

利用海图数据与卫星影像计算海湾纳潮量

——以胶州湾为例^{*}

李君益, 纪育强, 郑全安, 吴永亭, 陈义兰, 刘自力, 辛海英

(国家海洋局 第一海洋研究所, 山东 青岛 266061)

摘 要:以胶州湾为例, 尝试获取胶州湾的三维地形, 并利用海湾高、低潮所容纳的海水体积之差计算海湾纳潮量。计算结果表明: 胶州湾 1992 年纳潮量为 $9.8 \times 10^8 \text{ m}^3$, 2005 年胶州湾纳潮量为 $8.9 \times 10^8 \text{ m}^3$, 胶州湾纳潮能力下降 $0.9 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

关键词:纳潮量; Landsat 卫星影像; 海水体积; 胶州湾

中图分类号:P731.24

文献标识码:A

文章编号:1671-6647(2012)02-0205-07

海湾纳潮量定义为高潮水量与低潮水量之差, 其数值取决于海湾高潮与低潮水域面积变化、潮差和潮间带地形。研究人员使用了不同方法对纳潮量的计算做了大量工作。郑全安等^[1]利用式(1)计算胶州湾纳潮量:

$$W = (S_1 + S_2)H/2 \quad (1)$$

式中, S_1 , S_2 分别为高、低潮时刻水域面积; H 为其潮差; W 为海湾纳潮量。

乔贯宇等^[2]利用胶州湾口走航 ADCP 测得的海水流速, 对观测的流量值进行时间积分获得了胶州湾的纳潮量。杨世伦等^[3]针对胶州湾这种半封闭海湾, 潮间带被部分围垦后, 对纳潮量的计算进行了探讨。陈红霞等^[4]对不同方式纳潮量的计算给出了比较。可以看出, 上述研究使用的计算方法是直接求解, 本研究将利用文章开头给出的纳潮量定义, 通过求解海湾高、低潮水量来计算海湾纳潮量。

1 纳潮量计算方法

理论上, 如果已知海湾三维模型, 可以计算任意给定潮位海湾所容纳的海水体积, 进而通过计算高、低潮海湾海水体积差来得到海湾纳潮量。其中, 海湾三维模型的获取是海湾纳潮量计算的关键。

一般情况下, 海湾三维模型由实测海湾地形数据进行插值, 并辅以岸界的方式给出。由于进行现场实测海湾地形的代价过于昂贵, 因此可以采用数字化海图的方式获得 0 m 等深线以下的地形数据, 但是大部分海图没有 0 m 等深线至岸线的潮间带高程信息。Mason 等^[5]将水边线假设为等高线, 叠加多种潮汐条件下的水边线, 生成潮滩数字高程模型。因此, 把提取的多幅海湾卫星影像水边线信息与海图数字化后的等深线信息转换到相同坐标系与基准面下, 加入岸界信息, 可以计算出海湾的三维模型。其中, 三维模型的岸界可以由卫星影像给出。利用海图数据与卫星影像计算海湾纳潮量的流程如图 1 所示。

本研究以胶州湾为研究实例。由于胶州湾 1992 年海图含有潮间带地形数据, 因此仅利用海图数据就可以计算该年海湾纳潮量; 而胶州湾 2005 年海图不含有潮间带数据, 因此要利用该年份海图及卫星影像计算海湾纳潮量。

^{*} 收稿日期: 2011-01-14

资助项目: 海洋公益性行业科研专项经费项目——胶州湾海湾水动力物理模拟实验研究(200705012)

作者简介: 李君益(1984-), 男, 辽宁本溪人, 硕士研究生, 主要从事区域性海洋学方面研究。E-mail: ljyi@fio.org.cn

(张 骞 编辑)

