

环翼式桥墩局部冲刷防护试验

成兰艳 牟献友 文 恒 郝拉柱

(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)

摘要 基于桥墩局部冲刷原理 , 在传统防冲刷保护措施的基础上设计了一种能改变桥墩迎水面流态的新型环翼式桥墩 , 在不同流速、有无环翼式挡板以及不同的挡板位置下 , 试验研究了环翼式桥墩的局部防冲刷效果。研究表明 , 环翼式挡板可有效减小桥墩的局部冲刷 , 当桥墩上的挡板与河床的距离约为水深的 $1/3$ 时 , 与无挡板的桥墩相比近底垂向流速最大可减小 96% , 最大冲坑深度可减小 57.6% , 环翼式桥墩防冲刷效果明显。

关键词 环翼式桥墩 ; 局部冲刷 ; 防护方法 ; 试验研究

中图分类号 :TV131.6 ;TV653⁺.9 文献标志码 :A 文章编号 :1006-7647(2012)03-0014-05

Experimental research on protection of ring-wing pier against local scour // CHENG Lan-yan , MOU Xian-you , WEN Heng , HAO La-zhu(College of Water Conservancy and Civil Engineering , Inner Mongolia Agriculture University , Hohhot 010018 , China)

Abstract : Based on the principle of local scour around bridge piers , a new ring-wing pier was designed on the basis of traditional protective measures . A series of experiments were performed with different flow velocities , with or without ring-wing baffle and with different baffle locations . The main purpose of this study was to investigate the anti-scour characteristics of the ring-wing bridge piers . The research results reveal that the ring-wing baffles can effectively reduce the local scour . Compared to the flow conditions without baffles , the near-bottom vertical velocities and the maximum scour depth can be reduced by 96% and 57.6% respectively when the distance between the baffles and the riverbed is about one-third of the water depth .

Key words : ring-wing pier ; local scour ; protection method ; experimental study

我国江河湖泊众多 , 铁路桥、公路桥和城市桥梁星罗棋布 , 桥梁水毁险情时有发生 , 而大多数险情都是桥墩的局部冲刷破坏所致。例如 1956 年郑州黄河老桥在一次洪峰后 , 7 号墩墩周冲深达 8 m , 向下游歪 50 mm ; 6 号墩墩周冲深达 12.4 m , 向下游歪 55 mm ; 又一次大洪峰后 , 11 号墩墩周冲深达 14 m , 致使该墩向下游倾倒^[1]。另外 , 京广线滹沱河大桥采用 13 m 深的沉井修建新墩 , 在施工中一次洪峰将刚刚建成的巨型桥墩冲倒 3 个 , 冲歪 1 个^[2]。由此可知 , 桥墩的局部冲刷是桥梁水毁的主要原因之一 , 开展对桥墩局部冲刷防护的研究具有重要意义。目前 , 桥墩的局部冲刷防护仍处于探索阶段 , 大多基于局部冲刷公式以及数值模拟方法进行计算分析^[3-6]。Brice 等^[7]把桥墩局部冲刷防护工程措施定义为同桥墩自身设计相结合或被独立布设于桥墩周围的、

用于控制或防止桥墩周围床面冲刷的一类工程措施。Chiew^[8]按防护机理把传统的桥墩局部冲刷防护工程措施分为两类 , 即实体抗冲刷防护和减速不冲刷防护。房世龙等^[9]针对桥墩局部冲刷防护的工程特性进行了一系列的研究 , 提出了在桥墩周围加大四面体透水框架群抛投密度的防护设计方法。孙东坡等^[10]建立了浅基桥梁局部冲刷简明实用计算公式。鉴于传统的桥墩局部冲刷防护工程措施有一定的使用局限性和适用范围 , 本文设计了一种能改变桥墩迎水面流态的新型环翼式桥墩 , 环翼式桥墩的实际防冲刷措施效果尚无法估计 , 但其对提高桥梁稳定性、延长使用年限等的作用是可以预见的。张万峰等^[11]初步研究了不同数量挡板组成的环翼式桥墩的防冲效果 , 得出挡板数量对桥墩局部冲刷的影响并不大的结论。因而本文仅研究单一挡板的环翼式桥墩的防冲

