

文章编号: 1003-1480 (2003) 04-0014-04

高能爆磁压缩装置在 SCB 冲击片雷管中的应用

李德胜, 赵晓利

(军械工程学院弹药工程系, 河北 石家庄, 050003)

摘要: SCB 冲击片雷管是一种高电压大电流起爆的钝感雷管, 存在电路中如何产生高压和进行高压隔离以保证安全的问题。作为一种强电流爆炸脉冲能源, 螺线管型爆磁压缩装置能在瞬时产生脉冲高电压大电流, 并能消除电路中动态电阻、电感的影响, 满足 SCB 冲击片雷管使用要求。

关键词: 爆磁压缩装置; SCB 冲击片雷管; 等效电路

中图分类号: TJ450

文献标识码: A

Application of High Energy HMCG in SCB Slapper Detonator

LI De-sheng, ZHAO Xiao-li

(Ordnance Engineer College, Shijiazhuang, 050003)

Abstract: The SCB slapper detonator is a kind of passivation detonator which is detonated by high voltage and great current. So how to generate high-voltage and insulate the high-voltage to ensure safety is a very key problem. Being a pulse energy with the strong electricity exploding, HMCG (Helix Magnetic Flux Compression Generators) is widely used in the technology of pulse power. It can not only generate high voltage and great current instantaneously, but also eliminate the influence of dynamic resistance and dynamic inductance in the electrocircuit. And then, it can meet the demands of SCB slapper detonator.

Key words: HMCG; SCB slapper detonator; Equivalent electrocircuit

SCB (Semiconductor Bridge, 半导体桥) 冲击片雷管是一种无起爆药的电雷管, 用于直列式爆炸系列。它靠 SCB 产生的等离子体的作用使飞片射出撞击到猛炸药上而引爆, 需要有高电压大电流的瞬时脉冲作用, 现在实际通用的是一种全电子安全系统的高压起爆器。该起爆器的电路比较简单, 但要求动态电阻小于几十毫欧姆, 电感小于几十纳亨。

作为一种强电流爆炸脉冲能源, 爆磁压缩装置在脉冲功率技术中有着广泛的用途, 它的能量放大

倍数高, 输出能量大, 可以有效地应用于 SCB 冲击片雷管中。

1 SCB 冲击片雷管

1.1 SCB 冲击片雷管的结构与作用原理

SCB 冲击片雷管的结构如图 1 所示。构成 SCB 冲击片雷管的主要元件有: 顶绝缘片 (飞片)、电桥、带中心孔的垫片、烈性炸药柱、顶部导体。电

收稿日期: 2003-05-19

作者简介: 李德胜 (1976-), 男, 硕士研究生, 从事火炮、自动武器与弹药工程研究。

桥（也称爆炸金属片）在高电压大电流瞬时产生脉冲作用下发生爆炸，推动顶部绝缘片，通过垫片的中心孔，以极高的速度冲击炸药柱，直接产生爆轰。爆炸金属片通常为 4mm 厚的铜箔，塑料飞片一般为 0.06mm 的聚酰胺，垫片厚度与飞片相当，内径为 0.05~1.00mm，药柱厚度约 0.1mm。它是一种片状雷管，整个雷管厚度可以小至 1mm。

SCB 冲击片雷管作用原理如图 2 所示，它是靠 SCB 产生的等离子体的作用使飞片射出撞击到猛炸药上而引爆。作用过程为：在发火电路产生的大电流作用下，电桥爆炸从而使位于电桥下的塑料飞片炸裂成微粒并沿其下的圆盘加速孔撞击钝感药柱并将其引爆。在上述过程中，电桥的正确作用需要发火电路产生的电流脉冲具有很陡的上升沿，以便能够在短时间内向电桥传送足够大的能量。当在短时间内电桥得到的能量大于或等于其汽化所需的能量时，电桥产生爆炸并使塑料微粒有足够大的速度撞击钝感药柱并将其引爆。当点火脉冲电流上升沿过于平缓或峰值较低时，电桥将由于得到的能量较小而仅像普通保险丝那样熔化，雷管不能正确使用。

