

环翼式桥墩环翼式挡板最佳延伸长度试验

成兰艳^{1,2}, 郝拉柱¹, 牟献友¹, 裴国霞¹, 张亮³

(1. 内蒙古农业大学水利与土木建筑工程学院, 内蒙古 呼和浩特 010018;
2. 巴彦淖尔市河套水利水电勘察设计有限公司, 内蒙古 巴彦淖尔 015000;
3. 内蒙古新禹水利水电工程建设有限公司, 内蒙古 巴彦淖尔 015000)

摘要:为研究环翼式桥墩环翼式挡板的最佳延伸长度,进行了不同流速和不同环翼式挡板延伸长度下环翼式桥墩的局部防冲刷试验。试验结果表明:环翼式挡板的延伸长度不同,桥墩的冲刷效果有较大的差别,当环翼式挡板的延伸长度与桥墩的半径相同时,与无挡板的桥墩相比最大冲坑深度可减小57.6%,近底垂向流速最大可减小70.4%,近底紊动强度也明显减小,防冲刷效果显著。

关键词:环翼式桥墩;挡板;延伸长度;冲坑深度;紊动强度

中图分类号:TV131.6 **文献标志码:**A **文章编号:**1006-7647(2013)02-0032-05

Experimental research on optimal development lengths of ring-wing baffle of ring-wing pier//CHENG Lanyan^{1,2}, HAO Lazhu¹, MOU Xianyou¹, PEI Guoxia¹, ZHANG Liang³(1. College of Water Conservancy and Civil Engineering, Inner Mongolia Agriculture University, Hohhot 010018, China; 2. Bayannaoer Water Conservancy and Electricity Survey and Design Co., Ltd., Bayannaoer 015000, China; 3. Xinyu Water Conservancy and Electricity Engineering Construction Co., Ltd., Bayannaoer 015000, China)

Abstract: In order to determine the optimal development lengths of ring-wing baffle, a series of experiments were carried out to study the effects of local scour with different velocities and different baffle development lengths. The test results show that the local scour effects are significantly different for piers with different ring-wing baffle lengths. Compared to the flow conditions without baffles, the maximum scour length and the near-bottom vertical velocity can be reduced by 57.6% and 70.4%, respectively, and near-bottom turbulence intensity is significantly reduced when the development lengths of ring-wing baffle and the pier radius are the same.

Key words: ring-wing pier; baffle; the development lengths; scour depth; turbulence intensity

桥墩的局部冲刷是桥梁水毁的重要原因,国内外学者对桥墩的局部冲刷进行了大量的理论分析和模型试验,并取得了一系列的研究成果,但由于桥墩周围的水力特性以及冲刷过程比较复杂,影响因素较多,至今尚未提出桥墩周围防冲刷的好方法,因此,继续进行这方面的研究是十分必要的。目前,桥墩的局部冲刷防护仍处于探索阶段,大多是基于局部冲刷公式以及数值模拟方法进行计算分析^[1-4]。例如 Melville 等^[5-7]根据试验及实测数据建立了桥墩局部冲刷深度的计算公式;房世龙等^[8-9]从桥墩局部冲刷的防护以及研究手段等方面进行了深入研究;张万锋等^[10]初步研究了不同数量挡板组成的环翼式桥墩的防冲效果,认为环翼式挡板的存在可以有效防护桥墩的局部冲刷,并研究了挡板数量对桥墩局部冲刷的影响;成兰艳等^[11]曾在此基础上研究

了单一挡板的环翼式桥墩的防冲效果,并确定了环翼式挡板的最佳位置,本试验主要是在文献[11]的基础上进行的后续研究。试验借助物理模型,测量了不同工况下冲坑的最大冲刷深度以及桥墩附近的水流流速,通过分析三维时均流速和紊动强度来研究环翼式挡板的最佳延伸长度,为桥墩局部冲刷防护的深入研究提供了参考,具有重要的现实意义。

1 试验原理与内容

圆柱形桥墩附近的水流主要包括下潜水流、墩前涌流、墩基冲击水流、墩后上冲水流和墩后尾漩涡水流,其中下潜水流是桥墩局部冲刷破坏的主要原因。环翼式桥墩的局部冲刷防护就是通过环翼式挡板阻挡桥墩迎水面的下潜水流,改变水流流态,减小下潜水流直接对桥墩的冲刷,从而保护桥墩。

