

DOI:10.3969/j.issn.1672-1144.2015.03.008

# 某水电站泄水陡坡体型优化模型试验研究

尹舒倩, 王世兴, 赵 涛, 邱秀云, 拜亚茹

(新疆农业大学 水利与工程学院, 新疆 乌鲁木齐 830052)

**摘要:** 根据工程建设的需要对某泄水陡坡进行水工模型试验, 验证其总体布置和建筑物结构布置的合理性, 分析原设计体型存在的主要问题, 对泄水陡坡体型进行优化, 且在消力池内设置了消能悬栅, 并进行体型优化试验。试验表明, 优化后的泄水陡坡过流能力满足要求, 消力池内悬栅的设置, 改善了消力池内的水流流态, 工程总体布置和建筑物结构布置合理。

**关键词:** 泄水陡坡; 体型优化; 水工模型试验; 悬栅

中图分类号: TV653

文献标识码: A

文章编号: 1672-1144(2015)03-0041-04

## Model Test Study on the Draining Slope Shape Optimization of a Hydropower Station

YIN Shu-qian, WANG Shi-xing, ZHAO Tao, QIU Xiu-yun, BAI Ya-ru

(College of Hydraulic and Civil Engineering, Xinjiang Agricultural University, Urumqi, Xinjiang 830052, China)

**Abstract:** The hydraulic model tests of a steep drainage slope were carried out based on the needs of the engineering construction, according to which the rationality of its overall layout and structural arrangement were verified. Meanwhile the main problems existing in the original body design were discussed, energy dissipation suspension girder was installed in the stilling pool, and shape optimization tests for drainage slope and the girder were carried out. The test results showed that the flow capacity of the optimized steep drainage slope met the requirements, and suspension girder set in the stilling pool improved the flow pattern, This suggest that the overall layout and structural arrangement of this slope are reasonable after optimization.

**Keywords:** steep drainage slope; structural optimization; hydraulic model test; suspension girder

### 1 工程概述

某水电站为梯级开发中的第3级引水式电站, 发电引水流量  $110.8 \text{ m}^3/\text{s}$ , 前池正常水位  $1\ 806.418 \text{ m}$ , 前池最高水位  $1\ 807.718 \text{ m}$ , 结构主要由前室、进水室、泄水闸及泄水陡坡等建筑物组成, 泄水陡坡布置于泄水闸后, 主要由渐变段、缓坡段、陡槽段、消力池及尾部渠道段组成, 除尾部渠道段采用梯形断面型式外, 其余部位均采用矩形槽断面型式。泄水闸净宽  $10 \text{ m}$ , 长  $15 \text{ m}$ 。渐变段长  $30 \text{ m}$ , 纵坡为  $i = 1/500$ , 底宽由  $10 \text{ m}$  渐变至  $4 \text{ m}$ , 墙高  $6.771 \text{ m}$ 。缓坡段长  $114.358 \text{ m}$ , 纵坡  $1/500$ , 与陡槽之间采用渥曲方

程相衔接, 陡槽段全长  $335.23 \text{ m}$ , 纵坡  $1/3.82$ , 一级消力池后纵坡为  $1/3.295$ , 底宽  $4 \text{ m}$ , 共设两级消力池。

泄水陡坡是引水式电站的关键部位, 因此其消能方式的选择对引水式电站的整体布局起着至关重要的作用<sup>[1]</sup>, 国内类似工程中邱秀云等<sup>[2]</sup>在卡群一级水电站泄水陡坡中使用了悬栅式消能工, 该电站引水渠的设计流量为  $60 \text{ m}^3/\text{s}$ , 加大流量为  $70 \text{ m}^3/\text{s}$ , 冬季最大流量为  $35 \text{ m}^3/\text{s}$ , 消能效果显著。其原理是通过布置悬栅, 使水流内部结构发生改变, 消耗大量的机械能, 提高了消能率, 稳定水流流态<sup>[3]</sup>。因此本文选择悬栅式消能工作为辅助消能工。

