

军用光学仪器环境适应性设计 CAD/CAE 应用方法的研究

赵 鹏

(中国科学院长春光学精密机械研究所 长春 130022)

摘要 探讨了在军用光学仪器研制过程中,采用计算机模拟的形式,利用CAD/CAE技术,进行性能指标和环境适应性指标优化设计的方法;讨论了该方法在军用光学仪器生产、研制中所起的作用,并以实例说明该方法的应用价值及广阔的应用前景。

关键词 CAD/CAE技术 军用光学仪器 环境适应性

1 引 言

军用光学仪器是一种应用战争环境下的特殊仪器,正是由于这种特殊的使用要求使得军用光学仪器的设计不同于民用仪器的设计,除了高性能、轻重量、小体积的要求外,应能适应恶劣复杂的战场环境,在温度、湿度的急剧变化;强烈的振动、冲击等环境条件下保持性能的可靠发挥,因此在大多数的军用光学仪器战技指标中都有高温、低温、振动、冲击、湿热等环境适用性指标,这些指标的的实现直接影响到军用光学仪器设计的成败。所以军用仪器的设计就是要实现性能指标与环境适应性指标的全面优化,通过合理选用设计参数,既达到全部技术性能指标的要求,又达到军用光学仪器的战术要求:保证仪器有足够的强度、刚度使其在特殊的环境下安全、稳定、可靠。在传统的设计过程中,设计者只能凭经验选择和控制设计参数,而整机在特殊环境条件下的整机特性却要等到设计完成后,甚至到整机加工生产后才能检测,这样就延长了设计周期,增加了研制费用,不符合现代设计思想。如何在设计的过程中建立设计参数与特殊环境条件下整机特性的有机联系,实时的判断一组设计参数所得到的特殊环境条件下

整机特性、性能参数,再反馈到设计者修改设计参数,形成设计、检验的闭环,达到特殊环境条件下整机特性的全面优化,从而提高军用光学仪器的战术应用价值,提高性能价格比,这是军用光学仪器研制方法的一个重大课题。

随着计算机硬件水平的不断提高,计算速度和容量已不再是成为其工程应用的障碍,CAD/CAE(计算机辅助设计/计算机辅助工程分析)技术的有了大幅度的发展,各种功能强大的CAD/CAE软件已大量地投入市场,如机械CAD软件Unigraphics、Ideas;机械CAE软件Anasys、Nastran;电子学CAD/CAE软件Cadens等,这些软件集设计、计算、分析于一身,水平已达到了半智能化的程度,其计算的精度已远远地满足要求。这些软件为军用光学仪器环境适应性设计提供了崭新的手段和思想,利用这些软件就可以建立设计参数与特殊环境条件下整机特性的联系,形成设计闭环。本文论述了CAD/CAE技术军用光学仪器环境适应性设计的应用方法的内容;分析这种方法的特点,以实例说明该方法的应用价值和广阔的应用前景。

2 军用光学仪器 CAD/ CAE 设计方法

利用计算机平台建立设计模型,并计算军用光学仪器的特殊环境条件下整机特性,其基本思路如图1所示,其基本思想为:采用有限元的计算方法把产品离散化成为有限个节点和单元,根据各个节点、单元的关系,以及所用材料的物理特性,建立各个单元的刚度矩阵和该产品的整体刚度矩阵;把外部环境条件作为初值或边值条件,建立起整个产品的模型方程;利用计算机的计算能力,求解产品的模型方程,得到在某种环境条件下产品技术状态的改变,从而得到产品能否达到环境适应性要求的结论;并决定是否重新选择设计变量。根据上述原理,本方法大体可以分成四个步骤:

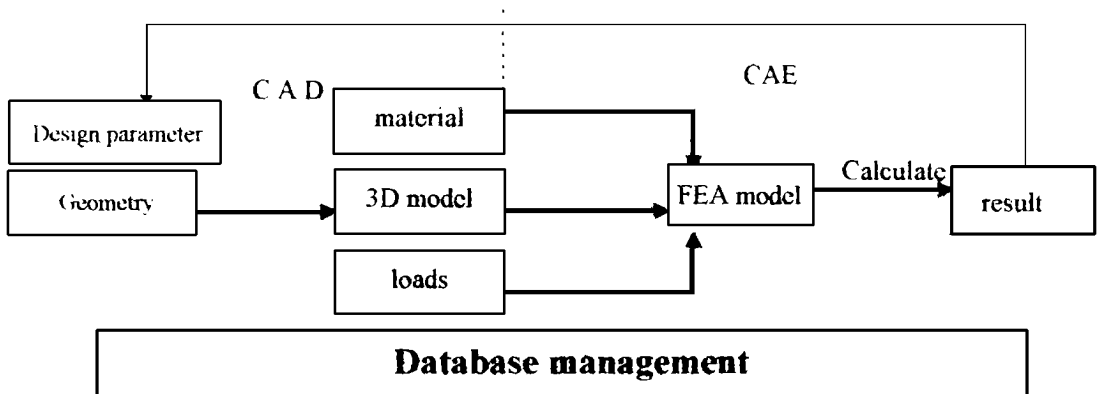


Fig. 1 Sketch of CAD/CAE analysis process

1. 三维实体建模: 首先根据产品图纸或实测尺寸,在计算机上绘制每个零件的三维立体模型,然后根据各个零件的相互关系在计算机上装配成整机,以形成产品的三维屏幕样机。
2. 有限元建模: 有限元模型直接由屏幕样机生成,以保证其几何尺寸与实际产品或图纸要求一致;为平衡计算量和工程计算精度的要求,对产品的非关键部位本着能量等效的原则进行简化处理,即保证被等效后结构的质量、质心、连接刚度等保持不变,以体现真实构件对整机

质量、刚度的贡献;同时,在关键的力或热的传递路径上,单元要划分的密些,以提高计算精度;在要考查的关键部位的关键点上要划分出节点,以便于对计算结果进行检查、分析。建立了整机的几何关系和拓扑模型后,必须要分配各单元的物理属性,也就是根据求解要求不同和各零、部件实际所使用的材料,分别赋予力或热的特性,如求解力学特性时,各材料的密度、弹性模量、泊松比等;求解热特性时,各材料的热传导系数、线膨胀系数等物理特征。材料的物理特性应力求与实际一致,对于一般零、部件的材料属性可以查阅材料手册,而对于那些关键的构件或材料手册中取值范围较大的材料,其值应以实际测量为准。在对模型分配材料属性的同时,必须对整机的初始工作状态进行描述,定义出整机工况,如那点被约束、那里受力、什么地方有与外界有热交换等情况,都必须准确地描述出来。然后,依据技术指标的规定,在整机上施加环境应力,如高温、低温、振动、冲击等。这样就得到了在某种特定环境下工作的军用光学仪器的计算机虚拟模型。

3. 有限元计算:把建立好的整机虚拟模型,提交计算机计算,其原理是计算机采用线性方程组数值求解的方法,求解总体刚度方程,反复迭代以逼近真实解。为兼顾求解速度和求解精度,可以通过调整自由度来控制方程组中求解变量的多少;调整迭代步数控制迭代次数;调整求解精度控制结果与真值的逼近程度。求出的结果是整机各点上的应力、应变、位移、温度等值。

4. 结果分析:把全系统的总体要求,分解到各个分系统甚至到零、部件,提出要达到总体指标各构件应满足的要求,比较计算结果看其是否在允许的范围内,并给出结论性意见;根据计算结果,重新选取设计参数,重新计算已达到设计参数与特殊环境下整机特性的优化。

综上所述,军用光学仪器环境适应性设计 CAD/CAE 方法的核心是有限元模型的建立,它直接影响到计算精度。如果有限元模型建立的科学合理;材料属性正确;工况合乎实际,其计算结构才能说明问题,起到指导设计的目的。

3 对该方法的分析

用计算机模拟的方法在设计过程中,完成军用光学仪器环境适应性的设计,与传统的试验法相比较可以节省大量的人力、物力。尤其是在新产品研制的初期,在只有图纸没有实际成品的条件下,就可以进行特殊环境条件下整机特性的检验、分析,并可以尽早地发现设计中的问题,在概念设计时就能够实时地修改设计参数,优化各个设计变量,使军用光学仪器的设计“一次成功”。但是,利用有限元法计算产品的环境适应性,用有限元模型取代实际产品,实际上是一种对实际情况的理论上的近似和数学模型的抽象,必然于实际情况不完全一致,会带来一定程度上的误差。如为了减少计算量而对产品结构的简化和等效,分配材料属性时数据处理等模型误差;计算机计算的过程中数据有近似和截尾误差;有限元理论把现实中的连续体离散化的理论误差。在诸多的误差中,只有模型误差是最为严重,而其它的误差如有限元理论误差、计算机数据处理误差等已被实践证明完全满足工程的需要,所以模型误差的大小直接影响到计算结果的正确性。因此,有限元模型建立好后,应当进行充分的分析、论证、检验后,才能利用该方法进行计算、分析、指导设计,否则得到的结论,不仅会似是而非,甚至会背道而驰。

