

# 基于RobotStudio的曲面中厚板焊接机器人 离线编程研究

刘崇林

江西青年职业学院 江西南昌 330045

**摘要:** 本文根据焊接机器人发展现状, 基于RobotStudio软件研究曲面中厚板焊接机器人离线编程, 结合中厚板部件的焊接特点, 对系统功能进行分析。依据系统的模块划分, 分析系统所需硬件设备的功能与特点, 完成系统硬件设备的设计或选择。同时按照整体方案和软硬件平台的设计, 搭建系统并进行测试。经测试, 系统整体焊接合格率达96.7%, 焊接成型良好, 满足中厚板焊接工作的基本要求。

**关键词:** RobotStudio软件; 曲面; 中厚板焊接机器人; 离线编程

## Research on Off-line Programming of Curved Plate Welding Robot Based on Robot Studio

Chonglin Liu

Jiangxi Youth Vocational College, Nanchang 330045, China

**Abstract:** According to the development status of welding robots, this paper studies the offline programming of curved plate welding robots based on RobotStudio software, and analyzes the system functions based on the welding characteristics of plate components. According to the module division of the system, analyze the functions and characteristics of the hardware equipment required by the system, and complete the design or selection of the system hardware equipment. At the same time, according to the overall plan and the design of the software and hardware platform, the system is built and tested. After testing, the overall welding qualification rate of the system reaches 96.7%, and the welding molding is good, meeting the basic requirements for medium and thick plate welding.

**Keywords:** RobotStudio software; Curved surface; Plate welding robot; Offline programming

焊接作为金属材料连接的重要手段, 在设备加工制造领域占有举足轻重的地位。随着轨道交通、石油化工、锅炉容器、重型机械等行业或部门的发展, 中厚板钢材的焊接需求量逐渐增加, 传统的人工焊接产量已难以满足, 另一方面, 机器人技术迅速发展, 焊接机器人作为工业机器人的典型代表也逐渐在焊接领域活跃起来, 焊接机器人的出现提高了焊接领域的自动化水平, 也逐步改善了焊接产能与供需关系。相对于传统的人工方式, 采用焊接机器人执行焊接作业有着许多优势。在生产作业方面, 最重要的就是工作效率与产品质量, 特别是对于中厚板大型工件, 人工焊接时难免受限于体力与精力而导致出现问题。另一方面, 从工人本身出发, 焊接机器人能够使工人免受焊接时产生的高温以及烟尘的影响, 大大改善了工人的工作环境。焊接机器人通常采用人工示教与离线编程两种方式, 所谓人工示教, 即通过工人操作示教器, 确定焊接关键点, 选定焊接参数后以完成焊接。人工示教通常一次完

成一条或几条路径, 能够保证焊道的连续性, 同时工人能够根据焊道成型以及工件变化进行示教的适当调整, 从而保证焊接产品的质量。离线编程方式, 是通过搭建与生产现场相对应的模型, 并在特定软件中一次规划完成大量轨迹路径, 能够避免大量的示教操作, 提高生产效率, 但是此种方式也存在明显的弊端。一是工件定位及现场必须与搭建的模型严格匹配, 提高了工件的加工和安装难度, 二是离线程序的适应性不强, 不同类型的焊缝可能需要单独进行程序编写, 三是无法在焊接过程中进行适当调整, 工件在实际焊接过程中造成的形变或位移, 程序很难进行预测, 从而很容易导致出现焊接质量问题。

### 1 现状

#### 1.1 焊接机器人发展现状

焊缝的自动识别与跟踪是机器人智能化焊接的关键技术, 由传感设备获取信号来完成工件的定位, 分为接触传感与非接触传感两大类。焊接机器人常见的接触传感方法

有接触式机械电子传感和电弧传感，前者是利用与工件坡口接触的探针、杠杆等机构，通过检测光敏元件、微动开关等产生的偏差信号来实现，结构简单可靠。常见的有超声传感与视觉传感，超声传感利用超声波脉冲在金属内传播时界面反射获取偏差信号，抗干扰强，视觉传感是通过主动视觉或被动视觉技术直接获取焊缝图像，具有精确稳定，信息丰富等优点，且随着近年来图像处理技术的发展，已成为焊缝识别与跟踪的主要方式。

