

螺旋管式蒸汽疏水器的设计与试验研究

周根明, 陈育平, 孔祥雷

(江苏科技大学 机械与动力工程学院, 江苏 镇江 212003)

摘 要: 采用全新的思路, 设计了一种新型高效节能的螺旋管式蒸汽疏水器, 既可用作普通的疏水器, 又可用于凝结水回收。详细介绍了这种疏水器的结构、工作原理。该疏水器没有任何运动部件, 具有极高的工作可靠性, 可免维护。对新型疏水器进行了性能试验, 试验研究表明: 设计的疏水器大大降低了漏汽率; 在负荷一定的情况下, 具有恒流量特性; 对负荷与汽压波动的适应性较强, 高背压下亦能正常工作。

关 键 词: 螺旋管; 疏水器; 漏汽率; 适应性; 高背压

中图分类号: TK264.9 文献标识码: A

引 言

凝结水回收装置和蒸汽疏水器是国家高新技术产品目录中高效节能产品的重点项目^[1]。以蒸汽为热源的热力设备大量排放蒸汽凝结水, 这些水既是宝贵的软水资源, 又含有大量可利用的热能, 如不进行回收, 会造成大量软水资源和热量的浪费^[2]。而现行的蒸汽疏水器大都工作在较低背压下, 不利于凝结水的回收, 即使不考虑凝结水回收, 单纯从疏水器技术上也存在较大问题。现行市场上的疏水器由于结构复杂, 阀内存在运动部件, 使得其工作可靠性较差^[3-4]; 疏水器在现场一旦发生故障, 识别和修复也是一件很困难的事情^[5], 损坏的疏水阀如不能及时更换, 会造成部分疏水点大量的蒸汽泄漏, 加剧了能量和资源的浪费^[6]。

针对上述现象, 近年来开发了一些专用凝结水回收装置^[7-10], 但同一套凝结水回收装置只能适用于其对应的工程背景, 难以推广。随着技术进步和国外先进工艺引入, 也产生了一些高效节能、寿命长、适用性广的疏水器^[11], 但其工作原理并没有发生根本性改变, 阀内依然存在动作部件, 其失效问题是不可避免的, 而且该类疏水器的关键构件的加工精度要求较高, 导致其价格也较为昂贵。而一个企

业少则几十个, 多则几千个疏水点, 如果采用过多该类疏水器, 就会导致系统初投资大大增加^[12]。

为了更好地进行凝结水回收, 克服现行蒸汽疏水器的不足, 采用全新的思路, 设计了一种新型的高效节能的螺旋管式蒸汽疏水器, 既可用作普通的疏水器, 又可用于凝结水回收, 并对其进行了性能试验。

1 螺旋管式蒸汽疏水器的设计

图 1 为螺旋管式蒸汽疏水器结构。蒸汽用热系统的凝结水从疏水器的进口进入阀体, 首先进入阀芯的内腔, 然后从内腔顶端进入螺旋管, 自上而下地流入疏水器的出口。由于螺旋管的节流作用, 使得螺旋管内的流体压力逐步下降, 其对应的饱和温度也逐渐下降, 所以螺旋管外侧的疏水或蒸汽比螺旋管内的疏水温度高, 从而产生传热, 可引起螺旋管内部疏水的汽化。当蒸汽和凝结水进入该类疏水器时, 单相液态流体能顺利流过螺旋管, 当凝结水中夹带蒸汽时, 由于蒸汽对螺旋管的间接加热而使管内流体汽化, 形成汽阻而使流动阻力增大, 夹带蒸汽量越多, 加热越剧烈, 流动阻力越大, 使得蒸汽不能顺利通过疏水器。

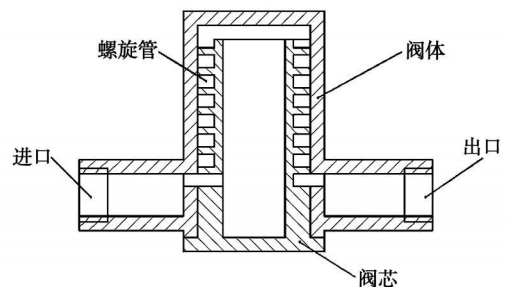


图 1 螺旋管式蒸汽疏水器结构示意图

螺旋管式蒸汽疏水器是利用流体相态变化引起

的流动阻力变化而达到疏水阻汽的目的。根据流体力学原理, 螺旋管通道内流动压降:

$$\Delta p = \frac{\rho v^2}{2} \left(\zeta + \lambda \frac{l}{d} \right) = \frac{8 q_m^2}{\pi^2 d^4 \rho} \left(\zeta + \lambda \frac{l}{d} \right) \quad (1)$$

