

利用潮汐动力整治河口碍航浅滩的试验研究

徐锡荣¹, 李福田¹, 徐松年²

(1. 河海大学水利水电工程学院, 江苏 南京 210098; 2. 南京江河建设公司, 江苏 南京 210015)

摘要 根据珠江三角洲八塘尾河口段的河道形态及潮流特性, 在对潮汐动力可利用性探讨的基础上, 提出了碍航浅滩整治的工程方案, 并进行了冲淤试验. 试验结果表明, 采用鱼嘴工程利用潮汐动力不仅解决了出海航道碍航问题, 而且使洲尾开挖区航道内回淤量明显减小, 是一种行之有效的整治途径. 应指出, 鱼嘴工程方案布设和试验是初步探讨性的, 对于整治工程结构调整和优化组合, 还需进行深入试验研究.

关键词 潮汐河口 航道整治 鱼嘴工程

中图分类号: TV853

文献标识码: A

文章编号: 1000-1980(2001)02-0096-04

1 航道概况

为适应外向型经济的快速发展, 必须改变珠江三角洲封闭的内河运输格局, 对现有航道进行整治. 为此, 广东省航道局制定了珠江三角洲航道整治规划. 整治标准为: 航宽 80 m, 航深 4.0 m, 航道最小弯曲半径 $R = 500$ m. 八塘尾河口段(图 1)位于珠江三角洲沙湾水道和浮莲岗水道交汇处, 出口与狮子洋相连, 其间有小虎西潮汐汊道汇入.

位于本河段的航道有两条, 一条从沙湾水道转向浮莲岗水道, 另一条是从沙湾水道至大沙尾直接出海. 沙湾水道与浮莲岗水道成锐角交汇, 最小弯曲半径为 360 m, 航宽为 50 m, 航深为 2.5 m. 因此, 一方面需在洲尾实施切嘴开挖, 另一方面小虎西口门回流淤积区, 形成碍航浅滩, 需进行航道疏竣.

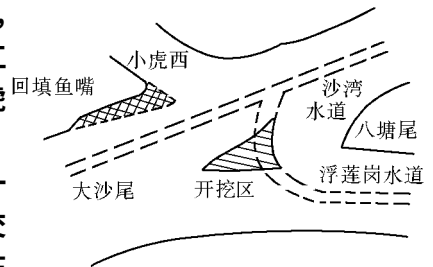


图 1 河道特性及航道布置
Fig.1 Features of rivercourse
and layout of waterway

2 潮汐特性及其利用性

2.1 潮汐特性

八塘尾河段位于河口潮汐区, 洲尾既受上游沙湾水道径流和浮莲岗潮汐流的影响, 又受下游大沙尾和小虎西潮汐流的制约. 其河床演变是径流和潮汐流两种动力消长作用的结果. 资料表明: 枯水期涨潮时, 浮莲岗水道流速大于沙湾水道流速, 落潮时两水道流速相近. 冲水期涨潮时, 浮莲岗水道流速大于沙湾水道流速, 落潮时沙湾水道流速大于浮莲岗水道流速. 此外, 由于河段河宽较宽, 涨落潮流的路线和河道深泓线不一致, 从而导致潮流顶托. 落潮时水流主流线偏沙湾水道一侧, 而涨潮时主流则偏向浮莲岗水道一侧.

沙湾出海航道经过小虎西口门, 其冲淤情况与小虎西水道潮汐流特性及口门水流结构密切相关. 涨潮时, 因小虎西水道河道较窄潮流速大, 水流直冲八塘尾, 此时大沙尾潮流因受小虎西潮流顶托, 在口门及下游形成范围较大的回流区, 主潮流偏向浮莲岗水道一侧. 落潮时, 由于沙湾水道水流的增强以及小虎西水道的分流, 在口门及其下游虽同样存在较大回流, 但成因与涨潮时不同, 主要是由于沙湾水道主流向左偏移而引起的. 小虎西口门附近的这种复杂水流结构对口门附近河床冲淤变化起决定性作用.

