

油页岩循环流化床锅炉返料系统调节特性试验研究

(哈尔滨工业大学) 姜秀民 李爱民 秦裕琨

(东北电力学院) 王擎 秦宏 李润东 李学恒 郝志金 孙键

[摘要] 在我国首台油页岩循环流化床锅炉上进行了 U 型返料器调节特性的工业试验,研究了 U 型返料器的启动特性,流化风和松动风数量对 U 型返料器工作性能的影响,并且给出了保证返料系统稳定运行所需的流化风、松动风最小极限风量。讨论了 U 型返料器具有良好调节品质的流化风和松动风组合调节方式,其结果可用于指导油页岩循环流化床锅炉的运行,亦可供大型循环流化床锅炉运行调节借鉴。

关键词 U 型返料器 非机械阀 循环流化床锅炉 调节 油页岩

中图分类号: TK223.72

1 油页岩循环流化床锅炉物料循环系统

东北电力学院负责、会同西安热工研究院、东方锅炉厂共同承担电力工业重点科技项目,成功开发出我国最大容量的油页岩循环流化床锅炉。三台 65t/h 油页岩循环流化床锅炉安装于吉林省桦甸市热电厂,首台锅炉 1996 年 8 月 18 日启动运行。该锅炉的物料循环系统主要由燃烧室,中温(525℃)旋风分离器,灰斗和返料系统组成。返料系统由立管, U 型返料器和返料斜管组成。锅炉运行过程中,大量固体颗粒从燃烧室被烟气携带进入旋风分离器,在分离器内进行气固两相分离,由分离器分离下来的固体颗粒通过料斗进入返料系统,再由返料系统送入锅炉中实现固体物料的循环,见图 1。锅炉燃烧室的设计应在保证燃料稳定燃烧的前提下,能输送一定量和一定粒径范围的固体物料,分离器的设计和布置是保证其具有较高的固体颗粒的分离效率,满足循环流化床锅炉正常运行时循环倍率的要求,而返料系统的设计应根据锅炉的运行要求,即在锅炉整个运行范围内,根据床温的要求控制循环灰向炉内的输入量。另一方面,当锅炉负荷发生变化或改变炉膛的热输入量时,不但要同时改变送入锅

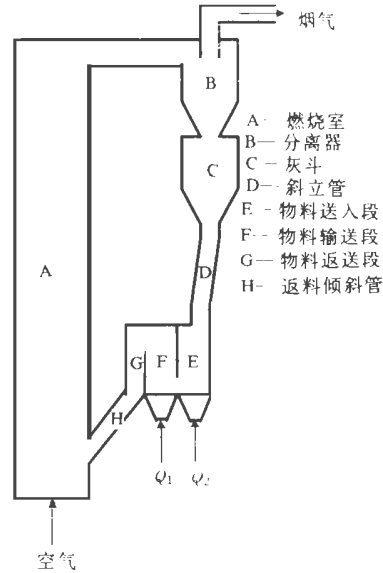


图 1 65 t/h 油页岩循环流化床锅炉循环系统简图

炉的风量和燃料量,维持锅炉运行的空气/燃烧比,而且还应调节返回炉内的循环灰量,以满足床温和循环倍率的需要。因此,返料系统是循环回路的重要部件,对循环流化床锅炉的高效稳定运行起着关键作用。除系统本身合理的设计和布置外,对其调节特性进行深入的研究是十分必

要的。

2 U 型返料器运行原理

U 型返料器属于非机械阀,非机械阀与机械阀不同,其没有任何移动部件,固体颗粒通过阀的流动是靠充气来实现的,因此非常适合于高温、高压和腐蚀性高的环境。该锅炉所使用的 U 型返料器结构示于图 2。可以看到, U 型返料器通过两个隔墙分成三个室,在倾斜管下面并与之相联的室称为物料送入室,与返料斜管相联的室为返料室,位于它们之间的那个室我们称之为物料输送室。在其下面布置有两个风箱,分别为物料输送室和送入室提供所需的充气,这两股风分别称作流化风 Q_1 和松动风 Q_2 ,是 U 型返料器运行时的主要调节参数两股充气由一台高压头、小流量的罗茨风机单独控制。这样可以方便、迅速地调节循环物料量而不影响锅炉

