

航空发动机制造仿真数据管理集成应用系统实现

夏春山¹, 李 蓉¹, 刘 扬¹, 黄 哲¹, 陈 琦², 乔建明²

(1. 中国航发沈阳黎明航空发动机有限责任公司, 沈阳 110043;

2. 航空工业信息技术中心(金航数码), 北京 100028)

[摘要] 基于航发集团工程数据中心协同、共享环境, 结合航空发动机制造仿真业务特点和需求, 构建了制造仿真数据管理集成应用系统, 涵盖了制造仿真结果数据管理、仿真数据定义和管理、仿真资源库管理、数据协同等方面的业务功能, 面向航空发动机制造仿真数据的统一管理、协同共享进行了有益的探索。

关键词: 仿真数据管理; 数据中心; 系统集成; 协同共享

Implementation of Integrated Application System for Aero-Engine Simulation Data Management

XIA Chunshan¹, LI Rong¹, LIU Yang¹, HUANG Zhe¹, CHEN Qi², QIAO Jianming²

(1. AECC Shenyang Liming Aero-Engine Co., Ltd., Shenyang 110043, China;

2. AVIC Digital, Beijing 100028, China)

[ABSTRACT] Based on the collaboration and sharing environment of engineering data center of Aero Engine Corporation of China and the characteristics and requirements of aero-engine manufacturing simulation business, an integrated application system of simulation data management is constructed, which covers the business functions of simulation result data management, simulation data definition and management, simulation resource management, data collaboration and so on. A useful exploration is made for unified management and collaborative sharing of simulation data of aero-engine manufacturing.

Keywords: Simulation data management; Data center; System integration; Synergetic sharing

DOI: 10.16080/j.issn1671-833x.2019.13.097

航空发动机的研发制造是一个集设计、分析仿真、试验于一体的系统工程, 需要协调众多的工程人员, 需要处理海量的仿真和试验数据资源, 运用大量不同领域的仿真软件和工具, 经历复杂的设计过程。随着航空发动机制造精细化、集约化进程的稳步推进, 制造过程仿真验证数据管理需求也不断在发展和演化, 正在从最初的独立单一的仿真, 逐步向集成化、协同化和共享化仿真数据流程管理平台过渡和发展。

近年来, 随着对仿真数据管理重要性、必要性认识的不断深入, 许多研究机构、制造企业、软件厂商在构建企业级的仿真数据管理平台方面都开展了有益的探索和应用工作。王丽芹等^[1]围绕复杂产品的仿真数据管理需要解决的关键问题, 开展了仿真数据管理平台功能分析, 并提出了基于 B/S 架构的平台体系结构, 并对仿真流程管理、模型封装、数据可视化、多学科协同优化等关键技术进行了分析。王庆艳^[2]、郑党党^[3]等企业级

仿真管理平台涉及的仿真功能、流程、数据、异构软件集成等进行了分析、研究, 并开展了工程验证。李康等^[4]针对汽车 CAE 分析管理需求, 构建了 CAE 数据和知识、流程管理平台。刘娟等^[5]面向工艺仿真数据管理需求, 构建了基于仿真流程的管理平台。陈杰等^[6]对仿真标准试验验证及技术服务平台建设进行了研究和探讨, 搭建了多学科、全流程的标准试验验证平台。在航空领域, 围绕飞机和发动机的仿真管理需求, 陆海燕^[7]、田彦明^[8]、许鸿杰^[9]、全静^[10]等对仿真管理解决方案进行了研究和应用。章翔峰^[11]提出了支持多学科协同设计的航天产品仿真数据管理系统体系架构、功能构成、运行机制与应用模式。

本文在中国航发集团发动机工程数据中心建设和应用基础上, 整合和完善黎明公司现有各制造仿真业务口离散的仿真工具、经验和资源, 借助先进的企业级产品数据管理软件平台, 建设航空发动机制造仿真数据管

