临时验潮站深度基准面传递模型及其适用性研究

刘大伟, 王真祥, 张美富, 刘桂平

(长江水利委员会长江口水文水资源勘测局, 上海 200136)

摘 要 长江口区域瞬时潮汐面受潮汐、径流、风暴潮的耦合作用, 具有一定的区域特性。在阐述临时验潮站各种传递模型的基础上, 考虑径流季节特性与潮汐特性, 利用长期验潮站传递不同时间序列下深度基准面, 探讨了各种传递模型在季节特性与潮汐特征组合条件下传递精度及其适用性, 提出了长江口区域海图测绘深度基准面传递的优选方案, 具有较强的实用性与可操作性。

关键词 深度基准面 传递 季节特征 潮汐特征

中图分类号: P226 文献标识码: A 文章编号: 1672- 4097(2010)06- 0018- 04

1 引 言

深度基准面是海洋测绘中海图水深的起算面, 也是深度场瞬时水位归算的起算面。通常采用的理论最低潮面(Theoretic Lowest Tide, TLT)是根据长期验潮资料, 利用调和函数模型方法计算得到的。该方法需要各验潮站处主要分潮具有稳定可靠的调和常数。

在海道测量及港口工程测量中, 最常见、使用最多的一种水位观测形式是临时验潮站。由于临时验潮站的观测序列通常小于一个月, 甚至仅有几天的观测序列, 因此难以根据观测序列独立确定出精确的平均海平面与深度基准面, 只能采用潮汐基准面传递推估技术来推求其深度基准面。

深度基准面传递方法主要有直接传递法、同步改正法、潮差比法和最小二乘潮位拟合传递法等。通过选取长江口区域长期验潮站的长期序列求定深度基准面, 传递推求附近临时验潮站的深度基准面。根据长江口地区潮汐与水文特征, 选取不同时间特征序列对临时验潮站的深度基准面传递方法精度进行分析, 对深度基准面传递模型的适用性进行探讨, 提出长江口区域临时验潮站在径流季节与潮汐特征组合下传递模型的最优方案, 为传递模型的进一步优化与该区域海道测量深度基准面的推求提供了技术参考。

2 深度基准面传递数学模型

2.1 深度基准面的求定

由主要分潮组合所得到的理论上可能最低潮面称为深度基准面, 利用理论计算求取理论最低潮面至平均海平面距离。深度基准值由各分潮调和常数综合表达潮高的可能最低值计算。

理论深度基准面计算公式为

$$L_s = \min[K_1\cos\varphi_{K_1} + K_2\cos(2\varphi_{K_1} + 2g_{k1} - g_{k_2} - 180^\circ)(R_1 + R_2 + R_3)] \quad (2-1)$$

式中, L_8 表示由 8 个分潮确定的理论深度基准面, H、g 及 f 分别为 M_2、S_2、N_2、K_2、K_1、O_1、P_1、Q_1 等 8 个分潮的调和常数及节点因数。

(4-1) 式未顾及浅海分潮 M_4、MS_4 及 M_6 的影响, 若顾及浅海分潮的影响, 则理论深度基准面应为:

$$L_{11} = L_s + M_4\cos\varphi_{M_4} + MS_4\cos\varphi_{MS_4} + M_6\cos\varphi_{6} \quad (2-2)$$

若进一步顾及气象分潮 S_a 和 S_{S_a}, 则计算公式为

$$L_{13} = L_{11} + H_{S_a}\cos\varphi_{S_a} + H_{S_{sa}}\cos\varphi_{S_{sa}} \quad (2-3)$$

式(2-1)、(2-2)、(2-3)分别为计算理论基准面的 8 分潮、11 分潮及 13 分潮公式。

2.2 深度基准面传递数学模型

调和分析方法确定深度基准面是针对某验潮站的求定方法, 并且要求具有足够长的潮位观测资料及较为稳定的调和常数。然而在实际海图测量中, 设立的临时验潮站由于观测时间短而无法采用调和函数方法求算临时验潮站的理论深度基准面, 就需要采用深度基准面传递推估技术, 利用测区内已有的长期验潮站的理论最低潮面估算得到临时验潮站的平均海平面 $MSL(x, y)$ 及 $L(x, y)$。

