

泰州大桥夹江桥动床模型试验研究

林海峰, 王 萍

(江苏省长江公路大桥建设指挥部, 江苏泰州 225321)

[摘要] 简述了泰州大桥夹江桥工程概况及在夹江桥开展动床模型试验的目的,对试验河段的水文特性及河势进行了分析,确定了模型设计的参数,在此基础上开展了建桥对河道、护岸、河床等的影响研究,为工程设计和后续实施提供了依据。

[关键词] 泰州大桥;动床模型;冲刷

[中图分类号] U442.3⁺9 [文献标识码] A [文章编号] 1009-1742(2010)04-0086-04

1 前言

泰州大桥项目位于江苏省长江中段,处于已建成的江阴大桥和润扬大桥之间。项目起自宁通高速公路,在泰州永安州跨越长江进入镇江扬中,沿扬中城区东侧向西南于小泡沙西段跨夹江,于丹徒姚桥折向东南,迄于沪宁高速公路,全长 62 km。整个工程由北接线、北汊跨江主桥、扬中接线、南汊夹江桥和南接线五部分组成,其中南汊夹江大桥位于江苏省扬中市南侧夹江段,上游距扬中大桥约 8 km,下游距扬中二桥约 16 km。由于夹江中小跑沙的分割,夹江桥由夹江北引桥、夹江左汊主桥、小泡沙引桥、夹江右汊主桥、夹江南引桥组成。其中夹江桥左右汊主桥分别采用 $85\text{ m} + 3 \times 125\text{ m} + 85\text{ m} = 545\text{ m}$ 和 $85\text{ m} + 2 \times 125\text{ m} + 85\text{ m} = 420\text{ m}$ 的预应力混凝土连续梁桥。

2 试验研究目的

扬中夹江水道、弯道众多,小炮沙所在兴隆弯道段水流进出口夹角接近 180° ,是夹江中曲率明显的弯道。由于弯道环流作用和上游特大洪水影响,大桥建设后夹江桥位所在的凹岸边坡可能存在影响大桥安全的不稳定因素,为此通过正态局部动床模型,研究特大洪水情况下建桥工程对小炮沙及周边岸坡

的稳定影响情况,分析建桥工程对弯道水流的影响,以及桥区周边的冲刷情况,提供合理、可行的工程措施,确保工程河段的稳定和大桥的安全。

3 试验河段基本水文、泥沙资料

3.1 河势概况

泰州大桥整个工程处于扬中长江河段,此河段上起镇扬河段大港水道五峰山水域,下至江阴水道鹅鼻嘴水域,干流长 91.7 km,支汊总长约 68 km,包括太平洲右汊长约 44 km。河段上端五峰山处河道平均宽约 1.3 km,最窄处约 1.1 km。太平洲长约 31 km,最大宽度约 10 km。该洲将水流分为左右两汊,其中泰州长江公路大桥北汊主桥所处的太平洲左汊为主汊,江宽水深,南汊夹江桥所处的太平洲右汊为支汊。小炮沙位于太平洲右汊中部的兴隆河弯,兴隆河弯自沙家港到小炮沙汇流口,全长约 7.5 km,河道平面呈弯曲形态,水流由小炮沙分为两股,右汊形态较为顺直,左汊弯曲成鹅头状,夹江桥桥位在小炮沙左右汊上游进口附近,桥轴线跨越小炮沙沙洲,呈弧线布置。扬中河段具有河道弯曲、汊道众多、顺直多变的特征,该处河道水流既受制于多变的河床地形,又受到径流动力和潮汐动力的双重作用,因此是长江下游河道水流运动特性极为复杂的河段之一。

[收稿日期] 2010-01-06

[作者简介] 林海峰(1977-),男,江苏阜宁县人,工程师,主要从事特大型桥梁工程建设管理工作;E-mail:linhaifeng99@sina.com

3.2 分水、分沙情况

根据长江下游大通水文站的监测资料,扬中河段上游多年平均流量 $28\ 700\ \text{m}^3/\text{s}$,从监测资料看,年来来水来沙主要集中在汛期,水量占全年的 70.75%,来沙量占全年的 87.42%,表现出年来来沙来水分配差异明显的特征。太平洲右汉夹江由于太平洲分流区右岸受临江岩石山矶的控制,形成较为稳定的太平洲分流态势,上游进口河道断面保持相对稳定的形态,为左右汉入流条件的稳定提供了保证,多年来右汉实测分流比基本保持在 10% 左右,分沙比略小于分流比。

