

doi:10.3969/j.issn.1001-8352.2022.04.008

# 数码电子雷管深水起爆性能试验研究<sup>\*</sup>

李春军<sup>①</sup> 崔广强<sup>②</sup> 陈士海<sup>②</sup> 郭雅芳<sup>①</sup>

① 长江重庆航道工程局(重庆, 400011)

② 华侨大学土木工程学院(福建厦门, 361021)

[摘 要] 采用密封压力罐中注入一定量的水,然后施加不同气压的方法模拟数码电子雷管在一定水深下的工况,通过系列试验研究模拟相应工况下的起爆能力。试验结果证明:所用数码电子雷管在 40 m 水深处放置 48 h,其抗水性、起爆能力、延期精度均不会受水深的影响,可满足工程需要。通过系列试验,弥补了现有工程资料数据的不足,为类似工程提供了必要的试验数据和依据。

[关键词] 数码电子雷管;深水模拟;起爆能力;延期时间

[分类号] TK421

## Experimental Study on Deep Water Initiation Performance of Digital Electronic Detonator

LI Chunjun<sup>①</sup>, CUI Guangqiang<sup>②</sup>, CHEN Shihai<sup>②</sup>, GUO Yafang<sup>①</sup>

① Changjiang Chongqing Waterway Bureau (Chongqing, 400011)

② College of Civil Engineering, Huaqiao University (Fujian Xiamen, 361021)

[ABSTRACT] A certain amount of water was injected into the sealed pressure tank, and then different air pressures were applied to simulate the working condition of digital electronic detonator in a certain water depth. The initiation capacity under corresponding working conditions was simulated through a series of tests. Test results show that the water resistance, initiation ability and delay accuracy of the digital electronic detonator would not be affected by the water depth and could meet the needs of the project when it is placed at the water depth of 40 m for 48 h. Through a series of tests, the deficiency of the existing engineering data is made up, and the necessary test data and basis are provided for similar projects.

[KEYWORDS] digital electronic detonator; deep water simulation; initiation capacity; delay time

## 引言

长江上游朝天门至涪陵河段航道整治工程位于长江上游三峡水库变动回水区中下段,施工现场水深湍急,施工难度大。由于施工工艺复杂,水下炸礁历来是爆破施工的难点;而在复杂条件下实施大规模的水下炸礁,同时又要满足较高的技术要求,其难度更大。数码电子雷管具有延期精度高、安全性好、可靠性高、可检测性好、可追溯性强和起爆性能好等优点,在水下爆破工程中得到广泛应用<sup>[1-3]</sup>。但是在水压、水流和复杂环境的影响下,数码电子雷管容易

出现拒爆失效等严重的问题,导致爆破效果不佳,进而影响清挖效率和爆破安全<sup>[4-6]</sup>。因此,对数码电子雷管的起爆可靠性、抗水性、延期时间的精确性进行深水模拟试验研究是十分必要的。

已有不同学者对数码雷管在水下爆破工程中的应用进行了系列试验研究<sup>[7-11]</sup>,但没有针对数码电子雷管在复杂水下爆破工程环境的抗压能力、起爆能力、延期精度进行系列试验。

为了更好地发挥爆破效果,保证工程施工顺利进行,针对目前水下爆破施工中数码电子雷管存在的问题,结合水下爆破清礁工程特点,开展了相应的耐压防水性试验,以期能为工程施工提供参考。

<sup>\*</sup> 收稿日期:2022-01-06

基金项目:福建省自然科学基金(2021J011232)

第一作者:李春军(1972-),男,硕士,高工,主要从事水下爆破施工及技术研究。E-mail:123078596@qq.com

1 深水模拟试验原理和方法

水下工程的爆破设计一般参考类似的工程爆破经验。以往工程在不超过 10 m 的水深中,数码电子雷管能够顺利地完 成爆破任务;但是大于 10 m 水深、长时间水压下储存,没有相关的资料可以查阅,也没有相关的方法能够检验在这种工作环境下数码电子雷管的工作能力。为了满足这一实际需求,进行数码电子雷管的深水模拟试验。

