

镇江站天文潮预报模型研究

白立影¹, 戴凤君¹, 谭 亚², 姚允龙¹

(1. 江苏省水文水资源勘测局镇江分局, 江苏 镇江 212028; 2. 河海大学, 江苏 南京 210098)

摘要: 长江镇扬河段属感潮河段, 尝试采用适合于河口海岸的自动分潮优化技术、基于高低潮资料的调和分析改进型方法以及河口潮位径流增量修正法, 计算镇江站的调和常数, 预报其天文潮位, 同时建立特征潮位、预报误差的统计分析。结果显示: 虽然高低潮位误差在 30 cm 以内合格率为 82.4%, 仅达到乙等, 但高潮位的预报精度达到了甲等, 表明采用调和常数预报镇江站天文潮高潮位可行。

关键词: 感潮河段; 调和分析; 调和常数

中图分类号: [TV124] **文献标识码:** B **文章编号:** 1007-7839 (2017) 10-0040-04

Study on prediction model of astronomical tide in Zhenjiang Station

BAI Liying¹, DAI Fengjun¹, TAN Ya², YAO Yunlong¹

(1. Zhenjiang Hydrology and Water Resources Investigation Bureau of Jiangsu Province, Zhenjiang 212028, Jiangsu; 2. Hohai University, Nanjing 210098, Jiangsu)

Abstract: The Zhenjiang Reach of Yangtze River is a tidal reach. Methods of automatic tide-flow optimization technique, an improved method of harmonic analysis based on high tide and low tide data, and incremental correction of tidal flow in the estuary, which were suitable for the estuary coast, were tried to calculate the harmonic constant of Zhenjiang Station and to forecast the astronomical tide. At the same time, the statistical analysis of characteristic tide and prediction error were established. The results showed that the high and low tide level error within 30cm qualified rate was 82.4%, which only reached B, but the prediction accuracy of high tide reached A, which showed that it was feasible to predict the high tide of astronomical tide in Zhenjiang Station by using harmonic constant.

Key words: tidal reach; harmonic analysis; harmonic constants

1 概述

长江镇扬河段属感潮河段, 其潮汐为不规则的半日潮型, 感潮较强, 涨落变化有明显的规律性。根据潮汐理论, 对某一具体海区的潮汐进行预报, 先对实际发生的潮汐进行观测, 根据实测资料进行潮汐分析, 求其调和常数, 再由调和常数进行潮汐推算^[1-3]。因此, 本文尝试采用镇江潮位站多年

实测潮位资料, 计算镇江站的调和常数, 并对特征潮位预报误差进行统计分析。

目前关于潮汐调和分析, 一般的做法是采用固定的 128 分潮系列 (个别或采用 157 分潮), 用 1 年的逐时潮位资料, 按最小二乘法求得每 1 分潮的振幅和迟角, 即调和常数, 并用于推算任意日期的潮汐。不过仅此 100 多个分潮, 对主要用于推算公海测站的潮汐、编印为航运和渔业所用的潮

收稿日期: 2017-07-20

作者简介: 白立影 (1981-), 女, 硕士, 工程师, 主要从事水文水资源相关工作。

汐表或许是可行的,但对于为沿海防汛服务的水利系统来说,这样预报的精度不高,其原因是分潮数嫌少^[4-6]。因为水利系统潮位测站通常位于浅水、岸线曲折复杂的近岸和河口地区,这些地区潮汐的变化比外海更为复杂。本研究采用具有更高精度的潮汐分析和预报的方法,将从大量的分潮中择优选出有效的分潮,从而提高了分析和预报的精度。

2 自动分潮优化技术

潮汐理论给出的描述测站潮位的理论表达式为:

$$h(t) = A_0 + \sum_{j=1}^m f_j \cdot H_j \cos(\sigma t + v_0 + u - g)_j \quad (1)$$

复杂的潮位过程线 $h(t)$, 是由许多简谐振动叠加组成的, 每一个简谐振动称一个分潮。式中: σ 为分潮角速率, $v_0 + u$ 和 f 是分潮天文初相角和节点因数, A_0 为平均海面。未知量 H_j 和 g_j 为振幅和迟角, 为待求的分潮调和常数。调和常数 H_j 和 g_j 需要由实测资料加以确定。如将实测逐时潮位资料写为:

$$h_p(t) = A_0 + \sum_{j=1}^m R_j \cos(\sigma_j t - \theta_j) \quad (2)$$

对比式(1)和式(2), 可知:

$$\left. \begin{aligned} f_j H_j &= R_j \\ (v_0 + u - g)_j &= -\theta_j \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

