

循环流化床锅炉炉衬的设计与施工

马书启

(北京锅炉厂)

〔摘要〕 从设计和施工的两个方面论述了循环流化床锅炉的炉衬。并以低循环倍率的中小容量循环流化床锅炉为例,探讨了炉衬的设计、结构布置、材料的选用与施工的方法。

关键词 流化床锅炉 炉衬 设计 施工

循环流化床锅炉(以下简称CFBB)的炉衬设计与施工是保证锅炉总体设计性能、运行可靠性的重要因素之一,是锅炉制造、安装成本及运行费用的多参数综合技术经济评价(VA)对象。CFBB炉衬的结构、性能设计不良或非优化设计以及材料的选用不合理或施工方法、质量方面的问题都会影响锅炉的运行安全性、经济性和可靠性。

高循环倍率或称快速床的CFBB(循环倍率为15~40)与低循环倍率或称慢速床的CFBB(循环倍率为5~15)由于结构和性能上的差异,炉衬设计也有其各自的特点。本文主要讨论低循环倍率的CFBB炉衬的设计与施工。

1 CFBB炉衬的设计与分析

炉衬设计要全面考虑到锅炉的整体性能、燃烧特点、传热换热要求、工况环境等方面的问题,合理地进行材料选择、结构布置和施工方法的选择。

一般的CFBB可按循环方式分成内、外

循环两种。系统构成大致由点火燃烧器、湍流床、悬浮室、烟灰分离装置、飞灰再循环装置、分级送风燃烧系统和各种热交换设备组成。上述前四项的炉衬面积之和是CFBB系统炉衬总面积的(80~85)%。

CFBB的湍流床属还原氧化区。床料由宽筛分的煤粒、床砂石灰石粉粒和再循环灰粒组成(仅指燃煤的CFBB)。通过底部布风装置输送高压头的流化空气将床料翻滚搅动,依靠床砂的载热强烈地燃烧。这种高密相的燃烧方式使湍流床的周界壁面处于强烈冲刷磨蚀和热腐蚀的恶劣环境。此外为了满足降低NO_x的生成和脱硫等环境要求,床温要能平稳控制在某一定值区域上。CFBB还要求湍流床具有点火升温、事故停炉和快速负荷响应能力。适应以上要求湍流床的炉衬要具有较高耐磨抗蚀的性能、耐热保温和热惰性小的特点。

炉衬设计的性能分析方法可按以下步骤进行:

- (a)熟悉系统特点和整体性能。
- (b)分析炉衬敷设点的工作环境。

收稿日期 1992-08-06 修改定稿 1992-11-15 1993-02-20

本文联系人 马书启 男 33 工程师 100043 北京锅炉厂研究所

(c)了解炉衬敷设与锅炉性能的相关因素。

(d)确定炉衬的目的与功能。

采用上述方法,得到低循环倍率 CFBB 的几种常见炉型典型炉衬的特点和作用如下:

1、内循环涡流型湍流床(图 1)炉衬,要求高耐磨、高耐温性和抗冲刷。

2、高温外循环分离器入口段(图 2)炉衬,要求高耐磨、高耐温性。

3、中温外循环分离器入口(图 2),要求高耐磨、高耐温性。

4、中、高温外循环分离器筒体(图 3),要求耐热、保温、热惰性小,

5、点火燃烧器烟道,要求耐热。

6、悬浮室,要求高耐热、耐磨、热惰性小。

对燃用城市废弃物、化工废料等含腐蚀性成分的 CFBB,要根据具体情况考虑防腐和炉衬材料的稳定性等。

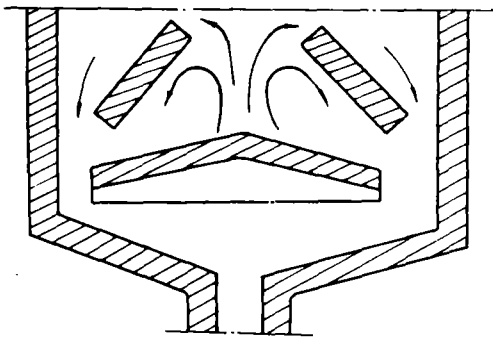


图 1

2 CFBB 炉衬的传热与结构设计

CFBB 炉衬归纳起来有两大类型和两种结构。两大类型是有冷却受热面型和无冷却受热面型。两种结构是单层轻型结构和复合

多层结构。

蒸发量 35 t/h 以上的外循环 CFBB 大多采用膜式或光管组成的炉膛,炉型为悬吊式。对这种炉膛的湍流床和悬浮室炉衬结构设计要求:炉衬体要薄、宜单层结构、材料的物化性能要高。

