

漯河市澧河改道工程对沙河和澧河河势影响分析

丁永杰, 刘 恺, 和宛琳

(河南省水利勘测设计研究有限公司, 郑州 450016)

摘要: 为保证漯河市西城区防洪安全, 减小澧河城区段防洪压力, 规划在沙河和澧河弯道相距最近的大楼魏村附近新开挖一条导洪河道, 将澧河洪水提前分流入沙河。选取 9 种洪水流量组合, 分别建立数学模型和物理模型, 对改道前后的沙河、澧河的水力特性进行研究, 确定工程对两河河势的影响程度和范围, 为工程设计提供依据。模拟结果表明: 各组合流量情况下, 研究范围内沙河水位、流速等均无明显变化; 澧河改道段上游河道流速略有增大、水位因流量组合工况不同而产生壅高和降低。可见, 改道工程的实施主要对改道段出口沙河弯道段有一定影响, 该段河道需承受上游沙、澧河双向水流, 流态紊乱, 两侧岸坡均迎流顶冲, 应做好岸坡防护工程。

关键词: 沙河; 澧河; 河势; 数值模拟; 定床模型试验; 动床模型试验

中图分类号: TV 68 文献标志码: A 文章编号: 1672-1683(2014)04-0068-04

Effects of the Lihe River Reconstruction Project on the Flow Regime of the Shahe and Lihe Rivers in Luohe City

DING Yongjie, LIU Kai, HE Wanlin

(Henan Water & Power Engineering Consulting Co., LTD, Zhengzhou 450016, China)

Abstract: In order to ensure the flood control safety in the Xicheng district of Luohe City and reduce the flood control pressure at the urban section of the Lihe River, a new river channel was planned to be excavated in the Dalouwei village where the Shahe River and Lihe River are the closest, and thus the flood in the Lihe River can be diverted into the Shahe River. In this paper, nine scenarios of flood discharge were selected to develop the three dimensional numerical models and physical models. In order to provide the basis for project design, hydraulic characteristics in the Lihe River and Shahe River before and after the reconstruction project were investigated, and the effects of the reconstruction project on the river regime were analyzed. The results showed that the water level and flow velocity in the Shahe River have insignificant changes under different scenarios of flood discharge, and the flow velocity in the upstream of the Lihe River reconstruction section increases slightly and the water level in the upstream of the Lihe River reconstruction section can increase or decrease under different scenarios of flood discharge. Therefore, the implementation of the Lihe River reconstruction project has impacts on the river bend section of the Shahe River at the outlet of reconstruction section. The section needs to bear the two way river flow in the upstream of Shahe River and Lihe River, which can have turbid flow field, and thus the slope protection engineering is needed.

Key words: Shahe River; Lihe River; river regime; numerical simulation; fixed bed model test; movable bed model test

1 澧河改道工程概况

1.1 工程背景

随着漯河市经济的快速发展和市区面积的不断扩大, 漯河城市防洪问题日趋严重, 特别是规划的西城区位于沙河、澧河夹档地带, 面积 12.6 km², 人口约 22 万人, 区内有高铁站、学校、医院等重要设施, 东、南、北三面均承受洪水威胁。为此, 2012 年漯河市政府提出“澧河改道提前入沙

河”规划, 即在西城区的西边缘沙、澧河相距最近的大楼魏村附近新开挖一条导洪河道, 将澧河洪水提前分流入沙河^[1] 见图 1。

新开挖河道位于沙、澧河两弯道距离最短处, 沙河在该处呈“U”型弯道, 桩号 S10+900, 河宽约 180 m, 河底高程 50.20~51.50 m; 河床及岸坡为粉质壤土, 中值粒径 0.0317 mm。澧河在该处呈“∩”型弯道, 桩号 L12+550, 河宽约 110 m, 河底高程约 49.80~50.20 m; 河床及岸坡为粉质壤土, 中

收稿日期: 2014-01-08 修回日期: 2014-05-07 网络出版时间: 2014-06-11

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/doi/10.13476/j.cnki.nsbdtqk.2014.04.001.html>

