

黄河三角洲潮滩潮沟体系的分维特征*

孙效功

(青岛海洋大学海洋地球科学学院 青岛 266003, 华东师范大学河口海岸国家重点实验室 上海 200062)

赵海虹 崔承琦

(青岛海洋大学海洋地球科学学院 青岛 266003)

摘要 利用分形分维方法对黄河三角洲潮滩和潮沟的地貌特征进行了定量研究。结果表明,潮滩和潮沟的分维值可以较好地反映潮滩潮沟的发育演化规律。随着时间的推移和潮沟潮滩的进一步发育,黄河三角洲潮沟的分维值呈逐渐增大的趋势,而潮滩的分维值则呈逐渐减小的趋势,两者在分维值的变化上存在着负相关关系。该研究为黄河三角洲潮滩发育时空谱系的建立和深入研究提出了一种新方法和新的定量指标。

关键词 黄河三角洲,潮滩,潮沟,分维

中图分类号 P736

黄河三角洲前沿发育了宽广的潮滩,其中有逾八百年历史的古代黄河三角洲岸段发育的潮滩,也有仅几十年到百余年历史的近代黄河三角洲岸段发育的潮滩,且位于不同岸段上的同期潮滩处于不同的发育阶段(崔承琦等,1994)。与潮滩同时形成和演化的潮沟系统在黄河三角洲潮滩上广泛发育,构成了一个密集分布的巨大网络体系,成为黄河三角洲潮滩的显著特征之一。近几十年来,国内外有关学者对潮滩、潮沟的地貌形态和发育演化做了许多卓有成效的工作。例如 Van Straaten(1961)、Evans(1965)、Pethick(1980, 1992)等对西北欧瓦登海岸和英国东部海岸潮滩、潮沟进行了大量的沉积地貌研究;Postma(1961)建立的沉积-冲刷滞后效应模式迄今在潮滩形成与演化研究中仍具有重要的意义;我国学者早在 20 世纪 50 年代末—60 年代中对渤海湾粉砂淤泥质平原海岸潮滩就进行了多学科的综合研究和地貌、沉积相带的划分(王颖等,1994);在 70 年代末至 80 年代中的大规模全国海岸带调查的基础上,我国学者对黄河三角洲、苏北海岸和浙江海岸等地潮滩潮沟的沉积地貌研究在理论和实践方面都取得了长足的进展(Ren *et al.*, 1983;高抒等,1988)。总体上看,以往对潮滩、潮沟地貌形态的研究多为定性描述,定量研究较少。分形分维是近几十年来引起重视并逐步发展起来的新的数学方法,它已成为研究各种不规则形体之几何特征的有效理论工具,并在自然科学的多个领域得到了广泛的应用。在地貌研究方面,分形分维方法已用于岸线和陆地水系等的研究(Robert *et al.*, 1990; Chase, 1992;王东生等,1995;李炎等,2000),而用于潮滩、潮沟的研究则很少。本文将利用分形

* 国家自然科学基金资助项目,49776305 号。孙效功,男,出生于 1961 年 12 月,博士,教授,E-mail: sunxgn@mail.ouqd.edu.cn

