

2019 年全国大学生电子设计竞赛

模拟电磁曲射炮（H 题）



2019 年 8 月 10 日

摘 要

模拟电磁曲射炮是利用电容瞬间放电产生的电磁力来对金属弹丸进行加速，使其准确打中目标。该电磁炮以 STC8A8K 为控制核心，利用键盘输入的目标角度和距离或超声波传感器定位数据进行算法计算后，自动控制舵机水平方位及垂直仰角方向转动，带动炮管瞄准目标，自动或手动发射弹丸，击中目标环形靶。该设计经测试可以完成任务三项基本要求和发挥部分，并通过蜂鸣器提示发射成功，满足发射周期 30 秒以内的要求。

关键字：电磁炮、STC8A8K、舵机、超声波测距、矩阵键盘

目 录

一、 系统方案.....1

 1.1 技术路线1

 1.2 系统结构.....1

 1.3 方法论证.....1

二、理论分析与计算.....2

 2.1 电磁炮参数.....2

 2.2 计算弹道分析.....2

三、电路与程序设计.....3

 3.1 电路设计与参数计算.....3

 3.2 执行机构控制算法与驱动.....3

 3.3 电磁炮程序流程及核心模块设计.....3

四、测试结果.....5

 4.1 测试方法及测试电路.....5

 4.2 测试结果分析.....5

五、总结.....6

参考文献.....7

一、系统方案

1.1 技术路线

电磁炮根据结构的不同可分为轨道炮、线圈炮和重接炮三类。该模拟电磁曲射炮采用单级磁阻式线圈炮，它是利用发射筒上围绕的线圈中的电磁力来加速弹丸运动的电磁发射系统，STC8A8K 发出发射命令后，电容器作为脉冲直流电源对线圈放电，使电容瞬间放电产生极大的电流，电流经过线圈产生超强磁场，从而使弹丸瞬时加速，依靠惯性射出炮管。弹着点的确定是应用控制核心 STC8A8K 根据目标角度和距离进行计算后，自动控制舵机带动炮管转动，从而达到预期要求。

1.2 系统结构

该模拟电磁曲射炮包括电磁炮模块、主控模块、舵机模块、键盘模块、定位模块、显示模块六个主要模块。

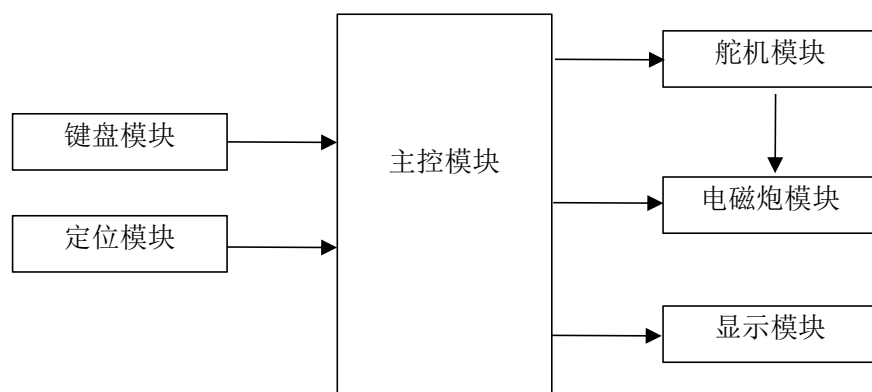


图 1 系统结构图

1.3 方法论证

1.3.1 电磁炮模块方法论证

方案一：利用电容瞬间放电产生强大磁力用作带铁芯的线圈的动力，采用磁片做弹丸，装载弹丸时把弹丸的 N 级和铁芯 N 级相对，电容放电瞬间产生强大的斥力使磁片弹丸射出。

方案二：让单级磁阻式线圈炮，它是利用发射筒上围绕的线圈中的电磁力来加速弹丸运动的电磁发射系统，电容器作为脉冲直流电源对线圈放电，使电容瞬间放电产生极大的电流，电流经过线圈产生超强磁场，从而使弹丸瞬时加速，依靠惯性射出炮管。采用 ZVS 模块进行升压，具有充电速度快，稳定性好的优势。