2.2 利用潮汐动力解决航道淤积问题的可行性

利用潮汐动力改善航道通航条件,目前国内外主要有下述 3 种途径:(a)利用河槽、滩地修堤筑坝,改变水流方向,减小航道淤积;(b)浅滩上修蓄水池,使渠道与河道相接;(c)浅滩上修导流堤,扩大河槽、滩地纳潮范围.

从本河段河道形态和水流结构来看,小虎西水道属于分流或汇流支汊.落潮时,小虎西水道属分流支汊,将沙湾水道来流分流一部分.涨潮时,小虎西水道则属于汇流支汊,与大沙尾涨潮流在口门处汇合.因此,若想削弱小虎西涨潮流对大沙尾涨潮流的顶托作用,减少航道淤积,可使这两股涨潮流成锐角相汇.另一方面,为了减少小虎西水道落潮流分流比,增大航道分流比,可布设导流堤缩窄过流断面.采用鱼嘴整治方案(图 1)可同时满足以上要求.

以上整治方案是在总结河道整治经验基础上拟定的,对于潮汐河口整治效果还需进一步作理论上的探讨和试验验证.本河段河床冲淤以悬沙淤积为主,采用窦国仁^[1]导出的潮汐悬沙运动方程^[1]

$$\frac{\partial(HS)}{\partial t} + \frac{\partial(qS)}{\partial x} = -\alpha\omega(S - S_*) \tag{1}$$

河床变形方程

$$\frac{\partial Z}{\partial t} = -\frac{1}{\gamma_0} \frac{\partial(qS)}{\partial x} \tag{2}$$

将式(1)代入式(2)得

$$\frac{\partial Z}{\partial t} = \frac{1}{\gamma_0} \left[\frac{\partial(HS)}{\partial t} + \alpha\omega(S - S_*) \right]$$

对上式进行半潮时段积分取其平均值

$$\int_0^T \frac{\partial Z}{\partial t} dt = \frac{1}{\gamma_0} \left[\int_0^T \frac{\partial(HS)}{\partial t} dt + \alpha\omega \int_0^T (S - S_*) dt \right]$$
$$\Delta Z = \frac{1}{\gamma_0} [(\overline{HS})|_T - (\overline{HS})|_0 + \alpha\omega \overline{S}T - \alpha\omega S_*T]$$

假定 $(\overline{HS})|_T = (\overline{HS})|_0$, 则 $\Delta Z = \frac{\alpha\omega T}{\gamma_0} (\overline{S} - S_*)$.

令符号脚标工程前为“0”、工程后为“1”,并令工程前后含沙量相等,即 $\overline{S}_0 = \overline{S}_1$, 则得

$$\overline{\Delta Z}_{1,0} = \frac{\alpha\omega T}{\gamma_0} \overline{S}_{*0} \left(1 - \frac{\overline{S}_{*1}}{\overline{S}_{*0}} \right) \tag{3}$$

挟沙能力采用潮汐河段基本形式

$$\overline{S}_* = K \frac{\overline{V}^2}{g \overline{H}} \tag{4}$$

将式(4)代入式(3)得

$$\overline{\Delta Z}_{1,0} = \frac{\alpha\omega k T}{\gamma_0} \overline{S}_{*0} \left[1 - \left(\frac{\overline{V}_1}{\overline{V}_0} \right)^2 \frac{\overline{H}_0}{\overline{H}_1} \right] \tag{5}$$

式中: α ——泥沙沉降几率; H ——水深; V ——流速; S_* ——水流挟沙能力; ω ——泥沙沉速; Z ——河床高程; γ_0 ——泥沙淤积干容重; K ——系数;上标“-”——半潮时段 T 内平均值.在半潮时段,因整治工程引起的河床变形可由式(5)计算.

假定工程前过流断面河宽为 B_0 、落潮流量为 Q_0 ,鱼嘴工程后过流断面河宽为 B_1 、流量变化为 ΔQ ,则满潮流流量为 $Q_0 + \Delta Q$.

