

涂胶机器人离线编程仿真技术应用与研究

秦绪祥, 邵艳鸣

(上汽大众汽车有限公司, 上海 201805)

摘要: 以 FANUC 机器人为例, 基于 ROBOGUIDE 仿真软件, 从虚拟仿真工作站的搭建、离线轨迹编程、仿真输出及现场应用等方面对涂胶机器人离线编程仿真技术应用进行论述、探究, 总结了汽车涂胶轨迹程序编制及调试中的应用经验。离线编程仿真技术不但可以验证方案的可行性, 提高编程调试的效率, 同时也可以为涂胶机器人的工艺规划、智能制造、数字化工厂的建设等提供技术支持。

关键词: 涂胶机器人; 离线编程; 虚拟仿真

中图分类号: TQ639 文献标志码: A 文章编号: 1007-9548(2025)06-0064-05

Application and Research of Off-line Programming and Simulation Technology for Gluing Robot

QIN Xu-xiang, SHAO Yan-ming

(SAIC Volkswagen Automotive Co., Ltd., Shanghai 201805, China)

Abstract: Taking FANUC robot as an example, based on ROBOGUIDE, this paper mainly discusses the off-line programming and simulation technology of gluing robot from the aspects of simulation workstation building, off-line trajectory programming, simulation output and on-site application. The application experience in the programming of gluing robot is also summarized. The off-line programming and simulation technology can not only verify the feasibility of the scheme, improve the efficiency of programming, but also provide technical support for the process planning, intelligent manufacturing, digital factory construction and so on.

Key words: gluing robot; off-line programming; virtual simulation

0 引言

如今工业机器人虚拟仿真与离线编程技术的行业应用越来越广, 涉及涂胶、喷漆、焊接、搬运、抛光打磨等方面。工业机器人在线示教编程需要在作业现场进行, 编程时要占用机器人大量的工作时间, 影响生产效益。而虚拟仿真与离线编程不仅可以大大缩短现场编程调试的时间, 还可以实现在线示教编程难以完成的复杂运行轨迹的编程及三维图形的动画仿真, 从而对所编程序的正确性进行验证。目前各大机器人厂商都

推出了离线编程软件, 如 ABB 的 RobotStudio、FANUC 的 ROBOGUIDE 等。ROBOGUIDE 是 FANUC 机器人公司提供的—个仿真软件, 它是围绕—个离线的三维世界进行模拟。该软件能高精度模拟实际的机器人以及周边设备的布局, 能进行离线示教、编程, 模拟运动轨迹, 可以验证方案的可行性, 同时获得准确的节拍时间。

目前, 在汽车生产线上, 涂胶机器人得到了广泛的应用, 主要有车内密封胶喷涂、车内液体阻尼垫喷涂、车底密封胶喷涂、车底抗石击材料喷涂、车身门槛胶喷涂、细密封等涂胶应用。因为不同的涂胶工序对工艺要求的不同, 在进行涂胶轨迹编程时也存在差异, 本文主要以液体阻尼垫(SDM)为例, 对机器人的涂胶轨迹离线编程仿真技术进行论述。

收稿日期: 2024-02-26

作者简介: 秦绪祥(1986—), 男, 硕士, 工程师, 主要从事汽车涂装设备规划及涂装机器人技术应用研究等相关工作。E-mail: qinxuxiang@csvw.com。

1 仿真工作站搭建

1.1 仿真机器人工作站

在三维虚拟环境中布局机器人及末端执行机构、外围设备、工件后，就完成了仿真机器人工作站的建立。可以使用 ROBOGUIDE 自带的模型库导入各个模型，或者使用通用三维软件，如 SolidWorks、UG、Proe 等创建的模型。也可以使用真实机器人备份文件来创建仿真机器人，导入所需的外围设备模型布局后，就建立了与实际现场一致的仿真工作站。

仿真机器人站包括机器人本体、机器人导轨、机器人管线、胶枪系统等，以及需要的外围设备，包括视觉系统、输送装置、安全装置等，如图 1 所示。对于涂胶工作站，首先需要在仿真工作站中添加机器人模型，然后设置机器人导轨的软件参数配置，配置完成后导入导轨三维模型，将滚床、吊具、清枪装置、相机罩壳等模型添加至仿真工作站中。另外，在离线编程时，为了能目视 TCP 的位置，模拟涂胶喷幅状态，需要设置胶枪枪嘴的扇幅模型。根据枪距及扇幅宽度调整扇形大小，使圆锥体能模拟展示出胶扇形，并调整位置至各个枪嘴。

