

DOI:10.19344/j.cnki.issn1671-5276.2025.06.057

车身曲面机器人喷涂的膜厚仿真模拟及控制研究

张建强, 颜建, 韩伟, 段海峰

(广州城市理工学院 机械工程学院, 广东 广州 510800)

摘 要:针对机器人进行车身曲面位置油漆喷涂时,因不同位置曲面曲率形状变化造成的膜厚不均匀问题,应用集成工艺系统软件进行油漆膜厚的闭环控制系统模拟控制。分析曲面形状变化对膜厚及喷涂质量的影响,运用集成工艺系统软件编制机器人车身曲面喷涂程序,通过模拟车身曲面位置的雾化数据采集,模拟仿真车身不同曲面形状的涂料液滴雾化变化情况,优化喷涂流量、喷枪压力和速度等工艺参数,实现车身曲面形状的喷漆膜厚精细化参数化管理,达到减少样车喷涂实验次数和提高工作效率的目的。

关键词:机器人喷涂;车身曲面;喷枪流量;喷涂轨迹;雾化数据;膜厚控制

中图分类号:TQ639 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-5276(2025)06-0309-04

Research on the Film Thickness Simulation Control of over Robotic Spraying of Automobile Body Curved Surface

ZHANG Jianqiang, YAN Jian, HAN Wei, DUAN Haifeng

(School of Mechanical Engineering, Guangzhou City University of Technology, Guangzhou 510800, China)

Abstract:To address the problem of uneven thickness induced by curvature shape variation on different positions of the curved surface when paint is sprayed on it by a robot, this research uses IPS software for simulation control over the close-circuit control system for film thickness, analyzing the influence of curved surface shape variations on film thickness and spraying quality. IPS software is used for creating robotic spraying program for automobile body curved surface. By simulating the atomization data acquisition of automobile body curved surface, simulating the changes of coating liquid droplet atomization and optimizing process parameters such as spray flow rate, spray gun pressure and speed, this research aims to realize refined and parametric management for spray film thickness of automobile body curved surface shape to achieve the purpose of reducing the number of spray experiments on prototype vehicles and improving work efficiency.

Keywords:robotic spraying; automobile body curved surface; spray flow rate; spray trajectory; atomization data; film thickness control

0 引言

涂装工艺是汽车制造过程中的重要一环,当前,大批量汽车生产中车身外覆盖件大量使用机器人喷涂,机器人喷涂既保持了手工喷涂对复杂形面的适应性,又具有精确性和可重复性。随着现代轿车外观覆盖件的曲面形状不断丰富,需针对不同曲率形状的位置配置合理的工艺参数,才能获得厚度均匀、光亮度和鲜艳度良好的喷涂效果,以避免出现因膜厚不适当导致的流挂、漆层薄和露底色等涂层缺陷^[1]。传统的膜厚质量检测控制方式常常通过实车检测的方式进行优化和验证,人工操作工作量较大,检测结果反馈周期长,

存在滞后性。实践中研究运用集成工艺系统(integrated process system, IPS)软件进行喷涂仿真,在新车型喷涂数据实验阶段编制、验证和优化喷涂工艺参数设置^[2],从而减少新车型喷涂轨迹实验过程中样车损耗以及人工检测喷涂效果的数据测量工作量,缩短喷涂工艺参数调试周期,具体的研究和应用详述如下。

1 车身喷漆厚度控制系统的组成及工作过程分析

IPS 实现了对汽车覆盖件表面油漆喷涂工作站所有设备的模拟仿真闭环控制,并能实现与机器人喷涂动作轨迹的精准同步。

基金项目:2023 年度广东省普通高校特色创新项目(2023KTSCX211); 2022 年度广东省普通高校特色创新类项目(2022KTSCX182)

第一作者简介:张建强(1984—),男,广东广州人,讲师,硕士研究生,研究方向为机械工程及其自动化,1720719434@qq.com。

• 310 •

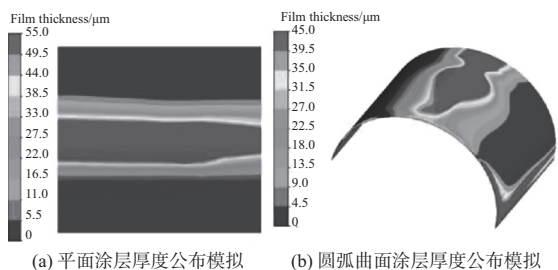


图3 平面涂层与圆弧曲面液膜厚度模拟比较图

通过 IPS 软件模拟油漆颗粒的雾化效果并结合流体流量、喷杯压力和喷枪的喷幅宽度等,能够耦合计算出车身曲面各部位的雾化数据,也决定了喷涂面上的膜厚数值^[7]。通过选取车身重点位置的膜厚仿真模拟,对比测量的实际值与设置值,分析喷涂参数设置的合理性,再通过控制涂层厚度的波动幅度以及标准差来动态优化工艺参数对膜厚差异进行补偿。

