

灌河口潮汐潮流不对称研究*

A Study on Tidal Asymmetry in the Guanhe Estuary

李谊纯,董德信,陈 默,陈宪云

LI Yi-chun, DONG De-xin, CHEN Mo, CHEN Xian-yun

(广西科学院, 广西近海海洋环境科学重点实验室, 广西南宁 530007)

(Guangxi Key Laboratory of Marine Environmental Science, Guangxi Academy of Sciences, Nanning, Guangxi, 530007, China)

摘要:基于灌河口 2007 年 5 月的潮位、潮流实测数据,对灌河口的潮汐和潮流不对称现象进行研究。首先对潮流、潮位实测数据进行调和与分析,探讨灌河口 M2 分潮及其倍潮波的沿程分布特征,再通过潮位-流速关系图研究 M4、M6 及 M8 分潮对潮汐变形的影响,最后利用理论判断法则对灌河口潮汐不对称进行判别。结果表明,灌河口的潮波兼具驻波和行进波的特征,灌河口潮汐不对称主要受 M4 分潮的影响,呈涨潮主导型。河口口门内最大涨(落)潮流速出现在最低(高)潮位与中潮位之间时刻。M4 分潮导致最大涨(落)潮流速增大(减小),最大涨(落)潮流速与最低(高)潮位之间的相位差增大。M6 与 M8 分潮的作用不大。

关键词:灌河口 潮汐不对称 倍潮波**中图分类号:**TV14 **文献标识码:**A **文章编号:**1005-9164(2013)03-0244-04

Abstract: Tidal asymmetry in the Guanhe estuary was studied basing on the measured tidal elevation and tidal current in May 2007. Firstly, the distributions of M2 and its overtides M4, M6 and M8 were discussed. Secondly, the stage-velocity diagrams were used to study the effects of M2, M4, M6 and M8 on tidal distortion. Finally, tidal asymmetry in the Guanhe estuary was examined using a theoretical method. The results show that tidal motion in the Guanhe estuary has the characteristic of stand wave and progressive wave. Also, tidal asymmetry is flood-dominant and mainly affected by M4. Inside the main channel, maximum flood current and maximum ebb current appear near the mid-tidal elevation time. M4 increases (decreases) the maximum flood (ebb) current, and M6 and M8 play an insignificant role.

Key words: Guanhe estuary, tidal asymmetry, overtide

灌河是江苏省北部的一条最大的入海河流,也是江苏沿海惟一尚未在河口建闸的天然潮汐河道,全长 64.5 km,入海口呈喇叭型,口门燕尾港以上河道自然水条件良好。灌河年均径流量为 $15 \times 10^8 \text{ m}^3$,每年 5~10 月为汛期,汛期下泄流量集中。潮型属正规半日潮型,每日两次涨落潮过程^[1~3]。潮波进入近海及河口,由于水深、地形等影响,潮波会发生变形。以 M2 分潮为例,在其进入近岸及河口后,产生的倍潮波叠加在 M2 分潮上,由于相位的差异导致原本对称的 M2 分潮波形变成不对称的多个分潮叠加的形式。这种不对称潮汐对于泥沙运动、地形地貌变化、盐度

输运及污染物迁移都有着重要的影响^[4~7]。近十多年来,潮汐不对称现象的研究越来越引起国内外学者的重视,而且在理论、方法及应用的研究上都取得了重要的进展^[8~10]。灌河是一条具备良好输运条件的通江达海的航运通道,灌河下游及河口地区是重要的经济区。所以开展灌河口潮汐不对称现象研究对于灌河口的河道演变、物质输运及水环境保护具有重要的意义。本文首先对灌河口实测潮位和垂向平均流速数据进行调和与分析,得出潮位、流速各分潮的振幅与迟角,进而通过潮位-流速关系图及对比研究得出灌河口不同区域的潮汐不对称及其空间变化的基本特征。

