

文章编号: 1006-9941(2010)02-0213-04

## 叠氮胍镍半导体桥点火研究

马 鹏, 朱顺官, 张 琳, 张 垒, 徐 禄

(南京理工大学化工学院, 江苏 南京 210094)

**摘 要:** 研究了一种新型高威力起爆药叠氮胍镍(nickel hydrazine azide, NHA)的半导体桥(semiconductor bridge, SCB)点火性能, 确定了其最佳的点火参数为压药压力 60 MPa, 电容 47  $\mu\text{F}$ , 药剂粒度 49  $\mu\text{m}$ 。研究其电压-时间曲线和电压-点火能量曲线发现: 在高电压下, 半导体桥产生等离子体将药剂点燃, 低电压下, 半导体桥产生的焦耳热可以在炸药中形成热点, 将药剂点燃。

**关键词:** 军事化学与烟火技术; 半导体桥(SCB); 叠氮胍镍(NHA); 点火参数

**中图分类号:** TJ55; O69

**文献标识码:** A

**DOI:** 10.3969/j.issn.1006-9941.2010.02.020

### 1 引言

半导体桥(semiconductor bridge, SCB)是一种新近发展起来的点火装置, SCB 火工品诞生于 1968 年<sup>[1]</sup>, 直到 20 世纪 80 年代末才受到世界各国的重视。郝建春<sup>[1]</sup>认为用桥丝点燃烟火药时, 约在 1~3 ms 内产生爆炸输出, 用半导体桥时在 125  $\mu\text{s}$  内产生爆炸输出, 而且半导体桥的体积小(只有通常桥丝的 1/30), 能量小(小于 2 mJ)。Lee<sup>[2]</sup>等人发现半导体桥在点火时, 其电压-时间曲线中出现二次峰时认为是由等离子体产生。冯红艳<sup>[3]</sup>等人用原子发射光谱双谱线法测量半导体桥等离子体的温度在 2710~3880 K 之间。张文超<sup>[4]</sup>等人研究了半导体桥电爆过程的能量转化, 并对电爆换能过程中硅桥物质形态的变化进行了定量分析。叠氮胍镍<sup>[5]</sup>(nickel hydrazine azide, NHA)是一种新型配位化合物起爆药, 具有较大的起爆能力、火焰感度好、机械感度低的特性, 可以在常温下化合, 制造方法简单, 有较好的应用前景。目前装填 SCB 的药剂(如斯蒂芬酸铅等)起爆能力较低, 对环境有一定的危害, 故在本实验中选用叠氮胍镍(NHA)作为实验填装药剂。

### 2 实验部分

实验点火线路图和装药结构图如图 1 和图 2 所示。

收稿日期: 2009-06-29; 修回日期: 2009-09-17

作者简介: 马鹏(1985-), 男, 硕士, 主要从事半导体桥点火研究。

e-mail: mpcctv@163.com

通讯联系人: 朱顺官, 男, 研究员, 从事新型火工药剂的制备研究。

e-mail: zhug@mail.njust.edu.cn

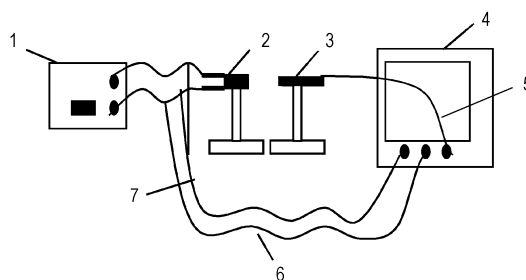


图 1 点火线路图

1—放电设备, 2—装药, 3—光探头, 4—示波器, 5—光通道, 6—电流通道, 7—电压通道

Fig. 1 Ignition circuit diagram

1—discharging equipment, 2—charge, 3—optic probe, 4—oscilloscope, 5—light channel, 6—current channel, 7—voltage channel

