

文章编号:1007-6735(2011)01-0095-05

锅炉启动疏水回收至除氧器的降噪实验研究

黄 鸣¹, 袁益超², 刘聿拯², 马昕霞²

(1.上海市质量监督检验技术研究院,上海 200233; 2.上海理工大学 能源与动力工程学院,上海 200093)

摘要: 将超临界直流锅炉启动疏水引入除氧器,可同时回收疏水工质及其热量.启动疏水在进入除氧器时,由于压力的骤降会产生巨大动能会冲击并损害除氧器内件,且伴随有近 100 dB(A)的蒸汽水下喷射噪声.针对这一问题,设计了蒸汽喷射器和小孔喷注消声器作为降噪装置进行对比实验.结果表明,蒸汽在蒸汽喷射器内被冷凝,使得蒸汽水下喷射噪声被降低至 80 dB(A)以下.小孔喷注消声器则不能使蒸汽在进入过冷水之前被冷凝,其蒸汽水下喷射噪声最低也在 80 dB(A)以上.因此蒸汽喷射器在降低蒸汽水下喷射噪声方面要优于小孔喷注消声器.

关键词: 蒸汽喷射器; 超临界; 启动; 疏水回收; 降噪

中图分类号: TM 621.7 **文献标志码:** A

Experimental study on noise reduction in the recovery process of jetting boiler start-up hydrophobes into deaerator

HUANG Ming, YUAN Yi-chao, LIU Yu-zheng, MA Xin-xia

(1. Shanghai Institute of Quality Inspection and Techical Research, Shanghai 200233, China;
2. School of Energy and Power Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

Abstract: If the start-up hydrophobe of supercritical once-thorough boiler is jetted into deaerator, the water and heat amount in the hydrophobe will be completely recycled. Due to sudden drop in pressure, the kinetic energy of hydrophobes may impact and damage the parts inside the deaerator and the noise level caused by steam jetted into water may reach nearly 100dBA. To solve the problem, a steam ejector and a micropore muffler were deigned for noise reduction and their effects were compared by experiments. The results show that by the steam ejector the noise level can be reduced to below 80dBA, due to that the steam is cooled and condensed by supercooled water in the steam ejector. The micropore muffler can not cool the steam before it is jetted into the deaerator, so the minimum noise level is more than 80dBA. By this token, the effect of steam ejector is better than that of micropore muffler in reducing the noise caused by steam jetted into water.

Key words: steam ejector; supercritical; start-up; hydrophobic recovery; noise reduction

在高耗能的电力生产行业,大容量、高参数的超临界及超超临界机组因其能提高循环热效率,降低发电煤耗,等诸多优势,成为我国目前火电发展的主要方向.在其启动过程中会产生大量的启动疏水.河

收稿日期: 2009-12-09
作者简介: 黄 鸣(1981-),男,硕士.研究方向:节能与环保.
袁益超(联系人),男,教授.研究方向:气液两相液体动力学、强化传热、节能与环保技术等.
E-mail:ychyuan@163.com

南华润电力首阳山有限公司的 600 MW 机组冷态启动时,启动分离器约排放 4 200 t 疏水,假设补给水的温度为 20 ℃,则排放疏水所含的热量为 5.5×10^9 kJ,相当于 130 t 重油完全燃烧所放出的热量. 600 MW 机组每启动一次约排出 2 000~5 000 t 疏水^[1],大量排放疏水将造成水资源浪费和经济损失. 由于这部分疏水既是工质,又含有大量可用的热量,所以对这部分疏水进行回收在经济、环保、节能上都具有重要的意义.

