

基于 SPOT 遥感影像的九段沙潮沟 信息提取及分维研究*

郭永飞¹ 韩 震^{1,2①}

(1. 上海海洋大学海洋科学学院 上海 201306; 2. 上海海洋大学大洋渔业资源可持续发展
教育部重点实验室 上海 201306)

提要 以长江口九段沙为研究区,应用灰度形态学提取了九段沙湿地的潮沟信息,并对提取出的潮沟信息分区域采用网格法进行了分维研究,得出了九段沙不同区域潮沟的分维值,并对分维值进行了比较与分析。比较发现,九段沙不同区域的分维值,上沙最大,下沙次之,中沙最小。而在不同区域的不同岸段中,处于上沙北部沿岸的潮沟分维值大于上沙其它地区;处于中沙、下沙西北-东南沿岸的潮沟分维值分别大于中沙、下沙的其它地区。这主要与它们所处地理位置水动力条件不同有关。另外也计算了九段沙南岸与北岸的分维值,发现南岸的分维值要大于北岸,这与其发育时间、水动力条件和长江口深水航道工程等有一定联系。

关键词 九段沙; 潮沟; 灰度形态学; 分维; 南岸; 北岸

中图分类号 P737.1

潮沟是河口岸滩的典型地貌类型之一,它连接着盐沼带和光滩。在落潮时,作为主要通道,它可以排干盐沼带和光滩上的海水;在涨潮时,则可以将海水引入盐沼带和光滩。潮沟控制着盐沼带、光滩的沉积和营养盐的流动,是潮滩与外海进行物质和能量交换的主要通道。开展基于遥感数据的潮沟信息提取和分维研究,对于分析潮沟的发育演变规律具有重要的理论意义和实际意义。

国内外对潮沟开展了大量研究。Van Straaten (Straaten *et al.*, 1961)、Evans(Evans *et al.*, 1965)和 Pethick 等(Pethick, 1980, 1992)对西北欧瓦登海岸和英国东部海岸潮沟的沉积地貌进行了大量的研究; Temmerman 等(Temmerman *et al.*, 2005)认为盐沼表面水 60%来自潮沟,潮沟水动力过程决定着潮沟—盐沼系统的冲淤平衡,进而影响潮滩演变; Mason 等(Mason *et al.*, 2006)利用机载激光扫描高度计获得德国 River Ems 地区的图像,他先通过多尺度边缘检测得到潮沟边缘,然后通过边缘修复技术将破碎的边

缘连接在一起形成较为完整的潮沟。孙效功等(孙效功等, 2001)利用航空遥感的潮沟解译图以及准同步实测滩面数据对黄河三角洲的潮滩潮沟体系进行了分维研究;黄海军等(黄海军等, 2004)选用 1986 年和 2001 年两个时相的 TM/ETM+影像,结合遥感、地理信息系统和分形理论研究黄河三角洲典型河口岸段潮滩潮沟的发育演变。

九段沙位于长江和东海交汇处(图 1),九段沙湿地是国家级自然保护区。本文采用 2005 年 5 月 7 日获取的 SPOT5 遥感全色波段数据(分辨率为 2.5 米)作为研究数据(图 2)。根据卫星成像时刻九段东潮位站水位高程、遥感影像成像时刻的潮情和水边线的位置分析,本文采用的遥感影像成像时刻为中潮落潮阶段,潮沟信息表现明显,有利于九段沙完整的潮沟信息提取。通过影像校正、增强处理,然后借助 Matlab7.1 软件,利用灰度形态学方法提取了九段沙的潮沟信息,并对提取的潮沟信息进行了分维研究,以期九段沙湿地生态保护提供一些参考。

* 教育部科学技术研究重点项目, 209047 号; 上海市科委项目, 08230510700 号。郭永飞, 硕士, E-mail: gyfsky@sohu.com

