

文章编号:1673-9469(2016)02-0099-04

doi:10.3969/j.issn.1673-9469.2016.02.022

低压省煤器 H 型鳍片管优化传热数值研究

王为术¹, 崔强¹, 田苗¹, 陈刚¹, 路统²

(1. 华北水利水电大学 热能工程研究中心, 河南 郑州 450011; 2. 华电郑州机械设计研究院有限公司, 河南 郑州 450011)

摘要:为研究低压省煤器 H 型鳍片管的传热特性及阻力特性, 采用 realizable 湍流模型数值研究 H 型鳍片管管束外烟气的流动传热特性。研究表明: H 型鳍片管具有均匀气流的作用, 在管壁面形成的漩涡能够加强通道内绕流作用, 利于强化传热; 当烟气的流速越高, H 型鳍片管传热系数越大, 流动阻力逐渐增大; 当鳍片节距增加, H 型鳍片管传热系数增加, 流动阻力逐渐降低; 在节距为 18 mm 时, 鳍片管传热系数较高, 流动阻力最小, 选用 18 mm 的鳍片节距最为经济。

关键词: H 型鳍片管; 流场分布; 传热系数; 流动阻力; 数值研究

中图分类号: TK223.3

文献标识码: A

Numerical simulation on heat transfer optimization of H - type finned tube in the low pressure economizer

WANG Weishu¹, CUI Qiang¹, TIAN Miao¹, CHEN Gang¹, LU Tong²

(1. Institute of Thermal Energy Engineering, North China University of Water Resources and Electric Power, He'nan Zhengzhou 450011, China; 2. Huadian Zhengzhou Mechanical Design Institute Co., Ltd, He'nan Zhengzhou 450011, China)

Abstract: In order to investigate heat transfer and resistance characteristics of H - type finned tube in the low pressure economizer, realizable turbulence model was adopted to analyze flow and heat transfer characteristics of flue gas covered by H - type finned tube. The results show that the H - type finned tube can make the airflow become uniform; the vortexes formed on the wall are favorable to enhance heat transfer because of detouring flow in the channel; the higher velocity of flue gas is, the larger heat transfer coefficient of H - type finned tube and flow resistance will be; with the increase of pitch of the finned tube, the heat transfer coefficient increases, flow resistance decreases; when the pitch of H - type finned tube is 18 mm, the value of heat transfer coefficient reaches a peak and flow resistance is smallest. Therefore, the selection of 18 mm - pitches H - type finned is most economical.

Key words: H - type finned tube; distribution of flow field; heat transfer coefficient; flow resistance; numerical simulation

低压省煤器能够有效降低排烟温度, 减少排烟损失, 达到节约能源的目的^[1]。H 型鳍片管省煤器具有空气阻力小, 换热面积大, 耐磨性能好等优点^[2-3]。同时 H 型鳍片管能够降低尾部分离区传热恶化对整个鳍片传热的影响, 增大对流传热系数, 达到强化传热的效果^[4]。在实际运行改造中, H 型鳍片管得到广泛的应用^[5], 因此对其研究具有较大的理论和工程应用价值。对于 H 型鳍片

管的研究主要采用试验和数值模拟的方法, 吴新^[6]在传热风洞试验台完成不同参数下 H 型鳍片管管束气侧传热与阻力特性的试验研究; 李飞^[7]对椭圆 H 型鳍片管传热和阻力特性进行热态试验研究, 给出了管外换热试验关联式; 张知翔^[8]采用 Realizable $k-\varepsilon$ 湍流模型对 H 型翅片管的传热性能进行了数值模拟, 分析了管排数及纵向间距对 H 型翅片管传热系数的影响; 孙钟平^[9]通过数值

收稿日期: 2016-03-16

基金项目: 河南省高校科技创新团队支持计划资助项目(16IRTSTHN017)

作者简介: 王为术(1972-), 男, 重庆开县人, 博士, 教授, 主要从事多相流动与传热研究工作。

研究了H型鳍片管束的传热特性、流阻特性及其综合性能随管束各结构参数的变化规律。笔者采用Fluent 6.3软件对H型鳍片管束外烟气流动传热特性进行了数值研究,研究结果为H型鳍片管的优化设计提供参考。

1 物理模型和数值方法

1.1 H型鳍片管结构及计算区域

H型鳍片管是由一根光管的两侧对称焊接具有圆弧的钢片形成,两个鳍片为矩形结构,结构示意图如图1所示,其具体尺寸参数见表1,其中基管为 $\Phi 38\text{ mm} \times 4\text{ mm}$ 。

