

电磁炮的原理与技术发展

黄 强 郭东桥 卞光荣

随着材料科学的发展,复合装甲、高强度陶瓷装甲、贫铀装甲的使用,以及爆炸反应装甲的出现,大大提高了装甲的抗毁能力,对破甲技术提出更高的要求。为此,人们在相继研制出一系列新型破、穿甲战斗部的同时,也注意开发研究某些新概念超高速动能穿甲武器,电磁炮就是其中一种。

一、电磁炮的基本原理

电磁炮是利用物理学中运动电荷或载流导体在磁场中受到电磁力(即洛伦兹力)作用的基本原理来加速弹丸的。根据加速方式,电磁炮可分为导轨炮和线圈炮。

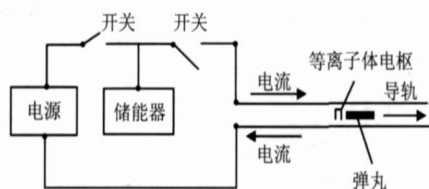


图1 导轨炮工作原理

导轨炮 导轨炮的工作原理如图1所示。主要由一对平行导轨和夹在其间可移动的电枢及电源、开关等组成。当开关闭合时,向一条导轨输入强大的电流,经过电枢沿另一条导轨流回。载流电枢在导轨电流产生的磁场中受到洛伦兹力的作用而被加速,将弹丸射出。电枢弹丸所受的力可表示为

$$F = L I^2 / 2, \quad (1)$$

其中 F 为洛伦兹力(N)、 L 为导轨电感梯度(H/m)、 I 为电流强度(A)。弹丸的加速度则为

$$a = F / m = L I^2 / 2 m, \quad (2)$$

式中 a 为加速度(m/s²)、 m 为电枢与弹丸的质量之

和(kg)。由(2)式可见,导轨中的电流强度越大,弹丸的加速度就越大,弹丸的运动速度越快。

导轨炮的导轨有单一、串联、并联和多层等不同结构形式,根据导轨的形式,炮口截面可选用方形、圆形和椭圆形等。电枢主要有固态金属电枢、等离子体电枢和混合型电枢等种类。提供脉冲功率的电源主要有电容器组、高性能蓄电池、各种单极发电机、脉冲变压器、强制发电机和爆炸发电机,以及计划研制的超导储能系统等。整个系统结构复杂,人工操作比较困难,通常由计算机控制(见图2)。

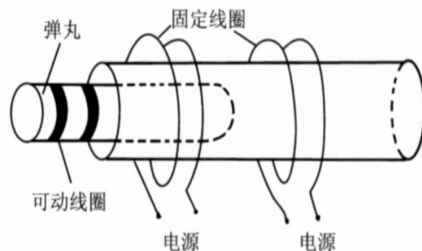


图3 线圈炮工作原理

线圈炮 线圈炮的工作原理如图3所示。主要由感应耦合的固定线圈、可动线圈、储能器以及开关等组成。固定线圈相当于炮身,可动线圈相当于弹丸。当固定线圈接通电源时,所产生的磁场与可动线圈上的感应电流相互作用,产生洛伦兹力,推动可动弹丸线圈加速射出。弹丸所受的力可表示为

$$F = I_f \cdot I_p \cdot dM / dx, \quad (3)$$

其中 F 为洛伦兹力(N)、 I_f 为固定线圈中的电流强度(A)、 I_p 为弹丸线圈中的电流强度(A)、 M 为固定与可动线圈的互感(H)、 dM / dx 为互感梯度(H/m)。由(3)式可知,固定线圈中的电流强度越大,弹丸线圈中的感应电流强度就越大,弹丸所受的电磁力就越大。

线圈炮的结构有同轴式、扁平式、滑动接触式和磁性加速体式等。电磁炮从原理上讲主要有上述两种类型,但在结构上可以采用混合方式。

二、电磁炮的主要特点

超高速、大动能 采用物理学电磁推进原理的电磁炮,弹丸速度突破了普通火炮(弹丸速度在

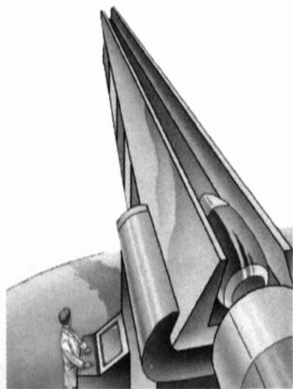


图2

2000m/s 以内)的性能极限,达到 4000m/s,因而弹丸具有巨大动能,大大增强了对目标的毁伤能力。

穿甲能力强、命中精度高 穿甲公式为

$$b = V^{1.43} m^{0.75} / K^{1.43} d^{1.07}, \quad (4)$$

其中 b 为穿甲厚度(dm)、 V 为炮弹着靶速度(m/s)、 m 为炮弹质量(kg)、 K 为装甲抗弹系数、 d 为弹丸直径(dm)。可见,弹丸速度增大将大幅度提高穿甲能力。另一方面,弹丸速度高可缩短交战时间,增加对付快速目标的有效性,减小横向脱靶距离,从而提高命中率。

