

浅析焊接机器人在焊接技术应用中的关键技术

王苏明 王 振

新疆轻工职业技术学院 新疆 乌鲁木齐 830013

摘 要: 为提升工业焊接自动化与智能化水平, 本文聚焦焊接机器人在焊接技术应用中的关键技术。首先阐述焊接机器人的系统组成与工作原理, 重点剖析视觉感知定位、轨迹运动控制、工艺自适应调控及质量在线监测四大核心技术。针对设备实际应用中存在的定位精度不足、轨迹偏差、非标工件适配性差等问题, 提出算法优化、工艺库搭建、设备运维保障等优化策略, 旨在提升焊接精度与效率, 推动智能焊接技术产业化落地。

关键词: 焊接机器人; 焊接技术; 应用; 关键技术

引言: 随着智能制造产业快速升级, 传统人工焊接精度低、缺陷率高、稳定性差的弊端日益凸显, 难以适配现代化精密焊接生产需求。焊接机器人凭借高精度、自动化、高效率的优势, 已广泛应用于各类工业焊接场景。为充分发挥其应用价值, 本文系统探究焊接机器人的核心工作体系与关键应用技术, 结合实际生产工况梳理现存技术难题, 并针对性制定优化方案, 为焊接机器人智能化、柔性化应用提供技术参考。

1 焊接机器人系统组成与工作原理

1.1 焊接机器人整体系统架构

(1) 机械执行机构结构组成与功能。机械执行机构为焊接机器人核心运动载体, 由多自由度机械臂、末端焊接夹具及传动结构组成。依靠多关节实现空间灵活运动, 夹具稳固夹持焊枪与工件, 可精准完成焊接姿态调整与点位移动, 保障焊接作业稳定、灵活运行。(2) 控制系统与驱动系统核心构成。控制系统是设备核心中枢, 负责存储焊接程序、解析作业指令。驱动系统由伺服驱动器与伺服电机组成, 接收控制信号后驱动机械关节运行, 高精度调控设备速度与位置, 有效保障整机焊接作业精度。(3) 辅助焊接配套设备组成体系。辅助设备包含焊接电源、送丝机构、冷却除尘设备及安全防护装置, 可为焊接作业提供稳定电流、匀速送丝、设备降温及安全防护, 多设备协同运作, 确保焊接作业连续、安全、高效开展。

1.2 焊接机器人核心工作原理

(1) 运动轨迹定位与姿态调节原理。依托预设程序与传感器定位技术, 机器人通过坐标系运算确定焊接点位与运行轨迹, 结合多关节联动调节焊枪角度、高度与姿态, 精准贴合工件焊缝位置, 杜绝偏移偏差。(2) 焊接参数自动化匹配调控原理。系统根据工件材质、厚度、焊缝类型, 自动调取数据库匹配焊接电流、电压、

焊接速度等核心参数, 无需人工反复调试, 实现参数标准化、自动化设定, 适配不同焊接工况。(3) 焊接过程闭环反馈控制原理。作业中传感器实时采集焊缝成型、温度、电流等数据, 同步反馈至控制系统。系统对比预设参数自动修正偏差, 动态调整焊接状态, 形成闭环控制, 有效降低焊接缺陷率^[1]。

1.3 焊接机器人主流应用类型

(1) 弧焊机器人技术特点与适用场景。弧焊机器人轨迹精度高、运行平稳, 可实现连续焊缝焊接, 适配薄板、长焊缝作业, 广泛应用于工程机械、五金制品、汽车零部件等连续焊接场景。(2) 点焊机器人技术特点与适用场景。该设备定位速度快、瞬时承载力强, 主打定点焊接作业, 焊接效率高, 主要用于车身、钣金等厚板搭接点焊场景, 适配大批量标准化工件生产。(3) 复合型智能焊接机器人应用优势。集成视觉识别、智能检测、自适应调控功能, 可自动识别焊缝、修正轨迹、检测焊接缺陷, 适配复杂异形工件、多工况切换作业, 智能化、通用性远高于传统焊接设备。

2 焊接机器人焊接应用中的核心关键技术

2.1 焊缝视觉感知与定位技术

(1) 2D/3D视觉焊缝识别技术原理。2D视觉依托工业相机采集焊缝平面图像, 搭配灰度处理、降噪、边缘提取等算法, 识别焊缝轮廓、宽度及位置, 具备运算快、成本低的优势, 适用于结构简单、光照稳定的焊接场景。3D视觉基于激光扫描、结构光成像原理, 可采集焊缝三维坐标、坡口深度等立体数据, 弥补2D视觉无法识别空间形变的缺陷, 精准还原焊缝真实形态, 适配复杂立体工件的焊接识别需求。(2) 焊缝实时跟踪与偏差校正技术。该技术是焊接精度的核心保障, 焊接时视觉系统实时采集焊缝动态位置, 对比预设轨迹计算焊枪偏移量, 将偏差信号传输至控制系统, 动态微调机械臂位

