

# 一种新型钢铝复合柱翼型散热器的设计与开发

张青, 吕楠, 薛花, 陈振乾\*

(东南大学 能源与环境学院, 江苏 南京 210096)

**摘要:**基于小通道技术设计并开发了一种新型钢铝复合柱翼型散热器, 并确定出散热量为 700 W 的新型散热器尺寸. 通过建立钢铝复合柱翼型散热器的物理模型, 对其散热量进行理论计算, 并与试验测出的实际散热量进行对比, 说明了该理论模型的合理性与正确性. 最后, 就新型和传统钢铝复合柱翼型散热器在标准工况下温度场、速度场和压力场进行数值模拟分析, 并对 2 种散热器的经济性进行比较. 结果表明, 新型散热器的散热性能和经济性都优于传统钢铝复合柱翼型散热器.

**关键词:**散热器; 钢铝复合柱翼型散热器; 设计; 数值模拟

中图分类号: TK124

文献标志码: A

文章编号: 1673-2340(2015)01-0028-08

## Design and Development of a New Steel-Aluminum Column-Wing-Type Radiator

ZHANG Qing, LÜ Nan, XUE Hua, CHEN Zhenqian\*

(School of Energy and Environment, Southeast University, Nanjing 210096, China)

**Abstract:** The small channel technology was used to design and develop a new kind of steel-aluminum column-wing-type radiator. A mathematical model of the steel-aluminum column-wing-type radiator was constructed. The theoretical analysis was carried out and the size of the new radiator was decided by the heat dissipation of 700 W. Simultaneously, the heat dissipation of the traditional radiator was calculated on the basis of mathematical model. At the same time the experimental study of the traditional radiator's heat dissipation was carried out to confirm the precision and accuracy of the mathematical model. The numerical simulation of the temperature field, velocity field and pressure field of the new kind of steel-aluminum column-wing-type radiator and the traditional one were also made. Finally, the economic efficiency of the two kinds of radiators was also analyzed. It was concluded that the new steel-aluminum column-wing-type radiator excels in heat dissipation and economic efficiency compared with the traditional one.

**Key words:** radiator; steel-aluminum column-wing-type radiator; design; numerical simulation

随着社会经济的快速发展, 我国建筑能耗呈日益增长趋势. 通过改进散热器的结构来增强其散热性能是降低建筑采暖能耗的一个重要措施. 目前市

场上存在的各种散热器优缺点并存<sup>[1]</sup>. 如单铜管铜铝复合柱翼型散热器, 其使用寿命及散热性能都优于铸铁、钢制以及铝制散热器<sup>[2]</sup>, 但其投资成本比较

收稿日期: 2014-11-22

作者简介: 张青(1990—), 女, 硕士研究生.

\* 通信联系人: 陈振乾(1964—), 男, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为多孔介质传热传质. E-mail: zqchen@seu.edu.cn

高;而钢铝复合柱翼型散热器虽然散热量低于铜铝复合柱翼型散热器,耐腐蚀性也相对较差,但其投资成本要少得多.为了使得该类型散热器的成本更低,本文提出了一种新型小通道钢铝复合柱翼型散热器.该种结构的散热器采用内径为5 mm的立柱钢管,更加节约材料.

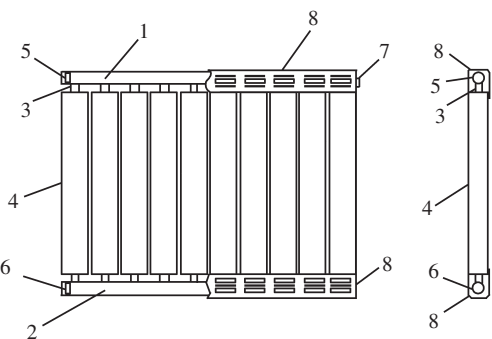
## 1 钢铝复合柱翼型散热器的设计

钢铝复合散热器具有2种基本构造型式:一种是钢管铝片对流散热器,具有横管结构,有条形、箱形及无外罩的闭式折边3种型式;另一种是钢铝复合柱翼型散热器,以钢管为容水部件,以铝合金翼型管为主要散热部件组合而成<sup>[3]</sup>.本文主要针对后一种散热器的设计方法及相关技术问题进行阐述.

