

飞机舱门机构耐久性试验数字化仿真平台研究

王瑞,许清清,杨斌,王鹏飞,贾守波
(上海无线电设备研究所,上海 201109)

摘 要:介绍了基于工业机器人的舱门机构耐久性试验装置系统组成和工作原理,基于 Visual Components 软件构建数字化仿真平台,完成机器人路径仿真与离线编程,并实现真实试验过程中实时数据驱动下的仿真平台动态展示。结果表明:该仿真平台可以实现试验流程预演分析与在线监控,可显著提升试验效率与过程安全性。

关键词:飞机;舱门机构;耐久性试验;Visual Components;虚拟仿真

中图分类号:TP391.9 **文献标志码:**B **文章编号:**1671-5276(2023)03-0136-04

Digital Simulation Platform Research of Aircraft Door Mechanism Durability Test Device

WANG Rui, XU Qingqing, YANG Bin, WANG Pengfei, JIA Shoubo
(Shanghai Radio Equipment Research Institute, Shanghai 201109, China)

Abstract: This article introduces the system composition and working principle of the door mechanism durability test device based on industrial robot. Based on Visual Components software, a digital simulation platform is established to realize the path simulation and offline programming of the robot, materialize the dynamic display of the digital simulation platform driven by real-time data during the real physical experiment. The results show that the digital simulation platform can realize the preview analysis and online monitoring of the test process, and significantly improve the test efficiency and process safety.

Keywords: aircraft; cabin door mechanism; durability test; Visual Components; virtual simulation

0 引言

舱门机构是飞机系统的重要组成部分,舱门机构的工作性能直接影响到飞行任务的顺利完成和机组乘客的生命安全,因此舱门机构功能试验成为飞机试验验证和适航取证的重要一环。

舱门机构功能试验的核心是高频次开关舱门的耐久性试验,以此研究舱门机构全生命周期内运动轨迹、应力-应变等性能发生变化的规律。传统的人工试验方式存在劳动力成本高、工作强度大、过程一致性与测试覆盖性差等问题。舱门耐久性试验装置的自动化改造,需要突破复杂动作轨迹模拟、试验过程实时监控等关键难题。

本文介绍了一套基于工业机器人的耐久性试验装置,替代人工完成舱门把手的夹持、扭转、推拉等动作,以实现完整的舱门开关操作。基于 Visual Components 软件,构建耐久性试验装置的数字化仿真平台,采用虚拟仿真+物理试验的方式,避免设计反复,简化试验流程,确保试验过程的安全可靠。

1 飞机舱门机构

如图 1 所示,本文研究对象为一种侧开平移式舱门机构。

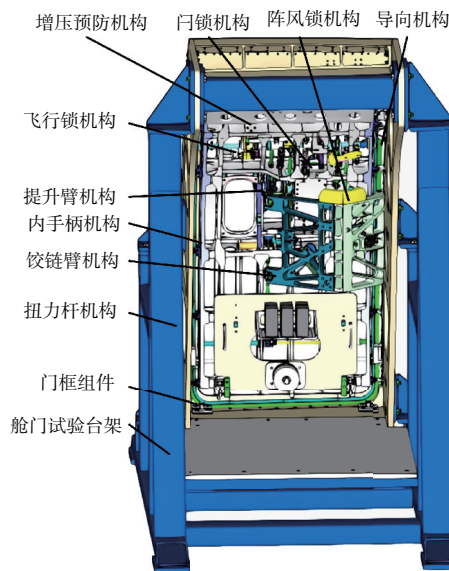


图 1 侧开平移式舱门机构示意图

舱门开关是通过驱动内手柄机构和铰链臂机构的旋转完成的。舱门开启的工作流程如下:初始状态下,舱门飞行锁自动解锁;先向上扳动内手柄,增压预防门打开,增压舱泄压;然后继续向上提升内手柄,舱门机构解锁,两侧

基金项目:上海市高端智能装备首台突破专项(ZB-ZBST-01-20-0090)

