

doi:10.3963/j.issn.1001-487X.2020.02.016

预留钢管桩岩坎爆破拆除关键技术措施研究*

刘浩阳¹, 赵根¹, 刘美山¹, 黎卫超¹, 马红钧²

(1. 长江水利委员会 长江科学院 水利部岩土力学与工程重点实验室, 武汉 430010;

2. 中国水利水电第十四工程局有限公司, 昆明 650000)

摘要: 在灌浆钢管桩岩坎围堰距周边建(构)筑物较近的情况下克服钢管桩的影响,使钢管桩和岩石有效分离是工程爆破上一大难点。结合山西中部引黄工程取水口岩坎爆破实例,在围堰被密集程度为 $1.2\text{ m}^2/\text{根}$ 的灌浆钢管桩加固、周边建(构)筑物距离较近等的苛刻条件下进行爆破拆除。爆前对内支撑梁进行拆除。爆破采用一次性整体爆破,对钢管桩加固区域,每两个钢管桩之间布设一个炮孔,基岩处单耗选择在 $0.7\sim 0.8\text{ kg/m}^3$ 之间,底部单耗值大于 1.5 kg/m^3 。合理设计预裂孔、减震孔、倾斜光爆孔等,采用间隔装药和安全防护措施以实现基础稳定、控制爆破块度大小、减少爆破振动等需求。爆破结果使钢管桩和岩石有效分离,将爆破振动控制在安全标准范围内,保护了周边建(构)筑物的安全,为相关工程实施经济高效的爆破提供了参考。

关键词: 钢管桩岩坎; 爆破拆除; 减震; 安全防护; 振动监测

中图分类号: TV542 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-487X(2020)02-0092-05

Research on Key Technical Measures in Blasting Demolition of Reserved Steel Pipe Pile Rock Ridge

LIU Hao-yang¹, ZHAO Gen¹, LIU Mei-shan¹, LI Wei-chao¹, MA Hong-jun²

(1. Key Laboratory of Geotechnical Mechanics and Engineering of Ministry of Water Resources,

Yangtze River Science Research Institute, Wuhan 430010, China;

2. Sinohydro Bureau 14 Co Ltd, Kunming 650000, China)

Abstract: It is a great difficulty in engineering blasting to overcome the influence of steel pipe piles and effectively separate a steel pipe pile from rock when the rock bank cofferdam with grouting steel pipe pile is close to the surrounding buildings. Combined with a blasting example of a water inlet of the Yellow River Diversion Project in central Shanxi Province, blasting demolition was carried out under the harsh conditions of reinforcement of grouting steel pipe pile with a dense degree of $1.2\text{ m}^2/\text{root}$ and the proximity of surrounding buildings. The internal support beam is dismantled before detonation. The blasting adopts one-time overall blasting, and a blast hole is arranged between every two steel pipe piles for the reinforcement area of steel pipe pile. The unit explosive consumption in the bedrock is within the range of $0.7\sim 0.8\text{ kg/m}^3$, and the bottom unit explosive consumption is greater than 1.5 kg/m^3 . Reasonable design of pre-split holes, shock absorption holes, inclined smooth blasting holes, etc., deck charge and safety protection measures is conducted to make sure foundation stability, control of blast fragmentation and reduce blasting vibrations. The blasting results make the steel pipe pile separated from the rock effectively, and control the blasting vibrations within the safe range, thus the surrounding buildings are protected. This research provides a reference for the implementation of economic and efficient blasting in related projects.

