

# 平面多点同时起爆网络的设计

许碧英, 李公法, 高桂萍

(西安近代化学研究所, 陕西 西安, 710065)

**摘要:** 介绍了战斗部平面多点同时起爆的作用特点, 并与单点起爆进行了对比, 结果表明: 多点同时起爆时, 装药中的平面爆轰波形成快。分析了多点排布的设计原则, 重点探讨起爆点相对位置的安排, 确定以等边三角形为基础布置起爆点。通过 27 点同时起爆网络进行了 27 点爆轰输出时间的测定, 测试结果表明, 起爆同时性极差小于  $0.6\mu\text{s}$ 。此外, 讨论了影响多点起爆同时性的因素, 通过估算认为, 装药的爆速是重要影响因素。

**关键词:** 多点同时起爆; 传爆网络; 起爆同时性

中图分类号: TJ456 文献标识码: A

## Design of Multi-point Simultaneous Initiating Circuit on a Plane

XU Bi-ying, LI Gong-fa, GAO Gui-ping

(Xi'an Modern Chemistry Research Institute, Xi'an, 710065)

**Abstract:** The characteristics of multi-point simultaneous initiation were briefly introduced. The comparison with single-point initiation showed that a plane detonation wave in warhead charge would form earlier by multi-point simultaneous initiation. The principle of arranging initiating points was analyzed and an optimum way based on equilateral triangle was set up. Some test results of 27-point simultaneous initiation circuits showed that the initiating synchronization was less than  $0.6\mu\text{s}$ . Moreover, the factors influencing the initiating synchronization of multi-point simultaneous initiation were discussed, and the estimation showed that the detonation velocity of the circuit was most important.

**Key words:** Multi-point simultaneous initiation; Initiating circuit; Initiating synchronization

为了提高武器战斗部威力, 世界各国除研制新型高能炸药以外, 重点是研究新的装药结构及起爆方式。广泛研究的战斗部起爆新技术有定向起爆技术、环形起爆技术、面起爆技术等。这些起爆技术均可在一定条件下有效提高战斗部装药的作用威力。

本文介绍一种特殊的起爆方式——平面多点同时起爆, 并讨论这种起爆技术的起爆点布置方法及其传爆线路设计。

## 1 战斗部平面多点同时起爆

### 1.1 平面上多点同时起爆的基本思想

面起爆方式是广泛研究的一种可提高装药作用威力的起爆方式, 根据不同的战斗部作用目标及结构特点, 可以设计成平面起爆、柱面起爆、曲面起爆等, 产生相应的平面爆轰波、柱面爆轰波和曲面爆轰波。平面起爆技术广泛应用于战略及常规武器中, 可使战斗部威力有较大幅度提高。

收稿日期: 2004-07-12

作者简介: 许碧英 (1962-), 女, 高级工程师, 主要从事高效毁伤战斗部起爆技术、炸药网络及其可靠性评估方法、火工品技术应用研究。

高低爆速炸药平面波发生器可产生平面爆轰波输出,适用于长径比特别大的装药;而对于大口径弹药,用平面波起爆战斗部装药是不实际的,但可在主装药端面布置能同时起爆的多个起爆点,即采用多点同时起爆技术,使多个爆轰波同时输入并起爆主装药。多个起爆点输入的球形爆轰波在主装药中传播并叠加,使主装药中的爆轰波前沿迅速成为平面波,以便战斗部装药的爆炸能量集中于正前方目标方向,充分利用炸药能量。

### 1.2 主装药多点同时起爆后的输出波形

在大口径主装药的端面上布置多个起爆点,这些起爆点同时起爆,输出的爆轰波起爆主装药。根据爆轰波传播的基本原理,这些起爆点输出的球形爆轰波在主装药中传播并叠加,可在较短的距离处使爆轰波前沿达到一定的平面度。如果这些点同时起爆主装药,则起爆点产生的球形爆轰波在主装药中传递并叠加的结果如图1所示,在主装药中某个面上爆轰波最早到达和最晚到达的两点之间的时间差即为这个面上爆轰波的平面度,记为  $t_1$ 。

