

doi:10.3963/j.issn.1001-487X.2022.01.016

## 30万吨级船坞宽厚型基岩围堰爆破拆除技术

蒋跃飞,王璞,刘桐,庞海波,周恩泉,吴霄

(浙江省高能爆破工程有限公司,杭州 310012)

**摘要:** 在某30万吨级船坞基岩围堰爆破拆除工程中,围堰外侧因自然地理条件无法采用大规模水下炸礁方法开挖浅点与航道,须增加围堰爆破工程量使坞口正面一次爆破成型,进而形成了长68 m、宽43 m、深14.6~15.6 m的“宽厚型”基岩围堰爆破拆除,其宽度达到类似工程的2倍。为解决其钻孔精度、危害效应、爆破效果难控制等问题,采用“平行+扇形倾斜主炮孔、垂直+预裂辅助孔”覆盖整体待爆围堰,结合“密集布孔、增加单耗”满足开挖破碎效果;利用“高充水位爆破”,辅以常规安全防护,实现对船坞内保护对象有害效应的控制;通过“优选定制民爆器材、增设孔内起爆雷管、多支路搭接V形起爆网路”提高爆破成功可靠性、降低爆破振动影响;总结以往经验,优化改进形成“超深缓倾斜孔钻孔施工方法”,其循环垫渣作业平台、钻孔精准控制措施可以有效保障爆破施工质量、进度与安全。最终爆破成功实施,取得良好的爆破开挖效果,加快了船坞总体投产进度约2个月,为船厂创造经济效益近千万。该技术与应用具有一定的实践意义与参考价值。

**关键词:** 宽厚型基岩围堰;高充水位爆破;超深缓倾斜孔;逐孔起爆网路

**中图分类号:** TU746.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-487X(2022)01-0107-08

## Blasting Demolition Technology of Wide and Thick Bedrock Cofferdam in 300 000-Ton Dock

JIANG Yue-fei, WANG Pu, LIU Tong, PANG Hai-bo, ZHOU En-quan, WU Xiao  
(Zhejiang Gaoneng Corporation of Blasting Engineering, Hangzhou 310012, China)

**Abstract:** In a blasting demolition project of the bedrock cofferdam of a 300,000-ton dock, it was difficult to excavate shallow points and channels outside the cofferdam due to natural geographical conditions. So, it was necessary to increase the amount of cofferdam blasting to make the front of dock mouth form in one time. This led to a 68 m long, 43 m wide and 14.6~15.6 m deep wide-thick-type blasting demolition of bedrock cofferdam, which width was twice that of similar projects. In order to solve the problems of drilling accuracy, hazardous effects, and control of blasting effects, inclined main blast holes with parallel-fan pattern and vertical pre-split auxiliary holes were used to cover the entire cofferdam to be blasted. In addition, the strategy of dense holes and increased powder factor was adopted to achieve the desired effect of excavation and fragmentation. To control of harmful effects on the protected objects in the dock, high water level blasting supplemented by conventional safety protection was utilized. As for improving the reliability of blasting success and reduce the impact of blasting vibrations, the blast operation team decided to select customized explosive materials, increase the number of in-hole detonators, and connect the initiation network by a V-shape pattern with multiple branches. By summing up past experience, we presented the “super-deep and gently inclined hole drilling method”. Its circulating slag work platform and precise drilling control measures effectively guaranteed the quality, progress and safety of blasting construction. The blasting project was finally successful, and good blasting and excavation results were obtained, which accelerated the overall production schedule by about 2 months, and created nearly tens of millions of economic benefits for the shipyard.

**Key words:** wide-thick bedrock cofferdam; high water level filled blasting; super deep and gently inclined

hole; hole by hole initiation network

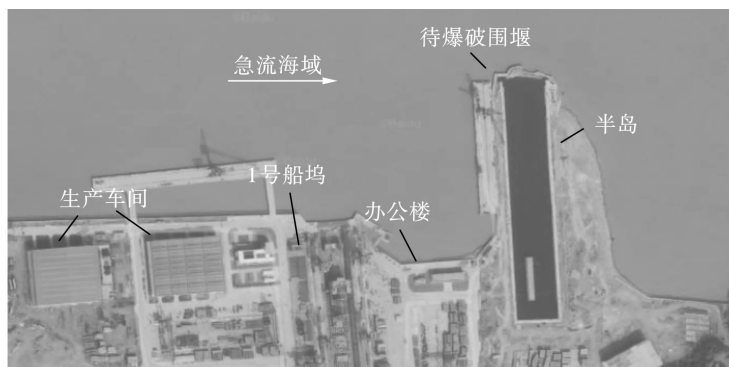
基岩船坞围堰爆破拆除需依据结构类型、周边环境、施工条件选择不同的爆破方法。垂直孔爆破方法受到堰顶宽度限制,适用条件苛刻;船坞内倾斜孔爆破方法因其施工条件好、爆破范围大、危害效应可控等优点,在类似工程中应用广泛。以往的倾斜孔爆破方法多应用于宽度小于30 m的基岩围堰拆除,无法满足一次爆破宽度大于40 m的“宽厚型”基岩围堰爆破拆除工程。因此,围绕“宽厚型”基岩围堰爆破拆除工程特点与难点,在爆破设计优化、施工工艺改进等方面做出了有益的探讨。

