

文章编号:1006-9941(2019)05-0426-08

## 可寻址起爆网络系统设计及可行性

尹国福<sup>1,2</sup>,张进成<sup>1</sup>,任西<sup>2</sup>,韩克华<sup>2</sup>,李黎明<sup>2</sup>

(1. 西安电子科技大学 微电子学院,陕西 西安 710071; 2. 陕西应用物理化学研究所 应用物理化学国家重点实验室,陕西 西安 710061)

**摘要:** 为实现军械起爆系统的高安全性与智能化控制,采用总线网络拓扑结构与协议编码寻址方式设计了基于RS485总线的可寻址起爆网络系统,着重研究了“身份地址”内嵌灵巧起爆器集成换能元及其安全性、系统数据交互协议与工作机制的设计,试验验证了系统寻址控制的可行性与安全性。结果表明,系统可实现255个灵巧起爆器的多模式寻址控制起爆,多点同步起爆具有良好的同步性,系统具备智能化与高安全性特征。

**关键词:** 可寻址起爆网络;灵巧起爆器;数据交互协议;RS485总线

**中图分类号:** TJ450

**文献标志码:** A

**DOI:** 10.11943/CJEM2018106

### 1 引言

军械起爆系统作为武器弹药系统的控制中枢,负责保障弹药非战安全与战时适时可靠的解保险与起爆等操作,随着智能弹药诞生及向微型化、低能耗、高精度、高毁伤的发展,要求起爆系统具备高安全性与智能化功能,基于总线的可寻址起爆系统革命性地将起爆系统从中心式发火控制转变为集中控制分布式起爆系统,可实现智能化控制且具有很高的安全性<sup>[1-6]</sup>。美国恩赛-比克福特航空防卫公司报道了“WizOrd™”智能起爆系统<sup>[7-8]</sup>,验证了总线上多个起爆器的双向通信功能、总线协议可靠性、系统功率消耗、温度特性等;第48届引信年会报道了一种带有安保机构的灵巧起爆器<sup>[9]</sup>,其采用微电子机械系统(Micro-electromechanical System, MEMS)集成技术将MEMS安保机构、信息识别功能内置,实现多点寻址起爆,且具有很高的安全性;太平洋含能材料公司持续研制一种称为“SEA™”的多点起爆系统<sup>[10-12]</sup>,已证实系统满足MIL-STD-1901A点火安全装置的要求,该系统可应用于紧凑型动能导

弹,爱国者3型导弹,精密制导迫击炮弹,提高毁伤效果;美国ATK公司研究了基于总线的可寻址点火起爆系统,智能火工品中含有唯一的地址码,只有接受到正确的密码起爆指令,智能起爆器才能发生作用。为进一步提高系统智能化、低能化程度与安全性,提出一种新型网络起爆系统设计<sup>[13]</sup>,网络中的数据帧长度为32 byte,包括的字段为:发火模块地址(8 byte,共255个发火模块和电子模块)、读写标志(0为写,1为读)、帧数据(16 byte),目标是开发出低压电源和高可靠通信协议的网络起爆系统,用于当量可选择多模和多用途战斗部。

鉴于此,本研究设计一种基于RS485总线拓扑结构的可寻址网络起爆系统与一种具备“身份地址”内嵌、可寻址控制、自主执行预定功能及结构一体化集成的灵巧起爆器,建立了保证系统可靠在线寻址控制255点灵巧起爆器的数据交互协议与工作机制,验证了系统的多点寻址控制与多模式起爆的可行性,为智能起爆系统的设计与应用提供依据。

### 2 可寻址起爆网络系统设计

#### 2.1 起爆网络拓扑结构设计

本研究采用总线拓扑结构设计了单总线控制多终端的可寻址起爆网络系统,如图1所示,其由总线控制器、火工总线、信号耦合器及多个灵巧起爆器构成,总

收稿日期:2018-07-22;修回日期:2018-12-13

网络出版日期:2019-01-22

基金项目:十三五预先研究项目(41419110101)

作者简介:尹国福(1984-),男,博士研究生,高级工程师,主要从事智能起爆/点火系统技术研究。e-mail:yinguofu521@126.com

引用本文:尹国福,张进成,任西,等.可寻址起爆网络系统设计及可行性[J].含能材料,2019,27(5):426-433.

YIN Guo-fu, ZHANG Jin-cheng, REN Xi, et al. Design and Feasibility of an Addressable Initiation Network System[J]. Chinese Journal of Energetic Materials (Hanneng Cailiao), 2019, 27(5):426-433.

