

# 主从式带电作业机器人控制系统<sup>①</sup>

黄晓萍<sup>1</sup>, 鲁守银<sup>1</sup>, 谈金东<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>(山东建筑大学 信息与电气工程学院, 济南 250101)

<sup>2</sup>(田纳西大学 电子信息工程系, 美国 37996-3531)

**摘要:** 介绍一种液压驱动的带电作业机器人主从式控制系统. 首先简单说明整个系统的组成, 系统采用液压驱动方式. 然后提出将带电作业机器人控制系统分为主、从控制系统, 且主、从控制器都采用微处理器 TMS320 F2812. 最后对控制系统的算法进行研究, 提出一种模糊 PID 控制的闭环控制方案, 并进行 matlab 仿真, 结果证明这是一种有价值的控制方案.

**关键词:** 机器人; 液压驱动; 主从式; 模糊 PID 控制; matlab

## Master-Slave Live Working Robot Control System

HUANG Xiao-Ping<sup>1</sup>, LU Shou-Yin<sup>1</sup>, TAN Jin-Dong<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>(School of Information and Electrical Engineering, Shandong Jianzhu University, Jinan 250101, China)

<sup>2</sup>(University of Tennessee, Knoxville Tennessee TN 37996-3531, USA)

**Abstract:** This paper introduces a master-slave control system of hydraulic driven live working robot. Start with a brief description of the whole system, and adopt hydraulic drive way. Then put forward the idea that divide the live working robot control system into master control system and slave control system, the two sub-control systems adopt microprocessor TMS320 F2812. Finally, study the algorithm of the control system and propose a closed-loop control scheme depending on the fuzzy PID. Then make simulation of the control system by matlab, and the results prove that this is a valuable control scheme.

**Key words:** robot; hydraulic drive; master-slave mode; fuzzy PID control; matlab

随着国民经济的发展和科学技术的不断进步, 机器人已在许多领域得到了广泛应用. 在电力系统带电作业工作中, 作业对象复杂、多样, 作业环境要求苛刻、危险系数高, 为了减轻操作人员高空作业的劳动强度和强电磁场对操作人员的人身威胁, 研制一种适用于带电作业的主从式带电作业机器人具有重要意义<sup>[1]</sup>. 带电作业机器人要完成特定的作业任务需要以某种方式进行驱动, 通常机械臂的驱动方式主要有三种: 电机驱动、气压驱动和液压驱动<sup>[1]</sup>. 电机驱动在反应速度、控制精度等方面具有良好的特性, 但其推力较小, 大推力时成本高, 并且在高压作业环境中电机易受影响. 气压驱动成本低、动作可靠、无污染, 但速度稳定性差, 会给系统的速度和位置控制精度带来很大影响. 同气压

驱动相比, 液压驱动有更好的速度和位置控制精度, 且较电机驱动能够输出更大的力或力矩, 使机械臂拥有一定的负载能力, 符合带电作业机器人的作业要求——能够抓取质量较大的带电作业工具, 完成带电断接线、水冲洗等一系列任务, 具有很大的使用价值<sup>[2]</sup>.

液压系统具有非线性特点, 这使得整个带电作业机器人系统更加复杂、多样化, 而模糊控制以其独特的语言变量控制被广泛应用于这类非线性系统的控制当中. PID 控制器为线性控制器, 输出控制量平稳, 稳态误差小. 本文结合模糊控制与 PID 控制的优点提出一种基于模糊 PID 控制的闭环控制方案, 并用 matlab 软件进行仿真, 结果表明, 整个控制系统具有较高的品质.

① 基金项目: 国家高技术研究发展计划(2012AA041506)

收稿时间: 2013-05-15; 收到修改稿时间: 2013-06-17

## 1 系统介绍

带电作业机器人系统主要是由主手、液压机械臂(从手)、曲臂式液压升降车(带有升降平台)、通讯系统等几部分组成,如图 1 所示.作业时,操作人员将作业车开到作业地点,控制升降机构将液压机械臂升到输电线路附近,根据带电作业任务,操作人员在车内操控主手,液压机械臂跟随主手运动,夹取不同的带电作业工具完成作业.

