文章编号:1001-2060(2010)02-0234-04

# 混燃的稻壳飞灰特性的试验研究

阎维平1,鲁许鳌1,沈 冶2,袁光福2

(1.华 北电力大学 电站设备状态监测与控制教育部重点试验室,河北保定 071003,2 国电长源电力股份有限公司,湖北武汉 430000)

摘 要: 在某 300 MW 机组煤粉锅炉上进行稻壳掺烧试验, 对掺烧的稻壳灰的微观形貌、化学性质和 孔隙结构等性质进 行了试验分析。主要结论为: 稻壳灰的物 相以 石荚、鳞石荚 和方石荚晶形为主, 存在少量莫来石晶体。 稻壳灰形状呈现 大粒径的不规则片状灰粒, 稻壳灰的凸面形成波状的熔融的 状态伴有少量泡状 孔隙, 稻壳灰的凹面有 丰富的 孔隙结构。 在常量元素分析结果中, 稻壳灰中 SQ 的含量高达 97.42%, 稻壳灰中的 A1Q3、K2Q C3O含量低。稻壳灰的 孔 隙的平均 孔径为 9.704 mi, 注汞体积为 0.181 1 mi<sup>3</sup>/ β样品 的比表面积为 74.633 2 m<sup>2</sup>/ β从共燃飞灰中分离出的稻壳 灰可以作为多孔材料使用。

关键 词:煤粉锅炉;稻壳燃烧;物相;共燃;飞灰特性

中图分类号: TK224.1 文献标识码: A

## 引 言

我国华中地区的煤炭资源较少,发电用煤的成本很高,而该区域农作物种植一年两季,有丰富的农业废弃物,利用这部分生物质部分替代燃煤进行发电,将会降低发电成本,而且能够缓解燃煤所造成的污染排放问题<sup>[17]</sup>。

利用稻壳作为掺烧试验的燃料,收集、运输方 便,不需要破碎,在大容量锅炉上比较容易实现掺混 燃烧。然而,掺烧稻壳产生的飞灰物化特性和原粉 煤灰有所不同<sup>[37]</sup>,对粉煤灰用作水泥活性混合材 料和拌制混凝土造成负面影响<sup>[12~13]</sup>。因此需要分 析稻壳灰的特性,以利于掺烧飞灰的资源化利用。

国内外学者对稻壳燃烧或与煤混烧的灰进行了 研究。Amesto I等人在 30 W/h的鼓泡流化床中 进行了稻壳的燃烧试验,分析了炉内的灰渣、分离器 内的灰和除尘器的飞灰<sup>[7]</sup>。K Umanaheswaran等 人在实验室研究了 38 <sup>µ</sup> m的稻壳燃烧形成的灰的 化学组成和粒径分布<sup>[8]</sup>。Z Sarbak等人利用 X射 线衍射仪、差热分析和扫描电镜等方法分析了两种 飞灰的表面特征<sup>[9]</sup>。综上所述,前人对实验室或小型流化床燃烧稻壳或和煤共燃灰特性的研究工作较 多,对大型煤粉炉中稻壳和煤混合燃烧的飞灰特性 的研究较少。

本研究利用 SEM EDX XRD和压汞仪对 300 MW机组煤粉锅炉掺烧的稻壳灰的化学组成、微观 形貌、物相和孔隙结构等特性进行了试验分析,以期 为共燃试验和其飞灰的资源化利用提供参考依据。

1 试验概况与分析仪器

1.1 试验工况与试验样品

在某火力发电厂 300 <sup>MW</sup>亚临界强制循环锅炉 上进行了掺烧试验,炉膛采用四角同心反切燃烧方 式。试验系统如图 1所示,稻壳燃烧器安装在第 7 层和 12层二次风喷嘴处。采用一次冷风输送稻壳, 稻壳的输送风速为 20~22 <sup>m</sup>/<sup>s</sup> 一次风携带稻壳量 为0 8~1 <sup>kg/m³</sup>;在稻壳混合之前,风压为 5 <sup>kP</sup><sup>a</sup>混 合之后为 3~4 <sup>kPa</sup> 掺烧稻壳的热出力能达到锅炉 热负荷的 3%~5%。利用等速取样器采取除尘器 入口处掺烧飞灰样品。

