

声波吹灰器的研制

(南京理工大学动力工程学院) 李强 孙曾润 宣益民

摘要: 根据流体力学和声学共振理论, 研制了一种用于换热设备清除灰尘的声波吹灰器, 并对其声强性能进行了相应的实验测试, 从测试及工业应用结果来看, 该声波吹灰器可以达到清除灰尘的目的。

关键词: 锅炉; 换热器; 声波; 除灰

中图分类号: TK229

1 前言

在火力发电厂机组运行中, 锅炉受热面及热交换器烟侧积灰是普遍存在而又难以解决的难题, 如不能及时地将其清除掉将严重影响锅炉的安全经济运行。沉积在锅炉受热面上的积灰层的导热系数仅有 $0.0581 \sim 0.116 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$, 而锅炉受热面金属管壁的导热系数为 $46.5 \sim 58.1 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$, 积灰层的导热系数是金属管壁导热系数的 $0.2\% \sim 0.125\%$ 倍。因此, 锅炉受热面在轻度积灰的情况下, 积灰层带来的附加热阻也会严重影响锅炉受热面内外的热量传递。另外, 积灰还会进一步导致受热面使用寿命降低, 锅炉管子爆漏现象频繁, 严重危害锅炉及热交换器的安全经济运行。

常规的吹灰方法包括蒸汽(或压缩空气)吹灰、振打及钢球洗刷等方法, 实践证明, 这些方法在实际运行中都不同程度地存在着一些问题, 比如: 介质吹扫面积有限, 由于机械及电机故障而易损坏, 价格贵, 操作繁等。因此, 迫切需要研制一种高效、经济、方便、可靠的新型吹灰器。

2 声波吹灰器的工作原理

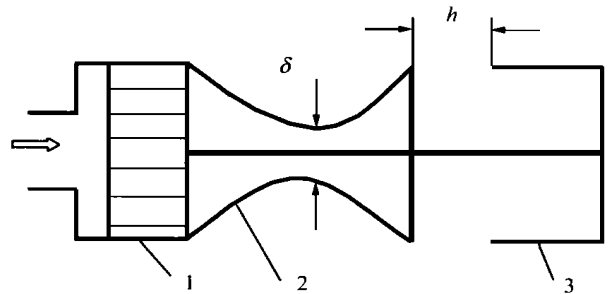
声波除灰的机理不是依靠介质(蒸汽或空气)直接接触受热面吹扫灰尘, 而是将声波吹灰器产生的声波送入积灰的空间区域, 通过声能量作用, 使空气

分子与粉尘粒子产生振荡破坏, 阻止粉尘粒子在受热面表面沉积, 同时也阻止粒子之间结合, 使之处于悬浮状态, 以便使烟气将其带走或靠自身重力沉降, 达到清灰的目的。

声波具有全方向性, 能均匀布满整个空间, 进行全方位清灰防止灰结垢。与传统的吹灰方法比较, 声波吹灰具有投资低, 效果好, 可以影响沉积物生成机理, 防止和延缓沉积物形成, 锅炉部件几乎不产生热应力的作用等优点。

3 声波吹灰器的研制及实验研究

根据流体力学及声学共振理论, 本文研制了一种杆式共振哨声波吹灰器, 其结构见图1。



1. 气流分配腔 2. 气流加速段(拉伐尔喷管) 3. 振动腔
 δ —拉伐尔喷管喉口尺寸 h —振动腔与拉伐尔喷管间隙

图1 声波吹灰器示意图

本装置采用压缩空气(或蒸气)作为工质, 工质通过气流分配腔进入拉伐尔喷管加速后, 冲入振动腔中, 发生震荡产生一定频率及声强的声波。

为了检测声波吹灰器的噪音特性, 设计了一实验系统, 以定量分析声波吹灰器不同结构的声压频率特性, 实验系统如图2所示。

声压测试采用 ND6 脉冲精密声级计(江西国营红声器材厂), 频率测试采用 CF-300 Portable FFT Analyzer(日本小野公司便携式快速付里叶变换分析

