

# 高频声波炉内除尘技术的应用研究

黄强华 李俊瑞 高维忠 (天津大学分校)  
周少昆 (天津铁合金厂)

**[摘要]** 本文简述炉内除尘的重要意义,介绍高频声波助燃除尘器的构造,应用方法,分析其作用机理。从SHL20型锅炉上作烟尘分散度实验说明高频声波炉内除尘对粗细颗粒烟尘均有较好的效果。分析高频声波助燃除尘器出口蒸汽射程是一个至关重要的设计参数,并以WNL4型锅炉声波改造为例进行射程计算。研究与实验说明该项技术值得推广应用。

**关键词** 工业锅炉 高频声波 助燃除尘器 炉内除尘  
**分类号** TK227

## 1 前言

煤炭是我国主要的能源,占全国能源总量的70%。工业锅炉以燃煤为主。为了防止其排烟对大气环境的污染,我国规定了排放标准,而且排放标准的要求还在逐步提高。以排烟含尘浓度为例,几年前有的地区规定排放标准为 $400 \text{ mg/Nm}^3$ ,近年来提高至 $300 \text{ mg/Nm}^3$ ,一些地区甚至提高至 $200 \text{ mg/Nm}^3$ 。因而有相当数量原已达标的锅炉按新标准则超标,这就必须对其进行改造。

改造的方案很多,归纳起来有两种:一种是改进炉外除尘,即更换除尘器。这些锅炉原来大多数采用旋风式除尘器,可用水膜除尘器取代。水膜除尘器除尘效率高,可以达标,但存在投资多,占地大,运行操作复杂等问题。尤其是当前不少工厂缺乏资金,因此很难采用这一方案。

另一种方案是炉内除尘。天津大学分校近年研制的高频声波助燃除尘器是一个成功

的炉内除尘技术。实践证明,在不变更除尘器的情况下,不仅能将排烟含尘浓度下降,使排烟含尘量达标,还能促进燃烧,提高锅炉热效率,并且使锅炉对流受热面和尾部受热面的积灰或灰堵有所缓解。

## 2 高频声波助燃除尘器构造及作用机理

### 2.1 构造

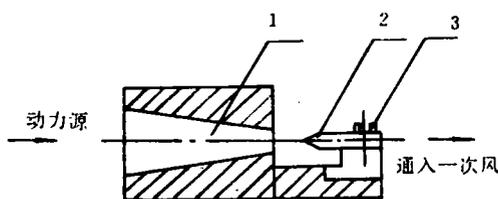


图1 一次风高频声波助燃除尘器示意图

图1为高频声波助燃器结构原理图,这

收稿日期 1995 01 28

本文联系人 黄强华 男 58 副教授 300060 天津市体院北九区29号205室

是一种薄板式声波发声器。压力为 0.2—0.4 MPa 的动力源(蒸汽或空气),通入渐缩喷嘴 1,在其中膨胀,从扁平长方形的狭缝喷嘴中射出,高速气流冲击一端固定的簧片 2(3 为固定螺钉),产生强烈振动,发射很强的声波,经频谱分析仪测试,其频率为 10 000—15 000 Hz。此频率低于超声波(超声波频率高于 20 000 Hz)但高于普通声波,又因它有助燃除尘作用,故我们命名为(高频声波助燃除尘器)。

高频声波助燃除尘器在锅炉中的应用有利用它作为二次风和改造一次风两种方式。它们的构造也不相同:

### 2.1.1 利用它改造锅炉的一次风

动力源为压缩空气或蒸汽,把它安装在一次风靠近炉排的进口处。由于一次风量大,故高频声波助燃器不可能取代一次风。用它发出量少但强度高的声波混入一次风中,激发一次风也带有高频声波。其结构示意图见图 1。

### 2.1.2 利用它作为锅炉的二次风

这种利用方式,除了有声波助燃除尘作用外,还有二次风的助燃除尘作用。

二次风一般装在锅炉炉膛壁上,因温度很高,故在结构上采用二级膨胀。

图 2 为二次风高频声波助燃除尘器结构示意图。

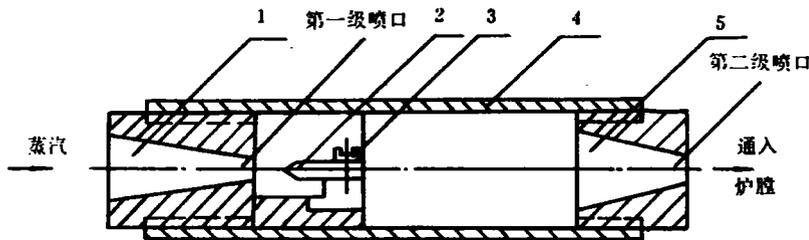


图2 二次风高频声波助燃除尘器示意图

动力源为 0.2—0.4 MPa 水蒸气。第一级膨胀为声波发生器,包括渐缩喷嘴 1,簧片 2,固定螺钉 3。通过导管 4 至第二级渐缩喷嘴 5 膨胀,出口蒸汽具有很高速度且带有强烈的高频声波。二级膨胀的结构使第一级膨胀的声波发生器远离炉膛壁,避免声波发生器的簧片被烧坏,从而大大提高高频声波助燃除尘器的运行寿命。

