

文章编号:1007-0311(2002)04-0074-03

电磁炮基本原理的教学与实验模拟

潘彩娟,覃焕昌,黄红强

(右江师专 物理与电子信息科学系,广西 百色 533000)

摘 要: 简述电磁炮的基本原理,分析线圈弹体与铁磁质弹体的受力情况,实验模拟铁磁质弹体的发射

关键词: 电磁炮;原理;线圈弹体;铁磁质弹体;实验模拟

中图分类号: O441 **文献标识码:** A

物理学理论的不断发展与完善,有力地促进了社会生产力的发展,也促进军事能源的不断变革,促进作战兵器的不断更新.枪、炮是作战的主要武器之一.上世纪以火药作为推动力运送炮弹,将火药置于密封的枪、炮管中,火药爆炸时产生的高温高压气体将弹体推射出去.随着作战空间的不断加大,火药对提高炮弹在炮口的发射速度的能力已很有限,很有必要另辟新径.

1985年,美国国防科学委员会在装甲/反装甲技术讨论会上就得出结论:“未来的高性能兵器必然以电能为基础.”^[1]电磁炮是利用电磁发射技术制成一种先进的杀伤武器,未来的物理教师很有必要了解电磁炮的基本原理.

目前的电磁炮主要有轨道炮和线圈炮,而线圈炮的基本原理可以用电磁学知识来分析,为了加强理论与实践应用的联系,我们着重介绍线圈炮.

1 线圈炮的基本原理

线圈炮的主要部件是螺线管,它是线圈均匀地密绕在炮筒上,螺线管的单位长度的匝数为 n ,炮筒的内半径为 R , l 为螺线管的长度.螺线管通入电流 i_1 时,根据电磁学理论^[2],螺线管沿轴的 $B-x$ 关系如图1,在螺线管中部磁场均匀,端口附近磁场发散.螺线管端口附近 p 点 B 的轴向分量为

$$B_x = \frac{1}{2} \mu_0 n i_1 \left(1 - \frac{x}{R}\right) \quad (1)$$

式中 μ_0 为真空磁导率, x 为 p 点坐标, B 径向分量为

$$B_r = \frac{\mu_0 n i_1}{4R} r \quad (2)$$

(2)式 r 中为离螺线管轴线的距离.

• 收稿日期:2002-06-10.

作者简介:潘彩娟(1965-),广西百色市人,广西右江民族师专物电系讲师,主要研究方向:大学物理及其实验的教学;覃焕昌(1967-),广西乐业县人,广西右江民族师专教务处副处长,电子工程师;黄红强(1965-),广西田东县人,广西右江民族师专物电系,讲师.

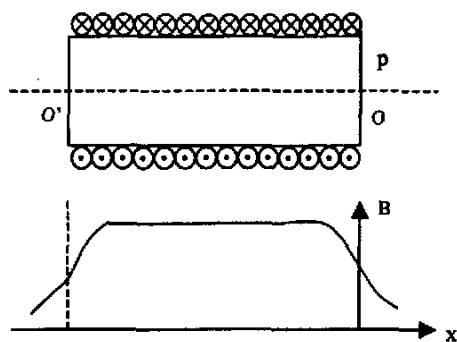


图 1 B 沿轴线分量

1.1 线圈弹体

弹体 a 绕有一定数量的线圈,如图 2 所示。当螺线管通入电流 i_1 时,弹体线圈感应电流为 i_2 ,为计算方便,在发生相互作用瞬间,可认为 i_1 、 i_2 为恒量。根据安培力公式

$$d\vec{F} = i_2 d\vec{l} \times \vec{B} \quad (3)$$

利用斯托克斯(G. G. Stokes)公式

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \iint (\nabla \times \vec{B}) \cdot d\vec{s} \quad (4)$$

