

空空导弹电源模拟负载设计与热仿真分析

许连虎¹, 丁新²

(1.中国空空导弹研究院, 河南 洛阳 471099; 2.航空工业档案馆, 北京 100012)

摘要: **目的** 筛选得到最优模拟负载设计方案。**方法** 首先对采用功率电阻实现的电源模拟负载结构进行功率和阻值关系计算, 通过计算确定两套功率电阻阻值方案, 然后根据空空导弹电源考核要求设计了电源模拟负载, 对满足功率要求的两套阻值方案进行热仿真分析, 对比选取最优的阻值方案。**结果** 对基于所选方案制作的模拟负载进行了热试验评估, 热仿真结果与热试验结果对比偏差最大为 2 °C。**结论** 数据分析表明, 热仿真所选模拟负载设计方案合理可行。

关键词: 热设计; 热仿真; 热分析

DOI: 10.7643/issn.1672-9242.2016.04.014

中图分类号: TJ76; TN06

文献标识码: A

文章编号: 1672-9242(2016)04-0083-05

Design and Thermal Simulation of the Airborne Missile Power Artificial Load

XU Lian-hu¹, DING Xin²

(1.AVIC China Airborne Missile Academy, Luoyang, 471099, China; 2.Aviation Industries Archives, Beijing, 100012)

ABSTRACT: **Objective** In order to select the optimal artificial load design plan. **Methods** Firstly the correlation between power and resistance was calculated for the power artificial load structure that was realized by power resistor. Two resistance plans were determined through the calculation. Then power artificial load was designed according to assessment requirements on airborne missile. Finally the optimal plan was chosen out through thermal simulation analysis. **Results** The thermal test evaluation was carried out for the artificial load which was made based on the selected plan. The deviation was no more than 2 °C between the results of thermal simulation and thermal test. **Conclusion** The data analysis indicates that the selected plan based on thermal simulation is reasonable and feasible.

KEY WORDS: thermal analysis; thermal design; thermal simulation

电源系统是所有用电设备的核心系统, 对于空空导弹来说, 电源系统是重要组成部分, 其最主要的功能是为导弹提供电源, 可以形象地说是导弹的“供血系统”, 而电源组件就是“心脏”^[1-2]。随着空空导弹性能的不断提升, 特别是自动驾驶仪技术的应用和导引头等部件电路的复杂化, 用电要求也随

之更加复杂, 对电源系统的要求也越来越高^[1-2]。电源系统的性能不高或存在设计缺陷, 将直接影响导弹的技战术指标, 降低导弹的可靠性。

为考核某型导弹电源组件的供电能力, 需设计模拟负载, 以对电源组件的性能指标进行考核。因模拟负载中使用的功率电阻、焊锡、连接线均有最

收稿日期: 2016-03-11; 修订日期: 2016-04-15

Received: 2016-03-11; Revised: 2016-04-15

作者简介: 许连虎(1980—), 男, 河南人, 博士, 高级工程师, 主要从事电子产品可靠性设计、热设计与热分析等方面的研究。

Biography: XU Lian-hu(1980—), Male, from Henan, Doctor, Senior engineer, Research focus: electronic product reliability design, thermal design and thermal analysis.

高允许工作温度要求^[3-5], 温度是影响其设计成败的关键^[4-7]。在进行模拟负载方案设计和选择时, 考虑采用热仿真分析方法^[8-16], 对模拟负载的结构和热设计进行仿真验证, 以确定设计方案是否可行。文中首先进行模拟负载结构设计, 然后进行热仿真分析和热试验^[5-7,11], 确保模拟负载结构工作在允许的温度范围内。

1 模拟负载方案设计

1.1 结构设计方案

模拟负载拟采用多个功率型线绕电阻通过串、并联实现额定负载。模拟负载的结构如图 1 所示, 由 5 个圆盘组成, 4 根连接杆将 5 个圆盘串联, 功率电阻位于 9 个圆盘面上。端面和底面上各 9 只功率电阻, 中间 7 个面各 12 只功率电阻。每个圆盘面上的电阻并联, 9 个盘面构成串联。最底端圆盘面上装有四芯圆形插座 1 只, 用于连接高压热电池。

