

聚能型战斗部水下射流速度测量的断通靶方法

邵宗战, 宋敬利, 邢阳阳

(中国人民解放军91439部队, 辽宁 大连 116041)

摘要:在断通靶测速系统工作原理、组成特点分析的基础上,研究了海上模型试验中聚能射流速度测量方法及系统的海上工程应用方法,进行了实测数据分析。结果表明:采用断通靶测速系统进行聚能型战斗部水下射流速度测量方法可行,可为聚能型战斗部水中兵器的毁伤分析、数值模拟校核及战斗部结构设计等提供有效的技术支持。

关键词:聚能型战斗部;水下射流速度;断通靶

本文引用格式:邵宗战,宋敬利,邢阳阳.聚能型战斗部水下射流速度测量的断通靶方法[J].兵器装备工程学报,2016(11):16-19.

Citation format:SHAO Zong-shan, SONG Jing-li, XING Yang-yang. Research on Connected-Disconnected Probe System for Jet Speed Underwater Measurement of Shaped Charge Warhead[J]. Journal of Ordnance Equipment Engineering, 2016(11): 16-19.

中图分类号:TJ6

文献标识码:A

文章编号:2096-2304(2016)11-0016-04

Research on Connected-Disconnected Probe System for Jet Speed Underwater Measurement of Shaped Charge Warhead

SHAO Zong-shan, SONG Jing-li, XING Yang-yang

(The No. 91439th Troop of PLA, Dalian 116041, China)

Abstract: Based on analysis of the principle and performance of connected-disconnected probe system, measurement method of jet speed in shaped charge warhead model test underwater and application method were researched, and model explosion test on the sea was analyzed. Measurement result shows that it's doable using connected-disconnected probe system for jet speed underwater measurement of shaped charge warhead, which can provide effective technical support for the damage analysis, numerical simulation and the design of the warhead structure checking of shaped charge warhead in the water.

Key words: shaped charge warhead; underwater jet speed; connected-disconnected probe

聚能装药战斗部主要利用装药的聚能效应实施破甲^[1,2]。聚能型战斗部爆炸后,在高压爆轰产物作用下,药型罩各微元产生加速运动,并向轴线压合,发生碰撞、挤压、压力激增,超强的压力使一部分药型罩以极高的速度沿对称轴射出,形成射流。射流具有很强的侵彻能力,可以破坏舰艇装甲和内部纵深方向的设备和结构^[3-6],因此,金属射流的毁伤作用是聚能装药战斗部毁伤作用的主要形式。在聚能装药相关研究方面,研究者大多采用数值模拟与试验相结合的方法,数值模拟为试验提供指导,试验对模拟结果进行验

证^[7-11]。试验和测量是获取兵器毁伤威力、毁伤作用效果最有效、最直接的手段,也是对数值仿真结果准确性的最好校核手段^[12]。

对于聚能型战斗部水中兵器而言,其水下爆炸所产生的金属射流在产生及穿透双层壳体过程中的速度变化规律,对其毁伤特性研究、毁伤威力评估、数值模拟校核及战斗部结构设计等方面具有重要的指导作用,因此,有必要对聚能型战斗部水下爆炸时射流速度测量方法进行深入研究。

收稿日期:2016-06-30;修回日期:2016-07-30

作者简介:邵宗战(1972—),高级工程师,主要从事装备试验研究。

1 射流速度测量方法研究

射流速度测量主要有光测、电测二种。

光测方法包括高速摄影方法、脉冲 X 光摄影方法等,主要是利用光对被测物体的透射原理,将高速运动过程的空间信息和时间信息联系起来,通过图像处理和分析,计算得到射流侵彻速度。由于水密、抗冲击防护、水下拍摄距离等方面的限制,光测方法目前主要应用于实验室爆炸水池或爆炸罐小当量试验中,设备通过观测窗口拍摄爆炸图像,记录射流的形态变化和侵彻过程,计算处理射流速度。光测方法如应用于水中射流的拍摄、测量工作,需重点解决水下拍摄环境监测、抗冲击防护设计、流场作用下结构设计、照明光源设计等技术难题。

