

基于西门子 S7-200 SMART 的三轴联动自动化焊接平台的设计分析

梁东

国能神东设备维修中心

DOI:10.12238/etd.v6i4.15488

[摘要] 矿用电缆挂钩结构简单,使用量大,要求精度不高,传统电缆钩焊接工作主要以人工焊接为主,不仅劳动强度高,而且焊接效率低下。本设计旨在开发一个基于西门子S7-200 SMART的三轴联动自动化焊接平台,以满足现代工业自动化制造的需求。该平台通过PLC控制系统实现对焊接过程中的运动轨迹和工作状态的精准控制,采用龙门式双驱同步结构,通过步进电机与滚珠丝杠驱动XYZ三轴,结合光电限位传感器与运动控制算法,实现高精度轨迹焊接。

[关键词] 西门子S7-200 SMART; 三轴联动; 自动焊接

中图分类号: TG43 **文献标识码:** A

Design and Analysis of a Three Axis Automated Welding Platform Based on Siemens S7-200 SMART

Dong Liang

Guoneng Shendong Equipment Maintenance Center

[Abstract] Mining cable hooks have a simple structure, large usage, and low precision requirements. Traditional cable hook welding mainly relies on manual welding, which not only has high labor intensity but also low welding efficiency. This design aims to develop a three-axis linkage automated welding platform based on Siemens S7-200 SMART to meet the needs of modern industrial automation manufacturing. This platform achieves precise control of the motion trajectory and working status during the welding process through a PLC control system. It adopts a gantry style dual drive synchronous structure, and drives XYZ three axes through stepper motors and ball screws. Combined with photoelectric limit sensors and motion control algorithms, high-precision trajectory welding is achieved.

[Key words] Siemens S7-200 SMART; Three axis linkage; Automatic Welding

前言

自动化焊接技术作为现代制造业的重要组成部分,已经在提高生产效率、减少人工成本以及保证产品质量方面发挥了关键作用。在工业4.0时代背景下,人们对更高精度、更灵活的自动化控制系统的需求也在不断增加。西门子S7-200 SMART作为一款性能优异的小型PLC,以其强大的编程能力和灵活的通讯特性受到广泛欢迎。在此背景下,设计一种基于S7-200 SMART的三轴联动自动化焊接平台,能够显著提升焊接作业的精确度和柔性化水平。

1 自动焊接平台总体设计

1.1 机械本体结构设计

自动焊接平台的机械本体是硬件基础和执行机构,也是实

现焊接自动化、智能化的基础,其稳定性与灵活性是设计过程中首要考虑的问题,而且要满足矿山设备焊接使用需要,所以在本次设计中要注重对关键零部件的选型。自动焊接平台总体结构如图1所示。

根据图片可知,本自动焊接系统主要包含焊接平台、电控系统、XYZ轴步进丝杆、焊枪、电缆钩定位胎具、光电开关等结构。在本系统中一共包含三个轴向关节,分别拥有共同的零点,并且彼此相互正交,可以实现不同维度的轨迹运动,每个运动方向是独立的,不会影响焊接头的夹持。在关键零部件选型中,焊接平台采用高强度矩形立柱,面板使用30mmQ355钢板,保证X、Y轴垂直运动刚性^[1]。

跨距1800mm, X轴与Y轴连接使用5mm钢板,减少重量的同时

保证运行精度, Z轴固定在X轴滑块上, 焊枪固定在Z轴滑块上。焊枪的固定使用可升降圆盘式可旋转夹具设计, 焊枪的焊接位置可以根据工况进行旋转调节和上下调节。确保Z轴末端执行器的可调性与稳定性。

