

doi:10.3963/j.issn.1001-487X.2021.02.021

温寨航电枢纽工程围堰爆破拆除技术实践

莫福荣¹, 陆勇¹, 卢德生¹, 翟彩亮¹, 何武志²

(1. 中国能源建设集团广西水电工程局有限公司, 南宁 530001; 2. 广西水利电力建设集团有限公司, 南宁 530028)

摘要: 基于温寨航电枢纽工程纵向混凝土围堰爆破拆除案例, 对工程进度、爆破区域周边环境及爆破方案进行研究, 采用变线密度装药与工业电子雷管起爆网路相结合的方案, 对围堰成功实施爆破拆除。拆除体横断面呈上窄下宽结构, 钻扇形垂直超深孔, 孔内采用变线性密度装药, 且利用减弱松动爆破作用指数($n=0.4\sim 0.6$)和炸药单耗($0.5\sim 0.75\text{ kg/m}^3$)来控制各线密度长度和各段线装药密度, 并根据周围建(构)筑物和生态环境的保护要求导出最大单响药量来实施拆除爆破。经爆破监测: 爆破有害效应均控制在安全允许之中。拆除体质量符合设计要求。

关键词: 工业电子雷管; 围堰; 线密度; 爆破拆除

中图分类号: TU746.5

文献标识码: A

文章编号: 1001-487X(2021)02-0141-06

Practice of Cofferdam Demolition by Blasting in Wenzhai Navigation-power Junction Project

MO Fu-rong¹, LU Yong¹, LU De-sheng¹, ZHAI Cai-liang¹, HE Wu-zhi²

(1. China Energy Construction Group Guangxi Hydropower Engineering Bureau Co., Ltd., Nanning 530001, China; 2. Guangxi Water Conservancy and Power Construction Group Co., Ltd., Nanning 530028, China)

Abstract: Based on the blasting demolition case of longitudinal concrete cofferdam of Wenzhai hydro-junction project, the project schedule, surrounding environment of blasting area and blasting scheme were studied in this paper, the cofferdam was successfully demolished by blasting with a combination of variable linear density charge and the initiation network of industrial electronic detonator. The cross section of the demolition body is narrow in the upper part and wide in the lower part. The fan-shaped arrangement vertical ultra-deep hole is drilled, and the variable linear density charge is adopted in the hole. In addition, the linear density length and linear charge density of each section are controlled by decreasing the loose blasting action index ($n=0.4\sim 0.6$) and the powder factor ($0.5\sim 0.75\text{ kg/m}^3$). According to the protection requirements of the surrounding buildings and ecological environment, the maximum single blasting charge quantity is derived for demolition blasting. Through blasting monitoring, the harmful effects of blasting are controlled in safety. The quality of demolition body meets the design requirements.

Key words: industrial electronic detonator; cofferdam; linear charge concentration; blasting demolition

挡水围堰是水利水电工程中常见的建筑物, 多为临时性围护结构, 在其功能得到充分发挥后, 一般采取爆破的方式对其进行拆除。国内专家、学者对

围堰爆破拆除做了大量研究, 积累了丰富的经验^[1-8]。廖成林、杨玉银等在某水电站尾水隧洞出口围堰爆破拆除施工中^[9], 采取上覆渣体采用下套管钻孔, 水下底板开挖增加钻孔超深, 每茬炮爆破时前部覆盖上茬炮渣体, 平衡围堰上下游水压, 成功地围堰实施了爆破拆除。刘录良对土石围堰的水下

收稿日期: 2021-01-24

作者简介: 莫福荣(1964-), 男, 高级工程师, 主要从事水电站工程设计、施工与管理等工作, (E-mail) 1526935328@qq.com。

拆除施工进行分析研究^[10],为类似拆除工程提供了借鉴。刘建国、汪日生针对乌东德水电站左岸导流洞进水口围堰的复杂环境^[11],通过差异化爆破设计、选用优质火工材料、优化爆破网路、控制单响药量、加强孔口堵塞等措施,对围堰实施控制爆破,达到了预期效果。在爆破网路设计上,利用工业(数码)电子雷管,技术上可实现毫秒级的延时起爆,有效降低爆破振动,对不同的岩石环境,能够方便快捷地调整起爆顺序和延时,改善爆破效果^[12-14],但是现有文献较少使用变线密度装药方法进行围堰爆破拆除。

