

# 水库除险加固溢洪道导流墙的水工模型试验研究

李 斌

(韶关市水利水电勘测设计咨询有限公司, 广东 韶关 512000)

**摘 要** 针对水利工程的除险加固, 水利工程模型发挥着极其重要的作用。在建立理论和计算模型的过程中, 模型实验是获得数据依据必不可少的重要方式, 能够对现存的理论结果质疑或者进行修正, 并可以促进该领域的研究向深度进展。因此, 一般在水工模型完成设计后, 就要及时验证其设计结果, 对发现的问题实施及时、有效地修改, 进而实现工程设计的合理、经济、安全。本文的案例是以某水库溢洪道陡槽续建作为除险加固工程的切入点, 利用水工模型的试验对原工程段水面流态、改进后的溢洪道水面流态、流速、续建后的溢洪道进口过流能力实施比较分析和总结。

**关键词** 水库 除险加固 溢洪道 水工模型

**中图分类号:** TV62

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1007-0745(2022)10-0121-03

在水库除险加固的工程设计中, 基于某些水工建筑物极其复杂的工作条件, 面临很多不利于工程分析和计算的因素, 只能简化后进行设计。而通过试验水工模型, 在为模型构建和理论研究提供依据的同时, 也可以对现有理论结果实施验证和修正。在水工模型的试验中有效测量诸多水力学参量, 包括含沙水流的含沙量、水深、流量、渗气水流的渗气浓度、时均与脉动压强、时均与脉动流速等。完成设计后进行设计结果验证, 及时改进发现的各种问题, 利用数据支撑了整个水利过程。

## 1 溢洪道水流流态状况

### 1.1 进口流态

某水库的溢洪道的进口是用直墙和1/4圆形翼墙连接, 直墙半径为20m、圆形翼墙为10m。试验数据表明, 如果折中水流发生在连接段处, 那么围绕中线, 两股水流就会彼此碰撞, 就会发生紊乱性的水流流态, 造成水面的波动, 特别是高水位运行的状态下, 在中线偏左位置两股水流交汇而形成水冠。

### 1.2 急流弯道水流流态

弯道进口设计40m的起始宽度, 到出口处收缩为20m, 逐渐收缩到出口变为20m, 长度从0+030到0+113.80底坡 $i=0.04$ , 折冲水流在弯道上游进入, 急流水流在加大后的底坡形成, 受到上游折冲水流以及弯道离心力的影响, 形成水深左高右低的态势, 水流在弯道中恶化, 构成多股曲线的折冲干扰波, 在设计框

架内, 倘若在0+103右岸发生干扰波时, 构成驻波的设计条件; 基于校核的状态, 驻波会明显形成在0+093断面左侧, 水面的横比降都会突然出现变化, 并且是在不同的弯道断面折冲干扰波扰动线位置, 都会突然变化, 因为特别陡的比降, 滚波状会出现在没有受到干扰的一侧水面。

### 1.3 桥墩附近的流态

墩头为半圆形的溢洪道工作桥, 长和宽分别为2m和1m。流经桥墩的急弯道上多曲线干扰波, 会因为桥墩产生极大的涌浪, 最大可达6.24m, 虽然水流被梳理后改善了下游的流态, 但桥墩附近的流态十分复杂, 连续向下游泄槽折冲水流<sup>[1]</sup>。

## 2 溢洪道导流墙的水工模型制作和测点布置

### 2.1 模型制作

#### 2.1.1 模型比尺

按照水利部《水工(常规)模型试验规程(SL155-95)》中的标准和方式, 遵循相关规程的标准, 全面分析设备和场地的供水能力, 最大限度消除或者减轻缩尺造成的不利影响, 按照1:55的比例尺, 选取要按照地图和研究要求进行。

1. 模型范围。因为本模型将溢洪道体型确定作为试验研究的重点, 对某些水力学问题进行解决, 比如泄洪和消能等, 所以, 确定正态模型为本研究的选择。根据试验的相关要求, 上下游的模型长度分别取至0-260断面延伸至库区和取至0+1030断面。以不影

响溢洪道上下游流态为前提设定模型宽度范围, 尽量保持模型与原型的一致性, 上下游宽度分别为 935m 和 270m。为了模型的精度得以保证, 可以对原型水流状况得以准确反应, 可以将多道花墙增设在模型上游非工作段上, 控制水流的平稳。借助河道的自身的调整能力, 该模型完全保证了原型流场与试验段流场的相似性<sup>[2]</sup>。

2. 比尺选择。选择模型比尺, 要按照相似原则以确保重力相似, 并让模型水流到达阻力平方区内。综合分析后, 确定水工模型的比尺为  $\lambda_L = \lambda_H = 55$  的正态模型,  $\lambda_L$  代表水平比尺,  $\lambda_H$  代表垂直比尺。在此基础上进行相关比例尺的确定。另外, 针对模型与原型的描述, 必须采用同样的物理方程式, 并且要满足以下两个标准:

(1) 必须以紊流作为模型水流的流态, 所以, 要保证模型水流雷诺数  $R_{m} \geq 580 \sim 400021$ 。为了提升安全等级, 在模型设计时必须为 4000 以上的雷诺数。

(2) 为了不让战力影响水流, 要 0-260 断面处于 2 号溢洪道上游位置, 上游 173m 水位, 在  $Q=2300\text{m}^3/\text{s}$  情况下, 进行水流断面雷诺数的计算。原型湿周和模型湿周分别为  $X_p=198\text{m}$  和  $X_m=360\text{cm}$ , 模型过水面积和原型过水面积分别为  $S_m=4053\text{cm}^2$  和  $S_p=1226\text{m}^2$ , 模型平均流速和原型平均流速分别为  $V_m=25.2\text{cm/s}$  和  $V_p=1.87\text{m/s}$ 。利用计算手册进行计算  $Y=0.00804\text{cm}^2/\text{s}$  (30℃时) 则计算公式为:

$$R_m = \frac{S_m}{X_m} = \frac{4053}{360} = 11.25$$

$$\text{即 } R_{em} = \frac{V \cdot R_m}{\gamma} = \frac{25.2 \cdot 11.25}{0.00804} = 35261 > 4000$$

以此类推, 能够得到的  $R_{em} > 4000$  可以是百年一遇或者万年一遇, 力求原型水流紊流和模型试验水流的统一性。

### 2.1.2 粗糙模拟以及模型制作

河道阻力因素的构成主要包括: 河岸阻力、人工建筑物的外加阻力、滩面阻力、沙粒阻力、河槽形态阻力等。而人工建筑物阻力是本文研究的重点。在粗糙模拟试验中, 既要注重人工建筑物因素, 更要全面考虑原型的具体状况。重力相似是该模型试验的宗旨, 所以, 要遵循相关部门的资料和图纸, 利用有机玻璃制造 1 号、2 号溢洪道, 上游和下游的连接段则是利用水泥砂浆净面和拉毛处理。制作 1 号、2 号溢洪道的闸室段有机玻璃的糙率为 0.007~0.008, 因此, 0.014~0.015 的溢洪道闸室段糙率可以符合阻力相似<sup>[3]</sup>。

### 2.1.3 试验仪器设备

本试验通过高水箱循环作为供水系统。水流的测

量利用电磁流量计和模型上安置的 60cm 矩形量水堰进行, 利用活动测针和固定测针测量水位, 可以不利用测压管对时均动水压进行测量, 利用多普超声流速仪测量流速、光电旋桨流速仪。

### 2.2 测点布置

根据试验的要求进行水位测点和流速测点的布置, 要按照相等的间距在各测量断面上进行, 同时按照试验的具体状况, 在进口段入口处以及消力池内根据纵向和横向设置 5 个测点, 按照在其他断面按照纵向和横向设置 3 个测点。为了更方便测量, 测点也可以设置在距离边壁 10cm 处; 有必要在弯道处设置水位壅高点, 作为观测溢洪道过流能力和水面流速、流态的关键断面。

## 3 试验结果分析

### 3.1 溢洪道进口过流能力

对进出口过流能力的影响因素, 主要包括水库水位和溢洪道引水渠控制状况等。针对 0+150 堰上水头断面水位对闸室的影响, 结果表明, 水位与流量密不可分, 本研究获得溢洪道进口处流量与引水渠段 0+150 断面试验水位关系曲线, 如图 1 所示。

试验结果显示, 如果溢洪道为很小的流量, 就会显出原型观测水位和模型观测水位之间的差距, 在  $Q_{p1}=1044\text{m}^3/\text{s}$  的流量状态下, 原水位观测数据为 110.22m, 0+150 断面模型试验水位为 109.87m, 原有观测水位高出模型试验水位 0.35m; 而如果流量逐渐增大, 两者之间的水位差也会显著增大, 如果流量  $Q_{p3}=1555\text{m}^3/\text{s}$  时, 0+150 断面的模型试验水位为 112.64m, 原型观测水位是 114.11m, 原型观测水位比模型试验水位高 1.47m。由此不难看出, 针对过水能力方面, 原区段的设计基本符合标准, 并且溢洪道伴随增大的流量而提升超泄能力<sup>[4]</sup>。

### 3.2 溢洪道水面流速

#### 3.2.1 进口段水面流速

以设计流量为基础实测进口段 A、B 断面流速, 结果显示, 如果断面流速处在 2.5m/s~5.7m/s 范围的均值, 断面垂线流速  $V$  与实测流速最大值  $V_{max}$  之间比值 1.33~1.51 之间, 断面垂线流速  $V$  与实测流速最小值  $V_{min}$  之比在 0.78~0.95 之间。呈现缓流的该段落的弗劳德数为  $Fr \in (0.50, 0.75)$ , 因为闸墩会产生绕流, 因此轴心线的流速值很小, 但正常流速又在进口段末端恢复。有横向流速出现在 0+150 断面进口段, 表现为均匀缓慢的横向流速, 没有明显的横向波。

