

DOI: 10.13476/j.cnki.nsbdtqk.2018.0140

滕晓敏, 陈威, 杨金孟, 等. 透水斜槛对溢洪道泄槽弯道水流改善效果试验[J]. 南水北调与水利科技, 2018, 16(5): 171-178.
TENG X M, CHEN W, YANG J M, et al. Model test of flow improvement effect of the permeable oblique sill on the bend in spillway chute[J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2018, 16(5): 171-178. (in Chinese)

透水斜槛对溢洪道泄槽弯道水流改善效果试验

滕晓敏, 陈威, 杨金孟, 张庆华, 张靖

(山东农业大学 水利土木工程学院, 山东 泰安 271018)

摘要: 为了探索透水斜槛对溢洪道泄槽弯道水流的改善效果, 在弯道底板布置了5道斜角45°透水率分别为27.9%、37.9%、49.5%的透水斜槛进行了模型试验。利用试验结果, 计算了弯道横断面水面均匀度及提高率、凹凸岸水面差及减少率等指标, 以此分析不同透水率斜槛、不同流量条件下弯道段水流的改善效果影响。结果表明: 弯道设置透水斜槛后能够改善弯道水流, 提高弯道水流均匀度, 降低凹凸岸水面差; 透水率对水流改善效果有影响, 在相同流量情况下, 透水率越小, 斜槛对水流改善的效果越好; 斜槛改善水流的效果随流量变化, 流量越小, 改善效果越明显。但就弯道横断面水面均匀度改善效果而言, 不同透水率、不同流量之间相差不大。

关键词: 溢洪道; 弯道水流; 透水斜槛; 水面均匀度; 水面差

中图分类号: TV1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-1683(2018)05-0171-08

Model test of flow improvement effect of the permeable oblique sill on the bend in spillway chute

TENG Xiaomin, CHEN Wei, YANG Jimeng, ZHANG Qinghua, ZHANG Jing

(College of Water Conservancy and Civil Engineering, Shandong Agricultural University, Taian 271018, China)

Abstract: In order to explore the flow improvement effect of permeable oblique sill on the spillway chute bend, we carried out a model test of five permeable oblique sills (laid at an angle of 45°) with a permeable rate of 27.9%, 37.9% and 49.5%. Based on the test results, we calculated the water surface evenness and the corresponding improvement rate, the water surface difference between concave bank and convex bank and the corresponding decrease rate, so as to analyze the effect of different permeable rates of the sill and different flow rates on improving the flow of the bend. The results were as follows. Firstly, the permeable oblique sill set at the bend could strongly improve the bend flow, increase water surface evenness at the bend, and decrease water surface difference. Secondly, permeable rate could affect the flow improvement effect. Under the same flow rate, the smaller the permeable rate, the better the effect of the sill on flow improvement. Thirdly, the effect of the sill on flow improvement would vary with the flow rate; the effect was more obvious when the flow rate was low. Regarding the improvement effect on the water surface evenness at the bend, the different permeable rates or flow rates did not make much difference.

Key words: spillway; bend flow; permeable sill; water surface evenness; water surface difference

溢洪道泄槽段的特点是上下游高差大、坡度陡、水流呈急流状态。因此, 工程设计中要求泄槽尽量顺直、等宽^[1], 以避免和减少水流冲击波对水流的扰

动。但在实际工程中, 由于受地形、地质等的限制, 许多工程泄槽段需要设置弯道。受弯道横向环流的影响, 弯道水流流态恶化, 弯道内产生横向冲击波,

收稿日期: 2018-05-01 修回日期: 2018-08-16 网络出版时间: 2018-08-25

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20180823.1807.002.html>

基金项目: 长江科学院开放研究基金(CKWV2018460/KY); 山东农业大学青年科技创新基金(2017)

Funds: The Open Research Fund of Yangtze River Scientific Research Institute (CKWV2018460/KY); The Youth Science and Technology Innovation Fund of Shandong Agricultural University (2017)

作者简介: 滕晓敏(1995-), 女, 山东东营人, 主要从事工程水力学研究。E-mail: sdneydtxm@163.com

通讯作者: 张靖(1988-), 女, 山东招远人, 讲师, 博士, 主要从事工程水力学与水工结构研究。E-mail: jing16@sdau.edu.cn

致使弯道凹侧水深加大,凸侧水深减少,从而使凹凸岸产生较大的水面差,导致泄槽横向水流不均匀,给下游消能带来不利的影响^[2-3]。因此,当溢洪道泄槽出现弯道段,且弯道轴线半径较小时必须采取工程措施,以改善溢洪道弯道水流条件。

在如何改善弯道水流的措施方面,主要有渠底超高法、复曲线法、渠底横向扇形抬高法、斜底槛法等。Knapp^[4]、李建中^[5]、田嘉宁^[6]对渠底超高法、复曲线法进行了研究。西北水利科学研究所^[7]对渠底横向扇形抬高法进行了研究。罗美蓉^[8]、张银华^[9]还对螺旋线法、缓冲消力塘法、局部抬高渠底法、消波墩、曲线型隔墩、人工加粗糙及复合曲线和渠底横向坡综合布置等方法进行了研究。张庆华^[10-11]对使用导流墙方法改善溢洪道泄槽弯道段水流条件进行了模型试验,并对其效果进行了分析。陈志康^[12]针对泄槽复杂多变的弯道,提出了泄槽采用沿程设置台阶、中部间隔加设整流池及末端设置消力池的综合解决方案,有效地适应了弯道、底坡变化大的自然条件。凡伟^[13]应用 RNG k- ϵ 模型对底部为台阶式的弯道进行了数值模拟分析,给出了水流特性在断面上的分布特点及其沿弯道的变化过程。