运行。流化风的作用是：它一方面应保证输送室内固体颗粒完全输送到返料室，避免固体颗粒在该室布风板上的沉积；另一方面应保证在满足上述要求的前提下，通过调节它的大小，满足锅炉负荷变化时对物料循环量的要求。松动风的作用是松动由立管进入物料送入室的固体物料并为固体颗粒通过两室之间的孔口提供驱动力，同时保证物料不在此室沉积，以免高温物料结渣。返料器工作时，可通过改变流化风和松动风的配比或固定一股风为一定值，改变另一股风来调节物料循环量。

3 试验结果与分析

3.1 试验物料特性

试验物料为油页岩循环流化床锅炉灰，其筛分分析如表 1。试验物料的物理特性如图 2 所示。

3.2 U 型返料器的启动特性

典型的 U 型返料器和所有的非机械阀启动特性相似，在 U 型返料器启动过

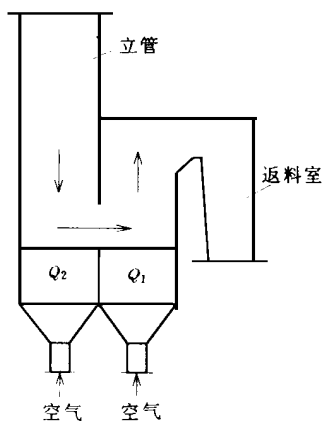


图 2 U 型返料器装置图

表 1 物料筛分分析

筛孔直径(mm)	> 3	2~3	1~2	0.5~1	0.25~0.5	0.25~0.1	< 0.1
重量份额(%)	3.3656	1.2696	1.6929	7.0939	32.0838	35.0867	19.4075

表 2 试验物料的几个物理特性

参数	真实密度	堆积密度	平均当量直径	球形度	最小流态化速度	终端速度
	p_p (kg/m ³)	p_d (kg/m ³)	d_{d1} (mm)	φ	u_{mf} (m/s)	U_t (m/s)
油页岩灰	1450	707.4	0.237	0.6	0.177	0.961

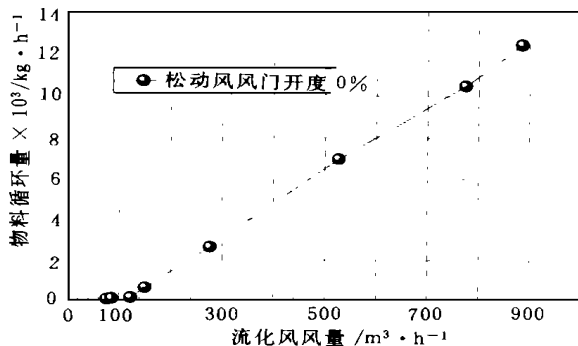


图 3 流化风风量和循环物料量之间的关系
 程中存在着一个最小充气量，当外部充气量小于启动所需要的最小充气量时，U 型返料器内固体颗粒不会流动；只有当外部充气量大于这个最小充气量时，固体颗粒才开始流动，U 型返料器开始运行，且随着充气量的逐渐增加，循环物料量随充气量的增加近似线性增加。试验中发现，当流化风和松动风组合使用时，U 型返料器的最小启动风量小于单独用流化风启动时的最小启动风量，这是由于松动风通过孔口进入物料输送室的结果。图 3 与图 4 为相同工况下流化风风量、流化风门开度与循环物料量之间的关系。该 U 型返料器利用流化风单独启动时最小启动风量约为 80 m³/h。