线控制器通过火工总线集中控制所有分布在总线上的灵巧起爆器,灵巧起爆器个数  $N$  为 1~255,同时根据实际需要选择,系统可通过总线编码数据寻址方式控制灵巧起爆器自主执行自检、发火充电、状态反馈及多模式发火。

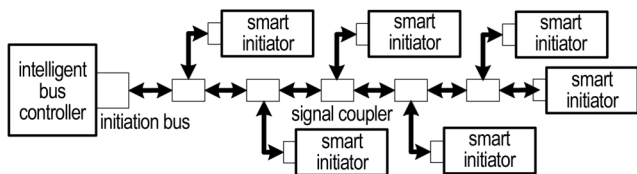


图 1 可寻址起爆系统原理图

Fig.1 Principle diagram of addressable initiation system

总线控制器作为寻址起爆系统的中枢单元,集中控制整个系统,如图 2 所示。总线控制器接收来自上位机发送的串行功能指令,按照串行数据交互协议解码功能指令,解除工作能量保险或发火能量保险。同时,将解码的功能指令再按总线控制器与灵巧起爆器数据交互协议再编码后通过串行总线发送给火工总线上的每一个灵巧起爆器,执行功能;另外,总线控制器接收灵巧起爆器的响应反馈指令,分析判断灵巧起爆器执行功能指令的状态。

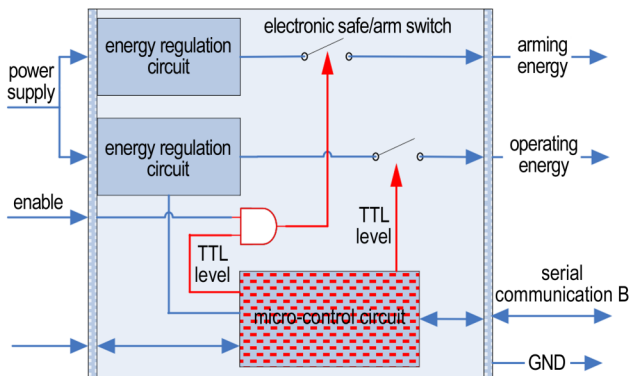


图 2 智能总线控制器原理图

Fig.2 Principle diagram of intelligent bus controller

### 2.2 灵巧起爆器及其安全性设计

高安全性、智能化灵巧起爆器设计的关键在于可寻址控制灵巧起爆器集成换能元的设计<sup>[14-15]</sup>,由半导体桥陶瓷塞、电磁与静电防护环、结构壳体、绝缘层、灵巧控制集成电路模块及密封电极的一体化集成而成,其装火工药剂序列灵巧起爆器,如图 3 所示。灵巧起爆器集成换能元的核心单元为具备信息内嵌与信息识别的灵巧控制集成电路模块,该模块集抗静电电路、信息识别电路、信息内嵌电路 ROM、电子冗余安全保险电路、自泄放电路、发火能量实时监测电路、发火电路

及半导体桥芯片于一体,设计原理如图 4 所示。

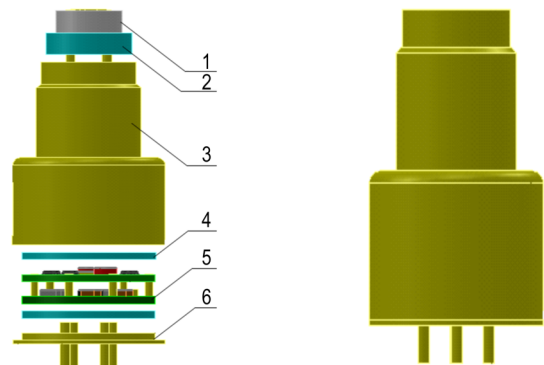


图 3 灵巧起爆器集成换能元及灵巧起爆器示意图

1—半导体桥陶瓷塞,2—电磁与静电防护环,3—结构壳体,4—绝缘层,5—灵巧控制集成电路,6—密封电极

Fig.3 Schematic diagrams of integrate energy conversion element of smart initiator and smart initiator

1—semiconductor bridge ceramic plug, 2—electromagnetic and electrostatic protection loop, 3—structure shell, 4—insulation layer, 5—smart control integrate circuit, 6—sealed electrode

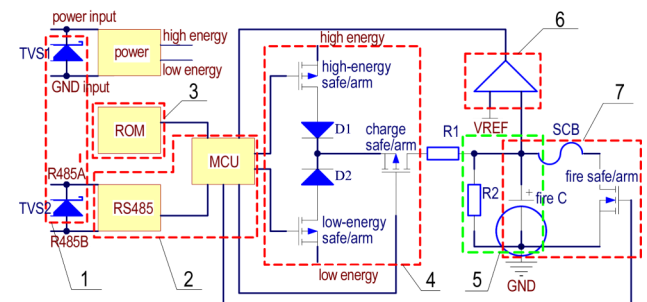


图 4 灵巧控制集成电路模块原理图

1—抗静电电路,2—信息识别电路,3—信息内嵌电路 ROM,4—电子冗余安全保险电路,5—自泄放电路,6—实时监测电路,7—发火电路

Fig.4 Principle diagram of smart control integrated circuit module

1—antistatic circuit, 2—information identification circuit, 3—information embedded circuit ROM, 4—electronic redundancy safety insurance circuit, 5—self-discharge circuit, 6—real time monitoring circuit, 7—fire circuit

