

基于 DELMIA 的载人离心机座舱装配仿真

周炀挺, 杨永生, 尹娇妹, 王鑫磊

(中国工程物理研究院 总体工程研究所, 四川 绵阳 621900)

摘要: **目的** 形成合理的座舱装配工艺方案, 提高装配质量和效率, 并能在设计阶段发现座舱装配工艺方案存在的问题。**方法** 通过分析座舱结构特征和装配特点, 并基于 DELMIA 数字化制造仿真平台, 对载人离心机座舱的装配信息进行构建与分析。运用干涉和碰撞检查, 结合人机功效模块, 对座舱装配过程进行仿真分析。**结果** 座舱装配仿真是验证其装配工艺方案是否合理的有效手段, 通过座舱装配仿真, 提前发现了装配工艺方案存在装配动态干涉、可达性和可视性等问题。**结论** 数字化装配技术可以帮助设计人员预先发现装配工艺方案的不足, 改进装配工艺方案, 验证装备工艺方案的可行性, 为实际装配提供指导, 进而可极大地提高装配效率, 缩短装备研制周期。

关键词: DELMIA; 座舱装配; 装配仿真; 人机工程仿真

中图分类号: TH164

文献标识码: A

文章编号: 1672-9242(2022)10-0134-07

DOI: 10.7643/issn.1672-9242.2022.10.018

Assembly Simulation of Human Centrifuge Cockpit Based on DELMIA

ZHOU Yang-ting, YANG Yong-sheng, YIN Jiao-mei, WANG Xin-lei

(Institute of Systems Engineering, CAEP, Sichuan Mianyang 621900, China)

ABSTRACT: On-site assembly of the human centrifuge cockpit is a complicated process that requires repeated optimization, this paper aims to form a reasonable cockpit assembly process plan, improve assembly quality and efficiency, and find problems in the cockpit assembly plan at the design stage. By analyzing the structural characteristics and assembly characteristics of the cockpit and based on the DELMIA digital manufacturing simulation platform, we constructed and analyzed the assembly information of the human centrifuge cockpit. Using interference and collision inspection, combined with the human-machine function module, we also simulated and analyzed the cockpit assembly process. Cockpit assembly simulation is an effective means to verify whether the assembly process plan is reasonable, through the cockpit assembly simulation, it is discovered in advance that the assembly process plan has the problems of assembly dynamic interference, accessibility, and visibility. Digital assembly technology can help designers discover the deficiencies of the assembly process plan in advance, improve the assembly process plan, verify the feasibility of the equipment process plan, and provide guidance for actual assembly, thereby greatly improving assembly efficiency and shortening the equipment development cycle.

KEY WORDS: DELMIA; cockpit assembly; assembly simulation; ergonomic simulation

收稿日期: 2021-06-20; 修订日期: 2021-07-29

Received: 2021-06-20; Revised: 2021-07-29

作者简介: 周炀挺 (1994—), 男, 硕士, 工程师, 主要研究方向为离心机结构设计。

Biography: ZHOU Yang-ting (1994-), Male, Master, Engineer, Research focus: centrifuge structure design.

引文格式: 周炀挺, 杨永生, 尹娇妹, 等. 基于 DELMIA 的载人离心机座舱装配仿真[J]. 装备环境工程, 2022, 19(10): 134-140.

ZHOU Yang-ting, YANG Yong-sheng, YIN Jiao-mei, et al. Assembly Simulation of Human Centrifuge Cockpit Based on DELMIA[J]. Equipment Environmental Engineering, 2022, 19(10): 134-140.

离心机现场装配是其生产制造的最终阶段, 该阶段直接面向用户, 是研制周期中的关键环节, 装配的效率与质量影响到离心机整个研制周期。对于载人离心机, 因涉及装配工作量大、工艺装备数量多、零部件协调复杂、装配误差控制难, 并且现场土建环境难以预测, 整个现场装配是一个非常复杂、约束众多和反复优化的过程。目前, 离心机装配主要依靠二维装配图纸和现场安装调试大纲来指导装配, 这种装配方法过于依赖经验, 只能通过现场装配模型来验证装备装配的可达性、可视性和干涉性。这些问题只有到现场装配时才会被发现, 造成了大量资源浪费、产品返工和工艺返修, 甚至整个装配工艺方案的调整, 浪费了大量研制成本和时间^[1-2]。数字化装配技术可以有效地解决上述问题, 装配仿真是其中的一个重要环节, 是设计工程与装配工艺并行的关键节点^[3]。

