

机器人焊接技术在机械焊装生产中的应用研究

翟 伟 赵学兵

山东唐骏欧铃汽车制造有限公司 山东 淄博 255000

摘 要：在机械制造产业转型升级背景下，传统人工焊接存在精度不足、稳定性差、效率偏低等诸多弊端，难以满足现代化焊装生产需求。本文简述机器人焊接技术的核心原理与设备类型，结合机械焊装生产工况，分析其在汽车车身焊接、工程机械、通用零部件及精密构件中的应用流程与核心优势。同时总结技术应用中的现存问题，提出工艺优化、智能升级、设备管理及人才建设等改进策略，展望行业发展趋势，为机械焊装自动化生产提质增效提供参考。

关键词：机器人焊接技术；机械焊装生产；应用

引言：现阶段，机械焊装生产逐步向规模化、精密化、标准化方向发展，市场对焊接产品质量、生产效率与作业安全性提出更高要求。传统人工焊接受人为因素影响较大，极易出现焊缝缺陷、产品一致性差等问题，制约企业生产发展。机器人焊接技术具备高精度、自动化、稳定性强的特点，可有效弥补人工焊接短板。本文深入探究该技术在机械焊装中的实际应用，剖析现存问题并给出优化方案，助力行业智能化升级。

1 机器人焊接技术与机械焊装生产概述

1.1 机器人焊接技术核心原理

（1）焊接机器人工作原理：焊接机器人依靠智能控制系统实现全流程自动化焊接，工作人员提前在系统内预设焊接轨迹、电流、电压、焊接速度等核心工艺参数，驱动机械臂完成高精度定位与平稳运行。设备配备专用焊接执行机构，可自主完成工件精准对接、熔焊成型、自然冷却等整套焊接工序，同时借助各类传感设备，实时监测焊接温度、焊缝形态及设备运行状态，依据生产工况动态微调工艺参数，减少焊接偏差，确保焊接作业连续、规范开展。（2）核心技术支撑：机器人焊接的高精度、自动化作业由四大核心技术支撑。伺服控制技术保障机械臂运动精准、响应灵敏；视觉识别技术可精准定位工件、识别形态，适配工件微小位置偏差；焊缝跟踪技术实时追踪焊缝轨迹，修正焊接路径偏移；工艺参数自适应调节技术可依据工件材质、厚度优化参数，全面保障焊接精准度与稳定性，有效提升生产自动化水平。

1.2 常用机器人焊接设备与类型

（1）按结构类型划分：行业常用焊接机器人分为三类，分别是多关节串联、直角坐标、并联焊接机器人。不同结构机器人适配差异化生产需求，可兼容不同结构、尺寸、工况的机械工件焊装作业，满足复杂工况与

常规批量生产的多元需求，适配机械制造领域多样化生产场景。（2）按焊接工艺划分：主流设备包含弧焊、点焊、激光焊接机器人三类。弧焊机器人适用于机械零部件连续长焊缝焊接作业；点焊机器人主要用于各类构件的点焊固定、组装定位；激光焊接机器人凭借高精度优势，适配精密机械构件的焊接加工，覆盖机械焊装全品类工艺需求^[1]。

1.3 机械焊装生产工艺特点与要求

（1）机械焊装生产特点：机械焊装生产具备工件品类繁杂、结构复杂度高、批量规模化生产的核心特点。生产过程对焊接质量标准严苛，不仅要求焊接定位精准、焊缝强度达标，还需保证焊缝外观平整、批量产品焊接质量高度一致，同时对生产效率、作业安全性、设备运行稳定性均有严格规范。（2）机器人焊接适配要求：为匹配机械焊装流水线生产模式，焊接机器人需满足高精度定位、稳定工艺输出的基础要求，具备快速换型能力，可适配不同工件的生产切换。同时设备需搭载故障自检、实时纠偏功能，及时排查运行故障、修正焊接误差，保障流水线连续、高效、稳定生产。

2 机器人焊接技术在机械焊装生产中的具体应用

2.1 典型应用场景

（1）汽车车身结构件焊装：在汽车制造领域，机器人焊接技术广泛应用于白车身、车门、侧围、底板、车顶横梁等核心结构件的焊装作业。汽车车身由大量薄板冲压件拼焊而成，焊点密集、焊缝形式多样，对定位精度和焊接一致性要求极高。传统人工点焊或弧焊难以保证数千个焊点的均匀强度，且易产生飞溅、压痕过深、焊点扭曲等缺陷，影响车身刚性与安全性能。采用焊接机器人后，可依托高精度伺服控制与视觉定位系统，完成车身总成及分总成的自动化点焊、螺柱焊、弧焊等工序，确保焊点分布均匀、熔核尺寸稳定，大幅提升车身

