

## 平均大潮高潮面的计算方法与比较

暴景阳<sup>1,2</sup>, 许 军<sup>1,2</sup>, 关海波<sup>1,2</sup>

(1. 海军大连舰艇学院 海洋测绘系, 辽宁 大连 116018; 2. 海洋测绘工程军队重点实验室, 辽宁 大连 116018)

摘要: 平均大潮高潮面在我国用作海洋测绘净空信息表示的参考面。论证了该特征潮面的定义, 扩充了其含义范围, 将回归潮高高潮位应用为平均大潮高高潮位。分析描述了实测潮位和预报潮位统计计算方法, 比较了统计方法与潮汐特征值算法的符合度, 计算了平均大潮高高潮位与理论最高潮位的比率。基本研究结论是: 对规则半日潮和规则日潮海域, 统计算法和特征值算法的结果较为一致, 而混合潮海域, 两种特征潮位之间存在明显差异, 平均大潮高高潮位计算的相关问题需深入系统论证。

关键词: 海洋测绘; 平均大潮高潮面; 回归潮高高潮位; 算法

中图分类号: P224

文献标志码: A

文章编号: 1671-3044(2013)04-0001-05

### 1 引 言

为航海应用需求, 海道测量技术从数据获取到成果表达通常选择特定的低潮面或高潮面作为专用信息的起算面, 即保证水下碍航要素以净水深为主要表示方法, 而水上碍航和助航信息则表达为净高度。因此, 可将这类特征潮面归类为净深基准面和净空(高)基准面<sup>[1]</sup>。净深基准面即通常所称的深度基准面, 是海洋测绘信息获取、处理、管理和应用所关注的重点, 这是由水深测量在海道测量中的重要性所决定的。净空基准面是灯塔光心、明礁、海上桥梁及悬空线缆高度的参考面, 更与海岸线的定义相关, 在当今海洋测绘数据集成、转换和应用中的作用日益明显。而相关的研究论证却不多见。

国际上, 净空基准面的选择主要有平均高潮面和平均大潮高潮面两种, 如美国采用的是平均高潮面<sup>[2-3]</sup>, 我国采用的是平均大潮高潮面<sup>[4]</sup>。曾有研究者建议采用理论最高潮面, 以使得与深度基准面的计算方法和公式相协调, 或从算法上使得这两类基准面相对称。概因用于对水面以上可视要素的表示, 助航和碍航信息相比于水深对航行安全的影响更易控制, 因此, 选用保守程度略低的特征潮面。事实上, 究竟选用哪种定义或实现方式已不是突出的问题, 关键在明确规定的基础上, 合理设计和选择统一的计算方法, 以保证信息表示意义的一致

性及与基础地形信息之间转换的可行性。

本文将分析平均大潮高潮面定义局限性, 并对定义进行相应扩充的基础上, 研究该特征潮面的确定方法, 验证不同算法确定中国沿海平均大潮高潮面的一致性 or 差异。

### 2 平均大潮高潮面及其概念扩展

显而易见, 平均大潮高潮面应为大潮期间高潮面的平均, 其量化表示则是平均大潮高高潮位, 即相对于其他类型的参考基准表示的大潮期间高潮水位的平均值。它的参考基准通常可选为当地多年平均海面(水位)或深度基准面。

在海洋潮汐学中, 平均大潮高高潮位习称大潮平均高高潮位, 属于一种特定的潮汐特征值, 描述为“半日潮大潮期间高高潮位的平均值”<sup>[5-7]</sup>, 显然, 该定义的适用范围为半日潮海域及以半日周期特征为主的混合潮(不规则半日潮)海域。这种局限性来源于大潮定义对半日潮海域的指向性。而就海洋测绘应用而言, 作为一种类型的基准面, 其定义应覆盖所有潮汐类型的海域。

