

# 安宁水电站溢洪道消能防冲试验研究

赵健飞<sup>1</sup>, 王军海<sup>2</sup>, 徐根海<sup>3</sup>, 纪志强<sup>3</sup>

(1. 中国水利水电第十四工程局有限公司, 云南 昆明 650041; 2. 武功县水利局, 陕西 武功 712200;  
3. 西北农林科技大学 水利与建筑工程学院, 陕西 杨凌 712100)

**摘要:** 低水头、低佛汝德数消能一直是中小型水利工程泄洪消能的关键问题, 通过水力学模型试验方法, 对安宁水电站溢洪道泄洪消能问题进行了研究。结果表明: 通过折坡消力池中布置两排消力墩以及护坦末端加设尾坎的方案, 解决了该溢洪道消力池消能及水流衔接问题, 提高了消能率, 改善了下游河道水流条件。

**关键词:** 泄洪消能; 模型试验; 折坡消力池; 消能率

中图分类号: TV651.1

文献标识码: A

文章编号: 1672—1144(2012)06—0110—04

## Experimental Study on Energy Dissipation and Scour Prevention of Spillway in Anning Hydropower Station

ZHAO Jian-fei<sup>1</sup>, WANG Jun-hai<sup>2</sup>, XU Gen-hai<sup>3</sup>, JI Zhi-qiang<sup>3</sup>

(1. 14th Engineering Bureau Co., Ltd., China Water Resources and Hydropower, Kunming, Yunnan 650041, China;

2. Wugong County Water Conservancy Bureau, Wugong, Shaanxi 712200, China;

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

**Abstract:** The low head and low  $F_r$  number of consumers have been a key issue in flood discharge and energy dissipation of middle and small hydraulic engineerings. Through hydraulic model test methods, the energy dissipation in Anning Hydropower Station's spillway were studied. The results of the study show that the arrangement with two rows of the stilling piers and a tail threshold at the end of the apron in the stilling basin with inflection could solve the problems of the stilling basin's energy dissipation and flow convergence of the spillway, increase the energy dissipation rate and improve the flow state in downstream river channel.

**Keywords:** flood discharge and energy dissipation; model test; stilling basin with inflection; energy dissipation rate

### 1 工程概况

安宁水电站位于四川省阿坝州境内的大渡河干流上, 是金川~丹巴河段分三级开发的第一级电站。安宁水电站以发电为主, 电站装机容量 380 MW, 水库正常蓄水位 2 130.00 m, 消能防冲水位为 2 126.00 m, 设计洪水位为 2 130.07 m, 校核洪水位 2 133.30 m, 水库总库容 1.492 亿  $m^3$ 。

安宁水电站挡水建筑物为沥青混凝土心墙堆石

坝, 泄水建筑物为右岸开敞式溢洪道和右岸岸塔式泄洪洞组成, 电站地下厂房位于左岸, 由四台机组发电。溢洪道由进水渠段、控制段、泄槽段、挑流鼻坎段组成。引渠段开挖成喇叭口状, 使水流平顺进入溢洪道内。控制段采用 WES 堰, 堰顶高程为 2 113.50 m, 设 3 孔弧形闸门, 单孔净宽 12 m, 堰高 3.50 m。泄槽长 142.75 m, 底坡  $i = 10.5\%$ ; 泄槽采用收缩布置, 收缩后泄槽宽度 32.0 m, 收缩角为  $7^\circ$ ; 溢洪道采用挑流消能, 挑坎顶高程 2 090 m, 反弧半