## 1 工程概况

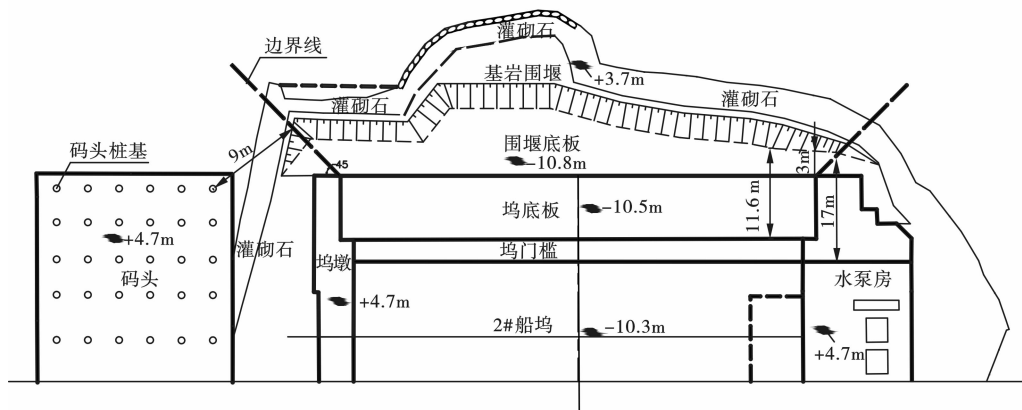
华丰船厂2#船坞围堰位于舟山市白泉镇,为

30万吨级船坞,依半岛型基岩地势而建。待爆破围堰长68 m、宽43 m、深14.6~15.6 m,由下部基岩与上部浆砌块石挡墙构成。工程要求底板开挖标高为-10.8 m,围堰爆破区域面积为7000 m<sup>2</sup>,爆破开挖工程量为44 188 m<sup>3</sup>。

围堰爆破拆除时船坞内部所有建筑物及设备均已建设安装完毕。围堰底部坡脚距钢筋混凝土坞底板最近1.6 m,距坞墩最近3 m,距东侧水泵房17 m,距坞门槛11.6 m;距西侧2#桩基结构码头最近9 m,其上部设备已投入运行多年。船厂内其他建筑物,如生产办公楼、1号船坞、食堂均在300 m范围以外。见图1。



(a) 卫星图  
(a) Aerial photos



(b) 示意图  
(b) Sketch map

图1 周边环境示意图

Fig. 1 Schematic diagram of surrounding environment

## 2 爆破拆除方案选择

### 2.1 “宽厚型”基岩围堰爆破拆除特点

常规基岩围堰爆破拆除工程分成两个阶段来完

收稿日期:2021-09-06

作者简介:蒋跃飞(1981-),男,高级工程师,从事爆破工程技术研究与施工管理,(E-mail)461409284@qq.com。

成:一是通过一次性大规模爆破开挖临近船坞坞口的岩坎,即船坞围堰爆破;二是通过多次水下炸礁开挖剩余部分,即水下炸礁爆破<sup>[1,2]</sup>。两种方式相结合使船坞前航道达到设计标高,满足船坞投产要求。

华丰船厂 2#船坞所处地理位置较为特殊:南接大陆,东西两侧为广阔海域,正北方向 3 km 处为大型岛屿,使得围堰外侧海域为东西向“瓶颈”地带,

成为潮汐水流主通道,海水流速湍急,属“急流海域”。其地理特点极大增加了水上炸清礁施工难度,限制了炸清礁施工安全、进度与质量。因此,结合基岩地形地势,通过扩大围堰爆破宽度使爆破范围向大海深处延伸,增加围堰一次爆破工程量,使坞口正面一次爆破成型,形成“宽厚型”基岩围堰的爆破拆除,是高效解决前述难题的最佳方案。见表 1。

表 1 常规基岩围堰与“宽厚型”基岩围堰爆破拆除特点分析  
Table 1 Blasting demolition characteristics of conventional bedrock cofferdam and wide-thick dock bedrock cofferdam