作者简介:成兰艳(1985—),女,山西临县人,硕士研究生,主要从事工程水力学及水工模型试验研究。E-mail:chenglanyan2005@163.com
通信作者:郝拉柱(1957—),男,内蒙古土默特左旗人,教授,主要从事节水技术与自动控制研究。E-mail:haolazhu@126.com

试验主要根据上述原理,从以下几个方面进行对比研究:①通过对比无挡板和有不同延伸长度环翼式挡板的情况,研究桥墩的局部防冲刷效果,确定方法的可行性;②通过改变挡板的延伸长度,研究桥墩附近的最大冲坑深度,确定挡板的最佳延伸长度;③研究不同工况下各测点的流速及其变化情况,通过分析三维时均流速和紊动强度进一步研究环翼式挡板的最佳延伸长度。

2 试验装置及试验方案

试验在长 2 000 cm、宽 50 cm、高 90 cm 的玻璃水槽中进行,水槽底坡为 0.124%。水温基本恒定(18~20℃),冲刷段铺沙 500 cm×50 cm×21 cm(长×宽×厚),每次试验前将铺沙的床面抹平,并放水 2 h 直至冲刷稳定。桥墩模型采用内径为 4.5 cm 的 PVC 管制成,挡板与河床的距离为水深的 1/3,此时防冲刷效果明显^[11]。根据多次冲刷试验,冲坑的宽度在 4.5 cm 左右,所以环翼式挡板延伸长度以 4.5 cm 为基准,即与桥墩模型的半径 R 相同,再分别选取 $2/3R$ 和 $1/2R$,即 3.0 cm 和 2.3 cm 两种情况,研究环翼式挡板的最佳延伸长度。环翼式挡板形状见图 1。

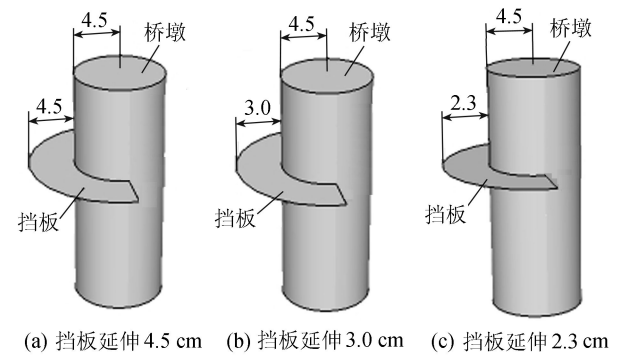


图 1 环翼式桥墩外形设计参数(单位:cm)

试验采用 3 种不同延伸长度的环翼式挡板和 3 个流量共 9 种工况进行交叉试验,并与无挡板工况作对比。试验测点布置同文献[11],即试验设置 4 个断面 7 条测线 135 个测点,垂向测点分别位于距河床 0.1、0.3、0.4、0.5 和 0.8 倍的水深处。流量采用 IFM4080K 型电磁流量计测量,由上游的流量调节阀控制流量,水位采用 JS-B 型精密水位仪测量,流速采用小威龙 Vertric+型流速仪测量。

3 试验结果及分析

3.1 挡板延伸长度对冲刷深度的影响

冲坑的最大冲刷深度是试验直观的反映,试验中测量了冲刷达到平衡后冲坑最深处到最初沙床面的距离,作为桥墩附近的最大冲坑深度。

表 1 为不同流量、不同挡板延伸长度时的最大

冲坑深度,可以明显看出:①不管流量和挡板延伸长度如何变化,与无挡板工况相比,最大冲坑深度均明显减小;②环翼式挡板的延伸长度不同,桥墩附近的最大冲坑深度也不同,且随着环翼式挡板延伸长度的增大而减小,当挡板延伸长度为 4.5 cm、流量为 70 m³/h 时,最大冲坑深度可减小 57.6%,即环翼式挡板延伸长度与桥墩的半径相同时,最大冲坑深度最小,很好地起到了防冲刷保护桥墩的作用。

