

# 典型黄土地貌类型区的地形复杂度分形研究

龙毅<sup>1,2</sup>, 周炯<sup>1,2,3</sup>, 汤国安<sup>1,2</sup>, 刘学军<sup>1,2</sup>

(1. 南京师范大学地理信息科学江苏省重点实验室, 江苏 南京 210097

2. 南京师范大学地理科学学院, 江苏 南京 210097; 3. 南通大学地理科学学院, 江苏 南通 226007)

**摘要:** 黄土高原地貌形态与地形复杂度自南向北有序变化, 构成了举世瞩目的独特的地理景观。选择陕西省南北剖面六个典型黄土地貌样区为基本实验区, 以其 1:1万栅格 DEM 为数据源, 探讨典型黄土地貌类型区的地形复杂度分形与空间分异特征。首先提出的元分维模型方法, 以计算得到的 DEM 元分维值作为特征指标, 研究样区的地形复杂度问题。这种通过滑动窗口的扩展分维分析方法, 既可以用于分析该区域不同尺度下的地形复杂度变化情况, 也可以探讨区域的局部单元复杂程度及其空间分布, 从而不再局限于对全区域的单一分维评价。以此为基础, 进一步应用元分维谱方法, 研究地貌网格单元的元分维分级分布情况。实验结果表明: 以绥德和延川为代表的黄土峁状丘陵沟壑区最为复杂, 以宜君和甘泉为代表的梁状丘陵沟壑区居中, 而以淳化为代表的黄土塬区和以神木为代表的风沙黄土过渡区最为平缓。实验进一步证明了扩展分形方法在黄土地貌研究中的可行性。

**关键词:** 黄土地貌; 地形; 复杂度; 分形; 元分维

**中图分类号:** P931.6

**文献标识码:** A

美籍法国数学家 B. B. Mandelbrot 创立的分形几何学 (Fractal geometry), 为在形态、分布、结构上具有非规则的自然对象定量化分析, 提供了一种新的思路 and 有力工具, 其理论最早来源于对海岸线与河流长度的研究, 因此, 可以说从它诞生之时起就和地学, 特别是地貌学研究紧密结合起来, 推动了分形地貌学的发展<sup>[1]</sup>。目前分形几何理论在地貌学中的研究, 主要集中在流域地貌中河流平面形态及水系网的分维值变化规律研究<sup>[3-8]</sup>、基于盒维数与分维布朗模型等的自然地貌起伏度与粗糙度的分形描述<sup>[2,10]</sup>及地表模拟的分形方法研究<sup>[11]</sup>方面, 某些特殊地貌类型区域 (喀斯特、沙漠、黄土地貌等) 的分形特征与地貌成因关系的研究<sup>[9,12-14]</sup>。在大多数研究中, 人们仍然主要把地貌区域视为一个整体的分形对象, 进而探讨研究区域内地形在无标度区间的单一分维计算方法, 或者不同区域的分维估值与

复杂性对比分析, 缺乏对这些地貌类型区域内部的分形特征变化的进一步研究, 而这种内部变化能够更好地反映地貌形态的复杂性与地貌成因及发育过程的关系。要实现对局部分维的空间变化分析, 依靠传统的分形方法存在着一定的困难, 从而需要对分维进行扩展。基于滑动窗口技术的应用<sup>[15,16]</sup>, 笔者提出了面向点群、线和面状对象的元分维值计算方法<sup>[17]</sup>, 并初步应用在地形复杂性的 DEM 分析上<sup>[18]</sup>。

由于黄土高原在世界上独有的地理景观特征, 一直是国内外地学领域关注的研究区域。黄土地貌作为一种特殊的地貌形态, 由最典型的黄土塬、黄土梁、黄土峁以及纵横交错的沟壑组成, 形成了各种次一级的黄土地貌形态, 前期的研究也证明了黄土地貌在空间形态、分布上具有较好的自相似性<sup>[14,18]</sup>, 因而可以利用分形方法对其外表形态特征等方面进

收稿日期 (Received date): 2007-02-26; 改回日期 (Accepted): 2007-05-05.

基金项目 (Foundation item): 国家自然科学基金项目 (40571120), 南京师范大学重点科研基金项目 (2004105XGQ2B55) [National Nature Science Foundation of China No. 40571120; Scientific Research Fund of Nanjing Normal University No. 2004105XGQ2B55]

作者简介 (Biography): 龙毅 (1968-), 男, 博士, 主要研究方向为地理空间数据模型与地理信息智能化处理。E-mail: longy@njnu.edu.cn  
[Long Yi (1968-), Male, PhD, Born in Xuan Han, China. Research fields mainly covering geo-spatial data model and intelligent processing of geographical information.]

