

高钠煤调湿后微波脱钠处理实验研究

金涛¹ 张守玉¹ 施登宇² 裴育峰³

(1. 上海理工大学能源与动力工程学院热能工程研究所, 上海 200093; 2. 上海机易电站设备有限公司, 上海 200437; 3. 中国电力工程顾问集团东北电力设计院, 吉林 长春 130021)

摘要: 以五彩湾高钠煤为研究对象, 考察了调湿后煤中钠在不同微波处理条件下的脱除效果, 并利用微波消解仪和电感耦合等离子体发射光谱仪(ICP-OES)分析了煤中的钠含量。同时还与水热脱钠方式进行了综合比较。研究结果表明: 微波加热具有较高的升温速率, 有利于快速脱除煤中水分, 从而有效带出煤中的水溶钠。在微波场中, 煤颗粒粒径对煤中钠的脱除影响较大。随着微波功率的提高, 煤中钠的析出量增加。微波辐射 10 min 后, 煤中大部分水溶钠已析出。与水热脱钠方式相比, 调湿后微波脱钠更安全、经济和高效。

关键词: 高钠煤; 调湿; 微波脱钠; 脱钠效率

中图分类号: TQ531.6 文献标识码: A

DOI: 10.16146/j.cnki.rndlgc.2016.04.016

引言

准东煤田是近年来在新疆探明的特大型煤田, 是目前我国最大的整装煤田, 预测储量高达 3.9×10^{11} t。其中, 五彩湾煤矿为准东煤田的露天煤矿, 其设计生产能力为 2.0×10^7 t/a, 将成为乌鲁木齐地区的主要煤源之一^[1~2]。

五彩湾煤属于低阶烟煤, 具有准东地区煤种燃点低、燃尽率高和燃烧稳定性好等特点, 是优良的动力用煤^[3]。然而五彩湾煤中碱金属钠含量偏高, 尤其是煤灰中钠的含量(以 Na_2O 计), 远远高于其它地区动力用煤。研究表明, 煤中的钠含量直接关系到燃煤锅炉使用过程中受热面的沾污结渣等问题^[4~5]。在高温条件下, 钠盐易挥发并凝结在受热面上形成烧结或黏结性的灰沉积, 这类灰沉积一般发生在对流过热器等受热面上, 形成结渣源影响锅炉传热, 并且可能堵塞烟气通道和引起高温受热面腐蚀, 严重影响了燃煤电站锅炉的安全经济运行。

因此, 煤中钠含量的控制对高钠煤燃烧利用至关重要。

近年来, 研究者们对煤中碱金属进行了大量的研究, 分析了煤中钠在热转化过程中的迁移规律。目前提出和正在研究的改善技术主要有水洗、添加剂、脱钠提质和锅炉改造设计等^[6~9], 但至今未能有效改善高钠煤的应用现状。相比之下, 采用微波脱钠处理的研究很少。

微波加热是一种新型的加热技术, 它不需要外部热源, 而是直接向物料内部辐射微波电磁场, 并以每秒几亿次速度进行周期变化的透入物料内, 与物料极性分子相互作用。物料中带有不对称电荷的分子受到交变电磁场的激励, 产生转动。由于物料内部原有的分子无规律热运动和相邻分子之间作用, 分子的转动受到干扰和限制, 产生“摩擦效应”, 结果一部分能量转化为分子热运动能, 即以热的形式表现出来, 从而物料被加热^[10]。由于微波具有选择性加热、穿透性强、加热效率高和安全无污染等特点。因此, 微波应用于煤炭加工引起研究者的极大兴趣和广泛关注^[11]。葛立超等研究发现, 经过微波处理后, 褐煤中的水分大幅度下降, 固定碳和热值上升, 褐煤煤阶上升, 热稳定性增强^[12]; Cheng 研究发现, 传统加热脱水干燥方式单位耗能很大, 大约是微波的 2.5 倍^[13]; 付建平等研究发现, 在微波热解过程中, 提高微波功率有利于焦油的轻质化^[14]; 赵庆玲等研究发现, 将煤样放置在频率为 2.45 GHz 的微波场中并以 1.5 kW 的微波功率照射后, 用稀盐酸溶液处理能够脱除 97% 的无机硫^[15]。相对来说, 微波在煤化工领域的研究主要集中在干燥、热解、脱硫等方面, 而关于微波脱钠的研究鲜见报道。

