

文章编号:2095-0411(2016)03-0075-04

基于 ICEPAK 的热管冷板散热肋片的优化设计

李 健,林小平

(常州大学 机械工程学院,江苏 常州 213164)

摘要:为了有效解决电子设备的多热源、高热流散热问题,研制了基于某雷达电子元器件安装空间尺寸的热管冷板散热装置,利用 ICEPAK 仿真软件对其进行热仿真分析。通过仿真结果所示的温度云图,对所提出的热管冷板散热装置进行了 3 种优化设计,以此来更好地解决电子设备散热的核心问题,提高电子元器件的工作效率和寿命。同时,对这 3 种方案进行实验验证,结果表明:菱形截面肋片方案的散热性能和板面均温性良好,能较好地满足设计要求;ICEPAK 热仿真软件计算结果与实验验证结果相符合,在热设计阶段具有可行性。

关键词:ICEPAK;冷板;散热装置;优化设计

中图分类号:TN 305.94

文献标志码:A

doi:10.3969/j.issn.2095-0411.2016.03.015

Optimization Design on Radiating Rib of Heat Pipe-Cold Plate Based on ICEPAK

LI Jian, LIN Xiaoping

(School of Mechanical Engineering, Changzhou University, Changzhou 213164, China)

Abstract: To deal with multi-heat-source and high-heat-flux heat transfer problem of electronic equipment, a heat pipe cold plate equipment is developed, and an analysis of thermal simulation was made using the ICEPAK simulation software. In order to better solve the core problem of the heat radiation of electronic equipment, improve the work efficiency and the service life of electronic devices, 3 kinds of optimization design of the heat pipe cold plate equipment were carried out through the simulation results of temperature contour. At the same time, these three schemes are verified by experiments, the results showed that, the diamond cross section rib scheme has shown a good performance in heat radiation and board temperature uniformity, which can better meet the design requirements; the calculation results of thermal simulation software of ICEPAK can be consistent with the experimental results, and it is feasible in the thermal design stage.

Key words: ICEPAK; cold plate; radiating device; optimization design

随着电子技术的飞速发展,许多功能强大的电子元器件越来越多的应用于电子设备中,电子元器件的微型化已经成为当今电子设备发展的主流趋势。现在的电子元器件功率耗散密度在不断增大,而其

特征尺寸在不断减小,芯片的集成度、工作频率以及封装密度等都在提高,这些都将会使芯片的热流密度迅速升高^[1]。通过电子元器件的研究表明,由温度过高引起的电子设备的失效形式超过了 55%^[2],而

收稿日期:2015-05-21。

基金项目:江苏省产学研联合创新资金-前瞻性联合研究项目资助(BY2014037-24)。

作者简介:李健(1963—),男,江苏常州人,硕士,副教授,主要从事特种装备技术研究。

对于单个半导体器件,温度每升高 10°C ,其可靠性就会降低 50% ^[3-4]。因此,在热设计、结构设计和电气设计 3 个部分当中,热设计是最基础也是最重要的技术。目前,冷板技术已经广泛应用于电子设备的散热中^[5],对于强迫风冷散热装置,冷板翅片的选择尤为重要。而热仿真技术已成为电子设备散热系统研制的关键技术,它通过对散热系统热量传播方式的分析、温度分布和速度等的仿真计算,可以研究增强散热的有效措施并以此来指导结构热设计;尽可能减少不同形式的热阻,加快散热的速度,降低系统内部温升,提高散热设备的可靠性等^[6]。本文基于 ICEPAK 热仿真软件对冷板进行热设计,通过仿真结果来确定冷板风道散热翅片的形式。

1 建模与优化分析

某雷达电子设备冷却方式采用由 4 块相同的冷板组成的强迫风冷散热方式,冷板上有正反两面对称布置的 16 个功率芯片(热源),每个芯片的功率为 2.5W 。芯片位于密闭机箱中,冷板作为设备外壳一部分,材料为 6063 铝合金,其外形尺寸长 \times 宽 \times 高为 $400\text{mm}\times 15\text{mm}\times 60\text{mm}$ 。

