

光学设计软件发展的回顾与展望

翁志成 陈志勇

摘要 概略地回顾了五年以来应用光学实验室光学CAD组在发展光学设计软件上所取得的进展,并根据国际上CAD软件的发展,提出今后工作设想。

一、前 言

自从1987年在“光学机械”4-5期刊上^[1]系统地介绍了CAOD软件系统的设计思想、总体结构和使用方法之后,这个常规光学系统设计软件一直在本所和国内其它许多从事光学设计的研究所、工厂、学校使用。

五年以来,随着光学系统的发展和计算机性能价格比的提高,我们应用光学国家重点实验室在发展光学设计软件上又有相应的进步。本文将从以下四个方面来介绍。

- (1) 常规共轴光学系统设计软件的改进;
- (2) 非常规光学系统的分析和设计软件包的开发;
- (3) 中国光学镜头数据库的建立;
- (4) 光学设计专家系统的研究。

最后将回顾一下国际上几种商品光学设计软件的发展,并提出我们今后工作设想。

二、常规共轴光学设计软件系统的改进

应用光学国家重点实验室的光学CAD组于1987年引进了VAX-II 计算机系统和美国的CODE-V软件。国内某些光学设计人员还希望应用过去已习惯的CAOD系统,因此我们开发了适于在VAX机的VMS操作系统下运行的CAOD的新版本,并且建立了CAOD软件镜头结构数据与美国CODE-V软件数据间的转换关系。在过去的五年中IBM-PC计算机发展很快,由PC-XT机升级到光线追迹速度快数十倍的386和486PC机,都得到了广泛应用。我们充分利用当前的PC机速度快,内存大、屏幕分辨率高和开发工具丰富的优点,对老软件版本作了大的改进。首先我们改正了程序中某些错误,如镜头数据存取中超长引起的错误;波差计算时由于光瞳边界引起的误差;以及光线设定中的问题等。在此基础上在屏幕上重新布局了更适于光学设计者应用的图形输出和友好的用户界面。例如在波面像差分析屏中(见图4)包含了均方根波差、P-V值波差、波差值跟所占出瞳面积的关系曲线、波差等高线图和S、D判据等信息。

Wave Aber. Analysis

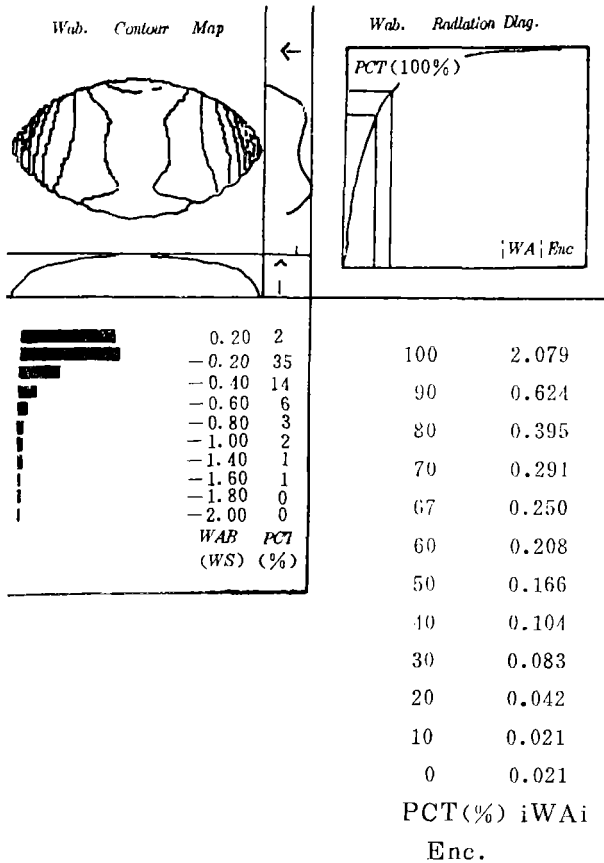


图1 波差分析屏幕显示

SEMI-FLD: -14.700 (deg)
 W.L.1: 58756 micron
 MIN WABNS: -2.079 WAVES
 MAX WABNS: 0.223 WAVES
 AUR WABNS: 0.000 WAVES
 RMS WABNS: 0.000 WAVES
 67% iWABNSi < 1/4 WAVES
 80% IWABNSI < 0.39 WAVES
 S.D = 0.427
 Note: when RMS WABNS < 0.1w
 S.D. can be used
 EXIT PUPIL SHAPE:
 ELLIPSE
 A = 0.955063E + 00
 B = 0.656963E + 00
 Relative Pupil area
 S/Saxial: 0.627
 Hard Copy: <Print Scrn>
 Paint Contour: <Enter>

