

# 神华煤富氧燃烧的结渣特性研究

吴海波<sup>1</sup>, 王鹏<sup>1</sup>, 柳朝晖<sup>2</sup>, 廖海燕<sup>1</sup>

(1. 神华国华(北京)电力研究院有限公司, 北京 100025; 2. 华中科技大学, 湖北 武汉 430074)

**摘要:** 本研究通过对马弗炉、管式炉、平面火焰携带流反应器3种试验台在空气和富氧典型工况情况下产生的灰样进行灰熔点、XRD(X射线衍射分析)、XRF(X射线荧光光谱分析)、SEM(扫描电子显微镜分析)等多种测试,得到了富氧燃烧条件下神华煤结渣特性。与空气燃烧相比,富氧燃烧气氛对神华煤灰熔点影响不大;高氧浓度下灰熔点温度较低,氧浓度下稍高;富氧气氛下结渣倾向明显比空气气氛下要高。但由于气氛的改变使得其中矿物质的赋存形态发生了改变。采用常用粘度和结渣指数预测不同气氛下神华煤结渣趋势,结果表明:空气条件下煤灰中Ca主要以CaO的形式存在,而富氧燃烧条件下产物中存在一定量CaCO<sub>3</sub>。CaCO<sub>3</sub>易黏结在一起,并会促进低灰熔点钙黄长石、钙长石的生成,从而加重结渣情况。

**关键词:** 富氧燃烧; 神华煤; 熔点; 结渣; 试验分析

中图分类号: TD849

文献标识码: A

DOI: 10.16146/j.cnki.mdlgc.2016.04.015

## 引言

富氧燃烧是在现有电站锅炉系统基础上,用高纯度的氧代替助燃空气,同时采用烟气再循环调节,可获得高达90%~95%体积浓度(干基)的富含CO<sub>2</sub>的烟气<sup>[1]</sup>。该技术不仅便于回收烟气中CO<sub>2</sub>,还能大幅度地减少SO<sub>2</sub>和NO<sub>x</sub>排放,是一种清洁、高效的燃煤发电技术<sup>[2~3]</sup>。

目前,国内外进行了一系列的富氧燃烧研究以德国黑泵、中国华中科技大学等为典型的研究机构,在火焰特性、燃烧特性及传热特性等方面进行了较为深入的研究;关于富氧燃烧煤的结渣特性研究相关报道比较少,本研究就围绕神华煤在富氧燃烧条件下的灰渣特性进行了试验研究,分别采用灰熔点测试、利用XRD(X射线衍射)、XRF(X射线荧光探针)和SEM(扫描电镜)等多种分析测试手段进行表征,以研究空气燃烧和富氧燃烧气氛下神华煤灰结

渣特性,得到了富氧燃烧条件下神华煤灰中矿物转化规律,对该煤种在富氧燃烧条件下的结渣特性有了深入的了解。

## 1 试验装置

### 1.1 马弗炉

在国家标准煤的工业分析方法(GB/T212—2008)中规定<sup>[4]</sup>,用缓慢灰化法制取灰样的方法。

### 1.2 管式炉

该实验台由配气系统、燃烧反应部分和烟气分析仪组成,如图1所示。本实验采用气瓶配气控制灰时气氛,燃烧反应部分主体结构为石英管反应器,反应器使用卧式电阻炉进行加热,具有精确的温度控制器。实验台尾部的烟气分析仪可直接测量烟气中的NO<sub>x</sub>、O<sub>2</sub>和CO<sub>2</sub>等浓度。

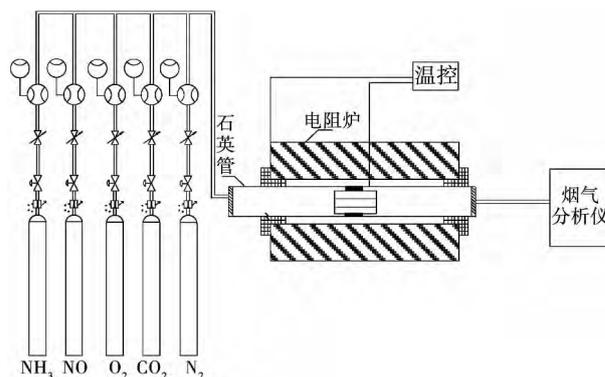


图1 管式炉

Fig. 1 Tube furnace

### 1.3 平面火焰携带流反应系统

平面火焰携带流反应系统是一套可广泛用于研究气体和粉末燃料燃烧特性的实验系统,是目前国际公认的实验条件最接近真实炉膛的实验室规模的反应系统。该系统其最重要的部件是以McKenna

