

空间光学仪器光、机、热一体化总体设计

赵 鹏 卢 镔 王家骥

(中国科学院长春光学精密机械研究所, 长春 130022)

摘要 论述了一种在光学仪器总体设计过程中,从系统工程的观点出发,全面考虑光学系统、机械结构与外部热环境间的关系,利用 CAD/CAE 的技术手段,在进行光学设计和机械结构设计的同时进行热设计,以达到空间光学仪器系统总体设计参数优化的新思想。并以某空间相机的设计为例,介绍了这种方法在实际工程中的应用。

关键词: 热设计; 一体化设计

1 引 言

CAD/CAE 技术随着计算机技术的飞速发展和计算机在各个工程领域的广泛应用,已引起了极为深远的影响,起到了划时代的作用。它已作为了高科技生产力的手段,对提高设计水平和生产效率起着巨大的推动作用。各种各样的 CAD/CAE 软件在各类计算机计算、存储能力大幅度提高的同时,在各方面专家的努力下变得更加通用化、智能化,界面也更加友好、更加便于操作。一些 CAD/CAE 软件已具备了

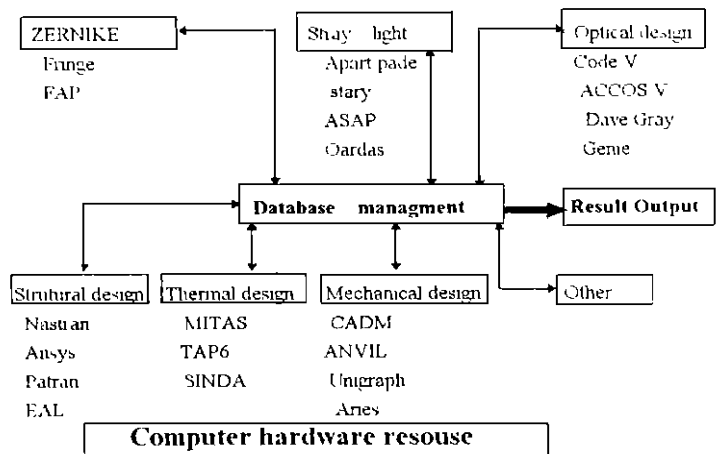


Fig. 1 Integrated analysis process

完善、精确的光学、机械、传热学的计算能力。空间光学仪器光、机、热一体化设计的思想正是在这种情况下产生、发展起来的。国际上一些技术发达国家空间光学仪器一体化设计的方法已得到了广泛的应用,如美国 NASA 宇航局所有航天器、包括航天器上的空间光学仪器都必须经过 CAD/CAE 分析验证,经过一体化设计才能上天。一体化设计思想如图 1 所示:

上图示意了一体化设计的基本方法,那就是在描述仪器基本结构参数的数据库基础上,在统一的数据库管理程序管理下,进行各种分析计算,用 Zernike 多项式系数联系结构设计与光学设计,用有限元模型联系热设计及其它结构力学设计,从而达到一体化设计的目的.图中给出了各模块之间的关系,并列举了一些各个功能著名软件的名称。

2 空间仪器传统热设计

一九五七年,人类发射了第一颗人造地球卫星,开始了征服太空的征程。半个世纪以来已发射了数以千计的不同类型、不同用途的航天器,并在这些航天器上装载了数以万计的空间光学仪器。空间环境在大气层以外,与地面环境有很大的差别,由于只受到太阳辐射的影响,其工作的热环境更为恶劣,所以其温度变化范围大,会从零下二百多度到零上数百度,同时其温度分布极不均匀,温度梯度达可几十度到几百度每米。空间光学仪器要观测星际间的物体要求其作用距离很大,因此空间光学仪器通光孔径较大、分辨率要求较高,主要光学元件温度梯度要求较小。所以空间光学仪器的热设计的好坏与光学设计、机械结构设计一样决定了其完成任务能力。在以往的空间光学仪器的设计过程中,一般采用传统的设计方法,利用类比和经验进行设计。在仪器制造完成后,通过实验来验证其性能指标,根据检测结果评价仪器的优劣并修改,使其最终达到总体技术指标的要求。其基本流程如图 2 所示:

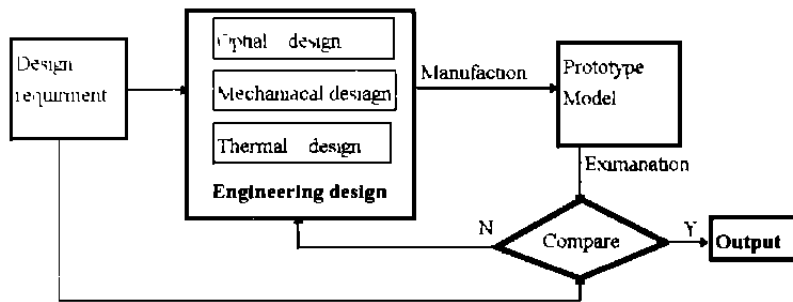


Fig. 2 Traditional design procession

3 空间光学仪器光机热一体化设计

在传统设计过程中,各分系统的设计是分开进行的,很难考虑到光、机、热等各分系统的设计参数的相互制约,并且仪器指标的验证是在仪器生产出来之后进行,许多隐患要到仪器研制的最后阶段才能暴露出来,所以这种串行设计方法很难达到系统的优化,给修改设计带来很大的困难,其经济性极差,很难缩短研制周期,不符合一次成功的思想。实验验证时,空间环境的

复杂很难在实验室内完全模拟出来,要想达到一定程度的逼真又要花费大量的人力物力。为了克服上述的缺点,就必须采用光、机、热一体化设计的方法。这种方法采用 CAD/CAE 的技术手段,把仪器当作一个系统的、有机的整体,全面考虑光、机、热的相互作用,各分系统参数的相互制约,统一地、连贯地处理各系统设计参数,以达到整机参数的优化。其具体可分为五个步骤:

- 1、根据总体技术要求进行概念设计——利用机械 CAD、光学 CAD 的软件设计出来空间光学仪器的屏幕样机。
- 2、在屏幕的样机的基础上建立 FEM 模型——有限元模型,进行结构静、动力学分析,修改结构设计,修正屏幕样机和 FEM 模型。
- 3、在 FEM 模型上进行温度场分析,根据结构的温度分布情况形成热控方案,修改结构,修正屏幕样机和 FEM 模型,重新分析温度场,求出热变形。
- 4、根据光学系统零件的热变形情况,修正光学系统模型,利用光学 CAD 平台求解热变形引起的各种象差。
- 5、比照总体指标要求,修改总体设计参数,重复上述步骤,迭代寻优。

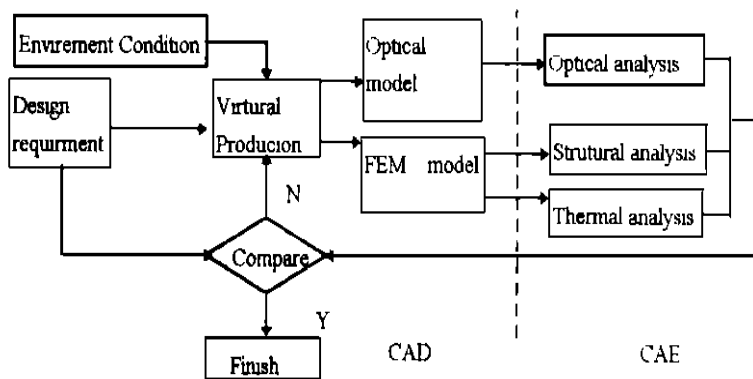


Fig. 3 Integrated design technical procession

这种方法是由参数驱动的屏幕样机带动的设计——分析的反复迭代,是全量化过程,它建立了光、机、热各个分系统参数有机的联系,并行地平衡各分系统技术参数以达到总体参数的优化,同时可对整机动态参数进行计算机仿真计算,是真正的系统的、动态的设计方法。利用这种方法可以大大地缩短研制周期,减少了研制经费,可满足‘一次成功’的要求,可以说是工程设计的一次革命。