可以推出弹体线圈在磁场中所受平移力的公式为

$$\vec{F} = \oint i_2 d\vec{l} \times \vec{B} = i_2 \nabla \Phi \quad (5)$$

Φ 为穿过弹体线圈的磁通量。

利用(5)式可以算出线圈弹体在螺线管端口处所受的平移推力为

$$\vec{F} = \frac{1}{2R} n \mu_0 i_1 i_2 s \hat{x} \quad (6)$$

其中 s 为弹体的截面积。所以,线圈弹体在螺线管端口处受斥力作用。

若弹体在螺线管中部时,

$$\nabla \Phi = 0$$

因此,线圈弹体在螺线管中部受磁场的平移力为零。

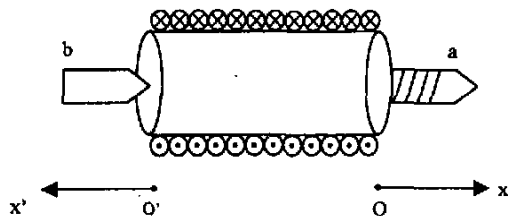


图 2 线圈弹体

1.2 铁磁质弹体

弹体为铁磁质材料,设铁磁质弹体 b 与螺线管相对位置为 x' ($x' < l$),利用安培环路定律, x' 处 H 的大小为

$$H = n i_1 / (x' + l)$$

穿过弹体截面的磁通为

$$\Phi = \mu_0 n i_1 s / (x' + l) \quad (7)$$

根据磁通连续定理,穿过每一匝线圈的磁通量等于上式,从而得到螺线管的电感为

$$L(x') = \frac{n\Phi}{i_1} = \frac{\mu_0 n^2 l^2 s}{x' + l} \quad (8)$$

由于电感 L 与几何形状有关,从(8)式看这时螺线管电感是 x' 的函数。

系统的总能量为

$$W = \int_{x' \text{ 为常数}} i_1 d\Phi \quad (9)$$

把(8)式带入(9)式,由于 x' 保持常数,使电感也是常数,因此,可把电感拿到积分号外,

$$W = \frac{1}{L(x')} \int_0^\Phi \Phi d\Phi = \frac{1}{2} L(x') i_1^2 \quad (10)$$

根据虚功原理,沿 x' 轴方向的力为

$$f_{x'} = - \frac{\partial W}{\partial x'} \bigg|_{\Phi} = \frac{1}{2} i_1^2 \frac{dL(x')}{dx'} \quad (11)$$

把(8)式带入(11)式,可求得弹体受到沿 x' 轴方向的力为

$$f_{x'} = - \frac{\mu_0 n^2 l^2 s i_1^2}{2(x' + l)^2} \quad (12)$$

负号表示铁磁质弹体受力的方向与 x' 轴的方向相反。所以铁磁质弹体被螺线管吸引,而不是被排斥,这与我们的实验结果是一致的。而且电磁学知识也表明,铁磁质物质被吸引到较强的磁场区域。

若铁磁质弹体放在螺线管中部,则

$$\frac{\partial W}{\partial x'} = 0$$

所以,铁磁质弹体在螺线管中部时,所受到的轴向作用力也为零。

2 实验模拟

线圈弹体的发射与我们在文献^[3]中的交流跳圈演示实验相同,在此我们就不再赘述。我们着重讨论铁磁质弹体发射的模拟实验。

我们设计如图 3 的电路图,用直径为 0.4mm 的漆包线绕在内径约为 6mm、长 15cm 的玻璃管上,漆包线绕 1000 匝,做成长 6cm 的螺线管。用 220V 交流

电通过整流电路整流,对两个并联电解电容器(共 $800\mu\text{F}$)充电,k为触动开关.弹体为直径3mm、长为4cm的普通铁钉,去掉铁钉的粗头.实验时把铁钉尖端放入螺线管口约0.5cm处.

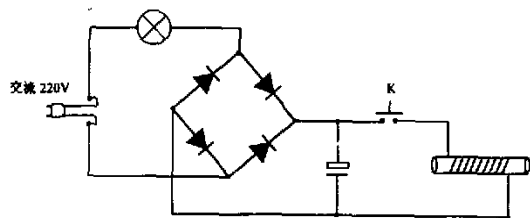


图3 模拟实验电路图

2.1 弹体速度大小的演示

炮弹获得的动能 E_k 与电容器的电能 $W_c (= \frac{1}{2}QU)$ 成正比,电压 U 一定时,电量 Q 与充电时间成正比,利用充电时间的长短来调节弹体发射速度的大小.我们在演示中,质量为4克的铁钉,发射速度可以达到15.1m/s.

2.2 螺线管中部是匀强磁场

把弹体放入螺线管中部,让电容器充电一段时间,触动k,炮弹并没有飞出.说明螺线管中部的磁场是匀强磁场.

