

对潮流量测验误差控制的探讨

宋政峰,杜迎燕

(上海市水文总站,上海 200232)

摘 要:通过感潮河流流量测验误差试验成果,对潮流量测验 、 、 型误差的影响进行分析,对潮流量测验中误差控制指标和潮流期内测次分布提出建议。

关键词:潮流量;测验精度;误差试验

中图分类号:P332

文献标识码:A

文章编号:1000-0852(2014)01-0035-04

1 前言

迄今为止,我国受潮汐影响的河流水文测验缺乏专门的技术标准,其水文测验和资料整编的生产实践,只能参照通用技术标准中有关条文执行,以致很多技术指标不够明确,在感潮测验中的适用性,缺乏系统研究和充分的实证试验。

众所周知,影响水文测验资料质量最重要的因素是其准确性和代表性,对潮流量测验来说,前者表现为单次测验成果的误差大小,后者则表现为某个时段历次测验结果反映实际变化过程的差异。

潮水河的断面流量也源自经典的流量模的概念,常规测流方法为流速面积法。因此,单次断面潮流量的误差也由仪器检定、宽度、水深、测点测速历时、垂线测点分布、断面垂线数目造成的误差综合组成。在潮流量测验中,前三项误差与现有广泛采纳的误差试验结论并无特殊不同,而后三项即 型、 型和 型误差,可能会因为流向往复、涨落交替变化而有不同,因此,需要研究潮流情态对三种误差会产生怎样的影响以及如何加以控制。

同时,对于潮水河而言,瞬时流量往往没有直接的使用价值,通常所需要的是时段的平均流量或潮量,为此,需要将若干的单次流量依照连实测过程线法作潮量及潮平均流量的计算,这就产生了“割”或“补”的误差,显然,它与测次安排有关。如何从减小或控制此项误差出发,合理安排测次,也是需要研究的

题目。

2 测点流速测量误差(I型误差)

2.1 试验条件

(1)仪器。为了准确观测和连续自动记录流速脉动影响,采用全新的1转2讯号的LS20B流速仪,通过智能信号处理器,将流速仪每一个信号转换为发生时刻的时标信号输出至计算机。通过流速信号的发生过程,计算不同历时的流速值,并进行分析。

(2)测速历时。因潮流的非稳定流的特性,采用过长的历时会导致时间代表性不准确,所以消除脉动和提高时间代表性是一对矛盾,根据现有流速面积法误差研究成果对于 型误差试验“300s历时的脉动影响小于1%”的结论,选择300s、200s、120s、100s、60s、50s共6种测速历时,以300s历时的流速值为其它各种历时试验值的参比值。

(3)环境条件。试验选择在船只较少,上下游河槽起伏小、主槽宽且顺直的长江口南支北港水道中泓,测船固定锚泊,试验地河底平坦宽阔。试验水深10.6~11.4m,测点水深4.5m(0.4相对水深),船只吃水1.6m;试验流速范围0.15~0.90m/s,为感潮内河典型的流速范围。试验时不同流速级均衡分布、不同涨落率兼顾,避开了憩流时段,试验时间累计18h。

2.2 试验结果

经试验数据的统计,得到不同历时的测点流速测量不确定度见表1所示。

收稿日期:2013-09-25

作者简介:宋政峰(1966-),男,上海人,高级工程师,上海师范大学、扬州大学兼职教授,主要从事水文、测绘、标准化的研究。

E-mail:peter_song@126.com

表1 测点不同历时的流速不确定度

Table1 Uncertainty of point velocity of the different measurement duration

历时	200s	120s	100s	60s	50s
不确定度/%	4.3	6.0	6.1	7.9	9.0

根据国际标准^[1]公布的数据,相同的相对水深条件下,120s和60s所对应的型误差,在相同的流速分布区间,其平均不确定度为6.4%和6.9%。从试验结果可以看出:潮水河型误差6.0%和7.9%的试验值,与国际标准的数值接近。120s的测速不确定度小于国际标准的数值,60s的测速不确定度大于国际标准的数值,这可能与试验时300s历时的参照流速存在一定的非稳定流影响有关。

试验结果表明:我国现行规范要求“潮流站单个测点上的测速历时宜为60~100s”^[2]的规定是合适的。潮流流速历时宜选择100s,流速变化比较大的可选60s。

3 测点分布造成的垂线流速误差(型误差)

