

水流条件诱导河湾形态变化试验研究

魏红艳¹, 余明辉¹, 邓银玲¹, 覃莲超²

(1. 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; 2. 湖北省水利水电勘测设计院, 湖北 武汉 430064)

摘要: 蜿蜒型河道是冲积平原河流最常见的一种河型。在前人研究的基础上, 从弯道的水流微观结构和输沙特征出发, 利用弯道水槽试验, 研究河湾的弯曲形态与来水条件及河床组成之间的关系, 认识到来水条件是影响河湾形态的决定性因素, 得到了河道曲率半径随流量增大而增大, 即“大水造大弯, 小水造小弯”的规律性认识, 建立了弯曲半径与来水条件及河床组成之间的关系式, 并利用丹江口水库运行后下游河湾特性变化进行验证, 拟合结果与实测值基本相符。

关键词: 水流条件; 曲率半径; 弯道环流

中图分类号: TV143

文献标识码: A

文章编号: 1009-640X(2010)02-0056-05

弯曲河道是天然河流中最常见的河型, 且天然冲积河流通常具有向弯曲型发展的倾向。我国淮河流域的汝河下游和颍河下游、黄河流域的渭河下游、长江流域的汉江下游及素有“九曲回肠”之称的长江下荆江河道等, 都是典型的弯曲型河道^[1]。由于离心力的存在, 弯道中的水流泥沙运动具有许多特征^[2-3]。弯道水流是纵向和横向水流综合作用下的螺旋流。相应地, 弯道中的泥沙在纵向输移的同时, 还会发生横向输移, 水流与河床形态的相互影响, 从而决定了河湾的典型形态。因此, 可以说水流条件(外因)及河床组成(内因)是影响河湾形态的两大决定性因素。

与其他河型一样, 弯曲河道处在逐步演变之中, 凹岸不断崩退, 凸岸相应淤长, 蜿蜒曲折的程度加剧, 其平面形状随着弯顶向下游蠕动而改变。若水流与河床相互较量程度逐渐减弱, 断面冲淤接近平衡状态^[4], 便形成相对稳定的河湾。因此, 冲淤平衡后的弯道形态是来水来沙条件和河床边界条件相互作用、相互协调最终达到动态平衡的结果。这时, 可以用一些河道形态参数来描述河湾的形态, 如曲率半径。在河流动力学的发展过程中, 对河湾形态的研究一直没有间断过。如欧阳履泰从力学角度出发, 得到了河湾曲率半径 R 与平滩水位时的流量 Q 和比降 J 的经验关系式^[5]; 张笃敬得出水流动力轴线与河湾半径, 宽深比以及水流动量有关的结论, 并应用上下荆江各河湾的实测资料, 经过相关分析, 得到计算荆江河湾主流线曲率半径的经验关系式^[6]。综合水流动力条件和河床组成因子, 陈立等初步建立了弯道形态曲率半径的表达式^[7]。由于天然河道来水来沙条件及边界条件的复杂多变性, 实测资料无法系统归一, 上述经验关系式也有各自的适用范围。本文利用水槽试验, 以弯道内水流结构和输沙特性为基本出发点, 进一步探讨河湾形态变化的影响因素。

1 水流条件变化诱导河湾形态变化实例分析

水库运用势必改变河道的水沙过程, 下游河道也会随之发生不同程度的演变, 从而引起河湾形态的变化。以丹江口水库下游汉江河道河湾平面变化为例, 分析河湾曲率半径的主要影响因素。该河道的流量、泥沙

收稿日期: 2009-07-04

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(10772137)

