

陆架海流的计算方法(II)*

廖 经 榜

(中国科学院海洋研究所)

二、海区类型 II——海湾、海峡

本海区的特点是邻近海岸、岸线变化复杂,不存在一致的海岸法向;流况的特点和海区类型(I)^[1]基本相似。海湾、海峡、岛屿之间以及岸线多变的近岸浅海区域,均属于这种海区类型。

(一) 余流分离

仍取海区类型(I)的公式(1.5)作为本海区平均余流分离的关系式。

1. 各月常流的计算

设风生海面坡度和风生漂流体积输送分量存在下列相应关系:

$$\zeta_{1,x} = \alpha_1^* DB^* + \alpha_2^* DC^*; \quad \zeta_{1,y} = \alpha_3^* DB^* + \alpha_4^* DC^* \quad (2.1)$$

其中 $\alpha_1^* - \alpha_4^*$ 为风生坡度流参数;本文中凡未加说明的记号,可参看海区类型(I)。将(2.1)式代入(1.5)式,则平均余流为:

$$\begin{cases} U = B^* + L\alpha_1^* + K\alpha_2^* - S\alpha_3^* - P\alpha_4^* + U_0 \\ V = C^* + S\alpha_1^* + P\alpha_2^* + L\alpha_3^* + K\alpha_4^* + V_0 \end{cases} \quad (2.2)$$

其中

$$L = GDB^*, \quad K = GDC^*, \quad S = -HDB^*, \quad P = -HDC^*.$$

设某观测站历史上具有同一个月或日期相近的 m 次观测记录。由(2.2)式可得 m 组方程:

$$\begin{cases} L_i\alpha_1^* + K_i\alpha_2^* - S_i\alpha_3^* - P_i\alpha_4^* + U_0 = X_i \\ S_i\alpha_1^* + P_i\alpha_2^* + L_i\alpha_3^* + K_i\alpha_4^* + V_0 = Y_i, \end{cases} \quad (i = 1, 2, \dots, m) \quad (2.3)$$

记:

$$X_i = U_i - B_i^*, \quad Y_i = V_i - C_i^*,$$

公式(2.3)是求解六个未知量的方程组,需要三次以上的观测记录。为了对具有两次或两次以上观测资料的观测站也能进行余流分离,拟作如下处理。记 $\bar{L}$ 、 $\bar{K}$ 、 $\bar{S}$ 、 $\bar{P}$ 、 $\bar{X}$ 和 $\bar{Y}$ 分别是 m 个 $L_i - Y_i$ ($i = 1, 2, \dots, m$) 的算术平均值,并设下列关系式成立:

$$\begin{cases} \bar{L}\alpha_1^* + \bar{K}\alpha_2^* - \bar{S}\alpha_3^* - \bar{P}\alpha_4^* + U_0 = \bar{X} \\ \bar{S}\alpha_1^* + \bar{P}\alpha_2^* + \bar{L}\alpha_3^* + \bar{K}\alpha_4^* + V_0 = \bar{Y}, \end{cases} \quad (2.4)$$

* 中国科学院海洋研究所调查研究报告第644号。

本刊编辑部收到稿件日期:1980年4月5日。

本文承蒙毛汉礼先生和管秉贤先生的大力支持和热情鼓励,袁业立同志和方国洪同志审阅全文提出了宝贵意见,作者曾和顾玉荷、乐肯堂二同志作过不少有益的讨论,均此表示感谢。本文的第一部分《陆架环流的计算方法(I):海区类型 I——近岸浅海》已送中国海洋湖沼学会1979年学术年会论文集上发表,现正排印中。

将(2.3)式减去(2.4)式

$$\begin{cases} \alpha_1^* \Delta L_i + \alpha_2^* \Delta K_i - \alpha_3^* \Delta S_i - \alpha_4^* \Delta P_i = \Delta X_i \\ \alpha_1^* \Delta S_i + \alpha_2^* \Delta P_i + \alpha_3^* \Delta L_i + \alpha_4^* \Delta K_i = \Delta Y_i, \end{cases} \quad (i = 1, 2, \dots, m) \quad (2.5)$$

其中

$$\Delta L_i = L_i - \bar{L}, \quad \Delta K_i = K_i - \bar{K}, \dots, \quad \Delta Y_i = Y_i - \bar{Y},$$

公式(2.5)是求解四个未知量的方程组,原则上需两次观测记录。当 $m > 2$ 时,

$$\alpha_1^* = \frac{\phi}{\mathcal{D}}, \quad \alpha_2^* = \frac{\varphi}{\mathcal{D}}, \quad \alpha_3^* = \frac{\xi}{\mathcal{D}}, \quad \alpha_4^* = \frac{\eta}{\mathcal{D}}, \quad (2.6)$$