对于超临界直流锅炉来说由于启动分离器内压力很高,温态启动一般在 3 MPa,热态启动一般大于 5~7 MPa,而除氧器工作压力一般在 1.5 MPa^[2]. 如果直接将启动疏水引入除氧器,由于压力的骤然降低,一部分启动疏水就会闪蒸变为饱和蒸汽. 当这些含有蒸汽的疏水进入到除氧器内水空间时,大量蒸汽气泡的坍塌破裂会造成强烈的压力脉动,这种压力脉动波是产生噪声的主要原因^[3]. 当这种噪声大量的产生就会造成巨大的环境污染^[4]. 更为重要的是:蒸汽气泡破裂产生的巨大动能和汽水混合物的冲击动能都将对除氧器内元件形成冲击,引起除氧器剧烈振动,可能对除氧器内件造成严重损坏. 本研究的目的就是设计出一种疏水回收装置,能有效降低蒸汽通入水下时,蒸汽气泡破裂产生的噪声及对除氧器造成损害,使启动疏水能够安全回收至除氧器.

1 材料与方法

1.1 实验元件

设计了两种疏水回收降噪装置作为实验元件:蒸汽喷射器(见图 1);小孔喷注消声器(见图 2).

1.2 实验仪器

a. 流量测量

饱和蒸汽流量由精度为 1 级的 YF100-AGSC2-CD 型涡街流量计测量;饱和水流量由精度为 0.5 级的 YLD15F211411211 型电磁流量计测量.

b. 温度测量

饱和蒸汽、饱和水、过冷水及蒸汽温度均由精度 A 级的 Pt100 铂电阻测量.

c. 压力测量

蒸汽压力由精度为 0.2 级的 GECY-160 型压力变送器测量.

d. 噪声测量

噪声由 HS6288B 型声级计测量.

e. 数据采集

铂电阻、压力变送器、涡街流量计、涡轮流量计和噪声仪等信号采用 PCI-1710L 型 A/D 数据采集卡采集. 所有采集信号同时输入 ADVANTECH 610 型工业计算机,由数据采集程序实时采集并记录各项实验数据.

蒸汽干度可以利用能量守恒定理进行计算.

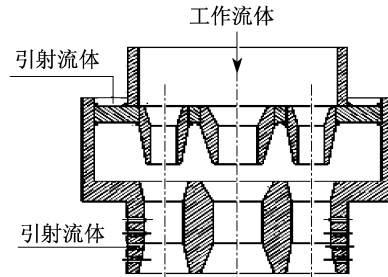


图 1 蒸汽喷射器

Fig.1 Schematic of steam ejector

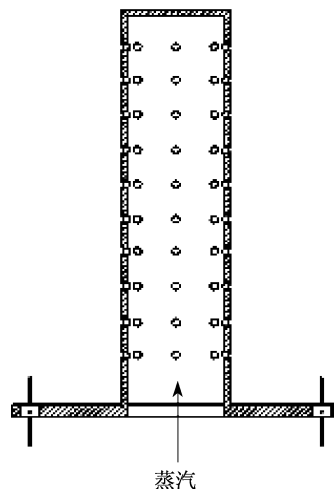


图 2 小孔喷注消声器

Fig.2 Schematic of micropore muffler

1.3 实验方法

为了防止因启动疏水压力太高而影响到除氧器的安全运行,启动疏水在回收至除氧器之前要先经过节流降压,变成干度约为 0.3 的湿蒸汽,然后再引入除氧器内的水空间. 实验系统如图 3 所示,其中:实验所需蒸汽由 WNS3-1-Y 型燃油蒸汽锅炉产生的饱和蒸汽与饱和水通过汽水混合器混合而成;过冷水由水泵抽取水箱中的过冷水供给.

a. 将蒸汽干度、蒸汽压力不变的蒸汽通入固定于水箱中的蒸汽喷射器,水箱内的过冷水与蒸汽在蒸汽喷射器内进行凝结换热,过冷水被加热,温度逐步上升,过冷度逐渐减小,与此同时在距离实验水箱 1 m 处用噪声仪测量此时实验产生的噪声. 考察在不同的过冷度下,所对应的蒸汽喷射器

的噪声值.

b. 改变蒸汽的干度,重复实验过程 a. 考察在不同的蒸汽干度下,蒸汽喷射器的噪声值.

c. 改变蒸汽的压力,重复实验过程 a. 考察在不同的蒸汽压力下,蒸汽喷射器的噪声值.

d. 将蒸汽喷射器更换为小孔喷注消声器重复实验过程 a、b、c. 考察在不同的过冷度、蒸汽干度、蒸汽压力下小孔喷注消声器的噪声值.

