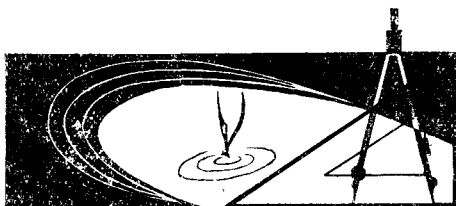


潮汐河口半潮平均流速沿深度的分布及悬移质输沙量的计算

员瑛 秦崇仁 (天津大学)



在潮流的作用下,流速沿水深的分布规律和河口区泥沙运动规律,是一个值得研究并急待解决的问题。近来,英国水力研究站曾对河口区细沙河床上的深水潮流进行了现场测量和分析研究工作。研究结果表明^[2]:河口区潮流流速沿水深的分布,仍然符合卡门-普兰特对数分布规律;潮流中的悬移质浓度沿水深的分布符合罗丝-卡门分布规律;并且建议用河床以上 y 处的流速 u_y 和悬移质浓度 c_y 乘积的数字积分法求悬移质输沙量。另外,他们还指出了泥沙运动滞后作用的影响。

(一)

在英国水力研究站所建议的悬移质输沙量计算法中,依据的 u_y 和 c_y 的沿水深分布的关系曲线是由实测“瞬时”资料得出的。因此,计算出的输沙量是“瞬时”的输沙量。但是,潮流是不稳定流,水力因子随时间而变化,要计算一个潮周期内的输沙总量是相当繁琐的。因此,我们建议引入“半潮平均”的概念来进行输沙量计算。这里先介绍半潮平均流速及其沿深度的分布的求法:

1. 绘制一个潮周期内的流速过程线,此流速过程线是按一条垂线上各点实测流速绘制

的,各点的流速分别绘制。如在一条垂线上5个点测流速,则有5条流速过程线。

2. 将各流速过程线与横坐标轴所包围的面积“ A ”求出(按涨潮与落潮分别求出),并求出涨潮和落潮的历时 T_1 、 T_2 。

3. 求半潮平均流速 $\bar{u}$;

因为

$$A = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \sum_{t=0}^{t=T} u \cdot \Delta t = \int_0^T u \cdot dt$$

故

$$\bar{u} = \frac{\int_0^T u \cdot dt}{T} = \frac{A}{T} \quad (1)$$

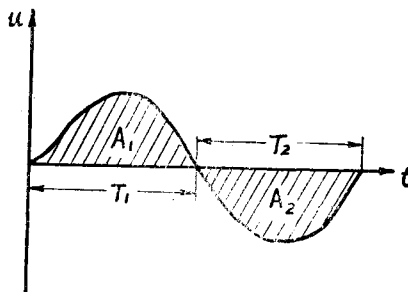


图1 潮流流速过程线示意图
 u ——流速; t ——时间

4. 将所求的各 $\bar{u}$ 值,按涨潮与落潮分组绘制半潮平均流速 $\bar{u}-y$ 的关系曲线,其中 y 为床面以上的高度。

用同样的方法可以求出半潮平均悬移质浓度沿水深的分布。

(二)

1978年夏季,天津大学水利系曾与南海石油勘探指挥部联合在广西境内某海湾的口门附近做了现场全潮测量。该海湾纵深有几十公里,仅有一个口门与海联通,湾内无大的河流注入,口门处宽度平均约2,250米,口门处流速完全为潮流,无河川径流的影响。潮型为不规则全日潮。

观测时,在口门处布置了一个测流断面,在两条垂线上进行了全潮测量。每条垂线上各设5个测点,分别为 $y/H=0.2, 0.4, 0.6, 0.8$ 及河床以上1米;垂线水深一般在10米左

