

Y型窄缝挑坎在水电站导流泄洪洞中的应用

张勇¹, 刘韩生², 汪洋¹, 洪新¹

(1. 新疆水利水电勘测设计研究院, 新疆 乌鲁木齐 830000;
2. 西北农林科技大学 水利与建筑工程学院, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 针对出口位于特别狭窄的河谷导流泄洪洞而言, 选择合适的鼻坎形式非常重要。本文在分析各种挑流鼻坎体型及其适应范围的基础上, 提出一种Y型窄缝挑流挑坎形式, 并借助某水电站泄洪导流洞的模型试验研究资料, 对该体型的水舌形式进行研究。结果表明: 泄洪导流洞出口采用Y型窄缝挑流鼻坎后, 既能在各种工况下都形成纵向拉开水舌, 又能满足工作水头变幅巨大的运行要求, 且导流期和永久泄洪期采用同一挑坎, 无须改建。

关键词: 导流兼泄洪洞; Y型窄缝挑坎; 水舌; 消能防冲

中图分类号: TV651.1 文献标识码: A 文章编号: 1672-643X(2015)04-0149-04

Application of Y type narrow slit in discharge and diversion tunnel of hydropower station

ZHANG Yong¹, LIU Hansheng², WANG Yang¹, HONG Xin¹

(1. Xinjiang Water Conservancy & Hydropower Survey and Design Institute, Urumqi 830000, China;

2. College of Water Resources and Architectural Engineering, Northwest A & F University, Yangling 712100, China)

Abstract: It is very important to select the appropriate type bucket for diversion and discharger tunnel at the export of particularly narrow valley. Based on the analysis of various bucket size and adaptation range, the paper proposed a Y type narrow slit. By aid of test data of discharge and diversion tunnel of a hydropower station, the paper studied the form of water tongue. The study found that after the discharger and diversion tunnel outlet used Y type narrow slit, the tunnel can not only form longitudinal pull water tongue in a variety of conditions and also satisfy the operation requirement of large working head amplitude change. The same bucket is used in diversion stage and permanent flood discharge without alteration.

Key words: discharger and diversion tunnel; Y type narrow slit; water tongue; energy dissipation and scour prevention

1 工程概况

某水电站工程为大(2)型工程, 主要建筑物包括大坝、表孔溢洪道、导流兼深孔泄洪洞、发电引水建筑物、水电站厂房。大坝为混凝土面板砂砾-堆石坝, 最大坝高106 m, 坝顶宽度为10 m, 上游坝坡为1:1.6, 下游坝坡为1:1.5。溢洪道布置在左岸, 采用开敞式, 由引渠段、控制段、渐变段、泄槽段、挑流段组成。

导流兼深孔泄洪洞位于左岸山体内, 且位于发

电引水洞右侧, 进口在坝轴线上游110 m处, 出口在坝轴线下游322 m处。导流兼深孔泄洪洞由引渠段、闸井段、洞身段、出口明槽段及护坡段组成, 全长589.4 m。进口型式为岸塔式, 导流兼深孔泄洪洞采用无压泄流方式, 出口采用窄缝式挑坎消能。导流兼深孔泄洪洞体型的特点为无压且洞身长(465.7 m)、坡度缓(纵坡 $i=0.02$), 由于进水塔前水头较高, 洞身流速较高, 流速基本在21.12~24.80 m/s; 作为工程唯一的导流洞, 又要兼负汛期导流泄洪任务, 该运行期水头又低, 流速也较低。大坝下游为典

型的深山峡谷地带,河谷呈“V”型地貌,现代河床极其狭窄,河床宽度只有13 m,个别断面宽度甚至为8m。两岸山体雄厚、岩石裸露,岸坡陡峻,坡度多在 $60^{\circ} \sim 80^{\circ}$,局部为陡坎、近乎直立。如何选择一种合理鼻坎,既能满足高水头、窄河谷泄洪消能要求,又能顺利完成施工期低水头、小流速的度汛任务,是本论文研究的主要目的。

