

基于Process simulate的机器人工位 仿真节拍优化方法

杨文婧，胡杰

江铃汽车股份有限公司 江西南昌 330000

摘要： 焊装工艺是汽车四大工艺中的重要环节之一，同时也是自动化率最高、工艺最为复杂的一个环节。以单个机器人工位为例，基于Process simulate工艺仿真平台构建焊装生产线数字化模型，系统分析工位设备及机器人时序特征，验证各工位节拍，并且通过调整焊接时序、改善机器人路径及优化机器人干涉区实现工位的节拍优化。以上方案以及措施的实施，可有效降低现场设计变更频次，显著提升前期工艺规划质量与产线整体运行效率，优化机器人工位节拍，从而实现生产成本的有效管控。同时为同类型焊装机器人自动化生产线前期规划的节拍验证及优化提供了可借鉴的技术路径，提升企业市场竞争力。

关键词： Process simulate；节拍优化；机器人轨迹；数字化仿真；焊装

DOI:10.16173/j.cnki.ame.2025.07.001

在汽车制造业快速发展的背景下，车身焊接生产线的技术标准不断提升，并且这类生产线具有高度自动化和设备复杂的特点。

生产节拍是指在一定时间内生产的产品数量，工艺规划阶段必须对各工位的生产节拍进行精确测算， $\text{生产节拍} = \text{每一天或一段时间} / \text{每天产出量或一段时间内生产量}$ 。例如：一条汽车生产线要求生产每小时为30件，线体开动率90%，则每个工位每台车节拍 $= 60 \times 60 / 30 \times 0.9 = 108$ （s）。实践表明，生产线实际

运行节拍往往难以达到设计预期，需要投入大量时间进行现场调试优化。而焊接自动化工位主要依赖工业机器人作业，其运行效率直接决定了该工位的生产节拍。因此，若未能精确计算工业机器人的作业周期时间，将造成实际生产过程中机器人运行效率显著低于预期值，从而延长产线节拍优化周期。

本研究选取典型机器人工作站为研究对象，整合车身制造工艺开发流程与数字化产线仿真技术，基于西门子Process Simulate仿真平台开展点焊机器人作业周

期模拟分析，最终提炼出一套点焊机器人工位节拍优化方案，为汽车自动化生产线工位节拍计算与效率提升提供技术指导及优化路径。

模型构建

Process Simulate作为一款专业的工艺仿真平台，在制造业领域主要应用于产线工艺规划阶段的虚拟验证环节。汽车白车身焊装生产线由多个功能各异的工位组成，每个工位配备不同类型的工业机器人和专用工装设备，故在仿真建模过程中，需首先导入包括工装夹具、工业机器人、焊接设备、夹持装置、安全防护系统、修磨设备及旋转平台等多种设备在内的三维数字模型。

随后，需要采集实际产线的运行参数，如焊接点位信息、生产节拍、焊接工艺参数等，并将这些数据转换为仿真软件可识别的标准格式。最终，将处理后的工艺数据与仿真模型进行匹配关联，开展虚拟验证及工艺优化工作。工位模型搭建如图1所示。

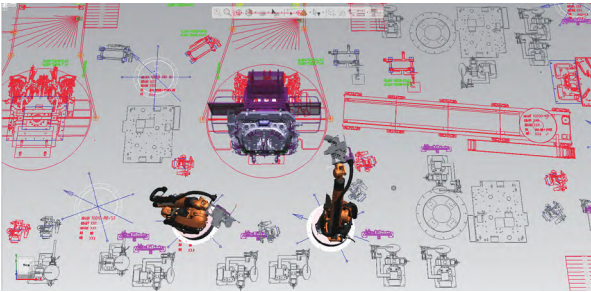


图1 工位布局

机器人轨迹优化

在工业机器人焊接工艺规划中，焊接路径的优化设计是关键性技术环节，其核心在于对实际生产线上机器人运动轨迹的仿真与规划。具体到仿真环境中，当焊点位置在车身零件上完成精确投影后，即可基于这些焊点坐标数据制作相应的机器人焊接运动轨迹。

在焊接路径规划中，不仅涉及焊点间的连接，还需考虑焊枪与车身结构、工装夹具及周边设备的空间干涉问题。为此，通常会在焊点间设置必要的过渡点。而设置的冗余过渡点，会导致机器人执行加减速控制，从而延长运动周期，影响整体生产效率。因此，合理优化过渡点数量，可显著提升机器人作业效率。

通过对路径反复的观察与运行，使用锁轴以及Move to location指令在两个过渡点中间反复跳点，可以删除这两个点之间不必要的过渡点，提升机器人运行效率，提升工位节拍。

