

应用遥感方法研究珠江口东部近几十年的 海岸线变迁

李学杰

(广州海洋地质调查局, 广州 510760)

摘要:河口地区受入海河流和海洋动力的共同作用,其生态环境脆弱,岸线多变。遥感方法对监视岸线变化有效可行,而且成本较低。对伶仃洋 1979 年以来多时相遥感影像提取的岸线,结合地形图取得近几十年来的海岸线变化特征,认为南沙区和蛇口半岛是岸线变化最快的两区,前者岸线变迁以沉积作用和围海造地形成的岸线向海延伸为主,且延伸速率从 1966 年至 2000 年明显增大,但 2000 年后有减缓的趋势;后者主要是码头、池塘等人工建设形成的向海延伸为主。从岸线变迁、悬浮沉积物分布及其沉积作用来看,伶仃水道西侧以沉积为主,可能不适合于大规模的码头建设。珠江口岸线变迁最主要的环境效应是河道变窄,增长,其结果造成排洪不畅,上游的洪涝灾害增多。

关键词:海岸线变迁;遥感;珠江口

1 概述

海岸带是响应全球变化最迅速,生态环境最敏感、最脆弱的地带,也是地质灾害的多发地带。上世纪 90 年代以来,海岸带海陆相互作用(LOICZ)就成为国际地圈生物圈计划(IGBP)的核心计划之一,受到各国的普遍关注^[1-2]。而河口地区经受入海河流和海洋动力的双重作用,其岸线以及海岸环境往往变化更快。

快速的岸线变迁用传统方法是难以及时监测的,遥感方法却能快速、简便地监测其变迁^[3]。因此,遥感方法监测海岸带变化在世界各地得到广泛应用^[4-6]。近年来,在中国的黄河三角洲^[7-9]、渤海湾^[10-11]、福建沿海^[12]、珠江三角洲^[3, 12-15]等地区都相继开展了海岸线变迁的遥感研究。遥感影像的海岸线的主动提取方法也在不断地开发^[16-20]。

珠江是华南最大的河流,全国第三大河流,由东江、西江和北江组成,并分成虎门、蕉门、洪奇门、横门、磨刀门、鸡啼门、虎跳门和崖门等 8 大口门入海(图 1)。本文仅涉及珠江东部的 4 大口门及伶仃洋海。

珠江三角洲是我国经济最发达的地区之一,也是人口最密集的地区之一,同时也是地质灾害的多发区。随着经济的高速发展,给环境带来了巨大的压力,在开发的同时也破坏了环境。珠江口在开发过程中大量的围海造地,已造成排洪不畅,致使珠江流域的洪灾成逐年增加的趋势。因此分析近几十年来的海岸线变迁,研究其变化趋势及其对环境产生的效应是十分重要的。

