

蒸汽过冷水下加热噪声声源试验及分析

袁利芬,袁益超,袁 健,吴开奇
(上海理工大学 能源与动力工程学院,上海 200093)

摘 要:分析了蒸汽水下加热噪声主要声源,通过蒸汽水下加热噪声试验,研究了蒸汽水下加热时噪声的变化规律。研究和分析结果发现:蒸汽水下加热噪声主要是汽泡破灭噪声,噪声 A 声压级同水的过冷度有直接关系,A 声压级在过冷度为 35~40℃时达到最大;蒸汽水下加热噪声 A 声压级随蒸汽流量的增加而增加;蒸汽流量一定,开孔面积越大,噪声 A 声压级越小。

关 键 词:蒸汽直接加热;汽泡;噪声;过冷度;喷头

中图分类号:TK172;O353.1 文献标识码:A

引 言

在动力设备中,广泛存在着用蒸汽直接加热给水的加热系统,如除氧器、蓄热器及给水加热器等。蒸汽水下直接加热具有加热效率高、设备简单等优点,但是由于蒸汽水下直接加热过程中会产生极大的振动和噪声,甚至导致设备损坏,且对周围环境产生极大的噪声污染。因此,研究蒸汽水下加热时的噪声来源及其影响因素,分析蒸汽水下加热噪声变化规律,利用其变化规律控制噪声具有重要意义。

关于蒸汽水下加热的研究较少,大多数的实验研究目的是针对直接接触式传热过程的传热机理进行的研究。Sagar S Gualawani、Ajmal Shah 和张会强等人对蒸汽在过冷水中淹没射流的汽羽形状进行了实验研究与数值模拟,对蒸汽水下射流的汽羽形状、穿透长度、换热系数及其影响因素进行了研究^[1-3]。邵树峰和曹岩等人对压力为 0.20~0.40 MPa 的蒸汽在环境水中的超音速浸没射流与凝结换热进行了实验研究,并提出随着汽羽外部汽泡的破灭,会产生尖锐的噪声^[4-5]。

尽管马宪国等人对蒸汽和汽-液两相流在过冷水中喷注产生的噪声做了一定的理论分析及实验研究^[6-9],但到目前为止,对蒸汽水下加热噪声的声源、产生机理及变化规律等仍缺少理论分析和试验研究,结合工业实际运行条件进行的试验研究更是

匮乏。

本研究旨在分析蒸汽水下加热噪声的主要声源,对蒸汽水下加热噪声 A 声压级(L_A)变化规律进行试验研究。

1 声源分析

1.1 湍流噪声

蒸汽经喷头射流进入过冷水中时,带动周围的过冷水一起运动而产生强烈的“卷吸”作用,在射流核心区周围的蒸汽和卷吸进来的过冷水发生强烈的混掺,产生射流噪声,并向周围扩散,导致水体内部压力场极其不稳定和温度振荡,引起周围水体波动和供汽管道振动,并通过容器壁传播,在容器周围产生强烈的噪声场。随着加热条件的变化,声源和影响因素也相应发生变化。

1.2 汽泡破灭噪声

高温高压蒸汽经喷头高速喷注进入过冷液体,经过湍流和汽液相变等复杂过程,蒸汽流被分割形成许多自由汽核和汽泡,这些自由汽核有的在过冷液中很快消失,有的则发展形成汽泡。图 1 为蒸汽水下射流与凝结模型示意图,图中 l 为汽羽长度; p_c 、 T_c 分别为喷射压力和喷射温度; p_w 、 T_w 分别为环境水压力和温度。

蒸汽过冷液下喷射时,蒸汽压力远高于周围液体压力,汽核周围的液体迅速汽化,汽核迅速发展形成汽泡,此时汽泡半径增长很慢。在汽泡半径增大过程中,汽泡和周围液体的对流换热起着非常重要的作用。汽泡运动至汽-液两相界面处时,汽泡半径增长至最大,并迅速脱离进入汽-液混合区。汽泡在移动过程中,遇到过冷液体,汽泡中的蒸汽将冷凝而萎缩破灭。当汽-液混合区内存在较大的温度梯度时,所形成的汽泡会很快地由最大直径坍塌并破裂。

