

一个确定海图基面的方法

徐汉兴

(上海航道局设计研究所)

收稿日期 1989年2月28日

关键词 平均海面, 略低潮面, 理论基面

提要 本文提出的一种综合性计算方法, 在当地无实测潮汐资料的情况下, 直接利用附近测站的调和常数及有关的地形图等资料, 完满地求得了珠江口九洲港的理论深度基准面。这一方法用在与九洲类似的港口, 将具有同样的效果。

九洲港位于珠江口西岸的珠海与澳门之间(见图1)。最近, 为了九洲港的开发, 在伶仃水道西南海区, 从大九洲到头洲, 新开挖了一条通航水道。在这一浅水海区, 潮汐属于不规则半日潮的混合潮性质, 海底地形平缓, 自九洲沿岸逐渐倾向其东南的深海区, 因此, 航道走向取与海底坡向一致, 自岸边伸向东南, 直指伶仃水道南端的深水区。但在本海区并无可利用的可靠疏浚基面, 因而给疏浚工程验收带来了很大的困难, 所以, 对九州港确定一个基准面是必需的。可是, 当地却没有实测潮汐资料。于是, 只能根据所提供的附近测站的调和常数及地形资料采用一种综合性的计算方法, 来确定九州港的理论深度基准面。事实证明, 这一方法的应用效果是良好的。

对九州港理论深度基准面的计算, 具体方法按4个步骤进行: 1. 通过调和常数插补, 推求九州港的调和常数; 2. 通过3个测站的略最低低潮面计算及基面改正, 推求九州港的近似最低潮面; 3. 通过同样3测站及分别按8和11个分潮两种组合情形, 算出各站相应两种理论上可能的最低潮面; 4. 对各站特征最低潮面的计算值进行综合性的分析与比较, 合理确定出九州港的理论深度基准面。下面详细说明这4个步骤: 推求九州港的调和常数; 推求九州港

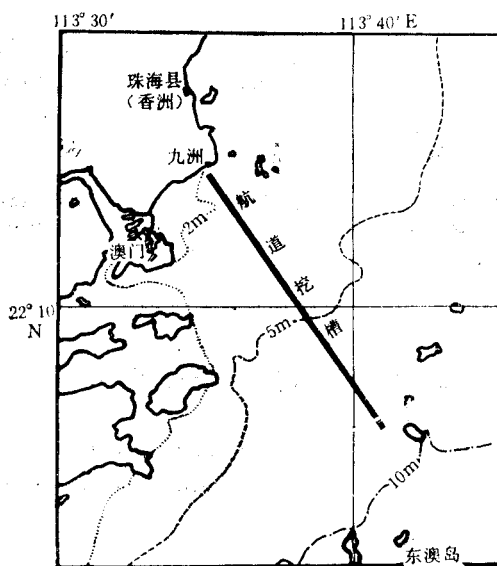


图1 九州港位置

Fig. 1 Position of Jiuzhou Port

的近似最低潮面; 推求各站两种不同的理论最低潮面; 以及确定九州港的理论深度基面等。

I. 调和常数的插补¹⁾

由于九州站潮汐资料缺测, 但已知附近海区地形变化平缓, 并且香洲和东澳岛两个测站

1) 徐汉兴, 1977. 潮汐理论与应用(下册): 89页。

各自具有 11 个分潮的调和常数,因此可以利用这些已知条件,并按地理插值法,来求得九洲的调和常数。其方法是,根据九洲附近的海图,可分别量得香洲、九洲、东澳岛等测站各自坐标原点计算的距离 X_0, X_i, X_1 (见图 2)。

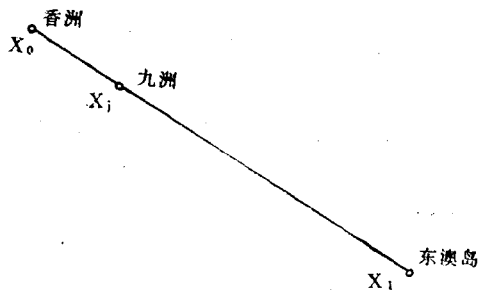


图 2 插值法示意

Fig. 2 Schematic diagram of interpolation

按照拉格朗日插值公式,有

$$Y_i = (X_j - X_1)(X_0 - X_1)^{-1}Y_0 + (X_j - X_0)(X_1 - X_0)^{-1}Y_1 \quad (1)$$