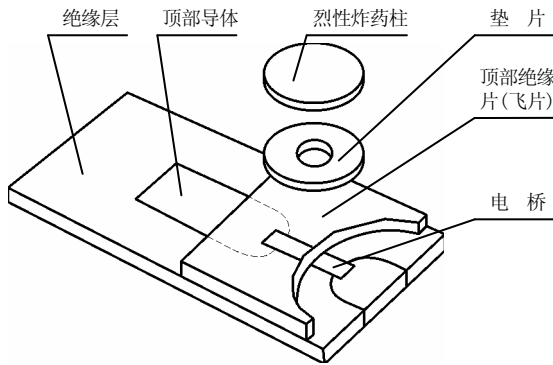


图 1 SCB 冲击片雷管结构图

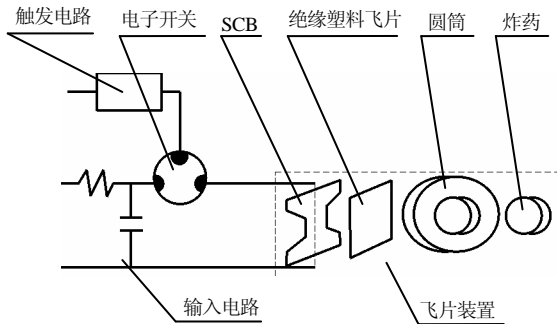


图 2 SCB 冲击片雷管原理图

1.2 SCB 冲击片雷管性能分析

SCB 冲击片雷管的起爆能量很高，起爆电压 2~3kV，起爆电流 2~4kA，作用时间 >1μs，电容储能 1J。它的发火取决于其起爆能量，而起爆能量最终归结于发火电路中高压电容器 C 上储存的能量。起爆时，电容器 C 放电，在发火电路中产生强大的电流，使电路中的金属桥箔爆炸，从而达到起爆的目的。雷管发火可靠与否，与发火电路中的大电流有密切关系。电流过大，发火电压（即 C 上的电压）相应就高，对电容器及其充电系统的要求相应提高；电流过小，即选择的发火电压太接近阈值时也会影响发火可靠性。现有资料表明，典型冲击片雷管发火电路的实测参数为： $L=100\text{nH}$ ， $R=70\text{m}\Omega$ ， $V=3\text{kV}$ ， $C=0.36\mu\text{F}$ 。

当桥箔细腰处长宽为 1mm，桥箔厚度取 1~5mm 时，其对应的可靠发火电流如表 1 所示。从表 1 中可以看出，发火电流在 2 000~4 000A。

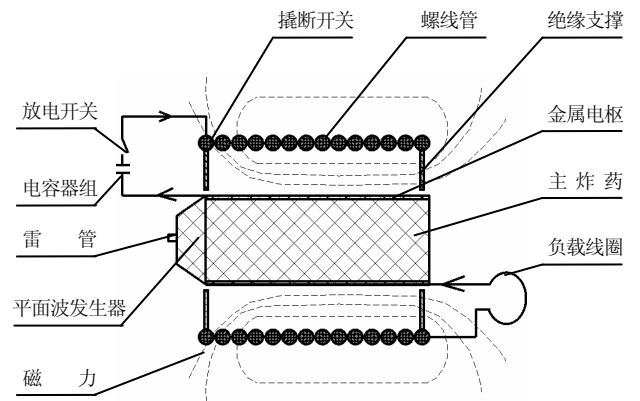
表 1 SCB 冲击片雷管可靠发火参数表

箔片厚度 /mm	可靠发火电流 /A	爆炸时间 /ns	脉宽 /μs
1	2 004	90	1.1
2	3 137	145	71.1
3	3 786	200	71.1
4	3 813	265	71.1
5	3 214	345	71.1

2 HMCg 装置结构设计与分析

2.1 HMCg 基本原理

螺线管爆磁压缩发生器作用原理如图 3 所示。



(a)

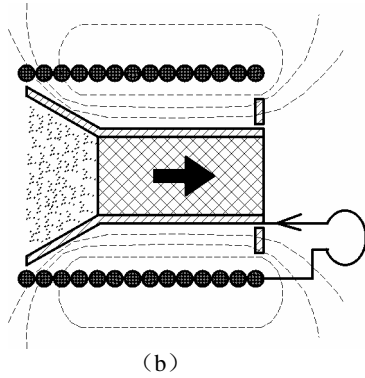


图 3 螺线管爆磁压缩装置作用原理图

它是一种把炸药的部分化学能转换成电磁能的能源装置，基本原理是：根据磁通量守恒原理， $\Phi=LI=$ 常数（其中 Φ 为磁通量， L 为回路电感， I 为回路中的电流），通过炸药爆炸驱动金属导体压缩磁通，改变电感部件，减少回路电感，结果负载中的电流和能量增加。这样，通过炸药爆炸反抗磁压做功，把炸药的部分化学能转换成电磁能。