### 1.1 基本构造

图1为钢铝复合柱翼型散热器构造示意图,其中1,2分别为上、下联箱,均为较大口径的标准钢管,5,6分别为进、出水管口,与排气阀座7分别焊接在钢管的两端;通水立管3为较小口径的无缝钢管,其上、下两端分别与上、下联箱焊接;铝制散热翼管4与立管3套装后胀接,使得两者紧密结合,保证传热良好<sup>[3]</sup>.为了美化外观,上、下联箱可设铝制或钢制装饰罩8,并在罩的上面及侧面开设通气孔,开孔率一般不应低于35%,使气流畅通,保证散热效果<sup>[4]</sup>.

从图1可以看出,1,2,3(主件)及5,6,7(配件)为该散热器的容水部件,钢铝复合柱翼型散热器的容水部件为钢质(碳钢或不锈钢).



1 上联箱;2 下联箱;3 通水立管;4 铝制散热翼管;5 进水管口;6 出水管口;7 排气阀座;8 装饰罩.

图1 钢铝复合柱翼型散热器构造示意图

### 1.2 铝制翼型散热管的管形设计

铝制翼型散热管是与通水立管胀接的散热装置,由铝制肋片和铝制空腔套管组合而成,铝制翼型管的横截面形状大致可分为开式、闭式、混合式3种.图2为这3种不同管形横截面的示意图.

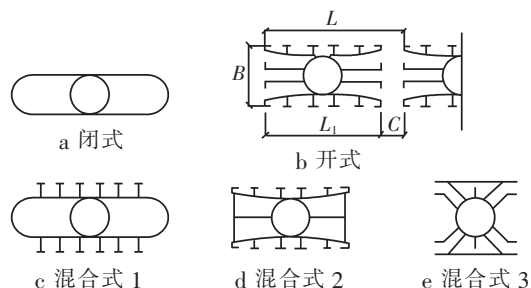


图2 铝制翼型管管形横截面示意图

闭式结构的优点是利用肋片形成自然对流的空气通道,换热效果也因烟囱效应得到有效的增强,且易于清洁.开式结构的优点是通过增大换热面积来增加单柱散热器的散热量,同时也可取得较高的金属热强度<sup>[3]</sup>.而混合式结构综合考虑了闭式与开式的特性,设计成在结构、热工及安装应用等各方面都有自身特点的翼型管断面形状.本文所设计的散热器翼型管断面形状采用图2e中所示的第3种混合式结构.

下文介绍翼管断面尺寸的设计.图2b中的 $B$ 为散热器的厚度,参照铝制散热器的通用标准,一般取为50~60 mm.如图2b,片长 $L = L_1 + C$ ,其中 $L_1$ 为铝翼管横截面的长度; $C$ 表示组合间隙,一般取5~10 mm.2片散热器的中心距取值需考虑2片散热器之间的组合间隙.从铝翼管的制造、热工性能及现有各种散热器的尺寸参数来看,片长 $L$ 取60~100 mm较为合适.铝翼管的高度设计应当考虑立管与上、下联箱焊接的便捷性和空气流通的畅顺性.铝翼管上端面与上联箱外沿、下端面与下联箱外沿的距离,一般均取10~15 mm.

## 2 钢铝复合柱翼型散热器理论模型分析

钢铝复合柱翼型散热器的散热原理如下:热水所携带的热量以对流传热的方式传递到钢管内壁,再以热传导的方式传到钢管外壁.钢管和铝翼管之间的接触热阻可以忽略,因为两者采用胀接.热量

以热传导方式从钢管外壁传递到铝制翼型管外壁。由于铝翼管外壁上存在肋片,一部分热量会沿肋片以导热方式传递到肋端,再以热传导、热对流、热辐射的方式传递到周围空气中。本文所研究散热器的散热量主要考虑3个方面:孤立肋片的导热量;两外表面与闭式空腔壁面的辐射散热量;闭式空腔内空气流动的散热量。

设计工况为:供回水温度为 95 °C/70 °C,室温为 20 °C,散热量为 700 W。

钢铝复合柱翼型散热器上、下连箱钢管的内径为 25 mm,外径为 32 mm,其中心距为 600 mm,中间立柱钢管的内径为 5 mm,外径为 8 mm,本散热器共 10 柱,总长为 0.795 m,每一柱的宽度为 75 mm,厚度为 60 mm,各柱之间的连接间隙为 5 mm。铝合金翼型管的高度为 540 mm,其端面与上、下联箱管外沿的距离均为 14 mm。铝合金翼型管厚度为 60 mm,设有 1 对铝合金肋片,肋片的高度(指肋片外沿到管壁的距离)为 30 mm,肋片的宽度为 540 mm,肋片的厚度为 0.5 mm。上下外罩的前后通气率为 37%,顶部通气率为 30%。

