

基于理想与实物模型的航空发动机优化装配技术研究探讨

Research and Discussion of Assembly Optimizing Technology Based on Model and Object of Aeroengine

中航工业沈阳黎明航空发动机(集团)有限责任公司 魏建江 杜宝玉 王伟 侯东旭 刘丛辉

[摘要] 发动机装配是发动机制造的最后阶段。提升产品装配工艺技术,改进产品装配规划,是提升产品质量、生产效率、降低成本的关键环节。利用数字化技术,通过对航空发动机理论三维模型虚拟装配技术研究,并与实体装配技术相结合,研究了实体装配优化技术,以达到对航空发动机装配工艺优化和实体装配优化的目的。

关键词: 航空发动机 数字化装配 三维模型 虚拟装配 装配优化技术

[ABSTRACT] The assembling of aeroengine is the last phase of the manufacturing of aeroengine. Advancing assembly technology and improving product assembly scheme are key ring of raising product quality, production efficiency and reducing cost. By means of virtual assembly technology of digital 3-dimensional model study of aeroengine theory, combined with real assembly technology, digital technology is utilized and research real assembly optimizing technology is researched, in order to optimize assembly technology and object assembly of aeroengine.

Keywords: Aeroengine Digital assembly 3-dimensional model Virtual assembly Assembly optimizing technology

航空发动机装配是一个复杂的过程,涉及的零部件众多、工艺繁杂。航空发动机装配质量直接影响到发动机的性能(推力、耗油、温度、流量等)和寿命,甚至影响发动机的安全性和可靠性。国外航空发动机装配技术发展迅速,广泛应用数字化装配、数字化检测、非接触测量、虚拟化装配等先进技术,发动机装配质量、装配效率、稳定性、可靠性大幅提升,新型发动机研制周期和成本大幅缩减。

我国航空发动机装配以基于刚性、固定式传统装配模式为主,数字化、自动化程度较低,大量使用传统专用

工艺装备,装配质量控制和现场检验数据的统计和分析基本依靠人工进行,装配稳定性差,主要用于早期的、已经定型的产品,难以保证先进航空发动机装配的高精度要求。传统装配模式都是采用试验件或样机对发动机的工艺性、装配性等进行验证,存在适应性差、生产准备任务量大、周期长、成本投入高、生产效率低、发现问题不及时等一系列问题。

开展数字化装配以及在数字化基础上的虚拟装配技术研究,成为航空发动机装配发展的必然需求。数字化装配技术首先在汽车等民用行业开展研究和应用^[1-8],我国飞机行业在21世纪初开始研究和应用^[9-13]该技术,都取得了显著成果。

虚拟装配是一种将CAD技术、可视化技术、仿真技术、决策理论及装配和制造过程研究、虚拟现实技术等多种技术加以综合运用的技术。虚拟装配技术作为新一代发动机研制、生产的支撑手段,是提高设计、制造和管理水平,保障新型发动机的研制,促进发动机行业跨越式发展的必然选择。

航空发动机虚拟与现实装配是在数字化技术的基础上,进一步研究发动机的装配性以及具体的实现过程和过程控制的技术。

1 基于理想模型的虚拟装配

理想模型虚拟装配首先以UG为平台,实现装配序列规划和仿真,在此基础上根据装配的动态干涉检查,对产品的可装配性进行评估。

理想模型虚拟装配是根据极限原则,建立产品三维数字化模型,进行虚拟装配分析,在各种因素制约下寻求装配结构的最优解。对具备可装配性的产品,再加入人和装配环境,真实地模拟装配现场的装配过程,对基于人和环境的可装配性进行评估。在此过程中,需要对人在回路的维修性分析评估技术的理论和方法进行研究。

此阶段的虚拟装配以产品可装配性的全面改善为目的,通过模拟试装和定量分析,找出零部件结构设计中不适合装配或装配性能不好的结构特征,进行设计修改,最终保证所设计的产品从技术角度来讲装配是合理可行的,从经济角度来讲应尽可能降低产品总成本,同时还必须兼顾人因工程和环保等社会因素。

