文章编号:1006-9941(2016)03-0238-06

多点起爆网络结构参数设计及其同步性误差分析

沈慧铭,李伟兵,王晓鸣,李文彬 (南京理工大学智能弹药技术国防重点实验室,江苏南京 210094)

terials.org.ch 新型纳米[™] 摘 要:设计了一种8点环形同步起爆网络,网络结构采用典型的板式结构,传爆炸药为新型纳米颗粒炸药(黑索今(RDX)/奥克 托今(HMX)=45%/45%,10%的含能粘结剂,炸药颗粒直径小于100 nm),试验和仿真确定了起爆网络的关键结构参数为:刻槽 宽度为 1.2 mm,基板厚度为 3.8 mm。理论分析起爆网络的同步性,发现所设计的同步起爆网络八个输出端的同步性误差最大值 不超过152.2 ns,实验验证表明,所设计的起爆网络同步起爆精度约为170 ns,满足聚能装药多模式战斗部形成外形良好的侵彻体 的要求,实弹检验表明,刚性8点同步起爆网络可以形成成型良好,横向偏移较小的射流战斗部,满足聚能战斗部的使用要求。 关键词:同步起爆网络;结构参数;同步性精度;数值模拟

中图分类号: TJ410.3+3

文献标志码:A

DOI: 10.11943/j.issn.1006-9941.2016.03.005

1 引 言

刚性爆炸网络通常是以刚性基板为载体的沟槽型 爆炸网络,其输出点通常呈环形或平面状分布,以达到 环起爆或面起爆的目的,常应用于多模式 SC(Selectable Charge)战斗部的研究。相对于点起爆而言,环 起爆或面起爆可以激发炸药潜能,在炸药内部形成超 压从而更快的压垮药型罩,形成头部速度较高的毁伤 元,提高战斗部的侵彻能力。当采用多点起爆的方式 来引爆主装药,若起爆网络的同步性精度不高则对侵 彻体的侵彻能力影响非常大,侵彻效果甚至不及单点 起爆方式,所以聚能装药多模式战斗部对多点起爆网 络的同步性精度都有明确的要求^[1-2]。为了提高起爆 网络的同步性,研究人员提出了不同的方法,如李晓刚 等^[3]采用超细化 HMX 炸药作为沟槽装药,研究表明 细化后的炸药装药均匀性好,可以显著提高提高爆炸 网络的同步性。温玉全等^[4]研究了以 RDX 为主体的 橡皮炸药用作沟槽炸药的可行性,得到了 RDX 橡皮炸 药在沟槽通道中爆轰传爆的各种临界尺寸,同时,他还 采用精密压装装药技术将传爆药更均匀的压在沟槽

收稿日期: 2015-04-02; 修回日期: 2015-06-07

基金项目:国家自然科学基金资助(11202103)

作者简介:沈慧铭(1988-),男,博士,主要从事爆炸力学研究。

e-mail: shenhuiming202@163.com

通信联系人:李伟兵(1982-),男,副研究员,主要从事爆炸力学和高效 毁伤技术研究。e-mail: njustlwb@163.com。

中,用以提高爆炸网络的同步性精度^[5]。胡华权^[6]设 计出一种在刚性基板外端联结导爆索的刚性和柔性相 结合的起爆网络,利用柔性导爆索可弯曲的特点消除 炸药传爆过程中的拐角误差以提高同步性。郑宇 等^[7]采用导爆索和扩爆头设计了一种用于形成杆式 射流的六点同步起爆装置,由于导爆索的误差较大所 以对成型影响很大。段卓平等[8]设计了一种用于大 口径装药 24 点同步起爆网络,狭缝摄影表明该起爆 网络可以在装药中产生喇叭状爆轰波。张郑伟^[9]等 针对柔性起爆网络提出了导爆索分束的方法,分束结 构可减少转换接头的尺寸和内部装药量,有助于提高 和保证爆轰波输出的同步性。前人的研究侧重传爆炸 药的性能的提高或者优化起爆网络设计这两个方面, 而对起爆网络结构参数和将起爆网络应用于实弹效果 的检验则少有报道。

基于此,本研究在前期对多点起爆代替环起爆研 究的基础上^[10],设计8点起爆网络,采用新型的纳米 颗粒炸药作为传爆药,分析起爆网络关键参数,如基板 厚度、刻槽宽度以及起爆威力的影响,计算起爆网络的 同步性精度,并进行了实弹检验。