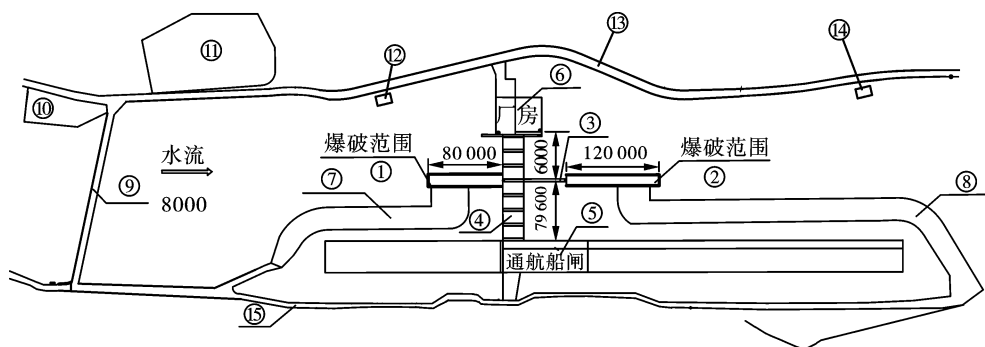
针对温寨航电枢纽工程围堰的复杂环境以及技术难点展开分析,提出变线密度装药法结合工业(数码)电子雷管起爆网路的方法,对围堰实施控制爆破。

1 工程概况

温寨航电枢纽工程位于贵州省黔东南州从江县

境内,处于珠江水系柳江干流上游都柳江河段。该枢纽工程围堰主要由横向土石围堰和纵向混凝土围堰组成,纵向围堰为一、二期基坑施工挡水围堰,采用正梯形重力式混凝土结构,其中上游围堰长80 m,下游围堰长100 m,需要全部拆除至河床面高程,其拆除总量达8553 m³。

围堰周边环境较复杂,上游拆除围堰与永久建筑物3#泄水闸段闸墩相衔接,离闸门距离为15 m,与厂房的最小直线距离为65 m;下游拆除围堰与永久保留的泄水闸段倒“T”型混凝土纵向导墙(兼作纵向围堰)相衔接。爆破拆除区与右岸引航道正在施工的砼距离为12 m,距离左岸G321公路为133 m,距离上下游变电站(1#、3#)最近为80 m。另外,在引航道右岸坝下0+120~坝下0+290有一滑坡体。拆除围堰典型周边环境方位及其距离如图1所示、表1列表。



1-上游纵向围堰; 2-下游纵向围堰; 3-纵向导墙; 4-拦水闸坝; 5-通航船闸;
6-电站厂房; 7-上游土石围堰; 8-下游土石围堰; 9-贝雷桥; 10-钢筋加工厂;
11-砂石、混凝土系统; 12-3#配电所; 13-G321国道; 14-1#配电所; 15-施工道路

图1 围堰爆破拆除周边环境及建筑物平面示意图(单位:mm)

Fig. 1 Schematic diagram of surrounding environment and building of cofferdam demolition by blasting (unit:mm)

温寨围堰爆破拆除区域及围堰周边环境、爆破振动监测点和警戒区域如图2所示。

2 围堰爆破拆除设计

2.1 爆破方案选择

温寨航电枢纽工程纵向围堰上下游段混凝土拆除是实现水库正常蓄水发电的关键性控制项目,爆破必须一次完成。其爆破拆除最大高度11.4m,时间紧、任务重,且拆除的大部分混凝土皆在水下,给爆破施工增加了难度。围堰拆除爆破要确保泄水闸坝闸门、电站厂房、闸墩、纵向导墙和滑坡体正在施工抗滑桩及新浇混凝土结构物(如:引航道新浇砼等)等周围建(构)筑物的安全,同时防止爆破水击波对厂房挡水闸门的破坏。经过综合分析,决定采

用工业(数码)电子雷管起爆网路与变线密度装药法,进行一次性控制松动爆破拆除围堰。为避免爆破地震波及相邻永久建筑物,在衔接面一定距离采取加密布孔、控制单响起爆量、设减震孔和进行预裂爆破形成破碎带等隔离措施,同时,在爆破网络设计上,利用工业(数码)电子雷管毫秒微差可调性和干扰降振半周期做为单响药量微差参数,达到多次减震和降低爆破有害效应的目的,确保各建(构)筑物和水生物生态环境安全。

