

泉州湾海岸线变迁的分形分析

李朦, 林从谋, 黄逸群

(华侨大学 土木工程学院, 福建 厦门 361021)

摘要: 为判断泉州湾海岸线变迁所处的状态, 引入分形分析法, 对泉州湾海岸线的分维值进行计算. 采用时间序列上的泉州湾海岸线数据, 运用海岸线分形网格计算方法, 计算了泉州湾总体海岸线及各分岸段海岸线分维数, 分析了总体海岸和各分岸段分维数变化过程, 并试探地将分维变化值的大小作为判断海岸线冲淤严重程度依据. 结果表明: 泉州湾海岸线可用分维作其良好的表征参数; 从海岸线分维值的变化趋势可判断出海岸线变迁是否处于动态平衡中的稳定状态, 泉州湾分维变化幅值大于 0.035, 表示海岸线冲淤程度严重.

关键词: 泉州湾; 海岸线; 分维变化; 临界值

中图分类号: P 737.1

文献标志码: A

1967 年, Mandelbrot^[1] 提出海岸线的分形理论. Philips^[2], Jiang 等^[3], Zhu 等^[4] 分别计算出美国、中国等区域的海岸线分维数. Tanner 等^[5] 利用 GIS 方法计算美国 4 种类型海岸的岸线分维数. 朱晓华等^[6] 研究了江苏省淤泥质海岸线及其他不同性质海岸的分形特征差异. 戴志军等^[7] 利用海岸分维数分析了华南弧形海岸的海岸演化稳定性, 将华南弧形海岸分为负动态平衡, 极端动态平衡, 正动态平衡 3 种平衡状态. 高俊国等^[8] 用分形分析法初步探讨了海湾冲淤演化的预测, 认为 $D=1$ 表明海岸处于平衡状态, 而 D 变大表明海岸线向着与平衡相反的方向发展, 即冲刷的继续冲刷, 淤积的继续淤积. 叶晓敏等^[9] 对胶州湾进行了分形分析, 认为大规模海岸工程造成海岸线分维减小, 小规模海岸工程造成海岸线分维增大. 倪俊勇等^[10] 分析了自然灾害发生时间序列上的分形特征. 本文以分维变化幅值为依据, 完成海岸线冲淤程度的分类.

1 数据来源与分析方法

1.1 数据来源与研究区段

为了不受不同年份的等温度、气候的影响, 不同年份也基本使用相近月份的数据集. 采用时间序列上的泉州湾海岸线遥感解译资料, 即 1994—2011 年经纬度范围内的泉州湾海岸线数据集, 比例尺取为 1:50 000. 鉴于海岸线分形计算对岸线数据获取空间分辨率的依赖, 为便于时间序列上海岸线分维数对比, 选取 TM 遥感提取的海岸线数据. 提取过程如下: 数据读入; 图像预处理; 开窗后纠正图像; 标准假彩色合成; 解译则采用人工目译的方法. 人工目译的精度一般在 80% 以上, 即在缺乏实测数据时, 普遍认同的精度高的屏幕数字化(相当目视判读)结果可作为不同方法精度评判的基础, 因此, 也无需统计面积数据进行检验等后续工作.

图 1 为解译结果. 从图 1 可知: 不同年份解译结果一致. 将泉州湾海岸线分段: 前见村-秀涂村为 AC 段, 府西路与丰海路的交叉点-金琦村为 DE 段, 洋埭新村-祥芝镇为 FI 段. 又将 AC 段细分: 前见村-玉前村为 AB 段; 玉前村-秀涂村为 BC 段. FI 段细分: 洋埭新村-水头村为 FG 段; 水头村-万寿塔为 GH 段; 万寿塔-祥芝镇为 HI 段.

收稿日期: 2014-05-31

通信作者: 林从谋(1957-), 男, 教授, 博士, 主要从事隧道与岩土工程设计与施工技术的研究. E-mail: cmlin@hqu.edu.cn.