作者简介: 魏红艳(1985-), 女, 山东济南人, 硕士研究生, 主要从事河流泥沙动力学方面的研究工作。

E-mail: weihongyan@163.com

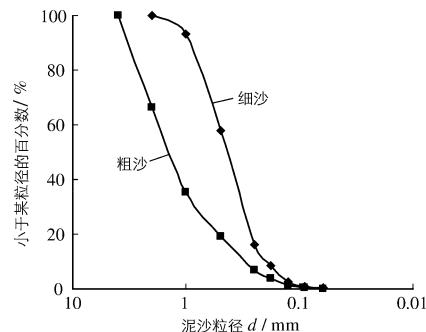


图 1 粗沙与细沙级配曲线

Fig. 1 Sediment gradation curves

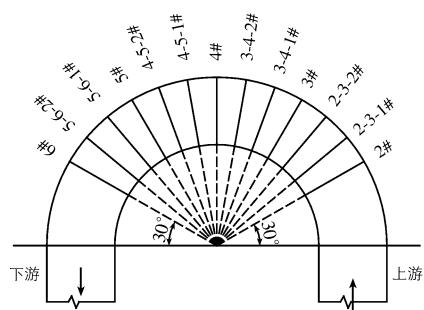


图 2 实测断面布置

Fig. 2 Measured sections

2.2 试验结果及分析

2.2.1 横向环流实测结果 环流是弯曲河道的成因之一^[10],因此研究环流对研究河湾形态至关重要. 图 3 为第 2 组试验在流量为 46.67 L/s 时,用旋浆流速仪实测的 4#和 5#断面横向流速分布. 可以观察到表层的水流由凸岸流向凹岸,而底部的水流则由凹岸流向凸岸. 这是由于弯道水流运动受到重力和离心力的双重作用,形成横向环流的结果. 在试验过程中还可以观察到,随着流量的增大,弯道水流的顶冲点逐渐向下游移动.

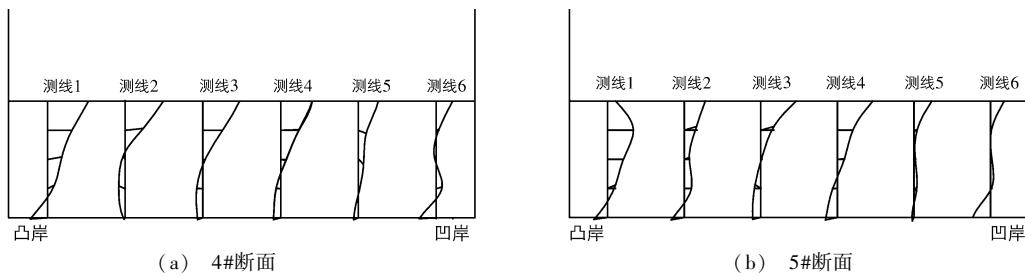


图 3 4# 和 5# 断面横向流速分布

Fig. 3 Transverse velocity distribution of sections 4 and 5

2.2.2 水流的造床功能 由于水流强度不大,试验中的泥沙运动以推移质运动为主,存在少量的悬移质运动. 在弯道横向环流的作用下,含沙量较少的表面水流流向凹岸,造成凹岸冲刷;含沙量较多的底流流向凸岸,使泥沙在凸岸淤积. 不同水流条件下泥沙的运动情况不同,所塑造的河湾形态也不同. 在水深相同时,流量越大即纵向流速越大,可以起动的泥沙粒径范围越广,凹岸被冲刷的泥沙也越多,相应河湾的岸线越靠近凸岸且越平缓,河湾曲率半径越大.

2.2.3 河湾形态与水流条件及河床组成之间的关系

(1) 河湾形态与水流条件的关系 在河床达到动平衡后,测量各个断面上河湾凸岸边滩边缘的位置,细沙组(组 I)各流量级下凸岸边滩形态见图 4(a),上细下粗组(组 II)凸岸边滩形态见图 4(b), 测得相应的曲率半径如下:细沙组(组 I)流量为 41.44, 51.69 和 67.54 L/s 时相应的实测河湾曲率半径分别为 1.48, 1.69 和 2.25 m; 上细下粗组(组 II)流量为 37.06, 46.47 和 53.72 L/s 时相应的实测河湾曲率半径分别为 1.28, 1.54 和 1.74 m. 可以看出,随着流量的增大,这两组试验的凹岸不断被冲蚀,凸岸边滩岸线逐渐后退,河道曲率半径随之增大. 比较不同流量下同一断面形态的变化可见,随着流量的增大,凸岸边缘逐渐后退.

