

环境适应性设计与分析

翅片宽度及厚度对管板式热沉传热性能的影响

魏龙涛, 杨建斌, 范志剑

(兰州空间技术物理研究所, 兰州 730000)

摘要: **目的** 研究翅片宽度及厚度对管板式热沉性能的影响。**方法** 利用 Ansys 中的 Fluent 模块, 对管板式热沉不同宽度和厚度翅片的传热性能进行模拟仿真, 分析翅片宽度和厚度对管板式热沉温度均匀性的影响。**结果** 翅片越窄, 热沉温度均匀性越好, 且翅片平均温度越接近载冷剂温度。增加翅片厚度, 可以强化传热, 但热沉质量和制造成本也会上升, 且增大到一定值时, 传热效果增强不显著。**结论** 热沉翅片的宽度和厚度对热沉的温度均匀性有很大的影响, 翅片越厚, 宽度越窄, 热沉的温度均匀性越好, 但不能一味采取增加厚度和减小宽度的方式来提高热沉温度均匀性, 在设计热沉时, 需结合其他因素综合选取翅片的宽度和厚度。

关键词: 管板式热沉; 翅片宽度; 翅片厚度; 数值模拟; 传热性能

DOI: 10.7643/issn.1672-9242.2019.09.015

中图分类号: V267

文献标识码: A

文章编号: 1672-9242(2019)09-0084-04

The Effects of Fin Width and Thickness on Heat Transfer Performance of Tube-sheet Heat Sink

WEI Long-tao, YANG Jian-bin, FAN Zhi-jian
(Lanzhou Institute of Physics, Lanzhou 730000, China)

ABSTRACT: Objective To study the effects of fin width and thickness on the performance of tube-plate heat sink. **Methods** Fluent module in Ansys was used to simulate the heat transfer performance of tube-plate heat sink fin with different width and thickness of tube-plate heat sink fin, and analyze the effects of fin width and thickness on the temperature uniformity of tube-plate heat sink were analyzed. **Results** It shows that the narrower the fin, the better the temperature uniformity of heat sink, and the closer the average temperature of the fin was to the temperature of the coolant. Increasing the fin thickness can enhance heat transfer, but increase the heat sink weight and manufacturing cost will also increase, and . When it is increased to a certain value, the heat transfer effect would not be enhanced significantly. **Conclusion** The width and thickness of the heat sink fin have a great influence on the temperature uniformity of the heat sink. The thicker the fin, the narrower the width, and the better the temperature uniformity of the heat sink. However, the uniformity of heat sink temperature cannot be improved by simply increasing the thickness and reducing the width. When designing the heat sink, it is necessary to combine the other factors to select the fin width and thickness.

KEY WORDS: tube-plate heat sink; fin width; fin thickness; numerical simulation; heat transfer performance

热沉是空间环境模拟器中用来模拟“冷黑”环境的重要分系统, 热沉的性能直接影响着空间环境模拟试验的结果。目前常见的热沉主要有管板式热沉(也

叫鱼骨式热沉)和板式热沉两种。管板式热沉是在不锈钢管上焊接铜翅片来增大换热面积, 通过热传导的形式将翅片上的辐射热与循环工质进行热交换^[1-4]。

收稿日期: 2019-03-04; 修订日期: 2019-04-17

作者简介: 魏龙涛(1994—), 男, 陕西人, 硕士研究生, 主要研究方向为空间环境模拟试验设备。

通讯作者: 杨建斌(1966—), 男, 甘肃人, 硕士, 研究员, 主要研究方向为低温技术及空间环境模拟试验设备。

管板式热沉的缺点在于热沉温度均匀性不易控制^[5]。影响热沉性能的因素有很多,王龙龙等人^[6]介绍了热沉主管、支管管径、支管间距等结构因素对气氮热沉流场的均匀性影响。赵晶辉等人^[7]研究了板式热沉中壁板间距、氮气压力和流速对流体分布的影响。袁修干等人^[8]提出了改进管板式热沉温度均匀性的理论计算和工程设计方法。张磊等人^[9-10]研究了液氮流速、流道深度、流道间距以及进出口方式对板式热沉换热性能的影响。

