DOI:10.3969/j.issn.1004-6933.2013.06.011

感潮河段潮流量测验测次分布对潮量计算精度的影响

管晓媛[1],张静怡[1],高 健[2],刘祖辉[1]

(1.河海大学水文水资源学院,江苏 南京 210098;2.长江委水文局长江口水文水资源勘测局,江苏 太仓 215431)

摘要:针对长江下游苏通大桥桥位河段的水文地质特性,对涨落潮分别采用 3 种潮流量测验测次分布方案,研究潮流量测次分布对潮量计算精度的影响。以连续实测潮流速资料推算的涨落潮量作为真值,将各不同测次方案下推算出的涨落潮量与之比较,进行误差分析。结果表明:潮量计算精度随着测次的增加而提高;目前感潮河段采用落潮流 1 h 施测 1 次的常规测次方案较为合理;涨潮流 0.5 h 施测 1 次会导致涨潮量系统误差偏小,净泄量比实际值偏大,继而影响桥位河段潮量计算精度和水资源量的控制,需要进行误差校正。

关键词:感潮河段;潮量;计算精度;测次分布

中图分类号:TV123 **文献标志码**:A **文章编号**:1004-6933(2013)06-0055-04

Influence of tidal discharge measurement time distribution on tidal discharge measurement precision in tidal river reaches

GUAN Xiaoyuan[1], **ZHANG Jingyi**[1], **GAO Jian**[2], **LIU Zuhui**[1]

(1. *College of Hydrology and Water Resources*, *Hohai University*, *Nanjing* 210098, *China*;
2. *Survey Bureau of Hydrology and Water Resources of the Changjiang Estuary*, *Changjiang Water Resources Commission*, *Taicang* 215431, *China*)

Abstract: According to the hydrogeologic properties of the Sutong Bridge location reach of the lower Yangtze River, three types of measurement time distribution were used to analyze the influence of measurement time distribution on tidal discharge measurement precision for flood and ebb tides. Flood and ebb tidal discharge calculated by continuously observed velocity data were selected as the true value and compared with the discharge calculated based on different measurement time distributions. The results show that the tidal discharge measurement precision improved with the addition of measurement times. The commonly used measurement scheme in which the discharge is measured once an hour during ebb tide is more reasonable. Discharge measured every half an hour during flood tide may lead to systematic error. Flood tidal volume is smaller and the sum of tidal volume is larger than the true value, which affects the tidal discharge measurement precision and the control of the water resources quantity. It is necessary to correct the systematic error.

Key words: tidal river reach; tidal discharge; calculation precision; measurement time distribution

感潮河段是河流与海洋的过渡地段,受到径流、潮流及风浪的交错作用,水位和流速时刻变化,流向往复转变,构成复杂的水文现象[1]。开展潮水河水文测验特别是潮流量测验,在测验方案、仪器设备的选择及资料整编分析等方面,都要比开展无潮河流水文测验困难得多[2-3]。近年来国内外对潮流量测验的研究[4],主要侧重于仪器设备的提高以及资料整编等方法的改进[5-8],但对于测验方案尤其是潮流量测次分布方案的研究相对较少。而潮流量测次分布方案直接关系到潮流量的计算精度,继而影响对感潮河段水资源量的控制。

笔者根据苏通大桥桥位河段水文地质特性,对涨落潮分别采用 3 种潮流量测验测次方案,将不同测次方案下推算的涨落潮量与按连续潮流速测试资料推算的涨落潮量相比较,进行误差分析,寻求潮流量测验测次分布与潮量计算精度的关系,旨在为生

作者简介:管晓媛(1987—),女,硕士研究生,研究方向为水信息理论与技术。E-mail:jsntgxy@126.com

产部门选择潮流量测次分布方案提供参考。

1 研究方法

1.1 潮流量测验测次分布

按照 GB50179—93《河流流量测验规范》[9] 有关规定,潮流量测验应根据试验资料确定的各代表潮期布置测次,每个潮流期内潮流量的测速次数应根据各测站流速变化的大小和缓急适当分布,以能准确掌握全潮过程中流速变化的转折点为原则。一般情况下,每隔 1 h 施测 1 次;在落潮流、涨潮流及涨落潮最大流速前后,每隔 0.5 h 施测 1 次。

