

新车型喷漆机器人编程调试介绍

吴园园¹, 唐晓玲¹, 侯 峭², 李 轶¹, 陈进方¹

(1.南京汽车集团有限公司,南京 210061; 2.上海汽车集团股份有限公司乘用车分公司,上海 201804)

摘要: 喷漆机器人离线仿真编程技术极大在提高了喷漆调试工作效率,也是提升油漆外观质量的极好工具。本文系统介绍了新车型喷漆机器人的离线仿真编程技术,包括 3Donsite 软件界面介绍、编程语言指令介绍、刷子表设置、不同机器人布局下的仿形规划、各种仿形轨迹类型的优缺点、现场示教和车身测量等,并列出了编程调试各个环节的操作要点。

关键词: 喷漆机器人; 离线编程; 仿形

中图分类号:TQ639 文献标志码:A 文章编号:1007-9548(2025)11-0057-06

Introduction to Programming and Debugging of New Vehicle Painting Robot

WU Yuan-yuan¹, TANG Xiao-ling¹, HOU Qiao², LI E¹, CHEN Jin-fang¹

(1.Nanjing Automobile Group Co., Ltd., Nanjing 210061, China;

2.SAIC Motor Passenger Vehicle Co., Ltd., Shanghai 201804, China)

Abstract: The painting robot off-line programming simulation technology improved work efficiency of painging commissioning work, it is also a good tool of improving paint appearance quality. This paper systematically introduces the off-line simulation programming technology of new vehicle painting robot, including 3Donsite software interface introduction, programming language instruction introduction, brush table setting, profiling planning under different robot layouts, advantages and disadvantages of various profiling trajectory types, on-site teaching and body measurement. The operation points of each link of programming and debugging are listed.

Key words: painting robot; off-line programming; profiling

0 引言

汽车制造业,机器人喷漆相比人工喷漆有着诸多优点,机器人在高污染环境作业,解放了劳动力,极大地提高了劳动效率,也可有效避免人为的不稳定因素对喷涂效果的影响。喷涂机器人的仿形编制和工艺设定尤其重要,直接影响油漆车身的质量。本文以杜尔喷涂机器人 EcoRP E033 系列为例,介绍新车型仿形程序的编制和工艺参数的设定。

1 软件介绍

3Donsite 是由 Dürr Systems GmbH APT 开发的一

个可视化及编程软件,可以根据机器人程序和相应的过程数据参数的输入值,进行三维形象显示、生成和编辑。

3Donsite 可以通过以太网直接与一个或多个机器人控制器进行通信。保存在机器人控制器 flash card (闪存卡)中的机械装备数据、程序文件和过程数据表均可在线读取,并通过下载进行更新。

3Donsite 提供了便捷易用的工具进行离线和在线编程以及三维浏览。可以将喷漆车身和机器人雾化器的三维图装载到图形窗口中。

3Donsite 3.0 软件界面见图 1 所示。

程序树中各程序用途如下所示:Diagnostic 研磨, Measure 测量模拟, Process 测试工艺, Vermess 车身测量, Winmod 功能测试, Fixpos 固定位, 其余 AS22、AS33 为车型程序。