收稿日期: 2014-12-30

修稿日期: 2015-01-20

基金项目: 新疆水利水电工程重点学科基金项目(20081387970)

作者简介: 尹舒倩(1989—), 女, 新疆伊犁人, 硕士研究生, 研究方向为水力学及河流动力学。E-mail: 512740110@qq.com

通信作者: 赵 涛(1976—), 男(满族), 河南安阳人, 硕士生导师, 副教授, 主要从事水力学及河流动力学方面的教学和科研工作。

E-mail: zhaotao\_xjau@126.com

本水工模型试验是在初步设计方案基础上,根据基本资料和工程运用要求,通过水工模型试验验证泄水陡坡过流能力以及消能方案的合理性,在此基础上提出辅助消能措施以达到优化设计的目的。

## 2 模型设计与模型制作

### 2.1 模型设计

根据试验任务、供水以及场地等条件,本模型试

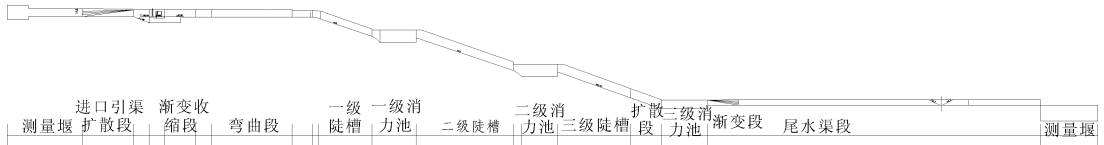


图 1 泄水陡坡剖面图

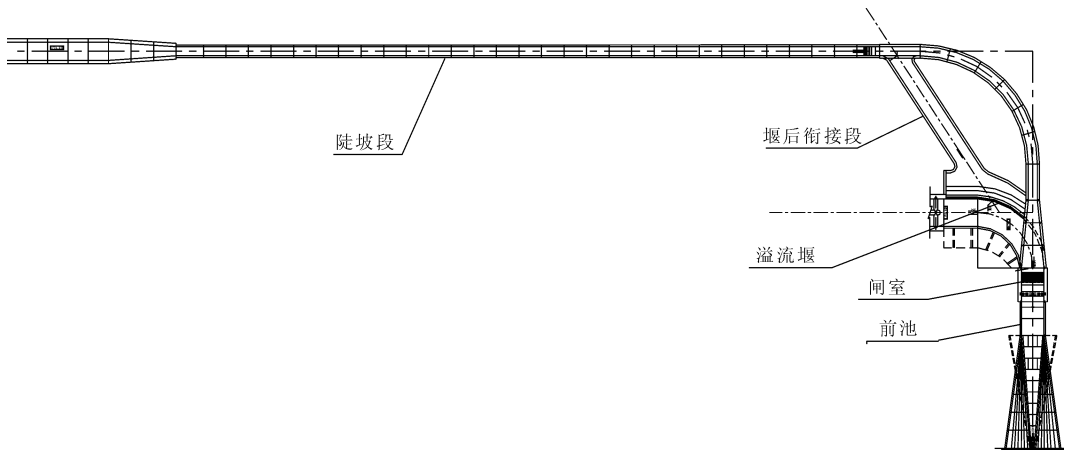


图 2 泄水陡坡平面布置图

### 2.2 模型制作

模型由高水箱控制段、引渠段、前池段(包括泄水舌瓣闸门、闸后弯道段、溢流堰、堰后衔接段)、陡坡段(包括各段陡坡末端消力池)、尾水渠等部分组成。原型中的固体壁面均为混凝土材料,根据相似准则,选用有机玻璃制作模型。有机玻璃的糙率为 0.0076~0.0086,换算成原型为 0.014~0.016,与混凝土的糙率十分接近。