3 实际应用

电能是电磁炮的能量来源,在装配中要有性能良好的储能器,一旦发射需要,能在瞬间提供高强度的电流脉冲.在实际应用中,为使弹体获得很高的发射速度,弹体必须获得一系列的加速.在炮筒上固定若干线圈,依次向这些线圈通电.由于线圈弹体与铁磁质弹体的受力方向不同,因此弹体发射前所放位置不同.线圈弹体应放置在加速线圈的右边,而铁磁质弹体应放置在加速线圈的左边.

电磁炮的应用对以火药为动力的传统火炮是一次大的军工技术革命,它具有广阔的应用前景.把电能作为炮的能源,大大提高炮的动力,从而提高炮弹的威力,并且可实现高反应自动化的有效控制.

[参 考 文 献]

- [1]陈心中,徐润君.未来武器的物理学基础[J].现代物理知识,1994,(6).
- [2]梁灿彬,秦光戎,梁竹健.电磁学[M].北京:高等教育出版社,1985.
- [3]潘彩娟.交流跳圈演示实验的研究与改进[J].物理通报,2002,(6).
- [4]杨世荣.火炮新秀——电磁炮[J].工科物理,1993,(10).
- [5](美)J.D杰克逊著,朱培德译.经典电动力学[M].北京:高等教育出版社,1983.

[责任编辑 黄祖宾]

[责任校对 苏 琴]

(上接第59页)

Abundant Concentration of Lead on the Sample of Bronze drum in Viet Nam and Survey for Lead isotopic

WEI Dong-ping¹, PANG Ming-hui², WAN Fu-bin³, YE Ting-hua⁴

(1.Chemistry Department of Guangxi University for Nationalities, Nanning 530006; 2.Chinese University for science and technology, Hefei 230029; 3.Research Office on the history of science and technology of Guangxi University for Nationalities, Nanning 530006; 4.Research centre of Viet Nam Social science, Hanoi)

Abstract: On the basis of the composition analyses for 80 samples of bronze drums and some samples of ore, these tests determine the lead isotopic of the samples, to obtain test data for deep research.

Key Words: Viet Nam, Bronze drum, lead isotopic

电磁炮基本原理的教学与实验模拟

作者: [潘彩娟](#), [覃焕昌](#), [黄红强](#)
作者单位: [右江师专物理与电子信息科学系, 广西, 百色, 533000](#)
刊名: [广西民族学院学报\(自然科学版\)](#)
英文刊名: [JOURNAL OF GUANGXI UNIVERSITY FOR NATIONALITIES \(NATURAL SCIENCE EDITION QUARTERLY\)](#)
年, 卷(期): 2002, 8 (4)
引用次数: 2次

参考文献(5条)

1. 陈心中. [徐润君 未来武器的物理学基础](#) 1994 (6)
2. [梁灿彬, 秦光戎, 梁竹健 电磁学](#) 1985
3. [潘彩娟 交流跳圈演示实验的研究与改进](#) [期刊论文]-[物理通报](#) 2002 (6)
4. [杨世荣 火炮新秀—电磁炮](#) 1993 (10)
5. [J D 杰克逊, 朱培豫 经典电动力学](#) 1983

相似文献(10条)

1. 期刊论文 [杨玉东, 王建新, YANG Yu-dong, WANG Jian-xin 电磁炮发射原理数值建模与分析 -火炮发射与控制学报](#) 2008 (4)

为探寻电磁炮运动参数的变化规律, 对等离子电枢运动过程进行了理论分析, 建立了电枢速度和电流之间的数学模型. 模型中考虑了电枢运动中所受的主要阻力, 包括等离子体的粘滞阻力和惯性阻力. 另外, 通过多次的仿真数据与实验结果比较, 选取了能够较好地符合实际电枢运动过程的弧压数据. 建立的仿真模型应用于实际系统进行预测, 预测结果与试验结果相吻合.