在日潮(含不规则日潮)海域, 也存在潮汐的强弱变化规律, 只是最高和最低潮位的变化规律不再决定于月相, 而是取决于月赤纬的变化情况, 且与月赤纬的极值(最大或最小)相对应。因此日潮海域的回归潮与半日潮海域的大潮具有等同含义的极值

收稿日期: 2013-05-07; 修回日期: 2013-06-08

基金项目: 国家自然科学基金项目(41074002); 国家 863 计划项目(2009AA121402)。

作者简介: 暴景阳(1965-), 男, 辽宁凌源人, 教授, 博士, 博士生导师, 主要从事海洋大地测量、海道测量、测量数据处理等理论和研究方法研究。

潮汐状态,在海洋测绘应用中,对这类海域,可将回归潮平均高潮位作为平均大潮高潮位,从而实现平均大潮潮位概念的扩展和完善。

### 3 平均大潮高潮面的统计计算方法

#### 3.1 统计算法及其分析

作为一种均值类型的特征潮位,对于长期验潮站,平均大潮高潮位可以根据实测水位数据,采用统计方法计算,而且经统计获得的数值才是最可靠的。公认的统计方法是:在足够长时间(通常大于1年)尺度内,取每次大潮(潮差最大)期间连续三天的高潮位,计算其平均值。

这种统计算法在不同潮汐类型潮港(或海域)的应用显然存在差异。在半日潮海域,大潮发生在朔、望日附近,每一太阴日内出现两次高潮,日潮族各分潮的作用又会产生高潮不等现象。随着潮汐类型从规则半日潮向不规则半日潮、不规则日潮的过渡,高潮不等现象会逐步加强,至规则日潮海域,高潮不等现象基本消失,达到每天出现一次高潮的潮汐变化状态。

对任何潮汐类型的海域,每一回归月总会发生两次大潮,所不同的是,在半日潮占优的海域,大潮出现在朔望日附近,在日潮占优的海域,大潮为回归潮。因此,就统计方法的设计而言,对每一回归月,可选取两次潮差最大期间的高潮位信息作为统计资料。问题的关键在于对大潮期间的高潮如何选取。

若对每次大潮期间,每天取一次高潮,统计的结果则为平均大潮高高潮位,虽然与平均大潮高潮位的概念有所偏离,但适用于所有潮汐类型海域。若不存在高潮不等现象,或大潮期间的高潮不等处于平均大潮高潮面的计算精度限差范围内,以平均大潮高高潮位代替平均大潮高潮位,则可实现任意潮汐类型海域平均大潮高潮位统计算法的统一。而这种替代是否可行,需根据实测数据验证。

#### 3.2 由预报潮位代替实测水位实施统计的可行性

由于长期验潮站数量的不足,为满足任一海道测量海域的应用需求,引入根据潮汐调和预报数据的平均大潮高潮位统计方法。用于潮位预报的调和常数可来源于邻近的短期验潮站数据调和结果或潮汐模型。

潮汐预报模型为:

$$T(t) = \sum_{i=1}^n f_i H_i \cos(\sigma_i t + V_{0i} + u_i - g_i) \quad (1)$$

它所代替的是实测水位:

$$w(t) = T(t) + r(t) \quad (2)$$

以上二式中  $t$  为时间变量;  $T$  为预报潮位;  $r$  为非潮汐水位(余水位);  $i$  为分潮标号;  $n$  为采用的分潮数;  $H_i, g_i$  为分潮调和常数;  $f_i, u_i$  为分潮交点因子和交点订正角;  $\sigma_i$  为分潮角速率;  $V_{0i}$  为参考时刻( $t=0$ )相应分潮的理论相角。

