

船用锅炉方形翅片管经济器的试验与应用

刘祥源¹, 李宇红¹, 姜晓燕², 武小兵¹

(1. 清华大学热能工程系, 北京 100084; 2. 海军装备论证研究中心, 北京 100073)

摘 要: 对某船主锅炉经济器更新的必要性进行讨论, 分析了方形翅片管的应用情况和优点, 在传热风洞试验台上采用恒壁温法对方形翅片管束空气侧流动阻力和传热进行了试验研究。结果表明, 风速大于 25 m/s 时, 应通过试验对换热系数进行修正, 最后根据试验结果经过多方案优化比较得到了方形翅片管经济器的合理设计方案。

关 键 词: 船用锅炉; 经济器; 方形翅片管

中图分类号: TK223.3 文献标识码: A

1 前 言

某船动力装置在运行中存在着主锅炉供汽量不足的问题, 主要原因是设计误差大, 采用的是鳍片管经济器(见图 1), 其单位容积内传热面积较小, 鳍片容易积灰, 降低传热效果。因此, 有必要将其更换成新型经济器, 以提高锅炉的蒸汽产生量, 满足动力装置的需要。

2 船用锅炉经济器试验目的

为满足船用锅炉尺寸小、重量轻的要求, 经济器必须采用某种形式的扩展受热面, 以对烟气侧传热进行强化, 降低烟气侧热阻。扩展受热面有直肋、环肋和销钉形肋三种基本形式。有的船用锅炉经济器受热面采用圆形螺旋翅片高频焊接到钢管上, 单位容积受热面积增加, 但是高频焊缝处热阻大, 螺旋片易积灰, 通风阻力大。钢质焊接方形翅片管是扩展受热面换热元件的一种(见图 1), 国外早已广泛地应用在燃气、燃油和燃煤等锅炉经济器受热面上。仅以英国 Green 公司为例, 自 1961 年到 1984 年供应燃煤电站的钢质焊接方形翅片管的经济器共 87 台。我国福州和大连等地电厂引进的电站锅炉经济器就是钢质焊接方形翅片结构, 运行数年效果良好。

1987 年这种方形翅片管曾用于几台船用余热锅炉上。1993 年以后, 我国南方的一批柴油机电站的余热回收装置上也采用钢质焊接方形翅片管。钢质焊接方形翅片管的主要优点是受热面扩展率大, 烟气流动阻力小, 易于清洗。

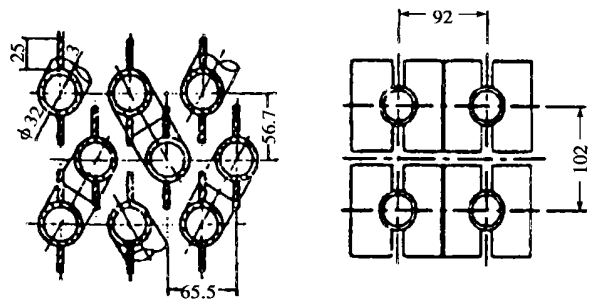


图 1 鳍片管与方形翅片管

由于翅片管管束的流动与传热特性受管子几何尺寸与排列方式、翅片形式及制造方法等因素的影响, 特别是船用经济器中烟气流速通常大于 35 m/s, 远远高于现有计算准则的线算图中风速的查取范围。因此, 在国外有关该型翅片管的流动传热特性和试验数据难于获取的情况下, 为了将这种翅片管束用于实际工程设计, 必须对其流动传热特性进行试验研究。

3 试验及结果分析

在西安交通大学动力工程多相流国家重点实验室风洞试验台上, 采用恒壁温法对由 4 排 4 列方形翅片管所组成的管束进行了空气侧流动阻力与传热特性的试验研究。试验过程中管束最小截面处的风速 ω 范围为 13.8 ~ 50.2 m/s, 换热量范围为 21.8 ~ 47.1 kW, 空气温升 Δt 范围为 10.9 ~ 19.8 °C。根据

收稿日期: 2003-01-22; 修订日期: 2003-11-17

作者简介: 刘祥源(1962-), 男, 广东潮州人, 清华大学博士生。

试验结果, 拟合得到了闪爆焊方形翅片管束空气侧阻力系数 ξ 及管外为烟气时的流动阻力与传热计算值, 为方形翅片管经济器的设计提供依据。方形翅片管束流动传热特性试验系统及试验段结构如图 2 所示。