潮流量测验中,为了快速完成垂线流速观测,普遍采用三点法,兼有两点法和一点法测速。2004年开展感潮地区ADCP盲区改正研究时,流速仪等深改正法发现潮流的垂线流速分布可能存在多种形态^[3],见图1所示。

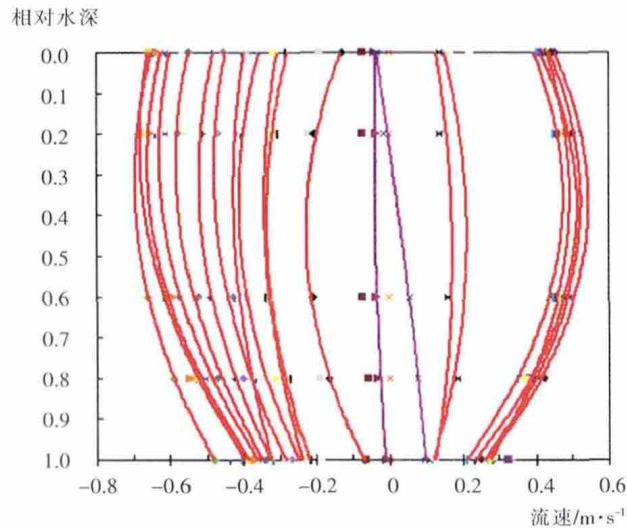


图1 垂线流速分布图
Fig.1 Distribution of the vertical velocity

3.1 试验条件

(1)仪器。如果采用多点同时观测,需要至少11架流速仪和一个理想的作业平台,在航运繁忙的感潮河段难以实现。因此,采用ADCP测速。

选用带零盲区技术的宽带ADCP,使用专用浮体承载,避免船只扰流。事先专门对ADCP进行了流速脉动误差试验,其结果如表2所示,表明其型误差比流速仪的更小。

表2 ADCP不同历时的流速不确定度

Table2 Uncertainty of ADCP velocity of the different measurement durations

历时	200s	120s	100s	60s
不确定度/%	1.8	2.1	2.6	4.0
系统误差/%	0.1	0.1	0.2	0.1

(2)环境条件。河段试验河底平坦、江面宽阔。试验水深变化12~14m,测速历时选择60s,单元深度0.20m,现场独立测量水深,以保证计算准确。

3.2 试验结果

试验数据全部由实测ADCP剖面单元数据进行实算处理,测点流速取所需测点位置上下共3个单元(总体小于0.05相对深)的平均值,通过CAD绘制流速分布图并进行盲区改正,选取了11、6、3、2、1五种测点分布方案进行分析如表3所示。

表3 不同测点数目的垂线流速不确定度

Table3 Uncertainty of vertical velocity of the different measurement points

	11点法	6点法	3点法	2点法	1点法
不确定度/%	1.2	1.3	2.1	2.5	5.9

可以看出,11点法的流速不确定度,接近国际标准^[1]“流速分布法”1%的数值,2点法和1点法的流速不确定度与国际标准7%和15%的数值相比不到其四成,均相对具有较好的垂线流速观测精度。考虑到通航干扰影响,实际测验中宜采用不低于3点法的垂线布置。

4 垂线分布造成的断面流量误差(型误差)

4.1 试验条件

(1)仪器。采用走航ADCP。虽然ADCP流速垂直剖面为瞬时量,但流速脉动导致的单元流速误差在整个ADCP走航剖面上被综合而总体上具有克服脉动影响的宏观效果,在断面宽度足够、流速横向差异较小的情况下,可以用一个不宽的部分面积的流速近似作为垂线平均流速。

(2)河段。为了探讨不同河宽测速垂线数对型误差的影响,选择了河道规整顺直、呈单一断面的松浦大桥(390m宽)、练塘(200m宽)、东团(120m宽)三站。

(3)流量计算。选择航迹平直、单元宽分布均匀、航速稳定的走航 ADCP 数据样本,以 20m 或 10m 间隔提取垂线流速数据。对应每个试验垂线位置,以测流断面上相同的航迹投影宽度,由 ADCP 流速剖面数据,计算垂线基本居于中心的部分宽的平均流速,直接作为该垂线平均流速。松浦大桥、练塘、东团三站的流速提取计算的部分宽度分别取 5m、2m、2m。采用提取的垂线