本文试图通过对 1970 年代以来的卫星遥感影像的解译,结合地形图和海图研究珠江口东部近几十年来的岸线变迁及其环境效应。

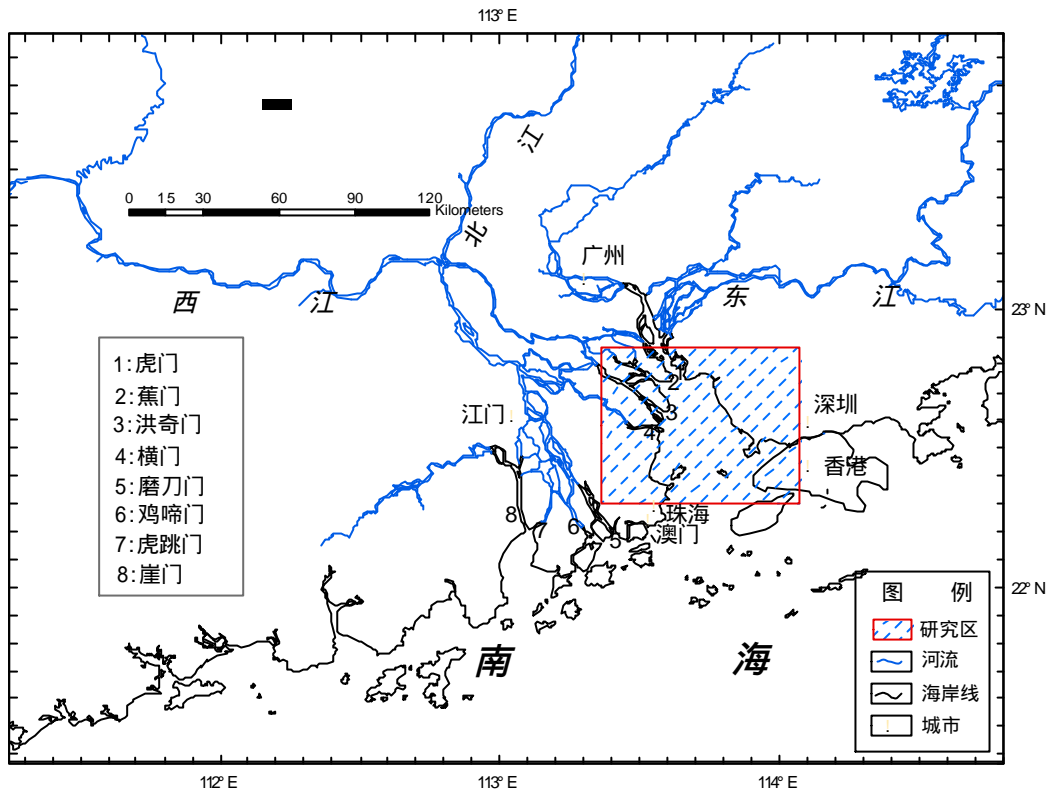


图 1 研究区位置图

2 研究材料与方法

2.1 研究材料

本文以卫星影像为主，包括 1979 年的 Landsat MSS、1990 年的 Landsat TM、2000 年的 Landsat ETM+ 影像及 2003 年的 SPOT 卫星影像。Land MSS 分辨率为 80m，TM 和 ETM+ 的反射波段分辨率为 30m，ETM 全色波段分辨率为 15m；SPOT 反射波段的分辨率为 20m，全色波段的分辨率为 10m（表 1）。同时采用 1966 年出版的地形图和 2004 年的海图（实际测量时间为 2003 年或以前）作对比研究。

表 1 本文采用的卫星影像和地形图一览表

名称	获取日期/出版时间	获取时间(当地)	分辨率/比例尺	潮位(内伶仃岛)/cm	潮位差/cm
Landsat ETM+ 卫星影像	2000-9-14	10:40	30/15m	-267	0
Landsat TM 卫星影像	1990-10-15	10:20	30m	-212	55
Landsat MSS 卫星影像	1979-10-19	10:10	80m	-229	38
SPOT 卫星影像	2003-11-7	9:16	20/10m	-226	41
地形图	1966		1:100,000		
海图	2004		1:150,000		

2.2 研究方法

研究方法包括图像的预处理、海岸线的提取与叠加以及综合研究。预处理方法包括影像的几何校正、地形图和海图的投影转换等。

Landsat MSS、TM 和 ETM+已有坐标系,为 UTM WGS 84,而 SPOT 影像没有,为了便于对比将 SPOT 影像和地形图均以 ETM 影像为基础,在 ERDAS 中参照造到 UTM WGS 84 系统。

海岸线可以看作是水陆的分界线,有时在遥感合成影像上不易识别,特别在一些养殖区。因此结合红外波段分割影像和进行土地覆盖分类影像拾取。因为红外波段,水体反射的 DN 值很低,可以利用该特征将它与其它土地覆盖类型分开,从而确定海岸线位置。土地覆盖类型分类,综合所有波段的信息,能较好地水体分出。

最后将所提取的海岸线在 ArcGIS 中叠加成图,进行综合解释。

3 近几十年来的海岸线变迁

将卫星影像和地形图上提取的岸线叠加后(图 2),可以看出近 40 年来,珠江口伶仃洋的海岸线发生了很大的变化。总体以人工围海造地、自然沉积以及海岸开发产生的向海延伸为主,海岸侵蚀后退极少,而且变迁的速度有越来越快的趋势。其中以西北部的南沙区和东部的蛇口半岛变化最快,而且代表不同的变化类型。重点研究该两区的的变化。

由于 4 个时相的卫星影像在获取时的潮位相差很小,最大只有 55cm(表 1),且本区极少坡度很小的潮坪。因此潮差所引起的岸线位置差异在精度范围内,可以忽略不计,无需进行潮汐校正。