作者简介: 丁永杰(1963-), 男, 河南禹州人, 高级工程师, 主要从事工程水文、规划方面研究工作。E-mail: 312759358@qq.com

值粒径 0.0142 mm。



图1 漯河市澧河新开挖河道位置

Fig.1 Location of newly excavated channel in Lihe River of Luohe City

1.2 流域概况

沙河是淮河最大的支流,发源于豫西伏牛山区,流经豫、皖两省,在安徽省正阳关入淮河;漯河以上流域面积 12 580 km²,主要支流有澧河和北汝河。2007 年-2009 年漯河陈湾~安徽沫河口段进行了治理,防洪标准达到 20 a 一遇,其中漯河境内治理河道长度约 24 km,河道安全泄量 3 000 m³/s。

澧河是沙河右岸的一条重要支流,发源于南阳市方城县四里店以北的柳树沟,流经叶县、舞阳县、郾城区、源汇区,在漯河市城区汇入沙河,总流域面积 2 787 km²,干流河长 68 km。2007 年在澧河支流修建了燕山水库,与干流的孤石滩水库联合控制了澧河上游山区的大部分洪水,使澧河目前的防洪标准提高到 20 a 一遇。

1.3 工程布置

在漯河市大楼魏村西澧河和沙河两弯道间开挖一条导洪河道,长 1.6 km。根据沙、澧河洪水调度方案,新开

挖河道按 1 900 m³/s 设计、2 400 m³/s 校核,拟定河道断面在通过上述洪水时,以不恶化澧河上游段河道水流条件为原则。按照上述原则,改道段设计断面采用复式断面,设计河底宽 60 m、边坡 1:3、滩地宽 40 m,河底比降 1/5000,设计河底高程 52.50~52.18 m。改道段新建堤防按直线布置,两端与澧河和沙河堤防平顺连接,堤距按 220 m 控制,设计堤顶宽 8.0 m,临、背河边坡均为 1:3,堤防超高取 2 m,为防止雨水冲刷,堤防边坡均采用草皮护坡。

为抬高上游澧河水位,保证下游老澧河引水,同时避免沙河河水倒灌污染澧河水质,在新开挖河道上修建节制闸 1 座。由于新开挖河道截断了原有的胡庄排水沟、S241 省道和规划的长江路,需要新建排涝涵闸 1 座,公路桥 2 座。老澧河上下游分别设进水闸和退水闸 1 座,平时闸门开启,以保持水体流动,汛期关闸,防止洪水倒灌^[1]。

2 研究方法

为了确定澧河改道工程对沙河、澧河河势的影响,包括水位、流态、流速分布和冲刷情况等,本次研究采用三维数学模型和物理模型试验相结合的方法,对改道前后沙、澧河进行大范围的数值模拟,并对重点河段进行了定床和动床试验研究^[2]。

2.1 计算工况的选择

根据沙、澧河洪水调度方案^[3]和 1982 年、2000 年实际发生大洪水情况,选取 9 种有代表性的工况进行研究。沙澧河流量组合典型计算工况见表 1。

表 1 沙、澧河典型流量组合工况

Table 1 Typical flow discharges in Shahe River and Lihe River under different working conditions

控制断面	各工况河道流量/m ³ ·s ⁻¹								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
澧河	150	500	1 000	1 300	1 500	1 900	2 400	1 600	1 900
两河汇合口沙河上段	2 850	2 500	2 000	1 700	1 500	1 100	600	1 500	1 700
两河汇合口沙河下段	3 000	3 000	3 000	3 000	3 000	3 000	300	3 100	3 600
备注	调度工况				2000 年典型洪水工况		1982 年典型洪水工况		

2.2 数值模拟研究

2.2.1 模型的建立

根据实测的沙、澧河带状地形图和河道断面,建立三维数学模型,模拟范围包括沙河干流和澧河干流见图 2,即:自老澧河口下游约 2 km,至沙河自新开挖河道终点起算的上游约 5 km、至澧河自新开挖河道起点起算的上游约 8 km。具体为:模型下游边界为沙河 S0+000 断面(京广铁路桥),上游边界为沙河 S16+000 断面,澧河为 L20+000 断面。

