

doi: 10.7690/bgzdh.2026.01.001

弹药封箱自动化铅封系统的结构设计

丁德健，舒启林

(沈阳理工大学机械工程学院，沈阳 110158)

摘要：为提高工作精度、降低风险以及延长系统使用寿命，设计一种弹药封箱自动专机。系统包括整体结构、压铅封、旋转拧紧钢丝和传送钢丝系统等模块。采用 PLC 作为控制核心，通过编程实现穿钢丝、压铅封、拧紧钢丝等功能的自动化控制。设计合理的压铅封机构、旋转拧紧钢丝机构、角座机构，确保钢丝能稳定穿过箱体的预留钢丝孔以及铅封块，提高了结构的可靠性和稳定性。结果表明：该研究能满足弹药封箱生产的需求，可为提高弹药封箱生产效率和质量提供新的解决方案。

关键词：弹药封箱；自动专机；铅封；质量控制**中图分类号：**TJ410.5 **文献标志码：**A

Structural Design of Automated Lead Sealing System for Ammunition Sealing

Ding Dejian, Shu Qilin

(School of Mechanical Engineering, Shenyang Ligong University, Shenyang 110158, China)

Abstract: To enhance work precision, reduce risks, and prolong the service life of the system, an automatic specialized machine for ammunition sealing is designed. The system comprises modules such as the overall structure, lead sealing, rotary wire tightening, and wire conveying system. PLC is adopted as the control core, enabling automated control of functions such as wire insertion, lead sealing, and wire tightening through programming. Reasonably designed lead sealing mechanisms, rotary wire tightening mechanisms, and angle seat mechanisms ensure stable passage of the wire through the reserved wire holes in the box body and the lead sealing block, thereby enhancing the reliability and stability of the structure. The results indicate that this research can meet the production needs of ammunition sealing and provide a new solution for improving the production efficiency and quality of ammunition sealing.

Keywords: ammunition sealing; automatic machine; lead sealing; quality control

0 引言

弹药作为战场军事装备的重要组成部分，具有至关重要的地位。弹药的封装^[1]是保证其质量和安全的重要环节之一；但是，传统的弹药封箱工艺^[2]通常依赖于人工操作，存在效率低和安全隐患等问题。

随着工业自动化技术^[3]的不断发展，自动化设备^[4]在军工生产中的应用日益广泛，其中自动封箱^[5~6]专机作为一种自动化设备，具有替代传统人工封箱的潜力。自动封箱专机可以实现弹药封箱过程的自动化、智能化和高效化，不仅可以提高封箱工作的效率^[7]和质量，而且能够减少操作中工人安全隐患的问题。通过对封箱工艺和自动化装备技术^[8]的深入研究和探索，笔者设计一套能够满足弹药封箱生产需求的自动化封箱系统。该系统将有效地提高弹药封箱的生产效率、保障封箱质量，可为弹药封箱自动化生产提供一种新的解决方案，推动军工生产向智能化、高效化方向发展^[9]。

1 弹药封箱的现状及自动封箱的需求分析

1.1 手动封箱现状

弹药封箱是指将弹药装填到规定的箱子中，以便于存储和安全运输。弹药封箱的主要目的是确保弹药箱体的紧密封装，保证在需要时能够快捷、安全、可靠地使用。弹药箱体的主要形状如图 1 所示，由上盖、下盖、卡扣组成，在卡扣处留有钢丝预留口以便进行穿钢丝压铅封等封箱操作。

