

基于谱矩的地质特征因子提取方法及其应用

付丽华¹⁾, 阮曙芬²⁾, 李宏伟¹⁾, 刘智慧¹⁾

1) 中国地质大学(武汉)数学与物理学院, 武汉, 430074;

2) 中国地质大学(武汉)地球物理与空间信息学院, 武汉, 430074

内容提要: 地质特征因子的提取是量化数学地质分析的重要基础, 可以为地貌类型识别提供有效的客观依据。基于谱矩分析, 本文提出了一种描述表面数据粗糙程度的特征因子, 并且分析了新特征因子的特点和其应用可能性。该方法以随机过程理论为基础, 通过计算表面各阶谱矩以及相应的统计不变量来描述三维表面地貌的特征。以中国卫星重力测量数据和 DEM 数据为例, 试验该方法运用于地貌类型识别的效果。理论模型数据与实际数据结果均表明, 基于谱矩的新的地质特征因子不仅可以有效地反映数据起伏与变异特征, 而且提取出的特征可以为地貌及重力构造单元划分提供客观依据。

关键词: 数学地质; 特征因子; 谱矩; 粗糙度; 地貌类型; 卫星重力

地貌类型识别是进行资源调查、测绘规划及政府决策等方面研究的基础 (Luo Yanyun et al., 2012; Saadat et al., 2008; Kuhni and Pfiffner, 2001)。传统的地貌识别方法常常利用已有的地形图、航片等资料, 结合野外实地深入研究的分布情况来划分。这种方法虽然能够实地进行调查, 但由于野外工作中到达位置有限, 数据采集严重不足, 使得地貌量化分析不仅代价高, 而且结果往往不够全面准确 (Stepinski and Bagaria, 2009; 宋佳, 2006)。

DEM (Digital Elevation Model, DEM) 通过有限的地面高程数据实现对实体地形曲面的数字化模拟, 是众多地理数据集中最重要的空间信息资料。图 1 所示为中国 1: 25 万 DEM 数据。基于 DEM 数据的地貌分类已经成为数字地貌单元划分的重要方法 (Deng Yongxin, 2007; Arrella et al., 2007)。代表性的方法主要有分形分析法 (雷会珠等, 2001; Ouchi and Matsushita, 1992; 许模等, 2011)、神经网络 (乔平林等, 2004) 及其它类型监督学习方法 (Stepinski and Bagaria, 2009; Prima et al., 2006) 和地形分类决策表法 (黄杏元等, 2001; 程维明等, 2009; 常直杨等, 2014)。地形分类决策表法从 DEM 数据中计算分类所需的地形特征因子, 然后根据事先拟定的分类决策表进行地貌分类。这种方法

简单快速, 故而被大多数学者采用, 但是选择怎样的分类决策表是一个难点。现如今较为普遍的做法是选取海拔高度和起伏度来进行地貌单元划分。但是起伏度因子只用到 DEM 高程的信息。事实上, DEM 数据包含丰富的地形特征信息, 亟需更好地进行数据信息的挖掘。

2005 年以来, 在全球卫星重力测量数据归一化的基础上, 建立了地球重力场模型 EGM-2008。中国及邻区的研究区位于东经 $70^{\circ} \sim 135^{\circ}$, 北纬 $15^{\circ} \sim 55^{\circ}$, 中国及邻区卫星重力异常场见图 2。卫星测高重力异常数据来自美国教授 David Sandwell (加利福尼亚大学斯克里普斯海洋协会) 和 Walter Smith (美国国家海洋与大气局卫星测高实验室) 共同维护的全球卫星重力异常数据库, 数据网度为 $1' \times 1'$, 总精度可以达到 3.03mGal 。众所周知, 地球自由空气重力异常主要反映地表地形。中国大陆的自由空气重力异常与地形的起伏变化有明显的对应关系 (许惠平等, 2001)。自由空气重力异常在地形起伏不大的地区变化小, 而在地形起伏大的地区变化大。因此, 可以利用自由空气重力异常来圈定大的山脉和盆地。那么, 如何提取描述表面数据粗糙程度的特征因子就十分关键。

表面地貌识别技术基于随机过程理论, 用谱矩

注: 本文为教育部新世纪优秀人才支持计划 (编号: NCET-13-1011) 和国家自然科学基金资助项目 (编号: 11426210) 的成果。

收稿日期: 2016-09-26; 改回日期: 2016-12-05; 责任编辑: 章雨旭。Doi: 10.16509/j.georeview.2017.01.021

作者简介: 付丽华, 女, 1979 年生。教授, 主要从事地球物理学信息提取方法。Email: lihuafu@cug.edu.cn。通讯作者: 李宏伟, 男, 1965 年生。教授, 博导。主要从事信息处理与智能计算。Email: hwli@cug.edu.cn。

及相应的统计不变量等参数可以对表面形貌的不平度进行详细地表征,从而描述表面形貌的各项特征,最终实现对不同类型的表面形貌进行识别(黄逸云, 1984, 1985)。孙艳云、杨文采利用二阶谱矩及统计不变量成功地提取了地壳变形带信息(孙艳云和杨文采, 2014; Sun Yanyun et al., 2014)。经典的描述表面数据粗糙程度的地质特征因子用到的均是表面的直接信息,并未涉及其各阶导数特性。因此,若将谱矩相关理论的数学原理用在地貌类型识别上,可以进行更为有效的地貌分类。

本文将表面形貌识别技术的原理用在地学特征因子的提取上,可以挖掘出描述表面数据粗糙程度的信息,从而可以为地貌类型识别提供新的指标。对理论模型数据及中国卫星重力测量数据和 DEM 数据进行试验,结果表明,基于谱矩的地形特征因子不仅可以有效地反映地貌起伏与变异特征,而且提

取出的特征可以为地貌及重力构造单元划分提供客观依据。

1 数据表面谱矩

1.1 表面谱矩

一个表面可以用 $z = z(x, y)$ 定义, (x, y) 为平面直角坐标位置, z 是该点对应的值。此处我们只考虑规则格网型数据。表面形态可以用谱矩函数来表征。下面介绍谱矩的相关知识。

数据表面函数 $z(x, y)$ 的功率谱密度函数定义为:

$$G(f_x, f_y) = \lim_{l_x, l_y \rightarrow \infty} \frac{1}{4 l_x l_y} F(f_x, f_y) F^*(f_x, f_y) \quad (1)$$