本研究分析对象是从稻壳和煤混燃飞灰中分离 出的稻壳灰,由于稻壳灰的粒径较大,呈现明显的黑 色,密度小,较易从混燃飞灰中分离。现阶段燃烧煤 种为贫煤,两种燃料的工业分析和元素分析如表 1 所示。

在实验室也制备了稻壳灰样,和电站锅炉掺烧 的稻壳灰进行对比。根据标准 ASIM E1755-01, 主要制备过程如下:在马弗炉中以 10 ℃/min的速 率将 1 \$样品加热至 250 ℃,保持 30 min 然后升至 575 ℃保持 4 b 实验室制备的灰的组分如表 2所 示。

作者简介: 阎维平(1955-), 男, 湖南衡阳人, 华北电力大学教授, 博士生导师.

收稿日期: 2009-08-03 修订日期: 2009-09-07

<sup>?1994-2018</sup> China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 1 两种燃料的工业分析与元素分析

燃料	工业分析 1%				元素分析 /%				
	$M_{\mathrm{ar}}$	FC	$V_{ar}$	$A_{ar}$	C <sub>ar</sub>	$\mathrm{H}_{\mathrm{ar}}$	$\mathrm{O}_{\mathrm{ar}}$	$\mathrm{N}_{\mathrm{ar}}$	$\mathbf{S}_{\mathrm{ar}}$
稻壳	8	11. 9	63.4	16.7	39.7	49	30 1	0 49	0 08
贫煤	<b>9</b> 4	47.13	12.52	30. 95	52.24	2.36	3 57	0 53	0 95

	代之 兴殖王的苗的旧龙穴的纽方					
	$A_2O_3$	$SO_2$	K <sub>2</sub> O	CaO	MSO	$\mathrm{Fe}_{2}\mathrm{O}_{3}$
含量 1%	2 41	86.7	5.81	3. 49	0 74	0 85

实验会到冬的怒声龙的组分

#### 1.2 分析仪器

试验采用美国 ThermoNORAN公司制造的 X射 线能谱仪(EDX Energy— dispersive X— ray ana  $\mu_z$ zen)与扫描电镜(SEM Scanning electronic micrometen联合组成 SEM— EDX系统,在进行 SEM扫描的 同时对相同的表面进行扫描和试验样品表面的元素 分析。 SEM采用 KYKY—2800 B型扫描电子显微镜 (分辨率 6 Å 有铍窗锂漂移硅探测器,探测元素范 围 Na—U探测器分辨率 150 eV);还有 SBC—2型 试样表面处理机 和离子溅射仪等设备。采用 Y 2000型 X射线衍射仪(XRD X— ray diffusion),测 试条件: 10<sup>°</sup>  $\leq 20 \leq 80^\circ$ , Cu Ka,  $\lambda = 1.541$  78 Å 电 压 30 kV 电流 20 mA 样品孔隙结构参数的测定是 在 PoreMaster—60型压汞仪上进行的,加压范围为 0 ~414 MPa可以测量直径在 0 003 5~1 000  $\mu$  m内 变化的孔容。



图 1 300 MW机组锅炉掺烧稻壳系统图

# 2 试验结果

#### 2.1 灰样的 XRD图谱

在文献 [12]的综述中,稻壳燃烧的灰中 SQ 的 物相变化规律表明,当燃烧温度小于 600 ℃,稻壳中 的 SQ 是非结晶的, SQ 相的变化发生在 600~800 ℃之间,方石英在 800 ℃时开始出现,在1000 ℃开 始转变为鳞石英,在高于1200<sup>℃</sup>时,更加明显。在 1400<sup>℃</sup>时方石英和鳞石英相共存。