序号	常规基岩围堰	“宽厚型”基岩围堰
1	围堰爆破宽度与规模可选	基岩坡度决定围堰爆破宽度
2	倾斜孔孔深 15 ~ 20 m,精度与爆破效果易控制	倾斜孔孔深 > 45 m,精度与底部爆破效果难控制
3	单孔装药长度适合,能确保炸药装到位	装药困难,存在装药中断、孔底装药不到位等
4	单孔药量小,爆破振动易控制	单孔药量大,爆破振动难控制
5	孔内炸药准爆率高	孔内炸药易拒爆或中断传爆
6	孔网参数较为常规	孔网参数需加密、炸药单耗需增加
7	围堰爆破工程量小,炸礁工程量大,经济性差	围堰爆破工程量大,炸礁工程量小,经济性好

### 2.2 坞内高充水位爆破

为了降低不充水爆破对坞内保护对象产生的飞石等危害效应,同时减少爆后坞内清渣工作量,采用坞内高位充水爆破法,即:爆破前将坞内充水至高潮位(见图 2),而后选择低潮位起爆,船坞围堰形成缺

口时利用内外水位差使部分爆渣涌向坞外。坞内高充水位爆破需解决好下列问题:①起爆器材的水下准爆性;②起爆网路水下传爆可靠性;③充水设施及注水量可控性;④重要部位安全防护措施的牢靠性;⑤水击波危害的预防。

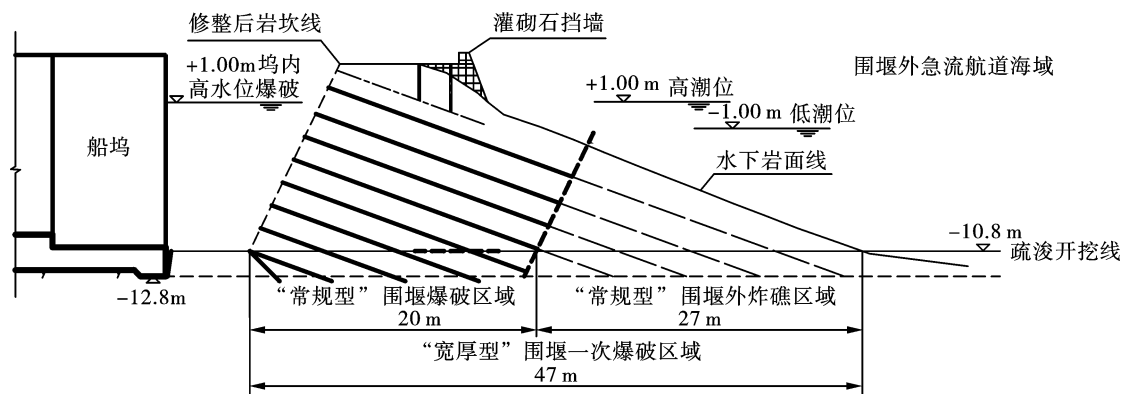


图 2 “宽厚型”基岩围堰结构断面图

Fig. 2 Structural drawing of bedrock cofferdam of wide-thick dock

### 2.3 总体爆破方案

缓坡基岩围堰的钻孔爆破方法主要采用倾斜钻孔<sup>[3,4]</sup>。钻孔倾角依据基岩的自然坡度、围堰尺寸、孔深等因素综合确定。该工程中在发挥倾斜孔干地施工、不受潮汐影响、爆堆形态易控制等优势的同时,通过超长缓倾斜孔施工工艺优化保障钻孔精度,提高爆破一次成功可靠性。

综合工程总体要求、周边海域条件、堰体自身特

点,对于“宽厚型”基岩围堰采用超长缓倾斜孔高充水位爆破拆除方案。

## 3 爆破设计

### 3.1 爆破参数

根据总体方案,基岩围堰主炮孔为超长缓倾斜孔:坞口方向平行布置,两侧 45° 区域扇形布置;顶部浆砌块石挡墙为垂直辅助孔<sup>[5-7]</sup>,围堰“八字形”

