

带有小螺旋角的内外螺旋翅片管高压加热器的工业试验*

梁 平 朱冬生 陈广怀 庄礼贤** 谭盈科

(华南理工大学化学工程研究所)

马广平 莫国平 周福宏 周晓辉 (韶关发电厂)

张存良 (广东省电力高等专科学校)

[摘要] 工业现场试验的结果表明,带有小螺旋角的内外螺旋翅片管(简称内外螺旋翅片管或 IOSF管)用于电站高压加热器有着显著的传热强化效果,其实测总传热系数是光滑管加热器的 1.43倍,可相应节省换热面积 30%。在等面积下使用,则可收到明显的节能效果。

关键词 内外螺旋翅片管 螺旋槽管 光滑管 强化传热 总传热系数

中图法分类号 TK12 TK17

0 前言

采用强化传热技术就能实现节能省材的观点已被越来越多的人所接受更为无数的工业实践所证实^[1],“……光滑管之被淘汰只不过是时间的问题了”^[2]。

火电厂有许多典型的换热设备,例如凝汽器、高压加热器、低压加热器、油冷却器等可以用先进的强化传热技术来武装。但是火电厂又是国民经济中的重要部门,它牵涉工业中的各个方面与民用中的千家万户。因此它特别注重安全、可靠和尽可能长的运行周期。行业的特殊性使它对强化传热技术的

使用持慎重的态度。

不过,作为企业,对技术进步,对节能省材的目标总是不断地追求;作为研究部门又把基础工作做得更扎实一些。这样,在电站换热设备中作某些技术改造的可能性就存在了。本试验正是在这种形势下获得广东电力局的关怀、资助和韶关发电厂上下的支持而进行的。

1 试验流程和方法

本次试验研究是一次工业现场试验。试验装置的流程见图 1 试验管的外观及其剖

* 本项目获广东省电力局电力科学基金资助 ** 本文联系人 庄礼贤 华南理工大学化工所传热室教授

收稿日期 1997-01-21

视见图 2 照片。

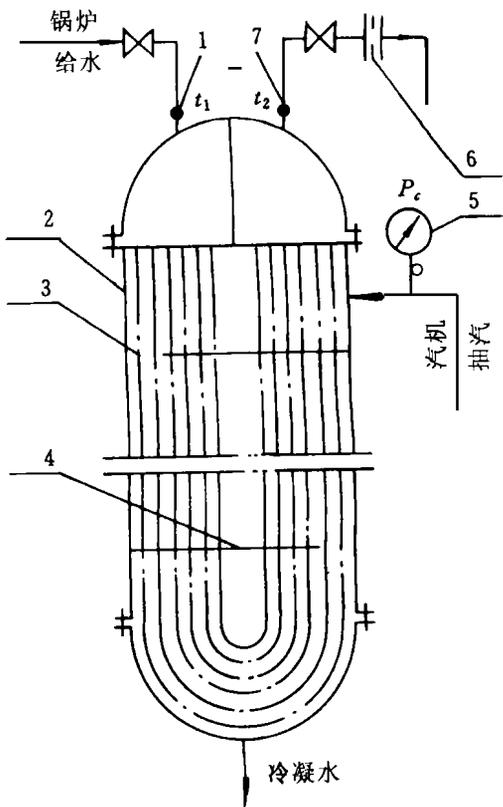


图 1 试验装置流程

- 1. 进口温度计 2. 加热器壳体 3. 试验管 4. 折流板
- 5. 加热蒸汽压力表 6. 孔板流量计 7. 出口温度计



图 2 试验管的外观及其剖视

左 - 光滑管 右 - 10SF 管

加热器为立式布置内装折流板 5 块及长

度从 6.671~ 7.088 米不一, 总长为 952.579 米, 总内表面积为 38.9 米², 四流程的 H16× 1.5 黄铜内外螺旋翅片 U 形管 139 根 (原为 140 根, 试压时堵去一根)。管子两端及半圆部分留光不加工翅片。

管外为 31 头, 螺旋角约 18°, 翅高约 1 毫米的三角形螺旋翅片; 管内为 16 头, 螺旋角 30°, 翅高 0.3~ 0.4 毫米的梯形螺旋翅片。

运行时, 来自除氧器的锅炉给水经进口水银温度计 1 测量其温度后进入高压加热器之管内为管外汽机抽汽所加热, 升温后给水经出口水银温度计 7 测量其出口温度, 孔板流量计 6 测量其流量后送入锅炉。汽机抽汽的冷凝水与来自低压加热器的给水又在除氧器内混合除氧, 如此循环不已。

