

文章编号:1006-9941(2005)01-0022-04

一种“二入四出”爆炸逻辑网络研究

温玉全, 焦清介, 蔡瑞娇, 黄海龙

(北京理工大学爆炸灾害预防与控制国家重点实验室, 北京 100081)

摘要:以爆炸零门为基本元件,设计了通道转换器型“二入四出”爆炸逻辑网络模块,给出了爆炸逻辑网络结构与逻辑关系,并对爆炸逻辑网络的逻辑功能进行了实验研究;以“二入四出”爆炸逻辑网络为基本模块,可以设计三入六出、四入八出等复杂结构的爆炸逻辑网络,用于定向战斗部起爆系统。

关键词:爆炸力学;爆炸逻辑网络;通道转换器;爆炸零门

中图分类号: TJ410.6

文献标识码: A

1 引言

爆炸逻辑网络是具有逻辑判断和运算功能的爆炸网络,依功能不同可分为“单输出”爆炸逻辑网络和“多选一输出”爆炸逻辑网络。“单输出”爆炸逻辑网络由基于多个输入端的爆炸“与门”构成,当所有输入端口按规定的顺序和窗口输入爆轰信号时,输出端口就会有爆轰波输出;“多选一输出”爆炸逻辑网络由多种复杂的爆炸逻辑元件构成^[1~3],它可以通过对少量输入端口输入模式的控制,实现在多个输出端口中选择一个端口输出。“多选一输出”爆炸逻辑网络常用于定向战斗部的随机定向起爆系统,以实现对起爆方位的选择^[4,5]。“多选一输出”爆炸逻辑网络有多种设计方法,但都存在一定的缺陷。Menz^[3]提出了一种以十字通道和爆炸零门为基本元件的爆炸逻辑网络设计方法,该方法虽然有利于模块化设计,但由于十字通道对装药提出了很高的要求,因此高可靠性难以实现。蒋德春^[6]等采用了爆炸零门和同步与门为基本元件设计了“三入六出”爆炸逻辑网络,该方法对雷管的输出精度提出了要求。本文提出了一种以改进间隙式爆炸零门为基本元件的“通道转换器型”爆炸逻辑网络的设计方法,并进行相应的实验研究,以期采用模块化设计的思想设计复杂结构的爆炸逻辑网络,提高其作用可靠性。

2 “二入四出”爆炸逻辑网络设计研究

2.1 “通道转换器”的结构原理

“通道转换器”由两个爆炸零门及相应的爆炸传

输线路组成,其基本结构如图1所示, I_1 、 I_2 为爆轰波输入端, N_1 、 N_2 为爆炸零门, O_1 、 O_2 为爆轰波输出端。当只有 I_1 端输入时,没有爆轰波输出;当只有 I_2 端输入时,只有 O_1 端爆轰波输出;当 I_1 、 I_2 按一定的时序要求输入时,只有 O_2 端爆轰波输出,其逻辑关系表如表1所示。

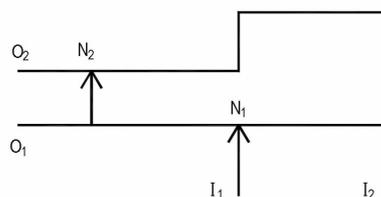


图1 通道转换器结构示意图

Fig. 1 The sketch map of channel conversion element

表1 通道转换器逻辑关系表

Table 1 The inputs and outputs relationship of channel conversion element

inputs	inputs	outputs	outputs
I_1	I_2	O_1	O_2
1	0	0	0
0	1	1	0
1 (ahead of I_2)	1	0	1

2.2 “二入四出”爆炸逻辑网络的结构与逻辑关系

由多个“通道转换器”叠加组成的最基本的爆炸逻辑网络之一是“二入四出”爆炸逻辑网络,其结构如图2所示,其中符号 $N_1 \sim N_6$ 表示爆炸零门, I_1 、 I_2 表示输入点, O_1 、 O_{12} 、 O_{21} 、 O_2 表示输出点, $C_1 \sim C_9$ 表示拐角。表2为“二入四出”爆炸逻辑网络逻辑关系表,表3为按图2结构尺寸计算得到的爆炸逻辑网络的各节点时序。

