

doi: 10.7690/bgzdh.2023.09.012

基于 PLC 的含能材料加工设备控制系统

曹亦盛, 李天添, 陈 熙, 钟金龙, 李宝林, 何正红

(中国兵器装备集团自动化研究所有限公司智能制造事业部, 四川 绵阳 621000)

摘要:为解决因加工温度过高或操作不当造成含能材料加工过程中发生燃烧、爆炸现象对人员产生伤害的问题,设计一套基于倍福 PLC 的含能材料自动化加工设备控制系统。通过介绍设备机械结构组成、电气硬件构成、软件实现等方面来阐述控制系统的设计过程及实现功能。应用结果表明:该系统能够稳定高效地实现自动化运行,并具有远程实时监控及操作功能,能有效降低发生事故的几率。

关键词: 含能材料; PLC; 自动化

中图分类号: TJ410.5 **文献标志码:** A

Control System of Processing Equipment for Energetic Materials Based on PLC

Cao Yisheng, Li Tiantian, Chen Xi, Zhong Jinlong, Li Baolin, He Zhenghong

*(Department of Intelligent Manufacturing, Automation Research Institute Co., Ltd.
of China South Industries Group Corporation, Mianyang 621000, China)*

Abstract: In order to solve the problem of personnel injury caused by combustion and explosion in the processing of energetic materials due to high processing temperature or improper operation, a set of control system for automatic processing equipment of energetic materials based on Beckhoff PLC is designed. The design process and function of the control system are described by introducing the mechanical structure, electrical hardware composition and software implementation of the equipment. The application results show that the system can realize automatic operation stably and efficiently, and has the functions of remote real-time monitoring and operation, which can effectively reduce the probability of accidents.

Keywords: energetic material; PLC; automation

0 引言

含能材料作为当代军事及航空航天领域极为重要的材料,一直受到科研人员的重视^[1]。随着信息技术的发展和军用技术装备需求不断增加,含能材料加工工艺正朝着绿色化、自动化、连续化、无人化、智能数字化以及柔性化的方向发展^[2]。含能材料是指在没有外界物质参与下即可持续反应,并在短时间内快速释放巨大能量的一类物质^[3]。当前含能材料按用途主要分为炸药、发射药和推进器 3 大类。在实际加工过程中,由于含能材料本身含有能量且其热感度、机械敏感度都比较高,容易受到外界环境及工艺条件影响引起燃烧或爆炸^[4]。目前国内工艺仍以手工和半自动加工为主要方式^[5-6],容易造成人员伤亡。

针对上述问题,笔者以倍福嵌入式 PLC 控制器为核心,设计一套用于含能材料切片、制样设备的控制系统,以实现加工过程的自动化、远程化和安全化。

1 机械结构组成

含能材料加工设备(以下简称制样设备)主要由切片模块、转运模块、制样模块 3 部分组成,完成对含能材料方坯(以下简称方坯)的加工。加工步骤为人工上料、推进、切片、接料、放料、制样、下料、人工取料。加工工序如图 1 所示。

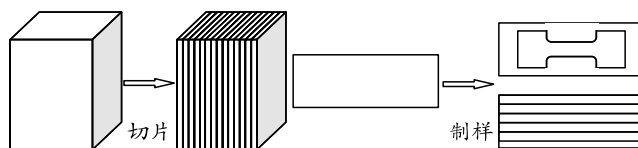


图 1 加工工序

切片模块主要由水平推进轴、闸刀切片轴组成,完成方坯的切片过程。由人工将方坯放置在工作台面上,水平推进轴将方坯推至闸刀下方,闸刀切片轴带动闸刀进行切片。

转运模块由一个二坐标机器人构成,用于将切片模块加工的切片转运至制样模块。由真空吸盘吸附切片模块生产的切片,由二坐标机器人摆缸将切

收稿日期: 2023-05-22; 修回日期: 2023-06-25

作者简介: 曹亦盛(1996—),男,四川人。

片旋转 90°，水平放置在制样模块台面上方。

制样模块主要用于将转运模块送来的切片制成样条型和哑铃型试样。转运模块将切片放置完成后，由定位气缸将切片推向工作台面侧边进行定位，根据选择制样种类，伺服电机驱动滚珠丝杠将工作台移至成形刀或切片刀下方进行制样，并控制制样宽度，制样完成后移至铁盒侧方，无杆气缸推动产品放入铁盒。制样结构如图 2 所示。

