

# 海岛界定数量的变维分形特征 ——以嵊泗县为例

王欣凯<sup>1,2</sup>, 夏小明<sup>2</sup>, 程 林<sup>3</sup>

(1. 浙江大学 地球科学学院, 浙江 杭州 310012; 2. 国家海洋局第二海洋研究所 杭州 310012; 3. 河北省科学院地理科学研究所, 河北 石家庄 050051)

**摘要:** 我国多次海岛数量普查因界定标准不一而结果相差巨大, 为了满足海洋主管部门对海岛的管理要求, 亟需研究合理的方法界定海岛数量。利用高分辨率遥感影像解译嵊泗县海岛 2 875 个, 以分形理论讨论海岛数量与海岛面积、海岛间距的关联。结果表明, 嵊泗县 50% 的海岛面积小于 50 m<sup>2</sup> 或岛间距不足 6 m, 海岛数量与界定标准间呈分维数先增大后稳定的变维分形特征, 分维数在 220 m<sup>2</sup> 和 28.5 m 之后稳定在 1.80 和 2.25。以 200~500 m<sup>2</sup> 为界区分大小岛, 小岛数量和海岛间距也存在变维分形特征, 且分维数在间距大于 50 m 后趋于稳定。故嵊泗海岛最佳界定方法为以 220 m<sup>2</sup> 筛选出计数海岛后再补充间距大于 50 m 的较小海岛, 该方法下界定嵊泗海岛 681 个。

**关键词:** 海岛数量; 海岛面积; 海岛间距; 变维分形

中图分类号: P714 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2017)09-0130-06

DOI: 10.11759/hyhx20161223001

我国是海洋大国, 沿海密布海岛, 然而海岛数量却在数次全国性海岛普查项目中相去甚远。例如: 1976 年, 确认我国海岛 6 536 个; 20 世纪 80 年代末, 确认我国不含港、澳、台地区的海岛 6 971 个<sup>[1]</sup>; 最新一轮的“908 专项”调查, 确认我国海岛 10 312 个<sup>[2]</sup>。除客观的海岛灭失及新岛被发现外, 海岛界定方法的不同是主要原因。当前我国海岛数量的界定方法主要依据海岛面积和海岛间距两个界定参数, 界定参数取值越精细统计所得海岛数量越多。该特征类似于 Mandelbrot 提出的分形, 分形理论起源于对地学形态的研究, 其指出分形集中对象的测量结果随所用尺度变化而不同, 并利用分维数来描述此类变化特征<sup>[3]</sup>。以往对分形特征的研究, 多集中于有具体形态的对象, 如岸线、地形等。那么海岛数量这一抽象对象是否也与界定参数构成分形特征? 本文由此入手, 以浙江嵊泗县海岛为例, 利用浙江省航空摄影测量成果获取嵊泗县可识别海岛的地理信息, 依据海岛数量和界定参数之间的数量关系讨论其分形特征, 并提出了依靠分维数变化规律界定海岛数量的方法。本文将分形理论推广到了抽象对象, 研究结果为我国海岛数量的管理提出了科学的参考依据。

## 1 数据与方法

### 1.1 海岛岸线提取

本文的研究区域嵊泗海域位于东海的杭州湾外

侧, 所辖海岛众多且距大陆较远(图 1), 海岸线人类活动较少干预, 多处于自然状态。本文依托“浙江 908 专项”海岛岸线专题的成果, 参考 2007—2008 年的航空遥感影像, 通过人工解译的方法提取嵊泗县所有可判识海岛的岸线信息。所用影像主要源于 2008 年拍摄的地面分辨率 0.8 m 的浙江省沿海低潮时航空摄影成果, 并以 Google Earth Pro 软件截取的拍摄时间为 2007 年 3—7 月的地面分辨率 0.5~0.7 m 的影像作为补充。

海岸线为大潮高潮时海面所淹没的水陆界线<sup>[4]</sup>, 由于所用影像中的潮时各异, 故本文参考国家海洋局所编规程和前人的研究<sup>[4-6]</sup>, 依靠高空间分辨率影像的优势, 从海岸线的野外地貌特征进行判识解译。即人工型海岸线位置位于人工构筑物的外缘, 基岩型和沙砾质岸线的位置位于岩石和沙滩上颜色由深到浅的分界线。利用 ArcGIS 软件将所用影像和提取岸线统一到 CGCS2000 坐标系并以 121°E 中央经线进行高斯-克吕格投影, 再对海岛面积、间距等各类地理信息进行计算。