在上述研究的基础上, 本实验以新疆五彩湾煤

收稿日期: 2015-05-15; 修订日期: 2015-06-24

基金项目: 国家科技支撑计划基金资助项目(2012BAA04B01); 上海市科学技术委员会地方院校能力建设项目(12230502600); 沪江基金研究基地专项基金资助项目(D14001)

作者简介: 金涛(1990-), 男, 江苏连云港人, 上海理工大学硕士在读。

通讯作者: 张守玉(1971-), 男, 上海理工大学教授, 博士生导师。

为研究对象 利用微波设备对调湿后煤样进行微波处理 研究了调湿后煤样中的钠在不同微波处理条件下的脱除效果。同时 将实验结果与水热脱钠结果进行了比较分析。该研究为高钠煤的脱钠处理提供了技术参考。

1 实验

1.1 实验样品

本实验选取原料为典型的新疆高钠煤五彩湾煤(WCW) 其工业分析和元素分析如表 1 所示。

表 1 五彩湾煤的工业分析和元素分析

Tab. 1 Proximate and ultimate analysis of Wucaiwan coal

工业分析 /%				元素分析 /%					$Q_{net, ad}$ /MJ·kg ⁻¹
M	A	V	FC	C	H	O	N	S _t	
15.54	3.76	30.43	50.27	61.40	2.61	15.59	0.52	0.31	27.44

1.2 脱钠实验

称取 3 g 煤样 均匀喷洒少量的超纯水 煤液质量比在 1:1 左右。静置 30 min 让煤样充分吸收水分。然后 将调湿后的煤样放入由青岛迈可威微波设备有限公司生产的 MKC - MID 型微波炉中 频率为 2.45 GHz 功率变化范围为 400 ~ 800 W 采用非接触式红外测温。实验完毕后 降温至室温后取出样品。将得到的样品加超纯水搅拌冲洗两次 过滤后的煤样在 105 °C 下恒温干燥 2 h。考察的实验条件如表 2 所示。

表 2 实验条件

Tab. 2 Operating conditions of microwave experiments

温度 / °C	粒径 / mm	停留时间 / min	功率 / W
200	$r \leq 0.5$	10	800
200	$0.5 < r \leq 1$	10	800
200	$1 < r \leq 3$	10	800
200	$3 < r \leq 6$	10	800
200	$1 < r \leq 3$	10	400
200	$1 < r \leq 3$	10	480
200	$1 < r \leq 3$	10	560
200	$1 < r \leq 3$	10	640
200	$1 < r \leq 3$	10	720
200	$1 < r \leq 3$	10	800
200	$1 < r \leq 3$	5	800
200	$1 < r \leq 3$	10	800
200	$1 < r \leq 3$	15	800
200	$1 < r \leq 3$	20	800

1.3 煤中钠含量测定

称取样品 0.1 g 加入 5 mL HNO₃ 采用上海屹尧仪器科技发展有限公司生产 WX - 8000 型微波消解仪消解样品 在 2 000 W 功率下运行 40 min 得到高温消解液 降温至 60 °C 后取出并用超纯水稀释至 100 mL。然后使用美国 Perkin Elmer 公司生产的型号为 Optima 8000 电感耦合等离子体发射光谱仪(ICP - OES) 测定消解液中的钠含量。

2 实验结果与分析

2.1 实验原理

实验前的调湿是因为五彩湾煤中钠主要为水溶性钠 有机钠和不可溶钠含量较少 对其表面进行润湿并静置 可以使得煤中更多的水溶性钠溶入到水中。在微波场下 煤中极性水分子随着微波作高速往复作用摩擦生热 在煤内部各个孔隙中迅速升温 积聚大量蒸汽 煤内外产生压力差 瞬间将煤内部水分挤出 同时煤中的水溶性钠也随着水分的析出而被带至煤的表面以 NaCl 形式释放 最终降低煤中钠含量^[16]。与传统电加热水洗脱钠相比 微波加热脱钠升温速率高 在压力差的推动下 大大增加了煤中水溶性钠的析出能力。