路径制作时，应将机器人设置为主要通过Point to Point (PTP) 运动方式来执行焊接路径（见图2）。通过PTP这种运动方式，机器人沿最快的轨迹将机器人的工具中心点位置（Tool Center Position, TCP）移动至目标点，这是耗时最短也是最优化的移动方式。这种运动方式下，时间最优路径往往并非空间最短路径，而是呈现非线性轨迹特征。

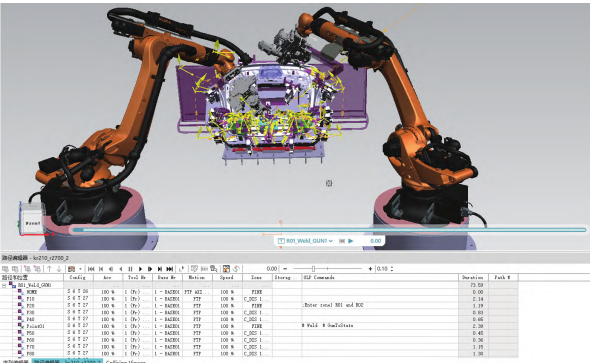


图2 机器人路径编辑器

由于机器人各关节轴进行同步回转运动，曲线轨迹的运动效率通常高于直线轨迹。所有轴的运动同时开始和结束，这些轴必须同步，因此无法精确地预计机器人的轨迹，与线性运动（LIN，沿直线移动）和圆周运动（CIRC，沿圆弧移动）相比，PTP效率最高但路径可控性最低。因此，在保证机器人不与周边干涉的前提下，运行方式都采用PTP会使得其运行效率最高，可提升工位节拍。

工位准作业程序SOP优化

在多设备协同作业的工业机器人工作站中，各类自动化装备的运动轨迹在时空维度上往往存在交叉重叠，各生产单元必须实现精准的协同配合。其中，关键环节在于工序间的有序衔接，这一过程被定义为生产时序规划。通过科学合理的时序优化策略，特别是将传统的串行时序调整为并行时序结构，能够有效避免设备间的运动干涉及等待问题，同时显著提升工作空间的利用率，最终实现整体生产效率的优化提升。

具体而言,需要在Process Simulate构建包含一个工位中机器人运动轨迹和设备动作序列的标准作业程序,以此验证单个工位的生产周期是否满足整条产线的产能要求。

使用“序列编辑器”功能可对一个工位的各种设备的运行时序进行规划,例如有转台和七轴同时运行的工位,在七轴机器人运行到前一个工位取件的同时,该工位的转台可同时运行到焊接位置。同时,两台机器人也可以在时序上错开,通过调整机器人焊点焊接焊点的时序,减少两台机器人运行过程中的相互等待,从而优化工位节拍,如图3所示。

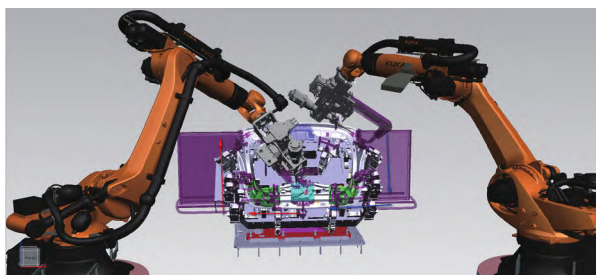


图3 机器人焊接时序

干涉区优化

在焊装生产线上,多机器人的工作空间通常存在重叠区域。机器人各关节在运动过程中存在相互碰撞的风险,这种运动干涉不仅会引发生产安全事故,还会严重影响整条生产线的运行效率。

具体而言,干涉问题主要包含以下四种类型:机器人与工装夹具的干涉、机器人与安全防护装置的干涉、机器人与其他生产设备的干涉,以及机器人互相之间的运动干涉。其中,机器人与夹具等的静态设备的干涉可以通过干涉检查手段进行识别,而对于机器人之间的动态干涉问题,则需要采取调整焊接时序、重新规划机器人站位以及设置机器人干涉区等方法来避免多台机器人同时进入危险区域。