收稿日期: 2016-12-23; 修回日期: 2017-03-19

基金项目: 国家自然科学基金(41576095); 我国近海海洋综合调查与评价专项(908-ZC-1-09, ZJ908-01-02)

[Foundation: National Science Foundation of China, No. 41576095; Chinese Offshore Investigation and Assessment Program, No. 908-ZC-1-09, No. ZJ908-01-02]

作者简介: 王欣凯(1986-), 男, 湖北武汉人, 博士在读, 主要从事海岸带、海岛调查与管理研究, 电话: 0571-81963500, E-mail: carlinwxk@163.com

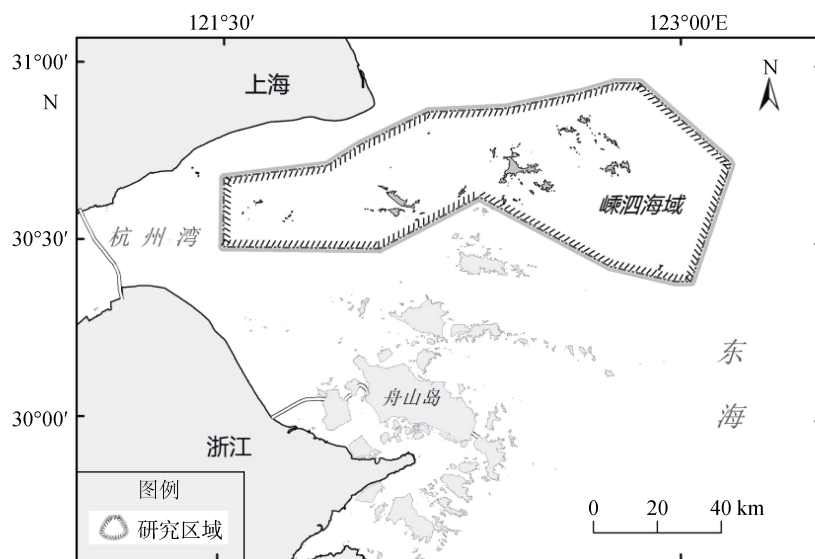


图 1 研究区域简图

Fig. 1 Map outlining the study area

## 1.2 海岛数量的统计方法

我国《海岛保护法》实施以来，社会各界对海岛的定义已有共识，即“四面环海水并在高潮时高于水面的自然形成的陆地区域”。但由于自然环境的复杂性，海岸带岩体遭受侵蚀裂解，数量庞大的微型海岛生成。该类微型岛开发利用和海洋权益方面的价值较低，数量不稳定，若穷举数量，将产生巨大的调查成本和管理难度，且回报甚微。为了更合理地管理海岛，海洋部门提出了海岛数量的界定方法，仅将满足界定条件的海岛纳入海岛管理体系。目前海岛数量的界定工作主要依托于海岛面积和海岛间距两个界定参数判断<sup>[7]</sup>，即指定某一界定值，仅将界定参数不小于该界值的海岛参与计数。例如我国“908专项”中，使用面积不小于 500 m<sup>2</sup> 和间距不小于 50 m 作为界定方法<sup>[4]</sup>。本文沿袭上述方式，将海岛面积表示为  $S$ ，并用海岛方化边长  $e = \sqrt{S}$  代替海岛面积，使其拥有与海岛间距相同的一维量纲便于讨论， $N_e$  表示所有面积大于  $e^2$  的海岛个数。类似的，将海岛间距表示为  $d$ ， $N_d$  表示所有间距大于  $d$  的海岛个数。由于所用影像地面分辨率约 1 m，故可解译的最短线段长度约为 2 m，为提升数据有效性，在海岛面积方面仅分析  $e > 2$  的海岛，在海岛间距方面仅分析  $d > 2$  的海岛。