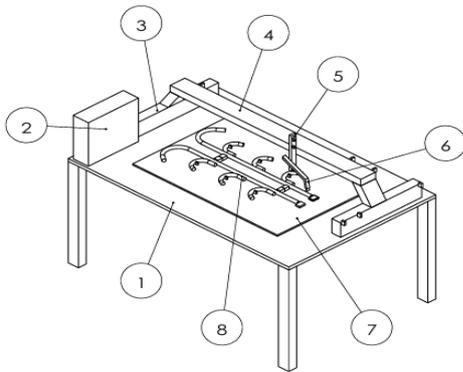


图1 自动焊接平台结构示意图

1、焊接平台; 2、电控系统; 3、X轴步进丝杠2个; 4、Y轴步进丝杠; 5、Z轴步进丝杠; 6、焊枪; 7、电缆钩定位胎具; 8、电缆钩。

电缆钩的固定胎具经过底部、腰部及三个定位块, 确定焊接部位, 保持焊缝定位精度的同时, 确保焊接质量和焊接位置合格。

在高频焊接头设计中, 需要选用高频焊机完成焊接, 其主要工作原理是通过感应电流将焊接物加入一定温度后, 使焊料熔化, 将不同或者相同材质的金属连接在一起。由于低频交流电不足以产生感应电流, 所以需要转换为高频交流电^[2]。以松下500焊机为例, 具体焊接流程如下, 先将电缆钩和连接件放置在工作台上, 通过三轴霍尔操纵杆实现焊枪空间定位(精度 $\pm 0.1\text{mm}$), 随后启动送丝机构并预通 CO_2 气体3秒确保保护气氛形成。启动焊接程序后, 系统预通 CO_2 保护气3秒(流量 $20\text{L}/\text{min}$), 形成气体隔离区。送丝机构推送实心焊丝接触工件, 通过接触引弧点燃电弧, 在 CO_2 气氛下产生高温电弧熔化工件与焊丝, 形成液态熔池。熔融金属在电弧力作用下实现冶金熔合, 冷却后形成焊接接头。该工艺热源集中作用于工件表面, 可通过调节电流电压精确控制热输入, 焊接过程无明火且保护气抑制有害气体产生。在参数设计中采用短路过渡方式降低热输入, 焊接电流设定为 $100\text{--}140\text{A}$, 电弧电压 $18\text{--}20\text{V}$, 焊丝干伸长度 12mm 。焊接速度控制在 $0.5\text{m}/\text{min} \pm 15\%$, 速度过高易导致未熔合, 过低则增大变形风险^[3]。

1.2 控制单元总体设计

在控制单元设计中, 系统主要以西门子S7-200SMART为控制核心, 分别与三维运动机构、高频焊接装置和送丝装置建立硬件连接。单片机通过若干电机驱动器分别建立与驱动X轴、Y轴、Z轴、两个送丝机构以及转台执行单元的步进电机的电气连接, 借此实现对相应电机运转速率与行进方向的精确控制功能; 在单片机与步进电机之间配置有接近传感器组件, 该传感器被精

准安装于每一坐标轴的极限位置处, 其核心作用在于对电机行程实施边界监控, 确保设备在安全行程范围内运行, 有效防止电机脱离预定轨道; 单片机与高频焊接控制器之间设置继电器模块, 该装置承担着小功率信号对大功率负载进行电气隔离与控制的任务, 保障高电流设备依指令启停运行; 此外, 单片机经由RS232标准电平转换电路与工业级串口显示屏及三轴霍尔效应操作杆实现信号互通, 凭借此通信链路, 系统得以支持焊接工艺参数的实时调试与设定操作, 并完成焊接点及过渡点空间坐标数据的采集与持久化存储等关键功能^[4]。

2 控制系统硬件电路设计

本系统以西门子S7-200SMART控制器为核心, 用于电缆钩的焊接, 控制系统包含西门子S7-200SMART最小系统, 电源模块, 步进电机滑台滚珠丝杠、步进驱动器、光电限位开关、按钮、电控箱等组成。滚珠丝杠主要参数:

X轴步距角 1.8° , 电流 5.8A , 保持扭矩 5N , 丝杆长度 1500mm ;

Y轴步距角 1.8° , 电流 3.5A , 保持扭矩 8.5N , 丝杆长度 200mm ;

Z轴步距角 1.8° , 电流 3.5A , 保持扭矩 3N , 丝杆长度 300mm ;

控制器最小系统主要是指想要使控制器正常流畅运行, 最少需要连接哪些部件, 本系统中包含时钟电路、启动电路、电源电路、复位电路、程序下载接口电路等。其中电源电路设计中需要考虑西门子控制器最小工作电压为 3.3V , 因此需要使用 24V 电源为其供电^[5]。

