

单排管空冷散热器换热及阻力特性研究

杨化健, 袁益超, 胡晓红

(上海理工大学 能源与动力工程学院, 上海 200093)

摘要: 通过试验及数值模拟研究了单排管空冷散热器的翅片侧流动及换热特性, 获得了相对翅片间距和相对翅片高度等参数对单排管空冷散热器的翅片侧换热和阻力特性的影响规律. 随着单排管空冷散热器相对翅片间距的增大, 翅片侧对流换热系数和阻力随之减小; 随着相对翅片高度的增大, 翅片侧对流换热系数和阻力也随之减小.

关键词: 直接空冷系统; 单排管空冷散热器; 换热和阻力特性; 相对翅片间距; 相对翅片高度

中图分类号: TK 124

文献标志码: A

Heat Transfer and Resistance Characteristics of Direct Air-Cooled Single-Row Tube Heat Exchanger

YANG Huajian, YUAN Yichao, HU Xiaohong

(School of Energy and Power Engineer, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

Abstract: The heat transfer coefficient and flow resistance of single-row tube heat exchangers were studied by experiment and simulation. The influences of relative fin space and relative fin height on the characteristics of single-row tube heat exchangers were studied; with the increase of whether the relative fin space or the relative fin height, the fin-side heat transfer and resistance characters reduce.

Key words: direct air-cooled system; single-row tube heat exchanger; heat transfer and resistance character; relative fin space; relative fin height

目前世界范围内的水资源紧张问题日益突出, 但是, 火电厂采用水冷方式会消耗大量水资源, 因此, 发展空冷技术已成为我国富煤缺水地区电厂建设的方向. 而直接空冷系统由于节水效果显著、初始投资小, 已经成为空冷系统的主流.

直接空冷系统的核心是直接空冷凝汽器, 通常使用翅片管作为传热元件^[1]. 目前运用于电站直接

空冷系统的翅片管主要有3种: 三排管椭圆管绕椭圆翅片、双排管大口径椭圆管套矩形翅片和单排扁管蛇形翅片^[2]. 单排管空冷散热器具有换热效率高、防冻性能好及结构简单等优势, 是目前直接空冷机组最有发展潜力的换热元件^[3]. 但是, 单排管空冷散热器在传热和阻力性能方面仍然没有统一的准则公式, 因此, 采用试验及数值模拟结合的方法对这种单

收稿日期: 2014-03-14

第一作者: 杨化健(1989-), 男, 硕士研究生. 研究方向: 强化传热. E-mail: yanghuajianlsyb@163.com

通信作者: 袁益超(1965-), 男, 教授. 研究方向: 强化传热. E-mail: ychyuan@163.com

排管散热器的换热及阻力性能进行研究具有重要的意义^[4]。

国内外学者对直接空冷系统进行了大量的研究工作. 曾时明^[2]对直接空冷系统矩形翅片空冷散热器和单排管空冷散热器的翅片侧换热及阻力特性进行了数值模拟研究, 得到了不同迎面风速下, 这两种空冷散热器翅片侧的速度和温度分布. 陆斌等^[3]利用吸风式单管传热风洞, 通过试验得出了在不同迎面风速下单排管空冷散热器翅片侧换热及阻力的关联式. 胡汉波^[4]利用数值模拟方法研究了翅片长度对单排管空冷散热器翅片侧换热及阻力特性的影响. Romero-Méndez 等^[5]运用数值模拟方法以及流体可视化技术, 研究了单排管空冷散热器的翅片间距对翅片侧换热及阻力特性的影响. 马荣荣^[6]对电站直接空冷系统矩形翅片椭圆管散热器和单排管空冷散热器的翅片侧换热及阻力特性进行了数值模拟研究, 得到翅片高度和翅片间距对这两种翅片管翅片侧换热及阻力特性的影响, 并进行了对比. 苏咸伟等^[7]设计了凝汽器单元传热性能试验系统, 解释了直接空冷散热器的换热机理, 研究了热空气回流、表面积灰等对直接空冷散热器翅片侧换热及阻力的影响. 综上所述, 目前国内外对直接空冷系统的研究还

只是单一的数值模拟研究或是试验研究. 采用单一的数值模拟研究往往无法验证其准确性, 而采用单一的试验研究则系统复杂、试验周期长、费用大. 本文采用数值模拟方法, 研究了相对翅片间距和相对翅片高度对单排管空冷散热器传热及阻力性能的影响, 并通过试验验证了数值模拟的准确性.