文中利用 Fluent 软件对管板式热沉翅片的宽度和厚度进行仿真计算,得到了翅片上的温度分布情况,对翅片上的最大温差和平均温度进行了分析,为热沉设计中翅片宽度和厚度的选择提供参考。

1 热沉结构

1.1 几何模型

国内已有的热真空试验设备中,热沉多为紫铜结构、铝结构或不锈钢-紫铜翅片结构。经过长期使用,得出了一些经验:铝材耐腐蚀性不好,而紫铜材料焊接困难,焊缝处容易产生真空泄露,导致热沉失效,降低使用寿命和可靠性。不锈钢-铜翅片热沉克服了上述热沉缺陷,且性能优良,现多数热真空试验设备中的热沉都采用不锈钢-铜翅片热沉^[11]。故本次模拟的管板式热沉也为不锈钢-铜翅片热沉。

管板式热沉一般为对称结构,由上汇总管、下汇总管、支管、翅片等组成。翅片对称焊接在支管上,支管等间距分布。由于对整个热沉进行模拟的计算量过大,故本次模拟只对热沉的半个翅片进行分析。热沉翅片几何结构单元如图 1 所示,铜翅片成一定弧度焊接在不锈钢支管上,热沉直径为 600 mm。

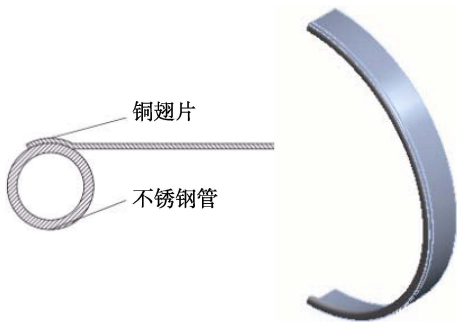


图 1 热沉翅片结构

1.2 几何参数

本次仿真主要研究热沉翅片宽度 L 及厚度 D 对热沉性能的影响,选取的不同翅片宽度和厚度参数,见表 1。

表 1 热沉翅片几何参数

参数	厚度恒定				宽度恒定			
宽度/mm	40	60	80	100	60			
厚度/mm	1				1	1.5	2	2.5

2 仿真模拟

利用有限元分析的方法对热沉翅片进行模拟计算,得到了不同宽度及厚度时,翅片上的温度分布,并对翅片上的最大温差及平均温度进行了分析。

2.1 计算工况及仿真

使用 Ansys 自带的 Mesh 对几何模型进行划分,然后导入 Fluent 进行计算。载冷剂选择导热液,入口方式选择速度入口,速度设为 3 m/s,温度设为 323 K,出口设定为自由出口。壁面边界条件设为辐射换热,温度设为 273 K,发射率设定为 0.93,湍流模型采用标准 $k-\varepsilon$ 模型。

2.2 仿真结果

2.2.1 不同翅片宽度

翅片厚度恒定为 1 mm,翅片宽度分别为 40、60、80、100 mm 时,翅片的温度分布如图 2 所示。翅片上最大温差 ΔT 与平均温度 $\bar{T}$ 变化曲线分别如图 3 与图 4 所示。