### 2.1 孤立肋片的散热量

本文研究的钢铝复合柱翼型散热器的肋片属于等截面直肋<sup>[5]</sup>。它从铝翼管表面伸出,且具有不变的截面。图 3 为典型等截面直肋模型。

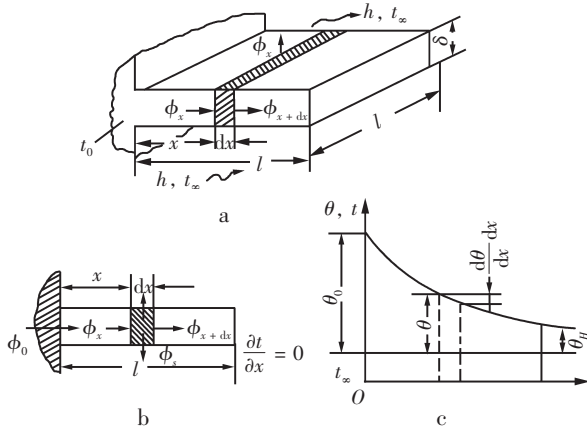


图 3 等截面直肋导热模型示意图

设等截面直肋的高度为  $H$ , 宽度为  $L$ , 厚度为  $\delta$ ; 肋片的横截面为  $A_L$  ( $A_L = L \times \delta$ ), 肋片的周长为  $U = 2(L + \delta)$ 。肋片材料选取导热系数  $\lambda$  为常量的铝合金。由于肋片的宽度远远大于其高度和厚度,

可以把肋片的温度分布近似看作一维稳态温度场<sup>[6]</sup>, 从而把肋片的导热简化为具有负内热源的一维稳态导热。同时考虑对流换热和辐射换热, 此导热过程的导热微分方程<sup>[7]</sup>可化简为

$$\frac{d^2 T}{dx^2} = \frac{h(T - T_f)U + \varepsilon\sigma(T^4 - T_f^4)U}{\lambda A_L} \quad (1)$$

式中:  $T_f$  为环境温度, K;  $h$  为铝制肋片表面的对流换热系数,  $W/(m^2 \cdot K)$ ;  $U$  为肋片周长, m;  $A_L$  为肋片的横截面积,  $m^2$ ;  $\lambda$  为肋片的导热系数,  $W/(m \cdot K)$ ;  $\varepsilon$  为铝制肋片表面的辐射系数;  $\sigma$  为玻尔兹曼常数, 值为  $5.67 \times 10^{-8} W/(m^2 \cdot K^4)$ 。

根据三类边界条件推导出肋片的数学模型控制方程

$$\begin{cases} \frac{d^2 T}{dx^2} = \frac{h(T - T_f)U + \varepsilon\sigma(T^4 - T_\infty^4)U}{\lambda A_L} \\ T_{x=0} = T_w \\ \left. \frac{dT}{dx} \right|_{x=H} = 0 \end{cases} \quad (2)$$

式中:  $T_f$  为铝制肋片周围空气的温度, K;  $T_\infty$  为铝制肋片周围空间的温度, K。

对方程(2)进行无量纲化<sup>[8]</sup>, 取  $\theta = \frac{T}{T_w}$ ,  $X =$

$\frac{x}{H}$ ,  $\theta_\infty = \frac{T_\infty}{T_w}$ ,  $\theta_f = \frac{T_f}{T_w}$ , 得到如下控制方程:

$$\begin{cases} \frac{d^2 \theta}{dX^2} = \frac{h(\theta - \theta_f)U + \varepsilon\sigma(\theta^4 - \theta_\infty^4)U}{\lambda A_L} \\ \theta_{x=0} = 1 \\ \left. \frac{d\theta}{dX} \right|_{X=H} = 0 \end{cases} \quad (3)$$

方程(3)为非线性定解微分方程, 需要对其进行线性化处理。利用泰勒定理, 将函数  $f(\theta) = \theta^4$ ,  $0 < \theta_\infty < \theta \leq 1$ , 表示为  $(\theta - \bar{\theta})$  的  $n$  次多项式形式。

