

# 溢洪道泄槽弯道设置导流墙试验研究

张庆华<sup>1</sup>, 刘巍<sup>2</sup>, 宋学东<sup>1</sup>, 颜宏亮<sup>1</sup>, 李保栋<sup>1</sup>

(1. 山东农业大学水利土木工程学院, 山东 泰安 271018; 2. 泰安市水利与渔业局, 山东 泰安 271000)

**摘要:**通过对实际工程的模型试验,验证了在溢洪道泄槽弯道段上设置导流墙工程措施的合理性,介绍了该工程措施的设计方法:导流墙一般布置在弯道轴线上,起始位置与弯道开始位置相同;导流墙长度可等于或略大于弯道轴线长度,高度可按抬高泄槽底高度 $\Delta h$ 的1.0~1.1倍取值;导流墙一般应采用钢筋混凝土结构;导流墙断面形式可采用矩形,因导流墙顶部可以过水,顶部宜做成梯形或半圆形。

**关键词:**溢洪道;泄槽弯道;导流墙;模型试验

中图分类号:TV651.1

文献标识码:A

文章编号:1006-7647(2005)05-0052-03

**Experimental study on setting of a guide wall on the curved section of the discharge trough of a spillway//ZHANG Qing-hua<sup>1</sup>, LIU Wei<sup>2</sup>, SONG Xue-dong<sup>1</sup>, YAN Hong-liang<sup>1</sup>, LI Bao-dong<sup>1</sup> (1. College of Water Conservancy and Civil Engineering, Shandong Agricultural University, Taian 271018, China; 2. Taian Water Conservancy and Fishery Bureau, Taian 271000, China)**

**Abstract:** The rationality of setting of a guide wall on the curved section of the discharge trough was verified by model tests for several practical projects. The method for engineering design is introduced as follows: the guide wall is generally set along the axis of the curved section, starting from the beginning of the curved section; its length can be equal to or a little longer than that of the axis of the curved section, and the height of the wall can be determined as 1.0-1.1 times of the height of the discharge channel bottom to be lifted; with a reinforced concrete structure usually adopted, the rectangular section is suitable for the guide wall, and the top of the wall should be constructed in forms of trapezium or hemicycle so that water can flow over it.

**Key words:** spillway; curved section of discharge trough; guide wall; model test

## 1 溢洪道泄槽弯道段传统的工程措施

溢洪道是水库枢纽工程的重要组成部分,一般包括进水段、控制段、泄槽段、消能段和出水段。泄槽段是控制段(过堰或闸)与消能防冲设施段的连接部分,其工作特点是落差大、纵坡陡、水流呈急流状态。因此,在平面布置时要求泄槽尽量顺直、等宽和对称,以避免和减少水流冲击波对水流的扰动<sup>[1]</sup>。但在实际工程中,由于受地形、地质等方面的限制,往往需要在泄槽段设置弯道。由于急流弯道的环流特性,急流通过弯道时,水流流态将恶化。弯道水流不仅受离心力作用使凹侧水深加大、凸侧水深减少,造成泄槽横断面内流量分布不均,而且由于边墙的改向,在弯道内会产生横向冲击波,使弯道水流更加紊乱,这样不仅需要增加边墙的高度,还会给泄槽下游消能带来不利的影响。

为了降低弯道水流所引起的水面增高,调整泄

槽内横断面上的流量不均匀分布,减少冲击波对水流的扰动影响,传统的工程措施为:①弯道段一般采用圆弧曲线,弯道轴线半径不小于槽宽的10倍;②在弯道前、后设置缓和曲线段,使其转弯尽量平缓;③在弯道段槽底设置横向坡,即在弯道段的横断面上,将凹侧槽底抬高、凸侧槽底降低,形成横向坡。抬高或降低值一般按下式计算<sup>[2]</sup>:

$$\Delta h = k \frac{v^2 b}{gR} \quad (1)$$

式中: $\Delta h$ 为凹、凸侧边墙水面的高差或泄槽底抬高(降低)值; $k$ 为超高系数,根据断面形式和弯道曲线连接形式确定,为0.5~1.0; $v$ 为弯道段起始断面的平均流速; $b$ 为泄槽段水面宽度; $g$ 为重力加速度; $R$ 为弯道轴线半径。

由于泄槽中水流急,流速较大,加之受地形条件的限制,弯道轴线半径一般难以满足10倍槽内水面宽度的要求,因此,按式(1)计算的 $\Delta h$ 较大。如当弯道起始断面水流平均流速为7.5 m/s、直线段水面宽

为 50.0m、弯道轴线半径为 100.0m 时,  $\Delta h = 2.87\text{ m}$ , 即弯道内、外侧槽底相差 2.87 m. 为了避免泄槽底的突变, 工程实践中一般把弯道段槽底做成扇形横坡, 从而使施工难度加大, 工程量增加.