1.1 装配模型建模技术

对产品的三维数字化设计模型进行轻量化处理,对装配体静态结构用装配结构的聚合关系和约束依赖关系,将工装、工具等作为零件处理,制定对应规则。通过构造时序关系来反映交互的过程,由此表达整体装配体模型。这种基于时序的装配体模型继承了经典装配体模型的优点,通过将装配关系进行分离和时序化,为交互过程的表达和展现带来方便。

1.2 装配序列规划技术

装配顺序规划优劣直接影响到产品的可装配性、装配质量及装配成本。

装配顺序规划是指装配零部件之间的优先关系,即在装配过程中各零件之间的先后装配顺序约束关系,因此在充分考虑装配顺序的几何干涉关系的同时,还从装配工艺性的角度将装配工艺方面的约束条件以工艺优先关系的形式进行系统化考虑。

工程设计中的产品往往由大量零件组成,直接根据装配体的零件模型信息进行装配规划的方法,效率非常低下。

目前装配顺序规划主要方法有:基于割集的装配规划方法、基于经验知识的装配规划方法以及基于装配工艺重用的装配规划方法等。

利用多细节层次装配模型对简化的装配体进行自上而下和自下而上的分层规划,其推理的时间和复杂度可以得到极大的降低。由于多细节层次模型与产品设计时的功能模型信息相关联,装配规划的结果更加合理和实用。此外,不同产品的相同或类似结构采用相同的装配方式,可减少装配操作的复杂性。采用装配实例的匹配可以实现从企业或行业现有的装配实例知识库中寻找相同或类似结构,以快速获取产品的装配工艺,减少装配规划的计算复杂度。

1.3 基于尺寸的装配公差分析技术

以装配精度模型为基础,利用属性拓扑图进行装配公差传播方向和公差累积的分析计算,解决产品的可装配性分析。利用公差分析技术在产品装配模型基础上,建立装配公差分析系统,提供尺寸链计算、分析尺寸敏感度,提供分组选配计算分析、调整量和补偿量定量分析等功能。

装配公差分析流程如图 1 所示,具体过程如下:

(1) 装配公差统一建模。

建立装配单元间约束关系、父子单元间从属关系模型,定义产品结构树;建立基本元素、公差带、公差方向、公差基准等元素描述的公差基本模型,包括几何公差、装配配合公差;零件公差模型、装配公差模型、装配公差全局模型的建立与演化。

