

叶片数量和一次风率对双调风旋流燃烧器流场的影响

陈智超¹, 李争起¹, 孙 锐¹, 盖建勇²

(1. 哈尔滨工业大学 能源科学与工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150001;

2. 西柏坡发电有限责任公司, 河北省 石家庄 050021)

摘 要:在冷态实验台和两台 1025 t/h 锅炉上, 利用等温模化方法对双调风旋流燃烧器的空气动力特性进行了冷态试验。试验表明: 具有 12 个内二次风叶片的双调风旋流燃烧器回流区最大直径、长度与燃烧器最外层直径之比分别在 1.38、1.48 以上, 扩展角大于 80°, 可卷吸足够的高温烟气及时引燃煤粉; 在具有 8 个内二次风叶片时, 没有回流区, 扩展角在 61.9° 和 69.5° 之间, 不利于稳定燃烧。采用较低的一次风率具有较大的回流区, 有利于稳定燃烧。

关 键 词:双调风旋流燃烧器; 叶片; 一次风率; 空气动力特性

中图分类号: TK224 文献标识码: A

1 前 言

我国动力燃料的特点是煤种多变、煤质偏差, 所以保证煤粉燃烧的高效和稳定是电力工业的一个重要任务。旋流燃烧器依靠高温回流区作为稳定的热源, 提高了火焰稳定性, 并可单独组织燃烧。目前世界上已投运的大容量锅炉很多采用旋流燃烧器。进口机组在运行时, 普遍存在一些问题, 如高温腐蚀, 低负荷稳燃能力差等。开发适于我国国情的旋流煤粉燃烧技术已经迫在眉睫。为了解决此问题, 国内学者展开了广泛的研究。文献[1~8]提出了新型的旋流燃烧器, 并对其工作机理和影响因素进行了试验研究和理论分析。本文通过实验台冷态模化试验和锅炉空气动力场试验, 研究了内二次风叶片个数和一次风率对双调风旋流燃烧器空气动力特性的影响。

2 锅炉燃烧设备

某厂 1 号炉和 3 号炉是 B&WB-1025/18.3-M

型固态排渣煤粉锅炉, 采用钢球磨中间储仓式热风送粉系统。1 号炉的一次风管直径比 3 号炉的一次风管直径大, 为了避免一次风管堵粉, 1 号炉的一次风率比 3 号炉的一次风率大 6.5%。锅炉配有 24 个 B&WB 公司标准的双调风旋流燃烧器, 其结构简图如图 1 所示。1 号炉的双调风旋流燃烧器具有 8 个内二次风叶片, 3 号炉的 EI-DRB 型旋流燃烧器具有 12 个内二次风叶片。24 只燃烧器分为三层, 前后墙对冲布置(见图 2), 标高分别为 18 955 mm、22 460 mm、25 965 mm。在锅炉的前、后墙各有一个 14 090 mm×10 954 mm×2 438 mm(宽×高×厚)的隔仓式大风箱, 每个大风箱由隔板分成 3 个隔仓, 分别对三排燃烧器进行均匀配风。燃烧器为双调风形式, 是为了降低 NO_x 排放而开发的一种燃烧技术, 二次风分为内、外二次风, 通过内二次风轴向叶片和外二次风切向叶片产生旋转, 内、外层二次风的旋转方向

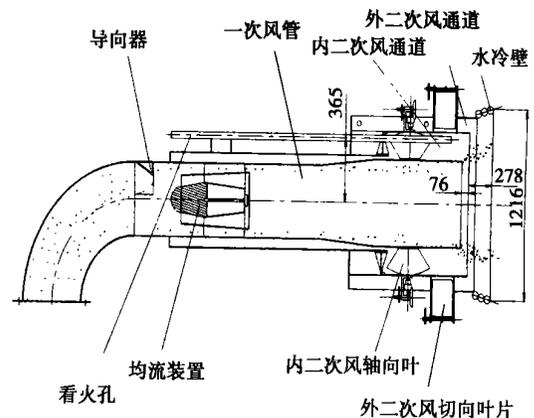


图 1 双调风旋流燃烧器(单位: mm)

收稿日期: 2003-06-05; 修订日期: 2003-11-26

基金项目: 国家电力公司重大课题基金资助项目(KJ00-02-16)

