

装配仿真技术在卫星装配中的应用

Application of Assembly Simulation Technology in Satellite Assembly

北京卫星制造厂 王洪雨 胡溶溶 喻懋林

[摘要] 卫星数量逐年增加,卫星装配呈现出多型号、小批量等特点。通过开展装配仿真技术在卫星装配中的应用,合理布置装配资源,优化装配序列,人因工程模拟,验证装配工艺方案可行性,生成仿真文档,能够有效提高卫星装配效率和质量。

关键词: 装配仿真 卫星装配 人因工程

[ABSTRACT] The number of satellite is increasing year by year, satellite assembly many different types and small quantity feature. By using the assembly simulation technology, assembly resources can be arranged more reasonably, assembly sequences can be optimized, ergonomics can be simulated, assembly process plan can be testified, simulation document is generated, so that the efficiency and quality of satellite assembly can be substantially improved.

Keywords: Assembly simulation Satellite assembly Ergonomics

DOI:10.16080/j.issn1671-833x.2015.21.056

近十年以来,我国航天领域进入快速发展时期,各种类型卫星大量涌现,卫星平台多样化、复杂化趋势愈发明显。卫星研制是一个复杂庞大的系统工程,其中卫星装配是卫星研制的重要环节,对保证卫星总体性能、功能及可靠性有直接、重要的影响。为了缩短卫星装配周期,提高卫星装配质量,在实际生产中,急需推广应用先进的装配仿真技术,减少返修率,提高一次装配成功率。

1 装配仿真技术

装配仿真是在三维数字化环境中动态实现所有零部件装配成产品的全过程,并在装配仿真过程中实时检查碰撞干涉,确保各个零部件装配到位。通过装配仿真技术,能够用最短的时间,最少的人力、物力、财力验证产品装配工艺方案的可行性。在卫星装配工艺方案设计阶段,运用装配仿真技术可以对整个装配过程有一个直观的了解,能够为系统方案验证、装配序列规划、装配工艺编制、装配风险控制等提供重要参考依据。^[1]

在国外,以 DELMIA、Tecnomatix 等装配仿真软件为代表的装配仿真技术已经得到广泛应用。波音公司对波音 787 已经实现了全机装配的仿真模拟,并建立了虚拟实验室,三维动态演示飞机装配全过程,评价装配工艺方案的可行性^[2]。尽管国内许多大学和机构都开展了装配仿真技术研究,并取得了很大进展,但是各种理论和方法还不成熟,大部分单位处于预研或试用阶段。将虚拟现实技术用于产品规划与评价的时间还不长,导致装配仿真系统的工程实用程度不高^[3]。在航天领域,装配仿真技术尚处于理论研究阶段,装配仿真仅限于总体设计阶段基于三维造型软件的各部组件的几何分解,在实际装配生产中尚未真正运用装配仿真技术。

2 卫星装配特点

卫星装配是将各种星载仪器设备可靠地安装在整星所要求的位置,通过电缆、导管连接起来,形成质量特性、精度和气密性都符合总体设计要求的整星。卫星装配分为组件、部件装配,功能组件装配,舱段装配和整星装配^[4]。相对于其他行业,卫星装配具有以下特点:

(1)多型号、少批量。随着卫星需求的大量增加,卫星和卫星应用正朝着多样化方向迅速发展,加上卫星研制本身具有周期长、投资大等特点,因而形成了卫星多型号、小批量的生产特点,甚至是单件生产^[5]。这就要求卫星装配工作要有极强的适应能力,能够针对不同类型卫星的装配需求,及时调整装配工艺方案。

(2)开敞性差、安装密集。受运载火箭整流罩内部空间限制,卫星内部载荷安装空间弥足珍贵,安装密集,开敞性差。在卫星狭小的空间内,要安装各种仪器设备、电缆网等功能模块,狭小的操作空间一定程度上增加了装配集成的难度。

(3)装配精度要求高、难度大。卫星的装配精度对卫星能否正常工作有着直接的影响。卫星姿态的精确控制、卫星天线指向的精确控制等,均依赖于相应的设备和元器件在整星坐标系下的精确安装,例如某卫星天线安装角度误差要求在 0.03° 以内^[6]。星载仪器设备多安装在蜂窝夹层结构板上,蜂窝夹层结构板脆性大、硬度高、修配困难。

(4) 装配环境要求严格。

卫星装配厂房对环境要求严格,一般情况下卫星装配厂房内部温度为 $20 \pm 5^{\circ}\text{C}$ 、湿度为 40%~60%、洁净度优于 100000 级。此外对照明度、噪声、有机污染程度等均应满足和型号卫星的技术要求^[4]。甚至要严格控制微生物污染,防止微生物腐蚀星体表面。

综上所述,卫星装配任务繁重、技术难度大,要求苛刻,在卫星实际生产中急需推广应用装配仿真技术,及早发现装配过程中可能出现的问题,提前优化装配工艺方案,有利于卫星装配工作进行顺利,提高一次装配成功率。

