

doi:10.3963/j.issn.1001-487X.2020.02.020

新型聚能管在边坡预裂爆破中的研究与应用*

林飞

(中煤科工集团 淮北爆破技术研究院有限公司, 淮北 235000)

摘要: 永嘉县垃圾焚烧发电厂场地平整工程需要进行大量边坡开挖作业,地质条件复杂。为了改善边坡一次成型效果,提高炸药能量利用率和边坡半孔率,降低主爆区对边坡岩体的震动危害,设计了新型聚能管。通过采用新型聚能管的预裂爆破与传统预裂爆破的对比试验,观测爆破后预裂缝成缝效果和边坡坡面的平整度,并计算半孔率。结果表明:采用新型聚能管预裂爆破后预裂缝符合正常尺寸标准,宽度8 mm左右,沿炮孔中心线贯穿,对预留岩体破坏小;与传统预裂边坡相比,坡面更平顺、可活动碎石较少,成型效果好;半孔率达到85%,比传统预裂爆破边坡半孔率48%相比明显提高,同时降低了边坡施工成本,经济效益显著。

关键词: 新型聚能管; 边坡; 预裂爆破; 半孔率

中图分类号: TD235.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-487X(2020)02-0115-06

Research and Application of New Shaped Energy Gathering Tube in Presplitting Blasting of Slope

LIN Fei

(CCTEC Huaibei Blasting Technology and Engineering Institute Co Ltd, Huaibei 235000, China)

Abstract: There are a lot of slope excavations in the site leveling project of Yongjia waste incineration power plant where geological conditions are complex. In order to improve the effect of one-step forming of slope, increase the energy utilization rate of the explosion and the semi hole ratio of the slope, and reduce the vibration hazard of the main blasting area to slope rock mass, a new shaped energy concentrating tube was designed. Through the contrast test between the presplitting blasting with new shaped energy concentrating tube and the traditional presplitting blasting, the effect of presplitting and the flatness of slope surface after blasting were observed, and the semi hole ratio was calculated. The results show that the pre-crack after the presplitting blasting with the new shaped energy concentrating tube conforms to the normal size standard, with a width of about 8mm, and penetrates along the center line of the blast hole, which causes little damage to the reserved rock mass. Compared with the traditional presplitting blasting slope, the slope surface is smoother, with less movable gravel, and the forming effect is good. The semi hole ratio reaches 85%, which is significantly higher than that of the traditional presplitting blasting slope with a semi hole ratio of 48%, and at the same time it reduces the cost of the slope construction with significant economic benefit.

Key words: new shaped energy gathering tube; slope; presplitting blasting; semi hole ratio

岩体开挖爆破工程中既要保证开挖岩体充分破

碎,更要确保被保护岩体的破坏程度最小^[1]。边坡的稳定性一直是困扰露天开挖工程的一个重要问题,爆破危害是影响边坡稳定的一个主要原因^[2]。我国的许多矿山、道路边坡采用普通预裂(光面)爆破技术^[3],靠帮爆破后,对边坡造成不同程度的损伤,在被保护一侧的岩体侧壁形成许多微裂纹;爆破

收稿日期:2020-01-08

作者简介:林飞(1989-),男,安徽省淮北市人,工程师、硕士,主要从事露天矿山与煤矿井下爆破理论与技术的研究工作,(E-mail)357028615@qq.com。

基金项目:中煤科工集团重庆研究院有限公司自立科研开发项目(2017YBXM52)

产生的振动使得先前爆破形成的微裂纹不断发展,随着时间推移,岩体发生松动破裂,造成边坡坍塌^[4]。永嘉县垃圾焚烧发电厂边坡工程中采用的新型聚能预裂爆破技术,提高了边坡一次成型效果,提高了炸药能量利用率和眼痕率、减小了主爆区对边坡岩体的震动危害。

1 工程概况

工程位于浙江省温州市永嘉县绿色动力再生能源有限公司厂区东侧及北侧,由于公司提升改造,进行厂区扩建,需将厂区东侧及北侧部分山体进行开挖清除。

开挖山体周边环境复杂,距待爆山体北侧 15 m 处为永嘉县垃圾焚烧发电厂厂房、栈桥和油库(爆破施工前移除),距待爆山体东北侧 72 m 处为厂房和排水渠道,厂房地下有部分预埋工业水管,距待爆山体西侧 63 m 和 98 m 处为虹三线县道和 S26 诸永高速公路,距待爆山体西南侧 22 m 处为公司办公大楼,距待爆山体南侧 9 m 处为工程项目部办公楼,如图 1。