式中, X_0, X_i, X_1 均为已知,式(1)可简化为:

$$Y_i = AY_0 + BY_1 \quad (2)$$

其中系数 A 和 B 亦为已知,因其取决于各对应测站的地理位置; Y 为各对应脚标(0, i , 1)测站的调和常数 H 或 g 。由于式(2)右端项 AY_0 和 BY_1 已知,分别取香洲和东澳岛的调和常数 H 或 g 代入式(2),由此即可求得式(2)左端项 Y_i ,即九洲站相应 11 个分潮($M_2, S_2, N_2, K_2, K_1, O_1, P_1, Q_1, M_4, MS_4, M_6$)的 H 和 g 。

II. 近似最低潮面的计算^[1,3,4,6]

因本海区日分潮显著,这样,可采用印度大潮低潮面公式来计算上述 3 个测站的略最低低潮面。

按潮性常数(F)公式:

$$F = (H_{K_1} + H_{O_1})/H_{M_2} \quad (3)$$

当 $0.5 < F \leq 2.0$, 潮汐属于不规则半日潮型的混合潮。而九洲港的潮性常数 $F_j = 1.40$,表明其为半日型为主的混合潮。由于九洲港及其近海的日分潮振幅 H_{K_1} 和 H_{O_1} 均较大,所以对

本海区就可采用如式(4)的印度大潮低潮面公式,来计算其略最低低潮面(L_N):

$$Z^* = M_2 + S_2 + K_1 + O_1 \quad (4)$$

式中, Z^* 为潮高基面起算的平均海面高度,亦称略最低低潮面(L_N)。由于式(4)右端项所有调和常数均已知,这样由式(4)就能算出香洲、九洲、东澳岛各对应测站的 Z_0^*, Z_i^*, Z_1^* 。

用香洲和东澳岛的平均海面与深度基面之间的已知关系,来改正九洲的略最低低潮面,就可得出其近似最低潮面。这一数值,对于合理确定九洲港的理论深度基准面,将是一个重要的旁证。这就是

$$A_{0,i}^* = Z_i^* + \Delta Z_i \quad (5)$$

式中, $A_{0,i}^*$ 为九洲的近似最低潮面(L_A); ΔZ_i 为九洲海平面高度改正值;由式(2)可得式(6),并可按式(6)来计算:

$$\Delta Z_i = A\Delta Z_0 + B\Delta Z_1 \quad (6)$$

式中,系数 A 和 B 为已知,如式(2);而 ΔZ_0 和 ΔZ_1 按下式计算:

$$\Delta Z_0 = A_{0,0} - Z_0^* \quad (7)$$

$$\Delta Z_1 = A_{0,1} - Z_1^* \quad (8)$$

其中 $A_{0,0}$ 和 $A_{0,1}$ 分别为香洲和东澳岛二测站提供的平均海面高度。

III. 理论上可能的最低潮面计算^[1,2,3,6]

九洲港理论上可能的最低潮面计算是分别推求 L_8 和 L_{11} ,即计算 8 和 11 个分潮两种组合来求得的。

III.1. 对 L_8 的计算

九洲港理论上可能的最低潮面 L_8 ,是根据插补的 8 个分潮的调和常数推算的。

通常假定某地的潮位有许多分潮组成,而在时刻 t 观测的潮高 $h(t)$,可表示为诸线性项之和:

$$h(t) = Z + \sum_{q=1}^8 R_q \cos(\sigma_q t - \varphi_q) + r(t) \quad (9)$$

式中, Z 为水尺零点以上平均海面高度; R_q ,

φ_q, σ_q 分别为第 q 个分潮的振幅、位相、角速度; q, Q 为分潮的序数和总数; $r(t)$ 为由气象及其他偶然因素作用引起非周期水位变化的随机变量; $R_q \cos(\sigma_q t - \varphi_q)$ 称为一个分潮; $R_q = f_q \cdot H_q$, H_q 为 q 分潮的平均振幅; f_q 为分别取决于月球近地点平均径度 P 和月球升交点平均径度 N 的交点因子, 用来修正 18.61a 周期中用到年份的 H_q ; $\varphi_q = g_q - (\nu_0 + u)_q$; g_q 为位相落后于格林威治对应平衡潮的某地分潮位相迟角(专用迟角); $(\nu_0 + u)_q$ 为 q 分潮的平均潮相角, 当 $t = 0$ 时它称为初相位; u_q 为 ν_0 的改正值, 其取决于变量 P 和 N , 即, f 和 $(\nu_0 + u)$ 均为可用公式计算的天文相角, H 和 g 都是由调和计算得出的调和常数。

