

doi:10.3969/j.issn.1001-8352.2013.01.010

深孔爆破技术在板肋石拱桥爆破拆除中的应用*

毛益松^① 王 升^② 单志国^② 汪庆桃^① 李晓阳^②

①国防科学技术大学九院(湖南长沙,410073)

②湖南长工工程建设公司(湖南长沙,410003)

[摘 要] 介绍了长为 382 m 的张家界市鹭鹭湾板肋石拱桥的深孔爆破拆除方案、参数设计论证和爆破危害控制措施。针对板肋石拱桥的主要承重部位桥墩立柱直径为 3~5 m 且钢筋密集的特点,在桥墩立柱钻孔中,采用地质钻机配套合金岩芯钻头抽取盖梁钢筋混凝土,待穿过盖梁层后,再改用履带式潜孔钻机完成桥墩立柱钻孔,解决了因桥墩盖梁钢筋密集不易钻孔和桥墩立柱高水位无法侧向钻孔的难题。采用深孔爆破技术,经安全校核计算后, $v=1.430\text{cm/s}$, $p_m=0.013\text{MPa}$,对周边建(构)筑物和下游水电站基础没有影响。

[关键词] 深孔爆破 板肋石拱桥 拆除爆破 微差爆破

[分类号] TU746.5 TD235.37

1 工程概况

湖南省张家界市鹭鹭湾板肋石拱桥于 1994 年建成通车,为国内同类型最大板肋石拱桥。由于市区过境车辆及澧水以东新区前往机场和火车站的车辆均由此经过,交通流量大,尤其常(德)张(家界)高速公路通车后,车辆剧增,严重影响车辆通行,为此决定爆破拆除后在原址重新建设新桥。

1.1 桥梁结构

板肋石拱桥是石拱桥中的一种较为特殊的形式,它的主拱圈截面由下部板式断面上加若干道肋组成^[1]。张家界市鹭鹭湾板肋石拱桥全长 382.0 m,主桥 6 跨,单跨长度 49.5~52.0 m,宽度为 21.0 m,桥面板为现浇钢筋混凝土板。主拱圈宽度 15.0 m,为 M25#浆砌块石板肋拱,板式断面厚度 0.4 m,三道拱肋厚度 1.2 m,两边拱肋宽度 2.0 m,中间拱肋宽度为 3.0 m。下部结构为钢筋混凝土双柱式桥墩,由盖梁和立柱组成。其中,4#桥墩为制动墩,立柱直径 5.0 m,其余桥墩立柱直径均为 3.0 m。

1.2 桥梁与周边建筑物的关系

该桥位于澧水干流之上呈东西走向,桥东的南侧 80 m 处为混凝土管预制厂,桥西的南端为居民区,距最近一栋 7 层砖混结构楼房 60 m,100 m 处为通达国际大酒店。大桥上游 2.5 km 处为木龙滩电站,下游 1.9 km 处为红碧岩电站。东西两岸江堤 150 m 范围内无码头和其它建(构)筑物。

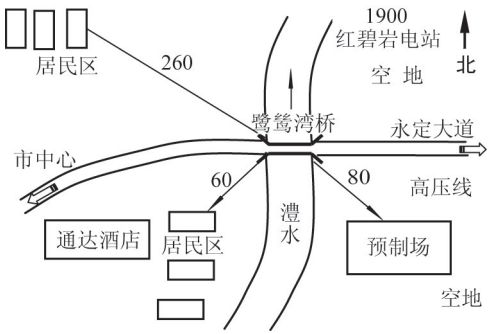


图 1 周围环境示意图(单位:m)

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

2 板肋石拱桥爆破技术方案论证及优化

拆除鹭鹭湾板肋石拱大桥爆破,河道内各桥墩要求拆除至河床以下 1.0 m,并完成打捞清运渣土。

本爆破工程的主要特点:一是在爆破施工期间,为保证大桥下游 1.9 km 红碧岩电站的正常运行,澧水需保持 154 m 高水位,待爆破后才降低水位,较短时间内将残渣清除;二是该桥梁的 5 个桥墩立柱直径为 3.0 m 和 5.0 m,尤其直径 5.0 m 的 4#制动墩是国内少见的特大型钢筋混凝土立柱,如何充分爆破破碎是本次爆破成功的关键。

