

基于石墨板的电子设备大功率器件散热方法研究*

崔冠宇, 王 宇, 郭 益, 薛小龙, 王雁翔
(北京遥测技术研究所 北京 100076)

摘要: 针对宇航电子设备大功率器件的散热路径进行了分析。对顶部散热的器件采用高导热石墨板、精确控制导热垫压缩量、增加导热路径等方式进行散热, 对腹部散热的器件采用覆铜通孔等方式进行散热, 并结合热仿真和温循试验, 有效解决了大功率器件散热问题。

关键词: 大功率器件; 石墨板; 热仿真

中图分类号: TB131 文献标识码: A 文章编号: CN11-1780(2021)04-0010-06

DOI: 10.12347/j.ycyk.20201224001

引用格式: 崔冠宇, 王宇, 郭益, 等. 基于石墨板的电子设备大功率器件散热方法研究[J/OL]. 遥测遥控, 2021, 42(4): 89-94[20XX-XX-XX]. <http://ycyk.brit.com.cn/ycyk/article/abstract/20201224001>.

Research on heat dissipation method of high power components in electronic equipment based on graphite sheet

CUI Guanyu, WANG Yu, GUO Yi, XUE Xiaolong, WANG Yanxiang
(Beijing Research Institute of Telemetry, Beijing 100076, China)

Abstract: This paper analyzes the heat dissipation path of the high power components in aerospace electronic equipment. High thermal conductivity graphite sheet, accurately control of heat conduction pad compression and increase of heat conduction path are used for component which heat dissipation through the top. Covering the vias with copper are used for component which heat dissipates through the bottom. Combined with thermal simulation and temperature cycle test, the heat dissipation problem of high power component is effectively solved.

Key words: High power component; Graphite sheet; Thermal simulation

DOI: 10.12347/j.ycyk.20201224001

Citation: CUI Guanyu, WANG Yu, GUO Yi, et al. Research on heat dissipation method of high power components in electronic equipment based on graphite sheet[J/OL]. Journal of Telemetry, Tracking and Command, 2021, 42(4): 89-94 [20XX-XX-XX]. <http://ycyk.brit.com.cn/ycyk/article/abstract/20201224001>.

引 言

随着宇航电子设备小型化的发展, 性能强、功率高、体积小元器件越来越广泛地被应用于宇航电子设备上, 如何对大功率器件进行合理有效地散热, 确保元器件使用的安全性是必须面对的问题。当前, 针对电子设备的散热手段有风冷强制对流^[1], 有通过脉动热管和平板热管进行快速热传导^[2], 有通过合理布局印制板器件来防止热量集中等^[3]。但对于大多数宇航电子设备, 在真空环境中不能应用风冷强制对流方法, 且宇航设备小型化的设计没有放置热管的空间, 印制板面积小无法保证多个大功率器件远距离放置, 只能在传导散热上通过优化设计等方式来确保大功率器件正常工作。本文分别对顶部散热和腹部散热的大功率器件的散热方式进行分析, 采取相应的散热措施, 保证了元器件的有效散热。

1 大功率器件通过顶部散热

如图 1 所示, 设备整机是模块化结构, 由模块 A、模块 B、模块 C、模块 M 组成, 各模块垒叠用连接螺钉固定组成整机。设备里功耗较大的是模块 M, 模块 M 里元器件可以采用图 2 所示的盖板散热方

*基金项目: 国家自然科学基金重大仪器研制项目高速目标等离子体电磁信号多维度特征测量及通信技术研究(6162790108)
收稿日期: 2020-12-24 收修改稿日期: 2021-01-31

