

潮汐预报的几种方法(一)

中国科学院海洋研究所 万国洪

潮汐现象对人类从事海上生产和军事活动有着极大的影响,因而早就引起人们的重视。我国古代劳动人民和学者对于这一现象有着比较深刻的认识并掌握了它的变化的基本规律,从而提出了各种预报方法。随着生产和科学的发展,人们对潮汐预报准确度的要求愈来愈高,同时对潮汐现象的认识也逐步深化,因而预报方法也更趋完善。到目前为止,潮汐的预报方法大致可分为三种类型,即非调和法、调和法和感应法。这里我们来介绍一下这些方法的基本内容。

一、非调和法

非调和法原先是一种将预报地点的高、低潮的时间和高度同月亮及太阳运动的一些主要要素联系起来的经验统计方法,而标志这两者关系的常数就叫做非调和常数。非调和常数通常用经验统计的方法得出,但在调和和方法出现之后,也可以用调和常数来计算。由于历法主要是根据太阳和月亮相对于地球的运动而确定的,因此非调和法也可以将潮汐状况同日历直接联系起来。

非调和法预报潮汐在我国有悠久的历史。据记载,大约在一千二百年前,唐朝的窦叔蒙就指出月相与潮时之间具有基本上是线性的关系。从自古以来,民间应用农历日期推算潮汐是相当普遍的,某些地区记载的潮候图实际上就是一种用非调和法预报的潮汐表,现在在各地劳动人民中间还流传着各种预测潮汐的谚语,所采用的方法也可划归非调和法范畴。在西方较早的比较完善的方法是1831年英国陆波克

(Lubbock)提出的。他不但考虑了月令,而且还考虑了月亮赤纬、视差和全日不等的影响,但他的方法仍然是比较简单和粗糙的。苏联杜瓦宁(Дуванин)进一步研究了月亮赤纬、太阳赤纬与月中天时刻之间的关系,用非调和法编制了永久潮汐表。

我国广泛使用非调和法预报潮汐是与使用农历的习惯分不开的。这种历法是既根据太阳也根据月亮的运动而制定的,用这种历法推算潮汐显得特别方便。

下面我们来讨论非调和法的基本原理。

我们知道,潮汐主要是由于月亮,其次是由于太阳对地球上各地点引力的差异即引潮力而引起的,某一定地点的潮汐状况决定于它们和地球的相对位置。其相对位置可以用它们的中天时刻、赤纬以及它们与地球的距离来表征。更详细地分析这些天文因子在潮汐现象中所起的作用是十分必要的。

由潮汐理论知道,引潮力具有三种基本周期,即半日周期、全日周期和长周期。

对一定地点,月亮引潮力的半日周期部分比例于 $c \cos^2 \delta \cos(2\sigma(t-T) - \theta)$,其中 c 是月一地平均距离与实际距离的比值的三次方, δ 是月亮赤纬, t 是时间, T 是当天月亮中天时刻, σ 是月亮时角的变化速度,大约等于每小时 14.5° , θ 对一定地点是一个常量。天文观测表明, c 的变动范围在 $\pm 20\%$ 左右; δ 变化范围为 $0^\circ - \pm 28.6^\circ$,故 $\cos^2 \delta$ 变化于 $0.77 - 1$ 之间,即在平均值上下作大约 12% 的变化。因此对一定地点太阴半日潮高低潮的时间主要决定于月中天时刻,而月地距离及月亮赤纬对潮汐的振幅有一定影响。类似地,太阳引潮力的半日周期部分比例于 $c_s \cos^2 \delta_s \cos(2\sigma_s(t-T_s) - \theta_s)$,这里用下标 S 表示太阳的有关天文要素。从潮汐理论知道,太阳引潮力大约是月亮的 46% 。因此高低潮时间主要决定于月中天时刻。月中天到高(低)潮这一段时间通常称为高(低)潮间隙。