作者简介: 陈智超(1979-), 男, 内蒙古通辽人, 哈尔滨工业大学博士研究生。

是一致, 从大风箱来的二次风分两股进入到内层和外层调风器, 内层二次风用来引燃煤粉, 外层二次风用来补充已燃烧煤粉所需的空气, 使之完全燃烧。二次风的旋转强度可以改变, 其旋转气流能将炉膛内的高温烟气卷吸到煤粉着火区, 使煤粉得到点燃和稳定燃烧。

1 号炉燃烧器稳燃能力差, 燃用设计煤种时, 不能保证稳定燃烧, 为此, 另选煤种。在 2002 年 6 月 1 日~6 月 4 日期间, 对 1 号炉的煤质进行了统计, 煤的平均成份如下: $V_{daf} = 22.72\%$, $M_1 = 4.7\%$, $A_{ar} = 28.57\%$, $Q_{net,ar} = 22049 \text{ kJ/kg}$, 统计结果显示其煤质为烟煤, 煤价较高, 给电厂的经济性造成很大损失。低负荷稳燃能力差, 在 2002 年 10 月, 对汽轮机通流部分改造以后, 最低不投油稳燃负荷为 170 MW。燃烧器区域高温腐蚀严重。在 2002 年 9 月对 3 号炉进行了最低不投油稳燃负荷实验, 实验表明最低不投油稳燃负荷为 150 MW。

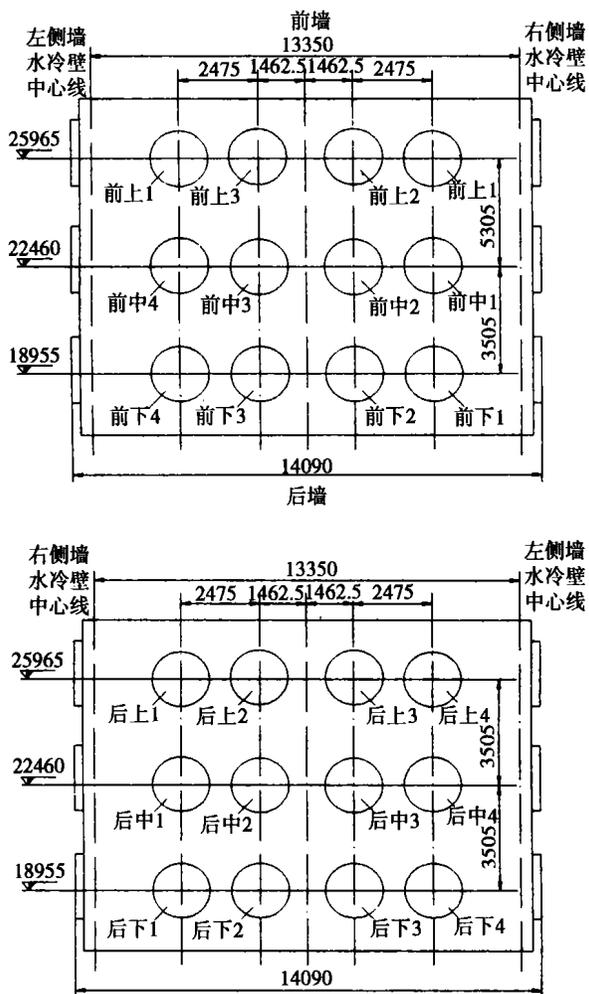


图 2 燃烧器编号

3 实验室冷态试验

为了研究内二次风叶片个数和一次风率对燃烧器空气动力特性的影响, 在实验室进行了冷态模化试验, 试验模型为原型燃烧器的四分之一。根据模化原理, 当保证速度进入自模区时, 只要保证一、二次风动量比与实际工况相吻合, 即可保证二者流动结构的相似性。在燃烧器出口下游的坐标架上绑有小飘带来显示气流流动方向。利用小飘带的指向标画出回流区的范围和气流扩展角。试验系统图如图 3。

