



# 两时期海岸线间变迁区域自动构建算法

田善君<sup>1,2</sup> 吴冲龙<sup>2</sup>

1 山东交通学院交通土建工程学院,山东 济南,250357

2 中国地质大学(武汉)计算机学院,湖北 武汉,430074

**摘要:**当前对于涉及两个时期间海岸线蚀退型和淤积型区域的构建研究尚缺乏较为自动准确的方法。将两个时期的海岸线视为有向且无自相交的曲线,相互打断为若干有向折线段。通过总结各类型区域边界的构成规律,提出两时期海岸线间变迁区域的自动构建算法。构成变迁区域边界的海岸线折线段总是两个时期间隔出现,且有相同的起点或终点,移除构成某一变迁区域的所有折线段后,对其他区域的提取没有影响。据此规律,提取某一变迁区域边界上的所有折线段,利用其中的点构建区域,根据早期海岸线的方向,判断变迁区域的具体类型。以实际海岸线数据进行验证实验,结果符合预期。该算法可根据两个时期的海岸线,快速准确地提取出由水域变为陆地的淤积型区域和由陆地变为水域的蚀退型区域,为分析海岸线的时空变化特性提供辅助作用。

**关键词:**海岸线;海岸线变迁;变迁区域;区域构建;计算机应用

**中图法分类号:**P208; P229.3

**文献标志码:**A

海岸线变迁对沿海城市建设、居民生活、水产、航运等有重大影响。研究海岸线变迁,掌握海岸线变迁规律,能科学合理地部署城市经济建设工作<sup>[1,2]</sup>。当前,与海岸线相关的研究工作涉及海岸线轮廓线或相关参数的提取<sup>[3-7]</sup>以及海岸线轮廓线形态的处理<sup>[8,9]</sup>,主要是着眼于某一区域,分析该区域海岸线变迁情况<sup>[10-20]</sup>。在评估海岸线变迁情况时,普遍单独分析计算各时期海岸线各项参数,包括海岸线长度变化及变化速率、海岸带相关研究区域面积的变化、海岸带各区域前滨、后滨沉积物体积的变化以及用于评估海岸线形状复杂程度的分形维数等,然后进行纵向对比以反映海岸线变迁程度。终止点分析、方差计算等也可作为评价参数。

综合来看,确定海岸线各分段的淤积蚀退情况和具体的淤积蚀退区域,是当前研究的重点。但现有的研究在涉及淤积、蚀退区域判别提取时,常采用目判识别法。在有些文献中,将海岸线与预定基准线成区面积的变化作为评估海岸线变化情况的参数。这一数值实际上是淤积区域与蚀退区域面积相减的结果,某些情况下并不能如实反

应海岸线的变化情况。如果能将淤积区域与蚀退区域准确地提取出来,然后分别计算面积,则能更加明确地反映海岸线变化情况。

本文提出了一种变迁区域的自动构建算法,是针对某一研究区域内给定的两个不同时期的海岸线,构建并标记所有的变迁区域。

## 1 海岸线成区规律

本文所指海岸线主要包括大陆岸线以及与其他时期大陆岸线相交的岛屿岸线,将某一区域某一时期的海岸线视为由一条不封闭的折线以及若干封闭的折线段组成。两不同时期的海岸线叠加在一起,两条折线相互打断为若干折线段,继而构成若干封闭的区域。若某一区域内部不存在其他海岸线,即不包含其他由海岸线折线段构成的子区域,则称其为单元区域。

根据实际意义,单元区域可划分为陆地变迁为水域的蚀退型区域、水域变迁为陆地的淤积型区域以及始终保持为陆地或水域的稳定型区域等3种,称蚀退型区域和淤积型区域为变迁区域。

如图 1 所示,绿色和红色折线段分别为某地早期和晚期海岸线,海岸线的左侧为陆地,右侧为水域。该两时期海岸线共同构成若干单元区域,其中红色区域为蚀退型区域,绿色区域为淤积型区域,黄色区域为稳定型区域。