1.2 潮量计算

以 x 代表水面宽度变量,y 代表水深变量,t 代表测速历时,横断面上的流速分布可用函数式 $v=f(x,y,t)$ 表示,则 t 时段内通过全断面的潮量可用积分法求得:

$$W=\int_0^t\int_0^A v\mathrm{d}A\mathrm{d}t=\int_0^t\int_0^x\int_0^y v\mathrm{d}x\mathrm{d}y\mathrm{d}t \qquad (1)$$

用式(1)计算的潮量,相当于在 t 时段内通过断面的潮量的总体积。因 $v=f(x,y,t)$ 的关系比较复杂,一般很少用积分式计算潮量,通常是把式(1)变成有限差的形式计算。设 $\mathrm{d}x=1$,$\mathrm{d}y=1$,将 t 时段看做 n 个分时段之和,则在其中某一分时段 t_i 内通过单位过水面的潮量 w_i 为

$$w_i=\int_0^{t_i} v\mathrm{d}t \qquad (2)$$

则 t 时段内通过单位过水面的总潮量 W' 为

$$W'=\sum_{i=1}^{n} w_i \qquad (3)$$

2 研究区域及方案

2.1 研究区域基本情况

苏通大桥位于长江河口段的徐六泾附近,见图 1。河口段处于长江下游潮流界以下,水流既受长江上游来水的影响,又受外海潮汐侵入的影响,水流往复,流态复杂。所处水域河床最低高程为-35.0 m,最大水深约 40 m;流态基本为涨、落潮双向流,实测涨潮最大测点流速为 3.05 m/s,落潮最大测点流速为 4.47 m/s;涨潮流历时约 4 h 左右,落潮流历时约为 8 h 50 min 左右;在汛期小潮时,涨潮期间,主槽往往为落潮流,而两岸前沿夹槽为涨潮流,小潮涨潮时流向沿横截面变幅达 180 度。主槽大潮落潮的最大流速是两岸夹槽内的 2.5 倍左右;主槽大潮涨潮最大流速是夹槽的 1.5 倍左右[10]。

2.2 研究方案

本次分析计算资料为 2001 年 9 月 18—20 日苏通长江大桥桥位处 A、B(图 1)测试地点的实测潮流速资料。在该次水文测验中,为了提供苏通大桥设计所需的水流特征值资料,进行了桥位洪季瞬时与时段流速对比测试与分析的试验,采用固定垂线常规流速仪法测得了以 5s 为间隔的连续流速资料。

由于研究河段的涨潮流流速变化迅速,水深较大,受常规流速仪的施测时间限制,测次分布按照 GB50179—93《河流流量测验规范》,涨潮流时一般每隔 0.5 h 施测 1 次;落潮流因为历时较长,变化较缓,一般每隔 1 h 施测 1 次。为了研究涨落潮流不同

