

电子设备热分析及优化设计

王 坚,徐国华

(西安电子科技大学 经济管理学院,陕西 西安 710071)

摘 要:在对航空电子设备散热器进行数值热场分析的基础上,运用最优化理论对隐式目标函数的优化问题进行了讨论,最后给出了虚拟设计的最佳方案。

关键词:电子设备结构;热设计;最优化

中图分类号:TH122

文献标识码:A

文章编号:1007-7162(2003)03-0054-04

1 电子设备热设计优化的必要性

随着航空技术与电子技术的发展与融合,航空电子技术在航空飞行器领域得到了长足的发展,电子设备在航空飞行器中的使用越来越广泛,功能越来越强大.航空技术的特殊性要求航空电子设备体积小、重量轻、可靠性高,这些要求带动了航空电子设备热设计技术的发展。

微电子技术的发展使电子元件的体积更小,功能更强,使得功率密度更高,散热手段也发生很大变化.不同的散热手段具有不同的散热功能、不同的成本,适应不同的需要.随着研制周期的缩短、可靠性指标的提高,在实验样机上研究热设计方案已显得不能适应.在虚拟条件下对航空电子设备结构进行热分析计算,并在充分兼顾制造周期、加工工艺性、散热系统可靠性以及系统的扩展性的基础上,对原始结构方案进行必要的优化改进,在尽可能短的设计周期内实现一次成功的要求。

复杂的功能要求和工艺要求、质量要求等使对航空电子设备散热结构的虚拟设计成为涉及多目标、多学科的优化问题.多学科设计优化是一种系统设计方法,设计过程中必须考虑几个学科之间的交互耦合关系^[1].计算能力的改善、基于模型的工程分析能力的提高以及优化方法本身的发展都为多学科设计优化奠定了坚实的基础.下面以图1所示的某型航空电子设备的散热结构为例,研究单一隐式目标函数的优化问题。

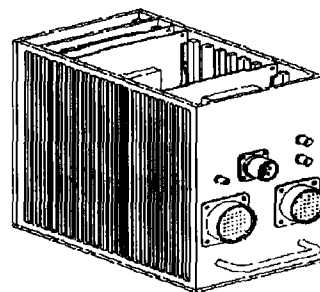


图1 某型航空电子设备散热结构

2 电子设备虚拟热分析

鉴于航空电子系统对潮湿、霉菌、盐雾的防护要求,结构设计时往往不能在机箱壁面开设通风孔,只能先将元器件产生的热量通过特殊的印制板结构导入机箱侧壁,再通过夹层通风或者利用机箱外表面的散热槽进行自然对流将热量最终扩散到环境介质.本文对后者的散热情况进

收稿日期:2002-04-28

作者简介:王坚(1969-),男,高级工程师,主要研究方向为虚拟制造与虚拟设计、数值传热分析。

行了分析,并通过优化算法为某型航空电子设备找到最佳的散热结构。

在航空电子设备中发生的传热现象主要有传导、对流和辐射,尤以前二者为多见.关于对流传热问题的数学描述基于对微元体的能量守恒、质量守恒和动量守恒原理,在具体处理时要求质量、动量、能量方程联立求解,通常利用下面的通用形式表示:

$$\rho \frac{\partial(u\phi)}{\partial x} + \rho \frac{\partial(v\phi)}{\partial y} + \rho \frac{\partial(w\phi)}{\partial z} = \Gamma_{\phi} \left(\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2} \right) + S_{\phi},$$

其中, ϕ 为温度或速度等待求变量, u 、 v 、 w 是在 x 、 y 、 z 方向上的速度分量, ρ 是密度, Γ 为变量的扩散系数, S 为源项. 方程右端的第一项是由 ϕ 的梯度引起的扩散项, 其他变量梯度产生的扩散都应包括在源项 S 内。

