

文章编号:1001-5485(2009)03-0021-03

瓯江灵昆南口封堵工程对水动力及 码头航道的影响

张舒羽,倪勇强
(浙江省水利河口研究院,杭州 310020)

摘要:“瓯江灵昆南口封堵工程”具有解决土地需求、提供城市东扩发展空间、缓解水资源紧缺、缩短抗台防潮的堤塘长度、改善龙湾东片的排涝条件等综合效益,因此,自20世纪70年代初提出至今30多年来,一直受到温州市政府和人民的关注。通过二维水流数学模型计算,探讨了工程实施对沿程洪水位、流速及对龙湾至口外沿程码头航道的影响。研究表明,若工程实施,风暴潮时的河口高水位将增加0.03~0.05 m,龙湾港区和航道流速有5%~10%的减小,北汊沿程的涨落潮流速相应增加,大潮期流速增幅为8%~14%,百年一遇洪水时流速增幅为10%~25%,口外航道大潮期流速增加0.08 m/s左右。研究成果可为瓯江河口的综合开发提供科学依据。

关键词:瓯江;灵昆南口;封堵工程;数学模型

中图分类号:TV856 **文献标识码:**A

1 概述

自20世纪70年代起,为解决土地紧缺的矛盾,温州市提出“瓯江灵昆南口封堵工程”方案(图1)(以下简称“南口工程”)。“南口工程”若能实施,可获得土地15.7 km²,解决经济发展中土地需求的燃眉之急,为实施“海上温州”的战略目标提供空间和土地的保障;可大大改善灵昆岛、洞头县与温州的交通联系,促进温州深水良港的建设,为城市东扩提供发展空间;可建南口蓄淡水库,缓解水资源紧缺矛盾;可缩短河口地区抗台防潮的堤塘长度,节省海塘建设和维护费用;可改善龙湾东片的排涝条件。因此,南口工程具有显著的综合效益。

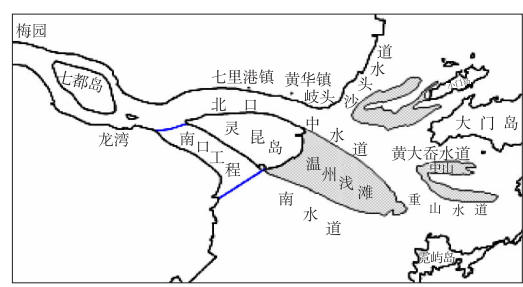


图1 工程位置图

Fig.1 The sketch of the closure work site

南口工程规模大,而瓯江河口又为强潮河口、水流泥沙条件复杂,因此,必须进行科学的论证分析工程实施的可行性。本文建立了瓯江河口的二维水流

数学模型,探讨工程实施对沿程洪水位、流速及对龙湾至口外沿程码头和航道的影响。研究成果可为瓯江河口的综合开发提供科学依据。

2 数学模型的建立和验证

2.1 水流模型

二维水流计算的基本方程选用沿垂线积分的二维浅水潮波方程:

$$\frac{\partial z}{\partial t} + \frac{\partial(Hu)}{\partial x} + \frac{\partial(Hv)}{\partial y} = 0; \tag{1}$$
$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + g \frac{\partial z}{\partial x} - fv - \frac{W_x}{H} + gu \frac{\sqrt{u^2 + v^2}}{C_z^2 H} = \frac{\partial}{\partial x}(\epsilon_x \frac{\partial u}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(\epsilon_y \frac{\partial u}{\partial y}); \tag{2}$$
$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + g \frac{\partial z}{\partial y} + fu - \frac{W_y}{H} + gv \frac{\sqrt{u^2 + v^2}}{C_z^2 H} = \frac{\partial}{\partial x}(\epsilon_x \frac{\partial v}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(\epsilon_y \frac{\partial v}{\partial y}). \tag{3}$$

