

某水库溢流坝消能型式研究

张 格, 刘亚坤, 孙洪亮, 周 乐

(大连理工大学 水利工程学院, 辽宁 大连 116024)

摘 要: 泄水建筑物消能型式的选择通常需要经过模型试验的验证来确定其方案。针对某水库水利枢纽工程泄洪时下游河床冲刷等问题, 分别选择异型宽尾墩、差动式挑坎和异型宽尾墩 + 差动式挑坎等消能方式进行消能研究。通过对比试验中不同研究方案测得的冲刷特征值, 推荐采用异型宽尾墩 + 差动式挑坎联合运用的消能方案。试验结果表明, 异型宽尾墩 + 差动式挑坎这种综合消能方案与原工程设计方案的平尾墩方式相比, 可以有效地消杀泄洪水流入水时的能量, 从而减轻泄洪水流对下游河床的冲刷, 达到保护工程安全运行的目的。

关键词: 水利工程; 消能; 异型宽尾墩; 差动式挑坎; 冲刷特性; 模型试验

中图分类号: TV652.1

文献标识码: A

文章编号: 1672—1144(2013)04—0183—04

Research on Energy Dissipation Type of Overflow Dam in a Reservoir

ZHANG Ge, LIU Ya-kun, SUN Hong-liang, ZHOU Le

(College of Water Conservancy Engineering, Dalian University of Technology, Dalian, Liaoning 116024, China)

Abstract: The model experiment is usually used to choose the type of energy dissipation in release structures. Here, several kinds of energy dissipators such as irregular broad tail pier, differential flip bucket, and the combination of the irregular broad tail pier and differential flip bucket are used to solve the scour problems caused by the flood discharge of a reservoir. By comparing the scour characteristic values of all model tests, the energy dissipation scheme combined with the irregular broad tail pier and differential flip bucket is recommended. The test results show that the recommended combination energy dissipation scheme is better than the primary scheme with flat gate pier in the respect of project safety, which could eliminate the energy of flood effectively, thus reducing the downstream scour and protecting the project to operate safely.

Keywords: hydraulic engineering; energy dissipation; irregular broad tail pier; differential flip bucket; scour characteristics; model test

0 引 言

宽尾墩消能工属我国首创, 早在 1980 年建成的潘家口水电站就采用了宽尾墩—挑流联合消能工^[1]。常规宽尾墩因其有着优越的消能效果, 近年来在工程上的应用较多, 但也有其弊端^[2]。差动式挑坎在我国运用较早, 可以有效减小冲刷坑深度。异型宽尾墩通过改进, 形成了兼具平尾墩挑距远和宽尾墩消能充分等优点的新型消能工, 只是目前应用还不普遍。随着研究的深入发展, 多种消能方式相结合的联合消能工越来越多地运用在水利水电工

程中, 在保证工程安全的前提下, 发挥着巨大的经济效益。

辽宁省某水利枢纽工程经过试验研究采用异型宽尾墩和差动坎联合运用的消能方案很好解决了泄洪消能问题。

1 概 述

1.1 工程概况

某水库是以向滨海经济区供水为主、兼顾灌溉的大型综合利用水利枢纽工程。枢纽建筑物包括混凝土挡水坝段、溢流坝段、门库坝段及引水坝段等。

枢纽建筑物总长 366 m, 其中左、右岸挡水坝段长 263.0 m, 溢流坝段长 69.0 m。水库正常蓄水位为 134.0 m, 设计洪水位为 134.0 m, 设计流量为 4 300 m^3/s , 校核洪水位为 135.24 m, 校核流量为 6 839 m^3/s 。

该水库的原设计溢流坝典型剖面如图 1 所示, 水库溢流坝堰顶高程为 120.0 m, 分为 4 孔, 每孔净宽为 14.0 m。溢流坝采用 WES 堰型, 原设计采用挑流消能方式进行消能。

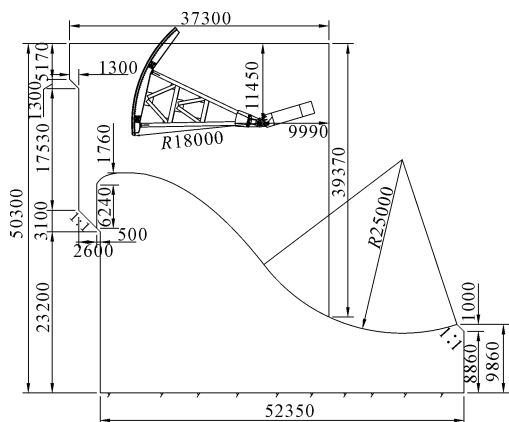


图 1 原设计方案溢流坝典型剖面图(单位:mm)

