

浮堤局部三维水流特性试验研究

黄卫, 钱红露, 於思瀚, 倪玉芳, 段文刚

Experimental study on the 3D flow structures around the floating dike

HUANG Wei, QIAN Honglu, YU Sihan, NI Yufang, DUAN Wengang

在线阅读 View online: https://doi.org/10.12170/20211217001

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

导流墙对闸后三元水流特性的影响

Influences of training wall on 3D flow property behind sluice 水利水运工程学报. 2018(4): 68 https://doi.org/10.16198/j.cnki.1009-640X.2018.04.010

含充填节理岩体中应力波传播规律的三维模拟

3D simulation of stress wave propagation in jointed rock mass with filling joint 水利水运工程学报. 2020(6): 80 https://doi.org/10.12170/20190529001

深水航道整治中新型结构淹没丁坝水流力特性研究

Flow force characteristics of new-type structure submerged spur dike during deep waterway regulation 水利水运工程学报. 2018(3): 16 https://doi.org/10.16198/j.cnki.1009-640X.2018.03.003

考虑径流补给的滑坡渗流三维有限元模拟

3D FEM numerical simulation of infiltration of landslide considering runoff 水利水运工程学报. 2017(4): 105 https://doi.org/10.16198/j.cnki.1009-640X.2017.04.015

大沽河河道整治的准三维数值模型

Application of quasi-3D hydrodynamic numerical model to channel regulation scheme for Dagu River 水利水运工程学报. 2017(3): 25 https://doi.org/10.16198/j.cnki.1009-640X.2017.03.004

天然河道丁坝群局部冲刷三维数值模拟

Three-dimensional numerical simulation of local scour based on spur dikes in a natural river 水利水运工程学报. 2020(1): 59 https://doi.org/10.12170/20180920001





扫码进入官网,阅读更多精彩文章

关注微信公众号,获得更多资讯信息

DOI:10.12170/20211217001

黄卫, 钱红露, 於思瀚, 等. 浮堤局部三维水流特性试验研究 [J]. 水利水运工程学报, 2023(5): 35-44. (HUANG Wei, QIAN Honglu, YU Sihan, et al. Experimental study on the 3D flow structures around the floating dike[J]. Hydro-Science and Engineering, 2023(5): 35-44. (in Chinese))

浮堤局部三维水流特性试验研究

黄卫1,钱红露2,於思瀚1,3,倪玉芳1,段文刚1

(1. 长江科学院, 湖北 武汉 430010; 2. 长江设计集团有限公司, 湖北 武汉 430010; 3. 武汉大学 水利水电学院, 湖北 武汉 430072)

摘要:浮堤相较于传统坝体,具有对河流泥沙输移影响较小、对来水来沙条件适应性较好、对原有河床及生态 环境影响较小等优点,但对浮堤局部三维水流结构相关认识的严重缺乏制约了浮堤在河道治理中的应用。通过 水槽试验研究浮堤局部三维水流特性及其几何尺寸对水流结构的影响。结果表明:(1)表面水流经过浮堤后向 对岸偏转,浮堤下游产生回流,且回流处的垂向紊动强度与雷诺应力绝对值较大;(2)浮堤的挡水作用使过水断 面面积减小,浮堤上游水流缓慢,而浮堤下方和右侧水流流速较大;(3)当浮堤淹没深度或长度增加时,浮堤下游 回流的垂向或横向尺度相应增大,非接岸侧水体流速均明显增大;(4)当浮堤厚度增加时,水流结构呈非单调变 化,表现为当浮堤厚度小于某一值时,浮堤厚度越大,回流横向尺度越大,超过该厚度后回流横向尺度减小。研 究结果可为浮堤在河道整治工作中的推广应用提供参考。