收稿日期: 2015-05-08; 修订日期: 2015-08-13

作者简介: 吴海波(1986-),男,内蒙古锡盟人,神华国华(北京)电力研究院有限公司工程师。

燃烧器为原型的多级预混平面火焰气体燃烧器。可以通过调整进气配比(  $CH_4/CO/H_2/O_2/CO_2/N_2$  ), 为燃料燃烧提供常规燃烧气氛和富氧燃烧气氛。同时, 该反应系统配备了测温枪、急冷取样枪和结渣采样枪, 可以对炉膛沿程的温度、气体组分与固体样品进行采集和测量。

## 2 煤质特性及试验工况

### 2.1 煤质特性

神华煤的元素分析与工业分析如表 1 所示, 煤灰成分分析如表 2 所示。实验中采用的是经筛分的 98 ~ 105  $\mu m$  窄粒径煤粉。

表 1 神华煤元素分析与工业分析( wt/% )

Tab. 1 Element and industrial analysis of Shenhua coal( wt/% )

工业分析				元素分析					低位发热量
$M_{ad}$	$A_{ad}$	$V_{ad}$	$FC_{ad}$	$C_{daf}$	$H_{daf}$	$N_{daf}$	$S_{daf}$	$O_{daf}$	$/MJ \cdot kg^{-1}$
5.63	13.11	45.89	35.37	87.51	5.05	1.13	0.72	5.59	24.42

表 2 神华煤灰成分分析( % )

Tab. 2 Analysis of coal ash composition( % )

$Na_2O$	$MgO$	$SiO_2$	$Al_2O_3$	$P_2O_5$	$SO_3$	$K_2O$	$CaO$	$Fe_2O_3$	$TiO_2$	$MnO$
1.71	1.21	41.07	19.44	0.60	7.01	1.22	18.54	8.37	0.64	0.20

### 2.2 试验工况安排

实验分别在 3 个台架多种不同气氛下进行, 各种工况如表 3 所示。

表 3 实验工况

Tab. 3 Experimental conditions

装置	气氛	粉量/给粉率	停留时间	温度/ $^{\circ}C$
马弗炉	空气	1 g	30 min	815
管式炉	20% $O_2/N_2$	1 g	40 min	815
	20% $O_2/CO_2$	1 g	40 min	815
	50% $O_2/N_2$	1 g	40 min	815
	50% $O_2/CO_2$	1 g	40 min	815
FF - EFR	20% $O_2/N_2$	15 g/h	1 s	1 400
	20% $O_2/CO_2$	15 g/h	1 s	1 400
	30% $O_2/N_2$	20 g/h	1 s	1 400
	30% $O_2/CO_2$	20 g/h	1 s	1 400

## 3 试验结果及分析

对各反应器中制得的灰样分别采用灰熔融点测

试、XRD、XRF、SEM 等多种分析测试手段进行表征, 以研究空气燃烧和不同富氧燃烧气氛下神华煤灰结渣特性。以下文中提到的 Air 为空气工况(  $O_2/N_2$  ); Oxy 为富氧工况(  $O_2/CO_2$  ); 涉及到 Air5( 5%  $O_2/N_2$  ) 为  $O_2$  和  $N_2$  组成的成分, 其中  $O_2$  体积分数为 5%; Oxy20( 20%  $O_2/CO_2$  ) 为  $O_2$  和  $CO_2$  组成的成分, 其中  $O_2$  体积分数为 20%; Oxy30( 30%  $O_2/CO_2$  ) 为  $O_2$  和  $CO_2$  组成的成分, 其中  $O_2$  体积分数为 20% 以此类推。

### 3.1 灰熔点分析

按灰熔点结渣指数来判断, 该煤属于严重结渣煤, 传统方式进行灰熔融性测试的灰样为在马弗炉内 815  $^{\circ}C$  下制备, 得到软化温度为 1 190  $^{\circ}C$ , 而 FF - EFR 中 20%  $O_2/N_2$  和 20%  $O_2/CO_2$  灰样的软化温度分别为 1 210 与 1 216  $^{\circ}C$ 。对比各熔融性温度发现, 不同制样方式和燃烧气氛对灰熔点有一定影响。这可能是由于反应气氛不同导致的。马弗炉在进行灰熔点测试时, 可以认为在 815  $^{\circ}C$  之前, 氧化物之间反应较少。进行灰熔点测试时, 进行灰熔点测试时, 灰份是在弱还原气氛下加热, 即矿物之间反应是在弱还原气氛下进行。在 20%  $O_2/N_2$  和 20%  $O_2/CO_2$  工况下 FF - EFR 灰样由于过氧系数较高, 燃烧反应处于氧化性气氛下, 矿物之间反应机理与弱还原性气氛下不同, 从实验结果上看, 氧化性气氛下灰分熔融性温度普遍较弱还原性气氛下要高 30  $^{\circ}C$  左右, 这可能主要是由于煤灰中的一些金属元素在不同的性质气氛下有不同的形态, 同时, 这些元素还可能进一步产生低熔融性的共同体所致。