## 1.3 分形特征研究方法

分形理论指出，分形对象的测量结果随所用尺度呈指数变化<sup>[3]</sup>，并满足式(1)中所示关系。

$$L(r) = Mr^{1-D} \quad (1)$$

式中： $L(r)$ 为被测对象结果， $r$ 为测量尺度， $M$ 为待定常数， $D$ 为被测对象分维数。对式(1)两边同时取对数，可得：

$$\ln[L(r)] = (1-D)\ln r + \ln M \quad (2)$$

即理想状态下，具有分析特征对象的测量结果和尺度将在双对数坐标系中投射出一条直线，且斜率与分维数相关。本文将界定参数  $e$  和  $d$  取值对应为测量尺度  $r$ ，相应海岛数量  $N_e$  和  $N_d$  对应为测量结果  $L(r)$ ，同样将结果绘制于双对数坐标系中分析海岛数量的变化趋势。同时依界定参数升序，将前 30 个数据点作为基础样本，利用最小二乘法计算样本的分维数，随后逐个将下一数据点加入样本空间计算分维数，至样本包含全部数据点。分析上述所得与界定参数相关的分维数序列，研究海岛数量的分形特征。

## 2 结果

### 2.1 嵊泗海岛数量概况

本文共识别嵊泗县海岛 2 875 个，相比于“浙江 908 专项”的 508 个<sup>[2]</sup>，海岛数量增至 5.6 倍。其中面积大于 4 m<sup>2</sup> 的海岛 2 113 个，最大的为泗礁山岛的 22.6 km<sup>2</sup>；海岛间距大于 2 m 的海岛 2 586 个，最远的为半洋礁的 3.9 km。 $e > 2$  的海岛中 52.6% 位于  $e < 7$  的区间里， $e < 100$  区间中的海岛占 94.4%。以 2 个单位为步长放大  $e < 100$  的区间(图 2)，在  $e \in (2, 4)$  时海

岛数量的分布密度最大, 为 443 个。随着  $e$  增大, 海岛数量的分布密度迅速减小, 至  $e=20$  附近时减小趋势停止, 并大致在  $e \in (20, 34)$  的区间内稳定在 25 附近。当  $e > 34$  时, 海岛数量的分布密度进一步减小至零星分布。

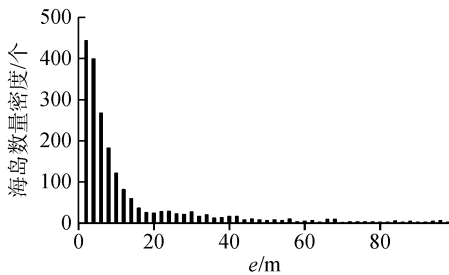


图 2 基于面积的海岛数量密度分布

Fig. 2 The distribution of number densities based on island areas

海岛间距方面的分布情况与之类似,  $d > 2$  的海岛中 55.8% 位于  $d < 6$  的区间里,  $d < 35$  区间中的海岛占 98%。以 1 个单位为步长放大  $r < 35$  的区间(图 3), 在  $d \in (2, 3)$  时海岛数量的分布密度最大, 为 447 个。随着  $d$  增大, 海岛数量的分布密度迅速减小, 至  $d=20$  附近时, 减小的速率明显降低, 随后进一步减小至零星分布。

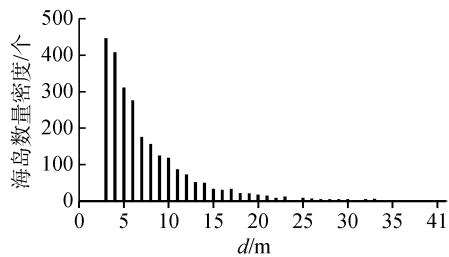


图 3 基于间距的海岛数量密度分布

Fig. 3 The distribution of number densities based on the separation distances of islands

## 2.2 海岛数量的分形特征

依据海岛数量的统计结果, 从海岛面积和海岛间距两个方面, 将界定值  $e$  和  $d$  与相应海岛数量的自然对数绘制成图 4。图 4 显示随着界定参数值增大, 界定的海岛数量迅速减小。两条曲线形状和变化趋势大致相同, 但海岛面积所示图像直线相关性更好, 斜率变化不大, 而海岛间距所指示图像直线相关性稍差, 斜率有着明显的先变陡再变缓过程。