收稿日期: 2000-2-20, 收修改稿日期: 2000-08-31

分维方法,通过计算潮滩和潮沟的分维值这一定量指标来描述潮滩潮沟的地貌形态特征及其发育演变的规律性,以便为黄河三角洲潮滩发育时空谱系的建立提供新的科学依据。

1 研究区域概况

研究区域西北起自冀、鲁交界的漳卫新河,东南至淄脉沟,基本上完全覆盖了整个近代黄河三角洲平原海岸,具体如图 1 所示。其中,北起套尔河、南至淄脉沟为 1855 年黄河改自渤海入海以来发育形成的近代黄河三角洲;漳卫新河至套尔河,为 1128 年以前黄河尾间河道在顺江沟以西至大口河(漳卫新河)摆动入海而形成的古黄河三角洲,800 年来,这里的潮滩得以充分发育,形成了黄河三角洲地区最开阔最典型的海岸潮滩和密集的树枝状潮沟体系。近代黄河三角洲范围内的潮滩和潮沟的发育只有几十年到百余年的历史,其发育的程度亦存在着明显的差异。1855 年以来,黄河尾间频繁摆动,其中大决口摆动 10 次,中、小决口摆动 50 余次,形成了十几个次一级小三角洲叶瓣(图 1)。其中,在 1976 年黄河改道清水沟流路所形成的河口滩的潮滩地带没有一般潮滩上所普遍出现的地貌相带特征,从沉积地貌发生学意义上说它还不属于潮滩,其上分布着多条黄河径流所形成的分流河道;1947—1964 年的神仙沟流路和 1965—1975 年的刁口流路所形成的河口滩,虽经过 30 年左右的潮滩发育过程,但仍不具备典型的地貌相带性,处于河口滩向潮

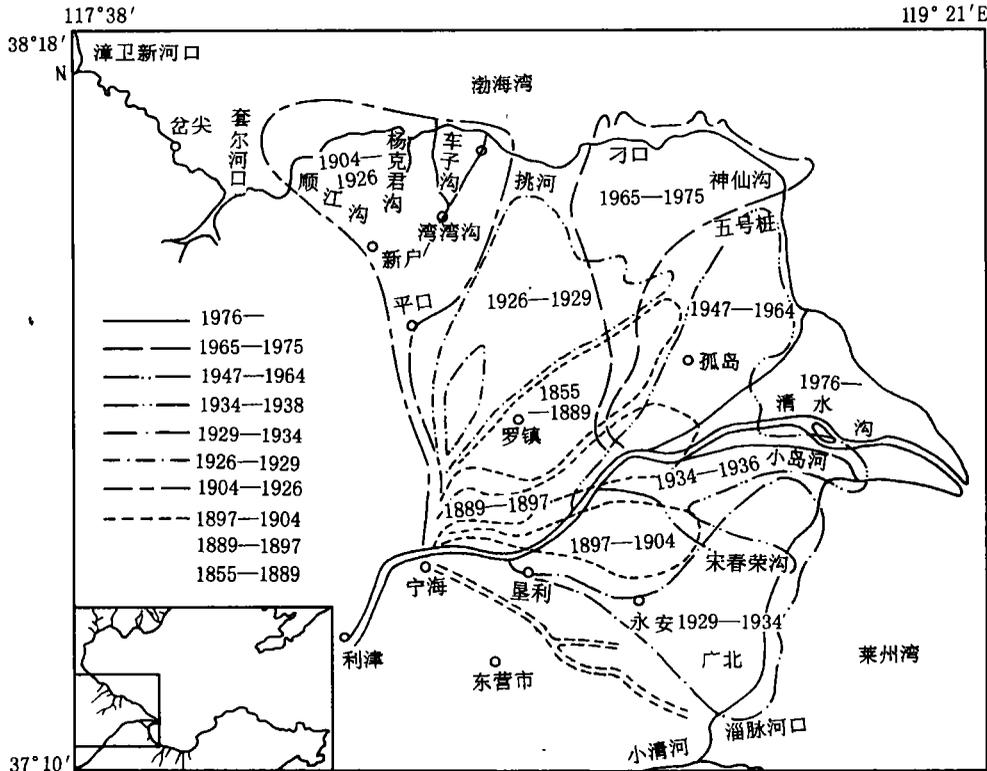


图 1 研究区域及近代黄河三角洲各期小三角洲叶瓣(据崔承琦,1994 改绘)

Fig.1 Study area and geomorphologic leaves of modern Huanghe River Delta

注:左下角小图中方框所示区域即为研究区域位置

Note: The square area in the left lower picture is the location of the study area

