

基于 MBD 的小卫星数字化应用

Digital Application of Small Satellites Base on MBD

航天东方红卫星有限公司 刘江 刘质加 辛强 段晓 岳冠楠 周传君

[摘要] 现阶段小卫星数字化设计制造中重点解决卫星总体协同设计和三维下厂问题,通过在型号研制过程中摸索和实践,初步形成了一套全三维数字化设计制造方法,实现了小卫星设计制造过程的无纸化。

关键词: MBD 小卫星 数字化应用

[ABSTRACT] In the present stage of the digital design and manufacture of small satellites, the key to solve the problem of the cooperative design of the satellite and the three-dimensional factory. Through the exploration and practice in the process of model development, a set of fully three-dimensional digital design and manufacturing method has been formed, and the process of the design and manufacture of small satellites without paper has been realized.

Keywords: MBD Small Satellites Digital application

DOI:10.16080/j.issn1671-833x.2015.21.068

MBD 全三维设计制造技术在 20 世纪 80 年代开始就已经在西方一些发达国家得到了应用。波音公司是 MBD 技术应用的先驱者,它采用全三维数字化设计制造技术始于 1986 年,波音 777 飞机采用全数字化定义和无图纸化生产制造技术^[1]。波音 787 项目研究中,广泛采用了 MBD 技术,明显提高了设计研制周期和设计正确率,带来了巨大的经济效益。

随着数字化设计制造技术的发展和三维 CAD 技术的成熟、普及,我国基于 MBD 技术的全三维数字化设计也开始逐步发展起来。国内航天器的设计制造正在经历着从“三维设计、二维出图”阶段到“全三维数字化设计”阶段的转变。现阶段小卫星设计制造中重点解决卫星总体协同设计和三维下厂问题,通过在型号研制过程中摸索和实践,初步形成一套全三维数字化设计制造方法,打通了从总体集成设计到最终总装产品的数据流,实现了小卫星设计制造过程的无纸化。

1 小卫星全数字化设计制造实现

基于 MBD 的设计生产制造,小卫星总体现阶段主要实现卫星详细设计和生产装配,开展基于 MBD 技术

的主结构、管路、电缆网、直属件、热控部件的数字样机设计,打通总体设计、制造和集成装配环节,提高研制效率和质量。

小卫星全三维数字化设计制造实现流程见图 1。

具体实现过程如下:

(1) 接口数据建立。建立标准的设备及标准件三维模型,定义统一的设备接口参数。

(2) 总体布局。突破传统二维纸质数据的传递方式,基于同一设计环境,建立顶层总体布局,采用自顶向下的设计模式,发布各部分三维下厂所需的接口数据信息。

(3) 主结构三维设计下厂。利用顶层发布的设备接口数据,对主结构零部件进行详细设计,基于同一个数据平台,完成三维下厂模型标注、三维零件工艺审查、三维零部件受控发布、传递,由制造厂完成相应零部件生产制造。

