

用于环境适应性分析的航电产品应力仿真技术

罗成, 徐文正, 曾晨晖

(中国航空综合技术研究所, 北京 100028)

摘要: 热和振动是引起航空电子产品环境适应性问题的2个主要应力,因而在设计过程中应当开展产品的热和振动应力分析。介绍了用于环境适应性分析的航空电子产品数字样机及其建模方法;讨论了基于计算流体力学(CFD)技术的航空电子产品热应力仿真分析方法,以及基于有限元(FEM)技术的振动应力仿真分析方法,并给出了分析案例。

关键词: 环境适应性; 数字样机; 计算流体力学(CFD); 有限元分析(FEA)

中图分类号: V216.5 **文献标识码:** A

文章编号: 1672-9242(2011)01-0010-05

Stress Simulation Technology for Aviation Electronics Environmental Worthiness Analysis

LUO Cheng, XU Wen-zheng, ZENG Chen-hui

(China Aero-Polytechny Establishment, Beijing 100028, China)

Abstract: Temperature and vibration are two key factors of environmental worthiness problem of aviation electronics. Therefore thermal and vibration stress should be analyzed during design process. Digital prototypes and modeling methods for environmental worthiness analysis were introduced. Thermal stress simulation method based on computational fluid dynamics (CFD) technique and vibrational stress simulation method based on finite element method (FEM) technique were discussed. A case study was given.

Key words: environmental worthiness; digital prototype; computational fluid dynamics (CFD); finite element method (FEM)

武器装备的环境适应性直接关系到武器装备的作战效能、使用可靠性和持续作战能力,是装备的一个重要技术指标。目前,国际上环境工程领域开始对环境仿真试验方法进行研究。MIL-STD-810F《环境工程考虑和实验室试验》指出:研制试验中,可以

利用仿真试验减少生产物理样机的费用^[1]。与物理试验相比,基于仿真的环境试验方法具有独特的优势,可以降低高额的试验费用和避免过长的试验时间,从而满足研制中对产品环境适应性评价的要求。国内一些产品研制单位也陆续开始开展基于环

收稿日期: 2010-07-29

作者简介: 罗成(1978—),男,湖北人,博士,主要研究方向为数值仿真分析。

境应力的建模仿真分析和数学模拟方法的研究及工程实践,在某些主要环境应力(如温度和振动)的环境适应性仿真技术上取得了进展,为型号的设计和研制工作提供了有力的支持。

1 数字样机建模

首先,应力分析工作应该根据应力分析需求定

义产品的数字样机,包括描述产品几何结构的CAD数字样机、用于热分析的CFD数字样机和用于振动分析的FEA数字样机。建模流程如图1所示。

CAD数字样机建模首先根据PCB设计图纸、元器件清单、器件说明书及位号表等电路设计资料,采用航空行业通用的CAD软件CATIA建立了电路几何模型,根据机箱、模块、安装架等结构设计资料建立了产品机箱几何模型,然后将这2部分模型装配