2.2 粒径对高钠煤微波脱钠效果的影响

为了考察粒径对高钠煤微波脱钠的影响规律 实验在加煤量为 3 g 微波功率为 800 W 温度为 200 °C 恒温时间为 10 min 的条件下 分别测试了煤颗粒粒径为 $r \leq 0.5$ mm, $0.5 < r \leq 1$ mm, $1 < r \leq 3$ mm 和 $3 < r \leq 6$ mm 的脱钠量 煤中钠含量均以在 105 °C 下恒温干燥 2 h 后原煤计 实验结果如表 3 所示。

由表 3 可知 粒径在 $0.5 \text{ mm} < r \leq 1 \text{ mm}$ 和 $1 \text{ mm} < r \leq 3 \text{ mm}$ 时 煤中钠的析出最为明显 且析出量相差不大 钠脱除率分别在 51.9% 和 48.7%。而粒径在 $r \leq 0.5 \text{ mm}$ 和 $3 \text{ mm} < r \leq 6 \text{ mm}$ 时 煤中钠的析出并不明显 $r \leq 0.5 \text{ mm}$ 时钠脱除率仅有 23.3%。经过调湿后的高钠煤 其水溶性钠含量占煤中钠总含量的比例有所增加 而与煤中大分子结构相连的有机钠和主要以硅铝酸盐形式存在不可溶钠的含量变化不大^[17-18]。在微波加热过程中 煤中水溶性钠会随着煤内部水分的析出而被带出 且钠的析出量随粒径的增加呈先增加后减小的趋势。一方面是因为在微波场中 在粒径为 $0 \text{ mm} < r \leq 1 \text{ mm}$ 范围内 随着粒径的增加 煤孔隙中所积聚的水蒸汽更多 使得

其内部的压力梯度和温度梯度增大,传热系数变大,脱水速度较快,煤内部水溶性钠更容易被带出。而在粒径为 $1 \text{ mm} < r \leq 6 \text{ mm}$ 范围内,随着粒径的减小,煤中水分迁移路径逐渐变短,沿程阻力变小,传热系数又逐渐变大,煤内部升温快,水分同样容易析出,从而水溶性钠也随之更容易被带出^[9];另一方面是因为颗粒越小,其对调湿液的吸附能力越

强^[20],不利于调湿后煤中水分的析出,而颗粒越大时,煤中水溶性钠析出时的阻力也会越大^[21]。在综合作用下, $0.5 \text{ mm} < r \leq 1 \text{ mm}$ 的粒径更有利于煤中水分子在微波能产生的瞬间高温高压下被挤出煤外。因此,粒径在 $0.5 \text{ mm} < r \leq 1 \text{ mm}$ 范围内,煤中钠的脱除效果最好。

表3 颗粒粒径对高钠煤微波脱钠效果的影响

Tab.3 Influence of particle size on sodium removal

煤样	粒径/mm	功率/W	温度/℃	停留时间/min	脱钠量/ $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$	处理后煤样中的 钠含量/ $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$	脱钠率/%
五彩湾煤	$r \leq 0.5$	800	200	10	1 388	4 577	23.3
	$0.5 < r \leq 1$	800	200	10	3 094	2 871	51.9
	$1 < r \leq 3$	800	200	10	2 906	3 059	48.7
	$3 < r \leq 6$	800	200	10	2 365	3 600	39.6

