

快速城市化地区海岸线分维动态演变研究

——以深圳市为例

李猷^{1,2}, 王仰麟¹, 彭建¹, 刘珍环^{1,2}, 吴健生²

(1. 北京大学 城市与环境学院, 北京 100871; 2. 北京大学深圳研究生院 城市人居环境科学与技术重点实验室, 广东 深圳 518055)

摘要: 以快速城市化地区深圳市为研究区域, 以1978、1986、1995和2005年4期Landsat MSS/TM影像为数据源, 利用阈值结合NDVI指数法提取海岸线, 计算海岸线分维数, 系统分析了深圳市多期海岸线分维变化特征, 并初步揭示快速城市化地区海岸线分维变化机制, 为进一步掌握快速城市化地区人类活动对海岸带变化影响进行了探索与总结。研究表明: (1) 不同类型海岸的海岸线分维不同, 由基岩海岸、人工海岸到淤泥质海岸递减; (2) 研究时段内, 深圳市东海岸海岸线分维总体降低, 西海岸总体上升; (3) 人类活动对海岸线分维变化影响显著。人类活动强度与海岸线分维变化程度呈正相关, 人类活动方式包括滩涂围垦和填海造地对海岸线的分维变化幅度影响不同, 其中滩涂围垦使海岸线分维变化幅度较小, 填海造地使海岸线分维变化幅度显著。

关键词: 海岸线分维; 动态演变; 人类活动

中图分类号: K903; P737.11

文献标识码: A

文章编号: 1001-5221(2009)05-0429-05

分形理论加深了人们对自然界不规则几何体的认识, 使人们能够借助事物内部的自相似性认识混乱现象中的精细结构^[1]。Mandelbrot B.B^[2]指出需要寻找一个表征海岸线性质的客观量度, 并由此较为系统地提出了分形与分维的概念^[3-7]。此后, 国内外相关研究计算了不同地区海岸线分维数: Paar^[8]计算了Croatian island海岸线分维; Phillips^[9]认为分维是表征海岸线侵蚀变化特征的良好参量, 并指出海岸线分维的增长表征了海岸线不规则程度的提高; H.Qiu^[10]指出不同的海岸形成过程导致海岸线分维不同, 同一条海岸线在不同发育时期, 分维会相应地出现变化; 冯金良等^[11]计算了渤海湾岸线分维特征并探讨了海岸线分维的地质意义; 周江等^[12-13]根据分形插值函数采用组件GIS技术对天津市海岸线进行了实际模拟。朱晓华在该领域进行了大量的系统研究: 宏观尺度上分析了中国海岸线分维特征^[14]并与美澳海岸线进行对比^[15], 探讨了基岩海岸线分形机制^[16], 并对海岸线类型进行了分形判定, 认为在同比例尺地图上, 基岩海岸分维数大于平原海岸分维数^[3]; 在方法上, 指出量规法计算的海岸线分维数大于网格法的计算结果^[17], 并对江苏省海岸线进行了分形研究与模拟^[4-5], 认为海岸线分维值的影响因素包括地质构造、岩性、物质组成和海岸动力^[18]。

综合相关研究进展可以看出, 有关多期海岸线分维变化的研究目前鲜有涉及^[4,19]。除自然因素之外, 滩涂围垦和填海造地等人类活动降低了海岸线的稳定性^[20-21], 是可能导致海岸线分维变化的重要因素, 但目前还未进行有关人类活动对海岸线分维变化影响的探讨。对于正在经历快速城市化过程的沿海地区, 人类活动显著改变海岸线空间形态, 利用多期分维变化研究人类活动对海岸线变化的影响是探讨人类活动对海岸带生态环境作用的重要途径。因此, 相关工作亟待开展。

本文选择受人类活动影响显著的快速城市化地区深圳作为研究区, 利用阈值结合NDVI指数法分别提取1978、1986、1995和2005年深圳市海岸线, 在前人研究的基础上, 分析深圳市多期海岸线分维变化特征, 探讨海岸线分维变化的影响因素, 为进一步认识海岸线分形特征, 掌握人类活动对海岸线变化影响的内在规律进行探索。

1 研究区与研究方法

1.1 研究区及数据来源

深圳市位于广东省南部沿海, 陆地范围为22°26'59"—22°51'49"N, 113°45'44"—114°37'21"E, 东临大亚湾, 西濒珠江口, 北靠东莞和惠州, 南接香港新界。地貌类型多样, 由南至北分别为半岛海