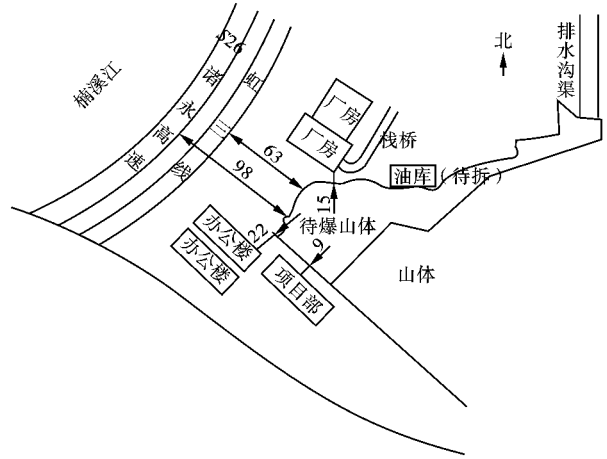


图 1 待爆山体环境示意图(单位:m)

Fig. 1 Environmental sketch map of the mountain body to be exploded(unit:m)

场平工程中存在大量边坡坡面开挖,开挖山体主要由上侏罗统九里坪组(J3j)强-微风化含角砾晶屑熔结凝灰岩组成,地质条件复杂,成型困难,最大开挖边坡走向长度 330 m,最大坡长 12.5 m,开挖坡比 1:0.3 ~ 1:1,对开挖面要求高于规范要求。边坡横、纵断面设计如图 2 和图 3 所示。

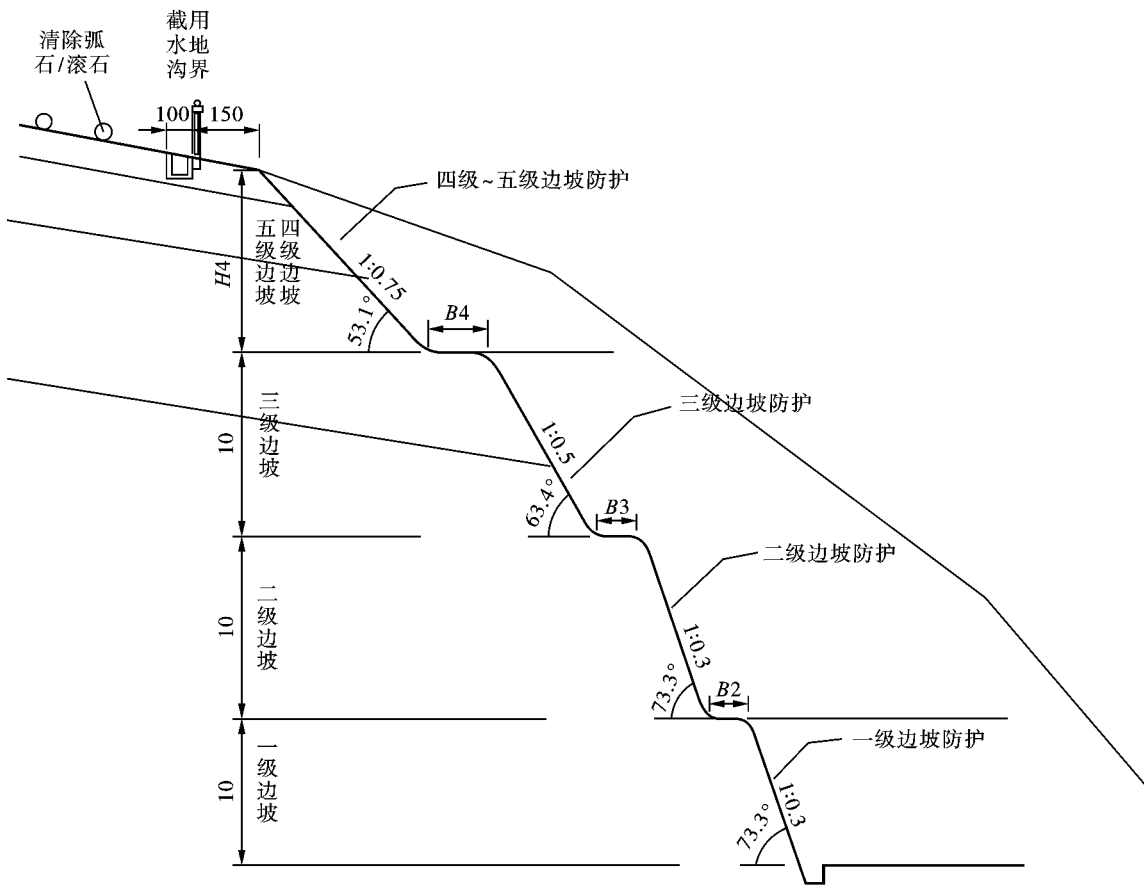


图 2 边坡横断面设计图(单位:m)