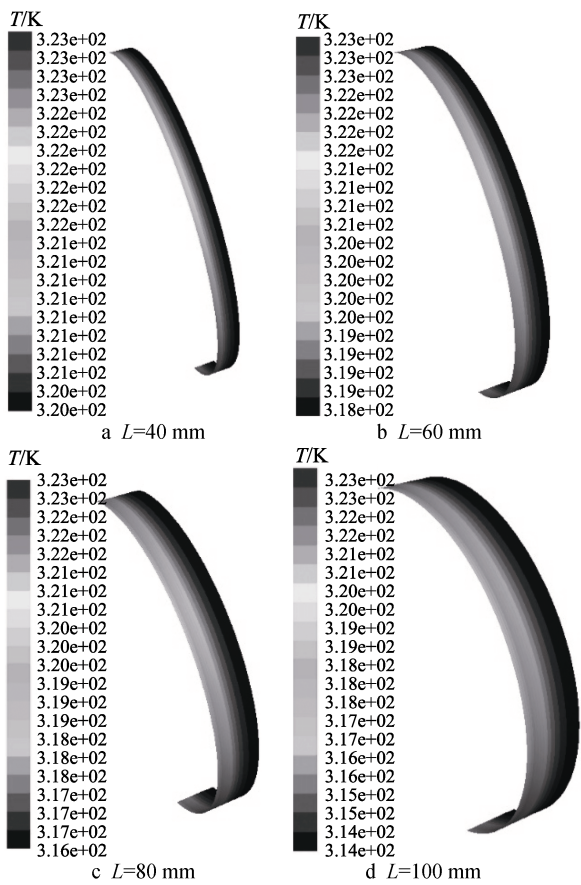


图 2 不同宽度的翅片温度分布

2.2.2 不同翅片厚度

翅片宽度恒定为 60 mm,翅片厚度分别为 1、1.5、2、2.5 mm 时,翅片的温度分布如图 5 所示。翅片上

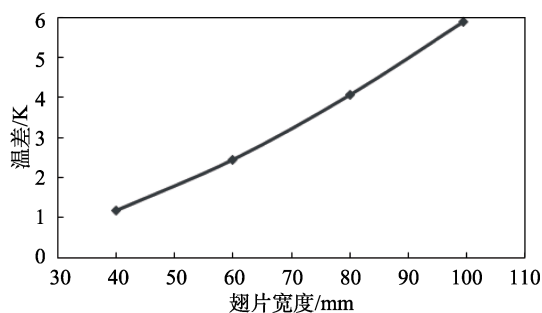


图3 不同宽度的翅片最大温差

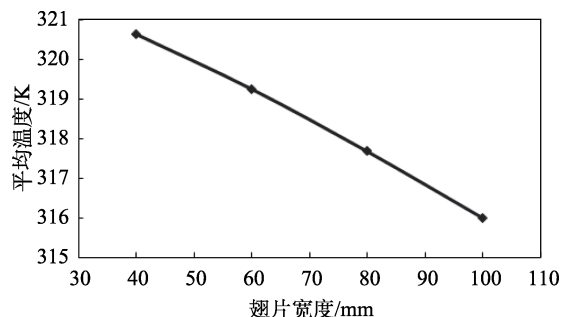


图4 不同宽度翅片的平均温度

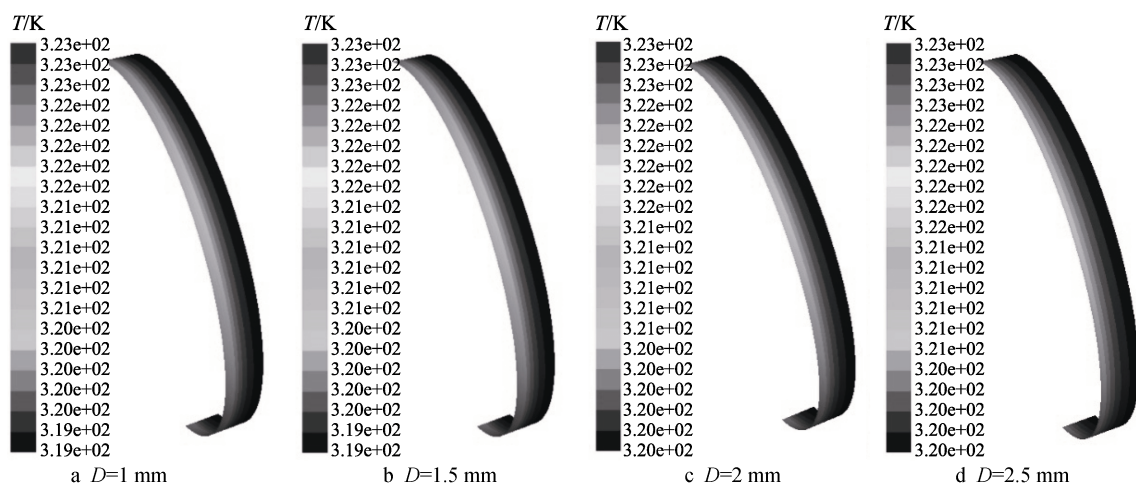


图5 不同厚度的翅片温度分布

最大温差 ΔT 和平均温度 $\bar{T}$ 变化曲线分别如图6和图7所示。

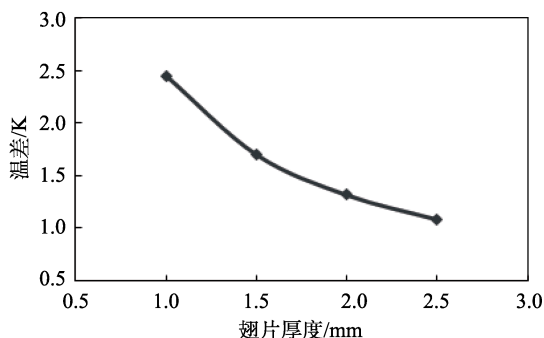


图6 不同厚度翅片上的最大温差

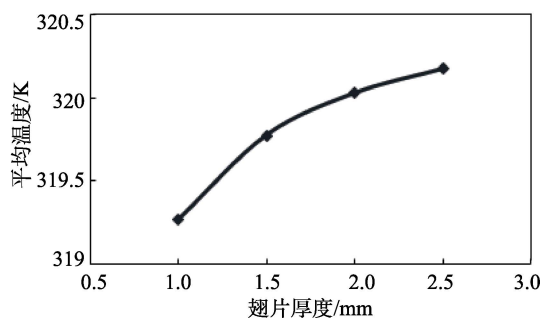


图7 不同厚度翅片上的平均温度

2.2.3 不同尺寸设备

翅片宽度为 60 mm, 翅片厚度为 1.5 mm, 热沉

直径分别为 600、1200 mm 时, 翅片上的温度分布如图8所示。

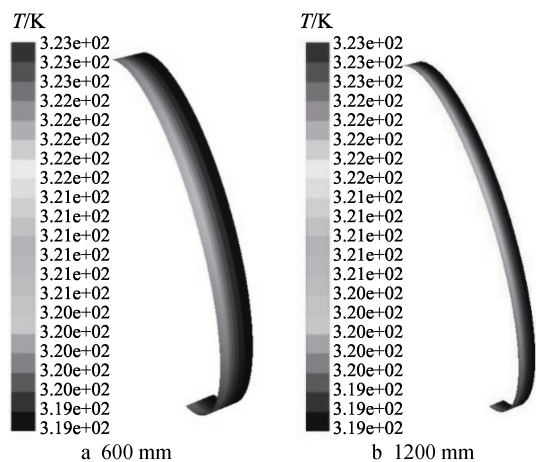


图8 不同尺寸设备的翅片温度分布

3 结果分析

3.1 翅片宽度