为提高灵巧起爆器的安全性,根据《钝感电起爆器通用规范》<sup>[16]</sup>与《引信安全性设计准则》<sup>[17]</sup>对火工品安全性设计的相关要求,本研究从结构、灵巧起爆器集成换能元、数据交互协议与信息识别、发火元件等多个方面的设计,提高灵巧起爆器安全性。结构设计,采用绝缘材料将发火元件与金属结构体物理隔离,防止短路及隔绝结构体引入的瞬态干扰;抗静电与瞬态干扰电路设计,能量与信号输入端集成瞬态抑制二极管 TVS1 与 TVS2,消除静电、杂散电流及外界环境瞬态电能等

干扰;全电子冗余保险设计,自检与发火均采用三级场效应开关管电子安全保险,按严格逻辑时序解除;信息识别安全设计,ROM内嵌“身份地址”(包括广播地址“0x00”与唯一性身份地址“0xXX”),严格按照数据交互协议寻址控制,仅“身份地址”匹配的灵巧起爆器集成换能元可执行功能指令;能量自泄放电路设计,已执行充电指令但未执行发火指令的灵巧起爆器可自行泄放电能,保证安全;采用钝感发火元件,半导体桥芯片作为发火元件,满足施加1A1W电能,在5 min内不应发火的要求;严格的逻辑时序设计,数据交互与逻辑控制必须按照预定时序执行,一旦时序紊乱,禁止执行任何指令,保证安全;充电与发火电路状态低能(5 V)自检设计,寻址控制下的低能检测,可保证自检安全。

### 2.3 火工总线数据交互协议格式设计

为保障系统安全性数据传输可靠性,总线控制器与灵巧起爆器之间必须严格遵守数据交互协议的内容与规范<sup>[18-19]</sup>,才能保证通讯顺畅,实现可寻址自检、充电、多模式起爆等。在该协议中设定通讯速率19200 byte/s,数据交互协议格式为:起始符(AA)+灵巧起爆器地址(A)+功能代码或者响应代码(K)+传输数据(D)+循环冗余校验算法(Cyclic Redundancy Check, CRC)校验字节(S)+结束符(FF),其中传输数据(D)与CRC校验各包含两个字节,共10个字节构成,如图5所示。

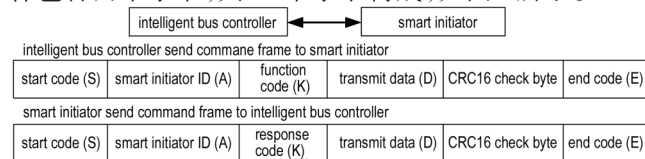


图5 数据交互协议格式

Fig.5 Data interchange protocol format

起始符(S)和结束符(E)各用1 byte的常数AA和FF表示,为更容易判别数据的开始和结束加入此标志,可在完整地接收到数据后剔除头和尾。

灵巧起爆器地址(A)用1 byte表示,在该系统中灵巧起爆器的有效地址范围是0x00~0xEF,共256个,但0x00地址作为通用的广播地址,故系统最多可负载255个灵巧起爆器。

灵巧起爆器执行的功能代码或者响应代码(K)用1 byte来表示,可表示256个功能代码,不同的代码可用的灵巧起爆器范围不同,针对全体或某个灵巧起爆器,使用范围要由定义来确定。在该系统中定义如表1与表2所示,共4个功能代码,6个灵巧起爆器响应代码,不在此范围的做无效处理。

传输数据(D)是灵巧起爆器执行带有逻辑延时指

表1 灵巧起爆器执行功能与对应代码

Table 1 Smart initiator execute function and corresponding code

function	function code	function	function code
write ID	0x1A	ftate self-test	0x2B
charge command	0x3C	discharge command	0x4D

表2 灵巧起爆器响应反馈功能与对应代码

Table 2 Smart initiator feedback response function and corresponding code

response	response code	response	response code
self-test normal	0x0E	self-test failure	0xA1
charge normal	0xB2	charge failure	0x55
delay normal	0xC3	delay failure	0xCA

令功能代码时必须需要的信息,即代表延时时间。或者是灵巧起爆器发送给总线控制器反馈信息时,方便主控程序判别后采取下一步行动。传输数据(D)由2个字节D1、D2构成,D1、D2从高位向低位排列代表延迟时间,范围大小(0x0000~0x1388),对应的实际时间为0~5000 ms,单位步长是1 ms。当然,也可以将时间单位定义在μs,以需而定。

CRC16校验字节(S)用2个字节来表示,2字节的内容利用线形编码理论对灵巧起爆器地址(A)、功能或响应代码(K)、传输数据(D)以及起始符(AA)和结束符(FF)进行计算得到,发送方根据要传送的k位二进制序列,以一定的规则产生r位校验用的CRC码,并附在信息后边,构成一个新的二进制代码序列共n=k+r位,最后发送出去。接收方则根据信息码CRC码之间所遵循的规则进行校验,以确定传送中是否出错。