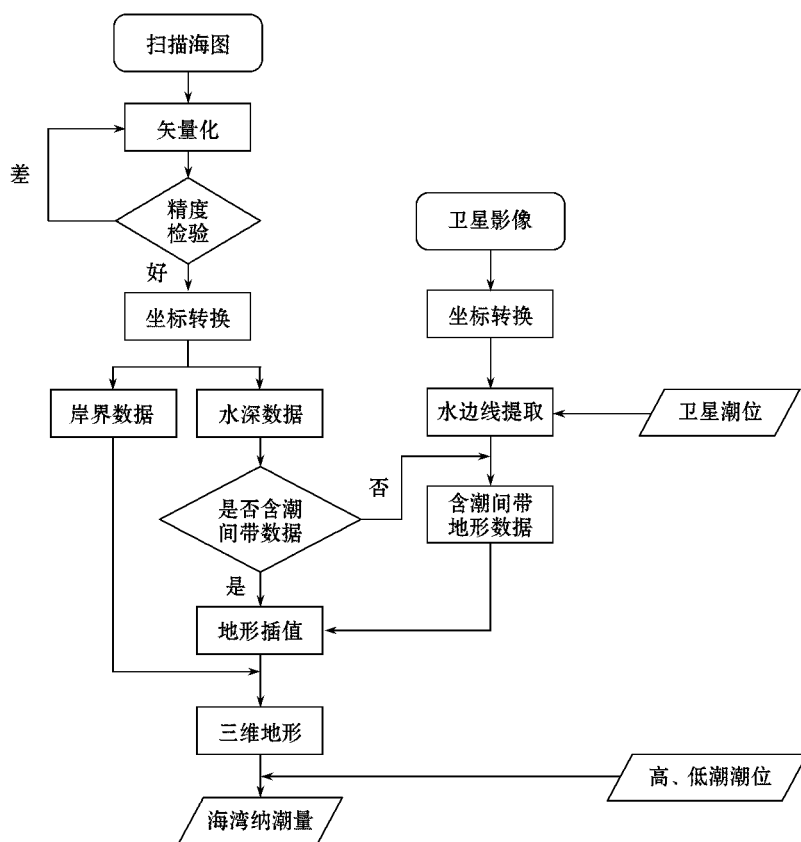


图 1 利用海图、卫星影像计算纳潮量的流程图

Fig. 1 A flow sheet for tidal prism computation by using charts and satellite images

2 数据来源

1) 中国航海图书出版社出版的胶州湾 2005 年海图。该图采用 WGS-84 坐标系, 墨卡托投影, 深度基准为理论深度基准面。

2) 国家海洋局第一海洋研究所测量的 1992 年胶州湾海图。该数据采用 54 北京大地坐标系, 中央经线为 120°E 的 3° 分带高斯投影, 深度基准为理论深度基准面。

3) 美国陆地资源卫星 5 号 (Landsat-5) TM、美国陆地资源卫星 7 号 (Landsat-7) ETM+ 影像。影像采用 WGS-84 坐标系, UTM 投影, 其中, Landsat-5 4, 5, 7 波段象元大小为 $30\text{ m} \times 30\text{ m}$, Landsat-7 4, 5, 7 波段象元大小为 $25\text{ m} \times 25\text{ m}$ 。选用 1:50 000 地形图作为理想基础底图进行几何精确校正和辐射校正, 校正后的几何精度达一个象元, 其参数见表 1。

表 1 Landsat 遥感资料参数表
Table 1 Parameters of Landsat images

序 号	传感器	成像时间(北京时间)	过境潮位/m
1	TM	2005-01-09T10:22:11	0.37
2	ETM+	2005-03-06T10:25:38	2.25
3	ETM+	2005-05-09T10:25:33	1.44
4	ETM+	2005-07-28T10:25:21	3.83

