

感潮河段上游流量对潮位预报的影响

李国芳¹ ,谭 亚² ,张秀菊¹

(1.河海大学水资源环境学院 ,江苏 南京 210098 ; 2.河海大学交通学院、海洋学院 ,江苏 南京 210098)

摘要 :以长江口天生港站、徐六泾站、杨林站为例 ,基于大量样本建立了各站日均增水与大通流量增量之间的关系 ,并利用所得关系式 ,根据上游流量的大小 ,对潮汐预报模型计算的过去若干年的潮位进行校正 .经过校正 ,3 站日均潮位预报误差的绝对值 ≤ 20 cm 的合格率分别由 77.3% 提高到 92.1% ,76.3% 提高到 88.7% ,83.8% 提高到 89.2% .该方法也适用于其他感潮河段潮位的预报 .

关键词 :潮位 ;预报 ;流量 ;增水 ;校正

中图分类号 :P338 文献标识码 :A 文章编号 :1000-1980(2006)02-0144-04

由于感潮河段水位变化受天文潮、气象因素及上游来水的共同影响 ,其预报应综合考虑这些因素的作用^[1-6] .在外海 ,根据调和分析 1 a 的实测逐时潮位资料 ,潮汐预报模型可预报正常天气条件下的潮位且具有较高的精度^[7-8] ;但在感潮河段 ,因逐年上游来水总量和过程均存在差异 ,而根据某一年的潮位资料所得的调和常数 ,只反映该年上游的流量情况 ,如果用该模型预报其他年份的潮位 ,必然因未能考虑预报年上游的流量条件而带来误差 .本文以长江口天生港站、徐六泾站、杨林站为例 (具体位置见图 1) ,根据实测潮位资料进行调和并推算逐年的潮位 ,找出调和分析年与潮位推算年流量增量与增水 (即潮位预报的校正量) 之间的定量关系 ,校正潮汐预报模型计算的潮位 ,讨论正常天气情况下的潮位预报 .

为表述方便 ,本文将流量减量视为负增量 ,减水视为负增水 ,一律称为流量增量和增水 .

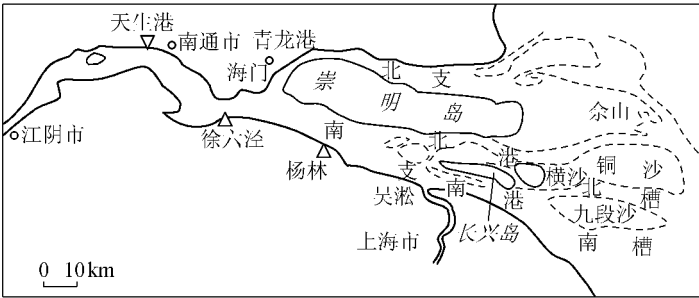


图 1 典型站点示意图
Fig.1 Schematic diagram of typical stations

1 天文潮调和及其误差

正常天气时 ,潮位主要由天文潮确定 .天文潮推算式为

h_i = A_0 + \sum_{i=1}^p f_i H_i \cos[\sigma_i + (V_0 + u)_i - g_i] \tag{1}

式中 :A₀——从某基准面算起的平均海平面高度 ;σ_i——分潮角速率 ;f_i (V₀ + u)_i——分潮交点因子和天文初相角 ;H_i ,g_i——分潮调和常数 ;p——总分潮数 .在外海 ,一般根据 1 a 的逐时潮位资料 ,按最小二乘法求得各分潮调和常数 ,即可推算任意日期的潮位 .

以徐六泾站为例 ,首先根据 1997 ~ 2003 年的逐时潮位资料分别计算出各年的调和常数 ,然后用各年的调和常数模拟当年的潮位并计算逐日平均潮位 .实测日均潮位与计算日均潮位的绝对值误差见表 1 .

收稿日期 :2004-09-02
作者简介 :李国芳 (1971 —) ,女 ,浙江萧山人 ,副教授 ,博士 ,主要从事水文水资源研究 .

表 1 调和与分析年与推算年相同时
日均潮位的平均误差

Table 1 Mean error of mean daily tidal level when
analyzed year and calculated year are same

年份	平均误差/cm	年份	平均误差/cm
1997	0.06	2001	0.06
1998	0.05	2002	0.05
1999	0.05	2003	0.04
2000	0.06		

的日均潮位.同一天实测日均潮位与计算日均潮位之差,称为日均增水(数值上等于潮汐预报模型计算的日均潮位的误差).天生港站1999年的实测日均潮位、计算日均潮位及日均增水过程见图 2.类似地,对徐六泾站和杨林站,采用 1997~2003 年 7 a 的整点潮位资料,各确定一套平均调和常数,据此分别计算 1997~2003 年逐日的日均潮位.徐六泾站 1998 年、杨林站 2001 年的实测日均潮位、计算日均潮位及日均增水过程分别见图 3 和图 4.因篇幅所限,每个站只列出 1 年的过程.