### 2.4 起爆网络逻辑时序与工作机制设计

系统的安全性不仅在灵巧起爆器的集成换能元与结构设计,更在于数据交互与逻辑时序的正确性。保障系统正常工作的逻辑时序执行指令,如图6所示,必

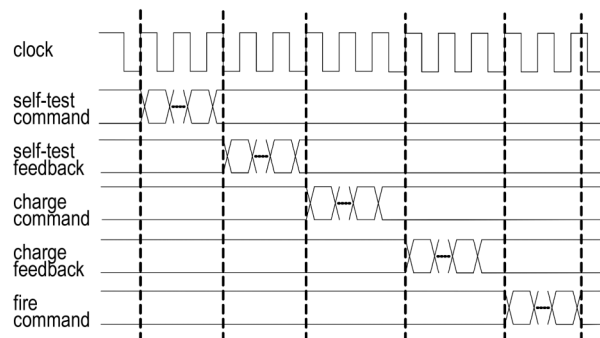


图6 指令执行逻辑时序

Fig.6 Command execute logical sequence

须按照预定逻辑时序执行指令,一旦时序出现混乱,灵巧起爆器禁止执行一切指令。

图7为全电子冗余安全保险解除逻辑的工作时序,图3所示的能量控制场效应开关管(含高能安全保险管与低能安全保险管)、充电控制场效应开关管及发火控制场效应开关管在不同的功能指令控制下按照预定时序解除保险,自主完成自检、充电及多模式发火等

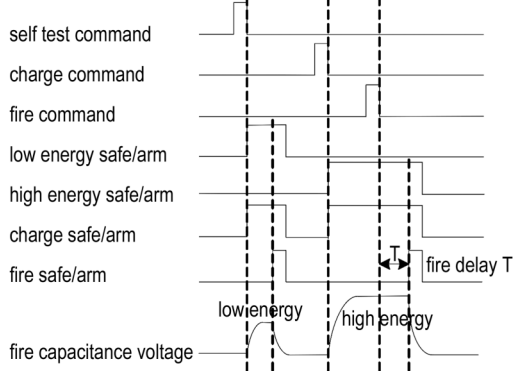


图7 电子安全保险解除逻辑工作时序  
Fig.7 Logical working sequence of electronic safety insurance release

预定功能。

系统自检方式有多点同步(广播自检)自检分时反馈与单址自检即时反馈两种方式,为避免多点灵巧起爆器同时反馈自检状态,引起总线传输冲突,造成系统数据传输混乱或者系统瘫痪,采用按地址大小分时反馈方法反馈自检反馈指令,如图8所示。总线上所有灵巧起爆器接收到广播自检指令后自主执行自检功能,自检完毕,按照地址大小每隔一个时钟周期向总线控制器反馈一个自检状态数据,避免总线冲突与数据混乱。

图9为灵巧起爆器工作机制流程图,总线上所有

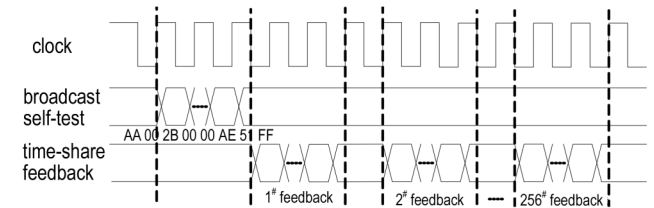


图8 多点广播自检分时反馈协议时序  
Fig.8 Multi-point broadcast self test and time-share feedback logical sequence