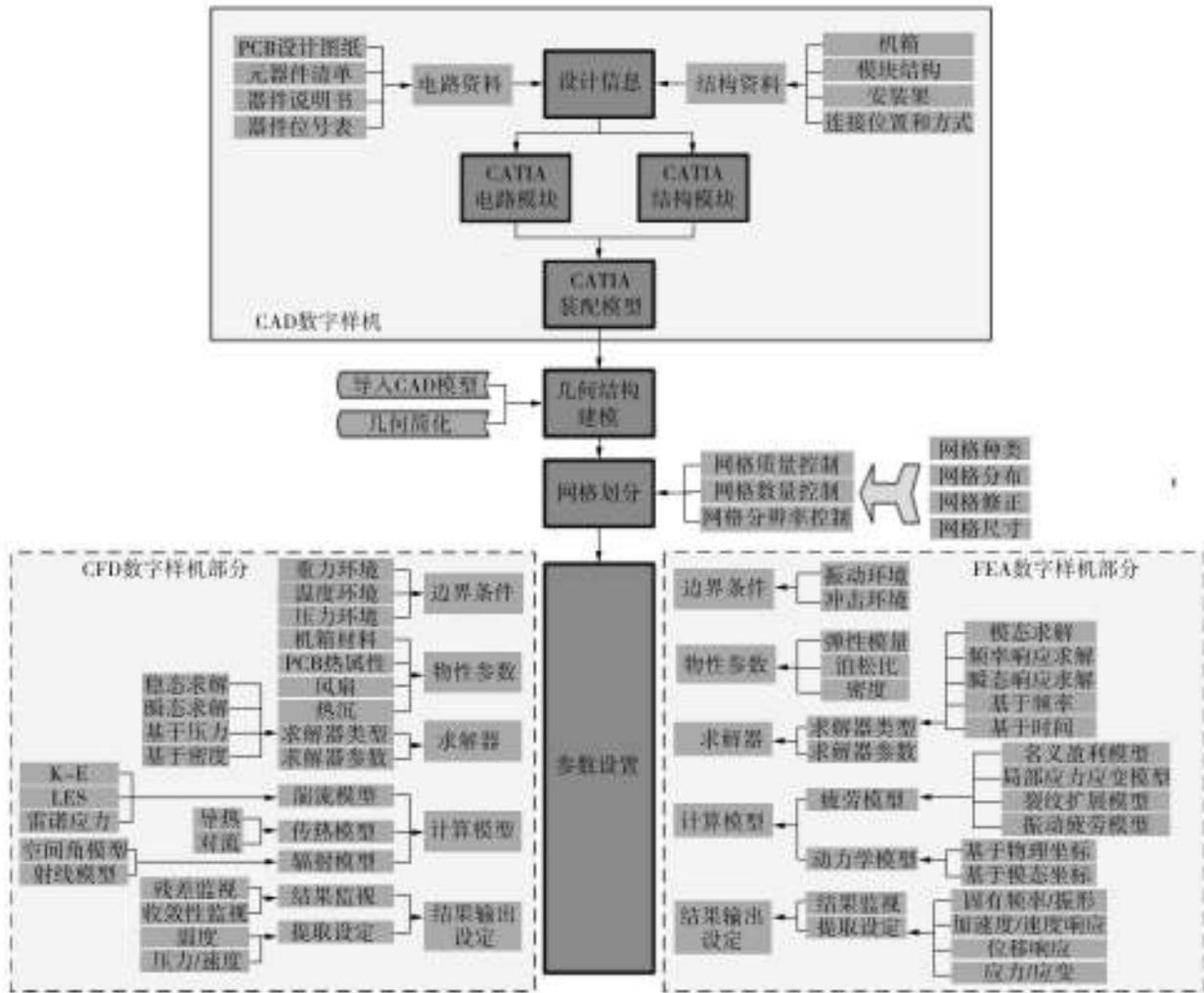


图1 航空电子产品数字样机建模流程

Fig. 1 Avionics digital prototype modeling flowchart

成完整的CAD数字样机。

CFD和FEA数字样机建模主要包括3部分内容:几何结构建模、网格划分和参数设置。几何结构建模通常有2种方法:1)在CFD,FEA软件环境下或利用接口程序导入已经建立好的CAD模型;2)手工建立模型几何结构。前者的优点是能够利用现有CAD模型资源,使得建模过程简单,建模工作量小;

缺点是导入的CAD模型可能过于细节化,造成几何结构过于复杂。手工建模的优点是能根据设备传热、振动特性因地制宜地进行几何结构简化和等效,从而使模型简洁高效;其缺点是建模工作量大,并可能存在几何描述不准确的问题。一般而言,几何结构建模需结合上述2种方法,首先采用导入的方法建立主要结构,然后对模型进行手工修改并适当地

简化与等效。网格划分应根据产品几何模型大小及应力分析需求等实际情况确定。例如,热应力分析网格划分基本原则是要保证关键器件或结构、主要热传递通路、窄的流体通道位置有足够网格划分,在各参数(如温度、压力、速度)变化不大的区域可以适当使用比较粗的网格。CFD, FEA 数字样机模型参数应根据需要设置物性参数、边界条件、求解器、计算模型及输出结果设定等信息。

