

新型双流化床锅炉运行煤种变换仿真试验研究

(清华大学 热能工程系, 北京 100084) 赵 建 索沂生 蒋滋康 顾旭斌

摘 要: 在所建立的循环双流化床锅炉通用数学模型的基础上, 作为流化床仿真领域内一种新的尝试, 进行了煤种变换的仿真试验, 为流化床的设计、运行提供有益的信息和方向性的指导。

关 键 词: 仿真; 试验; 流化床; 煤

中图分类号: TK229.66 文献标识码: A

1 引言

流化床锅炉在工业生产中的地位日益重要, 循环双流化床则是近年来流化床锅炉发展的一个重要趋势。影响流化床燃烧效率的因素很多, 如流化速度、燃煤性质、布风装置、流化质量、给煤方式、床温、运行水平及床体结构等。结合四川资阳 431 厂安装的四川东方锅炉厂的 DG10-1.25/250-1 型循环双流化床锅炉的实际仿真控制工程项目, 建立了包括燃烧、汽水蒸发、风烟系统在内的循环双流化床锅炉通用数学模型。利用此模型, 可建立不同型号循环双流化床的确定模型。

在锅炉的实际运行过程中, 为了使其保持最佳的运行床温, 需定期测定给煤成分, 以调整给煤筛分。尤其当锅炉试用新煤种时, 常常需要经过较长时间的试验燃烧, 来反复调整给煤颗粒度的组成, 才能获得稳定的经济的运行方式。对于本仿真的循环双流化床锅炉, 采用的是 0-8 mm 的宽筛分煤粒, 煤质对燃烧效率的影响非常大。作为流化床仿真领域内一种新的尝试, 在本系统上进行了煤种变换的仿真试验, 希望为流化床的设计、运行提供有益的信息和方向性的指导。

表 1 两种煤质的成分 %

	碳	氢	氧	硫	灰分	水分	挥发分	氮
标准煤种	46.55	3.06	6.11	1.94	32.48	9.0	38.5	0.86
新煤种	42.28	2.69	4.26	0.24	46.0	3.77	24.4	0.52

本建模对象的设计煤质为 II 类烟煤, 现将煤种变换为另一种比较具有代表性的低挥发性煤。两种煤质的主要区别在于新煤种的挥发分及碳元素的含量降低而含灰量增加了, 燃烧热值低于标准烟煤。

两种煤质的成分见表 1:

2 新型 DG10-1.25/250-1 循环流化床锅炉

DG 型循环双流化床锅炉是东方锅炉厂在设计、制造鼓泡床的基础上, 总结了国内鼓泡床锅炉的经验, 吸取了国外第二代循环流化床燃烧技术而研制的新一代适应中国特点的工业锅炉, 是传统链条炉的换代产品。此型锅炉的主要特点是无埋管的主床配合特殊控温方法, 可以烧各种燃料, 负荷调节范围宽, 低负荷性能好, 可以适应各种工业负荷的变化, 可靠性能高; 较大的炉膛容积加以一个燃烧飞灰的副床, 使飞灰燃烧完全, 热效率高; 燃烧过程稳定, 调节灵活, 操作方便, 点火压火容易。

DG10-1.25/250-1 型是 DG 10 系列中的一种。该流化床锅炉的设计规范见表 2:

表 2 锅炉设计规范

形式	燃烧方式	蒸发量	过热蒸汽压力	过热蒸汽温度	给水温度	锅筒压力
循环双床	沸腾燃烧	10 t/h	1.25 MPa	250 °C	104 °C	1.30 MPa

根据系统结构, 本流化床可分为三个子系统: 燃烧系统、汽水蒸发系统、风烟系统。

2.1 燃烧系统

煤质要求为 8 000~30 000 kJ/kg 的各种烟煤、贫煤、无烟煤、褐煤、洗矸等。其设计代表煤种为标准 II 类烟煤, 燃料特性要求见表 3, 4:

表 3 标准 II 类烟煤成分 %

碳	氢	氧	硫	氮	灰分	水分	挥发分
46.55	3.06	6.11	1.94	0.86	32.48	9.0	38.5

表 4 煤粒筛分特性

粒径/μm	100	200	400	800	1 200	2 000	3 750	7 000
百分比/%	20	20	15	10	10	10	10	5

2.2 汽水蒸发系统

根据烟气流程, 蒸发系统部件依次为: 前后水冷却壁、副床埋管、过热器、对流排管、省煤器。系统额定工况参数见表 5:

表 5 汽水蒸发系统额定参数

名称	悬浮室	燃尽室	过热器	对流管	省煤器	单位
受热面积	19.6	7.55	29.4	238	283.2	m ²
烟气进温	950	893	850	732	270	°C
烟气出温	893	850	732	270	155	°C
工质进温	194	194	194	194	104	°C
工质出温	194	194	250	194	142	°C
烟气流速	—	—	7.63	5.43	7.0	m/s
工质流速	—	—	—	—	0.52	m/s
烟道出口过剩空气系数	0.993	1.25	1.3	1.45	1.75	—

2.3 风烟系统

系统设有两台送风机和一台引风机。风机性能参数见表 6:

表 6 风机性能参数

	主床送风机	副床送风机	引风机
最大流量/m ³ ·h ⁻¹	9 662	3 000	25 000
额定流量/m ³ ·h ⁻¹	7 742	2 083	23 990
转速/r·min ⁻¹	2 900	1 450	1 450
压头/kPa	9.43	6	3
功率/kW	45	7.5	37

注: 表中(m³·h⁻¹)为标准立方米每小时

3 仿真试验

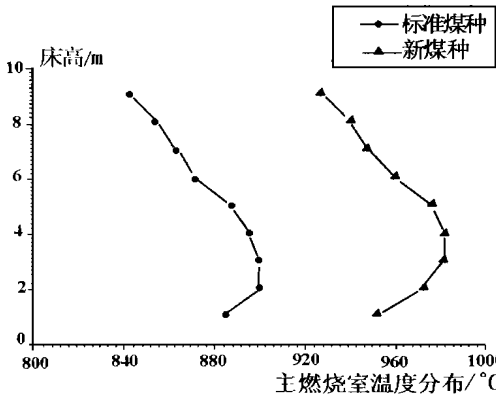


图 1 主燃烧室温度分布变化

保持给煤筛分不变, 保持锅炉的额定热负荷以及供风过量空气系数不变, 流化床各系统的运行、操作条件不变。观测流化床运行的变化情况。

图 1 和图 2 为煤种变化前后, 主、副燃烧室温度的变化情况。

主床: 标准煤种的温度分布范围为 920 °C~980 °C, 床层温度为 950 °C; 而新煤种的温度分布范围为

840 °C~900 °C, 床层温度为 880 °C。

副床: 标准煤种的温度分布范围为 860 °C~900 °C, 床层温度为 870 °C; 而新煤种的温度分布范围为 920 °C~950 °C, 床层温度为 920 °C。