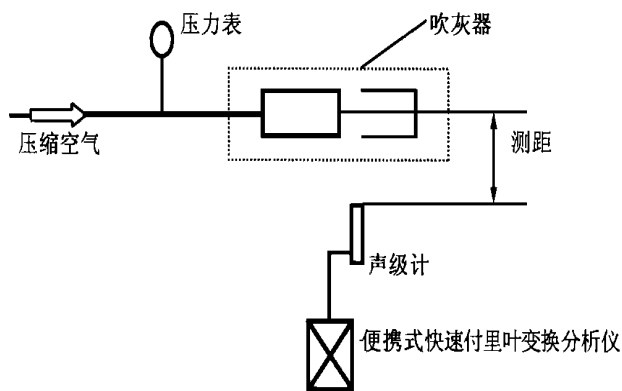


图 2 实验系统简图

仪)。实验时测量距离分别为 1 米和 2 米,以检测声波吹灰器作用距离的特性,实验采用压缩空气作为

表 1 改变拉伐尔喷管喉口尺寸 δ 声波吹灰器的噪音特性

δ mm	压力 MPa	0.1	0.12	0.14	0.16	0.18	0.2	0.22	0.24	0.28	0.32	0.36	0.45	频 率
0.7	MPa	96.8	107.1	117.7	127.5	137.5	140.0	> 140	> 140	> 140	> 140	> 140	> 140	1250
	dB													Hz
1.3	MPa	135.5	139.6	> 140	> 140	> 140	122.0	121.1	121.1	121.1	121.1	140.0	> 140.0	1000
	dB													Hz

表 2 改变振动腔与拉伐尔喷管间隙 h 声波吹灰器的噪音特性

δ mm	压力 MPa	0.1	0.12	0.14	0.16	0.18	0.2	0.22	0.24	0.28	0.32	0.36	0.45	频 率
10	MPa	121	132	135	136	137.5	140.0	> 140	> 140	129	128	130	137	1250
	dB													Hz
14	MPa	137.5	> 140	> 140	> 140	> 140	> 140	> 140	135	130	130	130	130	1250
	dB													Hz

表 3 改变振动腔内径 ϕ 声波吹灰器的噪音特性

δ mm	压力 MPa	0.1	0.12	0.14	0.16	0.18	0.2	0.22	0.24	0.28	0.32	0.36	0.45	频 率
110	MPa	97.6	106	110	111	115	116.6	117	125	128	131	135	137	1250
	dB													Hz
90	MPa	97.8	98.0	98.5	101	107	109	111	127	137	130	117	139	1250
	dB													Hz

另外,实验还利用湖南某化工厂提供的一块从炉中割下的积满灰垢的钢板,对声波吹灰器的吹灰效果进行了实验检测,在实验中将钢板放在离声波吹灰器 1 米处,经声波吹灰器连续对其吹 10 分钟左右,钢板上的灰垢基本都掉下来,表明声波吹灰器的吹灰效果不错。

4 声波吹灰器的实际工业应用

1995 年,苏北某电厂在其 400 t/h 锅炉的热管空预器尾部安装了 6 只此种结构的声波吹灰器,吹灰器布置见图 3。

工质,通过调整拉伐尔喷管喉口尺寸 δ 振动腔与拉伐尔喷管间隙 h 及振动腔内径 ϕ 等参数来检测声波的声压、频率随压力变化关系。

实验结果表明,实验测距 1 米和 2 米时声波的声压及频率没有明显差别。改变声波吹灰器的结构其声波频率稳定在 800~1250 Hz,进汽压力在 0.2 MPa 左右时,声压达到 140 dB。具体的实验结果见表 1、2、3。

从表 1、2、3 可以看出拉伐尔喷管喉口尺寸 δ 振动腔与拉伐尔喷管间隙 h 及振动腔容积 V 等参数对声波吹灰器的噪声特性有很大影响,同时拉伐尔喷管喉口尺寸 δ 还影响着声波吹灰器耗汽量。综合考虑以上参数,可以优选出声波吹灰器的最佳结构。

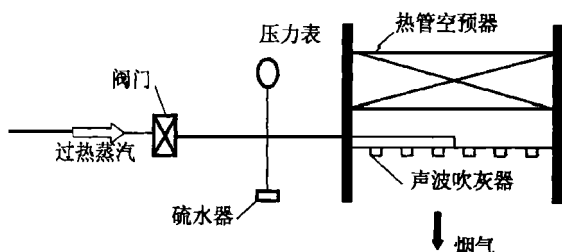


图 3 声波吹灰器安装示意图

此系统采用过热蒸汽作为工质,蒸汽由主管道送入布置在烟道内支管中,通过支管分配给每个声波吹灰器,对空预器进行除灰。

(下转 480 页)

出系统参数 H_j^0 和 η_j^0 , 已知数据及计算结果如下:

No	h_j	q_j	γ_j	τ_j	H_j^0	η_j^0
1	3138.6	2018.8		146.6	829.31	0.410 793
2	3027.7	2148.6	191.7	184.6	788.78	0.367 116
3	3329.8	2574.9	125.2	147.8	855.07	0.332 077
4	3134.2	2580.3	201	161.2	715.18	0.277 168
5	2927.6	2468.1		117.6	534.02	0.216 369
6	2759.9	2373.2	70.8	70.4	377.59	0.159 104
7	2662.8	2381.4	106.3	106.3	293.59	0.123 285
8	2523.5	2377.1	138	116.2	163.8	0.068 907

其中 $h_n = 2359.7$, $\sigma = 507.4$, $\eta_t = 0.4533$ 单位 kJ/kg

如果第二号高压加热器未投入使用, 分析机组热效率的变化。二号高压加热器未投入使用的后果是使本级抽汽量减少至零, 同时造成一号高压加热器入口热焓降低, 加热量增大, 使本级抽汽量增加。相对于 1kg 蒸汽, 二号高压加热器的抽汽量变化 $\Delta\alpha_2 = -\alpha_2 = -0.0761$, 一号高压加热器的抽汽量的变化可通过热平衡方程求得, 计算结果: $\Delta\alpha_1 = 0.0772$ 。两级加热器抽汽量的变化对热效率的影响可根据式(1)

$$\Delta\eta_t = -\frac{1}{q} H_j^0 \Delta\alpha_j$$

代入数据 $H_1^0 = 829.31$, $H_2^0 = 788.78$, $q = 2200.4$, 可得

$$\Delta\eta_{t1} = -\frac{829.31}{2200.4} \times 0.0772 = -0.0291$$

$$\Delta\eta_{t2} = -\frac{788.78}{2200.4} \times (-0.0761) = 0.0273$$

总的影响为:

$$\Delta\eta_t = \Delta\eta_{t1} + \Delta\eta_{t2} = -0.0018$$

相对变化量:

$$\begin{aligned} \delta\eta_t &= \frac{\Delta\eta_t}{\eta_t} = -\frac{0.0018}{0.4533} = -0.00397 \\ &= -0.397\% \end{aligned}$$

6 结论

(1) 回热系统是构成热力系统的基础, 回热系统和辅助汽水系统都有各自的系统结构, 辅助系统和回热系统构成热力系统。

(2) 用矩阵法和偏微分理论, 对电厂再热——回热热力系统进行分析, 得到一种全新的分析方法, 得出了系统参数 H_j^0 和 η_j^0 , 可视热经济性的特性值, 可普遍应用于电厂的热经济性分析。

参考文献

- [1] 郑体宽. 热力发电厂. 电力工业出版社, 1995.
- [2] 林万超. 火电厂热系统节能理论, 西安: 西安交通大学出版社, 1994.

(渠 源 编辑)

(上接 462 页)

实际运行中, 蒸汽压力为 0.8~1.0 MPa(声波吹灰器前的表压力), 温度为 200℃~300℃(过热蒸汽), 耗汽量为 6.0~8.0 kg/min。每 6 小时吹灰一次, 每次吹灰 10 分钟。因为吹灰器不能使用湿蒸汽, 因此在吹灰器前安装疏水器进行疏水, 确保吹灰器正常工作。

在锅炉运行一段时间后, 厂方进入烟道内观察热管空预器的翅片管积灰情况, 发现翅片管上基本没有积灰, 表明吹灰器的确起到了清除灰尘的作用。

5 结论

(1) 本文研制的声波吹灰器采用压缩空气(或蒸气)作为介质, 在满足进汽压力的情况下, 可产生声强为 140~150dB, 频率为 1000 Hz 的声波。

(2) 该声波吹灰器结构简单, 没有膜片、电机等易损零件, 不易损坏, 操作方便, 基本上不需要维

修, 使用寿命长, 而且价格便宜。

(3) 由于吹灰器直接布置在烟道内的受热面旁, 而不是布置在炉墙壁面上, 因此可以根据受热面的大小及积灰情况布置多个吹灰器, 确保受热面都能接收到足够强度的声波。同时, 由于烟道保温, 隔音效果好, 声波吹灰器工作时对外部工作环境没有影响。

(4) 实验及工业应用结果表明, 该声波吹灰器可用于换热设备清灰除尘, 效果良好。

参考文献

- [1] 岑可法, 樊建人, 池作和, 沈珺婵. 锅炉和热交换器的积灰、结渣、磨损和腐蚀的防止原理与计算. 科学出版社, 1994.
- [2] 周克毅. 锅炉积灰损失与吹灰时间间隔. 东南大学学报, 1994 (11): 57.
- [3] 李 庆. 声波清洁器在电除尘器中的应用分析. 科康之声, 1997(1).

