

文章编号: 0253-4339(2012)03-0045-04

doi: 10.3969/j.issn.0253-4339.2012.03.045

穿圆形孔翅片对自然对流传热的强化研究

敬文娟 简士钊 尹树桂 魏新利

(郑州大学化工与能源学院 郑州 450001)

摘 要 研究了一种水平矩形翅片开圆形孔时对自然对流换热的强化作用。通过实验和模拟比较了实心翅片和开不同孔数翅片的散热功率。除开孔数外,还考虑了翅片开孔的位置、开孔大小和开孔形状对传热强化的影响。结果表明:开孔翅片要优于实心翅片,并且随着翅片开孔数的增加,翅片的散热功率先增大后减小,当开孔数为7时最优,其散热功率与实心翅片相比,增加了13.25%。开孔的位置在底部时,翅片的散热效果最好,中间次之,顶部最差。同时在研究范围之内,翅片的散热功率随开孔半径的增大先增加后减小。开孔半径为7mm时,翅片的散热效果最好,与实心翅片相比,其散热功率增加了27.14%。此外,还比较了同等面积的三角孔、方孔和圆孔对翅片散热的影响,其中开圆孔的散热效果最好。

关键词 工程热物理; 自然对流; 矩形翅片; 开孔; 强化传热; 辐射

中图分类号: TK172

文献标识码: A

Enhancement of Natural Convection Heat Transfer from a Fin by Circular Perforations

Jing Wenjuan Jian Shizhao Yin Shugui Wei Xinli

(School of Chemical and Energy Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou, 450001, China)

Abstract Heat transfer enhancement from a horizontal rectangular fin embedded with circular perforations under natural convection is studied. Through the experiment and simulation, the heat dissipation power of different perforated numbers was compared to the equivalent solid one. Despite the perforated number, the perforated location, size and shape were also considered in heat transfer enhancement. It is shown that the perforated fin is superior to the solid. And with the increase in the number of perforation, the heat dissipation power increases first and then decreases. There is an optimal perforated number 7. Its heat dissipation power increases by 13.25% comparing with the corresponding solid fin. When the perforated location is at the bottom, the heat dissipation power is the best. Then the middle is the second and the top is the worst. Within the scope of the study, with the increase of perforated radius, the heat dissipation power increases first and then decreases. When the perforated radius is 7mm, the heat dissipation is the biggest. Its heat dissipation power increases by 13.25% comparing with the corresponding solid fin. And comparison of the triangular, square and circular perforations with the same areas, the heat dissipation of the circular perforations is the best.

Keywords Engineering thermophysics; Natural convection; Rectangular fin; Perforation; Heat transfer enhancement; Radiation

翅片散热是工程中常用的一种散热方式。矩形翅片凭借其结构简单、制造方便等优点得到了广泛地应用,在太阳能应用、核反应堆燃料的冷却、电子元器件降温和空调等方面起着不可或缺的作用。在此着眼于研究用于大功率LED灯的翅片散热器。

强化矩形翅片传热的途径有:增大表面和外界环境间的传热系数,增大表面的传热面积,或两者同时应用。设置翅片以扩展表面积的方式来强化传热是相当普遍的方法。对于翅片外形的优化,已有了大量的研究,例如针形翅片、百叶窗式翅片、锯齿翅片、开缝翅片、波纹翅片、开孔翅片等等。对于实心的矩形翅片已有大量的实验和模拟研究,

但大多都忽略了辐射对散热的影响。V Rammohan Rao 和S P Venkateshan^[1]实验性的研究了水平翅片阵列中自然对流和辐射的相互作用。结果表明有不同的参数影响自然对流和辐射换热,如翅片表面的辐射率、翅片间隙、高度和基底温度。Senol Bakaya^[2]等对水平的翅片组中翅片间距、翅高、翅长以及翅片与周围环境的温差对自然对流的影响进行了系统性的理论研究。V Dharma、S V Naidu、B Govinda Rao^[3]等和王乐、吴珂^[4]等在理论上研究了自然对流和辐射对水平矩形翅片的散热研究。在开孔翅片的研究当中,Abdullah H AlEssa与Mohamad I Al-Widyan^[5]研究了三角形穿孔翅片对自然对流传热的强化作用。结果表明穿孔翅片在一定的区域内