Fig. 2 Cross section design drawing of slope(unit:m)

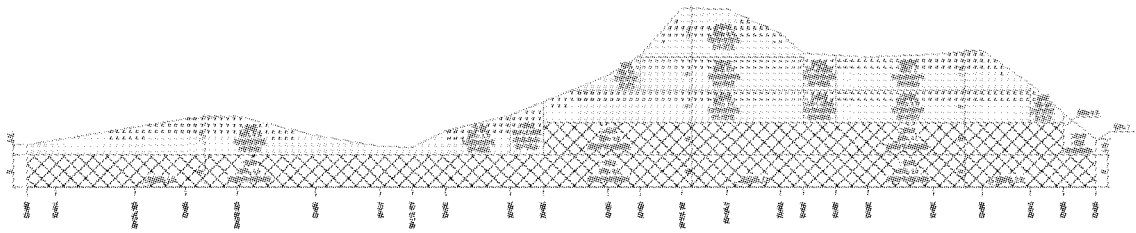


图 3 边坡纵断面设计图

Fig. 3 Longitudinal section design drawing of slope

2 新型聚能管设计及现场试验

2.1 新型聚能管设计

聚能效应原理:聚能药包爆炸后,爆轰产物沿近似垂直于药柱表面方向扩散,由于聚能穴的作用,爆轰产物先向空穴轴线位置聚集,形成一股高压、高速、高密度的爆轰产物,即聚能气流^[5]。由于聚能气流的高能量密度效应^[6],使炸药的做功效率提高。

聚能气流对孔壁做功,在聚能管聚能穴方向产生较大裂缝,炸药爆炸产生的压缩波、反射波对孔壁裂缝保持持续的压力破坏,爆炸产生的爆生气体持续反复地在炮孔内做功,渗入裂缝中,使聚能槽产生

的裂缝持续扩大,进而形成更大更长的裂缝^[7]。根据这一原理,设计了一种聚能管,在管内装入乳化炸药,聚能管的基本结构为圆筒形,聚能管的对称两侧制作相同尺寸的聚能穴。

聚能管采用抗静电阻燃的 PVC 材料,横截面成双弧形轴对称结构,炮孔内不耦合式装药,聚能管直径长 40 mm,聚能管槽内角距离 32.2 mm,壁厚 3.5 mm,聚能管外角度 56°,聚能管长 2000 mm,距离管两端 80 mm 处分别设计直径为 4 mm 的套管孔,聚能管在炮孔内通过套管孔连接固定,管壁外侧间隔敷设 25 mm 的泡沫使聚能管在炮孔内处于置中状态,如图 4 所示。

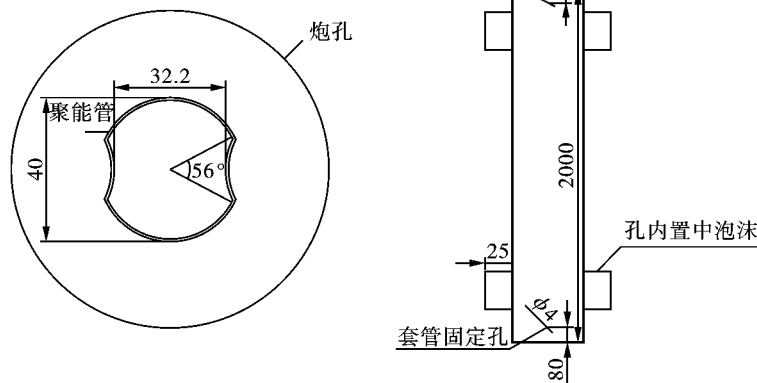


图 4 聚能管示意图(单位:mm)

Fig. 4 Chart of the energy gathering tube(unit:mm)

2.2 现场试验

根据永嘉县垃圾焚烧发电厂边坡工程现场实际情况,爆破试验的部位选定在四级边坡位置,该部位为弱风化岩石,边坡预裂爆破区域宽阔,边坡坡面较长,有利于进行分区分块多组试验和观测边坡预裂爆破效果。