沙、澧河河道

采用曲线正交网格划分,最大网格约为 50×200 m,最小网格约为 10×50 m,网格数 2 920 个。上游边界设为定流量边界,下游边界设为定水位边界。

对于新开挖河道处,工程前为现状地面,工程后根据新开挖河道断面参数,对原数学模型进行修正。

2.2.2 模型验证

为定量判断沙河、澧河水面线的数值模拟值与推求水面线之间的吻合程度,选用均方根误差作为判别准则^[5]:



图 2 沙河、澧河数值模拟模型范围

Fig.2 Umerical simulation model domain of the Shahe River and Lihe River

$$RMSE = \left\{ \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N [\zeta_m(t_i) - \zeta_d(t_i)]^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

式中: $\zeta_m(t)$ 为数值模拟值; $\zeta_d(t)$ 为实测值; N 为数据点的数

目。RMSE 值通常与实测值比较(这里与推求值比较),若两者比值在 5% 以内,表明两者吻合度极高;若比值在 5%~10% 之间,表明两者吻合度较高。

根据已有数据资料,对沙河和澧河模型进行检验,结果表明,沙河和澧河的水面线数值模拟结果与推求水面线吻合度高,水位均方根误差分别为 0.13 m(占推求值 4.95%)和 0.15 m(占推求值 4.96%)。因此所建立的数学模型能较好地模拟沙河和澧河进行模拟。

2.2.3 数值模拟结果分析

在各流量组合工况下,工程后与工程前相比:

(1) 沙河。断面 S16+000~S10+900(新开挖河道末端与沙河相接处),流速减小约 0.1~1.0 m/s;自断面 S10+900 下游,流速变化不大。模型范围内沙河河道水位变化

不大,上游断面 S16+000 水位下降 0~0.4 m;下游断面 S0+000 水位不变。

(2) 澧河。断面 L20+000~L17+000 流速变化不大,各流量组合工况下流速变化规律同改造前一致;断面 L17+000~L12+500 流速增大,增值不超过 1.3 m/s。澧河改造段的水位会因流量组合工况不同而产生壅高和降低,变化范围 0.49~ -2.19 m;澧河断面 L14+100 至澧河上游断面 L20+000,改造前后流速变化不大;新澧河口至澧河断面 L14+100 范围内,流速增加较明显,个别断面流速增幅达值 1.36 m/s,可能引起河道冲刷。

(3) 新开挖河道。新澧河口至新开挖河道,流速相对较大,但不超过 1.7 m/s;新开挖河道至沙河处,流速相对较小;新开挖河道段,水流顺直,无不良水流现象。

表 2 改造前后部分流量组合时典型断面水位、流速

Table 2 Water level and flow velocity at the typical sections before and after the reconstruction project

河道名称	典型断面	项目	项目			
			澧河 500/(m ³ ·s ⁻¹) 沙河 2 500/(m ³ ·s ⁻¹)	澧河 1 300/(m ³ ·s ⁻¹) 沙河 1 700/(m ³ ·s ⁻¹)	澧河 1 900/(m ³ ·s ⁻¹) 沙河 1 100/(m ³ ·s ⁻¹)	澧河 1 900/(m ³ ·s ⁻¹) 沙河 1 700/(m ³ ·s ⁻¹)
沙河	上游 S16+000	水位/m	63.35	63.17	63.09	64.43/64.22
	弯道 S9+300	水位/m	62.7	62.71	62.7	63.74/63.81
		最大流速/(m·s ⁻¹)	2.04	2.04	2.04	2.15/2.14
	下游 S2+000	水位/m	61.56	61.56	61.56	62.30/62.31
最大流速/(m·s ⁻¹)		1.68	1.63	1.63	2.44/1.84	
澧河	上游 L20+000	水位/m	64.42/64.41	65.29/65.13	66.53/66.17	66.62/66.37
	L13+300	水位/m	62.77/63.21	63.93/63.49	64.99/63.88	64.54/64.80
		最大流速/(m·s ⁻¹)	1.03	1.92	2.67	2.53
	改造处 L12+550	水位/m	62.66/63.15	63.82/63.23	64.92/63.41	65.31/64.37
新开挖河道	G0+500	水位/m	63.12	63.07	63.07	64.17
		最大流速/(m·s ⁻¹)	0.39	0.89	1.34	1.18