Key words: steel pipe pile rock ridge; blasting demolition; shock absorption; safety precautions; vibration monitor

在我国水利水电工程施工中常需要修建临时挡水建筑物,其中预留岩坎得到广泛使用。预留岩坎设计可直接保留、利用部分被开挖岩体本身作为临时挡水结构,形成挡水面,从而有效地降低水利水电工程中修建临时挡水建筑物的经济投入和缩减水利工程的施工工期^[1]。一般水利工程在主体工程竣工后均需对预留岩坎进行拆除以便可以达到运行要求^[2-4]。然而实际大多水利水电工程周边地质环境较差,不利于修建临时挡水建筑物,因此部分工程会加设灌浆钢管桩保证围堰的整体性和坚固性。加固后岩坎整体性好,但后期拆除难度加大;同时预留岩坎一般距主体结构及周边居民设施较近,对爆破拆除要求较高^[5]。以山西中部引黄工程取水口岩坎工程为例,内设灌浆钢管桩,距水工建筑物和周边环境太近,拆除难度较大,对其进行分析和研究,给出合理的岩坎爆破拆除方案,结合实际爆破效果和爆破质点振动监测结果证明取水口岩坎爆破拆除成功。

1 工程概况

1.1 基本情况

山西省中部引黄工程是山西省“十二五规划”大电网建设中一项重要的工程,取水工程位于保德县境内。取水口位于天桥水电站左坝头上游380 m处,装机容量9.1万kW,设计取水流量23.55 m³/s,建筑物级别为2级。进水口设拦污栅一道,工作闸门两道。取水口围堰按照天桥水库正常蓄水位设计,水位高程为EL834.0 m,其中汛限水位高程为EL832.0 m,围堰堰顶高程为EL835.0 m。前期采用机械开挖,实际开挖终高程为EL835.8 m。

1.2 取水口围堰特点

取水口围堰采用预留岩坎,岩坎布置三排 ϕ 219钢管桩进行加固,共计54根,桩长12 m,两侧钢管桩间距为0.8 m,中间钢管桩间距为1.2 m,排距为0.9~1.5 m,钢管布置为1.2 m²/根,钢管内均灌注M25砂浆直接成桩。上游侧局部布设5个 ϕ 260膜袋孔,孔内设置3根 ϕ 28玻璃纤维筋及膜

袋,灌M25砂浆用于回填修补迎水面的倒悬空腔,背水面采取垂直边坡开挖,设置内撑梁,围堰两侧与取水口拦污栅的闸门墩相接。堰体上设置三排帷幕灌浆孔,孔间距1.0~1.2 m,排距1.6 m,孔深18 m,灌浆13.0 m。

取水口围堰周边建(构)筑物较多,施工环境复杂,拆除目标与进水塔结构紧邻,内边缘距拦污栅墩墩头仅为1 m,内支撑板距拦污栅槽埋件最近距离为1.35 m;岩坎距离天桥电厂生活区(建筑物为70、80年代砖混结构)仅48 m,尤其是在距40 m的地方有个景观凉亭和一道围墙;岩坎下游320 m处有天桥电厂的发电厂房和中控室。具体环境如图1所示。

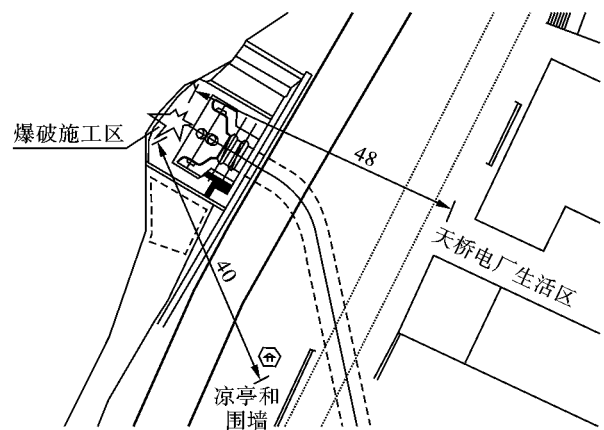


图1 周边环境图(单位:m)

Fig. 1 Schematic diagram of surroundings(unit:m)

1.3 取水口围堰拆除范围

取水口基础为泥灰岩,取水塔底板顶面浇筑高程为EL826.0 m,为保证取水塔基础的稳定又不影响过流,预留岩坎拟拆除至高程EL825.0 m。同时,为了保证取水口边坡的稳定,左右两侧预留部分钢管桩不拆除,维护垂直边坡的稳定性,仅拆除左0+006.60~右0+006.60范围内的岩坎。考虑到取水口前岩体风化程度较高、冲蚀严重以及进水流态,取水口岩坎上下游两侧从第三排钢管桩处向外按30°拆除形成喇叭口进水断面。取水口围堰拆除平面图详见图2。

