

角管式蒸汽锅炉再循环管的实验研究

孟昭鹏 吕 薇* 李瑞扬 孙绍增 杨明新 吴少华 秦裕琨
(哈尔滨工业大学)

[摘要] 通过对角管式蒸汽锅炉侧墙水冷壁的循环原理进行分析,找到了影响再循环管水动力特性的主要因素,并建立了水动力特性实验台,对热负荷和预分离集箱影响再循环管作用的规律进行了实验研究。

关键词 角管锅炉 再循环管 实验研究

中图法分类号 TK 224. 21

0 前言

角管锅炉作为一种新型的锅炉,近年来得到了广大用户的重视和喜爱。角管式热水锅炉的应用已经比较广泛,但对角管式蒸汽锅炉的研究却没有很大的进展。特别是对于角管蒸汽锅炉的一些特殊结构如再循环管的研究更加缺乏。本文通过理论分析与实验相结合的方法,对再循环管的作用进行了初步研究,从而得出影响再循环管工作的主要规律。

1 侧墙水冷壁的循环原理与再循环管的流动分析

图 1 是典型的角管蒸汽锅炉的侧墙水冷壁的示意图。给水进入锅筒后,经下降管至下集箱,分配给水冷壁。在水冷壁中工质被加热成汽水混合物,至预分离集箱。在预分离集箱

中,汽水混合物分成两股:一股直接流回锅筒;另一股的蒸汽部分由蒸汽引出管引进锅筒,水部分进入再循环管至下集箱,从而完成循环。

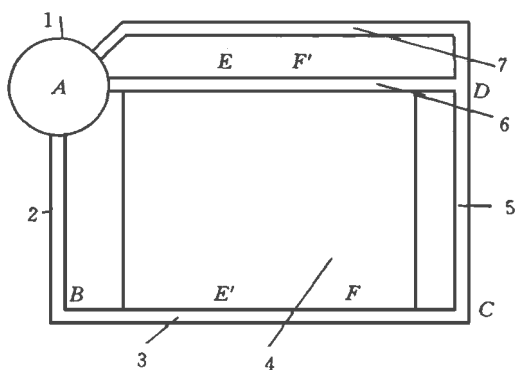


图 1 角管蒸汽锅炉侧墙水冷壁示意图

1- 锅筒 2- 下降管 3- 下集箱 4- 水冷壁
5- 再循环管 6- 预分离集箱 7- 蒸汽引出管

影响再循环管的工作特性的主要因素有:热负荷、预分离集箱内的工质流动情况、及再循环管入口处的汽水分离效果等。

收稿日期 1997- 10- 28 修改定稿 1998- 01- 20

本文联系人 李瑞扬 男 1960年生 副教授 150001 哈尔滨工业大学能源学院

1.1 热负荷的影响

热负荷主要影响上升管及预分离集箱中的质量含汽率,进而影响流动阻力及循环速度等。文献〔1〕给出了普通蒸汽锅炉循环速度与锅炉负荷的关系,对于普通蒸汽锅炉,下降管的循环速度随热负荷的增加而增加。对于角管锅炉的再循环管则不同,在负荷增加之初会由于密度的减少而增加一些流动压头,使循环速度有所增加(增加率则不如下降管快),但由于给水为饱和水,且流动阻力较大,所以循环速度开始下降点则早于普通锅炉的下降管。

1.2 预分离集箱内的流动状态的影响

预分离集箱的流动状态主要影响两点,一是再循环管入口处的汽水分离,再就是汽水混合物的流动阻力。对于流动阻力及汽水分离来讲,处于低速的分层流动状态既有利于减少阻力,又有利于汽水分离。因此,从设计上希望预分离集箱内的流动处于分层流动范围,这一方面取决于预分离集箱与上升管的截面比,另一方面也依赖于热负荷的变化。

1.3 再循环管入口分离效果的影响

对于图1所示结构,再循环管入口的流动属于二相流在“T”型管中流动(相分离)。对此,有些人做过研究,但得出的结论只能限于一定的实验范围,根据前人研究结果,发现对于相分离(这里关心的是汽相向下分离的多少)起影响作用的主要有:质量含汽率、混合物的轴向速度、“T”型管的几何结构等。不难发现,质量含汽率越小,混合物速度越低,则此处汽的分离作用越好。

