

# 头道白杨沟水库溢洪道在设计中的参数分析

姜兴培

哈密托实水利水电勘测设计有限责任公司 哈密 839000

**摘要:** 对于水库溢洪道末端距离水库下游坡角比较近时,是当今水库溢洪道消能的重要课题,把溢洪道末端消能处理好,对水库大坝的运行安全是非常重要的。为此本水库溢洪道设计的阶梯消能效果如何,只有通过溢洪道水工模型试验才能基本确定,通过头道白杨沟水库溢洪道水工模型试验修改了部分原阶梯消能设计参数与尺寸,运行10年来,消能效果良好,消能率达到了88%。保证了大坝的运行安全。

**关键词:** 水库溢洪道; 水工模型试验; 设计参数分析

## 引言

随着我国水利工程建设的不断推进,水库溢洪道的设计已成为一项重要课题。特别是在水库溢洪道末端距离水库下游坡角较近的情况下,如何处理溢洪道末端的消能问题,以确保水库大坝的运行安全,是当前亟待解决的问题。本文以头道白杨沟水库溢洪道为例,对其设计中的参数进行分析,探讨阶梯消能效果,以期为类似工程提供参考。头道白杨沟水库溢洪道在设计过程中,通过水工模型试验对原阶梯消能设计参数与尺寸进行了修改。经过长达10年的运行,修改后的溢洪道消能效果良好,消能率达到了88%,有效保证了水库大坝的运行安全。本文将对此进行详细阐述,以期为类似工程提供有益借鉴。本文介绍了头道白杨沟水库溢洪道的工程背景,分析了溢洪道设计中面临的挑战。对原设计中的阶梯消能方案进行了评价,并阐述了修改过程中所考虑的因素。接着,通过水工模型试验对修改后的阶梯消能设计进行了验证,分析了试验结果与实际运行效果之间的关系。总结了头道白杨沟水库溢洪道设计的经验教训,对今后类似工程提出了建议。本文旨在通过对头道白杨沟水库溢洪道设计的探讨,为我国水利工程建设提供有益的参考。通过对溢洪道消能效果的研究,有助于提高水库大坝的安全性,保障人民群众的生命财产安全。同时,也为我国水利工程设计水平的提高和水利事业的可持续发展贡献力量。

## 1. 溢洪道概况

头道白杨沟水库,位于我国兵团农十三师红山农场范围内,其坝址位于东经 $93^{\circ} 30' \sim 93^{\circ} 31'$ ,北纬 $43^{\circ} 56' \sim 43^{\circ} 57' 30''$ 。该水库距离哈密市280km,

距离巴里坤县130km,距离红山农场150km,距离三塘湖乡43km。交通条件便利,县乡公路和简易路面可达。头道白杨沟水库是一处小型(1)型山区多年调节水库枢纽,其主要任务是为巴里坤县三塘湖矿区东部片区的近期煤电工业提供水源。在97%的保证率下,水库可向下游工业供水483.8万 $m^3$ 。溢洪道位于水库右岸山体内,为侧槽溢洪道,溢流堰采用WES实用堰。溢洪道的起调水位为水库的正常蓄水位1928.38m,堰顶高程与起调水位相同。溢洪道全长246m,包括侧堰段、调整段、泄槽阶梯消能段和出口消力池段。校核洪水下泄流量 $Q_{max}$ 为124.3 $m^3/s$ ,设计洪水下泄流量 $Q_{max}$ 为48.27 $m^3/s$ 。

### (1) 侧堰段(桩号0+000~0+020)

溢流堰采用WES实用堰型,堰顶高程设定为1928.38米。侧槽的首端底宽为3米,尾端底宽为6米,侧槽段长20米。内边坡系数为0.3,侧槽内底坡为0.004。结构材料为C25F300W8钢筋混凝土衬砌。

### (2) 调整段(桩号0+020~0+035)

桩号0+020至0+035的部分被设计为调整段,长度为15米。该段底坡保持水平,断面从梯形逐渐过渡为矩形,底板高程设定为1923.28米。结构材料为C25F300W8钢筋混凝土衬砌,边墙厚度为0.5米。开挖边坡为1:0.5,边坡采用钢筋混凝土桩与岩体进行锚固,锚深为6米,布设间距为3.0×3.0米。

