

基于高速 DSP 技术的低成本智能 焊接机器人设计与研究

卢绍庆

(中国船舶集团有限公司 七五〇试验场, 昆明 650216)

摘要: 针对目前工业化焊接存在工作繁重、人员劳动强度大、身体容易疲劳、易出错、安全生产事故率较高、焊接质量难以保证等问题, 基于国外进口通用焊接机器人价格昂贵、维护保养成本高、备品备件难选购等情况, 提出一种高速 DSP(数字信号处理器)的低成本智能焊接机器人解决办法, 深入研究了机器人各关键部件和核心技术, 搭建了机器人硬件平台, 设计了专用运动控制器, 分析了人工引导方式“示教—编程”操作学习方法, 应用大量工业成熟货架产品, 实现了专用智能化焊接机器人, 制造了国产化样机并投产实机对比验证, 可原位替代昂贵进口设备, 提高产品焊接质量, 减少人工出错率, 降低工人劳动强度, 节约设备采购维护成本, 提高劳动生产率。

关键词: 焊接; 机器人; 高速 DSP; 运动控制; 示教学习; 低成本; 国产化;

Design and Research of Low Cost Intelligent Welding Robot Based on High Speed DSP Technology

LU Shaoqing

(China Shipbuilding Corporation Equipment Research and Test Center, Kunming 650216, China)

Abstract: At present, current industrial welding has the problems of heavy work, high labor intensity, easy fatigue, prone to errors, high accident rate in safe production, and difficult to guarantee welding quality. In order to solve the troubles of high price, high maintenance cost, and difficult to purchase the spare parts of imported universal welding robot, a low-cost intelligent welding robot solution on high speed DSP is proposed. The key components and core technologies of the robot are deeply studied to build the robot hardware platform, design the special motion controller, and analyze the operation learning method for teaching and programming in the manual guidance mode, a large number of industrial validated products are used to realize the development of the special intelligent welding robot, and manufacture the domestic prototype and put it into production. The comparison and verification of the real production, which can replace the expensive imported equipment in situ, improve product welding quality, reduce manual error rate and labor intensity, save the cost of equipment procurement and maintenance, and improve labor productivity.

Keywords: welding; robot; high speed DSP; motion control; teaching and learning; low cost; domestic

0 引言

随着现代工业化发展, 焊接技术在机械设备生产制造、危险性较大的核工业、航空航天技术、交通能源技术、化工石油及建筑领域、电子生产行业中的应用越来越广泛, 先进计算机设计/控制技术、应用电子技术、智能数控技术及无人机器人技术的发展为自动化无人焊接技术奠定了坚实基础。

在工业生产中, 经常需要用焊接工艺将金属件、金属板进行固定连接^[1], 一般采用手工方式完成这种焊接工作, 但是存在明显的不足之处: (1) 焊接质量依赖焊工技术水平及操作时的临场发挥状态, 产品质量不稳定, 操作人员劳动强度大, 身体容易疲劳, 劳累后易出错, 这直接影响到焊接产品的制造质量问题; (2) 焊接环境一般比较恶劣, 焊接过程会产生有毒气体、物质及光辐射, 对工人的身体健康造成明

显损害; (3) 纯手工操作, 除产品焊接质量难以保证外, 劳动安全生产事故率较高, 而生产效率还比较低^[2]。

针对目前存在的这些情况, 资金流转比较充裕的国内公司、企业普遍采取直接引进国外技术较先进的通用工业机器人解决问题; 但是进口产品往往价格昂贵、现场维修困难、维护保养成本较高, 而且国外厂家经常将常用功能设计为扩展功能配件, 需要额外采购以提高附加值, 这些配件甚至达到和机器人本体比拟的较高价格, 这种行为是多数企业所无法承担的。

因此集中力量, 开发一种符合我国实际国情, 针对专门焊接生产的工作任务, 且设备精度适中, 价格明显便宜、易于维护保养、而焊接质量达到标准的智能化工业机器人势在必行。

收稿日期: 2022-09-23; 修回日期: 2022-10-31。

作者简介: 卢绍庆(1976-), 云南昆明人, 男, 高级工程师, 主要从事水下航行器自动控制技术及仿真技术方向的研究。

引用格式: 卢绍庆. 基于高速 DSP 技术的低成本智能焊接机器人设计与研究[J]. 计算机测量与控制, 2023, 31(5): 120-125.

