

二期围堰泄流槽体型及开挖施工技术

杜震宇^{1,2}, 王永平³, 邹伟³, 杨庆^{1,2}, 戴光清^{1,2}

(1. 水力学与山区河流开发保护国家重点实验室, 成都 610065;
2. 四川大学水利水电学院, 成都 610065; 3. 中国安能建设总公司, 北京 100032)

摘要: 某水电站二期围堰受客观条件限制难以全部拆除至设计高程, 故在明渠截流前, 先在二期围堰上开挖泄流槽导流。截流模型试验结果表明, 为增大泄流槽的分流比, 降低截流落差, 应尽可能降低泄流槽底高程; 若向下深挖施工困难, 可以扩宽泄流槽。施工过程中, 通过分区开挖围堰、一次性爆破防渗墙至设计高程、在防渗墙下游超挖水力冲刷堆渣坑等措施, 尽可能深挖泄流槽。

关键词: 二期围堰; 泄流槽; 施工方法; 明渠截流

中图分类号: TV 551.3 文献标志码: A 文章编号: 1672-1683(2015)02-0366-04

Study on the shape and excavation methods of trench on the second phase cofferdam

DU Zhenyu^{1,2}, WANG Yongping³, ZOU Wei³, YANG Qing^{1,2}, DAI Guangqing^{1,2}

(1. State Key Laboratory of Hydraulics and Mountain River Engineering, Chengdu 610065, China;
2. School of Water Resources and Hydropower, Chengdu 610065, China;
3. China Anneng Construction Corporation, Beijing 100032, China)

Abstract: Due to that the demolition altitude is hard to reach under practical limitations, a diversion trench was excavated on the second stage cofferdam to divert water before the open diversion channel closure of a hydropower station. The hydraulic closure model test results indicated that the shape of diversion trench affects the difficulty of the closure, and reducing the bottom elevation of the diversion trench is essential to reduce the closure drop and increase the diversion ratio of trench. If deep excavation is hard to conduct, an alternative is to increase the bottom width of diversion trench. During the construction, several measures were adopted to dig the diversion trench as deeply as possible, including excavation in different parts, blasting diaphragm wall to the design altitude at one time, and excavating a hydraulic scour pit behind the diaphragm wall.

Key words: second stage cofferdam; diversion trench; construction method; open diversion channel closure

在施工导流过程中, 明渠截流是一个节点项目^[1]。明渠截流前, 需要拆除二期上下游围堰至相应的设计高程。针对三峡工程二期围堰拆除施工存在的问题, 肖兴恒等^[2]总结了三峡工程二期围堰拆除施工具有工程量大、工期紧和水下开挖强度高施工特点; 朱红兵等^[3]、郑守仁^[4]、杨文俊等^[5,6]探讨了围堰拆除范围及形式对三期截流难度的影响, 并提出了分区开挖、增大每日开挖量等保障围堰拆除施工质量的措施。对一些工程而言, 由于受客观条件限制, 二期上游围堰往往难以全部拆除至设计高程^[7,8], 因此在明渠截流前, 仅能在二期围堰上开挖泄流槽导流, 且泄流槽的开挖体型影响明渠截流过程, 加上泄流槽开挖施工受围堰防渗墙爆破高程及防渗墙前端水下施工等因素的影响, 泄流槽开挖施工存在一

定的难度。

本文以某水电站为例, 针对这种特殊的情况, 进行了不同泄流槽开挖体型下的截流模型试验研究, 通过分析截流试验成果及实际开挖施工方法后, 得到了一些施工经验, 可以为类似工程施工提供参考。

1 工程概况

某水电站总装机容量 510 万 kW, 工程分为三期施工: 一期修建左岸导流明渠, 二期修建大坝和厂房, 三期修建明渠坝段。导流明渠位于河道左岸, 底宽 35.0 m, 进口高程 3 248.0 m, 出口高程 3 243.0 m。明渠截流设计标准为 10 年一遇 10 月中下旬平均流量 960 m³/s, 11 月上旬平均流量 798 m³/s。拟采用左岸单向进占、单戽立堵的截流方

