

水力插板透水丁坝群累积效应减轻 局部冲刷效果的试验研究

张凯, 侍克斌, 李玉建, 吴福飞, 王欣
(新疆农业大学 水利与土木工程学院, 乌鲁木齐 830052)

摘要: 水力插板透水丁坝是一种新型丁坝。本文以水力插板透水丁坝群、井柱桩透水丁坝群和实体丁坝群为研究对象进行动床模型试验。用测针测量各丁坝群附近地形,并用 Surfer8.0 绘制各丁坝群附近的地形图。结果表明:水力插板透水丁坝群累积效应减少局部冲刷的性能最好,其次是井柱桩透水丁坝群,实体丁坝群性能最差。最后详细地分析了各丁坝群减少局部冲刷差异性产生的机理。

关键词: 累积效应; 局部冲刷; 水力插板透水丁坝; 井柱桩透水丁坝; 实体丁坝

中图分类号: TV649 文献标识码: A 文章编号: 1672-643X(2016)04-0135-04

Experiment on local scour effect reduced by group cumulative role of hydraulic flashboard permeable spur dike

ZHANG Kai, SHI Kebin, LI Yujian, WU Fufei, WANG Xin

(College of Civil and Hydraulic Engineering, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China)

Abstract: Hydraulic flashboard permeable spur dike is a new kind of spur dike. the paper conducted the moving bed model test by taking the three kinds of spur dike group such as types of hydraulic permeable flashboard, well column pile permeable and entity as research object. It surveyed the terrain by arrow and used surfer 8.0 to draw topographic map near dikes. The result indicated that the cumulative effect of reducing local scour by hydraulic flashboard permeable spur dike is the best, and in turn is permeable pile spur dike. The performance of entity spur dike is the worst. Finally, the paper detailedly analyzed the differential mechanism of reducing the local scour of spur dikes group.

Key words: cumulative effect; local scour; hydraulic flashboard permeable spur dike; well column pile permeable spur dike; entity spur dike

1 研究背景

水力插板技术是近 20 年来逐渐发展并成熟的一门新技术。水力插板技术由于其施工速度快、整体连接性好、预制化程度高等特点,因此在桥梁基础工程^[1]、河道整治工程^[2]、堤坝工程等多种工程技术领域中广泛应用^[3]。水力插板透水丁坝是将透水丁坝与水力插板技术相结合的新型丁坝。有学者对水力插板透水丁坝单丁坝的缓流促淤和护岸效果进行了试验研究^[4-5]。发现水力插板透水丁坝防护

堤岸和减缓流速的效果十分显著。然而实际工程中单个丁坝难以发挥足够的作用,往往是由丁坝群产生的累积效应来充分发挥丁坝的作用。所谓累积效应是指由河流中多个水工建筑物共同作用下产生的连锁反应产生的叠加效应,表现为河流中多个水工建筑物的共同影响下时间、空间、多元耦合等方面累积起来的差异性或非线性变化^[6]。因此护岸工程中,丁坝以丁坝群的形式出现。丁坝的局部冲刷有坝根的横向冲刷和坝头冲刷,其中坝头冲刷严重威胁的丁坝的安全性与稳定性^[7]。本文以 3 种丁坝群

收稿日期:2016-03-04; 修回日期:2016-05-04

基金项目:国家自然科学基金项目(51469032); 新疆水利水电工程重点学科基金资助项目(xjzdxk-2010-02-12); 新疆高校科研计划项目(XJEDU2013112)

