

Doi:10.11840/j.issn.1001-6392.2023.02.006

莱州湾沿岸典型验潮站垂直基准一致性研究

赵宇鹏¹, 曲萌², 桑金², 汪连贺¹, 边志刚¹, 邢海超¹

(1. 交通运输部北海航海保障中心 天津海事测绘中心, 天津 300222; 2. 交通运输部北海航海保障中心, 天津 300220)

摘 要: 莱州湾具有典型的大陆架结构, 潮汐性质复杂。本研究根据莱州湾沿岸4处典型验潮站的多年数据计算了各站深度基准面值及保证率, 并与相关涉海部门现采用值进行了对比分析。结果表明: 个别验潮站计算值与相关涉海单位采用的深度基准面值有明显差异。本文就此进行了分析并提出了合理性建议。4处验潮站周边均埋设了高等级水准点, 通过历年实施的高等级水准联测来监测各站高程基准点变化量, 计算结果可用于维持区域垂直基准, 为今后莱州湾港口建设、航道施工、水深测量、船舶通航及信息发布等提供更加准确的基础资料。

关键词: 莱州湾; 验潮站; 深度基准面; 高程水准点; 变化量

中图分类号: P731; P33 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-6392(2023)02-0169-04

Research and analysis on the unity of chart datum in typical tide stations along Laizhou Bay

ZHAO Yupeng¹, QU Meng², SANG Jin², WANG Lianhe¹, BIAN Zhigang¹, XING Haichao¹

(1. Tianjin Hydrographic Center, Navigation Guarantee Center of North China Sea, Ministry of Transport, Tianjin 300222, China;

2. Navigation Guarantee Center of North China Sea, Ministry of Transport, Tianjin 300220, China)

Abstract: Laizhou Bay is a typical continental shelf structure with complex tidal properties. Based on the data of four typical tide gauge stations along the coast of Laizhou Bay, this study calculate the datum value and guarantee rate of each station, and compared them with the current values adopted by relevant marine departments. The results show that there are obvious differences between the calculated values of individual tide stations and the depth datum denomination adopted by relevant sea-related marine units. To resolve the problem, some reasonable suggestions are proposed. High-level benchmarks are buried around the four tide stations. The change of elevation benchmark of each station is monitored through the high-level leveling continuous survey over the years. The calculation results can be used to maintain the regional vertical benchmark and provide more accurate basic data for Laizhou Bay port construction, channel construction, bathymetric survey, ship navigation and information delivery in the future.

Keywords: Laizhou Bay; chart datum; tide station; elevation leveling point; variable quantity

渤海是潮汐分布复杂的典型海域之一, 境内沿海主要属不正规半日潮, 深度基准面值的分布呈现复杂的非线性特征^[1]。莱州湾位于渤海南部, 西起东营黄河口, 东至龙口岬山母岛高角, 沿岸有黄河、小清河、淮河等多条河流入海^[2-3], 为山东省最大的海湾^[4]。通过对莱州湾沿岸均匀分布的东营、潍坊、莱州、龙口4处海事部门长期验潮

站的多年潮位数据进行调和分析, 计算各个验潮站的深度基准面, 并与相关涉海单位采用值进行对比, 分析其深度基准面有差异的原因并提出合理化建议。4处验潮站附近均埋设有高等级高程水准点, 通过历年实施的水准联测检测到水准点发生的高程数值变化, 其分析结果可用于维护和调整莱州湾海域垂直基准。

收稿日期: 2022-02-16; 修订日期: 2022-05-07

作者简介: 赵宇鹏 (1986—), 硕士, 工程师, 主要从事海洋科学、水文潮汐等方面研究, 电子邮箱: 54862304@qq.com

1 验潮站计算值与其他涉海部门现采用值比较分析

1.1 深度基准面定义与计算方法

深度基准面是一种潮汐基准面,由相对于当地平均海面的垂直差距标定。深度基准面的算法先后使用过8个分潮模型和11个分潮模型,我国现行《海道测量规范》(GB12327-1998)规定使用13个分潮来计算深度基准面。本文中以符号 L 记理论上可能最低潮面^[5-7]。