其中

$$\mathcal{D} = AB - C^2 - E^2,$$

$$\phi = \mu B - \nu C + \pi E$$

$$\xi = \lambda B - \pi C - \nu E$$

$$A = \sum_{i=1}^m [(\Delta L_i)^2 + (\Delta S_i)^2]$$

$$C = \sum_{i=1}^m [\Delta L_i \Delta K_i + \Delta S_i \Delta P_i]$$

$$\mu = \sum_{i=1}^m [\Delta L_i \Delta X_i + \Delta S_i \Delta Y_i]$$

$$\lambda = \sum_{i=1}^m [\Delta L_i \Delta Y_i - \Delta S_i \Delta X_i]$$

$$\varphi = \nu A - \mu C - \lambda E$$

$$\eta = \pi A - \lambda C + \mu E,$$

$$B = \sum_{i=1}^m [(\Delta K_i)^2 + (\Delta P_i)^2]$$

$$E = \sum_{i=1}^m [\Delta L_i \Delta P_i - \Delta K_i \Delta S_i],$$

$$\nu = \sum_{i=1}^m [\Delta K_i \Delta X_i + \Delta P_i \Delta Y_i]$$

$$\pi = \sum_{i=1}^m [\Delta K_i \Delta Y_i - \Delta P_i \Delta X_i],$$

各月常流 U_0 和 V_0 的计算公式为:

$$\begin{cases} U_0 = \bar{X} - [\bar{L}\alpha_1^* + \bar{K}\alpha_2^* - \bar{S}\alpha_3^* - \bar{P}\alpha_4^*] \\ V_0 = \bar{Y} - [\bar{S}\alpha_1^* + \bar{P}\alpha_2^* + \bar{L}\alpha_3^* + \bar{K}\alpha_4^*]. \end{cases} \quad (2.7)$$

2. 风生坡度流的计算

类似于公式(1.11),可以预先计算出 B_{gi}^* 和 C_{gi}^* ,再由公式(2.2)可得:

$$\begin{cases} L_i \alpha_1 + K_i \alpha_2 - S_i \alpha_3 - P_i \alpha_4 = B_{gi}^* \\ S_i \alpha_1 + P_i \alpha_2 + L_i \alpha_3 + K_i \alpha_4 = C_{gi}^*, \end{cases} \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (2.8)$$

这里的 $\alpha_1 - \alpha_4$ 已经是最佳风生坡度流参数, n 个方程组(2.8)式确定的四个未知量为:

$$\alpha_1 = \frac{\phi'}{\mathcal{D}'}, \quad \alpha_2 = \frac{\varphi'}{\mathcal{D}'}, \quad \alpha_3 = \frac{\xi'}{\mathcal{D}'}, \quad \alpha_4 = \frac{\eta'}{\mathcal{D}'}, \quad (2.9)$$

其中 $\mathcal{D}'$ 、 ϕ' 、 φ' 、 ξ' 和 η' 的表达式具有和(2.6)式类似的形式。而

$$A' = \sum_{i=1}^n [L_i^2 + S_i^2]$$

$$B' = \sum_{i=1}^n [K_i^2 + P_i^2]$$

$$C' = \sum_{i=1}^n [L_i K_i + S_i P_i]$$

$$E' = \sum_{i=1}^n [L_i P_i - S_i K_i],$$

$$\mu' = \sum_{i=1}^n [L_i B_{gi}^* + S_i C_{gi}^*]$$

$$\nu' = \sum_{i=1}^n [K_i B_{gi}^* + P_i C_{gi}^*]$$

$$\lambda' = \sum_{i=1}^n [L_i C_{gi}^* - S_i B_{gi}^*] \quad \pi' = \sum_{i=1}^n [K_i C_{gi}^* - P_i B_{gi}^*]_0$$

(二) 常流分离

设质量场斜压海面坡度和质量场水平对流体积输送存在下列关系:

$$\zeta'_{2,x} = \beta_1^* DB'_\rho + \beta_2^* DC'_\rho, \quad \zeta'_{2,y} = \beta_3^* DB'_\rho + \beta_4^* DC'_\rho, \quad (2.10)$$

其中 $\beta_1^* - \beta_4^*$ 为斜压坡度流参数。

1. 各季度剩余坡度流的计算

类似于(1.16)、(1.17)式, 公式(1.18)的相应形式为:

$$\begin{cases} B_g^1 = L\beta_1^* + K\beta_2^* - S\beta_3^* - P\beta_4^* + B_r \\ C_g^1 = S\beta_1^* + P\beta_2^* + L\beta_3^* + K\beta_4^* + C_r, \end{cases} \quad (2.11)$$

记

$$L = GDB'_\rho, \quad K = GDC'_\rho, \quad S = -HDB'_\rho, \quad P = -HDC'_\rho.$$

设某观测站在同一季度内具有 m ($m \geq 2$) 次观测记录, 则剩余坡度流分量 B_r 和 C_r 的计算, 可参看公式(2.3)–(2.7)。

2. 质量场斜压坡度流的计算

类似于(1.22)式, 公式(1.23)相应的形式为:

$$\begin{cases} L_i\beta_1 + K_i\beta_2 - S_i\beta_3 - P_i\beta_4 = B'_{\rho gi} \\ S_i\beta_1 + P_i\beta_2 + L_i\beta_3 + K_i\beta_4 = C'_{\rho gi} \end{cases}, \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (2.12)$$