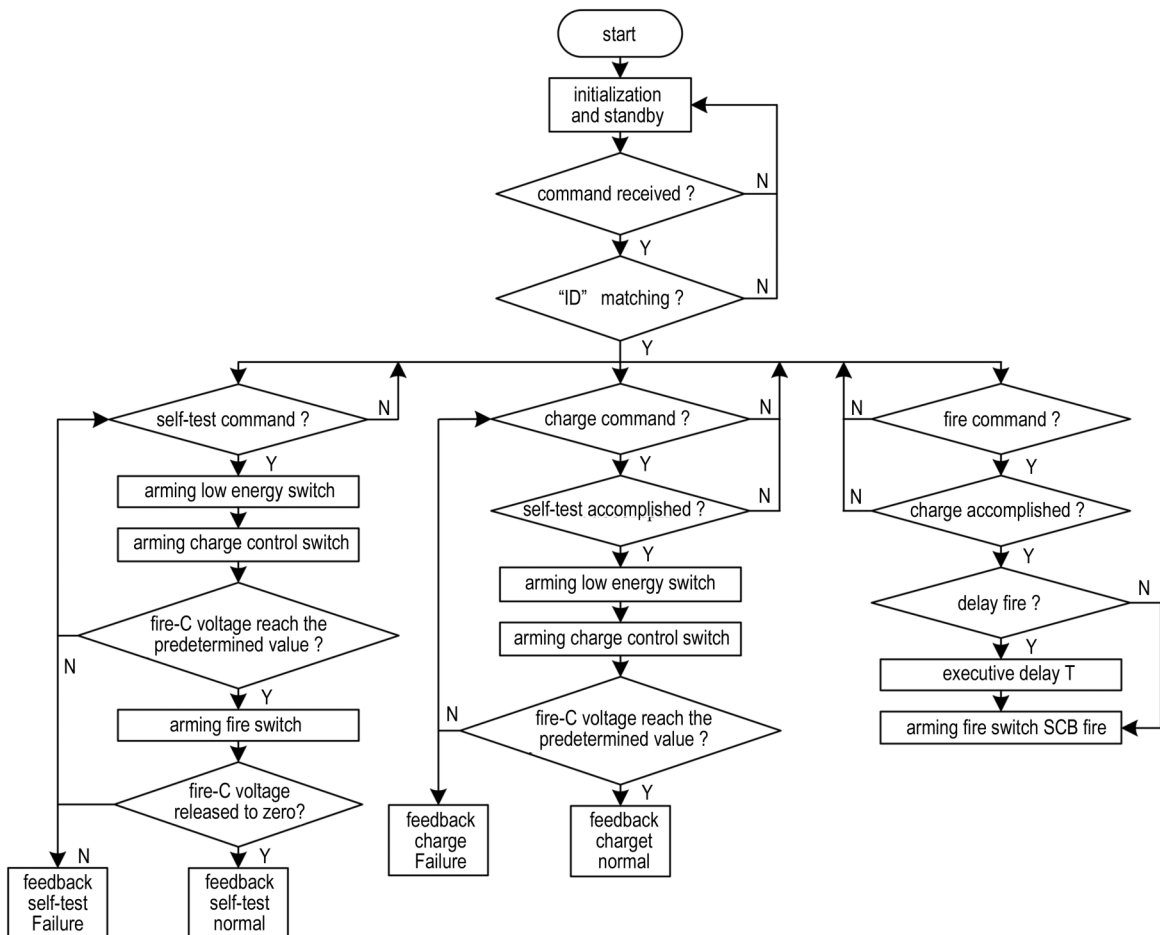


图9 灵巧起爆器工作机制流程图  
Fig.9 Flow chart of smart initiator working mechanism



灵巧起爆器实时接收总线控制器发送的指令数据,按照数据交互协议CRC16校验数据且在数据未发生传输丢失、篡改、失真的情况下解码数据,提取出灵巧起爆器地址(A)并与内嵌于ROM中的“身份地址”匹配性比对,两者完全匹配的灵巧起爆器,依据数据中的功能指令(K)执行自检、充电及发火等相关指令,反之,灵巧起爆器禁止执行功能指令,处于安全状态。

### 3 验证与分析

试验建立了255点可寻址起爆网络系统,如图10所示,255点灵巧起爆器内嵌独立的“身份地址”(0x01~0xEF)。为验证灵巧起爆器的寻址控制功能与自主执行指令功能及发火电性能,试验时采用灵巧起爆器集成换能元验证,电流环与示波器探针分别监测灵巧起爆器换能元的电流与电压特性,采用DET10A高速光电探测器监测换能元发火输出特性,如图11所示。

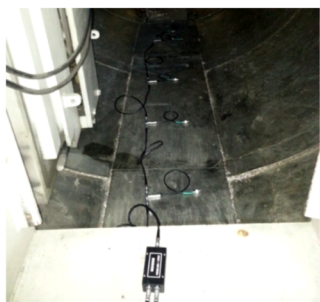


图10 255点可寻址起爆网络系统

Fig.10 255 point addressable initiation network system

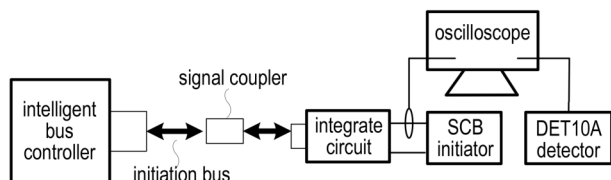


图11 试验系统原理图

Fig.11 Principle diagram of test system

表3 自检与充电指令

Table 3 Self-test and charge command

initiator	self-test command	self-test feedback command	experimental result
1#	AA 01 2B 00 00 6E 6C FF	AA 01 0E 00 00 62 67 FF	test normal
94#	AA 5E 2B 00 00 63 F8 FF	AA 5E 0E 00 00 6F F3 FF	test normal
162#	AA A2 2B 00 00 77 A8 FF	AA A2 A1 00 00 6F 82 FF	test failure
-	charge command	charge feedback command	-
1#	AA 01 3C 00 00 DA 69 FF	AA 01 B2 00 00 F2 42 FF	charge normal
94#	AA 5E 3C 00 00 D7 FD FF	AA 5E 55 00 00 4B E0FF	charge normal
162#	AA A2 3C 00 00 C3 AD FF	AA A2 B2 00 00 EB 86 FF	charge normal

#### 3.1 自检与充电功能验证

系统自检有多点同步自检分时反馈与单址自检即时反馈两种,充电方式有广播充电与单址充电两种,选择哪种自检或者充电方式进行系统自检,需根据系统中灵巧起爆器数目决定,数目越多,广播自检或者广播充电效率越高,反之,单址自检或单址充电效率高。