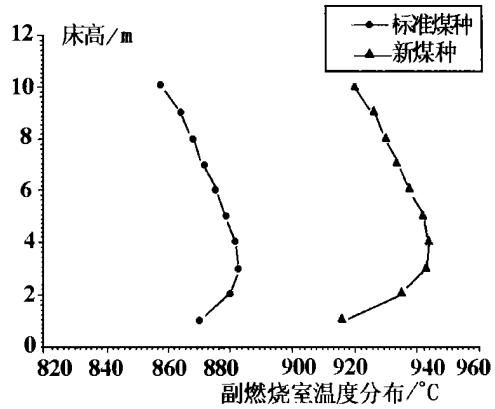


图 2 副燃烧室温度分布变化

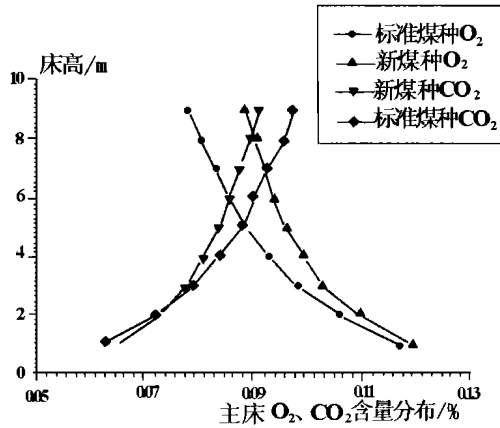


图 3 主燃烧室内 O₂、CO₂ 分布变化

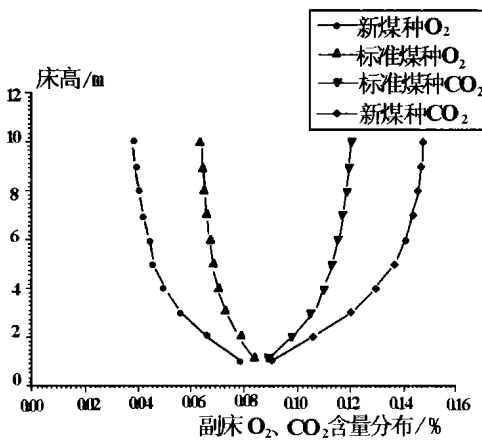


图 4 副燃烧室内 O₂、CO₂ 分布变化

可见煤种的变化对流化床运行温度的影响确实是很大的, 新煤种的变换使主燃烧室温度有较大幅度的下降, 而副燃烧室温度则有较大幅度的升高。

这种变化可以用煤种的差异和流化床燃烧规律来解释。根据煤粒燃烧特点, 主床煤粒燃烧放热的很大一部分来自于挥发分燃烧放热,

新煤种由于挥发分的含量偏低必然使主燃烧室内的燃烧份额降低而使副燃烧室的燃烧份额增加。在保

持同等锅炉热负荷的前提下,将导致主床温度下降,副床温度上升。

图3和图4为煤种变化前后,主、副燃烧室内部氧气、二氧化碳含量的变化情况。

主床:标准煤种氧气范围为12%~8%,二氧化碳范围为6%~10%;而新煤种的氧气范围为12%~9%,二氧化碳范围为6%~9%;

副床:标准煤种氧气范围为8.5%~6%,二氧化碳范围为9%~12%;而新煤种的氧气范围为8%~4%,二氧化碳范围为9%~15%;