2 泄槽弯道段加设导流墙模型试验

为了避免在弯道段因抬高和降低槽底带来的施工难度, 山东省萌山水库和东周水库在除险加固工程设计中, 溢洪道泄槽弯道均采用沿泄槽弯道轴线设置导流墙的工程措施. 本文通过模型试验验证了该工程措施的合理性.

2.1 萌山水库溢洪道模型试验

2.1.1 溢洪道工程概况

萌山水库溢洪道闸室宽 43.5 m, 闸后泄槽为矩形断面. 闸后接 2.9 m 长的护坦, 护坦后为轴线半径 100.0 m 的弯道, 轴线长 70.5 m, 弯道后为 264.0 m 的直线段, 直线段后接消力池. 为减少弯道水流的影响, 避免泄槽弯道段左右岸边墙相差过大, 从闸后开始至弯道末端, 沿轴线设置高 3.0 m 的导流墙. 溢洪道工程布置如图 1 所示.

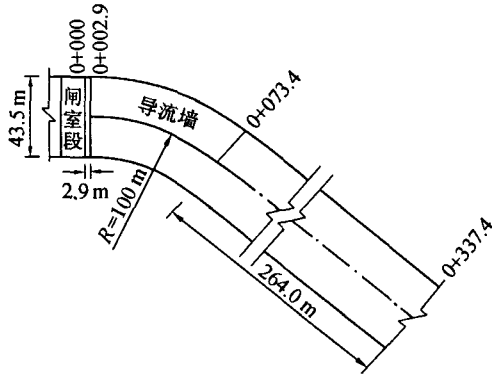


图 1 萌山水库溢洪道平面布置示意图

2.1.2 模型试验成果及分析

按照水工模型试验的要求, 对萌山水库溢洪道工程进行了模型试验, 水工模型 50 年一遇洪水(流量  $635\text{ m}^3/\text{s}$ )泄槽弯道段水深试验成果见表 1(其余试验成果略).

表 1 泄槽弯道段水深分布测试成果

| 桩号      | 水深/m |      |      |      |      |      |      | 位置    |
|---------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
|         | 有导流墙 |      |      |      | 无导流墙 |      |      |       |
|         | 左岸边  | 墙左   | 墙右   | 右岸边  | 左岸边  | 中间   | 右岸边  |       |
| 0+009.4 | 2.90 | 2.90 | 2.94 | 2.94 | 2.64 | 2.66 | 2.70 | 弯道始   |
| 0+017   | 1.98 | 1.92 | 1.98 | 1.64 | 1.87 | 2.15 | 1.68 | 弯 道   |
| 0+037   | 2.48 | 1.39 | 2.95 | 1.52 | 2.91 | 2.20 | 1.44 | 弯 道   |
| 0+044   | 2.52 | 1.98 | 2.59 | 1.46 | 3.99 | 2.05 | 1.18 | 弯 道   |
| 0+057   | 2.84 | 2.11 | 3.03 | 1.66 | 3.65 | 3.29 | 0.88 | 弯 道   |
| 0+077   | 2.62 | 2.32 | 2.21 | 1.75 | 3.09 | 2.61 | 1.72 | 弯道末直段 |

从表 1 看出, 在弯道不设导流墙、泄槽底横向无变化的情况下, 0+057 断面左、右岸水深相差最大,

为 2.77 m; 而弯道设导流墙时, 左、右岸水深相差最大的 0+057 断面, 水深相差仅为 1.18 m, 且在弯道末的直段 0+077 断面左、右岸水深相差仅 0.87 m. 由此可见, 通过设置导流墙, 泄槽弯道段的水流得到了较好的调整.

