

光机结构 C4P 综合设计/制造体系

吴清文

(中国科学院长春光学精密机械研究所 长春 130022)

摘要 结合光机结构的设计与制造,提出了C4P综合体系,对其基本组成部分做了论述,并给出一个实例的软硬件构成。最后简略叙述了C4P综合设计与制造体系的实现策略。

关键词 光机结构 C4P 综合设计与制造体系

1 引言

随着信息时代的到来,技术要求及激烈的市场竞争同时给光学仪器研究机构带来了机遇和挑战。一方面是社会需求,特别是在战略任务的驱动下需要生产适合各种任务的光学仪器,特别是轻型高分辨力空间遥感相机,另一方面则是由于技术难度、恶劣的使用环境及激烈竞争带来的严峻挑战。

抓住机遇、迎接挑战,CAD技术起到了非常重要的作用。高速计算机及其良好的外设、高度集成化的软件为光机系统工程地开展提供了强有力的工具和平台。CAD/CAE/CAM/CAT/PDM体系就是以产品数据库管理(PDM)为基础的计算机辅助设计(CAD)/工程分析(CAE)/制造(CAM)/检测(CAT),简称C4P。C4P的任何一部分都或多或少在一些企业或研究部门得以应用了,并且取得了重要的成果和长足的发展,然而它们如何有机地结合起来,使其发挥更大更充分的作用,是我们面对的一个新问题。

2 C4P综合设计/制造体系基本组成

从纯物质角度分,光机结构C4P综合设计/制造体系主要由CAD、CAE、CAM、PDM、综合演示系统及其计算机网络组成,其相互关系如图1所示。计算机网络是C4P综合设计/制造体系的平台保障,综合演示系统则是光学仪器C4P成果的展示和C4P的外延。PDM是CAD/CAE/CAM/CAT的数据库管理系统。CAD/CAE/CAM/CAT是设计、制造工作在不同角度的体现。

2.1 光机结构 CAD

目前 CAD 技术已经在科学技术的各个角落站住了脚, 光学仪器的设计涉及到光、机、电、热等多学科门类, 应针对性地开展 CAD 工作, 这里主要叙述光机结构 CAD 工作, 包括机械结构设计和热设计^[1-3]。

机械 CAD 的任务是为实现光学系统而设计机械结构, 保证光学系统的光学性能及其可靠性是机械 CAD 的首要任务和基本前提。笼统地讲, 机械 CAD 的约束条件分为两大类: 光学系统和使用环境。设计光学系统时充分考虑了任务要求和部分环境因素, 所以机械结构成了

光学系统的辅助部分和光学元件的支撑装置, 而正是它们使光学性能得以保证。光机结构既包括静态结构, 也包括运动机构, 在设计时不仅要考虑光仪的静动态刚度, 而且要考虑运动可靠性。当光学仪器应用于特殊环境时, 会有一些特别的考虑, 如在空间光学仪器中, 重量、体积、功耗成为首要的三个约束条件, 为了满足用户要求, 往往不得不采用特殊的结构、材料、工艺等, 导致成本大幅度地提高。正是这种特殊要求, 有力地推动了 CAD 技术的推广应用和发展。

光机结构 CAD 的技术路线如图 2 所示。根据光学系统及光仪的所有其他约束条件首先提出结构的概念设计方案, 在初步计算考核的基础上, 进行机械 CAD 工作, 构造仪器屏幕样机, 包括所有零件、部件和总体装配。构造样机可以采用两种方式: 自顶而下和自下而上。给定产品零件的几何尺寸、材料等特性后, 随时可以提取其物理参数, 并作干涉检查, 考核光仪产品的结构合理性。建立运动学模型后, 可以机构运动仿真, 考查其运动性能, 全面考查设计方案的可行性。在不满足仪器要求时, 修改设计结构、或总体方案甚至其概念设计方案。

就目前国内外的 CAD 水平, 应该是二维、三维并举, 以并行工程方式快速构造虚拟产品。三维软件应是:

- 基于核心数据库的 CAD 软件, 二维、三维间数据唯一、双向相关;
- 建模方法灵活多样, 符合工程设计人员的设计习惯及思维模式;
- 便于修改, 可维护性强;

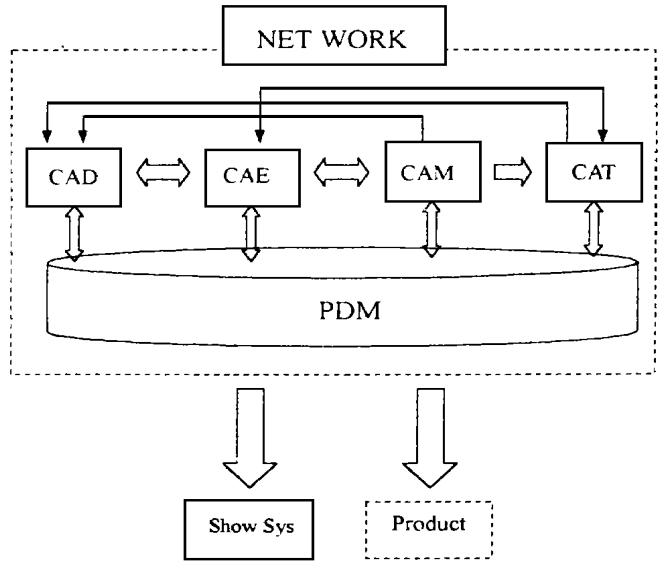


Fig. 1 Flow chart of C4P and its connection

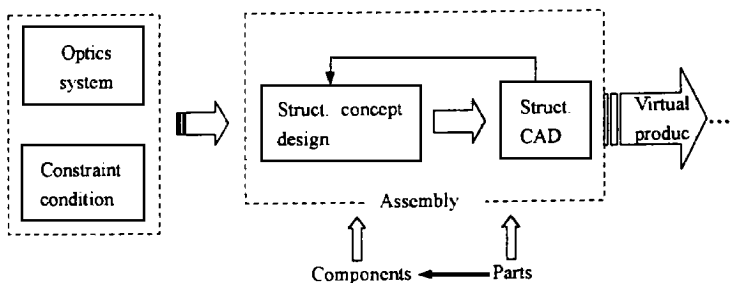


Fig. 2 Outline of mechanical CVD

- 用户界面良好, 用户化功能强;
- 可以实现大模型或超大模型的装配, 实现动、静态干涉检查;
- 能方便地提取设计对象的质量、质心、转动惯量等物理参数;
- 能够制作高质量图片, 逼真地显示设计对象的面貌。

2.2 光机结构 CAE

任何一台光学仪器均需在其设计制造阶段对其性能进行预估, 考查其静态刚度、动态刚度、强度、热光学特性及热设计方案可行性、电控可靠性等^[1-3]。CAE 将贯穿于整个设计、制造过程, 不仅要考查设计方案的可行性, 而且要进行优选或优化, 为设计和加工、实验提供必要而有益的参考和指导, 其作业步示意如图 3。光机 CAE 的分析计算方法有: 有限元法、边界元法、节点网络法等, 其适用的软件主要有 Nastran、Patran、Ansys、Sinda 等。

