

# 自动化焊接数控系统<sup>①</sup>

杨彩芳<sup>1</sup>, 庄源昌<sup>1</sup>, 莫小栋<sup>1</sup>, 吴新明<sup>2</sup>

<sup>1</sup>(常州数控技术研究所, 常州 213164)

<sup>2</sup>(江南现代工业研究院, 常州 213164)

**摘要:** 本文针对焊接行业复杂曲线焊缝的焊接件自动化程度低的现状, 设计了自动化焊接数控系统. 该系统采用 PCL6045B 运动控制芯片, 最多控制 4 轴联动, 能实现复杂曲线运动, 提高了焊接效率和焊接精度, 系统内置了软 PLC, 可对焊机、夹具等外围机构进行自动化控制. 通过实际焊接设备上的应用, 取得了良好的效果.

**关键词:** 焊接; 数控系统; PCL6045B

## CNC on Automatic Welding Machine

YANG Cai-Fang<sup>1</sup>, ZHUANG Yuan-Chang<sup>1</sup>, MO Xiao-Dong<sup>1</sup>, WU Xin-Ming<sup>2</sup>

<sup>1</sup>(Changzhou Institute of Numerical Control Technology, Changzhou 213164, China)

<sup>2</sup>(The Jiangnan Institute Of Modern Industry, Changzhou 213164, China)

**Abstract:** According to the low degree of welding automation on complex curve, the paper designs the numerical control system of automatic welding. The system uses PCL6045B motion control chip, the most control 4 axes, and the system can weld the complex curve line, improve the welding efficiency and welding precision. The system has built-in soft PLC, and the soft PLC can perform automatic control on welding machine, fixture and other peripheral mechanism. Feedback from its application on welding machine indicates that the system works reliably.

**Key words:** welding; CNC; PCL6045B

## 1 引言

随着工业生产对自动化程度的要求不断提高, 自动焊接机的应用越来越广泛. 实现焊接过程的机械化、自动化已经成为焊接行业的战略目标, 各行业在发展焊接生产自动化和过程控制智能化方面, 取得了长足的进步. 但是, 对于复杂的空间曲线焊接, 一般还是采用手工的方式进行. 国内也有某些单位利用机械凸轮仿形原理或利用 PLC 控制技术开发复杂空间曲线焊缝的自动焊接设备<sup>[1]</sup>. 但利用机械凸轮仿形开发的焊接设备存在开发周期长、自动化水平低、在实际运行时焊接效率低、复杂空间曲线焊接的稳定性差等缺点. 利用 PLC 控制技术开发的焊接设备多轴联动性能较差, 焊接轨迹不能进行灵活调整, 每换一种零件都需要从新编写 PLC 程序. 而国外大多采用机器人来焊接复杂曲线焊缝, 但这些机器人价格昂贵, 维护成本高, 需要专业的技术人员才能操作, 大多只在汽车行业中的应用. 当今自动化焊接设备

的发展趋势, 可以概括为如下几个特点: ①采用高效的焊接方法; ②自适应全数字控制; ③智能化和焊接工艺参数的优化; ④管控一体化; ⑤柔性化<sup>[2]</sup>. 因此, 本文开发了自动化焊接数控系统, 将开放数控系统引入焊接设备, 对复杂曲线进行多轴插补控制, 采用数控加工的编程方法使得焊枪运动轨迹更加准确, 降低机械复杂度, 提高设备灵活性.

## 2 自动化焊接数控系统的硬件设计

自动化焊接数控系统的硬件架构如图 1, 主要有 CPU、运动控制芯片、显示器、键盘等部分. 主控 CPU 采用 ARM11 架构, 能快速处理程序解析、软件 PLC、显示、输入等数据信息. 在 ARM 内部开发了内置的软件 PLC 程序, 软件 PLC 的设计减少了硬件成本, 它具有与硬件 PLC 在功能、可靠性、速度、故障查找等方面相同的特性. 软件 PLC 具有开关量采集与控制、模