基金项目: 国土资源部公益性行业科研专项项目(201211039)

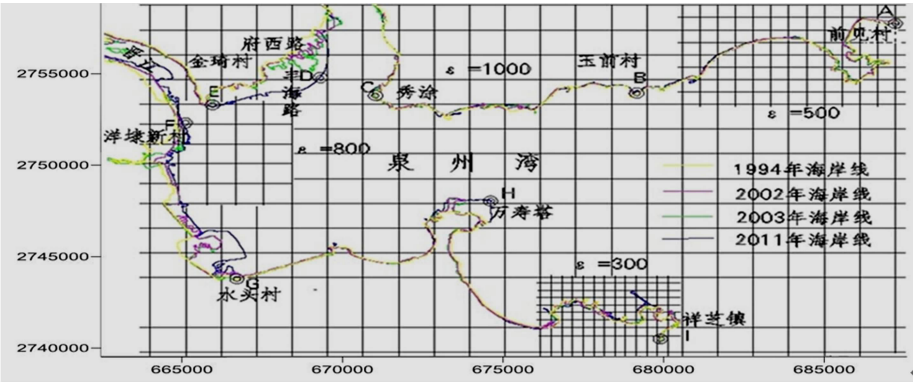


图 1 1994—2011 年泉州湾海岸线变迁

Fig. 1 Change of Quanzhou Bay coastline from 1994 to 2011

1.2 分析方法

在 GIS 软件平台上,采用网格法计算泉州湾海岸线的分维数. 网格法的基本思想是作正方形网格覆盖海岸线(图 1),按照网格边长 $\epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon_3, \dots, \epsilon_k$, 分别统计出被覆盖海岸线的 $N(\epsilon_1), N(\epsilon_2), N(\epsilon_3), \dots, N(\epsilon_k)$, 将其回归, 即

$$\lg N(\epsilon_k) = -D \lg \epsilon_k + A.$$
 (1)

式(1)中: D 为计算出海岸线分维数; A 为待定常数.

2 分维值计算

根据网格法测得的数据,作 $\lg \epsilon$ 与 $\lg N(\epsilon_k)$ 的散点图. 使用最小二乘线性回归分析法对公式进行拟合,建立 $\lg \epsilon$ 与 $\lg N(\epsilon_k)$ 双对数图,得到各年各段海岸线分形维数及 $\lg \epsilon$ 与 $\lg N(\epsilon_k)$ 的相关系数,如图 2 所示. 1994—2011 年间的线性方程分别为 $y = -1.017x + 4.462, y = -1.043x + 4.527, y = -1.003x + 4.383, y = -1.062x + 4.512$; DE 段 1994—2011 年间的线性方程分别为 $y = -1.059x + 3.872, y = -1.039x + 3.829, y = -1.027x + 3.835, y = -1.020x + 3.601$; FI 段 1994—2011 年间的线性方程分别为 $y = -1.031x + 4.69, y = -1.058x + 4.746, y = -1.025x + 4.655, y = -1.075x + 4.764$.

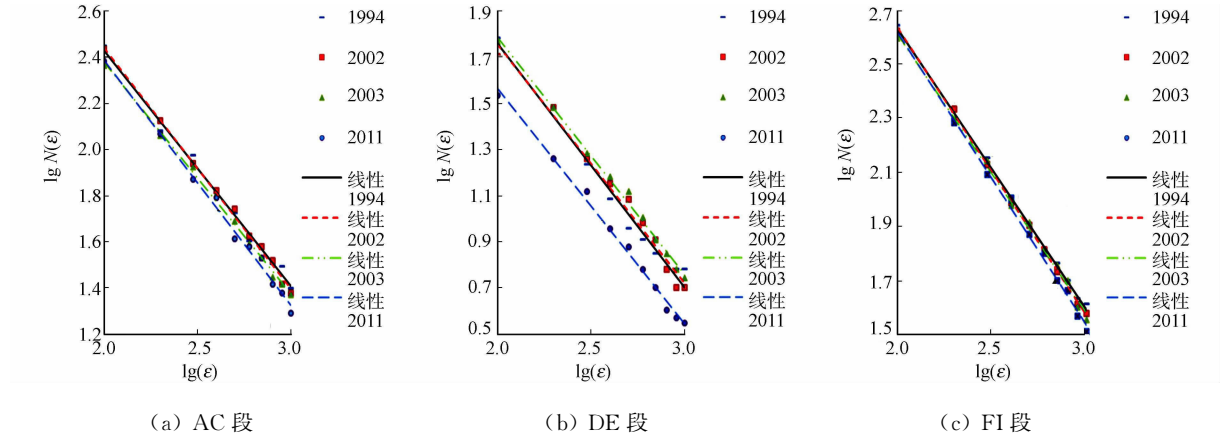


图 2 泉州湾不同年份海岸线分维计算

Fig. 2 Fractal dimension calculation of the coastline in different years

3 不同岸段分维变化规律分析

1994—2011 年,泉州湾各分段海岸线整体分维变化,如表 1 所示. 由表 1 可知:各时间序列及各岸段的海岸线分维数回归方程相关系数计算值 R^2 均在 0.99 以上,因此,分维数可作为表征其特征的良好参数.

