

3. 有机挥发性气体(VOCs)的能量/物质再利用:VOCs治理过程中的能量利用技术及优化;VOCs中的资源提取和回收;不同行业的VOCs资源化利用潜力和新思路等。

4. 烟气颗粒物的工业利用:烟气颗粒物的形态分析及利用场合挖掘;烟气颗粒物中可利用部分的演变规律和促进策略,如玻璃微珠、特定金属氧化物等;颗粒物利用的产业链创新等。

5. 其他烟气污染物的资源化治理技术:烟气中其他可回收资源回收途径及应用价值分析;其他烟气污染物的治理技术和资源化潜力,如重金属的回收、热解气体中焦油的利用;多污染物协同脱除技术;烟气中水资源的回收利用等。

二、时间进度

专刊拟于2020年8月31日截稿,2020年8期(8月25日)后择期出版。

三、征文要求

1. 专题只收录未公开发表的论文,拒绝一稿多投。作者对论文内容真实性和客观性负责。

2. 按照《华电技术》论文格式要求使用Word软件排版,请登录《华电技术》在线采编系统(<http://www.hdpower.net>)在下载中心下载论文模板。

3. 请保留论文图片、曲线和表格原始文件,并在投稿时按规定提交。

4. 论文作者应遵守相关学术不端规定。

四、投稿方式

1. 在线投稿(推荐):登录《华电技术》在线采编系统(<http://www.hdpower.net>),完成在线全文投稿。

2. 邮箱投稿:xcheng@sdu.edu.cn(程教授); xiaohaiping@ncepu.edu.cn(肖教授); hdjs-chd@vip.163.com(编辑部)

3. 咨询联系:刘芳 0371-58501060 13838002988; 杨满成 010-63918755 13801175292