

无烟煤沸腾床锅炉掺烧煤矸石的分析

(松藻矿务局发电厂, 四川 重庆 401445) 胡荣权

摘要: 对沸腾床锅炉中无烟煤掺合矸石燃烧时混合燃料粒径的合理分布情况、掺矸比例和因之产生的料层厚度、风室静压及除尘脱硫等问题进行分析, 对高硫无烟煤矿小装机容量火电站的资源综合利用有一定借鉴意义。

关键词: 沸腾床锅炉; 无烟煤; 分析

中图分类号: TK229.6⁺6 文献标识码: A

1 前言

国际能源发展状况及环境保护问题的发展使得我国的能源结构产生较大幅度的调整, 根据国家颁布的新政策, 小装机容量的火电站属于关停范围。一些煤矿自备电厂尤其是南方高硫高热值无烟煤矿自备电厂面临继续生存的问题。作为环境保护和能源再利用的另一个方面, 如何有效消化煤矿生产中排出的矸石也逐渐摆上议事日程。将无烟煤掺合矸石, 使其达到国家要求的低热值 12 5448 MJ/kg 的情况下进行混合燃烧, 不失是一种理想的解决办法。然而如何就原有沸腾床锅炉对混合燃料进行有效燃烧, 解决分层燃烧和除尘脱硫问题, 是电站正常运行的前提条件。本文在 DG35/3.82-13 型锅炉资源综合利用认证成功的基础上, 对这些问题进行分析。

2 对混合燃料粒径分布的分析

对沸腾床锅炉而言, 本身具备燃烧低热值燃料的条件, 但若就原有的筛分破碎系统对混合燃料进行加工, 必然存在筛分宽度过宽的现象。如果矸石与无烟煤经过相同的筛分破碎系统, 获得相同的粒径分布(由于无烟煤和矸石的可磨性系数的不一致, 无烟煤的粒径更小), 则对粒径为 d 、重度为 r 、固定床空隙率为 ϵ 的燃料, 在粘性系数为 γk 、重度为 rk 、速度为 W_k 的空气中的流动情况, 有:

$$Re = Ar \times \epsilon^{4.75} / [18 + 0.6(Ar \times \epsilon^{4.75})^{0.5}]$$

$$\text{其中 } Re = W_k \times d / \gamma k$$

$$Ar = r \times g \times d^3 / rk \times \gamma k^2$$

根据上式可以求出临界风速函数 $W_{k, \text{临}} = f(\epsilon^{4.75} \times r/g)$ 及极限风速函数 $W_{k, \text{极}} = f(r/g)$ (此时取 $\epsilon = 1$)。对两函数分别以 $(\epsilon^{4.75}/g)$ 及 (r/g) 为自变量求导, 其导函数均大于零, 原函数为增函数。所以, 获得相同的沸腾状态, 矸石要求的布风大于原煤的布风。如果两者经过相同的筛分破碎系统, 会明显地导致筛分宽度的扩大, 从而造成分层燃烧。若控制风量以保证煤粒的正常沸腾, 则易因矸石沸腾不良而导致结焦; 如控制风量以保证矸石的正常沸腾, 则会进一步加大混合燃料中煤的扬析, 增大飞灰不完全燃烧热损失, 且火焰中心上移, 易使过热器超温。所以, 掺矸燃烧必须对无烟煤和矸石进行分别破碎和均匀混合, 以获得比较一致的沸腾效果。

根据异相燃烧理论, 燃料颗粒燃烧反应的速度 W 为:

$$W = W_k \times Co = \beta \times k \times Co / (\beta + K)$$

按阿伦尼乌斯定律

$$K = Ko \times \exp(-E/R/T)$$

按扩散原理

$$\beta = Nu \times D/d = A \times Re^n \times D/d \text{ (对气体介质而言)}$$

其中 co 为燃料反应表面的反应气体速度; k 为化学反应速度, 其值与温度有关; β 为传质系数, D 为扩散系数, Nu 为努谢准数; E 为燃料的活化能。根据实验在 $Re > 100$ 时, $A = 0.7$, $n = 0.5$ 。所以, 因为原煤与矸石分别破碎后矸石粒径的减小, 使得其传质系数 β 增大, 从而强化了矸石的扩散燃烧反应速度, 同时结合比表面积的增加, 对难以燃烧的低热值矸石而言, 提高了燃尽程度。

3 对混合燃料掺矸比例的分析

无烟煤掺矸后混合燃料燃烧特性的变化主要表现在水分和硫分的增加, 及氢基、挥发分和低位热值的降低。从燃烧效率的角度看, 水分和氢基的变化使

(下转 319 页)