## 2.2 作用机理

实践表明,高频声波对锅炉有以下作用:

### 2.2.1 消烟助燃作用

声波能使气体对燃料颗粒产生相对运动,因此能充分地将包围该颗粒的燃料生成物同该颗粒分开,使新鲜空气能更好地与燃

料颗粒接触,从而加快了燃烧速度。

### 2.2.2 除尘作用

烟气中含有小颗粒及较大颗粒的飞灰。由于声波的作用,使烟气中的小颗粒飞灰互相碰撞,聚合成较大颗粒。较大颗粒飞灰互相碰撞,在重力作用下下沉,导致排烟含尘量下降。此外,声波还能使烟气中可燃物更好地燃烧,可燃物燃烧后比重增大,在烟气流动中依靠重力下沉也导致排烟含尘量下降。

高频声波助燃除尘器在作二次风使用时,还具有以下二次风助燃除尘作用:(1)可加强炉内气流的扰动与混合,使炉内氧气与烟气可燃物有良好的混合,因而促进燃烧。(2)可使炉内形成烟气旋涡,一方面延长了悬

浮细煤颗粒在炉内的停留时间,使烟尘有足够的时间燃尽;另一方面由于气流的旋涡作用,使部分煤粒和灰粒甩回炉排。

### 3 高频声波炉内除尘效果

#### 3.1 除尘效率

我们先后在 LSG1, KZL1, WNL4, DZL4, QXL7.0, SHL20, AZD20, 八种不同型式锅炉上进行示范改造,取得较好效果。除尘效率除了 SHL20 型锅炉为 16.11% 外,其余均在 26% 以上,见表 1。

表 1 高频声波除尘效率测试综合表

序号	锅炉型号	原除尘器型号	改造方案(加装高频声波助燃除尘器位置及个数)	测试点	改造前排烟含尘浓度 mg/Nm <sup>3</sup>	改造后排烟含尘浓度 mg/Nm <sup>3</sup>	声波除尘效率%
1	LSG1 型 1 t/h 蒸汽锅炉	无除尘器	炉门前装 2 个	排烟处	565	337	40
2	KZL1 型 1 t/h 蒸汽锅炉	单管旋风式	两侧墙装 2 个 一次风装 1 个	除尘器后	333.7	236	29.1
3	WNL4 型 4 t/h 蒸汽锅炉	单管旋风式	后拱上装 2 个 一次风装 1 个	除尘器后	364.7	259.5	28.8
4	DZL4 型 4 t/h 蒸汽锅炉	单管旋风式	两侧墙装 2 个 一次风装 2 个	除尘器后	353.9	248.1	29.9
5	DZL10 型 10 t/h 蒸汽锅炉	单管旋风式	两侧墙装 4 个 一次风装 4 个	除尘器后	168	123	26.8
6	QXL7.0 型 10 t/h 热水锅炉	单管旋风式	一次风装 4 个	除尘器前	577.4	410	29
7	AZD20 型 20 t/h 蒸汽抛煤机 锅炉	单管旋风式	二次风装 7 个	除尘器前	24 847	16 323	34
8	SHL20 型 20 t/h 蒸汽锅炉	水膜除尘	二次风装 9 个	除尘器前	2 620	2 198	16.1

表 1 所列 KZL1, WNL4, DZL4 三种型式锅炉声波改造的示范点为天津北郊区某厂。前两年天津市排烟含尘浓度排放标准为 400 mg/Nm<sup>3</sup>, 这三台锅炉排烟含尘浓度分别为

333.7 mg/Nm<sup>3</sup>, 364.7 mg/Nm<sup>3</sup>, 353.9 mg/Nm<sup>3</sup>。符合排放标准。但近年来排放标准改为 300 mg/Nm<sup>3</sup>, 这三台锅炉排烟含尘浓度均不合格。经过加装声波改造, 这三台锅炉排烟含