关 键 词: 浮堤; 三维水流结构; 水槽试验; 回流; 紊动强度

中图分类号: TV13 文献标志码: A 文章编号: 1009-640X(2023)05-0035-10

浮堤常被用于水电站拦污导漂^[1-3]、进水口不良流态破除^[4]等水利工程中。若将浮堤推广至河道整治, 相较于坝体,具有如下优点:(1)浮堤对河流泥沙输移的影响较小。天然河道中水流垂向流速"上大下 小",泥沙分布"上小下大",在分汊河道治理中使用坝体(如丁坝)难以实现只增加水流分流比而不增加 分沙比的目标,而浮堤调节水流能力在水面较强,在近底部分较弱,因此对泥沙输移的影响小。(2)浮堤对 来水来沙条件的适应性较好。因为浮于水面,所以河床冲淤对浮堤的影响较小;而坝体通常为永久建筑物, 不仅达成整治目标需要一定时间,而且在预期目标达成后,若来水来沙条件发生重大改变,坝体可能产生不 利后果。(3)浮堤对原有河床及生态环境的影响较小。坝体的修建及其局部防冲措施都会显著改变河床基 质^[5],从而改变水生生物栖息地环境。综上,在河道整治工程中,浮堤具有广阔的应用前景。然而,由于缺乏 对浮堤作用机理的全面认识,浮堤在河道整治工程中的推广应用受到了严重制约。

目前,针对坝体作用下三维水流结构的研究较多^[6-10],而浮体作用下水流结构的研究多集中于表面流 场,缺少对其局部三维水流结构的研究。童中山等^[11]对水电站导漂建筑物研究现状进行了综述,指出了导 漂浮排在设计和实际运行中存在的较多问题,尤其需对水流结构进行深入研究;段文刚等^[4] 通过物理模型 试验,在研究旋涡形成原因的基础上,采用浮堤破除平面回流、不对称进流和侧向进流等不利流态引发的立 轴旋涡;黄明海^[12] 为了防止钉螺吸附在漂浮物上通过大型引水工程扩散,采用浮排进行导漂从而避免漂浮 物进入引水渠道,并应用数学和物理模型分别对浮堤作用下的表面水流结构和漂浮物运动轨迹进行研究, 初步探明浮排的布置型式、来流流量和引水流量等因素对表面流场的影响。本文针对浮堤局部水流结构特 征及其关键影响因素作用规律开展水槽试验研究,为浮堤在河道整治中的推广应用提供参考。

收稿日期: 2021-12-17

- 基金项目:中央级公益性科研院所基本科研业务费资助项目(CKSF2019175/SL);武汉市知识创新专项基础研究项目 (2022020801010241)
- **作者简介:** 黄 卫(1986—), 男, 重庆人, 高级工程师, 博士, 主要从事环境与生态水力学等方面的科研工作。 E-mail: davidhuang@mail.crsri.cn 通信作者: 倪玉芳(E-mail: yufangni@whu.edu.cn)

1 试验方法

试验在整体可变坡水槽中进行。水槽长 14 m、宽 0.3 m、高 0.25 m, 入口放置整流格栅以平顺水流, 出口设置合页式尾门(图 1); 侧壁及底板均由厚 3.6 mm 的透明玻璃拼接而成; 支撑系统与地面软连接, 不同部件之间柔性连接, 均可有效减小因供水泵工作引起的振动; 侧壁粘贴方格纸, 以准确读取浮堤上下游水位。采用高分辨率 PIV 系统测量流速, 该系统主要由图像采集系统和流场计算系统组成。根据试验布置, 试验段流场采集窗口距水槽进口 9 m, 距水槽出口 5 m, 进、出口长度满足紊流充分发展和消除水流扰动的要求。





Fig. 1 Experimental setup in the flume

试验研究不同几何尺寸(长度 L,淹没深度 d,厚 度 B)浮堤作用下的水流结构,试验工况见表 1。试 验中浮堤固定在左岸,不同工况浮堤布置见图 2。试 验水槽宽度 W = 0.3 m,底坡坡比为 0.001。进口处 水流为恒定流,流量为 0.002 88 m³/s,水深 h = 0.05 m, 计算断面平均流速为 0.19 m/s。沿水槽宽度方向设 置流场采集断面,沿水槽宽度方向布置的 10 个测量 断面如图 2(a) 所示,编号为 1#~10#,断面到玻璃水 槽左边(浮堤所在)壁的距离分别为 2.5、5.0、7.5、 10.0、12.5、15.0、17.5、20.0、22.5、27.5 cm。