图 1 两个时期的海岸线共同构成若干单元区域

Fig.1 Unit Areas Constructed by Two Period Coastline

### 1.1 海岸线的方向

同一时期的海岸线由若干海岸线折线段组成,每条海岸线折线段由若干节点组成,节点的排列顺序决定了海岸线折线段的方向。岛屿岸线通常是封闭的,其方向按节点的排列顺序,可划分为顺时针或逆时针。

对于一般情况下不封闭的大陆岸线,其必定属于某一完整陆地边界封闭折线段的一部分。判断大陆岸线的方向时,可用虚拟的折线段补全大陆岸线所属陆地边界封闭折线段,根据补全封闭折线段上点的排列顺序,将大陆岸线的方向划分为顺时针和逆时针。

### 1.2 海岸线的自相交

在处理海岸线数据时,会发现某些海岸线存在自相交现象,即某一海岸线折线段重复经过某一节点两次或以上。

现实中的海岸线不可能存在自相交现象,造成海岸线数据自相交现象的原因多为数据异常或精度过低。因此,在提取和构建变迁区域前需要对海岸线数据进行判断和处理,解决自相交问题。

### 1.3 变迁区域构成规律

在分析海岸线变化情况时,以蚀退型区域和淤积型区域为主,稳定型区域作为区域构建时的干扰项存在,一般不讨论其构成规律及提取算法。变迁区域的构成规律有如下几个结论。

结论 1 某一个单元区域只能具备蚀退型、淤积型、稳定型中的 1 种类型,而不可能兼有其中的两种或 3 种类型。

结论 2 某两组不同时期海岸线的方向相同,任

选其构成的某一单元区域边界上两条相邻折线段,若两条折线段有相同的起点或终点,则该区域必定是变迁区域。

结论 3 某两组不同时期海岸线的方向相同,任选其构成的某一变迁型单元区域边界上相邻的两条海岸线折线段,两条海岸线折线段必定有着相同的起点或终点。

结论 4 某两组不同时期海岸线的方向皆为顺时针,其构成的某一变迁型单元区域边界封闭折线段上的点参考边界上较早时期的海岸线重新排列后,若边界封闭折线段的方向为顺时针,则该单元区域为蚀退型区域,反之为淤积型区域。

几个结论的证明方法类似,现给出结论 2 的证明过程。

先假设两条折线段分别为  $AC$ 、 $BC$ ,二者有相同的终点  $C$ ,其所属单元区域为  $M$ ,如图 2 所示。区域  $M$  由折线段  $BC$  和  $AC$  以及若干条未知的折线段(以虚线表示)共同构成。折线段  $BC$  和  $AC$  的方向如图 2 中箭头所示,分别在各自所属海岸线上保持原来的顺时针或逆时针性质不变。则必定可以在折线段  $AC$  上找到一点  $A_1$ ,在折线段  $BC$  上找到一点  $B_1$ ,使得封闭折线段  $A_1CB_1A_1$  所围成的区域  $N$  足够小,无任何现有海岸线折线段上的点位于区域  $N$  内部,如图 3 所示。

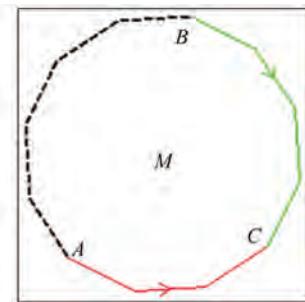


图 2 某单元区域边界上的折线段  $AC$ 、 $BC$

Fig.2 Polyline  $AC$ ,  $BC$  on a Unit Area's Edges

若  $AC$ 、 $BC$  为岛屿岸线的一部分,则必定属于一个封闭封闭折线段;若  $AC$ 、 $BC$  为大陆岸线的一部分,则原大陆岸线必定属于某一完整陆地的边界封闭折线段。

