



# 基于 OpenMV 的自动瞄靶电磁曲射炮系统\*

覃钰宁 刘宽 祝强 刘如意 李晓波

(湖北文理学院物理与电子工程学院 湖北 襄阳 441053)

(收稿日期:2019-12-25)

**摘要:**该自动电磁曲射炮由炮筒部分、识别电路、外围机械结构和单片机控制电路部分等共同构成,其中电磁炮部分由耐压值为 50 V 的法拉电容和炮管部分组成,识别电路以自带视觉模块的 OpenMV 为核心,外围机械结构则包括固定板架和舵机构成二维可转动云台,控制电路以低功耗 STM32F429 单片机为核心控制模块;本系统可以通过 OpenMV 摄像头进行定位,以精确地瞄射目标物体,炮管可在水平方位和垂直仰角方向调节,并用电磁力将子弹射出。

**关键词:**视觉模块OpenMV 电磁炮 STM32F429 云台 自动识别

电磁炮技术利用具有光速传播特性的电磁场与电流相互作用产生电磁力来加速弹丸,很容易突破传统化学能火炮技术的初速极限,具有高初速、大威力和远射程等优点<sup>[1]</sup>.在军事、工业等方面都有广泛的实际应用意义.但现有的电磁炮大多都是手动瞄靶,手动瞄靶的缺陷是精度不高以及可操控性不强;基于这种现状,我们制作了一种自动瞄靶电磁曲射炮系统。

## 1 电磁曲射炮设计总体思路

电磁炮是一种将电能转换为电磁能,以电磁能将弹丸从“炮膛”内加速发射出去的装置<sup>[2]</sup>.磁炮部分由 24 V 稳压电源、升压电路、法拉电容充电和继电器控制组成;单片机控制电路以 STM32F429 单片机为控制核心;识别电路由 OpenMV 构成;外围机械结构包括固定电磁炮的木质底板和两个舵机及其附件构成的二维可转动云台.电磁炮部分由直流稳压电路通过 BOOST 升压电路给法拉电容充电,电容的充放电则由继电器控制;识别电路识别标识靶,将数据通过串口发送给单片机,外围机械结构执

行单片机指令控制炮台俯仰角和稳定系统;单片机接受识别电路返回的数据计算角度,由外围机械结构执行,转至预定角度,单片机控制继电器打开,发射炮弹,以实现识别并自动跟踪打靶.系统整体设计框图如图 1 所示。

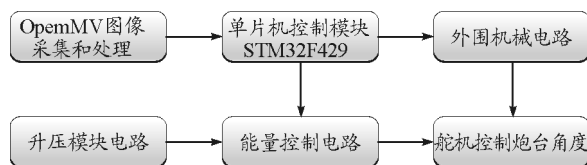


图 1 系统整体设计框图

## 2 理论分析与计算

### 2.1 系统效率计算

该系统一项重要的指标参数就是系统的能量利用效率.系统的效率  $\eta$  可以认为是子弹初动能与电容所储存的电能之比,即

$$\eta = \frac{Mv_x^2}{CU^2} \quad (1)$$

$$v_x = \frac{x_0 \sqrt{2gh_0}}{2h_0} \quad (2)$$

湖北文理学院教学研究项目,项目编号:JY2017039;湖北文理学院大学生创新创业训练计划项目,项目编号:X201910519069

作者简介:覃钰宁(1996-),女,在读本科生,电子专业。

通讯作者:李晓波(1979-),男,硕士,高级实验师,研究方向为工程物理与模拟仿真等。

其中  $h_0$  为云台和底板高度,  $x_0$  为飞行距离,  $M$  为子弹质量,  $C$  为电容容值,  $U$  为充电电压,  $v_x$  为子弹初速度. 子弹平抛飞行轨迹示意图如图 2 所示.

结合式(1)和式(2)可以求得效率  $\eta$ .