基金项目 国家自然科学基金(50669001)

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

通讯作者 牟献友(1969—) , 男(蒙古族) , 内蒙古赤峰人 , 副教授 , 博士 , 主要从事工程水力学及水工建筑物研究。E-mail : mouxianyou@163.com

效果并通过试验确定环翼式挡板的最佳位置。

1 桥墩的局部冲刷防护

1.1 桥墩的局部冲刷防护原理

对桥墩的局部冲刷进行防护是桥梁防护的重要内容之一,桥墩的局部冲刷防护原理包括:①提高桥墩附近河床的防冲刷能力。通常是在桥墩附近铺设粗颗粒材料的河床防护层或在墩基处抛石,以提高桥墩的抗冲能力^[12]。②减小水流对桥墩的冲刷能量,即减弱水流冲刷过程中的下冲流和马蹄形漩涡流。通常通过扩大桥墩的基础平面或设护脚等措施以减小水流的冲刷能量^[12]。

1.2 传统的局部冲刷防护措施

a. 抛石防护。桥墩防护措施中最常用的方法是抛石防护,防止抛石下的泥沙颗粒通过抛石孔隙被淘刷,而在深水中精确设置反滤层是比较困难的,而且抛石防护通常是有缺陷的^[12]。

b. 护脚和沉箱防冲。在桥墩周围设立护脚和沉箱,防止下冲流和马蹄形漩涡流直接冲击泥沙颗粒,削弱其在水中拖运泥沙的能力,从而达到冲刷防护的目的^[13],但是对于具有泥沙搬运特性的动床,当泥沙发生移动时,护脚和沉箱就失去了作用。

c. 开缝防冲。开缝防冲保护是使下冲水流转向离开河床或减小下冲水流对河床的冲击,开缝的宽度、长度和位置是非常重要的参数^[13]。目前,该研究主要包括开缝靠近河床和靠近水面两种情况,但是,实际的水流中常有碎石,这样开缝就很可能被碎石堵塞,影响了防冲效果。

1.3 环翼式桥墩局部防冲原理

单向流情况下,圆柱形单墩周围的水流结构由墩前下潜水流、墩前水面涌波以及墩周围和墩后的漩涡体系组成^[14]。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下潜水流,改变其大小和方向,迫使下潜水流向两侧分流,从而减小水流对桥墩的冲刷能量,削弱漩涡淘蚀,起到防护的作用。

2 试验方法

2.1 试验材料

试验中使用的动床材料为均匀沙,平均粒径为0.55 mm。桥墩模型采用内径为45 mm的PVC管制成,挡板采用半圆形PVC管,根据多次冲刷试验,冲坑的宽度约为45 mm,所以环翼式挡板延伸长度初步确定为45 mm,见图1。

2.2 试验装置

试验是在内蒙古农业大学水利水电实验室完

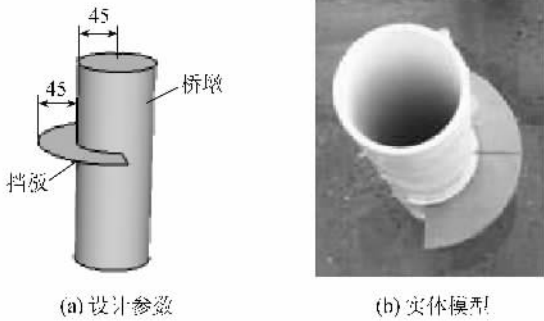


图1 环翼式桥墩模型(单位:mm)

成,系统布置如图2所示。试验管路为实验室独立的供水循环系统,水温基本恒定在18~20℃,水的密度为998.255 kg/m³,水的运动黏滞系数为1.046 6×10⁻⁶ m²/s,试验水槽为2 000 cm×50 cm×90 cm(长×宽×高)的玻璃水槽,底坡坡降为0.124%,冲刷段铺沙长500 cm,厚21 cm。此外,为保证桥墩附近冲刷更符合实际情况,每次试验开始前将沙床面抹平,并放水浸泡2 h直至冲刷稳定。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2代流速仪测量。

