

新型钝体稳燃器的空气动力场的试验研究

杨黎昱 温龙 温建夏 敦 (西安交通大学)

朱焜 (东北电力试验研究所)

[摘要]众所周知,钝体后方的回流区具有稳定燃烧的作用。本文提出了一种新型结构的锯齿钝体,并对其空气动力场进行了详细的试验研究和结果分析。试验结果表明:新型锯齿楔钝体较普通的楔形钝体具有较好的稳燃效果,从而为新型锯齿钝体稳燃器的设计和实际运用提供了依据。

关键词 锯齿钝体 回流区

分类号 TK22.23

0 前言

根据我国目前能源政策及煤炭资源情况,动力燃料以煤为主,而且低质煤是主要用煤。部分地区电站用煤的灰分含量平均为26%左右,挥发份平均为15%左右。这就给锅炉的运行和设计带来苛刻要求。为了保证锅炉的正常运行,不得不提高伴油燃烧的锅炉负荷,这就降低了锅炉调峰能力,同时造成油耗量大,增加了运行成本,而成为当前动力工业一个突出矛盾。目前电功率为300 MW, 600 MW等级的锅炉在我国增加较快,而且要求有较好的调峰性能,所以低负荷下稳定燃烧及降低伴油燃烧的负荷是亟待解决的问题。另外,我国环保条例中关于锅炉排污标准的规定也日趋严格,所以 NO_2 的减少也是必须应达到的目标。对于上述问题的解决,燃烧器是关键之一。

目前,普遍应用的燃烧器如旋流式燃烧器和不良流线体稳燃器,在燃用贫煤,无烟煤

或低挥发份劣质煤时,效果并不太好。针对存在的问题,本文推出一种新型锯齿钝体燃烧器,并在冷态条件下对其空气动力场进行了详尽的试验研究,获取了大量的试验数据。试验结果表明:当气流绕过新型锯齿钝体时,在紧靠钝体的下游区将形成一个较大的旋涡回流区,此回流区的尺寸及其扰动程度取决于新型钝体的几何参数和气流的出口速度等因素。在回流区的边界内外出现很大的速度梯度,有强烈的湍流混合。在钝体的中心槽道处,由于主流引射造成的抽吸作用,使回流区中部分回流气体进入中心槽道。对于实际的燃烧器而言,所抽吸的热烟气会加热煤粉气流,同时还会促进煤粉的偏析而构成浓淡煤粉气流。这些都是新型锯齿楔钝体完全崭新的、区别于其它钝体的主要特点。

1 新型锯齿钝体的结构特点及其稳燃机理分析

收稿日期 1994 06 13

本文联系人 温龙 男 63 教授 710049 西安交大锅炉教研室

1.1 结构特点

新型钝体为狭长楔形,边缘呈锯齿状。在锯齿钝体的中央开有一个矩形槽孔,在槽孔的底部有一排小孔和外界连通。试验共完成了四种几何尺寸不同的钝体尾迹空气动力场测试。具体的结构见图 1。

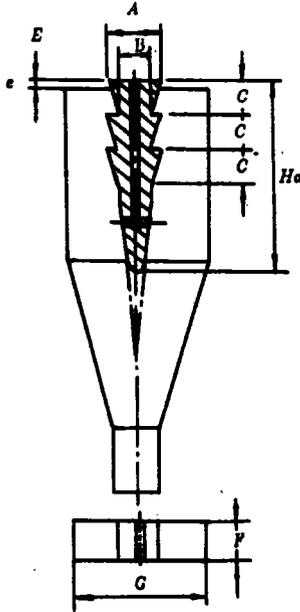


图 1 试验锯齿钝体示意图

	No1	No2	No3	No4
A	10	15	12	10
B	10	9	8	8
C		17	11	5.2
Ha	59	59	59	60
E	0	0	0	0
	4	4	4	4
	8	8	8	8
F	12	12	12	12
	20	20	20	20
G	50	50	50	50
Z	0	2	4	8

1.2 新型钝体的稳燃机理分析

新型锯齿钝体的特殊结构决定了它具有较好的稳燃性。

1.2.1 锯齿钝体由于在主流侧增加了锯齿,从而可以在主流中形成涡流串,涡流串不仅增加来流的湍流度,而且促使燃料颗粒向气流边缘区域偏析。燃料颗粒在流场中的分布受许多因素的影响,如湍流剪切力, BASSET 力,以及升力等。燃料颗粒在一定的力作用下会被脉动气流牵引,从而影响颗粒在流场中的分布,构成局部的煤粉高浓度区和低浓度区,以达到稳定着火和减少 NO₂ 的目的。对于本试验,纳维尔——斯托克斯方程的动量方程可写成:

$$\frac{\partial(\rho u_i)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_i u_j)}{\partial x_j} = \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j} \quad (1)$$

