

doi: 10.11823/j.issn.1674-5795.2017.06.03

理论分析与仿真分析辅助散热结构设计的研究

魏元¹, 李凯¹, 丁楠², 吴璋², 王晓毅³

(1. 北京航天自动控制研究所, 北京 100854; 2. 中国运载火箭技术研究院, 北京 100076;
3. 北京强度环境研究所, 北京 100076)

摘要: 针对某单机对低质量、微小体积、高散热的结构设计需求, 应用理论分析与 Icepak 软件热仿真分析相结合的方式对散热结构设计进行辅助与指导, 实现低成本投入的单机生产。经实验验证得出本文设计的结构符合要求的结论。这种理论分析与热仿真计算相结合的方式可有效指导结构设计, 为今后的热设计提供了参考。

关键词: 散热设计; 结构设计; 理论计算; 热仿真

中图分类号: TB9

文献标识码: A

文章编号: 1674-5795(2017)06-0013-02

Research on Theory and Simulation Analysis Assisting the Structure Design of Heat Dissipation

WEI Yuan¹, LI Kai¹, DING Nan², WU Zhang², WANG Xiaoyi³

(1. Beijing Aerospace Automatic Control Institute, Beijing 100854, China;

2. China Academy of Launch Vehicle Technology, Beijing 100076, China;

3. Beijing Institute of Structure and Environment Engineering, Beijing 100076, China)

Abstract: This paper focusing on requesting low quality, small volume and high heat conduction of the instrument, applies theoretical analysing and thermal simulation calculation to support and guidance the structural design. This design method achieves the effective heat dissipation instrument of low costs, this instrument is reasonable because of the experimental verification. This design mode of combination of theoretical calculation and thermal analysis can guide the structural design, the mode provides the direction of thermal design of structural.

Key words: thermal design; structural design; theoretical calculation; thermal analysis

0 引言

随着热设计技术的日益发展和市场需要不断变化, 不仅要求散热结构向体积微型化方面发展, 而且用于散热设计的研发成本和材料成本也在逐渐压缩, 这就给热设计工程师提出了严峻的挑战, 在一些结构设计中已经开始应用 CAE 软件进行辅助设计^[1]。

控制系统中应用的散热方式主要依靠在结构设计时安装风扇加强散热, 以及在发热电子元件与结构壳体间涂抹导热硅脂进行散热^[2]。当元件发热量较大时, 主要依靠在结构中安装风扇进行加强散热, 这种方式虽然可靠, 但成本高, 且使整体结构庞大, 不适用于体积、间隙狭小的结构形式; 当散热量较小时, 在发热元件与结构壳体间涂抹导热硅胶^[3], 将元件散出的

部分热量传导至结构壳体上, 使得电子元件温度低于其允许的最高工作温度, 导热硅胶未凝固时, 流动性好、可塑性强, 可在狭小空间内使用, 但导热率较低, 不可在高散热要求结构中应用。在微小体积内进行高散热设计是近期热设计的一大挑战, 本文针对某结构要求低质量、微小体积、高散热的设计要求, 应用理论分析与软件分析相结合的方式, 采用成型绝缘导热橡胶垫贴壁散热形式, 实现低成本投入的有效散热设计, 并进行单机生产以及实验验证。

1 散热设计要求

单机外形是圆筒形结构, 尺寸必须满足 $\Phi 180\text{ mm} \times 120\text{ mm}$ 的要求, 散热元件安装在印制板上, 并将外径 $\Phi 156\text{ mm}$ 的印制板固定安装在圆筒形外壳内部, 安装形式不限; 整体质量要求控制在 $(2 \pm 0.2)\text{ kg}$, 且质量越轻越好。圆筒形外壳三维模型示意图如图 1 所示。需进行散热的元件的信息如表 1 所示, 要求在工作环境温度 50°C 下元件可以正常工作。

