



浮运围堰下沉过程中紊流宽度试验研究

吴门伍¹, 严黎¹, 陈立², 周家俞³

(1. 珠江水利委员会珠江水利科学研究所, 广东广州 510611; 2. 武汉大学水资源与水电工程科学国家重点实验室, 湖北武汉 430072; 3. 重庆交通大学西南水运工程科学研究所, 重庆 400016)

摘要: 通过局部动床概化水槽试验, 采用MicroADV流速仪测量瞬时流速, 得到浮运围堰下沉过程中围堰侧面纵向、横向和垂向紊流强度的分布情况。分析浮运围堰入水深度、行进流速、行进水深对紊流宽度的影响。结果表明: 在试验条件下, 浮运围堰入水深度对紊流宽度影响较大; 行进流速、行进水深对紊流宽度影响较小。在试验范围内, 围堰单独作用时水流相对紊流影响宽度 D/B 随围堰相对入水深度 H/H_0 的增加而增大, 基本为线性关系。

关键词: 浮运围堰; 水槽试验; 水流结构; 紊流强度; 紊流宽度

中图分类号: TU 131.2⁺1

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2014)01-0019-06

Experimental study on turbulent width during of floating cofferdam

WU Men-wu¹, YAN Li¹, CHEN Li², ZHOU Jia-yu³

(1. Scientific Research Institute of PRWRC, Guangzhou 510611, China;

2. State Key Laboratory of Water Resources and Hydropower Engineering Science, Wuhan University, Wuhan 43007, China;

3. Southwestern Hydraulic Engineering Research Institute for Waterway, Chongqing 400016, China)

Abstract: Based on the local movable bed conceptual flume tests, the longitudinal, transverse and vertical turbulent intensity distribution near the float cofferdam's side during descending is presented using a Micro Acoustic-Doppler Velocimeter (MicroADV) to measure the instantaneous velocity. The turbulent width influenced by the changing of cofferdam subsidence depth, approaching flow velocity, upper flow depth is researched. The result shows that under the experimental conditions, the turbulent width influenced by the floating cofferdam subsidence depth is conspicuous, and by the approaching flow velocity, the upper flow depth is small relatively. In the experiment range, the relative turbulent width of D/B is increased with the floating cofferdam into relatively water depth H/H_0 when the floating cofferdam acts alone. They are substantially linear relationship.

Key words: float cofferdam; flume test; flow structure; turbulent intensity; turbulent width

因施工简便易行、费用低、工期短、效益高等优点, 浮运围堰在深水高桩承台的施工中的应用越来越广泛^[1]。目前在大型深水基础施工方面浮运围堰应用非常广泛^[2-6]。

处于河道中的桥墩、围堰等, 由于墩柱对水流的阻流作用, 水流在墩柱周围产生的涡漩运动在一定宽度内绕过建筑物流向下游。在墩柱周围紊流影响宽度范围内的水流, 一方面属于下降水

流^[7], 另一方面在该范围内的水流因边界分离产生回流, 又伴随着一个一个的旋涡, 对周围水体产生较大的吸附作用, 这可能就是船舶撞桥墩的主要原因。因此, 从船舶和桥梁的安全考虑, 桥渡航道的边线宜布置在该紊流影响宽度以外, 也就是说, 可以将该紊流影响宽度作为航道边线与桥墩之间的安全距离。墩柱周围紊流影响宽度范围内的涡漩运动对其附近河床局部冲刷、船舶航行

收稿日期: 2013-05-18

作者简介: 吴门伍(1976—), 男, 博士, 高级工程师, 主要从事水力学及河流动力学研究。

等较大的影响^[8]。目前,针对墩柱周围表层水流涡漩区范围有部分研究^[9-10],但研究对象主要为圆柱(圆头)桥墩^[11],田伟平等^[12]对圆柱桥墩绕流特性进行了理论研究,并主要采用PIV等对定床河床墩柱周围表面水流涡漩进行测量分析^[13-17]。针对矩形桥墩及动床试验的研究成果较少^[18],对于浮运围堰下沉期间紊流影响宽度的研究成果更是少见。

