

港池泥沙回淤过程的估算

王尚毅 顾元棧

(天津大学水利系)

王文介 宋朝景

(中国科学院南海海洋研究所海岸室)

本文利用作者曾提出的一种理论模式和计算方法, 根据泥质弱潮河口的特点对顺岸码头港池泥沙回淤过程问题进行了初步的分析研究, 并以汕头渔港“冷库”港池为例, 解释了估算的步骤, 其结果还得到了实测资料的初步验证。

一、理论模式

(一) 恒定均匀挟沙明流中的流速分布公式

根据惯用的半对数流速分布公式, 主流层(区)流速分布公式可写为:

$$\frac{u}{u_*} = \frac{\bar{u}}{u_*} + \frac{1}{k} \left(1 + 2.3 \lg \frac{Z}{H} \right) \quad (1)$$

式中符号(参见图1)其意是:

u 为一点 Z 上的流速; \bar{u} 为垂线平均流速;

$$u_* = \sqrt{g \cdot H \cdot J} = \sqrt{\frac{\tau_b}{\rho}}, \text{ 水流摩阻流速。} \quad (a)$$

g 为重力加速度; H 为水流深度;

J 为水力比降; $\tau_b = \gamma \cdot H \cdot J$ 为床面上水流切应力; $\gamma = \rho \cdot g$ 为浑水比重; ρ 为浑水密度;

$$k = \left\{ \frac{1}{k_\omega} + 1.14 \frac{(\gamma_s - \gamma_\omega)}{\gamma_\omega} \frac{(\bar{c} - \bar{u} \cdot J)}{u_* J} \right\}^{-1}, \text{ 卡门系数。} \quad (b)$$

γ_s, γ_ω 分别为泥沙及清水的比重;

$k_\omega = f \left(\frac{\bar{u}}{u_*} \right)$ (图2), \bar{u} 为泥沙平均静水

流速; \bar{c} 为悬移质平均含沙量(相对体积比); $\alpha = \frac{1}{2} \frac{\bar{u}}{u_*}$ 。

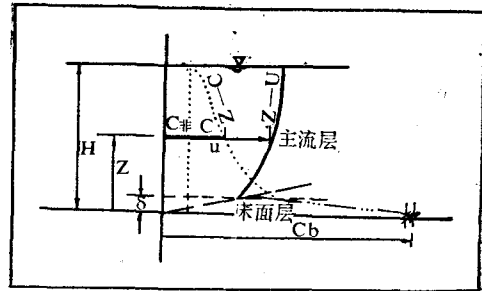


图1 流速分布和含沙量分布示意

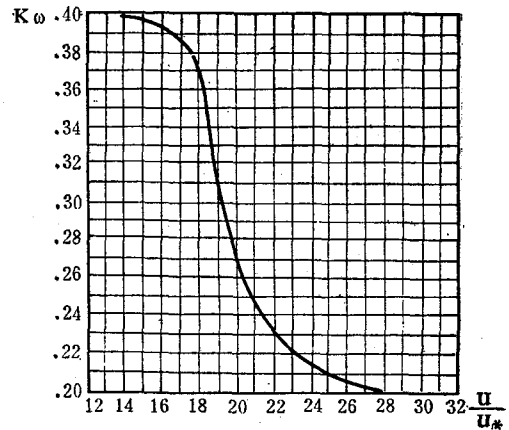


图2 $K_\omega = f(\bar{u}/u_*)$

(二) 水流分层

基于以上分析, 可将水流沿深分为主流层(区), 和床面层(区), 床面层的厚度 δ 可按

$$\text{下式计算}^{[2]}: \quad \delta = \frac{\alpha \cdot \gamma_s}{u_*} \quad (c)$$

式中, $\gamma_s = 10^{\lg \frac{0.8 H \cdot u_*^2}{\bar{u}}} - 0.217 k \frac{\bar{u}}{u_*}$, 水流有效运动粘滞系数。 (d)

(三) 恒定均匀挟沙明流中含沙量分析公式

按照泥沙有效悬浮功原理, 悬移质泥沙可分为造床质与非造床质两部分^[1], 据泥沙扩散理论, 主流层造床质泥沙含沙量分布公式为:

$$\frac{C}{C_0} = \left[\frac{\delta}{H-\delta} \frac{H-Z}{Z} \right]^{Z_*} \quad (2)$$