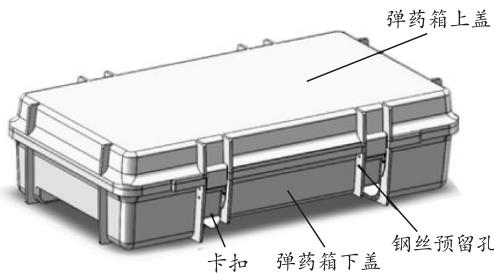


图 1 弹药箱体

目前，弹药箱封箱的实现主要依赖人工操作，工人将弹药按照规定的数量和排列方式装入箱体

收稿日期：2024-11-06；修回日期：2024-12-06

第一作者：丁德健(1997—)，男，吉林人。

中，关上箱体后手动将卡扣扣紧并在钢丝预留口处穿过一根钢丝，继而再次将钢丝穿入铅封块并压紧铅封块，手动旋转拧紧钢丝保证封闭性。手动封箱需要极大的人力和时间成本且速度慢。尤其在大批量生产或高频次封箱的情况下，效率会更低。人工操作不具备连续工作和检测技术，难以保证每个封箱的统一性和精确性。笔者研发一种自动封箱专机，采用自动化封箱设备来提高封箱效率，减少人工成本，并确保封箱质量和安全性。

1.2 自动封箱实现思路

1) 要设计一套合理稳定的自动化封箱系统结构，使封箱过程更加顺畅、快速，从而提高生产效率。封箱系统在工作过程中需确保温杯不出现晃动、震动或失稳的状况，继而保证封箱过程的稳定性和可靠性。2) 自动化封箱系统工作流程的设计也至关重要，合理的工作流程可以减少不必要的等待和延误，提高封箱生产的整体效率、优化资源利用率、保证产品质量、简化操作流程，从而提高整个封箱生产过程的管理和控制水平。具体的工作流程和实现思路如图 2 所示。3) 控制系统是自动化封箱系统的核心，可以控制封箱系统的自动启动、停止、调节和优化，实现封箱过程的自动化操作，减少人员操作，提高生产效率和封箱质量，保护操作人员和设备的安全。

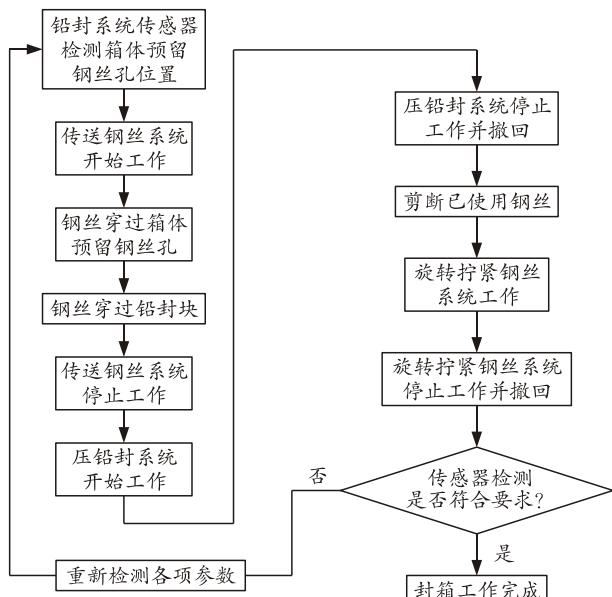


图 2 工作实现思路

2 自动化铅封系统的结构组成和工作原理

2.1 铅封系统的结构组成

铅封系统主要由基板、传送钢丝装置、压铅封

机构、旋转拧紧钢丝机构、铅封快、钢丝管道、气缸、电机、角座、支架和其他机械部件等组成。其中旋转拧紧钢丝机构是自动专机的核心部件之一，负责将穿过铅封块的钢丝勾到上下勾丝板上并旋转拧紧钢丝，完成封箱操作。如图 3 所示，这些部件共同组成了弹药封箱自动铅封专机的整体结构，通过协同工作，实现了弹药封箱过程的自动化、智能化和高效化。

