

柔性多点同步起爆装置设计与试验研究

吴艳萍¹, 魏华男², 薛润华¹, 周得才³, 吴青坡¹, 张俊¹

(1. 海军工程大学兵器工程学院, 湖北 武汉, 430000; 2. 陆军工程大学石家庄校区, 河北 石家庄, 050003; 3. 四川蓝狮科技有限公司, 四川 绵阳, 621000)

摘要: 针对战斗部起爆需求, 设计了一种“一入八出”柔性多点同步起爆装置。输入端设计采用集束盘约束 8 根银质导爆索并使用灌密封胶密封, 导爆索装药为 HNS; 输出端设计采用压合螺母-雷管-JH-14C 扩爆药柱组成的爆炸单元对爆轰波能量进行放大, 保证起爆装置输出威力, 并对起爆装置接口连接强度、爆炸输出威力及起爆同步性进行了试验研究。结果表明: 柔性导爆索及爆炸单元输出威力满足设计要求; “一入八出”起爆装置爆轰波输出同步性极差不大于 0.6 μ s; 通过减少起爆药药量以及去除集束盘灌密封胶内空气等方式, 能够有效保证作用后起爆装置的结构完整性。

关键词: 爆炸力学; 多点同步起爆; 柔性导爆索; 火工装置

中图分类号: TJ450.3 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1003-1480.2022.03.004

Design and Experimental Study of Flexible Multipoint Synchronous Initiation Device

WU Yan-ping¹, WEI Hua-nan², XUE Run-hua¹, ZHOU De-cai³, WU Qing-po¹, ZHANG Jun¹

(1. Ordnance Engineering College of Naval University of Engineering, Wuhan, 430000; 2. Shijiazhuang Campus, Army Engineering University of PLA, Shijiazhuang, 050003; 3. Sichuan Lanshi Technology Co. Ltd., Mianyang, 621000)

Abstract: According to the requirements of warhead initiation, a flexible multi-point synchronous initiation device of "one in eight out" was designed. Eight silver detonating cords were restrained by a cluster disk and sealed with potting glue in the input end, the detonating cord charge was HNS. The explosion unit composed of compression nut, detonator and JH-14C booster charge was adopted in the output end, to amplify the detonation wave energy and ensure the output power of the initiation device. The interface connection strength, explosion output power and initiation synchronization of the initiation device were experimentally studied. The results show that the output power of flexible detonating cord and explosion unit meets the design requirements; The synchronization range of detonation wave output of "one in eight out" initiation device shall not be greater than 0.6 μ s; By reducing the amount of detonating cord charge, removing the air in the cluster disk potting glue and so on, the structural integrity of the initiation device after action can be effectively guaranteed.

Key words: Explosion mechanics; Multipoint synchronous initiation; Flexible detonating cord; Initiating explosive device

柔性导爆索具有良好的柔韧性, 可远距离传递爆轰波且爆轰波传递具有定向约束性、可靠性及爆速稳定性, 广泛应用于多点起爆战斗部、定向战斗部及航天火工品起爆控制系统^[1-5]。柔性多点同步起爆装置一般由柔性导爆索、输入端、输出端、转接接头组成,

采用“单点输入、多点同步输出”的方式起爆下一级火工品或炸药柱, 其起爆性能、同步性、结构完整性等决定了该装置的可靠性和功能性。周美林等^[2]采用 2 种不同规格的导爆索对 JH-9005 炸药柱进行侧向起爆性能试验, 结果表明在炸药柱侧面开孔, 导爆索能

收稿日期: 2022-01-06

作者简介: 吴艳萍 (1993-), 女, 硕士研究生, 从事引信安保机构及火工品研究。

通讯作者: 张俊 (1984-), 男, 讲师, 从事含能材料设计及应用研究。

够可靠起爆炸药柱,起爆可靠性跟炸药柱与导爆索端面装配间隙有关。胡华权等^[6]设计了一种刚性和柔性相结合的多点同步起爆网络,采用冗余设计将同步性标准偏差提高到 $0.3\mu\text{s}$ 。张郑伟等^[7]提出采用柔性导爆索直接贯穿转换接头的连接方式实现导爆索分束,该结构能显著提高导爆索与接头的连接强度,保证爆轰波输出同步性。龚康平等^[8]设计了一种以HNS为主装药、以硅藻土为添加剂的低能量银导爆索,该低能量银导爆索比装纯炸药的银导爆索的柔性差。樊龙龙等^[9]设计了一种台阶装药结构的无起爆药起爆接头,试验表明装药为HNS、外壳为银皮的导爆索能够可靠起爆JO-11C扩爆药柱。