收稿日期:2024-06-05

作者简介:吴园园(1984—),男,本科,工程师,主要从事喷漆机器人的程序调试、油漆外观质量调试等工作。E-mail:wuyuan@saicmotor.com。

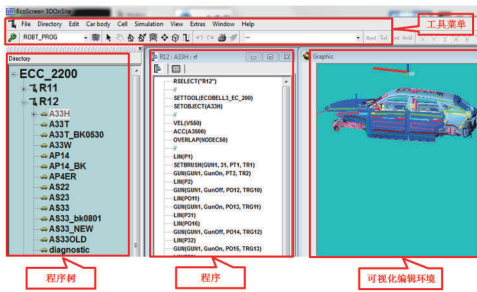


图1 3Donsite 3.0 软件界面

2 编程常见指令介绍

2.1 PTP 指令

PTP 指令:Point to point, 机器人以点对点方式移动;在轴坐标系下使用,见图 2 所示。

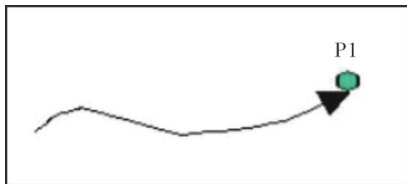


图2 PTP 移动图示

2.2 LIN 指令

LIN 指令:用于路径上的线性驱动;在工件坐标系下使用,可用于输送链跟踪,见图 3 所示。

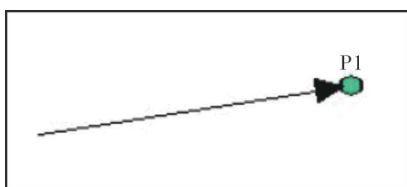


图3 LIN 移动图示

2.3 其他指令

VEL: 速度;ACC: 加速度;SET OBJECT: 设置工件;SET TOOL: 设置工具;CALL: 调用;TRACKING: 跟踪;RECEIVE_ORDER: 接收命令;SET_ORDER: 设置命令。

2.4 系统文件说明

文件名后缀含义:tt=teach text;tip=teach in program;tid=teach in data。TID 文件中,行前端带* 的表示程序在使用,无* 的表示在程序中已删除;TID 文件层次级别由低到高依次为:program→project→system;Global Vars:全局变量;“//”表示此行为注释行;RGB:代表 XYZ 轴。

3 车型喷涂和开门程序解读

3.1 喷漆机器人程序示例(tracking)——main 主程序

RSELECT("R11") 选择 R11 机器人

- SETTOOL(ECOBELL3_EC_200) 设定喷涂工具
- SETOBJECT(AS33) 设定工件坐标
- ACC(A3500) 设定加速度
- OVERLAP(NODEC100) 设定转弯角度
- CALL Home() 调用回 home 位程序
- CALL prepos() 调用等待位程序
- WAIT_CONVEYOR(1151) 设定等待输送运动距离
- TRACKING(On) 开始跟踪
- CALL fh() 调用发动机盖喷涂子程序
- WAIT_PAINTPOSITION(1100) 设定起喷输送位置
- CALL ap() 调用 A 柱喷涂子程序
- IF GET_VARIANT (BigSunRoof) THEN 判断是否为天窗车型
- SET(Collision1, High) 设定防碰撞
- RECEIVE(Collision1, High) 判断是否碰撞
- WAIT_PAINTPOSITION(1500) 设定起喷输送位置
- CALL sunroof_1() 调用天窗喷涂子程序 1
- WAIT_PAINTPOSITION(2000) 设定起喷输送位置
- CALL sunroof_2() 调用天窗喷涂子程序 2
-
- WAIT_PAINTPOSITION(3500) 设定起喷输送位置
- CALL tl_1() 调用后盖喷涂子程序 1
- WAIT_PAINTPOSITION(4200) 设定起喷输送位置
- CALL tl_bracket() 调用后盖喷涂子程序
- TRACKING(Off)
- TRACKING(Finished) 结束跟踪
- CALL Home() 调用回 Home 位程序
- RDESELECT("R11") 释放 R11 机器人

3.2 开门机器人程序示例(stop & go)——main 主程序

- RSELECT("D12") 选择 D12 机器人
- SETTOOL(TOOL_PIN_30) 设定喷涂工具
- SETOBJECT(AS33) 设定工件坐标
- ACC(A3500) 设定加速度
- VEL(V900) 设定速度
- OVERLAP(FINE_0) 设定转弯角度
- SET_POSCODE(RearDoorL, Delete) 删除位置记录
- PTP(DHOME) 回 home 位
- PTP(PWAIT) 到等待位
- IF RECEIVE_PARTORDER (R12,R13,RearDoorL,Full Open) THEN 判断是否收到 R12和 R13 机器人发出的车门打开指令通知
- SET_POSCODE(RearDoorL, Delete) 删除位置记录
- CALL RD_FC_FO() 调用开门子程序
- SET_POSCODE(RearDoorL, FullOpen) 记录全开位置

```

IF RECEIVE_PARTORDER(R12,R13,RearDoorL,Full-
Close) THEN          判断是否收到
R12和 R13 机器人发出的车门关闭指令通知
SET_POSCODE( RearDoorL,Delete) 删除位置记录
CALL RD_FO_FC()      调用关门子程序
SET_POSCODE( RearDoorL,FullClose)记录关门位置
END_IF              结束判断
END_IF              结束判断
ACC(A3500)          设定加速度
VEL(V1000)          设定速度
PTP(DHOME)          回 home 位
RDESELECT("D12")   释放 D12 机器人
    
```