1.4 分析方法

a. 在蒸汽和过冷水的状态参数相同时,比较蒸汽喷射器与小孔喷注消声器的噪声值来判断两种降噪装置的降噪效果的优劣.

b. 在蒸汽参数不变时,分析蒸汽喷射器噪声与小孔喷注消声器噪声随着过冷度减小的变化趋势,考察过冷水的过冷度对蒸汽水下喷射噪声的影响规律.

c. 在过冷度与蒸汽压力相同时,分别比较不同蒸汽干度下的蒸汽喷射器和小孔喷注消声器的噪声值,以考察蒸汽干度对蒸汽水下喷射噪声的影响规律.

d. 在过冷度与蒸汽干度相同时,分别比较不同蒸汽压力下的蒸汽喷射器和小孔喷注消声器的噪声值,以考察蒸汽压力对蒸汽水下喷射噪声的影响规律.

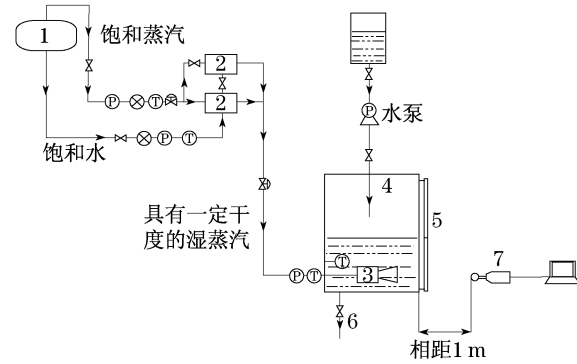


图3 实验系统图

Fig.3 Schematic of experimental system

1. 锅炉 2. 汽水混合器 3. 实验元件 4. 实验水箱

5. 液位计 6. 排水阀 7. 噪声仪

2 结果与分析

2.1 两个实验元件的噪声比较

a. 在蒸汽和过冷水的状态参数相同时,蒸汽喷射器的噪声明显小于小孔喷注消声器的噪声. 这表明蒸汽喷射器的降噪效果远远优于小孔喷注消声器(图4、图5).

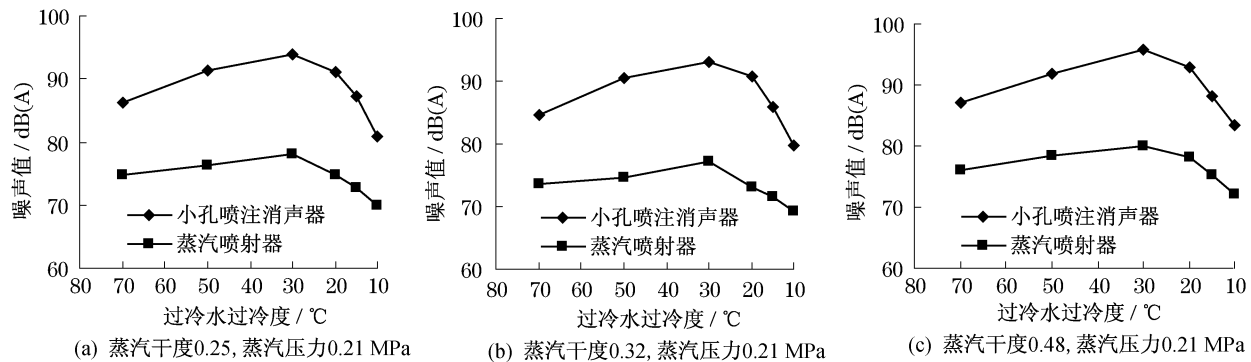


图4 蒸汽干度不同时,两种实验元件的噪声比较及过冷水过冷度对噪声的影响规律

Fig.4 Contrast of noises and the effect of undercooling on the noise when the steam quality is different

