

4. 液体炸药线型切割器应用条件研究表明: 影响穿深重要因素中被切钢板的强度是不可忽视的因素, 强度越高, 穿深越低。起爆点及传爆药柱的影响较小, 只要起爆点沉在液体炸药中, 传爆药柱平躺起爆, 定会收到良好切割效果。

本文得到孙名振付教授的指导与帮助, 特此致谢。

### 参 考 文 献

- [1] 汤明钧, 爆破器材, 1(1982), 12.
- [2] 《爆炸及其作用》编写组, 爆炸及其作用(下册), 国防工业出版社(1979), 141.
- [3] 袁伯珍(译), 聚能现象的理论与实验研究, 国防工业出版社(1957).
- [4] 《炸药理论》编写组, 炸药理论, 国防工业出版社(1982), 278.

## RESEARCH OF THE DESIGN AND APPLICATION OF LIQUID EXPLOSIVE LINEAR SHAPED CHARGE CUTTER

Lu Chunxu

### Abstract

In this paper, the fundamental principle of linear shaped charge cutter is described. Based on a lot of experimental results, liquid explosive linear shaped charge cutter with the best structure parameters is designed. Some of the best conditions available is determined as the basis of practical applications.

## 电爆炸箔引爆纯太安的实验研究

周之奎

本文介绍了电爆炸箔引爆低密度纯太安的实验结果。主要研究了爆炸箔尺寸和爆炸电流密度对引爆过程的影响。实验结果表明, 这两种参数变化对到爆轰距离的影响是不敏感的, 但对到爆轰时间, 特别是对感应时间的影响则比较敏感。引爆过程用高速转镜相机记录。简短地讨论了由爆炸箔引爆炸药的机理。

## 绪 言

用爆炸金属丝引爆较敏感炸药的工作已有很多报导,并且已经制成了爆炸丝安全雷管,用于导弹分离和其他对安全性要求较高的方面。当金属箔瞬时通过大电流时,可以在几个微秒内发生汽化爆炸,从而引爆较敏感的炸药。若把金属箔刻蚀成网状结构,可以实现多点引爆,再经过一定厚度炸药层的整形作用,则可以获得大面积的平面爆轰波,它可以作为一种冲击加载工具。

本文给出了小尺寸金属箔爆炸引爆低密度纯太安的实验结果,主要研究了金属箔尺寸和爆炸电流密度对引爆过程的影响,也简短地讨论了电爆炸箔引爆炸药的机理。

## 实验装置及测试方法

### 1、能源装置

实验中使用的能源为一台  $9\mu\text{F}$  低电感电容器,最高工作电压  $20\text{kV}$ 。用铝平行板传输线及球形三电极火花隙开关,将电容器和爆炸箔串联,构成一点火回路。其等效电路如图 1 所示。放电回路参数为:回路电感  $L = 150\text{nH}$ ,回路电阻  $R_0 = 0.03\Omega$ 。

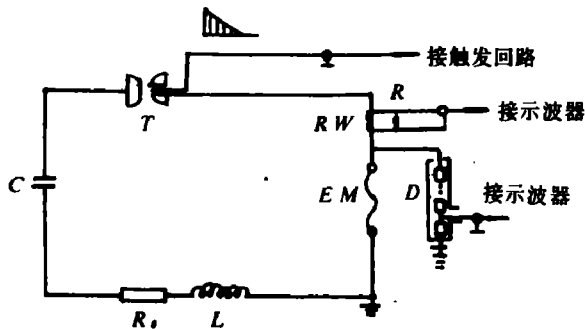


图1 等效电路

$C$ —储能电容、 $T$ —三间隙火花隙、  
 $RW$ —电流测量线圈、 $D$ —电阻式分压器、  
 $EM$ —爆炸箔、 $L$ —回路电感、 $R_0$ —回路电阻。

### 2 实验装置

实验装置简图见图 2。将金属箔平整地贴在透明的有机玻璃基板上,用光刻法腐蚀成所需尺寸。将一个内径  $10\text{mm}$  的有机玻璃管粘在刻有爆炸箔的基板上,把称好的炸药装入管里,并压到所需要的密度。为防止炸药松动,在装药上面放一个有机玻璃塞封住。装药密度在  $1.1 \sim 1.2\text{g}/\text{cm}^3$  范围内,装药量  $1.0 \sim 1.5\text{g}$ 。