理集成应用系统,按照工程数据中心的统一规范要求,实现仿真知识数据、资源数据的规范化管理,同时对航空发动机制造仿真资源数据、仿真结果数据进行有效管理,开发仿真数据库与工程数据中心的集成接口,实现制造仿真资源数据与工程数据中心间双向交换,支撑黎明公司各工艺专业领域仿真应用的快速开展。

1 制造仿真数据管理业务现状与需求

随着数字化技术在制造企业的不断应用,制造工艺仿真正受到越来越多的关注,传统的依靠经验和试验的工艺验证手段正在向虚拟化、数字化方向转变,对技术手段和管理方式都提出了新的要求。

由于航空制造工艺本身的复杂性、多样性,制造工艺仿真涉及到的类型也比较多,包括工厂/车间仿真、机加仿真、检测仿真、装配仿真、基于特征的 NC 仿真、人因工程仿真、机械运动仿真等,具体应用到的制造仿真工具系统有 PAM-STAMP、Vericut、TWS、VIRFAC、SYSweld、PRO CAST 等,涵盖的工艺类型多样。在企业实际制造仿真业务应用中,普遍存在一些问题,主要表现为制造仿真软件都处于单机应用状态,相关的仿真资源数据、仿真过程数据、仿真流程、仿真结果数据分散存放在单机上,还缺乏统一管理,带来了诸多的仿真数据管控、共享和重用问题,同时也严重制约了相关仿真业务的深入应用。

结合黎明公司制造工艺仿真的业务需要和航发集团工程数据中心对仿真数据进行统一管理的规范要求,对制造仿真数据管理集成应用系统的需求进行了提炼和归纳^[5-6],主要包括:

(1) 需要实现统一完整的仿真结果数据管理,加强仿真数据的关联性管理,提高仿真结果数据的准确率和利用率。

(2) 定义规范的仿真数据模型(广义的),包括仿真资源数据、仿真流程模板、仿真知识数据等,同时规范仿真数据的使用方法,建立标准的仿真业务流程,对仿真数据的创建、检查、审批、录入、使用进行规范和制度。

(3) 建立标准规范的仿真资源数据构建方法和组织方式,并据此完成仿真资源库的构建,实现可靠全面的仿真资源数据的应用管控,制定可靠全面的管理策略和控制流程,为协同共享环境下的仿真作业提供便捷化的仿真资源数据支撑。

(4) 支持仿真资源库与工程数据中心之间实现仿真资源的双向可靠共享,可以将仿真资源库、仿真流程模板以及仿真知识数据发送到工程数据中心,也能从工程数据中心将仿真资源数据同步到本地系统,保证仿真资源数据真正实现共享化、无障碍存储、管理和重用。

(5) 实现仿真软件与 PDM 系统的集成,可以在仿真过程中能够调用仿真数据分类资源库数据,可以使用仿真软件正常的打开、创建、编辑文件。

2 制造仿真数据管理集成应用系统建设

2.1 系统架构

依据制造仿真数据管理的业务需求,基于黎明公司的 Teamcenter 平台和航发集团工程数据中心基础环境,构建了一个集成仿真数据管理平台 and 系统集成体系,包括仿真数据管理(SDM)、外部仿真工具(OST)集成、工程数据中心集成以及 SDM 基础共性功能,其框架如图 1 所示。

仿真数据管理(SDM)对内部仿真过程数据、结果数据、模型数据、仿真资源和仿真流程等使用和存储进行标准化定义和集成化管理,建立分析数据与设计数据的关联,保证分析数据与设计数据的一致性,通过仿真分析任务快速定位与之对应的 CAD 数模、分析模型及分析结果等信息,支撑仿真业务快速有效开展。主要功能包括仿真数据的定义与管理、仿真资源与流程管理、仿真结果数据管理。