1 座舱结构特征

载人离心机主要由仪器舱、主臂、传动单元、液压联轴器、滚转舱和座舱组成, 其中座舱结构最为复杂, 其主要由座舱框、座舱蒙皮和座舱舱门组成, 如图 1 所示。座舱处于三级运动控制终端, 其质量及分布对三级驱动有直接影响, 座舱质量及绕俯仰轴转动惯量也就应尽量小。同时, 座舱处于载人工作的最大离心场中, 要求其具有一定的结构刚度及强度, 满足过载工作环境力学和人机学要求。因此, 座舱设计必须尽量减轻质量, 在保证有效空间和承载能力的前提下, 座舱整体结构尺寸应尽量减小, 造成座舱装配操作空间狭小, 且座舱零部件种类和数量繁多, 个性化配置多样化, 使得座舱装配难度大大提高。

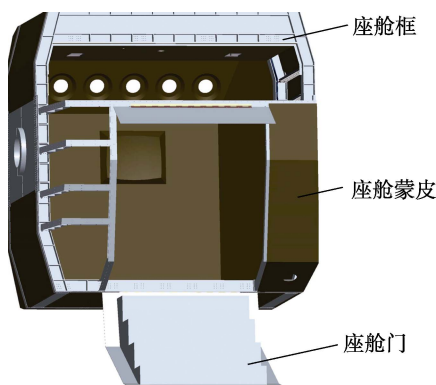


图 1 座舱组成
Fig.1 Cockpit composition diagram

1.1 座舱框

座舱框是座舱承载的主体结构, 其包含有承载座舱所有质量的主框架和支撑蒙皮及舱内设备的辅助支架, 主框架包括主承力圈梁、耳板、承载配重及仪器的横梁、承载座椅及操纵单元的横梁, 其余为辅助

支架, 主要包括支撑舱门的门框、顶框等, 如图 2 所示。座舱框分 2 个步骤进行铆接, 框架分为前、中 2 个部件, 先定位铆接中部圈梁, 后铆接前框架, 前框架接口部位铆接过程中需与圈梁配合铆接, 保证尺寸精度。安装底部横梁和顶部横梁时, 应定位后检查引孔对齐情况, 装配要求: 各引孔偏差不大于 0.2 mm, 各铆接位零件间的间隙不大于 0.2 mm。

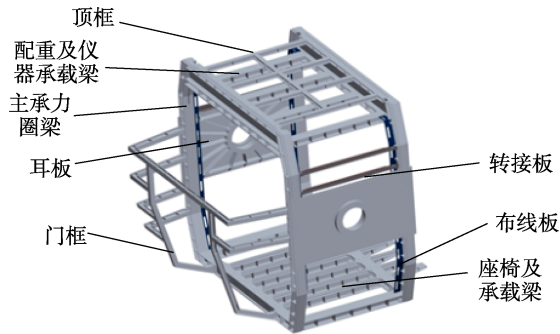


图 2 座舱框结构
Fig.2 Schematic diagram of cockpit frame structure

1.2 座舱蒙皮

座舱蒙皮主要由门顶蒙皮、前蒙皮、舱底蒙皮以及左右对称的上下蒙皮、门侧蒙皮组成。座舱蒙皮设计兼顾舱内设备安装, 门顶蒙皮分隔为 3 个区域, 用于装放投影机。前蒙皮考虑自身尺寸较大, 球带幕面积也较大, 因此在二者间设计支撑块, 使之互为支撑。为方便座舱维修时蒙皮整体拆卸, 所有蒙皮与座舱框之间采用螺纹机械连接。

1.3 座舱舱门

为保证舱门开度, 舱门设计主要由主舱门和辅助舱门组成, 如图 3 所示。主舱门采用下翻式门梯合一结构, 主舱门与辅助舱门之间设计联动机构。主舱门门体结构与辅助舱门采用碳纤维蜂窝夹芯结构, 既能达到轻质高强度的设计目的, 又能起到减振的作用。