表 1 不同流量、不同挡板延伸长度时的最大冲坑深度

流量/ (m ³ ·h ⁻¹)	挡板延伸 长度/cm	最大冲坑 深度/cm	与无挡板工况相比最大 冲坑深度减小率/%
70		16.5	
70	4.5	7.0	57.6
70	3.0	8.0	51.5
70	2.3	9.0	45.5
90		17.5	
90	4.5	8.0	54.3
90	3.0	9.5	45.7
90	2.3	10.0	42.9
110		18.0	
110	4.5	9.7	46.1
110	3.0	9.8	45.6
110	2.3	10.5	41.7

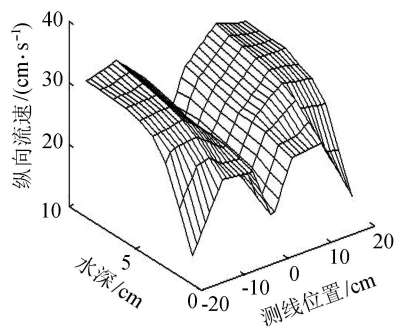
3.2 挡板延伸长度对流速分布的影响

由于桥墩的阻挡,行进水流在墩前的流速、流向发生急剧变化,从而引起桥墩的局部冲刷,这里仅以流量为 70 m³/h 时 2—2 断面上的流速分布为例,研究水流各测点的流速及其变化情况,分析紊动强度对桥墩局部冲刷的影响,确定挡板的最佳延伸长度。

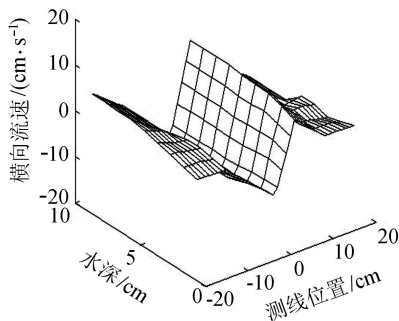
图 2~5 为不同挡板延伸长度时的流速分布,图中纵向流速即顺水流方向流速,横向流速即垂直水槽壁面方向流速,垂向流速即铅垂方向流速,测线位置零点为水槽轴线所在位置,也即桥墩中心和测线 4 所在位置。

由图 2~5 可知,纵向流速呈前低后高的宽“V”形分布。无挡板时极小值出现在水槽轴线靠近河床底部处,极大值出现在水表面靠近边壁处;加上挡板后,靠近河床的流速随着挡板延伸长度的减小越来越大,当挡板延伸 4.5 cm 时,靠近河床的流速最小。横向流速呈前后相近(近底流速略小)的“V”形中心对称分布,由于横向流速对桥墩局部冲刷的影响较小,挡板延伸长度不同,横向流速变化不大,仅近底流速略有减小;垂向流速无挡板时呈前高后低倒“V”形分布,加上挡板后,由于受到挡板的影响,垂向流速呈前后相近的宽倒“U”形分布,随着挡板延伸长度的增大,靠近河床的流速越来越小,当挡板延伸长度为 4.5 cm 时,流速减小的程度最大。

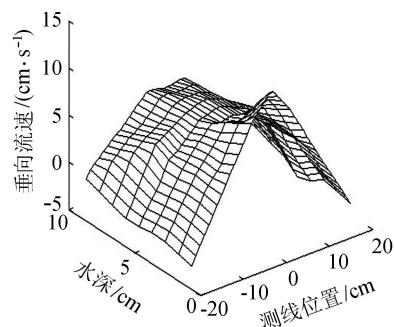
因为垂向流速对桥墩附近冲刷起着主要作用,所以对垂向流速作进一步的分析。图 6 为流量