外部仿真工具(OST)集成完成与各仿真领域专业仿真工具的封装集成,并可使其完成基于仿真工作流程启动、仿真计算并回传仿真结果数据等工作,通过 CAE 配置管理器工具已经实现与 PAM-STAMP、Vericut、VIRFAC、Sysweld、TWS、PRO-CAST 等外部工具集成,并支持未来更多外部仿真工具扩展集成的可能。

在黎明公司 PDM 基础应用和仿真数据管理平台与航发工程数据中心之间建立数据共享、同步机制,针对不同数据量可以采取实时同步、手工同步、定时自动同步等不同方式,完成集团层面的仿真数据资源协同与管理,可通过航发工程数据中心完成仿真数据与资源采集、归档、调度和重用。

SDM 基础共性功能由 PDM 系统的基础功能支持,主要包括仿真任务管理、仿真文档管理、工程更改管理、人员组织管理、权限安全管理等。

2.2 业务流程

通过建立仿真管理集成应用系统平台,可以实现如下的内外部仿真业务流程,如图 2 所示。

2.2.1 内部仿真数据管理过程

设计/工艺人员在产品研发实践中遇到需要仿真验证的技术问题,经审批核实此需求的必要性和合理性,如必要则批准开展仿真任务。并可通过系统流程自动通知相关设计/工艺人员查看仿真结果,指导其工作实践。