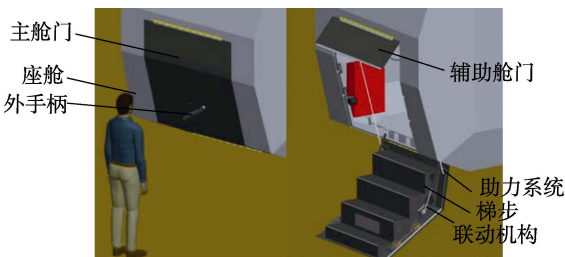


图 3 座舱舱门结构
Fig.3 Schematic diagram of cockpit door structure

2 座舱装配特点

载人离心机座舱结构复杂、零件数量繁多, 装配

关系复杂,其装配是一项多学科、多领域、综合性、高难度的装配制造技术。人工装配还是当前装配工艺的主要形式。因此,基于 DELMIA 的人机仿真模块功能,仿真装配工艺方案中的装配系列,并利用其人机工程学评估方法,对座舱不同装配工艺方案进行评价和筛选,以此来优化座舱工艺装配方案^[4]。座舱的装配分为4部分内容:框架装配,上下蒙皮装配,前蒙皮、门顶蒙皮、门侧蒙皮装配及内部仪器装配。其中装配难点在于框架装配,座舱装配具有以下特点:

1) 零部件协调复杂。为保证座舱的最终装配效果,在其装配过程中,应该协调好各零部件之间的装配关系,必须制定座舱整个装配过程的协调方案。

2) 装配工作量大。座舱装配的时间占整个制造时间的50%~60%,用于其装配的成本超过40%。同时,由于座舱本身结构特点,导致装配可操作空间狭小,装配时间成本大。

3) 装配精度要求高。框架装配时必须保证2段耳板安装孔同轴度,由于框架的整体刚度弱,无法采用组装后加工工艺(装夹变形),因此安装时采用工艺轴定位装配工艺方案来保证同轴度。工装两侧工艺孔同轴度必须控制在0.1 mm内,其余各处的尺寸(或位置度)公差为0.1~0.2 mm。

以往的装备装配方法,都是先制造出装备的物理原型。虽然装备的物理原型可以让作业人员真实地感受装配操作感,但是由于装备本身的装配难度大,且零部件制造成本高,如果在此时发现零部件的设计缺陷,通常无法在其物理模型上进行更改,必须重新回到设计阶段来对其重新制造加工。这种装备研制方式会导致装备研制周期长、成本高,尤其是离心机这种大型复杂装备更为明显。因此,对离心机进行虚拟装配研究具有十分重要的意义。

3 载人离心机座舱装配仿真

3.1 DELMIA 系统简介

DELMIA 是由达索公司开发的一套拥有强大模拟仿真功能的数字化制造解决方案,其广泛应用于汽车、航空、航天等绝大部分高端产品的数字化制造^[5]。DELMIA 提供了世界上最集成、协同和全面的数字化制造解决方案,通过前端二维系统的设计加上现场制造的资源整合,采用3D图形化仿真可对整个装配过程进行仿真、分析和优化,已得到可达性、可视性、可制造性、可维修性等多方面的优化仿真数据结果^[6-7]。DELMIA 的作用可用于在装备研发过程中,通过虚拟装备数模建立模型,在进行实际生产制造之前,对虚拟装备进行装配过程规划并仿真^[8]。

3.2 座舱装配仿真过程

利用 DELMIA 仿真软件,将组成装备的零部件

导入虚拟环境,并设置相应的装配工艺,在仿真软件上完成装备的装配仿真过程。座舱的装配主要包括搭接板、仪表台、座舱座椅、舱内相关设备和舱门等安装,座舱装配过程的具体流程如图4所示。

