

基于西门子 802Dsl 的立式电解加工机床数控系统设计

曹雪涛, 陈远龙, 何高清

(合肥工业大学机械与汽车工程学院, 合肥 230009)

摘要: 针对立式电解加工机床在多轴联动控制方面存在的不足, 设计了基于西门子 802Dsl 数控系统的电解加工机床控制系统。硬件方面, 选配面板操作单元 PCU(包括数控核心 NCK、PLC、人机界面 HMI) 和进给单元等模块作为控制核心; 软件方面, 按模块设计方法进行控制系统的程序设计, 并完成了数控系统的制作、安装与调试。经电解加工试验验证, 该控制系统功能完善、工作稳定, 可有效的监控机床运行状态并记录电解加工参数变化, 对提高电解加工精度和适用性具有重要意义。

关键词: 电解加工机床; 802Dsl; 数控系统; 联动

中图分类号: TP271

Design of the CNC system for ECM machine tool based on Siemens 802Dsl

Cao Xuetao, Chen Yuanlong, He Gaoqing

(School of Mechanical and Automotive Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230009)

Abstract: Aiming at the deficiency of vertical ECM machine tool in multi-axis control, designed the CNC system for ECM machine tool based on Siemens 802Dsl. In terms of hardware: Selected panel operation unit of PCU (including CNC core NCK, the man-machine interface HMI, PLC) and feed unit etc.module as the control core. In terms of software: according modular design method, conducted control system design and completed the production, installation and commissioning of CNC system. Electrolytic machining tests showed that the control system has perfect function, stable processing capacity, can effectively monitor the running state of the machine and record the change of the electrochemical machining parameters, also has an important significance to improve the accuracy and applicability of ECM.

Key words: ECM machine tool; 802Dsl; CNC system; Linkage

0 引言

电解加工是利用金属在电解液中产生阳极溶解的原理实现对金属零件的加工, 主要用于难加工材料及复杂型面、型腔等零件的加工。电解加工在机械制造行业中发挥重要作用^[1]。随着科技快速发展, 零件的结构越来越复杂, 对机床加工精度及控制能力提出很高的要求, 常用的单片机或者 PLC 控制方式已经不能满足联动加工要求。为解决这一问题, 本文利用 802Dsl 系统设计了四轴联动数控电解加工机床控制系统。

1 DJK3163 机床结构

机床采用四立柱式结构, 刚性强、稳定性好, 配有三个进给轴 X/Y/Z 和一个旋转轴 A, 各轴均由交流伺服电机驱动。进给轴电机通过滚珠丝杠传动机构驱动工作平台运动, 在进给轴的末端安装有机械挡块和硬限位开关; A 轴电机安装在旋转工作台上, 并配有气压锁紧装

作者简介: 曹雪涛 (1987-), 男, 合肥工业大学硕士, 主要研究方向: 数控技术及数控装备

通信联系人: 陈远龙 (1964-), 男, 安徽滁州人, 合肥工业大学特种加工研究所, 工学博士, 教授, 博导, 主要研究方向为特种加工工艺及设备. E-mail: chenyanlong@sina.com

置，可以手动或 M 功能控制 A 轴松开或锁紧。X/Y 轴一般用于阴极位置调整，对于复杂型面，可以实现与其他轴间的联动；Z 轴为主要加工进给轴，对其重复定位精度和进给精度要求很高；A 轴用于工件的旋转分度。机床结构如图 1 所示。

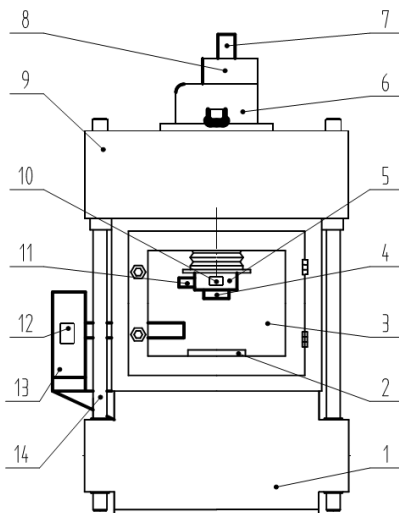


图 1 机床结构图

Fig. Structure diagram of machine tool

- 1-机床本体；2-工作台；3-工作箱；4-阴极安装板；5-X/Y 平台；6-盖体；7-Z 轴电机；
8-减速箱；9-横梁；10-Y 轴电机；11-X 轴电机；12-A 轴电机；13-旋转工作台；14-立柱；