$\theta$  的取值范围为  $(\theta_f, \theta_w)$ , 取  $\bar{\theta} = \frac{\theta_f + \theta_w}{2}$ , 则

$$f(\theta) = \theta^4 = f(\bar{\theta}) + f'(\bar{\theta})(\theta - \bar{\theta}) + R_n \quad (4)$$

式中  $R_n = \frac{1}{2} f''(\xi)(\theta - \bar{\theta})^2$ ,  $\xi$  为  $(\theta_f, \theta_w)$  中的某个

值,忽略余项  $R_n$ , 可得函数  $f(\theta)$  的线性表达式

$$f(\theta) = \theta^4 = f(\bar{\theta}) + f'(\bar{\theta})(\theta - \bar{\theta}) \quad (5)$$

误差大小  $R_n = \frac{1}{2}f''(\xi)(\theta - \bar{\theta})^2 \leq 6(\theta - \bar{\theta})^2$ .

民用建筑供暖室内计算温度一般在 18~22 °C, 供回水温度分别为 95 °C/70 °C, 误差余项  $R_n \leq 0.049$ , 简化处理后  $\theta^4 \approx \bar{\theta}^3 \cdot \theta$ , 则控制方程(3)可简化为

$$\begin{cases} \frac{d^2\theta}{dx^2} = \frac{h(\theta - \theta_f)UH^2 + \varepsilon\sigma UH^2 T_w^3 (\bar{\theta}^3 \cdot \theta - \theta_\infty^4)}{\lambda A_L} \\ \theta_{x=0} = 1 \\ \left. \frac{d\theta}{dx} \right|_{x=H} = 0 \end{cases} \quad (6)$$

方程(6)为二阶常系数线性微分方程, 得出方程定解为

$$\theta = (1 - \frac{C_2}{C_1}) \frac{ch[\sqrt{C_1}(1-X)]}{ch(\sqrt{C_1})} + \frac{C_2}{C_1} \quad (7)$$

计算得孤立肋片的导热量为

$$Q_d = -\lambda A_L \frac{dT}{dx} \Big|_{x=0} = \frac{T_w}{H} \lambda A_L \sqrt{C_1} \times (1 - \frac{C_2}{C_1}) th(\sqrt{C_1}) = 14 \text{ W} \quad (8)$$

## 2.2 两外表面和空腔壁面的辐射散热量

散热器的两外表面和空腔壁面与室内空气主要通过辐射方式进行换热<sup>[9]</sup>. 可利用式(9)进行计算

$$\phi_{12} = \varepsilon A (E_{b1} - E_{b2}) = 22.85 \text{ W} \quad (9)$$

式中:  $\varepsilon$  为表面辐射系数, 一般取 0.95, 由表面喷涂材料决定;  $A$  为单柱散热器的外表面与空腔壁面的总面积,  $\text{m}^2$ ;  $E_{b1}$  为散热器表面辐射力,  $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ ;  $E_{b2}$  为周围空气的辐射力,  $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ .

## 2.3 空腔内空气流动的散热量

每一柱散热器铝翼管的内腔横截面上均有 2 个封闭形状, 可以产生“烟囱效应”<sup>[10]</sup>. “烟囱效应”是指由于外界冷空气与空腔内热空气之间存在密度差, 致使闭式空腔内产生循环动力, 冷空气下降, 而热空气上升. 该循环动力是铝制翼型管内闭式空

腔与室内空气之间进行对流换热的主要动力来源.

闭式空腔内的散热量为

$$Q_c = hA\Delta T = 19.46 \text{ W} \quad (10)$$

式中:  $h$  为闭式空腔内部空气的对流换热系数,  $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ;  $\Delta T$  为空腔壁面温度与空腔内部空气温度之差,  $\text{K}$ ;  $A$  为空腔壁面面积,  $\text{m}^2$ .

## 2.4 新型与传统型钢铝复合柱翼型散热器的理论计算结果对比

上文建立了钢铝复合柱翼型散热器的理论计算模型, 并同时对小通道钢铝复合柱翼型散热器在供回水温度为 95 °C/70 °C, 室温为 20 °C, 散热量为 700 W 的工况下进行了建模计算. 本文所提到的传统钢铝复合柱翼型散热器与小通道钢铝复合柱翼型散热器的尺寸大致相同, 差异在于传统型散热器其中间立柱钢管的内径为 18 mm, 且铝翼管内有 2 对肋片, 肋片高度  $H = 15 \text{ mm}$ . 在热水流量以及工况相同的情况下用同样的理论模型对传统钢铝复合柱翼型散热器的散热量进行计算, 2 种散热器的散热量计算结果见表 1.

