

文章编号: 1001- 2486(2009) 03- 0025- 04

爆炸逻辑间隙零门实验研究*

龚柏林¹, 卢芳云¹, 李翔宇¹, 陈鸿²

(1. 国防科技大学理学院, 湖南长沙 410073; 2. 中国空气动力研究与发展中心超高速所, 四川绵阳 621000)

摘要: 为了可靠实现爆炸逻辑间隙零门的原理功能, 提出并验证了一种基于精细 RDX 和含能胶合剂的传爆药方案。通过实验探索了基于该传爆药的爆炸零门适用的间隙宽度范围, 并设计了一种小尺寸爆炸逻辑间隙零门, 为爆炸逻辑网络设计提供参考。

关键词: 爆炸力学; 爆炸逻辑网络; 间隙零门; 传爆药

中图分类号: O381 **文献标识码:** A

Experimental Studies on the Design of Explosive Logic Gap Null Gate

GONG Bai-lin¹, LU Fang-yun¹, LI Xiang-yu¹, CHEN Hong²

(1. College of Science, National Univ. of Defense Technology, Changsha 410073, China;

2. Institute of Hypervelocity, China Aerodynamics Research & Development Center, Mianyang 621000, China)

Abstract: Explosive logic network is a key technology to the aimable warhead, and gap null gate is a basic logic element of explosive logic network. It is necessary to realize the function of the gap null gate. A transmitting explosive based on RDX was developed, and a gap null gate with the transmitting explosive was validated experimentally. Formulations of the transmitting explosive and the gap distance suitable for the gate were concluded. The detonation velocity of the selected transmitting explosive was measured, and a gap null gate in small scale was designed. The gap null gate will proved reference for designing the explosive logic network.

Key words: explosion mechanics; explosive logic network; gap null gate; transmitting explosive

爆炸逻辑网络技术几乎是所有定向毁伤战斗部的关键技术之一, 定向战斗部通过爆炸逻辑网络减少起爆输入端数目, 提高安全性和可靠性。爆炸逻辑网络是一种新型起爆技术, 具有布尔逻辑判断能力和类似电路的信号处理功能^[1]。爆炸逻辑零门是组成爆炸逻辑网络的基础逻辑元件。

爆炸逻辑零门按结构不同可分为三种类型: 间隙零门、接触零门和拐角零门。国内外很多学者对爆炸逻辑零门进行了研究。最早由 Silvia^[2] 于 1965 年首次提出爆炸网络的概念, 并设计出了可以实现逻辑功能的爆炸零门。1967 年, Silvia, Ramay 和 Spencer 等^[3] 将原来的间隙式零门改为接触式, 提高了工艺的可靠性和实效性, 简化了设计工艺, 消除了零门节点处原有间断沟槽和点的临界性, 并据此设计了具有单向导通功能的爆炸二极管。1970 年, Silvia 和 Ramay^[4] 发现爆轰波传播过程的拐角绕射现象, 并正式提出接触式零门的工作原理即为爆轰波的拐角绕射现象。1994 年, 王树山等^[5-6] 对爆炸逻辑零门和爆炸逻辑与门进行了理论研究, 采用两个爆炸零门设计了一种异步爆炸与门, 并对挤抹法装药工艺进行了研究。1997 年, 焦清介等^[1] 对不同结构的爆炸逻辑零门的可靠性进行了研究, 对三种爆炸逻辑零门建立了可靠性数学模型, 分析了各自的可靠性概率窗口, 并结合实验进行分析, 结果显示接触式零门具有较高的可靠性和较宽的概率作用窗口。2001 年, 温玉全等^[7] 对间隙式爆炸零门进行了改进设计, 并对其可靠性进行了研究, 得到了可靠性窗口。

针对定向战斗部的需求, 本文提出并验证了一种适用于爆炸逻辑网络的传爆药方案, 设计了一种小尺寸爆炸逻辑间隙零门, 为爆炸逻辑网络设计提供参考。

* 收稿日期: 2008- 10- 07

基金项目: 国家部委基金资助项目

作者简介: 龚柏林(1982—), 男, 博士生。

1 爆炸逻辑间隙零门工作原理

普通爆炸逻辑间隙零门的结构如图 1(a) 所示。其工作原理是利用纵向通道(控制通道) DC 的爆轰波在间隙 H 中产生的冲击波, 将横向通道(信号通道) AB 的装药破坏, 即切断通道 AB 中爆轰波的传播。

