猴子岩电站溢洪洞挑坎体型研究

索慧敏, 窦向贤, 吕海艳
(中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司,四川 成都 610072)

摘 要:在窄河谷高水头大泄量溢洪道的挑流消能防冲设计中,挑坎体型的选择对消能防冲的效果有重要影响,如何解决挑射水流归槽、提高消能效果、减轻下游冲刷等均有很大难度。

关键词:溢洪洞;挑坎;工程特点;体型研究
中图分类号:[TM622];TV651.1;TV135.2+3 **文献标识码**: B **文章编号**:1001-2184(2018)05-0107-04

0 引 言

挑流消能的关键是挑流鼻坎体型的选择,挑坎体型对消能防冲的效果有重要影响,随着大型水电站建设的蓬勃发展,各具特色的挑坎型式陆续产生并被工程采用,如:连续坎、差动坎、斜挑坎、扭曲坎、窄缝坎等[1]。为了达到理想消能效果,挑坎体型设计中一般要求常用流量能顺利起挑,水舌挑距变化小,水舌入水时横向拉开尽量充分,入水单宽流量小,对河床和岸坡冲刷较小等。本文以具有代表性的猴子岩水电站溢洪洞为例,结合水工模型试验,从水力学角度对比分析不同体型挑坎消能效果,并优选挑坎体型。

1 工程概况及特点

1.1 工程概况

本工程枢纽主要由混凝土面板堆石坝、两岸泄洪系统,右岸引水发电系统等组成。枢纽主要建筑物防洪标准按1000年一遇洪水设计,可能最大洪水(PMF)校核,下游护岸工程、泄洪雾化区防护工程等次要建筑物按100年一遇洪水设计,百年一遇洪水泄量、设计洪水流量和校核洪水流量分别为6 060 m^3/s、7 750 m^3/s和9 940 m^3/s。溢洪洞由进口段、无压洞段、明槽段和出口挑流鼻坎段组成,总长度约1 147 m,泄槽过水净宽15 m,最大泄量4 036 m^3/s,最大泄洪水头约135 m,单宽流量269 m^3/s。

1.2 工程特点

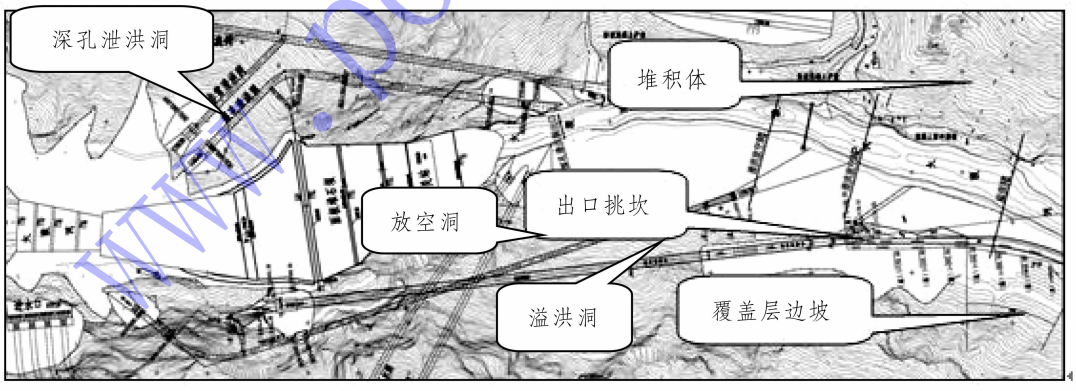


图1 工程枢纽布置图

本工程泄洪具有"水头高、泄量大、河谷窄、岸坡陡、下游河道及岸坡抗冲能力较低"的特点。溢洪洞出口覆盖层深厚,挑坎基础远离河心后靠置于岩基,归槽条件较差,出口下游边坡地质条件复杂,出口正对左岸边坡分布有一大型堆积体,右岸边坡存在较厚覆盖层,所以下游泄洪雾化及两岸冲刷问题较为复杂,其泄洪消能和岸坡保护问题是泄洪建筑物设计的重点和难点。