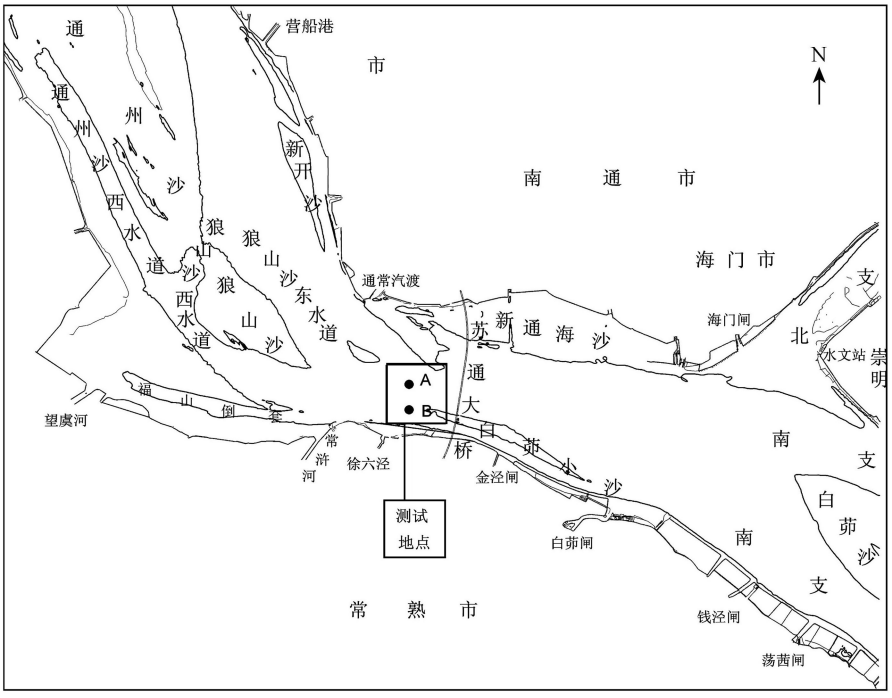

图 1 测试水域示意图

测次方案下推算的涨落潮量计算精度，笔者以 50 s 为 1 测次计算的单位面积涨落潮量作为真值，分别选取 3 种测次分布方案，即涨潮流按 15 min、0.5 h 及 1 h 布置测次，落潮流按 0.5 h、1 h 及 2 h 布置测次，分别计算单位面积潮量，并计算相对误差，以研究不同测次分布方案下的潮量计算精度问题。

3 计算结果分析

3.1 潮量计算结果及对比分析

表 1 是不同测次分布下推算的涨潮量及其相对误差情况。落潮流由于分析序列较多，为了节省篇幅，笔者仅列出落潮量误差分析统计结果，见表 2。

表 1 不同测次分布涨潮量精度统计

编号	涨潮量真值/m^3	不同测次涨潮量/m^3			不同测次相对误差/%		
		15min	0.5 h	1 h	15min	0.5 h	1 h
1	10788	10747	10517	9826	−0.4	−2.5	−8.9
2	9923	9941	9686	9600	0.2	−2.4	−3.3
3	8709	8652	8533	8619	−0.7	−2.0	−1.0
4	7243	7248	7002	6993	0.1	−3.3	−3.5
5	5563	5584	5609	5642	0.4	0.8	1.4
6	10447	10383	10179	9630	−0.6	−2.6	−7.8
7	9613	9620	9416	9346	0.1	−2.0	−2.8
8	8376	8362	8116	8087	−0.2	−3.1	−3.5
9	10873	10899	10373	10258	0.2	−4.6	−5.7
10	10367	10421	10083	9973	0.5	−2.7	−3.8
11	8899	8884	9030	9218	−0.2	1.5	3.6
12	11682	11645	11136	10903	−0.3	−4.7	−6.7
13	11136	11127	10868	9900	−0.1	−2.4	−11.1
14	10581	10590	10216	10117	0.1	−3.4	−4.4
15	9781	9801	9588	9408	0.2	−2.0	−3.8
16	8494	8505	8513	8120	0.1	0.2	−4.4
17	7208	7233	7046	6816	0.3	−2.2	−5.4
18	10541	10493	10132	9511	−0.5	−3.9	−9.8
19	10085	10080	10037	10180	0.0	−0.5	0.9
20	9312	9305	9120	9057	−0.1	−2.1	−2.7
21	8149	8135	8005	7749	−0.2	−1.8	−4.9
22	7044	7031	6978	6814	−0.2	−0.9	−3.3
23	12910	12972	12584	11914	0.5	−2.5	−7.7
24	13038	12958	12667	12116	−0.6	−2.8	−7.1
平均相对误差(%)					0.0	−2.1	−4.2
误差均方差(%)					0.3	1.5	3.4

表 2 不同测次分布落潮量误差分析统计

测次/h	相对误差为负数		平均相对误差/%	误差标准差/%
	个数	占总数百分比/%		
0.5	29	48.3	0.1	1.0
1.0	30	50.0	−0.2	1.9
2.0	46	76.7	−2.1	3.2

由表 1 可得出涨潮流不同测次分布方案(15 min、0.5 h、1 h)的相对误差为负数的个数分别为 12、21、21，占总个数比例分别为 50.0%、87.5%、87.5%。涨潮量在 15 min 施测 1 次时无系统误差，其余测次方案推算得到的涨潮量均系统误差偏小。由表 2 可知，落潮流不同测次分布方案(0.5 h、1 h、2 h)的相对误差为负数的个数占总数比例分别为 48.3%、50.0%、76.7%，落潮量在 2 h 施测 1 次时系统误差偏小，其余测次没有系统误差。研究结果表明，目前感潮河段采用的常规潮流量测验测次分布方案(涨潮流 0.5 h 施测 1 次，落潮流 1 h 施测 1 次)会导致净泄量比实际情况偏大。