2 再循环管作用的实验研究

角管锅炉不同于一般结构的锅炉,最大特点在于其水循环的特殊性,而其中的一个显著特点是远离锅筒的受热面的给水由再循环管供给;而再循环管的流动情况受热负荷、预分离集箱等因素的影响。因此,寻找出热负荷及预分离集箱对再循环管的影响规律,就成为研究再循环管工作的主要途径。

但是对蒸汽角管锅炉来讲,因涉及两相流,理论推导很难得到定量分析的结论,而常常进行相应的实验,由于两相流方面的实验对实验设备及测试方法有较高要求,因此通过合理安排实验装置及实验方法,避免了两相流内容的测量,可通过对单相流的测量来间接寻找出一些规律。

2.1 实验系统

研究热负荷及预分离集箱对再循环管作用的影响,将角管锅炉侧墙水冷壁采用几何相似的方法建立实验装置,整个实验系统如图2所示,它主要由给水及排水,排汽管道,实验台本体,加热电路及热负荷调节装置等构成。

侧墙水冷壁(实验台本体)是系统的核心部分。根据研究与实验需要,取上升管截面与预分离集箱、下降管、及再循环管截面比作为特性尺寸。其中预分离集箱、下降管与再循环管由锅炉钢管构成,上升管由玻璃管外缠电阻丝构成;锅筒的主体由钢管制成,两端盖由10mm厚的有机玻璃板密封,便于观察与测量。加热采用220伏的电阻丝加热器,经4kVA变压器调节两端电压,最大输出功率20kW,整个实验系统为开口常压状态。水冷壁四周填充硅酸铝纤维进行保温。

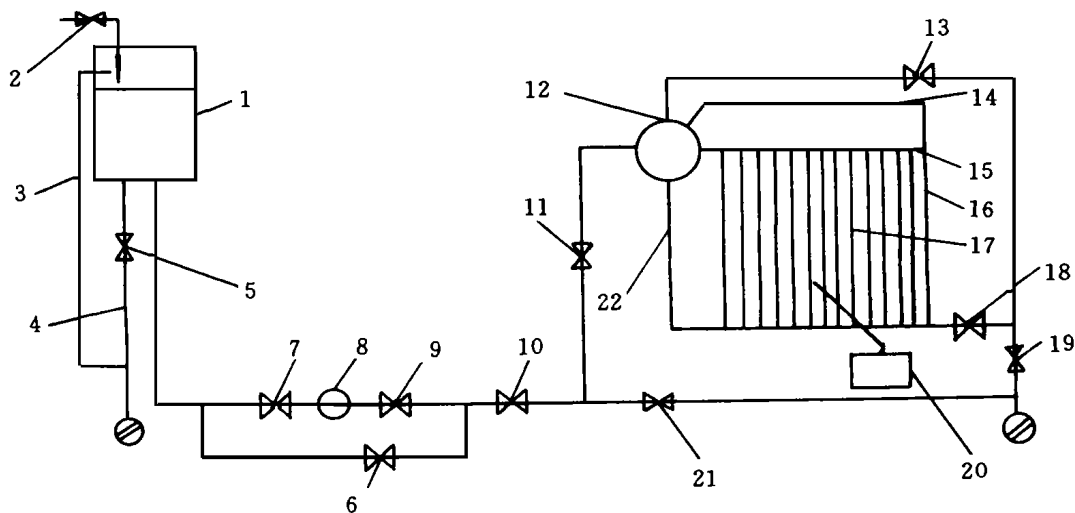


图 2 实验台系统图

1. 水箱 2. 水箱给水阀门 3. 溢流管 4. 水箱排水管 5. 水箱排水阀 6. 旁通管阀门 7. 9. 10. 控制阀门
8. 流量计 11. 实验台给水调节阀 12. 锅筒 13. 蒸汽引出管 14. 导汽管 15. 预分离集箱 16. 再循环管
17. 水冷壁 18. 实验台本体排水阀 19. 21. 排水阀 20. 变压器 22. 下降管