2.2 允许振动速度和单响药量的确定

依据《爆破安全规范》(GB6722—2014)规定的爆破振动安全允许标准,借鉴和类比水电站的工程设计经验,例如:在大朝山、岩滩、乐滩、糯扎滩、构皮滩、溪洛渡水电站等围堰爆破拆除中,闸门和闸门槽

的爆破抗振设计标准为 15 cm/s, 校核标准为 20 cm/s, 实践证明是可行的, 纵向混凝土围堰的允许振动速度控制在 15 cm/s 以内, 不会对老混凝土造成破坏。假定本案混凝土围堰(C₂₅)爆破拆除的

允许振动速度为: 厂坝老混凝土为 12 cm/s, 闸墩和导墙为 15 cm/s, 电站厂房设备 0.6 cm/s; 对滑坡体的允许加速度为 0.05 g; 对水击波压强标准为 0.4 MPa。

表 1 温寨围堰爆破拆除周边环境列表

Table 1 List of surroundings for demolition of Wenzhai cofferdam by blasting

序号	建(构)筑物现状	方位	与围堰爆破拆除的距离/m	备注
1	3#泄水闸段闸墩	中	0.7(相互衔接)	墩顶布置测试 5
2	3#泄水闸钢闸门	中北	15	
3	水电站厂房	中北	65	进厂口和发电机层布置测试 2、3
4	上游贝雷桥	西	330	
5	砂石系统、拌合系统、钢筋加工系统、业主管理生活区等	西北	125	
6	3#施工配电所	西南	80	
7	5#施工配电所	西北	125	
8	1#配电所、木模厂、施工生活营地等	东北	220	
9	右岸坝下滑坡体	南	79	抗滑桩顶布置测试 5
10	左岸 G321 公路	北	133	
11	倒“T”型砼纵向导墙	中	0.7(相互衔接)	墩顶布置测试 1
12	下游货运码头	中北	490	
13	上游进村轮渡码头	西	960	

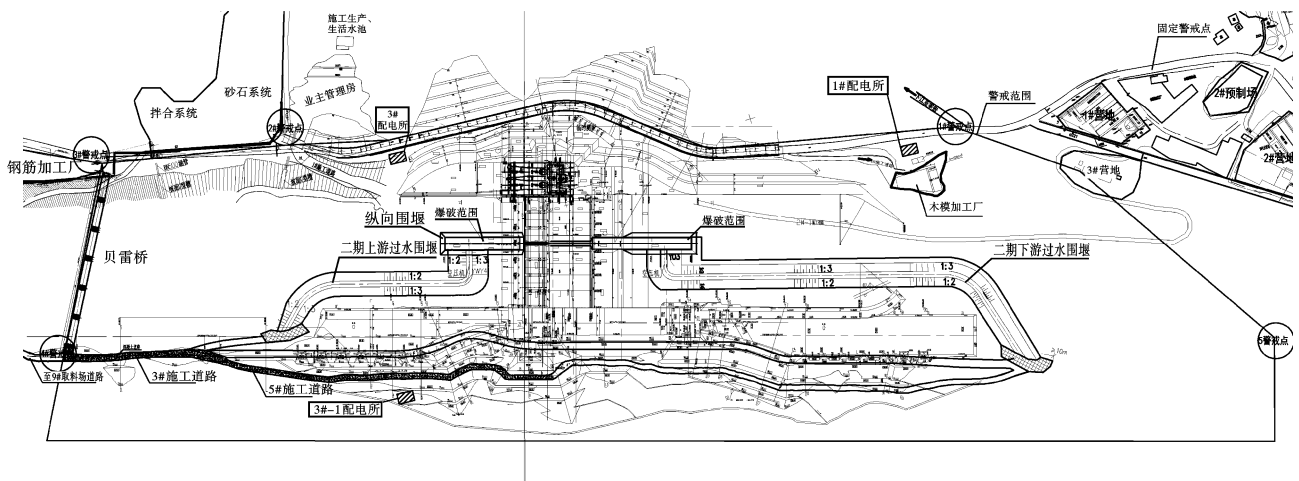


图 2 温寨围堰爆破拆除区域、温寨围堰周边环境、爆破振动监测点和警戒区域图

Fig. 2 Blasting area of Wenzhai cofferdam, Surrounding, blasting vibration monitoring sites and alert area of Wenzhai cofferdam