2.1 爆破方案论证及优化

由于桥墩高大,且桥下水位高、水流急,搭设作业平台比较困难,根据板肋石拱桥结构形式、受力特点及爆破施工要求,确定对上部结构的主拱圈采用

* 收稿日期: 2012-05-02
作者简介: 毛益松(1960~),男,副教授,主要从事爆破教学和研究。E-mail:1213175424@qq.com

浅孔爆破和对下部结构的桥墩采用深孔爆破的施工方案^[24];即对每跨东侧的 0.4 m 厚主拱圈板、1.2 m 厚主拱圈肋、桥墩盖梁和每跨东侧拱上的两板立墙采用小孔径浅孔爆破;对桥墩直径 3.0 m 和 5.0 m 立柱采用从盖梁上面往下垂直钻孔的深孔爆破。桥墩立柱采用深孔爆破与浅孔爆破相比较:具有钻孔数目少,能够一次性达到爆破至河床下 1.0 m;桥面上钻孔,作业人员和机械相对安全,避免了在高水位下搭设施工架子和贴水面作业的危险;但是用潜孔钻机钻孔,爆破技术参数设计要求高,钻孔遇到钢筋时,不易调整孔位。

2.2 爆破部位选择

主拱圈板肋拱的爆破部位:在每跨主拱圈板肋拱的东侧钻孔爆破,切口宽度 1.5 m;桥墩立柱的爆破部位:从桥墩盖梁上面往下垂直钻孔,钻孔深度至河床下 1.0 m;桥台的爆破部位:西岸桥台用机械拆除,仅对东岸桥台爆破,从桥台上面往下垂直钻孔,钻孔深度至河床下 1.0 m。

2.3 钻孔施工工艺

经过查阅桥梁施工竣工图后可以得知,4[#]桥墩盖梁(尺寸 20.0 m × 5.0 m × 2.6 m)和其它桥墩盖梁(尺寸 18.0 m × 3.0 m × 2.6 m)均设置上下各 1 层钢筋,部分弯起钢筋处变为 2 层,钢筋规格 Ø32 mm @ 100 mm,在钻孔时遇到密布钢筋因直径较粗而无法钻进。为此采用 HG Y—200 地质钻机配套合金岩芯钻头,抽取桩芯混凝土,穿过盖梁密集钢筋层后,再用 KQG—150 型履带式潜孔钻机完成炮孔成孔工作。由于桥面距盖梁高差较大,地质钻机在桥面钻孔时,钻杆摆动幅度大,难以成孔,将地质钻机分解后,运至桥墩盖梁顶部重新组装后成孔,顺利地解决了地质钻机成孔问题。

3 桥梁爆破参数设计

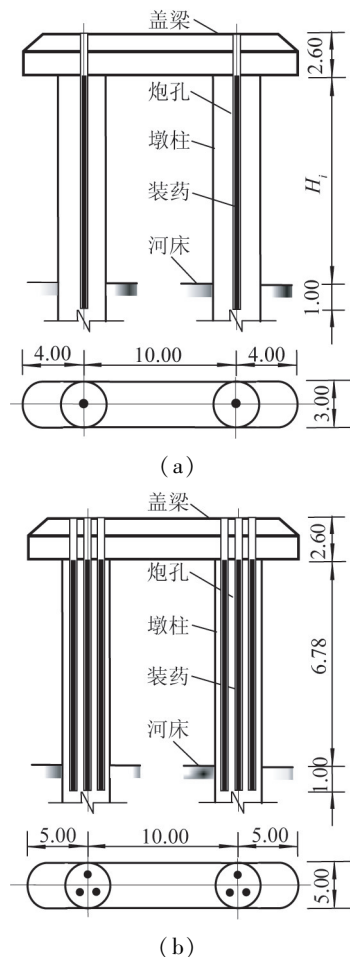
3.1 立柱钻孔直径及钻孔数量

桥墩立柱钻孔采用的 KQG—150 型履带式潜孔钻机,孔径为 150 mm。大桥的 4[#]桥墩立柱直径 5 m、河床以上高度 $H_4 = 6.78$ m,沿竖方向布置 3 个炮孔,2[#]、3[#]、5[#]、6[#]桥墩立柱直径 3 m,河床以上高度分别为 $H_2 = 5.23$ m、 $H_3 = 5.63$ m、 $H_5 = 7.64$ m、 $H_6 = 8.64$ m,沿竖方向各布置 1 个炮孔,如图 2 所示。

