

# 基于遥感和GIS的海岸带水域生态景观格局演变研究 ——以杭州湾北岸上海市段为例

冯永玖, 韩震

(上海海洋大学海洋科学学院, 上海 201306)

**摘要:**以杭州湾北岸上海市段为例,利用谱间关系法从多时相遥感影像中提取出1992年、2001年和2008年的水域信息,通过水域斑块数量、面积、密度、形状、分维数和景观动态度等分析其动态变化;利用GIS空间分析方法绘制了水域密度的空间分布图。结果显示,由于受人类活动的干扰,16 a来杭州湾北岸上海段水域景观格局发生了显著变化,表现为总面积减少、斑块增加、形态更趋复杂。

**关键词:**水域景观格局;海岸带;定量分析;时空演变

**中图分类号:**X 171 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-070X(2011)01-0123-05

## 0 引言

水域是人类生存不可或缺的物质条件,在社会发展过程中发挥着不可替代的作用,其中海岸带水域通常包括江、河、湖、海、水库和池塘等。伴随着中国近30a来东部沿海区域的快速城市化,水域环境遭受严重破坏,其数量和形态在空间上发生持续变化,造成水环境承载力不断降低,水域的保护受到严峻的考验<sup>[1]</sup>。研究水域数量和形态的时空演变规律和机理,是目前水资源保护亟待解决的问题之一。

由于水域的稳定性,通常表现为大小和形状各异的斑块在空间上的排列和组合形式,构成了水域的景观格局,即水域单元的类型、数量与空间分布和配置<sup>[2]</sup>。在空间格局的研究中,通常利用一系列高度浓缩的景观格局信息定量地反映景观结构的组成及其空间配置特征<sup>[3,4]</sup>。在摄影测量技术的辅助下,陈德超<sup>[5]</sup>利用航空像片和河流水质监测数据,从河网体系变迁、水质演化、污染源分析等角度对浦东开发以来的水环境变化进行了动态评价,并进行了水环境承载状况分析。丁圣彦等<sup>[6]</sup>借助历史资料和GIS技术,测算了清末以来百余年间开封市水域景观的斑块密度、连通性和分维数等指标,分析了开封城市水域景观格局演变的机制和规律。李娟娟<sup>[7]</sup>对上海城市土地利用变化及其景观格局进行了分析,认为水域斑块随时间趋于不规则化和复杂化。刘珍环等<sup>[8]</sup>从景观生态学、轨迹分析及生态系统服务的角度研究了深圳市水体景观破碎化动态过

程及其生态价值的变化,分析了该市水体景观的时空变化特征。最近,李蓉等<sup>[9]</sup>利用多时相遥感影像解译得到的土地利用数据,研究了1994~2005年快速城市化阶段上海市海岸带的景观动态变化特征,并提出了海岸带综合治理的建议。

以上研究不同程度地取得了较好的结果,但从景观格局的角度针对海岸带水域空间形态演变的专门研究尚不多见。海岸带水域数量和形态的变化,是对自然环境演变和海岸带综合开发的反映,从水域演变的角度审视人类综合活动及地理生态过程,能够揭示水域空间形态对自然及人文因素的响应特征<sup>[10,11]</sup>。本文选取杭州湾北岸上海市岸段作为研究对象,利用遥感和GIS技术,综合研究海岸带水域生态景观格局,在类型和景观两个尺度上分析其数量、斑块和形态等的时空演变过程和趋势。

## 1 景观指数及其生态学意义

本文采用多种生态景观指标分析和刻画水域景观时间序列的演变和空间分布的差异,包括斑块数量( $NP$ )、斑块密度( $PD$ )、水域面积的比例( $PLAND$ )、最大水域斑块占景观面积的比例( $LPI$ )、景观形态指标( $LSI$ )、斑块分维数( $Fract$ )及景观动态度( $K$ )<sup>[12]</sup>。以上7种指标的组合,能够较好地描述水域生态景观格局的动态变化特征,有助于探索其内在规律。

(1) 斑块数量( $NP$ )。研究区域某类型斑块的数目,即研究区域中与周围环境在外貌和性质上有

收稿日期:2010-06-07;修订日期:2010-09-18

基金项目:上海市教育委员会科研创新项目(编号:11YZ154)、上海高校选拔培养优秀青年教师科研专项基金(编号:SSC09018)和上海海洋大学校博士启动基金暨环境工程重点学科基金(编号:A-2400-10-0134)共同资助。