流速,按不同的垂线数目计算全断面流量,以走航 ADCP 全断面流量为近似真值,来分析不同垂线数目下的流量测验误差。

4.2 试验结果

试验结果见表 4。所有垂线数目试验结果表明,误差值均小于国际标准^[1]的数值,这和感潮河段断面流速分布平缓的特点有关。

表4 不同垂线数目的单次断面潮流量不确定度
Table4 Uncertainty of the single-section tidal discharge with different numbers of velocity-measuring verticals

垂线数目	布设情况	不确定度/%			
		松浦大桥(390m)	练塘(200m)	东团(120m)	国际标准
21	均匀布设、边坡有控制	3.9			4.8
13	均匀布设、边坡有控制		6.1		6.9
11	均匀布设、边坡有控制	4.9			8.2
9	均匀布设、边坡有控制	5.5	7.9		10.0
7	均匀布设、边坡与转折有控制	6.1	9.2	8.5	12.3
5	中心对称、主流边缘控制	6.3	11.1	8.7	15
	中心对称、主流控制	6.7		9.0	
3	中泓、主流边缘	9.5		11.7	—
	中泓、侧泓	17.0		12.2	

试验得到的结论是:感潮河段基本为宽浅型断面,相对于山川河流窄深型断面,其垂线数量的要求可适当降低些。当因通航影响而垂线可设数目有限时,垂线位置选择恰当,则较少的垂线数仍可得到比较理想的精度。

5 测次布置造成的潮量或潮平均流量误差

潮流期内的流量测次,应根据流量(流速)变化的大小缓急适当分布,以能准确掌握全潮过程中流量变化的转折点为原则。由于无法依靠其它要素的变化表征来引导控制测次时机,针对波动的潮流量变化过程,通常采取定时施测。目前普遍采用涨潮流 0.5h、落潮流 1h 的测次间隔^[4]。

5.1 试验样本与试验方法

以松浦大桥站的代表流速法自动观测成果(标准差 5%)为试验资料,取一个农历月连续 60 个潮流期,以其测次间隔为 5min 的原始观测值为近似真值,分别选用 10min、15min、20min、30min、45min、60min 不同的测次间隔,计算逐潮潮量和平均流量并进行效果分析。

5.2 试验结果

由于实测憩流不能有效代表断面憩流,转流前后为近似直线变化而且憩流点的偏离对总潮量的影响很小,目前潮流量测验已经不实测憩流而是由流量过程线上确定^[2]。这样,测次间隔的不同除了相对实际潮流量过程存在“割”和“补”的误差,还因憩流时间确定不同造成潮流期长短而产生的潮量误差。

表5 不同测次间隔下相对误差的保证率 (%)
Table5 The guarantee rate of relative error of the flood and ebb tidal volume under different measuring intervals (%)

测次间隔	10min		15min		20min		30min		45min		60min	
	涨	落	涨	落	涨	落	涨	落	涨	落	涨	落
<3%	98	100	95	100	93	98	92	95	90	90	53	45
<5%	100	100	98	100	98	100	97	100	97	98	77	77
<7%	100	100	100	100	98	100	98	100	98	100	93	95
<10%	100	100	100	100	100	100	100	100	98	100	98	100

试验结果见表5,它表明以下两点:

(1) 潮平均流量或潮量的误差小于5%的保证率若要达到95%以上,无论涨潮流还是落潮流,测次间隔均需要45min以内。

(2) 按“涨落潮均30min”、“涨潮30min、落潮60min”、“涨落潮均60min”三种测次间隔,对潮流量各要素的不确定度进行统计,发现涨潮流和落潮流均表现为随测次间隔的加密、“割”“补”情况的减弱,误差相应下降,但净泄潮量和潮平均流量却有特殊的变化,见表6。

表6 不同测次间隔下潮平均流量与潮量的不确定度 (%)
Table6 Uncertainty of the average tidal discharge and tidal volume under the different measuring time intervals (%)