末级叶片长度比钢叶片可增加 40%，因而透平效率可提高 1%；对于核电机组可提高效率更多，可达 2%^[1]。另外，钛合金在腐蚀性环境中抗蚀性能好。国外已将钛合金用于制作末级长叶片。前苏联最早应用，已将钛合金叶片用于 800 MW 或更大功率的透平产品上。德国、瑞士、美国、日本等也竞相应用且有较快发展。西屋公司早在 1972 年就完成了整级钛合金叶片的安装，末级叶片 585 毫米已广泛应用于 100 MW 机组中，随后又将 725 毫米钛合金叶片用于低压透平中^[1]。日本三菱重工已锻造出 1016 毫米的钛合金叶片^[4]。更长的钛合金叶片正在研制中。

虽然钛合金有前述众多优点，制作和成本也不造成特别大的问题，但是，钛合金叶片可能会遇到的一个问题是钛合金的阻尼系数比钢的低。虽然材料阻尼只占系统阻尼的一部分，但钛合金叶片的机械阻尼也较低（日立公司近年来通过拉金处的凸台和叶顶处围带的持续接触来提高机械阻尼，该方法行

之有效^[5]，使提高钛合金叶片的机械阻尼成为可能）。因此，在采取措施提高钛合金的材料阻尼和系统阻尼之后，钛合金叶片将会有广阔的应用前途。

参考文献

- [1] 彭逢楚译. 用于蒸汽轮机叶片的 Ti—6Al—4V 合金材料. 国外透平——叶片材料专辑. 德阳: 东方汽轮机厂. 1985, 25.
- [2] T. M. 拉斯特, B. B. 赛施, R. E. 瓦尔耐. 钛合金汽轮机叶片的运行经验. 美国西屋公司汽轮机技术文集. 上海: 上海汽轮机厂. 1982.
- [3] 马辉, 王曼惠. 汽轮机末级长叶片用钛合金的减振研究探讨. 汽轮机技术, 1994, 36(4): 250~253.
- [4] 伊藤英勇, 通渡健明, 藤田民雄, 荒木良一郎. 汽轮机用钛经验—介绍神户制钢所加古川制铁厂 5 号机(5 万千瓦)机组实况. 火力原子力发电, 1980, 31(9): 49~62.
- [5] Kuniyoshi Tsubouchi, Yoshio Shikano, Naoaki Shibushita Shigeyoshi Nakamura Performance improvement of steam turbines International Conference on Thermodynamic Analysis and Improvement of Energy Systems, TAIES 97, 1997.

(渠 源 编辑)

(上接 314 页)

混合燃料在炉内燃尽所需的时间延长；无烟煤在燃烧过程中不断爆裂的特性和矽石着火更加缓慢的影响，使混合燃料在燃烧过程中粒径分布再次相对拉宽；低位热值的降低和较大的重度使大风量运行和多排渣成为必然。从燃烧的角度而言，矽石的燃烧值低于无烟煤，所以掺矽石燃料的能级下降。因此，为保证热效率，必须控制加矽比例。

从锅炉稳定燃烧和系统正常运行角度看，由于燃料量的增加（飞灰和排渣也增加）及水分和硫分的变化，使得燃料运输系统和除灰系统、锅炉本体、烟道及引风机的磨损和腐蚀加剧。矽石在高温下粘结性与无烟煤的差异及着火更加缓慢的特点，和因共生硫铁矿的因素造成炉膛内 FeS 的产生，使得燃烧控制难度加大。所以，为保证锅炉稳定燃烧和系统正常运行，也应该控制加矽比例。

4 风室静压和料层厚度的变化情况

混合燃料比之于无烟煤燃烧，需加大给料量，结合混合燃料灰分大不易燃烧的因素，决定了炉渣量的增加，这必然导致料层厚度 h 的增加，对于风室静压 Δp ，有：

$$\Delta p = r \times h_{\text{固定床}} \times (1 - \epsilon_{\text{固定床}}) = r \times h_{\text{沸腾床}} (1 - \epsilon_{\text{沸腾床}})$$

又因为分别破碎的混合燃料相对于原煤，重度 r 增加，几何粒径 d 分布的加宽使固定床空隙率 ϵ_0 下降，这都导致 Δp 的增加。了解料层厚度和风室静压的变化，有助于指导锅炉的正常运行。同时对工作在 Q_1

H 曲线下降段的送风机而言，这相当于增加了管道阻力，使得风机的运行工况点向高压风低风量的方向移动。所以，应该从原有风机的出力是否满足运行要求的角度来考虑加矽的比例。

5 混矽燃烧的除尘和脱硫

混矽燃烧使烟尘排放量和烟尘中硫份的增加，这必然使除尘和脱硫系统的负荷增加，加速了对设备的磨损和腐蚀。在除尘和脱硫为同一环节的工艺流程，如除尘脱硫麻石塔，因为亚硫酸钙的形成及灰水的沉淀，加速了除灰水管和除尘脱硫麻石塔的堵塞，容易影响除尘和脱硫的效果，造成锅炉正压运行，缩短运行周期。

