doi: 10.7690/bgzdh.2026.10.005

一种模拟炮弹及检测包装装置

高俊然，韦长洪，于复生，李臣山
（山东建筑大学机电工程学院，济南 250101）

摘要：针对当前爱国基地中的仿真坦克和仿真战车无法模拟炮弹发射的问题，设计一种模拟炮弹及检测包装装置。采用 STM32F103 单片机作为控制核心，通过多种传感器的配合，能快速且低误差地完成对分体式模拟炮弹的检测和包装工作。结果表明：该装置具有安全性高、结构简单、成本低和可操作性强等优点，能够模拟炮弹发射时的真实感受，并具有弹头和弹壳可分离的特点，可重复利用。

关键词：模拟炮弹；检测包装装置；STM32F103
中图分类号：TJ413　　**文献标志码：**A

A Simulated Projectile and Detection Packaging Device

Gao Junran, Wei Changhong, Yu Fusheng, Li Chenshan
(*School of Mechanical and Electronic Engineering*, *Shandong Jianzhu University*, *Ji'nan* 250101, *China*)

Abstract: In order to solve the problem that the simulated tanks and simulated projectile vehicles in the current patriotic base cannot simulate the launch of artillery shells, a simulated artillery shells and a detection packaging device were designed. Using STM32F103 single-chip microcomputer as the control core, through the cooperation of a variety of sensors, the detection and packaging of split simulated shells can be completed quickly and with low error. The results show that the device has the advantages of high safety, simple structure, low cost and strong operability, can simulate the real feeling of the shell when fired, and has the characteristics of separating the warhead and the cartridge case, and can be reused.

Keywords: simulated projectile; detection packaging device; STM32F103

0　引言

随着当前军事爱国基地的建设和大中小学军事教学的需要，模拟训练装备发挥着重要的应用[1]。模拟训练的目的是通过有效、近似实战的模拟训练，提高部队作战人员和武器装备在现代复杂战场环境下的作战能力[2]。由于实装炮弹安全性以及价格昂贵等原因，爱国基地中的仿真坦克和战车无法进行模拟炮弹发射操作[3]，导致操作人员无法体验到炮弹发射时的震撼感。为了解决上述问题，笔者研制一种模拟炮弹及检测包装装置，可以模拟炮弹发射时的效果，具备操作简单、效率高和成本低等特点。

1　分体式模拟炮弹结构设计

实装炮弹通常由弹丸和发射装药 2 部分组成[4]。在射击时，撞针会撞击炮弹的底火[5]，使底火点燃药筒内的发射药，从而形成高压气体，将弹丸推出。弹丸着地后，撞击引信引爆弹丸，以达到最佳的毁伤效果。军用训练装置和爱国教育基地中的模拟设备射击时，不需要将弹丸射出很远，也不需要弹丸具有杀伤力。从安全性和可重复利用的角度考虑，模拟炮弹不应包含火药、底火等易爆物；因此，亟需研制一款既能保证训练的安全性，又具有良好的可重复利用性的模拟炮弹。

笔者研制的分体式模拟炮弹主要由弹头和弹壳组成。弹头底部设有锥形斜面和凹槽，而弹壳主要由壳体、球支撑、联锁机构、上部弹簧、芯筒、下部弹簧和导筒等部分组成。其中，球支撑是由立板和安装在立板内部的一排滚珠组成的，通过滚珠可以对插入弹壳内的弹头进行支撑和导向。导筒安装在壳体的下部，芯筒的中间有一圈凸起，芯筒套装在导筒上，并能在导筒的限定下做竖直方向的直线运动。下部弹簧套装在芯筒外，底部固定在壳体上，顶部与芯筒凸起的下表面接触。芯筒中间凸起的上方的外部套有上部弹簧，该弹簧的底部与芯筒中间凸起的上表面连接，上下部弹簧会因弹头的嵌入，在弹头和芯筒的作用下被压缩。上下部弹簧可以储存弹性势能，在需要发射炮弹时，将弹头弹出炮筒。联锁机构由环形架、转轴和支架组成，转轴将支架

收稿日期：2025-02-06；**修回日期：**2025-03-10
第一作者：高俊然(2000—)，女，山东人，硕士。
通信作者：于复生(1969—)，男，山东人，博士。