2.3 微波功率对高钠煤微波脱钠效果的影响

不同微波功率对高钠煤脱钠效果的影响如图1所示。微波能主要是用来汽化水分,在微波作用下,煤颗粒内部迅速升温,瞬间积聚大量蒸汽产生压力梯度推动汽水混合物迁移。由图1可知,随着微波功率的提高,煤中钠的析出量呈增加的趋势。在功率低于560 W时,煤中钠的析出并不明显。但当功率从560 W增加到640 W时,钠的析出量急剧增加,在800 W时,煤中钠的析出量达到最大,脱钠率约为50.2%。这主要是因为功率在560 W以下,升温速率不是很高,不足以在煤内部瞬间产生大量的蒸汽来快速将可溶钠带走。而当功率超过560 W后,继续增加功率,升温速率变大,煤孔隙内部瞬间积聚大量蒸汽,压力增大,加快了煤中水分脱除速率,从而促进了水溶性钠的析出。在较高温度和压力的作用下,煤结构中以较弱键结合的侧链和一些含氧官能团可能分解,析出二氧化碳等气体,有利于煤中有机钠和水溶钠脱离煤主体^[17]。同时,微波功率越高,穿透深度越大,整体加热的特征就会越明显^[22],煤各个部分水分的脱除就越彻底,从而被带出的钠就越多。此外,从图1中还可以发现,功率从720 W增加到800 W的过程中,钠的析出量增加缓慢,这可能是因为较高功率下,脱钠已经比较彻底,继续加大功率对脱钠效率的促进效果有限。王卫东等对微波场中褐煤水分脱除规律及影响因素分析发现,微波干燥存在一个最佳功率,当超过最佳功率时,脱水速率增加并不明显^[23]。

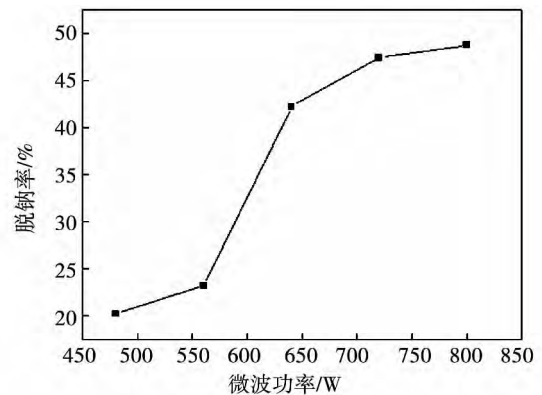


图1 不同微波功率对高钠煤脱钠效果的影响

Fig. 1 Effect of different microwave power on sodium removal for high sodium coal

2.4 恒温时间对高钠煤微波脱钠效果的影响

恒温时间对高钠煤脱钠效果的影响如图2所示。由图2可知,在温度为200℃,粒径为 $1 \text{ mm} < r \leq 3 \text{ mm}$,微波功率为800 W的条件下,煤中钠的析出量随着恒温时间的延长,先是迅速增加后缓慢增加,至10 min后基本不再变化,说明10 min后煤中水分已基本蒸发,绝大部分水溶性钠也随之析出。这表明,微波脱钠也类似于一个微波干燥过程。由于微波加热水时,具有较高的加热速率,因此煤中的水分从升温到转化为水蒸汽所消耗的时间很短。从而在加热的前10 min内,煤中钠的析出速率会很高,尤其是在微波功率较高的情况下,钠的析出速率更高。微波技术应用于高钠煤脱钠提质中,主要是

依据煤中不同组分具有不同的介质损耗这一特性。由于水是强极性分子,介电常数远远大于煤本身,在微波场中产生取向极化,通过弛豫作用,强烈吸收微波能,形成体热源加热自身,使煤中水分快速汽化迁移^[19]。因此,10 min后,随着煤中水分的减少,煤中钠的析出量逐渐降低,此时增加微波照射时间对脱钠效率的促进效果有限。从经济的角度考虑,微波脱钠只需恒温10 min即可。

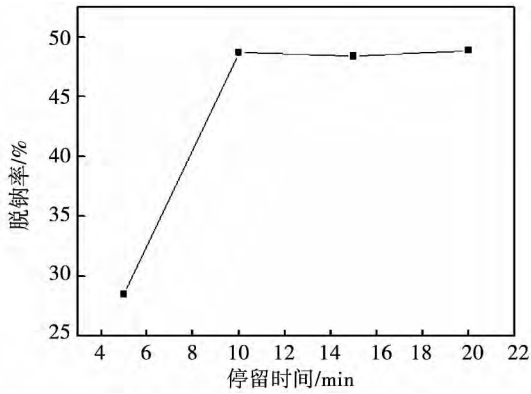


图2 恒温时间对高钠煤脱钠效果的影响
Fig. 2 Effect of holding-time in sodium removal for high sodium coal

