

doi: 10.7690/bgzd.2021.09.018

推进剂复合加工控制系统

何正红¹, 汪涵¹, 王新科¹, 钟金龙¹, 乔华², 黄殿军²

(1. 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;
2. 辽宁庆阳特种化工有限公司, 辽宁 辽阳 111000)

摘要: 针对传统的工艺过程存在的精度低、质量差、安全程度低等弊端, 设计某固定推进剂复合加工的自动化控制系统。分析推进剂加工的传统工艺过程, 提出实现研究内容和设计要点, 完成硬件平台框架的搭建, 并在实际项目中得到了应用验证。验证结果表明: 该系统实现了推进剂复合加工的自动化, 具有设计周期短的优点。

关键词: 推进剂; 复合加工; 防爆 AGV

中图分类号: TJ41 **文献标志码:** A

Propellant Combined Machining Control System

He Zhenghong¹, Wang Han¹, Wang Xinke¹, Zhong Jinlong¹, Qiao Hua², Huang Dianjun²

(1. Department of Intelligent Manufacture, Automation Research Institute Co., Ltd. of
China South Industries Group Corporation, Mianyang 621000, China;
2. Qingyang Chemical Industry Corporation, Liaoyang 111000, China)

Abstract: Aiming at the disadvantages, such as low precision, poor quality and low safety in the traditional process, an automatic control system for certain type composite processing of a fixed propellant was designed. This paper analyzes the traditional process of propellant processing, puts forward the research content and design points, completes the construction of hardware platform framework, and has been applied in the actual project. The verification results show that the system realizes the automation of propellant composite processing and has the advantage of short design cycle.

Keywords: propellant; combined machining; explosion-proof AGV

0 引言

推进剂^[1-2]又称推进药, 通过有规律地燃烧迅速产生大量高温气体, 用来发射枪炮的弹丸、火箭和导弹等发射体。固体推进剂在浇注成型后, 需要对其端面及型腔进行修整, 称之为“整形”, 才能满足实际应用要求。随着固体推进剂能量及性能的不提高, 药型及药面形状也越来越复杂。另外, 固体推进剂中应用了多种形式的聚合材料, 对各种因素产生的热应力、摩擦力、冲击力、静电积累等十分敏感, 很容易发生爆炸事故。这些均使得固体推进剂的整形加工难度与危险系数大大增加。目前国内工艺仍以手工和半自动加工为主要方式, 大部分产品整形仍然依靠手工加工完成^[3-4]。这种传统的工艺过程, 存在着形状精度低、产品尺寸一致性差、产品质量达标率低、对人工经验依赖程度高和安全程度低等诸多弊端, 严重制约了我国推进剂的生产。

1 工艺过程分析

1) 集成加工。

待加工的毛坯药柱, 经扩孔、切断、锯槽、喷码等多道工序后, 成为集成加工后的半成品, 转入下一道检测工序。

2) 半成品检测。

该道工序, 需要对药柱的如下指标进行检测:

① 质量: 被切断的每个药柱的质量偏差必须满足要求。

② 尺寸检测: 药柱尺寸检测的内容有圆柱高度、外圆直径、内孔直径、锯槽宽度、锯槽分度。

3) 半成品烘干。

为了便于端面的包覆, 需要对合格半成品进行定时烘干。烘干时长可调, 根据不同的工艺要求设定烘干时长参数, 一般在 30 min 左右。

4) 单面端包。

对于烘干后的半成品进行单面端包。端包过程采用粘贴工艺, 在半成品药柱的一侧端面进行粘剂涂层, 再贴片, 完成药柱的一面端包。通过端面涂层贴片, 可以缓解药柱的应力集中, 缓冲冲击震动作用。

