

doi: 10.7690/bgzdh.2023.11.011

基于 PXIe 总线结构的某测控系统

高荣钊, 滕 达, 王志宾, 郭 氏, 周 润
(中国空气动力研究与发展中心, 四川 绵阳 621000)

摘要: 针对已有结构系统, 进行测控系统软硬件方案设计和主要器件选型, 分析主要技术难点及实现途径。基于 PXIe 总线结构, 采用实时以太网、现场总线的总体架构, 以及嵌入式实时操作系统, 集低压电气系统设计、软件编程、计算机通信等技术于一体。结果表明, 该系统具有完善的信号采集与分析处理、运动解算与控制、安全连锁等功能。

关键词: 总线; 测控系统; 运动控制; 设计

中图分类号: TP273 **文献标志码:** A

Certain Type Measurement and Control System Based on PXIe Bus Architecture

Gao Rongzhao, Teng Da, Wang Zhibin, Guo Min, Zhou Run
(China Aerodynamics Research and Development Center, Mianyang 621000, China)

Abstract: In view of the existing structure system, the software and hardware scheme of the measurement and control system is designed and the main components are selected, and the main technical difficulties and implementation ways are analyzed. Based on PXIe bus structure, the overall architecture of real-time Ethernet and field bus is adopted, as well as the embedded real-time operating system, which integrates low-voltage electrical system design, software programming, computer communication and other technologies. The results show that the system has perfect functions such as signal acquisition and analysis processing, motion calculation and control, safety interlock and so on.

Keywords: bus; measurement and control system; motion control; design

0 引言

某机电一体化系统包括一套空间多自由度结构系统及相应的测量控制系统, 是某特种试验的专用装置。其中, 测量控制系统是整个装置的核心和灵魂, 负责运动解算与控制、信号采集与处理、系统状态监测与管理^[1-5]。结构系统主要包括空间多自由度运动机构, 以及相应的限位、平衡、振动监测等装置。笔者在已有结构系统的前提下, 进行测控系统的详细方案设计、部分关键器件的选型。

1 总体方案设计

测控系统主要包括运行管理上位机系统、信号测量与轨迹生成系统、运动控制系统、安全连锁及监控系统。

1.1 测控系统总体架构设计

整个测控的总体架构设计如图 1 所示。

系统基于 PXIe 总线结构, 采用实时以太网、现场总线的总体架构以及嵌入式实时操作系统。

1.2 网络通信架构设计

系统设计包含了 TCP/IP、共享变量、PCI/CPCI 反射内存卡光纤通信、SERCOSIII 现场总线环网、EtherCAT 等网络通信技术。

其中, PXIe 信号测量与轨迹生成系统同 cRIO、MLC 运动控制器之间采用 EtherCAT 实时通信; MLC 运动控制器与伺服驱动器之间采用 Sercos III 实时总线环网通信。

2 系统组成

测控系统主要由运行管理上位机系统、PXIe 信号测量与轨迹生成系统、MLC 运动控制系统、cRIO 安全监控系统、信号滤波放大器、网络交换机、手操器、驱动柜和测量柜等组成^[6]。

运行管理计算机、工作站是整个测控系统的调度管理中枢, 负责实现各种人机信息交互、操作以及各种功能模块的有机组合与切换。

数据服务器用于存储运行管理实时数据、历史

数据等。

PXIe 信号测量与轨迹生成系统包括 PXIe 实时控制器、I/O 模块、通信模块、前置放大器、二级信号调理器及运行软件，实现信号测量、数据采集与计算、多自由度运动方程的解算、机构的运动轨迹生成、下达控制命令等功能。

运动控制系统由伺服驱动器、运动控制器、手操器及软件、运动控制软件等组成。运动控制系统

接受 PXIe 指令与数据，按要求完成运动控制等功能。运动控制系统与 cRIO 安全监控系统通信，后者实现安全联锁功能。

cRIO 安全监控系统包括 cRIO 控制器、I/O 模块、通信模块、安全监控软件等，cRIO 实时对整个系统的安全联锁信号进行监控，负责机构安全运行与紧急情况处理，保护设备及人员安全。手操器用于机构的现场调试。