本文采用矩形浮运围堰,通过动床模型试验,对浮运围堰在下沉过程中紊流影响宽度进行研究。由于直接影响船舶通航的水层为自水面至水面以下4 m,本文通过概化水槽试验,根据浮运围堰入水后水面以下4 cm范围内的紊流强度的变幅和影响范围,确定紊流宽度。

1 试验条件及方案

1.1 试验条件

1) 试验水槽。

试验水槽长30 m、宽3.0 m、深0.6 m,槽底比降0.1‰,水槽最大供水流量为800 m³/h。相对于原形,其水平比尺为 $\lambda_l=100$,垂直比尺 $\lambda_h=100$,流速比尺 $\lambda_v=10$,时间比尺 $\lambda_t=265.5$ ^[19]。围堰安置于直段中部水槽中央,可通过人工装置作升降运动。沿直段水槽直到尾门布设4个测针,用电磁流量计控制流量,调节尾门控制水深。围堰右侧长约

1.5 m的导墙采用玻璃制作。水槽系统平面布置如图1所示。

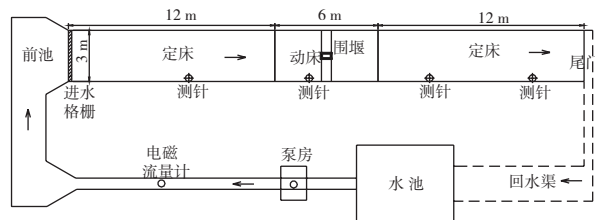


图1 水槽系统平面布置

2) 试验用沙。

试验采用比重为1.05的塑料沙,其学名为苯乙烯二乙烯苯,系制造离子交换树脂的中间产品,颗粒外形接近于圆球,白色半透明,不吸水也不溶于水,水槽淤积物的干密度为0.62 t/m³。试验颗粒中值粒径为0.167 mm。试验时水槽槽底铺设厚度为0.17 m的塑料沙,围堰附近局部地形塑料沙厚度为0.30 m。

3) 试验围堰。

试验围堰为矩形围堰,采用有机玻璃制成,其尺寸为:57.6 cm × 31.2 cm(长×宽),其长宽比约为1.846:1,围堰内外相通。

1.2 试验方案

1) 试验组次参数。

试验过程中各组次的具体参数如表1所示。

表1 浮运围堰试验参数

测次	流量 $Q/(m^3 \cdot h^{-1})$	水深 H_0/cm	行近流速 $U_0/(cm \cdot s^{-1})$	围堰入水 H_1/cm	温度 $T/^\circ C$
01-16	108	20	5	5,10,15	9
01-17	216	20	10	5,10,15	9
02-16—02-20	324	20	15	5,10,15,20,25	9.8~10
03-05—02-07	162	15	10	5,10,15	9.2~11
02-25—02-27	243	15	15	5,10,15	10
03-09—03-13	324	15	20	5,10,15,20	12

2) 测量内容。

试验中采用MicroADV对围堰侧面上、中、下游水流的三维时均流速进行测量,从而得出三维平均流速、紊动强度。

2 试验结果分析

2.1 围堰入水深度对紊流宽度的影响

本试验的水流行近流速 $U_0=15$ cm/s、行近水

深 $H_0=20$ cm,浮运围堰连续入水5,10,15,20和25 cm。

1) 纵向水流紊流影响宽度。

图2 a)和 b)分别为浮运围堰不同入水深度时围堰侧面中游、下游断面表层纵向水流紊动强度沿河宽分布情况。分析试验结果可以看出:

①随着围堰入水深度的增大,围堰堰底过流空间减少,围堰侧面表层纵向水流紊动强度最大

值沿河宽方向均增大。围堰入水深度越大, 紊动强度越强。

②当围堰入水深度较大时, 水流遇到围堰后, 从围堰上游绕过围堰沿其两侧流向下游, 此时围堰边壁附近水流多为贴壁流、旋涡流, 水流流速、紊动强度均较小, 因此在围堰中游、下游断面, 表层水流紊动强度最大值沿河宽分布规律为先增大再减小。近壁区中游、下游断面水流紊动强度最大值变化较大, 距围堰边壁相同距离处中游断面水流紊动强度较下游断面大。

