

基于MBD的数字化仿真技术在航天制造企业应用研究

乔志峰 赵庆斌 李 刚 陈乃玉

(天津航天长征火箭制造有限公司, 天津 300462)



摘要: 针对航天产品在实现数字化制造过程中对仿真技术的实际需求, 结合当前基于模型的定义技术(MBD)的发展趋势, 重点分析了数字化仿真技术在航天产品制造中的具体可实现途径。将航天制造中的主要仿真内容划分为生产系统仿真、工艺设计仿真、装备设计仿真和质量检测仿真。指出基于模型的定义技术是实现数字化仿真技术的基础, 而数字化仿真技术是实现航天数字化制造模式升级的关键。

关键词: 基于模型定义; 三维工艺设计; 装配仿真; 产品制造信息

Research on Application of Digitization Simulation Technology in Aerospace Manufacturing Enterprise based on Model based Definition

Qiao Zhifeng Zhao Ruifeng Zhao Qingbin Li Gang Chen Naiyu

(Tianjin Long March Launch Vehicle Manufacturing Co., Ltd, Tianjin, 300462)

Abstract: Combined with the development trend of the current model based definition (MBD) technology, the implementation approach of simulation technology in aerospace products' digitization manufacturing was analyzed in detail. The simulation content was divided into production system simulation, process simulation, equipment design simulation and quality testing simulation. The potential problems and key techniques of each simulation aspect were discussed. At last the importance of the MBD technology to the implement of the simulation technology which is the key factor to realize digital manufacturing was emphasized.

Key words: model based definition; three-dimensional process; assembly simulation; product and manufacturing information

1 引言

当前, 伴随着三维数字化设计制造技术带来的传统产品研制模式的重大变革, 基于模型的定义(Model Based Definition, MBD)技术^[1~3]正向着可以实现产品整个生命周期中各个阶段的数据、过程定义与交换的全数字化方向发展。近年来我国的航天制造业数字化紧跟现今数字化制造发展方向, 在产品的三维数字化协同设计、基于三维产品模型的工艺设计、产品数据和生产过程管理等方面取得了一定的成效, 但也应意识到, 面向产品全生命周期的数字化尚未实现, 全数字化的三维设计制造模式仍未形成, 数字化仿真技术

对数字化制造的促进效果仍不明显, 数字化技术的巨大效能远未发挥。对于离散型航天制造型企业, 应重点从生产系统仿真技术、工艺设计仿真技术、装备设计仿真技术、质量检测仿真技术四方面深入开展数字化仿真技术的探索和应用工作。现阶段需要着重解决以下几方面的问题:

a. 如何利用生产系统仿真技术详细验证工厂规划、车间布局方案可行性, 降低固定资产投资和技术改进风险;

b. 如何利用工艺设计仿真技术减少产品研制初期的设计更改、工艺更改和试验件生产, 并为产品装配现场提供可视化的三维工艺指导;

作者简介: 乔志峰(1985-), 工程师, 机械工程专业; 研究方向: 数字化制造技术。

收稿日期: 2014-06-15

c. 如何通过利用装备设计仿真技术解决大型产品、工装验证成本高, 设计周期长的问题;

d. 如何利用质量检测仿真技术提高产品的尺寸质量, 降低产品的生产成本, 提高零部件合格率并在产品批产前及时发现质量控制上的潜在隐患。

2 生产系统仿真技术

生产系统仿真是指利用计算机仿真技术和虚拟现实技术, 在虚拟空间内对制造系统元素(包括设备和人)布置的合理性和原材料转化过程(包括加工、流转、装配)的流畅性进行验证和优化, 计算各工位产能和物料流动时间并实现最优生产线平衡, 以指导工艺布局、工艺物流和生产规划的技术^[4, 5]。生产系统仿真主要包括工艺布局仿真、工艺物流仿真和生产计划验证三个方面。

