

焊装手工线自动化机器人 自动岛仿真研究

徐爱武，杨文婧

江铃汽车股份有限公司 江西南昌 330000

摘要：针对焊装车间手工生产线存在的用人成本高、焊接质量稳定性不足等问题，提出了一种利旧手动夹具改造成自动化柔性机器人自动岛仿真流程。通过PDPS仿真，实现了将手动夹具转变为机器人自动岛夹具的改造，同时操作人员也由焊接作业转变为单纯取放件。不仅显著降低了人力成本，更有效提升了焊接工艺的一致性。此外，改造后的机器人自动岛具备多车型批量柔性生产的能力，并预留了后续智能化升级接口，为生产系统的持续优化提供了技术支撑。

关键词：手动夹具；机器人工作站；Process Simulate；人机工程仿真；焊装
DOI:10.16173/j.cnki.ame.2025.06.010

在智能制造技术快速发展的背景下，特别是在高温、高粉尘等恶劣工况以及重复性劳动强度大的生产环节，工业机器人工作站正逐步取代传统人工操作。汽车制造业中，传统手工焊接作业工人需频繁操作重达数十至数百千克的焊钳，不仅劳动强度大，还面临焊接质量不稳定、人工成本居高不下等问题。为此，整车制造企业及配套供应商正积极推进生产线的自动化升级改造，通过引入柔性化智能装备来提升生产效率和产品质量。改造后的单个机器人自动岛可兼容多个车型的零部件及分总成的焊接工作，提升生产线的柔性化水平和提高焊接设备的使用率。在由人工转机

器焊接的改造过程中，增加防错功能降低因错装、漏装导致的返工和报废，提高了焊接质量稳健性，同时降低了员工的劳动强度，提升员工满意度。

本研究运用Process Simulate仿真软件平台，针对焊装手工线进行自动化改造，开展机器人工作站的设计与工艺仿真研究，旨在实现生产效率与产品质量的双重提升，有效降低人力成本与生产支出。同时将旧的手工线夹具资源利用，也降低了新制夹具的成本，为汽车制造行业的转型升级提供技术支撑。此外，研究成果可为同类生产线的智能化改造提供实践依据与参考范式。

人机工程验证

在汽车制造领域，人机工程学（Ergonomics）的实践运用呈现出显著的领域差异性。具体而言，总装车间充分体现了人机工程学的应用价值，焊装车间的机器人自动化工位，部分工位仍需依赖人工取放件。通过构建基于Process Simulate的数字化仿真平台，整合Human模块功能，实现手工夹具自动化的人工上件的虚拟仿真。基于人机仿真分析结果，可有效指导夹具改造设计优化、工艺方案制定及工位规划调整，从而在项目初期识别并解决潜在问题，优化人工取放件姿态，确保现场作业满足人机工程学及安全标准。

在手工线作业过程中，操作人员上件可以是多角度从夹具的各个方位上件，但机器人工位因人机安全问题，需着重考虑光栅识别范围以及和工人与机器人的安全距离。因此，将手工线夹具改造成自动线夹具的时候，需首要考虑人工上件的人机可达性及安全问题（见图1）。如遇到人机仿真验证过程中发现操作人员无法完成工件上件夹紧动作，建议采取以下改进方案：①调整防护围栏为可移动式结构；②优化光栅检测范围或增设安全防护地垫等安全措施。如遇到需要二次上件、二次夹紧工艺的夹具，则需考虑更改工位PLC逻辑、夹具夹紧逻辑或焊接工艺等。