别的均质性生态景观单元,本文特指水域斑块数量。

(2) 斑块密度(*PD*)。景观中每 km<sup>2</sup> 所拥有的斑块数量,是景观格局的基本测度,用于描述生态景观斑块的破碎程度,但不考虑斑块的大小和空间分布信息。水域斑块密度 *PD* 表示为

$$PD = n/A \tag{1}$$

式中,*n* 为水域斑块的总数量(个); *A* 为景观总面积(km<sup>2</sup>)。

(3) 水域面积的比例(*PLAND*)。用于刻画水域面积在整个景观中的面积比例,表明水域对景观面积的贡献度<sup>[12]</sup>。水域 *PLAND* 表示为

$$PLAND = \frac{\sum_{i=1}^n a_i}{A} \times 100 \tag{2}$$

式中,*a<sub>i</sub>* 为水域斑块 *i* 的面积(km<sup>2</sup>); *n* 为水域斑块的总数量; *A* 为景观总面积(km<sup>2</sup>)。

(4) 最大水域斑块占景观面积的比例(*LPI*)。最大斑块面积与景观总面积的比值,有助于确定水域景观中的优势斑块,其大小决定着景观中内部种的丰度等生态特征,其值的变化是人类活动的方向和强度的反映<sup>[12]</sup>。水域 *LPI* 表示为

$$LPI = \max(a_{ij})/A \times 100 \tag{3}$$

式中, $\max(a_{ij})$  为水域最大斑块的面积(km<sup>2</sup>); *A* 为景观总面积(km<sup>2</sup>)。

(5) 景观形态指标(*LSI*)。斑块形态指数反映斑块形状的复杂程度,斑块形态指数越大,表明形状越复杂,斑块破碎化程度越高,受人类活动干扰的程度越大<sup>[12]</sup>。水域 *LSI* 表示为

$$LSI = 0.25E/\sqrt{A} \tag{4}$$

式中,*LSI* 为斑块形态指数; *E* 为斑块边界的总长度(km); *A* 为景观总面积(km<sup>2</sup>)。

(6) 斑块分维数(*Fract*)。斑块分维数表示景观斑块的自相似及复杂程度,其值在 1 ~ 2 之间,当 *Fract* 的值接近 1 时,说明斑块的形状规则、自相似性高;当 *Fract* 的值接近 2 时,说明斑块的形状高度复杂、自相似性低<sup>[12]</sup>。水域 *Fract* 表示为

$$Fract = 2\ln(P/4)/\ln(A) \tag{5}$$

式中,*Fract* 为水域斑块的分维数; *P* 为水域斑块的周长(km); *A* 为景观总面积(km<sup>2</sup>)。

(7) 景观动态度(*K*)。反映水域生态景观类型在时间序列上的动态变化,通过水域景观面积和总面积来进行分析,从而把握不同年份间时空演变的趋势<sup>[12]</sup>。水域景观动态度表示为

$$K = (U_b - U_a)/U_a \times T \times 100 \tag{6}$$

式中,*K* 为研究区一定时间内水域面积的动态度; *U<sub>a</sub>*、*U<sub>b</sub>* 分别为研究期初及研究期末水域的面积(km<sup>2</sup>); *T* 为以年为单位的研究时段。

## 2 研究区及水域信息提取

### 2.1 研究区概况

上海市的海岸带包括大陆岸带和岛屿岸带两部分。其中,沿杭州湾北岸—南汇嘴—长江南岸至苏沪交界的浏河口的大陆岸线长约 173 km,另有崇明、横沙、长兴、大小金山等岛屿沿江、沿海岸线总长 460 km<sup>[9]</sup>。本文所指的杭州湾北岸上海市段包括金山、奉贤和原南汇部分区域(图 1),总面积为 1 499.53 km<sup>2</sup>,水域密布、河网纵横,是调节自然和气候、支持区域经济社会综合发展的重要资源。十余年来,受金山工业区、奉贤工业区和临港产业区建设的影响,该段岸带内的土地利用和水域景观均发生了剧烈变化。



图 1 杭州湾北岸上海市段研究区

Fig. 1 Study area of Shanghai section in northern bank of Hangzhou bay

### 2.2 水域信息提取

本文采用的数据主要为 3 景 Landsat MSS/TM 遥感影像(分别获取于 1992 年 7 月 18 日,2001 年 7 月 3 日及 2008 年 3 月 24 日),辅以上海市行政区划矢量地图。