对老混凝土建筑物可按以下振动速度经验公式计算确定最大单响药量:

$$\text{没有预裂情况下: } V_{\perp} = 48.1(Q^{1/3}/R)^{0.73}$$

$$\text{在预裂面保护的情况下: } V_{\perp} = 22.2(Q^{1/3}/R)^{1.1}$$

$$\text{垂直加速度: } g_{\perp} = 55.43(Q^{1/3}/R)^{1.64}$$

$$\text{对水击波压强: } P = 1.15(Q^{1/3}/R)^{0.95}$$

$$\text{孔内各段线装药密度由 } Q_{\text{线}} = f(n) \times K_{\text{修}} \times q \times$$

$a \times w$ 导出, 其中 $f(n)$ 为 $f(n) = (0.4 + 0.6n^3)$, W 为 $W = d \times \sqrt{7.85 \times \Delta\tau / (q \times m)}$, a 为 $a = (1.0 \sim 2.5)w$ 。式中: $K_{\text{修}}$ 为岩石风化节理裂隙等地形地质条件或砼施工工艺修正系数; q 不同岩石和/或拆除体(如围堰砼等)建材的单位耗药量, 其按 $q = q_{\text{标}} + q_1 + q_2 + q_3$ 计算(注: $q_{\text{标}}$ 不同岩石和/或拆除体建材的标准单位耗药量; q_1 为上方水压增量单耗, $q_1 = 0.01 \times$

h_1 , 式中 h_1 为水深; q_2 为覆盖层增量单耗, $q_2 = 0.02 \times h_2$, 式中 h_2 为覆盖高度; q_3 为岩石膨胀增量单耗, $q_3 = 0.03 \times h_3$, 式中 h_3 为梯段高度)。各段线装药密度长度也由 $Q_{\text{线}} = f(n) \times K_{\text{修}} \times q \times a \times w$ 列方程, 其中, n 段上端采用 0.6, 段下端为 0.4, 并进行演算得出。

2.3 爆破参数设计

(1) 钻孔参数

采用履带式 100B 潜孔钻机进行钻孔, 炮孔布置为上小下大的扇形结构, 如图 3 所示。孔径 $\phi 90$ mm, 需要下套管的炮孔直径 $\phi 130$ mm, 套管内径不小于 $\phi 90$ mm, 超深 1.5 ~ 2.0 m。

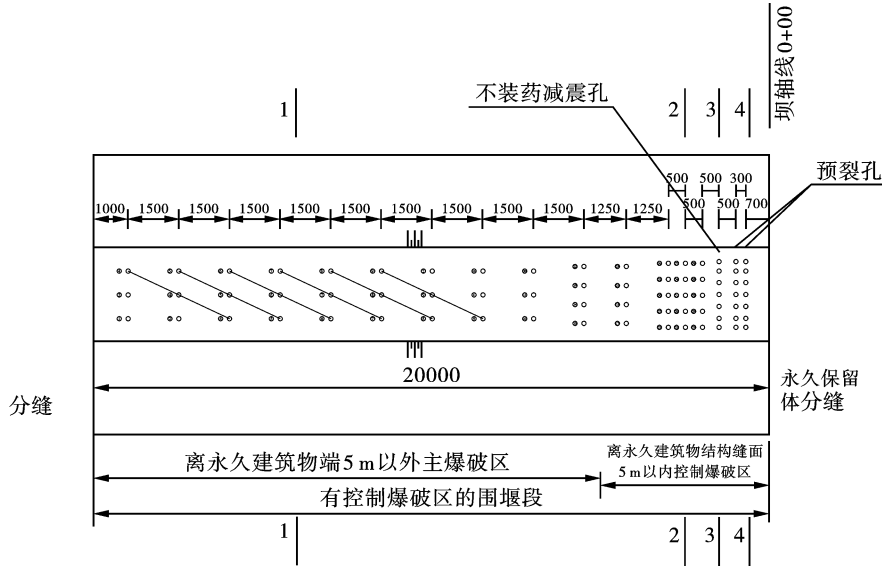


图3 温寨围堰爆破典型炮孔布置图(单位:mm)