作者简介:张凯(1990-),男,新疆乌鲁木齐人,在读研究生,主要从事水利水电工程研究工作。

通讯作者:侍克斌(1957-),男,甘肃民勤人,教授,博士生导师,从事水利工程学科方面的教学与科研工作。

为研究对象进行动床模型试验,3种丁坝整体轮廓见图1。通过 surfer8.0 绘制各丁坝群附近的地形图和对数据进行量化两种方法来比较各丁坝群减少局

部冲刷效果的差异性,并对差异性产生的机理进行详细地分析和解释。

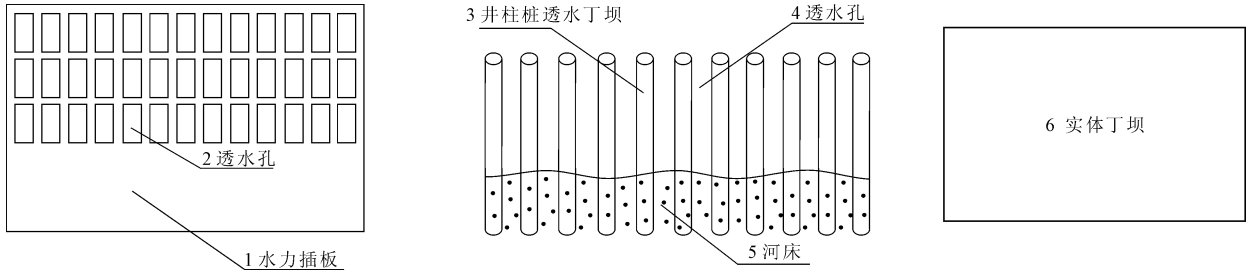


图1 3种丁坝整体轮廓

2 试验介绍

2.1 试验概况

2.1.1 模型比尺的选择 位于塔里木河干流其满水库3号引水口河段上的井柱桩透水丁坝坝头冲刷情况十分严重,严重影响丁坝的稳定性和安全性,因此选取该河段为试验的研究对象。综合考虑各种因素并结合自身试验条件,决定采用正态相似模型试验。正态相似模型比尺表达式为: $\lambda_x = \lambda_y = \lambda_z = \lambda_t$, 参照模型设计理论和重力相似准则确定其余比尺如下:几何比尺 $\lambda_L = 93$; 流速比尺 $\lambda_V = \lambda_L^{0.5} = 9.64$; 流量比尺 $\lambda_Q = \lambda_V \lambda_L^2 = \lambda_L^{2.5} = 83407.94$; 水流运动时间比尺 $\lambda_t = \lambda_L^{0.5} = 9.64$; 沉速比尺 $\lambda_\omega = \lambda_V = 9.64$; 泥沙粒径比尺为 $\lambda_d = \left(\frac{\lambda_\omega \lambda_V}{\lambda_{\gamma_s - \gamma}} \right)^{0.5}$, 当模型水温与原型水温有差异时, $\lambda_v \neq 1$, 本试验取 $\lambda_v = 0.5$, 密度比尺 $\lambda_{\gamma_s - \gamma} = 5.56$, 则 $\lambda_d = 0.93$ 。

2.1.2 模型沙的选择 根据资料显示,此河段是粉细沙河床,水流对河床的冲刷现象比较明显,床沙粒径为 $0.050 \sim 0.086 \text{ mm}$ ^[8], 由粒径比尺得出的粒径范围为 $0.047 \sim 0.080 \text{ mm}$ 。考虑到模型沙可靠性,代表性,起动流速,沉速等因素,决定选用新疆新华天粉煤灰技术开发有限公司的中值粒径为 0.06 mm 的 F 类粗粉煤灰做为模型沙,均匀的平铺在水槽底部,厚度为 15 cm 。

2.1.3 试验流量选择 塔里木河治理的主要目的是生态环境,防洪是次要目的,所以洪水设计标准不高^[9]。查阅相关资料^[10],选取该河段20年一遇洪水流量,流量为 $1337 \text{ m}^3/\text{s}$,根据模型比尺换算出的试验流量为 16.03 L/s 。

2.1.4 丁坝具体参数及布置的选择 丁坝在垂直于水流方向的投影长与河宽之比大于 0.33 是长丁

坝,小于 0.33 是短丁坝^[11]。长丁坝的作用除了护岸之外,主要的作用在于挑流,改变主槽水流的方向^[12]。短丁坝对于主槽水流方向的改变没有长丁坝显著,主要是改变局部水流方向,短丁坝的护岸效果也比长丁坝好。结合其满水库河道的实际情况和防护目的,决定选用长 30 cm 的短丁坝进行研究。合理的丁坝透水率为 $20\% \sim 40\%$ ^[13],因此选择水力插板透水丁坝和井柱桩透水丁坝的透水率为 30% 。水力插板透水丁坝透水孔的设计与井柱桩透水丁坝一样,都是用单位长度内的开孔长度衡量。例如试验丁坝单位长度定为 1 cm ,其中开孔长度为 0.3 cm ,则丁坝透水率为 30% ,其他透水率的丁坝依此类推,而且透水孔的高度高于水面线。依此设计透水孔位置,大小,分布可以有效减小波浪等其他因素对丁坝过流能力的影响。丁坝间距太小会增加工程的成本,丁坝间距太大虽然降低了工程成本,但是减弱了丁坝相互之间的协同作用,护岸效果不明显。以往的试验研究认为第一个丁坝和第二个丁坝的合理间距是 $3 \sim 4$ 倍坝长,第二个丁坝和第三个丁坝的合理间距是 $1 \sim 1.5$ 倍坝长^[14-15]。选择第一个丁坝和第二个丁坝的间距为 3 倍坝长,第二个丁坝和第三个丁坝的间距为 1.5 倍坝长。当丁坝正挑布置时坝头冲刷坑的深度最大。为了使试验冲刷效果明显,本试验丁坝采用正挑布置^[16]。

