

# 球罐全位置焊接机器人智能控制系统\*

焦向东<sup>1</sup>, 蒋力培<sup>1</sup>, 薛龙<sup>1</sup>, 陈强<sup>2</sup>, 孙振国<sup>2</sup>, 王军波<sup>2</sup>

(1. 北京石油化工学院 装备技术研究所, 北京 102600; 2. 清华大学 机械工程系, 北京 100084)

**摘 要:** 研制了一种用于球罐全位置焊接机器人的智能控制系统。采用两点式视觉伺服反馈系统,以预先画出的坡口平行线为机器人的目标运动轨迹,实现机器人在多层多道焊接时的重复自动跟踪。系统选用工业控制级可编程控制器作为核心控制器件,外加自制的电机驱动等辅助电路,实现了对五自由度球罐焊接机器人的柔性磁轮的控制、跟踪机构的控制和摆动机构的控制,并使之协调联动,满足焊接过程的要求。此系统控制下的球罐焊接机器人的主要创新点是,实现了无导轨自动焊接全位置焊缝与多层多道焊接的自动跟踪。焊接工艺评定试验结果表明,此焊接机器人自动跟踪精度高,焊缝质量好,工作稳定可靠,已实现小批量试生产,产品也已用于实际焊接生产。

**关键词:** 焊接机器人; 智能控制; 自动焊接; 视觉伺服系统

**中图分类号:** TP242.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 0253-360X(2000)04-01-04



焦向东

## 0 序 言

目前机器人学的一个热点问题是其智能化问题,区别于一般的机械化设备,它应有自主的决策能力,能够应付复杂的环境和条件变化。因此如同人类自身一样,视觉成为最主要的信息源,手眼协调问题成为视觉引导下的机器人运动控制的最基本问题。早期的工作方式都是 LOOK AND MOVE,现在大多采用实时视觉伺服反馈,这样使机器人手眼系统在准确性和快速性方面都有很大提高。

机器人引入视觉信息的途径有三个:一是利用静止的摄像机跟踪运动目标,通过坐标变换将目标的运动传递给机器人系统;二是将摄像机安装于机器人手臂的末端,形成手眼系统,进行视觉反馈控制,但摄像机相对固定点不动,摄像机的运动通过机器人手臂间接实现;三是摄像机本身带有视觉伺服系统。此闭环系统的参考输入及被控制量均为一维特征量,视觉作为闭环控制中图像到特征的一个映射工具,实际控制则是这一映射量作为控制目标,其控制精度直接依赖于特征即跟踪辅助线位置的提取精度,实现了“视觉与控制的集成”。

本文研制的球罐智能机器人实现了上述“视觉与控制的集成”的目标。其视觉智能控制系统的重点是一个 CCD 摄像机安装于机器人的跟踪机构(所谓机器人手臂),另一个 CCD 摄像机安装于机器人本体,组成两点式视觉实时闭环跟踪系统。此系统

可实现焊枪和机器人本体的实时自动跟踪。下面介绍此球罐焊接机器人的智能控制系统。

## 1 球罐焊接机器人智能控制系统的主要组成与功能

球罐焊接机器人必须具备能跟踪待焊轨迹行走并使焊枪按预定方式运动的功能。作者设计制造的焊接机器人主要由机器人本体、柔性磁轮机构、跟踪系统和智能控制系统构成。

### 1.1 控制系统主要电路组成

能够实现以上控制性能的核心控制器可以选用单片机和可编程控制器。单片机具有体积小、成本很低、扩展方便、实时性好等优点,实际研究结果表明,其可靠性问题是个棘手问题,因为球罐焊接机器人的使用环境极其严酷,有高温和强的电磁干扰<sup>[1]</sup>。一般的可编程控制器虽然可以克服单片机的固有缺点,但它体积大、成本高、实时性差。工业控制系统的可靠性是第一位的,因此作者选用特殊的实时性较好的可编程控制器作为核心控制器,如西门子的 S7 系列就能满足要求。微机智能控制系统的硬件主要由 PLC 微机控制器与各传感器、电机的接口电路组成,如图 1 所示。采用的 PLC 模块有:CPU 模块(配有两路脉冲输出)、I/O 模块、A/D 与 D/A 模块。CPU 模块能实现复杂的控制功能。自制的接口电路中,CCD 信号处理电路的作用前已述及,是将焊接坡口平行线与传感器中心线的相对偏差量脉冲信号转换成模拟量信号;电位传感器信

号处理电路的作用是对信号电压进行调理、定标处理,以符合 A/D 模块的输入要求;步进电机控制信号转换电路的作用是将 PLC 的 D/A 模块输出的电压信号转换成相应的脉冲信号,以符合步进电机驱动器的输入要求;直流电机双向驱动电路的作用是将 PLC 模块输出的两路 PWM 脉冲信号分别经功率放大变换成左右直流电机电枢驱动电压,实现直流电机速度控制。PLC 模块输出的控制信号通过改变励磁电流方向而改变电机方向。