备注:表中加“/”数据,左边为工程前,右边为工程后。

2.3 物理模型试验

2.3.1 定床模型

建立物理模型,进行定床模型试验,量测新澧河口上游段、新开挖河道、沙河弯道段的水位、流速等,观测流态。

(1) 模型设计。

所研究的重点河段有两个弯道,为了保证水流相似,采用正态模型。根据试验研究内容、试验场地等,选定模型几何比尺 $\alpha_l = 100$,按重力相似准则设计模型,同时保障阻力相似准则。相应物理量的比尺见表 3。

表 3 模型比尺

Table 3 Model scale

比尺名称	几何比尺	流速比尺	糙率比尺	流量比尺	时间比尺
比尺关系式	α_l	$\alpha_v = \alpha_l^{1/2}$	$\alpha_n = \alpha_l^{1/6}$	$\alpha_Q = \alpha_l^{5/2}$	$\alpha_t = \alpha_l^{1/2}$
比尺数值	100	10	2.154	100 000	10

河道按实际地形模拟,根据现状河槽及边滩糙率,模型采用断面板法用水泥沙浆粉面加适当打毛制成。

模型范围包括澧河左岸湾赵村东北(L12+550)上游 2.0 km 至澧河上游控制闸、新开挖河道 1.6 km、沙河右岸尹庄村东(S10+900)上游 2.7 km 至其下游 3.6 km(S13+600~S7+350)。模型河道长度 10 km。模型长 70 m,宽 40 m,高 0.4

m。定床模型平面布置见图 3。



图 3 定床模型平面布置

Fig. 3 Layout of fixed bed model test

(2) 试验过程。

模型上游控制断面,按各工况的流量控制;模型下游控制断面沙河 S7+350,按流量对应的水位控制,水位值由数值模拟成果提供。

首先,进行模型试验水面线验证。由于缺少实际工程实测水面线资料,因此将试验量测水面线与数值模拟水面线进行比较验证:通过调整模型河道糙率,使试验水面线与数值模拟水面线一致。

然后,进行正式试验。针对不同流量组合工况,量测河

道水面线、断面流速,观测重点区域的流态等。

(3) 定床模型试验成果。

定床模型试验表明:模型试验所得的水面线沿程变化、澧河改道处水位变化、典型断面流速分布等规律与数值模拟结果一致(澧河改道处 L12+ 550 水位的试验与数值模拟对比见表 4)。在各组合流量工况下,新开挖河道与沙河交汇处,水流平顺,流态较好。

表 4 澧河改道处 L12+ 550 水位试验与数值模拟值对比

Table 4 Comparison of measured and simulated water levels at location of L12+ 550 in Lihe River

试验方法	流量组合工况/(m ³ ·s ⁻¹)			
	澧河 500 沙河 2500	澧河 1300 沙河 1700	澧河 1900 沙河 1100	澧河 1900 沙河 1700
数值模拟	63.15	63.23	63.41	64.37
定床试验	63.14	63.21	63.35	64.3
差值	0.01	0.02	0.06	0.07

2.3.2 动床模型

在定床模型试验的基础上,对两河汇流后的沙河段、新澧河口上游澧河段的河岸冲刷进行了试验,提出相应的防护工程建议。

(1) 河床泥沙设计。

对沙河和澧河河床及岸坡进行了现场取样,沙澧河河床及岸坡均为粉质壤土,根据泥沙粒径级配,选用聚氯乙烯作为模型沙^[6],其密度 $\rho_m = 1.35 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$,容重比尺:

$$\lambda_w = \frac{\lambda_p}{\lambda_m} = \frac{\rho_w}{\rho_m} = \frac{2.65}{1.35} = 1.963 \quad (2)$$

$$\lambda_{w-v} = \frac{2.65-1}{1.35-1} = 4.714 \quad (3)$$

起动流速比尺应满足 $\lambda_{v_k} = \lambda_v$;对于原型沙,选用窦国仁起动流速公式^[7]:

$$V_k = m(\ln 11 \frac{H}{\Delta}) \sqrt{\frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma} g D + 0.19 \frac{\epsilon_k + g H \delta}{D}} \quad (4)$$