2 挑坎体型研究

由于本工程溢洪洞挑坎出口覆盖层深厚,挑坎在方案布置上不得不后退,水流归槽问题突出,

收稿日期:2018-07-31

www.powerfo.com

且由此带来了在小流量情况下砸本岸和开挖量大的问题;溢洪洞为枢纽的主要泄洪建筑物,泄量变化大、出流挑射水舌变幅宽,入水变化范围大,两岸防冲问题突出。溢洪洞挑坎体型直接影响到水舌的入水点、河床冲刷范围及冲坑深度,所以挑坎体型设计中应充分考虑水流顺利归槽及减轻挑射水流对两岸岸坡冲刷等因素。借鉴类似工程经验,并考虑便于施工等因素,初拟挑坎体型为“连续斜切挑坎”,见图 2。

模型试验结果表明,在百年一遇洪水工况下,

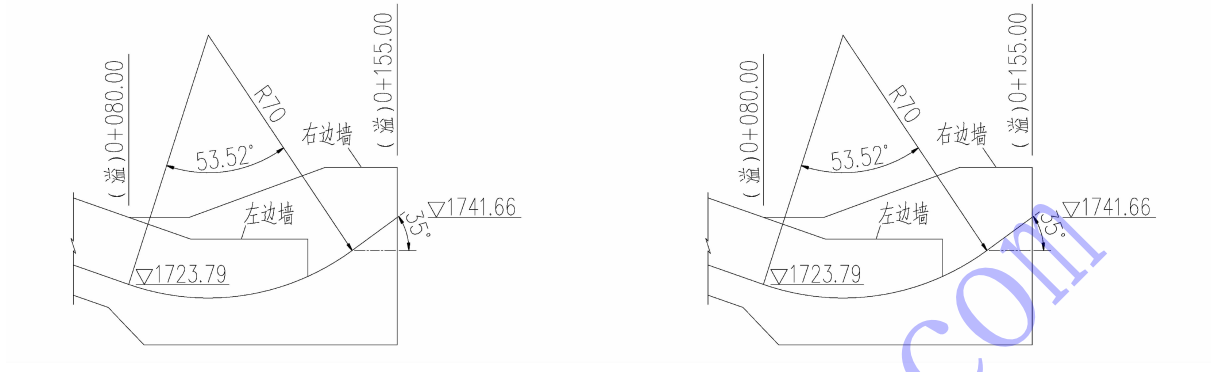


图 2　连续斜切挑坎体型

该方案最大流速在河道左岸下游侧,左岸上游形成较大回流,在水舌入水处和左岸回流上端之间形成深槽,河床最大冲深约 23 m,右岸坡脚最大冲深约 22 m。该方案冲刷范围较大且对右岸坡脚冲刷严重,威胁右岸边坡稳定,究其原因,主要是溢洪洞挑流水舌在右边墙约束下,水舌向左偏移,虽然水舌一定程度远离右岸,但由于左侧边墙的约束,出口水流比较集中,水舌入水后下潜水流顶冲对岸,回流与上游来流汇合后流向右岸形成冲刷。

基于“连续斜切挑坎方案”存在的水流集中、顶冲对岸、冲刷严重等问题,说明经过下泄水流的能量消散有限,所以基于进一步提高挑射水流空中消能率、减轻对下游冲刷的思路,提出类似于窄缝挑坎的“扭曲斜切窄缝式挑坎”方案,见图 3。该方案下游河床冲刷形态类似“连续斜切挑坎”方案,水舌更靠近右岸,故对左岸顶冲不明显,但最大冲深和右岸坡脚冲深进一步加剧。究其原因,主要是挑坎与河道水面高差较小,水舌没有足够的空间沿纵向拉开,空中消耗能量有限,说明本工程溢洪洞挑坎出口条件不宜采用窄缝式挑坎。

