

doi:10.3963/j.issn.1001-487X.2022.04.023

## 海中沉船爆破工艺探讨

李介明

(上海消防技术工程有限公司,上海 200080)

**摘要:** 沉船解体中药条布置是至关重要的。为精准地对沉船进行切割解体,确保爆炸切割分块成功,通过原船体设计图纸与实际船体比对,在船体薄弱点精准布置切割药条,采用导爆管雷管起爆网络;为确保所有药条全部引爆,在每组起爆药包全部采用双发雷管;采用双层防水布进行包裹,每隔1 m采用麻绳捆绑固定,确保药条下放后不易被海水冲击散落。实践证明:通过对导爆管雷管深水测试起爆实验,在深30 m海域采用导爆管雷管能安全起爆,能抗船上的杂散电流,为保证船底板解体充分,在船底药条加工过程中采用导爆索增大起爆能,本次对药条在原类似工程实例中的每米药量进行了优化,通过爆破后对残体打捞分析,对厚2~3 cm钢板采用每米药量30.24 kg进行切割成缝是可行的;采用双发导爆管雷管引爆安全可靠;采用麻绳捆绑及双层防水措施有效防止海水冲击;采用错位药条布置方法有效;通过实际理论计算不会产生涌浪与实测一致;爆破瞬间对海底生物影响较小;本次沉船爆炸切割达到了设计要求。

**关键词:** 沉船解体; 爆破切割; 导爆管起爆; 错位布药; 优化参数

**中图分类号:** TD235      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1001-487X(2022)04-0158-06

## Discussion on Blasting Technology of Sunken Ship in Sea

Li Jie-ming

(Shanghai Fire Technology Engineering Co., Ltd., Shanghai 200080, China)

**Abstract:** It is very crucial to arrange the wreck strip. To accurately cut and disassemble the sunken ship and ensure the success of explosive cutting; through the comparison between the original hull design drawings and the actual hull, the cutting explosive strips are accurately arranged at the weak points of the hull, and the detonator detonator initiation network is adopted. In order to ensure that all explosive strips are detonated, double detonators are used in each group of detonating explosive packages; It shall be wrapped with double-layer waterproof cloth and bound and fixed with hemp rope every 1m to ensure that the medicine strip is not easy to be impacted and scattered by seawater after being lowered. It has proved that through the deep-water test and initiation experiment of the detonator detonator, the detonator detonator used in the sea area with a depth of 30m can detonate safely and resist the stray current on the ship. To ensure the full disassembly of the ship's bottom plate, the detonating cord is used to increase the initiation energy during the processing of the bottom explosive strip. The explosive amount per meter of the explosive strip in the original similar engineering example is optimized, Through the analysis of salvage after blasting, it is feasible to cut the 2~3 cm thick steel plate into joints with a charge of 30.24 kg per meter; It is safe and reliable to detonate with double detonators; Hemp rope binding and double-layer waterproof measures are adopted to effectively prevent seawater impact; it is effective to adopt the staggered strip layout method; the actual theoretical calculation will not produce surge, which is consistent with the measured results; The instant of blasting has little impact on seabed organisms; the explosion cutting of the sunken ship meets the design requirements and provides certain reference for the cutting and disassembly of similar underwater sunken ships.

收稿日期:2022-07-29

作者简介:李介明(1981-),男,工程师,从事控制爆破技术及管理工作,(E-mail)limng\_3139@163.com。

**Key words:** wreck disintegration; blasting cutting; initiation of detonating tube; dislocation drug distribution; optimize parameters

## 1 工程概况

本次沉船为外籍货轮布拉里(BARELI)轮,在福建南横岛东月屿附近水域触礁搁浅。

难船位于福建沿海兴化湾进口航道南边缘,难船坐标 25°15' 32.72"N/119°40'28.98"E;沉船总长 220.4 m,型宽 32.3 m,型深 18.7 m,总吨位 355 881 t,载重吨 423 00 t,空船自重 151 62 t。