4 新车型编程调试

4.1 调试流程

调试流程：离线编程→车身测量→现场示教→干式仿形→湿式仿形。

4.2 前期准备工作

车身数模准备：技术中心提供的车身数模一般是 product 文件，包含了白车身的的所有零部件，外喷机器人站一般不需要底板、内板数据，内喷站机器人一般不需要底板数据，所以需要删除不需要的数据，另存为 WRL 格式文件。

4.3 离线编程

离线编程定义：使用机器人编程软件，在电脑中编制喷漆程序，不需要到车间现场即可进行的工作。

4.3.1 仿真编程环境配置

一般是通过导入生产现场备份的方式，自动生成机器人工作站，备份中包含了机器人布局、输送链速度等所有配置参数，导入方法见图 4 所示。

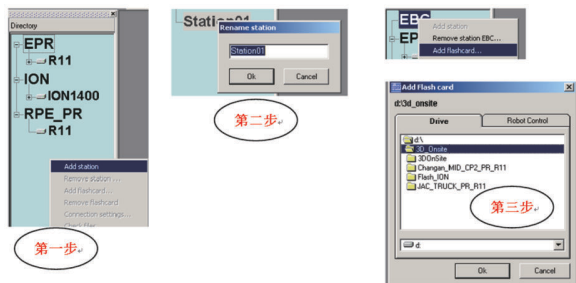


图 4 仿真编程环境配置

第一步：在 3Donsite 界面程序树空白处，右击空白区域新建工作站(Add Station)；

第二步：输入工作站名称，比如 BC、CC 等；

第三步：添加 Flash Card，有两种路径，选一个即可；路径 1:Drive 本地磁盘连接；路径 2:Robotcontrol 输入 RPC IP 地址后自动显示。

4.3.2 机器人分工规划

分工规划原则：每台机器人的喷涂区域分配与工作站喷漆机器人的布局有关，总体分配原则是每台机器人的工作量和节拍时间均衡，并尽可能地减少雾化器积漆；一般是水平面和立面分别分配不同的机器人喷涂。

常见机器人布局见图 5 所示。

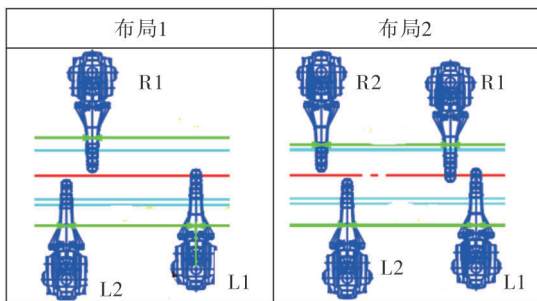


图 5 机器人布局

布局 1 分工:L1 机器人喷涂水平面,L2 机器人喷涂左侧立面,R1 机器人喷涂右侧立面；

布局 2 分工:L1 机器人喷涂水平面左边一半和上侧围,L2 机器人喷涂左侧立面,R1 机器人喷涂水平面右边一半和上侧围,R2 机器人喷涂右侧立面。

4.3.3 仿形路径规划

不同仿形轨迹类型优缺点比较见表 1 所列，不同喷涂顺序优缺点比较见表 2 所列，不同走枪方向比较见表 3 所列。

根据项目经验:Tracking 生产线一般选择仿形轨迹类型 1，喷涂顺序选择立面从车身下部开始起喷的方式，可以避免机器人喷上侧围时发生碰撞干涉的问题，走枪方向一般选择与机运平行的方案；Stop&go 生产线一般选择仿形轨迹类型 1，喷涂顺序先上后下和先下后上均可，走枪方向选择平行或垂直均可。

4.3.4 Path pitch 设计

Path pitch 定义：相邻仿形轨迹之间的距离，见图 6 所示。Path pitch 计算公式为：Path pitch=喷幅宽度/叠加次数；叠加次数=喷幅/喷涂轨迹距离；叠加次数=1/(1-叠加率)。

