

DOI:10.19344/j. cnki. issn1671-5276.2024.04.015

航空液压产品三维装配工艺设计技术研究

沈文远¹, 周来水¹, 黄斌达²

(1. 南京航空航天大学 机电学院, 江苏 南京 210016;

2. 航空工业金城南京机电液压工程研究中心, 江苏 南京 211106)

摘要:为提高航空液压产品装配工艺设计的效率和质量,减少设计成本,提高工艺可视化水平,结合 Teamcenter 二次开发,提出一种三维装配工艺设计方法。分析航空液压产品装配特点,研究 MBOM 转换方法、装配序列与装配路径规划方法、装配工艺仿真和三维装配工艺规程生成方法等关键技术,实现了航空液压产品的三维装配工艺设计。以航空液压产品某组件的装配为例,验证了上述方法的有效性。

关键词:航空液压产品;三维装配工艺;虚拟装配;工艺可视化

中图分类号:TH122 **文献标志码:**B **文章编号:**1671-5276(2024)04-0082-05

Research on 3D Assembly Process Design Technology of Aviation Hydraulic Products

SHEN Wenyuan¹, ZHOU Laishui¹, HUANG Binda²

(1. College of Mechanical and Electrical Engineering, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China;

2. AVIC Jincheng Nanjing Engineering Institute of Aircraft System, Nanjing 211106, China)

Abstract:In order to improve the efficiency and quality of assembly process design of aviation hydraulic products, reduce its design cost and improve its process visualization level, a 3D assembly process planning method was put forward through combination of the secondary development of Teamcenter. The assembly characteristics of aviation hydraulic products were analyzed, and the key technologies such as MBOM conversion method, assembly sequence and assembly path planning method, assembly process simulation and generation method of 3D assembly process specification were studied to realize the 3D assembly process planning of aviation hydraulic products. The assembly of a component of aviation hydraulic product was taken as an example to verify the effectiveness of the proposed method.

Keywords:aviation hydraulic products; 3D assembly process; virtual assembly; process visualization

0 引言

航空液压产品是飞机机载系统的重要组成部分,其生产具有变批量、多品种的特点。航空液压产品组成零件多、产品结构复杂,相对于其他液压产品,由于作动动作更加复杂、性能要求更高,导致结构组成更加复杂,同时兼具质量轻、体积小、结构紧凑、密封性要求高等特点^[1]。随着航空技术的不断发展,新一代飞机中航空液压产品的复杂程度越来越高,导致其装配工艺更加复杂。因此,如何提高装配工艺设计的效率和质量,对于保证航空液压产品交付进度具有重要意义。

装配是航空液压产品制造的末端环节,该环节是保证航空液压产品研制质量、交付周期的重要环节。目前,国内航空液压产品的装配工艺设计主要采用二维手工设计模式。通过二维图样构思和设计工艺的方法依赖设计人员的个人经验,

导致工艺设计效率低、工艺质量参差不齐。通过物理样机校验装配工艺的方法缺乏仿真验证手段,导致工艺校验成本较高。以二维简图和文字描述的工艺规程表述不直观,导致工艺执行不够精准。

针对以上问题,开展航空液压产品三维装配工艺设计技术研究,通过对航空液压产品装配特点的分析,突破 MBOM 转换、装配序列和路径规划、三维装配工艺仿真、三维装配工艺作业指导书发布等关键技术,提高了航空液压产品装配工艺设计的效率和质量,减少了设计成本,提高了工艺可视化水平。

1 三维装配工艺设计关键技术

1.1 航空液压产品装配特点分析

相对于其他液压产品,因航空液压产品的特殊性,使其装配工艺更加复杂,精度要求更高。为

第一作者简介:沈文远(1998—),男,河北献县人,硕士研究生,研究方向为数字化设计与制造技术,shwy_nuaa@163.com。

了保证其装配质量,提出以下要求:

1) 为应对零件多导致的组合爆炸问题,通过开发相关模块实现装配序列的快速生成;

2) 对于阀类、活塞类等密封性要求高的零组件,保证其具有更加宽阔的装配操作空间;

3) 通过装配工艺仿真保证工艺可行性与合理性,进而提高装配质量。

1.2 航空液压产品 MBOM 转换

BOM (bill of material) 是描述产品物料组成的列表^[2-3],其中制造 BOM (MBOM) 的构建为装配序列规划与装配工艺仿真提供了数据源。

