

# 发控盒散热设计的热仿真及热测试分析

许连虎, 杨科

(中国空空导弹研究院, 河南 洛阳 471099)

**摘要:** **目的** 对某发射装置发控盒进行散热设计和热分析。**方法** 基于热仿真软件FLOTHERM建立热仿真模型,对该设备进行热仿真分析,以得到该设备内部温度分布云图及温升明显元器件的温度值,然后对该设备进行热测试。**结果** 热仿真和热测试结果表明,发控盒内存在发热大、温升较高的元器件,但所有元器件温度均在允许的正常工作温度范围内。**结论** 通过热分析可知,该设备的热设计基本满足要求,并为结构设计的优化提供了依据。

**关键词:** 电子元器件; 电子设备; 热设计; 热仿真; 热分析

**DOI:** 10.7643/issn.1672-9242.2015.01.019

**中图分类号:** TJ02; TN06 **文献标识码:** A

**文章编号:** 1672-9242(2015)01-0097-05

## Thermal Simulation and Thermal Test Analysis of Heat Radiation Design for Control Box

XU Lian-hu, YANG Ke

(AVIC China Airborne Missile Academy, Luoyang 471099, China)

**ABSTRACT: Objective** To conduct heat radiation design and thermal analysis for the control box of an emitting device. **Methods** In order to obtain the temperature contours inside the box and the temperature values of the components with obvious temperature increase, the thermal simulation model of the box was built on the basis of the thermal simulation software FLOTHERM, and then thermal test was carried out for this device. **Results** Thermal simulation and thermal test results indicated that there were components with high heat radiation and temperature increase inside the emitting control box, but the temperatures of all components were within the allowable normal operating temperature range. **Conclusion** Thermal analysis indicated that the thermal design of the device basically fulfilled the requirements, which also provides reference for the optimization of structure design.

**KEY WORDS:** electronic components; electronic equipment; thermal analysis; thermal design; thermal test

电子设备工作时,元器件和设备的输出功率往往只占输入功率的一部分,其功率损失一般都以热能形式散发出去,因而元器件和设备会发热。随着

电子元器件及电子设备功率密度的不断增加,温度已成为影响其可靠性的主要因素之一<sup>[1-2]</sup>。

随着温度的升高,电子元器件及电子设备的失

收稿日期: 2014-09-03; 修订日期: 2014-10-27

Received: 2014-09-03; Revised: 2014-10-27

作者简介: 许连虎(1980—),男,河南人,博士,工程师,主要研究方向为电子产品可靠性设计、热设计与热分析。

**Biography:** XU Lian-hu (1980—), Male, from Henan, Ph.D., Engineer, Research focus: electronic product reliability design, thermal design and thermal analysis.

效率呈指数增长趋势<sup>[2]</sup>,一般地,环境温度每升高10℃,失效率增大1倍以上,因此称为10℃法则<sup>[2-3]</sup>。据统计,超过55%的电子设备的失效是由温度过高引起的<sup>[3-7]</sup>,也即,电子设备的主要失效形式是热失效。

为保证设备的热可靠性,散热设计和热分析已势在必行。实际工作中,合理利用热分析软件进行热设计,可提高产品一次成功率,从而缩短研制周期,降低成本<sup>[2]</sup>。某型发射装置的发控盒所处工作环境恶劣,对其热设计进行仿真和试验验证是有必要的。文中对该发控盒进行包括热设计计算、热仿真、热测试在内的热分析,以确定元器件温度是否在允许的正常工作温度范围内,判断其散热设计是否满足要求。

### 1 发控盒热设计

发控盒安装于发射装置内部,受空间和环境的限制,且要考虑三防设计和电磁兼容设计,因此,发控盒采用密封结构,产品结构组成如图1所示。

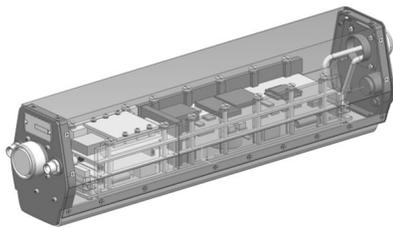


图1 发控盒CAD数字样机

Fig.1 CAD digital model of emitting control box

为减轻发控盒整体质量,并提高热传导性能,发控盒结构件材料为铝合金2A12;电路板材料为FR4,覆铜率10%;关键元器件的材料和功耗见表1。

发控盒的使用环境温度为-55~70℃。对于冷却方法的选择,计算分析如下。

由表1可知,发控盒总功耗为 $Q_T=4.15\text{ W}$ 。发控盒热稳态下散热表面的热流密度按式(1)进行计算:

$$\varphi = \frac{Q_T}{A} \tag{1}$$

式中: $A$ 为发控盒散热总面积,经计算 $A=1926.8\text{ cm}^2$ 。则 $\varphi = 0.2 \times 10^{-2}\text{ W/cm}^2$ 。

发控盒的最高环境温度为70℃,考虑到其内部模块、元器件的耐高温性能(105~125℃),其内部温升应控制在25~35℃范围之内。电子设备自然冷却

表1 元器件属性

Table 1 Component properties

位号	名称	材料种类	功耗/W	最高允许工作温度/℃
1N1	DC/DC模块	陶瓷	2.1	105
1T1	隔离变压器	陶瓷	0.05	105
1D1	AD采样芯片	陶瓷	0.03	125
1D2	DSP芯片	陶瓷	0.08	125
1D3	CPLD芯片	陶瓷	0.06	125
1D4	接收器	塑料	0.05	105
1D5	总线驱动器	Kovar(科瓦铁镍钴合金)	0.08	125
2TL2	光电耦合器	Kovar	0.05	125
2N1	运放	Kovar	0.25	125
3N3	DC/DC模块	Kovar	1.4	105

散热达到热稳态条件下,内部温升不超过25~35℃时,空气自然冷却散热的热流密度阈值一般在 $0.3 \times 10^{-2} \sim 4.2 \times 10^{-2}\text{ W/cm}^2$ 。根据设备的允许温升和热流密度冷却方法选择图<sup>[11-12]</sup>,由计算结果可知,发控盒热稳态下的热流密度小于自然冷却散热的阈值,发控盒内部温升应小于25℃,则模块、器件的工作温度小于95℃,发控盒自然冷却散热完全可以满足散热要求。

### 2 热仿真分析

文中基于电子设备热仿真软件FLOTHERM对发控盒进行建模和仿真分析。FLOTHERM基于计算流体动力学(CFD)理论,采用MonteCarlo法,用于解决三维流场及基于面积细分高精度的辐射计算问题。FLOTHERM采用的是有限体积法<sup>[8-10]</sup>。