安装在环形架的底座上。支架的外部安装有弹簧片，上部凸起能够嵌入到弹头的凹槽中。

当弹头安装在弹壳内时，芯筒的凸起部分与支架的下部凸起接触，将支架的下部凸起撑开。同时，利用支架安装孔作为支撑点，形成一个杠杆作用，使支架上部凸起嵌入弹头的凹槽中。支架采用金属材料制成，具有适当的弹性。当弹头在外力的作用下压入弹壳内，通过弹头外表面锥面及其压力的作用，能够将支架的上部凸起正好卡入弹头的凹槽中，从而将弹头定位。击发时，撞针撞击芯筒下筒体的底部，芯筒上移动，从而导致芯筒凸起部分与支架下部凸起错开，支架上部凸起从弹头凹槽处脱开，弹头在上下部弹簧存储的弹性势能作用下被快速弹开。分体式模拟炮弹结构如图 1 所示。

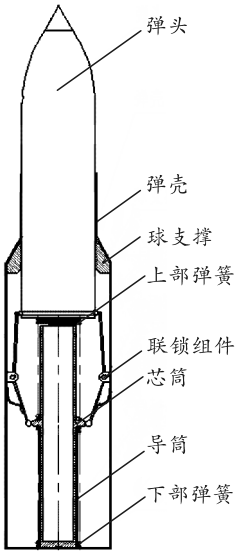

图 1　分体式模拟炮弹结构

2　检测及包装装置设计

为了确保模拟炮弹的质量、运输以及操作人员的安全，需要对分体式模拟炮弹的弹头和弹壳连接的牢固性进行检测，并对其进行包装保护。笔者设计一种用于分体式模拟炮弹的检测和包装设备，有助于提高模拟炮弹的可靠性和使用效果。

2.1　检测内容与装置

该设备的检测内容包括弹头与弹壳以及联锁机构连接的牢固性，以及检查弹头在竖直固定时下移或下移的距离是否在规定范围内。由于仅靠弹壳自身的重力无法达到该检测所需力；因此，需要通过外力对弹壳施加额外的压力。该设计采用电磁铁对弹壳底部施加向下的外力。该电磁铁是圆环型的电磁铁，其铁芯由内圆环、外圆环和端盖 3 部分组成，三者间的圆环形槽中放置铜导线[6]。内圆环套在机构的轴上，以固定电磁铁、衔铁为一个圆环形铁块，电磁铁线圈通电之后，在线圈周围就会产生磁场，位于磁场内的导磁体铁芯被磁化，通过线圈流出的磁力线穿过铁芯、气隙和衔铁形成闭合回路，使得磁化的衔铁向铁芯运动[7]。电磁铁安装在检测底座的下部，通过继电器实现电磁铁的通断电，而继电器的通断电由光电对射管输出的信号决定。笔者使用对射型光电对射管，其发射器和接收器分别安装在检测底座上部的两侧。当弹壳底部到达设定位置时，光线被遮住，从而由单片机检测到电流信号，控制电磁铁的通断电，进而使电磁铁对弹壳底部产生强大的磁吸力。弹壳在重力和磁力的双重作用下有向下移动，通过激光测距仪获取弹壳下移的数据。激光测距仪安装在检测底座的下部中心位置，用于测量弹壳与检测底座之间的距离，并将测量数据传输给单片机。

2.2　包装外壳设计

包装外壳的主要作用是保护炮弹免受外部撞击，特别是炮弹底部的中心位置，并便于炮弹的大量保存和运输。包装外壳由罩体、半闭环、滚筒、挡环、锁销、弹簧、扭簧、手提销柱和扭簧扣等部件组成。半闭环安装在罩体的两端的边界处，并且能旋转一定角度。滚筒安装在半闭环的挡杆上，起到减少炮弹和半闭环之间摩擦的作用，使炮弹更易推入罩体内。挡环安装在罩体上预留的挡环安装位内，起到阻止锁销进入罩体锁止孔内的作用。锁销上的十字凸起则安装在半闭环一端预留的十字凹槽内，弹簧安装在锁销和半闭环的连接处，扭簧的一端通过扭簧扣安装固定在半闭环上，另一端固定在罩体的扭簧孔内。4 个扭簧的作用是在无外力作用下，使半闭环始终处于封闭状态。当炮弹被推进罩体内时，半闭环被炮弹推开，锁销上的锁销条柱推动挡环上的扇形凸起，当炮弹一部分进入到罩体后，半闭环在扭簧的作用下往回旋转，锁销上的锁销柱反向旋转后，并在弹簧的推力作用下通过挡环槽口进入罩体的锁止孔内，从而实现包装外壳的自锁效果。该包装外壳使用的机械自锁机制能更好地提高包装效率。