3.2 药孔参数

药孔参数以 2[#]桥墩立柱为例,其深孔装药参数如下^[5-7]:

① 孔径: $d = 150$ mm; ② 孔深: $L = 2.6 + H_i + h = 2.60 + 5.23 + 1.00 = 8.83$ m (h 超钻 1.00 m),装药长度: $L' = 5.23 + 1.00 = 6.23$ m; ③ 孔数: $N = 2$ 个; ④ 炸



(a) 2[#]、3[#]、5[#]、6[#]桥墩; (b) 4[#]桥墩

图 2 桥墩的构造以及炮孔布置(单位:m)

Fig. 2 Bridge pier structure and blasting hole arrangement (unit: m)

药单耗: $q = 1500$ g/m³; ⑤ 1 根立柱单孔装药量: $Q = q\pi r^2 L' = 1.50 \times 3.14 \times 1.50^2 \times 6.23 = 66.02$ kg; ⑥ 单个桥墩立柱装药量: $Q_{\text{单}} = 66.02 \times 2 = 132.04$ kg。其它立柱的药孔参数及炸药单耗见表 1,炮孔总数为 3059 个,总药量为 2670.46 kg。

3.3 立柱装药结构与堵塞长度

深孔爆破的炮孔直径为 150 mm,由于工期紧张,没有定制大直径药卷。现场采用 Ø32 mm 小药卷乳化炸药绑扎成捆,每捆 9 卷(每卷 200 g),采用连续装药结构,每延米约 10.5 kg 乳化炸药,每孔设 2 根导爆索传爆以增加传爆可靠性,并将未装药部分(盖梁厚 2.6 m)全部填塞。装药前对孔深进行严格检查,确保装药中心位置的准确性。

3.4 导爆管雷管起爆网络

1) 起爆器材及延期时间:孔内采用以半秒段为主的主导爆管雷管起爆炸药,孔外采用毫秒 1 段主导爆管雷管过桥,桥跨(墩)之间用塑料导爆管连接成复式导爆管网络。延期时间在 120 ~ 500 ms 之间。最

表 1 桥墩尺寸和爆破参数

Tab. 1 Dimension of bridge piers and blasting parameters

爆破部位	孔径/ mm	孔深/ m	最小抵抗线/ m	孔距/ m	排距/ m	孔数/ 个	单耗/ (kg·m ⁻³)	单孔药量/ kg	总药量/ kg
主拱圈板	42	0.30	0.2	0.4	0.4	600	1.2	0.08	48.00
主拱圈肋	42	0.80	0.4	0.4	0.4	510	1.2	0.23	117.30
拱上立墙	42	0.27	0.2	0.3	0.3	780	0.8	0.03	23.40
桥墩立柱	2 [#]	150	6.23	1.5	—	2	1.5	66.02	132.04
	3 [#]	150	6.63	1.5	—	2	1.5	70.26	140.52
	4 [#]	150	7.78	1.8	—	6	1.5	76.00	458.00
	5 [#]	150	8.64	1.5	—	2	1.5	91.56	183.12
	6 [#]	150	9.64	1.5	—	2	1.5	102.16	204.32
桥墩盖梁	2 [#]	42	2.20	0.4	0.5	175	0.8	0.80	140.00
	3 [#]	42	2.20	0.4	0.5	175	0.8	0.80	140.00
	4 [#]	42	2.20	0.4	0.5	351	0.8	0.80	280.80
	5 [#]	42	2.20	0.4	0.5	175	0.8	0.80	140.00
	6 [#]	42	2.20	0.4	0.5	175	0.8	0.80	140.00
东侧桥台	前墙	150	5.28	1.0	2.0	—	0.5	10.56	73.92
	后墙	150	12.74	2.0	3.0	—	0.5	76.44	305.76
	中肋墙	150	6.78	1.5	2.0	—	0.5	20.34	40.68
	边肋墙	150	6.78	1.3	2.0	—	0.5	16.95	67.80
	台帽	42	1.10	—	0.5	0.5	87	—	0.40