结合产品CAD结构图,并根据热设计信息建立产品CFD数字样机,如图2所示。

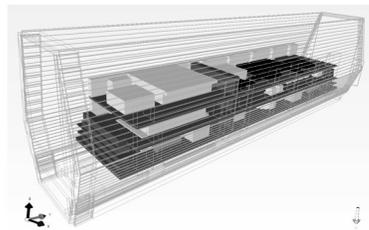


图2 发控盒CFD数字样机

Fig.2 CFD digital model of test product

受试产品在平台环境25℃条件下,整机温度分布如图3所示。

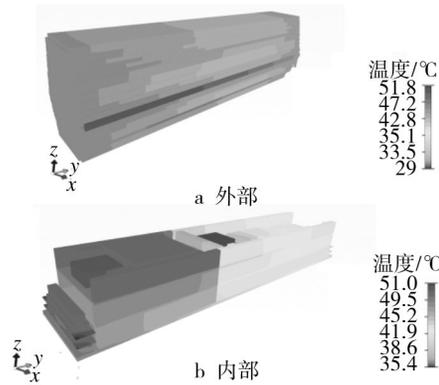


图3 整机温度分布

Fig.3 The global temperature distribution

含有高温器件的电路板温度分布如图4所示。

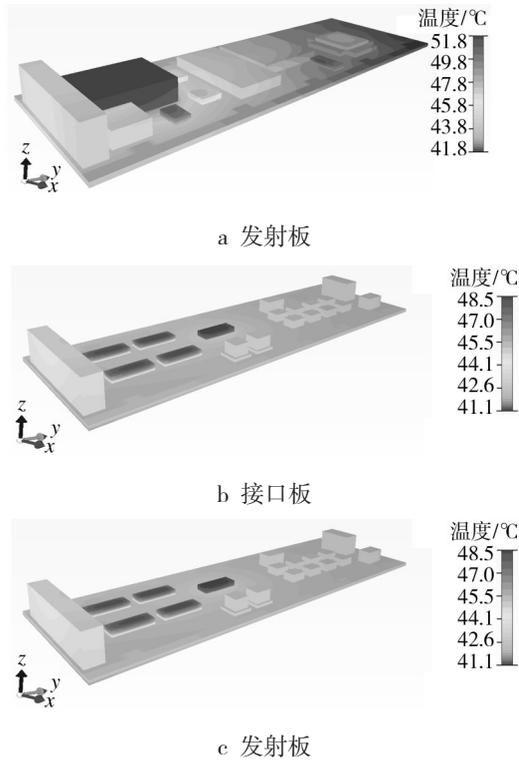


图6 各电路板温度分布(环境温度:25 °C)

Fig.6 The circuit board temperature distribution (ambient temperature:25 °C)

微机板温度分布如图4a所示,其高温器件的温度见表2。2)接口板温度分布如图4b所示,其高温器件的温度见表3。发射板温度分布如图4c所示,其高温器件的温度见表4。

### 3 热测试

根据热仿真模型和结果,对温升明显的元器件

表2 微机板中的高温器件

Table 2 High-temperature components of the computer board

器件位号	壳温/°C	温升/°C
1N1	51.7	26.7
1T1	45.5	20.5
1D1	46.5	21.5
1D2	42.7	17.7
1D3	42.9	17.9
1D4	47.5	22.5
1D5	49.7	24.7

表3 接口板中的高温器件(环境温度:25 °C)

Table 3 High-temperature components of the interface board

器件位号	壳温/°C	温升/°C
2TL2	48.1	23.1
2N1	48.5	23.5

表4 发射板中的高温器件(环境温度:25 °C)

Table 4 High-temperature components of the emitting board

器件位号	壳温/°C	温升/°C
3N3	44.7	19.7

设置温度监测点,环境温度25 °C稳态热测试结果见表5。

表5 元器件热测试结果(环境温度:25 °C)

Table 5 Thermal Test Results of the Components

器件位号	测试结果/°C	温升/°C
1N1	54.4	29.4
1T1	44.2	19.2
1D1	47.4	22.4
1D2	41.9	16.9
1D3	41.2	16.2
1D4	48.7	23.7
1D5	51	26
2TL2	49.9	24.9
2N1	50.1	25.1
3N3	45.6	20.6

25 °C下热仿真和热测试温升结果对比分析见表6。由表6可知,仿真和测试温升结果基本一致,仿真分析有效可信。

发控盒70 °C高温环境下热仿真结果见表7,由表7可知,元器件温度均未超过最高允许工作温度。

表6 元器件热仿真和热测试温升结果(环境温度:25℃)

Table 6 Thermal simulation and thermal test temperature rise results of the components (ambient temperature: 25℃)

器件位号	仿真温升/℃	测试温升/℃
1N1	26.7	29.4
1T1	20.5	19.2
1D1	21.5	22.4
1D2	17.7	16.9
1D3	17.9	16.2
1D4	22.5	23.7
1D5	24.7	26
2TL2	23.1	24.9
2N1	23.5	25.1
3N1	19.7	20.6

表7 发控盒元器件温度(环境温度:70℃)

Table 7 Components temperature of the emitting control box (ambient temperature: 70℃)

器件位号	仿真结果/℃
1N1	96.7
1T1	90.5
1D1	91.6
1D2	87.8
1D3	88
1D4	92
1D5	94.8
2TL2	93.1
2N1	93.5
3N3	89.7

## 4 结论

借助热仿真分析软件可以快速、准确地得到系统的热设计分析结果,给出设备的温度场分布以及元器件温度,从而使设计者对设备的散热能力有直观、准确的了解,及时发现设计中的问题并予以修改,迭代进行设计和仿真,使其最终满足技术要求<sup>[11-13]</sup>。