斜槛法是在溢洪道弯道底板上设置一道或多道斜向底槛,使弯道底层的水流方向改变,从而达到消减弯道水流冲击波的目的。Knapp^[14]提出利用动量交换原理,通过在渠道底部设置突槛来调整弯道底部水流方向,从而改变流场,平衡凹岸与凸岸水面差。陈鑫荪^[15]为了解决输水洞弯道急流的冲击波问题,提出斜坎法引导水流转向,对弯道进行掺气、减蚀,起到保护弯道的的作用。杨玲霞等^[16]利用底部设置贯穿式梯形断面的导流坎来调节弯道水流的流场分布。吴宇峰等^[17]通过分析弯道段加设侧斜槛后的动能守恒定律,推导得到斜槛长度的计算公式,并对槛的高度、长度、形状、斜槛的间距、斜槛与水流方向的夹角等因素进行了探讨。傅灿等^[18]通过实际工程的水工模型试验,研究了陡槽弯道的水流流态及削减冲击波的改善效果。周勤等^[19]采用 k- ϵ 双方程紊流模型,对弯道底板布置 10 道贯穿式斜槛结合斜底的方案进行了数值模拟,基本消除了弯道内冲击波,并明显降低了横向水位差。周星等^[20]确定了相对槛高与水流流态和消能效果的关系;同时,文中指出斜槛与水流方向的夹角和弯道偏转角互补时导流效果最好。王鑫等^[21]对布置 5 道三种形式的斜槛(高 0.35 m 矩形斜坎、高 0.25 m 矩形斜坎及高 0.25 m 梯形斜坎)的弯道流态调整进行了可行性研究,认为斜坎对消减弯道水面超高、改善水流

流态非常适用,且矩形斜坎优于梯形斜坎。

傅灿等^[22]通过试验发现,在高速水流情况下,斜槛背水一侧极易出现无水低压区,发生气穴。吴宇峰等^[17]试验也表明,如果水深小于 2 倍斜槛高度且流速较大时,斜槛背部掺气更厉害,斜槛间距一般不宜太少,否则急流将会被抬起脱离弯道底部,使其底面产生不同的低压,而且水流极易产生飞溅。上述问题的发生,对斜槛和溢洪道的安全极为不利。

为了解决实体斜槛存在的问题,本文提出了透水斜槛,即在传统的斜槛上开设透水孔,从而形成“透水斜槛”。本文主要研究在溢洪道泄槽弯道处固定位置、布置相同高度但透水率不同的斜槛对弯道水流的改善效果,为进一步开展溢洪道泄槽弯道采用透水斜槛研究及工程设计提供参考。

1 试验方法

1.1 试验布置

本试验在山东农业大学水利实验室进行。试验系统由地下水库、水泵、高位水池、供水管道、电磁流量计、稳流栅、渠道、模型试验区、尾水池、回水渠等部分组成。其中,闸阀和电磁流量计用于控制和量测试验流量,模型试验区用于布置试验模型和进行水深、流速等的测量。

1.2 试验模型

试验模型溢洪道泄槽弯道段为矩形断面,宽度 500 mm,底坡为 0.02,弯道中心线半径 $R = 1\ 200$ mm,中心线弧长 1 500 mm,弯道后泄槽直线连接段长 2 000 mm。弯道段均匀布置 5 道透水斜槛,位置分别为弯道 1/6、2/6、3/6、4/6、5/6 圆弧处,斜槛轴线与弯道半径角度 45° ,见图 1。

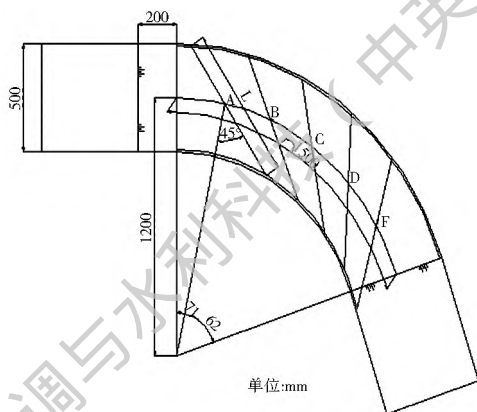


图 1 溢洪道弯道斜槛布置
Fig. 1 Sill layout at spillway bend

斜槛为矩形断面,长 $L = 710$ mm(与弯道凹凸岸不连接),厚度 10 mm,槛高 $h = 2b/50 = 20$ mm(b

为弯道断面宽度)。斜槛采用圆形透水孔,直径分别为12、14、16 mm,透水率分别为27.9%、37.9%、49.5%,见图2。

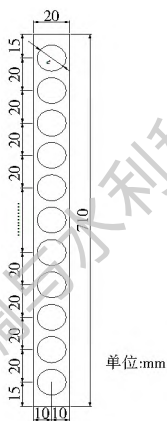


图2 透水斜槛设计图
Fig. 2 Permeable sill design

1.3 试验方案

(1) 试验模型方案。

本试验模型有5个方案,包括3个透水率斜槛模型方案(斜槛位置及斜槛高度相同),2个比较方案,即不透水斜槛和弯道无斜槛方案。

(2) 试验流量。

每个试验方案的试验流量至少5个,试验流量满足溢洪道泄槽水流为急流条件,即不设置斜槛时,溢洪道弯道开始处的弗劳德数大于1.0。

1.4 试验测量

试验测量包括水位、流速、动水压力(包括脉动压力)测量,因本文仅涉及水位,因此,仅介绍水位测量。

(1) 测量断面。

试验模型段垂直水流方向设置17个测量横断面(图3),其中弯道段均匀布置13个横断面,断面编号为3-3,4-4, ..., 15-15。沿水流方向对称布置5条纵向测线(A-A, B-B, ..., E-E),包括泄槽底板中心线、距中心线两侧1/4槽宽处、左右边墙处纵横断面的交点为水位测点。