行描述。

陕西黄土高原地区包括渭北高原区、陕北丘陵沟壑区、长城沿线风沙区的 45 个县(区),土地面积  $10.68 \times 10^4 \text{ km}^2$ , 约占全省的 56%, 耕地  $175.82 \times 10^4 \text{ hm}^2$ , 占全省 52.5%, 此地区自然地貌复杂、水土流失严重、经济相对贫困。由于陕西黄土高原包含了大部分次级黄土地貌形态组合类型, 因而选取这一区域作为实验样区, 既可以反应整个黄土高原的次级地貌单元的地形特点, 也能够揭示黄土次级地貌单元的地域分异情况。本实验从陕西黄土高原若干实验样区中筛选了六个有代表性的样区, 应用这种元分维的扩展分形分析方法对地形复杂度及分异问题进行了研究。

## 1 实验样区概况

本实验在陕西黄土高原地区中选择神木、绥德、延川、甘泉、宜君和淳化六个样区(图 1)的 1:1 万栅格 DEM 数据作为实验数据源, 水平分辨率 5 m, 构成 17931313 的高程数字矩阵。如图 2(a-f)所示, 六样区自北向南依次分布, 地理位置介于  $34^\circ 50' 00'' \sim 38^\circ 55' 00'' \text{N}$ ,  $109^\circ 18' 45'' \sim 110^\circ 22' 30'' \text{E}$ 。每个样区的面积  $58.85 \text{ km}^2$ , 六样区分别选自于黄土塬、黄土梁状丘陵沟壑、黄土峁状丘陵沟壑、风沙-黄土过渡区等典型的黄土地貌类型单元区<sup>[19]</sup>, 基本地理状况(如高程、坡度、沟壑密度等)也各有不同, 见表 1。

## 2 实验原理

### 2.1 分维估值方法

前期研究证明, 尺度-表面积法能够较好描述

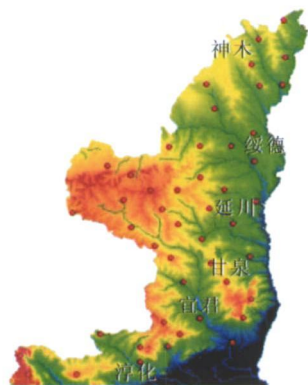


图 1 实验样区在陕北的地理位置

Fig 1 The six sampling areas in northern Shaanxi

地表曲折度, 能够综合地表局部的粗糙程度及起伏程度<sup>[17]</sup>, 因而本实验选择尺度-表面积法作为分维估值的基本方法。

方法原理如下: 对于所考虑的地形表面  $S = \{ (x, y, z(x, y)) | (x, y) \in G \}$ , 若用正方形网格覆盖  $G$ , 即将  $G$  分成  $n(r) \times n(r)$  个边长  $r$  为的小正方形, 则第  $i$  个小正方形  $G_i$  上对应的的  $S$  表面积在  $r$  较小的情况下, 可由折平面面积  $S_i$  来近似, 从而的面积  $A$  可写成

$$A \propto \sum_{j=1}^{n^2(r)} r^2 = n^2(r) r^2 \quad (1)$$

式中  $j=1, 2, \dots, n^2(r)$ 。

由量纲分析及根据线性回归分析原理<sup>[17]</sup>得到

$$D = 2 - \frac{M \sum_{i=1}^M (\lg r_i) (\lg A(r_i)) - (\sum_{i=1}^M \lg r_i) (\sum_{i=1}^M \lg A(r_i))}{M \sum_{i=1}^M (\lg r_i)^2 - (\sum_{i=1}^M \lg r_i)^2} \quad (2)$$

式中  $D$  即为曲面的分维。(2)式即是利用表面积-尺度关系求曲面分维值的公式。显然, 在公式中, 我们需要由不同的  $r_i$  求出相应的面积  $A(r_i)$  ( $i=1, 2, \dots, M$ ), 由(1)式可知, 只要对固定的码尺  $r$  求出相应的  $S_i$  即可。

### 2.2 元分维模型

传统的分形分析方法, 一般把地理对象看作一个整体进行分析, 得到一个在无标度区间经线性拟合产生的单一分维值, 以描述对象的空间复杂性。但这种方法忽视了地理对象的内部变化, 即把对象简单视为性质均匀的实体, 这与地理成因与发育过程的复杂性并不相符合。