1 低成本焊接机器人结构

图1所示为一种可以替代进口昂贵产品, 基于现代高速 DSP 控制技术开发的低成本工业智能焊接机器人结构。

低成本工业智能焊接机器人由支撑底座、机器人主竖轴、机器人主摇臂、机器人小摇臂、焊枪立轴、焊枪立轴外套轴、焊枪头、齿轮组、电机组、编码器组、机器人控制器等部分组成。

其中, 焊接机器人支撑底座上设计有调整装置, 可以手动调节整个机器人水平位置, 给机器人提供一个稳固的操作基础。如图1所示, 支撑底座上设置有一个机器人主竖轴, 作为机器人主体。在机器人主竖轴上设计安装有一个可以围绕主竖轴转动的大摇臂(机器人主臂), 通过主臂可以控制机器人的活动范围。

在机器人主摇臂的外端部位, 通过铰接方式, 设计了一个机器人小摇臂, 扩展机器人活动范围, 小摇臂可以围绕大摇臂铰接部位自由活动。在机器人小摇臂的外端部位, 通过铰接方式, 设计了一个可以垂直运动的焊枪立轴, 在焊枪立轴外面设计一个焊枪立轴外套轴, 可以围绕焊枪立轴做旋转运动。在焊枪立轴外套轴的下端部位铰接一个焊枪头作为作业工装^[3]。

在机器人主摇臂、小摇臂, 机器人立轴、立轴外套轴, 以及焊枪头的旋转部位专门独立安装了一套电机驱动、检测机构, 包含驱动电机、减速齿轮以及传感器组(编码器及位置检测传感器)。机器人主摇臂和小摇臂的转动动作, 机器人立轴的升降运动, 以及焊枪头的摆动动作均通过相应的驱动电机及减速齿轮带动运行, 通过同轴安装的编码器及位置检测传感器对转动角度或升降位移信号进行采集测量^[4]。

在焊接机器人的上方位置, 安装一台机器人控制器, 内含机器人运动控制电路、机器人操作界面、手动控制按钮等部分。通过电缆将各编码器及位置检测传感器信号接

入控制器, 通过机器人控制器实时控制各驱动电机的转动, 最终带动机器人主摇臂、小摇臂转动, 机器人立轴、立轴外套轴和焊枪头的相应动作^[5]。

智能焊接机器人的关键核心技术在于控制其动作的运动控制系统。

2 焊接机器人控制系统设计

为了能够原位替代进口某型昂贵的专用焊接机器人系统, 需要对原系统设备进行专门分析研究。由于国外技术封锁, 进口设备可供研究的资料很少, 机器人大多数技术指标缺乏, 只能从实机能够达到的技术能力进行逆向研究, 并参考说明书上简要的描述进行分析。

对比进口智能焊接机器人, 得到如下机器人技术参数数据, 作为替代进口设备的参考技术指标。

2.1 机器人主要技术指标

机器人主要指标参数包括如下。

1) 作业对象: 平面焊接、简单平面多曲线焊接、复杂三维空间焊接、复杂三维空间多工位多点、多部位、连续焊接;

2) 示教学习能力: 具备人工介入半自动示教学习, 脱机自动运行能力;

3) 焊接质量: 超过熟练专业焊工水平;

4) 供电电源: AC220V;

5) 设备能耗: 1.5 kW;

6) 设备重量: 小于 178 kg;

7) 设备尺寸: 1 100 mm×980 mm×1 450 mm (长×宽×高);

8) 主要附件: 触摸式控制面板、手持操作器、标准焊机安装工装;

9) 焊接工装: 标准焊机(AC220V 供电、RS485 通信接口控制)。

2.2 机器人控制系统组成

智能焊接机器人的核心控制系统组成如图2所示, 控制系统采用基于现代 DSP (数字信号处理器) 技术架构为核心构建运动控制器, 主要由 DSP 运动控制器、步进电机驱动器、步进电机、手持操作器、编码器、电源等组成。

从技术角度而言, 智能焊接机器人实际上是一个多自由度(多关节)运动控制的机器人, 其机器人主摇臂、小摇臂, 机器人立轴, 以及可以旋转运动的焊枪均为单个可以独立运动的关节, 构成了四自由度运动机器人模型。

其中 DSP 运动控制器为焊接机器人系统的控制核心, 主要完成机器人多自由度(多关节)运动控制数学建模, 根据各编码器测量得到的各个关节手臂的运动角度, 解算得到最末关节处连接的

