

文章编号: 1001-2265(2007)05-0027-04

# 一种摩托车部件集成焊接系统的开发研究

林晓鹰, 侯亮, 张建寰, 张翊

(厦门大学 机电工程系, 福建 厦门 361005)

**摘要:** 建立了由焊接机器人、上下料机器人、装焊工作台以及自动上下料系统组成的摩托车车把多机器人集成焊接系统。介绍了多零件集成装焊的工作台、夹具体和上下料装置结构设计。对系统的控制体系进行了详细论述。然后讨论了多机器人焊接系统的工作时序的规划和优化问题。最后, 通过对焊接机器人运动轨迹规划和上下料动作的计算机运动仿真以及该系统的实际应用, 验证了系统设计的可行性和有效性。

**关键词:** 机器人; 集成制造; 装配; 焊接

**中图分类号:** TP24      **文献标识码:** A

## Research on the Development of an Integrative Welding System for the Handle of Motorcycle

LIN Xiao-ying HOU Liang ZHANG Jian-huan ZHANG Yi

(Department of Mechanical and Electrical Engineering, Xiamen University, Xiamen Fujian 361005, China)

**Abstract** A multi-Robots integrated welding system of the handle of motorcycle which include a welding robot, two feeding robots, a assembly and welding positioner and auto feeding equipment was established. The structure of the welding positioner, the clamping apparatus and feeding equipment were introduced. The architecture of the control system was illustrated. Then, the working sequence of the multi-robots welding system was optimized. Finally, the simulation of trajectory planning of robot and the implementation of the welding system showed the efficiency and feasible of the design of the system.

**Key words** robot; integrated manufacture; assembly; weld

## 0 前言

产品质量、生产成本和效率是企业生存和发展的关键, 因此, 工业机器人等自动化设备在焊接、喷涂和装配等工业领域得到广泛应用。随着制造活动和过程集成化要求, 多机器人协同工作的应用系统逐渐受到关注, 本文以与某企业合作研发的摩托车车把部件自动装配与焊接系统为例, 对多零件集成装配与焊接系统的规划与设计、设备之间的协调控制以及系统运动仿真等关键技术分别进行了详细论述。

图 1 为某型号摩托车把手基本结构, 主要由六个组成零部件焊接而成, 目前国内这类零部件的加工主要以手工为主, 先后需要经过三道工序才能完成装夹和焊接工作。由于自动化程度低, 造成加工工序长、生产率低、产品质量难以持续保证。因此, 机器人自动化

焊接系统的设计要求是能够实现该部件的一次定位装夹和焊接, 以达到预定的生产目标, 即生产率要求不低于 230 件/8h。

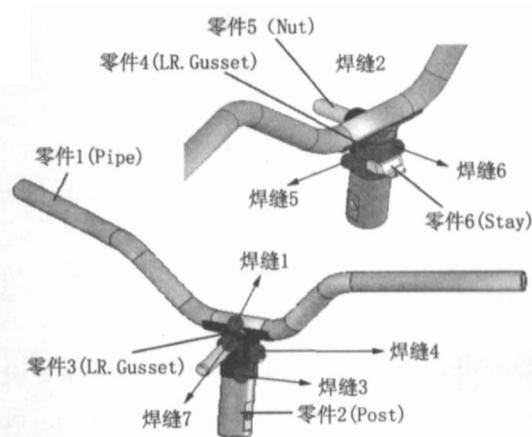


图 1 摩托车把组件焊接结构

收稿日期: 2006-10-26

作者简介: 林晓鹰 (1967-), 男, 福建厦门人, 厦门大学高级工程师, 主要研究方向为现代制造技术、计算机仿真, (E-mail) [linxy@xmu.edu.cn](mailto:linxy@xmu.edu.cn)

在系统设计中,首先需要对零部件的装夹、焊接顺序进行分析。综合考虑现有焊接工艺和夹具结构,以及自动装配和焊接的基本要求,从几个可行候选方案中选择一个最佳装夹焊接方案,该方案在焊接夹具上实现六个零件的一次定位夹持,其装夹顺序为零件 2-1-3-4-6-7,在实际焊接工程中,将根据焊接工艺要求,还要将图示焊缝细分为 12 个焊段。

## 1 系统结构设计

### 1.1 布局设计

总体布局设计需要完成以下任务: 根据工件尺寸确定夹具系统外形和基本尺寸,进而确定工作台空间尺寸; 确定变位机结构形式,通过变位机变换工件夹具位置,使各工件的焊缝可以适应机器人可能的焊枪姿态;为充分发挥机器人的工作能力,要把工件上下料时间尽可能地与机器人的焊接时间重合起来; 确定机器人三维工作空间以及上下料、附属设备和操作人员等的空间位置。对于两个机器人共用的工作台,需要确保工作台处于机器人交叉空间范围内。