收稿日期: 2021-05-24; 修回日期: 2021-06-23

作者简介: 何正红(1995—), 男, 陕西人, 从事机电一体化技术、机械自动化控制技术研究。E-mail: 651053540@qq.com。

5) 单面端包烘干。

对药柱的一侧端面完成端包后,需要进行烘干,使端面的贴片能完全与药柱粘合而混然一体。由于该端贴片端包后的涂层原因,涂层后的烘干时间较长,一般在 18 h 左右。

6) 双面端包。

对药柱的另一侧端面进行涂层、贴片,完成药柱的第二端面的端包,其过程与第一侧的端包过程一样。

7) 双面端包烘干。

与单面端包烘干的过程一样,烘干需要的时间也较长。

8) 端面整形。

药柱完成了双面端包并烘干达到要求后,需要对端面进行整形,去掉药柱两侧端面上的贴片超出药柱外形的部分,使两侧端包贴片间的距离满足设计要求。

9) 成品检测。

对于完成了双面端包后的烘干药柱,需要检测其在整形后的相关指标是否满足要求。检测的内容比半成品检测增加了端面包覆片间的距离指标。

至此,固体推进剂复合加工工艺流程完成。流程如图 1 所示。

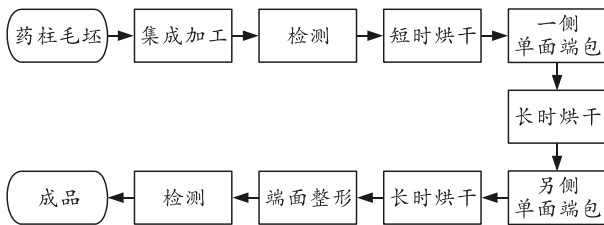


图 1 推进剂复合加工工艺流程

2 复合加工需求分析

基于上述工艺过程分析,实现固体推进剂的复合加工,彻底解决传统加工工艺存在的诸多问题,对控制系统提出了相应需求。

整个工艺过程涉及集成加工、过程检测、烘干固化、贴片端包、整形等多个不同的环节,环节间还有工件转运需求。按照工艺流程,复合加工可以分为集成加工单元、在线检测单元、端包整形单元、烘干单元、AGV 物流 5 部分。通过统一调度,完成复合加工过程控制。

1) 集成加工单元。

集成加工单元主要完成药柱毛坯的扩孔、切断、锯槽、喷码等多个动作,其间需要实现自动上下料,内部完成协同。

① 集成加工专机。通过 AGV 为集成加工专机提供药柱毛坯,在完成上料后,集成加工专机顺序完成扩孔、切断和锯槽后,通过下料装置,将加工后的药柱传输至喷码位置。每个托盘架最多可放置 6 根毛坯药柱,当所有的毛坯药柱全部加工完成后,由 AGV 将空托盘架取走,再送来满载毛坯料托盘架。

② 集成加工移栽机。集成加工移栽机抓取集成加工专机下料处的工件进行喷码,再放入移栽机上料口的空托盘上。当前层空托盘被放满后,则移栽机将其抓取放到移栽机下料口;同时上料口空托盘会自动上移一层。当上料口的多层托盘均被抓到下料口后,则由 AGV 再送来空托盘架到其上料口处,并将下料口处的满载托盘架运到在线检测单元或待检暂存区。

2) 在线检测单元。

在线检测单元完成端包前和端包后的工件重量和尺寸的检测。其包覆检测专机和检测移栽机 2 部分,由主控系统完成协同。

① 检测专机:先对工件进行称重,再通过视觉在线检测工件尺寸,检测完成后,再由移栽机取走。

② 检测移栽机:从上料口抓取由 AGV 送来的待检工件,先送至称重工位,称重完成后,再将工件抓取到视觉在线检测工位,待工件尺寸检测完成后,再将工件放回托盘原位置。

如此往复,在当前层托盘全部检测完成后,移栽机将当前托盘放至下料口;而上料口的下一层满载托盘自动上移一层,成为新的当前层托盘,再重复当前层托盘的检测过程。

当每层托盘均被检测完成后,再由 AGV 为移栽机入口上料,并将出口的满载托盘运到半成品区,供人工抽检。

3) 烘干单元。

烘干单元主要完成半成品的短时烘干和包覆后的长时烘干,以便于包覆和包覆固化。其由烘干移栽机、烘箱组成,由主控系统完成协同。烘干间内一共配置了 2 个烘箱,每个烘箱包含 3 个烘格。

① 烘干移栽机:负责将待烘托盘从 AGV 转运位置放到指定的烘格中或将指定烘格中的托盘取出放到 AGV 转运位置。

② 智能烘箱:通过专用通信接口与移栽机实现数据通信,使移栽机可实现烘箱门的自动开关控制,同时移栽机还与主控系统通信,将主控系统设

定的工作温度下发至烘箱，并读取烘箱当前温度数据上传至主控系统。烘箱还支持离线手动控制，方便调试和维护。

烘干单元是被动的接受烘干任务或取出已经烘干到时的托盘架，自动模式下统一由主控系统调度。

4) 端包整形单元。

端包整形单元完成单面端包、双面端包以及双面端包后的整形工作，包含包覆移栽机、整形移栽机和端包整形专机3部分，内部完成协同动作。

① 包覆移栽机有入口和出口2个工位。由AGV从烘干间内取出烘干完成的托盘架，为包覆移栽机在入口上料和出口下料。

包覆移栽机从上料口的当前层托盘抓取工件到端包工位，由端包整形机完成端包，工件端包完成后，再由包覆移栽机将该工件抓放回托盘原位置上，如此往复完成当前层托盘工件的端包。

