

对开发光机电一体化工程软件包的设想与探讨

唐家鹏

摘要: 本文以光、机、电总体设计为问题背景,利用已有的热分析和结构分析程序及所编制的光学设计程序进行模拟设计,并开发研制了体现一体化思想的工程软件包。可预测光机系统在热、机械载荷作用下的性能,并提出了包括电的部分在内的一体化设计思想。

一、引言

计算机辅助光机系统设计(CAOMD)是在计算机辅助光学设计(CAOD)和机械系统有限元分析基础上发展起来的,同时也充分利用了计算机图形交互技术、数据库技术。从CAOMD的发展趋势看,也必将把人工智能技术应用到其中,以使CAOMD走向智能化。

CAOD发展较早。1959年,C·G·Wynne发表了阻尼最小二乘法光学自动设计论文,从而第一次实现了光学自动设计。这也是CAOD的雏形。

有限元方法(FEM)是Clough于1960年首次提出的概念。现今的FEM已发展到可以解决数学描述为线性和非线性方程的所有物理学问题。除此以外还有与FEM相似的BEM—边界元法。

我们现有的结构分析程序和热分析程序是分别用FEM和BEM编制的,加上笔者编制的光学设计程序及必要的接口程序,便可以完成光学机械系统在复杂环境下的设计及性能分析,从而在计算机上实现一体化的模拟设计。

二、问题提出背景及解决方法

1. 问题提出的背景

任何一个以传递信息为主的系统若要完成其预定功能,都需要一个信息流的载体。在导弹制导、火箭发射、宇航等尖端领域,高精度、高性能的光电仪器正是这种信息流的载体。

对于性能和精度要求很高的光电仪器,首先要考虑如何提高其品质因数 Q ,以使设计达到优化;其次,在实际样机制作前利用计算机进行模拟设计,可以缩短研制周期、降低研制费用,从而使仪器的性能价格比趋于最佳。基于这两点考虑,我们提出了在计算机上进行光学仪器模拟设计的设想,并以某空间光电仪器为例来说明这一过程。

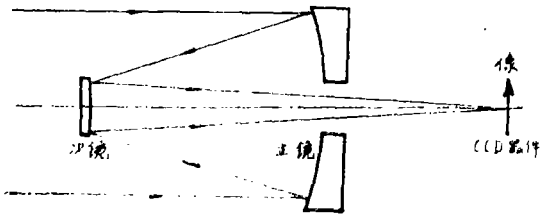


图1 Cassegrain光学结构

此仪器光学部分结构为Cassegrain结构，如图1所示。像面处的接收器件为 CCD。此仪器工作时所受冲击载荷为 15~30g，并受有一稳定温度场下热载荷的作用。机械和热载荷的作用使本来完好的光学系统发生变化，导致光学元件的表面变形、元件的倾斜和偏心，从而使像差发生变化。为了考虑这些变化所带来的