综合上述方案，在同等功耗的情况下，方案二比方案一综合效果好，所以选择方案二。

1.3.2 主控模块方法论证

方案一：采用 STC89C51 做主控模块，该单片机进入市场的时间较长、价格低廉、技术比较成熟、应用广泛。用此芯片的开发，成本低，开发资源较为丰富。

方案二：采用 STC8A8K 做主控模块，STC8A8K 超高速 8051 内核（1T），比 STC89C51 约快 12 倍以上，指令代码完全兼容 STC89C51，I/O 口数量多达 42 个，且该单片机的定时器具有 PWM 功能，可以直接配置为 PWM 模式用来控制舵机，特别适合本设计。

综合所述，采用 STC8A8K 作为主控模块。

二、理论分析与计算

2.1 电磁炮参数

①炮管：透明塑料管，长度 20cm，内径 12mm。②弹丸：钢珠，直径 10mm。③驱动线圈：漆包线，长度 10m。④电容：耐压 450V，容值 820uF。⑤ZVS：输入电压 12V，输出电压 75V~660V。⑥继电器 1：10A250V，继电器 2：30A240V。

2.2 计算弹道分析

测试得到初速度 V_0 后，进行弹道分析计算，得到水平角度、垂直角度和距离之间的关系，计算时，忽略炮弹质量、风力等的影响。

水平角度计算主要由炮管进行关于 y 轴的旋转，最终方向是靶心或引导标识所在方向，可以使用简单的计算方法，直接通过确定距离或者超声波定位确定。

垂直角度计算时忽略弹丸在飞行中的空气阻力来简化计算。弹丸在空中进行斜抛运动，可以通过抛物线方程建立炮弹在射击面上的运动图像。

$$x = v_0 \cos \theta t$$

$$y = v_0 \sin \theta t - \frac{1}{2} g t^2$$

经过化简，可以得到

$$\Delta = v_0^4 - g(gx^2 - 2v_0^2 y)$$

$$\tan \theta = \frac{v_0^2 \pm \sqrt{\Delta}}{gx}$$

2.3 能量计算

电容容值 820uF，耐压 450V，理论最大能量为：

$$W = \frac{1}{2} C U^2 = \frac{1}{2} \times 820 \mu F \times 450^2 = 83.025 J$$

经测算，实际需要的能量为： $W = \frac{1}{2}CU^2 = \frac{1}{2} \times 820\mu F \times 170^2 = 11.849J$

三、电路与程序设计

3.1 电路设计与参数计算

模拟电磁曲射炮的电路设计及参数设定如图 2 所示。

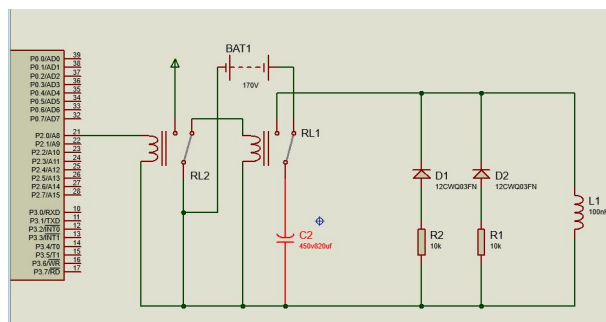


图 2 模拟电磁曲射炮电路设计图

3.2 执行机构控制算法与驱动

STC8A8K 发出发射命令后，电容器作为脉冲直流电源对线圈放电，使电容瞬间放电产生极大的电流，电流经过线圈产生超强磁场，从而使弹丸瞬时加速，依靠惯性射出炮管。弹着点的确定是应用控制核心 STC8A8K 根据目标角度和距离进行计算后，自动控制舵机带动炮管转动，从而达到预期要求。