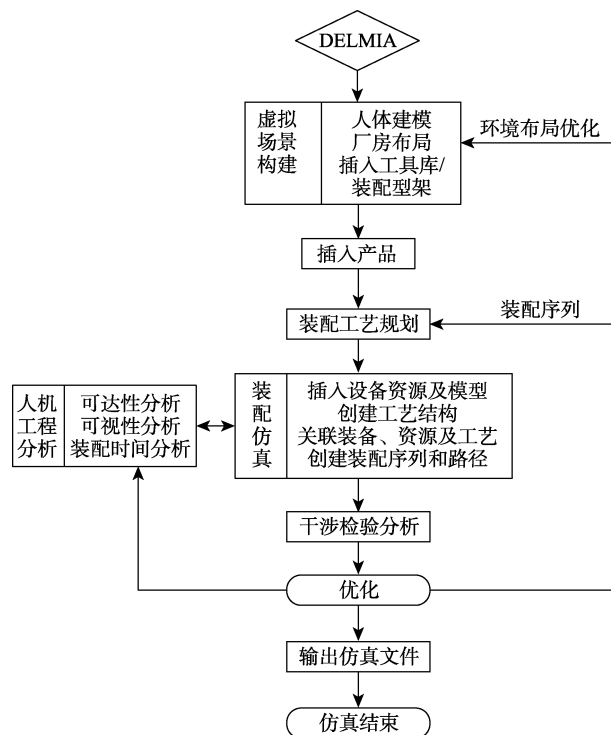


图4 座舱装配过程仿真流程
Fig.4 Simulation process of cockpit assembly process

3.3 虚拟场景构建

虚拟场景的合理构建可以更好地保证装配工作的顺利进行,提高空间利用率和减小工人作业时间,达到更好的装配效果。座舱虚拟场景主要由座舱模型、工具模型、虚拟人员和环境模型等组成,根据座舱装配工艺特点,构建座舱厂内数字化装配生产线,对工具库、工作台、装配型架和作业人员进行合理布置。由于座舱在厂内进行装配,首先建立数字车间中的基本设施,然后按照工厂布局状况,对装配工件、环境资源及人员活动空间等进行有序布置,确定所需环境因素之间的相对空间关系,以保证合理的装配工艺流程及装配工作的顺利进行。座舱虚拟场景如图5所示。

3.4 装配工艺规划

装配工艺规划就是分析研究产品的装配特点和结构组成,来规划出产品零部件最优装配顺序的工作。产品的零部件之间一定存在有某种层级关系,装配工艺规划对装配效果、装配成本和产品质量都有着重要影响,装配工艺的合理规划,能十分有效地提高产品效率和质量,降低工作时间和成本^[9]。通过对装

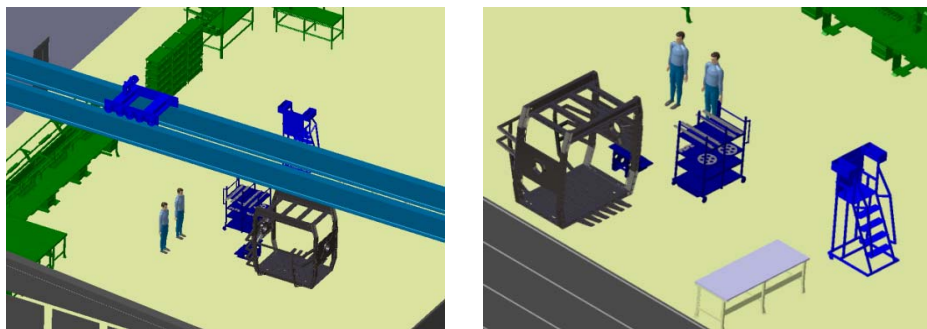


图 5 座舱虚拟场景布局

Fig.5 Schematic diagram of the cockpit virtual scene layout

备装配过程中的动态干涉检验、可达性、可视性、装配时间分析, 来验证装备装配工艺规划的可行性。

根据载人离心机座舱结构特点及装配经验, 可以利用“反装”的思想对座舱结构的装配工艺进行规划^[10]。根据“可拆即可装”的反装原理, 将产品总装模型按照合理的空间序列进行拆解, 得到产品零部件的拆解序列, 再反转这个拆解序列, 使拆的过程变为装的过程就可得到装配序列。载人离心机座舱装配序列为: 搭接板装配; 航插端子板装配; 仪表台装配; 座舱座椅装配; 投影幕装配, 先安装好投影幕支架, 再进行投影幕的装配; 投影仪装配, 包括投影仪组装、投影仪吊装、后侧板装配、上侧板装配和顶部元器件与配重装配; 舱内设备安装; 舱门的安装。装配序列是装配仿真的基础和关键, 而装配序列并不是唯一的, 为寻找最优的装配序列, 可以通过动态干涉检查对其分析验证。