式, 采用元器件—导热垫—盖板凸台—盖板—框架的散热路径进行散热。

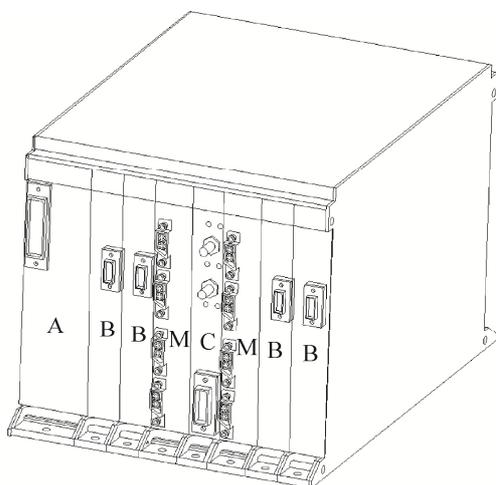


图 1 设备整机示意图

Fig. 1 Diagram of the machine

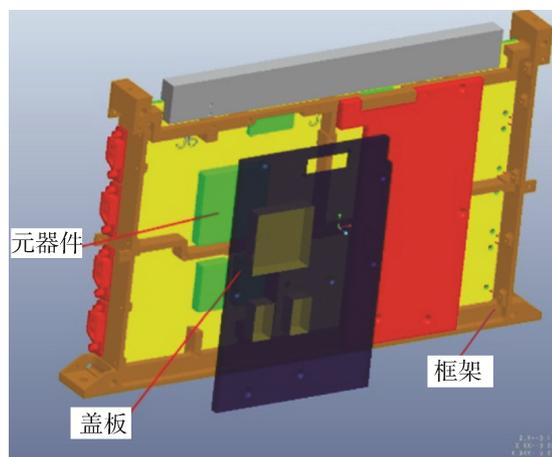


图 2 盖板散热示意图

Fig. 2 Heat conduction of graphite sheet

模块 M 由框架、印制板和散热盖板组成。在散热盖板上与大功率器件对应位置设有凸台, 在凸台和器件间垫有导热垫。印制板上大功率器件的热量经由导热垫导至散热盖板, 再由散热盖板导至框架, 最后由框架底面导至冷板。在上述散热路径中, 需要优化的包括以下几个方面: 加快热量在散热盖板间的传导、增加散热盖板与框架之间的接触面积、减小元器件和散热盖板凸台之间的热阻、合理控制导热垫压缩量。

1.1 加快热量在散热盖板间的传导

为了加快热量在散热盖板间的传导, 需要采用热导率高的材料制作散热盖板。一般采用铝材作为散热盖板, 但对于功率大的设备, 铝盖板散热能力很难满足需求。经过调研, 某研究所生产的石墨碳板 T 结构强度和散热能力满足要求。石墨碳板 T 是一种轻质、高效、长寿命的高导热材料, 其热导率约为铝合金的 3 倍, 而密度是铝合金的 $2/3$ 。其导热系数为: 平面方向导热系数 $\geq 600 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 、厚度方向导热系数 $\geq 60 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 。实物如图 3 所示。

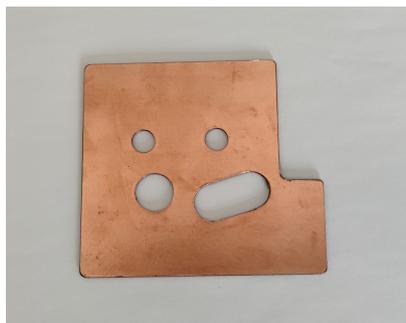


图 3 石墨碳板 T

Fig. 3 Graphite sheet T

1.2 增加散热盖板与框架之间的接触面积

热量从散热盖板快速传导到结构框架可以通过增加接触面积的方法解决^[4], 如图 4 所示, 在框架底部设计 10 mm 高的散热筋, 与散热盖板接触, 提高了热量传递能力。

1.3 减小元器件与散热盖板凸台之间的热阻

为减小热阻, 散热盖板凸台与元器件之间的导热垫要求导热系数高。在元器件功耗不高时, 一般选择柔性导热垫 A, 导热系数为 $1.5 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 。在元器件功耗高时, 需要采用导热系数更高的导热垫。经

过调研, 导热垫 B 满足要求, 导热系数为 $3 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$, 导热能力增加了一倍, 可以垫在大功率器件和散热盖板之间。