置与姿态、修正焊接轨迹。可有效抵消工件装夹误差、焊接热变形引发的位置偏移,确保焊枪始终对准焊缝中心作业^[2]。(3)复杂工况下焊缝精准匹配技术。针对焊接高温、烟尘、反光、工件形变等干扰,该技术通过优化多维度图像算法屏蔽环境干扰,结合工件模型数据库,将实时焊缝数据与标准模型智能匹配,自适应识别异形焊缝与不规则坡口,解决传统技术定位失准问题,显著提升恶劣工况下焊接定位的稳定性。

2.2 机器人轨迹规划与运动控制技术

(1)离线编程轨迹规划核心技术。离线编程技术依托三维仿真软件,在虚拟环境中构建工件、机器人及焊接场景模型,技术人员可在仿真界面中规划焊接路径、设定焊接姿态与作业顺序,自动生成机器人可执行的焊接程序。该技术无需占用生产设备,可提前完成程序编制与仿真调试,规避现场编程耗时、调试难度大的问题,大幅提升新品工件的投产效率,适配多品种、小批量生产模式。(2)动态工况下实时轨迹优化技术。实际焊接生产中,工件热变形、装夹偏差等动态问题会导致预设轨迹失效。实时轨迹优化技术可依托视觉感知与数据反馈,动态监测焊接工况变化,实时微调轨迹路径与运动速度。在保证焊接连续性的前提下,自适应优化行走轨迹,避免出现焊偏、漏焊、叠焊等问题,适配工件动态形变的焊接作业场景^[3]。(3)多自由度运动精准协同控制技术。焊接机器人多关节联动作业时,该技术通过高精度伺服控制算法,统筹调控各关节的转动角度、运动速度与加速度,实现多自由度运动同步协同。有效规避关节运动滞后、动作不同步导致的轨迹抖动、位置偏差问题,保障机械臂运动平稳性,实现高速、高精度的连续焊接动作,满足精密构件的焊接精度要求。

2.3 焊接工艺自适应调控技术

(1)焊接电流、电压、速度参数自适应调节。该技术基于实时焊接工况数据,结合工艺数据库智能算法,动态调节焊接核心参数。当工件厚度、焊缝间隙发生小幅变化时,系统可自动匹配最优电流、电压与焊接行走速度,稳定焊接熔池状态,避免因参数固定导致的未焊透、烧穿、气孔等缺陷,实现焊接参数的智能化动态适配。(2)多层多道焊工艺智能规划技术。针对厚板焊接的多层多道作业需求,该技术可根据工件坡口尺寸、焊缝厚度,自动分层、分道规划焊接路径与工艺参数。系统自主分配每层焊接余量、焊接顺序与道间停留时间,规避人工编程分层不均、焊接应力集中的问题,保障厚板焊缝填充均匀,提升厚板焊接成型质量与结构稳定性。(3)焊接热输入精准控制与变形抑制技术。焊接热

输入不均是工件变形的主要诱因,该技术通过精准调控焊接电流、焊接速度与冷却节奏,定量控制焊接热输入量。同时结合分段焊接、对称焊接的智能工艺规划,分散焊接热量,降低工件局部过热情况,有效抑制焊接变形、残余应力等问题,保障焊接工件的尺寸精度与结构强度^[4]。

2.4 焊接质量在线监测与诊断技术

(1)焊接过程实时数据采集技术。通过电流电压传感器、视觉传感器、温度传感器等多元传感设备,全方位采集焊接全过程数据,涵盖电气参数、熔池形态、焊缝温度、运动轨迹等关键信息。数据实时传输至控制系统,实现焊接过程全要素动态记录,为质量分析与工艺优化提供完整的数据支撑。(2)焊接缺陷智能识别与预警技术。系统依托深度学习算法,对比实时采集数据与标准工艺参数,智能识别气孔、裂纹、未焊透、咬边等常见焊接缺陷。一旦监测到异常数据,系统立即触发预警机制,同步记录缺陷位置与类型,实现焊接缺陷的实时筛查,替代传统人工目视检测,提升缺陷识别准确率与检测效率。(3)焊接质量闭环优化调控技术。该技术构建“采集-分析-调控-优化”的质量闭环体系,针对监测识别出的质量问题与参数偏差,自动分析缺陷成因。基于分析结果动态修正焊接工艺参数与运动轨迹,同步更新工艺数据库,持续优化焊接工艺,从源头降低焊接缺陷率,实现焊接质量的持续迭代提升,保障批量生产的焊接质量一致性。