$\beta_1 - \beta_4$ 已是最佳质量场斜压坡度流参数。若某观测站共有 n ($n > m$) 次观测记录, 且分布在 j 个季度内。则 $\beta_1 - \beta_4$ 的计算可参看公式(2.8)和(2.9)。各层余流的推算公式类似于海区类型 I。

三、海区类型 III——远岸有限深海

本海区流况的特点是底流弱, 流向垂直变化较大。海底处应取完全粘滞边界条件:

$$Z = D, \quad u = v = 0. \quad (3.1)$$

(一) 各层余流的推算

方程(1.1)满足海面条件(1.2)和海底条件(3.1)的解为:

$$\begin{aligned} u(Z) = & \left[\frac{\mu}{aA_Z(\mu^2 + \nu^2)} \operatorname{sha}(D - Z) \cos a(D - Z) \right. \\ & + \left. \frac{\nu}{aA_Z(\mu^2 + \nu^2)} \operatorname{cha}(D - Z) \sin a(D - Z) \right] T_x \\ & - \left[\frac{\mu}{aA_Z(\mu^2 + \nu^2)} \operatorname{cha}(D - Z) \sin a(D - Z) \right. \\ & - \left. \frac{\nu}{aA_Z(\mu^2 + \nu^2)} \operatorname{sha}(D - Z) \cos a(D - Z) \right] T_y \\ & + \frac{g}{f} \left[\frac{\operatorname{sha}(D + Z) \sin a(D - Z) + \operatorname{sha}(D - Z) \sin a(D + Z)}{\operatorname{ch} 2aD + \cos 2aD} \right] G_x \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + \frac{g}{f} \left[1 - \frac{\operatorname{ch} a(D+Z) \cos a(D-Z) + \operatorname{ch} a(D-Z) \cos a(D+Z)}{\operatorname{ch} 2aD + \cos 2aD} \right] G_y \\
& + \left[\int_0^Z \left\{ \frac{g}{2aA_z} [\operatorname{sh} a(Z-t) \cos a(Z-t) + \operatorname{ch} a(Z-t) \sin a(Z-t)] q(t) \right\} dt \right. \\
& + \int_0^Z \left\{ \frac{g}{2aA_z} [\operatorname{sh} a(Z-t) \cos a(Z-t) - \operatorname{ch} a(Z-t) \sin a(Z-t)] q^*(t) \right\} dt \\
& - \int_0^D g \left\{ \left[\frac{\mu}{aA_z(\mu^2 + \nu^2)} \operatorname{ch} aZ \cos aZ \right. \right. \\
& + \left. \left. \frac{\nu}{aA_z(\mu^2 + \nu^2)} \operatorname{sh} aZ \sin aZ \right] \operatorname{sh} a(D-t) \cos a(D-t) \right. \\
& - \left. \left[\frac{\mu}{aA_z(\mu^2 + \nu^2)} \operatorname{sh} aZ \sin aZ \right. \right. \\
& - \left. \left. \frac{\nu}{aA_z(\mu^2 + \nu^2)} \operatorname{ch} aZ \cos aZ \right] \operatorname{ch} a(D-t) \sin a(D-t) \right\} q(t) dt \\
& + \int_0^D g \left\{ \left[\frac{\mu}{aA_z(\mu^2 + \nu^2)} \operatorname{ch} aZ \cos aZ \right. \right. \\
& + \left. \left. \frac{\nu}{aA_z(\mu^2 + \nu^2)} \operatorname{sh} aZ \sin aZ \right] \operatorname{ch} a(D-t) \sin a(D-t) \right. \\
& + \left. \left[\frac{\mu}{aA_z(\mu^2 + \nu^2)} \operatorname{sh} aZ \sin aZ \right. \right. \\
& - \left. \left. \frac{\nu}{aA_z(\mu^2 + \nu^2)} \operatorname{ch} aZ \cos aZ \right] \operatorname{sh} a(D-t) \cos a(D-t) \right\} q^*(t) dt \Big], \quad (3.2)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
v(Z) = & \left[\frac{\mu}{aA_z(\mu^2 + \nu^2)} \operatorname{ch} a(D-Z) \sin a(D-Z) \right. \\
& - \left. \frac{\nu}{aA_z(\mu^2 + \nu^2)} \operatorname{sh} a(D-Z) \cos a(D-Z) \right] T_x \\
& + \left[\frac{\mu}{aA_z(\mu^2 + \nu^2)} \operatorname{sh} a(D-Z) \cos a(D-Z) \right. \\
& + \left. \frac{\nu}{aA_z(\mu^2 + \nu^2)} \operatorname{ch} a(D-Z) \sin a(D-Z) \right] T_y \\
& - \frac{g}{f} \left[1 - \frac{\operatorname{ch} a(D+Z) \cos a(D-Z) + \operatorname{ch} a(D-Z) \cos a(D+Z)}{\operatorname{ch} 2aD + \cos 2aD} \right] G_x \\
& + \frac{g}{f} \left[\frac{\operatorname{sh} a(D+Z) \sin a(D-Z) + \operatorname{sh} a(D-Z) \sin a(D+Z)}{\operatorname{ch} 2aD + \cos 2aD} \right] G_y \\
& + \left[- \int_0^Z \left\{ \frac{g}{2aA_z} [\operatorname{sh} a(Z-t) \cos a(Z-t) - \operatorname{ch} a(Z-t) \sin a(Z-t)] q(t) \right\} dt \right. \\
& + \int_0^Z \left\{ \frac{g}{2aA_z} [\operatorname{sh} a(Z-t) \cos a(Z-t) + \operatorname{ch} a(Z-t) \sin a(Z-t)] q^*(t) \right\} dt \\
& - \int_0^D g \left\{ \left[\frac{\mu}{aA_z(\mu^2 + \nu^2)} \operatorname{ch} aZ \cos aZ \right. \right. \\
& + \left. \left. \frac{\nu}{aA_z(\mu^2 + \nu^2)} \operatorname{sh} aZ \sin aZ \right] \operatorname{ch} a(D-t) \sin a(D-t) \right.
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + \left[\frac{\mu}{aA_Z(\mu^2 + \nu^2)} \operatorname{sh} aZ \sin aZ \right. \\
& \left. - \frac{\nu}{aA_Z(\mu^2 + \nu^2)} \operatorname{ch} aZ \cos aZ \right] \operatorname{sh} a(D-t) \cos a(D-t) \Big\} q(t) dt \\
& - \int_0^D g \left\{ \left[\frac{\mu}{aA_Z(\mu^2 + \nu^2)} \operatorname{ch} aZ \cos aZ \right. \right. \\
& \left. \left. + \frac{\nu}{aA_Z(\mu^2 + \nu^2)} \operatorname{sh} aZ \sin aZ \right] \operatorname{sh} a(D-t) \cos a(D-t) \right. \\
& \left. - \left[\frac{\mu}{aA_Z(\mu^2 + \nu^2)} \operatorname{sh} aZ \sin aZ \right. \right. \\
& \left. \left. - \frac{\nu}{aA_Z(\mu^2 + \nu^2)} \operatorname{ch} aZ \cos aZ \right] \operatorname{ch} a(D-t) \sin a(D-t) \right\} q^*(t) dt \Big], \quad (3.3)
\end{aligned}$$