2 起爆网络总体结构设计

起爆网络由基板、端盖和传爆药三部分构成,采用 典型的板式传爆结构,如图1所示,以基板为主体,其 上刻八条长度相同的沟槽,传爆药压装于沟槽内,雷管 插入雷管座,从中心点处引爆沟槽中的传爆药,爆轰波 通过沟槽传播至被发主装药端面引爆主装药,起爆网络的起爆点数与沟槽刻槽数一致。

端盖材料为 45^{**}钢,中心处加工有直径 7.2 mm 的定位孔用于插入 8 号火雷管,为起爆网络的输入端; 基板材料为 45^{**}钢,基板直径 $d_2 = 60$ mm,厚度 H,端 面沟槽的槽宽和槽深均为 d_1 ,方形槽,并由底部打通, 作为起爆网络的输出端,槽长 L=25 mm,即起爆网络 的起爆直径为 $d_3 = 2L = 50$ mm,其他具体尺寸如图 2 所示。传爆药为 RDX 和 HMX 的混合物(RDX/HMX = 45%/45%,10%的含能粘结剂,爆速 5500 m · s⁻¹,密 度 1.62 g · cm⁻³),炸药颗粒的直径小于 100 nm。



- 图1 典型的板式传爆装置示意图
- Fig. 1 Schematic diagram of a typical plate booster device



- 图 2 起爆网络结构(单位:mm)
- Fig. 2 Structure of explosive circuit(unit: mm)

3 起爆网络关键结构参数影响分析

该起爆网络要形成多点环形起爆必须保证中心处 向下的爆轰波不能引爆主装药,所以起爆网络必须具 备一定的隔爆能力,基板越厚则隔爆能力越强,但聚能 战斗部在武器系统中可利用空间有限,所以应选择满 足隔爆条件的最小厚度;刻槽宽度 d₁(方形槽,宽度等 于深度)影响传爆药的传爆能力,设计上一般尽量减 小刻槽宽度以降低沟槽装药的药量,但应大于传爆炸 药的临界起爆直径,才能保证炸药稳定传播;少量的沟 槽炸药是否有足够威力起爆被发主装药决定着该起爆 网络是否起作用。所以对于上节所设计的网络结构有 三个关键的参量需要考虑:刻槽宽度 d₁、基板厚度 H 以及起爆威力。

3.1 刻槽宽度(d₁)

采用如图 3 所示的方法确定该纳米颗粒炸药的临 界起爆直径,在长条状的板上刻有 1.2 mm×1.2 mm、 1.0 mm×1.0 mm、0.8 mm×0.8 mm、0.6 mm× 0.6 mm,4 种宽度的沟槽,每段长 30 mm,采用了精 密压装装药,将纳米颗粒炸药与含能粘结剂混合成胶 状放置于沟槽,将透模与网络基板固定,在抽真空的条 件下进行加压,一段时间后卸下模具,沟槽炸药置于真 空烤箱,12 h 后取出,最后进行表面处理,可以较好地 保证装药的均匀性,用雷管从顶端引爆,炸药从上而下 传爆,若炸药在某一沟槽内熄爆,则上一沟槽的宽度即 为该炸药的临界起爆直径。共进行 3 发试验,试验结 果见表 1,其中 1 代表传爆,0 代表熄爆。



图3 炸药临界起爆尺寸测试示意图及实验结果

Fig. 3 Test diagram of explosive critical initiation size and test result

表1 临界起爆直径测量结果

Table 1 Measurement results of critical initiation diame

<i>d</i> ₁ /mm	No.1	No. 2	No. 3
1.2	1	1	1
1.0	1	0	0
0.8	0	0	0
0.6	0	0	0

Note: 1 represents detonation; 0 represents detonation failure.

通过观察试验中钢板沟槽有翘边以及被爆炸火焰

熏黑来判断炸药是否爆轰,若炸药只是燃烧,45^{*}钢板 沟槽不会产生翘边。由表 1 看出,在刻槽宽度为 1.2 mm,3 发试验爆轰波都可以传播,当刻槽宽度为 1 mm时,第一发试验炸药中爆轰波可以传爆,第二发 和第三发均不能传爆,而炸药的临界尺寸为爆轰波 100%能稳定传播的最小装药宽度,所以该炸药的临 界起爆直径为1.2 mm,设计的起爆网络中刻槽宽度 定为1.2 mm。