2.3　机械化包装装置设计

机械化包装装置由升降气缸、旋转台、伸缩气缸和机械手组成。升降气缸安装在操作台上方，用

于实现机械手在竖直方向上的移动。旋转台由电机和转台组成，用于实现机械手的旋转运动。伸缩气缸由气缸支撑底座、气缸、支撑杆和气缸推进板组成，能够实现机械手在水平方向上的直线移动。机械手设计需要保证较高的灵活性和实用性[8]，该装置的机械手整体由小气缸支座、小气缸、横杆、T 形套、小臂、中臂、大臂、夹具和圆柱销组成。夹具的外观是 2 部分圆弧交错的形状，用于夹持和推进炮弹。T 形套固定在小气缸推杆末端和横杆中心位置，横杆穿过小气缸支座两侧中臂下方的圆孔，可以在中臂下方圆孔内横向移动。小臂的末端铰接在小气缸支座的中心位置，另一端与中臂的末端铰接，中臂的另一端与大臂靠近末端的位置铰接，大臂的末端与小气缸支座铰接，夹具安装在大臂的另一端，机械手末端连接的位置都是依靠圆柱销铰接。当小气缸的推杆向外推出时，推杆带动横杆、小臂、中臂和大臂，使大臂上的夹具末端向中心靠拢，完成夹持操作。当需要将炮弹推进包装外壳时，通过控制小气缸的推杆调整夹具前方的弧形缺口位置，使其与炮弹的圆柱面贴合，然后使用伸缩气缸将炮弹推入包装外壳中。该分体式炮弹检测及包装装置整体结构如图 2 所示。

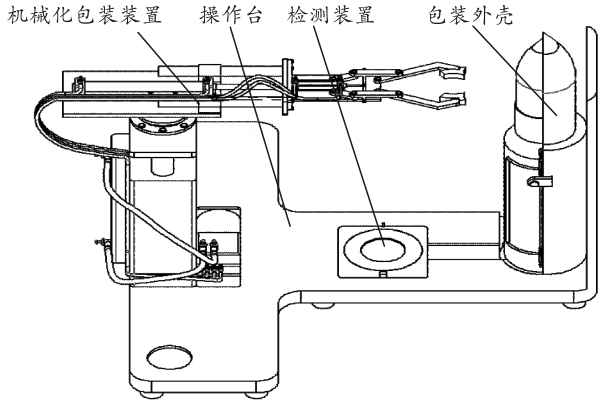

图 2　分体式炮弹检测及包装装置整体结构

3　控制系统设计与气路图

3.1　检测及包装装置硬件设计

该模拟炮弹及检测包装装置采用了 STM32F103 单片机作为控制芯片，该芯片具有高性能、低成本和低功耗的特点[9]。装置使用光电对射管来检测炮弹是否到达合适的位置，采用电磁铁对弹壳底部施加向下的外力，采用激光测距传感器对弹壳底部与检测底座之间的距离进行实时测量，从而确保装置按预定要求进行操作，该模拟炮弹及检测包装装置的电路如图 3 所示。