3 数据处理

3.1 海图矢量化

利用 Mapinfo 软件,把胶州湾 1992 年和 2005 年扫描海图的等深线、岸线、水深注记信息由像素形式转化为点和线形式,即矢量化。由于胶州湾沿岸的不断开发,1992 年海图矢量化的结果很难验证其精度,因此这里只给出 2005 年矢量化的精度验证。选用自 2005 年以来,胶州湾沿岸尚未发生变化的两处(分别为红岛参池与黄岛码头),利用现场 GPS 定点连续观测 1 h,获取这 2 处的空间坐标,转换为与海图投影一致的平面墨卡托 x,y 坐标,其中, x 轴对应地球赤道, y 轴对应本初子午线,单位为 m;把红岛参池与黄岛码头的经投影转换后的 GPS 实测坐标与矢量化的墨卡托 x,y 坐标相比较(表 2),并给出矢量化坐标与相应 GPS 实测坐标之间的距离差,即矢量化误差。按照《1:500、1:1000、1:2000 地形图数字化规范》^[6]和《数字测绘产品检查验收规定和质量评定》^[7]中规定,相对于工作底图,点状要素平面位移中误差不超过图上的 $\pm 0.25\text{ mm}$,线状、面状要素平面位移中误差不超过图上的 $\pm 0.3\text{ mm}$,该矢量化结果可信。

表 2 GPS 红岛、黄岛观测点与海图上相应位置处的矢量化结果对照表
Table 2 Comparison of the GPS data measured at the observation points in Hongdao and Huangdao with the coordinates vectorized from the corresponding positions on the digitalized charts

项 目	x	y	距离差
GPS 红岛实测坐标	10829578.74	3481595.66	—
红岛矢量化坐标	10829582.04	3481600.92	6.21
GPS 黄岛实测坐标	10829008.57	3464349.94	—
黄岛矢量化坐标	10829014.64	3464353.54	7.06

注:“—”为空缺值

3.2 水边线及岸线提取

选用第 4,5,7 波段进行假彩色合成,利用表 2 中 2005 年 Landsat 影像提取水边线,由潮汐表查得各个影像的过境潮位。研究中的胶州湾水边线提取标准遵循以下规定^[1]:基岩型海岸线直接用图像解译的结果进行对比分析提取;潮汐河口处以河口两侧的海岸线与河口入海口门两岸交点的连线定义为其海岸线;人工堤坝与周围地形形成封闭区的堤坝,以向海的一边作为海岸线的边界。提取的海岸线的坐标采用 WGS-84 坐标系,6°分带的 UTM 投影,中央经线 123°E。胶州湾口取团岛(120°16′58.188″E,36°02′38.796″N)—薛家岛(120°17′14.532″E,36°00′57.528″N)连线(图 2 中的胶州湾口处的黑粗虚线部分)。图 2 中的 1 号线为胶州湾岸线(最外侧线段),由胶州湾 2005 年海图中提取。提取的 2005 年水边线如图 2 所示,分别为:2 号线为 07-28 卫星过境潮位;3 号线为 03-06 高潮迹线;4 号线为 05-09 卫星过境潮位线;5 号线为 03-06 卫星过境潮位线;6 号线为 01-09 卫星过境潮位线。

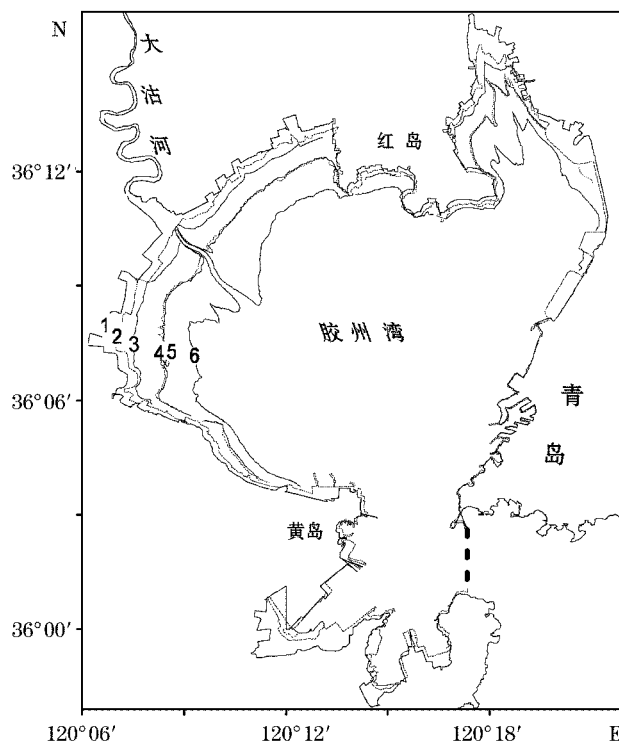


图 2 由 Landsat 卫星影像中提取出 2005 年胶州湾的水边线

Fig. 2 The edge water lines of the Jiaozhou Bay extracted from the Landsat images in 2005