在生产计划中, 基于数字化工厂的生产系统仿真

技术可应用到复杂生产系统运行过程中的生产计划制定当中, 通过专门的生产系统仿真软件在对工厂及设备建模后, 可以实现对生产调度的仿真, 从而可实现在特定调度指令下, 对车间的设备、耗能、人员分工情况进行分析, 为调度指令的进一步优化提供必要的技术支持。也可应用到已有生产系统的改进中, 通过生产系统仿真技术可以改进现有车间的布局、流程、人员配置等^[6], 从而达到提高生产效率、提高空间和设备利用率、适应更多品种产品生产等目的;

此外, 数字化仿真技术还可应用到工艺布局与规划中, 基于数字化仿真技术的数字化工厂规划技术可将传统的基于手工和经验的设计规划转变为基于计算机仿真和优化的精确可靠地规划设计, 从而有效减少工厂与工艺规划的时间, 缩短生产准备周期, 优化车间布局, 减少工程更改量, 降低了开发成本和投资风险。图 1 所示为使用西门子 Tecnomatix 软件机械手装配生产线的仿真优化。

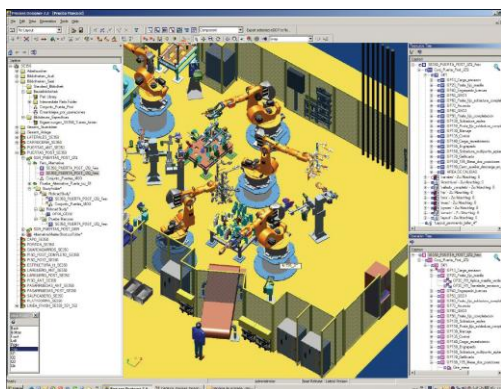


图 1 使用 Tecnomatix 进行机械手装配生产线的仿真优化

3 工艺设计仿真技术

在产品工艺设计与规划上, 基于 MBD 的数字化仿真技术是三维数字化工艺设计中实现的工艺过程验证与优化的关键环节。通过引入有限元分析、干涉检测等手段, 可以充分利用三维模型进行铸造、锻造、机加、钣金、铆接、焊接、总装等多专业的工艺仿真与验证^[7], 以获得最优的工艺参数。例如, 在切削加工过程的工艺验证与优化上, 利用几何仿真优化技术可以在三维环境中进行加工过程碰撞干涉检测, 并验证加工路径与产品加工结果的正确性。同时利用物理仿真技术还可以对零件切削过程和精度进行动态仿真与预测, 并可以通过控制切削参数达到优化切削过

程的目的; 在钣金加工中, 可对钣金成型过程中的回弹、橘皮、起皱、撕裂等问题进行模拟与预测, 从而达到降低废品率^[8], 提升生产效率的目的。

基于 MBD 的三维装配工艺验证与优化也是数字化仿真技术应用的一大方面, 通过在三维工艺设计环境中对零部件的装配顺序、路径进行装配干涉与可达性的验证, 可以在工艺设计阶段及时发现潜在设计问题。此外利用三维装配误差仿真技术, 也可以在虚拟环境下进行产品装配误差分析, 从而在产品装配之前就发现在产品设计、工艺规划和工艺装备中存在的问题, 达到减少产品装配过程中的设计和工装更改, 保证装配质量和提高装配效率的目的^[9]。

在大型部段产品研制生产初期中, 往往出现静力

试验故障、产品尺寸精度与设计精度严重超差、大部段装配工艺准备过程较长、零部件生产过程中工艺问题频发等诸多质量效率问题,引起上述问题的主要有工艺设计验证手段落后、工装设计与产品不符、零件与工装齐套缓慢、设计与工艺更改频繁等原因。为了实现产品的制造质量和效率的提升,在工艺设计中引入三维数字化工艺仿真验证过程是必不可少的环节。图2所示为数字化仿真技术应用于人机装配作业。数字化工艺仿真技术是实施并行工程、精益生产、敏捷制造的需要,在产品设计的同时,并行开展工艺设计和工装研发,尽最大可能减少实物制造、装配环节中带来的风险,经国内外众多企业实践表明,工艺仿真技术能够提高产品质量、加快生产效率、减少人力物