③随着围堰入水深度的增加, 围堰侧面纵向水流紊流影响宽度逐渐增大。上游断面紊流影响宽度变化范围较小, 中游、下游断面紊流影响宽度增加较大, 紊流影响宽度也基本相等。在试验条件下, 浮运围堰分别下沉5, 10, 15, 20, 25 cm 时, 围堰侧面水流紊流影响宽度分别为15, 20, 30, 40, 50 cm。

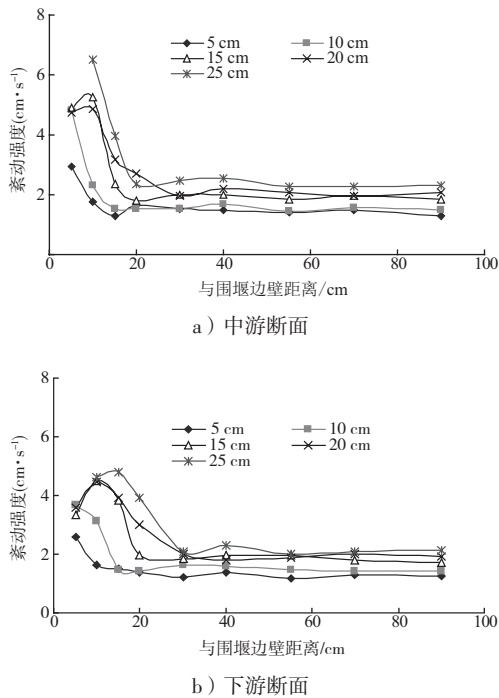


图2 浮运围堰不同入水深度时围堰侧面断面表层纵向水流紊动强度沿河宽的分布

2) 横向水流紊流影响宽度。

图3 a)和 b)分别为浮运围堰不同入水深度时围堰侧面中游、下游断面表层横向水流紊动强度沿河宽分布的情况。分析这些试验结果可以看出:

①与纵向水流紊动强度沿河宽分布相似, 随

着围堰入水深度的增大, 围堰侧面横向水流紊动强度最大值沿河宽方向也略有增强。围堰入水深度越大, 紊动强度越强。

②随着围堰入水深度的增加, 围堰阻水作用越强, 围堰两侧水流绕流作用越明显, 近围堰边壁区横向水流紊动强度最大值也越大。

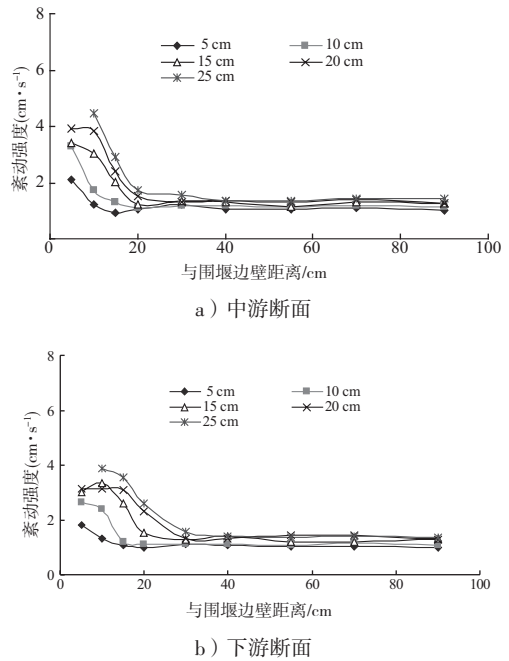


图3 浮运围堰不同入水深度时围堰侧面断面表层横向水流紊动强度沿河宽的分布

③围堰侧面上游断面水流紊动强度最大值沿河宽变化较小; 中游、下游断面水流紊动强度最大值沿河宽变化较大; 从上游到下游断面, 横向水流紊流影响宽度逐渐增宽。在试验条件下, 浮运围堰分别下沉5, 10, 15, 20, 25 cm时, 围堰侧面横向水流紊流影响宽度最大值分别为15, 20, 30, 30, 40 cm。