滩的过渡阶段,其原黄河行水河口滩区还保留了许多向下分流的径流沟槽,仅个别区段发育了少数向上低级数分汉的小型潮水沟;近代黄河三角洲南部海岸和西部海岸分别为1929—1934年、1904—1926年黄河尾闾入海区段,原河口滩经过60—70年以上的潮滩塑造过程,其河口滩地貌形态基本消失,代之而发育了宽广而具有明显相带性的潮滩,其上发育了较为密集的潮沟体系(崔承琦等,1994)。

2 研究方法

黄河三角洲广泛发育地树枝状潮沟和起伏不平的潮滩皆属于不规则图形。对于不规则图形的分维,有多种定义和计算方法,这里采用盒子维来计算潮沟和潮滩的分维值。对于任一个属于 n 维实数空间 R^n 的不规则图形所构成的集合 A ,若用边长为 r 的小盒子紧邻的去包含整个图形 A ,设 $N(r)$ 为包含 A 所需的最少盒子数,则图形 A 的盒子维定义为:

$$D = \lim_{r \rightarrow 0} \frac{\ln N(r)}{\ln \frac{1}{r}}$$

实际计算时可选取多个不同的 r 值,并分别计算出其对应的 $N(r)$ 值,这样便得到一组 $[\ln 1/r_i, \ln N(r_i)] (i=1, \dots, n)$,再利用最小二乘法求解出 $\ln N(r)$ 相对于 $\ln 1/r$ 的斜率,这就是所要求的图形 A 的盒子维 D (王东生等,1995)。依据上述方法,分别利用1982年1:2.5万的航空遥感潮沟解译图和1984年的准同步实测滩面数据,对黄河三角洲潮沟和潮滩的分维值进行了计算。对于潮沟分维值的计算,共取了3个不同边长的小盒子(正方形),其图上边长分别为0.001、0.005和0.01m;而潮滩分维值的计算共取了4个不同边长的小盒子(立方体),其实际边长分别为50、100、150和200m。

3 研究结果

3.1 潮沟的分维结果

按照以上研究方法,分别对黄河三角洲北部的漳卫新河、套尔河、杨克君沟、挑河和三角洲南部的淄脉沟等几条发育比较好的潮水沟以及原刁口流路岸滩、五号桩周围岸滩、小岛河周围岸滩和广北水库东南三角洲岸滩上的潮水沟和残留径流水沟进行了分维值的计算,同时还计算了清水沟流路河口区分流河道的分维值,其计算结果列于表1,而其地理位置则如图1所示。

表1 黄河三角洲潮沟和潮滩的分维值计算结果

Tab.1 Fractal dimension values of the tidal creeks and tidal flats of the Huanghe River Delta

潮 沟		潮 滩	
地 点	分维值	地 点	分维值
漳卫新河	1.38		
套尔河	1.31	套尔河	2.14
杨克君沟	1.29	湾湾沟	2.25
挑河	1.40		
刁口	1.11	五号桩北	2.19
五号桩	1.02		
清水沟河口区	1.51	现行河口区	2.03
小岛河	1.18	宋春荣沟	2.17
广北水库东南	1.08		
淄脉沟	1.37	淄脉沟南	2.04

由表 1 可以看出,清水沟流路河口区河道的分维值大于所有计算潮沟的分维值,这主要是由于黄河漫流形成了多个分流河道而使其形态变得复杂所致。表 1 还表明,自现行河口(清水沟)分别向南和向北相应潮沟的分维值总体上呈逐渐增大的趋势,而这些潮沟的相应年龄也是自河口向两侧逐渐增大的,这说明潮沟随着年龄的增长其分维值呈逐渐增大的趋势。图 2 和图 3 分别为 1982 年的套尔河和广北水库东南三角洲岸段(淄脉沟以北)的潮沟形态分布图,其中广北水库东南三角洲岸段的潮沟是在 1929—1934 年的黄河亚三角洲上形成的幼年期潮沟,而套尔河潮沟是在 11—1128 年形成的黄河亚三角洲上经河道改造而形成的成年期潮沟。从图 2 和图 3 看,套尔河潮沟的形态发育比淄脉沟以