对遥感影像进行几何精纠正和假彩色合成,得到 3 幅影像(图 2)。由于本文以水域为研究对象,因此必须保证水域分类的精度;而利用 Landsat 影像进行水域分类,一向是遥感分类的难点之一。研究证实,上海市内陆水体的水面性质、水体中悬浮物质的性质和含量较为稳定,因此不同季节的遥感影像对水体分类结果的影响并不显著<sup>[13]</sup>。采用谱间关系法进行水域分类,证明其结果和精度是可靠的。通过分析水体与其他地物在 TM 影像各波段的灰度曲线图,发现水体具有独特的谱间关系特征,即绿波段的反射率值加红波段的反射率值大于近红外波段的反射率值加短波红外波段的反射率值<sup>[14]</sup>。该水

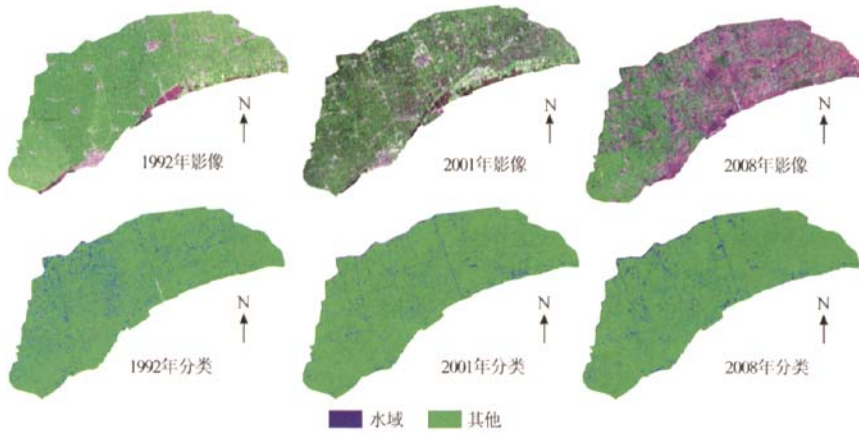


图2 杭州湾北岸上海市段遥感影像及水域分类图(1992~2008年)

Fig. 2 RS images and corresponding classified maps of Shanghai section in northern bank of Hangzhou bay (1992 ~ 2008)

域信息提取模型为

$$\begin{cases} (Gray_C + Gray_R) - (Gray_{NIR} + Gray_{SIR}) < 0 \\ Gray_{NIR}/Gray_R < 0.88 \end{cases} \quad (7)$$

式中,  $Gray_C$  为 Landsat 影像绿波段的反射率值;  $Gray_R$  为红波段的反射率值;  $Gray_{NIR}$  为近红外波段的反射率值;  $Gray_{SIR}$  为短波红外波段的反射率值。

谱间关系法在水域信息提取中已得到认可和广泛应用,其优点在于利用了 Landsat 卫星影像中水域成像的特性,缺点在于当缺乏基准参考图时不能够像监督分类方法那样对分类结果进行评价<sup>[13]</sup>(实际上,监督分类方法的精度评价仅仅利用了训练区,是一种不完全的评价方法,得到的分类精度往往高于实际精度)。本文分析的重点在于水域景观的时间变化与空间分异的比较,是一种相对变化分析;由于3个时相影像的分类都采用了相同的方法,因此

缺少基准参考图对水域景观变化结果的分析与比较影响其微。对所获取的3期遥感影像在 Envi 4.5 中利用波段计算模块进行水域提取,所得结果如图2所示。

### 3 水域生态景观格局分析

#### 3.1 水域生态景观的时间演变

基于遥感软件 ENVI、GIS 软件 ArcGIS 和景观分析软件 Fragstats,测算了杭州湾北岸上海市段1992年、2001年及2008年的7种水域生态景观指标(表1)。

表1 杭州湾北岸上海市段水域景观指数及其结构特征

Tab. 1 Landscape indexes and the structure of water areas of Shanghai section in northern bank of Hangzhou bay

年份	PLAND/ %	NP/个	PD/(个·km <sup>-2</sup> )	LPI/ %	LSI	Fract	K
1992	7.769 2	14 842	9.897 7	5.553 9	137.650 5	1.719 5	116.50
2001	6.900 5	18 135	12.093 8	6.702 4	148.577 9	1.722 7	103.48
1992~2001	-1.31%	2.25%	2.25%	2.11%	0.85%	0.02%	-1.40%
年均变化 <sup>①</sup>	↓	↑	↑	↑	↗	↗	↓
2008	6.448 6	19 268	12.849 3	7.309 9	162.114 9	1.743 8	96.70
2001~2008	-0.96%	0.87%	0.87%	1.25%	1.25%	0.17%	-0.94%
年均变化	↘	↗	↗	↑	↑	↗	↘
1992~2008	-1.16%	1.64%	1.64%	1.73%	1.03%	0.09%	-1.06%
年均变化	↓	↑	↑	↑	↑	↗	↓