文中利用热仿真软件 FLOTHERM,模拟计算了发控盒内部的温度场分布特性。在初始温度 25℃时,对发控盒进行稳态仿真,通过仿真发现,微机板局部温度最高达到 51.7℃,5个元器件温度偏高;接口板局部温度最高达到 48.5℃,2个元器件温度较高;发射板局部温度最高达到 44.7℃,1个元器件温度较高。25℃下热测试结果与热仿真的计算结果基本一致,表明热分析结果是有效、可信的。由

70℃仿真结果可知,元器件温升均未超过最高允许工作温度,满足热设计要求。

为降低微机板元器件温升,建议在后续阶段的设计过程中适当改进电路设计,分散布置大功耗器件,尤其应关注高温器件 DC/DC 模块 1N1,注意其选型并进行必要的降额、散热设计。

### 参考文献:

- [1] 吕永超,杨双根. 电子设备热分析、热设计及热测试技术综述及最新进展[J]. 电子机械工程,2007,23(1):5—10.  
LYU Yong-chao, YANG Shuang-gen. A Review of Thermal Analysis, Thermal Design and Thermal Test Technology and Their Recent Development[J]. Electro-Mechanical Engineering, 2007, 23(1):5—10.
- [2] 于慈远,于湘珍,杨为民. 电子设备热分析/热设计/热测试技术初步研究[J]. 微电子学,2000,30(5):334—337.  
YU Ci-yuan, YU Xiang-zhen, YANG Wei-min. A Preliminary Study on the Techniques for Thermal Analysis/Design/Test of Electronic Equipments[J]. Microelectronics, 2000, 30(5):334—337.
- [3] TR-82-172, 可靠性工程师热设计指南[S].  
TR-82-172, Reliability Engineer Thermal Design Guide[S].
- [4] 国防科工委军用标准化中心. 电子设备可靠性热设计手册实施指南[M]. 北京:国防工业出版社,1992.  
CSTIND Military Standardization Center. Electronic Equipment Reliability Thermal Design Guide Implementation Guide[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 1992.
- [5] JANICKIM, NAPIERALSIA. Modeling Electronic Circuit Radiation Cooling Using Analytical Thermal Model[J]. Microelectronics Journal, 2000, 31:781—785.
- [6] 姚寿广,马哲树,罗林,等. 电子电器设备中高效热管散热技术的研究现状及发展[J]. 华东船舶工业学院学报, 2003(4):9—12.  
YAO Shou-guang, MA Zhe-shu, LUO Lin, et al. Improvement of Heat Pipe Technique for High Heat Flux Electronics Cooling[J]. Journal of East China Shipbuilding Institute, 2003(4):9—12.
- [7] BELHARDJ S, MIMOUNI S, SAIDANE A, et al. Using Microchannels to Cool Microprocessors: a Transmission-Line-Matrix Study[J]. Microelectronics Journal, 2003(34):247—253.
- [8] 邱成梯,蒋全兴. 电子设备结构设计原理[M]. 南京:东南大学出版社,2001.  
QIU Cheng-ti, JIANG Quan-xing. Electronic Equipment Design Theory[M]. Nanjing: Southeast University Press, 2001.
- [9] 周筱洁. 求解不可压流体 N-S 方程的四阶精度有限容积紧致格式[J]. 苏州大学学报, 2005, 21(3):1—8.  
ZHOU Xiao-jie. A Fourth-order Finite Volume Compact Method for the Incompressible Navier-Stokes Equations[J]. Journal of Soochow University, 2005, 21(3):1—8.

- [10] 付桂翠,王香芬,姜同敏.高可靠性航空电子设备热分析中的有限体积法[J].北京航空航天大学学报,2006,32(6):716—720.  
FU Gui-cui, WANG Xiang-fen, JIANG Tong-min. Finite Volume Method in Thermal Analysis of Avionics[J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2006, 32(6):716—720.
- [11] 赵悼爻.电子设备热设计[M].北京:电子工业出版社,2009.  
ZHAO Dun-shu. Thermal Design of Electronic Equipment

[M]. Peking: Electronic Industry Press, 2009.

