多汊道潮汐通道狮子洋的纳潮量计算及演变分析

袁 菲,何 用*,卢 陈,杨裕桂

(珠江水利委员会 珠江水利科学研究院, 广东 广州 510611)

摘 要:以狮子洋为例探究了多汊道潮汐通道的纳潮量计算方法,验证了海湾纳潮量计算公式应用在多汊道潮汐 通道系统中的可行性,分别采用基于直接观测的流量计算法和基于卫星遥感资料与实测潮位订正的公式法,计算 狮子洋 1999-07 及 2005-01 的纳潮量,2 种方法计算结果误差在 18%之内。为进一步研究近年来狮子洋纳潮量变 化及其原因,采用公式法计算了 2007—2016 年每年 7 月狮子洋纳潮量,结合 1999—2011 年地形演变特征,说明地 形对纳潮量变化的影响。研究发现:狮子洋纳潮量具有 4 a 的周期变化规律,变化特征表现为 1999—2007 年因航 道整治影响,纳潮量增大约 10%;2007—2012 年,河势较为稳定,纳潮量继续微幅增大;2013—2016 年纳潮量小幅 减小。

关键词:狮子洋;纳潮量;多汊道潮汐通道

中图分类号:P731.23 文献标识码:A doi:10.3969/i.issn.1002-3682.2017.04.008

文章编号:1002-3682(2017)04-0059-08

狮子洋为珠江河残留古海湾的一部分,习惯上称黄埔至虎门间的珠江河段为狮子洋水道,其承纳整个东 江网河区来水、流溪河和部分北江来水,也是伶仃洋上溯潮流的重要通道。狮子洋水道的动力环境介于潮汐 汊道和河口湾之间,承担着河口地区泄洪、纳潮及排涝等重任。20世纪90年代以来,狮子洋受航道疏浚、人 工采砂等人类活动影响,地形发生非自然过程的"异变",必然引起潮流动力改变,影响其纳潮功能。研究狮 子洋水域的纳潮量变化,对于了解潮汐通道的盛衰及淤积情况,保障河口防洪和航运功能具有重要意义。

目前,关于海湾纳潮量的计算,一种方法是直接利用流量观测设备在封闭湾口进行周期性的连续走航观测,通过观测的湾口流量直接计算海湾的纳潮量^[1-2]。对于狮子洋而言,其平面形态复杂,上下游共有 8 个主 要潮汐汊道口,同步观测汊口的流量需耗费大量人力物力。另一种方法是通过潮差、水域面积等相关资料运 用计算公式间接推求纳潮量^[3-8],目前的研究对象多集中于半封闭型海湾,对于多汊口潮汐通道的纳潮量计 算适应性如何,目前研究较少。本文分别采用直接观测法与公式法计算狮子洋纳潮量,分析纳潮量公式应用 于多汊道潮汐通道的可行性,在此基础上,分析近 10 多 a 来狮子洋的纳潮量变化及其原因。

1 纳潮量计算方法

1.1 实测流量计算法

根据纳潮量的定义,即海湾高潮时所容纳的水量与低潮时所容纳的水量之差,纳潮量可表示为

$$W = W_1 - W_2$$
.

(1)

式中, W_1 和 W_n 分别表示高高潮和低低潮时海域所容纳的水量,令 W_i ($i = 1, \dots, n$)表示第i时刻海域所容纳的水量,简称纳水量,于是式(1)可写为

收稿日期:2017-08-07

作者简介:袁 菲(1992-),女,工程师,硕士,主要从事河道与港航工程、河口海岸水动力学方面研究. E-mail: yf0524@163.com

* 通讯作者:何 用(1977-),男,教授级高工,博士,主要从事水沙数值模拟方面研究. E-mail: heyongwhu@126.com

(王 燕 编辑)

X	ш	 11
7 7 1	F	 - X 'T
144	<u></u>	 - 41

式中,(W_{i-1}-W_i)表示海湾的逐时过水量,表明纳潮量又可以表示为高低潮期间逐时过水量的和,即一次 涨、落潮过程中流入或流出的潮水量。

狮子洋地理位置如图1所示。狮子洋纳潮量可通过计算8个主要汊口断面大虎、大盛、黄埔左、黄埔右、 泗盛围、漳澎、麻涌及三沙口在高低潮期间流量的矢量和得到。

1.2 公式法

通常情况下,纳潮量的计算可采用公式:

$$W = \frac{1}{2} (S_1 + S_2) H, \qquad (3)$$

式中, S₁和 S₂分别为高高潮和低低潮时的水域面积, H 为潮差。采用这种计算方法的难点在于获得不同 潮位对应的水域面积。由于狮子洋水域海图资料有限且潮边线不明确,提取不同潮位下的水域面积不易,因 此本文采用提取卫星遥感信息进行潮位订正的方法估算不同潮位下的水域面积。具体方法为基于不同潮时 狮子洋遥感卫星图像(图 2)提取狮子洋水域面积,采用线性内插的方法进行潮位订正,用于计算任意潮位下 的水域面积,即设