图 2 套尔河潮沟形态分布

Fig. 2 Morphological distribution graph of the Taoerhe tidal creek

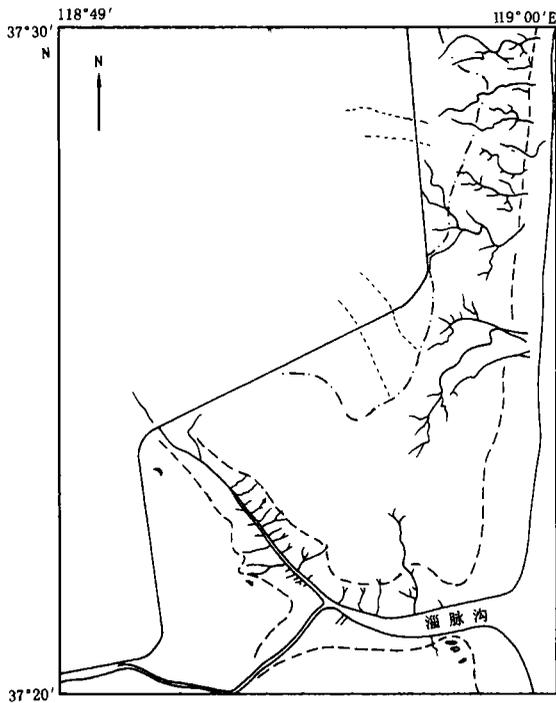


图3 广北水库东南三角洲岸段
(淄脉沟以北)潮沟形态分布

Fig.3 Morphological distribution graph of the tidal creek on the delta bank in the south-east of the Guangbei Reservoir(north of Zimaigou)

北岸段潮沟的形态要复杂得多,其扩展范围也大得多,这说明随着时间的推移潮沟的发育形态将趋于复杂。套尔河潮沟和淄脉沟以北岸段潮沟的分维值分别为 1.31 和 1.08,可见潮沟的年龄越大发育越完善,其分维值也就越大,反之则越小,分维值较好地体现了潮沟形态发育的复杂程度和时间变化。另外,挑河潮水沟是在 1926—1929 年形成的黄河亚三角洲上发育的潮沟,而杨克君沟是在 1904—1926 年形成的黄河亚三角洲上发育的潮沟,挑河沟比杨克君沟年轻,其分维值理应小一点,但其分维值却远大于杨克君沟,而且也大于漳卫新河和套尔河潮沟的分维值,这主要是由于挑河沟位于 1904—1926 年和 1965—1975 年所形成的黄河亚三角洲叶瓣之间的海湾区,更利于潮沟的发育所致。除此之外,小岛河周围岸滩的潮水沟主要是在 1934—1936 年形成的黄河亚三角洲上发育的潮水沟,而广北水库东南三角洲岸滩上的潮水沟则是在

1929—1934 年形成的亚三角洲上发育的潮沟,前者的分维值理应略小于后者,但其分维值分别为 1.18 和 1.08,前者明显地大于后者,其主要原因是前者为小岛河改造而成,发育时间相对较长,扩展范围较大,而后者则是在潮滩上重新发育的潮沟,发育时间相对较短,扩展范围较小。

另外,为了进一步探讨黄河尾间河道分维值的变化规律,这里又对原刁口流路残留河道的分维值进行了计算,其大小为 1.42,它小于清水沟流路河道的分维值 1.51。这说明,对于黄河尾间河道其分维值是随着时间的增长而逐渐降低的。其主要原因是由于黄河改道初期在黄河入海口河水漫流而形成了多个尾间分流河道,从而使尾间河道形态变得复杂,其分维值也就变得较大;而随着时间的推移,黄河尾间河水逐渐归槽而分流河道减少,从而使尾间河道形态趋于简单,于是分维值便逐渐降低。