(a) 纵向流速

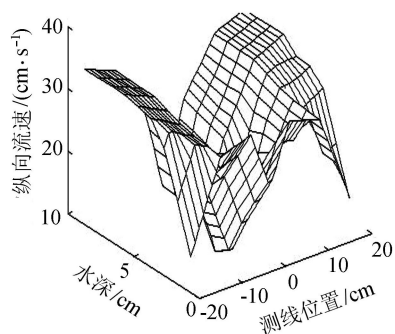


(b) 横向流速

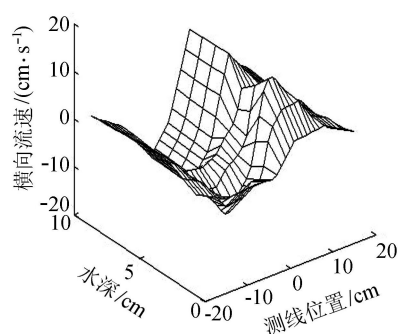


(c) 垂向流速

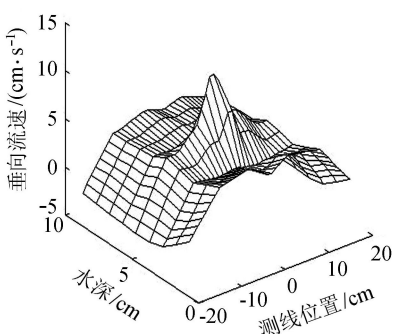
图2 无挡板时 2—2 断面流速分布



(a) 纵向流速

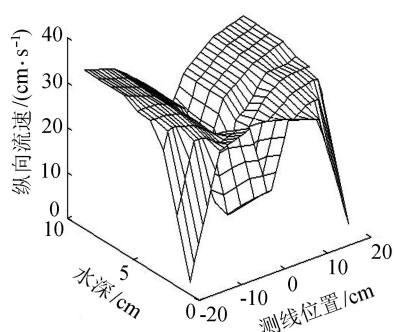


(b) 横向流速

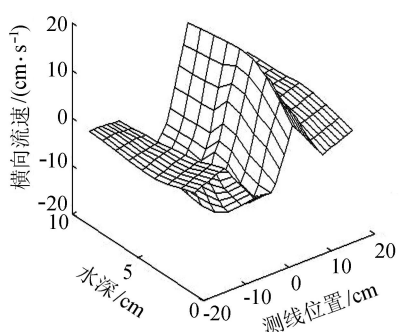


(c) 垂向流速

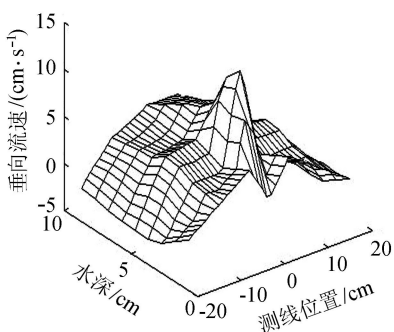
图3 挡板延伸 4.5cm 时 2—2 断面流速分布



(a) 纵向流速

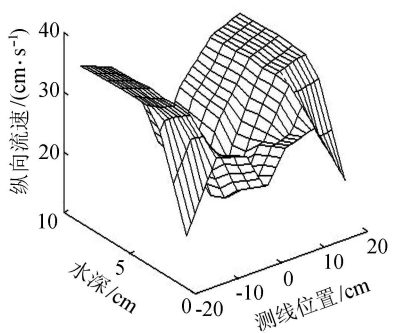


(b) 横向流速

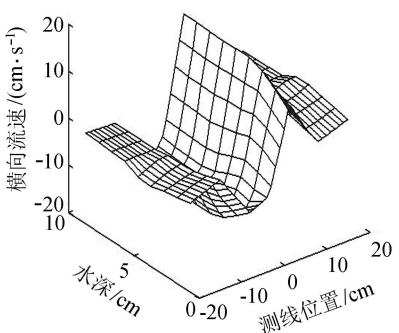


(c) 垂向流速

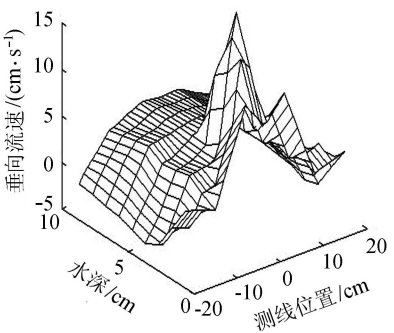
图4 挡板延伸 3.0 cm 时 2—2 断面流速分布 (单位:cm/s)



