

doi: 10.7690/bgzd.2015.11.012

自动连续分步压装工艺完善及装备工程化控制系统

闫雅君, 赵迎春, 李哲, 曾宪刚, 屈智全, 赵明海, 管永生
(辽沈工业集团有限公司机电设备设计所, 沈阳 110045)

摘要: 此系统主要目的是针对自动连续分步压装机控制系统进行改进及工艺完善和物流传输系统的集中控制。详细论述分步压装机由原气动逻辑控制技术改为先进的 PLC 控制技术的过程, 阐述弹体压装输送机、炸药输送机与其他单机设备的衔接、在线弹体的柔性分配调度和要求等技术的可行性、可靠性和先进性, 并进行工艺试验。结果表明: 该系统能实现弹料及药料的全自动化输送, 装药质量稳定, 运行可靠, 安全设施有效, 符合工艺参数要求。

关键词: 分步压装; 输送机; 控制; PLC; 程序

中图分类号: TJ410.5⁺2 **文献标志码:** A

Automatic Successive Step Pressing Technology Optimization and Equipment Installation Engineering Control System

Yan Yajun, Zhao Yingchun, Li Zhe, Zeng Xiangang, Qu Zhiquan, Zhao Minghai, Guan Yongsheng
(Mechanical & Electrical Equipment Design Institute, Liaoshen Industrial Group Co., LTD., Shenyang 110045, China)

Abstract: The purpose of this system is for automatic successive step pressing machine control system improvement and technology optimization and centralized control of the logistics transmission system. This paper detailed introduce step-by-step pressure installed by the original pneumatic logic control technology to the advanced PLC control technology, the process of the explosive projectile being connected conveyor, conveyor and other single machine equipment, the flexible allocation of projectile online scheduling and requirements such as technical feasibility, reliability and advanced nature, and process experiment was carried out. Results show that the system can realize play and medicine of full automatic feeding, loading stable quality, reliable, effective safety facilities, conform to the requirements of the process parameters.

Keywords: step pressing; conveyor; control; PLC; program

0 引言

分步压装机是未来弹药装配生产线的主要设备。它实现了螺旋装药技术和压装技术的完美结合, 不仅安全性和可靠性高, 而且工艺先进, 自动化程度和生产效率高, 因此适合自动化生产要求。我公司于 2005 年成功测仿研制某国分步压装机, 其控制系统采用气动逻辑控制技术。从安全性、可靠性、先进性和实用性等方面考虑, 气动逻辑控制技术属于早期控制技术, 存在体积大、直观性差、故障诊断困难、配套元器件少等缺陷, 且没有形成物料输送的自动化。就分步压装机续分步压装装备和物流传输系统进行集中控制的问题, 笔者在现有分步压装的基础上进行改进: 对设备机构、安全防护进行优化, 增加质量与安全检测手段; 进行物料输送自动化、安全传输设备、物料匹配等技术研究, 实现药料、单体自动上下料。进而建立分步压装工艺体系 and 产品质量控制体系。

1 改进措施

在现有分步压装的基础上, 拟对分步压装装备初步进行以下改进:

1) 自动连续分步压装装备的改进。

主要改进现有自动连续分步压装装备的动力系统、控制系统, 对设备机构、安全防护进行优化, 增加质量与安全检测手段。

2) 物流传输自动化系统完善。

主要进行物料输送自动化、安全传输设备、物料匹配等技术研究, 实现药料、单体自动上下料。

3) 分步压装工艺与质量控制体系研究。

2 研制目标

1) 适应弹种: 中大口径产品。

2) 实现多种高能炸药自动连续分步压装, 装药平均密度达到 5.0 g/cm^3 以上^[1]。

3) 装药效率: $10 \sim 15 \text{ kg/min}^{[1]}$ 。

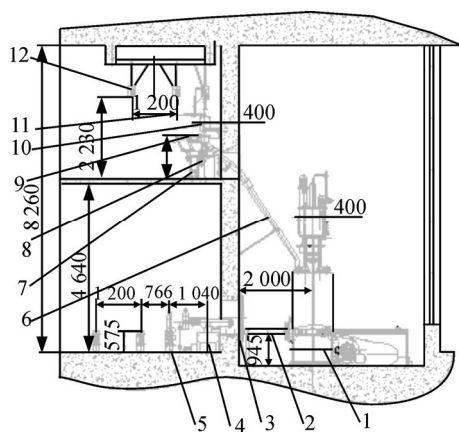
收稿日期: 2015-06-08; 修回日期: 2015-07-09

作者简介: 闫雅君(1964—), 女, 吉林人, 高级工程师, 从事设备及生产线的自动控制研究。

- 4) 装药质量基本无气孔、裂纹、底隙等疵病^[1]。
- 5) 分步压药工序及输药工序现场基本无人。
- 6) 30 辆载弹小车和 20 辆载药小车按工艺要求实现自动分配。
- 7) 机械、电气设备符合《规范》二类场所要求。
- 8) 故障自动诊断。
- 9) 产品运行自动显示，计算机监控。