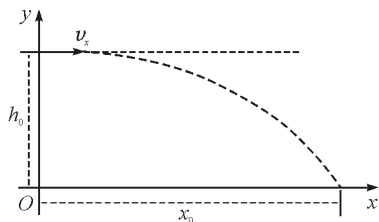


图2 子弹平抛飞行轨迹示意图

上式表明,可以通过使弹丸初始位置尽可能靠近线圈的尾部、在条件允许的情况下增大弹丸的质量等方法提高系统的能量利用效率<sup>[2]</sup>.

## 2.2 影响电磁发射模块打靶初速度因素分析与计算

初速度的固定影响因素为线圈的匝数  $N$ 、线的粗细  $R$ 、炮管的长度  $L$ ,以及子弹的质量  $m$ 、形状、材质等.

其实际影响因素为电容充电电压与炮管的仰角,令驱动线圈电流  $i_1$  与发射体携带电流  $i_2$  反相,两者相斥,电磁发射模块发射<sup>[3]</sup>.线圈型电磁发射模块原理示意图如图 3 所示.

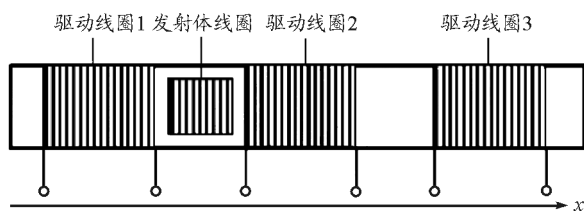


图3 线圈型电磁发射模块原理示意图

线圈自感为  $L_1$ ,发射体自感为  $L_2$ ,两者互感为  $M$ ,则两者之间的磁能为

$$E_m = \frac{1}{2}L_1 i_1^2 + \frac{1}{2}L_2 i_2^2 + M i_1 i_2 \quad (3)$$

作用于发射体上的力为

$$F = \frac{dE_m}{dx} = \frac{dM}{dx} i_1 i_2 = M'(x) i_1 i_2 \quad (4)$$

由动能定理

$$Fx = \frac{1}{2}mv_0^2$$

可推导得初速度  $v_0$

$$v_0 = \sqrt{\frac{2Fx}{m}} = \sqrt{\frac{2M'(x)i_1 i_2 x}{m}} \quad (5)$$

## 2.3 电磁炮炮筒的参数

当前系统所使用的弹丸质量为 6.5 g. 加速线圈为 240 匝,直径为 1 mm 的铜导线绕制而成,整体炮管使用的是工程 PVC 管,内径为 14 mm<sup>[4]</sup>. 供电电容容量为 10 mF. 当充电电压在 60 V 时,电路最大电流可以达到 100 ~ 120 A.

线圈中最大的磁感应强度  $B$  为

$$B = \mu_0 n I \quad (6)$$

其中  $\mu_0$  为真空磁导率,  $n$  为线圈匝数,  $I$  为流过线圈的电流.

内部弹丸受到的最大电磁力  $F$

$$F = \left(\frac{B}{5\ 000}\right)^2 S \quad (7)$$

其中  $S$  为子弹与磁通密度正交的面积.

## 3 程序及电路设计

### 3.1 软件设计

初始化保持系统处于稳定状态,保持炮管初始水平方向与中轴线夹角为零,垂直方向仰角为零. 系统通过 OpenMV 摄像头识别标识靶向主控芯片传递目标位置坐标,主控芯片计算炮口与轴线(定标点与标识靶中心连线)的偏差,比例-积分-微分(Proportional-Integral-Differential, 缩写 PID)控制器计算相应的脉冲宽度调制(Pulse Width Modulation, 缩写 PWM)传递给舵机, PID 算法可以使得 PWM 变化平稳延长舵机的使用寿命. 舵机精准校正炮口方向,以达到瞄准的目的. 方向确定之后,主控芯片通过摄像头返回的位置坐标,计算炮口与标识靶的距离,输出 PWM 精确控制电容充电电压,从而达到控制发射距离的目的. 开始与结束时都保持系统处于安全状态,主要表现为电容处于低压状态,单片机输出关闭,继电器断开,炮管回到初始状态.