#### 3.2.2 原工程段水面流速

通过对流速的测试结果进行分析, 断面流速在

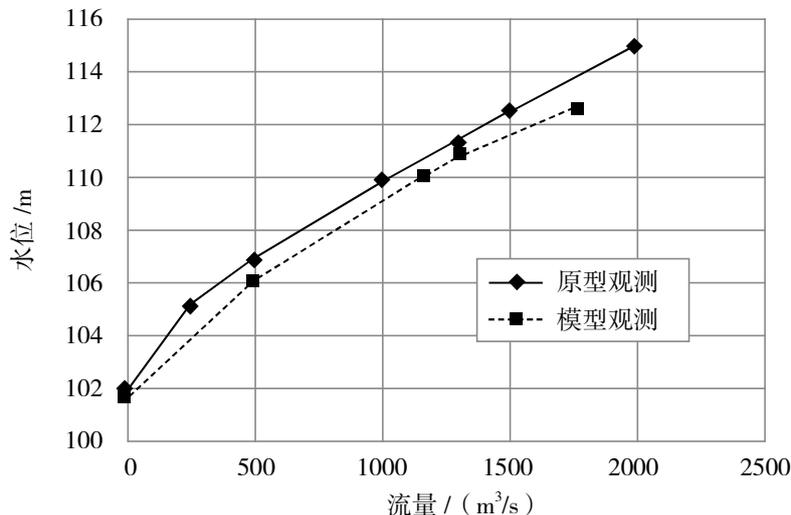


图1 溢洪道进口处流量与引水渠段 0+150 断面试验水位关系曲线

0+170~0+286处缓慢递增,而且,均匀而平稳的流速出现在闸室控制段,因为桥墩造成的局部绕流让流速波动性很大。基于增大的过水断面面积和底板坡度,在直线段内造成流速迅速加快。流速在扩散段后流态不均匀,同时波动的冲击波产生。在扩散段的冲击波作用下,进入梯形段后的水面波动依旧很剧烈,断面垂线流速均值 $V$ 与实测流速均值最大值 $V_{\max}$ 之比在1.93~1.14之间,断面垂线流速均值 $V$ 与实测流速均值最小值 $V_{\min}$ 与之比为0.67~0.58。该段落的弗劳德数 $Fr \in (0.53, 1.98)$ ,水面流速在全阶段体现由缓流到急流的趋势。

### 3.3 溢洪道水面流态

#### 3.3.1 进口段水面流态

某水库在溢洪道进口下面设置10m的引水渠,通过有效观测每一级流量下进口段水流,都表现为平顺和稳定,观测结果表明,起始溢洪道进口段的0+286断面到0+170断面,逐渐减小水深,基于墩头对水的阻碍以及绕流的双重影响下,局部性的壅水出现在桥墩上游,最高可达0.15m。因为溢洪道的进口段很短,干扰波在进口界限形成后,经历渠道边界的发射,导致桥墩之上水面不太强烈的波动,却不会影响过流能力。

#### 3.3.2 原工程段水面流态

某水库利用与原有的工程段作为溢洪道的进口段,桩号设计为0+170~0+286,该水库在原工程基础上实施溢洪道的续建,有效弥补原有溢洪道工程不足的同时,也能够进行恶劣水利条件的有效改善。本文的模型试验是通过原工程段和新设计工段完成,在不同设计试验流量下原型观测结果和模型观测结果整体一致。

## 4 结语

综上所述,通过某水库水利工程模型的试验,试验结果显示,在过水能力方面,原有的引水渠溢洪道可以满足标准要求,并且面对大流量时的超泄能力较强。尽管在闸墩的某些地方存在壅水现象,但不会实质影响进口段过流能力,横向流速相对平缓均匀,没有横向波出现。原有工程段的中轴段方位的水深大大降低,并且水深降幅较大、水位不均匀波动的还包括直线段以及闸室控制段,同时,被扩散的冲击波引起凌兴波和梯形波。而闸室段则是流速比较均匀和缓,梯形段、扩散段、直线段流速变化的幅度很大,以至于体现梯形段从缓流转急流。试验显示,设置导流墙不仅明显优化了溢洪道弯道结构,更有效控制了消力池的水流,能耗显著降低,水流更顺畅,促进消能功效的大幅度提升。

## 参考文献:

- [1] 刘继广. 汽水两相流模型试验条件与掺气浓度相似律[J]. 中国水利水电科学院学报, 2007, 05(02): 81-86.
- [2] 高琦. 非对称溢洪道进口水力特性的数值模拟研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2019.
- [3] SL 155-2012, 水工(常规)模型试验规程[S]. 北京: 中国水利水电出版社, 2012.
- [4] 张文静, 李树宁, 王春梅, 等. 溢洪道泄槽弯道段导流墙动水压力试验分析[J]. 中国农村水利水电, 2015(10): 141-143, 147.