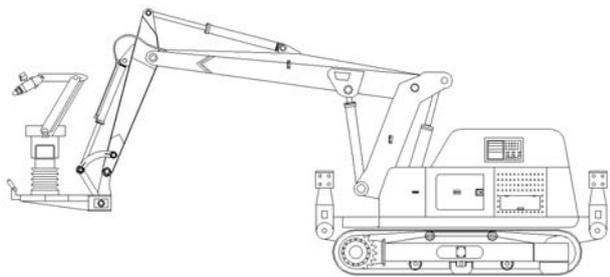


图 1 带电作业机器人总体结构

主手与液压机械臂同构,有腰部回转、大臂俯仰、小臂俯仰、腕部俯仰、腕部摇摆、腕部回转和手爪开合七个自由度.每个关节中安装力矩电机和电位计,用来控制主手各关节运动并检测运动信息.

液压机械臂主要依赖分布在七个关节中的驱动单元完成作业任务,其运动性能直接取决于液压系统性能.液压机械臂的每个关节中安装电位计,用于检测液压缸驱动各关节运动后的关节旋转角度.由于驱动单元为液压执行器件,只要能控制液压执行器件的运动,就可以决定带电作业机器人的整体运动.

曲臂式液压升降车由履带式车辆底盘、三自由度升降机构和移动作业平台构成.履带式车辆底盘采用电机驱动,发动机的动力经传动系传给驱动轮,驱动轮得到驱动扭矩使车辆向前行驶.升降机构采用新型优质型钢,强度高、重量轻,采用液压驱动,移动作业平台载重大,可搭载一定的设备;三自由度的设计可使工作台升高或延伸,还可 360 度旋转,易于跨越障碍物到达工作位置进行多点作业.

通讯系统采用无线通信方式,是主、从控制器之间进行数据交互的桥梁.

## 2 液压系统

带电作业机器人的液压系统主要包括液压泵,液压执行元件(液压油缸和液压马达),电液伺服阀,液压

管路等组成.液压泵将外部动力转化为液压能,驱动液压系统工作;电液伺服阀将微弱的电信号转化成为液压能,用以控制液压执行元件;液压执行元件将液压能转换为机械能,驱动机械臂各关节运动.

三自由度的升降机构和七自由度的机械臂构成带电作业机器人整个液压系统,如图 2 所示.升降机构有大臂回转、大臂俯仰,上臂伸缩三个关节,每个关节中安装液压油缸;液压机械臂的七自由度分别是腰部回转、大臂俯仰、小臂俯仰、腕部俯仰、腕部摇摆、腕部回转和手爪开合七个关节,除腕部回转关节安装液压马达外其余各关节安装液压油缸.

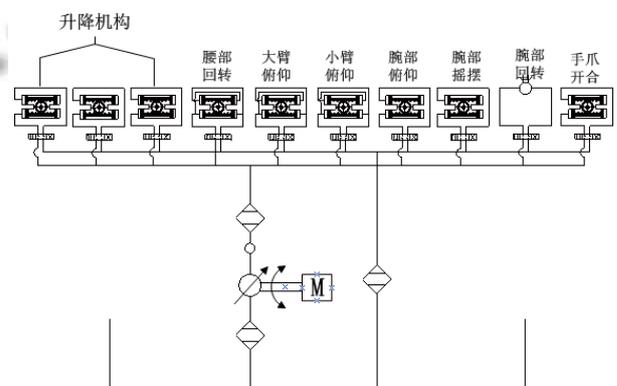


图 2 带电作业机器人液压系统原理图

电液伺服阀是电液转换装置,其电气接口主要有电源输入端、控制信号输入端、保护接地.调节控制信号输入端的电流大小和极性,即可控制液压缸的流量和运动方向,控制升降机构和机械臂各关节的运动速度和方向<sup>[3]</sup>.由液压控制原理可知,在开环情况下,即不把液压机械臂各关节中的电位计信息作为反馈,通过伺服阀只能控制液压缸的移动速度.但在实际工作中要有精确地控制,采用电位计测量液压机械臂各关节的旋转角度,作为反馈送给控制器,构成闭环控制.