3 系统组成及作用

整个系统由分步压装机，炸药自动输送线，自动输药装置，弹体输送机、弹体自动上下料机械手，大、小闸门，电气自动系统和监控系统等组成，所形成的示范生产线能实现连续自动化生产(如图 1 所示)。



1. 分步压装机主机; 2. 送弹装置; 3. 大闸门; 4. 送弹机械手; 5. 反积放输送线; 6. 炸药输送流道; 7. 漏斗药装置; 8. 小闸门; 9. 稳定装置; 10. 专用送药桶; 11. 开瓶装置; 12. 正积放输送线。

图 1 分步压装机设备组成

1) 分步压装机主要由压头、主驱动装置、主传动装置、导向及装药夹紧机构、显示器和电气控制系统等组成。

2) FJF·125 反积放式弹体输送机 1 台约长 80 m，用于承载弹体，是联接各加工工序和弹体在各工序间传递的主要运输设备。

3) WFJ·50 正积放式炸药输送机 1 台约长 70 m，且于承载药桶，是联接送药工序和药桶在和工序间传递的运输设备。

4) 弹体自动上下料机械手，用于输送线与压装机之间弹体的衔接。

5) 自动输药装置，用于压装机的炸药输送。

6) 电气控制及监控系统主要分为分步压装机控制系统、弹体输送机控制系统和炸药输送机控制系统。分步压装机控制系统由原来的气动逻辑更改

为具有现代控制技术的 PLC 控制系统，在消化吸收原有逻辑控制原理的基础上，转化为程序控制，实现了分步压装机整体的自动控制过程。弹体输送机控制系统主要将 3 台分步压装机工序联接起来，实现计算机监控和管理，完成对单机设备的衔接和弹体自动柔性化调度分配，且满足装药生产工艺和节拍的要求。炸药输送机将 3 台分步装机的输药工充联接起来，实现了计算机监控和管理，完成了载药小车的自动化柔性化调度分配和输药装置的自动控制，且满足装药生产工艺和节拍的要求。

4 技术原理

4.1 整个系统的动作原理

主要工作流程。分布压装机执行自动条件：送弹机械手张开、漏斗药装置处于底位、压装机显示无药、无弹、弹体送入指定工位。自动启动机械手抓弹升起、回缩、回转，大闸门打开机械手伸出、下降。弹体送到送弹装置内，机械手回原位，送弹装置将弹体送入压药工位，大闸门关闭，输药正积放输送线自动将专用药桶送入指定位置，稳定装置将药桶夹紧，漏斗药装置升起，小闸门打开，漏斗药装置打开，开桶装置打开专用药桶，将药放入漏斗药装置内，炸药将通过流药装置进入药斗。漏斗药装置关闭，小闸门关闭，漏斗药装置下降，开桶装置回位。稳定装置回位。专用装药桶放行，药斗内传感器显示有药，分布压装机压药开始，压药结束后，送弹装置将压制完成的弹体送出。一个工作流程结束。

4.2 控制系统原理

控制系统由分步压装机控制系统、炸药输送机控制系统和弹体输送机控制系统 3 部分组成，它们之间是互相独立控制系统但有接口信号。

1) 分步压装机控制系统。

分步压装机的原控制系统是某国 20 世纪 90 年代的早期设备气动逻辑控制系统。由于早期的电气控制系统在危险场所的防爆技术比较落后，为了达到防爆要求而采用射流技术；所以控制逻辑全部通过与、或、非的气动逻辑阀来实现，以至于现场的控制柜体内布满了几十个气动逻辑阀和几百条气动管路，不仅体积庞大，而且当设备出现故障时，由于气动管路气路流通缺乏直观性，又没有合适的检测工具，给设备的维修带来很大的困难；现在的气动逻辑控制技术已经被淘汰，早已被程序控制所取