永嘉县垃圾焚烧发电厂边坡预裂爆破是采用 $\phi 90$ 潜孔钻机按爆破设计钻出预裂炮孔,然后间隔装药进行预裂爆破,同时做好爆破后预裂缝的观测以及半孔率的计算,爆破参数如表 1 所示。

表 1 传统预裂爆破爆破参数

Table 1 Blasting parameters of traditional presplitting blasting

爆破参数	参数值	爆破参数	参数值
预裂孔孔深/m	10.5	单孔药量/kg	7
炮孔直径/mm	90	装药结构	间隔装药
钻孔角度/°	63.4	不耦合系数	2.8
炮孔间距/m	1	装药长度/m	7.5
孔数/个	15	填塞长度/m	3

使用新型聚能管进行预裂爆破时,首先在新型

聚能管外侧装置中泡沫,将药卷与导爆索贴紧后装入聚能管,使炸药在聚能管中保持为耦合状态,然后通过套管将聚能管连接,依次送入炮孔,最后聚能管上端套管孔加设对中装置,将聚能管的聚能穴方向与边坡方向平行,并与相邻炮孔聚能穴中心保持在一条直线上^[8],现场爆破试验如图5所示。



图5 新型聚能管现场爆破试验

Fig. 5 Field blasting test of a new shaped energy gathering tube

为和传统预裂爆破形成对比,聚能管炮孔深度、孔径、炮孔角度等参数与传统预裂爆破钻孔参数相同,最后进行预裂爆破,同时做好爆破后预裂缝的观测以及半孔率的计算,爆破参数如表2所示。

表2 采用新型聚能管的边坡预裂爆破参数

Table 2 Presplitting blasting parameters of slope using the new shaped energy gathering tube

爆破参数	参数值	爆破参数	参数值
预裂孔孔深/m	10.5	单孔药量/kg	5
炮孔直径/mm	90	装药结构	间隔装药
钻孔角度/°	63.4	不耦合系数	2.25
炮孔间距/m	1.5	装药长度/m	7.5
孔数/个	9	填塞长度/m	3

2.3 试验结果对比及分析

边坡预裂爆破的效果主要从预裂缝的成缝效果和开挖之后边坡的平整度和半孔率等方面进行评价^[9]。通过多次爆破试验,相同地质条件,采用新型聚能管的预裂爆破与传统预裂爆破的爆破效果对比如下。

2.3.1 边坡及预裂缝成缝效果

采用新型聚能管的预裂爆破和传统预裂爆破成缝效果如图6和图7所示,传统预裂爆破预裂缝过大,对预裂炮孔顶部岩体的造成了一定的破坏,这是由爆破漏斗引起的,开挖后边坡出现了垮塌、溜肩现象。

采用新型聚能管的预裂爆破,预裂缝沿炮孔中心线贯穿,预裂缝宽度为8 mm左右,符合《GB50201—2012 土方与爆破工程施工及验收规范》规定的正常尺寸标准;边坡开挖后,未出现边坡垮落、溜肩现象,说明采用新型聚能管的预裂爆破对预留岩体破坏作用小,有利于边坡工程中窄马道的保留。



图6 传统预裂爆破成缝效果

Fig. 6 Joint-forming effect of traditional presplitting blasting



图7 采用新型聚能管的预裂爆破成缝效果

Fig. 7 Effect of presplitting blasting on joint formation with the new shaped energy gathering tube

2.3.2 边坡坡面的平整度和半孔率

从边坡坡面平整度来看,其平整度均小于《GB50201—2012 土方与爆破工程施工及验收规范》中规定的15 cm限值^[10,11],符合验收规范要求;通过比较,采用新型聚能管的预裂爆破边坡平整度要优于传统预裂边坡,坡面更平顺,可活动碎石较少,如图8和图9所示。

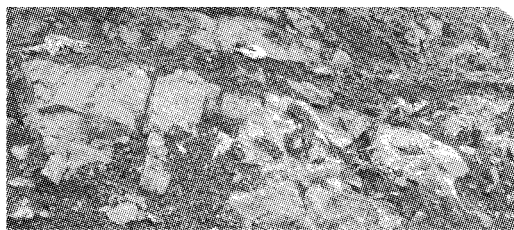


图8 传统预裂爆破后的坡面

Fig. 8 Slope surface after traditional presplitting blasting



图9 采用新型聚能管的预裂爆破后的坡面

Fig. 9 Slope surface after presplitting blasting with the new shaped energy gathering tube