根据水流基本方程

$$Q = BHV \tag{6}$$

$$V = \frac{1}{n} H^{2/3} J^{1/2} \tag{7}$$

并令流量增加率和河宽缩窄率分别为 $\frac{\Delta Q}{Q_0} = r_Q$, $\frac{B_0}{B_1} = r_B$, 代入式(6)(7)

$$\frac{V_1}{V_0} = [(1 + r_Q) r_B]^{2/5} \quad (8)$$

$$\frac{H_1}{H_0} = [(1 + r_Q) r_B]^{3/5} \quad (9)$$

由式(8)(9)可知,河口航道整治后的流速及水深的相对变化与流量增加率及河宽缩窄率成正比关系.将式(8)(9)代入式(5)得

$$\Delta \bar{Z}_{1,0} = \frac{\alpha K \omega T}{\gamma_0} \bar{S}_{*0} [(1 + \gamma_Q) r_B]^{1/5}$$

整治工程实施而引起的河床相对变化可用无量纲形式表示,即

$$\frac{\Delta \bar{Z}_{1,0}}{Z_0} = \frac{\alpha K \omega T}{\gamma_0 Z_0} \bar{S}_{*0} [(1 + r_Q) r_B]^{1/5} \quad (10)$$

当河口浅滩段工程前水流泥沙条件已知,水流挟沙能力公式确定时,则在计算时段内, $\frac{\alpha \omega T}{\gamma_0 Z_0} \bar{S}_{*0}$ 为无量纲常数,可用 r_{s*} 表示.令河床高程相对变化率 $\Delta \bar{Z}_{1,0}/Z_0 = r_z$,则式(10)可改写为

$$r_z = r_{s*} [(1 + r_Q) r_B]^{1/5}$$

由上式可知,河口浅滩工程后河床高程冲淤变化率除与水流挟沙能力有关外,还与流量增加率和河宽缩窄率有关.鱼嘴整治工程的实施,不仅使工程区附近相对河宽缩窄,而且也使洲尾涨落潮流向发生改变,洲尾流量相对增加.因此,采用鱼嘴整治工程解决航道碍航浅滩问题,在理论上是可行的.但是,由于潮汐河口水沙条件比较复杂,其整治效果还有待试验验证.

3 试验研究

3.1 模型设计

八塘尾潮汐河段河床泥沙以悬沙为主,既有来自上游径流的悬沙和底沙,又有潮汐携带的悬沙,因此模型设计既要考虑满足不稳定流的悬沙运动,又要考虑满足底沙运动.根据试验任务要求,模型水平比尺和垂直比尺分别为 $\lambda_L = 200$, $\lambda_h = 70$,模型变率 $\eta = 2.86$.经多种模型沙的分析比较,选取中值粒径为 0.12 mm 的木粉作为推移质模型沙,选取中值粒径为 0.065 mm 的木粉作为悬移质模型沙.设计表明,此模型沙基本同时满足泥沙起动和沉降相似条件.试验水位、流速分布及地形冲淤验证表明,模型能较真实地反映原河段特性.

3.2 鱼嘴工程方案试验

综上所述,本研究河段既有沙湾水道转向浮莲岗水道航道,又有沙湾水道直接出海航道.从沙湾水道转向浮莲岗水道的航道经过八塘尾洲尾浅滩淤积区.为了解决该航道返航问题,拟定了圆弧导流、尖切嘴开挖加顺坝、圆弧开挖等方案.

在各方案航道冲淤比较试验的基础上,提出以圆弧开挖方案作为推荐方案.圆弧开挖方案虽可解决从沙湾水道转向浮莲岗水道的通航问题,但尚不能解决沙湾水道出海航道局部淤积问题,在小虎西口门附近仍有碍航浅滩(图2).此航道的整治,则成为本次理论探讨和试验研究的重点.