当前层工件全部端包完成后，将当前托盘放至下料口；而上料口的下一层满载托盘自动上移一层，成为新的当前层，再重复当前层托盘的端包过程。

所有层托盘完成端包后，则由AGV自动完成上下料。

② 整形移栽机的工作过程与包覆移栽机的工作过程类似，主要完成整形过程中的工件取放和托盘转移。

③ 端包单元为流水线作业方式，由端包移栽机取放工件，各机构依次完成涂胶、刮胶和旋压等

工作。

④ 整形单元对端包完成并满足烘干时长的工件进行整形工作，去除超出工件外形的包覆片，并打磨光滑。

5) AGV 物流。

AGV在整个复合加工过程中，将为各个单元实现自动上、下料工作。在统一调度下，AGV接受运输任务，任务信息中详细说明了运出和运入的起点、终点等信息，由AGV调度系统根据现场实际情况完成物流任务，并将任务的执行情况及时反馈。

根据现场环境的要求，AGV需要具有防爆功能，由于军工环境不得使用无线网络，故采用基于色带导航的红外光站点式通信策略，AGV经过站点时才能与AGV调度系统进行数据交换。

为了保证加工节拍，需要配置多台AGV，形成AGV群，由专用的调度系统完成任务调度，保证调度无死锁，运输任务能按需完成。

6) 现场设备布局。

基于现场实际应用情况，综合考虑AGV的巡线路径和整体加工节拍，对集成加工单元、视觉检测单元、端包整形单元、烘干间、AGV充电间以及人工抽检间进行了统一的布局设计，其中粗实线区域内是防爆区域，实现全自动的复合加工，一班一清场。最左边为端包整形单元、中间为在线检测单元、右边为集成加工单元。如图2所示，烘干间在防爆区域对面。