4.3.5 路径编程

3Donsite 可以用作离线编程工具，以生成新的喷漆轨迹。为此，必须激活一个程序，并调用到图形窗口中。喷漆轨迹的轨迹点将被自动定义为 LIN 点。新的喷漆轨迹只能从现有模块中的前一个 LIN 点产生。这表示现有模块的最后一个 LIN 点是新轨迹的起始点。

为了进行准备，可以对一个现有的模块进行拷贝和重命名，然后可以删除所有不需要的轨迹点和触发

表 1 不同仿形轨迹类型优缺点比较

项目	类型 1	类型 2	类型 3	类型 4
节拍(喷涂时间)	短	短	长	长
膜厚均匀性	轨迹间漆稍薄,但可通过加轨迹解决	轨迹变向外部漆薄,内部漆稍厚	三角形的改善,相当于在边缘加了轨迹,可一定程度改善漆薄	膜厚均匀性最好
机器人变向	一般	一般	变向多	变向很多
相同节拍内 TCP 速度	一般	一般	高	很高
机器人磨损	一般	一般	大	最大
轨迹点	一般	一般	多	最多
程序占内存	一般	一般	高	最高
应用场合	喷漆机器人广泛使用	往复机	汽车行业较少	3C 产品,汽车行业较少

表 2 不同喷涂顺序优缺点比较

项目	立面从车身下部开始起喷	立面从车身上部开始起喷
污染性	当旋杯喷到该道轨迹时,正好处在上一道的漆雾中,有小部分掉落在外加电八爪上,内加电则是成型空气罩上	当旋杯喷到该道轨迹时,正好处在上一道漆雾的下方,有大部分掉落在外加电八爪上,内加电则是成型空气罩上
对湿膜影响	当旋杯喷到该道轨迹时,上一道漆雾会有部分落在已喷的湿膜上,轻微影响工艺质量	当旋杯喷到该道轨迹时,上一道漆雾全部反弹,不会再到湿膜上

点,从而只留下一个点,用作所要创建的喷漆轨迹的起始点。

表 3 不同走枪方向比较

项目	平行机运方向	垂直机运方向
轨迹跟踪	不受机运影响	机器人每个轨迹点有跟踪功能,可保持轨迹一致性
工艺质量	相同	相同
喷涂边界	如果喷涂边界宽且机器人手臂长,则采用平行方式,可减少喷涂时间	如果手臂较短,则采用垂直方式

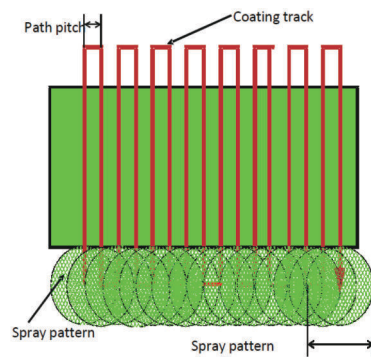


图 6 Path pitch 示意

1) 路径编程操作步骤

第一步:在菜单栏选择 CarBody→load Car Body, 导入车型数模;

第二步:在车身数模上点击右键,选择“通过点击车身加入点”可以示教轨迹点,见图 7 所示;

第三步:车身所有仿形轨迹点添加完毕后,需调整机器人各轴姿态,优化枪速,设置等待位置,使机器人运行过程平滑,姿态无过大波动;

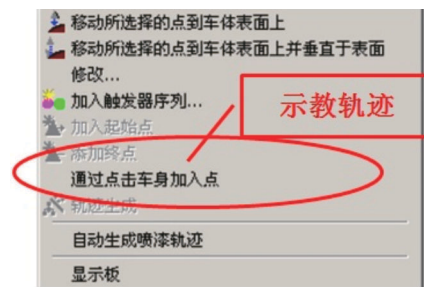


图 7 轨迹点示教

第四步:选中仿形轨迹,右键点击可添加刷子;

第五步:在菜单栏选择“simulation”模拟机器人自动运行。

图形编辑器一方面用于喷漆轨迹,轨迹点及触发点的三维演示,另一方面用于对新的喷漆模块进行处理和编程。为了获得图形支持,可以在图形编辑器中调用喷漆对象和机器人工具(雾化装置)的三维图形,见图8所示。

