

YG35/39-M3型循环流化床锅炉调试分析

苗长信 刘志超 (山东电力试验研究所)

〔提要〕 本文主要分析和讨论了第一台YG35/39-M3型循环流化床锅炉的循环返料问题,并简要分析和探讨了锅炉低负荷结焦,出力不足及漏风等问题,望能有益于循环流化床锅炉的开发和完善。

关键词 沸腾燃烧锅炉 运行 调试 分析

前言

循环流化床燃烧方式是近年来发展的一种新型锅炉燃烧技术,在国际上已得到飞速的发展和越来越广泛的应用。国内许多单位也在进行这方面的基础研究和产品的开发。

YG35/39-M3型循环流化床锅炉是中科院工程热物理所与济南锅炉厂联合开发的一种中温中压35吨/时电站锅炉,首台安装在山东明水热电厂,是目前国内容量最大的循环流化床电站锅炉(燃烧系统见图1)。安装完毕后,由山东电力试验所与研制单位一起进行了启动调试,经多次改进到1989年3月底,已累计运行1000余小时,实际的最大出力曾达到28吨/时。最长一次连续运行243小

时,初步积累了循环流化床在发电锅炉方面的应用经验。运行实践表明:该种燃烧方式具有燃烧效率高,燃料的筛分范围宽,负荷调节比大等许多优点。兼有煤粉燃烧和鼓泡流化床燃烧的长处,又摒弃了鼓泡床锅炉扬析分额高,燃烧效率低,难于大型化等缺点,展现了诱人的应用前景。

然而,由于循环流化床燃烧技术在我国还刚刚起步,缺乏足够的经验,无论是在设计,安装乃至运行等方面都暴露了一些不足,尚需不断改进。本文结合调试实践中遇到的几个问题,进行分析和探讨。试图通过分析和讨论,明确循环流化床锅炉开发中应注意的几个问题,望能有助于循环流化床锅炉的开发和完善。

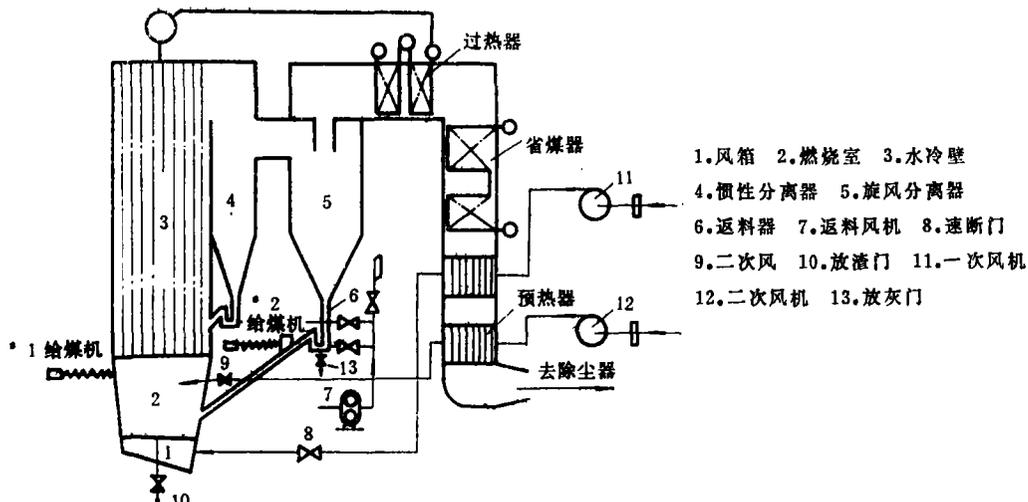


图1 循环床燃烧系统

来稿日期:1989-07-25

一、低负荷运行结焦

调试中，锅炉经历了低负荷运行阶段（低于30%额定负荷）。低负荷运行的主要问题是严重结焦，结焦部位主要在螺旋给煤机落煤口下。

通常，循环流化床内呈低温燃烧，在整个燃烧空间，保持床内温度场均匀，是不易结焦的。但在过低的负荷运行时，床内呈鼓泡流化燃烧状态，竖向炉料上下运动，热质交换强烈；横向交换缓慢，温度场极不均匀。加之属集中供煤方式，落煤口处缺氧燃烧，局部呈还原性气氛，降低了灰熔点，控制床温又高。因而引起局部结焦并向床内蔓延，无法维持低负荷运行。

针对上述原因，采取了如下措施：在给煤机出口增设抛煤风；控制床温低于额定负荷时的控制值；缩小风帽与炉墙的距离，减少流化死区；尽早投入二次风，以均衡温度场。运行表明：采取上述措施后，消除了低负荷结焦现象。可以满足循环床，鼓泡床间的互换运行方式的需要。

