

潮汐河口汊道治理的数值模拟

何杰, 辛文杰

(南京水利科学研究院 水文水资源及水利工程科学国家重点实验室, 江苏 南京 210029)

摘要: 河口地区受径流和潮流共同作用, 水流运动十分复杂. 河口汊道治理中, 应把分汊河道与相邻水域作为一个整体进行研究. 概化河口汊道地形, 采用数学模型对整治、疏浚及整治与疏浚相结合方式工程前后的水流运动进行模拟计算. 计算结果表明, 丁坝群可有效提高治理汊道内的主槽流速, 但分流比减小; 疏浚可增加汊道水深, 增加分流比, 但流速增加不明显; 整治与疏浚相结合的方式既能增加汊道水深又能提高主槽流速, 而对分流比影响较小, 可作为河口汊道治理的一种优选方式.

关键词: 潮汐河口; 汊道治理; 丁坝; 疏浚; 数值模拟

中图分类号: TV148.3

文献标识码: A

文章编号: 1009-640X(2008)01-0061-06

Numerical simulation of regulation for tidal estuary inlet

HE Jie, XIN Wen-jie

(State Key Laboratory of Hydrology, Water Resources and Hydraulic Engineering, Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China)

Abstract: The current flowing in the estuary controlled by stream and tide is very complex. The regulation for a bifurcated estuary differs from that for a single river, and the bifurcated river with a conjoint water area is to be considered in the system analysis as a whole. The flowing current is simulated by the mathematical model after regulating or dredging in the estuary inlet. The calculation shows that the flow velocity can be improved in the regulated inlet with very little change of flow direction, by using a group of spur dikes. The dredging can increase the depth of the regulated inlet directly, but the flow velocity isn't improved evidently. When regulating and dredging are jointly applied, some disadvantages can be weakened. As a result, the method of regulating and dredging is a better way for the estuary inlet, with river bed deepened, change of discharge ratio being little and flow velocity increasing obviously.

Key words: tidal estuary; inlet regulation; spur dike; dredging; numerical simulation

潮汐河口位于河流末端, 是河流与外海相接的地方, 动力因素十分复杂, 受径流和潮流的共同作用, 普遍存在分汊现象. 对于汊道的治理, 应建立在对汊道的形成、发展及相邻汊道的相互影响关系的基础上, 确定适

收稿日期: 2007-04-29

基金项目: 水利部科技创新项目(SCX2003-03)

作者简介: 何杰(1979-), 男, 河南焦作人, 博士研究生, 主要从事河口海岸工程研究. E-mail: jhe_nhri@126.com

合整个河口地区的汉道治理方式. 河口汉道治理, 一般采用整治和疏浚两种措施. 整治是一项带有根本性的措施, 但一次投资大, 时间长, 技术复杂; 而疏浚常常可以很快满足航深要求, 但维护性疏浚量往往很大. 在实际工程中, 河口汉道治理多采用整治和疏浚相结合的方式. 整治方式多采用导堤或丁坝群, 调顺水流使河滩上的水流集中到河槽内, 挖深河槽则可在增加水深的同时增加进入该汉道内的流量. 汉道的治理应与相邻汉道和水域作为一个整体来考虑, 工程治理后不仅能改善该汉道的通航条件, 而且还不能影响其他汉道和整个河口的原有状态.

本文采用数学模型, 对一个简单而有代表性的河口汉道进行水流运动模拟. 通过对某汉道的治理方式 (包括整治、疏浚以及二者相结合) 的比较, 以及工程对其他汉道和整个河口地区的影响, 来寻求汉道治理的最佳途径.

1 数值模拟方法

对于平面二维潮流数学模型, 本文采用交通部技术规程所推荐的 ADI 法进行求解. 在笛卡尔直角坐标系下, 根据静压和势流假定, 沿垂向平均的二维潮流基本方程可表示为:

$$\text{连续方程: } \frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}[(h + \zeta)u] + \frac{\partial}{\partial y}[(h + \zeta)v] = 0 \quad (1)$$

$$\text{动量方程: } \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} - fv + g \frac{\partial \zeta}{\partial x} - \frac{\tau_x^s - \tau_x^b}{\rho_\omega(h + \zeta)} = \varepsilon_x \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) \quad (2)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + fu + g \frac{\partial \zeta}{\partial y} - \frac{\tau_y^s - \tau_y^b}{\rho_\omega(h + \zeta)} = \varepsilon_y \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) \quad (3)$$

上述各式变量的物理意义和参数的选取以及具体的求解过程见参考文献[1].