① 通讯作者: 韩震(1969-), 教授, zhhan@shou.edu.cn

收稿日期: 2011-12-20, 收修改稿日期: 2012-04-18

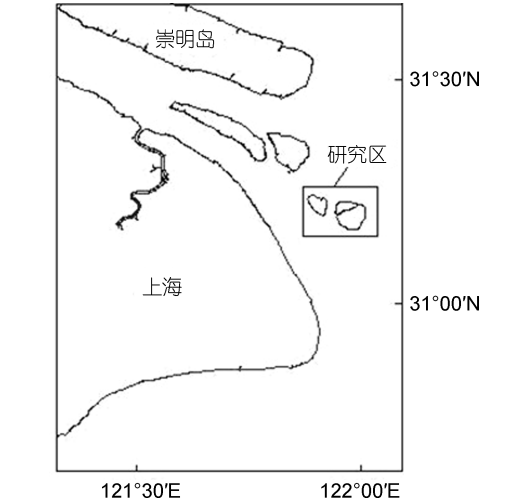


图 1 研究区域地理位置
Fig. 1 Location of the study area

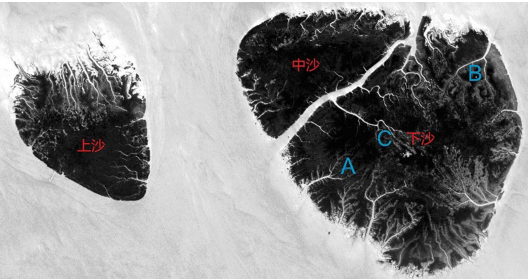


图 2 研究区 SPOT 遥感影像
Fig. 2 SPOT remote sensing image of the study area

1 研究方法

1.1 技术路线

图 3 为潮沟信息提取的技术流程图。由于九段沙湿地潮沟众多, 所以本文选取了三条较有代表性的潮沟作为提取目标(图 2 中 A、B、C 所示), A 主要受南槽水动力影响, B 主要受北槽水动力影响, 而 C 受南北槽水动力影响较小, 且三者所处方位也各不相同。通过图 2 可以看出潮沟与背景图像灰度值差异较

大, 所以通过使用 MATLAB7.1 软件首先对图像进行阈值分割, 将其变为二值图像。接着利用 imfill 函数填充二值图像中的孔洞, imfill 函数通过检查二值图像的连通性, 对二值图像中边界不能通过填充直接到达的一组背景像素点组成的集合, 也即内部孔洞进行填充。填充后的图像仍然具有很多孤立目标, 由于 bwareaopen 函数具有删除小面积图形的特点, 所以采用 bwareaopen 函数移除连通面积小于 1000 个像素的孤立目标, 去除噪声和非潮沟的细节信息。最后结合 bwmorph 函数可以提取二进制图像轮廓的特点, 应用 bwmorph 函数对图像进行骨架化, 得到图像的轮廓。通过以上方法我们提取出了三条潮沟(如图 4 所示)。

