

DOI: 10.16198/j.cnki.1009-640X.2016.01.017

周志敏, 徐群, 雷蕾. 瓯江口滞流点运动规律数值模拟[J]. 水利水运工程学报, 2016(1): 116-121. (ZHOU Zhi-min, XU Qun, LEI Lei. Numerical simulation of characteristics of motion of stagnation point in Oujiang River estuary[J]. Hydro-Science and Engineering, 2016(1): 116-121.)

瓯江口滞流点运动规律数值模拟

周志敏^{1,2}, 徐群¹, 雷蕾²

(1. 南京水利科学研究院, 江苏 南京 210029; 2. 温州市水利局, 浙江 温州 325000)

摘要: 利用 MIKE21 软件建立瓯江口二维水流数学模型, 研究不同径、潮流条件下滞流点位置的移动规律, 并结合历史资料, 分析了滞流点迁移对河口拦门沙的动力影响。研究表明: 径、潮流动力的改变, 会改变滞流点的位置, 其移动规律与口门拦门沙浅滩演变有密切关系。径流量较小时, 滞流点上溯, 在南北口内均形成滞流点活跃的动力平衡带, 口外拦门沙冲刷; 当径流量增大时, 南北口滞流点下移引起拦门沙淤积, 但向口外延伸的程度将受到分流比和河床地形的影响。

关键词: 瓯江口; 数值模拟; 滞流点; 动力平衡带; 拦门沙

中图分类号: TV148

文献标志码: A

文章编号: 1009-640X(2016)01-0116-06

滞流点概念的提出最早可追溯至美国学者西蒙斯(H. B. Simmons)提出的水流优势程度(Predominance of flow)理论^[1]; 在感潮河口沿河道设若干测点, 分别求出各个测点全潮流速过程线涨、落潮流速曲线与时间轴包围的面积, 即涨、落潮单宽流量过程线包络面积 A_f 和 A_e 。计算参数 $\phi = A_e / (A_f + A_e) \times 100\%$, 若 $\phi > 50\%$, 则下泄流占优势; 若 $\phi < 50\%$, 则上溯流占优势; $\phi = 50\%$ 时, 表明涨落潮流程相等, 这个位置即滞流点位置。近年来随着对河口水沙输移机理研究的深入, 认为潮汐河口径、潮平衡区域受咸潮影响产生密度流, 即表层向海, 底层向陆的环流结构, 底部水流从净的上溯流转变为净的下泄流的地点即为滞流点^[2]。1955年 D. W. 普理查德以盐度扩散方程为基础, 把河口盐淡水混合类型概括为4种典型情况^[3]: A型为高度分层型, 或称盐水楔型, 如珠江磨刀门河口; B型为部分混合型, 如长江口; C型为垂直均匀强混合型, 如钱塘江河口; D型为全断面均匀混合型, 自然界中并不多见, 仅在数值模拟中有所应用。瓯江河口是强混合型(C型)为主的河口^[3], 盐淡水混合强烈, 垂向均匀混合, 潮流十分强劲, 而径流相对较弱, 受盐水入侵滞流点变动范围较大, 一年中大部分时间盐淡水处于高度混合状态, 垂向盐度梯度很小, 仅在径流量特别大时局部出现缓混合。研究认为对于强混合河口而言, 河口径潮流动力平衡点与滞流点存在一致对应关系, 可采用优势流方法研究滞流点^[3-4]。

目前对滞流点的定义和理解虽不尽相同, 但认为滞流点的运动规律依赖于径、潮流动力的强弱, 其位置变化直接体现在对河口地貌形态的塑造过程中。滞流点频繁移动的区域(即动力平衡带)在河口沉积过程中对泥沙的聚集和沉降起着十分重要的作用, 在底部水流作用下, 泥沙有向此处集中运移的趋势, 引起滞流点附近泥沙富集落淤^[2-3], 所以该区段最易出现拦门沙, 对入海航道产生明显影响。研究河口滞流点的变化规律, 对于分析河口段径流和潮流变化过程和拦门沙的形成有现实意义。