由表 1 和表 2 还可看出，随着测次的增加，潮量推求的平均相对误差绝对值及误差标准差均减小，即，潮流量测验测次分布越密，推求的潮量精度越高，且数据离散程度越小。涨潮流 3 种测次分布方案中，15 min 施测 1 次的精度最高，0.5 h 和 1 h 施测 1 次的结果存在系统误差；落潮流 3 种测次分布方案中，0.5 h 施测 1 次的精度最高，1 h 施测 1 次的精度亦满足要求，2 h 施测 1 次的结果存在系统误差，精度明显不好。

3.2 涨潮量计算值与实测值对比

图 2 为不同测次分布下涨潮量计算值与实测值对比图。从图 2(a)可见，在推求涨潮量的过程中，当测次分布为 0.5 h 施测 1 次时，该测次方案在后半部分时间段的拟合结果很好，但是前半部分明显可以看出计算得到的涨潮量偏小，偏小的幅度随着测次的减少而增大。由图 2(b)可知，当测次分布为 15 min 施测 1 次时，该测次方案在前后两部分时间段的拟合结果都很好。

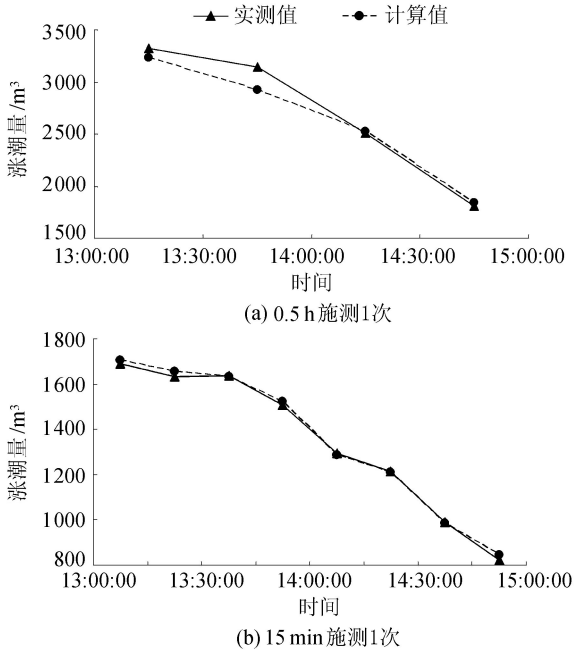

图 2 不同测次分布下涨潮量计算值与实测值对比

4 结 论

研究表明，潮流量测验测次分布越密，推求潮量的

精度越高,且数据离散程度越小。但潮流量测验应在保证成果精度的前提下尽可能精简测次,以减少人力、物力和财力的消耗,以达到方案最优及资源合理应用。虽然落潮流 0.5 h 施测 1 次的精度最高,但 1 h 施测 1 次从实际情况及精度要求来看,均比较合理,仍可继续作为长江口落潮流常用测次分布方案。2 h 施测 1 次的误差较大,且系统误差偏小,不予采用。

涨潮流 0.5 h 施测 1 次会导致推算的涨潮量系统误差偏小,长江河口下泄入海的净泄量比实际量偏大,进而对长江水资源量的控制产生影响。15 min 施测 1 次可以有效消除系统误差。但研究河段涨潮流流速变化迅速,水深较大,目前常规的涨潮流 0.5 h 施测 1 次在操作时间上已经比较紧张,如要每 10 min 或 15 min 加测 1 次,从实际操作来说比较困难。同时,在实际测量过程中,除非进行连续流速测量,否则很难测得真正的最大流速。今后可考虑采用声学多普勒流速剖面仪(ADCP)等先进仪器设备严格控制潮流量测次布置的系统误差,以期找到更为合理的潮流量测验测次分布方案。

参考文献:

[1] LINSLEY R K, KOHLER M A, PAULHUS J L H. Hydrology for Engineers[M]. New York: McGraw-Hill, 1975.

[2] 张留柱,赵志贡,张法中. 水文测验学[M]. 郑州:黄河水利出版社,2003:276-285.

[3] 沈鸿金. 感潮河流流量监测系统研究[D]. 南京:河海大学,2005.