假定大潮高潮位及相对应的实际水位分别构成序列  $THHS_j$  和  $WHHS_j$ , 序列数为  $N$ , 在潮汐调和常数准确(无误差)的前提下,有实测大潮高潮水位与相应的预报高潮位的差值序列  $r_j$ , 若对于长时间的观测数据,非潮汐水位的理论均值应为零。因此,预报的大潮高潮位的理论均值与实测大潮高水位的理论均值相等。假定余水位的统计中误差为  $\sigma_r$ , 对于有限时间长度及对应的高潮位(水位)数  $N$ , 预报大潮高潮位均值与实测大潮高水位差值均值的中误差可估计为  $\sigma_r / \sqrt{N}$ , 对于一年的观测数据,若平均大潮高潮位取每次大潮期间的3个高潮位计算,则  $N=3 \times 2 \times 12=72$ , 预报平均大潮高潮位和相应实测值统计量二者一致性的偏差中误差估值为  $\sqrt{2} \sigma_r / 12$ 。而对规则半日潮海域,每天取两个高潮值进行统计,二者偏差的中误差估值为  $\sigma_r / 12$ 。因此,当余水位的统计中误差在我国沿岸取为  $\sigma_r = \pm 30 \text{cm}$  的上限时,两种信息源统计的平均大潮高潮位的差异应在  $2.5 \sim 3.5 \text{cm}$  之间。

在无精确潮汐调和常数的地点,预报潮高本身存在误差,考虑到所需求取的量值为多时刻潮位的平均,因此,长周期分潮的作用等在平均意义上得以消除或削弱,而其他若干分潮也具有削弱作用,因此,可用主要分潮进行预报计算。此时,潮汐预报的误差可由主分潮的综合误差(RSS)估计,其贡献量随平均次数的增加而减弱,根据中国近海潮汐模型8个主要分潮的综合中误差为  $\pm 12.5 \text{cm}$  的估算值<sup>[8]</sup>,即便具有系统误差性质,在多次平均下,某种平均意义下的特征潮位应可控制在  $\pm 10 \text{cm}$  之内。因此,预报平均大潮高潮位与相应实测(若存在)统计值的偏差中误差应可控制在厘米级精度水平。

当然,以上分析仅根据理论估算,在实际统计计算时,由于极值高潮位求解的偏差等计算原因的影响,实际差异可能偏大。但由潮位预报方法求取海域所需任一点的平均大潮高潮位是可行的。

#### 3.3 长期验潮站统计计算结果与分析

对中国沿海15个长期验潮站,分别采用实测数据统计法和预报潮位统计法进行了平均大潮高潮位(含平均大潮高高潮位)的计算。计算结果统计见表1。

表1 长期验潮站实测和预报平均大潮高(高)潮位信息统计表

验潮站号	实测数据年份	潮型数	平均大潮高潮位/cm			平均大潮高高潮位/cm			实测高潮位与高高潮位的偏差/cm
			实测	预报	差值	实测	预报	差值	
1	1991~1997	0.44	122.3	129.0	6.7	152.1	157.4	5.3	29.8
2	1960~1978	0.32	94.5	99.9	5.4	102.6	107.6	5.0	8.1
3	1975~1997	0.35	182.2	183.7	1.5	190.1	189.2	-0.9	7.9
4	1975~1997	0.32	212.2	215.4	3.2	220.8	222.0	1.2	8.6
5	1975~1992	0.19	235.5	234.1	-1.4	251.3	248.1	-3.2	15.8
6	1975~1997	0.28	245.9	247.9	2.0	261.5	264.4	2.9	15.6
7	1975~1997	0.33	247.3	258.2	10.9	259.0	271.9	12.9	11.7
8	1975~1997	1.17	98.4	101.9	3.5	149.3	153.4	4.1	55.0
9	1980~1999	1.56	31.5	30.2	-1.3	41.3	41.1	-0.2	9.8
10	1986~2002	1.66	58.0	56.9	-1.1	96.4	96.9	0.5	38.4
11	1980~1999	1.88	28.0	24.9	-3.1	51.6	52.2	0.6	26.2
12	1975~1997	2.13	41.7	43.8	2.1	66.8	82.0	15.2	25.1
13	1975~1997	4.10	214.2	220.2	6.0	219.3	225.3	6.0	5.1
14	1976~1997	4.12	79.6	73.9	-5.7	88.9	92.2	3.3	9.3
15	1975~1997	6.40	124.2	125.9	1.7	126.9	128.8	1.9	2.7
均方根差			4.56			6.00			