- [12] GJB/Z 27—92, 电子设备可靠性热设计手册[S].  
GJB/Z 27—92, Electronic Equipment Reliability Thermal Design Guide[S].
- [13] 刘家磊,蔡琦,张杨伟,等.稳压器在船用核反应堆舱室散热的模拟研究[J].四川兵工学报,2013(11):48—51.  
LIU Jia-lei, CAI Qi, ZHANG Yang-wei, et al. Simulation of Heat Transfer of Pressurizer in Ship Nuclear Power Plant Cabin[J]. Journal of Sichuan Ordnance, 2013(11):48—51.

(上接第96页)

及使用要求。

综上所述,正样机功能及主要性能满足战术技术指标要求。

#### 参考文献:

- [1] MICHAEL G P, KAILASH C K. 可靠性工程基础[M]. 康锐,张叔农,译.北京:电子工业出版社,2011.  
MICHAEL G P, KAILASH C K. Reliability Engineering Foundation[M]. KANG Rui, ZHANG Shu-nong, Translate. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2011.

- [2] 中国兵器工业集团公司.质量检验人员培训教材光电[M].北京,国防工业出版社,2007.  
Norinco Groups. Quality Examine Staff Teaching Material (Light and Electricity) [M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2007.
- [3] GJB 74A—1998, 军用地面雷达通用规范[S].  
GJB 74A—1998, Military Ground Radar Common Criterion [S].
- [4] GJB 899—90, 可靠性鉴定和验收试验[S].  
GJB 899—90, Reliability Qualification and Acceptance Test [S].

(上接第86页)

netic Compatibility Technology[J]. Ship Science and Technology, 2008, 30(4): 89—92.

- [9] 达拉基米尔.系统级电磁兼容分析的离散技术及应用综述[J].宇航计测技术,2007(z1):39—44.  
MORDACHEV V. Discrete Technology of Electromagnetic Compatibility Analysis at the System Level and Applications Overview[J]. Journal of Astronautic Metrology and Measurement, 2007(z1):39—44.
- [10] 秦森,杨澄清,赵家升,等.接收机电磁兼容效能评估模型研究[C]//2007年全国微波毫米波会议论文集.2007:1506—1562.  
QIN Miao, YANG Xian-qing, ZHAO Jia-sheng, et al. Research on the Electromagnetic Compatibility Problem of Receiver[C]// Proceedings of the 2007 microwave & millimeter wave convention. 2007:1506—1562.
- [11] 陈鸿.系统间电磁兼容性预测分析与仿真[D].成都:电子科技大学,2006.  
CHEN Hong. Analysis and Simulation of Intersystem Electromagnetic Compatibility Prediction[D]. Chengdu: University of electronic science and technology, 2006
- [12] DAVID M Pozar. 微波工程[M].北京:电子工业出版社,2010.  
DAVID M Pozar. Microwave Engineering[M]. Beijing: Electronic Industry Press, 2010.
- [13] 贾传钊.通信系统间电磁兼容性预测分析技术[D].成都:

电子科技大学.2009.

- JIA Chuan-zhao. Intersystem Electromagnetic Compatibility Prediction and Analysis Technique about Communication [D]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology. 2009
- [14] 王海波.系统间电磁兼容性预测分析软件的开发与研究[D].成都:电子科技大学,2008.  
WANG Hai-bo. Research and Development of Intersystem Electromagnetic Compatibility Prediction and Analysis[D]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology, 2008.
- [15] 张建华,周晓辉,蒋鹏.机载天线极化失配及方向性的分析计算[J].电波科学学报,2007,22(3):497—501.  
ZHANG Jian-hua, ZHOU Xiao-hui, JIANG Peng. Analysis of Polarization Mismatching and Radiation Pattern of Aircraft Antenna[J]. Chinese Journal of Radio Science, 2007, 22(3):497—501.
- [16] 卢西义,应鲁曲,肖凯宁.基于射频保护比实测数据的无线通信系统兼容性分析方法研究[C]//2011年青年通信国际会议论文集.2011:39—42.  
LU Xi-yi, YING Lu-qu, XIAO Kai-ning. Research on Compatibility Analysis Approach of Radio Communication Systems Based on measured radio Frequency Protection Ratio[C]// The 2011 International Conference of Youth Communication. 2011:39—42.