

文章编号: 1672-8785(2006)03-0008-05

三维 CAD 在空间光学遥感仪器中的应用

刘春霞

(中国科学院上海技术物理研究所, 上海 200083)

摘 要: 随着空间技术的发展, 空间光学仪器对机械结构的要求越来越精细和复杂, 如何快速、高效、准确地设计出高质量的产品已成为当务之急。三维设计以其高效、直观、信息量大、便于分析等优点越来越引起人们的关注。本文以 SolidWorks 软件为平台, 以某光机扫描仪为例, 介绍了利用三维 CAD 技术设计空间光学仪器机械结构的方法和思路。

关键词: 三维 CAD; 空间光学遥感仪器; 机械结构

中图分类号: TH122 **文献标识码:** A

Application of 3D CAD in Space Optical Remote Sensor

LIU Chun-xia

(Shanghai Institute of Technical Physics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200083, China)

Abstract: Along with the development of space techniques, the mechanical structures of remote sensors become more and more precise and complex. How to design the products with high quality quickly and precisely is an urgent affair. Because of the features, such as high efficiency, direct visible, rich information and easy analysis, 3D CAD techniques become more and more attractive. Taking an optical mechanical scanner for example, the 3D CAD design method and thought of a space optical remote sensor using SolidWorks is presented in this paper.

Key words: 3D-CAD; space optical remote sensor; mechanical structure

1 引言

光学遥感仪器是很多航天器上重要的有效载荷, 通常以卫星为搭载平台, 以光学传感器等为技术基础, 对目标物进行远距离探测与识别, 收集、记录目标场中目标的辐射能量, 并把所获得的数据发送至地面站。它从研制、装星发射、入轨到空间轨道长期运行, 要经历地面环境、主动段力学环境及空间轨道等环境, 并经受振动、冲击、噪声等动载荷及静过载等力学及真空高、低温交变环境的考验, 因此其结构设计的要求很高, 主要包括以下几个方面:

- (1) 高精度: 光学元件的尺寸与形状精度高, 与之相配套的机械结构也要有较高的精度;
- (2) 高强度: 保障仪器在运载过程中构件不被破坏, 不产生残余变形, 能经受一定的力学环境的考验;
- (3) 高刚度: 在外界机械扰动和环境变化时, 仪器不抖动, 保证仪器能在恶劣的空间环境条件下正常工作, 达到预定的分辨率和成像质量等技术指标, 仪器结构和光学系统必须具有很高的尺寸稳定性;
- (4) 重量轻、体积小: 为了适应空间应用的需要, 应尽量减少运载、发射成本, 并采用轻量

收稿日期: 2005-08-18

作者简介: 刘春霞(1974—), 女, 中国科学院上海技术物理研究所副研究员, 主要从事航天遥感仪器结构设计和分析等方面的工作。

化设计。

上述特殊要求给结构设计工作带来了相当的难度。以往传统的设计方法是走原理样机——初样——正样的技术路线, 依靠经验和试验的手段, 通过长时间的摸索, 多次反复修改, 才能设计出基本满足需要的结构来。然而由于航天工程的复杂性和多样性, 结构的许多隐患要到仪器研制的最后阶段, 甚至仪器正式运行的过程中才会暴露出来。这种传统的设计方法不仅研制周期长, 需要耗费大量的人力物力, 而且很难达到较高的设计质量。因此, 如何改进设计手段和方法, 缩短产品的研制周期, 提高产品质量和一次成功的概率已成为当务之急。

随着计算机技术的发展, CAD/CAE/CAM 等技术为这类仪器的研制与开发提供了极其有效的手段。在产品设计付诸制造之前, 可以用 CAD 在计算机上构造三维数字化的产品模型。然后利用 CAE 技术分析结构的强度、比刚度; 分析温度变化对光学系统性能的影响; 对结构进行优化计算, 尽量轻量化; 模拟和分析各类相关环境对仪器的影响等, 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。对产品进行三维设计是这一系列工作的基础, 本文将重点探讨这方面的内容。