2.2.1 直接传递法

直接传递法其确定公式为

$$L(x_B, y_B) = L(x_A, y_A) \quad (2-4)$$

式中: $L(x_B, y_B)$ 及 $L(x_A, y_A)$ 分别为短期验潮站 B 及长期验潮站 A 的深度基准面(与海平面)差值。当附近有多个长期验潮站可以利用时, 可采用距离

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

加权法来确定短期站的深度基准面。

2.2.2　同步改正法

深度基准面同步改正法公式为

$$L_0(x_B, y_B) = M(x_B, y_B) + L_0(x_A, y_A) - M(x_A, y_A) \tag{2-5}$$

式中: $M(x_B, y_B)$ 及 $M(x_A, y_A)$ 分别为同步观测期间验潮站 B 及 A 的短期平均海平面; $L(x_B, y_B)$ 及 $L_0(x_A, y_A)$ 为两个验潮站从各自验潮站零点起算的深度基准面的高度。

$L(x_B, y_B)$ 可由下式求出,

$$L(x_B, y_B) = MSL(x_B, y_B) - L_0(x_B, y_B) \tag{2-6}$$

2.2.3　潮差比传递法

主要假设及数学模型为

$$L(x_B, y_B) = \frac{R_B}{R_A} L(x_A, y_A) \tag{2-7}$$

式中, R_A、R_B 分别为长期验潮站 A 及短期验潮站的潮差。

由于深度基准面实质上为理论最低潮面, 故潮差越大, 深度基准面越低, 式(2-7)假定其关系为线性关系。需要有 3~6 天的同步水位观测资料通过比较高、低潮位来确定潮差比。在确定深度基准面绝对位置时, 需首先用其他方法确定出平均海平面。

2.2.4　最小二乘潮位拟合传递法

传递推估公式为

$$L(x_B, y_B) = \gamma_{AB} L(x_A, y_A) + \varepsilon_{AB} \tag{2-8}$$

式中, γ_{AB}、δ_{AB} 和 ε_{AB} 分别为两验潮站 A、B 间的潮差比、潮时差和基准面偏差。

3　实例计算及分析

长江口区域长期验潮站徐六泾(31.7654°N, 120.9430°E)、营船港(31.9190°N, 120.9023°E)位于澄通河段, 白茆(31.7376°N, 121.0530°E)位于南支河段。两河段为中等强度感潮河段, 受潮汐与径流双重影响, 属典型不规则半日潮。

在短期序列中, 从潮汐条件可分为大潮、中潮、小潮; 从水文季节特征可分为枯季、洪季。在汛期上游下泄径流量大, 遇天文潮期潮汐作用力强, 又恰逢台风多发季节, 因此在径流量、天文潮、风暴潮的共同作用下瞬时潮面与其他季节有较大不同。

3.1　时间序列的选取

通过以徐六泾站为长期验潮站, 采用上述传递模型推求营船港站、白茆站及本站短期同步观测序列下的深度基准面, 分析研究各临时验潮站在不同序列特征条件下的传递精度。

长期验潮站徐六泾采用 2006-2007 年观测序列, 采用调和函数模型 13 分潮数求定深度基准面(L0)或 L 值(深度基准面与平均海平面距离), 以此传递各临时验潮站 L0 或 L 值。临时验潮站根据长江口季节特征, 采用的同步观测序列分别为, 枯季 2 月(1 月~2 月)、洪季 2 月(7 月~8 月)、天文大潮期 1 月(9 月), 枯季 1 月(2 月)、洪季 1 月(8 月)、天文大潮 1 月(9 月)、枯季半月(2 月 3 日~2 月 16 日)、洪季半月(8 月 28 日~9 月 10 日)、天文大潮半月(9 月 26 日~10 月 9 日)、枯季大潮(2 月 3 日~2 月 7 日)、枯季中潮(2 月 8 日~2 月 11 日)、枯季小潮(2 月 12 日~2 月 16 日)、洪季大潮(8 月 28 日~9 月 1 日)、洪季中潮(9 月 2 日~9 月 5 日)、洪季小潮(9 月 6 日~9 月 10 日)、天文潮大潮(9 月 26 日~9 月 30 日)、天文潮中潮(10 月 1 日~10 月 4 日)、天文潮小潮(10 月 5 日~10 月 9 日)。

