

河口推移质水道冲淤计算公式

诸裕良,金 勇,王昌杰

(河海大学交通与海洋工程学院,江苏 南京 210098)

摘要:在珠江三角洲横门出海水道的整治工程研究中,引进了一种计算以推移质造床为主的水道冲刷深度的方法,针对推移质造床的水流、泥沙特点,将推移质看作接近床面运动的浓度较高的悬移质来处理,并引进一综合参数来校正将推移质作为悬移质近似处理时造成的与实际情况的差异,通过物理模型实验的实测值来率定该参数.研究表明,该计算方法较好地反映了推移质引起的冲淤情况,较为准确地计算和模拟了推移质河床的冲淤数量与冲淤过程.

关键词:推移质;冲淤公式;航道整治

中图分类号:TV142+.2 文献标识码:A 文章编号:1000-1980(2002)03-0064-04

烂山浅滩是珠江三角洲中山港航道出横门北汊后遇到的第一个浅滩.该处多汊交汇,水流紊乱,水深不足,如图 1 中点 6~点 10.围垦及导堤工程实施后,将使流速增大,浅滩冲刷对航运和泄洪都是有利的.为了解河口航道整治工程实施后的河床冲深,河海大学曾对工程方案进行局部动床物理模型试验^①,得到了浅滩上各点的年冲刷深度与冲刷过程.现在实施方案时修改了老方案,须估计新方案下航道冲深情况.新方案在横门岛北侧围垦面积远小于老方案,洪奇沥西汊出口处右侧围垦工程及左侧导堤工程方案均相同.

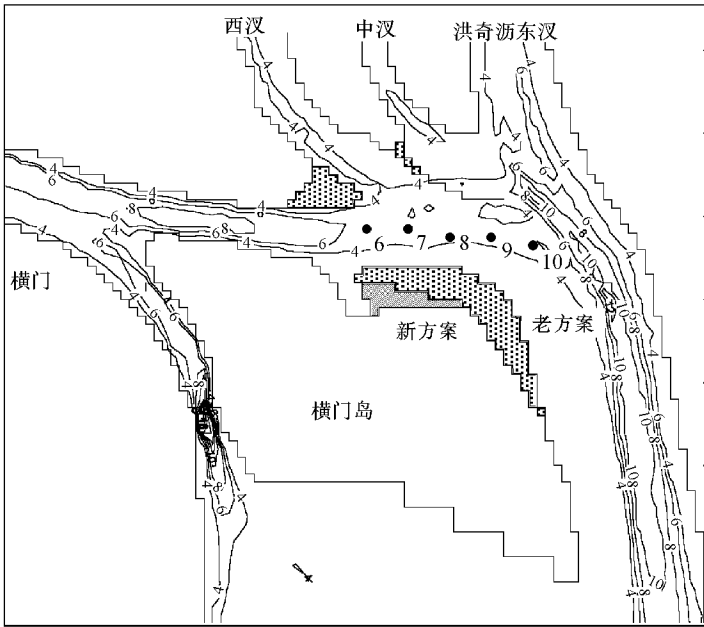


图 1 珠江三角洲横门出海航道图

Fig.1 Hengmeng estuarine waterway on Pearl River Delta

对于淤泥质海岸,刘家驹在研究航道回淤时,提出了考虑顺流航道冲淤的公式^[1].但烂山水道以推移质造床为主^①,显然不能套用刘家驹公式来计算该处的冲淤,需另寻合适的计算模式.本文在推导了有关公式

收稿日期:2001-12-03
基金项目:交通部“九五”重点科技攻关项目资助(95-05-01-53)
作者简介:诸裕良(1965—),男,江苏无锡人,副教授,主要从事河流海岸水动力及泥沙运动理论和数值模拟技术研究.
① 广东省航道勘测设计所,河海大学.珠江水系横门出海航道整治工程可行性研究报告.1994.

后 根据局部动床物理模型试验的成果来率定公式 ;以数学模型再现当初的边界条件与水力要素 ,以公式计算相应的冲刷过程 ,从而决定公式中的待定系数 .在此基础上再根据新的围垦方案来计算相应的冲淤 .