2 模型设计

为了研究河口汉道的共性, 根据河口地区汉道分叉的特点概化出一种简单而又有代表性的分叉河口地形^[2]. 地形概化见图 1, 图中河口地区范围东西长 35 km、南北向 15 km. 河口单一分叉, 两汉对称分布, 各段采用滩浅槽深类似梯形的断面形态. 对称分布的优点在于工程前两汉道的水动力特性具有相似性, 便于工程后的比较. 文中称位于江心洲北侧的汉道为北支汉道, 南侧为南支汉道.

拟采用 3 种方案对河口汉道进行治理. 方案一: 采用对口丁坝群 (两岸丁坝坝头位置相对). 丁坝群可以束窄河道, 增加河槽流速及河道单宽流量, 达到冲刷河床增加水深的目的, 且水流流过坝间比较平顺, 流态良好; 方案二: 疏浚即挖深河道直接增加通航水深来满足通航要求; 方案三: 同时在南支汉道实施丁坝群和挖槽. 前两种整治措施平面布置见图 2.

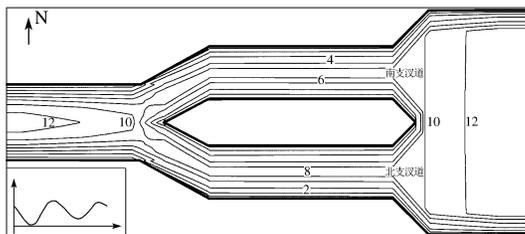


图 1 河口汉道概化地形

Fig. 1 General terrain of estuary inlet

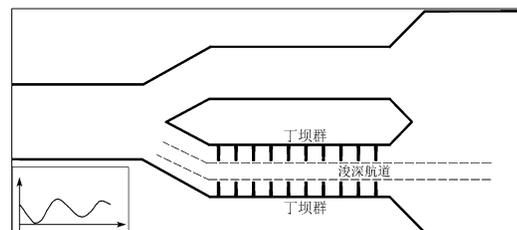


图 2 汉道治理工程平面示意图

Fig. 2 Layout of regulation works in estuary inlet

3 计算成果分析

3.1 流态变化

两汊道具有对称性,其水动力运动特点也具有对称性.图3为工程前的平面流态图,从计算结果可以看出,两汊道的断面流速、河槽沿程流速、沿程水面线以及通过汊道的流量等物理量都比较接近.落潮时,上段水流分成两股水流,进入汊道后水流平顺,流速分布呈河滩小主槽大.汇合点处两股水流的主流并未立即汇合,而是在水流惯性力的作用下继续向前运动,待惯性力消耗到一定程度后再汇合,故在汇合点后及河口口门扩散的两侧形成回流区.从落潮到涨潮的潮流转向过程的断面流速分布示意图可以看出,转流首先发生在河道的两侧,而后是河槽主流进行转向.这主要是因为河道两侧水深小于主槽,根据惯性力与质量成正比的原理,两侧水流惯性力较小,容易被改变.

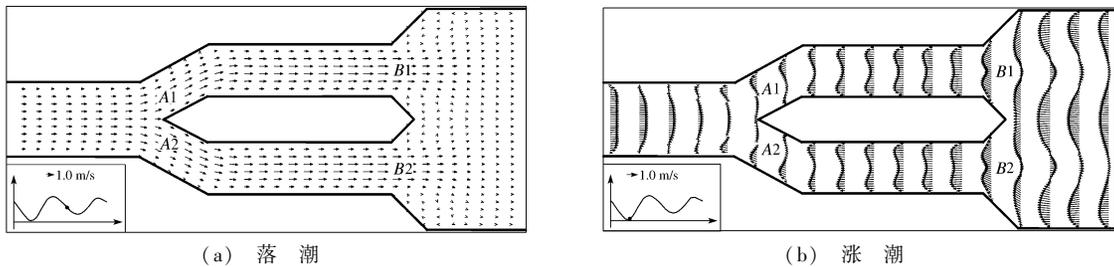


图3 工程前落潮及落转涨过程断面流速分布示意图

Fig.3 Current field of ebb tide and velocity distribution from ebb to flood

当在南支汊道实施对口丁坝群工程后,其涨落潮平面流态见图4.可见,无论涨潮还是落潮期间,南支汊道的主槽水流都比较平顺,横向流很微弱,在两侧丁坝区的回流流速也很小,能满足通航需要.两支分汊处的A1和A2区,流场已不具有相似性,A1区的流速明显大于A2区;两支汇合处的B1和B2区的流场也不再相似.这主要是由于修筑丁坝缩窄了南支汊道的过流断面,增加了河道对水流的阻力,根据最小能耗原理,进入南支汊道的水流减少,进入北支汊道的水流则增加.图5为丁坝群在涨急和落急时刻的流速变化等值线图.可见,丁坝群的坝田区流速明显小于工程前,进口段流速也有所减小,南支汊道河槽中心线附近流速增大;北支汊道的水流流速略有增大.