① 收稿时间:2013-04-15;收到修改稿时间:2013-06-13

拟量采集与控制、数学运算、数值处理等功能。

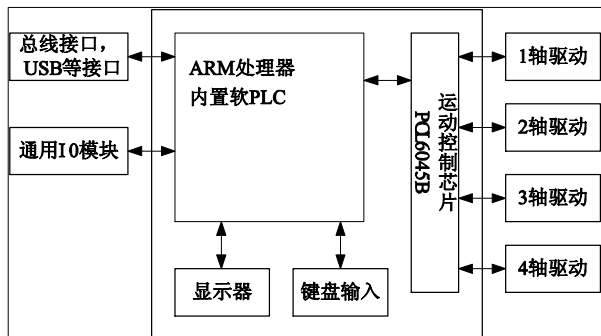


图 1 焊接数控系统硬件架构

要得到质量较好的焊接轨迹，对控制系统的多轴联动提出了较高的要求。本文选用日本 NPM 公司设计的一款功能强大的专用 DSP 运动控制芯片 PCL6045B。PCL6045B 可控制多达 4 轴的运动，包括 2~4 轴线形插补以及任意两轴的圆弧插补，该芯片还提供一些引脚，用于对其工作状态进行监测，多种条件下中断信号输出，以及控制伺服驱动器所需要的功能接口，所有插补计算由芯片完成，上位机只需写入参数即可，其多轴插补控制功能特别优秀，使得 CPU 通过简单的命令便可实现各种运动控制<sup>[3]</sup>。

本文 CPU 采用三星公司基于 ARM7TDMI 内核的 S3C44B0X，图 2 为 S3C44B0X 与 PCL6045B 的连接图。PCL6045B 的地址总线 A4-A1 与 S3C44B0X 的 A4-A1 相连，数据总线 D15-D0 与 S3C44B0X 的 D15-D0 连接。

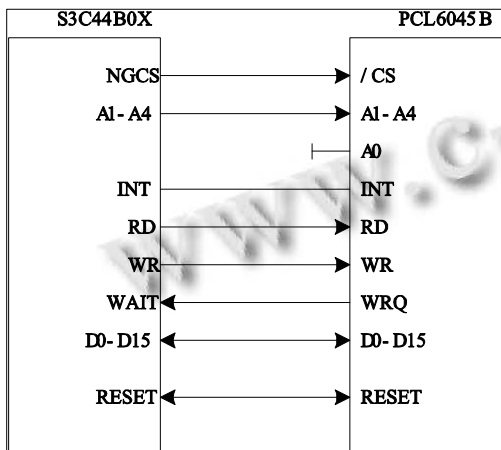


图 2 S3C44B0X 与 PCL6045B 的连接图

PCL6045B 给每个轴的伺服驱动器提供伺服到位、误差清除、伺服报警三个用于伺服接口的信号接口，输出脉冲可设定为脉冲方向或双脉冲模式，每个轴有

指令位置、机械位置、偏差和通用 4 个计数器，每个轴都有 5 个比较器，可以用来将目标值和当前计数器值进行比较，每个轴都有正限位、负限位、减速、原点四个专用输入信号<sup>[3]</sup>。PCL6045B 可对各轴运动状态进行监测、输出多种条件下中断信号，使上位机对各轴的运行情况能实时监控、快速处理。

软 PLC 通过 CAN 总线与通用 IO 模块进行数据交换，CAN 总线以半双工方式工作，采用基于数据的传输机制，通信介质可以是双绞线、同轴电缆，其通信速率可达 1Mb/s，最大传输距离可达 10km(速率在 5kb/s 以下)<sup>[4]</sup>。机床的外部 IO 点连接到通用 IO 模块，模块将输入点的状态发送给 PLC，同时将 PLC 对输出点的更改输出到外部电路中。IO 模块的分离设计，简化了主控板的硬件电路，使电路安装更灵活，也提高了主控板的抗干扰能力。

### 3 焊接数控系统软件设计

#### 3.1 数控系统软件整体设计

本系统引入 Linux 操作系统作为软件开发平台，Linux 系统以其卓越的稳定性和可靠性成为工业控制系统的首选。另外，Linux 免费开放的源代码、丰富的软件资源使得软件开发复杂程度降低。

数控系统软件是一种结构复杂、功能较多的软件系统，必须合理划分软件功能模块。软件模块划分要遵循“高内聚，低耦合”的原则：(1)提高软件模块的内聚性，若某模块只实现一个功能，则该模块具有高内聚性，高内聚性的软件更易维护和改进；(2)尽量降低软件模块间的耦合度，高耦合度的软件较难维护，一处修改会引起另一处甚至多处的变动；低耦合度的软件可以很容易被重用、维护和扩充<sup>[5]</sup>。对数控系统进行功能划分和任务分解，可以使整个数控系统软件体系的层次感更强，模块构造以及模块之间通信接口设计更加合理，同时使设计的数控系统软件更加符合开放式数控系统的要求。