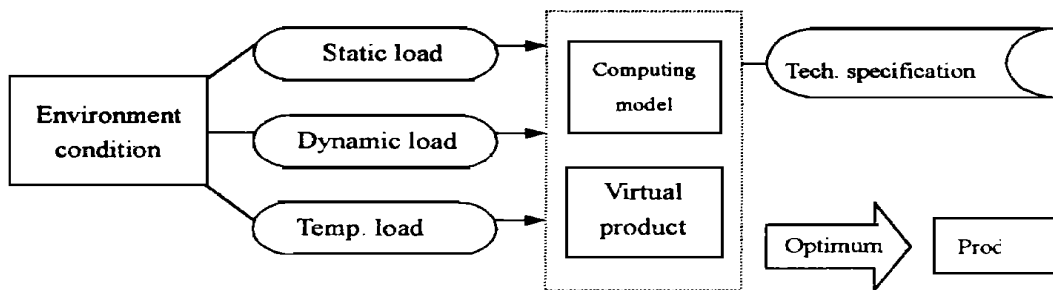


Fig. 3 Workflow sketch of CAE

光机结构 CAE 的内容涉及结构静力学、动力学、热力学等学科门类。

结构静力学分析, 主要考查光机结构在静力作用下的位移响应和应力响应, 对于运动体可以利用达朗伯原理将运动学问题转化为静力学问题, 对于空间光学仪器则主要考查其微重力响应, 即由于地面装调、检测时光仪均受到重力载荷的作用, 入轨以后重力作用失去, 光机结构将发生回弹变形。

结构动力学分析, 包括动力学特性分析和动力学响应分析。求解无阻尼动力学模型, 获得光机结构的动力学特性, 包括自然频率及其相应的振动向量(即振型)。振型是光机结构的自身振动模态, 是动力学方程的特征向量, 所有节点的位移量都是相对值, 并非实际变形。通过动力学特性的求解, 可以判断结构的总体刚度, 发现结构的薄弱环节, 以便有的放矢地修改结构方案。为了确保光学仪器具有足够的动态刚度, 工程上一般要求光机结构的自然频率大于其安装基础的自然频率及外界干扰频率的 3~5 倍。动力学响应主要是考核光学仪器在一定的动力学条件下的应力响应, 考查光机结构抵抗破坏的能力。对于空间光学仪器, 一般进行低频正弦扫描、随机振动、过载、冲击等动力学响应, 激振强度分为鉴定级和验收级, 主要针对空间光仪在运载、发射过程中的抗破坏能力, 要求光机结构不破坏、无残余变形。

热分析和热弹性分析是针对光学仪器的热特性、热光学特性及热变形而进行的, 包括稳态温度场、瞬态温度场问题, 既要考查光学仪器热变形的大小, 又要考查其热惯性的大小。热特性和热光学特性分析, 求取光学仪器的热特性, 从而得到光机结构在满足光学系统性能要求前提下的最大温度水平偏差及最大温度梯度, 进而提出相应的热控方案。值得一提的是, 在计算辐射传热时光学表面不能按普通灰体处理, 应根据其反射或透射特性特殊处理。以反射式空间遥

感相机为例,一般地首先要计算相机的热光学特性,重点计算相机的最大温度梯度,许用径向温度梯度计算一般以主镜为分析对象,而轴向温度梯度则需以相机整机为对象。根据相机的热环境特点,假设几种可能的径向、轴向温度梯度,并计算其热变形,描绘结构变形(主要指镜面变形)–温度梯度的曲线,从而得到许用温度梯度。在充分考虑空间相机的热边界条件和初始条件后,建立相机的热分析模型,考虑其传导、对流、辐射等传热方式,计算空间相机的稳态热特性及热惯性,并判断其是否满足热光学指标。为了提高热的可靠性和成本,一般以被动热控为主,热隔离和热传导是较常用的热控手段。

2.3 光机结构 CAM

光机结构计算机辅助制造(CAM),是在CAD模型的基础上,借助计算机程序编制数控代码,直接用于加工制造。它适用于单件、小批量生产,适应性强,并且可以方便地提高刀具路径的插值精度。NC代码在交付操作前,CAM软件首先进行切削仿真,直观地考查加工工艺的正确性和工序的合理性。

计算机辅助工艺编程/加工计划(CAPP)是CAM的一个重要应用,也是CAM软件的一大难点。CAPP较适合于成组技术基础上的批量生产,当零件特性基本一致时,可以通过修改参数来快速编制加工代码。

另外,可加工性是对结构设计考核的一个重要指标,DFMA思想(为制造、分析而设计^[4])正是设计工作在加工制造和分析计算方面的约束条件。

2.4 光仪 CAT

光仪计算机辅助检测(CAT),是借助计算机对光仪进行检测与装调等,计算机充当数据采集器或数据处理单元,所得数据可以用以指导实际检测工作,比如根据分析计算结果来设置传感器的位置、设定冲击实验的幅值和方位等等,从而揭示光仪的内在的机械特性、力学特性、热光学特性,反映光仪的力学或热力学响应等。相反,检测结果又是对CAE分析结果的验证和修正分析模型的现实指导。