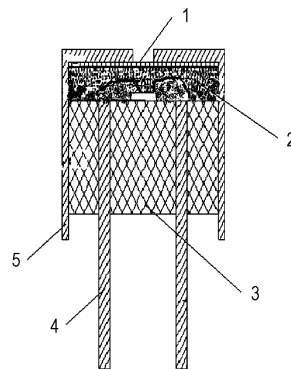


图 2 装药结构图

1—纸垫片, 2—起爆药, 3—半导体桥, 4—脚线, 5—管壳

Fig. 2 Charge structure diagram

1—paper gasket, 2—primary explosive, 3—SCB, 4—leg wire, 5—casing

## 2.1 实验仪器

ALG-CN1 储能放电起爆仪(南京理工大学研制), 光电二极管管(3DUOC), 直流稳压电源(JWY-30B型), 示波器(LeCroy44Xs), 半导体桥的规格为  $100 \mu\text{m}(\text{L}) \times 400 \mu\text{m}(\text{W}) \times 2 \mu\text{m}(\text{t})$  的 n 型重掺杂 poly-SCB, NHA 为自制药剂。

## 2.2 实验条件的确定

在压药压力方面, 试验了 20, 30, 40, 60, 120 MPa 等不同压力, 选取了其中具有代表性的 20, 40, 60 MPa 三种压力进行说明; 在药剂粒度方面, 主要有三种粒度的药剂:  $110 \sim 75 \mu\text{m}$ ,  $64 \sim 49 \mu\text{m}$  以及小于  $49 \mu\text{m}$  的 NHA; 在点火电容方面, 选用了 1, 4.7, 22, 47, 68  $\mu\text{F}$  等不同电容, 选取了具有代表性的 22, 47, 68  $\mu\text{F}$  电容进行说明。

### 2.2.1 压药压力对药剂点火的影响

将过 300 目筛的药剂填装在如图 2 所示的装药结构中, 用 68  $\mu\text{F}$  的电容作为放电元件, 研究了不同电压下的点火实验, 点火电压与点火时间及点火能量的关系如图 3 和图 4 所示。

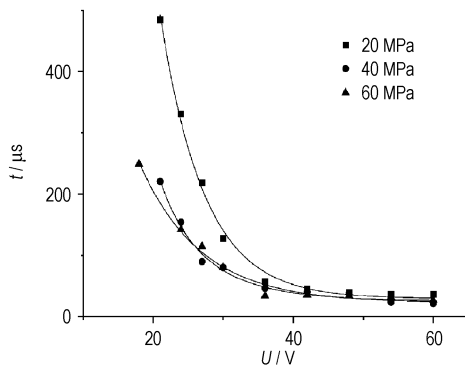


图 3 不同压药压力下, NHA 点火电压与点火时间的关系

Fig. 3  $U-t$  curves of NHA at different pressures

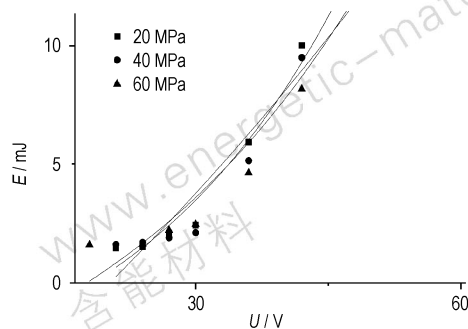


图 4 不同压药压力下, NHA 点火电压与点火能量的关系

Fig. 4  $U-E$  curves of NHA at different pressures

由图 3 可以看出, 不同的压药压力下, 随着电压的增大, 点火时间下降。电压增大时, 加在电容两端的电

压升高, 由公式  $E=0.5C \times U^2$  可知电容放出的能量增加, 药剂较容易点燃。

当电压小于 25 V 时, 在相同的电压下, 压药压力愈高, 点火时间愈快。在较小电压时, 等离子体产生时的密度较小, 等离子体的温度较低, 点燃药剂的时间较长。压药压力较高时, 药剂与半导体桥接触紧密, 减少了热量在桥面与药剂间传递的散失, 使得药剂较易点燃; 当电压高于 25 V 时, 40 MPa 压力曲线和 60 MPa 压力曲线基本重合, 说明超过一定压力时, 增大压力对点火时间没有大的影响。由图 4 可以看出, 电压升高, 点火能量增大, 在同一电压下, 压力的改变对点火能量的影响不是很大。