(a) 纵向流速



(b) 横向流速



(c) 垂向流速

图5 挡板延伸 2.3 cm 时 2—2 断面流速分布

70 m³/h 时 2—2 断面各测线上的垂向流速分布 (图中测点高度为测点到河床底部的垂直距离), 因为水槽两侧流速呈对称分布, 这里仅研究测线 1~4。

由图 6 可以看出: 无挡板时, 测线 1 和 2 的垂向

流速在一定范围内上下波动, 测线 3、4 的垂向流速随着测点与河床距离的减小而增大, 且测线越靠近桥墩中心, 垂向流速越大; 加上挡板后, 测线 1、2 的垂向流速较小且变化不大, 这是因为这 2 条测线在

—测线1 —测线2 —测线3 —测线4

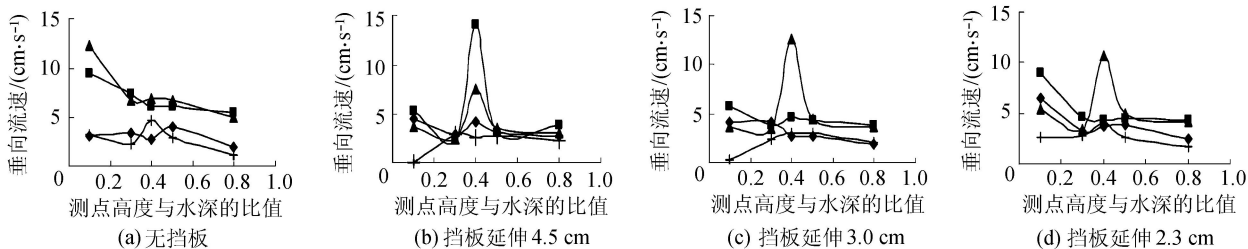


图6 不同挡板延伸长度2—2断面不同测线的垂向流速分布

挡板侧面,受挡板的影响较小;测线3、4的垂向流速明显减小,尤其是近底流速,几乎全部在10 cm/s以内,并且随着挡板延伸长度的增大,近底垂向流速减小;在挡板所在位置处有拐点,这是因为挡板阻挡下潜水流,挡板上靠近挡板的垂向流速急剧增大,挡板下靠近挡板的垂向流速较小;当挡板分别延伸4.5 cm和3.0 cm时,也就是说挡板延伸长度为桥墩半径的1倍或2/3时,近底垂向流速相差不大,均可以有效减小桥墩的局部冲刷。

图7为流量为70 m³/h时不同挡板延伸长度2—2断面各测线上的近底垂向流速分布,因为以水槽轴线为对称轴,两侧流速呈对称分布,这里仅研究测线1~4,并且以桥墩中心为零点。

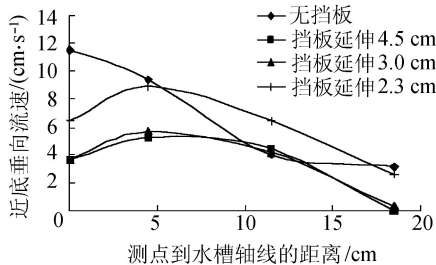


图7 不同挡板延伸长度2—2断面的近底垂向流速分布

由图7可以看出:①近底垂向流速随着测点与水槽轴线距离的增大而明显减小;②与无挡板工况相比,有挡板时近底垂向流速明显减小,测线1、2的流速变化保持在0~4 cm/s之间,桥墩附近测线3、4的流速基本保持在4~12 cm/s之间;③随着挡板延伸长度的增加,桥墩中心测线4流速显著减小,当挡板延伸长度为4.5 cm时,防冲刷效果较为明显;④当挡板延伸长度分别为4.5 cm和3.0 cm,即挡板延伸长度分别为桥墩半径的1倍和2/3时,流速分布基本相近,可以根据实际情况选择适当的挡板延伸长度;⑤当挡板延伸长度为2.3 cm时,较无挡板情况,垂向流速减小不大,说明对减小下潜水流意义不大。

降低近底处的下潜流速是桥墩防冲设计所追求的目标之一,意味着水流对桥墩的冲刷作用将减弱,从而证明了环翼式挡板可有效提高桥墩防冲的效果。由于测线1、2受挡板的影响较小,垂向流速变