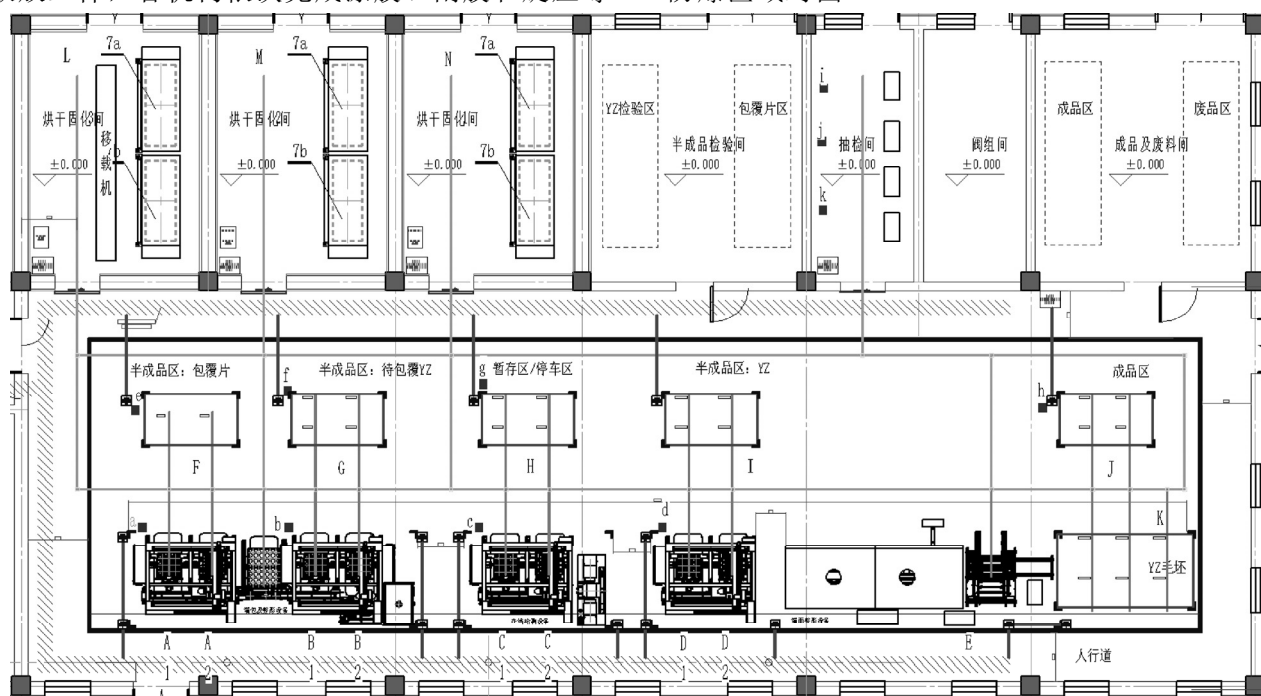


图2 现场设备布局

3 控制系统框架

从前述需求分析来看，整个控制系统如图 3 所示，分为主控系统和各个单元控制系统，由主控系统完成集中管理。现场总线成为整个控制系统的信息通道。

3.1 主控系统

主控系统通过现场总线连接各个单元控制系统，实现各分系统间的信息交互。

1) 主要功能。

- ① 人机交互、参数管理、过程动态显示；
- ② 与各个执行单元及 AGV 调度的信息交互；
- ③ 各个托盘工位的管理，包括工件毛坯区、检测暂存区、烘干间的烘箱格等；
- ④ 单个执行单元的功能诊断；
- ⑤ 生产过程信息管理；
- ⑥ 复合加工中断恢复功能；
- ⑦ 日志管理功能：报警记录、操作记录等。