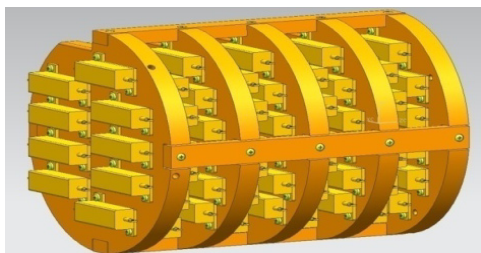


图 1 模拟负载结构

Fig.1 Artificial load structure

1.2 电阻选择

设中间 7 个圆盘上每只功率电阻的阻值为 x , 第一个和最后一个圆盘上的电阻值为 y , 热电池供电电压 300 V, 则总功率 W 为:

$$W = \frac{90\,000}{\frac{7}{12}x + \frac{2}{9}y} \quad (1)$$

中间 7 个面上每只电阻的功率 W_1 为:

$$W_1 = \frac{1}{144} \frac{Wx}{\frac{7}{12}x + \frac{2}{9}y} \quad (2)$$

前后两个面上每只电阻的功率 W_2 为:

$$W_2 = \frac{1}{81} \frac{Wy}{\frac{7}{12}x + \frac{2}{9}y} \quad (3)$$

功率 W , W_1 , W_2 和电阻值 x , y 的关系如图 2 所示。

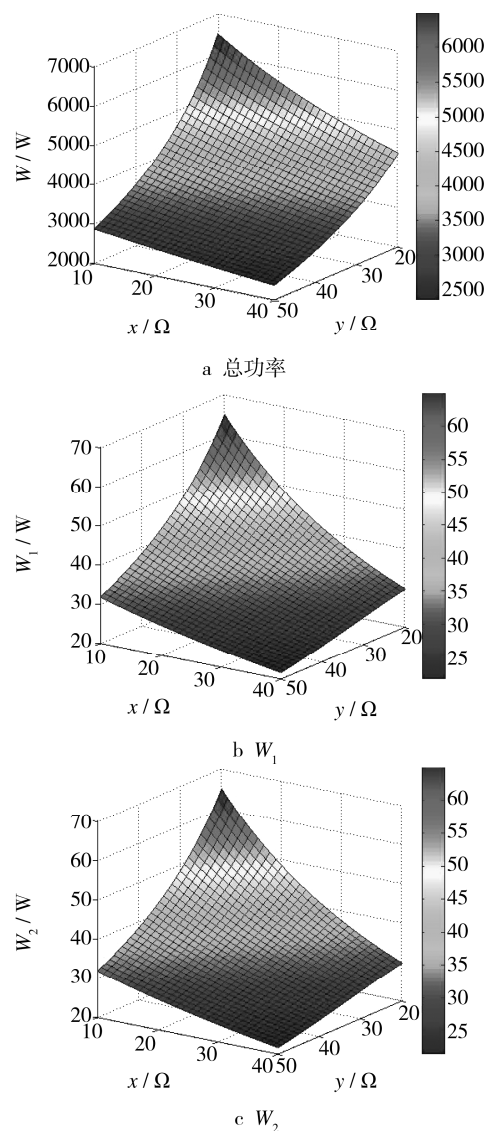


图 2 功率与电阻值的关系曲线

Fig.2 Correlation between power and resistance

当电源组件的供电功率要求为 5 kW 时, 由式 (1) — (3) 和图 2 可知: 当 $x=25\,\Omega$, $y=15\,\Omega$ 时, $W=5023\,\text{W}$, $W_1=48.7\,\text{W}$, $W_2=51.9\,\text{W}$; 当 $x=25\,\Omega$, $x=14\,\Omega$ 时, $W=5086\,\text{W}$, $W_1=49.9\,\text{W}$, $W_2=49.7\,\text{W}$ 。考虑到最前和最后的平面上电阻较少, 散热较好, 取 $x=25\,\Omega$, $x=15\,\Omega$ 。