射流速度的电测方法即断通靶法,是一种简单易行的速度测量方法,常用于高速弹丸、破片和射流的测量,实验室和外场实验均可适用,并且断通靶易于水密,能很好地应用于水中射流速度的测量。断通靶法属于接触式测量,其缺点是被测物体需要击穿靶板,可能会使被测物本身形态有一定改变,但由于射流密度较大且速度很高,击穿很薄的断通靶对高速射流的速度影响不大。

2 断通靶测速系统的工作原理及组成特点

2.1 测速系统工作原理

聚能型战斗部在高压脉冲作用下,引爆电雷管、起爆器和装药,形成高速射流(射弹)。高速射流(射弹)运动穿过断通靶时,具有导电性的弹头部位使断通靶导通,输出一个开关电量,通过 RC 型脉冲测时网络产生一个突变的阶跃电压,所形成的脉冲波形和相应的时间间隔由采集记录仪记录。通过断通靶间距及导通时间记录,即可计算射流穿过各特征点时的速度。

2.2 断通靶测速系统组成

由系统工作原理可知,系统组成见图 1 所示。

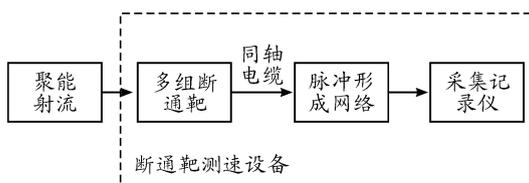


图 1 断通靶测速系统组成示意图

2.2.1 断通靶

断通靶的作用机理是在多种物理因素的影响下,使断通靶的通断处于不同的状态,完成信号的采集。

断通靶由铝箔、绝缘膜和塑封层组成,共 5 层,如图 2 所示。断通靶的两个电极由两张金属铝箔组成,之间用绝缘材料聚苯乙烯隔开,铝箔外表面覆盖塑料绝缘膜。通常情况下断通靶两极是断开的,当具有导电性的射流穿过电测靶时,射流头部把两张铝箔接通,输出一个由断到通的瞬时开关电

量。射流通过后,两张铝箔又被绝缘材料隔开,恢复到原来的断电状态。断通靶在整个测量系统相当于一个传感器。为了减小断通靶对射流本身速度和形貌的影响,断通靶应做得尽可能薄。应用于水下使用的断通靶,其水密特性尤为重要。加工完成的断通靶见图 3 所示。



图 2 断通靶结构示意图

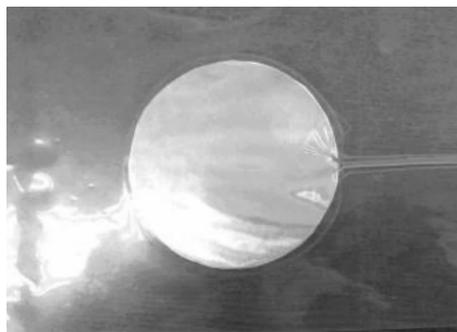


图 3 加工完成的断通靶

2.2.2 脉冲形成网络

脉冲形成网络在测量系统中的功能相当于信号调理器,其主要功能是将断通靶的瞬时断通物理信号转化成电信号,以便用信号采集仪进行采集。脉冲形成网络内部有电源,每一路接有电阻和电容,其内部组成示意图如图 4。