如只考虑月中天时刻,最简单的预报公式可写作:

高(低)潮时=月中天时刻+平均高(低)潮间隙。(1)

我们来举个例子。表1是1971年1月27日—2月10日吴淞的一个高潮时刻及由相应月中天时刻算得的各天的

高潮间隙基本上还是接近的,平均值为0时13分。所以作为粗略估计,用月中天时刻加上0时13分可以算得吴淞的一个高潮时间。另一个高潮及两个低潮也可用类似方法计算。

表1 吴淞高潮时与月中天时刻的关系

公历日期	农历日期	月中天	高潮时	高潮间隙	用式(1)预报的误差	经表2订正后预报的误差
1月27日	正月初一	0时17分	0时45分	+0时28分	+15分	-8分
28	二	1 14	1 25	+0 11	-02	-12
29	三	2 06	2 05	-0 01	-14	-8
30	四	2 57	2 50	-0 07	-20	-2
31	五	3 47	3 30	-0 17	-30	-2
2 1	六	4 37	4 15	-0 22	-35	+1
2	七	5 28	4 50	-0 38	-51	-12
3	八	6 22	5 40	-0 42	-55	-20
4	九	7 17	7 05	-0 12	-25	-4
5	十	8 13	8 40	+0 27	+14	+8
6	十一	9 08	9 55	+0 47	+34	+4
7	十二	10 02	11 15	+1 13	+60	+21
8	十三	10 52	11 55	+1 03	+50	+11
9	十四	11 39	12 25	+0 46	+33	-1
10	十五	12 23	13 05	+0 42	+29	+1

但是月中天时刻必须由天文年历查出,这是不方便的,一个代替的办法是用农历日*推算。因农历初一的月中天一般在0时左右,然后每天约增加50分钟,因此近似有

$$\text{月中天时刻} = (\text{农历日} - 1) \times 50 \text{分}。(2)$$

表1还列出了用式(1)预报的误差,显然误差是显著的。这并不是偶然现象:实际上

任何地点从小潮到大潮的期间,高(低)潮间隙一般都要比平均高(低)潮间隙来得小;而从大潮到小潮期间则情况相反。这是太阳潮影响的结果。为了考虑太阳潮,在我国近海,可以用表2对式(1)进行订正。从表1可看出,订正后预报误差大大减小了。

表2 我国近海半日潮港对不同月中天时刻的高(低)潮间隙订正值

月中天时刻(小时)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
高潮间隙订正(分)	27	12	-4	-19	-31	-39	-39	-29	0	29	39	39	31

全日潮的情况要比半日潮复杂得多。月亮引潮力的全日周期部分比例于 $\text{csin}2\delta\cos(\sigma(t-T)-\theta')$ 在这里赤纬因子起了很大的作用,因 δ 可变化于 0° — $\pm 28.6^\circ$,故 $\text{sin}2\delta$ 最小可以是零。所以只有在 δ 的绝对值比较大的情况下,

才可以利用类似于式(1)的公式来推算潮汐;当 δ 较小时,太阴全日潮就可能淹没于太

*我们用农历日称呼农历初一到三十这些日期,不考虑年份和月份。

阳全日潮或半日潮之中。

月亮引潮力的长周期部分比例于 $c(1-3\sin^2 \delta)$, 主要决定于月亮赤纬。不过实际上水位的长周期振动主要还不是起因于引潮力, 而是起因于气候的季节变化。例如我国渤、黄、东海是一个北端封闭, 南面与太平洋相通的大海湾。夏季时南风盛行, 把外洋的海水推向

湾内, 加上夏季气压较低, 湾内的平均水位就较高。冬季的气象情况相反, 平均水位就较低。这样就形成水位的周年变化。这种变化与太阳引潮力的长周期部分一样, 决定于太阳赤纬。