外部空气通过风道将芯片产生的热量带走,考虑到铝型材冷板的导热效率有限,所以为了使热量能够更好的传到冷板两端的风道上,本次热设计在热源底下的冷板内部各埋进 8 根长 \times 宽 \times 高尺寸为 $188\text{mm}\times 12.1\text{mm}\times 1.2\text{mm}$ 的扁平热管,借助热管优良的导热性和良好的均温性,来增强散热^[7-8]。冷板初始散热装置如图 1 所示。

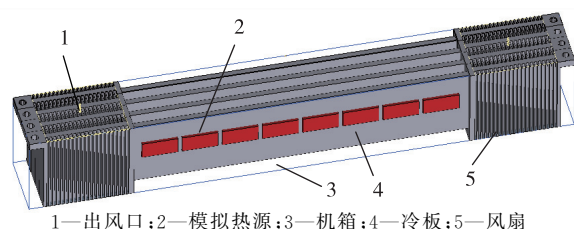


图 1 初始散热装置

Fig.1 The initial heat radiating device

设置边界条件:环境温度为 35°C ;计算模型为 zero equation;铝板材料采用的是与 6063 铝合金导热系数较接近的 Al-Extruded,表面材料设置为 Al-Polished plate-surface;在冷板底部装 2 个型号为 EBM 系列的 614JH 风机,其流量与压力的特性曲线如图 2 所示;在风机对应的顶部设置 2 个适合风道尺寸的 opening 作为出风口;设置热管的轴向导热系数为 $12\,000\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$,其他 2 个方向的导热

系数为 $60\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$;每个热源功率为 2.5W 。

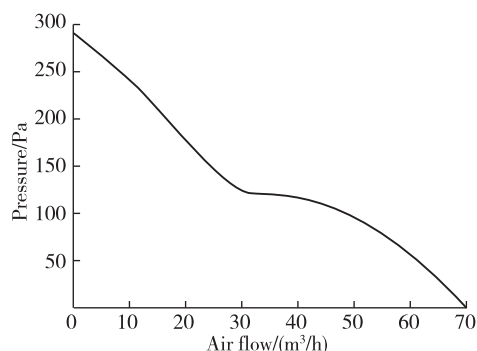


图 2 风机特性曲线

Fig.2 The characteristic curve of fan

对建立好的模型进行网格划分,网格参数的设置采用背景网格的细网格设置,X、Y、Z 3 个方向的最大尺寸分别为 $0.001\,35\text{m}$ 、 $0.001\,15\text{m}$ 和 $0.001\,05\text{m}$ 。网格划分结果如图 3 所示。

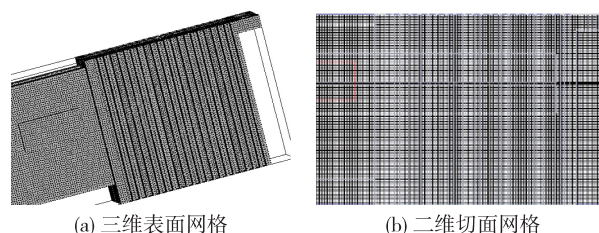
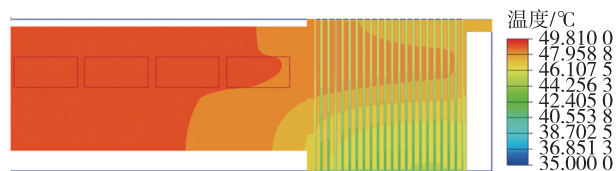


