

设计与试验

流化床锅炉水冷绞龙冷渣器的试验研究*

(华中理工大学煤燃烧国家重点实验室) 陈汉平 陆继东 金星 刘德昌

(湖北锅炉辅机厂) 彭浩然 谢鹏举 刘明才 严会祥

[摘要] 在对水冷绞龙式冷渣器进行工业性运行和测试的基础上,分析了水冷绞龙中灰渣粒子的运行规律,给出了其灰渣输送量的计算公式,获得了其传热系数,并对灰渣输送及传热特性等进行了分析探讨,得到了一些有益的结论,为这种冷渣器的研究开发、设计完善和推广应用提供了重要的依据。

关键词 水冷绞龙;粒子运动;灰渣输送;传热特性

中图分类号 TK10 TK229.66

1 前言

随着流化床锅炉的发展,作为其重要辅助设计之一的灰渣冷却装置,愈来愈受到人们的重视。对于容量较大的流化床锅炉,灰渣冷却装置已成为必不可少的设备,并直接影响到流化床锅炉的安全经济运行。

我国目前有大量的流化床锅炉在运行,大多对高温炉渣,或堆积起来自然风冷,或采取湿法,即水直接接触冷却。这样既浪费能源,又污染环境。采取适当的方式,实现高温灰渣的干式冷却,不仅可以回收其物理热,提高锅炉热效率,而且还便于灰渣的输送和综合利用,改善工作环境,也有利于流化床锅炉的安全经济运行^[1]。

国外流化床锅炉高温灰渣的冷却主要采用流化床冷渣器和螺旋式冷渣器^[2]。螺旋式冷渣器即水冷绞龙,有单螺旋轴或多螺旋轴结构,冷却方式有外壳、叶片和轴水冷,水冷绞龙能在输送过程中实现高温灰渣的间接冷却,是一种高效换热器,能有效地利用高温灰渣的余热,作为流化床锅炉的冷渣器是很适宜的。

目前,华中理工大学和湖北锅炉辅机厂联合研究开发了水冷绞龙冷渣器,已成

功地应用于10 t/h和75 t/h流化床锅炉上,并进行了灰渣输送及传热等试验研究。

2 试验装置与试验条件

该水冷绞龙为双螺旋轴结构,螺旋叶片直径为0.4 m,轴径为0.14 m,螺距为0.16 m,螺旋叶片厚度为0.05 m。水冷绞龙装置如图1所示。

水冷绞龙进口热态灰渣为京山县化肥厂10 t/h流化床锅炉的炉渣。锅炉型号为SHF10-25/400AI,燃用II类烟煤,运行稳定。

流化床锅炉炉渣(900~950℃)进入水冷绞龙后,在两根相反转动的螺旋叶片的作用下,作复杂的空间螺旋运动。运动着的热态灰渣不断与中空的螺旋叶片、轴以及空心外壳进行接触,放出热量,其热量由空心叶片、轴和空心外壳内流动的水带走,完成间接热交换过程。最后,冷却下来的灰渣(120~150℃)由出口排出,完成整个输送及冷却过程。

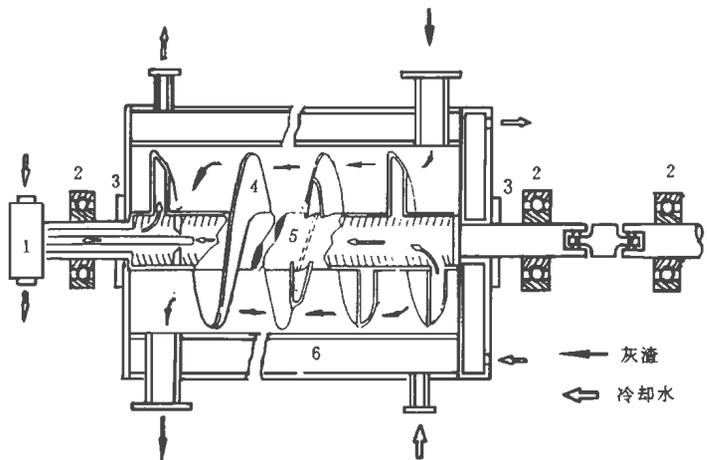


图1 水冷绞龙装置与系统图

1.旋转接头 2.轴承 3.端封 4.螺旋叶片 5.轴 6.箱壳

* 湖北省科委、国家科委资助项目(85-206-02-02-01)