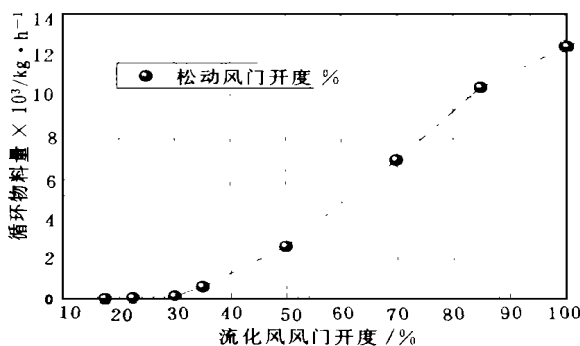


图 4 流化风风门开度和循环物料量之间的关系

3.3 流化风量的影响

流化风在 U 型返料器运行过程中对于传输固体颗粒，调节和控制循环物料量是非常重要的参数，这是由于它最接近于返料室进口的缘故。在小型试验台上已经发现，当固体循环物料量较低时，物料输送室存在着固体颗粒停滞区域，这个区域主要存在于靠近物料输送室和返料室之间的隔墙处并随着流化风量的逐渐增大，停滞区会逐渐变小，只有当流化风量足以使输送室内的固体颗粒充分流化后，这个停滞区域才会消失。由于这部分风量大部分携带固体颗粒进入返料室，只有一小部分气体在负压头的作用下，水平进入物料送入段并扩散到立管里，所以

U 型返料器运行时为防止存在固体颗粒停滞以至

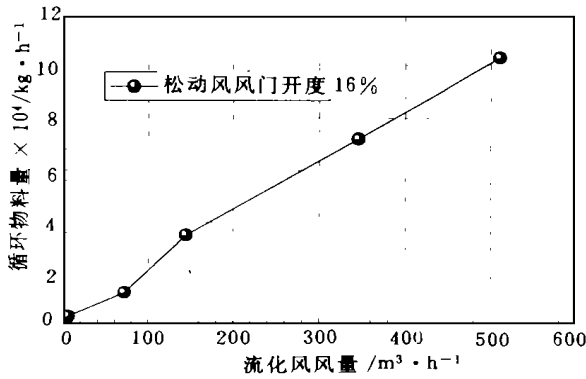


图 5 流化风风量和循环物料量之间的关系

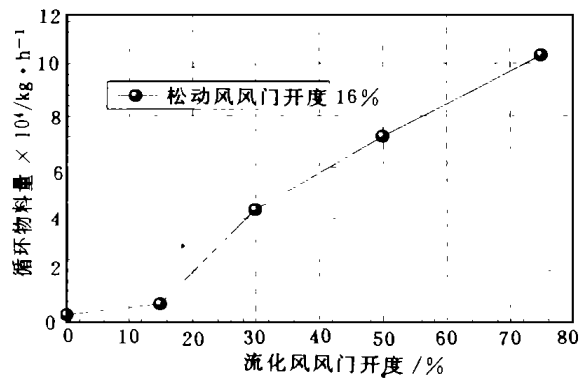


图 6 流化风风门开度和循环物料量之间的关系
在输送段结渣, 流化风量的选择至少要等于物料流化时所需的风量, 最好为 2~3 倍物料的最小流化风量。图 5 和图 7 分别为松动风门开度固定在 16% 和 25% 条件下, 调节流化风量的大小来调节循环物料量, 图 6 和图 8 为其相应条件下的流化风风门开度与循环物料量之间的关系。从图中可以看到, 当松动风风门开度较小时, 循环物料量基本随流化风量的增加而呈线性关系的增加, 而在松动风门为

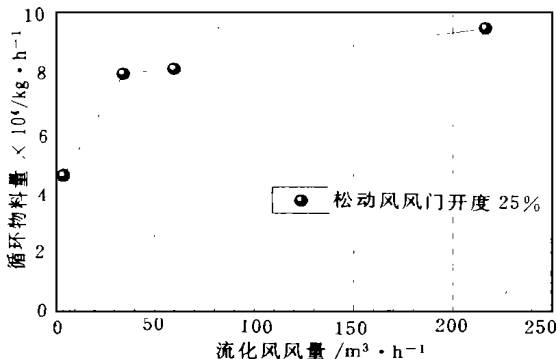


图 7 流化风风量和循环物料量之间的关系
25% 时, 当流化风量较小时, 循环物料量随着流化风

量的增加变化很大, 当流化风量增加到一定程度之后, 其增加速度减慢, 这说明当松动风量较大, 而没有流化风给入时, 返料器已有较大量的返料, 但物料输送室存在固体颗粒停滞区, 一旦有流化风投入时, 停滞区逐渐消失, 返料量将突然骤增, 这对于锅炉运行是不利的。所以在调节返料量时, 要避免出现这种情况。