开口轮廓处为倾斜预裂孔。见图3、图4。

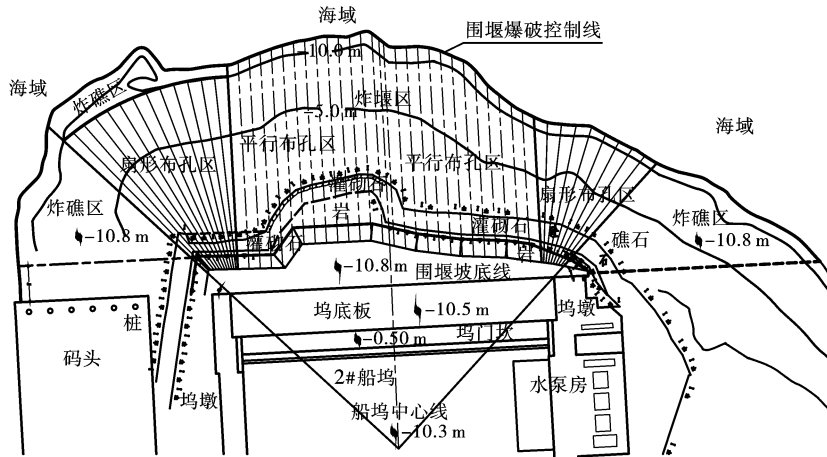


图3 围堰炮孔平面布置图

Fig. 3 Layout plan of cofferdam blasthole

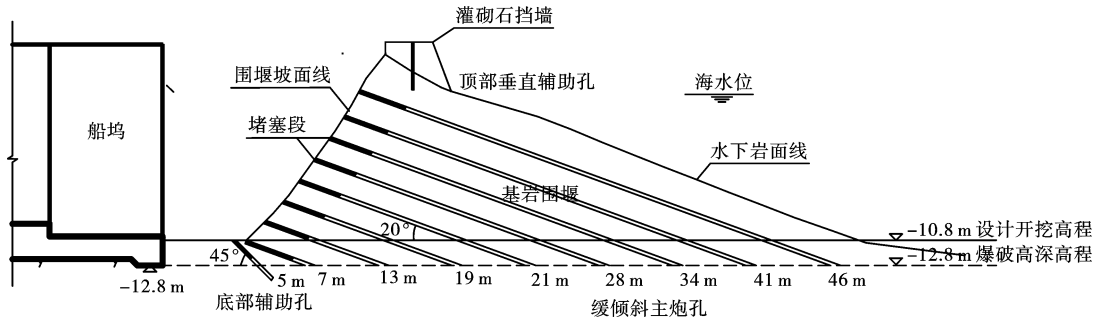


图4 围堰炮孔剖面布置图

Fig. 4 Section layout of cofferdam blasthole

1) 主炮孔参数

炮孔直径为  $\phi 140$  mm, 角度与基岩坡度基本一致, 钻孔倾角为水平向下  $20^\circ$ ; 平行孔与扇形孔均采用矩形布孔, 孔距取 2.5 m, 排距取 2 m; 孔深随孔位地形条件变化, 范围为 7 ~ 46 m, 底部超深为 2.0 ~ 2.5 m; 平行孔堵塞长度为 3 m, 扇形孔堵塞长度为 2.5 ~ 18 m; 炸药单耗取高值为 1.2 ~ 1.4  $\text{kg}/\text{m}^3$ , 线装药密度 7 ~ 8  $\text{kg}/\text{m}$ , 单孔药量为 32 ~ 344 kg。

2) 辅助孔参数

① 顶部辅助孔

顶部浆砌石挡墙布置垂直孔, 孔径为  $\phi 115$  mm。浆砌石为非均匀介质易产生飞石, 炸药单耗不宜过

大, 取 0.35  $\text{kg}/\text{m}^3$ 。孔距为 1.6 m; 孔深为 3.0 ~ 5 m; 堵塞长度 2.5 ~ 3.5 m; 单孔药量为 2 ~ 6 kg。

② 底部辅助孔

为避免爆后最底部一排炮孔的堵塞段留下根坎, 在围堰的坡底布置底部辅助孔。孔径  $\phi 140$  mm, 孔距取 1.25 m, 钻孔倾角为水平向下  $45^\circ$ , 孔位为底部主炮孔向下 0.5 m, 孔深为 5 m, 单孔装药量为 10.8 ~ 11.2 kg。

③ 预裂孔<sup>[8]</sup>

预裂孔孔径为  $\phi 115$  mm, 孔距为 1 m。预裂孔线装药密度取 1.0  $\text{kg}/\text{m}$ , 堵塞长度为 2.5 m, 单孔装药量为 10.5 ~ 23.5 kg。见表 2。

表 2 爆破关键参数表

Table 2 The main parameters of cofferdam demolition by blasting

位置	孔径 $D/\text{mm}$	孔距 $a/\text{m}$	排距 $b/\text{m}$	孔深 $L/\text{m}$	单耗 $q/$ ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	填塞 $L_{\text{填}}/\text{m}$	单孔装药量 $Q/\text{g}$	炮孔数量/个
主炮孔	140	2.50	2.0	7.0 ~ 46.0	1.30	2.5 ~ 18.0	6.0 ~ 324.0	302
底部辅助孔	140	1.25	/	5.0	/	1.5	10.8 ~ 11.2	62
顶部辅助孔	115	2.00	1.5	3.0 ~ 5.0	0.35	2.5 ~ 3.5	2.0 ~ 6.0	91
预裂孔	115	1.00	/	7.0 ~ 20.0	/	1.5	10.5 ~ 23.5	24