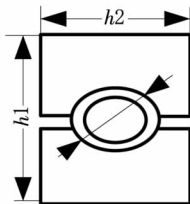


图1 H型鳍片管结构

Fig.1 Structure of H-type finned tube

表1 H型鳍片管尺寸参数 单位:mm

Tab.1 Dimension parameter of H-type finned tube unit: mm

鳍片参数	高度	长度	开缝宽	厚度	节距	管间距
符号	h_1	h_2	b	δ	P	s_1
数值	188	41	15	2.5	18	43

H型鳍片管计算区域如图2所示。管内为冷却水,管外为间壁式换热形式,4排换热管采用顺列的布置方式。烟气在管外从左向右方向流动,建立单元通道物理模型。为保证进口流速均匀,在鳍片管束入口向前延伸115.5 mm,同时为避免鳍片管束出口处回流对模拟结果造成影响,将计算区域出口向后延伸306.5 mm。

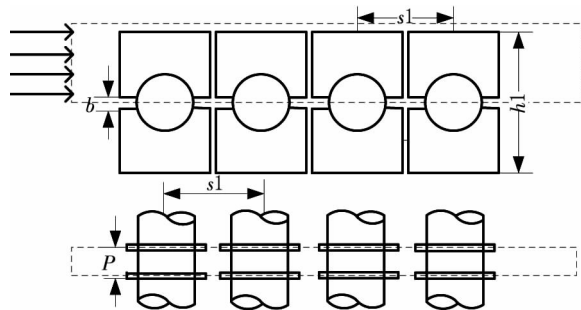


图2 H型鳍片管计算区域

Fig.2 Computational domain of H-type finned tube

利用Gambit 2.0软件对计算区域进行三维建模及网格划分。笔者采用非结构化网格进行网格划分,在鳍片处进行网格加密,在计算过程中通过逐步细化网格得到近似网格无关解。生成的网格模型如图3所示。

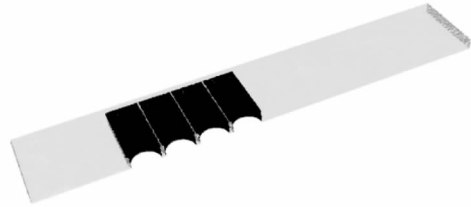


图3 计算区域网格划分

Fig.3 Mesh of H-type finned tube

1.2 数值方法

数值计算采用Fluent 6.3软件,湍流模型选用realizable $k-\epsilon$ 湍流模型;微分方程离散采用有限容积法;采用PRESTO压力校正方程,动量方程为二阶迎风格式;采用SIMPLE算法对控制方程进行求解^[10];近壁面采用标准壁面函数处理。

计算中所用到的边界条件类型有速度入口边界条件、压力出口边界条件、对称边界条件。冷却水管壁为等温壁面,温度为393.15 K,采用的鳍片管和鳍片材料为20号钢,温度由其与管外空气对流换热耦合求解得到。

同时,鳍片侧烟气的换热系数为

$$k = \frac{Wc_p \Delta t}{A \Delta t_d} \quad (1)$$

$$\Delta t_d = \frac{(t_2 - t_w) - (t_1 - t_w)}{\ln(t_2 - t_w) / (t_1 - t_w)} \quad (2)$$

式中, W 为烟气流量; c_p 为烟气比热; Δt 为烟气温升; t_1 为烟气进口温度; t_2 为烟气出口温度; t_w 为壁面温度。

流动阻力由进出口压差来表示为:

$$\Delta p = p_1 - p_2 \quad (3)$$

式中, p_1 为烟气进口压力; p_2 为烟气出口压力。

2 结果分析

2.1 烟气侧流场分布

图4为入口烟气速度为9 m/s时烟气侧流场分布。图4(a)给出了流场中心截面速度矢量图,由图中能够看出,鳍片间流场分布均匀,在管壁附近形成了漩涡,形成的漩涡能够有效的冲刷流体边界层,同时由于鳍片管的布置使得烟气流通面

积减小,烟气的流速增加,有利于热量的传热,从而达到强化传热的目的。图 4(b) 给出了中心截面温度场分布,从图中能够看出,烟气从入口经布置鳍片的流道至出口温度逐渐降低,在鳍片位置温度降低明显,鳍片区域作为换热的主要区域,鳍片具有强化传热的作用。图 4(c) 给出了中心截面压力场分布,由图中可以看出,烟气进入有鳍片的区域后,压力迅速减小。鳍片管的布置使烟气的流道面积减小,流体湍流强度增加,同时在管壁出现的漩涡能够加强绕流,有利于强化传热。