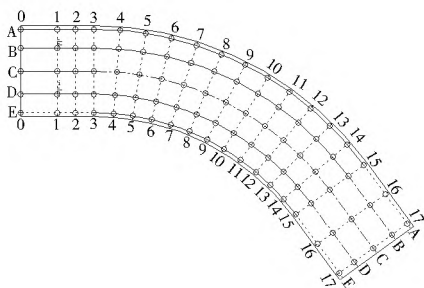


图3 水位测点布置

Fig. 3 The layout of water level measuring points

(2) 测量仪器。

本试验通过闸阀控制流量大小,采用中国开封仪表有限公司生产的E-magC型电磁流量计测量试验流量。水深测量采用中国重庆华正文仪器有限公司生产的SX40-1型数显水位针,精度为0.01 mm。

2 结果与分析

2.1 水流改善效果分析指标

溢洪道泄槽弯道段水流在横向环流的作用下,河道横断面水深产生变化,凹岸水深明显高于凸岸水深,从而形成横向水面比降,致使水流不均匀。弯道段设置斜槛的目的,是为了改善这种水流现象,因此,分析弯道水流改善效果可用弯道横断面水面均匀度、弯道水面均匀度提高值与弯道横断面最大水面差、弯道横断面最大水面差降低率4个指标来反映。

(1) 弯道横断面水面均匀度。

弯道横断面水面均匀度反映弯道段横断面水面的均匀情况,用式(1)计算:

$$W_{jo} = \left[1 - \frac{\Delta h_j}{h_j} \right] \times 100\% \quad (1)$$

式中: W_{jo} 为弯道 j 横断面水面均匀度(%); Δh_j 为弯道 j 横断面各水位测量点的水深差平均值(mm); h_j 为弯道 j 横断面平均水深(mm)。

Δh_j 、 h_j 按式(2)、式(3)计算:

$$\Delta h_j = \frac{\sum_{i=1}^n |h_{ji} - h_j|}{n} \quad (2)$$

$$h_j = \frac{\sum_{i=1}^n h_{ji}}{n} \quad (3)$$

式中: h_{ji} 为弯道 j 横断面 i 点实测水深值(mm); n 为弯道水深测量点数。

用弯道横断面水面均匀度的平均值来反映整个弯道段水流均匀情况,即:

$$W_0 = \frac{\sum_{j=1}^m W_{jo}}{m} \quad (4)$$

式中: W_0 为弯道 j 横断面水面均匀度(%); m 为弯道横断面数。

弯道横断面水面均匀度反映了弯道段横断面各点水深的均匀情况,其值越接近100%,说明弯道横断面水流越均匀,当断面各点水深相同时, $W_0 = 100\%$ 。

(2) 弯道横断面水面均匀度提高率。

用弯道横断面水面均匀度提高率来反映弯道设置斜槛与弯道没有任何改善水流措施相比,弯道横断面水面的改善效率。

$$\beta = \frac{W_{\alpha} - W_{\alpha 0}}{W_{\alpha 0}} \times 100\% \quad (5)$$

式中： β 为横断面水面均匀度提高率(%)； W_{α} 为有斜槛情况下横断面水面均匀度(%)； $W_{\alpha 0}$ 为无斜槛情况下横断面水面均匀度(%)。

(3) 弯道横断面凹凸岸最大水面差。

弯道横断面最大水面差是弯道各个横断面凹岸水深与凸岸水深差的最大值，反映弯道设置透水斜槛后对弯道凹凸岸最大水面差的改善情况，按下式计算：

$$\Delta H_{\max} = \max\{|h_{j1} - h_{j2}|\} \quad (i = 1, 2, \dots, m) \quad (6)$$

式中： ΔH_{\max} 为弯道横断面凹凸岸最大水面差(mm)； h_{j1} 为弯道第 j 个横断面处凹岸水深(mm)； h_{j2} 为弯道第 j 个横断面处凸岸水深(mm)。

(4) 弯道横断面凹凸岸水面差降低率。

弯道设置斜槛的目的之一是降低横断面凹凸岸水面差，因此，用横断面凹凸岸水面差降低率来反映有无斜槛情况下弯道横断面水面改善情况。

$$\eta = \frac{\Delta h_n - \Delta h_e}{\Delta h_n} \times 100\% \quad (7)$$

式中： η 为弯道横断面凹凸岸水面差降低率(%)； Δh_n 为无斜槛凹凸岸水面差(mm)， $\Delta h_n = h_{n1} - h_{n2}$ ； Δh_e 为有斜槛凹凸岸水面差(mm)， $\Delta h_e = h_{e1} - h_{e2}$ ； h_{n1} 为无斜槛凹岸水深(mm)； h_{n2} 为无斜槛凸岸水深(mm)； h_{e1} 为有斜槛凹岸水深(mm)； h_{e2} 为有斜槛凸岸水深(mm)。

2.2 水流改善效果分析

2.2.1 弯道水面均匀度改善效果

(1) 弯道纵横断面水面线测量结果。

本试验对斜槛透水率为 0、27.9%、37.9%、49.5% 及无斜槛 5 种情况，流量为 50、80、100、120、150 m^3/h 等 5 种流量测量了弯道及上下游不同断面的水深及流速。根据试验测量结果，绘制流量 150 m^3/h 情况下，不同透水率及无斜槛条件下弯道凹凸岸纵断面水面线，见图 4。