式中, $F(f_x, f_y)$ 是 $z(x, y)$ 的傅里叶变换, * 表示共轭。

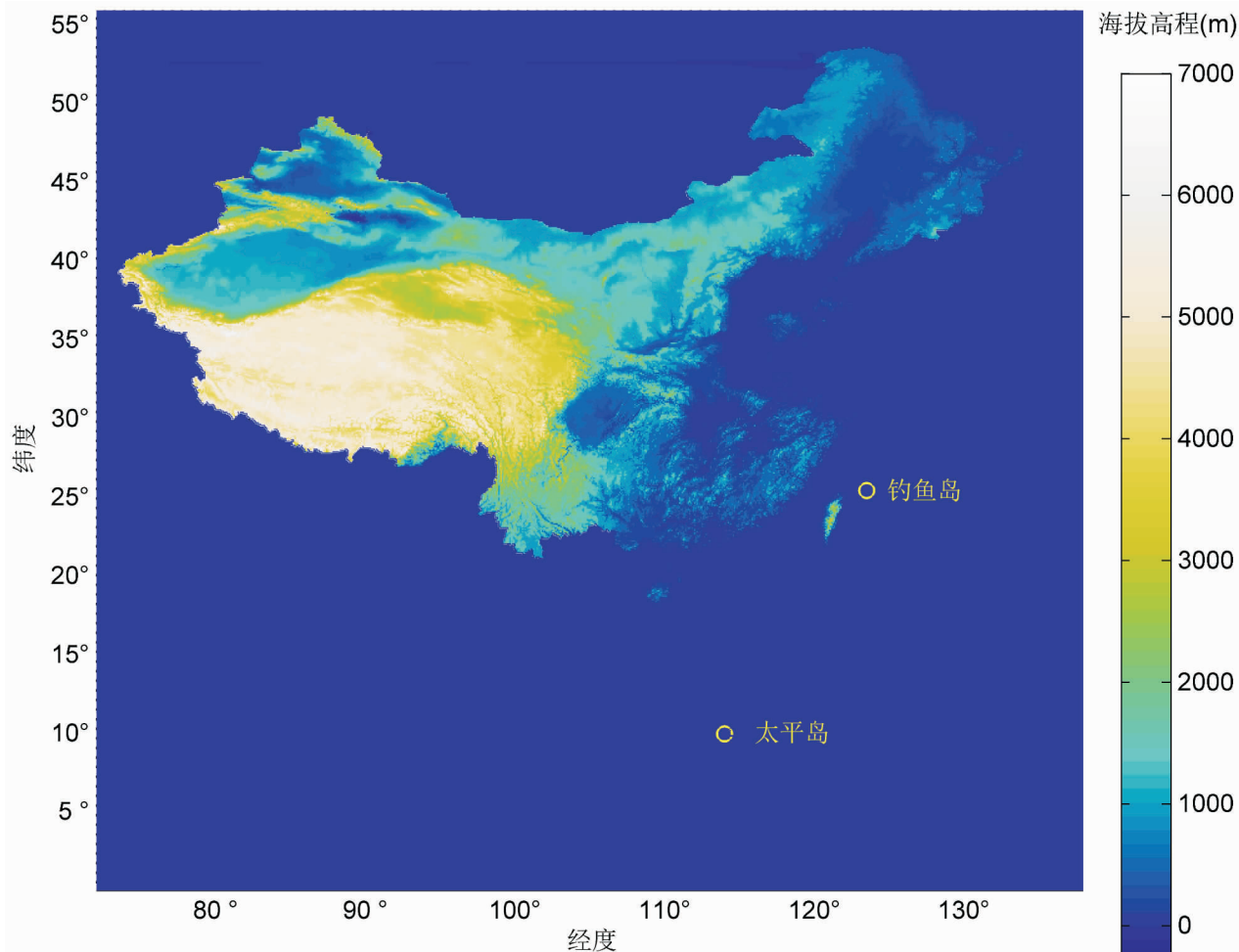


图 1 中国 1:25 万 DEM 数据

Fig. 1 DEM data in China (scale 1: 250000)

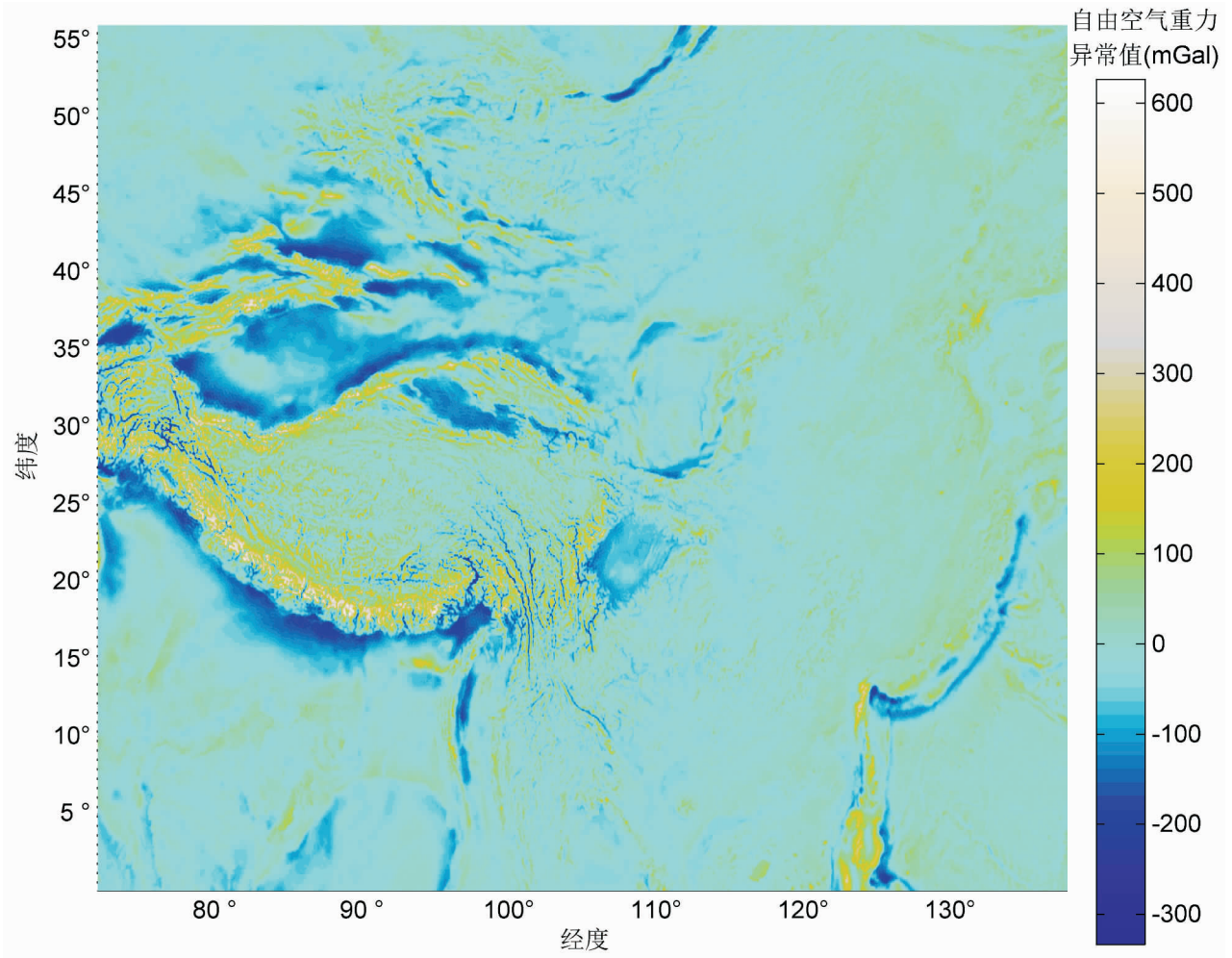


图2 中国及邻区自由空气卫星重力场
Fig. 2 Satellite free-air gravity data around China

$$F(f_x, f_y) = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} z(x, y) e^{-j2\pi(xf_x + yf_y)} dx dy \quad (2)$$

表面函数的 $p + q$ 阶谱矩如下:

$$m_{pq} = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} G(f_x, f_y) f_x^p f_y^q df_x df_y \quad (3)$$

在实际应用中,谱矩的计算往往采用离散形式。假设 x 方向采样间隔为 Δx , 样本点数为 M , y 方向采样间隔为 Δy , 样本点数为 N , 则表面 $z(x_j, y_k)$, $j = 1, \dots, M, k = 1, \dots, N$ 的离散傅里叶变换为:

$$F(f_u, f_v) = \frac{1}{MN} \sum_{j=1}^M \sum_{k=1}^N z(x_j, y_k) e^{-j2\pi(x_j f_u + y_k f_v)} \quad (4)$$