2.2 东周水库溢洪道模型试验

2.2.1 溢洪道工程概况

东周水库溢洪道闸室宽 46 m, 泄槽总长 424.5 m, 为矩形断面, 分 4 段. 第一段为直段, 长 80 m, 底坡 0.005; 第二段为圆弧段, 长 174.5 m, 底坡 0.02, 轴线中心半径 188 m; 第三段为直段, 长 110 m, 底坡 0.02; 第四段为直段, 长 60 m, 底坡 0.05. 泄槽弯道段沿轴线设高 2.5 m 的混凝土导流墙, 泄槽后接挑流消能. 溢洪道工程布置如图 2 所示(第四段略).

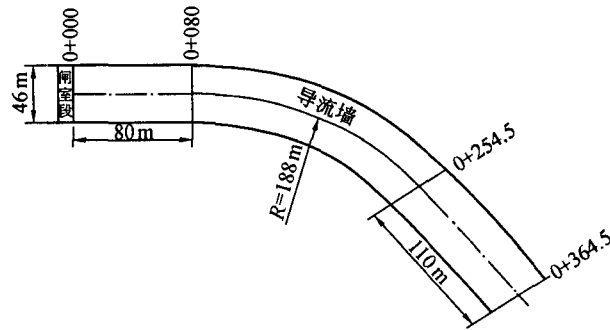


图 2 东周水库溢洪道平面布置示意图

2.2.2 模型试验成果及分析

泄槽弯道段 50 年一遇洪水(流量  $800\text{ m}^3/\text{s}$ )水深测试成果见表 2(其余试验成果略).

表 2 泄槽弯道段水深分布测试成果

| 桩号      | 水深/m |      |      |      | 位置     |
|---------|------|------|------|------|--------|
|         | 左岸边  | 墙左   | 墙右   | 右岸边  |        |
| 0+080   | 1.40 | 1.83 | 1.74 | 1.44 | 弯道始    |
| 0+123.6 | 2.80 | 0.63 | 2.63 | 0.77 | 1/4 弯道 |
| 0+167.3 | 2.78 | 0.98 | 2.68 | 0.29 | 弯道中间   |
| 0+210.8 | 2.39 | 1.24 | 2.27 | 1.19 | 3/4 弯道 |
| 0+254.5 | 2.65 | 1.19 | 3.00 | 0.99 | 弯道末    |

从表 2 可以看出, 在弯道中部, 左、右岸水深相差最大, 达到 2.49 m; 但在弯道末端, 左、右岸水深得到了调整, 相差仅 1.66 m.

3 弯道段设置导流墙的水流特性

从模型试验观测情况看, 弯道段设置导流墙后, 将泄槽分为内、外两槽. 溢洪道泄流时, 在弯道进口处导流墙将槽内水流基本均匀地分给内、外两槽, 特别是当流量较小、槽内水流不漫过导流墙时, 两槽内水流互不影响. 受弯道的影响, 内、外两槽的水流仍出现凹、凸侧水流不均匀的现象. 但由于导流墙对凹侧水流的“导流”和“阻挡”作用, 使弯道水流的环流作用减弱, 泄槽凹、凸侧水流不均匀的现象较无导流

墙的情况有所减弱。

4 导流墙设计简述

a. 平面布置.导流墙的平面布置主要包括导流墙位置、长度和起始位置.导流墙一般布置在弯道轴线上,起始位置一般与弯道开始位置相同.导流墙的长度可等于或略大于弯道轴线长度。

b. 导流墙的高度.导流墙高度对弯道水流调整起着重要的作用.墙高度过低,“导流”效果不明显;墙体过高,虽然“导流”效果好,但增加了工程量,可能是不经济的.初步设计时,导流墙的高度可取按抬高泄槽底高度  $\Delta h$  的 1.0~1.1 倍.实际应用中导流墙的高度一般应通过模型试验确定。

c. 导流墙的结构形式.导流墙一般应采用钢筋混凝土结构.断面形式可采用矩形,因导流墙顶部可以过水,顶部宜做成梯形或半圆形.导流墙上、下游墩头结构形式对进、出弯道水流有一定的影响,特别是导流墙上游,由于受泄槽内水流冲击波的作用,圆

形和矩形直立导流墙墩头,水流直冲墩头而产生较高的水舌.因此,导流墙上游墩头应做成向下游倾斜、下游墩头向上游倾斜的圆锥或圆柱形斜面。

5 结 语

溢洪道泄槽弯道段设置导流墙是一种新型的调整弯道水流的工程措施,特别是当弯道转弯半径较小、采用传统的槽底设置横向坡需要弯道凸侧开挖工程量较大,甚至在弯道凹侧出现填方时,更宜采用本文方法.由于导流墙的设计理论还处于研究和探索阶段,因此,对导流墙的设计一般应通过模型试验来验证。

参考文献:

[1] 李滨孙.水工建筑物[M].北京:水利电力出版社,1997. 161—162.  
[2] 胡荣辉.水工建筑物[M].北京:水利电力出版社,1993. 220—222.

