

CAD/CAE/CAM 技术 在空间光学仪器研制与开发中的应用

卢 镔

(中国科学院长春光学精密机械研究所, 长春 130022)

摘要 论述了 CAD/CAE/CAM 技术在空间光学仪器研制开发中的应用及与传统手段比较的特点, 并以空间遥感相机为例说明 CAD/CAE/CAM 技术在研制开发过程中的作用。

关键词: CAD; CAE; CAM; 空间光学仪器; 并行工程

1 引 言

随着人们对大自然和宇宙开拓的触角向更加广阔的空间发展, 空间光学仪器作为一种探测及观察手段起着越来越重要的作用。由于空间光学仪器不仅要求精度高而且要求重量轻, 同时还必须承受恶劣的应用环境, 使得仪器的研制与开发面临严峻的挑战。

由于空间光学仪器研制与开发的周期和昂贵的空间环境模拟试验条件限制, 在研制开发生命周期的早期阶段, 尤其是方案与工程设计阶段, 尽早揭示内在相互制约的各种设计变量间的关系, 寻求最佳设计参数的组合, 消除隐患, 对提高一次成功的概率是非常必要的。采用 CAD/CAE/CAM 手段为空间光学仪器研制与开发提供了极其有效的手段: 通过 3D 实体建模构造空间光学仪器虚拟产品, 然后对该“产品”进行各种相关的工程分析计算, 经过多次设计/分析迭代, 实现可行性论证进而达到优化设计的目标。由于设计/分析迭代是在构造屏幕样机及工程分析的基础上进行的, 这样不仅大大的提高了设计的质量, 缩短了研制开发的周期, 而且对于空间光学仪器研制与开发来说, 通过 CAE 手段进行性能评价可以及早发现那些通常要到产品开发后期作极其昂贵的空间环境试验才能暴露出的一些隐患, 从而可以减少试验的次数, 使研制开发的费用大大降低。因此, CAD/CAE/CAM 技术在空间光学仪器的研制与开发中起着十分重要的作用。

2 在空间光学仪器研制开发中应用 CAD/CAE/CAM 技术特点

在空间光学仪器研制与开发中运用 CAD/CAE/CAM 技术与传统的研制开发方式相比有如下明显不同的特点:

2.1 屏幕样机驱动

在研制与开发空间光学仪器初期,从 3D 实体建模出发,以构造空间光学仪器的屏幕样机为目标,实现由概念设计到虚拟产品的设计过程。屏幕样机,也称作虚拟产品,是在构造 3D 实体模型的基础上赋予一定的产品属性,因此,屏幕样机构造的过程亦是数字化"产品"生成的过程。屏幕样机不仅具有生动直观的形象,而且具有"产品"的相关属性,如空间光学仪器的重量,选用的材料,运动构件的运动状态等。在屏幕样机生成过程中,可以很方便地汲取其它有关设计人员,工程分析人员,工艺人员,管理人员乃至用户等各方面的意见,使其设计至臻完善;传统方式则是以 2D 出图为出发点,研制物理样机为目标的设计研制过程。设计过程实际上是一种信息处理过程,设计人员往往通过既有形象思维又有逻辑思维的方式实现这种处理过程。由于 2D 仅仅是 3D 空间的子域,2D 图形所载的信息远不如基于由 3D 模型构造的屏幕样机所载的信息丰富,,因而设计人员的创造性思维得不到更充分的发挥,并且由于 2D 图形表达的直观性不如 3D 屏幕样机,甚至会由于 2D 图形信息不完备而产生理解上的二义性或多义性,造成误解,影响各类有关人员对空间光学仪器研制开发的意见的交流。

2.2 并行工程作业

在运用 CAD/CAE/CAM 技术进行产品研制开发过程中采用并行作业方式,即在构造屏幕样机的基础上并行开展系统组装/机构仿真/工程分析/NC 仿真...等作业;而传统作业方式则为串行作业,从 2D 出图到样机加工制造出来往往要经过一个漫长的研制过程。

图 1 与图 2 所示为两种作业方式比较:

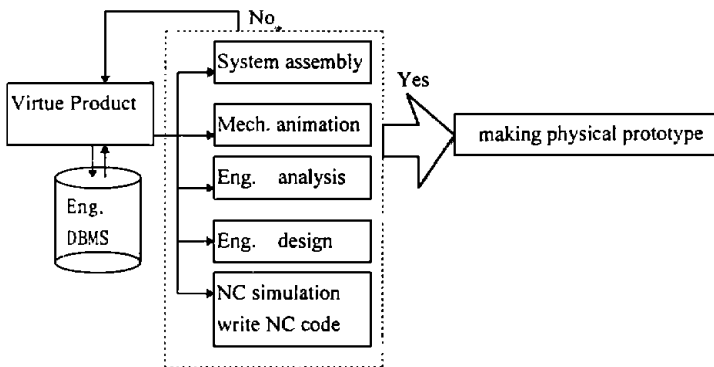


Fig. 1 Scheme of Concurrent Engineering

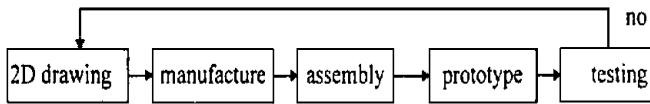


Fig. 2 Scheme of senior working path

2.3 用 CAD/CAE 手段进行设计/分析迭代

在空间光学仪器的研制开发过程中,采用 CAD/CAE 手段进行直观的屏幕样机构造及科学的工程分析,通过高效的设计/分析迭代,不仅缩短了设计的周期,降低研制成本,更重要的是可以解决那些靠经验设计无法解决的问题,大大地提高设计质量,从而提高一次成功的概率。因此,在空间光学仪器的研制开发过程中,采用 CAD/CAE/CAM 手段进行设计/分析迭代,已引起人们越来越广泛的注意和重视,现在的问题已不是用不用 CAD/CAE/CAM 手段,而是如何用的更好的问题。在传统的研制开发过程中,很大程度是凭经验设计,类比设计,对于开发象空间光学仪器这类高精尖上天的产品来说,以往的设计经验受到了严峻的挑战,人们认识的局限性往往导致对设计参数确定的盲目性,即使通过设计/样机制作/测试这种以往的研制过程去获取新的经验,其时间和经费的代价亦是令人难以接受的。

如下图所示,为空间光学仪器研制开发中设计/分析迭代流程图:

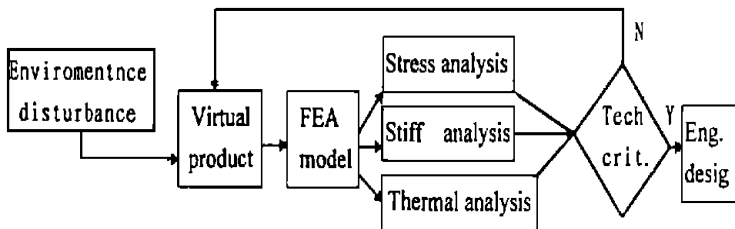


Fig. 3 Iteration of design and engineering analysis

对于空间光学仪器来说,其环境扰动按所历经的环境条件一般分 4 个阶段:

- 1 地面制造安装及运输阶段
- 2 发射运载阶段
- 3 空间工作阶段
- 4 回收再入阶段(如果回收的话)

目前我国研制开发的空間光学仪器主要局限于星/船载有效载荷的范畴,因此环境扰动很大程度上受制于星/船体内部环境条件。在地面制造安装及运输过程中主要考虑仪器构件是否会残留内应力,构件连接处是否潜在有以后可能产生松动的隐患等问题,这个阶段毕竟是在地面上,发生的问题一般说来是可以避免的。对于空间光学仪器来说,第二,第三阶段是非常关键的阶段。这不仅由于环境条件恶劣,还由于一旦仪器失效,人们很难甚至无法现场恢复和调整仪器到原有调整好的状态。因此,在设计和工程分析时对于发射,运载以及空间工作状态时所受到环境扰动的影响格外加以重视。为了保证空间光学仪器在发射过程中不破坏,空间环境下正常工作,并满足高分辨率等技术指标,光学仪器结构及光学元件除具有一定的强度外必