(4) 热控件三维设计下厂。利用顶层发布的设备热控接口数据,对整星热控件进行详细设计,并完成相应热控零部件的三维下厂。

(5) 整星电缆网三维设计下厂。

通过发布的电连接器接口、位置和节点数据,进行整星电缆网的详细设计,生成电缆分支长度,进行电缆网生产。

(6) 总装直属件三维设计下厂。

根据顶层发布的直属件接口数据和位置关系,进行总装直属件的详细设计,通过全三维下厂,完成相应零部件的生产。

(7) 推进管路三维设计下厂。

根据顶层发布的管路布局数据,进行管路详细设计,完成管路组件工艺审查,由制造厂通过数控弯管机完成管路自动弯管预制,最终完成管路焊装。

(8) 总装数字样机形成。

更新总体模型,形成并发布完整的型号数字样机,生成产品 BOM,通过总装现场三维看板和工艺,完成卫星总装。

2 小卫星数字化设计制造实现过程中的部分关键问题及解决

2.1 协同设计环境

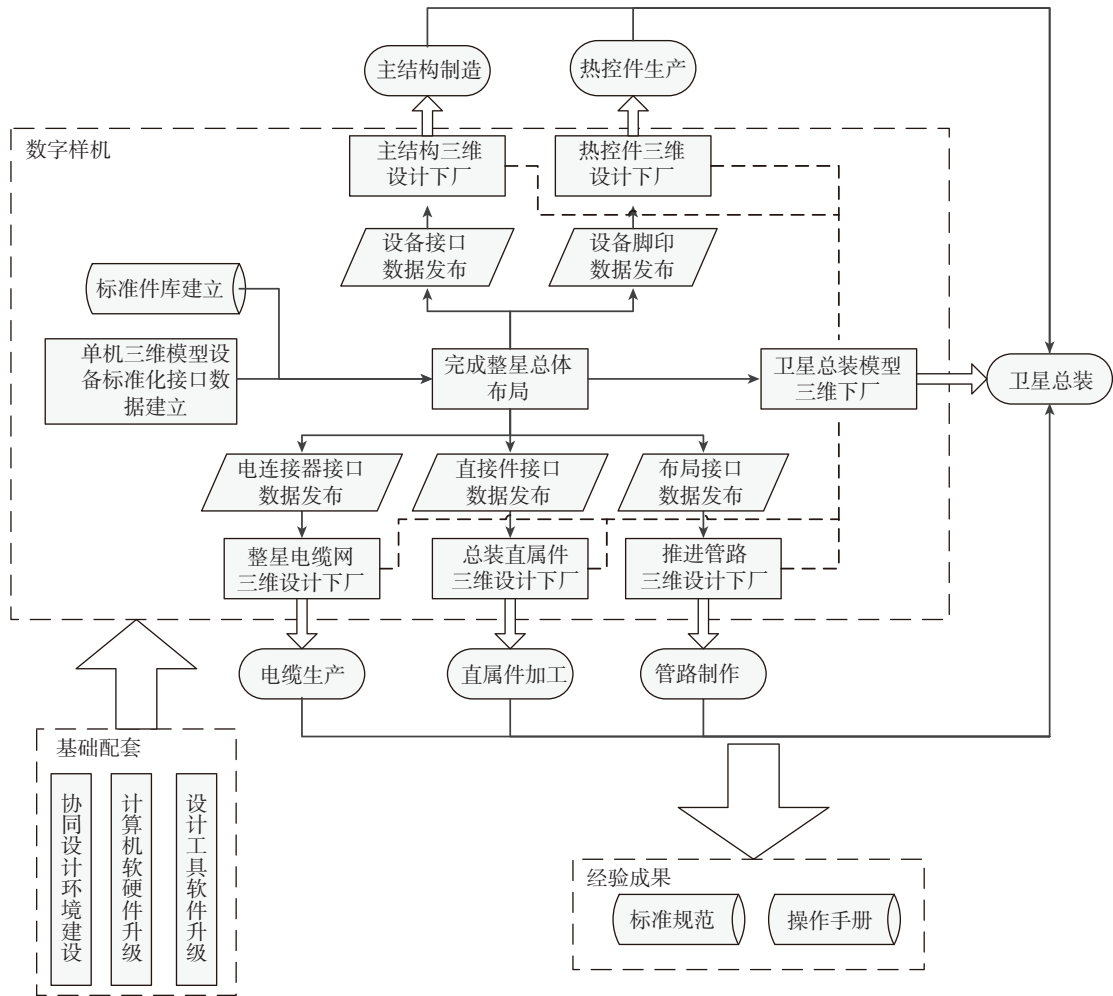


图1 小卫星全三维数字化设计制造实现流程图

Fig.1 Flow chart of satellite digital design and manufacturing

传统“三维设计、二维出图”的设计制造模式,设计与设计、设计与制造数据不关联,通过层层二维图纸或文件的形式传递到下一级,造成数据重复录入、设计,更改工作量大、效率低。

在全三维数字化协同设计过程中,各个专业、各个部门、各个协作单位之间所用的CAX软件、PDM系统相互孤立,而全三维数字化设计的关键是统一数据源,必须集成研制过程中所涉及的CAX软件和PDM系统,打通数据软、硬件传递路径,实现同一个设计环境。