由表 1 可见,各年的误差都很小,说明根据某一年的逐时潮位资料进行调和与分析,较好地反映了该年上游的流量情况.

如果以预报为目的,则未来年份的潮位是未知的.为提高调和常数的代表性,对天生港站、徐六泾站和杨林站分别采用多年平均的调和常数推算各站的潮位.对天生港站,采用 1997 年、1999 年和 2000 年 3 a 的整点潮位资料,确定一套平均调和常数,据此计算 1997 年、1999 年和 2000 年逐日

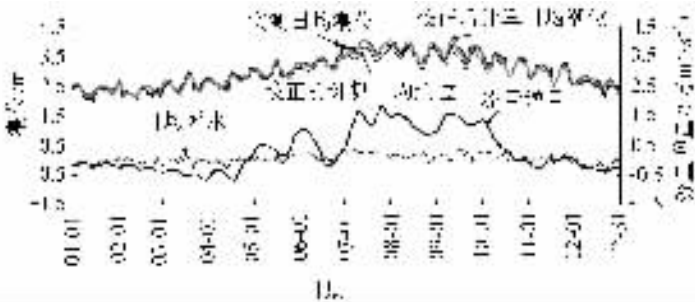


图 2 1999 年天生港站实测日均潮位、
计算日均潮位、日均增水和大通站流量增量过程

Fig.2 Processes of mean daily observed level,calculated level and set-up
of Tianshenggang station and discharge increment of Datong station in 1999

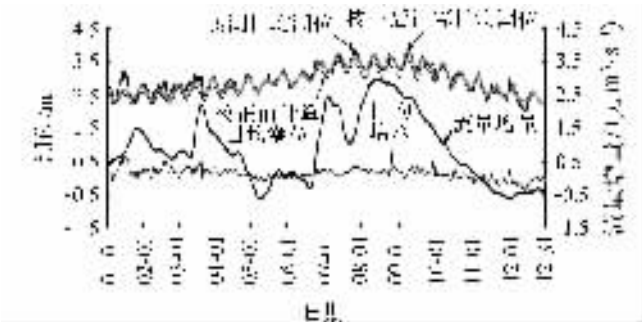


图 3 1998 年徐六泾站实测日均潮位、
计算日均潮位、日均增水和大通站流量增量过程
Fig.3 Processes of mean daily observed level ,
calculated level and set-up of Xuliujing station and
discharge increment of Datong station in 1998

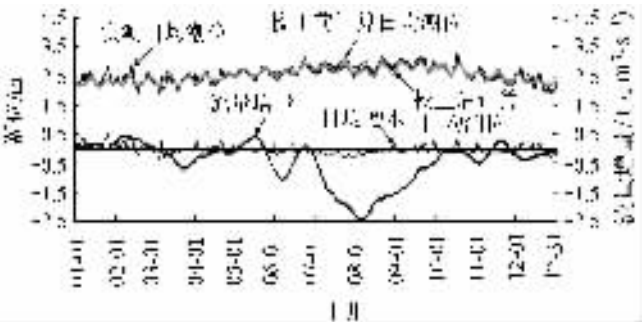


图 4 2001 年杨林站实测日均潮位、
计算日均潮位、日均增水和大通站流量增量过程
Fig.4 Processes of mean daily observed level ,
calculated level and set-up of Yanglin station and
discharge increment of Datong station in 2001

2 流量增量与日均增水的关系分析

本文天生港站、徐六泾站、杨林站的潮汐预报模型分别采用了 3 a、7 a 和 7 a 的平均调和常数,故可认为天生港站的潮汐预报模型反映了 1997 年、1999 年和 2000 年 3 a 平均的长江流量,而徐六泾站、杨林站的潮汐预报模型反映了 1997~2003 年 7 a 平均的长江流量.

选大通作为长江流量的控制站.流量从大通到研究河段的传播时间约为 3 d,因此取前 2~5 d 大通站平均流量作为研究河段当日潮位的相应流量.显然,某年某日计算与实测的日均潮位不一致(即存在增水)的主要原因是该年该日的相应流量与各调和与分析年平均的该日的相应流量(即基准流量)之间存在差异.

天生港站,取 1997 年、1999 年和 2000 年逐日大通站相应流量与该日基准流量之差作为反映上游流量作用的指标,即流量增量.1999 年大通站的流量增量过程见图 2.对徐六泾站和杨林站,均取 1997~2003 年逐日大通站相应流量与该日基准流量之差代表流量增量.1998 年和 2001 年大通站的流量增量过程如图 3 和图 4 所示.