式中, $Z_* = \frac{\bar{\omega}}{k-u_*}$ 。

主流层非造床质泥沙含沙量沿深分布按均匀直线分布规律计算^[1]。

式中, C 为一点 Z 上的造床质含沙量(相对体积比);

$$C_0 = C_b f\left(\frac{\bar{\omega}}{u_*}\right),$$

主流层底部($Z = \delta$)处含沙量^[2]。(e)

$$C_b = \begin{cases} \frac{-0.0064 + \sqrt{409 \times 10^{-5} + 0.392\tau_b}}{0.196} \\ C_k, & C_k \leq C_b \end{cases}$$

床面($Z = 0$)处含沙量。(f)

$$C_k = \begin{cases} C_m = 0.755 + 0.222 \lg d_{50}, \\ d_{50} \geq 0.02 \text{ 毫米} \\ C_k = 1/2 C_m, & d_{50} < 0.02 \text{ 毫米。} \end{cases} \quad (g)$$

$f\left(\frac{\bar{\omega}}{u_*}\right)$ 为E·A 莱因-A·A 卡林斯基

函数(图3)。

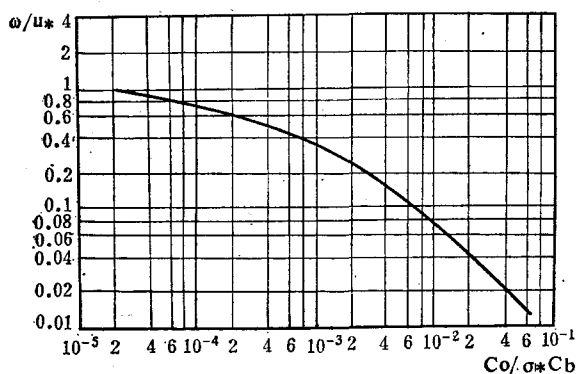


图3 E·A莱因-A·A卡林斯基函数曲线

(四) 水流挟沙能力

1. 主流层单宽输沙率^[3]:

$$q_s = \int_{\delta}^H C \cdot u \cdot dZ + C_f \cdot q \quad (3)$$

将(1)、(2)式代入(3)式, 整理后得:

$$q_s = \alpha \cdot u_* \cdot C_0 \cdot \delta \left(10.6 I_1 + \frac{4.62}{\alpha \cdot k} I_2 \right) + C_f q$$

$$\text{或 } q_s = \frac{1}{1-p_f} \alpha \cdot u_* \cdot C_0 \cdot \delta \left(10.6 I_1 + \frac{4.62}{\alpha \cdot k} I_2 \right)$$

$$\quad (4)$$

式中, C_f 为非造床质泥沙含沙量;

q 为水流单宽流量;

$p_f = \frac{C_f}{C}$ 为非造床质在悬移质中的比重;

$$I_1 = 0.216 \frac{A^{Z_*-1}}{(1-A)^{Z_*}} \int_A^1 \left(\frac{1-Z}{Z} \right)^{Z_*} dZ \quad (h)$$

BZ (h)

$$I_2 = 0.216 \frac{A^{Z_*-1}}{(1-A)^{Z_*}} \int_A^1 \left(\frac{1-Z}{Z} \right)^{Z_*} \ln Z dZ \quad (i)$$

ln Z dZ (i)

其他符号同前。

2. 床面层水流的单宽输沙率: 假定床面层内沿深流速和含沙量满足直线分布规律; 床面层内泥沙(以下称底沙)运动速度与其周围水流相同。则有:

$$q = \frac{S_*}{4} \cdot \alpha u_* \delta C_b \quad (5)$$

式中, q_b 为水流对底沙的单宽输沙率; S_* 为校正系数, 对 $d_{50} \leq 0.02$ 毫米的泥沙可取 $S_* = 1.0$; $d_{50} > 0.02$ 毫米的泥沙, $S_* = 1.0$ 有待进一步研究确定。其他符号意义同前。

3. 水流单宽输沙率公式: 基于以上分析, 水流单宽输沙率公式为:

$$q_T = q_s + q_b = \frac{1}{1-p_f} \alpha \cdot u_* \cdot C_0 \cdot \delta \left(10.6 I_1 + \frac{4.62}{\alpha \cdot k} I_2 \right) + \frac{S_*}{4} \alpha u_* \delta C_b$$

$$\quad (6)$$

4. 水流的挟沙能力:

$$\begin{aligned} \rho_T &= \rho_s + \rho_b \\ &= \frac{\gamma_s}{1-p_f} C_o \cdot A (10.6 I_1 + \frac{4.62}{\alpha \cdot k} I_2) \\ &+ \frac{\gamma_s}{4} \cdot C_b \cdot A \quad (\text{公斤/米}^3) \end{aligned} \quad (7)$$