1 推移质引起的航道冲淤公式推导

推移质在运动过程中不断与床面泥沙以及悬移质进行交换 .可把推移质看作接近床面运动浓度较高的悬移质 ,窦国仁的单宽推移质输沙方程为^[2]

$$\frac{\partial(qN)}{\partial x} + \alpha_b \omega_b (N - N_*) = 0 \tag{1}$$

$$N_* = \frac{g_b}{\beta h \varphi U_*} \tag{2}$$

式中 : N ——床面附近单位体积内推移质泥沙量 , kg/m^3 ; α_b , ω_b ——推移质泥沙沉降概率与泥沙颗粒沉速 , m/s ; q ——单宽流量 , $\text{m}^3/(\text{s} \cdot \text{m})$; x ——沿流向坐标 , m ; g_b ——推移质单宽输沙率 , $\text{kg}/(\text{s} \cdot \text{m})$; βh ——推移质输沙层厚度 , m ; φU_* ——推移质沙层运动速度 ; U_* ——摩阻流速 , m/s .

另一方面 ,河床变形方程为

$$\frac{\partial(qN)}{\partial x} + \gamma_0 \frac{\partial Z_0}{\partial t} = 0 \tag{3}$$

式中 : γ_0 ——淤积物干容重 , kg/m^3 ; Z_0 ——床面高程 , m ; t ——时间坐标 , s .

比较式(1)与式(3)可得

$$\frac{\partial Z_0}{\partial t} = \frac{\alpha_b \omega_b}{\gamma_0} (N - N_*) \tag{4}$$

写成差分形式有

$$\Delta Z_0 = \frac{\alpha_b \omega_b}{\gamma_0} (N - N_*) \Delta t \tag{5}$$

式中 : Δt ——冲淤时段长 , s ; ΔZ_0 ——相应的冲淤厚度 , m .

下标“1”、“2”分别表示工程前后 ,并以淤积为正、冲刷为负 ,则由式(5)可得

$$\Delta Z_{01} = \frac{\alpha_b \omega_b}{\gamma_0} (N_1 - N_{*1}) \Delta t \tag{6}$$

$$\Delta Z_{02} = \frac{\alpha_b \omega_b}{\gamma_0} (N_2 - N_{*2}) \Delta t \tag{7}$$

工程后由推移质引起的冲淤厚度

$$\Delta \eta_b = \Delta Z_{02} - \Delta Z_{01} = \frac{\alpha_b \omega_b \Delta t}{\gamma_0} (N_{*1} - N_{*2} + N_2 - N_1) \tag{8}$$

由于工程不会改变当地的泥沙条件 ,工程前后推移质来沙量不变 , $N_1 = N_2$,故有

$$\Delta \eta_b = \frac{\alpha_b \omega_b N_{*2}}{\gamma_0} \left(\frac{N_{*1}}{N_{*2}} - 1 \right) \Delta t \tag{9}$$

采用窦国仁推移质输沙率公式^[3]

$$g_b = \frac{1.245}{C_0} D (v - v_c) \left(\frac{v}{v_c} \right)^3 \tag{10}$$

式中 : C_0 ——无因次谢才系数 , $C_0 = C/\sqrt{g}$; C ——谢才系数 , $C = \frac{1}{n} h^{1/6}$; n , h ——糙率与水深 , m ; v ——流速 , m/s ; v_c ——推移质起动流速 , m/s ; D ——泥沙粒径 , m .

由泥沙运动理论知 ,式(2)中 , $\beta h \approx 2D$, $\varphi = 11.6^{[4]}$.将式(10)代入式(2) ,并注意到 $U_* = v/C_0$,可得

$$N_* = 0.054 (v - v_c) \frac{v^2}{v_c^3} \tag{11}$$

为使式(9)中 N_{*1}/N_{*2} 的表达式更为简洁 ,采用沙莫夫起动流速公式^[5] ,其结构形式为

$$v_c = \Psi D^{1/3} h^{1/6} \tag{12}$$

式中 Ψ 为系数 ,与起动判别标准有关 .将式(12)与(11)代入式(9) ,并假定工程前后泥沙粒径不变 ($v - v_c$) 近似与 $v^{0.5}$ 成正比 ,可得推移质引起冲淤厚度 $\Delta \eta_b$ 的计算公式 :

$$\Delta \eta_b = K \frac{\alpha_b \omega_b N_{*2}}{\gamma_0} \left[\left(\frac{v_1}{v_2} \right)^{2.5} \left(\frac{h_2}{h_1} \right)^{0.5} - 1 \right] \Delta t \tag{13}$$