图 2 为神华煤低温灰的 TG/DSC 热分析曲线, 该测试采用德国耐驰仪器制造有限公司的 STA449F3 型热重/差热综合热分析仪进行测试。由图示曲线可以看出 815  $^{\circ}C$  之前仅存在两个吸热峰, 分别为煤灰中部分  $CaO$  吸收空气中水分形成的  $Ca(OH)_2$  在加热过程中失去结构水所致; 方解石分解的吸热峰。

### 3.2 XRD 分析

由 XRD 结果可知, 不同气氛下制得的神华煤灰样中所含晶体矿物种类基本相同:  $CaO$ 、 $Fe_2O_3$ 、 $SiO_2$ 。一般高熔点煤, 在炉内燃烧时 Si 与 Al 的氧化物会反应生成大量莫来石, 大大提高了煤的灰熔点。对神华煤低温灰成分分析得到, 煤中  $Al_2O_3$  含量高达 19.44%, 而将 FF - EFR 中制得的 4 种灰样皆进行 XRD 测试, 结果( 图 3 ~ 图 4 ) 却未检测到 Al 晶体。

可以推测 Al 在燃烧过程中与 Ca、Si、Fe 等氧化物反应形成了低熔点共融物,且皆以玻璃态形式存在。

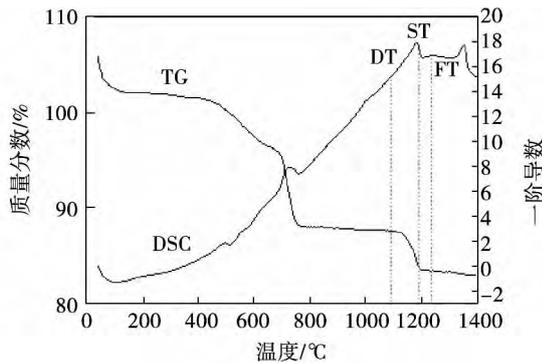


图 2 神华煤低温灰 TG/DSC 热分析曲线图

Fig. 2 Thermal analysis curve of the low temperature ash TG/DSC of Shenhua coal

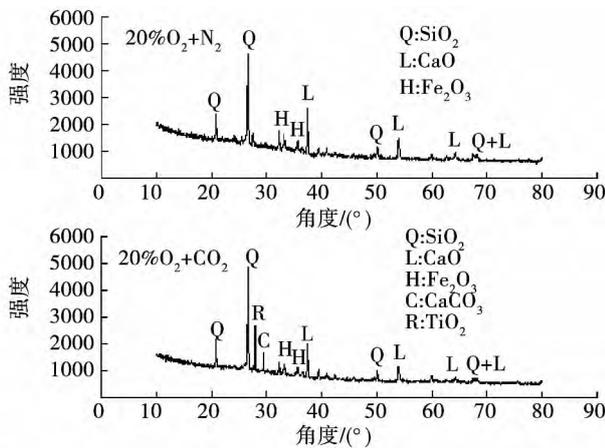


图 3 20% O<sub>2</sub>/N<sub>2</sub>与 20% O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub>对比图

Fig. 3 20% O<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> vs. 20% O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub>

对比管式炉(815 °C)和平面火焰反应器(1400 °C)中产生灰样矿物种类,815 °C 灰样中基本不含 CaO 在反应过程中皆被碳化或硫化,且 CaSO<sub>4</sub> 远高于 CaCO<sub>3</sub> 的浓度;而 1400 °C 灰样中, CaO 含量比较高, CaCO<sub>3</sub> 含量很少。因为在温度高于 930 °C 时, CaO 易烧结,比表面积降低,与 SO<sub>x</sub> 或 CO<sub>2</sub> 反应活性降低<sup>[5]</sup>。