目前货架可供选用的电阻规格为: 7, 8, 8.45, 9, 12, 13, 18, 21, 24, 27, 36, 40, 45, 50 Ω 。由公式 (1) — (3) 和图 2 可知: $x=27\,\Omega$, $y=13\,\Omega$ 时, $W=4829\,\text{W}$, $W_1=48.6\,\text{W}$, $W_2=41.6\,\text{W}$; $x=27\,\Omega$, $y=18\,\Omega$ 时, $W=4557\,\text{W}$, $W_1=43.3\,\text{W}$, $W_2=51.3\,\text{W}$ 。

通过上述计算, 总功率接近 5 kW 的阻值方案有 $x=25\,\Omega$, $y=15\,\Omega$; $x=27\,\Omega$, $y=13\,\Omega$ 以上两种阻值方案都可以实现 5 kW 功率要求, 但不同阻值的电阻发热情况不同, 且阻值 15, 25 Ω 的功率电阻需要特制, 为对比选择较优方案, 对以上模拟负载

的两种阻值方案开展热仿真分析。

2 热仿真分析

2.1 试验原理、方法和步骤

两套方案除电阻值选择不同外, 结构设计方案相同, 因此, 可在 CAD 模型的基础上, 建立热仿真模型 (CFD 模型)。根据电阻选值方案赋予功率电阻相应的功耗值, 开展热仿真计算, 获得结构件和功率电阻的温度值、温度场分布, 据此对比判断方案的优劣。

方案 1: 第 2 个至第 8 个面阻值取 $25\ \Omega$, 电阻功率为 $48.7\ \text{W}$; 第 1 和第 9 个面阻值取 $15\ \Omega$, 电阻功率为 $51.9\ \text{W}$; 模拟负载总功率 $W=5023\ \text{W}$ 。

方案 2: 第 2 个至第 8 个面阻值取 $27\ \Omega$, 电阻功率为 $48.6\ \text{W}$; 第 1 和第 9 个面阻值取 $13\ \Omega$, 电阻功率为 $41.6\ \text{W}$; 模拟负载总功率 $W=4829\ \text{W}$ 。

2.2 试验数据

2.2.1 热仿真条件设定

本次热仿真试验考虑热传导+对流 (温差较小, 辐射影响可忽略), 初始温度设为 $35\ ^\circ\text{C}$, 环境温度为 $35\ ^\circ\text{C}$, 散热方式为自然冷却, 流体为空气。

结构件和功率电阻材料设定为铝 (2A12), 密封用壳体 and 盖板材料设定为钛合金。方案 1 第 1 和第 9 个面电阻功率均设为 $51.9\ \text{W}$, 第 2 个至第 8 个面电阻功率设为 $48.7\ \text{W}$; 方案 2 第 1 和第 9 个面电阻功率均设为 $41.6\ \text{W}$, 第 2 个至第 8 个面电阻功率设为 $48.6\ \text{W}$ 。

本次仿真时长为 $60\ \text{s}$, 步长为 $1\ \text{s}$ 。温度监控点设置在功率电阻中心, 编号与功率电阻相同。编号规则如下, 安装面从左至右依次编号为 1—9, 各安装面功率电阻依次编号。