2.2 测试方法

主要测试项目包括给水温度、变压器输出电压、下降管及再循环管内水速。给水温度由水银温度计测量，水银温度计最小刻度为 0.1°C 。

变压器输出电压采用 DT-809B 万用表测量，精度为 0.1V 。

下降管及再循环管内的水速（水量）测量采用日本 FUJI CO. LTD 的超声波流量计测量，测量精度为 0.01m/s 。

在实验之前，对于系统的蒸发量与变压器输出电压的关系和管内流速与超声波流量计的关系，都通过标准水箱等进行标定。

2.3 实验步骤

本实验的主要内容是研究热负荷及预分离集箱的变化对再循环管作用的影响，共进行如下实验：

表 1 实验台结构序号表

结构序号	结构	截面比
1	$n = 10$, 未增引出管	$S_{yc}/S_s = 0.301$ $S_{yf}/S_s = 0.301$
2	$n = 15$, 未增引出管	$S_{yc}/S_s = 0.200$ $S_{yf}/S_s = 0.200$
3	$n = 10$, 增引出管	$S_{yc}/S_s = 0.358$ $S_{yf}/S_s = 0.301$
4	$n = 15$, 增引出管	$S_{yc}/S_s = 0.238$ $S_{yf}/S_s = 0.200$

注： S_s —上升管截面面积之和； S_{yc} —蒸汽引出管截面面积之和； S_{yf} —预分离集箱截面面积； n —水冷壁管根数。

热负荷的变化由变压器输出电压的变化实现，变压器的输出值为：

85V, 100V, 115V, 120V, 125V, 135V, 145V, 160V。

实验时打开阀门向水箱供水，达到一定水位后关闭阀门 2，打开阀门 7, 9, 10, 11 向锅筒 12 注水至控制水位后关闭阀门 11，将变压器输出电压调至测量电压，使电阻丝通电加

热水冷壁至水沸腾,然后调节阀门 11使给水量为标定值,使锅筒内水位为控制水位,用超声波流量计测量下降管和再循环管内工质的流量,然后改变电压,稳定后重复实验。

将所有电压下的流量测量之后,改变结构,重复实验。

在实验时观察到,在低负荷时(85 - 115V),水冷壁中的工质流动结构一般为弹状流,在预分离集箱中,工质属于低速的分层流或波浪状流;负荷增加后,水冷壁管中的流速明显增加,流动结构也变成环状流,并且有脉动现象;预分离集箱中的流动结构也变成环状流,且向锅筒方向流动的工质的速度明显高于向再循环管侧的工质

3 实验结果及分析

3.1 热负荷再循环管内工质速度的影响

在四种结构中,热负荷的变化对再循环管内工质流速的影响,如图 3所示。由图可见,在各种结构下,热负荷对再循环管内工质流速的影响趋势大体相同,但再循环管内工质流速的范围则存在一定的差异。即在热负荷由低至高的变化中,工质流速的趋势都是先略有升高,再逐渐降低,最高值可达 0.82 m/s,最低值则为 0.06 m/s 左右,而且升高的范围很小。在图 3中结构 1反映最明显,在热负荷接近 20 kW/m²时,工质流速降到 0.1 m/s 附近,已经影响到了上升管的供水。主要原因是由于热负荷较大,质量含汽率 x 较高,有可能在再循环管入口形成汽塞,影响了再循环管内的工质流速。但在相同的热负荷下,各种结构中工质流速的范围不同。

3.2 结构对再循环管内工质水速的影响

图 4反映了结构变化对再循环管内工质流速的影响。由于结构的变化必然导致循环倍率的变化,因此将实验结果按“循环倍率—速率”关系来整理更能反映实验情况。由图的横坐标来看,循环倍率最大值由上升管