根据上述设计原则和用户需求,最终选定总体布局方案如图 2 所示。为满足系统生产率要求,系统采用两台上下料机器人、一台焊接机器人、焊接回转工作台以及相应的外围设备。其中,焊接工作台则负责转位、翻转、夹紧、定位和检测等动作。焊接机器人在一个工位上完成对一个已定位夹紧的车把部件的焊接。焊接机器人为 motoman SK6,同时,两台上下料机器人与气动焊接夹具配合完成零件的定位夹紧分工负责六个零件的上下料工作。上下料机器人选择 motoman UP2Q 其有效负重为 20kg 结构形式为空间垂直关节式,重复定位精度为 0.06mm,驱动系统为直流电机驱动,工作方式为编程、示教再现,具有直线、圆弧插补功能,自由度数为 6。

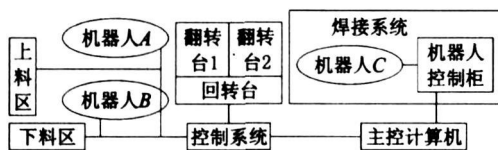


图 2 系统总体结构

根据对车把组成零件结构形状分析,需要设计专用机械手爪完成对六个零件的上下料。其中,机器人 A 上加装机械手爪负责零件 2、5、6(图 1)上料,机器人 B 上加装的机械手爪负责零件 1、3、4 的上料和下料任务。两台机器人与夹具系统配合根据预定时序交替实现工件上料、定位和夹紧。

### 1.2 转位工作台与夹具体设计

如图 3 所示,转位工作台由一个单轴旋转工作台上加装两套单轴翻转变位机及相应的焊接夹具工作台组成。2 台机器人完成将工件准确送至夹具上,上料完成后,转位工作台转 180°,将已定位夹紧的工件送到焊接区,由焊接机器人负责自动焊接,同时将焊接好的工件送到上下料工位。翻转变位机主要是为了使被焊的焊缝能处于水平或船型位置,以便获得质量高、外观好的焊缝。

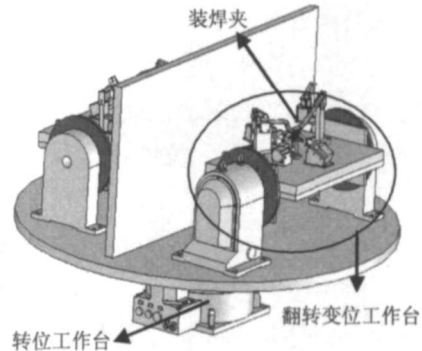


图 3 转位工作台结构

由于要完成六个工件的一次定位、夹紧,因此夹具体的设计需要保证: 工件的定位、夹持要准确、可靠; 结构紧凑,为焊接轨迹预留足够空间; 夹具体的设计应能够满足焊接工况要求。

工件的夹紧采用气动方式,夹具结构随工件的形状、定位方式和夹紧位置不同而专门设计。

### 1.3 工件传输机构设计

为配合两个抓取机器人的上料,要求工件自动传输机构能够在预定时间段内实现多种零件的批量顺序送料。本文系统中六个零件结构形状各异,有弯管、轴类以及复杂形状等结构。考虑到两个机器人抓取空间范围约束和成本约束,以及控制/检测系统的复杂性,若独立设计其传输结构,将难以保证达到上述要求。因此,根据零件结构特点以及上述约束条件,课题组设计了履带式一体化工件传输机构,可以完成系统中五个工件的同步传输、检测和控制。

## 2 控制系统设计

### 2.1 硬件系统设计

控制系统组成结构如图 4。该系统为二级控制模式,第一级由工业控制计算机完成三台机器人系统和工作台系统、上下料系统等外围设备的协调和控制; 机器人系统由机器人本体、控制器、焊机系统和示教系统四部分组成; PLC 控制外围设备包括焊接工作台、上下

料装置及外围接口等,构成系统的第二级控制。

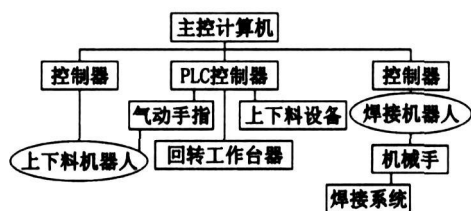


图4 系统总体结构组成

采用 PLC进行上下料系统、夹具、变位机构的动作时序控制以及相应电气管路开合控制。PLC控制器选用三菱 FX1N-60MR 继电器输出,60点:36输入,24输出。控制对象包括:检测系统、电气执行元件、报警指示灯、延时开关、全生产过程的运动顺序;反馈信号有:接近开关、限位开关、行程开关、各汽缸或电机到位信号。PLC作为下位机,主控计算机作为上位机,二者之间通信为:PLC的 RS-485口与主控计算机的 RS-232C口,采用主从应答方式。主控计算机与三菱 PLC通讯,采用 DELPH I语言。首先运用 Win32C的串口编程(通信控件 MSCmm);其次,应用三菱 A1S/J1UC24-R4模块的通讯协议实现。