3.3 潮位情况

扬中长江河段为感潮河段,潮位受长江径流和潮汐双重影响。每个太阴日潮位两涨两落,为非正规半日潮型,水位、流量受到潮汐的明显影响,但潮位主要受径流的影响。涨潮历时约 3 h,落潮历时约 8 h。年内 5 月至 10 月为汛期,11 月至次年 4 月为枯季,潮位年内变幅较大。最高潮位出现在台风、天文大潮和洪水遭遇期。

4 试验河段近期河势分析

根据近年的河势图,小炮沙洲头趋于稳定,0 m 线多年来总体呈凹冲凸淤,近年基本稳定。夹江深泓多年来总体呈小幅度下移和左摆,小炮沙左汉深泓因对崩岸兴建了一些沉排、抛石工程而摆动不大,弯顶附近的深泓在 1998 年曾发生左移,1991—1998 年最大左移约在 30 m 以内,以后回摆并趋于基本稳定。右汉形态相对顺直,除进口区深泓随洲头崩退而左移外,其他地段基本保持稳定。小炮沙弯道段干流段和主汉存在 -10 m, -15 m 槽,其中 -10 m 槽上下游贯通,多年来 -10 m 槽槽体的平面变化不是很大,处于基本稳定之中。小炮沙弯道段还存在 4 处深槽区,深槽区的 -15 m 深槽不能贯通,多年来平面变化相对不大。深槽基本稳定,为大桥的建设提供了良好的基础条件。

5 模型设计及试验水文资料

5.1 模型设计

本次正态模型的范围为:上游边界在八桥弯道上游 1 km 黄三套至 163#界碑断面处;下游边界在双伏港至二十圩(176#界碑)断面处。模型包括上游太平洲右汉上游段、八圩弯道、小炮沙左汉、小炮

沙右汉、沙家港至兴隆弯道和小炮沙下游出口等顺直河道。动床模型范围见图 1。

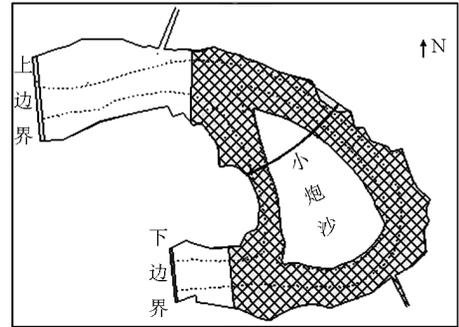


图 1 夹江动床模型范围

Fig. 1 The scope of Ji Jiang movable-bed model

根据试验研究目的、内容和要求,以及模型试验的相似理论,结合桥位河段河势变化以及试验场地条件,模型的水平比尺和垂直比尺为 $\lambda_L = \lambda_H = 150$ 。

按照满足起动相似要求并兼顾沉降相似的原则选择模型沙。经比选,拟采用经防腐处理的木屑作为模型沙,其颗粒容重 $r_{sm} = 1.15\ \text{t}/\text{m}^3$,干容重 $r_{om} = 0.6\ \text{t}/\text{m}^3$ 。根据桥位河段的河床质分布和表层地质资料,选出一种级配与原型河床质级配相一致。天然沙起动流速 V_{0p} 采用沙玉清公式计算,即

$$V_{0p} = \left[1.1 \frac{(0.7 - \varepsilon)^4}{d} + 0.43d^{\frac{3}{4}} \right]^{\frac{1}{2}} H^{\frac{1}{5}} \quad (1)$$

式(1)中, d 为泥沙直径,mm; H 为水深,m; $\varepsilon = 0.4$ 。计算得到不同深度天然沙平均起动流速为 0.48~0.79 m/s,模型沙的起动流速为 0.041 8~0.069 6 m/s,流动比尺为 11.35~11.66,与要求值 12.25 较接近,表明该模型沙基本满足起动相似要求。各项模型设计参数见表 1。