收稿日期: 2014-06-20 修回日期: 2015-02-05 网络出版时间: 2014-03-19

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20150319.0930.007.html>

作者简介: 杜震宇(1989), 男, 湖北荆州人, 主要从事水工水力学研究。E-mail: duzhenyu2008@foxmail.com

通讯作者: 杨庆(1976), 男, 重庆人, 博士, 主要从事水工水力学及河流动力学方面的研究。E-mail: yangqing411@126.com

式,由设置在大坝内的4孔导流底孔和2孔永久冲砂底孔导流,导流底孔与冲砂底孔底高程均为3 246.0 m,过流总宽度为37.0 m。明渠截流戗堤平面布置见图1。

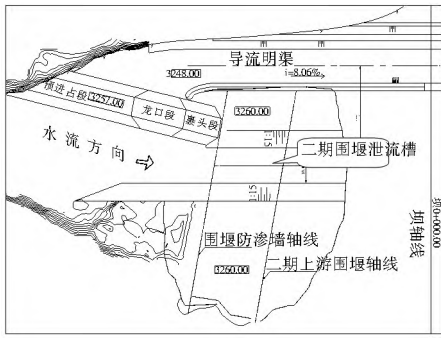


图1 截流戗堤布置

Fig. 1 Layout diagram of the closure dike

二期上游围堰顶宽10.0 m,堰顶高程3 280.0 m,围堰轴线总长246.8 m,开挖方量总计为64.7万m³。在三期截流前,二期围堰难以全部拆除到设计的3 246.0 m高程,故在施工组织时,初步拟定先将围堰整体拆除至3 260.0 m高程,然后在3 260.0 m高程平台上开挖泄流槽导流。根据水文资料,在明渠截流时段内,戗堤上游水位在3 253.0 m至3 253.80 m之间变化。综合考虑施工机械和实际情况,泄流槽的底高程选取为3 248.0 m,槽口底宽37.0 m(与导流底孔及冲砂底孔过流总宽度相等),泄流槽两侧边坡为1:1.5(图2)。

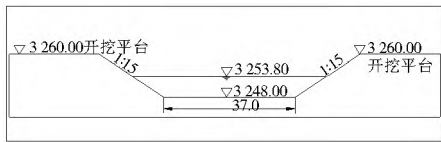


图2 泄流槽横剖面

Fig. 2 The transverse section of diversion trench

2 泄流槽体型试验研究

为了探究泄流槽体型对明渠截流难度的影响,在实际截流之前,进行了物理模型试验来模拟实际截流过程。模型是以重力相似准则设计的正态模型,长度比尺为1:50。试验测量了不同泄流槽开挖宽度及不同槽底开挖高程情况下明渠截流过程中龙口水力学指标,通过分析在不同工况下这些水力学指标的变化,来探求较为合适的泄流槽体型。

当泄流槽底宽 $B=37.0$ m,泄流槽底高程 $Z=3 250.0$ m,截流流量 $Q=798$ m³/s时,此工况下合龙过程中龙口各项水力学指标试验成果见表1。由表1知道,此工况下截流最终落差为5.44 m,在龙口宽度为20.0 m时,龙口流速最大,达到5.60 m/s,单宽功率达到最大值,为495.81 kW/m,为截流最困难时段。

如果保持 $B=37.0$ m和 $Q=798$ m³/s不变,将 Z 由3 250.0 m降低至3 248.0 m,两种工况试验结果对比见图3。

由图3可以看出,相同龙口宽度下,在整个合龙过程中,将泄流槽底高程由3 250.0 m降低成3 248.0 m时,截流落

表1 龙口处各项水力学指标($Q=798$ m³/s)

Tab. 1 Hydraulics indicators in the closure mouth($Q=798$ m³/s)