2 三维 CAD 技术

机械设计是一个构思和创建机械产品的活动过程, 计算机辅助设计 (CAD) 是指使用计算机系统统一支持设计工作的各项活动。

在传统的设计中, 设计人员先绘制二维工程图样, 构建产品的形体和结构, 设计结果又主要以二维工程图样表达。产品的三维形体以及三维空间结构关系, 需要工程人员通过读取工程图样间接导出, 其工作关系如图 1 所示。这种以二维设计图样为基础的 CAD 系统可称为二维 CAD 系统。

近年来, 随着三维几何建模技术的发展, 设计人员可以直接在计算机显示器前构建和观察

产品的三维形体和结构, 进行三维装配、干涉检查、运动仿真、性能分析等, 设计结果可以用三维模型存储, 也可以由模型生成二维工程图, 其工作过程如图 2 所示。这种以三维几何模型为基础的 CAD 系统可称为三维 CAD 系统。

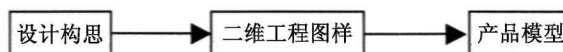


图 1 二维 CAD 设计过程

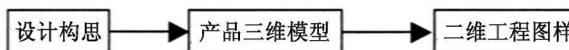


图 2 三维 CAD 设计过程

建立统一的产品模型、获得统一的产品定义, 是实现 CAD 一体化的基础。通过三维立体造型软件, 可以建立产品的完整几何描述及特征描述, 并能随时提取所需要的信息, 支持 CAD 全过程中各个环节的工作, 比如为有限元分析或 CAPP 提供相关数据等, 从而实现系统的集成。造型软件一般都应包括几何建模、特征建模、物理性质计算 (如质量、重心计算)、真实感图形显示、干涉检查、二维图及二维剖面图生成等功能。这类软件现在较为流行的有 SolidWorks、Solidedge、Pro-E、UG 和 CATIA 等^[1]。

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。在方案设计阶段就应能在计算机上看到产品模型的逼真形象, 以便于各学科设计人员进行交流, 及时修改不当之处, 从而大大地减少设计失误, 避免设计、加工中的浪费和损失, 降低产品成本, 缩短研制周期, 提高设计质量。

本文拟采用 SolidWorks 软件为平台, 以某光机扫描仪为例, 介绍空间光学仪器机械结构的三维设计思路和方法。

3 光机扫描仪结构设计要素

光机扫描仪是航天遥感中最常用的遥感仪器之一, 也是较为典型的空间光学仪器之一, 通常都包含光学系统、扫描机构、电子学等多个系统。

针对这样复杂的仪器, 在进行结构设计时, 通常可以按照相对独立的功能把整个仪器分成

几个分部件。各分部件分别建模，之后再组装成整体。根据光机扫描仪的结构特征，可以分为以下几个部分：光学部分、仪器基准座、箱体结构、扫描机构、电路配套结构、其他特殊结构等。

其中，光学部分的结构设计是整台仪器的重点和中心所在，必须首先加以考虑，要详细研究光学系统的图纸，明确光学结构的基本原理，各光学零件在系统中的作用，各光学零件尺寸、形状及其相互位置关系等。根据光学系统图和零件图，可对光学系统进行三维建模（见图 4(a)）。在光学系统结构设计中要考虑的重点是：(1) 光学零件的固定；(2) 光学零件同轴度的保证；(3) 光学有效口径的保证；(4) 光学尺寸精度的保证，特别是透镜组中透镜位置间距的保证；(5) 消除杂散光；(6) 尺寸链的计算和保证等问题。