1.2 模型设计、原消能方案存在的问题

模型试验研究分为断面模型试验和整体模型试验两部分, 断面模型试验的目的是初选优化方案, 整体模型试验在断面模型试验的基础上进一步确定溢流坝的消能型式。

断面和整体模型都是按重力相似准则设计的比尺为 1:50 的正态模型^[3]。下游消能区采用动床模拟河床的冲刷情况, 动床消能冲刷区选用天然散粒体沙石模拟基岩的抗冲能力。模型冲料粒径采用公式 $V = MD^{1/2}$ ^[4] 计算 (M 取值 5~7)。铺沙范围及高程与原型相同。

断面模型试验时, 原方案在设计洪水位情况下, 最大冲坑深为 12.34 m; 校核洪水位下最大冲坑深为 15.89 m, 都比较深, 且原方案在校核洪水位情况时, 河床的冲刷形态不良, 坝脚处冲刷情况严重, 对坝基稳定构成威胁。

2 消能方式研究

由于该水库原设计方案的冲刷情况比较严重, 因此亟须对现有方案进行优化。研究的宗旨是在保证水库安全运行的前提下, 尽量节省投资。研究内容将通过对该水库进行各方案消能结果比较, 以选择适当的溢流坝消能型式。

水利工程上通过异型宽尾墩、窄缝和差动挑坎

等水利元件来消能, 实际上是通过一系列水流内部的变化实现的。下面将分别介绍这几种消能形式的消能机理和模型的优化方案。

2.1 消能机理

水流的紊动作用是所有消能方式的内因。从紊流理论角度来看, 消能是一个能量的梯级传递和耗散过程。当宣泄洪水时, 水体的势能首先转化为时均动能, 时均动能通过剪切和混掺作用传递给大尺度漩涡, 大尺度漩涡又在运动中将能量传递给较小的漩涡, 这样就实现了能量从大漩涡向小漩涡的传递, 最后, 在小尺度漩涡中, 通过克服流体粘性, 将能量以热能的形式耗散。在此消能机理指导下, 我们研究和运用消能工, 总是从尽可能地水体细化、充分混掺的角度出发, 以提高消能效率。

异型宽尾墩和宽尾墩同为收缩式消能工^[5]。收缩式消能工泄洪消能的主要思想是, 水流流出收缩段时, 由于各质点纵向流速和流向不同, 使得射流在立面中扩展, 从而产生纵向扩散。由于流速的纵向值一般远大于横向值, 故纵向流速的扩散远比横向扩散要充分。充分扩散后的水流大量掺气, 在空气阻力的作用下, 消杀部分能量后被水流抛射至下游河床与尾水衔接^[6]。

差动式消能工是在挑流鼻坎的基础上发展而来的。它将溢洪道的下泄急流在挑离鼻坎处上、下分散, 加强挑射水流在空中的碰撞、紊动、掺气以及在水下的淹没扩散, 总体消能效果明显。有试验表明, 选择较好的齿坎型式可以使冲坑深度比挑流鼻坎的减小 50% 左右^[7]。

2.2 优化方案

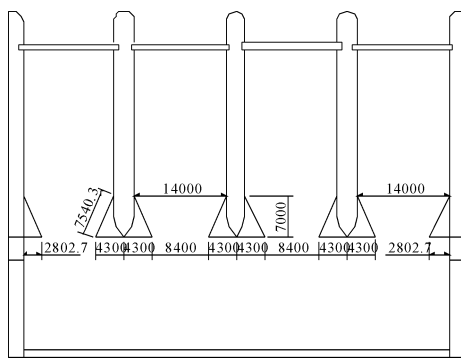
2.2.1 断面模型试验

针对现有的冲刷情况, 考虑采用异型宽尾墩这种兼具平尾墩和宽尾墩优势的消能工。已有试验表明, 在结构合理的情况下, 异型宽尾墩挑流的冲坑最大深度和冲坑断面面积只是平尾墩相应量的一半左右, 它的冲坑深度、冲坑断面以及冲坑后坡也比相应的宽尾墩小, 总体的消能效果较好^[8]。优化方案 1: 闸墩采用异型宽尾墩, 收缩比为 0.5; 优化方案 2: 采用异型宽尾墩, 收缩比为 0.6。两种异型宽尾墩仅收缩比不同如图 2(a), 纵剖面图相同, 如图 2(b) 所示。