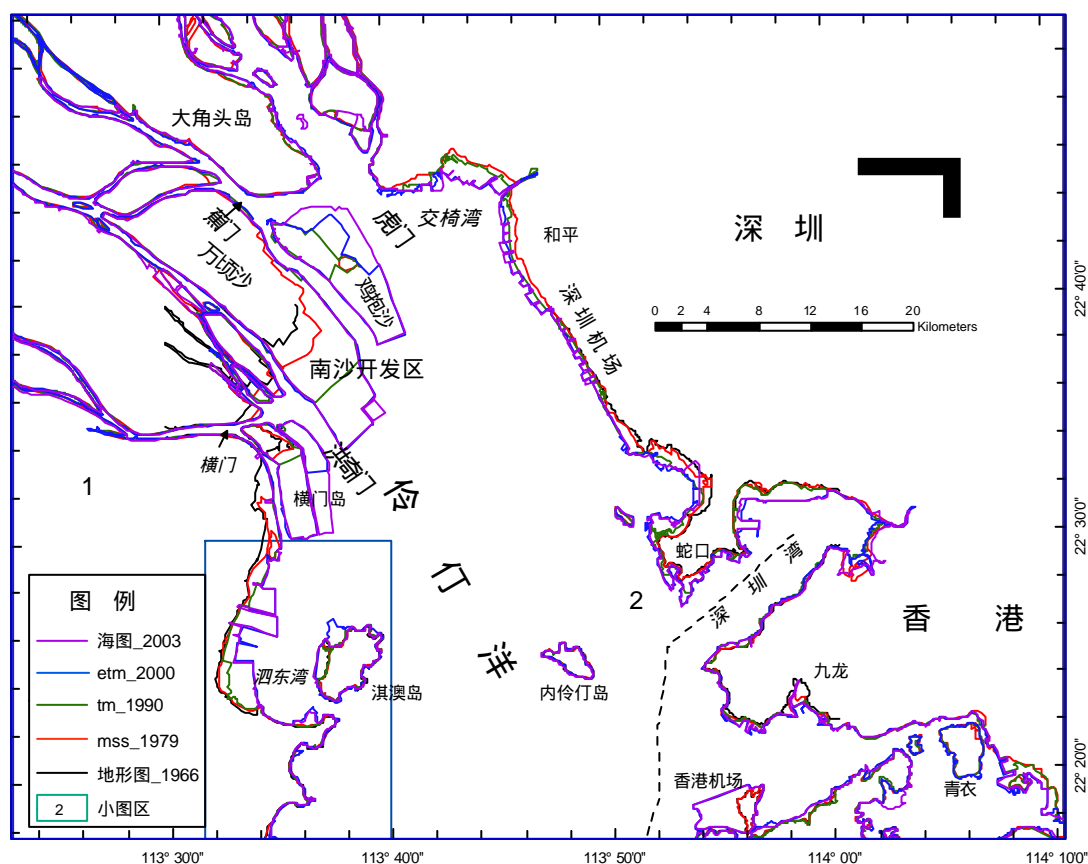


图 2 珠江口近几十年来的海岸线变迁

3.1 南沙区海岸线变迁

本区包括了珠江出海的四大口门，也是广州近年来投资开发的重点地区，并于 1993 年经国务院批准设立广州南沙经济技术开发区。本区海岸线变迁最显著，主要是河口淤积、人工围海造地形成的海岸线向海方向延伸，尤其是鸡抱沙、万顷沙和横门岛（图 3）。

1979 年鸡抱沙岛仅 1.1 km²，虎门和蕉门在大角头两侧入海，出口通畅；到 1990 年增大到 11.8 km²，1979—1990 年，平均增长率为 0.97 km²/a，主要向西北方向延伸，致使蕉门延长。2000 年增大到 36.2 km²，1990—2000 年，平均增长率为 2.44 km²/a，主要向东北方向生长。2003 年海图显示的该岛面积达 47.4 km²，2000—2003 年，平均增长率为 3.73 km²/a（表 2）。