2 系统硬件设计

系统硬件结构如图 2 所示。采用西门子 802Ds1 数控系统，其主要组成单元包括：PCU（Panel Control Unit，面板控制单元）、NC 键盘、I/O（输入/输出）模块 PP72/48、进给单元（伺服电机驱动模块和功率电源模块）。核心部件 PCU 将 PLC（可编程控制器）、HMI（人机界面）、NCK（数控核心）和通讯装置集成在一起，做成安装板形式的结构，通过 DRIVE-CLiQ 接口最多可以驱动 5 个坐标轴和一个 PLC 轴。外部输入输出信号（操作面板控制信号和机床电气信号）经端子转接板连接到 I/O 模块 PP72/48，I/O 模块通过 Profibus 总线连接到内置 PLC，完成机床逻辑控制，该系统最多可配置 3 个 I/O 模块^[2]；各坐标轴的伺服驱动控制由 NCK 完成，伺服电机配有位置编码器，通过信号电缆反馈电机实际转速和位置，实现闭环控制。380V 交流电经电抗器和低通滤波器消除干扰后输送到功率电源模块，交流电被变为 600V 直流电，再通过直流母线提供给电机模块，电机模块又将直流电变为可控的交流电，驱动伺服电机。

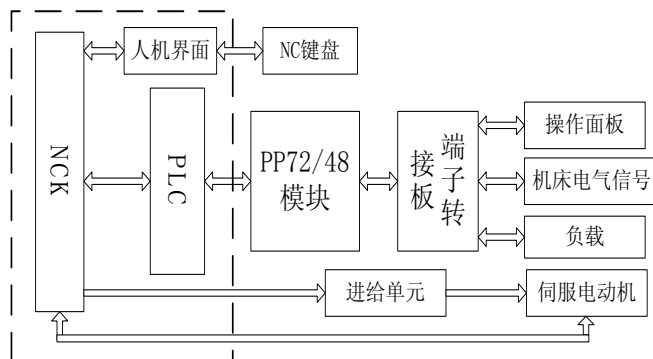


图 2 系统硬件结构图

Fig.2 The system hardware structure chart

45

50

55

60

65

3 系统软件设计

3.1 系统控制要求

(1) 机床控制系统应能快速准确的对信号的接收和反馈做出响应，且各功能之间不相互干扰；

70 (2) 为避免由于误操作而造成不良后果，程序及控制电路设计时应设置信号输入设置联锁保护；

(3) 满足电解加工功能要求，主要包括手动/自动加工功能、手动/自动对刀功能、欠压及短路保护功能、联锁保护功能等^[3]。

3.2 控制系统方案设计

75 根据机床控制要求，控制系统采用模块化设计，主要包括对刀模块、准备模块（电解电源及电解液泵控制模块）、轴控制模块、保护模块、监控模块、急停模块等^[4]。数控系统软件结构如图 3 所示。

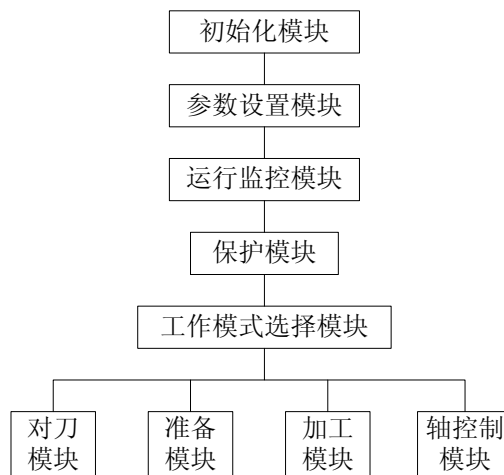


图 3 数控系统软件结构

Fig.3 CNC system software structure

80

(1) 初始化模块在 PLC 第一个扫描周期调用 PLC 初始化子程序，将程序中即将用到的寄存器设置一个初始值，完成 PLC 的初始化工作。

(2) 参数设置模块包含通用参数设置和加工参数设置。通用参数设置主要有手动速度、手动快速、对刀速度设置等；加工参数设置是针对不同的工件，设置不同的电解加工参数报警值。