大量研究表明, 滞流点位置受径流、潮流、潮差以及地貌等影响呈动态变化, 并且对河口拦门沙的发育有重要影响^[4-5]。沈焕庭等^[5]依据大量的实测资料对我国一些大型河口进行了系统研究, 认为河口最大浑浊带与涨落潮优势转换地带(滞流点)存在一致的对应关系; 徐群等^[4]通过对瓯江口径潮流动力平衡特点的研

收稿日期: 2015-03-09

作者简介: 周志敏(1989—), 男, 江苏苏州人, 硕士研究生, 主要从事河口水动力学研究。E-mail: zhouzmNHRI@163.com

究,分析了河口拦门沙长期存在的原因;李泽刚^[6]探讨了黄河口滞流点位置与径流及潮流的关系,进而研究了拦门沙的形成机理;顾伟浩^[7]拟合了径流、潮差和水深3个主要因子下长江口南槽滞流点变化的回归方程,得出的滞流点位置与拦门沙区域较为吻合;杨云平等^[8]分别从实测资料、物理模型及数学模型等角度,研究了长江口滞流点和最大浑浊带的成因及演化规律,得出:随流量增加滞流点以正比关系向外海下移,潮流增大、海平面上升时滞流点都将向口内上溯,对于河口呈往复流特性的水域,潮差增加时滞流点也将向口内上溯。近年来,二维水流数学模型在优势流和滞流点的研究中已广泛应用。

本研究采用丹麦水力研究所(Danish Hydraulic Institute)开发的MIKE21水动力软件建立瓯江口平面二维水流数学模型,定量模拟不同径流动力条件下滞流点迁移现象,并在已有研究成果基础上,分析径、潮流动力平衡的转换对拦门沙演变的影响规律。

1 瓯江口二维水流数学模型

瓯江口位于著名的强潮海区——温州湾北部,属于山溪性强潮河口。河口附近海域潮汐为正规半日潮,潮高不等现象较为明显,通常涨潮历时小于落潮历时,海区潮差大,河口潮差由温州湾经口门向内逐渐增大,至龙湾附近最大,可达8 m以上,然后向上游递减^[9]。潮流属正规半日潮流类型,呈往复流动,潮流动力强劲。径流具有典型山区河流特征,洪峰流量大,形成历时短,根据圩仁站多年实测资料统计,最大洪峰流量22 800 m³/s(1952年7月20日),最小流量10.6 m³/s(1967年10月20日),洪枯水之比达2 000倍,径流下泄时对涨潮流有阻碍作用,径流超过5 000 m³/s时,梅岙已无涨潮流;径流超过12 000 m³/s时,温州已无涨潮流^[10]。出海口由灵昆岛分为南北两口入海,其中北口水深大,航槽长期稳定;南口于1979年上段抛筑潜坝,又因温州浅滩工程的需要,于2001年将潜坝加高到1.2 m左右(吴淞基面),自从实施南口潜坝工程以来,潜坝外侧的南口河段河床不断淤高,低潮时大片浅滩露出,南口已日趋衰亡。由于口外岛屿众多,加之温州浅滩床面不断淤高,对于外海传入波浪起到了较好的阻挡作用^[4],因此本研究不考虑波浪影响。

1.1 控制方程

模型基于二维不可压缩和Reynolds值均分布的Navier-Stokes方程,并服从Boussinesq涡黏假定和流体静压假定,采用有限体积法求解,模型控制方程如下。

连续性方程:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + h \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) + u \frac{\partial h}{\partial x} + v \frac{\partial h}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

x 方向动量方程:

$$\begin{aligned} \frac{\partial h\bar{u}}{\partial t} + \frac{\partial h\bar{u}^2}{\partial x} + \frac{\partial h\bar{u}\bar{v}}{\partial y} = f\bar{v}h - gh \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{h}{\rho_0} \frac{\partial P}{\partial x} - \frac{gh^2}{2\rho_0} \frac{\partial \rho}{\partial x} + \frac{\tau_{sx}}{\rho_0} - \frac{\tau_{bx}}{\rho_0} - \\ \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial S_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial S_{xy}}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial x} (hT_{xx}) + \frac{\partial}{\partial y} (hT_{xy}) + hu_s S \end{aligned} \quad (2)$$