在小卫星的全三维数字化设计制造过程中,分析明确接口数据参数,制定标准参数集,开发与三维设计软件集成的接口,数据系统实现数据源的统一,通过PDM平台进行模型的管理和受控传递,实现设计环境的统一。

2.2 总体布局与协同设计

建立顶层总体布局,采用自顶向下的设计模式,进行协同设计,极大地提高了设计效率和正确率。卫星工程需要多学科交叉迭代,涉及机、电、热等多专业协同,

各专业又由多名设计师共同设计完成。各协同设计模型,既要保持总体的相关性和各自部装模型的独立性,又要做到模型对应制造端的适应性,模型的层级规划是非常关键的。

以三维管路模型为例,模型树如图2,在总体模型下建立管路装配体模型,并发布与管路设计相关的结构板、管路零件的骨架模型。管路设计师按照特定的层级关系设计管路分支,层级关系需要满足工艺要求,再通过总体模型检查管路的设计干涉情况。设计完成的管路模型在PDM平台中进行工艺审查、会签受控。将各管路分支模型传递到数控弯管机中进行预制,最终完成设计管路焊接。设计生产效率非常高,设计正确率达到100%。

2.3 装配体模型设计

全三维数字化设计制造主要以三维实体模型表达产品定义信息,相对于之前总体设计模型,卫星总体模型反映产品的更加真实的状态,特别对于小卫星的设备布局密度要求越来越高,模型外表部门特征缺失可能造

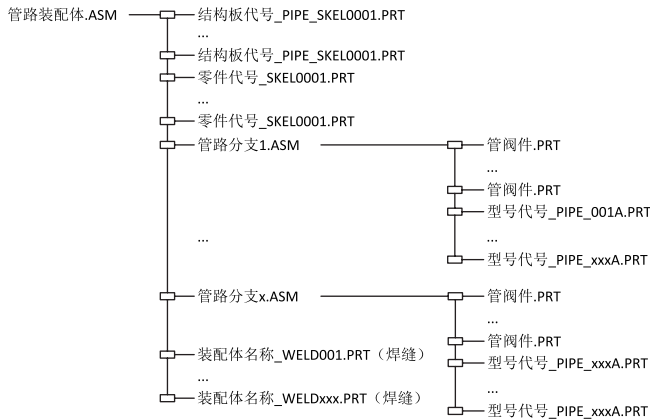


图2 三维管路模型树

Fig.2 Three-dimensional pipe model tree

成实物干涉。近年,小卫星型号模型的实体数量和特征数量成倍增长,三维模型越来越复杂。近年小卫星型号的总装模型实体和特征数统计如图3所示^[2]。

这就造成计算机内存和CPU资源占有量逐步增大,计算机反应越来越慢。随着对模型真实度和全数字化

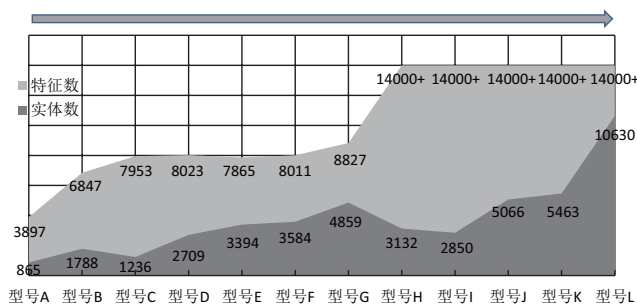


图3 近年小卫星型号总装模型实体和特征数统计

Fig.3 Statistical model of the number and characteristics of small satellite models in recent years

项目的增加,急需解决卫星整星的大装配问题^[3]。

在小卫星的全三维数字化设计制造过程中,具体解决方法如下:

(1)单机设备模型简化处理。卫星上设备基本为外协单位开发的产品,总体单位进行集同设计,控制减小每台单机设备模型特征数,对于总体模型的总特征减少是非常可观的。一般情况下,总体仅需要设备单个本体模型,包含设备的外形、尺寸、机械接口、电连接器接口、质量特性等必要特性,不需要单机设备内部的结构。而外协设备三维模型提供总体内部简化后的装配体模型或中间格式模型,大部分简化的不够彻底,大小动辄几十M甚至上百M,按照现在小卫星总体设计计算机的处理能力,25M左右的模型是可以接受的,所以标准单机模型建立前需要在进行简化处理,再进行质量特性重新定义和模型基准设置。