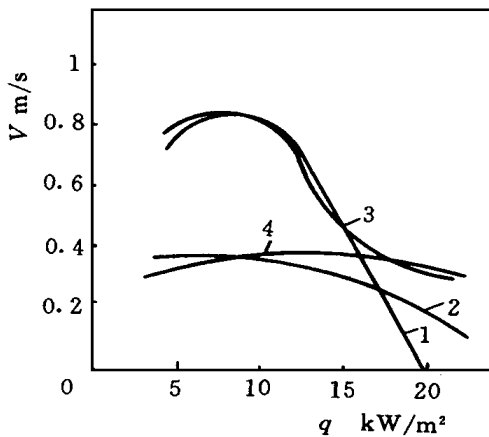


图 3 各结构 VZ随热负荷变化

1. 结构 1 2. 结构 2 3. 结构 3 4. 结构 4

根数为 15根时的 300左右到上升管根数为 10根时的 600左右。当上升管为 10根,即结构 1 3时的工质流速要高一些,最高值达到了 0.82 m/s,变化范围也较大,从 0.8 m/s至 0.06 m/s之间;而上升管为 15根,即结构 2 4时,工质流速的变化范围在 0.3~ 0.4 m/s之间,波动不大。由于上升管根数减少时,相对的流通截面积较大,而工质的质量流量又减少,因此工质流速有一定的提高,但这种情况也受热负荷的影响,在热负荷较低时,工质流速较大,与下降管内工质流速接近,当热负荷升高后,几种结构中工质流速的范围趋于一致,在某种情况下(热负荷高, x 过大),还有可能造成工质流速出现很低的值。

3.3 热负荷变化对再循环管内工质流量占总流量份额的影响

图 5反映了再循环管工质流量占全部工质流量份额随热负荷变化的关系。

不难分析,再循环管工质流量份额与热负荷的关系,即在热负荷升高时,再循环管内工质流量占全部循环流量的份额不断下降,但由于预分离集箱内分离效果不同,下降的速率也不同,在增加蒸汽引出管截面的结构中,下降的曲线较平缓,如图 5所示。

3.4 结构变化对再循环管工质流量占总流量份额的影响

结构对再循环管内流量占总流量的份额的影响主要有两个方面:一个是上升管与下

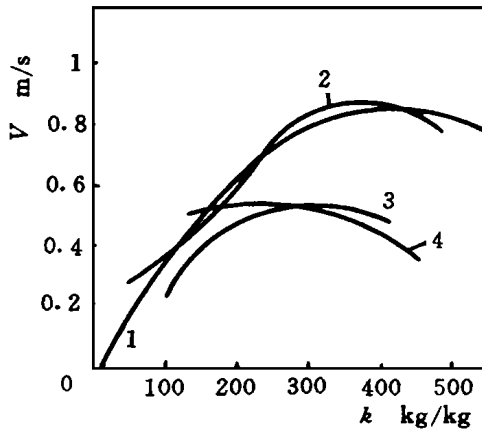


图 4 各结构 VZ随循环倍率变化
1. 结构 1 2 结构 2 3. 结构 3 4. 结构 4

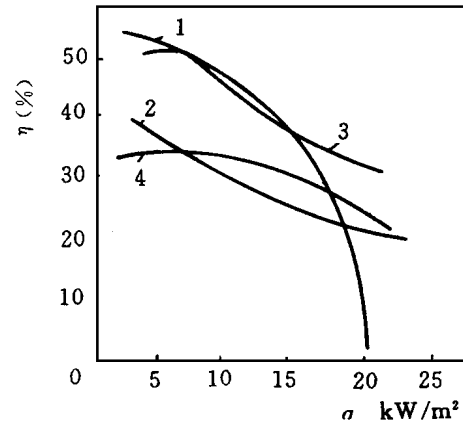


图 5 各结构再循环管质量流量
占总流量比随热负荷变化
1. 结构 1 2 结构 2 3. 结构 3 4. 结构 4

降管截面变化的影响(结构 1与 2,结构 3与 4 的对比);另一个是汽水引出管截面的变化的影响(结构 1与 3,结构 2与 4的对比)

图 6反映了结构 1至结构 4不同结构对再循环管内工质流量占总流量份额的影响。

由图 6中曲线 1与 2,3与 4的比较可见,当上升管截面与下降管截面比减小后,再循环管内工质流量占总流量的份额上升,特别是在高循环倍率区,这是因为减少了上升管根数,总的循环流量减少,但再循环管没变,其内工质流速仍在 0.3~ 0.4 m/s之间,因此,再循环管内流量减少不大,再循环管内工质流量占总流量份额有所上升。