收稿日期: 2009-04-27; 修订日期: 2009-07-07

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(40635028); 国家自然科学基金青年项目(40801066); 中国博士后科学基金项目(20070420001; 200801017)

作者简介: 李猷(1986—), 男, 北京人, 硕士研究生, 主要从事景观生态与土地利用研究, (E-mail) sabonis_ren@163.com。

湾、海岸山脉及丘陵谷地，地势东南高、西北低，属亚热带海洋性季风气候，雨量丰沛。改革开放以来，大规模工业化和城市化建设使深圳在短时间内迅速完成从传统农业地区向新兴高速城市化地区转变，同时土地资源的稀缺性业已成为深圳经济增长的重要限制性因素^[22]。随着城市用地的不断扩张，深圳市不可避免地海洋索取土地资源。截至2000年，深圳已填海造地26.8 km²用于发展海港和城市建设^[23]，大规模海岸建设工程使海岸线在短时期内发生显著变化。

本研究采用的主要数据源，包括1978年Landsat MSS影像(79 m)，1986、1995和2005年Landsat TM影像(30 m)，以及相关统计资料。

1.2 研究方法

1.2.1 海岸线提取方法 图像预处理，包括辐射校正和几何校正，使地面控制点误差小于1个像元。对1978年MSS影像进行30 m重采样。鉴于Landsat卫星过境为当地时间上午10时左右，经查验潮站历史潮位数据(赤湾站)，卫星过境当天上午9-11时，研究区处于高潮位，因此所用卫星影像可用来提取海岸线。

灰度分割是对一幅灰度取值在gmin(最小灰度值)和gmax(最大灰度值)之间的图像确定灰度阈值T(gmin < T < gmax)，像元灰度值大于阈值的为一类，小于阈值的为一类。确定某类地物灰度值的变化范围，在ERDAS8.7中建立模型^[24]：

$$p'(x, y) = \begin{cases} a, p(x, y) \leq T \\ b, p(x, y) > T \end{cases} \quad (1)$$

式中，P(x, y)为像元(x, y)的初始灰度值，P'(x, y)为像元(x, y)的灰度分割值，a, b在0~255之间，阈值T为不同地物灰度值的临界值。对于多种地物，选取相应灰度值作为阈值，将多个不同灰度的目标区分开。

本研究采用TM5波段区分海陆。水体在该波长范围1.55~1.75 μm的反射率几乎为零，故可有效区分水陆边界，并消除水底泥沙对海岸线判读的影响^[25]。按不同海岸类型进行图像裁剪，各类型海岸线提取方法如下^[26-28]：(1)基岩海岸。基岩对光谱的高反射特性使其灰度值明显高于水体，选择灰度值临界点作为阈值，进行灰度分割区分海陆，其边界作为岸线；(2)淤泥质海岸。利用NDVI区分湿生植被(红树林)与滩涂，以二者靠陆一侧分界线作为岸线；(3)砂质海岸。砂质地物与非砂质地物的含水量不同导致灰度值不同，选择二者的灰度

值临界点，灰度分割提取边界作为岸线；(4)人工海岸。港口码头和围垦养殖堤坝由水泥和石块构成，其反射率明显高于水体，将灰度值进行分割提取边界作为岸线。

1.2.2 分维数计算方法 分形维数是描述非规则几何对象时所产生的非整数维，也称分数维。它是分形数量特征的主要表征参数，反映了客观事物的真实情景^[29]。采用网格法计算海岸线分维，使用不同长度ε的正方形网格去覆盖海岸线，当正方形网格长度出现变化时，覆盖有海岸线的网格数N(ε)也必然会出现相应的变化。根据分形理论有下式成立^[17]：