在电源模块设计中, 交流-直流转换装置接入标准交流供电网络, 其输出的特定直流电压作为后续转换环节的能量输入来源。该电路系统中, 选用具有降压调节功能的集成电路模块实现工业级串口显示单元所需工作电压的精确转换输出; 同时, 采用另一型号的降压型电压调节芯片为三轴磁场感应式操作手柄提供适配的直流工作电源; 为满足主控微处理器的运行需求, 通过低压差线性稳压器件将前级直流电源调整为更低的基准电压, 形成主控制器稳定运行所需的核心供电网络。同时, 使用一个 24V 直流开关电源, 为PLC的输入部分、步进电机驱动器以及限位传感器供电。接线端配置为L+连接 24V 电源正极, M连接负极, 这里需要注意的是1M是公共端, 当1M接 0V 时, 其他端口为高电平有效, 当1M接 24V 时, 其他端口为低电平有效。以及驱动器的EN+、DIR+、PUL+等引脚(经过限流电阻), 电源的负极连接到 0V 端子^[6]。

PLC输入与输出部分:

输入点分配: 9个光电开关(限位+原点)+启动/急停按钮;

X轴: 原点I0.0, 负限位I0.1, 正限位I0.2;

Y轴: 原点I0.3, 负限位I0.4, 正限位I0.5;

Z轴: 原点I0.6, 负限位I0.7, 正限位I1.0;

启动: I1.0;

急停: I1.1。

定位逻辑:

通过光电开关实现回零、行程保护、绝对/相对定位。

输出点分配: 西门子S7 200 SMART ST30集成3路100kHz高速脉冲输出, 作为步进丝杆的脉冲输出信号。Q0.0/Q0.1/Q0.3脉冲输出引脚, Q0.2/Q0.7/Q1.0作为步进丝杆运行的方向控制信号, 焊机控制Q1.2。

驱动器与步进电机连接: 驱动器的A+、A-、B+、B-分别接电机的A相和B相, 确保正确接线, 可在连接前用万用表测一下A相和B相。EN+、DIR+、PUL+接在电源的+24V, 外接限流电阻阻值为2K。西门子S7-200 SMART系列PLC驱动步进电机时, 驱动器的PUL为脉冲信号, 需要接到PLC的高速脉冲输出端口上, DIR为方向信号, ENA为脱机信号可不接。

在显示屏模块设计中, 选用当前工业领域中最简洁的人机交互设备, 工业串口屏, 在操作人员触摸屏上设定好的图文按钮时, 主控系统将根据按钮信息运行预先编好的程序以驱动各种连接设备, 可以取代机械式的按钮面板, 从而省却控制系统的许多硬件资源及相应的硬件电路设计, 同时使得操作人员获得灵活便捷和人性化的操作体验^[7]。

3 控制系统软件设计

本系统采用的西门子S7 200 SMART ST30控制器内核是基于ARM的微处理器, 其作为一个软硬件结合的计算机系统, 能够以编程的方式生成可执行文件, 之后再将其文件加载到系统存储器中, 在通过系统MCU对外部电路进行控制。在焊枪运动程序设计中, 以X轴为例, 测量系统: 电机一次旋转所需脉冲数为3200mm, 电机旋转产生20mm运动。方向控制: 单相2输出, 负极性, 使用P0作为任一方向的脉冲输出, 使用P1指示运动方向, 当P1激活表示负向移动, P1未激活表示正向移动。输入: 对LMT+正向限位、LMT-反向限位、RPS原点进行配置。STP启动, 输入Q1.1, 立即停止。电机速度: 最大值300mm/s, 最小值0.2mm/s, 启动/停止速度2.0mm/s, 电机时间: 加速和减速时间1000ms存储器分配: 设置为VB3000。其余为默认值, 再依次对其余两轴依次进行设置^[8]。

在人机交互界面设计中, 需要采用工业串口屏与控制器进行通信, 负责完成焊接参数设置以及焊枪控制操作。在界面设计中需要对按钮字样、字体库、图标等进行设计, 保证人机交互效果。在界面配置中需要包含显示与设置两个部分, 针对焊接平台需求, 参数包含焊接过程中控制的各种参数。