2. 学位论文 [刘彦鹏 轨道-线圈复合型电磁炮发射机理研究](#) 2008

电磁炮是利用电磁力加速弹丸的新概念武器, 具有炮口速度高、能量利用率高、性能优良和可控性好等远胜于传统火炮的优点. 轨道炮和线圈炮是电磁炮的基本类型, 但它们互有优劣, 轨道-线圈复合型电磁炮则将二者结合起来. 本文对复合型电磁炮的发射机理进行研究, 着重研究复合后的新机制, 并针对出现的新问题提出了解决方法. 首先, 从物理学原理出发对电磁发射理论进行分析. 将基于各种电磁炮的分立加速机理整合为统一的理论, 论述了驱动力的电感梯度表示的来源及适用条件, 讨论了驱动力的安培力表示和电感梯度表示的等价性. 定义了牵引式和推进式电磁发射, 得到了关于能量转换效率的一些普遍结论. 初步分析表明复合型电磁发射存在轨道、线圈交叉作用项. 其次, 对一种以铁磁体弹丸线圈炮为主的特殊复合炮进行研究, 主要侧重于饱和磁化情形下系统的性能潜力. 数值计算结果显示强磁场条件下弹丸获得的动能与线圈电流成线性关系, 系统的能量转换效率则随电流增大而降低. 最后, 系统地研究了一种弹丸由铝块和铜线圈组成的复合炮, 并提出了改进型的四轨复合炮, 分析与计算了它们的驱动力、轨道-线圈交叉作用项及其对发射性能的影响. 结果说明交叉作用使普通的双轨复合炮弹丸与炮管间存在较大的压力, 导致弹丸运动不稳定及摩擦阻力, 而四轨复合炮基本消除了交叉作用的不利影响, 系统性能显著优于双轨复合炮. 因此, 复合型电磁发射应当采用多对导轨对称分布的推进式电磁发射方案.

3. 期刊论文 [田均光 关于电磁炮的原理及发射条件的探究 -物理通报](#)2007 (4)

教科版九年级《物理》上册第四章第二节中, 在知识扩展部分引入了“电磁炮”的例子. 虽然电磁炮本身存在已久, 但由于它既没有什么实用价值, 又对理论研究无太大指导作用, 所以在传统的物理教材中 (包括中学物理教材和大学物理教材) 均没有将它引入其中.

4. 期刊论文 [党瑞荣 冲击大电流的产生与测量 -火炮发射与控制学报](#)2000 (2)

阐述了线圈式电磁炮、轨道式电磁炮、飞片式电磁炮及电热炮的原理、特点和用途. 针对各种电磁炮利用冲击大电流工作的共同特点, 分析了冲击大量流的产生方法, 并求解出电流方程和电流峰值, 用研制的起爆电路进行了桥箱起爆试验, 并用罗尔夫斯基线圈冲击电流进行了测量, 取得了较好的效果.

5. 会议论文 [王喆, 闫海青, 钟鼎, 王克起 多功能电磁炮演示仪的研究](#) 2007

笔者研制了一种多功能电磁炮演示仪, 它能演示线圈电磁炮原理、斜抛体射程与发射角关系、“炮打落猴” (验证抛体运动是水平运动和自由落体运动的合成、也验证了抛体运动矢量方程的正确性)、安培力 (验证左手定则)、通电线圈的收缩 (验证通电导线间具有电磁力相互作用)、炮弹在线圈中位置与射程的关系、线圈匝数与射程关系、弹体类型 (如管形弹体、钢珠弹体等) 与射程关系、电容器的充电与放电等电磁学和力学演示内容.

6. 学位论文 [葛霞 电磁炮发射过程中电磁场环境的分析与应用研究](#) 2009

随着军事技术的不断进步和完善, 目前的发射装置如火炮、火箭等化学类发射器已不能满足人类对发射能力的更高要求, 在此情况下产生了新一代的超高速电磁发射技术. 电磁发射技术是发射理论和军事技术发展上的又一次重大突破, 它具有发射速度高、能源简省、效率高、性能优良、可控性好和结构多样等普通发射技术不可比拟的优点, 使其在未来军事及其相关领域有着重大的科学意义和应用前景. 目前电磁炮发射的都是动能弹丸, 把引信应用于电磁炮发射的高爆弹中, 其应用的研究还处于起步阶段. 本文旨在探讨利用电磁线圈炮发射过程中产生的磁场环境作为引信解除保险环境的可能性, 对今后利用电磁炮发射的高爆弹丸引信安全系统设计具有较大的潜在应用价值. 本文首先论述了电磁发射技术在国内外的发展历程及现状, 介绍了三种类型电磁发射器的原理. 然后确定本文的研究方案和计算模型, 对感应线圈炮的基本原理及参数设计准则进行了简单介绍, 推导出了单级线圈炮的电路和运动学特性方程. 用理论推导和数值计算得到有限长螺线管内部空间磁场分布; 针对磁驱动方式, 利用虚位移法计算了静磁场中永磁体受力, 并在实验的基础上详细分析了磁块在磁场中的运动状态, 得出磁场力在引信中应用的理论. 利用ANSYS有限元软件对感应线圈炮进行了磁场仿真分析, 通过磁通密度矢量图看出小磁体在定子线圈磁场中受力转动趋势, 验证了小磁体在磁场中受力最终必将指向磁力线的方向. 在以上的研究基础上, 针对引信安全与解除保险机构的解除保险过程, 推导了后坐滑块的运动方程、小磁体在定子线圈磁场中受力公式、引信转子转动方程及转子运动时间公式.