Fig. 3 Typical layout of blastholes of Wenzhai cofferdam(unit:mm)

堰顶孔距 0.7 m, 排距 1.5 m, 横断面三个炮孔, 其中中间孔为垂直孔, 两边孔为向外偏斜约 6 度的倾斜孔, 如图 4 所示。孔底最大孔距为 1.7 m, 排距为 1.5 m。炸药单耗为 0.5 ~ 0.75 kg/m³。预裂孔孔径为 90 mm, 孔距为 0.5 m。

度装药, 即组合连续装药结构形式, 炮孔上部孔密集系数大, 采用 $\phi 32$ mm 乳化炸药卷用竹片串接固定, 延米装药量为 1.0 kg/m, 装药长度 2 m。

中部孔密集系数适中, 采用 $\phi 32$ mm 乳化炸药卷二节并绑竹片固定, 延米装药量为 2 kg/m, 装药长度 3.0 m。

底部密集系数较小, 采用延续装 $\phi 70$ mm 的乳化药卷, 装药长度 2 m; 其它装药段采用 $\phi 32$ mm 乳化炸药卷三 ~ 四节并绑竹片固定, 延米装药量为 3 ~ 4 kg/m, 各装药长度根据药量公式和实际情况确定。装药结构如图 5 所示。

控制区加密炮孔装药: 参照 $Q = a \times b \times h \times q$ 进行计算, 采用间隔装药控制单响药量和单响药量内为组合连续装药等结构, 药卷采用 $\phi 32$ mm 乳化炸药。

预裂孔线装药密度 300 ~ 400 g/m, 取 300 g/m, 孔底 1.5 m 加强装药, 孔口堵塞长度为 1.5 m, 采用 $\phi 32$ 药卷绑扎在毛竹片上永成串状的不耦合间隔装药结构。

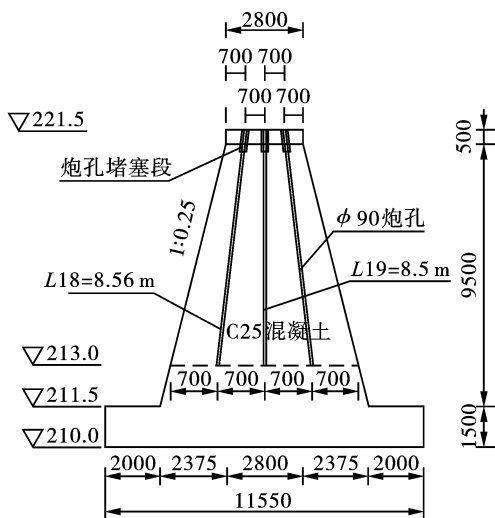


图4 温寨围堰典型爆破剖面图(单位:mm)

Fig. 4 Typical sectional view of Wenzhai cofferdam (unit:mm)

(2) 变线密度装药

砣围堰横断面呈上窄下宽, 主爆孔采用变线密

(3) 工业(数码)电子雷管起爆网路

起爆网路采用工业(数码)电子雷管起爆网路, 如图 6 所示。工业(数码)电子雷管是采用保利久

联控集团有限责任公司生产的8号工业(数码)电子雷管,起爆网络的延时时间设计为:主爆孔独孔编程步长为:1~3号孔5~15ms/孔,取5ms;主爆孔多孔编程步长为15~25ms/3孔,取20ms;孔内和

预裂孔编程步长为5~10ms/3孔,取5ms;分段间编程步长为1200~1500ms,取1500ms。同时,预裂爆破比缓冲孔爆破提前110~150ms起爆。

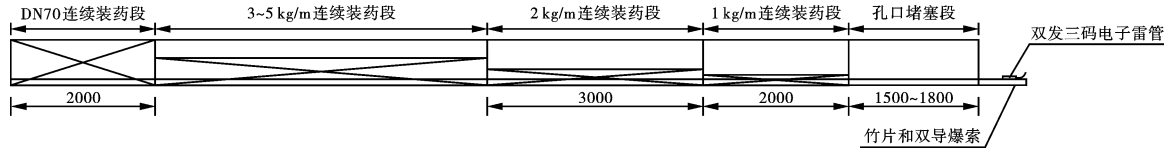


图5 温寨围堰爆破典型主爆炮孔装药图(单位:mm)