由此可见, 在 60 MPa 条件下, 点火时间较短, 点火的能量基本相同。故压药压力选择 60 MPa, 压力较高时, 半导体桥会被压断, 故压力不宜太高。

### 2.2.2 粒度对药剂点火的影响

根据以上分析, 选择压药压力为 60 MPa, 68  $\mu\text{F}$  条件下对不同粒度的 NHA 作点火实验。通过大量实验得到了药剂电压与点火时间、点火能量的关系, 如图 5 和图 6 所示。

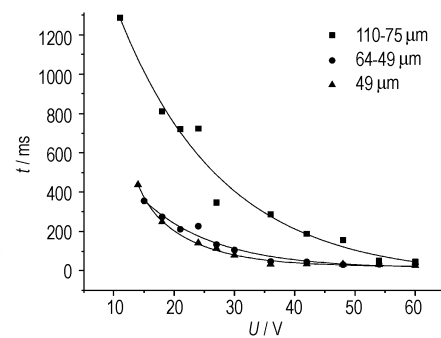


图 5 不同粒度 NHA 点火电压-点火时间关系曲线

Fig. 5  $U-t$  curves of NHA with different particle sizes

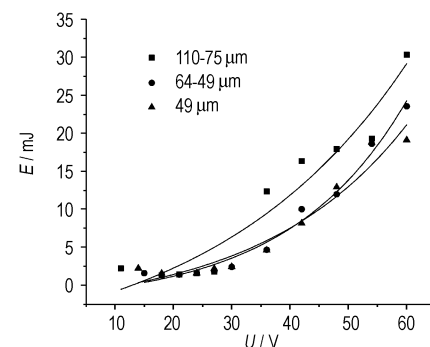


图 6 不同粒度 NHA 点火电压-点火能量关系曲线

Fig. 6  $U-E$  curves of NHA with different particle sizes

由图5可以看出,药剂的粒度越小,在相同电压下点火时间越短,即药剂较易被点燃。颗粒的粒度小时,比表面积大,接受等离子体释放的能量多,能量的利用率较高。颗粒大时恰好相反。在电压大于45 V时,250~300目和300目以上的颗粒点火时间基本一致,说明在高电压下在,一定大小尺寸(大于250目)的颗粒点火的难易程度相似。但在颗粒较大时,不容易点火。在图6的电压-能量曲线上也体现出大颗粒(150~200目)的药剂点火能量要高一些,小颗粒的药剂点火能量要低一些。

