

管内螺旋线圈强化传热的研究 及在锅炉的应用

张永福 李方钺 (东南大学)

〔摘要〕 在紊流气相介质中,对圆型和矩型的管内螺旋线圈的传热和流阻进行试验研究。试验采集的数据,按结构形状的区别,采用多元回归分析进行处理,得到一组传热关联公式。本研究已用于电站锅炉的空气预热器,和原型参数比较,降低排烟温度 $12\sim 20^{\circ}\text{C}$,提高热风温度 $15\sim 25^{\circ}\text{C}$,改善了炉内燃烧工况,提高锅炉的热效率。

关键词 螺旋线圈 强化传热 动力锅炉

1 前言

随着能源利用率要求日益提高,如何寻求一类传热新技术,提高常规的热交换器的效率,改善热力设备的工作性能,进而取代旧式换热是当前热工技术领域的重要课题之一。

本文在 $Re = 6 \times 10^3 \sim 10^5$ 的气相介质中,对31种不同几何形状的圆形和矩形的螺旋线圈(见图1)进行了传热和流阻特性的试验,关联了一套完整的数学模型。对一些有实用价值的结构元件,进行了管内上游部分地插入螺旋线圈的试验,得到了随插入长度的变化,传热和阻力特性相应变化的关系。根据试验结果和理论分析,采用结构合理的螺旋线圈,应用于电站锅炉管式空预器,可以增加该受热面的传热量,锅炉排烟温度降低,热空气温度上升,改善了炉内的燃烧工况,提高锅炉热效率,降低燃料消耗量。与此同时,管内烟气的扰动度增加,抗积灰的性能增强,低温空气预热器的金属壁温还有所提高,有利于防止低温腐蚀的发生。

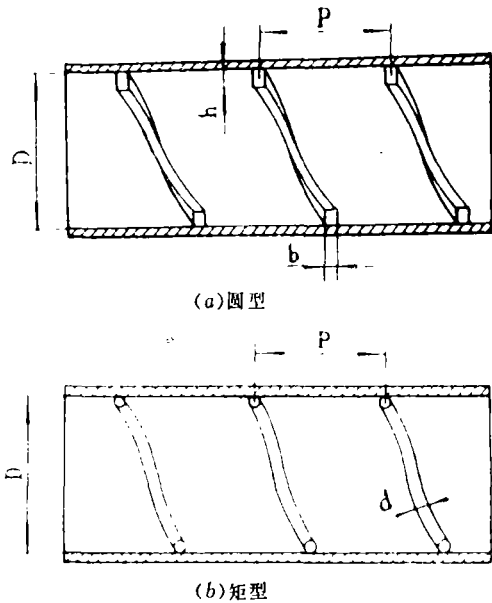


图1 管内螺旋线圈结构

采用螺旋线圈强化传热,会引起管内流动阻力的增加,必须进行经济性评价和设备工作可靠性分析,并采取合理的方法进行实施。

2 试验过程

本试验装置是一组气—气热交换器,

收稿日期 1992-06-06

本文联系人 张永福 210018 南京东南大学动力系

如图2所示。罗茨风机1将空气鼓入电加热器6,在此过程中,该空气流经消除气流脉动的稳压筒2,主流量调节阀4和装有大小流量并联的涡轮流量计5的测量段,旁路阀3用来辅助调节流量。在电加热器中,空气被调节加热至 $200 \pm 5 \text{ } ^\circ\text{C}$,经稳定段进入试验管段7。试验段的长度为1000 mm,内径为56.32 mm。其进出口两端均装有热电偶、倾斜式微压计和U型差压计。沿试验管长度方向分五段,

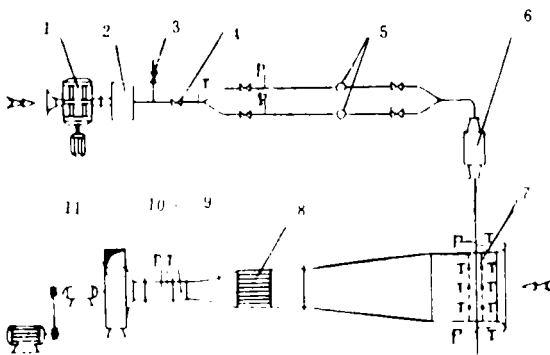


图2 试验装置

在每段中间和进出两端,沿管壁圆周焊接五对热电偶,测量有代表性的壁面温度。

另一路冷却空气,由调速引风机11从风洞双组线型进口段吸入,横向冲刷试验管段,流经试验管段前、后均经测温,然后流经整流栅8和维托辛斯基收敛喷嘴9,收敛喷嘴的等速截面段装有测速管10、U型压力计和温度计,测量冷却空气的流量和物性,最后经引风机排放至大气。