由此可以得到:

$$\left. \begin{aligned} H_j &= R_j / f \\ g_j &= (v_0 + u + \theta_j) \end{aligned} \right\}$$

式(3)即为计算调和常数的公式。因此, 需要从实测资料中, 将各分潮分离出来, 消除其它不需要的分潮, 将剩下的所求分潮, 求其振幅和初相角 R_j 和 θ_j , 即可从式(3)求得调和常数。

目前, 用计算机按最小二乘法对潮汐进行分析和预报所依据的原理都是相同的, 但各自对分潮的选择、数据的处理、编程技巧等不尽相同, 结果可能有些区别。就分潮数目来说, 大多都是 63 个, 128 个或 157 个固定的分潮。水利部门沿海水情业务部门为汛期防洪, 需要进行岸边潮位的预报, 且这些潮位站多位于地形复杂的岸边和河口地区, 那里的潮波变形显著, 潮汐变化复杂, 需要更高精度的潮汐预报。自动分潮优化调和与分析选取了 306 个分潮, 是分潮数比较多的。但分潮数也

并非越多越好, 许多小分潮对最后预报值的贡献作用不大, 相反, 计算的舍入误差、噪声影响等反而对预报潮位有一定的负面影响。本研究采用分潮优化方法, 自动删除对潮位预报水域作用不大的分潮, 形成新的分潮系列, 再进行第 2 次潮汐分析, 并统计误差。

3 高低潮位特征分析

根据观测站的长系列高低潮位、高低潮时资料, 统计分析各站潮汐特性, 具体包括: 多年平均高潮位、最高潮位, 多年平均低潮位、最低潮位, 多年平均潮差、最大潮差、最小潮差, 多年平均涨潮历时、多年平均落潮历时等。计算方法如下:

多年平均高潮位: 各年所有高潮位序列的平均值。

最高潮位: 各年最高潮位序列中的最大值。

多年平均低潮位: 各年所有低潮位序列的平均值。

最低潮位: 各年最低潮位序列中的最小值。

多年平均潮差: 各年潮差系列的平均值。

最大潮差: 各年潮差系列的最大值。

最小潮差: 各年潮差系列的最小值。

多年平均涨潮历时: 各年涨潮历时序列的平均值。

多年平均落潮历时: 多年落潮历时序列的平均值。

镇江站于 1904 年由镇江海关设立为潮水位站, 至 1937 年 3 月停测。1947 年 3 月扬子江水利委员会复设, 1950 年 5 月由苏南行署水利局接管, 同年 7 月改属华东军政委员会水利部领导, 1953 年 1 月改由江苏省水利厅领导, 1958 年 4 月改由长江流域规划办公室领导, 1960 年移交江苏省水文站领导, 观测迄今。该站实测潮位即吴淞基面潮位。

吴淞口站于 1912 年 1 月由上海浚浦局设在吴淞口炮台湾, 1937 年 8 月停测, 1949 年 12 月恢复, 1949 年 5 月由上海港务局领导, 1957 年 1 月改由上海河道工程局(现改称上海航道局)领导, 观测迄今。该站实测潮位与镇江吴淞基面潮位的换算关系为: 实测潮位 +0.264 m = 镇江吴淞基面潮位(其余年份)。由于吴淞站地处长江口, 其潮位观测资料系统完整, 长江口典型台风期潮位该站均有观测资料, 故本项研究选择吴淞口站作为外

海的代表站。以京杭运河(镇江谏壁)出口为起点,沿江主要潮位站点的相对距离如表 1 所列。

表 1 沿江主要潮位站点相对距离

站名	镇江	小河新闸	江阴	天生港	浒浦	吴淞口
相对距离 (km)	0	71	113	180	217	298

本项目收集了镇江、吴淞口潮位站 1956 ~ 2009 年的高低潮位、高低潮时等资料(除了其中个别站的少数年份因缺测或其他原因未收集之外),具体见表 2、表 3。

表 2 潮位资料一览表

序号	站名	资料年限
1	镇江	1956 ~ 2009
2	吴淞(蕴)	1956 ~ 2000

注:因吴淞口站潮位系列短,本项目首先依据吴淞(蕴)站的长系列潮位资料进行分析计算,然后根据吴淞口站和吴淞(蕴)站近年的同步观测资料建立两站潮位特征值之间的相关关系,进而间接得到吴淞口站的特征潮位。