式中: z 为潮位(m); u, v 分别为 x, y 方向上的垂线平均流速分量(m/s); H 为水深(m); g 为重力加速度(9.81 m/s²); f 为柯氏力参数($f=2\omega\sin\varphi$, φ 为纬度, ω 为地球自转速度); C_z 为谢才系数($C_z=H^{1/6}/n$, n 为糙率系数); ϵ_x, ϵ_y 分别为 x, y 方向的涡动扩散系数; W_x, W_y 分别为 x, y 方向的风应力分量。

方程(1)为水流连续方程,方程(2)、(3)为 x, y

方向动量守恒方程。上述方程中有 z, u, v 三个未知数, 在一定的初始条件和边界条件下采用无结构网格的显式迎流有限元模式求出方程的数值解。

2.2 床面冲淤模型

南口工程的实施将使海域水动力条件产生变化, 具体体现在纳潮量的改变、含沙量的变化、海域流场的调整和海床的冲淤变化。泥沙运动所导致的床面冲淤变化, 是一个极为复杂的物理过程, 分析计算难度极大。泥沙问题本身的复杂性, 决定了其研究途径的多样性, 其中数学模型比较适宜于计算大范围的床面冲淤变化, 由于受网格离散等多方面的限制, 计算精度也受到限制, 而且本工程附近缺乏长历时水文泥沙地形实测资料, 因此, 工程实施后床面冲淤变化的预测方法, 主要通过定床计算得到的水流要素, 采用半经验半理论的途径进行估算和预测。

根据刘家驹的经验公式 $S_* = \alpha \gamma_s \cdot \frac{(|V_1| + |V_2|)^2}{gH}$ 。其中: S_* 为饱和挟沙能力; α 为系数; γ_s 为泥沙重度, V_1, V_2 分别表示风吹流和潮流的平均流速; H 为水深; g 为重力加速度。忽略风吹流的流速, 上述方程可简化为 $S_* = \frac{kV^2}{gH}$, 设工程建造前后各物理量下标分别以 1, 2 表示, 则有 $S_{*1}/S_{*2} = (K_1 V_1^2/H_1)/(K_2 V_2^2/H_2)$, 将 $q = VH$ 代入, 并通过方程变换, 得到工程实施后的淤积强度计算公式

$$\Delta H = \left[1 - \left(\frac{S_{*1}}{S_{*2}} \right)^{\frac{2}{3}} \left(\frac{q_2}{q_1} \right)^{\frac{2}{3}} \right] H_1,$$

(4)

其中: S_{*1}, S_{*2} 为工程前后饱和挟沙能力; q_1, q_2 为工程前后半潮单宽流量; H_1 为工程前水深; ΔH 为冲淤幅度。

2.3 模型范围和验证

模型上边界选在瓯江的梅岙, 下边界取在坎门—南麂—飞云江一线, 计算范围总面积约 3 250 km² (图 2)。计算域内共布设了 11 188 个三角形单元和 6 041

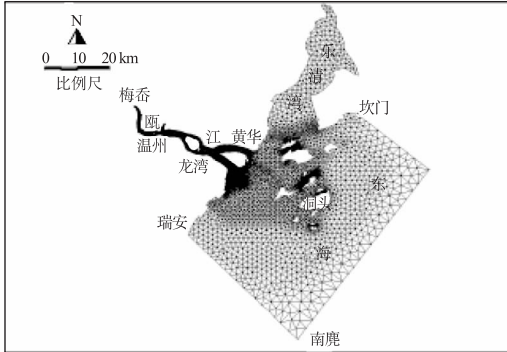


图2 模型计算网格
Fig. 2 The sketch of computing grid

个有效节点, 网格的最小空间步长为 30 m, 计算时间步长 3 s。验证采用 2005 年 6 月的水文测验资料。验证结果为: 高低潮位的验证误差大部分在 ± 0.20 m 以内; 大部分点据的流量的相对误差控制在 $\pm 20\%$ 之内 (图 3), 模拟精度能满足工程研究的要求。