$$N(\varepsilon) \propto \varepsilon^{-D} \quad (1)$$

对该式两边取对数可得

$$\ln N(\varepsilon) = -D \ln \varepsilon + A \quad (2)$$

式中：A为特定常数，D为海岸线的分维，其值可通过上式斜率值来求得(图1)。

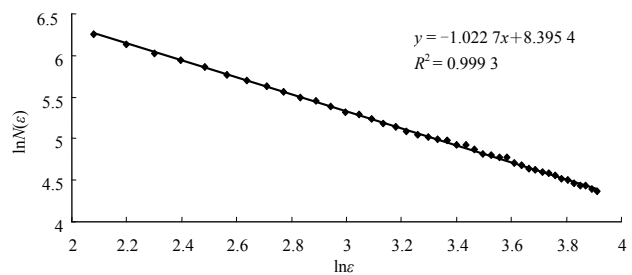


图1 海岸线分维计算结果

Fig.1 Calculation results of fractal dimension of coastline

在ERDAS8.7中完成海岸线的提取，利用Matlab计算海岸线分维，并对结果进行统计分析。

2 结果分析

2.1 各海岸类型分维差异

深圳市南接香港，全市海岸带划分为西海岸和东海岸两部分。分别对1978、1986、1995和2005年深圳市西海岸和东海岸岸线分维进行统计(表1)，各期岸线的相关系数均大于0.983，因此海岸线

表1 深圳市海岸线分维

年份	西海岸	R	东海岸	R
1978	1.022 7	0.983 7	1.038 1	0.983 7
1986	1.023 7	0.983 6	1.038 9	0.983 7
1995	1.031 8	0.983 6	1.035 1	0.983 4
2005	1.026 8	0.983 5	1.035 5	0.983 4

客观上存在分形性质, 分维可以有效表征其自相似性质。

深圳市海岸类型大致可分为淤泥质海岸、基岩海岸、人工海岸和砂质海岸。由于砂质海岸规模较小且分布零散, 因此本文着重研究前 3 种海岸类型。1978 年深圳市尚未进行大规模海岸开发, 海岸基本处于自然状态, 西海岸主要由淤泥质海岸组成, 仅在蛇口半岛分布少量基岩海岸, 东海岸则主要由基岩海岸构成。至 2005 年, 深圳市西海岸已进行全面性开发, 包括滩涂围垦和填海造地, 使西海岸的海岸类型转变为人工海岸。东海岸则仅在盐田港和大亚湾核电站岸段进行了较大规模建设, 其余大部分岸线未发生明显变化。因此, 以 1978 年自然状态下的西海岸和东海岸分别代表淤泥质海岸和基岩海岸, 以 2005 年西海岸代表人工海岸, 并统计相应的分维数。

结果表明, 3 种海岸类型中基岩海岸海岸线分维数最高 (1.038 1), 淤泥质海岸海岸线分维数最低 (1.022 7), 而人工海岸海岸线介于基岩海岸与淤泥质海岸之间 (1.026 8)。不同海岸类型分维差异的内在原因在于不同类型海岸的地形条件以及物质组成不同^[2]。基岩海岸为花岗岩山地直接临海, 水底坡度大, 海洋动力作用较为强烈, 因此岸线较为曲折, 分维数较高。淤泥质海岸主要由粉砂和黏土构成, 海岸宽平, 海洋动力作用总体变化相对均一, 因此分维数较低。人工海岸是由滩涂围垦和填海造地形成, 海岸线在港口码头处较为曲折, 而在养殖水面处由于修建防浪堤, 岸线较为平直, 因此人工海岸海岸线分维数介于基岩海岸和淤泥质海岸之间。

2.2 多期海岸线分维变化

分别统计研究时段内西海岸和东海岸岸线的分维变化 (图 2)。图 2 显示, 东海岸岸线分维始终大于西海岸。

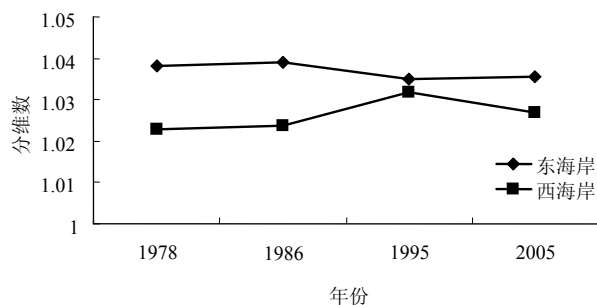


图 2 深圳市海岸线分维变化

Fig.2 Change of fractal dimension of coastline in Shenzhen

东海岸海岸线分维从 1978 年至 1986 年小幅上升, 1995 年下降, 而后又上升。造成这种升降变化的主要原因在于人类活动将部分基岩海岸变为人工海岸, 降低了海岸线分维。1978—1986 年, 东海岸未出现大规模海岸开发, 在接近自然条件下, 海洋动力使海岸线分维小幅增加; 1986—1995 年, 大鹏湾和大亚湾进行填海造地, 修建盐田港和核电站码头产生的人工岸线相比基岩岸线平直, 海岸线分维相应小幅减小; 1995—2005 年, 填海工程竣工, 海岸线分维小幅增加。