普通间隙零门虽然可靠性较高, 但其可靠性窗口太窄, 为此温玉全等^[7] 提出了改进型间隙零门, 其原理图如图 1(b) 所示。和普通间隙零门相比, 这种零门在控制通道和信号通道相交处, 相对于控制通道设置有一个泄爆槽 E , 这样可明显增强控制通道对信号通道的破坏效果, 减小零门作用时间, 拓宽可靠性窗口。

间隙零门的一个关键结构参数是传爆药, 传爆药的可靠传爆是间隙零门成功实现其功能的基础; 另外一个关键影响因素是间隙宽度 H 。间隙宽度过小, 可能会使信号通道的传爆药在控制通道的冲击作用下起爆; 间隙宽度过大, 则控制通道的冲击作用减弱, 可能无法可靠地切断信号通道。间隙宽度的确定取决于传爆药性能及零门所在的基板材料, 传爆药做功能力越强或基板材料强度越低, 间隙宽度越大, 反之越小。下面的实验设计中, 对传爆药和间隙宽度 H 开展了研究。

2 间隙零门实验设计

2.1 传爆药选择

炸药在沟槽通道的传爆存在直径效应、拐角效应等现象, 因此高性能传爆药的配置及装填是爆炸逻辑网络技术的关键。传爆药的确定需综合考虑其密度、粒度、感度、爆速、临界直径、混药配方等指标。参考国内外传爆药的经验, 确定传爆药以 RDX 为基。由于常规 RDX 临界直径较大, 不利于小尺寸装药的正常传爆, 因此实验采用一种经过细化处理的 RDX 炸药作为传爆药主要成分(平均粒径为 $15.782\mu\text{m}$, 中位粒径 $d(0.5) = 12.981\mu\text{m}$)。

沟槽式爆炸逻辑网络要求传爆药在含拐角、长距离的微通道内稳定、可靠地传爆, 因此爆炸网络对传爆药的均匀性、一致性、牢固程度的要求均较高。使用胶合剂后的传爆药能较好地满足这些要求, 且胶合剂能有效延长固化时间, 利于传爆药的装填。胶合剂的选择及其与 RDX 的配比是影响沟槽装药传爆性能及可靠性的关键因素, 为了确定适用于细化 RDX 的胶合剂及其配比, 实验采用两种不同的胶合剂(编号分别为胶合剂 1 和胶合剂 2)、三种不同配比(90/10、95/5、98/2) 来配制传爆药。其中胶合剂 1 为双 3.8, 胶合剂 2 为含能胶合剂, 以硝化纤维素及硝化甘油为主要成分。

2.2 间隙零门设计

间隙零门实验基板结构如图 2 所示。每块基板上设置有 3 个相同尺寸的间隙零门。为了方便起爆, 实验设计时将传爆通道与信号通道连在一起, 通过通道长度设计控制传爆通道和信号通道的时间序

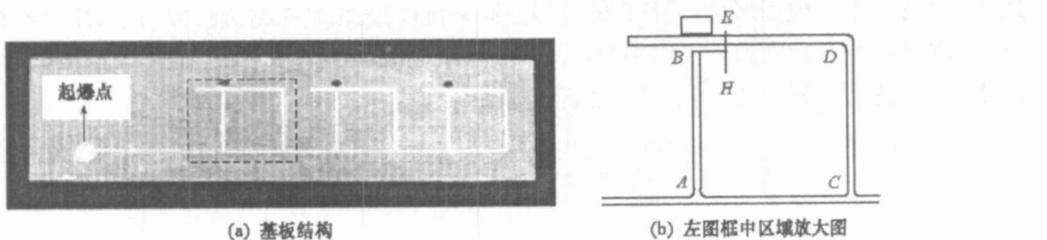
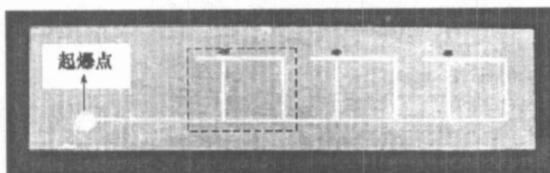
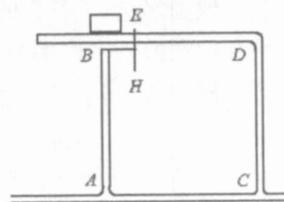