北侧沉船距东瀚镇距离 10.2 km;东北侧沉向距平潭镇距离为 19.2 km,距离南海乡为 11.5 km;沉船距离东北侧的平潭海峡大桥最近距离为 23.7 km;东侧为宽阔的海域;沉船周围 5 km 以内为无人区。

沉船触礁后分 2 段,后段 112.4 m 采用链锯切割上浮打捞,前段长约 108 m,含第一、第二、第三货舱及船艏部,沉船前段前倾约 10°,右倾约 3°,稳定坐落在礁盘斜坡上。沉船前段船艏处水深 32 m,断口处水深 23 m,船旁钢板厚 18 mm,船底钢板厚 25 mm,图 1 为未打捞前实景图,后段及集装箱打捞后,船体受海浪影响往水深处下移,沉船位置请参考图 2。



图 1 沉船实景  
Fig. 1 Chimney scene

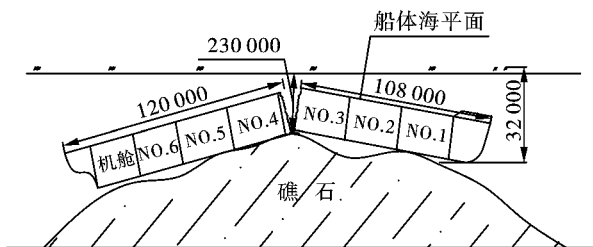


图 2 沉船触礁示意(单位:mm)  
Fig. 2 Reinforcement of chimney(unit:mm)

沉船处海水流速最快达 3.5 节,沉船前段处于无遮蔽海区,水域范围宽敞,船舶航行流量很小,海域作业除台风影响、潮汐影响外海况较好。

## 2 爆破技术方案

### 2.1 方案选择及爆破要求

#### (1) 方案选择。

沉船解体分为水下气割解体、链锯解体、爆破切割解体,针对本次海水里沉船,部分在 30 m 以下,气割、链锯解体操作难度大,效率低,本次沉船后半段与前半段触礁后断裂处利用链锯切断,后半段利用浮力及拖轮拖到码头;前半段则采用爆破切割解体,然后采用大型打捞抓斗处理方式进行打捞清理施工。

#### (2) 爆破要求。

爆破作业过程中不得有早爆现象,一定要确保作业人员安全;爆破时不得对周边海域养殖场造成影响;不得有哑炮产生;切割块均匀充分;杜绝雷管与炸药移位现象。

### 2.2 爆破参数

#### (1) 爆破切割分块

根据沉船位置及切割的船体结构、长度,宜每块重量控制在 40 t 以内,分隔点大体以船体建造焊接缝为原则进行切割,船底采用人工水下气割预开洞再集中药条切割<sup>[1]</sup>。

#### (2) 爆破切割药条布置位置

船体内外两侧垂直各布置 5 根药条共计 20 根药条,外侧水平布置 1 根,船中心线底部布置 1 根。

#### (3) 最大药量参数选择经验公式计算<sup>[1,2]</sup>

$$Q = K \cdot S \quad (1)$$

式中:Q 为药条药量,K 为钢板单位面积耗药量,0.08 kg/cm<sup>2</sup>;S 为爆炸切割断面面积(钢板厚度按 3 cm 计算)每米折合断面面积约为 300 cm<sup>2</sup>。

Q = 24 kg/m,考虑到水压力及裸露爆破能量损耗较大,爆炸威力降低等因素,提高 0.26 倍,取值 30.24 kg/m。

#### (4) 药条参数见表 1。成品药条见图 3。

表 1 药条参数

Table 1 Drug strip parameter				
位置	长度/m	kg/m	总条数/根	总药量/kg
外侧垂直药条	45	30.24	10	13 608.00
内侧垂直药条	40	24.00	10	9600.00
左舷水平药条	132	30.24	1	3991.68
右舷水平药条	132	30.24	1	3991.68
船底中心线药条	120	30.24	1	3628.80
				34 820.16