1.4 合理控制导热垫压缩量

单个大功率器件的高度本身存在公差。若公差为较大的正公差, 导热垫会受到较大的器件压力, 这会导致导热垫压溃; 若公差为较大的负公差, 大功率器件和导热垫会接触不好, 器件的热量无法传导到散热盖板。因此, 若导热垫的压缩量满足要求, 需要测量大功率器件焊接后的实际高度, 再根据器件高度配合加工散热盖板凸台。

模块 M 中安装的印制板上的器件布局见图 5, 其中, D1、D2、D23、D29、D30、D31、D32 为大功率器件, 需要通过散热盖板的凸台散热。

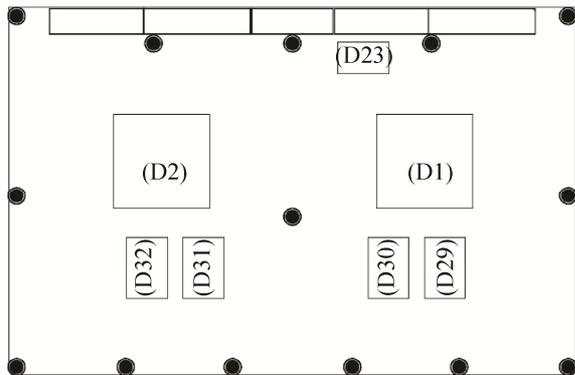


图 5 印制板上的器件布局

Fig. 5 Layout of components on PCB

采用非接触测量法测量 7 个大功率器件的高度。为保证测量精度, 每个器件取左上、左下、右上、右下 4 处测量 4 次, 取平均值作为器件高度值。测量结果见表 1。

大功率器件的高度测量结束后, 需要根据器件高度来配合加工散热盖板上的凸台。散热盖板凸台示意图见图 6。

2 大功率器件通过腹部散热

对于某些通过腹部焊盘散热的大功率器件, 采用散热盖板无法将热量散出, 只能通过腹部传导的方式将热量散出, 散热方式见图 7。

如图 7 所示, 印制板的上表面与大功率器件的底部通过腹部焊盘焊接, 印制板的下表面与框架连接。印制板的上表面与大功率器件连接部位涂覆有铜层, 且开有若干个通孔, 通孔内表面也涂覆有铜层, 通孔的个数为 20~30 个。通过覆铜的通孔, 热量由大功率器件的腹部传导到框架。

3 热仿真分析

在做温度试验前, 通过热仿真分析, 可以早发现存在的问题, 提早解决^[5]。下面通过热仿真分析, 比较使用石墨碳板与否对大功率器件散热的影响。模块 M 大功率器件的参数见表 2, 环境温度为 50°C 。

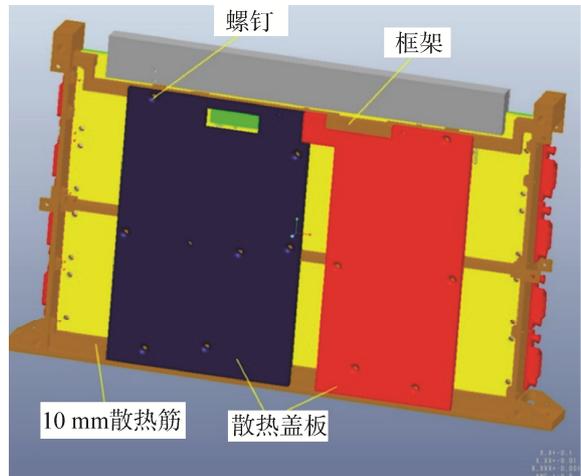


图 4 增加接触面积示意图

Fig. 4 Diagram of increasing contact area

表 1 器件焊后高度测量结果
Table 1 Measurement results of components weld height

器件	H1/mm	H2/mm	H3/mm	H4/mm
D1	6.760 8	6.774 6	6.823 2	6.766 6
D2	6.727 1	6.740 4	6.772 5	6.788 9
D23	3.929 4	3.945 3	3.937 3	3.939 2
D29	1.983 2	1.970 6	1.891 5	1.911 4
D30	1.938 7	1.913 4	1.947	1.961 1
D31	1.921 1	1.950 8	1.873	1.889 1
D32	1.943 5	1.977 1	1.910 1	1.961 3