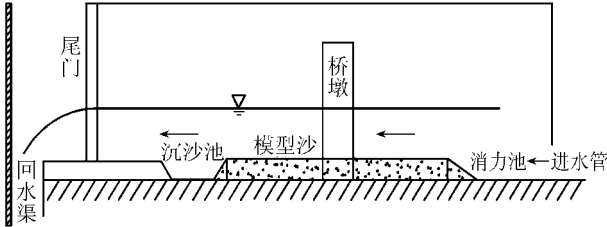


图2 桥墩局部冲刷试验系统布置

2.3 试验方案

本试验主要针对桥墩的局部冲刷提出一种新的防护方法,即在桥墩迎水面加环翼式挡板组成环翼式桥墩,通过环翼式挡板阻挡墩身迎水面的下潜水流,改变其大小和方向,从而减小水流对桥墩附近床面的冲刷能量,从而对桥墩附近的床面进行防护。

试验在不同流量、水深及挡板位置的系统组合下测量各工况下各断面的流速变化及冲坑情况,并与无挡板情况进行比较,研究环翼式挡板的存在对桥墩局部冲刷的影响,确定其是否能减小冲坑的深度。试验参数见表1。

表1 试验参数

水平	流量 $Q/(m^3 \cdot h^{-1})$	水深 H/cm	挡板与河床的距离 d
1	70	12	0.3H
2	90	16	0.4H
3	110	20	0.5H

试验方案根据上述3个变量的系统组合按正交试验设计原则进行设计,并与无挡板情况对比,共设

计 $3 \times 3 \times 4 = 36$ 个工况。各断面测点平面及垂向布置见图 3, 共 4 个断面 7 条测线 5 种高度合计 135 个测点(圆柱中心 5 个测点未测), 试验对每个测点的流速进行测量, 研究桥墩周围流速的变化规律。

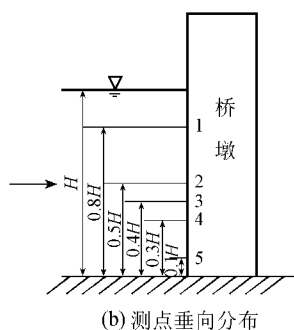
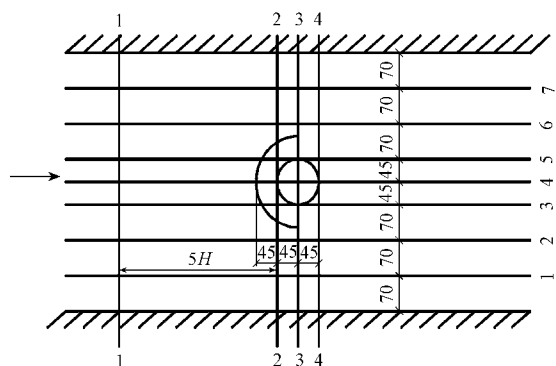


图3 各断面测点布置示意图(单位:mm)

根据上述试验方案,主要从以下几个方面进行对比研究:①通过对比无挡板和有挡板下桥墩的局部防冲刷效果,确定环翼式桥墩防护方法的合理性。②通过改变挡板的相对位置比较桥墩附近的最大冲坑深度,确定挡板的最佳位置。③研究不同挡板位置时水流各测点的流速及其变化情况,分析流速的改变对桥墩局部冲刷的影响,以验证挡板的最佳位置。

3 试验结果及分析

通过试验比较不同挡板位置时桥墩附近的最大冲坑深度,直观判断挡板的最佳位置,并研究水流各测点的流速及其变化情况,分析流速的改变对桥墩局部冲刷的影响,以验证挡板的最佳位置。试验中水深分别取 12 cm、16 cm、20 cm,这里仅研究水深为 12 cm 时的试验情况。