图2为某航电产品的数字样机示意。笔者采用CATIA建立产品CAD数字样机;采用FloTherm建立产品CFD数字样机;采用MSC.Patran及MSC.Nastran建立产品FEA数字样机。

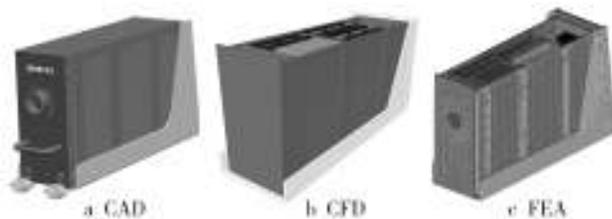


图2 某产品CAD,CFD,FEA数字样机
Fig. 2 CAD,CFD,FEA digital prototype

2 模型检查及准确性验证

数字样机模型的好坏能直接影响到分析结果的准确性,因而在完成数字样机定义后必须对数字样机模型进行检查和验证。随着产品的研制工作不断深入开展,可获得的用于建立产品数字样机模型的信息也越来越多、越来越准确。模型的检查 and 验证工作需要紧跟产品的研制流程,对各类产品研制信息加以整理并综合利用。在产品研制方案初样阶段,数字样机建模所需的有效信息往往并不完整,相对较少。在数字样机建模过程中需要对某些参数进行合理分析,此时的工作重点在于对数字样机模型及其参数的检查。随着产品研制过程的推进,当可以得到产品物理样机时,应开展数字样机模型准确性的验证工作,即根据测试结果标定数字样机中的模型参数,使得模型预测结果与测试结果较好吻合。

图3为某模块CFD数字样机准确性验证的一个案例。在这个案例中首先为该模块设计并添加了供电电源和外围电路,通电后使其在常温状态下工作,并采用热成像仪对该模块的温度场进行捕捉,形成热测试结果。根据测试结果,采用试验设计方法

(DOE)、响应面模型及模型参数优化手段确定合理的模型参数设置,以使其与测试结果较好吻合。

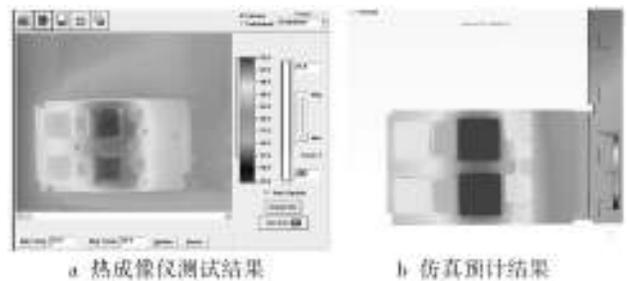


图3 某模块CFD数字样机模型准确性验证案例
Fig. 3 An example of a CFD prototype accuracy validation

3 数值计算及结果分析

在获取产品准确数字样机模型后即可开展数值计算工作及结果分析工作。根据应力分析要求的不同,这一过程可分为单一环境条件下的应力分析和多环境条件下的应力分析。单一环境条件下的数值计算主要是针对极限环境条件下的应力分析与计算^[2](如热应力分析中的极高温环境条件分析),可为产品设计服务。多环境条件下的应力分析,通常需参考产品经历的环境剖面,对多种环境条件进行应力分析,这类分析多见于产品的可靠性仿真分析。

下面给出了某产品的热应力和振动应力分析结果。

3.1 热应力分析结果

图4是该产品在平台环境温度为70℃条件下的整机温度场分布结果。机箱温度表面的平均温度为109℃,比平台环境温度高39℃。为评估产品热设计效果,将平台环境温度70℃定为第1参考温度条件,将机箱表面平均温度定为第2参考温度条件。模块温度分布结果见表1。

3.2 振动应力分析结果

模态分析是为了计算得到电子产品的固有特性,即计算忽略阻尼情况下的固有频率和振型;它是振动分析的基础,后续振动分析都是根据模态分析的结果进行的。进行模态分析时应根据电子产品的固定方式进行约束定义边界条件,并且分析结果需



图4 某产品整机温度分布(环境温度为70℃)

Fig. 4 Temperature distribution of whole machine of certain product(ambient temperature: 70℃)