第一作者简介:王瑞(1991—),男,山东枣庄人,工程师,硕士,研究方向为自动化控制及机器人集成应用技术。

的闩锁机构从门框组件的闩槽中脱出;同时舱门导向机构的滚轮沿门框组件两侧的导向滚轮槽向上运动,直至内手柄旋转提升到位,滚轮从导向槽中脱离,完成舱门提升;舱门提升后,向外推动内手柄机构,带动铰链臂机构旋转,舱门向外打开并侧向平移,当铰链臂机构旋转到位后,安装在铰链臂机构上的阵风锁机构将舱门锁定到打开位置,完成舱门开启^[1-2]。图2为舱门机构完全开启状态示意图。

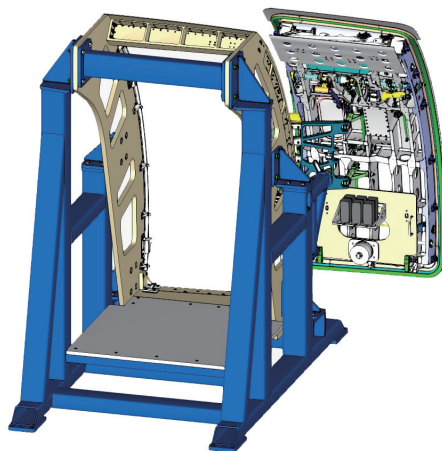


图2 舱门机构完全开启状态示意图

舱门提升运动机理如下(图3):舱门蒙皮、可调拉杆1、内手柄机构转轴、摇臂机构转轴组成一组连杆机构,舱门蒙皮、可调拉杆2、摇臂机构转轴、提升机构组成另一组连杆机构,提升臂机构与铰链臂机构间通过铰链连接;内手柄向上旋转,带动可调拉杆1、可调拉杆2上提,并在提升臂机构铰链处施加向下的推力,由于铰链臂机构固定在舱门试验台架上,提升臂机构铰链无法向下运动。上述运动组件受到相应的反向作用力,相对铰链臂机构向上运动,实现舱门机构提升。

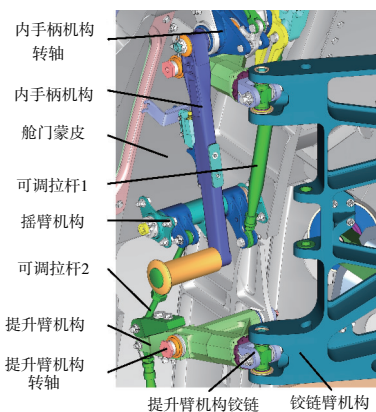


图3 舱门机构提升运动机理示意图

2 舱门机构耐久性试验装置

如图4所示,基于工业机器人的飞机舱门机构耐久性试验装置包括六轴工业机器人、可移动底盘以及末端执行器等。

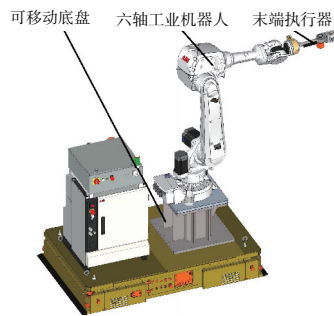


图4 舱门机构耐久性试验装置结构示意图

六轴工业机器人是整个耐久性试验装置的核心,具有设备通用性强、运动灵活性高、运动范围大、工作效率高的优点,便于实现拟人化的运动执行与柔性化的智能控制。经校核,选择ABB的IRB 4600-60/2.05型六轴机器人,负载60 kg,作业半径2 050 mm,重复定位精度 ± 0.06 mm,满足舱门机构耐久性实验的负载能力、工作范围、定位精度要求。

可移动底盘是整个试验装置的安装基础,采用锂电池供电,伺服电机双轮差速驱动的方式,在手持式控制器的操纵下完成前进后退、左右转弯等功能,实现耐久性试验装置的转场移动与位置调整,满足不同试验对象的试验需求,提升试验装置通用化程度。