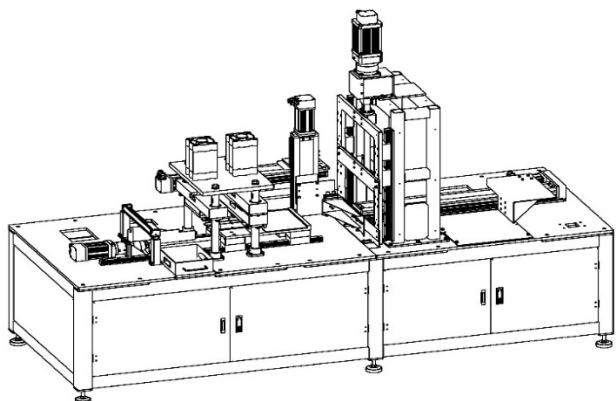


图 2 制样设备结构

2 控制系统硬件设计

控制系统主要由控制单元、检测单元、执行单元、交互单元等部分组成。

控制单元作为设备的核心，采用倍福嵌入式控制器 CX9020-0112 作为控制核心，用于实现设备逻辑控制、伺服驱动控制、报警分析等功能；利用数字量输入模块 EL1008、数量输出模块 EL2008、模拟量输入模块 EL3174 及 EtherCAT 耦合器 EK1110 等，完成对来自检测单元、交互单元的按钮、磁性开关等外部信号的采集以及对执行单元、交互单元的气缸、吸盘、指示灯控制等状态控制。控制单元内还包括供电线路中的断路器、继电器、直流电源、交换机等低压电器元件，用于对各种控制部件的供电保护等功能。

检测单元由 15 个本安型倍加福接近开关(切片模块推进轴、闸刀轴的正限位、负限位、零位；转运模块水平轴、垂直轴的正限位、负限位、零位；制样模块水平轴的正限位、负限位、零位)、10 个 FESTO 防爆磁性开关(摆动气缸原位、摆动气缸到位、样条气缸上升到位、样条气缸下降到位、哑铃气缸上升到位、哑铃气缸下降到位、定位气缸伸出到位、定位气缸缩回到位、下料气缸伸出到位、下料气缸缩回到位)、8 个辰竹安全栅及 1 个 AEP 防爆压力传感器组成。利用上述传感器采集设备加工

中的各种数据，实现对各个伺服轴、气缸状态进行监控和切片闸刀轴切片时压力状态监控。

执行单元主要有切片模块的水平推进轴、闸刀切片轴，转运模块的水平轴、垂直轴，制样模块的水平轴以及各个用于控制各个气缸的电磁阀。各个伺服轴单元均采用英威腾 DA200 系列驱动器和惠斯通防爆电机组成，且电磁阀也采用防爆电磁阀，从而实现设备在危险环境的稳定运行。各执行机构在控制单元控制下共同完成加工工作。

交互单元由近端操作面板、远端操作台组成，其由 Proface 触摸屏、操作面板上的按钮(启动、停止、暂停、急停、复位)、旋钮(手自动、远近期)、指示灯(故障、运行停止)以及安装在关键工位的防爆摄像头组成。触摸屏可以实现对设备运行状态的监控、报警状态定位、加工工艺参数以及设备固定参数设置等功能；操作面板上的按钮和指示灯用来对设备进行操作和状态监控；防爆摄像头和硬盘录像机对关键工位监控，实现对加工过程的远程实时监控和记录。控制系统硬件组成如图 3 所示。

