

文章编号: 1003-1480 (2004) 02-0012-04

小型雷管输出能力增强技术研究

翟志强¹, 王凯民¹, 蔡瑞娇², 严楠²

(1. 总装炮兵装备技术研究所, 北京, 100012; 2. 北京理工大学机电工程学院, 北京, 100081)

摘 要: 本文对传爆序列破片起爆系统中施主约束、传爆通道结构及飞片和受主炸药盖片的不同材料组合进行了实验研究, 并就破片和受主盖片的选择进行了定性讨论, 结果认为: 施主约束体应选用高强度材料, 传爆通道结构宜选用先小孔后大孔的阶梯方式, 破片宜选用质轻高强的脆性断裂材料, 受主炸药盖片宜选用低密度材料, 并得到了传爆序列中使用破片起爆具有作用距离大、输出威力大的结论。

关键词: 传爆序列; 破片起爆; 盖片; 小型雷管

中图分类号: TJ560.7 文献标识码: A

Experimental Study of Shock Initiation by Flyer

Plate Impact in Explosive Train

ZHAI Zhi-qiang¹, WANG Kai-min¹, CAI Rui-jiao², YAN Nan²

(1. Artillery Research Institute of Equipment Technology, Beijing, 100081;

2. Beijing Institute of Technology, Beijing, 100081)

Abstract: The structure design of initiation channel, the selection of donor's restrain material and the acceptor closure disk material in the fragment initiation system of explosive sequence is experimentally studied. The results show that, the strength of the restrain material should be high, the structure of initiation channel should be like step, the material of fragment should be light, high strength and brittle fracture, and the acceptor closure disk material should be low density. The fragment initiation in the explosive sequence can make long function distance and high output performance.

Key words: Explosive sequence; Fragment initiation; Stab detonator; Closure disk

随着弹药安全性要求的提高和灵巧弹药的发展, 类似 M55 等小型化雷管已广泛应用于多种弹药引信的传爆序列中。然而由于其起爆能力趋于极限状态, 可能导致传爆可靠性降低, 故其应用受到限制^[1~2]。分析小型制式雷管在引信传爆序列中的作用过程, 可知小型制式雷管的输出端盖片材质较软且厚度较薄, 爆炸后主要的输出能量是在空气中衰减很快的冲击波, 因而不能远距离起爆导爆管。已有实验证明, 当输出盖片选用一定强度的轻型材

料, 则可能利用破片撞击受主炸药达到较远距离的可靠起爆^[3]。另外, 有关实验表明导爆管的接受盖片材料及厚度对爆炸能量传递影响较大^[4], 因此, 传爆序列破片可靠起爆需要界面材料优化。本文采用 M55 雷管施主和 508 导爆管受主装药不变, 只改变输出盖片和接受盖片材料, 完成传爆序列起爆界面优化试验, 达到提高小型雷管远距离输出起爆能量的目的。

收稿日期: 2003-10-07

作者简介: 翟志强 (1973-), 男, 在读博士研究生, 从事武器系统可靠性研究。

1 实验方法及装置

引信传爆序列中雷管-导爆药系统基本上由雷管(施主装药及输出破片)、界面空气隙、导爆管(受主盖片或靶板及受主装药)和系统约束体等组成。能量传递界面有破片-靶板、靶板-受主药两部分。本研究是在维持雷管和导爆管装药工艺不变情况下,通过输出盖片(破片)和接受盖片(靶板)材料的不同组合实验,达到界面的优化。实验装置见图1。破片和靶板材料均选用