当蒸汽泡破灭时,周围的液体将迅速流向汽泡

收稿日期:2013-03-14; 修订日期:2013-04-10

作者简介:袁利芬(1982-)女,河南濮阳人,上海理工大学博士研究生。

所占空间,因而产生强烈的冲击力。若蒸汽不断外射,在孔口附近将产生周期性变化的冲击力,形成一个强扰动源。这个强烈扰动源的强度带有较宽频带的周期性干扰力,它以球面波的形式向外传播,使容器不断地受到周期性的冲击。这就是蒸汽过冷水下射流加热时喷头及容器等产生强烈振动的主要原因。

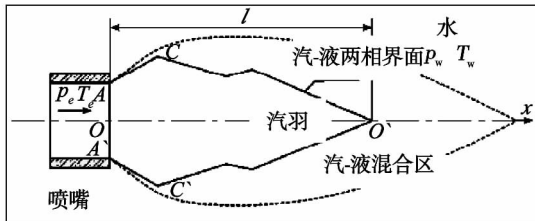


图 1 蒸汽水下射流与凝结换热模型
Fig. 1 Model for the steam underwater jet and condensation heat exchange

1.3 结构振动产生的噪声

在流体动力噪声中不可避免地会含有结构振动噪声,这是由流体动力引起设备系统中的结构振动造成的。蒸汽喷头和容器壁在蒸汽喷射的过程中承受不同的冲击力而产生不同频率的振动,使蒸汽管、喷头及容器壁等结构各自发出不同的单频声;受流体不稳定性的影响,在供汽系统中产生共振,产生结构共振噪声。上述两种这种结构振动噪声的大小随其加热过程流体动力特性的变化而变化。

上述 3 类声源相互作用,视客观条件的影响程度而有所不同。

2 水下加热噪声试验

图 2 为蒸汽水下加热噪声实验系统。喷头结构有 3 种:1 号,管径 $\phi 89 \times 6$ mm,孔径 $\phi 7$ mm,104 个孔;2 号,管径 $\phi 89 \times 6$ mm,孔径 $\phi 10$ mm,78 个孔;3 号,管径 $\phi 76 \times 5$ mm,孔径 $\phi 10$ mm,46 个孔。如图 3 所示。

该试验系统主要包括蒸汽锅炉及供汽装置、蒸汽鼓泡装置、过冷水供给系统、数据采集系统等 4 个部分。在管路上安装电动调节阀,控制进入系统的蒸汽量,漩涡流量计测量蒸汽流量。同时布置有压力和温度测点以监测进入水箱的蒸汽压力和温度。所有数据均由计算机自动采集,显示在计算机屏幕上并自动保存。