由图 2~图 4 可见,各站的日均增水与上游流量增量之间存在趋势上的对应关系.从天生港站、徐六泾

站、杨林站日均增水与流量增量的相关图发现,量级相近的流量增量引起的日均增水在一定范围内变动,但总体变化趋势明显,即流量增量越大,增水值越大,流量增量越小,增水值越小。

考虑到在一定的流量增量下,特别大的增水多半由其他因素(如风暴潮或潮位推算的相位差等)引起,在进行各站日均增水与大通流量增量的相关分析时,剔除了少数明显不合群的点据。为进一步揭示两者的关系,以大通站流量增量每隔 $2000\text{ m}^3/\text{s}$ 分级,对每级内的流量增量、日均增水分别求平均,据此建立 3 站日均增水与大通站流量增量间的相关关系。相关曲线见图 5。相关方程为

$$\Delta Z_{\text{tsg}} = -0.0097\Delta Q^2 + 0.1750\Delta Q + 0.004$$

(2)

$$\Delta Z_{\text{xlj}} = -0.0160\Delta Q^2 + 0.1287\Delta Q + 0.022$$

(3)

$$\Delta Z_{\text{yl}} = -0.0103\Delta Q^2 + 0.0837\Delta Q + 0.017$$

(4)

式中 ΔZ_{tsg} ——天生港站的日均增水, m ; ΔZ_{xlj} ——徐六泾站的日均增水, m ; ΔZ_{yl} ——杨林站的日均增水, m ; ΔQ ——大通站的流量增量, $\text{万 m}^3/\text{s}$ 。

由图 5 可见 (a) 每条曲线在实用范围内单调递增,斜率渐渐减小,当大通站流量增量接近 0 时,各站的日均增水也接近于 0; (b) 从上游的天生港站到下游的杨林站,曲线的斜率依次减小,即长江流量对潮位的影响从上游到下游逐渐减小,与物理概念相符,说明分析所得的相关关系是合理的。

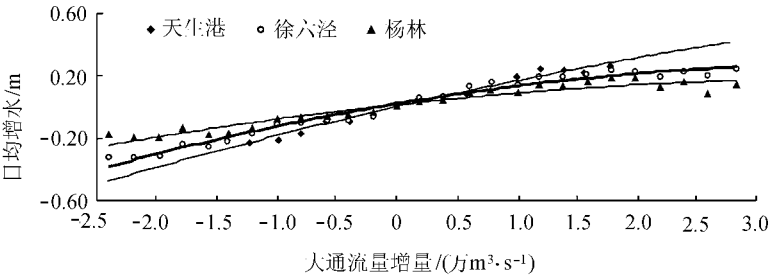


图5 3站日均增水与大通流量增量相关

Fig.5 Correlation diagram between mean daily set-up of three stations and discharge increment of Datong station

3 潮汐预报模型计算潮位的校正

日均增水反映了潮汐预报模型计算日均潮位与实测日均潮位的离差,相当于校正计算日均潮位的误差。由于本文的潮位采用的都是“日均值”,严格地说,本文分析的日均增水与大通流量增量的关系只能用于日均潮位的校正。但经分析,对天生港站、徐六泾站、杨林站,不论大潮、中潮、小潮,当上游流量变化时,各站的高潮位与低潮位几乎等量地抬升或下降,即流量变化引起了日潮位过程的整体升降。所以,日均潮位的校正值也可用于该日逐时潮位与高、低潮位的校正。

在作业预报时,利用本文的相关关系对潮汐预报模型计算的潮位进行校正的步骤为 (a) 根据大通站的实测流量确定预报日其相应流量,与预报日的基准流量相减,得到预报日的大通站流量增量; (b) 根据本文建立的日均增水与大通站流量增量的相关关系,得到预报日的潮位校正量; (c) 潮汐预报模型预报的潮位加上校正量,即为校正后的预报潮位。

天生港站 1997 年、1999 年和 2000 年,徐六泾站和杨林站 1997~2003 年潮汐预报模型计算的日均潮位的校正结果以及校正前、后日均潮位的计算精度见表 2。天生港站 1999 年、徐六泾站 1998 年、杨林站 2001 年校正后的计算日均潮位过程分别如图 2~图 4 所示。由图 2~图 4 和表 2 可见,计算的日均潮位校正后更接近实测的日均潮位,预报精度大幅度提高。