对于分形对象的各空间细节单元来说, 单元距离越接近, 它们的性质则越相似。在地貌区域中, 某一地貌单元的相邻空间单元在形态、结构和动力学成因等方面通常具有更大的相似性。因而, 在分形分析中, 可以采用数字图像分析中类似“滑动窗口”的方法来进行。“滑动窗口”的基本原理是采用一个相同网格尺寸(对应一个实际地理距离)的窗口沿着 DEM 网格单元自上而下, 自左而右依次滑动, 并将每一次的窗口区域作为一个地貌单元, 计算其分维值作为该窗口中心网格单元的分维替代值, 最终遍历整个地貌分析区域的过程。经过这种处理, 对于一个  $m$  行  $n$  列的栅格 DEM 数据而言, 分维估值的结果也是一个  $m \times n$  的二维矩阵, 并能够和原始空间单元一一对应。其中每一个矩阵元素值表示

对应网格单元的局部分维值, 因而命名为元分维值。建立的元分维矩阵又可称为元分维模型, 其作用是提供了一个直接反映地形复杂性空间分异的定量方法。

2.3 滑动窗口尺度的选择

在元分维模型建立中, 滑动窗口尺寸的选取是一个关键性问题。滑动窗口选择过小, 则割裂了目标内部的连续性, 且地形起伏变化小到趋于规则形态, 不符合分形对象所要求的复杂性。同样, 如果滑动窗口尺度过大, 则相邻单元的重叠区间大, 容易削弱目标内部的局部差异, 导致其分析结果同样被弱化。因此, 为了体现局部分形研究的意义, 必须选择合理的分析尺度。

鉴于实验的目的需要, 在本实验中, 选择了 9~21 个栅格单元的滑动窗口序列作为实验的分析尺度, 即其实际代表的尺度大致为 45~105 m。通过这一序列, 可以得到一组实验结果, 相对从微观到中观尺度来分析地表的复杂度变化情况。而宏观方面, 即整体的地形复杂度情况可由平均元分维所推导获取, 本实验通过选择尺度序列的方法来实现实验分析尺度的确立。

由于应用滑动窗口方法进行处理, 对于处于样区边缘的栅格而言, 其滑动窗口的一侧栅格单元可能不存在, 导致计算结果出现异常。因此, 需要对得到的数据结果进行裁剪处理, 去掉不具有完整性滑

动窗口的边缘区域。显然, 元分维矩阵的行和列比 DEM 源数据小一个滑动窗口尺度大小。而对于同样区的不同滑动窗口尺度而言, 结果区域按照滑动窗口的最大尺度作为参照, 得到的一组分析结果范围应保证相对一致性。而且对于六个样区而言, 分析结果的面积大小也应保持一致。

2.4 元分维模型的分析方法

相对于传统的分形分析方法而言, 元分维模型可以进行更丰富的地形复杂性分析, 下面仅列举几个本文着重探讨的分析思路与方法:

1 从空间上看, 能够对地貌形态信息进一步细化, 更具体地反映不同空间单元的复杂性变化情况, 如图 2 所示。解决了以往分形方法直接研究整个分形对象所造成的“同维异形”现象, 使得分形分析方法本身得到了扩展。

2 元分维值的不同组合计算能够表示不同的含义: 元分维值本身反映地形在一定量测尺度范围内的局部复杂程度; 元分维值集合的平均值反映了整体的地形复杂度情况; 在不同的滑动窗口尺寸下获取的元分维值同样是变化的, 利用窗口尺寸和元分维平均值之间的关系, 从而可进一步分析地形整体复杂性随分析尺寸变化的程度。

3 对 DEM 处理得到的元分维值集合, 按照大小关系, 对数据进行分级运算。计算落入不同等级的

表 1 实验样区地理状况  
Table 1 The geomorphologic situation of the test areas

样区	海拔 (m)	平均坡度 (°)	沟壑密度 ( km /km <sup>2</sup> )	地貌类型	基本自然状况
神木	1 060~1 322	9 24	3. 40	风沙 - 黄土过渡区	位于神木县城西北部野窑河中游支流, 有连片的低丘分布, 其上覆盖有薄层片沙和低缓沙丘。
绥德	847~1 163	29 14	6. 52	黄土峁状丘陵沟壑区	位于绥德县无定河中游, 区内丘陵起伏, 沟壑纵横, 土壤侵蚀极为剧烈。
延川	953~1 252	31 43	6. 78	黄土梁峁状丘陵沟壑区	位于延川县城西南部延河中游地区, 梁状坡面细沟、浅沟发育, 梁峁以下, 冲沟、干沟和河沟深切。
甘泉	1 149~1 445	26 77	5. 6	黄土梁状丘陵沟壑区	位于甘泉县城东南部洛河中游地区, 梁坡上面侵蚀; 梁地间冲沟、河沟下切强烈。
宜君	797~1 134	19 11	4. 20	黄土长梁残塬沟壑区	位于宜君县城东北部洛河中下游地区, 沟谷溯源侵蚀强烈, 重力侵蚀活跃。
淳化	768~1 164	11 51	3. 13	黄土塬区	位于淳化县城西北部泾河中游地区, 黄土塬及残塬为主要地貌类型, 但被诸多大沟深切割裂。