模型流量量测系统由上游量水堰和下游量水堰(均为薄壁堰)组成,来流量由上下游量水堰共同量测。经过率定,整个模型系统的上、下游流量误差不超过  $\pm 5\%$ 。流速采用 LGY-III 型多功能智能流速仪测量;水位测量采用水准仪和钢板尺<sup>[7]</sup>。模型的放线精度及制作安装精度均符合水利部《河工动床模型试验规程》<sup>[8]</sup>(SL99-2012)及《水工(常规)模型试验规程》<sup>[9]</sup>(SL155-2012)的要求,整个试验过程也按照上述规范进行。

验依据规范按重力相似准则设计。模型比尺需依据试验内容场地以及供水、模型类型选定。本模型属于单体模型,比尺不宜小于 1:80,故经过综合比选,本模型几何比尺选定为  $\lambda_L = 35$ ,流量比尺  $\lambda_Q = \lambda_L^{2.5} = 7\,247.2$ ,流速比尺  $\lambda_v = \lambda_L^{0.5} = 5.916$ ,糙率比尺  $\lambda_n = \lambda_L^{1/6} = 1.809$ <sup>[4-6]</sup>。模型模拟范围自泄水闸上游 150 m,至下游最末一级消力池后 300 m 尾水渠。模型布置如图 1、图 2 所示。

## 3 原设计方案试验成果及优化

### 3.1 原设计方案试验结果

原设计方案共有 4 种工况(见表 1),分别对 4 种工况进行试验,试验结果如下。

表 1 泄洪工况表

工况 1	工况 2	工况 3	工况 4
设计水位为 1806.418 m 闸 门全开	校核水位为 1807.718m 闸 门全开	校核水位为 1807.718m 闸 门关闭	流量为 110.8 $\text{m}^3/\text{s}$

(1) 工况 1:当水位为 1 806.418 m 时,泄水闸门全开,水流全部经泄水闸室流经弯道泄入陡坡。由试验可以观察到泄水闸流态为充分淹没的宽顶堰流,泄水闸过流能力为  $63 \text{ m}^3/\text{s}$ (小于此水位下的计算设计流量  $64.4 \text{ m}^3/\text{s}$ )。90°弯道段水面逐渐降低,流速逐渐增加,弯道段水面平稳,没有水跃发生。按照实测流量以及弯道尺寸可以计算得出此时临界水

深为 2.93 m,对比试验数据可以得出弯道段为缓流流态。试验表明,在此工况下各级消力池均能满足泄流消能要求。说明消力池的体型能满足此种工况;各边墙高度均能满足运行需要,设计边墙高度与水深的最大差值发生在三级消力池末端:水深 6.83 m,边墙高度 8.5 m,相差 1.67 m。最大流速发生在一级消力池上游陡槽末端,流速为 23.4 m/s。

(2) 工况 2:当水位为 1 807.718 m 时(前池最高水位),泄水闸门全开,泄水闸与溢流堰均过流。由试验测得,此时堰闸过流能力合计为 98.4 m<sup>3</sup>/s(计算设计流量为 118 m<sup>3</sup>/s)。弯道及过堰水流流态平稳,90°弯道后半段以及堰后与陡坡之间的衔接段部位水流均跃出边墙,其余部位设计边墙高度基本满足要求。由试验可观测到,堰后衔接段为缓流流态,陡槽各级消力池长度均偏短,水跃消能不够充分。一、二级消力池边墙设计高度基本符合要求,但淤滚剧烈。第三级消力池深度不够,时有涌浪翻出池外。最大流速发生在二级消力池上游陡槽末端断面,流速为 26.8 m/s。

(3) 工况 3:当水位为 1 807.718 m 时(前池最高水位),泄水闸门关闭,水流全部从溢流堰下泄。由试验观测到,此时堰后水位高于堰顶高程,为典型的淹没出流。此时曲线型堰的过流能力为 76.9 m<sup>3</sup>/s(小于此水位下的计算校核流量 98.9 m<sup>3</sup>/s)。由于堰后水位高于堰顶,形成大淹没度的淹没出流。由此表明,堰后消力池是多余的。陡槽段各级消力池除第三级消力池中有涌浪翻出池外,其它消力池均能满足泄流消能要求。弯道及陡槽段各部位水深均低于边墙高度,边墙高度与水深之间的差值均大于 0.7 m。大流速发生在二级消力池上游陡槽末端,流速为 26.4 m/s。