3) 垂向水流紊流影响宽度。

①垂向水流紊动强度最大值较纵向、横向水流紊动强度最大值均要小, 即围堰入水深度的变化对表层垂向水流紊动强度最大值的影响较小。

②围堰侧面上游断面垂向水流紊动强度最大值随围堰入水深度的增大而变化很小, 紊流影响宽度也变化不大。中游及下游断面距围堰边壁较近处垂向水流紊动强度最大值随围堰入水深度的增大而明显增加, 紊流影响宽度随围堰入水深度的增大而逐渐增加, 当围堰入水深度为25 cm, 垂

向水流最大紊流影响宽度距围堰边壁不超过25 cm, 围堰相同入水深度时较纵向、横向水流紊流影响宽度小。

通过上述分析可知: 在试验范围内, 随着浮运围堰入水深度的增加, 水流紊流影响宽度明显增大。当围堰入水深度较小时, 纵向、横向水流紊流影响宽度基本相同, 均较垂向水流紊流影响宽度大; 当围堰入水深度较大时, 纵向水流紊流影响宽度较横向水流紊流影响宽度大, 垂向水流紊流影响宽度最小。因此在计算围堰入水深度对紊流宽度的影响时, 可按照纵向水流和横向水流的紊流影响宽度来计算。

2.2 行近流速对紊流影响宽度的影响

试验水流的行近水深 $H_0=15$ cm、行近流速分别为10, 15, 20 cm/s, 试验围堰为大矩形围堰, 每种水流条件下浮运围堰连续入水5, 10, 15 cm。

由于紊动强度随流速的增加而增加^[20], 因此行近流速不同, 水流紊动强度也不同。为便于比较, 在此采用紊动相对强度(稳定强度)来比较分析行近流速对浮运围堰侧面紊流影响宽度的影响。即采用紊动强度 σ_u 与行近流速 U_0 的比值得到紊动相对强度。

1) 纵向水流紊流影响宽度。

图4为浮运围堰入水 $H_c=10$ cm时围堰侧面中游和下游断面不同行近流速情况下表层纵向水流紊动相对强度最大值沿河宽分布的情况。分析这些试验结果可以看出:

①在浮运围堰相同入水深度时, 水流流速越大, 对围堰的冲击力越大, 围堰对水流的阻流作用越强, 水流绕流、挤压作用也越强, 河床冲刷后水深增大, 水流相对作用减弱; 流速越小, 绕流及挤压作用也较小, 水深变化较小, 水流作用相对增强。如围堰入水深度 $H_c=10$ cm、行近流速 $U_0=10$ cm/s时纵向水流紊动相对强度最大值明显大于行近流速为15 cm/s和20 cm/s时纵向水流紊动相对强度最大值, 后两种流速时河床冲刷后水深增加均较大, 因此纵向水流紊动相对强度最大值也基本相同。

②当浮运围堰入水深度相同时, 上游断面在

行近流速 $U_0=10$ cm/s时纵向水流紊流影响宽度大于行近流速 $U_0=15$ cm/s和 $U_0=20$ cm/s时纵向水流紊流影响宽度; 中游、下游断面纵向水流紊流影响宽度随行近流速的增加而略有增大, 但增加幅度较小。相同行近流速时中游、下游断面水流紊流影响宽度较上游断面紊流影响宽度宽。