## 1.2 焊接机器人应用技术研究现状

对获取的焊缝图像进行处理并提取焊缝的关键特征信息后，合理的焊道排布及路径规划也是保证焊接质量与效率的关键一步。对于曲面中厚板焊接，最常用的是多层多道焊接方法。基于对焊接工艺参数的研究，结合板材厚度、坡口角度等焊缝特征信息，于焊缝截面上规划出焊道中心点、机械臂姿态等信息，同时设计对应离线程序以实现多层多道焊接路径规划，此外，根据焊缝种类的不同，相应的规划方式也会有所区别。

## 2 基于RobotStudio的曲面曲面中厚板焊接机器人离线编程系统整体分析与设计

### 2.1 系统功能分析

曲面中厚板，具有重复工作且工作量大的特点，基于以上特征，基于RobotStudio的曲面曲面中厚板焊接机器人系统应具备以下功能：第一、合理的行程范围及精确定位功能。首先需要确保焊接机器人本体的灵活性，保证焊接过程中机械臂始终能达到最佳焊接姿态，同时，考虑到结构件本身尺寸较大，一方面需要为结构件本身增加变位机，通过对待焊工件本身的位置调整以配合焊接机器人的调节，另一方面需要保证机器人有足够的行程以适应大尺寸焊缝，避免机器人长时间工作于极限行程下而导致设备过度损耗，因此需要在机器人自身行程的基础上扩展外部轴以增加可达空间。第二、焊缝的自动识别与定位功能。工件的自动识别与定位是自动化焊接的基础，视觉传感较接触传感有着更高的精确度和稳定性，通过激光视觉传感捕获焊缝轮廓图像，经数字图像处理得到焊缝的特征信息，完成焊缝定位，因此RobotStudio软件的精度以及图像处理算法的适应性均需要得到保证。此外，还需为长时间处于高温环境下的焊枪等提供有效的降温保护措施。

### 2.2 系统整体架构

基于对系统功能的分析，将系统划分为焊接规划模块、集成控制模块、运动执行模块、焊接作业模块四部分。其中，焊接规划模块主要包含激光视觉传感器和工业计算机设备，激光视觉传感器负责完成焊缝图像的获取，工业计算机负责对获取的焊缝轮廓图像进行处理，提取焊缝的特征信息，并根据路径规划模型计算获得焊接工艺参数和机器人位姿参数；集成控制模块主要包括机器人控制柜及PLC控制器，其中，机器人控制柜主要负责驱动机器人本体的运动，完成焊接过程中机械臂位置姿态的调节，PLC控制器

主要负责控制台以及其他现场设备的流程控制，此外，前述工业计算机也承担部分控制作用，负责处理显示人机交互界面程序，完成系统状态的监控；运动执行模块主要包括工业机器人、变位机和桁架三部分，工业机器人作为运动模块的核心，主要搭配焊枪完成焊接位姿的精细调整，变位机负责完成对工件的加装以及工件位置的调整，以配合机械臂的姿态，桁架以机器人扩展轴的形式存在。

## 2.3 系统工作流程

打底焊接流程主要包括焊缝预扫描、焊缝特征提取、焊缝轮廓重建、打底层焊接几个步骤。焊缝预扫描主要通过手动示教操作来实现，记录两个或多个焊缝关键点后，控制器驱动机器人复现示教路径的同时，激光传感器扫描获取焊缝关键点处的截面轮廓图像，图像传输至工业计算机并进行相关处理后，提取得到焊缝的特征点信息，将多组焊缝截面轮廓点信息利用空间投影法进行结合计算，实现整体焊缝的轮廓重建，最后利用焊缝的多组根部关键点拟合焊缝根部路径轨迹，使用专用的打底焊接参数进行打底层的焊接。

