

文章编号 1004-924X(1999)06-0018-05

空间光学仪器研制开发中的虚拟工程技术

宋朝晖 卢 镔

(中国科学院长春光学精密机械研究所 长春 130022)

摘 要 论述了虚拟工程技术在空间光学仪器研制开发中所起的重要作用及其特点,概括性地描述了虚拟工程技术在产品设计、工程分析、制造等方面的应用。

关键词 空间光学仪器 虚拟工程技术

中图分类号 TP391.9 **文献标识码** A

1 引 言

人造地球卫星的成功发射把人类的开拓视线转向广阔的宇宙空间。利用航天器搭载观测仪器进行空间观测具有地面观测无法比拟的优越性:避免了地球大气层对宇宙辐射的吸收作用,可实现电磁波全波段观测;观测高度的增加,视野更为广阔可实现全球覆盖;绕地球的短周期运行,适于对特定目标进行连续观察。探索更为广阔的宇宙空间及对目标细致入微的探测,使作为观测工具的空间光学仪器的分辨率要求越来越高。航天器是由运载火箭发射入指定轨道的,航天器内部的空间光学仪器要经受发射运载过程中冲击载荷和过载荷的作用。在轨期间,由于地球和太阳的遮挡作用,航天器将经受冷热悬殊的周期性温差变化。内部仪器将经受周期性热载荷的作用。空间光学仪器不仅要求精度高,光学元件形状和尺寸精度达纳米级,而且要求在复杂的动力学载荷、热载荷作用下,确保光学系统相对位置及面形的变化满足光学系统的高分辨率及成像要求。

空间光学仪器的高精度和昂贵的空间环境模拟试验条件的限制以及缺乏空间产品的设计经验,使得采用以试制原理样机为目标驱动的传统方法,要想达到一次成功几乎是不可能的。不仅研制周期长,而且很难达到较高的设计质量。随着计算机技术的飞速发展,针对不同的应用要求,相继研究和发展的许多依赖于计算机手段的机械设计方法与技术,如几何造型技术、有限元法、计算机仿真技术等。虚拟工程技术是随着计算机技术和软件技术的发展而发展起来的一种模拟未来产品工作性能的高新技术。通过在计算机上构造“数字化”产品模型,并在各种虚拟环境中真实的模拟各种载荷作用,预示未来产品的应用性能。在产品方案论证阶段,可通

过对多种设计方案进行快速分析,完成对不同设计方案的筛选、比较,最终获得产品系统级的优化设计方案。由于虚拟工程技术改传统设计的经验方法为预测方法,缩短了研制周期,提高了产品质量和一次成功的概率,故成为加速产品开发的有效手段。

2 虚拟工程技术的特点

虚拟工程技术力图在产品制造之前,最大限度地利用计算机手段对设计产品的各种性能进行全面、深入的分析模拟和评价,预见产品可能发生的问题。尽早协调设计中的各种相互制约因素,得到系统级的优化方案,提高产品质量和一次成功率。

在计算机上制造的“数字化”的产品模型(虚拟产品),它不仅体现了产品的几何参数和空间拓扑信息,还包含有“产品”的物理属性。通过施加各种虚拟环境载荷进行工程分析与模拟,可实现对产品工作性能的定量评估。由于虚拟产品并非真实的产品,但可预示真实产品的工作性能。是以非真实的形式揭示真实产品的一切本质问题。具有真实产品无法比拟的优点:

(1) 易于修改

虚拟产品的建模过程相当于产品的制造过程。对产品的三维模型的修改,只是简单的修改产品有关的外形尺寸、结构数据。而且可立即看到修改结果。

(2) 以构造虚拟产品为目标驱动

传统的产品设计很大程度是凭以往的经验,确定较合适的方案,制造出原理样机,通过对物理样机在各种工况下进行测试,发现不足,修改设计,然后再次制造并测试,如此循环直至满足设计要求,不难看出以试制原理样机为目标驱动,不仅增加产品的开发周期和成本,而且很难得到真正的优化设计方案。对于空间光学仪器这样的高精度的航天产品。由于大量采用轻型材料、轻量化技术,使得结构设计参数的选择范围变得很小。加上空间环境模拟条件的限制,使得传统的经验设计已远不适应。与传统设计不同的是虚拟工程技术是以构造虚拟产品为目标驱动。产品初步设计方案确定后,建立实体模型构造虚拟产品,通过模拟各种环境载荷的作用,了解虚拟产品的工作性能,如不满足设计性能指标,进行修改,对于虚拟产品而言修改过程即产品再制造过程,再快速模拟分析,如此循环直至得到满足设计要求的虚拟产品。由此可见,虚拟工程技术是通过对虚拟产品建模、分析模拟的小循环替代了传统设计中的试制测试的大循环,故减少了开发周期,提高了产品质量及一次成功的概率。