针对战斗部起爆需求,本文设计了“一入八出”柔性多点同步起爆装置,通过对其接口连接强度、爆炸输出威力和起爆同步性进行试验,开展了柔性多点同步起爆装置的结构完整性、起爆威力和同步性研究。

1 柔性多点同步起爆装置设计

1.1 总体结构设计

“一入八出”柔性多点同步起爆装置结构如图1所示,由输入端、柔性导爆索和输出端3部分构成。

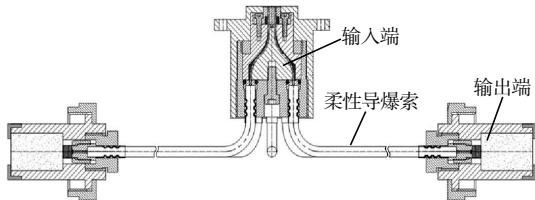


图1 起爆装置结构示意图
Fig.1 The diagram of initiation device

输入端采用集束盘设计,将8根银质导爆索约束在集束盘上;输出端为由压合螺母、雷管及扩爆药柱组成的爆炸单元。其工作原理为:采用引信轴向起爆集束盘8根导爆索,导爆索产生爆轰波传递至输出端雷管,雷管起爆扩爆药柱,从而实现战斗部装药爆轰。

为保证起爆装置爆轰波输出同步性及输出威力,对各组件采取以下设计:(1)引信输出威力确定后,8根导爆索直径、长度及装药保持一致,确保爆轰波传递过程的同步性;(2)导爆索与输入端、输出端接口采用压合螺母固定,集束盘空隙用灌密封胶密封;导

爆索与两端接口固定牢靠,输入端无气体产物逸出,从而确保起爆装置作用后不产生碎片或其他多余物。

1.2 输入端结构设计

柔性多点同步起爆采用“一入八出”结构,输入端起爆点位于8点同步起爆中心,对8根导爆索同步输入起爆信号,以减少因输入误差而导致的同步性误差。为提高导爆索起爆可靠性且便于试验,输入端结构设计采用在集束盘内放置扩爆管,扩爆管轴向上分布8根导爆索(集束盘内导爆索进行灌胶处理,保证密封性及连接强度),导爆索通过台阶设计固定在输入端连接件上,压合螺母与输入端壳体通过螺纹连接。试验表明在扩爆管被正常起爆的情况下,导爆索能够可靠传爆,且起爆过程中不脱落、无气体产物和碎片等多余物产生。

1.3 导爆索结构设计

柔性多点同步起爆装置用导爆索主要用于爆轰波传递,在爆轰波传递过程中,如果导爆索约束强度不够会使导爆索破裂而造成能量损失,损失严重则会无法有效起爆下一级火工品;如果猛炸药爆轰能量偏低,则无法直接引爆冲击波感度相对较低的扩爆药或主装药。因此,本研究选用强度及韧性良好的限制性银质导爆索,装药为HNS,实测爆速为 $(6700\pm 20)\text{m/s}$ 。为解决因导爆索选用而导致的爆速极差值偏大问题,8根导爆索均选用同1根拉伸成型后的导爆索,截取长度相同的8根,长度误差控制在 $\pm 1\text{mm}$ 范围内。

1.4 输出端结构设计

柔性多点同步起爆装置采用柔性导爆索传递爆轰,其HNS装药爆轰输出不足以直接引爆下级功能装置,需进行能量放大。因此,输出端结构设计为固定导爆索的压合螺母、雷管和JH-14C扩爆药柱组成的爆炸单元,采用将导爆索传爆末端直接连接雷管进行输出传爆的成熟技术,以保证输出装药可靠起爆。

2 试验

2.1 接口连接强度验证试验

为确保“一入八出”起爆装置可靠作用,确定导

爆索尺寸后,需对转换接头、接口尺寸及连接强度进行设计。通过对前期设计的“一入四出”起爆装置的传爆性能及接口连接强度进行试验,优化结构设计及制作工艺,为“一入八出”起爆装置转换接头、接口尺寸及连接强度设计提供参考。试验结果见图2、表1。



