

自控式电磁线圈炮

王京¹, 肖华¹, 何焰蓝²

(1. 国防科学技术大学 电子科学与工程学院, 湖南 长沙 410073;

2. 国防科学技术大学 理学院, 湖南 长沙 410073)

摘要:以交流电驱动电磁场为动力, 结合直流电机与磁力天平理论的新成果, 设计了线圈型电磁炮。

关键词:自控电磁炮; 定位控流; 多级加速

中图分类号: O441

文献标识码: A

文章编号: 1005-4642(2004)10-0043-05

1 引言

随着科技的不断发展, 各种新概念武器层出不穷, 现代战争理念发生了巨大的改变。例如隐形飞机、电子干扰机以及反雷达导弹等。目前许多国家正在研制的威力大、射程远的新动能武器——电磁炮也是其中一例, 已公开成果中主要有2类:

一类是双轨加速, 如图1所示。以轨道作为导线, 使用磁鼓技术激发的强电流脉冲产生强磁场。炮弹在安培力($F=BIL$)作用下产生加速度, 安培力的实际大小为 $F=\frac{\mu I^2}{2\pi} \ln \frac{a+r}{r}$ (I 为轨道电流, a 为弹体半径, r 为导轨半径)。虽然此种方法研制出的炮弹出膛速度较大, 但缺点较多, 要求电流为 10^6 A 以上, 炮膛长度近 10 m, 无法投入正式使用。

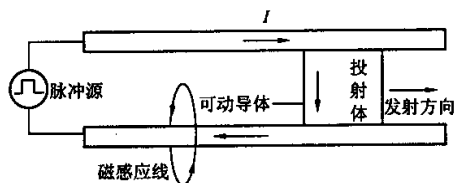


图1 日制的轨道炮原理图

另一类是线圈加速炮, 利用线圈磁场给弹体加速。

美国一直在积极研制电磁炮项目。国防部计划到2005财年演示的时候, 要求制出样品的长度

不超过6 m, 产生的脉冲能量可使质量为3.5 kg的弹头达到2.5 km/s的速度。在第一阶段中, 先后使用了磁鼓和磁盘技术来产生脉冲电源, 但其中没有一项技术能达到相应的要求。

2 自控式电磁线圈炮设计原理

2.1 磁动力加速原理

加速度的产生原理如图2所示。

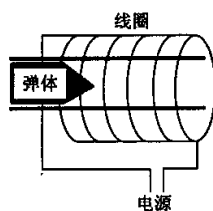


图2 线圈加速原理图

当螺线管通电时, 螺线管的内外就有了磁感应线分布, 其磁势分布为出入口高内部低, 管外的弹体(铁磁芯)被拉向中心。图3所示为线圈中弹体受力和磁势的分布图。线圈中心弹体受力最大, 但磁势最低。

以简化模型来分析弹体所获得的能量。实验采用81式子弹作弹体, 且弹体弹芯为铁磁性物质, 因此, 在恒定外磁场的作用下, 可将其视为一绕子弹中心轴为对称轴的圆电流体。子弹在螺线管所产生的磁场中的受力分析可简化为通电圆线圈之间的受力问题, 此时子弹体线圈模型中的圆

收稿日期: 2003-04-22; 修改日期: 2004-06-23

作者简介: 王京(1982-), 男, 辽宁锦州人, 国防科学技术大学电子科学与工程学院本科生。

指导教师: 何焰蓝(1962-), 女, 四川南充人, 国防科学技术大学理学院副教授, 博士, 研究方向为光学工程。

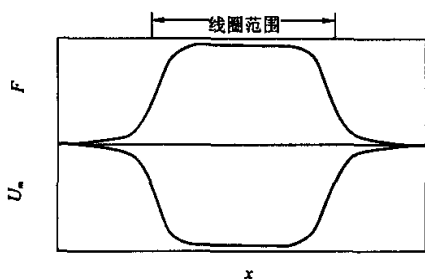


图3 线圈磁势分布示意图

电流的方向应该与螺线管中的圆电流的方向一致,如图4所示。

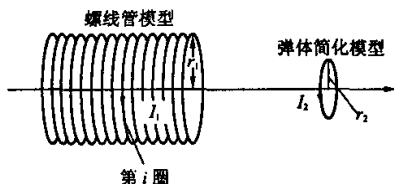


图4 简化模型

首先考虑螺线管(半径为 r_1)中第 i 圈电流环对弹体(半径为 r_2)产生的作用。子弹体中心距螺线管第 i 圈电流环中心的距离为 R_i ,现考虑第 i 圈电流环在弹体 $M_2(0,0,r_2)$ 处并垂直于 I_2 方向所产生的磁场分量,为简化设 $M_1(r_1 \cos \theta, -R_i, r_1 \sin \theta)$ 为第 i 圈电流环上的一点,见图5。由毕奥-萨伐尔定律可得

$$B_{M_2O} = \int_0^{2\pi} \frac{\mu_0 I_1 (r_2 - r_1 \sin \theta) r_1 d\theta}{4\pi s^3} \quad (1)$$