图3 成品药条

Fig. 3 Finished drug strip

### 3 起爆网路

总体网路思路从船首到船中部依次间隔起爆,对应的内船舱外侧每切割点药条同时起爆,内外侧药条采用 ms2 雷管,每段药条之间主线采用 ms1,船底药条内采用 100 m 导爆索加强起爆能;船底采用 ms8 导爆管雷管起爆,每根药条内部形成双回路,确保所有药包起爆<sup>[3-9]</sup>,如图4、图5、图6。

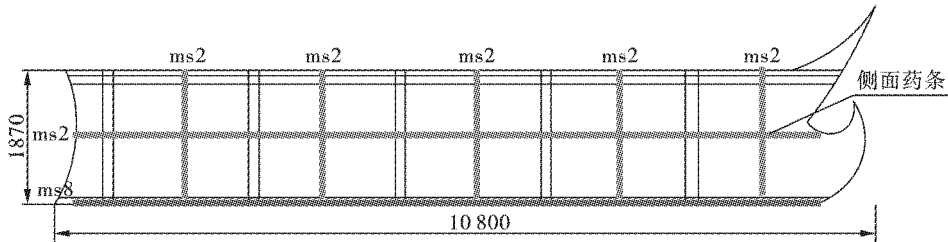


图4 侧面药条布置(单位:cm)

Fig. 4 Side strip layout(unit:cm)

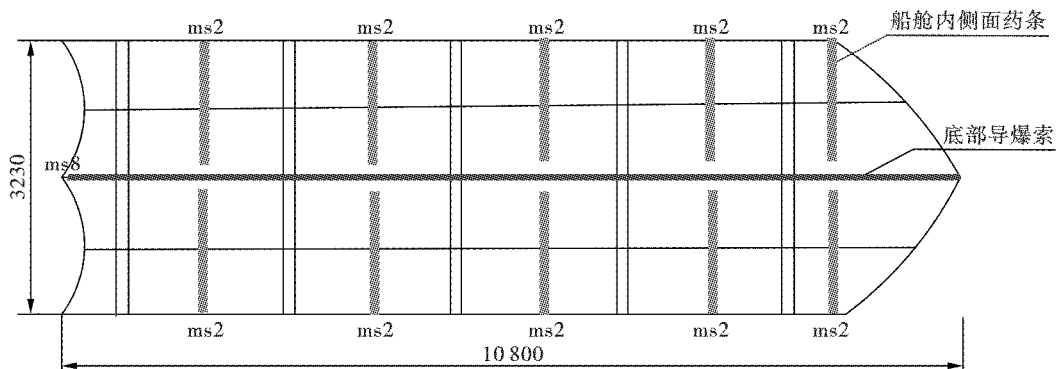


图5 舱内药条及导爆索布置(单位:cm)

Fig. 5 Arrangement of explosive strips and detonating cords in the cabin(unit:cm)

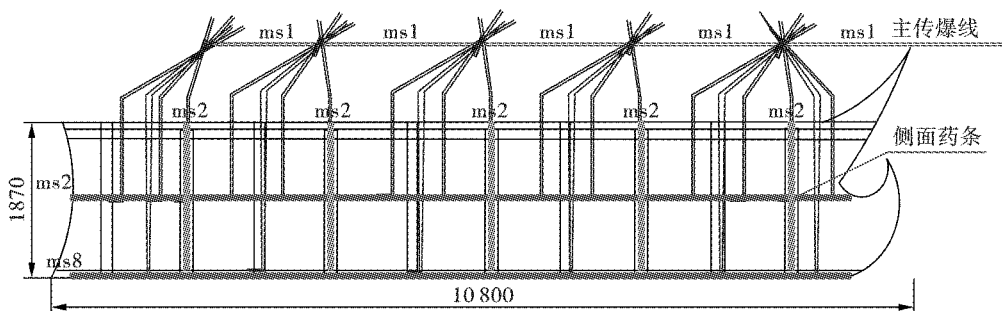


图6 起爆网路(单位:cm)

Fig. 6 Initiation network(unit:cm)