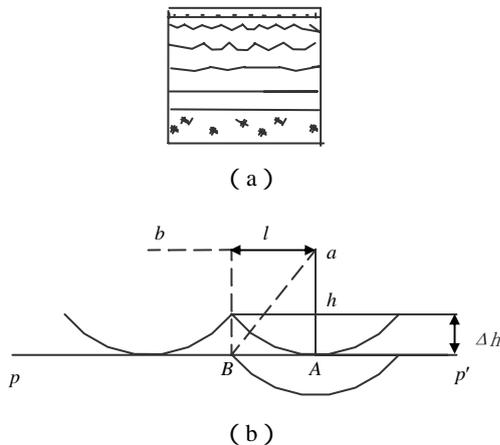


图1 爆轰波的叠加

Fig.1 Superimposition of detonation wave

以两个点同时起爆为例,参见图1(b),  $a$ 、 $b$  两点同时起爆后,两个球形爆轰波同时向主装药中传递并叠加,在主装药中某个平面 ( $p-p'$ ) 上,爆轰波到达  $A$  点和  $B$  点之间的时间差  $t_1$  可用下式计算:

$$\Delta t_1 = \frac{\Delta h}{D} = \frac{h - \sqrt{h^2 - l^2}}{D} \quad (1)$$

式中:  $t_1$ ——主装药中爆轰波平面度,  $\mu\text{s}$ ;

$D$ ——主装药爆速,  $\text{mm}/\mu\text{s}$ ;

$l$ ——两个起爆点之间距离的一半,  $\text{mm}$ ;

$h$ ——起爆点离主装药中爆轰波前沿的垂直距离,  $\text{mm}$ 。

例如,对于 RS211 主装药,爆速  $D=7\ 500\text{m/s}$  ( $=1.68\text{g}/\text{cm}^3$ ),可计算出单点起爆、多点起爆情况下,在沿主装药轴向离起爆点距离为  $h$  处的  $t_1$ ,表1中对比了在一个  $260\text{mm}$  的圆柱体主装药端面,多点同时起爆和中心单点起爆情况下,离起爆点  $h$  处平面上爆轰波的  $t_1$ 。

表1  $\Phi 260\text{mm}$  主装药中不同位置处爆轰波平面度对比

Table 1 Comparison of detonation wave planeness at different position in a  $260\text{mm}$  warhead charge

$h$ /mm	$t_1/\mu\text{s}$		
	单点起爆 $l=130\text{mm}$	多点起爆 $l=54\text{mm}$ $l=27\text{mm}$	
30	14.79	4.24	1.38
100	8.53	1.82	0.48
300	3.60	0.64	0.16
500	2.22	0.39	0.10

由表1可见,与单点起爆相比较,多点同时起爆时,主装药中平面爆轰波的形成要早得多,起爆点之间的距离越小,主装药中平面波形成的时间越早,即  $l$  趋于零时,也就成了平面波起爆。实际工作中,在一个平面上布置太多的起爆点是不可行的,因此要设计工艺上可行,合理分布在主装药端面上的多个起爆点,设计能使这些起爆点同时起爆的传爆网络。

## 2 多点同时起爆点的布置方法

### 2.1 起爆点排布设计原则

主装药端面布置的同时起爆点越多,就越接近于平面波起爆,但工艺上要实现使众多起爆点同时起爆是有难度的。因此,起爆点的设计应以在一个平面上能布置尽可能多、尽可能均匀、有利于形成平面波、而且工艺上可行为原则。研究表明,设计从一个起爆点经过相同路程将爆轰波同等地传递到众多起爆点的传爆网络,可实现主装药端面的多点同时起爆,而起爆点的合理布置是达到这个目的的第一个关键。

### 2.2 起爆点相对位置的安排

表1的结果说明,主装药端面上所布起爆点之间的距离是主装药中及早形成平面波的关键。理论上,如果多个起爆点同时起爆 ( $t_0=0$ ),主装药均匀,爆速一致,则公式(1)中的  $l$  值一旦确定,主

装药中爆轰波前沿的平面度也就确定了。为了使主装药端面上所布起爆点的相对位置更合理,通常考虑把起爆点以一定的规律布置,如按图2(a)2(b)所示的以正方形或等边三角形排布。