3 焊接机器人关键技术应用问题与优化对策

3.1 关键技术实际应用中的常见问题

(1)复杂工况下视觉定位精度不足问题。在实际焊接生产中,车间弧光强光、焊接烟尘、高温热辐射等干扰因素较多,会严重影响视觉相机成像质量。同时工件焊接后产生的热变形、装夹间隙偏差,会导致2D、3D视觉识别出现定位偏移,出现焊缝捕捉不准、跟踪滞后等问题,极易引发焊偏、未焊透等质量缺陷,大幅降低复杂构件的焊接合格率。(2)轨迹运动偏差与焊接稳定性不足问题。焊接机器人长期作业后,机械关节会出现轻微磨损、间隙增大等情况,加之高速运动中的惯性误差、伺服响应延迟,容易造成预设轨迹与实际运动轨迹存在偏差。此外,焊接过程中熔池状态动态变化,设备无法及时适配调整参数,会导致焊缝成型不均匀、焊接飞溅大,整体焊接稳定性难以保障。(3)非标工件适配性差、工艺通用性低问题。目前多数焊接机器人工程程序针对标准化工件设计,固定参数与轨迹程序适配性单一。面对异形结构、非标尺寸、小批量多品种工件时,

现有工艺库无法快速匹配焊接参数与轨迹方案,需要人工反复编程、调试参数,调试周期长、生产效率低,难以适配柔性化、多元化的生产需求。

3.2 技术层面优化改进策略

(1) 融合AI算法优化视觉识别与定位精度。引入深度学习AI算法,搭建智能视觉识别模型,对弧光、烟尘等干扰图像进行降噪处理,剔除无效干扰信息。通过模型训练优化异形焊缝、复杂坡口的识别能力,结合实时数据比对算法,动态修正定位偏差,有效提升复杂工况下焊缝识别、跟踪的精准度与稳定性。(2) 优化运动控制算法,提升轨迹稳定性。升级机器人伺服运动控制算法,优化多关节协同控制逻辑,缩短伺服响应延迟,补偿机械磨损产生的运动误差。同时增加轨迹实时修正功能,结合焊接过程动态反馈数据,自适应微调运动速度与轨迹路径,抑制运动抖动与轨迹偏移,保障全程焊接轨迹精准、运行平稳。(3) 模块化工艺库搭建,提升设备适配能力。基于不同材质、厚度、结构的工件焊接数据,搭建标准化、模块化焊接工艺数据库,分类存储各类焊接参数、轨迹方案、多层多道焊工艺模板。针对非标工件,系统可自主调取相似工艺模板并自适应微调,大幅减少人工编程调试工作量,提升设备的通用性与柔性生产能力^[9]。

3.3 运维与应用保障优化措施

(1) 设备定期校准与故障预判维护技术。建立常态化设备校准机制,定期对机器人机械臂、视觉系统、伺服驱动系统进行精度校准,消除设备累计误差。依托设备运行大数据搭建故障预判系统,实时监测设备温度、运行参数、磨损状态,提前预判机械故障、电路故障,实现预防性维护,降低设备停机故障率。(2) 操作人员智能化技术素养提升方案。针对智能焊接设备操作、调试、运维需求,制定系统化培训体系,重点开展AI视觉

调试、工艺库调用、故障排查、参数优化等专项培训。搭建实操实训平台,提升操作人员智能化设备操控与问题处理能力,杜绝人为操作失误引发的焊接质量与设备运行问题。(3) 生产线协同适配与标准化作业优化。统一焊接生产线设备参数标准、作业流程、装夹规范,制定标准化焊接作业指导书。优化机器人与送丝设备、冷却设备、检测设备的协同运行逻辑,实现各设备联动适配、同步运行,规范生产全流程,有效提升生产线整体运行效率与批量焊接产品的质量一致性。

结束语

本文系统梳理了焊接机器人的系统架构、工作原理与核心关键技术,总结了其在复杂工况应用中的精度不足、稳定性差、适配性弱等突出问题,并从技术优化、工艺升级、运维保障多维度给出改进对策。通过AI算法优化、模块化工艺搭建及标准化运维管理,可有效弥补设备应用短板。未来仍需持续深耕智能焊接技术,推动焊接机器人向高精度、高适配、全智能方向发展,助力制造业焊接工艺提质增效。

参考文献

- [1] 钱程.焊接机器人在焊接技术应用中的关键技术研究[J].现代制造技术与装备,2022,57(9):113-114.
- [2] 张军林.焊接机器人在焊接技术应用中的关键技术分析[J].科技视界,2021,12(20):130-134.
- [3] 陈涛.焊接机器人在焊接技术应用中的关键技术管窥[J].中国金属通报,2024,27(11):229-232.
- [4] 刘小英,田召,崔慧娟.基于PLC控制的焊接机器人机电系统故障诊断模型研究[J].自动化与仪器仪表,2023,20(6):161-164.
- [5] 赵国宏.基于起重机主梁自动组焊的焊接机器人编程方法与技巧[J].焊接技术,2022,10(5):99-106.