爆炸电流和爆炸箔端电压分别用 Rogowski 线圈和同轴型电阻式分压器测量。引爆过程由高速转镜相机记录。典型的记录见图 3。

图 3a 是用 D6301 双线示波器记录的经过爆炸箔的电流和爆炸箔端电压随时间变化的图形。

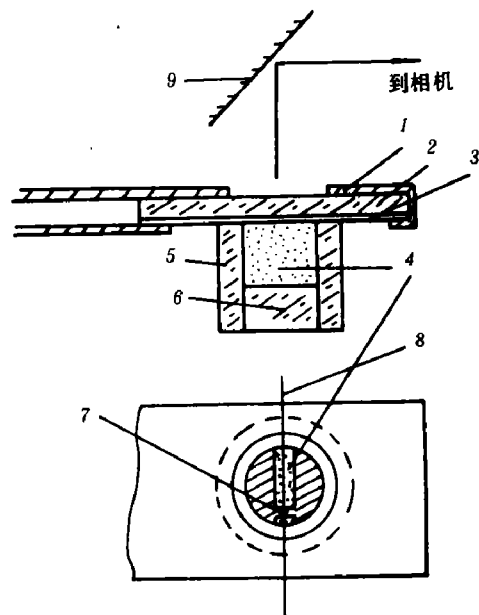


图2 实验装置简图

1 传输线 2 有机玻璃基板 3 金属箔  
 4 炸药 5 有机玻璃管 6 有机玻璃塞  
 7 爆炸桥箔 8 照相狭缝 9 反射镜



(a) 电流  $I(t)$  (上)  
电压  $V(t)$  (下)

(b) 转镜相机记录  
1) 箔爆炸发光 2) 引爆过程炸药发光

图 3: 记录照片

从图可见, 爆炸前电流随时间几乎是成线性上升; 而电压在大部分时间都很小, 说明爆炸箔电阻改变不大。只是在熔化后电阻开始增加, 尤其汽化开始后电阻增加特别快, 这时电流增加变缓。当电阻达到极大值时, 电压也达到极大值, 电流图形出现拐点。把这个时刻的电流称为爆炸电流。

图3b是由高速转镜相机记录的引爆过程照片。最先出现的光是金属箔爆炸光, 它持续时间较长; 它的侧面是炸药爆炸发光。从箔爆炸光开始到看到侧面光的时间, 我们把它叫做感应时间。侧面光最初很弱, 逐渐变强, 迹线的弯曲表示反应加速过程。从侧面光出现时刻到光轨迹变成直线的开始时刻, 这段时间叫做向爆轰转变时间。光轨迹发展成直线段, 则表示爆轰波已达到稳定爆轰状态。从纵坐标上可以得到引爆转向稳定爆轰的距离。从照片上可看出向爆轰转变是一个光滑加速过程。

## 实验结果及分析

### 1、爆炸箔尺寸对引爆过程的影响

#### (1)、爆炸箔宽度影响

在研究爆炸箔宽度影响时, 将爆炸箔长度、厚度固定不变。实验结果画在图 4、5、6 中。实验条件是: 金属箔厚度  $0.04\text{mm}$ , 长度  $0.7\text{mm}$ , 爆炸电流密度控制在  $J_b = (3.0 + 0.1) \times 10^7 \text{ A/cm}^2$ 。图 4 数据点虽然分散性较大, 但仍可得到爆轰距离几乎不受爆炸箔宽度影响的初步结论。我们把图 5 的到爆轰时间分为两部分划在图 6 中一部分是感应时间, 记作  $\tau$ ; 另一部分是向爆轰转变时间, 记作  $t_1$ 。从图 5、图 6 可以看出, 随爆炸箔宽度增加, 总的到爆轰时间缩短, 其中爆炸箔宽度变化主要影响感应时间, 而对向爆轰转变时间几乎无影响。