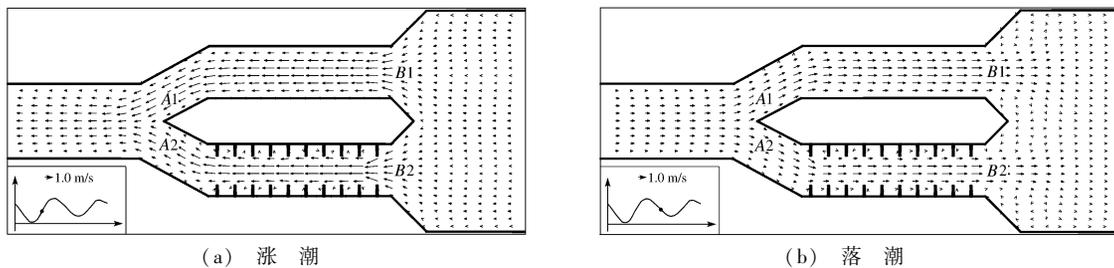


图4 方案一涨落潮平面流态

Fig.4 Current patterns of ebb and flood tides of Plan One

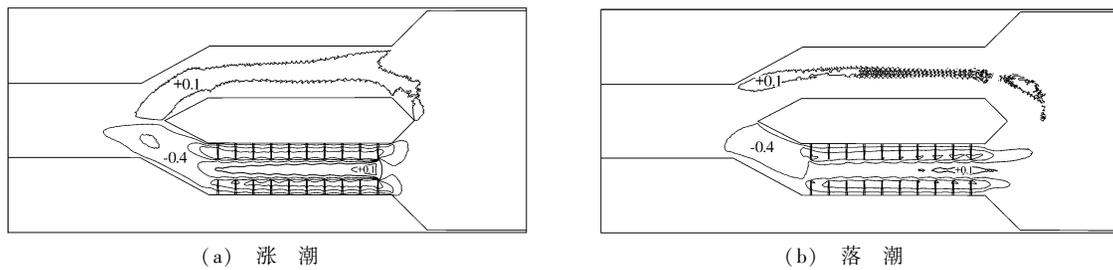


图5 方案一涨落急流速变化示意图

Fig.5 Variety of ebb and flood flow velocity of Plan One

3.2 河道沿程流速变化

河槽沿程流速是维持航道稳定的重要指标. 南北两支汉道采样点涨潮平均流速统计结果见图6. 可见, 丁坝群缩窄了整个南支汉道的过流断面, 虽减小了该汉流量及汉道进口段的河槽流速, 但汉道内由于断面缩窄, 位于主槽各点的流速却有所增大, 涨潮期间流速增大比较明显, 增加幅度自上游向下游逐渐变大. 水流流出汉道后, 由于没有丁坝群的约束, 该段水流流速小于工程前. 南支汉道疏浚后, 水深加大, 过流断面相应增大, 流速增大主要表现在汉道的进口段; 而在汉道开挖段, 虽然进入该汉道的水量增加, 但由于过流断面的增大, 南支汉道的流速增大不明显. 当方案三实施后(丁坝群+疏浚), 涨潮阶段南支汉道内的平均流速明显大于挖槽前, 增幅约为10%; 汉道入口段的平均流速比方案一(对口丁坝群)的增幅高达10%, 略小于工程前. 落潮阶段与涨潮类似.

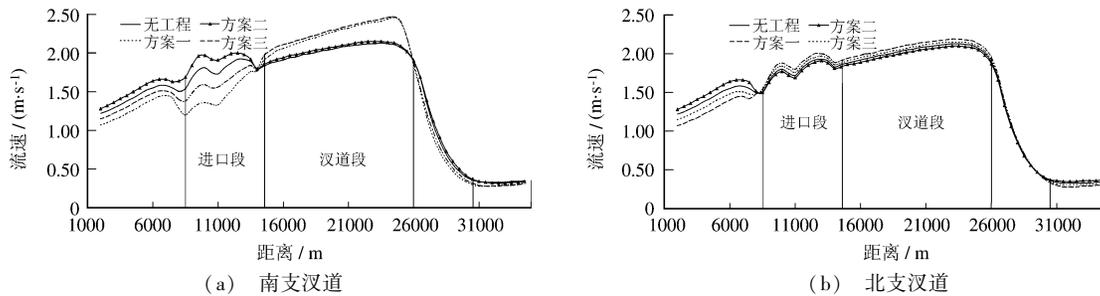


图6 两支汉道主槽沿程涨潮流速比较

Fig.6 Velocity comparison of different plans along the main channel of two inlets

南支汉道的丁坝不仅改变了南支的水流运动, 也影响了北支汉道的水流运动. 如果把两支汉道看作一个整体, 则丁坝增加了水流的阻力, 减小了水流流量, 流速也相应减小. 北支汉道内流速有所增加, 这是由于工程后南支汉道的水流阻力大于北支汉道所致.