其中, f_u, f_v 是离散频率; $f_u = \frac{u}{M\Delta x}, f_v = \frac{v}{N\Delta y}; u = 1, 2, \dots, M; v = 1, 2, \dots, N$ 。

功率谱密度的离散式是:

$$G(f_u, f_v) = \frac{1}{MN\Delta x \Delta y} F(f_u, f_v) F^*(f_u, f_v) \quad (5)$$

于是,表面函数 $z(x, y)$ 的 $p + q$ 阶谱矩的离散表达式为:

$$\begin{aligned} m_{pq} &= \sum_{u=1}^M \sum_{v=1}^N G(f_u, f_v) f_u^p f_v^q \cdot \Delta f_u \Delta f_v \\ &= \frac{1}{MN\Delta x \Delta y} \sum_{u=1}^M \sum_{v=1}^N \{ F(f_u, f_v) f_u^{p/2} f_v^{q/2} \} \cdot \\ &\quad \{ F^*(f_u, f_v) f_u^{p/2} f_v^{q/2} \} \end{aligned} \quad (6)$$

事实上,文献(黄逸云, 1985)给出了计算 r 阶谱矩的简单方法,

$$m_{pq} = (-1)^{\frac{r}{2}} \left. \frac{d^r R(s_1, s_2)}{ds_1^p ds_2^q} \right|_{s_1=s_2=0}, r = p + q$$

式中 $R(s_1, s_2) = E\{z(x, y) z(x - s_1, y - s_2)\}$ 是表面函数 $z(x, y)$ 的自协方差函数。

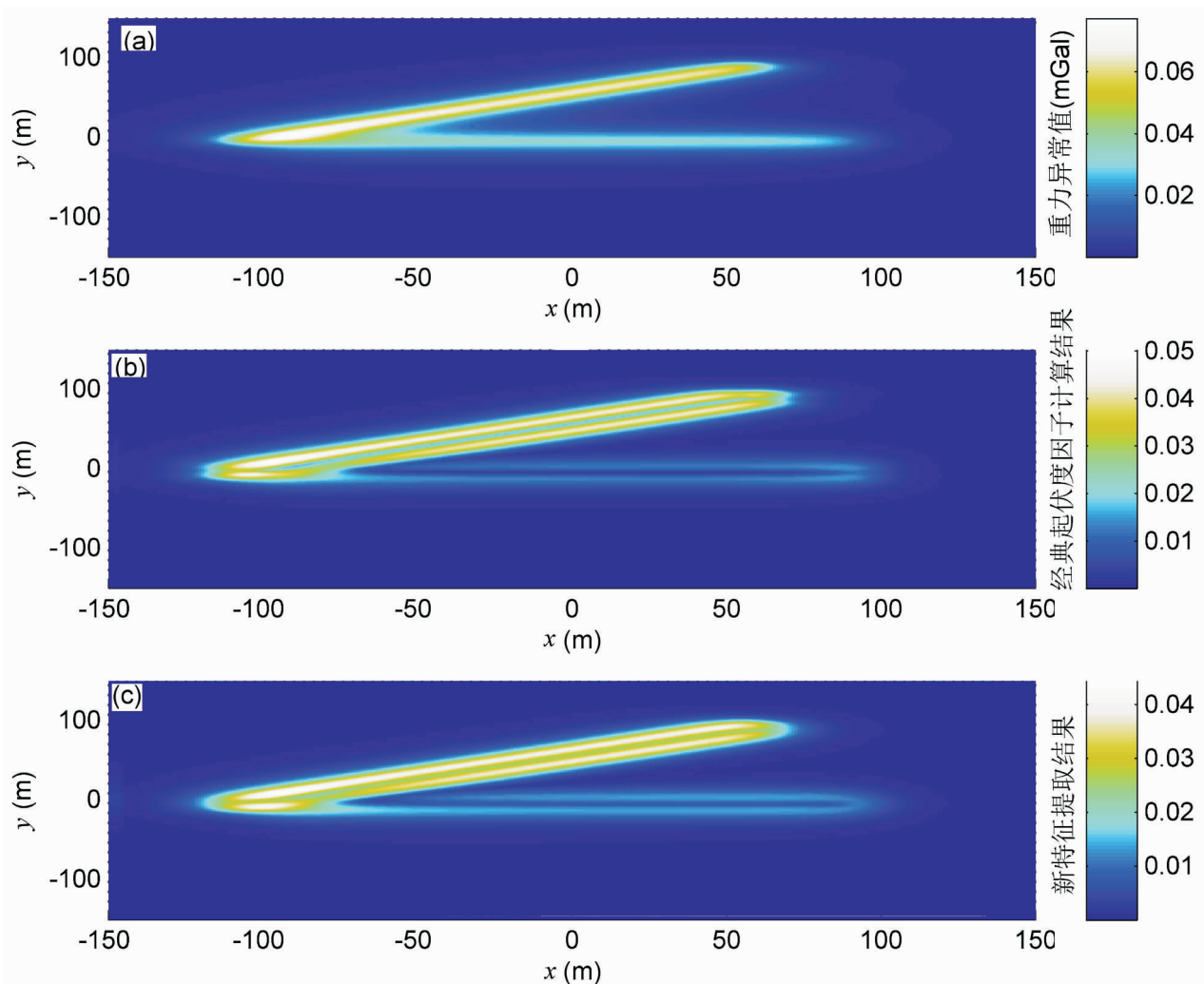


图 3 模拟实验中理论重力异常值及两种地质因子特征提取结果:(a) 模拟实验中理论重力异常值;
(b) 经典的起伏度因子提取特征结果;(c) 本文提出的新特征提取结果

Fig. 3 Synthetic gravity data and feature extraction results in simulation: (a) synthetic gravity data calculated from the model; (b) the extraction result of classical relief factor; (c) the extraction result of the new feature

二阶谱矩 m_{20}, m_{11}, m_{02} 为 $z(x, y)$ 导数的方差和协方差,描述的是 DEM 表面的斜率情况,即

$$\begin{cases} m_{20} = E\left[\left(\frac{\partial z}{\partial x}\right)^2\right] \\ m_{11} = E\left[\left(\frac{\partial z}{\partial x}\right)\left(\frac{\partial z}{\partial y}\right)\right] \\ m_{02} = E\left[\left(\frac{\partial z}{\partial y}\right)^2\right] \end{cases} \quad (7)$$

事实上, m_{20} 为 x 方向上的斜率 $\frac{\partial z}{\partial x}$ 的方差; m_{02} 为 y 方向上的斜率 $\frac{\partial z}{\partial y}$ 的方差; m_{11} 为 $\frac{\partial z}{\partial x}$ 与 $\frac{\partial z}{\partial y}$ 的协方差。

DEM 表面的谱矩依赖于坐标系,它将随着坐标系的旋转而改变。因此,需要定义与坐标系旋转无

关的统计量来刻画 DEM 地形特征。

1.2 表面统计不变量与均方根斜率方差

在区域 $0 \leq x \leq l_x, 0 \leq y \leq l_y$ 内的 DEM 表面高度均方根斜率定义为所有方向中斜率方差的最大值:

$$S_{\Delta q} = \max_{\alpha} S_{\Delta q}(\alpha) = \max_{\alpha} \sqrt{\frac{1}{l_x l_y} \int_0^{l_x} \int_0^{l_y} \left(\frac{\partial z}{\partial x} \cos \alpha + \frac{\partial z}{\partial y} \sin \alpha \right)^2 dx dy}$$