1 数据与方法

采用的潮位和流速数据为 2007 年 7 月 29 日 13:00~7 月 30 日 16:00 的实测数据。潮位有开山

收稿日期:2013-01-17

修回日期:2013-02-28

作者简介:李谊纯(1977-),男,博士,主要从事河口动力学研究。

* 广西自然科学基金项目(2011GXNSFE018002,2012GXNSFEA053001)资助。

岛、燕尾港及陈家港 3 个测点,流速包括 4 个测点:1#~4#(图 1)。灌河口潮汐属正规半日潮型,主要受到 M2 分潮控制。M2 分潮进入河口后,由于底摩擦力、水深变化及河口形态等作用产生了倍潮波。鉴于在灌河口 M2 分潮起决定性作用,因此本文研究只限于 M4、M6 与 M8 分潮等(M2 倍潮)对于潮汐不对称的影响,而对其它分潮暂不考虑。图 2 为 2# 和 4# 测点的实测潮位与流速过程,其中潮位分别为 2# 和 4# 测点附近的燕尾港和陈家港的实测数据。由图 2 可以看出,2# 测点最大涨潮流和最大落潮流分别为 1.18 m/s 和 0.89 m/s,4# 测点最大涨潮流和最大落潮流分别为 1.44 m/s 和 1.32 m/s。最大涨(落)潮流速出现在最低(高)潮位与中潮位的中间时刻。由图 2 还可以看出,2# 和 4# 测点的落潮时长大于涨潮时长;流速过程线与正弦曲线相比出现较为明显的变形。这说明潮波在进入灌河口后产生了潮汐不对称现象,表现为涨潮时长小于落潮时长,最

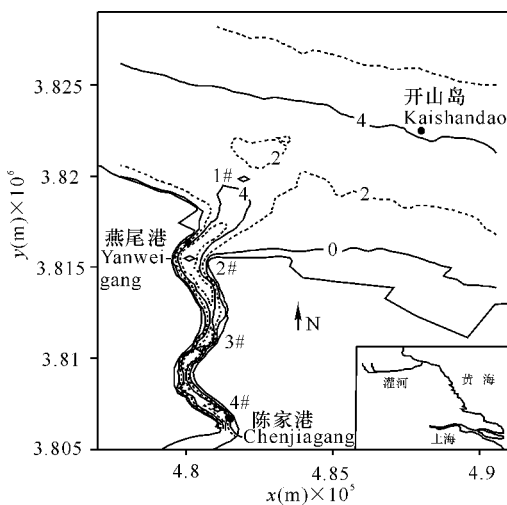


图 1 灌河口基本情况

Fig. 1 Basic status of Guanhe estuary

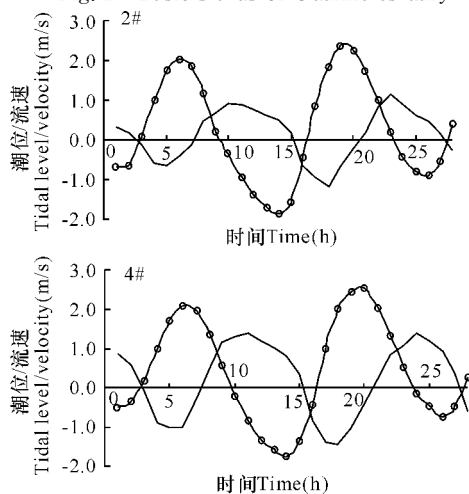


图 2 2# 和 4# 测点流速潮位过程

Fig. 2 Velocity and tidal level at 2# and 4#

○:潮位;—:流速. ○: Tidal level; —: Velocity.

大涨潮流速大于最大落潮流速,潮汐不对称呈涨潮主导型。

2 结果及分析

2.1 潮位沿程分布特征

由表 1 可以看出,M2 分潮潮位振幅自外海至陈家港几乎没有变化,约为 1.75 m。M4 分潮潮位振幅由外海向河口口门呈增大趋势,在开山岛和燕尾港分别为 0.14 m 和 0.26m,这是由于燕尾港附近河道迅速缩窄,使潮波传播过程中非线性惯性力增大,进而表现为 M4 分潮的增强。M6 分潮振幅呈现自外海向上游逐渐增大的趋势,但其量值很小,仅为 0.02~0.05 m。M2 分潮迟角与 M4、M6 分潮的相对迟角均自外海向上游逐渐增大。M4 分潮的相对迟角介于 0°~180°,表明 M4 分潮导致灌河口潮汐不对称呈涨潮主导型。而 M6 分潮的相对迟角在口门的燕尾港和陈家港为 186°。可知在该河段 M6 分潮导致的潮汐不对称为落潮主导型,在河口外的开山岛则为涨潮主导型。但是由于 M6 分潮振幅与 M4 分潮振幅相比小一个量级,并且 M6 分潮的相对迟角为 180°左右,所以可以认为灌河口潮汐不对称主要受 M4 分潮的影响,受 M6 的分潮的影响不大。

