

PFBC 高温炉渣连续排放与冷却系统的冷态试验研究

荣德刚 杨亚平 王双群 沈湘林

(东南大学热能工程研究所)

〔摘要〕 本文介绍了我国 PFBC—CC 中试电站的排渣冷渣冷态试验装置及其工作原理和运行试验的有关情况。试验表明,用气控非机械阀控制炉渣排放速率并以浅床流化床方式冷渣的排渣冷渣系统,在加压环境下具有良好的调控性能、耗气量少,对大颗粒的适应性强,可望在中试装置上得到应用,以实现 PFBC 高温炉渣的连续排放和冷却。

关键词 增压流化床 炉渣 排放 冷却系统

分类号 TK229.66

1 前言

高温炉渣连续排放及冷却系统从总体看来大致面临以下三方面的问题:(一)炉渣排放速率的有效控制;(二)炉内与环境之间压力位差的克服;(三)高温炉渣的冷却及炉渣物理热的回收。

排渣速率的控制方式通常分为机械控制(如水冷螺旋加料器或叶轮加料器),与非机械控制(如 L 阀、J 阀等)。比较有代表性的是美国 Tidd 电站及德国 Babcock 公司 15MW PFBC 装置,两处均采用叶轮加料器来控制冷渣的排放速率,显示出早先曾出现过的转动部件磨损问题已得到解决。在这之前,英国 Leatherhead、Grimethorpe 和我国的 SEU—PFBC 装置上都曾采用过气控排渣方式(非机械控制)。两种排渣速率控制方式都能连续、有效地工作,预计最新型的叶轮加料器在

排渣的均匀、可调性方面占有优势。

炉内与环境之间压力位差的克服,目前国内外都采用锁斗充压、放压的方式。国外曾在 80 年代初提出并试验了许多越过高的压力位差直接输送粒状固体的方法,但致今仍未成功。

高温炉渣冷却及其物理热的回收在小型试验室装置上未作专门研究。大型化以后,如 Tidd 电站:炉渣在压力下用移动床方式风冷、结合壁面水冷;冷渣热风直接回送炉内作燃烧空气。Babcock 公司 15MW PFBC 装置上也采用了这种冷渣方式,效果良好。

我国目前正进行“八五”攻关的 PFBC—CC 中试装置,其高温炉渣连续排放及冷却系统拟采用非机械方式控制排渣速率;高温炉渣拟在压力下以浅床流化方式进行冷却;冷渣热风回送至炉内沸腾段作二次风;而经过冷却后的炉渣则由变压罐卸压后排入常压环

收稿日期 1995—03—28

本文联系人 荣德刚 男 30 讲师 210096 南京东南大学热能工程研究所

境。基于上述技术路线，我们在东南大学热能工程研究所建立了高温炉渣连续排放及冷却系统的冷态试验台，以期通过冷态模拟试验，验证设计方案的可行性，并为初步设计提供必要的依据。

2 试验装置

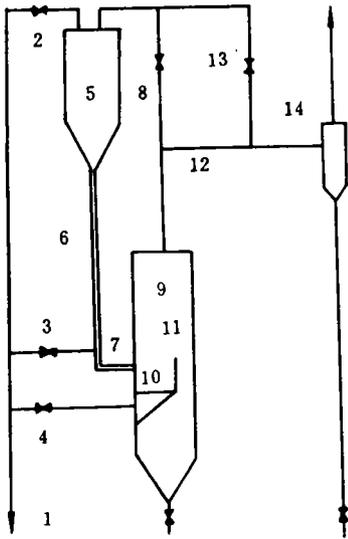


图1 PFBC排渣冷渣冷态模拟试验装置

- 1. 气源 2. 充压风管路 3. L阀松动风管路
- 4. 浅床流化风管路 5. 料斗 6. 下料立管 7. L阀
- 8. 压力平衡管 9. 冷渣斗 10. 浅床 11. 溢流堰
- 12. 背压调节阀 13. 料斗卸压管路 14. 旋风除尘器