图 1 爆炸逻辑间隙零门
Fig. 1 Explosive logic gap null gate



(a) 基板结构



(b) 左图框中区域放大图

图 2 间隙零门基板结构图

Fig. 2 Scheme of base board with gap null gate

列,使爆轰波沿 $ACDE$ 传播的时间较沿 AB 传播的时间长,且多余的时间大于爆轰波在 B 处切断信号通道的时间。

实验采用硬铝作为基板材料,基板厚 5mm,沟槽横截面尺寸为 $1\text{mm} \times 1\text{mm}$ 。根据经验每个零门的矩形通道环 $ACDE$ 各边长取为 20mm,即零门的通道长度差为 40mm。为了得到零门间隙宽度对零门可靠性的影响规律,在不同基板上设计零门间隙宽度 H 不同,分别取 0.5mm、0.7mm 和 0.9mm。

为了考察胶合剂类型、配比及零门间隙宽度三个要素对零门可靠性的影响,同时以尽量减少实验次数为原则,设计了 8 组间隙零门起爆实验,实验安排和实验结果如表 1 所示。

表 1 实验安排及结果

Tab. 1 Experiment arrangement and results

实验 编号	传爆药成分及配比			间隙宽度(mm)	实验结果
	RDX(%)	胶合剂类型	胶合剂含量(%)		
1	90	1	10	0.5	2 个零门实现
2	90	1	10	0.7	1 个零门实现
3	90	1	10	0.5	2 个零门实现
4	90	1	10	0.9	2 个零门实现
5	95	2	5	0.7	全部零门实现
6	95	2	5	0.9	全部零门实现
7	98	2	2	0.5	1 个零门实现
8	98	2	2	0.5	1 个零门实现

注:实验 3 和 4 均采用丙酮和无水乙醇作为溶剂,以减缓固化速度。

2.3 实验结果

采取挤抹法将配制好的传爆药装入实验板上的沟槽内。将整个装置置于爆炸容器内,采用 8# 工业电雷管作为起爆器进行起爆实验。回收基板如图 3 所示。由表 1 可知,实验 5、6 所有零门均成功实现其功能,其余实验也有部分零门成功。

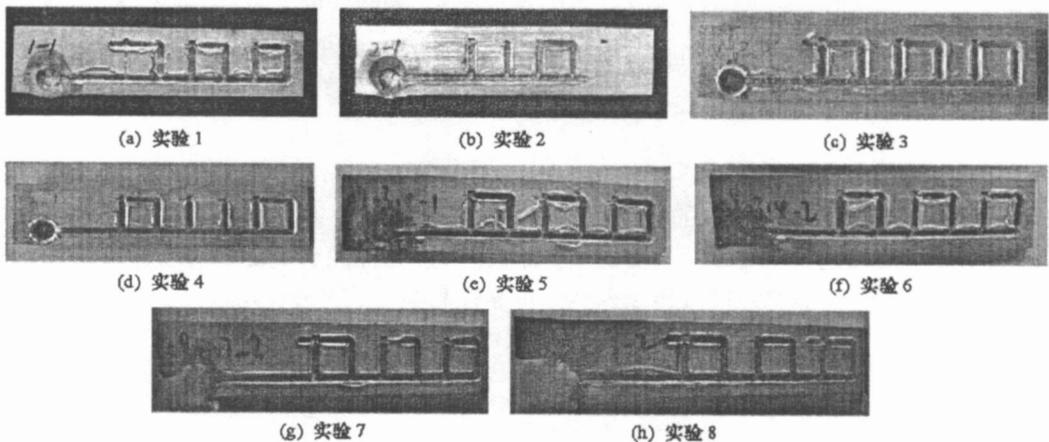


图 3 实验回收基板

Fig. 3 Base board after explosion

由于在三种不同的间隙宽度下均有零门成功实现其功能,因此间隙宽度 H 在 0.5~ 0.9mm 内零门均能正常工作,失效零门的主要问题是传爆药的不可靠问题。

失效的 9 个零门中 5 个零门为传爆药熄爆引起,主要因为传爆药均匀一致性较差,爆轰未稳定传播下去;另 4 个零门是纵向通道装药未完全破坏横向通道装药,导致信号通道的爆轰信号直接通过零

门,形成原因是控制通道末端处装药不密实,起爆后对一定间隙宽度的硬铝材料做功不够。经计算,采用胶合剂 2 的实验中零门成功实现的概率为 66.7%,大于采用胶合剂 1 的零门成功率 58.3%,因此胶合剂 2 更适用于配置基于 RDX 的沟槽装药。从传爆药配比来看,RDX \ 胶合剂 2= 95 \ 5 的传爆药方案零门成功率为 100%,可以更好地满足要求。