统计结果表明,对于中国沿海长期验潮站:由于各具体地点潮汐构成成分的复杂性,平均大潮高潮位和平均大潮高高潮位的差异无明确的关系;即便在日潮海域,也未必每天只发生1次高潮,只不过部分次高潮的存在多发生在主高潮的附近,故两种特征大潮高潮位之间差异不大;在混合潮海域,两种特征大潮高潮位的量值虽然较小,但差异较大,甚至接近平均大潮高潮位的数值,反映出明显的高潮不等现象;就参加统计计算的长期验潮站而言,在半月潮海域,两种特征大潮高潮位的差异在20cm之内,但在个别站接近平均大潮高潮位的四分之一,说明,即便在规则半月潮海域,也存在大潮期间的明显高潮不等;采用实测数据统计法和预报统计法,同一类型大潮特征高潮位确定结果偏差的中误差均控制在6cm之内,说明,两种统计算法总体上的近似一致性。

根据以上统计信息分析可以得出的基本结论是:确定平均大潮高潮位的重点是对平均大潮高潮位在不同海域给出怎样的定义或规定;对于平均大潮高潮位的统计计算,在半月潮海域,可严格按定义统计大潮期间每天两次高潮的平均值,在日潮海域只选取一个高潮位进行统计,关键是对混合潮海域的统计处理,鉴于在海洋测绘应用中所关注的是信息表示的保守特性,宜采用与日潮海域相同的统计方法。

#### 4 基于公式的计算方法

##### 4.1 特征值公式算法说明与分析

潮汐特征值是用潮汐调和常数根据相应的数学公式算得的一组数据,也通常称为潮汐非调和常数,

对于本文涉及的主题,则主要关心的是平均大潮高潮位和回归潮平均高高潮位。对相应的计算公式在此将不详细列出,而做一般的说明和解释。

文献[6]给出了计算平均大潮高潮位的三种公式,第一种是考虑半月潮族和全日潮族在潮位预报中的贡献,在潮高表达中,将最大的两个分潮 $M_2$ 和 $S_2$ 的潮高在综合潮高中剥离出来,而其他分潮的潮高贡献综合表示,顾及大潮期间两个主要分潮相位相等的条件,通过将时间原点置于大潮时刻,采用数学求极值的方法导出,所导出的即适用于规则半月潮海域的计算公式。第二种公式则是在顾及浅水分潮作用后,通过对第一种公式的附加改正得到的,重点考虑 $M_2$ 分潮的倍潮 $M_4$ 和 $M_6$ 的贡献,并引入 $M_2$ 与 $S_2$ 分潮的复合潮与两个倍潮的振幅关系假设,导出的即不规则浅水半月潮港平均大潮高潮位的计算公式。文献[5]的讨论即引用了这样的公式。第三种则是根据大潮平均潮差和平均半潮面的组合计算公式,当然该式继承了求取平均大潮高潮位的基本原理,另外引用了大潮平均低潮位和大潮平均半潮面两个特征值。

不管采用怎样的计算公式,都只是针对半月潮类型给出的计算公式,而对于日潮类型海域,计算回归潮高高潮位和相应潮差的公式则相当繁琐,基本思想是求 $K_1$ 、 $O_1$ 两个最大分潮(合并为一个时变振动)及与最大半月分潮 $M_2$ 组合后的极值。导出过程从形式上较为严谨和合理,但也包含一定的假设,如认定 $H_{O_1}=0.711H_{K_1}$ ,这种假设在中国沿海部分区域是明显失真的,如北部湾海域, $O_1$ 分潮反强于 $K_1$ 分潮。