3.1 环翼式桥墩对冲坑深度的影响

为保证试验的准确性,对桥墩附近冲坑深度的测量均在冲刷稳定之后,并保证冲刷时间相对一致,测量冲坑最深处与最初沙床面的距离,将其作为桥墩附近的最大冲坑深度。

$H = 12 \text{ cm}$ 时不同流量不同挡板位置时的最大冲坑深度见表 2。从表 2 可以看出: ① 不管流量和挡

板位置如何,与无挡板工况相比,最大冲坑深度均明显减小。②流量越大,与无挡板工况相比最大冲坑深度的减小率越小,但均在 50% 左右,当流量为 $70 \text{ m}^3/\text{h}$ 、 $90 \text{ m}^3/\text{h}$ 、 $110 \text{ m}^3/\text{h}$ 时,最大冲坑深度分别减小 57.6%、54.3%、46.1%,这表明利用挡板组成的环翼式桥墩来防护桥墩的局部冲刷是可行的。

③桥墩附近的最大冲坑深度随着挡板与河床距离的增大而增大,即环翼式挡板越靠近河床,最大冲坑深度越小,但是考虑到泥沙淤积以及挡板施工的实际情况,挡板位置不可能无限制的低,根据模型试验结合实际情况,当挡板与河床的距离大约为水深的 $1/3$ 时,既满足实际需要,又能最大限度地减小桥墩附近的最大冲坑深度,起到防止冲刷保护桥墩的作用。

表 2 $H=12\text{ cm}$ 时不同流量不同挡板位置时的最大冲坑深度

$Q/(m^3 \cdot h^{-1})$	d/cm	最大冲坑 深度/cm	冲坑深度 减小率/%
70	3.6	7.0	57.6
70	4.8	8.0	51.5
70	6.0	8.5	48.5
70	0	16.5	
90	3.6	8.0	54.3
90	4.8	8.5	51.4
90	6.0	9.0	48.6
90	0	17.5	
110	3.6	9.7	46.1
110	4.8	10.0	44.4
110	6.0	11.0	38.9
110	0	18.0	

注： $d = 0 \text{ cm}$ 为无挡板工况。

以上试验结果表明,桥墩的迎水面产生的下潜水流是引起局部冲刷的主要原因之一。加上挡板的环翼式桥墩具有阻挡下潜水流、改变其流向、削弱紊流区的能力,从而减小了冲坑的深度。

3.2 环翼式桥墩对流速分布的影响

由于桥墩的存在,行进水流在墩前的流速、流向发生了急剧的变化,从而引起桥墩的局部冲刷。

图 4~7 为 $Q = 70 \text{ m}^3/\text{h}$, $H = 12 \text{ cm}$, 不同挡板位置时 2—2 断面的流速分布, 图中纵向流速即为顺水流向流速, 横向流速即为垂直水槽壁方向流速, 垂向流速即为铅垂方向流速。由图 4~7 可知, 纵向流速呈前低后高的宽“V”形分布。与无挡板相比, 有挡板时桥墩附近挡板处的流速减小, 靠近河床的流速增大, 并且随着挡板位置的下降, 靠近河床的流速越来越大。横向流速呈前后相近(近底流速略小)的“V”形对称分布, 无挡板时墩轴线两侧横向流速大小相近, 方向相反, 加上挡板后变化不大, 仅近底流速减小, 挡板位置处略有突变。垂向流速无挡板时呈前高后低倒“V”形分布, 极小值出现在靠近河床底部水槽边壁处, 极大值出现在水槽轴线靠近河床