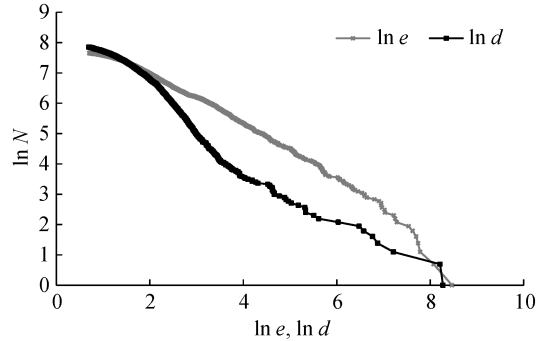


图 4 海岛数量与界定参数的双对数关系

Fig. 4 The relationship between the number of islands and the relevant statistical standards in double logarithmic coordinates

依据本文构建的海岛面积和海岛间距两个样本组, 以样本组中每个样本空间内  $e$  和  $d$  最大值的自然对数为横坐标, 样本分维数为纵坐标绘制曲线(图 5)。图 5 显示代表海岛面积和海岛间距的  $\ln e$  和  $\ln d$  两条曲线都表现出分维数先增大后迅速趋于平稳的变维分形特征。在海岛面积方面, 拐点为  $\ln e = 2.69$ , 对应海岛面积为  $220 \text{ m}^2$ 。  $e^2 < 220 \text{ m}^2$  时, 样本分维数从 1.25 逐渐增大至 1.70;  $e^2 > 220 \text{ m}^2$  时, 样本分维数稳定于 1.70 至 1.80 之间, 全样本分维数为 1.80。在海岛间距方面, 拐点为  $\ln d = 3.35$ , 对应海岛间距为  $28.5 \text{ m}$ 。即  $d < 28.5 \text{ m}$  时, 分维数从 1.35 逐渐增大至 2.25; 当  $d > 28.5 \text{ m}$  时, 样本分维数稳定于 2.25 附近, 全样本分维数为 2.25。

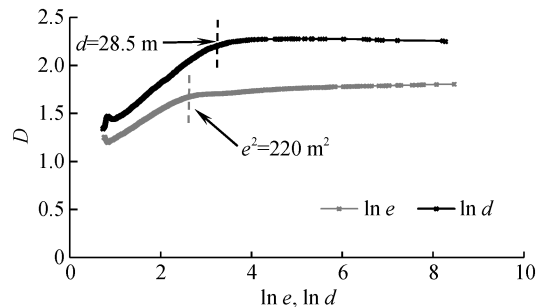


图 5 海岛数量的分维数与界定参数的关系

Fig. 5 The relationship between the fractal dimensions of the number of islands and the relevant statistical standards

对比该两条曲线, 初始阶段海岛间距样本的分维数比海岛面积的约大 0.25, 两者分维数增大的速率相近, 接着海岛面积方面分维数稳定, 海岛间距方面分维数继续增大, 两组分维数都稳定后, 海岛间距的分维数比海岛面积约大 0.5。

### 3 讨论

#### 3.1 变维分形特征及其意义

依据本文计算结果,海岛数量在海岛面积和海岛间距两方面都存在着明显的分形特征,但分维数在所研究的尺度范围内并非一直稳定,而是存在着先增大后稳定的过程。汪富泉等<sup>[8]</sup>在研究大自然事物的分形特征时也发现了类似现象,分维数在一段尺度区间内是稳定的,但超过该区间后分维数将明显变化。本文将这种分维数随尺度范围不同而发生变化的特征称为变维分形特征。由于同类特征的分维数相似,异类特征的分维数不同<sup>[9-10]</sup>。本文推断分维数随尺度变化的原因在于不同尺度下事物的特征发生了改变。这种现象在自然界中是存在的,如图6所示,沙滩表面在米级的尺度下可视作平面,放大到毫米级尺度则是延绵起伏曲面,放大到微米尺度

则脱离二维属性表现离散特征。在描述沙滩面积时,以上三个尺度下的对象特征和分维数显然都会差异巨大,表现出变维分形特征。

变维分形特征在分维数变化的同时又包含了分维数的稳定部分。正如本文海岛数量的分维数,在中后段也是稳定的,拥有一致的分形特征。本文将分维数稳定的区间称为该分形特征的特征区间。在特征区间内所有尺度描述的对象特征是一致的,结果随尺度的变化可由分维数推算,属量变范畴。尺度越过特征区间,分维数发生改变,该尺度转而描述对象新的特征,结果随尺度的变化不符合原分维数的推算,发生质变。因此若描述具有变维分形特征的对象,并非尺度越精细越准确,因为尺度超过对应特征区间的左侧边界时对该特征的描述必然失真。综上,特征区间左边界是描述对应特征最精确的尺度,而右边界则是能有效描述该特征的最粗略尺度。