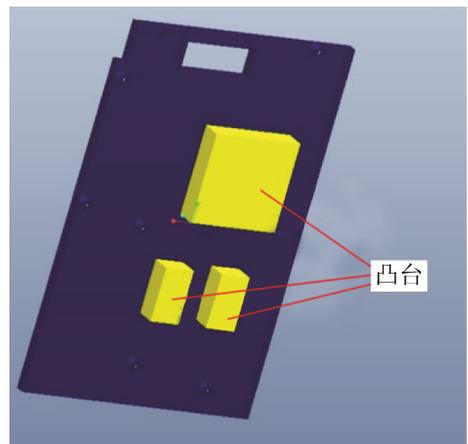


图 6 石墨盖板凸台示意图

Fig. 6 Diagram of graphite sheet boss

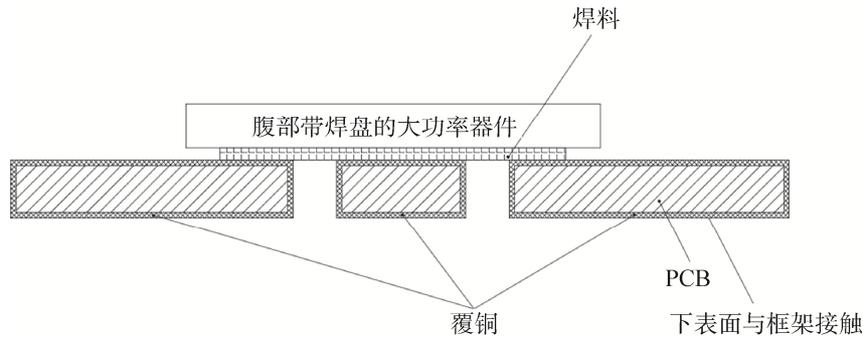


图 7 腹部带焊盘的器件散热方式

Fig. 7 Heat dissipation mode of components with pad in abdomen

表 2 大功率元器件参数

Table 2 Parameters of high power components

序号	元器件编号	本体尺寸	热阻/($^{\circ}\text{C}/\text{W}$)	热耗
1	D1	45 mm×45 mm	结壳: 0.1	9 W
2	D2	45 mm×45 mm	结壳: 0.1	7 W
3	D29~D32	29 mm×19 mm	结壳: 6	1.5 W/片
4	D23	24 mm×15 mm	结壳: 8	1.0 W