单机设备模型快速简化处理方式的核心思路是保留设备外部轮廓实体或面,将看不见的内部实体或面删除,Pro/E设计平台模型的常用处理方式主要有如表1所示的4种。

例如,一台外协单位已经简化的Pro/E单机设备,包含760个Pro/E文件,文件大小总共90.3M。经过方法4处理后,外观体积缩小为5.3M,简化效果非常明显。效果图如图4。

(2)总体模型层级规划。前文中提到的模型层级规划,也是解决途径之一。通过总体模型顶层规划,将模型发布为结构总体模型、热控总体模型、管路模型、整星总装模型,让每一部分单独进行详细设计,当全部设计完成后,打开总体顶层模型,完成大装配体模型。

表1 常用单机设备模型快速简化处理方法

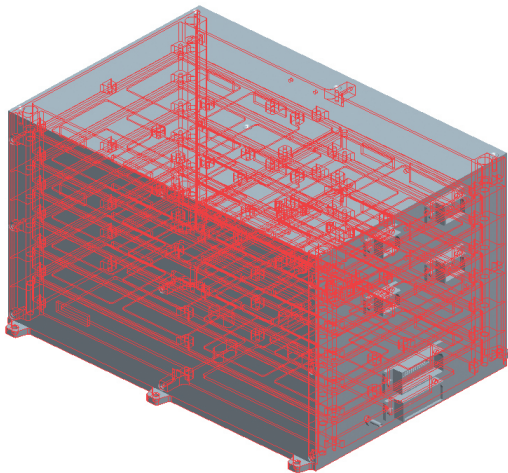
序号	方法描述	适用范围	优点	缺点
1	将设备装配体存为IGS或STEP中间格式,再用Pro/E以单件方式打开、保存	原模型已经不能再简化,且导出模型小于25M	操作便捷	含有内部特征,文件没有达到最小体积
2	将设备装配体存为IGS或STEP中性文件,再用Pro/E以组件方式打开,删除内部零件,再重复方法1	原模型为asm装配体,内部含有大量可删除零件,且最终导出模型小于25M	操作相对便捷	删除内部零件操作较繁琐;二次格式转换,对计算机配置要求高,等待时间长含有内部特征,文件没有达到最小体积
3	通过复制外轮廓面将设备外轮廓收集到一个零件中	大部分表面特征单一的方箱类设备	操作便捷;只保留外部面特征,文件体积达到最小;不会出现表面特征丢失错误	根据表面状态复杂程度的增加,设备模型处理操作技巧要求高
4	在Solidworks中打开设备,并转成装配体,直接另存为仅保存外部面的part文件,再将part文件另存为ACIS内核文件,再用Pro/E以单件方式打开,保存	不适合上面3种方式处理的模型	只保留外部面特征,文件体积达到最小;操作流程固化,不需要很多操作技巧	操作繁琐,需要使用2个CAD软件进行文件互转;多次格式转换,对计算机配置要求高,等待时间长

(3) 提升计算机软硬件性能。三维设计建模用计算机一般是企业内配置较高的计算机,大部分企业使用普通高配置计算机作为设计用计算机,但是在三维模型实体和特征成倍增长后,普通高配置的稳定性以及无法满足设计要求。这就需要使用图形工作站进行三维产品设计。

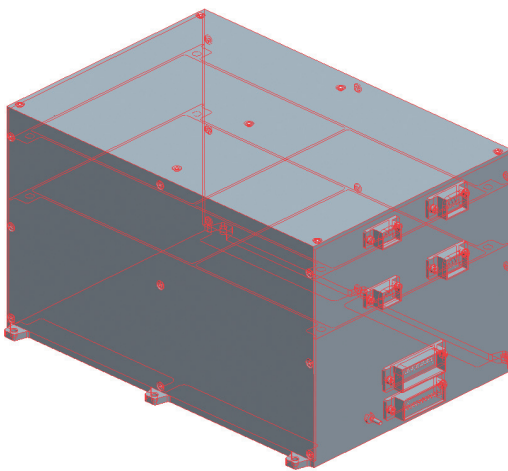
与普通办公、家用电脑注重多媒体性能和价格因素的配置方法是截然不同的,图形工作站拥有专业图形显卡、容错能力强的 ECC 内存、更快速的芯片组、更高运行稳定性。图形工作站的配置准则在于: 切实了解应用需求,以合理的价格组建一个符合应用软件要求的稳定、高速、高效的设计平台,以最大程度地实现设计人员的设计意图。

