

doi: 10.7690/bgzdh.2022.02.008

延期部件自动装压药生产线控制系统设计

刘锡朋, 石义官, 肖漪帆

(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: 为保证自动化生产系统的安全、可靠运行, 基于 EtherCAT 工业总线和 Beckhoff 控制器构建了控制系统平台。实现 5 通道高精度伺服压力控制、高速安全药剂称量关键技术。控制系统完成了全线生产过程控制, 基于该系统的生产线已经成功实施。结果表明: 该平台满足系统对控制精度、响应快速性和安全可靠的要求, 使用效果良好。

关键词: 延期体; 装药; 压药; 控制系统; EtherCAT; Beckhoff

中图分类号: TJ410.5 **文献标志码:** A

Design of Control System for Automatic Charging and Pressing Production Line of Delayed Component

Liu Xipeng, Shi Yiguan, Xiao Yifan

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

Abstract: In order to ensure the safe and reliable operation of the automatic production system, a control system platform is constructed based on EtherCAT industrial bus and Beckhoff controller. It realizes the key technology of 5-channel high precision servo pressure control and high speed safe medicine weighing. The control system has completed the production process control of the whole line, and the production line based on the system has been successfully implemented. The results show that the platform meets the requirements of the system for control accuracy, rapid response, safety and reliability, and the application effect is good.

Keywords: delay component; charging; pressing; control system; EtherCAT; Beckhoff

0 引言

作为某弹药的关键火工品部件, 延期部件的装压药自动化生产采用连续 5 次装压药, 包括称装药、压药等高危工序, 用于完成某型号弹药延期类火工部件的自动装药压药生产。

为保证自动化生产系统的安全、可靠运行并便于操作维护, 基于 EtherCAT 总线、Ethernet 和 Beckhoff 嵌入式 PLC 控制器构建了控制系统平台, 实现了 5 通道高精度伺服压力控制、快速安全称药计量关键技术, 完成全线生产过程控制, 满足生产过程对控制系统响应精度、快速性和安全可靠的要求。

1 设计原则和思路

根据生产需求, 该控制系统的基本设计原则:

- 1) 安全, 采用电气、软件措施提高设备使用安全性, 并针对生产现场的防爆等级, 设计匹配的控制系統;
- 2) 可靠, 控制器和通信系統具备工业级的可靠性;
- 3) 先进, 控制平台具备较高的运算速度和配置的灵活性, 满足快速响应和高精度实时复杂控制的算法

设计等需求; 4) 方便, 便捷良好的交互系統, 便于设备的使用、调试和产品的更换。

控制系统的基本设计思路: 1) 基于实时以太网数据总线 EtherCAT、具备微秒级响应速度、具备方便算法实现 ST 等语言及混合编程方式的 Beckhoff 控制器搭建控制系统, 保证控制系统数据传输可靠性和运算速度及复杂算法实现的需求^[1-3]; 2) 采取电气、软件互锁及联锁措施, 基于故障预诊断等技术, 保证设备使用及功能安全; 根据防爆标准和现场的生产环境要求, 分别选用隔爆、本安防爆等型号元件进行相应处理, 保证系統防爆安全; 3) 采取工艺参数配方化管理方式, 实现“一键”快速更换参数, 便于产品更换。