$$S_i = kh_i + b_{\circ} \tag{4}$$

由图 2 可见狮子洋水域滩涂、水边线、周围地物都十分清晰,因此采用量算水边线包围面积的方法从卫 星遥感图上提取狮子洋水域面积,为减小测量误差,采用了多次测算,求取平均值^[9]。而因为狮子洋上下游 水位几乎没有差异,故采用大虎断面的实测潮位资料进行计算。通过将多幅遥感图提取的水域面积 S 及对 应时刻大虎断面潮位 h 带入式(4),求解未知数 k 和 b,可获得狮子洋任意潮位下的水域面积表达式。



Fig.2 The satellite remote sensing image of the Shiziyang channel on June 1, 2011

2 纳潮量计算与误差分析

采用实测流量法计算纳潮量,流量数据取自 1999 年西、北江下游及其三角洲网河河道同步水文测验及 2005 年西、北江三角洲网河区枯水期同步水文测验及调水压咸水文监测成果,选取 1999-07-16—07-24 及 2005-01-22—02-01 狮子洋上下游 8 个汊口断面——大虎、大盛、黄埔左、黄埔右、泗盛围、漳澎、麻涌及三沙 口的实测流量资料。采用该方法,在 1999-07 水文条件下,狮子洋纳潮量均值为 1.51×10⁸ m³,在 2005-01 水 文条件下,狮子洋纳潮量均值为 2.09×10⁸ m³。

采用公式法计算纳潮量,将提取的 2011-06-01 和 2013-11-29T10:00 狮子洋水域面积与相应时刻大虎潮 位代入式(4),确定 S-h 函数关系,选取数据及计算结果如表 1 所示。进一步采用 2011-12-10T10:00 卫星 遥感图提取的水域面积及大虎潮位进行率定,误差在 1%内,表明所选取数据及计算结果合理可信。

公式(4) 低类取数据及计算结果

Table 1 The data selected for and the calculated results of the equation (4)								
	2011-06-01T10:00	102 894 791	0.51	172 833	102 806 646			
	2013-11-29T10:00	102 948 369	0.82	172 833	102 806 646			

依据求解结果,对于任意给定潮位的时刻,都可求出对应的水域面积,即

主 1

量均值为 2.01×10⁸ m³。计算结果见图 3.公式法计算结果与实测流量计算结果相对误差分别为 18% 和16%。 4.0公式法 流量法 3.0 m^3 纳潮量/×108 2.00 1.0 0.0 1997-07-16 07 - 242005-01-22 01 - 2707 - 2002 - 01t

图 3 狮子洋纳潮量计算结果对比图

Fig.3 Comparison of the calculated tidal prisms of the Shiziyang channel

因纳潮量又可以表示为高低潮期间逐时过水量的和^[10],为分析纳潮量计算公式与实测流量计算结果的 误差产生原因,基于纳潮量公式法及实测流量计算理论,可以推出逐时过水量可分别表示为

$$W_{i}' = \int_{h_{i-1}}^{h_{i}} S(h) dh \qquad (i = 1, \cdots, n) ,$$
 (6)

S = 172 833h + 102 806 646

采用该方法,在1999-07 水文条件下,狮子洋纳潮量均值为1.78×10⁸ m³;在2005-01 水文条件下,纳潮

(5)

或

62

$$W_{i}' = \sum_{j=1}^{8} Q_{ji}$$
, (7)

式中, h; 为逐时平均潮位, S(h) 为不同潮位对应的水域面积, Q_{ji} 为 8 个人口断面的逐时流量,两式计算结 果见图 4,可见计算结果基本一致,仅在涨落急时水位计算结果难以反映流量变化过程,存在较小误差。因 实测流量计算结果基本能够反映狮子洋真实纳潮量,因此,认为公式法计算纳潮量的方法在狮子洋这种多汊 道潮汐通道中同样适用。



图 4 1999-07 及 2005-01 狮子洋水道逐时过水量计算结果对比图

Fig.4 The comparison of the water amount hourly flowing through the Shiziyang channel in July 1999 and January 2005

3 人类活动影响下狮子洋纳潮量变化

3.1 狮子洋近期人类活动

狮子洋位于广州港出海航道的北段,20世纪90年代 以来,狮子洋河槽的变化受人类活动的干扰影响越来越显 著:航道在1996年开始进行航道整治,且东槽临近的新沙 港开始维护运行,2005年以后航道维护深度为13.5 m左 右。近年来,狮子洋两岸围垦力度较小,据统计^①,1998— 2008年,仅在东岸围垦1.29 km²,几乎可以忽略不计。为 更直观地了解狮子洋断面形态变化,绘制了1999年、2005 年及2011年狮子洋断面地形图,断面位置见图5,断面河 底高程图如图6所示。由图可见,1999—2005年河道断面 深槽显著加深,2005—2011年,断面形态基本稳定,在 DM5断面西槽因采砂作用出现了异常深坑。

3.2 狮子洋纳潮量变化

人类活动引起决定纳潮量的河道地形及潮差变化,进 一步引起纳潮量改变,为进一步分析多汊道潮汐通道——



Shiziyang channel

① 钱树芹,刘俊勇,高秋霖,等. 狮子洋水道近期河床演变规律分析. 广东水利水电, 2013(8): 4-7.