### 4 爆破安全校核

水下爆破根据待爆破物所处的海域,主要考虑的危害效应是:水中冲击波、爆破飞散物、爆破振动、涌浪等。根据以往沉船解体实践经验分析,此次爆破作业的在海域上,爆破点5公里内属于无人区,小

岛属于无人岛,与陆地上爆破作业相比较,飞石和噪声不会造成危害,主要考虑爆破有害因素是爆破产生的水中冲击波对施工船舶及水中生物的影响,水中爆破冲击波效应是否与海浪产生波浪效应形成涌浪进行考虑;爆破振动对周边小岛屿的影响。

#### 4.1 水中冲击波校核

根据《爆破安全规程》GB6722—2014,本工程最大单段起爆药量 31 191.36 kg 对施工船舶的水中冲击波安全允许距离计算如下

$$R = K_0 \cdot Q^{1/3} \quad (2)$$

式中: $R$  为水中冲击波最小安全允许距离振动速度, m;  $K_0$  取值系数(裸露药包:木船 50,铁船 25,潜水 320,游泳 250);  $Q$  为一次爆破药量, kg, 最大药量 31 191.36 kg。

通过计算,对木船安全距离为(木船  $R = 1568.5$  m,铁船  $R = 784.25$  m,潜水  $R = 10\,038.25$  m,游泳  $R = 7842.48$  m)。为了以防万一,此次我们取船舶安全距离 2000 m。起爆点布置在沉船外 2000 m。

#### 4.2 爆破振动校核

一般情况下,水是不可压缩的,水下爆破时地震波首先通过水底然后传到陆地,爆破地震波效应按水下裸露爆破所产生的爆破地震波效应进行考虑,按如下地震波计算公式计算

$$v = 94 \times \left( \frac{\sqrt[3]{Q}}{R} \right)^{0.84} \quad (3)$$

式中: $Q$  为单段药量,本次爆破最大单段药量  $Q = 31\,191.36$  kg(船舱侧面总药量);  $R$  为保护物到爆源的距离,爆破振值如表 2。

表 2 爆破振动  
Table 2 Blasting collapse vibration

距离最近的目标 $R/m$	药量 $Q/kg$	振速 $V/(cm \cdot s^{-1})$
1000	31191.36	5.13
1500	31191.36	3.65
2000	31191.36	2.87
3000	31191.36	2.04
5000	31191.36	1.33

本次沉船位于在大海中,为保证周边海域船舶安全,理论计算爆破振动不会对 1000 m 内海域造成影响,但预防突发事件发生,爆破时安全警戒距离 2000 m 之内封航,作业区域 5000 m 内没有重要保护设施及房屋,因此是安全的。

#### 4.3 涌浪影响

根据水下爆破作业时产生涌浪的形成因素,钢板抛掷时会产生涌浪,药包爆炸时会产生涌浪,因周边海域空旷,不会产生双重能量叠加现象,对坡岸是安全的<sup>[4]</sup>。

#### 4.4 安全防护

水下爆破,主要使用水作为遮挡体,水下切割爆破药包位于 10 m 以下,在水压力及待爆体分块重力

作用下<sup>[5,10]</sup>,待爆体是无法飞出水面,周边 1000 m 内无任何保护、保留物,因此不考虑防护措施。

#### 4.5 水下爆破主要措施

(1)水下爆破器材的选择至关重要,本次选择的炸药为乳化炸药,经多次爆破实践是可行的。药条制作工艺要求细致,药条加工中炸药呈梯形状固定在 10 mm 直径的钢丝绳上,外侧采用防水布包裹,每隔 100 mm 采用麻绳锁捆,防药条移动<sup>[6]</sup>,如图 7。



图 7 药条制作固定

Fig. 7 Preparation and fixation of medicine strip

(2)水下爆破药条安装是否到位直接影响爆破效果,药条安装位置根据安装示意图由专业潜水员进行摸排清楚,然后进行水下焊接钢丝绳固定点,再由专业人员依次对药条固定在安装点上,最后由施工队长进行检查是否到位<sup>[7]</sup>。