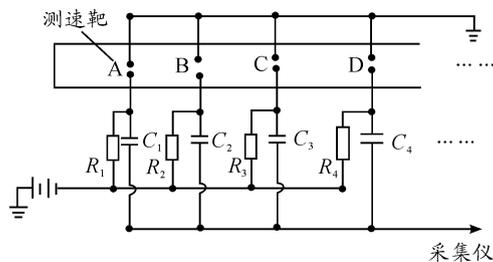


图 4 脉冲形成网络内部组成示意图

其具体工作原理为:脉冲形成网络每一路分别接有 A、B、C、D 等断通靶,断通靶在初始是断开的,则每一路电容(C_1 、 C_2 、 C_3 、 C_4 等)的上端的电势为 $-E$ (E 为内部电源的电压),电容的下端为 0 电势,电容两端的电压为 E ;当断通靶被射流击穿,断通靶两极导通,每一路电容(C_1 、 C_2 、 C_3 、 C_4 等)的上端的电势跳变为 0,由于电容具有惯性特征,在导通瞬时,虽然电容的上端电势变为 0,但电容两端的压差不会改变,则电容的下端电压跳变为 $+E$,脉冲形成网络输出一个跳变的电压信号,跳变信号起跳的时刻就是射流击穿断通靶的时刻。

加工完成的脉冲形成网络外观见图 5 所示,设有输入、输出接口,接口均为 BNC 母头,输入输出信号均为 16 路。



图 5 脉冲形成网络实物图

2.2.3 采集记录仪

采集记录仪用于采集、存储由脉冲形成网络输出的脉冲波形变化曲线及时间,通过计算处理得到射流穿过各特征点时的速度。试验中,通过同轴电缆把 RC 型脉冲形成网络与采集记录仪连接起来,采集记录仪被放置在爆源表面的电探针触发后,记录各断通靶被射流导通的波形、时间信息。采集记录仪可采用电子测时仪、示波器或其他采集存储设备完成。

3 试验系统布局及测量结果分析

3.1 试验整体设计

为研究聚能型战斗部水下爆炸毁伤特性和毁伤效果,设计加工了验证试验用靶箱,用于模拟双层圆柱壳舱段。模拟试验装置从前到后依次为模拟聚能战斗部爆源、鱼雷自导头模拟靶、非耐压壳模拟靶、模拟水舱、耐压壳模拟靶、后效靶。靶箱中共设置 4 组断通靶,分别用于测量射流形成后头部的初始速度及穿透非耐压壳后、穿过水层穿透耐压壳之前和穿透耐压壳之后 4 个特征位置的速度。靶箱整体结构及断通靶位置见图 6 所示。

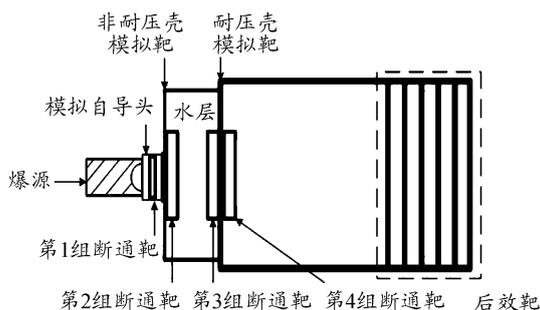


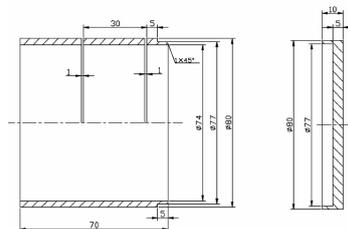
图 6 靶箱结构及断通靶位置示意图

3.2 海上试验用断通靶测速系统

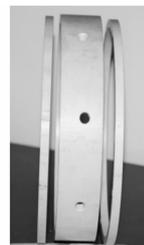
3.2.1 断通靶固定组件

在对测速系统工作原理及系统组成、技术特性分析研究的基础上,加工了断通靶和脉冲形成网络,同时,针对海上实爆试验测量需求,为保证断通靶的安装位置固定,设计加工了专用断通靶固定组件。

断通靶固定组件有两种规格,一种用于射流形成段的初始速度测量;另一种用于射流穿透非耐压壳靶之后的速度测量,均为圆管形固定组件。其中,第 1 种固定组件在断通靶安装后用胶将切口密封,同时为了模拟自导头,在圆管一端固定 5 mm 厚的铝盖,铝盖与圆管之间用胶密封,做到严格水密;第 2 种固定组件由一个主件和两个固定件组成,采用螺杆固定于试验靶箱中。



