

# 龙门架式焊接机器人系统设计

陈伟<sup>1,2</sup>, 孔令成<sup>1,2,3</sup>, 张志华<sup>2</sup>, 赵江海<sup>2,3</sup>, 王秀明<sup>4</sup>

① 江苏工业学院信息科学与工程学院, 常州 213164; 2 常州机械电子工程研究所, 常州 213164;

3 中国科学院合肥智能机械研究所, 合肥 230031; 4 淮河水利委员会通信总站, 蚌埠, 233001)

**摘要:**针对特种马车底盘、大型地磅框架等大型焊接工件实际焊接需要, 通过触摸屏和可编程控制器 (PLC) 将二维工作台与现有焊接机器人集成一体, 设计一种龙门架式焊接机器人系统, 并将其应用到地磅框架焊接中; 给出机械和控制系统的详细设计方案。实际使用结果显示, 该焊接机器人系统在保留现有焊接机器人焊接精度的同时, 大大扩大了焊接工艺范围。

**关键词:**大型焊接工件; 龙门架; 可编程控制器; 二维工作台; 焊接机器人

**中图分类号:** TP271+.4 **文献标识码:** B **文章编号:** 1671—3133 (2010)08—0159—04

## Design of gantry system of welding robot with PLC and touch screen

CHEN Wei<sup>1,2</sup>, KONG Ling-cheng<sup>1,2,3</sup>, ZHANG Zhi-hua<sup>2</sup>, ZHAO Jiang-hai<sup>2,3</sup>, WANG Xiu-ming<sup>4</sup>

① School of Information Science & Engineering, Jiangsu Polytechnic University Changzhou 213164, Jiangsu, China; 2 Changzhou Institute of Mechatronics Engineering, Changzhou 213164, Jiangsu, China;

3 Institute of Intelligent Machines, Chinese Academy of Sciences, Hefei 230031, China;

4 Huaihe River Water Resources Commission Communications Station, Bengbu 233001, Anhui, China)

**Abstract:** Based on the practical demand for the large-sized welding work pieces, including the special horsecar chassis and large-sized loadometer framework, the two-dimensional stage and the present welding robot are connected together by PLC and touch screen to design a welding robot system with gantry. The detail design of the machine and controlling system is provided. The new welding robot system not only maintains the welding precision of the welding robot, but also expand the range of the welding process.

**Key words:** large-sized welding work pieces; gantry; PLC; two-dimensional stage; welding robot

## 0 引言

据不完全统计, 全世界在役工业机器人中约有 50% 以上应用于焊接领域。但现有焊接机器人工艺范围不是很大, 一般在  $3.14\text{m}^2 \times 340^\circ$  以下, 当然, 也有  $4.15\text{m}^2 \times 340^\circ$  和  $6.43\text{m}^2 \times 340^\circ$  等工艺范围较大的, 基本上能满足普通焊接场合的要求, 而对于焊接特种马车底盘、大型地磅框架等焊接工艺范围较大的场合, 直接应用比较困难, 且随着工艺范围的增大, 焊接机器人价格也大幅攀升。为解决这一问题, 本文采用龙门架式二维工作台与现有焊接机器人相结合的方法, 设计一种工艺范围大的龙门架式焊接机器人系统, 应用于地磅框架焊接<sup>[3]</sup>。实际使用结果显示, 该龙门架式焊接机器人系统既保留现有焊接机器人焊接精度, 又扩大现有焊接机器人的工艺范围, 能够很好地应用

于特种马车底盘、地磅框架焊接。

## 1 总体方案设计

龙门架式焊接机器人系统构成如图 1 所示, 系统由底座 1、齿轮齿条 2、龙门架 3、焊接机器人 7、触摸屏和 PLC、伺服驱动器、伺服电动机 4、5, 以及传动支承 6 构成。

其中, 焊接机器人 7 为六自由度工业焊接机器人, 其焊接精度高, 但工艺范围较小, 其适用于小工艺范围内的高精度焊接; 底座 1、龙门架 3、伺服电动机 4 与 5、传动支承 6 等构成二维 XY 工作台<sup>[3]</sup>, 用于把焊接机器人 7 移动到特定工作区域。实际施焊中, 首先, 根据不同焊接工件特点和焊接机器人 7 的工艺范围把整个工件划分成不同焊接子区域; 然后, 由龙门架式二维工作台按照一定程序将焊接机器人 7 移动到各焊接子区域, 在各焊接子区域内由焊接机器人 7 按照焊接要求