薄体炉衬是 CFBB 性能和支承结构所要求的。因为 CFBB 与传统煤粉炉、层燃炉等不同之处在于其具有快速的负荷响应能力。炉衬愈薄,热惰性就愈小,升降温快。此外,炉衬愈薄,水冷壁的炉衬附载就愈小,系统吊挂结构杆件可以优化减轻,节约金属耗量。

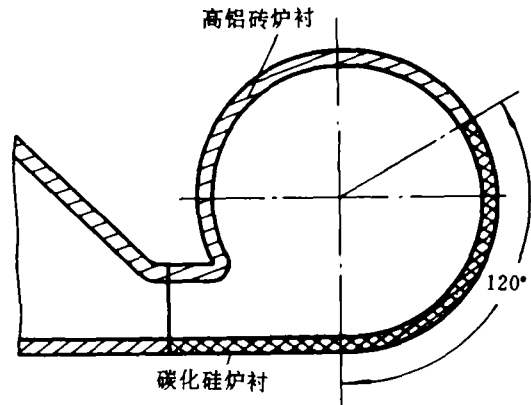


图 2

从施工角度考虑,单层结构要比多层结构节省施工费用,缩短施工养护时间,方便施工和检修。

为保证床温和悬浮室温度水平,薄体炉衬材料的导热系数愈小愈好。要维持炉衬的抗磨损寿命长,材料的耐磨性能及材料成分的稳定性愈高愈好。为达到快速负荷响应的炉衬热惰性小,炉衬体要薄和材料的热震稳定要好。

CFBB 的外分离装置的作用:一是烟灰分离,二是灰的储藏保温。其相应的炉衬要求耐磨耐温。入口处要以高耐磨材料为主。

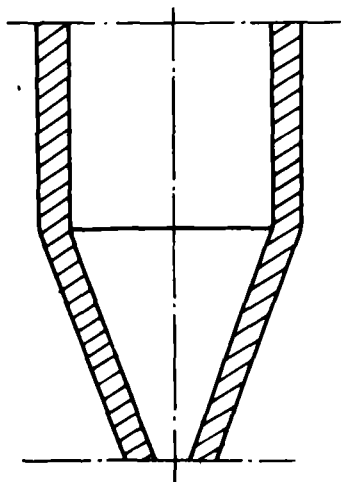


图 3

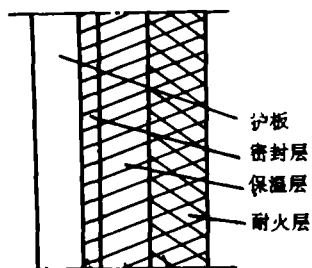


图 4

小于 35 t/h 的 CFBB 常采用光管宽节距管架式或支撑式水冷壁。这种炉衬多采用复合多层结构。炉衬的全部载荷靠水泥基础承担或用分段卸载方式导给炉室构架。这种结

构由耐磨耐热层、保温层和密封层组成(见图 4)。

因为各层材料的物理化学成分性质不同,组合的结果要求升降温梯度小,因此这种结构不适应负荷突变的需要。

炉衬传热计算的目的一是计算炉衬内壁的最高温度,选择适当的材料。另一个是计算炉衬内壁的平均温度,并计算炉衬组成各层的温度及总的热损失,校核各层的承受温度是否超过材料的允许使用温度。

炉衬的传热计算方法:一种是设计计算。即根据计算出的炉衬内壁的最高温度、允许炉衬外壁温度和炉衬热流损失,求出炉衬总热阻。根据欲采用材料的导热系数和炉衬结构,求出炉衬应取用的厚度。

$$\Sigma R = \sum_{j=1}^n R_j = \frac{t_0 - t_0'}{q} = \sum_{j=1}^n \frac{\delta_j}{\lambda_j}$$