如图 2所示, 灰样的 XRD图谱在 1800~1900 <sup>°</sup>C温度范围内物相以鳞石英、方石英和石英晶形为 主,存在少量的莫来石晶体。这和文献 [12]的研究 结论是一致的。



### 2.2 利用 SEM分析的表面形貌

从外在形貌看,样品中稻壳灰颜色呈现黑色,与 煤灰相比,形状呈现大粒径的不规则片状灰粒,如图 3所示。



图 4和图 5分别是稻壳灰的凸面和凹面的微观 形貌。稻壳灰的凸面形成波状的熔融的状态而且伴 有释放气体的一些泡状孔隙,稻壳灰的凹面呈现较 大孔径的孔隙。

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

#### 2 3 利用 EDX分析灰样的组分

在表 3中, SQ 的含量高达 97.42%, 与文献 [9]马弗炉的燃烧温度相比,煤粉炉炉膛的燃烧温 度高 (理论燃烧温度在 1800~1900 <sup>°C</sup>之间 ),使得 稻壳灰中的 SQ 的含量比例高; 与本试验制备的稻 壳灰的组份比较中,稻壳灰中的 A $_{2}$ Q, KQ C $_{2}$ O含 量降低,没有检测到 M $_{2}$ Q和 F $_{5}$ Q。

表 3 样品的组分分析数据

组分名称	含量 /%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1 19
SD <sub>2</sub>	97.42
K <sub>2</sub> O	0 85
CÆO	0 55



图 4 稻壳灰的凸面 1 000 倍的 SEM分析



图 5 稻壳灰的凹面 1 000 倍的 SEM分析

## 2.4 灰样的孔隙结构

24.1 样品 孔体积分 布

在图 6中,随着施加压力的增大,注汞体积在经 过一段稳定值之后逐渐增大,说明样品中存在一定 数量孔径较大的孔,而孔径较小的孔隙占主要的孔 容积,而且注入了较多体积的汞。



图 6 样品的积累 孔体积曲线



图 7 样品的注汞体积-孔半径柱形图

# 间, 注汞体积较大, 反映了这一区间的微孔对样品总 孔容的贡献最大。

24.2 样品比表面积



图 8 样品在孔半径 < 50 m区间的 Da(1)曲线

在图 8中,  $D_s$ ( <sup>1</sup>)表示比表面积随孔半径的分 布, 孔半径 $\leq$ 50 <sup>m</sup>区间上,  $D_s$ ( <sup>1</sup>)在孔半径为4.1 <sup>m</sup> 处达到最大值 10 <sup>nf</sup> /(<sup>m。g</sup>)。

表 4 样品主要孔隙结构参数

平均孔径 / mm	注汞体积 / ጬ³。 g─1	比表面积 /m²。 g-1
9. 704	0 181 1	74. 633 2

21994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

在表 4中, 稻壳灰的比表面积为 74. 633 2<sup>㎡</sup>/<sup>§</sup> 文献[13]研究的一种多孔材料 (活性硅)的比表面 积的值为 72.82<sup>㎡</sup>/<sup>§</sup>与通用多孔材料的比表面积 相比, 掺烧的稻壳灰完全满足多孔材料使用要求。

3 分析与讨论

与实验室或小型流化床相比较,电站煤粉炉的 燃烧温度高(理论燃烧温度在1800~1900 <sup>℃</sup>之 间)而且分布比较均匀,从而使得掺烧的稻壳灰具 有不同特性,讨论如下:

(1)在稻壳灰的 XRD分析结果 (如图 2所示 ) 中,稻壳灰中的石英、鳞石英和方石英的结构都是由 桥联氧原子连接的硅氧四面体构成的,但由于键长、 键角的变化和排列方式的不同,构成的硅氧四面体 晶型不同。当稻壳燃烧温度大于 1 470 ℃时,稻壳 灰中的石英晶相会转变为鳞石英晶相<sup>[12]</sup>。