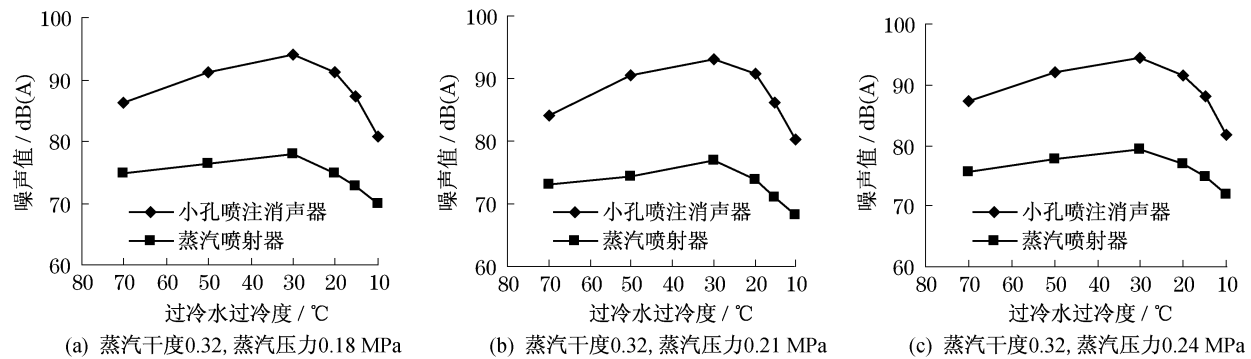


图5 蒸汽压力不同时,两种实验元件的噪声比较及过冷水过冷度对噪声的影响规律

Fig.5 Contrast of noises and the effect of undercooling on the noise when the steam pressure is different

蒸汽通入过冷水时产生的蒸汽水下喷射噪声,是由蒸汽在过冷水中形成的蒸汽气泡破裂产生的.蒸汽喷射器用蒸汽作为工作流体引射过冷水,蒸汽与过冷水在喷射器内进行凝结换热而被冷凝,使蒸汽在过冷水中形成的蒸汽气泡减少,降低了因蒸汽气泡破裂而产生的蒸汽水下喷射噪声,从控制噪声声源方面达到降噪的目的.

小孔喷注消声器以喷气噪声的频谱为依据,用很多小喷口来代替大喷口以保持喷口的总面积不变.而当气流经过小孔时喷气噪声的频谱就会移向高频或超高频,使频谱中的可听声成分明显降低,从而减少对人的干扰和伤害.因此,小孔喷注消声器主要适合于降低由高速气流冲击和剪切周围静止的空气从而引起剧烈的气体扰动产生的喷气噪声.而在蒸汽通入过冷水时,小孔喷注消声器并不能减少进入到过冷水中的蒸汽气泡,噪声的声源依然存在且并没有被削弱,所以也就不能达到减小蒸汽水下喷射噪声的目的.

b. 随着过冷水过冷度的减小,噪声先增大,再减小(见图4、图5).这是因为对于较大的过冷度,蒸汽与过冷水进行凝结换热的速度很快,气泡破灭所需的时间很少,即产生的噪音频率很高.由于人耳对中频声最敏感,对高频声不敏感^[5],所以在过冷水过冷度很大时,A声级噪声(人耳感觉噪声)较低;随着过冷度减小,气泡破灭产生的噪音频率逐渐向中频降低,此时相应的A声级噪声开始增大;当过冷度减小到某一范围时(本实验中为过冷度25℃到35℃),气泡破灭产生的噪声频率达到人耳最敏感的中频,此时相应的A声级噪声达到最大;过冷度继续减小,气泡破灭产生的噪声频率逐渐下降为低频,因此相应的A声级噪声也开始下降;当过冷度为零,过冷水达到饱和状态时,蒸汽气泡在过冷水中不再破灭,从而由气泡破灭引起的蒸汽喷射噪声将会消失^[6].