3.3 水边线及岸线数据坐标的转换

由于 1992 年海图数据采用北京 54 坐标系,而海图及卫星图片数据采用 WGS-84 坐标系,为了计算结果有可比性,要把北京 54 坐标系下的数据转换到 WGS-84 坐标系。利用 3 个公共点在 WGS-84 和北京 54 坐标系下的坐标 $(x_{54}, y_{54})^T$ 、 $(x_{84}, y_{84})^T$, 计算出相应坐标系下的空间直角坐标 $(X_{54}, Y_{54}, Z_{54})^T$ 、 $(X_{84}, Y_{84}, Z_{84})^T$; 然后用式(2)坐标转换模型^[8]求得该地区 WGS-84 坐标系与北京 54 坐标系的转换参数: $(X_0, Y_0, Z_0)^T$, $m, \omega_1, \omega_2, \omega_3$ 。

$$\begin{bmatrix} X_{84} \\ Y_{84} \\ Z_{84} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{bmatrix} + (1+m) \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\omega_1 & \sin\omega_1 \\ 0 & -\sin\omega_1 & \cos\omega_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\omega_2 & 0 & -\sin\omega_2 \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin\omega_2 & 0 & \cos\omega_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\omega_3 & \sin\omega_3 & 0 \\ -\sin\omega_3 & \cos\omega_3 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_{54} \\ Y_{54} \\ Z_{54} \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中, $(X_0, Y_0, Z_0)^T$ 为坐标平移量; m 为缩放尺度; $\omega_1, \omega_2, \omega_3$ 为坐标系旋转角。

应用上述转换参数把矢量化后的 1992 年胶州湾水深及岸线数据转换成 WGS84 大地坐标系,墨卡托投影。

3.4 水深数据处理

水深数据点的数量有限,而且只能代表相应坐标处的水深,为了得到胶州湾的水深空间分布,本研究使用空间插值法,求得特定坐标处的水深。空间插值法有反距离加权插值法、多项式插值法、Kriging, Natural-Neighbor 插值法等。Kriging 插值常用来解决空间连续性变化的属性非常不规则的问题^[9], 因此这里使用 Surfer8.0 的 Kriging 插值方法对胶州湾的实测水深数据及海图矢量化后水深数据的进行空间插值^[10], 插值的同时得到水深网格数据,便于计算湾内海水体积。为与影像像元尺寸匹配,选取插值网格间距 ΔL 为 30 m。

采用交叉检验法(Cross-validation)对水深数据空间插值结果进行精度检验,即假设某一位置处的水深

未知,用其它所有水深数据来估算该位置处的水深值。这里进行体积计算,因此采用平均误差来反映插值效果。随机抽取 800 组数据进行交叉检验,水深数据插值后的带来的误差小于《海洋工程地形测量规范》^[11] 规定测深误差,因此插值结果满足计算要求^[12]。

4 胶州湾纳潮量的计算

将坐标转换后的卫星水边线数据及矢量化后的海图水深数据,经插值得到胶州湾的三维地形模型,分别得到高、低潮胶州湾海水的空间分布。应用式(3)计算胶州湾海水体积 V ,应用式(4)计算胶州湾纳潮量 P 。

$$V = \sum_i \Delta S \times (h_i + \Delta h) \quad (3)$$

$$P = V_1 - V_2 \quad (4)$$

式中, V 为海水体积; ΔS 为水深网格面元, $\Delta S = \Delta L^2$; h_i 为网格 i 处的水深值; Δh 为潮位; V_1 为高潮时所容纳的海水体积; V_2 为低潮时容纳的海水体积。