对于高精度光学仪器,在光仪装配过程中,将初装的光仪的干涉图拍下来与设计的光仪理想波面进行对比分析计算,优化处理后得知光仪中光学元件各自由度的最佳装调量,进而指导装调工作,可以得到非常显著的效果。

2.5 产品数据库管理(PDM)

如图1所示,现代CAD是基于核心数据库的计算机辅助设计,CAD、CAE、CAM、CAT均在主模型基础上进行,一旦由于某一环节对主模型进行了修正,则相应的其他结果也要作相应的变更。比如,在CAD阶段将产品的三维实体修正以后,其对应的二维图形将自动更新,其CAM中的刀具路径代码也自动作相应的改动。产品数据库管理(PDM)是实现信息共享的重要途径,它将为解决如下四个方面的需求:

1. 资料管理:包括文件查询、版本管理、安全保密、数据共享。
2. 计划管理:包括审批发放、状态标识和信息传递、记录备案。
3. 产品配置管理:包括结构关联、统一的材料清单、系列产品。
4. 更改管理:包括更改程序、更改影响、自动更改、更改权限。

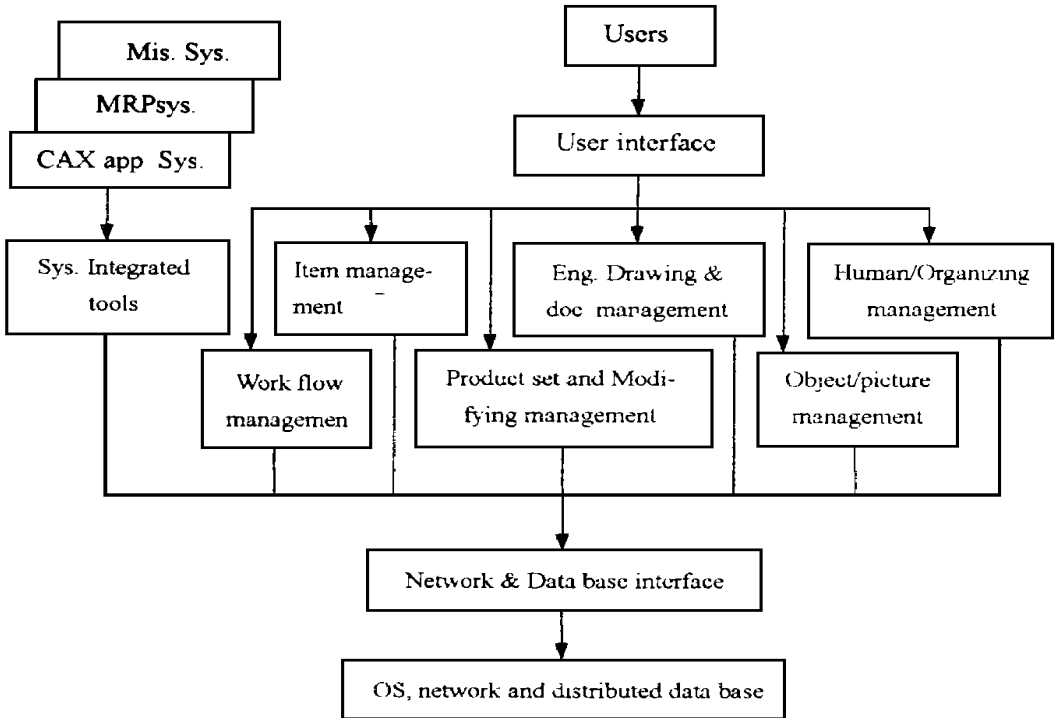


Fig. 4 PDM system architecture

不同的 CAD/CAE/CAM/CAT 系统都可以从 PDM 中提取各自所需的信息, 再把结果放回 PDM 中, 从而真正实现 4C 集成, 因为 PDM 是 CAD/CAE/CAM/CAT 的集成平台, 是产品信息传递的桥梁, 支持并行工程, 是 CIMS 的集成框架⁵⁻⁶。PDM 以网络环境下的分布式数据处理技术为支撑, 采用客户/服务器体系结构和面向对象的设计方法, 实现产品全生命周期的信息管理, 协调控制工作流程和项目进展, 在企业范围内建立一个并行化产品开发工作环境, 图 4 是 PDM 系统的体系结构。