设海岸线折线段的方向为顺时针,则只关注区域  $N$ ,以虚线  $CA_1$ 、 $CB_1$  补充  $A_1C$ 、 $B_1C$  所属封闭折线段剩余部分。 $A_1C$  和  $B_1C$  为要证明情况下的两条海岸线折线段,并且在当前证明条件下,方向为  $A_1$  到  $C$ ,  $B_1$  到  $C$ 。 $CA_1$  和  $CB_1$  为两条假想的海岸线折线段,方向为  $C$  到  $A_1$ ,  $C$  到  $B_1$ ,用以补齐  $A_1C$  和  $B_1C$  所处的闭合海岸线折线段。

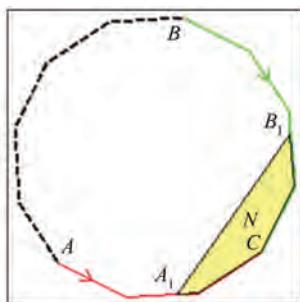


图3 无海岸线在其内部的足够小的区域N示意

Fig.3 Sketch Map of Small Enough Area N without Coastline Inside

区域N内无任何其他海岸线折线段经过,因此CA<sub>1</sub>必定不与A<sub>1</sub>B<sub>1</sub>、B<sub>1</sub>C相交,CB<sub>1</sub>必定不与A<sub>1</sub>B<sub>1</sub>、A<sub>1</sub>C相交,如图4所示。

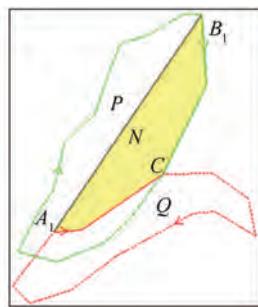


图4 补全后的A<sub>1</sub>C、B<sub>1</sub>C所在海岸线封闭折线段

Fig.4 Imaginary Whole Coastline Rings Containing A<sub>1</sub>C, B<sub>1</sub>C

封闭折线段A<sub>1</sub>CA<sub>1</sub>、B<sub>1</sub>CB<sub>1</sub>所围成的区域Q、P在各自的时期保持陆地形态,Q为折线段A<sub>1</sub>C和补全A<sub>1</sub>C所处海岸线闭合折线段的假想折线段CA<sub>1</sub>构成。同理P为B<sub>1</sub>C和假想的折线段CB<sub>1</sub>构成。区域N属于P而不属于Q,可知区域N必定由陆地变迁为水域,或是由水域变迁为陆地,为变迁区域。

区域N为单元区域M的一部分,由结论1可知,单元区域M的类型唯一,为变迁区域。

两海岸线折线段有相同的起点时,可有相同的结论。

至此,结论得证。

## 2 变迁区域构建算法

两组不同时期、方向皆为顺时针的海岸线,相互打断得到若干海岸线折线段,步骤如下。

1)任取其中一条海岸线折线段L<sub>1</sub>,其必定参与构成一个变迁区域U,如图5所示。

2)过L<sub>1</sub>的终点能且仅能找到一条海岸线折线段L<sub>2</sub>,与当前折线段的时期不同,且有相同的

起点或终点。

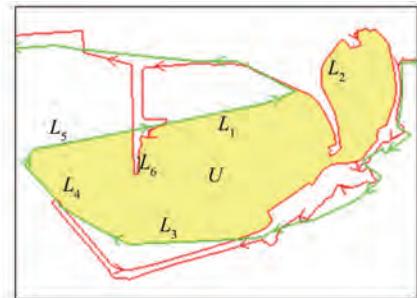


图5 变迁区域的边界构成

Fig.5 Edges of a Changed Area

3)L<sub>2</sub>亦在区域U的边界上。

4)根据L<sub>2</sub>,可找到下一条海岸线折线段L<sub>3</sub>,与L<sub>2</sub>在区域U的边界上相邻,且与L<sub>1</sub>不同。