(3) 可视化

利用计算机强大的运算能力及图形、图像、动画等显示功能。对结果数据加以直观、生动的说明。具有实时性和动态观察性。

(4) 便于开展并行工程

空间光学仪器涉及到光学、精密机械、电子、制造、热力学等多学科。产品的设计要满足不同学科对产品性能提出的要求。需要开展并行工程,使各学科专业人员同时参与产品的开发以决定产品的设计问题。并行工程就是在产品初步方案确定后,由设计人员对虚拟产品同时进行性能分析、机构运动仿真、数控仿真等工作,并根据各自的分析结果对结构提出改进措施。由于可同时进行各自的开发工作,故缩短了产品开发周期。由于使各专业人员以不同的角度、不同的观点检验了产品的工作性能,使设计出的产品满足工作性能要求。不仅提高了设计效率,而

且提高了设计质量。

(5) 可实现破坏性检验

施加虚拟载荷不仅可模拟真实的仪器的工作性能,而且还是分析对于物理样机来说是极其危险的工况载荷,不存在破坏性。所有结果体现为数据,这是实验研究所无法比拟的。

3 空间光学仪器虚拟工程技术的构成

空间光学仪器虚拟工程技术的构成(如图 1 所示),包括

(1) 构造实体模型

构造零件的三维实体模型,模型包含零件几何信息:形状特征、空间拓扑关系、几何参数;并附上相应的材料、密度等产品属性。在产品未加工前,就可精确计算各零件的重量、质心位置、转动惯量等。由于航天器是由运载火箭发射入轨的。把每 kg 有用载荷发射到轨道上去需要很高的能量消耗。空间仪器的重量与发射费用密切相关,减轻重量无疑是在降低成本,故轻量化对空间光学仪器具有特殊的意义。要求在满足设计指标的前提下尽量的减轻重量。空间光学仪器大多具有复杂结构以及大量的轻量化工作,使得精确计算零件的重量显得尤为必要。

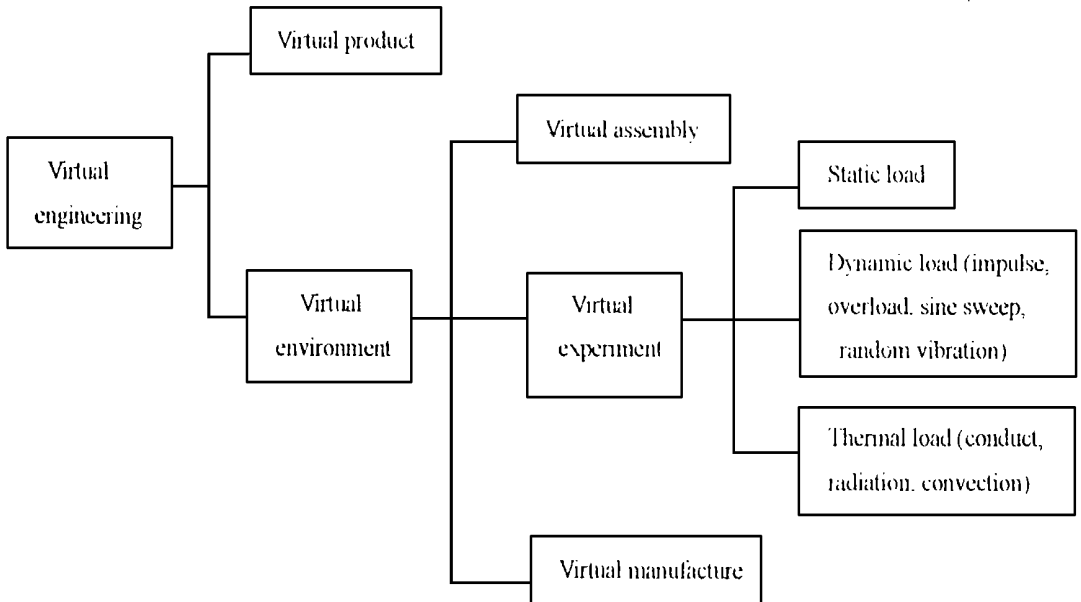


Fig. 1 Sketch of VE application in product

(2) 虚拟装配

根据零件间的装配约束关系进行虚拟装配。装配指同类元素间(面对面、边对边、点对点)的匹配关系。常用的基本装配关系:配合关系,如:轴孔配合,重合关系(对齐)。通过虚拟装配可及早的发现零件间尺寸不匹配问题。进行产品系统本身的整体或局部的装配干涉检查。还可生成装配爆炸图,直观了解装配关系。通过剖切显示内部结构,具有形象直观的特点。