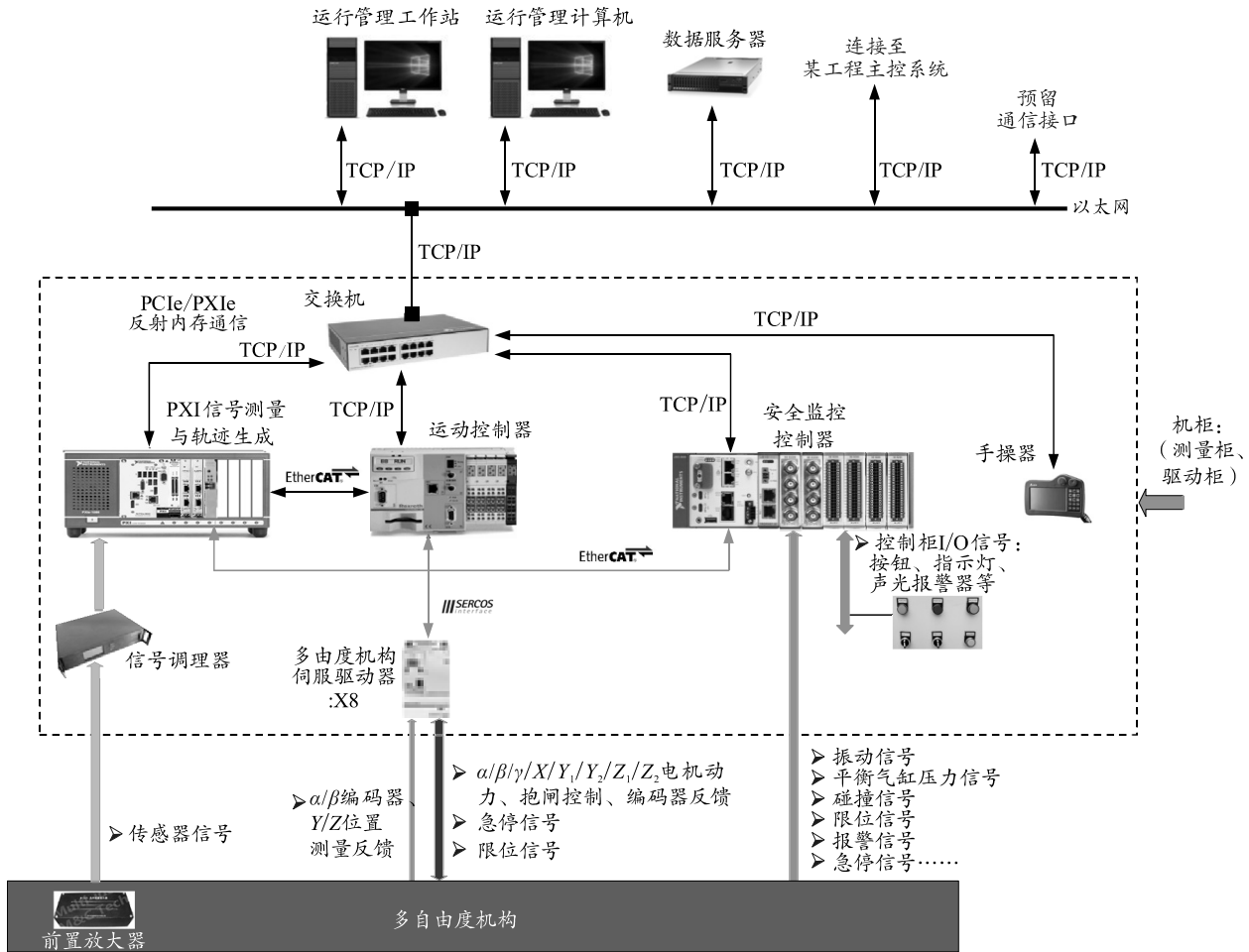


图 1 测控系统总体架构

3 工作原理

测控系统的总体工作原理如图 2 所示。

3.1 运行管理上位机系统

运行管理上位机系统通过交换机与数据服务器、PXIe 信号采集与轨迹生成系统、MLC 运动控制系统、cRIO 安全监控系统等各个子系统完成数据交换。实现传感器数据的采集和离线分析、数据管理、机构运动控制、状态监控、人机界面、参数设置、试验管理和数据分析等功能。