泉州湾海岸线的分形维数 D 在不同岸段的分维变化也是不同的,AC,FI 段的分维都先后经历了增

大(1994—2002 年)、减小(2002—2003 年)、再增大(2003—2011 年)的 3 个变化阶段,而 DE 段分维则一直处于减小阶段(1994—2011 年).

表 1 1994—2011 年泉州湾各分段海岸线整体分维变化

岸段	1994 年		2002 年		2003 年		2011 年	
	D	R^2	D	R^2	D	R^2	D	R^2
AC	1.010	0.992	1.017	0.994	1.003	0.997	1.062	0.994
DE	1.059	0.984	1.039	0.985	1.027	0.995	1.020	0.995
FI	1.031	0.998	1.039	0.998	1.025	0.996	1.075	0.997

从变化幅度来看,AC,FI 段在 2003—2011 年间的变化幅度相对较大,而 DE 段的变化幅度则是逐年减弱.据戴志军等^[7],高俊国等^[8]对海岸线稳定状态的分类,易知 AC,FI 段在 1994—2003 年间处于稳定动态平衡状态;而 2003 年后由于海岸工程活动等的影响力、潮汐或海浪侵蚀等自然灾害已超出了海岸线维持稳定平衡状态的能力,故在分维表现为变化幅度较大.DE 段一直向稳定平衡状态靠拢,虽然 DE 段一直处于淤积状态,但每年的淤积程度相对于上一年是越来越小,表现为分维值的变化越来越小.由此,据分维的变化幅度可推知作用力(泉州湾周围海岸工程活动等的影响力、潮汐或海浪侵蚀等自然灾害)是否已超出了承载力(海岸线维持本身稳定平衡状态的能力),这对于政府加强对泉州湾海岸的管理有一定的帮助.

不妨假设两年间的海岸线分维变化幅度大于某一特定的值,即表示该段海岸线的人类活动影响力已超出海岸维持自身稳定平衡状态的能力该特定的值,因所用的分维值计算方法或所计算图形的不同而存在精度上的差异,故取值有待进一步的探讨和研究.文中临界值为 0.035.

同理,各分段海岸线局部分维,如表 2 所示.

表 2 泉州湾各分段海岸线局部分维

岸段	1994 年		2002 年		2003 年		2011 年	
	D	R^2	D	R^2	D	R^2	D	R^2
AB	1.008	0.996	1.067	0.993	1.002	0.996	1.062	0.990
BC	1.042	0.985	1.005	0.999	1.004	0.991	1.062	0.994
FG	1.045	0.994	1.131	0.994	1.079	0.993	1.078	0.998
GH	1.020	0.995	1.023	0.995	1.017	0.998	1.071	0.996
HI	1.031	0.998	1.042	0.993	1.007	0.995	1.078	0.990

根据表 2,可求出相邻年间分维变化值,相邻年间泉州湾各分段海岸线局部分维变化值,如表 3 所示.由表 1,2 可知:泉州湾海岸线各局部分维之间,局部分维与整体分维之间具有相关性,满足分形地貌中的合并原理.即分形集子集 S_1 和 S_2 有效组成分形集 S ,而两分形子集的分维数分别为 D_1 和 D_2 ,且 $D_1>D_2$,则分形集 S 分维介于 D_1 和 D_2 之间.2011 年,泉州湾 FI 海岸段 $D=1.075$,介于 FG,GH 段之间.HI 段的 $D_1=1.078,D_2=1.071,D_3=1.078$.同理,其他年份的 AC 段,FI 段海岸线经计算,也均满足合并定理.

以 AC 段为例分析各分段及各子分段的分维变化关系,AC 段 1994—2002 年间分维变化小的原因在于 AB 段的分维变很大,而 BC 段的分维变很小;2002—2003 年间分维变化的不大的原因在于 AB 段的分维变很大,而 BC 段的分维几乎没变化;2003—2011 年间分维变化大的原因在于 AB,BC 段的分维都变很大.