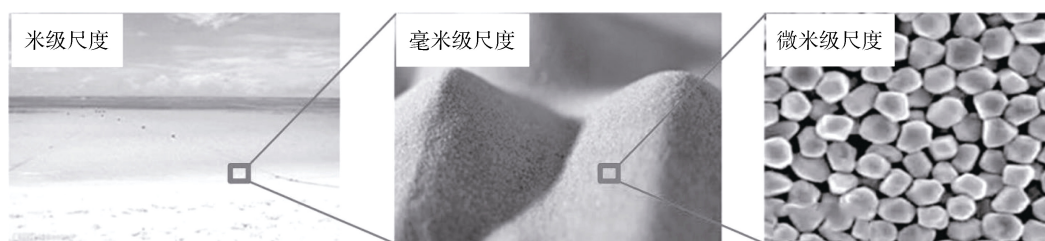


图6 不同尺度下的沙滩形态特征

Fig. 6 The morphological characteristics of a beach using different observational scales

#### 3.2 单界定参数的取值

海岛数量界定目的在于筛选出利用价值高、海洋权益大且数量稳定的海岛,以提高海岛资源管理的能效,而界定方法是否合理的关键在于如何确定界定参数的取值。界定值过大,纳入管理体系的海岛数量偏少,将造成海岛资源的浪费;界定值过小,纳入管理体系的低价值海岛偏多,又会影响海岛的有效管理。

一般来说,海岛的面积越大,越易于开发利用;间距越远,给予的海洋权益越大。依据基岩海岛的地质成因,将本文的海岛分为构造类和海蚀类两类。构造运动时间尺度和空间尺度都较大,故所形成的海岛在短时期内是稳定的,且面积大、岛间距远,利用价值也高。反观海蚀作用形成的海岛,依附于海岸浅滩存在,海岛新增和灭失现象频发,故所形成海岛数量不稳定,且面积小、岛间距短,利用价值较低。因此合理的海岛数量界定方法应将构造类海岛纳入

海岛管理而排出海蚀类。依本文计算结果,海岛面积和海岛间距两方面的分维数都在较大尺度端稳定,其特征区间的左边界分别为  $\ln e=2.69$  和  $\ln d=3.35$ , 即  $S=220 \text{ m}^2$ 、 $d=28.5 \text{ m}$ 。由于构造类海岛刚好对应着大面积远间距的特征,故可假设分维数稳定的区间为构造类的特征区间。也就是说,  $S>220 \text{ m}^2$  的海岛属于构造类;  $d>28.5 \text{ m}$  的海岛属于构造类。使用小于上述界定值的尺度描述海岛,将渐脱离构造类特征进入海蚀类特征,致使海岛数量冗多,对海岛管理的资源造成浪费。因此,在界定嵊泗县海岛的数量时,单独使用海岛面积合理界定值应为  $220 \text{ m}^2$ , 单独使用海岛间距合理界定值应为  $28.5 \text{ m}$ 。

#### 3.3 多界定参数的取值

在实际的海岛数量界定中,往往利用多种界定参数组合判断,而非单一的参数。海岛面积因其直观且与利用价值关联紧密常作为优先指标。例如,“浙江908专项”先将满足面积大于  $500 \text{ m}^2$  的较大海岛

