

DOI: 10.3969/j.issn.1671-3044.2016.02.006

半日潮特征海域平均大潮高潮面的计算方法

黄辰虎¹, 冯义楷², 欧阳永忠¹, 郭海涛³, 陆秀平¹, 周兴华², 翟国君¹

(1. 海军海洋测绘研究所, 天津 300061; 2. 国家海洋局第一海洋研究所, 山东 青岛 266061;
3. 解放军信息工程大学 地理空间信息学院, 河南 郑州 450001)

摘要: 计算半日潮特征海域平均大潮高潮面的关键在于, 一是应有足够长时段且满足精度的潮汐实测或预报数据; 二是应尽可能准确选定大潮时刻高潮位。针对大潮时刻高潮位在时间选取上的困难, 从月相物理意义出发, 证明了当日月黄经差值约为 0° 时, 大潮时刻对应月相朔; 当日月黄经差值约为 180° 时, 大潮时刻对应月相望。提出并实现了顾及半日潮龄值及逐时日、月黄经差的平均大潮高潮面计算方法。

关键词: 海岸线; 半日潮; 平均大潮高潮面; 月相; 半日潮龄; 日黄经; 月黄经

中图分类号: P229

文献标志码: A

文章编号: 1671-3044(2016)02-0021-05

1 引言

海岸线是海岸带及海岛地形图最重要的线状地形要素之一, 海岛岸线则是海岛形状精确测绘与面积量算的基本依据^[1]。随着海岸带航空摄影测量体系建设和业务逐步开展, 海岸线推算实用技术与方法的重要性和迫切性日益凸显。GB/T 7929-1995《地形图图式》、GB 12319-1998《中国海图图式》及 GB 12327-1998《海道测量规范》等国家标准规定, 海岸线定义是指平均大潮高潮的痕迹所形成的水陆分界线^[2-4]。党亚民、暴景阳等(2012、2013)建议, 在海岸带的大、中比例尺地形测图中, 海岸线应摒弃痕迹岸线概念而采用平均大潮高潮线, 即平均大潮高潮面与海岸的交接线^[5-6]。黄辰虎等(2016)在研究日潮特征海域月赤纬高度角与回归潮高高潮位关系基础上, 认为由于中国海域潮汐性质的复杂性和现实性, 建议海岸线定义为平均大潮高潮面或回归潮平均高高潮位与海岸的交接线更科学^[7]。暴景阳、许家琨等(2007、2013)认为, 对于半日潮特征海域, 平均大潮高潮面可采用统计算法或特征值算法得到, 统计算法较特征值算法要可靠些^[8-10]。对于统计算法, 一般可采用实测水位或预报潮位实施统计, 在具体计算时由于极值高潮位求解偏差等原因, 理论值与实际值可能略有差异^[9]。由此可知, 计

算平均大潮高潮面有两个关键点: 一是应有足够长时段且满足精度的潮汐实测或预报数据以供统计; 二是应尽可能准确选定大潮时刻高潮位。关于大潮期间高潮位发生的具体时刻, 陈宗镛、方国洪、黄祖珂等(1980、1986、2005)认为, 理论上主要取决于月相(朔、望)极值时刻^[11-13]。左军成等(1996)通过分析月地及日地距离与月相间关系, 得到了太阳和太阳引潮势系数随月相变化规律, 从理论和实践上指出了月相朔望时刻与大潮高潮面的强相关性^[14]。当然高潮实际发生时刻还与当地的半日潮龄值有关, 一般为月相朔望的二三天后。

在半日潮特征海域, 海岸线高度即为平均大潮高潮面相对于当地多年平均海面高度值, 体现的是当地潮汐规律的一个统计信息。在对历年海洋测绘资料进行检查验收时发现, 个别单位甚至将理论最高潮面这一瞬时潮汐值误认为平均大潮高潮面, 从而混淆了二者本质, 可能给海图中桥梁、架空电缆、灯塔、灯桩等要素造成一项约几十厘米的垂直基准系统性偏差, 这应引起海道测量工作者的足够重视。另外海洋测绘中常用的平均大潮升应是规则半日潮港和不规则半日潮港的潮位特征值, 但是在中国南海等日潮特征海域, 开展海岸地形测量时往往也使用潮升这一概念, 严格意义讲这样做也是不妥当的。这些问题都需逐一解决。