式中 τ_{ij} —应力张量;

对动量方程求旋度,得涡量方程:

$$\frac{\partial \Omega}{\partial t} + V \cdot \nabla \Omega = \Omega \cdot \nabla V + U \nabla^2 \Omega - \Omega \nabla V - \nabla \cdot \frac{1}{\rho} \times \nabla \rho \quad (2)$$

其中向量 $\Omega = \nabla V / 2$,速度的旋度为涡量。方程(2)中第一项为由拉伸引起的涡量变化,第二项为粘性耗散项,第三项表示涡旋密度变化的影响,第四项为变密度流体中由压力梯度引起的涡量产生项,整理(2)可得:

$$\frac{D\Omega}{Dt} = \Omega b(t) \quad (3)$$

由此可见,涡量变化主要由拉伸项引起。很显然,涡旋的存在,增加了来流的湍流度,使主流线发生偏折,从而影响到颗粒的浓淡分布。

1.2.2 新型锯齿钝体的特殊结构会形成较大回流区,使锯齿钝体具有较好的稳燃效果

实验证明:来流的湍流度及钝体的结构因素是影响钝体尾迹回流区尺寸的主要因素,基于这一点,试验中的钝体采用一种新型结构,它能在主流中形成涡流串,增加来流的湍流度,而且钝体的中央槽结构会加强钝体尾部的气流扰动,这些都会扩大回流区尺寸。

此外,对于真实的稳燃器来讲,钝体的中心槽道会卷吸回流的高温烟气,从而预热来流。

平。具体的因素和水平列于表 1 中。

2 试验装置

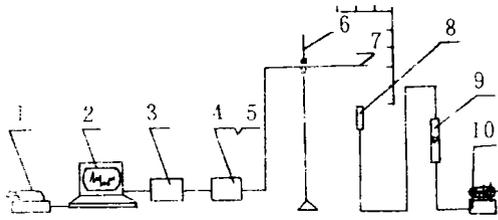


图 2 试验装置系统图

- 1. 打印机 2. 微机 3. 均方根表 4. 5. 热线风速仪
- 6. 坐标架 7. 热线探针 8. 实验喷嘴
- 9. 转子流量计 10. 压缩机

试验采用 TSI 公司的 MODEL1050 热线风速仪测量钝体后速度场,同时在流场中悬挂细漂浮线使流场中各个方向上流速实现可视化。采用 IMP 数据采集器采集数据在微机中进行数据处理。采样的时间间隔根据实际操作来调节。用空气来模拟一次风。

3 试验方法

为精确地测量新型锯齿钝体后的速度场和回流区形状,本试验采用正交试验方法,选取了三个试验因素,每个因素选取四个水

表 1 试验的因素和水平

因素 \ 水平	1	2	3	4
Z	0	2	4	8
H	0	4	8	12
V	8	10	15	18

4 试验结果分析

4.1 锯齿钝体尾迹的空气动力场结构

由试验测得的数据分析可知,钝体尾迹中回流区内气流扰动剧烈,速度梯度大,而气流速度却很低;钝体回流区中央有大量气体被卷吸进入钝体内部,当气体的来流流速增大时,卷吸回流增强;射流边界卷吸附近空间静止流体,使射流速度有一定的衰减。总之,新型锯齿钝体的独特结构,增大了钝体回流区尺寸;回流区的中心槽道的抽吸作用会进一步降低回流区内静压,从而收到更好的稳燃效果。图 3 为新型锯齿钝体尾迹的流场示意图。