### 3.2 Boost 升压电路设计

如图 4 为 Boost 升压电路图;Boost 升压电路是

(下转第 119 页)

力的要求低于同期数学学科核心素养的要求,因此大部分学生能进行完全表征.

**素养提升:**学生数学学科核心素养影响物理问题解决的数学表征,学生数学表征错误表现为,错误提取数学三角函数式,计算数据出现错误,纠正学生日常学习中的错误,提升学生数学素养,达到对物理

问题的完全表征.

### 参考文献

- 1 中华人民共和国教育部制定. 普通高中物理课程标准(2017年版)[M]. 北京:人民教育出版社,2017. 46
- 2 廖伯琴. 中学力学问题表征体系的动态特征[J]. 心理学动态,2001,33(3):251~254

## Research on the Core Accomplishment of Physics Based on Problem Representation

Zhang Guizhou

(Maocun middle school, Tongshan District, Xuzhou, Jiangsu 221135)

**Abstract:** This paper discusses the relationship between the problem representation and the core accomplishment of the subject. Taking the problem representation ability of students as the research content, this paper studies the representation differences of different grades of students in the process of solving physical problems, analyzes the factors affecting the students' core accomplishment, and puts forward some suggestions for improving the core accomplishment of students based on the problem representation.

**Key words:** problem representation; core accomplishment; problem solving

(上接第113页)

一种常见的开关直流升压电路,通过开关(MOS管)来控制电感储存和释放能量,从而达到输入低电压得到高电压的目的. 开关管导通时,电路由电感与开关管形成回路,电感里储存了一些能量<sup>[5]</sup>;开关管关断时,电感中的磁能转化为电能,在电感端左负右正,此时电压叠加在电源正端,经由二极管与负载形成回路,完成升压功能. 升压过程是个电感的能量传递过程,充电时,电感吸收电能并做好能量的储存;放电时,电感释放充电时存储的能量.

的特点,设计了一个自动瞄靶电磁曲射炮系统,通过简单的算法控制舵机从而转动云台,实现了精准向指定位置发射弹丸的功能. 该系统只需简单地控制电流,便可控制初速和射程,通过精确控制初速度,可发射“灵巧弹丸”. 可实现自动瞄靶能准确地射中目标且能源简易、工作速度快、可操控性强、造价低、工作性能优良、安全性高并易于推广的众多优势,在探索电磁炮领域有很大前景.

### 参考文献

- 1 李军,严萍,袁伟群. 电磁轨道炮发射技术的发展与现状[J]. 高电压技术,2014,40(04):1052~1064
- 2 张荣达,张鹏,邵麒,等. 基于线圈炮实验对其效率影响因素的研究[J]. 大学物理实验,2018,31(02):28~30,108
- 3 杨世荣,王莹,徐海荣,等. 电磁发射器的原理与应用[J]. 物理,2003(04):253~256
- 4 张泽然. 利用单导线和空间电场的电能传输技术研究[D]. 大连:大连理工大学,2017
- 5 李惺,钱跃国,靳丽,等. 热插拔控制器在直流升压电路中的设计应用[J]. 现代电子技术,2013,36(23):165~167

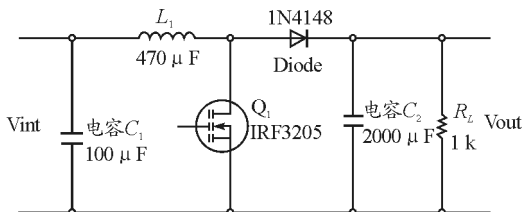


图4 Boost升压电路图

### 4 结束语

本系统以OpenMV图像处理模块为核心,利用电容充电时间极短且放电的瞬间可以产生巨大电能