此外还增补了对远焦成像系统的处理,对中心遮栏系统的处理和对不同畸变要求的大视场鱼眼物镜光路计算功能。在新版程序中,尽管做了很多改善和变更,但依然保持原来CAOD软件包的特色。

三、非常规复杂光学系统分析软件—GOSA的开发

新型特殊光学系统的发展促使我们研制可用于设计非常规复杂光学系统的软件包。在应用光学国家重点实验室和国家自然科学基金的资助下,我们与北京理工大学光学工程系共同研制了GOSA软件^[2]。

目前碰到的典型非常规光学系统有特殊波段空间光学系统,遥感用成像光谱仪系统,为发展X光光刻用的正入射投影系统,为增长观察距离或定向能发射的综合孔径光学相位望远镜系统,可为光学设计提供额外自由度的衍射光学(二元光学)系统,以及微光学中常用的变折射率透镜等。上述特殊系统难以用普通的CAD系统作光学设计。而GOSA软件却具备以下特点:

- (1) 含有复杂的曲面面型和复杂的棱镜、光栅、衍射单元、渐变折射率等特殊元件;
- (2) 含有偏心、倾斜、扫描、阵列孔径构成非共轴光路;
- (3) 可具有复杂的光阑形状,可处理曲面物、像面;
- (4) 可处理多重结构光学系统。

从而可以有效地用于分析设计非对称和偏轴的复杂系统。该软件应用了 H. H. Hopkins 教授的物像空间正则归一化坐标, 使得一般系统的像差和各种像质指标的计算公式具有统一的形式, 保持一定的精度。为了便于判断输入结构是否有误, 该软件可显示出不同取向的三维结构图 (见图 2)。象这样一个基本上具备美国大型光学工程软件 CODE-V 主要功能的复杂软件系统可以在 IBM-PC 机上运行, 这是因为在 GOSA 软件中对数据存贮和程序结构做了巧妙安排^[3]。

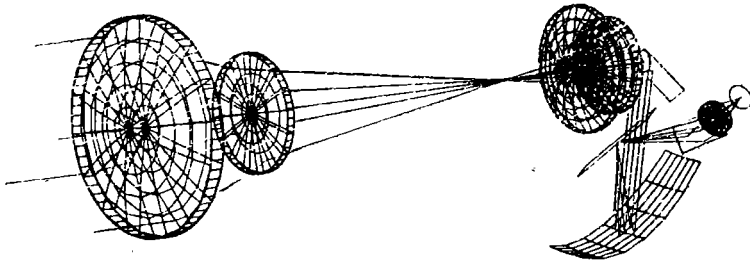


图 2 GOSA 中光学系统三维显示

四、中国光学镜头数据库—COLDB的建立

光学镜头设计的优劣在很大程度上取决于初始结构的选择。建立光学镜头数据库, 是为光学 CAD 系统查找和选择初始结构的一种最简捷方法。它提供了继承和发展前人设计成果的有效途径。

为此, 我们从 1986 年开始建立中国光学镜头数据库 COLDB。目前已存有二千多个光学镜头数据——其中包括镜头的光学性能、结构参数、结构图、质量评价图表、镜头设计摘要。另外还有不同公司生产的一千多种牌号的光学材料的性能数据。