龙口宽度/m	上游水位/m	下游水位/m	截流落差/m	平均流速/(m·s ⁻¹)	单宽功率/(kW·m ⁻¹)	泄流槽分度/流比(%)
50.0	3 253.08	3 251.75	1.33	3.60	193.54	40.95
40.0	3 253.23	3 251.25	1.98	3.76	297.06	47.27
30.0	3 253.55	3 251.15	2.40	5.08	413.26	58.74
20.0	3 254.38	3 251.20	3.18	5.60	495.81	76.20
15.0	3 254.65	3 250.90	3.75	4.90	404.50	89.31
0.0	3 254.90	3 249.46	5.44	/	/	/

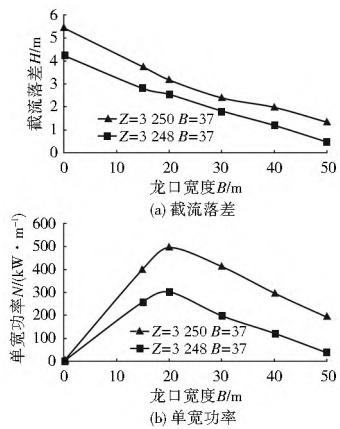


图3 两种工况下的截流水力学指标对比

Fig. 3 Comparison of hydraulics indicators between two different working conditions

差均降低了1.3 m左右,合龙后截流落差最后降低了1.2 m。在截流最困难时段,龙口宽度为20.0 m时,截流落差减少了19.8%,单宽功率由495.81 kW/m降低至302.56 kW/m,减少了39.0%,降低的幅度较大。

当 $B=37.0$ m, $Z=3 248.0$ m, $Q=960$ m³/s时,此工况下合龙过程中龙口各项水力学指标试验成果见表2,由表2知道,此工况下截流最终落差为4.55 m,在龙口宽度为20.0 m时,龙口流速最大,为5.42 m/s,单宽功率达到最大值,为508.87 kW/m,此时截流较为困难。

表2 龙口处各项水力学指标($Q=960$ m³/s)

Tab. 2 Hydraulics indicators in the closure mouth($Q=960$ m³/s)

龙口宽度/m	上游水位/m	下游水位/m	截流落差/m	平均流速/(m·s ⁻¹)	单宽功率/(kW·m ⁻¹)	泄流槽分度/流比(%)
50.0	3 251.88	3 250.70	1.18	3.60	134.92	64.54
40.0	3 252.38	3 250.55	1.83	4.82	273.66	72.07
30.0	3 253.13	3 250.50	2.63	5.36	393.29	78.36
20.0	3 253.40	3 250.30	3.10	5.42	508.87	84.92
15.0	3 253.55	3 250.10	3.45	5.20	439.80	91.00
0.0	3 253.70	3 249.15	4.55	/	/	/

如果保持 $Z=3 248.0$ m和 $Q=960$ m³/s不变,将 B 由37.0 m增大至50.0 m,两种工况试验结果对比见图4。

由图4可以看出,在相同龙口宽度下,将泄流槽底宽度由37.0 m变成50.0 m时,龙口宽度从50.0 m到20.0 m过程中,截流落差降低了0.5 m左右,龙口从20.0 m到合龙过程中,截流落差基本相当。在截流困难时段,龙口宽度为20.0 m时,截流落差减少了6.1%,单宽功率由508.87 kW/m

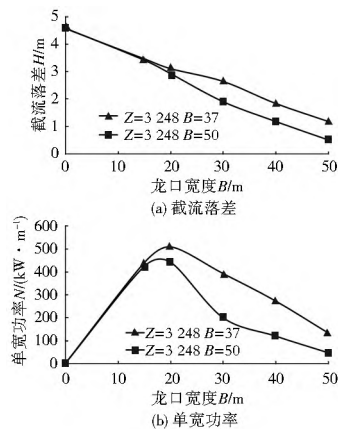


图 4 两种工况下载流水力学指标对比

Fig. 4 Comparison of hydraulics indicators between two different working conditions