## 3 基于RobotStudio的曲面中厚板焊接机器人离线编程系统设计与仿真

### 3.1 焊接规划模块的硬件设计

可靠的硬件设备是系统稳定运行的基础和保障，硬件设备的参数和指标直接影响着系统的表现与性能。焊接规划模块主要通过与其他模块设备间的通讯获取机器人位置等信息，并结合自身对焊缝图像的捕获及特征信息的提取，利用建立的路径规划模型，完成盾构机刀盘曲面中厚板部件的焊接规划。

### 3.2 集成控制模块的硬件设计

集成控制模块主要功能是实现数据的处理以及运动执行设备的驱动控制，除工业计算机通过上位界面实现部分控制功能以外，集成控制模块主要包括机器人控制柜以及PLC集成控制柜两部分。第一、机器人控制柜。机器人控制柜作为机器人本体的直接驱动设备，其稳定性与控制精度直接影响着焊接作业的执行效果，结合系统的整体架构，分析机器人控制柜应满足以下要求：机器人本体作为复杂的多轴联动机构，运行时需要进行大量的计算处理，因此机器人控制柜需要有能够进行高性能运算的处理器，另外机器人焊接作为大型设备作业，在保证精确度的同时需要设备快速响应，对控制器的精度及响应速度具有较高的要求。第二、PLC作为工业自动化中的典型控制设备，具有结构紧凑、灵活稳定的优势。本系统中以PLC作为机器人控制器的上级控制模块，负责实现工业计算机与机器人控制器之间的数据传输，同时，PLC还负责排除除尘器、安全围栏等设备的继电控制，实现系统作业的流程控制。

### 3.3 运动执行模块的硬件设计

运动执行模块作为系统工作时的直接对外表现，在保证准确接收控制器驱动信号的同时，其精度与性能也对系

统的整体功能有着关键影响。依据焊接作业的执行流程,本系统的运动执行模块主要包括工业机器人以及桁架和变位机两部分。工业机器人作为运动执行模块的核心设备,通过多个关节轴的联合运动能够完成复杂的焊接轨迹。结合系统的功能与布局,本系统中的工业机器人应具备以下特点:焊接作为一种复杂的运动过程,要求执行机构能够根据焊缝的变化作出灵活的姿态调整,以工业机器人代替手工进行焊接,需要机器人具备多个关节轴才能够实现多种复杂动作。工业机器人与视觉系统配合进行焊接作业,一方面需要保证焊缝识别的准确性,另一方面需要机器人精确定位至所规划的路径,才能保证最终焊接精度。第二、变位机与桁架作为工业机器人扩展外部轴执行机构,负责配合机器人完成位置姿态的调节,以实现焊接作业。桁架采用旋转式,在满足空间运动范围的基础上,旋转式桁架较龙门式桁架需要更少的支撑立柱,能够节省更多生产空间。

### 3.4 焊接作业模块的硬件设计

焊接作业模块作为焊接功能的直接实现模块,是保证焊接工艺的关键。焊接作业模块的核心是焊接电源,另外还包括保护气、排烟除尘、焊枪以及送丝机等其他辅助设备。一方面,焊接电源。焊接电源作为焊接作业的核心设备,需能够在焊接过程中提供稳定的电压电流,以保证焊接质量的一致性,同时,为适应多种结构件不同的焊接工艺需求,焊接电源的工艺参数也需要保证灵活可调,其次,焊接电源需具备一定的通讯接口,实现与其他设备的数据传输,此外,焊接电源还负责对保护气瓶、送丝机等其他设备的控制。另一方面,其他焊接设备。除焊接电源外,自动化焊接作业还需要保护气、焊枪、送丝机、排烟除尘器等其他设备辅助进行。保护气在焊接过程中将金属熔滴与空气隔绝,保证焊接质量,本系统采用的是混合保护气(85%Ar+15%CO<sub>2</sub>),保护气罐通过管道连接至焊机,由焊机直接控制;选用FRONIUSVR1550型送丝机完成焊丝的自动输送,送丝机同样由焊机直接控制,实现送丝速度的灵活调节;选用FRONIUSAW5000型焊枪,焊枪包含水冷结构,能有效降低长时间处于高温焊接环境下的所带来的影响;排烟除尘器负责对焊接过程中产生的烟尘进行收集沉降等处理工作。