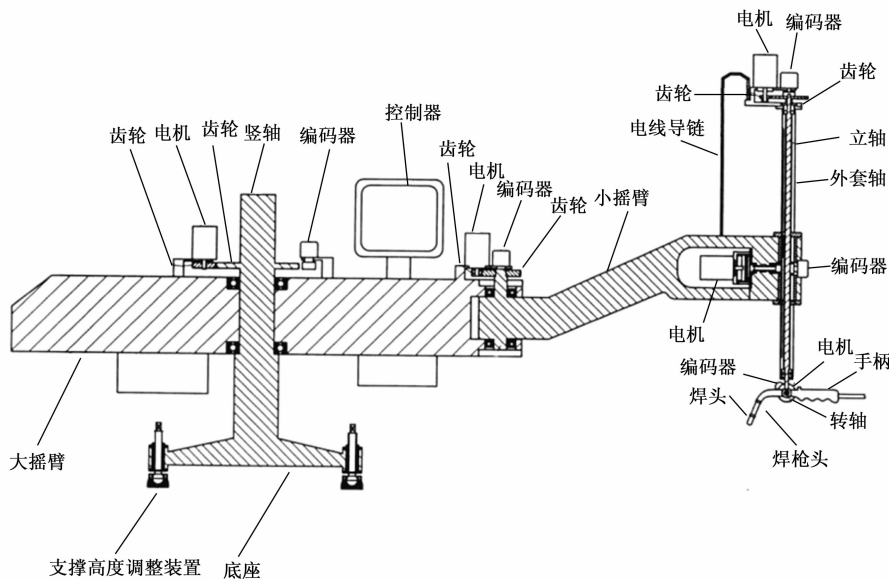


图1 焊接机器人组成结构图

焊枪的绝对坐标位置,并根据系统设置的运动控制模式(直线运动或圆弧运动),进行直线插补计算或圆弧插补计算,得到下一个机器人各关节的目的运动轨迹点,再解算出各个关节手臂的目标运动角度,并将控制指令发送到驱动各个关节的步进电机驱动器,驱动对应的步进电机进行旋转动作,从而完成一次各关节运动控制动作。

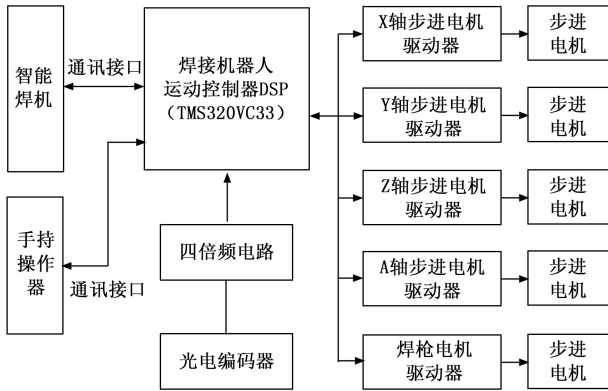


图2 焊接机器人控制系统组成

机器人控制系统采用增量式编码器测量焊接机器人各个关节的实际位置,并使用对射式光电传感器测量各关节的物理零点位置,供机器人上电时执行自动“回零位”操作,建立角位移测量系统。

控制系统扩展两路RS485通讯链路,一路连接手持操作器,用于操作人员进行机器人手动控制及示教操作。另一路用于连接智能焊机,进行联动控制。焊接机器人各运动手臂使用步进电机进行驱动控制,根据实际安装位置,依次分为X轴、Y轴、Z轴、A轴、焊枪手腕共五轴联动。

3 焊接机器人运动控制器

焊接机器人运动控制器是整个焊接机器人系统的中枢神经大脑,主要由计算机硬件、计算机软件和专门设计的电路组成。其中计算机硬件为计算机软件系统提供运行平台^[6],计算机软件的控制功能通过硬件平台去实现。焊接机器人控制器的应用软件由操作系统软件和用户应用软件组成,整个应用软件包括了焊接机器人专用语言(G代码)翻译解析、机器人运动学解算、动力学计算、焊接系统硬件控制、机器人系统自诊断、自保护等功能。

考虑到机器人控制系统需要进行大量运动学和动力学实时数学运算,因此焊接机器人运动控制器采用现代DSP(数字信号处理器)技术构建控制系统。焊接机器人运动控制器主要由DSP(数字信号处理器)、RS485通讯扩展电路、并行输入扩展电路、增量式编码器扩展电路、并行输出扩展电路、步进电机控制差分输出扩展电路、存储器电路、电源变换电路及设备外壳等组成(如图3所示为DSP控制系统组成)。