2.5 最佳工艺条件下微波脱钠与水热脱钠对比分析

刘大海等对五彩湾煤和哈密煤进行了脱钠提质实验^[21],在高温高压的条件下,通过洗涤溶液对煤进行洗涤,并得到在最佳工艺条件下,五彩湾煤的脱钠率可达50%。本研究最佳脱钠条件为,粒径为 $0.5\text{ mm} < r \leq 1\text{ mm}$,微波功率为800 W,温度为200℃,恒温时间为10 min。两种脱钠方式综合对比如表4所示。

表4 两种脱钠方式比较

Tab. 4 Comparison of two methods of sodium removal

脱钠方式	温度/℃	压力/MPa	煤液比	时间/h	脱钠率/%
水热处理	200	1.55	$\geq 1:4$	> 3	50
调湿后微波处理	200	0.1	$\leq 1:1$	< 1	51.9

从表4中可以看出,两种脱钠方式的脱钠率相差不大,都在50%左右。但相比较微波脱钠而言,水热脱钠所需的流程更加复杂、繁琐,所需时间较长,耗水量也较大。同时,水热脱钠带有压力,具有一定的危险性,而微波脱钠则是微正压,更安全。虽然提高温度、压力以及洗涤溶液量,水热脱钠效果可

得到进一步提高^[3],但是具体的工艺条件在工程上较难实现。因此,从工艺流程和经济成本的角度来看,微波脱钠更具有发展潜力。

3 结论

- (1) 微波加热具有较高的升温速率,有利于快速脱除煤中水分,从而有效带出煤中的水溶钠;
- (2) 在微波场中,煤颗粒粒径对煤中钠的脱除影响较大,在 $0.5\text{ mm} < r \leq 1\text{ mm}$ 范围内,钠析出量最大;
- (3) 随着微波功率的提高,煤中钠的脱除量增加。但达到较高功率后,继续提高功率,钠脱除量增加缓慢;
- (4) 在微波辐射10 min后,煤中钠的脱除趋向饱和;
- (5) 与水热脱钠方式相比,调湿后微波脱钠更安全、经济、高效,具有很好的发展前景。

参考文献:

[1] 刘大海,张守玉,涂圣康,等.五彩湾煤中钠在燃烧过程中的迁移释放规律[J].化工进展,2015,34(3):705-709.
LIU Da-hai,ZHANG Shou-yu,TU Sheng-kang,et al. Transformation and release of sodium in wucaiwan coal during combustion [J]. Chemical Industry and Engineering Progress, 2015, 34(3): 705-709.

[2] 邱朋华,陈希叶,李丹丹,等.准东煤气化过程的热力学分析[J].煤炭转化,2014,38(1):33-38.
QIU Peng-hua,CHEN Xi-ye,LI Dan-dan,et al. Thermodynamic analysis for gasification process of zhundong coal [J]. Coal Conversion, 2014, 38(1): 33-38.

[3] 赵冰,王嘉瑞,陈凡敏,等.高钠煤水热脱钠处理及其对燃烧特性的影响[J].燃料化学学报,2014,42(12):1416-1422.
ZHAO Bing,WANG Jia-rui,CHEN Fan-min,et al. Hydrothermal treatment to remove sodium from high sodium coal and its influence on combustion characteristics [J]. Journal of Fuel Chemistry and Technology, 2014, 42(12): 1416-1422.

[4] 郭涛,曹林涛,黄中,等.准东高钠煤燃烧利用技术研究[J].煤炭技术,2015,34(1):331-333.
GUO Tao,CAO Lin-tao,HUANG Zhong,et al. Research on using technology in zhundong high sodium coal combustion [J]. Coal Technology, 2015, 34(01): 331-333.