2.2.2 热仿真结果

建立的 CFD 模型如图 3 所示。

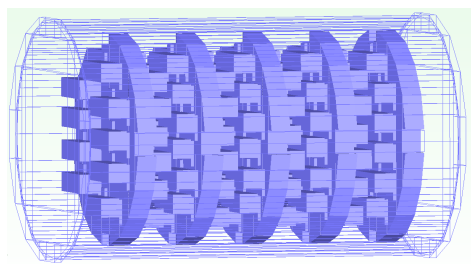


图 3 模拟负载 CFD 模型

Fig.3 CFD model of the artificial load

按仿真条件设定进行仿真分析, 模拟负载及各安装面温度, 如图 4、图 5 所示, 功率电阻温升曲线如图 6 所示。

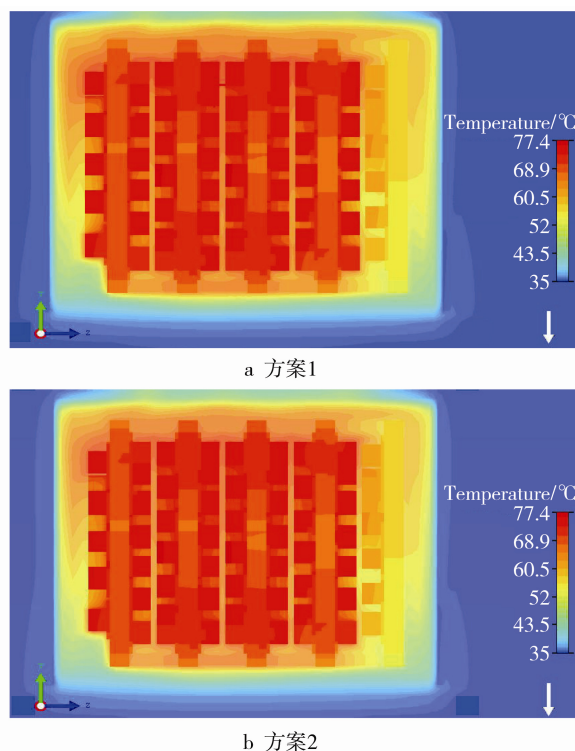


图 4 温度云图 (初始环境温度为 $35\ ^\circ\text{C}$)

Fig.4 Temperature cloud chart
(initial ambient temperature at $35\ ^\circ\text{C}$)