收稿日期:2004-04-20;修回日期:2004-09-01

作者简介:温玉全(1965-),男,副教授,主要从事新起爆技术及燃爆产品可靠性与失效分析技术研究工作。

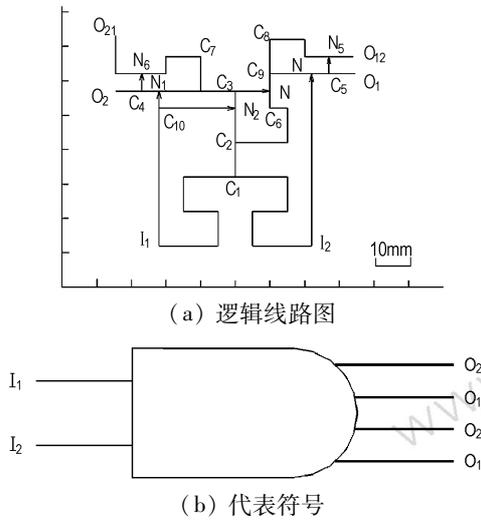


图 2 “二入四出”爆炸逻辑网络关系示意图
Fig.2 The sketch map of “two-input-four-output” ELC and its symbol
(a) The sketch map, (b) The symbol

当只有 I_1 端起爆时, N_1 、 N_2 两个零门作用分别将 C_4 - C_3 、 C_2 - C_3 通道切断, I_1 经 C_1 - C_2 - C_6 通道, 通过 N_4 、 N_3 至 C_5 后, 分两个方向, 向上 N_5 作用切断 C_8 - O_{12} 的爆轰通道, 向右 O_1 输出。

当只有 I_2 起爆时, 零门 N_3 作用切断 C_9 - C_5 通道, I_2 经 C_1 - C_2 通道, 通过 N_2 , 至 C_3 分两路, 向右 N_4 切断 C_9 - C_6 通道, 向左通过 N_1 至 C_4 分两路, 向上 N_6 零门作用切断 C_7 - O_{21} 的爆轰通道, 向左得到 O_2 输出。

当两端皆有输入时, 则输入次序和延迟时间的长短成为决定因素。输入端在规定时间内按次序输入, 才会有相应输出。如果需要 O_{12} 输出, 则要求 I_1 - C_{10} - N_2 通道的爆轰波必须先于 I_2 - C_1 - C_2 - N_2 通道到达零门 N_2 , 将 C_2 - C_3 通道切断。否则 I_2 来的爆轰波将通过 N_2 拐过 C_3 至 N_4 将 C_6 - C_9 通道切断, 则 O_{12} 不会有输出; 同时 I_2 - N_3 通道的爆轰波必须先于 I_1 - C_1 - C_2 - C_6 - C_9 - N_3 通道到达零门 N_3 , 将 C_9 - C_5 - O_1 通道切断, 以阻止 O_1 端输出。根据上述分析和表 3 的节点时序结果, 可以得到 O_{12} 端输出的两输入端的时间窗口 (I_2 滞后 I_1 输入的时间) 为:

$$-2\tau < \Delta t_{12} < 7.2\tau \quad (1)$$

其中 τ 为爆轰波通过通道单元长度 (10 mm) 的时间, μs ; $\Delta t_{12} = t_1 - t_2$ 。 t_1 和 t_2 分别为 I_1 和 I_2 的爆轰波到达某个相同节点的时间, 单位为 μs 。

需要 O_{21} 端输出时, 则要求 I_1 - C_1 - C_2 - N_2 通道的爆轰波必须先于 I_1 - C_{10} - N_2 通道通过零门 N_2 , 否则 I_1 来

的爆轰波将首先至 N_2 将 C_2 - C_3 通道切断, 则 O_{21} 不会有输出; 同时 I_1 - C_{10} 通道的爆轰波必须先于 I_2 来的爆轰波到达零门 N_1 , 将 C_3 - C_4 通道切断, 以阻止 O_2 端输出。因此要到 O_{21} 端输出的两输入的时间窗口 (I_1 滞后 I_2 输入的时间) ($\Delta t_{21} = t_2 - t_1$) 为:

$$2\tau < \Delta t_{21} < 6.2\tau \quad (2)$$

综合两个时间窗口要求, 对于本文设计的“二入四出”爆炸逻辑网络, 两端皆输入时的时间轴如图 3 所示。当 I_2 滞后 $-2\tau \sim 7.2\tau$ 时将产生 O_{12} 输出; 当 I_2 滞后 I_1 输入大于 7.2τ 时, 将产生 O_1 输出, 滞后的极限就是 I_1 端单独输入; 当 I_1 滞后 I_2 大于 6.2τ 时将产生 O_2 输出, 滞后的极限是 I_2 单独输入。