3.3 电磁炮程序流程及核心模块设计

3.3.1 定位模块

炮管定位根据超声波传感器数据进行确定。定位程序流程图如下图 3 所示。

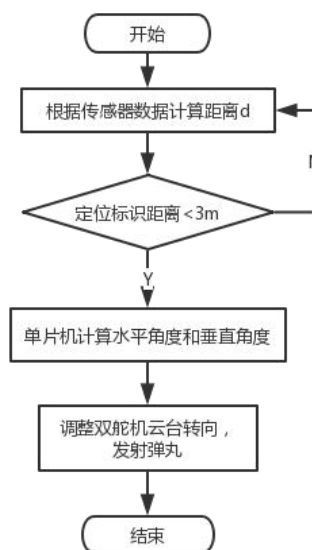


图 3 定位程序流程图

3.3.2 电磁炮程序控制流程图

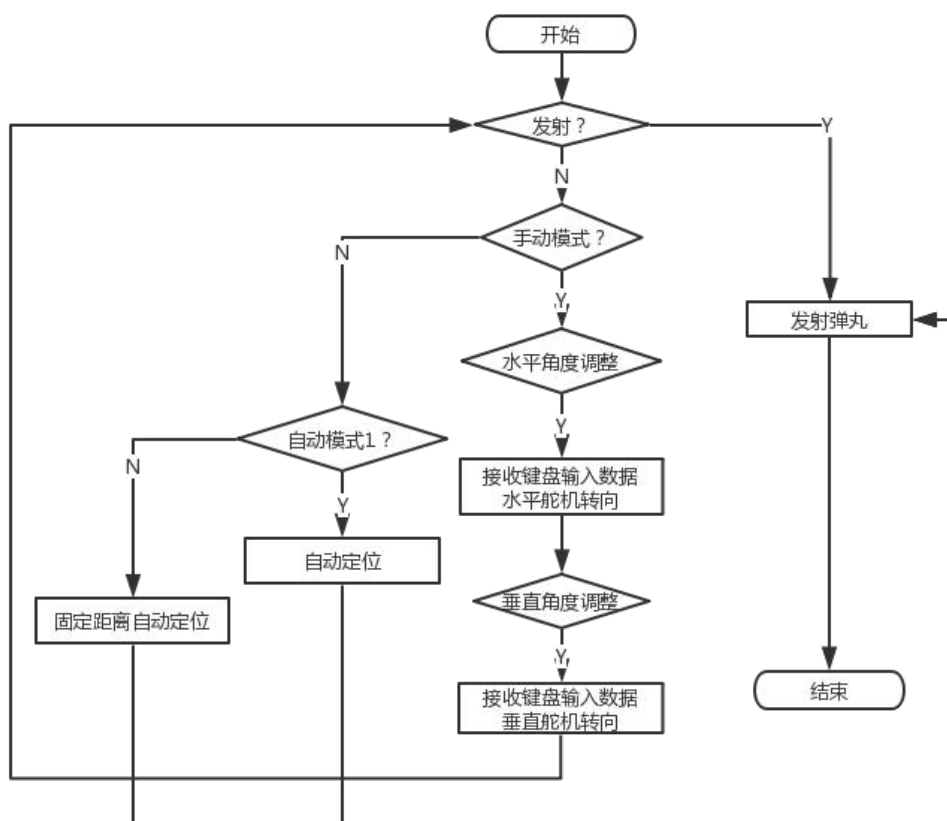


图 4 程序控制流程图

3.3.3 键盘模块

4*4 矩阵键盘用单片机 P1 口低 4 位驱动 4 行，高 4 位驱动 4 列。按键具体功能如下表 1 所示。

表 1 键盘功能图

DEBUG 模式/取反模式切换	舵机水平角度调整模式	7	3
工作模式切换	距离参数调整模式	6	2
舵机垂直角度调整模式	9	5	1
发射	8	4	0

3.3.4 舵机角度控制模块

炮采用双舵机云台控制炮管方向，舵机选用 SG90，采用 PWM 控制的方式进行舵机的操纵，需要单片机产生 20ms 的脉冲信号，以 0.5ms 到 2.5ms 的高电平来控制舵机的角度。