仪器的基准座用于支撑光学部件及其它结构，确定主光轴的高度和保障光学系统的精度，是联接其它部件的基体，是十分重要的零件，需要仔细设计。

用于扩展视场的扫描机构涉及到扫描镜、电机、轴承、润滑、动平衡等多项技术，需要进行专门的设计。

其它结构的设计则需按照各自的要求，分别加以考虑。具体的三维设计方法将在后面加以介绍。

4 三维设计过程

4.1 设计思路

在结构设计中，通常有“自顶向下”和“自底向上”两种设计思路。“自顶向下”就是先产生装配体的整体构架，再进行详细零件的设计；

“自底向上”即先把零件单独设计好，然后组成装配体^[2]。

例如，对于光学系统的设计，可以根据已有的光学零件图建立三维零件模型，再根据系统图进行装配，就可以得到三维的光学系统模型（见图 4(a)），这是“自底向上”的设计。然后以此为基础设计光学零件的支撑结构，如主镜筒、次镜座、透镜座、透镜的隔圈、压圈等，这种设计就是“自顶向下”的设计。将这两种设计方法相结合，贯穿于整个设计过程，就可以极大

地提高设计的质量和效率，取得良好的效果。

4.2 三维零件设计

三维零件设计首先是零件形体的设计，在基于特征技术的零件三维设计中，它主要通过形状特征的定义和组合实现。特征是形成零件实体模型的基本元素，所谓特征是指具有某种设计功能特性或与某种制造方法及过程相关联的基本形体及其相关信息的集合。在 SolidWorks 软件中，特征可以分为辅助特征和几何特征（见图 3），辅助特征指坐标轴、基准面、原点等；几何特征就是由草图生成的拉伸、旋转、扫描、放样等特征以及直接生成的阵列、倒角、抽壳等特征。几何特征是参数化的几何实体，通过改变特征尺寸参数，可以用有限的特征构造出无限的零部件实体模型，同时利用参数化功能可以进行零部件的系列化^[2]。

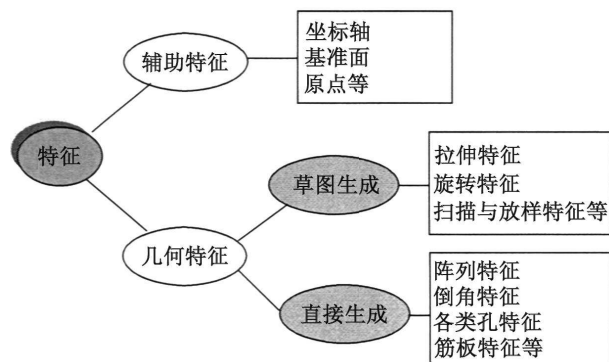


图 3 三维实体建模的特征要素

通常，基于特征的零件三维造型过程是这样的：(1) 分析零件形体结构，确定基本特征，即零件的大致轮廓；(2) 采用草图特征创建基本特征，选取基准面，勾画截面轮廓，定义轮廓组成约束，添加驱动尺寸；(3) 选取拉伸方向或旋转方向，给定拉伸高度或旋转角度，即可生成基本特征；(4) 添加附加特征，选取基本特征的某平面为基准面：a. 勾画轮廓，添加尺寸，利用拉伸、旋转、扫描等功能生成凸台或切除的特征，b. 直接放置孔、阵列、倒角、圆角等，添加尺寸，便捷地生成这些标准特征。通过对特征和草图的动态修改，用拖拽的方式或利用尺寸可以实现实时的设计修改。