3.5 座舱仿真过程实施

根据座舱装配工艺方案模拟装配过程, 可以直观地体现出座舱的装配序列、路径、作业人员作业活动及具体工艺方法, 进一步优化座舱装配工艺方案^[11]。

1) 插入设备资源及座舱模型。将虚拟装配厂房模型和人体模型插入到 PPR 资源列表节点下, 座舱模型插入到 APS 模块 PPR 产品列表节点下, 并设定座舱模型和厂房模型的相对空间位置, 按照实际厂房装配布局设定虚拟装配厂房环境的初始状态。

2) 创建工艺结构。将 Process Library 文件中工艺节点按照座舱装配顺序添加到 PPR 工艺列表节点下, 通过树状层侧结构形式, 可以直观形象地展示各装配体间的主从关系。

3) 关联装备、资源及工艺。在装配工艺方案中的各个装配节点, 关联与其相关的座舱零部件、设备工装, 获取装备、资源、工艺之间的关联情况, 从而明确各个装配工艺关联的子部件和使用的资源。

4) 创建装配序列和路径。基于“可拆即可装”原理, 按照之前设计好的座舱装配序列和路径对其进行拆解, 建立各个部件、设备工装和人体的动作关系。选择 Activity Management 工具条中的 Reverse Proc-

ess 按钮, 对拆卸工艺求逆, 得到座舱的装配序列和装配路径^[12]。

3.6 干涉检验分析

零部件在装配仿真过程中可能发生相互碰撞、接触等现象。在完成座舱装配工艺规划和结构 PPR 结构树的构建后, 可进行装配过程仿真。装配工艺规划的合理性可以通过干涉检验分析等来进行验证^[13-14]。检验出产品零部件之间的相互碰撞或接触关系, 可以及时调整并优化装配工艺方案, 得到更加合理的装配仿真结果。在仿真过程中, 安装座舱座椅时, 仿真过程停止, 发现座舱座椅和座舱骨架发生干涉, 如图 6 所示。这是因为座舱前侧通道尺寸较小, 且仪表台先于座舱座椅安装, 座舱座椅只能从座舱前侧进入, 因此应调整座舱座椅和仪表台的装配序列。

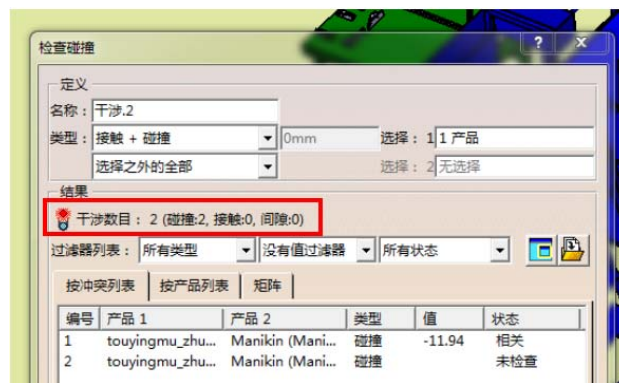


图 6 座椅与座舱骨架发生干涉

Fig.6 Interference between the seat and the cockpit frame

3.7 输出仿真文件

使用 DELMIA 的生产录像功能将座舱装配仿真过程以视频的形式保存下来, 可作为工程人员设计装配工艺方案的参考资料, 更为直观、形象地指导现场作业人员的实际装配作业。

4 人机工程分析与优化

载人离心机座舱结构复杂, 作业人员进行装配

工作时,工作空间会受到限制。如果作业人员一直在较为狭窄的空间下从事装配工作,舒适度变差,装配效率下降,严重时还会危害到作业人员的人身安全^[15]。将人机工程技术引入装配仿真中,对作业人员装配过程中的操作动作进行模拟,并对作业人员的可达性、可视性进行分析,设计人员可以在仿真过程就发现实际装配中存在的问题,帮助工程人员设计出更加理想的装配工艺,达到更好的装配效率^[16]。