3.2　传递精度分析

深度基准面的求定与传递存在历元问题。长期验潮站的深度基准面与选取的观测序列有关。临时验潮站则与长期验潮站观测序列亦密不可分, 即临时验潮站通过传递方法所得的深度基准面是长期验潮站所选观测时长下的深度基准面。为便于比较传递结果精度, 以营船港、白茆同步观测序列 2a 数据独立求定深度基准面, 作为误差比较的"真值"。各站传递误差统计表及误差分布图见表 1、表 2、图 1、图 2 所示。

表 1　营船港站深度基准面的传递精度

时间序列	直接传递法	同步改正法	潮差比传递法	最小二乘法
	L 误差/cm	L_0 误差/cm	L 误差/cm	L_0 误差/cm
枯季 2 月	-5.1	1.7	-12.8	7.8
洪季 2 月	-5.1	7.3	-4.3	5.4
天文潮期 2 月	-5.1	6.6	-6.6	6.9
枯季 1 月	-5.1	2.0	-16.7	7.7
洪季 1 月	-5.1	7.2	-7.5	5.2
天文潮期 1 月	-5.1	7.3	-10.0	7.6
枯季半月	-5.1	1.8	-29.1	9.7
洪季半月	-5.1	7.6	-18.0	7.0
天文潮期半月	-5.1	7.5	-18.9	7.7
枯季大潮	-5.1	3.8	-60.0	14.2
枯季中潮	-5.1	1.6	-73.3	10.3
枯季小潮	-5.1	-0.2	-56.7	4.9
洪季大潮	-5.1	9.6	-49.8	11.3
洪季中潮	-5.1	7.0	-64.6	6.9
洪季小潮	-5.1	6.1	-48.3	1.5
天文潮期-大	-5.1	11.0	-49.5	13.6
天文潮期-中	-5.1	7.4	-64.1	6.6
天文潮期-小	-5.1	4.0	-51.9	3.5

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

表 2 白茆站深度基准面的传递精度

时间序列	直接传递法	同步改正法	潮差比传递法	最小二乘法
	L 误差/ cm	L_0 误差/ cm	L 误差/ cm	L_0 误差/ cm
枯季 2 月	- 4.4	7.1	- 4.4	4.0
洪季 2 月	- 4.4	- 6.3	2.8	- 20.2
天文潮期 2 月	- 4.4	- 1.4	0.7	- 8.0
枯季 1 月	- 4.4	6.5	- 9.5	3.7
洪季 1 月	- 4.4	- 7.5	- 1.1	- 22.0
天文潮期 1 月	- 4.4	- 5.1	- 1.6	- 19.1
枯季半月	- 4.4	7.2	- 17.6	4.3
洪季半月	- 4.4	- 5.1	- 11.0	- 18.6
天文潮期半月	- 4.4	- 2.3	- 12.2	- 14.6
枯季大潮	- 4.4	6.5	- 47.0	2.2
枯季中潮	- 4.4	7.4	- 60.7	5.6
枯季小潮	- 4.4	7.7	- 51.0	5.7
洪季大潮	- 4.4	- 6.3	- 44.8	- 20.1
洪季中潮	- 4.4	- 4.3	- 59.5	- 17.8
洪季小潮	- 4.4	- 7.1	- 31.1	- 20.0
天文潮期- 大	- 4.4	- 7.7	- 42.5	- 25.2
天文潮期- 中	- 4.4	0.0	- 60.4	- 11.9
天文潮期- 小	- 4.4	1.2	- 46.0	- 10.9