如图5所示,末端执行器包括六维力控传感器、电动转动关节、抓手组件等。

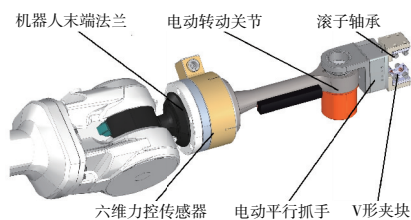


图5 机器人末端执行器结构示意图

六维力控传感器安装在机器人末端法兰上,用于实现xyz方向上力和力矩的实时测量,并通过与机器人的力位反馈控制,实现舱门开关过程中轨迹偏差、运动卡滞、阻力异常情况下的运动轨迹和速度的自适应调整^[3]。

电动转动关节转接在六维力控传感器上,其上安装抓手组件,模拟人工开启舱门侧开平移到底时的腕部转动,避免与舱门边框或蒙皮的干涉碰撞。

抓手组件以电动平行抓手搭配V形夹块,夹块上安装聚氨酯包胶滚子轴承,避免手柄表面损伤,并确保在夹持舱门内手柄的同时,释放夹块与手柄间的局部旋转自由度。

如图6—图7所示,可移动底盘将耐久性试验装置移动至试验台架的舱门内侧后,试验装置接收数字化仿真平台的仿真程序,以仿真程序生成的运动轨迹与动作逻辑,控制机器人、电动转动关节、抓手组件等动作,实现舱门内手柄的夹持、旋转、提升、推拉等操作,模拟人工舱门开关流程。在此过程中,六维力控传感器实时监控力和力矩,进行力位反馈控制,自适应调整运动轨迹和速度。同时还可基于真实试验环境中的实时数据,驱动仿真平台中的虚拟动作,实现仿真平台的动态展示。

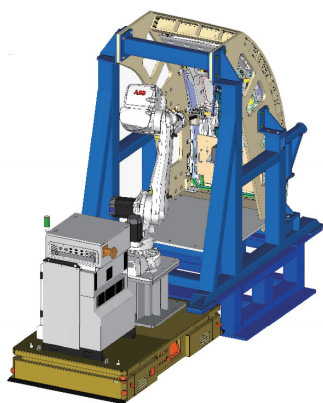


图6 耐久性试验场景示意图

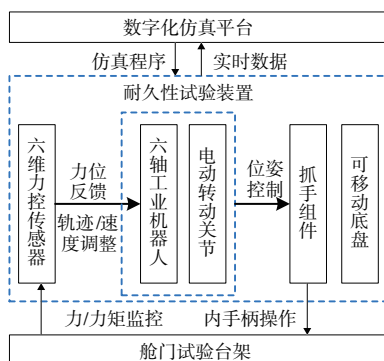


图7 耐久性试验装置原理图

3 耐久性试验数字化仿真平台

3.1 Visual Components 软件系统介绍

本文基于3D数字化工业仿真软件 Visual Components 软件(简称VC软件)完成仿真平台开发。该软件集成离散事件模拟仿真、人机协作仿真、机器人离线编程和虚拟调试功能于一体,为客户提供快速、便捷、真实的数字化工厂仿真解决方案。

VC软件可以实现机器人轨迹示教的自动化,简化机器人离线编程开发。通过分析仿真对象数据模型,预测运动轨迹,求解机器人的仿真优化路径,并通过软件平台自带的后置处理器模块,将运动路径离线程序编译为机器人可执行的运动程序。

VC软件内置 OPC UA 客户端,可以连接至任何符合标准的 OPC UA 服务器,实现设备间互联互通与虚拟调试。还可通过 TCP/IP 协议的 socket 通信,实现与工业设备、软件平台间数据交互^[4]。