收稿日期: 2017-09-09; 修回日期: 2017-12-12

作者简介: 魏元(1982-), 女, 工程师, 硕士, 从事结构设计方面的研究工作。

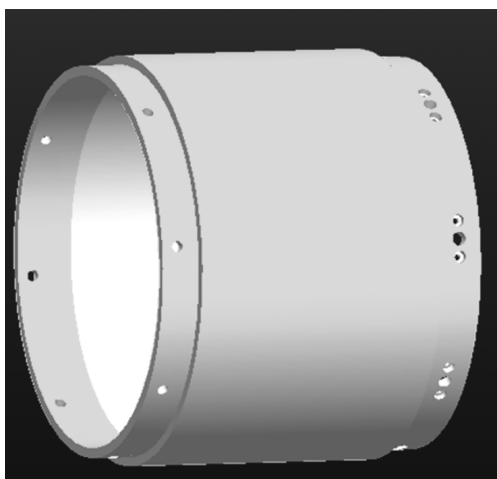


图 1 圆筒形壳体示意图

表 1 需要散热的工作元件信息表

元件名称	尺寸/mm	15 min 满载 需散热功率/W	15 min 半载 需散热功率/W
DSP 芯片	24.1×24.7×3.4	15	7.5
FPGA 芯片	27×27×2.34	5	2.5
电源模块	50.8×25.4×11.8	4.6	1.8
电源模块	58.4×36.8×12.7	7.5	3.27
电源模块	25.4×25.4×11.7	1.43	0.715
电源模块	25.4×25.4×11.7	1.43	0.715

注：75℃为芯片与电源模块工作最高温度值；70℃为安全工作温度，即芯片及电源模块温度不超过70℃即可正常工作。

1.1 结构设计思路

由于结构限制以及电路要求，不能安装风扇进行散热，且工作环境温度(50℃)较高，单靠热辐射进行散热效果不理想，因此选择热传递的方式进行散热，即将发热元件散发的热量以绝缘导热垫贴壁传导方式传导至壳壁上。

为兼顾整体结构质量最轻量化，选材、生产成本低廉化的原则，选取某牌号镁合金作为圆柱形框架材料。此镁合金材料为低密度材料中价格较为低廉且力学性能良好。印制板为圆形，必须安装在圆柱形框架内壁上，因此在圆柱形框架内部设计一法兰盘以固定安装印制板，考虑生产成本，此法兰盘需设计在圆筒框架一侧(此种设计方式的结构件生产成本较低)，三维模型示意如图2所示。图2中方形及矩形凸起为贴壁散热元件对应的散热传导处。由于印制板外形与尺寸限制，DSP芯片、FPGA芯片与电源模块需要排布在不同的印制板上，因此，不同印制板安装在法兰盘两侧。

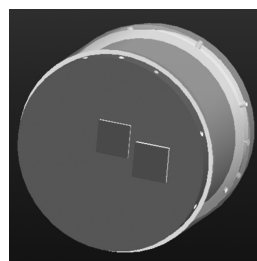
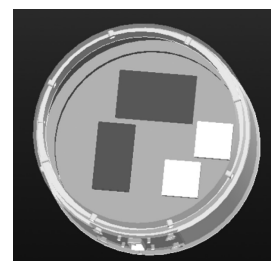
(a) FPGA与DSP印制板
侧壳体视觉模型(b) 电源模块印制板
侧壳体视觉模型

图 2 圆柱形外壳三维模型

1.2 散热体积预估

首先，应用公式与理论计算进行元件发热量的估算^[4]，再根据发热量的估算进行散热体积(圆柱形框架的有效吸收热量体积)的估值。

环境初始温度为50℃，壳体以及元件初始温度也为50℃。当元件开始工作，在不考虑热辐射与对流的状态下，元件单位时间内产生的热量，一部分使元件温度升高，另一部分传导到金属壳体上。缓慢升温过程中，元件温度与金属壳体温度保持一致，最高温度可升至75℃，之后不再上升，直至工作时间结束。此过程中，忽略使元件温度升高的热量，全部热量均传导到金属壳体上，计算出散热量^[5]。

选择价格适中的绝缘导热垫安装在元件与金属壳体之间，绝缘导热垫导热系数为6.5 W/(k·m)，某牌号镁合金导热系数105 W/(k·m)，根据发热量反推出镁合金金属壳体有效散热体积应为6 Wmm³。

1.3 结构设计形式

散热体积在6 Wmm³以上，设计壳体具体尺寸，外壳厚度为2.5 mm，起主导散热作用的法兰盘厚度为16 mm，根据印制板结构形式调整了需要散热元件的位置，调整因此凸起的导热壁位置，具体形式如图3所示。

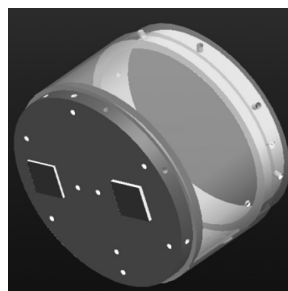
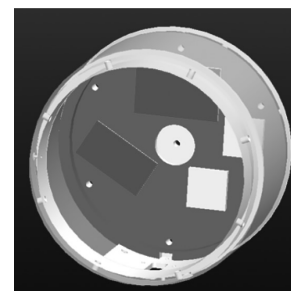
(a) FPGA与DSP印制板
侧壳体视觉模型(b) 电源模块印制板
侧壳体视觉模型

图 3 金属壳设计图

(下转第 19 页)

武汉：华中科技大学，2008.