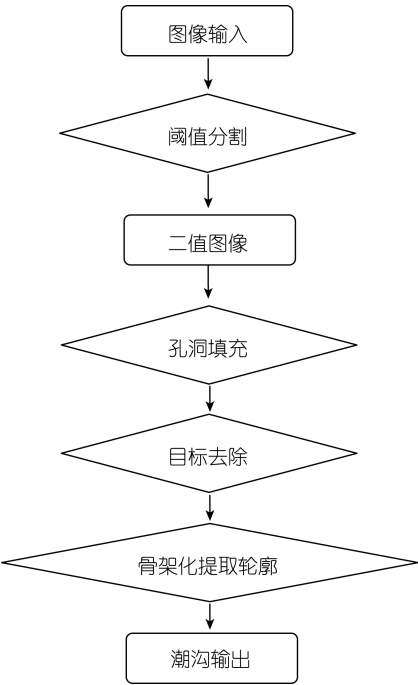


图 3 技术流程图
Fig. 3 Flow chart

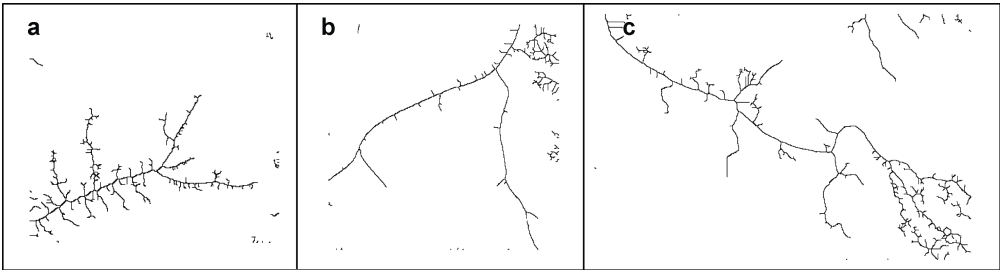


图 4 潮沟提取效果图
Fig. 4 Effect drawing of tidal channels information extraction

1.2 后处理及提取结果

从提取的图像中可以看出,有些信息不是潮沟,这些信息主要是由于部分面积较大的独立水域造成的;而有些潮沟信息却没有提取出来,这部分潮沟主要是受植被影响的小潮沟,因此进行后处理是必要的。后处理方法主要是根据原始遥感影像图目视解译潮沟,将遗漏的潮沟补上,且将非潮沟信息去除,进而得到较为精确的潮沟信息。通过对提取的图像后处理,本文得到了九段沙的潮沟信息分布图(图 5)。

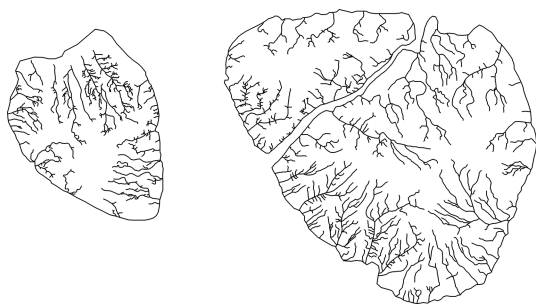


图 5 九段沙潮沟分布图

Fig. 5 Distribution of Jiuduansha tidal channels

从提取的九段沙潮沟分布图(图 5)可以看出,上沙的潮沟主要分布于北部和东部,且北部潮沟分布较为密集。中、下沙的潮沟在四面均有分布,且南岸潮沟的分布密度要大于北岸。为了进一步分析潮沟信息,本文采用分维方法对其进行了定量研究。

2 分形维数计算

分形是一种局部与整体之间存在的某种相似的分形(Mandelbrot, 1998),主要研究传统几何学所不能解决的不规则、不够光滑的自然现象,如海岸线、山脉轮廓、地面断层、河网水系、各式沙丘及天空浮云等。分形理论自诞生以来,在许多学科领域里得到广泛应用,如交通运输(刘妙龙等, 2004)、城镇化(赵萍等, 2003)、土壤学(胡云锋等, 2005)、河流形态(马宗伟等, 2005),它的发展为地学研究提供了新思路和新方法。由于潮沟是由主沟及其支沟组成的网络系统,其分枝现象具有典型的自相似性,因此可以进行分形分析(冯平等, 1997)。

网格法是分形研究中常用的分维计算方法之一。其基本思路是使用不同边长的正方形网格去覆盖被测对象,当正方形网络边长 r 出现变化时,则覆盖有被测对象的网格数目 $N(r)$ 也必然会出现相应地变化。如果有 $N(r) \sim r^{-D}$ 成立,则定义了一个分形分布,或

者说被研究对象在一定标度域内具有分形结构特征。当正方形网格边长为 $r_1, r_2, r_3, \dots, r_k$ 时,则覆盖有被测对象的正方形网格数目相应为 $N(r_1), N(r_2), N(r_3), \dots, N(r_k)$,两边同时取对数可得

$$\lg N(r) = -D \lg r + A$$

式中: A 为待定常数; D 为被测对象的分维,其值等于该式斜率值的绝对值。

3 结果与分析

3.1 不同区域潮沟分维值的计算

本文采用网格法对提取的潮沟信息进行了分维值的计算。图 6 为九段沙不同区域的潮沟分布图,表 1 为对应的不同区域潮沟的维数计算结果。

潮沟的分维值反映了潮沟的发育程度,一般认为,潮沟密度越大,潮沟分维值越高。潮沟分维值可作为反映潮滩地貌演变的一个重要特征参量,它与潮滩地理环境要素中的水动力条件(主要是风、浪、流等的作用)、坡度、植被覆盖度等地理要素以及构造、岩性等地质特征间有关系。

3.2 不同区域潮沟分维值分析

九段沙湿地潮沟的分维值是 1.34,其中起作用最大的是九段沙所处地理位置——长江口门的水动力条件。大量来自长江上游的泥沙在长江口门由于受到外海以及长江上游来水双重水动力条件的影响,在九段沙出现不断地冲刷和淤积,且近期九段沙 0 米以上高滩均呈滩面淤涨范围扩大之势(刘杰等, 2010),这就为发育在潮滩上的潮沟提供了充足的空间和物质来源。