降到 442.58 kW/m, 减少了 13.0%。龙口从 20.0 m 到合龙的过程中, 两工况截流落差、龙口流速及单宽功率均相差不大。

当泄流槽的底高程为 3248.0 m, 底宽为 37.0 m 时, 截流流量 960 m³/s 时泄流槽的泄流能力足够, 按此方案施工截流是可行的。当泄流槽的底高程为 3250.0 m, 底宽为 37.0 m, 截流流量为 960 m³/s 时, 在截流困难段, 即龙口进占到 30 m 时, 龙口水力学指标大, 截流困难。

根据模型试验成果, 相比于扩宽泄流槽而言, 降低泄流槽底高程对降低截流落差的效果更为显著。因此为降低明渠截流难度, 应优先降低泄流槽底高程, 如果遇到水下开挖施工困难的情况, 可以增大泄流槽的宽度。

3 泄流槽开挖施工技术

3.1 分区开挖施工

土石围堰断面较大, 因此在明渠截流前, 待上游水位下降后, 开始从围堰的背水坡进行分层拆除, 水上部分一般用 1.6~2 m³ 挖掘机挖除, 水下部分防渗墙用爆破法进行拆除, 防渗墙前端用长臂挖掘机进行清渣。针对三峡工程二期围堰拆除时, 就是通过围堰防渗墙控制爆破, 将经济断面背水侧部分堰体由水下挖除改为陆地开挖等施工措施保证了拆除工作按时完工^[9]。

根据前文截流模型试验, 参考已有的施工经验和本工程实际, 本次将二期上游围堰开挖分为如下 4 区(图 5)。

I 区包括 3260.0 m 平台高程以上以及距离防渗墙轴线 20 m 外的下游侧 3260.0~3248.0 m 高程范围, 全为水上开挖, 采用 1.6~2 m³ 挖掘机挖装。

II 区为防渗墙后泄流槽处开挖, 工作面相对狭窄, 分区高度 7 m, 分两层进行, 层高 3.5 m, 采用 1.6~2 m³ 挖掘机挖装。

III 至 IV 区为水下缺口处开挖, 工作面相对狭窄, 在坝体上、中、下游共布置 3 个装渣工作面。每个工作面水下 3 m 范围内先用 1.6~2 m³ 挖掘机挖装; 3 m 以下再用长臂挖掘机水下掏挖, 一次掏挖到底, 1.6~2 m³ 挖掘机配合长臂挖掘机装渣。

3.2 防渗墙爆破拆除

针对围堰防渗墙爆破及水下爆破拆除问题, 参考已有实

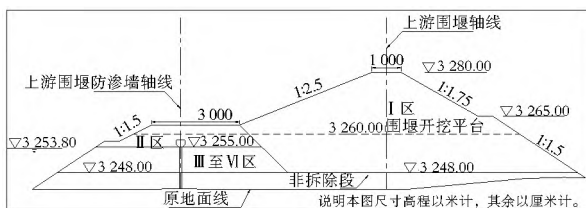


图 5 二期围堰开挖分区

Fig. 5 Excavation partitions of the second stage cofferdam

际工程经验^[10-15], 结合本工程实际情况, 本工程防渗墙拆除采用了控制爆破的方法。为保证将二期围堰泄流槽底部开挖至 3248.0 m 高程, 爆破后石块大小适中, 便于挖装, 且不留残埂, 控制爆破采用密孔装药、全段连续耦合装药结构形式, 线装药密度控制在 2.86 kg/m, 防渗墙控制爆破参数见表 3。起爆网路设计为 5 孔一段, 非电毫秒雷管逐段起爆, 孔内中部和底部分包各装 1 发相同段位非电毫秒雷管。防渗墙一次性爆破碎裂后, 随堰体用 1.6~2 m³ 挖掘机挖装, 配 20 t、25 t 自卸汽车运输, 部分墙体及爆破后的大块体使用破碎锤破碎。

表 3 防渗墙控制爆破参数

Tab. 3 The drilling and blasting parameters of the diaphragm wall

项目	参数
布孔方式	在防渗墙轴线布单排垂直孔
孔距/m	0.8
孔深/m	最大孔深为 9.0
钻孔直径/mm	105
装药直径	使用 E60 管状乳化炸药
堵塞长度/m	1.0
装药结构	连续耦合装药
线装药密度/(kg·m ⁻¹)	2.86
每孔装药量/kg	28.6
炸药单耗/(kg·m ⁻³)	6.06