如图1，由压气机而来的气体分成三路，分别为浅床流化风、L阀松动风及料斗充压风。浅床流化风(即冷渣风)穿过床层，经除尘器后放空，而L阀松动风则用以控制排渣速率；试验用的炉渣从料斗上方加入3米长的下料立管，而后经L阀排入浅床，再在流化状态下通过溢流方式从浅床排出。

在0.1—0.7 MPa压力范围内运行的该系统，其核心部分为内径50 mm的气控L阀及面积为0.03 m²、高0.3 m的浅床。浅床采

用不等开孔率的倾斜布风板以有效地排除大颗粒，浅床溢流堰板的底部开有Φ40 mm的放料小孔并安装了旋塞阀，L阀及浅床的运行情况可通过观察口监视。

系统中重要的差压信号如：布风板压降，床层总压降，料斗与冷渣斗间的压差及下料立管的局部压差等，经压差变送器传至多笔记录仪记录；而气体流量分别由涡轮及浮子流量计测定；物料流量则通过计时称重获取。

3 试验结果与分析

排渣冷渣系统冷态模拟试验的主要内容包括以下三个方面：(一)探索L阀的供料规律；(二)考察浅床的运行特性；(三)评判排渣系统的整体性能。试验用物料的有关参数见表1。

表1 试验用物料的有关参数

名称	堆积密度	颗粒密度	平均粒径	粒度范围	自然堆积角
PFBC炉渣	1.34g/cm ³	2.46g/cm ³	1.12mm	0~6mm	36°

3.1 L阀的供料规律

3.1.1 加压环境对L阀供料规律的影响

将系统压力分别维持在0.1、0.225、0.4和0.6 MPa四种不同状态进行试验。如图2，Φ50的L阀的松动风连续供气条件下，随着系统压力的升高，L阀临界排料所需的松动风量依次增大；同时，L阀达到最大排料量所需的松动风流量也逐渐增大，相应于图中曲线的峰值向G₀增大的方向移动。图3反映了L阀松动风量与排料固气比的关系。由图，随着系统压力的升高，排料固气比峰值渐次下降。

3.1.2 L 阀出口与下料立管入口的差压(称 L 阀上下差压)对 L 阀供料规律的影响。

L 阀上下差压关系到 L 阀的稳定与安全运行。在系统压力为 0.225 MPa 附近,对不同差压范围内 L 阀的供料量所作的测定显示:当差压在 ± 19.6 kPa 范围内时,L 阀工作稳定。排料量随正向差压的增大而增大,随反向差压的增大而减少。

表 2 列出了冷渣斗压力维持在 0.225 MPa 时,L 阀稳定运行的极限工况。所列数据的测定过程都是从 L 阀上下差压为 0 开始逐步升压(或降压)直至极限情况的。

实验中发现,自流一旦产生,要使物料停止流动,L 阀上下的差压必须小于自流时的极限差压。而反向气截产生后,要使物料重新向下流动,L 阀的上下差压必须大于产生气截时的极限差压。

表 2 $P = 0.225$ MPa 时,L 阀稳定运行的极限工况

水平管管径 (mm)	正向极限(自流) (kPa)	反向极限(气截) (kPa)
50	78.5	-49
/	不开松动风	松动风连续供气

3.1.3 松动风连续供气和脉冲供气方式的比较

由前所述,L 阀存在一个起始(临界)排料点,此时的物料流量称起始排料量。对于 $\Phi 50$ mm 的 L 阀,其值为 500—1000 kg/h,而中试装置提出的设计参数为 500 kg/h,可见用松动风连续供气方式控制 $\Phi 50$ 的 L 阀已无法满足设计要求。通常缩小 L 阀水平管管径使 L 阀的起始排料量下降,从而拓宽调节范围,但为了满足排除大颗粒的要求,这一管径又不能过小。因此,采用脉冲供给松动风方式来对 L 阀排料量进行调节。