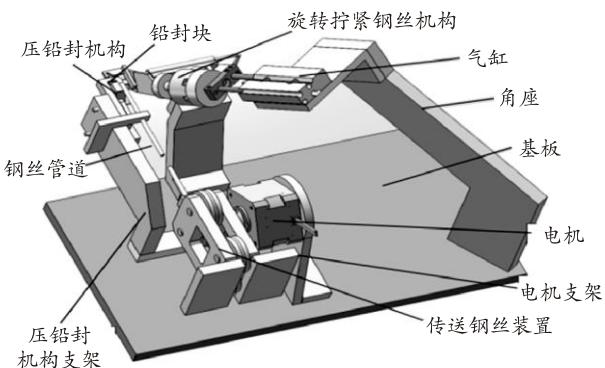


图 3 自动化铅封系统

2.2 铅封系统的工作原理

如图 4 所示，弹药箱通过传送系统被送到封箱工作区域。

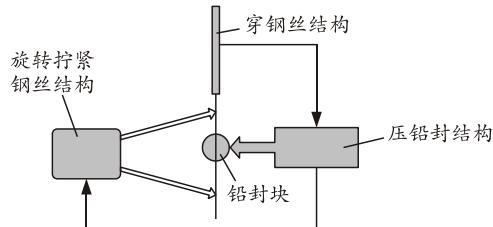


图 4 自动化铅封系统工作原理

自动化铅封系统机构上的光电传感器检测到箱体卡扣处的位置，在封箱装置工作区域，光电传感器检测到箱体开关处预留的钢丝孔，传送钢丝系统进行工作，在光电传感器的检测工作下，钢丝通过钢丝管道并进入带有铅封孔的铅封块中。此时，压铅封系统进行工作，固定钢丝在铅体中的位置并压紧并旋转拧紧钢丝。封箱装置完成封箱操作后，进行下一轮封箱操作。整个封箱过程由控制系统进行管理和监控。控制系统负责控制穿钢丝、固定钢丝形状、压紧铅封、旋转拧紧钢丝等功能的自动化操作，并监测设备运行状态，确保封箱过程的稳定和可靠。

3 自动铅封系统的机械结构设计

3.1 压铅封机构设计

压铅封机构确保钢丝穿过弹药箱预留钢丝孔

后, 钢丝能够被铅封块牢固地压紧, 能够提高封箱过程的效率和速度。相比手动封箱, 它能够更快速地完成封箱任务, 减少人工操作, 提高生产效率。

压铅封机构是自动化铅封系统中最重要的部分, 不仅本身需要有合理的结构和强度, 而且要能够配合其他机构一起进行工作。压铅封机构包括铅封机构板、钢丝管道、挡板、齿轮转轴和铅封体等组成。使用 Solidworks 软件对压铅封机构进行 3 维建模, 所得机构装配如图 5 所示。

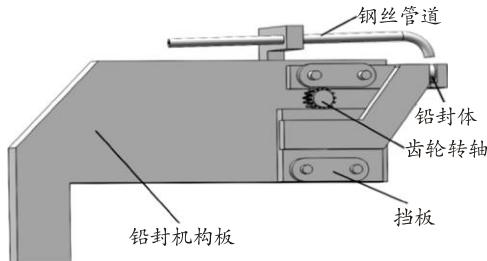


图 5 压铅封机构装配

3.2 旋转拧紧钢丝机构

旋转拧紧钢丝机构用于对穿过铅封块的钢丝进行拧紧, 与钢丝接触处设计光滑接触面确保钢丝不受损伤, 实现它们紧密固定在一起。确保了铅封块在使用过程中不会松动或脱落, 从而提高了弹药箱的安全性。旋转拧紧钢丝机构包括气缸、角块和上下勾丝片, 此部分设计涉及负载转矩的计算和旋转气缸的选型, 其装配体如图 6 所示。