式中, ρ_s 为水流对悬移质的挟沙能力; ρ_b 为水流对底沙的挟沙能力; $A = \delta/H$; γ_s 为泥沙的比重 (公斤/米³)。

5. 波浪作用下水流的挟沙能力: 综合摩阻流速, 即:

$$u_{*T} = \left\{ 1 + 0.101k^2 \left(\frac{u_o}{u_*} \right) \right\}^{1/2} u_* \quad (j)$$

式中, $u_o = \frac{\pi \cdot h}{T \cdot S h \frac{2\pi h}{L}}$, 波浪底部质点最大

的轨迹度。 (k)

h 为波浪高度; T 为波浪周期; L 为波浪长度。

通过减小公式 (2) 中的 Z_{*T} 值, 使之含沙量沿深分布趋于均匀, 即:

$$Z_{*T} - Z_{*T} = \frac{\bar{\omega}}{k \cdot u_{*T}} \quad (l)$$

从而使公式 (g) 及 (h) 中之 I_1 及 I_2 值加大为:

$$I_1 = I_{1T} = 0.216 \frac{A Z_{*T}^{-1}}{(1-A) Z_{*T}} \int_A^1 \left(\frac{1-Z}{Z} \right)^{Z_{*T}} dZ \quad (h')$$

$$I_2 = I_{2T} = 0.216 \frac{A Z_{*T}^{-1}}{(1-A) Z_{*T}} \int_A^1 \left(\frac{1-Z}{Z} \right)^{Z_{*T}} \ln Z dZ \quad (i')$$

通过减小公式 (e) 中 $\frac{\bar{\omega}}{u_{*T}}$ 值, 并使 $\frac{\bar{\omega}}{u_{*T}} =$

$\frac{\bar{\omega}}{u_{*T}}$, 以增加水流的挟沙能力。

(五) 过水断面的模化

计算中采用矩形模化断面, 如图 4 所示。其步骤如下:

$$1. \text{ 求出平均水位, } \bar{Z} = \frac{1}{2} (\bar{Z}_H + \bar{Z}_L),$$

其中 \bar{Z}_H 及 \bar{Z}_L 分别为平均最高和最低水位。

$$2. \text{ 算出平均河底高程: } \bar{Z}_o = \bar{Z} - \frac{\bar{F}}{B}, \text{ 其}$$

中 \bar{F} 为对应 \bar{Z} 的过水断面面积; \bar{B} 为相应的水面宽度。

3. 定出平均最低河底高程, 即 Z'_o 。

4. 算得模化断面的河底高程, 即

$$Z_o = \frac{1}{2} (\bar{Z} + Z'_o).$$

5. 计算任一水位 Z 所对应的水深, 即 $H = Z - Z_o$ 。

6. 计算任一水位 Z 所对应的河宽, 即

$$B = \frac{F}{H},$$

其中 F 为对应水位 Z 的过水断面面积。

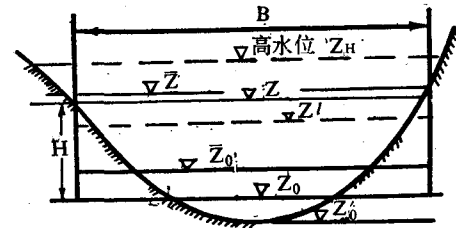


图 4 水面横断面模化示意

(六) 半潮平均模化

在弱潮河口, 采用水力泥沙因素的半潮平均值^{[4], 1)}, 通过模化之后, 可将潮汐水力因素和随之而变化的泥沙因素在一个潮段 (涨潮或落潮) 内处理为与时间过程无关的一种恒定状态。实践表明, 这样不仅能弥补现场资料的不足, 计算精度也能满足工程上的需要。

二、港池水道冲淤过程分析

(一) 关于港池临界长度的假定

通常港池临界长度 (即运动泥沙进入港池

1) 李光炳, 1963. 钱塘江河口潮流输沙经验公式的探求。浙江水利所。

后至恢复平衡挟沙状态所经历的最小长度)可写为:

$$L_k = \beta \frac{H \cdot \bar{u}}{\omega} \quad (m) \quad (4)$$

式中, β 为一校正系数, 其最大极限值应为1.0 (假定超量泥沙颗粒自水面下沉至床面)。本文计算中, $\beta=0.5$, 并规定港池长度 $L \geq L_k$ 为长池; $L < L_k$ 为短池。