### 2.2.3 电容对药剂点火的影响

由以上分析,取药剂的粒度在300目下,压药压力在60 MPa条件,用不同的电容对NHA做点火实验,所得电压与点火时间和点火能量的关系如图7和图8所示。

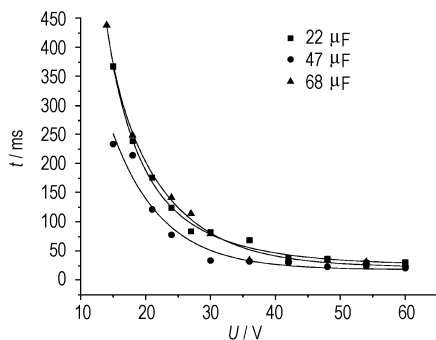


图7 不同电容下,NHA点火电压-点火时间关系曲线

Fig.7  $U-t$  curves of NHA at different capacitances

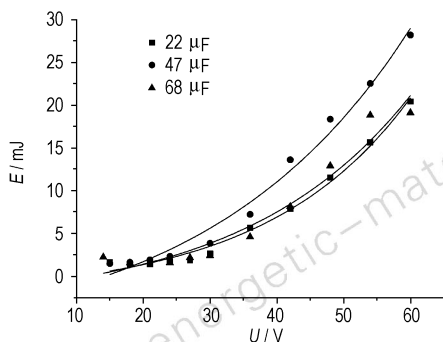


图8 不同电容下,NHA点火电压-点火能量关系曲线

Fig.8  $U-E$  curves of NHA at different capacitances

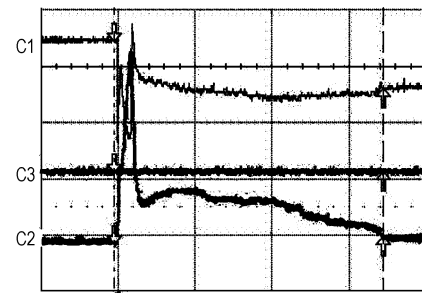
由图7可以看出,22  $\mu\text{F}$ 和68  $\mu\text{F}$ 电容的点火时间基本一致,47  $\mu\text{F}$ 电容的点火时间要比其余两个电容的小一些,电压较高时,电容的影响差别不大。同样由图8可以得到47  $\mu\text{F}$ 电容释放的能量较高。根据电容放电的特性:时间常数  $\tau = RC$ ,充电电容储能  $E =$

$CU^2$ 。可见,时间常数随电容的减小而减小, $t = 4\tau$ 时,可认为电容已完全放电,故22  $\mu\text{F}$ 比47  $\mu\text{F}$ 所用放电时间短。但同电压下存储的能量小,68  $\mu\text{F}$ 电容同电压下存储能量高,但此时放电慢。实现快速点火要求足够高的点火能量应该在更短的时间内输出,47  $\mu\text{F}$ 作用时间长,点火能量低。

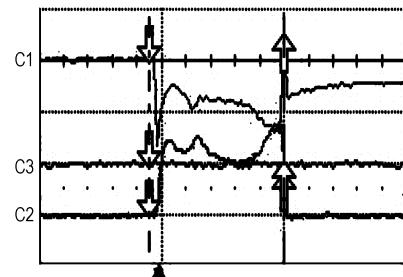
综合上述分析可以确定最佳的点火方式为:压药压力60 MPa,药剂粒度300目,电容47  $\mu\text{F}$ 。以此为实验条件,研究NHA的半导体桥点火机理。

### 2.3 NHA点火机理的研究

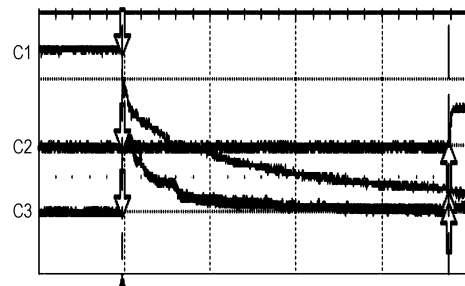
分析实验中电压、电流及光信号的特征,以此来研究NHA的半导体桥点火机理。通过电压由高到低的不同(36,15,12 V),得到了三种典型的点火曲线(图9),图中C1,C2,C3依次为电压信号,电流信号和光信号。



a. 36 V



b. 15 V



c. 12 V

图9 不同电压下的点火信号图像

Fig.9 Image of ignition signals at different voltages

分析图9中的信号图像可以发现:图9a和图9b图像中的电压曲线中出现了电压二次峰,即产生了等离子体,而图9c中的电压信号中没有出现二次峰,即没有产生等离子体。由此可以发现在电压低于12V时,半导体桥中不会产生等离子体。对比图9a和图9b,在高电压下,二次峰过后电流还持续一段时间,这是由于桥吸收的足够的能量产生等离子体后,电容还有剩余的能量没有释放完全,此时电容将电压加在等离子体上,作为第四态的等离子体具有导电性能,故电流持续一段时间断开。此时等离子体点燃药剂有两种可能:一是SCB产生的等离子体直接将药剂NHA点燃;二是等离子体的能量不足以将NHA点燃,电容对等离子体放电,增加了等离子体的能量,将NHA点燃。通过分析电压二次峰后的曲线可以判定,等离子体产生后直接将药剂点燃。在点燃过程中形成了大量导电物质,使得电流持续一段时间后断开。在15V电压下,电流在二次峰后直接断开。与高电压下产生的等离子体相比,此时的等离子体可以称之为低能态等离子体。这种等离子体将药剂点燃后,没有形成导电物质,故电流直接断开。