此外,能管理更大内存的 64 位操作系统和配套 64 位设计软件也是必须的。

2.4 单机模型设计更改



(a) 简化处理前



(b) 简化处理后

图4 单机模型处理效果对比

Fig.4 Effect of simplified single machine model

大部分小卫星型号任务设计难度大、时间进度紧,几乎大部分单机设备与总体设计是同步进行的,这就造成单机设备模型更改是不可避免的。而单机设备模型作为数据源载体,又处在型号设计建模的前端,它的更改将带来单机接口数据重新定义,相关各种设计的调整,含有大量的重复操作。因此,如何减少单机设备模型变更带来的影响也是一直需要研究的。

目前的解决方案是让设备本体处在设备装配体的最末级,通过前期参数定义在装配体中生成反映单机接口数据的基准面、基准点、坐标系,将电连接器、标准件通过这些参数驱动的基准面、基准点、坐标系装配,与单机本体不直接发生关系。当设备本体单件模型更改时,仅通过少量的模型变更即能完成操作。用于整体的典型设备换型层级关系如图 5 所示。

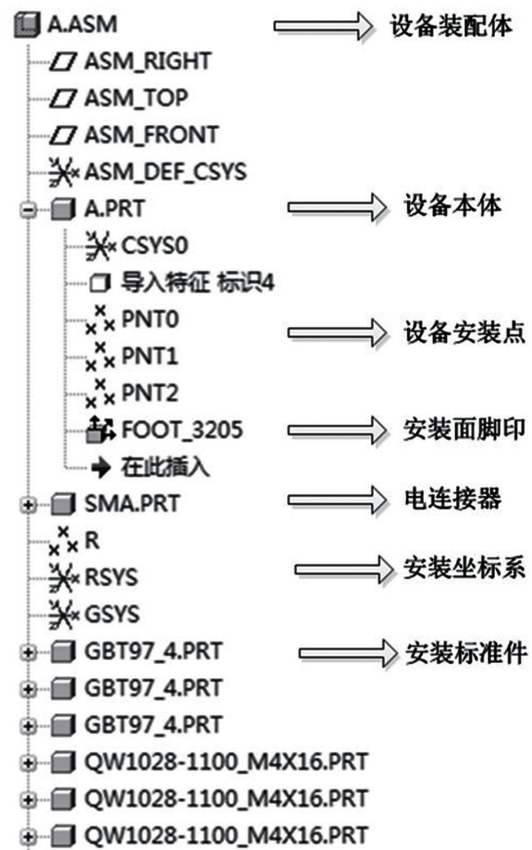


图5 用于整星的典型设备模型层级关系

Fig.5 Typical model hierarchy for satellite equipment

3 总结与展望

本文介绍了小卫星 MBD 全数字化设计制造的实现过程,并列出了在数字化设计制造实现过程中的部分关键问题及解决方法。

小卫星 MBD 全数字化设计制造目前还处于起步阶

段,后续还将进行不断地优化和完善:

(1)进一步优化已有的设计制造流程,完善三维模型数据内容,健全顶层参数策划和标准体系。

(2)建立多学科数字化协同仿真分析设计,如力学分析、热分析、电磁兼容性分析等,实现设计—分析一体化。

(3)建立健全与产品制造端的数据接口,匹配三维工艺、质量控制等。

随着制造业信息化的不断发展,相比传统设计,基于MBD技术的全三维数字化设计制造具有明显的设计优势,从而得到各行各业的高度重视。航天器数字化研制已成为国际一流宇航企业发展的重要支撑和必然趋势,是小卫星持续发展、加速产业化转型的必由之路。

参考文献

- [1] 范玉青,周建华.产品三维数字化定义在波音飞机公司的应用.航空工艺技术,1996(2):7-10.
- [2] 刘江,刘质加,辛强.小卫星型号数字化建模问题及解决措施.[EB/OL].2014-11. http://articles.e-works.net.cn/CAD/Article119637_1.htm.
- [3] 陈月根.航天器数字化设计基础.北京:中国科学技术出版社,2010.