试验中采用的测量元件和仪器均经专门标定和校验,大量的温度采集用7V07巡回记录仪测量记录。整个试验台和试验方法的准确性,用普通光管进行测试考核,计算所得的传热系数和阻力系数,与一些经典公式极为一致^{[1][2]}。

在 $h(d) = 2.1 \sim 10 \text{ mm}$, $p = 20 \sim 220 \text{ mm}$ 的范围内,管内螺旋线圈的传热试验和阻力试验各分31组,每种结构传热试验在 $Re = 6 \times 10^3 \sim 10^5$ 内分8个工况进行,试验管段的

热流量是通过测量管内流体的流量和进出口的温度得到的。试验管段的壁温由七组热电偶测得的温度加权平均求取,管内对流传热系数由下式可以得到:

$$\alpha_{in} = \frac{(t_{en} \cdot C_{en} - t_{off} \cdot C_{off}) \cdot G}{\pi \cdot D \cdot L \cdot (\bar{t}_t - \bar{t}_w)} \quad (1)$$

管外冷却气流的温升,采用热电偶网和水银温度计双重测温,对试验管的传热过程进行热平衡校核。此外,管外气流横向冲刷单管的传热过程,已有公认的计算公式^[1],且试验中控制管外对流换热系数保持不变,给计算管外换热量提供了条件,本试验增加了这项热平衡校核措施。

阻力试验,在与传热试验基本相同的 Re 数范围内也分8个工况进行,为了和光滑管的阻力特性相比较,采用冷态试验方法。通过测量试验管内的进、出口的压差、流量和物性,由下式可以得到:

$$f = \Delta p / \left(\frac{L}{D} \cdot \frac{\rho \omega^2}{2} \right) \quad (2)$$

3 试验结果和分析

在各种不同工况的试验基础上,对测量值进行数据处理,得到管内对流传热系数值和阻力系数值各256个,分别见图3和图4。由图可见,传热和阻力测量计算值的分布具有良好的规律性,光滑管的传热和阻力公式均见^[2],图中用曲线表示。

传热系数和阻力系数的公式均采用多元回归法进行处理,根据回归分析的误差,为了控制测量计算的传热系数值和回归曲线的最大偏差在 $\pm 10\%$ 以内,在试验工况范围内,对回归公式进行了必要的划分,关联的传热公式见表1。