二、循环返料系统调试分析

1. 返料风源的选择

该返料器为U型流化床返料装置。它是保证循环燃烧的重要机构，必须能够灵活地开启和关闭。其“开启”风量即为返料器内循环物料完全流化时的风量。风量的大小主要取决于布风装置的阻力和风源风压，如风量达不到物料的流化风量，则返料器不能正常投入。如风量过大，又会使返料器中的物料结焦。合适的风量通过试验或估算得出。另外，对风源的风压也有一定要求。风压过低，风量不足；风压过高，会使立管中的物料流化，不仅会造成分离器的二次携带，影响分离效率，而且还会破坏物料的正常循环，因而返料参数的选择很重要。

若忽略返料器内静压的影响，返料风压至少应满足以下条件（参见图3）：

$$\Delta P_f + \rho g \Delta H_4 \leq P \leq \Delta P_f + \rho g \Delta H_1$$

式中：P——返料风源风压

ΔP_f ——对应返料风量下的布风装置阻力

ρ ——物料的堆积密度

$\Delta H_4, \Delta H_1$ ——分别为返料器出口高度和立管中物料的高度

另外，若考虑返料管为空管状态，且略去静压的影响，物料流化返回还应满足：

$$P_0 - \Delta P_{bf} - \Delta P_{H2} \leq P - \Delta P_f - \rho g \Delta H_4$$

式中： ΔP_{bf} ——为炉床布风板阻力

ΔP_{H2} ——为布风板至返料口的压力降由该结构及物料特性估算得知：

$$\Delta P_{H2} \approx \rho g \Delta H_4$$

因预热器阻力较小，忽略其阻力后有

$$P_0 \approx P$$

故有： $\Delta P_{bf} \geq \Delta P_f$

即设计返料布风装置的阻力应小于或等于炉床布风板阻力。这是采用同一风源时，设计布风装置的限制条件之一。

根据测试结果可知，该返料器的开启风量为50m³/h左右，与估算值接近。从测试整理的图2中可以看出，当炉床料层流化后，返料器的物料尚未流化。当一次风量达18000m³/h时，返料器内物料才达流化状态。说明该返料装置使用一次风做风源，尚不能保证返料器的灵活开启。这是因为返料器布风装置的阻力 ΔP_f 明显高于炉床布风板阻力 ΔP_{bf} 的缘故。况且，长时间运行后，部分通气孔被堵塞， ΔP_f 有大幅度上升的现象，运行表明：不能灵活返料的问题较突出。为此，增设了专用风机，单独作为返料风源。投入运行后，满足了返料风量的要求。

2. 循环物料的棚积

运行过程中，旋风分离器内曾多次出现过物料搭桥棚积现象，破坏了物料的正常循

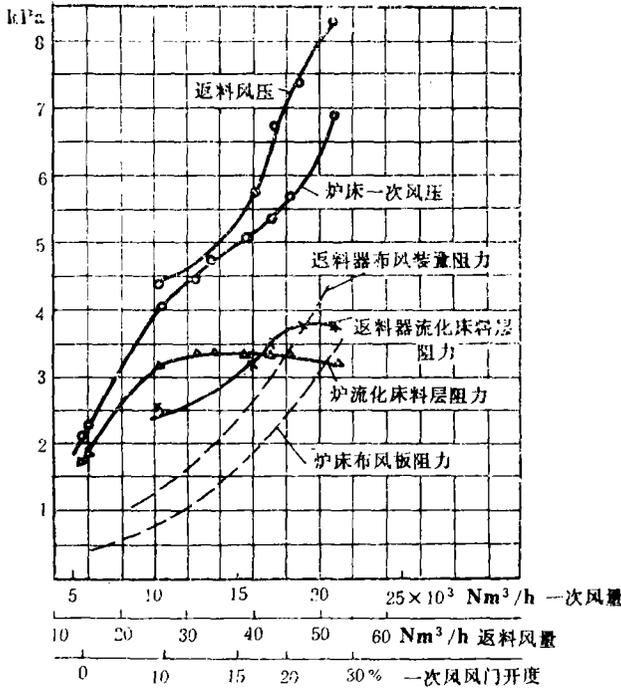


图2 冷态试验特性

环,威胁着循环床的安全运行,因而多次被迫停炉清除。

循环返料系统是由循环床,分离机构,返料器及返料管组成。正常情况下,立管中的物料上下波动以平衡循环返料系统的阻力变化,保证物料正常循环,有如下平衡关系:

$$\Delta P_{\text{循环床}} + \Delta P_{\text{惯性分离器}} + \Delta P_{\text{旋风分离器}} + \Delta P_{\text{返料器}} = \rho g \Delta H_{\text{立管}}$$