须具有足够的尺寸稳定性,以确保光学系统的同心度变化在许用范围之内。因此,光学仪器结构必须设计成具有“三不”的品质,即:在发射过程中不破坏及产生残余变形,具有足够的强度;在空间工作状态下视轴不抖动,具有足够的结构刚度,尤其是动态刚度;在空间工作状态下视轴不漂移,尤其是在环境温度发生变化时系统的光学元件应严格保持其相对位置且光学元件表面不得有畸变。设计/工程分析迭代作业就是围绕如何使空间光学仪器做到“三不”而进行的逼近过程。在构造空间光学仪器屏幕样机的基础上,进行强度分析,刚度分析及温度场/热弹性分析等工程分析。如若计算结果中的变形或应力值超过许用值,则根据后处理结果进行分析,找出薄弱环节,修改屏幕样机,然后再进行工程分析,……直到达到可行性指标乃至优化的最终目的。设计的实质是创造+优化,其过程是一种信息处理的过程,只有当设计手段可以使设计对象很容易地形象化表达及更大程度地被量化时,才能使这种信息处理高效化。利用 CAD/CAE 进行设计/分析迭代正是发挥了屏幕样机的生动形象及工程分析可量化的特点,极大地辅助设计者形象思维与逻辑思维,激发创造性的思维及通过科学量化逼近优化。

2.4 数据资源的利用与再利用

CAD/CAE/CAM 运行是基于工程数据库和网络平台上进行的,这就为研制开发空间光学仪器提供了极好的数据资源的利用与再利用的手段。在空间光学仪器整个研制开发过程中的各个环节,如设计,工程分析,数控加工,检测乃至工程项目管理等都是通过数据库及网络来实现数据及信息传递的。为了实现数据和信息资源的共享,在制作空间光学仪器屏幕样机时,要以特征建模的方法构造。特征的定义主要是基于空间光学仪器光学元件及机械构件形状特点(形状特征),精度要求(精度特征),加工工艺特点(工艺特征)及所选材料特点(材料特征)并遵照产品数据交换标准 STEP 的有关规定进行。上述诸特征综合地表达了设计者的意图,并且便于各类人员交互作业,开展并行工程。特征建模是一个高层次的概念,是与描述零件所有相关信息的集合,并且面向整个产品研制开发过程。基于特征建模所建立的工程数据库为设计,工程分析及工艺人员对与研制开发空间光学仪器有关数据与信息资源的利用和再利用提供了极大的方便。例如,镜筒,变焦距用凸轮的槽等,可由半径、壁厚、凸轮槽曲线方程以及定位点位置等尺寸及形状定义特征参数,利用这些特征参数可以实现模型的参数化,真正做到构造模型时由尺寸驱动。数据和信息资源的利用和再利用是提高设计工作效率的重要因素。因为一旦建立了空间光学仪器有关构件的特征库,设计工作就变得轻而易举,设计者只要从计算机中调出特征构件,修改特征参数就可得到所需要的模型。此外工程数据库中包括有材料库,NC 加工用的刀具库,标准件库,空间光学仪器常用件库等等都可方便地在线使用。目前,运用 CAD/CAE/CAM 技术在研制开发新产品时对数据资源的利用与再利用已扩大到全球网络 INTERNET 上,例如,只要 3 分钟即可由网上得到 30000 个零件的数据供设计者调用(网址: <http://www.national.com>),可以方便的获取有关标准化信息(网址: <http://elib.cme.nist.gov>),也可了解目前国际空间光学仪器如 HUBBLE 空间望远镜等动态(网址 <http://www.hubble.gov>),目前越来越多的工程师正利用 INTERNET 网寻找有用信息来改进产品,不仅如此,越来越多的公司还利用 INTERNET 网来销售产品。

2.5 研制开发流程的最短路径

由于采用并行工程作业使空间光学仪器研制开发的前期工作不仅在时间上大大缩短,而且在空间上由于系统组装/机构运动仿真/工程分析/数控仿真/详细设计等各个作业步在网上

直接与工程数据库交互,使作业流程路径也大大缩短;最大的捷径体现在 CAD/CAM 直接连通上,在屏幕样机上进行数控仿真后,可将生成的数控加工代码直接发送到 NC 加工设备的控制器中,进行加工。由于 CAD/CAM 一体化的运作,使得生产效率获得极大的提高。