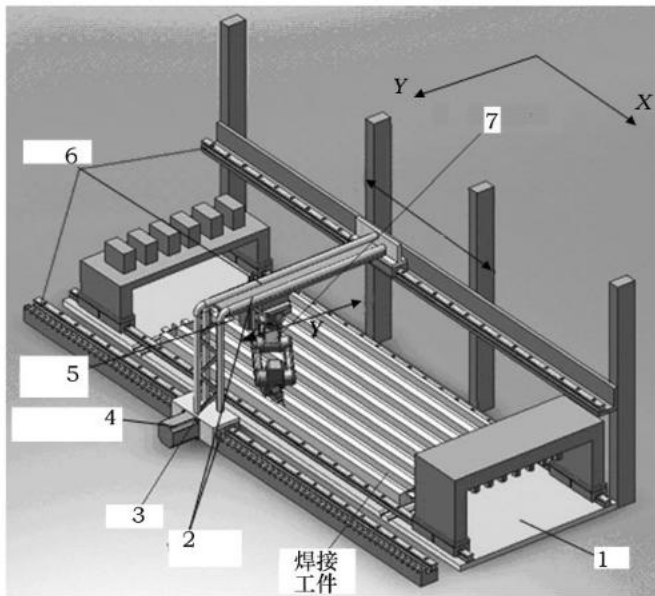


图 1 龙门架式焊接机器人系统构成

1. 底座 2. 齿轮齿条 3. 龙门架 4. X 方向伺服电动机
5. Y 方向伺服电动机 6. 传动支承 7. 焊接机器人

进行焊接,各子区域焊接完成后,整个工件即完成焊接。

## 2 机械系统设计

### 2.1 焊接机器人规格

按照地磅焊接工艺要求并考虑性价比,选择 OTC 公司 AII-V6 型六自由度焊接机器人倒挂安装于龙门架 3 上,实现各焊接子区域的工件焊接。该焊接机器人 7 移动位置重复精度达  $\pm 0.08\text{mm}$ ,动作范围截面面积为  $3.14\text{m}^2 \times 340^\circ$ ,本体质量为  $160\text{kg}$ ,安装方式可倒挂。

### 2.2 XY 二维工作台设计<sup>[3]</sup>

工作台由底座 1、伺服电动机 4 与 5、减速机、龙门架 3、传动支承 6 等组成,如图 1 所示。X 方向伺服电动机 4 经过减速机和 X 方向齿轮齿条驱动龙门架 3 在底座 1 上沿 X 方向运动;Y 方向伺服电动机经过减速机和 Y 方向齿轮齿条 2 驱动焊接机器人 7 在龙门架 3 上沿 Y 方向运动,保证焊接机器人 7 初始焊接位置的精确定位。为避免焊接机器人 7 与其他焊接专机发生运动干涉,龙门架 3 横梁设计得比较宽。两个方向均采用滑动导轨作为支承。

工作台参数要求:焊接区域面积为  $5750\text{mm} \times 3400\text{mm}$ ,工作速度  $\leq 0.25\text{m/s}$ ,加速度为  $0.5\text{m/s}^2$ ,龙门架 3 (X 方向)总载荷为  $196\text{kN}$ ,焊接机器人 7 及底座 1 (Y 方向)总载荷为  $1.862\text{kN}$ ,直线导轨摩擦因数为 0.15,根据焊接系统工况条件,载荷系数定为 1.25,安全系数定为 1.2,运行时间系数为 1.05。于是主要

部件选型如下。

1) 齿轮齿条传动副:选用德国亚特兰大型直齿齿轮齿条,其中 X 轴齿轮节圆半径为  $98.7\text{mm}$ ,模数为 3,允许扭矩为  $367.4\text{N} \cdot \text{m}$ ,大于实际所需扭矩  $306.2\text{N} \cdot \text{m}$  (由 X 轴载荷、X 轴节圆半径、X 轴加速度、载荷系数、运行时间系数及安全系数计算得来),传动副行程为  $6000\text{mm}$ ;Y 轴齿轮节圆半径为  $70.03\text{mm}$ ,模数为 3,允许扭矩为  $34.9\text{N} \cdot \text{m}$ ,大于实际所需扭矩  $20.64\text{N} \cdot \text{m}$  (计算方法同 X 轴),传动副行程为  $4000\text{mm}$ 。