右。故在求半潮平均流速时，将河床以上1米的点近似地视为 $y/H=0.1$ 的点。

现将该次测量中四天的资料，用上述方法，求出半潮平均流速沿水深的分布，绘制了 $u-y/H$ 的关系曲线（图 2(a)、(c)所示）。据此求得涨落潮的半潮平均流速的表达式分别为：

$$\begin{aligned} u_{y,1} &= u_{0.1,1} + (u_{1.0,1} - u_{0.1,1}) \\ &\quad \left(1 + \log \frac{y}{H}\right) \\ &= u_{0.1,1} + 17.8 \left(1 + \log \frac{y}{H}\right) (\text{cm/S}) \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} u_{y,2} &= u_{0.1,2} + (u_{1.0,2} - u_{0.1,2}) \\ &\quad \left(1 + \log \frac{y}{H}\right) \\ &= u_{0.1,2} + 26.0 \left(1 + \log \frac{y}{H}\right) (\text{cm/S}) \end{aligned} \quad (3)$$

此处： $u_{1.0}$ 、 $u_{0.1}$ 分别为 $\frac{y}{H}=1.0$ 和 0.1 处的半潮平均流速，小脚标1、2分别代表涨潮和落潮。

方程式(2)和(3)的曲线及其与实测资料的比较如图2(b)和(d)所示。可以看出半潮平

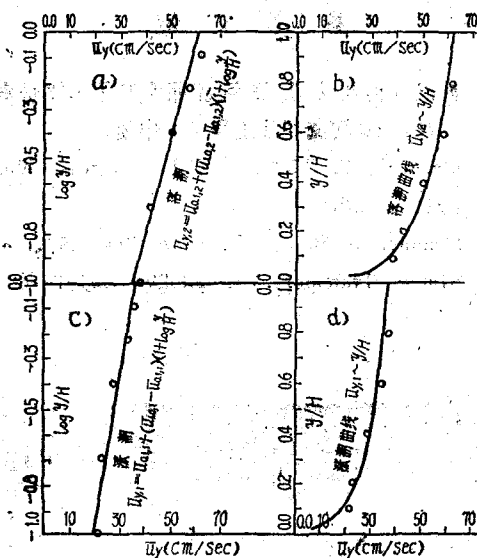


图 2

均流速沿水深的分布符合对数规律。

(三)

英国水力研究站给出的潮流中悬移质含沙浓度沿水深的分布公式，可以写为如下形式：

$$\frac{C_y}{C_{\frac{H}{2}}} = \left(\frac{H+y}{y}\right)^{\frac{\omega}{ku_0}}$$

式中 ω 为泥沙颗粒的沉速， k 为卡门常数， u_0 为剪切流速。

上式表明，潮流中的悬移质含沙浓度沿水深的分布规律与无潮河流中的含沙浓度沿水深的分布规律具有同样的结构形式。前面我们已经得出了半潮平均流速沿水深的分布规律，与潮流中以及无潮河流中的流速沿水深的分布规律都具有同一的结构形式。从悬移质含沙浓度与流速密切相关的角度看，半潮平均悬移质含沙浓度沿水深的分布规律，也应当与无潮河流中悬移质含沙浓度沿水深的分布规律具有相同的结构形式。所以，半潮平均悬移质含沙浓度沿水深的分布规律可写为：

$$C_y = \alpha_1 \left(\frac{H}{y} - 1\right)^{\frac{\omega}{k1}}$$

为便于积分运算，上式又可写成：

$$C_y = \alpha \left(\frac{H}{y}\right)^{\frac{\omega}{k}} \quad (4)$$

式中 α 和 k 都是待定系数，由实测资料确定，于是半潮平均输沙量（单宽）可由下式计算：

$$q_s = \int_0^H C_y \cdot u_y \cdot dy \times 1 \quad (5)$$

式中 u_y 为沿水深任一点上的半潮平均流速，前边已经求出其形式为：

$$u_y = u_{0.1} + \beta \left(1 + \log \frac{y}{H}\right) \quad (6)$$

把(4)式和(6)式代入(5)式，则：

$$\begin{aligned} q_s &= \int_0^H \alpha \left(\frac{H}{y}\right)^{\frac{\omega}{k}} \left[u_{0.1} + \beta \left(1 + \log \frac{y}{H}\right) \right] dy \\ &= \int_0^H \alpha \left(\frac{y}{H}\right)^{-\frac{\omega}{k}} \left[u_{0.1} + \beta \left(1 + \log \frac{y}{H}\right) \right] dy \end{aligned}$$