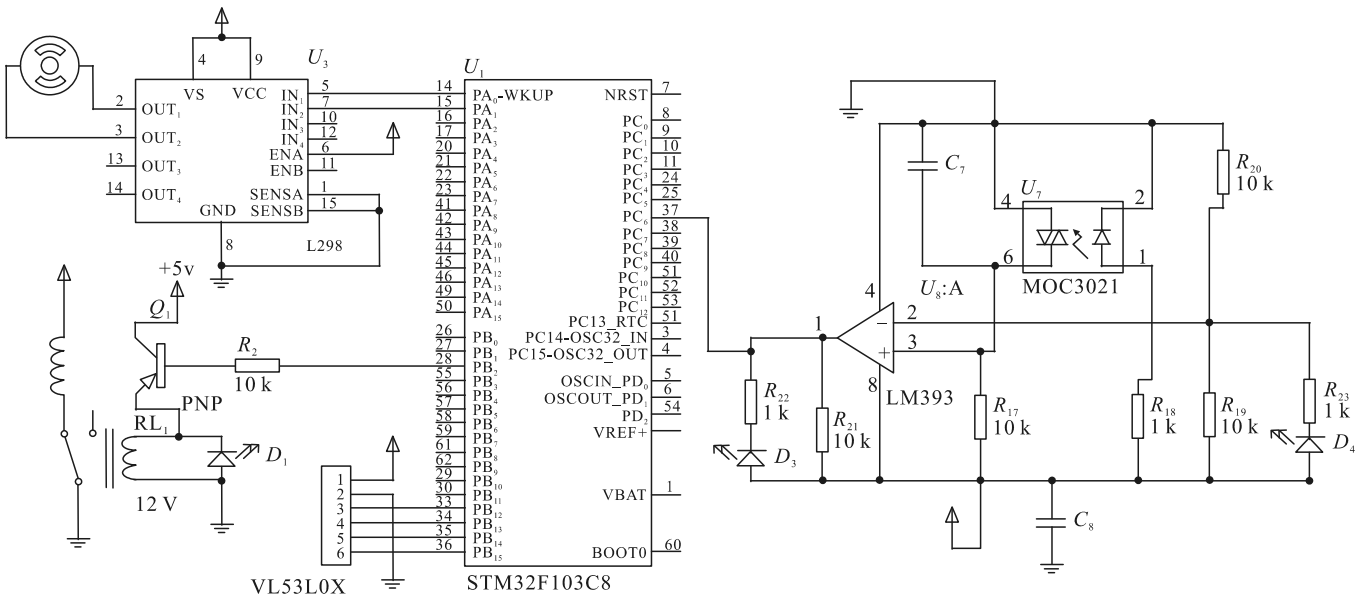

图 3　模拟炮弹及检测包装装置的电路

3.2　检测及包装装置软件设计

检测及包装装置工作时，机械手将炮弹夹持悬挂于检测装置上方。当光电对射管检测到光强度的变化时，表面炮弹已经到达合适位置。光电对射管再将光强度变化转换为电信号，并将发信号发送给单片机进行处理。单片机接收到光电对射管的信号后，控制电源给电磁铁通电。通电后，电磁铁产生磁力，炮弹的弹壳部分在磁力的作用下有向下运动的趋势，同时，激光测距传感器实时测量弹壳底部与检测底座之间的距离。单片机根据测量的距离与设定的安全距离进行比较判断，如果测量距离在设定的安全距离范围内，单片机判定该炮弹为合格，

并允许进行装填工作。如果测量距离小于设定的安全距离，单片机判定该炮弹为不合格，需要将炮弹转移到操作台下方的待修区。模拟炮弹及检测包装装置的控制流程如图 4 所示。

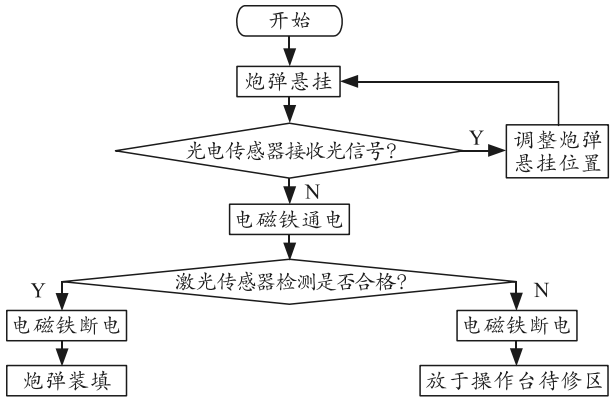

图 4　控制流程

3.3　检测及包装装置气路设计

该模拟炮弹及检测包装装置的主要功能是实现炮弹的夹持、移动和推动。为了实现这些功能，装置采用机械手爪的开合、升降、横移以及旋转 4 个动作，其中旋转动作由电机实现[10]，而其他 3 个自由度则采用气缸来实现，装置的气路如图 5 所示。