由图3可以看出, 随着翅片宽度的增加, 热沉的温度均匀性越来越差。翅片厚度恒定为 1 mm, 翅片宽度为 40、60、80、100 mm 时, 热沉翅片上的最大温差分别为 1.17、2.44、4.06、5.95 K。翅片宽度的选取对热沉的温度均匀性有很大影响。这是因为当横截面积一定时, 翅片的热阻与宽度成正比关系, 热阻

随宽度的增加而增加,传热恶化。由图4可知,翅片宽度越小,翅片表面的平均温度越接近导热液的温度,能量损失越小。随着翅片宽度的减小,对应的支管间距也会减小,由王龙龙等人^[6]对不同热沉主管、支管管径,以及不同支管间距时的热沉压力场流场的研究可知,当支管间距减小时,流场中的速度不均匀度会增大,不利于热沉温度稳定。因此,不能采取一味减小翅片宽度的方式来强化传热,取60~80 mm之间的翅片宽度比较合理。

3.2 翅片厚度

由图6可以看出,增加翅片厚度有利于强化热沉传热。翅片宽度恒定为60 mm,翅片厚度为1、1.5、2、2.5 mm时,翅片上的最大温差分别为2.44、1.70、1.32、1.09 K。翅片厚度由1 mm增加为1.5 mm时,温差减小幅度最大。当翅片厚度由2 mm增加为2.5 mm时,温差仅减小0.23 K。由图7可以看出,随着翅片厚度的增加,翅片表面上的平均温度也越来越接近导热液的温度,但趋势越来越小。增加翅片厚度可以强化传热,提高热沉的温度均匀性,但随着翅片厚度增加,热沉的质量会增加,成本也会上升,使得热沉制造费用昂贵。在设计热沉时,翅片厚度建议选择1.5~2 mm比较合适。