式中: $\sum_{j=1}^n R_j$ —— 炉衬各组成层热阻之和 ($m^2 \cdot K/W$)

$t_0 - t_0'$ —— 炉衬内外壁温差 ($^{\circ}C$)

q —— 热流损失 (W/m^2)

δ —— 炉衬厚度 (m)

λ —— 导热系数 ($W/(m \cdot K)$)

第二种方法是校核计算。先按经验布置好炉衬各层的厚度,求算炉衬总热阻去校核热流损失 q 。若计算出 q 值小于或等于允许的 q 值即通过。

CFBB 炉衬的传热计算可用上述方法,但须注意几点:

(a)对 CFBB 中温分离器炉衬。因为炉衬内壁是与温度为 $400^{\circ}C$ 左右的灰或烟气接触,炉衬外与无水冷壳体接触,所以炉衬外壁的温度要低于金属的许用工作温度。

(b)对有水冷湍流床和悬浮室炉衬。水冷受热面的作用主要不是为冷却炉衬而是支承

炉衬。保持床温、悬浮室温度,要求炉衬的导出热流小,即炉衬材料要能耐热保温。

介绍一种国外简便而实用的方法供参考。

首先定义炉衬热效系数。将无炉衬水冷壁管所吸热量 Q_1 与有水冷炉衬管吸热量 Q_2 值之比称作炉衬热效系数 X 。

$$X = Q_1/Q_2$$

取湍流床区域炉衬 $X = 0.6$,且要求该区材料的导热系数为 $15 \sim 20 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ 。根据湍流床的流化速度查线算图 5 得到传热系数值。用传热系数和热效系数查图 6,即求得所需炉衬厚度的值。

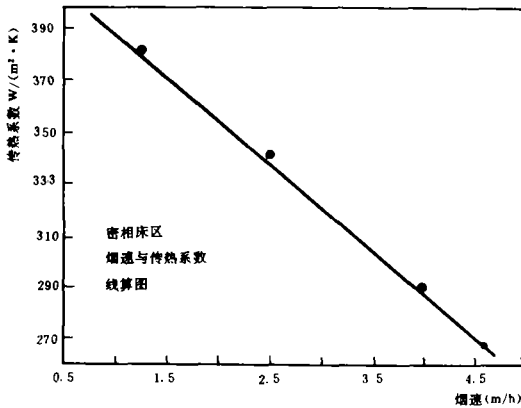


图 5

悬浮室炉衬区取 $X = 0.1 \sim 0.3$,该区材料的导热系数为 $1 \sim 2 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ 。采用热力计算得出的该区传热系数和温差(悬浮室与炉衬外管壁温度之差)值,建立如下传热平衡方程:

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 = Q_4 + Q_5$$

式中: Q_1 ——从湍流床飞升来的煤、灰粒子在悬浮室继续燃烧所释放出的热量。

Q_2 ——二、三次风带入的热量。

Q_3 ——从湍流床来的烟气二相流所释放的热量。

Q_4 ——烟气二相流带出悬浮室的热量。

Q_5 ——该区炉衬吸收的热量。

列出传热方程:

$$Q_5 = K \cdot H \cdot \Delta T \cdot X$$

式中: K ——传热系数

H ——炉衬敷设面积

ΔT ——温差

求出:

$$X = Q_5/K \cdot H \cdot \Delta T$$

根据炉衬传热系数和材料导热系数查图 6 得到所需炉衬的厚度。若炉衬为复合多层结构,按图 6 的材料导热系数将为各层导热系数的加权平均值。

图 5 和 6 只适用于低循环倍率膜式水冷 CFBB 的炉衬设计计算。

3 炉衬的选材与施工

根据炉衬的结构设计选择相应的材料。

材料选择要从分析材料的物化性质(包括耐磨性、耐热性、耐腐蚀性、导热性、稳定性、热胀性、收缩率、抗压抗折性和容重)着手,兼顾经济性。结合炉衬部位的特点,承载炉衬的部件结构、耐温抗磨要求进行综合比较,做到技术先进、结构可靠和经济合理。举例说明:

在湍流床部位,炉衬的工作条件恶劣,不但床压高、床温高,且床料密度大,搅动冲刷强烈。所以要求炉衬材料应有高耐磨,耐温好,抗压耐折性好以及导热系数低、容重尽量

小的特点。同时满足以上特点的材料很难找，应该主要着眼于满足耐磨和耐温这两个条件，然后再考虑能否满足适应温度频繁变化的抗震稳定性，至于导热系数可限定在 15~20 W/(m·K)常范围内。满足这样条件的材料目前有两种：一种是碳化硅，另一种是黑体硅酸铝。两种材料性质基本相同。黑体硅酸铝还是一种有较长红外波反射力的节能材

料。两种材料的缺点是容重都较大(>2500 kg/m³)，价格较贵(92 年价≈1 万元/吨成品)。但由于湍流床区域炉衬面积只占炉室炉衬敷设总面积的 1/4 左右，使用这种材料寿命长，稳定性高，可减少因炉衬事故而导致的停炉检修次数，节省运行费用。因此，综合比较还是合理的。

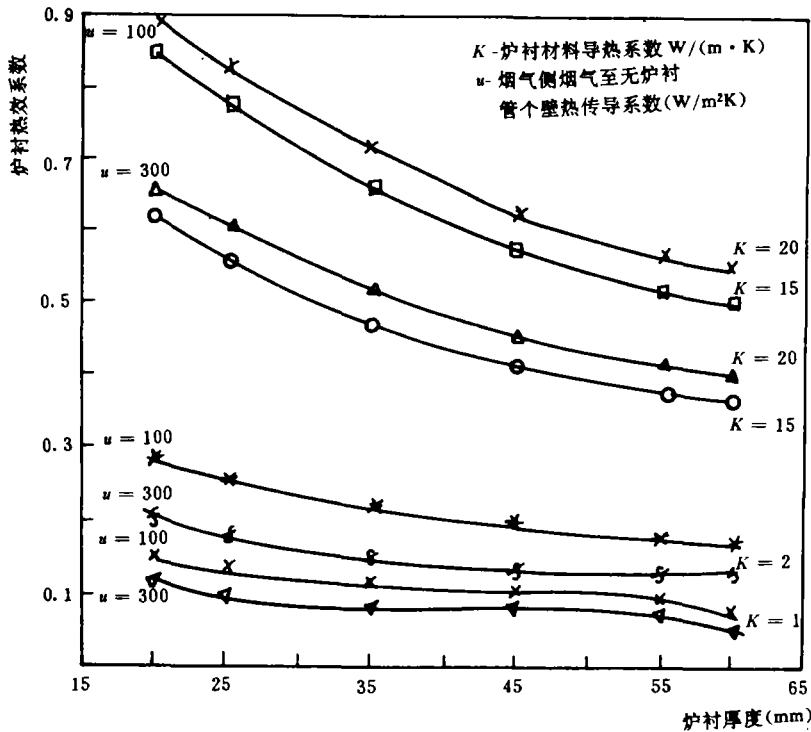


图 6

外循环 CFBB 分离器入口处(见图 2)是易磨损区，材料应选耐磨的。分离器筒体部分炉衬要耐高温。因为对高温型分离器，有一部分未燃尽的粒子有时会在这一带继续燃烧。CF-

BB 的分离灰主要部分要参与再循环以控制床温和提高燃烧效率。灰入炉的温度要求不大于烟气炉膛出口温度与分离器灰出口温度差的±5℃范围，这也就要求该区炉衬既要耐

热又要保温的结构。要求耐热材料的导热系数 $< 2 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{k})$ 。这种材料可选择高铝制品或其它相近材料。

以下结合本人作过的一台 130 t/h 的 CFBB 炉衬设计为例供参考。

	湍流床	悬浮室	过渡烟道	分离器	燃烧器
受热面	水冷壁	水冷壁	无水冷	无水冷	无水冷
炉衬结构	单层	单层	多层	单层	多层
材料	碳化硅	高铝质砖	高铝砖/保温砖	碳化硅/高铝砖	耐火塑料/保温料
厚度	60	60	60/100	60	100/100
砌筑方式	金属件安装	金属件安装	金属件安装	金属件安装粘贴法	浇铸法