2 爆破拆除重点难点分析

山西中部引黄工程取水口岩坎爆破拆除难度较大,爆破重点难点有:

1) 围堰采取密集钢管桩加固,整体性好,爆破拆除难度大。预留岩坎布置多排钢管桩增加了围堰的整体性,增大了围堰爆破拆除施工难度。由于钢管

收稿日期:2020-02-19

作者简介:刘浩阳(1995-),男,山西省怀仁市,硕士研究生,从事水利水电工程爆破方面的研究工作,(E-mail)673250713@qq.com。

通讯作者:赵根(1965-),男,江苏海门人,长江科学院,水利部岩土力学与工程重点实验室,教授级高级工程师,从事爆破设计、咨询科研及安全评估工作,(E-mail)wuh_zhaogen@126.com。

基金项目:中央基本科研业务费一类项目(CKSF2019193/YT);中央基本科研业务费二类项目(CKSF2019477/YT)

只能被炸裂失稳不能被炸断,而钢管桩内部为砂浆,从而增加了钢管破坏失稳的难度甚至无法破坏钢管桩。克服钢管桩的影响,使得围堰顺利解体,钢管桩与岩石分离是本次爆破的难点。

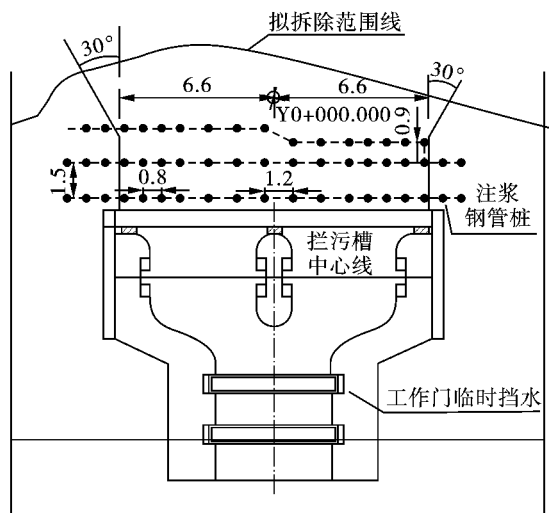


图2 岩坎拆除平面图(单位:m)
Fig. 2 The floor plan of rock ridge blasting demolition (unit: m)

2) 围堰距永久水工建筑物和居民区较近,爆破安全控制要求高。取水口建筑物为进水塔,设置拦污栅一道,工作闸门两道。进水塔拦污栅闸墩与预留岩坎紧邻。取水口围堰距离天桥水电站生活区仅有约48 m左右距离。采取有效的爆破方式,将爆破质点振动控制在允许范围内,且保证爆破飞石控制在安全范围内是本次爆破的重点。

3) 围堰施工工作面窄,工期较紧。围堰工作面窄限制了机械设备的投入,施工效率低,对预留岩坎拆除施工工期造成了很大的制约。

3 爆破设计

3.1 爆破方案选择

爆破前需对围堰后内支撑梁进行预拆除及布置临时挡水。首先采用风镐将岩坎背水面的内支撑梁端混凝土进行拆除,割断钢筋并解除“八”字形内支撑梁在闸墩处及岩坎处的支撑点,避免造成闸墩混凝土的损伤。为确保取水口后洞室安全,采用两道闸门挡水方案。取水口围堰采取一次性整体爆破拆除,上下游各布置一排预裂孔和一排减震孔,为保证基础的稳定,爆破孔不超深,在岩坎底部钻设一排倾斜光爆孔。进水塔地基岩体基本质量级别为IV级,工程地质特性较差,为防止爆破对底板的影响,另在进水塔前钻设一排减震孔。爆破后进行水下清渣和水下切割钢管桩。