Fig. 5 Typical loading charge sketch of main blastholes of Wenzhai cofferdam(unit:mm)

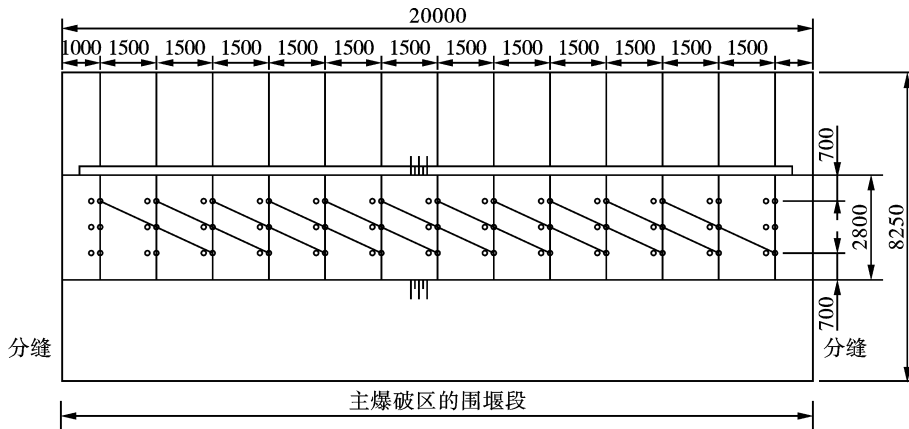


图6 温寨围堰爆破典型起爆网络(单位:mm)

Fig. 6 Typical initiation network of Wenzhai cofferdam(unit:mm)

3 方案实施及爆破效果

3.1 爆破方案实施

爆破施工中能否按设计方案要求有效地进行,关系到爆破效果的好坏。爆破方案实施时,严格按照设计要求进行了布孔、造孔,控制好孔位、孔向和孔深,确保造孔质量。装药前,按设计对孔位进行编号,测量并检查了孔深和水深,装药人员严格按照设计要求的装药结构、数量进行装药、堵塞。采取了加强捆绑送药方法,使得装药得以顺利完成任务。

正式实施全面爆破前,在下游围堰端头6.5m范围内进行了一次拆除爆破模拟试验,以检验爆破效果(包括预裂效果)是否达到要求、爆破设计参数是否合适。选用了单耗药量为:0.65 kg/m³、0.75 kg/m³和0.80 kg/m³三种情况分别进行试验,同时对其进行爆破监测和总结。试爆效果良好,预裂面成型完整,表明爆破设计参数的选择比较合适。

3.2 爆破效果

2019年8月2日—3日,温寨围堰爆破成功实施,一次性顺利拆除上下游纵向砼围堰。爆破后爆渣块度与设计预期基本相符。调录像爆破飞石少,

个别飞石均控制在设计值内。爆破后进行了联合检查,周边设备、仪器安全,建(构)筑物均未出现移位、脱落、裂缝和打残伤等现象。

在需要重点保护的建(构)筑物及重要场所,布置了5个爆破监测点,如表2所示。爆破振动监测结果均在安全允许范围内^[12,13]。

4 结论

通过温寨航电枢纽纵向围堰爆破拆除案例说明,根据堰体的结构特征,选用变线密度装药方式结合工业(数码)电子雷管起爆网络的爆破方式^[14],即能保证炸药能量的充分利用,又能够实现精准延时施爆、有效地控制爆破振动,保证永久建(构)筑物安全,为类似爆破工程具有一定的借鉴意义。