操作安全简便、系统效费比高 电磁炮弹丸的初速和射程可通过改变电流强度的大小来控制。在发射过程中,弹丸加速均匀,几乎没有火焰、烟雾、响声和后坐力,利于隐蔽作战。整个系统由计算机控制,操作简便、安全性好。电磁炮几乎全部发射重量都是有效载荷,其主要能源一般是采用低级燃料的燃气轮机或柴油机,发射能量转换率相对较高,使得单位能量成本较低,加上弹丸价格便宜,因而整个系统的效费比较高。

鉴于电磁炮具有上述特点,在穿甲时,弹丸能在爆炸反应装甲爆炸前将装甲击穿,并可穿透复合装甲,是一种极具发展潜力的新型穿甲武器。

三、电磁炮的发展现状

自上世纪 80 年代以来,电磁炮技术的研究取得了多方面进展,应用领域日趋广阔。

美国于 1982 年研制成功实验级导轨炮,弹丸质量 317g、初速 4200m/s。1992 年夏,美国研制成功世界上第一套完整的 9MJ 靶场导轨炮,并在陆军尤马试验场进行了发射试验,迈出了电磁炮走出实验室的第一步。该炮是一个连续发射系统,全重 25t,能以 2500~4000m/s 的初速齐射 9 发弹丸,炮口动能 9MJ。2006 年 7 月,英国 BAE 系统公司与美军方签约,为美国海军设计和制造 32MJ 实验室型发射装置,旨在为下一步发展 64MJ 战术型电磁轨道炮奠定基础。图 4 为计划制造的 32 兆焦实验室型发射装置的外形图,图中右边部分为身管截面图。与此同时,美国还进行了电磁炮发射超高速动能弹的研究。内容包括弹道陶瓷的处理,新型合金的研制与钨、贫铀的加工方法,开发轻质高强度金属陶瓷等。

尽管电磁炮的研究取得了很大进展,已完成从基本原理到可行性的论证工作,但是要将电磁炮转化为实用的武器系统仍存在诸多难题,比如怎样减

小电磁炮体积和重量、降低能耗、提高效率 and 解决炮管易损等。

四、电磁炮的发展趋势

目前,以美国为代表的许多发达国家正在针对电磁炮研究中存在的问题,有计划地开展电磁炮实用性研究和野外试验。具体的研究方向有以下几个。

能源小型化 体积和重量是电磁炮武器化和战术应用的主要障碍之一,而这两者主要由脉冲功率源及功率调节装置的能量密度和功率密度所决定。要减小体积、降低重量,必须实现能源小型化。因此,今后将进一步开发高能量密度和高功率密度材料,以研制小型轻质脉冲功率源。新研制的盘式交流发电机经整流可直接向电磁炮供电;高能量密度电池已研制出面积为 1.3cm^2 、功率密度达 755kW/kg 的样品。采用先进的线圈炮技术以提高能量密度和功率密度,减小系统的体积和重量,也是重要的研究发展方向之一。

采用高新技术、提高系统效率 高新技术的发展为电磁炮的研制提供了条件,将超导材料用于电磁炮是新的发展趋势。超导材料的电流密度和储能密度极高,储能效率达 $60\% \sim 90\%$,将其用于储能线圈、发电机、磁体和开关等,不仅有利于电磁炮小型化、提高射速,而且可减小能量损失、大大提高系统效率。另外,采用多级、多层、多段(节)和分布电源多模块结构的导轨也是一条重要途径。多模块结构可以减小导轨的能量损失,提高系统的能量转换效率至两倍左右。

在加速方式上,目前正加紧研究线圈加速技术。虽然线圈加速方式在技术上不如导轨炮成熟,但线圈炮加速时弹丸与固定线圈间是非接触的,且不产生高温等离子体,所需的工作电流也比导轨炮小,因而系统的能量转换效率高、损失小。