在实验室内模拟数码电子雷管的工作环境,并在相应的工作环境下进行工作能力的检验。试验中,需要用到压力罐和数码电子雷管。爆破安全和雷管的使用要严格遵守公安部门的管控,因此,试验借助爆破器材公司的试验场所和仪器进行。经过和爆破器材公司的前期沟通,为了试验安全,浸水后的雷管在压力罐外再进行试爆试验。

所用压力罐为西安庆华厂实验室自有设备,罐体高 60 cm,直径 40 cm,壁厚 1 cm,可以承受的最大压力为 0.5 MPa。试验时,将数码电子雷管浸入压力罐的水中,然后向罐中施加一定的空气压力;经过一定时间的浸水,取出数码电子雷管进行性能试验,以判定数码电子雷管的抗水耐压能力。

当雷管放入水中时,雷管表面受到的总压强  $p_{总}$  为水的压强  $p_{水}$  和加压气体压强  $p_{气}$  之和,即:

$$p_{总} = p_{水} + p_{气} = \rho gh + p_{气}。$$

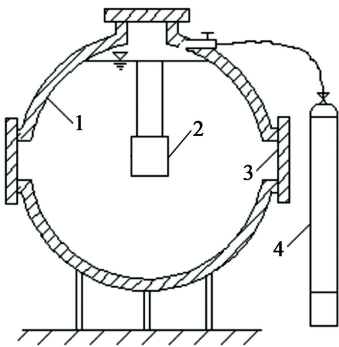
$p_{总}$  与入水深度  $h$  和外界气体压强有关。常压情况下,  $p_{总}$  随入水深度  $h$  的增加而增加。研究中,首先固定雷管的入水深度,改变外界气体压强,使雷管表面承受的压力与深水条件下相同,从而在实验室条件下模拟深水爆炸环境。

外加气压为 0、0.1、0.2、0.3、0.4 MPa。外加气压每增加 0.1 MPa,相当于增加了 10 m 水深,以此模拟不同水深的影响。

2 数码电子雷管试验测试项目及分析

2.1 耐水抗压测试

选用西安庆华厂生产的 SJ-JJ-10S 型数码电子雷管。将选定数量的数码电子雷管浸泡于压力罐的水中;向压力罐中分别施加 0.1、0.2、0.3、0.4 MPa 的气压,并保证每级压力持续时间不少于 48 h;48 h 后,取出数码电子雷管,进行发火试验。耐水抗压试验装置原理如图 1 所示,具体试验结果见表 1。



1 - 爆炸容器;2 - 试验雷管;3 - 观测窗;4 - 高压气瓶。

图 1 耐水抗压试验装置

Fig. 1 Water resistance and compression test device

表 1 数码电子雷管耐水抗压试验

Tab. 1 Water resistance and compression test results of digital electronic detonator

组别	雷管个数	气压/ MPa	浸水时间/ h	试验结果
1 <sup>#</sup>	40	0	0	爆轰
2 <sup>#</sup>	15	0.1	24	爆轰
3 <sup>#</sup>	15	0.1	48	爆轰
4 <sup>#</sup>	15	0.2	24	爆轰
5 <sup>#</sup>	15	0.2	48	爆轰
6 <sup>#</sup>	15	0.3	24	爆轰
7 <sup>#</sup>	15	0.3	48	爆轰
8 <sup>#</sup>	15	0.4	24	爆轰
9 <sup>#</sup>	15	0.4	48	爆轰

从表 1 可以看出,将数码电子雷管浸入空气压力为 0.4 MPa 的水中,保持 48 h 取出后,电子雷管仍能正常起爆,满足施工现场水深 40 m 的要求;浸泡 48 h 可以正常起爆也符合了水下炸礁工程装药工艺的要求。

2.2 铅板试验

为了检验数码电子雷管在水压作用下的起爆能力,对数码电子雷管进行铅板试验。数码电子雷管铅板试验按《工业雷管铅板试验方法》进行。将浸泡于压力罐中承受 0.1、0.2、0.3、0.4 MPa 的气压的雷管进行铅板试验。试验中做到:将试验装置平稳放置于试验地点;雷管应位于铅板中心并垂直于铅板,脚线固定于铁架上;人员撤到安全地点并发出信号,通电起爆;起爆后,取下铅板,用钢尺量取所穿孔径的最大值与最小值,取平均值。如平均值大于雷管直径,即认为雷管起爆能力合格;雷管不爆、爆炸不完全或铅板穿孔直径小于雷管直径,均为不合格。每组试验 3 发雷管。雷管直径 7.2 mm。具体试验结果如表 2 所示。