$$\log \frac{y}{H} \Big] dy \quad (7)$$

上式的积分是容易的。

因为方程式(4)中的系数是要通过实测资料确定的,故方程式(4)是可以得到的。另外, Toffaleti, F. B. 在其建议的计算河道中悬移质输沙量的方法中,也是将悬移质含沙浓度沿水深的分布写成类似方程式(4)的形式^[3]。

作为一个计算的举例,设根据实测资料求得某海湾口门处落潮期的半潮平均悬移质含沙浓度沿水深的分布及半潮平均流速沿水深的分布分别为:

$$C_y = 0.17 \left(\frac{y}{H} \right)^{-0.2} (\text{kg/m}^3) \quad (8)$$

$$\bar{u}_y = 0.36 + 0.26 \left(1 + \log \frac{y}{H} \right) (\text{m/sec}) \quad (9)$$

则单宽半潮平均悬移质输沙率可用下式计算:

$$\begin{aligned} \frac{q_s}{H} &= \int_{0.0005}^{1.0} C_y \cdot \bar{u}_y d \left(\frac{y}{H} \right) \\ &= \int_{0.0005}^{1.0} 0.17 \left(\frac{y}{H} \right)^{-0.2} \left[0.36 + \right. \\ &\quad \left. + 0.26 \left(1 + \log \frac{y}{H} \right) \right] \\ &\quad \times d \left(\frac{y}{H} \right) (\text{kg/m}^2 \cdot \text{sec}) \end{aligned} \quad (10)$$

用积分公式:

$$\int x^n l_n X dx = X^{n+1} \left[\frac{l_n X}{(n+1)} - \frac{1}{(n+1)^2} \right]$$

及积分方程式(10),将上、下限代入,计算结果为:

$$\frac{q_s}{H} = 0.093 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{sec}$$

若该处落潮期的半潮平均水深为10.5米,落潮历时为12.42小时,则单宽半潮悬移质输沙量为:

$$\frac{q_s}{H} \times H \times T = 0.093 \times 10.5 \times 12.42 \times 60^2 = 43,600 \text{ kg/m}$$

平均口门宽2,250米,则半潮总输沙量为:

$$43.6 \times 2,250 = 9.8 \text{ (万吨)}$$

(四)

在对具体某一河口用上述方法进行半潮平均输沙量计算时,建议对实测资料作如下处理:

(1) 悬移质含沙浓度沿水深的分布公式中,指数中包括有泥沙颗粒的沉速 ω ,如果悬移质粒径的组成较不均匀,则可将粒径按粗细分若干组,分别进行处理。

(2) 如果按实测悬移质资料,得到的 C_y 对 y/H 的关系较为复杂,致使函数 $\int C_y \bar{u}_y dy$ 不易积分时,则可用“图乘积分法”,即将 $C_y - y/H$ 和 $\bar{u}_y - y/H$ 的关系曲线分别绘出,取 y 值相同时的 C_y 和 $\bar{u}_y$ 值,做乘积 $C_y \cdot \bar{u}_y$,并绘制 $C_y \cdot \bar{u}_y - y/H$ 的关系曲线,用数值积分法即可求得其积分值。

(3) $\bar{u}_y - y/H$ 和 $C_y - y/H$ 的两个方程式在 $y=0$ 处都无意义。在实际进行计算时,可取 y 值的下限为稍大于零的数值,例如可根据河床质泥沙粒径,取 $y = d_{65}$ 。

参 考 文 献

- [1] 武汉水利电力学院河流泥沙工程学教研室, 1978. 《河流泥沙工程学》中册。
- [2] Michael, F. C., 1975. XVI Congress IAHR, pp217—223.
- [3] Simons, D. B. and Fuat Sentürk, 1977. «Sediment Transport Technology» pp497—661.