## 3 控制系统

### 3.1 系统硬件

带电作业机器人的控制系统分为两个部分:主控制系统和从控制系统.由于嵌入式系统具有体积小、重量轻、可靠性高等特点,因此主、从控制系统均采用嵌入式微处理器 TMS320 F2812 作为控制器<sup>[5]</sup>.考虑到主、从手之间相隔较远以及带电作业机器人的高压作业环境,主、从控制系统之间采用无线通讯模式.

主控制系统的原理图如图 3 所示, TMS320 F2812 硬件连接方面: 通过 AD 转换模块与主手各关节中的电位计连接, 保持两者之间的数据交互, 获得主手的当前姿态; 通过驱动模块与各关节中安装的力矩电机连接, 控制器的操作指令驱动电机运转, 主手做出各种不同姿态; 通过无线通讯模块与从控制系统连接, 实时监测从手的运动情况及外界环境的作用力。

从控制系统的原理图如图 3 所示, TMS320 F2812 通过 DA 转换模块与电液伺服阀驱动模块连接, 驱动模

块控制液压机械臂七个关节伺服阀的输入电压, 并将电压信号经放大转换成电流信号加在伺服阀的两端, 控制其开度, 进而调节液压缸开度流量使机械臂运转<sup>[4]</sup>; 通过 AD 转换模块与从手各关节中的电位计、压力传感器连接, 保持相互之间的数据交互, 获得从手的当前姿态及受力情况; 通过无线通讯模块与主控制系统连接, 实时接收主控制系统的运动控制指令, 将液压机械臂的运动信息、受力情况及时传输给主控制器, 让操作者感知。