其中

$$\mu = \operatorname{ch} aD \cos aD - \operatorname{sh} aD \sin aD, \quad \nu = \operatorname{ch} aD \cos aD + \operatorname{sh} aD \sin aD,$$

$$q(t) = \int_0^t \rho(Z)_{,x} dZ, \quad q^*(t) = \int_0^t \rho(Z)_{,y} dZ, \quad a = (\bar{\rho}f/2A_Z)^{\frac{1}{2}},$$

表达式(3.2)和(3.3)右端前两项为风生漂流分量,第三项和第四项为坡度流分量,由公式(1.4)可知,它包括风生坡度流、斜压坡度流和剩余坡度流三部分。海面坡度分量 G_x 和 G_y 仍将借助于坡度流参数予以推算,右端最后一项为斜压水平对流分量。

(二) 余流分离

令 $Z = 0$, 由公式(3.2)和(3.3)可得表层流速分量的表达式:

$$\begin{cases} u_0 = [I_0 T_x + J_0 T_y] + [L_0 \zeta_{1,x} + K_0 \zeta_{1,y}] + Q_0^* + [L_0 \zeta'_{2,x} + K_0 \zeta'_{2,y}] + [L_0 \zeta''_{2,x} + K_0 \zeta''_{2,y}] \\ v_0 = [-J_0 T_x + I_0 T_y] + [-K_0 \zeta_{1,x} + L_0 \zeta_{1,y}] - Q_0^{**} + [-K_0 \zeta'_{2,x} + L_0 \zeta'_{2,y}] \\ \quad + [-K_0 \zeta''_{2,x} + L_0 \zeta''_{2,y}], \end{cases} \quad (3.4)$$

其中

$$I_0 = \frac{\operatorname{sh} 2aD + \sin 2aD}{2aA_Z(\operatorname{ch} 2aD + \cos 2aD)}, \quad J_0 = \frac{\operatorname{sh} 2aD - \sin 2aD}{2aA_Z(\operatorname{ch} 2aD + \cos 2aD)},$$

$$L_0 = \frac{g}{f} \frac{2 \operatorname{sh} aD \sin aD}{\operatorname{ch} 2aD + \cos 2aD}, \quad K_0 = \frac{g}{f} \left[1 - \frac{2 \operatorname{ch} aD \cos aD}{\operatorname{ch} 2aD + \cos 2aD} \right],$$

$$\begin{aligned}
Q_0^* = & \int_0^D g \left\{ \left[\frac{\mu}{aA_Z(\mu^2 + \nu^2)} q^*(t) - \frac{\nu}{aA_Z(\mu^2 + \nu^2)} q(t) \right] \operatorname{ch} a(D-t) \sin a(D-t) \right. \\
& \left. - \left[\frac{\mu}{aA_Z(\mu^2 + \nu^2)} q(t) + \frac{\nu}{aA_Z(\mu^2 + \nu^2)} q^*(t) \right] \right. \\
& \left. \times \operatorname{sh} a(D-t) \cos a(D-t) \right\} dt,
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
Q_0^{**} = & \int_0^D g \left\{ \left[\frac{\mu}{aA_Z(\mu^2 + \nu^2)} q^*(t) - \frac{\nu}{aA_Z(\mu^2 + \nu^2)} q(t) \right] \operatorname{sh} a(D-t) \cos a(D-t) \right. \\
& \left. + \left[\frac{\mu}{aA_Z(\mu^2 + \nu^2)} q(t) + \frac{\nu}{aA_Z(\mu^2 + \nu^2)} q^*(t) \right] \right. \\
& \left. \times \operatorname{ch} a(D-t) \sin a(D-t) \right\} dt.
\end{aligned}$$