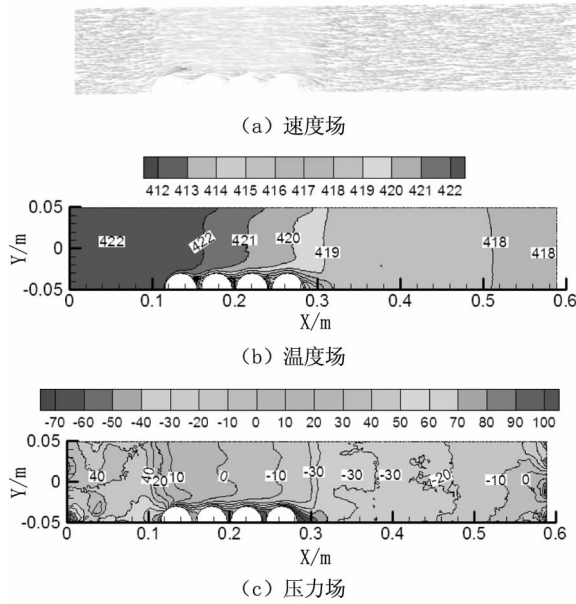


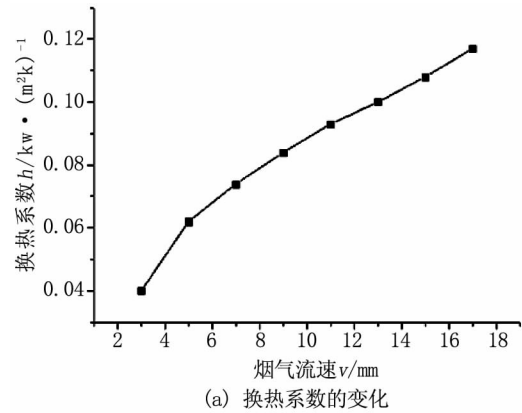
图4 烟气流场分布

Fig.4 Distribution of flow field

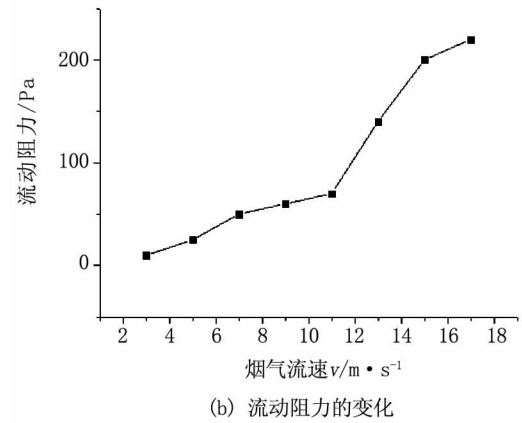
2.2 烟气流速影响

在不同的烟气入口流速,H 型鳍片管鳍片侧换热系数和流动阻力的变化如图 5 所示。由图 5 (a)可以看出,随着烟气流速的增加,鳍片侧换热系数逐渐增加,这是因为随着流速增加,通道内湍流作用增加,强化了烟气与管内水的换热。但随着烟气流速的增加,流动阻力特性呈现了不同的变化趋势。如图 5(b)所示;在流速小于 11 m/s 时,流动阻力随烟气的流速增加变化幅度较小;当烟气流速大于 11 m/s 时,随着烟气流速的增加,流动阻力急剧增加。综合分析可知,合理的烟气

流速不仅能够增加鳍片管换热强度,同时可防止流动阻力的急剧增大。



(a) 换热系数的变化



(b) 流动阻力的变化

图5 烟气流速的影响

Fig.5 Influence of flow rate

2.3 鳍片节距优化

H 型鳍片管的鳍片侧换热系数和流动阻力随鳍片节距的变化如图 6 所示。由图中能够看出,随着鳍片节距的增加,换热系数逐渐增大,当鳍片节距达到 20 mm 左右后,换热系数变化趋于平缓,同时随着鳍片节距的增加,烟气阻力减小,在鳍片节距为 18 mm 时达到最低,随后流动阻力随着节距的增加呈现增加趋势。这是因为在鳍片节距较小时,边界层流动对烟气流动影响较大。随着鳍片节距的增加,鳍片所引起的扰动增强换热。鳍片节距继续增加,强化换热的作用减弱。综合分析可知,当节距为 18 mm 时,鳍片侧的换热系数较高,系统的流动阻力最小,选用 18 mm 的鳍片节距最为经济。