收稿日期: 2012-06-04

修稿日期: 2012-07-05

作者简介: 赵健飞(1988—), 男(汉族), 陕西周至人, 本科生, 主要从事水利水电工程施工。

通讯作者: 徐根海(1963—), 男(汉族), 陕西高陵人, 副研究员, 主要从事水工水力学及河流动力学研究。

径采用 80 m,挑角 22°。挑坎长度为 42.75 m。枢纽 布置见图 1,溢洪道体型见图 2。

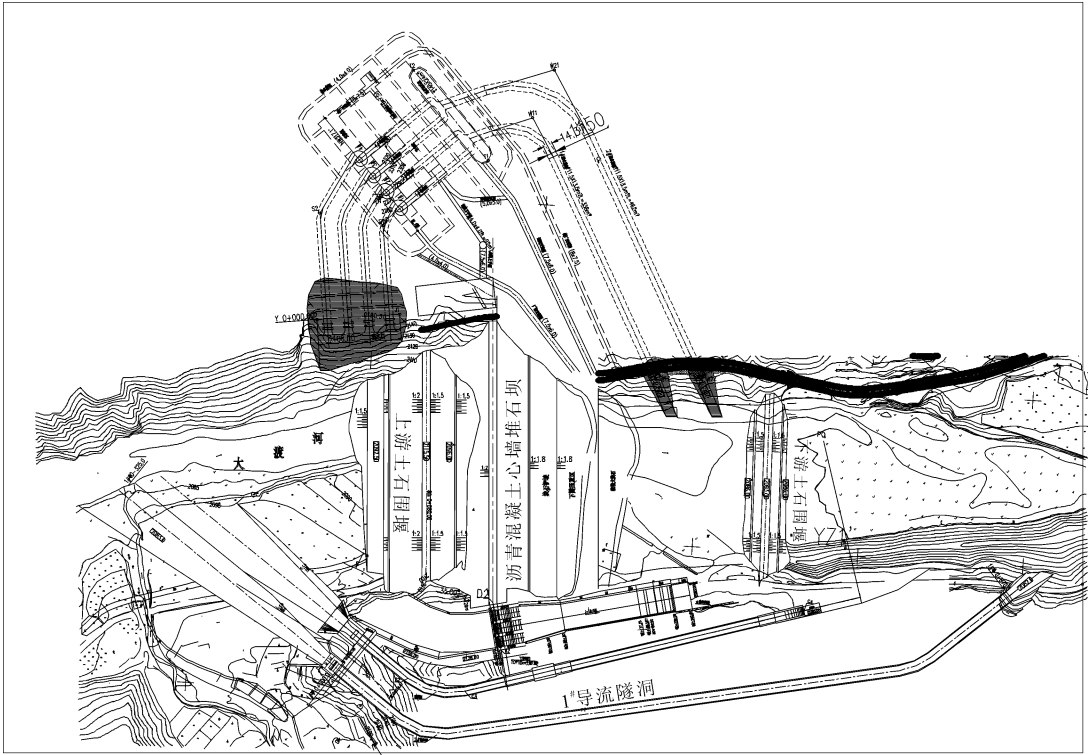


图 1 安宁水电站枢纽平面布置图

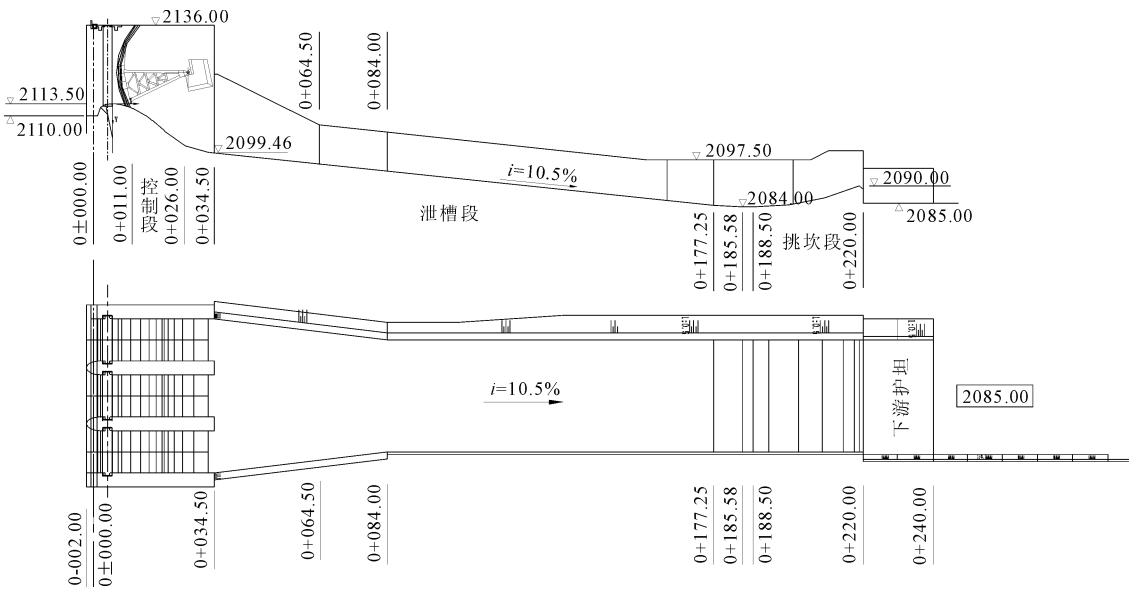


图 2 安宁水电站溢洪道体型图

## 2 原方案试验研究

模型按重力相似准则<sup>[1]</sup>设计,采用正态模型,几何比尺  $L_r = 80$ 。试验首先观测了泄水建筑物的泄流能力,实测设计洪水溢洪道泄量为  $4\ 639.84\ \text{m}^3/\text{s}$ ,总泄量为  $6\ 727.60\ \text{m}^3/\text{s}$ ;50 a 一遇洪水(消能防冲水位)溢洪道泄量为  $2\ 946.55\ \text{m}^3/\text{s}$ ,总泄量为  $4\ 843.20$

$\text{m}^3/\text{s}$ ,满足泄流能力要求。

试验还对原方案设计水位工况以及消能防冲水位工况泄水建筑物的流速、压力、水面线等进行了量测,发现泄洪洞水力参数分布正常,设计合理。溢洪道主要存在以下问题:

- (1) 进口引渠流态不好,左边墙进口有绕流影响,过堰水流不均。

(2) 由于闸后收缩的影响,控制段末中墩后有不同程度的水冠,泄槽段折冲水流突出。

(3) 由于下游水深较大,未能形成挑流消能流态,出口水流与下游河道水流衔接不佳,下游河道回流严重,河道冲淤范围大、冲坑深。

针对以上问题,修改方案对溢洪道进口左导墙进行加长以及圆弧化,从而改善了进口条件,使水流较为平顺的进入控制段;中墩后设置渐缩收尾墩,消除了水冠;对于消能段,修改首先按照设计意图,即以挑流、面流或混合流流态<sup>[2]</sup>消能方式进行的。经过多次试验,其中包括挑坎加高、大导向扭曲鼻坎、连续坎岸池、差动坎岸池、连续坎岸池+消力墩、泄槽段设置大台阶、导向分流鼻坎、分流式挑流鼻坎、边墙折流坎等,虽然有的方案能满足 50 a 一遇洪水

标准,但设计洪水及以上工况都较难满足消能防冲要求,故需要选择合适的消能方式,以满足低水头、大单宽消能要求<sup>[3]</sup>。

根据原方案以及修改方案实测流量、流速、冲淤深度以及挑坎段佛汝德数(2.5 左右)等水力要素,并结合电站自身特点,考虑利用底流消能工可以较好地解决安宁溢洪道的消能防冲问题。

### 3 折坡消力池试验研究

受地形、地质条件以及工程经济性的影响,消力池的长度明显不足,故考虑采用折坡消力池来形成水跃消能。折坡消力池方案体型见图 3,最大池长 55 m,折坡坡度为 1:3。