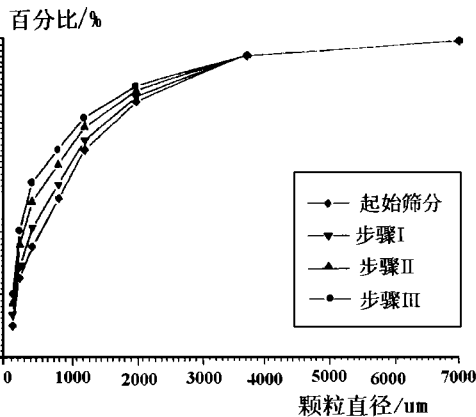


图5 颗粒筛分的变化情况

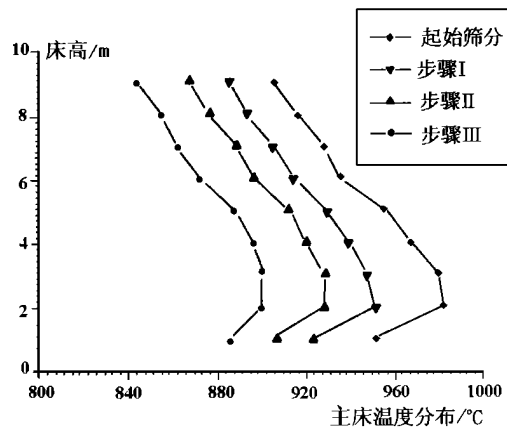


图6 颗粒筛分变化引起主燃烧室温度分布的变化

消耗增加了,这显然受到主、副燃烧室燃烧份额变化的影响。

第二阶段:逐步调整给煤颗粒的筛分,调节流化床运行温度至最佳条件。

从图5可清楚地看出颗粒筛分的逐步调整过程。调整的总趋势是减少细颗粒的质量份额,增加大颗粒的质量份额。在同等给风量的条件下,随着

由于保持供风过量空气系数不变,流化床供风量根据煤质进行了调整,因此煤种的变化对炉膛内烟气含量的影响相对较小。使用新煤种后,主床的氧气消耗降低而副床的氧气

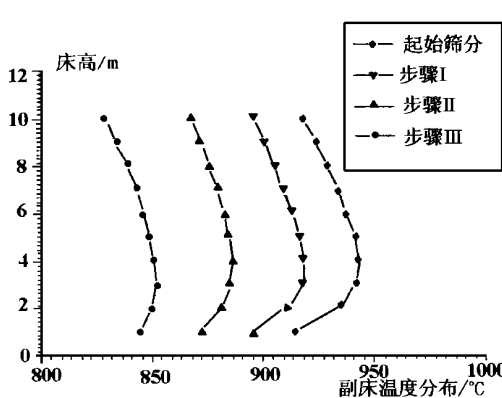


图7 颗粒筛分变化引起副燃烧室温度分布的变化

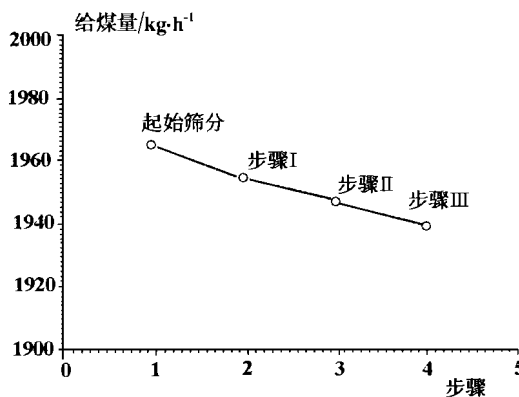


图8 颗粒筛分变化后保持锅炉满负荷给煤量的变化

表7 新煤种的颗粒起始筛分和筛分调整

	粒径/um	100	200	400	800	1200	2000	3750	7000
起始筛分	百分比%	20	20	15	10	10	10	10	5
调整步骤I	百分比%	17	18.5	13.5	11.5	11.5	11.5	11.5	5
调整步骤II	百分比%	13.5	15.5	12	13.5	13.5	13.5	13.5	5
调整步骤III	百分比%	10	15	10	15	15	15	15	5

图6显示了主床运行温度发布随筛分调整的变化过程。随着主床燃烧份额增加,温度分布曲线逐步右移,直至调整到最佳流化床运行温度。从图7可看出,在此调整过程中,副燃烧室温度逐步下降,当主床达到最佳运行温度时,副床温度降至850℃左右,仍能维持正常燃烧。图8说明流化床运行条件改善后,锅炉运行效率有所提高。在维持相同热负荷条件下,床层运行条件越好,给煤输入量越少。

表8将标准煤种和新煤种的最佳筛分进行了比较:

(下转 271 页)

器引射后,混合气体的压力低于压气机出口的压缩空气的压力。在 g_s 不变时, d_p 随 rbc 的增加而下降。 g_s 小于设计状态点, rbc 对 d_p 的影响程度急剧上升。如图 4, 在 rbc 不变时, g_s 增大, T_c 下降; 在 g_s 不变时, rbc 增大, T_c 上升。并且在功率输出不变时, 无论 g_s 、 rbc 怎样偏离设计状态点, 对 T_c 的影响程度相差不多。

由以上分析可以看出, 在回注比小于设计状态点的情况下, 气体喷射器出口压缩气体压力的变工况性能较差, 此时气体喷射器发生了阻塞现象, 工作流体已无法引射所要求的引射流体流量, 并回注比越小, 阻塞现象越严重。而回热比大于设计值时, 尽管也可能发生阻塞现象, 但由图中可以看出, 其影响并不很大。在实际应用中, 应尽量避免阻塞现象的发生, 使喷射器的出口参数能达到最佳值。而正是由此, 当注蒸汽阀关闭后, 喷射器已无法引射空气, 空气自动流入燃烧室而不流经回热器, 排除了超速现象, 能够解决回热所带来的动态响应问题。

5 结论

研究结果表明:

- (1) 为了满足 PRSTIG 循环对喷射器的要求, 采用气体喷射器较为适宜。
- (2) 对应用于 SIA-02 PRSTIG 试验装置的气体喷射器进行了优化设计, 建立了回热比、回注比、气体喷射器出口温度气体温度和压力间的关联。
- (3) 喷射器的变工况分析表明, 对于某一已设计完成的 PRSTIG 系统存在一个最小回注比, 因此 PRSTIG 循环更适用于长期以稳定工况工作的机组。

参考文献

- [1] Shigekazu Uji. Partial regenerative steam injected gas turbine. ASME, 1996-GT-331.
- [2] Е Я 索科洛夫, Н М 津格尔. 喷射器. 北京: 科学出版社, 1977.

(渠源 编辑)

(上接 266 页)

表 8 标准煤种和新煤种的颗粒最佳筛分

	粒径/ μm	100	200	400	800	1 200	2 000	3 750	10 000
标准煤种	百分比%	20	20	15	10	10	10	10	5
新煤种	百分比%	10	15	10	15	15	15	15	5

4 结论

通过煤种变换试验, 可得到以下几点有益的结论:

- (1) 煤种挥发分含量的多少是影响流化床运行的重要因素, 煤种热值高低相对影响较小。对于低挥发分煤质, 调整筛分的总原则是减少细颗粒份

额, 从理论上讲, 特指可被夹带出主床的那部分细颗粒。对于高挥发分煤质, 可参照调整主、副床燃烧份额的原则, 进行减少粗颗粒份额的调节。

- (2) 调整细颗粒份额过程中, 调整小粒径颗粒份额对流化床运行的影响要大于对稍大粒径的调整。因此, 在粗调阶段, 主要调整小粒径颗粒份额, 而在细调阶段, 主要调整稍大粒径颗粒份额。