① 当年均变化大于1%时,减少或增大分别表示为“↓”或“↑”;当年均变化小于1%时,减少或增大分别表示为“↘”或“↗”。

分析表明,16 a 来上海市段水域面积不断减少,斑块数量逐年增加,斑块密度 PD 的变化趋势与斑块数量 NP 一致。由于水域斑块总面积持续减少,而斑块数量不断增加,致使平均斑块面积呈现减小

态势。

最大斑块占景观面积的比例 LPI 呈现增加的态势。从1992~2008年杭州湾北岸上海段水域分布图及景观指数来看,区域内最大斑块是主要河流;

随着城市化进程的快速推进,一些水域如坑塘、湖泊等遭到填埋,同时也产生了部分人工坑塘和湖泊,而主要河流面却变化甚微,因此造成总体水域面积减少的同时 *LPI* 指数增大。16 a 年间, *LSI* 指数年均增加量为 1.03%,表明水域景观聚集性降低、越来越趋于分散。而水域景观形态的分维数 *Fract* 年均增加 0.09%,表明其形态越来越复杂。从景观动态度 *K* 来看,1992 ~ 2001 年水域密度年均减少率大于 2001 ~ 2008 年均减少率,表明水域减少的趋势有所减缓。

综上所述,水域面积的比例 *PLAND* 和景观动态度 *K* 指数呈减小态势,而斑块数量 *NP*、斑块密度 *PD*、最大水域斑块占景观面积的比例 *LPI*、景观形状

指标 *LSI* 和斑块分维数 *Fract* 呈增大态势,说明研究区水域总体面积减小、斑块密度增大、各斑块形态更趋复杂。

### 3.2 水域生态景观的空间分异

水域面积的空间分布并不是均匀的,因此水域密度存在空间分异性,并且这种分异随时间的推移及景观格局的变化而变化。从时间序列来看,研究区内水域密度从 1992 年的 7.77% 降低到 2001 年的 6.90%,再到 2008 年的 6.45%。从空间分布来看,各区域水域密度随时间而不断演变。以水域遥感分类数据为基础,利用 ArcGIS 栅格重采样、属性提取和距离分析等空间分析功能,绘制出研究区水域密度分布图(图 3)。

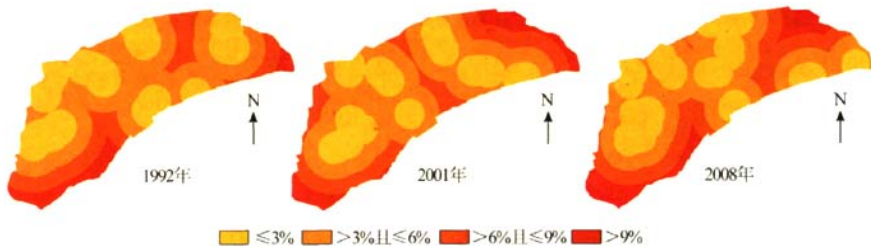


图 3 杭州湾北岸上海市段水域密度分布及演变(1992 ~ 2008 年)

Fig. 3 Distribution and evolution of water of Shanghai section in northern bank of Hangzhou bay (1992 ~ 2008)

图 3 直观地显示出 1992 ~ 2008 年间研究区的水域密度变化过程,其中高密度区域以东北部近淀山湖区和东部沿海区域为典型,而低密度区域以金山区行政中心以西为典型。截至 2008 年,低密度区域呈微弱的扩大趋势,水域密度的空间分异比较明显。

## 4 结论

随着城市化进程的加快,区域景观生态稳定性和安全性受到威胁,生物群落和水域受到的干扰尤为严重。水域景观格局的变化,是水域对自然环境变迁和人类活动等干扰的响应,而其中人类活动的干扰占据支配地位。基于遥感和 GIS 技术,利用景观分析方法对杭州湾北岸上海市段水域景观的时空演变特征进行了初步研究。

(1) 从空间距离的角度分析,研究区是除崇明县以外距离上海市中心最远的区域,其南侧面海,来自外部的干扰较少;北侧紧临黄浦江上游,水域面积较大,加之临近上海市中心区,因此受到的干扰较大。随着上海城市建设不断推向远郊区,以及海岸带区域港口及重装备产业区等的布局和建设,水域景观的原态性受到影响、生态格局的安全性受到威胁。