运行管理上位机软件运行于本计算机上，通过

以太网与 PXIe 系统、cRIO 通信。手操器与此软件通信，可对机构进行现场控制操作；同时，此软件还要完成与主控系统通信。

3.2 信号采集与轨迹生成系统

信号采集与轨迹生成系统组成如图 3 所示。

PXIe 信号采集与轨迹生成系统通过 PXIe-8880RT 嵌入式控制器实时测量试验信息，进行轨迹运动方程的求解，并与 MLC 运动控制系统相配合，通过 EtherCAT 实时以太网总线和交换机，实现信号、数据的高速可靠传递，实现对机构的精确定位控制、对各个自由度的位置和速度的协调同步控制，

确保系统的高效运行。

3.3 运动控制系统

为实现精确定位控制，实现各自由度的协调同步控制等功能，选择基于力士乐 SERCOS III 实时

总线的伺服运动控制系统，如图 4 所示。运动控制系统基于 SERCOS III、Ethercat 实时总线网络，由电机、编码器、制动器、驱动器、运动控制器、电源、控制柜和通信网络等组成。

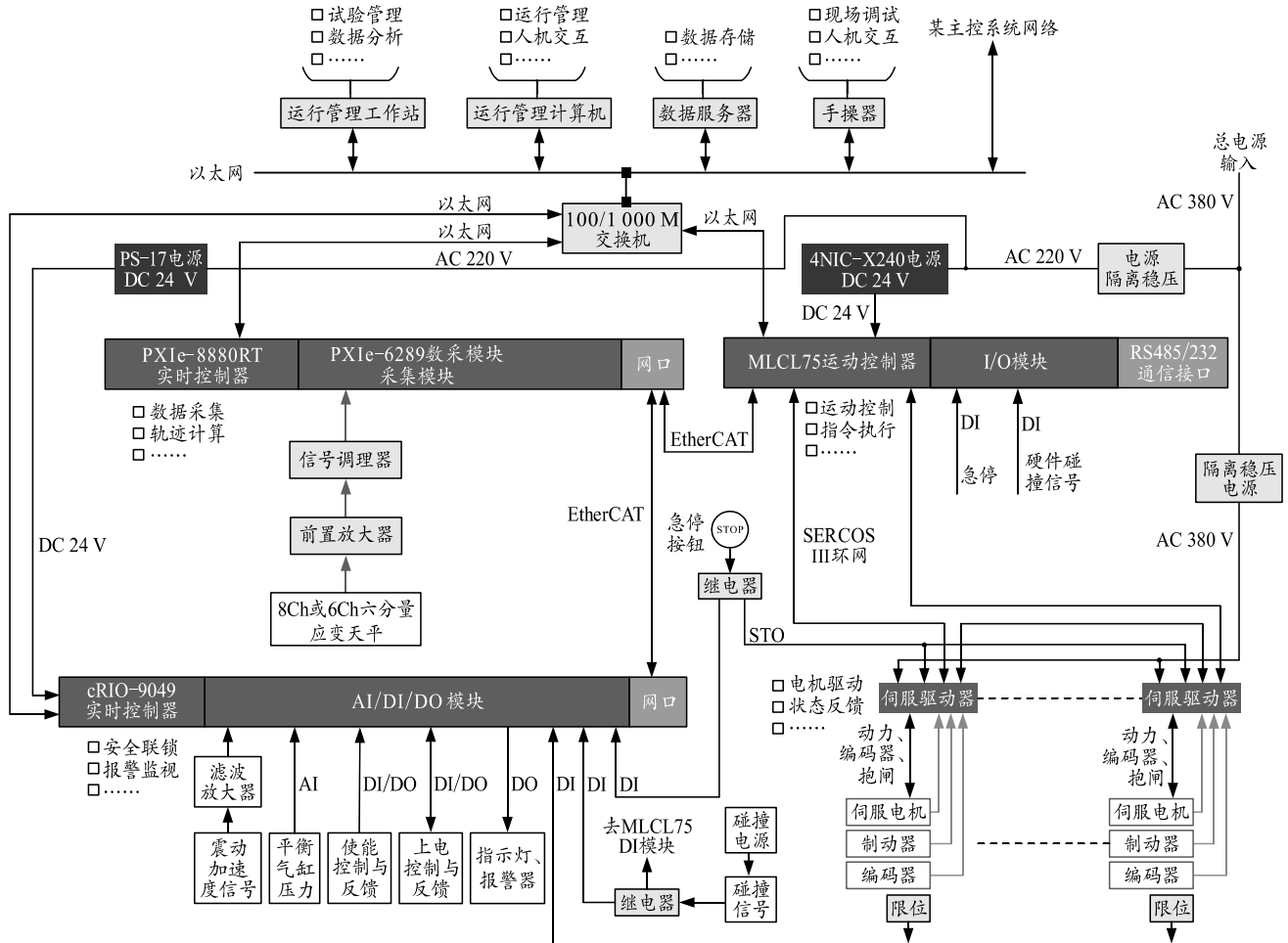


图 2 总体工作原理

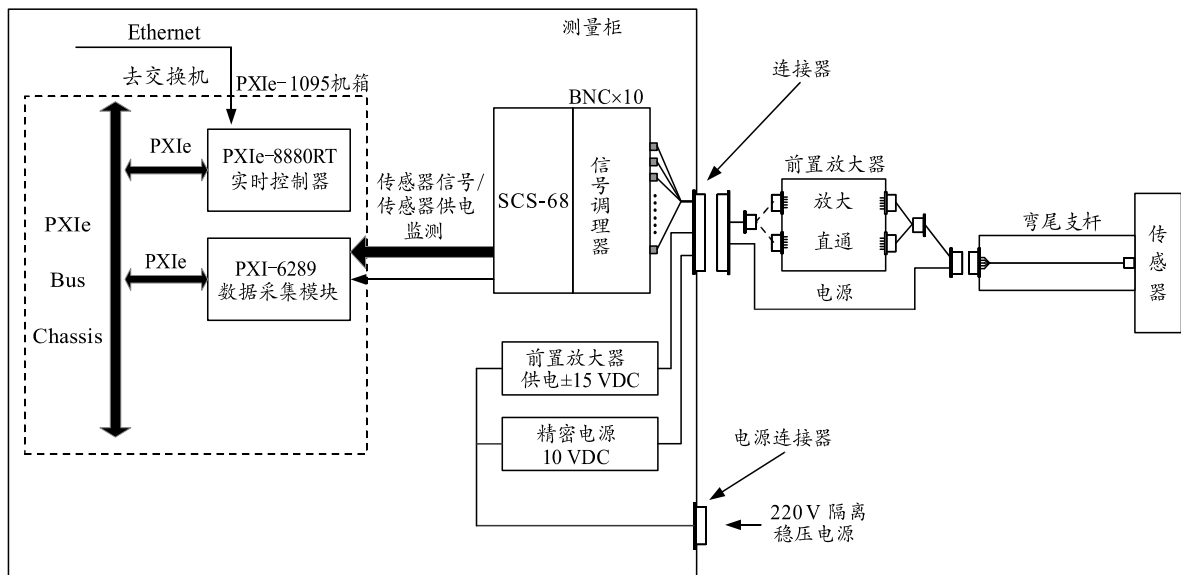


图 3 信号采集与轨迹生成系统原理

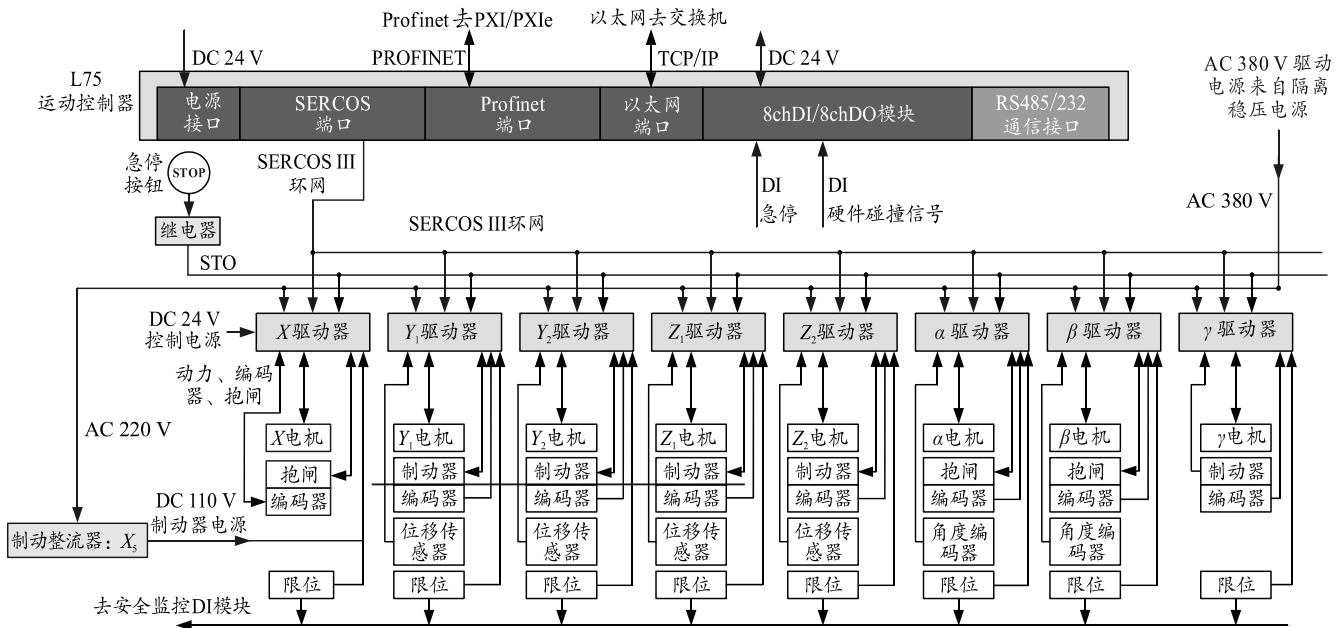


图 4 运动控制系统组成

3.4 安全监控系统

安全监控系统主要器件有 NI cRIO-9049 嵌入式控制器、NI-9375 模块、NI-9234 模块、NI-9403 模块和 NI PS17 电源模块等。安全监控系统是测控系统安全保障，以 NI CompactRIO 为核心，包括安全连锁和故障诊断。当出现紧急情况时，向上位机系统发送报警指令。

3.5 手操器

手操器用于方便地对机构进行现场调试。手操器采用手持式触摸屏人机交互界面，通过以太网口与 PXIe 进行通信。

4 软件方案设计

软件采用模块化、组件化的设计思路，总体分

为 3 个层次，分别为上层应用层、中层通信层、底层驱动层。

4.1 软件总体设计

测控系统软件包括运行管理软件、数据处理软件、信号测量与轨迹生成软件、安全监控系统软件、运动控制系统软件及手操器软件。它们协同配合，完成系统间通信、信号采集、测量和轨迹生成、伺服控制、监控显示、安全连锁等功能。