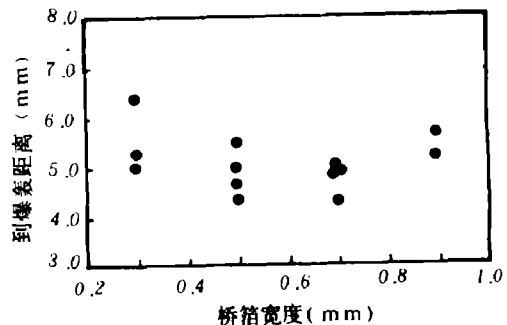


图 4: 爆炸箔宽度与到爆轰距离关系

#### (2) 爆炸箔厚度影响

实验结果见表 1。由于实验次数较小, 只能看出爆炸箔厚度影响的趋势。同爆炸箔宽度的影响相似, 爆炸箔厚度改变主要影响感应时间, 对到爆轰时间和距离也有影响, 但其变化值较小。

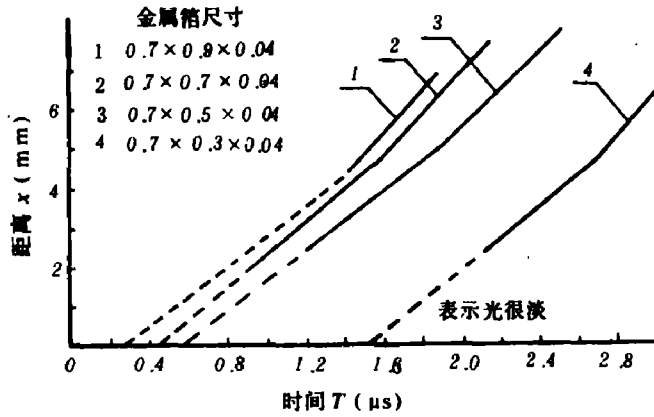


图5 向爆轰成长过程

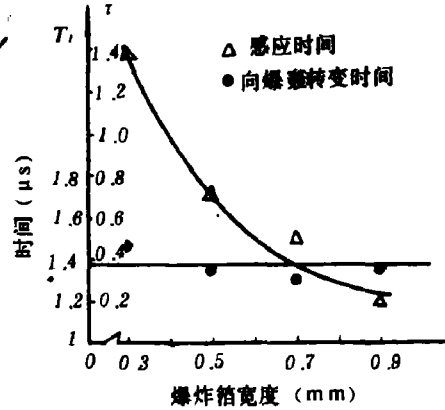
图6、爆炸箱宽度与感应时间( $\tau$ )、向爆轰转变时间 $T_i$ 的关系。

表1、爆炸箱厚度影响起爆的实验结果

实验号	爆炸箱尺寸 长×宽×厚(mm)	爆炸电流 密度( $10^7$ A/cm <sup>2</sup> )	炸药密度 (g/cm <sup>3</sup> )	感应时间 $\tau$ ( $\mu$ s)	向爆轰转变 时间 $T_i$ ( $\mu$ s)	到爆轰时 间( $\mu$ s)	到爆轰距 离(mm)
8010901	0.7×0.5×0.02	4.2	1.1	0.9	1.1	2.0	4.8
8010902	0.7×0.5×0.02	4.2	1.1	0.9	1.4	2.3	5.2
8011609	0.7×0.5×0.04	4.6	1.11			1.76	4.2
8011610	0.7×0.5×0.04	4.4	1.17	0.36	1.36	1.72	4.7