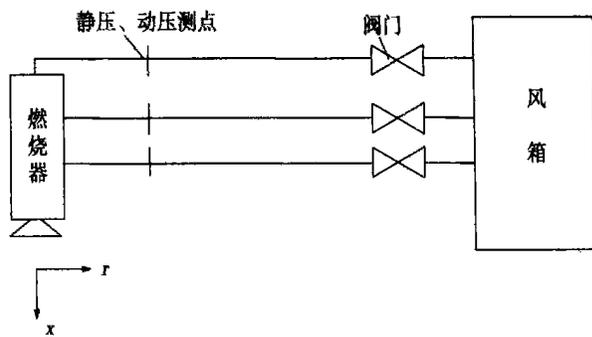


图 3 试验系统图

表 1 双调风燃烧器模型试验参数及结果

工况	燃烧器模型	n	α / $^\circ$	β / $^\circ$	u_1 / $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$	u_{2n} / $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$	u_{2w} / $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$	r_1 /%	r_2 /%	L_h / d_1	D_h / d_1	A_1 / $^\circ$
1	1号炉燃烧器模型	8	60	30	15.0	8.71	17.38	27.5	27.5	0	0	61.9
2	1号炉燃烧器模型	8	60	30	7.5	8.71	17.38	15.9	84.1	0.79	0.82	69.6
3	1号炉燃烧器模型	8	60	30	0	8.71	17.38	0	100	1.15	0.82	73.7
4	3号炉燃烧器模型	12	60	30	15.0	8.71	17.11	27.5	82.5	1.75	0.99	63.7
5	3号炉燃烧器模型	12	60	30	11.5	9.49	18.93	21.0	79.0	1.97	1.38	80.6

表 1 给出了冷态模化试验的试验参数和结果, 表中 n 为内二次风叶片个数, α 为内二次风叶片角度(内二次风叶片与轴向的夹角), β 为外二次风叶片角度(外二次风叶片与切线的夹角), u_1 为一次风喷口风速, u_{2n} 为内二次风喷口风速, u_{2w} 为外二次风喷口风速, r_1 为一次风率, r_2 为二次风率, d_1 为燃烧器模型最外层扩口直径($\Phi 304 \text{ mm}$), L_h 、 D_h 、 A 分别为中心回流区的长度、最大直径及射流扩展角。

图 4 给出了工况 1、2、3 的流场结构, 从图中看出, 对于 1 号炉 EI-DRB 燃烧器模型, 在一次风率为 27.5%(1 号锅炉实际运行工况)时, 没有出现回流区; 当一次风率从 27.5% 降到 15.9%(一次风量降低 50%)时, 出现较小的回流区, 扩展角增大; 当一次风率从 15.9% 降到 0%(一次风全关)时, 回流

区明显增大。图 5 给出了工况 4、5 的流场结构, 对于 1 号炉 EI-DRB 燃烧器模型, 在一次风率为 27.5% (1 号锅炉实际运行工况) 时, 没有出现回流区; 当一次风率从 27.5% 降到 21.0% (3 号锅炉实际运行工况) 时, 出现回流区, 扩展角增大。实验表明, 双调风燃烧器的回流区和扩展角随着一次风率的减小而变大, 一次风率是影响燃烧器出口流场的一个重要参数。

烧器实际运行工况的模化试验, 从图中可以看出工况 5 有大且稳定的回流区, 扩展角大, 工况 1 没有回流区, 这是由于 3 号炉双调风燃烧器具有 12 个内二次风叶片, 旋流强度大; 一次风率为 21.0%, 比 1 号炉的一次风率低 6.5%, 有利于回流区的形成。