表 3 相邻年间泉州湾各分段海岸线局部分维变化值

Tab. 3 Part fractal dimension variations of the coastline of the Quanzhou Bay in 2003 and 2011			
岸段	D		
	1994—2002 年	2002—2003 年	2003—2011 年
AC	0.007	−0.014	0.059
DE	−0.020	−0.012	−0.007
FI	0.008	−0.014	0.050
AB	0.059	−0.065	0.060
BC	−0.037	−0.001	0.058
FG	0.086	−0.052	−0.001
GH	0.003	−0.006	0.054
HI	0.011	−0.035	0.071

4 结 论

1) 分维可作为表征泉州湾海岸线自相似特征的良好参数,且分维遵循分形地貌学中的合并原理,即整体分维介于局部分维最大值与最小值之间。

2) 泉州湾不同岸段的分维变化趋势有所不同. 前见村-秀涂村岸段、洋埭新村-祥芝镇岸段的分形都经历了增大、减小再增大的变化,且变化幅值呈增大趋势,即这两段都整体上处于动态平衡的不稳定状态;而府西路与丰海路的交叉点-金琦村岸段的分形则一直处于减小阶段,且变化幅值呈减小趋势,即该段整体上处于动态平衡的稳定状态。

3) 泉州湾不同岸段的年分维变化幅度较大,表示该年段内海岸工程活动、潮汐或海浪侵蚀等自然灾害较严重. 泉州湾以 0.035 的分维变化幅值为临界值,则 1994—2002 年的前见村-玉前村段,玉前村-秀涂村段,洋埭新村-水头村段,2002—2003 年的前见村-玉前村段,水头村-万寿塔段,万寿塔-祥芝镇段,2003—2011 年的前见村-玉前村段,玉前村-秀涂村段,水头村-万寿塔段,和万寿塔-祥芝镇段均属于海岸工程活动较多、潮汐或海浪侵蚀等自然灾害较严重的岸段,应得到相应的重视。

参考文献:

[1] MANDELBROT B. How long is the coast of Britain? statistical self-similarity and fractional dimension[J]. Science, 1967,156(3775):636-638.

[2] PHILIPS J D. Spatial analysis of shoreline erosion Delaware Bay[J]. Annals of the Association of Amerian Geographers,1986,76(1):50-62.

[3] JIANG Jun-wei,PLOTNICK R E. Fractal analysis of the complexity of united states coastlines[J]. Mathematicalal Geology,1998,30(5):535-546.

[4] ZHU Xiao-hua,CAI Yun-long,YANG Xiu-chun. On fractal dimensions of China's coastline[J]. Mathematical Geology,2004,36(4):447-451.

[5] TANNER B R,PERFECT F,KELLEY J T. Fractal analysis of Maine's glaciated shoreline tests established coastal classification scheme[J]. Journal of Coastal Research,2006,22(5):1300-1304.

[6] 朱晓华,王建,陈霞. 海岸线空间分形性质探讨:以江苏省为例[J]. 地理科学,2001,21(1):70-76.

[7] 戴志军,李春初,王文介,等. 华南弧形海岸的分形和稳定性研究[J]. 海洋学报,2006,28(1):176-180.

[8] 高俊国,边淑华. 分形分析法用于海湾冲淤演化预测的初步探讨[J]. 海洋科学进展,2004,22(3):334-339.

[9] 叶晓敏,纪育强,郑全安,等. 胶州湾海岸线历史变迁的分形分析[J]. 海洋科学进展,2009,27(4):495-501.

[10] 倪俊勇,刘希林. 自然灾害发生时间序列的分形特征及 R/S 分析[J]. 自然灾害学报,2005,7(1):37-41.

Fractal Analysis of Quanzhou Bay Coastline Change

LI Meng, LIN Cong-mou, HUANG Yi-qun

(College of Civil Engineering, Huaqiao University, Xiamen 361021, China)

Abstract: With the introduction of fractal analysis, the fractal dimension of Quanzhou Bay coastline is calculated, to determine the state of Quanzhou Bay shoreline change. According to time series data, based on the coastline fractal grid method, the coastline fractal dimension of overall Quanzhou Bay shoreline and branch coast Quanzhou Bay shoreline is discussed, the change process of the overall coastal and sub-coastal section fractal dimension is analyzed, the value variation of the fractal dimension is tentatively regarded as a judgment based on the severity of coastline erosion. The results show that: the fractal dimension is a benign characterization parameters of Quanzhou Bay shoreline; whether coastline change is in dynamic equilibrium steady state or unstable state can be judged by the trend of the fractal dimension change of the coastline; the variation of amplitude of the fractal dimension of Quanzhou Bay is greater than the magnitude of change 0.035, indicating the degree of shoreline erosion and siltation is serious.

Keywords: Quanzhou Bay; coastline; fractal dimension change; critical value