式中 K 为综合系数.在前面的推导中,将复杂的推移质冲淤现象作了种种简化,尤其是把推移质当作接近床面运动的悬移质来研究.为考虑其与实际情况的差异,故引进了该系数,其值应根据实际冲淤资料确定.由式(13)可见,工程后若流速增加, $v_2 > v_1$, 则有可能产生冲刷.因此可用该式估算推移质引起的冲淤.

2 有关参数的确定

根据式(13)估算冲淤时,工程前后的水流要素及糙率值由潮流数学模型提供^①.其余参数需根据泥沙理论确定.

2.1 α_b

α_b 是推移质泥沙沉降概率.窦国仁认为可设其等于向下脉动流速出现概率同数值小于泥沙沉速 ω_b 的向上脉动流速出现概率之和,其表达式为^[6]

$$\alpha_b = 0.5 + \varphi(\omega_b/\sigma) \tag{14}$$

式中: σ ——竖向脉动流速的均方根, $\sigma \approx U_*$, U_* 为摩阻流速, $U_* = \tau_w/\rho g/h^{1/6}$; $g = 9.81 \text{ m/s}^2$; $\varphi(\omega_b/\sigma)$ 可根据概率积分,由表1查得.

表1 φ 数值
Table 1 Value of φ

ω_b/σ	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
$\varphi(\omega_b/\sigma)$	0.040	0.080	0.120	0.155	0.190	0.225	0.260	0.290	0.135	0.340

2.2 v_c

采用窦国仁公式计算起动流速^[3]

$$v_c = 0.32 \ln\left(\frac{11h}{k_s}\right) \left(\frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma} gD + 0.19 \frac{gh\delta + \epsilon_k}{D} \right)^{1/2} \tag{15}$$

式中: k_s ——河床粗糙度, $k_s = D$, 但最小值为 0.5 mm; δ ——粘结水参数, $\delta = 0.213 \times 10^{-4} \text{ cm}$; ϵ_k ——粘结力参数, $\epsilon_k = 2.56 \text{ cm}^3/\text{s}^2$; γ_s, γ ——泥沙颗粒与水的容重, 各为 2650 kg/m^3 和 1000 kg/m^3 .

2.3 D, ω_b 和 γ_0

D 为推移质泥粒径,由物模试验资料,平均取 $D = 0.085 \text{ mm}$; ω_b 是泥沙颗粒沉速,根据水利部推荐公式计算得 $\omega_b = 0.57 \text{ cm/s}$; γ_0 为淤积物干容重,刘家驹建议 $\gamma_0 = 1750 D^{0.183}$, 得 $\gamma_0 = 1114.6 \text{ kg/m}^3$.

2.4 K 值

借助潮流数学模型再现局部动床物理模型的边界条件,并提供相应的水流要素随时间变化过程,通过验证计算决定式(13)中的 K 值.具体方法是在各点分别调整 K 值,使计算的冲刷过程与物理模型实测值大致吻合.计算中取时间步长 $t = 900 \text{ s}$,并随着冲刷对 h_2 和 v_c 加以调整.图2是其中9号点计算与模型实测冲刷过程的对照,由该图可知,两者吻合良好.由此可见,公式(13)可较好地反映推移质引起的冲淤,在各点恰当选择 K 值可较好地反映不同点位处的冲刷数量与冲刷过程.经验证,得浅滩各点的 K 值如表2所示.