3.3 水力冲刷堆渣坑

为了确保防渗墙开挖到位, 减少防渗墙残埂影响, 在防渗墙拆除前, 将防渗墙下游 20.0~30.0 m 范围内 3248.0 m 高程以下超挖 2.0~3.0 m 深, 作为防渗墙爆破以及水力冲刷堆渣坑(见图 6)。对于防渗墙前端的水下开挖施工, 待防渗墙水下爆破后, 随着二期围堰泄流槽上游水位降低, 将开挖渣料顺水流方向推向下游水力冲刷堆渣坑。

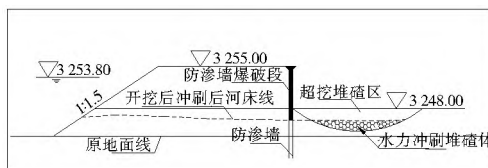


图 6 水力冲刷堆渣坑示意图

Fig. 6 Hydraulic scour pit behind the diaphragm wall

3.4 实际施工结果

实际截流时, 二期围堰上游水位在 3253.0~3254.0 m 之间变化, 较预估值要高, 实际防渗墙爆破高程为 3251.0 m, 防渗墙前端开挖至水下 3251.0 m, 防渗墙后端开挖至

3 250 0 m, 泄流槽槽口底宽增大至 50 0 m, 两侧边坡为 1: 1.5, 其他开挖部分按照施工设计施工。龙口合龙时该水电站实际流量为 946~ 957 m³/s, 龙口最终成功截流。

4 结论

(1) 为降低泄流槽底高程, 降低明渠截流难度, 可以通过分区开挖二期围堰、一次性爆破防渗墙至设计高程和保证防渗墙前端水下掏挖开挖到位等施工方法来尽可能地深挖泄流槽。

(2) 为了确保开挖到位, 减少防渗墙爆破残埂影响, 在防渗墙拆除前, 在防渗墙下游一定范围内一定高程以下超挖一定深度, 作为防渗墙爆破以及水力冲刷堆碴坑。

(3) 在实际开挖施工过程中, 如果遇到防渗墙前端水下开挖施工困难的情况, 可以通过增大泄流槽的宽度来增大泄流槽的泄流能力。

参考文献(References):