y 方向动量方程:

$$\begin{aligned} \frac{\partial h\bar{v}}{\partial t} + \frac{\partial h\bar{v}^2}{\partial y} + \frac{\partial h\bar{u}\bar{v}}{\partial x} = -f\bar{u}h - gh \frac{\partial \eta}{\partial y} - \frac{h}{\rho_0} \frac{\partial P}{\partial y} - \frac{gh^2}{2\rho_0} \frac{\partial \rho}{\partial y} + \frac{\tau_{sy}}{\rho_0} - \frac{\tau_{by}}{\rho_0} - \\ \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial S_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial S_{yy}}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial x} (hT_{xy}) + \frac{\partial}{\partial y} (hT_{yy}) + hv_s S \end{aligned} \quad (3)$$

式中: t 为时间; x, y 采用右手Cartesian坐标系; η 为自静止海面向上起算的海面波动(潮位); h 为海底到静止海面的距离; u, v 分别为流速在 x, y 方向上的分量; P 为当地大气压; ρ 为水密度, ρ_0 为相对水密度; $f = 2\Omega \sin\varphi$ 为科氏力参数; $f\bar{u}$ 和 $f\bar{v}$ 为地球自转引起的加速度; g 为重力加速度; $s_{xx}, s_{xy}, s_{yx}, s_{yy}$ 为辐射应力分量; $T_{xx}, T_{xy}, T_{yx}, T_{yy}$ 为水平黏滞应力, S 为源汇项, (u_s, v_s) 源汇项水流流速; $\tau_{sx}, \tau_{sy}, \tau_{bx}, \tau_{by}$ 分别为 x 和 y 方向上的

表面风力和床面剪切力。

1.2 模型建立

模型范围如图1所示:上游边界至圩仁站,外海边界至20 m等深线处,研究区域包括瓯江口内外、乐清湾和温州湾部分海域,其中连通灵昆岛及霓岙岛的灵霓北堤于2005年2月全线出水贯通,堤顶高程8.5 m(吴淞基面),故将大堤设置为固边界较符合实际情况。计算域采用不规则三角形网格剖分,最小空间步长为30 m,三角形网格节点36 438个,三角形单元71 406个。模型上边界采用实测流量过程线,外海开边界由8个主要分潮的调和常数计算求得^[11],糙率取值范围0.014~0.021^[12]。

1.3 模型验证

采用2005年6—7月的实测水文资料对模型计算结果进行验证。经过反复调试,对大、中、小潮进行了复演,各测流断面计算潮位、流量过程与实测潮位、流量过程基本吻合,计算过程与实测过程的相位一致。验证结果表明,数学模型计算结果与实测资料吻合较好,符合精度要求,可以利用此模型开展进一步的研究。

2 计算结果

为准确研究径流与潮流条件对河口动力状态的影响,分别模拟不同边界条件下的水流运动(表1),对比分析南北口滞流点的移动特征。各采样点设置如图2所示,根据前文中的 ϕ 计算式算出各采样点的 ϕ 值,从而得到滞流点。

表1 模型计算条件

Tab. 1 Conditions of model calculation

上游边界(圩仁站)	外海开边界	
	潮型	潮差/m
多年平均流量 $Q=460 \text{ m}^3/\text{s}$		
多年平均洪水流量 $Q=3\ 000 \text{ m}^3/\text{s}$	大潮	5.59
50%频率流量 $Q=8\ 890 \text{ m}^3/\text{s}$	中潮	4.98
20%频率流量 $Q=13\ 100 \text{ m}^3/\text{s}$	小潮	3.74