表 1 新型与传统型钢铝复合柱翼型散热器的散热量对比

参数	新型(10柱,立柱 钢管内径 5 mm)	传统(10柱,立柱 钢管内径 18 mm)
铝翼肋片对数	1	2
铝翼肋高/mm	30	15
铝翼肋片散热量/W	14	6.74
辐射散热量/W	22.85	22.96
闭式空腔散热量/W	19.46	17.84
单柱散热量/W	70.31	67.76
总散热量/W	703.1	677.6

## 3 钢铝复合柱翼型散热器的试验研究

对传统钢铝复合柱翼型散热器进行试验研究, 测试其在一定进口水温, 一定流量条件下散热器的散热量, 并与理论计算进行对比, 验证小通道钢铝复合柱翼型散热器设计计算的正确性.

### 3.1 试验原理与方法

散热器的散热量<sup>[11]</sup>为

$$Q = G_p \cdot C_p (t_1 - t_2) \quad (11)$$

式中: $Q$ 为散热器的散热量, $W$ ;  $G_p$ 为热水的平均流量, $kg/s$ ;  $C_p$ 为热水的比热, $J/(kg \cdot ^\circ C)$ ;  $t_1$ 为散热器进口处热媒(热水)的温度, $^\circ C$ ;  $t_2$ 为散热器出口处热媒(热水)的温度, $^\circ C$ .

### 3.2 试验数据及误差分析

表2为传统钢铝复合柱翼型散热器热工作性能实验数据,与理论计算值比较,由表3可知,试验数据和理论计算值的相对误差百分比在10%以内.对造成该误差的原因进行分析,主要有以下2点:1)理论模型误差,包括将肋片内部的三维传热近似为一维传热引起的误差以及散热器表面辐射系数的误差;2)铂电阻的测量误差以及房间温度的波动.

表2 传统钢铝复合柱翼型散热器热工性能试验数据

进水温度/ $^\circ C$	出水温度/ $^\circ C$	室内温度/ $^\circ C$	进出口温差 $\Delta t/^\circ C$	水流量/ $(kg \cdot h^{-1})$	散热量/ $W$
93.86	72.07	22.03	21.79	24	610.12

表3 传统钢铝复合柱翼型散热器试验值与理论值的比较

实际散热量/ $W$	理论计算值/ $W$	相对误差百分比/%
610.12	677.6	9.96

## 4 数值模拟

利用专业流体数值计算软件 FLUENT<sup>[12]</sup>,在相同供回水条件下(供水温度 $95^\circ C$ ,回水温度 $70^\circ C$ ,室内空气温度 $20^\circ C$ ),对小通道钢铝复合柱翼型散热器和传统钢铝复合柱翼型散热器的管内热水温度场、速度场以及压力场进行模拟,并将仿真得到的结果进行对比和分析,如图4~9所示.

为了使散热效果达到最好,散热器的连接方式采用异侧上进下出<sup>[13]</sup>.

### 4.1 温度场模拟结果与分析

由图4可知,新型散热器管内热水由左上方钢管流入散热器,进水温度为 $95^\circ C$ ,出水温度为 $91^\circ C$ ,由右下钢管流出,散热器进出口温差为 $4^\circ C$ ,温度场分布比较均匀.散热器左侧温度高于右侧温度,这是因为散热器内的热水散热时间和受到的阻力不同<sup>[14]</sup>.最高温度出现在左上方,即入口处,为 $95^\circ C$ ,最低温度并不是出口处,而是出现在右上

方,为 $66^\circ C$ ,高、低温部分相差 $29^\circ C$ .除最后一柱散热器外,每一柱散热器的平均温度变化不大,趋势较为平缓.