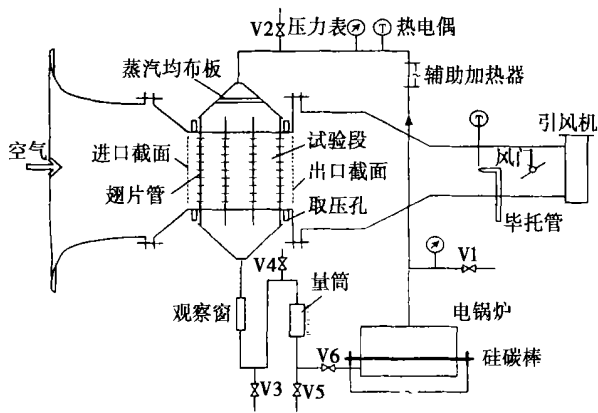


图 2 方形翅片管束流动传热试验系统

目前, 在计算烟气、空气横向冲刷顺列横向肋片管束阻力系数时通常有两种方法。一是前苏联 1973 年发布的锅炉机组热力计算标准方法, 即:

$$\xi = \zeta_0 n_2 \quad (1)$$

式中: n_2 —沿管子深度方向的管排数;

ζ_0 —对应于管束中一排管子的阻力系数, 由下式确定:

$$\zeta_0 = C_s C_n Re_1^{-0.08} \quad (2)$$

式中: C_s —顺列管束相对节距修正系数, 由文献[3]中的图 12-12(b) 查取;

C_n —顺列管束排数修正系数, 由文献[3]中的式(12-43) 计算;

Re_1 —按假设条件确定的尺寸 1 计算的雷诺数, $Re_1 = w_1 / u$, u 为空气的运动粘度, m^2/s ; 1 为定性尺寸, 由文献[3] 中的式(12-39) 确定。二是:

$$\xi = [2.87 + 0.464 \left(\frac{t}{d}\right)^{1.24} (h/d - 0.606)] \frac{d}{s_1} \times (n_2 - 1) Re_d^{-0.12} \quad (3)$$

式中: t —肋间距, m; d —管束管子外径, m; h —肋高, m; s_1 —管束横向节距, m; n_2 —沿管子深度方向的管排数。

按式(2) 的形式, 拟合得到 ξ_0 的关联式为:

$$\xi_0 = 2.96 Re^{-0.2} \quad (4)$$

试验点与式(4) 之间的相对误差为 $\pm 7\%$ 。按式

(3) 形式, 拟合得到 ξ 的关联式为:

$$\xi = 4.98(n_2 - 1) Re_d^{-0.2} \quad (5)$$

文献[1] 用下式计算空气或烟气横向冲刷圆形翅片管顺列管束的放热系数 α_0 , $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$:

$$\alpha_0 = 0.105 C_N C_S \frac{\lambda}{S_{1B}} \left(\frac{d}{S_{1B}}\right)^{-0.54} \left(\frac{h}{S_{1B}}\right)^{-0.14} \times \left(\frac{w S_{1B}}{v}\right)^{0.72} \quad (6)$$

式中: C_N —沿气流方向管子排数 n_2 的修正系数, 按文献[3] 中的方法计算;

C_S —管束相对节距修正系数, 按文献[3] 中的方法计算;

λ —烟气在定性温度下的导热系数, $W/(m \cdot ^\circ C)$;

d —基管外径, m;

S_{1B} —肋片节距, m;

h —肋片高度, m;

w —最小截面处烟气流速, m/s;

u —烟气运动粘度系数, m^2/s 。

方形翅片管束对流放热系数等于相应圆形翅片管束的对流放热系数乘以 0.92, 即:

$$(\alpha_0)_{\text{方形}} = 0.92 (\alpha_0)_{\text{圆形}} \quad (7)$$

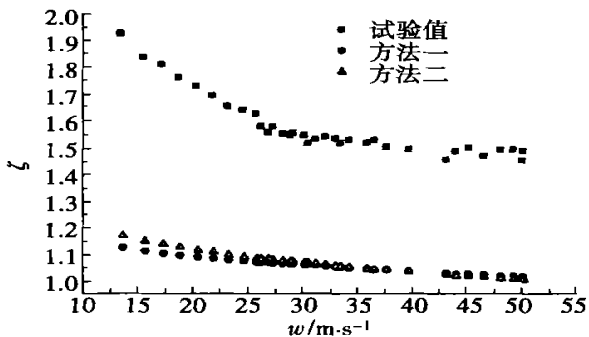


图 3 阻力系数试验值与计算值比较

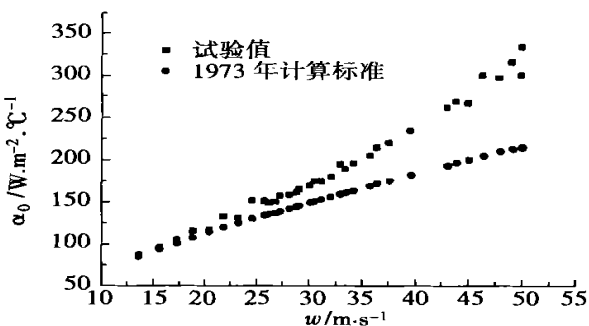


图 4 空气对流换热系数试验值与计算值比较

从图 3 和图 4 看出, 风速小于 25 m/s 时, 对流传热系数试验值与计算值基本吻合, 阻力系数试验值比计算值大; 风速大于 25 m/s 时, 对流传热系数试验值比计算值大 15% ~ 50%, 阻力系数试验值比计算值更大一些。文献[1] 同时给出了 α_0 的计算公式与线算图, 其查取的最大风速范围为 15 m/s, 试验表明, 该计算公式外推至高风速 ($w > 25$ m/s) 区域时, 误差较大。因此, 对于运行在特定风速下, 具有特殊结构形式的翅片管束式换热器, 必须专门进行试验研究才能得到可靠的设计准则。按式(6) 的形式, 由试验结果拟合得到 α_0 的关联式为:

$$\alpha_0 = 4.68 \times 10^{-3} C_N \left(\frac{w S_{lb}}{v} \right)^{1.04} \quad (8)$$

4 应用方案

该船动力装置主锅炉经济器受热面为鳍片式, 在 $\Phi 38 \times 3$ 无缝钢管的垂直平面上的上下两端各焊高 25 mm, 厚 3 mm 的鳍片(每片长 300 mm)。容纳 12 列(层), 每列 28 根管子的经济器, 受热面管束容积为 2 400 mm \times 1 880 mm \times 650 mm。经过多方案优化研究, 在此只列出三种典型方案, 方案 1 为方形翅片管经济器体积与原经济器相同, 方案 2 为方形翅片管

经济器重量和体积与原经济器相同, 方案 3 为方形翅片管经济器全负荷蒸汽产生量与原经济器相同。节距都为 5 mm, 具体数据见表 1。

在此选取方案 2, 原经济器通风阻力为 1.029 kPa, 方案 2 的通风阻力不大于此值, 蒸汽产生量可满足动力装置要求。

5 结 论

(1) 方形翅片管受热面扩展率大于其它型式的扩展换热元件, 烟气流动阻力小, 易于清洗, 重量轻, 在原经济器重量和体积不变的情况下, 将其鳍片式受热面更换为方形翅片管受热面, 可使全负荷蒸汽产生量增加 2 370 kg/h, 解决锅炉供汽量不足的问题。

(2) 对于不同形式的翅片管换热器必须进行试验研究, 才能获得可靠的设计准则。在用前苏联标准计算烟气横向冲刷管束换热系数时, 应注意其有效风速范围小于 25 m/s, 超出此范围应通过试验研究对换热系数进行修正。

参考文献:

- [1] 锅炉机组热力计算标准[M]. 北京: 机械工业出版社, 1973.
- [2] 吴永生, 方万人. 热工测量及仪表[M]. 北京: 水利电力出版社, 1995.
- [3] 林宗虎, 徐通模. 实用锅炉手册[M]. 北京: 化学工业出版社, 1999.
- [4] KAKAC S. Boilers evaporators and condensers[R]. New York: John Wiley & Sons Inc, 1991.
- [5] 陈听宽, 杨冬. 闪爆焊方形翅片管束传热与阻力特性的试验[R]. 西安: 西安交通大学, 2000.

表 1 三种方案比较

	管外径 及厚度	翅片高	翅片厚	方形翅片		管束 列数	每列 管数	受热面 积/ m^2	吸热量 /kW	锅炉新增 汽量/ $kg \cdot h^{-1}$
				长 \times 宽	列数					
原方案	38 \times 3	25	3	—	—	12	28	146.2	59×10^3	—
方案 1	38 \times 3	18	2.2	78 \times 70	8	22	271.2	59×10^3	—	1 120
方案 2	32 \times 3	17.125	2	70 \times 62.5	10	24	280	70×10^3	—	2 370
方案 3	32 \times 3	17.125	2	70 \times 62.5	8	24	224	59×10^3	—	—