如图 4,对于 $\Phi 50$ 的 L 阀,采用脉冲供气后,排料量的可调范围由 500—6900 kg/h,拓展为 0—6900 kg/h,并且调节手段在原来单一气量调节的基础上又加入了脉冲间隔和脉冲时间,调节性能大为改善。现把脉冲时间/(脉冲间隔+脉冲时间)定义为脉冲系数: t/T 。可见图中曲线⑤($t/T = 2/22$)在 $G_s = 0$ —500 kg/h 范围内的调节性能良好。

综上所述,有关 L 阀供料规律的试验研究表明:

a) 加料环境使 L 阀起始排料所需的松动风量有所增加。

b) L 阀出口与下料立管入口的差压在一

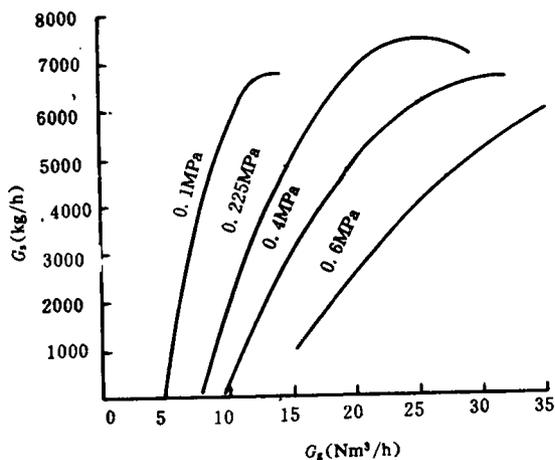


图 2 不同压力下 L 阀松动风量与物料流量的关系

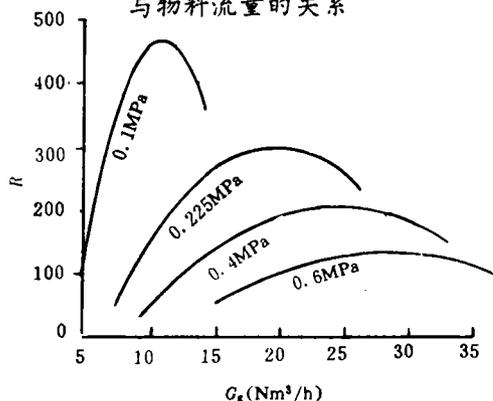


图 3 L 阀松动风量与排料固气比的关系

个较大的范围内不影响L阀稳定排料。

c)脉冲供给松动风方式将拓宽L阀供料量的可调区间。

d)L阀供料方式的弱点为定量规律欠理想,并且容易失控(相对于机械控制方式而言)。

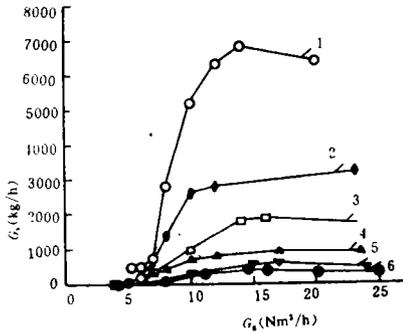


图4 松动风脉冲系数不同时L阀的供料规律

- 1. $t/T=1$ 2. $t/T=2/3$ 3. $t/T=2/6$
- 4. $t/T=2/12$ 5. $t/T=2/22$ 6. $t/T=1/22$

3.2 浅床流化床的运行特性

用浅床流化床冷却物料,具有换热效率高、动力消耗少的特点,因此在化工行业得到广泛应用;而这一技术移植到能源领域后,较有代表性的当数浅床流化床冷渣器。在PFBC排渣冷渣冷试装置上,为了通过浅床流化床溢流方式有效地排出大颗粒,同时强化时颗粒的横向混合,我们对浅床进行了特殊设计;并按照雷诺数相等的原则对热态时浅床内的流动情况进行冷态模拟。

由于布风板的特殊结构,浅床中溢流堰板附近出现了喷动床区域。如图5,在喷动区域内气体的流速高,气固混合物的密度沿径向逐渐增大,因此形成物料由周边向喷动床区域的移动,实现了床内物料内循环,从而强化了颗粒的横向混合。此外,喷动区域的高速气流使大颗粒能够在此得到的足够的动能向上翻腾,甚至被抛离床面。经过一次或多次这种形式的喷动,大颗粒最终将被抛出溢流堰。