后用 CHA—500 高能脉冲起爆器和 EF—1 型导爆管击发针起爆系统起爆。

2) 区段划分:该板肋石拱桥爆破共划分 15 个延时区段。其中,东端桥台的总装药量为 488.16 kg,分为 2 个区段;每个桥跨的上部结构各为 1 个区段;2[#]、3[#]、5[#]、6[#]桥墩和盖梁各为 1 个区段;4[#]桥墩的立柱和盖梁总装药量为 738.8 kg,分为 3 个区段。

3) 起爆顺序:自东向西逐段起爆,其起爆延时顺序如下:6[#]跨上部结构→5[#]跨上部结构→6[#]桥墩→4[#]跨上部结构→5[#]桥墩→3[#]跨上部结构→4[#]桥墩墩柱上游→4[#]桥墩墩柱下游→4[#]桥墩盖梁→2[#]跨上部结构→3[#]桥墩→1[#]跨上部结构→2[#]桥墩。

4 安全距离计算及防护措施

4.1 爆破飞石安全距离及防护措施

依据《爆破安全规程》(GB6722—2003) 中的第 6.2.2 条规定^[8],深孔爆破时个别飞石对人员的安全距离不小于 200 m。因此,爆破飞石可能飞到甚至超过最近 60 m 处的居民楼,必须采取防护措施:在主拱圈、盖梁等爆破暴露部位用麻袋装上泥土多层压重直接覆盖防护;在桥梁上、下游两侧边拱肋吊挂多层麻袋、稻草防护帘和建筑密目网间接防护。

4.2 爆破振动对周围建筑物的影响

爆破地震波安全距离依据《爆破手册》^[9] 中公式计算:

$$v = K(Q^{1/3}/R)^{\alpha} \tag{1}$$

式中: v 为保护对象所在地质点振动安全距离允许速度,cm/s; Q 为炸药量,取桥墩最大装药量 $Q = 272\text{kg}$; R 为爆源中心至保护建筑物的距离,取 2[#]桥墩距 7 层砖混结构楼房距离 $R = 110\text{m}$; K 、 α 为与爆破点至计算保护对象间的地形、地质条件有关的系数和衰减指数,根据文献[6],结合本工程实际,取爆区岩性属坚硬岩石: $K = 100$ 、 $\alpha = 1.5$ 。经过计算, $v = 1.430\text{cm/s}$ 。小于一般砖房的安全允许振动速度 2.300cm/s 。由此可见,爆破振动对周边建(构)筑物是安全的。

4.3 水中冲击波超压对下游电站的影响

在该桥爆破时水位很高,根据中国水科院在葛洲坝围堰爆破拆除时回归得到的水中冲击波压力计算公式^[10]:

$$p_m = 31.2(Q^{1/3}/R)^{1.36} \tag{2}$$

式中: p_m 为水中冲击波的峰值压力,MPa; R 为爆源至测点距离,m,取大桥下游红碧岩电站距离 1900m ; Q 为水下爆破最大单响药量,kg,取 $Q = 244\text{kg}$ 。

计算得 $P_m = 0.013\text{MPa}$ 。因此,冲击波峰值压力对下游水电站基础没有影响。

5 桥梁爆破效果

起爆后,该桥梁在设计起爆时间内由东向西逐

跨坍塌,周围建筑物安然无恙。后期清运爆渣,爆破后及时泄水降低水位显示,桥梁结构全部解体破碎,爆破效果良好。

由于桥墩位于水中且水位较高,虽然在爆破前查勘河道及上下游电站,就爆破后的涌浪对电站闸门的影响作了评估。但忽视了涌浪对安全警戒范围外小型船舶的影响。爆破后得知涌浪将相距 256m 处的一艘小船差点打翻,所幸未发生伤亡事故。在今后的类似水下爆破时必须慎重考虑水中爆破涌浪的影响,确保爆破全过程安全。