3.2 潮滩的分维结果

同样按照上述分维值的计算方法分别计算了套尔河、湾湾沟、五号桩北、现行河口区、宋春荣沟和淄脉沟南共 6 个地区周围岸滩的分维值,其计算结果列于表 1。

在以上所计算分维值的岸滩中,现行河口区之岸滩为河口滩,五号桩北和湾湾沟以及宋春荣沟周围的岸滩为河口滩向潮滩的转化型,套尔河和淄脉沟南周围岸滩为发育较好

的潮滩。由表 1 可看出,现行河口区之河口滩的分维值最小;而由河口向其南北两侧处于河口滩—潮滩转化型岸滩的分维值逐渐增大;再向南、向西岸滩的分维值又变小,而这些岸滩则属于发育较好的潮滩。河口滩的分维值最小的原因主要是由于黄河大量来沙在河口区淤积而使滩面平整,复杂度降低(图 4a);而处于河口滩向潮滩过渡阶段的岸滩,则主要由于海洋动力的侵蚀改造作用而使滩面形态变得粗糙不平,从而加大了滩面的分维值(图 4b);发育较为充分的潮滩,由于其滩面发育较为成熟、形态相对均匀,因而其分维值就又趋于变小。从表 1 还可以看出,现行河口北部过渡型岸滩的分维值比现行河口南部的过渡型岸滩的分维值要大,同样现行河口北部发育较好的潮滩比现行河口南部发育较好的潮滩的分维值也要大,这主要是由于现行河口北部的岸滩比现行河口南部岸滩所受到的风浪作用更强的缘故(山东省科学技术委员会,1991)。另外,从表 1 潮沟潮滩的分维值计算结果还可看出,潮沟和潮滩分维值的变化趋势相反。若潮滩的分维值较大,则其上潮沟的分维值就较小;而潮滩的分维值较小,则其上潮沟的分维值就较大。总体上看,随着时间的推移,潮滩的分维值逐渐变小,而潮沟的分维值逐渐增大,这是黄河三角洲潮滩潮沟发育的总趋势。潮滩潮沟的这一变化规律表明分维值为黄河三角洲潮滩发育时空谱系的建立提供了一项有意义的量化指标。

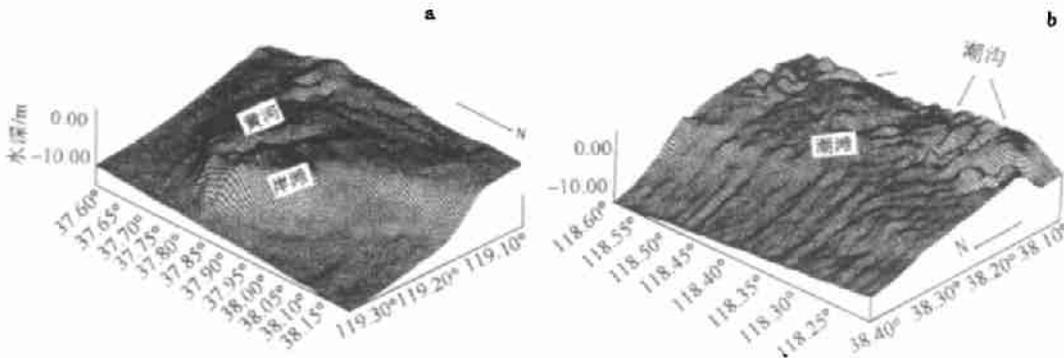


图 4 现行河口区岸滩(a)和湾湾沟附近潮滩(b)三维地形图

Fig. 4 3-D topographies of the modern Huanghe River spit flat(a) and the Wanwangou tidal flat(b)