纳入数量统计, 而后再利用 50 m 间距对剩余海岛进行筛选补充。那么优先界定参数的取值大小对其他辅助界定参数取值的影响如何呢? 本文同样以海岛面积为主海岛间距为辅, 以 200、300、400 和 500 m<sup>2</sup> 为面积界值, 分 4 种情况筛选出面积大于面积界值的海岛作为大岛, 并以余下小岛与大岛的间距为界定参数, 计算小海岛的分维数序列, 结果如图 7 所示。结果表明余下的小海岛数量与海岛间距同样存在着变维分形特征, 且小海岛的分维数显著小于全体海岛。随面积界值的增大, 同间距尺度下的分维数降低, 其中 200~300 m<sup>2</sup> 的降幅较大, 300、400 和 500 m<sup>2</sup> 之间的降幅较小。分维数稳定的区间方面, 余下海岛数量的特征区间较之全体海岛向右偏移, 且上述 4 种情况下, 均偏移至  $\ln d=3.9(d=50 \text{ m})$  附近。结合上文的讨论, 经过 200~500 m<sup>2</sup> 的面积筛选后, 海岛间距大于 50 m 的海岛归属构造类分形特征。在嵊泗县海岛范围内, 使用 200~500 m<sup>2</sup> 的面积作为优先界定参数时, 余下海岛间距的合理界定值应为 50 m, 该值恰巧与“浙江 908”中的界定值相同。

综上, 在分形理论下, 所得最佳界定方法为优先对面积大于 220 m<sup>2</sup> 的海岛计数, 再将海岛间距大于 50 m 的余下海岛补充计数, 所得嵊泗县海岛界定数量为 681 个。

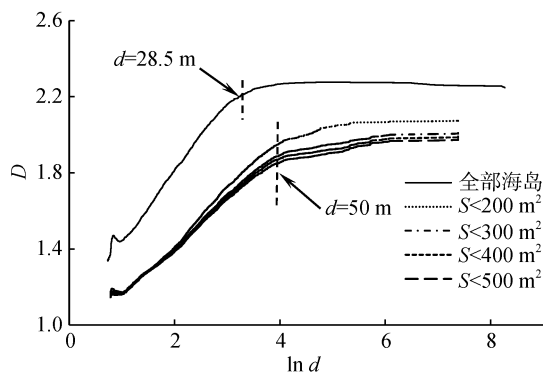


图 7 面积筛选后海岛数量与海岛间距的分维数

Fig. 7 The relationship between the fractal dimensions of island numbers and separation distances after being screened by area

## 4 结论

本文通过高分辨率遥感影像提取嵊泗县海岛地理信息, 使用分形理论的研究方法, 以海岛面积和海岛间距为界定参数, 探讨海岛界定数量与界定参数取值之间的联系。随后, 利用变维分形的思想, 讨

论合理的界定值大小, 得到了以下结论。(1)2008 年嵊泗县可影像识别的海岛数量为 2 875 个, 其中面积大于 4 m<sup>2</sup> 的海岛 2 113 个, 海岛间距大于 2 m 的海岛 2 586 个。(2)绝大多数的海岛都分布在小面积、短间距的区间之中, 超过 50% 的海岛面积不超过 50 m<sup>2</sup>, 间距不足 6 m, 且随着面积或间距的增大, 海岛分布密度持续降低。(3)海岛界定数量在海岛面积和海岛间距两方面都存在分维数先增加后稳定的变维分形特征, 在海岛面积大于 220 m<sup>2</sup>, 海岛间距大于 28.5 m 时, 海岛界定数量的分维数趋于稳定。(4)变维分形特征显示嵊泗县海岛合理的界定方法为先对面积大于 220 m<sup>2</sup> 的海岛计数, 再将余下海岛中间距大于 50 m 的海岛补充计数, 所得数量为 681 个。

致谢: 本文的完成得益于贾建军、时连强、刘毅飞、蔡廷禄、王宁、曹一峰等参与“浙江 908 专项”海岛调查同志们的辛苦工作, 华东师范大学贾建军教授对文章的修改提供了帮助。在此一并致谢。