为了简化计算, 潮高模式(10)为由 8 个分潮组成; 即式(10)所用的分潮, 按其构成取 $M_2, S_2, N_2, K_2, K_1, O_1, P_1, Q_1$ 等 8 个分潮, 可表示为:

$$h(t) = \sum_{q=1}^Q (fH)_q \cos[\sigma_q t + (\nu_0 + u)_q - g_q] \quad (10)$$

很明显, t 时刻的潮高与交点因子 f 的选取密切相关, 尤其是求最高、最低潮面。为了计算可能的最大天文潮, 对半日潮港, f 应取 $N=180^\circ$ 的计算值, 对于全日潮港, f 应取 $N=0^\circ$ 的计算值。

于是, 令 $(fH)_{M_2} = M_2$, $(fH)_{S_2} = S_2$, $(fH)_{O_1} = O_1$, 对 8 个分潮的关系式, 经处理后, 化为 K_1 分潮 φ_{K_1} 的函数, 可求得最高、最低潮面, 即 H 和 L 的计算公式为:

$$H, L = K_1 \cos \varphi_{K_1} + K_2 \cos(2\varphi_{K_1} + a_4) \pm (R_1 + R_2 + R_3) \quad (11)$$

式中, H 和 L 为最高、最低潮面; $R = (A^2 + B^2 + 2AB \cos \tau)^{1/2}$, 当 $A > B$, $R = A(1 + d^2 + 2d \cos \tau)^{1/2} = A_m$, 其中 $d = B/A$, 当 $B > A$, $R = B(Hd^2 + 2d \cos \tau)^{1/2} = B_m$, 其中 $d = A/B$ 。

本计算取 A_m 形式, 即

$$R_1 = (M_2^2 + O_1^2 + 2M_2O_1 \cos \tau_1)^{1/2}$$

$$R_2 = (S_2^2 + P_1^2 + 2S_2P_1 \cos \tau_2)^{1/2}$$

$$R_3 = (N_2^2 + Q_1^2 + 2N_2Q_1 \cos \tau_3)^{1/2}$$

式中, $M_2 > O_1$, $S_2 > P_1$, $N_2 > Q_2$, 则有 $O_1/M_2 = d_1$, $P_1/S_2 = d_2$, $Q_1/N_2 = d_3$; $\tau_1 = \varphi_{K_1} + a_1$, $\tau_2 = \varphi_{K_1} + a_2$, $\tau_3 = \varphi_{K_1} + a_3$, $\varphi_{K_2} = 2\varphi_{K_1} + a_4$, 其中 $a_1 = g_{K_1} + g_{O_1} - g_{M_2}$, $a_2 = g_{K_1} + g_{P_1} - g_{S_2}$, $a_3 = g_{K_1} + g_{Q_1} - g_{N_2}$, $a_4 = 2g_{K_1} - 180^\circ - g_{K_2}$ 。若取 $\varphi_{K_1} = 15^\circ, 30^\circ, 45^\circ, \dots, 360^\circ$, 由式(11)可算出极值 H 和 L ; 并取 H 或 L 为纵坐标, φ_{K_1} 为横坐标作图, 便可确定出极值 H_0 或 L_0 。或将 L_0 附近的 φ_{K_1} 间隔进一步取小, 以试错法确定出更逼近极值的 L_{30} 。

III.2. 对 L_{11} 的计算

由上述的计算值 L_0 经九洲港 3 个浅水分潮 M_4, MS_4 和 M_6 的改正, 亦以试错法就可确定出理论上可能的最低潮面 L_{11} 。其所用的潮高模式如式(12):

$$h(t) = \sum_{q=1}^Q (fH)_q \cos(\varphi_q + b) \quad (12)$$

此中 $Q = 11$; 取 $b = 0^\circ, \pm 1^\circ, \pm 2^\circ, \dots, \pm 14^\circ, \pm 15^\circ$; 各对应分潮 q 的位相 φ_q 与 τ, d, m 密切相关, 对 τ 和 d 的计算已如上述, 而对 m 的计算公式为:

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} m &= B \sin \tau (A + B \cos \tau)^{-1} \\ &= d \sin \tau (1 + d \cos \tau)^{-1} \end{aligned}$$

或 $m = \operatorname{tg}^{-1}[d \sin \tau (1 + d \cos \tau)^{-1}]$

则有 $m_1 = \operatorname{tg}^{-1}[O_1 \sin \tau_1 (M_2 + O_1 \cos \tau_1)^{-1}]$
 $= \operatorname{tg}^{-1}[d_1 \sin \tau_1 (1 + d_1 \cos \tau_1)^{-1}]$,
 $m_2 = \operatorname{tg}^{-1}[P_1 \sin \tau_2 (S_2 + P_1 \cos \tau_2)^{-1}]$
 $= \operatorname{tg}^{-1}[d_2 \sin \tau_2 (1 + d_2 \cos \tau_2)^{-1}]$,
 $m_3 = \operatorname{tg}^{-1}[Q_1 \sin \tau_3 (N_2 + Q_1 \cos \tau_3)^{-1}]$
 $= \operatorname{tg}^{-1}[d_3 \sin \tau_3 (1 + d_3 \cos \tau_3)^{-1}]$

