

遥感中轴线法在江苏辐射沙洲潮沟演变监测中的应用

刘燕春, 张 鹰

(南京师范大学 地理科学学院, 江苏 南京 210046)

摘要: 根据 1988~2008 年的 4 景 TM 影像, 对江苏辐射沙洲地区 5 条主要潮沟的动态演变研究方法进行了探讨。针对潮沟的特殊地形和复杂多变情况, 引入数学中的中轴线概念, 提出了遥感中轴线法, 通过中轴线位置的变化定量地表述潮沟演变。根据 GIS 中 Voronoi 图(V 图)的特性, 将中轴线的求取转换成 V 图的生成过程, 用 ArcGIS 软件实现, 将传统的目视解译方法改进为自动提取, 提取不同时相影像中轴主轴。研究结果表明: (1)用遥感中轴线法对不同时期的大型潮沟进行分析, 可较快、较准确地揭示潮沟的动态演变; (2)比较 1988~2008 年的潮沟轴线, 西洋深槽变化最大, 西岸蚀退、东岸东移; 其他 4 条潮沟均在南北方向上做往复摆动, 且逐渐趋于平缓。中轴线法可以实现对潮沟动态演变快速、准确地监测以及为整个辐射沙洲的开发建设提供理论基础。

关键词: 遥感中轴线法; 辐射沙洲; 潮沟演变; Voronoi 图

中图分类号: P941.8

文献标识码: A

文章编号: 1000-3096(2011)02-0072-05

江苏中部近岸浅海区存在呈辐射状分布的一系列水下沙脊, 称为辐射沙洲, 它们基本上以弶港为中心, 自北向南由东沙、竹根沙、蒋家沙、冷家沙、条子泥等大型沙洲组成^[1]。区域内潮流作用较强, 主要受东海前进潮波系统和南黄海旋转潮波系统控制, 两个潮波系统在弶港附近汇合, 致使岸滩辐射状潮沟极为发育^[2]。辐射沙洲地区的大型潮沟主要有西洋、陈家坞槽、苦水洋、黄沙洋、烂沙洋等(图 1)。

潮沟通过不断地侧向迁移、摆动来改变沙洲的分布, 同时影响潮滩的稳定性。因此, 潮沟演变的研究对辐射沙洲和潮滩的动态演变、海岸带的开发利用以及海岸工程的建设等方面均有重要意义^[3]。辐射沙洲地区潮沟规模大、变化快、地形及动力条件复杂, 对潮沟位置及其变迁的常规调查十分困难, 而遥感手段以其快速、高效、连续地获取地表信息来揭示地物特征性质及其变化的强大优势, 可以有效地实现对区域内多变、复杂的潮沟地形的动态监测。

通常对河床演变的研究都是利用中泓线、深泓线或主泓线等方法实现的, 现有对辐射沙洲内潮沟演变的研究也基本都基于这些方法^[4-5], 但这些都需精确的实测资料; 而遥感方法的特点是从平面的角度研究地物特征, 因此将潮沟作为面状要素, 引入数学中的中轴线概念, 提取不同时期的潮沟中轴线来实现动态演变分析, 这是与传统实测方法的最大区别, 也是其独特之处。

1 数据收集与处理

1.1 数据收集

为分析辐射沙洲潮沟历年来的移动、变迁情况, 收集了 1988~2008 年的 TM 影像 4 景, 各时相影像均为低潮位或接近低潮位, 云量极少, 岸线清晰。影像具体参数见表 1。

表 1 研究区影像参数

Tab. 1 Image parameters of the research area

编号	成像时间 (年-月-日)	传感器
1	1988-03-08	TM
2	1995-08-03	TM
3	2003-01-21	ETM+
4	2008-02-28	ETM+

1.2 数据处理

对 4 景 TM 影像选择高斯-克吕格 21 度带(GK

收稿日期: 2009-06-29; 修回日期: 2010-11-23

基金项目: 国家自然科学基金项目(40606044); 江苏省近海海洋综合调查与评价专项(JS-908-01-03)