这样看来, 为了预报全日潮地区的潮汐以及为了更准确地预报半日潮地区的潮汐, 单单考虑月中天时刻是不够的; 太阳中天, 月亮和太阳的赤纬以及它们离地球的距离都应当尽可能考虑到。这样多的天文因子能否归纳为较少的几个呢? 是可以的。

太阳的中天时刻比较简单, 因我们所用的时间就是平太阳时, 即平太阳总是零时为下中天, 12时为上中天, 表2实际上就是考虑了平太阳的影响。真太阳的中天时刻与平太阳相差不大, 而且差值决定于阳历月日^{*}。太阳赤纬也容易处理, 因为我们用的阳历年的长度就是根据回归年, 故由阳历月日即可确定太阳赤纬。同时由于地球近日点移动很慢(约2万年一周), 在若干世纪内可看作不动, 故日地距离也决定于阳历月日。

初看起来, 月亮赤纬似乎是独立变化的, 但实际上并不如此。我们知道地球绕太阳公转的轨道叫做黄道, 它与赤道平面的交角大约是 $23^\circ 27'$, 而月亮绕地球公转的轨道即白道与黄道的交角可变化于 $18^\circ 18'$ 至 $28^\circ 36'$ 。但是白道与黄道的交角则始终保持在 $5^\circ 09'$ 左右, 它与黄赤交角相比要小得多。因此作为近似我们可粗略地认为白道跟黄道在同一平面上。这样月亮的赤纬就要被月中天时刻和太阳赤纬所确定。例如夏至(一般在阳历6月22日)太阳赤纬为