要优于实心翅片。M R Shaeri^[6]等研究了侧面开正方形孔翅片的强制对流传热。结果表明,新型的开孔翅片具有更高的总传热量,并大量地减轻了翅片的重量,节省了材料。曲乐和贾林祥^[7]研究了打孔翅片表面性能数值模拟。结果显示两种打孔翅片的开孔率对翅片流动阻力性能影响不大。黄钰期与俞小莉^[8]研究了翅片开孔的强化传热机理,比较不同开孔方式对流场和温度场的影响。结果表明,对锯齿形翅片和波纹形翅片而言,不同的开孔参数和开孔位置对流动与散热都有不同的影响。对于矩形翅片开圆形孔的研究还不太成熟,为此这里将对开圆形孔的翅片进行研究。研究的目的是:在存在导热、自然对流换热及辐射的条件下,研究开圆孔对矩形翅片散热器散热功率的影响,以其为高效大功率LED灯的散热器设计提供依据。论文的主要目标可以概括为:1)研究开孔的相关因素对强化散热的影响。2)与相应尺寸的实心翅片相比较,确定开孔翅片的最优外形。

1 实验研究

1.1 翅片散热器结构

实验所用的翅片以开9孔的结构为例示意如图1。实验时,先进行实心翅片的实验,以得到翅片散热功率。再在翅片中央开1个孔进行单孔实验。然后在其两侧开2个孔,进行3孔实验。以此类推直至开孔数为9。

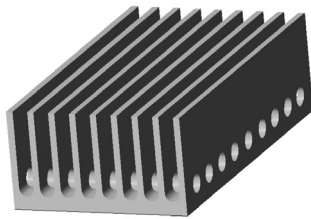


图1 翅片散热器结构图

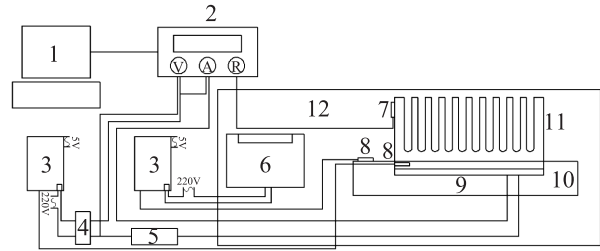
Fig.1 Diagram of fin array structure

1.2 实验装置及步骤

实验装置如图2所示。将待测翅片置于靠电热丝加热的恒温基板上,整套装置置于带自动温控系统的恒温房中,采用Ds18b20数字传感器测试翅片表面温度并通过数据采集仪将测试的电压、电流、温度等数据转接至PC机上。实验中翅片表面散热功率是通过测量电压和电流值得到的。

具体的实验步骤为:先开启电脑、安捷伦、恒温房、恒温热基板,待恒温房和恒温热基板的温度稳定后,在翅片底部均匀涂抹导热硅胶,将翅片迅速放置在恒温热基板上,固定翅片表面的热电

阻,适当地调节自耦变压器使翅片温度达到稳定。当翅片表面的温度曲线出现11个完整波形后(即此时翅片表面工况已趋稳定),结束实验。



1电脑 2安捷伦 3温度控制电路板 4自耦变压器 5电流表
6电热炉 7热电阻 8DS18B20温度传感器 9恒温热基板
10电热丝及绝热外壳 11LED散热翅片 12恒温房