[5] 聂立,白文刚,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 Wen-gang,RAN Sheng-ming,et al. Experimental study on ash deposition characteristics of high sodium coals from

- xinjing[J]. Journal of Chinese Society of Power Engineering, 2015, 35(2): 108-112.
- [6] 付子文,王长安,翁青松,等.水洗对准东煤煤质特性影响的实验研究[J].西安交通大学学报,2014,48(3):54-60.
FU Zi-wen, WANG Chang-an, WEN Qing-song, et al. Experimental investigation on the effect of water washing on zhundong coal properties[J]. Journal of Xi'an Jiaotong University, 2014, 48(3): 54-60.
- [7] 陈川,张守玉,施大钟,等.准东煤脱钠提质研究[J].煤炭转化,2013,36(4):14-18.
CHEN Chuan, ZHANG Shou-yu, SHI Da-zhong, et al. Study on sodium removal for zhundong coal upgrading[J]. Coal Conversion, 2013, 36(4): 14-18.
- [8] 卫小芳,黄戒介,房倚天,等.碱金属对褐煤气化反应性的影响[J].煤炭转化,2007,30(4):38-42.
WEI Xiao-fang, HUANG Jie-jie, FANG Yi-tian, et al. Effect of alkali metal on the lignite gasification reactivity[J]. Coal Conversion, 2007, 30(4): 38-42.
- [9] 闫德忠,刘维杰,纪海英.稳定跨距在锚杆支护参数设计中的应用[J].河北煤炭,2010(4):55-57.
YAN De-zhong, LIU Wei-jie, JI Hai-ying. Application of stability strided distance in bolting parameter design[J]. Hebei Coal, 2010(4): 55-57.
- [10] 三浦直躬,叶传喜.微波在吸滤式过滤干机上的应用研究[J].过滤与分离,1995(3):3-7.
SANPU Zhi-gong, YE Chuan-xi. Study on the drying with microwave in the nutche type filter[J]. Journal of Filtration and Separation, 1995(3): 3-7.
- [11] 夏浩,刘全润,马名杰,等.微波技术在煤炭加工利用过程中的应用[J].煤炭转化,2012,35(1):86-89.
XIA Hao, LIU Quan-run, MA Ming-jie, et al. Application of microwave in coal processing and utilization[J]. Coal Conversion, 2012, 35(1): 86-89.
- [12] 葛立超,张彦威,王智化,等.微波脱水改性对我国典型褐煤热解特性的影响[J].中国电机工程学报,2014,34(11):1717-1724.
GE Li-hao, ZHANG Yan-wei, WANG Zhi-hua, et al. Influence of microwave irradiation treatment on the pyrolysis characteristics of typical chinese brown coal[J]. Proceedings of the CSEE, 2014, 34(11): 1717-1724.
- [13] CHENG Jun, ZHOU Jun-hu, LI Yan-chang, et al. Improvement of coal water slurry property through coal physicochemical modifications by microwave irradiation and thermal heat[J]. Energy and Fuels, 2008, 22(4): 2422-2428.
- [14] 付建平,宋永辉,闫敏,等.微波功率对低变质煤与塑料共热解焦油的影响[J].煤炭转化,2013,36(2):63-66.
FU Jian-ping, SONG Yong-hui, YAN Min, et al. Influence of microwave power on co-pyrolysis tar of low metamorphic coal and plastic[J]. Coal Conversion, 2013, 36(2): 63-66.
- [15] 赵庆玲,郝普梅,段滋华.煤的微波脱硫[J].煤炭转化,1996,19(3):9-13.
ZHAO Qing-ling, ZHENG Pu-mei, DUAN Zi-hua. Microwave desulphurization of coal[J]. Coal Conversion, 1996, 19(3): 9-13.
- [16] Raask E. Mineral impurities in coal combustion[M]. Washington: Hemisphere Publishing Corporation, 1985.
- [17] 张守玉,陈川,施大钟,等.高钠煤燃烧利用现状[J].中国电机工程学报,2013,33(5):1-12.
ZHANG Shou-yu, CHEN Chuan, SHI Da-zhong, et al. Situation of combustion utilization of high sodium coal[J]. Proceedings of the CSEE, 2013, 33(5): 1-12.
- [18] Benson S A, Holm P L. Comparison of inorganic constituents in three low-rank coals[J]. Ind Eng Chem Prod Res Dev, 1985, 24(1): 145-149.
- [19] 徐志强,辛凡文,涂亚楠.褐煤微波脱水过程中水分的迁移规律和界面改性研究[J].煤炭学报,2014,39(1):147-153.
XU Zhi-qiang, XIN Fan-wen, TU Ya-nan. Moisture migration and interfacial modification of lignite in microwave dehydration process[J]. Journal of China Coal Society, 2014, 39(1): 147-153.
- [20] Yang R T, Das S K, Tsai B M C. Coal demineralization using sodium hydroxide and acid solutions[J]. Fuel, 1985, 64(6): 735-742.
- [21] 刘大海,张守玉,陈川,等.新疆高钠煤脱钠提质过程中钠存在形式[J].煤炭学报,2014,39(12):2519-2524.
LIU Da-hai, ZHANG Shou-yu, CHEN Chuan, et al. Existence form of sodium in the high sodium coals from xinjiang during its sodium removal process[J]. Journal of China Coal Society, 2014, 39(12): 2519-2524.
- [22] 赵希强,宋占龙,刘洪贞,等.农作物秸秆微波热解特性试验[J].农业工程学报,2009,25(10):210-214.
ZHAO Xi-qiang, SONG Zhan-long, LIU Hong-zhen, et al. Experiment on microwave pyrolysis of crop straw bale[J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(10): 210-214.
- [23] 王卫东,杨赓,孙远,等.微波场中褐煤水分脱除规律及影响因素分析[J].煤炭学报,2014,39(6):1159-1163.
WANG Wei-dong, YANG Xiao, SUN Yuan, et al. Lignite dewatering rule and related influencing factors in the microwave field[J]. Journal of China Coal Society, 2014, 39(6): 1159-1163.