作者简介: 刘燕春(1985-), 女, 江苏常州人, 硕士研究生, 主要从事遥感、海洋信息技术和 GIS 应用方面的研究, 电话: 13814173558, E-mail: lingxiang-2@163.com

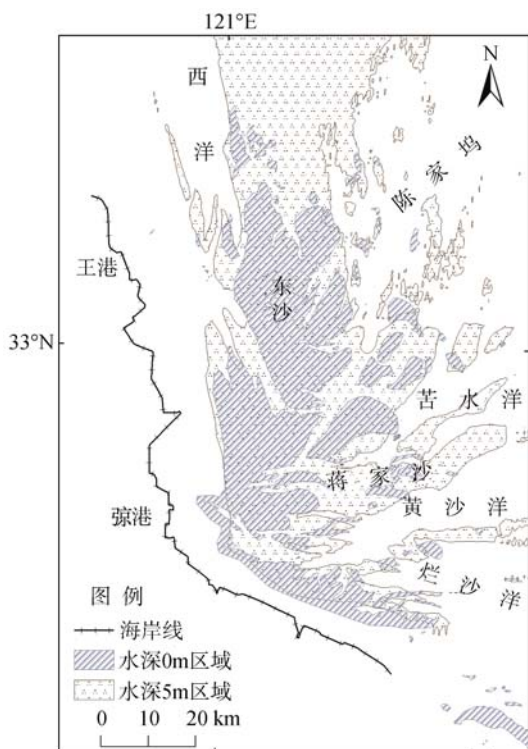


图 1 江苏辐射沙洲分布图

Fig. 1 The distribution of radial sandbanks of Jiangsu Province

Zone 21)投影, WGS-84 坐标系统, 然后选取图像上清晰可辨且不易变动的地物作为控制点, 进行图像-地面控制点配准。4 景影像采用统一的 23 个地面控制点和二次多项式函数来校正, 并统一选用最临近的重采样方法, 校正的均方根误差(RMS)均小于 0.3 个像元。这样使校正过后不同时相的影像处于同一误差分布下, 消除了由误差不一样引起的对潮沟监测的影响。

对影像做主成分分析并不改变图像数据点的内在空间结构, 而是使斜交坐标轴正交化, 突出了引起类间差别的本质因素, 因此类间距离能充分表现出来。在几何上表现为主成分分析后的类间距离为实在距离, 而斜交坐标轴下的类间距离为实在距离在斜交坐标轴上的投影, 是一种视在距离^[6]。因此, 对遥感影像做主成分分析以增强图像。

2 遥感中轴线法

多边形中轴也叫多边形的对称轴 (symmetric axis)、骨架线 (skeleton), 或多边形的中线 (center line)。在某种程度上, 多边形的中轴结构可以反映出原多边形的形状特征, 因此可作为形体的分析工具,

用于形体的描述和特征识别。目前面状要素中轴线的两种传统提取方法为: 垂线族法^[7]和栅格形态变换法^[8]。

还有近年来很多学者提出的一种基于矢量数据的新方法, 即利用约束 Delaunay 不规则三角网提取面状要素中轴线。该方法的关键在于 Delaunay 三角网的构建, 并逐步加入约束条件, 调整 Delaunay 三角网为约束 Delaunay 三角网, 但是插入约束条件后不同的经验值会产生不同的 Delaunay 三角网, 从而生成不同的中轴线^[9]。