3 应用例

在空间科学应用光学仪器的研制开发中, CAD/CAE/CAM 技术正越来越发挥高科技作为第一生产力的巨大作用,受到人们的重视。长春光机所运用 CAD/CAE/CAM 技术手段在多项空间光电工程任务中进行了有关屏幕样机构造,机构仿真,工程分析以及数控仿真等工作,为项目夺标,方案论证,工程设计等任务起了积极的重要的作用。

以研制开发空间遥感相机为例。首先构造空间遥感相机的 3D 实体模型,并赋予模型有关材料的物理属性,生成屏幕样机。屏幕样机不仅使人们在相机加工制造出来之前就可以直观地看到它的形象,而且可以得到相机有关属性,如重量,转动惯量等,通过屏幕样机制作,还可以揭示潜在的隐患,如未来装配过程中可能会发生的干涉,干涉区的位置,干涉的大小等等;然后以并行工程作业的方式同时进行系统装配,机构仿真,动力学分析,温度场/热弹性分析以及数控仿真等。

工程分析的主要内容包括如下方面:

- 自重释放引起结构变形;
- 相机结构动态特性分析:求解结构自然频率,振型,应变能等;
- 相机结构动态响应求解:冲击与过载时应力响应,低频振动作用下位移响应,随机振动干扰作用下位移响应等;
- 验证空间光学仪器结构中各构件材料线胀系数 α 的匹配性;
- 在空间温度环境条件及内部热源作用下相机内温度梯度分布;
- 探讨相机结构材料热传导系数 λ , 辐射系数 ϵ 及对流换热系数 a 对温度分布影响;
- 温度梯度随时间变化的规律;
- 求解由于温度载荷引起的相机结构变形(光学元件相对位移,镜面畸变)。

通过分析可以了解到相机结构整体性能,如整机刚度,强度,动态特性,温度场分布及随时间变化的规律,温度对变形的影响等;找到结构设计中的薄弱环节,如次镜支撑结构的动态刚度低以及偏流传动机构中的齿轮啮合环节抗冲击能力弱等;为相机热控设计提供必要的依据参数。

机构运动仿真包括相机作业模式切换机构运动,偏流机构运动以及输片机构运动等。通过仿真可以生动地观察到机构运动的情形,精确描述了运动轨迹及得到相应的运动参数,了解到是否会发生动态干涉等。

数控仿真主要针对结构中的关键件进行,如相机中的箱体,通过仿真可以精确地描述刀具轨迹,优化加工工艺参数,生成加工代码,直接供数控加工用。仿真时在屏幕上可以直观地观察到加工走刀的情景。

4 体 会

在面临市场激烈竞争的今天, CAD/CAE/CAM 技术作为高科技第一生产力的一种高效研制开发产品的手段, 已不是用不用的问题, 而是看谁用的更好, 谁掌握了先进的技术手段, 谁在竞争中就具有竞争力。

CAD/CAE/CAM 技术在空间光学仪器的研制开发中起着不可替代的作用, 可以解决一些以往靠传统手段无法解决的问题, 如空间环境的模拟与仿真, 高精度的加工制造等。采用 CAD/CAE/CAM 技术手段研制开发空间光学仪器, 不仅可以使设计质量得到提高, 缩短研制周期, 而且使研制开发成本大大下降。

为了更好发挥 CAD/CAE/CAM 技术手段的效能, 有一支训练有素的技术队伍是非常必要的, 只有很好地发挥团队效应(team work), 开展并行工程作业, 才能使这种高科技生产力手段得到更充分的发挥。

CAD/ CAE/ CAM Technique

Lu E

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

ABSTRACT

This paper describes the application and characters of CAD/CAE/CAM technology which used in the R & D of space optical instrument, and takes space remote camera as an example to state the effectiveness of using CAD/ CAE/ CAM technology in the life of R & D.

Key words : CAD, CAE, CAM, space optical instrument, concurrent engineering

卢 镔 男, 1941 年生, 1965 年毕业于哈尔滨工业大学铸造专业, 研究员。现从事 CAD/CAE/CAM 应用与开发工作。