4.2 软件功能框架设计

测控系统软件分别运行于运行管理计算机、下位机 (PXIe 系统、cRIO 安全监控系统、MLC 运动控制系统) 和手操器上，其功能框架如图 5 所示。

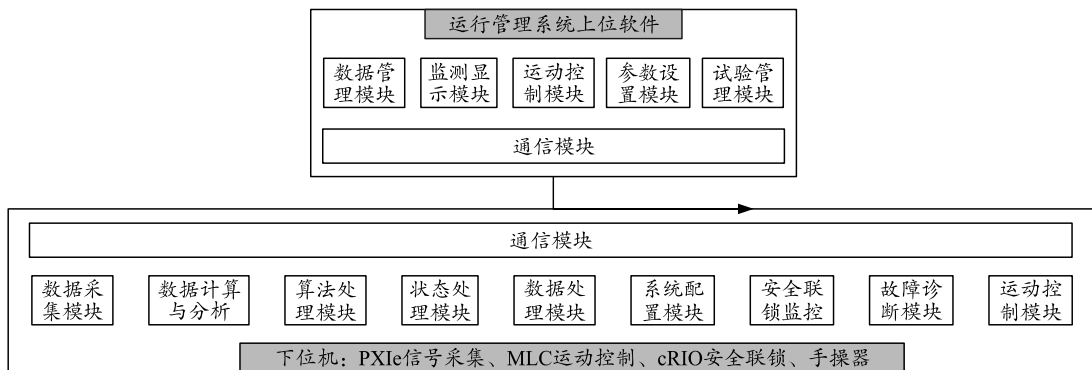


图 5 软件总体功能框架

4.3 软件各模块功能

上位机软件运行于运行管理工作站上，实现对下位机的统一调度、数据管理、监测显示、参数设

置、试验数据管理和试验数据存储等功能。

信号测量与轨迹生成软件主要实现传感器的数据采集和运动轨迹的实时解算，同时与上位机、运

动控制系统和数据服务器通信,分为数据采集模块、轨迹解算模块和通信模块。

运动控制软件的主要功能是实现对多自由度机构的运动控制,与其他子系统通信,在试验过程中接收上位机的统一调度指令、安全连锁指令,控制驱动底层设备运行,完成试验。

安全监控软件用于实现系统安全连锁与故障

诊断。

手操器程序为多窗口应用程序,完成手动控制、简单参数修改、状态监视等功能。

4.4 配电设计

系统主要用电器件有控制器、上位机、电机驱动与控制单元等。测控系统配电如图 6 所示。

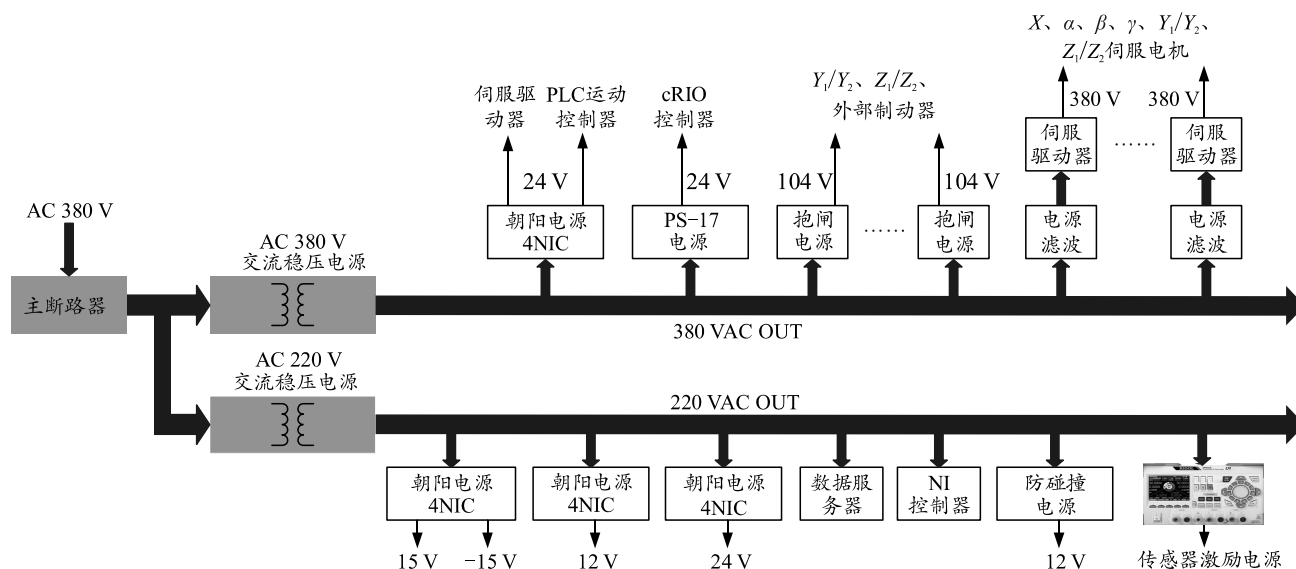


图 6 系统配电原理

系统中电机伺服驱动器为三相 380 V 供电;信号测量与轨迹生成系统、数据服务器、信号调理器、前置放大器、交换机为 220 V 供电;安全监控系统、运动控制器、手操器、限位开关、加速度传感器为 24 V 直流供电;碰撞检测电路为 12 V 直流供电。

5 主要设备选型

硬件使用国际或国内知名品牌,保证设备运行安全可靠。

运行管理计算机为 DELL OptiPlex 7090MT。工作站为联想 ThinkStation P920。

PXIe 系统主要设备:NI PXIe-1095 机箱、PXIe-8880RT 嵌入式控制器、PXI-6289 高速并行数据采集模块、信号调理器等。