(1) 由8个分潮计算的模型与算法

$$L_{13} = -\min[(fH)_{K1} \cos \varphi_{K1} + (fH)_{K2} \cos(2\varphi_{K1} + 2g_{K1} - 180^\circ - g_{K2}) - (R_1 + R_2 + R_3)] \\ + (fH)_{M4} \cos \varphi_{M4} + (fH)_{MS4} \cos \varphi_{MS4} + (fH)_{M6} \cos \varphi_{M6} + H_{S_a} \cos \varphi_{S_a} + H_{S_{sa}} \cos \varphi_{S_{sa}} \quad (2)$$

式中: H 、 g 和 f 是下标所对应分潮的调和常数和交点因子, R_1 、 R_2 、 R_3 、 φ_{M4} 、 φ_{MS4} 和 φ_{M6} 均为 K_1 分潮相角 φ_{K1} 的函数。

1.2 莱州湾典型验潮站深度基准面计算与对比

莱州湾内东营、潍坊、莱州和龙口4处海事部门验潮站均进行定期站点维护,以保障其数据采集的完整性和准确性。本次各验潮站所选取的潮位数据时间长度均在3 a以上,经潮汐调和分析可判断东营站潮汐类型为规则日潮,潍坊站、莱州站、龙口站潮汐类型为不规则半日潮,分别采用8分潮和13分潮计算各站深度基准面值,并与相关涉海部门目前采用的深度基准面值进行比较(表1)。

由表1可知,4处验潮站计算所得的 L_8 值和 L_{13} 值忽略其数据时长的误差,仍能大致判断各站所用的分潮数。对于东营站,海事部门和涉海部门1采用值与 L_{13} 值较为接近,而涉海部门2采用值和

按上述8个分潮定义的理论可能最低潮面为:

$$L_8 = -\min\left[\sum_{i=1}^8 f_i H_i \cos(\sigma_i t + V_{0i} + u_i - g_i)\right] \quad (1)$$

式中: H 、 g 分别为分潮的振幅和迟角,即分潮调和常数; σ 为分潮角速率; V_0 为参考时刻($t=0$)的平衡潮相角; f 、 u 为分潮交点因子和交点订正角,依据海区潮汐类型选用相应数值^[8]。

(2) 现行规范规定一律附加 M_4 、 MS_4 、 M_6 的浅水改正和 S_a 、 S_{sa} 的长周期改正,即采用13个分潮模型,计算公式为:

L_8 值较为接近,与 L_{13} 值有较大差异。对于潍坊站,各涉海部门采用值与 L_{13} 值较为接近,与 L_8 值有较大差异。对于莱州站,各涉海部门采用值较为接近,但均与 L_8 、 L_{13} 值有较大差异,需进一步考证历史资料。对于龙口站,各涉海部门采用值相同,并与 L_{13} 值相近。通过以上分析,莱州湾4处典型验潮站深度基准面确定的算法和历史资料存在差异,不同涉海部门采用的 L 值不一致,分析可能原因如下:基于规范中“深度基准面一经确定不得轻易变动”的规定^[9],有的验潮站可能从建港初始便采用某一深度基准面值并沿用至今,这一猜想需要进一步考证;不同涉海部门在验潮站管理、资料处理、计算方法等方面要求不同,造成包含深度基准面在内的海洋垂直基准关系无法统一^[10-11]。深度基准面的确定方法及算法上的不统一,必然影响同一验潮站深度基准面值的稳定性与一致性,进而影响到水深测量精度,对通航安全造成影响。

表1 深度基准面对比表

单位: m

序号	站名	L_8	L_{13}	海事部门	涉海部门1	涉海部门2
1	东营	0.72	0.95	1.00	1.00	0.70
2	潍坊	0.95	1.18	1.23	1.20	1.20
3	莱州	0.59	0.72	1.05	0.94	1.00
4	龙口	0.49	0.73	0.70	0.70	0.70

