

# 混合式消能的应用研究

赵亮 陈全宝

中水东北勘测设计研究有限责任公司

DOI:10.12238/hwr.v8i6.5517

**[摘要]** 某抽水蓄能电站工程下水库采用侧槽式溢洪道方案泄洪,单宽泄量小,堰顶采用无闸门自由溢流型式。消能型式初步采用底流消能型式。通过多方案比较和试验研究,将底流消能型式调整为台阶式消能与底流消能相结合方式。当单宽流量较小时,在保证消能率相近的情况下,台阶式消能与底流消能相结合的消能方式可有效提高消能率,减小消能工尺寸及工程量,节约投资,减小征地范围。

**[关键词]** 侧槽溢洪道; 小单宽流量; 底流消能; 台阶式消能

**中图分类号:** TV **文献标识码:** A

## Study on Application of Hybrid Energy Dissipation

Liang Zhao Quanbao Chen

Zhongshui Northeast Survey and Design Research Co., Ltd

**[Abstract]** The lower reservoir of a pumped storage power station project adopts the side channel spillway scheme for flood discharge, and the discharge per unit width is small, and the weir crest adopts the type of free overflow without gates. The energy dissipation type initially adopts the underflow energy dissipation type. Through the comparison of several schemes and experimental study, the energy dissipation type of underflow is adjusted to the combination of stepped energy dissipation and underflow energy dissipation. When the discharge per unit width is small, the energy dissipation mode of combining stepped energy dissipation with underflow energy dissipation can effectively improve the energy dissipation rate, reduce the size and quantity of energy dissipators, save investment and reduce the scope of land acquisition.

**[Key words]** side channel spillway; Small unit width flow; Underflow energy dissipation; Stepped energy dissipation

## 引言

国内抽水蓄能电站工程下水库大坝多采用当地材料坝,溢流表孔多采用开敞式溢洪道型式,泄量较其他水利枢纽工程较小。根据主体工程布置及地形条件影响,底流消能大量应用其中。近年来对于小单宽流量溢洪道消能的布置,采用台阶式消能与消力池相结合方式逐渐增多。此布置型式为溢洪道消能工布置提供了新的思路。本文主要研究对于小单宽流量条件下台阶式消能与消力池相结合的模型试验成果,并与传统底流消能型式进行对比。

## 1 某工程概况

某抽水蓄能电站工程下水库大坝采用钢筋混凝土面板堆石坝,泄洪系统采用泄洪放空洞与开敞式侧槽溢洪道相结合型式。溢洪道布置于右岸,由于下游河床较高,溢洪道泄量较小,且出水区较坝脚比较近,因此消能方式采用底流消能方式。溢洪道总长170.36m,包括侧槽段、调整段、斜槽段及消力池段。侧堰净宽40m,底宽5~10m。底坡 $i=2.5\%$ 。调整段长23.42m,底宽10m。斜槽段底宽10m,两侧采用混凝土贴坡式挡墙,坡比1:0.5。消力

池段宽度10m,两侧采用直立式挡墙。

设计洪水位( $P=0.5\%$ )时,溢洪道泄量 $34\text{m}^3/\text{s}$ ,单宽泄量 $3.4\text{m}^3/\text{s}$ 。校核洪水位( $P=0.1\%$ )时溢洪道泄量 $129\text{m}^3/\text{s}$ ,单宽泄量 $12.9\text{m}^3/\text{s}$ 。单宽流量较小。

## 2 试验目的和内容

为保证设计成果的可靠和合理性,溢洪道开展水工模型试验,为设计提供依据。具体试验的目的:

(1)验证泄水建筑物泄流能力以及建筑物结构形式、体型和布置的合理性;(2)验证消能建筑物型式、布置的合理性和消能效果;(3)研究水流流态、下游河道冲刷等的结果,提出并验证改善水流条件的改进建议,对消能工尺寸进行优化,验证台阶式消能与底流消能相结合的消能效果。

## 3 模型设计

### 3.1 相似准则<sup>[1]</sup>

(1)几何相似。几何相似指模型与原型几何形状和边界条件的相似,即模型与原型间相应长度的比例 $L_r$ 为一正值:

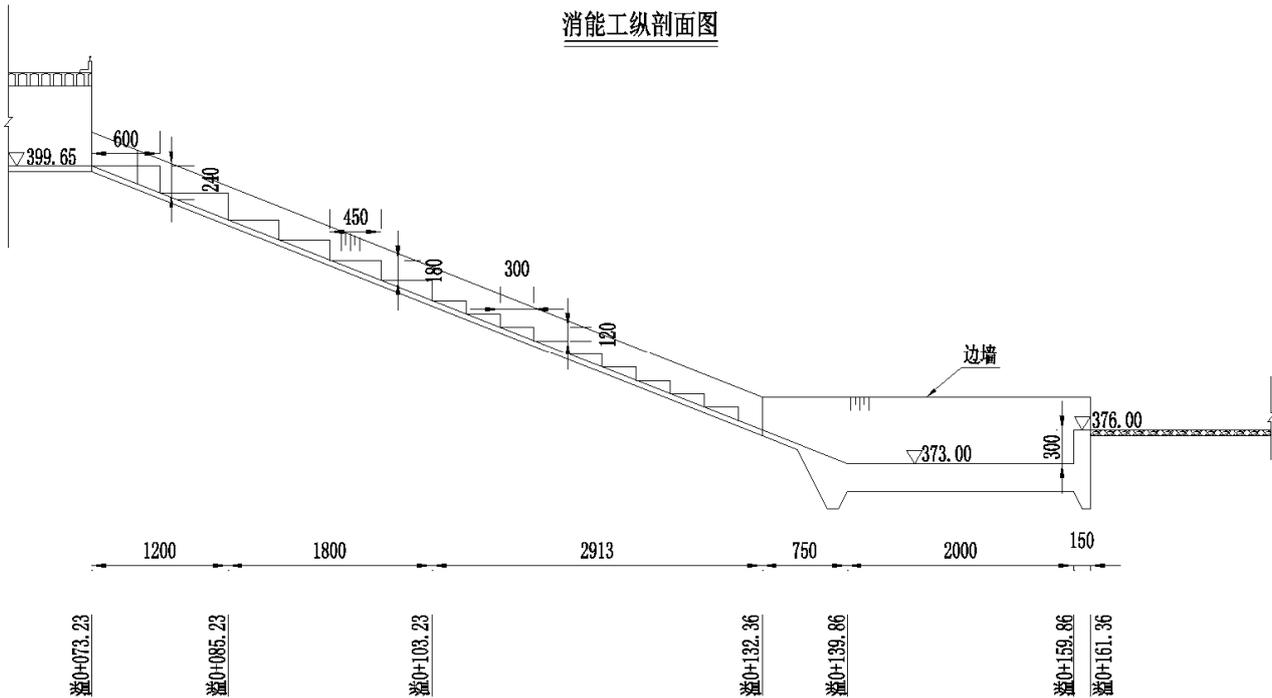


图1 方案一消能工纵剖面图

$$L_r = \frac{L_p}{L_m} \quad (\text{几何比尺})$$

(2)重力相似。原型和模型间水流运动主要作用力为重力，动力相似的必要条件是惯性力和重力比例相等，即：

$$\frac{G_r}{F_r} = \frac{\gamma_r L_r^3}{\rho_r L_r^4 T_r^{-2}} = 1$$

$$T_r = L_r^{1/2} \quad (\text{时间比尺})$$

$$v_r = L_r^{1/2} \quad (\text{流速比尺})$$

### 3.2模型设计

为了满足水工模型试验相似性及最小水深大于3cm的要求，同时可以满足溢洪道泄流能力小流量量测条件，选定模型比尺1:25。模型按照重力相似准则进行设计，为正态模型。

### 3.3消能率计算

消能率采用以下公式计算<sup>[2]</sup>：

$$\eta = \frac{\Delta E}{E_1} \times 100\% = \frac{E_1 - E_2}{E_1} \times 100\%$$

其中E<sub>1</sub>——上游总水头；

E<sub>2</sub>——下游总水头；

## 4 方案布置

方案一：消能方式采用底流消能，泄槽内布置台阶，台阶共15级，前2级台阶单体长6.00m、高2.40m，中间4级台阶单体长4.50m、高1.80m，后9级台阶单体长3.00m、高1.20m，泄槽内采用贴坡式混凝土挡墙，泄槽长66.63m。台阶后接消力池，池长20.00m，池宽10.00m，消力池底板顶高程373.00m，池深3.00m，两侧为直立边墙，墙高10m，末端尾坎高程376.00m，坎顶宽度1.50m。具体布置见图1。