西海岸海岸线分维在 1978 年最小, 1986 年小幅升高, 至 1995 年最大, 2005 年又下降。1978—1986 年, 西部滩涂和大铲湾进行滩涂围垦, 海岸线分维小幅增加; 1986—1995 年, 西海岸除西部滩涂和大铲湾的滩涂围垦之外, 蛇口半岛填海修建赤湾、妈湾和蛇口港, 深圳湾修建西部通道口岸和滨海大道, 海岸线分维增加; 1995—2005 年, 海岸工程基本结束, 竣工后的人工岸线趋于平直, 海岸线分维相应小幅减少。

2.3 海岸线分维变化机制分析

2.3.1 人类活动强度与海岸线分维变化 研究时段内, 西海岸包括西部滩涂、大铲湾、蛇口半岛以及深圳湾等全部岸线都受到人类活动影响, 东海岸仅在盐田港和大亚湾部分岸段进行海岸工程, 其余大部分岸线未发生明显变化 (图 3, 图 4), 显示人类活动强度差异造成西海岸岸线变化相比东海岸更为显著。

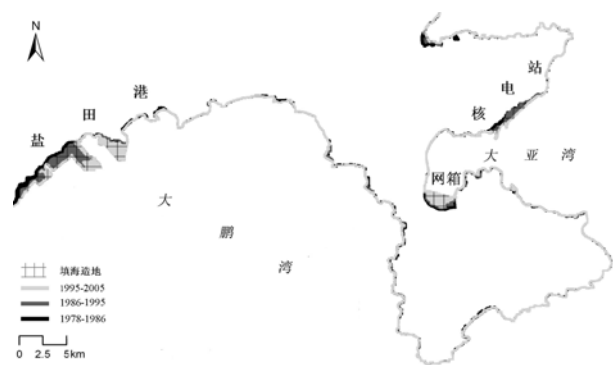


图 3 深圳市东海岸岸线变化

Fig.3 Coastline change of east beach in Shenzhen

海岸线分维数理统计显示, 西海岸岸线分维最大值为 1.031 8, 最小值为 1.022 7, 东海岸相应为 1.038 9 和 1.035 1。两者之差西海岸大于东海岸, 说明西海岸岸线分维变化相比东海岸显著。

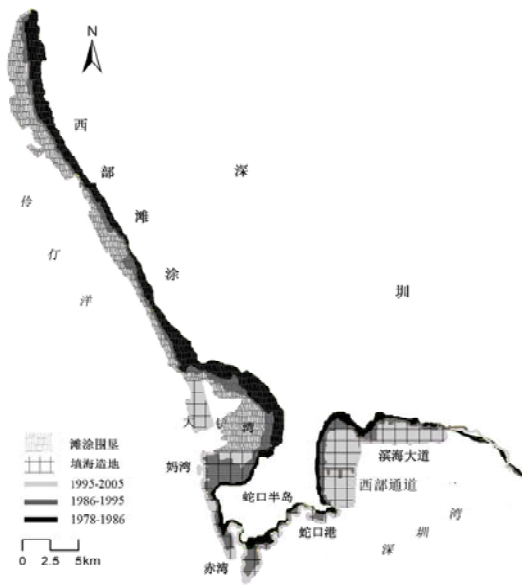


图4 深圳市西海岸岸线变化

Fig.4 Coastline change of west beach in Shenzhen

由此看出,研究时段内西海岸人类活动强度大,海岸线变化明显,其海岸线分维变化相应显著,变化波动剧烈;东海岸人类活动强度小,海岸线分维变化相比西海岸不明显。因此,人类活动强度与多期海岸线分维变化程度存在正相关关系,人类活动强度越大,海岸线分维变化越显著,反之相反。

2.3.2 人类活动方式与海岸线分维变化 深圳市海岸带人类活动方式主要包括填海造地和滩涂围垦。填海造地指圈围部分海域填土成陆的过程,用以修建港口以及工业和城镇用地;滩涂围垦指修建人工堤坝,利用潮间带的泥、沙海滩发展海水养殖,开辟盐田或农田的过程。西海岸同时存在填海造地和滩涂围垦,东海岸则只进行填海造地。