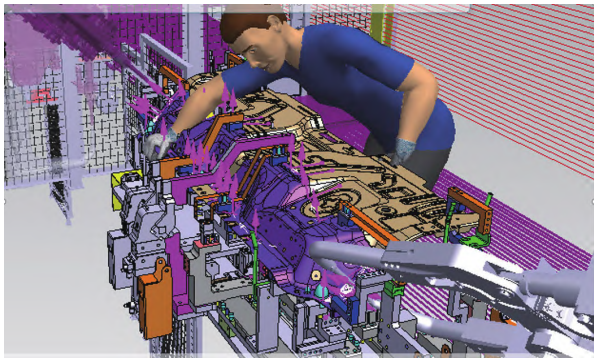


图1 人工上件人机仿真模型

在夹具改造实施后，操作人员从物料框中取出待焊接部件，按工艺流程将工件依次装配至定位夹具，随后作业人员启动气动控制系统，执行夹具夹紧动作，此时柔性焊接自动化单元程序自动执行焊接作业。焊接工序完成后，操作人员再次操作启动控制装置松开夹具，取出焊接完成的工件，该生产节拍循环往复。当进行车型切换时，需将原有车型夹具移出工

位，导入新车型或零件专用夹具并完成定位，同时选择对应的控制程序，即可实现不同车型的连续生产。

焊接可达性验证

机器人的站位、焊枪的选型以及焊枪与机器人的连接方式均直接影响焊接的可达性。通过优化机器人站位及焊枪，如图2所示，确保能够覆盖工位内所有零部件及分总成的焊点，即可确定机器人的最佳作业位置。在手动生产线向自动化柔性改造过程中，通常需要构建多个柔性焊接自动岛，操作人员按工艺流程完成工件装夹后，焊接机器人按照预设的程序轨迹进行周期性自动焊接作业。在满足生产节拍要求的情况下，单台机器人可实现对多套夹具的同步焊接操作。

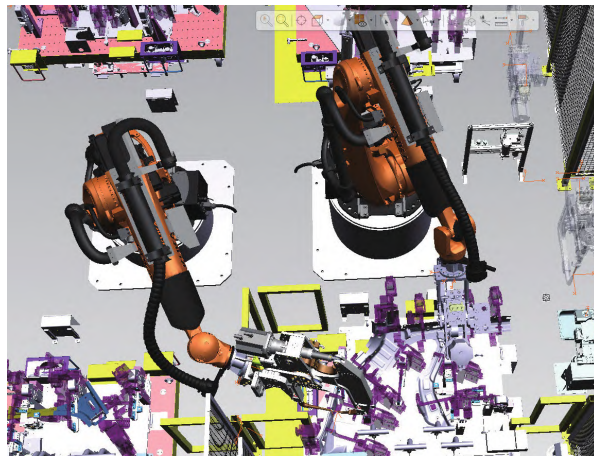


图2 焊接可达性验证

在完成机器人焊接可达性的仿真验证后，须对自动岛内夹具的精确定位进行确定，同时需要将改造后的夹具定位机构相关参数（包括位置信息、三坐标数据等）形成完整的技术文档，并交付给现场执行部门。鉴于机器人焊接工艺对夹具定位精度的严格要求，需对自动岛的夹具定位系统进行结构优化。具体改进措施包括：将原有移动装置中的固定轮和万向轮替换为高精度导向轮；同时针对夹具基座侧定位系统，创新性地设计了与之匹配的地面基准定位装置。该地面定位系统通过X/Y/Z三轴方向约束实现精确定位，如图3所示。精定位装置与夹具侧定位机构的协同配合，有效确保了工装夹具切换过程中的定位精度和重复定位精度，完全满足机器人自动化焊接的工艺要求。

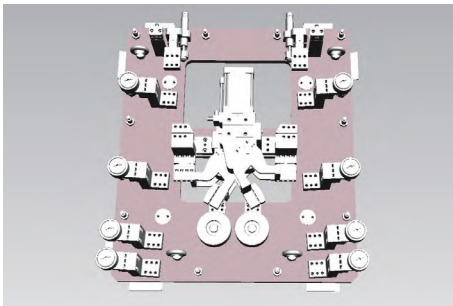


图3 地面地位装置

仿真模型搭建

本研究基于Process Simulate仿真平台，针对手工生产线夹具自动化改造开展仿真分析，以提升制造效能、缩减人力投入、完善工艺方案并保障产品质量。具体仿真环境如图4所示，构建主要包含以下六个环节：