1 数值模拟

1.1 计算模型与控制方程

单排管空冷散热器的扁管材质为碳钢表面镀铝, 翅片材质为铝, 翅片采用钎焊的方法焊接在扁管上, 其结构如图 1 所示. h 为翅片高度, s 为翅片间距, a 为扁管长度, d 为扁管直径, b 为扁管厚度, L 为翅片长度, w 为翅片厚度.

单排管空冷散热器的翅片在扁管两侧是以“ π ”字型呈周期性排列, 扁管则是对称结构. 因此, 可以简化计算模型, 取翅片“ π ”型及其所在的扁管部分为模拟研究对象. 为避免出口边界的回流现象和入口处的入口效应对数值模拟结果的影响, 将计算区域进口段延长 50 mm, 出口段延长 240 mm^[8], 计算区域如图 2 所示.

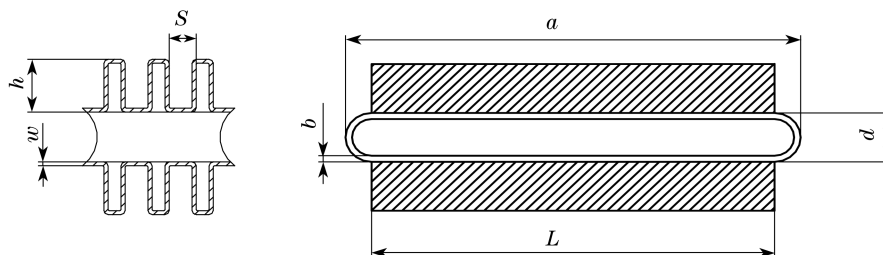


图 1 单排管空冷散热器示意图

Fig.1 Schematic diagram of a single-row tube heat exchanger

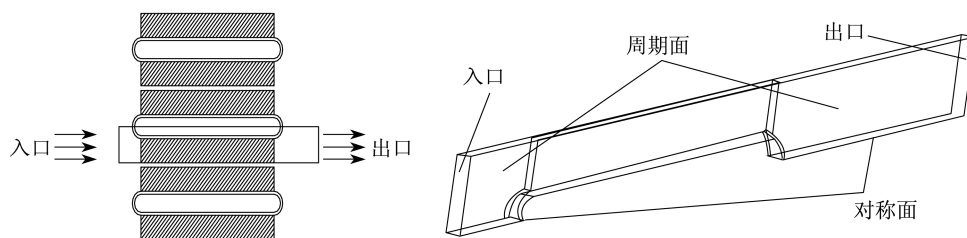


图 2 计算区域示意图

Fig.2 Schematic diagram of numerical simulation bank

为了便于研究, 对单排管空冷散热器物理模型作如下简化假设: a. 计算区域中的换热与流动是稳态的; b. 扁管和翅片的导热系数为常数; c. 流体在固体壁面上无滑移; d. 计算区域中的空气为不可压缩气体; e. 不考虑扁管和翅片与空气间的辐射换热;

f. 忽略扁管轴向导热影响.

本文中单排管空冷散热器采用层流模型进行模拟. 在稳态不可压缩常物性条件下, 空气流过翅片管的连续性方程、动量守恒方程、能量守恒方程分别为连续性方程

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i) = 0 \quad (1)$$

动量守恒方程

$$\frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_i u_j) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j} \quad (2)$$

能量守恒方程

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i T) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\frac{k_{\text{eff}}}{c_p} \frac{\partial T}{\partial x_j} \right) \quad (3)$$

式中, u_i, u_j 分别为空气在 x_i, x_j 方向上的速度分量; ρ 为空气密度; τ_{ij} 为应力; k_{eff} 是有效热传导系数; T 为温度; c_p 为比定压热容。

1.2 边界条件及计算方法

采用 Fluent 软件进行模拟。入口设为速度边界条件,管壁设为恒壁温条件,出口采用自由出流边界

条件,翅片表面为对流换热的流固耦合边界^[9],其余表面根据其在单排管中的位置,分别设为对称性边界条件和周期性边界条件,如图2所示。

在计算过程中,压力与速度的耦合关系采用 SIMPLE 算法^[10],将能量方程与动量方程进行耦合求解。连续性方程、动量守恒方程和能量守恒方程的相对残差采用默认值。动量和能量的离散方程采用二阶迎风格式。