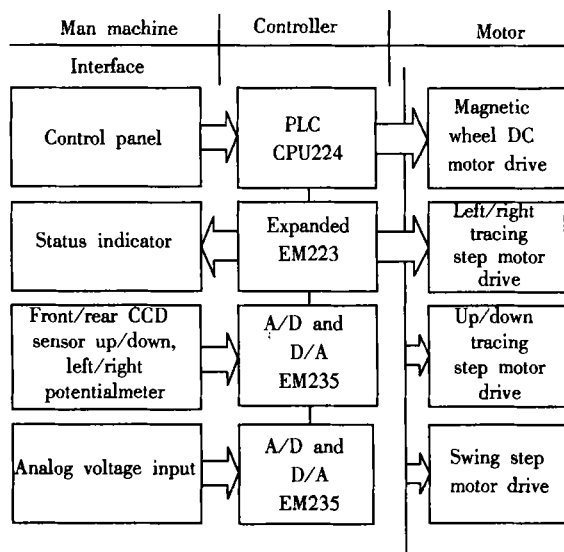


图 1 机器人微机智能控制系统构成图

Fig. 1 Intelligent computer control system of robot

## 1.2 控制目的和控制系统功能

球罐智能焊接机器人控制系统除应具有普通球罐焊接设备控制系统所具有的带动焊枪前进和使焊枪按预定摆动方式摆动的控制功能外,还应具有自动控制磁吸式焊接小车和自动跟踪两大功能<sup>[2]</sup>。本套机器人所具有的功能主要包括以下几个方面。

(1) 良好的人机界面,包括各种控制、指令的给定,模拟量的给定和系统状态的显示;

(2) 磁吸式焊接小车按预定行走规律自由稳定运动的功能;

(3) 在多层多道焊接时进行二维实时跟踪,使焊枪的中心在给定高度上,实时对准坡口中心的功能;

(4) 焊枪按照预定摆动规律摆动的功能,要求能无级调节摆幅、摆速及滞时等参数;

(5) 准确检测和传递焊接坡口中心位置和焊枪高度信息的功能;

(6) 准确检测摆动中心位置并使摆动中心稳定的功能。

将整个控制系统分为三个子系统:视觉伺服控制系统、摆动控制系统与整机智能化协调控制系统。

## 2 两点式视觉伺服系统

### 2.1 工作原理

视觉伺服系统如图 2 所示。系统智能化的关键问题在于焊枪对坡口的实时跟踪。这里采用二点式随动跟踪,需要首先在坡口一侧的球皮上人工画出坡口平行线,当焊接坡口平行线与传感器中心线间有相对偏差时,首先由磁轮式行走机构对焊车位置进行粗调,然后由光电跟踪滑块机构对焊枪位置进行精调。在粗调过程中,微机控制系统根据二个 CCD 光电传感器的测量值对焊车的左右行走电机发出差动信号,使焊车随动拐弯,直至焊车中心线与焊接坡口中心线基本一致。在精调过程中,微机控制系统根据后一个 CCD 光电传感器的测量值对光电跟踪滑块机构的步进电机发出驱动信号,使焊枪随动跟踪坡口中心线。由于此 CCD 光电传感器与焊枪相对位置是固定的,所以能达到精确跟踪的效果,光电跟踪响应时间小于 0.1 s,跟踪偏差在 0.5 mm 之内。

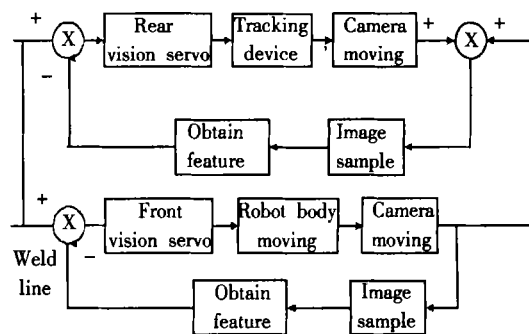


图 2 视觉伺服系统

Fig. 2 Vision servo system

### 2.2 CCD 信号处理

图 3 为模拟量信号处理电路原理框图,图 4 为其工作时序。信号处理板接收到 CCD 二值化信号后,由帧同步信号捕获电路得到 CCD 帧同步信号,由边缘捕获电路得到轨迹线的左右边缘信号。在这些信号共同作用下,通过左右边缘计量电路获取左右边缘量,经锁存器锁存,送 D/A 转换后,通过轨迹线中心位置运算电路计算出轨迹线中心位置偏差,并以模拟量的形式输出。