(责编 叶枫)

(上接第 61 页)

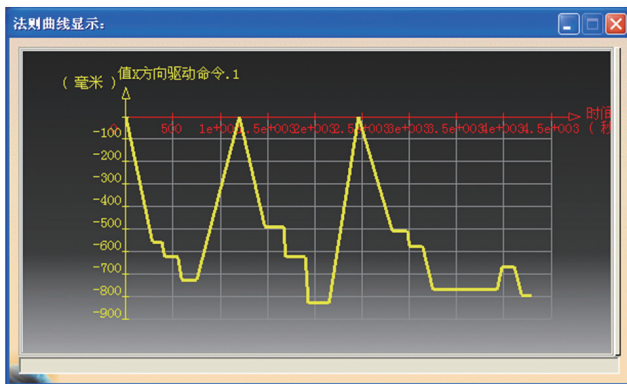


图8 执行制孔指令时X方向驱动命令随时间变化的法则曲线

Fig.8 X direction command curve during device execute drilling command

运动机构命令法则曲线的导入功能,实现了五坐标自动制孔设备制孔过程的仿真。

参考文献

- [1] 孙丽宏,王伟.离线编程与仿真技术在柔性导轨自动制孔系统中的应用.航空制造技术,2011(13):47-50.

(责编 秦早)

(上接第 64 页)

行,没有实现实物的唯一性控制和跟踪。

5 结束语

本文探讨了数字化装配工艺设计和装配过程管理的协同设计概念和方案,面向发动机装配的全过程,以结构化的工艺实现技术管理到实物状态的传递和管理,提高工艺设计和装配过程的快速性,有效性和准确性。但由于目前协同设计处于规划设计中,后续的理解分析还会不断提高。但不可否认的是,装配工艺设计与装配过程管理的协同设计,对于提升研发阶段的整机技术水平和管理水平都将具有重要意义。

参考文献

- [1] 李山.航空发动机数字化制造技术的应用现状与发展趋势.航空制造技术,2009(7):66-69.
- [2] 黄迪生.数字化协同与大飞机工程.中国制造业信息化,2008(18):13-15.
- [3] 王普,张光星,张姿.航空制造技术,2005(10):25-30.
- [4] 王永拴.航空工业数字化协同现状与发展.航空制造技术,2009(11):62-66.

(责编 宁军)

(上接第 67 页)

方法,但由于技术封锁和体系差异等因素,我国各主机厂还只能通过转包生产过程中外商对于产品加工及装配的特定要求,间接地了解数字量尺寸传递的具体实现方法和关键技术。尽管各主机厂所借鉴相关的经验,在型号的研制中开展了局部的试验和探索,但依然缺乏对飞机数字量尺寸传递、协调与容差分配技术的系统性研究。

容差设计在设计部门和制造部门之间起着不可缺少的桥梁作用,所以容差的合理选择、分配与优化是相当关键的,它控制着产品的性能和生产成本。

国内外围绕容差分配所做的大量研究,还主要集中在零件装配容差的表示、分析与综合上,即只是面向设计层面的容差分配,还没有见到有研究将整个容差方案同尺寸传递与协调路线结合起来。因此,要实现对飞机制造装配过程的真正支持,还需要在协调路线中的容差分配方面进行深入的研究。

参考文献

- [1] 程宝蓁.飞机制造协调准确度与容差分配.北京:航空工业出版社,1987.
- [2] 王海宇.飞机装配工艺学.西安:西北工业大学出版社,2010.
- [3] 程宝蓁,崔赞斌,等.飞机制造互换协调技术.北京:国防工业出版社,1990.
- [4] 范玉青.现代飞机制造技术.北京:北京航空航天大学出版社,2001.

(责编 宁军)