(3)水下爆破起爆雷管的选择,本次采用国产导爆管雷管,对雷管的卡扣进行严密的防水措施,确保雷管不会因为进水而出现拒爆现象,如图 8。



图 8 雷管防水

Fig. 8 Detonator waterproof

(4)为保证起爆能足够,每  $m$  个药条使用 2 发雷管,确保所有药包都能起爆。

(5)对于船底板较厚位置采用了加强药条,药条中增加了导爆索引爆,使爆轰更加充分<sup>[9]</sup>。

(6)根据同级别钢板厚度,通过优化爆破参数,从以前的每米 50 kg,调整到现在最大药量每米

30.24 kg,这也是通过水下爆破切割试验得来的结论,药量大肯定能对钢板切割断,为保证不浪费不影响切割质量前提下,除考虑到炸药爆炸瞬间对钢板承受做功极限外,还要考虑到水压力及水流动性造成做功效率降低等因素,这对前期的环境调查,天气影响因素都要综合考虑<sup>[9,11]</sup>。

(7)为保证切割效果,药条布置位置方法也是非常讲究的,本次药条错位布置,确保爆炸后产生扭矩直接将钢板切断,内外舱同位置药条同时起爆,分段起爆可能产生前切割药条起爆后爆轰影响后一组起爆的可能性,如图9、图10。

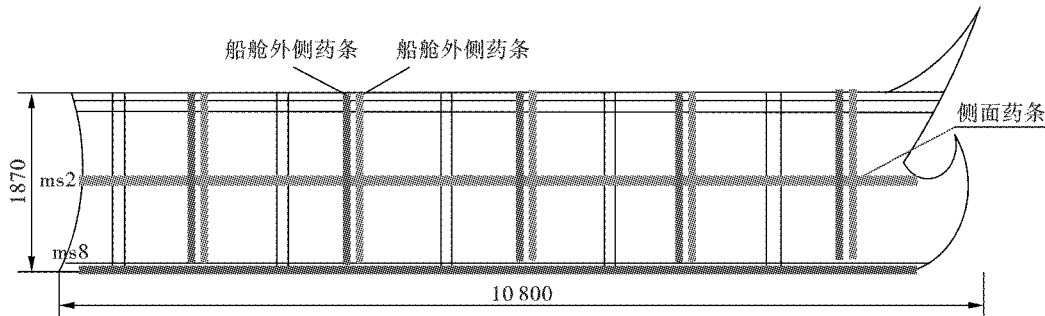


图9 船舱侧面药条错位布置(单位:cm)

Fig. 9 Misplaced arrangement of coating strips on the side of the cabin(unit:cm)

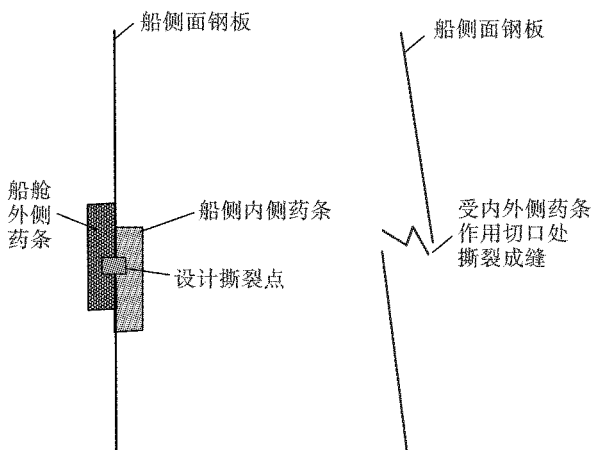


图10 药条错位布设示意效果

Fig. 10 Schematic effect of staggered layout of medicine strips

## 5 结语

(1)水下爆破切割以前使用都是电雷管,电雷管可以检测网路,户外作业存在雷电、杂散电流,误爆危险性较大,对在船上作业人员造成危害较大,因此没有使用电雷管。

(2)高精度电子数码雷管依托进口,国产数码电子雷管技术还不成熟,水下爆破结合我公司多年水下爆破切割经验,使用创新防水新技术使用导爆管雷管起爆网路是可行的。

(3)使用导爆管雷管起爆技术延伸地面钢结构聚能切割爆破,相对水下爆破,必须对雷管做抗水、防水试验,爆破前期分别对20发导爆管雷管在海水下30 m 48 h后,20发雷管正常起爆,起爆能没有降低,在后续施工中,派专人对雷管的防水工作进行每