由于是工业现场试验, 只能在某一给水温度、某一给水流量和某一加热蒸汽温度的额定工况下测取高压加热器的总传热系数随时间的变化而无法测量给水流量对总传热系数的影响。

总传热系数 K 由常规传热方程 $K = Q / F_i \Delta t_m$ 求出, 因传热之控制热阻在管内给水侧, 所以用总内表面积 F_i 计算 Q 为给水吸收的热量。对数平均温差中的加热蒸汽温度 T 用蒸汽压力查得的饱和蒸汽温度。

2 试验结果及分析

2.1 总传热系数随时间的变化

把测试到的数据整理成总传热系数随时间的变化, 其结果示于表 1 及图 3 中。其中光滑管数据是根据过去运行记录整理的。

表 1 12MW 机组高压加热器试验记录及数据整理结果

序号	时刻	管型	加热器基本参数				水程	加热侧		给水侧			总传热系数, $K \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$
			管径 管材	总管 数, n	总管 长, $E \text{ L}$	总内表 面积, F_i		蒸汽压力 $P, \text{ M Pa}$	蒸汽温 度, $T, ^\circ \text{C}$	进水温 度 $t_1 ^\circ \text{C}$	出水温 度 $t_2 ^\circ \text{C}$	给水量 $W, \text{ t/h}$	
1	16 15	内外螺旋翅片管	H16 $\times 1.5$ 黄铜	139	952.579m	38.9m ²	4	0.51	158.7	96.5	155	62	4908
2	16 30							0.52	159.3	98	155	61	4555
3	16 45							0.52	159.3	101	156	60.5	4870
4	17 00							0.525	159.6	101	156	61	4764
5	17 15							0.535	160.2	101.5	156.5	61.5	4754
6	17 30							0.52	159.3	102	156	61	4870
7	17 45							0.525	159.6	102	156	62.5	4846
8	18 00							0.53	159.9	102	157	56	4688
*		光滑管	H16 $\times 1.5$ 黄铜	139	952.579m	38.9m ²	4	0.50	158.1	101	150	61	3342

从表 1及图 3可以看出,内外螺旋翅片管有显著的传热强化效果 内外螺旋翅片管高压加热器用 159°C 蒸汽加热能使锅炉给水温度从 101°C 升至 156°C ,而光滑管用 158°C 蒸汽加热只能使给水温度从 101°C 升至 150°C 。

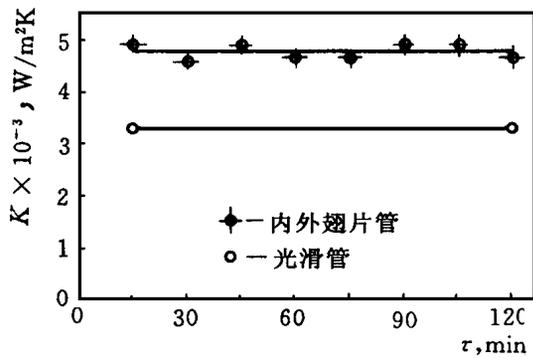


图 3 总传热系数与时间的关系

而且内外翅片管总传热系数的值在近两个小时八次的测定时间里只在 $4600 \sim 4900 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ 之间微微波动 其总传热系数的平均值为 $4782 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ 是光滑管总传热系数 $3342 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ 的 1.43倍 照此计算,内外螺旋翅片管可较光滑管节省 30% 的换热面积;在等面积下使用(如本次试验),则可提高给水的出水温度,降低煤耗节约

能量。

2.2 传热强化机理分析

按照计算,光滑管高压加热器在较高的推动力下(对数平均温差 $\Delta \bar{t}_m = 25.09^\circ \text{C}$) 只传递了 $11\,744\,715 \text{ kJ/h}$ 的热量,而内外螺旋翅片管在较低的推动力下(平均的对数平均温差 $\Delta \bar{t}_m = 19.71^\circ \text{C}$) 却传递了 $13\,193\,506 \text{ kJ/h}$ 的热量,多传递了 $1\,448\,791 \text{ kJ/h}$ 的热量 可见内外螺旋翅片管在等面积下发挥了强劲的作用,为什么内外螺旋翅片管有如此良好的传热强化效果呢?其一,是内外螺旋翅片使管内外的表面积增加;其二,对管内而言,内螺旋翅片诱发锅炉给水产生沿翅片方向的螺旋流,减薄了传热的边界或者给水流经翅片后产生边界层分离流使传热边界层受到破坏 两者的作用均促进了锅炉给水的湍流流动,提高了管内给水的湍流传热系数;对管外而言,小螺旋角的螺旋翅片起纵槽管的作用,它能使冷凝水的表面张力在槽峰和槽谷之间形成一定的压力梯度,把槽峰上冷凝水压向槽谷,再由于重力作用沿槽谷下落,这样槽峰处水膜很薄,冷凝热阻很小,管外蒸汽冷凝传热系数也得到显著提高 综合起来,整