(2) 利用遥感和 GIS 技术,能够方便地从卫星

遥感数据提取水域信息,从而分析水域景观的变化。本研究利用谱间关系特征提取水域面积,测算了斑块数量、斑块密度、水域面积的比例、最大水域斑块占景观面积的比例、景观形状指标、斑块分维数及景观动态度等 7 个指标。研究表明,1992 ~ 2008 年的 16 a 间,研究区水域面积、景观、形态等发生了显著变化,其中总面积趋减少态势,斑块呈增加态势,景观趋于破碎,分形维数显示水域形态趋于复杂。

(3) 总体来看,研究区水域生态的稳定性有所降低、景观趋于复杂,受到人类活动的干扰明显。因此在开发利用海岸带的同时,必须考虑到对水域的影响并进行合理的保护。

### 参考文献:

- [1] Deng J S, Wang K, Yang H, et al. Spatio-temporal Dynamics and Evolution of Land Use Change and Landscape Pattern in Response to Rapid Urbanization [J]. Landscape and Urban Planning, 2009, 92:187 - 198.
- [2] Lee S W, Huang S J, Lee S B, et al. Landscape Ecological Approach to the Relationships of Land Use Patterns in Watersheds to Water Quality Characteristics [J]. Landscape and Urban Planning, 2009, 92:80 - 89.
- [3] 刘 頌,李 倩,郭 菲. 景观格局定量分析方法及其应用进展 [J]. 东北农业大学学报, 2009, 40(12): 114 - 119.

- [4] Weng Y C. Spatio-temporal Changes of Landscape Pattern in Response to Urbanization [J]. *Landscape and Urban Planning*, 2007, 81: 341-353.
- [5] 陈德超. 浦东城市化进程中的河网体系变迁与水环境演化研究[D]. 上海: 华东师范大学, 2003.
- [6] 丁圣彦, 曹新向. 清末以来开封市水域景观格局变化[J]. *地理学报*, 2004, 59(6): 956-963.
- [7] 李娟娟. 上海市景观格局演变及其生态安全影响研究[D]. 上海: 复旦大学, 2007.
- [8] 刘珍环, 王仰麟, 彭建, 等. 深圳市水体景观破碎化动态及其生态价值变化[J]. *北京大学学报(自然科学版)*, 2009(3): 121-127.
- [9] 李蓉, 李俊祥, 李斌, 等. 快速城市化阶段上海海岸带景观格局的时空动态[J]. *生态学杂志*, 2009, 28(11): 2353-2359.
- [10] 岳隽, 王仰麟, 彭建. 城市河流的景观生态学研究: 概念框架[J]. *生态学报*, 2005, 25(6): 1422-1429.
- [11] 傅伯杰, 赵文武, 陈利顶. 地理——生态过程研究的进展与展望[J]. *地理学报*, 2006, 61(11): 1123-1131.
- [12] 邬建国. 景观生态学——格局、过程、尺度与等级(第三版)[M]. 北京: 高等教育出版社, 2007.
- [13] 王海波, 马明国. 基于遥感的湖泊水域动态变化监测研究进展[J]. *遥感技术与应用*, 2009, 24(5): 174-184.
- [14] 汪金花, 张永彬, 孔改红. 潜间关系法在水体特征提取中的应用[J]. *矿山测量*, 2004, 4: 30-32.

## RS and GIS Derived Spatio-temporal Evolution of Water Landscape in Coastal Areas: a Case Study of Shanghai Section on the Northern Bank of Hangzhou Bay

FENG Yong-jiu, HAN Zhen

(College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

**Abstract:** On the basis of the techniques of remote sensing and geographical information system (GIS), it is possible to extract water information from the remotely sensed images for mapping and pattern study by using the method of spectrum relations. In this paper, water information was derived from the remote sensing images of Shanghai section obtained on the northern bank of Hangzhou Bay in 1992, 2001 and 2008, respectively. The landscape information including a number of patches, areas, densities, shape indices and fractals were calculated for further analysis. The results show that the landscape pattern of water was changed remarkably with the reduction of total area and patches as well as the complication of the water shape from 1992 to 2008.

**Key words:** Landscape pattern of water; Coastal areas; Quantitative analysis; Spatio-temporal evolution

第一作者简介: 冯永玖(1981-), 男, 博士, 讲师, 主要从事遥感与GIS、地学信息模型研究。

(责任编辑: 刘心季)