影响，就要对以往的光线追迹公式和像差公式予以修正。本文研究的系统所受机械和热载荷可以包括以下几种情况：

- (1) 热梯度对材料形成的热冲击
- (2) 与时间有关的机械冲击
- (3) 正弦振动
- (4) 随机振动

2. 解决方法

概括地说，就是把光学设计和有限元分析结合起来，通过编程使得设计过程得以在计算机上实现。图2给出了程序计算的流程图。图中各模块功能如下：

PRE：预处理模块，包括 FEM 网格划分和原始数据的准备。

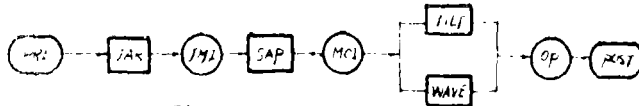


图2 程序计算逻辑流程图

TAP：热分析程序，用FEM或BEM求解温度场分布。

TMI：热分析与结构分析接口程序。

SAP：结构分析程序，得出光学元件在机械载荷作用下的结构变化。即元件倾斜、偏心 和表面变形。

MOI：结构分析与光学接口程序。判定元件是倾斜、偏心还是表面变形。

T1LT：光学元件倾斜和偏心计算。

WAVE：光学元件表面变形计算。

OP：光学设计程序，可完成光线追迹和像差计算。

POST：后处理程序，最后结果的图形化及人机对话功能的实现。

三、一体化设计依据及实现步骤

1. 一体化设计的实现依据

为了预测光学机械结构在热和机械载荷作用下的变化情况以及对光学像差的影响，必须进行一体化 (Integrated) 的模拟设计，其依据就是几何尺寸的相关。

几何尺寸相关的物理意义简言之，就是结构在热、机械载荷作用下几何关系和拓扑关系 (此处通称为几何尺寸) 发生变化，从而导致像差的变化。具体讨论如下：

$$\begin{aligned}
 S_1^* &= S_1 \\
 S_2^* &= [(h + d\theta)/h] S_2 \\
 S_3^* &= [(h + d\theta)/h]^2 S_3 \\
 S_4^* &= [(h + d\theta)/h]^3 S_4 \\
 S_5^* &= [(h + d\theta)/h]^4 S_5
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

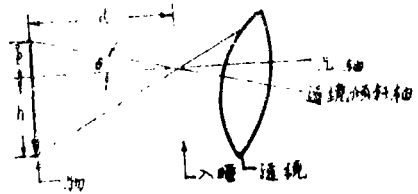


图4 关于入瞳倾斜的透镜

对光学系统偏心或倾斜和偏心都存在的情况，也可进行类似的分析。

2. 模拟设计时的考虑

利用SAP和TAP模块对多种载荷工况进行计算，得到不同环境下的结构变化，从而得到像差随载荷变化的曲线，为系统的性能评价和优化提供依据。

五、进一步的讨论

在完成光机一体化模拟设计的前提下，在此提出光机电一体化的初步设想，具体问题有待于探讨。

图1结构中的CCD器件在热载荷作用下，其背景噪声和暗电流就会增大，这样CCD在把光信号转变为电信号同时，也带有一定的噪音电平。这对系统性能势必会产生影响，因此有必要对这种影响进行预测。

将图2改为图5即可实现此计算过程。

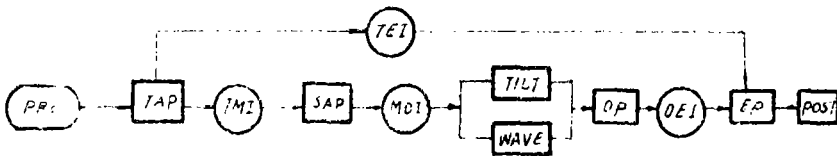


图5 光机电一体化逻辑流程图

TEI: 热分析与电分析接口程序。

OEI: 光学与电分析接口程序。

EP: 电分析程序。

六、结束语

光机系统的一体化设计在国外是近几年才引起人们的关注，加上学科交叉多，因此设计尚未完善。对光机电一体化设计至今尚未实现程序化。所需说明的一点是，图2和图5的一体化计算流程图是逻辑上的顺序。在计算机上的具体实现，必须将各模块置于同一工程数据库 (EDB) 的环境下，才能完成一体化的模拟设计。

参 考 文 献

- [1] J. Miller, M. Hatch, K. Green; Opt. Eng., 1981, 20 3/4, 166-174
- [2] Paul, R. Yoder, JR., Opto-mechanical Systems Design, Marcel Dekker, Inc. 1986
- [3] Nicolas A. Roy, William B. Haile, Optical Ray Tracing in Finite Element Models, SPIE, 1983, 450, 168-175
- [4] Paul L. Ruben, J.O.S.A., 1964, 54, 1, 45-52
- [5] Joseph H. Oberheuser, SPIE, 1979, 193, 27-33
- [6] T.H. Jamieson, Opt. Eng., 1981, 20, 3/4, 156-162
- [7] 袁旭沧等, 光学设计, 科学出版社, 1983
- [8] O.C. 监凯维奇, 有限元法, 科学出版社, 1985

Study on Developing Integrated Optical, Mechanical and Electrical Engineering Software Packages

Tang Jiapeng

Abstract

In this paper, a simulation design method taking the total optical, mechanical and electrical design as a background of the problem, using the Thermal Analysis Program (TAP), Structural Analysis Program (SAP) and optical design program made by myself, an engineering is described.

Software package, based on the integrated ideas, is developed. By using this package, performance of opto-mechanical systems undergoing thermal and mechanical loadings can be predicted. Ideas of integrated design including the electrical part are also presented.