(a) 第 1 种固定组件设置图



(b) 第 2 种固定组件实物图

图 7 断通靶固定组件设计图及实物

3.2.2 信号电缆

信号电缆选用 STYV-2 电缆,每根长度 100 m,一端为 BNC 公头,可接入脉冲形成网络盒,另一端与断通靶的两个导线焊接,并做水密处理。

3.2.3 触发信号

断通靶测速系统触发信号由固定在爆源外部的探针给出。试验前,在爆源外表面固定一组探针,爆源起爆时,即可将触发信号传送到采集记录仪。

3.2.4 试验总体布局

试验总体布局见图 8 所示,靶箱上部连接有防沉浮体。试验时,靶箱整体由吊车吊布至水面后,解脱吊钩,则浮体与靶箱间钢缆的长度即为靶箱入水深度。触发信号及断通靶信号均通过信号电缆连入放置于岸上的脉冲形成网络后,接入采集记录仪。

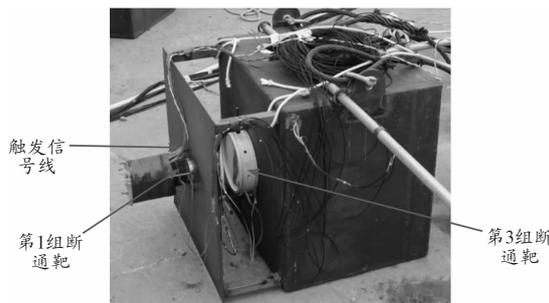


图 8 试验总体布局

3.3 测速结果分析

试验中,共测得 9 路信号,分别是固定在爆源上的探针触发信号及 4 组共 8 个断通靶信号。信号分成两组:① 探针和 4 组测速靶的第一个断通靶信号连入示波器 CH3 通道;② 4 组测速靶的第二个断通靶信号连入示波器 CH1 通道。测量得到的信号波形见图 9 所示。

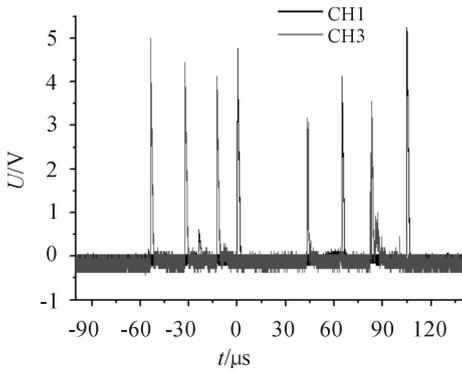


图9 测量得到的探针和8个断通靶信号波形

提取得到的每个信号对应的起跳时刻如表1所示,计算得到的各测点射流头部平均速度如表2所示。射流形成后,初始头部速度为3.49 km/s,之后,由于非耐压壳、水层和耐压壳的阻力作用,射流头部速度不断衰减。试验测量结果可

表1 探针和通断靶信号起跳时刻

断通靶编号	探针	1-1靶	1-2靶	2-1靶	2-2靶	3-1靶	3-2靶	4-1靶	4-2靶
信号起跳时刻/ μs	-53.8	-32.602 8	-24.017 6	-12.9	-0.022 4	42.9	64.601 2	82.238	104.837 2

表2 射流头部平均速度计算汇总表

项目	断通靶编号	探针至	第1组	第2组	第3组	第4组
	1-1靶	测速靶	测速靶	测速靶	测速靶	测速靶
间距/mm	约71	30	40	40	40	40
时间间隔/ μs	21.197 2	8.585 2	12.877 6	21.701 2	22.599 2	
平均速度/ $(\text{km} \cdot \text{s}^{-1})$		3.49	3.11	1.84	1.77	