5)重复执行步骤4),可以找出构成区域U边界的所有海岸线折线段。

6)区域U具体为蚀退型区域还是淤积型区域可根据结论4进行判定。

7)将构成区域U边界的海岸线折线段移除后,不影响对其他变迁区域的提取。

由此可以得出两时期海岸线间变迁区域构建的简要步骤为:首先逐个处理变迁区域,提取构成变迁区域边界的所有折线段,提取出的折线段,两个时期交替邻接,且相邻的折线段有相同的起点或终点;以提取出的折线段上的点构建多边形区域,并以早期海岸线折线段为标准调整方向,使多边形区域的边界有顺时针和逆时针两种情况;若变迁区域边界为顺时针,则当前区域为蚀退型区域,否则为淤积型区域。

## 3 实际海岸线变迁实验

编写程序功能模块,以实际海岸线为数据源,验证本文算法原理的准确性和可行性。利用两组不同时期的海岸线相互打断得到的若干海岸线折线段,准确地提取出其间所有的蚀退型区域和淤积型区域。

实验计算机配置为:Intel® Core™ i5-3210M 2.50 GHz CPU, 4.00 GB 内存, 操作系统为 Windows 7 Ultimate。功能模块的实现基于 QuantyView 2D 软件平台进行二次开发。同时,借助该软件实现海岸线数据的预处理,包括检测并去除海岸线中的自相交现象、调整海岸线的方向、两个时期的海岸线相互打断等。

选取某沿海城市4个时期的大陆岸线以及与其他时期大陆岸线相交的岛屿岸线,每个时期的

海岸线划为一组,每一组海岸线需要清除其中的自相交现象,并将方向调整为顺时针。

分 3 次进行实验,每次选取其中两组海岸线,定较早时期海岸线的颜色为红色,较晚时期海岸线的颜色为绿色,以两组海岸线的共同交点打断海岸线,得到若干有向的海岸线折线段。

利用实现的功能模块提取蚀退型区域和淤积型区域,并将蚀退型区域标记为红色,淤积型区域标记为绿色。实验结果如图 6 所示。区域 *a*、*b* 分别为两个时期的海岸线构成的蚀退型区域和淤积型区域。