3.3 不同尺寸设备

由图8得出,相同翅片宽度、厚度时,直径为600 mm的热沉翅片上的最大温差为1.70 K,平均温度为319.77 K;直径为1200 mm的热沉翅片上的最大温差为1.77 K,平均温度为319.56 K。可以看出,在翅片取相同参数时,随着热沉尺寸的增加,翅片上的温度稍微有所下降。这是因为随着热沉尺寸的增加,支管的长度也会增加,热损失和压力损失会增加。在实际工程中,对尺寸较大的热沉,也会采取增大支管管径的方式来提高热沉温度均匀性。随着支管管径增大,支管间距也会增大,相应的翅片宽度会变大,但对任意大小的热沉都可以采用相对减小翅片宽度和增加翅片厚度的方式来提高热沉温度均匀性。

4 结论

影响热沉传热性能的因素有很多,除了翅片宽度

与厚度的影响外,主管、支管管径比,支管间距以及载冷剂流速等都会对热沉的温度分布产生影响,这些因素对热沉的影响可以参考文献[6]。在设计热沉时,如果选择的参数比较合理,不仅可以提高热沉的性能,而且可以减小能量损失和热沉制造成本。本次数值模拟结果表明,管板式热沉的翅片宽度和厚度对热沉的性能有很大的影响,减小翅片宽度,增加翅片厚度,可以强化翅片传热,合理地选择翅片的宽度和厚度可以很大程度地提高热沉的温度均匀性。根据本次的模拟优化结果,可以通过减小热沉翅片宽度或增加翅片厚度的方式来提高热沉的温度均匀性。在实际设计时,需结合实际经验以及热沉设计要求的温度均匀性和设备尺寸来选择相应的翅片宽度和厚度。文中的热沉翅片最优结果应取宽度为60 mm,厚度为2 mm。

参考文献:

- [1] 杨世铭, 陶文铨. 传热学[M]. 第4版. 北京: 高等教育出版社, 2006.
- [2] 于涛, 刘敏, 邹定忠. 航天器空间环境模拟器热沉热均匀性分析[J]. 中国空科学技术, 2006(6): 37-41.
- [3] WEBB R L, KIM N H. Principles of Enhanced Heat Transfer[J]. International Journal of Refrigeration, 2005, 18(8): 565.
- [4] DIPIRRO M, CANAVAN E, TUTTLE J, et al. Using In-situ Cryogenic Radiometersto Measure the Performance of a Large Thermal Vacuum Chamber[J]. Materials Science and Engineering, 2015, 101: 561-570.
- [5] 单巍巍, 丁文静, 刘敏, 等. 热沉结构设计中关键因素的仿真研究[J]. 航天器环境工程, 2009, 26(1): 63-66.
- [6] 王龙龙, 杨建斌, 刘玉魁, 等. 气氮热沉流场均匀性模拟研究[J]. 真空与低温, 2015, 21(3): 169-172.
- [7] 赵晶辉, 杨建斌, 刘伟成, 等. 板式热沉温度均匀性仿真研究[J]. 真空与低温, 2018, 24(5): 321-326.
- [8] 袁修干, 刘国青, 刘敏, 等. 大型液氮热沉中流动与传热均匀性数学模拟与分析[J]. 低温工程, 2008(2): 18-21.
- [9] 张磊, 刘敏, 刘波涛. 流速及进出液口形式对板式热沉换热性能影响[J]. 航天器环境工程, 2012, 29(5): 566-570.
- [10] 张磊, 刘然, 刘敏. 蜂窝流道热沉强化传热数值模拟[J]. 装备环境工程, 2013, 10(4): 121-125.
- [11] 李罡. 真空热环境试验新型不锈钢结构热沉加工工艺研究[J]. 航天器环境工程, 2011, 28(3): 246-250.