

自动焊接板件的智能制造仿真设计

刘世堡

广东省机械技师学院, 广东 广州 510450

DOI: 10.61369/TACS.2026030028

摘 要 : 本文论述了怎样应用专业的数字化仿真软件 Process Simulate, 在虚拟环境中模拟焊接过程, 提前发现路径干涉、参数不合理等问题, 减少试错成本, 开展基于该软件的机器人焊接仿真研究。

关 键 词 : 机器人; 仿真; 焊枪

Intelligent Manufacturing Simulation Design of Automatic Welding Plate

Liu Shibao

Guangdong Mechanical Technician College, Guangzhou, Guangdong 510450

Abstract : This paper discusses how to use the professional digital simulation software Process Simulate to simulate the welding process in a virtual environment, find out the problems such as path interference and unreasonable parameters in advance, reduce the trial and error cost, and carry out the robot welding simulation research based on this software.

Keywords : robot; simulation; welding gun

引言

随着汽车产业的快速发展, 消费者对汽车安全性和舒适性的要求日益提高, 汽车板件作为底盘结构的核心部件, 其焊接质量直接影响整车性能。传统手工焊接依赖人工操作, 存在效率低、一致性差、劳动强度大等问题, 难以满足现代化汽车生产线的需求。机器人自动焊接技术通过精准控制焊接参数和运动轨迹, 可实现 24 小时连续作业, 显著提升生产效率和质量稳定性。

一、Process Simulate 软件介绍

Process Simulate 是西门子 Digital Industries Software 公司开发的工业自动化软件, 属于 Tecnomatix 应用套件, 在制造业中应用广泛, 为企业提供了全面的制造过程模拟和优化能力。

工艺仿真与验证: 能创建虚拟工厂环境, 模拟制造过程, 验证设计方案可行性, 提前发现并解决潜在问题, 如在汽车板件焊接前, 模拟焊接过程, 检查焊接路径是否合理、是否存在碰撞风险等。

机器人与自动化模拟: 支持模拟机器人和自动化设备行为, 涵盖路径规划、碰撞检测等功能, 便于设计和调整自动化生产线。在焊接应用中, 可精准规划机器人焊接路径, 优化运动轨迹, 提高焊接效率和质量。

资源优化与调度: 用户利用该功能对生产线资源进行优化配置和调度, 合理安排机器设备、人员和物料, 提高生产效率, 降低生产成本。

虚拟现实支持: 可与虚拟现实技术集成, 使用户在虚拟环境中体验和调试制造过程, 增强对生产过程的直观理解和操作感受, 提升调试效果和准确性。

二、3D 模型设备介绍

(一) 关于 KUKA KR 340 R3330 机器人的介绍

KUKA KR 340 R3330 是一款 6 轴重载型工业机器人, 在重型制造领域应用广泛。其关键优势在于负载能力强、臂展大且定位精度高。

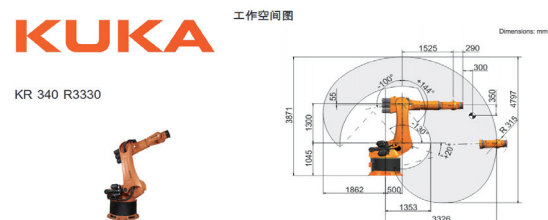


图 1 KUKA KR 340 R3330 机器人

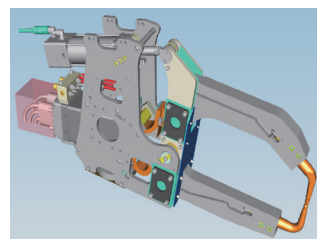


图 2 KR X-Type 伺服焊枪

（二）关于 KR X-Type 伺服焊枪的介绍

KR X-Type 伺服焊枪是库卡（KUKA）专为自动化电阻点焊场景开发的核心设备，依托伺服电机驱动和智能控制技术，显著提升了焊接精度与效率，尤其适用于汽车制造等对焊接质量要求严苛的领域。