万顷沙岛面积也由 1979 年的 92.5 km²，分别增大到 1990、2000 年和 2003 年的 123.4 km²、141.0 km² 和 142.3 km²，1979—1990、1990—2000 和 2000—2003 年的平均增长率分别为 2.81 km²/a、1.76 km²/a 和 0.43 km²/a（表 2）。其增长速率在下降，主要是由于鸡抱沙的增长，挡住了其西北来沙，沉积速率下降。

横门岛由 1979 年的 4.6 km²，增大到 1990 年的 7.4 km²，其平均增长率为 0.25 km²/a；到 2000 年的 27.7 km²，1999—2000 年的平均增长率为 2.03 km²/a；2003 年 35.5 km²，2000—2003 年的平均增长率为 0.43 km²/a。

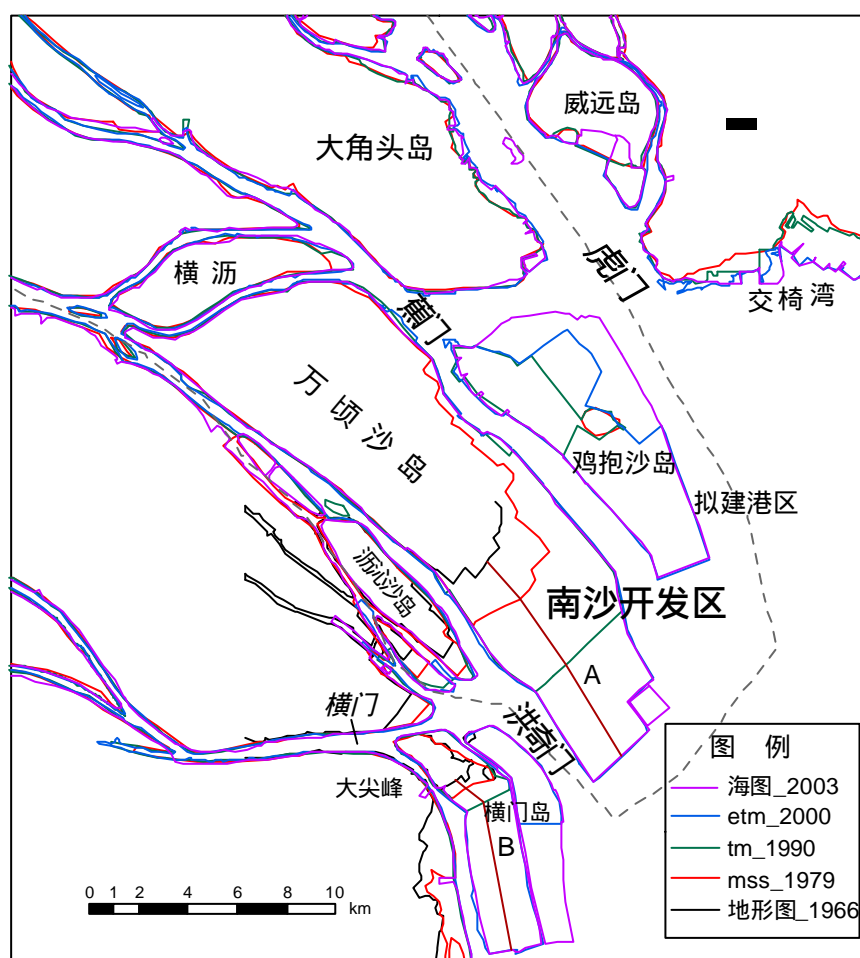


图 3 南沙区海岸线变迁

表 2 伶仃洋一些岛屿的面积变化

资料来源	时间	鸡抱沙岛 / km ²		万顷沙岛 / km ²		横门岛 / km ²		总体 / km ²	
		面积	年均增长 ^①	面积	年均增长	面积	年均增长	面积	年均增长
Landsat MSS 影像	1979	1.1		92.5		4.6		98.2	
Landsat TM 影像	1990	11.8	0.97	123.4	2.81	7.4	0.25	142.6	4.02
Landsat ETM 影像	2000	36.2	2.44	141.0	1.76	27.7	2.03	204.9	6.23
海图	2003 ^②	47.4	3.73	142.3	0.43	33.5	0.43	223.2	6.01

① 从上一影像的时间以来 ② 该海图出版时间 2004，测量时间为 2003 或以前

表 3 万顷沙 A 线和横门岛 B 线的变化

时间	万顷沙 A 线		横门岛 B 线	
	总量/m	年增长/m	总量/m	年增长/m
1966-1979	1900	146	520	40
1979-1990	3280	298	790	72
1990-2000	4310	431	5990	599