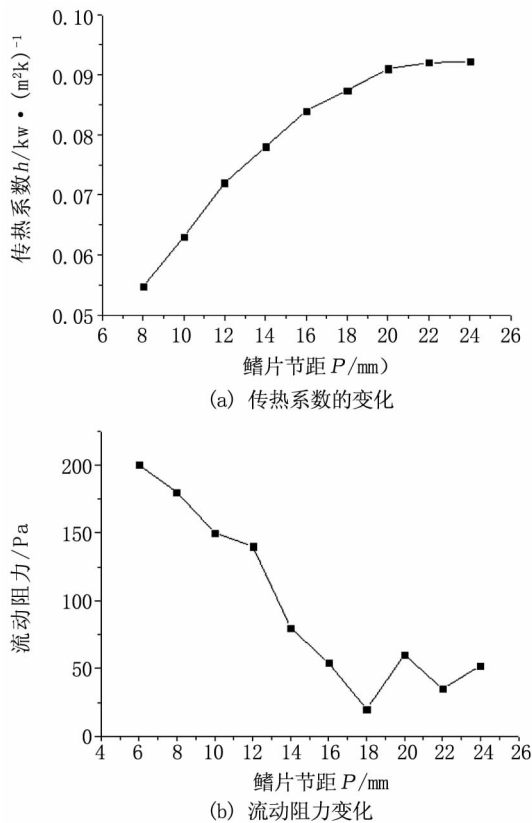


图6 鳍片节距的影响

Fig.6 Influence of the pitch of finned tube

3 结论

1) 鳍片区域是换热的主要区域,在鳍片管壁附近出现的漩涡能够冲刷流体边界层,加强通道内绕流作用,强化传热。

2) 随着烟气流速的增加,H型鳍片管换热系数越大,流动阻力越大,在烟气流速大于 11 m/s 时,流动阻力随着烟气流速的增加急剧增加。

3) 随着鳍片节距增加,H型鳍片管换热系数越大,流动阻力越小,当鳍片节距为 18 mm 时,综合性能达到最好。

参考文献:

- [1] 林万超. 火电厂热系统定量分析[M]. 西安:西安交通大学出版社,1985.
- [2] 冯丽丽,杜小泽,杨勇平,等. 椭圆管矩形翅片间空气流动的抗流特征[J]. 工程热物理学报,2011,32(1):119-122.
- [3] 吴艳艳,孙奉仲,李飞,等. H型翅片管束空气流动及换热特性[J]. 山东大学学报:工学版,2014,44(6):90-94.
- [4] 刘聿拯,袁益超,徐世洋,等. H形鳍片管束传热与阻力特性实验研究[J]. 上海理工大学学报,2004,26(5):457-460.
- [5] 王桂玲. 670 t/h 锅炉 H型肋片管式省煤器的改造[J]. 锅炉制造,2009,23(3):62-64.
- [6] 吴新,高宇薇,王军龙,等. H型鳍片管束传热特性实验研究[J]. 东南大学学报:自然科学版,2013,43(1):88-93.
- [7] 李飞,史月涛,孙奉仲,等. H型翅片椭圆管束传热及阻力特性的试验研究[J]. 中国电机工程学报,2014,34(14):2261-2266.
- [8] 张知翔,王云刚,赵钦新. H型鳍片管性能优化的数值研究[J]. 动力工程学报,2010,30(12):941-946.
- [9] 孙钟平,吴新,王亚欧. H型鳍片管束传热及流阻特性的数值模拟[J]. 动力工程学报,2014,34(5):382-389.
- [10] 王为术,雷佳,张斌,等. 周向不均匀加热圆管内熔盐传热特性数值研究[J]. 河北工程大学学报:自然科学版,2015,32(4):108-112.

(责任编辑 王利君)

(上接第 68 页)

- [2] 苏生瑞,朱合华,李国峰. 连拱隧道衬砌病害及其处治[J]. 岩石力学与工程学报,2003,22(1):2510-2515.
- [3] JTG D70/2-2014,公路隧道设计规范[S].
- [4] 郑凯,刘保国. 复杂地质条件下大跨度双连拱隧道监控量测技术的运用[J]. 隧道建设,2006,26(2):53-56.
- [5] 曹云钦,王小林. 偏压连拱隧道中墙优化分析[J]. 岩土工程学报,2006,28(4):537-540.
- [6] 朱正国,乔春生,高保彬. 浅埋偏压连拱隧道的施工优化及支护受力特征分析[J]. 岩土力学,2008,29(10):2747-2753.
- [7] 段海澎,徐干成,刘宝国. 富溪偏压连拱隧道围岩与支护结构变形和受力特征分析[J]. 岩石力学与工程学报,2006,25(2):3763-3768.

- [8] 张志强,何川. 偏压连拱隧道优化施工研究[J]. 岩土力学,2007,28(4):723-727.
- [9] 申玉生,高波. 双连拱隧道施工偏压力学特性的监测与分析研究[J]. 岩土力学,2006,27(11):2061-2065.
- [10] 庄宁,朱苦竹,李军伟. 偏压连拱隧道施工的动态模拟及最优化分析[J]. 岩土力学,2009,30(9):2875-2880.
- [11] 丁文其,王晓彤,朱合华,等. 连拱隧道设计荷载的确定方法[J]. 中国公路学报,2007,20(5):78-82.
- [12] 王建秀,朱合华,唐益群,等. 双连拱公路隧道裂缝成因及防治措施[J]. 岩石力学与工程学报,2005,24(2):195-202.

(责任编辑 李军)