对比平面火焰燃烧器实验中相同氧浓度 N<sub>2</sub> 与 CO<sub>2</sub> 气氛下矿物种类,发现在 20% 氧浓度下, CO<sub>2</sub> 气氛下得到的产物中还含有一定量的 CaCO<sub>3</sub>, 而 N<sub>2</sub> 气氛下产物中没有 CaCO<sub>3</sub>, 测得的 Ca 以 CaO 形式存在。空气气氛下 CaCO<sub>3</sub> 在 650 °C 左右开始分解,生成 CaO 与 CO<sub>2</sub>, 富氧气氛下 CO<sub>2</sub> 浓度很高,会抑制分解反应的发生,使分解温度升高 100 ~ 200 °C。如果

停留时间足够,使矿物之间的反应达到热力学稳态的情况下, CaCO<sub>3</sub> 会完全分解。然而平面火焰实验中,停留时间短,反应难以达到稳态,所以在 1400 °C 的反应温度下,由于富氧时 CO<sub>2</sub> 的抑制作用,产物仍会存在较多 CaCO<sub>3</sub>, 而 CaCO<sub>3</sub> 易黏结在一起,会加重结渣情况。

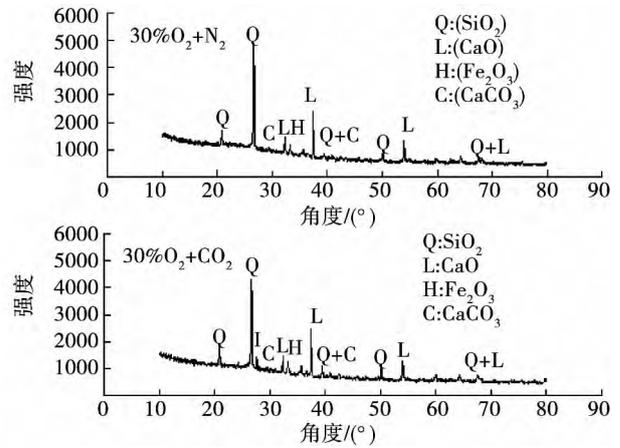


图 4 30% O<sub>2</sub>/N<sub>2</sub>与 30% O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub>对比图

Fig. 4 30% O<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> vs. 30% O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub>

### 3.3 XRF 分析

使用 XRF 测试可以得知所测得样品中所含元素种类与含量,不考虑价态问题,结果以元素氧化物的质量和物质的量的形式给出。测试时,每一个样品都重复测量 3 次,保证结果的准确性,减小测量误差。

对平面火焰携带流反应器中 6 种工况样品作 XRF 测试,测试采用美国伊达克斯有限公司 EDAX Inc 的 EAGLE III 型 X 射线荧光探针,选取对结渣影响较大的主要元素结果作图 5。部分学者在研究富氧与空气条件下结渣特性区别的时候会选取 20% O<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> 与 30% O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> 这两种工况作对比试验,目的是达到相似的炉膛辐射换热热量和绝热火焰温度。所以在利用 XRF 测试结果对比富氧与空气气氛下结渣性能时,可以主要针对 20% O<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> 与 30% O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> 两者结果进行分析。这是基于富氧燃烧和常规燃烧两个不同的典型工况进行考虑的。

由于仅对比某一种元素随气氛变化质量分数的变化难以得出规律性结论,所以本研究利用结渣指数公式计算各成分的 XRF 测试结果,得到了各个成分含量变化综合作用影响。选取两种常用结渣指数(煤灰硅比、酸碱比)以及两种粘度指数(Watt&Fereday 模型、Kalmanovitch 模型)<sup>[6~8]</sup>。

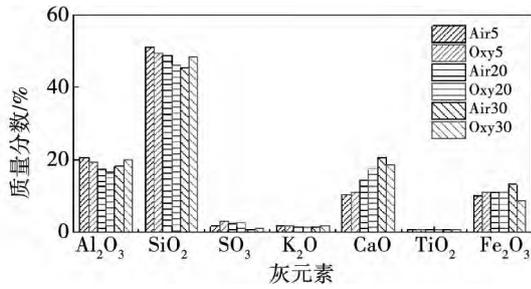


图5 不同工况下主要元素 XRF 测试结果  
Fig. 5 Test results of XRF of main elements at different conditions

煤灰硅比  $G$ :

$$G = \frac{\text{SiO}_2}{\text{SiO}_2 + \text{CaO} + \text{MgO} + [\text{Fe}_2\text{O}_3]}$$