李成贵(2002)指出,使 $S_{\Delta q}$ 达到最大的角度 $\alpha = \frac{1}{2} \arctan\left(\frac{2m_{11}}{m_{20} + m_{02}}\right)$ 于是,

$$S_{\Delta q} = \sqrt{\frac{1}{2} (m_{20} + m_{02} + \sqrt{(m_{20} - m_{02})^2 + 4m_{11}^2})} \quad (8)$$

事实上,斜率方差最大值对应的角度反映的是表面幅值和频率变化最大的方向,即纹理结构变化最大的方向。

下面以一个具体的模拟实验来比较均方根斜率方差因子与经典的起伏度因子在描述表面数据粗糙程度中的不同。

图 3a 为由两个不同大小、走向、埋深的长方体密度异常带通过模型正演计算的理论重力异常结果。走向为西偏南 30° 的长方体密度异常带长为 170km,宽为 10km,顶面埋深为 5km,中心坐标为 (-24.5 km,42.5 km,7.5 km),剩余密度值为 0.8 g/cm³。另一个长方体密度异常带呈东西走向,长为 190 km,宽为 10 km,顶面埋深为 10 km,中心坐标为 (-3.15 km, -5 km, 12.5km),剩余密度值为 0.3 g/cm³。x 轴和 y 轴方向点距为 0.1km。图 3b 为经典的起伏度因子(即区域内最大值减去最小值)提

取出的结果。图 3c 是本文提出的均方根斜率方差因子提取出的结果。可以看出,在图 3a 所示的重力异常粗糙不平的地方两种特征因子均有不同程度的提取出来,不过,图 3c 对于两个长方体的重力异常值粗糙不平的地方提取的更为清晰,幅值更大,尤其是东西走向的长方体重力异常值在不平坦地方处理效果更为明显,定位更加准确。该实验说明,本文提出的均方根斜率方差因子对粗糙不平的刻画更加精准。

2 中国 DEM 数据地貌单元划分

为了验证本文所提地学特征因子在地貌单元划分中的有效性,我们将对中国 DEM 数据进行地貌分类。针对图 1 所示的 DEM 数据,我们窗口大小选择为,计算均方根斜率方差,提取结果见图 4。从空间分布来看,我国地形的粗糙程度南北、东西差异大。图 5 是以 100 为组距,等差计算我国 DEM 数据均方