坡面半孔率采用《GB50201—2012 土方与爆破工程施工及验收规范》的计算公式

$$\eta = \frac{\sum l_0}{\sum L_0} \quad (1)$$

式中： l_0 为检验区域残留炮孔长度总和； L_0 为检验区域预裂炮孔长度总和。

通过计算传统预裂爆破后的边坡半孔率 $\eta_1 = 48\%$ ，采用新型聚能管的预裂爆破后的边坡 $\eta_2 = 85\%$ ，采用新型聚能管的预裂爆破边坡半孔率远高于传统预裂爆破。

通过试验对比，在相同边坡预裂长度的前提下，采用新型聚能管的预裂爆破，增大边坡预裂孔孔距增大，降低单孔药量，降低了边坡施工成本，取得了优于传统预裂的爆破效果。边坡平整度和半孔率成果如表3所示。

表3 边坡平整度和半孔率成果表

Table 3 Formula of slope flatness and half porosity

预裂爆破方式	孔距/ m	单孔药量/ kg	平整度/ cm	半孔率/%
传统预裂爆破	1.0	7	14	48
新型聚能管的预裂爆破	1.5	5	7	85

3 结语

采用新型聚能预裂爆破技术对永嘉县垃圾焚烧

发电厂边坡工程进行预裂爆破对比试验，获得如下结论：

(1) 依据聚能原理设计的新型聚能管能够控制炸药能量作用于预裂缝方向，采用新型聚能管装药，在减少钻孔数量和炸药使用量的同时达到了更好的预裂爆破效果。

(2) 由于新型聚能管装药作用效应的方向性，爆破后预裂缝沿炮孔中线贯穿、裂缝小且坡面更平顺、可活动岩石较小，成缝效果好，能够成倍提高半孔率。

(3) 新型聚能管的使用能够有效地降低边坡施工成本，经济效益显著，可以将此技术推广到其他工程应用。

参考文献 (References)

- [1] 祁永东. 大孤山铁矿不耦合装药预裂爆破生产试验研究[D]. 鞍山: 辽宁科技大学, 2015.
- [1] QI Yong-dong. Production experimental study on non-coupling charge of pre-splitting blasting in the Dagushan Iron Mine [D]. Anshan: Liaoning University of Science and Technology, 2015. (in Chinese)
- [2] 张兵兵, 陈晶晶, 张岗涛, 等. 最终边坡预裂爆破技术参数及应用效果分析[J]. 工程爆破, 2018, 24(6): 43-47.
- [2] ZHANG Bing-bing, CHEN Jing-jing, ZHANG Gang-tao, et al. Technical parameters and application effect analysis of final slope pre-splitting blasting [J]. Engineering Blasting, 2018, 24(6): 43-47. (in Chinese)
- [3] 秦健飞. 聚能预裂(光面)爆破技术[J]. 工程爆破, 2007(2): 19-24.
- [3] QIN Jian-fei. Technology of cumulative presplitting blasting [J]. Engineering Blasting, 2007(2): 19-24. (in Chinese)
- [4] 罗 勇. 聚能效应在岩土工程爆破中的应用研究[D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2006.
- [4] LUO Yong. Application study on blasting in rock with shaped charge [D]. Hefei: University of Science and Technology of China, 2006. (in Chinese)
- [5] 李必红. 椭圆双极线型聚能药柱爆炸理论及预裂爆破技术研究[D]. 长沙: 中南大学, 2013.
- [5] LI Bi-hong. Research on theory and application technology of elliptic bipolar linear shaped charge's presplit blasting [D]. Changsha: Central South University, 2013. (in Chinese)
- [6] 王 乐, 郭连军, 张大宁, 等. 双向线形聚能预裂爆破技术及其降震效果研究[J]. 矿业研究与开发, 2015, 35(7): 27-30.
- [6] WANG Le, GUO Lian-jun, ZHANG Da-ning, et al. Re-