发严格检查,防水措施做得好不好,直接影响爆破成功与否。

(4)通过对乳化炸药放置在海水里浸泡48 h后,乳化炸药起爆能仅降低1%~3%完全可以达到爆破切割要求;与24 h内放置的药条起爆效果基本一样,这是通过后期施工对局部打捞的残渣进行分析的,块度大小、切割缝不存在本质区别,药效降低与海水含盐腐蚀有关,因此做好药条的防水保护、起爆雷管的防水保护措施非常重要;乳化炸药浸泡48 h不会引起质的速变。

(5)起爆主线宜采用双线固定的钢丝绳上,防海浪冲击及船舶前进过程中起浪造成主线变形。

(6)水下爆破切割关键因素①药条定位,药条位置直接影切割效果;②每米药量产生的破坏力必须大于钢板破坏承受能力0.26倍,通过实验得出一般钢板(厚30 mm)爆破破坏每米需要24 kg炸药,但受水压力、水流动性作用后,取值30.24 m/kg,达到了设计要求,切割缝整体贯穿彻底,块度均匀,打捞效率提高了90%;③经过多次爆破总结每组内外药条起爆时间差25 ms,组与组之间25 ms完全可行。

(7)水下爆破受台风影响、潮汐影响、沉船位置等诸多因素影响,合理的做好前期调研工作,及时为爆破设计提供参考依据,为后续的施工提供便利。

(8)本次爆破药量选择只有通过平时实践总结,经验公式只是一个参考范围,受爆破条件影响、受待爆物件的构造影响,对于同类的沉船解体切割,有一定的借鉴意义。

(9)本次采用导爆管雷管起爆网路也充分显示导爆管雷管起爆技术安全稳定性,水下爆破切割成功实践的体现。

### 参考文献(References)

- [1] 刘浩然,陈宏亮,戴辉,等.水际岸滩沉船顽固障碍破除方法研究[J].国防科技,2020,41(5):19-23.
- [1] LIU Hao-ran, CHEN Hong-liang, DAI Hui, et al. Study on breaking methods of stubborn obstacles of sunken ships on the waterfront[J]. National Defense Science and Technology, 2020, 41(5):19-23. (in Chinese)
- [2] 王辛,张少光,王从银.潮汐条件下浅海沉船爆破清障实践[J].爆破,2016,33(3):110-113,149.
- [2] WANG Xin, ZHANG Shao-guang, WANG Cong-yin. Blasting obstacle removal practice of shallow sea sunken ship under tidal conditions[J]. Blasting, 2016, 33(3):110-113,149. (in Chinese)
- [3] 张少光,王从银,王辛.废弃沉船群水下爆破实践[J].爆破,2013,30(4):113-115.
- [3] ZHANG Shao-guang, WANG Cong-yin, WANG Xin. Underwater blasting practice of abandoned sunken ships[J]. Blasting, 2013, 30(4):113-115. (in Chinese)
- [4] 刘少帅,李介明.长江口沉船成功爆破[J].工程爆破,2013,19(S1):127.
- [4] LIU Shao-shuai, LI Jie-ming. Successful blasting of sunken ships in the Changjiang Estuary[J]. Engineering Blasting, 2013, 19(S1):127. (in Chinese)
- [5] 孙俊鹏,王田,周衍明,等.“南侠9”沉船水下解体爆破控制技术[C]//中国工程爆破协会,中国力学学会.中国爆破新技术Ⅲ,2012:1236-1241.
- [5] SUN Jun-peng, WANG Tian, ZHOU Yan-ming, et al. Underwater disintegration blasting control technology of “Nanxia 9” sunken ship[C]//China Engineering Blasting Association, China Society of Mechanics. New Blasting Technology in China Ⅲ, 2012:1236-1241. (in Chinese)
- [6] 范学臣,刘学庆,郭磊,等.“吉丰689”沉船水下爆破打捞[J].爆破,2010,27(2):81-83.
- [6] FAN Xue-chen, LIU Xue-qing, GUO Lei, et al. Underwater blasting salvage of “Jifeng 689” sunken ship[J]. Blasting, 2010, 27(2):81-83. (in Chinese)