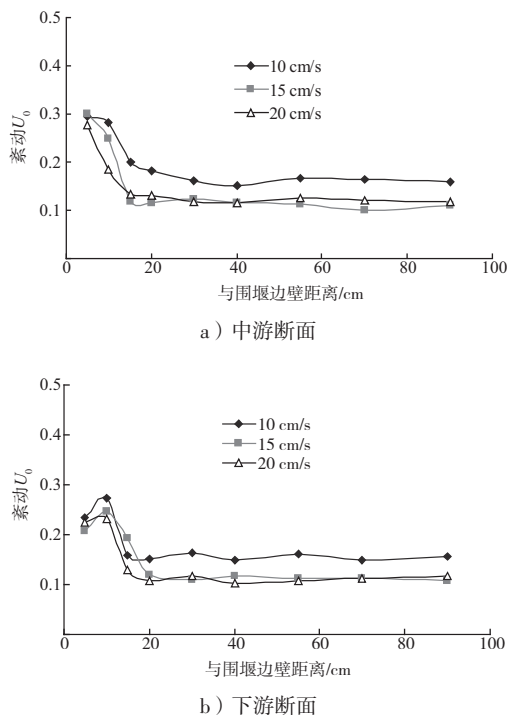


图4 浮运围堰入水10 cm时不同行近流速下围堰侧面断面表层纵向水流紊动相对强度最大值沿河宽的分布

2) 横向水流紊流影响宽度。

图5为浮运围堰入水 $H_c=15$ cm时围堰侧面中游和下游断面不同行近流速情况下表层横向水流紊动相对强度最大值沿河宽变化情况。

①同纵向水流紊动相对强度最大值沿河宽分布相似, 在浮运围堰入水深度相同时, 行近流速较小, 河床局部冲刷及一般冲刷后水深变化较小, 横向水流紊动相对强度相对较大; 行近流速较大, 河床一般冲刷及局部冲刷水深变化也较大, 横向水流紊动相对强度相对较小。由图4可以看出: 距围堰边壁相同距离处行近流速 $U_0=10$ cm/s时水流紊动相对强度最大值较 $U_0=15$ cm/s和 $U_0=20$ cm/s大, 距围堰边壁较远处 $U_0=15$ cm/s时水流紊动相对强度略大于 $U_0=20$ cm/s, 距围堰边壁较远处这两种

流速下水流紊动相对强度基本相同。

②在浮运围堰相同入水深度情况下, 紊流影响宽度随行近流速的增加而变化较小。究其原因, 可能由于行近流速增大, 河床一般冲刷及局部冲刷也增加, 围堰堰底及周围水深增加, 围堰堰底与河床之间及堰底侧面过流空间增大, 过流水流增加, 因此绕围堰堰底至水面之间流动的水流相对减弱, 水流紊流影响宽度变化也不大。

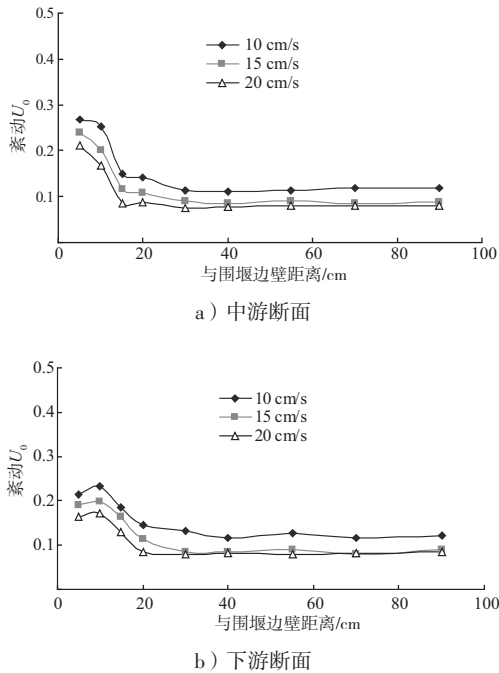


图5 浮运围堰入水15 cm时不同行近流速下围堰侧面断面表层横向水流紊动相对强度最大值沿河宽的分布

3) 垂向水流紊流影响宽度。

在浮运围堰相同入水深度时, 行近水流流速的变化对垂向水流紊动相对强度最大值的影响很小; 从上游到下游断面垂向水流紊流影响宽度逐渐增大; 垂向水流最大紊流影响宽度较纵向、横向水流紊流影响宽度小。