代, 原始气动控制部分如图 2。

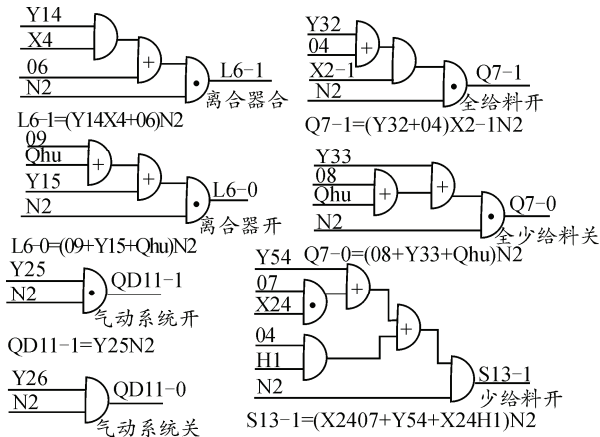


图 2 分步压装机原部分气动控制逻辑

现场检测传感器由原来的气动开关全部替换为德国图尔克本安开关, 所有电气线路全部为本安线路, 且增加安全检测功能。经过改进的分步压装机控制系统除了将原有气动控制改为 PLC 控制外, 还将上、下料机械手的控制融合进来, 主要实现分步压装机整个压装过程及机械手自动上、下弹的全自动控制及对压药压力、压药位移、保护套管温度数据采集和记录, 配有现场操作站。系统主要由上位机(工控机)与可编程控制器西门子 S7-216 配置扩展模块组成 MPI 网^[2], PLC 用于现场信号的采集及压药过程的自动控制, 上位机用于现场信号及电机、气阀等的显示与记录。分步压装机部分电路图如图 3 所示。

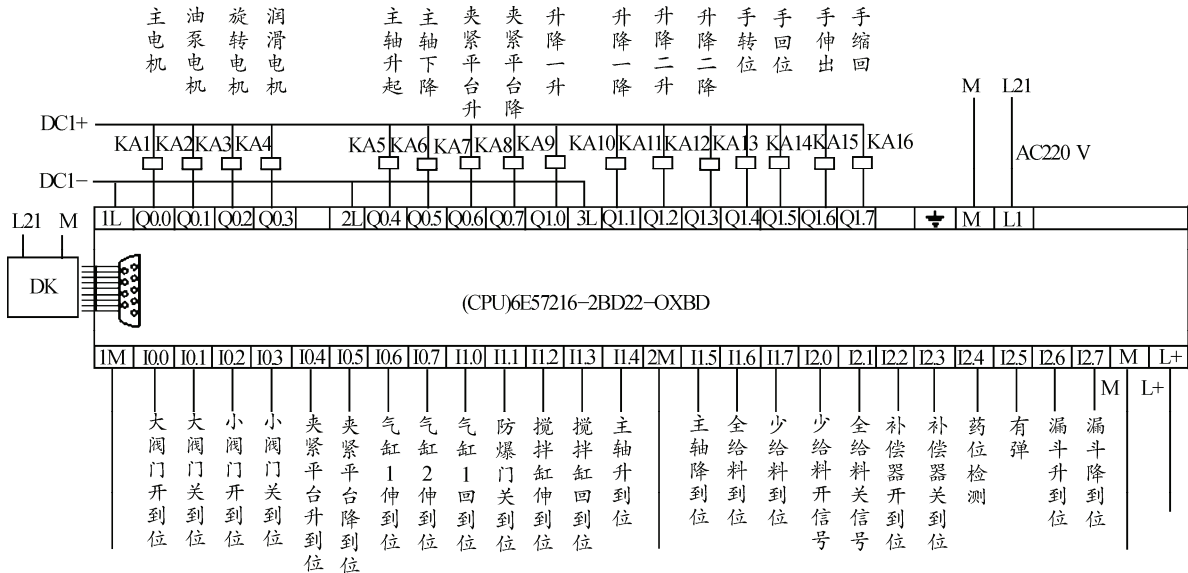


图 3 分步压装机部分电路

依据此工艺流程编制控制程序, 设备运行正常、控制可靠。且具有以下安全措施:

- ① 补偿缸油过量充填时, 控制系统应产生违规信号, 系统不能正常运行;
- ② 防爆门未关闭时, 控制系统处于违规状态, 系统不能正常运行;
- ③ 装药漏斗未关闭时, 控制系统处于违规状态, 系统不能正常运行;
- ④ 压药时按动急停按钮, 设备应立即停止运行;
- ⑤ 为保证螺杆冲锤稳定输药和可靠停转, 螺杆冲锤停转时最大挤压力应处于 1 000~3 500 N;
- ⑥ 压药过程中控制系统互锁装置和安全保险装置可靠性试验。