图 4 32 兆焦实验室型导轨炮

加紧新材料的研究、提高系统寿命与性能 新型材料的研究主要有:电池用新型电化学材料,电容器用聚合物电介质材料,脉冲发电机储能用石墨 -

现代物理知识

三类发射光谱产生机理的对比

朱建伟

在中学物理新教材中,对光谱部分的要求有所变化,连续光谱的要求有所降低,分子光谱基本不涉及,而原子光谱要求有所提高。原子光谱更加突出与玻尔理论的联系,量子理论得到进一步渗透。为了比较全面地了解三类光谱的区别,这里对它们的产生机理作一下对比。

一、线状光谱

稀薄气体通以适当高的电压后能够发光,利用分光镜可以观察到它的光谱,但是只有几条分立的亮线。也就是说,稀薄气体通电时只发出几种确定频率的光。不同气体光的亮线位置不同,表明不同气体发光的频率是不一样的。图1分别是锂、氦、汞三种元素的线状谱。

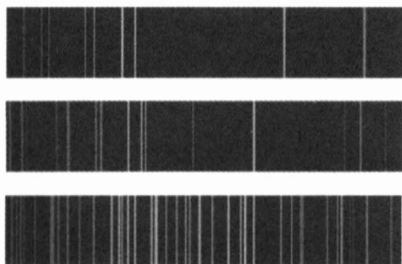


图1 锂、氦、汞三种元素的线状谱

根据玻尔原子理论,氢原子等发出的光谱是因原子内部两能级之间电子发生跃迁产生的。当原子从高能级跃迁到低能级时,辐射光子的能量等于前后两个能级之差,即 $h\nu = E_m - E_n$ 。式中 h 是普朗克常量, ν 是辐射光子的频率, E_m 、 E_n 分别是氢原子处于 m 、 n 能级的能量值。图2是氢原子能级的示意图,由于原子的能级不连续,所以辐射的光子的能量也是不连续的,从光谱上看,原子辐射光波的频

率为若干分立值。由于不同原子的结构不同,能级也就不同,它们辐射的光子波长一般也不同,不同元素的光谱中的谱线分布各不相同。借此可对物质进行光谱分析。这种分立的线状谱又叫原子光谱。

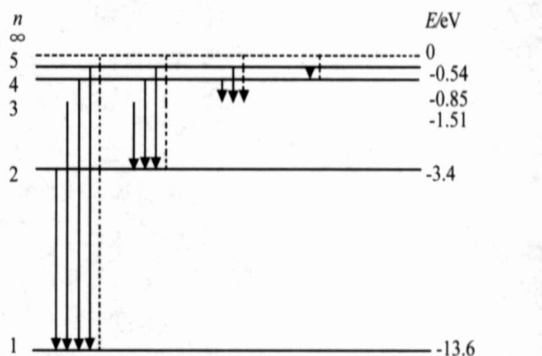


图2 氢原子的示意图

与上述物理过程相反,若是让一束高温的白光通过低压气体,白光中某些能量值就会被低压气体所吸收,从而“丢失”相应频率的光子,从光谱学的角度,就形成了背景明亮、只有几条暗线的光谱。这类光谱往往称为吸收光谱。

二、连续光谱

连续光谱是由炽热的固体、液体和高压气体产生的,由连续分布的一切波长的光组成。实验中已经接收到连续光谱(如图3)。那么连续光谱产生的机理是怎样的呢?原来,物质内部的有些电子离原子核很远时,电子具有动能,它不是电子在量子轨道上运动所具有的动能,并且一定为正值,所以这时系



图3 连续谱

环氧等复合材料,耐高温、高强度、高能量密度电感储能材料;高强度、耐烧蚀、耐腐蚀的导轨、电枢和电极材料;石墨、陶瓷等耐高温、耐烧蚀炮管绝缘材料;大载流、高强度、高频率开关和大功率脉冲固态开关材料。

除上述一些基础研究外,国外还计划采用先进的计算机技术进行电磁炮的模拟仿真、性能测试和结果预测。

经过近20年的研究,电磁炮技术在理论上已基本成熟,开始向武器化、实用化发展。电磁炮的穿甲能力已被实验所证实,武器化的电磁炮可以击毁火炮所不能击毁的新型坦克装甲。预计在不远的将来,电磁炮将会作为新一代重要的穿甲武器出现在战场上,在未来战争中起到极其重要的作用,并产生深远的影响。

(江苏省徐州空军学院航空弹药系 221000)