

⑤

32-35

电磁轨道炮高速发射实验

李宗毅 龚兴根 周之奎 高顺受

冷观松 夏素云 吴杏梅 陈秋华

TJ 012-15

摘 要 本文介绍了进行电磁轨道炮实验的线路、参数、实验装置、测试方法。实验中将 1.27g 聚碳酸酯弹丸加速到 5km/s 以上的速度。

关键词 电磁轨道炮 等离子体电枢 储能电感

一、前 言

1978年,澳大利亚国立大学(ANU)的 Marshall 等人用单级发电机作能源,在 5m 长电磁轨道炮上利用等离子体电枢将 3 克重塑料弹丸加速到 5.9km/s。从实验上证明了使用等离子体电枢轨道炮加速克级以上弹丸到超高速的可行性,从而为超高速发射提供了一种新的有效途径。由于电磁轨道炮不存在工作介质的声速限制,更显示出比其它加载手段(如气炮等)的优越性。因此,受到军事及科学技术诸多领域的高度重视而迅速发展。

我们建立了一套以 800kJ 电容器组为能源,包括开关、控制、炮体、诊断、数据处理在内的一套较为完整的电磁轨道炮的实验研究系统,以研究发射克级弹丸达到超高速。本文介绍的“lg-5km/s”实验,检验该系统在大电流下运转的可靠性,以及计算模拟对于高速发射的适用性。并对能量转换效率的提高提出了较简便的途径。

二、实验系统

电磁轨道炮实验系统由能源、开关、炮体、控制、诊断、数据处理几部分组成,图 1 为运转回路及系统各部的配置关系。

能源由 400 台 JZW25-2000 型电容器组构成,总储能 800kJ,均分成四组,每组通过

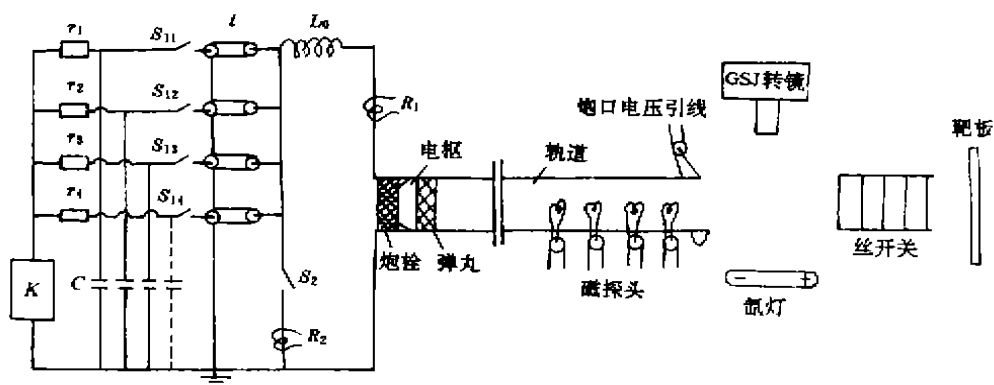


图 1 实验系统配置示意图

一个闭合开关 S_1 实现对回路的放电。

储能线圈 L_0 为螺旋管结构,用以调整电流波形,减小电流衰减斜率。

表1 RG-IV炮、RG-V炮炮体参数

类型	炮膛口径	炮膛长度	轨道电感梯度 L'
RG-IV	10mm×10mm	1.3m	0.368μH/m
RG-V	10mm×10mm	1.9m	0.303μH/m



图2 阴影法扫描照片

主放电开关 S 和短路开关 S_1 由两种不同结构的爆炸开关^[3]构成。

实验中分别使用了RG-IV型^[2]和RG-V型两种不同结构轨道炮。两炮的基本参数见表1。弹丸采用纯聚碳酸酯材料制造。

诊断主要包括弹丸的内、外弹道测量和运转回路的电参数测量。内弹道使用沿炮膛轴向分布的磁探头感应等离子体电枢前沿的信号,由此推断弹丸的位移及速度;外弹道主要使用阴影照相法,它以脉冲氙灯作背景光源,GSJ高速转镜相机单狭缝扫描记录弹丸的分形轨迹。由于阴影照相法不受电磁干扰的影响,记录可靠,我们以此作为速度测量的主要手段(如图2所示);断丝开关测速法作为弹丸外弹道速度测量的辅助手段,在实验中也使用,Rogowski线圈(R)用于回路电流的测量;炮口、炮尾电压使用光电法^[3]测量。