表2 各站日均潮位的计算精度

Table 2 Calculation accuracy of mean daily level for each station

站名	多年平均绝对值误差/cm		≤10 cm 的合格率/%		≤20 cm 的合格率/%		≤30 cm 的合格率/%	
	校正前	校正后	校正前	校正后	校正前	校正后	校正前	校正后
天生港站	0.13	0.09	48.7	67.2	77.3	92.1	92.5	98.1
徐六泾站	0.14	0.10	43.6	60.6	76.3	88.7	92.4	97.2
杨林站	0.12	0.10	54.1	63.4	83.8	89.2	95.6	96.9

徐六泾站位于苏州—南通长江公路大桥桥址上游约 2 km 处,上述根据长江流量大小对潮汐预报模型计算的潮位进行校正的方法已在大桥施工期水情预报中得到应用.为验证校正对提高作业预报精度的效果,本文以徐六泾站 2004 年 7 月 17~31 日的潮位预报为例予以说明.因 2004 年该时间段长江流量比 1997~2003 年同期平均长江流量小,逐日流量增量在 $-1.87\text{万} \sim -1.13\text{万 m}^3/\text{s}$ 之间,所以潮汐预报模型计算的逐时潮位普遍偏高,平均偏高 23 cm,误差绝对值 $\leq 10\text{ cm}$ 、 $\leq 20\text{ cm}$ 、 $\leq 30\text{ cm}$ 的合格率分别为 15.8%、41.1%和 68.9%.将逐日流量增量代入式(3),所得校正量为 $-28 \sim -14\text{ cm}$ 之间.经过校正,消除了系统偏差,误差绝对值 $\leq 10\text{ cm}$ 、 $\leq 20\text{ cm}$ 、 $\leq 30\text{ cm}$ 的合格率分别提高到 74.4%、96.9%和 100%.

4 结 语

感潮河段水位变化受天文潮、气象因素及上游来水的共同影响,水位预报有其复杂性.以前,对这些地区沿用海洋潮位预报的方法,即采用某年的逐时潮位资料率定调和常数,用潮汐预报模型计算任何时间的潮位.本文研究表明:(a)在感潮河段,当预报年的上游来水与调和分析年的上游来水存在较大差异时,上述做法将导致计算潮位系统性地偏高或偏低.(b)流量增量与其引起的增水之间存在必然的联系,通过建立两者的相关关系对潮汐预报模型计算的潮位进行校正,其效果令人满意.

本文方法使用效果的好坏,取决于上游流量对预报点潮位的影响程度,上游流量对预报点潮位的影响越大,校正后预报精度的改善越显著.虽然不同的入海河段上游流量改变引起的潮位升降是不同的,但本文的研究思路和方法可供其他感潮河段的潮位预报参考.

参考文献:

[1] 包为民,卞毓明.感潮河段水位演算模型研究[J].水利学报,1997(11):34-38.
[2] 陈尚渭,金兆森.长江潮位预报方法的研究[J].水利学报,1989(6):41-47.
[3] 杨辉,赵立锋,陈望春,等.宁波市三江口高潮位增水分析及预报方法[J].海洋预报,2001,18(4):31-37.
[4] 林荣,李国芳,黄浦江风暴潮位、区间降雨量和上游来水量遭遇分析[J].水文,2000,20(3):1-5.
[5] 林三益.水文预报[M].北京:中国水利水电出版社,2001:18-22.
[6] 芮孝芳,陈洁云.感潮河段设计洪水位的推求[J].水利水电技术,1999(11):39-42.
[7] 方国洪,郑文振,陈宗镛.潮汐和潮流的分析和预报[M].北京:海洋出版社,1986:67-100.
[8] 赵有皓,王祥玲,张君伦.天文潮分析及预报实用系统[J].河海大学学报:自然科学版,1999,27(4):73-77.

Influence of upstream discharge in tidal level prediction for tidal reaches

LI Guo-fang¹, TAN Ya², ZHANG Xiu-ju¹

(1. College of Water Resources and Environment, Hohai University, Nanjing 210098, China;
2. College of Traffic, College of Ocean, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: With Tianshenggang, Xuliujing and Yanglin tide stations in Changjiang Estuary taken as examples, the relationships between mean daily set-up of each station and discharge increment of Datong station were presented based on large samples. With the relationships, the tidal levels obtained by the tidal prediction model were corrected according to the upstream discharge. Taking 20 cm as error limit, the qualification ratios of predicted tidal level were raised to 92.1% from 77.3% at Tianshenggang station, to 88.7% from 76.3% at Xuliujing station, and to 89.2% from 83.8% at Yanglin station, therefore, the forecasting accuracy was evidently improved. The present method is applicable to tidal level prediction for other tidal reaches.

Key words: tidal level; prediction; discharge; set-up; correction