为了便于管理和查询, 将镜头按照用途和结构分成 15 个主类和 112 个子类。在查询时除

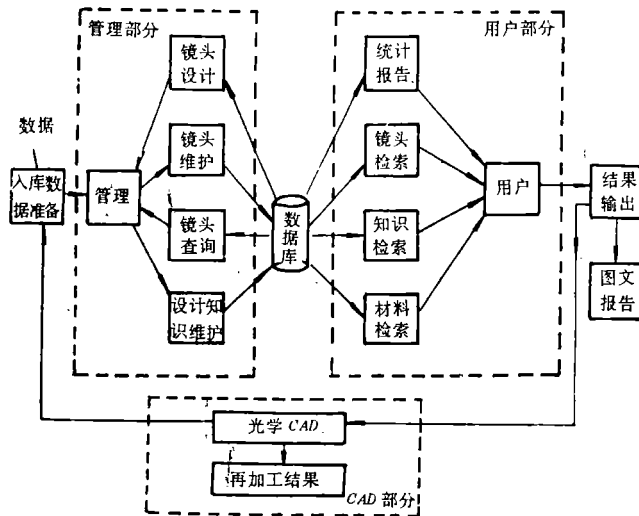


图 3 COLDB 的系统结构

了可以根据用途分类进行检索外，还可以根据给出的高斯光学性能、机械外型尺寸和成像质量等条件来进行检索，共有42个查询项。

COLDB系统结构如图3所示。系统设计问题已在有关论文中发表^[4]。

COLDB系统有两个特点。它是集数值、文摘和图形于一体的混合型科学数据库；它与CAD系统有机地结合在一起。CAD系统可做为入库镜头的验证和改造的工具，保证数据质量；反过来，COLDB中存贮的大量数据通过检索亦可选择适当的初始结构数据直接供给CAD系统，完成具体的设计。

由于光学镜头数据的复杂性，我们采用了一种以ORACLE关系数据库管理系统(RDBMS)和VMS文件系统相结合而构成的数据库系统。它适合于对数值、文献和图形的混合管理。

在文献^[6]中我们对混合数据的存贮、操作、事务处理和安全保密问题作了较详细的论述。

五、光学设计专家系统的研究

光学设计是知识性，经验性很强的工作。在发展CAD光学软件和建立光学镜头数据库的过程中，我们也着手收集、整理光学设计的经验和知识，并建立知识库。以此为基础，还做了把人工智能技术引入光学设计领域的探索建立了一类变焦距物镜设计专家系统的模型JEX-1。

分析了光学工程师进行光学设计的过程之后，我们在JEX-1中贯彻如下基本思想。

- (1) 把整个设计过程分解为选型、优化、评价、加工出图等独立的子任务；
- (2) 每个子任务由一个子专家系统完成；
- (3) 这些专家系统通过一个顶层全局专家系统控制，相互协调共同解决具体任务。

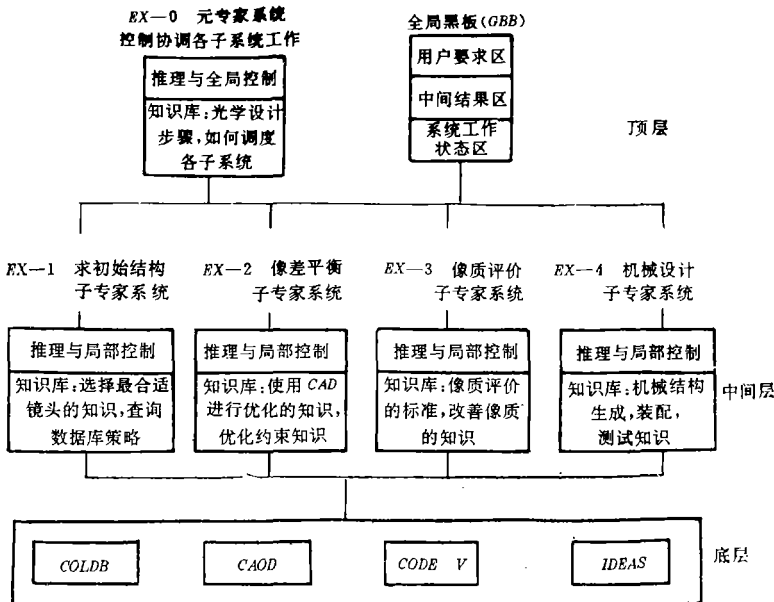


图1 JEX--1 系统结构图

根据上述思想,在JFX-1模型中采用集成层次化结构方式,即把系统划分成三个层次:顶层、中间层次和底层,如图4所示。

顶层是元专家系统EX-0,用于控制和协调中间层次的各个子专家系统工作。每个子专家系统都由界面、推理与局部控制、局部黑板、知识库组成。下面分别说明各子系统之功能。

(1) EX-1:这是选择初始结构的专家系统,装有专家从COLDB(光学镜头数据库)中选择变焦距初始结构的知识,例如采用按照用途、视场角、相对孔径、变倍比顺序的挑选策略。