(2) 装配尺寸链生成。

装配尺寸链的计算机模型;基于装配公差全局模型的尺寸链自动提取(搜索算法);尺寸链封闭环的判定。

(3) 尺寸链公差分析。

组成环公差初分配(标准、规范、规则、经验);封闭环累积误差计算(极值法、概率法、蒙特卡罗法);修配环(协调环)的公差确定与修配量的计算。

(4) 装配容差与装配性能匹配分析。

装配性能(结构强度、气动特性、装配准确度)-容差映射关系的数学模型;装配尺寸链组成环与封闭环公差的自适应匹配分析。

(5) 多目标公差优化设计。

公差-装配性能优化模型;公差-成本关系曲线、公差-成本优化模型;公差-装配工艺性优化模型。

基于上述优化模型,装配成功率分析,实现制造成本最小的公差优化设计。

1.4 装配过程碰撞干涉检查技术研究

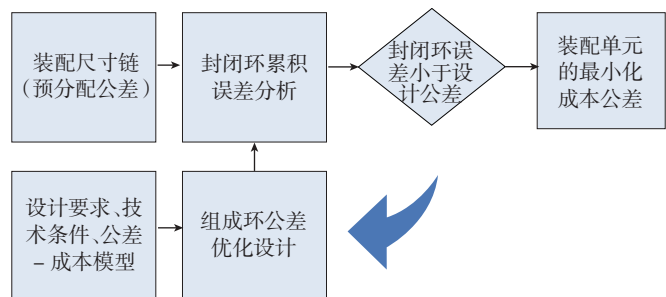


图1 装配公差分析流程图

Fig.1 Flow chart of assembly tolerance analysis

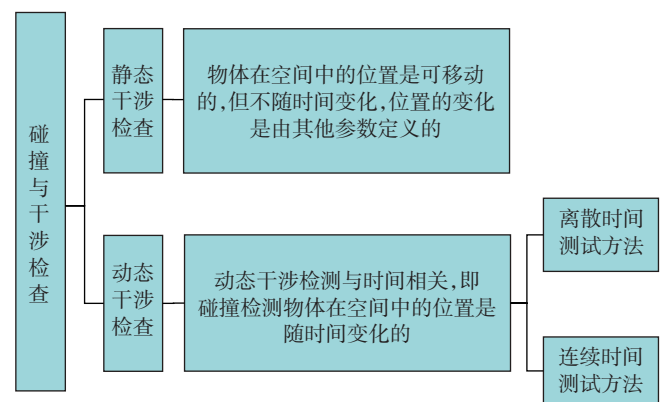


图2 碰撞与干涉分析

Fig.2 Collision and interference analysis

在虚拟装配过程中,碰撞检测技术也是关键技术之一,碰撞检测包括静态干涉检测和动态碰撞检测(见图2)。静态干涉检测又称可装配性检测,检查零件的包容体的干涉情况。动态碰撞检测又称为可达性检测,可通过由装配路径等信息形成的虚拟体的方式转化为静态干涉检测而实现。

2 基于实物模型的虚拟现实装配

研制满足装配体需求的数字化检测技术,建立产品零部件基准坐标系,通过数字化检测系统,获取工装或产品上关键参数的数据信息,录入虚拟装配系统。在虚拟装配系统中,通过采集的实物数据,建立数字化模型,根据该数字化模型研究装配关系优化技术,开展装配关系的分析和优化,优选、优配零部件配套关系,优化相配零部件间装配关系。

2.1 实物模型建模技术

解决实物模型的虚拟装配问题,要根据设计对装配尺寸累积误差的要求,分析尺寸的灵敏度,得到关键尺寸。针对关键尺寸,在理论方面,在基于主模型的技术上研究真实件模型快速构建方法,这是对真实件进行建模的关键性基础技术。这项技术首先研究尺寸随机的模型构建,再探索形位公差随机的模型构建方法。在UG平台下,可利用系统参数与尺寸约束、特征和表达式驱动图形、电子表格驱动图形等参数驱动方法建立实物模型。

2.2 基于形位公差的装配容差分析技术

该技术是通过选用合适的计算方法,对包含零件公差与装配容差的产品装配模型进行分析。

2 零件通过表面配合装配,不考虑表面圆度、粗糙度等,配合面完全贴合;当其中一个表面不够光滑(即具有表面误差)时,它们之间的配合为点面接触,通过这些接触点构造一个表面与其中的光滑配合面贴合来完成装配,该平面即为虚拟配合面,如图3所示,虚拟配合

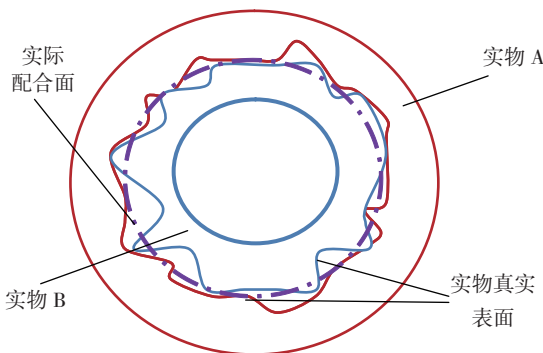


图3 考虑实物表面的配合状态示意图

Fig.3 Schematic diagram of the actual surface fitting state

面反映了表面间的配合情况。

2.3 基于实物模型的装配过程模拟分析与优化技术

通过数字化检测设备获得装配件配合部位相关数据(如尺寸、跳动等),对获得数据进行处理、规划(如采用滤波技术,去除异常数据),之后对数据进行规划处理,形成较为规则参数数据,在此基础上进行优化分析。