虽然很久以来描述传热问题的微分方程是众所周知的,但在定解条件下求解这些方程却一直非常困难.有限差分方法计算简单,传统的矩形网格适合处理外形规则的箱体类对象,经过改进的六角形网格能更好地表现外形不规则的处理对象,如惯性平台中的框架和台体等.根据计算结果,还可以对重点关心和温度变化迅速的区域重新划分网格的疏密,以便更准确地反映实际的变化情况。

2.1 网格划分和差分格式

在对对流-传热问题进行数值计算时,首先要对计算区域进行离散划分,把定义域划分为若干有限的区域,将原来定义域内连续变化的待求变量场转化为由有限区域内若干的待求变量值来表示.微分方程的区域离散方法有很多种,其中以控制容积积分法为常用.该方法先将守恒型控制方程在任一控制容积及时间间隔内对空间和时间作积分,然后选定未知函数及其导数对时间和空间的局部分布曲线,最后对各个项按选定的型线作出积分,并整理成关于节点上未知值的代数方程。

其次要构造合适的对流项差分格式,保证得到的数值解具有物理意义,并在合理的计算工作量下得到准确的结果.中心差分格式导出的结果与真实情况相悖;迎风格式虽不会与真实情况矛盾,但计算误差较大;混合格式是中心差分格式和扩散项为零的迎风格式的混合,但兼有二者的缺点;指数格式对稳定的一维无源对流-扩散问题能得到严格解,但对于一般对流-扩散问题则失去严格解的含义.通过对混合格式进行改进得到的乘方格式,可以使计算结果逼近严格解。

2.2 压力修正算法

求解对流-传热问题的关键是确定流场,通常以速度、压力为基本变量,称为原始变量法.由于质量守恒和动量守恒方程是非线性的,其数值求解过程带有迭代的性质.如果采用通常的方法来建立网格——即把速度和压力均存于同一套网格的节点上,在数值计算中会遇到计算结果和实际情况严重不符的问题。

为了把不合理的压力场检测出来,可以采用交错网格.所谓交错网格就是把速度及压力分别存储在三套不同的网格上的网格系统.采用交错网格后,由于使用多套网格,在新的网格上各控制容积界面上的流量、物性参数等需用插值方法重新确定。

压力修正算法可以改进压力场的计算.对于给定的压力场,按次序求解三个方向上速度分量的代数方程.由此得到的速度场未必能满足质量守恒的要求,因而必须对给定的压力场加以修正.把由动量方程的离散形式所规定的压力与速度的关系带入连续性方程的离散形式,从而得到压力修正方程.由压力修正方程得到压力改进值,进而去改进速度,以得出这一迭代层次上

满足连续性方程的解.然后用计算所得的新的速度值去改进动量离散方程的系数,以开始下一层次的计算.如此反复,直到获得收敛的解.

2.3 边界条件

在对对流-传热问题进行数值计算时,固体边界上的传热情况存在三类边界条件:或给定边界上的温度分布、或规定边界上的热流分布、或给出壁面温度与热流密度间的依变关系,分别对应于数学上的 Dirichlet 问题、Neumann 问题和 Robin 问题.对于对流传热问题,第三类边界条件中所规定的对流换热系数并不是求解区域内的值,而是边界外环境流体与边界间的对流换热系数.

2.4 求解代数方程

在多维问题代数方程的迭代求解中,为了加快收敛速度,尽可能三对角矩阵算法,包括消去变量求系数的正过程和回代求出变量值的逆过程.

对机箱建立三维热分析模型,进行全场数值计算,任选其中一处散热槽的计算结果,如图 2 所示.

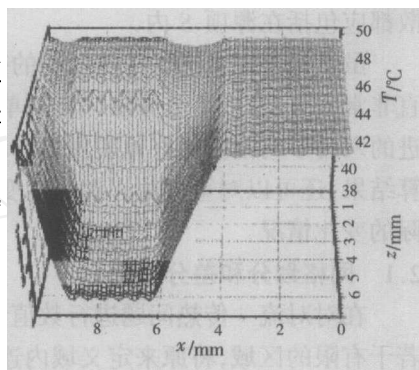


图 2 散热槽剖面温度分布

3 电子设备结构的优化热设计

电子设备结构的优化热设计就是在最小的散热系统空间内、以最经济的手段带走更多的热量.在空间有限的条件下,利用机箱外表面的肋状结构,合理规划散热肋结构的尺寸,例如肋长、肋高、肋宽、肋间隔等,以便带走机箱内印制电路板上元器件上更多热量.