抗碰撞能力与尺寸精度,满足汽车制造高节拍、高质量的生产需求^[2]。(2)汽车零部件焊装:针对汽车制造中量大面广的中小型零部件,机器人焊接技术实现了标准化、规模化的自动化焊装生产,适配座椅骨架、悬架控制臂、排气管、燃油箱、传动轴支架、减震器筒体等各类零部件的焊接加工。这类零部件结构相对规整但批量巨大,对焊接一致性、疲劳强度要求较高。传统人工批量焊接易出现气孔、咬边、熔深不足等个体差异,影响零部件装配精度与耐久性。通过焊接机器人流水线作业,可统一焊接工艺参数与作业轨迹,结合变位机实现多角度连续焊接,规避人工操作误差,实现零部件焊接的标准化产出,大幅提升批量产品的质量一致性与互换性,适配汽车零部件规模化生产需求。(3)新能源汽车精密构件焊装:依托激光焊接机器人等高精度设备,该技术广泛应用于新能源汽车电池包壳体、电机壳体、高压连接器及轻量化铝合金构件等精密部件的焊装。新能源汽车对减重、导电性及密封性要求极高,铝合金、镁合金等材料焊接难度大,人工焊接极易产生裂纹、气孔及热变形。高精度焊接机器人配合脉冲激光或冷金属过渡工艺,可精确控制热输入,实现薄壁件微变形焊接与异种材料连接,保障电池包的IP67密封等级与结构安全,满足新能源汽车精密制造的核心需求。

2.2 核心应用工艺流程

(1)前期准备阶段:前期准备是保障焊接质量的基础环节,直接决定后续焊接作业的精准度与稳定性。作业前工作人员需完成工件清理、定位装夹,固定工件位置以规避焊接偏移;随后开展设备调试工作,检查机械臂运行状态、传感器精度、焊接设备工况。同时根据工件的材质、厚度、结构特点及焊接工艺要求,预设焊接轨迹、电流、电压、焊接速度等核心参数,编制专属焊接程序,匹配最优焊接工艺方案,为自动化焊接作业筑牢基础。(2)自动化焊接阶段:完成前期调试后,焊接机器人启动全自动焊接作业,严格按照预设轨迹、工艺参数有序完成焊缝熔焊、填充、成型等工序。作业过程中,设备搭载的视觉传感器、焊缝跟踪传感器实时采集焊接数据,动态识别焊缝位置偏差、熔池状态变化,智能微调焊接速度、电流电压、送丝速度等参数,实时修正焊接误差,全程保障焊接过程稳定、规范,杜绝焊接偏差问题,实现高质量连续焊接作业^[3]。(3)后期检测修整阶段:焊接工序完成后,系统进入自动化检测修整环节。机器人搭载高精度检测设备,对成品焊缝开展无损检测与外观检测,精准排查气孔、夹渣、裂纹、未焊透等内部缺陷和外观瑕疵,同时自动记录检测数据、标

记不合格点位与缺陷位置。检测完成后,依托数据反馈分类处理合格产品与瑕疵产品,辅助人工针对性完成打磨、补焊等修整作业,简化质检流程,提升缺陷处理效率,保障出厂产品质量达标。

2.3 应用优势分析

(1)生产质量优势:相较于传统人工焊接,机器人焊接具备极高的定位精度与工艺稳定性,焊接轨迹标准、参数统一,焊缝成型均匀平整,熔深一致,可有效规避虚焊、夹渣、变形、裂纹等常见焊接缺陷。同时能够精准控制焊接热输入,减少构件焊接形变,大幅提升机械焊装产品的合格率与结构强度,增强产品运行稳定性与使用寿命,全面提升产品质量等级。(2)生产效率优势:焊接机器人支持24小时不间断连续作业,无需人工轮换休息,不存在人工操作疲劳、作业间歇等问题,可持续稳定开展焊接加工。其焊接速度、作业精度远优于人工,单工序作业效率大幅提升,同时减少了人工返修、复检的额外工序,有效缩短产品生产周期,提升生产线整体产能与生产流转效率,适配现代化机械制造批量生产模式^[4]。(3)生产安全与成本优势:焊接作业存在高温、强光、烟尘等高危因素,机器人可完全替代人工完成高危焊接操作,规避人工作业安全隐患,优化车间生产环境。同时,自动化焊接大幅降低人工依赖,减少人工用工成本,极低的缺陷率有效降低产品返修、报废成本。长期规模化生产下,设备运维成本可控,显著提升企业生产经济效益,助力企业实现降本增效。