(1)根据处理后获得的参数数据进行拟合、分析与优化,获得装配位置关系,如采用最小二乘法、最小包容圆法、遗传算法、有限元法等优化方法优化配合面之间优化关系。

(2)根据处理后获得的参数数据,在UG平台中建立三维模型,结合基于数据的优化分析结果,在虚拟装配系统中,根据理想模型虚拟装配仿真分析过程,结合力学分析进行装配关系的优化,以获得最佳装配关系。

2.4 基于实物模型的装配工艺可视化技术

装配工人按照装配工艺卡上的要求进行装配,目前所用的纸质工艺卡片只是以文字和装配简图来说明装配过程和装配要求,这些静态的文字和简图虽然方便查看,但是无法实时地指导实际装配生产过程。通过配置优配模块,展示零部件装配顺序和对应的装配操作提示或警告信息,实时地指导装配工人的操作。

要实现装配工艺的可视化,需要处理以下几种信息:

(1)工艺规程信息,来自于CAPP的装配工艺信息,包括文字信息和二维或三维的装配模型;

(2)装配过程动画,以部件装配实物模型为基础制作的装配过程动画;

(3)提示信息和警告信息,对装配经验的总结与提炼。

每个工艺由多个工序组成,而每个工序又由多个工步组成。要实现工艺可视化,首先在工艺节点录入对应的工艺规程信息和装配简图,然后对工艺中每个工序节点都添加对应的装配动画,最后对某一个工步或

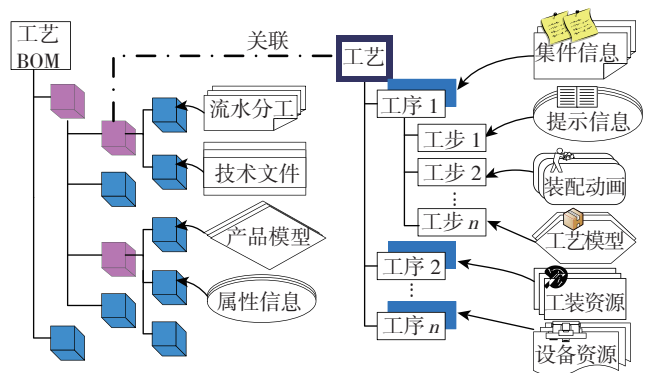


图4 可视化装配工艺设计

Fig.4 Visual assembly process design

几个工步,将装配工人在实践中总结出来的经验教训作为提示信息和警告信息录入工艺可视化系统中,如图4所示。

3 结论与探讨

(1) 对产品进行虚拟装配,这样部件的可装配性、可达性、分配空间的合理性以及装配工具和装配工艺等信息均能进行评估,并能给出装配模拟过程中的相关数据,据此指导或改进产品设计、工装设计和装配工艺,同时辅助人员培训、产品沉浸展示等,达到评估实物样机的装配性目的。

(2) 虚拟装配技术的应用,能实时、并行地模拟出产品的未来制造全过程及其对产品的影响,预测产品的性能、成本和可装配性,以达到产品开发周期和成本最优化、生产效率最高化的目的。

