

水下爆炸载荷对动物冲击作用试验研究

刘文思, 曹进一, 张姝红, 张永坤

(中国人民解放军91439部队, 辽宁 大连 116041)

摘要:设计和加工不同距离处水下动物固定支架结构,制定水下爆炸冲击试验方案,利用压力传感器测量得到水下爆炸载荷对不同距离处动物的自由场压力曲线;对两次试验测量结果进行分析,从能量的角度研究作用机理,提出典型水下爆炸环境下对水下动物吸收冲击能计算方法。

关键词:水下爆炸;压力传感器;试验

本文引用格式:刘文思,曹进一,张姝红,等.水下爆炸载荷对动物冲击作用试验研究[J].兵器装备工程学报,2019,40(S1):31-33.

Citation format:LIU Wensi, CAO Jinyi, ZHANG Shuhong, et al. Experimental Study on Impact of Underwater Explosion Load on Animals[J]. Journal of Ordnance Equipment Engineering, 2019, 40(S1): 31-33.

中图分类号: O383+.1

文献标识码: A

文章编号: 2096-2304(2019)S1-0031-03

Experimental Study on Impact of Underwater Explosion Load on Animals

LIU Wensi, CAO Jinyi, ZHANG Shuhong, ZHANG Yongkun

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

Abstract: Experimental study on underwater animal subjected to underwater explosion impact at different distances was tested, design and processed underwater stand structure to support animals, and we made underwater explosion experiment plan. Measurement of free-field pressure of underwater explosion by pressure sensor, the peak pressure curves of underwater explosion loads at different distances were obtained under free-field conditions, and the results of two experiments were analyzed. Study on the mechanism of underwater explosion impacted on animals, and presented a method to calculate the impact energy of underwater animals under typical underwater explosion, and provided reference for the biological damage evaluation of underwater explosion.

Key words: underwater explosion; pressure sensor; experiment

在现代海战场条件下,水中兵器可在水中爆炸的瞬间释放出巨大的能量,在近场水域产生强烈的冲击波^[1-5]。战场条件下水下爆炸冲击波对水中蛙人、岛礁登陆作战、潜艇逃生人员造成致命威胁^[6-7],第二次世界大战中出现过数千例水下冲击伤伤员。

为摸清水下爆炸致伤机理,获取实战条件下人员爆炸毁伤的伤情、伤类、伤因、伤势等资料信息,评估水下爆炸对水下蛙人、岛礁登陆作战、潜艇逃生人员的生物致伤效能,有必要开展相关理论研究及动物损伤试验,研究水下爆炸作用下生物吸收冲击能计算方法,为进一步探索冲击波与损伤效应关系,开展水下爆炸损伤评估提供参考。

1 水下爆炸理论

目前水下爆炸广泛应用通过对大量的试验和爆炸相似率分析而得出的 Cole 经验公式,对于铸装 TNT 球形药包,自由场冲击波压力峰值 P_{\max} 、冲击波能量 E_{sh} 分别为^[8-9]:

$$P_{\max} = \begin{cases} 4.41 \times 10^7 \left(\frac{\sqrt{W}}{R} \right)^{1.13}, & 6 \leq \frac{R}{R_0} \leq 12 \\ 52.4 \times 10^7 \left(\frac{\sqrt{W}}{R} \right)^{1.13}, & 12 \leq \frac{R}{R_0} \leq 240 \end{cases} \quad (1)$$

$$E_{sh} = 8.14 \times 10^4 W^{1/3} \left(\frac{W^{1/3}}{R} \right)^{2.05} \quad (2)$$

式中, R_0 为药包初始半径, W 为装药量, R 为爆心至观察点的距离。

2 试验部分

2.1 试验目的和试验测量装置

测量自由场压力峰值和时程曲线, 计算自由场水下爆炸条件下不同距离处动物吸收冲击能大小。

水下爆炸电测系统包括控制计算机和压力采集模块、零时传感器、测量电缆。

水下爆炸电测系统压力测试模块采用零时触发和手动触发两种方式触发系统记录自由场压力时程曲线、零时信号, 双零时探针传感器安装于药包上。

水下爆炸电测系统爆炸时布设在爆炸试验码头平台, 采用岸上市电供电方式。

采用美国 PCB 公司生产的 138 系列水下爆炸冲击波压力传感器。该传感器以具有压电效应的电气石为敏感元件, 内部填充硅油, 采用高绝缘密封胶进行密封^[5]。工作时, 将传感器放入水下离爆炸源一定的距离, 当炸药爆炸后产生的压力通过水以冲击波的形式向各个方向传播, 电气石晶体将感受到的压力信号转换成的电信号, 从而实现能量的转换。