由此可见, 随着约束条件的逼近, 所求的中轴线收敛程度越高, 也就是说提取的只是近似的中轴线。因此, 我们从中轴线定义入手, 严格按照定义来获取真正的中轴。

2.1 中轴线的定义

中轴线的定义: 设多边形 P 的中轴线为 P 内的点集, 则该点集中的点与多边形中不同边(或多边形的延长线)中两个或两个以上点距离相等^[10](图 2)。

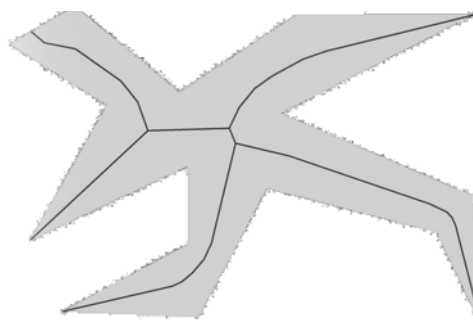


图 2 多边形中轴线

Fig. 2 Medial Axis of Polygon

2.2 中轴线和 Voronoi 图的关系

Voronoi 结构的概念是由俄国数学家 Voronoi 于 1908 年发现并以他名字命名的。Voronoi 图(简称 V 图)是对平面内 n 个离散点而言的, 它把平面分为几个区, 每一个区包括一个点, 该点所在的区是到该点距离最近的点的集合。

V 图、障碍 V 图、广义 V 图的多边形边界提供了全形态、障碍、非障碍完备空间和广义加权距离的等距线、等比线、等势线等是具有严密数学意义且具有广泛使用价值的轨迹线。例如在交汇线中便是角平分线或弯曲对称轴, 在封闭图形中便是中轴线或 Bimedial 骨架, 它实际描绘了大自然的几何轮廓或者说地图图形的几何轮廓^[11]。

所以, 多边形的中轴线是由 Voronoi 边和 Voronoi 顶点组成的, 求多边形的中轴线就是求多边形的 Voronoi 图。

2.3 V 图生成方法

多边形的中轴实际就是边界 Voronoi 图的邻边的集合, 提取中轴线的方法就等同于 V 图的生成方法。目前生成 V 图的方法归纳起来只有两种: 矢量方法和栅格方法。

矢量方法生成 V 图大多是对点实体进行的, 一般分为三类: 对偶生成法、增添法、部件合成法。该算法和数据结构较为复杂; 其生成元基于离散点集, 用离散点集代替线、面, 使空间实体的完整性遭到破坏。

栅格生成 V 图方法一般均是在距离变换的基础上产生的。栅格和矢量空间中距离的定义是不一样的, 矢量空间中距离是指“欧几里德距离”, 而栅格不是, 因此就需要做距离变换。一般分为两类: 数学形态学距离变换法产生 V 图和地图代数距离变换方法生成 V 图。

根据上述算法思想, 运用 ArcGIS 软件, 将影像中潮沟作为实体, 最终可生成到潮沟对应边距离相等的 Voronoi 边界^[12]。由前述定义和特性可知, 多边形的中轴是其边界的 Voronoi 图的邻边的有序集合, 成树状结构, 但是在研究潮沟变化时, 只需要最中间的那条轴线, 因此只取中轴线的主轴。中轴线主轴仍是潮沟中轴的一部分, 其到潮沟两边界距离仍然相等。因此提取 Voronoi 多边形主轴作为潮沟中轴。

3 潮沟中轴线提取

3.1 水陆分离

将潮沟作为面状要素提取中轴线, 首先要将潮沟从影像中分离出来。目前遥感影像水体提取方法有很多种, 其中阈值法是比较常用的一种。根据 TM5 良好的水陆对比性, 采用阈值分割进行水陆分离。

以 1995 年影像为例, 取水陆交界处任意断面, 观察 TM5 波段影像 DN 值(Digital Number, 是遥感影像像元亮度值, 记录的地物的灰度值。无单位, 是一个整数, 值大小与传感器的辐射分辨率、地物发射率、大气透过率和散射率等有关。)的变化(图 3), 发现 5 波段水体阈值为[40, 12], 因此选取 12 作为水陆分界的阈值, 建立掩膜, 将水体与陆地分离开来。