(3) 虚拟与现实技术相互结合运用,可大幅度提升产品的装配精度、装配效率以及装配稳定性。

(4) 目前实体参数化建模、容差分析等技术仍局限在实验室研究,不能满足工程应用需求。此外,装配力学分析对产品装配质量和稳定存在较大影响,目前研究较少。

参考文献

- [1] 唐水龙,余剑锋,李原,等.基于虚拟配合面的带平面度零件装配公差分析.计算机集成制造系统,2011,17(4):711-715.
- [2] 冯波,贾晓,王佩,等.面向路径规划的碰撞检测算法研究.机械设计与制造,2011(2):44-46.
- [3] 刘检华,侯伟伟,张志贤,等.基于精度和物性的虚拟装配技术.计算机集成制造系统,2011,17(3):595-604.
- [4] 孙江艳,史庆春,于文蕊,等.基于Pro/E公差分析的实例探讨.科学技术与工程,2011,11(10):2324-2326.
- [5] 姚英学,毛维华,夏平均.一种数字化装配工艺设计系统的装配建模方法.现代制造工程,2009(9):79-82.
- [6] 杨萍,谢慧清.虚拟装配中碰撞检测的研究.科学技术与工程,2007,7(6):1057-1061.
- [7] 王洪发,刘捷.用遗传算法求平面点列的最小包容圆.南昌大学学报,2007,29(4):384-386.
- [8] 刘元朋,张定华,桂元坤,等.用带约束的最小二乘法拟合平面圆曲线.计算机辅助设计与图形学学报,2004,16(10):1382-1385.
- [9] 郭具涛,梅中义.基于MBD的飞机数字化装配工艺设计及应用.航空制造技术,2011(22):74-77.
- [10] 肖珺,谢曦鹏.数字化三维工艺设计.数字技术与应用,2010(12):9.
- [11] 李原.大飞机部件数字化柔性装配若干关键技术.航空制造技术,2009(14):48-51.
- [12] 邹方,薛汉杰,周万勇,等.飞机数字化柔性装配关键技术及其发展.航空制造技术,2006(9):30-35.
- [13] 秦政琪,武大伟.基于数字化的飞机柔性装配技术研究.沈阳航空工业学院学报,2010,27(3):18-20. (责编 深蓝,亿霖)

(上接第49页)

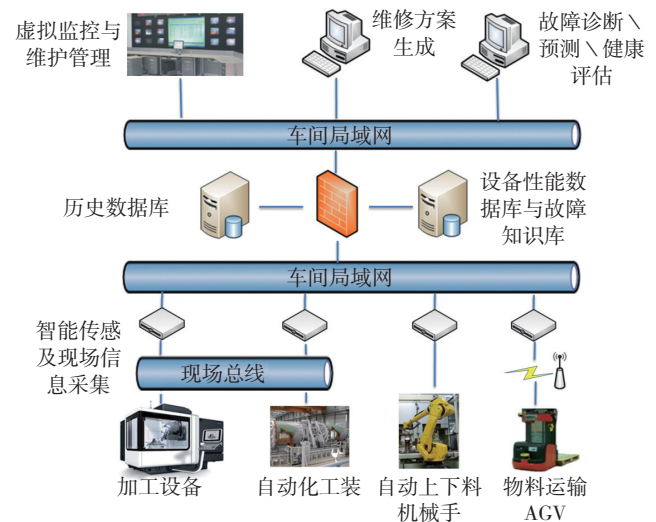


图4 支持故障诊断与健康评估的制造系统架构

Fig.4 Infrastructure of fault diagnosis and health assessment manufacturing system

度与生产过程实时监控、质量互锁与智能化检测等。

在智慧产品方面,需重点开展MEMS集成应用、航空产品智能化检测与验证、空天地一体化网络平台、航空产品运行监控与视情维护、航空产品设计/制造/服务一体化等技术的研究突破。

3 结束语

开展CPS相关技术的研究,是航空制造业实施智能化制造的关键。需要从传感器网络构建、信息采集融合、CPS软件等基础技术入手,在突破基础技术的同时,结合航空制造业需求,建立针对性示范项目和工程,尽快提高技术成熟度,提高航空产品整体智能化制造水平。

参考文献

- [1] 罗文.德国工业4.0战略对我国推进工业转型升级的启示.工业经济论坛,(4).
- [2] Christophe T,Chen Y Q.Optimal mobile actuator/sensor network motion strategy for parameter estimation in a classof cyber physical system. Proceedings of the American Control Conference,2009:367-372.
- [3] Rajkumar R,Lee I.Cyber-physical systems:the next computing revolution.Proceedings of the Design Automation Conference, 2010:731-736.
- [4] Lee E A.Cyber-physical systems-are computation foundations adequate.Position Paper for NSF Workshop on Cyber Physical Systems:Research Motivation,Techniques and Roadmap.2006.
- [5] 黎作鹏,张天驰,张菁.信息物理融合系统(CPS)研究综述.计算机科学,2011,38(9):25-31.
- [6] Ingeol C, Jeongmin P, Wontae K. Autonomic Computing Technologies for Cyber-Physical Systems. ISBN 978-89-5519-146-2, Feb. 7-10, 2010 ICACT 2010:1009-1014. (责编 亿霖)