特征值法确定的平均大潮高潮位是以求极值法实现的,与统计方法取每次大潮期间三天的高潮位均值的方法也不相匹配。

#### 4.2 特征值公式算法与统计算法的结果比较

比较了表1中各长期验潮站用两种算法得到的平均大潮高潮位计算结果。其中,在利用特征值法计算时,半日潮港按平均大潮高潮位的通用公式计

算,日潮类型(含不规则日潮)港按回归潮高高潮位计算,而不规则半日潮港采用两种方法分别计算两套结果。分别给出了相同含义的平均大潮高潮位模型算法与统计法的结果差值。为说明平均大潮高潮位与理论最高潮位的显著差异,对二者进行了比较,并用百分比反映二者的相差程度。有关计算和比较结果见表2。该表的验潮站排序同表1。

表2 特征值算法与统计算法之间及与理论最高潮位的比较

验潮站号	潮型数	实测统计值/cm		特征值法结果/cm		差值/cm		理论最高潮/cm	比值/%
		半日潮型	回归潮型	半日潮型	回归潮型	半日潮型	回归潮型		
1	0.44	122.3		132.1		9.8		183.0	72.2
2	0.32	94.5		102.6		8.1		149.3	63.3
3	0.35	182.2		186.8		4.6		291.8	62.4
4	0.32	212.2		214.0		1.8		317.5	66.8
5	0.19	235.5		239.3		3.8		339.8	69.3
6	0.28	245.9		254.3		8.4		357.0	68.9
7	0.33	247.3		260.9		13.6		338.0	73.2
8	1.17	98.4	149.3	95.2	126.5	-3.2	-22.8	181.5	82.2
9	1.56	31.5	41.3	29.7	37.1	-1.8	-4.2	93.1	44.3
10	1.66	58.0	96.4	58.4	95.1	0.4	-1.3	135.3	71.2
11	1.88	28.0	51.6	25.4	48.0	-2.6	-3.6	65.0	79.3
12	2.13		66.8		79.7		12.9	100.8	66.3
13	4.10		219.3		227.0		7.7	256.3	85.6
14	4.12		88.9		90.2		1.3	161.6	55.0
15	6.40		126.9		135.8		8.9	150.4	84.4

表2的数据表明,对于所分析的规则半日潮港和日潮类型潮港,特征值计算法和实测数据统计法的结果差值大多在10cm之内,反映了较好的符合度。但半日潮港的特征值平均大潮高潮位普遍比统计值偏大,考查表1可以发现,特征值计算结果总是介于平均大潮高潮位和平均大潮高高潮位的统计值之间,进一步印证了高潮不等现象的作用。而对于不规则半日潮港,除第8号验潮站外,平均大潮高潮位和回归潮高高潮位的统计值和计算值也较为一致,但两种方法之间的结果偏差较大。而第8号验潮站的统计回归潮高高潮位明显大于特征值计算结果,但平均大潮高潮位与回归潮高高潮位统计值的平均与计算的特征值较为接近。第11号验潮站具有不规则日潮性质,回归潮高高潮位的统计值与计算值有较大出入,而从表1分析,预报的统计值与模型计算值却是吻合的。据以上分析,对混合潮类型海域,应重点选择平均大潮高潮位的确定方法,从保守高度的起算面角度,选择回归潮高高潮位是合理的。另外,平均大潮高潮位(含回归潮高高潮位)与理论最高潮位的比值介于44%和85%之间,平均比值约为70%。

#### 5 其他相关问题的讨论

本文统计和计算平均大潮高潮位均自当地多年平均海面起算,而不是以深度基准面为参考面。这是因为这种确定和表示方法更便于海洋测绘应用,它可由观测技术获得的碍航、助航物及岸线高程信息,通过海面地形数据转换至所需的高度表示形式。而且,可避免因深度基准面的变更引起的上述信息表示和注记混乱。