3.2.1 上沙 九段沙上沙北部潮沟的分维值最大,说明北部潮沟的密度最大,这主要是由北槽深水航道工程使该区域淤积速率显著增强造成的。而西北-东南沿岸潮沟的分维值最小,说明该地区潮沟密度较小,主要是由于南端绝大部分处于冲刷状态而造成的(杜景龙等, 2005)。

3.2.2 中沙 由于中沙处于上沙和下沙之间,受到上沙和下沙的影响,使得该处的整体分维值较小。而分区来看,由于西北-东南沿岸处于南槽与北槽的交汇区,受二者的共同影响,使得西北-东南沿岸处的潮沟分维值较大;而东北-西南沿岸潮沟分维值较小则与其受水动力条件较弱有关。

3.2.3 下沙 下沙上形成的潮沟最多,但由于其面积较大,使得潮沟密度小于上沙,从而其分维值比之上沙也略小。但是分区来看,下沙的西北-东南沿

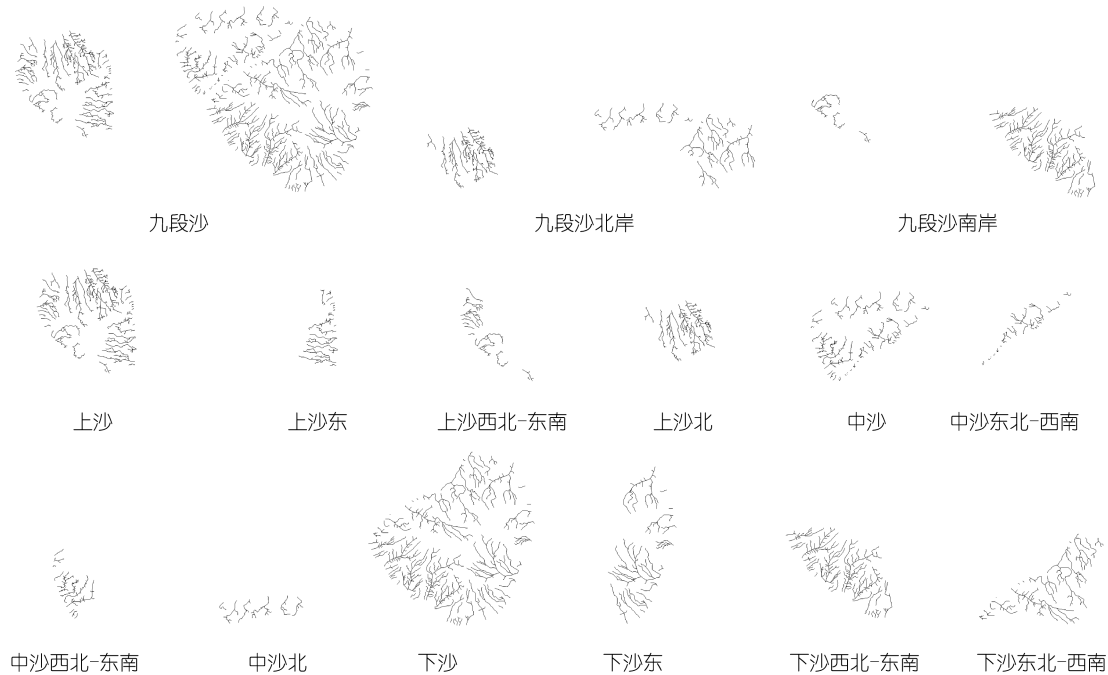


图 6 九段沙不同区域潮沟分布图
Fig. 6 Distribution of tidal channels in different parts of Jiuduansha

表 1 九段沙各区域潮沟分维计算结果
Tab.1 The results of fractal dimension in different parts of Jiuduansha

区域	方位	分维值
九段沙	—	1.34
上沙	—	1.31
	东	1.17
	西北-东南	1.08
	北	1.18
中沙	—	1.11
	东北-西南	0.90
	西北-东南	0.98
	北	0.92
下沙	—	1.28
	东	1.10
	西北-东南	1.24
	东北-西南	1.22
南岸	—	1.22
北岸	—	1.17