图9c中电压曲线没有二次峰,SCB没有产生等离子体,但药剂被点燃了。这主要是在于电容能量有限,其放出的能量通过桥面时,半导体桥没有气化,形不成等离子体,但可以产生焦耳热。产生的焦耳热的持续时间约为 $2 \times 10^{-5}$ s,根据热点<sup>[6]</sup>理论,热点持续时间为 $10^{-5} \sim 10^{-3}$ s时,炸药才会被引爆(仅从热点持续时间方面考虑),满足了热点的条件。故这种情况是焦耳热的作用使得药剂被点燃。

综合上述几种情况可以认为:半导体桥可以通过两种方式将NHA点燃:①大电压下半导体产生的等离子体将药剂点燃;②小电压时半导体产生的焦耳

热将药剂点燃。

### 3 结 论

NHA的最佳点火条件是压药压力60MPa,粒度 $49 \mu\text{m}$ ,电容 $47 \mu\text{F}$ ,此装药条件下NHA半导体桥点火时间短,点火能量低。对其电压-时间曲线和电流-时间曲线研究发现:在有等离子体产生时,NHA被热的等离子体点燃,在低电压没有等离子体产生时,焦耳热将药剂点燃。

#### 参考文献:

- [1] 郝建春. 使用半导体桥(SCB)以极低的能量点燃烟火药[J]. 爆破器材,1993(2): 34-37.  
HAO Jian-chun. Using semiconductor bridge (SCB) to ignite pyrotechnic with low energy[J]. *Explosive Materials*,1993(2): 34-37.
- [2] Key-Nam Lee, Myung-II Park, Sung-Ho Choi, et al. Characteristics of plasma generated by polysilicon semiconductor bridge (SCB) [C]// *Sensors and Actuators A* 96. 2002: 252-257.
- [3] FENG Hong-yan, LI Yan, ZHANG Lin, et al. Measurement of semiconductor bridge (SCB) plasma temperature by the double line of atomic emission spectroscopy [J]. *Chinese Journal of Energetic Materials (Hanneng Cailiao)*, 2007, 15(2): 134-146.
- [4] 张文超, 叶家海, 秦志春, 等. 半导体桥电爆过程的能量转换测量与计算[J]. 含能材料, 2008, 16(5): 564-566.  
ZHANG Wen-chao, YE Jia-hai, QIN Zhi-chun, et al. Measurement and calculation for SCB electro-explosion energy conversion features [J]. *Chinese Journal of Energetic Materials (Hanneng Cailiao)*, 2008, 16(5): 564-566.
- [5] 朱顺官, 徐大伟, 曹仕谨, 等. 高威力配合物起爆药-叠氮胍镍[J]. 爆破器材, 2005, 34(5): 17-19.  
ZHU Shun-guan, XU Da-wei, CAO Shi-jin, et al. A high powerful primary explosive-nickel hydrazine azide [J]. *Explosive Materials*, 2005, 34(5): 17-19.
- [6] 松全才. 炸药理论[M]. 北京: 兵器工业出版社, 1997.  
SONG Quan-cai. *Theory of Explosive* [M]. Beijing: Ordnance Industry Press, 1997.

## Ignition of Semiconductor Bridge with Nickel Hydrazine Azide

MA Peng, ZHU Shun-guan, ZHANG Lin, ZHANG Lei, XU Lu

(School of Chemical Engineering, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China)

**Abstract:** A new powerful primary explosive nickel hydrazine azide (NHA) was used as charge for semiconductor bridge (SCB). The optimal conditions for the ignition were obtained: pressure 60 MPa; capacitance  $47 \mu\text{F}$ ; particle size of the primary explosive  $49 \mu\text{m}$ .  $U-t$  curves and  $U-E$  curves show that NHA is ignited by the plasma generated by SCB at high voltage, and NHA is ignited by hot spot generated by SCB Joule-heat at lower voltage.

**Key words:** military chemistry and pyrotechnics; semiconductor bridge (SCB); nickel hydrazine azide (NHA); ignition parameter

**CLC number:** TJ55; O69

**Document code:** A

**DOI:** 10.3969/j.issn.1006-9941.2010.02.020