表 2 数码电子雷管铅板试验

Tab. 2 Lead plate test results of digital electronic detonator

组别	气压/ MPa	浸水时间/ h	铅板穿孔直径/ mm
1 <sup>#</sup>	0	0	10.55
			10.80
			10.55
2 <sup>#</sup>	0.1	24	10.15
			9.75
			10.50
3 <sup>#</sup>	0.1	48	9.60
			10.45
			10.30
4 <sup>#</sup>	0.2	24	9.65
			10.05
			9.80
5 <sup>#</sup>	0.2	48	9.45
			9.85
			9.75
6 <sup>#</sup>	0.3	24	9.75
			9.90
			9.90
7 <sup>#</sup>	0.3	48	9.80
			9.95
			9.75
8 <sup>#</sup>	0.4	24	10.55
			9.75
			10.30
9 <sup>#</sup>	0.4	48	9.70
			10.20
			10.75

从表 2 可以看出,该数码电子雷管能炸穿 5 mm 厚的铅板,穿孔直径大于电子雷管外径。说明浸水承压后的数码电子雷管起爆能力没有减弱,可以正常起爆,满足工程需要。

2.3 延期时间测试

延时爆破能有效地控制爆破冲击波、爆破振动以及爆破个别飞散物等;操作简单、安全、快速;爆后岩石的破碎程度较好,爆堆集中,减少二次破碎的工作量;可以提高爆破的效率和提升企业的经济效益。

为了验证水下施工中水压对数码电子雷管的延期精度的影响,对其进行实验室延期精度试验。将试验中承受 0.4 MPa 水压的数码电子雷管,达到 24、48 h 浸泡时间后分别取出,用编码器将 2 组对比试验的数码电子雷管分别设定为相同的起爆时间,用雷管延时测试仪进行浸水 24、48 h 后的实际起爆延期时间测试,具体延时试验结果如表 3 所示。

从表 3 可以看出,相同的设定时间,不浸水、浸水 24 h 和浸水 48 h 后测得的延期时间与浸水时间是随机变化的。在 1 ~ 200 ms 的设定时间内,实测到的最小时间误差为 0.1 ms,最大时间误差为 0.5 ms;在大于 200 ms 的设计延期时间样本中,误差率最大,为 0.66%。西安庆华厂生产的数码电子雷管(SJ-JJ-10S 型)的控制标准:延期时间不大于 150 ms 时,误差不大于 ± 1.5 ms;延期时间大于 150ms 时,误差率不大于 ± 1.0%。对照此标准,测试样本的延期精度完全达标。经过实际工程验证,该型号的数码电子雷管符合水下炸礁工程的应用要求。

表 3 数码雷管浸水 24 h 与 48 h 后的延期时间测试

Tab. 3 Test results of delay time of digital detonator after immersion for 24 h and 48 h

设定时间/ ms	不浸水			浸水 24 h			浸水 48 h		
	实测时间/ ms	误差/ ms	误差率/ %	实测时间/ ms	误差/ ms	误差率/ %	实测时间/ ms	误差/ ms	误差率/ %
50	50.1	0.1	0.40	50.2	0.2	0.40	50.1	0.1	0.20
				50.1	0.1	0.20	50.1	0.1	0.20
75	75.2	0.2	0.27	75.1	0.1	0.13	75.2	0.2	0.27
				75.2	0.2	0.27	75.1	0.1	0.13
100	100.3	0.3	0.30	100.1	0.1	0.10	100.2	0.2	0.20
				100.1	0.1	0.10	100.2	0.2	0.20
200	200.5	0.5	0.25	200.2	0.2	0.10	200.4	0.4	0.20
				200.1	0.1	0.05	200.5	0.5	0.25
300	300.6	0.6	0.20	300.3	0.3	0.10	300.7	0.7	0.23
				300.4	0.4	0.13	300.8	0.8	0.27
500	501.4	1.4	0.28	501.3	1.3	0.26	501.6	1.6	0.32
				501.2	1.2	0.24	501.3	1.3	0.26
700	702.3	2.3	0.33	703.1	3.1	0.44	704.6	4.6	0.66
				703.5	3.5	0.50	702.4	2.4	0.34