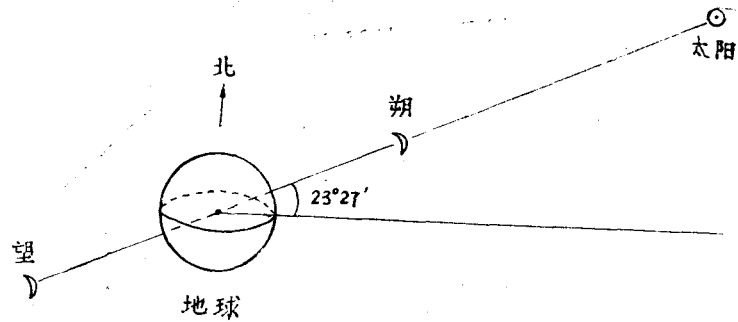


图1. 夏至前后月亮中天时刻与赤纬的关系

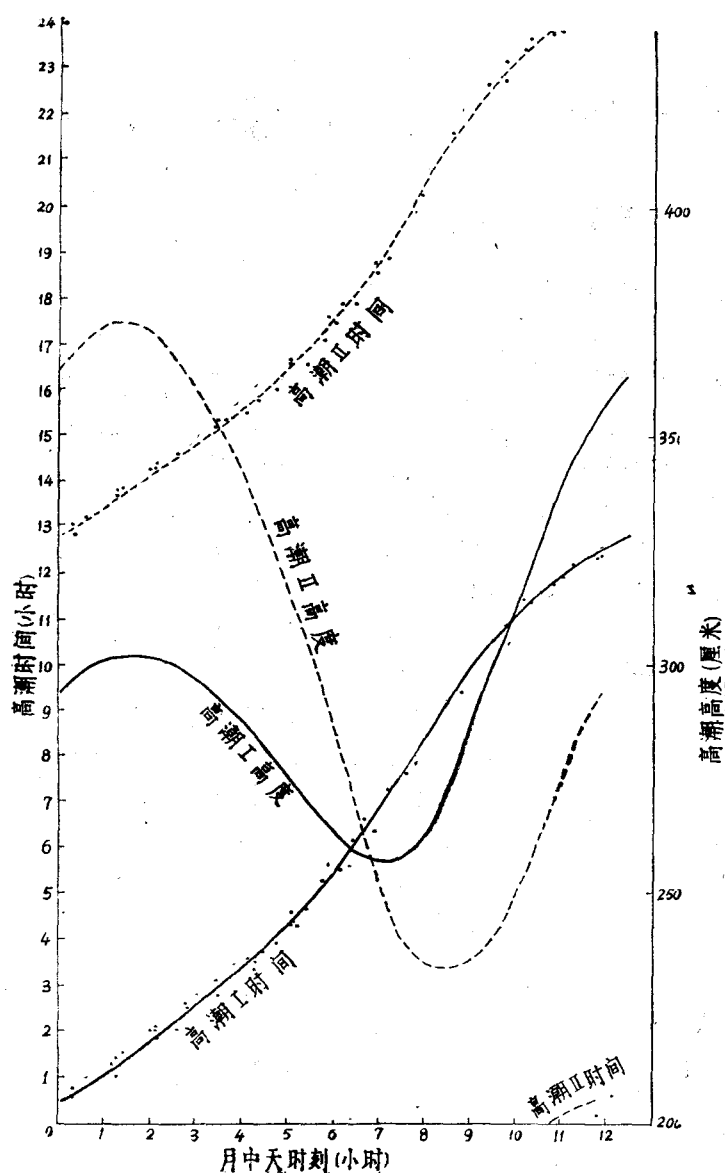
$23^\circ 27'$ (见图1), 在它前后一般时间内的朔日(此时月亮下中天为0时左右), 月亮将达北赤纬最大; 望日(此时月亮上中天为0时左右)则达南赤纬最大; 而在上下弦(月中天为6或18时左右)月赤纬将差不多是零。对于其它天文情况也可作类似分析。由于白黄道交角不是零而是 $5^\circ 09'$, 由月中天和阳历月日推得的月赤纬其误差平均在22%左右。

因此由月中天和阳历月日可确定决定潮汐状况的月亮和太阳中天时刻、月亮和太阳的赤纬及日地距离这些主要要素。这样, 对不同年份只要阳历日期和月中天时刻都接近, 潮汐状况也就相近。根据这个原理, 可以采用不同的统计方法。例如在图2中, 我们以每天第一个月中天时刻为横轴, 高潮时间和高度为纵轴, 把吴淞各年阳历一月的实测值绘到图上, 根据实测点的变化趋势联成曲线。未来年份的一月份各天的潮汐就可根据当天的月中天时刻由这个图上读取作为预报。对于低潮也可作同样处理。

如果感到使用月中天时刻这个天文变量不方便, 则可用式(2)来推算, 或者干脆用农历日作横坐标来代替图2中的月中天时刻。当然这将带来新的误差。

由于月中天时刻(或农历日)还不能反映月地距离以及白赤道交角的变化, 预报中还会有一定误差, 更精确的预报还要加进一些订正以考虑这些影响, 这里就不详细讨论了。

^{*}我们把阳历的月份和日期叫做阳历月日, 不考虑年份。其中有决定意义的是月份。



(原点为高潮时的实测值;高潮高的实测值在图中未画出)

图2. 吴淞阳历1月高潮与月中天时刻的关系

上面介绍的只是高低潮的预报, 非调和方法原则上也可应用于每个时刻的潮位预报。

从以上可以看到, 非调和方法不需要专门机构对观测值进行分析然后再作出预报, 这在使用中是十分方便的, 尤其我国农历使非调和方法显得更为方便。同时由于这个方法把特定地点的潮汐状况跟支配潮汐运动的天文条件直接联系起来, 不必去研究潮汐运动过程, 这就可以避开调和方法或感应法所遇到的某些困难。所以虽然这是一个古老的方法, 可仍然是有价值的。但如何更进一步提高预报的准确度还是一个需要解决的问题。特别对于观测资料只有一年或一年以下的地点, 非调和方法的预报效果往往较差。此外, 作者尚未见到有人用非调和方法预报任意时刻的潮高。看来这些问题的解决尚有待于将现代的计算技术应用于非调和方法之中。