力成本,提前发现实物生产中可能发生的风险并及时制定纠正预防措施,增加制造企业的技术竞争力。因此,应从以下方面开展数字化研究工作:

a. 规范产品工艺模型 MBD 工艺建模标准,建立与产品设计数据的接口,形成从设计、工艺、生产到检测的单一产品数据源,用于产品全生命周期管理;

b. 从各专业工艺实际出发,建立基于三维实体模型的数字化工艺体系,满足异地协同、车间协作的需求;

c. 在 MBD 建模规范和数字化工艺体系基础上,延伸至车间作业管理,建立与 MES 的数据接口,管理生产计划执行、跟踪及所有资源的状态监控,形成车间作业全面管理监控的能力。

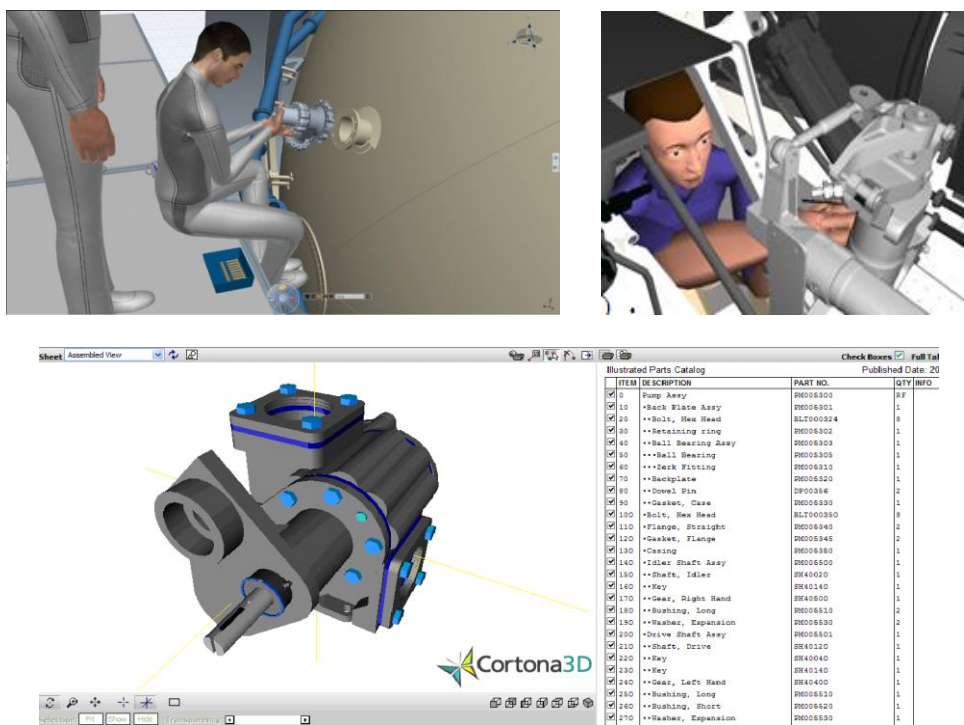


图2 基于MBD的工艺设计仿真技术实例

4 装备设计仿真技术

在三维数字化设计方面,通过建立产品或生产装备的三维数字样机,利用 CAE 技术可对产品或生产装备的结构、振动、疲劳等特性进行数值模拟仿真与试验,在装备设计阶段就可以对产品或生产装备的性能进行验证,并可通过不断迭代修改达到满意的设计结果,实现部分或全部取代物理样机,从而尽可能降低产品研发中的潜在风险,避免工装的报废,降低投资风险,缩短产品和工装的研制周期。

计算机装备设计仿真可在生产装备或工艺装备实体尚未制造,或者不易在实物上进行验证的情况下,通过虚拟建模技术,利用仿真模型来模仿实际系统所发生的运动过程并进行试验,在模拟环境下实现和预测产品在真实环境下的性能和特征(动态的和静态的)。通常按装备设计仿真所涉及的学科分类,将仿真分为机械设计仿真、电气设计仿真和气动液压仿真三个方面。图3所示为数字化仿真技术应用与大型产品的总装测试平台设计。