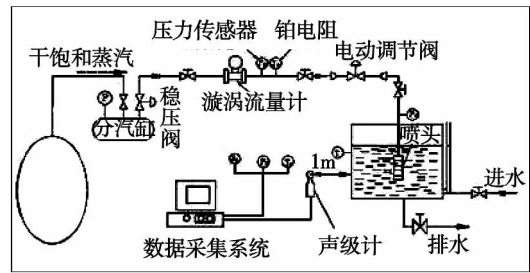


图 2 实验系统图

Fig. 2 Schematic diagram of the test system

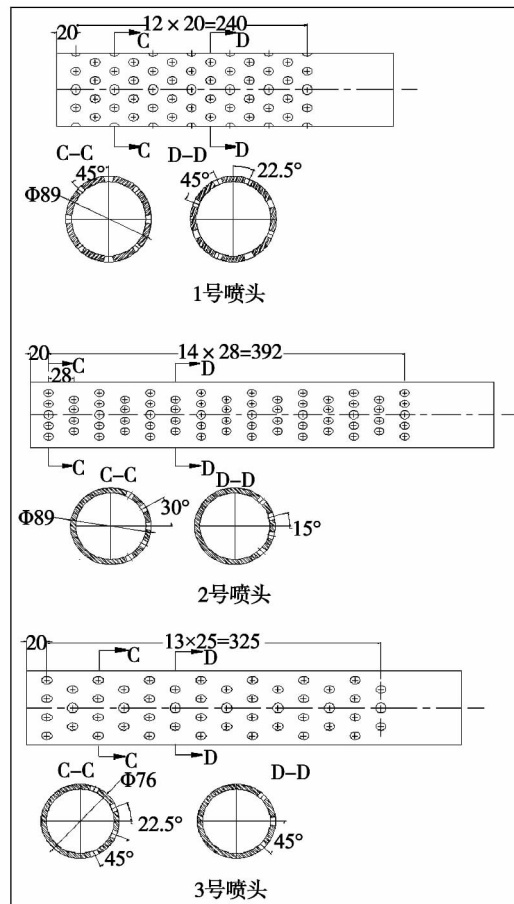


图 3 喷头结构 (mm)

Fig. 3 Structure of the spout (mm)

蒸汽水下加热噪声采用 HS6288B 型噪声频谱分析仪,在水箱中心平面距容器外壁面 1 m 处测量其 A 声压级。

3 结果分析

3.1 水温对蒸汽水下加热噪声 A 声压级的影响

为研究水温对噪声的影响,采用了图 3 中的 3 种喷头结构进行试验。

水的过冷度:

$$\Delta t = t_{bh} - t_s$$

式中: t_{bh} —水的饱和温度, °C; t_s —实际水温, °C。

实验发现: 影响蒸汽水下加热噪声 A 声压级强度的主要因素是水的过冷度。在水温从低到高变化过程中, 蒸汽水下加热过程产生的噪声 A 声压级由起始的较低值逐渐升高, 其噪声声源主要包括气泡破灭噪声和湍流噪声, 对于较低的水温, 气泡破裂所需的时间很短, 产生的噪声频率很高^[7], 对应的 A 声级噪声较低; 随着水温的升高, 过冷度降低, 气泡破裂产生的高频噪声减少, 此时气泡破裂产生的 A 声压级逐渐增大, 直到水温达到 60 ~ 65 °C (即过冷度 35 ~ 40 °C) 时, 此时的噪声主要是蒸汽破灭噪声, 蒸汽水下加热噪声 A 声压级达到最大值; 随着水温的进一步升高即过冷度的减小, 加热噪声 A 声压级明显下降, 直至水温接近饱和温度, 过冷度几乎为零, 气泡破灭噪声极其微弱甚至消失, 此时的噪声 A 声压级降至最小值。蒸汽水下加热噪声试验结果如图 4 所示, 其中 L_A 表示噪声 A 声压级, dB(A); T 表示水温, °C; Q 表示蒸汽流量 t/h。

3.2 蒸汽流量对水下加热噪声 A 声压级的影响

对于同一种结构的喷头, 蒸汽流量增大, 则蒸汽水下加热噪声 A 声压级随之增大, 反之, 蒸汽流量减小, 则噪声 A 声压级则减小, 如图 4 所示。

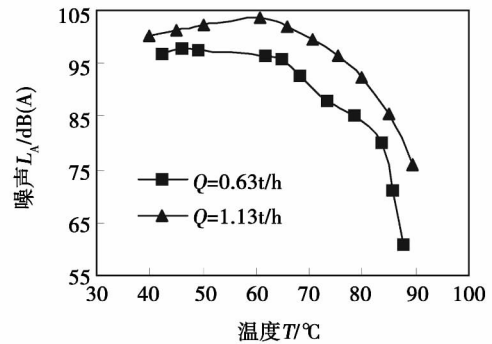
蒸汽水下加热过程中, 湍流噪声和气泡破裂噪声是共同作用的。蒸汽流量小, 则对应蒸汽流速小, 速度剪切和湍流混合的作用不明显, 产生的湍流噪声和结构振动噪声并不显著, 此时主要是气泡破裂噪声, 噪声频率较高且噪声源单一, 蒸汽水下喷注噪声 A 声压级低。相反, 蒸汽流量大, 蒸汽流速大, 湍流强度高, 产生的湍流噪声和结构振动噪声显著; 同时, 气泡相互作用, 体积脉动幅度较大, 气泡破灭产生强压力波, 蒸汽水下加热噪声 A 声压级高。