由潮汐表计算可知,胶州湾 1992 年平均高潮潮位为 3.80 m;平均低潮潮位为 1.00 m;2005 年平均高潮潮位为 3.79 m;平均低潮潮位为 1.00 m。经计算,胶州湾 1992 年和 2005 年 0 m 等深线以下海水体积 V_0 、高潮时所容纳的海水体积 V_1 、低潮时容纳的海水体积 V_2 及纳潮量 P 见表 3。

表 3 胶州湾纳潮量($\times 10^8 \text{ m}^3$)
Table 3 Tidal prism in the Jiaozhou Bay($\times 10^8 \text{ m}^3$)

年 份	V_0	V_1	V_2	P
1992	19.2	32.0	22.2	9.8
2005	18.6	30.2	21.3	8.9

5 讨 论

本研究计算结果表明,从 1992—2005 年,14 a 间胶州湾 0 m 等深线以下海水体积下降 $0.6 \times 10^8 \text{ m}^3$;高潮时容纳的海水体积下降 $1.8 \times 10^8 \text{ m}^3$;低潮容纳海水体积下降 $0.9 \times 10^8 \text{ m}^3$,可以看出,胶州湾容纳海水的能力总体呈减少的趋势;而 0 m 线至岸线部分的萎缩是造成胶州湾容纳海水能力下降的主要原因;0 m 线至低潮线部分的减少与低潮线至高潮线部分的减少(即纳潮量的减少)对胶州湾容纳海水能力的减少均有贡献。

本研究计算得出的胶州湾 1992 年纳潮量为 $9.8 \times 10^8 \text{ m}^3$ 、2005 年纳潮量为 $8.9 \times 10^8 \text{ m}^3$,与郑全安等^[13] 计算的胶州湾纳潮量相差 $0.32 \times 10^8 \text{ m}^3$ (1988 年 $9.48 \times 10^8 \text{ m}^3$);与杨世伦等^[2] 的计算结果相差 $0.918 \times 10^8 \text{ m}^3$ (1992 年 $10.718 \times 10^8 \text{ m}^3$);与乔贯宇等^[3] 的计算结果相差 $1.217 \times 10^8 \text{ m}^3$ (2006 年春季纳潮量为 $9.522 \times 10^8 \text{ m}^3$ 、秋季纳潮量为 $10.713 \times 10^8 \text{ m}^3$,平均纳潮量为 $10.117 \times 10^8 \text{ m}^3$);与胡泽建等^① 的计算结果相差 $0.51 \times 10^8 \text{ m}^3$ (1992 年 $9.29 \times 10^8 \text{ m}^3$)。考虑到纳潮量的计算时间,本研究结果与郑全安等与胡泽建等的结果相近,原因是本研究建立起的海湾三维模型是对式(1)的微分近似,不同之处是模型注重海湾的三维结构,而郑全安等与胡泽建等的计算注重对不同潮位海湾面积的测量。

① 胡泽建,边淑华,赵可光,等.半封闭海湾淤积灾害预测关键技术研究——以胶州湾为例.国家海洋局第一海洋研究所.2000.

6 结 论

采用胶州湾卫星影像建立起的潮间带地形数据,与矢量化海图数据结合可以建立胶州湾三维模型,利用该模型可以计算岸线以下任意潮位海湾容纳的海水体积,进而计算出纳潮量。计算结果表明:1992—2005年胶州湾纳潮量减少 $0.9 \times 10^8 \text{ m}^3$,通过与其它纳潮量计算方法相比,该计算方便可靠。海湾三维模型对实际潮间带的模拟精度,取决于卫星影像的数量。

致谢:感谢张建对 GPS 数据的处理工作。

参考文献 (References):