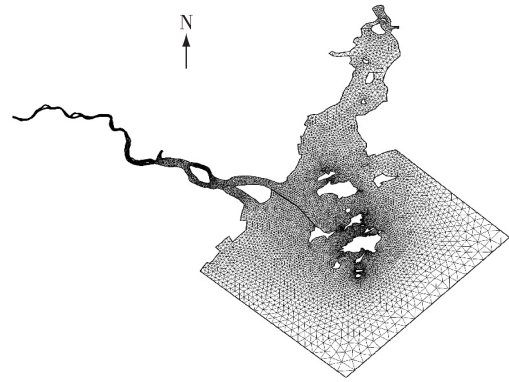


图1 计算域网格

Fig. 1 Sketch map of grids

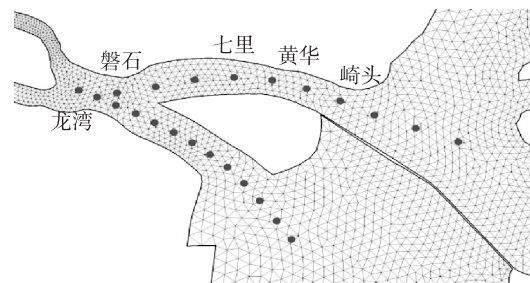


图2 采样点位置

Fig. 2 Sketch map of analysis points

南北口不同边界条件下的优势流曲线如图3所示,其中纵坐标为水流优势程度 ϕ ,横坐标为距龙湾采样点的沿程距离。从图3可见,不论何种潮型,滞流点运动现象总体基本一致。各汉道都存在滞流点位置随径流增加而下移的现象,相对而言,滞流点位置变化受潮流的影响较弱。然而,南北口汉道滞流点的位置和移动范围并不完全对应。

当径流量较小时,径流作用较弱,潮流为河口段主导动力因素,滞流点位置上溯。南北口滞流点活动范围均在口内摆荡,形成了不同长度的动力平衡带。其中北口段范围为七里至崎头段,长约8 km;南口由于南口潜坝的影响,纳潮量较小,径、潮流动力均较弱,自潜坝至口外形成了长约10 km的动力平衡带,这与南口河床不断淤高相应。此外可以发现,当径流量小于多年平均洪水流量 $3\ 000 \text{ m}^3/\text{s}$ 时,在龙湾处也存在一个滞流点,说明此处潮流与径流势均力敌。造成这种现象一方面有潮流上溯的动力大幅减弱、径流动力不断增强的原因;另一方面与此处独特的地形条件密不可分。七都南北两汉落潮主流汇合于龙湾凹岸,加之七都岛末端炮台沙矾头的挑流作用,在此处产生了缓流区,上溯盐水与下泄淡水在此充分作用,所以龙湾附近含沙量

极大,这也从动力因素的角度解释了龙湾庞大规模沙滩得以发育的原因。

流量较大时,径流动力相对增强,对河口潮流有巨大的阻碍作用,口内涨落潮流速受洪水影响程度大于口外。此时,径流是河口段的主导动力因素。灵昆岛北侧的磐石至崎头是潮流作用最强河段,落潮流速普遍大于涨潮流速。出北口崎头后,水域开阔,水流分别向温州浅滩、中水道和北水道方向扩散,径流动力的影响逐渐减弱,落潮流速在拦门沙一带迅速减小,使滞流点位置延伸至口外。同理,南口滞流点也下移,但其位置明显延伸至更远。南口虽然落潮分流比不足30%,但由于潜坝高度仍在中潮位下,较大径流量时落潮流仍有较大流量,加之其河槽宽浅顺直,落潮流速得以显著增大;同时由于河床不断萎缩、河床淤高的影响,通过底层上溯的水量远小于北口,使得环流结构较弱,因而滞流点下移距离大于北口,使其滞流点位置更靠海。该特征与两汉迥异的河床地形和稳定的汉道分流比特点相一致。

综合瓯江口南北口汉道滞流点位置,得出多年平均流量条件下南北口滞流点移动距离的范围,此范围即为径、潮流势均的动力平衡带。相比较而言,当径流较小时,南北口在口内都存在较长的动力平衡带,其中北口滞流点上溯至七里,下界面可达口外,活动范围约为8 km;南口滞流点活动范围上界面在潜坝附近,下界面可达口外较远处,活动范围约10 km。当径流增加时,潮流动力对于口内的作用逐渐减弱,使得两汉滞流点位置均下移延伸至口外。这与瓯江口口内河床洪冲枯淤的特点相吻合。