(二) 港池的冲淤过程

图5所示为棱柱形水道中的矩形港池。

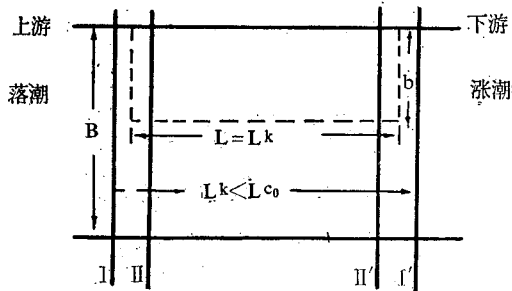


图5 港池水道冲淤过程分析示意

为便于分析, 取池长 $L = L_k$; β, l 为水道及港池宽度; L 为港池长度; L_k, L_{k0} 为水道及港池挟沙平衡长度; I, I' 为上下游临近港池的过水断面; II, II' 为上下游港池两端的水道过水断面。

(三) 港池泥沙回淤

1. 分析中的水道: I, I' 床面处于接近稳定状态, 且 II, II' 水道床面的冲淤变化量较之该断面上的港池床面的冲淤量小, 可忽略不计。计算中的 I, II 断面与 II, I' 断面相等。

2. 落潮过程: 挟沙水流自 I 至 II' 断面, 由于水力减弱, 因此港池淤积。其淤积量可由水流挟沙能力公式计算。

(四) 水道冲淤过程

水道冲淤变化: II 及 II' 中的水道断面由于 I', I 床面接近稳定, 且 $L_k < L_{k0}$, 故在落潮过程中, 上游端(II 断面一侧)淤积; 下游端(II' 断面一侧)冲刷。反之, 涨潮过程 II' 一侧淤积, II 一侧冲刷; 从而 II, II' 断面之

间的床面将不会产生过大的冲刷变化, 因此在计算中不计其变化量。

三、实 例

(一) 汕头渔港“冷库”泥沙回淤过程

1. 渔业码头前的港池位置: 如图6所示。池长 $L = 1500$ 米; 池宽 $b = 150$ 米; 水道上游宽度 $B_{上} = 1360$ 米; 下游宽度 $B_{下} = 1930.9$ 米。

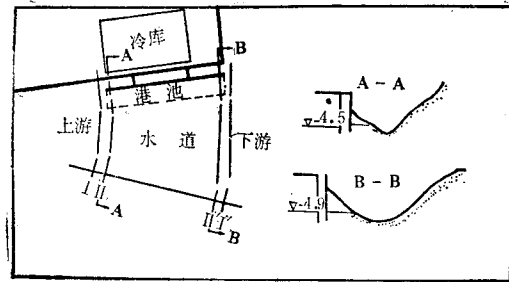


图6 冷库港池示意

2. 计算步骤: 第一, 水流阻力系数我们采用曼宁公式, 由谢才公式导出:

$$n = \frac{u_* H^{1/6}}{\sqrt{g u}} \quad (n)$$

式中, n 为曼宁系数, 该值在半潮平均模式中可通过某流段的水量 (包括潮水量、山水量) 以及河床的稳定性情况初步确定。例如, 已知汕头岩石水道下游端较长时期内接近稳定不淤状态。根据泥沙特性, 取 $C_b = 0.1$, 该处泥沙粒径级配与天津新港泥沙基本一致。则得该流段的不淤摩阻流速:

$$\begin{aligned} u_* \cdot s &= \sqrt{\frac{0.817 \tau_{bs}}{\rho}} \\ &= \left[\frac{0.81(0.0064 \times 0.1 + 0.098 \times 0.1^2)}{1/981} \right]^{1/2} \\ &= 1.13 \text{ (厘米/秒)} \end{aligned} \quad (o)$$

其中, $\tau_{bs} = 0.0064c + 0.098c^2$, 对应含沙量为 c 的浑水的宾亨切应力^[2, 3]。

根据现场资料, 通过该流段的水量为:

$$V = 0.843 \times 10^3 \text{ 米}^3$$

断面平均水深 $H = 11.1$ 米, 断面平均宽度 $B = 836.0$ 米以及落潮历时 $T = 20220$ 秒, 可得该流段不淤流速:

$$\bar{u} = \frac{0.843 \times 10^8}{20220 \times 11.1 \times 836.0}$$

$$= 0.450 \text{ (m/s)}$$

将以上有关数据代入 (n) 式, 可得:

$$n = \frac{u_{*s} \cdot H^{1/6}}{\sqrt{g u_*}}$$

$$= \frac{0.0113 \times (11.1)^{1/6}}{\sqrt{9.81 \times 0.450}} = 0.012$$

港池流段与上述流段情况接近, 故可取 $n = 0.012$ 。

其次, 确定泥沙沉速 $\bar{\omega}$ 的值。当 $d_{50} < 0.02$ 毫米 (例如汕头港 $d_{50} = 0.004$ 毫米) 时需计及絮凝的影响。此时不能应用一般土力学的方法确定 $\bar{\omega}$ 值。在解决天津新港泥沙时, 我们采用了通过较少量的含沙量的积点的现场资料, 依据扩散理论公式反求 $\bar{\omega}$, 根据这一方法, 汕头港泥沙的沉速为 $\bar{\omega} = 0.236$ (厘米/秒)。