3 装配仿真技术在卫星装配中的应用

装配仿真的一般流程(如图 1):首先要建立卫星装配仿真环境,将待装配产品和装配资源(装配工具和设备)导入仿真工具;对产品进行装配序列和装配路径规划;验证人体和工具的可操作性;进行装配仿真动态模拟,直到消除静态和动态干涉,验证装配方案可行性,生成相应工艺文档,指导实际生产。

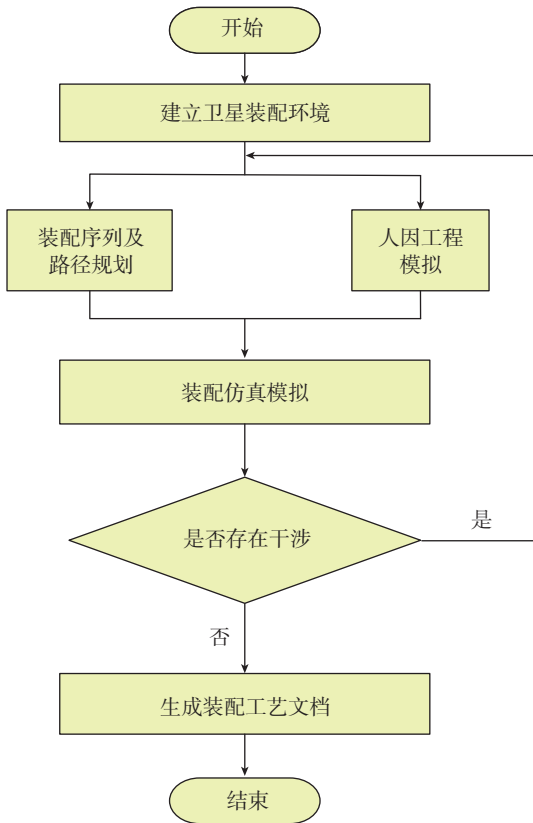


图1 装配仿真一般流程

Fig.1 General process of assembly simulation

3.1 装配仿真环境建立

建立装配仿真环境是指将待装配产品零部件、装配

工装、设备等所有装配资源集成到装配仿真软件中,并进行优化布局。装配厂房空间有限,装配资源庞杂,合理的装配资源布局能够有效解决空间上的矛盾,提高空间利用率。

在某型号卫星部装装配资源布局中,产品、工具、设备集中分类、有序布置、将待装配零部件(结构板)按照装配顺序距离部装平台由近到远依次摆放,方便拿取装配零部件,从而提高装配效率;需要专用工装装配的待装配产品(承力筒)放在离专用装配工装附近;大型专用检测设备 ITP 位置固定,部装平台距离 ITP 的距离应在其正常工作范围内。此外注意预留人员和升降车通行通道。

3.2 装配序列规划

装配序列规划实质上就是在各种几何约束条件及工艺约束条件的制约下,求解出满足各种约束条件、性能优良的装配序列^[7]。各零部件装配顺序是装配工艺规划最基本的信息,通常情况下产品中各零部件之间的几何关系、物理结构及功能决定了产品的装配顺序。

一般情况下,卫星总体设计人员给卫星部装工艺人员的模型为已经装配好的整星三维模型。适合运用拆解法进行装配序列规划^[8],具体流程如图 2 所示。在满足装配与拆卸过程可逆的条件下(有些情况下拆解和装配过程并不可逆,在此不做讨论),按照可拆既可装的思想,将整星模型依次拆解成最小装配单元,并记录拆解顺序,将拆解顺序逆转即可得到卫星装配序列。

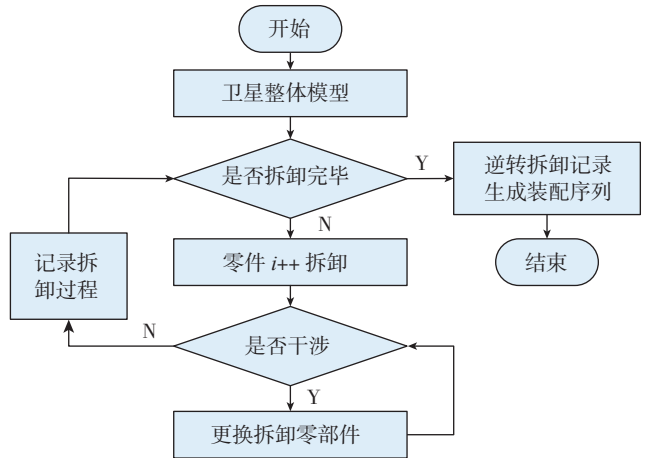


图2 拆解法装配序列规划流程

Fig.2 Process of assembly sequences planning based on disassembling

3.3 人因工程模拟

人因工程仿真模拟是装配仿真技术的重要内容。卫星装配特点:多型号、少批量,开敞性差、安装密集的特点决定了卫星装配难以实现自动化。目前,卫星装配仍然主要靠手工操作,因此人的因素在卫星装配仿真中