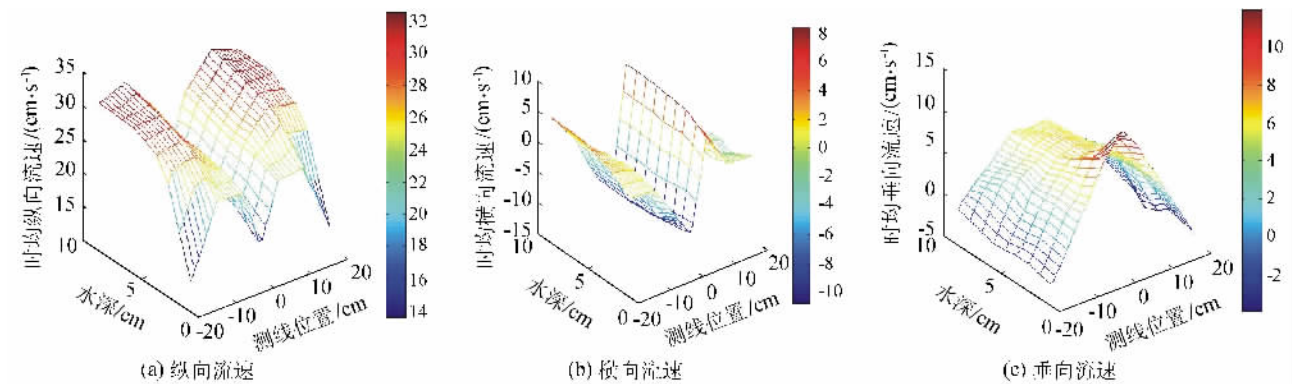


图4 无挡板时 2—2 断面流速分布

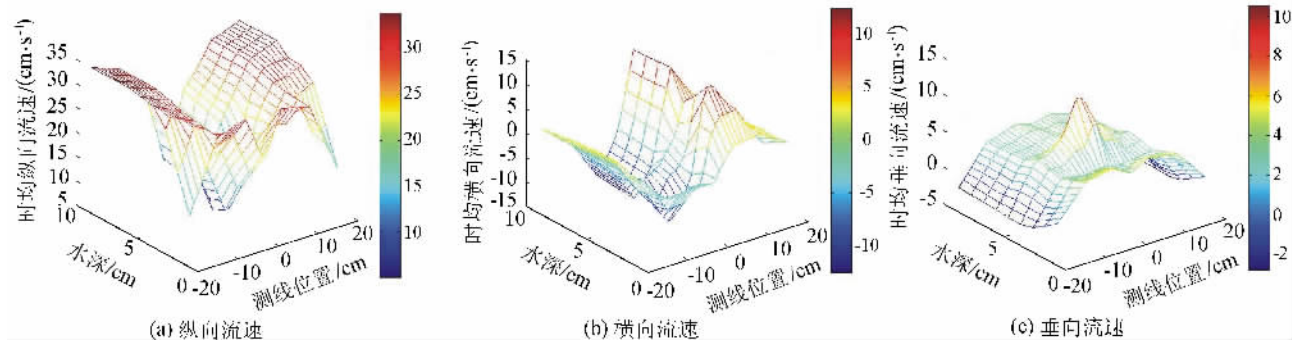


图5 挡板距河床 3.6 cm 时 2—2 断面流速分布

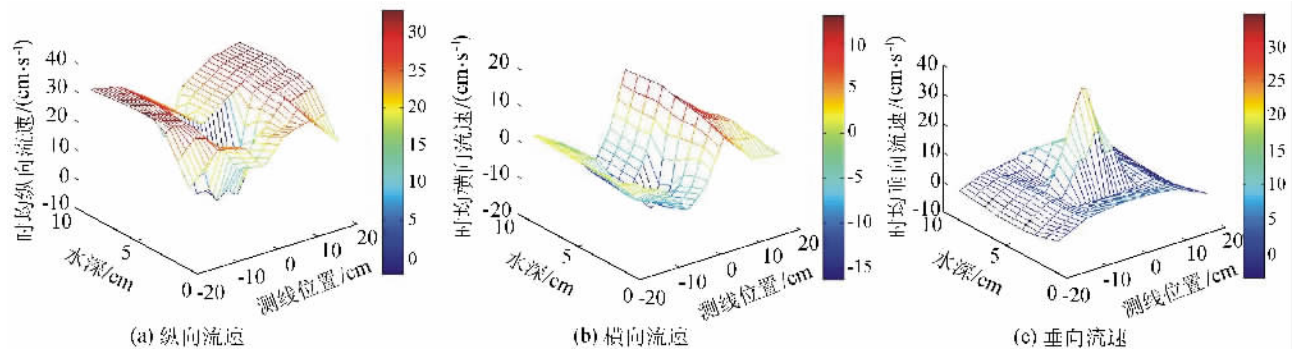


图6 挡板距河床 4.8 cm 时 2—2 断面流速分布

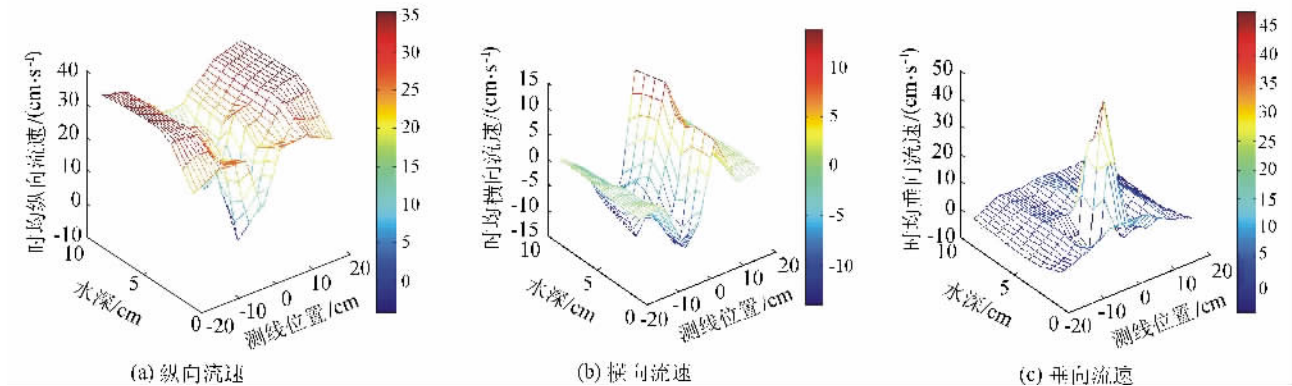


图7 挡板距河床 6.0 cm 时 2—2 断面流速分布

底部,加上挡板后,垂向流速呈前后相近的宽倒“U”形分布,这是由于挡板阻挡下潜水流,挡板上的垂向流速急剧增大,挡板下靠近挡板处垂向流速较小,所以在挡板所在水深处流速有突变点,并且靠近河床的流速明显减小,随着挡板位置的下降,靠近河床的

流速越来越小。由此可知,垂向流速对桥墩附近冲刷的影响起主要作用,因而主要分析垂向流速的分布。图8为 $Q = 70 \text{ m}^3/\text{h}$ 时 2—2 断面各测线上的垂向流速分布,因为水槽两侧流速呈对称分布,这里仅研究测线 1~4。