图2 接口连接强度试验残骸照片

Fig.2 The photos of debris from interface connection strength tests

表1 接口连接强度试验结果

Tab.1 The result of debris from interface connection strength tests

产品状态	试验数量	灌胶次数	传爆情况	接口连接强度
改进前	2	1	传爆正常	导爆索脱落、灌胶有气泡
改进1	2	1	传爆正常	导爆索脱落、灌胶有气泡
改进2	4	2	传爆正常	导爆索未脱落、灌胶无气泡

由图2、表1可知,改进前柔性导爆索正常传爆,但导爆索与转换接头脱落。这是由于采用注射器对接口部位灌胶,胶液内带有空气,而装配尺寸过小使气泡无法有效排出,导致雷管起爆后爆轰压力超过约束强度,导爆索与输入端脱落。因此,为提高连接强度,对起爆装置结构及灌胶工艺进行优化设计(改进1):增大集束套及雷管座装配尺寸,使灌胶过程中气泡有效排出。对改进后的起爆装置进行起爆试验,结果表明改进后仍然存在导爆索脱落、灌胶有气泡的问题。分析认为是由于固定盘厚度过小,电爆管装药量过大,起爆后爆轰压力超过其约束强度,从而导致导爆索脱落。因此,对起爆装置结构及灌胶工艺进一步优化设计(改进2):减少电爆管装药量、增加固定盘厚度、采用静态分次灌胶、固化时间调整至48h。对进一步改进后的起爆装置进行起爆试验,结果表明:4发导爆索均能正常传爆,且导爆索未脱落、灌胶无气泡,接口连接强度满足设计要求,可为“一入八出”起爆装置提供设计依据。

2.2 爆炸输出试验

为验证“一入八出”起爆装置传爆可靠性及爆炸输出威力,采用“一入一出”单通道传爆组件起爆爆炸单元,通过爆炸单元被起爆后爆炸输出使铅柱(尺

寸 $\Phi 40\text{mm}\times 60\text{mm}$)压缩量或变形情况验证其输出威力。共进行2发试验,试验装置布局如图3所示,试验残骸照片如图4所示。

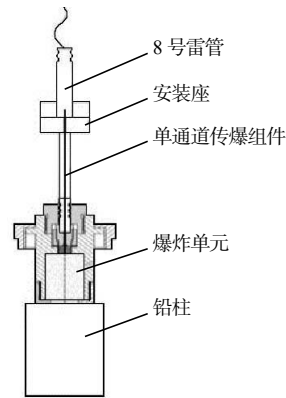


图3 起爆试验装置布局图

Fig.3 The layout of initiation test

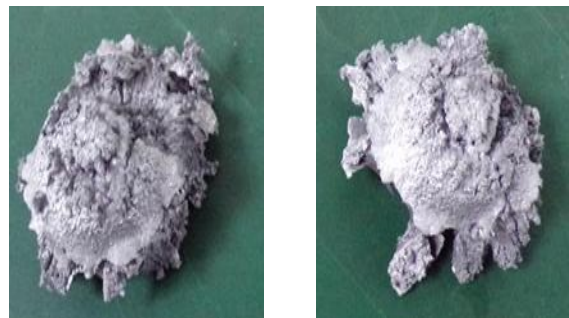


图4 起爆试验残骸照片

Fig.4 The photos of debris from initiation tests

由图4可知,8号电雷管可靠起爆柔性导爆索,导爆索产生爆轰波可靠起爆输出端扩爆药柱,使铅块严重变形,表明柔性导爆索可靠起爆爆炸单元,输出威力可满足柔性多点同步起爆装置设计要求。

2.3 同步性验证试验

为准确测试柔性多点同步起爆装置各起爆点的同步性,依据GJB 5309.22-2004 火工品试验方法第22部分:爆炸同步性测定 探针法,采用透明胶带将柔性探针、漆包线粘在输入端及输出端相应位置,以探针及漆包线的“断-通”信号作为时间测试信号,计算多路计时仪显示的作用时间极差值,来表示该起爆装置的爆炸同步性。试验设备包括:MDO3104示波器(精度 $0.01\mu\text{s}$)、电容器起爆器($33\mu\text{F}/12.4\text{V}$)、矿用起爆器、BQ-2ND恒流源(精度 1mA)。同步性试验方法示意图如图5所示,试验结果见表2。