(2) EX-2:这是优化平衡专家系统。它利用CAD光学软件中的优化程序对选出的初始结构,进行边界条件控制和像质优化。它的知识库中装有何应用CAD软件做优化的知识,例如变焦镜头在变倍过程中像面稳定的约束,正组补偿曲线在换根点连续相切的约束,如何控制镜片厚度、空气间隔,关于转出EX-2的判据等。

(3) EX-3:它是像质评价专家系统,对从EX-2优化的结果进行全面评价。它装有像质评价知识,例如对于变焦距电视摄像物镜,MTF的评价标准为——在特征频率处轴上传函 ≥ 0.5 ,0.8视场传函不小于0.165,而特征频率依电视物镜的规格而定,对1"电视为20对线/毫米,对2/3"电视取30对线/毫米。如像质不满足要求,则提出重新优化方向或重选初始结构。

(4) EX-5:是镜头机械设计和出图的专家系统。

底层是光学设计支持软件,它们可被各专家系统直接调用。这些支撑软件是COLDB、光学CAD软件、机械结构设计和分析软件IDEAS,变焦距缩放,换材料和换结构功能块。

JEX-1专家系统的知识表示、控制推理结构,黑板系统、以及专家系统工具的详细论述见已发表的论文^{[6][7]}。

六、光学软件今后发展的设想

从国际上近年来发表的有关光学CAD软件的论文和美国光学工程软件CODE V版本内容更新情况看,当前光学软件发展状况和趋向:

(1) 为光学设计开发完全交互的三维实体建模程序,这常需在高速工作站上建立。美国光学研究协会宣称将发行ORACAD三维程序。

(2) 随着新型光学系统的发展、新光学单元的出现,在CAD软件中增添新功能模块。例如衍射/二元光学设计,效率分析。

(3) 为了使设计者灵活使用,设计者可根据不同的需要自定义评价函数、设定特殊面形等。

(4) 从优化程序进展看,寻求全局极小值的方法已有十多年了,现已有采用模拟退火方法和控制随机数方法,在最小值存在的空间进行搜索。显然,任何一种寻求全局极小值的系统都需耗费大量计算机时。

(5) 把人工智能技术引入到CAD软件,例如Scott.W.Weller在国际光学镜头设计会上发表的一篇“用神经网络进行设计”的论文很有意义^[8]。

(6) 许多光学软件都在发展跟其它CAD/CAM/CAT兼容的通道。

我们今后的工作重点是把光学设计软件的功能扩展到仪器光学总体设计的范围,例如要

继续发展与完善仪器光学的物理性能分析,包括杂光与鬼像分析^[9]、应用环境模拟等。另一方面工作是把设计者的智慧和经验更多地结合进CAD软件,使现有的光学设计专家系统模型深入一步,特别要研究初始结构的生成。此外从国内对光学软件的需求情况看,继续改善微机用的CAD软件也是有实际意义的。

参 考 文 献

- [1] 翁志成、孙国良; 光学机械No.4.5 (1987) 1—133
- [2] 王涌天、翁志成; 应用光学国家重点实验室年报 (1990) 23—24
- [3] 王涌天; 应用光学国家重点实验室年报 (1989) 19~31
- [4] 翁志成, 陈志勇; 第九届全国数据库学术会议论文集, 复旦大学出版社, 1990年, 829—833
- [5] 任涛, 陈志勇等; 光学机械No.1, 1992, 10—14
- [6] Weng Zhicheng, Yao Yuchuang et al.; SPIE Proceedings 1527 (1991)
- [7] 姚玉川等; 光学机械No.3 (1992)
- [8] Scott W.Weller, SPIE Proceedings 1354, (1990) 371—378,
- [9] 高志山; 光学机械, No.2 (1992)

Review and Prospect on Optical Design Software

Weng Zhicheng, Chen Zhiyong

Abstrcat

In this paper we briefly review the work carried out by Optical CAD Group of SKLAO over the last five years. Referring to recent advances and development tendency of optical design software around the world, we present our future aim.