在充分分析上述两方案存在的问题基础上,

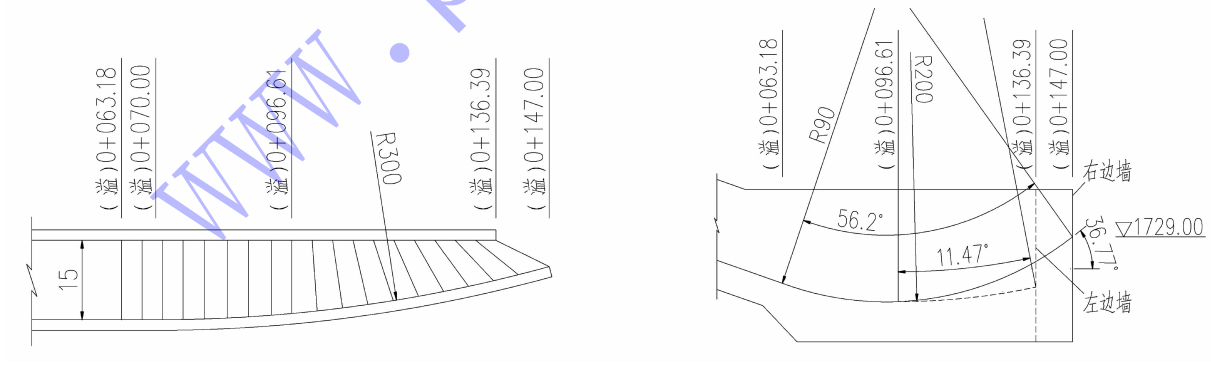


图 3　扭曲斜切窄缝式挑坎体型

提出“扭曲斜切挑坎”,具体布置见图 4。该方案的主要思路是,考虑到右岸边坡抗冲刷能力较弱,水舌应尽量远离右岸,水舌向左侧进一步扩散,使水舌入水时横向拉开尽量充分,并使底板出口高程由左至右逐步抬高,以利于水流向河心翻转远离右岸坡脚,从而减轻对河床和右岸的冲刷。从试验结果看,本方案取得了较好的消能效果,对左岸顶冲较弱,最大冲深和右岸坡脚冲刷减轻,在百年一遇洪水工况下,河床最大冲深 24 m,右岸坡脚最大冲深约 8 m。