3 机器人焊接技术在机械焊装生产中应用现存问题与优化策略

3.1 技术应用现存问题

(1)复杂工件适配性不足:目前多数常规焊接机器人对异形、曲面、多死角等复杂机械构件适配能力较弱,此类工件结构不规则,人工示教编程工作量大、难度高,设备难以自主规划最优焊接路径,容易形成焊接盲区,出现焊缝偏移、熔焊不充分等质量问题,无法满足复杂构件的高精度焊装需求。(2)智能检测与纠错能力有限:中小型企业所用的低端焊接机器人普遍配套监测设备简陋,缺乏高精度实时传感监测系统,仅能完成基础焊接作业,难以识别细微气孔、微裂纹、虚焊等隐性缺陷,且故障预警、动态纠偏功能缺失,无法及时修正焊接偏差,导致批量产品质量波动。(3)设备运维与适配成本较高:高端焊接机器人核心零部件长期依赖进口,设备采购、故障维修、零部件更换成本高昂。同时设备调试、轨迹编程、参数优化等工作对专业技术要求极高,多数制造企业相关技术人才储备不足,设备利用

率偏低,间接增加生产运营成本。

3.2 技术与工艺优化策略

(1) 优化焊接轨迹与编程技术:针对复杂工件焊接适配难题,可引入离线编程技术,依托软件提前搭建工件模型,模拟焊接全过程,提前规划、优化复杂曲面、死角位置的焊接路径。通过升级轨迹算法,优化机械臂运动逻辑,有效消除焊接盲区,提升机器人对异形、复杂构件的柔性适配能力,减少人工编程误差,提升复杂工件焊接质量。(2) 升级智能焊接监测系统:对现有焊接设备进行智能化升级,搭载高清视觉识别、超声波无损检测等高精度模块,构建全流程实时监测体系。设备可全程捕捉焊缝成型状态、熔池变化,精准识别各类细微焊接缺陷,同时联动控制系统完成参数动态纠偏、故障实时预警,从源头降低焊接缺陷发生率,全面提升焊接作业的智能化与精准度^[5]。(3) 优化焊接工艺参数匹配:依托生产数据积累,针对不同材质、厚度、结构的机械工件,整理适配的焊接电流、电压、速度等参数,建立标准化焊接工艺数据库。在生产不同工件时,可实现参数一键调用、快速适配,无需反复调试设备,既提升生产换型效率,又保证同类工件焊接工艺统一,大幅提升产品质量稳定性与一致性。

3.3 设备管理与人才建设优化

(1) 完善设备运维体系:建立标准化的机器人设备管理制度,落实定期检修、日常保养、精度校准工作,及时排查设备隐患、更换老化部件,有效降低设备故障概率,延长设备使用寿命。同时,积极推广应用高性价比的国产化焊接设备,替代高价进口设备,从采购、运维、维修多方面降低企业生产运营成本。(2) 强化专业人才培养:企业需搭建完善的人才培养体系,定期开展机器人编程、设备调试、故障运维、工艺优化等专项技能培训,提升现有技术人员专业能力,组建专属智能焊接技术团队。同时针对性引进智能制造、机器人焊接专业人才,补齐技术短板,为设备稳定运行、工艺优化升级提供人才支撑。

3.4 行业应用发展趋势

(1) 智能化升级:随着人工智能、大数据技术与焊接行业深度融合,焊接机器人将实现全方位智能化升级。未来设备可依托大数据自主学习焊接工艺,完成自主编程、焊缝自主检测、工艺自主优化,逐步摆脱人工干预,实现真正意义上的无人化智能焊装生产。(2) 集成化发展:焊接生产将打破单一设备作业模式,推动焊接机器人与工件上下料、焊缝打磨、成品检测等设备联动协同,搭建一体化智能焊装生产线,实现从工件上料、焊接加工、质量检测到成品出料的全流程自动化作业,大幅提升生产集成化水平与整体产能。(3) 国产化普及:国内智能焊接设备技术持续突破,国产化焊接机器人在精度、稳定性、智能化水平上不断提升,且具备高性价比、运维便捷的优势。未来高精度、低成本的国产化设备将逐步替代进口设备,成为中小机械制造企业生产线升级的主流选择,推动行业规模化、低成本化发展。

结束语

本文围绕机器人焊接技术在机械焊装生产中的应用展开系统性研究,梳理了其应用场景与工艺流程,证实其在提升产品质量、生产效率与生产安全方面的重要价值。同时针对复杂工件适配性弱、智能检测不足、运维成本高等问题,制定了科学可行的优化对策。未来,随着智能化、集成化技术不断成熟,国产化焊接设备将全面普及,持续推动机械焊装行业高效、稳定、高质量发展。

参考文献

- [1]徐爱武,杨文婧.焊装手工线自动化机器人自动岛仿真研究[J].汽车工艺师,2025,11(6):32-36.
- [2]高振泽.机器视觉辅助机器人焊接全过程研究进展[J].电焊机,2025,55(9):18-24.
- [3]王焯,王学武.多工位、多机器人焊接任务分配与路径规划[J].华东理工大学学报,2025,51(5):633-644.
- [4]陈华斌.焊接机器人视觉感知及智能化焊接关键技术研究进展[J].焊接学报,2024,45(11):116-119.
- [5]张磊.工业机器人焊接技术在机械制造焊装生产线中的应用[J].机械制造与自动化,2023,52(4):156-158.