3.3 分流比变化

分流比表示通过某支汉道的流量占整个河口地区流量的百分比. 分流比的大小直接决定分汉河口各支汉的兴衰, 影响航道变迁和防洪布局等. 对于本文的单一分汉、对称分布的河口地形而言, 工程前通过两汉的流量各占一半. 3种方案计算的南支汉道分流比分别为0.44(方案一), 0.52(方案二)和0.48(方案三), 相应地, 北支的分流比分别为0.56, 0.48和0.52. 方案一(丁坝群)工程后, 南支汉道流量减小, 在该汉道实施疏浚后, 分流比将增加; 方案三的分流比处于前两种方案之间, 略小于工程前. 若丁坝群与疏浚工程搭配较好情况下, 可以使通过南北两支汉道的流量与工程前基本一致.

3.4 河道水面线沿程变化

河道水面线沿程变化即水面比降的变化反应了河道阻力的变化. 工程前, 两支汉道的沿程水流阻力相同, 其水面线沿程变化也相同. 丁坝群改变了南支汉道的水面比降(见图7), 在汉道入口段, 水面比降小于工

程前;而汉道内的水面比降比工程前增加了一倍,流速也比工程前有所增加.北支汉道的水面线也有变化,工程后水面比降比工程前略有增加,增加幅度小于南支汉道.疏浚工程对两汉道的水面线沿程变化影响较小,这与丁坝群引起的水面线变化有很大的不同.方案三只对南支汉道水面线变化产生细微影响,对北支汉道的沿程水面线几乎没有影响.

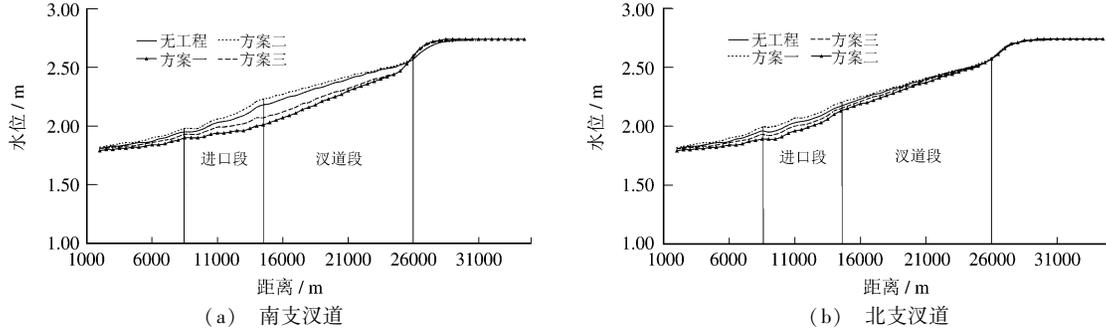


图7 两支汉道主槽沿程水位变化比较

Fig. 7 Water level comparison of different plans along the main channel of two inlets

3.5 流迹线变化

流迹线变化也可直接反应河道对水流阻力的变化.工程前,布置在入口处的10个粒子进入南北汉道各有5个,且南北两支汉道内的粒子运动轨迹呈对称分布(见图8).丁坝群工程实施后,南支汉道过流阻力增加,只有3个粒子进入汉道内,且相对于工程前的运动路径有所减短.方案二南支汉道主槽浚深后,该汉道的水流阻力减小,工程前的5个粒子不仅都进入南支汉道,而且其运动路径比原来有所增加.方案三时南支汉道粒子运动情况介于方案一和方案二之间,即有5个粒子进入南支汉道,运动轨迹线路径也介于方案一与方案二之间.北支汉道5个粒子运动轨迹受南支治理工程的影响较小.

水质点运动的方向和路径长短与汉道对水流的阻力大小密切相关.丁坝群增加了南支汉道的水流阻力,河槽浚深可减小水流阻力,合理搭配可使工程前进入该支汉道的5个水质点保持原有的运动轨迹.相应地北支汉道的水流条件也不会受到影响.