### 3 结 论

1) 利用压力罐模拟深水条件进行数码电子雷管的抗水性、起爆能力、延期精度测试是一种快速有效的试验方法。

2) 采用模拟水深试验, 可以模拟 40 m 水深情况进行试验, 弥补现有工程经验的不足, 为类似工程提供必要的试验数据。

3) 试验用数码电子雷管具有很好的抗水压能力, 在 40 m 水深条件下起爆能力不受影响, 延期精度符合要求。

4) 分别模拟了水深 10、20、30、40 m 4 种情况对数码电子雷管延期精度的影响, 延期精度均符合要求, 试验结果还有待于工程现场检验。

### 参 考 文 献

- [1] 张力. 数码电子雷管的发展及应用研究[J]. 采矿技术, 2014, 14(5): 68-69, 165.
- [2] 黄跃全, 张成俊. 浅析数码电子雷管的发火可靠性[J]. 煤矿爆破, 2019, 37(3): 24-26, 31.  
HUANG Y Q, ZHANG C J. Analysis of ignition reliability of digital electronic detonator[J]. Coal Mine Blasting, 2019, 37(3): 24-26, 31.
- [3] 程贵海, 王毅, 覃翔. 数码电子雷管在爆破工程中的应用与展望[J]. 化工矿物与加工, 2020, 49(7): 19-22.  
CHENG G H, WANG Y, QIN X. Application and prospect of digital electronic detonator in blasting engineering[J]. Industrial Minerals & Processing, 2020, 49(7): 19-22.
- [4] 贺早亮, 刘建刚. 数码电子雷管在水下炸礁中的应用[J]. 工程爆破, 2017, 23(6): 77-81.  
HE Z L, LIU J G. The application of digital electronic

detonator in underwater reef blasting[J]. Engineering Blasting, 2017, 23(6): 77-81.

- [5] 谢正红. 某航道水下爆破与施工[J]. 爆破, 2014, 31(1): 110-113.  
XIE Z H. Underwater blasting design and construction techniques of waterway engineering[J]. Blasting, 2014, 31(1): 110-113.
- [6] 杜建科, 王茂玲, 吴子骏, 等. 海底大面积水下炸礁爆破[J]. 采矿技术, 2007, 7(3): 65-67.
- [7] 徐园园. 水压对爆炸器材爆炸性能的影响研究[D]. 武汉: 武汉科技大学, 2015.  
XU Y Y. Study on the effect of water pressure on explosion performance of explosion materials [D]. Wuhan: Wuhan University of Science and Technology, 2015.
- [8] 白云龙. 矿用爆破器材抗水耐压性能的实验研究[J]. 山西煤炭, 2000(2): 18-20.  
BAI Y L. Experimental study on water and hydraulic pressure resistance of general blasting material used in mine[J]. Shanxi Coal, 2000(2): 18-20.
- [9] 吴新霞, 赵根, 王文辉, 等. 数码雷管起爆系统及雷管性能测试[J]. 爆破, 2006, 23(4): 93-96.  
WU X X, ZHAO G, WANG W H, et al. Digital detonators performance test and energy control system[J]. Blasting, 2006, 23(4): 93-96.
- [10] 吴国群. 环境温度对数码电子雷管延期时间的影响研究[J]. 煤矿爆破, 2020, 38(1): 26-28.  
WU G Q. Research on the influence of ambient temperature on the delay time of digital electronic detonator[J]. Coal Mine Blasting, 2020, 38(1): 26-28.
- [11] 刘庆, 陈文基, 陈姗姗, 等. 新型数码电子雷管及其起爆系统的开发与应用[J]. 爆破器材, 2017, 46(6): 43-47.  
LIU Q, CHEN W J, CHEN S S, et al. Development and application of a new type of digital electronic detonator and its initiating system [J]. Explosive Materials, 2017, 46(6): 43-47.