通过上述分析可知: 在试验范围内, 紊流影响宽度随行近流速的变化而变化较小。原因可能有两点: 1) 行近流速增加, 河床一般冲刷及局部冲刷均增大, 河床冲刷下切, 水深增大, 通过围堰堰底及堰底两侧水流流量增加, 围堰堰底至水面之间绕流水流相对减弱, 相对流速及紊动相对强度减小, 因此水流受围堰阻流后引起的紊流影响宽度变化不明显, 即紊流影响宽度随行近流速

的改变而变化不大; 2) 试验行近流速范围较窄, 只有10, 15, 20 cm/s共3种, 在行近流速范围较大时, 行近流速变化时紊流影响宽度可能有一定的变化。

2.3 行近水深对紊流影响宽度的影响

研究条件为行近流速 $U_0=15$ cm/s、围堰入水深度 $H_c=15$ cm、行近水深分别为 $H_0=15$ cm和 $H_0=20$ cm两种情况。试验结果表明, 在浮运围堰相同入水深度情况下, 不同行近水深时围堰侧面距围堰边壁相同距离处紊动强度最大值基本相同; 不同行近水深时水流紊流影响宽度也基本相同, 即在试验范围内行近水深的变化对水流紊流影响宽度的影响较小。究其原因, 可能是因为试验的水深范围较小, 只有15 cm和20 cm两种, 不能完全反映行近水深变化对紊流影响宽度的影响。在较大水深范围内, 随着行近水深的改变, 紊流影响宽度可能会有相应的变化。

3 紊流影响宽度分析

通过上述分析可知: 当围堰入水深度较小时, 围堰侧面纵向、横向水流紊流影响宽度基本相同, 垂向水流紊流影响宽度最小; 当围堰入水深度较大时, 纵向水流紊流影响宽度略大于横向水流紊流影响宽度, 垂向水流紊流影响宽度仍然最小。围堰侧面上游断面水流紊流影响宽度较中游、下游断面紊流影响宽度小, 中游、下游断面水流紊流影响宽度基本相同, 相差较小。在浮运围堰单独作用时, 试验范围内紊流影响宽度随行近流速和行近水深的变化而变化较小, 随围堰入水深度的增加而增加较大。

在试验水流条件下(行近流速 $U_0=15$ cm/s、行近水深 $H_0=20$ cm), 围堰不同入水深度时从围堰边壁起算的侧面紊流影响宽度 D 约为0.48 B ~1.603 B 。随着围堰入水深度的增加, 围堰侧面紊流影响宽度增大。模型试验比尺为100, 围堰宽度为31.2 m, 则其紊流影响宽度约为15.0~50.0 m。图6显示在试验水流条件下围堰相对紊流影响宽度(D/B)与浮运围堰相对入水深度(H/H_0)的变化关系。

由于本试验采用定点测量, 分析所得紊流影

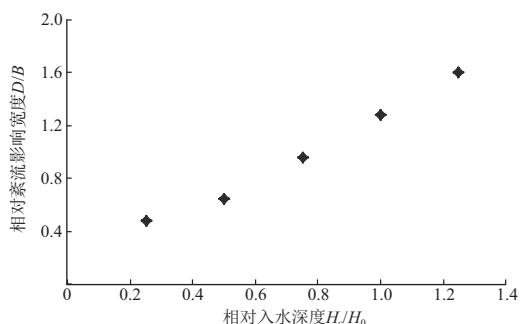


图6 D/B 随矩形围堰相对入水深度 H_c/H_0 的变化关系

响宽度范围有一定的偏差,但试验结果仍显示:不同围堰单独作用时围堰两侧距水面4 cm范围内表层水流相对紊流影响宽度 D/B 均随围堰相对入水深度 H_c/H_0 的增加而增大,基本为线性关系。