式中:  $[\text{Fe}_2\text{O}_3] = \text{Fe}_2\text{O}_3 + 1.1\text{FeO} + 1.43\text{Fe}$ , 硅比表示的是煤灰中  $\text{SiO}_2$  所占的比重, 因为  $\text{SiO}_2$  含量越多煤的灰熔点和灰粘度也越高, 因此硅比越大, 煤种的结渣程度越轻。当硅比  $G > 78.8\%$ , 判定为轻微结渣, 硅比  $G$  在  $66.1\% \sim 78.8\%$ , 判定为中等结渣, 硅比  $G < 66.1\%$  为严重结渣。

碱酸比  $B/A$  的定义为:

$$B/A = \frac{\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{MgO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}}{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2}$$

煤灰中主要的碱性氧化物为  $\text{Na}_2\text{O}$ 、 $\text{K}_2\text{O}$ 、 $\text{MgO}$ 、 $\text{CaO}$  和  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , 主要的酸性氧化物为  $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$  和  $\text{TiO}_2$ 。在燃烧过程中, 煤灰中的酸性氧化物和碱性氧化物相互作用可以形成熔点较低的盐类。一般情况下, 碱性氧化物含量的增多总会使煤灰粘度减低, 而像  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{TiO}_2$  之类的酸性氧化物增多会使灰粘度升高; 而灰粘度越高, 相应的飞灰颗粒越不容易粘附到壁面, 因此, 碱酸比越大, 煤灰中碱性氧化物含量越大, 煤种越容易结渣<sup>[7]</sup>。当碱酸比  $B/A < 0.206$ , 判定为轻微结渣, 碱酸比  $B/A$  在  $0.206 \sim 0.4$ , 判定为中等结渣, 碱酸比  $B/A > 0.4$  为严重结渣。

利用以上 4 种结渣指数对 XRF 结果进行计算, 如图 6、图 7 所示。富氧气氛下结渣倾向明显比空气下要高。这主要是由于空气条件下煤灰中  $\text{Ca}$  主要以  $\text{CaO}$  的形式存在, 而富氧燃烧条件下产物中存在一定量  $\text{CaCO}_3$ 。 $\text{CaCO}_3$  易黏结在一起, 并会促进低灰熔点钙黄长石、钙长石的生成, 从而加重结渣情况。

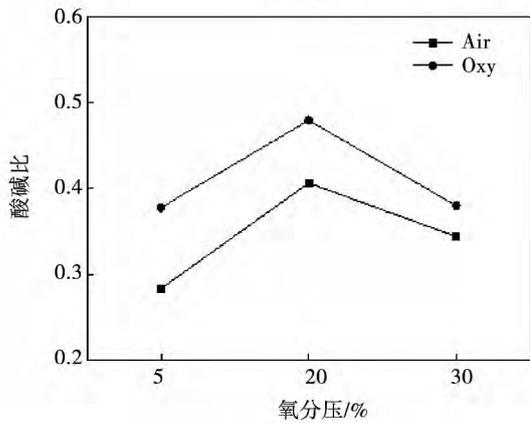
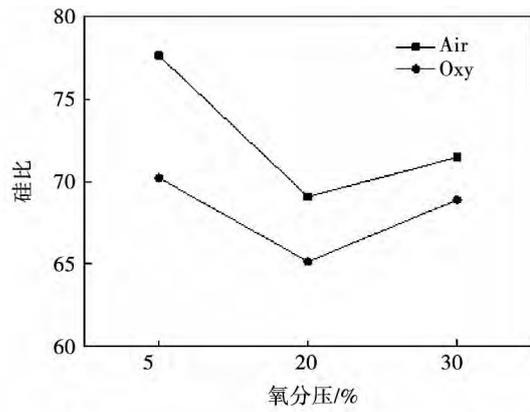
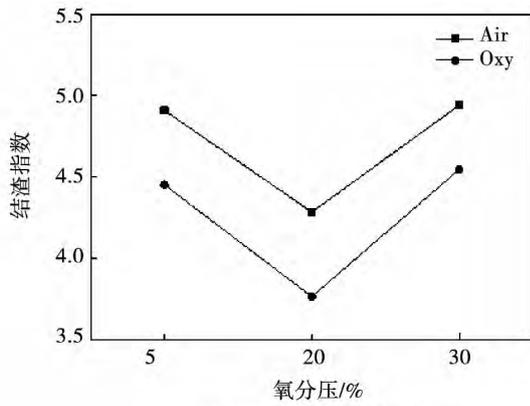