为了充分验证系统的可寻址功能,采用单址自检即时反馈与单址充电方式进行了系统自检验证,单址自检指令为AA XX 2B 00 00 YY YY FF,单址充电指令AA XX 3C 00 00 YY YY FF(XX:为“身份地址”,YY YY为CRC16校验码),广播操作时“身份地址”XX为0x00。试验验证了255点可寻址起爆系统中“身份地址”为0x01、0x5E与0xA2的灵巧起爆器集成换能元的自检与充电功能。如表3所示,仅1#、94#与162#灵巧起爆器集成换能元向上位机反馈了自检/充电结果,其余灵巧起爆器集成换能元禁止执行一切指令,处于安全待机状态,表明系统可实现寻址自检与寻址充电控制功能。

#### 3.2 单点发火试验

单点发火试验任选了总线上“身份地址”为0x01、0x5E、0xA2的灵巧起爆器集成换能元。任何一个灵巧起爆器集成换能元必须按照自检→充电→发火的逻辑顺序执行命令,否则禁止执行命令,处于安全待机状态。

上位机通过总线控制器发送AA 5E 4D 00 00 63 F8 FF指令时,按照数据交互协议,仅内嵌“身份地址”0x5E的94#灵巧起爆器集成换能元与该指令中第七字节完全匹配,指令中传输数据(D)设置为0x00 00,即零延时,故94#灵巧起爆器集成换能元接收到发火指令立即发火,图12示了灵巧起爆器集成换能元的发火电流、发火电压及发火输出。总线上其余灵巧起爆器集成换能元未发火,说明94#灵巧起爆器换能元可寻

址控制且可靠作用。同理,验证了地址(A)字节分别为0x01、0xA2的发射指令,1<sup>#</sup>与162<sup>#</sup>灵巧起爆器集成换能元均独立发射,其余处于安保状态,表明系统可实现寻址发射功能。

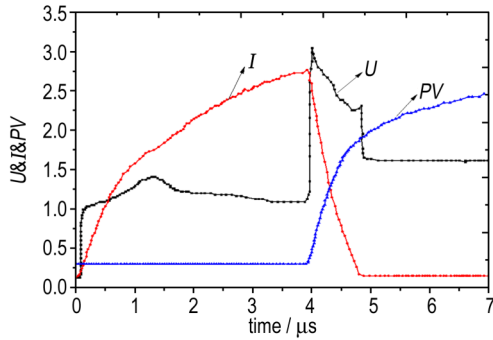


图12 灵巧起爆器集成换能元发射电特性  
Fig.12 Electrical characteristics of the integrate energy conversion element fire of smart initiator

3.3 多点逻辑延时发射试验

多点逻辑延时发射包括单组多点同延时间间隔发射、单组多点不同延时间间隔发射、多组延时同步发射、多组不同延时间间隔发射、多组多点不同延时发射等多种发射模式,可根据实际需求选择,多种起爆模式可通过设置数据交互协议中的传输数据(D)实现。试验验证了单组多点不同延时间间隔发射模式,上位机依次发送如表4所示发射指令,试验测得仅内嵌“身份地址”与指令中第七字节编码按照协议完全匹配的50<sup>#</sup>、125<sup>#</sup>、255<sup>#</sup>灵巧起爆器集成换能元按预定逻辑完成了发射功能,试验测得延时时间如表4所示,其余处于安全保险状态,未出现意外发射,说明系统可实现多模式寻址逻辑控制发射。

表4 多点发射指令

Table 4 Multi-point fire command

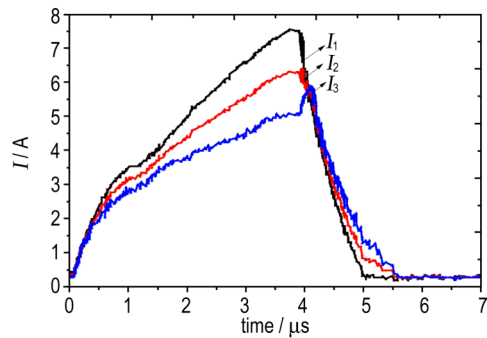
initiator	fire command	command setting time / ms	experimental result / ms
50 <sup>#</sup>	AA 32 4D 00 05 B2 75 FF	5(0x00 05)	5.01
125 <sup>#</sup>	AA 7D 4D 00 08 EC 24 FF	8(0x00 08)	7.99
255 <sup>#</sup>	AA FF 4D 00 0C 32 5E FF	12(0x00 32)	12.02