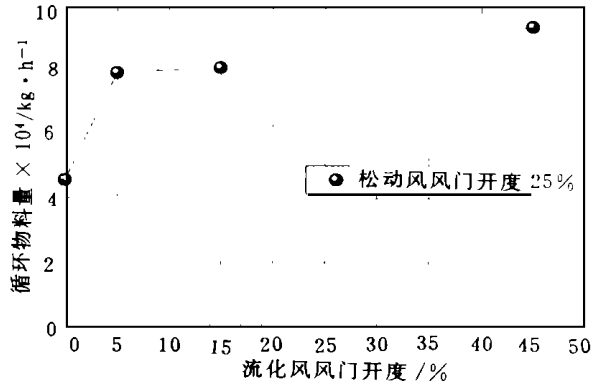


图 8 流化风风门开度和循环物料量之间的关系

3.4 松动风量的影响

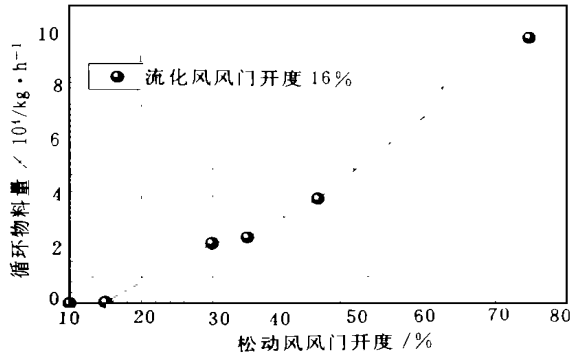


图 9 松动风风门开度和循环物料量之间的关系

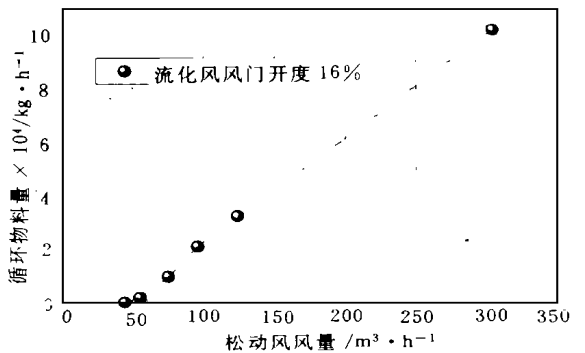


图 10 松动风风量和循环物料量之间的关系

松动风作为辅助固体颗粒通过物料送入室和物料输送室之间的孔口来说是非常有用的。这部分充气具有双重作用: 一方面它能帮助在立管内的固体颗粒料向下流动; 另一方面为固体颗粒通过孔口的流

动提供驱动力,使固体颗粒能顺利、稳定地进入物料输送室,并避免固定颗粒在孔口处沉积。运行过程中,由于立管内物料有较高阻力和固体颗粒的向下

分别示于图 10 和图 12,相对应的松动风门开度与循环物料量之间的关系分别示于图 9 和图 11。从图中可以看出,不但通过调节松动风风量的大小可以很好地调节和控制固体颗粒通过返粒器的流量,而且可有效地传输固体颗粒进行循环。实际运行时为防止固体颗粒沉积和结渣,松动风量应不小于固体颗粒的最小流化风量,一般为最小流化风量的 1.2~1.5 倍。