3.2 确定爆破振动安全控制标准

取水口周边建(构)筑物较多,施工环境复杂,且距离爆区均较近,保护物自身结构不同,爆破安全控制标准也不同;距离爆区的距离不同,爆破振动传播到保护物后的速度值也不同。爆破参数、装药结构的设计以及安全防护的结果均需符合周边各设施的安全控制标准。

1) 邻近水工建筑物

《爆破安全规程》(GB6722—2014)^[6]中没有规定闸门、闸门槽、拦污栅等邻近水工建筑物的安全控制标准,根据一般水电站的工程设计经验和长江科学院对水利工程岩坎爆破采用的爆破安全振速控制标准提出^[7]:导流及引水洞设计地震设防烈度为8°,其它钢筋混凝土结构物的抗震设计标准为15 cm/s,校核标准为20 cm/s,闸门和闸门槽的爆破抗震设计标准为15 cm/s,校核标准为20 cm/s。为了保守起见,在设计中爆破安全控制标准按照10 cm/s设计,12 cm/s校核,为周围保护物的安全留出一定的富余度。

2) 城区民用建筑物和发电厂建(构)筑物

取水口距离天桥水电站生活区较近,离生活区最近需保护的建筑物仅48 m,且为70、80年代砖混结构,且距40 m的地方有个景观凉亭和一道围墙。取水口下游为天桥水电站,天桥电厂的发电厂房和中控室距离岩坎约320 m。《爆破安全规程》(GB6722—2014)中规定了一般民用建筑物和运行中的水电站及发电厂中心控制室设备爆破振动允许值,为安全起见,振动允许值均取最小值。爆破安全振速控制标准表如表1。

表1 爆破安全振速控制标准表

Table 1 Table of blasting safety vibration speed control standard

保护对象类别	安全允许质点振动速度/(cm·s ⁻¹)		
	≤10 Hz	10~50 Hz	>50 Hz
一般民用建筑物	1.5~2.0	2.0~2.5	2.5~3.0
运行中的水电站及发电厂中心控制室设备	0.5~0.6	0.6~0.7	0.7~0.9

3.3 爆破参数的选择

为有效控制爆破振动,除设主爆孔之外,设计预裂孔和减震孔。

1) 钻孔直径。炮孔直径为 $d=90$ mm,对于成孔困难的部位(迎水侧倒悬体部位)或者有潜在塌孔风险的炮孔孔内采用直径 $d=108$ mm。

2) 炸药选择。本着经济方便的原则,炸药选用

φ 32 mm 乳化炸药进行捆绑使用。

3) 炸药单耗。基岩有压渣及水压条件和抛掷需要,单耗选择在 0.7 ~ 0.8 kg/m³ 之间;底部和堰体前部约束比较大的部位,且有钢管桩的影响,底部单耗值大于 1.5 kg/m³。

4) 网孔参数和炮孔超深。主爆孔:对于没有钢管桩的区域,炮孔间距 $a = 1.5$ m,炮孔排距按经验公式 $b = (0.8 \sim 1.2) \times a$,取 $b = 1.2$ m;对于采用钢管桩加固的区域,在每两个钢管桩之间布设一个炮孔,炮孔间距为 0.8 ~ 1.2 m,排距为 0.8 ~ 1.5 m,爆破孔孔深 9.45 ~ 10.76 m,孔内不超深,垂直布孔。

