

多源触发装置设计

王艳艳, 朱轶龙, 陈亚奇, 白蕾

(中国兵器工业试验测试研究院, 陕西 华阴 714200)

摘要: 为了解决靶场目前终点毁伤试验战斗部低红外特性落区高速录像、数据采集等设备触发可靠性低的问题, 文中提出了多源触发的设计思路; 即利用声传感器、地震波传感器感应战斗部作用时产生的声信号、地震波信号, 将感应的随机信号调理成测试设备可以识别的方波信号进行触发; 进行了装置总体思路设计、各个分系统设计等; 开发设计了适合终点毁伤试验落区测试设备触发的多源触发装置, 该装置触发方式灵活, 不受恶劣天气及昼夜的影响, 可以实现全天候测试, 解决了终点毁伤试验落区测试设备的触发问题, 使战斗部低红外特性终点毁伤类试验落区测试设备触发成功率达到 100%。

关键词: 多源触发装置; 地震波信号; 声信号

Design of Multi-Source Trigger Device

Wang Yanyan, Zhu Yilong, Chen Yaqi, Bai lei

(Norinco Group Test and Measuring Academy, Huayin 714200, China)

Abstract: In order to solve the low trigger reliability problem of the equipment, such as high-speed video recording and data collection for the damage test warhead at the terminal point range, this paper has forwarded design idea of multi-source trigger. Which is by uses of the acoustic signal and seismic wave signal generated when the warhead is sensed by the acoustic sensor and seismic wave sensor, to adjust the induced random signal to the square wave signal recognized by the test equipment for triggering. The equipment has been designed of overall idea, and of each subsystem etc. The multi-source trigger equipment is developed and designed which is suitable for the trigger of the test equipment in the terminal point damage test of the falling area, the trigger mode of the equipment is flexible, which are not affected by the bad weather and day & night, which can realize all-weather test, that solves the trigger problem of the test equipment in the terminal point damage test falling area, and make the trigger success rate of the test equipment in the terminal point damage test falling area with low infrared characteristics in the combat department reach 100%.

Keywords: multi-source; trigger device; seismic wave signal; sound signal

0 引言

在终点毁伤类试验中, 落区的图像及冲击波、破片等数据对战斗部的毁伤效能评估具有重大意义, 以往图像参数的测试高速摄影机采用红外触发, 即感应战斗部爆炸时的火光信号, 这种触发方式的弊端是容易受天气、视场的影响导致触发成功率降低, 同时也会遇到有的战斗部(填砂弹)在终点不爆炸、直接落地, 没有火光信号, 即没有红外特性, 这种情况下高速摄影机的触发就成了难题; 冲击波、破片、冲击波等参数的测试数据采集设备采用冲击波信号触发, 即提前预估冲击波信号的幅值, 将该信号作为触发判断条件, 这种触发方式由于受仿真预估的影响, 导致设备触发可靠性降低。针对新型试验任务需求的牵引, 综合各种不同试验对测试设备的触发需求, 在现有触发条件的基础上寻求新的触发方式, 形成多源触发模式, 满足不同类型战斗部作用时对测试设备的触发需求。

本文采用捕获战斗部作用时产生的声、振信号作为触发源、将该信号调理成测试设备可以识别的标准方波信号

触发测试设备, 这种触发方式的优点是布设灵活, 只要有信号的区域布设传感器, 不受以往视场、距离以及天气的影响, 触发可靠性及成功率都比较高。这种触发方式为终点毁伤类试验测试设备提供了一种便捷、可靠的触发方法, 拓宽测试设备的触发领域, 减少试验失败的风险。同时也可推广应用于战斗部静爆试验中, 消除目前数据采集系统采用起爆前在弹体上缠绕断靶线带来的安全隐患。

1 系统架构及原理

战斗部终点毁伤试验是在弹道终点进行毁伤威力评估的试验, 在战斗部作用过程中, 需要测试冲击波、破片、炸点位置、战斗部作用过程图像等参数, 这些参数的测试需要数据采集设备、高速摄影机等测试设备, 这些设备在采集前需要触发。目前测试设备的触发数据采集设备采用内触发的方式, 内触发是采用通道内的信号触发, 即取采集信号的某一个条件触发, 此方法对信号预估有很高的要求, 如果预估不准, 触发电压设置的不合理, 就会造成误触发或者不触发的情况; 高速摄影机一直采用红外触发的方式, 即采用战斗部作用时产生的火光信号作为触发信号, 这种触发方式针对装药爆炸类产生火光类的试验比较适用, 弊端是受视场和距离的限制, 导致设备的触发成功率比较低。在遇到填砂类战斗部作用时, 没有火光信号, 红外触