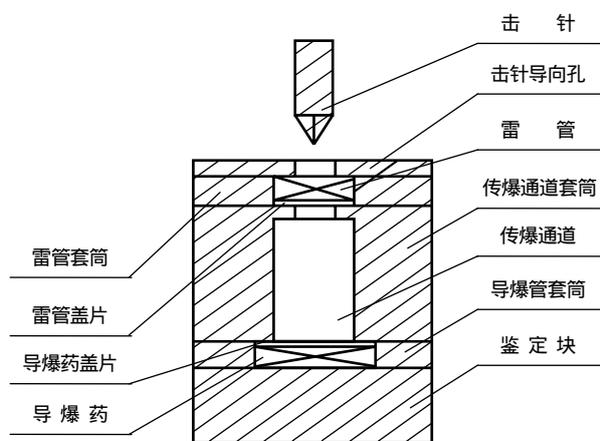


图1 小型雷管输出能力实验装置

铝(厚度为0.076mm、0.20mm)、钛合金(0.10mm)、钢(0.10mm)4种。约束体选用有机玻璃(PMMA)和铝合金(硬铝)两类,界面传爆通道由硬铝加工而成,并采用两种孔径结构,一种是孔径均为 $\Phi 2.5\text{mm}$,简称等径通孔;另一种是先小孔($\Phi 2.5\text{mm} \times 2\text{mm}$)后大孔($\Phi 3.75\text{mm}$),简称阶梯孔,目的是减小通道对破片的摩擦作用。各种材料

组合的起爆能力可通过多次实验确定出50%发火的通道长度 $_{50}$ 表征,导爆管起爆与否用20#冷轧钢鉴定块判定。

2 实验结果及分析

施主炸药爆炸后,将驱动破片加速运动并很快达到最大速度。此后,破片前方的空气将减缓破片的速度。由于破片通常是超音速的,所以,在其前方的空气中必定产生一个冲击波,该冲击波将从破片上吸收能量,从而导致破片速度缓慢下降^[4]。从传爆间距来看,影响雷管起爆导爆管的主要因素有系统约束、传爆通道结构、破片材料及面积、靶板材料及其厚度等。下面分别就这些因素进行讨论。

2.1 雷管和导爆管约束条件对传爆距离的影响

在实验中采用了2类材料3种约束条件,观察其对传爆的影响,实验结果见表1。从表1中可以看出如下特点:(1)除第7数据外,其余均表现为强约束能增大传爆距离,也就是说,当传爆距离相同时,强约束能增加传爆的可靠性。强约束意味着雷管径向能量损失小,从而使轴向的有效药量增加,导致轴向冲击波增强和破片速度增大。而雷管采用0.20mm软铝作输出盖片时,尽管也能形成破片效应,但强约束雷管可能会使低强度软铝破片破碎得很小,并足以影响其破片效应(撞击效应);而弱约束时,尽管破片速度小些,但破片面积较大,不影响其飞片作用于靶板。这种情况下,破片面积与速度同样重要。(2)同样约束材料时,与雷管配合的间隙大小对输出也极为重要。装配间隙较大时,会使雷管径向出现稀疏波,从而影响其轴向输出。所以,约束对破片速度有重要影响。

表1 不同约束条件对传爆距离的影响

序号	雷管(盖片) - 传爆通道 - 导爆管(接受盖片)	$_{50}/\text{mm}$ (有机玻璃约束)	$_{50}/\text{mm}$ (硬铝松约束)	$_{50}/\text{mm}$ (硬铝紧约束)
1	铝(0.076mm) - 通孔 - 铝(0.076mm)	4.00	5.00	-
2	钛(0.10mm) - 通孔 - 铝(0.076mm)	6.00	10.00	-
3	钛(0.10mm) - 阶梯孔 - 铝(0.076mm)	11.50	16.50	-
4	钛(0.10mm) - 阶梯孔 - 钢(0.10mm)	-	12.00	13.90
5	钛(0.10mm) - 阶梯孔 - 铝(0.20mm)	-	8.00	11.25
6	钢(0.10mm) - 阶梯孔 - 铝(0.076mm)	8.00	10.00	-
7	铝(0.20mm) - 阶梯孔 - 铝(0.076mm)	11.50	10.75	-

2.2 传爆孔结构对破片起爆能力的影响

分别用通孔和阶梯孔两种传爆通道结构进行了实验，实验结果见表2。

表2 不同结构的传爆孔对能量传递的影响

序号	雷管(盖片) - 导爆管 (接受盖片)	50 (通孔) /mm	50(阶梯孔) /mm	约束材料
1	钛(0.10mm) - 铝(0.076mm)	6.00	11.50	PMMA
2	钛(0.10mm) - 铝(0.076mm)	10.00	16.50	硬铝
3	铝(0.076mm) - 铝(0.076mm)	5.00	4.00	硬铝