（1）自动化工作站建模 构建包含机器人、焊接设备、安全防护装置及工装夹具等核心要素的高精度三维仿真模型。

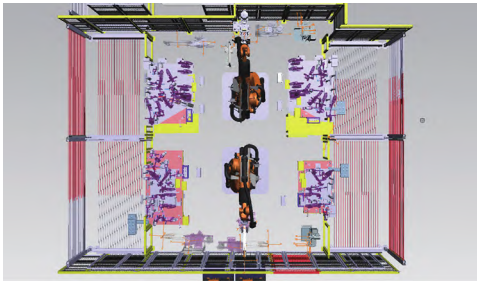


图4 Process Simulate机器人自动岛模型

（2）工艺过程模拟 通过导入焊点坐标数据及零部件数模，确保仿真信息与工艺文件的信息完全吻合，从而保证仿真研究的准确性与可靠性。

（3）夹具机构定义 在Process Simulate仿真环境中载入改造后的夹具三维数模，并设置夹持时间、定位点以及夹具打开角度等关键工艺参数，以实现真实夹具功能的数字化模拟。

（4）机器人轨迹规划 依据焊接工艺，在Process Simulate仿真环境中进行机器人焊接轨迹的设计，同时对机器人、焊枪装置、管线包、换枪盘与夹具系统、安全防护装置等周边设备进行动态干涉检测。基于检测数据对机器人运动轨迹进行迭代优化，确保运行过程无碰撞风险。

（5）工位标准化作业流程（SOP）编制 通过执行机器人运动路径及夹具动作序列，建立完整的工位SOP，验证工位生产节拍与整线产能需求的匹配性。

（6）机器人离线编程 根据SOP优化机器人干涉区、焊接时序等，并依据焊接工艺要求设置焊点信息，输出离线程序给现场机器人调试人员。

仿真验证流程总结

本研究基于Process Simulate仿真平台构建机器人工作站模型，通过数字化仿真技术对人工上件与机器人焊接工艺流程进行模拟验证。完整的仿真验证流程如图5所示。

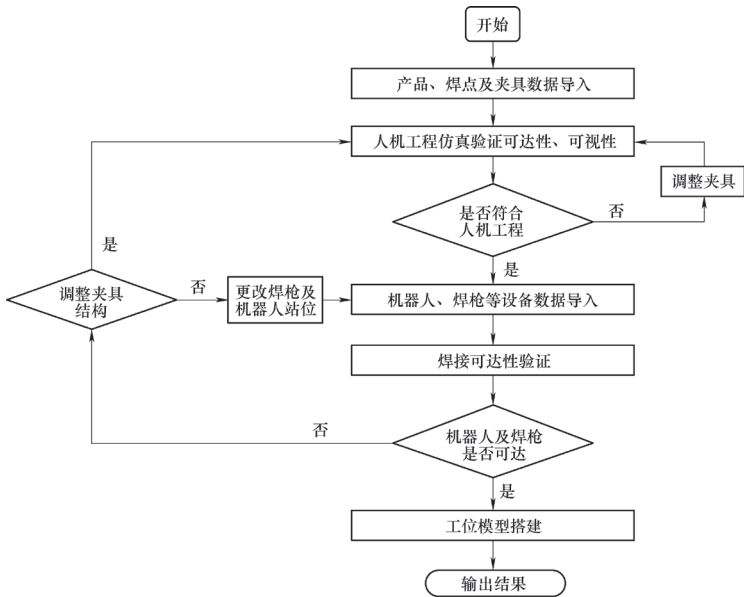


图5 仿真验证流程

（下转第21页）

会导致关联参数失效，需大量手动修复工作。

针对上述不足之处，企业可采取一定的应对策略。在实施方面，可分阶段推进TC-NX集成环境建设，选择部分项目进行试用，积累经验后再全面推广；在人员培训上，制定分层培训计划，针对不同岗位人员的需求设计培训内容，提高培训效果。