(1) 设计/工艺人员:构建仿真任务,收集基础数据

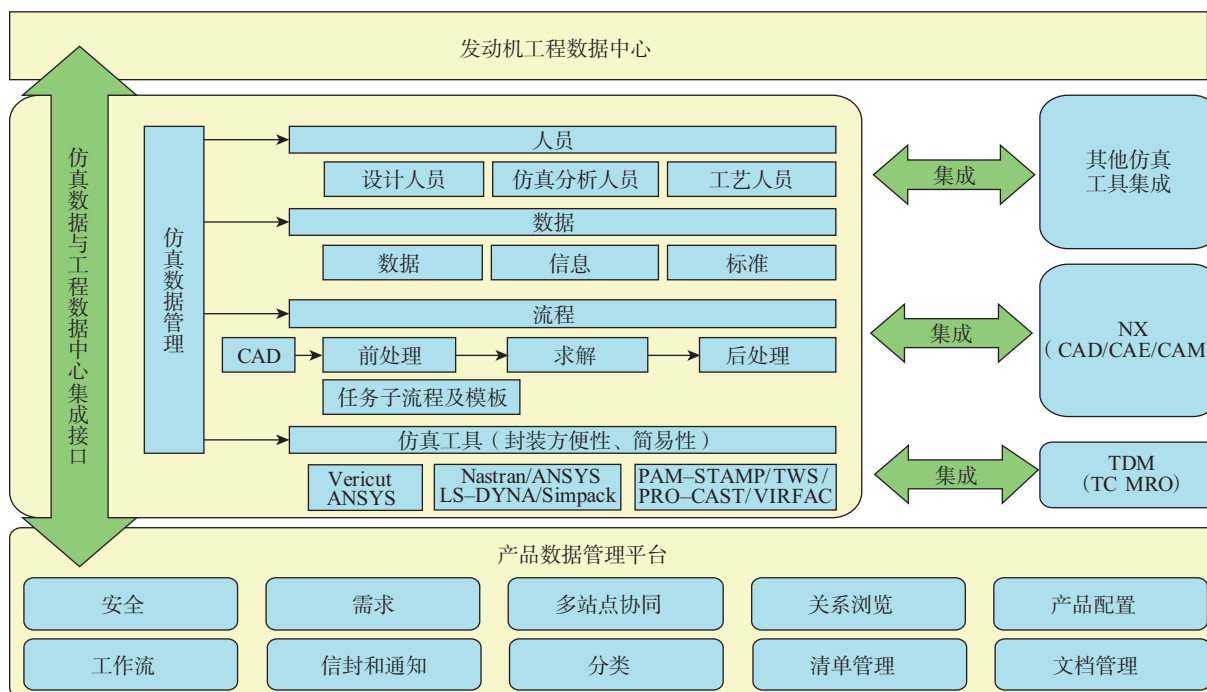


图1 仿真数据管理集成应用系统框架

Fig.1 Framework of integrated application system for simulation data management

材料,并据此发起仿真工作流程。

(2) 仿真管理人员: 对待执行仿真任务,发起“仿真任务分派流程”,指派相关人员参与仿真任务执行。

(3) 仿真分析人员: 接收仿真任务,解读仿真需求,收集仿真资源,启动外部工具,构建仿真环境,执行相关配置和设定,执行仿真结算,回传仿真结果,并提交审核。

(4) 仿真专家: 审核仿真结果数据,执行归档、发布。

2.2.2 与工程数据中心仿真数据交互过程

(1) 本地仿真数据管理人员: 填写仿真数据同步申请单,发起“仿真数据同步审批流程”。

(2) 工程数据中心管理人员: 相关专家进行审核,确定该数据是否符合入库/出库要求,并执行相应的入库/出库操作。

2.3 关键技术实现

仿真数据与工程数据中心集成系统实现的关键技术包括仿真结果数据管理、仿真数据定义与管理、仿真资源库管理、仿真数据资源库与工程数据中心数据协同。

2.3.1 仿真结果数据管理

支持实现统一完整的仿真结果数据管理(包括前、后处理数据、仿真报告等),确定仿真结果数据管理制度和规范,定制仿真结果数据标准格式数据集,仿真结果数据可直接挂接于仿真 BOM 对应的存储节点下,实现与设计模型、工艺数据建立关联,可保证分析数据与设

计数据的一致性,并能提供数据唯一性管理、版本管理和有效性管理,并建立查询和共享的安全机制,灵活查询,方便重用,提高仿真结果数据的准确率和利用率。

2.3.2 仿真数据定义与管理

通过对黎明公司科研批产任务中涵盖的仿真业务过程、知识和流程的分析,梳理其间属性关联、继承关系,最终定义规范的仿真数据模型,包括仿真资源数据、仿真流程模板、仿真知识数据等,同时建立规范化仿真数据的使用方法和策略,定制标准的仿真业务流程,对仿真数据的创建、检查、审批、录入、使用环节开展规范化管理。

2.3.3 仿真资源库管理

实现仿真资源库建设流程定制和规范,建立仿真资源库构建方法和管理流程策略,包括仿真资源库构建/审批业务流程、仿真资源库构建流程、仿真资源的审批业务流程、仿真资源共享至工程数据中心流程、仿真资源下载业务流程等,以及机床模型、刀具模型、工装模型等资源库的构建方式等,可以为实现仿真资源共享和重用提供数据基础。

2.3.4 仿真数据资源库与工程数据中心数据协同

实现黎明公司仿真数据管理平台与航发集团工程数据中心之间的数据协同,采用子站点和中心站点部署方式,通过自动同步、半自动同步、手工同步等方式,支持仿真结果数据、仿真资源库、仿真流程模板以及仿真知识数据的双向无障碍传递。