岸和西南-东北沿岸上的潮沟分维值明显大于上沙的各个区域,说明下沙的这些区域所受的水动力条件要强于上沙。另外,下沙西北-东南沿岸上的潮沟主要受南槽的水动力条件影响,而东部沿岸上的潮沟主要受外海的风、浪、流等作用的影响,西北-东南沿岸上潮沟的分维值大于东部沿岸上潮沟的分维值,说

明南槽水动力条件对下沙的影响要大于外海。

3.2.4 上沙、中沙和下沙的比较 从上沙、中沙和下沙的分维值比较来看,上沙最大,下沙次之,中沙最小。主要是因为上沙处于南槽与北槽的分叉处,所受水动力条件较强,且面积较小,使得其上分布的潮沟密度较大,从而导致分维值较大;而下沙由于受到南槽、北槽以及外海的风、浪、流等作用影响,其上分布的潮沟也最为广泛,但由于其面积较大,使得其上分布的潮沟密度较之上沙略小,从而导致潮沟分维值略小于上沙;对于中沙,由于其处于上沙和下沙之间,受到它们的遮挡,水动力作用明显要小于上沙和下沙,因此其上发育的潮沟的分维值要明显小于上沙和下沙。

3.2.5 南岸与北岸的比较 九段沙南岸与北岸的分维值分别为 1.22 和 1.17,南岸的分维值要大于北岸,这可能是由以下三个原因造成的:

(1) 南槽形成时间早于北槽。一般认为,潮沟体系分维值与其演化过程的时间成正相关(崔承琦, 2001)。南槽大约在 20 世纪初期形成,而北槽则被认为是形成于 1954 年,形成时间相差约半个世纪,所以靠近南槽潮沟的发育程度要高于靠近北槽的潮沟。

(2) 长江口深水航道二期工程后,北导堤和南导堤得以延长,沿堤流和绕堤流增强,造成导堤两侧局部滩地冲刷,使得一期工程被带到北槽中部深槽的

泥沙继续下移(刘杰等, 2004)。加之综合整治工程的进行使得北槽航道束窄加深, 河道冲刷加剧(王兆华等, 2006)。由于冲刷加剧, 使得潮沟发育的物质来源减少, 影响了北岸潮沟的发育。

(3) 根据数模计算结果, 长江口深水航道三期工程后, 南北槽分流比分别为 53.6%和 46.4%, 悬移质分沙比分别为 80.7%和 19.3%(上海航道勘察设计研究院, 1999)。可以发现整治工程以后, 随着南槽分流比的增大, 可使更多的泥沙从南槽输移入海, 这就为九段沙的发育提供了大量的物质来源, 使其可能不断的淤涨。由于不断地淤涨, 使得南岸陆地面积不断增大, 这就为潮沟的生长发育提供了充足的空间和物质来源, 使得南岸潮沟发育速度更快, 程度更高。

4 展望

潮沟是潮滩及潮沟系统本身与外界系统不断进行物质、能量和信息交换的重要通道。本文利用灰度形态学提取了九段沙湿地的潮沟遥感信息, 并通过网格法对提取出的九段沙潮沟进行了分维研究, 得出了九段沙不同区域的分维值, 与其他学者的方法相比, 方法简单有效, 可以清楚地反映潮沟的发育程度。九段沙具有长江口河心沙洲发育充分的潮沟系统, 开展长江口九段沙潮沟遥感研究, 可以弥补常规观测方法的不足, 对长江口航道治理、护岸工程、环境保护、生态修复以及河口综合利用有重要的研究和应用价值。但由于网格法是采用网格来对潮沟进行覆盖, 所以潮沟分维值的精度和网格尺度大小有关, 如何选取适合的网格尺度是下一步研究的重点。