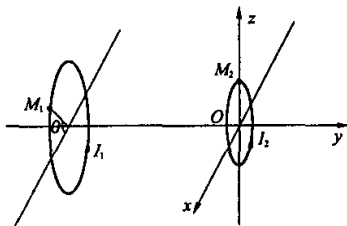


图5 电流方向示意图

其中 $s = \sqrt{(r_1 \cos \theta)^2 + R_i^2 + (r_1 \sin \theta - r_2)^2}$, 则第 i 圈电流环对整个弹体的作用力可由下式得到

$$F_i = \int_0^{2\pi} I_2 B_{M_2O} r_2 d\theta' \quad (2)$$

当子弹由原点运动到螺线管时,第 i 圈电流

环对子弹所做的功,或者此时子弹所获得的动能为

$$E_i = \int_0^{R_i} F_i dy \quad (3)$$

螺线管对子弹体做的总功为

$$W = \sum_{i=1}^N E_i \quad (4)$$

当弹体处于管中心时,控制电路切断电流,弹体依靠惯性发射出去。因此解决电流通断时机是本实验的关键。

2.2 加速的自发控制原理

由于单级线圈通电过长时会产生大量的热,如果单级线圈工作电流为 I ,线圈电阻为 R ,电流作用时间为 T ,生成的热量 $Q = I^2 R T$ 。

当 $i = 2.5 \text{ A}$, $R = 80 \text{ } \Omega$, $T = 200 \text{ ms}$, 则 $Q = 100 \text{ J}$,很可能击穿线圈绝缘漆。若改为2级加速, $i = 2.5 \text{ A}$, $R = 40 \text{ } \Omega$, $T = 100 \text{ ms}$ 。则 $Q = 25 \text{ J}$,热量大大减小了,能量利用率相对上升。

实验中采用多级亥姆霍兹线圈加速装置,如图6所示。但当加速级超过2级时,由于电压、阻力等因素,速度增加会有随机误差伴随,定时控流很难达到要求,故而采用定位控流。定位控流是采用双轨炮中的自发性地控制电流通断模式,加速电路的连接如图7所示。

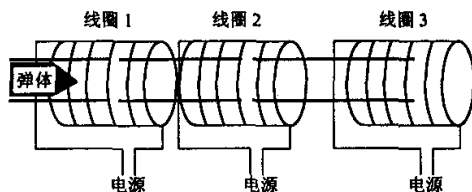


图6 加速级联原理图

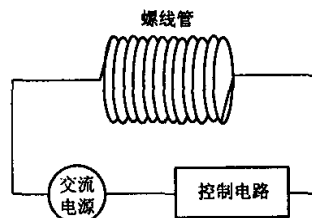


图7 加速电路的连接

导轨连接控制电路,当弹体加速至线圈中心时,即磁势最低的位置,如图8所示,触发控制开关使线圈断电,导轨起了触发器的作用。弹体依靠

惯性进入下级线圈.由于控流方案简化,可轻易实现多级加速.在各个线圈中部为轨道过渡带,弹体到此位置时,由控制电路对加速作控制,建立起连续的加速模式,控制电路如图 9 所示,流程图如图 10 所示.