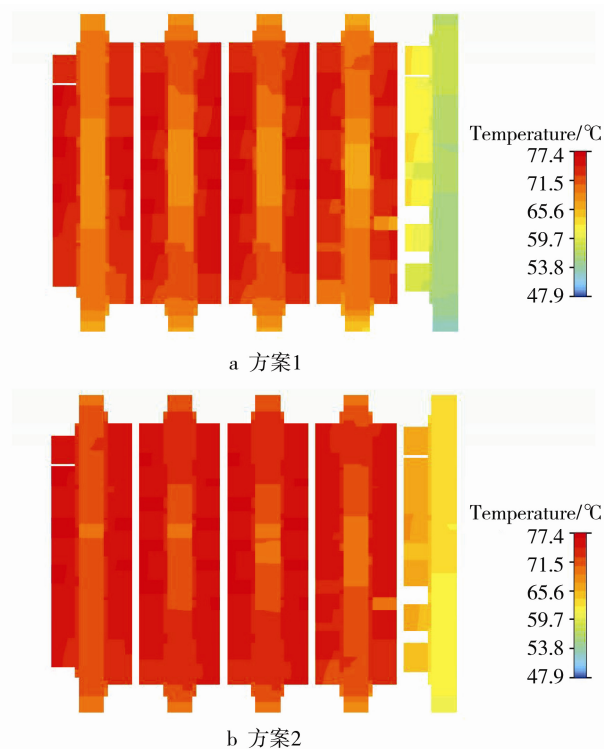


图 5 -x 向温度云图

Fig.5 Temperature cloud chart at -x direction

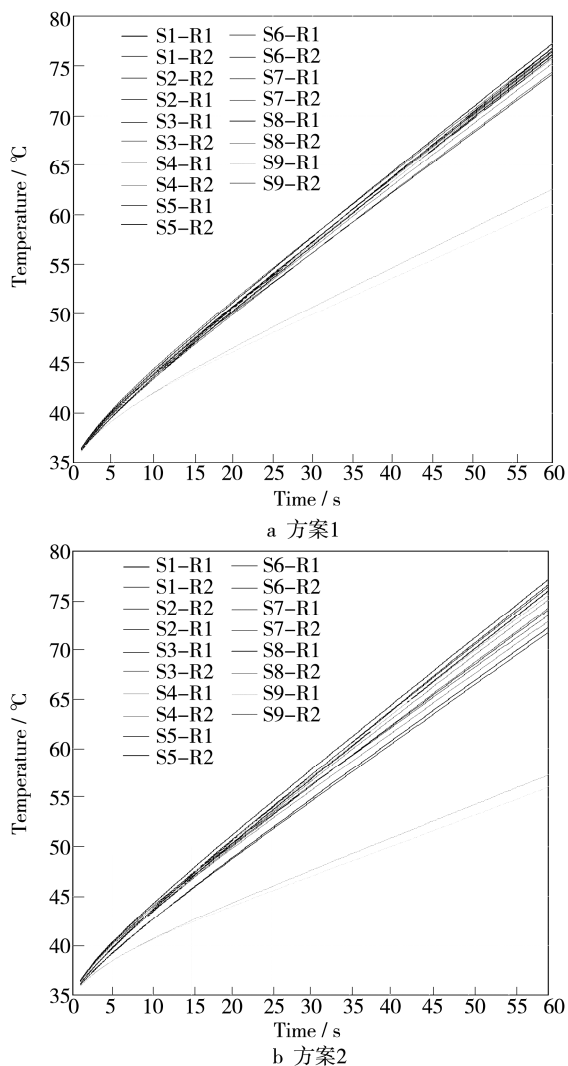


图6 功率电阻温升曲线

Fig.6 Temperature rise curve of power resistance

2.2.3 数据分析

通过对第3.2.2节图表数据分析,得到如下结论:高温区集中于前8个面,方案1和方案2中前8个面电阻温度均高于第9个面;方案1在初始温度35℃下瞬态工作60s时,第2至第8个面功率电阻最高温度为77.3℃,温升42.3℃,第1个面功率电阻最高温度为76.4℃,温升41.4℃,第9个面功率电阻最高温度为62.5℃,温升27.5℃;方案2在初始温度35℃下瞬态工作60s时,第2至第8个面功率电阻最高温度为77.2℃,温升42.2℃,第1个面功率电阻最高温度为72.3℃,温升37.3℃,第9个面功率电阻最高温度为57.3℃,温升22.3℃;方案1第9个安装面上功率电阻温度高于方案2,60s时温差约5.2℃。综合考虑功率和可用电阻阻值,方案2优于方案1。

3 热试验评估

按照方案2设计制造了模拟负载,将负载放置于防爆箱内,模拟负载封闭空间内自然散热工况,由热电池供电,进行了点火试验。60s末开箱并立即用红外线测温仪对功率电阻和安装面进行测温,环境初始温度为22℃,实测温度见表1,仿真和热试验温升数据见表2。

表1 热试验数据(环境温度22℃)

Table 1 Thermal test results
(ambient temperature at 22℃)

	测温点				
	S1	S3	S5	S7	S9
热试验温度/℃	60	62	62	62	45

表2 试验数据对比

Table 2 Comparison of the test data

	测温点				
	S1	S3	S5	S7	S9
热仿真温升/℃	37.3	41.6	41.7	39.3	21
热试验温升/℃	38	40	40	40	23

由热仿真与热试验数据对比可知,热仿真温升数据与热试验数据最大偏差为2℃。考虑开箱后环境变化的影响,实时监测热试验数据变动情况,发现间隔数秒测试数据基本一致,环境影响可忽略。数据分析表明,通过热仿真完成对设计方案的对比选择,并成功地对热设计效果进行了仿真预示。

4 结语

通过热仿真可对结构方案的热设计效果进行模拟计算,然后依据温度云图、温升曲线的对比分析结果,可对比选择热设计效果较好的方案。首先设计了模拟负载的结构,对功率电阻的阻值进行了计算选择,然后对两套阻值方案进行了热仿真分析,最后对选定的方案进行了热试验评估。数据分析结果表明,该方案满足设计要求,仿真为模拟负载的方案对比提供了有效、可信的数据依据。

参考文献:

- [1] 张春晓,刘仕伟. 导弹电源系统设计及发展趋势[J]. 电源技术,2010,34(7): 746—747.
ZHANG Chun-xiao, LIU Shi-wei. Designing and Devel-