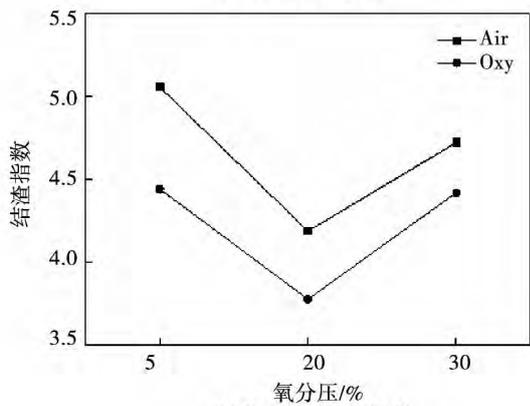
图6 不同气氛下常用结渣指数对比图  
Fig. 6 Comparison of the slag index in different atmospheres

### 3.4 SEM 分析

由图 8 对比 20% 氧气氛与 30% 氧气氛可以看出, 20% 氧气氛下灰样中还存在许多未破碎的较大矿物颗粒, 主要成分为  $\text{SiO}_2$  等煤中原始矿物, 说明在较低氧气氛下, 颗粒温度不够高, 破碎不够完全。随着氧分压力的升高, 颗粒球化程度加深, 到 30% 氧气氛时, 出现些许漂珠, 大部分颗粒熔融成球状, 且细小颗粒明显增多。观察富氧与空气中的灰样发现, 在富氧燃烧条件下得到的灰样球形度比空气下好, 并且小粒径颗粒比例有一定的增加。测试时喷导电金是同时进行的, 但  $\text{Oxy30}$  灰样在测试过程中放电非常严重, 出现图 9 中的大块亮斑。这是由于灰样中亚微米颗粒量多且将较大颗粒聚集粘附在一起如图 9 所示, 形成疏松的组织结构, 致使导电性非常差。以上现象说明了随着氧分压的升高, 或在富氧气氛下, 灰样熔融得更好, 同时亚微米颗粒数量整体有增加的趋势。