### 3.2 民爆器材选择与装药结构

#### 1) 民爆器材选择

坞内高充水位爆破,需在充水前进行3~5 d预装药,采用不易变形且抗水性能良好的定制PVC管壳乳化炸药:乳化炸药封装在直径为96 mm、长度为40 cm的PVC管壳中,单支药量为3 kg,管壳端口设置螺纹接口,便于旋紧连接形成连续装药结构;雷管采用防水、抗压、强度高的奥瑞凯高精度导爆管雷管。

#### 2) 装药结构

①主炮孔均采用连续装药结构,每个炮孔内随孔深不同均匀安装2~5发雷管。预裂孔采用 $\phi 32$  mm小药卷与长毛竹片绑扎形成连续装药,底部采用定制PVC管壳炸药作为起爆药包,全孔均采用导爆索传爆,提高准爆性。

②底部辅助孔采用定制PVC管壳炸药及小药卷炸药的连续装药结构:将药卷全部捆绑在毛竹片上,底部安装PVC管壳炸药,中间安装32 mm的小药卷,堵塞段安装起爆药包,全孔采用导爆索捆绑传爆。

③顶部辅助孔采用连续装药,根据炮孔的深度装

1~3支PVC管壳炸药,确保堵塞长度不小于2.5 m。

本工程共使用PVC管壳乳化炸药39141 kg,孔内雷管1113发,孔外接力雷管980发,导爆索500 m。

### 3.3 起爆网路

为有效控制爆破振动、水击波等危害效应,采用中间开口“V”型逐孔起爆网路:两侧预裂孔首先起爆,然后是浆砌块石顶部辅助孔起爆,最后是围堰主爆孔自上而下、自中间向两侧依次起爆。孔内采用800 ms的长延时高精度雷管;孔外相邻炮孔间采用25 ms的短延时高精度雷管;相邻排间采用17 ms,25 ms,65 ms的短延时高精度雷管进行组合,控制排间起爆时差为82~107 ms。起爆网路通过多种雷管之间的组合,确保相近区域内不出现炮孔重段现象。

逐孔起爆网路传爆具有“单向”性,不同于“四通八达”的复式起爆网路,只有采用增加起爆网路传播通道的方法才能提高起爆网路安全性。通过增加4条支链搭接网路,减少整个起爆网路对主传爆线路的依赖,大大增加起爆网路的可靠性。见图5。

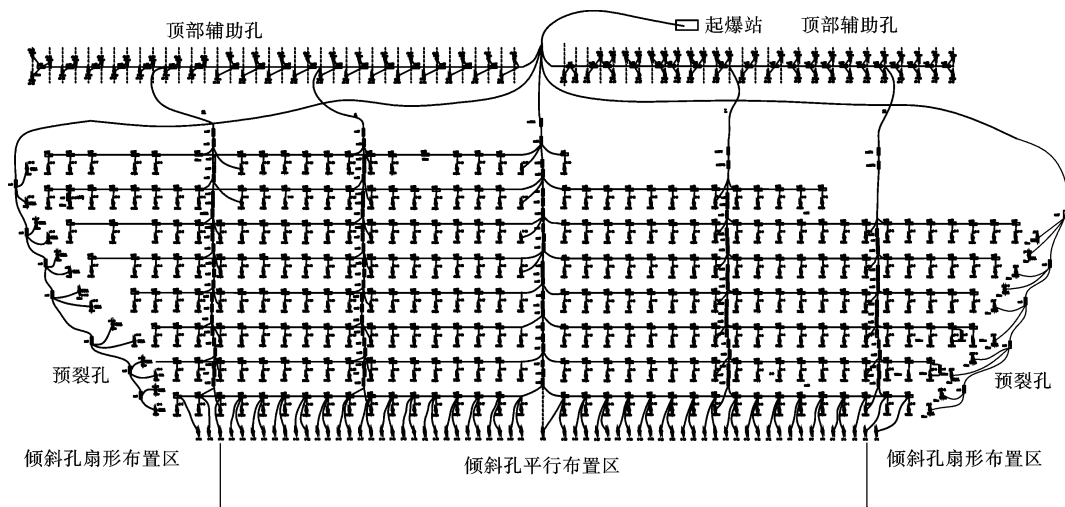


图5 起爆网路示意图

Fig. 5 Diagram of detonating network

## 4 爆破安全设计与措施

### 4.1 爆破振动控制

爆区附近保护对象主要为钢筋混凝土结构的建筑物,如码头及桩基、船坞的坞墩、花岗岩贴面、水泵房等,设计单响药量校核采用萨道夫斯基公式进行验算,其中 $R$ 采用了药包中心至保护对象的距离进行计算, $K$ 、 $\alpha$ 系数的值分别取155和1.7。药量校核数据均能满足爆破振动控制标准的要求<sup>[9-11]</sup>。见表3。