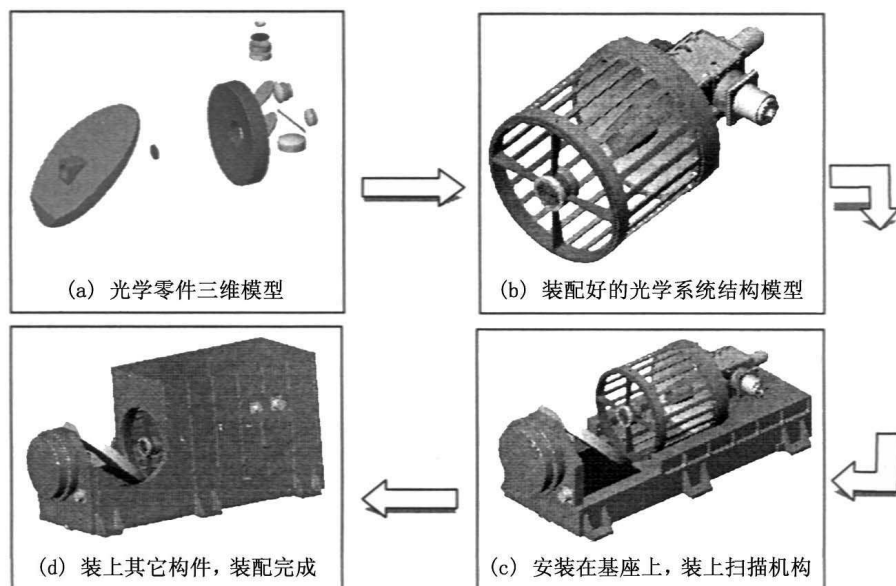


图 4 三维虚拟装配过程图

构造好的零件的三维实体模型包含着零件的形状特征、空间拓扑关系、几何参数等几何信息, 只要附上相应的材料、密度等特性, 就可以精确计算零件的重量、质心位置、转动惯量等物理属性。由于轻量化工作对空间光学仪器具有十分重要的意义, 在设计初期及时预估和统计零件重量, 并尽可能在设计初期改进结构, 减轻重量, 对控制整个仪器的重量是非常有效的。

4.3 三维装配设计

装配设计是用已定义好的零件进行部件装配或产品的设计过程, 其主要步骤包括添加零件或部件实例, 建立零件和部件间的装配关系。

对设计好的零件可以用“自底向上”的方法进行装配, 先分别组装各个分部件, 即子装配体, 然后以主体部件为固定体, 将各个分部件组装在主体部件上。光学系统的装配比较特殊, 应在设计光学结构件的过程中就进行, 即边设计边装配, 这样可以随时检查尺寸和配合情况, 保证设计的准确性。图 4 示出了光机扫描仪的三维虚拟装配过程。

产品中的零、部件的装配设计往往是通过相互之间的装配关系表现出来的。装配关系是零件之间的相对位置和配合关系的描述, 表达了零件之间的相互关系约束。使用配合关系, 可以相对于其他零件来精确定位零、部件, 还可

以定义零、部件相对于其他零、部件的移动和旋转。

SolidWorks 提供了重合、平行、同轴、垂直、相切、距离和角度等配合关系。一般, 以圆形为主要特征的零件利用圆形表面的同轴关系保证径向位置, 利用两相应平面的重合或距离关系保证轴向位置; 板块形零件则主要利用平面间的重合、平行、距离等关系确定相互位置; 对于较复杂的零件, 则需考虑更为复杂的配合关系。另外, 为了形象地表示各零部件之间的相互关系, 还可以利用装配爆炸图对装配体进行分离; 灵活地应用剖切的方法显示装配体的内部结构, 还可以查看内部是否有干涉情况。

这样, 通过装配设计就能够及时发现主体轴位与其他部位的孔位是否配合准确, 零件间是否存在尺寸不匹配的问题, 各连接孔在相关零件间配合时的位置是否准确无误, 便于及时发现零件设计中的失误并加以纠正。同以往对二维图纸进行烦琐的校对相比, 这个过程更加全面和直观, 节省了人力和时间, 极大地提高了检错的效率。