表1 产品模块温度结果(环境温度为70℃)

Table 1 Module temperature result(ambient temperature: 70℃)

模块	功耗/W	温度/℃			温升/℃	
		最低	最高	平均	*	**
模块1	6	89	101	93	23	7
模块2	6	89	104	92	22	6
模块3	6	87	205	96	26	10
模块4	6	90	104	94	24	8
模块5	8	91	98	94	24	8
模块6	15	89	90	90	20	4
模块7		85	88	87	17	1

注:* 为较第1参考温度条件;**为较第2参考温度条件。

保持足够的阶数,以保证分析结果有足够的模态信息。模态分析的前六阶结果如图5所示。

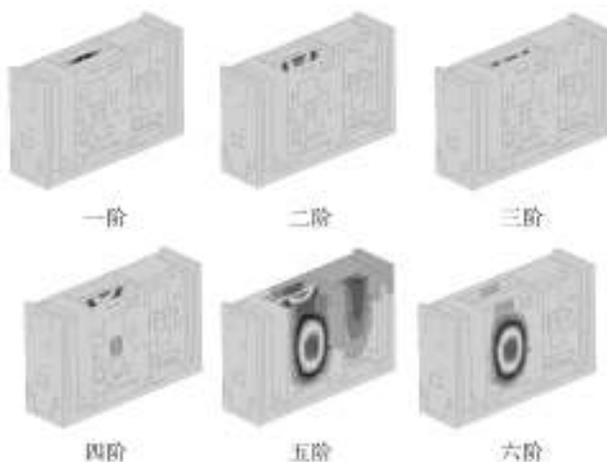


图5 某产品前六阶模态分析结果

Fig. 5 Mode analysis result of a product

随机响应分析可以得到位移和加速度均方根,如图6所示。

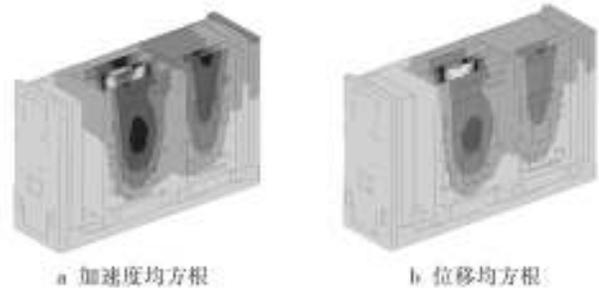


图6 某产品整机加速度均方根和位移均方根

Fig. 6 RMS results of acceleration and displacement of a product

4 环境适应性分析

在完成产品热应力、振动应力仿真分析的基础上,借用完整性理论的思路用“产品强度”来表示产品承受某种环境应力而不出现故障的最大能力,例如承受高温不出现故障的能力。因此,产品强度是一个用环境应力值表示产品耐环境能力的参数^[3]。描述产品强度时,必须同时指明相应的环境应力,例如产品在高温环境下的强度。图7右边的曲线表示的是某种电子产品在高温环境应力下强度的分布,即该产品耐受高温能力的特性,其中使用应力分布可通过设定数字样机参数的随机分布由应力仿真技术确定,而产品强度分布则由产品设计产生。

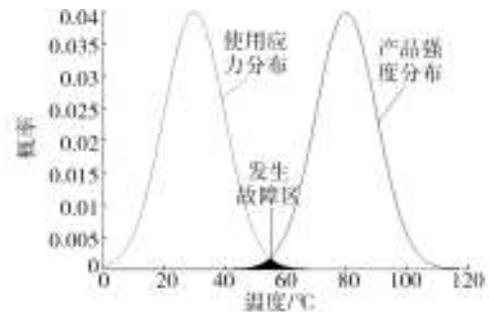


图7 环境应力和产品强度的分布

Fig. 7 Environmental stress and product strength distribution

这种定量描述方法可以改变目前将环境适应性要求、环境适应性设计要求和环境鉴定试验要求混为一谈的局面。目前很多情况下,装备的研制总要求中对环境适应性的要求只有简单的“按GJB 150.××进行”,而GJB 150仅仅是个环境试验标准,当然其中给出了一些环境试验条件。如果按照这些环境试验条件去进行环境适应性设计,而不考虑由于生