(2)在 SEM观测结果 (如图 4~5所示 )中, 电 站锅炉中燃烧的稻壳灰与文献 [6] 中流化床锅炉的 稻壳灰相比较, 前者凸面呈现熔融态, 出现的泡状小 孔, 后者凸面有小的裂缝; 前者的凹面以结晶态的线 状形态存在, 而后者的凹面以片状的形态较多。而 且, 电站锅炉稻壳燃烧的飞灰的凹面和内部形成孔 隙组织。另外, 炉膛中的烟气对稻壳有很强的携带 能力, 稻壳在炉膛中停留时间较短, 悬浮燃烧的稻壳 中的碳未完全燃烧, 使稻壳灰呈现黑色。

(3)在 EDX分析结果 (如表 3所示 )中, 稻壳灰 的 S含量高,这是由于稻壳的凸面存在约 10 <sup>µ</sup> <sup>m</sup>厚 的硅膜<sup>114</sup>, 而凹面和中间层的硅含量较低, 在燃烧 过程中, 硅的分布特征并未变化。

(4)煤粉炉炉膛温度比其它加热装置的温度高 很多,稻壳的热解的加热速率高,大部分挥发份析出, 同时,稻壳中的固定碳气化。还有其它熔点较低的无 机物盐,如碱金属盐,挥发在烟气中,从而使得稻壳灰 形成了孔隙结构如表 4所示。另一方面,由于稻壳和 煤进行混合燃烧,稻壳灰的孔隙会吸附一部分细微粒 度的粉煤灰,会使得稻壳灰的孔容有所减小。

## 4 结 论

在某电站 300 <sup>MW</sup>机组煤粉锅炉上进行了稻壳掺 烧试验,对锅炉飞灰中的稻壳灰的微观形貌、化学性质 和孔隙结构等性质进行了试验分析,主要结论为:

(1)在煤粉炉中掺烧的稻壳灰的物相以鳞石

# 英、方石英和石英晶形为主,存在少量莫来石晶体。

(2)稻壳灰呈现大粒径的不规则片状,凸面形 成波状的熔融状态而且伴有释放气体的一些泡状孔 隙,凹面呈现较大孔径的孔隙。稻壳灰的元素分析 结果中, SQ 的含量高达 97.42%,稻壳灰中的 AJQ、KQ C-O含量低。

(3)稻壳灰的孔隙的平均孔径为 9.704 <sup>nm</sup>注 汞体积为 0.181 1 <sup>cm<sup>2</sup></sup> / <sup>g</sup>样品的比表面积为 74.633 2 <sup>m<sup>2</sup></sup> / <sup>g</sup>

从共燃飞灰中分离出的稻壳灰可以作为多孔材 料使用。

#### 参考文献:

- [1] MADHIYANON T. Co- firing of rice husk with coal in a cyclonic fluidized-bed combustor (w-FBC) [J. Fuel 2009 88 132 138.
- [2] OSVAIDA SENNECA Burning and Physico- chemical character istics of cathon in ash from a coal fired power planų J. Fuel 2008 87 1207-1216
- [3] 阎维平,陈吟颖. 生物质混合物与煤共热解的协同作用[J].
  中国电机工程学报,2007 25,79-83
- [4] 米 铁. 生物质灰化学特性的研究[J]. 太阳能学报, 2004 5 (2): 237-241.
- [5] 范志林.关于生物质基本性质分析的问题[J].东南大学学报, 2004 34 352-355
- [6] LDU TZONGHORNG Evolution of chem istry and morphology during the carbonization and combustion of rice husle J. Carbon 2004 42 785-794
- [7] ARMESIO I, Combustion behaviour of rice husk in a bubbling fluidised bed J. Biomass and Bioenergy 2002 23 171-179
- [8] UMAMAHESWARAN K Physico- chemical characterisation of Indian biomass ashes J. Fuel 2008 87 628-638.
- [9] SARBAK Z Characterization of surface properties of various fly a sheet J. Powder Technol 2004 145. 82-87.
- [10] KUTCHKO B G K M A G F V ash characterization by SEM-XEDS J. Fuel 2006 85 2537-2544
- [11] WANG SHUANGZHEN, B iomass fly ash in concrete mixture proportioning and mechanical properties J. Fuel, 2008 87 365 371.
- [12] IU Y,I SUN KE CHENGGONG Silicon-based materials from rice husks and their applications J. Ind Eng Chem Res 2001
   40 (25): 5861-5877.
- [13] DELLA V P, KüHN J HOTZA D Rice husk ash as an alternate source for active silica production J. Material Letters 2002 57: 818-821
- [14] DING T P TAN SH SUN L et al Silicon isotope fractionation between rice plants and nutrient solution and its significance to the study of the silicon cycle J. Geochimicaet Cosmochimica Acta 2008 72, 5600-5615.