公式(3.4)和公式(1.5)具有类似的形式,它是表层余流分离的表达式。

1. 各月表层常流的计算

设风生海面坡度和风生漂流体积输送分量存在下列相应关系:

$$\zeta_{1,x} = \alpha_1^* S_{dx} + \alpha_2^* S_{dy}, \quad \zeta_{1,y} = \alpha_3^* S_{dx} + \alpha_4^* S_{dy}, \quad (3.5)$$

其中

$$S_{dx} = p^* T_x + p^{**} T_y, \quad S_{dy} = -p^{**} T_x + p^* T_y, \\ p^* = \frac{2 \operatorname{sh} aD \sin aD}{\bar{\rho} f (\operatorname{ch} 2aD + \cos 2aD)}, \quad p^{**} = \frac{1}{\bar{\rho} f} \left[1 - \frac{2 \operatorname{cha} D \cos aD}{\operatorname{ch} 2aD + \cos 2aD} \right],$$

公式(3.5)中的 $\alpha_1^* - \alpha_4^*$ 为风生坡度流参数。记(3.4)式右端第一项为 B_0^* 和 C_0^* , 后三项之和记以 M_0 和 N_0 , 并将(3.5)式代入(3.4)式, 可得:

$$\begin{cases} u_0 = B_0^* + L\alpha_1^* + K\alpha_2^* - S\alpha_3^* - P\alpha_4^* + M_0 \\ v_0 = C_0^* + S\alpha_1^* + P\alpha_2^* + L\alpha_3^* + K\alpha_4^* + N_0, \end{cases} \quad (3.6)$$

其中

$$L = L_0 S_{dx}, \quad K = L_0 S_{dy}, \quad S = -K_0 S_{dx}, \quad P = -K_0 S_{dy}.$$

若某观测站历史上具有同一月或日期相近的 m 次观测记录。由(3.6)式可得 m 组方程:

$$\begin{cases} L_i \alpha_1^* + K_i \alpha_2^* - S_i \alpha_3^* - P_i \alpha_4^* + M_0 = X_i \\ S_i \alpha_1^* + P_i \alpha_2^* + L_i \alpha_3^* + K_i \alpha_4^* + N_0 = Y_i, \end{cases} \quad (i = 1, 2, \dots, m) \quad (3.7)$$

记

$$X_i = u_{0i} - B_{0i}^*, \quad Y_i = v_{0i} - C_{0i}^*$$

利用方程组(3.7)求解 $\alpha_1^* - \alpha_4^*$ 以及表面常流 M_0 和 N_0 的计算公式可参看方程组(2.3)的求解。

2. 风生坡度流的计算

公式(3.4)右端第二项分别记以 $B_{g_0}^*$ 和 $C_{g_0}^*$, 并根据已确定的各月常流值按下式计算:

$$\begin{cases} B_{g_0 i}^* = u_{0i} - B_{0i}^* - M_{0i} \\ C_{g_0 i}^* = v_{0i} - C_{0i}^* - N_{0i}, \end{cases} \quad \begin{matrix} (i = 1, 2, \dots, n) \\ (j = 1, 2, \dots, 12) \end{matrix} \quad (3.8)$$

再由公式(3.6)可得

$$\begin{cases} L_i \alpha_1 + K_i \alpha_2 - S_i \alpha_3 - P_i \alpha_4 = B_{g_0 i}^* \\ S_i \alpha_1 + P_i \alpha_2 + L_i \alpha_3 + K_i \alpha_4 = C_{g_0 i}^*, \end{cases} \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (3.9)$$

由方程组(3.9)求解最佳风生坡度流参数 $\alpha_1 - \alpha_4$ 的计算公式可参看方程组(2.8)的求解。

(三) 常 流 分 离

设质量场斜压海面坡度和质量场水平对流体积输送存在下列关系:

$$\zeta'_{2,x} = \beta_1^* S_{\rho x} + \beta_2^* S_{\rho y}, \quad \zeta'_{2,y} = \beta_3^* S_{\rho x} + \beta_4^* S_{\rho y} \quad (3.10)$$