### 4.2 安全防护

除了降低爆破振动危害效应外,还需要对爆破水击波,爆破飞散物的危害效应采取安全防护措施<sup>[12]</sup>。

#### 1) 气泡帷幕降水击波

坞内高充水位爆破相比于不充水爆破,水击波危害更大,采取气泡帷幕防护进行控制:将高强度PVC管铺设在坞门槛外边缘底部,管体每隔20 cm布设1个排气孔,采用20 m<sup>3</sup>高压空压机供气,最大有效供风长度约260 m,共铺设4道PVC管气泡帷幕,利用高压气体在水中产生的“气泡墙”来削减水击波危害。

## 2) 花岗岩贴面安全防护

船坞内各处花岗岩贴面是坞门关闭后防渗防漏的重要设施,具有止水性能好、抗腐蚀性强的优点,但塑性差、易破碎,防护重点主要是针对爆破飞散物

以及膨胀爆堆对花岗岩贴面的冲击破坏:首先借助坞内高充水位的海水形成天然缓冲防护,可有效减少对花岗岩贴面不利的冲击物,其次采用“双层轮胎+毛竹片”的防护层确保花岗岩贴面安全。

表 3 振动控制验算表<sup>[9-11]</sup>

Table 3 Vibration control check table

保护对象	振动控制标准/ ( $\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$ )	至装药中心的最小 传播距离/m	设计最大单响 药量/kg	爆破振动速度/ ( $\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$ )
右花岗岩贴面	8	48.84	324	5.48
左花岗岩贴面	8	50.59	324	5.19
码头桩基	10	63.55	324	3.51
坞墩	20	48.38	324	5.59
水泵房	20	49.84	324	5.31

## 3) 其他保护对象安全防护

针对坞门坎顶面以及水泵房出水口处,通过覆盖与挂设钢板形成刚性防撞层;针对坞墩表面、码头、设施设备、地面管线等,主要考虑个别飞散物危害,均采用多层毛竹帘覆盖防护。见图 6。

运,钻孔和出渣平行作业;还可以自下而上进行,每钻好两排炮孔后垫一次渣,针对需钻孔部位采用水平方向翻渣移设平台和垂直方向垫渣、出渣等环节同步循环作业的方式进行。考虑到该工程中围堰上部岩层破碎,易产生透水孔,故采用自下而上施工顺序。见图 7。

## 2) 超长缓倾斜孔精度控制

对超长倾斜孔精度控制措施及步骤为:①定基准线:根据围堰的走向用全站仪定出一条平行于围堰的基准线,以此确定钻孔方向,钻孔方向垂直于基准线。②定孔位:针对围堰内侧坡面凹凸不平的特点,优化总结了“误差归零孔位测量方法”:以孔距为间隔布置断面线,通过孔位设计高程、排距、钻孔倾角计算孔位设计坐标,结合现场实测校准,以炮孔理论高程、实测相对高程误差和视高三者之差归零为准,确定各排炮孔精确坐标。③定水平倾向:以每列孔作为一个断面,断面的延长线上设置基准标杆。钻孔时,利用孔位上的垂直标杆与基准标杆“两点”确定的“一线”对照钻机滑架,确定水平倾向。④定倾角:水平倾向确定后,用坡度仪紧贴在钻机滑架正面的平面上调整到设计角度即可。⑤开孔:倾向倾角确定后,钻机开钻,钻头完全没入岩石后再次校核倾角倾向,冲击器完全没入孔中后停止钻孔重复前述操作,校核调整完毕后继续钻孔。

## 5.2 装药平台搭设

炮孔均位于 14.6 ~ 15.6 m 的高陡边坡上,综合考虑安全适用性、经济性以及高充水位爆破特点,利用毛竹搭设装药作业平台,需注意以下几点:①严控毛竹材料质量,确保安全稳固。②平台架体通过岩石上布置的锚杆形成连墙件。③通过在毛竹上开小孔、放置砂石袋等方式降低浮力增加配重,避免充水后平台浮动。