安全监控系统主要设备:cRIO-9049 控制器、NI-9234 加速度输入模块、NI-9375 数字量输入/输出模块、NI-9403 数字量输出模块、奇石乐电容式(8396A 型)三轴加速度计、PS-17 工业电源。

运动控制系统主要设备:力士乐 L75 运动控制器、EDS-G516E 系列以太网交换机、台达 DOP 系列手操器、力士乐 HCS02 系列驱动器、力士乐 HCS03 系列驱动器及配套设备。

6 技术难点及实现途径

本测控系统有如下主要技术难点。

6.1 Y、Z 轴同步控制策略

Y 轴和 Z 轴均由 2 台电机驱动,在 Y_1 、 Y_2 、 Z_1 、 Z_2 轴均安装有位置传感器,Y 轴和 Z 轴双电机驱动时,需要做到同步运行,并且超差后需设计自动纠偏措施。

依据电气伺服系统控制理论,依靠位置传感器的反馈,在伺服系统中形成闭环控制,可以实现同步运行自动纠偏;但是,由于机械误差或换向时的反向间隙问题,伺服系统在启动、停止以及换向时可能会出现不同步现象,导致输出给定与执行位置之间的关系并不线性,如果还以控制线性电气轴的模型来控制,位置可能就会出现超差,而且位置闭环会不停地修正,导致速度不稳定,进而引起机构来回跳动或者抖动,造成定位误差大甚至损坏机械设备。

对此,首先需了解伺服系统的给定与输出之间的关系,并在驱动中确定补偿曲线,采用实时插补算法等措施来保证执行机构平稳运行。

对于 Y、Z 双电机驱动机构，在程序设计时，需定义一个主轴、从轴。MLCL75 运动控制器协调控制插补控制，各轴插补指令刷新处理同步发生，保证轴位置协同插补控制的实时性。

6.2 多轴联动同起/停控制策略

由于结构上的固有关系， α 、 β 轴的运动具有关联性，在 α 、 β 轴的运动控制过程中，必须进行解耦运算，实现跟随运动和协调运动。本方案采用电子凸轮技术，解决 α 、 β 轴的耦合问题。机构多自由度耦合运动控制基于凸轮表实现。

6.3 小信号测量与抗干扰措施

本系统内主要传感器信号非常微弱(最小到微伏级)，且电磁环境非常复杂，传输的距离超过 50 m，该信号的准确测量关系到试验数据的可信度、运动控制的准确性及轨迹生成的准确性，是本系统设计的技术难点。为此，采取如下措施：