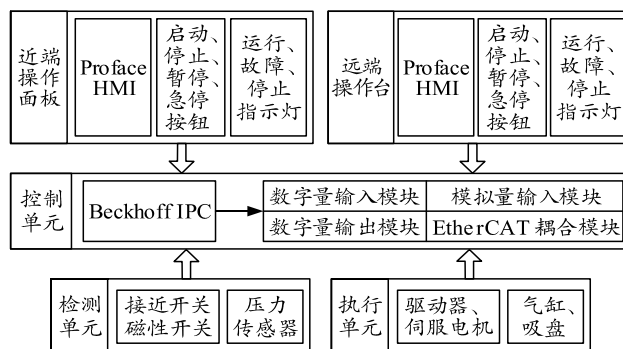


图 3 控制系统硬件组成

3 控制系统软件设计

3.1 控制系统程序设计

控制系统软件设计均在倍福嵌入式控制器的 TwinCAT 软件平台内完成，采取 ST 语言进行逻辑程序编写，从而实现制样设备的自动化运行。控制程序设计采用模块设计方法^[7]，先进行制样设备的整个控制系统大框架设计，确定主程序流程，固化设备操作步骤；然后根据需求将报警分析、HMI 信息显示、手动程序、复位程序、自动程序等设计为单独的子程序块，方便进行模块化的程序。

控制系统主程序采用循环设计，每个 PLC 周期对程序进行一遍扫描。报警分析程序和 HMI 信息显示程序与设备主程序并行，保证报警以及 HMI 操作有较高的优先级，保证设备运行的安全性。控制系

统大框架如图 4 所示。

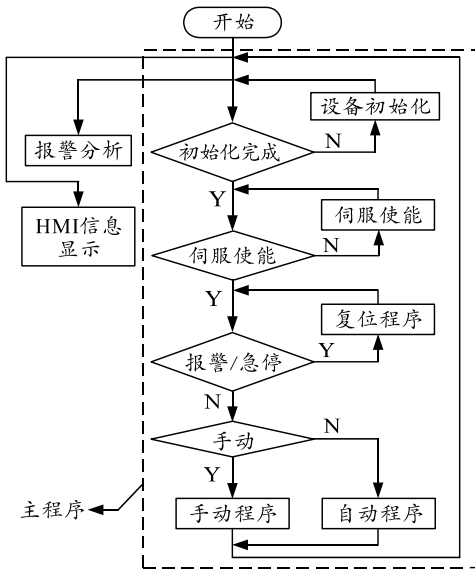


图 4 控制系统大框架

设备初始化主要完成对程序固定参数写入、驱动器初始化、轴运动功能块初始化、状态复位等功能。复位程序用于设备报警或急停之后，进行的报

警状态复位、按钮状态复位、伺服轴状态复位以及加工流程中相关变量的复位。手动程序主要负责对各伺服轴的手动调试控制、各气缸的控制以及各个模块的单步运行。自动程序过程将其分成切片模块子程序、转运模块子程序、制样模块子程序 3 部分。各子程序间通过几个信号进行交互。子程序信号交互如图 5 所示。