4 结语

1) 在概化水槽中通过MicroADV测量了浮运围堰侧面距围堰边壁不同距离处水流紊动强度沿垂线分布情况,以距水面4 cm范围内表层水流的紊动强度最大值作为代表,研究了围堰入水深度、行近流速、行近水深等条件变化时表层水流紊流影响宽度的变化规律。

2) 在试验范围内当浮运围堰下沉时,水流紊流影响宽度随围堰入水深度的增加而增大,纵向、横向水流紊流影响宽度变化最为明显,垂向水流紊流影响宽度变化相对较小。当围堰入水深度较小时,纵向、横向水流紊流影响宽度基本相同,均较垂向水流紊流影响宽度大;当围堰入水深度较大时,纵向水流紊流影响宽度较横向水流紊流影响宽度大,垂向水流紊流影响宽度最小。紊流影响宽度随行近流速、行深水深的增加而变化较小。

3) 在试验范围内,围堰单独作用时水流相对紊流影响宽度 D/B 随围堰相对入水深度 H_c/H_0 的增加而增大,基本为线性关系。

参考文献:

[1] 江敏,张国忠,张汉桥. 钢吊箱围堰在深水高桩承台施工中的应用[J]. 中国西部科技, 2005(5): 16-17.
[2] 章献. 渝怀线长寿长江特大桥施工技术研究[D]. 成都:

西南交通大学, 2000.

- [3] 林清. 吊箱围堰法修筑桥梁工程深水高桩承台[J]. 福建建设科技, 2005(2): 15-16.
[4] 于祥君, 戴宗诚. 大型深水基础施工方案研究[J]. 铁道标准设计, 2005(6): 34-38.
[5] 叶李. 大型钢吊箱围堰在承台施工中的应用[J]. 公路, 2004(4): 56-60.
[6] 宋文明, 吴学武, 傅岩松. 深水高桩承台钢吊箱围堰设计与施工[J]. 黑龙江交通科技, 2002(9): 54-57.
[7] Breusers H N C, Raudkivi A J. Scouring [M]. Netherlands: A A Balkema, 1991.
[8] 胡旭跃, 欧阳飞. 桥区通航问题及对策研究综述[J]. 水道港口, 2005(9): 167-171.
[9] 林姗, 陈明栋, 陈明. 桥墩紊流宽度研究综述[J]. 水利水运工程学报, 2011(6): 105-110.
[10] 李鹤高, 林钢. 桥墩周围紊流区宽度研究[J]. 水运工程, 2009(8): 102-106.
[11] 胡旭跃, 祖小勇. 圆端形桥墩侧向紊流宽度的试验研究[J]. 水利水运工程学报, 2009(9): 8-13.
[12] 田伟平, 沈波. 圆柱桥墩绕流特性理论研究[J]. 长安大学学报:自然科学版, 2003(1): 54-57.
[13] 沈波. 圆柱桥墩绕流分析及局部清水平衡冲刷实验研究[J]. 重庆交通学院学报, 2000(3): 84-87.
[14] 沈小雄, 程永舟, 胡旭跃, 等. 航道边线与桥墩之间安全距离的研究[J]. 水运工程, 2004(11): 85-87.
[15] 孙鹤泉, 康海贵. DPIV流场测试技术中的数据处理[J]. 大连理工大学学报, 2000, 40(3): 364-367.
[16] 胡旭跃, 沈小雄, 程永舟, 等. 墩柱周围水流表层涡流区宽度的试验研究[J]. 长沙理工大学学报:自然科学版, 2004(6): 39-42.
[17] 何小花, 陈立, 王鑫, 等. 桥墩紊流宽度的试验研究[J]. 水利水运工程学报, 2006(9): 49-53.
[18] 庄元, 刘祖源. 桥墩紊流宽度的试验研究[J]. 中国航海, 2007(3): 5-9, 44.
[19] 陈立, 吴门伍, 天兴洲公铁两用大桥2#、3#桥墩施工局部冲刷研究[R]. 武汉: 武汉大学, 2006.
[20] 梁在潮. 多相流与紊动相干结构[M]. 武汉: 华中理工大学出版社, 1994.

(本文编辑 郭雪珍)