2.2 试验步骤

模型试验是在长 10 m ,宽 1.2 m ,高 0.4 m ,底坡 $i = 1/4000$ 的砖砌式混凝土水槽中进行。水槽进水口设置有消能栏栅进行消能,在离进水口 6 m 处先后放置水力插板透水丁坝群,井柱桩透水丁坝群,实体丁坝群进行试验,3种丁坝群平面布置见图2。每组试验分别用测针测量各丁坝群附近的地形,并用 Surfer8.0 绘制各丁坝群附近的地形图。为了更

好的反映冲刷特性,采用清水进行动床试验。结合自身试验条件保证在试验冲刷效果明显的前提下,放水时间定为3 h。

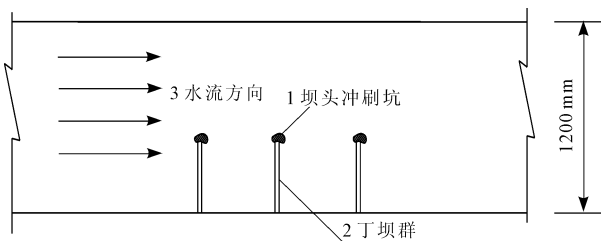


图2 3种丁坝群平面布置概化图

3 试验结果及分析

从图3、4、5可以直观的看出实体丁坝的局部冲刷最为严重,坝根的横向冲刷最为明显,坝头冲刷坑的深度和范围最大。水力插板透水丁坝的局部冲刷最不严重,坝根的横向冲刷不太明显,坝头冲刷坑的深度和范围最小。井柱桩透水丁坝的局部冲刷情况介于实体丁坝和水力插板透水丁坝之间。

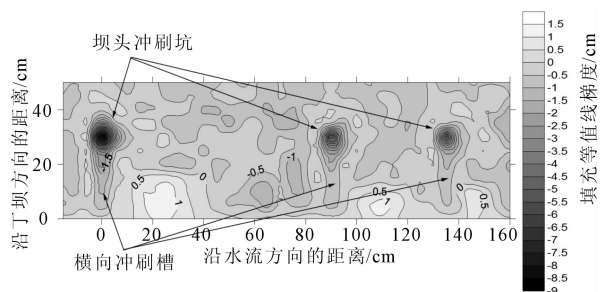


图3 水力插板透水丁坝群附近地形图

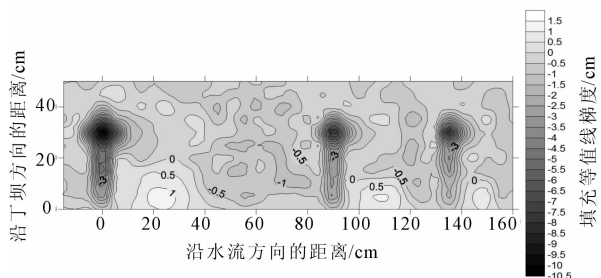


图4 井柱桩透水丁坝群附近地形图

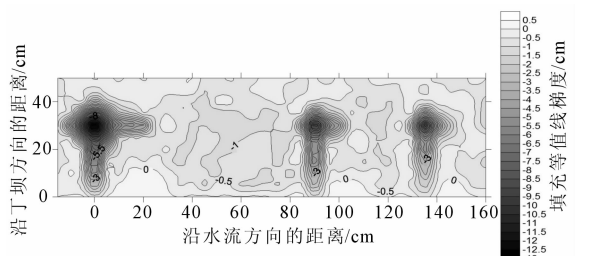


图5 实体丁坝群附近地形图

表1 丁坝坝头冲刷坑深度

丁坝类型	冲刷坑深度/cm		
	第一个丁坝坝头	第二个丁坝坝头	第三个丁坝坝头
水力插板透水丁坝群	8.9	6.5	5.2
井柱桩透水丁坝群	10.4	8.6	7.4
实体丁坝群	12.7	11.2	10.3