收稿日期: 2016-01-20; 修回日期: 2016-01-30

基金项目: 国家自然科学基金(41474012, 41374108, 41476087, 41576105); 国家重大科学仪器设备开发专项(2011YQ12004503); 国防 973 计划(613219)。

作者简介: 黄辰虎(1979-), 男, 山西新绛人, 工程师, 硕士, 主要从事海洋测量数据处理及海洋潮汐的分析和预报研究。

结合半日潮特征海域海岸线计算的特点和实际需求,针对大潮时刻高潮位在时间选取上的困难,将重点探讨计算平均大潮高潮面的第二个关键点,即如何较准确选定大潮期间高潮位的发生时刻。为此提出顾及半日潮龄值及逐时日、月黄经差的平均大潮高潮面实用计算方法。

2 半日潮特征海域月相朔望时刻的计算方法

2.1 半日潮特征海域月相朔望与大潮的关系

月相 (phases of the moon) 的物理意义即月球各种不同的视形状,指月球在绕地球公转时,它和太阳、地球三者之间相对位置发生着变化,这使得地球上的观测者看到月球的视形状发生着周期为1个朔望月(即29.53059天)的圆缺变化^[15]。月相变化的顺序是新月、娥眉月、上弦月、凸月、满月、凸月、下弦月、娥眉月、新月,其中新月即月相朔(初一左右)、满月即月相望(十五左右)。

对于半日潮特征海域,在月相朔或望时,月球和太阳引潮力方向基本一致,此时产生的潮差最大,即称为大潮。对于实际的海洋潮汐,由于海水惯性、海底地形摩擦以及海岸地形复杂等因素的影响,大潮往往发生在朔望后二三天,这称为半日潮龄^[11-13]。因此在半日潮特征海域判定大潮期间高潮位发生时,需考虑两个因素,一是要能在1个朔望月内恰当选定月相朔、望对应的阳历日期;二是还应顾及当地的半日潮龄值。

关于大潮发生的具体日期,一般可使用天文阴、阳历转换算法予以解决,即通过对特定的阳历日期直接转换得到阴历日期的初一或十五,进而顾及半日潮龄值实现大潮高潮位统计。但由于朔望月长度的特殊性,以及通过对长期潮汐资料以及目前使用的潮汐表朔、望具体日期分析,月相朔、望发生的阴历日期不一定严格对应着初一或十五^[16],因此上述方法的统计结果往往会与实际值存在差异。

为此本文从月相的物理意义出发,考虑到月相是以日、月黄经差的度数来划分的,因此可知日、月黄经差约为 0° 或 180° 时,即基本对应着月相朔望。因此这里将计算平均大潮高潮位时对高潮日期及时刻的统计难点和关键转化为研究逐时日、月黄经差值与月相朔、望间的关系。

2.2 日、月黄经差的计算模型

计算太阳的黄经 λ_s 、月球的黄经 λ_m 需用到以下天文变量,其中 s 为月球的平经度, h 为太阳的平经度, p 为月球近地点的平经度, p_s 为太阳近地点的平经度, N 为月球升交点的平经度,具体计算公式

如下^[11-13,17-20]:

$$s = 277.025 + 129.38481(Y - 1900) + 13.17640(n + m + \frac{t}{24}) \quad (1)$$

$$h = 280.190 - 0.23872(Y - 1900) + 0.98565(n + m + \frac{t}{24}) \quad (2)$$

$$p = 334.385 + 40.66249(Y - 1900) + 0.11140(n + m + \frac{t}{24}) \quad (3)$$

$$p_s = 281.221 + 0.01718(Y - 1900) + 0.0000471(n + m + \frac{t}{24}) \quad (4)$$

$$N = 259.157 - 19.32818(Y - 1900) - 0.05295(n + m + \frac{t}{24}) \quad (5)$$

式中, n 为 Y 年1月1日开始累积的日期序数(1月1日的 n 值为零); m 为1900至 Y 年的累积闰年数, t 为观测时刻。

由于月球升交点西退的原因, N 值随时间增加而减小,为便于计算,杜德逊引入了 $N' = -N$,即:

$$N' = 100.843 + 19.32818(Y - 1900) + 0.05295(n + m + \frac{t}{24}) \quad (6)$$

关于 λ_s 、 λ_m 有多种表达形式且系数略有不同^[6,11-13,17-20]。经多方面详细比较,这里采用更严密公式,具体表达如下:

$$\lambda_s = h + (2e_s - \frac{1}{4}e_s^3) \sin(h - p_s) + \frac{5}{4}e_s^2 \sin 2(h - p_s) + \frac{13}{12}e_s^3 \sin 3(h - p_s) \quad (7)$$