产过程的不确定性造成的产品强度的分布,而且试验考核真正采取抽样方式进行,必然有部分产品通不过最终环境鉴定试验的考核。这种定量描述方法形象地说明了后果,这就提醒人们在进行环境适应性设计时,必须考虑产品强度的分布,而给所设计的产品留有一定的应力裕度^[4]。

5 结语

针对航空电子产品特点并结合实例从数字样机建模、模型检查及准确性验证、数值计算及结果分析3个方面介绍了航空电子产品应力分析技术,以及该技术在环境适应性分析中的应用。基于CFD,FEA技术的产品应力仿真分析方法能够有效地支撑环境

适应性分析,并对产品研制中的热设计和耐振动设计具有较大的指导意义。

参考文献:

[1] MIL-STD-810F,环境工程考虑和实验室试验[S].
 [2] GJB/Z 27-92,电子设备可靠性热设计手册[S].
 [3] 空军装备重点型号部.重点型号可靠性维修性保障性培训教材(下册)[M].北京:国防工业出版社,2009:13—16.
 [4] CHARLES A Harper. High Performance Printed Circuit Boards[M]. New York: McGraw-Hill Company, 1999: 916—926.

(上接第9页)

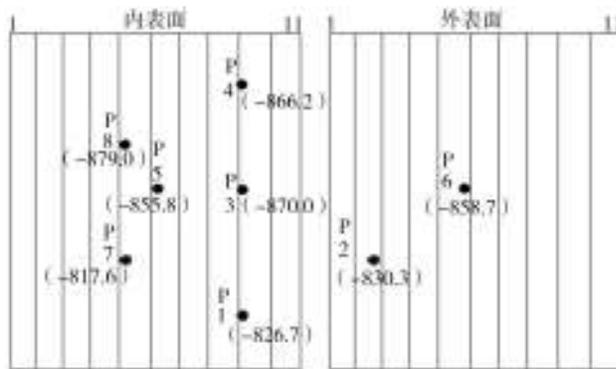


图8 3 a后压载舱保护电位分布实船测量结果

Fig. 8 The measurement results of potential distribution after three years

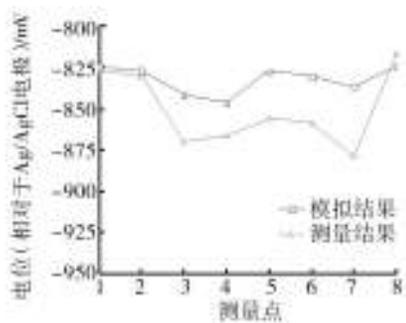


图9 数值仿真结果与实船测量结果对比

Fig. 9 Contrast between simulation and measurement results

果与试验测量结果具有较好的一致性,证明压载舱保护电位仿真和优化结果是准确可靠的。

经验法设计的牺牲阳极保护系统初期能对压载舱起到良好的保护作用,但保护电位梯度大,分布不均匀。船舶服役5 a后,随着涂层的破损和牺牲阳极的消耗和结壳,牺牲阳极保护系统已无法对压载舱起到足够保护作用。

优化后的牺牲阳极保护系统5 a后仍能对压载舱起到良好的保护作用,且电位分布较优化前更均匀。

参考文献:

[1] 李碧英. 船舶压载舱阴极保护屏蔽效应研究[D]. 大连:大连理工大学,2002:6—16.
 [2] SANTANA-DIAZ E, ADEY R. Optimising the Location of Anodes in Cathodic Protection Systems to Smooth Potential Distribution [J]. Advances in Engineering Software, 2005, 36 (9): 591—598.
 [3] SANTANA-DIAZ E, ADEY R, BAYNH AMJ. Optimising the Location of Anodes in Cathodic Protection Systems[M]. Southampton UK: WIT Press, 2003.
 [4] ADEY R, NIKU SM. A CAD System for the Analysis and Design of Cathodic Protection Systems[C]//Ellis Horwood. Prediction of Materials Performance. Cranfield UK: Cranfield Institute of Technology, 1985: 233—255.