图2 实验装置图

Fig.2 The equipment figure of experimentation

1.3 实验结果

实验测试不同打孔数下翅片的散热功率的结果如表1所示。

表1 实验数据

Tab.1 Test data

打孔数/个	0	1	3
散热功率/W	19.90	21.14	22.21
打孔数/个	5	7	9
散热功率/W	22.55	22.65	22.64

由表中可知,随开孔数的增加,散热功率先随之增大,当开孔数为7时达到最高,尔后随开孔数的增大而有所下降。开孔为7的散热功率较实心翅片散热功率提高了13.8%,开孔9时则略有下降。这是因为开孔的增加使得翅片中心的热空气得以尽快转移,并及时补入冷空气,强化了传热传质过程,从而增强了翅片的换热能力。但当开孔数再继续增加时,由于翅片金属的减少,翅片下端的热量不足以由金属快速向上端传导并进一步散失,于是出现了散热功率随开孔数较小的趋势。

2 数值模拟研究

2.1 模型建立

为分析翅片散热的机理,鉴于计算的物理模型和工况的对称性,在此采用整翅片散热器的1/4及其周围的空气为模拟对象(如图3所示)进行数值研究。模型的边界条件如图3所示,翅片前端空气为压力进口,顶端为压力出口,模型对称边为对称边界。翅片结构及周围区域采用四面体网格,总网格数约为160万个左右。计算速度压力耦合采用SIMPLE算法。

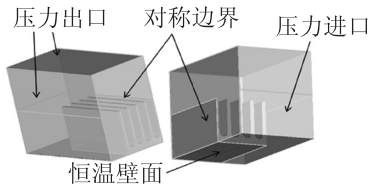


图3 计算模型及边界条件设定

Fig.3 Calculated model and boundary conditions

2.2 模拟假设

为便于数值建模和反映翅片结构的流动换热性能，特作如下假设：1) 气体(性质)采用了 boussinesq 假设，即空气除了密度 ($\rho = \rho(T)$) 外，为常物性；2) 整个翅片的底面保持恒温 75°C ，环境温度恒定，为 40°C ，大气压力为 101325Pa ；3) 气体为稳态不可压缩的层流流动；4) 翅片的材料为 Al，是均匀和各向同性的，并且具有常导热率；5) 辐射采用 DO 模型，其翅片的发射率取 0.18。

3 结果分析

3.1 实验与模拟结果的比较

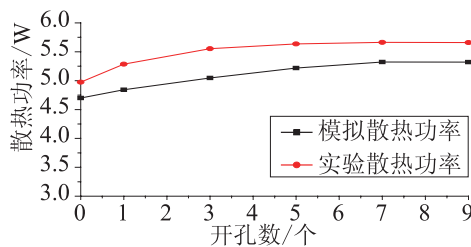


图4 实验与模拟散热功率随开孔数的变化

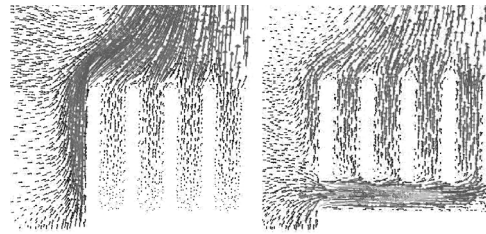
Fig.4 Comparison of variation of heat dissipation power with the number of the perforation simulations compared with experimental results

由于数值计算模型结构简化为原实验散热器的 $1/4$ ，所以与实验结果对比时要将其散热功率除以 4。实验与数值模拟结果的比较如图 4 所示。从图中可知，当开孔数为 3 时，实验与模拟数值存在最大相对误差，其值为 9.1%。考虑到数值计算所作的假设和实验测试的相对误差等因素，可以认为数值模拟方法的可行性。此外，由图可知，实验散热功率和模拟散热功率随着翅片开孔数的增加，都呈现出先增加后下降的趋势，即当开孔数为 7 时散热功率达到最大。由此说明在该翅片上开 7 孔为最优的选择。