方案二：与方案一相比，将台阶取消，泄槽改为斜坡式，其余布置不变。

方案三：与方案二相比，消力池池长调整为25.00m，池宽10m，消力池底板顶高程371.00m，池深5.00m，两侧为直立边墙，墙高12m，末端尾坎高程376.00m，坎顶宽度1.50m。

## 5 试验成果

溢洪道在设计洪水位不参与泄洪，校核洪水位时参与泄洪。通过校核洪水位工况对比水位成果。

### 5.1流速

(1)方案一。台阶前半段水流流态接近跌流，在第2级台阶四角开始产生掺气漩滚，水流在经过第6级台阶后直接落在第8级台上，台阶后半段水气掺混破碎剧烈。台阶段最大流速位于末端，最大流速为11.25m/s，断面平均流速10.82m/s。消力池内形成稳定淹没水跃，入池流速11.83m/s，池内水流紊动掺混消能，出池最大流速5.84m/s。

(2)方案二。宣泄1000年一遇洪水,泄槽段水流平顺,水流进入消力池形成水跃,泄槽段坡底最大流速19.53m/s,入池流速19.86m/s,池内水流紊动掺混消能,尾坎出池水流平均流速5.51m/s,最大流速6.57m/s。

(3)方案三。宣泄1000年一遇洪水,泄槽段水流平顺,泄槽段起点最大流速5.49m/s,末端最大流速为19.76m/s。消力池内形成稳定淹没水跃,入池流速19.72m/s,池内水流紊动掺混消能,出池最大流速5.12m/s,平均流速4.75m/s。

流速对比见表1。

表1 流速对比表

桩号 方案	单位	方案一	方案二	方案三
泄槽最大流速	m/s	11.25	19.53	19.76
入池流速	m/s	11.83	19.86	19.72
出池流速	m/s	5.84	6.57	5.12

### 5.2冲刷

(1)方案一。宣泄1000年一遇洪水,溢洪道消力池下游冲坑最深点高程为372.20m,相对海漫防护高程376.00m冲深为3.8m,最深点距离距尾坎15.0m,尾坎最大垂直淘刷高程为373.60m,相对海漫防护高程376.00m淘刷深度2.4m。消力池下游冲刷主要是覆盖层泥沙输移,弱风化层冲刷较小。

(2)方案二。宣泄1000年一遇洪水,消力池下游冲坑最深点高程为371.4m,相对海漫防护高程376.0m冲深为4.6m,最深点距离距尾坎5.0m,尾坎最大垂直淘刷高程为372.3m,相对海漫防护高程376.0m淘刷深度3.7m。消力池下游冲刷主要是覆盖层泥沙输移,弱风化层冲刷较小。

(3)方案三。宣泄1000年一遇洪水,溢洪道消力池下游冲坑最深点高程为372.30m,相对海漫防护高程376.00m冲深为3.7m,最深点距离距尾坎5.0m,尾坎最大垂直淘刷高程为373.70m,相对海漫防护高程376.00m淘刷深度2.3m。消力池下游冲刷主要是覆盖层泥沙输移,弱风化层冲刷较小。

冲刷对比见表2。

表2 冲刷深度对比表

桩号方案	单位	方案一	方案二	方案三
最大冲坑深度	m	3.8	4.6	3.7
尾坎淘刷深度	m	2.4	3.7	2.3

### 5.3消能率

根据三方案试验成果计算消能率,计算结果见表3:

表3 消能率计算结果

参数方案	方案一	方案二	方案三
Z1 (m)	404.97	404.97	404.97
v (m/s)	4.74	5.51	4.75
Z2 (m)	379.32	380.74	379.21
$\eta$ (%)	84.6	78.3	85.0

## 6 结论

通过对三方案的试验研究,可以明显看出:对于小单宽流量的溢洪道消能工来说,台阶式消能与消力池相结合的消能方式与传统的底流消能方式相比,可有效的提高消能率,“台阶+消力池”消能方式效果十分显著。当消能率与传统底流消能方式相近时,对于小单宽流量消能工布置,台阶式消能与底流消力池的联合消能方案可有效的减少消能工尺寸及工程量,减少征地范围减少投资。因此“台阶+消力池”消能方式对于小单宽流量消能工布置具有重要参考价值。

### [参考文献]

- [1]张志昌.水力学[M].北京:中国水利水电出版社,2011.7.  
[2]李虎.台阶式溢洪道特性研究概述[J].甘肃科技,2023,(07):54-57.

### 作者简介:

赵亮(1989—),男,汉族,辽宁盘锦人,研究生,工程师,从事水利水电工程设计工作。