其中,DSP(数字信号处理器)选用美国TI公司高性能、高速度TMS320VC33型浮点型DSP作为主控制器,TMS320VC33是美国TI公司推出的TMS320系列第三代数

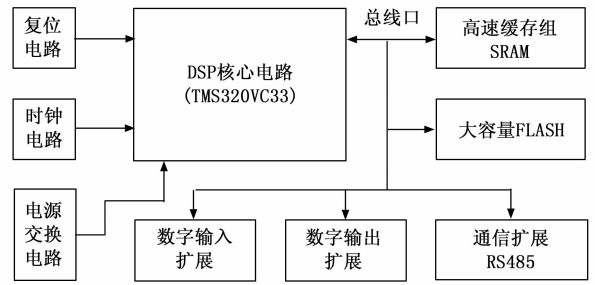


图3 DSP控制系统组成

字信号处理器,作为C32系列DSP的升级产品,TMS320VC33基于32位浮点运算单元,采用LQFP-144引脚封装,在国内外目前使用较广泛的浮点型DSP芯片,设计人员易上手,最快单指令周期执行时间为13 ns,CPU具备定点数运算75 MIPS、浮点数运算150 MFLOPS的处理能力^[7]。

VC33型DSP芯片功耗较低,一般情况下不到200 mW,其I/O接口供电为3.3 V电平范围,CPU内核为1.8 V电压。芯片内部将程序总线、地址总线、DMA(直接存储器访问)总线分开设计,允许CPU同时执行读取程序指令代码、数据读写、DMA等并行操作;其指令代码和数据的位字长为32位,CPU地址操作线有24条(bit0-bit23),全部可以寻址地址空间为 $16\text{ M}\times 32\text{ 位}=64\text{ M}$ 字节;程序空间、数据控制、I/O空间都包含在这 $16\text{ M}\times 32\text{ 位}$ 的地址空间内统一编址访问。

如图3所示,DSP运动控制器使用外部10 MHz有源晶振产生DSP外部时钟信号FOSC,通过DSP片内PLL锁相环倍频^[8],产生速度达到150 MHz的系统时钟SYSCLK,供DSP内核系统及外部扩展设备使用,DSP核心电路如图4所示。

DSP外部扩展两片高速大容量SRAM存储器ISSI6416阵列(容量 $64\text{ k}\times 16\text{ 位}\times 2=256\text{ k}$ 字节),用于高速数据缓存及程序缓存,并扩展1 M字节SAMSUN公司NAND FLASH阵列作为程序存储器及参数数据存储用。DSP上电复位后,先执行BOOT功能,将软件代码从片外NAND FLASH中载入高速SRAM存储器中,然后指令指针转到片外高速SRAM中高速运行指令代码^[9]。

控制器扩展了两通道隔离RS485串行通讯接口,用于连接智能焊机和手持操作器。扩展了隔离五通道增量式光电编码器计数接口,用于连接焊接机器人各个关节上同步运行的编码器,实时测量各关节的转动角度。

运动控制器扩展了16路并行DC24V输入接口,连接机器人各关节安装的机械零位传感器,用于测量机器人关节的物理零位位置;接入人机操作按钮、开关、急停保护按钮等输入指令。运动控制器扩展了16路并行DC24V输出接口,用于驱动机器人手臂上安装的电磁离合器、指示灯及控制焊机动作。