个高压加热器的总传热系数就提高了。纵槽管强化蒸汽冷凝传热的研究可参阅文献^[3]。

2.3 与其它强化传热技术的比较

文献^[4]报导过采用螺旋槽管作为高压加热器换热元件的情况,其机组容量较大(25MW),在额定给水流量(250 t/h)下测得总传热系数为 $31\ 100\ \text{kJ}/(\text{m}^2\ \text{h}^\circ\text{C})$ $3639\ \text{W}/(\text{m}^2\ \text{K})$, (文中未明确表明用的是总内表面积还是总外表面积为计算基准,但估计是总外表面积),加热器的端差(加热蒸汽压力下的饱和温度与出水温度之差)由光滑管的 22.68°C 减少到 11.1°C ,给水的压力降增加到光滑管的 5.5 倍。总体效果是不错的。如今,内外螺旋翅片管加热器的总传热系数达 $4782\ \text{W}/(\text{m}^2\ \text{K})$ (以总内表面积计)或 $3888\ \text{W}/(\text{m}^2\ \text{K})$ (以总外表面积计算)比螺旋槽管的高 7% 左右,平均端差由光滑管高加的 8.1°C 减少到 3.6°C 。至于压力降方面本次试验无条件测取,但过去相关的研究表明内螺旋翅片管的压降要比螺旋槽管的小得多,具体的测试工作留今后基础研究去完善。当然螺旋槽管不愧为高压加热器的一种有效强化传热手段且加工方法简便,效率高,成本低。

2.4 经济效益分析

上述内外螺旋翅片管高压加热器的总传热系数比光滑管的高 43%,对设备制造厂家来说就可节省 30% 的换热面积,换热面积减少(铜管减少)了,管板,筒体的材料,整个加工组装工时均可减少,从而降低了制造成本。

对发电厂这样的用户,作等面积的老设备改造,上述多传递的 $1\ 448\ 791\ \text{kJ/h}$ 热量,按每年运行 8200 小时,标准煤的发热量为 $29\ 308\ \text{kJ/kg}$,广东的煤价为 300 元/t 计算,一个 12 MW 机组的高压加热器每年就可节省标煤 405.4 t,合人民币 12.2 万元

2.5 误差分析

计算中采用所测加热蒸汽压力对应的饱和蒸汽温度作冷凝温度,而忽略过热蒸汽冷

却段放出的热量,这样给计算结果带来的误差是很小的。据计算,若有 10°C 的过热度,其放出的热量只不过占总热量的 1% 而已。

3 结论

(1) 内外螺旋翅片管能有效地强化电站高压加热器的传热,其总传热系数比光滑管的提高 43%,可相应节省传热面积 30%;等面积下使用则可降低煤耗,节能显著;

(2) 内螺旋翅片促进管内锅炉给水的湍流流动,外螺旋翅片能利用冷凝水的表面张力减薄冷凝水膜的厚度以及内外表面积的增加是内外螺旋翅片管高压加热器传热强化的机理所在;

(3) 与螺旋槽管高压加热器比较,内外螺旋翅片管高压加热器的传热与流体力学特性稍优。但螺旋槽管仍不愧为高压加热器的一种有效的传热强化手段

参考文献

- 1 庄礼贤. 强化换热元件的研究进展. 制冷, 1992, (3): 27~ 38
- 2 Canavos T C. Some recent development in augmented heat exchang elements. Heat Exchangers, New York McGraw-Hill, 1974, 441~ 489.
- 3 邓颂九,谭盈科,庄礼贤. 新型纵槽管冷凝器. 华南工学院学报, 1978, 6(4): 1~ 14
- 4 郝家瑛,任春丽. 高压加热器采用螺纹槽管强化传热技术. 山西电力技术, 1995, (6): 7~ 9

作者简介 梁平 43岁,副教授,仿真中心主任,在职博士生,主攻强化传热与节能。从事过传热数值计算及受压容器寿命预测研究,发表论文 10 余篇。

朱冬生 博士,副教授,硕士生导师。主要从事强化传热与节能以及吸收吸附制冷的教学与科研工作。发表论文 30 篇,获四项奖励两项专利。马广平 34 岁生产技术科助工副科长。现为广东电力局“汽轮机辅机系统中换热器传热强化与节能及安全稳定性技术研究项目”负责人。通讯处 510641 广州 五山

(渠源 编辑)

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%. It 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