(a) 坞墩花岗岩贴面安全防护  
(a) Dock pier granite veneer safety protection

(b) 坞门槛的安全防护  
(b) Safety protection of dock threshold

图 6 爆破安全防护图

Fig. 6 Blasting safety protection diagram

## 5 施工工艺优化

### 5.1 超长缓倾斜孔钻孔施工

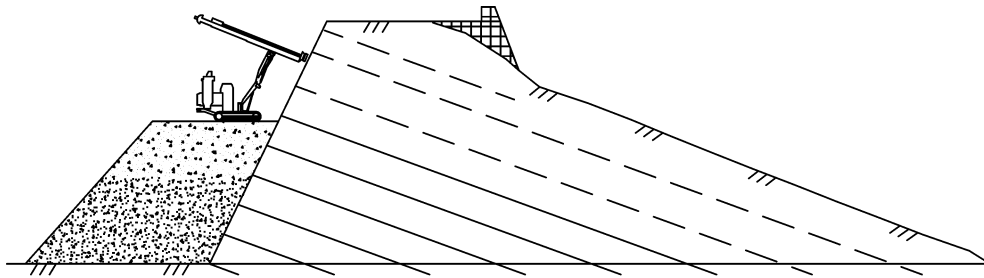
#### 1) 循环垫渣钻孔作业

“宽厚型”基岩围堰爆破拆除中的孔深在 40 ~ 50 m 范围的超长缓倾斜孔钻孔方向及精度控制直接关系到爆破的成败,而作业平台修建方式与稳定性是基础保障,必须平整、稳定、牢靠,能保证履带式液压潜孔钻机在平台上自由移动并稳定作业。在以往施工经验基础上,优化形成了“循环垫渣钻孔作业平台施工法”:既可以钻孔前一次将石渣垫至最高,自上而下钻孔,随着钻孔高度的降低进行石渣外

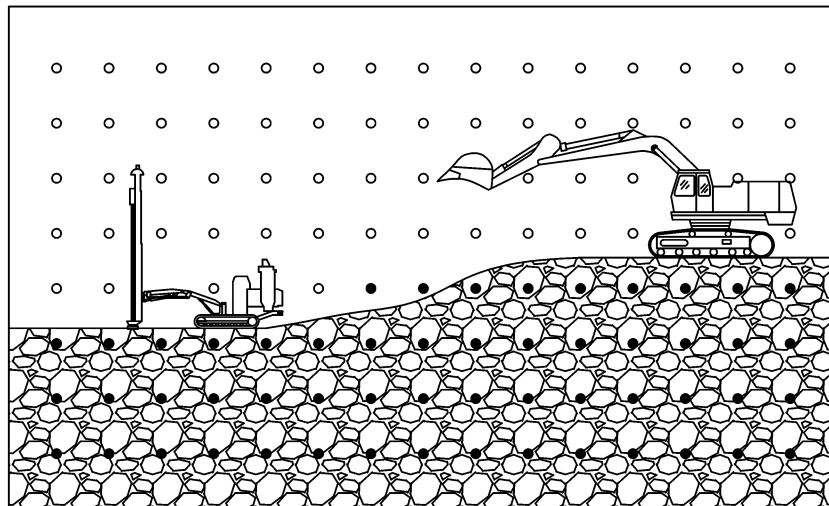
### 5.3 坞内充水施工

坞内充水是爆破前最后一道工序,必须确保起爆网路、装药平台、安全防护材料固定牢靠,不会随海水涌入而浮动。本工程在围堰西侧安装了两根 $\phi 1.2\text{ m}$ 的钢筒,利用潮汐水位高差进行充水:低潮位将钢筒的封口打开,涨潮时海水自然涌入,利用三

个高潮位将30万吨级船坞充满后,关闭封口确保坞内处于高水位。应注意:①充水时间不能过长,否则会增加起爆网路破坏、民爆物品失效的风险;②应选用抗水、耐压、传爆性能好的民爆器材;③自然充水方式水流冲击力大,应合理安排充水口位置,避免对装药平台、起爆网路、安全防护材料的不利影响。



(a) 循环垫渣钻孔作业断面示意图  
(a) Schematic diagram of the cross-section of the circulating pad slag drilling operation



○ 设计孔位      ● 成孔  
(b) 循环垫渣钻孔作业正面示意图  
(b) Schematic diagram of the front view of circulating pad slag drilling

图7 垫渣钻孔作业示意图  
Fig. 7 Slag drilling operation diagram

## 6 爆破效果与结语

### 6.1 爆破效果

2019年4月23日7:18爆破成功实施,高充水位爆破极大地降低了飞散物及扬尘的产生,仅有少量小石块散落于爆区50 m范围内的码头、坞墩处;坞内涌浪较大,浪高约0.6~1 m,坞内漂浮的坞门有较大晃动;爆堆呈现“中间高、两边低”的堆积形态,出露石渣块度小且破碎均匀;船坞内的海水沿着两侧溃坝处裹挟部分爆渣流出。第三方检测与测量单位成果表明:各保护对象均未发现损伤,开挖底标高均已到达设计要求,爆破取得圆满成功。见图8。