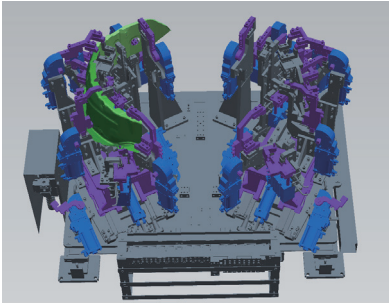


图3 RWH020TL01 工装夹具

（三）关于 RWH020TL01 工装夹具的介绍

RWH020TL01 工装夹具主要用于精准定位和牢固夹紧工件，确保在焊接、装配等操作过程中，工件不会发生位移或变形，保证加工精度和产品质量。例如在汽车车身焊接中，通过此类夹具固定各部件，能让机器人或人工更准确地完成焊接工作，保证车身结构的一致性和稳定性。

（四）关于水气单元设备的介绍

在机器人焊接系统中，水气单元起着关键作用，主要负责为焊枪提供冷却用水和保护气体，保障焊接过程稳定、高效进行。

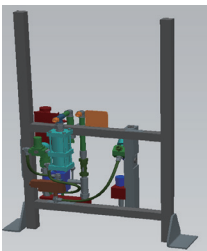


图4 水气单元

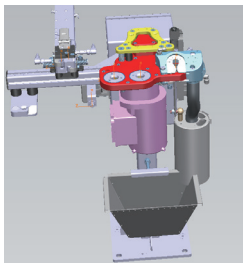


图5 修磨换帽一体机

（五）关于修磨换帽一体机的介绍

汽车焊接中，电阻点焊是常用工艺，电极帽作为点焊电极的关键部件，在频繁使用后，表面会因高温、磨损、氧化等出现损耗，影响焊接质量，导致焊点强度下降、虚焊等问题。修磨换帽一体机就是为解决电极帽损耗问题而研发的设备，可实现电极帽的自动修磨与更换。

三、仿真制作操作流程

（一）更改焊点表格格式

确定目标格式：查阅相关焊接设备或软件的操作手册，明确其规定的焊点表格格式要求，如数据类型（整数、小数、文本等）、列名（焊点编号、坐标、焊接参数等）、分隔符（逗号、制表符等）、文件格式（CSV、XLSX 等）。

图6 调整前的焊点

图7 调整后的焊点

检查原始表格：打开现有的焊点表格，查看列名是否规范、数据类型是否正确、是否存在缺失值或错误值等。检查焊点坐标是否为数值型，若存在文本格式的坐标数据，需进行转换。

调整格式：根据目标格式要求进行调整。若列名不规范，重命名列；若数据类型错误，进行格式转换；若分隔符不符合要求，可通过数据处理软件（如 Excel 的“数据分列”功能）进行转换。对于缺失值，可根据实际情况进行补充或删除处理。

保存表格：将调整好格式的焊点表格以规定的文件格式保存，注意保存路径便于后续查找和导入。

（二）导入板件焊点

操作目的：将产品模型和焊点信息输入到焊接设备或软件系统中，使系统知晓需焊接的产品结构以及焊点位置、参数等，为后续焊接操作提供基础数据。

（1）导入焊点信息：

导入焊点信息：选择已调整格式的焊点表格文件，点击“Import”。系统会自动读取表格中的焊点信息，并与产品模型进行关联，在产品模型上标注出焊点位置，同时记录焊点的相关参数。

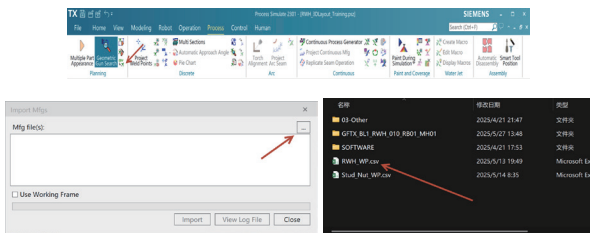


图8 焊点导入的步骤

（2）检查导入结果：

检查产品模型和焊点信息是否准确导入。查看产品模型是否完整显示，焊点位置是否与实际相符，焊点参数是否正确读取。如有错误或遗漏，重新检查数据文件或操作步骤，进行修正后再次导入。