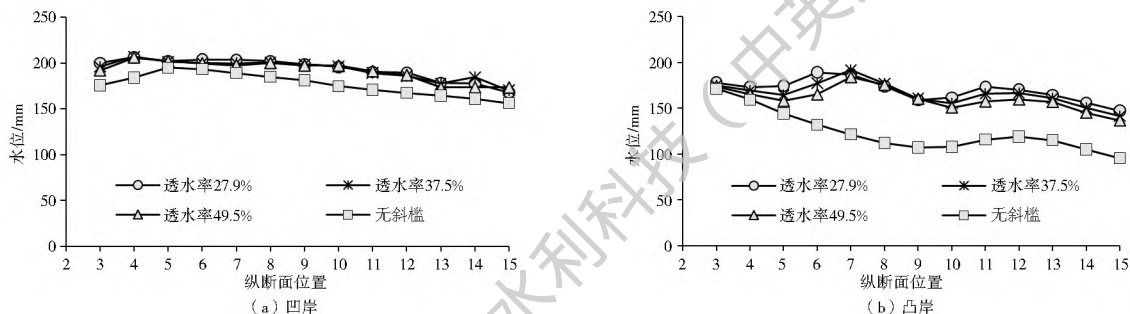


图 4 流量 150 m^3/h 弯道段凹凸岸纵断面水面线

Fig. 4 Water surface line of vertical profile of concave and convex banks at the bend with a flow rate of 150 m^3/h

由图 4 看到，本试验条件下，各种透水率斜槛凹凸岸的水面线均高于无斜槛情况，不同透水率的水面线有一定差距，但差别不大。从图 4(b) 看到，凸岸各种透水率的水面线与无斜槛情况的水面线相比，水位提高较大，说明在斜槛的作用下，弯道凸岸

水面线得到了改善。

根据试验结果绘制流量 100 m^3/h 、120 m^3/h 情况下，弯道横断面最大水面差所在断面的横断面水面线，见图 5，其中横坐标 1、2、3、4、5 分别表示弯道横断面的凹岸、左 1/4 处、中心线、右 1/4 处及凸岸。

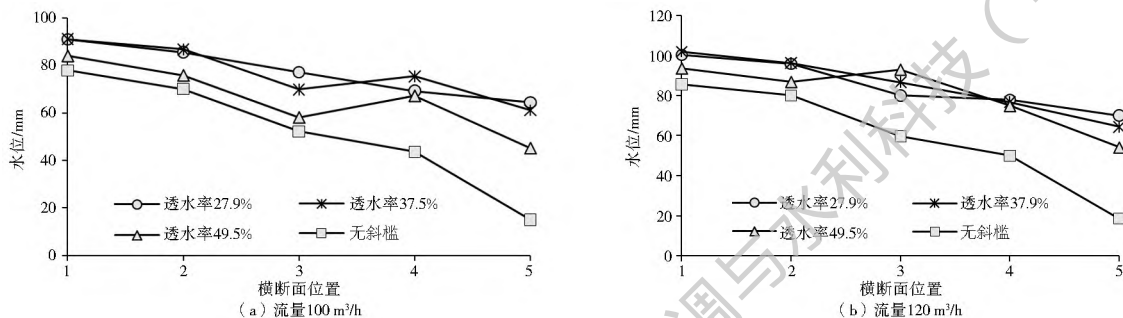


图 5 弯道横断面最大水面差横断面水面线

Fig. 5 Water surface line of the bend cross section with the largest water surface difference