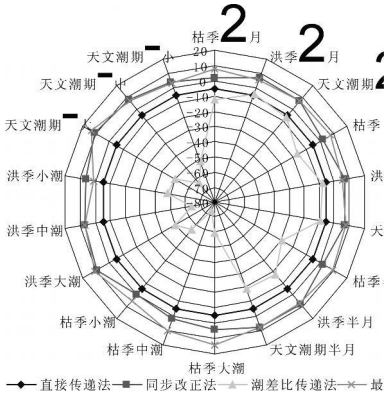

图 1 营船港站传递精度分布图

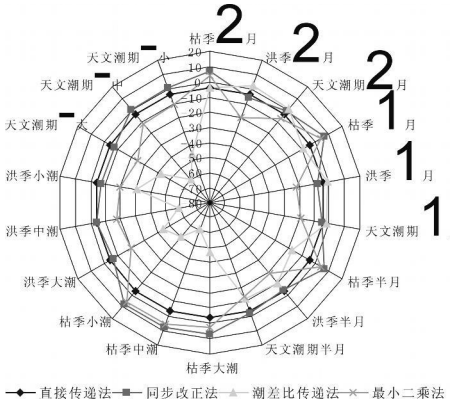

图 2 白茆站传递精度分布图

直接传递法与潮差比法不能直接传递 L_0, 因此两种方法仅对比 L 的传递误差。从计算结果可以看出, 直接传递法由于假设长期站与临时站 L 值相等, 其传递精度仅取决于长期站与临时验潮站 L 的相互关系。在各种传递方法中, 潮差比传递法传递误差最大, 精度最低, 且短于 1 月数据精度显著降低。同步改正法与最小二乘法在营船港站精度相当, 在白茆站则同步改正法优于最小二乘法。

对营船港站, 在时间序列上, 同步改正法枯季传递精度优于洪季, 最小二乘法洪季优于枯季与天文潮期。同步改正法与最小二乘法无论枯季、洪季及天文潮期, 短序列小潮期传递精度优于中潮期、大潮期。两种方法随同步观测序列变短, 平均误差呈增大趋势。同步改正法在长于半月观测序列中枯季精度优于最小二乘法, 洪季则相反。天文潮期精度则相当。

对白茆站, 在时间序列上, 同步改正法天文潮期与洪季优于枯季, 最小二乘法枯季优于洪季与天文潮期。同步改正法与最小二乘法在洪季及天文潮期, 短序列小潮期传递精度优于中潮期、大潮期, 枯季则大潮期优于小潮期。同步改正法除在枯季精度低于最小二乘法, 其余各期传递精度均高于最小二乘法。

潮差比法假定深度基准面与潮差呈线性变化, 其传递精度与观测序列时长显著相关, 时长递减则精度递减, 对短于 1 月数据序列误差显著增大。由于其结果仅取决于同步观测时间内潮差比, 误差较大。

最小二乘法在营船港站传递精度明显优于白茆站。在验潮站空间分布上, 营船港站位于徐六泾站上游17.5 km, 白茆站位于徐六泾站下游10.8 km。虽然白茆站在空间距离上要近于营船港站, 且最小二乘法在假设中引入了潮时差与潮差比参数, 但该法在白茆站传递精度较低, 反映了白茆站靠近分叉口, 潮汐传播性质有所改变, 而在徐六泾节点以上潮汐传播性质较为相似。同步改正法则有更好的兼容性。

3.3 传递模型优化方案

临时验潮站相对长期站空间位置在不同季节特征下亦有影响。从表 3 统计结果可以看出, 相对长期验潮站, 对位于上游的临时验潮站, 在枯季不同序列条件下, 优选传递模型为同步改正法; 在洪季与天文潮期优选传递模型为最小二乘法。对位于下游的临时验潮站, 枯季优选传递模型为最小二乘法, 洪季与天文潮期则为同步改正法。