1.3 深度基准面保证率计算与分析

深度基准面保证率指高于深度基准面的低潮次数与低潮总次数之比,我国通常以95%为标准。

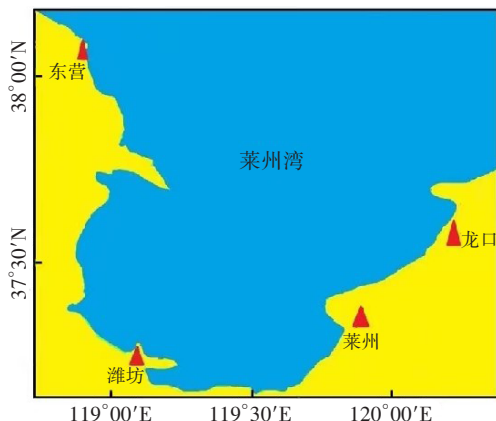


图1 验潮站位置示意图

在计算深度基准面保证率时，潮汐观测资料时间越长，计算结果越可靠。本次选取的4处验潮站资料时长均在3 a以上，分别以海事部门采用值和 L_{13} 值为基准计算各个验潮站深度基准面保证率(表2)。

由表2可以看出，以 L_{13} 值为基准计算出的4

处验潮站的深度基准面保证率均大于90%，以海事部门采用 L 值为基准计算出的东营站、潍坊站和莱州站的深度基准面保证率满足95%的国家标准，而龙口站保证率尚不足90%，从通航安全角度考虑，龙口站所采用的深度基准面值的科学性有待进一步研讨。

表2 深度基准面保证率统计表

序号	站名	低潮总次数	高于 L_{13} 低潮次数	L_{13} 保证率	高于 L 低潮次数	L 保证率
1	东营	2 664	2 589	97.18%	2 603	97.71%
2	潍坊	3 134	2 960	94.52%	2 987	95.37%
3	莱州	2 683	2 422	90.27%	2 611	97.32%
4	龙口	3 041	2 768	91.02%	2 729	89.74%

2 陆海垂直基准动态变化分析

1985国家高程基准是以陆地测量垂直基准统一为框架，海洋测绘中的深度基准面(理论最低潮面)是在验潮站确定的多年年平均海面均值以下的面，因各地计算方法、潮汐性质，以及因港口建设需要通航保障率的选取不同，各港口间的深度基准面呈非连续的非线性特征。陆海垂直基准的统一对于服务国家测绘基准框架的统一维持，陆域高程测量和海洋水深测量的一体化转换都有着重要的现实意义^[12-13]。本文选择的4处验潮站周边均埋设有高等级水准点，并多次实施几何水准联测计算分析陆海垂直基准在验潮站附近的动态变化，进而说明其对海洋测深的现实意义(表3、表4)。

表3 水准点数值变化统计表

序号	站名	点名	联测年份	变化量/cm
1	东营	东营港支01	2016/2018	4.5
2	莱州	莱州港支04	2016/2018	-0.7
3	龙口	DS02	2008/2018	1.2

表4 潍坊港水准点数值变化统计表

联测年份	起算点名称	起算点等级	相比2007年变化量/m
2008年	蔡下1	三等	0.303
2014年(1套)	蔡下1	三等	0.313
2014年(2套)	柳沙-27	一等	0.667
2018年1月	寿沙-19	一等	0.741
2018年10月	柳沙-27	一等	0.751

由表3可以看出，水准点“东营港支01”两次联测结果相差4.5 cm，这可能是由于两次水准引测带入的计算误差和山东鲁北地区多年来水准点存在不均匀沉降现象导致。“莱州港支04”和“DS02”高程变化量分别为0.7 cm和1.2 cm，两处的水工构筑物已有较长时间的建成史，其联测结果表明高程基准在莱州港和龙口港是稳定的。

由表4可以看出，潍坊港近几年联测结果与2007年水准点数值存在分米数量级的变化，考虑到潍坊港中港区地理位置和建港时的码头结构和地质条件，引测起算点不同带入的误差值及国家一等水准点“柳沙-27”自身的变化量，使得确定的验潮仪零点改正数不同，故所得深度基准面不同，进而影响了长期验潮站深度基准面按一定方法传递延伸至海域短期验潮站的精度。近些年，在潍坊港附近开展的海洋测深工程一直在对深度基准面确定采用情况进行研讨分析，考虑从2007年以来一直采用同一垂直基准起算，贸然改动会造成基面混乱，为了基面统一性故延续至今。为了得到更为精确的海洋测深成果，提高港口通航的利用效率，建立基于似大地水准面的动态监测势在必行^[14-15]。