[4] Mason B, Barton J, Fish G A, et al. Design of sampled grating DBR lasers with integrated semiconductor optical amplifiers [J]. IEEE Photonics Technology Letters, 2000, 12(7): 762-764.
[5] Larson M C, Akulova Y A, Coldren C W, et al. High perform-

ance widely-tunable SG-DBR lasers[J]. Proceedings of SPIE-The International Society for Optical Engineering, 2003, 4995: 66-80.
[6] 孙义斌. 用于光纤解调仪表的 SOA 扫描光源研究[J]. 计测技术, 2016(s1): 5-9.

(上接第 14 页)

2 仿真分析

仿真分析的边界条件：舱体内外恒温 60℃；壳体舱壁厚为 2.5 mm，外壁直径为 180 mm；法兰盘厚度 16 mm，直径 176 mm；法兰盘与壳体一体成型。

某牌号导热绝缘垫片：压缩后 1.4 mm，导热系数 6.5 W/(k·m)；某牌号镁合金导热系数 105 W/(k·m)；加载顺序：先 15 min 满载，后 15 min 半载。

应用 Icepak 软件进行分析，可知在 150 s 时已经达到热平衡，热平衡过程如图 4 所示；热平衡后印制板温度云图如图 5 所示，分析得出电子元件最高温度在 63℃ 附近。依据要求元件工作最高允许温度为 75℃，并预留热冗余 5%，即元件工作温度不超过 70℃ 时，可维持元件正常工作，软件分析最高温度不超过 65℃，理论分析证明此种结构设计符合要求。

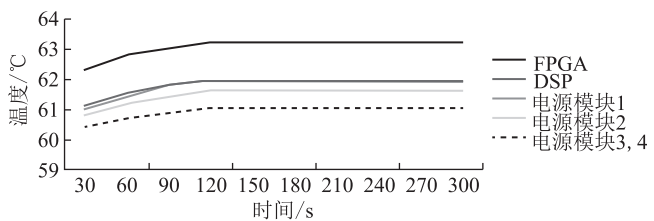
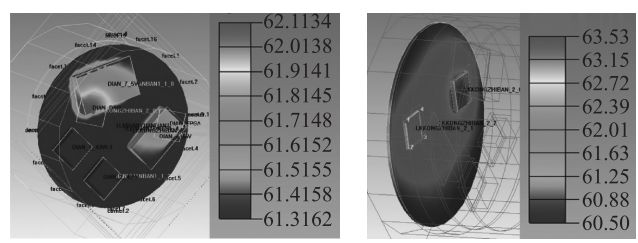


图 4 系统达到热传导平衡时间示意图



(a) 电源模块印制板温度云图 (b) FPGA与DSP印制板温度云图

图 5 印制板热平衡后温度分布云图

3 实验验证

50℃ 工作环境下，实测工作元器件升温后的温度是否在 70℃ 以下，进行 10 次试验，结果如表 2 所示。

表 2 中的 10 次测试结果表明：在工作温度环境

下，元器件的最高温度均在允许工作温度以下，进而说明此设计是满足要求的。

表 2 元器件热试验结果表

试验次序	热测试结果/℃
第一次试验	65.0
第二次试验	66.0
第三次试验	64.5
第四次试验	65.8
第五次试验	66.2
第六次试验	65.8
第七次试验	66.0
第八次试验	67.4
第九次试验	66.2
第十次试验	67.2

4 总结

应用本文结构设计方案的单机通过了试验验证，证明热结构设计合理且具有可行性。在传统设计思路的基础上，预先应用理论计算与仿真分析相结合的方式对结构设计进行指导，在满足设计要求，同时考虑降低成本的前提下，应用价格低廉的材料以及加工工艺进行生产。成功解决了如何降低研发成本与材料成本的难题。此种理论计算与仿真计算相结合的设计思路为将来的散热结构设计提供了参考及指导。

参考文献

[1] 梁斌，方伟，田静，等. 电子设备结构优化设计支撑软件技术[J]. 电子技术, 2007, 47(2): 189-193.
[2] 崔巍，祝渊，袁轩一，等. 高导热高绝缘导热硅脂的制备及性能表征[J]. 稀有金属材料与工程, 2011, 40(S1): 443-446.
[3] 何锡源，张旭，张福甲. 封装用高热导率硅胶性能的研究[J]. 光电子技术, 2011, 31(2): 141-144.
[4] 电子工业部第十四研究所. 电子设备冷却设计手册[M]. 南京：电子工业部第十四研究所，1984.
[5] 张永存，乔赫廷. 关于最优导热结构设计的数学模型探讨[C]//CSMO-2009 论文集. 大连，2009: 582-592.