式中, $e_s = 0.0167504$,为地球轨道离心率。

$$\lambda_m = s + 2e_m \sin(s - p) + \frac{5}{4}e_m^2 \sin 2(s - p) + me_m(\frac{15}{4} + \frac{263}{16}m) \sin(s - 2h + p) + m^2(\frac{11}{8} + \frac{59}{12}m + \frac{75}{16}\frac{e_m^2}{m}) \sin 2(s - h) + \frac{17}{8}m^2 e_m \sin(3s - 2h - p) + \frac{77}{16}m^2 e_s \sin(2s - 3h + p_s) \quad (8)$$

式中, $e_m = 0.054900$,为月球轨道离心率; $m = 0.074804$,为太阳与月球运行速度的比值。

式(7)与(8)之差即为日、月黄经的差值,至此

得到了日、月黄经差的计算模型。

3 平均大潮高潮面的计算方法

3.1 日、月黄经差值与天文阴阳历及朔望间关系

潮汐运动的一个完整周期是 18.61 年,因此对平均大潮高潮面(包括回归潮平均高高潮位)作科学、可靠的统计应是基于 18.61 年观测时段的潮汐观测(或预报)值进行。

根据式(7)计算 18.61 年一个周期的逐时日黄经值,单位为度,部分结果见图 1。

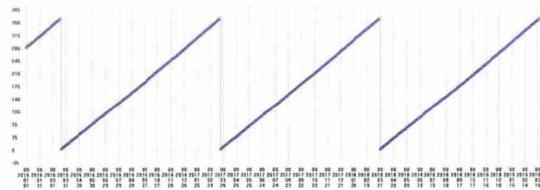


图 1 日黄经值随时间的长期变化趋势示意图

图 1 表达了逐时日黄经值随阳历日期的长期变化趋势,其数值在 $0.0^{\circ} \sim 360.0^{\circ}$ 间变动,周期为 365 日左右。

根据式(8)计算 18.61 年一个周期的逐时月黄经值,单位为($^{\circ}$),部分结果见图 2。

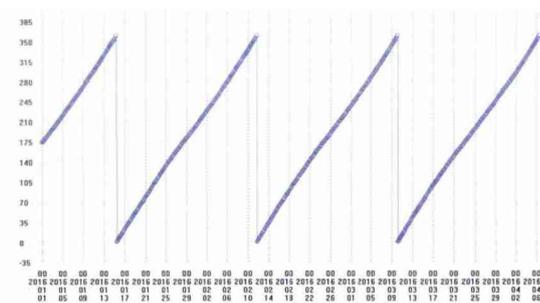


图 2 月黄经值随时间的长期变化趋势示意图

图 2 表达了逐时月黄经值随阳历日期的长期变化趋势,其数值在 $0.0^{\circ} \sim 360.0^{\circ}$ 间变动,周期为 29 日左右。

进一步计算 18.61 年一个周期的逐时日、月黄经差值,单位为($^{\circ}$),部分结果见图 3。

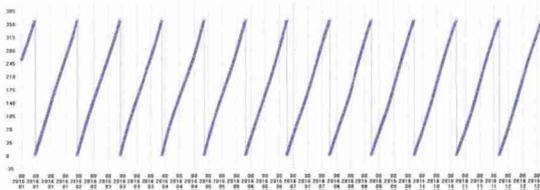


图 3 日、月黄经差值随时间的长期变化趋势示意图

图 3 表达了逐时日、月黄经差值随阳历日期的长期变化趋势,其数值在 $0.0^{\circ} \sim 360.0^{\circ}$ 间变动,周期为 29 日左右。

随机从 18.61 年一个周期(2016-01-01 开始)的逐时日、月黄经差计算结果中选取数值约为 0° 或 180° 时对应的阳历日期,并研究天文阴、阳历以及月相朔、望对应关系,部分结果见表 1。