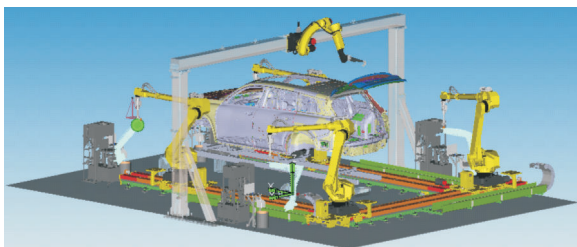


图 1 仿真机器人站

机器人仿真布局与现实实际布局应尽可能一致，制作机器人应用场景仿真工作站的目的之一是为了便于离线编程。仿真工作站的布局与设备现场的实际布局的一致性越高，离线编程输出的程序越准确、所需要的调试时间越短。

1.2 车身数模

工件定义为机器人需要进行作业的物品，能够在表面绘制轨迹自动生成机器人程序。对于汽车涂胶应用而言，工件即为电泳烘干后的车身。车身数模是离线编程仿真的作业对象，高质量的车身数模可以提高编程效率，并提高仿真的有效性。

FANUC 机器人的 ROBOGUIDE 软件支持导入 .STL、.IGS、.CSB (ROBOGUIDE 软件自带) 等格式的数模文件，其中 .STL、.IGS 格式的文件，导入时 ROBOGUIDE 会自动将其转换为 .CSB 格式，也可以使用软件手动转换。车身数模的处理方法：1) 对数模中不必要的部位进行删减、虚化，以保证车型加载后软件流

畅运行，如底板区域的数模，可将内腔发动机舱、门板等位置删除；2) 保留胶条附近的零件，以方便对机器人和车身进行干涉检查。

2 离线轨迹编程

在仿真工作站中，可以使用与实际示教器一致的模拟示教器对机器人进行示教操作，也可以使用自动生成程序功能等方法完成仿真机器人轨迹编程。

2.1 涂胶程序流程

涂胶机器人站涂胶程序工作流程如图 2 所示，首先运行初始化程序，复位干涉区信号、复位工艺设备信号、复位视觉定位系统信号、设定寄存器初始值。然后机器人调用视觉定位程序，视觉定位系统对车身位置进行测量，并将位置偏差传送给机器人；根据位置偏差进行偏移后，机器人按照预先划分好的喷涂区域进行涂胶；涂胶完成后，机器人回到 Home 位。

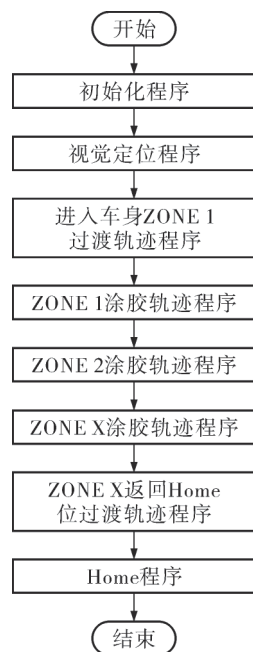


图 2 涂胶程序工作流程

2.2 坐标系定义

2.2.1 设置工具坐标系

工具坐标系是定义了工具中心(TCP)和工具姿态的直角坐标系。正确的工具坐标能保证实际喷涂时，胶条可以涂到准确的位置上，否则，会偏离图纸设计的位置。SDM 工艺使用 3D 胶枪，该胶枪末端可安装 3 个不同方向的喷嘴，枪杆可以跟随机器人六轴转动。在涂胶机器人上，3D 胶枪的每个枪嘴都需对应建立 1 个工具坐标系。各个工具坐标系建立后，只有在编程时准确调用喷嘴对应的工具坐标系才能确保喷涂位置的正确。

工具坐标系的设置方法有三点法、六点法、直接输

入法。在虚拟仿真软件中,因为位置、尺寸都是可以测量的,可使用直接输入法对工具坐标系进行设置。比如,SDM 标准枪距为 50 mm,枪嘴分别为 0°、45°、90°,可根据设计图纸进行计算,将 TCP 数值输入软件中即可。

