

特种车辆机器人迷彩喷涂技术应用研究

杜建国¹ 朱志强² 张绪忠¹ 王 敏¹ 李 建¹ 宋一乐¹ 李 玮¹ 孙宇超¹

(1. 山西航天清华装备有限责任公司, 长治 046012; 2. 火箭军装备部驻长治地区军事代表室, 长治 046012)



摘要: 分析了特种车辆的特点及人工三色变形迷彩喷涂的工艺难点, 设计了集绿色化和智能化于一体的机器人迷彩喷涂系统, 并通过试验验证了设计方案的可行性, 获得了较高质量的三色迷彩图案, 实现了特种车辆机器人迷彩喷涂技术的成功应用。

关键词: 特种车辆; 机器人; 迷彩喷涂

中图分类号: TP242 **文献标识码:** A

Research on Application of Robot Camouflage Spraying Technology for Special Vehicles

Du Jianguo¹ Zhu Zhiqiang² Zhang Xuzhong¹ Wang Min¹ Li Jian¹ Song Yile¹ Li Wei¹ Sun Yuchao¹

(1. Shanxi Aerospace Qinghua Equipment Co., Ltd., Changzhi 046012;

2. Military Representative Office of PLA Rocket Force Stationed in Changzhi Region, Changzhi 046012)

Abstract: This paper analyzes the characteristics of special vehicles and the technical difficulties of artificial deformation camouflage spraying, designs the integrating green and intelligence robot camouflage spraying system, and verifies the feasibility of the design scheme through experiments, obtains high quality tricolor camouflage patterns, and realizes the successful application of special vehicle robot camouflage spraying technology.

Key words: special vehicles; robot; camouflage spraying

1 引言

特种车辆为保证良好的伪装性及防腐性, 目前广泛采用在车辆表面进行迷彩喷涂的表面处理方法。传统的人工绘制迷彩图案及人工喷涂的迷彩涂装作业方式, 需多名操作人员配以三维小车、工作梯、遮蔽工装等协作完成, 存在喷涂质量不一致、自动化程度低、工作量大、生产效率低、安全性差、环境性差等不足。

机器人喷涂在国外航空、航天行业已得到广泛应用。洛克希德·马丁公司大型飞机机器人喷涂系统已用于 F-22、F-35 等战斗机机身表面作业^[1]; 外军在迷彩喷涂作业方法上也朝着自动化喷涂方向发展, 研究及装备了机器人迷彩喷涂作业站, 提高迷彩作业效率和伪装效果^[2]。近年来, 国内航空、航天企业开始应

用机器人喷涂, 实现了发动机、飞机翼板、筒段等规则零部件的单色自动化喷涂。北京机械工业自动化研究所将 ABB IRB5500 机器人自动喷涂系统应用于航天固体发动机表面喷涂, 大大提高了喷涂质量和生产效率^[3]; 清华大学与上海航天设备制造厂共同设计了龙门式三维正交的喷涂机器人, 能高精度完成航天大零部件的喷涂作业^[4]; 天津航天长征火箭制造有限公司将 IRB 580-12 型立式喷涂机器人应用于航天行业用筒段产品, 优化制造质量, 提升制造效率^[5]。但机器人喷涂尚未应用于特种车辆喷涂, 特别是三色变形迷彩喷涂。

本文基于所研制生产的特种车辆的特点及三色变形迷彩喷涂要求, 设计机器人迷彩喷涂系统并成功应用于产品喷涂中。

作者简介: 杜建国 (1983), 高级工程师, 材料加工工程专业; 研究方向: 先进制造技术。

收稿日期: 2023-03-28

2 产品特点及现有工艺难点

2.1 产品特点

特种车辆具有外形尺寸大、重量重、车身凸出、外挂特征繁多且结构不规则的特点。特种车辆之间存在一定的个体差异，喷涂时车辆驶入位置定位精确性差。喷涂质量要求高，具体要求如下：

涂层厚度达到 $40\sim 60\mu\text{m}$ ；涂层综合附着力优于 2 级；各颜色所占比例的变化量在 $\pm 5\%$ 以内；迷彩斑点周围的漆雾过渡区宽度 $\leq 20\text{mm}$ 。