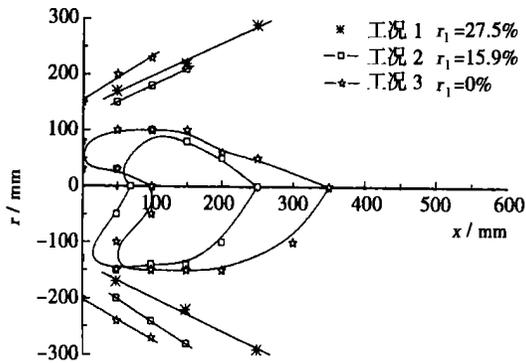


图 4 一次风率对双调风燃烧器模型 ($n=8$) 流场的影响

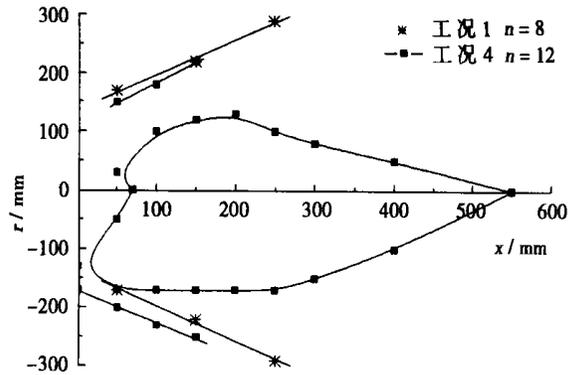


图 6 内二次风叶片个数燃烧器模型流场的影响

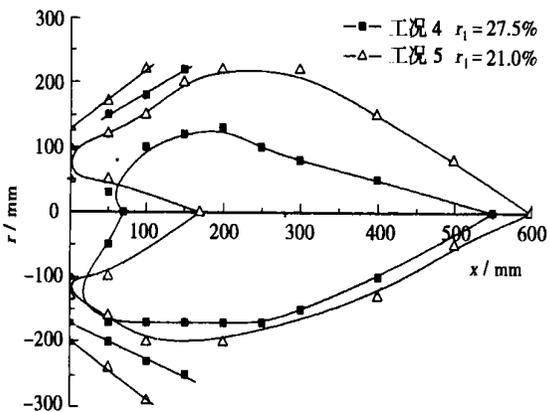


图 5 一次风率对双调风燃烧器模型 ($n=12$) 流场的影响

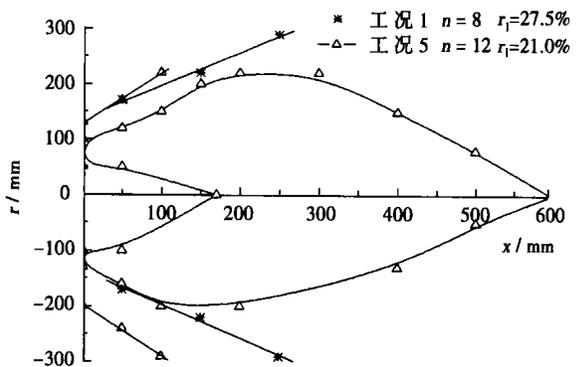


图 7 1 号炉和 3 号炉燃烧器模型对实际运行工况模化的流场的影响

图 6 给出了工况 1、4 的流场结构, 从图中可以看出, 当叶片角度和风量都保持不变时, 具有 8 个内二次风叶片的燃烧器模型没有回流区, 具有 12 个内二次风叶片的燃烧器模型有较大的回流区和扩展角。这是由于随着内二次风叶片的增加, 内二次风的遮盖度增加, 有利于增强内二次风的旋转能力, 从而引起回流区和扩展角变大。图 7 给出了工况 1、5 的流场结构, 工况 1 是对 1 号炉双调风燃烧器实际运行工况的模化试验, 工况 5 是对 3 号炉双调风燃

4 1 号、3 号炉空气动力场试验

为了考察在一次风率和内二次风叶片个数发生变化时, 燃烧器出口射流的特点, 在 2002 年 9、11 月分别对 3 号和 1 号锅炉进行了空气动力场试验。根据电厂所提供的在实际运行工况下一次风速、内二次风速和外二次风速, 按照等温模化原理得出模化的一次风速、二次风速。我们通过短飘带观察双调风燃烧器 (3 号炉的后下 4 和 1 号炉的前中 3) 的中心回流区和扩展角。试验参数和结果如表 2 所示, 表中 d_2 为燃烧器最外层扩口直径 ($\Phi 1216$ mm)。

表2 空气动力场试验参数和结果

工况	燃烧器模型	n	α /°	β /°	u_1 /m·s ⁻¹	u_{2n} /m·s ⁻¹	u_{2w} /m·s ⁻¹	r_1 /%	r_2 /%	L_h /d ₂	D_h /d ₂	A_1 /°
6	1号炉燃烧器	8	60	30	20.0	11.6	23.2	27.5	72.5	0	0	69.5
7	1号炉燃烧器	8	60	30	10.0	11.6	23.2	15.9	84.1	0.99	0.66	70.0
8	1号炉燃烧器	8	60	30	0	11.6	23.2	0	100	0.81	1.31	86.4
9	3号炉燃烧器	12	60	25	13.2	10.9	21.8	21.0	79.0	1.48	1.52	126.9