化不大,因而对不同挡板延伸长度2—2断面测线3、4近底垂向流速单独进行分析。

由图8可以看出:与无挡板工况相比,测线4垂向流速最大可减小70.4%,且垂向流速随着挡板延伸长度的增大而减小;当挡板延伸长度与桥墩半径的比值大于0.6时,垂向流速趋于平缓,变化不大,考虑到桥墩的实际运用,挡板的延伸长度越小越好,将挡板的延伸长度控制到桥墩半径的3/5左右时,既能满足实际需要又能保证较好的防冲效果。

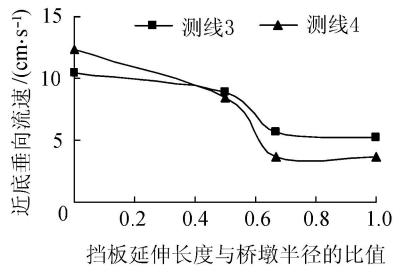


图8 不同挡板延伸长度测线3、4近底垂向流速分布

3.3 挡板延伸长度对紊动强度的影响

通常用紊动强度来表示水流脉动的强烈程度,而紊动强度常用脉动流速的均方根作为它的统计特征值,即 $N_i = \sqrt{u_i'^2}$ 来表示。为了研究方便,采用式(1)计算相对紊动强度(无量纲化):

$$N = \sqrt{\frac{1}{3}(\overline{u_x'^2} + \overline{u_y'^2} + \overline{u_z'^2})} / \bar{u}_x \quad (1)$$

式中: u_x' 、 u_y' 、 u_z' 分别为瞬时流速沿纵向、横向和垂向的脉动流速; $\bar{u}_x$ 为纵向时均流速。

图9为不同挡板延伸长度2—2断面各测线的相对紊动强度分布。由图9可知,无挡板时:①相对紊动强度值基本保持在0.1左右,靠近水槽底部附近相对紊动强度最大,靠近水面相对紊动强度最弱;②桥墩中心测线4和靠近水槽边壁的测线1的底部相对紊动强度急剧增大,分别在0.3、0.5附近,这是因为靠近水槽底部的流速梯度和切应力都比较大,加之河床面沙粒的影响;③测线1底部的相对紊动强度大于测线4的,这主要是因为水槽边壁粗糙度干扰的影响较强,而测线4底部形成冲坑,在河床附近相对紊动强度较小。加上环翼式挡板后:①表层

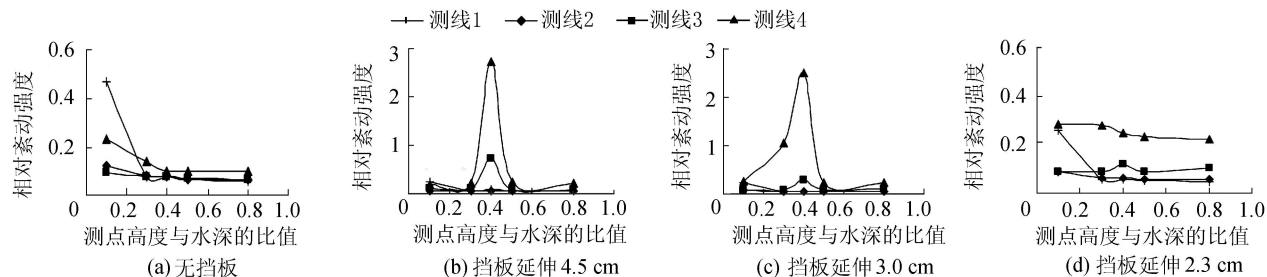


图9 不同挡板延伸长度2—2断面不同测线的相对紊动强度

相对紊动强度变化不大,基本保持在0.1,只有测线4的相对紊动强度略有增大;②近底相对紊动强度有所减小,全部在0.3以内,测线1相对紊动强度明显减小;③在挡板所在位置处,测线3、4相对紊动强度明显增大,这是由于挡板的存在破坏了水流原来的大小与走向,垂向流速在挡板处累积;④随着挡板延伸长度的增加,测线3、4在挡板处的相对紊动强度越来越大,近底相对紊动强度明显减小;⑤当挡板延伸长度为2.3 cm时,各测线相对紊动强度的趋势基本与无挡板工况下相似,仅测线1近底相对紊动强度略有减小,说明此工况对减小下潜水流意义不大。