在PLC程序设计中, 功能模块分为初始化、手动调试、自动运行、故障处理等子程序。其中初始化使用AXIS_CTRL命令进行。前置的开关设置为always_on, 其中DIR为初始方向, SPEED为初始速度, POS为初始位置, ERROR为报错, DONE为完成。通过监控完成位, 确认初始化完成情况。寻找原点使用AXIS_RSEEK命令进行, CPU_输入为I1.0, 当按下启动按钮时, 焊接系统开始寻找原点, 直至完成。控制轴移动采用AXIS_GOTO命令进行。通过XYZ轴初始化后寻找原点, 原点同时也是电缆钩第一个焊接位置, 并自动开始焊接。整体程序退步序标志位, 整体按步运行, 例如当完成初始化时, 到达步序100, Z轴下降到指定高度时, 到达步序101依次设计并自动执行。

S型加减速算法, 在程序设计中加减速控制是轨迹规划和系统开发的重要组成部分, 为了提升自动焊接精度, 需要借助S型曲线加减速控制方式, 实现低速阶段的平稳启动与高速阶段的平滑加速。在设计中鉴于标准的加减速曲线模型计算量较大, 所以要对计算模型进行假设, 将其分为加速、减加速、匀速、加减速等阶段^[9]。

4 实验调试与结果分析

为了对自动焊接平台的各项功能进行验证, 在系统设计完成后需要对系统电路进行调试, 调试过程中需要使用万用表测试各模块输出电压是否标准, 工作电压是否满足工作需要, 并在出现异常后对布线的准确性进行检查^[10]。

在调试完成后, 对系统进行实验, 先进入手动焊接程序, 对电缆钩焊接点位进行定位, 之后再进入自动焊接程序, 系统自动完成焊接, 证明系统正常运行。

5 结束语

综上所述, 在现代化工业发展中中国制造已经逐渐升级为智能制造。而本文设计的自动焊接系统就是在这一背景下积极应用智能化技术手段研发的, 本系统以西门子S7 200 SMART ST30控制器为核心, 能够实现电缆钩全自动焊接, 研究表明该系统可以有效满足电缆钩焊接需要, 具有良好的应用前景。

[参考文献]

- [1]陈国雄, 曹阳, 吴家雄, 等. 焊接平台龙门架结构轻量化设计[J]. 机械设计与制造, 2024(4): 194-199.
- [2]罗卢洋, 谈剑峰, 黄海涛, 等. 工业机器人焊接平台的精准定位与运动控制研究[J]. 锻压装备与制造技术, 2024, 59(4): 118-121.
- [3]唐红辉, 王承亮. 钢管拱肋节段接头高空焊接折叠式作业平台设计与应用分析[J]. 西部交通科技, 2024(7): 168-170.
- [4]钱程. 基于人工势场法的改进双向RRT算法焊接机器人路径规划技术研究[D]. 吉林化工学院, 2024.
- [5]韩家欢, 李星星, 管功湖. 基于云平台和PLC的换向器自动焊接系统设计[J]. 台州学院学报, 2024, 46(3): 36-41, 71.
- [6]张鹤鹏, 许鹏, 陈笑颖. 典型航空焊接工艺数字化车间MES设计与实现[J]. 机电工程技术, 2024, 53(9): 238-242.
- [7]张富淋, 霍平, 何亚杰. 移动焊接机器人结构设计与路径规划[J]. 机床与液压, 2024, 52(9): 36-43.
- [8]王宏伟, 苏强, 沈旭奎, 等. 一种新型铝合金地铁车辆车体底架焊接结构设计[J]. 铁道车辆, 2024, 62(3): 76-79.
- [9]周超, 蒋毅, 韩晴清, 等. 波纹板自动焊接机器人设计与研究[J]. 热加工工艺, 2024, 53(23): 39-47.
- [10]郭凌辉. 托辊架自动焊接生产线设计研究[J]. 现代制造技术与装备, 2025, 61(2): 187-190.

作者简介:

梁东(1985—), 男, 汉族, 内蒙古鄂尔多斯人, 职称: 工程师, 本科, 主要研究方向: 煤矿设备维修。