由图 5 看到，在弯道最大水面差所在的横断面，各种透水率斜槛的水面线均高于无斜槛情况，而且凹岸水面线比较平缓，从而反映了透水斜槛对弯道

横断面水面差的改善效果是明显的。

(2) 弯道横断面水面均匀度。

根据本试验测量的弯道断面水深，按式(4)计算弯

道横断面水面均匀度平均值, 绘制不同流量, 不同透水率条件下弯道横断面水面均匀度平均值直方图, 见图 6。

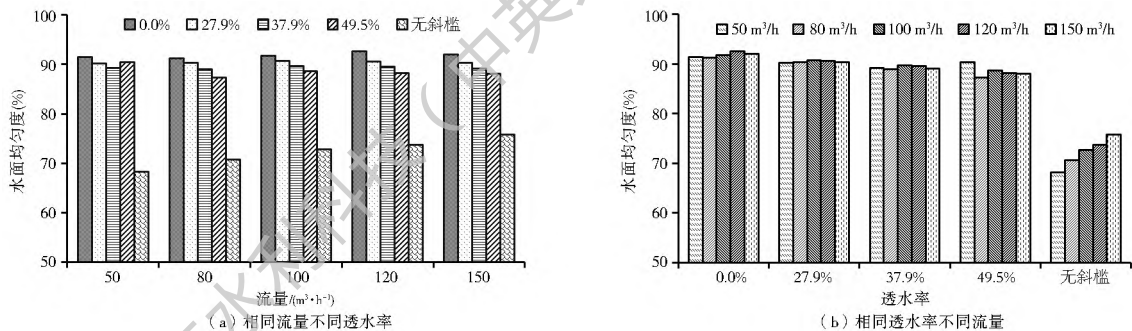


图 6 弯道横断面水面均匀度平均值直方图

Fig. 6 Histogram of average water surface evenness of bend cross section

由图 6 看出: 试验测试的 4 个透水率、5 个流量共 20 种试验情况下, 弯道横断面水面均匀度平均值与无斜槛相比均有明显提高。由图 6(a) 可以看出, 当流量相同透水率不同时, 除流量 $Q=50\text{ m}^3/\text{h}$ 透水率为 49.5% 的情况外, 透水率越小, 水面均匀度平均值越大, 不透水斜槛的均匀度平均值最大。不透水斜槛与透水斜槛的最小值进行比较, 弯道横断面水面均匀度平均值差值在流量 $Q=50\text{ m}^3/\text{h}$ 时为 2.2%, 流量 $Q=80\text{ m}^3/\text{h}$ 时为 4.0%, 流量 $Q=100\text{ m}^3/\text{h}$ 时为 3.1%, 流量 $Q=120\text{ m}^3/\text{h}$ 时为 4.5%, 流量 $Q=150\text{ m}^3/\text{h}$ 时为 4%。说明透水与不透水斜

槛横断面水面均匀度平均值相差不大; 由图 6(b) 可以看出, 相同透水率情况下, 不同流量之间的水面均匀度平均值最大差值为: 透水率为 0.0% 时 1.4%, 透水率 27.9% 时为 0.6%, 透水率 37.9% 时为 0.7%, 透水率 49.5% 时为 3.1%。说明当透水率相同时, 不同的流量情况下的弯道横断面水面均匀度改善效果有差别, 但差别不大。

(3) 弯道横断面水面均匀度提高率。

根据本试验测量的弯道断面水深, 按式(5) 计算弯道横断面水面均匀度提高率, 绘制不同流量、不同透水率条件下, 弯道横断面水面均匀度提高率, 见图 7。

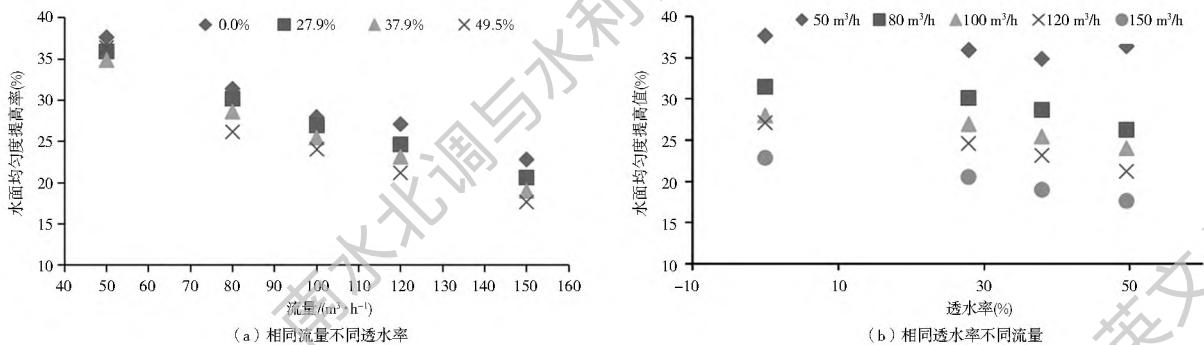


图 7 弯道横断面水面均匀度提高率与流量、斜槛透水率关系

Fig. 7 Relationship of water surface evenness increase rate with flow rate and permeable rate of oblique sill

由图 7(a) 看出, 流量相同透水率不同时, 除流量 $Q=50\text{ m}^3/\text{h}$ 透水率为 49.5% 的情况外, 随透水率的增大, 水面均匀度提高率逐渐减小, 不透水斜槛对均匀度提高最大。透水斜槛最小值与不透水斜槛进行比较, 弯道横断面水面均匀度提高率差值在流量 $Q=50\text{ m}^3/\text{h}$ 时为 2.8%, 流量 $Q=80\text{ m}^3/\text{h}$ 时为 5.3%, 流量 $Q=100\text{ m}^3/\text{h}$ 时为 4.0%, 流量 $Q=120\text{ m}^3/\text{h}$ 时为 6.0%, 流量 $Q=150\text{ m}^3/\text{h}$ 时为 5.2%, 说明透水斜槛和不透水斜槛弯道横断面均匀度提高率相差不大; 从图 7(b) 看到, 透水率相同流量不同时, 随流量的增大, 水面均匀度提高率逐渐减小, 流量 $50\text{ m}^3/\text{h}$ 时, 横断面水面改善效果最好。试验得

到相同透水率、不同流量的情况下水面均匀度提高率最大差值为, 透水率 0.0% 时为 14.9%, 透水率 27.9% 时为 15.4%, 透水率 37.9% 时为 15.9%, 透水率 49.5% 时为 18.8%, 说明透水率越大, 不同流量均匀度提高率的差值越大。