7. 会议论文 [王启亨 电磁炮系统脉冲大电流的测量原理](#) 1990

8. 期刊论文 [李明, 孙宏波, 朱经伟 新颖电磁炮 -科学24小时](#)2007 (3)

在我们掌握电磁能量储存、转换以及螺线的磁性等知识后, 并从电视上得知大多数导弹都是用火药发射的, 我们几个同学便渐渐地萌生了一个想法: 能否用电磁原理来发射炮弹呢?

9. 期刊论文 [陈庆国](#), [张海燕](#), [王永红](#), [魏新劳](#), [方崇志](#), [CHEN Qing-guo](#), [ZHANG Hai-yan](#), [WANG Yong-hong](#), [WEI Xin-lao](#), [FANG Chong-zhi](#) 电容器储能型轨道电磁炮的理论分析与动态仿真 - [电机与控制学报](#) 2006, 10(1)

为分析电容器储能型轨道电磁炮发射过程中的影响因素, 介绍了轨道电磁炮的基本原理, 建立了电容储能型轨道电磁炮的电路模型, 根据此电路模型和电路、电磁场及电动力学原理建立了用于描述轨道电磁炮中电磁过程的微积分方程. 同时, 建立了用于分析轨道电磁炮的动态仿真模型. 仿真结果表明, 被发射体的速度随驱动电容容量的增加而增加, 随被发射体的质量增加而下降.

10. 学位论文 [崔鹏](#) 新型电磁发射技术的研究 2005

电磁发射技术是在发射理论和技术发展上的又一次重大突破, 它具有的发射速度高、能源简易、效率高、性能优良、可控性好和结构多样等普通发射技术不可比拟的优点, 使其在未来军事、民用等相关领域有着重大的意义和应用潜力. 本文针对电磁发射技术进行了理论分析、仿真计算和实验研究。

首先, 介绍了三种类型电磁发射器的原理, 根据它们的特点, 选择效率较高的线圈型电磁发射器作为研究对象. 然后, 对感应型和磁阻型两种线圈发射器的加速机理进行分析, 在此基础上, 得到了两种线圈发射器的设计准则. 由于理论分析的误差较大, 利用有限元分析软件进行仿真计算, 两种线圈发射器的仿真结果验证了设计准则的正确性、优化了结构参数. 综合两种线圈发射器的特点和各自的结构参数, 设计出了一种新型线圈发射器, 对新型线圈发射器进行仿真分析的结果表明, 该新型发射器既可实现磁阻型发射, 又可实现感应型发射, 具有良好的发射效果和应用价值. 最后, 根据理论分析和仿真结果, 搭建了一种磁阻型线圈发射系统, 实验结果说明该发射系统克服了传统磁阻型发射器放电时间难于控制和线圈结构复杂的缺点, 实验数据很好地验证了新型发射器的理论设计和仿真结果, 为今后的学习积累了实验数据和实践经验, 为进一步的研究探索提供了指导。

引证文献(2条)

1. [刘元恒](#), [刘少克](#), [崔鹏](#) 磁阻型四级线圈发射器控制系统的优化及实验研究[期刊论文]-[电气应用](#) 2007(06)
2. [崔鹏](#), [刘少克](#), [罗宏浩](#) 基于时控方法的感应线圈发射器研究[期刊论文]-[电气应用](#) 2006(05)

本文链接: http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_gxmzxyxb200204025.aspx

下载时间: 2010年3月20日