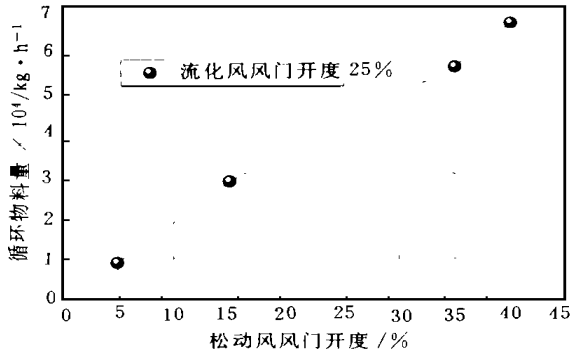


图 11 松动风风门开度和循环物料量之间的关系

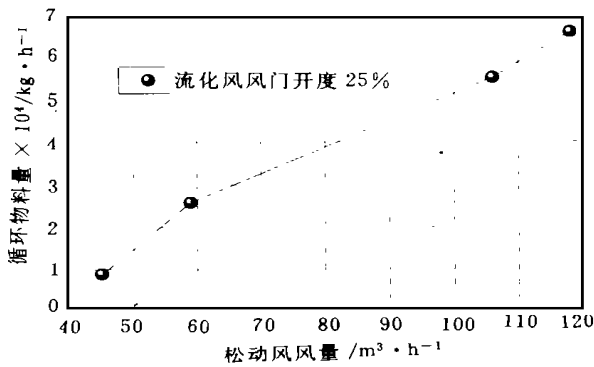


图 12 松动风风量和循环物料量之间的关系

流动,这部分充气只有一小部分能进入立管,而大部分充气将携带固体颗粒通过孔口进入物料输送室。进入输送室的那部分充气与流化风一起输送固体颗粒进入燃烧室,所以说这部分充气对于 U 型返料器调节和控制固体颗粒返料量来说是非常重要的。设置流化风为一定值,通过调节松动风进而调节循环物料量而获得的松动风量与循环物料量之间的关系

4 结论

(1)固定流化风量,调节松动风量的大小来调节控制物料循环量。这种组合调节方式其返料量随松动风量的变化呈线性变化。且流化风量的大小对其线性返料关系影响不大,可满足锅炉稳定运行的要求,具有良好的调节品质。循环流化床锅炉运行中应采用此种组合调节方式。此外,为防止固体颗粒在物料输送室和送入室沉积与结渣,流化风与松动风的最小极限风量分别为固体颗粒最小流化风量的 2~3 和 1.2~1.5 倍。

(2)固定松动风量,调节流化风量的大小来调节控制物料循环量。这种组合调节方式其返料量在松动风量较大时,极易引起返料量的非线性变化,尤其在流化风量较小时,其风量的微小变化,将导致返料量的剧烈变化,使锅炉无法运行。这种组合调节方式调节品质差,不宜采用。

(3)采用固定流化风量调节松动风量的组合调节方式可使 U 型返料器获得良好的调节品质。为循环流化床锅炉的稳定高效的运行提供可靠保证。

(辉 编)

(上接 32 页)

升速度, Taylor 气泡的速度, (m/s)

$\alpha_g, \alpha_T, \alpha_s$: 截面含气率, Taylor 气泡的含气率, 液弹中的含气率

$\Delta P, \Delta P_{ug}$: 测量段的总压降, 上升段的重位压降, (kPa)

$\Delta P_{uf}, \Delta P_{hf}$: 上升段的摩擦压降, 水平段的摩擦压降, (kPa)

h, d : 实验段的长度, 实验段的内径 (m)

σ : 表面张力 (N/m²)

参考文献

- Hasan A R and Kabir C S. Prediction multiphase flow behavior in a deviated well. SPE, 15449, 1986.
- Kabir C S & Hasan A R. A study of multiphase flow behavior in vertical oil wells; Part 2—Field application. SPE, 15139, 1986.
- Zuber N and Findlay J. Average volumetric concentration in two-phase flow system. Trans. ASME. Heat Transfer; 1965—87; 453
- Aziz K et al. The flow of complex mixture in pipes. Van Nostrand CO. New York city, NY, USA 1972.
- Akagawa K and Sakaguchi T. Fluctuation of void ratio in two-phase flow. Bull. JSME. 1996. (9); 104.
- Bendixsen K H. An experimental investigation of the motion of long bubbles in inclined tubes. INT. J. Multiphase Flow 1984, 10; 467 ~ 483.
- Nicklin D J, Wilkes J O and Davidson J F Two-phase flow in vertical tubes. Trans. Inst. Chem. Engrs, 1962, 40; 61 ~ 68.