2 出口鼻坎的选择分析

2.1 窄缝挑坎的发展

窄缝挑坎的运用应该追溯到20世纪50年代,1954年建成的葡萄牙卡勃利尔拱坝,首次采用窄缝消能工。随后1962年建成的伊朗阿米尔-卡比尔坝,右岸两孔溢洪道也采用了窄缝消能工。70年代西班牙建成的阿尔门德拉拱坝、巴埃尔斯坝、贝莱萨尔、阿尔巴雷洛斯双曲拱坝、阿塔萨尔双曲拱坝等均采用了窄缝式消能工。我国对窄缝挑坎的认识要从20世纪70年代林秉南院士将窄缝式消能工介绍到中国之后开始,龙羊峡、东江水电站最早采用窄缝挑坎,将其付诸大型工程实践,掀起了我国研究、应用窄缝挑坎的高潮^[1]。其后,安康、东风、李家峡、南一、天生桥一级、洪家渡、隔河岩、漫湾、小湾、拉西瓦、大朝山、卡房、三峡、小浪底、乌鲁瓦提、恰甫其海、珊溪、糯扎渡、向家坝、江坪河、龙滩、小湾、水布垭、岩滩、丙巷河、棉花滩、高塘、潘家口、石头河、茄子山、鲁布革、柴石滩、水口、锦屏一级等一大批大中型水利水电工程采用窄缝挑坎,为我国作出重大贡献^[2-3]。窄缝挑坎特别适合高山峡谷河床,本工程河谷极其狭窄,其导流兼深孔泄洪洞出口原设计采用窄缝挑坎,比较合适。

2.2 窄缝挑坎分析

窄缝挑坎对于坝型无特别限制,既适合土石坝,也适合各种混凝土坝^[4-5];针对泄洪流量而言,既适合大流量泄水道,也适合中小流量泄水道;在位置方面,既可应用于岸边泄水道,也可应用于坝身泄水道;无论坝身泄水道,还是岸边泄水道,窄缝挑坎既适合表孔,也适合中孔、深孔或底孔。需要特别明确,窄缝挑坎只适合挑流消能,不适合底流消能或面流消能。

综观国内外窄缝挑坎,目前皆用于永久泄水道,尚无用于导流洞的先例,而对于本工程而言,导流兼深孔泄洪洞担负两种功能,既要承担全部的初期导流任务,也要承担永久泄洪洞的功能,而且从经济角度分析,导流兼深孔泄洪洞要同时满足两种功能,即

同一泄水道,在不进行任何改造的条件下,完成两种截然不同的任务。对于窄缝挑坎而言,尚无工程经验借鉴,只能采用新型挑坎。

2.3 导流洞与窄缝挑坎研究

泄洪洞采用窄缝挑坎的工程实例较多^[6-9],研究得多,也深入得多,对于导流洞,研究甚少,某水电站采用导流兼深孔泄洪洞形式处理泄水建筑物,经济可行,但在技术上提出新要求,因此有必要分析为何导流洞不采用窄缝挑坎。窄缝挑坎的消能原理是利用泄水建筑物末端挑坎边壁的收缩,使出射水流的流线方向沿高程变化,从而形成纵向拉开水舌,即水舌在纵向充分扩散,造成水舌射流进入下游尾水的面积增大,提高了消能效率,减小了高速水流对下游河床的冲刷。要形成纵向拉开水舌,窄缝挑坎必然对水流有一定的限制,否则不能形成预期水舌,而是在挑坎内或挑坎上游形成水跃,出挑坎水流成为跌流,不能满足流态要求。现有窄缝挑坎均有起挑库水位,只有当库水位高于起挑库水位,才能形成窄缝纵向拉开水舌,即只有水头达到一定值,才满足窄缝挑坎的应用条件。对于导流兼深孔泄洪洞,其洞身长、坡度缓,初期导流水头又较低,其水流条件无法满足现有窄缝挑坎的要求。

为了实现导流洞出口窄缝挑坎的泄洪目的,通过1:30的整体水力模型试验,对本工程导流兼深孔泄洪洞水力学问题进行了深入研究。试验模型按重力相似准则进行设计^[10]。

