

doi: 10.7690/bgzd.2023.07.008

小口径弹药底火安全自动化控制系统

刘永刚, 杨 旗, 王文豪, 习渭锋, 郑小波, 周晓萍

(北方特种能源集团西安北方庆华机电有限公司, 西安 710025)

摘要: 针对小口径弹药底火装配过程易发生燃烧或爆炸, 设计一种安全自动化控制系统。采用现场总线控制系统, 具有可靠实时的传输特性的同时又保证生产过程的实时监控, 并通过本质安全性设计, 为底火的安全生产提供有效保障。结果表明: 该设计能保证火工品底火自动化装配安全, 使系统配置达到最优, 实现完整的安全控制。

关键词: 小口径弹药底火; 控制系统; 安全性设计

中图分类号: TJ410.5 **文献标志码:** A

Automatic Control System for Primer Safety of Small Caliber Ammunition

Liu Yonggang, Yang Qi, Wang Wenhao, Xi Weifeng, Zheng Xiaobo, Zhou Xiaoping

(Xi'an North Qinghua Electromechanical Co., Ltd., North Special Energy Group, Xi'an 710025, China)

Abstract: A safety automatic control system is designed for the small caliber ammunition primer assembly process which is prone to combustion or explosion. The field bus control system is adopted, which has reliable real-time transmission characteristics and ensures the real-time monitoring of the production process. Through the intrinsic safety design, it provides an effective guarantee for the safe production of primer. The results show that the design ensures the safety of initiating explosive device primer automatic assembly, optimizes the system configuration, and realizes the complete safety control.

Keywords: small caliber ammunition primer; control system; security design

0 引言

小口径弹药底火由于含有易燃、易爆药剂, 在生产装配过程易发生燃烧或爆炸。国内火工品制造工艺经过近年来的技术进步, 已突破部分重点工艺技术, 实现工序、单机和单元的部分自动化生产, 提高了生产效率, 但绝大部分生产工序仍然以传统人工操作为主, 存在生产效率低、质量一致性差、生产过程安全风险高等问题, 无法满足武器装备发展对弹药的技术要求。

火工品底火安全自动化控制系统用于底火自动化装配及检测, 主要实现自动上料、装配正确性检测、装压药、发火件及传火管装配、底火尺寸、外观检测、废品收集等功能, 从根本上达到火工品安全生产的本质要求^[1-4]。

1 控制系统组成

火工品装配自动化系统采用全过程自动控制, 控制系统专机设备主控制器采用安全区集中的方式, 安装在控制室内, 工作现场布置防爆控制箱和必要的人机交互设备, 通过 Profinet 总线与主控制器进行通信。整个系统采用层次化设计模式^[5], 如

图 1。

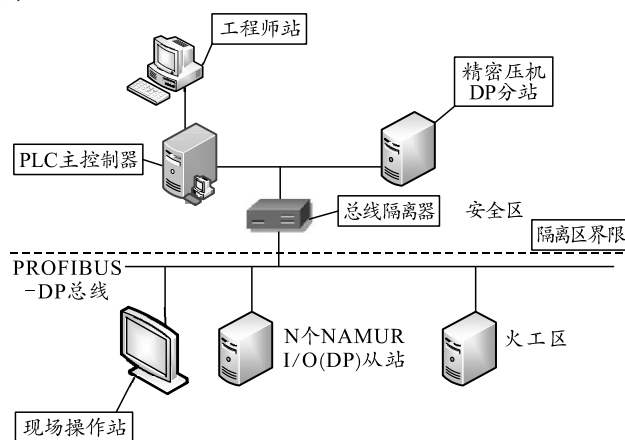


图 1 控制系统构成

2 生产线装配控制过程

小口径弹药底火自动化装配生产线根据不同产品结构和装配工艺, 可采用 24 或 32 工位的圆盘机结构, 实现发火件自动装入管壳→药剂精确计量与装填→热瞬态检测→涂漆自动化等不同功能的装配工艺过程。

为实现多品种小口径弹药底火自动化生产及检测, 采用先进、可靠、成熟的设计技术, 设备的装

收稿日期: 2023-03-07; 修回日期: 2023-04-20

作者简介: 刘永刚(1987—), 男, 陕西人, 工程师, 从事火工品设计和制造研究。E-mail: 729664498@qq.com。

药量、压药压力、收口压力可根据产品的需求进行调节，在自动化设备不变的情况下，通过更换模具及调整工艺装配参数，实现一条自动化生产线能够快速换产多种小口径弹药底火的目标。