表 1 灌河口 M2、M4、M6 与 M8 分潮振幅与迟角

Table 1 M2 and its overtides M4, M6 and M8 in the Guanhe estuary

| | 潮位 Tidal level | | | 流速 Velocity(m/s) | | | |
|----------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------|-------|-------|-------|
| | 开山岛 Kuaishan- dao | 燕尾港 Yanwei- guang | 陈家港 Chenji- guang | 1# | 2# | 3# | 4# |
| 振幅 Amplitude(m) | | | | | | | |
| M2 | 1.74 | 1.77 | 1.76 | 1.01 | 1.08 | 1.24 | 1.31 |
| M4 | 0.14 | 0.26 | 0.20 | 0.12 | 0.12 | 0.19 | 0.27 |
| M6 | 0.02 | 0.03 | 0.05 | 0.13 | 0.08 | 0.12 | 0.05 |
| 相对振幅 Relative amplitude | | | | | | | |
| M4/M2 | 0.081 | 0.144 | 0.111 | 0.121 | 0.106 | 0.156 | 0.205 |
| M6/M2 | 0.009 | 0.017 | 0.028 | 0.129 | 0.075 | 0.097 | 0.035 |
| 迟角(°) Epoch | | | | | | | |
| M2 | 196 | 203 | 207 | 334 | 335 | 331 | 338 |
| M4 | 337 | 350 | 356 | 8 | 102 | 125 | 137 |
| M6 | 169 | 64 | 75 | 168 | 223 | 173 | 238 |
| 相对迟角 Relative epoch | | | | | | | |
| 2M2—M4 | 55 | 57 | 58 | 301 | 209 | 177 | 179 |
| 3M2—M6 | 58 | 186 | 186 | 115 | 63 | 100 | 56 |

2.2 流速沿程分布特征

由表 1 可以看出,M2、M4 分潮潮流椭圆长轴在外海的 1# 测点分别为 1.01 m/s 和 0.12 m/s,向上

游逐渐增大,至4#点分别达到1.31 m/s和0.27 m/s。自河口向上游河道过水面积的减小导致了流速的逐渐增大。M4分潮潮流的相对振幅也表现为自口门向上游逐渐增大,反映了M2分潮能量向M4分潮转移的沿程变化。M2分潮流速迟角介于 $330^\circ \sim 340^\circ$,沿程变化很小。M4分潮流速迟角自口门外向上游逐渐增大。一个特别的现象是:在口门处M4分潮流速迟角变化很大,在1#和2#测点分别为 8° 和 102° 。这可能存在多方面的原因:此河段河道宽度变化迅速,同时潮流状况比较复杂,口门内潮流为典型的往复流,而口门外则呈明显的旋转流特征,此外,1#测点位于涨落潮的主流路上,而2#测点同时受到涨落潮主流路及南部浅滩处的水流共同作用。M4分潮流速的相对迟角在沿程表现为自口门外向上游逐渐减小的变化,在外海的1#测点为 301° ,在口门的2#测点附近为 209° ,说明在此区域为落潮主导型的潮流不对称形式,在3#、4#测点相对迟角略小于 180° ,所以此河段M4分潮导致的潮流不对称为弱涨潮主导型。M6分潮潮流椭圆长轴大小与M4分潮量值处同一量级,但在口门内略小于M4分潮流速的大小,而且沿程无明显变化趋势。导致这一现象的原因可能有两个方面:一是灌河口潮流情况和口门附近的地形状况比较复杂;二是实测流速的时间序列比较短,仅为28h。对于部分浅水分潮进行调和和分析而言,实际计算中可能带来一定的误差。

