

基于变点分析法提取地势起伏度 ——以青藏高原为例

韩海辉, 高 婷, 易 欢, 杨 敏, 阎晓娟, 任广利, 杨军录

(中国地质调查局西安地质调查中心, 陕西 西安 710054)

摘要:以青藏高原区域大尺度 SRTM3-DEM 为数据源, 运用 GIS 的窗口递增分析法依次计算 2×2 、 3×3 、 4×4 、 5×5 、 \dots 、 32×32 窗口下的地势起伏度, 然后采用均值变点法科学的分析平均地势起伏度的最佳统计面积并进行分级分析, 得出实验区最佳分析窗口面积为 1.17 km^2 , 地势起伏度可分出八级, 其中小起伏山地分布最广。高原边缘的地势起伏度普遍较大主要是由于构造运动与河流溯源侵蚀作用强烈; 而高原内部地势较为平缓, 冰川、冻土作用下的侵蚀搬运可能对地势起伏的影响更大。

关键词:变点分析法; 地势起伏度; 青藏高原

中图分类号: P931 **文章标识码:** A **文章编号:** 1000-0690(2012)01-0101-04

引 言

地势起伏度被定义为某一确定面积内最高和最低点之高差, 按照地貌发育的基本理论, 一种地貌类型存在一个使最大高差达到相对稳定的最佳分析面积^[1], 利用 DEM 数据提取地势起伏度能够快速、直观的反映地形的起伏特征。近年来, 以 DEM 为基础数据对区域地势起伏度的研究逐渐兴盛起来, 地势起伏度在地貌特征分析、地质灾害评价、水土流失定量研究、土壤侵蚀分析等方面得到了广泛应用^[2-9]。由于不同领域应用目的不尽相同, 地势起伏度在提取方法及等级划分等方面存在一定的差异。如何根据区域环境、地貌特征、应用目的, 选取科学的提取地势起伏度的方法与表达方式, 已成为提高地势起伏度研究的有效性和实用性的关键。

青藏高原占中国陆地 $1/4$ 的面积, 平均海拔为 $4\,000 \text{ m}$ 以上, 是世界上地势最高、地形最复杂的高原^[10, 11]。本文以该区域大尺度 SRTM3-DEM 为数据源, 利用统计学上的均值变点法提取实验区地势起伏度并分级分析, 试图为提高区域地势起伏

度研究的有效性和实用性提供参考。

1 研究区范围

本次实验区范围(图1)只包括青藏高原的国内部分, 行政区划范围包括青海省、西藏自治区全部, 同时涉及新疆维吾尔自治区南部、四川省西部、云南省西部、甘肃省西南部的部分地区, 总面积约为 $2\,581\,348 \text{ km}^2$ 。

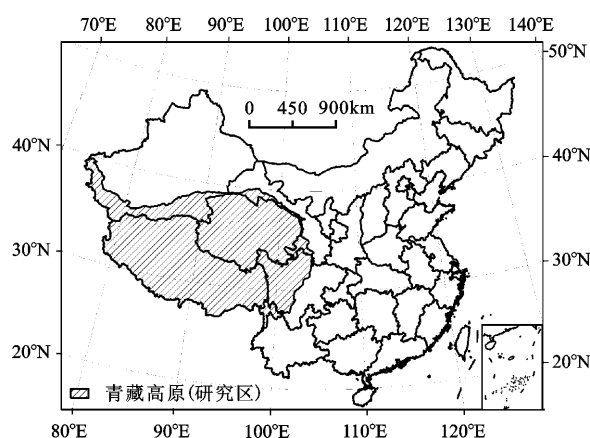


图1 研究区地理位置

Fig.1 Location of the study region

收稿日期: 2010-11-04; **修订日期:** 2011-03-08

基金项目: 中国地质调查局项目“西昆仑成矿带矿产资源遥感综合调查(西安地调中心)(基[2010]矿评03-04-02)”资助。

作者简介: 韩海辉(1983-), 男, 青海西宁人, 助理工程师, 研究方向为遥感与GIS应用。E-mail: hanhh06@hotmail.com

2 数据处理

2.1 数据来源与预处理

本次试验选用 SRTM3-DEM 数据,该数据来源于国际农业研究磋商组织(CGIAR)网站(<http://srtm.csi.cgiar.org/>),已经过空洞填补处理,消除水体和山体背影面的无数据点,其平面基准为 WGS84,高程基准为 EGM96,置信度达 90%。