如图 3，根据焊接数控系统的功能需求与性能要求，遵循软件模块划分原则，利用 Linux 的多任务特性，把焊接数控软件系统划分成操作模块、系统模块、编辑模块和文件操作模块。各个模块相互协调，实现焊接运行与监控、系统参数设定与 PLC 逻辑、程序编辑与管理、文件操作与管理等各种功能，各个模块之间相对独立，增强了单个模块的功能，降低了软件的耦合度，这样既简化了软件开发过程中的项目管理工作，

又增强了系统的可靠性。

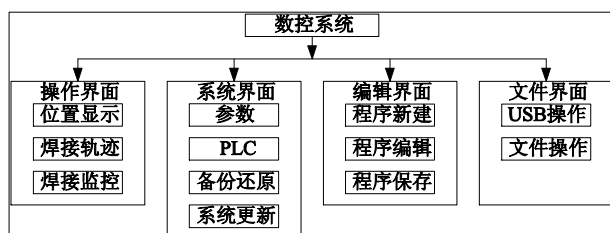


图 3 系统软件设计

### 3.2 PCL6045B 的运动寄存器

PCL6045B 提供了 3 组寄存器: 工作寄存器用于存放当前运动的各种特征值, 第 1 预置寄存器和第 2 预置寄存器用于存放下两段运动的各个特征值<sup>[6]</sup>. 在运动过程中, 可以把下两段运动的各个特征值写入预置寄存器, 当前运动结束时 PCL6045 自动把预置寄存器中的值复制到工作寄存器, 并启动下一段运动. 预置寄存器的示意图如图 4 所示, 在运动过程中, 如果想改变当前的运动参数和运动速度, 可以直接向工作寄存器写入新数据. 通过预置寄存器可以使运行无延时, 减小随动误差, 提高了系统的控制精度.

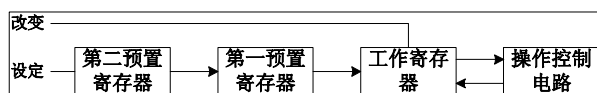


图 4 预置寄存器示意图

### 3.3 焊接程序与 PLC 的数据交互

焊接数控系统存在两个相对独立的控制模块: (1)焊接过程控制模块根据焊接程序对各轴进行插补控制, 以实现加工程序的预定轨迹; (2)软件 PLC 采集焊接设备的外部状态, 根据焊接流程对外部动作的请求控制设备外部动作.

焊接过程控制需要对相关轴进行插补控制, 同时也需要控制机床设备的外部动作, 过程控制模块与软件 PLC 之间定义了一些状态点, 通过中间状态点过程控制与逻辑控制可以进行协同. 下面以一段氩弧焊焊接程序为例进行说明:

G00G90G54X0Z0B0 ;回焊接原点  
 M20 ;启动引弧, 焊枪以启动电流  
 M120 ;等待引弧启动完成  
 M21 ;关闭引弧, 焊枪以焊接电流  
 M121 ;等待引弧关闭完成

..... ;实际焊接轨迹省略  
 M20 ;启动引弧, 焊枪以收弧电流  
 M120 ;等待引弧启动完成  
 M121 ;等待引弧关闭完成  
 M21 ;关闭引弧, 焊枪关闭  
 G00G90G54X100Z100 ;焊枪回安全位置

焊接数控系统运行到 M20、M21 等代码时, 解码程序发送一个启动信号给 PLC, PLC 根据逻辑启动外部动作, 与安全相关的启动条件由 PLC 实现. 如果启动条件不满足或有故障, 软 PLC 启动报警信号给数控系统, 数控系统根据报警信号点, 显示相应的报警信息. 系统还定义了 M100~M199, 当程序运行到这些代码时, 会等待 PLC 的状态, 状态满足继续执行程序, 不满足超过一定时间就报警. 通过这些中间状态点, 实现了焊接程序与逻辑控制的有效结合.

## 4 应用实例

本文提出的自动化焊接数控系统已经应用于异形件的自动焊机设备, 如图 5 所示. 异形件是由两个对称的冲压件组成, 先由人工将两个对称的冲压件点焊, 再由自动焊接设备进行焊接. 系统控制 X、Z 和 B 轴, B 轴上安装夹具, 控制工件作旋转运动; X 和 Z 轴上安装焊枪, 控制焊枪在水平面运动.



图 5 应用焊接数控系统的自动焊接设备

通过焊接数控系统控制 3 轴联动, 使焊枪对工件保持恒定的线速度和相同的焊接角度, 该系统运用在实际的焊接设备中, 提高了焊接效率和焊接精度, 取得了良好的效果, 具有较大的实用价值.