对西海岸(图4,表2)而言,1978—1986年进行滩涂围垦,由于滩涂围垦是将海岸线大致沿平

表2 深圳市西海岸海岸线分维变化幅度

年份	变化
1978-1986	0.001
1986-1995	0.008 1
1995-2005	-0.005

行方向向海延伸,海岸线形态不发生复杂变化,因此海岸线分维呈现小幅上升,变化幅度较小;1986—1995年,在大规模填海造地建设港口码头时,为使泊位的岸线长度增加,工程中会出现曲折的岸线,

并且使海岸线呈现复杂而不规则的形态,使岸线分维显著增加;1995—2005年,填海造地竣工,人工岸线形态平直且规则,海岸线分维显著减小。

3 结论与讨论

通过对深圳市多期海岸线分维变化的研究,基本掌握了该地区海岸线在研究时段内的变化规律,分析了多期海岸线分维变化的影响因素,并且初步揭示了海岸线分维变化的影响机制。结果表明,(1)不同类型海岸的海岸线分维不同,即由基岩海岸、人工海岸向淤泥质海岸递减;(2)研究时段内,深圳市东海岸海岸线分维总体下降,局部降中有升;西海岸岸线分维总体上升,局部升中有降;(3)快速城市化地区人类活动对海岸线分维变化影响显著,人类活动强度与海岸线分维变化剧烈程度呈正相关,人类活动方式包括滩涂围垦和填海造地对海岸线分维变化幅度影响不同。

海岸线分形研究尚有几方面问题需要讨论:(1)多期海岸线分维变化研究的尺度选择。时间尺度方面,研究受人类活动影响显著地区的时间跨度一般小于以自然因素为主导的地区;空间尺度方面,区域尺度有利于对海岸线分维变化机制进行深入探讨,尺度过大会掩盖部分关键的影响因素,尺度过小则不利于归纳具有普遍意义的变化规律。(2)海岸线分维变化和机制研究多在区域性尺度上进行,在深化对海岸线分形机制的研究过程中,需要将不同区域的研究结果进行对比与综合;本研究的结论需要其他快速城市化地区的研究案例进行对比和验证。(3)海岸线分维研究一方面需要深化海岸线分形机制,另一方面需要将海岸线分维变化与海岸带资源环境变化相联系,落实表征海岸线空间复杂程度的应用价值,将更加提升分形研究的理论和实践意义。

参考文献:

- [1] 朱晓华,王建,陆娟. 关于地学中分形理论应用的思考[J]. 南京师大学报:自然科学版, 2001, 24(3): 93-98.
- [2] Mandelbrot B B. How long is the coast of Britain? Statistical self-similarity and fractional dimension[J]. Science, 1967, 156(3775): 636-638.
- [3] 朱晓华,潘亚娟. GIS支持的海岸类型分形判定研究[J]. 海洋通报, 2002, 21(3): 49-54.
- [4] 朱晓华,查勇,陆娟. 海岸线分维时序动态变化及其分形模拟研究——以江苏省海岸线为例[J]. 海洋通报, 2002, 21(4): 37-43.
- [5] Zhu X H, Yang X C, Xie W J, et al. On spatial fractal character of