Fig.6 The elevation of the river bed along the sections in the Shiziyang channel

狮子洋纳潮量变化,本文将已验证的传统纳潮量计算公式应用于狮子洋纳潮量的计算,基于该公式理论,采 用 2007—2016年共 10 a 的大虎站 7 月份潮位资料,计算狮子洋近 10 a 的纳潮量,计算结果见图 7。由图可 见,狮子洋纳潮量与潮差密切相关,具有较为明显的大小潮变化,同时具有显著的周期变化,周期为 4 a。因 具有这种特殊的周期性变化,所以通过对比每 4 a 纳潮量的均值变化来说明近 10 a 来狮子洋洪季纳潮量的 变化,如表 2 所示。2007年、2011年、2015年,纳潮量先增大 1.5%后减小 1.2%;2008年、2012年、2016年, 纳潮量亦先增大 0.8%后减小 2.7%;2009—2013年,纳潮量减小 1.6%;2010—2014年,纳潮量减小 2.0%。 由此认为,狮子洋纳潮量具有 4 a 的周期,2007—2016年这 10 a 间,以 2012年为界点,狮子洋纳潮量先增大 后减小,且增减幅度较小,不超过 3%。

因 1999 年与 2007 年相差 2 个周期, 而 1999 年缺乏 7 月整月数据, 故采取实测 07-16-24 资料计算所得

纳潮量与 2007 年同期对比, 经统计, 1999-07-16—24 纳潮量变化趋势与 2007-07 同期变化一致, 均值为 1.73×10⁸ m³, 2007 年同期为 1.91×10⁸ m³, 增量达 10.4%, 这主要是因狮子洋内航道整治, 河底深槽加深, 河槽体积增大所致。

Table 2 The mean value of the tidal prism of the Shiziyang channel in July for the recent 10 years(×10⁸ m³) t/年份 纳潮量 t/年份 纳潮量 t/年份 纳潮量 t/年份 纳潮量 t/年份 纳潮量 2007 2.29 2009 2.24 2011 2.32 2013 2.20 2015 2.29 2.35 2.26 2008 2.33 2010 2.30 2012 2014 2016 2.30

表 2 近 10 a 来狮子洋 7 月纳潮量均值(×10⁸ m³)



图 7 近 10 a 来狮子洋 7 月纳潮量变化

Fig.7 The variations of the tidal prism of the Shiziyang channel in July for the recent 10 years

4 结 语

本文以狮子洋为例探究了多汊道潮汐通道的纳潮量计算,分别采用基于直接观测的流量计算法和基于 卫星遥感资料与实测潮位订正的公式法,计算狮子洋 1999-07 及 2005-01 的纳潮量。为进一步研究近年来 狮子洋纳潮量变化及其原因,采用公式法计算了 2007—2016 年每年 7 月狮子洋纳潮量,结合 1999—2011 年 地形演变特征,说明地形对纳潮量变化的影响。研究发现:

1)纳潮量计算公式不仅能用于海湾纳潮量计算,亦可用于多汊道潮汐通道的纳潮量计算,用公式法与实 测流量计算狮子洋纳潮量结果误差在18%之内,误差产生的原因主要在于涨落急时段的计算结果难以反映 该时段的流量真实变化过程。 2)狮子洋纳潮量具有4a的周期变化规律。近10多a来狮子洋纳潮量的变化特征表现为:1999—2007 年因航道整治,纳潮量增大约10%,2007—2012年,河势较为稳定,纳潮量小幅增大,2013—2016年纳潮量 小幅减小,这也从侧面反映出2013—2016年河道有轻微淤浅的趋势。

参考文献(References):