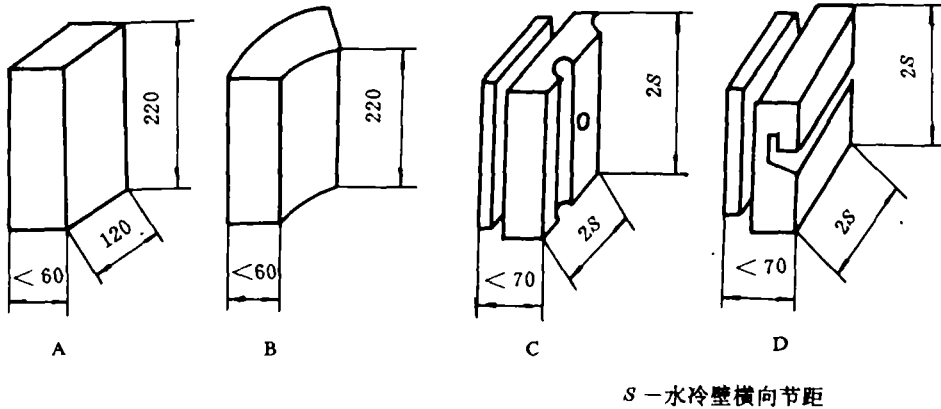


图 7

上表汇总了该锅炉主要炉衬区域的炉衬结构、规格。炉衬多为单层布置(该炉负荷调控范围 30%~110%)厚度均较薄。碳化硅或高铝质砖均预制成形。形状有直砖、瓦片砖。砖的长宽尺寸较小,以不大于水冷壁管的两个截距尺寸为宜(该炉用最大规格尺寸砖为 220×180。主要考虑因素有两个:一是由于炉体为悬吊式,为避免由于运行金属受热的正向膨胀,炉内压力波动和温度变化造成炉衬

脱落。第二是砖块小易于施工布置。砖的边缘有的作成凸凹台,利于无粘接剂装配结构的砖与砖间的遮盖,以加强防护受热面不受直接热幅射。图 7 是几种砖的形状尺寸。

CFBB 可采用三种炉衬施工法。其一为砌砖法。主要用于小型无水冷式重型或轻型护板炉衬。它们的施工是工业窑炉或层燃工业炉普遍采用的方法。第二种是粘贴砌筑法。第三种为安装法,下面分别介绍:

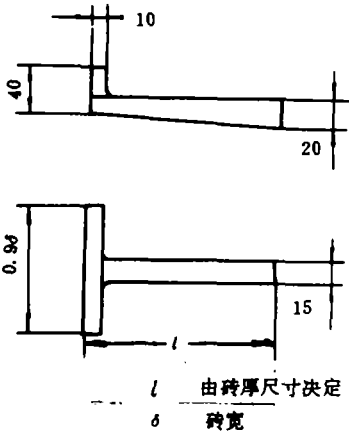


图 8

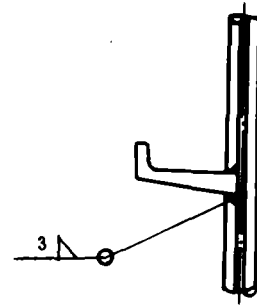


图 9

上面。该法适用多层或单层炉衬,其优点是安装牢固,抗振性好。举两种说明。

第一种 T 形挂砖式。用耐热钢作成图 8 所示 T 形销钉,将它布置焊接在金属壁面上或膜式水冷壁的鳍片上。用图 7 中的 D 号砖依次横向串入即可。在每块砖串入前,砖和金属壁面上应涂刷粘结剂,以使砖挂靠牢固。T 形销钉应与壁面焊牢。焊接要求见图 9。

粘贴砌筑法指采用特种粘结剂将砖粘贴在金属壁面上的方法。这种方法适用于要求温差变化平稳,刚性好振动频率低、炉衬体薄和要求炉衬附载小的区域。如外循环中温分离器筒体炉衬。这种方法的优点是施工方便、迅速,保养期短。施工前清除金属壁面的尘垢和锈蚀、油污,然后在金属壁面上和砖上分别涂上粘结剂。粘贴一起后,用橡胶锤锤实。砖与砖间、砖与金属面间应有 1.5~2 mm 厚的涂层。边粘砖边将砖与砖间挤出的多余粘结剂用工具抹平。要求外表无明显砖缝。用此种方法施工的炉衬厚度最好控制在 60~70 mm。所采用的粘结剂须是与砖性状配套或特种粘结剂,要求稳定性好、粘结强且耐温性高。我们采用 A. P. S-1, A. P. S-2 两种。