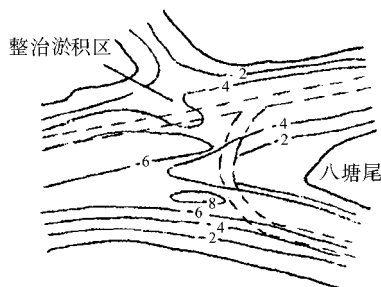


图2 圆弧开挖方案试验成果

Fig.2 Test result of arc excavation

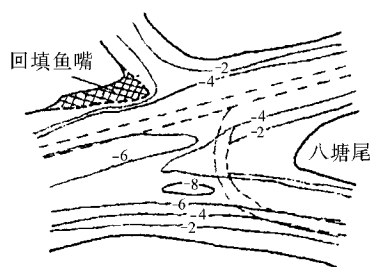


图3 鱼嘴工程方案试验成果

Fig.3 Test result of Yuzai project

小虎西口门鱼嘴整治工程方案试验是在以上试验基础上实施的. 在试验中,同时布设推荐的中切嘴开挖工程和小虎西鱼嘴整治工程,按中水中沙典型年水沙过程放水,并测其等深线和冲淤分布. 试验结果表明,增设小虎西鱼嘴工程后,不仅使沙湾水道出海航道在小虎西口门附近的碍航浅滩产生冲刷, 4.0 m 等深线贯通,达到了通航标准,还使八塘尾洲尾开挖区内的回淤量明显减小. 与单一圆弧开挖推荐方案相比,增设鱼嘴工程使工程部位的回淤量减小 23% 左右,对延长疏浚周期、节省工程投资是极为有利的. 鱼嘴工程实施前后的航道冲淤成果见图 3,开挖区的回淤量见表 1.

表 1 鱼嘴工程方案前后洲尾开挖区年回淤量
Table 1 Annual deposition at island tail before and after excavation

工程情况	航 槽			工程部位(含航槽)		
	面 积 /万 m ²	平均淤厚 /m	淤积量 /万 m ³	面积 /万 m ²	平均淤厚 /m	淤积量 /万 m ³
无鱼嘴工程	2.68	0.38	1.02	8.08	0.42	3.40
有鱼嘴工程	2.68	0.36	0.96	8.08	0.32	2.59

上述研究表明,在潮汐河口航道整治和河口治理中,结合河段潮汐特性,通过因势利导的整治措施,改变潮汐水流结构并利用潮汐动力进行整治和治理,不仅在理论上是可行的,而且还得到了试验成果的验证。

4 结 论

- a. 在八塘尾潮汐河段潮汐特性分析的基础上,研究了出海航道碍航浅滩形成的成因,对利用潮汐动力整治碍航浅滩的可行性进行了探索和论证.
- b. 鱼嘴整治工程不仅使出海航道碍航浅滩产生冲刷,达到了通航标准,而且使八塘尾航道开挖区的回淤量明显减小,从而延长了清淤周期. 由此可见,正确地利用潮汐动力整治河口碍航浅滩,不仅理论上可行,而且试验证明是有效的.
- c. 本试验是对潮汐河口潮汐动力可利用性的探索性试验,应用于工程的较完善的整治方案,还需对鱼嘴工程布置和结构形式进行调整、组合和优化试验.

参考文献：

[1] 窦国仁. 潮汐水流中悬沙运动和冲淤计算[J]. 水利学报,1963,(4) 5~8.
[2] 李福田,王志良,徐锡荣,等. 珠江三角洲八塘尾潮汐河段动床模型设计[J]. 河海大学学报,2000,28(2) 36~39.

Use of Tidal Power in Estuarin Navigation Channel Regulation

XU Xi-rong¹, LI Fu-tian¹, XU Shong-nian²

(1. College of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Hohai Univ., Nanjing 210098, China ;
2. Nanjing Jianghe Construction Corporation, Nanjing 210015, China)

Abstract According to the shape of the river course and the tidal characteristics of the tidal flow at Batangwei in the Pearl River Delta, a navigation channel regulation project is put forward in this paper. Tests show that the tidal power can be used to dredge the waterway and to decrease deposition in the waterway. It is pointed out that the design of the project needs further study.

Key words tidal estuary ; waterway regulation ; project