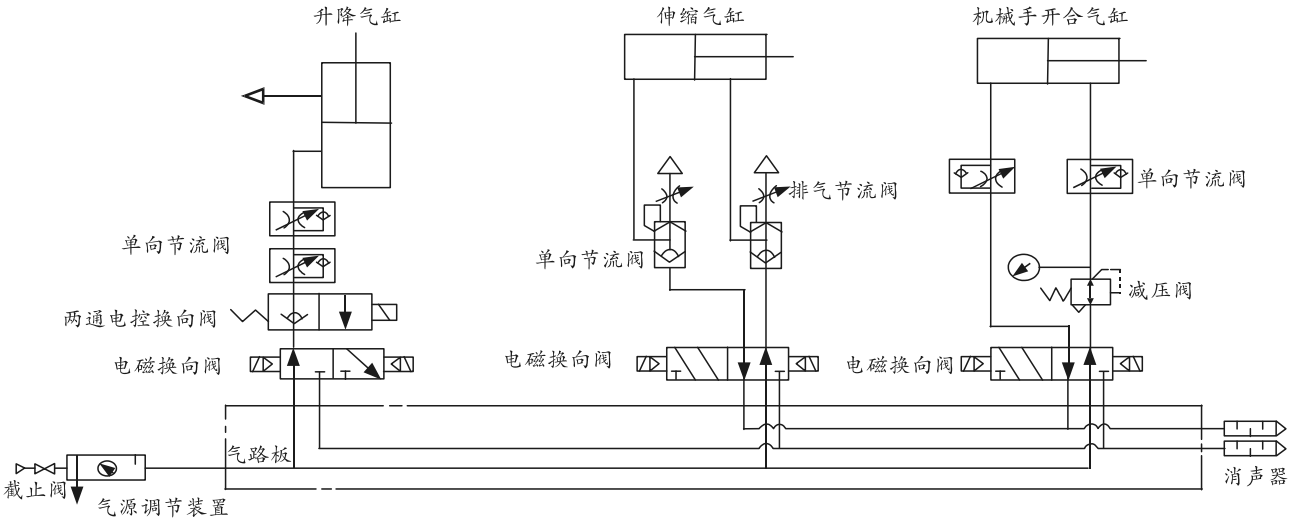

图 5　检测及包装装置气路

4　结束语

笔者设计的检测包装装置具有结构简单、成本低、能源清洁和开放性充分等优点，并具备与其他设备协同作业的能力，具有较强的可操作性。该装置可以满足爱国基地对模拟炮弹的需求，并提供可靠的炮弹检测包装功能，为操作人员提供更好的训练体验。

参考文献：

[1] 张振山，李贞伟. 某步兵战车自动装填程序控制盒的改造设计与实现[J]. 计算机测量与控制，2010，18(7): 1569−1571.

[2] 赵丹丹，孟维真，赵慧，等. 便携式反坦克武器嵌入式模拟训练系统设计[J]. 弹箭与制导学报，2023，43(4): 27−31.

[3] 赵东华，李惠明，李超，等. 某型制导炮弹跟踪模拟训练系统设计[J]. 火力与指挥控制，2016，41(6): 133−136.

[4] 芮筱亭. 多体系统发射动力学及其应用[J]. 中国工程科学，2011，13(10): 76−82.

[5] 孙云忠，贺超. 一种在线检测的全自动击针撞击模拟装置设计[J]. 电子技术与软件工程，2022(7): 186−189.

[6] 王兵. 基于超声波的油气管道缺陷智能检测机器人设计[J]. 现代计算机(专业版)，2018(28): 68−70.

[7] 田文静，刘少克. 基于F型轨道轧制工艺下的磁悬浮列车悬浮电磁铁电磁力计算[J]. 机车电传动，2009(1): 46−48.

[8] 马文俊. 基于 PLC 上下料机械手控制研究[J]. 同煤科技，2022(3): 54−56.

[9] 陈玮倢，孙晓东，陈男. 基于 ARM?CortexTM-M3 单片机的激光发射光源的设计[J]. 电子测试，2021(5): 34−35, 69.

[10] 于复生，沈孝芹，范文利，等. 三自由度气动冲件拾取机械手的研制[J]. 现代制造工程，2006(12): 98−99, 97.