再次, 水流挟沙能力的调试。按照公式 (7) 中水流对悬移质的挟沙能力规律整理了汕头港区的有关资料, 兹将结果示于图 7。

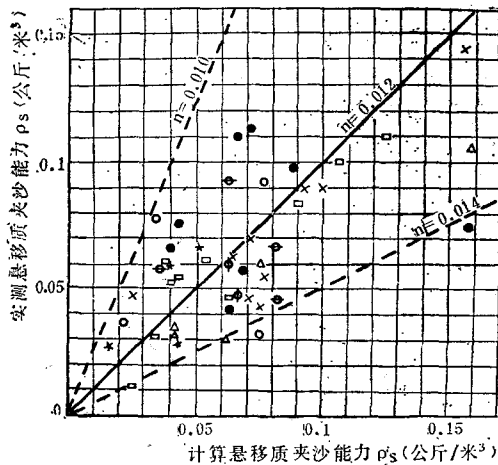


图 7 水流对悬移质挟沙能力调试

图中所示结果表明, $n = 0.012$ 时, 能够较好地接近实际资料的平均情况。

根据现场泥沙的特性与天津新港泥沙的特性接近, 引用 $C_b = 0.1$ 。

波浪掀沙将对港池的泥沙回淤量产生影响。根据汕头港的风浪资料得知, 平均波长

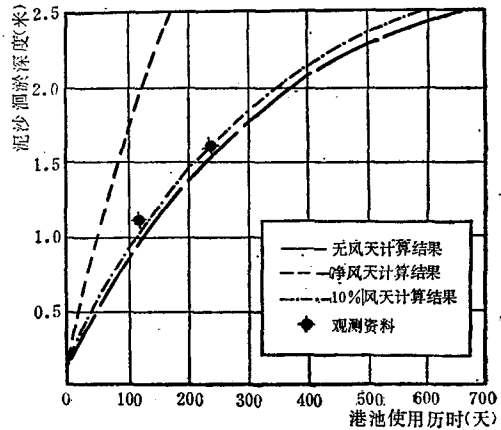


图 8 冷库港池泥沙回淤过程与验证

$L = 6$ 米, 平均周期 $T = 2.0$ 秒, 平均波高 $n = 0.12 + 0.04 \bar{W}$ (\bar{W} 为风速)。在分析中取 $h = 0.32$ 米 (相当于 3—4 级风作用下的波浪高度); 作用水深 $H' = 1.37$ 米 (标高为 0) 又根据下半年的风玫瑰图, 确定该种情况的频率为 10%, 从而可以推算在风浪影响下的情况。

3. 估算结果及其验证: 图 8 示出港池回淤过程的计算结果, 并得到实测资料的初步验证。

文中略去计算图框、计算程序及使用说明, 有兴趣者可与笔者联系。

参 考 文 献

- [1] 王尚毅, 1979。挟沙明流中泥沙的有效悬浮功原理兼论区分造床质非造床质的标准问题。科学通报 24(9):410—413。
- [2] 王尚毅, 1978。泥质河口泥沙问题的一种数学模型解。天津大学学报 2:91—112。
- [3] 王尚毅、顾元棣, 1981。泥质河口泥沙问题的数学模型解。天津大学学报 3:27—44。
- [4] 窦国仁, 1964。平原冲积河流及潮汐河口的河床动态。水利学报 2:1—12。

THE METHOD FOR STUDYING THE MUD DEPOSITING PROCESS IN PORT BASIN

Wang Shanyi and Gu Yuanyan

(Tianjin University)

Wang Wenjie and Song Chaojing

(South China Sea Institute of Oceanology, Academia Sinica)

Abstract

In accordance with the characteristics of weak tide in an estuary, this paper makes a preliminary analysis of the mud depositing process of the port basin along the wharf using the theoretical model and corresponding calculating method suggested previously by the author.

The basin of the "Cold Storage" in Swatow Port, Guangdong Province, is taken as an example to explain the process of calculation, with its results being verified by the actual data.