通常情况下,MBOM 是通过设计 BOM (EBOM) 的零组件结构以及物料组成加以调整所得。EBOM 的组成面向产品设计,而 MBOM 的组成面向产品的装配。通过对 EBOM 中零组件物料属性(虚拟部件、中间部件、外协部件和继承部件)的定义,结合合件拆件等操作调整 EBOM 的物料组成,使其面向装配制造,完成 MBOM 的构建。

1.3 航空液压产品装配序列规划

装配序列规划的本质是基于装配关系找出可行的装配序列,并尽可能使装配过程按照此装配序列实施时具有更高的效率和质量^[4-5]。

图 1 为基于智能优化算法的装配序列规划流程图。首先,通过基于矩阵的方法描述产品的装配关系,包括干涉信息、支撑信息、工具信息等信息,依据这些信息可以判断某装配序列是否可行以及质量如何。接着,为了保证装配的效率和质量,综合考虑装配可行性、稳定性、装配方向与装配工具的连续性,基于此构建适应度函数,作为装配序列优劣的评判标准。最后,随机生成多个装配序列,以适应度函数为目标,通过算法迭代寻优找到合适的装配序列。

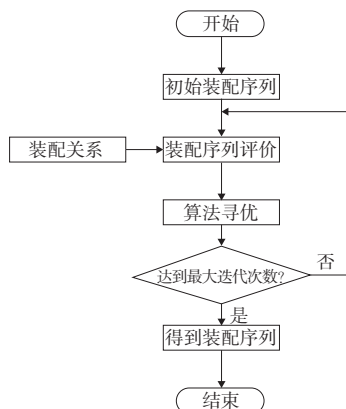


图 1 装配序列规划流程图

1.4 航空液压产品装配路径规划

三维仿真环境下的装配路径规划相较于二维装配工艺设计更加直观,因此可以获得更高的设计效率和质量。针对航空液压产品,基于“可拆即可装”的思想,以拆卸的方法规划装配路径,构建三维装配路径规划流程如图 2 所示。

Step1: 以上一节得到的装配序列为目标,逆序得到拆卸序列。

Step2: 依据拆卸序列中的零件顺序,依次选择零件进行路径规划。

Step3: 判断此零件装配环境是否复杂。否则转入 Step4,是则转入 Step5。

Step4: 确定目标零件的首、末位置点,并把这两个位置点之间的连线作为初始路径。判断初始路径是否存在不合理的地方,并通过添加中间位置点的方法完善路径。

Step5: 以目标零件所处位置为初始点,逐渐添加合理的位置点直至目标零件拆卸完成,得到拆卸路径。

Step6: 完成所有零件的路径规划后,通过对拆卸序列与路径的反转,得到合理的装配路径。

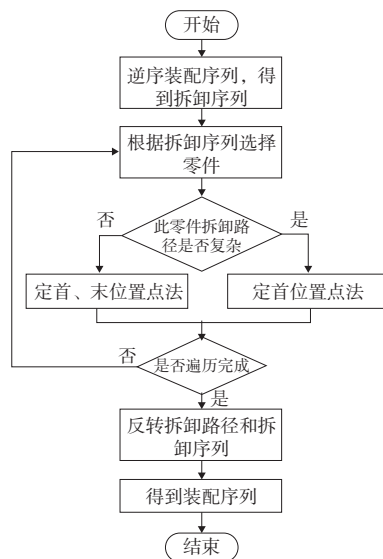


图 2 装配路径规划流程图

1.5 航空液压产品装配工艺仿真

航空液压产品装配工艺仿真即通过三维运动仿真模拟装配工艺的实施过程,并通过仿真结果对装配工艺进行校验。相较于二维装配工艺通过物理样机的进行工艺校验方法,具有效率高、成本低的优点^[6-7]。

装配工艺仿真的内容主要有干涉仿真和人因

工程仿真。其中,干涉仿真包括静态干涉仿真与动态干涉仿真,主要对产品结构设计、装配路径与装配序列提出校验。人因工程对人工操作的可达性、可视性、舒适性提出检验,进而使装配工艺更加完善。