### 参考文献:

- [1] 宋小棣. 浙江海岛资源综合调查与研究[M]. 杭州: 浙江科学技术出版社, 1995.  
Song Xiaodi. Survey and Research of The Island Resource in Zhejiang[M]. Hangzhou: Zhejiang Science and Technology Press, 1995.
- [2] 夏小明, 贾建军, 陈勇, 等. 中国海岛(礁)名录[M]. 北京: 海洋出版社, 2012.  
Xia Xiaoming, Jia Jianjun, Chen Yong, et al. China Islands Directories[M]. Beijing: China Ocean Press, 2012.
- [3] Mandelbrot B B. How long is the coast of Britain?[J]. Science, 1967, 156: 636-638.
- [4] 国家海洋局 908 专项办公室. 我国近海海洋综合调查与评价专项海岸线修测技术规程[M]. 试行本. 北京: 海洋出版社, 2007.  
State Oceanic Administration, People's Republic of China, 908 Project Office. Chinese Offshore Investigation and Assessment Project Coastline Measurement Technical Regulation[M]. Beijing: China Ocean Press, 2007.
- [5] 孙伟富, 马毅, 张杰, 等. 不同类型海岸线遥感解译标志建立和提取方法研究[J]. 测绘通报, 2011, 3: 41-44.  
Sun Weifu, Ma Yi, Zhang Jie, et al. Study of remote sensing interpretation keys and extraction technique of different types of shoreline[J]. Bulletin of Surveying and Mapping, 2011, 3: 41-44.
- [6] 李静, 张鹰. 基于遥测测量的海岸线变化与分析[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2012, 40(2): 224-228.  
Li Jing, Zhang Ying. Analysis of coastline change based

- on remote sensing measurement[J]. Journal of Hohai University (Natural Sciences), 2012, 40(2): 224-228.
- [7] 国家海洋局 908 专项办公室. 海岛界定技术规程[M]. 北京: 海洋出版社, 2011.  
State Oceanic Administration, People's Republic of China, 908 Project Office. Specifications for Island Definition Techniques[M]. Beijing: China Ocean Press, 2011.
- [8] 汪富泉, 李后强. 分形——大自然的艺术构造[M]. 济南: 山东教育出版社, 1996: 7-36.  
Wang Fuquan, Li Houqiang. Fractal: the Art Structure of Nature[M]. Ji'nan: Shangdong Education Press, 1996: 7-36.
- [9] 苏媛媛, 李钦帮, 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.  
Su Yuanyuan, Li Qinbang, Hou Ming. Study on coastal fractal of Yellow River delta[J]. Resources & Industries, 2008, 10(6): 103-107.
- [10] 王欣凯, 贾建军. 浙江海岛岸线分维数与其人工岸线比例的关系[J]. 海洋学研究, 2011, 29(4): 25-37.  
Wang Xinkai, Jia Jianjun. Relationship between the fractal dimension and percentage of artificial coastlines of islands in Zhejiang Province[J]. Journal of Marine Sciences, 2011, 29(4): 25-37.

## The variable fractal dimensions characterizing of the statistical number of islands — a case study of Shengsi County

WANG Xin-kai<sup>1, 2</sup>, XIA Xiao-ming<sup>2</sup>, CHENG Lin<sup>3</sup>

(1. School of Earth Sciences, Zhejiang University, Hangzhou 310012, China; 2. The Second Institution of Oceanography, State Oceanic Administration, Hangzhou 310012, China; 3. Institute Geographical Sciences, Hebei Academy of Sciences, Shijiazhuang 050051, China)

**Received:** Dec. 23, 2016

**Key words:** number of islands; area of islands; distance of islands; variable fractal dimension

**Abstract:** It is imperative that the oceanic authority who manages the islands count them. However, because of the inconsistencies in statistical standards, different numbers of the islands in China can be attained. This paper examines the islands of Shengsi County as a case study and uses the fractal theory to determine the most suitable standard by which to count islands. From high resolution remote-sensing images, 2 875 islands were detected visually in Shengsi County; more than half of these are smaller than 50 m<sup>2</sup> in area or with a separation distance shorter than 6 m. In both aspects of island area and separation distance, the relevant statistics for island numbers display the characteristics of variable fractal dimensions. At first the fractal dimensions increase then stabilize at 1.80 and 2.25 for areas larger than 220 m<sup>2</sup> and distances greater than 28.5 m, respectively. For islands separated by 200, 300, 400 and 500 m<sup>2</sup>, the number of smaller islands and their separation distances from the larger islands also display the characteristics of variable fractal dimensions. And for separation distances greater than 50 m, the fractal dimensions are stable for each of the four cases previously discussed. Therefore, the rational standard for counting islands in Shengsi is by screening out those islands larger than 220 m<sup>2</sup> and then by supplementing them with those islands whose separation distance is larger than 50 m. Using this method, the number of islands in Shengsi is 681.

(本文编辑: 刘珊珊)