表 1 日、月黄经差值与阴阳历及月相关系

序号	阳历日期及时刻	日、月黄经差值	阴历日期	月相
1	2016-04-22 13:00	180.0	2016-03-16	望
2	2016-05-07 03:00	0.2	2016-04-01	朔
3	2017-05-26 04:00	0.3	2017-05-01	朔
4	2017-06-09 22:00	180.3	2017-05-15	望
5	2018-12-07 16:00	0.2	2018-11-01	朔
6	2018-12-23 03:00	180.3	2018-11-17	望
7	2020-03-10 02:00	180.4	2020-02-17	望
8	2020-03-24 18:00	0.3	2020-03-01	朔
9	2023-06-18 13:00	0.3	2023-05-01	朔
10	2023-07-03 20:00	180.2	2023-05-16	望
11	2025-09-08 03:00	180.1	2025-07-17	望
12	2025-09-22 04:00	360.0	2025-08-01	朔
13	2027-06-05 04:00	0.1	2027-05-01	朔
14	2027-06-19 09:00	180.0	2027-05-15	望
15	2029-02-13 18:00	359.9	2029-01-01	朔
16	2029-03-01 01:00	180.2	2029-01-17	望
17	2030-03-20 02:00	180.1	2030-02-17	望
18	2030-04-03 06:00	360.0	2030-03-01	朔
19	2031-02-21 23:00	359.9	2031-02-01	朔
20	2031-03-09 13:00	180.2	2031-02-17	望
21	2032-05-09 21:00	360.0	2032-04-01	朔
22	2032-05-25 11:00	180.4	2032-04-17	望
23	2035-05-08 14:00	0.2	2035-04-01	朔
24	2035-05-22 12:00	179.9	2035-04-15	望
25	2035-09-17 23:00	180.2	2035-08-16	望
26	2035-10-01 21:00	360.0	2035-09-01	朔

从表 1 知,日、月黄经差值约为 0° 时的阳历日期对应阴历初一,日、月黄经差值约为 180° 时的阳历日期基本对应着阴历十五,但不排除部分对应着阴历十六或十七。这实际上反映了农历十五的月相不一定对应着望,也反映了通常所说的“十五的月亮十六圆”这一事实。因此根据日、月黄经的差值来判断朔、望的具体阴、阳历日期较直接采用天文阴、阳历转换算法要更科学。

对于半日潮特征海域,若以 1 个朔望月即 29.530 59 天为 1 个计算时间段,结合图 3 中的日、月黄经差值,易得 0° 或 180° 发生的具体时刻,若进一步考虑当地半日潮龄值,则易得 1 个朔望月内发生大潮的具体时刻,据此结合潮汐观测或预报数据即可进行大潮高潮位统计。若存在多个朔望月的潮汐值,则依此法类推,最后统计得到平均大潮高潮位数值。

关于半日潮龄 t 的计算,可采用下式近似得到,其中, g_{S_2} 、 g_{M_2} 分别为 S_2 、 M_2 分潮的迟角。

$$t = 0.984(g_{S_2} - g_{M_2}) \quad (9)$$

至此,半日潮特征海域平均大潮高潮位的统计

计算难点得到解决。

3.2 实例分析

依据潮汐类型参数 k 作为判断标准,如式(10)所示。

$$k = \frac{H_{K_1} + H_{O_1}}{H_{M_2}} \quad (10)$$

分别选取黄海海域某验潮站 A (不规则半日潮)和东海海域某验潮站 B (规则半日潮),13 个主要分潮的调和常数及 k 值见表 2,其中 H 单位为 cm , g 单位为 $(^\circ)$ 。

表 2 A、B 验潮站 13 个主要分潮的调和常数及潮汐类型

分潮	H_A	g_A	H_B	g_B
Q_1	3.9	236.4	3.1	222.3
O_1	20.7	265.1	17.3	20.6
P_1	9.1	300.3	7.7	240.6
K_1	29.8	307.5	25.3	166.0
N_2	11.6	114.4	21.0	272.8
M_2	58.8	137.7	114.8	150.1
S_2	23.6	177.2	48.9	191.1
K_2	5.5	182.7	12.7	215.7
M_4	3.5	195.9	2.9	19.8
M_{sa}	1.8	69.3	2.4	198.6
M_6	2.0	181.3	4.0	214.3
S_a	17.0	132.7	16.3	98.8
S_{sa}	0.1	173.7	0.2	143.2
潮汐类型	$k=0.86$		$k=0.37$	