图1为工作闸门全开时,一典型窄缝挑坎水流流态,试验测试发现,这种坎起挑水位为1871.00 m,即1871.00 m水位以下挑坎前均形成水跃,没有形成窄缝挑坎所要求的纵向拉开水舌,水跃起点最远已到洞出口前20 m处。所产生的水跃封住出口,影响导流洞身流态,不利泄水道运行。而这种运行工况,在初期导流期间是不可避免的。随着库水位的降低,水跃还会往上游移动,对工程正常运行更不利。而本工程导流期最高库水位为1871.75 m,即几乎所有的导流工况都不能形成挑流。

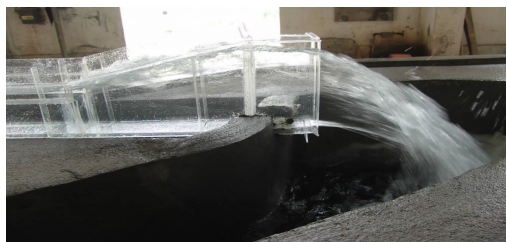


图1 典型窄缝挑坎导流流态(库水位1864.58m)

2.4 Y型窄缝挑坎体型研究

由于现有窄缝挑坎无法满足本工程要求,只有研究新的窄缝挑坎,理论分析表明,存在Y型窄缝挑坎,文献[11]也提到了这种窄缝挑坎。将Y型窄缝挑坎化为现实消能工,并付诸工程事实,解决现有窄缝挑坎无法解决的实际工程问题。

本工程通过大量的水力模型试验,提出了一种推荐Y型窄缝挑坎体型(下文简称推荐挑坎),见图2。其特点为:

(1)出口断面过水轮廓类似英文大写字母Y,故称“Y型窄缝挑坎”,其对水流的收缩沿高程不同,对于上部梯形部分,位置越高对水流的侧收缩程度越小,这是Y型窄缝挑坎在任何工况下均能形成纵向拉开水舌的重要原因;

(2)对于下部矩形部分,与常规的窄缝挑坎相

同,从高到低对水流的侧收缩程度基本相同,这样可以保证小流量情况下仍能形成纵向拉开水舌;

(3)Y型窄缝挑坎是典型的三维结构,其两边壁采用垂直立面和斜平面组合,边墙无曲面,使挑坎便于施工。这是借鉴曲面贴角窄缝挑坎经验的结果。龙羊峡、安康及恰甫其海水电站都采用了西北水利科学研究所提出的曲面贴角窄缝挑坎,施工部门的反馈意见为:这种窄缝挑坎水力特性良好,但曲面贴角体型比较复杂,不便施工,在目前普遍机械化施工的背景下,更不利施工,建议边墙最好优化成平面;

(4)Y型窄缝挑坎边墙下宽上窄,这是力学性能优良的结构。常规窄缝挑坎出口为又窄又高的矩形,边墙上下同宽,边墙的力学结构欠佳,这是常规窄缝挑坎的主要缺点,本文推荐的Y型窄缝挑坎克服了这一个缺点。

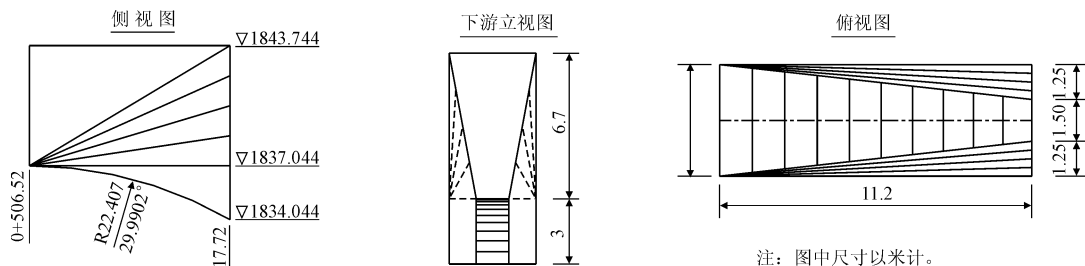


图2 推荐Y型窄缝挑坎体型图

2.5 推荐Y型窄缝挑坎流态

本工程特征水位:设计洪水位为1 931.49 m;校核洪水位为1 933.46 m 正常蓄水位为1 930.00 m;导流期最高水位1 871.75 m。图3~5给出了几种特征工况下的流态,不管怎样控制闸门,不管怎样调整水位,水舌都能顺利进入十分狭窄的河槽,形成挑流,且为窄缝挑坎所要求的纵向拉开水舌。