收稿日期 1996-10-14 收修改稿 1997-10-09 本文联系人 陈汉平 男 1962年生 副教授 430074 武汉

试验中,冷热灰渣的温度由热电偶测量,进出口水温由水银温度计测量,灰渣量由磅称称量,水量由流量表计量

3 试验结果与分析

3.1 水冷绞龙中灰渣的运动分析

冷热态输送试验中发现,灰渣在水冷绞龙中的运动状态,总体来看,好似持住不能转动的螺母,只能沿着螺杆作直线运动一样;但对具体颗粒而言,由于受旋转着的螺旋叶片的影响,其运动为一具有轴向分速 V_a 与圆周分速 V_p 的空间运动。根据受力分析及速度分解可得^[3]。

$$V_a = \frac{tn}{60} [\operatorname{tg}^T + t / (\alpha r)] / \{1 + [t / (\alpha r)]^2\} \quad (1)$$

$$V_p = \frac{tn}{60} [1 - t \times \operatorname{tg}^T h / (\alpha r)] / \{1 + [t / (\alpha r)]^2\} \quad (2)$$

式中, n - 绞龙转速, r/min ; T - 灰渣对绞龙叶片的摩擦角; r - 粒子与绞龙轴间的距离, m ; t - 绞龙叶片的节距, m

由式 (1)、(2) 可知,不同半径处的粒子具有不同的 V_a 与 V_p 值。因此粒子间将产生相对滑动。靠近轴的粒子,其圆周速度比远轴处的大,而该处的轴向速度却明显降低。因此内层的粒子较快地绕轴转动,并较早地到达表面,从而产生垂直于输送方向的附加粒子流。这虽然不利于灰渣的输送且增加了功率的消耗,但却加强了粒子与受热面间的接触更新,强化了传热效果,对换热过程有利。

试验中还发现,绞龙转速 n 也影响着灰渣的运动。随着转速的提高,附加粒子流逐渐加强。当 $n \geq 45 r/\text{min}$ 时,附加粒子流十分明显,不少粒子甚至产生垂直于输送方向的跳跃。另外,灰渣的充填系数 j 对其运动状态也有影响。随着充填系数的提高,粒子运动的滑移面与输送方向趋于垂直,附加粒子流逐渐加强。因此,对螺旋输送机而言, j 应取低值,通常 $j \leq 45\%$,以免导致输送速度的降低和附加能量的消耗。但对水冷绞龙而言, j 应取高值,通常 $j \geq 50\%$,甚至完全充满,以有效地利用受热面,并加强粒子与受热面的接触更新,强化传热效果。

3.2 水冷绞龙的灰渣输送量

研究表明,双轴水冷绞龙的灰渣输送量约为单轴水冷绞龙的两倍^[4]。双轴水冷绞龙的灰渣输送量 $G(\text{kg}/\text{h})$ 除了与其结构特性(如螺旋叶片直径 D , m ; 螺旋轴直径 d , m ; 螺距 t , m ; 螺旋叶片厚度 W , m

等)有关外,还与其运行条件(主要是绞龙转速 n , r/min),灰渣特性(主要是堆积密度 d , kg/m^3)及灰渣充满度 j 等有关,根据试验数据整理可得:

$$G = 94 j n d (t - W) (D^2 - d^2) \quad (3)$$

由此可知,随着绞龙转速的增加,水冷绞龙的灰渣输送量增大,但绞龙转速的增加受水冷绞龙的使用寿命(主要是螺旋叶片的磨损),水冷绞龙的冷却能力等因素的制约。因此,绞龙转速的确定应综合考虑这些因素,选定一最佳范围。试验研究表明,维持绞龙的转速 $n < 20 r/\text{min}$ 左右较为合理。

水冷绞龙的灰渣输送量应与流化床锅炉所需冷却的灰渣量相匹配。现已设计生产了不同型号的系列水冷绞龙冷渣器,可满足不同容量流化床锅炉的冷渣要求。单台水冷绞龙的冷渣量为 $3 \sim 10 \text{ t}/\text{h}$,可将灰渣从 950°C 左右冷却至 180°C 以下。随绞龙直径的增加,输送渣量增加;随绞龙长度的增加,冷却能力加强。在选型设计中应根据所需冷却的灰渣量和所要求的冷渣终温来选择水冷绞龙的型号及台数,并留有足够的余量。实际运行中,可适当调整绞龙转速和冷却水流量,以适应冷却渣量的变化。