- [1] 袁光裕. 水利工程施工[M]. 第5版, 北京: 中国水利水电出版社, 2009: 35-36. (YUAN Guang-yu. The construction of water conservancy project [M]. The fifth edition, Beijing: China waterpower press, 2009: 35-36. (in Chinese))
- [2] 肖兴恒, 曹炎. 三峡工程二期围堰拆除施工难点及对策[J]. 中国三峡建设, 2001, 01: 10-11. (XIAO Xingheng, CAO Qian. Removal of second stage cofferdams at Three Gorges Project [J]. China Three Gorges construction, 2001, 01: 10-11. (in Chinese))
- [3] 朱红兵, 陈伟锋, 陈辉. 三峡工程二期围堰拆除方式与三期截流关系研究[J]. 长江科学院院报, 2002, 19(6): 6-9. (ZHU Hongbing, CHEN Weifeng, CHEN Hui. Influence of removal mode of second stage cofferdam on TGP's third stage river closure and retaining generation [J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2002, 19(6): 6-9. (in Chinese))
- [4] 郑守仁. 三峡工程三期围堰及截流设计关键技术问题[J]. 人民长江, 2002, 33(1): 7-10. (ZHENG Shouren. Key technical issues in the design of stage cofferdam and river closure of TGP [J]. Yangtze River, 2002, 33(1): 7-10. (in Chinese))
- [5] 杨文俊, 戴会超, 周良景, 等. 三峡工程明渠截流难度影响因素及其改善措施[J]. 长江科学院院报, 2001, 18(5): 14-17. (YANG Wenjun, DAI Huichao, ZHOU Liangjing, et al. Research on affecting factors of closure difficulties and engineering measures for TGP's 3rd stage open channel closure [J]. Yangtze River, 2001, 18(5): 14-17. (in Chinese))
- [6] 杨文俊, 郑守仁. 三峡工程明渠提前截流关键技术及措施研究[J]. 人民长江, 2005, 36(7): 28-32. (YANG Wenjun, ZHENG Shouren. Research on the key technologies and measures for TGP's 3rd stage open channel advanced closure [J]. Yangtze River, 2005, 36(7): 28-32. (in Chinese))
- [7] 杜震宇, 戴光清, 杨庆, 等. 二期围堰泄流槽开挖方式对明渠截流影响试验研究[J]. 中国农村水利水电, 2014(11): 113-116. (DU Zhenyu, DAI Guangqing, YANG Qing, et al. Experimental research on open diversion channel closure by different diversion trenches of the second stage cofferdam [J]. China Rural Water and Hydropower. 2014(11): 113-116. (in Chinese))
- [8] 马旭东, 戴光清, 杨庆, 等. 明渠截流折线形戽堤轴线的选择与研究[J]. 水电能源科学, 2009, 27(2): 90-93. (MA Xudong, DAI Guangqing, YANG Qing, et al. Study and selection of closure dike axis in diversion channel [J]. Water Resources and Power, 2009, 27(2): 90-93. (in Chinese))
- [9] 孙峰, 覃壮恩, 鲍玉贵. 三峡二期上游围堰拆除施工方案优化[J]. 水力发电, 2004, 30(3): 34-35. (SUN Feng, QIN Zhuang'en, BAO Yugu. Removal in the second stage cofferdam of the upper reaches of the Three Gorges Project [J]. Water Power, 2004, 30(3): 34-35. (in Chinese))
- [10] 李祥金, 李书碧. 三峡工程二期围堰混凝土防渗墙控制爆破拆除技术[J]. 爆破, 2003, 20(3): 36-39. (LI Xiangjin, LI Shubi. Demolition of concrete antiseeping wall of the second stage cofferdam in the Three Gorges Project by controlled blasting [J]. BLASTING, 2003, 20(3): 36-39. (in Chinese))
- [11] 贺建清, 陈和平, 雷玲. 某工程体水下拆除爆破[J]. 矿冶工程, 2001, 21(4): 7-9. (HE Jianqing, CHEN Heiping, LEI Ling. Blasting demolition of underwater cofferdam of a certain project [J]. Northwest Hydropower. 2001, 21(4): 7-9. (in Chinese))
- [12] 李东锋. 向家坝水电站二期纵向围堰混凝土爆破拆除施工[J]. 西北水电, 2012, 21(5): 42-45. (LI Dongfeng. Demolition of Stage II Concrete Longitudinal Cofferdam by Blasting Operation, Xiangjiaba Hydropower Station [J]. Northwest Hydropower. 2012, 21(5): 42-45. (in Chinese))
- [13] 杨学祥, 李焰. 围堰防渗墙槽内水下爆破[J]. 爆破, 2004, 21(1): 69-72. (YANG Xuexiang, LI Yan. Underwater blasting of the antiseep wall of cofferdam [J]. BLASTING, 2004, 21(1): 69-72. (in Chinese))
- [14] 傅海峰. 三峡工程三期碾压混凝土围堰爆破拆除方案[J]. 爆破, 2000, 17(1): 43-49. (FU Haifeng. Study on explosive demolition program of compaction concrete cofferdam of Three Gorges third stage engineering [J]. BLASTING, 2000, 17(1): 43-49. (in Chinese))
- [15] 张忠伟, 任舸, 李洪涛. 锦屏二级水电站导流隧洞进口围堰拆除爆破[J]. 爆破, 2011, 28(4): 77-80. (ZHANG Zhongwei, REN Ge, LI Hongtao. Explosive demolition of intake cofferdam of diversion tunnel on Jingping 2nd hydropower station [J]. BLASTING, 2011, 28(4): 77-80. (in Chinese))