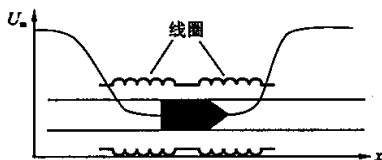


图 8 加速定位控制图

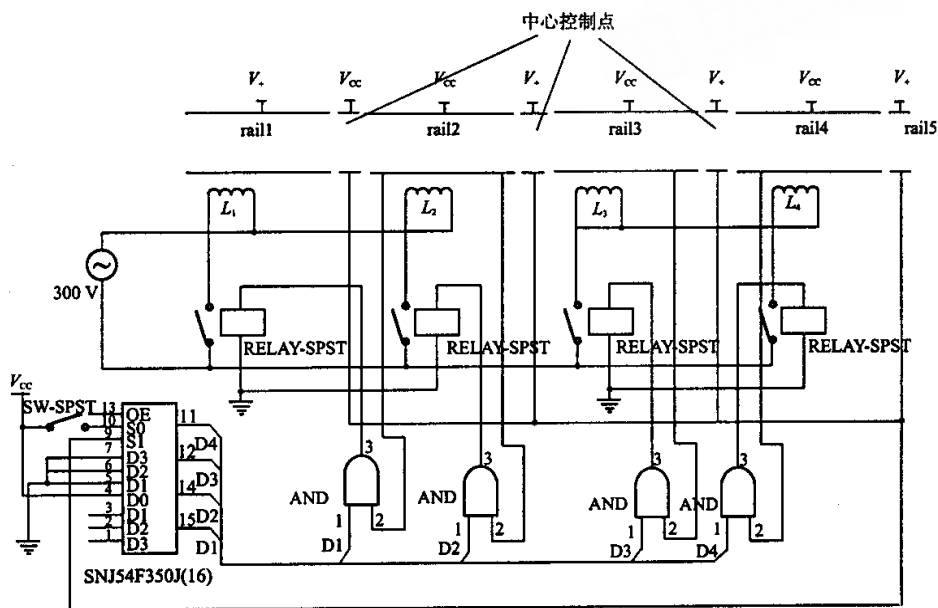


图 9 控制电路图

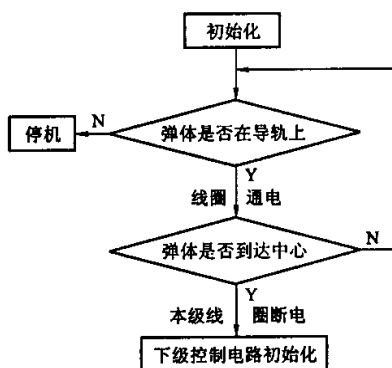


图 10 加速控制流程图

3 自控式电磁线圈炮设计计算

3.1 几点假设

- 1) 子弹的磁化效应迅速到达饱和磁性;
- 2) 由于有限长度的线圈磁场在线圈外的分布衰减很快,所以等效子弹从无穷远处来;
- 3) 设弹体处于由螺线管产生的稳恒磁场中,并被该磁场设为 B_1 磁化,而由弹体磁化后产生的磁感应强度为 B_2 ,应与 B_1 等值反向^[4].

3.2 计算

设 N_1 为螺线管线圈单位匝数, I_1 为螺线管线圈内的电流,螺线管半径 $r_1=0.015\text{ m}$, $N_1=20\ 000/\text{m}$;子弹的有效半径 $r_2=0.004\ 5\text{ m}$, I_2 为子弹磁化后的有效电流,由前面假设 3)可知

$$B_2=B_1=\mu NI/2$$

可得

$$I_2=NI/2\mu_r\approx 2I=10\text{ A}$$

式中 $\mu_r=5\ 000$.

利用 Matlab 软件包源程序进行计算,核心源

程序如下:

```
function f=fun(sita,l,r2,r1,i2,i1)
s=sqrt((sin(sita)).^2+(r2*cos(sita)-
r1).^2+1.^2);
f=r1*i1*(r2-r1*sin(sita))./s.^3;
function res=cal(r2,r1,i2,i1)
Tol=1e-4;
res=dblquad(@fun,0,2*pi,0,0.1,Tol,
[],r2,r1,i2,i1);
disp(['结果是:',num2str(res)]);
cal(0.005,0.01,5,10)
ans = 0.399
```

单级线圈传输的动能为 0.399 J, 由于假设弹体与线圈的半径近似相等, 实际传输动能数值比此结果大. 4 级 6 线圈传输能量为 2.394 J, 折合为速度 23.06 m/s.

4 实验分析

目前初级试验已完成 4 级加速线圈的设计制作, 这 4 级加速线圈可将 81 颗子弹以 23 m/s 速度射出(理论值), 线圈发热较低, 并可实现连续发射. 目前共计试射 2 000 余次, 性能发挥稳定. 线圈外套有发射天线, 加强电磁辐射, 理论计算可产生宽频谱的一定功率的电磁脉冲. 我们在 2 000 多次的试射数据中任选了 200 多次试射数据用 Matlab 软件进行统计分析得到图 11, 其中图 11(a) 为线圈电压为 50 V 时子弹出射速度的分布曲线, 平均速度大约为 9 m/s, 图 11(b) 为线圈电压为 85 V 时子弹出射速度的分布曲线, 平均速度大约为 12 m/s. 实验装置如图 12 所示. 图 13 为子弹穿透的铁板和泡沫.