不可忽视。

卫星承力筒内部空间狭小,通过人因工程模拟,可以直观展示操作工人装配时工作姿态,验证人体及工具的可达性和装配的可操作性。此外,通过对人体模型的操作姿态分析,可以预判操作工人的工作强度,完善装配工艺方案中的不合理处,改善工人操作环境,从进一步提高装配效率。

3.4 装配仿真模拟

完成装配环境建立、装配序列及路径规划、人因工程模拟后对整个装配过程进行动态装配仿真模拟,检查整个装配过程是否存在装配干涉。提前发现装配干涉,及时查明发生干涉的原因,确定是否能够通过调整装配顺序、装配路径消除干涉。甚至有时需要修改产品设计消除装配干涉。经过多次调整、模拟,确定整个装配工艺方案可行,生成相应的装配仿真视频和工艺文档,指导实际生产。

4 未来展望

(1)目前,卫星装配仿真技术的应用主要还停留在卫星设计阶段,解决的是验证卫星结构设计的可装配性。未来需将装配仿真技术进一步推广应用到卫星装配生产现场,用三维装配工艺替代目前二维装配工艺。

(2)目前实际应用的装配仿真系统主要是基于三维CAD软件生成的刚性、无制造偏差的数字模型完成装配过程仿真。未来还需进一步研究开发更接近现实的装配仿真模拟技术,综合考虑零部件的制造偏差和装配变形。

(3)目前,卫星装配仿真技术应用仅仅是针对某一阶段或者某一部组件的装配进行仿真模拟。未来应形成卫星从最小装配单元到整星的全装配过程甚至检测过程的仿真模拟。综合考虑人、设备、工具、厂房等生产要素,追求各生产要素的和谐统一。

(4)一颗卫星会有多种装配工艺方案,目前装配仿真技术主要解决了验证装配工艺方案是否可行的问题。未来还需要研究探索对卫星装配过程快速有效的评价方法和系统。

参考文献

[1] 刘胤,李志云,赵辉.卫星结构装配工艺仿真工程化应用方法研究.航天制造技术,2006(6):52-55.
 [2] 范玉青.波音787飞机总装配线及其特点.航空制造技术,2011(23):38-42.
 [3] 夏平均,姚英学.虚拟装配的研究综述与分析(II).哈尔滨工业大学学报,2008,40(6):942-947.
 [4] 孙家栋.卫星工程概论(下).北京:宇航出版社,1998:278-283.

[5] 高慎斌.卫星制造技术(下).北京:宇航出版社,1998:284-285.

[6] 张明,喻懋林,张玉生.自动化技术在卫星天线高精度装配中的应用研究.航空制造技术,2013(20):26-29.

[7] 孙康.“TXZ”微小卫星虚拟装配关键技术研究[D].南京:南京航空航天大学,2007.

[8] 吴维江.基于DELMIA的飞行器虚拟装配技术研究与应用[D].南京:南京航空航天大学,2008.

(责编 叶枫)

(上接第55页)

将装配动作具体分解为普通装配动作、精细装配动作和过渡装配动作。针对前者,采用VR外设实时驱动虚拟人进行装配动作仿真;针对后两者,采用自适应行为模型驱动虚拟人进行装配动作仿真。最后通过油泵装配过程仿真验证了所提出的虚拟人装配动作混合仿真方法的正确性与有效性。下一步工作将研究虚拟人装配操作混合驱动的自动转换机制,以减少仿真过程中的人工干预。

参考文献

[1] 王朝晖,陈恳,朱心雄.一种虚拟人作业行为的自主优化模型.软件学报,2012,23(9):2358-2373.

[2] LI Y, LV C, ZHOU D, et al. An application of immersive virtual simulation technology in maintenance. Chemical Engineering, 2013, 33(1): 313-318.

[3] HAN G, WU Song. Motion capture of maintenance personnel based on multi-Kinect//2013 IEEE International Conference on Quality, Reliability, Risk, Maintenance, and Safety Engineering. IEEE,2013:1297-1299.

[4] ZONG D, LI C, XIA S, et al. Instruction level motion control of virtual human for maintenance process simulation//Proceedings of the 2010 IEEE International Conference on Audio Language and Image Processing. IEEE,2010:1289-1294.

[5] DENG G, HUANG X, GAO Q, et al. A real-time interaction strategy for virtual maintenance based on motion capture. International Journal of Computer Applications in Technology, 2014, 49(3):332-339.

[6] 王丰产,孙有朝.基于参数化动作描述的虚拟维修过程仿真.图学学报,2013,34(2):119-124.

[7] KUO CF, Wang MJJ. Motion generation and virtual simulation in a digital environment. International Journal of Production Research, 2012, 50(22):6519-6529.

[8] QIU S, FAN X, WU D, et al. Virtual human modeling for interactive assembly and disassembly operation in virtual reality environment. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2013, 69(9-12):2355-2372.

[9] QIU S, HE Q, FAN X, et al. Virtual human hybrid control in virtual assembly and maintenance simulation. International Journal of Production Research, 2014, 52(3):867-887.

(责编 春早)