其中

$$S_{\rho x} = \int_0^D Q^* dZ, \quad S_{\rho y} = \int_0^D Q^{**} dZ$$

公式(3.10)中的 $\beta_1^* - \beta_4^*$ 为斜压坡度流参数; Q^* 和 Q^{**} 分别为公式(3.2)和(3.3)中右端

最后一项的记号。

1. 各季度剩余坡度流的计算

类似于(1.16)式和(1.17)式, 公式(1.18)的相应形式为:

$$\begin{cases} B'_{g_0} = L\beta_1^* + K\beta_2^* - S\beta_3^* - P\beta_4^* + B_{r_0} \\ C'_{g_0} = S\beta_1^* + P\beta_2^* + L\beta_3^* + K\beta_4^* + C_{r_0} \end{cases} \quad (3.11)$$

B_{r_0} 和 C_{r_0} 为(3.4)式右端最后一项, 即剩余坡度流分量; B'_{g_0} 和 C'_{g_0} 应由下式确定:

$$\begin{cases} B'_{g_0} = u_0 - B_0^* - B_{g_0}^* - Q_0^* \\ C'_{g_0} = v_0 - C_0^* - C_{g_0}^* - Q_0^{**} \end{cases}$$

而

$$L = L_0 S_{\rho x}, \quad K = L_0 S_{\rho y}, \quad S = -K_0 S_{\rho x}, \quad P = -K_0 S_{\rho y}$$

若观测站在同一季度内具有 m ($m \geq 2$) 次观测记录, 则剩余坡度流分量 B_{r_0} 和 C_{r_0} 的计算, 可参看公式(2.3)~(2.7)。

2. 质量场斜压坡度流的计算

类似于(1.22)式, 公式(1.23)相应的形式为

$$\begin{cases} L_i\beta_1 + K_i\beta_2 - S_i\beta_3 - P_i\beta_4 = B'_{\rho g_0 i} \\ S_i\beta_1 + P_i\beta_2 + L_i\beta_3 + K_i\beta_4 = C'_{\rho g_0 i} \end{cases}, \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (3.12)$$

其中 $\beta_1 \sim \beta_4$ 为最佳质量场斜压坡度流参数, 具体的计算公式可参看公式(2.8)和(2.9)。

(四) 垂直涡动粘滞常系数 A_z 的计算

将各层流速分量表达式(3.2)和(3.3)代入(1.30), 可得:

$$\begin{cases} A_z = CI\bar{\rho}/D^{\frac{1}{2}}, \quad I = M^{1/2}/N^2, \\ M = Ah + Bi - E\nu + D(q + \phi) - H(\varepsilon - \pi) + F + K, \\ N = Ah^* + Bi^* - E^*\nu + D(q^* + \phi^*) - H(\varepsilon^* - \pi^*) + F^* + K^*, \end{cases} \quad (3.13)$$