为了提高整个机器人控制系统的抗干扰能力,运动控制器专门扩展了多通道高速差分输出接口,控制器与步进

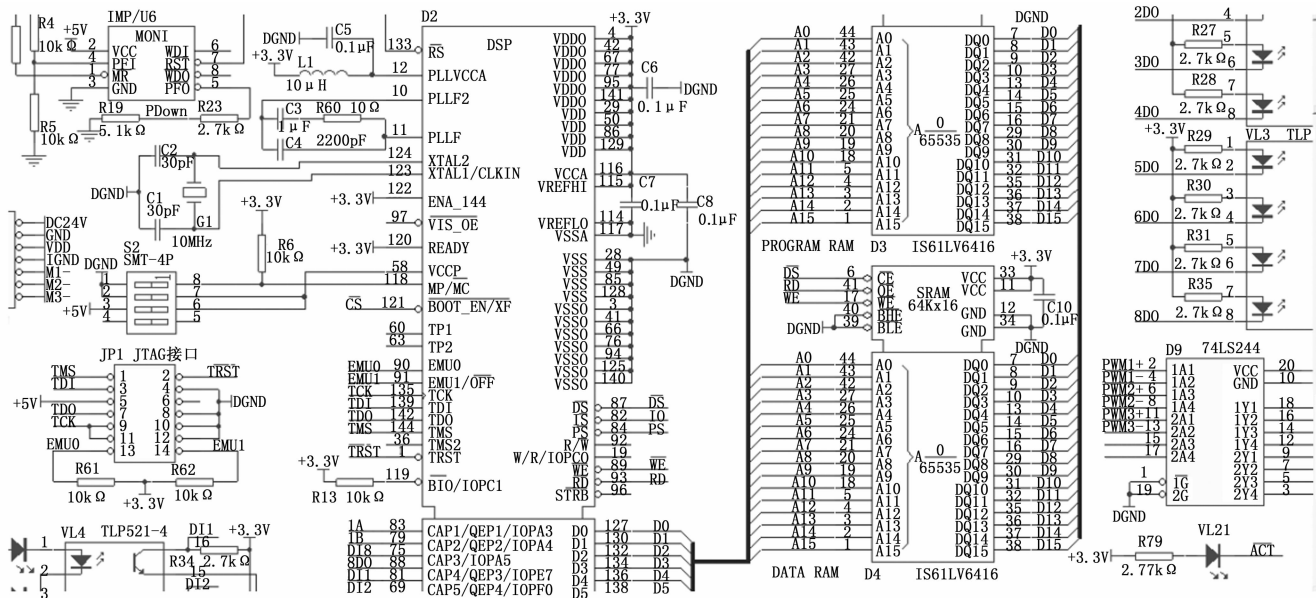


图 4 DSP 核心电路图

电机驱动器之间采用高速差分信号传输控制指令，对步进电机进行实时控制。

4 机器人驱动机构

机械手是焊接机器人系统的执行机构，主要由驱动器、传动机构、机器人臂关节和各种内部传感器等组成。其任务是精确地保证安装于机械手末端的操作机构的准确位置，以及机构的姿态，并按照要求进行运动控制^[10]；焊接机器人的机械手在组成结构上具有 4 个及以上可自由编程的运动自由关节（第五个为半自由运动关节），在控制逻辑上可以分为主关节和次关节两个控制层次，将不同数目和不同层次的控制关节进行组合，就决定了焊接机器人工作的运动空间。

焊接机器人通常使用电气驱动、液压驱动或者气压驱动作为主要驱动方式，基于设计、加工、维护等方面的原因，目前采用电气驱动的机器人越来越多。焊接机器人的运动实际上是各个关节之间的运动，这主要是靠驱动电机来驱动对应关节运动动作来实现。

电动机是焊接机器人驱动系统中的主要执行元器件，通常采用伺服电动机、步进电动机或者无刷电动机作为动力源。考虑到系统成本及所需快速性、惯性、精确度等诸多要求，此处采用以直流 24 V 电源供电的步进电动机作为焊接机器人的驱动机构，通过扩展减速比为 1:20 的谐波减速器，可以放大步进电机输出扭矩至 20 倍，增大电机承载能力，而且谐波减速器运行平稳，力矩传递均匀，有利于机器人关节的定位和精确控制。

步进电机使用专用驱动器进行驱动，其控制信号较简单，主要包括方向控制 DIR 指令、脉冲 PULSE 指令、使能 EN 指令。其中，DIR 指令控制电机转动方向，PULSE 指令控制电机步进旋转，使能 EN 指令可起到“电刹车”效果。

为了提高机器人手臂驱动定位精度，此处采用了步进电机“细分驱动”技术，将每个步进电机控制脉冲细分到原输出步距角的 1/1 000，从而大大提高了机器人手臂运动平稳性和定位精度，在焊接机器人运动控制器输出的指令控制下，快速准确地运动到需要的目标位置。

5 机器人位姿检测传感器

焊接机器人运动学和动力学解算的基础是高精度位姿检测传感器，传感器的精确度直接决定了焊接机器人最终能达到的定位控制精度，此处使用了与步进电机同轴安装的数字式增量光—电编码器对机器人手臂位置进行联动检测。