3.3 蒸汽压力和温度对水下加热噪声的影响

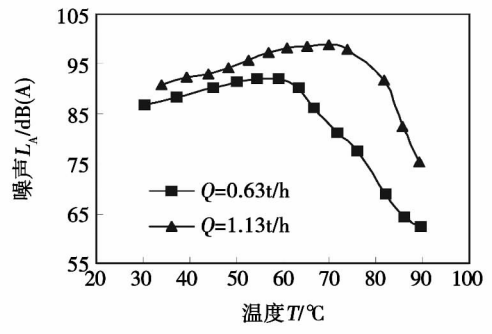
试验中采用蒸汽为饱和蒸汽, 蒸汽压力和温度随供汽量而改变, 蒸汽流量增大, 则蒸汽压力随之增大, 蒸汽温度即为对应压力下的饱和温度, 也随之增大, 反之亦然。因此, 蒸汽流量对蒸汽加热噪声的影响正是体现了蒸汽压力和温度对蒸汽水下加热噪声的影响, 即: 蒸汽流量增大, 则蒸汽压力和温度随之增大, 蒸汽水下加热噪声 A 声压级随之增大; 反之, 蒸汽流量减小, 则蒸汽压力和温度随之降低, 蒸汽水下加热噪声 A 声压级随之减小。

蒸汽水下加热过程中, 湍流噪声和气泡破裂噪

声是共同作用的, 当改变蒸汽压力和温度时, 湍流噪声和气泡破灭噪声的作用也随之改变。相同过冷度条件下, 当蒸汽压力和温度降低时, 对应蒸汽流量减小, 速度剪切和湍流混合作用不明显, 产生的湍流噪声和结构振动噪声并不显著, 此时主要是气泡破裂噪声; 当蒸汽压力和温度增大时, 对应蒸汽流量增大, 湍流强度高, 产生的湍流噪声和结构振动噪声较显著, 此时湍流噪声在水下加热噪声中所占比例增加。不论何种条件, 蒸汽加热噪声中湍流噪声和气泡破灭噪声在整个水温变化过程中对 A 声压级的贡献变化均一致, 即: 低温条件下, 湍流噪声占主导地位, 随着水温的增高, 气泡破灭噪声所占比例逐渐增大, 且在水温达到 60 ~ 65 °C 时达到最大, 随后逐渐减小, 湍流噪声所占比例渐长, 直至水温达到饱和。



(a) 3号喷头



(b) 1号喷头

图 4 水温对蒸汽水下加热噪声 A 声压级的影响

Fig. 4 Influence of the water temperature on the sound pressure level A of the noise caused by the heating of steam under the water surface

3.4 开孔面积对蒸汽水下加热噪声 A 声压级影响

配汽孔孔径相同, 蒸汽其它参数一定的条件下, 相同的蒸汽流量, 开孔总面积对蒸汽喷注噪声有显著影响。开孔面积越大, 则蒸汽和过冷水接触面积增大, 周围过冷水被快速加热, 过冷度迅速降低, 蒸