2 机器人编程及膜厚控制模拟仿真

在车身覆盖件涂装质量控制中,常见的漆膜外观指标如光泽、色差和橘皮等质量指标都需要以膜厚控制为基础,因此必须把膜厚作为最重要的质量控制因素。

2.1 车身喷涂机器人轨迹编程及参数设定

对喷涂工艺参数及效果等做系统性的分析研究,确定具体的动态工艺参数,从而提升工作效率、缩短调试周期。其中喷涂宽度是指雾化器喷出的涂料在被喷涂面覆盖的宽度。喷幅宽度由喷枪距离被喷涂表面的高度、雾化和喷枪扇面形状参数以及旋杯速度等参数所决定。采用 ABB 喷漆机器人进行车身发动机上盖曲面喷涂(图4),其技术要求为:平均厚度达到 30 μm ,油漆覆盖率达到 80 %。

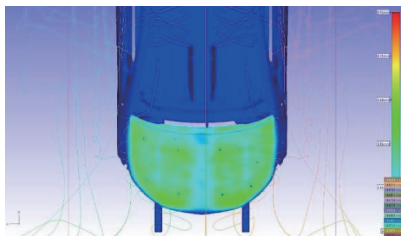


图4 发动机上盖曲面喷涂程序仿真图

把一个发动机上盖曲面机器人喷涂的区域划分为 3 个区域,每个子程序代表一个区域,每个区域规划了 100 个喷涂点,编制出具体车型喷涂项

目的工艺参数技术规范 and 机器人喷涂动作后,再进行后处理生成喷涂程序。

在 IPS 软件模拟环境下可以进行机器人运动仿真,由 IPS 综合 I/P 变送器、齿轮泵及流量调节器等物理设备及其所带来的多方面影响因素,再根据雾化数据和膜厚仿真效果进行调整,以使不同曲率的曲面位置得到均匀的膜厚。其中喷涂速度和喷幅宽度在喷涂轨迹程序编制过程中一旦确定之后就基本不再变动,只有在喷涂曲面曲率发生较大变化的情况下进行动态调整。喷幅宽度调整的目的主要是针对一些特殊平缓曲面使用小的幅宽能有效节约涂料。其他影响涂料膜厚的主要工艺参数有:喷杯空气压力参数、喷枪流量、喷杯转速。

2.2 喷涂雾化数据采集及仿真

使用浸没边界算法在同一个软件界面设定喷涂工艺参数进行喷涂需要的流场、电磁场和液滴的耦合计算^[8]。如图 5 所示,通过喷涂轨迹的雾化模拟插件,模拟车身曲面的雾化器喷涂过程;通过采集和比较不同的喷涂轨迹、喷枪角度、喷涂流量和空气压力设置下的数据,建立与实际相接近的喷枪模型生成雾化效果,得到油漆液滴喷雾的数据分布模型和图表,为正确的工艺参数选择提供依据^[9]。

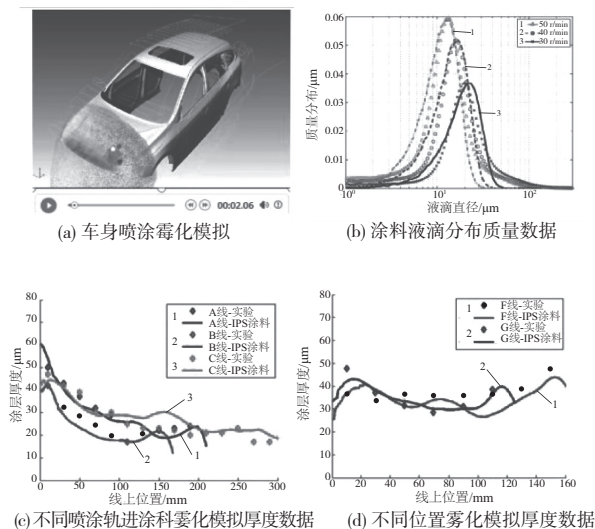


图5 车身喷涂雾化数据采集及仿真

2.3 车身喷涂膜厚模拟及控制

如图 6 所示,选取车身 3 个重点位置进行喷涂模拟工艺参数设置及效果验证。定性分析膜厚的分布情况,其中 B1 区域的厚度较为接近所设定的膜厚值,B2 区域的厚度超过所设置的膜厚值,