www.powerfoo.com

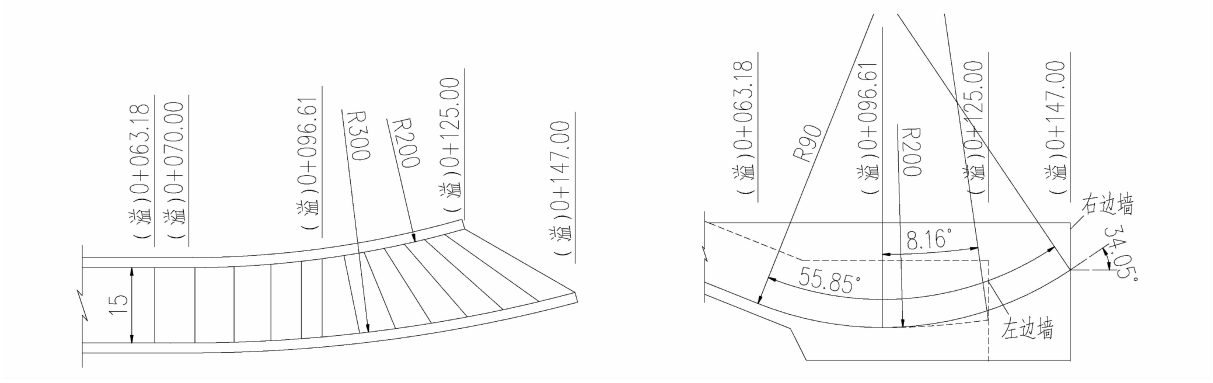


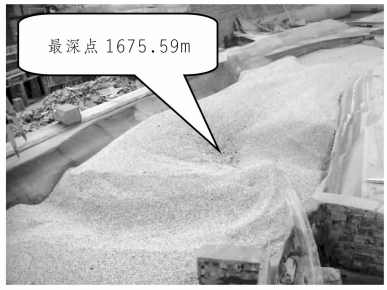
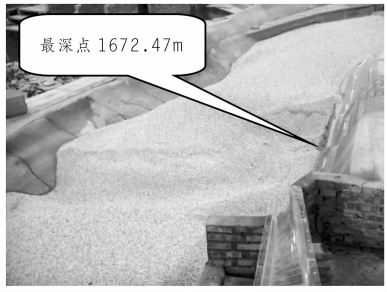
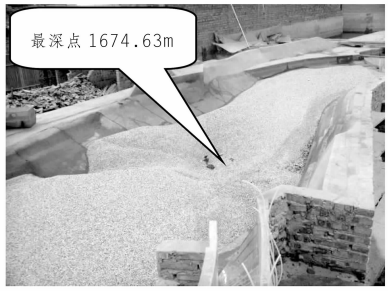
图 4　扭曲斜切挑坎体型

三个方案对应的特征值见表 1，水舌形态及下游冲刷形态见表 2，从表中数据和图片可以看出，“扭曲斜切挑坎”较其他两个方案水舌充分扩散，下游冲刷明显坦化，特别是对右岸冲刷明显减轻，很好解决了下游岸坡防护困难的难题。

表 1　消能洪水（$P=1\%$）各方案下游冲刷特征值

体　　型	挑距 /m	最大流速 /m·s^{-1}	最大回流流速 /m·s^{-1}	河床最大冲坑深度 /m	左岸最大冲坑高程 /m	右岸最大冲坑深度 /m
连续斜切挑坎	60～140	7.1	5.6	23	1 688	22
扭曲斜切窄缝式挑坎	110～170	10.6	3.6	26	1 688	24
扭曲斜切挑坎	108～171	10.2	4.7	24	1 688	8

表 2　消能洪水（$P=1\%$）各方案水舌形态及下游冲刷形态

体型	水舌形态	下游冲刷形态
连续斜切挑坎		
扭曲斜切窄缝式挑坎		
扭曲斜切挑坎		

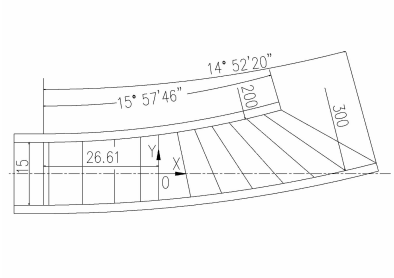
www.powerfoo.com

3　推荐挑坎体型

通过上述对比分析,本工程溢洪洞挑坎体型最终选择“扭曲斜切挑坎”,挑坎左、右侧边墙为朝向河心的圆弧边墙,左、右侧边墙半径分别为 200 m 和 300 m;挑坎底板前段为反弧段,反弧半径 90 m;后段底板在左、右侧采用在溢洪洞轴线方向的投影分别为半径 200 m 和 90 m 的圆弧与边墙相接,底板中部为扭曲面,挑射角 8°4′59″ ~ 34°3′7″。

为了便于现场施工放线,根据上述设计要素对底板扭曲面进行拟合,以底板前段尾部和溢洪洞轴线交点为坐标原点,拟合后段底板扭曲面方程见表 3,扭面中的任意一点可根据表中方程式联立求解求得。