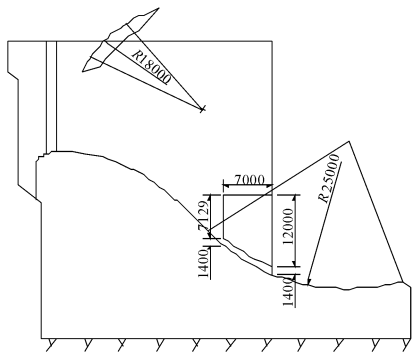
优化方案 1 和优化方案 2 在设计水位和校核水位的冲刷特性值见表 1。

分析试验结果发现, 无论是优化方案 1 还是优化方案 2, 在挑距和冲坑深度方面都比原方案要好,

但是优化方案 1 在校核洪水位时坑深/坑距值为 0.33,虽然满足规范要求的 0.2~0.4,但是这个值比较大,且接近上限,同时试验后观察到在坝脚处的冲刷情况较原方案并没有得到较大好转。相比之下,优化方案 2 在挑距、坑深方面都优于优化方案 1,且在校核洪水位工况时的坝脚处冲刷非常小,消能效果较好。综合上述,采用收缩比为 0.6 的异型宽尾墩进行整体模型试验。



(a)平面图



(b)剖面图

图 2 异型宽尾墩示意图(单位:mm)

表 1 各优化方案冲刷特性分析表

工况	优化方案	挑距/m	冲坑深度/m	坑深/坑距
设计洪水位	1	40.00	9.14	1/4.3760
	2	43.75	8.44	1/5.1840
校核洪水位	1	30.00	9.79	1/3.0600
	2	40.75	8.64	1/4.7160

2.2.2 整体模型试验

在同种消能工、同种工况下,整体模型与断面模型试验的冲刷情况相差较大,这是因为断面模型试验忽略了水流间的相互作用,一般来说断面冲刷坑深度较整体的冲坑深度浅,整体模型更能反映实际情况,有必要进行整体的模型试验。

根据断面模型试验的结果,确定 3 个整体模型

试验的优化方案。方案 1:收缩比为 0.6 的异型宽尾墩,具体尺寸及布置如图 2 所示;方案 2:差动坎消能,差动坎的布置见图 3 所示。方案 3:收缩比为 0.6 的异型宽尾墩+差动式挑坎联合运用。

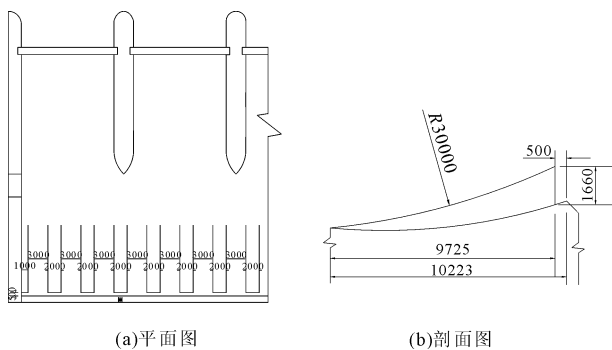


图 3 差动坎示意图(单位:mm)

由于设计水位、校核水位冲刷特性相差不大,因此本文只给出校核水位的研究成果。实测溢流坝在校核洪水位下的冲刷特性值见表 2^[9]所示。

表 2 各优化方案校核洪水位下的冲刷特性分析表

优化方案	挑距/m	冲坑深度/m	坑深/坑距
1	58	14.99	1/4.7000
2	45	>20	≥1/2.25
3	82.5	16.69	1/4.9431