3.2 基板厚度(H)及起爆威力分析

利用 AUTODYN-3D 有限元分析软件^[11]模拟不 同基板厚度 *H*(1,2,3,4 mm 和 5 mm)下起爆网络对 爆轰波压力的削减情况,采用 TrueGrid 网格划分软 件^[11]建立起爆网络的三维模型,如图 4 所示。算法采 用 Lagrange 算法^[12],虽然该方法网格在计算过程中 会发生较大的扭曲变形,但该方法可以对介质运动的 整体或局部的变化都描述的比较清晰,能清楚的显示 节点的压力,动能等物理量。为了判断被发主装药是 否被引爆,设置了多个历史变量测点,如图 4 所示,将 测点的压力值与被发主装药的起爆阀值比较,来判断 被发主装药是否被引爆。被发主装药采用常用的 8701 炸药,具体材料模型及参数^[12]见表 2。

图 5 为各测点的压力时程曲线,从图 5 可知,起爆 点从中心处开始起爆到爆轰波传播到主装药所用时间 为 3.191 μs,起爆网络由中心点起爆,爆轰波通过沟 槽径向传播,同时轴向应力波驱动基板向主装药方向 移动,在 2.26 μs 时刻,gauge1[#]产生了压力突跃,峰值 约 2.25 GPa,此时基板在中心位置与被发主装药碰 撞,随着爆轰波的传播,gauge2[#]、3[#]、4[#]相继产生压力 峰值,最大压力峰值不超过2.3 GPa,小于8701炸药





Fig. 4 3D finite element model of explosive circuit and arrangement of gauge points

表 2	各材料参数及材料模型
N	日初相多处风雨相厌主

 Table 2
 Material parameters and material models

name	material	density /g • cm ⁻³	material model	equation of state
parent plate	45 [#]	7.83	JOHNSON_ COOK	GRUNEISEN
booster explosive	RDX/ HMX	1.620	HIGH_ EXPLOSIVE _BURN	GRUNEISEN
main charge	8701	1.7	HIGH_ EXPLOSIVE _BURN	GRUNEISEN

的起爆阈值 $p_{C} = 2.9 \text{ GPa}^{[13]}$,主装药不会起爆。在 3.191 µs时刻爆轰波到达爆炸网络的输出孔,此时位 于输出孔处的测点 gauge5[#],压力增长至 46.41 GPa, 被发主装药起爆,形成一点输入8点输出的环起爆模 式。测点4在4.1 µs 时刻的压力曲线峰值大于观测 点 5、6 的压力值,这是因为在 4.1 µs 时刻主装药已被 引爆,主装药中的爆轰波传播到测点4时与基座壁面 发生斜反射,导致测点4的爆轰波压力突跃,而观测点 5、6没有发生斜反射的条件。表3为不同的基板厚度 下各测点的压力值,可以发现当基板厚度为1 mm 和 2 mm 时, gauge1[#]~4[#]测得的压力分别为 5.17 GPa 和3.65 GPa,均高于8701 炸药的临界起爆压力,当基 板厚度增加到3 mm 时,测点压力值为2.28 GPa,小 于临界起爆压力值,传爆药不会在中心点处引爆被发 主装药,所以设计起爆网络中45[#]钢基板的厚度至少 取3 mm,为了起爆网络隔爆的可靠性,确定基板厚度 为3.8 mm。

从表 3 还可知,输出孔处测点 gauge5[#]~6[#]的压 力值大于被发主装药的临界起爆压力,所以 1.2 mm× 1.2 mm方形孔装药量的传爆药有足够威力引爆被发 主装药,同时,3.1 节中的 45[#]钢沟槽翘边也印证该纳 米颗粒炸药有足够的起爆威力。



图 5 测点压力时程曲线

Fig. 5 Pressure-time curves of six gauge points

表3 不同基板厚度下测点的压力值

Table 3 Pressure values of the gauge points with differentthickness substrate

H/mm	pressure/GPa		
n/mm	gauge1 [#] -4 [#]	gauge5 [#] -6 [#]	
1	5.17	38.66	
2	3.65	43.3	
3	2.3	46.4	
4	1.69	46.5	
5	0.86	47.08	

4 起爆网络同步性

4.1 理论分析

刚性起爆网络传爆所用时间分为两部分:第一部 分是从输入端到输出端爆轰波传播所需要的时间,第 二部分是爆轰波通过拐角由于爆速差导致的时间延迟。而导致起爆网络同步性误差的原因主要有传爆药 的装药密度、基板机械加工精度、传爆药的爆速误差、 爆轰拐角误差^[7]等。对设计的起爆网络进行同步性 分析,首先假设该起爆网络传爆时间为 *t*,则:

$$t = \frac{L_1}{D} + nt_{\pi/2} \tag{1}$$

式中, L_1 为输入端到输出端的长度,mm;D为传爆药的爆速,m·s⁻¹; n为输入端到输出端经过的 90°拐角 个数,n=1; $t_{\pi/2}$ 为爆轰波沿直角传播的延迟时间,ns。