图4反映了小流量时,下部矩形窄缝边壁收缩的作用,它使水舌纵向拉开,顺利射入下游河道合适位置;图3反映出下部矩形窄缝边壁收缩与上部梯形边壁收缩匹配良好,所形成完整统一的纵向拉开水舌,上下部水舌平顺衔接;图5为导流工况,虽水头低、流速小,Y型窄缝挑坎依然形成纵向拉开水舌。

图6、7及8为推荐挑坎几个典型工况的水舌流态,定量地反映了水舌纵向拉开情况,水舌均呈“扫帚状”,说明这是窄缝挑坎水舌,其挑坎属于窄缝挑坎;图6为导流工况的水舌,由于水头低、流速小,其挑距、纵向拉开程度也较小,这符合窄缝挑坎特征;图7与8比较,同样水头时,流量越大,挑距随之增大,纵

向拉开程度也增大,该规律与常规窄缝挑坎相同。

在各种工况下,无论是导流工况,还是永久泄洪工况;无论工作闸门是局开,还是全开;甚至无论水位是多少,挑坎前均未形成水跃,出口都能形成挑流,而且能形成窄缝挑坎所要求的纵向拉开水舌。

总之,推荐Y型窄缝挑坎都能形成纵向拉开水舌,且在合适的河谷位置,解决了本工程导流兼深孔泄洪洞挑坎既要满足泄洪洞又要满足导流洞的要求,而且是采用同一挑坎,无须改建。从国内外情况看,这是首例满足该要求的窄缝挑坎,也是第一个Y型窄缝挑坎体型,还是Y型窄缝挑坎体型在实际工程的首次应用,更是第一个无起挑水位限制的窄缝挑坎。

本文主要介绍Y型窄缝挑坎的来龙去脉、体型特点、水舌形态及水力条件,这是这种挑坎的根本问题,试验研究发现其压强、水面线、洞顶余幅、空化空蚀、河道消能防冲、泄洪工况优化、溢洪道挑坎与导流兼深孔泄洪洞挑坎的配合问题都能满足工程设计要求^[12],此处不再赘述。