3.2 模拟结果分析

3.2.1 开孔流场分析

为了分析开孔对翅片流动散热性能的影响，作出了实心翅片和开 9 孔翅片中央截面上的速度矢量如图 5 所示。



(a) 实心翅片 (b) 开孔翅片
(a) The solid fin (b) The perforated fin

图5 实心翅片与开孔翅片中心截面上速度矢量图

Fig.5 Velocity vectors of center cross section of the solid and perforated fin

从图 5 (a) 中可以看出，在翅片的加热作用下，冷空气被逐渐预热密度下降，顺着翅片下缘逐渐上升，在实心翅片与空气接触的外侧，气流迅速攀升；而内侧翅片内则流速较小，气流速度从下到上渐增，整个截面上速度呈现外高内低的不均匀流动现象。通过图 5 (b) 可知，开孔有利于了基底附近空气的流动，使外侧冷空气通过小孔流至内侧翅片，利于内部翅片中空气的流动，从而能更好的将翅片内的热量带走。该截面上的流动相较实心翅片则显得流动更均匀合理。这也说明了开孔翅片具有更高散热功率的原因。

3.2.2 开孔位置对翅片散热的影响

表2 散热功率、平均表面散热量和平均表面换热系数随开孔位置的变化值

Tab.2 Variations of heat dissipation power, total surface heat flux and surface heat transfer coefficient with the location of the perforation

H/mm	10.8	23.9	35.9
散热功率/W	5.32	5.00	4.81
平均表面散热量/(W/m ²)	178.80	169.54	160.07
平均表面换热系数/(W/(m ² ·K))	5.18	4.91	4.72

注： H 为开孔中心到底板的距离

为了研究开孔位置对翅片散热性能的影响，计算了三种不同开孔高度下的散热功率值如表 2 所示。在这三组数据中，开孔数与孔大小是一样的，即减少翅片表面的面积是一样的。

由表 2 可得到，当为实心矩形翅片开孔时，下端开孔的强化散热效果最好，中部次之，上端最差。之所以出现散热功率及平均表面散热量和散热系数的不同，这是由于翅片下端与外部冷空气的接触不够充分。孔开在下端，加强了冷空气与翅片间的自然对流散热。孔的位置越靠上，翅片与冷空气的接触越充分，因开孔对翅片造成的冷却效果不显著，所以开孔对其翅片散热的影响越小导致其散热功率的减少。

3.2.3 开孔大小对翅片散热的影响

下图6为在翅片底部开9个孔时，翅片表面的散热功率随开孔半径的变化。在图中可以看出，当保证孔圆心的间距为16.12mm不变的情况下，翅片表面的散热功率随开孔半径的增大，先增大后减小。在开孔半径为7mm时达到最大，与实心翅片相比，其散热功率增加了27.14%。随开孔半径的增大，翅片散热功率先随之增大，可见并不是由于开孔增加了翅片的表面积，而是因为开孔改善了翅片间距空气的流动状态。开孔的半径越大补入翅片间距的冷空气越多，强化了翅片的散热效果。但是当开孔半径从7mm增大到7.5mm时，所增加的空气换热面积效果不足以抵偿金属损失所要带走的热量，使翅片表面的面积减小进一步扩大，导致散热功率的降低。

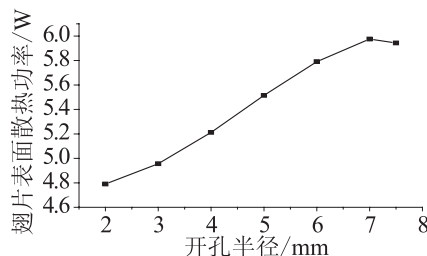


图6 散热功率随不同的开孔半径的变化

Fig.6 Variations of heat dissipation power with the radius of the holes

3.2.4 开孔形状对翅片散热的影响

研究了不同开孔形状对翅片散热性能的影响如表3所示。表3为在相同尺寸的翅片上开面积近似相等、不同形状的孔时，翅片表面的散热功率、平均散热量和换热系数值的变化。由表可以看出，当外部条件相同，开不同形状的孔时，翅片的散热功率近似相等。但是有平均表面散热量和散热系数可以看出，开圆孔的翅片其散热效果是最好的，方形孔次之，三角孔最差。