3.2 数字化仿真平台建模技术

VC软件具有成熟组件库,支持大多数 CAD 格式导入导出,支持新组件创建和已有组件的建模修改。该仿真平台建模过程中,工业机器人可从组件库中直接调用,其余组件则需在 CAD 模型导入后,提取运动关节,设置各关节轴的运动方式与运动范围,并对各级节点的属性、行为进行定义。

1) 舱门机构建模

舱门机构通过多个子机构串并联实现传动、联动效

果。在对运动机理的深入分析的基础上,最终以舱门内手柄旋转(标记为提升关节 J1)、铰链臂旋转(标记为外开关节 J2)的角度值为驱动,构建关节运动表达式,准确表示舱门机构在任意开关门状态下的位置姿态^[5]。通过对舱门提升高度、侧移距离等关键尺寸的实际测量值与建模仿真值对比,验证了舱门机构建模准确性(表1)。

表1 舱门机构关键尺寸值

关键尺寸	数值
内手柄最大旋转角度/(°)	119
铰链臂最大旋转角度/(°)	130
舱门最大提升高度/mm	45.4
舱门最大侧移距离/mm	885.0

2) 机器人末端执行器建模

同上,以电动转动关节 J3 和电爪开合 J4 两个关节的角度值为驱动,准确表示机器人末端执行器在任意状态下的位置姿态。

3) 整体布局建模

如图8所示,在机器人组件添加、舱门机构建模、末端执行器建模的基础上,继续导入试验台架底座、可移动底座等 CAD 模型,调整各组件间的初始相对位置,最终完成耐久性试验数字化仿真平台建模。

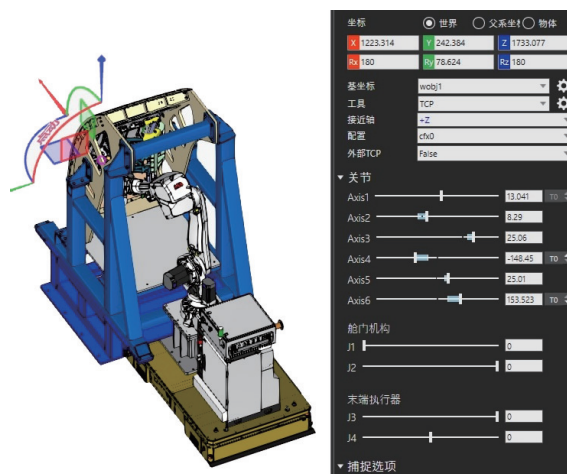


图8 耐久性试验数字化仿真平台界面

将舱门的提升关节 J1、外开关节 J2 和末端执行器的转动关节 J3 和电爪开合 J4 作为外部轴附加到机器人上,实现机器人关节运动、末端执行器转动与电爪开合、舱门开关运动的联动。同时将机器人的基坐标 wobj1 设定在舱门机构的内把手旋转套筒的轴线上,将机器人的 TCP 点设置在电动抓手的夹持中心轴上,调整机器人及末端执行器的关节角度,确保在初始状态下 TCP 点与基坐标 wobj1 原点重合,此时改变舱门机构 J1、J2 关节,驱动舱门开关动作,机器人及末端执行器的关节角度就会自适应调整,实现跟随运动。

3.3 机器人离线编程技术

在仿真平台中进行程序编辑(图9),模拟机器人自动开关舱门动作,验证轨迹路径的可行性,通过调整机器人

与舱门机构间的初始相对位置,优化关键标定点位的关节角度值(表2),确保运动轨迹无干涉。

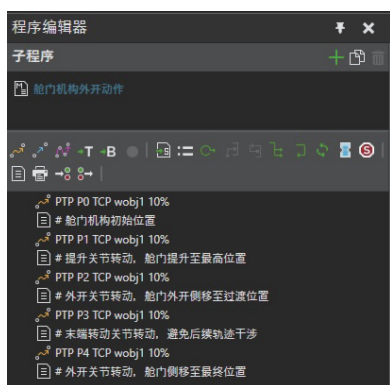


图9 舱门外开动作离线编程程序段

表2 离线编程关键点位表 单位:(°)