表2 同步性试验结果

Tab.2 Measurement results of synchronicity									
导爆索有效长度/mm	203.5	204.4	203.7	204.1	203.7	203.2	203.7	203.2	203.2
时间/ μs	45.80	45.20	45.60	45.40	45.60	45.40	45.40	45.60	45.60
极差/ μs	0.60								
导爆索有效长度/mm	200.1	200.5	200.5	199.7	199.6	199.6	199.8	200.4	200.4
时间/ μs	45.10	45.40	45.30	45.40	45.10	45.40	45.50	45.70	45.70
极差/ μs	0.60								

由表2可知,2套柔性多点同步起爆装置的最大起爆时间极差值为 $0.6\mu\text{s}$,起爆时间极差值跳动性较小。许碧英^[10]对多点起爆同步性进行了讨论,通过理论估算认为:在实际工程应用中,多个起爆点完全同步起爆是不可能的,炸药爆速、传爆过程中爆速误差、传爆距离及误差等因素均会影响多点起爆同步性。由此可见,起爆点越多,误差越难控制,保证小的起爆同步性极差难度越大。试验结果表明该柔性多点同步起爆装置作用可靠且稳定性良好。

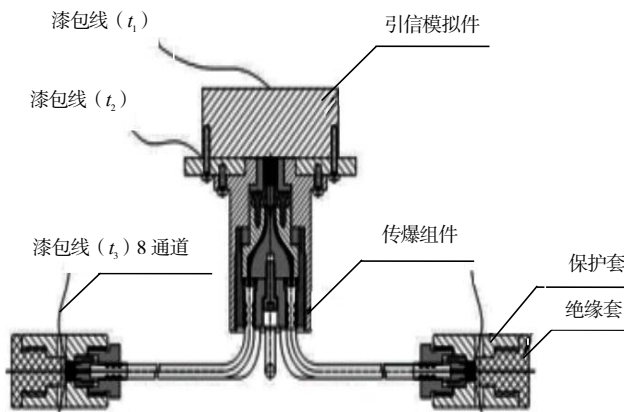


图5 同步性试验方法示意图

Fig.5 Schematic diagram of synchronicity test

3 结论

(1) 设计了“一入八出”柔性多点同步起爆装置,其输入端采用集束盘约束8根银质导爆索,使用灌密封胶密封保证其结构强度;银质导爆索装药为HNS;输出端采用压合螺母-雷管-JH-14C扩爆药柱设计,对爆轰波能量进行放大,保证起爆装置可靠作用。

(2) 对“一入四出”柔性多点同步起爆装置传爆可靠性及接口连接强度进行了试验研究,结果表明通过增加固定盘厚度和固化时间、减少电爆管装药量、采用静态分次灌胶等优化设计能够有效保证起爆装置作用后的结构完整性。

(3) 对“一入一出”单通道传爆组件输出威力进行了试验,结果表明柔性导爆索及爆炸单元输出威力可满足柔性多点同步起爆装置设计要求。

(4) 对“一入八出”柔性多点同步起爆装置爆轰波输出同步性进行了试验,结果表明爆轰波输出同步性极差不大于 $0.6\mu\text{s}$,满足设计要求。

参考文献:

- [1] 白颖伟,张蓉,李哲,等.柔性多点同步爆炸网络设计技术研究[J].含能材料,2009,17(2):225-228.
- [2] 郭洪卫,温玉全.柔性爆炸网络组网技术研究[J].火工品,2010(3):8-10.
- [3] 周美林,韩敦信,梁俊玉,等.柔性索侧向起爆炸药柱的可靠性及多点起爆炸药柱的同步性[R].中国工程物理研究院科技年报,2000.
- [4] 韩克华,焦清介,李蛟,等.两种多点同步起爆系统设计方法及性能分析[J].兵工学报,2020(41):103-111.
- [5] 习成献,孔陈杰.一种新型高可靠性电火工品起爆控制系统设计[J].研究与设计-电源技术,2020(44):1541-1543.
- [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(6):5-8.
- [7] 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.
- [8] 龚康平,陈美菱,李玲霞.一种低能量银导爆索的设计[J].火工品,2008(4):8-11.
- [9] 樊龙.柔性爆炸网络用无起爆药起爆接头研究[J].舰船电子工程,2015(9):176-179.
- [10] 许碧英,李公法,高桂萍.平面多点同时起爆网络的设计[J].火工品,2004(3):1-4.