增量式光—电编码器是一种通过光—电转换技术，将待测物体输出轴上同轴的机械几何角度位移量，同步转换成脉冲式数字量的传感器。增量式光—电编码器一般由光栅盘和光电检测转换装置构成，通过在圆板上等分等间距开通固定数目的长方形孔制成光栅盘。将电动机输出轴与光栅码盘同轴安装，当电动机旋转时，电动机与光栅码盘同步同速旋转，采用光—电发光二极管等电子元件组成光—电检测装置，检测输出对应光栅码盘的一序列脉冲信号^[11]（如图 5 所示），再计算单位时间内光—电编码器输出的脉冲个数，就能计算得到当前电动机的旋转位置和旋转速度^[12]。

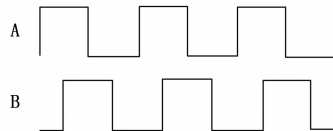


图 5 增量式光电编码器输出波形

如图 5 所示为光电编码器输出脉冲信号，光电编码器输出脉冲为两路相位相差 90°的正交脉冲序列 A 及 B。其中 A、B 正交脉冲在一个信号周期内具有 4 种状态变化，用二进制表示为“00-01-10-11”。在电动机正方向旋转时，A、B

两相正交脉冲会按照“00-10-01-00”状态规律进行变化；而在电动机反方向旋转时，A、B两相正交脉冲按照“00-01-10-00”状态规律进行变化；因此通过判断信号A及B的相位之间的关系，就可以方便地得到电动机的实际旋转运行方向^[13]，为判断步进电机的旋转方向提供了便利。

此处选择的光电编码器为日本OMRON公司DC24V直流供电分辨率为1 000P/圈的增量式脉冲编码器，每旋转一圈(360°)总共可以输出1 000个脉冲^[14]，相当于脉冲分辨率为：

$$S = 360^\circ \div 1\,000 = 0.36^\circ (\text{度/脉冲}) \quad (1)$$

式中，S为分辨率。

对于精度要求较高的焊接机器人运动学和动力学模型解算而言，这样的精度明显达不到要求。

因此，需要想办法将脉冲分辨率提高才行，如果重新采购分辨率达到4 096P/圈的编码器，则导致硬件采购成本明显增加，不利于“低成本”化设计的要求。此处光电脉冲编码器输出至焊接机器人运动控制器之前，专门设计了一个“四倍频”电路，可以将编码器分辨精度直接提高四倍，达到：

$$S = 0.36^\circ \div 4 = 0.09^\circ (\text{度/脉冲}) \quad (2)$$

再结合减速机减速比为1:20的放大效果，最终达到：

$$S = 0.09^\circ \div 20 = 0.0045^\circ (\text{度/脉冲}) \quad (3)$$

采用此硬件电路设计，可以将普通低成本传感器的精度级别提高到较高分辨率，既降低了硬件成本，又为焊接机器人以较高精度进行位置检测及控制打下坚实的基础。

6 机器人手持操作器

如何规划焊接机器人的轨迹是工业机器人控制领域的一个关键问题，在工业生产中应用的工业机器人一般采用示教或者离线编程的方式，对加工任务进行路径规划和运动编程^[15]。

远距离操作器是焊接机器人的扩展附加部分(可选件)，作为焊接机器人的便携式“示教编程器”，可以方便操作人员在较远距离对焊接机器人进行系统性的操作和控制，主要包括焊接机器人远程控制、远程示教编程、远程规划下达工作任务等功能。

焊接机器人控制系统手持操作器采用普通八位单片机进行设计，主要由MCS8051系列单片机、点阵液晶显示器、矩阵键盘扩展接口、矩阵键盘、大容量显示缓存存储器、隔离RS485通讯扩展接口、电源变换电路及外壳等组成。

手持操作器外形为一个塑料盒，盒面上安装一台多行字符点阵式液晶显示器，用于作为人机交互显示接口，将焊接机器人控制系统内部信息显示给操作人员。操作器面板上设置48个按键，用于人工输入指令、参数及数据。

7 实验结果与分析

按照设计要求，生产了三套焊接机器人进行系统测试。为了最大程度地降低风险，保证试验设备的安全性，本课题的试验分为3个阶段，第一阶段是搭建两轴的试验平台，

完成一些功能验证和程序的调试；第二阶段是在第一阶段成功完成后，将控制系统转移到真实的带电作业机器人上进行试验；第三阶段将本设备与某型进口设备进行实机安装对比测试验证。