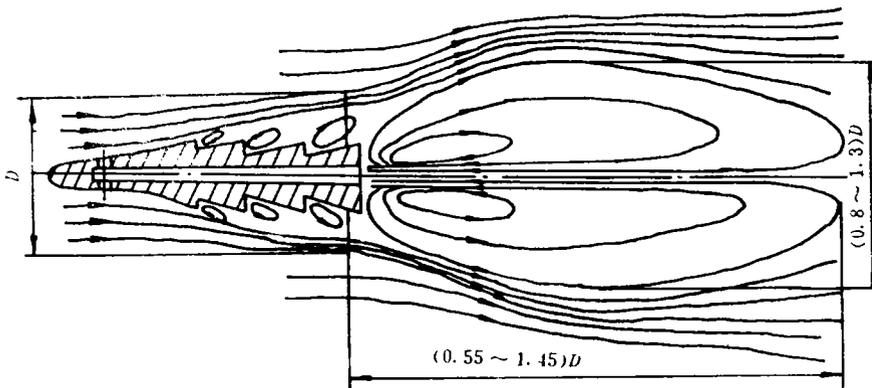


图 3 新型锯齿钝体尾迹流场示意图

4.2 新型锯齿钝体燃烧器尾迹中的速度场

图 4(a)(b) 是试验测得的典型工况的速度分布图。从速度分布中可以看到,两股射流具有相同的最大速度,其最大速度沿 X 轴衰减,而射流边界的速度却有增加;射流在中心轴附近速度方向和主流方向相反,回流区内中心轴上具有较大的反向速度;在正反速度

的交界面上 $dU_x/dy = 0$, 此时 U_x 达到最大。比较各个工况下的速度分布图,可以得出:有齿钝体较普通钝体能形成更大的回流区;锯齿钝体的齿数,锯齿钝体露出喷嘴的高度以及来流速度的不同,都将造成回流区尺寸的不同。

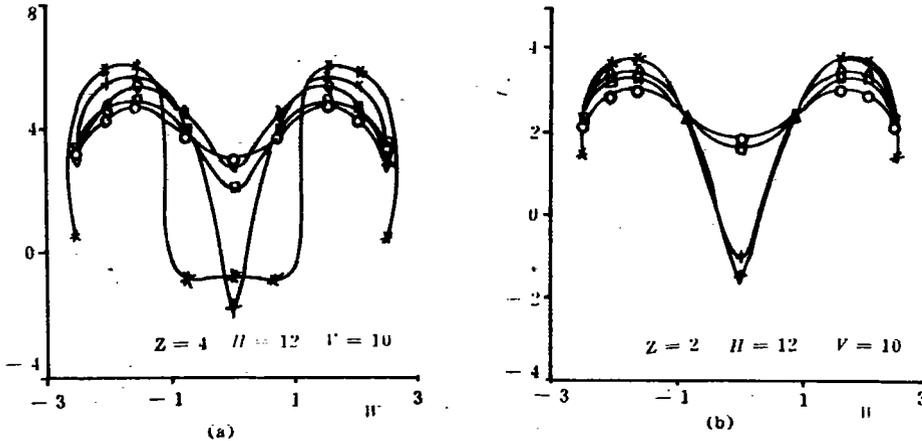


图 4 速度分布示意图

* Y=20 + Y=40 ◇ Y=60 □ Y=80 ○ Y=100

通过分析试验数据可以得到钝体射流轴线速度衰减公式:

$$\frac{W_m}{W_0} = \frac{0.8754}{(X/0.5B + 4.21)^{0.363} Z^{0.107}} \quad (4)$$

图 5 表示了典型工况的速度衰减示意图。

4.3 新型锯齿钝体回流区的讨论

4.3.1 Re 数对回流区大小的影响

对试验数据的分析发现:当来流速度增加时,钝体尾迹中的负压即反向压力梯度相应增加,从而使回流区的尺寸增加,但回流区的最大径向尺寸变化不大。当来流速度超过某一值后,回流区的变化不大,这主要是由于当来流速度增大时,锯齿边缘的扰动作用减少,从而减弱了锯齿钝体的回流效果。