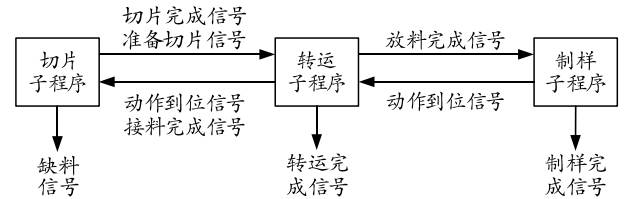
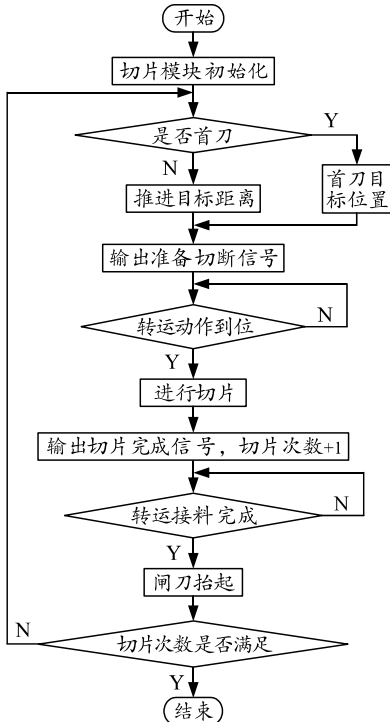
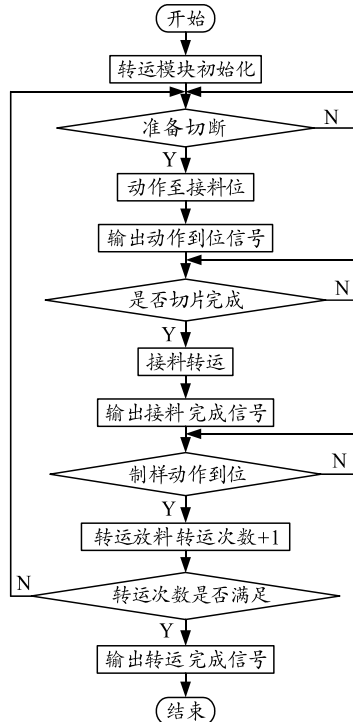


图 5 子程序信号交互

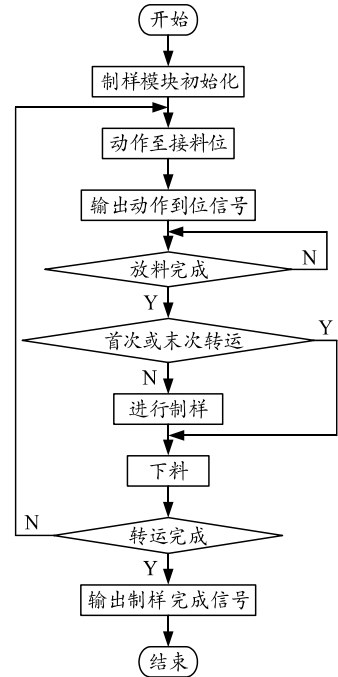
设备上电开机，依次完成设备初始化、伺服使能以及各伺服轴初始化寻零后，将设备切换至自动模式，按下操作面板启动按钮即可开启设备自动化运行（运行前需设置相关参数）。设备开启自动运行后，将同时调用切片、转运、制样 3 个子程序。自动程序流程如图 6 所示。



(a) 切片模块程序



(b) 转运模块程序



(c) 制样模块程序

图 6 自动程序流程

3.2 人机交互单元设计

人机交互单元除了远端操作台有防爆摄像头提供的监控界面外其他均相同，进行操作时由远端操作面板上手/自动旋钮进行切换控制方式，其他操作基本一致。故人机交互单元设计主要是通过 Proface

触摸屏的 GP-Pro EX 4.08 软件进行 HMI 界面的设计。操作界面主要分为主界面、状态监控界面、调试界面、报警监控界面、参数设置界面 5 大部分。界面下端设置有导航栏便于各个界面之间切换。

主界面设置有 6 个按钮，主要用于操作设备使

能、设备寻零、设备运行/停止等功能。

状态监控用于显示报警轴号、故障代码、设备自动加工计数、产品选择以及各个伺服轴运行状态监控、各个气缸动作状态监控等功能。单步控制界面用于调试 3 个自动程序子程序，测试自动程序稳定性。状态监控界面如图 7 所示。