三、数值模拟与实验结果

上述实验线路的等效回路及数值模拟工作已有叙述^[4]。本实验使用了上述能源中的

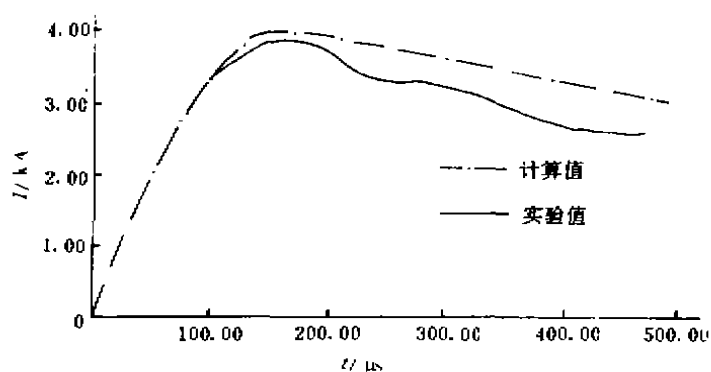


图3a RG-IV炮实验 $i-t$ 曲线

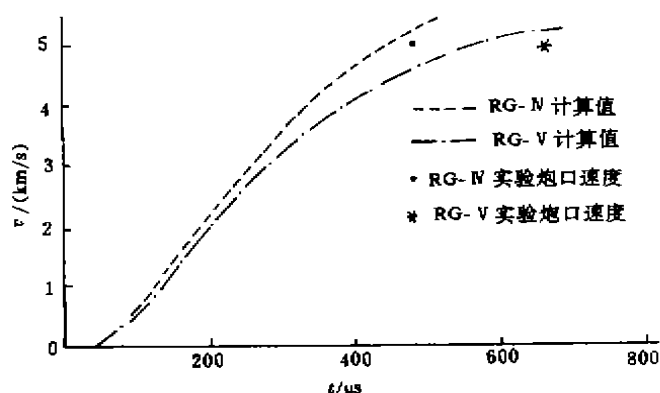
图 3b 计算与实验 $v-t$ 曲线

图 4 靶板照片

表 2 实验、计算中的主要参数值

参数	取值	参数	取值
能源电容量 C	1965 μF	炮口电压 V_0	200 V
充电电压 V_{00}	23 kV	弹丸质量 m	1.27 g
储能电感 L_0	4.88 μH		

三组供电。表 2 列出了实验、计算中的主要参数值。图 3 表示了计算结果及实验结果。在 RG-V 炮的发射实验中将 1.27 g 弹丸加速到 5.02 km/s 速度,在该炮的实验中,还作了弹丸穿靶实验,体积为 10mm $\times$ 10mm $\times$ 9mm 的聚碳酸酯弹丸将 15mm 厚 A₃ 钢靶板撞出一坑口直径 24mm、坑深 10mm 的凹坑,并使靶板底部撕裂(见图 4)。

四、结 束 语

数值模拟与实验结果吻合较好,说明所用计算模型对超高速发射也是基本适用的。这为下一步的更高速度发射实验选取最佳回路匹配参数提供了一个经济有效的手段。

从实验中可以看到 RG-N 炮与 RG-V 炮的炮体长度相差较远,但在相同回路条件下取得了相近的发射结果。理论表明,理想状态下弹丸获得的动能为 $\frac{1}{2} L' x I^2$, 其中 L' 是轨道电感梯度; x 是弹丸在轨道内运行长度; I 是轨道电流。即在弹丸获得相同动能条件下 L' 与 x 成反比, RG-N 炮的 L' 较 RG-V 炮的大,所以其长度就可相应减短(见表 1)。轨道炮膛精度要求甚高,炮膛长度受到加工条件的制约,尽可能提高 L' ,无疑是避开炮体加工限制的有效途径。

我们已建立起一套较为完整的电磁轨道炮实验体系。提高能量转换效率将是研究的

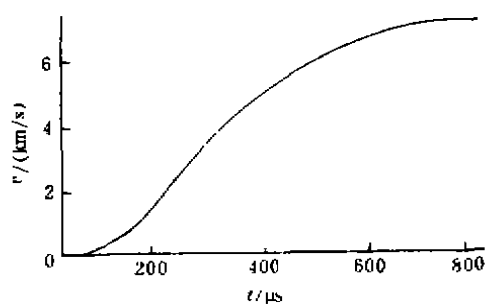


图5 $L=2\mu\text{H}$ 时RG-N炮预估 $v-t$ 曲线

加,炮体的强度及刚性要求也随之加强。

孙承伟研究员在此项工作中给予了多方面的指导,参加本工作的还有:史建勋、蔡明亮、陈英石、陈素年、张希林、韩俊玉、马绍根、张科、李洪涛等同志。

参 考 文 献

- [1] Gao Shou shou et al. (High Explosive Driven Closing Switches.) Megagauss Fields and Pulsed Power Systems, MG-V. 1990.
- [2] 李宗毅. RG-N型轨道炮设计总结. 内部报告,1989
- [3] 陈素年. 用光-电方法测量轨道炮的炮口电压. 内部报告,1991
- [4] 周之奎,陈秋华. 电磁轨道炮性能的数值模拟. 高压物理学报,1989,3(4): 308