其中

$$\begin{aligned} A &= [T_x^2 + T_y^2]/A_z^2(\text{sh}^2 aD + \cos^2 aD) \\ B &= \{(G_x^2 + G_y^2) + 2a[(G_x + G_y)(\sigma^* - \delta^*) - (G_x - G_y)(\tau^* + \theta^*)] \\ &\quad + 2a^2[(\sigma^* - \delta^*)^2 + (\tau^* + \theta^*)^2]\}/2a^2(\text{sh}^2 aD + \cos^2 aD), \\ E &= [T_x(l + \xi) - T_y(m - \eta)]\text{ch } aD \cos aD + [T_x(m - \eta) \\ &\quad + T_y(l + \xi)]\text{sh } aD \sin aD, \\ E^* &= [T_x \text{ch } aD \cos aD + T_y \text{sh } aD \sin aD](\sigma_K - \delta_K) - [T_x \text{sh } aD \sin aD \\ &\quad - T_y \text{ch } aD \cos aD](\tau_K + \theta_K), \\ D &= \{[(G_x - G_y)\text{sh } aD \sin aD - (G_x + G_y)\text{ch } aD \cos aD] \\ &\quad - 2a[(\sigma^* - \delta^*)\text{ch } aD \cos aD \\ &\quad + (\tau^* + \theta^*)\text{sh } aD \sin aD]\}/a(\text{sh}^2 aD + \cos^2 aD), \\ H &= \{[(G_x - G_y)\text{ch } aD \cos aD + (G_x + G_y)\text{sh } aD \sin aD] \\ &\quad + 2a[(\sigma^* - \delta^*)\text{sh } aD \sin aD - (\tau^* + \theta^*)\text{ch } aD \cos aD]\}/a(\text{sh}^2 aD \\ &\quad + \cos^2 aD), \\ F &= \{aT_x[(\sigma^* - \delta^*) - (\tau^* + \theta^*)] + aT_y[(\sigma^* - \delta^*) + (\tau^* + \theta^*)] \\ &\quad + (T_x G_x + T_y G_y)\}\text{sh } aD \sin aD/a^2 A_z(\text{sh}^2 aD + \cos^2 aD), \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\mathbf{F}^* &= [\{2a[T_x(\sigma^* - \delta^*) + T_y(\tau^* + \theta^*)] \\
&\quad + [T_x(G_x + G_y) - T_y(G_x - G_y)]\} \operatorname{sh} aD \cos aD \\
&\quad - \{2a[T_x(\tau^* + \theta^*) - T_y(\sigma^* - \delta^*)] - [T_x(G_x - G_y) \\
&\quad + T_y(G_x + G_y)]\} \operatorname{ch} aD \sin aD] / a^2 A_Z (\operatorname{sh}^2 aD + \cos^2 aD), \\
h &= (\operatorname{sh} 2aD + \sin 2aD) / 4a \quad i = (\operatorname{sh} 2aD - \sin 2aD) / 4a \\
v &= 2/A_Z^2 (\operatorname{sh}^2 aD + \cos^2 aD) \quad \mathbf{K} = \int_0^D [\sigma(Z) - \delta(Z)]^2 dZ + \int_0^D [\tau(Z) + \theta(Z)]^2 dZ \\
q &= \int_0^D q(Z) dZ \quad \phi = \int_0^D \phi(Z) dZ \\
\varepsilon &= \int_0^D \varepsilon(Z) dZ \quad \pi = \int_0^D \pi(Z) dZ \\
\mathbf{K}^* &= (\sigma_K - \delta_K)^2 + (\tau_K + \theta_K)^2 \\
h^* &= \sin^2 aD - \operatorname{sh}^2 aD \quad i^* = \operatorname{sh}^2 aD + \sin^2 aD \\
q^* &= (\sigma_K - \delta_K) \operatorname{sh} aD \cos aD \quad \phi^* = (\tau_K + \theta_K) \operatorname{ch} aD \sin aD \\
\varepsilon^* &= (\sigma_K - \delta_K) \operatorname{ch} aD \sin aD \quad \pi^* = (\tau_K + \theta_K) \operatorname{sh} aD \sin aD \\
l &= \int_0^D l(Z) dZ \quad \xi = \int_0^D \xi(Z) dZ \\
m &= \int_0^D m(Z) dZ \quad \eta = \int_0^D \eta(Z) dZ \\
l(Z) &= [\sigma(Z) - \delta(Z)] \operatorname{ch} a(D - Z) \cos a(D - Z) \\
\xi(Z) &= [\tau(Z) + \theta(Z)] \operatorname{sh} a(D - Z) \sin a(D - Z) \\
m(Z) &= [\sigma(Z) - \delta(Z)] \operatorname{sh} a(D - Z) \sin a(D - Z) \\
\eta(Z) &= [\tau(Z) + \theta(Z)] \operatorname{ch} a(D - Z) \cos a(D - Z) \\
q(Z) &= [\sigma(Z) - \delta(Z)] \operatorname{sh} aZ \cos aZ \\
\phi(Z) &= [\tau(Z) + \theta(Z)] \operatorname{ch} aZ \sin aZ \\
\varepsilon(Z) &= [\sigma(Z) - \delta(Z)] \operatorname{ch} aZ \sin aZ \\
\pi(Z) &= [\tau(Z) + \theta(Z)] \operatorname{sh} aZ \cos aZ \\
\sigma(Z) &= \int_0^Z \lambda(t) \operatorname{ch} a(Z - t) \cos a(Z - t) dt \\
\delta(Z) &= \int_0^Z \mu(t) \operatorname{sh} a(Z - t) \sin a(Z - t) dt \\
\tau(Z) &= \int_0^Z \lambda(t) \operatorname{sh} a(Z - t) \sin a(Z - t) dt \\
\theta(Z) &= \int_0^Z \mu(t) \operatorname{ch} a(Z - t) \cos a(Z - t) dt \\
\sigma_K &= \int_0^D \lambda(t) \operatorname{ch} a(D - t) \cos a(D - t) dt \\
\delta_K &= \int_0^D \mu(t) \operatorname{sh} a(D - t) \sin a(D - t) dt \\
\tau_K &= \int_0^D \lambda(t) \operatorname{sh} a(D - t) \sin a(D - t) dt \\
\theta_K &= \int_0^D \mu(t) \operatorname{ch} a(D - t) \cos a(D - t) dt
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \sigma^* &= \int_0^D \lambda(t) \operatorname{sh} a(D-t) \cos a(D-t) dt \\
 \delta^* &= \int_0^D \mu(t) \operatorname{ch} a(D-t) \sin a(D-t) dt \\
 \tau^* &= \int_0^D \lambda(t) \operatorname{ch} a(D-t) \sin a(D-t) dt \\
 \theta^* &= \int_0^D \mu(t) \operatorname{sh} a(D-t) \cos a(D-t) dt \\
 \lambda(t) &= \frac{g}{A_z} \int_0^t \rho(Z)_{,x} dZ \\
 \mu(t) &= \frac{g}{A_z} \int_0^t \rho(Z)_{,y} dZ \\
 \zeta''_{2,x} &= (L_0 B_{r_0} - K_0 C_{r_0}) / (L_0^2 + K_0^2); \quad \zeta''_{2,y} = (K_0 B_{r_0} + L_0 C_{r_0}) / (L_0^2 + K_0^2) \\
 a &= (\bar{\rho} f / 2 A_z)^{\frac{1}{2}} \\
 G_x &= \frac{\rho_0 g}{A_z} [(\alpha_1 S_{dx} + \alpha_2 S_{dy}) + (\beta_1 S_{\rho x} + \beta_2 S_{\rho y}) + \zeta''_{2,x}] \\
 G_y &= \frac{\rho_0 g}{A_z} [(\alpha_3 S_{dx} + \alpha_4 S_{dy}) + (\beta_3 S_{\rho x} + \beta_4 S_{\rho y}) + \zeta''_{2,y}]
 \end{aligned}$$

