

doi:10.3969/j.issn.1003-2029.2019.05.014

同步改正法平均海面传递应用于海南岛礁测绘的探讨

张亮, 车志伟, 张景凯

(国家海洋局海口海洋环境监测中心站, 海南 海口 570100)

摘要:同步改正法因其特点和优势被广泛应用于平均海面传递,文中从平均海面的理论定义和实际计算两方面出发,对同步改正平均海面传递法原理进行了论述。利用海南岛周边的长期验潮站数据,按单站传递和多站组网传递分别分析了同步改正平均海面传递的规律。结果表明,单站传递同步观测 10 d 能满足岛礁测绘对垂直基准面精度的要求,采用多站组网传递能较明显地减少同步时长较短时的极限误差。当采用多站组网平均海面传递同步观测 5 d,其极限误差可达 10 cm 以内,建议在同步观测时间有限时采用该方法。结合海南岛验潮站和岛礁分布情况,同步改正平均海面传递法应用于海南岛礁测绘是可行的。

关键词:岛礁测绘;基准面传递;平均海面;同步改正

中图分类号:P229 **文献标志码:**A **文章编号:**1003-2029(2019)05-0073-05

随着人类将资源开发利用转向海洋,海岛礁在海洋经济中的重要地位日益突出,海岛礁测绘是一切海岛海洋活动的基础。精确的海岛礁基础地理空间信息是海岛海洋管理、经济开发及海洋划界的重要依据^[1]。当前海岛礁测绘还面临诸多技术难点,其中深度基准面的传递问题一直以来被普遍关注。

深度基准面是由相对于平均海面的垂直距离 L 来度量的, L 称为深度基准值。因此,平均海面的确定将直接影响深度基准面的标定精度。在海岛礁实际测绘工作中,由于岛礁远离大陆,水位观测时间有限,不能按定义独立确定出精确的平均海面及深度基准面。此时,采用潮汐基准面传递技术是唯一有效的方法,即将附近长期验潮站的基准面传递至短期(或临时)验潮站。常见的方法有水准联测法、同步改正法、最小二乘拟合法(潮差比法和回归分析法为其特殊形式)等^[2]。其中,水准连测法受地形影响,在海岛礁测绘中适用性较低;最小二乘拟合法的假设条件缺乏相关的理论支持,只适用于潮差变化较小的区域;同步改正法在同步 7 d 时基本能

保证极限误差在 10 cm 内,同步 15 d 以上能达厘米级,具有较好的适用性^[3-4]。文中将对基于同步改正的平均海面传递法原理进行论述,并利用海南岛周边的长期验潮站数据进行实验分析,对同步改正平均海面传递法应用于海南岛礁测绘的可行性进行分析和探讨,得出相应结论,以期能对海南岛礁实际测绘工作有所帮助。

1 同步改正法平均海面传递原理

1.1 平均海面定义

平均海面可以从以下两个方面定义^[3]。

(1) 从理论上,平均海面可定义为消除各种随机振动和短周期、长周期波动后的一个理想面。

$$T(t) = MSL_0 + \sum_{i=1}^m R_i \cos[q^i t - \theta_i] \quad (1)$$

式中: $T(t)$ 表示瞬时潮位; MSL_0 表示平均海面;

$\sum_{i=1}^m R_i \cos[q^i t - \theta_i]$ 表示各种随机振动和短周期、长周

收稿日期:2019-04-17

基金项目:国家海洋局南海分局海洋科学技术局长基金资助项目(180234)

作者简介:张亮(1989-),男,硕士研究生,助理工程师,主要从事海洋测绘、大地测量应用研究。E-mail:zl784242708@163.com

期波动所引起的瞬时潮位与平均海面的差值。式中各符号含义见文献[3]。

(2) 实际计算时, 平均海面常采用瞬时潮位平均的含义。

$$M_0 = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^{n-1} T(t) \quad (2)$$

式中: M_0 表示由一系列等时间间隔观测序列潮位 $T(t)$ 取平均后的平均海面。

1.2 同步改正传递法

由式(2)对 n 个数据求平均, 代取式(1)可得:

$$M_0 = MSL_0 + \sum_{i=1}^m k_i R_i \cos \left[\frac{n-1}{2} q^i - \theta_i \right] \quad (3)$$