参 考 文 献

- 上海航道勘察设计研究院, 1999. 长江口深水航道治理工程二、三期工程工程可行性研究报告
- 马宗伟, 许有鹏, 李嘉峻, 2005. 河流形态的分维及与洪水关系的探讨: 以长江中下游为例. 水科学进展, 16(4): 530—534
- 王兆华, 杜景龙, 2006. 长江口深水航道一、二期工程建设以来北槽河段的冲淤演变. 海洋通报, 25(6): 55—62
- 冯平, 冯焱, 1997. 河流形态特征的分维计算方法. 地理学报, 52(4): 324—330
- 刘妙龙, 黄蓓蓓, 2004. 上海大都市交通网络分形的时空特征演变研究. 地理科学, 24(2): 144—149
- 刘杰, 陈吉余, 乐嘉海等, 2004. 长江口深水航道治理一期工程实施后北槽冲淤分析. 泥沙研究, (5): 15—22
- 刘杰, 赵德招, 程海峰, 2010. 长江口九段沙近期演变及其对北槽航道回淤的影响. 长江科学院院报, 27(7): 1—5
- 孙效功, 赵海虹, 崔承琦, 2001. 黄河三角洲潮滩潮沟体系的分维特征. 海洋与湖沼, 32(1): 74—80
- 杜景龙, 杨世伦, 张文祥等, 2005. 长江口北槽深水航道工程对九段沙冲淤影响研究. 海洋工程, 23(3): 78—83
- Mandelbrot B. 大自然的分形几何学. 陈守吉, 凌复华, 译, 1998. 上海: 上海远东出版社, 32—36
- 赵萍, 冯学智, 2003. 基于遥感与 GIS 技术的城镇体系空间特征的分形分析: 以绍兴市为例. 地理科学, 23(6): 721—727
- 胡云锋, 刘纪远, 庄大方等, 2005. 不同土地利用/土地覆盖下土壤粒径分布的分维特征. 土壤学报, 42(2): 336—339
- 黄海军, 樊辉, 2004. 黄河三角洲潮滩潮沟近期变化遥感监测. 地理学报, 59(5): 723—730
- 崔承琦, 李师汤, 孙小霞等, 2001. 黄河三角洲海岸岸线和潮水沟体系发育及其分维研究——黄河三角洲潮滩海岸时空谱系研究 III. 海洋通报, 20(6): 60—70
- Evans G, 1965. Intertidal flat sediments and their environments of deposition in the Wash. J Geol Soc London Quart, 121: 209—245
- Mason D C, SCOTT T R, WANG H, 2006. Extraction of tidal channel networks from airborne scanning laser altimetry. Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, 61: 67—83
- Pethick J S, 1980. Velocity surges and asymmetry in tidal channel. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 11(3): 331—345
- Pethick J S, 1992. Salt marshes-morphodynamics, conversation and engineering significance. In: Allen J R L, Pye K eds. Salt-marsh Geomorphology. London: Cambridge University Press, 41—62
- Temmerman S, Bouma T J, Govers G *et al*, 2005. Impact of vegetation on flow routing and sedimentation patterns: Three-dimensional modeling for a tidal marsh. Journal of Geophysical Research, 110(F04019), <http://dx.doi.org/doi:10.1029/2005JF000301>
- Van Straaten L M J U, 1961. Sedimentation in tidal flat areas. Water Resources Research, 9(2): 203—226

INFORMATION EXTRACTION AND FRACTAL DIMENSIONS BASED ON SPOT REMOTE SENSING IMAGE FOR TIDAL CHANNELS IN JIUDUAN SHAOL

GUO Yong-Fei¹, HAN Zhen^{1,2}

(1. *College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai, 201306*; 2. *The Key Laboratory of Sustainable Exploitation of Oceanic Fisheries Resources, Shanghai Ocean University, Shanghai, 201306*)

Abstract Taking tidal channels in the Jiuduan Shoal in Changjiang (Yangtze) River mouth as a research case, information of which was extracted with Gray morphology and fractal dimensions were studied using grid method. The fractal dimension values were determined in different zones of the shoal, and the results were compared and analyzed. We find that the fractal dimension values can be schemed from large to small as Shangsha (upper shoal), Xiasha (western shoal), and Zhongsha (middle shoal). For banks located in the same zone, the fractal dimension value of the North Bank in Shangsha was larger than other parts. For the river-banks in northwestern-southeastern coast of Zhongsha and Xiasha, their fractal dimensions were larger than others' in the same zone, which can be attributed to the local hydraulic dynamics condition and geological setting. In addition, the fractal dimension values of the North Bank and South Bank were calculated, showing that the fractal dimension of the South Bank was larger than that of the North Bank, which is due to the development stage, hydraulic dynamics condition, and the deep-water channel project to a certain degree.

Key words Jiuduan Shoal; Changjiang River estuary; tidal channels; Gray morphology; fractal dimensions; South Bank; North Ban