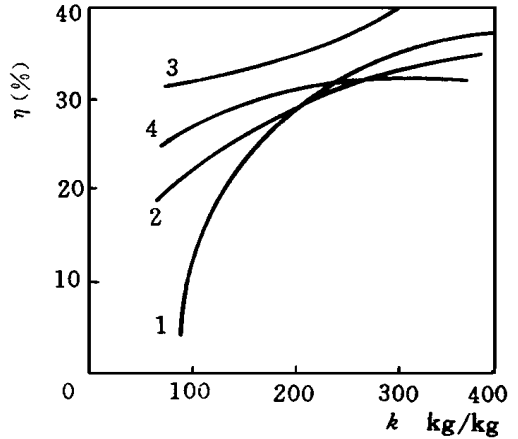


图 6 各结构再循环管质量流量
占总流量比与循环倍率的关系
1. 结构 1 2 结构 2 3. 结构 3 4. 结构 4

由图 6中曲线 1与 3的对比及曲线 2与 4的对比可以看出,在低循环倍率区,由于增加了预分离集箱蒸汽引出管的面积,减少再循环管入口带汽,因此使再循环管内工质流量占总流量的份额在高负荷时保持了相对的稳定,保持在 25% 以上,可见增加预分离集箱的蒸汽引出管面积对改善再循环管的工作状况有很大作用。

4 结 论

角管式蒸汽锅炉的再循环管对于水冷壁的供水有着重要的作用,对再循环管的工作特性的影响因素,主要有热负荷、蒸汽引出管面积和预分离集箱结构。随着热负荷的增加,再循环管内的工质流量先略有增加后减少;增加蒸汽引出管的截面积可以减少再循环管中的带汽,从而增加再循环管内的工质流量。

参考文献

- 1 黄承懋. 锅炉水动力学及锅内设备. 机械工业出版社, 北京: 1982
- 2 卓宁, 庞韵. 角管锅炉水动力模型设计理论分析. 工业锅炉, 1994(3)

* 吕 薇 哈尔滨理工大学教师

运用彩色 CCD 测量火焰温度场的试验研究及误差分析 = **An Experimental Study of Flame Temperature Field Measurement By the Use of a Colored CCD Camera and Its Error Analysis** [刊, 中] / Wang Fei, Xue Fei, Ma Zengyi, et al (Zhejiang University) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1998, 13(2). - 81~ 84

The flame temperature field distribution in a power plant boiler plays a very significant role in ensuring the safe operation of the power station and achieving a correct diagnosis of the boiler combustion conditions. The use of computer-based image processing techniques has in recent years been accorded great attention in the study both at home and abroad of combustion flame temperature field measurements. The present paper deals with the calculation of a furnace flame temperature field by using a colored CCD camera with a detailed analysis of the calculation error under this method being given. The test results show that the proposed method features ease of application with good prospects for its use on work-sites. Key words image processing, temperature field, CCD

改进型 UP 锅炉水冷壁管热敏感性的研究 = **A Study of the Thermal Sensitivity of a Modified UP Boiler Water Wall Tubes** [刊, 中] / Tian Pu, Chen Tingkuan (Xi'an Jiaotong University) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1998, 13(2). - 85~ 87

In the light of the commonly encountered water wall tube explosion leakage of home-made modified UP boilers an analysis is made of the thermal sensitivity of $\Phi 22 \times 5.5$ mm four-head internally ribbed tubes commonly used in UP boilers. Various factors affecting the degree of sensitivity are calculated from a multitude of variables, including dryness, thermal load, tube section height, inlet and outlet local resistance, etc. Also discussed is the influence of thermal sensitivity on the operation of boilers with some proposals for the boiler design and operation being given. Key words UP boiler, water wall, internally ribbed tubes of water wall, thermal sensitivity

循环流化床烟气脱硫技术及其实验研究 = **Circulating Fluidized Bed Flue Gas Desulfurization Technology and Its Experimental Study** [刊, 中] / Huang Zhen, Wu Yinghai, Wang Wenliang (Southeastern University) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1998, 13(2). - 88~ 90