表3 散热功率、平均表面散热量和平均表面换热系数
随开孔形状的变化值

Tab.3 Variations of heat dissipation power, total surface heat flux and surface heat transfer coefficient with the shape of the perforation

开孔形状	三角孔	方形孔	圆孔
散热功率/W	4.98	4.98	4.97
平均表面散热量/(W/m ²)	164.97	166.28	166.97
平均表面换热系数/(W/(m ² ·K))	4.78	4.81	4.83

4 结论

1) 通过实验研究了开孔数对翅片散热性能的影响，发现当开孔数为7时散热效果最优，较实心翅片相比可提高散热功率达13.8%。并将实验结果与数值模拟进行了对比，两者之间能较好的吻合，

说明采用数值模拟方法的可靠和结果的相对准确性。2) 通过研究开圆孔的相关因素对矩形翅片散热器强化散热性能的数值模拟，结果显示：开孔有利于翅片外侧内冷空气流入翅片内侧，从而使整个翅片周围流动更均匀，因而能更好的带走翅片上的热量；同时开孔位置也对翅片散热功率产生显著影响，下端开孔最好，中部次之，上端最差；翅片的散热功率随开孔半径的增大出现先增大后减小的趋势，当开孔半径为7mm时达到最大；通过比较开孔形状，发现圆孔更有利于翅片内空气的流动和翅片的散热。

参考文献

- [1] V Rammohan Rao, S P Venkateshan. Experimental study of free convection and radiation in horizontal fin arrays[J]. International Journal of Heat and Mass Transfer, 1996, 39 (4): 779-789.
- [2] Senol Baskaya, Mecit Sivrioglu, Murat Ozek. Parametric study of natural convection heat transfer from horizontal rectangular fin arrays[J]. Int. J. Therm. Sci., 2000, 39 (8): 797-805.
- [3] V Dharma Rao, S V Naidu, B Govinda Rao, et al. Heat transfer from a horizontal fin array by natural convection and radiation-A conjugate analysis[J]. International Journal of Heat and Mass Transfer, 2006, 49 (19-20): 3379-3391.
- [4] 王乐, 吴珂, 俞益波, 等. 基于CFD的LED阵列自然对流散热研究[J]. 光电子·激光, 2010, 21 (12): 1758-1762. (Wang Le, Wu Ke, Yu Yibo, et al. Study on LED array heat transfer under natural convection based on CFD[J]. Journal of Optoelectronics·Laser, 2010, 21 (12): 1758-1762.)
- [5] Abdullah H AlEsa, Mohamad I Al-Widyan. Enhancement of Natural Convection Heat Transfer From a Fin by Triangular Perforations of Bases Parallel and Toward Its Tip[J]. Applied Mathematics and Mechanics (English Edition), 2008, 29 (8): 1033-1044.
- [6] M R Shaeri, M Yaghoubi, K Jafarpur. Heat transfer analysis of lateral perforated fin heat sinks[J]. Applied Energy, 2009, 86 (10): 2019-2029.
- [7] 曲乐, 贾林祥. 锯齿与打孔翅片表面性能数值模拟[J]. 低温工程, 2008, 161 (1): 50-56. (Qu Le, Jia Linxiang. Numerical simulation of surface activity of offset strip fin and fin with apertures[J]. Cryogenics, 2008, 161 (1): 50-56.)
- [8] 黄钰期, 俞小莉. 紧凑式换热器开孔翅片流动传热特性分析[J]. 化工学报, 2009, 60 (9): 2161-2170. (Huang Yuqi, Yu Xiaoli. Flow and heat transfer analysis of perforated fin in compact heat exchanger[J]. CIESC Journal, 2009, 60 (9): 2161-2170.)

作者简介

敬文娟，女(1986-)，硕士研究生，郑州大学，(0371) 67781738，E-mail: jingwenjuan86@163.com。研究方向：强化散热、余热利用。

About the author

Jing Wenjuan (1986-), female, master, Zhengzhou University, (0371) 67781738, E-mail: jingwenjuan86@163.com. Research fields: strengthen cooling, waste heat utilization.