当放电开关闭合时，电容器组对螺线管、负载和电枢形成的回路放电，电流在螺线管、负载和电枢所形成的空间中产生磁场，形如图 3 (a) 所示。延时控制器在电流快要达到最大值时引爆雷管，继而平面波发生器引爆主炸药。在炸药推动下电枢膨胀，撬断开关闭合，螺线管、负载、电枢和撬断开关形成的回路俘获磁通，装置中主炸药爆轰阵面沿图 3 (b) 中箭头所指方向推进，膨胀的电枢压缩磁场，由磁通量守恒，回路中的电流增大，装置运行完后，负载可得到十几到上百倍的电流。整个过程是炸药爆炸，推动金属电枢运动，炸药的化学能转为电枢的机械能，膨胀的电枢压缩磁场做功，磁场能量增加，机械能转化为电磁能。

2.2 HMCg 结构设计与等效电路图分析

HMCg 的装置简图和等效电路分别如图 4~5 所示。

图 5 中， C 为电容器组，充电电压为 V_0 ，火花隙开关 K_1 闭合后， C 对 K_1 、 $L_g(t)$ 、 $R(t)$ 、 L 、 R 构成的回路放电，当电流上升到最大值 I 时，撬断开关 K_2 闭合。假设 $L_g(t)$ 为装置 t 时刻的等效电感， $R(t)$ 为装置 t 时刻的等效电阻， Φ 为装置内磁通， a 用来表征螺线管型爆磁压缩发生器的磁通损耗系数， L_f 为负载电感， R_f 为负载电阻， $I(t)$ 为装置 t 时刻的电流， L_0 为装置初始电感， t_f 为装置运行完毕的时间。它的等效电路方程为：

K_2 闭合前：

$$\frac{1}{C} \int I(t) dt + I(t)[R(t) + R_f] + [L_g(t) + L_f] \frac{dI}{dt} = V_0$$

K_2 闭合后：

$$\frac{d\Phi}{dt} + L_f \frac{dI(t)}{dt} + [R(t) + R_f] I(t) - a \frac{dL_g(t)}{dt} I(t) = 0$$

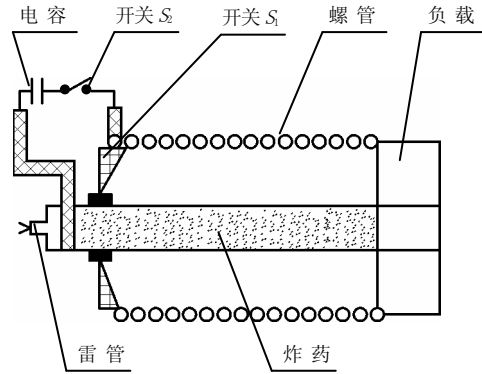


图 4 HMCg 装置简图

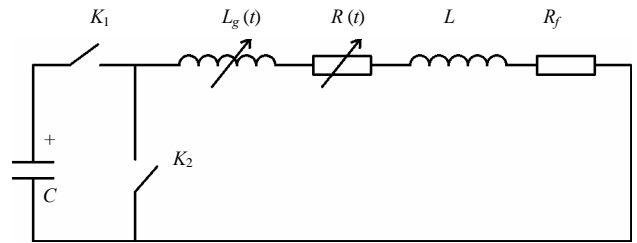


图 5 螺线管型爆磁压缩装置等效电路

当开关 K_2 闭合时定义 $t=0$ ，装置开始运行，雷管引爆炸药，膨胀的金属铜管不断压缩磁场，在负载电感 L_f 中形成电流及能量放大，压缩运行电路方程便可写为：

$$\frac{d\{[L_g(t) + L_f] I(t)\}}{dt} + [R(t) + R_f] I(t) = 0$$

解得：

$$I(t) = \frac{(L_0 + L_f)}{L_g(t) + L_f} e^{-\int_0^t \frac{R(t)+R_f}{L_g(t)+L_f} dt} I_0$$