表1还表明了公式的适用范围的精度,从所得到的偏差值可知,回归公式的曲线和测量计算所得到的值十分吻合,图5也直观地

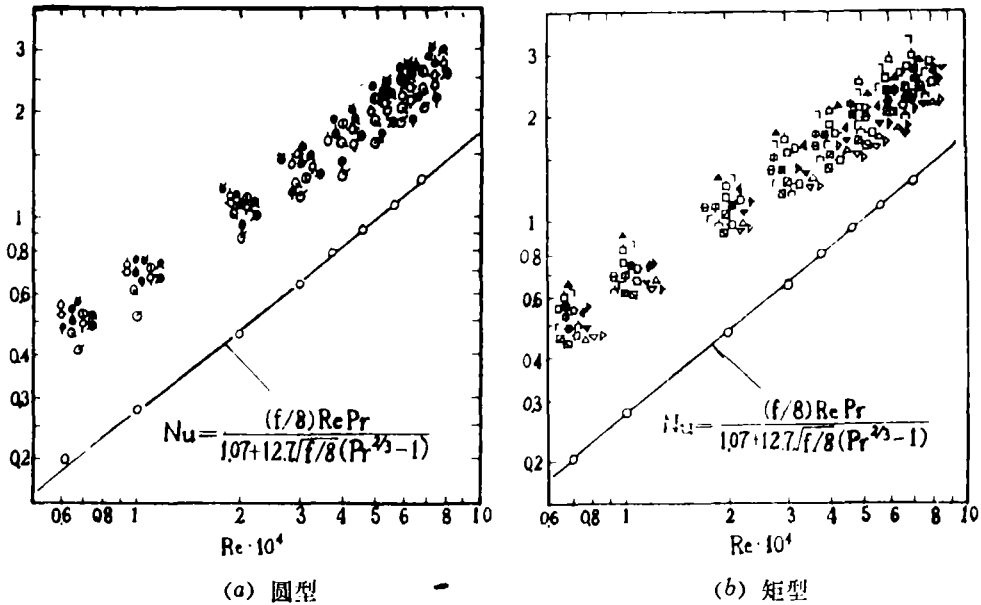


图3 传热特性Nu—Re试验值

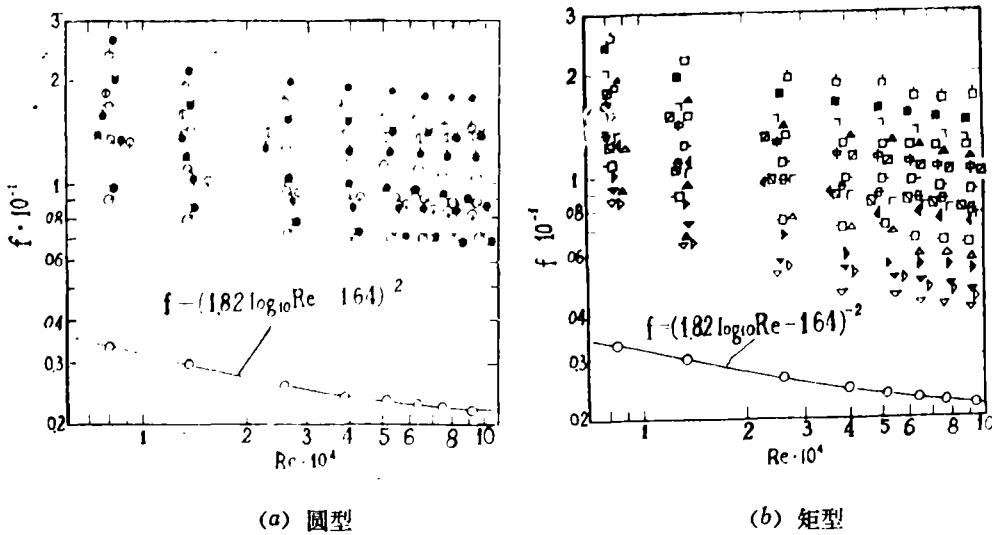


图4 阻力特性f—Re试验值

表1 螺旋线圈管的传热关联式

关联式和范围	偏差
$Nu = 0.253Re^{0.716}(h/D)^{0.372}(P/D)^{0.171}$ 圆型 $Re = 6 \times 10^3 - 10^5$ $h/D = 0.037 - 0.10$ $P/D = 0.35 - 2.50$	8.7% 最大值 3.1% 平均值
$Nu = 0.366Re^{0.693}(h/D)^{0.393}(P/D)^{0.358}$ 矩型 $Re = 6 \times 10^3 - 10^5$ $h/D = 0.05 - 0.18$ $P/D = 0.710 - 4.62$	9.4% 最大值 3.4% 平均值

反映了它们的一致性。

从试验结果和计算公式可知，采用螺旋

线圈强化管内传热时，阻力系数也明显上升。在试验范围内，传热增强至(150~270)%，阻力系数增加达(185~720)%。经比较，强化传热效率^[3]较高的为1.56~1.66，较低的为1.22~1.31(按试验工况的平均值计算)。在相同的Re数时，影响强化传热效率的主要因素是相对节距(P/D)和相对高度(h/D)。在相同的传热系数下，应尽量采用节距和凸高较大的元件，以便获得较高的强化