4 某空间相机的光、机、热一体化设计

根据光机热一体化设计思想,我们在某新型空间相机的研制过程中,采取了这一思想方法,成功地实现了光、机、热同步设计,大大地缩短了研制周期,节省了研制经费,取得了预期的

效果。下面就简述这一过程:

相机的机械设计是在 HP 工作站上利用 EDS 公司的 CAD 软件 Unigraphics 完成;光学系统设计是在 VAX 工作站上利用 CODE V 软件完成;工程分析是在 HP 工作站上由 PATRAN、ANASY 等完成。

4.1 构造模型

相机的屏幕样机是按相机的实际设计尺寸和应用的材料的实际物理属性以 1:1 比例构造。FEM 模型是在屏幕样机上直接生成,为确保工程分析的精度,生成网格时,在关键的热和力的传递路径上,网格划分的密些;非关键部位要本着能量等效原则,准确描述其等效单元的质量、质心位置及连接刚度,尽可能地实现与实际情况的逼近。

相机结构有限元模型参数为:

单元总数: 6139

节点总数: 9155

自由度数: 30000

4.2 工程分析

根据总体指标中,相机实际的工作环境设定工况和载荷;按实际的热环境施加传导、对流、辐射载荷求解各节点温度,根据各节点温度采取热控方案如下:

- 1、采用先胀系数小的材料,并保证线胀系数的匹配和补偿。
- 2、采用柔性支撑,防止发生由于热膨胀而引起的翘曲。
- 3、采用多层低反射率和低传导率的材料包裹机身。
- 4、内部机构表面涂黑增强辐射散热能力。

4.3 热变形计算

根据热控方案,修正 FEM 模型重新进行温度场分析,把各节点温度作温度载荷求解热变形。

4.4 象差计算

在热变形求解基础上对光学构件进行 ZERNIKE 分析,求出的多项式系数修正光学系统,求出各种象差。对照技术要求,修改设计。

5 结 论

有关专家预测下一世纪的空间光学仪器的孔径将在 10~16 m 的范围内,这将意味着空间光学仪器将对温度更加敏感,其设计余度更小,人类面临更加苛刻的挑战,如果不采用一体化设计,设计指标将无法实现。所以随着 CAD/CAE 技术的不断成熟,一体化设计的思想将更加广泛地在空间光学工程实践中得到应用。

参 考 文 献

- [1] John B. kitto, Woodrow A. Fiveland, Advances in thermal engineering. Mechanical engineering, 1995 (march), 88 ~ 92
- [2] Steven. Ashilly , Cutting costs and time with DFMA. mechanical engineering, 1995(march), 74 ~ 77
- [3] Alson E. Hatheway, An overview of element method of optical system · SPIE· 1991(2 ~ 4) , Analysis of optical structure 专集
- [4] 卢鐸、杨洪波, CAE 技术 ATP 在 R&D 系统中的应用, 光学机械, 1992(4), 20 ~ 25

Integrated Design for Space Optical Instrument

Zhao Peng, Lu E. and Wang Jiaqi

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

ABSTRACT

In this paper, a new thought of integrated design method of the thermal/ structural/ optical system for spatial optical instrument is presented, and the advantages of this method are explained. Also, a newly designed spatial camera with this method is shown as an example to demonstrate the wide use of this integrated design approach in the engineering practice.

Key words : Integrated design, Thermal design

赵 鹏 男, 1969 年生, 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, 1993 年入中国科学院长春光学精密机械研究所攻读硕士、博士学位, 现从事空间光学仪器整机热分析的研究。