[4] 钱峰,郭忠良,许浒. 长江口潮流量测验的历史与现状[J]. 水利水电快报,2011,32(10):9-13. (QIAN Feng, GUO Zhongliang, XU Hu. History and current situation of tidal discharge measurement in Yangtze River Estuary[J]. Express Water Resources & Hydropower Information, 2011, 32(10): 9-13. (in Chinese))

[5] 员湛海. 长江口徐六泾站潮流测验资料分析方法探讨[J]. 人民长江,1999,30(7):23-24. (YUN Zhanhai. Discussion on how to analysis the tidal measurement data of the Xuliujing hydrometric station in Yangtze River Estuary[J]. Yangtze River, 1999, 30(7): 23-24. (in Chinese))

[6] 沈鸿金. 多要素相关法提高潮流量测验精度的探讨[J]. 水文,2004,24(4):35-38. (SHEN Hongjin. Discussion on how to improve tidal discharge measurement precision with multi-factor correlation method[J]. Journal of China Hydrology, 2004, 24(4): 35-38. (in Chinese))

[7] 吕耀光,黄士稳. 钱塘江河口区声学多普勒测流及资料整编[J]. 河海大学学报:自然科学版,2010,38(6):682-687. (LÜ Yaoguang, HUANG Shiwen. Discharge measurement and data compilation in Qiantang River estuary by use of acoustic Doppler current profiler [J]. Journal of Hohai University: Natural Sciences, 2010, 38(6). 682-687. (in Chinese))

[8] 宋志宏,胡国栋. 徐六泾潮流量测验及整编技术研究[J]. 水文,1998(2):31-36. (SONG Zhihong, HU Guodong. The tide discharge measurement and compilation technique research of the Xuliujing hydrometric station [J]. Journal of China Hydrology, 1998(2): 31-36. (in Chinese))

[9] GB/50179—1993 河流流量测验规范[S].

[10] 高健,张志林. ADCP 与转子式流速仪在潮汐河段脉动性分析比较[J]. 水利水文自动化,2005,11(6):16-20. (GAO Jian, ZHANG Zhilin. Comparative analysis on pulsation properties of rotating element current meters and ADCP in tidal reaches flow measurement[J]. Automation in Water Resources and Hydrology, 2005, 11(6): 16-20. (in Chinese))

(收稿日期:2013-04-23 编辑:彭桃英)

(上接第 54 页)

[15] 王劲松,费晓玲,魏锋. 中国西北近 50a 来气温变化特征的进一步研究[J]. 中国沙漠,2008,28(4):724-732. (WANG Jinsong, FEI Xiaoling, WEI Feng. Further study of temperature change in Northwest China in recent 50 years[J]. Journal of Desert Research, 2008, 28(4): 724-732. (in Chinese))

[16] 王鹏祥,杨金虎,张强,等. 近半个世纪来中国西北地面气候变化基本特征[J]. 地球科学进展,2007,22(6):649-656. (WANG Pengxiang, YANG Jinhu, ZHANG Qiang, et al. Climate change characteristic of Northwest China in recent half century[J]. Advances in Earth Science, 2007, 22(6): 649-656. (in Chinese))

[17] 王遵娅,丁一汇,何金海,等. 近 50 年来中国气候变化特征的再分析[J]. 气象学报,2004,62(2):228-236. (WANG Zunya, DING Yihui, HE Jinhai, et al. An updating analysis of the climate change in China in recent 50 years[J]. Acta Meteorologica Sinica, 2004, 62(2): 228-236. (in Chinese))

[18] 邹旭恺,张强. 近半个世纪我国干旱变化的初步研究[J]. 应用气象学报,2008,19(6):579-687. (ZOU Xukai, ZHANG Qiang. Preliminary studies on variations in droughts over China during past 50 years[J]. Journal of Applied Meteorological Science, 2008, 19(6): 579-687 (in Chinese))

[19] 谢庄,曹鸿兴. 北京最高和最低气温的非对称变化[J]. 气象学报,1996,54(4):501-507. (XIE Zhuang, CAO Hongxing. Asymmetric of change in maximum and minimum temperature in Beijing[J]. Acta Meteorologica Sinica, 1996, 54(4): 501-507. (in Chinese))

(收稿日期:2013-04-25 编辑:高渭文)