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

tended surface to form a heat storage unit. The connection between the smoke stack and the pressure diffusion tube can be stream lined to form a transition, thus reducing the drag force at the above location. At the same time, a convergent smoke stack outlet can be designed to secure a relatively big suction head for the power plant system, thereby enhancing the energy conversion rate of the system in question K ey words so lar energy hot airstream power plant flow field CHD (computational fluid dynamics) smoke stake height optimized design

直接碳燃料电池活性炭制备的实验研究 = Experimental Study of Active Carbon Preparation for Direct Carbon FuelCelle刊,汉] / ZHANG Jubing ZHONG Zhaoping GUO Houkun, JIN Baosheng (ThermalEn ergy Engineering Research Institute Southeast University Nanjing China PostCode 210096), // Journal of Engineering for ThermalEnergy & Power - 2010 25(2). -230~233

With KOH serving as an activation agent experimentally studied was the active cathon prepared from oak wood sawdust by adopting a chemical activation method. The influence of the activation temperature alkali cathon ratio and activation time on the specific surface area of the active cathon was investigated. On this basis, the optimum operating condition for active cathon preparation was obtained. Subsequently, HNQ, soaking and nickel acetate loading were used successively to the active cathon under the abovementioned conditions. It has been found that the specific surface area of the active cathon prepared under the optimum operating condition is 1,967 nf /g. HNQ, soaking can increase the variety and content of oxygen containing functional groups on the surface of the active cathon are latively big extent. After a bad has been added to the active cathon by using nickel acetate, the volumetric resistance rate oxygen containing functional group direct cathon fuel cell.

混燃的稻壳飞灰特性的试验研究 = Experimental Study of the Flying Ash Characteristics of Mixed Burned RiceHuske[刊,汉]/YAN Weiping IIJ Xu ao(Education Ministry Key Laboratory on Power Plant Equipment Condition Monitoring and Control College of Power and Mechanical Engineering North China University of Electric Power Baoding China Post Code 071003, SHEN Ye YUAN Guang fu (Guodian Changyuan Electric Power Shareholding Co. Ltd, Wuhan China Post Code 430000)// Journal of Engineering for Thermal Energy & Power - 2008 25 (2). -234~237

On a 300 MW pulverized coal fired boiler in a power plant am ked burning testwas conducted of rice husks. The microscopic morphological appearance chemical properties and pore structure exists of the ash produced by the rice husks in the mixed burning were tested and analyzed. The authors have mainly concluded that quarize scale quarize and cristoballite in the crystal form predominate in the rice husks produced ash physical phase and there exists a small amount of mullite crystal. The rice husks formed ash appears in the form of irregular slice shaped ash particles with large diameters. The convex surface of the husk-formed ash is of a wave shape in a melt state accompanied by a small number of bubble pores. The concave surface of the husk formed ash can be as high as 97, 42%. However, the content of AJQ, K O and CaO in the ash is by. The average diameter of the pores in the husk-formed ash is 90, 181, 1, cm<sup>2</sup>/g and the specific surface area of the sample totals 74, 633, 2, m<sup>2</sup>/g. The husk-formed ash segregated from the fly ash after a confiring can be used as porous materials. Key words pulverized coal fired boiler rice husk burning physical phase on firing flying ash characteristics.