1.3 单排管空冷散热器的结构参数

数值模拟的所有单排管空冷散热器只有相对翅片高度 h/d 或相对翅片间距 s/d 不同,其余结构参数(扁管长度 a ,扁管直径 d ,扁管厚度 b ,翅片长度 L ,翅片厚度 w)都相同,如表1所示。

表1 单排管空冷散热器结构参数

Tab.1 Structural parameters of a single-row tube heat exchanger

a/mm	d/mm	b/mm	L/mm	w/mm	h/d	s/d
219	19	1.4	200	0.24	1.00	0.10, 0.13, 0.16, 0.19, 0.22
219	19	1.4	200	0.24	0.60, 0.70, 0.80, 0.90, 1.00	0.13

2 数值模拟结果

图3和图4分别给出了不同相对翅片间距和不同相对翅片高度的单排管空冷散热器的数值模拟结果。

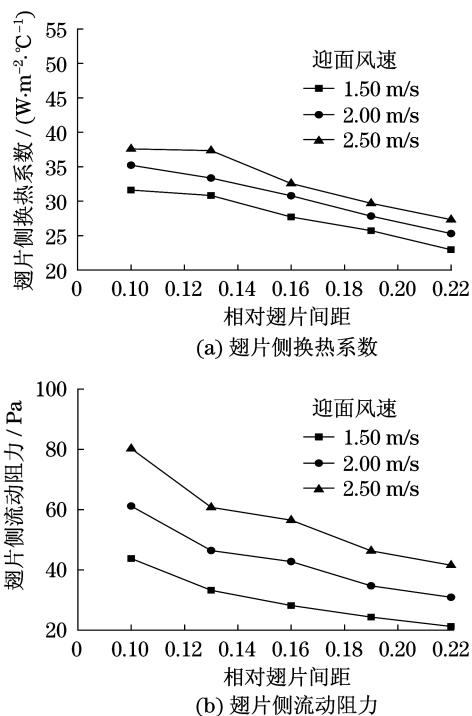


图3 不同相对翅片间距的数值模拟结果

Fig.3 Results of numerical simulation with different relative fin space

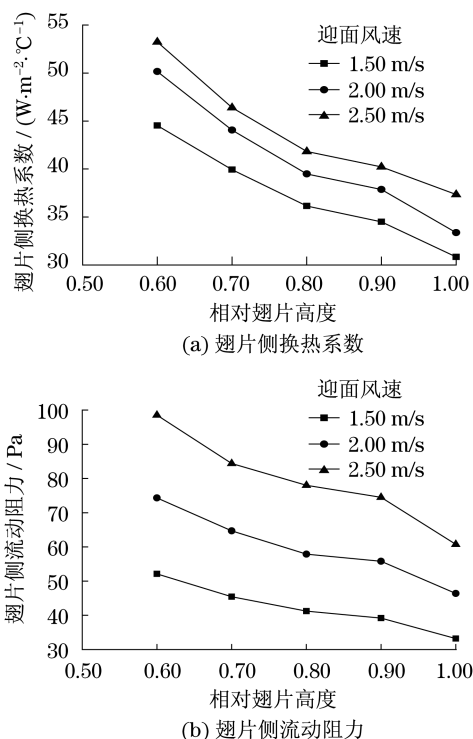


图4 不同相对翅片高度的数值模拟结果

Fig.4 Results of numerical simulation with different relative fin height

由图3可知,对于相同的迎面风速,相对翅片间距每减小0.03,翅片侧换热系数平均相对增大了7.70%,流动阻力平均相对增大了15.59%。这是由于空气流动的扰动增强,对边界层的破坏更加剧烈,

增强了换热效果.

由图 4 可知,对于相同的迎面风速,相对翅片高度每增大 0.10,翅片侧换热系数平均相对减小了 8.93%,流动阻力平均相对减小了 10.92%.这是因为随着相对翅片高度的增加,空气的流通截面积也随之增大,空气流动的扰动减弱.这与文献[6]得出的结论是一致的.

3 试验验证

3.1 试验系统

本文主要研究的是单排管空冷散热器翅片侧的换热及阻力特性.单排管空冷散热器扁管内流体无论是采用蒸汽还是水,扁管内侧的热阻都远远小于翅片侧的,并且蒸汽管内冷凝时的壁温条件也与水

流动时的壁温条件基本相同,因此,在模化试验中,扁管内流体采用水替代蒸汽.该试验系统主要包括空气循环系统、水循环系统、控制系统和数据采集系统,如图 5 所示.