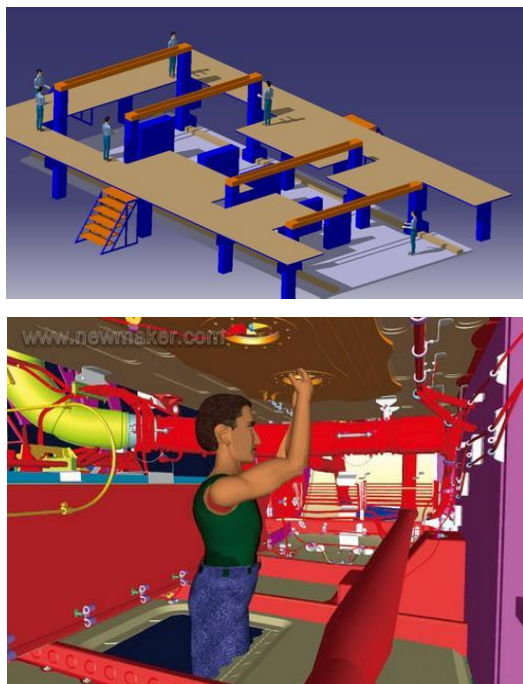


图3 数字化仿真应用于装备设计过程

5 质量检测仿真技术

在质量检测方面,可通过采用逆向工程技术,在计算机虚拟环境下对现场实际制造产品、测量硬件设备和加工环境进行仿真再现,并可将原有产品设计模型与实际产品物理模型进行比较,具有产品制造信息

(Product and Manufacturing Information, PMI)的MBD模型,可以方便地在三维仿真环境中进行测量规划,生成检测工序和测量路径,并可对测量规划路径进行模拟,确保测量路径的完整性和安全性,产品最终的包含检测工序、路径、方法、工具等的产品三维检测指导书也会融入到产品基于三维模型的全生命周期数据中。

在当今的制造领域,与质量检测相关的成熟仿真技术主要应用在数字化公差仿真、坐标测量机和激光扫描设备测量数据分析方面。数字化公差仿真是一个覆盖产品设计、零件制造和装配全过程的概念,包括配合间隙(Gap/Flush)目标值的定义、零件定位方式和形位公差定义、制造装配阶段的装配偏差分析等^[10],并且进一步延伸并影响到零件的模具设计、检具设计、夹具设计和测量设计等。图4所示为基于MBD的三维公差仿真一般过程。此外,坐标测量机和激光扫描设备可用于产品零部件的尺寸形状精度测量与评定工作,采用仿真技术可也对检测路径进行离线仿真,并辅助编写检测规划以及对测量数据进行三维可视化分析。需要注意的是,产品质量检测工作中实现数字化仿真技术的高效应用的前提是对产品MBD模型中PMI数据的有效识别、提取和复用。因此发展质量检测仿真技术,必须优先发展基于MBD的数字化制造技术。