2.2.2 设置机器人用户坐标系

出于视觉应用和程序镜像的需求,涂胶机器人站的多台机器人之间需要建立一个共同的用户坐标系,通常坐标系原点位于室体中间,以输送前进方向为+X方向,朝上为+Z方向。

实际应用时,使用 TCP 支架,采用三点法示教用户坐标系。仿真工作站中,由于所有尺寸都是可测量的,因此可以采用直接输入数值的方法,完成用户坐标系设置。比如,设置 1 号用户坐标系为共同坐标系,用户坐标系根据机器人中心距,确定坐标系数值,保证坐标系位于室体中心位置,且各个机器人的坐标系方向位置基本一致。

如工作站中有 2 台机器人,且 2 台机器人对称,可先设置左侧机器人 1 号用户坐标系,根据测量的数据直接输入坐标值。再采用同样的方法设置右侧机器人 1 号用户坐标系,注意 Y、R 的值与左侧机器人相反。设置完成之后,检查两者用户坐标系是否重合。激活 1 号用户坐标系,使用左右两侧机器人同时移动到车身同一点,观察坐标值是否一致。

2.3 轨迹区域划分

一款车型轨迹调试,要先了解工艺文件,根据涂胶区域和质量要求,合理划分机器人的工作区域,原则上是尽可能每台机器人均分,机器人的工作顺序尽可能错开,减少干涉区域的等待时间。

以一款 SUV 车型为例,喷涂车身底部 SDM,机器人需要进入车身内腔喷涂,尽量对称划分涂胶区域。划分的依据是机器人进出车身后前窗、前风窗、后盖的位置,尽量保证机器人在车身一侧同一位置完成涂胶作业,避免机器人导轨七轴反复移动,造成不必要的涂胶作业时间。单个工作单元内的机器人尽量避免对称涂胶作业或存在同一区域同时作业的情况。

SDM 作业区域主要分布在车身底板、前后轮罩和前围板,轨迹分区示例如图 3 所示。将车身底板涂胶区域分为 12 个部分,由 4 台机器人共同完成喷涂,分别编写 12 个子程序,方便程序维护及管理。

2.4 涂胶程序编写方法

涂胶应用中,要达到比较好的涂胶效果,建议采用“四点法”进行程序编写。如图 4 所示,每条涂胶轨迹的编写采用四点仿形示教法:接近点(开枪前置点)→开枪点→关枪点→远离点(关枪后置点)。接近点和开枪

点之间的距离推荐 50 mm 以上,远离点和关枪点之间的距离推荐 50 mm,开枪点与关枪点之间可以穿插 N 个示教位置点。动作指令使用直线 L,特殊应用可以考虑圆弧 C 指令。位置数据使用 P[] 存储,特殊位置使用 PR[]。涂胶速度参照工艺应用不同,推荐 SDM 速度范围 300~500 mm/s。定位类型 CNT 建议在 50~100 之间选择,特殊要求位置使用 FINE,保证移动位置的精确性。

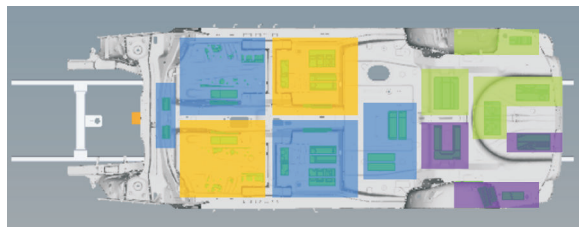


图 3 轨迹区域划分



图 4 四点仿形示教法

2.5 涂胶程序结构

涂胶应用中涉及的程序可分为两大类:主程序和子程序。FANUC 机器人的涂胶程序框架是通过主程序顺序调用子程序完成涂胶过程,其中子程序分为涂胶程序(工艺程序)和非涂胶程序(如视觉程序、初始化程序等)。

2.5.1 涂胶主程序

涂胶程序中的主程序一般包括车型涂胶程序、机器人移动程序、系统功能程序等。FANUC 机器人的主程序采用 PNS 启动方式时,命名为 PNSXXXX,一般从 PNS0001 开始使用。需要注意的是,主程序类型需设置为 JOB 类型,且主程序中不包含动作指令。

车型涂胶主程序一般为上位机远程启用程序,正常生产一辆车所执行的程序,包括启用视觉定位、控制工艺设备、执行仿形轨迹等。另外,机器人系统中还会有机器人移动程序,上位机远程启用程序,主要用于维护保养胶枪、检查机器人本体、机器人降级等操作。还包括系统功能程序、上位机远程启用程序,主要作用是枪嘴排料、测试、清洗等。