1) 设计前置放大器，安装在距离传感器尽可能近的位置，将信号进行放大，提高信号强度和抗干扰能力。

2) 前置放大器对信号进行放大、滤波。前置放大器输入输出均采用差分方式，保证后端的远距离传输稳定性。

3) 对于传感器，采用优质双绞屏蔽电缆进行供

(上接第 29 页)

经试验分析，各腔室温度梯度分布于 50~70 ℃，网板上排料孔分布规律减少，各腔室转速分布于 20~50 r/min，出料速度 25~6 L/h 时，多腔室捏合设备的装填密度、质量、设备产能达到最优。

3 结论

1) 综上所述，为实现捏合设备的连续捏合、安全装填，笔者提出一种卧式多腔室连续捏合的装备，各腔室温度、功能桨叶转速、喂料速度直接影响产品的装填质量、设备产能以及装填密度。

2) 针对不同配方的物料，各种功能桨叶的组配、桨叶外形的优化可有效提高设备的装填均匀性与装填密度。

3) 各腔室间物料网板的孔径及数量直接影响到设备的产能与装填物料的均匀性。

参考文献：

[1] 邢裕仁，卢焱，张豪侠，等. 火炸药技术现状与发展

电和信号传输，且与其他通信电缆及大电压和大电流电缆物理上进行屏蔽和隔离，提高传感器信号的抗干扰能力。

7 结束语

本设计方案将系统的可靠性和稳定性作为设计的优先考虑项，在保证系统的完备性和满足设备性能需求的同时，选择性能优异，售前、售后服务完善，标准开放的产品，具有优异的综合性能，便于扩容、扩能、维护保养。

参考文献：

[1] 黄叙辉，罗新福，于志松. FL-24 风洞新型捕获轨迹系统设计与发展[J]. 空气动力学学报, 2008, 26(2): 145-149.

[2] 胡道畅，欧阳中辉，陈青华，等. 基于 CAN 总线的特种车辆状态数据采集系统设计[J]. 兵工自动化, 2021, 40(4): 30-32.

[3] 刘锡朋，石义官，肖漪帆. 延期部件自动装压药生产线控制系统设计[J]. 兵工自动化, 2022, 41(2): 32-34.

[4] 韩松岳，苗恺，田春元，等. 5G 移动通信技术军事应用研究[J]. 兵工自动化, 2022, 41(4): 53-59.

[5] 邢锐锋，唐建. PRP 协议在实时测控专网中的初步应用[J]. 兵工自动化, 2023, 41(2): 27-31.

[6] 李平，黄叙辉，周润，等. 2 m×2 m 超声速风洞 CTS 测控系统研制[J]. 实验流体力学, 2015, 29(4): 95-100.

[M]. 北京：中国北方化学工业公司, 1995: 214-241.

[2] 张伟，徐争涛，李红梅，等. 自动化控制技术在火帽柔性自动装配机中的应用[J]. 兵工自动化, 2022, 41(8): 31-35.

[3] 梁海洋，张瀚铭，孙科星. 基于工业互联网的高危产品装配生产线智能管控平台设计[J]. 兵工自动化, 2021, 40(12): 24-28.

[4] 刘锡朋，石义官，肖漪帆. 延期部件自动装压药生产线控制系统设计[J]. 兵工自动化, 2022, 41(2): 32-34.

[5] 王琼林，赵小锋，刘少武，等. 一种基于密闭爆发器试验的发射药燃烧渐增性定量评价方法[J]. 火炸药学报, 2009, 32(3): 71-74.

[6] 李达，刘少武，于慧芳，等. 溶剂抽取工艺制备改性单基发射药的燃烧性能[J]. 含能材料, 2012, 20(3): 341-344.

[7] 梁勇，王琼林，于慧芳，等. 增能钝感单基药的燃烧特性[J]. 含能材料, 2007, 15(6): 597-599.

[8] 刘波，王琼林，刘少武，等. 提高改性单基药燃烧性能的研究[J]. 火炸药学报, 2010, 33(4): 82-85.