式中: M_0 与 MSL_0 的差别表现为 M_0 数值中还包

含着随机振动以及各分潮的影响。 $k_i = \frac{1}{n} \frac{\sin \frac{n}{2} q^i}{\sin \frac{1}{2} q^i}$,

表示各分潮衰减因子。当所取计算期间 n 足够大(如多年潮位值)时, M_0 与 MSL_0 就比较接近。换言之, 当观测时间 n 较短, M_0 表示短期平均海面, MSL_0 表示长期平均海面。

根据上述定义, 对于 A 、 B 两验潮站由式(3)可得:

$$M(x^A, y^A) - MSL(x^A, y^A) = \sum_{i=1}^m k_i R_i(x^A, y^A) \cos \left[\frac{n-1}{2} q^i - \theta_i(x^A, y^A) \right] \quad (4)$$

$$M(x^B, y^B) - MSL(x^B, y^B) = \sum_{i=1}^m k_i R_i(x^B, y^B) \cos \left[\frac{n-1}{2} q^i - \theta_i(x^B, y^B) \right] \quad (5)$$

两式相减可得:

$$MSL(x^B, y^B) = M(x^B, y^B) + MSL(x^A, y^A) - M(x^A, y^A) - \Delta \quad (6)$$

式中:

$$\Delta = \sum_{i=1}^m k_i R_i(x^B, y^B) \cos \left[\frac{n-1}{2} q^i - \theta_i(x^B, y^B) \right] - \sum_{i=1}^m k_i R_i(x^A, y^A) \cos \left[\frac{n-1}{2} q^i - \theta_i(x^A, y^A) \right] \quad (7)$$

上式即为平均海面同步改正传递法的数学模型, Δ 为同步改正传递法的异步效应, 它反映的是 A 、 B 两个验潮站平均海面滤波能力的差异。若令 $\Delta=0$, 则导出同步改正的简易公式。

$$MSL(x^B, y^B) = M(x^B, y^B) + MSL(x^A, y^A) - M(x^A, y^A) \quad (8)$$

由式(7)可知, 式(8)成立的假设前提是 A 、 B 两个验潮站在同一验潮时段的短期平均海面相对于

长期平均海面呈同步变化^[3-6]。由以上推导过程可知, 采用同步改正法, 将一个长期验潮站的平均海面传递至短期(或临时)验潮站, 即单站传递平均海面直接使用式(8)即可。

借鉴深度基准控制网的思想^[7], 采用同步改正法, 将多个长期验潮站的平均海面传递至短期(或临时)验潮站。现以两个长期验潮站为例, 推导其实用公式, 其中 A 、 C 为长期验潮站, B 为短期(临时)站。

$$MSL(x^B, y^B) = M(x^B, y^B) + MSL(x^C, y^C) - M(x^C, y^C) \quad (9)$$

将式(8)与式(9)相加, 取加权平均可得:

$$MSL(x^B, y^B) = \alpha MSL(x^A, y^A) + \beta MSL(x^C, y^C) + \alpha [M(x^B, y^B) - M(x^C, y^C)] + \beta [M(x^A, y^A) - M(x^C, y^C)] \quad (10)$$

式中: α 、 β 为权重, 即 $\alpha + \beta = 1$, 其余符号与前文一致, 含义不变。显然, 可将上式进一步扩展至两个以上的长期验潮站进行平均海面传递。

2 实验

利用 2018 年 1 月-12 月海南岛周边的长期验潮数据进行实验分析, 平均海面以潮高基准面(水尺零点)为起算面。各验潮站基本情况如表 1 所示^[8-10], 其位置如图 1 所示。

表 1 验潮站基本情况

站名	潮汐类型	两站间距离/km
海口(HK)	不规则全日潮	81
清澜(QL)	不规则全日潮	50
博鳌(BO)	不规则全日潮	103
乌场(WC)	不规则全日潮	53
三亚(SY)	不规则全日潮	92
莺歌海(YGH)	不规则全日潮	63
东方(DF)	规则全日潮	



图 1 验潮站位置关系

2.1 实验方案设计

方案 1:采用同步改正法,将单个长期验潮站的平均海面传递至短期(或临时)验潮站,每两个站为一组实验对象,其中前者设为长期验潮站,后者设为临时站。每组实验时间按月分为 12 组(即 1 月-12 月),每组每月按 1,5,10,15,20 d 及整月潮位观测时间利用同步改正法计算临时验潮站的平均海面。