2) 伺服系统:选用欧姆龙公司的 OMNUC G 系列高性能伺服系统,其中, X 轴采用 R88M-G2K020H-Z 型  $2\text{kW}$  伺服电动机,其额定转矩为  $9.54\text{N} \cdot \text{m}$ ,径向负载为  $490\text{N}$ ,轴向负载为  $196\text{N}$ ,额定转速为  $2000\text{r/min}$ ,电子齿轮比可调,所选伺服驱动器型号为 R88D-GT20H-Z。Y 轴为 R88M-G1K020H-Z 型  $1\text{kW}$  伺服电动机,其额定转矩为  $3.18\text{N} \cdot \text{m}$ ,径向负载为  $392\text{N}$ ,轴向负载为  $147\text{N}$ ,额定转速为  $2000\text{r/min}$ ,电子齿轮比可调;伺服驱动器型号为 R88D-GT15H-Z。

3) 减速机:由齿轮节圆半径、模数和工作速度可以计算出 X 轴减速机输出转速  $\leq 48.4\text{r/min}$ ,Y 轴减速机输出转速为  $68.2\text{r/min}$ ;而 X、Y 轴伺服电动机 4 与 5 的转速均为  $2000\text{r/min}$ ,这就是两减速机输入转速,于是可计算出 X 轴和 Y 轴减速机减速比分别为  $41.3:1$  和  $29.3:1$ 。参考亚特兰大减速机手册,并考虑载荷,最终选择减速比分别为 39 和 29 的高扭矩蜗轮蜗杆减速机。

## 3 控制系统设计

### 3.1 控制系统硬件设计<sup>[4]</sup>

龙门架式焊接机器人系统的焊接控制系统硬件由触摸屏、PLC、X 轴伺服放大器和伺服电动机 4、Y 轴伺服放大器和伺服电动机 5 及焊接机器人 7 控制系统等组成,如图 2 所示。PLC 存储焊接工件的数据库,用于 X 轴和 Y 轴伺服单元的运动控制,与焊接机器人 7 控制系统进行信息交换并控制其启停,同时也进行紧急事件处理。PLC 可以储存多种地磅框架焊接数据库,变换型号时通过序号切换,可以很方便地对多种地磅框架进行焊接。焊接机器人 7 控制系统控制焊接机器人 7 及焊机,实现各焊接子区域的工件焊接。触摸屏人机界面,可以方便而快捷地设置和修改工艺参数,并可显示各设备的工作状态。触摸屏与 PLC 之间用 RS422 的方式通信<sup>[5,6]</sup>。

PLC 选择欧姆龙公司的 CPH-X40DT-D 型 PLC,它为多功能一体型小型 PLC,其自带:24 路输入和 16

路晶体管输出;USB 编程口,可扩展 2 个通讯口;4 路 100kHz 脉冲输出端,同时搭载原点搜索、梯形加减速度定位、中断定位送料等丰富的功能;配合 2 个伺服电动机,可以很方便地实现 XY 工作台的控制。

触摸屏选择 WEINVIEW MT6100I 型 10in 真彩触摸屏,它具有 400MHz CPU,128MB 内存;3 个 COM 端口,1 个 USB2.0 接口,1 个 USB1.1 接口;65536 色 TFT LCD 显示器,分辨率达 800 × 480。

焊接机器人 7 控制系统与焊接机器人 7 本体均为 OTC 公司产品。

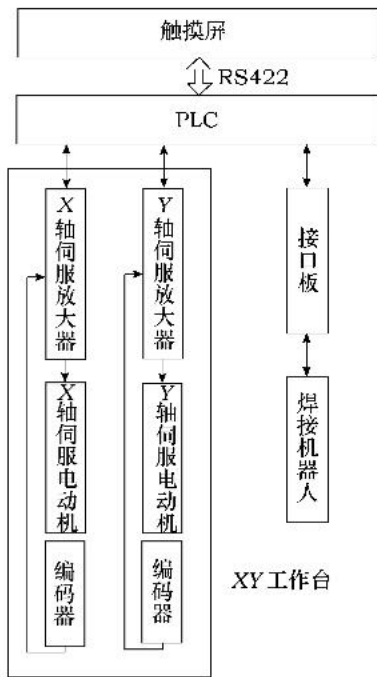


图 2 控制系统硬件结构框图

### 3.2 工件焊接信息表编写

为使龙门架式焊接机器人系统能适应多种焊接工件,把不同工件的焊接信息分别编写成表,即工件焊接信息表。工件焊接信息表由许多项目组成,最基本的有焊接子区域个数  $n$ 、焊接子区域编号  $i$ 、焊接子区域基准点坐标  $(x_{0i}, y_{0i})$ 、焊接程序编号  $j$  等,具体含义如下。