2.2 现有工艺难点

三色变形迷彩是由与背景相似的三种颜色的不规则斑点构成的迷彩，能够达到歪曲目标外形轮廓的目的^[6]。

国内特种车辆迷彩喷涂主要为人工采用胶带纸或模板遮蔽喷涂，人工喷涂主要的工艺流程如图 1 所示。

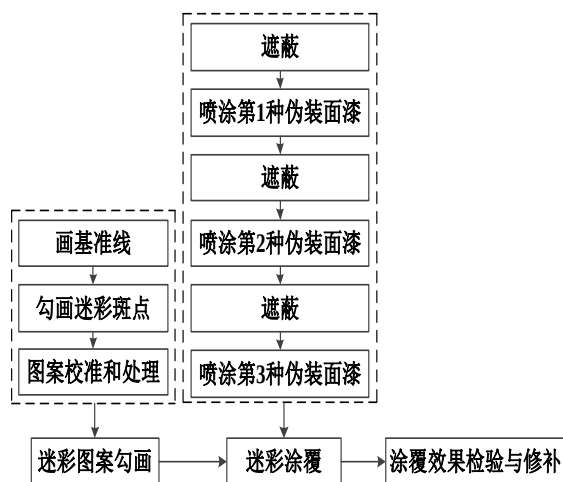


图 1 迷彩喷涂工艺流程

人工喷涂作业方式存在以下难点：

a. 迷彩图案绘制难以满足“空间混色”要求

整车尺寸大、外形复杂，按照网格进行迷彩图案绘制无法有效整合产品各立体面，难以有效保证图案位置偏移量、立体平面间过渡自然要求，各立体平面为各自相对独立的喷涂面；

b. 遮蔽过程繁复

采用胶带纸或模板遮蔽，需制作模板或贴绘图案，且需在三种油漆喷涂过程中多人协作完成。采用胶带纸遮蔽，图案边框粘贴时间过长贴胶脱落粘于产品表面，影响喷涂质量；

c. 对喷涂操作人员技能要求高，受人为因素影响大，手工喷涂质量不一致

喷涂过程需操作人员凭借长期积累的经验和精心操作才能完成，对喷涂操作人员技能要求较高，受人为因素影响大，手工喷涂质量不一致；

d. 喷涂设备及工艺装备自动化程度低，安全性及环保性差

操作人员配以三维小车、工作梯等使用手工喷枪进行喷涂，喷涂过程会产生大量的漆雾和废气，对人员的健康造成一定的危害。

3 机器人迷彩喷涂系统设计

设计机器人迷彩喷涂系统并应用于产品喷涂，机器人可以按照设定的指令直接喷涂指定的形状、颜色，通过机器人涂覆设备及喷涂工艺升级代替人工喷涂，可减少迷彩图案勾画、遮蔽工序，提高生产效率，保证喷涂质量。

3.1 绿色化和智能化

机器人迷彩喷涂系统布置于全封闭喷漆室内，如图 2 所示，新鲜空气通过送风机组送入室体顶部动压室，均压后再进入静压室，从顶部均匀地送入室内，飞散的废漆雾被压入室体下部的干式纸盒漆雾处理系统，废气在排风机作用下进入废气处理设备净化后将洁净空气排出。通过机械化换人、自动化减人，达到喷涂过程中的绿色化和智能化。