图 6 表示了回流区的特性长度 L/D 随 Re

数的变化规律。由图可见,对所试验齿数的钝体 L/D 随 Re 的变化不是很大,在实验范围内,随着 Re 的增大, L/D 也增加。

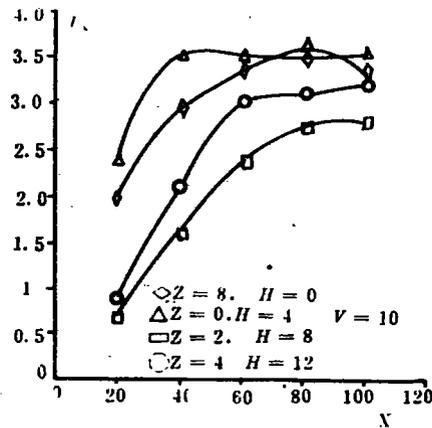


图 5 速度衰减示意图

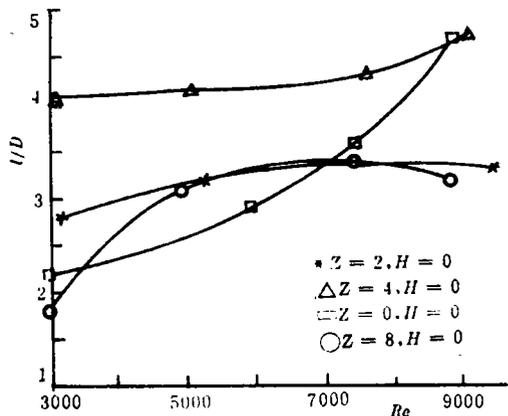


图 6 回流区的 L/D 随 Re 的变化规律

4.3.2 楔形钝体齿数对回流区的影响

从理论上讲,新型锯齿钝体外缘的锯齿能在主流中形成涡流串,这有助于增加来流扰动,从而导致尾迹中回流区尺寸加大;而回流区的尺寸变化又依赖于锯齿的数目。图 7 是试验测得的在一定来流速度下钝体齿数和回流区特性长度 L/D 之间的关系。图 7 表明,在一定范围内,钝体齿数太多或无齿回流效果都不是最好。齿数太多相对削弱扰动效果,从而影响回流效果。

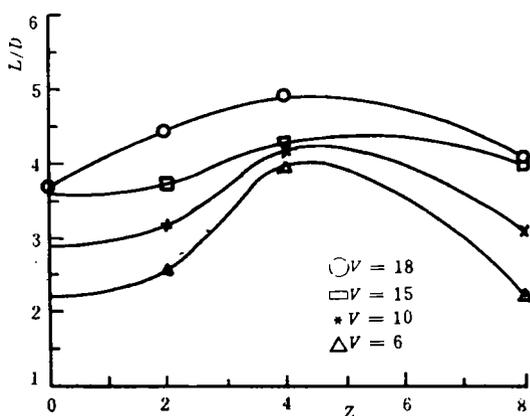


图 7 钝体齿数和 L/D 之间的关系

4.3.3 锯齿钝体露出喷嘴高度对回流区特性尺寸的影响

试验结果分析表明,锯齿钝体露出喷嘴高度增加,回流区内气流的扰动随之增强,因而增强了回流效果。图 8 表示了在一一定的流速和特定的钝体齿数下,钝体露出喷嘴高度对回流区大小的影响。从图中可以看到,钝体露出喷嘴高度为 12 mm 时,钝体的回流效果最好。这主要是由于随着钝体露出喷嘴高度的增加,不但使流场的扰动度增加,而且减缓了主流的分流,从而增大了回流区特性长度,起到了更好的稳燃效果。

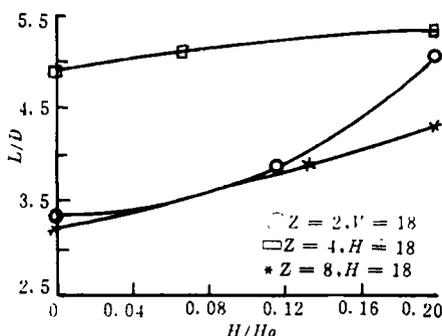


图 8 锯齿钝体露出喷嘴高度对 L/D 的影响

综上所述,钝体的齿数,来流速度以及钝体露出喷嘴的高度都对回流区尺寸有较大影响,通过对数据的统计回归分析,可知: Re , Z 和 H/Ha 三个因素都对回流区的特性尺寸有较大影响,每个因素都不能忽略;而其中的 H 和 Z 对回流区的尺寸影响较大。

5 结论

本文完成了新型锯齿钝体的空气动力场的冷态实验研究,并对实验结果及新型锯齿楔钝体的优越性作了初步探讨,实验的雷诺数范围为 2 800 ~ 10 000,得到如下结论:

1. 新型锯齿钝体较目前应用的普通钝体所形成的回流区大,回流区内扰动剧烈,具有较高的稳燃效果,适合于劣质煤等多种煤种的燃烧。

2. 影响新型钝体回流区形状的三个最显著的因素是钝体齿数, Re 数和 H/Ha ; 在实验范围内,当 $Re = 5000 \sim 7000$, 齿数 $Z = 4$, $H = 12 \text{ mm}$ 时,回流效果最好。

3. 由于回流区尺寸大且有中心抽吸,会加大煤粉浓度在回流区内的浓度分布,达到良好的稳燃效果。

符号说明

W_m —射流轴线上的最大速度, m/s ;
 W_0 —射流初始速度, m/s ;
 Z —试验锯齿钝体之齿数;
 X —射流轴线上离开喷嘴口的距离, mm ;
 B —锯齿钝体宽度, mm ;