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 3　季节特征与潮汐特征组合的传递模型优选方案

时间序列	上游站	下游站
枯季 2 月	同步改正法	最小二乘法
洪季 2 月	最小二乘法, 潮差比法	同步改正法, 潮差比法
天文潮期 2 月	最小二乘法, 潮差比法	同步改正法, 潮差比法
枯季 1 月	同步改正法	最小二乘法
洪季 1 月	最小二乘法	同步改正法, 潮差比法
天文潮期 1 月	最小二乘法, 同步改正法	同步改正法, 潮差比法
枯季半月	同步改正法	最小二乘法
洪季半月	最小二乘法	同步改正法
天文潮期半月	最小二乘法, 同步改正法	同步改正法
枯季大潮	同步改正法	最小二乘法
枯季中潮	同步改正法	最小二乘法
枯季小潮	同步改正法	最小二乘法
洪季大潮	同步改正法	同步改正法
洪季中潮	最小二乘法, 同步改正法	同步改正法
洪季小潮	最小二乘法	同步改正法
天文潮期- 大	最小二乘法, 同步改正法	同步改正法
天文潮期- 中	最小二乘法, 同步改正法	同步改正法
天文潮期- 小	最小二乘法, 同步改正法	同步改正法

4　结论及建议

长江口区域瞬时潮面受潮汐、径流、风暴潮的共同影响, 具有一定特殊性。通过选取不同季节下不同时长观测序列, 采用不同传递模型, 分析研究季节特征、空间位置对深度基准面传递的影响, 探讨各种传递模型其假设条件在长江口区域的适用性, 提出在不同时长序列与临时验潮站位置的优选传递模型, 为传递模型的进一步优化提供了验证, 同时为长江口区域海图测绘临时验潮站深度基准面传递模型的最优选取提出了最优方案。

(1) 潮差比法较同步改正法传递精度低, 且与观测序列时长显著相关, 对短于 1 个月观测数据误差显著增大。同步改正法与最小二乘法精度相当, 同步改正法稍优于最小二乘法。

(2) 同步改正法与最小二乘法传递精度与季节特征下枯季、洪季与天文潮期密切相关。不同季节特征下应选取不同传递方法。

(3) 在短期序列大潮、中潮、小潮期中, 小潮期传递精度优于大潮、中潮期。

(4) 临时验潮站相对长期站位置亦有影响, 在上、下游应选取不同传递方法。

综上所述, 在长江口区域海图测绘中, 应根据测量中临时验潮站观测时间所处的季节特征、潮汐特征、相对长期站位置, 选取不同的传递模型。对位于长期验潮站上游的临时验潮站, 枯季条件下不同时长序列应选取同步改正法, 洪季与天文潮期应选取最小二乘潮位拟合法, 位于下游的临时验潮站则相反。

参考文献

1　刘雁春. 海洋测深空间结构及其数据处理[M]. 北京: 测绘出版社, 2003

2　国家质量技术监督局. GB12327- 1998. 海道测量规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 1999: 28 - 30

3　刘雁春. 海道测量基准面传递的数学模型[J]. 测绘学报, 2000, 29(4): 310 - 316

4　暴景阳, 黄辰虎, 刘雁春, 等. 海图深度基准面的算法研究[J]. 海洋测绘, 2003, 23(1): 8 - 12

5　INGHAM A E. Sea Surveying[M]. London: John Wiley & Sons Ltd, 1975

6　徐元. 长江河口地区的高程系统[J]. 水运工程, 2000, 319(8): 1 - 4

Research on Applicability To Transfer Model for Depth Datum Levels About Temporary Tide Station

LIU Da-wei, WANG Zhen-xiang, ZHANG Mei-fu, LIU Gui-ping

(Yangtze Estuary Hydrology and Water Resources Survey Bureau, Shanghai 200136, China)

Abstract　Instantaneous tide which affected with tide, flow and storm tide takes on region character in estuary Yangtse River. Based on different transfer models, depth datum of the short-term tidal level data plotted with flow and tide is ascertained using of the long-term tidal level date. The precision and applicability of transfer models are discussed founding on the combination of flow and tide. A practicable and maneuverable scheme of transferring depth datum for mapping in Yangtse River is putted forward.

Key words　depth datum; transfer; season character; tide character

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net