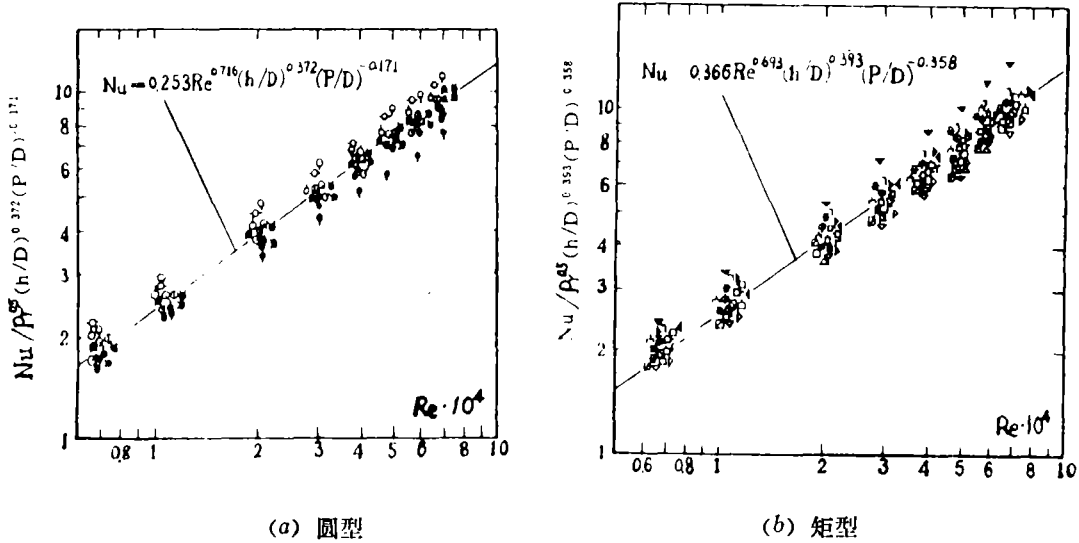


图 5 传热特性关联曲线

传热效率指标。螺旋线圈管要求大节距和大凸高的性质和轧槽螺纹管的特性有所区别^[4]。

考虑到一些元件的应用前景,在管内上游部分采用局部插入螺旋线圈的方法,下游部分依靠上游的扰动度的后期效应强化传热。经探针测试,较有效的上游扰动效应可延续30~40D。

4 应用方法和问题讨论

强化传热元件在用于新的换热器的设计

中,有三个方面的得益可以单独或综合地选择:(1)结构紧凑化,节约金属消耗量;(2)传热量增加,提高热能利用率;(3)流程可减少,减少动力功耗。

在电站锅炉的管式空预器中,管内外属气流交叉流动传热,管外的放热系数大于管内的换热系数,采用螺旋线圈强化传热,可以提高管内的换热系数,提高整个管组的传热量,起到降低排烟温度的效果。在管内为烟气介质的空预器中,管壁温度还有所提高,在180 t/h燃煤锅炉的空预器中应用前后的对比值见表2。

表 2 180t/h锅炉空预器改造前后参数对比

状 况	$h/[\text{kW} \cdot (\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})^{-1}]$	$u/(\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1})$	$t/^\circ\text{C}$		
	换热系数	传热量	热风温度	排烟温度	管壁温度
原 型	38.7	663.8	250	161.4	102.2
新 型	81.8	854.8	269.7	145.2	117.4

管内插入螺旋线圈,壁面的粗糙度增加,因而管内气流的扰动度亦大大增加,迫使管壁处的边界层消失^[5]。这不仅降低了边界层的热阻,也减轻了管内灰分附着和沉积的可能。经实际应用的考验证实,螺旋线圈管具有明显的抗积灰作用。空预器的出口热空气温度提高,还有利于在磨煤机中煤粉

的干燥和输送,更有利于煤粉入炉的着火和后期的燃尽,从而降低不完全燃烧热损失。

在锅炉节能技术改造中,选用强化传热效率较高的螺旋线圈,可以控制阻力增加,并且应该分析风机特性,使其能运行在较佳的效率性能范围,一般阻力增加量仅占回收能量的5%,功耗按式(3)折算成相应的能

量单位进行比较:

$$\Delta N_{f_a} = \frac{G_{f_a} \Delta P_{f_a}}{\eta_{j_a} \eta_e \eta_t} \quad (3)$$

管内螺旋线圈用于锅炉空预器: 能够降低排烟温度; 提高热空气温度; 增强管内扰动度; 提高金属壁面温度; 既可取得节能效果, 又可抗积灰和防止低温腐蚀。

管内螺旋线圈还可用于锅炉过热器的低温区, 以降低管壁温度; 用于炉内水冷壁管, 以增强承受热负荷的能力; 其它领域的管式热交换器, 均可采用螺旋线圈强化传热, 获得预期的效果。