### (3) 爆炸箱长度影响

实验结果见表2, 从表2数据看不出爆炸箱长度变化对引爆过程的影响。原因尚待进一步研究。

表2、爆炸箱长度影响起爆过程的实验结果

实验号	爆炸箱尺寸 长×宽×厚(mm)	充电电压 $V_0$ (kV)	爆炸电流密度 ( $10^7$ A/cm <sup>2</sup> )	炸药密度 (g/cm <sup>3</sup> )	到爆轰时 间( $\mu$ s)	到爆轰距 离(m)
801061	0.7×0.5×0.04	5	2.7	1.12	<	<2
8011603	0.7×0.5×0.04	5	3.0	1.13	2.0	5.5
8011802	0.7×0.5×0.04	5	2.6	1.11	1.9	4.7
818403	0.7×0.5×0.04	5	3.0	1.07	2.2	5
818404	0.7×0.5×0.04	5	3.1	1.07	2.16	4.7
8010802	1×0.5×0.04	5	2.7	1.11	1.8	4.6
8011605	1×0.5×0.04	5	2.8	1.11	2.4	5.8
8010803	1.5×0.5×0.04	5		1.12	2.08	<3.5
8011607	1.5×0.5×0.04	5	2.6	1.1	2.26	6.3
8011608	1.5×0.5×0.04	5	2.8	1.19	1.89	6.1

### 2. 爆炸电流密度的影响

选择三种爆炸箱尺寸, 即0.7×0.7×0.04、0.7×0.5×0.04、0.7×0.5×0.02, 研究了爆炸时刻电流密度对引爆过程的影响, 所得结果分别绘于图7、8、9。

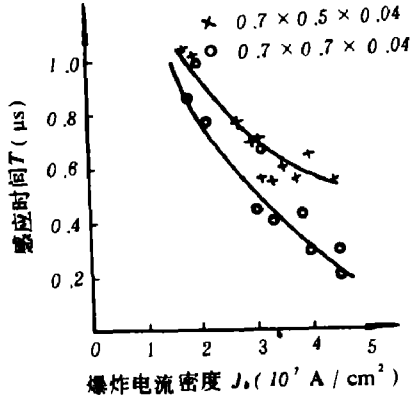


图7. 爆炸电流密度与感应时间关系

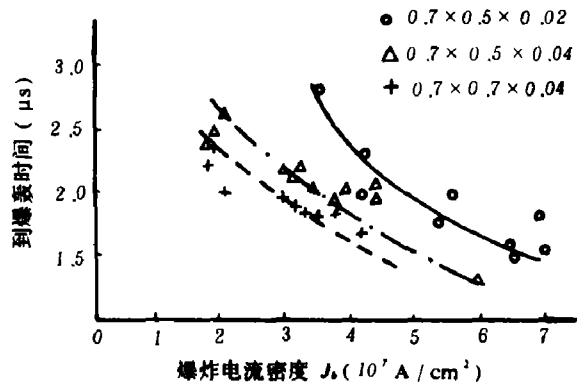


图8. 爆炸电流密度与到爆轰时间关系

从图7和图8实验结果可看出,随着爆炸电流密度增加,感应时间和到爆轰时间均减小。在爆炸电流密度相同时,感应时间和到爆轰时间随爆炸箔宽度和厚度变化与前面单项实验结果一致。我们的结果与L. A. Carlson 等人<sup>[2]</sup>研究高温爆炸丝雷管时得到的传导时间与点火电压(等价于爆炸电流密度)的关系相似。

图9中给出了到爆轰距离与爆炸电流密度关系。绝大部分的到爆轰距离都在

$$X = (5.1 \pm 0.5) m$$

范围内。这一结果与G. M. Muller 等人<sup>[1]</sup>研究爆炸丝起爆黑索金爆炸时得到的实验结果相似。他们的实验结果是:当铜丝直径和长度不变时,电容器充电电压从2kV增加到8kV时,到爆轰距离无明显改变。

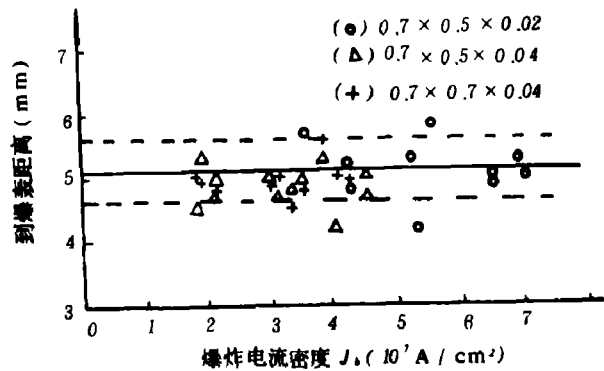


图9. 爆炸电流密度与到爆轰距离关系

### 引爆机理的简称讨论

爆炸箔(或爆炸丝)引爆固体非均质炸药可能存在两种不同的机理。一种是冲击引爆机理,另一种是热引爆机理。关于爆炸箔(爆炸丝)产生冲击波的理论计算和实验测量已有许多报导<sup>[4,5]</sup>。Байков和Белого用x射线方法研究了冲击波形成过程<sup>[5]</sup>。他们发现当金属蒸气开始飞散时形成了一个冲击波,波速约为3km/s,冲击波运动规律为