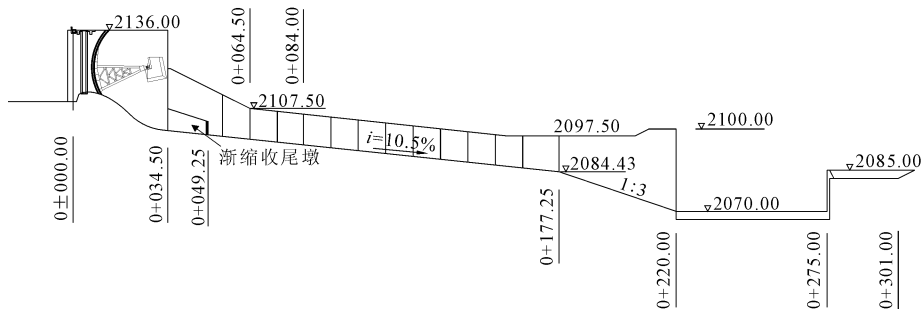


图 3 折坡消力池体型图

试验结果表明,在设计水位工况和消能防冲水位工况折坡消力池方案均能形成水跃消能,且能满足设计要求,但低佛氏数水跃<sup>[4]</sup>消能率较低。故常在消力池中加设一些辅助消能工,从而使消力池的性能得到改善<sup>[5]</sup>,提高消能率。

在折坡消力池基础上,对其进行体型优化并增设一定的辅助消能工,见图 4。图 4 中(a)为消力池底板抬高 5 m,池长增加了 14.45 m,(b)为消力池内布置两排消力墩,(c)为护坦末端加设尾坎。

试验结果发现,修改体型(a)、(b)、(c)在各级工况下均能形成水跃消能,但对于折坡消力池方案以及(a)、(b)体型,出池水流较集中,对岸边冲刷严重,冲坑较深。体型(c)加设尾坎后,相当于一个二级消力池,一部分水流经由坎顶流出,一部分由护坦左边缺口流出,到达主水槽位置,形成冲坑较浅,且远离岸坡。现将设计水位(2 130.07 m)工况折坡消力池方案以及修改体型图 4(a)、(b)、(c)的消能率进行对比,见表 1。