4.1 可达性分析

装配可达性旨在分析作业人员在肢体运动极限范围内,其是否能够在装配工艺方案的要求下,徒手或借助辅助工具顺利地完成任务^[17]。由于座舱前侧通道尺寸小于后侧通道尺寸,仪表台先于座椅安装后,作业人员两侧抬起座椅无法从前侧通道进入,并且在装配过程中,还需要低头以防头撞上骨架,很难通过人体自我调节来完成装配,如图 7 所示。可见,座舱座椅的装配序列在装配可达性方面同样不合理,没有考虑到周围零部件对作业人员可达性

的影响。为解决作业人员安装座舱座椅不可达和干涉的问题,需要对装配序列进行优化,如图 8 所示。先将座椅通过座舱后侧通道抬至座舱内,再进行仪表台的安装。

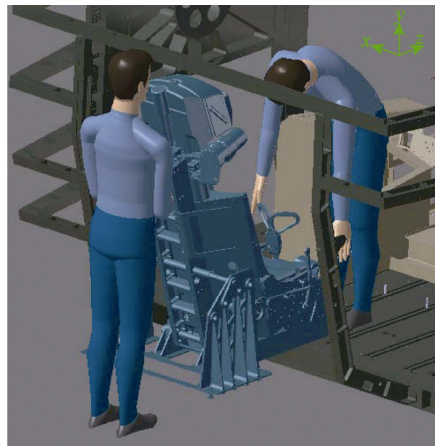


图 7 座舱座椅安装仿真
Fig.7 Cockpit seat installation simulation



图 8 座舱座椅先于仪表台安装仿真
Fig.8 Cockpit seats are installed before the dashboard simulation

4.2 可视性分析

装配可视性是指零部件装配时其装配位置对作业人员可见,可视性程度会影响装配操作的舒适性和理想程度。有时因为装配工艺规划不合理或装备设计缺陷,会降低作业人员在装配装备时的可见性,影响装配作业进程,甚至导致装配作业终止,因此,在人机功效仿真中对人体模拟进行可视性分析是十分必要的^[18-19]。

通过打开 Delmia 的 Open the Vision Window 命令,可以实时地观察人体模型在不同人体姿态和安装位置的视线范围^[20]。作业人员在安装投影幕时的视野如图 9 所示。由于投影幕尺寸较大,作业人员搬运至安装处视野被投影幕遮挡,且投影幕为异性面,人难以抓取,因此投影幕的安装应设计工装支架。

4.3 装配时间分析

为综合评价装配效率及经济成本,通过检测座舱整个仿真过程不同作业人员人数所消耗的时间,笔者采用了 2 种方案进行模拟。方案 1 为 4 个直接作业人员,装配时间较短,但人员利用不充分;方案 2 为 3 个直接作业人员,整体装配时间稍长,但人员利用更为充分。比较而言,第二种方案的工作效率和经济效益更高。

4.4 仿真结果分析

通过装配仿真和人机功效分析,在载人离心机座舱工艺设计阶段就能发现一些装配顺序不合理、装配空间狭小、作业人员分配等问题,并针对发现的问题进行对产品的装配工艺方案进行了改进,优化了装配