采用 matlab^[10]软件得到校核洪水位下的地形等高线图和三维地形图,优化方案 1 和优化方案 3 的试验结果见图 4~图 7。

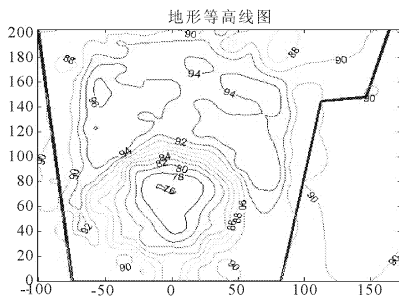


图 4 优化方案 1 校核洪水位下冲刷地形等高线图

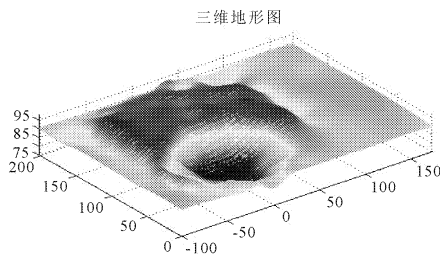


图 5 优化方案 1 校核洪水位下冲刷三维地形图

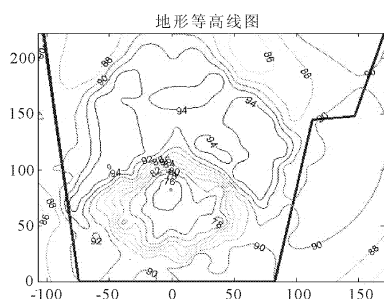


图 6 优化方案 3 校核洪水位下冲刷地形等高线图

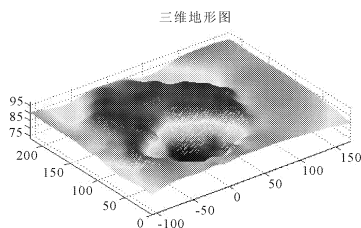


图 7 优化方案 3 校核洪水位下冲刷三维地形图

对 3 个方案进行分析比较,从试验结果可以看出,优化方案 2 在校核洪水下的冲坑深度达到基岩,初步估计冲坑深度大于 20 m,冲刷严重,无论是冲坑深度还是坑深/坑距的冲刷特征值都比方案 1 和方案 3 差,优化方案 3 的冲坑深度为 16.69 m,比优化方案 1 的 14.99 m 深了 1.7 m;但坑距为 82.5 m,较优化方案 1 的 58 m 远了 24.5 m;坑深/坑距的值为 0.2023,小于优化方案 1 的 0.2585,且小于规范要求的 0.2~0.4,满足要求,而且从三维地形图可以看出,坝脚处的冲刷非常小,冲刷效果较方案 1 好。综上所述,该水库在校核洪水位工况下运行时,异型宽尾墩+差动式挑坎联合消能方式的消能防冲效果要好一些。

3 消能效果综合分析

考虑到校核洪水位是极端工况,针对优化方案 1 和优化方案 3 的设计洪水位的冲刷特性进行了研究比较。优化方案 1 在设计洪水位工况下,冲坑深 14.84 m,坑距 75.0 m,坑深/坑距的值为 0.1979;优化方案 3 在设计洪水位的冲坑深 14.59 m,坑距 80.0 m,坑深/坑距的值为 0.1824。采用异型宽尾墩+差

动式挑坎联合消能方案,冲坑较浅,坑距较远,且从现场冲刷地形可以看出,坝脚处冲刷非常小,冲刷形态良好。结合设计洪水位和校核洪水位工况下的冲刷形态看,对该水库采用异型宽尾墩+差动式挑坎联合消能工,在泄洪时能获得较好的空间扩散效果,很好地解决了消能防冲问题。

4 结 论

在坝工设计中,泄洪消能是非常重要的研究课题,它不仅影响整个水利枢纽工程的布置,还直接影响工程量与投资。本文结合实际工程分别对异型宽尾墩、差动坎和异型宽尾墩+差动式挑坎联合消能三种方式进行了泄洪消能研究,研究结果表明异型宽尾墩+差动式挑坎联合消能方式能充分发挥异型宽尾墩和差动式挑坎各自的优势,使水流有效地挑射、掺气、摩擦及碰撞,从而消杀更多能量,有效改善下游河床冲刷情况,满足工程安全要求。

参考文献:

- [1] 肖兴斌,王业红.高坝挑流消能设计研究与应用现状述评[J].长江水利教育,1988,15(4):59-62.
- [2] 汪 振,黄 维,何世海,等.云南某水电站泄洪消能设计研究[J].水利与建筑工程学报,2007,5(3):64-67.
- [3] 刘亚坤.水力学[M].北京:中国水利水电出版社,2008:96.
- [4] 戴 梅,何世堂,陈新桥.用原型允许流速模拟岩基冲刷方法的探讨[J].水利水电技术,2005,36(4):91-92,95.
- [5] 黄秋君,吴建华.收缩式消能工的研究现状及进展[J].河海大学学报(自然科学版),2008,36(2):219-223.
- [6] 倪汉根,刘亚坤.击波 水跃 跌水 消能[M].大连:大连理工大学出版社,2008:104.
- [7] 黄智敏,付 波,陈卓英,等.溢洪道差动式挑流鼻坎挑距和冲深特性探讨[J].水利科技与经济,2012,18(10):79-81,85.
- [8] 倪汉根,王庆国,刘宇聪,等.白石水库的异形宽尾墩挑流消能[J].水利学报,2000,08:55-59.
- [9] 刘亚坤,倪汉根.辽宁省猴山水库整体水工模型试验报告[R].大连:大连理工大学,2011:65.
- [10] 崔 利,武文波.测绘领域中 MATLAB 的应用[J].辽宁工程技术大学学报,2005,(Z1):47-49.