式中: H 为水深; D 为粒径; ϵ_k 为黏结力参数,取 $\epsilon_k = 2.56 \text{ cm}^3/\text{s}^2$; δ 为薄膜水厚度,取 $\delta = 0.21 \times 10^{-4} \text{ cm}$; Δ 为床面糙率; D 为粒径,不均匀沙采用 D_{50} 。计算起动流速比尺 $\lambda_{v_k} = \lambda_v$ 对应的模型沙粒径,经过反复调整模型沙的 D_{50} ,试算求得沙河模型沙 $D_{50} = 0.14 \text{ mm}$,粒径比尺为 $\lambda_D = 0.0317/0.14 = 0.0227$;澧河模型沙 $D_{50} = 0.065 \text{ mm}$,粒径比尺为 $\lambda_D = 0.014/0.065 = 0.218$ 。

(2) 试验方法。

在进行每一流量组合工况前,先按照测量地形铺沙,并针对该流量组合工况,观测沿程河道的冲刷情况,同时,进行录像和照相;然后重新铺沙,进行下一个流量组合的实验。

(3) 动床模型试验结果分析。

沙河:新澧河与沙河汇流后,在组合流量较大时,沙河河床基本上没有冲刷;下游右岸直段、左岸弯道凹岸发生冲刷;右岸弯道凸岸发生淤积;左右岸均为岸坡上部冲刷严重,岸坡下部冲刷轻微,冲刷后岸坡趋于平缓。例如,澧河流量 $1900 \text{ m}^3/\text{s}$ 、沙河流量 $1700 \text{ m}^3/\text{s}$ (组合流量 $3600 \text{ m}^3/\text{s}$)时,沙河左岸 S11+ 050~ S10+ 950、S10+ 500~ S9+ 400 边坡发

生冲刷、岸坡内切 $1 \sim 3 \text{ m}$, S8+ 800~ S8+ 000 平均内切 $8 \sim 10 \text{ m}$,其中 S8+ 450~ S8+ 400 冲刷严重;右岸 S10+ 600~ S9+ 300 边坡发生冲刷,岸坡上部平均内切 $4 \sim 9 \text{ m}$,岸坡底部淤厚 $3 \sim 6 \text{ m}$,其中 S10+ 400、S10+ 000 附近冲刷严重; S9+ 000~ S8+ 300 平均内切 $2 \sim 5 \text{ m}$,其中 S8+ 900~ S8+ 800 附近冲刷严重。

因此,桩号 S11+ 050~ S10+ 950、S10+ 500~ S9+ 400、S8+ 800~ S8+ 000 的左岸边坡可能发生冲刷;桩号 S10+ 600~ S9+ 300、S9+ 000~ S8+ 300 右岸边坡可能发生冲刷,建议适当防护。

澧河:动床模型试验表明,澧河河床基本上没有冲刷,靠近节制闸处有少量淤积;左右岸均岸坡上部冲刷严重,岸坡下部冲刷轻微,冲刷后岸坡趋于平缓。例如,澧河流量 $1900 \text{ m}^3/\text{s}$ 、沙河流量 $1100 \text{ m}^3/\text{s}$ (组合流量 $3000 \text{ m}^3/\text{s}$)时,澧河左岸 L13+ 300~ L13+ 100 范围边坡发生冲刷,岸坡内切 $1 \sim 3 \text{ m}$;右岸桩号 L13+ 100~ L12+ 900 范围边坡发生冲刷,岸坡内切 $1 \sim 2 \text{ m}$;澧河河床基本上没有冲刷,但桩号 L12+ 800~ L12+ 550 范围河床有少量淤积,厚度达 0.5 m ;澧河节制闸前有少量淤积。