图8 爆破前后效果对照  
Fig. 8 Effect comparison before and after blasting

### 6.2 结语

1)“宽厚型”基岩围堰的形成条件相对苛刻,受到各项主客观因素影响,而其工程实践的成功表明:“宽厚型”基岩围堰爆破拆除综合技术可以显著增

加一次围堰爆破工程量,减少水上炸清礁施工,从船坞整体快速投产的角度出发,具有施工效率高、成本低、进度快的特点,不仅技术可行,经济效益更为合理,具有一定的推广意义与工程应用前景。

2)超长缓倾斜孔钻孔施工工艺的改进与应用可以为“宽厚型”基岩围堰爆破拆除中深达40 m以上的钻孔精度、成孔率、作业安全与效率提供有效的保障,同时结合爆破参数、起爆网路的优化以及高充水位条件下民爆器材的优选,可以确保大规模一次爆破成功的可靠性。

### 参考文献 (References)

- [1] 赵根,黎卫超.水下爆破技术发展[J].爆破,2020,37(1):1-12.
- [1] ZHAO G,LI W C. Development of underwater blasting technology[J]. Blasting, 2020, 37(1): 1-12. (in Chinese)
- [2] 王林桂,丁银贵,张中雷,等.毗连海岸岩礁深孔爆破设计与施工技术[J].工程爆破,2019,25(2):31-37.
- [2] WANG L G,DING Y G,ZHANG Z L, et al. The design and construction technology of deep-hole blasting of the adjacent coastal reefs [J]. Engineering Blasting, 2019, 25(2):31-37. (in Chinese)
- [3] 陈志鹏.复杂环境船坞围堰拆除爆破安全评价与防护研究[D].舟山:浙江海洋大学,2017.
- [3] CHEN Z P. Research on safety evaluation and protection of blasting demolition of cofferdam in complex environment [D]. Zhoushan: Zhejiang Ocean University, 2017. (in Chinese)
- [4] 唐小再.船坞围堰拆除爆破技术研究及工程应用[D].赣州:江西理工大学,2012.
- [4] TANG X Z. Research and engineering application of demolition blasting technology for Dock Cofferdam [D]. Ganzhou: Jiangxi University of Science and Technology, 2012. (in Chinese)
- [5] 戴良军,朱大勇,程涛,等.陡峭岩面双壁钢围堰稳定性分析及风险评估[J].中国公路学报,2020,33(1):120-127,137.
- [5] DAI L J,ZHU D Y,CHENG Tao, et al. Stability analysis and risk assessment of double-wall steel cofferdam on steep rock surface [J]. China J Highw Transp, 2020, 33(1):120-127,137. (in Chinese)
- [6] 杨玉银,张艳如,张荣,等.卡鲁玛尾水隧洞出口围堰拆除控制爆破技术[J].工程爆破,2020,26(6):76-83.
- [6] YANG Y Y,ZHANG Y R,ZHANG Rong, et al. The controlled blasting technology for cofferdam demolition at Karuma tailrace tunnel outfall [J]. Engineering Blasting, 2020, 26(6):76-83. (in Chinese)
- [7] 宋志伟,陈锋华,汪竹平,等.船坞围堰爆破拆除过流控制研究及工程应用[J].工程爆破,2010,16(1):52-54.
- [7] SONG Z W,CHEN F H,WANG Z P, et al. Overflow control study and engineering application about dock cofferdam blasting demolition [J]. Blasting Engineering, 2010, 16(1):52-54. (in Chinese)
- [8] 汪旭光.爆破设计与施工[M].北京:冶金工业出版社,2011:445-454.
- [9] 孙云峰,李冲,孟涛,等.某引水工程取水口围堰和预留岩坎拆除爆破[J].工程爆破,2020,26(3):38-44.
- [9] SUN Y F,LING C,MENG T, et al. Demolition blasting for cofferdam and reserved rock ridge of intake in a water diversion project [J]. Engineering Blasting, 2020, 26(3): 38-44. (in Chinese)
- [10] 国家安全生产监督管理局.GB6722—2014 爆破安全规程[S].北京:中国标准出版社,2014.
- [11] 刘浩阳,赵根,刘美山,等.预留钢管桩岩坎爆破拆除关键技术措施研究[J].爆破,2020,37(2):92-96,102.
- [11] LIU H Y,ZHAO G,LIU M S, et al. Research on key technical measures in blasting demolition of reserved steel pipe pile rock ridge [J]. Blasting, 2020, 37(2): 92-96,102. (in Chinese)
- [12] 王宗国,王斌,张正忠.船坞围堰拆除爆破技术研究及工程应用[C]//中国爆破新技术II.青岛:冶金工业出版社,2008:382-387.
- [12] WANG Z G,WANG B,ZHANG Z Z. The blasting technical study and engineering application about dock cofferdam blasting demolition [C]//New Blasting Technology in China II. Qingdao: Metallurgical Industry Press, 2008:382-387. (in Chinese)