· 新书介绍 ·

流体机械基础教程

《流体机械基础教程》一书是以叶片式流体机械为重点, 对流体机械的各相关内容, 兼顾到不同特点和共性问题做了较全面的介绍。

全书共分四篇, 第一篇是概论和基础篇, 分两章叙述。第二篇是叶片式流体机械, 分概述、叶片泵、水轮机、液力传动机械和气体介质叶片式流体机械共五章叙述。第三篇是容积式流体机械, 分往复式泵、其它形式液体介质容积式流体机械和气体介质容积式流体机械的讨论。第四篇是其它形式流体机械, 对特殊形式泵和特殊形式流体传动机械的简要介绍。

该书可作为高等学校热能动力工程专业的教学参考书使用, 也可节选作为教材使用, 也可供机械类或相关专业的学生以及从事流体机械及流体动力工程的工程技术人员参考。

该书由哈尔滨工业大学陆肇达教授主编, 全书 48 万字, 2003 年 12 月出版。编辑部可以为读者服务订阅。

design, information integration, general assembly drawing integration.

基于谐波小波变换的4-73风机压力侧失速特性分析 = An Analysis of Pressure-side Stalling Characteristics of a 4-73 Air Fan Based on Harmonic Small-wave Transformation [刊, 汉] / WANG Song-ling, HOU Jun-hu, AN Lian-suo (Power Engineering Department, North China Electric Power University, Baoding, China, Post Code: 071003) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2004, 19(3). — 295 ~ 298, 315

Based on a qualitative analysis of the pressure-side stalling formation mechanism of a centrifugal fan, the authors have through an experimental study of 4-73 air fan discovered the pressure-side stalling phenomenon of the latter. The time-frequency characteristics of the pressure-side stalling are analyzed by using a harmonic small-wave transformation. During the analysis the orthogonal harmonic small waves, which have a relatively poor time-domain locating ability, underwent a frequency-domain smoothing processing. In the analysis of the rotating stall introduced was a non-orthogonal harmonic small-wave transformation. The results of the analysis have demonstrated the effectiveness of harmonic small-wave transformation for analyzing the rotating stall characteristics of centrifugal fans. **Key words:** centrifugal fan, harmonic small wave, rotating stall, characteristics analysis

船用锅炉方形翅片管经济器的试验与应用 = Experimental and Applied Research of the Square Finned-tube Economizer of a Marine Boiler [刊, 汉] / LIU Xiang-yuan, LI Yu-hong, WU Xiao-bing (Thermal Energy Engineering Department, Tsinghua University, Beijing, China, Post Code: 100084), JIANG Xiao-yan (Naval Materiel Research and Demonstrative Center, Beijing, China, Post Code: 100073) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2004, 19(3). — 299 ~ 301

A discussion is conducted regarding the necessity to upgrade a marine main boiler economizer along with the analysis of the application circumstances and merits of square finned tubes. On a heat-transfer wind tunnel test rig an experimental research of the air-side flow resistance and heat transfer was performed of square finned tube banks. The results of the research indicate that in case of air speed greater than 25 m/s it is necessary to revise heat transfer factors through tests. Finally, a rational design scheme was decided for the economizer with square finned tubes on the basis of the test results. **Key words:** marine boiler, economizer, square finned tube

火电厂单元制循环水系统离散优化模型及应用 = A Discrete Optimized Model for the Monobloc Configured Circulating Water System of a Thermal Power Plant and Its applications [刊, 汉] / HUANG Xin-yuan, ZHAO Li, AN Yue-li (College of Energy and Power Engineering under the Shandong University, Jinan, China, Post Code: 250061), CHANG Jia-xing (Huangtai Power Station, Jinan, China, Post Code: 250100) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2004, 19(3). — 302 ~ 305

A discrete optimized model was proposed for a monobloc configured circulating water system featuring non-continuous change of water flow rate. By conducting iterative calculations of equivalent profit points the model can determine the critical operating conditions at the juncture of switch-over of circulating water pumps. With the power unit No. 7 of the Huangtai Power Station serving as an example the present model was used to study operation optimization in order to determine the most economical grouping-mode of operation for the circulating water pumps at different seasons and at various loads of the power unit. A profit analysis indicates that for a 300 MW power unit through the introduction of discrete optimization for a circulating water system it is possible to achieve a reduction of coal consumption by 0.5 - 0.7 g/(kWh). On the basis of thermodynamic test data an empiric formula is determined for the heat transfer factor of a steam condenser, which can serve as a guide for other similar units. **Key words:** circulating water system, discrete optimization, economic operation

充气热管空气预热器的设计分析及应用 = Design Analysis and Application of a Gas-filled Heat-pipe Air Preheater [刊, 汉] / SHI Cheng-ming, HU Hui-li, LI Ling-bo (College of Power Engineering under the Chongqing University, Chongqing, China, Post Code: 400044) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2004, 19(3). — 306 ~ 308