水循环系统主要由循环水泵、电加热器、稳压水箱、涡轮流量计和试验段组成;空气循环系统主要由喷嘴流量箱、电加热器、试验段和离心风机组成.外界环境中的空气由离心风机引入系统,进入电加热器被加热到所需温度,然后由风道内的整流格栅整流成为速度分布均匀的气流,气流到达试验段,横向冲刷单排管空冷散热器.空气与单排管空冷散热器内循环水进行热交换,并由喷嘴流量箱测算流量后,经离心风机排到外界环境,完成整个换热过程.稳压水箱中的水由电加热器加热到所需温度以后,被水泵引出,在试验段进行换热以后回到稳压水箱,完成循环.

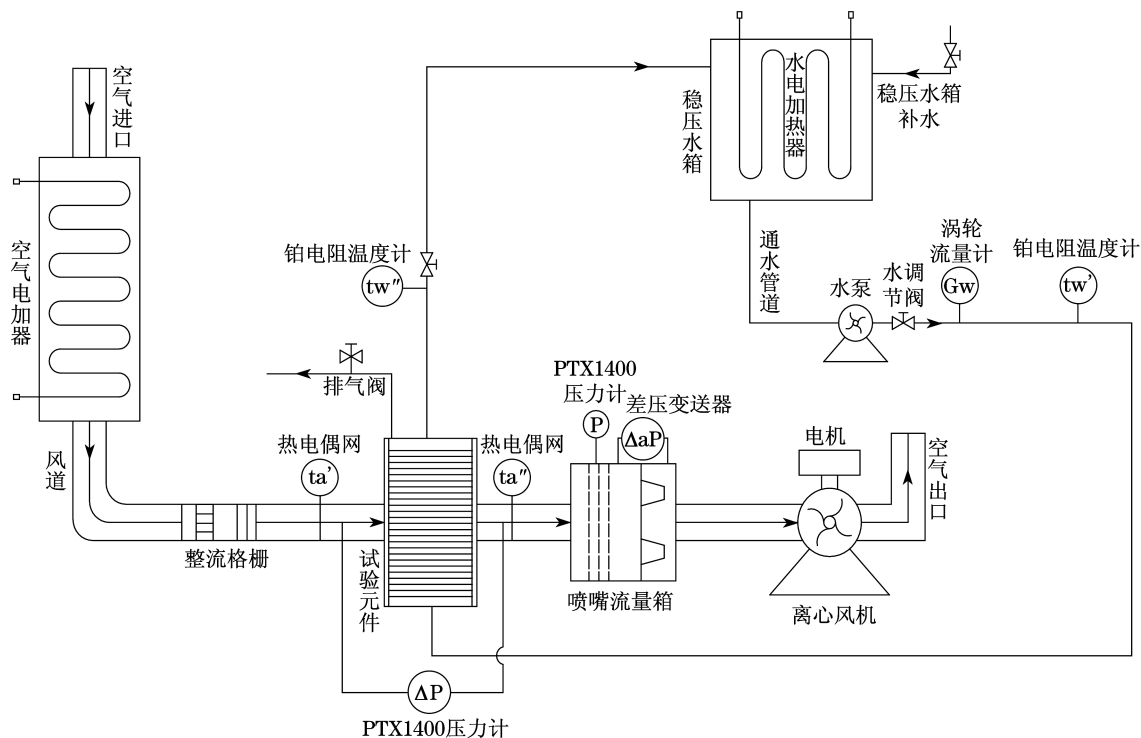


图 5 模化试验系统

Fig.5 Modeling of the experimental system

在试验过程中,进出口水温由 Pt 100 铂电阻(精度为 A 级)测量,水流量由 LWGY-40B 型涡轮流量计(精度为 0.5 级)测量.空气流量由喷嘴流量箱测量,进出单排管空冷散热器的空气温度由热电偶测量,单排管空冷散热器翅片侧阻力和喷嘴的压差由 EJA120 型差压变送器(精度为 0.2 级)测量.测量数据由 ADAM4018 模块和工程机 PCL-813 板卡转换后,由计算机程序采集.

3.2 试验结果与模拟结果对比

图 6 给出了相对翅片间距 0.13、相对翅片高度 1.00 的单排管空冷散热器的数值模拟结果与试验结果的对比.