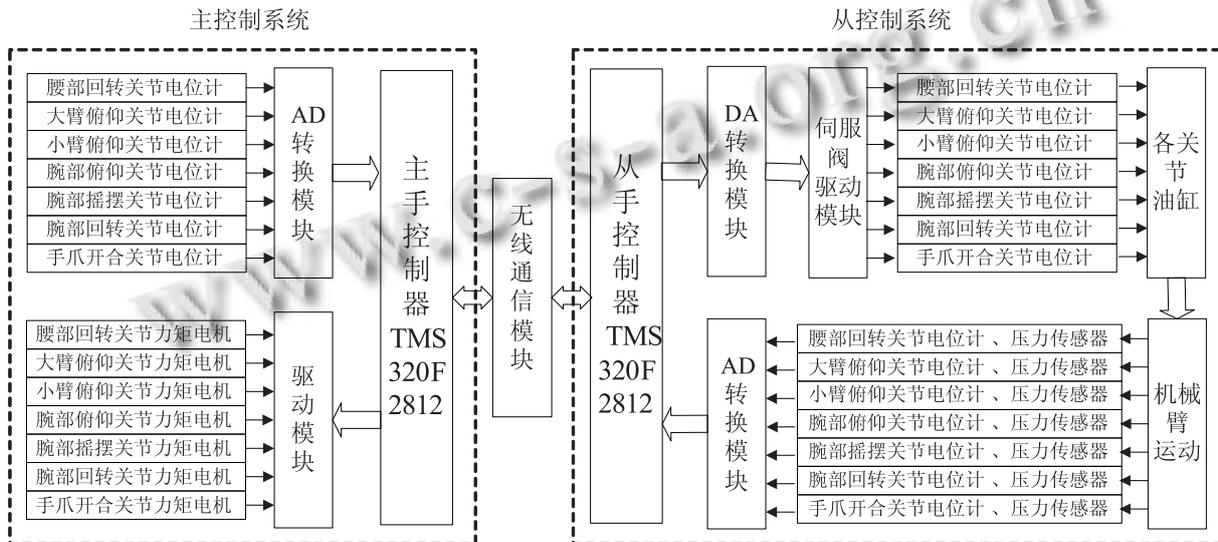


图 3 带电作业机器人控制系统原理图

### 3.2 控制算法

根据主、从手两侧的位置和力信息的不同组合, 可构成不同的控制算法, 从而实现从手对主手位置的跟随, 并对主手驱动机构的力进行控制<sup>[6]</sup>。力-位置综合型以位置误差和位置误差的变化率形成力反馈控制信号, 同时控制信号的增益由油缸负载情况决定。考虑到机械臂为液压驱动具有非线性特点, 而模糊控制是控制非线性系统的重要方法, 本文提出一种基于模糊 PID 控制的力-位置综合型控制算法, 如图 4 所示。此算法融合了位置伺服控制简单易实现、力直接反馈型伺服控制较真实反应从手受力情况<sup>[7]</sup>、模糊控制解决非线性问题的优点。

位置控制: 操作者给主手施加操作力  $F_o$ , 主手各关节相继联动, 安装于各关节的电位计输入轴发生位置旋转, 产生主手操作位移  $X_m$ , 主控制器对该位移进行检测并通过无线模块传输给从控制器。从控制器将操作位移  $X_m$  转换成电信号, 控制电液伺服阀的开度,

进而控制进入从手各关节液压油缸和液压马达的流量, 驱动从手各关节运动, 产生从手动作位移  $X_s$ , 从控制器对该位移进行检测并通过无线模块传输给主控制器, 在主控制器中进行  $X_m$ 、 $X_s$  的比较形成位移误差  $e$ 。

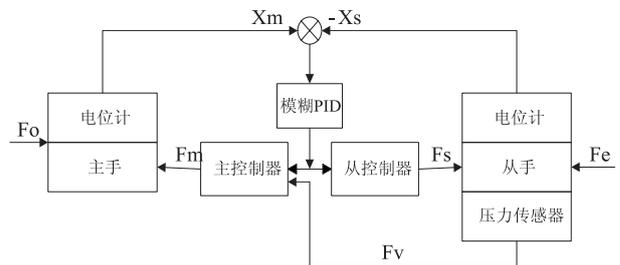


图 4 力-位置综合型控制

图中  $F_o$ ——操作者施加给主手的操作力

$F_m$ ——驱动主手的反馈力

$F_s$ ——驱动从手的力

$F_e$ ——从手的负载力

$F_v$ ——从手的反馈力

$X_m$ ——主手操作位移

$X_s$ ——从手动作位移

模糊 PID 控制: 将位移误差  $e$  及变量  $ec$ (位移误差的变化率)作为模糊控制器的两个输入变量, 运用模糊理论把输入变量的精确值变为模糊量, 然后根据输入变量(模糊量)、相应的模糊规则和模糊推理规则计算出控制量, 把计算得到的控制量进行解模糊处理, 得到精确的控制量作为力反馈控制信号。

力控制: 当从手与外界环境相互作用产生力  $F_e$  时, 安装在各关节中的压力传感器将所受力  $F_v$  转变成电压信号, 在从控制器中经 AD 转换、无线通讯传输给主控制器, 主控制器根据从手的反馈力  $F_v$  和力反馈控制信号做出如下决策: 当操作力大于负载力时, 从手将按照主手操作力的作用效果运动, 操作者会获得操纵感; 操作力与负载力相同, 从手没有位移, 操作者有种势均力敌的感觉; 操作力小于负载力时, 从手按照负载力的方向产生位移, 主手在主从位移差的作用下运动, 操作者获得的是被反推的感觉。