1.6 航空液压产品三维装配工艺规程

三维装配工艺规程是用以指导操作人员实施装配工作的文件,相对于二维装配工艺规程更加直观,主要有 Web 发布和 3D PDF 发布两种^[8]。由于 3D PDF 可以通过免费的 Adobe Acrobat Reader 打开浏览,成本花费较低,因此选用 3D PDF 作为三维装配工艺规程的发布载体。

下面对三维装配工艺规程发布的关键技术进行描述。XML(eXtensible markup language)可以用于各平台之间的数据传输^[9],以 XML 描述工艺信息并实现工艺规程中工艺信息的自动填写。通过 PLM(product lifecycle management)软件完成航空液压产品的装配仿真,通过仿真内容输出 PRC 格式的三维模型,作为工艺规程中的装配动画。三维工艺规程模板通过 Acrobat 软件制作,作为工艺信息和三维模型的载体。通过以上关键技术,构建三维装配工艺规程生成流程图如图 3 所示。

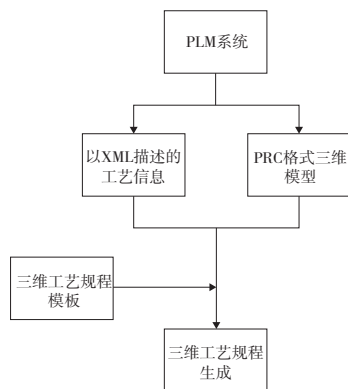


图3 三维工艺规程生成流程图

以工序卡片的形式输出工艺规程模板如图4所示,包括三维动画区、按钮区和工艺信息区。

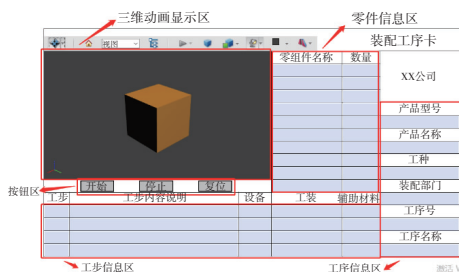


图4 装配工序卡片模板

1.7 航空液压产品三维装配工艺设计流程

综上所述,三维装配工艺设计流程如图5所示。

Step1:以 EBOM 为输入,通过零组件属性定义的方法转换生成 MBOM。

Step2:根据 MBOM 的零组件组成结构划分装配层次,根据划分结果依次开展装配序列规划。打开装配序列规划模块,通过定义合理的算法参数并录入装配信息后开始运算,运算完成得到产品及其各组件的装配序列及其装配方向。

Step3:通过所得装配序列生成装配工艺路线,并关联产品、资源、工厂信息。选择某工序打开三维装配工艺仿真模块,搭建三维仿真环境并通过运动仿真规划装配路径。

Step4:通过三维仿真环境,开展干涉检查与人因工程研究,对装配路径和装配序列提出修改,使装配工艺逐渐完善。工艺完善后根据仿真内容输出各工序的装配动画。

Step5:根据工艺树打开工艺信息管理模块,针对各工序,详细设计通过仿真完善得到的装配工序,设计完成后通过导出工艺信息并结合装配动画生成工序卡片并发放到制造部门。

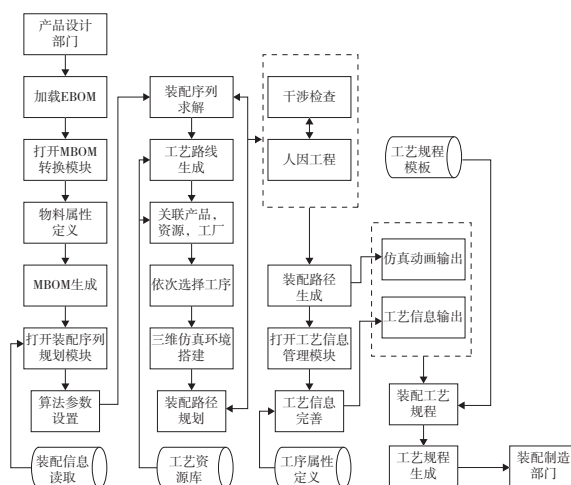


图5 航空液压产品三维装配工艺设计流程

2 航空液压产品三维装配工艺实现

通过 Teamcenter 软件二次开发功能,开发了装配序列规划模块和工艺信息管理模块。结合三维装配工艺设计的方法,以某航空液压产品——小舵机中的组件装配为例,实现航空液压产品的三维装配工艺设计。