### 3.5 系统硬件通讯网络设计

完成硬件设备的设计或选择后,依据各模块及设备之间的通信需求,搭建系统的硬件通讯网络。激光视觉传感器与工业计算机之间经以太网实现焊缝图像等数据信息的传输,工业计算机经以太网连接至PLC的PROFINET接口,PLC通过PROFIBUS扩展模块连接至机器人控制柜内部对应通讯板卡,机器人控制柜内部控制器经FANUC伺服串行总线实现对工业机器人以及外部扩展轴的驱动控制,同时,机器人控制柜经DeviceNet通讯总线实现与焊接电源之间的参数传递,送丝机等焊接辅助设备通过内部协议由焊接电源实现

控制。

## 4 基于RobotStudio的曲面中厚板焊接机器人离线编程测试与分析

结合系统布局方案及硬件模块设备的选择,搭建基于激光视觉的曲面中厚板部件基于RobotStudio的曲面中厚板焊接机器人系统。系统关键内容测试关键内容的测试主要依据系统的软件功能进行,主要包括视觉模块、焊接规划功能以及焊接效果三部分。第一、视觉模块测试主要是检测焊缝特征点提取结果的准确性以及对手眼标定结果的验证。视觉模块能够提取出较为清晰平滑的中心线,并且特征点较为准确,与焊缝实际情况无较大偏差。第二、焊接效果测试选取常见类型的超厚板工件进行本系统的焊接效果测试,其中,为减小板材厚度增加而带来的过大应力形变,超厚板工件均采用双面对称的坡口加工方式,即将工件加工为双边型坡口。最终结果显示,焊接完成后的工件表面平整,焊缝成型良好,委托第三方检测机构对测试工件进行超声波探伤,测试工件的总体焊接合格率达96.7%,焊接效果良好。

### 参考文献:

- [1] 仲德平,徐洪泽,金晶波,等.基于RobotStudio的机器人曲面厚板焊接离线编程[J].焊接技术,2018(01):45-49.
- [2] 王明,赵路,陈子银,等.基于RobCAD软件的机器人离线编程研究[J].中国金属通报,2018(06):264+266.
- [3] 周方明,蒋尊宇,陈琪昊,周磊,裴永强,陈维鹏.基于激光视觉的机器人离线自动编程技术[J].江苏科技大学学报(自然科学版),2021(03):37-41.
- [4] 贺鑫鑫,雷同飞,王瑞龙.基于CAD的离线仿真编程焊接机器人生产线设计分析[J].机电产品开发与创新,2022(06):19-22.
- [5] 韩青.离线编程技术在车身机器人上的应用[J].汽车工艺师,2021(11):20-22.
- [6] 王丽七,曹国光,徐靖.基于离线编程技术的机器人焊接干涉仿真研究[J].焊接技术,2017(06):60-62.
- [7] 冯英超,徐勇,刘金平,李海超. Boss头预制多层焊接机器人离线编程研究[J].电焊机,2019(04):6-9.
- [8] 王培卜.基于外部轴协调的激光焊接机器人系统设计与离线编程研究[D].东南大学,2021.
- [9] 安普光.焊接机器人离线编程技术在教学中的应用[J].包头职业技术学院学报,2012(04):18-21.
- [10] 魏振红,俞港,付庄,等.基于RobCAD软件的焊接机器人离线编程[J].机电一体化,2015(03):31-34.

### 作者简介:

刘崇林(1987.5.6—),男,江西省赣州市人,江苏科技大学硕士研究生,江西青年职业学院讲师,研究方向:焊接自动化技术。