基于以上结论,实验中将所得间隙宽度范围及传爆药方案应用于爆炸逻辑网络的设计,进行逻辑网络的关键逻辑元件——小尺寸间隙零门的实验研究。

2.4 小尺寸间隙零门实验设计

爆炸逻辑网络盘是由多个零门组成的,由于定向战斗部留给爆炸逻辑盘的空间有限,因此所设计的零门应在相邻通道不会干扰的前提下尽可能小,即尽量减少零门通道的长度差(图 2(b)中 AC 段和 DE 段长度之和)。

通道长度差的计算公式为 $\Delta l = D / \Delta t$,其中 D 为传爆药爆速, Δt 为零门的作用时间。参考 Meyers^[8] 的实验结论,0.75mm 的间隙零门,爆轰波切断信号通道的作用时间在 1.13 μ s 左右。采用断路探针法对 RDX \ 胶合剂 2= 95 \ 5 的传爆药爆速进行了测量,测得沟槽通道直路上爆轰波的传播速度为 6357.5m/s。为拐角传爆的爆轰延迟和爆速亏损预留一定余量后,计算可得到基板上零门各段通道的最小长度。设计小尺寸间隙零门的通道边长为 10mm,即通道长度差为 20mm,下面通过实验对其进行验证。

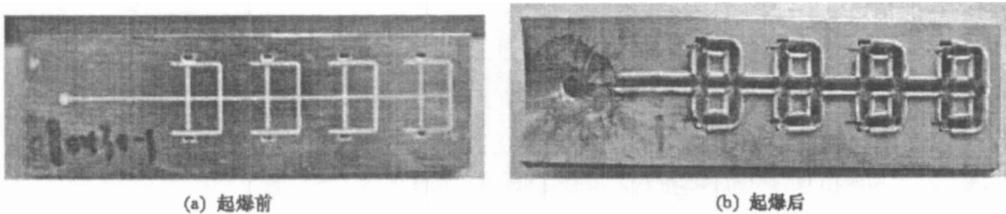


图 4 小尺寸间隙零门实验基板

Fig. 4 Base board with gap null gate in small scale

实验以硬铝作为基板材料,基板上 8 个相同尺寸的小零门,每个零门的通道长度差为 20mm。取间隙宽度为 0.5mm,零门基板如图 4(a) 所示。

起爆后 8 个小尺寸零门全部成功实现(如图 4(b) 所示)。实验结果表明:长度差 20mm 满足要求,零门间隙宽度和传爆药方案得到进一步验证,该小尺寸零门可以为逻辑盘的设计提供参考。

3 结论

- (1) 所设计的爆炸间隙零门结构可行。间隙宽度 H 在 0.5~ 0.9mm 内零门均能正常工作。
- (2) 基于精细 RDX 和 2 号胶合剂的传爆药方案(RDX \ 胶合剂= 95 \ 5)可以满足传爆要求。
- (3) 装药密度不均匀是导致传爆药熄爆的重要原因。2 号含能胶合剂能显著改善装药的均匀性,有效增强小尺寸微通道装药的爆轰性能,传爆药传爆可靠性和零门的可靠性均较高。
- (4) 长度差为 20mm 的小尺寸零门成功实现,可以作为逻辑盘的逻辑元件。

参考文献:

- [1] 焦清介,吉利国,蔡瑞娇. 爆炸逻辑零门可靠性研究[J]. 兵工学报, 1997, 18(2): 116- 120.
- [2] Silvia D A. Explosive Circuits[P]. USP: 3728965, 1973.
- [3] Silvia D A. Explosive Gate, Diode Switch[P]. USP: 3430564, 1969.
- [4] Silvia D A, Ramay R T. Explosive Elements [P]. USP: 3496868, 1970.
- [5] 王树山. 爆轰波非常规传播现象及其应用研究[D]. 北京: 北京理工大学, 1994.
- [6] 王树山,焦清介,冯长根. 爆炸逻辑元件的研究[J]. 火工品, 1994(2): 1- 3.
- [7] 温玉全,卢斌,焦清介. 改进间隙式爆炸零门的设计及可靠性研究[J]. 火工品, 2001(4): 6- 8.
- [8] Meyers W H. On the Design of Explosive Logic Elements [C]// Proc. of the 12th International Symposium on Explosives & Pyrotechnics, 1984.