85

(3) 监控模块包括机床运行状态监控和电解加工模拟量监控。机床运行状态监控包括各输入输出单元 I/O 点状态的监控和进给轴运行监控（速度监控、轮廓监控、硬限位监控等）；模拟量监控的是将电解液温度、流量、压力、电解电压及电流等模拟信号转变为记录仪可接受的电流信号（4~24mA），记录仪根据设置的量程上限、下限对检测到的电流信号进行换算即可得出模拟量实际值。记录仪可以显示、储存各参数的实时变化和报警，并能通过继电器输出报警信号。

90

(4) 保护模块主要包括 PLC 用户报警、急停程序、联锁保护程序。PLC 用户报警是系统最有效的诊断保护手段之一，PLC 检测 I/O 端状态信息，通过 PLC 用户报警显示出明确的诊断信息，其报警响应包括 PLC 停止、急停、进给保持、读入禁止、启动禁止和“只显示”报警。

95

急停程序主要提供欠压保护、过电流保护、硬限位报警、驱动器故障保护等。联锁保

护程序是根据电解加工工艺特点而编写的，为避免误操作而造成损失，如出现对刀信号，电解电源和电解液泵不能开启；未开启电解液泵不能开启电解电源等。

(5) 工作模式选择模块包括自动模式、手动模式、MDA 模式（手动编写程序，自动执行）和回零模式（坐标轴返回参考点）的设计。

100 (6) 对刀模块功能包括对刀和模拟对刀，对刀电路原理见图 4。手动模式下，按下对刀键，当阴极与阳极接触短路，继电器 KA11 触点闭合，接点 PROBE 向系统反馈对刀信号；系统调试时，按下模拟对刀键，继电器 KA12 触点闭合。

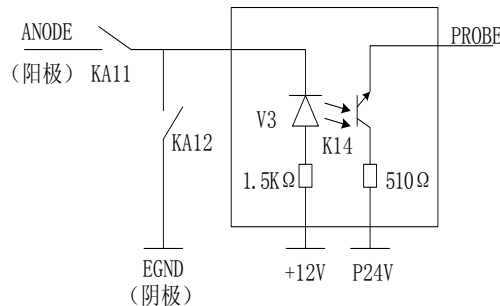


图 4 对刀电路原理图

Fig.4 Schematic diagram setting circuit

105

(7) 加工模块提供手动加工和自动加工功能，手动加工可以进给倍率修调或在增量进给时进行脉冲当量选择。

3.3 PLC 程序设计

110 程序的编制是在专用编程软件 Programming tool PLC 802D 3.1V 中进行的，程序结构有一个主程序和相关子程序组成，使用 LAD（梯形图）作为编程语言。根据控制系统方案，首先进行各功能模块的设计，将轴控制、电解电源及电解液泵控制、驱动器使能控制、报警信息、手柄操作等机床控制功能编制到不同的功能模块，然后根据各功能间的关系，编辑联锁保护程序。

3.4 信号地址分配

115 机床外部的输入输出信号主要包括 MCP（机床控制面板）和机床电气控制信号。MCP 的控制信号主要包括轴运动控制信号（点动、快速等）、NC 控制信号以及状态指示灯信号等，该部分信号通过 PP72/48 的接口 X111 和 X222 连接到 PLC。机床电气控制信号主要包括各轴限位信号、电机启停控制及过载信号、电解电源电压及电流检测信号等，该部分信号
120 通过 PP72/48 的 X333 接口连接到 PLC。系统内嵌的 PLC 采用接口变量 V 及相应的数据位的形式与 NCK、HMI 和 MCP 进行控制和状态信息的传送^[5]，并按照系统的工作状态和用户编写的控制程序完成机床逻辑控制任务。PLC、NCK、HMI、MCP 内部信号传递地址与传递内容如表 1 所示。