2.1 发火件自动装入管壳

通过振动上料器对管壳的质心进行调整，完成管壳排序，然后通过机械手将管壳在特定位置依次抓取，放入 24 或 32 工位转盘模具中，完成管壳的自动上料；根据整体设计，将发火件收集在矩阵收集盘中，气动抓手从上道工序取下收集盘放入装压药收口自动化设备的矩阵系统上，通过气动抓手将发火件夹取后放入管壳内部，完成发火件装入工序。

2.2 药剂精确计量与装填

根据底火药剂药量与装填精度要求，结合底火自动装配机生产线成熟技术，采用体积计量方式完成药剂的计量装填，对分散性好、感度低的药剂，采用球形装药器；对分散性不好的药剂，采用勺形装药器来计量药剂，在连续生产情况下可随时进行药剂补给，计量精度高。由于某些药剂分散性不好且容易吸潮，在装压药过程中容易发生粘连、吸湿现象，需要增加恒温恒湿装置，确保药剂不吸附空气中水分，保证药剂性能。对于部分装药量较多的雷管，拟采用分步多次计量装药的方式，确保药剂的精确计量和装填压实密度。

2.3 热瞬态检测

采用的无损检测技术对电桥材料状态、焊接状态及成品装配过程中电桥质量进行检测。将从装压药收口自动设备上取下的正品矩阵盘放置在热瞬态检测设备的进给系统上，然后产品将进入由 HTLab-RST 瞬态热响应检测系统组成的检测设备中。该设备由电源控制系统、热瞬态无损检测机及软件等组成，当瞬态脉冲发生器在电桥上加载规定幅度的恒流脉冲信号后，电桥在小电流作用下发热并产生电位差，经放大器放大、数模转换得到电位和加热曲线。将曲线与正常产品曲线进行比较分析、自动判断被测产品的质量，并将电桥焊接缺陷、桥丝损伤及桥丝药剂界面接触不良的电火工品剔除。

2.4 涂漆自动化

将装压药收口自动设备上取下的正品矩阵盘放置到涂胶设备的进给系统上，通过整合双液桌台式自动点胶机，实现对火工品成品漆自动密封。双液

桌台式自动点胶机主要由三轴点胶执行机构、驱动部分和控制系统组成，完成点、线、圆弧和 3D 空间轨迹的点涂漆作业。

3 控制系统设计要求

针对小口径弹药底火的特性和生产需求，底火安全自动化控制系统应符合安全第一、设计先进、自动操作、人工监控的原则，主要包括以下 3 方面要求。

3.1 安全性

底火生产线应采用计算机控制，现场传感器采用 P+F 的本质安全型开关。每个工序及工位设置点动、联动、互锁、报警、急停功能，关键工位设置了视频监控，所用设备元器件均为本质安全型，具有互锁及联锁功能。人、机隔离操作实现火工品危险生产工序无人化，全方位实现火工品本质安全生产。

3.2 可靠性

控制系统选用成熟 PLC 型号作为控制系统的核心部件，采用机械结构和各种传感器的组合应用，通过计算机的自动化程序控制来保证整条生产线的可靠稳定运行^[6]。在影响产品质量的关键工序上设置高精度压力、高度检测传感装置；在装药、压药、零部件装配、压合等工序进行了防错设计并采用传感器进行装配正确性检测、成品参数自动化检测，实现了生产过程数据信息化，保证产品质量的同时实现了产品生产信息的可追溯性。

3.3 信息化

采用先进、成熟、可靠的 PLC+HMI+MMV 技术方案，选用触摸屏作为人机界面^[7]，通过 Profinet 总线与主控柜进行通信，实现人机互动。通过计算机程序控制技术将产品信息在各个工序间进行传递，并将产品生产装配及检测技术信息进行存档，实现生产过程数据信息化、可视化。

4 控制系统关键技术

4.1 本质安全设计

火工品在受到外界能量激发下很容易发生燃烧爆炸，因此在装配的过程中存在较高安全风险。在进行火工品装配系统设计时，安全是考虑的首要因素，通过对引起火工品燃爆的危险因素辨识，进行本质安全性设计，做好防护工作，从根本上杜绝危