参 考 文 献

1 Zhukauskas A. Heat transfer from tubes in crossflow, advances in heat transfer,

1972, 8
 2 Petukhov B S. Heat transfer in and fiction in turbulent pipe flow with variable physical properties, Advances in Heat Transfer, vol.6 1970
 3 Bergles A E, et al. Performance evaluation crietria for enhanced heat transfer surfaces. Proc. of 5th Int. Heat Transfer Conference, vol.2 1974
 4 Withers J G. Tube-side heat transfer and pressure drop tubes having helical internal ridgingn with turbulent/trasitioan flow of single-phase fluid. Part 1. Single Helix Ridging. Heat Transfer Engineering, vol.2 1980
 5 Schlichting, H. Boundary layer theory. 7th ed. McGraw-Hill, New York, 1979



ГТД25000工业/船用型燃气轮机

据“Gas Turbine World”1992年7—8月号报道, 乌克兰尼古拉耶夫机械设计科研生产联合体于1992年6月在Cologne举行的国际燃气轮机会议和展览上展出了ГТД25000型燃气轮机。供船舶推进用时该燃气轮机的额定功率为29 MW, 供工业用时额定功率为25 MW。

该设计局报道, 已有两台 ГТД25000 燃气发生器和2台完整的燃气轮机机组正在运行。研制试验表明, 达到了全功率并证实了全部性能参数。

ГТД25000是该设计局2年前开始为原苏联海军研制的新型船舶燃气轮机。它装有高效率的动力涡轮, 用于驱动发电机组时该动力涡轮以3 300 r/min的最佳转速运行。

事实上, ГТД25000是压气机加上零级、燃气初温提高到1250℃的ГТД15000的功率加大型。后者是该设计局早年研制并据称已装用原苏联海军一半以上战舰的一台极为重要的船舶燃气轮机。

在结构上, ГТД25000包含9级低压压气机和9级高压压气机、一个装有16个火焰筒的环形燃烧室、单级高压涡轮和单级低压涡轮、4级动力涡轮。高压和低压涡轮转子叶片是空气冷却的。发动机使用模块设计, 以便快速更换主要部件。3个主要的转子组件——高压转子、低压转子和动力涡轮支承在7个轴承上。控制系统是电子式的, 可用电或压缩空气进行起动。该燃气轮机可燃烧液体或气体燃料。供船用时, 有可倒车和不可倒车二种型式。

对于25 MW(3300 r/min)工业型, 在ISO条件下的额定性能: 效率为35.8%, 空气质量流量为85 kg/s, 压比为21.8, 排气温度为450℃。对于29 MW(3460 r/min)船用型, 相应的数值为37.5%, 91 kg/s, 23.6和490℃。工业型和船用型机组的重量均为14 000 kg, 带燃气排出管时的尺寸为10 × 3.86 × 3.4 m。工业型和船用型规定的设计寿命为40 000小时。

(吉桂明 供稿)

(10)

A Study on the Intensified Heat Transfer of In-Tube Spiral Coils and Its Application in Power Station Boilers

Zhang Yongfu and Li Fangyue

(*Southeastern University*)

Abstract

This paper deals with an experimental study on tube side heat transfer and friction factor of in-tube spiral coils for the case of turbulent gas phase media. All experimental data have been processed by use of a multiple regression analysis method with a set of heat transfer correlation formulas being obtained. The above study results have already been applied to the air preheaters of some power station boilers. As compared with prototype parameters, the exhaust gas temperature is reduced by 12~20℃ while the hot air temperature increased by 15~25℃. This has led to an improvement of combustion conditions in the boiler furnace, resulting in an enhancement of the boiler thermal efficiency.

Key words: *spiral coil, intensified heat transfer, power boiler*

(15)

The Outgoing Slag Temperature of a Fluidized Bed Air-Cooled Slag Cooler and Its Distribution Pattern

Zhao Guangbo, Zhu Qungai and Huang Yimin

(*Harbin Institute of Technology*)

Abstract

The waste heat of ash and slag of fluidized bed boilers can be recovered by use of slag coolers, which also facilitates the adoption of dry slag removal method and slag comprehensive utilization. This paper gives the slag temperature profile of an air-cooled slag cooler used for fluidized bed boilers and its distribution pattern.

Key words: *fluidized bed boiler, overflow ash, temperature profile*