系统分别有手动、自动 2 种控制方式, 自动工作时, 压药的过程实现自动控制。手动状态下, 系

统所有的电机及气阀等均可单独调整。压药曲线如图 4 所示。

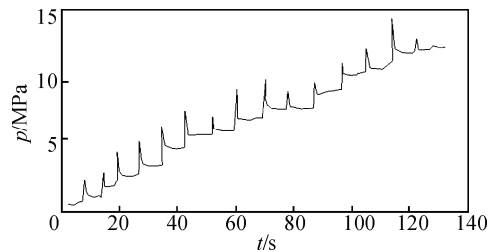


图 4 压药曲线

2) 弹体输送机控制系统。

弹体输送机控制系统主要将 3 台分步压装机工序联接起来, 实现计算机监控和管理, 完成对单机设备的衔接和弹体自动柔性化调度分配, 且满足装药生产工艺和节拍的要求。输送机的元件器分布如

图 5 所示。控制系统分为上位机和下位机 2 部分构成，上位机采用研华工控机配置 SIEMENS 公司 CP5611 型高速通信模板，该模块通过串行通信线与 PLC 编程接口 (MPI) 相连，完成上位机对 PLC 的编程、参数设定、故障诊断和两者之间的实时数据交换。上位机监控软件采用组态王软件包，软件提供了国产工业界最为强大的功能，包括实时过程监控和监督控制、报警管理、实时曲线、历史曲线和数据存贮等等^[3]。

PLC 控制器采用 S7-315 的分布式 I/O-ET-200M 模式，作为主站设于中控室，与工控

机之间的连接采用串口通信 (RS485)，遵循 MPI 通信协议，用于系统网络硬件的组态、自动线的实时调度、工作状态及故障信号的显示、报警。配置如下：PLC 型号为 6ES7315-2AG10-0AB0，从站通过 IM153 接口模块设有 2 个，分别为上料工位、压装 3 个工位；上料工位配置 1 个 32 开入模块和 1 个 16 开出模块。压装工位配置 4 个 32 开入模块和 4 个 16 开出模块^[4]。传感器采用德国图尔克的本安产品，检测点的采集线路通过上海辰竹本安隔离栅与传感器组成本安电路。弹料输送机控制系统组成原理框图如图 6。

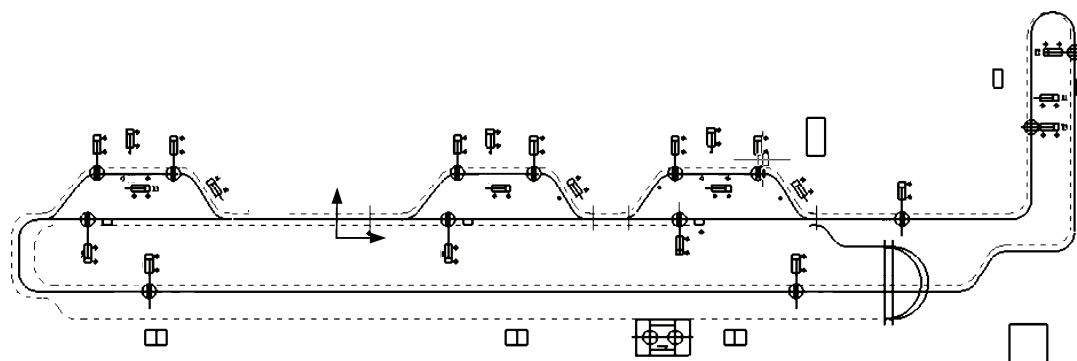


图 5 反积放弹体输送机检测及执行元件分布示意图

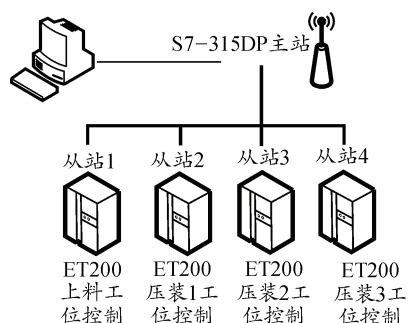


图 6 反积放弹体输送机控制系统原理框图

3) 炸药输送机控制系统。

炸药输送机人机界面采用的是触摸屏嵌入式系统，触摸屏既实现了现场设备运行情况的实时监控，又实现了系统的操纵功能。系统既具有工控机的强大处理功能的优势，又具有触摸屏方便、灵活的操作界面，实现对现场设备远程控制。计算机能获得现场的所有过程数据。下位机采用 PLC 控制器，用于输料线的柔性化分配的自动控制。