实际使用过程中，焊接机器人主要采用“示教学习—编程再现”的方式进行作业，首先，“示教学习”就是事先由操作人员教会焊接机器人示教信息，机器人将示教学习得到的信息进行存储。“示教学习”结束，焊接机器人切换到自主操控状态，“编程再现”是焊接机器人按照示教学习时期掌握的的工作方式、工作路径、作业动作进行工作^[16]，即焊接机器人的全部自主动作是按照“示教学习—存储记忆—编程再现”的顺序来自动进行，无需人工干预。具体办法是操作员通过操作“手持操作器”键盘操作演示示教动作流程，使机器人各手臂运动到预定位置，然后再记录存储该位置信息，并预先指定这一过程中的工作任务等动作信息。

这里设计的焊接机器人采用了独立研发关键技术，主要由面向对象(机器人)的机器人路径规划、机器人自主学习、自编程技术。整个技术以多个焊接参考特征点作为“示教学习”的基础点，在选取参考特征点时，不需要通过操作人员在“手持操作器”上手动按键发出指令以移动机械臂，而是由人工直接将机械臂拉动到所需要的位置，或者沿焊接工艺需要的焊缝按照顺序移动到焊缝的终点，然后操作一个功能按键^[17]，“告知”机器人控制器录入该相关坐标点参数、采集位置信号即可完成人工“示教学习”操作。

采用基于DSP技术的国产化智能焊接机器人系统单机装配调试结束后，除了需要将机器人接入真实作业环境进行适应性测试，完善所有功能，排除系统故障，消除设计缺陷外；作为全国产化进口原位替代设备，还需要与进口设备进行对比测试验证，按照设计说明书逐项比对，确认国产设备与进口设备间的差异及优势。因此，从以下几方面进行测试：作业能力(即机器人能干什么)、作业准备的复杂程度(即需要准备什么)、焊接过程的示教学习智能程度(即怎么教会机器人干什么)、焊接质量、能耗、所需人工工时、操作难易程度、系统购置成本、系统可靠性、系统维护性、备品备件采购难易程度等。

对比验证过程严格按照相同测试条件、相同工作内容进行，安排同一个熟练操作人员对两台套机器人设备进行测试，测试内容包括：使用机器人对常用焊接对象，进行多板件多工位拼接搭焊，对一台汽车发动机外壳进行复杂曲面连续不间断焊接，对农用载重车辆驾驶室外壳进行多点、多部位、连续生产线空间点焊。焊接前由操作人员使用手持“示教编程器”对机器人进行“示教学习”，编程录入各部位焊接工艺；脱机后，由机器人自动对测试对象进行全自动焊接；最后，由工艺师对焊接质量进行检验，达到焊接质量要求为合格，达不到为不合格，明显超过为优良，最终统计得出验证结果。对比验证结果如表1所示。

表1 国产低成本设备与进口设备对比测试

测试内容	进口设备	国产低成本设备	备注
常用焊接作业能力	合格	合格	多板件多工位拼接搭焊
复杂焊接作业能力	优良	合格	复杂曲面连续焊接
生产线复杂焊接作业能力	优良	合格	复杂空间多点、多部位连续焊接
作业准备复杂程度	容易	容易	安装焊枪、开机、自检、自动调零位
示教学习难易度	较复杂	很容易	人工操作示教学习
焊接质量	优良	合格	均能达到要求
能耗	1.5 kW	1.41 kW	两者相当
人工工时	1	0.87	“示教学习”比进口设备快
操作难易程度	较难	很容易	进口设备全英文,国产中文
系统购置成本	较高	很便宜	国产价格低
系统可靠性	高	较高	进口设备更高
系统维护性	较困难	很容易	国外维护响应慢、周期长
备品备件采购难易度	较困难	很容易	进口采购周期长、价格高

对比测试数据表明,使用国产化设备,在几秒钟内就可以完成单点示教操作动作,当需要录入一段非规则的连续复杂焊接曲线时,这种操作效率往往更高。经过实际操作测试,基本上能达到1秒/点的操作速度,在通用型六臂(六自由度)机器人上这种速度是不可能实现的^[18],与进口某型六臂机器人做对比,进口机器人需要使用各种按键来不停地调整控制机械臂,才能运行到所要求的目标位置;某些情况下,甚至需要10个以上按键连续操作才能控制机械臂到达指定位置^[19]。录入一个关键特征点需要如此耗时及复杂,在焊接行业常见到的连续多焊接点、多复杂曲面作业时,这种效率方面的差异性将更加明显。