热仿真分析模型如图 8、图 9 所示。

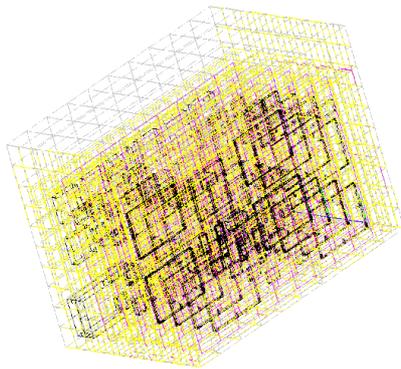


图 8 整机热分析模型

Fig. 8 Thermal analysis model of the whole machine

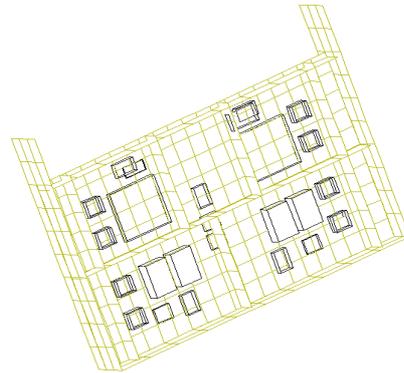


图 9 模块 M 热分析模型

Fig. 9 Thermal analysis model of module M

仿真不加石墨散热盖板, 只有腹部散热的热仿真分析结果如图 10、图 11 所示。

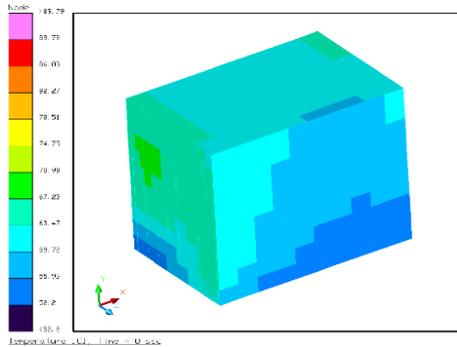


图 10 整机温度云图

Fig. 10 Temperature nephogram of the whole machine

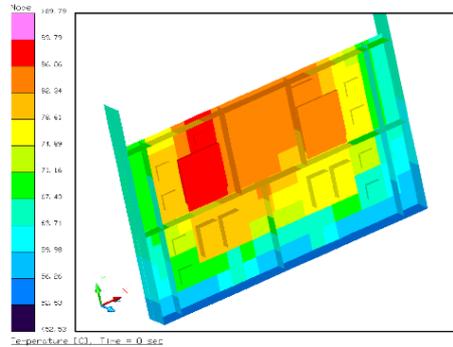


图 11 模块 M 温度云图

Fig. 11 Temperature nephogram of module M

仿真既有石墨散热盖板, 又有腹部散热的热仿真分析结果如图 12、图 13 所示。

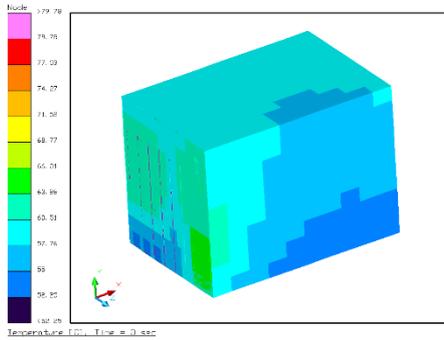


图 12 整机温度云图

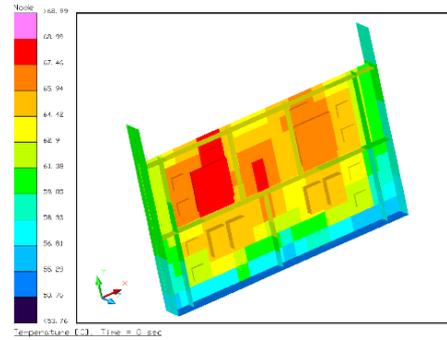


图 13 模块 M 温度云图

Fig. 12 Temperature nephogram of the whole machine
仿真分析结果见表 3。

Fig. 13 Temperature nephogram of module M

表 3 热仿真分析器件壳温对比

Table 3 Comparison of shell temperature after thermal simulation

模块	元器件	原设计时器件最高温度/°C	加石墨散热盖板后器件最高温度/°C	结温要求/°C
模块 M	D1、D2	91.6	72.5	≤85
	D29~D32	94.3	72.1	≤85
	D23	94.1	71.9	≤85

通过热仿真分析，基本确定了所采取措施的可行性，之后再通过热试验来最终验证。

4 试验验证

根据设备安装方式，制作了热控小舱，以模拟单机的边界。热控小舱在试验过程中作为定温边界，控温范围为-40°C~+80°C，控温精度为±0.5°C。真空罐内真空度要求优于 1.3×10^{-3} Pa，模拟在轨的真空环境。

在模块 M 里大功率的元器件上粘贴热电偶，热电偶均贴在元器件表面，用于在试验中详细监测温度场，通过温度采集与控制系统实时获取热电偶部位温度，即器件壳温。测温热电偶粘贴时应避开安装孔，热试验方案示意图如图 14 所示。