2.5.2 涂胶子程序

子程序是主程序直接调用的程序,是具体功能或作用的执行程序。涂胶子程序命名无要求,需要设置程

序类型为 PROCESS 类型,在主程序中使用 CALL 指令顺序调用子程序。

涂胶程序中的子程序一般包括生产模式程序、分区作业程序、进入分区程序、退出分区程序、车型视觉程序、坐标变换程序、工艺参数程序、进入干涉区程序、退出干涉区程序、移动参考位置程序、初始化程序等。其中,分区作业程序用于定义一台车不同区域涂胶的程序。进退分区程序用于定义进入、退出一台车不同区域涂胶的程序。工艺参数程序是根据质量要求(宽度和厚度),自动计算对应的流量、速度和预压值的程序。

2.6 涂胶轨迹离线优化

2.6.1 涂胶角度优化

涂胶机器人仿真轨迹编写时,需要注意涂胶角度,这样编写的离线轨迹才有实际应用价值。如图 5 所示,涂胶角度包括推拉角度、俯仰角度、旋转角度。

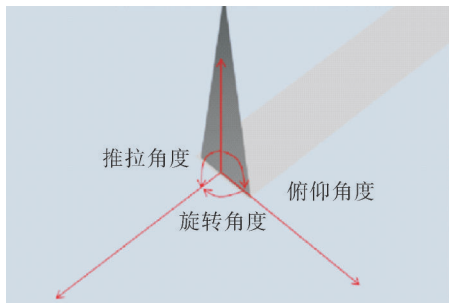


图 5 涂胶角度

推拉角度定义为扇幅与平面在前进方向的夹角,理想状态下枪头应与涂胶表面垂直,即推拉角度等于 90°。实际操作时因为机器人姿态限制,很难达到完全垂直,该角度可以在 30°~90° 进行调整,不建议采用钝角的姿态(即胶枪可以拉着走,不要推着走)。

俯仰角度定义为扇幅与平面在前进方向法向的夹角,理想状态下枪头应与涂胶表面垂直,即俯仰角度等于 90°。俯仰角可以在一定范围内浮动,并且某些应用中合适的偏转角也能增加胶宽,但不宜太小,最好大于 45°,太小会导致胶条一侧堆胶过多,涂胶厚度不均。且俯仰方向需要考虑焊缝所在方向,如图 6 所示。



图 6 涂胶俯仰角度

旋转角度定义为扇幅平面与前进方向夹角,正常

情况下,旋转角度为 90°,在某些情况下,比如需要减小扇幅以避免过喷或者喷涂较窄胶条时,可以改变旋转角度。

2.6.2 涂胶节拍优化

离线编程时,对于涂胶节拍的评估及优化,主要从以下 3 方面着手:1)平均分配工作量;2)合理安排涂胶顺序;3)优化涂胶速度,尽量使用 CNT80 以上的定位类型,使机器人涂胶速度均匀。

2.6.3 特殊部位编程技巧

1) 曲线/弧形涂胶

在弧形胶条涂胶作业时,一般不直接采用圆弧动作指令,而采用多个直线动作指令,拟合出弧形的效果。如图 7 所示,如在后备胎槽区域进行 SDM 喷涂时,圆弧胶条可采用多个直线动作指令进行拟合的方法进行喷涂。

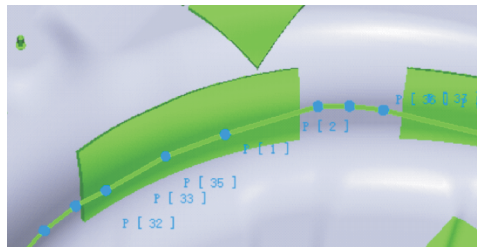


图 7 弧形涂胶胶条

2) 深沟内侧

在车身内腔很多区域空间狭小,胶枪很难以理想的枪距靠近作业区,这时就需要调整喷涂角度完成喷涂。如图 8 所示,示教深沟内侧时,需要使用较近的枪距,以比较大的涂胶角度进行涂胶作业。

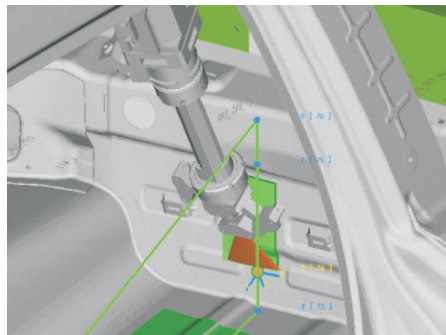


图 8 深沟内侧涂胶

3 仿真输出及现场应用

3.1 程序仿真输出

通过虚拟仿真,可以对机器人程序进行动作轨迹检验、流程逻辑检测、干涉碰撞检测、循环时间测算等。程序编写完成后,可以通过示教器运行程序,也可以模

拟自动运行程序。模拟自动运行程序能准确输出程序节拍时间、准确展示机器人实际运行轨迹,且该离线程序可以直接导入现场机器人使用。也可以进一步录制运行视频,将仿真效果输出,直观地呈现设计意图,用作方案展示。