（三）焊点进枪方向调整与焊接可行性分析

首先将焊点加入路径编辑器中

（1）调整焊接姿态：

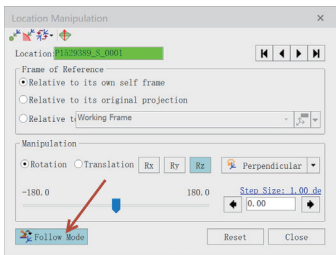


图10 Locations Manipulation 对话框

1) 在路径编辑操作界面中，选择一个焊点作为操作对象。利

用软件提供的三维可视化功能，观察焊枪与产品模型及焊点的相对位置。通过操作软件中的控制按钮或输入坐标值，调整焊枪的位置（X、Y、Z 坐标）和角度（绕 X、Y、Z 轴的旋转角度），使焊枪的电极头准确对准焊点中心，且电极头与焊点表面垂直或满足焊接工艺要求的角度。对于复杂形状的产品，需要对多个焊点的焊接姿态分别进行调整，以确保每个焊点都能得到高质量的焊接。

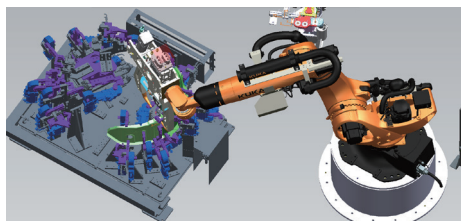


图 11 调整后的机器人姿态

2) 有干涉我们要对机器人的进枪方向进行调整保证机器人的任何部位不会跟 RWH020TL01 干涉，通过 “Single or Multiple” 工具按钮打开相应对话框。

3) 进入 “Follow Mode”，根据机器人和焊枪在焊点位置的姿态及与周边设备的关系，点击姿态调整按钮将焊枪调整到最佳位置。

（四）机器人 home 位设置

（1）机器人 home 位设置要求



图 12 机器人 home 位

1) 机器人在 home 位时，机器人的受力尽可能在本体的中轴线上，尽量不要产生过大的力矩；

2) 机器人在 home 位时，要确保跟其他所有的机器人动作不干涉；

3) 机器人在 home 位时，要能迅速的达到第一个工艺位置，如 抓件，或者焊接，修磨等；

4) 机器人在 home 位时，仿真设置的各轴关节值尽量是整数；

5) 所有车型程序的 home 点，只有一个；

（五）轨迹制作与衔接位要求

轨迹点需连续过渡，避免急停急转。使用软件 “Path Optimizer” 功能自动生成贝塞尔曲线，减少轨迹拐点数量。例如，从 Home 点到焊点的移动轨迹应优先选择 “线性运动”（LIN）而非 “点到点运动”（PTP），以降低机器人关节磨损。

（1）焊点进枪与出枪轨迹设置

确定进枪姿态：对于每一个焊点，首先在焊点位置处确定焊

枪的进枪姿态。利用软件的姿态调整工具，通过旋转和平移操作，使焊枪电极头准确对准焊点中心，并且满足焊接工艺要求的角度（如垂直于焊点表面）。在调整过程中，可以参考软件的辅助线和角度测量工具，确保姿态准确。

记录进枪轨迹点：在确定好进枪姿态后，沿着焊枪接近焊点的路径，在合适的位置添加轨迹点。这些轨迹点应能准确描述焊枪从起始位置平稳移动到焊点位置的过程，并且要避开周围的障碍物。通过软件的路径编辑工具，依次点击添加轨迹点，并调整其位置和姿态。