(2) 横断面形态与河床组成的关系 比较同一流量下的细沙组和上细下粗组的 4#断面形态(见图 5). 由于上细下粗组凹岸的细沙较少,下层粗沙无法起动,凹岸附近冲刷相对较少,造成凸岸泥沙补给的不足,使得其凸岸高程较细沙组试验中的低,这正说明了河湾形态与河床组成相关.

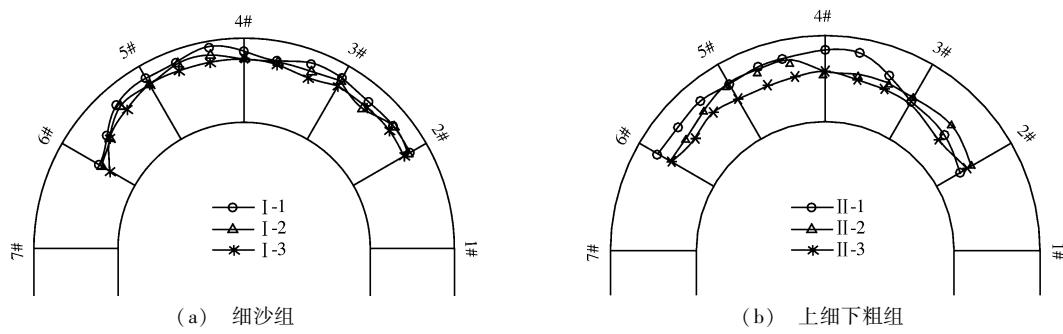


图4 两组试验的河湾形态

Fig. 4 Bend configuration of groups I and II

(3) 河湾形态变化的主要影响因素 上述研究表明,水流条件与河床边界条件对河湾形态的影响有主次之分,其中来水来沙条件集中反映了河流作为输水输沙通道而存在的前提,是影响河湾形态的决定性因素,而河床组成条件往往是由来水来沙塑造而形成的,处于从属地位。

将上述试验数据代入式 $R \propto \beta(JDQ^2)^{\alpha}$ ^[7], 其中,水面比降为 1‰,由于粗沙不能起动,故上细下粗组的代表粒径也同细沙组代表粒径一样取 0.44 mm,经最小二乘法拟合得到曲率半径的计算式:

$$R = 0.1194 (JDQ^2)^{0.4445} \quad (1)$$

式中: R 为河湾曲率半径(km); D 为泥沙粒径(mm); Q 为流量(m^3/s)。

另外,为验证公式的合理性,将汉江中下游实测数据代入(1)式,并将河湾曲率半径 R 的计算值与实测值进行比较(见图 6)。由图 6 可以看出,计算值与实际值基本相符。说明弯道水槽试验拟合的弯道曲率半径的计算式具有一定的合理性。

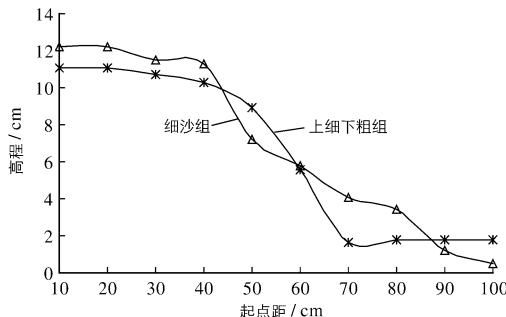


图5 两组试验4#断面形态比较

Fig. 5 Shapes of section 4 with two kinds of sand

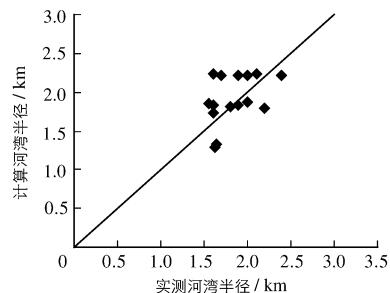


图6 实测河湾半径与计算值的比较

Fig. 6 Comparision between the calculated and measured results

3 结语

从弯道水流微观结构及泥沙输移特性出发,结合水槽试验,得到来水条件是影响河湾形态的决定性因素、床沙组成处于从属地位的规律性认识,拟合出河湾曲率半径随流量、河床组成、水面比降之间的关系式,计算结果与丹江口水库运用后下游河道实测资料基本相符。