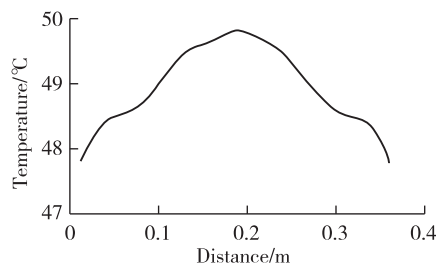
图 3 网格划分结果

Fig.3 The results of mesh generation

设置仿真迭代步数为 200 步,仿真结果如图 4 所示,其中(a)为冷板表面的温度云图(由于冷板表面温度云图基本对称,所以只截取右边一半的云图),图(b)为距离冷板顶部 25mm 处从左到右的温度变化过程。



(a) 表面温度云图



(b) 温度变化情况

图 4 原装置温度云图

Fig.4 Temperature contour of the original device

由图4可见,原始的散热装置在环境温度35℃的情况下通过ICEPAK仿真得到冷板最高温度为49.8℃左右(4块冷板的温度场基本一致,中间两块板的温度比旁边两块板高0.3℃左右),热源区域温差1.8℃左右,刚好能满足设备的使用要求(冷板表面温度 $\leq 50^\circ\text{C}$,热源区域温差小于 2°C)。为防止温度超出限制范围,所以还需对风道进行优化设计。风道的设计要综合考虑设备的结构要求、成本、风压、散热效率、加工工艺等条件^[9],这里采用改变肋片的型式来增强散热。冷板风道上增加了肋片后,不仅增加了与流体接触的表面积,同时减小了对流传热热阻,从而起到了调节冷板壁面温度的作用。在风道外形尺寸一定时,肋片间距越小则热阻越小,但间距过小会增大风阻,反而会影响散热^[10]。综合考虑上述原则,大致确定了阵列齿肋的最佳尺寸和间距。在保证齿肋表面积相差不超过10%的情况下,设计了正方形、菱形和圆形3种不同截面形状的齿肋,并进行了仿真分析对比。仿真的边界条件保持不变,网格划分的形式一样,计算步数依旧为200

步,仿真所得温度分布如图5所示。距离冷板顶部25mm处从左到右的温度变化过程如图6所示。

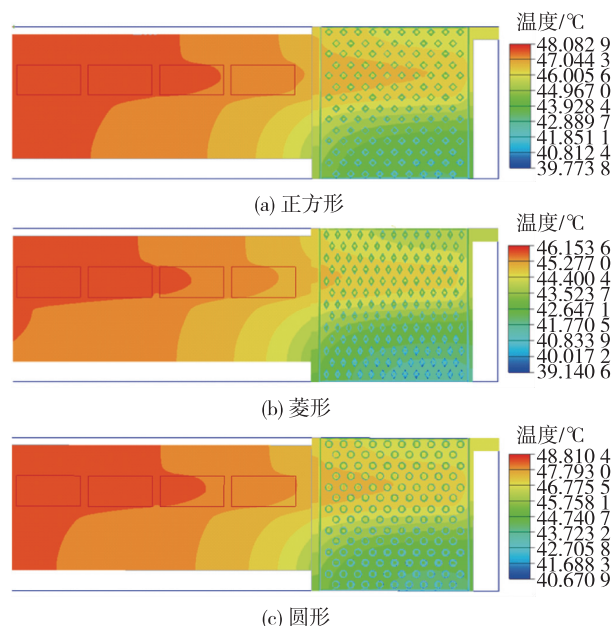


图5 温度云图

Fig.5 Temperature contour

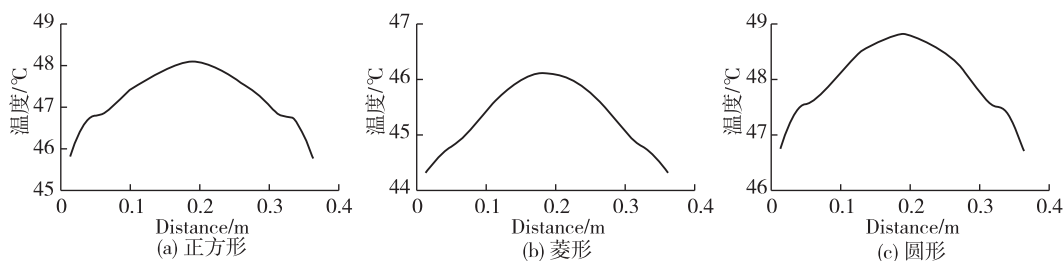


图6 不同形状冷板从左到右的温度变化

Fig.6 Variation of temperature from left to right on the different shape of cold plate