收稿日期: 2019-05-20; 修回日期: 2019-06-19。

作者简介: 王艳艳(1977-), 女, 陕西省乾县人, 高级工程师, 主要从事武器系统靶场试验与测试技术方向的研究。

发的方式就无法使用，因此针对新型试验任务需求的牵引，需要寻求新的触发方式。

通过对靶场终点毁伤试验产生的信号进行梳理（如图 1 所示）可知，声、光、振信号为所有这些试验过程中产生最多的信号。光信号只在战斗部爆炸时会产生，但任何战斗部作用时，都会产生声信号、振动信号。因次，可以捕获战斗部作用时产生的声信号、振动信号作为触发源，设计触发装置用以触发测试设备。

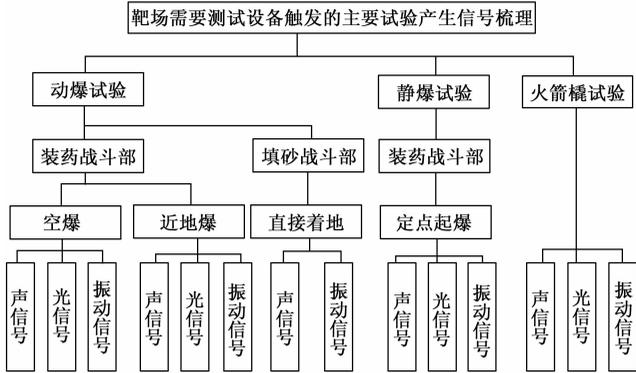


图 1 触发源信号梳理

声信号采用声传感器进行捕获，振动信号可以采用振动传感器，地震波传感器进行捕获，爆炸地震波是由于爆炸冲击波撞击其下方地面发生正反射时，其中一部分能量转换而成。具有持续时间短，突变快的特点，是一种典型的非平稳信号，采用地震波传感器感应战斗部作用时的地震波信号，设计原理简单，功能易于实现。

通过对信号特征进行分析，选择合适的声传感器感应战斗部作用过程中产生的声信号，选用地震波信号感应战斗部作用过程中产生的振动信号，设计调理装置将这两种传感器感应的信号调理成测试设备可以识别的方波信号触发测试设备。试验前根据战斗部作用时产生的信号威力大小确定传感器的布设距离，将传感器布设在能感应到信号的区域，触发装置布设在测试设备附近，传感器和触发装置之间通过信号线相连。试验时战斗部作用产生声、振信号，声传感器调理装置将这两种信号调理成测试设备可以识别的方波信号，通过或的关系输出，只要有一种信号到来，即输出信号触发测试设备，系统测试原理如图 2 所示。

2 触发装置设计

2.1 声信号触发设计

2.1.1 战斗部产生的声信号特性分析

在战斗部爆炸的过程中，由于爆炸声源机动方便，无指向性，能够产生大功率，宽频带的短脉冲，因此，爆炸声源是靶场试验中最常用的信号源。即采用传感器感应战斗部作用时产生的声信号作为触发信号源触发测试设备，通过对以前采集的数据进行分析，战斗部爆炸产生的声信

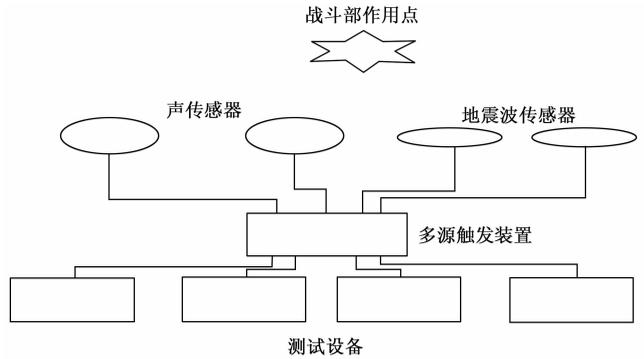


图 2 系统测试原理框图

号频率在 1 kHz 以下，声压根据当量不同最大到 150 dB，在传感器选型时，需要选择能覆盖此频率段，量程的传感器。

2.1.2 声信号调理设计

通过对声源特性进行分析，对信号的幅值进行初步的预估，在设计中将信号增益设计成可调（增益过高可能导致信号限幅，过低则会导致信号分辨率下降）。声传感器在接收到声信号后先去掉直流分量，然后分析信号的过零率或短时能量是否超出触发门限（将触发门限设计成可调），判断当前有无目标。当过零率或信号短时能量超过预设的触发门限时，判定为有目标，此时给出脉冲触发信号；若未超出预设门限，则判定为无目标，此时继续对传感器接收到的信号进行处理，直至短时能量超出预设触发门限，发出脉冲触发信号，设计流程如图 3 所示。