起爆网络同步性误差时间 Δ*t* 可以用误差分析^[14] 法得到:

$$\Delta t = \pm \sqrt{\left(\frac{\partial t}{\partial L_1} \Delta L_1\right)^2 + \left(\frac{\partial t}{\partial D} \Delta D\right)^2 + n \left(\frac{\partial t}{\partial t_{\pi/2}} \Delta t_{\pi/2}\right)^2} \quad (2)$$

式中, ΔL_1 为输入端到输出端沟槽的长度误差,mm; ΔD 炸药爆速差,m·s⁻¹,取决于沟槽装药均匀性、装 药截面尺寸以及装药密度; $\Delta t_{\pi/2}$ 为爆轰波拐过直角传 播延迟时间偏差,ns。

对公式(1)进行偏微分:

$$\frac{\partial t}{\partial L_1} = \frac{1}{D}$$
(3)
$$\frac{\partial t}{\partial D} = -\frac{L_1}{D^2}$$
(4)
$$\frac{\partial t}{\partial t_{\pi/2}} = 1$$
(5)

对于本研究设计的刚性 8 点同步起爆网络的结构,基板刻槽总长度 L_1 = 30 mm(起爆半径 25 mm,基板厚度 5 mm);基板加工精度为 0.01 mm,即 ΔL_1 =

0.01 mm; 炸药的爆速 $D=5500 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,爆速差 $\Delta D=$ 76 m · s⁻¹,假设爆轰波拐过直角传播延迟时间偏差 $\Delta t_{\pi/2} = 10 \text{ ns}^{[15]}$ 。

将参数代入式(2),理论上可以计算出设计的起 爆网络的同步性误差时间为: Δt=±76.1 ns

即该同步起爆网络八个输出端的同步性误差最大 值理论上不超过152.2 ns。

4.2 试验验证

WWW.ene 图 6 为设计的 8 点同步起爆网络成品图,采用 6 通道 PXI(PCI extensions for instrumentation)测时仪 测量起爆网络的同步性误差时间。测时仪采集精度为 2 ns,任取 8 点同步起爆网络中的六个输出点测量,如 图 7 所示,测试方式为"断断靶"形式,每个通道的 2 个回路都选择"通触发"启动逻辑。起爆前6个通道 的回路都处于被断开状态。起爆后,雷管首先起爆产 生电离导通触发线,计时仪开始计时,当爆轰波传到沟 槽炸药末端时,爆炸产生电离将第二回路导通,计时结 束。6个通道同时触发计时,计时结束时刻由爆轰波 传到沟槽末端时间决定,通过比较计时结束值即可考 察多点起爆网络的同步性。共2发实验。测量结果如 表4所示,因为有一路通道损坏,只测得5路数值。取 用时最少的一路作为标准值,其他各路与其比较为表 中的相对时间。

> 第一发试验的通道4未测到结果。可能是由于触 发线未贴合紧密,炸药爆炸产生的电离只导通一处触 发线,导致计时仪一直在计时。从两次试验9组数据 可以发现,由于机械加工及压药工艺等原因,起爆网络 的每个输出端经历的时间都不相同,但跳动不大,9组 数据中,最大偏差时间为210 ns,其余6组数据均为 170 ns 左右。基本满足要求(起爆网络同步起爆精度 控制在200 ns 以内,聚能装药多模式战斗部可以形成 外形良好的侵彻体^[2])。



图6 8点同步起爆网络成品图

Fig. 6 Product graphic of 8 multi-point synchronous explosive circuit



图 7 8 点同步起爆网络起爆精度测试图 WWW.ene Fig. 7 Test pattern of initiating bursting precision for 8 multi-point synchronous explosive circuit