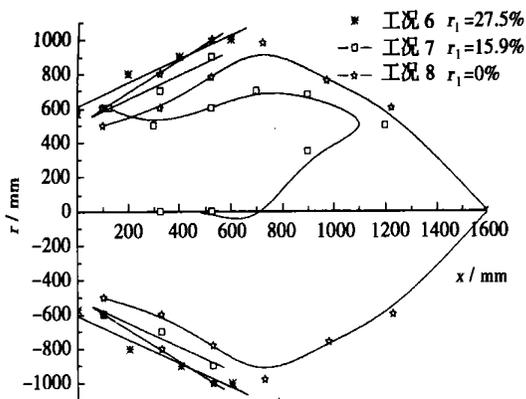


图8 1号炉双调风燃烧器的空气动力场

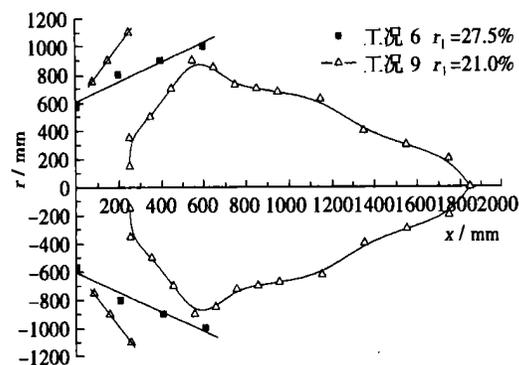


图9 1号炉和3号炉双调风燃烧器的空气动力场

图8是1号炉双调风燃烧器的空气动力场。从图中可以看出在一次风率为27.5%(1号锅炉实际运行工况)时,没有出现回流区。当一次风率从27.5%降到15.9%(一次风量降低50%)时,出现回流区,但此时的回流区发生偏移,当一次风率从15.9%降到0%(一次风全关)时,出现较大回流区。双调风燃烧器的回流区和扩展角随着一次风率的减小而变大。可以看出一次风率的变化会影响整个气流的旋转能力,导致回流区的变化。对于EI-DRB采用较小的一次风率可提高燃烧器火焰稳定能力。图9是1号炉和3号炉双调风燃烧器对实际运行工况进行模化的空气动力场。从图中可以看出,3号炉双调风燃烧器具有大且稳定的回流区

和扩展角,由于3号炉燃烧器的内二次风叶片比1号炉的燃烧器多4个叶片,旋转能力增强,有助于形成较大的回流区;3号炉实际运行的一次风率为21%,比1号炉低6.5%,也利于回流区的形成。

5 结论

通过实验台冷态模化试验和两台1025 t/h 锅炉空气动力场试验,可以得出:

(1) 具有12个内二次风叶片的双调风燃烧器能产生较大的回流区,回流区最大直径与燃烧器最外层扩口直径之比在1.38以上,回流区长度与燃烧器最外层扩口直径之比在1.48以上,扩展角大于80°,能卷吸足够多的高温烟气稳定燃烧。具有8个内二次风叶片的双调风燃烧器没有回流区,扩展角在61.9°和69.5°之间,不利于稳定燃烧。内二次风叶片个数是影响燃烧器空气动力特性的一个重要参数。

(2) 一次风率的变化会影响整个气流的旋转能力,燃烧器的回流区和扩展角随着一次风率的减小而变大。当一次风率从27.5%降到15.9%(一次风量降低50%)时,出现回流区;当一次风率从15.9%降到0%(一次风全关)时,出现较大回流区。采用较低一次风率的双调风燃烧器具有较大的回流区,有利于稳定燃烧。

参考文献:

- [1] 窦文字, 蒋宏利, 魏铜生, 等. 浓淡型双调风旋流燃烧器的空气动力特性研究[J]. 西安交通大学学报, 1998, 32(12): 34-38.
- [2] 魏铜生, 蒋宏利, 惠世恩, 等. 新型低NO_x浓淡型双调风旋流燃烧器的研究[J]. 动力工程, 2000, 20(1): 539-542.
- [3] 李志强, 李荣先, 崔龙铨, 等. 新型旋流煤粉燃烧器出口区域气固两相流场的PDA实验研究[J]. 电站系统工程, 1999, 15(13): 46-51.
- [4] 石伟, 周志军, 周俊虎, 等. 内二次风旋流强度对PAX燃烧器出口流场的影响[J]. 动力工程, 2003, 23(1): 2169-2172.
- [5] 金燕, 郑洽余, 徐秀清, 等. 多功能旋流燃烧器的工业性试验研究[J]. 工程热物理学报, 2002, 23(4): 526-528.
- [6] 秦裕琨, 李争起, 吴少华. 旋流煤粉燃烧技术的发展[J]. 热能动力工程, 1997, 12(4): 241-244.
- [7] LI ZHENG-QI, SUN RUI, CHEN LI-ZHE, et al. Effect of primary air flow types in particle distributions in the near swirl burner region[J]. Fuel, 2002, 81(6): 829-835.
- [8] LI ZHENG-QI, WAN ZHI-XIN, SUN RUI, et al. Influence of division cone angles between the fuel-rich and the fuel-lean ducts on gas-particle flow and combustion near swirl burners[J]. Energy, 2002, 27(12): 1119-1130.