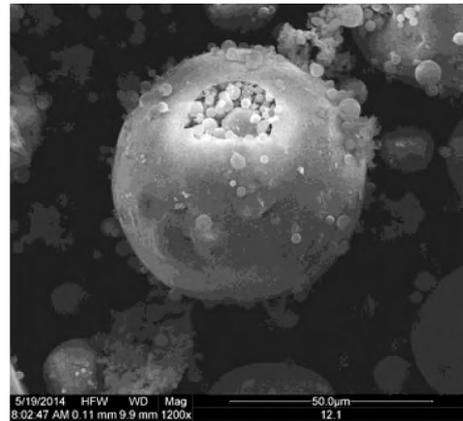
(a) Watt&Fereday模型



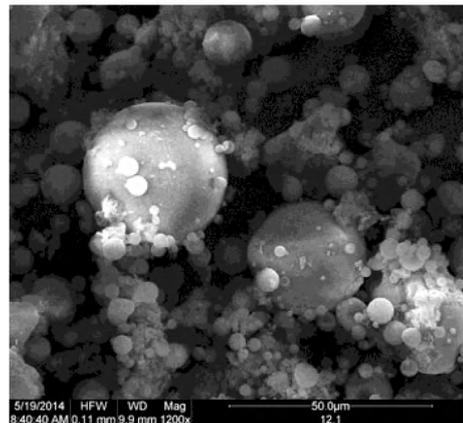
(b) Kalmanovitch模型

图 7 不同气氛下粘度结渣指数对比图

Fig. 7 Comparison of the viscosity slag index in different atmospheres



Air30



Oxy30

图 9 局部形貌对比图

Fig. 9 Local morphology comparison

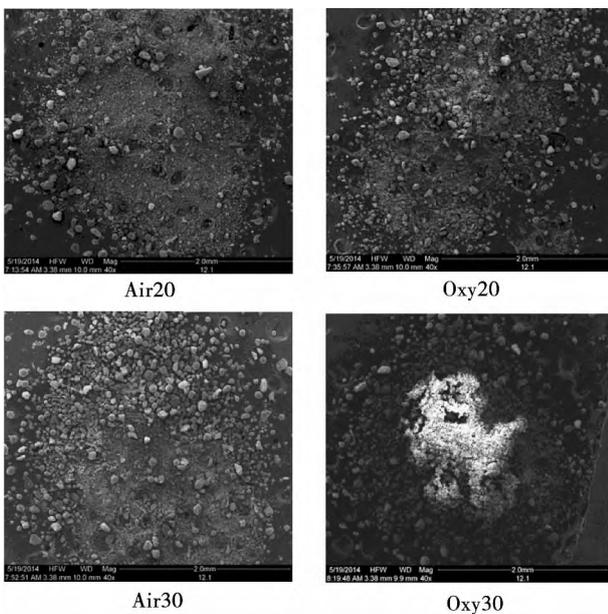


图 8 不同气氛下相同倍率放大整体形貌对比图

Fig. 8 Overall morphology with a same magnification in different atmospheres

### 4 结 论

通过对马弗炉、管式炉、平面火焰携带流反应器 3 种台架空气和富氧典型工况产生的灰样进行灰熔点、XRD、XRF、PSD、SEM 等多种测试,得到了富氧燃烧条件下神华煤结渣特性:与空气燃烧相比,富氧燃烧气氛对神华煤灰灰熔点影响不大;高氧浓度下灰熔点温度较低氧浓度下稍高。空气条件下煤灰中 Ca 主要以 CaO 的形式存在,而富氧燃烧条件下产物中存在一定量 CaCO<sub>3</sub>。CaCO<sub>3</sub>易黏结在一起,并会促进低灰熔点钙黄长石、钙长石的生成,从而加重结渣情况;

采用常用粘度和结渣指数预测不同气氛下神华煤结渣趋势,结果表明,富氧气氛结渣倾向明显比空气下要高。

参考文献:

[1] ZHENG Li-gang. Oxy-fuel combustion for power generation and carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) capture [M]. Sawston ,UK: Woodhead Publishing Limited 2011.

[2] Wall T ,Liu Y ,Spero C ,et al. An overview on oxy fuel coal combustion-state of the art research and technology development [J]. Chemical Engineering Research and Design ,2009 ,87( 8) : 1003 ~ 1016.

[3] Buhre B J P ,Elliott L K ,Sheng C D ,Gupta R P ,Wall T F. Oxy-fuel combustion technology for coal fired power generation [J]. Progress in Energy and Combustion Science ,2005 ,31 ( 4) : 283 ~ 307.

[4] GB/T 212-2008 国家标准煤的工业分析方法[S].  
GB/T 212-2008 ,National standard industrial analysis method of coal[S].

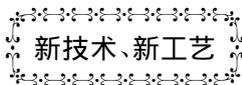
[5] 李 文 ,白 进著 ,煤的灰化学 [M]. 北京: 科学出版社 , 2013. 6.  
LI Wen ,BAI Jin. Coal ash chemistry [M]. Beijing: Science Press 2013. 6.

[6] 黄千钧. 以煤灰碱酸比与硅铝比的乘积作为动力用煤结渣指数的探讨 [J]. 动力工程 2004 24( 3) : 340 - 344.  
HUANG Qian-jun. The product of base/acid and silica/alumina of ash in steal coal—an index to ash slagging tendency [J]. Power Engineering 2004 24( 3) : 340 - 344.

[7] Urbain G ,Cambier F ,Deletter M ,et al. Viscosity of silicate melts. trans. J. Br. Ceram. Soc. ,1981 80( 9) ,139 - 141.

[8] Kalmanovitch DP ,Frank M. AnEffective model of viscosity for ash deposition phenomena. In: mineral matter and ash deposition from coal. Santa Barbara CA: United Engineering Trustees Inc ,1988.

( 姜雪梅 编辑)



## 额定输出功率为 61.2 MW 和效率为 40.4% 的 FT4000 SP 60 燃气轮机

据《Gas Turbine World》2015 年 9 - 10 月刊报道 ,PW Power Systems 正在推出它的为了减少排放而具有喷入水的新的航改型 FT4000 燃气轮机和用于使输出功率增加 15% 的湿压缩方案。

PW Power Systems 最近完成了它的第 1 台生产的 FT4000 燃气轮机设计批准和验收试验 ,该燃气轮机准备明年开始装运交付使用。

FT4000 SP60 和 120 快装式装置关键的设计和性能特点:

推出的额定性能

单机组和双燃气轮机发电机组成套设备的额定输出功率分别为 61.2 和 122.4 MW ,简单循环效率为 40.4% 。

运转备用

正常的从启动到燃气轮机满输出功率的时间少于 10 min ,并有能力以大于 30 MW /min 的等变率升高或降低负荷。

调节范围

运行部分负荷的能力 ,对于 SP60 燃气轮机发电机组成套设备可降到 50% 输出功率 ,对于 SP120 燃气轮机发电机组成套设备可降低到 25% 装置的输出功率。