鸡抱沙岛在不同时期沿不同方向伸长，而万顷沙岛和横门岛基本上是向东南伸长，因此 A、B 两线基本反映了它们的线性伸长速率（图 3）。万顷沙岛的 A 线从 1966—1979 年，伸长 1900m，年伸长率 146m，1979—1990 年，伸长 3280m，年伸长率 298m，是前 10 年的 2 倍；1990—2000 年，伸长 4310m，年伸长率达 431m，是 1979—1990 年增长率的 3 倍。从 1966 年以来，该岛的伸长速率不断增大。同样横门岛的 B 线，从 1966—1979 年，年增长只有 40m，1979—1990 年，年伸长率为 72m，增长近 1 倍；1990—2000 年增长更快，增长率比最初 10 年提高一个数量级。

总体看，上世纪 80 年代和 90 年代，这些岛屿的平均增长速率有增大的趋势，但 2000 年之后开始减缓（表 2）。

3.2 蛇口半岛区海岸线变迁

蛇口半岛是深圳重要的加工和贸易区，从 1980 年深圳成为特区后，得到了迅速的发展。本区最显著的变化是上世纪 80 年代以来蛇口大量的码头建设形成的岸线向海延伸。1966—1979 年，蛇口地区岸线只有少量自然变化，赤湾一些地方有约 80m 的向海延伸，另一些地方有大约数十米的侵蚀。1979—1990 年，蛇口港发展最快的时期，建了大量的码头，最大延伸达 1100m。码头建设几乎覆盖了整个南部岸线。1990—2000 年，几乎所有码头均进行了扩建，尤其是 A、B 和 C 码头（图 4，最大伸长量分别达 1400m、1200m 和 1000m。2000 年之后，变化不大。

前湾是浅水区，1966—1979 年，变化不大，基本保持自然状态，主要围了些鱼塘等养殖区，最大伸长在中部，为 680m（图 4）。1979—1990 年，建设了大量的鱼塘，遍布整个海湾，平均伸长约 560m，最大达 900m 以上。1990—2003 年，鱼塘建设更多，最大伸长量大 2.0km 以上。

后湾与前湾相似，1979 年以前基本保持自然状态；1979—1990 年，建设了少量的小码头和鱼塘；1990 年之后，开始大规模的填海筑路和码头建设，平均延伸达 600m 以上。

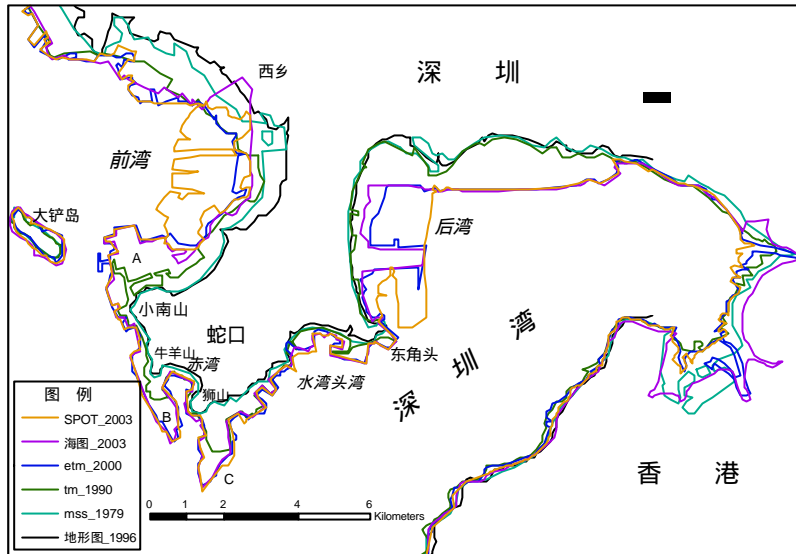


图 4 蛇口半岛区的海岸线变迁

4 海岸线变迁的环境效应

随着珠江口的淤积和围海造地的增多，岸线不断向海延伸，其结果是河道不断延长的同时，也不断变窄。图 5 是 1966 年以来横门和洪奇门口的岸线变迁，随着万顷沙岛向前延伸近 10km(表 3)，洪奇门口也相应的延伸了约 10km。同样随横门岛的增长，横门口也延长约 10km，并它与洪奇门会合。更重要的是万顷沙与横门岛之间小岛：沥沁沙、冈瓦沙、燕子沙等的增长，使洪奇门河口变窄，同样横门口在增长的同时也变窄(图 5、6)。