然后将掩膜过的影像分辨率重采样成 200 m。同样的方法将所有影像做水陆分离。

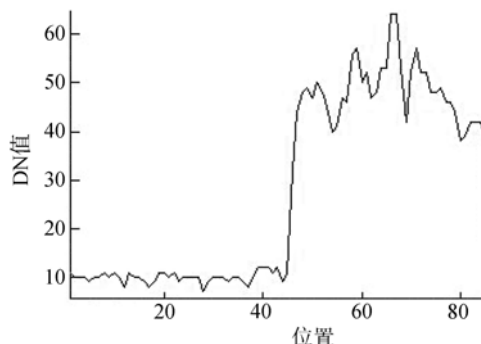


图 3 典型断面 DN 值图

Fig. 3 DN values of arbitrary section

3.2 提取中轴线

水陆分离后的影像成为只包含有水(0)和陆(1)信息的 2 值图像, 导入到 ArcGIS 中。加载 ArcScan 模块, 再加入新建的 shp 文件, 使之处于编辑状态下, 激活 ArcScan 模块^[13]。在 Vectorization 功能下, 选择 Vectorization Setting 进行属性值设置。最大线宽设置成最大值 100。这是经过调试后选取的, 因为影像范围较大, 大型潮沟较宽, 如若线宽设置过小, 提取将只针对岸上部分进行。再在 Options 里将要提取的部分设置成前景色, 另一种为背景色。这些设置完成后, 即可对图像进行矢量化提取。最后将提取结果中较细的分支去除, 并对照影像去除延伸上岸滩的多余分支, 得到五大潮沟的中轴主轴线。提取的结果是每条中轴线由若干条细小的线段组成, 因此将它们合并, 并做平滑处理, 得到最终结果。

4 潮沟演变分析

4.1 1988~1995 年 5 大潮沟的变迁

西洋潮流通道是王港外辐射沙洲区内侧的水道深槽, 平面上呈向西北偏北开口的喇叭形, 深槽内以小阴沙和瓢儿沙为界分为东西两支。1988 到 1995 年间, 潮沟东西分支分叉点位置向南移动了 1.08 km。相对 1988 年东支在 1995 年时中下部向东偏移, 最大距离达 2.40 km, 且尾部较 1988 年向北缩进了 1.78 km。西支潮沟 7 a 间变化相比东支大很多, 1988 年西支被北尖子西南的新沙洲分成两支, 走向近乎平行于东支, 到 1995 年, 新沙洲分别向东西两侧堆积殆尽, 使得西支潮沟加宽且向西南偏西方向延伸达 15.34

km。

陈家坞潮沟呈东北-西南走向, 7 a 间总体变化不大, 较为稳定。头尾两侧基本一致, 中部略向南北做往复运动。1988 年潮沟两端较为平直, 中间段向东南方向弯曲, 整体呈倒“ ”状, 而 1995 年趋于平直。

苦水洋潮沟头部在 1988 年分为两支, 其中北部的一支向西延伸, 将条子泥和蒋家沙分离开, 南部分支较短较弱, 分叉点以东部分呈波浪线型。到 1995 年头部的分叉变为一支, 沿着之前的南部分支向西延伸, 中部较 1988 年平缓, 尾部向北翘起。

从 1988 年到 1995 年, 黄沙洋潮沟头部向西北延伸 3.05 km, 同样, 1995 年该潮沟轴线也更为平缓, 只是在下部曲率增大。烂沙洋潮沟头部在 1988 到 1995 年的 7 a 间仅向北移动了 0.45 km, 整条潮沟轴线前半部分基本重合, 变化极小, 而中下部则由于分散小沙洲的消失从原来的东北走向改为东南走向, 最大偏移距离达 6.96 km(图 4a)。

4.2 1995~2003 年五大潮沟的变迁

西洋深槽轴线总体变化可以分叉点为界分为两部分, 分叉点以北变化相对较小, 以南则摆幅较大。潮沟头部向西偏移, 最大距离 1.47 km, 上部较为稳定, 略有偏移, 分叉点北移 0.51 km, 下部曲率变小, 趋于平缓, 且整体南移。到 2003 年, 西支东移北退约 15 km。