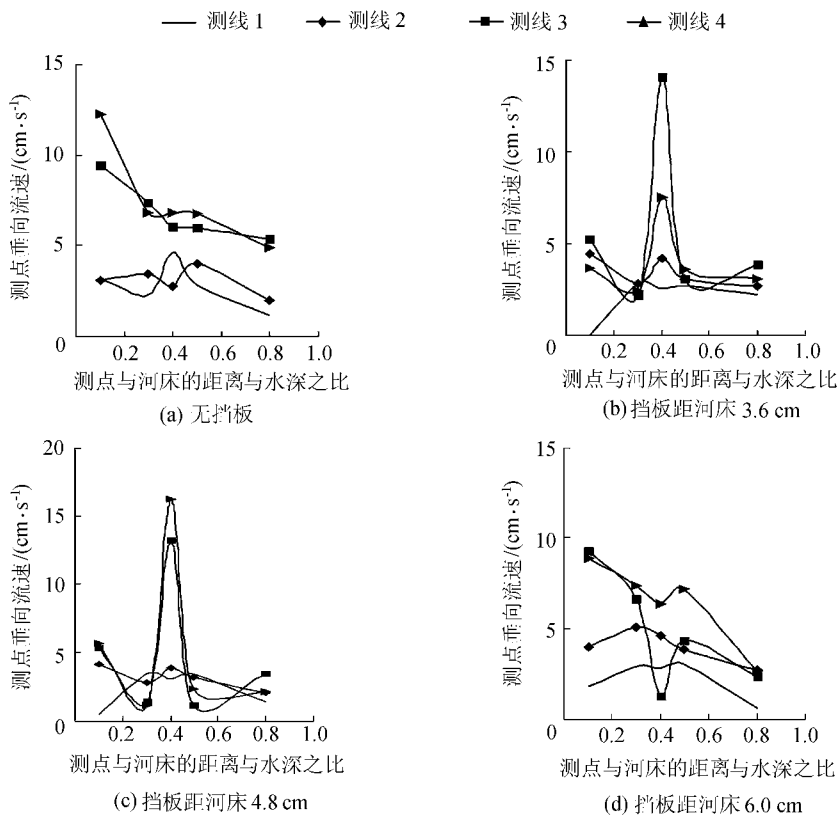


图 8 不同方案 2—2 断面不同测线的垂向流速分布

由图 8 可以看出:无论有无挡板、挡板位置如何,测线 1 和测线 2 的垂向流速均小于 5 cm/s 且变化不大,这是因为这 2 条测线在挡板侧面,受挡板的影响较小。无挡板时,测线 3 和测线 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;有挡板时,测线 3 和测线 4 的垂向流速明显减小,尤其是近底流速,随着挡板位置的下降越来越小,几乎全部在 10 cm/s 以内,大部分集中在 5 cm/s 以内。在挡板所处位置附近有拐点,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,挡板距河床 6.0 cm 工况较无挡板工况垂向流速略有减小,但变化不大,说明该工况减小下潜水流的效果不明显。近底流速减小表明水流对桥墩的冲刷作用将减弱,这表明环翼式挡板可以有效提高桥墩的防冲效果。

由于测线 1 和测线 2 受挡板的影响较小,垂向流速变化不大,因而对不同挡板位置下 2—2 断面测线 3 和测线 4 近底垂向流速进行分析。与无挡板工况对比,加挡板后垂向流速明显减小,且随着挡板与河床距离的减小而减小,当环翼式挡板与河床的距离与水深之比在 0.4 以内时,垂向流速趋于平缓。考虑到泥沙淤积和挡板施工的实际情况,将挡板与河床的距离控制在水深的 $1/3$ 左右时防冲效果最好,测线 3 近底垂向流速可减小 89% ,测线 4 近底垂向流速可减小 96% ,表明用环翼式挡板组成的环翼

式桥墩来防护桥墩的局部冲刷是切实可行的。

4 结 语

本文提出用环翼式桥墩来防护桥墩的局部冲刷,是完全不同于传统局部冲刷防护措施的新方法,环翼式桥墩结构简单,不仅理论上具有可行性,而且施工方便,防冲效果良好。主要研究成果包括:①提出用环翼式挡板组成的桥墩(即环翼式桥墩)对桥墩局部冲刷进行防护这一新的桥墩防护方法及其设计原理;②较无挡板情况下,加挡板后最大冲坑深度明显减小,当环翼式挡板与河床的距离约为水深的 $1/3$ 时,最大冲坑深度可减小 57.6% ,很好地起到了防止冲刷保护桥墩的作用;③加挡板后垂向流速明显减小,测线 4 近底流速最大可减小 96% ,明显降低了下潜水流对河床的冲刷。

参考文献:

- [1] 房世龙,唐洪武,王志良,等.透水框架布设形式对桥墩局部冲刷防护的影响[J].人民长江,2005,36(7):63-65.
- [2] 田茂宽.桥墩冲刷防护[J].铁道知识,1996(6):39-40.
- [3] 傅宗甫,赵春潮,安建峰.异型孔桥墩附近河道水流动特性[J].河海大学学报:自然科学版,2011,39(4):402-407.
- [4] 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.

(下转第 61 页)

以下几点 :①计算方法运用了整体计算的理念 ,设计人员掌握必要的三维制图技术 ,在重力坝计算中只需要求得其质心和重力值即可一次性求得目标值 ;②在进水塔的地震惯性力效应计算中 ,应注意上部 $H/2$ 范围内的质心与地震惯性力的合力作用位置并不重合 ,需要通过技术手段分析还原地震惯性力的作用位置 ;③需要准确理解建筑物质量分布、建筑物地震动态分布系数、计算分段质心以及地震惯性力作用合力作用点的概念 ,这将有助于本算法的掌握和运用。

(上接第 18 页)

[5] 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(5) :582-586.