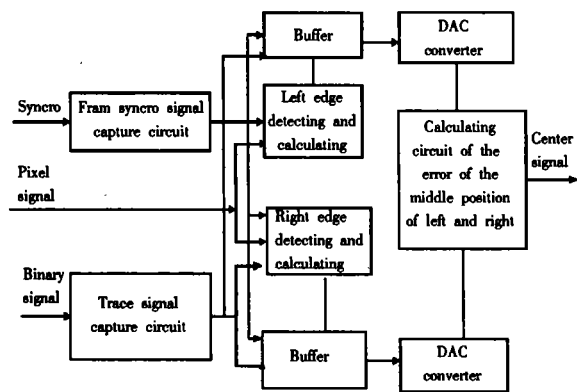


图3 CCD信号处理电路框图

Fig.3 Scheme of CCD signal processing

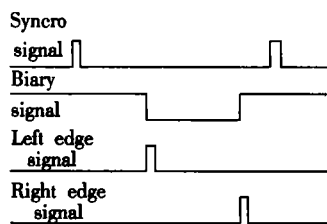


图4 CCD信号处理过程

Fig.4 Key point waveform of CCD signal processing

### 3 摆动控制系统

摆动控制系统包括摆动中心和摆动方式的控制。摆动中心的控制极其重要,它关系到焊缝中心的准确和摆动过程的误差累积。这里选用了光电传感器检测摆动中心,简单可靠。摆动方式控制部分要完成摆动速度的控制、摆幅、各点停滞时间和与机器人行走小车的协调控制。

### 4 微机协调控制系统

作者设计制造的球罐焊接机器人具有5个自由度,系统的动力驱动部分分别选用了直流伺服电机和步进电机。焊接小车靠两组磁轮吸附在球罐表面,焊车前进时除要克服焊车重力和焊接附属工装的重力外,还要克服磁吸附力所带来的阻力,各种阻力的大小随焊接空间位置的不同而有所改变,因此需要此部分的驱动力较大,过载能力强,而且调速方便。这里作者选用了直流伺服电机,其调速采用了较成熟的PWM驱动技术。机器人的另外3个自由度分别是焊枪的横向快速跟踪运动、焊枪的高度跟踪运动和焊枪的摆动,这三个运动都采用了步进电机驱动。为了提高步进电机运动的平稳性和准确性,采用了细分驱动技术。

系统软件能根据控制盒面板上各旋钮、开关的设定值来综合协调控制上述三个机构的动作,其主要功能有:在多层多道焊接时进行二维实时跟踪,使焊枪摆动中心对准坡口中心;在焊后回车时进行左右实时跟踪,使焊车中心与焊缝坡口中心保持一致;在焊前准备时可调节焊枪的左右、上下位置,调整焊枪在各种摆动方式下的摆幅、摆速、及滞时等参数值。控制的终极目标是焊枪应时刻处于坡口上方的正确位置。

控制系统的主要工作过程如图5所示,主要包括以下功能。

- (1) 随时可调节面板上各旋钮进行参数设定与调整,包括手动调整焊枪位置等按钮操作;
- (2) 在焊接过程中,按CCD光电传感器测量信号,实时控制焊车与焊枪摆动中心位置,对焊接坡口平行线进行自动跟踪;
- (3) 在焊接过程中,按接触电位传感器测量信号,实时控制焊枪高度位置,对焊接坡口进行高度跟踪;
- (4) 焊枪摆动机构按设定方式与参数值进行自动摆动,并保持摆动中心稳定;
- (5) 焊后可自动回车,此时焊车按CCD光电传感器测量信号对焊接坡口平行线进行自动跟踪。

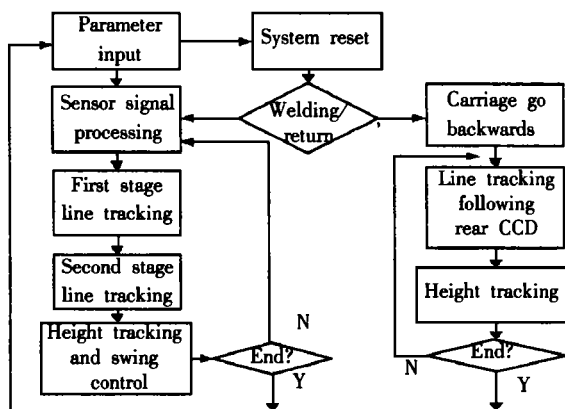


图5 控制流程

Fig.5 Flow chart

### 5 机器人性能及其焊接工艺评定试验

研制的球罐焊接机器人智能控制系统使机器人实现了无轨道有轨迹的全位置行走,速度范围为0~80 cm/min,轨迹跟踪精度0.5 mm,高度跟踪精度1.0 mm,实现了球罐焊接常用的四种摆动方式,摆动速度范围为0~300 cm/min。对球罐焊接机器人样机进行了焊接工艺评定试验,按JB4708-92标准进行了立焊与横焊工艺试验。在焊接过程中,机