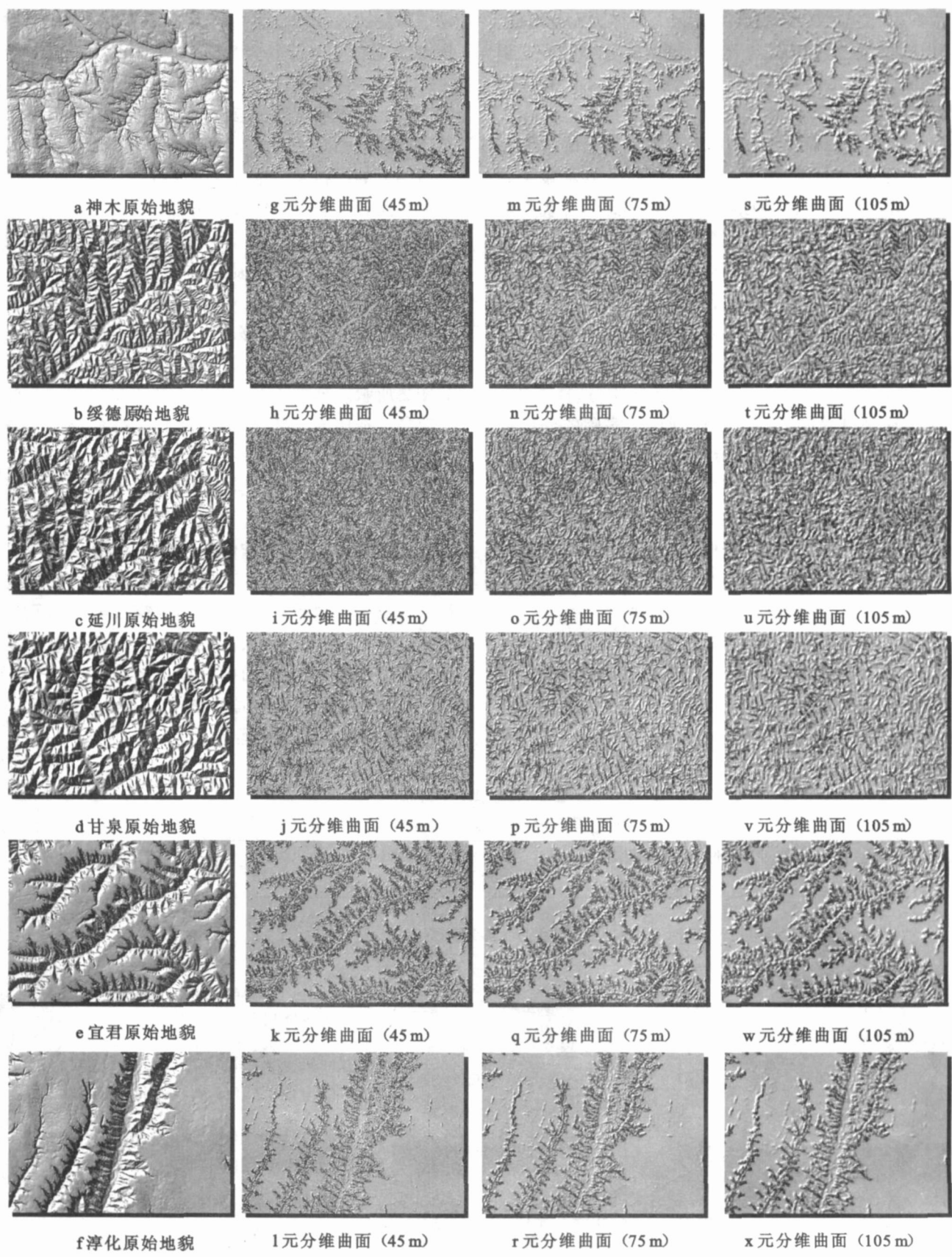


图 2 实验样区原始地貌及不同分析尺度下的元分维曲面 (图中括号内为滑动窗口尺寸)

Fig. 2 Original and Meta fractal dimension terrains of the six test areas

元分维值数量, 可得到元分维值的分布直方图, 这有助于进一步区分不同地貌类型区内部的细微差别。

### 3 实验结果分析

#### 3.1 元分维曲面

通过元分维模型的建立方法对原始地表的 DEM 数据进行计算, 可以得到相对应的元分维矩阵。因其结构和栅格 DEM 数据相同, 如果将元分维值看作高程值, 那么元分维矩阵同样也可以看作一个关于地形复杂性描述的特殊分维曲面, 如图 2 (g ~ x) 所示。由于元分维曲面和真实地表在地理位置上一一对应, 因而可以分析任一地点周围一定区域范围内的地表复杂情况。