坝根的横向冲刷主要是由坝前横向下冲水流引起的。而坝前横向下冲水流是由于丁坝的阻水作用使坝前水位壅高,从而在水流横断面上出现了水面纵比降,水中质点受到横向压力梯度的作用而形成的^[17]。横向下冲水流和主槽水流在坝头相互作用形成竖向环流,使坝头河床产生冲刷。

透水丁坝局部冲刷没有实体丁坝严重的原因在于透水丁坝的透水孔使一些水流透过丁坝流向下流,透水丁坝的阻水效果没有实体丁坝显著,坝前壅高水位也没有实体丁坝大。因此透水丁坝坝前产生的横向下冲水流没有实体丁坝大,坝根的横向冲刷没有实体丁坝严重。与此同时,由于透水丁坝坝前的横向下冲水流没有实体丁坝大,因此横向下冲水流与坝头主槽水流的相互作用没有实体丁坝大,坝头环流的强度也没有实体丁坝大。最终导致透水丁坝坝头冲刷情况没有实体丁坝严重。

水力插板透水丁坝局部冲刷没有井柱桩透水丁坝严重的原因在于丁坝结构和丁坝周围水流流态的差别。

从丁坝结构分析,井柱桩透水丁坝河床以上和河床以下的结构都是相同的,都是透水的,不连续的。而水力插板透水丁坝河床以上和河床以下的结构是不相同的。河床以上的部分有透水孔,是透水和连续的。河床以下的部分没有透水孔,是不透水和连续的。水流透过丁坝时,过水断面突然变窄,水流流速突然增大。因此水流透过丁坝时会对所经过的河床基础产生冲刷,这种冲刷是纵向的,没有坝前横向下冲水流对河床的冲刷剧烈。由于水力插板透水丁坝河床以下是连续的,不透水的整体。因此水力插板透水丁坝可以有效减少水流透过丁坝时对河床基础的冲刷,水力插板透水丁坝的结构抵御水流局部冲刷的性能比井柱桩透水丁坝好。从而使水力插板透水丁坝局部冲刷没有井柱桩透水丁坝严重。

从丁坝周围水流流态分析,两种透水丁坝的透水率都相同,虽然水力插板透水丁坝与井柱桩透水丁坝相比,坝前壅高水位稍高,但是水位差距不大。水力插板透水丁坝和井柱桩透水丁坝周围水流的流态除

了共有的坝头竖向环流,水面涌波和坝前下冲水流之外,每个井柱桩周围还有漩涡体系。漩涡体系包括环绕井柱桩的大马蹄形漩涡和井柱桩后面的小尾流漩涡,见图6。关于井柱桩周围水流漩涡体系的形成,有学者进行了详细的解释^[18],这里不再赘述。

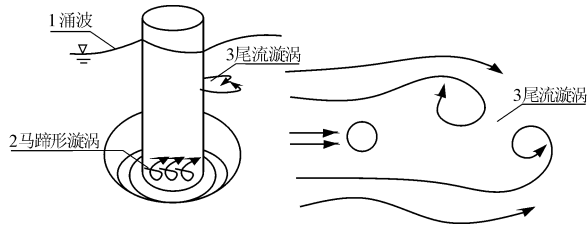


图6 井柱桩周围的水流

可以看出,与水力插板透水丁坝周围的水流流态相比,井柱桩透水丁坝周围的水流流态更为复杂,水流的紊动也更为强烈。因此床沙更容易起动和被水流携运到下游,最终导致水力插板透水丁坝局部冲刷没有井柱桩透水丁坝严重。