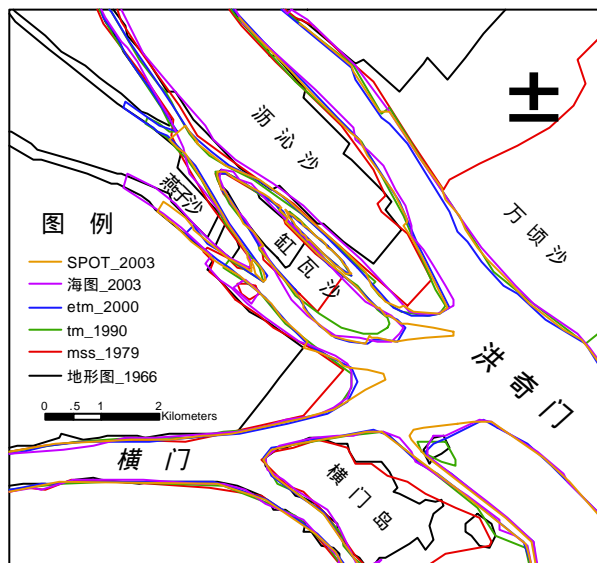


图 5 1966 年以来横门和洪奇门口的岸线变迁

不仅在入海口的河道在变窄增长，部分内河道也变窄。横沥岛东侧的伸长，使横门的河道变窄近一半，其它部位也有不同程度的变窄现象(图 7)。河道变窄的结果是排洪不畅，珠江上游洪涝增多。2005 年广西梧州的大洪灾，显然与河口排洪不畅有很大的关系。

据统计，位于西部的蕉门、洪奇门和横门的径流量占 4 口门的 65.4%，但输沙量占 81.9%^[21]，因此虎门的含沙量相对较少。虎门的伶仃水道是广州港和黄埔港的主要通道。而且受地球自转的影响，珠江口入海的悬浮沉积物主要往西南运移^[14]。虎门的悬沙也主要分布在伶仃水道的西侧^[22]，这在卫星影像中可以清楚的识别(图 8)。因此，伶仃洋的西侧成为主要的沉积区，东侧却相反。这就是珠江口岸线变迁的主要控制因素，使得珠江口的西侧各岛屿不断向前伸长，而东岸变化不大，甚至局部出现侵蚀现象。这也是珠江口东侧有不少天然深水良港，如香港维多利亚港、深圳蛇口港等，在西侧却很少的原因。

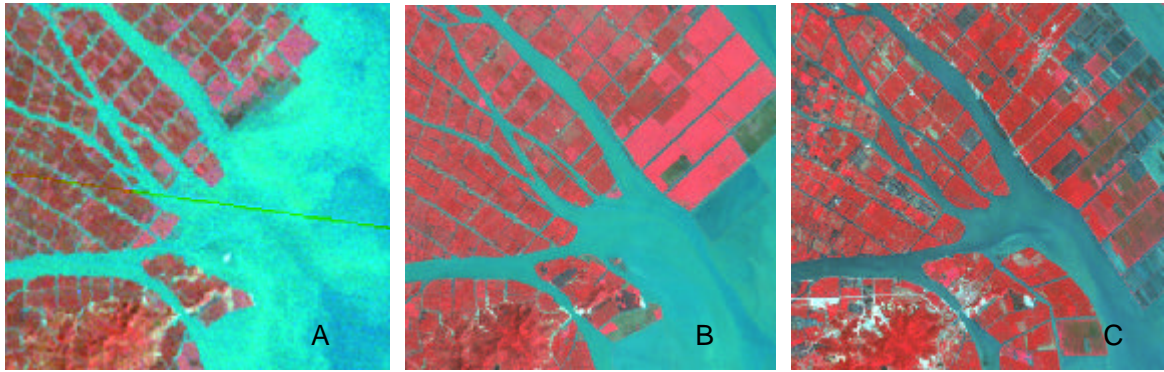


图6 卫星影像显示的洪奇门与横门口的变迁
A: Landsat MSS, 1979; B: Land TM, 1990; C: Landsat ETM, 2000