(收稿日期:2004-08-25 编辑:高建群)

(上接第 32 页)

式中: $R$  和  $L$  分别为桩的半径和桩入土深度; $\gamma$  为土的容重, $\gamma = 17.59 \text{ kN/m}^3$ ;  $K$  为土的侧压力系数; $\varphi$  为土的内部平均摩擦角; $P$  为作用在桩顶的力; $f_c$  为混凝土抗压强度; $q$  为表面附加荷载. $R$  和  $L$  为设计变量; $\gamma$  为确定量; $K$  和  $\varphi, P, f_c, q$  均为随机量。

根据文献[8],选取两功能函数对应的可靠度的限值分别为: $\beta_1^* = 1.64, \beta_2^* = 2.90$ ,要求所设计的桩体积最小.其优化模型为

$$\left. \begin{aligned} &\text{find } R, L \\ &\min W(R, L) = \frac{1}{4} \pi R^2 L \\ &\text{s.t. } \beta(g_1 \geq 0) \geq \beta_1^* \\ &\quad \beta(g_2 \geq 0) \geq \beta_2^* \\ &\quad R \geq 0.2 \text{ m} \\ &\quad L \geq 5 \text{ m} \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

优化结果列于表 1.从表 1 中可看出,传统方法得到的优化结果并不能满足所要求的可靠度水平;对采用均值一次二阶矩法得到的优化结果,用改进均值一次二阶矩法核算其可靠度也不满足,这正说明均值一次二阶矩法在计算可靠度方面的不足[3]。

4 结 语

基于可靠度的结构优化问题是十分重要而又难以解决的问题.传统的结构设计由于忽视了材料性能参数的随机性,得出的最优结构并不能保证结构所必需的可靠性水平,往往安全余度等级较低.均值

一次二阶矩法由于对可靠度的计算依赖于功能函数的不同表达形式,得到的结果也不能令人信服.本文提出的方法(改进均值一次二阶矩法)具有直观有效的特点,概念清晰,适用性较强。

表 2 优化结果

| 采用方法       | 优化结果         |              |                | 按改进均值一次二阶矩法求得的 $\beta$ 值 |              |
|------------|--------------|--------------|----------------|--------------------------|--------------|
|            | $R/\text{m}$ | $L/\text{m}$ | $W/\text{m}^3$ | $\beta(g_1)$             | $\beta(g_2)$ |
| 传统方法       | 0.2015       | 10.030       | 0.3199         | 1.383                    | 5.297        |
| 均值一次二阶矩法   | 0.3400       | 7.661        | 0.6968         | 1.307                    | 8.441        |
| 改进均值一次二阶矩法 | 0.2001       | 10.576       | 0.3372         | 1.643                    | 5.301        |

参考文献:

[1] Frangopol D M. Multicriteria reliability based structural optimization[J]. Structural Safety, 1985(3): 154—159.  
[2] 雷欧 S S.工程优化原理及应用[M].祁载康,万耀青,梁青玉译.北京:北京理工大学出版社,1990.446—448.  
[3] 吴世伟.结构可靠度分析[M].北京:人民交通出版社,1987.77—81.  
[4] 武清玺,卓家寿.结构可靠度分析的变序列响应面法及其应用[J].河海大学学报(自然科学版),2001,29(2): 75—78.  
[5] 董聪,刘西拉.非线性结构系统可靠性理论及其模拟算法[J].土木工程学报,1998,31(1):34—43.  
[6] 江爱川.结构优化设计[M].北京:清华大学出版社,1986.130—150.  
[7] 杨位洸.地基及基础[M].第 3 版.北京:中国建筑工业出版社,1998.315—321.  
[8] GB50068-2001,建筑结构设计可靠度统一标准[S].

(收稿日期:2004-12-27 编辑:高建群)