## 2. 溢洪道模型设计和制作

### 2.1 相似准则与模型比尺

溢洪道模型的制作范围如下:总长为315m,其中包括

侧堰段 20m、调整段 15m、泄槽阶梯消能段 190m、消力池段 21m 以及尾水渠段 69m。在模型设计过程中, 我们遵循了重力相似准则, 并采用正态模型。模型的几何比尺为, 其他水力参数的相似比尺详见表 2-1。此外, 我们还提供了模型平面布置图 (见图 2-1) 和模型全景图 (见图 2-2)。

表 2-1 重力相似条件下的各水力参数相似

水力参数	换算关系	相似比尺	水力参数	换算关系	相似比尺
长度 $l$	$\lambda_l$	25	流量 $Q$	$\lambda_Q = \lambda_l^{5/2}$	3125
压强 $P$	$\lambda_{p, \rho} = \lambda_l$	25	时间 $t$	$\lambda_t = \lambda_l^{1/2}$	5
流速 $v$	$\lambda_v = \lambda_l^{1/2}$	5	糙率 $n$	$\lambda_n = \lambda_l^{1/6}$	1.70998

### 2.2 水工模型材料、制作与安装

为了使模型试验能尽可能地还原原型的水流状况, 选择水工结构模型材料时, 需要满足模型材料糙率的要求。根据重力相似原理, 我们有:

$$\lambda_n = \frac{n_p}{n_m} = \lambda_l^{1/6} \quad (2-1)$$

原型泄水建筑物的糙率  $n_p = 0.014$ , 模型泄水建筑物的糙率  $n_m$  应为  $n_m = \frac{n_p}{\lambda_l^{1/6}} = \frac{0.014}{25^{1/6}} = 0.0082$ , 有机玻璃材料的糙率一般为 0.007~0.009, 所以模型中泄水建筑物材料选用的是有机玻璃。

关于模型安装, 需要遵循以下要求: 平面导线布置根据模型形状和范围确定, 导线方位由经纬仪控制, 允许偏差为  $\pm 0.1^\circ$ ; 模型高程用水准仪控制, 需满足精度要求。模型精度控制要求如下: 建筑物模型高程允许误差为  $\pm 0.3$  毫米; 平面距离允许误差为  $\pm 0.3$  毫米; 水准基点和测针零点允许误差为  $\pm 0.3$  毫米。



图 2-2 模型全景图

### 3. 试验成果及分析

为了降低物理模型试验的负担, 本试验首先采用数值模拟方法对原设计方案的结构体型进行初步计算。针对明显不合理的部分结构体型, 进行优化计算并提出合理的结构体型。在完成数模优化后的体型基础上, 开展物理模型试验。

#### 3.1 原设计方案初步数值模拟

图 3-1 展示了原方案中消力池前连接段的纵剖面图。通过数值模拟, 我们得到了溢洪道连接段的压力分布图 (见图 3-2)。从图中可以看出, 溢洪道末端的台阶处存在空腔, 台阶下出现负压。为了解决这个问题, 我们将溢洪道末端与消力池之间的连接段改为了图 3-3 所示的连接型式。这个连接型式的数值模拟结果如图 3-4 所示。从图中可以观察到, 这种连接型式消除了溢洪道末端台阶的负压。接下来, 我们将对这种连接型式的溢洪道进行物理模型试验。

#### 3.2 原设计方案试验结论

试验表明, 当库水位与溢洪道泄流量关系中, 溢洪道实测泄流量在小于 30 年一遇洪水时略小于设计值。然而, 在库水位达到设计洪水位时, 实测流量 ( $52.80\text{m}^3/\text{s}$ ) 大于设



图 2-1 模型平面布置图

计值 ( $48.27\text{m}^3/\text{s}$ ), 相差 9.38%; 在校核洪水位时, 实测流量 ( $129.94\text{m}^3/\text{s}$ ) 也大于设计值 ( $124.3\text{m}^3/\text{s}$ ), 相差 4.53%。这表明侧堰的泄流能力基本满足设计要求。在各级洪水下, 侧堰段上均未出现负压, 说明堰型合理。泄槽阶梯消能段最大负压发生在 10 年一遇洪水, 最小压强值为  $-0.23\text{m}$  水柱, 位于桩号 0+072 断面。校核洪水时, 侧堰段最大水深为  $6.38\text{m}$ , 掺气水深为  $6.65\text{m}$ , 水位为  $1929.97\text{m}$  (墙顶高程  $1932.05\text{m}$ ), 位于桩号 0+010 断面处; 调整段最大水深发生在桩号 0+027.5 断面, 实测水深  $4.86\text{m}$ , 计算相应的掺气水深为  $5.06\text{m}$ , 水位为  $1928.34\text{m}$  (墙顶高程  $1932.05\text{m}$ )。泄槽阶梯消能段最大水深发生在桩号 0+037 断面, 实测水深  $3.40\text{m}$ , 计算相应的掺气水深为  $3.68\text{m}$ , 水位  $1926.96\text{m}$  (墙顶高程  $1932.05\text{m}$ )。试验观察到, 溢洪道在设计洪水和校核洪水时, 水跃冲出消力池, 消力池内为急流流态, 在消力池末端形成射流。随着流量增大, 射流距离越大, 水流冲出边墙。校核洪水时, 阶梯末端流速为  $14.38\text{m/s}$ , 设计洪水时, 阶梯末端流速为  $11.07\text{m/s}$ 。总结: 原设计方案中, 消力池在大于 20 年一遇设计洪水时无法满足安全泄流要求, 已形成远离式水跃。设计洪水时, 水流射向下游渠道, 浪花四溅, 流态恶劣。