(4) 工况 4:泄水陡坡流量 110.8 m<sup>3</sup>/s,泄水闸与溢流堰均过流。90°弯道以及曲线堰后各部位水深流态同工况 3 各级消力池长度均偏短,水跃消能

不够充分,一、二级消力池边墙设计高度基本符合要求,但第三级消力池深度不够,水跃淤滚剧烈,涌浪时常翻出池外。最大流速发生在二级消力池上游陡槽末端断面,流速为 27.2 m/s。

### 3.2 原设计方案存在的问题

通过以上 4 种工况的试验结果分析,原设计方案存在以下几个问题:

(1) 各工况下,试验实测流量均小于设计值。由此表明,原设计方案的泄洪能力不能满足泄洪要求。

(2) 在工况 3、工况 4 下,堰后衔接段及 90°弯道的边墙高度不足。

(3) 各工况下,堰后与陡坡之间的衔接段均呈现缓流流态,因此堰后没必要设置消力池;除设计水位外,第三级消力池中均有涌浪翻出池外,表明此时消力池边墙高度偏低。在校核水位闸门全开及泄水陡坡流量 110.8 m<sup>3</sup>/s 情况下,各级消力池中水跃跃出池外,表明池长池深不足。

## 4 原设计方案的优化及成果

### 4.1 原设计方案的优化

#### 4.1.1 泄水陡坡体型优化

对原设计方案的试验结果分析后发现,在工况 1、工况 2、工况 3 下,通过的流量均小于设计流量。究其原因主要是设计流量是按照堰在自由出流的情况下进行计算的,而试验结果却表明,各工况下堰的出流为淹没出流,从而导致泄水陡坡过流能力偏低。因此,本文在保持其它尺寸不变的情况下,将泄水闸门后的 90°弯道段底坡由原来的 1/500 变陡至 1/100。此外,由于原设计方案各工况堰后衔接段中的消力池起不到消力作用,所以直接将其改为坡度为 1/20.93 的斜坡,衔接段出口与陡坡相交处底部高程降至 1 800.502 m。优化前后堰后衔接段如图 3、图 4 所示。