1) 焊接子区域个数  $n$ ,表示整个焊接工件被划分的焊接子区域个数。

2) 焊接子区域编号  $i = 1, 2, \dots, n$ ,把焊接子区域按照一定顺序编号所得。

3) 焊接子区域基准点坐标  $(x_{0i}, y_{0i})$ ,  $i = 1, 2, 3, \dots, n$ 。这是各焊接子区域基准点相对于二维 XY 工作台坐标原点的绝对坐标,是焊接机器人 7 在各焊接子区域内焊接的参考基准,也是 XY 工作台要把焊接机器人 7 移送到的各目标位置。假设要焊接第 3 个焊

子区域,则 XY 工作台要把焊接机器人 7 移到该焊接子区域的基准点  $(x_{03}, y_{03})$ ,然后通过 I/O 口选择焊接机器人 7 的相应焊接程序,对该焊接区域进行焊接。

4) 焊接程序编号  $j$ ,焊接程序编号是存储于焊接机器人 7 中的焊接程序的程序号,OTC A II-V6 型焊接机器人最多可以存储 10000 条程序,程序号为 0 ~ 9999,把其中用于各焊接子区域焊接的程序称为焊接程序,它们对应的程序号就是焊接程序号  $j$ 。焊接程序数量比较丰富,是针对几种常用焊接工件编写的,当有新的焊接工件时,可通过示教等方式,编写新的焊接程序。工件焊接信息表中包含焊接子区域和焊接程序编号的对应关系,如 1 号焊接子区域对应 3 号焊接程序,则在焊接 1 号子区域时,调用焊接机器人 7 中的 3 号焊接程序进行焊接。

工件焊接信息表的其他项目从略。

工件焊接信息表以工件型号 ID 命名,存储在 PLC 中,当要适应的焊接工件量较大时,需给 PLC 外加存储器,或在焊接前将焊接工件的焊接信息表由 PC 机等通过通信端口下载到 PLC 中,再进行焊接。

### 3.3 焊接工作过程

焊接不同工件时,通过触摸屏选取工件型号相应的工件焊接信息表;然后 PLC 会控制 XY 工作台把焊接机器人 7 移到各焊接子区域基准点,通过 I/O 口 (以外部程序调用方式)选择焊接机器人 7 的焊接程序,进行焊接;完成每个焊接程序后,焊接机器人 7 会发给 PLC 一个焊接完成信号,告知 PLC 把焊接机器人 7 移到下一个焊接子区域。焊接机器人工作流程如图 3 所示。