对上述结果进行分析对比,使用菱形截面的齿肋散热效果最好,最高温度46.15℃,在冷板中间区域,比正方形截面的翅片少了约1.9℃,比采用圆形翅片的最高温度少了2.7℃左右,比未进行优化前少了接近3.7℃。采用正方形截面肋片和圆形截面的肋片效果相差不超过1℃,这两种方案的优化效果比较有限。从温度变化曲线可以看出,在相同的温度变化区间里,菱形截面翅片方案的曲线要比其它方案平稳,由此可知,从温差方面来说,菱形翅片的散热效果比原方案和其他2种方案好。另外,采用3种截面的冷板热源区整体温差都不超过1.2℃,证明了热管配合一定型式的冷板散热翅片的使用具有非常好的均温性。3种优化方案的风道流场图如图7所示,正方形截面、菱形截面、圆形截面的最高流速分别为11.75、12.53、11.45m/s,由图

中流场可以看出菱形截面的平均流速比另外2个的平均流速大,对于给定的风机曲线,风压越大,流速越低,所以菱形翅片的风压最小。

2 试验分析

为了验证热管冷板在电子设备中应用的实际效果,对3种优化设计方案进行了热负载测试。实验装置包括3种热管冷板,数个发热电阻,1个稳压源,2个614JH的风机,采集模块和温度传感器(精度 0.15°C),台式电脑等。每种冷板装置均由4块冷板组成,结构形式与图1一样,并确保环境温度、风机等与仿真所设的边界条件一致,每块冷板的前后两个热源贴面中间各放一个热电偶,编号为1~8。通过热负载测试,取编号4的测试结果进行对比分析。如图8所示,菱形截面的温度曲线在 45.2°C 左右趋于稳