4 结论

本文在断通靶测速系统工作原理、组成特点分析的基础上,研究了海上模型试验中聚能射流速度测量方法及系统的海上工程应用方法,并进行了实测数据分析。试验测量结果表明:采用断通靶测速系统进行聚能型战斗部水中兵器射流速度的测量、分析的技术手段可行,可为聚能型战斗部水中兵器的毁伤分析、数值模拟校核及战斗部结构设计等提供有效的技术支撑。

参考文献:

- [1] 郭涛,吴亚军. 鱼雷战斗部技术研究现状及发展趋势[J]. 鱼雷技术,2012,20(1):74-77.
- [2] 沈哲. 鱼雷战斗部与引信技术[M]. 北京:国防工业出版社,2009.
- [3] 周方毅,詹发民,吴雨强,等. 不同药型罩聚能装药水中接触爆炸毁伤效应[J]. 工程爆破,2014,20(1):9-12.
- [4] 凌荣辉,钱立新,唐平,等. 聚能型鱼雷战斗部对潜艇目标毁伤研究[J]. 弹道学报,2001,13(2):23-26.
- [5] 陈少辉,雷彬. 聚能射流对间隔靶板的侵彻深度模型及

明显反映射流从形成到击穿非耐压壳模拟靶、穿透水层和耐压壳模拟靶整个过程中的速度变化历程。

可以计算出,射流从形成到击穿非耐压壳过程中,头部速度减小速率约为 $88.5 \text{ m}/(\text{s} \cdot \mu\text{s})$;在穿透水层过程中的速度减小速率约为 $143.9 \text{ m}/(\text{s} \cdot \mu\text{s})$;而射流击穿耐压壳前后其头部的速度减小速率约为 $77.9 \text{ m}/(\text{s} \cdot \mu\text{s})$ 。结果表明,水层对射流头部速度影响最为明显,其次为非耐压壳,最后为耐压壳。排除测量误差原因外,初步分析为:在射流形成初期,由于其内部有明显的速度梯度,本身在飞行过程中头部速度会有明显的改变,在侵彻非耐压壳靶板和水介质过程中,头部阻力使其头部速度改变更为明显;在后期,射流头部被削平,其内部速度梯度减小,射流形态相对趋于稳定。这一结果与数值仿真结果是一致的^[9]。此外,从测量结果来看,金属射流在穿透耐压壳靶后,头部剩余速度为 1.77 km/s ,仍具有较强的穿透能力。实际试验中,射流在穿透耐压壳靶后还相续穿透了6层后效靶,也证明了这一测量结果。

数值模拟研究[J]. 兵器材料科学与工程,2011,34(1):35-37.

- [6] 李兵,张之凡,明付仁,等. 聚能战斗部对潜艇舱段结构毁伤特性研究[J]. 兵工学报,2014,35(2):362-365.
- [7] 杨莉,张庆明,时觉勇. 爆炸成型模拟弹丸对水介质侵彻的数值仿真[J]. 弹箭与制导学报,2009,29(2):117-119.
- [8] 陈冬梅,陈智刚,侯秀成,等. 三类聚能侵彻体鱼雷战斗部对目标毁伤数值模拟[J]. 弹箭与制导学报,2012,32(2):110-113.
- [9] 张之凡,李兵,王龙侃,等. 基于SPH-FEM方法的半球形聚能装药破甲特性研究[J]. 振动与冲击,2016,35(14):73-78.
- [10] 王团盟,向春. 鱼雷聚能战斗部EFP侵彻潜艇结构模拟靶数值模拟[J]. 鱼雷技术,2008,16(1):44-46.
- [11] 杨莉,张庆明,巨圆圆. 爆炸成型弹丸对含水复合装甲侵彻的实验研究[J]. 北京理工大学学报,2009,(29)3:197-200.
- [12] 李兵,金辉,房毅. 聚能型战斗部水中兵器毁伤研究进展[J]. 兵器装备工程学报,2016,37(2):1-6.

(责任编辑 周江川)