3 径流对河口地貌的影响

河口段存在着径流和潮流两个主要的动力因素,这两者在塑造河口河床断面形态、维持河口水下地貌形态中起着主要作用,所以这两种力量的消长必然会影响河床的变化。历年水下地形资料表明,瓯江径流来沙量不大,口内河床断面冲淤变化受上游洪水来量影响很大,明显具有洪冲枯淤的变化规律。

受上游进口磐石矾头和下游出口崎头矾头的约束,北口发育为一微弯河道,河道上宽下窄。作为入海主通道,北口径流和潮流动力强劲,滩槽相对稳定,其深槽水深历年变化不大。通过数学模型计算的流态分析表明,北口断面落潮历时长、落潮流速大,即使在流量较小的情况下,北口仍以落潮流为主;其次弯道深槽垂线落潮流速大于涨潮流速,而在凸岸边滩上,涨潮流速大于落潮流速,造成两岸涨落潮流路分歧,从而形成了弯道环流。在弯道环流和落潮优势流长期作用下,弯道凹岸深槽冲刷发展,动力平衡带内的泥沙向凸岸边滩大量堆积,形成沙坎,如图4所示。

南口是较典型的宽浅顺直河段,全长仅7 km,长期以来,南口河床处在缓慢的淤积过程之中。由于南口潜坝阻断了北侧的2 m深槽,南口汉道对于涨潮流阻力的增加要大于北口汉道,加之受较少的分流分沙比影响,泥沙在动力平衡带内大量落淤,无法形成深槽。随上游径流量增大,口内落潮流优势不断增大,所以自潜坝开始,动力平衡带内的泥沙向下输移,上下边滩连成一体,甚至在中部淤积成为心滩。

根据优势流计算结果分析,当径流增大时,北口口门外落潮优势度并未明显增加,一方面是因为上游径流有加大落潮流速、减小涨潮流速作用的原因;另一方面是由于口外受径流动力的作用明显减弱,即涨落潮流速受径流影响程度口内大于口外,这与北口外长期存在大面积的拦门沙浅滩——三角沙有必然的联系。

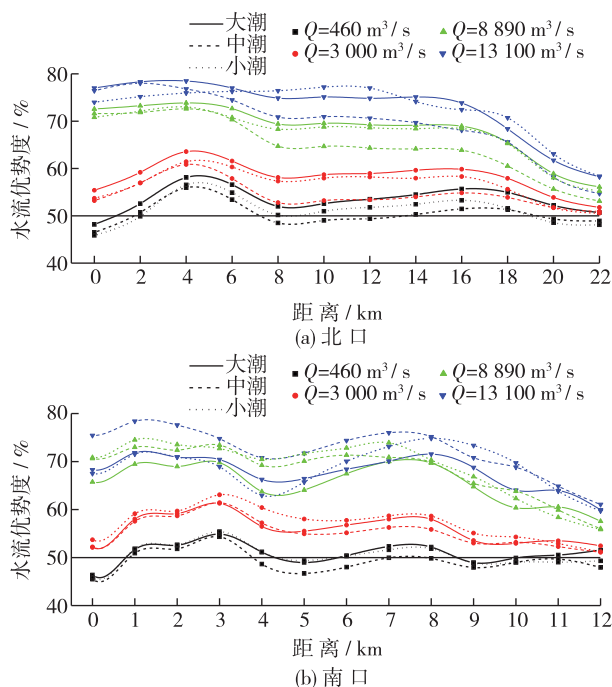


图3 瓯江河口优势流曲线以及滞流点位置纵向分布

Fig. 3 Curves of predominant current and location of stagnation point in Oujian River estuary