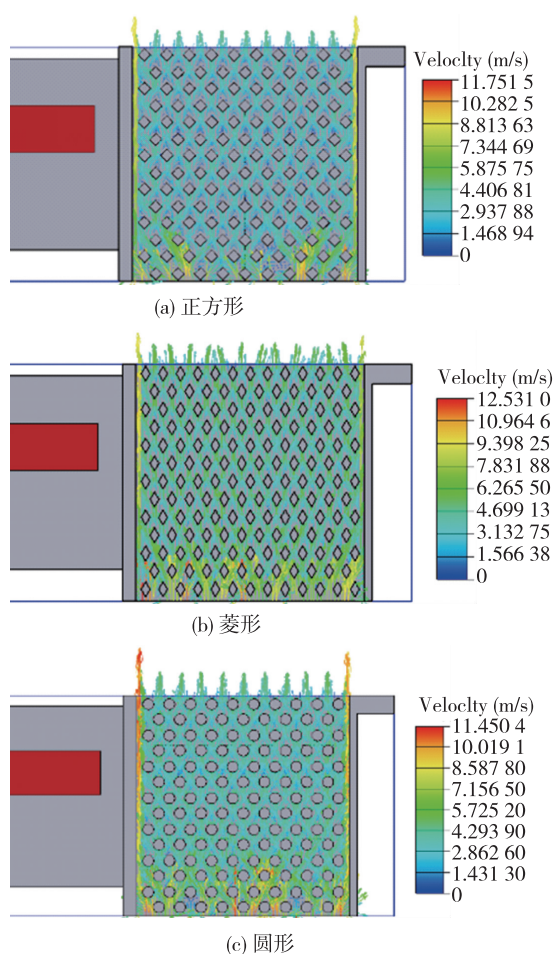


图 7 流场云图

Fig.7 Flow field contours

定,正方形截面和圆形截面的温度曲线分别在 47.1°C 、 47.8°C 趋于稳定。通过折线图可以看出,菱形截面的温度最快趋于稳定,即它的散热速率最快,圆形截面的散热速率最慢。由于测试点与最高温度点可能存在误差,环境温度有微小波动,还有热阻等方面的影响,仿真结果与测试结果存在一定差异,但对于 3 种方案之间的温度差异,仿真结果与测试结果相差不大,由此可确定 ICEPAK 热仿真的可靠性。

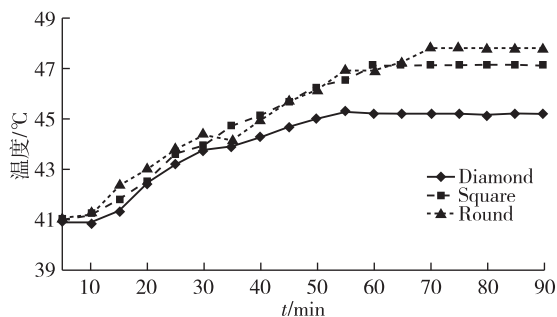


图 8 实验测试结果

Fig.8 The experimental test results

3 结 论

1) 通过使用 ICEPAK 软件对该雷达散热装置的原散热方式和改进后的 3 种散热形式进行了仿真计算,采用菱形截面的齿肋散热方式可以很好地解决雷达电子元器件的散热问题。

2) 采用翅片形式的风冷式冷板散热往往需要配合热管的使用,才能发挥它最大的散热作用。

3) 本散热装置在条件允许的情况下,可以通过选用其他型号的风机或者是把冷板材料改为铜等方法来进一步增强散热。

参考文献:

- [1] FENG Y, WANG Y. Study on copper cold plate designs for electronics liquid cooling system [C]// 2006 ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition. Chicago: ASME, 2006: 1-8.
- [2] 陈洁茹, 朱敏波, 齐颖. Icepak 在电子设备热设计中的应用[J]. 电子机械工程, 2005, 21(1): 14-16.
- [3] WU Y L, CHEN M Y, YANG K S, et al. A novel condensate-free refrigerated cold plate for electronic cooling [J]. HVAC & R Research, 2010, 16(1): 3-14.
- [4] 赵臣烜, 张钰, 张言安. 基于 ICEPAK 的散热器优化设计[J]. 制造业信息化, 2013(6): 124-126.
- [5] DAVID B S, DEVARAKONDA A. An experimental study of the thermal performance of heat pipe embedded cold plates for satellite electronic cooling [C]// 35th International Symposium on Microelectronics. Denver: NASA Glenn Research Center, 2002: 778-783.
- [6] 李玲娜, 蔺佳. 基于 ANSYS ICEPAK 的密闭机箱散热仿真分析[J]. 光电技术应用, 2012, 27(6): 75-79.
- [7] MA Z S, YAO S G. Experimental investigation of a novel heat pipe cold plate for electronics cooling [J]. 2009, 68(10): 861-865.
- [8] VENKATESWARLU P. Development of 2kW heat pipe based TWT cooling system [C]// 13th International Heat Pipe Conference. Hyderabad: Chaitanya Bharati Institute of Technology, 2004: 10-15.
- [9] ZHANG B S, PEI Y F, SUN H J, et al. Study on cold plate applied for multi-subassembly thermal vacuum test [J]. Spacecraft Environment Engineering, 2009, 26 (6): 519-522.
- [10] 李新. 应用 Icepak 软件对肋片散热器进行优化设计[J]. 煤矿机械, 2012, 33 (6): 49-50.

(责任编辑:李艳)