2 方案设计

2.1 构建“HMI+PLC+I/O”3层结构的先进可靠控制系统

如图 1 所示, 基于触摸屏、PLC 和分布在现场的检测执行机构, 控制系统构成 HMI+PLC+I/O 的 3

收稿日期: 2021-10-22; 修回日期: 2021-11-28

作者简介: 刘锡朋(1984—), 男, 山东人, 硕士, 高级工程师, 从事弹药自动装药装配行业非标自动化工艺及装备研究。

E-mail: liuxifeng21@163.com。

层控制结构,分别完成设备参数的输入、运行状态数据显示、全线运行集中控制、信号的检测输入及执行。

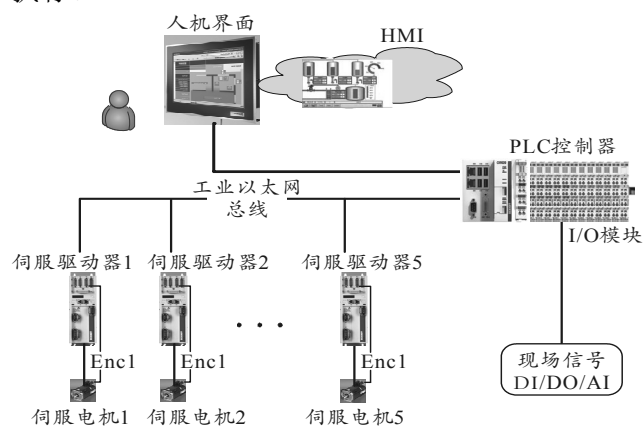


图1 控制系统结构

针对不同的通信实时性和可靠性要求,人机交互系统通信和 PLC 总线交互分别采用 Ethernet 和 EtherCAT 总线进行搭建,并进行物理隔离,分别与 PLC 控制器的 2 张网卡进行通信。其中,触摸屏和 Beckhoff 控制器之间基于 Ethernet 网络搭建,采用 TCP/IP 协议进行通信。PLC 系统中,控制器与远程 I/O 从站以及伺服驱动系统等设备之间基于 EtherCAT 实时工业以太网总线实现信号、数据的高速可靠传递,保障整体设备高速可靠运行^[4-5]。

基于 EtherCAT 数据总线的 PLC 系统构建方式,减少了 PLC 控制器与现场 I/O 信号以及伺服控制器之间的直接连线,大大减少了接线和走线的施工量,有效降低接线错误率、安装调试成本和维护成本,提高了控制系统可靠性。

2.2 控制软件及控制策略设计

在控制功能软件实现时,根据控制对象和语言的特性,分别选择合适的编程语言,并结合模块化编程,以提高软件设计的效率和可靠性。

在编程语言选择方面,充分发挥梯形图、ST 语句和画面组态的各自优势。采用梯形图完成生产线离散控制逻辑的实现,结合步数控制,便于调试过程中设备状态的快速观察掌握,尤其是故障位置的快速排查;采用 ST 语言完成压药压力实时控制和安全快速称药控制,便于算法实现^[6];操控界面及工艺参数的配方管理采用画面组态结合变量链接的方式进行设计,方便快捷。

在生产线路程序设计时,分别将各专机程序封装成具备高内聚、低耦合,风格统一等特性的模块,做到在完成一次设计和调试后,只需重复调用即可

降低工作量,提高程序可靠性^[7-8]。经过分析,将自动生产线上十余个专机、机构根据功能进行划分,分别单独构成程序模块。例如,生产线上 5 套自动称装药机和 5 套自动伺服压药机分别具有同样的功能和动作逻辑,所以只需分别单独封装成一个模块,调试完成一个具体工位并成功功能验证后,再分别进行其他 4 个同类工位的实例化调用。

2.2.1 生产线集中控制

通过设备检测信号的分析,对各专机状态进行判断,根据输入或选择的产品工艺参数(含压机压力、保压时间、位置,以及该型产品的各装压模块的配置数量和位置),经过同步协调控制,实现各装压药、检测功能专机并行工作,并与物流传输线进行协同动作,以最优节拍完成不间断连续生产。

2.2.2 伺服驱动压机控制

在不同的产品参数配置下,电子伺服压机可完成定压压制和定位压制 2 种压药方式。定压压制方式下,采用基于压力检测反馈的压力控制方式,压药冲子以设定压力或压力曲线进行压药压制,在稳定保持一定的时间后完成对工件的定压控制。定位压制时,当压药冲子以一定的速度运动到工件的极限位置后保持一定时间即完成对工件的定位压制。

1) 面向无超调快速建压要求的粉剂定压压制方式控制。

为保证生产过程对生产节拍和压力精度的要求,需在最短时间内完成压药压力的高精度无超调建立并保持。为实现快速无超调控制,采取“开环接近+闭环建压”的控制方式:在初始阶段,采用开环方式快速接近,迅速将药剂压实,利于后期闭环过程的快速建压到目标压力;在压制的后段,即压力的闭环控制阶段,采用“前馈控制+反馈控制”的复合闭环控制方式实现无超调零差控制。其中,通过引入前馈控制,进一步提高该阶段系统的响应速度;采用反馈控制,消除控制误差,保证压力控制精度^[9-12]。

2) 基于全闭环的高精度定位压制方式控制。

为保证位置控制精度,在采用 EtherCAT 总线控制驱动器方式,实现控制器与驱动器之间可靠的高精度信号传递和实时反馈,在保证电机轴端控制精度的基础上,采用位移传感器与伺服驱动系统构成全闭环位置控制系统,消除电机轴端到冲头的包括反向间隙和柔性连接机构形变等传动系统误差,保证该模式下压制系统定位精度优于 0.02 mm ^[13]。