由图 6 可见,数值模拟结果与试验结果相比,翅片侧换热系数、阻力分别相差 3.57%~7.30%、-2.08~-3.07%.说明数值模拟结果较好地反映了该单排管空冷散热器的实际性能.

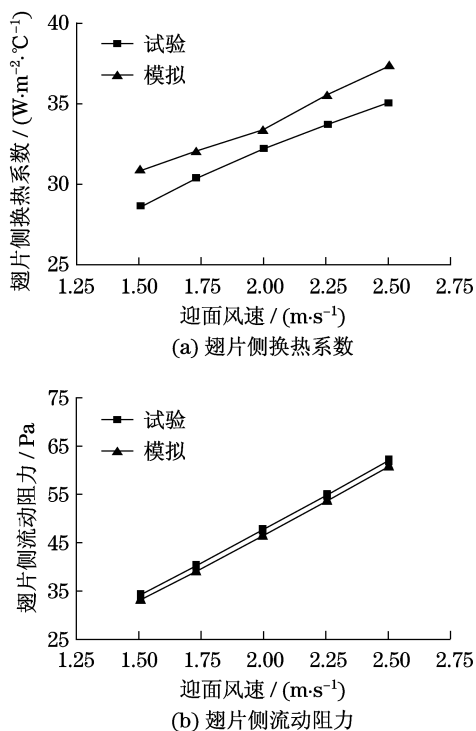


图6 数值模拟与模化试验结果的比较
Fig.6 Comparison of results of numerical simulation and experimental simulation

3.3 换热及阻力计算关联式

通过对试验数据的处理,得到了该单排管空冷散热器的计算关联式。

a. 翅片侧换热系数 α_o 与迎面风速 V_o 的关联式为

$$\alpha_o = 24.301 V_o^{0.402} \quad (1)$$

b. 翅片侧阻力 ΔP_o 与迎面风速 V_o 的关联式为

$$\Delta P_o = 21.166 V_o^{1.171} \quad (2)$$

4 结论

通过对单排管空冷散热器的数值模拟以及试验验证,得出以下结论:

a. 单排管空冷散热器的相对翅片间距从 0.22 减小到 0.10,翅片侧换热系数平均相对增大了 27.61%,翅片侧流动阻力平均相对增大了 49.73%。

b. 单排管空冷散热器的相对翅片高度从 1.00

减小到 0.60,翅片侧换热系数平均相对增大了 31.36%,翅片侧流动阻力平均相对增大了 37.39%。

c. 数值模拟与模化试验结果吻合得较好,翅片侧换热系数平均相差 5.48%,翅片侧阻力平均相差 2.63%。表明本文采用的数值模拟方法可为进一步研究单排管空冷散热器的传热及阻力性能提供参考。

d. 通过模化试验考察了直接空冷单排管换热器的换热及阻力性能,整理出关联方程式,为实际工程提供了可用的基础数据和性能指标。

参考文献:

- [1] 石磊,石诚,徐延强,等.单排管外空气流动和传热性能的数值研究[J].热力发电,2008,37(8):17-20.
- [2] 曾时明.电站直接空冷式翅片管换热和流动规律及空冷单元流场特性数值研究[D].北京:北京交通大学,2007.
- [3] 陆斌,孔德春,陶黎明,等.直接空冷单排管换热器试验研究[J].现代电力,2009,26(6):49-53.
- [4] 胡汉波.直接空冷式凝汽器翅片散热器流动传热性能及单元流场特性研究[D].重庆:重庆大学,2006.
- [5] Romero-Méndez R, Sen M, Yang K T, et al. Effect of fin spacing on convection in a plate fin and tube heat exchanger[J]. International Journal of Heat and Mass Transfer, 2000, 43(1): 39-51.
- [6] 马荣荣.直接空冷凝汽器翅片管空气流动换热特性的数值研究[D].北京:华北电力大学,2011.
- [7] 苏咸伟,杜小泽,席新铭,等.直接空冷凝汽器传热性能实验设计[C]//中国工程热物理学会传热传质学术会议论文集,2006:1698-1702.
- [8] 徐艳.火电厂直接空冷凝汽器传热性能实验研究[D].北京:华北电力大学,2011.
- [9] Lemouedda A, Schmid A, Franz E, et al. Numerical investigations for the optimization of serrated finned-tube heat exchangers [J]. Applied Thermal Engineering, 2011, 31(8/9): 1393-1401.
- [10] 陶文铨.数值传热学[M].西安:西安交通大学出版社,2001.

(编辑:石 瑛)