- search on the cumulative pre-splitting blasting technology with two-ways linear shape and its seismic reduction effect [J]. *Mining Research and Development*, 2015, 35 (7): 27-30. (in Chinese)
- [7] 秦健飞. 双聚能预裂与光面爆破新技术评析[J]. *水利水电施工*, 2008(1): 17-22.
- [8] 郭德勇, 赵杰超, 张超, 等. 煤层深孔聚能爆破控制孔作用机制研究[J]. *岩石力学与工程学报*, 2018, 37(4): 919-930.
- [8] GUO De-yong, ZHAO Jie-chao, ZHANG Chao, et al. Mechanism of control hole on coal crack initiation and propagation under deep-hole cumulative blasting in coal seam[J]. *Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering*, 2018, 37(4): 919-930. (in Chinese)
- [9] 田岗, 代晓东, 张宪堂, 等. PVC塑料切缝管在聚能爆破中的应用[J]. *工程爆破*, 2012, 18(3): 37-40.
- [9] TIAN Gang, DAI Xiao-dong, ZHANG Xian-tang, et al. Application of PVC slotted pipes in shaped charge blasting [J]. *Engineering Blasting*, 2012, 18(3): 37-40. (in Chinese)
- [10] 黄庆明. 聚能爆破技术在水电站建基面水平预裂爆破中的应用研究[D]. 昆明: 昆明理工大学, 2010.
- [10] HUANG Qing-ming. Application of shaped energy blasting technology in horizontal pre-splitting blasting of hydropower station foundation surface [D]. Kunming: Kunming University of Science and Technology, 2010. (in Chinese)
- [11] 占懿. 双聚能预裂与光面爆破在江苏溧阳抽水蓄能电站中的应用[C] // 中国水力发电工程学会混凝土面板堆石坝专业委员会. 高面板堆石坝安全性研究及软岩筑坝技术进展论文集, 2014: 6.

英文编辑: 张燕

(上接第 105 页)

(2) 做好后勤保障和施工组织, 提高作业人员的积极性和主观能动性。

(3) 对潮流流速、流向进行实时监测, 为钻孔作业设置预偏差提供基础数据。

5 结语

涡流、深急流较大作用下, 一般采用自升式炸礁船进行炸礁作业。本工程采用漂浮式炸礁船, 并在船机定位、钻具调整、优化炮孔参数、设置钻孔预偏差, 提升后勤管理保障模式等方面提出改进措施, 增加了有效钻孔、装药作业时间。使用漂浮式炸礁船在流速较大的涡流、深急流条件下是一个成功的工程典范, 给类似工程提供参考和启示。

参考文献 (References)

- [1] 汪旭光. 爆破设计与施工[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2011: 378.
- [2] 吴金仓, 孙健, 刘佳政, 等. 复杂海况条件下水下深孔控制炸礁技术[J]. *工程爆破*, 2006, 12(1): 66-70.
- [2] WU J C, SUN J, LIU J Z, et al. Technology of underwater deep-hole controlled blasting of marl reef in complicated surroundings[J]. *Engineering Blasting*, 2006, 12(1): 66-70. (in Chinese)
- [3] 李炎锋, 朱小楠, 李廷枢, 等. 海上自升式炸礁船设计[J]. *船海工程*, 2005(1): 14-16.
- [3] LI Y F, ZHU X N, LI T S, et al. Design of self-elevating reef exploding ship at sea[J]. *Ship and Sea Engineering*, 2005(1): 14-16. (in Chinese)
- [4] 高伟, 王立强. 绞吸挖泥船新型施工定位方式的探讨及优化[J]. *水运工程*, 2009(6): 133-136.
- [4] GAO W, WANG L Q. Discussion and optimization of new-type dredging locating mode for cutter suction dredgers [J]. *Port & Waterway Engineering*, 2009(6): 133-136. (in Chinese)
- [5] 吴金仓. 深水海底沟槽爆破开挖技术[J]. *工程爆破*, 2010, 16(4): 44-46.
- [5] WU J C. Blasting excavation technique for deep-water seabed trench [J]. *Engineering Blasting*, 2010, 16(4): 44-46. (in Chinese)
- [6] 史光华. 川江水下炸礁技术[J]. *爆破*, 1994(2): 49-53.
- [6] SHI G H. Underwater reef blasting technology in Chuanjiang River [J]. *Blasting*, 1994(2): 49-53. (in Chinese)
- [7] 李博凌, 蒋中明. 大连港鲇鱼湾港区水下炸礁浅点控制技术研究[J]. *吉林水利*, 2017(10): 13-19.
- [7] LI B L, JIANG Z M. Study on controlling technology of shallow point of underwater reef blasting at Nianyu harbor area [J]. *Jilin Water Resources*, 2017(10): 13-19. (in Chinese)
- [8] 赵坤. 册子岛航道 AB 段水下炸礁及爆破安全监管[J]. *爆破*, 2010, 27(2): 74-76.
- [8] ZHAO K. Underwater explosion and safety supervision in AB-section of Ce-zi Island waterway [J]. *Blasting*, 2010, 27(2): 74-76. (in Chinese)

英文编辑: 黄刚