- [1] XIONG X J, HU X M, WANG G L, et al. A kind of direct observation method of storage capacity for tidal water of semiclosed bays[J].
 Ocean Technology, 2007, 26(4): 17-19. 熊学军, 胡筱敏, 王冠琳, 等. 半封闭海湾纳潮量的一种直接观测方法[J]. 海洋技术, 2007, 26 (4): 17-19.
- [2] QIAO G Y, HUA F, FAN B, et al. Tidal water capacity computed from ADCP measurement at bay mouth[J]. Advances in Marine Science, 2008, 26(3): 285-291. 乔贯宇, 华锋, 范斌, 等. 基于 ADCP 湾口测流的纳潮量计算[J]. 海洋科学进展, 2008, 26(3): 285-291.
- [3] WULY, WUYS, SUNYX. Remote sensing studies in Haikou Bays[J]. Haiyang Xuebao, 1997, 19(6): 56-59. 吴隆业, 吴永森, 孙玉 星. 海口湾遥感研究 I. 纳潮量及其变化[J]. 海洋学报, 1997, 19(6): 56-59.
- [4] YE X M, WANG Q M, DING J, et al. Satellite remote sensing investigation and analysis on the actuality of the tidal prism of bays in the Bohai Sea[J]. Hydrographic Surveying and Charting, 2011, 31(6): 48-51. 叶小敏, 王其茂, 丁静, 等. 渤海海湾纳潮量现状卫星遥感调 查与分析[J]. 海洋测绘, 2011, 31(6): 48-51.
- [5] FANG S G, CHEN W L, CUI L Q. Analysis on evolvement of tidal prism of Lingdingyang Bay[J]. Marine Environmental Science, 2012, 31(1): 76-78. 方神光,陈文龙,崔丽琴. 伶仃洋水域纳潮量计算及演变分析[J]. 海洋环境科学, 2012, 31(1): 76-78.
- [6] YANG S L, CHEN Q M, ZHU J, et al. Computation of storage capacity for tidal water of semiclosed bays where the intertidal zone is partly embanked—— Taking Jiaozhou Bay as an example[J]. Marine Sciences, 2003, 27(8): 43-47. 杨世伦, 陈启明, 朱骏, 等. 半封闭海 湾潮间带部分围垦后纳潮量计算的商榷—— 以胶州湾为例[J]. 海洋科学, 2003, 27(8): 43-47.
- [7] CHEN H X, HUA F, LIU N, et al. Comparison among different methods for tidal prism calculation——Neap tide of Jiaozhou Bay in autumn 2006 as an expounded example[J]. Advances in Marine Science, 2009, 27(1): 11-15. 陈红霞, 华锋, 刘娜, 等. 不同方式的纳潮量 计算比较——以胶州湾 2006 年秋季小潮为例[J]. 海洋科学进展, 2009, 27(1): 11-15.
- [8] WANG K, ZHANG X, CHEN Z, et al. Tidal and prism analysis of sea reclamation project in coastal bay[J]. Water Resources, 2015, 42 (5): 635-651.
- [9] ZHEN Q A, WU L Y, ZHANG X M, et al. A remote sensing study of Jiaozhou Bay I. Measurement of total area and coastal line[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 1991, 22(3): 193-199. 郑全安, 吴隆业, 张欣梅, 等. 胶州湾遥感研究——I. 总水域面积和总岸线长 度量算[J]. 海洋与湖沼, 1991, 22(3): 193-199.
- [10] ZHANG W J, CHI W Q, HU Z J, et al. Numerical study on the effect of the Jiaozhou bay bridge construction on the hydrodynamic conditions in the surrounding sea area[J]. Coastal Engineering, 2015, 34(2): 40-50. 张莞君, 迟万清, 胡泽建, 等. 青岛胶州湾大桥建设对 周边海域水动力环境影响的数值研究[J]. 海岸工程, 2015, 34(2): 40-50.

Calculation Method and Evolution Analysis of the Tidal Prism of Shiziyang Tidal Channel

YUAN Fei, HE Yong, LU Chen, YANG Yu-gui

(Pearl River Scientific Research Institute, Pearl River Water Resources Commission, Guangzhou 510611, China)

Abstract: By taking the Shiziyang channel as the example, the method for calculating the tidal prism of tidal channels with multiple branches is studied and the feasibility of the application of the formula for calculating the tidal prism of the bays to a tidal system of multi branching channels is validated. To calculate the tidal prism of the Shiziyang channel in July 1999 and January 2005, the flow calculation method which is based on the direct flow observations and the formula calculation method that is set up based on rectifying the satellite remote sensing data with the measured tidal levels are used respectively. The error of the two methods is within 18%. For further studying the changes of the tidal prism of the Shiziyang channel in recent years and the changing reasons, the tidal prisms of the Shiziyang channel from July 2007 to July 2016 are calculated by using the formula, and the influences of topography on tidal prism are explained by combining with the topographic variations from 1999 to 2011. It is found that the tidal prism of the Shiziyang channel has a changing period of 4 years, showing that from 1999 to 2007 to 2012 the tidal prism continued to increase slightly while the rivers are relatively stable; and from 2013 to 2016 the tidal prism reduced slightly.

Key words: Shiziyang; tidal prism; tidal channel with multiple branches Received: August 7, 2017