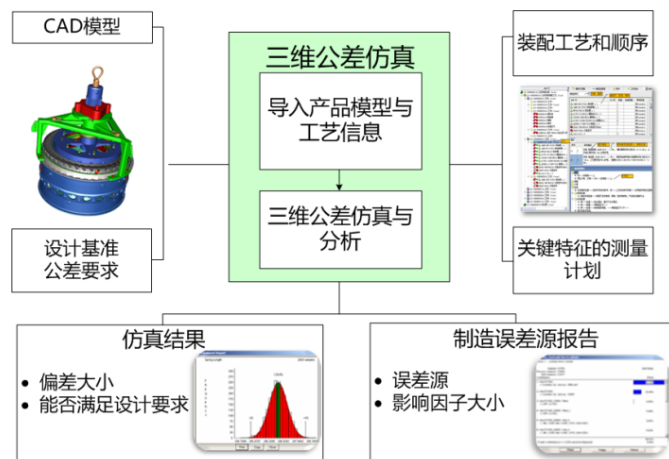


图4 基于MBD的三维公差仿真过程

6 结束语

数字化仿真技术对硬件配套需求不多,主要用到高性能计算设备、多媒体演示设备、现场工艺指导播放设备、三维体感交互设计设备等,但对软件需求较

为广泛,需要基于产品设计与数据管理平台进行统一建设,前期人力与管理成本投入较大,而一旦应用成熟,将会带来极大的效率提升和技术升级,具有较高的投入产出比。

在三维数字化设计制造技术在带来的传统航天

产品研制模式的重大变革的同时,当今航天制造中各专业领域对基于MBD的数字化仿真技术的需求也呈现越来越多样化的趋势,这给数字化仿真技术在航天制造领域的大范围应用带来了巨大的发展契机。航天制造企业应该从企业发展战略高度与产品设计单位一起从顶层自上而下地去推动数字化仿真技术的应用实施,以实现航天领域向数字化设计制造模式的变革。

参考文献

- 1 Alemanni M, Destefanis F, Vezzetti E. Model-based definition design in the product lifecycle managementscenario[J]. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2011, 52(1-4): 1~14
- 2 刘检华. 三维数字化设计制造技术推动产品研制模式重大变革[OL]. 2013-05-10. <http://www.paper.edu.cn/releasepaper/content/201305-146>
- 3 杨海成. 数字化设计制造技术基础[M]. 第1版. 西安: 西北工业大学
- 8 宁汝新, 刘检华, 唐承统. 数字化制造中的建模和仿真技术[J]. 机械工程学报, 2006, 42(7): 132~137
- 9 孙刚, 万毕乐, 刘检华, 等. 基于三维模型的卫星装配工艺设计与应用技术[J]. 计算机集成制造系统, 2011, 17(11): 2343~2350
- 10 许本胜, 黄美发, 景晖, 等. 基于拟蒙特卡罗方法的三维公差综合仿真[J]. 中国机械工程, 2013, 24(12): 1581~1586

☆☆

(上接第5页)

- | | |
|---|---|
| 2006 World Congress & Exhibition, Detroit, USA, 2006 | 36 严铨, 方圆. 工艺参数对填充式搅拌摩擦无匙孔点焊性能的影响[J]. 焊接学报, 2010, 31(10): 93~96 |
| 33 Kalagara S, Muci-Kühler K H. In Numerical simulation of a refill friction stir spot welding process[C]. Friction Stir Welding and Processing IV – TMS 2007 Annual Meeting and Exhibition, Orlando, United States, 2007 | 37 Li P L, Xu Z F, Yu C, et al. Mechanical properties and microstructure analysis of refilling friction stir welding on 2219 aluminum alloy[J]. Acta Metallurgica Sinica-English Letters, 2012, 25(3): 225~234 |
| 34 Kalagara S, Muci-Kühler K H, Arbegast W J. Visualization of material flow in a refill friction stir spot welding process using marker materials[J]. SAE International Journal of Materials and Manufacturing, 2010, 3(1): 628~651 | 38 Shen Z K, Yang X Q, Zhang Z H, et al. Microstructure and failure mechanisms of refill friction stir spot welded 7075-T6 aluminum alloy joints[J]. Materials and Design, 2013, 44: 476~486 |
| 35 Muci-Kühler K H, Kalagara S, Arbegast W J. Simulation of a refill friction stir spot welding process using a fully coupled thermo-mechanical FEM model[J]. Journal of Manufacturing Science and Engineering, Transactions of the ASME, 2010, 132(1): 0145031~0145035 | 39 Zhao Y Q, Liu H J, Chen S X, et al. Effects of sleeve plunge depth on microstructures and mechanical properties of friction spot welded alclad 7B04-T74 aluminum alloy[J]. Materials and Design, 2014, 62: 40~46 |