式中: Δp —流体的压降, Pa; v —流体的流速, m/s; q_m —流体的质量流量, kg/s; d —通道的当量直径, m; ρ —流体的密度, kg/m³; ζ —通道的局部阻力系数; λ —通道的沿程阻力系数; l —通道的长度, m。

在进行螺旋管通道的参数设计时, 保证螺旋管内流体的流动状态处于阻力平方区, 此时, $\left(\zeta + \lambda \frac{l}{d} \right)$ 仅与螺旋管通道的结构、尺寸相关。在疏水器工作压降相同的条件下, 当螺旋管通道的结构、尺寸确定以后由式 (1) 可得, 在同一个螺旋管通道中完全走饱和蒸汽时的质量流量 q''_m 与完全走饱和水时的质量流量 q'_m 的比值为:

$$\frac{q''_m}{q'_m} = \left(\frac{\rho''}{\rho'} \right)^{1/2} \quad (2)$$

一般疏水压力下的汽水密度比近似为 0.001, 即该螺旋管通道完全走饱和蒸汽时的理论漏气比约为 3%。

2 试验系统设计与试验方法

2.1 试验台架系统组成及试验原理

为了对蒸汽疏水器本身的性能进行研究, 按图 2 搭建了所需的试验台架系统。由于该阀是一等焓节流装置, 阀前后的焓值相等, 所以试验系统中只在阀后设置了比焓测定仪。该系统能方便地进行各种变工况 (蒸汽压力 p_1 、疏水器背压 p_2 、换热负荷 Q) 试验, 而且操作测量方便, 在试验阀门两侧都安装了活接头; 各项热力参数 (压力、流量、温度、比焓) 的测量精度高于 2.5 级。试验系统设计参数: 凝结水流量范围: 200 ~ 1 000 kg/h; 工作蒸汽压力范围: 0.3 ~ 1 MPa (表压); 背压调节范围: 0 ~ 0.3 MPa (表压)。

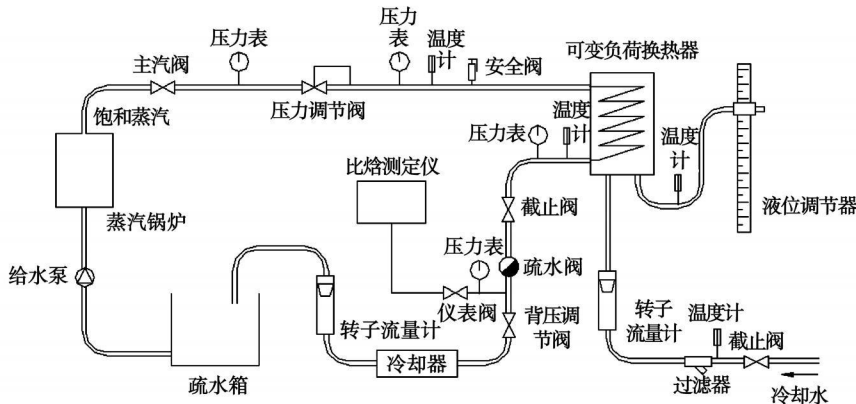


图 2 试验台架系统图

系统图中除蒸汽锅炉、给水泵和疏水箱外都是试验台架设计的设备, 锅炉产生的饱和蒸汽经压力调节阀调整为试验压力, 进入换热器放热后变为凝结水, 经疏水器到背压调节阀, 利用背压调节阀, 可使疏水器工作在试验背压下; 通过测量疏水器出口凝水的比焓与相应饱和液体焓对比即可得该疏水器的漏气率。为了提高疏水流量的测试精度, 防止疏水带汽, 在疏水流量计前安装了冷却器; 为了提高试验的准确性, 通过测量冷却水系统的温升和流量, 对试验系统进行热平衡校核。