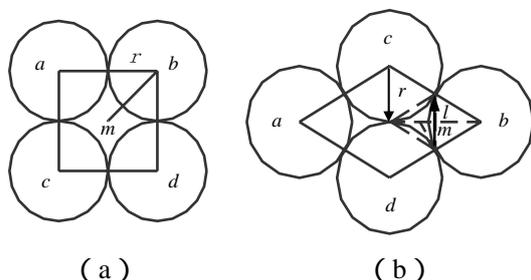


图2 图形中离起爆点最远的位置

Fig.2 The farthest point in different multi-point initiation design

由图2可见,在平面上布置多个起爆点,图中的 $m$ 点是离起爆点最远的位置,因此,在用公式(1)计算主装药中某一平面处爆轰波的平面度时,图2(a)和图2(b)状态下起爆点距离的 $l$ 值应分别为:

$$l_{(a)} = r + (2r \sin 45^\circ - r) \quad (2)$$

$$l_{(b)} = r + (\sqrt{3} - l - \tan 30^\circ) r \quad (3)$$

显然,  $l_{(a)} > l_{(b)}$ , 因此,取等边三角形的各顶点为起爆点来布置平面上的多点同时起爆点更为合理。同样还可以计算以长方形或非等边三角形等几何形状为基础布置的起爆点的情况,它们的 $l$ 值均没有等边三角形中的 $l$ 值小。

### 2.3 平面上多点同时起爆点的布置及其传爆网络

#### 2.3.1 起爆点的布置

按照上述起爆点布置设计原则,笔者设计了一种比较合理、完全以等边三角形为基础布置起爆点的方案,如图3所示。以圆心中心为起始点,设计出到达每个起爆点的传爆线路,使这些点同时输出爆轰。

#### 2.3.2 平面多点同时起爆的传爆网络设计

为实现多点同时起爆,需设计出合理的传爆线路。从中心起爆点开始,爆轰波经设计的传爆线路到达各输出起爆点,应尽可能保证到达每个起爆点的传爆线路长度相等、装药的密度相同,以保证多点起爆的同时性。按图3所示的起爆点布置方案,笔者从中间一个等边三角形的中心点开始,将平面上布置的其他起爆点分成3个区域,每个区以1、3、9点的扩展形式设计传爆线路。可根据战斗部起爆的具体要求,设计采用3点、9点、27点或更多点

的同时起爆网络,并且,使用导爆索或熔注炸药沟槽装药等工艺都可实现这样的多点同时起爆网络。笔者对布置在直径300mm平面上的27点同时起爆网络实例进行了27个点爆轰输出时间的测定,结果如表2所示。由表2可见27点爆轰输出时间的极差,即起爆同时性极差可小于 $0.6\mu\text{s}$ ,证明所设计的传爆网络结构合理,多点输出的同时性较好,并与设计理论值一致。

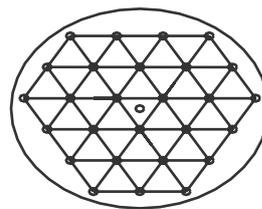


图3 多点同时起爆点布置方案

Fig.3 Arrangement of initiation points

表2 27点同时起爆网络输出点起爆同时性极差的测试结果  
Table 2 Test results of initiating synchronization from 27-point initiating circuits

起爆网络编号	A-006	B-002	B-009	B-011	B-015	B-020
同时性极差/ $\mu\text{s}$	0.478	0.349	0.442	0.470	0.399	0.531

## 3 多点起爆同时性的讨论

在实际中,多个起爆点完全同时起爆是不可能的,网络各输出点起爆的同时性极差( $t$ )可由(4)式估算:

$$\Delta t = \frac{l \cdot \Delta D + D \cdot \Delta l}{D^2} \quad (4)$$

式中: $D$ ——爆速,  $\text{mm}/\mu\text{s}$ ;

$D$ ——爆速误差,  $\text{mm}/\mu\text{s}$ ;

$l$ ——传爆距离,  $\text{mm}$ ;

$l$ ——传爆长度误差,  $\text{mm}$ ;

$t$ ——同时性极差,  $\mu\text{s}$ 。

因此,选用的炸药爆速、传爆过程中爆速的误差、传爆的距离及传爆距离误差等因素均会影响多点起爆的同时性。显然,起爆网络布置的起爆点越多,以上各误差越难控制,保证小的起爆同时性极差的难度越大。