3.3 水冷绞龙的传热系数

计算表明,水冷绞龙中渣侧放热量与水侧吸热量基本平衡(散热损失可忽略不计)。水冷绞龙的传热量为:

$$Q = KH\Delta t \quad (4)$$

式中, K - 传热系数, $\text{W}/(\text{m}^2\text{C})$; H - 有效传热面积, m^2 ; Δt - 传热温压, $^\circ\text{C}$ 。将有关数据代入,计算整理可得:

绞龙传热系数 $K = 48.3 \sim 58.7 \text{ W}/(\text{m}^2\text{C})$,箱壳传热系数 $K' = 10.6 \sim 11.2 \text{ W}/(\text{m}^2\text{C})$ 。;换热过程主要发生在螺旋叶片上,箱壳的换热量很小,仅占总换热量的 10% 左右。

传热温压均按对数平均温压计算。在箱壳中,相对于灰渣,冷却水作多行程(大于 5)交叉流,总趋势为逆流。因此,箱壳的传热温压按逆流对数平均温压计算。而在绞龙内,总体来看,冷却水先经螺旋叶片逆流后再经空轴顺流,可视为两行程平行混合流。计算表明:在绞龙中,顺流对数平均温压与逆流对数平均温压之比大于 0.92 为简化计算,绞龙传热温压可取为顺、逆流对数平均温压之和的一半。

由于水冷绞龙中受热面壁面导热热阻及水侧对流热阻很小,水冷绞龙的传热系数主要受灰渣的传热阻力影响,与灰渣粒子的运动状态,特别是与粒子

和受热面的接触更新状态有关,还与灰渣粒子的物理特性(如导热系数、粒径等)有关。根据现有试验数据及理论分析,可以得出如下结论:

(1)灰渣粒径越小,灰渣自身热阻越小,传热系数越高;

(2)螺旋轴转速越高,灰渣与受热面的接触更新越快,传热系数越高;

(3)水冷绞龙的结构,特别是螺旋叶片结构对灰渣的运动状态影响很大,即对换热效果影响较大,因此,必须对其进行结构优化,以获得较高的传热系数。

4 结论

(1)在 10 t/h 和 75 t/h 流化床锅炉上的试验及运行中,水冷绞龙运行正常,调节灵活,灰渣冷却效果好,可将高温炉渣从 900~950℃ 冷却到 120~150℃。

(2)冷却水系统的密封性能良好。在运行及试验期间,冷却水未发生泄漏事故,经受住了实际运行的考验。

(3)水冷绞龙结构、系统热膨胀,特别是螺旋叶片与其轴的热膨胀设计合理。螺旋叶片轴采用了独特的双层浮动衬板结构,有效地补偿了空心叶片与

管轴之间的膨胀,未发生因热膨胀问题而导致的绞龙扭曲、卡死以及焊缝撕裂等故障。

(4)水冷绞龙传热效果好,绞龙传热系数为 48.3~58.7 W/(m²·°C)。其换热过程主要发生在螺旋叶片上。在一定条件下,水冷绞龙的传热系数还可以提高。

(5)对不同的冷却渣量及冷却终温要求,设计时采用不同型号的水冷绞龙,运行中适当调整绞龙转速和冷却水流量,可以达到满意的效果。

综上所述,双轴水冷绞龙具有换热效果好,运行调节灵活,安装使用方便,便于灰渣的输送和综合利用,可减少灰渣的灰污染、热污染,改善运行条件等优点,非常适用于各种容量的流化床锅炉作为灰渣冷却装置,具有广阔的应用前景。

参考文献

- 1 刘焕彩.流化床锅炉原理与设计.武汉:华中理工大学出版社,1988
- 2 刘德昌,陈汉平等.流化床锅炉冷渣器概述.工业锅炉,1993,(1)
- 3 洪致育,林良民.连续运输机.北京:机械工业出版社,1982,12
- 4 Hanping Chen, Jidong Lu, et al. Test research of bed ash coolers for a 50 MWe CFB boiler. 13th International Conference on Fluidized Bed Combustion, ASME, May, 1995

(上接 256页)

4 结论

本文将煤气化技术与闭式注蒸汽燃气轮机循环结合起来,构造了以煤气化产物为燃料的闭式注蒸汽燃气轮机循环(IGCSTIG),并对该循环进行了热力学分析,结果表明,IGCSTIG循环虽然增加了水回收装置,因而增大了排气阻力,但由于给水加热器的存在使低温排气余热得以有效回收,因而循环性能较燃煤开式 STIG 循环在较低压比时不仅没有下降反而稍有提高,在较高压比时二者性能则相差不多。利用冷却冷凝器使回注的水蒸气全部或大部分回收,解决了 STIG 循环水耗严重的问题。因此 IGCSTIG 循环是很有发展前途的燃煤发电循环。