3.3.5 显示模块

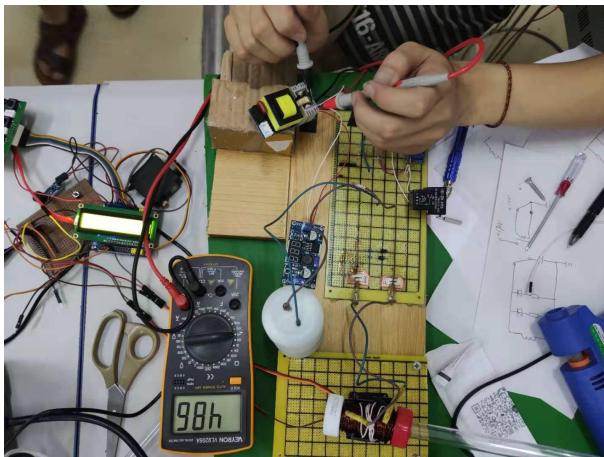
LCD1602 能够同时显示 16x02 即 32 个字符（16 列 2 行）。模拟曲射电磁炮供电后，显示提示信息，开始工作后，动态显示当前的工作状态以及炮管水平、垂直角度和定标点 to 靶心的距离。



四、测试结果

4.1 测试方法及测试电路

模拟曲射炮设计过程中采用硬件测试、软件调试、系统联调、实物效果测试等方法进行测试。



10612

目标距离 (cm)	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300
水平仰角/度											
垂直倾角/度	12°	14°	16°	17°	20°	24°	26°	28°	31°	34°	37°
	170	175	180	185	190	195	200	205	210	215	220

4.2 测试结果分析



4.2.1 基本任务 1

电磁炮通电后，2s 内能够将弹丸射出炮口。

4.2.2 基本任务 2

环形靶放置在靶心距离定标点 200~300cm 间，且在中心轴线上的位置处，键盘输入距离 d 值，电磁炮将弹丸发射至该位置，距离偏差的绝对值不大于 50cm。

距离 $d=200\text{cm}$ 时，3 次测试着弹点环数为 10,9,10。

距离 $d=250\text{cm}$ 时，3 次测试着弹点环数为 10,10,10。

距离 $d=300\text{cm}$ 时，3 次测试着弹点环数为 9,9,10。

4.2.3 基本任务 3

用键盘给电磁炮输入环形靶中心与定标点的距离 d 及与中心轴线的偏离角度，一键启动后，电磁炮自动瞄准射击。

距离 $d=250\text{cm}$ 时，垂直角度 20 度，5 次测试着弹点环数为 10,9,10,9,10

4.2.4 发挥任务 1

在指定范围内任意位置放置有引导标识的环形靶，一键启动后，电磁炮自动搜寻目标并炮击环形靶，3 次测试着弹点环数为 7,6,7，完成时间均 $\leq 30\text{s}$ 。

4.2.5 发挥任务 2

环形靶与引导标识一同放置在距离定标点 $d=250\text{cm}$ 的弧线上，一键启动电磁炮，炮管在水平方向与中轴线夹角从 -30° 至 30° 、再返回 -30° 做往复转动，在转动过程中自动搜寻目标并炮击环形靶，平均测试环数为 6。

4.2.6 发挥任务 3

①启动电磁炮后，手动或自动完成射击，均有蜂鸣器产生 0.5s 蜂鸣音进行提示。

②电磁炮工作过程中，显示模块动态更新当前的工作状态以及炮管水平、垂直角度和定标点到靶心的距离。

五、总结

模拟电磁曲射炮的设计在团队的共同努力下顺利完成了，这场大学生电子设计大赛不仅仅是一场理论知识的比赛，更是一种动手能力的比赛，一场团队精神的比赛，一场理论与实际结合的技能大赛。

在最初的方案中，选用可控硅用于充电与放电的控制，响应速度快，但在电路连接过程中遇到了不可抗因素，所以改用了当前方案。在设计自动装弹系统时，选用方案会使多个弹丸吸附在一起同时射出，达不到预期效果。在测试的时候，定位系统的精度欠佳，弹着点的位置没有达到理想的环数，但在后期的改进调试后，基本达到了理想的实验效果。

虽然辛苦，但富有激情。这就是电子设计大赛带给我们的团队精神。在今后的学习中，会更加系统的学习专业知识，为下一次电子设计大赛做充足的准备。

参考文献

- [1] 潘彩娟,覃焕昌,黄红强.电磁炮基本原理的教学与实验模拟[J].广西民族学院学报(自然科学版).2002(8)
- [2] 裴桂艳,张世英,张俊,李俊杰.电磁炮外弹道仿真分析[J].指挥控制与仿真.2014(36)
- [3] <http://www.51hei.com/bbs/> (51 黑电子论坛)、STC8 官方手册等网络资源