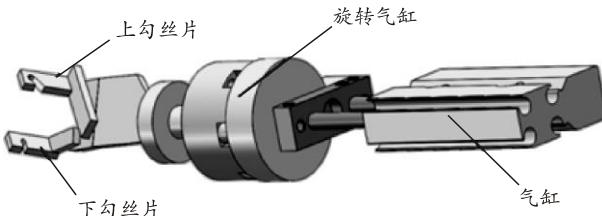


图 6 旋转拧紧机构装配

3.2.1 气缸转矩的计算

当旋转气缸正常工作时, 需带动拧紧装置进行旋转动作, 将钢丝旋转 3 圈且旋转角度 $\theta=6\pi$, 所需时间为 1 s。根据公式计算负载回转所需必要转矩:

$$T=J \times a \times K; \quad (1)$$

$$J=\frac{1}{2} \times m \times r^2; \quad (2)$$

$$a=\frac{2\theta}{t^2}。 \quad (3)$$

式中: T 为转矩, N·m; J 为转动惯量, kg·m²; K 为安全系数, 取 $K=4$; m 为物体质量, 通过 Solidworks 中的质量测量工具测得移动体含(上勾丝板、下勾丝

板、角块)等的质量, 取 $m=0.026 \text{ kg}$; r 为旋转物体的最大半径, 取 $r=0.01 \text{ m}$; a 为角加速度, rad/s; θ 为旋转角度, 取 $\theta=6\pi$; $t=1 \text{ s}$ 。

$$a=\frac{2\theta}{t^2}=37.68; \quad (4)$$

$$J=\frac{1}{2} \times m \times r^2=0.000\ 0013; \quad (5)$$

$$T=J \times a \times K=0.000\ 195\ 94。 \quad (6)$$

故旋转气缸的负载转矩 T 为 $0.000\ 195\ 94 \text{ N}\cdot\text{m}$ 。

3.2.2 气缸型号的选择

气动驱动装置使用压缩空气作为动力源, 通过气动缸或气动马达将动力传递给各功能模块。气动驱动装置具有结构简单、可靠性高、适用于恶劣环境等优点, 常用于一些特殊场合或军工企业。气缸可以快速启动、停止和反向运动, 具有较高的响应速度和精确控制能力。具有较高的安全性, 因为气体作为动力源时相比于液体具有更低的火灾和爆炸风险。

由 3.2.1 节计算可知旋转气缸的负载转矩为 $0.000\ 195\ 94 \text{ N}\cdot\text{m}$ 。根据实际生产条件可知需选用 360° 旋转气缸且气压 $P=0.5 \text{ MPa}$ ^[10]。根据以上计算选 SMC 公司的 MQR1-M5 型号的旋转气缸。其在 $3\ 000 \text{ r}/\text{min}$ 时允许的回转力矩为 $0.003 \text{ N}\cdot\text{m}$, 大于转矩 $0.000\ 195\ 94 \text{ N}\cdot\text{m}$, 满足要求。各项性能如表 1 所示。

表 1 旋转气缸性能参数

描述	参数选定值
动作类型	旋转气缸
输出扭矩/(N·m)	0.003
旋转速度/r/min	3 000
工作压力/MPa	1.0
气缸材料	不锈钢
连接口尺寸/mm	M5×0.8
质量/kg	0.025

旋转气缸能够在极短的时间内完成旋转运动, 从而提高了生产效率和系统的响应性。可与气控阀和传感器等元件配合使用, 实现精确的旋转角度和速度控制, 以满足钢丝旋转机构的工艺要求。

3.3 传送钢丝滚轮结构

在自动铅封系统中, 传送钢丝滚轮扮演着至关重要的角色。它们不仅是输送钢丝的设备, 而且是确保封箱系统高效运转、产品质量稳定和生产成本降低的关键组成部分。此机构由电机、4 个滚轮、底板和轴组成, 其装配体如图 7 所示。

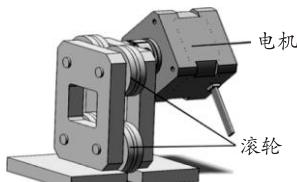


图 7 传送钢丝滚轮机构装配

3.3.1 电机转矩的计算

传送钢丝共需 4 个滚轮，其中位于先接触钢丝的 2 个滚轮的主要作用是捋钢丝，摆正位置。后接触钢丝的 2 个滚轮为驱动滚轮，驱动来源为电机。所受力为滚轮和钢丝间的摩擦力，根据公式计算电机转矩：