表 1 模型比尺表

Table 1 Table of model scale

项目	设计值	采用值
平面比尺 λ_L	$\lambda_L = \lambda_H = 150$	150
垂直比尺 λ_H		
流速比尺 λ_V	$\lambda_V = \lambda \frac{1}{H} = 12.25$	12.25
糙率比尺 λ_n	$\lambda_n = \lambda \frac{2}{H} / \lambda \frac{1}{L} = 2.30$	2.30
水流时间比尺 λ_{t_1}	$\lambda_{t_1} = \lambda_L / \lambda \frac{1}{H} = 12.25$	12.25
流量比尺 λ_Q	$\lambda_Q = \lambda_L \lambda \frac{3}{H} = 2.76 \times 10^5$	2.76×10^5
起动流速比尺 λ_{V_0}	$\lambda_{V_0} = \lambda_V = 12.25$	12.25
泥沙容重比尺 λ_{r_s}	$\lambda_{r_s} = \frac{r_{sp}}{r_{sm}} = \frac{2.65}{1.15} = 230$	2.3

续表

项目	设计值	采用值
泥沙干容重比尺 λ_{r_0}	$\lambda_{r_0} = \frac{r_{0p}}{r_{0m}} = \frac{1.46}{0.6} = 2.43$	2.43
粒径比尺 λ_d	$\lambda_d = \frac{d_p}{d_m} = \frac{0.19}{0.35} = 0.54$	0.54
单宽输沙率比尺	$\lambda_{q_s} = \frac{\lambda_{r_s} \lambda_H^3}{\lambda_{r_s-r} \lambda_H^3} =$ $\frac{2.30}{11} \times 150^{\frac{3}{2}} = 384$	400
冲淤时间比尺 λ_{t_2}	$\lambda_{t_2} = \frac{\lambda_{r_s} \lambda_H \lambda_L}{\lambda_{q_s}}$ $= \frac{2.3 \times 150 \times 150}{384} = 135$	200

注: λ_V 为流速比尺; r_{sp} 为原型沙颗粒容重; r_{0p} 为原型沙干容重; $\lambda_{r_s-r} = \frac{r_{sp}-1}{r_{sm}-1} = 11$; d_p 为原型沙粒径; d_m 为模型颗粒径

5.2 试验水文资料

根据设计技术要求,选定 300 年一遇的洪水作水文资料。由前期水文计算结果和扬中河段左右汉的分流比,300 年一遇流量为 $10\ 300\ \text{m}^3/\text{s}$,试验水文条件见表 2。

表 2 夹江动床模型试验水文条件

Table 2 Hydrological conditions of Jiajiang movable-bed model test

进口 水位/m	小炮沙 水位/m	出口 水位/m	水文 年特征	对应流量 $/(m^3 \cdot s^{-1})$
6.30	6.15	5.96	300 年一遇 洪水流量	10 300

6 试验成果

6.1 工程对弯道水流的影响研究

涉水桥墩基础是一个阻水建筑物,受水流、泥沙和桥墩形状等因素的影响,必然对墩基周边的床面及弯道水流产生一定的影响。建桥前,在 300 年一遇流量情况下,小炮沙左汉最大流速约 $1.1\ \text{m/s}$;右汉最大流速约 $1.50\ \text{m/s}$,右汉的流速大于左汉流速。

小炮沙左右汉建桥后,桥轴线上游流速呈减少趋势,左汉最大减幅在 $4 \sim 5\ \text{cm/s}$,右汉最大减幅在 $5 \sim 6\ \text{cm/s}$ 。桥墩墩间及向下游水域受断面压缩影响,流速呈增加趋势,左汉最大增幅在 $7 \sim 8\ \text{cm/s}$,右汉最大增幅在 $8 \sim 9\ \text{cm/s}$,距桥墩越远流速增幅越小。遭遇 300 年一遇流量时墩基引起的最大影响范围距桥轴线上下游各 $1\ 000\ \text{m}$ 左右。