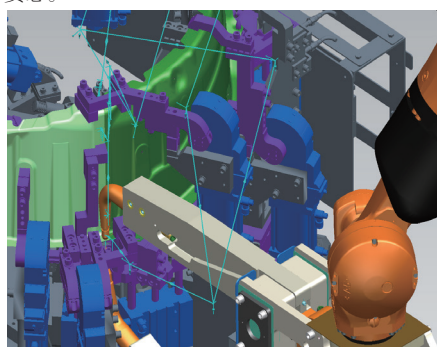


图 13 添加和调整轨迹点

设置出枪轨迹：按照 “每一个焊点怎么进枪的，就怎么出枪” 的要求，复制进枪轨迹的姿态和路径点顺序，反向设置出枪轨迹。即从焊点位置开始，沿着与进枪相反的路径和姿态，使焊枪回到安全位置。在设置过程中，确保出枪轨迹与进枪轨迹的对称性和一致性。

（六）焊点的 4 点法应用

对于同一平面的焊点，使用 4 点法来设置焊枪轨迹。在焊点周围选择四个合适的位置作为轨迹点，这四个点应能确保焊枪在焊点之间平稳过渡，并且满足焊接工艺的要求。通过软件的路径编辑功能，依次添加这四个轨迹点，并调整它们的位置和姿态，形成一个封闭的轨迹路径。在添加和调整轨迹点时，要注意避免与周围的设备或工件发生碰撞。

四、优化轨迹

减少翻枪次数：分析焊点的分布和焊接顺序，通过合理规划焊接路径，尽量使焊枪在不同焊点间移动时，保持相同的姿态或减少姿态的翻转。例如，优先焊接相邻且姿态相近的焊点，减少不必要的翻枪动作。在路径编辑过程中，观察焊枪的姿态变化，通过调整轨迹点的位置和顺序，实现翻枪次数的最少化。

减少进出枪次数：合理安排焊点的焊接顺序，使焊枪在一次进出枪过程中能够完成多个焊点的焊接。通过对焊点进行分组或排序，确保焊枪在一个工作区域内尽可能多地完成焊接任务，然后再进行下一次进出枪操作。在软件中，可以通过模拟焊接过程，观察进出枪的次数和路径，进行优化调整。

缩短避障轨迹：利用软件的碰撞检测功能，识别焊枪在移动过程中可能遇到的障碍物。然后，通过调整轨迹点的位置和路径，使焊枪避开障碍物的轨迹尽可能短。在调整过程中，可以参

考碰撞检测的结果和软件提供的路径优化工具，逐步优化轨迹，确保焊枪能够安全、高效地移动。

五、轨迹验证与调整

碰撞检测：使用 Process Simulate 的碰撞检测功能，对设置好的焊枪轨迹进行全面检测。选择整个焊接轨迹路径，设置碰撞检测的参数（如检测精度、检测对象范围），运行碰撞检测。如果检测到碰撞，分析碰撞的位置和原因，通过调整轨迹点的位置、姿态或重新规划路径，消除碰撞。



图 14 仿真视频

模拟运行：对优化后的焊枪轨迹进行模拟运行，观察焊枪的运动是否流畅、符合工艺要求。在模拟过程中，检查焊枪的速度、加速度是否合理，姿态调整是否自然，焊点的焊接质量是否能够得到保证。如果发现异常，如运动不平稳、姿态调整过大等，对轨迹进行进一步的微调。

重复优化：根据碰撞检测和模拟运行的结果，反复对焊枪轨迹进行优化和调整，直到满足所有的工艺要求和设备运行限制。确保焊枪轨迹既能够保证焊接质量，又能够提高生产效率，同时避免与周围设备发生碰撞。

参考文献

-
- [1] KUKA Robotics. KR 340 R3330 Technical Specifications. 2023.
 - [2] KUKA Robotics. KR X-Type Servo Gun Operation Manual. 2022.
 - [3] 焊接夹具设计规范 JB/T 10118-2013, Welding Fixtures - Design and Manufacturing Requirements.
 - [4] 王华, 刘晓东. 《基于 Process Simulate 的焊接轨迹自适应优化》[J]. 机械工程学报, 2022, 58 (3): 210-218.