电子设备散热结构的优化设计属于形状参数的优化问题,其准确性与该结构的对流-传热计算的准确性密不可分.通过上述数值方法对电子设备散热结构进行全面、准确的计算,得出温度场分布并找出最高温度值;通过改变散热肋的结构尺寸可以得到一组新的散热结构,通过对新的散热结构的温度场计算,得出新的温度场分布,并找出新的最高温度值.通过对不同结构尺寸的散热肋的散热能力的比较,得出散热肋结构尺寸改进的方向;通过对散热肋结构尺寸的不断改进,得出散热能力最佳的散热肋结构尺寸.

电子设备散热结构在给定热流密度的情况下,对散热肋结构尺寸的优化问题的数学模型如下:

$$\text{Min } \rho c_p u \frac{\partial T}{\partial x} + \rho c_p v \frac{\partial T}{\partial y} + \rho c_p w \frac{\partial T}{\partial z} = K \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) + S_T,$$

$$\text{S.T. } q = q_{\text{输入}},$$

$$[W_{\text{槽}}]_{\min} \leq W_{\text{槽}} \leq [W_{\text{槽}}]_{\max},$$

$$[W_{\text{肋片}}]_{\min} \leq W_{\text{肋片}} \leq [W_{\text{肋片}}]_{\max},$$

$$[H_{\text{槽}}]_{\min} \leq H_{\text{槽}} \leq [H_{\text{槽}}]_{\max},$$

$$N_{\text{肋片}} W_{\text{肋片}} + (N_{\text{肋片}} + 1) W_{\text{槽}} + W_{\text{左边缘}} + W_{\text{右边缘}} = L_{\text{机箱}},$$

其中, T 是计算区域上的温度场分布, $W_{\text{槽}}$ 是散热槽的宽度, $H_{\text{槽}}$ 是散热槽的高度, $W_{\text{肋片}}$ 是散热肋片的宽度, $N_{\text{肋片}}$ 是散热肋片的数目, $W_{\text{左边缘}}$ 和 $W_{\text{右边缘}}$ 是两侧边缘的宽度, $L_{\text{机箱}}$ 是散热结构的总长度.

上面所描述的优化问题属于有约束多变量优化,其目标函数复杂,又没有显式表达式,无法

求解函数的导数,且维数较低,适合采用复合形法求解.复合形法属于有约束直接搜索方法中的一种,在可行域中直接比较函数值,不断用改进点代替最坏点,从而寻得最优点的一种方法.这种方法对目标函数和约束函数的连续性和可微性没有要求,在实践中具有两个优点:

(1)每搜索一步,就可找到一个可靠的改进解;

(2)搜索逻辑简单,所需的准备工作较少,容易实现;

由于上述优点,直接搜索法很适合于工程应用.当然,直接搜索法也存在缺点,其计算量大,仅对维数较低且精度要求不高的问题适用.

复合形法^[2]是单纯形方法对约束问题的推广,但由于约束的存在,在作反射以后需要对反射点检验是否满足约束,而一般来说再作延伸已无意义.因此,只进行反射与收缩,并在迭代过程中,边长自动缩短.为了克服单纯形法容易产生退化的缺点,复合形法采用 $k \geq n + 2$ 个顶点(一般令 $k = 2n$),由于顶点的个数大于 $n + 1$,所以称为复合形法.复合形法要求有 k 个容许点,这自然不容易,一般是给出一个容许点,再随机地产生其余 $k - 1$ 个顶点.采用复合形法所求得解即便不是最优解,也一定比初始点要好.