安装法指用金属件,如金属支承、销钉、拉钩或螺栓联接等方法将砖固定在金属壁面

当 T 形销钉用于膜式水冷壁上时,按上述方法施工一排后,应用耐火可塑料或其它耐火捣打料填实砖与管壁间的空隙。

第 2 种为螺栓联接法。此法更适用于膜式壁炉衬。首先按照砖衬螺柱焊接布置图的尺寸焊好单头螺柱。螺柱材料选用耐热高强度钢制成。螺柱焊在水冷壁鳍片上,垂直角度偏差要求 $< \pm 1^\circ$ 。清除焊渣、油污和尘垢后,铺设一层 3~6 mm 厚的陶瓷纤维毡。然后装入图 7 中的 C 号砖。将圆形陶瓷纤维垫片放进螺柱顶端,加耐热金属垫圈后拧紧螺母。螺母拧紧程度从观察测量径压缩纤维毡厚减为原来厚度的 1/2 时再拧紧半圈为宜。安装完毕后,用耐火可塑料填平砖上螺栓小孔。图 10 示出了这种方法的安装局部结构图。

采用安装法可以适应较厚炉衬的施工,

单层或多层均可。

炉村施工完毕,应根据炉村情况作相应的养护。

CFBB 炉村的点火升温速度要限制在 $50^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 。

参 考 文 献

- 1 何佩敦. 我国循环流化床锅炉技术的发展及展望. 电站系统工程, 1989, (4)
- 2 岑可法等. 低倍率中温分离型循环流化炉锅炉的设计. 动力工程, 1991, (5)

(梁源沥 编辑)

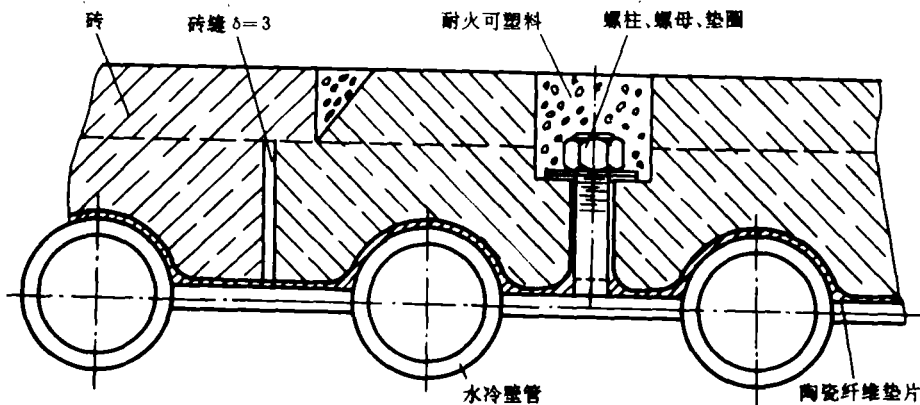


图 10

广东将建联合循环电站

据“Gas Turbine World”1993年5—6月号报道,ABB电力生产公司得到了两个总价值约为3亿美元的合同,为在中国广东省建立两座联合循环电站提供设备。该电站均将围绕每台额定功率为97.9 MW的GT13D 50-Hz两台燃气轮机建立,燃机排气进入各自的余热锅炉,以便驱动一台额定功率为100 MW的凝汽式汽轮机。在燃烧气体燃料

时,每座联合循环电站的总容量约为300 MW。设备将于1993年后期开始发运,计划在1995年初完成设备安装并投入商业运行。

援引中国每年需增加约15 GW发电容量,ABB公司经理把中国看作为将来常规的蒸汽、联合循环和其它发电设备极有前途的市场。

(学牛 供稿)