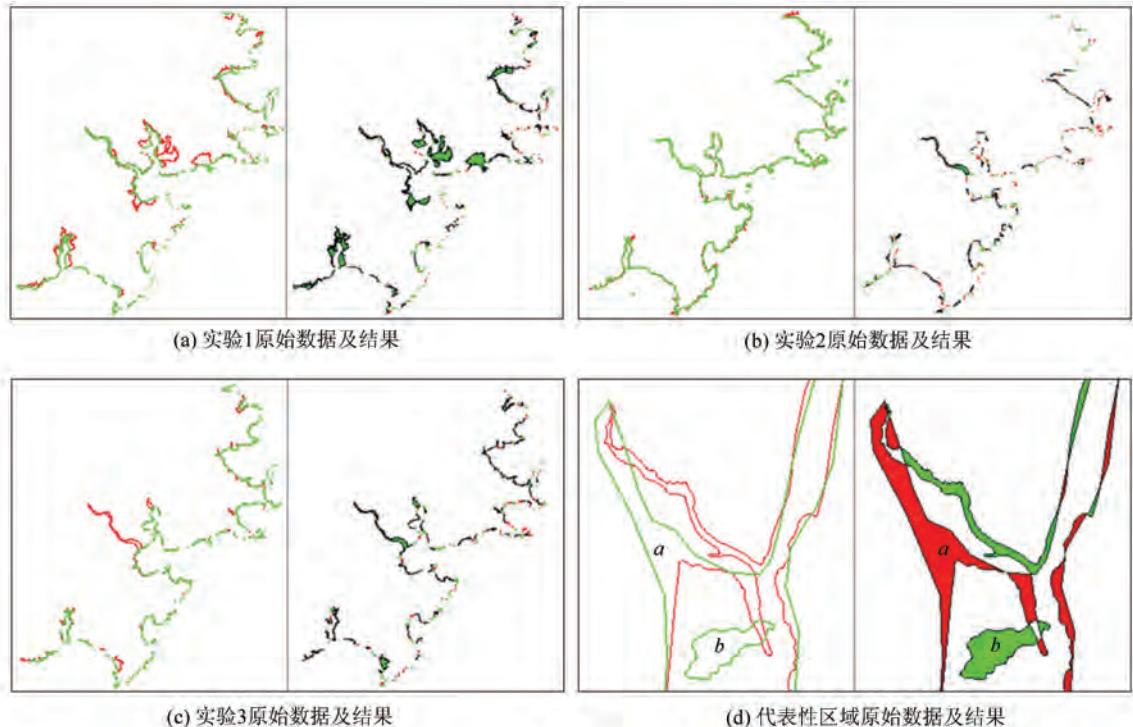


图 6 变迁区域构建实验

Fig.6 Construction Test of Changed Area

图 6(a)~图 6(c)左侧显示了两组不同时期海岸线的分布情况,早期海岸线标记为红色,晚期海岸线标记为绿色。右侧为根据两组海岸线提取构建完成的蚀退型区域和淤积型区域,蚀退型区域标记为红色,淤积型区域标记为绿色。

为展现局部细节,于图 6(d)中选取某两组海岸线中有代表性的部分及其成区情况。目测可见,以区域 *a* 为代表的蚀退型区域和区域 *b* 为代表的淤积型区域与右侧展示的自动识别结果一致。此外,岛屿岸线与大陆岸线共同参与构成的蚀退型和淤积型区域也被准确地识别提取,在一定程度上体现了本文算法的适用性。

影响算法稳定性的主要因素是每次实验中早期和晚期海岸线上节点的数量以及海岸线相互打断形成折线段的数量。评估算法的主要参数有构建得到的蚀退型区域与稳定型区域的数量,以及成区准确率和成区所用时间。表 1 中统计了 3 次实验中的相关数据。

线条件下取得了较好的效果,各蚀退型区域与淤积型区域可准确识别提取,在主流配置电脑上的耗时也在合理范围内。

表 1 实验参数统计

Tab.1 Statistic of Construction Test

| 参数     | 实验 1   | 实验 2   | 实验 3   |
|--------|--------|--------|--------|
| 早期节点数  | 11 173 | 15 092 | 23 398 |
| 晚期节点数  | 15 092 | 18 907 | 14 143 |
| 折线段数量  | 2 792  | 2 360  | 4 446  |
| 蚀退区数量  | 601    | 503    | 1 017  |
| 淤积区数目  | 603    | 505    | 1 022  |
| 成区准确率  | 100%   | 100%   | 100%   |
| 构建时间/s | <1     | <1     | <1     |

## 4 结语

本文以大陆岸线及与大陆岸线相交的岛屿岸线为研究目标,在视海岸线具备方向、无自相交现象且相互打断的前提下,总结变迁区域的构成规律,提出了蚀退型区域与淤积型区域的提取构建

实验与统计结果显示,本文算法在实际海岸

方法。以实际海岸线数据进行验证实验,结果表明,实验结果符合预期,该算法具有较高的准确性及适用性,可以快速准确地构建出某一地区两个时期海岸线间的变迁区域,对于分析总结海岸线变化规律有一定的辅助作用。