(3) 复杂运动的模拟

用于零件间复杂运动关系的协调性检验,动画显示机构的运动情况。实现零件间复杂运动

关系的模拟、运动关系检查。

(4) 模拟环境载荷

空间光学仪器不仅要求精度高。而且要求产品对各种恶劣应用环境的适应性: 在微重力、冲击与过载荷、热载荷作用下, 确保视轴稳定、空间工作状态清晰成像。有限元法是目前结构强度、刚度、热特性及动态特性等分析计算的最常用、最有效的方法之一。有限元法是把虚拟产品离散为有限个单元。分别赋予各单元相应物理属性。如力或热的特性, 各材料的密度、弹性模量、泊松比、热传导系数、线膨胀系数。使虚拟产品具有真实产品的各种物理属性。根据具体问题定义约束点、工作载荷等产品的初始条件和边界条件和施加相关环境载荷。经快速的计算得出应力、应变等分析结果, 将预示该环境载荷作用下产品的性能。分析载荷作用的结果确定修改方案。再进行分析计算检验修改效果。直到满足设计指标为止。空间光学仪器的环境载荷主要有:

(1) 微重力环境载荷

由于光学仪器的制造和检测均是在有重力的环境下操作的, 故需分析在空间微重力环境下由于重力释放引起的结构回弹变形对光学性能的影响。

(2) 动力学环境载荷

模拟动力学使用环境条件, 计算在动载荷作用下的各种响应和应力分布。空间光学仪器经历的动力学环境载荷主要有发射瞬间产生的冲击载荷, 虽然具有作用时间短载荷幅值大的特点, 对脆性的光学元件可能会造成损坏, 因此必须给予重视; 在运载阶段, 由于火箭的推力使航天器获得加速度, 随着燃料不断消耗和航天器质量减少而不断增加的过载荷对光学仪器具有破坏力, 应给予充分考虑; 在轨期间主要有低频正弦振动、随机振动载荷, 由于是工作状态, 必须满足成像质量要求, 将随机振动波形在频率上进行分解, 考核各频率成分的载荷同时作用结果。

(3) 热载荷模拟

在轨期间空间环境主要的热环境影响因素: 太阳辐射、地球红外辐射和地球反照。由于太阳和地球的遮挡作用, 在地球的阴影里太阳的辐射被遮掉, 致使直接暴露在空间的航天器表面会处于从零下二百多度到零上数百度的冷热悬殊的温度环境。同时仪器的朝阳表面和背阳表面的温度可达上百度。在轨期间热输入的周期性变化将导致内部仪器的周期性热载荷作用。使低热导率的光学元件产生很高的温度梯度, 进而产生热应力及热变形, 导致光学系统性能下降。因此, 需模拟热载荷的作用, 计算在温度载荷作用下的温度分布、热应力。从而为热设计及热实验提供依据和参考。

(4) 虚拟制造

虚拟制造是通过模拟加工环境和加工过程, 并非真实的加工, 在制造前预估产品的可制造性和可能存在的问题。产品设计经结构设计、分析模拟, 如果设计性能已达到设计指标, 充分利用零件模型的几何与拓扑信息, 根据零件几何形状、大小、位置设置工艺参数, 如进刀量、进刀速度, 产生刀具的加工轨迹, 形成数控加工程序。加工程序必须通过验证才能用于实际加工, 通过试切的方法往往会占用数控机床宝贵的机时, 因而具有真实感的切削模拟, 成为程序验证的主要手段。模拟加工环境及加工全过程, 建立一个由工件、工作台、夹具、和刀具等零件三维实体模型装配而成的模拟加工环境。模拟夹具、工件及刀具的全部切削过程, 动态的模拟刀具在

毛坯上切削零件的真实过程,显示刀具的加工运动和工件的切削情况。检验是否发生过切以及刀具和其它零件的干涉情况。提前发现刀迹错误,克服了在机床上试切的缺点。将验证后的数控程序生成机床的加工代码,传送到数控机床进行加工。

4 结 束 语

应用虚拟工程技术,先后成功完成空间光电工程、国家 863 高科技项目。虚拟工程技术不但可用于系统方案的论证及评估,而且可用于产品创新设计阶段、设计细化阶段、实验规划阶段。由于在产品制造之前,就实现了对产品工作性能的效验,故缩短了产品研制开发周期、降低产品成本,提高了产品质量和一次成功的概率。

参 考 文 献

- 1 卢鐸. 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
- 2 卢鐸. 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
- 3 牛晓明等. 空间光学系统的热分析. 光学 精密工程, 1996, 4(6): 54~60
- 4 杨洪波. 空间遥感器动力学环境计算机仿真. 光学 精密工程, 1998, 6(6): 39~44
- 5 牛晓明. 空间光学遥感器的热响应及热控. 光学 精密工程, 1998, 6(6): 74~78

Application of Virtual Engineering Technology in Space Optical Instrument

SONG Zhao-Hui, LU E

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

Abstract

The importance and characters of application in researching and developing space optical instrument by means of VE technology are introduced. And application in design, analysis and manufacture of products is preliminarily described.

Key Words: Space optical instrument, Virtual engineering technology

宋朝晖 女, 1969 年生, 中国科学院长春光学精密机械研究所博士研究生, 主要从事光学仪器的工程分析研究。