2.3 倍潮对潮汐变形的影响

由图3可以看出,由于河道宽度变窄,过水面积减小,导致流速呈现自下游向上游逐渐增大的变化。最大涨(落)潮流速出现在最低(高)潮位与中潮位之间时刻,说明在灌河口的潮波兼具驻波和行进波的特征。在2#~4#测点,M4分潮导致最大落潮流速减小,最大涨潮流速增大,最大涨(落)潮流速与最低(高)潮位之间的相位差增大。M6、M8分潮的影响程度明显小于M4分潮。由此可以认为,在灌河口口门以内,M2分潮的倍潮导致了最大涨潮流速的增加和最大落潮流速的减小,进而在深槽处导致物质向上游输运的趋势。1#点位置处于河口口门外,该点M4、M6分潮对于潮汐不对称的影响与口内各测点存在一定差异。由图3还可以看出,在1#测点,M4分潮导致最大涨潮和最大流速均增大,M6的加入导致最大涨潮和最大流速均减小,最大涨落潮流速的出现时刻更趋向于中潮位。

已有研究^[11]指出,在底摩擦力做为主要动力机制的河口和海湾,其基本的动力平衡是底摩擦力与压强梯度力之间的平衡。该文献还给出一个关于潮汐

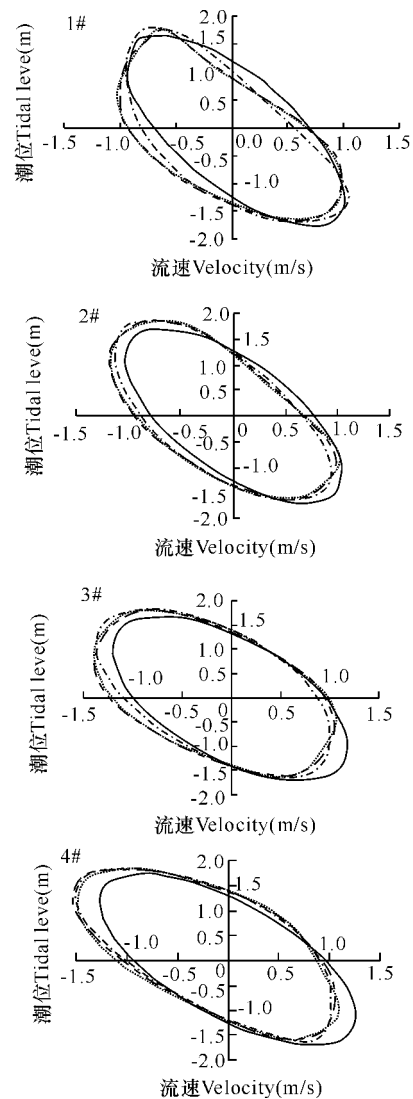


图3 灌河口1#~4#测点潮位-流速关系

Fig. 3 Stage-velocity diagrams in Guanhe estuary

—: M2; - - -: M2+M4; - · - · -: M2+M4+M6; ·····: M2+M4+M6+M8.

不对称的判别标准:

$$\gamma = \frac{5a}{3h_0} - \frac{\Delta b}{b_0}, \quad (1)$$

式中, a 为潮位振幅, h_0 为河口平均水深, Δb 为河口高、低潮位时的宽度差, b_0 为河口的平均宽度。 $\gamma \geq 0$ 时,河口为涨潮主导型;反之,河口为落潮主导型。此判断标准得到了较为广泛的应用^[8~10,12]。为了从理论上研究灌河口潮汐不对称现象与验证前述分析,我们在燕尾港、3#测流点和陈家港附近选取3个断面,分别计算其 γ 值。经计算 γ 值除燕尾港断面小于0外,在3#测点与陈家港断面均在 $0.3 \sim 0.4$ 。所以依据式(1)判别准则,可以认为灌河口为涨潮主导型,即涨潮时间小于落潮时间,其涨潮最大流速大于落潮最大流速,与前述分析结论一致。