陈家坞潮沟变化较大, 1995~2003 年明显地整体向东南移动且更为平直。头部移动 1.61 km, 尾部则多达 6.17 km。苦水洋潮沟 8 a 间整体南移且在头部分叉。尾部缩进约 12 km。黄沙洋潮沟基本稳定, 头部稍有偏移, 整体变平直, 尾部缩进约 10 km。烂沙

洋潮沟上半部分稍有南移, 下半部分较 1995 年变为平直且向东北偏移, 最大偏移 4.69 km, 同样尾部也较 1995 年缩进约 6 km(图 4b)。

4.3 2003~2008 年五大潮沟的变迁

西洋深槽上部基本保持稳定, 分叉点北移了 1.68 km, 而分支的下部摆幅较大, 其中东部的分支较 2003 年南伸 2.65 km。陈家坞潮沟在 5 a 间头部强烈向沙洲外缘移动达 7.01 km。潮沟整体南移, 但幅度不大。苦水洋潮沟头部分叉消失, 上半部近乎平行南移, 下部近乎重合, 2008 年尾部稍往北偏。黄沙洋潮沟头部改道南移, 使得头部更接近弼港, 除此之外潮沟小有摆动, 基本处于稳定状态。烂沙洋潮沟也是整体变得平直, 头部稍有南移, 中下部向北突起, 北移 4.31 km(图 4c)。

4.4 1988~2008 年五大潮沟的总体变迁

综合上述分析, 可以看出五大潮沟中西洋深槽变化最大, 其 20 年间的变化主要为: (1)1988 年北尖子从条子泥分离出来, 在其西南部形成新的沙洲—西北尖子沙脊, 使得该年西洋深槽的西分支又被分为东西两支; (2)1995 年西支规模较大, 中轴线向西南延伸到弼港岸外, 之后不断东移西退至梁垛河闸岸外; (3)1988~2008 年西洋深槽西岸蚀退、东岸东移(图 4d), 以上结论均与已有结论一致^[5]。

陈家坞槽 20 年来总体向东南方向摆动, 趋于平直, 头部稳定, 尾部摆动剧烈且随意; 苦水洋则是近乎向东南方向平移, 同时潮沟从 1988 年的弯曲走势逐渐过渡到 2008 年的平直; 黄沙洋 20 年间变化不大, 位置基本保持, 在南北方向上略有摆动。头部向弼港西移延伸; 烂沙洋变化最小, 仅略微向南移动。