表 1 试验工况汇总 Tab. 1 Summary of the experiment cases

· 기년	1/000	D = J/L	I /am	V = I/W	
1.76	a/cm	D - a/n	L/CIII	K = L/W	<i>B</i> /cm
1	/	/	/	/	/
2	2	2/5	10	1/3	1.0
3	1	1/5	10	1/3	1.0
4	4	4/5	10	1/3	1.0
5	2	2/5	5	1/6	1.0
6	2	2/5	15	1/2	1.0
7	2	2/5	10	1/3	0.5
8	2	2/5	10	1/3	4.0



图 2 测量断面及浮堤布置

Fig. 2 Experimental setup of the measured cross-sections and the floating dikes (unit: cm)

试验测量参数包括浮堤附近水位和局部纵剖面二维流速场,其中二维流场为主流方向和垂向上的瞬时 流速 *u* 与 *w*。根据二维流场测量数据计算垂向紊动强度与雷诺应力,以反映局部水流特性及浮堤对水流的 影响。

(1)垂向紊动强度计算式:

$$R_{\rm SMV} = R_{\rm SM}[w'] = \sqrt{(w')^2} = \sqrt{\frac{\sum w_i^2 - \left(\sum w_i\right)^2 / n}{n-1}}$$
(1)

式中: R_{SMV} 为垂向紊动强度(m/s); w'为脉动流速(m/s); R_{SM} 为均方差; n 为统计的有效样本数。

(2) 雷诺应力计算式:

$$R_{\rm S} = -\rho \overline{u'w'} = -\rho \left(\frac{\sum u_i w_i}{n-1} - \frac{\sum u_i \sum w_i}{n(n-1)} \right)$$
(2)

式中: Rs为雷诺应力(Pa); ρ为水流密度, 取1000 kg/m³。雷诺应力是由于流场中流速分布不均而产生的, 雷诺应力越大流速分布越不均匀, 即紊动越剧烈。

2 试验结果与分析

2.1 浮堤局部水流结构特征分析

通过对比无浮堤(工况1)和布置浮堤(工况2, 基本工况)的水流结构,揭示浮堤对水流结构的影 响。无浮堤(工况1)工况下,测量断面的流线几乎平 行,近似于均匀流动,流速分布规律遵循一般水槽内 流速分布规律。图3为工况2中浮堤周围的水流表 面流态,由于布置了浮堤,表面水体过流断面束窄, 表面水流流经浮堤后偏向右岸,并向下游延伸,这一 现象的本质是流经浮堤的水体发生了边界层分离。

图 4 展示了工况 2 各断面流速分布,可见流场 发生了剧烈变化:(1)由于浮堤下方发生了边界层分 离,紧邻浮堤下游出现了回流区,回流区沿水槽宽度



图 3 工况 2 浮堤局部水流表面流态 Fig. 3 Photograph of the surface flow feature in Case 2

方向长 10 cm, 与浮堤长度(10 cm)相符。(2)回流在断面 2#和 3#处最为显著; 靠近水槽边壁和浮堤右侧(图 4(a)和图 4(d))的回流较小,这是由于断面 1#受到了水槽边壁边界层的影响,也表现在断面 1#较断面 2#浮堤下方流速更小;断面 4#正好位于浮堤非近岸端,该断面受浮堤的影响产生回流,又受浮堤右侧水体流速较大的影响,使回流减弱。(3)回流内最大的负流速为 0.05 m/s,明显小于主流断面平均流速 0.18 m/s,这表明回流处水体流动缓慢。(4)由于浮堤对水流的阻挡作用,紧邻浮堤上游水体流速较小,约为 0.1 m/s,靠近浮堤壁面处流速仅 0.01 m/s。(5)浮堤和浮堤下游回流使得过水断面减小,浮堤下方和右侧水体流速均较大,其中距离左岸 5.0~10.0 cm 之间断面下方和浮堤右侧(断面 5#)水体流速最大达 0.25 m/s。(6)浮堤及回流影响下,断面流速分布云图出现了分层现象(图 4(e)),尽管图 4(f~j)中流线近似平行,但是结合图 3 可知,回流的影响具有三维特性,水流经过浮堤后向右岸偏移,左侧为回流,故右侧水体流速加快。(7)断面 6#~8#之间位于浮堤上游底部水流流速较小,与上层水体存在差异,这表明受到了浮堤的影响,而断面 9#、10#之间水流逐渐恢复为均匀流动,这说明工况 2 中浮堤的影响范围为 20.0~22.5 cm。