	涨落潮 均为30min	涨潮30min、 落潮60min	涨落潮 均为60min
涨潮量	4.2	4.4	7.5
落潮量	1.5	3.5	3.6
净泄潮量	7.8	21.2	14.6
涨历时	3.6	4.2	7.1
落历时	1.4	1.9	2.9
总历时	1.1	1.4	2.1
涨潮平均流量	1.7	3.3	3.5
落潮平均流量	4.1	4.1	6.4
潮平均流量	8.0	21.4	14.7

由此可见,从不同测次间隔对于潮量或潮平均流量精度的影响来看,涨落潮均按30min是相对合适的测次布置方法。现有普遍采用的“涨潮流0.5h、落潮流1h”测次分布方法,对潮流量成果的误差影响较大。

6 算例

现以进行试验的松浦大桥站为例,型、型和型误差的不确定度值按照试验结果,测深、测宽与仪器误差的不确定度直接采用国际标准参考数据,假设以3垂线、3点法、60s历时,取流速仪检定不确定度为3%、测宽不确定度为0.2%、测深不确定度为0.4%(参考数值),则可以按式(1)给出单次断面潮流量随机不确定度^[2]:

$$X'_Q \approx \pm \left(X_m'^2 + \frac{X_e'^2 + X_p'^2 + X_c'^2 + X_d'^2 + X_b'^2}{m+1} \right)^{1/2} \quad (1)$$

式中: X'_Q 为总随机不确定度,%; X'_m 为断面型随机不确定度,%; X'_e 为断面型随机不确定度,%; X'_p 为断面型随机不确定度,%; X'_c 为断面的流速仪检定随机不确定度,%; X'_d 为断面的测深随机不确定度,%;

X'_b 为断面的测宽随机不确定度,%; m 为垂线数。

$$X'_Q = \pm (0.095 \times 0.095 + (0.079 \times 0.079 + 0.021 \times 0.021 + 0.03 \times 0.03 + 0.004 \times 0.004 + 0.002 \times 0.002) / 4)^{1/2} = \pm 10.5\% \quad (2)$$

当采用30min的间隔观测,一个潮流期按25个有效测次,系统误差忽略不计时,按照误差综合原理,则其潮平均流量的不确定度为

$$X'_{QW} \approx \pm \left(\frac{X'_Q'^2}{n-1} + X'_W'^2 \right)^{1/2} \quad (3)$$

式中: X'_{QW} 为潮平均流量随机不确定度,%; X'_Q 为单次断面流量总随机不确定度,%; X'_W 为测次间隔对计算结果的不确定度,%; n 为测次数。

$$X'_{QW} = \pm (0.105 \times 0.105 / 24 + 0.080 \times 0.080)^{1/2} = \pm 8.3\% \quad (4)$$

如果采用通常推荐的5~7条垂线^[5],则单次断面潮流量随机不确定度为7.0%,相应的潮平均流量不确定度则为8.1%。如果测次间隔为60min,则相应的潮平均流量不确定度为14.9%。

算例表明:从相对较大的误差贡献因子来看,单次潮流量测验精度控制的主要方面在于提高垂线数目,感潮强度弱的河段适当延长测速历时;从测次间隔显著影响潮平均流量准确度来看,应适当缩短测次间隔、良好控制潮流量变化过程。

7 结语

本项试验与测站流量测验误差试验有所不同,测站流量测验误差试验是按照本站的精度控制指标,相应应在、型误差方面通过试验确定其测验方案,本项试验则是对潮水河、型和实测过程线法测次的误差表现进行了解。

通过试验分析可以形成以下结论:

- (1) 潮水河型误差与国际标准公布的参考值基本一致。
- (2) 潮水河型误差的表现优于国际标准公布的参考值。
- (3) 潮水河型误差的表现优于国际标准公布的参考值。
- (4) 由型误差的分析可见,有限垂线数观测的单次断面流量,也具有一定的精度。
- (5) 潮流量测验中,涨、落潮测次间隔都应不大于30min。

(下转第90页)