2) 硬件框架。

如图 4 所示，基于总线连接的思想，搭建主控系统的硬件框架。

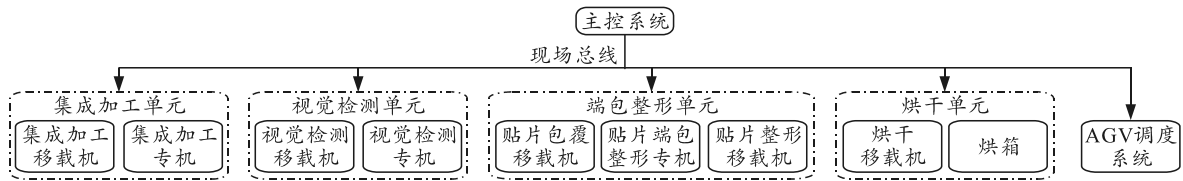


图 3 控制系统框架

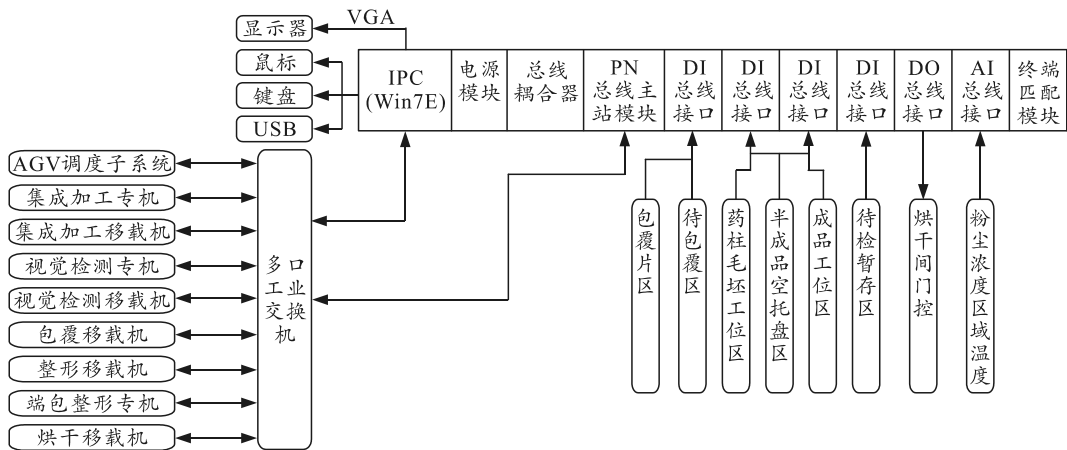


图 4 主控系统框架

由于该系统中涉及的单元控制系统较多，且物理空间分布离散性较大，故采用总线构架，便于统一布线与扩展。

1) 各个单元控制系统与主控系统通过多口交换机进行连接；

2) 总线接口有 PN 总线、TCP/IP^[5-6]、ADS^[7]通信等多种模式；

3) DI/DO 模块均为总线接口，扩展方便。

3.2 集成加工单元

集成加工单元负责完成药柱毛坯的扩孔、切断、锯槽、喷码等过程。

1) 主要功能。

- ① 与主控系统交互，自动完成上、下料；
- ② 完成多轴精确联动控制，实现多工位的扩孔、切断、锯槽及喷码；

- ③ 单元内部各传感器信号采集与逻辑互锁；
- ④ 安全报警、加工数量统计。

2) 硬件框架。

如图 5 和 6 所示，参考主控系统的框架，基于总线框架，搭建集成加工专机及其移载机的控制框架。

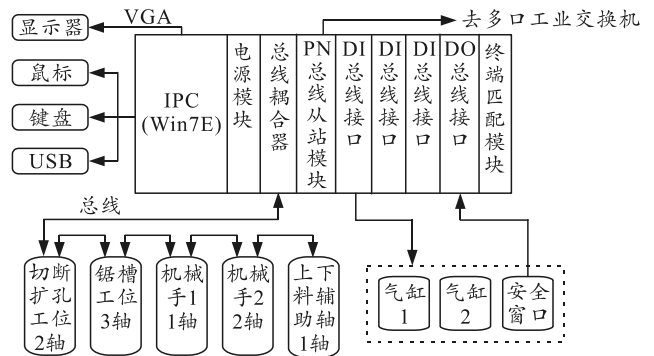


图 5 集成加工专机系统框架

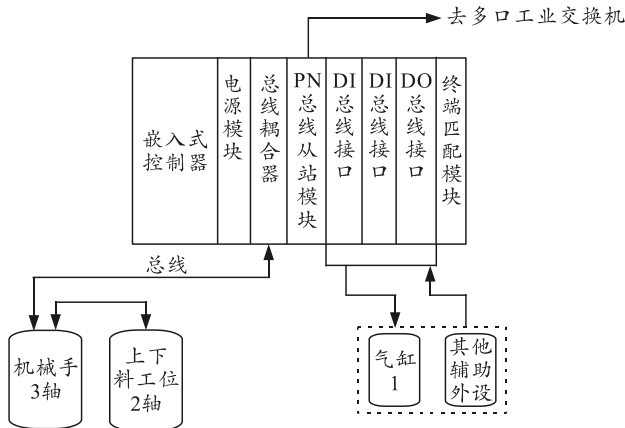


图 6 集成加工移栽机系统框架

3.3 视觉检测单元

视觉检测单元负责识别工件唯一标识二维码，完成对集成加工后的半成品药柱及端包完成后的药柱进行重量和尺寸的检测，并自动记录检测数据。

1) 主要功能。

① 与主控系统交互，自动完成检测过程中的工件取放；

② 自动完成工件称重，并检测外径、高度、内径、槽宽以及槽的分度、端包后的距离等多项指标，并自动进行是否合格的判别，剔除不合格工件；

③ 本地数据库的存储检测数据，检测结果可可视化；

④ 报警、检测统计。

2) 硬件框架。

视觉检测专机的硬件框架如图 7 所示。

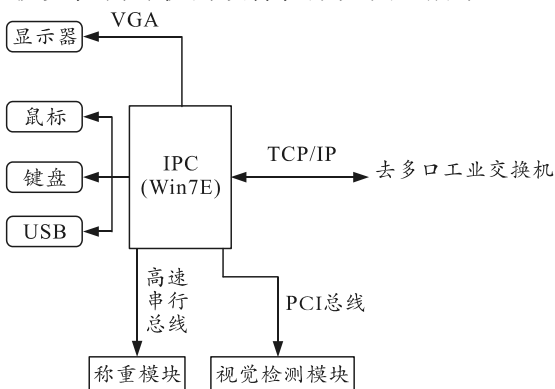


图 7 视觉检测专机系统框架

而视觉检测移栽机的框架与集成加工移栽机框架类似，增加了称重工位和检测工位。

3.4 端包整形单元

端包整形单元主要完成工件 2 个端面的包覆及双面端包烘干后的整形。

1) 主要功能。

① 与主控系统交互，自动完成端包以及整形过程中的上、下料；

② 端包工位通过与包覆移栽机的配合，实现单面、双面端包的自动过程；

③ 整形工位通过与整形移栽机的配合，实现双面端包烘干后的最后整形；

④ 过程安全与工艺互锁；

⑤ 端包过程、整形过程生产统计。

2) 硬件框架。

无论是包覆移栽机还是整形移栽机，与前面所述的集成加工移栽机相似，而端包整形专机与集成加工专机类似，只是控制轴数与工艺过程差别较大，但均是基于总线构架。