表 2 “二入四出”爆炸逻辑网络爆炸逻辑关系表
Table 2 The inputs and outputs relationship of two-input-four-output ELC

inputs	inputs	outputs	outputs	outputs	outputs
I_1	I_2	O_1	O_2	O_{12}	O_{21}
1	0	1	0	0	0
0	1	0	1	0	0
1	$1^1)$	0	0	1	0
1	$1^2)$	0	0	0	1

Notes: 1) Reaction lagged I_1 in a time window.
2) Reaction ahead of I_1 in a time window.

表 3 “二入四出”爆炸逻辑网络的节点时序
Table 3 The total time from inputs to outputs and the time from inputs to nodes of two-input-four-output ELC

outputs	middle circuits	time from inputs to nodes	total time from inputs to outputs
O_1	I_1 - C_1 - C_2 - C_6 - N_4 - C_9 - N_3 - C_5 - O_1		$13.65\tau^{1)}$
O_2	I_2 - C_1 - C_2 - N_2 - C_3 - N_1 - O_2		12.15τ
O_{12}	I_1 - C_{10} - N_2 (I_1 - N_2)	6.2τ	
	I_2 - C_1 - C_2 - N_2 (I_2 - N_2)	8.2τ	
	I_2 - N_3 (I_2 - N_3)	5τ	
	I_1 - C_1 - C_2 - C_6 - N_4 - C_9 - N_3 (I_1 - N_3)	12.2τ	
O_{21}	I_1 - C_1 - C_2 - C_6 - N_4 - C_9 - C_8 - N_5 - O_{12}		14.75τ
	I_2 - C_1 - C_2 - N_2 (I_2 - N_2)	8.2τ	
	I_1 - C_{10} - N_2 (I_1 - N_2)	6.2τ	
	I_1 - C_{10} - N_1 (I_1 - N_1)	4.5τ	
	I_2 - C_1 - C_2 - N_2 - C_3 - N_1 (I_2 - N_1)	10.7τ	
	I_2 - C_1 - C_2 - N_2 - C_3 - C_7 - N_6 - O_{21}		14.75τ

Note: τ is the detonation time of explosive wave propagation thorough 10 mm.

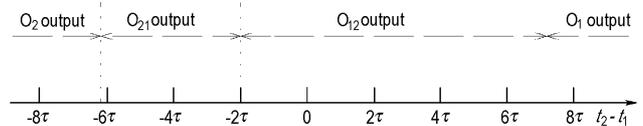


图 3 不同顺序输入输出时间轴
Fig.3 The output time axis of output O_{21} and output O_{12}

对于爆炸逻辑网络装药,一般可选择以 PETN 或 RDX 为主体的混合炸药,装药爆速约为 $7 \text{ mm} \cdot \mu\text{s}^{-1}$,则由 τ 的定义可得, $\tau = 1.43 \mu\text{s}$ 。由式(1)可得 O_{12} 输出的时间窗口为 $-2.86 \mu\text{s} < \Delta t_{12} < 10.30 \mu\text{s}$,时间窗口的最大时间差为 $8.3 \mu\text{s}$;由式(2)可得 O_{21} 输出的时间窗口为 $2.86 \mu\text{s} < \Delta t_{12} < 8.86 \mu\text{s}$,时间窗口的最大时间差为 $6 \mu\text{s}$ 。而一般电雷管的输出时间精度可以达到 $\pm 2 \mu\text{s}$,能够满足爆炸逻辑网络的要求,因此本研究设计的爆炸逻辑网络结构是合理的,工程上可以实现。

3 二入四出爆炸逻辑网络模块实验研究

以黄铜为基板和盖板,设计了二入四出爆炸逻辑网络,装药通道截面积为 $1.4 \text{ mm} \times 1 \text{ mm}$,采用改进间隙零门作为爆炸逻辑网络元件^[7],装药采用以 RDX 为主的橡皮炸药,装药爆速 $7202 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。装药方法采用药条填充法,将 1 mm 厚的橡皮炸药片切成 1.4 mm 宽的药条,填充到沟槽中。所设计的爆炸逻辑网络结