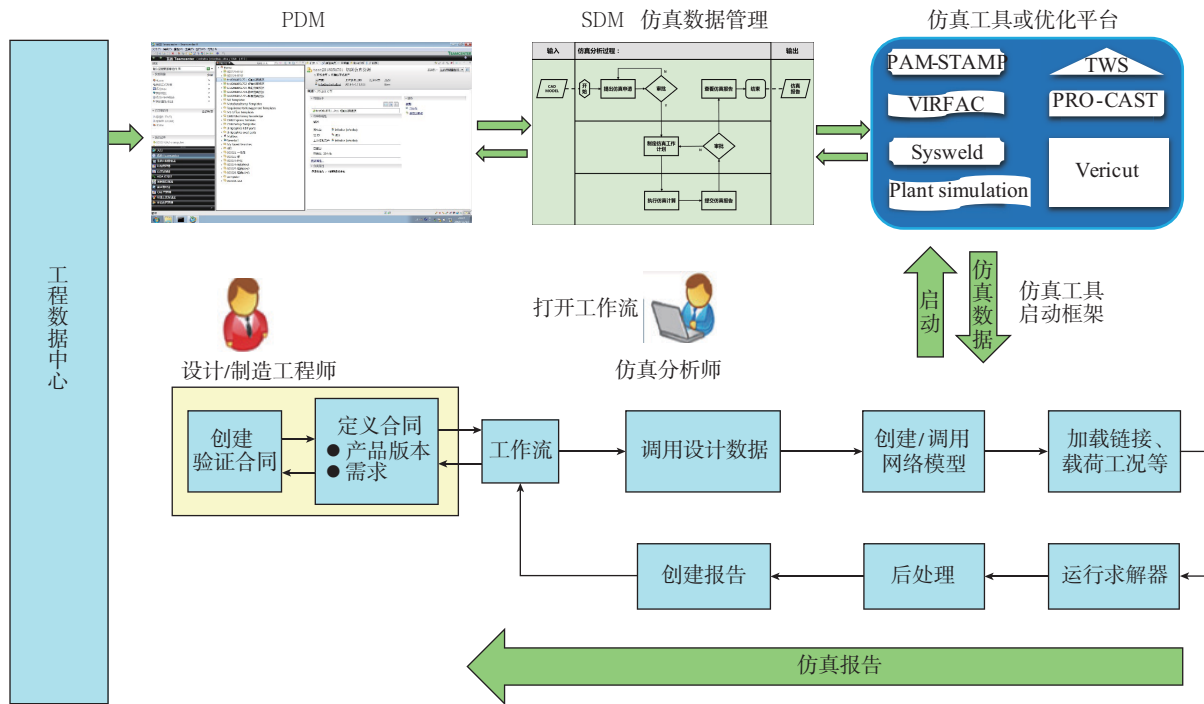


图2 仿真数据管理集成应用系统业务流程

Fig.2 Business process of simulation data management integration application system

3 应用验证

目前,制造仿真数据管理集成应用系统平台已经搭建完成,围绕关键业务场景,黎明公司开展了应用验证工作,主要包括:

- (1) 组建验证团队,包括技术中心、机加厂、钣焊厂、焊接厂、精铸厂等相关技术人员,涵盖数控仿真、钣焊仿真、铸造仿真、焊接仿真、切削仿真等业务领域;
- (2) 选定典型零部件,准备各项基础数据、资源数据;
- (3) 制定验证工作的业务流程,涵盖仿真任务下达、仿真源数据创建与定位、仿真数据结构创建与管理、仿真工具与 PDM 集成应用、仿真结果数据查询、仿真结果数据浏览与可视化、仿真结果数据更改管理等;
- (4) 开展仿真资源和数据的协同,实现与集团工程数据中心数据传递。

验证结果表明,各项既定仿真业务需求的覆盖度和符合度都达到了应用要求。

4 结论

通过构建航空发动机制造仿真数据管理集成系统,改变了传统的独立、单一的仿真应用环境,在型号研制过程中逐步推进集成化、协同化和共享化仿真业务开展和应用,可以有效促进在公司及集团范围内的制造仿真数据管理的协同性、共享性和可靠性,为更好地开展航空发动机设计制造仿真业务实践提供帮助。

参考文献

[1] 王丽芹,王志勇,贺飞.复杂产品的仿真数据管理研究[J].测控自动化,2010,26(7):157-159.
WANG Liqin, WANG Zhiyong, HE Fei. Research on simulation data management of complex products[J]. Measurement & Control, 2010, 26(7): 157-159.