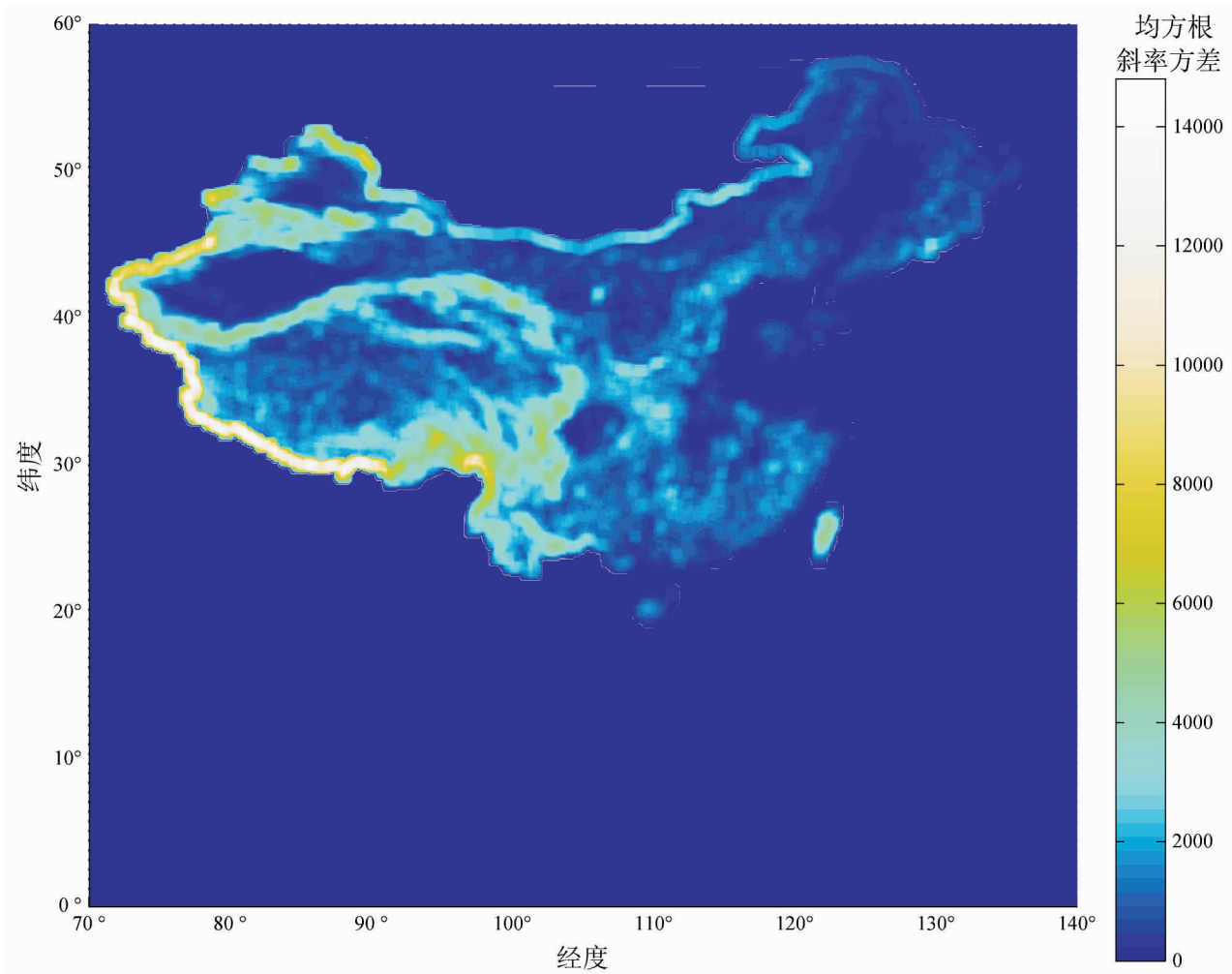


图 4 DEM 数据均方根斜率方差因子提取结果

Fig. 4 The Root-mean-square slope variance extraction in DEM data

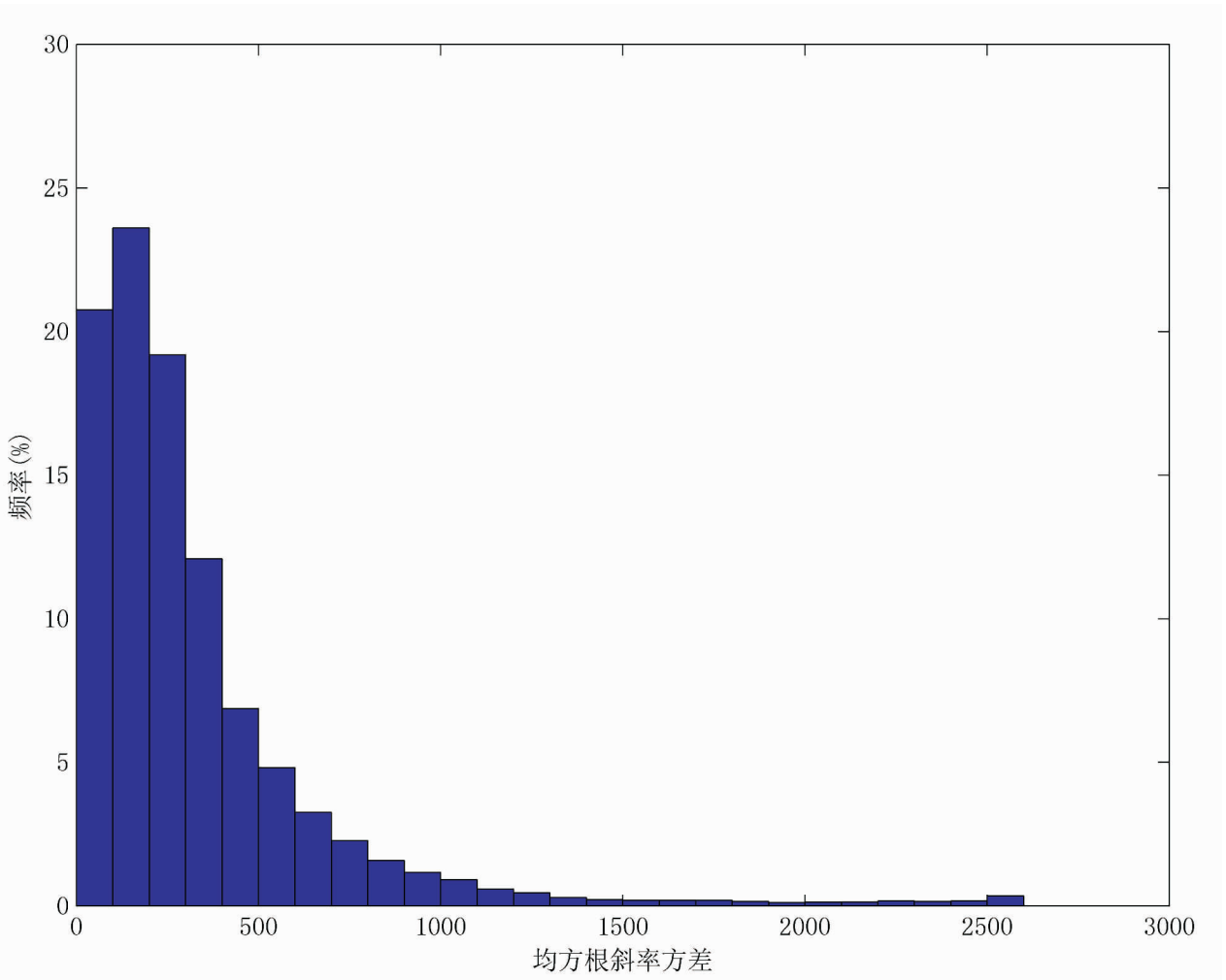


图 5 中国海拔高度均方根斜率方差直方图

Fig. 5 The Root-mean-square slope variance histogram of altitude in China

根斜率方差的直方图分析结果,其中横坐标为均方根斜率方差,纵坐标为频率分布值。从图 5 中可以看出,随着均方根斜率方差的增加,频率分布值呈先小幅增加后递减的趋势。其中,100~200m 之间频率分布最大,为 16.81%。从 200~1500,均方根斜率方差呈迅速递减趋势,1500 以上的仅占 6.13%。最后一级为 3000 及以上的面积总和,为 1.54%。我国大部分地区的海拔均方根偏差都在 500m 以下,主要分布在平原盆地、丘陵、山脉等地貌区。1500m 以上的海拔均方根偏差仅占 3.51%,主要分布在高原山脉地貌类型区域。从地理位置来看,东部偏差小,西南偏差大,南北向,东西向差异较为明显。偏差较大值多分布在青藏高原及其它极高山地区。

分类的方案采用较为经典的划分方法,将中国

地貌划分为平原盆地、丘陵、高原、山脉和高原山脉五种。进行地貌单元划分时,利用{DEM 海拔 + 均方根斜率方差}进行决策表划分法。首先,以为网格窗口,滑动计算 DEM 表面均方根斜率方差;然后,根据经验选择决策表阈值,对中国地貌单元进行划分。所采用的分类决策表见表 1。

表 1 中国地貌单元划分决策表——海拔 + 均方根斜率方差
Table 1 The decision table of China landform classification
——altitude + root-mean-square slope variance

地貌	海拔范围(m)	均方根斜率方差范围
平原盆地	0 ~ 3000	0 ~ 280
丘陵	0 ~ 1000	280 以上
高原	1200 ~ 6000	0 ~ 500
山脉	1200 ~ 4000	500 以上
高原山脉	4000 以上	500 以上