构图及装药效果图分别如图4、图5所示。

进行“二入四出”模块输入输出功能试验,实际上是在检验零门和通道的可靠性。如果零门和通道等各元件能满足设计要求,则模块的可靠性就能满足要求。实验中分别进行了 I_1 、 I_2 单点输入起爆、 I_1 、 I_2 按一定的时序分别起爆,以检验爆炸逻辑网络的设计可靠性,其中时序起爆用一个雷管起爆两根导爆索的方法进行,用导爆索的长度控制时序。表4给出了实验结果,图6为爆炸效果图。

表4 “二入四出”爆炸逻辑网络试验结果

Fig.4 The test results of two-input-four-output explosive logic circuit

input mode	amount	success
I_1 input alone	10	10
I_2 input alone	10	10
I_1 input ahead of I_2 in a time window	5	5
I_2 input ahead of I_1 in a time window	5	5

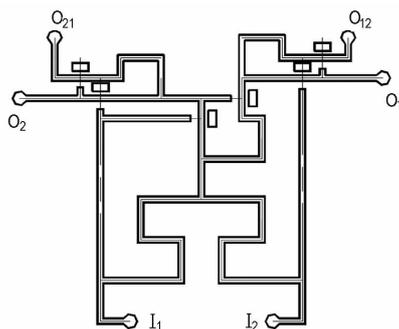


图4 “二入四出”模块结构示意图

Fig.4 The sketch map of two-input-four-output ELC

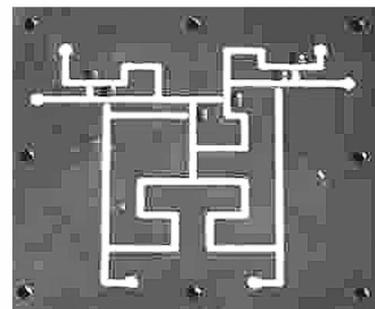


图5 “二入四出”模块装药效果图

Fig.5 The charge map of two-input-four-output ELC

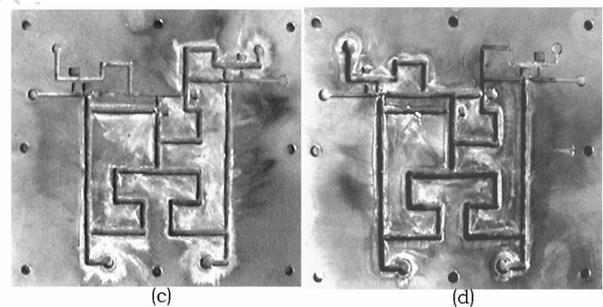
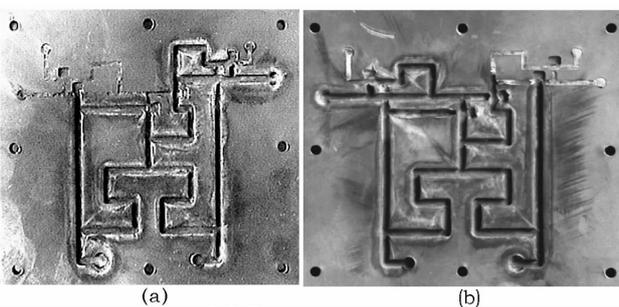


图6 “二入四出”模块爆炸效果图

(a) I_1 单输入, (b) I_2 单输入, (c) I_1 先于 I_2 时间窗口内输入, (d) I_2 先于 I_1 时间窗口内输入

Fig.6 The test result map of two-input-four-output explosive logic circuit

(a) I_1 input alone, (b) I_2 input alone, (c) I_1 input ahead of I_2 in a time window, (d) I_2 input ahead of I_1 in a time window

从实验结果可以看出,网络完成了相应的单点输入及两点时序输入所对应的逻辑输出功能,初步证明

了本研究设计的爆炸逻辑网络结构合理,爆炸零门作用可靠。

4 “通道转换器”型多输入多选择-输出爆炸逻辑网络组网设计

采用模块化设计的思想有利于设计复杂结构的爆炸逻辑网络,并提高爆炸逻辑网络的可靠性。以“二入四出”爆炸逻辑网络为基本模块可以进行更复杂的爆炸逻辑网络设计,利用两个“二入四出”爆炸逻辑网络模块,可以构成“三入七出”或“四入八出”爆炸逻辑网络,“四入八出”爆炸逻辑网络是由两个“二入四出”模块对称组合而成;利用三个“二入四出”爆炸逻辑网络模块,可以构成“三入九出”爆炸逻辑网络;最多利用五个“二入四出”爆炸逻辑网络模块,构成“三入十三出”爆炸逻辑网络,如图 7 所示。