#### 4 实验仿真

PID 控制器为线性控制器, 输出控制量平稳, 稳态误差小, 但动态性能差; 而模糊控制器为非线性控制器, 动态响应快, 对扰动变化适应性强, 但输出具有跳跃性。将模糊控制和 PID 控制器两者结合起来, 扬长避短, 既具有模糊控制灵活、适应性强的优点, 又具有 PID 控制精度高的特点<sup>[8]</sup>。

将主、从手位移关系抽象为以下控制模型, 被控

对象为:  $G(s) = \frac{300}{s^2 + 10s + 320}$ , 采样时间为 0.2 秒,

设置了零控制、普通 PID 控制和模糊 PID 控制三种控制方式。仿真曲线如图 5 所示。

由零控制曲线可知, 系统在未加任何控制的情况下, 从过阻尼转变为衰减荡最后稳定值在 0.94 左右, 据设定值有较大差距。并且系统的超调量比较大, 达到了 38%, 第一个峰值振荡频率也很大, 不是一种好的控制方法。而普通 PID 控制曲线虽然衰减次数显著减少, 超调量也降低不少, 但是仍然呈振荡衰减状态,

系统存在静差问题。模糊 PID 控制曲线与普通 PID 控制曲线相比, 虽然有微量超调, 但系统的响应速度快, 稳态精度高, 具有良好的动、静态特性。将模糊 PID 控制器运用于带电作业机器人的控制系统中, 可减小外界扰动对系统控制的波动影响, 是一种有价值的控制方法。

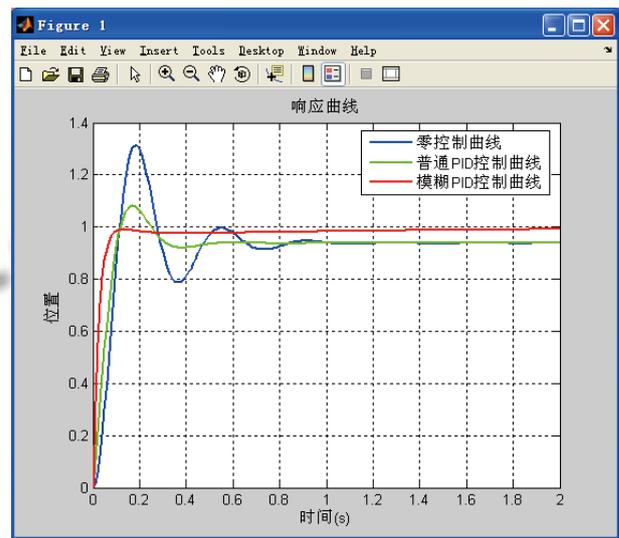


图 5 仿真曲线图

#### 参考文献

- 1 王凯军,应鸿,鲁守银.高压带电作业机器人的开发背景及技术动向.浙江电力科学发展,2005,(11).
- 2 赵玉良,张奇,戚晖等.带电作业用非力反馈液压机械臂的设计.机械设计与制造,2012,9(9):117-120.
- 3 张鹏翔,廖启征,魏世民等.液压驱动的四足机器人控制系统研究.液压与气动,2011,(1):29-31.
- 4 陈卫东,席裕庚.力觉临场感遥操作系统的双向控制.机器人,1998,20(3):214-220.
- 5 邓乐.电液力反馈操纵杆及其双向伺服控制技术研究[博士学位论文].长春:吉林大学,2007.
- 6 侯文卓.液压伺服六自由度力反馈手控器的设计研究[硕士学位论文].长春:吉林大学,2006.
- 7 宋鸿亮.遥操作机器人系统的主-从双向伺服控制方法研究[硕士学位论文].长春:吉林大学,2007.
- 8 王志昊,蒋保珠.Fuzzy-PID 控制的 Matlab 建模与仿真.机电一体化,2008,(3):43-44.