B3 区域的厚度未能达到膜厚要求^[10]。通过比较分析生成的模拟厚度,确定油漆膜厚是否达到预期的效果。

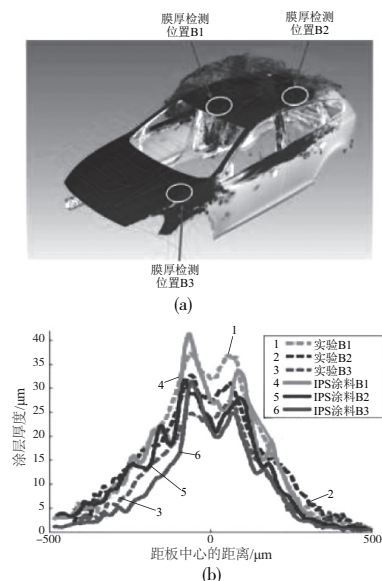


图6 车身喷涂膜厚重点检测区域选取及模拟数据

在编程对话窗口中输入喷枪的流量、压力、喷雾的模型和工件表面的最大膜厚值,具体如表1所示,其中 ABB 机器人最大流量上限为 400 mL/min,所以在这种设备配置中,最高流量只能设定为 400 mL/min。

表1 车身曲面3个区域的喷涂模拟工艺参数设置

车身位置	旋杯转动量/(cc/min)	喷枪流量/(cc/min)	电压/kV	喷杯压力/MPa	膜厚模拟/ μm
B1	35 000	300	60	0.22	20
B2	35 000	300	60	0.22	22
B3	40 000	400	70	0.22	25

根据上述参数建立与实际喷枪尽量接近的模型,然后在 PaintPro 中设置喷涂的对象,编写并执行喷涂程序、最后计算喷涂结果。经试板喷涂验证,其中 B1、B2、B3 3 个区域的喷涂膜厚仿真数据结果分别为 20 μm 、23 μm 和 24 μm ,均超过了该车型膜厚标准的 20 μm 。同时 3 个区域实际检测的膜厚为 20 μm 、23 μm 和 22 μm ,仿真结果与实际接近,能够达到相应的膜厚标准。所以,通过轨迹仿真技术与膜厚仿真技术相结合,可用于膜厚

质量控制验证与调整,达到减少样车喷涂实验次数的目的。

3 结语

通过对 IPS 智能仿真软件在车身曲面喷涂膜厚控制中的应用研究,得出以下结论:

1) IPS 喷涂仿真软件通过输入指定信息如车型数模、机器人运动、喷涂参数等进行喷涂需要的流场、电磁场和液滴的耦合计算,输出喷涂厚度分布、转换效率等结果;

2) IPS 接收来自流量传感器关于实际流量信息的回传信号,模拟仿真对平面涂层和圆弧曲面液膜厚度进行实验比较,以便合理选择喷涂工艺参数;

3) 应用 IPS 喷涂仿真软件进行膜厚模拟控制,可以有效降低产品后期试制色变风险。优化漆膜膜厚,优化喷涂轨迹,优化喷涂参数。

参考文献:

- [1] 王尚秋.水性单涂层工艺汽车面漆外观影响因素的研究[J].涂料工业,2022,52(4):75-80.
- [2] 刘学红,李丹,李静静,等.干湿膜厚度比测定液体涂料体积固体含量计算方法[J].涂料工业,2019,49(12):47-53.
- [3] 安涛,陈静,梁方璞,等.喷涂机器人工艺参数调试优化[J].涂料工业,2021,51(4):71-74.
- [4] 王海平.汽车涂装喷涂机器人自动化生产线工艺优化研究[J].上海涂料,2022,60(2):1-6.
- [5] 高文化,和军强.汽车车身内表面喷涂技术的应用[J].电镀与涂饰,2016,35(22):1194-1199.
- [6] 冀连权.双组分涂料机器人智能化喷涂站的研制[J].电镀与涂饰,2020,39(24):1790-1793.
- [7] 董美琛,张焕亮.商用车发动机涂装工艺设计浅析[J].电镀与涂饰,2019,38(10):467-471.
- [8] 张淑珍,赵培,李泽元,等.静电喷枪喷涂模型的数值模拟与试验研究[J].机械制造与自动化,2018,47(3):140-144.
- [9] 伊永祺,潘松峰,赵相博.车身喷涂车间的 MES 系统分析与设计[J].机械制造与自动化,2021,50(2):148-150,162.
- [10] 陈伟,徐建中.大型复杂曲面喷漆机器人喷枪轨迹优化研究[J].机械设计与制造,2009(2):170-172.

收稿日期:2024-09-27