2.1 MBOM 构建与装配层次划分

根据前文分析,针对小舵机壳体组件构建

MBOM,如图6所示。以MBOM的物料结构划分为基础,逐层求解装配序列。



图6 MBOM转换实例

2.2 装配序列规划模块

根据图6第二层的零组件划分,构建爆炸图如图7所示。针对图中零组件规划装配序列,类似地求得其他层次零组件的装配序列,进而完成整个组件的序列规划。

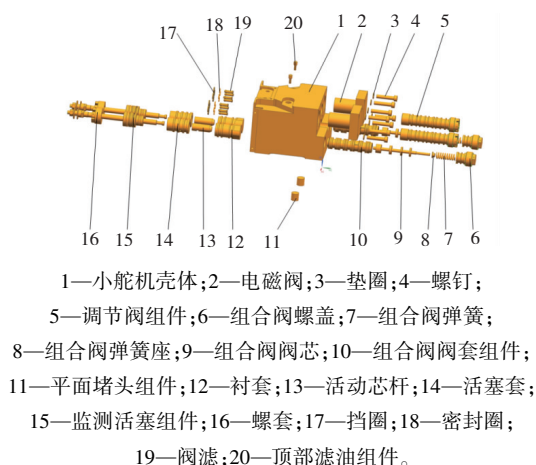


图7 小舵机壳体组件装配爆炸图

图8为装配序列规划模块。如图8左侧界面所示,在生成装配序列之前,需要完成装配信息、算法参数、零件编码的指定,接着点击“运算结果显示”按钮,自动弹出界面如图8右侧所示,界面中包含了零组件的装配顺序与装配方向信息。

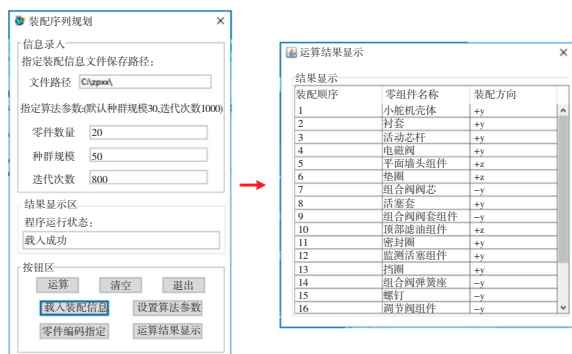


图8 装配序列规划模块

2.3 装配路径规划与装配工艺仿真实现

以装配序列为基础,通过路径点构建装配路径如图9所示。

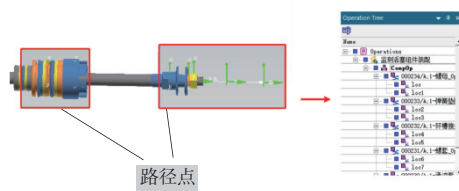


图9 装配路径规划实现

接着通过装配工艺仿真(图10),对装配工艺进行校验。

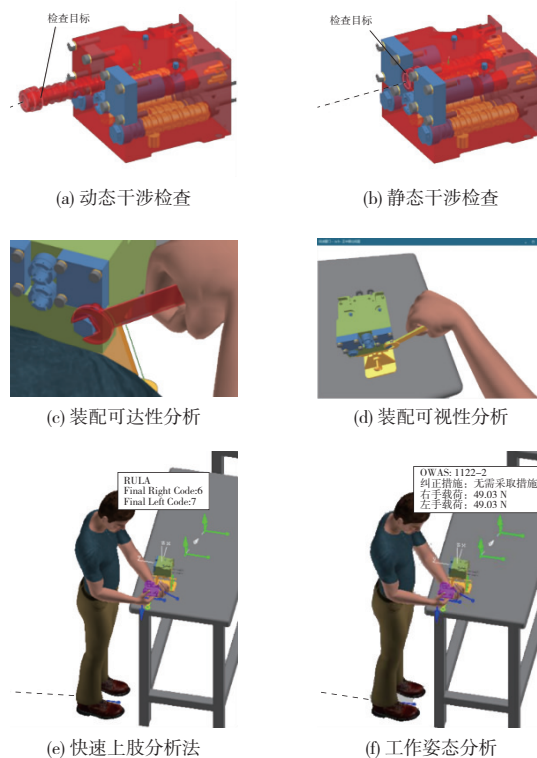


图10 装配工艺仿真

通过图10(a)、图10(b)的干涉检查分析并调整工艺,保证装配工艺的可行性。通过图10(c)、图10(d)可知,如果电磁阀先于组合阀装配,则会对可达性和可视性产生影响,因此需要调整组合阀先于电磁阀装配。通过图10(e)、图10(f)两种方法分析并调整工艺,保证人工操作的安全性。