**JOURNAL OF ENGINEERING FOR THERMAL
ENERGY AND POWER**
1993 Vol. 8 No. 5

CONTENTS

- (227) **The Research and Development of a New Type of Separator for a Circulating Fluidized Bed Boiler** He Peiao (*Harbin Power Plant Equipment Design Institute*)
The author has come up with some innovative ideas and proposals for developing a new type of separator for a circulating fluidized bed boiler. The proposed separator can be employed to replace a bulky cyclone separator currently in use. **Key words:** *circulating fluidized bed boiler, separator*
- (235) **A study on Solid Material Circulation in Circulating Fluidized Beds** Qiu Kuarong, Li Qiang (*Chinese University of Mining and Technology*)
This paper presents the results of a study on solid material circulation in circulating fluidized beds. Given are the research findings on such a variety of issues as the pressure drop of inside-standpipe negative pressure-difference mobile bed, flow resistance characteristics and gas-solid mass ratio of a U-valve. The relevant relationships have been determined with the design and checking calculation method for the circulation system being proposed. **Key words:** *circulating fluidized bed, solid material circulation*
- (239) **An Experimental Study of Flue Gas Flow Resistance in the Converging-Diverging Duct of a Cast-Iron Sectional Boiler** Wang Xiqing, Zheng Ying (*Harbin Institute of Technology*); Wu Zhigang, Qiu Yinong (*Boiler and Pressure Vessel Inspection Agency of Harbin City Labor Bureau*); Xu Keqin (*Harbin Small-Size Boiler Works*); Qiu Fuzhi, Yao Guangyu (*Harbin Foundry General Works*)
Based on the results of experimental analyses the authors have ascertained the relationship governing the variation of flue gas flow resistance in the converging-diverging duct of a cast-iron sectional boiler with Reynolds number and duct length. The Reynolds number ranges from 15000 to 50000 and the boiler section width from 150 to 220 mm. The above findings are applicable to various types of cast-iron sectional boilers currently manufactured in China. **Key words:** *converging-diverging duct, cast-iron sectional boiler, flue gas flow, structural design*
- (242) **The Design and Construction of a Circulating Fluidized Bed Boiler Furnace Lining** Ma Shuqi (*Beijing Boiler Works*)
The paper deals with the furnace lining of a circulating fluidized bed boiler from the aspects of

design and construction. Taking small and medium-sized circulating fluidized bed boilers of low circulation ratio as examples, the author has made an exploratory study of the furnace lining design, structural layout, selection of suitable materials and construction methods. **Key words:** *fluidized bed boiler, furnace lining, design, construction*

- (250) **Optimization of Thermo-Chemical Factor of a Nuclear Heat supply Plant** Liu Jinsheng, Tang Jinhai (*Tianjin Thermoenergy Company*)

By employing a relatively detailed thermal load time retardation chart with the unit heat supply area net value of the nuclear heat supply system assigned as an optimization objective, an optimization of the nuclear heat supply plant thermochemical factor was conducted. The said optimization method is described in the present paper. **Key words:** *nuclear heat supply plant, thermochemical factor, optimization method*

- (258) **Analysis of a Waste Heat Recovery System Using steam/Immiscible Liquid Binary Working Medium** Zhang Jilin (*Harbin Boiler Works*); Mu Shangjun (*Harbin Marine Boiler & Turbine Research Institute*)

A relatively systematic analysis and calculation has been performed of the thermodynamic cycle of a steam/immiscible liquid waste heat recovery system. The application of this cycle makes it possible to not only enhance cycle thermal efficiency but also solve sealing problems and the undesirable thermodynamic characteristics associated with the use of an organic working medium cycle. The calculation results are compared with those of a traditional water steam cycle. The authors maintain that the proposed study of the above cycle is necessary and the study results can play a significant role in raising the thermal efficiency of waste heat recovery systems. **Key words:** *waste-heat recovery system, immiscible liquid, binary working medium analysis*

- (264) **On-Line Communication of HP3054A System with PC-Bus Microcomputer** Zhang Ming (*Harbin Marine Boiler & Turbine Research Institute*)

This paper describes the on-line communication of HP3054A system with PC bus microcomputer SUN286 through the use of IEEE-488 interface card. The author gives a detailed account of the system configuration, hardware connection, GPIB software package and some key points of programming procedures. With the help of the test system based on an on-line communication it is possible to achieve a better performance in data acquisition and processing, thus opening a new avenue for the full utilization of the 3054A system and HP Co. -supplied instruments.

Key words: *IEEE-488 bus, measuring and testing system, PC bus microcomputer, on-line communication, software*