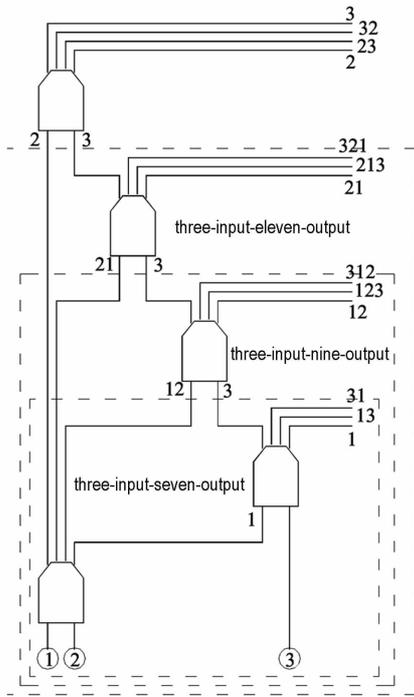


图 7 “三入十三出”爆炸逻辑网络
Fig. 7 The schematic representation of three-input-thirteen-output ELC

在同样输入端数量的条件下,通道转换器型“二入四出”爆炸逻辑网络比文献[4]的与/非与型爆炸逻辑网络实现的输出端数量多。在爆炸逻辑网络的实际应用中,可以根据需要对所设计的爆炸逻辑网络的输出点数进行调整,以满足不同战斗部的要求。

5 结 论

(1) 以通道转换器为基本原件,设计了“二入四出”爆炸逻辑网络,给出了网络的结构图及相应的逻辑关系图,可以以此爆炸逻辑网络为基本模块设计结构更为复杂的爆炸逻辑网络,丰富了爆炸逻辑网络的设计方法。

(2) “二入四出”爆炸逻辑网络模块逻辑功能试验结果表明,所设计的爆炸逻辑网络结构合理,功能容易实现。

(3) 通道转换器型多选—输出爆炸逻辑网络可用于定向战斗部起爆系统中,用于选择起爆方位,增加战斗部的作用威力。

参考文献:

[1] Silvia D A. Explosive Circuits [P]. USP 3728956, 1973.
 [2] Silvia D A. Explosive Logic Safing Device [P]. USP 4412493, 1983.
 [3] Menz F L, Osburn M R. Explosive AND/NAND Logic Element [P]. USP 3753402, 1973.
 [4] Menz F L, Osburn M R. Selectively Aimable Warhead Initiation System [P]. USP 5050503, 1991.
 [5] 王凯民,符绿化. 定向破片战斗部及其多点起爆系统 [J]. 火工品, 1995(3): 33-38.
 WANG Kai-min, FU Lu-hua. Aimable warhead and multi-point initiation system [J]. *Initiators & Pyrotechnics*, 1995, 3: 33-38.
 [6] 蒋德春,孙承伟. 六分圆爆炸逻辑网络研究 [J]. 爆炸与冲击, 1997, 17(3): 228-236.
 JIANG De-chun, SUN Cheng-wei. Studies on explosive logic network of sixpartite circle [J]. *Explosion and Shock Waves*, 1997, 17(203): 228-236.
 [7] 温玉全,卢斌. 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.
 WEN Yu-quan, LU Bin. The design of improving gap null gate and its reliability study [J]. *Initiators & Pyrotechnics*, 2001, (4): 6-8.

Study on an Explosive Logic Circuit with Two-input-four-output

WEN Yu-quan, JIAO Qing-jie, CAI Rui-jiao, HUANG Hai-long

(State Key Laboratory of Prevention and Control of Explosion Disasters, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China)

Abstract: The structure of channel conversion unit is designed with the basal element of null gate, and its input-output relationship is given. By utilizing channel conversion units, the two-input-four-output explosive logic circuit is constructed, in which the structure and input-output relationship are given, and its logic function is tested too. The results show that the designed two-input-four-output ELC is reasonable in structure, and it is easy to achieve its function compared to two-input-three-output ELC constructed by destruction crossovers. With this result, more complicated multi-input-multi-output ELC can be constructed and used in aiming warhead to increase the brisance.

Key words: explosion mechanics; explosive logic circuit (ELC); channel conversion unit; explosive null gate