- [2] 王家祁. 中国短历时点暴雨统计和时深关系分析[A]. 水利电力部南京水文水资源研究所. 水文研究报告选编 (第四集)[C]. 1985:22-33. (WANG Jiaqi. Analysis of short duration point storm statistics and storm depth-duration relation in China [A]. Nanjing Hydrology and Water Resources Institute, Ministry of Water Resources and Power. Proceedings of Hydrology Research Report (No.4) [C]. 1985: 22-23. (in Chinese))
- [3] 顾文燕. 特短历时设计暴雨分析[A]. 水利电力部南京水文水资源研究所. 水文研究报告选编 (第四集)[C]. 1985:34-49. (GU Wenyan. Analysis of especially short duration design storm [A]. Nanjing Hydrology and Water Resources Institute, Ministry of Water Resources and Power. Proceedings of Hydrology Research Report (No.4) [C]. 1985: 34-49. (in Chinese))
- [4] 陈志恺. 论中小流域设计暴雨分析计算方法[A]. 中国水利学会. 水文计算经验汇编 (第三集)[C]. 北京: 中国工业出版社, 1965:20-33. (CHEN Zhikai. Discussion on means of design storm analysis and computation in small and medium-sized basin[A]. Chinese Hydraulic Engineering Society. Proceedings of Hydrology Computation (No.3) [C]. Beijing: China Industry Press, 1965:20-33. (in Chinese))
- [5] 王家祁. 中国暴雨[M]. 北京: 水利水电出版社, 2002:174-209. (WANG Jiaqi. Rainstorms in China[M]. Beijing: China WaterPower Press, 2002:174-209. (in Chinese))

Analysis of Design Storm Depth-Duration for Shandong Province

CHEN Ganqin¹, ZHUANG Huibo¹, LIU Bingzhong¹, WANG Juan¹, WANG Ruixue¹, TAN Lu²

(1. Hydrology Bureau of Shandong Province, Jinan 250002, China; 2. Hydrology Bureau of Jinan City, Jinan 250014, China)

Abstract: Design storm depth-duration relation is the composition of mean value-duration and variation coefficient-duration relations. According to the latest research achievements of storm statistical parameters of Shandong Province, the storm mean value-duration and variation coefficient-duration relations and their space difference and affecting factors were analyzed. This paper also analyzed the various types of design storm depth-duration relations changing with frequency.

Key words: design storm; storm depth-duration relation; variation coefficient; Shandong Province

(上接第 38 页)

(6) 现有河流流量测验规范关于“潮流量测验总不确定度应控制在 10%~15%”^[2], 其规范性程度的确定是适当的, 但需要细化。

(7) 当需要设立高精度的潮流量站, 如果测验条件理想^[6], 断面流速分布平缓, 有条件增加测速垂线的话, 单次流量具有更好的精度预期, 若能在此基础上实现测次密集的自动观测, 则可以得到理想的逐潮平均流量或潮量精度效果。这对于感潮地区的水资源监测和调度具有重要意义。

参考文献:

- [1] ISO748:2007 (E), Hydrometry-Measurement of Liquid Flow in Open Channels Using Current-meters or Floats [S].
- [2] GB 50179-93, 河流流量测验规范 [S]. (GB 50179-93, Code for Liquid Flow Measurement in Open Channels [S]. (in Chinese))
- [3] 宋政峰. ADCP 技术应用研究试验报告[R]. 上海市水文总站, 2005. (SONG Zhengfeng. ADCP Technical Application Study Test Report [R]. Shanghai Hydrology Bureau, 2005. (in Chinese))
- [4] 水利电力部水利司. 水文测验手册 [M]. 北京: 水利出版社, 1983. (Department of Water Resources, Ministry of Water Resources and Electric Energy. Handbook of Hydrometry[M]. Beijing: Water Resources Press, 1983. (in Chinese))
- [5] 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. (ZHANG Liuzhu, ZHAO Zhigong, ZHANG Fazhong. Hydrometry [M]. Zhengzhou: Huanghe Water Resources Press, 2002. (in Chinese))
- [6] ISO2425:2010(E), Hydrometry-Measurement of Liquid Flow in Open Channels under Tidal Conditions [S].

Discussion on Error Control of Tidal Discharge Measurement

SONG Zhengfeng, DU Yingyan

(Shanghai Hydrology Bureau, Shanghai 200232, China)

Abstract: By the discharge measurement error analysis of experimental results in tidal river, this paper analyzed the influence of type I, II, III error of the tidal discharge measurement, and put forward suggestions on the error control index of the tidal discharge measurement and distribution of the measurement number in the tidal period.

Key words: tidal discharge; measurement accuracy; error experiment