[6] 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.

[7] BRICE J C , BLODGETT J C . Countermeasures for hydraulic problems at bridge [R]. Washington D. C. :Federal Hay Administration ,1978.

[8] CHIEW Y M . Scour protection at bridge piers [J]. Journal of Hydraulic Engineering ,1992 ,118(9) :1260-1269.

[9] 房世龙 ,陈红 ,王钢 .桥墩局部冲刷防护工程特性研究

参考文献 :

[1] SL203—97 水工建筑物抗震设计规范 [S].

[2] 杜成斌 ,赵光恒 .拱坝地震响应的动力控制研究 [J]. 河海大学学报 :自然科学版 , 2000 ,28(1) :109.

[3] 刘汉龙 ,钱家欢 .随机地震作用下土石坝永久变形预估 [J]. 河海大学学报 ,1996 ,24(2) :96.

[4] 董志高 ,吴继敏 ,王文远 ,等 .地震作用崩塌堆积体边坡稳定性分析 [J]. 水利水电科技进展 , 2006 ,26(5) :37-40.

(收稿日期 2011-09-21 编辑 周红梅)

综述 [J]. 水利水电科技进展 , 2007 ,27(4) :84-89.

[10] 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.

[11] 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.

[12] 刘文启 .桥墩的防冲刷保护 [J]. 黑龙江水利科技 ,1995(4) :107-112.

[13] 马奎 .桥墩局部冲刷机理分析及防护建议 [J]. 中国高新技术企业 , 2010(15) :16-17.

[14] 李奇 ,王义刚 ,谢锐才 .桥墩局部冲刷公式研究进展 [J]. 水利水电科技进展 , 2009 ,29(2) :85-88.

(收稿日期 2012-02-09 编辑 骆超)

· 简讯 ·

《河海大学学报(自然科学版)》和《水利水电科技进展》再次入选中文核心期刊

《河海大学学报(自然科学版)》编辑部和《水利水电科技进展》编辑部接到《中文核心期刊要目总览》2011 年版编委会的正式通知《河海大学学报(自然科学版)》入编《中文核心期刊要目总览(2011 年版)》(即第六版)之综合性科学技术类的核心期刊《水利水电科技进展》入编《中文核心期刊要目总览(2011 年版)》之水利工程类的核心期刊。

《中文核心期刊要目总览(2011 年版)》是由中国科学院国家科学图书馆、中国社会科学院文献信息中心、中国人民大学书报资料中心、国家图书馆、北京地区十几所高校图书馆、中国学术期刊(光盘版)电子杂志社、中国农业科学院农业信息研究所、北京万方数据股份有限公司等相关单位的百余名专家和期刊工作者研究完成的。这次对中文核心期刊的评价仍采用定量评价和定性评审相结合的方法。定量评价指标体系采用了被引量、被引量、他引量、被摘率、影响因子、被国内外重要检索工具收录、基金论文比、Web 下载量等 9 个评价指标。选作评价指标统计源的数据库及文摘刊物达 60 余种 ,统计文献量达 221 177 余万篇次(2006—2008 年) ,涉及期刊 14 400 余种。参加核心期刊评审的学科专家达 8 200 多位。经过定量筛选和专家定性评审 ,从我国正在出版的中文期刊中评选出 1 982 种核心期刊。

目前 ,在我国自然科学领域较有影响的核心期刊评定主要有中国科学院文献信息中心的《中国科学引文数据库》(CSCD)、北京大学图书馆的《中文核心期刊要目总览》、中国科技信息研究所的《中国科技论文统计源期刊》(中国科技核心期刊)三大体系。其中《中文核心期刊要目总览》已于 1992 年、1996 年、2000 年、2004 年、2008 年出版过 5 次。由河海大学主办的《河海大学学报(自然科学版)》和《水利水电科技进展》能多年持续被评为“中文核心期刊” ,标志着这两个期刊保持了较好的发展势头 ,对提升河海大学学术声誉 ,促进学科建设将起到有力的推动作用。

(本刊编辑部供稿)