北口落潮水流出崎头后,水域开阔,涨落潮冲刷力量均减弱,水流漫溢扩散,流速迅速减小,在拦门沙浅滩顶部流速最小,流域来沙中的细颗粒泥沙在此大量落淤,这是三角沙形成的原因之一。此外,历史资料表明,洪季流量较大时是流域输沙的主要时期,此时径流含沙量通常也较大,口内落潮优势较大,随着滞流点位置下移,径流泥沙遇盐水而絮凝沉降,向底层集积,并在底层上溯流的作用下,向滞流点附近汇聚成高含沙量区,这是三角沙形成的原因之二。伴以上述原因以及风浪等因素的影响,三角沙得以在口门附近发育并且长期存在。由北口优势流计算可知,在上游流量小于多年洪季平均流量 $3\ 000\ \text{m}^3/\text{s}$ 时,滞流点上溯至北口以内,涨潮流优势使得三角沙发生冲刷。综上所述,北口拦门沙具有洪淤枯冲的变化规律,其部位相对固定,并且与多年平均洪季流量相应,这与多年实测水下地形资料基本一致。

径流和潮流的消长是导致滞流点位置迁移的主要原因,滞流点频繁上溯或下移的变化对河口地貌演变具有深远影响。口外拦门沙呈洪淤枯冲的趋势,而口内河床却相反,这与滞流点位置的迁移规律相符。根据历史资料,1990—2000年是连续丰水年,洪水频发,多次洪水过程峰值流量超过 $10\ 000\ \text{m}^3/\text{s}$,滞流点位置下移至口外,拦门沙淤积,而南北两汉口内河床却均发生较大的冲刷,说明本研究结果与实际情况相符。

4 结 语

利用 MIKE21 软件建立瓯江口二维水流数学模型,并对瓯江口南北口汉道滞流点的移动规律进行了定量分析,得出以下结论:①北口滞流点活动范围多年来变化不大,在口内七里至崎头段形成了长约 8 km 的动力平衡带,该动力平衡带的形成与多年平均径流量一致;南口滞流点活动范围较广,上溯可至潜坝附近,下移可达口外。②作为表征河口拦门沙河段水动力特征的重要指标,滞流点迁移范围与口门拦门沙浅滩的消长关系密切。本研究对于认识河口段径潮流动力变化和口外拦门沙现象有积极意义。

参 考 文 献:

- [1] SCHULTZ E A, SIMMONS H B. Fresh water-salt water density currents, a major cause of siltation in estuaries [M]. United States: Committee on Tidal Hydraulics, 1957.
- [2] 王昌杰. 河流动力学 [M]. 北京:人民交通出版社, 2004. (WANG Chang-jie. River dynamics [M]. Beijing: China Communications Press, 2004. (in Chinese))
- [3] 严恺. 中国海岸工程 [M]. 南京:河海大学出版社, 1992. (YAN Kai. Chinese coastal engineering [M]. Nanjing: Hohai University Press, 1992. (in Chinese))
- [4] 徐群, 蒋燕, 王俊. 强潮河口径潮流动力平衡特点研究 [J]. 水道港口, 2009(1): 20-25. (XU Qun, JIANG Yan, WANG Jun. Study on dynamic balance characteristics of runoff and tidal current for macro-tidal estuary [J]. Journal of Waterway and Harbor, 2009(1): 20-25. (in Chinese))
- [5] 沈焕庭, 贺松林, 茅志昌, 等. 中国河口最大浑浊带刍议 [J]. 泥沙研究, 2001(1): 23-29. (SHEN Huan-ting, HE Song-lin, MAO Zhi-chang, et al. On the turbidity maximum in the Chinese estuaries [J]. Journal of Sediment Research, 2001(1): 23-29. (in Chinese))
- [6] 李泽刚. 黄河口拦门沙的形成和演变 [J]. 地理学报, 1997, 52(1): 54-62. (LI Ze-gang. Formation and evolution of the bar on Yellow River estuary [J]. Acta Geographica Sinica, 1997, 52(1): 54-62. (in Chinese))
- [7] 顾伟浩. 长江口滞流点位置的预测 [J]. 水运工程, 1982(9): 8. (GU Wei-hao. Prediction of the location of the stagnation point in the Changjiang River estuary [J]. Port & Waterway Engineering, 1982(9): 8. (in Chinese))