影响变迁区域构建速度的主要因素是海岸线折线段的检索速度,算法的进一步优化可从该角度入手,设计更好的数据结构及管理方法,以满足更高量级的应用需求。

## 参 考 文 献

- [1] Cai Zejian, Wu Shuguang. Remote Sensing Analysis of the Coastline Development in Jiangsu Province [J]. *Remote Sensing for Land & Resources*, 2002, 53(3): 19-23(蔡则健, 吴曙光. 江苏海岸线演变趋势遥感分析[J]. 国土资源遥感, 2002, 53(3):19-23)
- [2] Sheng Jingfen, Zhu Dakui. Discussion About Coastline Erosion and Management [J]. *Marine Science Bulletin*, 2002, 21(4): 50-57(盛静芬, 朱大奎. 海岸侵蚀和海岸线管理的初步研究[J]. 海洋通报, 2002, 21(4):50-57)
- [3] Raju A, Dwarakish G S, Venkat R D. Automatic Shoreline Detection and Change Detection Analysis of Netravati-Gurpur River Mouth Using Histogram Equalization and Adaptive Thresholding Techniques [J]. *Aquatic Procedia*, 2015(4): 563-570
- [4] Liu Yanxia, Huang Haijun, Qiu Zhongfeng, et al. Detecting Coastline Change from Satellite Images Based on Beach Slope Estimation in a Tidal Flat [J]. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2013, 23: 165-176
- [5] Liu Pengcheng. Feature Extraction of Coastline Contour Base on Level Set Theory [J]. *Remote Sensing for Land and Resources*, 2015, 27(2): 75-79(刘鹏程. 基于水平集理论的海岸线轮廓特征提取[J]. 国土资源遥感, 2015, 27(2):75-79)
- [6] Ding Zhilei, Wang Zhiyi, Xu Suning. Extraction of Coastline and Accuracy Detection in Muddy Coast Zone of Jiangsu Province [J]. *South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology*, 2014, 12(6): 292-296(丁志磊, 王志一, 徐素宁. 苏北淤泥质海岸线提取及精度检验[J]. 南水北调与水利科技, 2014, 12(6):292-296)
- [7] Liu Shanwei, Zhang Jie, Ma Yi, et al. Coastline Extraction Method Based on Remote Sensing and DEM [J]. *Remote Sensing Technology and Application*, 2011, 26(5): 613-618(刘善伟, 张杰, 马毅, 等. 遥感与DEM相结合的海岸线高精度提取方法[J]. 遥感技术与应用, 2011, 26(5):613-618)
- [8] Chen Huirong, Peng Rencan, Zheng Yidong, et al. Coastline Generalization Based on Skeleton Line of Curve Bends [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2011, 36(12): 1 418 - 1 422(陈惠荣, 彭认灿, 郑义东, 等. 以弯曲骨架线为化简指标的海岸线综合方法[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2011, 36(12):1 418-1 422)
- [9] Liu Huan, Xie Sande, Wang Fang. Study on the Method of Automatic Cartographic Generalization of Coastline [J]. *Journal of Geomatics Science and Technology*, 2010, 27(3): 225-228(刘欢, 谢三德, 王芳. 海岸线自动综合方法综述[J]. 测绘科学技术学报, 2010, 27(3):225-228)
- [10] Bharathvaj S A, Salghuna N N, Aravind Bharathvaj A A, et al. Shoreline Change Analysis for Northern Part of the Coromandel Coast [J]. *Aquatic Procedia*, 2015, 4: 317-324
- [11] Moussaïda J, Foraa A A, Zourarabb B, et al. Using Automatic Computation to Analyze the Rate of Shoreline Change on the Kenitra Coast, Morocco [J]. *Ocean Engineering*, 2015, 102(1): 71-77
- [12] Li You, Wang Yanglin, Peng Jian, et al. Research on Dynamic Changes of Coastline in Shenzhen City Based on Landsat Image [J]. *Resources Science*, 2009, 31(5): 875-883(李猷, 王仰麟, 彭建, 等. 深圳市1978年至2005年海岸线的动态演变分析[J]. 资源科学, 2009, 31(5):875-883)
- [13] Thomas M, Hildegard W. Multi-decadal Shoreline Changes on Takú Atoll, Papua New Guinea: Observational Evidence of Early Reef Island Recovery After the Impact of Storm Waves [J]. *Geomorphology*, 2016, 257(15): 75-84
- [14] Anne-Lise M, Joanna E B. A 150-year Record of Coastline Dynamics Within a Sediment Cell: Eastern England [J]. *Geomorphology*, 2012, 179: 168-185
- [15] Jabaloy-Sánchez A, Francisco J L, Antonio A, et al. Six Thousand Years of Coastline Evolution in the Guadaleo Deltaic System (Southern Iberian Peninsula) [J]. *Geomorphology*, 2014, 206(1): 374-391
- [16] Xu Jinyong, Zhang Zengxiang, Zhao Xiaoli, et al. Spatial-Temporal Analysis of Coastline Changes in Northern China from 2000 to 2012 [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2013, 68(5): 651-660(徐进勇, 张增祥, 赵晓丽, 等. 2000-2012年中国北方海岸线时空变化分析[J]. 地理学报, 2013, 68(5):651-660)
- [17] Liu Peng, Wang Qing, Zhan Chao, et al. Quantitative Analysis of Coastline Change in the Yellow River Delta from 1959 to 2002 [J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2015, 46(3): 585-594(刘鹏, 王青, 詹超, 等. 黄河三角洲海岸线变化定量分析[J]. 海洋学报, 2015, 46(3):585-594)