4 结论

- 4.1 随着时间的推移,黄河三角洲潮沟的发育越来越充分,其相应的分维值也就越来越大,潮沟的分维值充分地反映了潮沟形态的复杂程度。
- 4.2 黄河尾闾河道的分维值则随着时间的推移而逐渐减小,尾闾河道分维值的大小可以较好地体现黄河尾闾河水的归槽程度。
- 4.3 河口滩的分维值最小,河口滩向潮滩的转化阶段分维值最大,而发育完善的潮滩的分维值又进一步减小。
- 4.4 潮滩与潮沟分维值的变化呈负相关关系。

参 考 文 献

山东省科学技术委员会,1991. 黄河口调查区综合调查报告. 北京:中国科学技术出版社,14—39,66—86,193—254

- 王 颖,朱大奎,1994. 海岸地貌学. 北京:高等教育出版社,182—186
- 王东生,曹 磊,1995. 混沌、分形及其应用. 合肥:中国科学技术大学出版社,138—155
- 李 炎,陈锡土,夏小明等,2000. 沉积过程分形表达及其冲淤幅度分析应用. 海洋与湖沼,31(1):84—92
- 高 抒,朱大奎,1988. 江苏淤泥质海岸剖面的初步研究. 南京大学学报,24(1):74—84
- 崔承琦,印 萍,1994. 黄河三角洲潮滩发育时空谱系. 青岛海洋大学学报(海洋生物与海洋地质专辑),24:8—19
- 唐寅德,张 勇,虞志英等,1991. 连云港海峡西口外淤泥海滩演变的随机模拟. 海洋与湖沼,21(5):492—500
- Chase C G,1992. Fluvial land sculpting and the fractal dimension of topography. *Geomorphology*,5(1—2):39—57
- Evans G,1965. Intertidal flat sediments and their environments of deposition in the Wash. *J Geol Soc London Quart*,121:209—245
- Pethick J S,1992. Saltmarshes-morphodynamics, conversation and engineering significance. In: Allen J R L, Pye K ed. *Saltmarsh Geomorphology*. London:Cambridge University Press,41—62
- Pethick J S,1980. Velocity surges and asymmetry in tidal channel. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*,11(3):331—345
- Postma H,1961. Transport and accumulation of suspended matter in the Dutch Wadden Sea. *Netherlands Journal of Research*,1(1—2):148—179
- Ren Meie, Zhang Renshun, Yang Juhai,1983. Sedimentation on tidal mud flat of Wanggang area, Jiangsu Province, China. *Collected Oceanic Works*,6(2):84—108
- Robert A, Roy A G,1990. On the fractal interpretation of the mainstream length-drainage area relationship. *Water Resources Research*,26(5):839—842
- Van Straaten L M J U,1961. Sedimentation in tidal flat areas. *J Alberta Soc Petrol Geolo*,9:203—226

THE FRACTAL CHARACTERISTICS OF TIDAL FLAT AND TIDAL CREEK SYSTEM IN THE HUANGHE RIVER DELTA

SUN Xiao-Gong

(*College of Marine Geosciences, Ocean University of Qingdao, Qingdao, 266003,*
State Key Lab. of Estuarine and Coastal Research, East China Normal University, Shanghai, 200062)

ZHAO Hai-Hong, CUI Cheng-Qi

(*College of Marine Geosciences, Ocean University of Qingdao, Qingdao, 266003*)

Abstract The morphologic characteristics of tidal flat and tidal creek system in the Huanghe River Delta was studied by fractal geometry method. Based on the approach of box dimension, fractal dimensions of the tidal creeks and tidal flats in the delta were calculated using aerial photo images in 1982 and actual flat measured data in 1984 separately. The result shows that fractal dimension could give a very good expression to the development and evolution of the tidal creeks and tidal flats in the delta. It was found that: (1) the fractal dimension value of tidal creek in the Delta intends to become bigger with the time, meanwhile its morphological development is more complex; (2) the fractal dimensions of the tidal flat and of the river end channels become smaller with the time, while their morphological developments intend to be simpler and smoother; (3) the fractal dimensions of the tidal flat and of the tidal creek on it are inversely related.

Key words The Huanghe River delta, Tidal flat, Tidal creek, Fractal