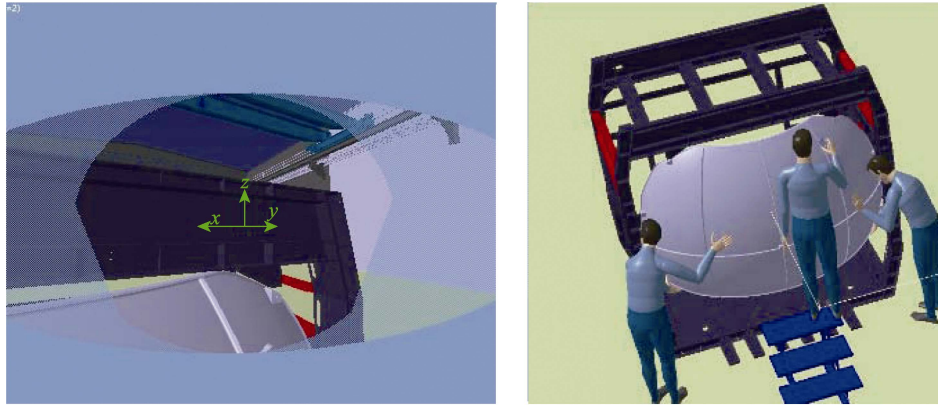


图 9 作业人员安装视野
Fig.9 Operator installation view

工艺方案, 优化方案如下: 1) 座舱座椅的安装顺序应该先于仪表台的安装顺序; 2) 座舱舱内设备安装时, 采取舱内舱外递接方式进行, 防止工人频繁出入头部碰撞座舱; 3) 座舱内顶部零部件应先于舱内底部大尺寸装置座椅、仪表台的安装, 避免安装操作空间的过早占用带来的操作困难; 4) 投影幕的安装应设计工装支架; 5) 3 个直接作业人员进行座舱装配任务更为经济。

5 结语

笔者以载人离心机座舱为研究对象, 基于 DELMIA 对座舱装配全过程进行了仿真, 并在此基础上进行了人机工程分析, 验证了座舱装配流程的可行性, 并较为全面地总结出了基于 DELMIA 的载人离心机座舱装配工艺方案仿真流程和方法, 是大型装备虚拟装配技术的一次有效尝试, 提高了其数字化制造水平。详细分析了座舱的结构特征和装配特点, 构建了装配仿真虚拟场景, 规划了载人离心机座舱的装配工艺序列, 对座舱进行了装配仿真分析, 解决了离心机装配无法直观观察空间运动的难题。在装配过程仿真时, 进行了干涉碰撞、装配序列、人机工程分析, 发现了装配工艺存在的问题, 给出了有效的优化方案, 保证了装配工艺方案的合理性和经济性。

参考文献:

- [1] 蔡奇彧, 钟涵, 陈勇, 等. 基于人机工程的某航天复杂柔性装备虚拟装配技术研究[J]. 航天制造技术, 2020(5): 5-8.
CAI Qi-yu, ZHONG Han, CHEN Yong, et al. Research on Virtual Assembly Technology of a Certain Aerospace Complex Flexible Equipment Based on Ergonomics[J]. Aerospace Manufacturing Technology, 2020(5): 5-8.
- [2] 沈重, 张家雄, 战玉晓, 等. 基于 DELMIA 的复杂航天器数字装配技术与应用[J]. 航天制造技术, 2015(1): 61-64.
SHEN Zhong, ZHANG Jia-xiong, ZHAN Yu-xiao, et al. Application of Digital Assembly Simulation Technology for Complicated Vehicle Based on DELMIA[J]. Aerospace Manufacturing Technology, 2015(1): 61-64.
- [3] 石循磊, 邓健健, 盖宇航, 等. 基于 DELMIA 的飞机大部件调姿对接仿真方法[J]. 航空制造技术, 2020, 63(S2): 24-28.
SHI Xun-lei, DENG Jian-jian, GAI Yu-hang, et al. Simulation Method of Posture Alignment and Docking of Large Aircraft Components Based on DELMIA[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2020, 63(S2): 24-28.
- [4] 李如. 基于 DELMIA 的某型民机后机身装配仿真[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2018.
ZHU Yan-ru. Simulation of Rear Fuselage Assembly of a Civil Aircraft Based on DELMIA[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2018.
- [5] TU Mei-xia, CHUAN Lv, WANG Mei-hui, et al. Maintainability Analysis and Evaluation of Flexible Cables Based on Delmia[J]. Transactions of the Canadian Society for Mechanical Engineering, 2016, 40(5): 995-1005.
- [6] LI Bin-cheng, LIU Ying. Study in Virtual Assembly of Hull Block on DELMIA[J]. Key Engineering Materials, 2013, 568: 135-141.
- [7] WIRE B. DELMIA Digital Manufacturing Solution Version 5 Release 15 Extends Dassault System' PLM Coverage[J]. Business Wire, 2005, 37(4): 257-259.
- [8] 王茜, 徐志刚, 白鑫林, 等. 基于 DELMIA 的弹药填充机器人工艺仿真及优化[J]. 控制工程, 2016, 23(S1): 73-78.
WANG Xi, XU Zhi-gang, BAI Xin-lin, et al. Research on Work Process of Robots in Ammunition Production Line Based on DELMIA[J]. Control Engineering of China, 2016, 23(S1): 73-78.
- [9] LV Nai-jing, LIU Jian-hua, DING Xiao-yu, et al. Assembly Simulation of Multi-Branch Cables[J]. Journal of Manufacturing Systems, 2017, 45: 201-211.
- [10] 耿翔宇, 方忆湘, 靳江艳. 基于 DELMIA 的飞机产品三维可视化装配工艺设计[J]. 机械制造与自动化, 2017,