从表2可以看出传爆孔对能量传递的影响表现在两个方面：(1)对冲击波而言，当使用先小孔

后大孔的阶梯孔的传爆通道结构时，大孔实际上起到了膨胀室的作用，将会使冲击波压力急剧下降^[5]。制式M55雷管的输出盖片为0.076mm的软铝，不但强度低而且较薄，不能形成有效破片，所以起爆导爆管的能量只能是冲击波。因此，这种雷管的输出经阶梯孔结构传爆时，起爆距离小于通孔结构。

(2)对破片而言，通孔的表面将与破片形成摩擦作用(初始，破片较大)，一定程度上阻碍了破片的运动。使用先小孔后大孔的阶梯孔的传爆通道结构时，破片出小孔后，大孔径将使对破片的摩擦大幅度地减小，保持了破片的正常运动。所以，阶梯孔传爆通道结构有益于破片起爆。

2.3 4种雷管输出端盖片的起爆性能比较

本次实验测定了M55雷管装药结构的4种输出盖片的输出性能，既0.076mm铝(M55雷管实际使用的盖片)、0.20mm铝、0.10mm钢、0.10mm钛合金4种材料，实验结果见表3。

表3 4种破片的起爆性能比较

序号	雷管(盖片) - 阶梯孔 - 导爆管 (接受盖片)	破片单位面积重量 / (g·cm ⁻²)	约束材料	50 /mm	起爆机理
1	铝(0.076mm) - 铝(0.076mm)	1.96	硬铝	4.00	冲击波起爆
2	钛(0.10mm) - 铝(0.076mm)	4.75	硬铝	16.50	飞片起爆
3	钢(0.10mm) - 铝(0.076mm)	7.89	硬铝	10.00	飞片起爆
4	铝(0.20mm) - 铝(0.076mm)	5.60	硬铝	10.75	飞片起爆
5	钛(0.10mm) - 铝(0.076mm)	4.75	PMMA	11.00	飞片起爆
6	钢(0.10mm) - 铝(0.076mm)	7.89	PMMA	8.00	飞片起爆
7	铝(0.20mm) - 铝(0.076mm)	5.60	PMMA	11.50	飞片起爆

从表3的数据可以看出，若以起爆距离作破片的输出性能标志，4种破片的性能依次为：钛(0.10mm) > 铝(0.20mm) > 钢(0.10mm) > 铝(0.076mm)。除制式雷管使用的0.076mm的软铝输出盖片没有破片效应外，其余3种破片的性能排序与其单位面积重量顺序相反。这说明破片重量影响着其速度。虽然钛(0.10mm)破片重量稍小于铝(0.20mm)破片，但传爆间距却相差较大。主要原因可能有：(1)铝是典型的延性断裂，而钛合金呈典型的脆性断裂，在动态断裂过程中消耗的能量大大小于延性方式中消耗的能量^[6]。(2)铝材料较软，爆炸时破裂程度较大，较小的破片面积使导爆药接受的撞击面积小，炸药表面出现的点爆轰扩展较慢甚至熄灭。另外，从几种雷管近距离(2.00mm)引爆导爆管的输出作用看，其鉴定钢块上的钢凹值

基本一致，这说明用这3种飞片材料代替目前的0.076mm软铝材料作M55小型雷管的输出盖片，既可以远距离形成破片可靠起爆而且近距离不降低其输出性能，从应用上，这一改进是具有实际价值的。特别是使用轻质高强度钛合金飞片时，可以在10mm远处可靠起爆导爆管(对传爆管也一样)，这就使引信传爆序列有可能取消导爆管元件，构成雷管直接起爆传爆管的新型序列，达到简化结构、降低成本和提高安全性的目的。

2.4 受主盖片(靶板)材料对传爆的影响

有文献指出受主盖片(靶板)材料及厚度对传爆没有影响，是可以忽略不计的^[7]。同时，也有实验表明受主盖片(靶板)材料及厚度对传爆有较大影响^[3]。为搞清这一问题，进行了系列改变受主材料的破片起爆实验，实验结果见表4。