当循环返料系统的立管高度 $H_{\text{立管}}$ 及物料特性确定之后,受影响的主要是 $\Sigma \Delta P$, 公式左边的任一项阻力损失发生变化,立管中的料位 $\Delta H_{\text{立管}}$ 都要相应波动。由于 $\rho g \Delta H_{\text{立管}}$ 有一最大值,所以当 $\Sigma \Delta P$ 超过 $\rho g \Delta H_{\text{立管}}$ 最大值时,返料机构内的物料超出立管高度,进入旋风筒空间,物料不再保持立管中的重力流动状态。加上截面增大,料位变化缓慢,削弱了循环系统的自平衡能力,返料器的回料量便少于分离器的捕集量,形成物料棚积,并导致循环破坏。虽然调试中曾经采取修正返料器尺寸,消除漏

风,控制炉床差压在合理的范围内运行等措施,循环不正常现象有所减缓,但仍不能根除棚灰现象。初步分析其原因是立管设计高度偏低,未留有足够的余量,不能适应各种工况条件变动的需求。

返料器中的物料,借助两侧压力差 ($p_2 - p_1$),克服流动阻力后返至循环床,有如下近似平衡的关系(图3)。

$$(P_2 - P_1) + \Delta P_{\text{回料管}} + \Delta P_u = \rho g \Delta H_{\text{立管}}$$

考虑到极限状态时有

$$\Delta P_{\text{回料管}} = \Delta P_{H_3} - \rho g \Delta H_3 = 0$$

因此,立管中的物料高度有:

$$\Delta H_{\text{立管}} = \frac{(P_2 - P_1) + \Delta P_u}{\rho g} \quad (m)$$

式中: P_2, P_1 ——分别为返料口处及旋风筒内的静压 (Pa)

ΔP_u ——为返料器的阻力损失 (Pa)

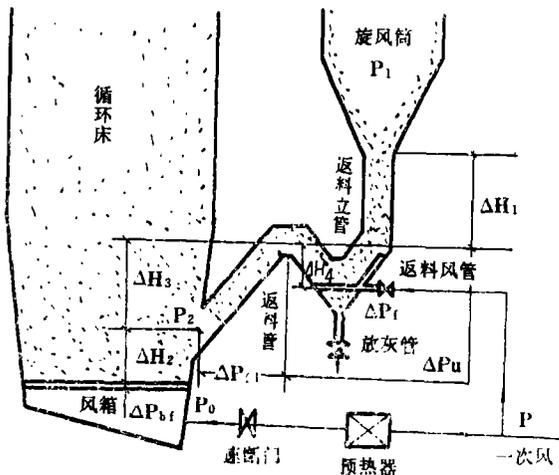


图3 循环系统原理示意图

根据运行测试数据,参考有关文献进行估算,立管高度至少不宜低于0.8m,若考

考虑1.5倍的安全系数,则为1.2m,而实际立管高度只有0.4m。

其原因是:

三、锅炉出力不足问题

锅炉设计出力35t/h,而目前实际所能达到的出力为26~28t/h,初步分析其原因有以下几点:

1. 炉膛下部烟速过低,不能保证足够的物料浓度。循环流化床内的传热量主要与固体粒子浓度及流速有关。炉内设计流化风速为5m/s,下层二次风喷口处于压力较高的浓相区底部,上层二次风喷口设在稀相区下部。由于所选二次风机的压头较低,下部的二次风量不足,实际的最高流化风速只有4m/s左右,无助于提高浓相区风速。从炉膛压力分布图4可以看出,密相区的压力下降了85%,即从6.5kPa下降到1kPa。炉内沿高度方向压力降的变化,颗粒浓度大幅度变化,加上浓相区又无受热面,从而影响了传热量的增加。