根据动物毁伤试验压力测量需求, 试验中压力传感器选择系统的低量程传感器。

电测系统的压力传感器量程为 50 MPa; 传感器距离爆源最远距离 19 m, 理论峰值压力为 1.9 MPa, 最近距离 5 m, 理论峰值压力为 8.5 MPa。

试验时按流程时间节点由控制端计算机通过网络发出系统开始采集的控制指令, 压力采集模块收到控制计算机发出的采集控制指令后, 压力采集模块进入采集记录状态, 爆炸结束后, 实航系统由控制计算机控制鱼雷采集模块停止采集。

水下爆炸电测系统的控制计算机和压力采集模块通过网线实现指令传输和压力采集模块工作状态控制。系统连接示意图如图 1。

水下爆炸电测系统采用起爆装置通过有线起爆方式起爆爆源。

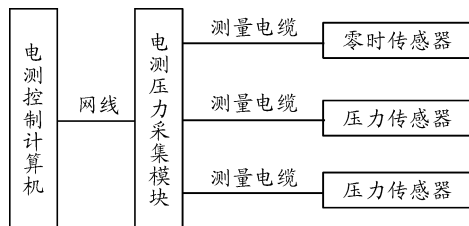


图 1 水下爆炸电测量系统连接示意图

2.2 试验工况及布设

采用 1 kg 标准 TNT 对自由场条件下不同距离水下动物进行 2 个有效炮次试验, 2 次试验均布设 5 组自由场压力传感器, 安装于水下试验架上, 水下试验架及压力传感器布设如图 2 所示, 其中 P1 - P5 为水下爆炸电测系统压力传感器测点, 对应测量试验架 A ~ E5 组位置的的压力。试验时动物试验架由吊车吊离码头, 布于水下 2 m, 第 1 次试验距离爆源最近的传感器与爆源距离 5 m, 传感器间隔 2 m, 第 2 次试验距离爆源最近的传感器与爆源距离 11 m, 传感器间隔 2 m。试验支架与爆源处于同一水平线, 两次试验均设置 3 组水下动物 (A ~ C), 两次试验工况见表 1, 海上布设如图 3 ~ 图 4 所示。

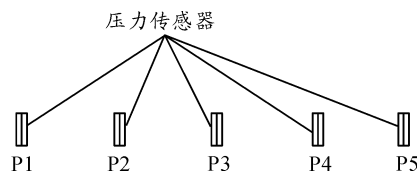


图 2 水下试验架及压力传感器布设图

表 1 试验工况

序号	试验名称	爆源位置	水下动物	测量内容
1	1 kg 水下动物毁伤试验第一次试验	水下 2.0 m	A 组: 距爆心 5 m, 冲击因子 0.2; B 组: 距爆心 7 m, 冲击因子 0.143; C 组: 距爆心 9 m, 冲击因子 0.111;	测量水下动物附近的自由场压力峰值、持续时间
2	1 kg 水下动物毁伤第二次试验	水下 2.0 m	A 组: 距爆心 11 m, 冲击因子 0.091 B 组: 距爆心 13 m, 冲击因子 0.077 C 组: 距爆心 15 m, 冲击因子 0.067	测量水下动物附近的自由场压力峰值、持续时间