discussion is conducted of the cylindrical fins when the entropy generation attained a minimum value under forced convection conditions. **Key words:** fin, entropy generation, irreversibility

催化裂化再生烟气能量回收系统的经济优化 = **Exergoeconomic Optimization of a Catalytic Cracking Regeneration Flue-gas Energy Recovery System** [刊, 中] / Chen Qinglin, Hua Ben (South China University of Science & Technology) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 1999, 14(1). — 20 ~ 23

By the use of the binary sub-system method of an energy system an exergoeconomic analysis and optimization is conducted of a flue-gas energy recovery system. Under the condition that the regeneration flue-gas physical parameters are constant the maximum economic benefits of recovery as a result of the optimum distribution of energy recovery quantity and heat recovery rate within the system are designated as the system optimization target. In addition, on the basis of a given economic model an optimization is performed of a representative flue-gas energy recovery system. Thereupon, obtained are the optimum design operation parameters when the system enjoys the maximum economic benefits. The optimization results can serve as a useful guide during the optimization design and operation of flue-gas energy recovery systems. **Key words:** fluid catalytic cracking, exergoeconomics, system optimization

舰船用冷凝器冷却管腐蚀寿命的可靠性探讨 = **A Reliability Study of the Cooling Tube Corrosion Life of a Naval Condenser** [刊, 中] / Cha Changsong, Hu Deming, Xu Yigui (Resident Military Representative Office of No. 425 Works) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 1999, 14(1). — 24 ~ 26

Local corrosion constitutes a major failure mode of naval condenser cooling tubes. The reliability life calculation of such tubes pertains to a maximal value problem. Based on accumulated corrosion data and the analytical report on naval condenser cooling tubes the authors have set up a reliability mathematical model for Bfe 30-1-1 cooling tube corrosion life assessment. The reliable service life of the main condenser cooling tubes has also been predicted. **Key words:** reliability, condenser, cooling tube, corrosion life, local corrosion

柴—燃交替使用动力装置(CODOG)的实验研究 = **Experimental Study of a Combined Diesel or Gas Turbine (CODOG) Power Plant** [刊, 中] / Zhang Biao, Wang Chuanpu, (Harbin Engineering University) et al // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 1999, 14(1). — 27 ~ 29

On the basis of research and development of a combined diesel or gas turbine (CODOG) power plant test rig an experimental study is conducted of the effect of such a variety of factors as load, diesel engine throttle speed and S.S.S clutch damping on the diesel and gas turbine switch-over process. As a result, some meaningful conclusions have been obtained. **Key words:** CODOG power plant, S.S.S clutch, dynamic process, experimental study

垂直上升管内气水两相流动截面含气率的测量 = **The Measurement of Void Fraction of a Two-phase Flow in Vertical Riser Tubes** [刊, 中] / Cai Jiyong, Chen Tingkuan, Ye Qiang (Xi'an Jiaotong University) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 1999, 14(1). — 29 ~ 33

The void fraction of gas-water two-phase flow in a vertical riser tube under bubble and slug flow conditions is measured by the use of a combination horizontal-riser tube method. The experimental test results are forecast using a theoretical model. The forecast values agree well with those of experimental results. This proves that the above-mentioned measurement method is a simple, accurate and feasible one. **Key words:** gas-water two-phase flow, void fraction, combination method, vertical riser tube, measurement

油页岩循环流化床锅炉返料系统调节特性试验研究 = **An Experimental Investigation of the Material Return System Regulating Characteristics of a Oil Shale Circulating Fluidized Bed Boiler** [刊, 中] / Jiang Xiumin