如图4所示,两台机器人在焊接红圈处的焊点时,会发生焊枪之间的干涉,即机器人干涉区产生的原因。减少机器人干涉区内过渡点的数量也可以提升该工位的节拍。

在完成机器人路径规划后,首先运用Swept Volume功能对各个机器人的运动轨迹进行包络计算,生成机器人的包络体,如图5所示。随后通过

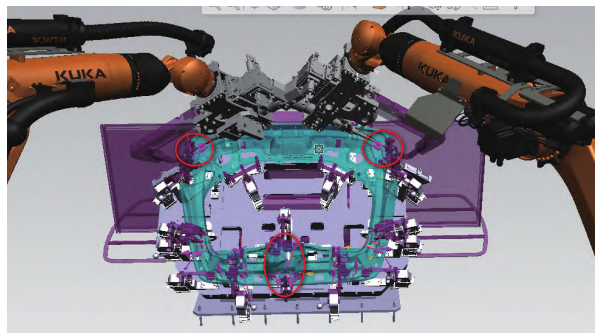


图4 机器人干涉区产生原因

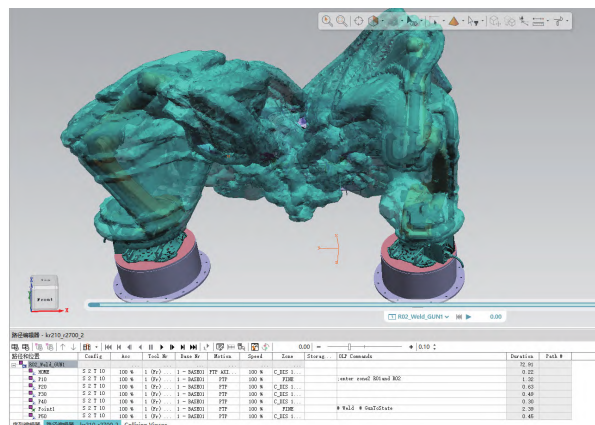


图5 机器人运行轨迹包络

Interference Volume功能对多机器人系统的运动包络进行交集分析, 确定其重叠区域, 即图6所示的红色区域。

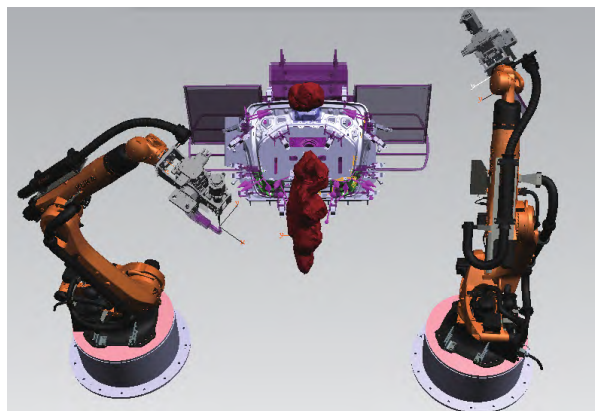


图6 机器人干涉区

值得注意的是,在Process Simulate仿真环境中,这些干涉区域是可视化呈现的,而实际生产现场的机器人控制系统则无法直接显示。为此,现场机器人程序通过预设干涉区前过渡点的方式实现干涉识别。

由于PLC信号传输存在延迟, 机器人进入干涉区时

会出现短暂停顿现象。为提高工位效率，建议在工艺优化过程中尽量减少机器人间的干涉区域数量。图6所示工位机器人的干涉区就优化成了两个，仿真所做的工作即将机器人路径优化，减少干涉区数量，以及缩小干涉区，减少机器人干涉区内的路径点。

结语

在智能制造技术迅猛发展的背景下，汽车焊装生产领域正经历着由传统制造向无人化、智能化方向的转型。随着生产设备复杂度不断提升和工艺流程持续优化，基于数字化仿真技术开展设备节拍优化研究，已成为当前提升汽车制造效率的重要技术路径，这需要建立在扎实的理论研究和丰富的实践经验基础之上。

Process Simulate作为专业的仿真软件，能够精准模拟实际生产线的运行状态，在线体投产前有效计算生产节拍，识别生产流程中的瓶颈环节与优化空间，可通过优化机器人轨迹、调整工位设备运行时序、优化机器人干涉区等措施，显著提升生产线的综合效能。基于仿真技术的预优化设计，可确保生产线在实际运行中达到最佳性能表现。

参考文献：

[1] 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.

[2] 张驰，窦强.多机器人协作中干涉区域设置方法探讨[J].汽车实用技术，2017（3）：57-58.

[3] 曹家勇，吕文壮，唐鼎，等.基于Tecnomatix的汽车前地板焊装生产线的工艺规划及仿真验证[J].机械设计与制造，2021（10）：174-178.

[4] 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.

[5] 秦志刚，张洪亮.汽车焊装生产线节拍分析及优化[J].汽车工艺与材料，2021（8）：57-60.

[6] 杜雨萌，张晓龙，李海南，等.柔性焊接岛的理论模型与仿真分析[J].汽车工艺与材料，2020（11）：19-24.

[7] 宁艳亭，张姗姗，葛卫京.基于PDPS软件的汽车侧围内板焊装线仿真研究[J].汽车工艺与材料，2023（5）：19-24.**AUTO1950**

汽车工艺师 2025年 第7期 广告目次 Advertisement Catalogue

单位名称	查询编号	位置
汽车工艺师		封面
金粉商城	8000	封二
《汽车工艺师》杂志订阅	0001	封三
公益广告	8000	封底
公益广告	8000	25