图3 推荐挑坎 1933.46m、闸门开度 2.7m 水舌流态

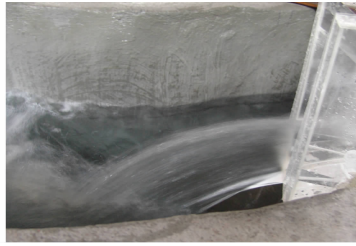


图4 推荐挑坎 1930.00m、闸门开度 0.55m 水舌流态



图5 推荐挑坎导流工况 1871.75m 闸门全开水舌流态

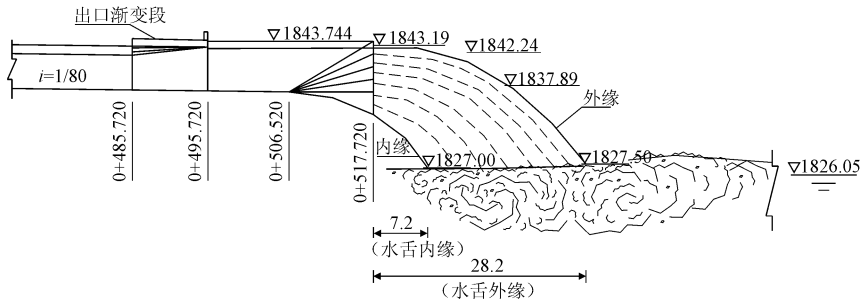


图6 导流水位 1871.75m 导流洞出口纵向水舌形态

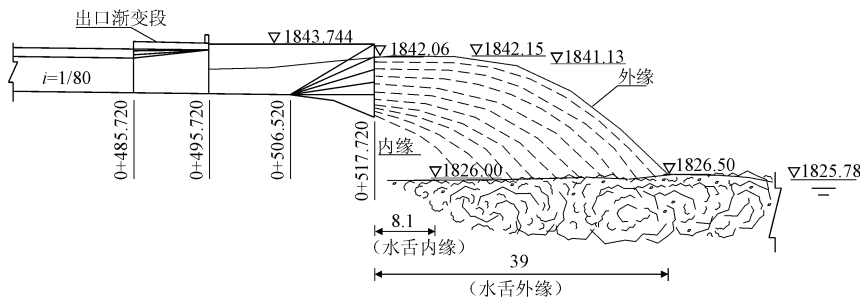


图7 两年一遇洪水深孔弧门局开 2.25m 洞出口纵向水舌形态

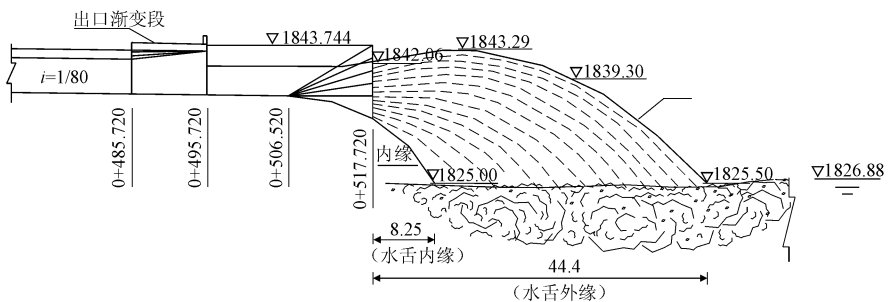


图8 正常蓄水位深孔弧门局开 2.73m 洞出口纵向水舌形态

目前该 Y 型窄缝挑坎已经建成,并投入运行,经受了导流运行的考验,相关工程技术人员反馈了明确的技术信息,对新型窄缝挑坎给予正面评价,表示导流工况形成了纵向拉开水舌,达到了预期目的。

3 结语

在对现有不同泄洪出口窄缝鼻坎体型分析的同时,通过水工水力学模型试验,对某水电站泄洪兼导流洞出口鼻坎体型进行了研究,在分析研究基础上,

结合工程出口地形条件提出一种新型 Y 型窄缝挑坎。试验研究表明,利用下部矩形与上部“V”型开口共同组成的这种鼻坎,无论在底流速、小流量的施工导流期,还是高水位、高流速的大流量泄洪期,均能形成窄缝与扩散的水舌形状,且纵向拉开水舌基本适应窄河谷河道形状的条件。试验测试表明,不同水位、不同开度泄洪条件下,水舌扩散效果良好,河道冲淤结果基本满足设计要求。

(下转第 158 页)

左右槽充水对中线槽体混凝土应力应变影响不明显,槽体混凝土在混凝土浇筑期间以及后续预应力锚索张拉后,混凝土主要表现为压应变,且有相应富余。第一次充水试验前后,槽体混凝土应力应变范围在 $-388.23 \sim -41.00\text{MPa}$ 之间。第二次充水试验满槽后对比充水前,槽体混凝土应力应变,变化范围在 $-2.39 \sim -35.15\text{MPa}$ 之间;泄水完成后对比充水前,变化范围在 $-7.68 \sim -29.21\text{MPa}$ 之间。两次充水试验期间,应力应变/温度/时间曲线变化连续,无明显突变、异变现象。

4 结 语

湍河渡槽预应力张拉施工工艺从作业交底开始到封锚都整个施工流程制定严格要求并进行量化,通过严格的施工管理,确保了预应力张拉施工顺利完成。安全监测数据分析表明,湍河渡槽钢绞线预应力损失较小,混凝土应变与温度均表现为负相关,表明槽体混凝土和预应力锚索处于正常工作状态,表明预应力张拉施工工艺满足技术要求和质量控制要求。2014年12月12日,南水北调中线工程正式全线通水,作为目前世界规模最大的U型输水渡槽工程,湍河渡槽的工程经验值得推广和借鉴。

参考文献:

(上接第152页)