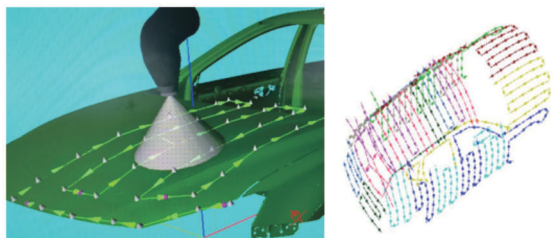


图8 图形轨迹编辑

在“编辑”菜单或弹出菜单中,可以激活编辑功能;根据当前的状态,例如选中一个或是多个点,或选中的是气刷触发器、喷枪触发器或是轨迹线,将对可能进行的撤销/重复动作以及某些菜单项进行启用或锁定;

添加轨迹点、气刷触发器、喷枪触发器这一功能,可以在选中的轨迹段的中间(2个轨迹点之间的连线)添加一个新的轨迹点、气刷触发器或喷枪触发器。第7根轴(如果存在的话)的位置和方向将通过计算两个相邻的轨迹点的平均值而得出。

如果添加一个喷枪或气刷触发器,便会显示一个参数设置对话框,在其中可以设置命令的参数:喷枪编号,喷枪开/喷枪关和/或喷枪编号,气刷编号的参数。

2)仿形添加喷涂刷子要点

喷枪选择:选择 GUN1,GUN2、GUN3 不是喷涂用途;

喷枪指令:GUN ON 开枪;GUN OFF 关枪;

刷子指令:SETBRUSH;包含参数:马达转速、成型空气、流量、高压;

添加刷子:在轨迹上点击右键可选择添加指令;

仿形轨迹:细线:GUN OFF;粗线:GUN ON;白线:马达空转;

在喷涂路径上增加刷子点,先增加触发点(SET BRUSH),再增加开枪指令(GUN ON);

键盘上的“+、-”调整枪和刷子在轨迹上的位置,按一下键调整 1 mm。

刷子编辑快捷键:CTRL+B;

油漆组 color group:系统可以把性能相近的油漆归为一个组,方便管理。

SETBRUSH 设置图解见图9所示。

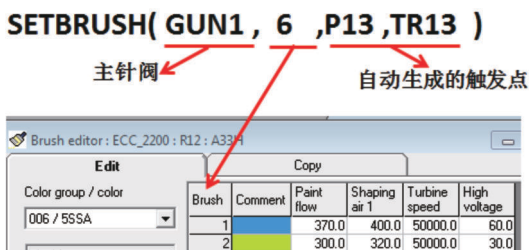


图9 SETBRUSH 参数含义图解

4.4 车身测量

车身测量原理:车身放到喷房内,机器人雾化器前端安装标准探头,使用示教器操作机器人,使探头接触车身表面特征孔,采集坐标数据,与利用机器人编程软件在数模上相同特征孔测量的坐标值进行比较,以计算出工件坐标系相对于喷房中世界坐标系的偏移量,用于车身的输送链跟踪。

工件坐标测量步骤如下所示。

步骤 1:使用示教器,在车身上不同的位置示教取坐标值,一般选取模具定位孔位置,左右至少各选取 4 个;

步骤 2:在 3Donsite 软件中,打开车身数模,在与上步相同的位置示教取坐标值;

步骤 3:打开 3Donsite 软件中的测量工具,加载上步示教取的值,去除偏差较大的点,记录自动计算出的差值;

步骤 4:打开转换窗框,输入差值,自动转换工件坐标值。

4.5 现场示教

现场示教定义:车身放到喷房内,用示教器手动运行单台机器人程序,检查有无干涉点等异常程序问题,然后所有机器人联动示教,同时运行机器人程序,检查程序的合理性。

HMI:人机界面,即示教器,见图10所示。

4.5.1 示教控制模式

T:Trigger, 触发器指令;V:向前运动;R:向后运动;C:T2+模式;上述指令需先运行一段完整指令后才可执行。

4.5.2 示教器重启方法

1)在 SCMP 柜拔掉插头重新插上;

2)在示教器面板上,同时按下:User 键+! 键+V+ 键;

手动操作机器人说明见表4所列。



1 紧急停止按钮；2 用于触摸屏操作的勾选笔；3 状态显示区域；4 移动区；5 状态LED；6 功能块；7 钥匙开关；8 客户特别分配的按钮和功能键，用于控制机器人