4 该方法应用实例

利用该方法完成某新研制的军用航空摄像机环境适用性的设计, 该摄像机结构示意图如图 2 所示。设计工作在 HP 工作站上完成, 利用机械 CAD 软件为 Unigraphics, CAE 软件为 Patran 进行计算, 为建立摄像机有限元模型能够代表设计情况, 并能减小计算量, 对该摄像机作如下处理:

1. 镜头部分: 该部分是摄像机的关键部位, 也是对外界环境干扰最敏感的部位, 故该处网格划分较密, 以分析各镜面对像质的影响。

2. 镜筒部分: 该部分起到支撑光学系统, 提供总体刚度, 是力的传递路径的组成部分。所以, 也应划分细些, 其消杂光光阑、台阶结构等细部以平均厚度等效。

3. 机身部分: 机身内部 CCD 像机, 调焦电机、调焦机构、调光电机、调光机构等, 不在力的路径, 所以用质量、质心与实际相一致的质量块等效, 保证其提供等效的负载。

4. 电子线路: 电子线路不承受载荷也不传递力, 保证其质量和质心位置, 进行等效处理。

5. 工况: 与飞行器相连接的四个螺钉孔以节点的方式全约束; 在光轴方向施加重力加速度, 以等效工作状态下的自重。

6. 材料: 以实际材料的牌号, 从手册中查得。

根据指标要求, 在有限元模型上分别施加高温、低温、冲击、振动等环境条件, 分别计算其整机强度、刚度、变形, 计算出各种条件的变形对光学系统的影响, 求解光学参数的变化, 分析其分辨力、视场等性能指标的变化, 并根据结果修改设计参数。通过该方法的应用大大的缩短了研制周期, 降低了实验和反复加工的成本, 其计算结果得到了试验的验证, 该摄像机顺利完成设计定型的工作。

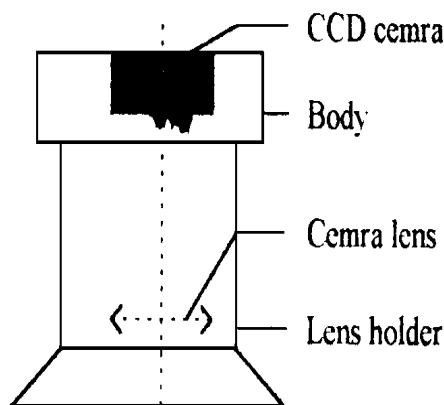


Fig. 2 Sketch of structure

5 结 论

军用光学仪器环境适应性设计的 CAD/CAE 方法, 是实验方法的补充和延伸, 在一定程度上起到替代实验方法的作用, 并节省了人力物力。尤其在高新技术、新型材料在军用光学仪器上的不断应用, 其设计要求不断提高, 优化设计的约束条件也越来越复杂, 设计变量的可选择范围越来越小, 经验设计方法已无法达到要求, CAD/CAE 在新军用光学仪器设计开发的全面应用已事在必形。随着 CAD/CAE 技术的进一步发展和对军用光学仪器研制特点的进一步研究, 更加简便、更加智能化的专业应用程序的必将出现, 计算机辅助设计的方法会越来越地得到重视和更加广泛的应用。

参 考 文 献

- 1 张国瑞.有限元法.北京:机械工业出版社,1991.350
- 2 Young Philip.Alignment Design for a Cryogenic Telescope.Proc SPIE , 1980,250:171~176
- 3 Lightsey P A.System Performance Analysis for COST AR Design.Proc. SPIE, 1993,1945:55~64
- 4 卢锷.CAD——一场设计革命.光学精密工程,1994(2):2~7

A Study on CAD/CAE Applied Method of Military Optical Environmental Adaptability Design

ZHAO Peng

(*Changchun Institute of Optics Fine Mechanics,
Chinese Academy of Sciences, Changchun 130022*)

Abstract

This paper discusses a new method of military optical device environmental adaptability design by means of CAD/CAE technology, and demonstrates the different between this method with the traditional way, and prospects wide use of this method. A practice design process using this method is shown, as a example.

Key words: Military optical device, CAD/CAE, Environmental adaptability

赵 鹏 男,1969 年出生。1990 年毕业于中国人民解放军军械工程学院,并获得军用光学工程学士学位。现在中国科学院长春光学精密机械研究所攻读硕士、博士学位,先后参加多个新型军用光学设备的研制,现从事光学仪器总体指标计算机辅助工程的工作。