工程运行结果表明,由于这种鼻坎基本满足了导流兼深孔泄洪洞的设计要求,任何水流条件下均能形成纵向拉开水舌,避免了现有窄缝挑坎的起挑水位限制,成功解决了该工程的技术问题,因此该体型对解决同类工程问题具有一定的参考意义。

参考文献:

- [1] 倪汉根. 高效消能工[M]. 大连:大连理工大学出版社, 2000.
- [2] 肖兴斌. 窄缝式消能工在高坝消能中的应用与发展综述[J]. 水电站设计, 2004, 20(3): 76-81.
- [3] 余胜. 窄缝式消能工的研究综述[J]. 内蒙古水利, 2011, 31(5): 5.
- [4] 焦爱萍, 孙五继, 周陈超, 等. 高拱坝分层多股射流水垫塘冲击压强研究[J]. 水力发电学报, 2012, 31(1): 114-117.

- [1] 郑光俊, 吕国梁, 张传健, 等. 南水北调中线湍河渡槽设计与施工研究[J]. 人民长江, 2014, 45(6): 27-30+34.
- [2] 简兴昌, 梁仁强, 杨谢芸. 南水北调中线湍河渡槽槽身施工方案研究[J]. 人民长江, 2014, 45(6): 92-94+98.
- [3] 周继红. 南水北调工程湍河渡槽槽身预应力施工[J]. 水利水电施工, 2014, 02: 73-75+86.
- [4] 陆岸典, 丁仕辉. “U”形薄壳预应力渡槽施工在东深引水工程的应用[J]. 水利水电施工, 2007(3): 81-82+80.
- [5] 边秋璞, 雷进生, 孙庆. 漕河渡槽后张预应力结构原位测试方法[J]. 南水北调与水利科技, 2008, 6(2): 23-25.
- [6] 牛宏力. 南水北调沙河渡槽预应力施工技术应用[J]. 水利水电施工, 2013(3): 24-27.
- [7] 张利, 王玉华, 王彩玲, 等. 大流量薄壁渡槽槽身张拉工艺仿真研究[J]. 南水北调与水利科技, 2011, 9(4): 13-17.
- [8] 陆晓敏, 赵引, 任青文, 等. U型渡槽环向无粘结预应力钢绞线束优化设置[J]. 水利水运工程学报, 2009(2): 55-60.
- [9] 陈华兵. 大型现浇预应力混凝土U形薄壳渡槽仿真模型试验研究[D]. 天津: 天津大学, 2007.
- [10] 世界最大U形渡槽通过技术验收[J]. 中国水能及电气化, 2014(7): 18.
- [11] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. GB/T5224-2003 预应力混凝土用钢绞线[S]. 北京: 中国标准出版社, 2003.
- [12] 国家能源局. DL/T 5083-2010 水电水利工程预应力锚索施工规范[S]. 北京: 中国电力出版社出版, 2010.

- [5] 张挺, 陈虹, 许唯临, 等. 高扩散低收缩差动挑坎I: 水力特性实验研究[J]. 水力发电学报, 2013, 32(5): 134-139.
- [6] 潘瑞文, 王海军. 柴石滩高坝挑流消能工体型优化研究[J]. 云南工业大学学报, 1997, 13(1): 15-20.
- [7] 宋昉, 马飞. 大流量表孔窄缝挑坎挑流控制试验研究[J]. 水动力学研究与进展(A辑), 2014, 29(6): 670-674.
- [8] 柳杨, 马飞, 吴建华. 窄缝坎的冲击波及水舌入水宽度的计算[J]. 水利水电科技进展, 2014, 34(3): 20-23+29.
- [9] 陈忠儒, 陈义东. 窄缝式消能工的水力特性及其体型研究[J]. 水利水电科技进展, 2003, 23(2): 25-29.
- [10] 中华人民共和国水利部. SL155-95 水工(常规)模型试验规程[S]. 北京: 中国水利水电出版社, 2012.
- [11] 韩守都, 刘韩生, 倪汉根. 直线边墙窄缝挑坎的水力计算[J]. 水利水电科技进展, 2012, 32(2): 54-56.
- [12] 刘韩生. 新疆某水电站工程水工模型试验报告[R]. 水利部西北水利科学研究所, 2010. 8.