[2] 王庆艳.企业级仿真流程及数据管理平台[J].机械设计制造工程,2011(10):50-52.
WANG Qingyan. Enterprise simulation process and data management platform[J]. Machine Design and Manufacturing Engineering, 2011(10): 50-52.

[3] 郑党党,刘俊堂,吴颖.企业级仿真数据管理技术研究与应用[J].航空科学技术,2015,26(7):79-82.
ZHENG Dangdang, LIU Juntang, WU Ying. Research and application on the technologies of enterprise simulation data management [J]. Aeronautical Science & Technology, 2015, 26(7): 79-82.

[4] 李康,史晓刚,陈群.仿真数据管理平台的需求分析与实施[J].计算机辅助工程,2013,22(S1):24-29.
LI Kang, SHI Xiaogang, CHEN Qun. Requirement analysis of simulation data management platform and its implementation[J]. Computer Aided Engineering, 2013, 22(S1): 24-29.

[5] 刘娟,张整新.工艺仿真数据管理平台建设研究[J].机械,2016,43(S1):94-96.
LIU Juan, ZHANG Zhengxin. Construction of process simulation data management platform[J]. Machinery, 2016, 43(S1): 94-96.

[6] 陈杰,潘康华,王云峰,等.仿真标准试验验证及技术服务平台建设探讨[J].机械工业标准化与质量,2018(2):34-39.
CHEN Jie, PAN Kanghua, WANG Yunfeng, et al. Simulation standard test validation and technical service platform construction[J]. Machinery Industry Standardization & Quality, 2018(2): 34-39.

[7] 陆海燕.航空工业仿真数据管理解决方案[J].航空工程进

展, 2012, 3(4): 82-87.

LU Haiyan. Simulation data management solutions for aerospace industry[J]. Advances in Aeronautical Science and Engineering, 2012, 3(4): 82-87.

[8] 田彦明, 窦云江, 李忠飞. 航空发动机仿真数据管理系统研究[J]. 企业技术开发, 2015, 34(12): 17-18.

TIAN Yanming, DOU Yunjiang, LI Zhongfei. Research on aero-engine simulation data management system[J]. Technological Development of Enterprise, 2015, 34(12): 17-18.

[9] 许鸿杰, 沈波. 飞机研制过程中仿真生命周期管理的研究[J]. 航空制造技术, 2015, 58(18): 92-95.

XU Hongjie, SHEN Bo. Research on simulation lifecycle based on system engineering management of aircraft development process[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2015, 58(8): 92-95.

[10] 全静, 汪伟, 郝明. 基于 SOA 的航空发动机设计仿真集成管理系统[J]. 机械设计, 2017, 34(6): 82-87.

QUAN Jing, WANG Wei, HAO Ming. Construction of aero engine design simulation integrated management system based on SOA [J]. Journal of Machine Design, 2017, 34(6): 82-87.

[11] 章翔峰. 支持多学科协同设计的航天产品仿真数据管理系统[J]. 航天制造技术, 2013(6): 58-61.

ZHANG Xiangfeng. Simulation data management system of aerospace product supported MDO[J]. Aerospace Manufacturing Technology, 2013(6): 58-61.

通讯作者: 乔建明, 硕士, 研究方向为数字化制造、数字化产品设计和工艺, E-mail: tallqiao@qq.com. (责编 一元)

(上接第91页)

WEI Ran, JIA Lijie. Study progress of curing-induced springback for thermosetting composites[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2013, 56(23-24): 104-105.

[10] 庞杰. 复合材料结构固化变形分析及其控制[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2010.

PANG Jie. Analysis and control on cured deformation of composite structure[D]. Nanjing: Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, 2010.

[11] 庞杰, 黄传勇. 复合材料整体壁板固化变形控制方法研究[J]. 计算机仿真, 2013, 30(3): 119-120.

PANG Jie, HUANG Chuanyong. Study on control method of cure-induced deformation for integrated composite panel[J]. Computer Simulation, 2013, 30(3): 119-120.