(姜雪梅 编辑)

-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

removal in the microwave field. After 10 minutes of microwave radiation ,most of the water soluble sodium from the coal has been removed. Compared with the hydro-thermal treatment ,the microwave treatment is safer ,more efficient and economic. **Key words:** high sodium coal ,sodium ,humidifying ,microwave ,sodium removal efficiency

氧气对层燃条件下烟气携带煤焦还原 NO 的影响 = **An Experimental Study on Reactions of NO and Flue Gas Carrying Char at Grate Firing Conditions** [刊 汉]XU Li ,ZHAO Wei ,WANG Jian ,LIU Qi(School of Energy Science and Engineering ,Harbin Institute of Technology ,Harbin ,China ,Post Code: 150001) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -2016 31(4) . -100 ~105

To meet the progressively more stringent environmental requirements ,further reducing NO_x emission is needed. To identify an effective way of reducing NO_x emission ,this paper investigated the effects of oxygen concentration and pre-oxidation treatment on char-NO reactions using tube furnace. By adding oxygen into the reacting environment , the important role of oxygen on the reaction between NO and large particle size char was studied under the condition of constant temperature heating. Results indicate that high oxygen concentrations can promote the char-NO reaction compared to the low oxygen or anaerobic conditions. With high oxygen concentration ,the change of experimental temperature has little effect on char-NO reaction. After pre-oxidation treatment ,however ,the capacity of char on NO reduction is improved. **Key words:** char , NO_x ,charring condition ,catalyst

基于梁带法的大型电站凝汽器管板刚强度计算分析 = **Stiffness-strength Calculation of Large Power Plant Condenser Tubesheet based on Beam-Strip Method** [刊 汉]CHEN Xiao-ming ,LAI Xi-de ,TANG Jian (School of Energy and Power Engineering ,Xihua University ,Chendu ,China ,Post Code: 610039) ,XU Zhi-jian (Dadu River Gongzui Hydropower Plant of China Guodian ,Leshan ,Sichuan ,China ,Post Code: 614000) //Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -2016 31(4) . -106 -111

For the calculation need of condenser tubesheet of large power plant ,a corresponding structural model was established based on beam-strip method. The effect of stiffness enhancement was simulated by adding equivalent spring