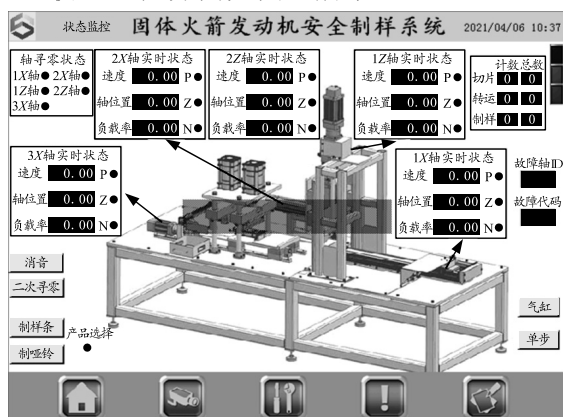


图 7 状态监控界面

调试界面分为 6 个子界面，用于对各个伺服轴单独控制及气缸的控制。在各伺服轴子界面可实现对各伺服轴使能、寻零、驱动器故障、速度、位置、负载率、限位信号等状态进行实时监控以及单独控制各个伺服轴进行绝对位置运动、增量运动、点动、匀速运动等。气缸控制子界面可用于控制各工位气缸动作。调试界面如图 8 所示。

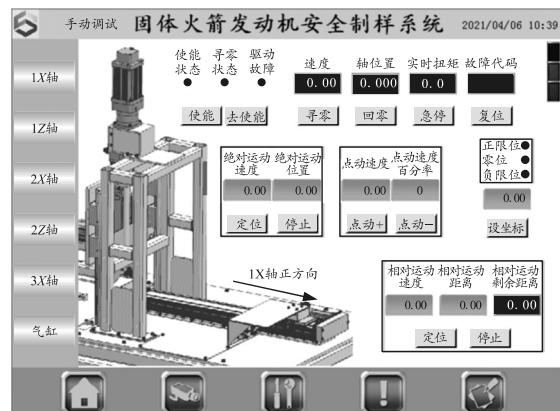


图 8 调试界面

报警监控界面用于快速浏览设备报警信息，分析设备故障原因，便于快速的清除故障，恢复生产。报警界面显示红色为此时正在触发的报警，显示绿色为以前触发，而此时已经恢复的报警。

参数设置界面用于进行设备参数设置。设备参数分为工艺参数、单轴参数和重要参数。工艺参数为产品加工相关的参数，比如产品规格等；单轴参数为伺服轴相关参数，比如最大速度、加速度、减速度、Jerk 速度等参数；重要参数为设备一些固定参数，比如伺服轴行程长度、加工过程中的关键点位参数。其中工艺参数需根据加工情况设置，而单轴参数和重要参数为设备关键参数需要管理员权限才能设置。

4 结论

该控制系统已应用于某含能材料加工设备。应用结果表明：该系统能够稳定高效地自动运行，并具有实时状态监控、远程操作等功能，能够完全代替人工操作并有效降低操作人员发生事故的几率。

参考文献：

- [1] 李雪珍, 薛平, 宋秀铎, 等. 含能材料加工过程模拟仿真的研究进展[J]. 塑料工业, 2021, 49(1): 1-5.
- [2] 刘耀鹏. 火炸药生产技术[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2009: 6-8.
- [3] 王泽山. 含能材料和含能材料学科的进展[J]. 化工时刊, 1995(7): 3-8.
- [4] 黄尚诚, 张国文. 含能材料切削加工自动化技术[J]. 兵工自动化, 2000, 19(3): 27-30.
- [5] 金翰林, 李锦, 谷岩波. 某枪弹装配系统的控制系统设计[J]. 兵工自动化, 2020, 39(6): 27-29.
- [6] 廖芸, 周丽娟, 胡阳. 基于 PROFINET 总线的高精度安全型火工品压药控制系统[J]. 兵工自动化, 2020, 39(6): 79-81.
- [7] 王胜, 龚运环, 景富军. 基于 PLC 的纸盒成型机全自动控制系统设计[J]. 兵工自动化, 2017, 36(3): 24-27.