3.2.1 大颗粒的排出

溢流排除大颗粒的能力主要受流化速度及床面高度的影响,浅床床面愈高,大颗粒越过堰板所需的能量愈小,因而容易排出;而流化速度的增加使喷动区域的气速提高,大颗粒得到的动能也随之增大,所以容易被抛出堰板。



图5 浅床溢流示意图

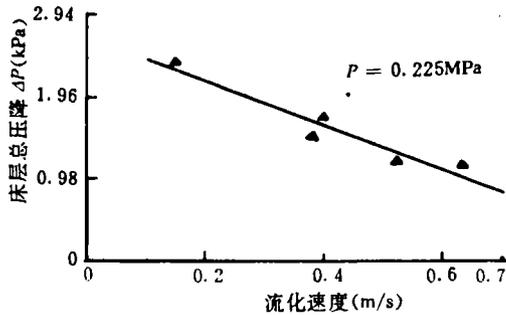


图6 床层总压降的自平衡位置与流化速度的关系 ($P=0.225\text{ MPa}$)

3.2.2 物料的平均冷却时间

浅床在运行中,对应于每一个稳定工况,其床面高度和床层总压降都有一个相对稳定值,称之为平衡位置。

浅床床层总压降反映了床内物料的总重,定义物料在床内的平衡停留时间 \bar{t} = 浅床内物料总重/来料流量

则 \bar{t} 表示物料的平均冷却时间。运行中, \bar{t} 必须足够大,才能使物料充分冷却,然而 \bar{t} 的增大意味着动力消耗上升。因此 \bar{t} 选择的

原则是:在物料得到有效冷却的前提下,尽可能地缩短 \bar{t} 。通常在流化均匀,流化风量足够的情况下 \bar{t} 的下限取 1.5 分钟。

3.2.3 影响浅床自平衡位置的因素

在正常运行时的供料流量和流化风速范围内,浅床自平衡位置主要取决于供料流量及流化风速。

当供料流量不变时,增加流化风,一方面将使床内气固混合物的容重减小,床层总压降减小;另一方面,随流化风速的提高,浅床溢流能力得到增强,结果导致床面高度下降,浅床溢流能力逐渐平抑,直至某一较低的床高位置时,溢流量与来料流量建立起新的动态平衡,此时,床高的下降也引起床层总压差的减小,因此,增加流化风量总是使浅床自平衡时的压降变小,如图 6。

当流化风速一定时,床层总压降的自平衡位置将随来料流量多少而自动调节。来料量增大使浅床的溢流能力在短时间内显得不足,于是床内物料增加、床面上升,而溢流量随床面上升得到增大,最后在某一较高的床面位置,溢流量与来料量将达到新的平衡。此时,由于床面升高使床层总压降增大了。

由以上分析可得:

a:浅床的溢流量在工况稳定时总会与来料量相平衡,而与流化速度的大小无关。

b:浅床排除大颗粒的能力随流化速度及

床面高度的增加而提高。

c:浅床内颗粒的平均冷却时间与流化速度成反比。

3.3 排渣冷渣冷态试验装置的总体运行性能

为了评判 L 阀—浅床溢流排渣冷渣冷态试验装置的总体性能,我们进行了为时 80 分钟的连续运行。试验中,系统压力维护在 0.225 MPa;下料立管上端与 L 阀的出口端均压;松动风采用脉冲供气方式;物料中加入少量粒径为 25—35 mm 的大颗粒。试验表明,排渣冷渣系统冷试装置在加压环境下具有良好的可控性,调节范围宽广,耗气量小,对大颗粒的适应能力强,可望在中试装置上得到应用,以实现 PFBC 高温炉渣的连续排放与冷却。

4 结束语

用 L 阀控制排渣速率,以浅床流化方式冷却高温炉渣的 PFBC 排渣系统,通过大量试验,初步验证了这种方案的可行性,并为 PFBC—CC 中试装置的设计提供了重要依据。