倾斜光爆孔:水平倾角 15°,间距 0.9 m,单排,钻孔深度 4.8 ~ 7.2 m。

上下游预裂孔:间距为 0.8 m,单排,钻孔孔深 10.8 m。

上下游减震孔:间距为 0.5 m,钻孔孔深 12.5 m。

底板前减震孔:间距 0.5 m,单排,孔深 3.5 m,空孔。

5) 堵塞长度。采用与抵抗线相同的堵塞长度即 1.0 ~ 1.5 m。

6) 最大单段药量及总药量。根据爆破地震波衰减规律的经验公式,确定最大单段药量控制在 10 kg 以内。本次爆破总药量为 816.2 kg。

3.4 装药结构

根据类似工程的经验及冲渣技术的研究^[8,9],主体围堰爆破后需要进行水下清渣工作,但难度很

大,为了保证清渣的效果,围堰爆破的块度需控制在 ≤ 50 cm 的范围内。为了分散炸药能量,有效降低爆破振动和减少大块率,炮孔采用间隔装药结构^[10,11]。

以第二排孔为例,底部 1.0 m 采用 3 节 φ 32 mm 乳化炸药一捆加强装药,然后再采用 2 节 φ 32 mm 乳化炸药一捆进行装药,装药长度 2.3 m,药卷上部采用编织袋、岩粉堵塞 80 cm 后再采用 2 节 φ 32 mm 乳化炸药一捆进行装药至堵塞段,堵塞长度 1.25 m,利用编织袋填塞第二段药卷的顶部,最后进行封堵炮口。

对于倒悬体部位的炮孔,底部采用 3 节 φ 32 mm 乳化炸药一捆进行装药,装药长度 1.0 m;然后采用 2 节 φ 32 mm 乳化炸药一捆减弱装药至距倒悬体空腔底部 1.0 m,用编织袋装沙封堵倒悬体,封堵至超过倒悬体空腔顶部 1.0 m,接着采用 2 节 φ 32 mm 乳化炸药一捆减弱装药至堵塞段,堵塞长度 1.5 m,利用编织袋填塞第二段药卷的顶部,最后进行封堵炮口。

3.5 起爆网路

由于本次围堰爆破工程量小,雷管、炸药需求量较小,受当地器材使用情况限制,选择普通非电毫秒雷管起爆系统,孔间及排间采用 MS2、MS5 普通非电毫秒雷管,孔内采用 MS11、MS13 段毫秒雷管与导爆索传爆。爆破网路设计见图 3。

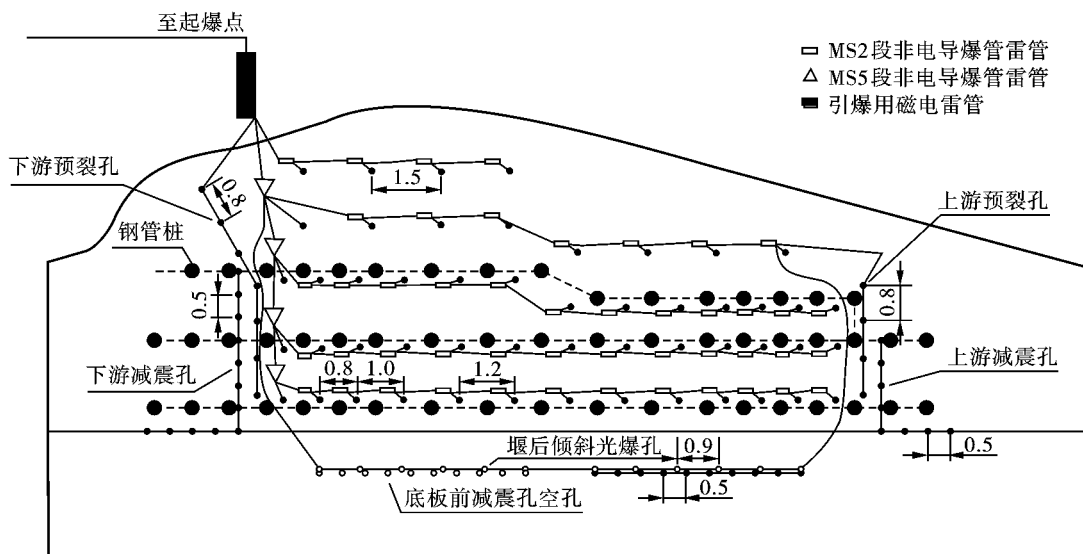


图3 爆破网路图(单位:m)

Fig. 3 Blasting network(unit:m)