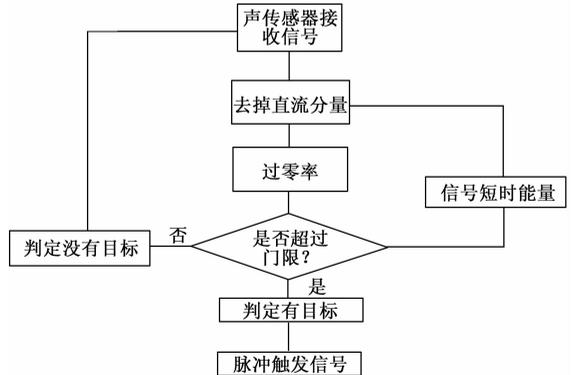


图 3 声触发设计流程

在声信号调理的设计过程中，要考虑战斗部在飞行到落点上方时已经有激波信号，伴随着爆炸，信号混杂，极有可能误触发测试设备，因此在设计时一直处于判断状态，当能量聚集到超过触发门限时，认为是战斗部爆炸时产生的有用信号，则输出脉冲触发单元（测试设备可以识别的标准方波信号触发测试设备。为了增加触发可靠性，将输入端增加为两个，通过或门输出，将增益和触发门限设计成可调。试验中根据实际使用环境进行增益和触发门限的调节。

2.2 振动(地震波)信号触发设计

战斗部在爆炸或者着地时会产生强烈的振动信号,采用振动传感器和地震波传感器可以感应到该信号,通过将信号进行调理设计,设计成测试设备可以识别的触发信号触发测试设备。在设计时要对传感器感应的电压信号进行放大处理(增益设置),设置触发门限,滤除无关的干扰信号,最后对信号整形后输出标准脉冲触发信号。因安全距离的限制,振动传感器不可能布设在战斗部作用点附近,振动信号传输到安全区域时已经是比较微弱的信号,必须经过放大以及处罚门限设置,根据实际应用需求调整放大器 INA122 负载电阻进行放大倍数的选择,放大后的信号进入到 LM311 比较器,LM311 比较器设定一个预设值,当低于这个预设值时,比较器不输出,不驱动单稳态触发器输出脉冲信号,此预设值的设计依据是环境噪声信号不能触发测试设备,实际试验时根据现场环境噪声情况进行设置,从而屏蔽了环境噪声引起的误触发现象,当战斗部作用时,振动信号强度大于环境噪声,输出值高于预设值,从而驱动单稳态触发器输出脉冲信号,通过单稳态触发器外接的电容和电阻可以调整输出脉宽。

设计电路以放大器 and 高速电压比较器为主要器件,并且通过电位器灵活调节信号增益及触发门限。当传感器感应到振动信号时,将其转化为电压信号输入到触发装置,经放大器放大,并与预置触发门限值相比较,经比较器比较判断、整形后输出测试设备所需信号触发高速摄影机、数据采集等测试设备。

电路原图如图 4 所示。为了保证测试中可靠获取信号,将前端地震波信号获取端增加为 4 个(可以根据实际需求改变设计),振动信号获取增加为 2 个,即试验时可以在不同区域布设传感器,多方位捕获信号,任何一个传感器感应到信号经放大整形处理后都可以触发测试设备。