- 王庆, 战超, 等. 基于 DSAS 和 FA 的 1959-2002 年黄河三角洲海岸线演变规律及影响因素研究[J]. 海洋与湖沼, 2015, 46(3):585-594)
- [18] Bumshick S, Kyuhan K. Estimation of Shoreline Change Using High Resolution Images [J]. *Procedia Engineering*, 2015, 116: 994-1 001
- [19] Jiménez M A, Simó G, Wrenger B, et al. Morning Transition Case Between the Land and the Sea Breeze Regimes [J]. *Atmospheric Research*, 2016, 172-173(15): 95-108
- [20] Sun Caizhi, Li Mingyu. Spatial-Temporal Change of Coastline in Liaoning Province and Its Driving Factor Analysis [J]. *Geography and GeoInformation Science*, 2010, 26(3): 63-67(孙才志, 李明显. 辽宁省海岸线时空变化及驱动因素分析[J]. 地理与地理信息科学, 2010, 26(3):63-67)

## Changed Area Construction Based on Two Period Coastlines

TIAN Shanjun<sup>1,2</sup> WU Chonglong<sup>2</sup>

1 School of Civil Engineering, Shandong Jiaotong University, Jinan 250357, China

2 School of Computer Science, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

**Abstract:** There is important theoretical and practical significance to study the change of coastline. Currently, in order to complete coastline analysis work, it is short of the automatic and accurate algorithms which can construct and mark all the changed areas including erosional and increasing types between two period coastlines. We consider that all the coastlines distributed in the two periods have directions which are determined by the order of the points on the coastline, and don't intersect with themselves. Coastlines can only intersect with the ones in the other period which have different direction and will be cut into some polylines. By summarizing the distribution rules of polylines on the boundary of the changed area with different type, we get a number of conclusions and put forward the algorithm which can construct changed areas between two period coastlines automatically and mark them with different type exactly. The coastline polylines constituting edges of changed area always arise a period next to another which has the same start or end point. Removing all the polylines constituting a changed area, it will not affect the others. According to the rules, we can extract the polylines on a changed area's edge and build the area using the points. Judge the type of the changed area by examining the direction of earlier coastline which can be divided into clockwise or anticlockwise. We complete the programming of the function module. Several experiments are designed and implemented with some real coastline data collected in the actual projects. To test the algorithm is reliable or not, we compare the boundary and type of the changed area generated automatically by the algorithms with fact. And the results show that the method is effective and feasible. By our method, the erosional areas which changed into water from land and the accretion areas which changed into land from water can be constructed exactly and automatically according to two period coastlines. This provides assistances for spatial and temporal analysis of coastline change.

**Key words:** coastline; coastline change; changed area; area construction; computer application

**First author:** TIAN Shanjun, PhD, lecturer, specializes in the theories and methods of geoscience information system. E-mail: tsj1644@163.com

**Corresponding author:** WU Chonglong, professor. E-mail: wucl@cug.edu.cn

**Foundation support:** PhD Research Startup Foundation of Shandong Jiaotong University; Science and Technology Program of Transportation Department of Shandong, No. 2017B98.