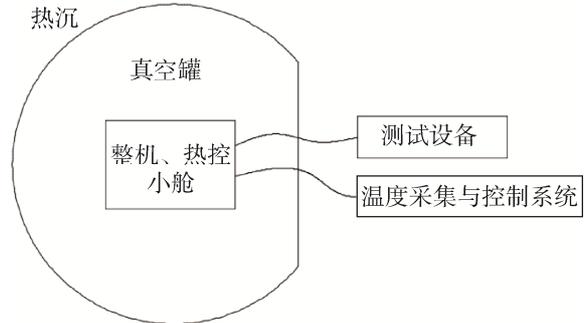


图 14 热试验方案示意图

Fig. 14 Diagram of thermal test

根据测得的器件壳温计算器件结温，器件结温=器件壳温+器件热耗×结壳热阻，结果详见表 4。

表 4 热试验测温结果

Table 4 Temperature measurement results after thermal test

热电偶	位置	结壳热阻/(°C/W)	热耗/W	器件壳温/°C	器件结温/°C	温度要求/°C	指标满足情况
T14-1	D1	0.1	9	71.8	72.7	≤85	满足
T15-1	D2	0.1	7	71.7	72.4	≤85	满足
T16	D29	6	1.5	73.4	82.4	≤85	满足
T17	D30	6	1.5	73.7	82.7	≤85	满足
T18	D31	6	1.5	73.7	82.7	≤85	满足
T19	D32	6	1.5	73.1	82.1	≤85	满足
T21	D23	8	1	73.1	81.1	≤85	满足

大功率器件结温都小于降额温度 85°C，采用石墨散热盖板和腹部散热来传导热量以满足要求。

5 结束语

通过热仿真分析和试验验证，采用石墨板和腹部覆铜通孔等方式，可以将大功率器件 D1、D2 的最

高壳温由 91.6℃ 分别降低到 71.8℃、71.7℃, 大功率器件 D29~D32 的最高壳温由 94.3℃ 分别降低到 73.4℃、73.7℃、73.7℃、73.1℃, 大功率器件 D23 的最高温度由 94.1℃ 降低到 73.1℃, 器件结温均小于降额温度 85℃, 热量顺利导出。元器件满足结温低于 85℃ 的使用要求, 措施有效。

参考文献

- [1] 鲍桐, 张忠政, 张志同. 一种强迫风冷盘式换热器设计研究[J]. 低温与超导, 2020, 48(6): 84–86.
BAO Tong, ZHANG Zhongzheng, ZHANG Zhitong. Design of a forced air cooled plate heat exchanger[J]. Cryogenics & Superconductivity, 2020, 48(6): 84–86.
- [2] 魏智康, 侯燕, 段彦军, 等. 两种微型热管传热性能对比研究[J]. 半导体光电, 2020(6): 860–864.
WEI Zhikang, HOU Yan, DUAN Yanjun, et al. Comparative study on the heat transfer performance of two types of micro heat pipes[J]. Semiconductor Optoelectronics, 2020(6): 860–864.
- [3] 管美章. 印制电路板的热设计及其实施[J]. 印制电路信息, 2008(4): 27–30.
GUAN Meizhang. Thermal design of PCB and its realization[J]. Printed Circuit Information, 2008(4): 27–30.
- [4] 张剑冰. 应用于大功率器件的散热装置设计[J]. 机电工程技术, 2020, 49(8): 219–221.
ZHANG Jianbing. The design of heat dissipation device applied to high power device[J]. Mechanical & Electrical Engineering Technology, 2020, 49(8): 219–221.
- [5] 刘志敏, 张洁, 郭佳. 功率模块散热系统分析与仿真验证[J]. 现代工业经济和信息化, 2020(6): 157–160.
LIU Zhimin, ZHANG Jie, GUO Jia. Power module cooling system analysis and simulation verification[J]. Modern Industrial Economy and Informationization, 2020(6): 157–160.

[作者简介]

- 崔冠宇 1981 年生, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为空用电子测控设备研制。
王 宇 1989 年生, 硕士, 工程师, 主要研究方向为空用电子测控设备研制。
郭 益 1986 年生, 硕士, 工程师, 主要研究方向为空用电子测控设备研制。
薛小龙 1985 年生, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为空用电子测控设备研制。
王雁翔 1983 年生, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为超宽带功放与信道设备研制。

(本文编辑: 潘三英)