$$x = At^a$$

式中x为冲击波运动距离,t为时间,A为实验待定常数,a=3/5。Бабуль и Коринн提出了爆炸导体爆炸时与其相接触介质作用的图象<sup>[6]</sup>。根据分析,使我们确信金属箔爆炸时,确实能在炸药中产生冲击波并引爆炸药。按照冲击引爆观点,改变爆炸箔参数和爆炸电流密度,能够影响引爆过程的原因在于上述参数的变化,改变了炸药中冲击波强度或压力持续时间。爆炸箔宽度增加主要增加了压力持续时间。爆炸箔厚度增加不但增加压力持续时间,而且使压

力升高。因为在脉冲大电流经过爆炸箔时，在它上面作用了一个磁压，使沸点(汽化开始)温度升高。按照Bagrowski的观点<sup>[7]</sup>，箔外层磁压最大值为

$$p = 1.569 \times 10^{-4} \sigma^2 b^2,$$

其中  $p$  以  $10^7$  Pa 为单位,  $\sigma$  以 A/cm<sup>2</sup> 为单位,  $b$  表示以 cm 为单位的箔厚度的一半。由上式可以看出, 在电流密度不变时, 使用较厚的箔则磁压较高。沸点升高, 进入箔的能量增加, 将在炸药内产生较强的冲击波, 提高了引爆能力。由于箔长度大大大于箔宽度和厚度, 压力持续时间受宽度和厚速变化的影响比较敏感, 而对长度变化不够敏感。这也许就是箔长度变化对引爆过程影响不大的原因。要对引爆过程作进一步的定量的分析还有很大困难。

Friedman 和 McCally 曾将热爆炸判据用于爆炸丝引爆<sup>[3]</sup>。他们将阿累尼乌斯型放热的热传导方程与爆炸丝加热方程联立, 用数值方法求出炸药内的温度分布并予计了爆炸丝引爆太安炸药的爆炸时间。他们的结论是热引爆是可能的, 但不能确定哪种机理为主或二者都不可忽略。

爆炸导体引爆炸药的机理是很复杂的, 需要作大量工作才会弄清楚。

参加实验工作的还有姚丙林、张希林、韩立石、黄福、王豫等同志。

### 参 考 文 献

- [ 1 ] Muller, G. M. et al., *3th Symposium on Detonation*, (1960), 74.
- [ 2 ] Carlson L. A. et al., *LA-6301-MS* (1963).
- [ 3 ] Friedman, M. H., McCally, R. L., *5th Symposium on Electroexplosives devices* (1967), 3.
- [ 4 ] Shao-chi Lin *J. A. P.*, **25** (1) (1954), 54.
- [ 5 ] Байков А. П., Белая В. А., *Ж. Т. В.*, **9** (2) (1973), 286.
- [ 6 ] Бабулиц Д., Корзун М., *Ж. Т. В.*, **11** (1) (1975), 88.
- [ 7 ] Bagrowski, J. et al., *Journal of Technical physics*, **10** (3) (1975), 315.

## THE EXPERIMENTAL STUDIES ON INITIATING LOW DENSITY PETN BY ELECTRICALLY EXPLODED METALLIC FOILS

Zhou Zhikui

### Abstract

The experimental studies on initiating low density PETN by electrically exploded metallic foils are described in this paper. The purpose of this paper is to find the effects of the size of exploded foils and burst current densities on the initiation behavior of PETN. The experiments shows that during changing these paramaters, the change of distance to detonation is not very great, but the time to detonation changes comparatively large especially the induction period. The initiation process is recorded by a high speed rotating camera. The related mechanism of initiation in explosive is discussed briefly.