下位机控制器采用西门子 PLC S7-216 主-从的 PPI 网络通信方式，触摸屏与 PLC 采用的是西门子的自由口通信方式^[2]。

4) 输料线控制系统的功能。

弹体输送机和炸药输送机实现功能如下：

① 系统复位。系统进入自动状态前，控制系统自动逐一检查输送机各执行元件是否处于初始状态。

② 整条输送线具有手动、自动 2 种控制方式；自动工作时，反向积放输料机的小车柔性分配的过程实现自动控制。手动工作时，系统所有的设备均可单独手动控制。

③ 在输料线处于自动方式时，每个工位均可处于手动方式，以保证某工位或压机出现故障时，方便故障的处理，而其他工位仍然可按自动工作制运行。

④ 当某台压药机或某工位出现故障时，或该支线存车超量时，自动停止向该工位分车，直到故障解除为止。

⑤ 每个压药工位始终积放 2 辆载空弹小车，当压装完的弹体送出时，小车立即跟进，满足生产节拍要求。

⑥ 3 个压装工位最少、最近的优先调度分配控制^[2]。

⑦ 3 个压装工位干支线放车控制 (支线优先)。

⑧ 在进出工位的道岔合流或分流处只允许 1

辆车的控制。

⑨ 各工位干线设置计数器，若该工位小车积压超量，则其前一工位停止器关闭。

⑩ 实时显示系统的整个控制过程，并可以进行数据存贮。

⑪ 当执行元件接收到控制信号后，在 3 s 内没有动作时，均报警显示故障点，并做出相应处理。

此控制系统的技术关键是 3 个压装工位最少、最近的优先调度分配的控制；对压机压药压力的记录，因根据压机的工作原理得知，螺杆冲锤在压头的带动下实现上下往复和旋转的复合运动，在运动过程中，不压药时螺杆冲锤旋转送药，压药时螺杆冲锤停转压药，所以压药压力由几十个间断的压力脉冲组成，将这些压力值连成 1 条曲线即压力曲线。正积压输药线如图 7 所示。



图 7 正积压输药线

5 软件设计

5.1 PLC 控制系统的软件设计

软件设计是控制系统的核心，其合理性关系到系统的可靠性和稳定性。弹体螺旋装药输送机控制系统是典型计算机分布式控制系统，由于输入、输出点较多，逻辑关系复杂，既有顺序控制，又有很多连锁控制；既有本工位独立的区域控制，又有各工位之间的衔接控制。在软件设计上，必须保证控制系统在正常运行时安全可靠，在故障状态时能准确报警，快速停车。

系统软件采用结构化编程，主站内有 1 个主程序(OB1)、13 个 FC 功能模块、1 个初始化模块和 5 个故障处理诊断模块。子站内有 1 个主程序、子程序且因各子站的控制功能不同而不同。

5.2 输送机程序

输送机是压装生产线的主要输送设备，为各工

艺设备输送输出单体，自动运行过程中，若出现风压过低、某工位突然断电、通信中断、干线停止器故障和输送机过载等，输送机均停止运行，并发出声光报警信号，故障排除后方可启动。

5.3 压装工位小车柔性调度分配程序

小车的调度分配合理与否直接影响到生产节拍和生产效率，是本控制系统设计技术关键。

3 个压装工位之间的协调程序由主站进行编制，程序执行的结果传送到子站，由子站去控制执行元件动作。程序框图如图 8 所示，C1、C2、C3 分别为压装 1 工位、2 工位、3 工位小车计数器。

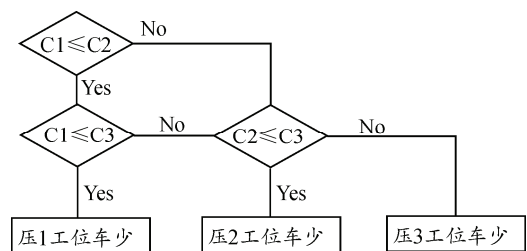


图 8 压药工位分车程序框图

系统运行过程中，如某工位或某台压装机出现故障时，则该工位不参与比较计算。但可能出现跑车现象。为避免这种情况发生，因此设计了最后工位的判断程序。将判断结果传送到螺装子站，子站接收到最后工位信号，小车到位时打后开支线道岔放小车进入该工位。