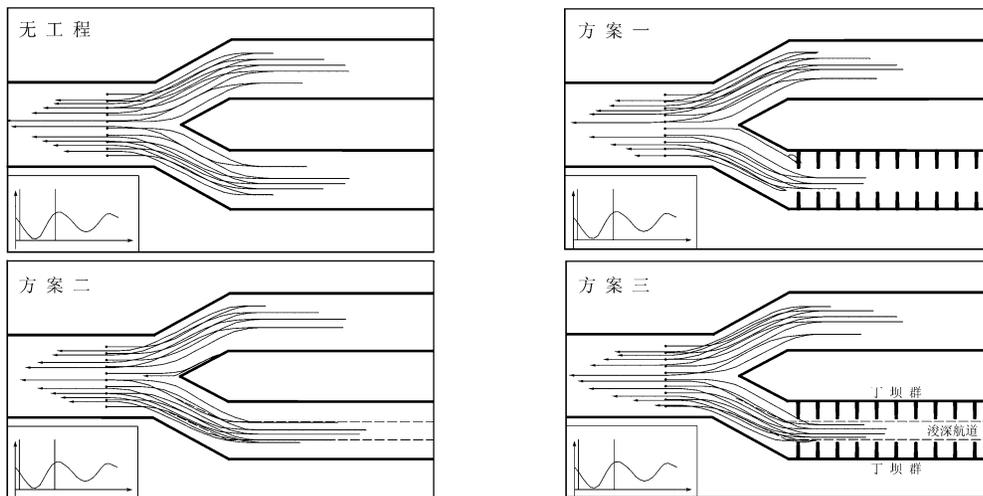


图8 工程前后水质点运动轨迹比较

Fig. 8 Comparison of water particle moving tracks after regulation

4 结 语

采用潮流数学模型对单一分汊、对称分布的河口汊道水流运动进行模拟计算,以丁坝群、挖槽以及两者同时进行的方式在南支汊道进行工程治理,比较3种方案与工程前的流态、主槽流速、水面线变化以及水质点运动轨迹线的变化,得到以下几点结论:

(1) 河口汊道的水流运动不仅受河口上下游的影响,还受相邻汊道的影响.对于汊道的治理要立足于整个河口地区,既要考虑治理汊道水流条件的改善,也要考虑到治理工程对相邻汊道以及整个河口地区的影响;

(2) 丁坝缩窄了汊道断面,增大了河槽流速,丁坝群可以提高整个整治河段内的流速.疏浚挖槽能提高过流能力,但汊道内流速的提高不明显,挖槽对分流比的影响要小于丁坝群;

(3) 整治与疏浚相结合方案既提高了南支汊道的河槽流速,又增加了河床水深,可以作为河口汊道治理的优选方案;

(4) 计算结果表明,丁坝对北支汊道的影响较大,挖槽和组合方案对北支汊道水流影响较小.工程实施后,汊道进口段的流速变化比较明显,其变化与该汊道的分流比变化密切相关,流速变化大易造成该段河床冲淤变化剧烈.应重视对汊道进口段的治理.

实际工程中,水流运动的变化大都会引起河床的冲刷或淤积,通过泥沙运动模拟和河床变形过程的模拟会更接近实际.本文仅对水流运动进行了模拟,河床形态不因水流运动而改变,在同等条件下,对各种治理方案的计算结果仍具有可比性.

参 考 文 献:

- [1] 辛文杰. 潮流、波浪综合作用下河口二维悬沙数学模型[J]. 海洋工程, 1997, 15(2): 30-47.
- [2] 何杰. 潮汐河口汊道治理数值模拟研究[D]. 南京: 南京水利科学研究院, 2006.

第八届混凝土和混凝土结构蠕变、收缩与耐久性国际会议

时 间: 2008 年 9 月 30 日 ~ 10 月 2 日

地 点: 日本 伊势志摩

会议议题: 蠕变和收缩的微观机理与微观力学; 水泥基材料蠕变与破裂之间的相互作用; 早龄混凝土特性; 蠕变、收缩和耐久性的本构模型和计算方法; 腐蚀性环境下混凝土结构的破坏及其模拟; 混凝土结构耐久性的监测; 新混凝土制品的蠕变和收缩; 减小收缩的方法; 混凝土结构蠕变、收缩和耐久性的标准、规范及其设计.

联系地址: Secretariat of CONCREEP 8, Department of Civil Engineering, Nagoya University
Furoh-cho, Chikusa-ku, Nagoya, 464-8603, Japan

E-mail: CONCRP8@civil.nagoya-u.ac.jp

网 址: <http://concreep8.jp/>