此外, 装配好的仪器模型可以有效地用以展示设计概念, 一方面可以让协作者提前了解产品的结构情况, 及时发现接口间不协调的地

方, 进行调整, 降低研制成本; 另一方面也可以用于对外的宣传和交流工作。

5 二维工程图

当然, 完成了产品的三维零件设计和虚拟装配, 还不能说设计工作就结束了。因为就目前的工程实践而言, 二维工程图还是必要的。在 SolidWorks 中, 只要有了三维的零件图或装配图, 相应的工程图就可以很方便地生成。软件可自动生成标准的三视图, 还可以生成命名视图、相对视图、投影视图、辅助视图、局部视图、剖面视图、旋转剖视图以及任意方向的轴测图等。各种尺寸标注、形位公差、表面粗糙度等注解都能自动产生。当然自动生成的尺寸可能不符合国标或习惯表达方法, 还应进行适当修改。

值得注意的是, 各类图纸是动态相关的。在对任一种图纸进行修改时, 三维零件模型、各

个视图、装配体中的零件都会自动更新, 这就可以达到三维与二维的统一, 从而避免在后期修改时由于考虑不周出现尺寸不协调而导致的失误。这是传统设计中最容易发生问题的地方。

6 结束语

纵观整个三维机械设计过程, 犹如实际的生产装配过程, 其优越性在于: 一方面减少了传统设计中的重复劳动, 提高了工作效率; 另一方面这种智能化的设计方法可以及早地发现设计中的错误, 缩短研制周期。因此, 预期三维的设计方法必将会成为今后机械结构设计的主流。

参考文献

- [1] 徐灏. 计算机辅助设计 [M]. 机械设计手册, 第 2 版 第 2 卷第 18 篇, 机械工业出版社, 2000.
- [2] 宋朝晖, 卢铿. 空间光学仪器研制开发中的虚拟工程技术 [J]. 光学精密工程, Vol.7, No.6, 1999.

~~~~~

## 国外专利介绍

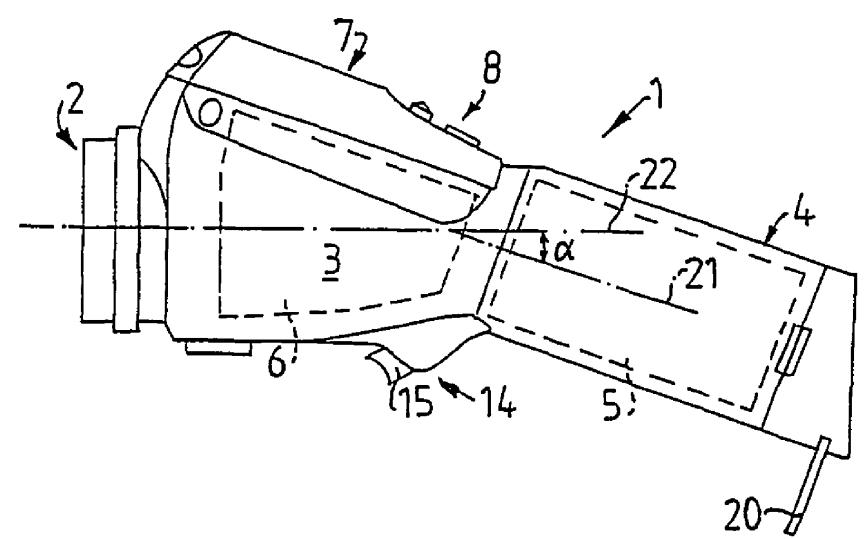
### 手持式红外摄像机

美国专利 US6984824  
(2006 年 1 月 10 日授权)

红外摄像机可以对热斑进行非接触检测, 然而, 正规的红外摄像机往往都是比较重的、需要用双手小心操

作的光学仪器。这些红外摄像机相当脆弱, 不适合在不利的环境中使用。但在许多应用中, 维护技术人员却常常需要配备一种容易操作、能在不方便的位置上使用的红外摄像机。

本发明提供一种手持式红外摄像机, 其优点是轻便, 可以用一只手操作, 并能在各种困难环境下使用。本专利说明书共 6 页, 其中有 2 张插图。



高 编译