图 5 展示了浮堤右端(W=10 cm)附近断面的垂向紊动强度及雷诺应力分布,可以观察到垂向紊动强度 与雷诺应力的分布规律在定性上吻合,即垂向紊动强度较大的位置其相应的雷诺应力绝对值也较大。浮堤 下游回流核心部分(图 4)的紊动强度达到 0.035 m/s,其雷诺应力绝对值达到 1 Pa 以上(图 5)。值得注意的 是,尽管浮堤及浮堤下方边界层的存在抑制了垂向紊动,但是流向(X方向)上的紊动较为剧烈,因此浮堤正 下方的垂向紊动强度虽然较小,但是雷诺应力较大且绝对值达到 0.5 Pa。





2.2 浮堤淹没深度影响

图 6 为工况 3 和 4 浮堤附近断面流速分布。与图 4 相对比可见,随着浮堤淹没深度比 D 增大:(1)浮堤 下游回流的垂向尺度相应变大;(2)浮堤右侧(断面 5#)水体流速明显增大,D 为 1/5(工况 3)时最大流速达 到 0.22 m/s,D 为 2/5(工况 2)时最大流速达到 0.25 m/s,D 为 4/5(工况 4)时最大流速则达到了 0.30 m/s。这 是由于浮堤淹没深度比 D 增大后,浮堤横向尺寸更大,使过水断面减小更为显著,因此断面流速增大。 第5期



图 7 为不同工况浮堤附近断面垂向紊动强度差异分布。图 7 中的垂向紊动强度差异为正数,表示工况 2 中相应位置的垂向紊动强度大于工况 3 或 4 中相同位置。对比图 5 与 7 可见:(1)工况 3 和 2 下,断面 3#、4#中浮堤下游水体的垂向紊动强度较大,且工况 3 表层水体的垂向紊动强度相较于工况 2 更大,而中间 部分水体的垂向紊动强度较小,这与工况 3 回流更接近表层水体有关。工况 4 浮堤下游水体的垂向紊动强 度较工况 2 和 3 小;(2)工况 3 和 2 浮堤右侧(断面 5#)水体的垂向紊动强度较小,而工况 4 浮堤右侧部分区 域垂向紊动强度较大,尤其是紧邻浮堤右侧的水体(图 7(f) 虚线框内),这是由于此处水体需绕过浮堤流向 下游,在水平方向上发生了边界层分离,因此垂向紊动强度也较大。对比图 7 和 6 可知:(1)浮堤下游回流 处垂向紊动强度相对其他区域均较大,当淹没深度比 D 达到 4/5 时,虽然回流垂向尺度更大,但回流区域内 流速绝对值较小,因而垂向紊动强度相对较小;(2)浮堤淹没深度比 D 增加使过水断面减小,故浮堤右侧水 体流速较大,加之浮堤下方水体存在上升运动,且水流偏转角度较大,因此垂向紊动强度较大。