由于物理模型动床试验铺沙范围的限制,新澧河口上游澧河段铺沙范围仅为 L12+ 550~ L13+ 300,因此动床试验得出的冲刷范围未能反映上游段的情况。对比该澧河段流速分布数值模拟结果,当澧河流量 $2400 \text{ m}^3/\text{s}$ 时, L14+ 100~ 新澧河口范围流速增幅较大,可能引起岸坡冲刷。因此,建议对左岸 L14+ 100~ L12+ 900 进行适当防护;右岸可采用动床试验结果,建议对右岸 L13+ 100~ L12+ 550 进行适当防护。

3 结论与建议

通过建立三维数学模型和物理模型,对改道前和改道后的澧河、沙河的水力特性进行研究,得出如下结论:

(1) 与改道前对应总组合流量相比,改道后各组合流量工况的沙河水位和流速,均无明显改变。下游右岸直段 1.8 km 、右岸弯道凸岸 0.6 km 、左岸弯道凹岸 3.70 km 发生冲刷,建议防护。

(2) 与改道前对应流量相比,澧河改道段的水位会因流量组合工况不同而产生壅高和降低。该河段水位虽雍高,但低于堤顶高程不出槽。改道段上游河道流速略有增大,其余河段流速工程前后基本一致。新澧河口上游 0.7 km 左右岸,可能引起岸坡冲刷,建议适当防护。

从模型试验成果来看,本工程主要对改道段出口沙河弯道段有一定影响,该段河道需承受上游沙、澧河双向水流,流态紊乱,两侧岸坡均迎流顶冲,因此建议应切实做好岸坡防护工程。

澧河改道工程的实施,可解除澧河下游 12.5 km 河道的防洪任务,有效缓解漯河市城区防洪压力,同时新开挖的河道在漯河市区上游沟通了沙、澧河,形成连通水系,下游老澧河成为漯河市内河,通过水闸控制保持较为稳定的水位,可有效改善当地自然、生态和居民生活环境。因此本工程技术、经济可行,环境和社会效益明显,建议付诸实施。

(下转第 106 页)

- Roundness Error[J]. Measurement and Testing, 2009(10): 28-30. (in Chinese)
- [10] 卓兴仁, 刘焕文, 王永波, 等. 圆度误差4种评定方法评定结果关系的研究[J]. 北京工业大学学报, 1996, 22(2): 111-114. (ZHOU Xing-ren, LIU Huan-wen, WANG Yong-bo, et al. The Relationship of the Different Verifying Results of Circularity Deviation Through Four Different Ways[J]. Journal of Beijing Polytechnic University, 1996, 22(2): 111-114. (in Chinese))
- [11] 刘清秉, 项伟, M. Budhu, 等. 颗粒形状对砂土抗剪强度及桩端阻力影响机制试验研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2011, 30(2): 400-410. (LIU Qing-bing, XIANG Wei, M. Budhu, et al. Experimental Study of Effect of Particle Shapes on Shear Strength of Sand and Tip Resistance of Driven Piles[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2011, 30(2): 400-410. (in Chinese))
- [12] 刘清秉, 伟项, B. M. Lehane, 等. 砂土颗粒形状量化及其对力学指标的影响分析[J]. 岩土力学, 2011, 32(21): 190-197. (LIU Qing-bing, XIANG Wei, B. M. Lehane, et al. Study of Particle Shape Quantification and Effect on Mechanical Property of Sand[J]. Rock and Soil Mechanics, 2011, 32(21): 190-197. (in Chinese))
- [13] 邱珍锋. 砂泥岩混合料各向异性渗透特性试验研究[D]. 重庆: 重庆交通大学, 2013. (QIU Zhen-feng. Experimental Study on Anisotropic Permeability Characteristics of Sandstone-mudstone Particle Mixture[D]. Chongqing: Chongqing Jiaotong University, 2013. (in Chinese))
- [14] 邱贤德, 阎宗岭, 刘立, 等. 堆石体粒径特征对其渗透性的影响[J]. 岩土力学, 2004, 25(6): 950-954. (QIU Xiande, YAN Zongling, LIU Li, et al. Effect of Particle size Characteristic on the Seepage Property of Rockfill[J]. Rock and Soil Mechanics, 2004, 25(6): 950-954. (in Chinese))
- [15] 邱贤德, 阎宗岭, 姚本军, 等. 堆石体渗透特性的试验研究[J]. 四川大学学报(工程科学版), 2003, 35(2): 6-9. (QIU Xiande, YAN Zongling, YAO Benjun, et al. Effect of Particle size Characteristic on the Seepage Property of Rockfill[J]. Journal of Sichuan University (Engineering Science Edition), 2003, 35(2): 6-9. (in Chinese))