表3列出了假设的不同传爆线路长度与长度误差、不同爆速与爆速误差条件下按(4)式估算出的多点起爆同时性数值。

表3 多点起爆同时性估算

序号	$D/$ (mm· $\mu$ s <sup>-1</sup> )	$D/$ (mm· $\mu$ s <sup>-1</sup> )	$l/$ mm	$l/$ mm	$t/$ $\mu$ s
1	7.0	0.10	185	1	0.52
2	7.0	0.10	185	2	0.66
3	8.0	0.10	185	1	0.41
4	8.0	0.10	185	2	0.54
5	8.0	0.15	185	1	0.59
6	8.0	0.15	185	2	0.68

由表2及公式(4)可见,在同样的控制传爆线路长度误差和装药密度均匀性条件下,装药的爆速对多点起爆同时性的影响最大。

## 4 结论

设计一个多点同时起爆系统,应根据实际使用要求和总体系统状态的特点,考虑主要的技术指标,合理安排起爆点,设计传爆线路,选用合适的装药方式,方可达到比较满意的结果。本文给出的平面多点同时起爆网络设计实例适用于大口径战斗部的平面起爆,是提高战斗部作用威力的一种有效方法。

### 参考文献:

- [1] 洪昌仪等. 兵器工业高新技术[M]. 兵器工业出版社, 1994.
- [2] GJB3496-1998. 炸药平面波发生器通用规范 [S], 1998.

## “火工与烟火技术未来发展研讨暨《火工品》期刊百期庆祝会”胜利召开

2004年8月9日至11日在广西桂林市召开了“火工与烟火技术未来发展研讨暨《火工品》期刊百期庆祝会”。来自兵科院、北京理工大学、南京理工大学、中北大学、军械工程学院、湖南科技职业学院、防化研究院、航天四院、中国工程物理研究院、95856部队、804厂、474厂、104厂、672厂、湖南出入境检验检疫局、湖南浏阳花炮局、兵器工业第213所等22家单位的五十余位同志参加了会议。

会议期间进行了中国兵工学会火工烟火专业委员会“六届专业委员会第二次工作会议”以及《火工品》期刊第四届编委会工作会议,编委会工作会议由中国兵工学会火工烟火专业委员会副主任委员冯国田同志主持。这次会议主要完成了新一届编委的换届选举工作,并对《火工品》期刊今后的发展方向进行了讨论规划。会上新任主编刘天新同志就上届编委会工作会议以来的工作情况向与会编委做了介绍,重点介绍了编辑部目前的工作情况及存在问题,提出了近期的工作设想。冯国田同志宣布新一届编委会名单,刘天新同志宣读了新一届编委会章程。会上213所所长、编委会主任周胜利同志发表了讲话,对各位编委的到来表示热烈欢迎,对编委们一贯支持关心《火工品》表示衷心的感谢,对提高期刊的学术水平及扩大行业影响提出了设想;兵科院冯国田同志在讲话中指出,《火工品》期刊是火工烟火行业最高的媒介与喉舌,对火工烟火行业发展起到了重要的推动作用,并对期刊的报道重点、保密问题等提出了建议。此外,来自北京理工大学的焦清介教授、南京理工大学的徐振相教授、沈瑞琪教授、中北大学的刘玉存教授等均踊跃发言,指出了《火工品》期刊目前存在的问题,根据目前国内对优秀科技期刊的各项要求,对《火工品》期刊今后的发展提出了新的思路与建议,并纷纷表示尽职尽责地履行编委的责任与义务。最后,由冯国田同志向新一届编委颁发了聘书,会议在一片掌声中结束。

两会召开的同时进行了火工与烟火技术未来发展研讨学术活动,由沈瑞琪教授、刘玉存教授、焦清介教授、高敏教授、盛添伦研高工所做的专题学术讲座受到了与会代表的热烈欢迎。与会代表也就所从事的学术工作进行了积极的交流,学术交流气氛热烈浓厚。

这次会议的顺利圆满召开,为火工烟火行业及《火工品》期刊的未来发展打下了坚实的基础,达到了预期目的。