2.2 可变负荷换热器

为了测试疏水器的变负荷特性, 设计了一个可变负荷的换热器, 其内部结构如图 3 所示。其中可转动部件是一薄的壳体, 在其表面上开有一螺旋通

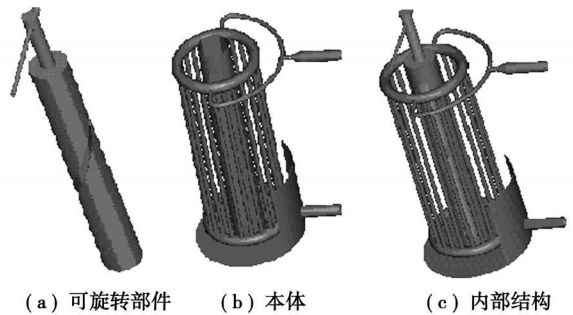


图 3 可变负荷换热器内部结构

槽; 本体中心处也存在一个薄的壳体, 其表面上开有一竖向通槽; 装配完毕后, 壳体的外表面可以和中心壳体的内表面吻合在一起, 通过转动部件就可以调

节换热器中冷却水的液位高度,即可改变换热面积,从而达到改变负荷的目的。

2.3 试验方法

待锅炉运行稳定蒸汽压力达到额定值,并能稳定提供负荷时缓慢开启主汽阀,排空系统中的积水与空气,即可开始试验。为了全面研究各种因素(负荷变化、压力波动等)对疏水器性能的影响,试验时,在蒸汽压力 p_1 、负荷 Q 、疏水器背压 p_2 3个可选参数中,先固定蒸汽压力 p_1 和负荷 Q 这两个参数,来研究疏水器背压 p_2 变化,即疏水器工作压差 Δp 改变时对疏水器的漏汽率、流量等性能参数的影响。共进行了 22 种工况试验,其中热平衡误差均小于 5%。

3 试验结果分析

3.1 疏水器的漏汽率

图 4 给出了在蒸汽压力 p_1 恒定、负荷 Q 发生变化时,疏水器工作压差 Δp 与疏水器漏汽率之间的关系。该疏水器在最小负荷下疏水含汽率不到 1%,如图 4 所示。试验结果表明,即使工作压差 Δp 在很大的范围(0.15~0.55 MPa)进行波动,该疏水器仍然具有非常良好的疏水阻汽能力,这主要是因为该疏水器采用了全新的工作原理,利用相态变化产生的流动阻力差异进行工作。当蒸汽凝结水进入该疏水器时,单相液态流体能顺利流过螺旋管,当凝结水中夹带蒸汽时,由于蒸汽对螺旋管的间接加热而使管中流体汽化,产生较大流动阻力,夹带蒸汽量越多,加热越剧烈,流动阻力越大,使得蒸汽无法通过疏水器。

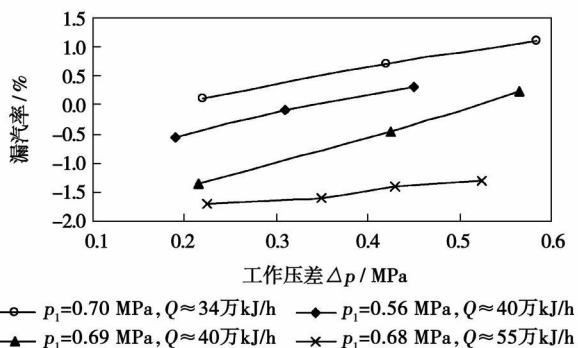


图 4 不同负荷时工作压差与漏汽率之间的关系

3.2 疏水器的流量变化特性

图 5 给出了蒸汽压力 p_1 恒定、负荷 Q 发生变

化时,疏水器工作压差 Δp 与疏水流量之间的关系。随着负荷的增加,疏水流量也相应增加,即该疏水器能适应较大的负荷变化范围(34~55 万 kJ/h);在负荷一定的情况下,该疏水器具有恒流特性,即流量不随工作压差的变化而变化,这给疏水器的选型带来很大灵活性,是现行疏水器所没有的特性。

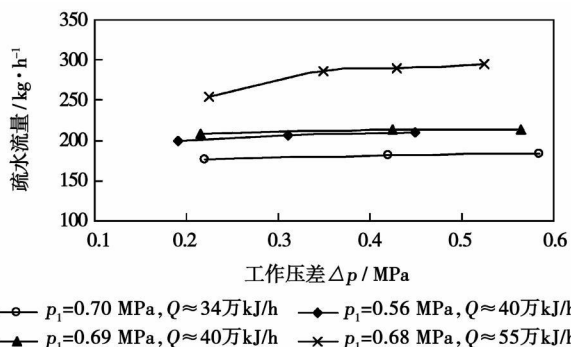


图 5 不同负荷时工作压差与疏水流量之间的关系

3.3 疏水器对压力波动的适用性

由图 6 疏水器的特性曲线可知,该疏水器对工作压差(0.15~0.55 MPa)有较强的适应性,在较小的工作压差(0.15 MPa)下,疏水器也可正常工作。试验结果也表明,这种疏水器对汽压波动的适应性较强,高背压下亦能正常工作,从而有利于进行凝结水的回收。出现上述现象的主要原因是螺旋管的节流汽化效应可以平衡工作压差变化时产生的作用。当压力升高导致工作压差变大时,由于螺旋管的节流作用使凝水在出口段汽化,从而可增加排水阻力,平衡由于压差增大产生的作用;当压力降低导致工作压差变小时,凝水过冷度增加,螺旋管的节流汽化效应降低,排水阻力也相应减小,平衡由于压差减小产生的作用。