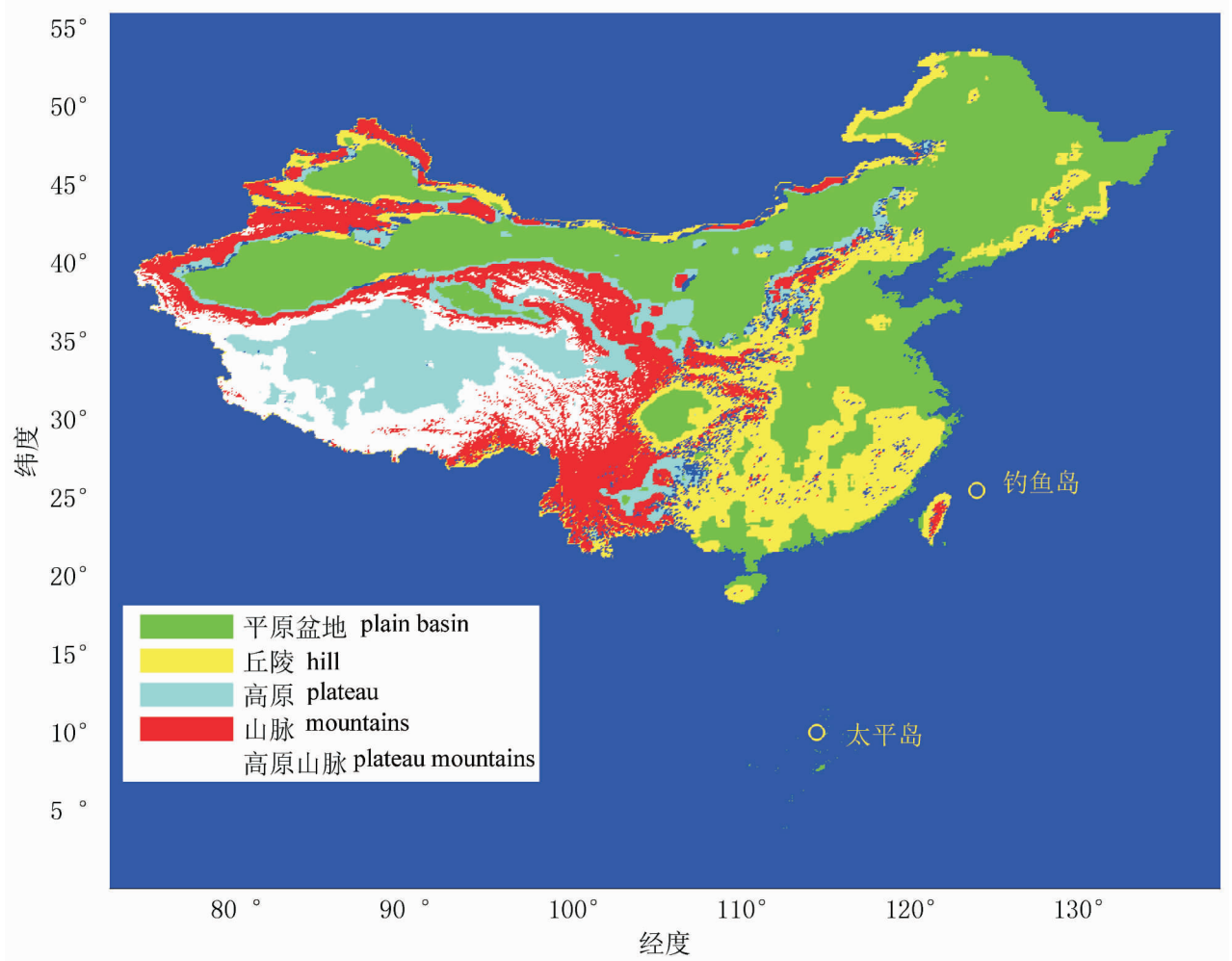


图 6 中国地貌单元划分图

Fig. 6 Physiographic map of China region

从图 6 中可以看出,东北平原、华北平原、长江中下游平原、准噶尔盆地、塔里木盆地、柴达木盆地和四川盆地均能准确划分到平原盆地;东部的丘陵地带,自北向南主要的辽东丘陵、山东丘陵以及东南丘陵也清晰地显示在图中。图 6 中显示的主要高原、山脉以及高原山脉都与中国实际地貌符合。五种地貌所占的比例依次为 42.96%, 17.45%, 13.%, 15.93%, 10.01%。

3 自由空气重力异常数据进行山脉和盆地的识别

图 2 中所示的自由空气重力异常数据,从中国大陆范围来看,东部的异常变化平缓,其中较为明显的异常的走向有沿大兴安岭、太行山、秦岭直到鄂西、湘西的诸山脉,还有一条沿长白山山脉。西部的异常变化幅度较大,新疆和青海地区的异常呈东西

向分布。青藏高原地区,北部的异常沿北部的山脉展开,而南部的异常则沿南部的山脉展开,正好将青藏高原的位置勾画出来。

图 7 为采用网格对自由空气重力异常数据进行均方根斜率方差因子提取的结果。可以看出,喜马拉雅山脉、昆仑山脉、阿尔金山脉、祁连山脉、天山山脉以及阿尔泰山脉等地形起伏较大的地区由于自由空气重力异常值出现了较大的起伏,因此新特征因子的值较大,基本都超过了 20。而四川盆地、塔里木盆地、准噶尔盆地、柴达木盆地等地势起伏不大的地区提取出的新特征因子则要小得多。因此,考虑用 $\{ \text{自由空气重力异常值} + \text{均方根斜率方差} \}$ 对大的山脉和盆地进行识别。

图 8a 和 b 是利用新的地学特征因子与自由空气重力异常值分别进行山脉和盆地的识别结果,其中图 8a 显示的是自由空气重力异常值为正异常值,

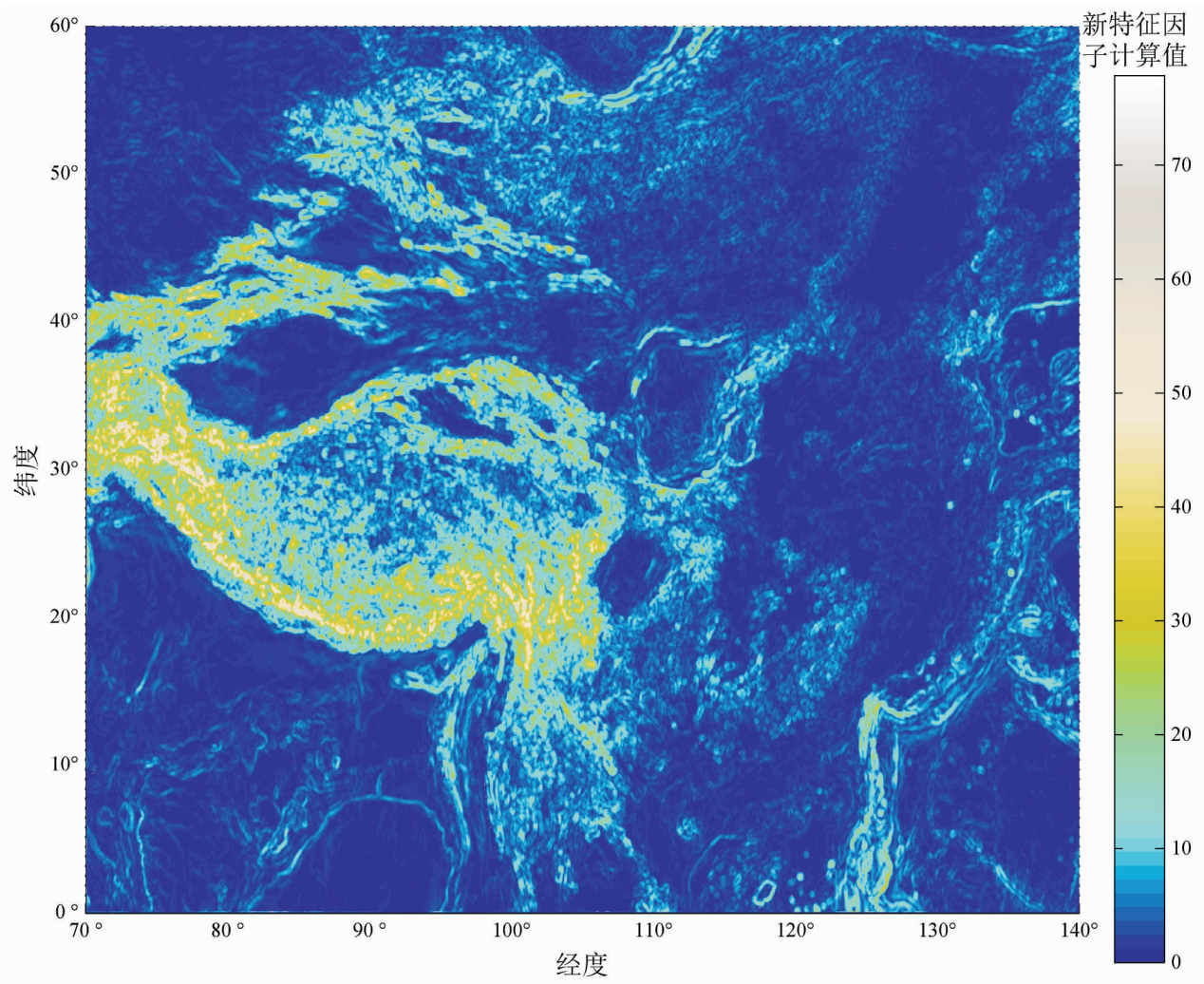


图 7 自由空气重力异常数据均方根斜率方差因子提取结果

Fig 7. The Root-mean-square slope variance feature extraction in free-air gravity data

均方根斜率方差超过 25 的结果。可以看出,正异常值的自由空气数据粗糙值较大的就出现在地形波动较大的地方,包括喜马拉雅山脉、横断山脉、昆仑山脉、祁连山脉、阿尔金山脉和天山山脉等。大的山脉都能较好的识别出来。图 8b 显示的是自由空气重力异常值介于 $-30 \sim -300$ 之间,均方根斜率方差介于 $1 \sim 2.5$ 之间的识别结果。可以看出,四川盆地、柴达木盆地、塔里木盆地以及准噶尔盆地都能较好的勾画出来。