3 试验测量结果与分析

1 kg 水下动物毁伤第 1 炮次压力峰值测量结果见表 2, 1 kg 水下动物毁伤第 2 炮次压力峰值结果见表 3。将自由场

水下爆炸理论压力峰值与试验测量值绘制成曲线, 如图 5 所示。

1) 两次试验迎爆面测量压力峰值 (A 组) 与理论压力峰值一致, 说明试验结果较为可靠, 气泡脉动、水面截断效应、壁面反射效应影响不大。

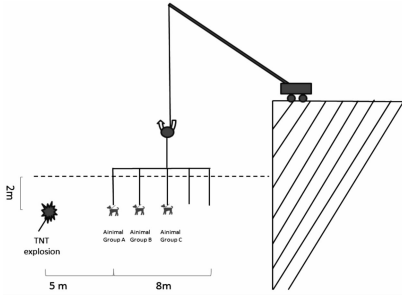


图3 1 kg 水下动物毁伤试验第1炮次海上布置示意图

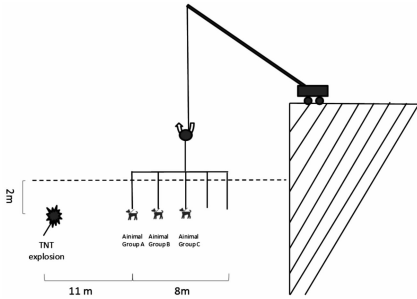


图4 1 kg 水下动物毁伤试验第2炮次海上布置示意图

表2 1 kg 水下动物毁伤试验第1炮次测量结果

测点编号	传感器位置	传感器与爆源距离/m	压力峰值/MPa	理论峰值压力/MPa
P1	A	5	8.89	8.50
P2	B	7	5.89	5.81
P3	C	9	3.25	4.38
P4	D	11	2.25	3.49
P5	E	13	0.85	2.89

表3 1 kg 水下动物毁伤试验第2炮次测量结果

测点编号	传感器位置	传感器与爆源距离/m	压力峰值/MPa	理论峰值压力/MPa
P1	A	12.09	2.95	3.14
P2	B	13.99	1.19	2.66
P3	C	15.98	0.74	2.29
P4	D	17.92	0.63	2.01
P5	E	19.87	0.45	1.79

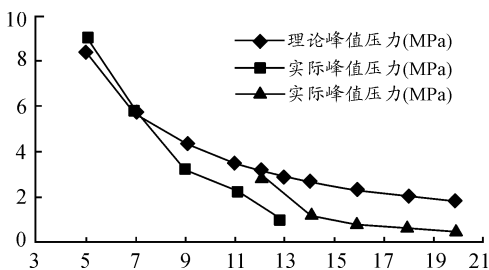


图5 两次试验测量压力峰值及理论值随距离变化曲线

2) 两次试验中3组动物测量压力峰值随距离增大迅速衰减,且试验测量值衰减速率大于理论曲线衰减速率。这是因为A、B、C三组试验动物与爆源成直线排列,B组试验动物受前方A组试验动物遮挡,冲击波在通过A组试验动物时已经产生一定幅值的衰减,同样,C组试验动物受前方B组试验动物遮挡,冲击波在通过B组试验动物时再次产生一定幅值的衰减,客观上起到了一定的缓冲防护作用。

3) 通过A、B、C三组动物时衰减量计算方法:依据能量守恒定律,认为冲击波能量通过动物时衰减量近似等于动物吸收冲击能,A组试验动物吸收冲击波能可由B组试验动物处测量的压力峰值推导计算。

首先由B组试验动物处测量压力峰值计算B处压力峰值对应的等效装药量,以此等效装药量计算A处背面冲击波能,A组试验动物处迎爆面与背爆面冲击波能之差即为A动物吸收冲击能。

4) 观察第二组试验,冲击波通过障碍物后最终衰减值基本稳定,试验压力峰值曲线与理论压力峰值曲线重新保持平行,仍然以理论曲线趋势衰减(D、E两组)。

4 结论

1) 使用压力传感器对水下爆炸损伤试验自由场压力峰值进行测量,两次试验迎爆面测量压力峰值(A组)与理论压力峰值一致,说明试验结果较为可靠。

2) 提出了典型水下爆炸环境下对水下动物吸收冲击能计算方法,为下一步摸清水下爆炸致伤机理,评估水下爆炸对水下蛙人、舰载人员的生物致伤效能,开展水下爆炸作用下生物损伤评估奠定了基础。

参考文献:

- [1] 梁浩哲,杨莉,张庆明.深水条件下TNT炸药的爆炸特性[J].兵工学报,2016,37(2):241-245.
- [2] 王长利,周刚,马坤,等.聚能装药水下爆炸冲击波载荷规律[J].高压物理学报,2017,31(4):453-460.
- [3] 金键,朱锡,侯海量,等.水下爆炸载荷下舰船响应与毁伤研究综述[J].水下无人系统学报,2017,25(5):396-403.
- [4] 张显丕,刘建湖,潘建强,等.基于效应靶的装药水下近场爆炸威力评估方法[J].兵工学报,2016,37(8):1430-1434.
- [5] 吴林杰,侯海量,朱锡,等.水下接触爆炸下防雷舱舷侧空舱的内压载荷特性仿真研究[J].兵工学报,2017,38(1):143-150.
- [6] 张丹枫,陈吉钢,王春晖.水下爆炸损伤生物效应研究现状及展望[J].第二军医大学学报,2016,37(10):1283-1286.