3.4 多点同步发射试验

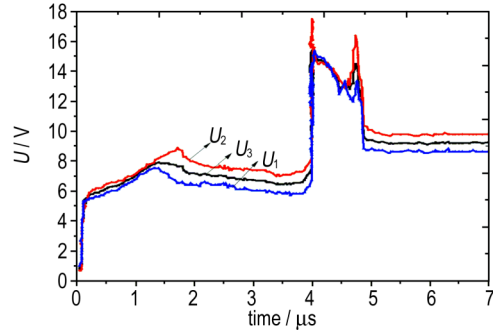
多点同步发射模式作为多点逻辑延时发射模式中的一种特殊发射模式,其自检、充电及发射均采用广播操作方式实现,地址位(A)为0x00即可。总线控制器广播发送发射指令AA 00 4D XX XX YY YY FF(注:传输数据位XX XX代表延时,可0x0000~0x1388选择,

试验为0延时同步发射,即XX XX为0x0000;YY YY为指令的CRC16校验码)。试验选择3点零延时同步发射,3点灵巧起爆器集成换能元接收广播发射指令AA 00 4D 00 00 26 4F FF,按照预定逻辑解除发射保险,完成发射功能。

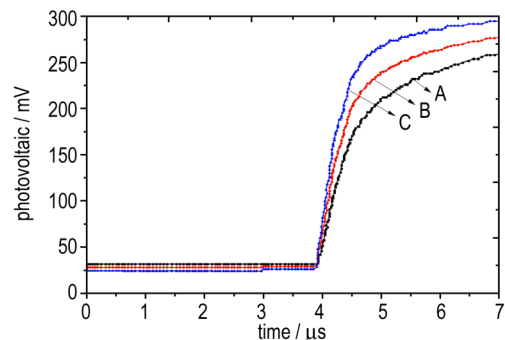
图13为3点灵巧起爆器集成换能元的发射电流、发射电压及发射输出特性,3点灵巧起爆器集成换能元各自接收到广播发射指令后立即解除发射保险,经4±0.2 μs时达到峰值,3路DET10光电探测器均在4±0.2 μs时同步触发。试验表明,该系统可实现寻址多点同步发射且具有良好的同步性。



a. firing current



b. firing voltage



c. firing output photovoltal

图13 3点灵巧起爆器集成换能元同步发射电特性  
Fig.13 Electrical characteristics of the integrate energy conversion element synchronization fire of three-point smart initiator

## 4 结论

(1)传统火工品功能单一,不具备集成化与智能化,采用信息内嵌方法设计了“身份地址”内嵌且信息识别、电子冗余安全保险、自主检测与自主发火等多个功能模块一体化集成的灵巧起爆器,该灵巧起爆器具备电子冗余安全保险、唯一性信息识别、能量自泄放、抗干扰、低能自检、数据交互CRC校验等功能特征,可极大提高灵巧起爆器的安全性。

(2)中心式点对点控制起爆系统结构复杂,采用总线网络拓扑结构设计的集中控制分布式发火的可寻址网络起爆系统,以总线网络拓扑结构与数据交换协议为物理支撑,使火工系统具备了单总线寻址控制多终端起爆的功能。

(3)该系统总线上终端灵巧起爆器的数量可在255个范围内任意增减,但发火线的数量不随起爆节点的增加而变化,且255点终端灵巧起爆器可寻址控制,自主完成自检、充电及多模起爆预定功能,多点同步起爆具有良好的同步性,3点同步起爆最大误差约为0.2  $\mu\text{s}$ 。

(4)目前研究还不够完善,没有研究甚至尚未涉及但亟待解决的问题有:同步起爆时最大延时500 ms与0 ms之间的最大误差值;全温范围内的延时散差控制;不同材料的电缆作为能量传输介质与数据传输总线时,系统可靠起爆最远端灵巧起爆器的最大总线长度;对国军标安全性设计准则的符合性验证;总线网络数据交互可靠性及控制软件可靠性评估等问题。