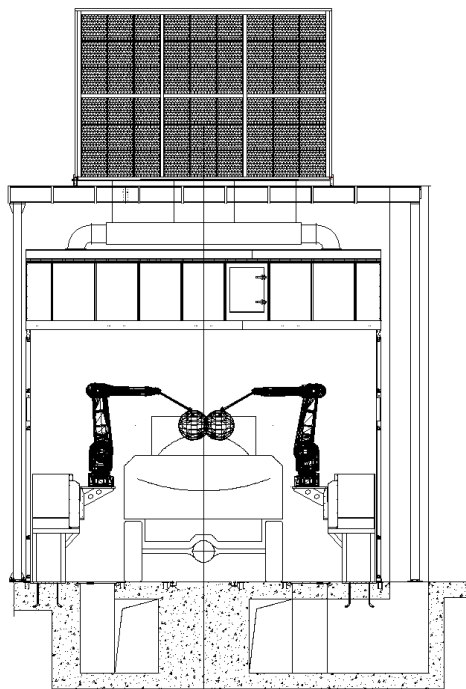


图 2 机器人喷漆室布置示意图

3.2 机器人布置形式选择

喷涂机器人选择 6 轴工业防爆机器人, 具备双机协同喷涂功能, 布置形式选择图 2 所示侧轨模式, 相较地轨布置形式, 具有以下优势:

- 侧轨采用一个外部轴, 结构简单, 维护方便, 故障率更少;
- 占用空间少, 节省喷漆室空间, 在固定范围内达到更大可达率;
- 侧轨受喷漆及施工影响小, 安全系数高。

3.3 机器人喷枪及支架

机器人喷枪为专用定制喷枪, 通过减少两种油漆间搭接面飞溅确保迷彩斑点周围漆雾过渡区域宽度技术要求。

机器人末端法兰盘安装加长可折叠喷枪支架, 如图 3 所示, 拓展机器人臂展, 增加机器人喷涂系统冗

余性, 解决部分特种车体内部凹槽和底部可达性问题。

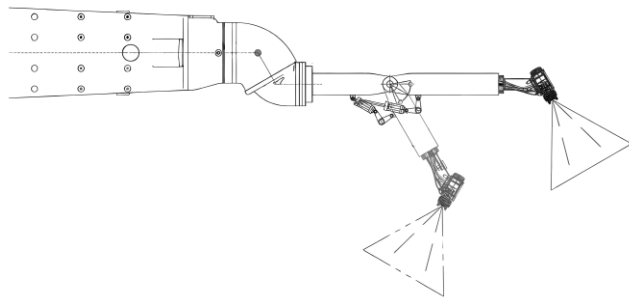


图 3 喷枪及支架示意图

3.4 喷涂仿真

通过数字化仿真系统构建、干涉检查及验证优化进行喷涂系统仿真。采用虚拟现实静态工艺布局仿真验证, 搭建与实物 1:1 比例的虚拟场景, 对机器人、工艺装备、物流设备等工艺资源进行布局仿真验证。

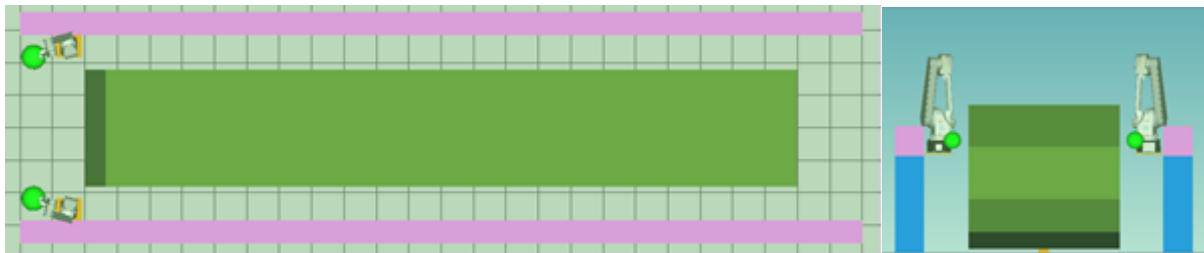


图 4 车身喷涂仿真

通过仿真软件对机器人迷彩喷涂系统的物流路径、设备干涉、机器人工作空间及喷涂可达性等进行验证与仿真分析, 以路径最优、设备运行过程无碰撞为原则, 优化调整设计方案, 通过图 4 所示工件轨迹模拟, 产品喷涂覆盖率可达 95% 以上。

3.5 车体定位

为满足机器人喷涂对工件的位置精度要求, 设计两侧导引装置及前进方向挡车器保证喷涂时工件相对机器人位置的一致性。驾驶者按照喷涂室内导引装置缓慢行驶, 在挡车器位置将车辆停止。机器人自动喷涂前, 对工件进行扫描, 得到工件偏移量后进行机器人轨迹校正, 最终实现机器人与工件的相对位置。