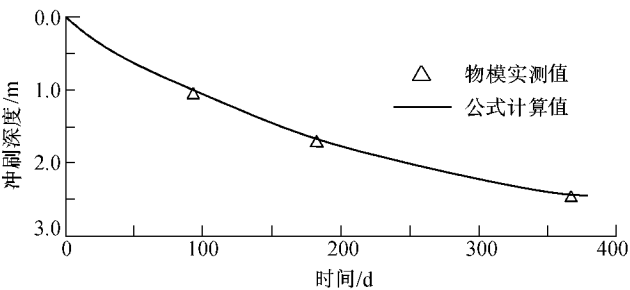


图2 计算值与模型实测值对照
Fig.2 Comparison of calculated data with measured data from model test

表2 各点取用的 K 值

点号	6	7	8	9	10
K	4.00	3.90	3.85	4.00	4.00

3 水道冲淤计算

通过数学模型计算,可得新方案无挖槽情况

① 河海大学.珠江三角洲横门出海航道整治工程数值计算报告.1999.

下浅滩各点的潮流过程^①,将其与无工程过程情况相比,可得相应的 v_2/v_1 ,按表 2 各点的 K 值,可根据式(13)计算浅滩各处的年冲深.在验证计算中已得老方案的 v_2/v_1 及年冲深.两方案计算结果列于表 3.

由表 3 可见,新方案由于束水范围少,各点 v_2/v_1 的数值均比老方案有所降低,这是因为新方案未围的部分多数位于高滩,对过水断面影响不大所致.不过,由表 3 也可以看到,新方案在点位 6,9,10 处对于冲刷的效果影响颇大,大约一年少冲 0.4~0.5 m.这是因为流速减小,使泥沙冲刷强度与冲刷历时都减小的缘故.表 3 中最后一列为航道达到设计底高程-7.0 m,浅滩各点的相应挖深.由表可见,点 7,8,9,10 整治工程后的年冲深均大于需要的挖深要求,而点 6 附近还需挖 0.80 m 才能达到设计水深,该处将是需要维护的重点地段.

4 结 论

珠江三角洲横门出海航道烂山浅滩以推移质造床为主,据此本文提出了计算推移质水道冲淤模式和公式.针对推移质造床的水流、泥沙特点,将推移质看作接近床面运动的浓度较高的悬移质来处理,并引进一综合参数来校正将推移质作为悬移质近似处理时造成的与实际情况的差异,通过物理模型实验的实测值来率定该参数.研究表明,该计算方法较好地反映了河口推移质引起的冲淤情况,较为准确地计算了推移质河床的冲淤数量与冲淤过程.

参考文献:

[1] 刘家驹,张镜潮.淤泥质海岸航道、港池淤积计算方法及推广应用[J].水利水运科学研究,1993(4):301~320.
[2] 冀希萍,李 来,冀国仁.长江口全沙数学模型研究[J].水利水运科学研究,1999(2):136~145.
[3] 中国水利学会泥沙专业委员会.泥沙手册[M].北京:中国环境科学出版社,1992.178~183.
[4] 钱宁,万兆惠.泥沙运动力学[M].北京:科学出版社,1983.71~76.
[5] 王绍成.河流动力学[M].北京:人民交通出版社,1991.53~58.
[6] 冀国仁.潮汐水流中的悬沙运动和冲淤计算[J].水利学报,1963(4):13~24.

Calculation Formula of Erosion and Deposition for Bed Load Waterways at Estuaries

ZHU Yu-liang, JIN Yong, WANG Chang-jie

(College of Traffic and Ocean Engineering, Hohai Univ., Nanjing 210098, China)

Abstract: In the research of regulation of the Hengmeng outfall waterway on the Pearl River Delta, a method is introduced for calculation of the erosion depth of the bed load waterway. According to the characteristics of current and sediment in bed load waterways at estuaries, this method takes bed load as suspended load with highly concentrated sediment moving closely to riverbed, and introduces a synthetic coefficient to correct errors caused by approximate treatment of bed load as suspended load. The synthetic coefficient is determined by physical model experiment data. The result shows that this calculation method successfully reflects the erosion and deposition caused by bed load, and gives accurate results concerning the amount and process of erosion and deposition on bed load riverbeds.

Key words: bed load; formula of erosion and deposition; regulation of waterway

① 河海大学. 珠江三角洲横门出海航道整治工程数值计算报告. 1999.