表 1 内部信号传递地址表

Tab.1 Internal signal transmission address table

125

序号	变量地址范围	信号传递方向	传送主要内容
1	V10000000~V10000008	MCP→PLC	将来自 MCP 上的按键信号以数据位的形式传送至 PLC，包括 NC 控制键、各轴点动控制键、倍率选开关、用户选择键等信号

2	V11000000~V11000007	PLC→MCP	将 PLC 以确认的 MCP 按键信号（出倍率开关外）返回给 MCP
3	V16000000~V16000007	PLC→HMI	将 PLC 程序发出的用户报警号送至 HMI, 再由 HMI 根据已编好并下载到控制系统的报警文件将报警信息显示出 ^[6]
4	V16002000	HMI→PLC	HMI 将有效的报警响应送至 PLC, 如: PLC 停止、急停、读入禁止等
5	V17000000~V17000003	HMI→PLC	将用户在 HMI 上选择的程序控制信号（空运行进给、程序测试、快速进给倍率生效等状态信号）送至 PLC
6	V25001000~V25001012	NCK→PLC	将 NC 程序译码得出辅助功能 M 信号送至 PLC, 包括 M0~M99
7	V30000000~V30000002	PLC→NCK	将 PLC 已确认的系统控制方式信号送到 NCK, 主要包括: AUTO、JOG、MDA 和回零控制方式以及脉冲进给增量
8	V31000000~V31000001	NCK→PLC	将 NCK 确认的系统控制方式有效信号返回 PLC
9	V380x0002.1	PLC→NCK	接通坐标轴位置控制回路, 使其处于位置控制状态

4 系统软件设计

4.1 PLC 程序设计

系统通电以后, 首先进行系统初始化, 本机床没有主轴, 根据系统类型和工艺要求选择“铣床”初始化文件, 通过 RCS802 建立通讯连接或通过 CF 卡将初始化文件 802D sl Pro 拷贝到 802D sl 系统中, NC 断电、再上电后初始化文件生效。

4.2 PLC 程序设计

在 802D sl 的各部件正确连接后, 首先应设计并调试 PLC 的控制逻辑。必须在所有 PLC 的安全功能全部准确无误后, 才能开始驱动器调试和 802D sl 参数调试。

利用“直连网线”将计算机和 802D sl 的 X5 连接起来, 启动 PLC 编程工具, 进入通讯画面并设定以太网参数, 建立通讯连接。将编辑无误的 PLC 程序利用编程工具软件下载到 802D sl 中, 重新启动 PLC 应用程序即可。可利用“程序状态”功能监控梯形图的状态（不包括 L 变量）, 还可利用“图状态”功能监控内部地址的状态^[7]。

当调试急停处理子程序时, 设定 MD14512[16]Bit0=1, 表示系统调试方式, “急停”报警可通过复位解除, 调试结束后参数 MD14512[16]Bit0 改为“0”。

该 PLC 程序是在子程序库的基础上建立的, 需在制造商的级别下设定 PLC 机床参数 MD31060=2, 定义机床类型为“铣床”。

4.3 驱动控制调试

PLC 调试结束后, 即可进入驱动调试, 其步骤如下:

- (1) 装载 SINAMICS Firmware, 目的是确保驱动器各部件具有相同的固件版本;
- (2) 装载驱动器出厂设置, 目的是激活各部件的出厂参数;
- (3) 拓扑识别和确认, 目的是读出驱动器连接的拓扑结构以及电机的控制参数, 设定拓扑比较等级。系统及驱动器断电、再上电后, 修改生效。

4.4 驱动控制调试

(1) 总线配置

150 通过参数 MD11240 定义 PROFIBUS 从站 I/O 模块 PP72/48 地址，本系统只有一块 PP72/48，地址为 9。

(2) 驱动器模块定位

由于机床没有配置主轴，所以必须通过参数 MD20070[3]=0 设置，将主轴从 NC 中删除。并通过 MD20070 设置轴的编号 X/Y/Z/A 编号分别为 1/2/3/4。