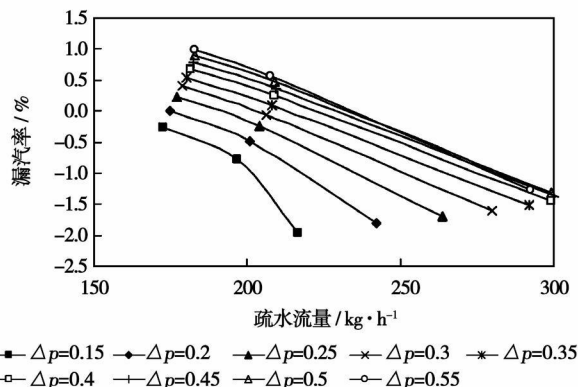


图 6 疏水器特性曲线

4 结 论

综上所述,新型螺旋管式蒸汽疏水器与现行疏水器相比具有如下明显而优越的技术特点:

(1) 在疏水阻汽原理上有了全新的突破,不再利用现行疏水器检测液位或温度的方法,而是利用相态变化产生的流动阻力差异进行工作。

(2) 结构比现行疏水器更简单,工作更可靠。由于螺旋管是一个特殊结构的流道,没有任何运动部件,不会产生卡死或串通等失灵现象,其中流体的相变只是从液体变为气体,不会产生液击现象,流体与管壁接触部位的磨损和汽蚀微弱,所以这种疏水器具有极高的工作可靠性,可达到免维护的要求。

(3) 较强的负荷和汽压波动适应性。这就使得同一个疏水器可以用于不同负荷的用热设备上,便于疏水器的选型和安装。

(4) 适应高背压,有利于直接回收凝结水。由于对工作压差的适应性强,且不依赖于水位和温度变化而工作,所以背压的变化对其影响不大,利用高背压即可直接将水送入软水箱,这样既可省去常用凝水回收装置所耗的动力和动力装置,又增加了凝水热量的回收率(大气压下的散蒸蒸汽热量得以回收利用)。由于疏水器连续动作,不会对凝结水回收

管的压力产生冲击,所以可以将各用热设备的疏水器并联在一根凝结水回收母管上,这就大大简化了凝结水回收系统。

参考文献:

- [1] 中国高新技术产品目录.(2002 广东修订)
- [2] 沈 鸿,高振平. 密闭式冷凝水回收系统的应用与探讨[J]. 机械工程师, 2007, 4: 161-162.
- [3] 郑卫东,于 晖. 浅谈蒸汽疏水器存在问题及改进建议[J]. 甘肃科技, 2005, 4: 27-28
- [4] FRENCH SCOTT A. Steam trap monitoring early warning defense system[J]. Plant Engineering, 2002, 56(10): 68-72
- [5] BLOCH HEINZ P. Consider an advanced method of steam trap condition monitoring[J]. Hydrocarbon Processing, 2005 84(10): 9-10
- [6] FRENCH SCOTT A, KATZEL JEANINE. Steam trap test methods cut cost and save energy[J]. Plant Engineering, 1998, 52(10): 114-120.
- [7] 黄桂兰. 新型液位自动控制装置在高加疏水器改造中的应用及经济性分析[J]. 宁夏电力, 2003, 1: 26-29.
- [8] 黄建平,许梅先,刘 刚. 感应型电子疏水器在烧碱生产中的应用[J]. 氯碱工业, 2006, 2: 38-39.
- [9] 杨锦波. 新型气液两相流自调节疏水器在电厂的应用[J]. 节能 2001, 7: 39-40.
- [10] 陈 晓, 马虎根, 伍贻文. 宝钢中压蒸汽管网疏水系统的节能研究[J]. 能源研究与信息, 2005, 4: 215-221.
- [11] 郑建明. 高效节能疏水器[J]. 企业技术开发, 2003, 9: 9-11.
- [12] FRANK S P. Selecting the right steam trap[J]. Hydrocarbon Processing 2006, 85(7): 79-81

(编辑 滨)