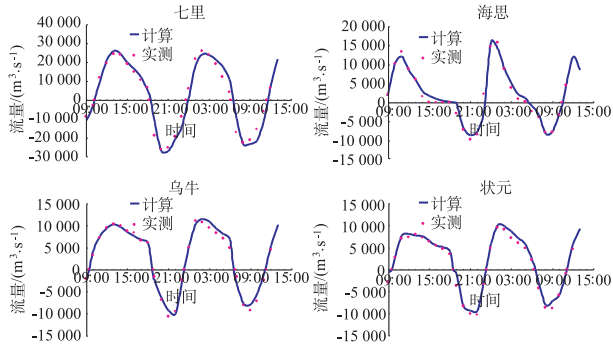


图3 断面流量过程验证
Fig. 3 Verifications of section discharge process

3 南口工程对水动力及码头航道影响

3.1 对瓯江高水位的影响

根据资料统计, 瓯江河口区的最高水位由台风期的风暴潮控制。另外, 大洪水时, 瓯江的水位也较高。通过数模计算, 南口封堵后, 百年一遇洪水遇大潮时, 自温州至黄华高水位沿程抬升 0.02~0.22 m, 越向上游影响越小。遭遇风暴潮 (9417 号台风) 时, 由于工程引起的沿程水位抬高 0.03~0.05 m。

3.2 对瓯江流速的影响

以龙湾上游河段、龙湾港区航道、灵昆北汊、口外航道 4 个区域来看流速的变化 (图 4、图 5)。工程实施后, 龙湾上游河段流速减小。在上游枯水流量遭遇下游大潮时, 涨潮平均流速减小 2%~11.5%, 落潮平均流速减小 1.7%~4.8%; 百年一遇洪水时, 流速减小 0.3%~10.2%。龙湾港区和航道的流速也有所减少, 上游枯水流量遭遇下游大潮时减少 0.05~

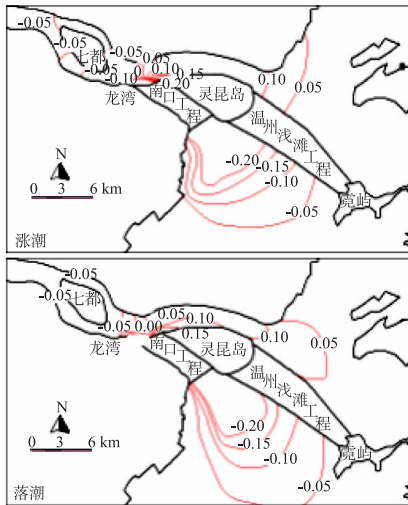


图4 大潮期涨潮和落潮平均流速变化
Fig. 4 Variations of the average flow velocity of flood tide and ebb tide during spring tide

0.08 m/s, 减少幅度为 5% ~ 10%; 百年一遇洪水时的流速减小幅度在 10% 左右。灵昆北汉沿程涨落潮流速明显增加, 上游枯水流量遭遇下游大潮时, 涨落潮流速增幅 8% ~ 14%; 百年一遇洪水, 增幅 10% ~ 25%。由于流速增大, 可能造成堤脚淘刷、江岸坍塌。为稳定北口深槽, 应避免单、双昆山边滩冲刷, 建议进行必要的堤塘加固措施。上游枯水流量遭遇下游大潮时, 口外航道涨落潮流速增加了 0.08 m/s 左右。

3.3 对瓯江潮量的影响

表 1 说明了: 枯水遇大潮时, 七都南北汉和龙湾港区的涨落潮潮量均减小, 幅度在 5.3% ~ 8.1%, 七里港区的涨落潮潮量增加, 幅度为 12.6% ~ 16%。百年一遇洪水遇大潮时, 沿程各站均无涨潮流, 在一个潮周期的时间里通过七都南北汉和龙湾港区的下泄水量减小 3.1% ~ 4.1%, 通过七里港区的下泄水量增加 26.3%。

表 1 南口工程实施前后瓯江沿程各断面的潮量变化
Table 1 Variations of every section tidal capacity before and after the closure project