尘浓度分别下降至 236 mg/Nm<sup>3</sup>, 259.5 mg/Nm<sup>3</sup>, 248.1 mg/Nm<sup>3</sup>, 全部合格。此外改造后的锅炉燃烧情况有所改善, 经现场测试, 炉膛温度提高 50℃ 以上。

### 3.2 除尘粒度效率

从表 1 所列声波除尘效率综合情况可看到 KZL1, WNL4, DZL4, DZL10 这四种锅炉声波除尘效率测试点均在旋风式除尘器之后。旋风式除尘器对于粗粒度灰尘效率高, 在它之后声波除尘效率仍高达 26% 以上, 可见, 高频声波炉内除尘有很大一部分是细粒度的灰尘。

为了精确确定高频声波对不同粒度的烟尘除尘效果, 我们在 SHL20 型锅炉上作烟尘分散度测试, 测定高频声波对不同粒度烟尘的除尘效率。测试点选在该台锅炉除尘器之前。此改造及测试的示意图见图 3。

改造方案: 前墙和后墙分别安装 4 个及 5 个高频声波助燃除尘器, 声波动力源为 0.2—0.3MPa 表压力的水蒸气。

粒率的要高, 但两者相差不大, 即高频声波对不同粒度烟尘均有较好除尘效果。

表 2 SHL20 锅炉排烟含尘粒度分布情况

颗粒直径(μm)	>0	>5	>10	>15	>30	>50
加声波时筛上积累(mg/Nm <sup>3</sup> )	2198	1971	1721	1516	1143	839.6
未加声波时筛上积累(mg/Nm <sup>3</sup> )	2620	2397	2127	1913	1467	1095
除尘粒度效率(%)	16.1	17.77	19.1	20.8	22.1	23.3

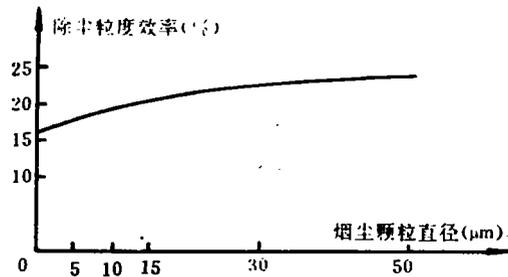


图 4 除尘粒度效率与颗粒直径关系曲线

## 4 高频声波助燃除尘器出口蒸汽的射程

### 4.1 射程是一个重要的设计参数

高频声波助燃除尘器如安装在炉排之上作为二次风使用, 其设计的原则基本上与空气二次风相同, 其出口蒸汽的射程是一个至关重要的设计参数。射程低, 混合作用小, 不利于助燃除尘; 射程高, 混合作用强; 射程过高并不好, 一则蒸汽耗量无谓的增多, 增加了能耗; 二则使炉膛火焰中心移动较大, 处理不好, 可能会引起结渣。射程大小的选取与锅炉炉膛尺寸和二次风布置的位置有关。

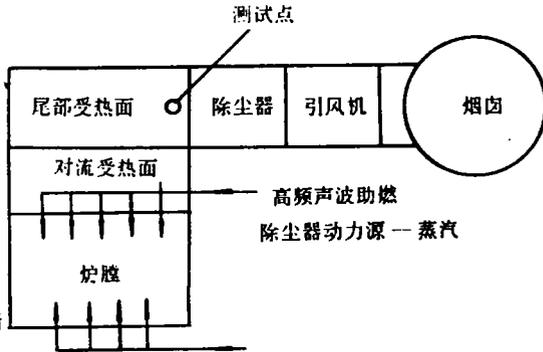


图 3 SHL20 型锅炉声波改造及测试示意图

测试方法: 将声波开启, 即在有声波情况下测定原始排烟含尘粒度分布, 后将声波关闭, 即在无声波情况下测定排烟含尘粒度。两者对比, 即可确定除尘粒度效率。

测试结果见表 2, 除尘粒度效率与颗粒粒度关系见图 4。

从测试结果可见, 粗粒度除尘效率比细

### 4.2 射程的计算

下面以 WNL4 型锅炉声波改造为例,高频声波助燃除尘器布置在后拱上。

二次风射流的速度,可以根据流体力学中自由射流的原理来进行计算。

对于圆形喷嘴,其射流主体段中心速度的衰减规律为:

$$W_x = \frac{0.48W_0}{\frac{ax}{d_0} + 0.145} \text{ (m/s)} \quad (1)$$

$$X = \left( \frac{0.48W_0}{W_x} - 0.145 \right) \frac{d_0}{a} \text{ (m)} \quad (2)$$

式中  $W_x$ —距喷口出口 X 处的气流中心速度。衰减到 4—5m/s 以下时,其扰动作用已很弱,取  $W_x = 4.5\text{m/s}$ 。此时 X 为二次风的有效射程。