表4 同步性测量结果

Table 4 Synchronization test result

No.	relative time/ns		
	first explosive circuit	second explosive circuit	
1	0	0	
2	166	170	
3	174	168	
4	888888	130	
5	164	210	



a. dimension of reference ammunition

基准弹和 8 点同步起爆网络 图 8

Fig. 8 Reference ammunition and 8 multi-point synchronous explosive circuit





b. reference ammunition

实弹检验 4.3

将该起爆网络应用于某基准弹进行实弹检验,并 使用 X 光机拍摄下不同时刻侵彻体的成型形状,以此 来观察起爆网络在实弹中的效果。基准弹结构及试验 布置如图 8 所示, 8 点起爆、起爆直径为 50 mm, X 光 拍摄了基准弹在10 µs 和30 µs 时刻的侵彻体成型形 状,并与相同条件下(相同装药结构的基准弹、8点起 爆、起爆直径 50 mm、起爆网络偏差时间为 $\Delta t =$ 210 ns)通过有限元软件模拟的侵彻体成型形状进行 对比,如图9所示,从侵彻体外部形状、头部速度、长径 比来看,数值模拟结果与试验结果都吻合较好,从图9 可以看出,侵彻体头部有向下偏离轴线的现象,表明同 步起爆网络存在同步性偏差,但总体来看侵彻体成型 良好,横向偏移量不大,因为射流对同步性要求要比 EFP(explosively formed projectile)或杆式射流高得 多,所以该同步起爆网络完全可以满足 EFP 和杆式射 流的同步性要求。设计的刚性8点同步起爆网络可以 形成成型良好,横向偏移较小的射流战斗部,满足聚能 战斗部的使用要求。



c. experiment site

4 结 论

(1)设计了刚性8点同步起爆网络,确定关键结构 参数为:刻槽宽度为1.2 mm,基板厚度为3.8 mm。

(2)理论分析起爆网络同步性,发现所设计的同 步起爆网络八个输出端的同步性误差最大值理论上不 超过152.2 ns。实验验证表明,所设计的起爆网络同 步起爆精度约为170 ns,满足聚能装药多模式战斗部 形成外形良好的侵彻体的要求。

(3) 实弹检验表明, 刚性 8 点同步起爆网络可以 形成成型良好,横向偏移较小的射流战斗部,满足聚能 战斗部的使用要求。

本研究所采用的纳米颗粒炸药中存在 10% 的粘 结剂,使得炸药的爆速和密度下降,对起爆网络的同步 性精度有一定的负影响。下一步工作可以通过改进粘 结剂的性能进一步提高起爆网络的同步性精度。

参考文献:

 [1] 罗健,蒋建伟,朱宝祥. 多点起爆对 EFP 形成的影响研究[J]. 弹箭 与制导学报, 2004, 24(2): 27-29.
 LUO Jian, JIANG Jian-wei, ZHU Bao-xiang. The effect of mul-

tile-point initiation on the explosively formed penetator formation [J]. Journal of Missiles and Guidance, 2004, 24(2): 27–29.

- [2] 李伟兵,王晓鸣,李文彬,等.环形多点起爆精度对聚能杆式侵彻体成型的影响[J].爆炸与冲击,2010,30(1):45-50.
 LI Wei-bing, WANG Xiao-ming, LI Wen-bin, et al. Effects of annulus multi-point initiation precision on formation of jetting projectile charge[J]. *Explosion and Shock Waves*, 2010, 30 (1):45-50.
- [3] 李晓刚,焦清介,温玉全.超细钝感 HMX 小尺寸沟槽装药爆轰波 传播临界特性研究[J].含能材料, 2008, 16(4): 428-431.
 LI Xiao-gang, JIAO Qing-jie, WEN Yu-quan. Critical characteristic of detonation propagation of superfine desensitived HMX charge in channel [J]. Chinese Journal of Energetic Materials (Hanneng Cailiao), 2008, 16(4): 428-431.
- [4] 温玉全,焦清介,蔡瑞娇,等. 橡皮炸药沟槽通道爆轰波传播特性
 [J].北京理工大学学报, 1999, 12(S1): 43-46.
 WEN Yu-quan, JIAO Qing-jie, CAI Rui-jiao, et al. Characteristic of the detonation wave propagation of rubber explosive in channel[J]. *Journal of Beijing Institute of Technology*, 1999, 12 (S1): 43-46.
- [5] 温玉全,焦清介.同步起爆网络精密压装装药技术研究[J]. 兵工 学报, 2006, 27(3): 410-413.
 WEN Yu-quan, JIAO Qing-jie. A study on the precision press loading technique of a synchronous multi-point explosive circuit [J]. Acta Armamentarii, 2006, 27(3): 410-413.
- [6] 胡华权,裴明敬,张德志,等.曲面多点同步起爆网络研制[J].火工品,2008,12(6):5-8.
 HU Hua-quan, PEI Ming-jing, ZHANG De-zhi, et al. Design on multi-point simultaneous initiating circuit for curved surface[J]. *Initiators & Pyrotechnics*, 2008, 12(6): 5-8.
- [7] 郑宇,王晓鸣,黄寅生,等.多点同步起爆网络的设计及试验研究

[J]. 火工品, 2008, 2(1): 1-4.