3.6 喷涂输调漆

特种车辆使用双组份涂料, 使用时需要将双组份油漆混合后熟化, 因此选择末端供漆方式。每台机器人配 1 套输调漆装置, 安装在室体两侧, 每侧的输调漆装置为本侧机器人上的喷枪供漆。油漆输送装置具有油漆过滤、调压、稳压、流量控制、温度控制等功

能, 换色阀安装在机器人工艺臂内, 具备管路短、换色快、节省涂料的特点。清洗时将供漆桶换成溶剂桶将油漆从油漆输送泵入口到喷枪出口用稀料冲洗, 将管路中的油漆排放到废液桶内。

4 机器人迷彩喷涂技术应用

通过模拟机器人轨迹得出最佳轨迹, 并进行喷涂工艺试验及整车喷涂联调联试, 调整扇幅、压力和流量等工艺参数, 获得最大覆盖率和最佳喷涂效果。

4.1 喷涂工艺试验

影响机器人喷涂的工艺参数较多, 通过机器人喷涂平面试板及图 5 所示垂直面和圆弧面试件, 不断优化扇幅、压力、流量和时间等工艺参数, 观察涂层外观有无流挂、漏喷、露底等缺陷, 并测量涂层厚度、均匀性、光泽、附着力等参数, 最终确定工艺参数。通过机器人程序设定喷漆点的扇幅、压力、流量和时间等参数, 精确控制喷涂面边界, 减少了遮蔽工作。



a 垂直面试件



b 圆弧试件

图5 垂直面和圆弧试件示意图

4.2 整车喷涂联调联试

通过实车自动喷涂对机器人迷彩喷涂技术进行系统实体集成性功能实施与验证,包括对产品样件的结构化识别分析、三维模型建模、喷涂路径智能规划以及实施动态监测等,同步验证喷涂质量和工作效率,图6所示为采用机器人喷涂某产品整车。



图6 整车喷涂试验示意图

4.3 机器人迷彩喷涂实施效果

经过对特种车辆迷彩喷涂验证,机器人迷彩喷涂涂层厚度 $45\sim 55\mu\text{m}$,涂层综合附着力1级,各颜色所占比例变化率在 $\pm 5\%$ 以内,漆雾过渡区域宽度小于 20mm ,符合设计指标要求,同时大大降低了流挂等漆膜缺陷,涂层厚度均匀性、达标性等明显优于手工喷涂。机器人喷涂涂料相较手工喷涂涂料节约 $25\%\sim 35\%$ 。

5 结束语

基于特种车辆产品特点及三色变形迷彩喷涂要求,设计了集绿色化和智能化于一体的机器人迷彩喷涂系统,该系统能够满足特种车辆三色变形迷彩喷涂需求,经实际应用验证,实现了机械化换人、自动化减人,满足产品使用要求。本文论述的是特种车辆机器人迷彩喷涂技术,对于航空、航天、工程机械等类似特种装备的机器人迷彩喷涂应用也具有重要的推广价值。

参考文献

- 1 王国磊,王宁涛,陈恳.面向整机的机器人喷涂系统回顾与展望[J].航空制造技术,2016,59(16):76~80
- 2 冯海潮,李勇,张则言,等.浅谈迷彩作业装备及技术展望[J].中国设备工程,2021(4):181~182
- 3 李慧,高云萌,孙德奎.ABB IRB5500机器人自动喷涂系统在航天领域中的应用[J].制造业自动化,2013(16):142~143
- 4 赵景山,罗宏图,王立平,等.航空制造涂装机器人研究进展[J].航空制造技术,2018(4):47~54
- 5 刘会彬,尚洪帅,秦佳,等.航天行业筒段产品表面涂层的自动喷涂工艺[J].电镀与涂饰,2020(8):504~508
- 6 QJ 20568—2016 三色变形迷彩漆涂装工艺要求[S]