对于设计变更问题，可建立WAVE链接规范和变更评估机制，在设计变更前对变更影响范围进行评估，提前规划应对措施，降低手动修复工作的难度和工作量。

结语

本文基于Teamcenter与NX构建了涂装车间自顶向下三维协同设计方法，详细阐述了其模型库构建、

数据共享机制和设计流程并对该方法进行了全面的分析。研究表明，TC-NX自顶向下三维协同设计方法在复杂系统设计和产品全生命周期管理方面具有显著优势，能有效提升涂装车间设计效率，为涂装车间设计提供了新的思路和解决方案。随着信息技术的不断发展，涂装车间协同设计方法有望进一步优化和完善，实现更高效、更智能的协同设计。

参考文献：

[1] 罗明全, 肖志伟, 游和平.浅谈汽车涂装车间工艺设备数字化协同设计[J].汽车制造业, 2024 (1) , 44-46.
[2] 龚正伟, 周广, 邢明星.基于UG的汽车变速器Top-Down设计方法[J].汽车工艺师, 2015 (7) , 71-74. **AUTO1950**

(上接第17页)

首先，将车身数模、焊点分布及夹具三维模型导入仿真环境，进行人工上件过程的干涉检查与人机工程学评估，确保夹具高度等参数符合人体工效学要求。在此基础上，整合机器人、焊枪、管线包及换枪盘等设备模型，进行工作站布局设计，重点验证夹具在上件口的定位合理性，确保机器人可达性并规避焊枪与钣金、夹具及安全围栏等周边环境的潜在干涉风险。在机器人可达性的验证阶段，若检测到夹具结构需要优化调整，则须进行人机工程学的二次评估；若仅涉及机器人站位或焊枪选型的变更，则仅需执行焊接可达性的复核流程。待人机工程学与焊接可达性双项指标均通过验证后，需搭建完整的仿真环境将包含机器人站位、焊枪规格选型、夹具更改三维模型、工位布局规划及工具安装文档等技术文档移交至现场实施部门。

结语

通过实施手工线向自动化柔性焊接岛的升级改造，生产过程中操作人员仅需负责车身部件的上下料工序，而焊接作业则由工业机器人替代传统人工操作，显著降低了作业人员的劳动强度。这种技术革新不仅减少了汽车制造企业及其配套供应商对人工的依赖程度，同时确保了焊接工艺质量的稳定性。在当前制造业智能化转型背景下，整车厂商与零部件企业对

于产线自动化的需求呈现持续增长态势。整车企业开展机器人柔性自动化岛建设改造项目，能够实现多种类分总成及零部件的柔性化生产组合，有效提升生产调度的灵活性，进而优化生产效率并提高焊接设备的综合利用率。

参考文献：

[1] 王贺炳.焊装手动线自动化柔性改造方案[J].时代汽车, 2022 (1) : 152-153.
[2] 曹寅.基于PDPS的白车身焊装生产线改造设计及工艺仿真研究[J].时代汽车, 2024 (21) : 117-120.
[3] 崔久好, 孙承峰.Process Simulate在机器人离线编程中的应用[J].机电工程技术, 2024, 53 (11) : 120-123, 147.
[4] 武扬, 毛中正, 王晓峰, 等.柔性智能制造在装焊车间螺柱焊自动岛的应用[J].设备管理与维修, 2021 (16) : 80-81.
[5] 朱晓虹.工业机器人装配工作站仿真设计[J].电子元件与信息技术, 2024, 8 (11) : 82-84.
[6] 徐刚, 谢薛彬.焊接机器人柔性工作站的总体布局研究[J].中国设备工程, 2024 (13) : 95-97.
[7] 武保同, 王凤奇, 吕朋.人机工程仿真技术在焊装领域的应用[J].汽车工艺与材料, 2018 (5) : 7-9, 14. **AUTO1950**