

关于喷涂机器人起喷距离标准化设定的研究

李 雷, 甘正升, 高文化

(奇瑞汽车股份有限公司, 安徽 芜湖 241000)

摘要: 介绍了汽车及汽车零部件涂装车间机器人自动跟踪喷涂起喷距离的推算过程, 阐述了其与涂装车间工艺参数之间的逻辑关系, 分析了机器人起喷距离对工件喷涂的影响, 并通过离线仿真对比模拟测试, 确认起喷距离可以在程序开发前计算并合理设定, 给涂装机器人程序开发人员提供了相关参考思路。针对多车型共线喷涂场景下起喷距离设定依赖经验的问题, 提出一种基于工艺参数逻辑关系的标准化计算方法。通过融合离线仿真与多组对比试验, 量化分析了起喷距离对喷涂效率、机器人运动稳定性的影响, 并结合实际产线数据验证了方法的普适性, 为涂装车间智能化升级提供理论支持。

关键词: 离线仿真; 跟踪喷涂; 起喷距离; 机器人运动学; 工艺参数优化; 智能制造

中图分类号: TQ639 文献标志码: A 文章编号: 1007-9548(2025)06-0057-03

Research on the Standardization of the Spraying Distance Setting of the Spraying Robot

LI Lei, GAN Zheng-sheng, GAO Wen-hua

(Chery Automobile Co., Ltd., Wuhu 241000, Anhui, China)

Abstract: The article introduces the calculation process of automatic tracking of spraying starting distance by robots in the automotive and automotive parts painting workshop, elaborates on the logical relationship between it and the process data of the painting workshop, analyzes the impact of robot starting distance on workpiece spraying, and confirms that the starting distance can be calculated and reasonably set before program development through offline simulation and comparative simulation testing, provided relevant reference ideas for paint robot program developers. In order to solve the problem of empirical dependence on the setting of spraying distance in the collinear spraying scenario of multiple models, a standardized calculation method based on the logical relationship of process parameters was proposed. Through the fusion of offline simulation and multiple sets of comparative tests, the influence of spraying distance on spraying efficiency and robot motion stability was quantitatively analyzed, and the universality of the method was verified by combining with the actual production line data, which provided theoretical support for the intelligent upgrading of the painting workshop.

Key words: offline simulation; tracking spraying; spray start distance; robot kinematics; process parameter optimization; intelligent manufacturing

0 引言

随着汽车产业向智能化、绿色化方向转型, 喷涂机

器人作为智能制造的关键装备, 已成为汽车涂装工艺的核心技术载体。当前, 喷涂机器人系统通过六轴联动机械臂、智能轨迹规划算法及多传感器融合技术, 实现了车身内外表面 90% 以上的自动化喷涂覆盖率, 较传统人工喷涂效率提升 40% 以上。

对于多种车型共线生产的自动跟踪喷涂的涂装生

收稿日期: 2024-05-23

作者简介: 李雷(1987—), 男, 本科, 主要从事汽车涂装设备及工艺规划相关工作。E-mail: 15556935195@163.com。

产线,因车身(工件)大小、外观和滑橇放置位置的不同,起喷距离无法做到完全统一。合理设定喷涂程序的起喷距离能够有效提升编程效率,避免程序运行过程中出现的等待或姿态变化过大引起的碰撞(机器人和机器人、机器人和工件)风险。

机器人喷涂程序的开发可以采用在线示教也可以使用离线软件示教,两者各有优缺点。随着离线仿真软件的迭代更新,功能和界面越来越友好,以及程序开发人员技能水平的不断提高,使用离线软件编程的人员越来越多。如杜尔的 3D-Onsite 最新已经迭代到第四代,功能更全面也更强大,ABB 的 Robot Studio 和 Shopfloor Editor 两者结合使用编程效率非常高,发那科和安川喷涂机器人也有各自的离线仿真软件,操作有所区别,但功能大体是相同的。采用离线软件编程最大的优势是在不占用喷房生产资源,在不影响生产的同时做程序开发,提高了工作效率,同时也在一定程度上改善了编程人员的工作环境。

然而,离线仿真软件编程的第一步是在程序中声明起喷距离,在此基础上编写喷涂程序。实际操作中,同一车型的喷涂程序让不同的程序开发人员编写,定义的起喷距离往往不同。大部分程序开发人员因个人的经验、对工艺的理解和程序开发习惯的不同而有所差异。