(渠源 编辑)

火电机组负荷多模型鲁棒预见控制方法 = **Multi-model Robust Forecast Control of Thermal Power Plant Loads** [刊, 汉] / LI Yi-guo, SHEN Jiong, LU Zhen-zhong (Power Engineering Department, Southeastern University, Nanjing, China, Post Code: 210096), XUE Jing-yan (China Power Complete Equipment Co. Ltd., Beijing, China, Post Code: 100011) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2004, 19(2). — 186 ~ 190

A multi-model robust forecast control method is presented for the load control of thermal power plants. Under this method at first the fuzzy division of a load zone is conducted. Then, in each fuzzy sub-zone a corresponding structural-parameter perturbation model is set up, and a controller designed by using a robust forecast control method. The total control quantity is a weighted average of the output of these individual sub-controllers. Simulation results indicate that the above method makes it possible to let the load system obtain a good overall control performance. **Key words:** multi-model control, guaranteed performance control, forecast control, linear matrix inequalities

叶片数量和一次风率对双调风旋流燃烧器流场的影响 = **The Impact of the Blade Quantity and Primary-air Flow Rate on the Flow Field of a Dual-register Vortex Burner** [刊, 汉] / CHEN Zhi-chao, LI Zheng-Qi, SUN Rui (College of Energy Science and Engineering under the Harbin Institute of Technology, Harbin, China, Post Code: 150001), GAI Jian-yong (Xibaipao Power Generation Co. Ltd., Shijiazhuang, China, Post Code: 050021) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2004, 19(2). — 191 ~ 194

On a cold-state test rig and two 1025t/h boilers a cold-state test was conducted of the aerodynamic characteristics of a dual-register vortex burner with the use of a isothermal modeling method. The results of the test indicate that the ratio between the maximum diameter and length of the recirculation zone of the above-mentioned burner (which has 12 inner secondary air blades) on the one side and the outermost layer diameter on the other side is respectively higher than 1.38 and 1.48. The expansion angle is found to be greater than 80° . This results in a suction of sufficient high-temperature gas essential for the ignition of pulverized coal. When the burner is fitted with 8 inner secondary air blades, there is no recirculation zone and the expansion angle is between 61.9° and 69.5° . This condition is unfavorable to the achievement of a stable combustion. The adoption of a lower primary-air flow rate will result in a relatively large recirculation zone, which can be conducive to achieving a stable combustion. **Key words:** dual-register vortex burner, blade, primary-air flow rate, aerodynamic characteristics

水煤浆燃烧飞灰含碳量的影响因素及控制 = **Factors Having an Influence on Carbon Content in Fly Ash During the Combustion of Coal-water Slurry and Their Control** [刊, 汉] / YU Hai-miao, ZHAO Xiang, CAO Xin-yu (Education Ministry Key Laboratory of Clean Energy Utilization and Environmental Engineering, Hangzhou, China, Post Code: 310027) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2004, 19(2). — 195 ~ 197

Coal-water slurry is a kind of clean fuel with promising market demand. During its combustion the control of carbon content in fly ash remains a problem calling for due attention. Through a combustion test of coal-water slurry in Boiler No. 2 of Maoming Thermal Power Plant the authors have analyzed the various factors, which are believed to have an impact on the carbon content in fly ash. Such factors include concentration of coal-water slurry, atomization conditions, fuel characteristics, combustion modes, boiler load, excess air factor, etc. **Key words:** coal-water slurry, fly ash, carbon content, combustion, atomization

基于数据融合的球磨机最佳负荷工作点判断 = **Data Merging-based Determination of the Optimal-load Operating Point of a Ball Mill** [刊, 汉] / TIAN Liang, ZENG De-liang, LIU Xin-ping, LIU Ji-zhen (Automation Department,