经计算, A 验潮站的半日潮龄值约 39h, B 验潮站的半日潮龄值约 40h。

提出顾及半日潮龄值 t 的平均大潮高潮位计算方法见图 4。

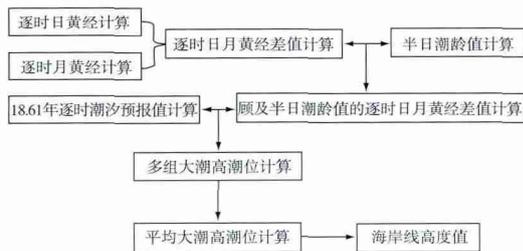


图 4 顾及半日潮龄值的平均大潮高潮位计算方法示意图

根据图 4,计算 A 、 B 验潮站的平均大潮高潮位流程如下:

- (1) 首先分别利用表 2 中 A 、 B 站 13 个主要分潮调和常数作逐时潮汐预报,预报周期为 18.61 年;
- (2) 其次根据 A 、 B 站半日潮龄值,结合图 3 中 18.61 年 1 个周期的日、月黄经差值,作时间平移配准;
- (3) 再次进行以 1 个朔望月为基本单位的大潮高潮位统计;
- (4) 最后对 18.61 年周期内所有大潮高潮位计算平均值。

以 A 验潮站为例,上述步骤(2)结果可见图 5。图 5 表达了 A 验潮站部分时段(2016-01-07~2016-03-11)的潮汐预报值与日、月黄经差值之间的关系,其中灰色曲线表示日月黄经差值,红色曲线表示顾及半日潮龄值作时间轴平移后的日月黄经差值,单位均为 $(^\circ)$;蓝色曲线表示潮汐预报值,单位为 cm 。

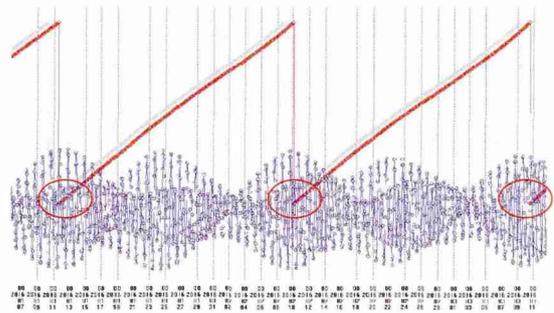


图 5 顾及半日潮龄对日月黄经差与高潮位作时间配准(A 站)示意图

验潮站 A 的 k 值为 0.86,属于不规则半日潮。由图 5 知,在考虑了当地半日潮龄并对日月黄经差值作时间轴平移后,验潮站 A 的日月黄经差值约为 0° 或 180° 时与大潮期间高潮位表现了强相关性。 B 站分析与 A 站类似。

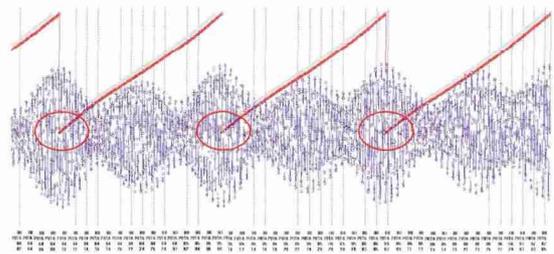


图 6 顾及半日潮龄对日月黄经差与高潮位作时间配准(B 站)示意图

同理 B 验潮站部分结果(2016-04-02~2016-07-05)见图 6。考虑到验潮站 B 的 k 值为 0.37,属于正规半日潮性质,因此验潮站 B 的日月黄经差值约为 0° 或 180° 时与大潮期间高潮位相关性将更强。

由此根据文献[12]给出的统计方法,易得 A 、 B 验潮站从各自平均海面起算的平均大潮高潮位,即海岸线的高度值, A 站为 81.2cm, B 站为 159.4cm。

4 结束语

计算平均大潮高潮面需解决两个难题,一是应有足够长时段且满足精度的潮汐实测或预报数据以供统计;二是应尽可能准确选定大潮时刻的高潮位。通过分析半日潮特征海域日、月黄经差值的长期变化趋势,揭示了日、月黄经差值约为 0° 或 180° 时与大潮高潮位的强相关性,进而在顾及当地半日潮龄