一般而言, 元分维值越大, 在元分维曲面上表现为正地形, 则对应研究区域的地形越复杂。以淳化黄土塬区为例, 如图 3 (a) 中, A 区域的水系和 D 区域四个明显的冲沟均为负地形, 但在 (b) 图中表现为正地形, 说明这些区域的地形复杂度较周围突出; B 区域的塬面和 C 区域的谷底部分在 (b) 图中表现的较为平缓, 说明其复杂程度同样为低。因此, 地形复杂性最大的区域主要集中在沟谷斜坡中央区域,

并向谷底和塬顶逐渐减小, 到塬面和宽阔谷底元分维逐渐趋近于 2。图 3 (c) 和 (d) 分别为原始地表和元分维曲面在线段 1-2 (图 3 (a)、(b) 中白色虚线) 之间的横剖面图, 两者对比反映了这一特点。

#### 3.2 元分维谱

实验中可得到一组元分维值的集合, 这些值具体地反映每个单元一定范围内的地形复杂度情况。如果将所有的元分维值, 按照大小划分为若干等级, 统计每一等级的网格单元数, 可以在二维直角坐标系下建立元分维值等级区间与网格单元数之间的直方图, 它反映了样区内部地形复杂性的空间单元分布情况, 因其值为元分维值, 故称为元分维直方图, 即元分维谱。据此可建立不同滑动窗口尺度对应的元分维直方图 (图 4)。

#### 3.3 元分维的尺度效应

样区的平均元分维值可以用于描述地形的整体复杂程度。但如上所述, 分析尺度即滑动窗口的大小直接影响到元分维值。将一组给定的滑动窗口尺寸与其对应的平均元分维值序列表示在二维平面直角坐标系下, 结果如图 5 所示, 各样区均近似于线性关系, 这表明地形复杂程度是一个随观测分析尺度变化的量。