- coastline-A case study of Jiangsu province[J]. *China Ocean Engineering*, 2000, 14 (4): 533-540.
- [6] 秦耀辰, 刘凯. 分形理论在地理学中的应用研究进展[J]. *地理科学进展*, 2003, 22 (4): 426-436
- [7] 刘晓曼, 王建, 朱敏, 等. 福建省海岸基岩节理的分形性质及其与宏观断裂系的关系[J]. *地理与地理信息科学*, 2003, 19(6): 101-103.
- [8] Paar V, Cvitan M, Ocelic N, et al. Fractal dimension of coastline of the Croatian island Cres[J]. *Acta-Geographica-Croatica*, 1997, 32: 21-34.
- [9] Philips J D. Erosion and platform irregularity of an estuarine shoreline[J]. *Zeitschrift fur geomorphology supplement*, 1989, 73: 59-71.
- [10] Qiu H. Measuring the Louisiana coastline—an application of fractals[M]. Simon C. The association of American geographers cartography specialty group occasional. Paper 1. Washington D.C.: Geography Specialty Group of the Association of American Geographers, 1988: 1-10.
- [11] 冯金良, 郑丽. 海岸线分维的地质意义浅析[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 1997, 17 (1): 45-51.
- [12] 周江, 李佩武, 庄振业, 等. 基于组件GIS的海岸线分形模拟研究[J]. *海洋湖沼通报*, 2008 (2): 67-74.
- [13] 周江, 印萍, 程荡敌, 等. 基于GIS和分形理论研究的海岸线图像和分维以及长度[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2008, 28 (4): 65-71.
- [14] 朱晓华, 蔡运龙. 中国海岸线分维及其性质研究[J]. *海洋科学进展*, 2004, 22 (2): 157-162.
- [15] 朱晓华, 杨秀春. GIS支持的中美澳海岸线分维及其比较研究[J]. *地理科学*, 2002, 22 (6): 689-693.
- [16] 朱晓华. 宏观尺度下基岩海岸岸线分形机制研究——以中国基岩海岸为例[J]. *海洋通报*, 2004, 23 (5): 46-50.
- [17] 朱晓华. 海岸线分维数计算方法及其比较研究[J]. *黄渤海海洋*, 2002, 20 (2): 31-36.
- [18] 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): 70-75.
- [19] 苏媛媛, 孙钦帮, 侯敏. 黄河三角洲海岸线分形研究[J]. *资源与产业*, 2008, 10 (6): 103-107.
- [20] 于永海, 苗丰民, 王玉广, 等. 基于3S技术的海岸线测量与管理应用研究[J]. *地理与地理信息科学*, 2003, 19 (6): 24-27.
- [21] 韩震, 挥才兴, 蒋雪中, 等. 温州地区淤泥质潮滩冲淤遥感反演研究[J]. *地理与地理信息科学*, 2003, 19 (6): 31-34.
- [22] 王爱民, 刘加林, 尹向东. 深圳市土地供给与经济增长关系研究[J]. *热带地理*, 2005, 25 (1): 19-27.
- [23] 朱大奎. 深圳海岸海洋环境与空间规划研究[J]. *第四纪研究*, 2005, 23 (1): 45-53.
- [24] 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.
- [25] 张景奇. 海岸线不同解译标志对解译结果的影响研究——以辽东湾北部海岸为例[J]. *吉林师范大学学报: 自然科学版*, 2006: 54-56.
- [26] 孙美仙, 张伟. 福建省海岸线遥感调查方法及其应用研究[J]. *台湾海峡*, 2004, 23 (2): 213-218.
- [27] 马小峰, 赵冬至, 邢小罡, 等. 海岸线卫星遥感提取方法研究[J]. *海洋环境科学*, 2007, 26 (2): 185-189.
- [28] 崔步礼, 常学礼, 陈雅琳, 等. 黄河口海岸线遥感动态监测[J]. *测绘科学*, 2007, 32 (3): 108-109.
- [29] 孙志高, 刘景双, 孙广友, 等. 分形理论在湿地科学中的应用现状与前景展望[J]. *地理与地理信息科学*, 2005, 21 (4): 99-103.

Research on Dynamic Change of Fractal Dimensions of Temporal Series of Coastline in Rapid Urbanization Area: A Case Study of Shenzhen

LI You^{1,2}, WANG Yanglin¹, PENG Jian¹, LIU Zhenhuan^{1,2}, WU Jiansheng²

(1. College of urban and environment sciences, Peking University, Beijing 100871, China; 2. The Key Laboratory for Environmental and Urban Sciences, Shenzhen Graduate School of Peking University, Shenzhen 518055, China)

Abstract: Taking Shenzhen, a region of rapid urbanization, as the study area, using 1978, 1986, 1995 and 2005 Landsat MSS/TM images as data sources to extract coastlines with the method combined with threshold and NDVI, we calculate the coastline fractal dimension, systematically analyze the fractal dimension changes, and initially reveal the change mechanism of coastline in the region of rapid urbanization. The results show that: (1) different types of coasts have different fractal dimensions which descend from bedrock coasts, artificial coasts to mud coasts; (2) in the study period, the fractal dimension of east coast reduces while that of west coast increases; (3) human activity has a significant impact on the changes of fractal dimensions of coastlines. The intensity of human activities has a positive correlation with the changes of fractal dimensions, and the modes of human activities Land reclamation from the sea and beaches has different impacts on the changes of fractal dimensions. The impact of land reclamation from the sea is more significant than that from beaches.

Key words: coastline fractal dimension; dynamic change; human activity