为了实现平均大潮高潮位的大范围获取,应发展平均大潮高潮位模型,考虑到海域潮汐类型的变化,且不同潮汐类型的平均大潮高潮位定义或选择有所不同,确保模型的数值在海域连续性,或控制在一定的误差水平仍需论证。在长期验潮站数据的控制下,短期和临时验潮站的平均大潮高潮位确定方法也值得研究。

在本文的分析和论述中,将日潮和混合潮海域的回归潮高高潮位视为平均大潮高潮位,从海洋学意义上,概念是不严谨的,但根据潮汐变化过程中出现的强弱交替过程的观点,或为满足海洋测绘高程

信息转换的应用需要,这种变通则是合理的。

## 6 结束语

补充完善了测绘应用的平均大潮高潮位的概念,在日潮和混合潮海域,将回归潮高高潮位引用为平均大潮高潮位。

由实测数据统计、潮位预报统计和潮汐特征值计算的平均大潮高潮位总体上具有较好的符合度,差异的中误差在10cm以内。在混合潮海域,平均大潮高潮位和回归潮高高潮位之间具有明显差异。

平均大潮高潮位与理论最高潮位的比值在中国沿海大体上为70%。

在海洋测绘应用中,为工程化需要,平均大潮高潮位的算法、在不同类型海域的连续过渡等问题有待深入研究完善。

## 参考文献:

- [1] 暴景阳,许军,崔杨. 海域无缝垂直基准面表征和维持体系论证[J]. 海洋测绘, 2013, 33(2): 1-5.
- [2] NOAA NOS CO-OPS Tidal Datums and Their Applications[R]. NOAA Special Publication, NOS CO-OPS 1, 2001.
- [3] Don Evans, Conrad C. Richard W. Spinrad, et al. Computational Techniques for Tidal Datums Handbook[S]. NOAA Special Publication NOS CO-OPS 2, Silver Spring, Maryland, September 2003.
- [4] GB 12327-1998. 海道测量规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 1999.
- [5] 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.
- [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] 孟德润,田光耀,刘雁春. 海洋潮汐学[M]. 北京: 海潮出版社, 1993.
- [8] 许军,暴景阳,刘雁春. 基于POM模式与blending同化法建立中国近海潮汐模型[J]. 海洋测绘, 2008, 28(6): 15-17.
- [9] 暴景阳,许军. 中国沿岸验潮站潮汐调和常数的精度评估[J]. 海洋测绘, 2013, 33(1): 1-4.
- [10] 暴景阳. 海洋测绘垂直基准综述[J]. 海洋测绘, 2009, 29(2): 70-73.

## The Algorithms for Calculation of the Mean High Water Spring and Their Comparison

BAO Jingyang<sup>1,2</sup>, XU Jun<sup>1,2</sup>, GUAN Haibo<sup>1,2</sup>

(1. Department of Hydrography and Cartography, Dalian Naval Academy, Dalian 116018, China;

2. Key Laboratory of Hydrography and Cartography of PLA, Dalian 116018, China)

Abstract: Mean high water spring (MHWS) is applied as reference surface for the expression of clearance height information in hydrography. In this paper, the definition of this characteristic water level is demonstrated, and it is extended to all types of tides. The tropical higher high water (THHW) is quoted as the MHWS for the diurnal and mixed tides. The statistical algorithms from the observed and predicted tidal data are described and analyzed. The coincidence of results from both from the statistics and characteristic value algorithm is verified. The ratio between MHWS and the normal highest high water is calculated for the long term tidal stations along the coast of China. The fundamental conclusion drawn from this paper is that a satisfy accordance between the results both from the statistics and characteristic value algorithm for semidiurnal and diurnal tidal area, and for the mixed tidal area, large differences exist between MHWS and THHW. In this type of tidal area, detail researches will be made for the calculation of MHWS.

Key words: hydrographic surveying and charting; mean high water spring (MHWS); tropical higher high water (THHW); algorithm