参考文献

- 1 Nguyen HB, Otter A den. Development of gas turbine steam injection water recovery (SIWR) system. ASME Journal of Engineering For Gas Turbines and Power, 1994, 116: 68~74
- 2 U. S. Department of Energy. Environmental Characteristics of Clean Coal Technologies, 1992
- 3 焦树建.烧煤的燃气-蒸汽联合循环装置.清华大学出版社,1994
- 4 陈安斌,王永青,尚德敏,严家骥.煤气化产物为燃料的燃气热力性质研究.中国工程热物理学会工程热力学与能源利用学术会议,1996

作者简介 陈安斌 男 1969年生,现为哈尔滨工业大学热工教研室讲师,在职博士生。主要从事热力循环的研究。

通讯地址:150001 哈工大 513信箱 电话 6413230

流化床锅炉水冷绞龙冷渣器的试验研究 = **Experimental Study of a Water-cooled Spiral Conveyance Type Ash Slag Cooler for a Fluidized Bed Boiler** [刊,中]/Chen Hanping, Lu Jidong (Central China University of Science & Engineering) //Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 1998, 13(4). - 264~266

On the basis of the industrial operation and testing of a water-cooled spiral conveyance type ash slag cooler an analysis is conducted of the movement pattern of ash slag particles in the water-cooled spiral conveyer, and a formula for calculating the ash slag transport quantity given along with a heat transfer factor. Moreover, an analytical exploratory study of the ash slag transport and heat transfer characteristics has brought forth a number of useful conclusions and provided a major basis for the research and development, design improvement and wide application of such ash slag coolers. Key words water-cooled spiral conveyer, particle movement, ash slag transport, heat transfer characteristics

流化床气固传热特性的实验研究 = **Experimental Study of a Fluidized Bed Gas/Solid Heat Transfer Characteristics** [刊,中]/Ai Yuanfang, et al (Southern China Polytechnical University) //Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 1998, 13(4). - 267~270

An effective heat transfer factor has been derived through a simple analysis of fluidized bed gas/solid heat transfer characteristics and on the basis of the gas temperature profile of a steady-state operating condition active region. The experimental results are in good agreement with traditional empirical values. This justifies the rationality of the gas/solid heat transfer characteristics analysis and the feasibility of calculating a fluidized bed gas/solid effective heat transfer factor, thus providing helpful guidance for the study of fluidized bed gas/solid heat transfer characteristics. Key words fluidized bed, temperature profile, gas/solid heat transfer characteristics, effective heat transfer factor

PG9171E燃机余热锅炉的改造设计 = **Modification Design of a Heat Recovery Boiler for PG9171E Gas Turbine** [刊,中]/Ye Jianfei, Zhang Xiaohong (Shenzhen Nanshan Cogeneration Power Co. Ltd.) //Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 1998, 13(4). - 271~273

This paper describes the modification design of a heat recovery boiler for a large-sized gas turbine. The design features low weight, small physical size, fine cost effectiveness, low cost and innovative technology. Derived from engineering practices these design approaches can serve as a guide during the design of heat recovery boilers for use on gas turbines. Key words gas turbine, heat recovery boiler, modification design

热力系统数学模型自由度分析 = **Degree of Freedom Analysis of a Mathematical Model for a Thermodynamic System** [刊,中]/Zhou Yuyang, Hu Niansu, Fan Tianjing (Wuhan University of Water Resources and Electrical Power) //Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 1998, 13(4). - 274~276, 279

By utilizing the conception of the degree of freedom the authors have performed a systemic analysis for a thermal power plant thermodynamic system, presenting a method for evaluating the degree of freedom of a physical stream unit model and structure model as well as for determining decision variables. The above-cited method can be employed for the numerical characteristics analysis of on-line flow sheet analog calculation. Key words thermodynamic system, degree of freedom, flow sheet simulation

旋流燃烧器壁温计算数学模型 = **A Mathematical Model for Calculating the Wall Temperature of a Swirl Burner** [刊,中]/Sun Zhigao, Zhang Yongfu (Southeastern University) //Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 1998, 13(4). - 277~279

A brief description is given of a mathematical model for the axial wall temperature profile of a swirl burner. The use of this model allows one to evaluate the relationship between the burner outlet wall temperature and furnace temperature. The rationality of the mathematical model has been verified through a number of tests. Key words burner, wall temperature, radiation, mathematical model