但这样的程序还不够完善，因为当某一工位为最后工位时，小车数量得不到控制，必将引起挤车并造成过载停车，这种现象是不允许的。

因此在压装工位前设 1 个计数器 C0，记录进入压装工位的小车总数。用 C0 减去 3 个压装工位的出车数之和 C4。当任意 3 台、2 台、1 台压装机都正常工作时，设定进车数分别为 6 辆、4 辆、2 辆，用 C4 分别与设定值进行比较，若 C4 < 设定值，则说明进车数不够，将放车停止器打开，允许进车；若 C4 ≥ 设定值，则说明压装机已处于满负荷工作状态，放车停止器将关闭并停止进车。以上程序，经现场调试验，取得了良好的效果，满足了压装装药生产工艺和节拍。

5.4 故障报警程序

程序中设置了声光报警电路，如发生执行气缸接收到信号后 3 s 没到位、输送机过载、风压偏低、滤油器堵塞、模块故障、总线通信故障、电源掉电

等异常现象时，系统均发出声光报警信号^[6]。

5.5 上位机监测系统软件结构

1) 应用程序采用了 WindowsXP 系统提供的操作平台、应用程序接口(API)、消息发送机制以及汉字库等，完成程序的运行、人机界面显示等功能。

2) 组态王监控软件。

组态王 kingview6.55 保持了其早期版本功能强大、运行稳定且使用方便的特点，提供了丰富的、简捷易用的配置界面，以及大量的图形元素和图库精灵，同时也为用户创建图库精灵提供了简单易用的接口，如图 9。该款产品的历史曲线、报表及 Web 发布功能进行了大幅提升与改进，软件的功能性和可用性有很大的提高^[3]。

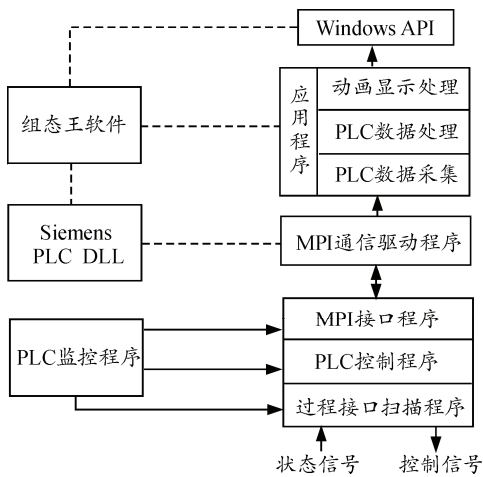


图 9 监控软件结构

3) Siemens S7-PLC 通信驱动程序。

系统上位机采用了 Siemens 公司 CP5611 型高

速通信模板，该模板通过串行通信线与 PLC 编程接口(MPI)或现场总线(Profibus)相连，完成上位机对 PLC 的编程、参数设定、启动运行、故障诊断和两者之间的实时数据交换。模板配备通信软件含 Windows 驱动程序和高级语言接口程序。其提供用 VC++产生的 32 位动态链接库(DLL)形式的适配器，本系统利用其对 PLC 内部数据的透明访问函数，实现了在不影响 PLC 控制程序运行的情况下直接获取 PLC 内部数据^[5-6]。

6 结论

经过改进的分步压装机控制系统运转可靠、稳定，安全设施有效；弹料输送机和炸药输送机的输料节拍完全满足生产要求，实现了弹料及药料的全自动化输送，已用于生产，且成功地压装某型号几千余发，压药密度均达到 5.0 g/cm³ 以上。经检测，装药质量稳定，无底隙、裂纹、疵孔、疏松等疵病，符合工艺参数要求。

参考文献：

[1] 孙家利, 夏克祥, 方晓玲, 等. 压制武器分步压装 RL-F 高能炸药工艺技术[J]. 兵工自动化, 2014, 33(10): 44-45.
 [2] SIEMENS. SIMATIC S7-200 可编程序控制器系统手册[S]. SIEMENS, 2008: 113-115, 390-410.
 [3] KINGVIEW 组态王 6.5 使用手册[S].
 [4] SIMATIC S7-300 梯形图逻辑编程系统手册[S]. SIEMENS, 2008: 40-52.
 [5] SIEMENS. 嵌入式人机界面手册[S].
 [6] 李红芳, 张清华. 基于自适应免疫检测器的变速器轴承故障诊断研究[J]. 机电工程, 2013(11): 1350-1353.