表4 受主盖片对起爆能力的影响

序号	雷管(盖片) - 阶梯孔 - 导爆管 (接受盖片)	s_0 (硬铝约束) /mm	起爆能力排序	钢凹值/mm
1	钛 (0.10mm) - 铝 (0.076mm)	16.50	2	0.59
2	钛 (0.10mm) - 铝 (0.20mm)	8.00	4	0.48
3	钛 (0.10mm) - 钢 (0.10mm)	12.00	3	0.45
4	钛 (0.10mm) - 钛 (0.10mm)	18.00	1	0.49
5	钢 (0.10mm) - 铝 (0.076mm)	10.00	1	0.50
6	钢 (0.10mm) - 铝 (0.20mm)	9.50	2	0.51
7	钢 (0.10mm) - 钢 (0.10mm)	8.20	3	0.52
8	铝 (0.20mm) - 铝 (0.076mm)	10.75	1	0.44
9	铝 (0.20mm) - 铝 (0.20mm)	10.20	2	0.52
10	铝 (0.20mm) - 钢 (0.10mm)	7.60	3	0.47

从表4的数据可以看出,受主盖片的材料及厚度对破片的起爆有很大的影响。对钛破片而言,有利起爆的受主材料次序依次为:钛(0.10mm)>铝(0.076mm)>钢(0.10mm)>铝(0.20mm);对0.1mm钢破片和0.2mm铝飞片而言,顺序则为:铝(0.076mm)>铝(0.20mm)>钢(0.10mm)。同一种破片(相同速度)对不同受主盖片有不同起爆性能的主要原因有:(1)破片-靶板及靶板-受主炸药界面的冲击阻抗匹配程度不同;(2)导爆管接受盖片材料及厚度对撞击冲击波的形成和传播影响不同。这些只有建立完整的撞击动力学理论才能进行量化计算分析^[7]。总之,靶板材料密度要小,厚度要薄,这样才能减小来自破片-靶板撞击形成的冲击脉冲的衰减。从破片与靶板的匹配及传递能量的有效性看,要求破片厚度大于等于靶板厚度,破片的冲击阻抗要大于等于靶板的冲击阻抗。

3 结论

(1) 传爆序列破片起爆系统中,施主雷管的约束体及传爆孔结构对传爆距离有很大的影响。约束材料宜选用高强度,且配合间隙小;传爆孔宜选用先小孔后大孔的阶梯型通道,减小破片与通道内表面的摩擦作用。

(2) 传爆序列破片起爆系统中,破片与受主炸药盖片的不同对作用距离有很大的影响,且需要优化匹配,破片宜选用质量轻高强度的脆性断裂材

料,受主盖片宜选用低密度材料,其厚度应尽可能小。破片的厚度和冲击阻抗应大于等于靶板的对应值。

(3) 与冲击波起爆相比,传爆序列中使用破片起爆具有作用距离大、受主起爆后输出威力大的特点。用钛合金等飞片改进现役小型雷管既可以实现远距离可靠起爆导爆管又能维持近距离输出性能不变。

参考文献:

- [1] 王凯民等. 典型引信传爆序列发展特点分析及设计思考 [J]. 探测与控制学报, 2001, (2).
- [2] M.Wallace. Advance in explosive train technology [R]. AD 785692, 1975.
- [3] M.L.Schimmel. Quantitative understanding of explosive stimulus transfer [R]. NASA CR-2341, 1975
- [4] D. D. Richardson, et al. An exploding foil flying plate generator [R]. AD-A205157, 1992.
- [5] 爆炸及其应用(下册) [M]. 北京工业学院. 北京: 国防工业出版社, 1979: 287.
- [6] 张万甲. MB₂ 镁等四种金属材料的本构关系和动态断裂研究 [J]. 爆炸与冲击, 1995, (1).
- [7] J. L. Austing. The shock initiation of covered explosive and pyrotechnic charge by flyer plate impact across an air gap II: results for composition A4 [C]. 15th Proceeding International Pyrotechnics Seminar, 1990.