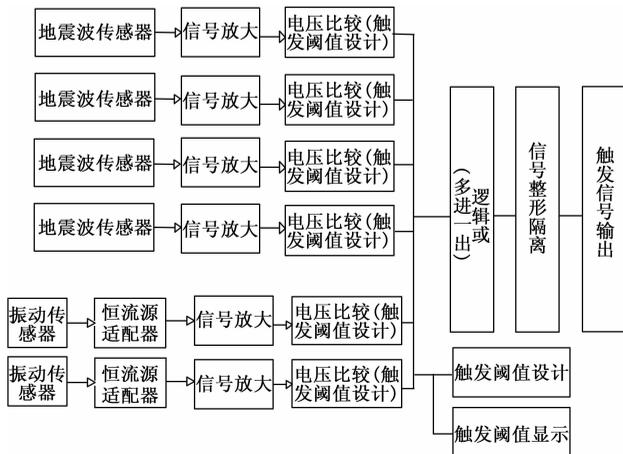


图 4 振动信号设计原理框图

2.3 信号集成设计

信号集成设计主要将声、振信号集成设计在一起,试验时根据战斗部产生信号强弱选择触发源。当空爆试验时,

产生声信号比较强烈,可以选择声传感器感应战斗部爆炸时产生的声音信号作为触发信号,此种场合振动信号输入可以关断不起作用;当战斗部不爆炸钻地时,战斗部作用时产生的振动信号比较强烈,可以选择地震波传感器感应战斗部钻地时的振动信号作为触发信号,此种场合声信号输入可以关断不起作用;当战斗部近地爆炸时,产生的声信号和振动信号都比较强烈,可以声信号、振动信号两种触发方式都选择,具体要根据战斗部作用时产生这两种信号的强弱去选择;在设计时将声信号、振动信号统一进入集成电路,最终输出一个信号触发测试设备。通过开关选择使用哪种信号,电路原理如图 5 所示

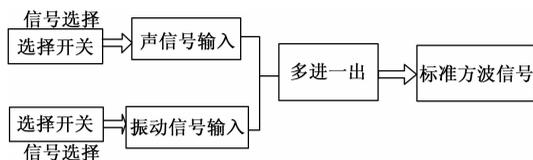


图 5 信号集成电路电路设计原理框图

2.4 工程化设计

整个系统在设计的过程中,首先考虑野外试验的便携性以及可靠性,结构设计上尽量小型化,面板设计采用模块化,标准军品插接件,输入信号类型和输出信号类型标识清楚,状态指示明确;

考虑本装置的应用环境,为了提高装置的环境适应,机箱采用全封闭结构以起到防尘防沙的作用,采用内置宽温锂电池供电,装置配备智能电源管理模块,集成了电池充电管理、放电状态监测以及装置运行时的低功耗优化,保证野外工作时间不小于 6 小时。

在元器件选择时,考虑温度使用环境,对元器件进行筛选,整机组装完成后,在高低温箱开展高低温条件下的设备烤机验证,以确保在要求环境温度内能够保证装置工作正常。

3 试验结果与分析

多源触发装置设计完成后,首先对装置的可靠性搭载试验进行了验证,在某火箭橇试验中,将该装置放置在距离弹着点 120 米的距离,采用地震波传感器感应战斗部侵彻靶板时产生的振动信号触发高速摄影机,试验前通过人在传感器附近走动,车辆经过传感器均不触发测试设备的方式确定了触发门限,试验前复位高速摄影机,试验过程中高速摄影机可靠触发,拍摄到了战斗部穿靶的过程;在某飞行类试验中,搭载声传感器感应战斗部作用时产生的声信号触发测试设备,试验当天有风,刚开始设备存在误触发的情况,通过调节灵敏度,增大触发门限,消除误触发,试验过程中高速摄影机及数据采集设备可靠触发,拍摄到了战斗部作用过程的图像画面及冲击波数据。

在远程区某填砂类战斗部试验中,将该装置布设在距离弹着点 200 米的地方,成功捕获了战斗部着地时的地震

波信号, 输出 TTL 信号触发了高速摄影机, 拍摄到了战斗部着地过程。后续战斗部终点毁伤类 30 余项试验高速摄影机、数据采集设备等采用该装置进行触发, 触发成功率 100%, 达到了目标设计要求, 解决了终点毁伤类试验测试设备的触发可靠性低的问题。

通过搭载试验验证及正式试验中的可靠应用, 说明这种触发方式的选择是正确的, 设计的关键是增益及触发门限可调, 因不同战斗部作用时产生的信号强弱不同, 再加上安全距离的限制, 传感器感应的信号已经比较微弱, 因此必须将增益设计成可调, 针对不同的战斗部作用, 选用同的增益; 因实际应用环境不同, 静态环境噪声不同, 针对实际应用环境对触发门限进行调节是触发成功的关键, 触发门限调节的原则是保证有用的信号可以触发测试设备, 又不能有误触发的情况, 调节根据环境噪声和传感器布设距离进行调整。环境噪声干扰小, 传感器布设距离战斗部作用点比较近, 触发门限可以调节的比较小, 环境噪声干扰大, 触发门限调节要大一些, 具体根据现场的应用环境, 触发门限可调设计拓宽了多源触发装置的应用领域。