根据生产实际要求,系统采用三种运行模式:调试模式、单周期模式、全自动模式。

(1)调试模式:采用方式开关,调试各种执行元件动作测试,机器人各轴动作,变换工作台工位;

(2)单周期模式:采用方式开关、挡位,启动程序每次按一次确认按钮,自动执行一次焊接全加工过程,(确认键分左、右确认键,且它们在操作面板上相距一段距离;软件中设定只有同时按下才开始但周期动作,从而使操作人员误动作的可能性降低);

(3)全自动模式:采用模块化设计,主要有初始化部分,报警处理子程序等。

## 2.2 工作时序规划

系统工作时间分为上下料时间,焊接时间,工作台变位时间。设计要求上下料时间应小于焊接时间,才能充分发挥预定双工位布局结构的优势。

焊接时间:焊接机器人完成所有焊缝的总时间。

变位时间:焊枪从工作原点至焊缝时间;工作台翻

转时间:焊枪从焊缝至中继点及从中继点至焊缝的时间。

单个零件的上下料时间包括:去程时间:机器人由工作原点上料机构的时间;取料时间:机器人手爪低速接近零件、抓取、检测的时间;上料时间:零件由上料装置到夹具机构的时间;定位时间:零件低速接近夹具定位装置 到位、检测的时间;夹紧时间,夹具气缸进

给、夹紧、检测时间;回程时间:机器人由夹具端返回工作原点的时间。

下料时间:抓取机器人 B完成已焊接件的下料时间。两台机器人交替往复完成六个零件的上料和一个已焊接件的下料。

ROBOT C焊接时序主要根据焊接的工艺要求,根据焊缝的空间位置、长度,考虑在焊接过程中工件的热应力情况,同时考虑变位机变换工件夹具位置,使机器人能实现最佳的焊枪姿态,进行作业排序。

上下料机器人的工作时序主要考虑机械手与旋转工作台、翻转变位机及焊接夹具工作台不能发生干涉、碰撞等现象,在满足机械手在各结点(起始点、提开点、下放点和终止点)上的位姿、速度和加速度的要求等约束条件下,采用过路径点的三次多项式插值生成机械手上下料的运动轨迹。规划好机器人上下料轨迹后,机器人、旋转工作台、翻转变位机及焊接夹具工作台在各个工序的时间就能够确定,可以通过计算机进行作业排序,获得各部分设备的最佳工作顺序。

## 3 轨迹规划与系统仿真

### 3.1 焊接轨迹规划

焊接机器人轨迹规划的任务是对一条焊缝规划出无碰撞干涉的机器人焊枪运动路径,根据焊接路径计算机器人各关节的空间坐标,形成运动轨迹并生成机器人程序。

焊缝是一条三维空间曲线,机器人跟踪焊缝进行焊接,焊枪以一定的姿态沿焊缝作相对运动。为了获得良好的焊接质量,在弧焊机器人无碰路径规划中,综合考虑焊接工艺因素和结构因素,确定焊枪姿态是关键,焊接路径规划就是焊枪姿态最优化的问题。由于工件与夹具等结构因素的限制,理想的焊枪姿态不是总能实现,避免焊枪与工件、夹具等的碰撞是焊枪姿态最优化的约束条件。

对于电弧焊要求焊枪的运动轨迹具有一定精度,并对焊枪进行连续轨迹控制,同时保持焊枪在焊缝上匀速运动,避免抖动和停顿,采用直角坐标空间法,根据机械臂末端(焊枪)位姿的直角坐标结点序列进行插值计算。

首先运用插值方法求出焊枪运动的路径曲线,这时不考虑焊枪姿态。然后在每个时间步长所对应的焊接点求出焊枪的相应姿态,即焊枪对于基本坐标系的欧拉角。通过插值计算拟合出的焊枪在其中一条焊缝上的运动轨迹及姿态如图5所示。