(渠 源 编辑)

Device for Pulverized Coal-fired Boilers [刊, 中] / Liu Shengyong, et al (Key Laboratory of Renewable Energy Sources under the Ministry of Agriculture) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 1999, 14(6). — 447~449

This paper expounds in detail the design and calculation of nozzles, injectors and burner cones of a liquefied petroleum gas-based ignition device for pulverized coal-fired boilers as well as ways and means for flame stabilization. Application results show that such ignition devices feature a high flame temperature, good adaptability in operation and ease of use, etc. They have broad prospects for use in utility boilers that consume no oil or only a limited amount of oil for ignition. **Key words:** pulverized coal-fired boiler, liquefied petroleum gas, forced pre-mixing, ignition device

旋流浓淡煤粉燃烧器出口区域气固两相流动特性的实验研究 = Experimental Study of Gas-Solid Dual-phase Flow Characteristics at the Outlet Zone of a Dense-dilute Pulverized Coal-fired Swirl Burner [刊, 中] / Li Zhiqiang, Li Rongxian, et al (Qinghua University) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 1999, 14(6). — 450~454

With the help of a three-dimensional phase Doppler particle analyzer an experimental study was conducted of the dual-phase flow characteristics at the outlet zone of a dense-dilute swirl burner. As a result, obtained are the distribution relationship of gas-solid dual-phase flow field and concentration field of the said burner under various degrees of openness of swirl blades and at different ratios of swirl secondary air and direct-flow secondary air. In addition, an analysis is also conducted of the above distribution relationship. **Key words:** dense-dilute pulverized coal-fired swirl burner, gas-solid dual-phase flow, three-dimensional Doppler particle analyzer (PDA), swirl blade openness, air flow rate proportioning

浓淡型双调风旋流燃烧器低 NO_x 特性分析 = An Analysis of the Low NO_x Emission Feature of a Dense-dilute Dual-channel Swirl Burner [刊, 中] / Yu Zhanying, Jiang Hongli, Tan Houzhang, et al (Xi'an Jiaotong University) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 1999, 14(6). — 455~457

An experimental study is conducted of a dense-dilute dual-channel swirl burner with the help of cold-state isothermal simulation technology. On the basis of the test results the structure and features of such a burner are analyzed and a study is conducted of the characteristics of a stepped air-feed and dense-dilute combustion techniques. In addition, the major role played by a combustion stabilization ring has also been investigated. All the above has led to a better understanding of the mechanism of low NO_x emission and partial load flame-stabilization of the dual-channel swirl burner. **Key words:** dual-channel swirl burner, low NO_x emission, flame stabilization, experimental investigation

带纵肋环烟管流动与传热实验研究 = An Experimental Study on the Flow and Heat Transfer in Annular Flue Gas Pipes with Longitudinal Ribs [刊, 中] / Wang Huaibin, Du Jun, et al (Harbin Institute of Technology) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 1999, 14(6). — 458~460

A new type of flue gas pipe fitted with longitudinal internal ribs and featuring an intensified convection heat exchange is proposed by the authors for use on an oil-field heating boiler. An experimental study was performed of its flow and convection heat exchange with a criterion equation of heat exchange being given. **Key words:** longitudinal rib, annular flue gas pipe, convection heat exchange

声波吹灰器的研制 = Development of a Sonic Soot Blower [刊, 中] / Li Qiang, Sun Cengrun, Xuan Yimin (Nanjing University of Science & Technology) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 1999, 14(6). — 461~462

Based on the principle of hydrodynamics and acoustic resonance the authors have developed a sonic soot blower for use on heat exchangers. A relevant experimental test has been performed of its acoustic intensity performance. The experimental test and industrial application results show that the sonic soot blower under discussion can effectively remove soot deposits from heat exchangers. **Key words:** boiler, heat exchanger, sonic wave, sootblowing

一种汽轮机转子的热应力测试系统 = A Test System for Measuring Thermal Stresses in Turbine Rotors [刊, 中] / Gao Jingbo, Wu Xinhua, Xia Songbo, et al (Harbin Institute of technology) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 1999, 14(6). — 463~464

This paper focuses on a new system for measuring turbine rotor thermal stresses. The use of a difference measur-