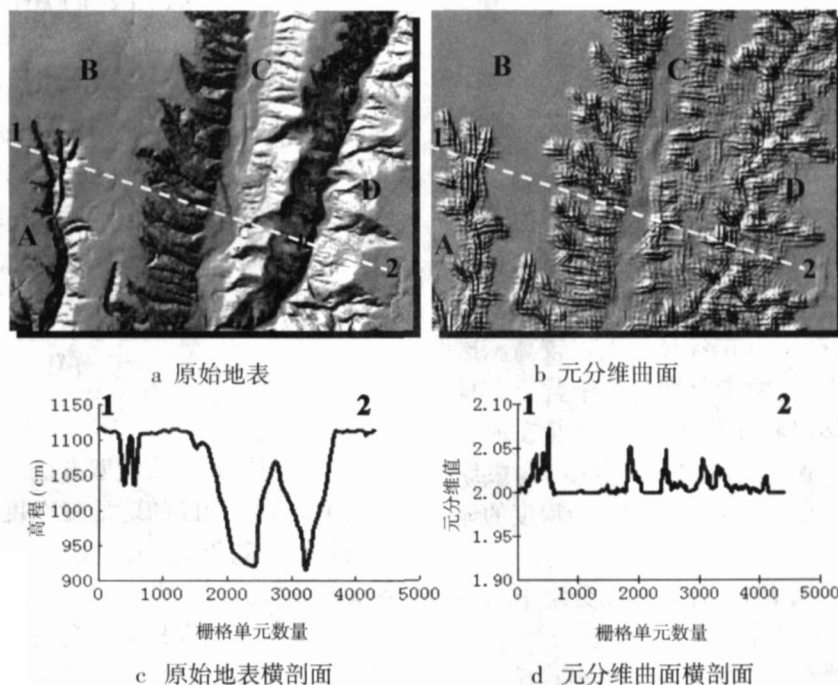


图 3 元分维曲面及其横剖面

Fig 3 Meta-fractal dimension surface and transverse section



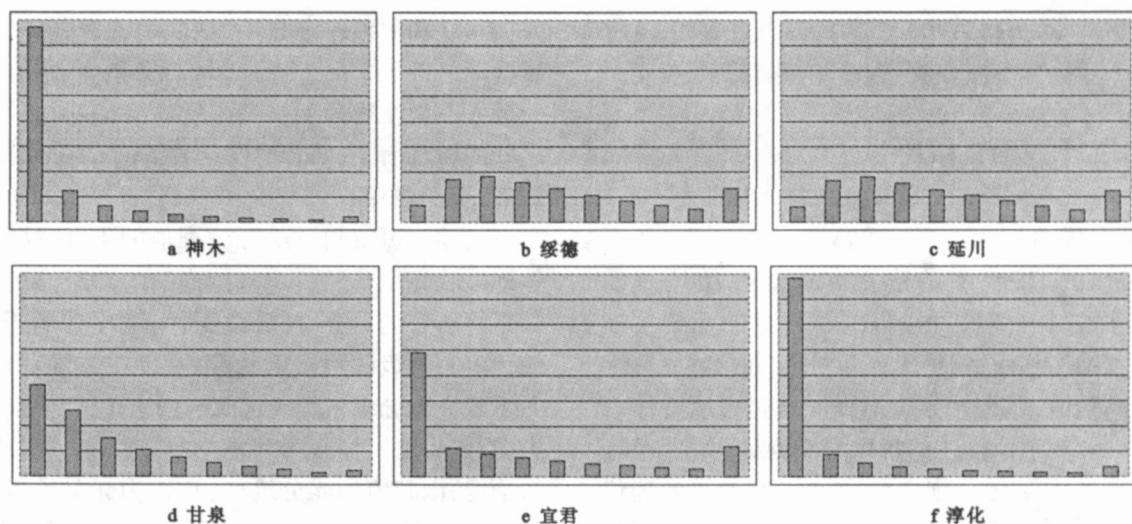


图 4 实验样区元分维直方图

(X轴表示元分维值, 从左至右分为 10 级, Y 轴表示各等级的网格数量, 滑动窗口尺寸为 19)

Fig 4 A comparison of the fractal dimension at different test areas

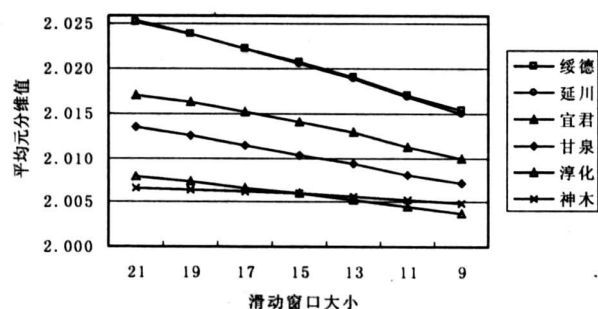


图 5 六样区平均元分维值分布图

Fig 5 The variation of average meta fractal dimension with the analysis window at the six test areas

在所选择的尺度范围内, 绥德、延川两样区平均元分维值非常接近, 从 2.015 到 2.025, 且明显高于其他样区, 这就表明, 两样区的地形复杂度变化基本一致, 其整体地形复杂程度在各尺度上均较高。这是因为从地貌类型上看, 两者分别为位于黄土峁状丘陵沟壑区和黄土梁峁状丘陵沟壑区, 尽管在地貌形态上存在差异, 但是样区内部丘陵起伏、沟壑纵横, 沟壑密度较高, 因而具有基本相同复杂程度的地表。

和绥德、延川相比, 宜君、甘泉的元分维平均值略低, 其中甘泉又低于宜君。从地貌类型来看, 这两者分别位于黄土长梁残源沟壑区和黄土梁状丘陵沟壑区。从图 4(d) 分析, 甘泉的单元数量主要集中在第 1~4 级中, 而宜君 (图 4(e)) 虽然低值网格数量较多, 集中在第 1~2 等级中, 但在第 7~10 级大尺度一端也具有比甘泉更多的网格单元, 因而在整体

复杂性上略高于甘泉。

淳化、神木两样区在分析尺度为 75 m 时地形复杂度较为接近, 当小尺度区间时, 神木的地表较淳化复杂, 而大尺度区间时, 情况正好相反。这是因为, 当滑动窗口较小时, 能够探测出较为细微的地形变化信息, 而滑动窗口变大时, 分析的角度也趋向于宏观。由于神木地区 (图 2(a)) 的地形变化相对淳化 (图 2(f)) 细微, 因而在小尺度条件下, 其整体地形复杂度表现得较为突出。这也充分证明了地形复杂度和滑动窗口尺度是密切相关的两个量, 当观察尺度越大, 地形的宏观复杂度表现更为突出, 反之则以微观的复杂度表现为主。从而导致了淳化和神木在整个分析尺度序列中出现了平均元分维-尺度曲线相互交叉的情况。

## 4 结论

本文利用元分维模型方法, 初步探讨了几种典型黄土地貌类型区的地形复杂度的分形分析方法, 特别是针对复杂性变化的内部分形性质进行了一定程度的分析。研究表明:

1 陕西黄土高原从地理分布来看, 北部风沙-黄土过渡区和南部的渭北高原区地形复杂度变化较为缓和, 而中部相对复杂, 并且几类典型地貌类型单元的元分维模型存在着不同程度的差别, 其中黄土塬区、黄土-风沙过渡区的地形复杂度最为平缓, 黄土梁及梁峁沟壑区居中, 黄土峁区的地形复杂度最

为突出。

2 地形复杂度分布的差异, 实际上是黄土地貌组合形态不同造成的。通过计算得到的元分维曲面及元分维谱, 既可以获取研究区域内部的复杂度空间分布状况, 也可以用于地形复杂性定量分级的单元数量统计分析, 以进一步探索局部地形复杂度变化的空间及属性分异规律。

3 滑动窗口尺寸的选取, 是地形复杂度的分形分析方法的一个关键环节。淳化和神木两个样区在不同分析尺度下地形复杂度的转化, 验证了分析尺度对于复杂性分析的作用, 也说明地形的分形尺度效应关系是一个值得进一步探讨的问题。

总之, 分形几何理论是适合于研究复杂地貌形态特征的非线性方法之一, 由此建立的元分维模型可以更深入地分析在地形信息内部隐含的空间复杂性分布及其尺度变化的规律, 具有科学研究意义。但是, 关于元分维模型如何揭示其地貌形态内部规律的机理与方法, 还应该进行更深层次的研究, 为数字地形分析提供新的思路与手段, 也为分形分析方法真正应用于地学研究服务。

## 参考文献 (References)

- [1] Ai Nanshan, Chen Rong, Li Houqiang. Walk up to Fractal landform science [J]. *Geography and Territorial Research*, 1999, 15(1): 92 ~ 96 [艾南山, 陈嵘, 李后强. 走向分形地貌学 [J]. 地理学与国土研究, 1999, 15(1): 92~ 96]
- [2] Wang Qiao, Wu Hefai. The Fractal Description of the Map Information and the Automatic Generalization Research [M]. Wuhan: Wuhan Technical University Press, 1998 [王桥, 毋河海. 地图信息的分形描述与自动综合研究 [M]. 武汉: 武汉测绘科学大学出版社, 1998]
- [3] La Barbera P, Rosso R. The fractal dimension of river networks [J]. *Water Resources Research*, 1989, 25(4): 735~ 741
- [4] Robert A, Roy A G. On the Fractal interpretation of the mainstream length-drainage area relationship [J]. *Water Resources Research*, 1990, 26(5): 839~ 842
- [5] Tarboton D G, Bras R L, et al. Physical basis for drainage density [J]. *Geomorphology*, 1992, 5(1): 59~ 76
- [6] Daniele Veneziano, Jeffrey Niemann D. Self-similarity and multi-fractality of fluvial erosion topography 2. Scaling properties [J]. *Water Resources Research*, 2000, 36(7): 1937~ 1951
- [7] Feng Ping, Feng Yan. Calculation on fractal dimension of river morphology [J]. *Acta Geographical Sinica*, 1997, 52(4): 324~ 329 [冯平, 冯焱. 河流形态特征的分维计算方法 [J]. 地理学报, 1997, 52(4): 324~ 329]
- [8] Wang Xiekang, Fang Duo. Quantity research on new index of drain-