参考文献:

- [1] 谢鉴衡. 河床演变及整治[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2002; 63. (XIE Jian-heng. Fluvial process and regulation of rivers [M]. Beijing: China WaterPower Press, 2002; 63. (in Chinese))

- [2] ONISHI Y, KENNEDY J F, JAIN S C, et al. Effects of meandering in alluvial streams[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 1976, 102(7): 899–917.
- [3] ODGAAD A JACOB. Flow and bed topography in channel bend[J]. Journal of the Hydraulics Division, ASCE, 1976, 100(11): 1631–1648.
- [4] 张瑞瑾. 河流泥沙动力学[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1998: 63. (ZHANG Rui-jin. River dynamics[M]. Beijing: China WaterPower Press, 1998: 63. (in Chinese))
- [5] 欧阳履泰. 试论下荆江河曲的发育与稳定[J]. 泥沙研究, 1983(4): 95–97. (OUYANG Lv-tai. On the development and stability of meanders of the lower Jingjiang Stretch of the Yangtze River[J]. Journal of Sediment Research, 1983(4): 95–97. (in Chinese))
- [6] 张笃敬, 孙汉珍. 弯道水力条件的变化对形成上下荆江河型影响的探讨[J]. 泥沙研究, 1983(1): 14–24. (ZHANG Du-jing, SUN Han-zhen. A preliminary study on the effect of the changes of the hydraulic conditions in bends on the river pattern of the upper lower Jingjiang Stretches of the Yangtze River[J]. Journal of Sediment Research, 1983(1): 14–24. (in Chinese))
- [7] 张俊勇, 陈立, 刘林, 等. 汉江中下游河道最佳弯道形态[J]. 武汉大学学报: 工学版, 2007, 40(1): 37–41. (ZHANG Jun-yong, CHEN Li, LIU Lin, et al. Perfect morphology of meandering river for middle and lower reaches of Hanjiang River[J]. Engineering Journal of Wuhan University, 2007, 40(1): 37–41. (in Chinese))
- [8] 余明辉, 窦身堂, 孔凡辉, 等. 水库下游河湾平面形态变化规律研究[J]. 泥沙研究, 2006(2): 77–81. (YU Ming-hui, DOU Shen-tang, KONG Fan-hui, et al. Investigation on the variation of meandering channels downstream reservoirs[J]. Journal of Sediment Research, 2006(2): 77–81. (in Chinese))
- [9] 覃莲超, 余明辉, 谈广鸣, 等. 河湾水流动力轴线变化与切滩撇弯关系研究[J]. 水动力学研究与进展, 2009(1): 29–35. (QIN Lian-chao, YU Ming-hui, TAN Guang-ming, et al. Discussion on the relation between the change of the flow dynamic axis and the bend bypassing and shoal cutting in the bend river course[J]. Journal of Hydrodynamics, 2009(1): 29–35. (in Chinese))
- [10] TANNER W F. Helical flow, a possible cause of meandering[J]. Journal of Geophysical Research, 1960, 65(6): 993–995.

Experimental study on configuration variation of meandering channels caused by flow

WEI Hong-yan¹, YU Ming-hui¹, DENG Yin-ling¹, QIN Lian-chao²

(1. State Key Laboratory of Water Resources and Hydropower Engineering Sciences, Wuhan University, Wuhan 430072, China; 2. Hubei Institute of Survey and Design for Water Resources and Water Power Engineering, Wuhan 430064, China)

Abstract: Meandering channel is the most common channel form in alluvial rivers. Based on the research of predecessors and considering the microstructure of the flow as well as the characteristics of the sediment transport, by use of bend flume tests, this paper aims at finding the relationships between bend configuration and flow conditions and the constitution of river bed. Finally it comes to the conclusion that flow conditions are the key factor influencing the channel configuration and that the bend radius increases with the increase of discharge. Meanwhile, this paper puts forward a formula to calculate the curvature radius of channel whose reasonability is verified by the measured data of the downstream reach of Danjiangkou reservoir. This result can help to predict the development of bend configuration caused by flow variation, which is of great importance to both theory and practice.

Key words: flow conditions; curvature radius; transverse circulation