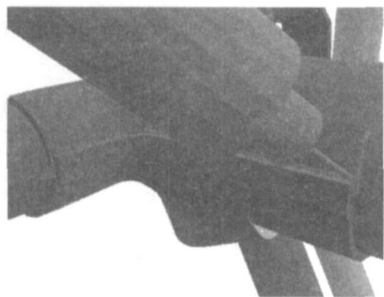


图 5 焊接轨迹规划

### 3.2 机器人上下料轨迹规划

由于两台上下料机器人所处理的多个工件的交替抓取、定位,同时还要夹具配合完成工件的夹紧。因此,需要对这一复杂运动进行计算机仿真,以避免工作过程中的碰撞,并达到精确、优化时序等设计目的。

机械人上料轨迹采用在关节空间中进行规划,通过设定机械手在起始点、终止点手臂的形位,对关节进行插值,得到关节轨迹。关节轨迹要满足一组约束条件,例如在各结点(起始点、提开点、下放点和终止点)上的位姿、速度和加速度的要求,使关节位置、速度、加速度在整个时间间隔内连续等。在满足所要求的约束条件下,采用过路径点的三次多项式插值生成机械手上料的运动轨迹。采用在关节空间中进行规划不象直角坐标空间规划法那样涉及到大量的笛卡尔空间和关节空间的转换,计算量大,但已经能够满足要求。

要保证机械手在上下料过程中协调工作应主要考虑两个问题:机械手与旋转工作台、翻转变位机及焊接夹具工作台不能发生干涉、碰撞等现象;机械手、旋转工作台、翻转变位机及焊接夹具工作台作业排序。

### 3.3 系统仿真

系统的三维计算机模型如图 6 所示,它提供了一个能和机器人进行交互的虚拟环境。利用上述分析的规划算法,通过对图形的控制和操作,进行系统的运动仿真,优化了机器人工作路径,有效避免了机器人在运动中与其工作环境之间的干涉问题。

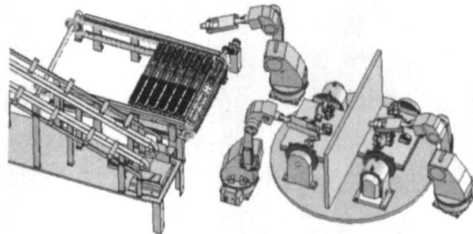


图 6 运动干涉仿真

## 4 结束语

本文建立了由焊接机器人、抓取机器人、三自由度双工位工作台和自动上下料装置组成的多工件集成装焊系统。对系统的布局结构、控制结构进行了论述,并通过仿真验证了系统运动可行性。解决了多工件一次定位、夹紧、焊接以及三台机器人、工作台和上下料装置控制、协调的设计问题,达到了预定设计要求。

[参考文献]

- [1] 林尚扬,陈善本,李成桐. 焊接机器人及其应用 [M]. 北京:机械工业出版社, 2000
- [2] 熊有伦. 机器人学 [M]. 北京:机械工业出版社, 1993
- [3] 蔡自兴. 机器人学 [M]. 北京:清华大学出版社, 2000
- [4] 日本机器人学会. 机器人技术手册 [M]. 宗光华,译. 科学出版社, 1996 (编辑 赵蓉)

(上接第 26 页)

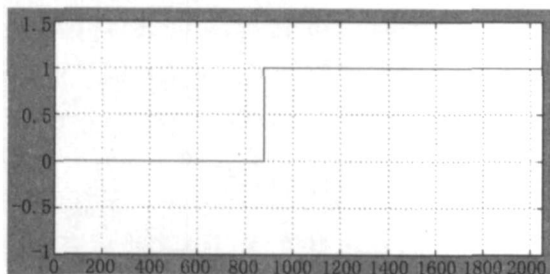


图 13 判别结果

图中 0 表示机床未发生颤振, 1 表示机床即将或已经发生颤振, 对比于图 11 和图 12 中的颤振信号, 可以看出, 判别函数在颤振形成过程中就判别出了颤振的发生, 可见综合判据对于机床的切削颤振有很好的判别能力。

## 4 结论

(1) 单独以方差和互相关系数的绝对值作为颤振的判别函数, 会由于局部跳跃及相位问题造成对于颤振的误判和漏判等现象。

(2) 以方差和互相关系数绝对值作为综合判据来判别颤振状态的发生, 用实验测得的颤振信号进行仿真验证表明综合判据能够很好地判别颤振的发生。

[参考文献]

- [1] F. W. Taylor. On the Art of Cutting Metals. A. S. M. E., 1907
- [2] 杨叔子, 等. 金属切削过程颤振预兆的特性分析 [J]. 1985, 13(5): 79-86
- [3] 曾周末, 万柏坤, 等. 动态数据建模与处理 [M]. 天津: 天津大学出版社, 2005
- [4] 刘晓石, 陈鸿建, 何腊梅. 概率论与数理统计 [M]. 北京: 科学出版社, 2000 (编辑 李秀敏)