- 46(1): 15-18.
GENG Xiang-yu, FANG Yi-xiang, JIN Jiang-yan. Planning Design of 3D Visual Assembly Process for Aircraft Products Based on DELMIA[J]. Machine Building & Automation, 2017, 46(1): 15-18.
- [11] 李冉, 付建林, 杨龙, 等. 基于 DELMIA 的转向架数字化装配仿真[J]. 制造业自动化, 2019, 41(12): 82-85.
LI Ran, FU Jian-lin, YANG Long, et al. Digital Assembly Simulation of Bogie Based on DELMIA[J]. Manufacturing Automation, 2019, 41(12): 82-85.
- [12] 陈浩. 产品设计中的计算机辅助人机工效学研究[J]. 信息与电脑(理论版), 2011(16): 134-135.
CHEN Hao. Research on Computer Aided Ergonomics in Product Design[J]. China Computer & Communication, 2011(16): 134-135.
- [13] 周尔民, 彭小剑, 王佳强, 等. 基于 DELMIA 的双离合变速器装配过程可视化仿真[J]. 机械传动, 2013, 37(1): 65-67.
ZHOU Er-min, PENG Xiao-jian, WANG Jia-qiang, et al. Visual Simulation of Dual Clutch Transmission Assembly Process Based on DELMIA[J]. Journal of Mechanical Transmission, 2013, 37(1): 65-67.
- [14] 陈宁, 解彦琦, 吕庆伦. 基于 DELMIA 的发动机装配过程可视化仿真[J]. 计算机辅助工程, 2010, 19(4): 66-69.
CHEN Ning, XIE Yan-qi, LYU Qing-lun. Visual Simulation of Engine Assembly Process Based on DELMIA[J]. Computer Aided Engineering, 2010, 19(4): 66-69.
- [15] USMAN S, ZHU Hai-tao, HAQ M U. Design Improvement of Assembly Workplace through Ergonomic Simulation and Analysis Using DELMIA[J]. International Journal of Engineering Research in Africa, 2015, 21: 238-246.
- [16] LIU Hong-jun, TONG Xiao-yan, LV Sheng-li, et al. The Application of DELMIA in ARJ21 Aircraft Central Wing Assembly Simulation[J]. Advanced Materials Research, 2011, 314-316: 2287-2292.
- [17] 张鹏. 基于 DELMIA 的飞机数字化装配仿真技术应用研究[J]. 装备制造技术, 2020(10): 172-175.
ZHANG Peng. Digitization of DELMIA Based Aircraft Application Research of Assembly Simulation Technology[J]. Equipment Manufacturing Technology, 2020(10): 172-175.
- [18] 刘阳, 柳存根. 基于 DELMIA 的分段装配仿真研究[J]. 船舶工程, 2012, 34(6): 71-74.
LIU Yang, LIU Cun-gen. Simulation Study of Block Assembly Based on DELMIA[J]. Ship Engineering, 2012, 34(6): 71-74.
- [19] GUPTA I, KALRA P, CHAWLA P, et al. Evaluation of Pilot's Seat Design of Civil Aircraft for Indian Anthropometric Data by Using Delmia Human Software[J]. Procedia Manufacturing, 2018, 26: 70-75.
- [20] 李彤, 韩锋, 李静洪, 等. 基于 DELMIA 的导管虚拟装配仿真研究[J]. 机械制造, 2014, 52(5): 74-77.
LI Tong, HAN Feng, LI Jing-hong, et al. Research on Virtual Assembly Simulation of Catheter Based on DELMIA[J]. Machinery, 2014, 52(5): 74-77.

责任编辑: 刘世忠