表 3　推荐挑坎平面图及底板扭面方程

挑坎平面图	底板扭面方程
	$\frac{x-x_1}{x_2-x_1}=\frac{207.5-\sqrt{200^2-(x_1+26.61)^2}-y}{\sqrt{300^2-(x_2+26.61)^2}-\sqrt{200^2-(x_1+26.61)^2}-85}\frac{x-x_1}{x_2-x_1}$ $=\frac{z-200+\sqrt{200^2-x_1^{\ 2}}}{\sqrt{200^2-x_1^{\ 2}}-\sqrt{90^2-x_2^{\ 2}}-110}$ $x_1=0.563\ 405\ 437x_2$ 式中　x_1、x_2 分别为底板与左、右挡墙交点; x、y、z 为底板上所求点; 曲面方程中单位为米。

4　结　语

在窄河谷高水头大泄量溢洪洞的挑流消能防冲设计中,挑坎体型的选择对消能防冲的效果有重要影响,如何解决挑射水流归槽、提高消能效果、减轻下游冲刷等均有很大难度。猴子岩水电站溢洪洞出口挑坎,结合水工模型试验,从水力学角度对比分析不同体型挑坎消能效果,最终选择“扭曲斜切挑坎”方案目前该工程已完建,并在低水位小流量情况下运行,运行后状况良好。

参考文献:

[1]　水利水电泄水工程与高速水流信息网. 泄水工程与高速水流[M]. 长春: 吉林科学技术出版社, 1998.

[2]　沈长松, 王世夏, 林益才, 等. 水工建筑物[M]. 北京: 水利水电出版社, 2008.

作者简介:

索慧敏(1980-),男,山西长子人,高级工程师,本科,主要从事水工设计工作;

窦向贤(1974-),男,安徽六安人,教授级高级工程师,硕士,主要从事水工设计工作;

吕海艳(1981-),女,吉林农安人,高级工程师,硕士,从事水工水力学模型试验研究.

(责任编辑:卓政昌)

(上接第 106 页)

卸荷松弛深度多随逐层开挖由表及里增加、围岩声波波速多随逐层开挖由表及里衰减,表明猴子岩水电站地下厂房岩体变形以开挖后应力释放致岩体损伤以为主。这一结论可为同类高地应力条件下大型地下洞室群设计、开挖、支护等提供参考。

参考文献:

[1]　魏进兵,邓建辉,王俤凯等. 锦屏一级水电站地下厂房围岩变形与破坏特征分析[J]. 岩石力学与工程学报,2010,29(6):1198 ~ 1205.

[2]　姚强,杨兴国,刘勇林等. 大型地下厂房洞室群施工期围岩变形分析[J]. 地下空间与工程学报,2014,10(5):1164 ~ 1169.

[3]　刘永波,左雷高,闵勇章. 长河坝水电站地下厂房围岩变形特征[J]. 四川水力发电,2016,35(1):49 ~ 53.

[4]　李志鹏,徐光黎,董家兴. 猴子岩水电站地下厂房洞室群施工期围岩变形与破坏特征[J]. 岩石力学与工程学报,2014,33(11):2291 ~ 2300.

[5]　王俤凯,蔡德文,董瑜斐等. 猴子岩水电站地下厂房围岩变形特征分析与控制[J]. 人民长江,2014,45(8):66 ~ 84.

[6]　沙椿,李彪,徐奴文等. 地下洞室群开挖卸荷过程微震活动特征研究[J]. 长江科学院院报,2014,31(11):102 ~ 107.

[7]　戴峰,李彪,徐奴文. 猴子岩水电站深埋地下厂房开挖损伤区特征分析[J]. 岩石力学与工程学报,2015,34(4):735 ~ 746.

作者简介:

雷英成(1986-),男,硕士研究生,工程师,国家注册岩土工程师,项目经理,现从事工程物探检测及监测相关工作;

何　刚(1977-),男,博士,教授级高工,主要从事水电工程施工期和运行期物探检测工作.

(责任编辑:卓政昌)

www.powerfoo.com