- age area [J]. *Mountain Research*, 1998, 16(1): 8~ 12 [王协康, 方铎. 流域地貌系统定量研究的新指标 [J]. 山地研究 (现山地学报), 1998, 16(1): 8~ 12]
- [9] Cui Lingzhou, Li Zhanbin, Xiao Xuenian. Study on quantifying topographical fractal character of Chabagou watershed [J]. *Journal of Soil Water Conservation*, 2004, 18(2): 41~ 44 [崔灵周, 李占斌, 肖学年. 岔巴沟流域地貌形态分形特征量化研究 [J]. 水土保持学报, 2004, 18(2): 41~ 44]
- [10] Zou Ning, Liu Jian, Zhou Manli. Technology of terrain classifying based on Fractal and its Application in navigation [J]. *Journal of Huazhong University of Science and Technology*, 1999, 27(5): 21~ 25 [邹宁, 柳健, 周曼丽. 基于分形的地形分类技术及其在导航中的应用 [J]. 华中理工大学学报, 1999, 27(5): 21~ 25]
- [11] Xiao Huayu, Zhou Yuanhua. Fractal-based interpolation in terrain modeling [J]. *Journal of Shanghai Jiaotong University*, 2000, 34(5): 705~ 707 [肖华瑜, 周源华. 基于分形插值的地貌生成技术 [J]. 上海交通大学学报, 2000, 34(5): 705~ 707]
- [12] Liang Hong, Lu Juan. The Fractal Entropy and geomorphological meaning of karst drainage [J]. *Scientia Geographica Sinica*, 1997, 17(4): 310~ 315 [梁虹, 卢娟. 喀斯特流域水系分形、熵及其地貌意义 [J]. 地理科学, 1997, 17(4): 310~ 315]
- [13] Xu Jianhua, Ai Nanshan, Jin Jiong, et al. Study on fractal characters of the desert and desertification [J]. *Journal of Desert Research*, 2002, 22(1): 6~ 10 [徐建华, 艾南山, 金炯, 等. 沙漠化的分形特征研究 [J]. 中国沙漠, 2002, 22(1): 6~ 10]
- [14] Lei Huizhu, Wu Chunlong. Fractal channel networks on Loess Plateau [J]. *Journal of Mountain Research*, 2001, 19(5): 474~ 477 [雷会珠, 武春龙. 黄土高原分形沟网研究 [J]. 山地学报, 2001, 19(5): 474~ 477]
- [15] Cheng Q. The Giding Box Methods for Multi-fractal Modeling [J]. *Computers & Geosciences*, 1999, 25: 1073~ 1079
- [16] Prokoph A. Multi-fractal and sliding window correlation dimension analysis of sedimentary time series [J]. *Computers & Geosciences*, 1999, 25: 1009~ 1021
- [17] Long Yi. Research on the Application of the Extended Fractal Dimension Model in Describing the Spatial Information of Cartographic Objects [D]. Wuhan: Wuhan University, 2002, 118~ 120 [龙毅. 扩展分维模型在地图目标空间信息描述中的应用研究 [D]. 武汉: 武汉大学, 2002, 118~ 120]
- [18] Zhou Tong, Long Yi, Tang Guoan, et al. A fractal method to describe the terrain complexity reflected by the raster DEM [J]. *Geography and Geo-information science*, 2006, 22(1): 26~ 30 [周桐, 龙毅, 汤国安, 等. 面向 DEM 地形复杂度分析的分形方法研究 [J]. 地理与地理信息科学, 2006, 22(1): 26~ 30]
- [19] Tang Guoan, Liu Xuejun, Li Guonian. Digital Elevation Model and Geography Analysis Principle and methods [M]. Beijing: Science Press, 2005: 208~ 233 [汤国安, 刘学军, 阚国年. 数字高程模型及地学分析的原理与方法 [M]. 北京: 科学出版社, 2005, 208~ 233]

# Research on Terrain Complexity of Several Typical Regions of Loess Landform Based on Fractal Method

LONG Yi<sup>1, 2</sup>, ZHOU Tong<sup>1, 2, 3</sup>, TANG Guo'an<sup>1, 2</sup>, LU Xuejun<sup>1, 2</sup>

(1. Key Laboratory of Geographic Information Science of Jiangsu Province, Nanjing Normal University, Nanjing 210097, China;

2. School of Geographic Science, Nanjing Normal University, Nanjing 210097, China;

3. Department of Geographic Science, Nanjing University, Nanjing 226007, China)

**Abstract** From south to north in the loess plateau, the terrain complexities of various regions are as different as the landforms. This paper selected 6 typical loess landform as test areas, employed their raster DEM datasets of with 5 meters resolution as data bases for the experiment. Firstly, a utilized the meta fractal dimension model was put forward based on DEM, by which the terrain complexity could be described. The extended fractal dimension method by means of sliding window may not only analyze the variation of terrain complexities under the different scales, but also discuss the complexity and its spatial distribution of partial cells in the current region. A benefit of the method is it would not be limited to the single fractal dimension analysis for the whole region. Meta fractal dimension spectrum was put forward as well and applied to research the distribution of grid cells in the different grades of meta fractal dimension. The result showed that variation of the terrain complexity was the most acute in the loess hill regions such as Suide and Yanchuan, and relative slight in the loess tableland regions such as Chunhua and the transitional regions between loess and desert such as Shennu, and moderate in the loess ridge regions such as Ganchuan and Yijun. The experiment proved that the extended fractal method is effective in the researches for loess landform.

**Key words** Loess plateau landform; terrain complexity; fractal; Meta-fractal dimension

## 封面照片: 玉龙雪山

玉龙雪山处于横断山南段, 位于云南省丽江纳西族自治县西北, 是北半球最南端的现代海洋性冰川分布区, 海拔 5 596 m 的扇子陡为其主峰; 其西侧虎跳峡一带金沙江水面海拔仅 1 800 m 左右, 南侧的丽江古城海拔约 2 400 m, 地形高差巨大。玉龙雪山处于低纬地区, 纬度仅为 27°N 左右, 所在区域属暖温带山地季风气候, 从山麓地带到峰顶具备了亚热带、温带、寒带的完整的垂直带自然景观。山下的丽江古城四季如春, 山上则终年白雪皑皑。

(山 水)