新技术、新产品

用于联合生产的燃气轮机联合循环装置

据《Gas Turbine World》2008年5~6月号报道,卡塔尔政府已完成了与国际合资公司的谈判,建造金额高达38亿美元的发电和海水淡化装置。

在2011年完成时,该装置将生产2 730 MW电力和生产23 847万L/d淡水。

该装置将由Ras Girtas Power公司拥有和运行,该公司是卡塔尔电力和水公司、法国Mitsui国际财团和法国Suez国际能源公司之间的合资企业。

Mitsui是该项目的总承包者。卡塔尔电力和水公司将购买装置总的输出电力和淡水。

该装置包括8台燃气轮机发电机、8台余热锅炉、4台汽轮机发电机和10台淡水装置。

Ras Girtas项目将使卡塔尔总的电力生产能力提高到9 000 MW,并使淡水生产能力增加到12.10亿L/d淡水。

(吉桂明 供稿)

real-time on-line SO₂ spectrum analytic system. The influence of the following six factors on the desulfurization efficiency was analyzed in detail: flue gas flow speed, slurry atomization quality, flue gas temperature, SO₂ concentration at the inlet, circulating ash concentration and slurry feeding mode etc. In addition, the change of SO₂ concentration along the flow path was measured. The test results show that at optimized operating-condition parameters, the desulfurization efficiency in the section under investigation can be higher than 55%. The circulating ash concentration has a conspicuous influence assessed at 6% on the desulfurization characteristics of the section. Through an optimization of slurry feeding mode, the desulfurization efficiency can be enhanced by about 3%. The slurry atomization quality has also an obvious influence of about 2%~3% on the desulfurization efficiency of the section. **Key words:** flue gas desulfurization, compound spout, gas-liquid reaction, SO₂ measurement, single-factor separation method

煤粉热解组分析出特性的实验研究和 DAEM 模拟 = **Experimental Study and DAEM (Distributed Activation Energy Model) Simulation of the Precipitation Characteristics of Pulverized-coal Pyrolyzed Constituents** [刊, 汉] /ZHANG Yan-wen, YANG Jing-biao, CAI Ning-sheng (Education Ministry Key Laboratory on Thermal Sciences and Power Engineering, Tsinghua University, Beijing, China, Post Code: 100084) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2008, 23(6). — 661 ~ 665

To study the precipitation characteristics of various pulverized-coal pyrolyzed constituents, a pyrolysis experimental study has been conducted of Baorixile-origin lignite and Baotou-origin bitumite on a TGA-FTIR (Thermogravimetric Analyzer-Fourier Transform Infrared Spectrum) dual-purpose test rig. CH₄, CO, CO₂ and HCN were measured along with an analysis of the precipitation of total volatile content and various constituents being simulated by using DAEM (Distributed Activation Energy Model). The results indicate that the curves of CH₄ precipitation concentration assume a symmetric single-peak distribution and those of CO, CO₂ and HCN precipitation concentration are irregular. The DAEM is applicable for the simulation of integrated volatile contents and can also perform a relatively accurate simulation and prediction of CH₄ precipitation, but not suitable for the simulation of CO, CO₂ and HCN. The precipitation temperature of CH₄, CO, CO₂ and HCN is mainly determined by various functional group's decomposition bond energy. Baorixile-origin lignite has a total volatile content higher than that of Baotou-origin lignite, but the content of CH₄ and HCN in the volatile matter, however, is lower than that of Baotou-origin bitumite. **Key words:** pulverized coal, pyrolysis, pyrolyzed gas constituent, pyrolysis precipitation, distributed activation energy model (AEM)

螺旋管式蒸汽疏水器的设计与试验研究 = **Design and Experimental Study of Spiral-tube Type Steam Traps** [刊, 汉] /ZHOU Gen-ming, CHEN Yu-ping, KONG Xiang-lei (College of Mechanical and Power Engineering, Jiangsu University of Science and Technology, Zhenjiang, China, Post Code: 212003) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2008, 23(6). — 666 ~ 669

By adopting a wholly new approach, designed was a new type of efficient and energy-saving spiral-tube steam trap, serving either as a common steam trap or as a device for condensate water recovery. The authors have described in detail the structure and working principle of the steam trap in question. The latter has no moving parts, operates very reliably and is maintenance-free. A performance test has been conducted. The test results show that the steam trap under discussion can greatly reduce steam leakage rate. At a given load, it features a constant flow rate and a comparatively strong adaptability to load and steam pressure fluctuations, making it possible to operate properly even at a high back pressure. **Key words:** spiral tube, steam trap, steam leakage flow rate, adaptability, high back pressure

风力发电系统液力变速与传动应用技术研究 = **A Study of the Applied Technology of Hydraulic Speed Variation and Transmission for Wind Power Generation Systems** [刊, 汉] /DONG Yong, WANG Hong-jie, ZHOU Xu-qiang (College of Energy Science and Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin, China, Post Code: 150001) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2008, 23(6). — 670 ~ 675