险事故的发生。

设计时采用的元器件均为本安型并符合国家相应的安全标准，并对危险区和安全区区别开来进行设计^[8]。例如：NAMUR I/O 从站系统，其负责火工品装配自动控制过程中的集中 I/O 数据处理，其数量决定于现场的控制点位数量和从站配置容量。控制系统中所用电气设备要达到防爆等级 Exd II BT4 级，并符合国家安全标准，其安全设计包括以下方面：

1) 关键工序安装各种电气检测开关，同时通过安全程序来控制设备的正常运转和安全性。

2) 各设备与大地应可靠相接，接地电阻 $\leq 4 \Omega$ ，所用非金属件均应采用导静电型；各设备及现场的接线箱均采用粉尘防爆型，专机设备所用控制线路均采用多芯电缆。

3) 为便于在出现故障时紧急停止系统，中控室及各专机设备操作位置都设置有紧急停止按钮，同时专机设备具有实现手动/自动切换功能，便于操作者的使用和日常维护。

4) 整个系统通过硬件及软件设置实现安全互锁功能，以保证系统的可靠运行。各专机设备与自动线系统运行互锁联动，既满足相互之间良好的配合，又能保证各动作间的安全可靠性。

5) 在突发情况下(如停电、停气或设备故障等意外情况)，专机设备有能够防止产品跌落的装置，且升降装置不会发生自滑。在突发事件发生时能自动记录设备及产品的状态，在恢复运转时能够维持突发事件前的状态，避免二次事故的发生，然后陆续启动设备后正常运行。

4.2 PDM 在系统中的应用

产品数据管理(product data management, PDM)包含了产品零件信息、配置、工艺、结构、工位参数等与产品生产相关过程有关的数据应用技术。在自动生产中对底火重要数据进行监测记录，如扭矩值、焊桥电流值、药高测量值、成品电阻值，从而有效、实时、完整地呈现从产品规划工艺到产品报废处理的整个产品生命周期中各种复杂的数字化信息，对关键故障预警和产品质量跳变临界预警智能管理提供可靠依据。

4.3 故障智能诊断和预警功能

在底火生产过程中，通过 PDM 管理系统对关键工序、关键工位的实时在线检测数值和历史数据

库对比，对可能影响生产的关键工序、工位参数跳变及数值变化等进行故障预警并及时进行系统反馈。如压药工位压力值变化后立即进行分析，通过绘制系统参数曲线，直观显示数值跳动情况和诊断预警。对可能出现的如气源压力不足、气缸执行不到位等问题在人机界面显示，方便操作人员和维护人员提早解决可能出现的导致产品线产品质量下降和产线停顿带来的影响，起到防微杜渐的积极效果。

4.4 产品质量变化临界预警反馈机制

根据 PDM 数据管理系统及关键故障预警功能，结合底火生产工艺流程中参数要求、对在线产品质量相关数据(如底火尺寸、装药高度、生产时间、压力精度等)进行实时对比分析，通过数据库数据对比，绘制出产品质量重要参数变化曲线，将产品生产中可能影响产品质量的数值进行统计并进行实时反馈，对接近临界值的突变数据如半成品检测数值变动、产线关键工位生产数据跳动等信息进行预警反馈，对已经生产废品的工位、工序进行数据追溯对比分析，从而得出是哪一道工序或是哪一类半成品导致的废品发生，为产品设计、工艺改进、工序优化、智能产品线调整提供有效、翔实、可靠的参考依据，从而为产品质量的稳定管控和不断提升提供更加客观有效的保障途径。

5 结论

火工品底火安全自动化生产控制系统中采用主从站控制技术，通过现场总线隔离将 Profibus-DP 引入到爆炸危险区，NAMUR I/O 工作站承担火工品装配的全过程控制。在设计上选用本安型的 Exd II 防爆等级设备，保证了火工品底火自动化装配在危险区生产运行时的安全，使系统配置达到最优，在实际运行中安全、可靠、稳定，实现完整的安全控制，使本安型控制系统在火工品生产中获得应用与提高。

参考文献：

- [1] 刘晓芳. 基于含火工品的装配工艺设计研究[J]. 科技创新与生产力, 2015(10): 98-100.
- [2] 杨何, 黄盛, 陈海峰, 等. 基于火工品装药机的倒余药机构控制系统分析[J]. 兵工自动化, 2021, 40(8): 88-91.
- [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.