ZHENG Yu, WANG Xiao-ming, HUANG Yin-sheng, et al. Design and experimental investigation on multi-point synchronous explosive logic circuit [J]. *Initiators & Pyrotechnics*, 2008, 2 (1): 1–4.

- [8] 段卓平,温丽晶,申建,等.聚能装药用多点环形起爆器的设计
 [J]. 兵工学报, 2011, 32(1):101-105.
 DUAN Zhuo-ping, WEN Li-jing, SHEN Jian, et al. Design of multi-point ring initiator for shaped charge[J]. Acta Armamentarii, 2011, 32(1):101-105.
- [9] 张郑伟,李晓刚,温玉全,等.一种柔性线同步起爆网络的设计与 实验研究[J]. 含能材料, 2014, 22(3): 401-405.
- ZHANG Zheng-wei, LI Xiao-gang, WEN Yu-quan, et al. Design and tests of a flexible liner synchronous explosive circuit [J]. *Chinese Journal of Energetic Materials*(*Hanneng Cailiao*), 2014, 22(3): 401–405.
- [10] LI Wei-bing, WANG Xiao-ming. Research on the rule of multipoint initiation replacing annulus initiation under different charge caliber[C] // Proceedings of the 27th International Symposium on Ballistics, Germany; Freiburg, 2013; 872-883.
- [11] XYZ Scientific Applications Inc. TrueGrid manual, Version 2.1.0[M]. XYZ Scientific Applications Inc, 2010.
- [12] 石少卿,汪敏,孙波,等. AUTODYN 工程动力学分析及应用实例
 [M].第一版.北京:中国建筑工业出版社,2012:38-40.
 SHI Shao-qing, WANG Min, SUN Bo, et al. AUTODYN engineering dynamic analysis and application examples[M]. First Edition. Beijing: Chinese Building Industry Press, 2012:38-40.
- [13] 孙元虎,黄风雷.冲击条件下三种典型炸药临界起爆条件的实验研究[J].含能材料,2004,12(增刊):359-361.
 SUN Yuan-hu, HUANG Feng-lei. Experimental study on critical initiating of three typical explosive in shock condition[J]. *Chinese Journal of Energetic Materials*(Hanneng Cailiao), 2004, 12 (Suppl): 359-361.
- [14] 费业泰. 误差理论与数据处理[M]. 第六版. 北京: 机械工业出版社, 2010: 57-65.

FEI Ye-tai. Error theory and data processing [M]. Sixth Edition. Beijing: China Machine Press, 2010: 57–65.

[15] 胡双启,邰玲,曹雄.环形传爆药多点同步起爆网络的应用研究
[J].火炸药学报, 2004, 27(3): 62-65.
HU Shuang-qi, TAI Ling, CAO Xiong. Application of multi-point synchronous explosive logic circuit of the ring propagating charge
[J]. Chinese Journal of Explosives & Propellants, 2004, 27(3): 62-65.

Design and Synchronization Analysis of Structural Parameter of a Multi-point Explosive Circuit

SHEN Hui-ming, LI Wei-bing, WANG Xiao-ming, LI Wen-bin

(Ministerial Key Laboratory of ZNDY, Nanjing University of Science & Technology, Nanjing 210094, China)

Abstract: A synchronous explosive circuit with the typical plate structure was put forward with the booster explosive containing 45% RDX, 45% HMX and 10% energetic binder. The diameter of explosive particles were smaller than 100 nm. The key structural parameters of this explosive circuit are obtained by test and simulation as notch width 1.2 mm, and parent plate thickness 3.8 mm. The synchronization of the explosive circuit was theoretical analyzed. Results show that the maximum value of the synchronization error of eight output parts are less than 152.2 ns. The experimental verification show that the initiating bursting precision of the explosive circuit is about 170 ns, which meets the requirement of multi-mode warhead forming a good shape penetrator. The live projectile test show that the eight-point synchronous explosive circuit can form a jet warhead with a good shaping and relatively smaller lateral offset, which meets the operational requirement of the shaped charge warhead.

Key words: synchronous explosive circuit; structure parameter; precision of synchronization; numerical simulation

CLC number: TJ410.3+3 Document code: A

DOI: 10.11943/j.issn.1006-9941.2016.03.005