参 考 文 献

- [1] 慎重,舒劲松. 病害板肋石拱桥检测技术与剩余承载力评估[J]. 建筑技术开发,2009(9):8-11.
Shen Zhong, Shu Jinsong. Slab rib stone arch bridge disease detection technology and residual bearing capacity evaluation [J]. Construction Technology Development, 2009(9):8-11.
- [2] 高育滨,刘智庆. 深孔微差爆破在拆除大体积桥墩中的应用[J]. 工程爆破,2000,6(2):42-45.
Gao Yubin, Liu Zhiqing. Application of deep-hole millisecond blasting technique in demolition of large-volume bridge piers [J]. Engineering Blasting, 2000, 6(2):42-45.
- [3] 单志国,毛益松,任才清,等. 濒危钢筋混凝土双曲拱桥的控制爆破拆除[J]. 采矿技术,2011,10(5):164-165.
Shan Zhiguo, Mao Yisong, Ren Caiqing, et al. Demolition of a endangered reinforced concrete double-convex arched bridge using controlled blasting [J]. Mining Technology, 2011, 10(5):164-165.
- [4] 王永强,张久龙,王朝晖,等. 石拱桥爆破拆除[J]. 工程爆破,2005,11(2):55-56,58.

- Wang Yongqiang, Zhang Jiulong, Wang Zhaohui, et al. Controlled blasting demolition of stone arch bridge [J]. Engineering Blasting, 2005, 11(2):55-56, 58.
- [5] 汪旭光. 爆破设计与施工 [M]. 北京:冶金工业出版社,2011:227-234.
Wang Xuguang. Blasting design and construction [M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 2011:227-234.
- [6] 费鸿禄,付天光,蔡伟,等. 钢筋混凝土大桥爆破拆除技术[J]. 工程爆破,2004,10(3):37-40.
Fei Honglu, Fu Tianguang, Cai Wei, et al. Blasting technology for demolition of a long ferroconcrete bridge [J]. Engineering Blasting, 2004, 10(3):37-40.
- [7] 王守伟,唐家明. 大直径中深孔在桥梁爆破中的应用探讨[J]. 爆破,2011,28(1):89-91,106.
Wang Shouwei, Tang Jiaming. Large bore diameter charge and middle-deep hole explosive demolition technology in bridge [J]. Blasting, 2011, 28(1):89-91, 106.
- [8] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. GB6722—2003 爆破安全规程[S]. 北京:中国标准出版社,2004.
Law of the People's Republic of China. GB6722—2003 Blasting safety regulations [S]. Beijing: Standards Press of China, 2004.
- [9] 汪旭光. 爆破手册 [M], 北京:冶金工业出版社,2010:940-942.
Wang Xuguang. Handbook of blasting [M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 2010:940-942.
- [10] 陆遐龄,梁向前,胡光川,等. 水中爆炸的理论研究与实践[J]. 爆破,2006,23(2):9-13.
Lu Xialing, Liang Xiangqian, Hu Guangchuan, et al. Theoretical research and engineering practice about underwater blasting [J]. Blasting, 2006, 23(2):9-13.

The Application of Deep-hole Blasting Technology in the Blasting Demolition of Ribbed Slab Stone Arch Bridge

MAO Yisong^① WANG Sheng^② SAN Zhiguo^② WANG Qingtao^① LI Xiaoyang^②

①National University of Defense Technology (Hu'nan Changsha, 410073)

②Hu'nan Changgong Engineering and Construction Co., Ltd. (Hu'nan Changsha, 410003)

[ABSTRACT] This study presents the blasting demolition scheme, the blasting parameters design and the blasting damage control of the 382m long Egret Bay Ribbed slab stone arch bridge in Zhangjiajie City. Considering the larger diameter of 3-5 meters of the pier column and the alignment of intensive steel bars within the bent cap as the main bearing part, the geological drilling rigs equipped with the alloy core drills were used to demolish the reinforced concrete of bent cap in the drilling operation and then replaced by the caterpillar down-the-hole drill to accomplish the subsequent drilling process for the pier column. The employed method can successfully overcome the difficulties which may arise in lateral drilling of the pier column due to the high water level. Deep-hole blasting technology has no impact on the surrounding buildings and the base of downstream hydropower station when $v = 1.430\text{cm/s}$ and $p_m = 0.013\text{MPa}$ were chosen via safety checking calculation.

[KEY WORDS] deep-hole blasting, ribbed slab stone arch bridge, blasting demolition, millisecond blasting