图 10 示教器

表 4 手动操作机器人

机器人轴	“+”方向	“-”方向	角度范围/(°)
1 轴	输送链前进方向	输送链后方向	±90
2 轴	向上运动	向下运动	-100~+60
3 轴	向上运动	向下运动	-75~+80
4 轴	右手定则四指方向	右手定则四指反方向	±720
5 轴	右手定则四指方向	右手定则四指反方向	±720
6 轴	右手定则四指方向	右手定则四指反方向	±720
7 轴	输送链前进方向	输送链后方向	取决于链长

4.5.3 示教器操作步骤

操作站面板打到 T1 模式→示教器选择机器人连接→转动钥匙→清除错误报告→打开 program→打开 program 界面→关闭 global 并重新 Load→刷新 refresh→Load 目标程序→选择模式单步 step 或连续 cont→更改速度，左手持示教器按下使能健，右手按住 Start 按钮，即可运行程序。

操作界面见图 11~12 所示。

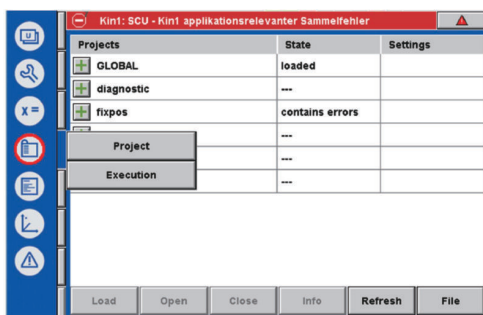


图 11 Project 界面,项目选择

4.5.4 机器人仿形现场示教要点

1) 仿形轨迹在转弯点前后需各有一示教点，给转弯预留姿态调整的时间与距离；

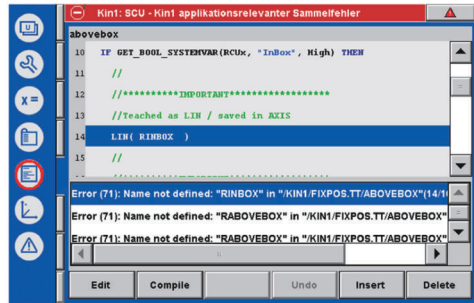


图 12 Program 界面,程序执行

- 2) 七轴:七轴尽量不要有位移,特别是在转弯时;
- 3) PTP 点:轴坐标下,角度过大时,可偏移 360°;
- 4) 示教器和 3Donsite 软件不要同时打开同一程序,防止出错;
- 5) 在 Extras 菜单下,可以清除不需要的数据点,并把所有的点按顺序重命名;
- 6) 奇异点:4、6 轴平行,5 轴在 0 位时,此点叫奇异点,机器人无法运动;
- 7) 奇异点避免方法:编程做轨迹时,手轴与 3 轴成一定角度,即手轴弯曲状运动;
- 8) 运行轨迹要无碰撞风险,内喷预留 2 cm 以上的安全空间;
- 9) 仿形轨迹覆盖车身完整无漏喷;
- 10) 机器人等待点设置合理,设置偏小时,如刚起喷就遇到输送链急停,机器人继续喷涂会造成超限位报警;设置偏大时,机器人等待时间过长,浪费节拍时间;
- 11) 造型曲面变化较大的地方,要保证各区域枪距均匀一致,一般为 20~25 cm;
- 12) 开门机器人刻度盘要达到 5°以上,力度才可以,在 5°~7°为宜。

4.6 干式仿形和湿式仿形

干式仿形:做机器人 Ghost 模拟时,关闭雾化器,此时不需要调用刷子表;仅仅验证仿形轨迹的合理性;湿式仿形:即带漆模拟,做 Ghost 模拟时正常出漆,如果模拟过程中出现刷子表无参数报警情况,可以添加参数后复位,即可继续运行,也可以关闭雾化器使机器人继续运行。

5 结语

喷漆机器人编程调试,是软件和硬件相结合的调试,工作开始前需做好充分准备,如调试车身准备,喷房机运正常运行,机器人故障消除,车型生产节拍确认等;最重要的是调试过程中的安全事项,如机器人程序逻辑的设置要防止机器人与机器人碰撞,防止机器人与车身碰撞;同时要注意观察喷房进出口,防止机器人运行时有人闯入。