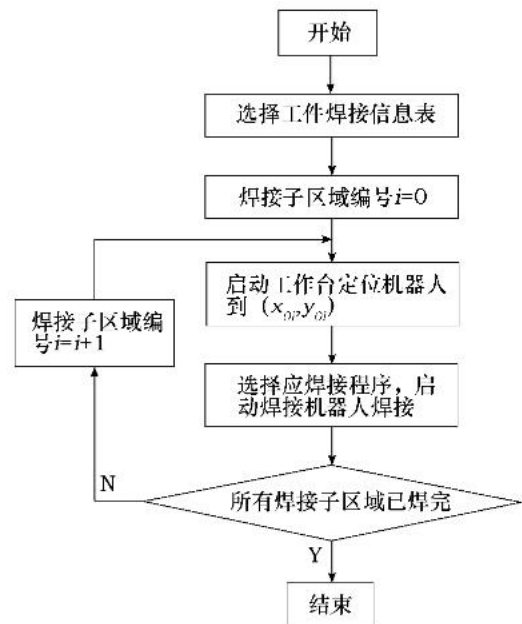


图 3 焊接机器人工作流程

## 4 应用实例

某地磅框架由底板、U 形梁和端面板等组成,焊接区域截面尺寸为 5750mm × 3400mm,如图 1 所示。下面分步说明具体设计过程。

### 4.1 焊接子区域的划分

焊接机器人 7 采用悬垂方式工作,支座高为 700mm。根据 OTC AII-V6 焊接机器人工艺范围可知,该焊接机器人 7 工作在焊缝正上方时,在 Y 方向划分两个区域可完全加工到水平面内 Y 方向所有焊缝。考虑到 X 方向焊缝焊接,图 1 所示的龙门架式焊接机器人系统实际分成了 9 个面积相等的焊接子区域,1~9 为划分的焊接子区域,对应焊接机器人 7 工作区域为 A。

### 4.2 工件焊接信息表编制

焊接子区域编号依次为 1~9,各子区域焊接基准点选为各子区域左下方顶点;通过示教编写了各焊接子区域的焊接程序,存于焊接机器人 7 中,其编号 26~34(0~25 号已被其他程序占用),且分别对应焊接子区域 1~9,即焊接子区域 1 调用焊接程序 26,焊接子区域 2 调用焊接程序 27,依次类推。

### 4.3 试验结果

对 6 个地磅框架进行焊接。实际焊接结果显示,9 个焊接子区域焊接基准点重复定位精度达 0.5mm,焊接机器人 7 在焊缝位置传感器配合下,焊缝质量高,得到委托研发厂家的好评。实际应用试验表明,所设计的龙门架式焊接机器人系统能满足大型焊接件的实际焊接需要。

## 5 结语

采用龙门架式二维工作台与现有焊接机器人相

结合所设计的龙门式焊接机器人系统,在保留现有焊接机器人焊接精度的同时,大大扩大了焊接机器人的实际工艺范围。工件焊接信息表的采用,使不同焊接工件的焊接变得简单。实际使用结果显示,所设计的龙门焊接机器人系统能够满足大型焊接工件的实际焊接需求。

### 参考文献:

- [1] 宋金虎. 我国焊接机器人的应用与研究现状 [J]. 电焊机, 2009, 39 (4): 18-20, 67.
- [2] 张龙华. 焊接机器人在现代工业生产中的应用 [J]. 电焊机, 2009, 39 (4): 21-26.
- [3] 黄成伟, 蔡弋, 李庆祥, 等. 一种 Windows 环境下使用串口控制 xy 工作台的方法 [J]. 仪器仪表学报, 2002 (62): 850-852.
- [4] 李月华, 张华, 叶建雄. 移动焊接机器人及混合控制 [J]. 工业控制计算机, 2007, 20 (7): 9-10.
- [5] 刘伟力, 刘国平, 张华, 等. PLC 在爬行式焊接机器人中的应用 [J]. 南昌大学学报: 工科版, 2003, 25 (4): 14-16, 50.
- [6] 欧元贤, 刘旺玉. 用 PLC 实现对焊接机器人的控制 [J]. 机械与电子, 2004 (12): 70-72.

作者简介: 陈伟, 硕士, 主要从事机电一体化、嵌入式应用。

孔令成, 研究员, 主要从事工业测控技术、自动化系统、光机电一体化等方面的研究工作。

E-mail: kuailichen0921@tom.com

收稿日期: 2009-11-02

(上接第 158 页)

## 3 结语

本文以 PIC 单片机为控制核心, 减速直流电动机作为驱动元件, 配置不同类型的传感器, 机械传动手臂及手爪为执行机构, 加上软件控制, 设计制作了动作灵活、简单实用和模块化结构的小型车载智能排险机器人, 实验证明, 该机器人可以完成智能搜索、跟踪和抓取等功能, 具有一定的智能性和实际应用价值。

### 参考文献:

- [1] 李学海. PIC 单片机实用教程, 基础篇 [M]. 北京: 北

京航空航天大学出版社, 2002.

- [2] 李学海. PIC 单片机实用教程, 高级篇 [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2002.
- [3] 刘和平. PIC16F877X 数据手册 [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2001.
- [4] 方建军. 基于 PIC 单片机控制的智能玩具机器人 [J]. 机器人技术及应用, 2003 (1): 37-38.

作者简介: 陈琪, 硕士研究生, 副教授, 从事机电工程及自动化方向的研究。

E-mail: chenqi@bippt.edu.cn

收稿日期: 2009-09-17