2.2.2 水面差改善效果

(1) 弯道凹凸岸最大水面差。

根据本试验测量的弯道断面水深, 按式(6) 计算弯道横断面凹凸岸最大水面差值, 绘制不同流量、不同透水率条件下弯道横断面凹凸岸最大水面差值直方图, 见图 8。

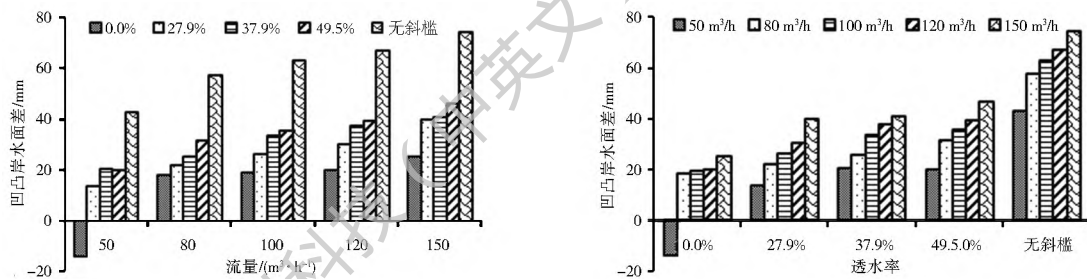


图 8 弯道横断面最大水面差直方图

Fig. 8 Histogram of maximum water surface difference at bend cross section

由图 8 看出, 弯道加设斜槛后, 弯道横断面凹凸岸水面差降低明显, 最大降低值为流量 150 m³/h 不透水斜槛的 48.9 mm, 最少降低值为流量 50 m³/h 透水率 27.9% 的 29.2 mm。比较不透水斜槛与透水斜槛降低最小值的弯道横断面最大水面差的差值, 流量 50 m³/h 时为 6.6 mm, 流量 80 m³/h 时为 13.2 mm, 流量 100 m³/h 时为 16.3 mm, 流量 120 m³/h 时为 19.4 mm, 流量 150 m³/h 时为 21 mm, 说明流量越大差值越大。流量为 50 m³/h 不透水斜槛甚至出现了凹岸水面小于凸岸的情况(图中减少率为负值)。由图 8(a) 可以看出流量相同透水率不同时, 随斜槛透水率的减少, 凹凸岸水面差逐渐减

少, 不透水斜槛效果最好; 由图 8(b) 可以看出, 透水率相同流量不同时, 随流量增大, 凹凸岸水面差逐渐增大。相同透水率 5 个流量之间的最大水面差的最大差值, 透水率 0.0% 时为 11.5 mm, 透水率 27.9% 时为 17.6 mm, 透水率 37.9% 时为 20.4 mm, 透水率 49.5% 时为 26.3 mm, 说明透水率越大流量之间的弯道水面差改善效果差值越大。

(2) 弯道横断面最大水面差减小率。

根据本试验测量的弯道断面水深, 按式(7) 计算弯道横断面最大水面差减小率, 绘制不同流量, 不同透水率条件下弯道横断面最大水面差减小率直方图, 见图 9。

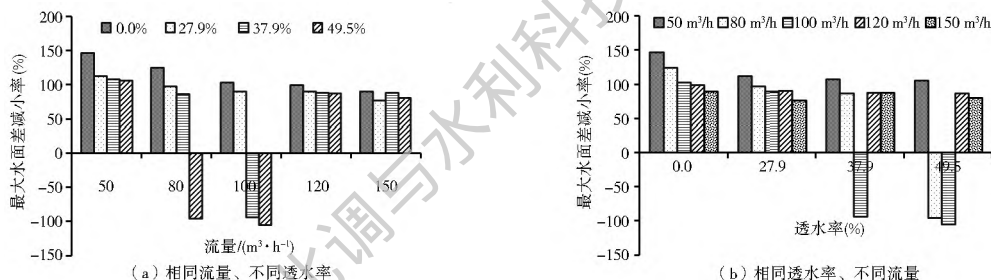


图 9 弯道横断面最大水面差减小率直方图

Fig. 9 Histogram of maximum water surface difference reduction rate at bend cross section

由图 9 看出, 本试验情况下, 凹凸岸最大水面差减小率最小为 76.3%、最大为 146.5% 而且有 3 种情况出现了凹岸水深小于凸岸的情况(图中减少率为负值的情况), 因此, 设置透水斜槛后弯道凹凸岸最大水面差有明显的减少。由图 9(a) 可以看出, 凹凸岸最大水面差减小率在各种情况下, 不透水斜槛最大, 最大透水率 49.5% 时为最少, 说明透水率对横断面最大水面差减小率是有影响的, 基本趋势为相同流量情况下, 横断面最大水面差减小率与斜槛的透水率大小成反比。在流量小于 100 m³/h 时, 不透水斜槛与透水斜槛横断面最大水面差减小率差别较大, 例如流量 50 m³/h 时为 41.1%。但流量超过 100 m³/h 时差别不大, 例如流量 120 m³/h 时为 11.5%, 流量 150 m³/h 时为 13.1%。而且, 其它 3 种率条件下, 弯道横断面最大水面差减小率差别不

大; 由图 9(b) 可以看出, 各种透水斜槛条件下, 弯道横断面水面差减小率在流量为 50 m³/h 时最大, 流量为 150 m³/h 时小, 说明相同透水率情况下, 横断面水面差减小率与流量的大小呈反比, 这个趋势在不透水斜槛最明显。

(3) 弯道横断面平均水面差减小率。

根据本试验测量的弯道断面水深, 按式(7) 计算弯道横断面平均水面差减小率, 绘制不同流量, 不同透水率条件下, 弯道横断面平均水面差减小率, 见图 10。

由图 10 看出, 各种透水斜槛条件下弯道横断面平均水面差相对于没有斜槛情况下都是减少的。从图 10(a) 看到, 各种流量情况下, 弯道横断面平均水面差减小率的大小依次为不透水斜槛、透水率 27.9%、37.9%、49.5%。说明流量相同时, 弯道横