鸡抱沙, 作为广州南沙的重点开发地区, 将要在其南部的西北侧兴建大型码头。该区虽位于虎门, 尽管其悬沙比其它3个口门少, 但位于伶仃水道的西侧, 亦属沉积区。近几十年来的海岸线变迁也表明该区为主要沉积区域之一, 而且鸡抱沙浅滩附近属咸淡水混合区, 大量泥沙在此絮凝落淤^[23], 沉积速率较快。因此进行大型码头建设可能不是很好的选择。

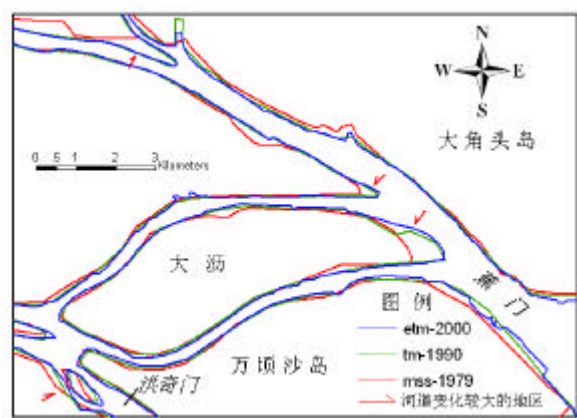


图7 1979年以来大沥岛附近的河道变化

5 结论

对伶仃洋 1970 年代以来的卫星遥感影像进行海岸线的提取, 并结合 1966 年出版的地形图和最新的海图, 分析近几十年来该区的海岸线变迁及其效应, 取得以下初步结论:

1) 1966 年以来伶仃洋的海岸线变迁表明, 最显著的变化出现在南沙区和蛇口半岛。前者主要由于自然淤积和围海造田产生的岸线向海方向迁移, 而且淤积的速率在 1966~2000 年明显增大, 2000 年后有减缓的趋势。后者主要由于 1980 年之后, 大量的建设, 尤其是码头建设形成的岸线向海延伸。

2) 本区海岸线变化的最重要的环境效应之一是河道延长和变窄, 其结果是排洪不畅, 致使上游的洪涝越来越严重。

3) 从海岸变迁、悬浮物分布及其沉积作用看, 伶仃水道西侧的岛屿是沉积区, 尽管虎门来沙相对较少, 但鸡抱沙东侧仍以沉积为主, 因此在进行海岸带开发时应充分考虑这些特

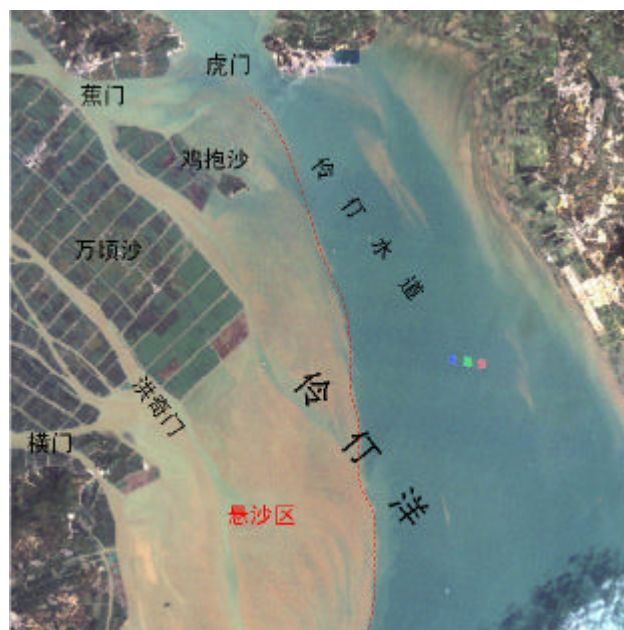


图8 珠江口的悬浮物分布 (1990 年 Landsat TM 影像 3-2-1 波段合成)