- (3) 利用循环双流化床锅炉的仿真模型和仿真运行试验, 可以得到煤种改变后煤的最佳筛分组成, 大大缩短了现场调试时间, 提高了运行的经济性。

(渠源 编辑)

China, Post Code 210096) // *Journal of Engineering for Thermal Energy & Power*. — 2000, 15(3). — 252 ~ 255

An experimental study was conducted of the nozzle button temperature distribution on a fluidized bed test facility under start-up conditions with the under-bed ignition being carried out with the help of high-temperature gases. The heat resistance of the material used for the nozzle button is also assessed. In view of the increasing use of under-bed ignition mode for the start-up of fluidized bed boilers the above study is of great significance in providing guidance for practical engineering applications. **Key words:** temperature distribution, nozzle button, fluidized bed

压气机进气用雾化式蒸发冷却器实验研究 = **Experimental Study of a Fog-atomizing Evaporative Cooler for Compressor Inlet Air** [刊, 汉] / Lin Feng, Li Weishun, Xiao Dongmin, Wen Xueyou (Harbin No. 703 Research Institute, Harbin, China, Post Code 150036) // *Journal of Engineering for Thermal Energy & Power*. — 2000, 15(3). — 256 ~ 259

From an experimental viewpoint a study has been performed of evaporative coolers for the cooling of compressor air. Discussed are some methods for measuring the wetness of water drop-containing air. With respect to different schemes of wetness addition by way of evaporation at a constant temperature the authors have investigated the effect produced by different water spray quantity on the evaporative cooling effectiveness. An experimental analysis is also conducted of the evaporative cooling effectiveness resulting from the different types of atomizing nozzles under different spray directions. **Key words:** compressor, inlet air cooling, heat transfer, mass transfer, evaporative cooler

中心进气旋转盘的冷却效果实验研究 = **Experimental Study of the Cooling Effectiveness of a Rotating Disc with a Central Cooling-air Feed** [刊, 汉] / Xu Guoqiang, Ding Shuiting, Tao Zhi, *et al* (Power Engineering Department under the Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing, China, Post Code 100083) // *Journal of Engineering for Thermal Energy & Power*. — 2000, 15(3). — 260 ~ 263

With regard to the cooling of turbine engine high-temperature components it is essential to meet the following main requirements: a minimal overall temperature of the hot components and a minimal temperature difference within the various parts of the hot components. In view of the foregoing one has to address the above-cited main requirements in addition to the study of convection heat transfer factor of the disc surface. In the present paper an engine turbine disc has been simplified to a rotating disc model with a central cooling-air feed. Under this simplification an experimental study is conducted of the effect of rotating Reynolds number, air inlet Reynolds Number, disc cowl clearance ratio and outlet air clearance ratio on the non-dimensional excessive body average temperature and non-dimensional radial temperature difference. In addition, a relevant criterion relation has also been given in the paper. **Key words:** rotating disc, heat exchange, non-dimensional excessive body average temperature, non-dimensional radial temperature difference

新型双流化床锅炉运行煤种变换仿真试验研究 = **Experimental Study of the Simulation of Fired-coal Rank Variation for a New Type of Double Fluidized-bed Boilers** [刊, 汉] / Zhao Jian, Suo Yisheng, Jiang Zikang, *et al* (Department of Thermal Engineering, Qinghua University, Beijing, China, Post Code 100084) // *Journal of Engineering for Thermal Energy & Power*. — 2000, 15(3). — 264 ~ 266, 271

A general mathematical model has been set up for a circulating double fluidized-bed boiler. On this basis a simulation test of the fired-coal rank variation was performed as a new pioneering attempt in the area of fluidized-bed boiler simulation. The results obtained can serve as useful information and data for the design and operation of fluidized beds, providing guidance for their further advancement. **Key words:** simulation, test, fluidized bed, coal

工业汽轮机增容改造技术研究 = **Technical Study of a Power Output Up-rating-oriented Modification of Industrial Steam Turbines** [刊, 汉] / Qin Xiaocheng, Gao Lei, Qiu Zufa (Harbin No. 703 Research Institute, Harbin, China, Post Code 150036) // *Journal of Engineering for Thermal Energy & Power*. — 2000, 15(3). — 267 ~ 268

Described in this paper is the technical modification of a Model EC-301T steam turbine for enhancing its rated power output by 15%. The power up-rating of the steam turbine has been achieved through a technical modification of such components as nozzle box, diaphragms and couplings, etc. However, the steam turbine rotor has been kept unchanged. **Key**