1 起喷距离标准化的必要性

从事喷涂程序开发的人员都知道,在采用输送链跟踪方式的机器人自动喷涂作业中,在同一套程序中设定不同的起喷距离,对应的变化是机器人在工件某个位置原本运行顺畅的程序可能出现姿态限位报警。甚至在某个设置了关节轴运行指令(moveJ/movJ)的过渡点,会出现与原运行角度相反的角方向运动产生的碰撞风险。笔者观察过较多 ABB、杜尔、发那科、安川等主流品牌的喷涂机器人程序开发人员的编程过程,大部分都是将本车间差不多大小的车身(工件)的程序中定义的声明数据拷贝使用,看似取巧的方法其实有可能因为起喷距离设置的较大导致车身(工件)已经进入了合适的喷涂窗口而机器人没有动作,浪费机器人效率,亦有可能因起喷距离设置过小导致车身还没有到达合适的起喷窗口时机器人便开始动作,出现机器人极限位置报警。进而多次尝试,反复修改,直至找到较为合适的起喷距离,编程效率大大降低。

为了能够有效针对每款新、改车身(工件)程序快速推算出其起喷距离,最大限度地提高机器人喷涂利用率,我们开展以下讨论,目的是通过合理的程序轨迹规划,避免程序中出现等待的浪费,使喷涂机器人在有效的喷涂窗口内完成喷涂作业,规避消除机器人碰撞

风险。

2 设定逻辑与方法

不同的涂装生产线体,因硬件配置(如感应开关数量、安装位置等)的差异,机器人运行逻辑有所不同,但是对于采用跟踪喷涂形式的涂装生产线来说,原理是一样的。喷房的输送驱动电机配有编码器(1个或2个),在喷房的入口配置同步开关(PD 开关),当载着车身(工件)的滑橇前端接触到同步开关(通常是 1 对或者更多来避免误判),喷房入口前读码器读取的车身信息通过 PLC 发送给喷房内各机器人,同时编码器开始对载有车身(工件)的滑橇计数,机器人的控制系统通过接收到脉冲数量的增加来判断车身运行的实时距离。

当车身(工件)运行喷涂窗口内到合适的位置,机器人开始喷涂作业,机器人开始喷涂的位置就是当前运行程序的起喷距离。机器人起喷点到载有车身(工件)滑橇前端沿输送方向的距离称为起喷距离。不同大小的车身(工件)起喷的距离必然不同,所以要有针对性地设置,不能简单通过套用现有程序获得。

品牌不同的喷涂机器人设置指令和语句不同,但都是通过指令语句和数字的组合形式设置。例如,ABB、杜尔喷涂机器人就是通过 wait 指令 waitobj 或者 wait_conveyor() 定义起喷距离,发那科喷涂机器人通过设置边界 selbound 定义起喷距离,安川喷涂机器人是通过设置输送位置 systart CV# ()stp 设置起喷距离,原理是相同的。下面通过一条杜尔喷涂机器人程序做简单说明:

```
RSELECT("R21")
//
SETTOOL(ECOBELL3_EC_200)
SETOBJECT(T1V_MY2)
//
CALL home()
CALL prepos()
//
WAIT_CONVEYOR(1000)
TRACKING(On)
```

程序中 WAIT_CONVEYOR (1000) 中的数字“1000”就是代表 R21 机器人的起喷距离。

3 相关参数收集与计算公式

国内的汽车或者汽车零部件涂装生产线大部分采用的是固定节拍生产,即生产不同的车型节拍是相同的。前文提到,不同的线体硬件配置各有差异,跟机器人最相关的是感应开关的数量和信号配置。有的线体喷房仅在入口配置了同步开关和起喷开关,另在喷房

内按固定间距配置滑移检测开关,滑移开关并不给机器人车型的车型/队列信息;有的在喷房入口配置了同步开关,同时在每台机器人前单独配置了起喷开关。两种方式的需求侧重点不同,不能用好坏评价哪种方式更好。

本次我们对采用喷房入口安装同步开关加机器人配起喷开关的硬件配置的涂装生产线进行分析,这样的好处是同一个站内不同位置的机器人之间避免因安装位置的不同(不排除有的机器人开发商安装时在机器人底层程序中内置了偏移以方便使用)需要进行换算,更方便大家理解。