从表1可以看出,进口设备在复杂焊接作业、生产线复杂焊接能力、系统可靠性方面,焊接质量优良,焊接作业能力有优势。但是,进口设备存在价格昂贵、备品备件采购周期长、故障后设备维修困难、维护成本高、全英文对操作人员要求较高等问题,而国产化替代设备针对国人设计,操作符合中国人习惯,购置成本低,备品备件易采购,故障后售后维护及时,技术支持方便。

通过实际试验,此焊接机器人控制系统在“示教学习”模式时,能完成各指定特征参考点的设置及记录;在焊接作业“编程再现”模式时,能够通过运动控制器进行实时自动调整,能抵抗工业干扰,精确地定位到所需的特征参考焊接点位上,通过将连续轨迹连贯“再现”,能够将事先由人工“示教”的复杂焊缝及焊点精确复现,大大提高了焊接质量,减少了人工出错的几率,降低了工人劳动强度,在满足焊接质量的前提下,易于大批量采购,扩大生产规模,提高劳动生产率^[20]。

8 结束语

此智能焊接机器人采用人工引导方式,拉动焊枪沿所需焊缝特征参考位置移动,DSP运动控制器通过安装于焊枪末端的信号采集窗前,自动记录存储焊枪移动轨迹点信

息,快速实现了“示教学习”化编程。

智能焊接机器人控制系统采用了开放式概念进行设计,在用户可承受采购成本的基础上应用大量工业成熟技术,实现了专用智能化焊接机器人,主控制器采用高速 DSP 技术研制,驱动用的步进电机和编码器,弧焊电源系统等均采用成熟货架产品,可以在市场上直接低价购置,整套焊接机器人系统价格便宜,远低于进口产品。系统操作软件针对国人习惯进行设计,焊接系统具有标准化扩展接口,比较容易实现系统级集成,此类低成本焊接机器人硬件系统很容易搭建,对于现代化小批量、多品种的机器人系统设计具有很好的借鉴意义,值得大力推广应用。

参考文献:

- [1] HS-1400 焊接机械手简要说明 [Z]. 浙江:温岭市风云机械人有限公司,2019.
- [2] 李彬斌.一种焊接机械手 [Z]. 浙江:杭州浙科专利事务所,2021.
- [3] 熊青春.四自由度教学机器人的研制 [D]. 合肥:合肥工业大学,2006.
- [4] HS-1 型焊接机器人简要说明 [Z]. 浙江:温岭市风云机械人有限公司,2018.
- [5] 杨振文.一种机械手用升降旋转装置及应用该装置的机械手 [Z]. 深圳:华意隆电气股份有限公司,2013.
- [6] 柴玉东.弧焊机器人控制系统研究 [D]. 兰州:兰州理工大学,2008.
- [7] 党瑞荣.TMS320C3X 系列—DSP 原理与开发技术 [M]. 西安:西安电子科技大学出版社,2015.
- [8] 杜普选.实时 DSP 技术及浮点处理器的应用 [M]. 北京:清华大学出版社,2007.
- [9] 党瑞荣.TMS320C3X 系列—DSP 原理与开发技术 [M]. 西安:西安电子科技大学出版社,2015.
- [10] 杨振文.一种机械手用升降旋转装置及应用该装置的机械手 [Z]. 深圳:华意隆电气股份有限公司,2013.
- [11] 刘云龙.焊工(技师、高级技师)第2版 [M]. 北京:机械工业出版社,2015.
- [12] 庞一凡.西门子 S7_300PLC 在电子皮带秤方面的应用 [D]. 无锡:无锡机电高等职业学校,2010.
- [13] 刘辉.基于 STM32 温室大棚作业车控制系统的研究与设计 [D]. 北京:广播电视大学,2019.
- [14] 王晓明.电动机的单片机控制 [M]. 北京:航空航天大学出版社,2002.
- [15] 涂志国.弧焊机器人视觉测量控制系统 [J]. 计算机测量与控制,2004(3):201-204.
- [16] 韩雷.基于 DSP 和 FPGA 的一体化速印机的研究 [D]. 青岛:青岛科技大学,2006.
- [17] HS-1400 焊接机械手简要说明 [Z]. 浙江:温岭市风云机械人有限公司,2019.
- [18] HS-1400 焊接机械手简要说明 [Z]. 浙江:温岭市风云机械人有限公司,2019.
- [19] HS-1 型焊接机器人简要说明 [Z]. 浙江:温岭市风云机械人有限公司,2018.
- [20] 高飞.焊接机器人在船舶工业中的应用 [J]. 江苏船舶,2009,26(3):41-44.