断面平均水面差减小率随斜槛透水率的减少而增加,不透水斜槛最大。从图 10(b)看到,各种透水率条件下,弯道横断面平均水面差减小率的大小依次

为 50、80、100、120、150 m³/h,说明,当斜槛的透水率相同时,弯道横断面平均水面差减小率随流量的增加而减少。

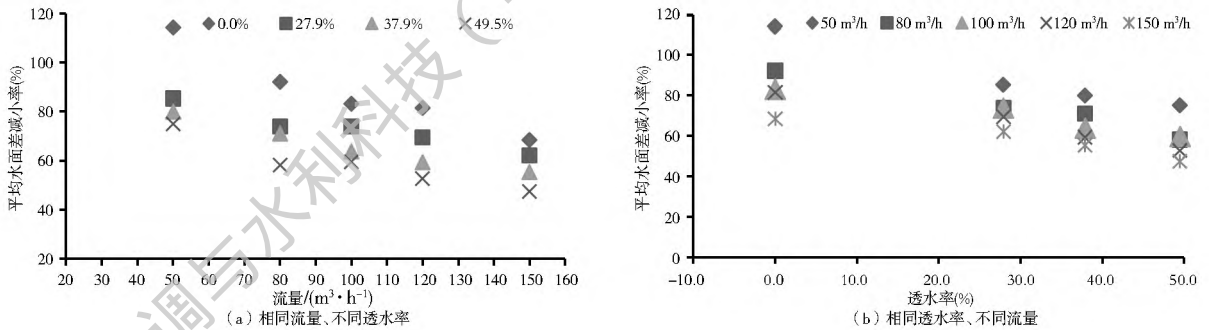


图 10 弯道横断面平均水面差减少率与流量、透水率关系

Fig. 10 Relationship of reduction rate of average water surface difference with flow rate and permeable rate at bend cross section

3 结论

本文通过对溢洪道泄槽弯道设置透水斜槛的水力学模型试验及其分析,得到以下结论。

(1) 与弯道没有工程措施相比,弯道设置透水斜槛后,横断面水流均匀度提高,凹凸岸水面差降低,透水斜槛改善弯道水流的效果明显。

(2) 斜槛的透水率对弯道水流改善效果有一定影响,相同流量情况下,透水率越小,斜槛对水流改善的效果越好,不透水斜槛的效果最优。因此,工程设计中斜槛的透水率不用过大;但就弯道水面均匀度改善效果而言,透水与不透水斜槛的横断面水面均匀度平均值、均匀度提高率相差不大。

(3) 透水斜槛改善弯道水流的效果随流量的不同而变化。在斜槛高度、透水率及布置相同条件下,流量越小,改善效果越明显。当斜槛的透水率相同时,不同流量情况下的弯道横断面水面均匀度改善效果虽然有差别,但差别不大,因此,透水斜槛几何尺寸的设计应当考虑流量的变化。

上述分析表明,溢洪道泄槽弯道设置透水斜槛是又一可行的工程技术措施,本文的透水斜槛布置及斜槛的透水率,可作为工程设计参考。另外,为更好地应用这一技术措施,应进一步开展透水斜槛上下游动水压力等方面的研究。

参考文献(References):

[1] SL 253- 2000, 溢洪道设计规范[S]. (SL 253- 2000, Design specification for Spillway[S]. (in Chinese))

[2] 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. (ZHANG W J, LI S N, WANG C M, et al. Experimental analysis of dynamic pressure of diversion wall in curved channel of spillway chute[J]. China Rural Water Conservancy and Hydro-

power, 2015 (10): 141-143. (in Chinese)) DOI: 10. 3969/j. issn. 1007-2284. 2015. 10. 034.

[3] 王田田,常倩,张庆华,等. 导流墙对弯道横断面水面差影响实验分析[J]. 南水北调与水利科技, 2016, 14(6): 148-153. (WANG T T, CHANG Q, ZHANG Q H, et al. Experimental analysis of the influence of diversion wall on the water surface difference of the cross section of the bend. [J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2016, 14(6): 148-153. (in Chinese)) DOI: 10. 13476/j. cnki. nsbdqk. 2016. 06. 025.

[4] 克纳普 KNAPP R T. 急流渠道曲线段的设计[M]. 高速水力学论文译丛(第一辑第二册). 北京: 科学出版社, 1958. (KNAPP R T. Design of the curve segment of the jet stream channel[M]. High Speed Flow Papers Renditions(The First Series of the Second Volume). Beijing: Science Press, 1958. (in Chinese))

[5] 李建中,宁利中. 高速水力学[M]. 西安: 西北工业大学出版社, 1994. (LI J Z, NING L Z. High speed hydraulics[M]. Xian: Northwestern Polytechnical University Press, 1994. (in Chinese))

[6] 田嘉宁. 急流弯道的水力特性试验研究[J]. 陕西水力发电, 2000, 16(1): 8-10. (TIAN J N. Experimental study on hydraulic behavior of supercritical flow in curved channel[J]. Journal of Shaanxi Water Power, 2000, 16(1): 8-10. (in Chinese)) DOI: 10. 3969/j. issn. 1674-3814. 2000. 01. 002.

[7] 西北水利科学研究所. 明渠陡槽急弯上冲击波最大水深计算及弯道底部扇形抬高克服方法报告[R]. 1961. (Northwest Water Conservancy Science Research. Report of the maximum depth calculation on shock wave of open channel chute sharp bend and method to overcome sartorial elevation of bends bottom[R]. 1961. (in Chinese))

[8] 罗芙蓉,王家厂水库溢洪道弯道水流的改善措施[J]. 湖南水利水电, 1994(1): 10-14. (LUO M R, Wangjiachang reservoir spillway bend flow improvement measures[J]. Hunan Hydro & Power, 1994(1): 10-14. (in Chinese)) DOI: 10. 16052/j. cnki. hnslsd. 1994. 01. 003.