式中的 $R(t)$ ， R_f 分别为 t 时刻螺线管型爆磁压缩发生器的电阻。

2.3 HMCg 性能分析

根据理论分析结果，对某型螺线管型爆磁压缩

装置,进行4次电感性负载试验,主要输出性能参数见表2。表2中 ρ_E 为炸药密度, L_0 、 I_0 分别为初始电感、初始电流, I_H 为负载电流, n_E 为能量放大倍数。

表2 某型HMCG初步试验结果

次数	$\rho_E / (\text{g}\cdot\text{cm}^{-3})$	$L_0 / \mu\text{H}$	I_0 / A	I_H / A	n_E
1	1.07	694.3	1.19	-	-
2	1.07	691.1	1.16	854.1	69
3	1.07	197.1	1.17	727.6	49
4	1.07	194.6	1.22	512.0	89

理论计算表明,调整装置、爆炸管长度、直径与壁厚及其电容、电感参数,能使HMCG输出电流、输出电压达到表1中SCB冲击片雷管的起爆作用要求。

3 结论

本文对螺线管型爆磁压缩装置在SCB冲击片雷管中的应用做了具体的分析和研究。结果表明,螺线管型爆磁压缩装置作为一种强电流爆炸脉冲能源,其各项参数、性能指标和安全性能能够满足

SCB冲击片雷管的作用要求。为了保证SCB冲击片雷管的可靠作用,在设计螺线管型爆磁压缩装置时,应有良好的结构特性,尽量降低装置磁通损耗系数,提高装置输出性能,以保证其作用的敏感性和可靠性。同时,应看到HMCG在作用过程中,使用了一种敏感电雷管,因此如何保证其作用的安全性,还有待以后做进一步的理论分析和研究。

参考文献:

- [1] 祝逢春,徐振相,周彬. SCB火工品的研究与发展 [J]. 爆破器材, 2001, (2).
- [2] 谢卫平,龚兴根,郝世荣. 爆磁压缩装置经组合功率调节系统产生高压的实验研究 [J]. 强激光与粒子束, 2001, (5).
- [3] 孙奇志,龚兴根,谢卫平. 高能爆磁压缩电流发生器理论分析与实验研究 [J]. 爆炸与冲击, 2003
- [4] 陈冬群,曹胜光,刘永贵. 爆磁压缩发生器试验技术 [J]. 实验技术与管理, 2003, 19, (3).
- [5] 王建华,高敏,陈军文. 冲击片雷管发火电流测量研究 [C]. 中国兵工学会引信分会第九届年会论文集, 1995.
- [6] 王军波,李彦学,高敏. 引信系统分析与设计原理 [M]. 北京: 解放军出版社, 2000.

50kV 抗静电感度测试仪研制成功

中国兵器工业第213研究所与驻所军代室自筹资金共同开发的50kV连续可调型抗静电感度测试仪,目前已通过上级有关部门鉴定,填补了一项国内空白,投入使用后已有相当数量的订货。

在军械装备的技术指标有了更高要求的情况下,为了适应市场经济要求,中国兵器工业第213研究所与驻所军代室自筹资金,采用了先进技术与传统做法相结合的方案,很好的解决了在50kV高压状态下漏、放电的问题,同时与电子部有关单位采用高新技术,解决了输出端串联的模拟人体电阻的无感性与耐高压的问题。

仪器的鉴定项目满足国家军用标准GJB736.11要求和产品技术指标要求,仪器的鉴定试验是在100kV的电压表的监测下进行的。通过对7项性能试验(高压输出极性、高压输出稳定性、泄漏电压、输出回路电感、输出电压一致性、回路电阻耐压性、输出放电验证试验),4项常规试验(仪器外观、绝缘电阻、跌落试验、耐压试验)均满足指标要求。对输出回路的电感和模拟人体电阻的感抗,也经航天部门的专业研究所进行了检测,结果均能满足要求。电阻具有无感性,仪器通过鉴定试验,满足全项技术要求。

为实现人机对话,现已开发了计算机的应用技术,以科学的取样方法,通过计算机对仪器的输出能量信号的采集、处理,直观的给出试验结果。这项工作也将在2003年内完成鉴定工作。

关翔云报道