D —锯齿钝体的截面长, mm ;
 Re —雷诺数 $Re = de u/V$, de 为当量直径, mm , u 为来流速度, m/s ;
 H —锯齿钝体露出喷嘴高度, mm ;
 Ha —锯齿钝体的长度, mm ;
 L —回流区长度, mm ;
 V —空气体积流量, m^3/h ;
 U_x —钝体尾迹轴向速度, m/s ;
 W —喷嘴的纵剖面宽度, mm ;
 r —离开喷嘴的轴向长度, mm 。

参考文献

- 1 Beer J M & Chigier N A. Combustion aerodynamics. Applied Science Publishers Ltd., London, 1970.
- 2 [日]奥野忠一等. 试验设计方法. 机械工业出版社, 1984.
- 3 岑可法等. 燃烧流体力学. 水利电力出版社, 1990.
- 4 谢象春. 湍流射流理论与计算. 科学出版社, 1975.

简讯

我国将建第三个核电站

据“CHINA DAILY”1995年5月6日报道,我国已批准利用俄罗斯贷款在东北辽宁省建造我国第三座核电站。

该座新电站将位于辽宁省南部的瓦房店市附近,离渤海不到50公里。

该电站总装机功率为4000 MW,将装有4台每台电功率为1000 MW的核电机组,在其投入满负荷运行时将生产4000 MW电力。

总投资为270亿人民币(32亿美元),在其第一阶段建设中,该电站将具有2台每台电功率为1000 MW的俄罗斯的BBSP-1000型水水动力反应堆核电机组。

除了俄罗斯政府的贷款外,中国核(电)公司、辽宁省政府和东北电力集团公司也将提供投资。

建设的准备工作目前正在进行中。

我国将发展核电来改善其电力供应状况,我国目前依靠煤作为主要能源。

我国现有的两座核电站,秦山核电站和大亚湾核电站具有2100 MW总装机电功率。目前核电在中国电力总生产中的份额不到1%。

在另一个开发中,我国已生产了它的供核电站使用燃料用的第一组运输容器。

据报道,6个RY-1A型容器已通过了中国国家核安全局的检查,该容器允许装运来自核电站的已用过(废)的核燃料,以用于进一步的加工处理。

(学牛 供稿)

由实测响应曲线值求解传递函数=The Solution of a Transfer Function Through the Use of Measured Response Curve Values [刊,中] / Chen Jin'e(Shanghai Electrical Power Engineering Institute)

//Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1995,10(4). -193~196

Based on the measured input signal curves and output response curves of a system the author has through the combination of theoretical analysis and numerical computations solved the system transfer function. The calculation results of a specific example show that the proposed method features a relatively high precision. Key words; transfer function, response curve, automatic control, numerical computation

大功率汽轮机快速冷却时汽缸壁温度的计算方法=A Method for Calculating the Casing wall Temperature of a High-capacity Steam Turbine During its Intensified Cooling [刊,中]/Tong Enchao (Northern China Electrical Power Engineering Institute//Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1995,10(4). -197~200

This paper describes a method for the calculation of casing wall temperature of a steam turbine in the course of its fast cooling. With the casing being viewed as a cylinder and its equivalent thickness calculated a heat transfer differential equation is given based on the different heat transfer conditions of the inner and outer cylinder of the two-layer casing. The results of the solution have been found to be in relatively good agreement with the measured results. The proposed method can be used to calculate the variation of casing temperature during an intensified cooling following a turbine shut-down. Key words; steam turbine, casing, cooling, wall temperature calculation method

喇二热电站两台燃气轮发电机组两起事故分析=The Analysis of Two Failure Cases of Two Gas Turbine Generating Sets for Laer Thermal Power Station [刊,中]/Zhang Jiongwei, Jiang Xiao, Ma Lishan(Laer Gas Turbine Power Plant of Daqing Electric Power Supply Co)//Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1995, 10(4). -201~205. Key words; gas turbine, failure analysis

蒸汽喷射式热泵力能效益分析与评价准则=The Power/energy Cost Effectiveness Analysis and Evaluation Criteria for Steam Jet Heat Pumps [刊,中]/Wang Quan, Ding Xuchang, Liu Lizheng (Northern China Polytechnical University)//Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1995, 10(4). -206~209