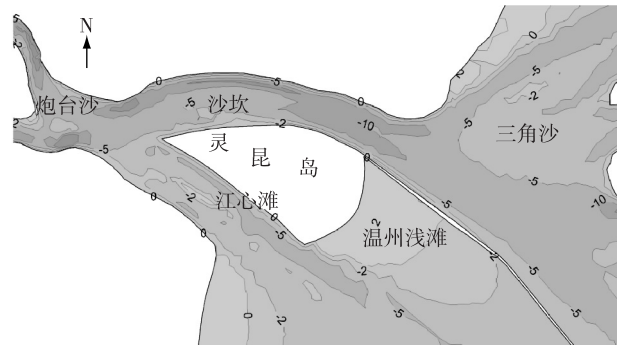


图4 瓯江口水下地形(2005年)

Fig. 4 Sketch map of underwater topography in Oujiang River estuary (2005)

- [8] 杨云平, 李义天, 孙昭华, 等. 长江口最大浑浊带悬沙浓度变化趋势及成因[J]. 地理学报, 2013(9): 1240-1250. (YANG Yun-ping, LI Yi-tian, SUN Zhao-hua, et al. Trends and causes of suspended sediment concentration variation in the turbidity maximum zone at the Yangtze River estuary[J]. Acta Geographica Sinica, 2013(9): 1240-1250. (in Chinese))
- [9] 陆永军, 徐群, 李浩麟, 等. 温州南口工程对防洪影响的潮流数学模型研究[R]. 南京: 南京水利科学研究院, 2007. (LU Yong-jun, XU Qun, LI Hao-lin, et al. Tidal current simulation model of flood control impact for south branch engineering in Wenzhou city[R]. Nanjing: Nanjing Hydraulic Research Institute, 2007. (in Chinese))
- [10] 王顺中, 李浩麟. 瓯江口拦门沙航道回淤分析[J]. 水利水运工程学报, 2006(3): 18-24. (WANG Shun-zhong, LI Hao-lin. Back silting analyses of sandbar-dotted waterway in Oujiang River estuary[J]. Hydro-Science and Engineering, 2006(3): 18-24. (in Chinese))
- [11] 李孟国, 郑敬云. 中国海域潮汐预报软件 Chinatide 的应用[J]. 水道港口, 2007, 28(1): 65-68. (LI Meng-guo, ZHENG Jing-yun. Introduction to Chinatide software for tide prediction in China seas[J]. Journal of Waterway and Harbor, 2007, 28(1): 65-68. (in Chinese))
- [12] 陆永军, 李浩麟, 董壮, 等. 强潮河口围海工程对水动力环境的影响[J]. 海洋工程, 2002, 20(4): 17-25. (LU Yong-jun, LI Hao-lin, DONG Zhuang, et al. Effects of the reclamation projects on hydro-dynamic environment in a strong tide estuary [J]. The Ocean Engineering, 2002, 20(4): 17-25. (in Chinese))

Numerical simulation of characteristics of motion of stagnation point in Oujiang River estuary

ZHOU Zhi-min^{1,2}, XU Qun¹, LEI Lei²

(1. Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China; 2. Water Conservancy Bureau of Wenzhou City, Wenzhou 325000, China)

Abstract: Based on the MIKE21-Flow model, a two-dimensional flow mathematical model has been established to study the characteristics of motion of a stagnation point under different runoffs and tides in the Oujiang River estuary. And based on historical data, this paper analyzes the dynamic effect of the stagnation point migration on the entrance bar. The research results demonstrate that due to the changes of flow conditions, the location of the stagnation point will make appropriate response. And this unique characteristic of motion is in conformity with the evolution of the entrance bar. When river discharge decreases, the stagnation point moves upstream so actively that a dynamic balance zone is formed at both south and north branches, and scouring at the entrance bar occurs. When river discharge increases, affected by the split ratio and the riverbed topography, the stagnation point moves towards downstream with different extensions at the south and north branches, which makes the entrance bar have further deposition. The research results have a great significance in understanding the hydrodynamic changes in the Oujiang River estuary under the influence of the existing works.

Key words: Oujiang River estuary; numerical simulation; stagnation point; dynamic balance zone; entrance bar