4 结 论

a. 桥墩附近的最大冲坑深度随着环翼式挡板延伸长度的增大而减小,当挡板延伸长度与桥墩的半径相同时,较无挡板工况最大冲坑深度可减小57.6%。

b. 当挡板延伸长度与桥墩的半径相同时,较无挡板工况桥墩中心迎水面的近底垂向流速最大可减小70.4%,明显减弱了下潜水流对河床的冲刷。

c. 随着挡板延伸长度的增加,测线3、4近底紊动强度明显减小。

参考文献:

[1] 傅宗甫,赵春潮,安建峰. 异型孔桥墩附近河道水流流动特性[J]. 河海大学学报:自然科学版,2011,39(4):402-407. (FU Zongfu, ZHAO Chunchao, AN Jianfeng. Flow characteristics around bridge pier with special orifice [J]. Journal of Hohai University: Natural Sciences, 2011, 39(4):402-407. (in Chinese))

[2] 方神光,黄胜伟. 纯隐格式的混合有限分析法在广雅桥水流数值模拟中的应用[J]. 水利水电科技进展,2010,30(6):53-57. (FANG Shengguang, HUANG Shengwei. Application of implicit scheme hybrid finite analytic method in numerical simulation of flow effect by Guangya Bridge[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2010, 30(6):53-57. (in Chinese))

[3] 凌建明,林小平,赵鸿铎. 圆柱形桥墩附近三维流场及河床局部冲刷分析[J]. 同济大学学报:自然科学版,2007,35(5):582-586. (LING Jianming, LIN Xiaoping, ZHAO Hongduo. Analysis of three-dimensional flow field

and local scour of riverbed around cylindrical pier[J]. Journal of Tongji University: Natural Science, 2007, 35(5):582-586. (in Chinese))

[4] 彭凯,张绪进,赵世强. 桥位附近水流及局部冲刷的数值模拟[J]. 水科学进展,2001,13(2):196-200. (PENG Kai, ZHANG Xujin, ZHAO Shiqiang. A numerical model of scouring and silting around bridge location [J]. Advances in Water Science, 2001, 13(2):196-200. (in Chinese))

[5] MELVILLE B W, CHIEW Y M. Time scale for local scour at Bridge Piers[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 1999, 125(1):59-65.

[6] MELVILLE B W. Pier and abutment scour: integrated approach[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 1997, 123(2):125-136.

[7] MELVILLE B W, RAUDKIVI A J. Effects of foundation geometry on bridge pier scour[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 1996, 122(4):203-209.

[8] 房世龙,陈红,王钢. 桥墩局部冲刷防护工程特性研究综述[J]. 水利水电科技进展,2007,27(4):84-89. (FANG Shilong, CHEN Hong, WANG Gang. Properties of protection engineering against local scouring around pier [J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2007, 27(4):84-89. (in Chinese))

[9] 孙东坡,宋永军,程琳,等. 下游设有防护坝的浅基桥梁局部冲刷研究[J]. 水力发电学报,2007,26(6):83-87. (SUN Dongpo, SONG Yongjun, CHEN Lin, et al. Research on the local scouring of shallow foundation bridge with downstream guard dam [J]. Journal of Hydroelectric Engineering, 2007, 26(6):83-87. (in Chinese))

[10] 张万锋,文恒,牟献友,等. 环翼式桥(闸)墩防冲刷实验研究[J]. 内蒙古农业大学学报:自然科学版,2011,32(3):226-229. (ZHANG Wanfeng, WEN Heng, MOU Xianyou, et al. Experimental research on the functional mechanics of bridge pier (brake) with ring-wing baffles [J]. Journal of Inner Mongolia Agricultural University: Natural Science Edition, 2011, 32(3):226-229 (in Chinese))

[11] 成兰艳,牟献友,文恒,等. 环翼式桥墩局部冲刷防护试验[J]. 水利水电科技进展,2012,32(3):14-18. (CHENG Lanyan, MOU Xianyou, WEN Heng, et al. Experimental research on protection of ring-wing pier against local scour [J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2012, 32(3):14-18. (in Chinese))

(收稿日期:2012-05-24 编辑:熊水斌)