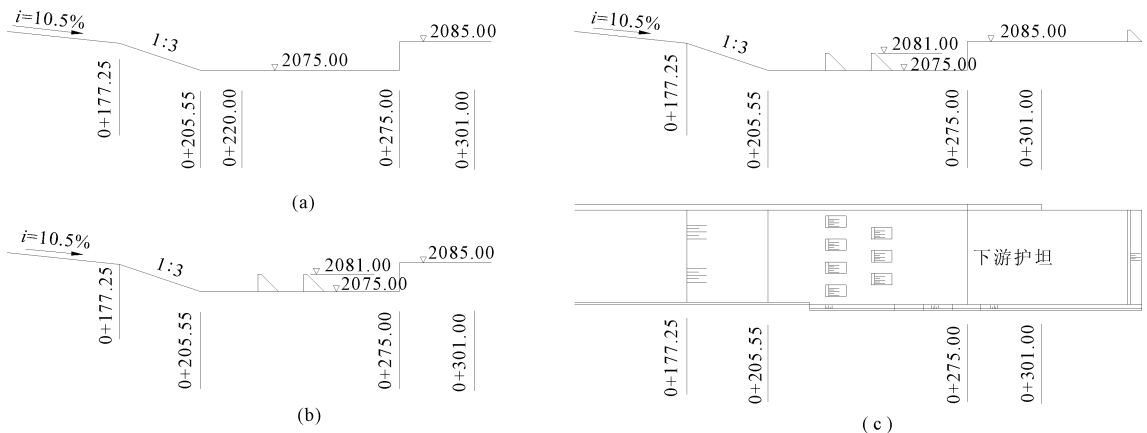


图 4 折坡消力池修改方案体型

表 1 安宁折坡消力池消能率对比表

| 方案    | 库水位/m   | 位置/(km+m)    | 水深/m  | 流速/(m·s <sup>-1</sup> ) | 断面比能/m | 消能率/% | 备注                            |
|-------|---------|--------------|-------|-------------------------|--------|-------|-------------------------------|
| 折坡消力池 | 2130.07 | 0+164.50(跃首) | 7.25  | 20.00                   | 27.64  | 23.51 | 消力池底板高程 2070 m                |
|       |         | 0+275.00(池末) | 17.73 | 8.18                    | 21.14  |       |                               |
| 体型(a) | 2130.07 | 0+177.25(跃首) | 6.13  | 23.65                   | 34.65  | 41.85 | 消力池底板高程 2075 m                |
|       |         | 0+275.00(池末) | 15.92 | 9.11                    | 20.15  |       |                               |
| 体型(b) | 2130.07 | 0+177.25(跃首) | 5.79  | 25.04                   | 37.75  | 47.77 | 消力池底板高程 2075 m<br>+ 两排墩子      |
|       |         | 0+275.00(池末) | 14.88 | 9.74                    | 19.72  |       |                               |
| 体型(c) | 2131.07 | 0+175.00(跃首) | 6.21  | 23.35                   | 34.00  | 42.37 | 消力池底板高程 2075 m<br>+ 两排墩子 + 尾坎 |
|       |         | 0+275.01(池末) | 14.48 | 10.01                   | 19.59  |       |                               |

根据表 1 可知,折坡消力池体型(b)的消能率最高,可达 48%,但根据下游河道流态以及冲淤情况显示,原方案以及体型(a)、(b)的河道下游冲坑最深点均在 2 060.0 m 左右,而体型(c)河道下游冲坑最深点为 2 067.2 m,提高了 7.2 m,消能率也可达 42%。

泄槽段是由缓坡变陡坡,连接段最好能采用抛物线连接<sup>[6]</sup>。以避免水流底面产生负压,招致空穴水流,并力求减小表面的接触压力。但是,经过计算,如果采用抛物线连接,消力池长度将会进一步缩短,而且陡坡的坡比将会发生变化,对于消力池内的流态将会引起很大变化,加之地形、地质条件不允许消力池向后加长,故采取拟合的方法,利用相切圆代替,最终确定圆的半径为 112 m,可作为推荐方案。

对推荐方案各工况的水力参数量测发现,虽然圆弧渐变段有一定的负压,但其值较小,在允许范围内。设计水位池内最大流速约为 20 m/s,对消力墩稳定基本无影响。其余水力参数分布正常。

## 4 结 语

通过模型试验,对安宁水电站溢洪道原方案进行体型修改和优化,解决了以下问题:

(1) 对溢洪道进口喇叭口的修改,使水流能平顺导入控制段,闸孔过水均匀;

(2) 渐缩收尾墩的设置消除了水冠,缓解了闸后收缩的影响,但仍存在突出的折冲水流;

(3) 圆弧连接段是在抛物线拟合的基础上确定的,能有利于缓解负压的出现,改善了进池水流流态;

(4) 推荐方案的消力池长度较短,在各水位工况下均能形成水跃消能,满足消能防冲要求。

对于低佛汝德数 ( $F_r < 4.5$ ) 的水利工程,其水跃消能率一般为 20% ~ 40%<sup>[7]</sup>。针对安宁水电站溢洪道折坡消力池的研究发现:如果对于辅助消能工程设计得当,不仅可以减少开挖量,降低工程投资,还可以提高消能率,减小下游河道冲刷,改善下游河道流态。

## 参考文献:

- [1] 吕宏兴.水力学[M].北京:中国农业出版社,2002:432-433.
- [2] 郭子中.消能防冲原理与水力设计[M].北京:科学出版社,1982:9-10.
- [3] 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.
- [4] 李梦成,童海鸿.低佛氏数底流消能辅助消能工模型试验分析[J].人民黄河,2011,33(9):144-145.
- [5] 刘美茶.卡尔达拉水电站折坡消力池消力墩试验研究[D].杨凌:西北农林科技大学,2010:1-2.
- [6] 中华人民共和国水利部.SL 253-2000.溢洪道设计规范[S].北京:中国水利水电出版社,2000:62-63.
- [7] 陈俊英.低水头引水工程消能措施试验研究[D].杨凌:西北农林科技大学,2005:1-2.