由表 3 可见,越往下游潮差越大,涨潮时间越长;越往上游,平均高潮位、平均低潮位越高,落潮时间越长,径流的影响越大。

表 3 潮位特征值统计结果

站名	镇江	吴淞(蕴)
多年平均高潮位(m)	4.88	3.33
最高潮位(m)	8.59	5.99
多年平均低潮位(m)	3.94	0.99
最低潮位(m)	1.24	0.02
多年平均潮差(m)	0.94	2.33
最大潮差(m)	4.49	4.45
最小潮差(m)	0.00	0.02
多年平均涨潮历时(时:分)	3:15	4:41
多年平均落潮历时(时:分)	9:03	7:53

4 天文潮预报

考虑到镇江站受潮汐影响,采用已建立的河口海岸的“自动分潮优化调和分析及预报”模式进行镇江站调和常数的计算,推算天文潮,依据已收集的实测资料进行吴淞口潮位的模拟误差分析。

收集了 2010 年 1 月 1 日 0 时至 2010 年 12 月

31 日 23 时以及 2011 年 12 月 24 日 0 时至 2012 年 12 月 23 日 23 时两段镇江站的实测资料,进行调和常数的模拟和天文潮推算,模型验证结果见表 4 与表 5。

表 4 高低潮位精度统计

	预报差值	合格率 %
1	≤ ± 10 cm	55.60
2	< ± 20 cm	70.00
3	< ± 30 cm	82.40
4	< ± 40 cm	89.08
5	< ± 50 cm	92.91
6	< ± 60 cm	95.82
7	< ± 70 cm	97.80
8	< ± 80 cm	99.01
9	< ± 90 cm	99.79
10	< ± 100 cm	99.93

表 5 高潮位精度统计

	预报差值	合格率 %
1	≤ ± 10 cm	57.59
2	< ± 20 cm	72.77
3	< ± 30 cm	85.39
4	< ± 40 cm	91.21
5	< ± 50 cm	93.62
6	< ± 60 cm	96.74
7	< ± 70 cm	98.87
8	< ± 80 cm	99.57
9	< ± 90 cm	99.86
10	< ± 100 cm	100.00

规范中对许可误差的规定是:正常潮位(高潮高和低潮高)取 ±0.3 m,半日潮类型的正常潮时取 ±0.5 h。合格率大于或等于 85%的为甲等,在 70%和 85%之间的为乙等,在 60%和 70%之间的为丙等。镇江站天文潮预报结果表明,高潮位的预报精度达到了甲等,高低潮位误差在 30 cm 以内合格率为 82.40%,达到乙等。

5 结论

由于镇江站为感潮河段,因此本文尝试采用实测资料推算镇江站调和常数,从而推算其天文潮。结果表明对于高低潮位预报精度仅达到了乙等,但对特征潮位高潮位预报精度达到了甲等,表

明采用调和常数预报镇江站天文潮高潮位可行。

在台风影响期间,感潮河段岸边观测到的潮位,包括外海传来的天文潮波和附加的增水或减水(以下统称为增水,“减水”时以负增水表示)。在汛期受台风风暴影响下,镇江站高潮位的预报精度对于当地防汛抗台具有重要意义,以往常规镇江站潮位预报对于受台风风暴潮影响预报精度不高,因此,研究台风风暴增水与气象因子相关关系显得尤为重要。

风暴增水与正常的天文潮耦合,两者共同作用,引起海面的涨落变化。目前,对两者的处理,大多采用线性叠加的做法。本文采用调和常数预报镇江站天文潮位后,可以进行镇江站高潮位的增减水分离,即分离出镇江站高潮位的风暴增水,为今后研究镇江潮位站台风风暴增水极值与气象因子相关关系提供基础支撑,最终为当地防汛抗台提供决策依据。

参考文献:

- [1] 杨正东, 朱建荣, 王彪, 等. 长江河口潮位站潮汐特征分析[J]. 华东师范大学学报(自然科学版), 2012(3):111-119.
- [2] 宋永港, 朱建荣, 吴辉. 长江河口北支潮位与潮差的空间变化和机理[J]. 华东师范大学学报(自然科学版), 2011(6):10-19.
- [3] 傅太生, 姚允龙, 陆益. 相应水位变化相关法预报长江干流感潮河段潮位的探讨[J]. 水文, 2007, 27(4):56-58.
- [4] 陈沈良, 胡方西, 胡辉, 等. 长江口区河海划界自然条件及方案探讨[J]. 海洋学研究, 2009, 27(增刊): 1-8.
- [5] 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.
- [6] 王莹辉. 高低潮数据的潮汐分析及预报方法研究[D]. 南京: 河海大学, 2008.

(责任编辑:徐丽娜)