湿压缩

具有功率增加方案 ,SP60 和 SP120 装置的额定输出功率分别为 70 和 140 MW ,并且效率为 41.3% 。

( 吉桂明 摘译)

the self-desulfurization performance of blending the gangue coal of high calcium in 200MW CFB Boiler. The results show that the average desulfurization efficiency with the calcium gangue coal is 87.3% ,which is 39.1% higher compared to the normal levels 48.2% . The average desulfurization efficiency can reach more than 95% when the limestone system is put into operation ,which fundamentally meets the environmental requirements. The presented technology is believed to provide a guidance to achieve low-cost and efficient desulfurization. **Key words:** CFB boiler ,gangue coal of high calcium ,self-desulfurization performance

小型流化床钴基载氧体积碳性能研究 = **Experiments Study on Carbon Deposition on Co Oxygen Carrier in a Small Fluidized Bed** [刊 ,汉]ZHONG Cheng-peng ,JIN Jing ,WANG Yong-zhen ,LIU Lei ( School of Energy and Power Engineering ,University of Shanghai for Science and Technology ,Shanghai ,China ,Post Cod: 200093) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -2016 ,31( 4) . -87 ~ 88

The effects of reaction temperatures ( 650 ,750 ,850 and 950 °C) and environments ( CO-H<sub>2</sub> mixture and CH<sub>4</sub>) on the deposition of carbon over Co-based oxygen carrier were studied in a small fluidized bed ,and the influence of adding steam or CO<sub>2</sub> was also examined. The results indicate that in the environment of CO-H<sub>2</sub> mixture ,the amount of carbon deposition on Co-based oxygen carrier decreases as temperature increases ,and it reaches the minimum when the temperature increases to 950 °C. Compared to the environment of CH<sub>4</sub> ,the mixed gas of CO and H<sub>2</sub> reduces effectively the carbon deposition on the surface of Co-based oxygen carrier. Moreover ,the carbon deposition can be efficiently inhibited by adding water vapor or CO<sub>2</sub>. Especially ,adding water vapor to the Co-based oxygen carrier almost eliminates the carbon deposition on surfaces. **Key words:** Co oxygen carrier ,carbon deposition ,small fluidized bed ,steam ,carbon dioxide

神华煤富氧燃烧的结渣特性研究 = **Study on the Slagging Characteristics of Shenhua Coal under Oxygen-enriched Combustion** [刊 ,汉] WU Hai-bo ,WANG Peng ,LIAO Hai-yan( Shenhua Guohua Electric Power Research Institute( Bering) Co. ,Ltd. ,Beijing ,China ,Post Code: 100025) ,LIU Zhao-hui ( Huazhong University of Science and Technology ,Wuhan ,China ,Post Code: 430074) //Journal of Engineering for Thermal Energy & Power.

-2016 31(4) . -89 ~94

Oxy-fuel combustion is one of the promising options for carbon dioxide capture in future coal-fired power plants. In this paper, based on three experiment instruments of the muffle furnace, tube furnace, and the flat flame entrained flow reactor, the ashes produced from the typical operating conditions with air and with pure oxygen were studied, and the tests of melting point, XRD, XRF and SEM were conducted. The slagging characteristics of Shenhua coal under the oxy fuel combustion condition were obtained. Compared with air combustion, oxygen fuel combustion condition has little effect on the ash melting point of Shenhua coal. Under the oxidizing environment, the ash melting temperature is generally 30 °C higher than that under weak reducing environment. But the combined form of mineral is altered due to the change in combustion environment. By using viscosity and slagging indices, the slagging tendency of Shenhua coal under different environments was predicted. The results show that the slagging tendency under oxygen-enriched environment is evidently higher than that under air environment. **Key words:** Oxygen fuel combustion, Shenhua coal, Melting point, Slagging, Experimental analysis

高钠煤调湿后微波直接脱钠处理实验研究 = **Experimental Study on the Microwave Treatment to Remove Sodium from High Sodium Coal after Humidifying** [刊, 汉] JIN Tao, ZHANG Shou-yu ( School of Energy and Power Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai, China, Post Code: 200093), SHI Deng-yu ( Shanghai J. E Power Plant Equipment Co., LTD, Shanghai, China, Post Code: 200437), PEI Yu-feng ( Northeast Electric Power Design Institute of China Power Engineering Consulting Group, Changchun, China, Post Code: 100084) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -2016 31(4) . -95 ~99

The microwave treatment was used to remove sodium from Wucaiwang high sodium coal under different conditions. The sodium content of the coal samples were determined by microwave digestion and inductively coupled plasma optical emission spectrometry ( ICP-OES) . In addition, the microwave treatment and the hydro-thermal treatment were compared. The results show that the high heating rate of microwave contributes to the emission of the water soluble sodium contained in the coal. The particle size of coal and the microwave power have great influence on the sodium