- [7] 刘少帅,缪玉田,贡书生.“海峰”轮沉船水下爆破解体打捞[C]//中国工程爆破协会,中国力学学会.中国爆破新技术Ⅱ,2008:581-585.
- [7] LIU Shao-shuai, MIAO Yu-tian, GONG Shu-sheng. Underwater blasting disassembly and salvage of the sunken ship “Haifeng”[C]//China Engineering Blasting Association, China Society of Mechanics. New Blasting Technology in China Ⅱ, 2008:581-585. (in Chinese)
- [8] 缪国俊.3000吨沉船水下整体爆破[J].当代海军,2007(8):17-19.
- [8] MIAO Guo-jun. Underwater integral blasting of 3000 ton sunken ship[J]. Contemporary Navy, 2007(8):17-19. (in Chinese)
- [9] 齐世福,刘定,刘好全,等.万吨巨轮水下切割爆破[J].工程爆破,2007(2):57-60.
- [9] QI Shi-fu, LIU Ding, LIU hao-quan, et al. Underwater cutting blasting of 10000 ton giant ship[J]. Engineering Blasting, 2007(2):57-60. (in Chinese)
- [10] 刘少帅,李介明.长江口沉船成功爆破[J].工程爆破,2013,19(S1):127.
- [10] LIU Shao-shuai, LI Jie-ming. Successful blasting of sunken ships in the Changjiang Estuary[J]. Engineering Blasting, 2013, 19(S1):127. (in Chinese)
- [11] 胡建新,刘少帅,李介明.大型船用螺旋桨的爆炸切割[C]//中国爆破新技术Ⅱ,2008:672.
- [11] HU Jian-xin, LIU Shao-shuai, LI Jie-ming. Explosive cutting of large marine propeller[C]//New Blasting Technology in China Ⅱ, 2008:672. (in Chinese)

英文编辑:黄刚

(上接第147页)

- [8] 宋锦泉,汪旭光.乳化炸药的稳定性探讨[J].火炸药学报,2002(1):36-40.
- [8] SONG Jin-quan, WANG Xu-guang. Discussion on the stability of emulsion explosive[J]. Journal of Gunpowder and explosives, 2002(1):36-40. (in Chinese)
- [9] 武海英.高分子乳化剂对现场混装乳化炸药稳定性的影响[D].北京:北京理工大学,2016.
- [9] WU Hai-ying. Effect of polymer emulsifier on stability of mixed emulsion explosive in site[D]. Beijing: Beijing Institute of Technology, 2016. (in Chinese)
- [10] 赵华平,董云,李俊杰.EPE乳化剂在乳胶基质制备中的应用研究[J].精细石油化工进展,2021,22(2):18-21.
- [10] ZHAO Hua-ping, DONG Yun, LI Jun-jie. Application of EPE emulsifier in preparation of emulsion Matrix[J]. Advances in Fine Petrochemical Industry, 2021, 22(2):18-21. (in Chinese)
- [11] 王志敏.乳化剂种类对乳化炸药稳定性及爆炸性能的影响[J].广东化工,2016,43(17):69-70.
- [11] WONG Zhi-min. Effects of emulsifier types on the stability and explosive properties of emulsion explosives[J]. Guangdong Chemical, 2016, 43(17):69-70. (in Chinese)

英文编辑:黄刚