征,如在河口的西侧进行大量的码头建设可能不是很合适。

参考文献

- [1] 张永战,朱大奎,1979. 海岸带 - 全球变化研究的关键地区[J]. 海洋通报,(3): 69~80
- [2] 戴志军,李春初,陈锦辉,2004. 华南海岸带海陆相互作用研究[J]. 地理科学进展,23(5): 10~16
- [3] Zhu Xiaoge, 2001. Remote sensing monitoring coastline change in Pearl River estuary [A]. The 22nd Asian Conference on Remote Sensing [C], Singapore.
- [4] Chen L C, Rau J Y, 1998. Detection of shoreline changes for tideland area using multi-temporal satellite images [J]. Int. J. Remote Sensing, 19(17): 3383-3397
- [5] El-Asmar H M, 2002. Short term coastal changes along Damietta-Port Said coast northeast of the Nile Delta, Egypt [J], Journal of Coastal Research, 18(3): 433-441
- [6] Shaghude Y W, Wann's K O, Lundin B, 2003. Assessment of shoreline changes in the western side of Zanzibar channel using satellite remote sensing [J]. Int. J. Remote Sensing, 24(23): 4953-4967
- [7] Yang Xiaojun, Damen M C J, van Zuidam R A, 1999. Satellite remote sensing and GIS for the analysis of channel migration changes in the active Yellow River Delta, China [J]. JAG, 1(2): 146-157
- [8] Li A, Li G, Cao L, Zhang Q, Deng S, 2004. The coast erosion and evolution of the abandoned lobe of the Yellow River Delta [J]. Acta Geographica Sinica, 59(5): 731-737
- [9] 常军,刘高焕,刘庆生,2004. 黄河三角洲海岸线遥感动态监测[J]. 地球信息科学,6(1):94~98
- [10] 姜义,李建芬,康慧,钟新宝. 2003. 渤海湾西岸近百年来海岸线变迁遥感分析[J]. 国土资源遥感,4期: 54~59
- [11] 黄海军,樊辉,2004. 1976年黄河改道以来三角洲近岸区变化遥感监测[J]. 海洋与湖沼,35(4): 306~314
- [12] 孙美仙,张伟,2004. 福建省海岸线遥感调查方法及其应用研究[J]. 台湾海峡,23(2): 213~219
- [13] Li X, Yeh A G, 1998. Principal component analysis of stacked multi-temporal images for the monitoring of rapid urban expansion in the Pearl River Delta [J]. Int. J Remote Sensing. 19(8): 1501-1518.
- [14] Xue Huijie and Chai Fei, 2001. Coupled Physical-Biological Model for the Pearl River Estuary: A Phosphate Limited Subtropical Ecosystem [A]. In: the Proceedings of the 7th International Conference on Estuarine and Coastal Modeling [C], St. Petersburg, FL, November, 2001
- [15] Seto K C, Woodcock C E, Song C, Huang X, Lu J and Kaofmann R K, 2002. Monitoring land-use change in the Pearl River Delta using Landsat TM [J]. Int. J. Remote Sensing, 23(10): 1985-2004
- [16] Semenov S M, Abushenko N A, Chichigin A S, 1999. Discrimination of shorelines on satellite images from boundary-point and halftone information [J]. Mapping Sciences and Remote Sensing, 36(4): 245-255
- [17] Li Ron, Di Kaichang, Ma Ruijing, 2003. 3-D shoreline extraction from IKONOS satellite imagery. The 4th Special Issue on C & MGIS [J], J. Marine Geodesy, 26(1/2): 107-115
- [18] Liu H, Jezek K C, 2004. Automated extraction of coastline imagery by integrating Canny edge detection and locally adaptive thresholding methods [J]. Int. J. Remote Sensing, 25(5): 937~958.
- [19] Chong A K, 2004. A case study on the establishment of shoreline position [J]. Survey Review, 37(293):542-551
- [20] 吕京福,印萍,边淑华,庄振业,2003. 海岸线变化速率计算方法及影响要素分析[J]. 海洋科学进展,21(1): 51~59
- [21] 古秋森,1990. 伶仃洋遥感应用研究[M]. 北京:科学出版社
- [22] 刘沛然,黄先玉,任杰,闻平,2000. 珠江口伶仃洋泥沙运动的环流动力作用[J]. 台湾海峡,19(3): 304~309
- [23] 温令平,2001. 伶仃洋悬浮泥沙遥感定量分析[J]. 水运工程,(9): 9~17