- [1] ZHENG Q A, WU L Y, DAI M Y, et al. Remote sensing research in the Jiaozhou Bay-1. Measurements of the water area and coastline length[J]. Acta Oceanologica Sinica, 1991, 22(3): 193-199. 郑全安, 吴隆业, 戴懋瑛, 等. 胶州湾遥感研究—1. 总水域面积和总岸线长度量算[J]. 海洋与湖沼, 1991, 22(3): 193-199.
- [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): 282-291. 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): 282-291.
- [3] YANG S L, CHEN Q M, ZHU J, et al. Discussion of the tidal prism calculation in a semi-closed bay with the reclaimed fields in the tide-land of Jiaozhou Bay as an example[J]. Ocean Science, 2003, 27(8): 43-47. 杨世伦, 陈启明, 朱俊, 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.
- [4] 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.
- [5] MASON D C, MIN M, DAVENPORT I J, et al. Measurement of recent intertidal sediment transport in Morecambe Bay using the water-line method[J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 1999, 49: 427-456.
- [6] GB/T17160—1997 Specification for digitising of 1:500, 1:1000 and 1:2000 topographic maps[S]. Beijing: China Standard Press, 1998. GB/T17160—1997 1:500, 1:1000, 1:2000 地形图数字化规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 1998.
- [7] GB/T18316—2001 Specifications for inspection, acceptance and quality assessment of digital surveying and mapping products[S]. Beijing: China Standard Press, 2001. GB/T18316—2001 数字测绘产品检查验收规定和质量评定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2001.
- [8] KONG X Y, GUO J M, LIU Z Q. Foundation of geodesy[M]. Wuhan: Wuhan University Press, 2006. 孔祥元, 郭际明, 刘宗泉. 大地测量学基础[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2006.
- [9] CHEN H H, LI X, DING W X. Twelve kinds of gridding methods of Surfer8.0 in isoline drawing[J]. Chinese Journal of Engineering Geophysics, 2007, 4(1): 52-57. 陈欢欢, 李星, 丁文秀. Surfer8.0 等值线绘制中的十二种插值方法[J]. 工程地球物理学报, 2007, 4(1): 52-57.
- [10] BIAN S H, HU Z J, FENG A P, et al. An exploration on the natural morphology and the siltation and erosion development of the Jiaozhou Bay in recent 130 years[J]. Journal of Oceanography of Huanghai&Bohai Seas, 2001, 19(3): 46-53. 边淑华, 胡泽建, 丰爱平, 等. 近 130 年胶州湾自然形态和冲淤演变探讨[J]. 黄渤海海洋, 2001, 19(3): 46-53.
- [11] GB17501-1998 Specification for marine engineering topographic surveying [S]. Beijing: China Standard Press, 1999. GB17501-1998 海洋工程地形测量规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 1999.
- [12] YE X M, JI Y Q, LIU Z L, et al. Topographic mapping method for Jiaozhou Bay physical model[J]. Coastal Engineering, 2008, 27(4): 77-82. 叶小敏, 纪育强, 刘自力, 等. 胶州湾物理模型地形图制作方法[J]. 海岸工程, 2008, 27(4): 77-82.
- [13] ZHENG Q A, WU L Y, DAI M Y, et al. A remote sensing study of Jiaozhou Bay—II. Calculation of dynamical parameters[J]. Acta Oceanologica Sinica, 1992, 23(1): 1-6. 郑全安, 吴隆业, 戴懋瑛, 等. 胶州湾遥感研究—II 动力参数计算[J]. 海洋与湖沼, 1992, 23(1): 1-6.

Calculation of the Tidal Prism in the Jiaozhou Bay by Using Chart Data and Landsat-TM5 Images

LI Jun-yi, JI Yu-qiang, ZHENG Quan-an, WU Yong-ting, CHEN Yi-lan, LIU Zi-li, XIN Hai-ying

(*First Institute of Oceanography, SOA, Qingdao 266061, China*)

Abstract: It is physically sound to compute the tidal prism of a bay by using volume difference between high tide and low tide if a 3D model of the bay is obtained. Herein we take the Jiaozhou Bay as an example and calculate the tidal prism in the bay by using this method. The results show that the tidal prism in the Jiaozhou Bay was $9.8 \times 10^8 \text{ m}^3$ in 1992 and $8.9 \times 10^8 \text{ m}^3$ in 2005, indicating that a decrease of $0.9 \times 10^8 \text{ m}^3$ in the tidal prism occurred in the Jiaozhou Bay from 1992 to 2005.

Key words: tidal prism; Landsat image; Jiaozhou Bay; seawater volume

Received: January 14, 2011