155 通过对机床数据 MD30110（定义驱动端口轴号）及 MD30220（定义位置反馈端口轴号）的定义，可以将相应的 NC 轴额定值切换到正确 SINAMICS 驱动系统上，并让该驱动系统反馈实际值，定义值如表 2。

(3) 位置控制使能

160 系统出厂设定各轴均为仿真轴，这时系统既不会读电机的位置信号，也不会产生指令到驱动器^[8]，将参数 MD30130（控制给定输出类型）设置为“1”，MD30240（编码器反馈类型）设置为“4”，分别表示 NC 通过 Profibus 输出额定值信号并读取编码器实际值，这样即可激活该轴的位置控制器；通过参数 MD32100 调整电机正反转。

表 2 轴号定义

Tab.2 Axis number definition

轴	X	Y	Z	A
MD30110	2	3	4	1
MD30220	2	3	4	1
SINAMICS 对象号	4	5	6	3

(4) 机床参数设置

170 802Dsl 对 X/Y/Z 轴的类型默认为进给轴，需要设置的机床参数有：MD31030（丝杠螺距）、MD31050（电机端齿轮齿数）、MD31060（丝杠端齿轮齿数）、MD32000（最高轴速度）等。根据电解加工操作习惯，设置 Z 轴向下进给为“正”，修改参数 MD32100，调整电机旋转方向。为了能够正确的返回参考点，设置参数 MD34010（返回参考点方向）为“0”，向 Z 轴正向搜索参考点；MD34050（搜索零脉冲的方向）设为“1”，负方向搜索零脉冲。对于旋转轴 A，将参数 MD30300（IS_ROT_AX）修改为“1”，将 A 轴定义为旋转轴；参数 MD30310（回转轴取换模块）设置为“1”，在正负方向进给无限制；参数 MD30320（旋转轴坐标显示方式）设置为“0”，表示旋转轴按 360 度 MODULO 轴显示，如果设置为“1”，则表示绝对位置显示；通过参数 MD31020 定义 A 轴编码器没转脉冲数为 36000。

175 丝杠螺母传动存在间隙误差，用千分表测出进给轴反向间隙，并通过参数 MD32450 补偿；通过参数 MD38000 在 Z 轴行程内插入 63 个补偿点点，通过激光干涉仪测出每个点的误差值并编写到补偿程序中，将补偿程序上传到系统加工程序中。

调试完成后，将系统程序及机床数据保存并备份。

5 结论

180 在分析机床结构及控制要求的基础上，成功将 802Dsl 系统运用到电解加工机床。加工试验表明：802Dsl 数控系统安全、稳定，操作方便，联动与插补功能使电解加工可以用简单的阴极完成复杂零部件的加工，解决了阴极与工件一一对应的关系，降低了阴极设计制造成本，提高了电解加工适用性，充分发挥了电解加工的优点，为后续电解加工机床控制系统

的设计提供了参考。

185 [参考文献] (References)

[1] 陈远龙, 贾志华.基于 PLC 的 DJK3225 卧式电解加工机床的研制[J].电加工与模具, 2007 (6) : 15-17.
[2] 陈炳森, 胡华丽.西门子 802D 数控系统 PLC 编程与应用[J].装备制造技术, 2008.9: 148-151.
[3] 陈远龙, 李明, 唐火红.电化学去毛刺机床控制系统的设计[J].组合机床与自动化加工技术, 2012.10(10): 63-68.

190 [4] 冯世慧.PLC 控制技术在电解加工设备中的应用[J].航天制造技术, 2005, 6 (3) : 43-46.
[5] 刘斌.西门子 802Dsl 在曲轴偏心磨床数控系统升级改造中的应用[J].制造技术与机床, 2013(3): 134-140.
[6] 郑士富, 徐朝林.西门子 802Dsl 在数控车床电气系统改造中的应用[J].机床与液压, 2012.11 (22) : 95-98.
[7] 徐建, 安毅.西门子数控系统在五轴联动技术改造中的应用[J].制造技术与机床, 2012 (9) : 117-120.
195 [8] 龚运环, 伊健.西门子 802Dsl 系统在加工中心改造中的应用[J].四川兵工学报, 2012.9 (9) : 92-94.