3.6 爆破安全防护

1) 闸门及门槽的防护:围堰爆破时,由于爆破

体和闸门及门槽之间距离极近,需在闸墩、门槽及进水渠底板等建筑物上挂设 2 层橡胶轮胎及满铺竹跳

板防止飞石破坏,并在取水口底板铺满沙袋,避免爆破石块砸伤闸门前取水口底板。

2) 表面覆盖法:为降低爆破质点振动,减少爆破飞石,在爆破表面设置双层主动防护网+竹条板+砂袋覆盖。这样既能达到控制爆破飞石的目的,同样能够降低爆破质点振动速度。

3) 布置减震孔:在岩坎上下游及两侧、进水塔底板前各布置一排减震孔削减爆破地震波。

4 爆破效果及振动监测结果

山西中部引黄工程围堰于2018年10月22日15时04分起爆。爆破拆除效果良好,有效分离钢管桩和岩石,爆破产生的渣石基本按照预期效果大部分抛掷到黄河河道中,实现了预期效果;爆破振动控制较好,达到了预期的减震效果;采用秸秆和竹排等结合的防护方案,对闸门等设施防护到位,飞石和冲击波对取水口闸门、闸门塔无损伤。爆破后效果如图4所示。



图4 岩坎爆破效果

Fig. 4 Blasting effect of rock ridge

本次爆破有效控制了爆破振动,关键部位处振动监测结果均未超标。爆破振动监测测点布置和监测结果如表2。

表2 爆破振动监测结果

Table 2 Monitoring results of blast vibration

测点 编号	测点 部位	爆心 距/m	X方向		Y方向		Z方向	
			振动速度/ ($\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$)	频率/ Hz	振动速度/ ($\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$)	频率/ Hz	振动速度/ ($\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$)	频率/ Hz
1	公路上方	7.0	1.88	9.27	0.98	49.44	1.88	43.26
2	公路边	16.5	1.97	11.33	0.67	15.45	1.79	49.44
3	1 [#] 医院楼梯口	40.0	0.15	47.38	0.08	86.52	0.16	60.77
4	办公楼车位旁	61.0	0.06	39.14	0.05	24.72	0.10	16.48
5	进办公楼门右侧	75.0	0.18	41.71	0.35	48.65	0.03	13.73

5 总结

1) 爆破设计采用主爆孔单孔单响,充分利用面对河道临空面的有利条件,使爆破更加简单有效,提高工效。根据爆破振动安全控制标准设计主爆孔、上下游减震孔、预裂孔等爆破参数,使爆破后岩坎保留的部分更加完整,减振效果更加显著;设计岩坎底部倾斜光爆孔和底板前减震孔,有效防止了爆破对取水塔底板的破坏,保护了地质情况较差的基础稳定,控制了爆破对邻近水工建筑物和周边被保护建(构)筑物的振动影响。

2) 临水钢管桩岩坎爆破一般具有拆除难度大、施工工作面窄、地质条件差、距建(构)筑物过近等特点,山西中部引黄工程取水口钢管桩岩坎爆破工程在复杂的周边环境和苛刻的施工条件下,通过合理的爆破方案、高效经济的安全防护措施等解决了一系列面临的技术难题,在技术经济效果上取得了

较好的结果,可为类似工程提供经验。

参考文献 (References)

- [1] 王克忠,金志豪,杨麦珍,等.取水塔基坑开挖过程倒悬岩坎围堰渗透稳定性研究[J].岩土力学,2018,39(S2):415-422.
- [1] WANG Ke-zhong, JIN Zhi-hao, YANG Mai-zhen, et al. Permeability stability study of overhang rock cofferdam during excavating foundation pit of water intake tower [J]. Rock and Soil Mechanics, 2018, 39(S2): 415-422. (in Chinese)
- [2] 刘宇,肖灯勇,彭大勇,等.引水隧洞进口预留岩坎的爆破拆除[J].工程爆破,2016,22(3):58-60,64.
- [2] LIU Yu, XIAO Deng-yong, PENG Da-yong, et al. Blasting demolition of reserved rock ridge in diversion tunnel inler [J]. Engineering Blasting, 2016, 22(3): 58-60, 64. (in Chinese)