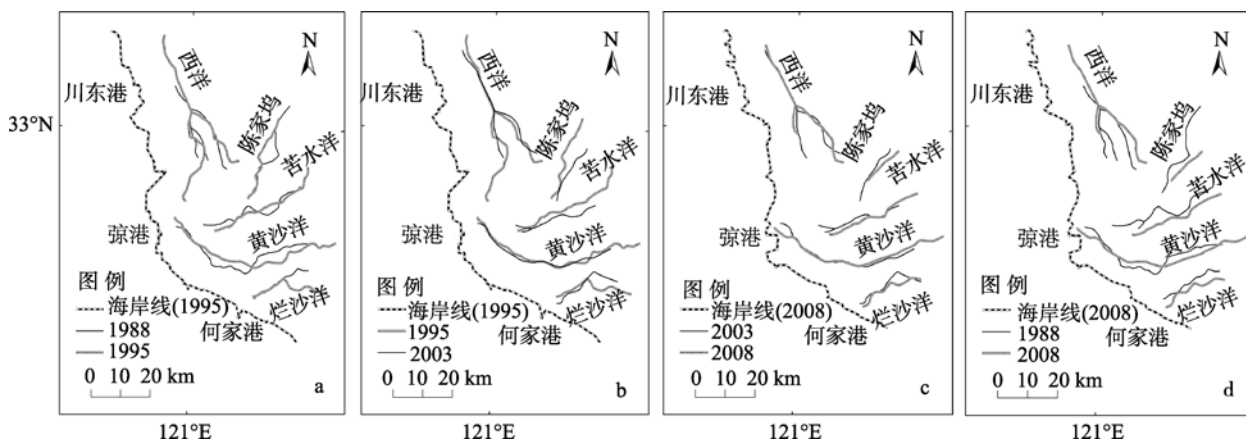


图 4 辐射沙洲五大潮沟的演变
Fig. 4 Dynamic changes of five main tidal creeks

5 讨论与结论

5.1 讨论

利用 20 a 间 4 个时相的 TM 影像, 对研究区内 5 条较大潮沟的动态演变方法进行了探讨。在研究中, 借助遥感的手段和中轴线的概念, 将两者结合成为遥感中轴线法, 提取出 5 条潮沟中轴线进行比较, 相比前人用中泓线、深泓线等方法有较大改进。

对苏北岸外大面积的辐射沙洲来说, 特殊的地形和冲淤的多变使得动态演变监测较为困难, 尤其是实地测量, 几乎难以实施, 而用遥感中轴线法最大的优点是能快速、精确地对大面积的区域进行动态监测, 省时省力。但是不同潮位对中轴线位置的影响以及可能由此造成的误差还有待进一步的探讨, 以使该方法更为完善。

5.2 结论

由上述潮沟演变分析结果可知, 该方法对潮沟的动态演变研究是合适的、简单有效的, 相对之前用目视解译方法直接从影像勾画有了大的改进, 可以定量地分析潮沟的摆动方向、速度及距离, 较为清晰地反映出辐射沙洲地区潮沟整体 20 a 间的动态变化趋势: 西洋深槽变化最大, 西岸蚀退、东岸东移; 其他 4 条潮沟均在南北方向上做往复摆动, 且逐渐趋于平缓。

参考文献:

[1] 任美镔. 江苏省海岸带和海涂资源综合调查报告[M].

北京: 海洋出版社, 1986: 122-134.

- [2] 杨长恕. 琼港辐射沙脊成因探讨[J]. 海洋地质与第四纪, 1985, 5(3): 35-44.
- [3] 邵虚生. 潮沟成因类型及其影响因素的探讨[J]. 地理学报, 1988, 43(1): 35-43.
- [4] 黄海军, 李成治. 南黄海海底辐射沙洲的现代变迁研究[J]. 海洋与湖沼, 1998, 29(6): 640-645.
- [5] 黄海军. 南黄海辐射沙洲主要潮沟的变迁[J]. 海洋地质与第四纪, 2004, 24(2): 1-8.
- [6] 邓广林, 邵美珍. 遥感图像分析中的主成分分析[J]. 遥感信息, 1989, 4: 13-16.
- [7] Thomas F. Generating street centerlines from vector city maps[J]. Cartography and Geographic Information Systems, 1998, 25(4): 221-230.
- [8] Olson. An algorithm for generating road centerlines from road right-of-way [C]//Proceedings of the 12th International Symposium on Computer-Assisted Cartography, Charlotte: [s. n.], 1995: 11-12.
- [9] 邵春丽. GIS 中多边形中轴问题和算法研究[D]. 武汉: 武汉大学, 2004.
- [10] 艾廷华, 郭仁忠. 基于约束 Delaunay 结构的街道中轴线提取及网络模型建立[J]. 测绘学报, 2000, 4: 348-354.
- [11] 胡鹏, 游涟, 杨传勇, 等. 地图代数[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2006: 149-161.
- [12] 魏士春, 张红日, 苏奋振, 等. 基于 ArcGIS 的面状要素中轴线提取方法研究[J]. 地理空间信息, 2007, 5(2): 45-47.
- [13] 吴秀芹, 张洪岩, 李瑞改, 等. ArcGIS9 地理信息系统应用与实践[M]. 北京: 清华大学出版社, 2007: 150-151.

(下转第 81 页)