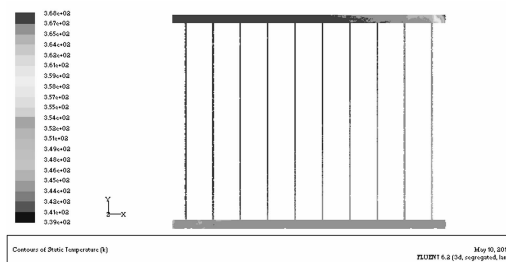


图4 小通道钢铝复合柱翼型散热器管内热水温度分布云图

由图5可知,传统型散热器管内热水由左上方管口流入散热器,进水温度为 $95^\circ C$ ,出水温度为 $88^\circ C$ ,由右下方管口流出,散热器进出口温差为 $7^\circ C$ ,温度场分布不均.最高温度出现在左上方,即入口处,为 $95^\circ C$ ,最低温度并不是出口处,而是出现在右上方和左下方,为 $76^\circ C$ ,高、低温部分相差 $19^\circ C$ .整体管内温度从上到下呈递减分布,每一柱散热器的平均温度先递减,然后又慢慢递增.



图5 传统钢铝复合柱翼型散热器管内热水温度分布云图

### 4.2 速度场模拟结果与分析

由图6可知,新型散热器管内热水的最高流速出现在立柱钢管内,由于散热器内热水的流动路径不同,导致热水流动受到的阻力也不同,每一柱散热器管内的热水流速也不同.上联箱管内的水流速度逐渐递减,无回流现象产生,下联箱管与立柱钢管连接处有水流扰动现象,速度场不均匀,中间立柱钢管内水流速度较大.

由图7可知,传统型散热器管内热水的最高流速出现在入口处和出口处,由于散热器内热水的流动路径不同,导致热水流动受到的阻力也不同,每

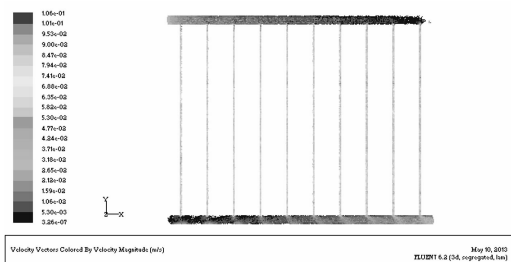


图6 小通道钢铝复合柱翼型散热器管内热水速度矢量图

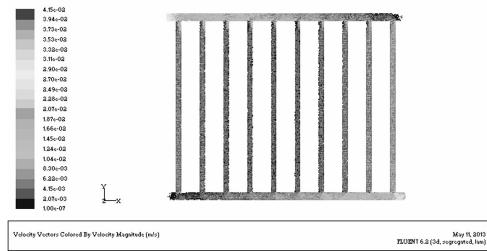


图7 传统钢铝复合柱翼型散热器管内热水速度矢量图

一柱散热器管内的热水流速也不同,上、下联箱管与立柱钢管连接处均有水流扰动现象,速度场不均匀,中间立柱钢管内水流速度较小。

#### 4.3 压力场模拟结果与分析

从图8可以看出,新型散热器内的压力分布呈现从上到下递减的趋势,这是因为热水在管内流动过程中受到了阻力作用,散热器进出口压差约为112 Pa。上、下联箱管内压力分布较为均匀,每一柱散热器的中间立柱钢管内的压力分布大致相同,由于立柱钢管的管径较小,因而管内热水流动阻力很大,压力分布梯度也较大。

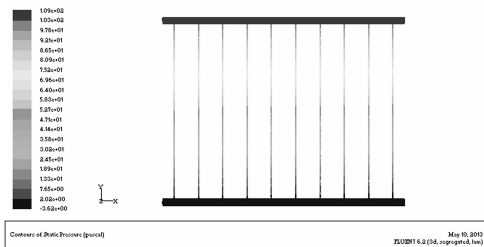


图8 小通道钢铝复合柱翼型散热器管内压力分布云图

从图9可以看出,传统型散热器内的压力分布呈现从上到下递减,从左到右递减的趋势,这是因为热水在管内流动过程中受到了阻力作用,散热器进出口压差约为3.52 Pa。上、下联箱管内的压力分布不均,呈从左到右递减的趋势,每一柱散热器的中间立柱钢管内的压力分布都不一样,因为