图 8 为工况 3 和 4 浮堤附近断面雷诺应力分布。从定性看,两种工况下的雷诺应力分布与工况 2 规律 相似,即回流和浮堤下方区域雷诺应力较大;分布规律与垂向紊动强度(图 7)吻合。通过比较分析可知,浮 堤淹没深度比 D 增大并未造成雷诺应力分布出现明显单调变化,淹没深度比为 2/5 时,雷诺应力相较于淹 没深度比 1/5 时更大,但是淹没深度比为 4/5 时的雷诺应力明显减小,故推测在淹没深度比为 2/5 和 4/5 之 间出现极值。当淹没深度比 D 达到 4/5 时,由于浮堤显著的阻碍作用,回流区内流动缓慢,同时过水断面显 著减小,使浮堤右侧水体明显加速,故浮堤下游雷诺应力减小,其最大值也减小,而浮堤右侧水体雷诺应力 明显增大。



Fig. 8 Distributions of Reynolds stress around the dike in Cases 3 and 4

2.3 浮堤长度影响

图 9 为工况 5 和 6 浮堤附近断面流速分布。与图 4 对比可见:(1)工况 2、5、6 中浮堤下游均产生回流, 且沿水槽横向回流尺寸与浮堤长度大致相当,即浮堤长度比 *K*(工况 5 为 1/6、工况 2 为 1/3、工况 6 为 1/2) 越大,回流横向尺度越大;(2)工况 2、5、6 中浮堤正下方、右侧水体流速均较大,这是由于过水断面减小使 流速增加,且浮堤长度比 *K* 越大,过水断面减幅就越大,相应水体的流速增幅就越大,具体表现在工况 5 浮 堤正下方、右侧水体的最大流速达 0.22 m/s,而工况 2 和 6 则达到 0.25 m/s。



图 10 为工况 5 和 6 浮堤附近断面垂向紊动强度分布。由图 10 可见: (1)浮堤下游回流所在区域垂向 紊动强度较大; (2)对比图 5,随着浮堤长度比 K 增大,工况 5、2、6 浮堤下游回流的垂向紊动强度呈增大趋势,浮堤右侧水体的最大垂向紊动强度呈减小趋势。



图 11 为工况 5 和 6 浮堤附近断面雷诺应力分布。由图 11 可见: (1)浮堤下方和下游回流区域内水体 雷诺应力较大,其余位置雷诺应力接近 0; (2)对比图 5,随着浮堤长度比 K 的增大,工况 5、2、6 浮堤正下方 雷诺应力最大绝对值比较接近,均大于 0.5 Pa,无明显规律;而浮堤下游回流区雷诺应力达到 1 Pa 的区域面 积随浮堤长度比 K 的增加而增加。



Fig. 11 Distributions of Reynold stress around the dike in Cases 5 and 6

2.4 浮堤厚度影响

图 12 为工况 7 和 8 浮堤附近断面流速分布。对比图 4 可见:随着浮堤厚度增加(工况 7-工况 2-工况 8),浮堤下游的回流明显减弱,尤其是工况 8 断面 4#处已无回流,且浮堤下方水流平稳上升,流线顺畅延长至下游,这说明浮堤达到一定厚度后,浮堤对其下方水体具有较显著的稳流作用,对紊动有抑制作用;同时,浮堤下方水体流速减小,与浮堤下游回流减弱相符。图 13 为工况 7 和 8 中断面 6#、7#、8#处的流速分布,均可观察到浮堤右侧水体在 15.0~17.5 cm 之间恢复均匀流状态,这表明浮堤对右侧水体的影响范围为 15.0~17.5 cm。前文提到工况 2 浮堤在水槽宽度方向的影响范围为 20.0~22.5 cm,这说明浮堤的厚度与其在水槽宽度方向的影响范围之间不存在单调变化关系,可能存在一个临界厚度,在该厚度下浮堤沿水槽宽度方向的影响范围最大。同时,该临界厚度可能与水流条件、浮堤布置等有关,需进一步研究。

图 14 为工况 2 与工况 7、8 中浮堤附近断面垂向紊动强度差异分布,其中垂向紊动强度差异为正,表示 工况 2 相应位置的垂向紊动强度相较于工况 7 或 8 相同位置更大。对比图 5 与 14 可见:浮堤厚度减小时, 浮堤下游回流区的垂向紊动强度呈增大趋势(图 14(a), 14(b));浮堤厚度增加时,浮堤下游回流区的垂向紊 动强度呈减弱趋势(图 14(d), 14(e))。这也体现了浮堤厚度越大,对水流紊动的抑制作用越显著。