3.2 离线轨迹应用于现场

在涂胶应用中,做离线轨迹导入、降级调试、双线程序互拷等操作时,由于安装误差、用户坐标系及工具坐标系误差等原因,如果直接导入程序,实际涂胶轨迹会存在较大偏移,后续调整工作量大。

离线仿真软件提供了程序偏移功能,例如 ROBOGUIDE 软件中的 Program Shift 功能是使用工件上的一点或三点作为基准,校正轨迹程序的方法。使用该功能,对程序校正后再导入,能基本满足涂胶精度要求。

4 结语

离线编程仿真技术在涂胶工艺中有着广泛的应用。在方案设计阶段,可以用来仿真涂胶工位布局,还可以用来做机器人的可达性分析,检查涂胶困难区域等。在工艺评估时,可进行机器人离线轨迹的编写,评估涂胶顺序的最优化以及节拍时间。在现场调试时,可以将离线程序导入到现场的机器人中做进一步的现场调试优化,还可以提前在仿真环境中进行机器人降级

方案设计。在生产过程中,通过离线仿真软件,可以离线优化机器人程序,减少停线时间。

本文总结的应用经验,为今后更加深入地利用好涂胶机器人离线仿真技术提供了参考依据。离线编程仿真技术不但可以提高编程调试的效率,减少在线调试时间,同时也可以为涂胶机器人的工艺规划、智能制造、数字化工厂的建设等提供技术支持。

参考文献:

- [1] 高建森,黄尚伦.基于 ABB 机器人涂胶系统的应用探究[J].中国设备工程,2021(8):126-128.
- [2] 肖高.基于 ROBOGUIDE 软件的机器人离线编程研究[J].机械制造,2021(12):17-19.
- [3] 王泽龙,潘雷亮,王圣男,等.涂胶机器人涂胶轨迹离线编程仿真技术应用探究[J].汽车工艺与材料,2019(11):16-19.
- [4] 何佳龙,冷锐哲,田海龙,等.基于 Roboguide 的工业机器人工作站设计与仿真[J].实验室研究与探索,2023(4):118-122.
- [5] 姚贵昌,段方高,陆宗学,等.基于 Roboguide 平台的 FANUC 机器人虚拟现实技术在工业生产中的应用[J].机械工程师,2014(1):60-63.
- [6] 张明文.工业机器人离线编程与仿真[M].北京:人民邮电出版社,2020.



《现代涂料与涂装》征稿启事

征稿范围:

- ★ 涂料涂装行业关键核心技术自主创新及进口替代进展
- ★ 最新涂料涂装政策、标准解读及应对措施
- ★ 环境友好型涂料及特种功能型涂料的研发及创新应用
- ★ 涂装行业 VOC 源头控制、过程管理、末端治理技术及设备,涂料涂装废水处理技术及设备
- ★ 涂料涂装行业安全生产管理创新
- ★ 传统制造业(汽车、工程机械、轨道交通、船舶)、战略性新兴产业和新型基础设施涂装智能化及新工艺、新材料和新设备

征稿要求:

- (1) 来稿涉及技术保密问题需通过作者单位审查;来稿请注明作者单位(中英文)、地址及邮编。
- (2) 请勿一稿多投,如欲改投,请提前告知本编辑部。稿件收到后即发回执,稿件一经刊发,即按规定付给稿酬,并赠送期刊 3 本。
- (3) 稿件要求内容新颖、主题明确、逻辑严谨、文字精炼、格式规范、数据真实,全文字数不少于 5 000 字,相似度不高于 15%,附 200 字左右的摘要并列关键词(3~8 个)及相应的英文。
- (4) 稿件一律采用法定标准计量单位名称和符号。
- (5) 文章标题以 3 级为限,文题简洁,表格一律为三线表,文中插图要清晰。
- (6) 参考文献勿省略,置于文末,并在文中注明序号、排好次序。

投稿方式:

请访问现代涂料与涂装官网(<https://xdtlytz.magtechjournal.com>)进行在线投稿。



期刊网站