2.2 蒸汽干度对噪声的影响

在蒸汽压力不变时,随着蒸汽干度从0.25增加到0.48(见图6),蒸汽喷射器和小孔喷注消声器的噪声值都在增加.虽然噪声增加的幅度不同,但都随着蒸汽干度的增大而增大.由此可见:蒸汽干度对蒸汽水下喷射噪声的影响规律受降噪装置的影响较小,而主要与蒸汽干度本身有关.

在其他蒸汽状态参数一定时,蒸汽干度越大则单位质量蒸汽中含有的饱和蒸汽越多.在蒸汽喷入过冷水时,形成的蒸汽气泡也就越多,从而由蒸汽气泡破裂产生的噪声也就越大.所以降低蒸汽干度,有助于减小蒸汽水下喷射噪声.

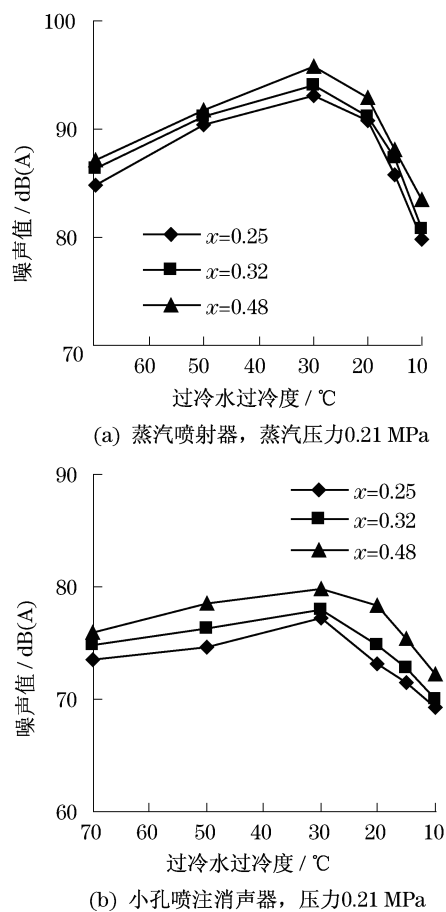


图6 蒸汽干度对噪声的影响规律

Fig.6 Effect of steam quality on the noise

2.3 蒸汽压力对噪声的影响

在蒸汽干度不变时,随着蒸汽压力从0.18 MPa增加到0.24 MPa(见图7),蒸汽喷射器和小孔喷注消声器的噪声值都在增加.虽然噪声增大的幅度不同,但都随着蒸汽压力的增大而增大.由此可见:蒸汽压力对蒸汽水下喷射噪声的影响规律受降噪装置的影响较小,而主要与蒸汽压力本身有关.

在其他蒸汽状态参数一定时,蒸汽压力越大,则同一个降噪装置中蒸汽流速就越快,那么在单位时间内喷入过冷水的饱和蒸汽就越多.在蒸汽喷入过冷水时,形成的蒸汽气泡也就越多,从而由蒸汽气泡破裂产生的噪声也就越大.所以降低蒸汽压力,有助于减小蒸汽水下喷射噪声.