工况 2-7、工况 2-8 浮堤附近断面垂向紊动强度差异分布 图 14

Fig. 14 Distributions of differences of vertical turbulent intensity around the dike between Cases 2-7 and Cases 2-8

图 15 为工况 7 和 8 浮堤附近断面雷诺应力分布。对比图 5 可见:随着浮堤厚度增加,浮堤正下方和下 游回流区水体的雷诺应力绝对值减小,这表明水流紊动剧烈程度降低,与图12和14展示的规律一致,即增 加浮堤厚度会抑制水流紊动。





结 3 语

通过开展浮堤局部水流结构试验,探讨了浮堤及其尺寸对水流结构的影响,并得出如下结论:

(1)布置浮堤后,由于浮堤表面发生了边界层流动分离,表面水流流经浮堤后偏转向对岸,浮堤下游产 生回流,且回流处的垂向紊动强度与雷诺应力绝对值较大;由于浮堤的挡水作用,过水断面面积减小,浮堤 上游水流缓慢,而浮堤下方和右侧水流流速较大。

(2)浮堤淹没深度增大的影响:浮堤下游回流的垂向尺度相应增大,但淹没深度比 D 达到 4/5 时垂向紊 动强度明显减弱;同时,随着水槽过水断面减小,浮堤右侧水体流速明显增大,垂向紊动强度和雷诺应力绝 对值也相应增大。

(3)浮堤长度增加的影响:浮堤下游回流的横向尺度相应增大,且垂向紊动强度和雷诺应力绝对值呈增 大趋势;同时,随着水槽过水断面减小,浮堤右侧水体流速增大,垂向紊动强度减小。

(4)浮堤厚度增加的影响:浮堤下游回流明显减弱(当厚度为4 cm 时,断面 4#处已无回流,且浮堤正下 方水流平稳上升);浮堤下方水体的流速呈减小趋势;浮堤在水槽宽度方向上的影响范围先增后减,说明存 在临界厚度,在该厚度下浮堤在水槽宽度方向上的影响范围最大,有待进一步研究;同时,浮堤下游回流区 水体的垂向紊动强度呈减弱趋势,浮堤正下方和下游回流区水体的雷诺应力绝对值减小。

参考文献:

- [1] 李孝虎. 小峡水电站拦污清污设计[J]. 甘肃水利水电技术, 2009, 45(9): 33-34, 53. (LI Xiaohu. Design of sewage interception and cleaning for Xiaoxia Hydropower Station[J]. Gansu Water Conservancy and Hydropower Technology, 2009, 45(9): 33-34, 53. (in Chinese))
- [2] 蔡莹,谢学伦,黄国兵. 浮桥式治漂浮排在三峡坝前的应用研究与实践[J]. 长江科学院院报, 2016, 33(10): 63-66, 92. (CAI Ying, XIE Xuelun, HUANG Guobing. Research and practice of pontoon-type floating row applied in front of Three Gorges Dam to remove floating debris[J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2016, 33(10): 63-66, 92. (in Chinese))
- [3] 蔡莹,杨伟,黄国兵.水力一体化治漂与枢纽库面安防系统研究及实施[J].水利水电技术, 2017, 48(11): 168-173. (CAI Ying, YANG Wei, HUANG Guobing. Study and implementation of hydraulic integrated floating debris control and reservoir surface security system for water control project[J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2017, 48(11): 168-173. (in Chinese))
- [4] 段文刚,黄国兵,张晖,等. 几种典型水工建筑物进水口消涡措施试验研究[J]. 长江科学院院报, 2011, 28(2): 21-27.
 (DUAN Wengang, HUANG Guobing, ZHANG Hui, et al. Experimental research on vortexes eliminating of several typical hydraulic intakes[J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2011, 28(2): 21-27. (in Chinese))
- [5] 余新明. 长江下游双涧沙守护工程局部冲刷水槽试验研究[J]. 水道港口, 2014, 35(3): 223-226. (YU Xinming. Flume experiment of local scour around geotextile mattress for Shuangjiansha central bar protection in Lower Reaches of Yangtze River[J]. Journal of Waterway and Harbor, 2014, 35(3): 223-226. (in Chinese))
- [6] 周宜林, 道上正规, 桧谷治. 非淹没丁坝附近三维水流运动特性的研究[J]. 水利学报, 2004, 35(8): 46-53. (ZHOU Yilin, MICHIUE Masanori, HINOKIDANI Osamu. Study on flow characteristics around the non-submerged spur-dikes[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2004, 35(8): 46-53. (in Chinese))
- [7] 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. (ZHOU Yinjun, LIU Huanfang, HE Chunguang, et al. Experimental study on flow character around the pillared permeable spur dike[J]. Journal of Sediment Research, 2009(5): 58-62. (in Chinese))
- [8] JAMIESON E C, RENNIE C D, JACOBSON R B, et al. 3-D flow and scour near a submerged wing dike: ADCP measurements on the Missouri River[J]. Water Resources Research, 2011, 47(7): W07544.
- [9] KOKEN M, GOGUS M. Effect of spur dike length on the horseshoe vortex system and the bed shear stress distribution[J]. Journal of Hydraulic Research, 2015, 53(2): 196-206.
- [10] NAKAGAWA H, TERAGUCHI H, KAWAIKE K, et al. Analysis of Bed Variation around bandal-like structures [J]. Annuals of the Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, 2011, 54B: 1-15.
- [11] 童中山, 周辉, 吴时强, 等. 水电站导漂建筑物研究现状[J]. 水利水运工程学报, 2002(1): 73-78. (TONG Zhongshan, ZHOU Hui, WU Shiqiang, et al. State of the art of structures guiding floating-debris in hydro-plants[J]. Hydro-Science and Engineering, 2002(1): 73-78. (in Chinese))

[12] 黄明海. 不同工况条件下引水工程防止钉螺扩散优化措施研究报告[R]. 武汉: 长江水利委员会长江科学院, 2017. (HUANG Minghai. Research report on optimization measures to prevent snail diffusion in water diversion project under different working conditions[R]. Wuhan: Changjiang River Scientific Research Institute, 2017. (in Chinese))

Experimental study on the 3D flow structures around the floating dike

HUANG Wei¹, QIAN Honglu², YU Sihan^{1,3}, NI Yufang¹, DUAN Wengang¹

(1. Changjiang River Scientific Research Institute, Wuhan 430010, China; 2. Changjiang Institute of Survey, Planning, Design and Research Corporation, Wuhan 430010, China; 3. School of Water Resources and Hydropower Engineering, Wuhan University, Wuhan 430072, China)

Abstract: Compared to dikes constructed on the river bed, floating dikes have the advantages over the spur dikes of minor influence to the riverine sediment transport, bed topography, ecosystem and good capability of adaptation to the fluvial conditions. Yet, floating dikes have not been applied to the river regulation, due to the limited understanding of the 3D flow structures around floating dikes. Our experimental studies were conducted to investigate the effects of the floating dike on the 3D flow structures around it. Results showed that after placing the floating dike, the surface water flow deflected into the other side of the flume, and circumfluence occurred right downstream of the dike, where both the vertical turbulent intensity and the absolute value of Reynolds stress were relatively large. Due to impediment effects of the dike, cross-sectional area decreased, causing the increase of flow velocity below and beside the dike and decrease of flow velocity upstream of it. Increase of the immersed depth or the dike length resulted in the increases of flow velocity beside the dike as well as the vertical or lateral scale of the circumfluence, while increasing the dike thickness led to the weakening, or even disappearing of the circumfluence.

Key words: floating dike; 3D flow structure; experimental study; circumfluence; turbulent intensity