6.2 夹江桥各墩位处的冲刷影响研究

小炮沙右汉建桥后,涉水桥墩共 3 座,从左向右

依次为 44#、45# 和 46#。3 座墩基结构、形式及几何尺度均相同。当右汉遭遇 300 年一遇特大洪水后,对河道水下地形观测显示:洪水与桥墩的综合影响中,洪水影响起主要作用,桥墩只对墩基附近的床面形成较明显的局部冲刷,距离桥墩一定距离处河床冲淤基本不受桥墩影响。地形测量显示:墩基的局部冲刷最大冲深、冲刷范围与墩基和水流主流向的相对位置有很大关系,右汉内 3 个涉水桥墩的最大冲深和冲刷范围分别为:300 年一遇洪水时 44# 墩基处最大冲深在 $11\ \text{m}$ 左右,冲深部位发生在 44# ~ 45#,靠近 44# 桥墩的水域;45# ~ 46# 墩基处最大冲深在 $6 \sim 8\ \text{m}$ 。桥墩对河床地形影响范围:44# 墩基处迎水面上游 $30\ \text{m}$,桥墩边缘左侧 $25\ \text{m}$ 左右,右侧 $35\ \text{m}$ 左右,墩基下游 $120\ \text{m}$ 左右;45# ~ 46# 墩基处迎水面上游 $20\ \text{m}$,桥墩边缘外两侧各 $30\ \text{m}$ 左右,墩基下游 $90 \sim 100\ \text{m}$ 。

左汉建桥后,涉水桥墩共 4 座,从左向右依次为 24#、25#、26# 和 27#。与右汉冲淤变化类似,在洪水与桥墩的综合影响中,洪水影响起主要作用,桥墩只对墩基附近的床面形成较明显的局部冲刷,具体反映在近桥墩床面及临近两侧边坡进一步冲深,冲刷范围有所扩大。地形测量显示左汉内 4 个涉水桥墩的最大冲深和冲刷范围分别为:300 年一遇洪水时 24# ~ 26# 墩基处最大冲深在 $7 \sim 11\ \text{m}$,27# 墩基处最大冲深在 $5\ \text{m}$ 左右。桥墩对河床地形影响范围:24# ~ 26# 墩基处迎水面上游 $20\ \text{m}$,桥墩边缘外两侧各 $25 \sim 30\ \text{m}$,墩基下游 $90\ \text{m}$ 左右;27# 墩基处迎水面上游 $15\ \text{m}$,桥墩边缘外两侧各 $25\ \text{m}$ 左右,墩基下游 $80\ \text{m}$ 左右。

6.3 建桥后遭遇洪水对河床的影响范围

动床试验显示:小炮沙左右汉建桥后,在遭遇特大洪水流量所引起的对桥区河段床面冲淤影响中,洪水影响是主要的,桥墩建造后所引起的影响局限在墩基附近水域,其他区域冲淤变化与建桥前冲淤情况基本一致。特大洪水和桥墩的共同作用,使桥区发生较大冲刷;具体冲刷深度及冲刷范围见表 3。

表 3 建桥后遭遇洪水对河床的影响范围

Table 3 The influenced areas of flood on riverbed after the bridge was built

水道名	冲刷区域	最大 冲深/m	冲刷范围
小炮沙	左汉桥位左	4.0	桥轴线上游 $300\ \text{m}$
左汉	侧边坡	4.2	桥轴线下游 $1\ 000 \sim 1\ 100\ \text{m}$

续表

水道名	冲刷区域	最大冲深/m	冲刷范围
小炮沙	左汊桥位	3.2	桥轴线上游 500 m
	右侧边坡	5.0	桥轴线下游 1 500 ~ 1 600 m
左汊	左汊左侧边坡 (兴隆闸附近)	4.0	兴隆闸上下游各 800 m
小炮沙	右汊桥位	3.1	小炮沙上游鱼嘴至桥轴线约 900 m
	左侧边坡	4.0	桥轴线下游 1 000 ~ 1 100 m
	右汊 下游右侧边坡	4.6	长度 500 ~ 600 m

7 结语

在夹江桥建成后,特大洪水条件下对水流产生的影响范围在桥轴线上下游 1 000 m 左右,没有改变河道水流主泓的走向。特大洪水和桥墩的共同作用对桥墩周边及小炮沙边坡产生了不同程度的冲刷,应采取抛石等工程措施及时防护,以确保河道稳定和工程安全。

Test on the Taizhou Jiajiang Bridge movable-bed model

Lin Haifeng, Wang Ping

(Jiangsu Provincial Yangtze River Highway Bridge Construction
Commanding Department, Taizhou, Jiangsu 225321, China)

[Abstract] The general situation of Taizhou Jiajiang Bridge project and the purpose of the test on Jiajiang Bridge movable-bed model were briefly depicted in the paper. The river hydrological characteristics and the river regime were analyzed to determine the design parameters of the model in this experiment, and the impact of the bridge on the riverway, river bank protection, and river beds was studied, for engineering design and providing a basis for follow-up implementation.

[Key words] Taizhou Bridge; movable-bed model; erosion