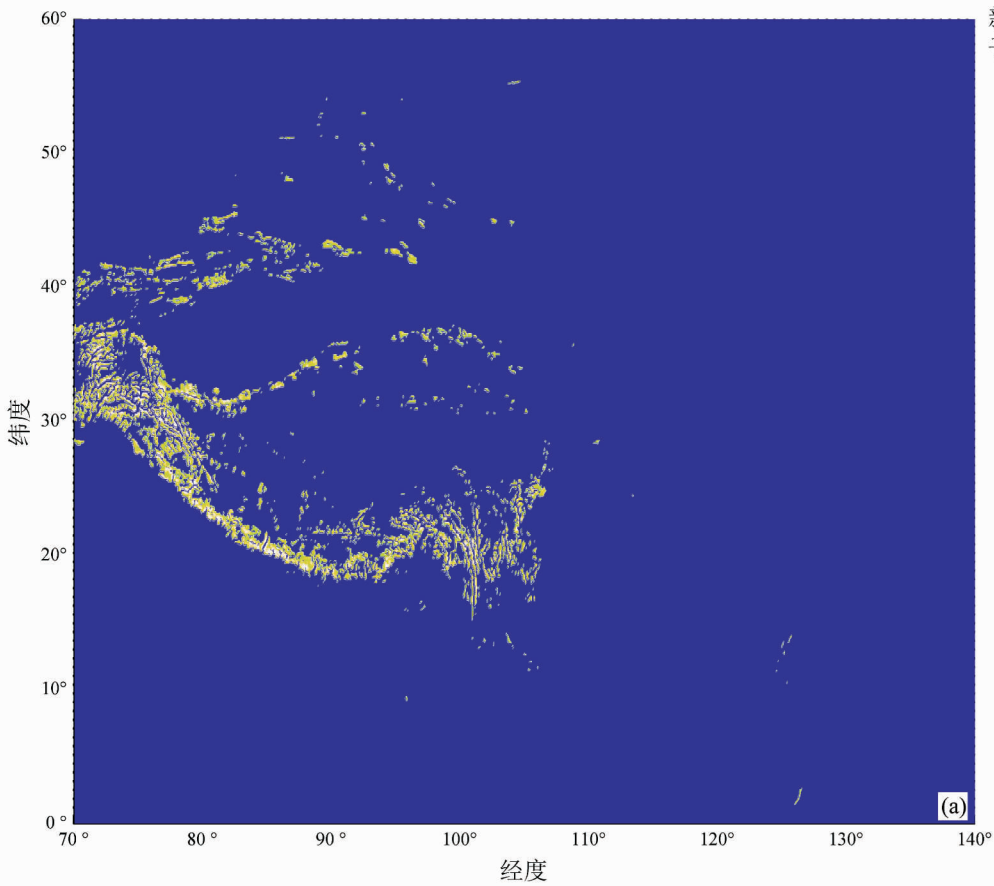
4 结论

本文提出了基于谱矩理论的新的描述表面数据粗糙程度的地质特征因子。模拟数据试验结果表明了本文新的特征因子较经典粗糙度因子的优势。对中国地貌单元划分的实验结果表明了所提出的地形

特征因子的确可以较好地描绘出地形特点,从而对中国地貌进行准确地划分。在自由空气重力异常数据中的实验也能较好的验证新方法在识别主要的山脉和盆地上的能力。综上可知,基于谱矩的新的地质特征因子不仅可以有效地反映数据起伏与变异特征,而且提取出的特征可以为地貌及重力构造单元划分提供客观依据。

利用 DEM 数据将中国地貌划分为平原盆地、丘陵、高原、山脉和高原山脉五种地形以及利用自由空气重力异常数据进行山脉和盆地的识别提取过程中,阈值的选取是通过人工筛选的,如何自动得到阈值将在以后的研究中继续进行。另外,本文主要讨论了基于二阶谱矩及相应的均方根斜率方差对表面粗糙的描述,并未涉及可能包含其它更多信息的更高阶谱矩,这也将以后的工作中进一步研究。

新特征因子计算值



新特征因子计算值

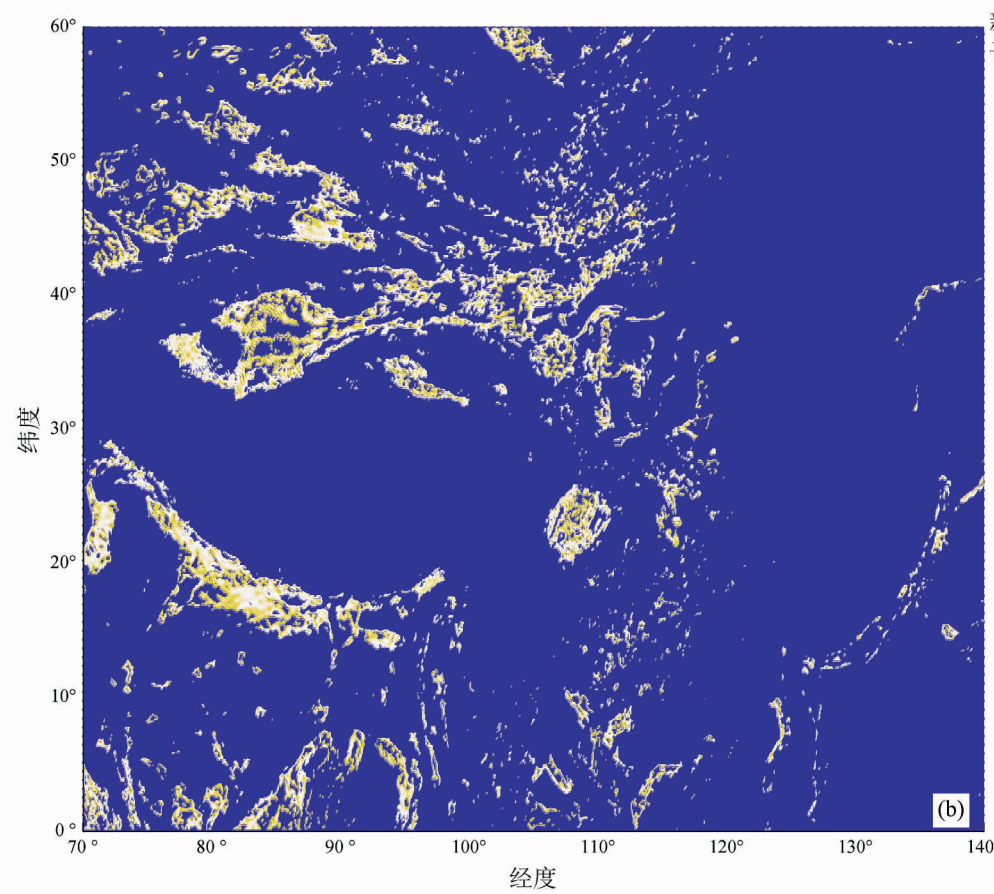


图 8 自由空气重力异常数据山脉和盆地的识别结果

(a) 主要山脉提取结果 (b) 主要盆地提取结果

Fig. 8 The main mountains and basin recognition results in free-air gravity data

(a) The main mountains recognition results (b) The main basin recognition results

致谢: 特别感谢杨文采院士对论文的指导以及数据资料的提供。

参 考 文 献 / References

(The literature whose publishing year followed by a “&” is in Chinese with English abstract; the literature whose publishing year followed by a “#” is in Chinese without English abstract)

程维明,周成虎,柴慧霞,赵尚民,李炳元. 2009. 中国陆地地貌基本形态类型定量提取与分析. 地球信息科学学报,11(6): 725 ~ 736.

常直杨,王建,白世彪,梁中. 2014. 基于 DEM 数据的地貌分类研究——以西秦岭为例. 中国水土保持,1(4): 56 ~ 59.

黄杏元,马劲松,汤勤. 2001. 地理信息系统概论(修订版). 北京:高等教育出版社.