2.6 演示系统

任何一项工作都需要与有关方面进行交流, 光仪的研制也不例外, 特别是在新产品开发、工程项目的夺标论证过程中, 直观、形象地演示所设计的光学仪器将在产品信息交流中起到非常重要的作用。演示系统的素材包括: 图形、图片、声音、文字、录像等。其制作工具可根据演示制作者的喜好不同而不同, 但其最终目的都是以最佳的显示效果展现所设计制造的产品结构、性能, 常用工具有: 照相机、录像机等摄影设备和 UG 等软件的图片生成器^[7]、Painter、PhotoShop、Image Editor、Animator、PowerPoint、Coral Draw、Author Ware 等。

2.7 网 络

随着信息量的增加和合作开发的任务趋动, 网络成为 C4P 工作中不可或缺的工具, 它将工作组间的距离缩小, 将世界变成“地球村”。网络计算机(NC)的使用, 更促进了 C4P 工作的网络化。

网络功能及服务项目直接影响到网络的应用水平,要避免“有路无车”的现象,提高用户上网的兴趣,真正起到普及计算机应用的作用,同时加强企业内部信息管理。在保证网络的基本功能和服务的前提下,还要有计划地组织开展电子办公综合查询系统、各类信息数据库系统, BBS 系统、WWW 主页建立等开发工作,实现企业内部办公管理网络化。C4P 工程网络同时应提供以下功能模块和服务项目^[8]:

1. C4P 技术应用。在工程组客户端全面实现二维工程制图普及化,零部件级三维实体造型及单件工程分析。在 CAD 中心建立 CAD 工程数据库,实现计算机二维工程图的管理,二维到三维模型建立,系统级的大装配,机构运动仿真,静、动态力学分析,热分析等产品综合评价体系,实现 CAD/CAM 一体化及 CIMS 集成制造。

2. 企业内部信息管理(MIS)。包括办公信息、人事信息、财务信息、图书文献情报信息、数据库信息、科研信息、资产信息、科技市场信息、领导专访信箱、所内电子邮件、内部 BBS 系统。

3. 外部信息服务。提供国内主干科技网信息和因特网信息,开展国内和国际间的 E-mail、ftp、telnet、www 等服务。

3 C4P 综合设计/制造体系实例

在 Win95/NT 或 Unix 下构置的星形网络上,以 UG/UG-Manager 为产品数据库管理软件,并行开展 CAD/CAE/CAM/CAT 工作,其软件平台如图 5 所示。CAD 软件由三维软件:

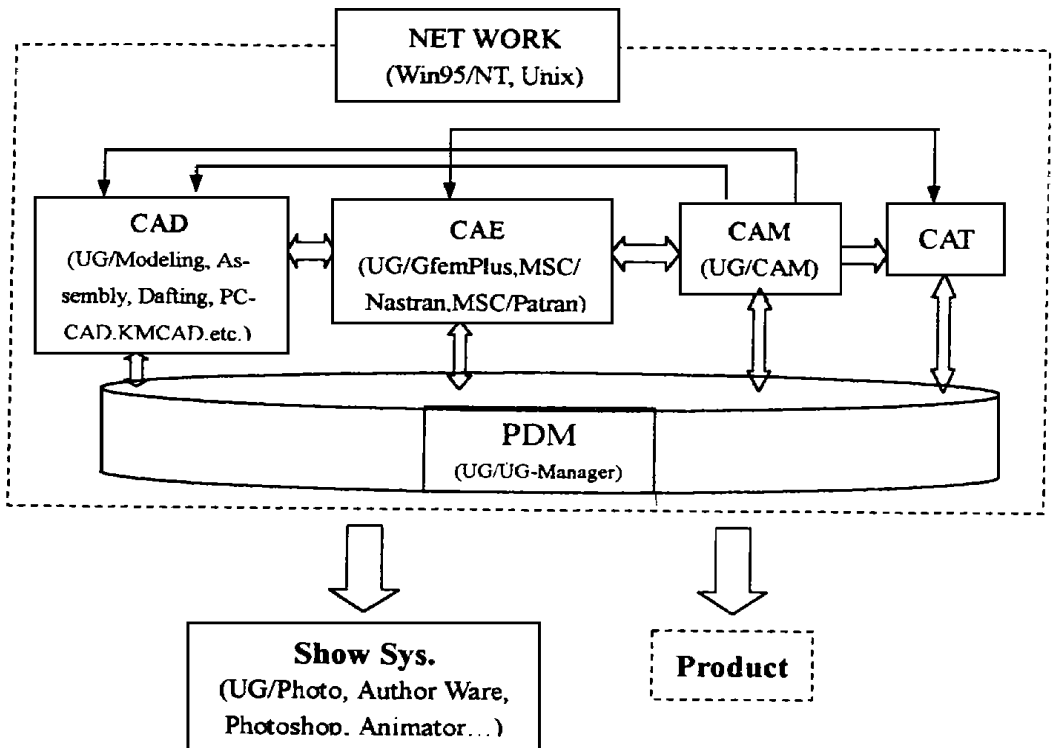


Fig. 5 C4P example (software system)

UG/Modeling、UG/Assembly; 二维软件: UG/Drafting、PCCAD、开目 CAD 等组成。CAE 软件由 UG/GfemPlus、MSC/Nastran、MSC/Patran 和特定的光学性能处理软件^[9]组成。CAM 系统以 UG/CAM 为主。CAT 部分主要根据工程具体需要, 编制相应的程序, 如计算机辅助装调优化程序。利用 UG/Photo 制作虚拟产品的高质量图片, 再用 Photoshop、Animator 等处理后, 形成适合于演示的图片或动画, 最后用 AuthorWare、PowerPoint 等多媒体软件制作产品的多媒体演示报告, 形象、直观地展现产品的结构、性能等。其硬件平台如图 6 所示。

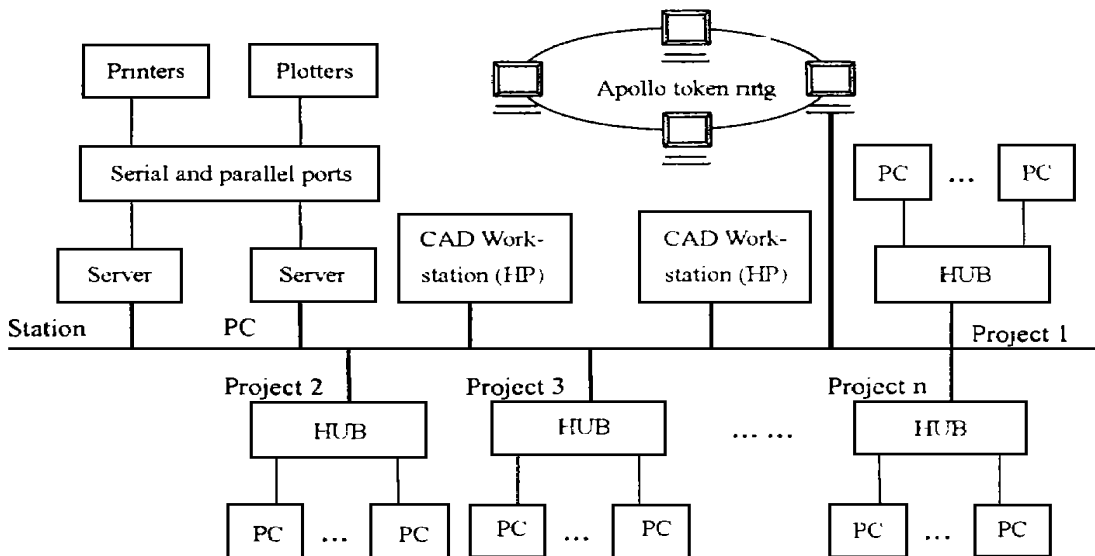


Fig. 6 C4P example (hardware environment)