(1)爆破振动在安全允许控制阈值1/10以下,表明采用该方法能够很好的控制爆破振动,保证永久建(构)筑物安全。

(2)变线密度装药方式结合工业(数码)电子雷管起爆网络的爆破方式,对围堰的坝体特征具有很好的适应性,既能保证炸药能量的充分利用,也能保证爆破达到预期效果。

表2 温寨围堰爆破拆除振动监测结果

Table 2 Monitoring values of blasting vibration of Wenzhai cofferdam

序号	位置	距离/m	方向	灵敏度	峰值	半波主频/Hz	控制阈值	是否超限
1	下游砼导墙顶	16	X	25.40 v/m/s	1.37 cm/s	65.57	15 cm/s	否
			Y	25.40 v/m/s	0.51 cm/s	49.38	15 cm/s	否
			Z	26.10 v/m/s	0.91 cm/s	61.54	15 cm/s	否
2	坝顶下发电 厂房楼梯口	66	X	25.40 v/m/s	0.71 cm/s	48.78	12 cm/s	否
			Y	25.40 v/m/s	0.97 cm/s	29.20	12 cm/s	否
			Z	26.10 v/m/s	1.04 cm/s	81.63	12 cm/s	否
3	发电厂房 发电机层	71	X	25.90 v/m/s	0.05 cm/s	11.94	0.6 cm/s	否
			Y	25.50 v/m/s	0.10 cm/s	39.22	0.6 cm/s	否
			Z	26.00 v/m/s	0.02 cm/s	12.33	0.6 cm/s	否
4	下游引航 边坡滑波体	79	X	0.998 v/g	16.14 mg	41.24	0.05 g	否
			Y	1.000 v/g	8.90 mg	37.74	0.05 g	否
			Z	1.001 v/g	32.13 mg	58.82	0.05 g	否
5	3#闸门墩 上游侧坝顶	11	X	25.90 v/m/s	1.04 cm/s	53.33	12 cm/s	否
			Y	25.50 v/m/s	1.04 cm/s	36.04	12 cm/s	否
			Z	26.00 v/m/s	0.77 cm/s	38.83	12 cm/s	否

注:测试设备为中国科学院成都中科测控公司生产的TC-4850 爆破测振仪系列产品。

参考文献 (References)

- [1] 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.
- [1] SUN Yun-feng, LI Chong, MENG Tao, 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)
- [2] 袁江霞,许毓才.中部引黄工程取水口预留岩坎围堰拆除爆破设计[J].中国农村水利水电,2020(8):211-213,220.
- [2] YUAN Jiang-xia, XU Yu-cai. The demolition blasting of the reserved rock ridge cofferdam for the intake of circulating water of middle yellow projection[J]. China Rural Water and Hydropower, 2020(8):211-213,220. (in Chinese)
- [3] 赵根,黎卫超.水下爆破技术发展[J].爆破,2020,37(1):1-12.
- [3] ZHAO Gen, LI Wei-chao. Development of underwater blasting technology[J]. Blasting, 2020, 37(1):1-12. (in Chinese)
- [4] 何国锋,彭正良,张发斌.复杂条件下深水围堰拆除爆破施工技术[J].中华建设,2020(24):242-243.
- [4] HE Guo-feng, PENG Zheng-liang, ZHANG Fa-bin. Demolition operation technique for cofferdam under deep water in complicated surrounding [J]. China Construction, 2020(24):242-243. (in Chinese)
- [5] 彭少引.乌东德水电站左岸导流洞进口围堰爆破拆除技术[J].电力勘测设计,2019(12):45-50,74.
- [5] PENG Shao-yin. Demolish blasting technology on inlet cofferdam of left diversion tunnel in Wudongde Hydropower Project [J]. Electric Power Survey & Design, 2019(12):45-50,74. (in Chinese)
- [6] 甄耀祖,李桂英.深孔预裂控制松动爆破在围堰水下拆除施工中的应用[J].四川水利,2019,40(5):61-63.
- [6] ZHEN Yao-zu, LI Gui-ying. Application of deep hole pre-splitting controlled loosening blasting in the construction of underwater cofferdam demolition [J]. Sichuan Water Conservancy, 2019, 40(5):61-63. (in Chinese)
- [7] 唐凯,熊亮.安全爆破拆除钢筋混凝土围堰的研究与实践[J].四川水力发电,2019,38(5):124-127,147.
- [7] TANG Kai, XIONG Liang. Study and practice of demolishing reinforced concrete cofferdam by safe blasting [J]. Sichuan Water Power, 2019, 38(5):124-127, 147. (in Chinese)
- [8] 陈敏,彭培龙.白鹤滩水电站左岸导流隧洞进口围堰拆除施工工艺及应用[J].四川水利,2019,40(5):54-60.
- [8] CHEN Min, PENG Pei-long. Construction technology and application of removal of cofferdam at the left bank diversion tunnel entrance of Baihetan Hydropower Station [J]. Sichuan Water Conservancy, 2019, 40(5):54-60. (in Chinese)