$$T_1 = F_1 \times r_1; \quad (7)$$

$$F_1 = \mu m_1 g. \quad (8)$$

式中： T_1 为转矩，N·m； F_1 为摩擦力，N；通过 Solidworks 中的质量测量工具测得滚轮的质量为 $m_1=0.039$ kg； g 取 9.8；钢丝与滚轮的摩擦系数 $\mu=0.4$ ；通过 Solidworks 中的测量工具测得滚轮半径 $r_1=0.015$ m。

$$F_1 = \mu m_1 g = 0.152\ 88; \quad (9)$$

$$T_1 = F_1 \times r_1 = 0.002\ 293\ 2. \quad (10)$$

故电机的负载转矩 T_1 为 0.002 293 2 N·m。

3.3.2 驱动电机的型号选择

电动驱动装置是最常见的一种驱动方式。通常采用电动机作为动力源，如穿钢丝系统、封箱装置等。电动机可以将电能直接转换为机械能，且在转换过程中损耗相对较低，因此电动驱动系统的能源利用效率通常较高。电动机结构简单、运行稳定，不受环境条件的影响，因此具有较长的使用寿命和较少的维护需求。

弹药封箱自动铅封专机的驱动装置是关键的部件，负责驱动各个功能模块的运行，确保整个系统的正常工作。3 种常见的电机类型分别为直流伺服电机、交流伺服电机和步进电机。它们在应用、控制方式、性能特点等方面有所不同，对比情况如表 2 所示。

表 2 3 种电机对比

描述	特点	优点	缺点
直流伺服电机	位置控制好，连续运动	精度高，速度快，高速运动	复杂度较高，成本相对较高
交流伺服电机	精确扭矩控制	动态性能好，大扭矩输出	成本较高，对电源要求较高
步进电机	结构紧凑，离散位置控制	成本低，响应速度快，无需编码器反馈	低速扭矩下降

根据自动铅封系统的设计技术参数和机械设计标准，选用步进电机。根据计算可知，电机的负载转矩 T_1 为 0.002 293 2 N·m。选用普菲德公司 42BYGH34 型号的步进电机，此步进电机的性能参数^[11]如表 3 所示。

表 3 步进电机性能参数

描述	参数选定值
步距角/(°)	1.8
步进电机相数	二相
额定电流/A	1.5
最高转数/(r/min)	800
转矩/(N·m)	0.28
质量/kg	0.25
电阻/R	2.1
电压/V	24

综上所述，电机在自动化铅封系统中能够系统地工作并保证效率和质量。通过对比可知：步进电机更为适用，且选用普菲德公司 42BYGH34 型号的步进电机，此电机为系统的稳定运行和高效生产提供了可靠的动力支持，满足不同封箱工艺的需求，提高封箱效率和质量。

3.4 角座结构设计

角座结构为旋转拧紧钢丝机构提供了支撑和稳定性，用于安装和固定旋转拧紧钢丝机构的各个组件，确保运行平稳，避免因振动或不稳定性而引起的故障。角座结构的设计合理性直接影响到系统的耐久性、运动精度和系统功能的实现。合理设计的角座结构能够减少磨损和疲劳，延长系统的使用寿命，降低维护成本。

此结构由基板、角座、气缸组成。利用 Solidworks 对角座结构进行 3 维建模得到如图 8 所示的装配。

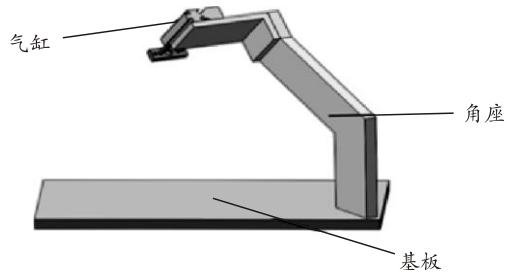


图 8 角座机构装配

4 结束语

笔者设计一种用于弹药封箱的自动铅封系统，实现弹药封箱过程的自动化、智能化和高效化，能够满足弹药封箱生产的需求。

(下转第 10 页)