若将流速分量 $u(Z)$ 和 $v(Z)$ 的表达式(3.2)和(3.3)关于 Z 求导, 可确定海底处的粘滞摩擦应力, 并采用类似于(1.34)式的处理方法, 可得出计算比例系数 C 的计算公式。显然, 公式(3.2)–(3.13)以及比例系数 C 的推算式中都含有 A_z , 具体计算时需在电子计算机上采用“优选法”迭代技术。首先是根据风场和海水密度场的资料, 由公式(3.13)计算当 G_x 和 G_y 的初值为零时的 A_z 值, 再由这个 A_z 初值根据公式(3.4)–(3.12)计算 G_x 和 G_y 的初值。然后, 由 G_x 和 G_y 的初值再去计算 A_z 的第一次迭代值, 直至收敛为止。实例计算表明采用“优选法”或“二分法”迭代技术时, 迭代收敛极快。比例系数 C 的计算也采用类似的方法。若将 A_z 和 G_x, G_y 的计算值代入公式(3.2)和(3.3)就可以推算出各层余流。

四、推算实例

本文曾以近岸浅海某观测站为例。利用该站历史上四个昼夜的连续观测资料, 进行了余流分离、常流分离; 并由分析所得的坡度流参数推算了15个时刻的平均余流和各层余流。各层余流的推算值和观测值之间的平均误差, 流速为 6cm/sec, 流向为 11° 。图 1–3 分别为该站春、夏、冬三季某观测时刻的各层余流计算值和观测值的比较。结果表明两者的符合程度是令人满意的。为了便于推算和检验, 本文所介绍的计算公式已编制成电子计算机专用程序, 可供试用和进一步探讨。

有潮海区的余流观测值, 是将每小时整点的测流值扣去整点的潮流预报值, 得出 24 个小时的余流观测值。为了使风与流相应, 我们又参照风海流达到稳定状态大约所需的持续时间, 例如 6–12 个小时, 可将每天 24 个余流值按第一天的 2400 时–第二天的 1200 时, 第二天的 0700 时–第二天的 1800 时、第二天的 1300 时–第二天的 2400 时, 进行 12 个小时的平均, 得第二天的三个余流分量观测值。相应的风速值, 按第一天的 1900 时–第二天的 1200 时、第一天的 2400 时–第二天的 1800 时、第二天的 0700 时–第二天的

2400 时,进行18个小时的平均,得第二天的三个风速分量观测值,以供余流分离和常流分离之用。实例表明这种处理方法是可以参考的。

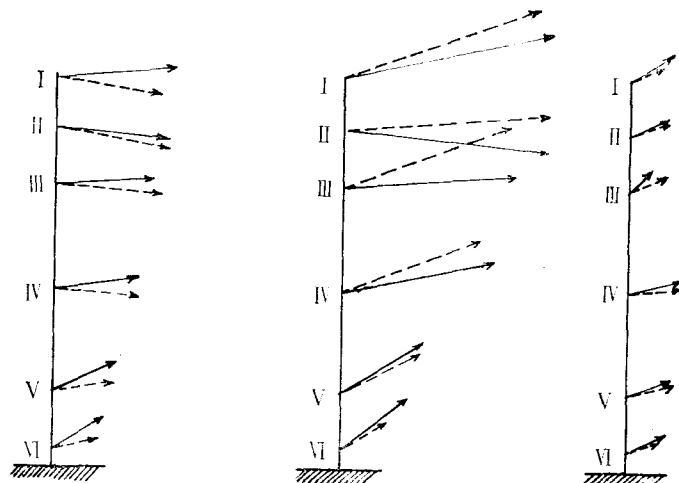


图 1

图 2

图 3

某观测站各层余流的推算值和观测值的比较
—— 观测值 - - - - 推算值 I—VI 观测层次

参 考 文 献

- [1] 缪经榜. 陆架海流的计算方法 (I): 海区类型 I——近岸浅海. 中国海洋湖沼学会 1979 年学术年会论文集。

A METHOD OF THE COMPUTATION OF THE CURRENT ON CONTINENTAL SHELF (II)*

Miao Jingbang

(Institute of Oceanology, Academia Sinica)

Abstract

A semi-empirical method for the separation of the residual current and that of the constant current, and a prediction method for the residual current at all layers in fiord and in finite-deep sea off the shore, are presented.

It has been shown by computational examples that the results of the computation and that of the observations agree satisfactorily.

* Contribution No. 644 from the Institute of Oceanology, Academia Sinica.

The first part of this article is "A method of the computation of the current on continental shelf (I): the type I of the sea area — the shallow water off the shore". It will be soon published in "the Proceedings of the Symposium of the Chinese Society of Oceanology and Limnology, 1979" held at Wuhan.