参 考 文 献

- 1 Geldart D and Jones P. Powder Technol., 1991, 66: 163~174
- 2 马力行,张鹤声. 燃烧论文集, (1987)P163~167
- 3 陈士明. 南京工学院硕士论文, 1987

火电站废物处理技术

据“火力原子发电”1995年2月号报道,日本东京电力公司环境研究所开发了一种火电站工业废物熔炼和再循环技术。

使用高温熔化技术,废物被熔化并使其体积减少到原来的三分之一以下,并形成不污染的熔渣。从熔化的废物制造二次产品提供了再循环废物的可能性。针对火电站废物研制的熔化再循环系统包括一个耐高温的熔炉、原材料的装填系统、二次产品的生产系统和一个排气处理系统。耐高温的熔炉应用了焦耳加热原理,其特征是具有高的能量效率和便于维护。

因此,此系统可在各种运行条件下方便地操作,并且电力消耗低于其它的熔化系统。此外,该系统的二次产品(保温板、石材、高强度人工骨材水栽植物培养站等)充分满足消费品的质量标准。(学牛 供稿)

涡轮导叶轴向弯曲对其气动性能影响的研究(三维粘流数值分析)=A Study on the Axial Skewing Effect of Turbine Stator Blades on Their Aerodynamic Characteristics(Three-dimensional Viscous Flow Numerical Analysis [刊/中]/Chen Naixing, Zhou Qian, Huang Weiguang(Institute of Engineering Thermophysics under the Chinese Academy of Sciences)//Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1996,11(1). -1~8

Recent years have seen the application of computational fluid mechanics to turbomachinery with a significant contribution being rendered to the three-dimensional computation method and the simultaneous initiation of a transition from academic study to industrial use. Over the recent two decades the Institute of Engineering Thermophysics under the Chinese Academy of Sciences had been engaged in the development of a variety of three-dimensional flow computational methods for turbomachinery. The present paper presents the method developed by the authors, its application in the study and analysis of the flow phenomena occurring in a typical turbine stator with a high aspect ratio, and the axial skewing effect on its aerodynamic characteristics. Also given are some study results and the authors suggestions. Key words: numerical analysis of three-dimensional viscous flow, axial skewing of turbine stator blades, turbine aerodynamic characteristics

内循环流化床锅炉燃烧机理及有关热工参数的确定=The Combustion Mechanism of an Internal Circulation Fluidized Boiler and the Determination of Related Thermotechnical Parameters[刊/中]/Wang Huaibin, Dong Yong, Quan Wentao(Harbin Institute of Technology)//Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1996,11(1). -9~14

Proceeding from the combustion mode specific to an internal circulation fluidized bed boiler, the authors analysed the mechanism of fuel particle combustion and presented a method for determining several major thermotechnical parameters in the thermodynamic calculation. Key words: fluidized bed, internal circulation, combustion mechanism, thermodynamic calculation, thermotechnical parameters

PFBC 高温炉渣连续排放与冷却系统的冷态试验研究=Cold-state Experimental Study of a PFBC High-temperature Boiler Slag Continuous Disposal and Cooling System [刊/中]/Rong Degang, Yang Yaping, Wang Shuangqun (Southeastern University)//Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1996,11(1). -15~19

This paper briefly describes a cold-state test plant of boiler slag disposal and cooling for a home-made PFBC-CC intermediate test electric power station as well as its working principle and related operation test conditions. The test results have shown that the slag disposal and cooling system based on the use of a pneumatically controlled non-mechanical valve for controlling slag disposal rate and the cooling of slag through a shallow bed fluidized mode is characterized by a good regulation performance under a pressurized environment, low air consumption and adequate adaptability to large granules. Because of the foregoing the said system is expected to find application in an intermediate test plant to realize the continuous disposal and cooling of PFBC high-temperature boiler slag. Key words: pressurized fluidized bed, boiler slag, disposal, cooling system

链条炉排加煤粉复合燃烧技术=A Combustion Technique Featuring the Combination of a Travelling Grate and Pulverized Coal Firing[刊,中]/Yang Mingxin, Wu Shaohua, Sun Shaozeng,