2.2.3 高速安全药剂称量控制

药剂的计量采用计量板拉药的方式。因某装药药剂在卡滞后受强力拉拽会导致药剂点燃或引爆, 所以需要在高速的拉药过程中对机构中较多浮药或药剂卡住异常进行即时诊断, 并在发生异常的瞬间停止拉药或复位动作, 防止药剂点燃、引爆。

在独立的任务 Task 中, 基于 50 μ s 控制周期的高速检测和响应速度, 在高速的拉药过程中对拉药力进行实时监控, 并与正常曲线模型进行匹配识别。通过实时趋势判断, 确保在拉药力异常发生前即完成准确预测诊断, 并瞬时触发处理动作, 防止危险发生。

2.2.4 产品工艺参数的配方化设置

在触摸屏操控界面上, 可对各产品的设备压制压力、压药速度、保压时间以及调用装药专机的位置和流程等工艺参数采用配方方式进行管理。在该方式下, 设置完毕并保存的产品参数保存在触摸屏中, PLC 控制器中仅保存当前选择的产品参数。

1) 参数的设置。

在触摸屏上可对每个产品的参数进行重新设置。

2) 参数的调用。

在触摸屏上选定产品后, 按下载键完成产品相关参数的瞬间批量下载到运行 PLC, 实现产品(参数)“一键更换”。

3) 产品(参数)的新增和删除。

系统保存的产品(参数)可以覆盖十余种产品型号。同时, 通过复制和设置等操作, 新增产品(参数)或通过删除操作, 删除不需要的产品(参数), 基本可满足绝大多数常用产品的使用需求。

2.2.5 设备运行安全控制及故障诊断

在电气层, 控制系统根据安全设计方案进行自锁、互锁、联锁处理, 从程序层保证设备运行安全性, 避免事故发生及发展。

在软件层, 基于独立的高速 Task 对设备状态进行自动检测和分析, 自动进行故障诊断, 并根据故障状态进行自动报警和停车。自动报警时, 自动触发经过配置的对故障位置和相应代码显示。

2.2.6 控制系统防爆安全设计^[14-15]

根据设备涉及药剂的特性分析以及设备生产工艺分析, 该设备生产环境是典型的 F 类或粉尘防爆环境。考虑到生产过程, 装药、压药环节会间断地产生可燃型粉尘, 最终将生产环境定为国家标准的

21 区和兵器行业标准的 F1 区。

针对 21 区(F1 区)粉尘防爆环境和装压药涉及药剂的温度敏感性, 按照国家粉尘环境防爆标准, 从粉尘防护、最高温度等参数对磁环开关、电磁阀线圈、伺服电机、信号及动力电缆等控制系统元器件及箱柜等进行选型和配置, 以满足该高危生产环境的防爆要求。比如, 检测开关和电磁阀线圈均采用粉尘环境下的本安或浇封等型号, 并针对本安传感器配置参数匹配的安全隔离栅或具备安全隔离功能的远程 I/O 模块, 构成本安回路, 具备本质安全水平, 达到甚至优于该环境下配置标准; 信号和动力电缆, 则采用具备阻燃和自身防护能力的挤塑型阻燃屏蔽线(电缆)进行明铺或桥架保护, 满足防护要求。对于伺服电机等元器件在满足粉尘防护等要求外, 重点确认设备的最高表面温度不能超过设备所涉及药剂的最低引燃、引爆温度。

3 实施效果

该控制系统已经在某弹药延期部件的自动装压药生产线项目中成功实现。经过几个月的生产测试, 该系统的安全性、可靠性和稳定性得到充分验证: 自投产至今没有发生电气安全事故或在装压药等高危工序发生危险, 达到设计预期; 设备能保证生产过程连续运行稳定, 对设备可靠性和稳定性进行了确认。

4 结论

基于 EtherCAT 实时以太网数据总线构建的“HMI+PAC+I/O”的 3 层体系分布式控制方案, 结合梯形图及 ST 语言的混合编程方式、故障预诊断及防爆处理措施, 实现的某火工品自动装压药生产线控制系统, 具备压药过程速度快、精度高、设备安全可靠、使用方便等优势, 能满足该火工品部件及其他类似高危产品制造过程的综合要求。

参考文献:

- [1] 赵伟静, 周奇, 吴超群. Beckhoff 嵌入式控制系统在铸件打磨设备上的应用与实现[J]. 机床与液压, 2018(14): 100-103.
- [2] 王英. Beckhoff 控制器在堆垛控制系统中的应用[J]. 科技情报开发与经济, 2011(27): 184-186.
- [3] 王亚鹏, 周建华, 陈林, 等. 基于 PC 和软 PLC 的数控转塔冲床的控制系统研究[J]. 机械制造与自动化, 2012(4): 179-181.