$a$ —射流的紊流系数  $a = 0.066—0.076$  取  $a = 0.07$ ;

$d_0$ —喷口出口截面的内径(m);

$W_0$ —由于高频声波助燃除尘器为两级膨胀,这里是指第二级喷口出口截面上的蒸汽速度 m/s。

$W_0$  的计算:先计算第一级喷口出口速度  $W_1$  计算方法是查蒸汽焓熵图,确定第一级喷口中蒸汽进出口焓降进行计算,再计算流量  $G$ 。

$$G = \frac{W_1 \times A_1}{V_1}$$

式中  $A_1$ —第一级喷口出口截面积(m<sup>2</sup>)

$V_1$ —蒸汽比容(m<sup>3</sup>/kg)。

$$W_0 = \frac{G \times V_3}{A_3}$$

$V_3$ —第二级喷口出口比容 m<sup>3</sup>/kg

$A_3$ —第二级喷口出口截面积 m<sup>2</sup>

将  $W_0$  计算结果代入式(2)可得  $X = 1.15\text{m}$

15 m

实践表明,对于这样布置高频声波助燃除尘器的 WNL4 型锅炉,这个射程是合适的,主要是除尘效果好,燃烧增强,火焰中心控制恰当,没有产生炉排结渣不良现象。

### 5 结论

通过以上的研究,可得以下结论:

1. 高频声波助燃除尘器确有助燃及炉内除尘作用,除尘效率一般为(26—34)%。粗粒度除尘效率比细粒度除尘效率要高,但两者相差不大,即对不同粒度烟尘均有较好除尘效果。

2. 高频声波助燃除尘器作为二次风时其出口蒸汽射程是一个至关重要的设计参数,它的选取和炉膛尺寸、安装位置有关。

3. 高频声波助燃除尘器在锅炉中的应用,有利用它作为二次风和改造一次风这两种方式,结构简单,施工方便,投资小,运行安全可靠。此项技术具有很大的推广应用价值。

\* 本项目为天津市科委 1991 年立项项目。主持人黄强华,参加者有李俊瑞、高维忠,周少昆,陆殿卿等同志和天津市环保研究所等单位。

### 参 考 文 献

- 1 赵振元. 锅炉燃烧的环境影响与污染物的防治. 工业锅炉节能与运行. 1987. 1.
- 2 黄强华、李俊瑞、高维忠. 高频声波助燃除尘技术及其应用. 节能. 1994. 7
- 3 容奎恩. 工业锅炉燃烧. 水利电力出版社. 1993. 10

# 欢 迎 刊 登 广 告

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

WNL4 boiler. The results of the study and experiments substantiate the suitability of the said device for wide engineering applications. Key words, industrial boiler, high-frequency sound waves, combustion-supporting dust removal device, in-boiler dust removal

火电厂国产 200MW 机组微机数据监测系统 = A Microcomputer-based Data Monitoring System for the Home-made 200 MW Unit of a Thermal Power Plant [刊, 中]/Dai Sujian, Wang Tongqing (Southeastern University) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1995, 10(4). -241~243

A relatively detailed description is given of the microcomputer-based data monitoring system of a thermal power plant home-made 200 MW generating set. Its optimized software and hardware configuration and relevant specific features are also described and discussed. Key words, electrical power generating plant, computer network, data monitoring, distribution type

燃气锅炉的微机控制 = The Microcomputer-based Control of a Gas-fired Boiler [刊, 中]/Du Tiancang, Liu Hua (Baotou University of Iron & Steel Technology) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1995, 10(4). -244~248

Described in this paper are the configuration, systemic functions and specific features of a microcomputer-based control system for a gas-fired boiler in a factory. In addition, a control scheme and related software for the regulation of water level, combustion process and superheated steam temperature are also dealt with. Good results have been achieved since the said system was put into operation. Key words, industrial boiler, automatic control, microcomputer

谈谈液力偶合器及其应用 = Some Comments on Hydraulic Couplings and Their Applications [刊, 中]/Gao Yang, Su Guangyue (Petrochemical Planning and Design Institute of Liaoning Province) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1995, 10(4). -249~253

Key words, hydraulic coupling, applications

Edited and Published by Harbin Marine  
Boiler & Turbine Research  
Institute and Editorial Staff  
of this Journal

Printer: Printing House of Harbin Institute  
of Technology

Address: P. O. Box 77, Harbin China

Cable: 6511, Harbin, China

Post Code Number 150036

ISSN1001-2060  
Periodical Registration: CN23-1176/TK

Distributed by China International

Book Trading Corporation,

P. O. Box 399, Beijing, China