3 结论

由上述分析可知,灌河口的潮波兼具驻波和行进波的特征,M2分潮潮位振幅沿程变化很小,M4与M6分潮潮位振幅由外海向河口口门逐渐增大。M4分潮导致灌河口潮汐不对称呈现涨潮主导型,灌河口潮汐不对称主要受M4分潮的影响,M6的分潮的影响不大。M2、M4分潮流向上游逐渐增大。M6分潮流的流速大小与迟角均无明显变化趋势。口门内最大涨(落)潮流速出现在最低(高)潮位与中潮位之间的时刻。M4分潮导致最大落潮流速减小,最大涨潮流速增大,最大涨(落)潮流速与最低(高)潮位之间的相位差增大。口门外M4分潮导致最大涨潮和最大流速均增大,M6的加入导致最大涨潮和最大流速均减小。 γ 值除燕尾港断面小于0外,上游断面在0.3~0.4。潮流不对称在口门及以上河段总体呈现涨潮主导型。此外,需要说明:由于实测流速的时间序列比较短,仅为28h,对于部分浅水分潮进行调和分析而言虽然理论上满足长度要求,但实际计算中或导致一定的误差。

参考文献:

- [1] 刘玮祎,楼飞,虞志英.灌河河口河道冲淤演变及航道自然条件分析[J].海岸工程,2006,25(3):14-21.
- [2] 马洪瑞,陈聚法,崔毅,等.灌河和射阳河水质状况分析及主要污染物入海量估算[J].渔业科学进展,2010,31(3):92-99.
- [3] 刘光清.灌河潮流界位置确定与港口防淤探讨[J].吉林

- 水利,2007,5:13-17.
- [4] 陈小丽.灌河响水段水域纳污能力及污染总量控制分析[J].水资源研究,2009,30(2):12-13.
- [5] 时钟,陈伟民.长江口北槽最大浑浊带泥沙过程[J].泥沙研究,2002,1:28-39.
- [6] 李占海,高抒,陈沈良.江苏大丰潮滩潮流边界层特征研究[J].海洋工程,2007,25(3):53-60.
- [7] Aubrey D G, Speer P E. A study of non-linear tidal propagation in shallow inlet/estuarine systems. Part I: Observations[J]. Estuarine Coastal Shelf, 1985, 21(2): 185-205.
- [8] Blanton J O, Lin G, Elston S A. Tidal current asymmetry in shallow estuaries and tidal creeks[J]. Cont Shelf Res, 2002, 22: 1731-1743.
- [9] 宋德海,鲍献文,张少锋,等.基于FVCOM的廉州湾及周边海域三维潮汐潮流数值模拟[J].海洋通报,2012,32(2):136-145.
- [10] Huang Haosheng, Chen Changsheng, Blanton Jackson O, et al. A numerical study of tidal asymmetry in Okatee Creek, South Carolina, Estuarine[J]. Coastal and Shelf Science, 2008, 78: 190-202.
- [11] Friedrichs C T, Madsen O S. Non-linear diffusion of the tidal signal in frictionally dominated embayments[J]. Journal of Geophysical Research, 1992, 97: 5637-5650.
- [12] Blanton J O, Andrade F A. Distortion of tidal currents and the lateral transfer of salt in a shallow coastal plain estuary (O Estuario do Mira, Portugal)[J]. Estuaries, 2001, 24: 467-480.

(责任编辑:尹 闯)

首个东盟电子商务平台在南宁启动

新闻时间:2013-8-28

在一年一届的中国—东盟博览会即将到来之际,以“美丽中国·美丽湾”为主题的国内第一家专业的东盟电子商务平台“美丽湾”(www.meiliwan.com)也于8月23日在南宁举行启动仪式。

“美丽湾”是目前第一家专业服务于中国-东盟间的B2B2C电子商务平台,其宗旨是立足广西,借助东盟区域优势、生态优势、资源优势服务于中国与东盟间的贸易,解决和提升中国与东盟间的物流、信息流等贸易配套系统,配合国家战略打造“永不落幕的东盟贸易博览会”,为东盟和广西商品进入国内市场搭建一流的电子商务平台。

据介绍,“美丽湾”预计9月上线,届时,你不出门也可搜到东盟十国及广西各地的特色商品。

摘自广西日报