机器人工作稳定,自动跟踪性能可靠。试件焊缝成形美观,经 X 光检验与力学性能检测,焊缝质量良好,符合标准要求。

## 6 结 论

由作者研制的智能控制系统控制下的球罐焊接机器人实现了不需导轨就能自动焊接全位置焊缝及多层多道焊接自动跟踪等研究目标,焊接工艺试验结果证明,此机器人自动跟踪精度高,焊缝质量好,工作稳定可靠。已经进行机器人小批量试生产,且产品正在球罐焊接现场使用。

### 参考文献:

- [1] 袁 榕,等.球形贮罐的建造技术及其发展趋势[J].压力容器,1997,14(1):49~60.
- [2] Li Qinglin. Development of welding technique for petrochemical industry in china[J]. China Welding, 1994, 3(2): 131~137.

**作者简介:** 焦向东,男,1962年1月出生,北京石油化工学院机械工程与自动化学院院长,1994年获清华大学工学博士学位,副教授。研究方向为焊接自动化和机电一体化,共发表有关论文近20篇,现正进行国家863高技术研究计划项目“球罐智能焊接机器人的研制及其现场应用”,取得了较好的研究成果。

(责任编辑:王 亚)

## 中国机械工程学会焊接学会关于征集 “第十届全国焊接学术会议”论文的通知

中国机械工程学会焊接学会定于2001年10月16日~19日在天津举办“第十届全国焊接学术会议”。本次会议的主题是“21世纪我国制造业中焊接技术现状与发展战略”。会议除组织大会报告外,同时召开各专业委员会的学术会议,进行论文交流、专题研讨等活动。

为突出“21世纪我国制造业中焊接技术现状与发展战略”这个大会主题,为使得这次会议能全面地反映焊接新技术的发展现状和前景,便于更好地回顾本世纪的焊接进步过程,总结国内外技术的差别与距离,指出下世纪的发展动向和趋势,明确努力方向,开创新的未来,这次会议的论文范围包括:理论研究、技术创新、新技术的应用以及本学科领域进展综述等。论文既可以是某一工艺、方法、材料、技术的成果,也可以是交叉领域和行业的综述和展望。中国机械工程学会焊接学会热忱欢迎全国各大专院校、科研院所、企事业单位的焊接界人士踊跃投稿参会。共同开好“第十届全国焊接学术会议”,迎接21世纪的焊接新时代。本次会议将评出10篇优秀论文并在“焊接之夜”大型晚会上颁发证书。优秀论文将被推荐参加国际焊接学会的年会。

我国正处于改革开放、体制转变的重要阶段,焊接事业参与国际经济是大势所趋,为更多地了解国际先进技术动态,扩大视野,也为了让世界很好地了解中国焊接状况,“第十届全国焊接学术会议”真诚邀请国际有关人士前来参会交流,尤其是希望海外(包括中国的港、澳、台地区)华人通过大会加强沟通,增进联络,充分发挥语言便利的优势,帮助我们的焊接事业更快发展。海外论文不限于焊接技术,可扩展到先进制造技术的各领域内容或综合性发展论述。这些论文也可用英文投稿,并请直接寄送中国机械工程学会焊接学会秘书处。

“第十届全国焊接学术会议”论文集将采用光盘形式出版,目的是大幅度降低出版费用(每篇论文的刊登费从上届的280元降到80元,并且可以得到论文光盘一套),减轻论文作者的负担。由于论文不再重新录入,所以要求各位作者务必按照附件所列的论文的打印格式用计算机输入排版。应征论文,包括图表及参考文献等在内的篇幅限制在4页之内。论文作者请于2001年3月20日前(以邮戳为凭)将论文稿样一式三份以挂号寄至与论文对应的专业委员会主任处,附件一列出了专业委员会主任的通讯地址。应征论文经专业委员会组织审查后提交秘书处,焊接学会秘书处将于2001年4月30日前将审查结果和论文出版要求通知作者本人。综合性论文和海外论文直接寄到焊接学会学术工作委员会。

有关征文未尽事项可与学会秘书处和学会工作委员会联系。

中国机械工程学会焊接学会

2000年10月1日

联系地址:哈尔滨市南岗区和兴路111号 中国机械工程学会焊接学会秘书处

联系人:王麟书 金晶 车传强

邮 编:150080

电 话:0451-6322012

传 真:0451-6333949

e-mail: cws@public.hr.hl.cn