黄逸云. 1984. 三维随机表面形貌的识别. 浙江大学学报, 18(2): 138 ~ 148.

黄逸云. 1985. 随机表面二阶谱矩和统计不变量的几何解释及其图解法. 浙江大学学报, 19(6): 143 ~ 153.

雷会珠,武春龙. 2001. 黄土高原分形沟网研究. 山地学报, 19(5): 474 ~ 477. 李成贵,李行善. 2002. 三维表面粗糙度的均方根波长评定. 北京航空航天大学学报, 28(2): 190 ~ 193.

乔平林,张继贤,卢秀山,高武俊,张运生. 2004. 基于神经网络的区域生态环境分类方法研究. 地理与地理信息科学,20(2): 97 ~ 99.

宋佳. 2006. 基于 DEM 的我国地貌形态类型自动划分研究. 导师: 汤国安. 西安:西北大学硕士学位论文.

孙艳云,杨文采. 2014. 从重力场识别与提取地壳变形带信息的方法研究. 地球物理学报. 57(5): 1578 ~ 1587.

许惠平,Haagmans R H N, De Bruijne A J T, 刘万崧. 2001. 地球重力模型及中国大陆重力场计算. 长春科技大学学报, 31(1): 84 ~ 88.

许模,王迪,漆继红,杨艳娜. 2011. 基于分形理论的喀斯特地貌形态分析. 成都理工大学学报(自然科学版), 38(3): 328 ~ 333.

杨叔子,吴雅,轩建平. 2007. 时间序列分析的工程应用(下). 武汉:华中科技大学出版社.

Arella K, Fisher P, Tatec N, et al. 2007. A fuzzy c - means classification of elevation derivatives to extract the morphometric classification of landforms in Snowdonia, Wales. Computers & Geosciences, 33(10): 1366 ~ 1381.

Chang Zhiyang, Wang Jian, Bai Shibiao, Liang Zhong. 2014#. The research on geomorphology classification based on DEM data——take west Qinling for example. Soil and Water Conservation in China, 1(4): 56 ~ 59.

Cheng Weiming, Zhou Chenghu, Chai Huixia, Zhao Shangmin, Li Bingyuan. 2009#. Quantitative extraction and analysis of basic morphological types of land geomorphology in China. Journal of Geoinformation Science, 11(6): 725 ~ 736.

Deng Yongxin. 2007. New trends in digital terrain analysis: landform definition, representation, and classification. Progress in Physical

Geography, 31(4): 405 ~ 419.

Huang Xingyuan, Ma Jinsong, Tang Qin. 2001#. Introduction to Geographical information systems (revised edition). Beijing: Higher Education Press.

Huang Yiyun. 1984#. The characterization of three-dimensional random surface topography. Journal of Zhejiang University (Engineering Science), 18(2): 138 ~ 148.

Huang Yiyun. 1985#. Geometrical interpretation and graphical solution of second order spectrum moments and statistical invariants. Journal of Zhejiang University, 19(6): 138 ~ 148.

Kuhni A, Pfiffner O. 2001. The relief of the Swiss Alps and adjacent areas and its relation to lithology and structure: topographic analysis from a 250-m DEM. Geomorphology, 41(4): 285 ~ 307.

Lei Huizhu, Wu Chunlong. 2001#. Fractal channel networks on Loess plateau. Journal of Mountain Science, 19(5): 474 ~ 477.

Li Chenggui, Li Xingshan. 2002#. Characterization of 3-D surface topography by root-mean-square wavelength. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 28(2): 190 ~ 193.

Luo Yanyun, Liu Tingxi, Wang Xixi, Duan Limin, Zhang Shengwei, Shi Junxiao. 2012. Landform classification using soil data and remote sensing in northern Ordos Plateau of China. Journal of Geographical Sciences, 22(4): 681 ~ 698.

Ouchi S, Matsushita M. 1992. Measurement of self-affinity on surface as a trial application for fractal geometry to landform analysis. Geomorphology, 5(1 ~ 2): 115 ~ 130.

Prima O, Echigo R, Yokoyama R, et al. 2006. Supervised landform classification of northeast Honshu from DEM-derived thematic maps. Geomorphology, 78(3 ~ 4): 373 ~ 386.

Qiao Pinglin, Zhang Jixian, Lu Xiushan, Gao Wujun, Zhang Yunsheng. 2004#. An artificially neural network method for regionally ecological classification. Geography and Geo-Information Science, 20(2): 97 ~ 99.

Saadat H, Bonnell R, Sharifi F, et al. 2008. Landform classification from a digital elevation model and satellite imagery. Geomorphology, 100(3 ~ 4): 453 ~ 464.

Stepinski T F, Bagaria C. 2009. Segmentation-based unsupervised terrain classification for generation of physiographic maps. IEEE Geosciences and Remote Sensing Letters, 6(4): 733 ~ 737.

Song Jia. 2006#. Research on automated relief form types classification of China based on DEM. Supervisor: Tang Guo'an. Xi'an: Northwestern University master's degree thesis.

Sun Yanyun, Yang Wencai. 2014#. Recognizing and extracting the information of crustal deformation belts from the gravity field. Chinese Journal of Geophysics, 57(5): 1578 ~ 1587.

Xu Huiping, Haagmans R H N, de Bruijne A J T, Liu Wansong. 2001#. The EGM96 and its China gravity calculation. Journal of Changchun University of Science and Technology, 31(1): 84 ~ 88.

Xu Mo, Wang Di, Qi Jihong, Yang Yanna. 2011#. Study on morphological characteristics of karst landform based on the fractal theory. Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition), 38(3): 328 ~ 333.

Yang Shuzi, Wu Ya, Xuan Jianping. 2007. Time series analysis in engineering application (volume 2). Wuhan: Huazhong University

of Science & Technology Press.

The Spectrum Moments-based Approach to Geo-science Features Extraction and Its applications

FU Lihua¹⁾, RUAN Shufen²⁾, LI Hongwei¹⁾, LIU Zhihui¹⁾

1) *School of Mathematics and Physics, China University of Geosciences, Wuhan, 430074;*

2) *Institute of Geophysics and Geomatics, China University of Geosciences, Wuhan, 430074*

Abstract: Geo-science features extraction plays an important role in the quantitative analysis of mathematical geology, which provides an objective basis for identifying the types of surface units. In this paper, a new type of Geo-science features is defined to characterize the roughness of surfaces. In addition, the mathematical characteristic of the new feature is discussed. The new method relies on the theory of stochastic processes. Both the spectrum moments and its statistical invariants are considered as the indicators for characterizing the surface physiography. The experiments are performed on both the satellite gravity data in China and Digital Elevation Model (DEM) data. And the process of geomorphology recognition and steps for the calculation process are demonstrated. The results show that the new feature can reflect the relief characteristics of landforms, and the method can also be applied to create Gravity tectonic units and segmentation-based maps of physiography.

Keywords: Mathematical geology; features factor; spectrum moments; roughness; geomorphic types; satellite gravity

Acknowledgements: This study was financially supported by the Program for New Century Excellent Talents in University (No. NCET-13-1011) and Natural Science Foundation of China (No. 11426210). We would like to express our thanks to Professor Yang Wencai from the Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences for providing data and instruction.

First author: FU Lihua, female, born in 1979, professor. Mainly engaged in extraction of geophysical information. Address: No. 388, Lumo road, Hongshan District, Wuhan, 430074. Email: lihuafu@cug.edu.cn.

Manuscript received on: 2016-09-26; Accepted on: 2016-12-05; Edited by: ZHANG Yuxu.

Doi: 10.16509/j.georeview.2017.01.021