方案 2:采用同步改正法,将两个长期验潮站的平均海面传递至短期(或临时)验潮站,每 3 个站为 1 组实验对象,其中前者与后者设为长期验潮站,中间站设为临时站,按距离的倒数设置权重。每组实验时间按月分为 12 组(即 1 月-12 月),每组每月

按 1,5,10,15,20 d 及整月潮位观测时间利用同步改正法计算临时验潮站的平均海面。

2.2 实验数据处理流程

本实验流程如图 2 所示。



图 2 实验流程

2.3 实验结果及分析

将每个验潮站用多年验潮数据得到的平均海面当真值,根据同步改正法得到的平均海面与之比较进行精度评定。实验方案 1 统计结果如表 2 所示,表中极限误差最大值=|平均海面-真值|。

表 2 方案 1 统计结果

时间 站名 误差/cm	1 d		5 d		10 d		15 d		20 d		整月	
	最大	均方根	最大	均方根	最大	均方根	最大	均方根	最大	均方根	最大	均方根
HK-QL	27.2	6.5	14.3	6.0	6.3	4.7	5.4	3.4	5.4	2.5	4.7	2.1
QL-BO	29.6	8.8	22.7	7.1	8.1	5.3	10.5	5.1	9.1	3.3	7.1	2.8
BO-WC	28.5	6.7	21.4	4.7	10.0	4.2	9.8	2.7	10.1	2.4	8.5	2.4
WC-SY	26.1	10.4	16.5	8.3	9.4	6.8	7.2	4.6	8.4	4.3	6.0	3.3
SY-YGH	29.0	5.2	20.6	2.6	10.8	2.3	8.7	3.0	6.4	2.2	5.4	2.2
YGH-DF	25.7	8.7	13.8	6.4	7.7	4.6	6.5	5.6	5.7	4.2	6.6	3.6
DF-HK	24.3	9.	18.5	5.7	8.6	3.4	8.9	3.7	9.0	2.4	8.7	2.8

实验方案 2 统计结果如表 3 所示。

表 3 方案 2 统计结果

时间 站名 误差/cm	1 d		5 d		10 d		15 d		20 d		整月	
	最大	均方根	最大	均方根	最大	均方根	最大	均方根	最大	均方根	最大	均方根
HK-QL-BO	15.3	7.6	9.8	7.1	6.9	4.3	6.2	3.4	4.8	2.4	4.6	2.5
QL-BO-WC	18.4	6.7	11.1	5.6	7.8	5.4	5.6	5.5	6.6	3.5	5.2	2.9
BO-WC-SY	16.7	8.5	10.5	6.6	7.6	4.2	4.9	2.3	5.1	2.5	5.3	1.1
WC-SY-YGH	14.8	9.6	8.6	5.4	6.7	3.8	5.3	3.1	5.3	2.3	4.7	2.6
SY-YGH-DF	20.6	10.4	11.5	4.8	8.4	3.5	7.1	3.3	5.4	3.4	5.0	2.8
YGH-DF-HK	17.4	8.8	11.0	6.5	6.8	4.6	5.5	4.1	5.0	4.0	3.7	2.7

实验结果分析如下:

(1) 从表 2 可以看出,随着同步时长增加,用同步改正法传递得到的平均海面精度逐渐提高,尤其是极限误差减少得更明显;当同步时长少于 5 d 时,所有实验组对象用同步改正法传递得到的平均海面精度都较低,极限误差可达 20 cm 以上,不可用于海岛礁测绘;同步时长达到 10 d 时,极限误差基本可保证在 10 cm 以内,平均误差 5 cm 以内,可满足海岛礁测绘需求;当同步时长大于 15 d 时,随着同步时长的增加,无论是极限误差还是平均误差

提高均不是很明显,这与文献[11-13]得到的结论一致。

(2) 从表 3 可以看出,当采用组网的形式,按同步改正法传递得到的临时站平均海面精度会提高。主要体现在能较明显地减少同步时长较短时的极限误差,如同步时长 5 d,极限误差能控制在 10 cm 左右,平均误差在 10 cm 以内。由此表明,当同步观测时间长度受限时,用多站组网的方法可弥补其导致的传递精度不足。