- oping Tendency of Guided Missile Power Source[J]. Chinese Journal of Power Sources, 2010, 34(7): 746—747.
- [2] 何德军, 刘鸿雁. 导弹主电源技术的发展[J]. 兵器材料科学与工程, 2008, 32(1): 93—96.
HE De-jun, LIU Hong-yan. Development of Primary Battery for Missile[J]. Ordnance Material Science and Engineering, 2008, 32(1): 93—96.
- [3] 电子设备可靠性热设计手册[K]. 北京: 国防科工委军标出版发行部, 1992.
Electronic Equipment Reliability Thermal Design Guide [K]. Peking: National Defense Ministry Military Standard Publish Department, 1992.
- [4] 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: 1—10.
QIU Cheng-ti, JIANG Quan-xing. Electronic Equipment Design Theory[M]. Nanjing: Southeast University Press, 2001: 1—10.
- [5] 赵惇爻. 电子设备热设计[M]. 北京: 电子工业出版社, 2009: 10—11.
ZHAO Dun-shu. Thermal Design of Electronic Equipment[M]. Peking: Electronic Industry Press, 2009: 10—11.
- [6] 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.
- [7] 卢锡铭. 电子设备热仿真及热测试技术研究[J]. 舰船电子对抗, 2013, 36(3): 118—120
LU Xi-ming. Research into Thermal Simulation and Thermal Test[J]. Shipboard Electronic Countermeasure, 2013, 36(3): 118—120.
- [8] 崔佳涛, 孟照魁, 章博, 等. 惯性导航系统电子设备热仿真研究[J]. 国外电子测量技术, 2007, 26(4): 12—14.
CUI Jia-tao, MENG Zhao-kui, ZHAO Bo, et al. Research of Thermal Simulation for Electronic Equipment of Inertial Navigation System[J]. Foreign Electronic Measurement Technology, 2007, 26(4): 12—14.
- [9] 李春林, 王贵全, 赵振明. 航空相机载荷舱热环境分析[J]. 装备环境工程, 2014, 11(2): 32—37.
LI Chun-lin, WANG Gui-quan, ZHAO Zhen-ming. Thermal Environment Analysis of Aerial Camera Pod[J]. Equipment Environmental Engineering, 2014, 11(2): 32—37.
- [10] 李昊, 沙京田, 张文利. 安检设备用X射线源热仿真研究[J]. 机械设计与制造, 2013(5): 210—212.
LI Hao, SHA Jing-tian, ZHANG Wen-li. Thermal Simulation Research for X-Ray Source Used for Security Inspection Equipment[J]. Machinery Design & Manufacture, 2013(5): 210—212.
- [11] 顾林卫. 电子系统的热仿真及热测试研究[J]. 现代雷达, 2011, 33(3): 78—80.
GU Lin-wei. A Study on Thermal Simulation and Thermal Test in Electronic System[J]. Modern Radar, 2011, 33(3): 78—80.
- [12] 方益奇, 孙玲玲. 雷达电子机箱的热设计与仿真分析[J]. 机械设计与制造, 2010(12): 23—25.
FANG Yi-qi, SUN Ling-ling. Thermo Design and Simulation Analysis of Radar Electronic Enclose[J]. Machinery Design & Manufacture, 2010(12): 23—25.
- [13] 涂远方. 某弹载计算机主机板的热分析研究[J]. 航天控制, 2010(1): 90—95
TU Yuan-fang. Thermal Analysis of the Main Board in Missile-borne Computer[J]. Aerospace Control, 2010(1): 90—95
- [14] 陈永奇, 张春熹, 宋凝芳. 光纤陀螺捷联惯导系统热仿真研究[J]. 压电与声光, 2007, 29(6): 634—637.
CHEN Yong-Qi, ZHANG Chun-xi, SONG Ning-fang. Thermal Simulation Technology of FOG Strapdown Inertial Navigation System[J]. Piezoelectrics & Acoustooptics, 2007, 29(6): 634—637.
- [15] 孟照魁, 崔佳涛, 杜新政, 等. 光纤陀螺系统热建模及仿真[J]. 北京航空航天大学学报, 2007, 33(6): 701—704.
MENG Zhao-kui, CUI Jia-tao, DU Xin-zheng, et al. Building Model and Simulation about Heat of Fiber Optical Gyroscope[J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2007, 33(6): 701—704.
- [16] 黄冬梅, 童永光, 蔡巧言. 空间环境下某电子产品的热设计[J]. 导弹与航天运载技术, 2005(5): 48—50.
HUANG Dong-mei, TONG Shui-guang, CAI Qiao-yan. Thermal Design of Electronic Product under Space Environment[J]. Missiles and Space Vehicles, 2005(5): 48—50.