位置 时段	上游枯水流量遭遇下游大潮			百年一遇洪水遇大潮		
	潮量/ 10^6 m^3	潮量变化百分比/%		潮量/ 10^6 m^3	潮量变化百分比/%	
七都 涨潮	160	150	-6.3	1 069	1 025	-4.1
北汉 落潮	268	250	-6.7			
七都 涨潮	127	119	-6.3	747	724	-3.1
南汉 落潮	148	136	-8.1			
龙湾 涨潮	321	304	-5.3	1 637	1 577	-3.7
港区 落潮	430	402	-6.5			
七里 涨潮	332	385	16.0	1 249	1 578	26.3
港区 落潮	430	484	12.6			

2.4 对码头航道的影响

(1) 对龙湾港区和航道的影响。根据公式(4) 计算工程实施后, 龙湾西港区码头前沿淤积 0.2 ~ 0.4 m(图 6), 龙湾东港区码头前沿淤积 0.7 m 左右, 龙湾深潭最大淤积约 0.9 m, 过江水道南端略有淤积, 北端略有冲刷, 但冲淤幅度不大。据南京水利科学研究院物模结果, 龙湾港区淤积幅度在 0.5 ~ 0.6 m, 龙湾过江浅滩淤积在 0.3 ~ 0.5 m。因此, 数模和物模的结果较为接近, 计算成果较可靠。淤积可能对港区和航道水深带来一些影响, 但幅度不是

很大, 可通过一些整治工程减少此淤积影响, 如 2001 年抛筑的盘石潜坝使龙湾浅滩流速增加 3% ~ 23%, 龙湾西港区增加 6% ~ 15%, 龙湾东港区增加 10% 左右, 可完全抵消本工程的负效应。

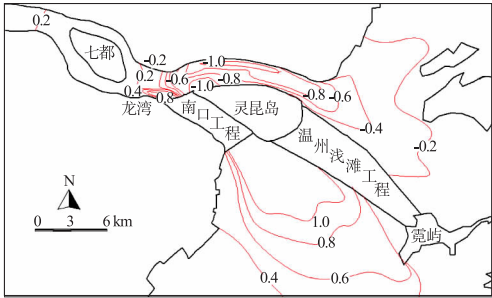


图 6 南口工程实施后床面冲淤变化
Fig. 6 Scour and deposit variations of bed surface after the closure project

(2) 对北口码头和相关航道的影响。工程实施后, 北口流速增大, 大潮期增幅为 8% ~ 14%; 百年一遇洪水增幅为 10% ~ 25%。流速的增加将使码头和航道冲刷。工程后, 北口航道和码头区的冲刷为 0.5 ~ 1.4 m。但北口流速增大, 对北口江堤堤脚冲刷不利, 应采取工程措施加以保护。

(3) 对口外航道的影响。在现有潜坝的基础上如果进一步实现南口封堵, 涨落潮全部从北口进出, 悬移质沙量也全部从北口通道入海, 北口的单宽潮量会进一步增大, 落潮流速也会进一步增大, 其结果会使中水道动力进一步加强, 进一步增加了航道水深。

4 结 论

根据数学模型计算, 灵昆南口封堵后, 由风暴潮控制的河口段高水位增加 0.03 ~ 0.05 m。龙湾港区和相关航道的流速有所减小, 幅度在 5% ~ 10% 之间, 将造成龙湾港区 0.2 ~ 0.7 m 的淤积。北口单宽进出潮量增大, 北汉沿程的涨落潮流速也相应增加, 在大潮期, 涨落潮流速增幅在 8% ~ 14%, 百年一遇洪水时流速增幅为 10% ~ 25%, 北口航道和码头区的冲刷为 0.5 ~ 1.4 m 左右。口外航道大潮时流速增加 0.08 m/s, 航道的水动力增强, 对航道的稳定和水深增加有利。大潮期, 七都南北汉和龙湾港区的涨落潮潮量减小 5.3% ~ 8.1%, 七里港区的涨落潮潮量增加 12.6% ~ 16%。百年一遇洪水时, 在一个潮周期的时间里通过七都南北汉和龙湾港区的下泄水量减小 3.1% ~ 4.1%, 通过七里港区的下泄水量增加 26.3%。