值基础上,提出并实现了顾及半日潮龄值的平均大潮高潮位计算方法,从而解决了计算平均大潮高潮面的第二个难题。

应指出的是,由于本文中公式计算结果的近似性,日、月、地三者天体运动以及潮汐自身涨落的复杂性,日、月黄经差值约为 0° 或 180° 时,即使对应着月相朔、望,也不一定严格对应着朔望月内的大潮高潮位,因此平均大潮高潮面的统计值与实际值仍略有差异,但与使用天文阴、阳历转换算法相比,计算精度应有所提高,且更能反映月相朔望的物理意义。

关于平均大潮高潮面实测和预报值统计结果的差异性分析将是作者下一步研究方向。当潮汐类型介于不规则半日潮和不规则日潮间时,有可能需使用月朔望和日赤纬这两个指标来综合判定是应计算平均大潮高潮位还是回归潮平均高高潮位,这也需作进一步研究。

致谢:感谢黄祖珂教授和黄谟涛高工对论文所作的指导和帮助。

参考文献:

- [1] 暴景阳,许 军,于彩霞.航空摄影测量模式下的海岸线综合推算技术[J].海洋测绘,2013,33(6):1-4.
- [2] GB/T 7929-1995.地形图图式[S].北京:中国标准出版社,1995.
- [3] GB 12319-1998.中国海图图式[S].北京:中国标准出版社,1999.
- [4] GB 12327-1998.海道测量规范[S].北京:中国标准出版社,1999.
- [5] 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.
- [6] 暴景阳,许 军.卫星测高数据的潮汐提取与建模应用[M].北京:测绘出版社,2013.
- [7] 黄辰虎,唐 岩,郭海涛,等.日潮特征海域回归潮平均高高潮位的计算方法[J].海洋测绘,2016,36(1):15-20.
- [8] 许家琨,刘雁春,许希启,等.平均大潮高潮面的科学定位与现实描述[J].海洋测绘,2007,27(6):19-24.
- [9] 暴景阳,许 军,关海波.平均大潮高潮面的计算方法与比较[J].海洋测绘,2013,33(4):1-5.
- [10] 郭海涛,申家双,黄辰虎,等.海岸带潮汐模型支持下的光束法区域网空中三角测量[J].测绘科学技术学报,2012(1):33-37.
- [11] 陈宗镛.潮汐学[M].北京:科学出版社,1980.
- [12] 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.
- [13] 黄祖珂,黄 磊.潮汐原理与计算[M].青岛:中国海洋大学出版社,2005.
- [14] 左军成,陈宗镛,刘望华,等.朔望潮汐大小的分析[J].海洋湖沼通报,1996,33(4):1-6.
- [15] 《海洋测绘词典》编辑委员会.海洋测绘词典[M].北京:测绘出版社,1999.
- [16] 中国人民解放军海军司令部航海保证部.潮汐表[M].天津:中国航海图书出版社,2015.
- [17] 何宜军,陈 戈,郭佩芳,等.高度计海洋遥感研究与应用[M].北京:科学出版社,2002.
- [18] 黄辰虎.海道测量潮汐分析方法及其基准面传递方法的研究与应用[D].大连:海军大连舰艇学院,2004.
- [19] 吴庆鹏.重力学与固体潮[M].北京:地震出版社,1997.
- [20] 赵晓燕,陈春生.重力观测技术[M].北京:地震出版社,1997.

An Algorithm for Calculating Mean High Water Springs at Semidiurnal Tide Sea Waters

HUANG Chenhu¹, FANG Yikai², OUYANG Yongzhong¹, GUO Haitao³, LU Xiuping¹,
ZHOU Xinghua², ZHAI Guojun¹

(1. Naval Institute of Hydrographic Surveying and Charting, Tianjin 300061, China;

2. First Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, Qingdao 266061, China;

3. School of Surveying and Mapping, Information Engineering University, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: The key to the calculation of mean high water springs at semidiurnal tide sea waters, is the tide observation or prediction data in the adequate period of time, along with the possible exact selection of high water springs. In order to solve the difficulty of selecting the time of spring tide, the difference between ecliptic longitude of the sun and ecliptic longitude of the moon is calculated. It is proved that the time of spring tide corresponds to the new moon when the ecliptic-longitude difference of the day is about 0° , and the full moon when the difference is about 180° . Thus a practical algorithm for calculating the mean high water springs at semidiurnal tide sea waters is developed in this paper.

Key words: coastline; semidiurnal tide; mean high water spring; phase of the moon; age of semidiurnal tide; ecliptic longitude of the sun; ecliptic longitude of the moon