载有待喷涂的车身(工件)的滑橇前端接近机器人前端的起喷开关,机器人开始调用程序进入喷涂等待,一般每台机器人根据执行喷涂位置的不同都会设置不同的待喷涂姿态方便起喷。当车身(工件)运行一段距离后,车身(工件)到达了机器人姿态较为舒展的动作区域开始喷涂,如果喷涂程序模块化需要调用子程序,那么需要注意子程序之间的衔接,不能出现等待的浪费。喷涂程序结束后机器人执行短清洗程序为后面的喷涂做准备,此时一个喷涂循环结束。

假设某涂装线机器人起喷距离为 x , 机器人中心到起喷开关距离为 a , 机器人中心到车身中心的距离为 x_0 , 起喷开关偏移量为 b , 滑橇前端到车身中心距离为 c 。那么,起喷距离=机器人中心到起喷开关距离-机器人中心到车身中心的距离+滑橇前端到车身中心距离-起喷开关偏移量,即 $x=a-x_0+c-b$ 。

关于起喷开关的偏移量,是我们工艺或调试人员根据经验和使用习惯设定,不影响机器人起喷距离的计算。有两方面原因:一是为了消除喷涂站内不同机器人因安装位置在世界坐标系中的差异;二是喷涂不同位置时机器人起喷距离相差也较大,例如喷涂车身顶部和喷涂车身前即盖的机器人相差有半个车身的距离。在我们使用示教器监控喷房内车身移动位置时,有的时候会看到车身已经到了接近开关(起喷开关)处,计数器上还是一个很大的数字,就是这个原因。

4 结果验证

我们在成熟的涂装线利用非生产期间验证,选择要测试的车型并拷贝喷涂程序,删除程序中的原起喷距离,通过计算重新设定进行验证。已知机器人中心到起喷开关距离为 4 000 mm,当载有待喷车型(工件)的滑橇运行到合适喷涂的位置停止机器人,测得机器人中心到车身中心的距离为 3 317 mm,起喷开关偏移量为 800 mm,滑橇前端到车身中心距离为 1 100 mm。

通过公式计算起喷距离=4 000-3 317+1 100-800=983 mm。另外选择以计算的起喷距离左右平移

200 mm 做对比,即分别以 783 mm 和 1 183 mm 的两个起喷距离做对比验证,利用离线仿真软件模拟不同的起喷距离来监测机器人的运行情况。

4.1 起喷距离 983 mm 在离线软件做程序喷涂模拟

机器人程序运行流畅,不存在程序等待或者极限姿态报警的情况。

4.2 起喷距离 783 mm 在离线软件做程序喷涂模拟

仿真模拟过程中可以看到,起喷距离在 783 mm 的位置机器人开始执行喷涂动作,没有出现极限报警,但是在执行完前盖程序后出现了跟踪等待,等待后进行下一个子程序前门的喷涂,直至程序结束,但是整个程序时间变长了。

4.3 起喷距离 1 183 mm 在离线软件做程序喷涂模拟

仿真模拟过程中可以看到,车子运行到合适的喷涂窗口时机器人一直在跟踪,并没有立即执行喷涂动作,而是运行到设定的 1 183 mm 起喷距离的时候机器人开始工作,最后可以顺利完成程序喷涂,但在机器人完成喷涂作业后返回 home 位置的时候,雾化器外翻,动作较大,当遇到输送中出现多次启动、停止时可能会出现碰撞风险。

通过同一款程序,设定不同的起喷距离,机器人的喷涂姿态会发生变化,见表 1 所列。

表 1 不同起喷距离的方案对比

起喷距离/mm	喷涂节拍	极限报警	姿态变化	等待
983	标准	无	无	无
783	延长	无	无	子程序存在等待
1 183	标准	无	回 home 点姿态过大,有撞车风险	无

5 结语

大部分的涂装车间车身(工件)的外板基本都是采用跟踪喷涂的形式,合理的设置起喷距离能保证程序在喷涂时规避机械极限和碰撞等风险的产生,所以程序在开发前计算合理的起喷距离非常重要。机器人起喷距离过大需等待时,应在程序内设定机器人运行至安全点等待跟踪直至到达起喷距离,避免新手或者他人误判程序未执行或碰撞。

编程人员在程序开发过程中需要结合现场情况设定,主机厂喷涂一般是设定几个常用的起喷距离,在测量计算后选择一个最接近的使用,这样方便管理;汽车零部件喷涂因为喷涂曲面多、孔洞边角多,导致程序中机器人喷涂姿态变化大,尤其一些车间为了保护油漆、压缩空气等管路对机器人的 4~6 轴进行了转轴角度软限位,某个位置稍有调整,此修改位(下转第 63 页)