6 结论

(1) 一般而言，对原有的沸腾床锅炉可以掺烧矽石，达到国家资源综合利用的要求。

(2) 在掺烧矽石时，为保证锅炉的正常运行，应该对原煤和矽石分别破碎和筛分。

(3) 在达到国家资源综合利用认证要求的前提下，从系统的角度考虑，应该控制加矽比例，必要时需要对不能满足运行要求的辅机进行改换。

(4) 对高硫份无烟煤掺烧矽石所进行的炉外烟气除尘脱硫，应该在工艺上把除尘和脱硫两个环节分开，以保证系统较长的运行周期。

(何静芳 编辑)

Chen Ze, Wu Laigui (Guangdong Provincial Electrical Power Bureau, Shenzhen, Guangdong, China, Post Code 5181202) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2000, 15(3). — 309 ~ 311

This paper focuses on the specific features of the operation, maintenance and shutdown of a bypass stack-less gas and steam turbine combined cycle power plant. Discussed is the main difference among such a power plant, a thermal power plant, and other combined cycle power plants fitted with a bypass stack. In addition, some experiences gained during the bypass stack-less power plant's operation, maintenance and shutdown have been summed up, providing a useful guide for relevant designers and operating workers alike. **Key words:** absence of bypass stack, combined cycle power plant, power plant operation and maintenance

集中供热系统中的分户供热和热量计算 = **Heat Supply on a Household Basis and Metering of the Heat thus Supplied in a Central Heat Supply System** [刊, 汉] / Xu Fuchang (Qingdao Architectural Engineering Institute, Qingdao, Shandong, China, Post Code 266033) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2000, 15(3). — 312 ~ 313, 321

The author proposes a heating system design scheme incorporating such functions as heat supply on a household basis and metering of the heat thus supplied on a household basis. Meanwhile, an effective metering of the heat supplied can be implemented by the use of a simple hot-water meter. **Key words:** heat supply on a household basis, metering of heat supplied on a household basis, regulation of heat supplied, design scheme

无烟煤沸腾床锅炉掺烧煤矸石的分析 = **An Analysis of the Burning Process in a Fluidized-bed Boiler Firing Anthracite Mixed with Gangue** [刊, 汉] / Hu Rongquan (Songzao Mining Bureau Power Plant, Chongqing, Sichuan, China, Post Code 401445) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2000, 15(3). — 314, 319

An analysis was conducted of a fluidized-bed boiler firing anthracite mixed with gangue. The analysis covers the following aspects: rational distribution of mixed fuel particle diameter, the quantity of gangue to be mixed with the anthracite and the resulting bed-material layer thickness, air chamber static pressure, dust removal and desulfurization, etc. The results of the analysis may serve as a guide for achieving the comprehensive utilization of resources during the construction of small-sized thermal power stations in the neighborhood of a high sulfur-content anthracite mine. **Key words:** fluidized bed boiler, anthracite, analysis

小型燃气锅炉尾部烟道的腐蚀机理及预防 = **Mechanism of the Boiler-Tail Flue Corrosion of a Small-sized Gas-fired Boiler and Proper Measures Taken to Cope with such Corrosion** [刊, 汉] / Zhao Yan, Lu Guangfa (Heilongjiang Machinery Building School, Harbin, China, Post Code 150080) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2000, 15(3). — 315 ~ 316

Described in this paper is the corrosion phenomenon occurring at the tail-portion flue of a gas-fired boiler. The cause of this corrosion is analyzed and some measures to cope with it are proposed from the viewpoint of boiler structure and operation management, thus providing some useful hints for boiler designers and operation/management personnel. The measures proposed can be likewise applied to oil-fired boilers. **Key words:** gas-fired boiler, boiler flue corrosion, preventative measures

用于汽轮机叶片的钛合金材料—Ti-6Al-4V = **Titanium Alloy Ti-6Al-4V, a Metal Used for the Fabrication of Turbine Blades** [刊, 汉] / Tu Shan, Sun Bi, Mao Jingru (College of Energy Sources and Power Engineering under the Xi'an Jiaotong University, Xi'an, Shaanxi, China, Post Code 710049) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2000, 15(3). — 317 ~ 319

The uprating of a steam turbine power output will necessitate the increase in area of the turbine last-stage flow path and an enhancement in blade corrosion-resistance. The chrome alloy steel blades currently in use can hardly meet the relevant requirements. Hence, it is essential to conduct a comprehensive research for the application of blades made of titanium alloys. The present paper gives a brief description of the properties and the use of titanium alloy blades. **Key words:** steam turbine, last-stage blade, titanium alloy