编号	点位说明	J1	J2	J3
P0	舱门机构初始位置	0	0	0
P1	内手柄提升最高位	119	0	0
P2	铰链臂侧移过渡位 A	119	100	0
P3	铰链臂侧移过渡位 B	119	100	40
P4	铰链臂侧移最终位置	119	130	40

通过 VC 软件平台自带的机器人后处理模块,将运动路径离线程序编译为机器人可执行程序,通过对机器人进行零点标定等初始校准工作,消除虚拟仿真环境与真实物理环境的匹配误差,并在真实物理试验过程中,基于六维力控传感器的力位反馈控制,实现运动轨迹和速度的自适应调整。

4 基于实时数据驱动的仿真平台动态展示

在组件建模、离线编程基础上,添加 socket 通信功能模块,实现仿真平台与试验装置主控软件间的通信交互,实时获取真实环境中机器人、末端执行器、舱门机构的关节角度值,驱动仿真平台中的模型组件执行相应动作,实现真实试验场景到虚拟仿真环境的数据映射,实现可视化动态展示。

当仿真平台需要获取真实关节数据时,发送“get_pos”字符串,主控软件接收后,发送关节位置数据字符串,各关节角度值及字符串标识符“send_pos”通过逗号字符分隔,其格式如下:

send_pos,Axis1,Axis2, Axis3,Axis4, Axis5, Axis6,J1,J2,J3,J4

机器人关节数据 Axis1~Axis6 通过机器人控制器实时获取,舱门机构关节数据 J1、J2 通过安装于舱门内手柄及铰链臂机构上的角度传感器实时采集,末端转动关节 J3 和电爪开合关节 J4 分别通过读取电动转动关节和电动平行抓手的控制器获取。

如图 10 所示,搭建真实试验场景,验证仿真平台的动态显示功能。在仿真平台中增加显示板,解析接收关节数

据并显示,并以接收关节数据驱动机器人、末端执行器、舱门机构动作,实现基于实时数据驱动下的数字化仿真平台的可视化动态展示(图 11)。



图10 耐久性试验真实试验场景图

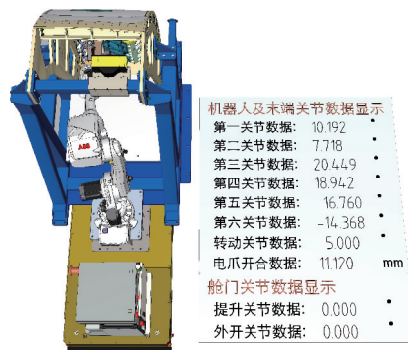


图11 仿真平台动态展示效果图

5 结语

本文深入分析舱门机构以及耐久性试验装置的运动机理,搭建舱门机构耐久性试验数字化仿真平台。该平台具备机器人路径优化、离线编程功能。基于 socket 通信实现仿真平台与试验装置主控软件的通信交互,实现真实物理试验中实时数据驱动下的仿真平台动态可视化展示。结果表明,该套数字化仿真平台可实现试验过程的预演分析与在线作业监控,显著提升了试验流程效率与过程安全性。

参考文献:

- [1] 许清清. 大型客机应急门运动机构仿真技术研究[D]. 南京: 南京航空航天大学,2012.
- [2] 叶梯. 客机侧开式登机门优化设计与分析[D]. 南京:南京航空航天大学,2018.
- [3] 王翰. 基于双目视觉和六维力控的柔顺抓取与装配系统研究[D]. 北京:机械科学研究总院,2019.
- [4] 杜宏祥. 数据驱动的数字孪生模型构建与在线监控应用[D]. 南京:南京理工大学,2019.
- [5] 吴扬,张乐,袁旭冬,等. 飞机舱门开关机构数字化模型构建技术研究[J]. 机械制造与自动化,2021,50(4):136-138,145.

收稿日期:2021-12-03