立柱钢管的管径较大,所以热水流动阻力较小,压力梯度较小。



图9 传统钢铝复合柱翼型散热器管内压力分布云图

## 5 新型钢铝复合柱翼型散热器经济性分析

### 5.1 耗材量计算和成本分析

计算新型钢铝复合柱翼型散热器与传统钢铝复合柱翼型散热器的耗材量时可将钢管与铝翼管分开来计算。钢管的耗材量根据钢管的内、外径,钢管的长度以及碳钢的密度来计算,铝翼管的耗材量根据面积、肋片的设计厚度以及铝合金的密度求出。铝合金的密度为 $2.7 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ,碳钢的密度为 $7.8 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 。目前铝翼管的市场价格在1.7~2.2万元/t,价格波动较小,本文中铝型材按照2万元/t计算,而钢材的价格波动较大,2013年的钢材价格约为0.44万元/t。小通道钢铝复合柱翼型散热器和传统钢铝复合柱翼型散热器的耗材量及成本如表4所示。

表4 新型钢铝复合柱翼型散热器和传统钢铝复合柱翼型散热器的耗材量及成本

参数	新型	传统型
铝型材价格/(万元 $\cdot$ t $^{-1}$ )	2	2
铝翼管质量/kg	2.829	2.624
钢材价格/(万元 $\cdot$ t $^{-1}$ )	0.44	0.44
钢管质量/kg	5.243	9.453
总成本/元	79.65	94.07

### 5.2 金属热强度分析

金属热强度是衡量散热器经济性能的一个重要指标,指散热器内热媒的平均温度与室内空气温度之差为 $1 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,每千克质量的散热器单位时间内散出的热量值<sup>[15]</sup>。

$$q = \frac{Q}{\Delta t \cdot G} \quad (12)$$

式中: $q$ 为金属热强度,  $\text{W}/(\text{kg}\cdot^{\circ}\text{C})$ ;  $Q$ 为散热量,

$W$ ;  $\Delta t$  为温差,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $G$  为散热器的质量,  $\text{kg}$ .

在设计工况下, 小通道钢铝复合柱翼型散热器的散热量为  $700\text{ W}$ , 其金属热强度为  $1.39\text{ W}/(\text{kg}\cdot^{\circ}\text{C})$ .

在相同的工况下, 经过相同的理论模型计算所得的传统钢铝复合柱翼型散热器的散热量为  $677.6\text{ W}$ , 其金属热强度为  $0.90\text{ W}/(\text{kg}\cdot^{\circ}\text{C})$ .

## 6 结论

1) 通过理论计算发现, 在外形尺寸一样的情况下, 小通道钢铝复合柱翼型散热器的散热量略大于传统钢铝复合柱翼型散热器. 本文所设计的新型钢铝复合柱翼型散热器的结构与传统钢铝复合柱翼型散热器的区别在于: 1) 中间立柱钢管的内径为  $5\text{ mm}$ , 而传统散热器为  $18\text{ mm}$ ; 2) 铝翼管内只有 1 对支肋, 肋片高度为  $30\text{ mm}$ , 而传统散热器有 2 对支肋, 肋片高度为  $15\text{ mm}$ ; 3) 新型散热器的闭式空腔的当量直径比传统散热器要大.

导致新型散热器的散热量大于传统散热器的原因有以下 2 点: (1) 清华大学研究学者指出, 在铝翼管上支肋片型式基本相同的情况下, 增加支肋片的长度比增加支肋片的数量更有助于增加散热量<sup>[6]</sup>. 因此, 欲提高散热器散热量, 增加支肋片的高度是有效的措施之一, 新型散热器的肋片高度比传统散热器大, 因而孤立肋片的导热量大; (2) 国内有些学者对钢铝复合柱翼型散热器闭式空腔的散热量进行了研究, 发现散热器闭式空腔内空气流动的散热量存在一个极大值, 该极大值在空腔当量直径为  $25.5\sim 26.5\text{ mm}$  之间时取得<sup>[7]</sup>, 因此所设计的闭式空腔的当量直径应尽量控制在该范围内, 这是因为当量直径超过此范围时散热量就有可能呈下降趋势, 并且当量直径过大时, 相应的铝翼管的强度不够, 就极易发生变形. 本文设计的新型散热器的闭式空腔的当量直径为  $25.6\text{ mm}$ , 在最优范围之内, 而传统散热器的闭式空腔的当量直径为  $24.3\text{ mm}$ , 其值偏小, 因而新型散热器闭式空腔的散热量大于传统散热器.