2.4 工艺信息管理模块

通过工艺信息管理模块(图11)完成工艺信息的详细设计,进而输出三维装配工艺规程如图12所示。图中动画可以完成拖动、缩放、旋转等操作。



图 11 工艺信息管理模块

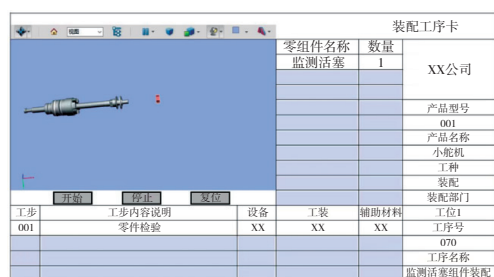


图 12 三维装配工艺规程输出

3 结语

针对航空液压产品的装配特点,研究并实现了三维装配工艺设计的相关技术及设计流程,实现了装配序列的快速生成,使工艺设计人员能够在三维仿真环境中构思和校验工艺,并能够输出带有装配动画的可交互式三维装配工艺规程,提高了装配工艺设计的效率和质量,减少了工艺设计返工率与设计成本,提高了装配工艺可视化水平,便于操作人员理解工艺内容。

参考文献:

- [1] 简引霞. 航空液压与气动技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 2008.
- [2] 燕瑾瑾, 杨志贤, 顾寄南. BOM 多视图的结构映射方法研究[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2020(2): 22-25.
- [3] 冯斐. BOM 在航空计算机制造领域的构建分析[J]. 航空精密制造技术, 2021, 57(5): 59-62.
- [4] LI X Y, QIN K, ZENG B, et al. Assembly sequence planning based on an improved harmony search algorithm[J]. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2016, 84 (9/10/11/12): 2367-2380.
- [5] YUAN W B, CHANG L, ZHU M L, et al. Assembly sequence planning based on hybrid artificial bee colony algorithm[M]//Intelligent Information Processing VIII. Cham: Springer International Publishing, 2016: 59-71.
- [6] 赵罡, 李瑾岳, 徐茂程, 等. 航空发动机关键装配技术综述与展望[J]. 航空学报, 2022, 43(10): 475-507.
- [7] 徐张恒, 许瑛, 张悦, 等. 基于 DELMIA 的航空发动机虚拟装配技术研究[J]. 制造技术与机床, 2022(2): 94-98.
- [8] 周星晶. 航空发动机零件机加工工艺信息管理及三维工艺规程发布[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2017.
- [9] 董可静, 陈伟, 万渝, 等. 基于 Windchill 的三维装配大纲编辑及流程控制技术研究[J]. 机械制造与自动化, 2022, 51(4): 152-156.

收稿日期: 2023 - 02 - 13

(上接第 57 页)

- [7] ZELINA J, EHRET J, HANCOCK R, et al. Ultra - compact combustion technology using high swirl for enhanced burning rate[C]//38th AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference & Exhibit. Indianapolis, Indiana. Reston, Virginia: AIAA, 2002.
- [8] ZELINA J, STURGESS G, SHOUSE D L. The behavior of an ultra - compact combustor (UCC) based on centrifugally - enhanced turbulent burning rates [C]//40th AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion

Conference and Exhibit. Fort Lauderdale, Florida. Reston, Virginia: AIAA, 2004.

- [9] 李明. 不同结构导向器对涡轮叶间补燃室性能影响的研究[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2012.
- [10] 莫姐. 燃烧环对涡轮叶间燃烧室性能影响的研究[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2012.
- [11] 徐兴亚. 带涡轮叶间燃烧室的大涵道比发动机性能与特性研究[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2013.

收稿日期: 2023 - 02 - 10