汽水下加热噪声小; 反之, 开孔面积越小, 噪声越大。如图 5 所示, 图中 A 表示配汽孔总面积, mm^2 。

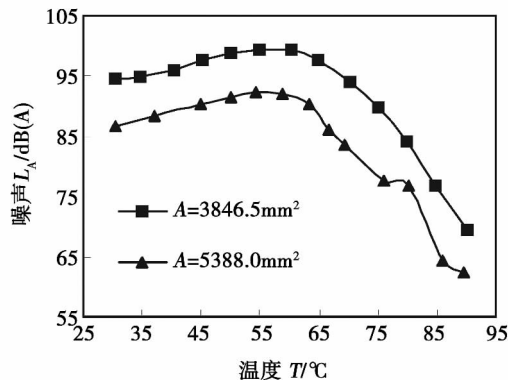


图 5 开孔总面积对蒸汽喷注噪声的影响
Fig. 5 Influence of the total area of the holes opened on noise caused by the steam jet

由图 5 可以看出: 当蒸汽其它参数一定时, 开孔面积大, 则蒸汽喷射压力小, 产生噪声 A 声压级也就越小; 反之开孔面积小, 蒸汽喷射压力大, 噪声 A 声压级随之增大。因为随着蒸汽射流压力的增大, 汽羽穿透长度增大, 即汽-液界面换热面积增大^[4-5], 蒸汽凝结形成气泡数量增多, 气泡破灭噪声增大, A 声压级增大。

4 结 论

通过上述试验结果和分析, 可得出以下结论:

(1) 蒸汽水下加热噪声主要有 3 部分组成: 湍流噪声、气泡破灭噪声和结构振动噪声; 其中, 气泡破灭噪声占主要地位。

(2) 蒸汽水下喷注噪声 A 声压级与水温有关。水温越低, 则高温区中的温度梯度越大, 汽泡的存在周期越短, 产生的噪声 A 声压级也就越高。水温在约 60~65 °C (即过冷度约为 35~40 °C) 时, 蒸汽水下加热噪声 A 声压级达到最大值。

(3) 对于同一种结构的喷头, 蒸汽流量增大, 则对应蒸汽压力和温度随之升高, 蒸汽水下加热噪声 A 声压级随之增大, 反之, 蒸汽流量减小, 则对应蒸汽压力和温度随之降低, 噪声 A 声压级减小。

(4) 孔径一定, 开孔数量越多, 则蒸汽水下加热噪声 A 声压级越小; 相反, 开孔数量越少, 蒸汽水下加热噪声 A 声压级越大。

参考文献:

- [1] Sagar S Gualawani, Jyeshtharaj B Joshi, Manish S Shah, et al. CFD analysis of flow pattern and heat transfer in direct contact steam condensation [J]. Chemical Engineering Science, 2006, 61: 5204-5220.
- [2] Ajmal Shah, Imran Rafiq Chughtai, Mansoor Hameed Inayat. Numerical simulation of direct-contact condensation from a supersonic steam jet in sub-cooled water. [J]. Chinese Journal of Chemical Engineering, 2010, 18(4): 577-587.
- [3] 张会强, 林文漪, 周力行. 水-汽浸没凝结射流两相流动的数值研究[J]. 燃烧科学与技术, 1996, 2(3): 228-235. ZHANG Hui-qiang, LIN Wen-yi, ZHOU Li-xing. Numerical study of the water-steam submerged condensation and jet two-phase flow [J]. Journal of Combustion Science and Technology, 1996, 2(3): 228-235.
- [4] 邵树峰, 严俊杰, 曹岩, 等. 超音速蒸汽浸没射流与凝结换热的实验研究[J]. 工程热物理学报, 2007, 28(1): 68-70. SHAO Shu-feng, YAN Jun-jie, CAO Yan, et al. Experiment research of a supersonic steam submerged jet flow and condensation heat exchange [J]. Journal of Engineering Thermophysics, 2007, 28(1): 68-70.
- [5] 曹岩, 邵树峰, 严俊杰, 等. 超音速蒸汽浸没射流凝结汽羽形状的实验研究[J]. 工程热物理学报, 2007, 28(4): 619-621. CAO Yan, SHAO Shu-feng, YAN Jun-jie, et al. Experimental research of a supersonic steam submerged jet flow and condensation steam-feather shape [J]. Journal of engineering thermophysics, 2007, 28(1): 619-621.
- [6] 马宪国, 赵在三, 陈之航. 疏水进入除氧器水箱喷注噪声的实验研究[J]. 华东工业大学学报, 1997, 19(2): 10-16. MA Xian-guo, ZHAO Zai-san, CHEN Zhi-hang. Experimental investigation of the noise caused by the spraying and jet flow when drain water entering into the water box of the deaerator [J]. Journal of East China University of Technology, 1997, 19(2): 10-16.
- [7] 马宪国, 陈之航, 赵在三. 动力设备中蒸汽喷注噪声的研究[J]. 动力工程, 1998, 18(2): 60-64. MA Xian-guo, CHEN Zhi-hang, ZHAO Zaisan. Study of the noise of a steam jet in power plants [J]. Power Engineering, 1998, 18(2): 60-64.
- [8] 马宪国, 胡兴. 蒸汽水下喷注噪声的实验研究[J]. 热能动力工程, 2000, 15(6): 627-629. MA Xian-guo, HU Xing. Experimental investigation of the acoustic noise of an underwater steam jet. [J]. Journal of Engineering for Thermal Energy & Power, 2000, 15(6): 627-629.
- [9] 马宪国. 蒸汽水下喷注噪声的理论分析及实验研究[J]. 华北电力大学学报, 2003, 30(1): 35-40. MA Xian-guo. Theoretical analysis and experimental study of the acoustic noise of an underwater steam jet [J]. Journal of North China University of Electric Power, 2003, 30(1): 35-40.