4 结束语

设计完成的触发装置, 利用战斗部着地时产生的声信号、地震波信号作为触发源, 可以不受视场, 距离的限制, 并且在没有红外光的情况下触发测试设备。该多源触发装置体积小, 易于携带, 方便现场操作。利用声信号、地震波信号作为触发信号, 是试验院首次尝试利用小信号作为测试设备的触发信号, 也是利用战斗部自身产生的特征信号去触发测试设备。该触发思路的提出, 触发装置的成功研制,

(上接第 272 页)

1) 从传感器自身各阻值指标指标方面, 对于电阻分压式电位计式位移传感器, 产品的精度与电位计的总电阻值大小无关, 但性能受电位计电阻膜片的各处均匀性影响, 反映到测试上即线性度。因此, 理论上可不必对电位计总电阻值进行较为严格控制, 而是应控制产品的线性度及与之相关的两分阻之间的不对称电阻、引出电阻的过程生产项目。

2) 从外界环境条件方面, 由于温度、湿度等客观条件的存在且对阻值影响明显电位计电阻值将会不可避免的受其影响并产生一定的变化, 但只要全行程内电阻值均匀变化即可保证产品的线性度, 确保产品的功能、性能稳定。

3) 从传感器结构、材料方面, 选择 PdIr18 合金片材和聚酰亚胺层压覆铜板作为刷丝和骨架材料, 对传感器结构进行再设计, 减少传感器工作过程中磨削多余物的产生, 从而降低了引出电阻在使用过程中增大的可能性。

本文从传感器自身各阻值指标指标, 外界环境条件以及传感器结构、材料等几个方面, 给出工程建议, 提高了传感器的测量精度, 对航天伺服推力矢量控制系统的发展具有重要意义。

为终点毁伤试验非爆炸弹药落点参数测试设备的触发提供了一种便捷、可靠的测试方法, 由于该装置的成功研制, 以前无法测试的项目现在可以测试。同时该装置可以应用在动爆试验、静爆试验及火箭橇试验中, 拓宽了测试设备的应用领域, 减少了测试失败的风险, 到目前为止, 为试验院创造了可观的测试收入, 应用前景非常广阔。

参考文献:

- [1] 潘小波, 陈志远. 基于 ARM9 + Linux 的 AD 驱动程序设计 [J]. 工业控制计算机, 2008, 21 (7): 66 - 67.
- [2] 程 科. 嵌入式 Linux 设备驱动程序的设计与研究 [D]. 成都: 电子科技大学, 2017.
- [3] 陈大钦, 等. 电子技术基础实验 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2004.
- [4] 王 昊, 李 昕, 郑凤翼. 通用电子元器件的选用与检测 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2005.
- [5] 王敏银. 数字电路逻辑设计 [M]. 北京高等教育出版社, 1999.
- [6] 韩桂英. 数字电路与逻辑设计实用教程 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2008.
- [7] 刘书明. 数据采集系统芯片 ADUC812 原理及应用 [J]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2002.
- [8] Shay W A. 数据通信与网路教程 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2000
- [9] 郁汉琪. 电气控制与可编程序控制器应用技术 [M]. 南京: 东南大学出版社, 2004.
- [10] 沈振元, 聂志泉, 赵雪荷. 通信系统原理 [M]. 西安: 电子科技大学出版社, 1999.

参考文献:

- [1] 崔玉江, 王 伟, 杨 明, 等. 伺服反馈位移传感器的现状及发展趋势 [J]. 宇航计测技术, 2012 (4): 65 - 68.
- [2] 李丹佳, 陈 娣, 郭薇妮, 等. 超小型高可靠三元角位移传感器研制 [J]. 宇航计测技术, 2015 (2): 1 - 5.
- [3] 甘 霖, 李文璋, 崔新宇. 伺服系统用反馈电位计故障分析及对策 [J]. 宇航计测技术, 2015 (6): 77 - 82.
- [4] 杨宝清. 现代传感器技术基础 [M]. 北京: 中国铁道出版社, 2001.
- [5] 刘迎春, 叶湘滨. 现代新型传感器原理与应用 [M]. 北京: 国防工业出版社, 1998.
- [6] 南京航空学院, 北京航空学院合编. 传感器原理 [M]. 北京: 国防工业出版社, 1980.
- [7] 袁希光. 传感器技术手册 [M]. 北京: 国防工业出版社, 1986.
- [8] 栾桂冬, 张金铨, 金欢阳. 传感器及其应用 [M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2002.
- [9] 郭薇妮, 李梦雪, 李丹佳. 一种改进型导电塑料电位计研制 [J]. 宇航计测技术, 2016 (1): 52 - 56.
- [10] 郭忠全. 新型弱电铜基电触头复合材料的研究 [D]. 济南: 济南大学, 2006.