[12] 刘海静. 汽车顶盖冲压成形数值模拟及回弹优化研究[D]. 长春: 长春工业大学, 2016.

LIU Haijing. Research on numerical simulation of the stamping forming and the springback optimization of the car roof[D]. Changchun: Changchun University of Technology, 2016.

[13] 王亮, 李东升. 飞机数字化装配柔性工装技术体系研究[J]. 航空制造技术, 2012, 55(7): 34-39.

WANG Liang, LI Dongsheng. Flexible tooling technology system for aircraft digital assembly[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2012, 55(7): 34-39.

[14] 翟婷婷, 张凤英. 曲面薄壁零件柔性装配定位系统设计与实现[J]. 航空制造技术, 2014, 57(22): 27-29.

ZHAI Tingting, ZHANG Fengying. Design and realization of flexible assembly positioning system for thin-wall component[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2014, 57(22): 27-29.

[15] 彭艳敏. 整体壁板展开建模及喷丸成形延展补偿技术研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2015.

PENG Yanmin. Research on technologies of development and elongation compensation of integer panel for shot peen forming[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2015.

通讯作者: 彭艳敏, 高级工程师, 研究方向为飞机装备数字化设计与制造、金属塑性成形、复合材料成型, E-mail: xiaohai19820127@163.com.

(上接第96页)

参考文献

[1] 黄阳华. 德国“工业 4.0”计划及其对我国产业创新的启示[J]. 经济社会体制比较, 2015(2): 1-10.

HUANG Yanghua. German “Industry 4.0” plan and its enlightenment to China's industrial innovation[J]. Comparison of Economic and Social Systems, 2015(2): 1-10.

[2] 冯子明. 飞机数字化装配技术[M]. 北京: 航空工业出版社, 2015.

FENG Ziming. Aircraft digital assembly technology[M]. Beijing: Aviation Industry Press, 2015.

[3] 武锋锋, 李东升, 王亮. 面向机身柔性装配的在线编程技术[J]. 北京航空航天大学学报, 2015, 41(4): 641-648.

WU Fengfeng, LI Dongsheng, WANG Liang. On-line programming technology for flexible assembly of airframe[J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2015, 41(4): 641-648.

[4] 李西宁, 胡匡植, 李维亮, 等. 飞机数字化柔性装配工装技术[J]. 航空制造技术, 2013, 56(12): 40-43.

LI Xining, HU Kuangzhi, LI Weiliang, et al. Aircraft digital flexible assembly tooling technology[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2013, 56(12): 40-43.

[5] 万世明, 陈亚丽, 肖爽, 等. 基于行列式柔性工装快速重构方法的研究[J]. 航空制造技术, 2015, 58(19): 80-82.

WAN Shiming, CHEN Yali, XIAO Shuang, et al. Research on fast reconstruction method based on determinant flexible tooling[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2015, 58(19): 80-82.

[6] 郭洪杰. 飞机大部件自动对接装配技术[J]. 航空制造技术, 2013, 56(13): 72-75.

GUO Hongjie. Automatic docking assembly technology for large aircraft parts[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2013, 56(13): 72-75.

[7] 王亮, 李东升. 飞机数字化装配柔性工装技术体系研究[J]. 航空制造技术, 2012, 55(7): 34-39.

WANG Liang, LI Dongsheng. Research on the technology system of aircraft digital assembly flexible tooling[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2012, 55(7): 34-39.

[8] 张尧. 某型飞机尾段装配工艺性及容差分析研究[D]. 沈阳: 沈阳航空航天大学, 2014.

ZHANG Yao. Research on assembly process and tolerance analysis of a certain type of aircraft tail section[D]. Shenyang: Shenyang Aerospace University, 2014.

通讯作者: 王巍, 博士、教授, 主要研究方向为数字化制造技术、逆向工程技术、容差分析技术和柔性工装模块化技术, E-mail: wwsh595@163.com.

(责编 一元)