A comprehensive analysis is made of the thermotechnical characteristics of a steam jet heat pump, which are compared with the thermal process of motor-driven and steam-driven heat pumps. Presented in this paper are the evaluation criteria of power/energy cost effectiveness analysis for steam jet heat pumps, motor-driven and steam-driven heat pumps. All this constitutes a beneficial exploratory study aimed at achieving a better and more rational selection of thermal compression heat pumps. Key words; steam jet heat pump, thermal analysis, exergy efficiency, cost effectiveness evaluation

新型钝体稳燃器的空气动力场的试验研究=An Experimental Study of the Aerodynamic Field of a Novel Bluff Body Combustion Stabilization Device [刊,中]/Yang Liyu, et al. (Xi'an Jiaotong University)//Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1995, 10(4). -210~215

It is well-known that the return-flow region at the rear of a bluff body plays a beneficial role in stabilizing combustion. With respect to the new type saw-toothed bluff body proposed in this paper a detailed experimental study has been undertaken of its aerodynamic field with the study results being analysed. The results of experiments show that the novel saw-toothed bluff body is more effective in achieving combustion stabilization than a conventional saw-toothed bluff body and thereby provides a

solid basis for the design and practical application of the new type bluff body combustion device. Key words; saw-toothed bluff body, return-flow region

开缝钝体燃烧器对四角切向燃烧锅炉的适应性 = Adaptability of Slotted Bluff Body Burners to a Tangentially Fired Boiler [刊, 中]/Ma Xiaoqian, et al. (Central China University of Science & Technology) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1995, 10(4). -216~221

With a slotted bluff body being compared with an ordinary bluff body and from the viewpoint of jet expansion angle, jet rigidity, primary air rate and return flow, etc. discussed in this paper is the adaptability of slotted bluff body burners to a tangentially fired boiler. Key words; burner, boiler

美国 Nucla 电站 420t/h 循环流化床锅炉燃烧、传热及污染物生成的研究 = A Study on the Combustion, Heat Transfer and the Generation of Pollutants in a 420t/h Circulating Fluidized Bed Boiler of Nucla Power Station in the USA [刊, 中]/Liu Hao, Huang Lin, et al. (Central China University of Science & Technology) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1995, 10(4). -222~228

The 420t/h circulating fluidized bed boiler of Nucla Power Station ranks among the earliest high-capacity circulating fluidized bed boilers in the world. During the long-term operation of the said station the above-mentioned boiler had systematically undergone various tests on such a wide range of aspects as combustion efficiency, boiler heat loss distribution, heat absorption distribution, heat transfer, desulphurization, gas pollutant emissions, etc. Relevant semi-empirical relations have been obtained as a result of the processing of test data. Key words; circulating fluidized bed, heat transfer, combustion, blow-down, USA

DHL29-1.6/150/90 锅炉的炉内改造 = The Modification of a DHL29-1.6/150/90 Hot-water Boiler [刊, 中]/Chen Yixiu, Gao Xiqiang (Boiler Department of Heilongjiang Provincial Labor Bureau) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1995, 10(4). -229~231, 253

This paper dwells on the comprehensive technical modification of a travelling grate hot-water boiler and the resulting significant improvements. Key words; boiler modification, boiler furnace, stoker, boiler arch

35t/h 抛煤机链条锅炉的消烟除尘 = The Smoke Abatement and Dust Removal for a 35t/h Chain Grate Stoker-fired Boiler [刊, 中]/Wen Zhixin (Changchun Passenger Train Factory) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1995, 10(4). -232~235

The author gives a description of the modification work aimed at smoke abatement and dust removal and performed on a 35t/h wind-powered chain grate stoker-fired boiler and the positive results of the modification. Key words; boiler modification, smoke abatement and dust removal, energy saving

高频声波炉内的除尘技术的应用研究 = An Applied Study of High-frequency Sound Wave-based In-boiler Dust Removal Techniques [刊, 中]/Huang Qianghua, Li Junrui (A Subdivision of Tianjin University) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1995, 10(4). -236~240

This paper briefly describes the importance of in-boiler dust removal, the construction of a combustion-supporting dust removal device based on the use of high-frequency sound waves, instructions for its use and an analysis of its working principle. A smoke dust dispersion test performed on a SHL20 boiler shows that the in-boiler smoke dust removal by high-frequency sound waves can be regarded as relatively effective for both coarse and fine smoke particles. An extremely important design parameter is the outlet steam range of the high-frequency sound wave-based combustion-supporting dust removal device. A steam range computation has been performed in connection with the modification of a