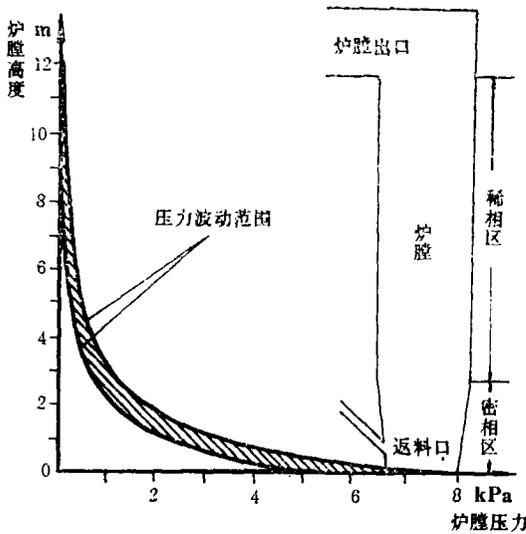


图4 沿炉膛高度的压力分布

另外,预热器漏风严重,实际入炉风量偏低(炉膛出口氧量一般在1%左右),也是影响流化风速,限制锅炉出力的原因之一。目前,炉膛下部风量不足,严重影响立管出料。

2. 锅炉出力受到床温调节的制约。床温是循环流化燃烧的主要控制值之一。煤种确定之后,影响床温的主要因素是给煤量,送风量和循环返料量。此种炉型主要靠循环返料增加炉内传热系数吸收床内热量,从而控制床温。另外,当返料温度低于床温时,也起一定的调节作用。本炉床温控制在850~950℃。根据运行数据统计,返料温度并不低于床温。床温只能在75%额定负荷以下控制在950℃,从而制约了锅炉负荷的增加。分析其原因有:

(1) 循环返料系统不完善。一般对应的一个循环系统,就有一个固体颗粒所能达到的最大返料流量。当锅炉负荷增高,返料量增大时,循环会不稳定,炉内颗粒浓度无法再提高,影响了传热量的增加。

(2) 返料温度过高。由于燃料的差异(见表1),实际燃料的燃烬时间较原设计煤种长,加上分离装置的严重漏风为碳粒的持续燃烧提供了条件,被捕集后的物料在分离机构中继续燃烧,使返回物料温度上升,从而降低了床温的调节幅度。

表1 设计和燃用煤质

名称	煤种	应用基灰分	应用基水分	应用基低位发热量	颗粒度 mm
		Ar %	Wy %	Q _{yd} kJ/kg	
设计燃料	高硫烟煤	28	5.4	23 806	≤13
实际燃料	贫煤灰渣	45~55	1~4	12552~16736	≤13

3. 炉内受热面布置是否偏少,有待进一步试验和计算,目前尚不能排除这一原因。

四、锅炉漏风问题

漏风有害无益,对循环床锅炉更是如此。它除了影响锅炉经济性外,还会带来一些其它问题。

漏风对循环返料不利。分离器筒体的漏风不仅有降低分离效率的可能,还会使阻力损失增大。原分离机构的设计阻力为650Pa。

由于漏风较大, 实际阻力达 1500Pa 左右, 是 Δp 增大的原因之一, 如前所述, 对循环返料系统的安全不利。

返料器的漏风容易造成返料超温结焦。该炉的返料器所需风量较小, 向外漏风后, 物料难以返至床中, 甚至出现流化死区, 积存在返料器内。为使物料流化返回, 就要人为增大返料风量。过多的空气量往往会导致物料超温、结焦, 停滞返料。调试中曾因返料器漏风, 发生过物料结焦故障。

高温分离装置的漏风还会降低分离器出口的烟温, 影响对流受热面的传热。由于设计时未虑及漏风的影响, 分离器出口烟温实际偏低近 100°C, 已成为对流吸热不足的主要原因。

此外, 该预热器的严重漏风, 已影响到入炉风量。由于循环床结构上的差异, 该种炉型预热器、烟气与空气间的内外压差较高, 约是常规炉型的 3~4 倍, 往往是造成严重漏风的主要因素。因此, 在循环床锅炉的设计、制造、安装过程中, 注意消除和防止各个部位的漏风尤为重要。

结束语

本文简要分析和探讨了 YG35/39-M₃ 型循环流化床锅炉启动调试中的几个主要问题。望能在循环床锅炉的开发中加以重视和注意。并希望有助于循环床锅炉的改进和完善。

循环流化床锅炉是当今燃烧技术的一大进步。作为一种新技术的开发, 除深入基础研究外, 还需加强应用方面的试验研究, 提高设计、安装、调试和运行水平, 以推进我国的循环床技术。

参 考 文 献

- [1] 骆仲洪, 倪明江等. 循环流化床锅炉的几个设计问题探讨. 中国工程热物理学会第六届年会论文, 1988年11月
- [2] 骆仲洪, 倪明江, 岑可法. 循环流化床流体动力特性的试验研究. 浙江大学学报, 1987, 6
- [3] 温龙. 循环沸腾床燃烧锅炉设计的几个问题. 东方锅炉, 1988, 4
- [4] 吴维高. 西德循环沸腾床锅炉. 东方锅炉, 1987, (2)

A Commission Analysis of YG35/39-M₃ Type Circulating Fluidized-Bed Boiler

Miao Changxin, Liu Zhichao

(Shandong Electric Power Test & Research Institute)

Abstract

Presented in this paper are an analysis and discussion on the circulating fuel returning problem in the first YG35/39-M₃ type circulating fluidized-bed boiler, a brief analysis and investigation on problems such as coking occurred under low boiler load, insufficient output and air leakage.

Key Words: circulating fluidized-bed boiler, operation, commission, analysis