### 参考文献

1 李文江, 郑晓琳, 孙宏. 基于 PLC 的马鞍型焊机自动控制系统. 计算机系统应用, 2012, 21(10): 31-35.

(下转第 212 页)

际企业的复杂网络模型要求, 在系统中拖动、选中图元, 定制图元与研发团队人员之间的关系, 并以不同颜色的边表示, 即可构建企业研发团队复杂网络图, 如图 5 所示. 在对西安市高新区企业的实际分析中, 由于节点数据量较大, 我们还建立自动导入方式, 将存储在 Excel 文件或数据库中的人员图元、属性及其之间关系直接接入到复杂网络图中, 如图 6 所示, 有效的表征的企业研发团队复杂网络的现状.

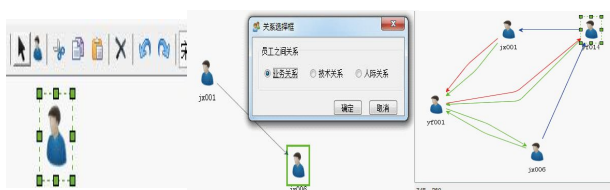


图 5 企业研发团队复杂网络的制作

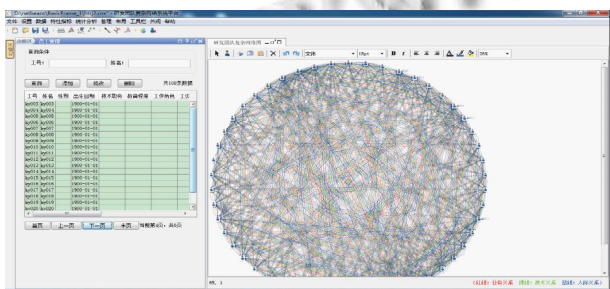


图 6 系统界面及企业研发团队复杂网络的导入

经过多次的实践分析表明, 复杂网络作为研究企业研发团队的一种全新的可直接辅助于企业人力资源管理的创新型研究方法, 具有极其强大的分析处理能力, 本文所设计的分析展示平台为复杂网络理论与企业实际相结合提供了一种可视化思路, 可快速建立起企业研发团队或者其它类型研发团队的模型, 并具有

直观性、可操作性和可量化性, 为模型映射、指标分析、动态演化奠定了良好的基础, 辅助了企业在最短的时间内做出有利于企业发展的决策, 为研发团队的管理提供一定的理论指导.

参考文献

- 1 ADAR E. GUESS: The Graph Exploration System .http://graphexploration.cond.org/.
- 2 王运峰,夏德宏,颜尧妹. 社会网络分析与可视化工具 NetDraw 的应用案例分析.现代教育技术,2008,18(4):85-89.
- 3 De Nooy W, Mrvar A, Batageij V. Exploratory social network analysis with Pajek. England, Cambridge University Press. 2005. 73-77.
- 4 邓军.整体网络分析讲义:UCINET 软件实用指南.上海:上海人民出版社,2009:34-55.
- 5 Huisman M, Van Duijn MAJ. Software for social network analysis. In: Carrington PJ, Scott J, Wasserman S, eds. Models and Methods in Social Network Analysis. New York, Cambridge University Press. 2005. 270-316.
- 6 Fruchterman TMJ, Reingold EM. Graph drawing by force-directed placement. Software-Practice and Experience, 1991, 21(11): 1129-1164.
- 7 Ahmed A, Dywer T, Hong SH. NetworkX. http://networkx.lanl.gov/.
- 8 李建勋,解建仓,郭建华.基于复杂网络的研发团队核心层划分.科技进步与对策,2011,9(28):5.
- 9 张靖江.基于团队理论的绩效评价模式[博士学位论文].合肥:中国科学技术大学,2001:1-20.

(上接第 178 页)

- 2 吕燕. 马鞍型曲线焊枪焊姿数控系统的研究与开发. 济南: 山东大学, 2009.
- 3 PCL6045B 用户手册. 日本 NIPPON PULSE MOTOR 公司, 2007.
- 4 纪文志, 陈国忠, 唐加山. 基于 CAN 总线智能节点的设计与

- 实现. 网络与通信, 2012, 31(2): 44-46.
- 5 唐润寰. 基于软件复用的嵌入式数控系统研究. 微计算机信息, 2008, 24(12-2): 84-86.
- 6 李善锋, 刘敬猛, 徐东, 陈柏成. 基于 ARM+DSP 的嵌入式 Linux 数控系统设计. 机床与液压, 2012, 40(13): 94-97.