[9] 张银华. 弯道急流的改善措施研究[D]. 郑州: 郑州大学, 2006. (ZHANG Y H. Study on improving measures for supercritical

- flow bend [D]. Zhengzhou: Zhengzhou University, 2006. (in Chinese)
- [10] 张庆华, 刘巍, 宋学东, 等. 溢洪道泄槽弯道段设置导流墙试验研究[J]. 水利水电科技进展, 2005, 25(5): 52-54. (ZHANG Q H, LIU W, SONG X D, et al. Experimental study on setting of a guide wall on the curved section of the discharge trough of a spillway[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2005, 25(5): 52-54. (in Chinese))
- [11] ZHANG Q H, DIAO Y F, ZHAI X T, et al. Experimental study on improvement effect of guide wall[J]. Water Science and Technology, 2016, 73(3): 669-678. DOI: 10.13476/j.cnki.nsbdkq.2016.06.025.
- [12] 陈志康, 夏叶青, 郑光俊. 西藏拉洛水利枢纽德罗电站前池泄槽水力设计[J]. 人民长江, 2015, 46(21): 65-67. (CHEN Z K, XIA Y Q, ZHENG G J. Hydraulic design of the drain tank of the front pool of the de Luo hydropower station in Tibet [J]. People's Yangtze River, 2015, 46(21): 65-67. (in Chinese)) DOI: 10.16232/j.cnki.1001-4179.2015.21.016.
- [13] 凡伟. 渠底形态对弯道水流特性的影响研究[A]. 中国力学学会, 《水动力学研究与进展》编委会, 中国造船工程学会, 周培源基金会, 中国船舶科学研究中心. 第十一届全国水动力学学术会议暨第二十四届全国水动力学研讨会并周培源诞辰110周年纪念大会文集(下册)[C]. 中国力学学会, 《水动力学研究与进展》编委会, 中国造船工程学会, 周培源基金会, 中国船舶科学研究中心, 2012. (FAN W. The influence of the shape of channel bottom on the flow characteristics of the bend[A]. China mechanics society, the editorial board of "Journal of hydrodynamics", China Shipbuilding Engineering Society, Zhou Peiyuan foundation, China Ship Scientific Research Center. Eleventh National Conference on hydrodynamics and the twenty fourth national hydrodynamics Symposium The 110th anniversary commemorative assembly of Pei Yuan's birthday (next book)[C]. China mechanics society, the editorial board of "Journal of hydrodynamics", China Shipbuilding Engineering Society, Zhou Peiyuan foundation, China ship Scientific Research Center, 2012. (in Chinese))
- [14] KNAPP R T. High Velocity Flow in Open Channels: A Symposium: Design of Channel Curves for Supercritical Flow[J]. Transactions of the American Society of Civil Engineers, 2014, 116: 393-400.
- [15] 陈鑫荪. 消除泄水建筑物弯道冲击波的措施[J]. 水利水电技术, 1984(6): 32-36. (CHEN X S. Measures to eliminate the supercritical flow shock wave in bend of discharge structure [J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 1984(6): 32-36. (in Chinese))
- [16] 杨玲霞, 张银华, 吴建平, 等. 改善弯道急流流态的试验研究[J]. 中国农村水利水电, 2006(7): 77-79. (YANG L X, ZHANG Y H, WU J P, et al. The experimental research on improving the flow pattern of bend flow. [J]. China Rural Water Conservancy and Hydropower, 2006(7): 77-79. (in Chinese))
- [17] 吴宇峰, 伍超, 李静. 斜槛在急流弯道控制超高的设计研究[J]. 水力发电学报, 2007(3): 77-81, 76. (WU Y F, WU C, LI J. Design and Research on the control of the inclined sill in the critical stream bend. [J]. Journal of Hydroelectric Power, 2007(3): 77-81, 76. (in Chinese))
- [18] 傅灿, 邱勇, 余杰杰, 等. 一种改善溢洪道陡槽弯道水流流态的措施研究[J]. 南水北调与水利科技, 2010, 8(1): 49-51. (FU C, QIU Y, YU X J, et al. A way to improve the flow pattern of the channel in the steep channel of spillway [J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2010, 8(1): 49-51. (in Chinese))
- [19] 周勤, 伍超. 陡坡弯道水流条件改善数值模拟研究[J]. 陕西水利, 2011(2): 94-96. (ZHOU Q, WU C. Numerical simulation of flow condition improvement in steep slope bend [J]. Shaanxi Water Conservancy, 2011(2): 94-96. (in Chinese))
- [20] 周星, 杨校礼, 高峰. 斜槛法在山区弯道河流消能设计中的应用[J]. 水电能源科学, 2014(3): 126-128, 69. (ZHOU X, YANG X L, GAO F. Application of slant sill method in the energy dissipation design of mountain bend rivers [J]. Water Resources and Power, 2014(3): 126-128, 69. (in Chinese))
- [21] 王鑫, 张宗孝, 严培, 等. 应用斜坎改善弯道流态的可行性研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2017(1): 197-204. (WANG X, ZHANG Z X, YAN P, et al. Study on the feasibility of applying oblique sill to improve the flow state of the bend [J]. Journal of Northwest Agriculture and Forestry University (Natural Science Edition), 2017(1): 197-204. (in Chinese)) DOI: 10.13207/j.cnki.jnwafu.2017.01.027.
- [22] 傅灿, 邱勇, 周卫霞. 斜槛法在削减急流冲击波的应用[J]. 陕西水利, 2010(3): 102-103. (FU C, QIU Y, ZHOU W X. Slanting sill method is applied to reduce the jet flow. [J]. Shaanxi Water Conservancy, 2010(3): 102-103. (in Chinese))