4 C4P 综合设计/制造体系的实现策略

实现 C4P 综合设计/制造体系应全面考虑以下几个方面:

- 统一平台、统一管理 只有统一平台、统一管理, 才能使现有的软硬件发挥其应有的作用, 才能避免不必要的重复劳动, 才能提高 CAD 平台的使用效率, 才可能延长设备的寿命, 从而全方位地提高 CAD 工作效率、降低成本。必须摒弃“先买 PC 先建网能促使企业现代化管理规范化”的思想, 要从思维模式、工作模式等多角度更新, 以适应 C4P 综合设计/制造体系的技术需求。

- 远近结合 即远处着眼、近处着手。在用图板阶段, 可以以二维绘图为主, 但二维绘图并不等于 CAD, 所以在计算机素养和 CAD 技能均达到一定程度以后, 就应该全面投入 CAD 工作, 不仅要实现 C4P, 而且要向生产制造 CIMS 发展, 实现设计、制造的技术流、物料流、信息流的高度集成。

- 人才培养 人才是工作的根本, CAD 工作人员不落后, CAD 工作才不会落伍, 没有一支强有力的 CAD 人才队伍, 就不会有真正的 CAD, 因为 CAD 技术本身是时刻面临挑战的技术, 不仅软、硬件需要不断地更新, CAD 工作人员也要不断地更新观念和工作模式, 以适应 CAD 技术的不断发展。这样就必须努力创造积极向上、锐意进取的学习氛围, 请进来、走出去, 不断

地钻研、交流。

5 结 束 语

本文所述为光机结构的 C4P 综合设计/制造体系,它完全可以推广到一般仪器的设计/制造,乃至更大的系统设计/制造。

参 考 文 献

- 1 卢 铿. CAD——一场设计的革命. 光学精密工程, 1994, 2(2): 1~7
- 2 卢 铿. CAD/CAE/CAM 技术在空间光学仪器研制中的应用. 光学精密工程, 1996, 4(6): 1~6
- 3 卢 铿等. 产品研制开发 CAD/CAE/CAM 技术路线与应用. 光学精密工程, 1997, 5(6): 1~9
- 4 Ashley Steven. Cutting costs and time with DFMA. Mechanical Engineering, 1995, (3): 74~77
- 5 于 涛. PDM 在空间光仪虚拟产品研制中的应用研究: [硕士学位论文]. 长春: 中国科学院长春光学精密机械研究所, 1998
- 6 于 涛. PDM 在空间光仪虚拟产品研制中的应用研究. 光学精密工程, 1997, 5(6): 10~14
- 7 吴清文. UGII 与动画制作. UG 通讯, 1997, (4): 21~23
- 8 杨洪波. CIOM Intranet 与 CAD 网络工程设计. 光学精密工程, 1997, 5(6): 30~35
- 9 吴清文. 镜面面型误差的曲面方程处理方法. 光学精密工程, 1998, 6(6): 56~60

C4P Synthesis Design/ Manufacture System for Opti-mechanics Structure

Wu Qing-Wen

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

Abstract

A C4P synthesis design/manufacture system is presented for opti-mechanics structure. Each part of the system is stated and an example by terms of software and hardware is given. Finally, strategies to realize a C4P system are stated briefly.

Key words: Opti-mechanics structure, CAD/CAE/CAM/CAT/PDM, Synthesis design/manufacture system

吴清文 男, 1968 年 12 月出生于四川省简阳县。1987 年考入哈尔滨工业大学精密仪器系, 1991 年、1994 年先后获得学士、硕士学位。1997 年于长春光学精密机械研究所获得博士学位。现从事光学仪器 CAD/CAE 及塑料注塑模具 CAD/CAE 工作, 参与多项空间光学传感器的 CAD/CAE 工作。在《光学精密工程》、《空间科学学报》、《光学技术》、《塑料科技》等刊物上发表学术论文 20 余篇。