(3) 本次实验验潮站间距离从 50~100 km 不

等,从实验结果来看,实验验潮站间距离的增加不会对海面传递精度产生明显影响,说明在此范围内距离不是同步改正法平均海面传递的主要误差来源。这是因为同步改正法海面传递的假设前提是 A、B 两个验潮站在同一验潮时段的短期平均海面相对于长期平均海面呈同步变化,其主要受两站长期分潮与余水位在两个验潮站的差异造成的,其中长期分潮差异与验潮站的潮汐类型有关,且有一定的周期性;而余水位引起的误差无明确周期性,但与气象条件有关^[9]。实际作业时,应选择气象条件良好的时间段进行平均海面传递。

3 总结和结论

利用海南岛周边 7 个长期验潮站的数据,采用两个不同的实验方案进行了同步改正法平均海面

面传递,总结如下:

(1) 同步改正法同步观测时间 10 d,单站传递得到的临时海面精度的极限误差和平均误差均可到 10 cm 以内,符合《海道测量规范》要求,能满足岛礁测绘对垂直基准面精度的要求。同步观测时间 15 d 与同步 30 d 精度基本相当,这与相关研究结论一致。

(2) 实际岛礁测绘时,临时验潮工作具有不可重复的特点,因此对于海面传递来说,极限误差是要重点控制的问题。采用多验潮站组网传递得到的临时海面极限误差在更短的同步观测时长内就能得到较好的控制,在实际工作中,当作业时间有限时,可采用此办法。

(3) 同步改正法能较好地控制 100 km 左右的平均海面传递误差,海南岛礁分布相对集中,主要分布于海南岛周边。因此,同步改正平均海面传递法应用于海南岛礁测绘是可行的。

参考文献:

- [1] 党亚民,程鹏飞,章传银,等.海岛礁测绘技术与方法[M].北京:测绘出版社,2012.
- [2] 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.
- [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] 许军,暴景阳,刘雁春,等.平均海面同步改正传递法的误差分析[J].海洋测绘,2012,32(4):22-24+37.
- [5] Ingham A E. Sea Surveying [M].London: John Wiley & Sons Ltd,1975.
- [6] LIU Yan-chun. Space structure and data processing in marine sounding [D]. Wuhan: Wuhan Technical University of Surveying and Mapping,1998.
- [7] 暴景阳,许军,冯雷,魏金忠.深度基准传递方法的比较与验潮站网基准的综合确定[J].海洋测绘,2013,33(5):1-6.
- [8] 付延光,周兴华,杨磊,等.中国南海北部潮汐主要分潮的变化趋势分析[J].海洋测绘,2015,35(1):14-17.
- [9] 陈振华.北部湾环流季节变化的数值模拟与动力机制分析[D].青岛:中国海洋大学,2013.
- [10] 周兴华,付延光,许军.海洋垂直基准研究进展与展望[J].测绘学报,2017,46(10):1770-1777.
- [11] 田光耀.关于同步观测长度的探讨[J].海洋测绘,1999,19(1):15-22.
- [12] 暴景阳,刘雁春.海道测量水位控制方法研究[J].测绘科学,2006(06):49-51+4.
- [13] 许军,暴景阳,于彩霞.平均海面传递方法的比较与选择[J].海洋测绘,2014,34(1):5-7+20.

Discussion on the Application of Synchronous Reduction Method to the Reef Surveying and Mapping in the Hainan Island

ZHANG Liang, CHE Zhi-wei, ZHANG Jing-kai

Haikou Marine Environment Monitoring Center of State Oceanic Administration, Haikou 570100, Hainan Province, China

Abstract: Due to its characteristics and advantages, the synchronous reduction method has been widely used in average sea surface transfer. Based on the theoretical definition and practical calculation of mean sea level (MSL), this paper discusses the principle of MSL transfer method for synchronous reduction. Using the data of long-term tide stations around the Hainan Island, the law of synchronous correction of average sea surface transfer is analyzed according to single station transmission and multi-station network transmission, respectively. The results show that the single station transmitting synchronous observation for 10 days can meet the requirements of the vertical datum level accuracy of reef surveying and mapping, and the multi-station network transmitting can obviously reduce the limit error of the short synchronization time. When multi-station network is used to conduct mean sea surface transmission for synchronous observation for 5 days, the limit error can be less than 10 cm, so it is suggested that this method can be adopted when the synchronous observation time is limited. Combined with the distribution of tide stations and features in the Hainan Island, it is feasible to apply the synchronous reduction method to reef surveying and mapping in the Hainan Island.

Key words: reef surveying and mapping; datum level transfer; mean sea level; synchronous reduction method