### 参考文献:

- [1] Derek Devries, Bill Slade, Bonnie Uresk, et al. Ordnance system with common bus and method of operation and aerospace vehicle including same : US2005/0150998A1[P], 2005.
- [2] Donald E Doonnelly, Bradley Zikes. A intelligent ignition system: WOP71272A2[P], 2001.
- [3] James W Griggs III, Scott D Gagnon, Clinton Boyd. Frequency addressable ignitor control device: US 6564715B2[P], 2003.
- [4] Pavlo E Rudakevych, Mike E Ciholas, Robert T Pack. Remote digital firing system: US 6860206B1[P], 2005.
- [5] John C Fisher, James W Griggs III, James Sowers. Smart Igniter communications repeater: US 6490976B1[P], 2002.
- [6] John C Fisher, James W Griggs III, James Sowers. Method of Controlling the Initiation of a Smart igniter: US 6622628B2 [P], 2003.
- [7] Craig J Boucher, David B Novotney. Connecticut Performance evaluation of an addressable integrated ordnance system[C]// Ensign-Bickford Aerospace & Defense Company, Simsbury. AIAA2001-3636.
- [8] David B Novotney, Andrew Kochanek. Intelligent Initiation Systems for Divert and Attitude Control Applications[C]//Ensign-Bickford Aerospace & Defense Company, Simsbury. AIAA2005-4502.
- [9] Cope, Randall D. Naval air Fuze Overview Report to 48th Annual Fuze Conference[C]//Naval Air Warfare Center, Weapons Division, China Lake. March 2005.
- [10] Steven D. Nelson, Redondo Beach, CA. Networked electronic ordnance system: US7752970B2[P], 2010.
- [11] Steven D. Nelson, Michael N. Diamond. *Networked electronic ordnance system*: US7644661B1[P], 2010.
- [12] Redondo Beach, CA. Networked electronic ordnance & Device Smart Energetic Architecture (SEA™)[R]. PacSci EMC / Products/Smart Energetics Architecture (SEA™) Technology, May, 10, 2017.
- [13] Michael R Iara. Addressable Bus Ordnance System Breadboard Prototype[R]. ATK Space Propulsion Products Catalog, May, 14, 2010.
- [14] Guofu Yin, Liming Li, Qiao Lu. Researched on Initiation Synchronization of Addressable Initiation System [C]//MATEC Web of Conferences 100, 2017.
- [15] 王静雅, 李黎明, 尹国福, 等. 基于RS-485总线的智能起爆系统设计[J]. 火工品, 2013(2): 1-3.  
WANG Jing-ya, LI Li-ming, YIN Guo-fu, et al. Design on Intelligent Initiation System Based on RS-485 Bus[J]. *Initiators & Pyrotechnics*, 2013(2): 1-3.
- [16] 国防科学技术工业委员会. GJB 344A-2005: 钝感电起爆器通用规范[S].北京: 国防科工委军标出版发行部, 2005.  
Commission of Science Technology And Industry For National Defence. GJB 344A-2005: General specification for insensitivity electric detpnator[S]. Beijing: Armament Standard Press of Commission of Science Technology And Industry For National Defence, 2005.
- [17] 国防科学技术工业委员会. GJB 373A-97: 引信安全性设计准则[S].北京: 国防科工委军标出版发行部, 1997.  
Commission of Science, Technology And Industry For National Defence. GJB 373A-97: Safety criteria for fuze design[S]. Beijing: Armament Standard Press of Commission of Science Technology And Industry For National Defence, 1997.
- [18] 王党利, 郭宝亿, 宁生科. 基于RS-485电子雷管起爆网络和通信协议的设计与实现[J]. 陕西理工学院学报(自然科学版), 2010, 1(26): 20-23.  
WANG Dang-li, GUO Bao-yi, NING Sheng-ke. Design and implementation of explosive network of electronic detonators and communication protocol based on the RS-485[J]. *Journal of Shanxi University of Technology (Natural Science Edition)*, 2010, 1(26): 20-23.
- [19] 刘婷, 付宇卓, 谢凯年, 等. 一种新型集成军械起爆控制系统的设计与验证[J]. 计算机科学, 2008, 4(35): 97-101.  
LIU Ting, FU Yu-zhuo, XIE Kai-nian, et al. Design and verification of new kind of integrated ordnance initiation control system[J]. *Computer Science*, 2008, 4(35): 97-101.

## Design and Feasibility of an Addressable Initiation Network System

YIN Guo-fu<sup>1,2</sup>, ZHANG Jin-cheng<sup>1</sup>, REN Xi<sup>2</sup>, HAN Ke-hua<sup>2</sup>, LI Li-ming<sup>2</sup>

(1. The School of Microelectronics, Xidian University, Xi'an 710071, China; 2. Shanxi Applied physic-Chemistry Research Institute, State Key Laboratory of Applied physic-Chemistry Research, Xi'an 710061, China)

**Abstract:** To realize high safety and intelligent control of ordnance initiation system, an addressable initiation network system based on RS485 bus was designed by means of bus networks topological structure and protocol coding addressing. The design of integrate energy conversion element of smart initiator embedded in "identity address" and its safety, system data interaction protocol and working mechanism were emphatically studied. The feasibility and safety of the system addressing control were tested and verified. Results show that the system can realize the multi-mode addressing control initiation of 255 smart initiators. The multi-point synchronous initiation has good synchronization, and the system has the characteristics of intellectualization and high safety.

**Key words:** addressable initiation network; smart initiator; data interaltion protocol; RS485 bus

**CLC number:** TJ450

**Document code:** A

**DOI:** 10.11943/CJEM2018106

(责编:高毅)



### 《含能材料》“损伤与点火”专栏征稿

含能材料的损伤特征与点火过程有密切的联系,炸药、推进剂的内部损伤及其对力学特性、安全特性和点火行为的影响规律受到了含能材料学界的高度重视,为推动这一重要研究方向的学术交流,本刊特设立“损伤与点火”专栏。专栏主要征集炸药、推进剂等含能材料的损伤观测与多尺度表征技术、含损伤的本构方程、准静态与动态损伤演化规律、损伤与破坏的宏(细)观模式、损伤对起爆、爆炸、爆轰成长以及非冲击起爆行为的影响等方向的原创性研究论文。来稿请注明“损伤与点火”专栏。

《含能材料》编辑部