2) 通过对传统钢铝复合柱翼型散热器进行试验研究, 发现试验测得的散热量数值与理论计算值之间的相对误差为  $9.96\%$ , 在误差许允范围内, 说

明本文所建立的理论计算模型具有一定的合理性.

3) 通过对新型散热器和传统散热器在相同工况下进行模拟研究发现, 新型钢铝复合柱翼型散热器的温度场比传统钢铝复合柱翼型散热器更为均匀, 散热器表面温度也比传统散热器高. 此外, 新型散热器管内热水的流速较大, 尤其是中间立柱钢管, 由于管径较小, 管内流速是传统散热器的数倍, 更加有利于换热. 但是, 从模拟结果中也可以看出, 新型散热器也有一个缺点, 那就是热水流动时阻力较大, 进出口压差很大, 约为传统钢铝复合柱翼型散热器的 30 倍, 可以通过减小立柱钢管的长度, 同时增大铝翼肋片的高度以及增加肋片的对数来对新型散热器进行深度优化设计.

4) 通过对新型散热器的经济性进行分析, 发现新型散热器的耗材量要远远小于传统散热器, 金属热强度也比传统散热器大, 即新型散热器的经济性优于传统散热器.

## 参考文献:

- [1] 萧曰嵘, 牟灵泉, 董重成. 民用供暖散热器[M]. 北京: 清华大学出版社, 1996.
- [2] 郭铁明. 铜铝复合柱翼型散热器的优化[D]. 青岛: 青岛理工大学, 2005.
- [3] 楚广明, 牟灵泉, 张双喜, 等. 铜(钢)铝复合柱翼型散热器设计方法[J]. 暖通空调, 2003, 33(5): 51-54.
- [4] Roberts D A, Floryan J M. Heat transfer enhancement in the entrance zone of a vertical channel[J]. Journal of Heat Transfer, 1998, 120(1): 290-291.
- [5] 戴炳生. 传热学[M]. 2 版. 北京: 高等教育出版社, 1998.
- [6] Schmidt T E. Heat transfer calculations for extended surfaces[J]. Refrigerating Engineering, 1949, 57(4): 351-357.
- [7] 陈建芳, 张双喜. 散热器肋片的数值计算和结构优化[J]. 建筑热能通风空调, 2004, 23(2): 77-80.
- [8] 岳利茜, 孙亚红, 许冬梅. 双铜管铜铝复合柱翼型散热器的二次优化[J]. 节能技术, 2011, 29(1): 88-91.
- [9] 许冬梅. 双铜管铜铝复合柱翼型散热器的结构优化[D]. 青岛: 青岛理工大学, 2010.
- [10] Auletta A, Manca O, Morrone B, et al. Heat transfer enhancement by the chimney effect in a vertical isoflux channel[J]. International Journal of Heat and Mass Trans-

- fer, 2001, 44(22):4345-4357.
- [11] 翁运飞. 铜管铝翅片对流散热器结构型式优化的研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学, 2008.
- [12] Li Junmin, Chen Furong. Numerical simulation of temperature field and stress field of electron beam brazing stainless steel radiator[J]. Materials Science Forum, 2008, 575/576/577/578:649-653.
- [13] 张双喜, 余才锐, 牟灵泉, 等. 铜铝复合柱翼型散热器连接方式对散热量的影响[J]. 暖通空调, 2006, 36(3): 78-80.
- [14] 郭翠翠. 散热器表面温度分布规律及影响因素研究[D]. 大庆:东北石油大学, 2011.
- [15] 贺平, 孙刚, 王飞, 等. 供热工程[M]. 4版. 北京:中国建筑工业出版社, 2009.
- [16] 狄洪发, 阎雅丽, 姚冠辉. 轻型散热器一些特性的实验研究[J]. 暖通空调, 2004, 34(12):59-62.
- [17] 余才锐, 郭占军, 杨晓亚. 带闭式空腔的铜铝复合柱翼型散热器研究及优化[J]. 建筑热能通风空调, 2007, 26(6):62-65.

(责任编辑:仇慧)

## 公 告

本刊先后加入中国学术期刊(光盘版)、万方数字化期刊群、中国核心期刊(遴选)数据库、中国期刊网、中文科技期刊数据库,在我刊向作者支付的稿酬中已包括上述机构使用作者作品时应支付的稿酬。如作者不同意自己的文章被上述数据库收录,敬请说明。

特此公告。

南通大学学报(自然科学版)编辑部

2015年3月20日