(辉 编辑)

In the light of complex systems of which the state parameters was changing with time ,put forward was a multi-dimensional state monitoring method based on the big data and asynchronous information fusion with the state parameters of the object being established to reflect the operating state of the equipment items. Through a case analysis of the ash deposition and fouling degree of the heating surfaces of a utility boiler ,by employing the algorithm in question ,a dual model and data fusion were used to enhance the modeling precision and multi-dimensionally analyze the noise caused by a change in the quality of coal when it is filtered. On this basis ,the pollution degree index was established to effectively reflect the extent of the ash deposition on the heating surfaces. **Key words:** big data ,state monitoring ,ash and foul inspection and measurement ,radiant heating surface

蒸汽过冷水下加热噪声声源试验及分析 = Experiment and Analysis of the Noise Sources Caused by Heating Supercooling Water Under the Water Surface by Steam [刊 ,汉] YUAN Li-fen ,YUAN Yi-chao ,YUAN Jian , et al(College of Energy Source and Power Engineering ,Shanghai University of Science and Technology ,Shanghai , China ,Post Code: 200093) //Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -2013 28(6) . -596 ~599

Analyzed were the main noise sources when heating supercooling water under the water surface by steam. Through an experiment to heat water under the water surface by steam ,studied was the variation law governing the noise when heating water under the water surface by steam. The research and analytic results show that the noise caused by heating water under the water surface is mainly from the burst of the steam bubbles. The sound pressure level A of the noise is directly related to the supercooling degree of water and attains its maximum value when the supercooling degree is around 35 °C to 40 °C. The above-mentioned sound pressure level A will increase with an increase of the steam flow rate. At a given flow rate ,it will become smaller with an increasing growth of the hole opening area.

Key words: direct steam heating ,steam bubble ,noise ,supercooling degree ,nozzle head

进风宽度对增压锅炉气流特性影响的数值分析 = Numerical Analysis of the influence of the Air Inlet Width on the Flow Characteristics of the Swirling Burners in a Supercharged Boiler [刊 ,汉] ZHANG Liang ,LIU Ming-zhu (CSIC No. 703 Research Institute ,Harbin ,China ,Post Code: 150078) ZHANG Di (College of Mechanical Engineering ,Harbin Institute of Technology ,Harbin ,China ,Post Code: 150001) //Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -2013 28(6) . -600 ~605