3.3 对原设计方案进行修改后进行水工模型试验研究和分析, 得出:

(1) 30 年一遇洪水时, 抛石坑内卵石被水流卷起, 冲向下游, 会损害下游渠道。建议取消抛石坑。

(2) 设计洪水时, 进口段最大水深为  $3.94\text{m}$ , 尾水渠段最大水深为  $2.61\text{m}$ , 尾水渠段最大流速为  $9.27\text{m/s}$  (桩号 0+263.79)。建议尾水渠段采用高性能抗冲材料。

校核洪水时, 水流从弯道末端 (桩号 0+280) 凹岸边墙处翻出墙外。经模型试验量测, 凹岸边墙最大水深为  $3.91\text{m}$ , 最大流速为  $15.51\text{m/s}$  (桩号 0+280.82), 尾水渠段最大水深为  $4.13\text{m}$  (桩号为 0+291)。

溢洪道阶梯段消能率随着泄流量的增大而减小, 其中 10 年一遇洪水时, 消能率达到 93.75%, 而校核洪水时, 阶梯段消能率约为 79.54%, 设计洪水时, 阶梯段消能率为 88.05%, 该结果与阶梯消能的理论计算值相一致。

#### 4. 结束语

本文对头道白杨沟水库溢洪道设计进行了深入研究, 针对溢洪道末端距离水库下游坡角较近的情况, 通过水工模型试验对原阶梯消能设计进行了修改。试验结果表明, 修改后的溢洪道消能效果良好, 保证了水库大坝的运行安全。在研究过程中, 对原设计方案进行了初步的数值模拟和优化, 提出了合理的结构体型。通过物理模型试验, 对修改后的方案进行了验证, 并对试验结果进行了详细分析。结果显示, 溢洪道连接段压力分布合理, 消能效果得到显著提高。根据试验结论, 原设计方案中消力池不能满足安全泄流要求, 经修改后, 消力池内已形成远离式水跃, 消能效果良好。此外, 还对原设计方案提出了改进意见, 如取消抛石坑, 采用高性能抗冲材料等。本文的研究成果为头道白杨沟水库溢洪道的顺利建设和运行提供了重要保障, 也为类似工程提供了有益的参考。然而, 水利工程设计仍需不断优化和完善, 以应对各种复杂情况。今后的研究可以从进一步提高消能效果、减小对环境影响等方面展开, 为我国水利事业的发展贡献力量。通过对头道白杨沟水库溢洪道设计的研究, 我们总结了丰富的经验和教训。在今后的水利工程设计中, 应充分考虑溢洪道末端消能问题, 注重试验研究和分析, 以期为我国水利工程建设提供更为可靠的参考和借鉴。

#### 参考文献

- [1] 白杨沟水库大坝安全监测设计 [J]. 王新疆; 周佳. 科技创新与应用, 2014
- [2] 头道白杨沟水库古河槽处理方案设计 [J]. 朱新英. 大坝与安全, 2015
- [3] 叶巴滩水电工程施工初期导流标准优选 [J]. 张超. 人民长江, 2016
- [4] 试论现行导流标准规范及改进的问题 [J]. 王卓甫. 河海大学学报, 1990
- [5] 黄河上游某水电站初期导流标准风险分析 [J]. 林万旭; 韩鹏辉; 王琳琳; 孙斌. 西北水电, 2018

#### 作者简介:

姜兴培 (1966.7-), 男, 汉族, 籍贯: 湖南。主要研究方向: 水利工程设计。身份证号: 652201196607133211