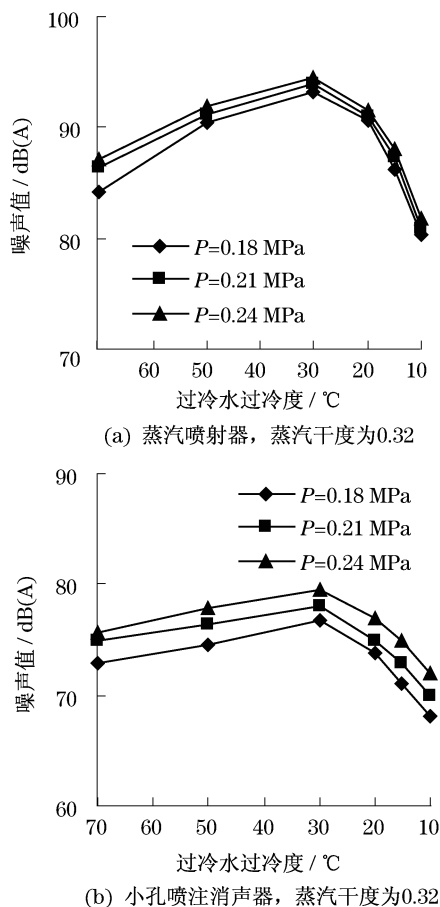


图7 蒸汽压力对噪声的影响规律

Fig.7 Effect of steam pressure on the noise

3 讨论

蒸汽喷射器的突出优点是机械运动部件,且具有体积小、高效、节能、无泄漏、安全性和可靠性高、结构简单、运转费用低廉、操作维修方便等特点,因此在能源电力、石油化工、建筑冶金、轻工纺织、军工等领域均得到了广泛应用.不用添加其他新的设备,只需对现有的除氧器稍加改造,就可以使用蒸汽喷射器对超临界锅炉启动疏水进行回收.如此不但减少了投资,而且还可以将水和热量完全回收,达到节能、环保、重复利用水资源的三重目的.

4 结论

a. 与小孔喷注消声器相比,蒸汽喷射器能够明

显降低蒸汽水下喷射噪声,是一种非常合理和有效的降噪装置.

b. 蒸汽水下喷射噪声的主要来源是过冷水中蒸汽气泡破裂所产生的压力脉动波.

c. 蒸汽水下喷射噪声的变化规律和过冷水的过冷度有很大关系.过冷水的过冷度越大,气泡破裂产生的噪声频率越高(超过人耳的听觉范围),故A声级噪声较低;随着过冷水的过冷度减小,噪声频率下降(达到人耳敏感范围),故A声级噪声开始增大,并达到一个最大值(人耳最敏感的频率);随着过冷度的继续减小,噪声频率继续下降,A声级噪声开始明显的下降.当水达到饱和状态即水的过冷度为零时,由气泡破裂引起的噪声也随之消失.

d. 实验中,蒸汽水下喷射噪声在过冷水的过冷度为25°C到35°C范围内达到最大.

e. 蒸汽干度对蒸汽水下喷射噪声具有一定的影响,蒸汽干度越大其噪声越大,降低蒸汽干度有助于减小蒸汽水下喷射噪声.

f. 蒸汽压力对蒸汽水下喷射噪声具有一定的影响,蒸汽压力越大其噪声越大,降低蒸汽压力有助于减小蒸汽水下喷射噪声.

参考文献:

- [1] 旷仲和. 600 MW超临界机组锅炉汽水分离器启动疏水回收的解决方案[J]. 中国电力, 2006, 39(8): 33-36.
- [2] 乔治国, 袁益超, 刘聿拯. 超临界直流锅炉的启动及其疏水回收[J]. 锅炉技术, 2008, 39(3): 5-7.
- [3] 徐龙, 马宪国. 蒸汽在水下有限空间内喷射时喷注噪声的声源分析[J]. 上海理工大学学报, 2004, 26(3): 247-249.
- [4] 李炎. 除氧器内置锅炉启动疏水装置的研制和应用[J]. 电站辅机, 2009(1): 8-12.
- [5] 黄景泉. 空泡起始和溃灭阶段的噪声[J]. 应用教学和力学, 1990, 11(8): 725-730.
- [6] 胡兴, 马宪国. 蒸汽水下喷注噪声的产生机理和辐射规律的研究[J]. 上海理工大学学报, 2000, 22(1): 5-8.

(责任编辑: 巩红晓)