表1为各丁坝群不同位置上的丁坝坝头冲刷坑深度,由表1可知,分别以各丁坝群中第一个丁坝坝头冲刷坑深度为基准,分别用各丁坝群中第三个丁坝坝头冲刷坑深度进行对比,水力插板透水丁坝群对于坝头冲刷坑深度的减少率为42%,井柱桩透水丁坝群对于坝头冲刷坑深度的减少率为29%,实体丁坝群对于坝头冲刷坑深度的减少率为19%。由表1还可知,分别以各丁坝群中第一个丁坝坝头冲刷坑深度为基准,分别用各丁坝群中第三个丁坝坝头冲刷坑深度进行对比,水力插板透水丁坝群对于坝头冲刷坑深度的减少量为3.7cm,井柱桩透水丁坝群对于坝头冲刷坑深度的减少量为3cm,实体丁坝群对于坝头冲刷坑深度的减少量为2.4cm。再以实体丁坝群对于坝头冲刷坑深度的减少量为基准,用水力插板透水丁坝群和井柱桩透水丁坝群对于坝头冲刷坑深度的减少量进行对比,则分别提高了54%和25%。

4 结论

通过本文试验结果的分析,可以得出:实体丁坝的局部冲刷最为严重,其中坝根的横向冲刷最为明显,坝头冲刷坑的深度和范围最大。水力插板透水丁坝的局部冲刷最不严重,坝根的横向冲刷不太明显,坝头冲刷坑的深度和范围最小。井柱桩透水丁坝的局部冲刷情况介于实体丁坝和水力插板透水丁坝之间。水力插板透水丁坝群和井柱桩透水丁坝群

对于坝头冲刷坑深度的减少率同实体丁坝群相比,分别提高了23%和10%。水力插板透水丁坝群和井柱桩透水丁坝群对于坝头冲刷坑深度的减少量同实体丁坝群相比,分别提高了54%和25%。

参考文献:

- [1] 宋智贤,温建祥,孟繁森,等. 水力插板桩在桥涵基础中的应用[J]. 世界桥梁,2002(4):26-29.
- [2] 程义吉. 水力插板在黄河河口河道整治中的应用[J]. 人民黄河,2010,32(10):22-23.
- [3] 何富荣. 利用水利插板技术建设堤坝工程[J]. 港工技术,2001(2):40-42.
- [4] 刘国起,李玉建,侍克斌,等. 水力插板透水丁坝在新疆多沙河流上优越性的初步研究[J]. 水资源与水工程学报,2014,25(1):122-126.
- [5] 周庆庆,李玉建,孙启冀,等. 水力插板透水丁坝缓流促淤效果试验研究[J]. 人民黄河,2015,37(9):54-58.
- [6] Reckendorfer W, Schmalfuss R, Baumgartner C, et al. The integrated river engineering project for the free-flowing Danube in the Austrian Alluvial Zone National Park: contradictory goals and mutual solutions[J]. Archiv Fur Hydrobiologie, 2005(155):613-630.
- [7] 王先登,彭冬修,夏炜. 丁坝坝体局部水流结构与水毁机理分析[J]. 中国水运,2009(9):189-190+213.
- [8] 李玉建,侍克斌,尚层. 塔里木河干流河型、河性分析[J]. 人民黄河,2011,33(6):17-19.
- [9] 胡春宏,王延贵,郭庆超等. 塔里木河干流河道演变与整治[M]. 北京:科学出版社,2005.
- [10] 李玉建,谭冬初,唐新军. 塔里木监狱齐满水库防洪加固工程初步设计报告[R]. 新疆农业大学水利水电设计研究所,1998:15-20.
- [11] 刘燕,江恩惠,李军华,等. 丁坝布置形式与河道整治目的的承辅关系[J]. 人民黄河,2007,29(4):13-14.
- [12] 周银军,刘焕芳,何春光,等. 桩柱透水丁坝水流特性试验研究[J]. 泥沙研究,2009(5):58-62.
- [13] 周银军,刘焕芳,何春光,等. 透水丁坝局部冲淤规律试验研究[J]. 水利水运工程学报,2008(1):57-60.
- [14] 常福田,丰玮. 丁坝群合理间距的试验研究[J]. 河海大学学报,1992,20(4):7-14.
- [15] 杨石磊,张耀哲. 非淹没式丁坝群局部冲刷规律试验研究[J]. 水利水电技术,2013,44(11):81-84.
- [16] 周银军,陈立,刘金,等. 桩式丁坝局部冲刷深度试验研究[J]. 应用基础与工程科学学报,2010,18(5):750-758.
- [17] 应强,焦志斌. 丁坝水力学[M]. 第一版. 北京:海洋出版社,2004.
- [18] 张玉桂. 桥墩局部冲刷的平面二维数值模拟[D]. 北京:北京交通大学,2008.