而 11 个分潮的位相 φ_q 可用下式求得:

$$\begin{aligned} \varphi_{M_2} &= 180^\circ + m_1, & \varphi_{S_2} &= 180^\circ + m_2 \\ \varphi_{N_2} &= 180^\circ + m_3, & \varphi_{K_2} &= 2[\varphi_{K_1}]_{L_0} + a_4 \\ \varphi_{O_1} &= \varphi_{M_2} - \tau_1, & \varphi_{P_1} &= \varphi_{S_2} - \tau_2 \\ \varphi_{Q_1} &= \varphi_{N_2} - \tau_3, \\ \varphi_{M_4} &= 2\varphi_{M_2} + 2g_{M_2} - g_{M_4} \\ \varphi_{MS_4} &= \varphi_{M_2} + \varphi_{S_2} + g_{M_2} + g_{S_2} - g_{MS_4} \end{aligned}$$

$$\varphi_{M_4} = 3\varphi_{M_2} + 3g_{M_2} - g_{M_4}$$

按同样的方法，可分别求得另外香洲和东澳岛两站的 L_8 和 L_{11} 。

IV. 深度基面确定

最后，所有的特征最低潮面计算值： L_N ， L_A ， L_8 和 L_{11} 彼此作比较，便可确定九洲港的理论深度基面是在平均海面下一个合理的数值。因各种计算结果只是几厘米之差，这表明，在本海区采用这些方法来计算是合理的，计算结果也都是可靠的，特别是九洲港的 L_{11} 计算值与作为旁证的 L_A 很接近，它们之间只相差 1.1 cm，并按浅水潮条件，用九洲港的 L_{11} 作为其理论深度基面更可取，据后来验潮资料计算的与

该面相一致。因此事实证明，此法应用效果好。

参 考 文 献

- [1] 中国人民解放军海军司令部海道测量部，1959。实用潮汐学。中国人民解放军海军司令部海道测量部出版，118—142页。
- [2] 陈宗镛，1980。潮汐学。北京出版社，198—234页。
- [3] Doodson, A. T., 1928. The analysis of tidal observations. *Phil. Trans. Roy. Soc. Lond.*, A.227, pp.223—279.
- [4] Dronkers, J.J., 1964. Tidal Computations. North-Holland publishing company—Amsterdam. 50—102.
- [5] Xu H.-X., 1984. A method for prediction of shallow water tides. *Chin.J. Oceanol. Limnol.* 2(1):34—48.
- [6] ДУВАНИН. А.И., 1960. Приливы в Море. Л., Гидрометеониздат. 21—36.

TECHNIQUES FOR DETERMINATION OF THE CHART DATUMS

Xu Hanxing

(The Design and Research Institute of Shanghai Waterway Bureau)

Received: Feb. 28, 1989

Key Words: Mean sea level, Nearly lowest low water, Theoretical depth datum

Abstract

This paper presents a synthetic computational method which can produce satisfactory Theoretical Depth Datum (TDD) for Jiuzhou Port in Pearl River Estuary, by directly using the data on harmonic constants and relative topographical charts of the observation stations near the port where the observed tidal data are lacking.

In computation, the harmonic constant of each corresponding tidal constituents for Jiuzhou Station are first obtained by means of "Geographical Interpolation Method" on the basis of the harmonic constants and topographic conditions at Xiangzhou and Dongaodao Islands Stations. Then the formula of "Indian Spring Low Water" is adopted to compute "Nearly Lowest Low Water" for the above three stations, as the characteristics of the diurnal constituents is notable in this sea area. With knowledge of the relations between TDD and Mean Sea Level at Xiangzhou and Dongaodao Islands Stations, "Nearly Lowest Low Water" for Jiuzhou is then corrected to work out "Approximate Lowest Low Tidal Level", which is regarded as an important collateral evidence to determine the TDD for Jiuzhou Harbour. Meanwhile, the "Theoretical Possible Lowest Low Water" for Jiuzhou Station is obtained through the computation of the two combination of 8 and 11 tidal constituents. Finally, the all-computed characteristic lowest low tidal levels are compared; thus TDD for Jiuzhou is determined to be a reasonable value below the Mean Sea Level.

This method is expected to be valid for ports similar to Jiuzhou.