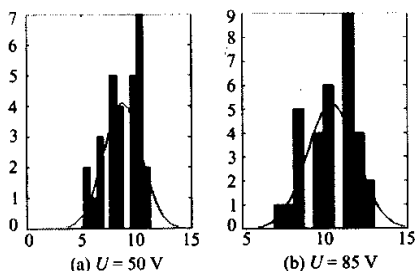


图 11 线圈电压为 50 V 和 85 V 时的稳定度曲线

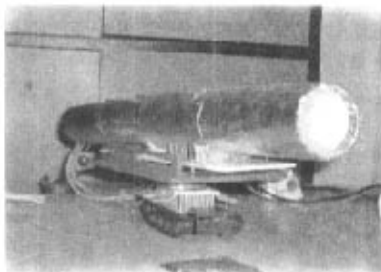


图 12 整机实物图

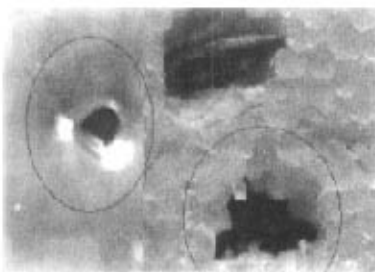


图 13 穿透的铁板和泡沫

如果用大型线圈组作为供电电源, 并解决多级线圈匹配问题, 可制作成高速电磁炮, 由于效率较高, 在同样电源条件下速度应超过 5 000 m/s, 有望达到 8 000~9 000 m/s, 可用于攻击卫星或高速飞机. 为解决导轨过长问题, 可采用环形加速. 弹体在环形线圈中加速. 速度达到最大时射出. 同样, 也可制作小型线圈组, 成为单兵武器. 由于不使用火药, 因此可以长期使用(只需充电或更换电池). 同时也大大提高了枪手的隐蔽性: 无声, 无火光, 杀伤力大, 可成为良好的狙击枪, 还可能作为火箭的初级发射装置, 为火箭节省大量燃料.

参考文献:

- [1] Hanitsch R, Hameyer K. Journal of Magnetism and Magnetic Materials [M]. Amsterdam: North-Holland, 1992. 104~107.
- [2] Kraus J D, Fleisch D A. Electromagnetics with Applications [M]. Beijing: Tsinghua University Press; New York: McGraw-Hill, 2001. 178~181.
- [3] 张三慧. 电磁学 [M]. 北京: 清华大学出版社, 1999. 206~211.

Cybernation electromagnetic canno

WANG Jing¹, XIAO Hua¹, HE Yan-lan²

(1. Electronic Science College, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China;

2. Science College, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract: Based on the force of electromagnetic field driven by AC, combined with the new achievement of DC engine and the electromagnetic balance theory, the cybernation electromagnetic canno is designed, which has the advantages of better efficiency and reliableness, and will be used as the kinetic energy of new concept in wide field.

Key words: cybernation electromagnetic canno; fixation position control; multilevel accelerate

(上接第 42 页)

Effects of auxiliary prism on the half-shadow field of view

CHEN Jin-xing, WANG Chun-hua

(Department of Physics, Changshu Institute of Technology, Changshu 215500, China)

Abstract: In the experiment of measuring the refractive index of liquid by glancing incidence, auxiliary prism can be used to improve the clarity of the half-shadow field of view, and so as to raise the accuracy of the experiment. The effects of different auxiliary prism on the field of view are analyzed and discussed.

Key words: refractive index; prism; half-shadow field of view

欢迎订阅 欢迎投稿

《物理实验》创刊于 1980 年,是教育部主管、东北师范大学主办的学术期刊,是教育部物理学与天文学教学指导委员会的会刊。


《物理实验》主要刊载物理实验成果,交流物理实验教学改革的新思想、新方法、新动态。开设的栏目有:实验教学,物理实验与应用,数据处理与误差分析,仪器设计与使用,实验教学研究,基础教育研究,实验技术与技巧,集锦,问题讨论,国外实验教学介绍等。适合于物理实验工作者,大、中学校的物理教师、理工科的本科生、研究生及教学仪器研制人员阅读。

《物理实验》愿为广大作者提供交流信息的窗口,展示成果的园地,为广大读者提供丰富的精神食粮,为广大仪器生产厂家提供展示成果的舞台。

《物理实验》杂志为月刊,全国各地邮局均可订阅,邮发代号 12-44。若错过邮局订阅时间,可与编辑部联系。

《物理实验》编辑部

自控式电磁线圈炮

作者:	王京 , 肖华 , 何焰蓝
作者单位:	王京, 肖华(国防科学技术大学, 电子科学与工程学院, 湖南, 长沙, 410073) , 何焰蓝(国防科学技术大学, 理学院, 湖南, 长沙, 410073)
刊名:	物理实验 
英文刊名:	PHYSICS EXPERIMENTATION
年, 卷(期):	2004, 24(10)
引用次数:	0次

参考文献(3条)

1. [Hanitsch R, Hameyer K](#) [Journal of Magnetism and Magnetic Materials](#) 1992

2. [Kraus J D, Fleisch D A](#) [Electromagnetics with Applications](#) 2001

3. [张三慧](#) [电磁学](#) 1999

相似文献(0条)

本文链接: http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_wlsy200410015.aspx

下载时间: 2010年3月20日