(上接第71页)

参考文献(References):

- [1] 漯河市澧河改道提前入沙河工程可行性研究报告[R]. 河南省水利勘测设计研究有限公司, 2013. (Feasibility Research Report of Diverted the Flood of Lihe River into Shahe River in Advance Project in LuoHe[R]. Survey, Design & Research Co., LTD of Water Conservancy of Henan, 2010. (in Chinese))
- [2] 漯河市澧河改道提前入沙河工程模型试验研究[R]. 天津大学水力学所, 河南省水利勘测设计研究有限公司, 2013. (Model Testing Study on Diverted the flood of Lihe River into Shahe River in advance Project in LuoHe[R]. Hydraulics Institute of Tianjin University, Survey, Design & Research Co., LTD of Water Conservancy of Henan, 2010. (in Chinese))
- [3] 刘伟, 和宛琳, 刘晓琴. 漯河市沙北地区防洪工程方案研究[J]. 河南水利与南水北调, 2012, (17): 32-33. (LIU Wei, HE Wanlin, LIU Xiaolin. Flood Control Scheme Research of Area North of ShaHe of the City of Luohe, Henan Water Resources & South to North Water Diversion, 2012, (17): 32-33. (in Chinese))
- [4] 季益柱, 丁全林, 王玲玲, 等. 三峡水库一维水动力数值模拟及可视化研究[J]. 水利水电技术, 2012, 43(11): 21-24. (JI Yizhu, DING Quanlin, WANG Lingling, et al. 1-D Hydrodynamic Numerical Simulation of Three Gorges Reservoir and its Visualization Study[J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2012, 43(11): 21-24. (in Chinese))
- [5] J M Dias, M C Sousa, X Bertin et al. Numerical Modeling of the Impact of the Ancao Inlet Relocation (Ria Formosa, Portugal)[J]. Environmental Modelling & Software, 2009, 24(6): 711-725.
- [6] 王延贵, 胡春宏, 朱毕生. 模型沙起动流速公式的研究[J]. 水利学报, 2007, 38(5): 518-523. (WANG Yangui, HU Chunhong, ZHU Bisheng. Study on Formula of Incipient Velocity of Sediment in Model Test[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2007, 38(5): 518-523. (in Chinese))
- [7] 王玉海, 蒋卫国, 王艳红. 冲刷物理模型试验的比尺效应研究[J]. 泥沙研究, 2012, (03): 31-34. (WANG Yuhai, JIANG Weiguo, WANG Yanhong. Study of Scale Effect in Scour Physical model Experiments. Journal of Sediment Research, 2012, (03): 31-34. (in Chinese))
- [8] 水工(常规)模型试验规程SL 155-2012[R]. 中华人民共和国水利部. (Test Regulation for Normal Hydraulic Model, SL 155-2012[R]. The Ministry of Water Resources of the People's Republic of China)
- [9] 河工模型试验规程SL 99-2012[R]. 中华人民共和国水利部. (Test Regulation for Model River, SL 99-2012[R]. The Ministry of Water Resources of the People's Republic of China)
- [10] 河流泥沙颗粒分析规程SL42-2010[R]. 中华人民共和国水利部. (Technical Standard for Determination of Sediment Particle Size in open Channels, SL42-2010[R]. The Ministry of Water Resources of the People's Republic of China)