3 结语

(1) 通过对莱州湾沿岸4处典型验潮站的多年潮位资料分析计算深度基准面值，并与相关涉海单位采用值进行比较，结果表明各验潮站深度基准面确定的算法和历史资料存在差异。不同涉

海部门采用的 L 值不一致,表明不同涉海部门在验潮站管理、资料处理、计算方法等方面要求不同,建议加强涉海部门协调互通,资料共享,共同维护深度基准面的统一。

(2) 计算分析了4处验潮站深度基准面保证率,东营站、潍坊站和莱州站现采用值满足95%的国家标准,而龙口站所采用的深度基准面值有待进一步研讨。

(3) 对历次实施的高等级水准联测结果进行比较发现,各验潮站水准点均有高程值变化,特别是潍坊港水准点高程值变化较大,如沿用历史值会造成海图测绘水深结果偏浅,进而影响港口通航水域的利用效率,建议建立常态有效的垂直基准监测系统。

莱州湾作为渤海一个重要的海湾,周边港口、航道多为人工疏浚产物。近年来小比例尺水深测量工作的展开,凸显了理论深度基准面连续线性过渡的重要意义,定期维护陆地垂直基准与海上垂直基准并合理衔接是陆海高程基准统一的工作基础。本文计算分析结果可用以核定和调整莱州湾区域深度基准面,为今后本区域港口建设、航道测量、通航安全、潮汐发布等提供准确的依据。

参考文献

- [1] 孟德润,田光耀,刘雁春.海洋潮汐学[M].北京:海潮出版社,1993.
- [2] 山东省地方史委员会.山东省志·自然地理志[M].济南:山东人民出版社,1996.
- [3] 姜会超,王玉珏,李佳蕙,等.莱州湾营养盐空间分布特征及年际变化趋势[J].海洋通报,2018,37(4): 411-423.
- [4] 丁小松,单秀娟,陈云龙,等.基于数字化海岸分析系统(DSAS)的海岸线变迁速率研究:以黄河三角洲和莱州湾海岸线为例[J].海洋通报,2018,37(5): 565-575.
- [5] 暴景阳.海图深度基准面的定义、标定与维持[J].海洋测绘,2000,20(4): 4-8.
- [6] 方国洪,郑文振,陈宗镛,等.潮汐和潮流的分析和预报[M].北京:海洋出版社,1986.
- [7] 暴景阳,黄辰虎,刘雁春,等.海图深度基准面算法研究[J].海洋测绘,2003,23(1): 8-12.
- [8] 暴景阳,刘雁春,晁定波,等.中国沿岸主要验潮站海图深度基准面的计算与分析[J].武汉大学学报:信息科学版,2006,31(3): 224-228.
- [9] 海军司令部航海保证部.海道测量规范:GB 12327-1998[S].北京:中国标准出版社,1999.
- [10] 吴俊彦,韩范畴,成俊,等.我国深度基准面不统一所带来的问题与对策[J].海洋测绘,2008,28(4): 54-56.
- [11] 许军,王冬,于彩霞.深度基准面的最低潮意义不一致性问题分析[J].海洋测绘,2018,31(3): 9-11.
- [12] 暴景阳,翟国君,许军.海洋垂直基准及转换的技术途径分析[J].武汉大学学报:信息科学版,2016,41(1): 52-57.
- [13] The International Federation of Surveyors. FIG guide on the development of a vertical reference surface for hydrography[R]. Copenhagen: FIG, 2007.
- [14] 王建成,沈清华,王小刚.基于EGM2008模型的陆海高程基准统一方法[J].地理空间信息,2018,16(11): 101-103.
- [15] 张全德,张燕平,张鹏,等.精化区域大地水准面若干问题的探讨[J].武汉大学学报:信息科学版,2003,28: 94-96.

(本文编辑:崔尚公)