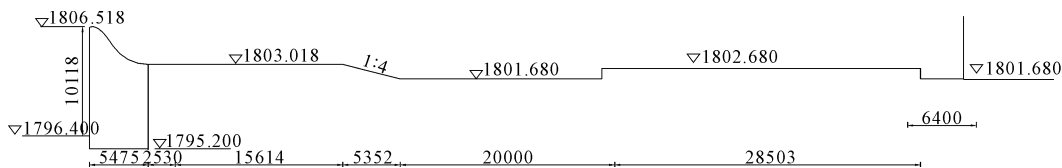


图 3 原方案堰后衔接处

#### 4.1.2 消力池体型优化

针对陡槽段各级消力池中水面波动大、流态恶劣的问题,本试验在消力池中设置了消能悬栅<sup>[10-15]</sup>,以增大效能率。悬栅的布置形式及尺寸

如图 5、图 6 所示。同时为降低池后渠中流速,避免渠道冲刷破坏,将第三级消力池池深由 3.5 m 减少至 2.65 m,以此减小下游渠道底坡。

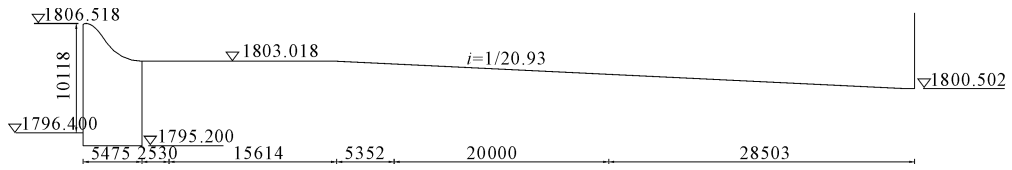


图 4 优化后堰后衔接处

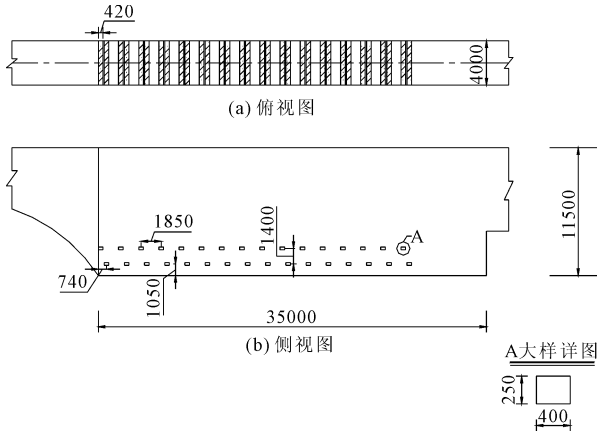


图 5 一、二级消力池悬栅布置型式及尺寸

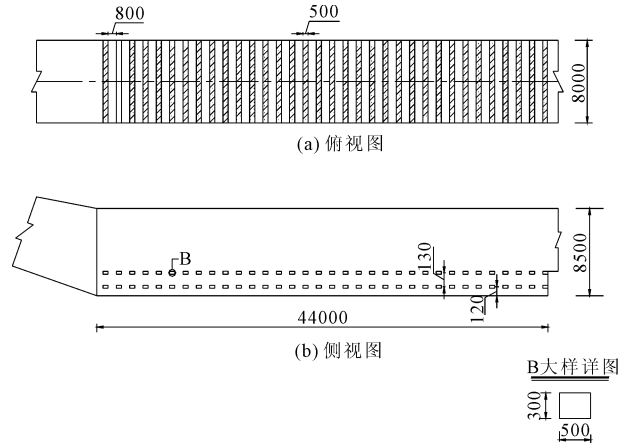


图 6 第三级消力池悬栅布置型式及尺寸

## 4.2 优化体型试验成果及分析

### 4.2.1 泄水陡坡体型优化试验结果

各工况下,对优化后的体型进行了试验,试验结果见表 2。

表 2 各工况下的泄流量

工况	泄流量/(m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> )		
	优化方案	原方案实测值	原方案设计值
工况 1	75.7	63.0	64.4
工况 2	125.8	76.9	118.0
工况 3	109.2	98.4	110.8

试验结果表明,优化后各工况下泄水陡坡的泄流量均大于或接近于设计值。由此表明优化后的泄水陡坡体型是能够满足泄流能力要求的。

### 4.2.2 消力池加栅试验

试验中分别对不同栅条间距以及单层和双层栅条进行了试验。试验表明,在各级消力池中加设双层悬栅可以有效地平稳池内水流,改善消力池内水流流态,降低消力池末端流速。表 3 为工况 2 下消力池下游渠中的流速及水深对比表。由表 3 可见工况 2 情况下各级消力池在设置悬栅后流速降低,水深增大。

表 3 工况 2 加栅前后典型断面流速水深对比表

位置	桩号	流速/(m·s <sup>-1</sup> )		水深/m	
		未加栅	加双层悬栅	未加栅	加双层悬栅
一级消力池后	泄 0 + 245	5.38	1.88	9.63	9.98
二级消力池后	泄 0 + 383	5.63	1.54	9.45	10.50
三级消力池后	泄 0 + 529	4.12	2.07	8.40	8.23
扩散段扭面开始	泄 0 + 530	5.06	3.95	4.38	4.90
扩散段扭面末端	泄 0 + 560	5.25	2.87	2.98	4.03
尾水渠 I - I 断面	泄 0 + 584	5.49	2.49	2.63	4.13
尾水渠 II - II 断面	泄 0 + 632	5.33	2.47	2.73	4.17
尾水渠 III - III 断面	泄 0 + 695	4.87	2.60	3.33	4.17
尾水渠 IV - IV 断面	泄 0 + 760	4.96	3.32	2.96	3.85