在一定的工艺性要求的情况下,对不同的印制板发热功耗和不同的环境温度条件进行机箱散热结构的优化计算,可以得出理想情况下最优的结构尺寸.图3显示了计算迭代过程中各容许方案情况下电子设备散热结构的表面温度,当优化方案间的结果差异小于某个预先确定的范围或优化方案数目超过一定量值,则可认定优化结果已经产生或出现了振荡现象从而结束优化计算过程.前者的计算结果可作为优化计算的正式结果.

作者根据上述方法为某航空电子系统设计初始的结构方案,通过上述方法进行了方案优化设计计算,得出了最优的结构方案,如图4所示.按照最优方案设计的物理样机经实验验证与计算结果很好地符合.

由于通常情况下,电子设备结构的工作环境温度允许最高发热温度在一个相对狭窄的温度范围内,物性参数可以看作是相对稳定的值,从而能大大简化传热计算的复杂程度.

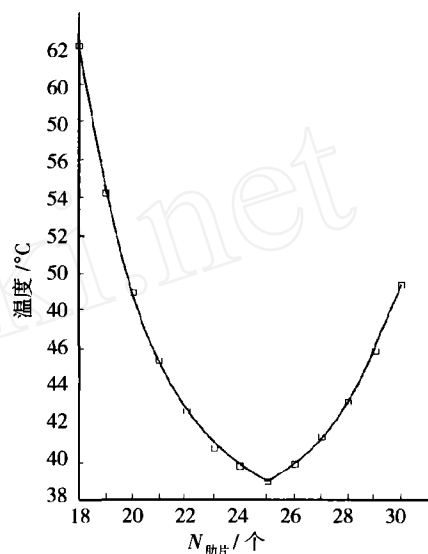


图3 优化计算迭代过程

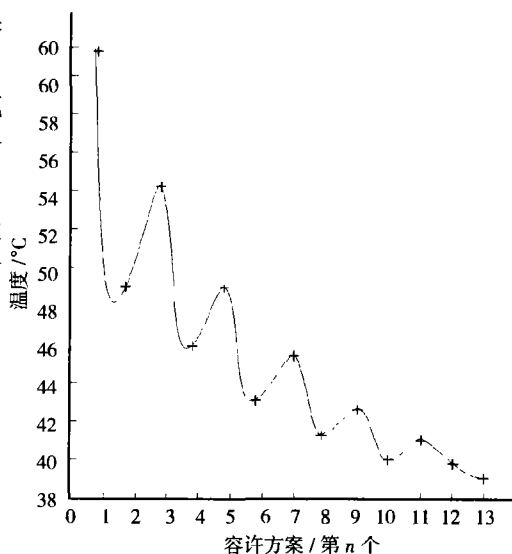


图4 最优方案比较

参考文献:

[1] 余雄庆,丁运亮.多学科设计优化算法及其在飞行器设计中应用[J].航空学报,2000,21(1):1~6.

[2] 席少霖,赵凤治.最优化计算方法[M].上海:上海科学技术出版社,1983.

(下转第63页)

The Organization and Application of Montmorillonite

ZHANG Xiang-ping, ZHANG Xing-hua

(Faculty of Material and Energy, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510643, China)

Abstract: In this paper, reviewed are the methods of the organization of montmorillonite and its influence factors as well as the applications of organized montmorillonite in plastic, rubber, fiber and medicine. An advice is brought forward that more emphasis should be put on the research of the factors that influence the effect of intercalation of montmorillonite.

Key words: montmorillonite; organization; application

~~~~~

(上接第 57 页)

## Thermal Analysis and Optimization Design of Electronic Equipment

WANG Jian, XU Guo-hua

(Economics & Management School, Xi'an Electronic Science and Technology University, Xi'an 710071, China)

**Abstract:** In accordance with the temperate field of the heat sink of the avionics, optimization of implicit target function is discussed with the using of numerical optimization theory. An optimal design, based on virtual design of the aviation, is provided.

**Key words:** configuration of electronic equipment; thermal design; optimization