Presented in this paper are the specific features of several kinds of flue gas desulfurization technology. A desulfurization test study is conducted on a variable-speed circulating fluidized bed through the use of dry slaked lime powder as a desulfurizing agent. Under the condition of Ca/S ratio being 1.1 and the injection of a proper quantity of water a desulfurization rate of above 85% can be attained. Key words circulating fluidized bed, desulfurization, flue gas desulfurization, desulfurization efficiency

角管式蒸汽锅炉再循环管的实验研究 = **An Experimental Study of Corner-Tube Steam Boilers** [刊, 中] / Meng Zhaopeng, Lu Wei, et al (Harbin Institute of Technology) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1998, 13(2). - 91~ 95

Through an analysis of the circulation principle of a corner-tube steam boiler side wall water wall tubes the authors have identified the major factors affecting the hydrodynamic characteristics of circulating tubes and set up a test rig for the study of their hydrodynamic characteristics. An experimental study is also performed of the mechanism of influence of thermal load

and pre-separation collectors on the role and performance of recirculation tubes. Key words corner-tube boiler, recirculation tube, experimental study

文丘利管内外流场的数值计算及实验研究 = **Numerical Calculation and Experimental Study of Venturi Inner and Outer Tube Flow Fields** [刊, 中] / Cai Jiyong, Chen Tingkuan, et al (Xi'an Jiaotong University) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power, 1998, 13(2). -96~ 99

By way of a numerical calculation of Venturi inner and outer tube flow fields this paper makes a theoretical analysis of the effect of structural parameters of the Venturi tube on its inner flow field and air duct flow field. In addition, through tests key factors influencing the performance have been identified and verified. The calculation results agree well with the cold-state simulation test results. Key words numerical calculation, simple algorithm, experimental study

多台汽水两用锅炉并联运行动态特性分析及数理模型研究 = **An Analysis of the Dynamic Characteristics and a Study of the Mathematical Model for Three Dual-Purpose Steam-Water Boilers in Parallel Operation** [刊, 中] / Wang Zhaojun, Wang Wenyu, Dong Shan (Harbin University of Architectural Engineering) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1998, 13(2). - 100~ 103

Based on an in-depth analysis of the dynamic characteristics of three dual-purpose steam-water boilers in parallel operation the authors have set up for them a dynamic mathematical model. An exploratory study was conducted of the method for solving the model. The simulation computation results are found to be in good agreement with the test results, which attests to the correctness of the established model. The related research results can be helpful for the further popularization of dual-purpose steam-water boilers. Key words dual-purpose steam-water boiler, water level fluctuation, pressure change rate

带有小螺旋角的内外螺旋翅片管高压加热器的工业试验 = **The Industrial Test of an Internal and External Spiral-Finned Tube High-Pressure Heater with a Small Spiral Angle** [刊, 中] / Liang Ping, Zhu Dongshang, et al (Southeastern University of Science & Technology), Ma Guangping, et al (Zhaoguan Power Station) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1998, 13(2). - 104~ 107

The results of an on-site industrial test have shown that the use of internal and outer spiral-finned tubes (called IOSF tube for short) with a small spiral angle for power station high-pressure heaters can bring about a significant heat transfer intensification effect. With a measured total heat transfer factor being 1.43 times of that of a bare tube heater the resulting economy in heat exchanger heating surface can be as high as 30%. Its use under an equivalent heat exchange surface area may result in notable energy-savings. Key words internal and outer spiral-finned tube, spiral-grooved tube, bare tube, intensified heat transfer, total heat transfer factor

一种应用于三联产系统的新型的物料回送阀的试验 = **A Test on a New Type of Raw Material Return Feed Valve for a Steam-Gas-Electricity Triple Production System** [刊, 中] / Zhang J., Cao Yuanquan, Qian Jianqing, et al (Zhejiang University) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1998, 13(2). - 108~ 111

A brief description is given of the characteristics of the test operation of a novel return feed valve in combination with the features of other raw material return feed valves. Discussed are