3.5 烘干单元

烘干单元通过烘干移栽机与 AGV 交互，完成从烘箱内取料或往烘箱内放料。

1) 主要功能。

① 与主控系统交互，完成上下料；

② 移栽机与智能烘箱交互，完成烘干入料与烘干取料；

③ 设定点烘箱温度，采集烘箱当前温度，自动记录每个烘格的烘干时间。

2) 硬件框架。

如图 8 所示，与前面的移栽机相比，烘干移栽机多了 2 个串行通信模块，以完成与 2 个烘箱间的通信。

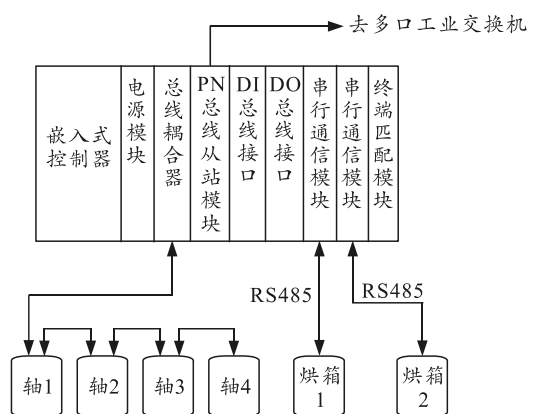


图 8 烘干移栽机系统框架

3.6 AGV 调度系统

根据现场情况，内嵌轨迹地图，接收主控系统的 AGV 传输任务，完成物料的运输过程。

1) 主要功能。

① 接收主控系统的运输任务，根据 AGV 的配

置情况，调度 AGV 完成任务；

② 按需向主控系统反馈任务执行情况；

③ AGV 的状态信息(轴报警、电池电量等)上报主控系统；

④ 任务执行过程可视化。

2) 硬件框架。

如图 9 所示，AGV 调度系统同样基于总线框架。

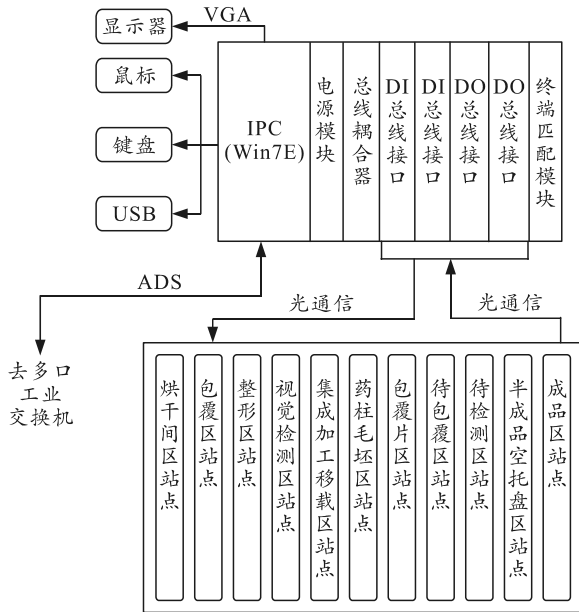


图 9 AGV 调度系统框架

4 实施与验证

在系统的具体实施过程中，首先验证了每个单机的工作是否正常，再验证单元的逻辑功能是否正常，最后在主控系统的统一调度下进行全线设备协

同动作，各个设备间的动作满足设计要求，每天实现上午、下午 2 个半班的加工流程，实现了某固体推进剂复合加工的全自动化。产品质量、加工效率、安全性等多方面均突破了传统工艺的相关技术瓶颈，解决了传统工艺过程的诸多问题，已顺利完成现场交付。

5 结束语

针对某固定推进剂复合加工的自动化，笔者突破传统工艺，并取得了成功应用。基于总线框架的设计思路，使整个项目在设计、研制、现场实施等多方面均大大缩短了设计周期，保证了设计功效，很具有推广价值。

参考文献：

- [1] 周长省, 鞠玉涛, 陈雄, 等. 火箭弹设计理论[M]. 北京理工大学出版社, 2014: 9-14.
- [2] 庞爱民. 固体火箭推进剂理论与工程[M]. 北京: 中国宇航出版社, 2014: 36-163.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 袁实. TCP/IP 网络互联技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 1998: 56-198.
- [6] 孙飞显. TCP/IP 网络编程技术与实例[M]. 北京: 国防工业出版社, 2014: 163-228.
- [7] 彭瑜, 何衍庆. IEC 61131-3 编程语言及应用基础[M]. 北京: 机械工业出版社, 2009: 13-151.