我们对覆盖实验区的 DEM 数据进行拼接与投影转换处理。投影方式选择等面积圆锥投影(Albers),第一标准纬线定为 25°N,第二标准纬线

定为 47°N,中央经线定为 105°E,基准面选用 krasovsay_1940,将 DEM 栅格单元重采样为 90 m。

2.2 计算最佳统计单元

本文应用 GIS 窗口递增分析法来计算实验区中地势起伏度的最佳统计面积。分析窗口类型选择矩形,依次计算网格 2×2、3×3、4×4、5×5、…、32×32 下的地势起伏度。对计算得到的不同窗口下的地势起伏度,我们取各自的地势起伏度平均值(表 1),然后与各单元窗口相对应的面积作对数拟合曲线(图 2)。

从图 2 的拟合曲线看出,在统计单元面积为

表 1 研究区网格单元与平均地势起伏度对应关系

Table 1 Relation between grid units and average relief amplitude in the study region

网格大小	面积 (10 ⁴ m ²)	平均地势起伏度(m)	网格大小	面积 (10 ⁴ m ²)	平均地势起伏度(m)	网格大小	面积 (10 ⁴ m ²)	平均地势起伏度(m)
2×2	3.24	32.63	13×13	136.89	273.38	24×24	466.56	422.13
3×3	7.29	62.4	14×14	158.76	289.31	25×25	506.25	433.42
4×4	12.96	89.78	15×15	182.25	304.65	26×26	547.56	444.44
5×5	20.25	115.2	16×16	207.36	319.43	27×27	590.49	455.19
6×6	29.16	138.97	17×17	234.09	333.71	28×28	635.04	465.7
7×7	39.69	161.3	18×18	262.44	347.51	29×29	681.21	475.98
8×8	51.84	182.38	19×19	292.41	360.88	30×30	729	486.03
9×9	65.61	202.36	20×20	324	373.84	31×31	778.41	495.88
10×10	81	221.35	21×21	357.21	386.42	32×32	829.44	505.52
11×11	98.01	239.46	22×22	392.04	398.65			
12×12	116.64	256.78	23×23	428.49	410.54			

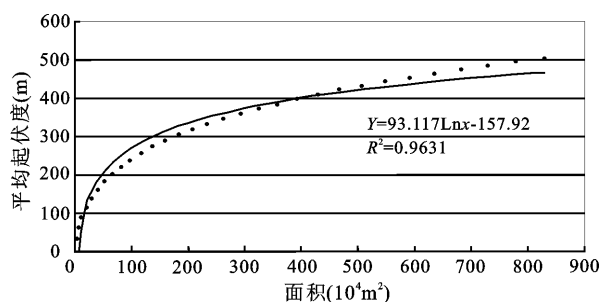


图 2 平均地势起伏度与网格单元面积对应关系拟合曲线

Fig.2 Fitting curve of the relation between grid units and average relief amplitude

100×10⁴m²之前,研究区内平均地势起伏度随着统计单元面积的增大而增大,且变化幅度较大;在(100~200)×10⁴m²之间,曲线上出现了平均地势起伏度增加由陡变缓的那一点;在200×10⁴m²之后,平均地势起伏度随着统计单元面积的增大而增大的趋势逐渐变缓;而由陡变缓的这一点所对应

的面积即是我们寻找的最佳统计单元的面积。

先前研究中多为人工判断曲线上由陡变缓点的位置^[12,13],这种方法中人的主观性影响较大。本次试验采用统计学上的均值变点分析法科学的计算出拟合曲线上由陡变缓的点位。

均值变点分析法计算过程大致如下^[14]:设有样本序列 H_0

1) 令 $i=2, \dots, N$,对每个 i 将样本分为两段: X_1, X_2, \dots, X_{i-1} 和 X_i, X_{i+1}, \dots, X_N 。计算每段样本的算术平均值 \bar{X}_{i1} 和 \bar{X}_{i2} 及统计量。

$$S_i = \sum_{t=1}^{i-1} (X_t - \bar{X}_{i1})^2 + \sum_{t=i}^N (X_t - \bar{X}_{i2})^2$$

2) 计算统计量:

$$\bar{X} = \sum_{t=1}^N X_t / N \text{ 和 } S = \sum_{t=1}^N (X_t - \bar{X})^2$$

3) 计算期望值: $E(S-S_i), i=2, 3, \dots, N$

$$E(S-S_i) = E[N-1(i-1)(N-i+1)(\bar{X}_{i1}-\bar{X}_{i2})^2]$$

均值变点法原理其实很简单,即变点的存在

会使原始样本的统计量 S 与样本分段后的统计量 S_i 之间的差距增大。

我们首先根据表 1 中的数据计算各分析窗口下单位面积上的平均地势起伏度, 然后对其取对数构建样本序列 $X(X=\{x_i, i=1,2,3 \cdots, 31\})$ 。完成上述步骤后利用均值变点法的公式计算样本序列

X 的统计量 S 与 S_i 的值。 S 的值为 19.951 9, S_i 的值见表 2, S 与 S_i 差值的变化拟合曲线见图 3。

从图 3 明显看出, 在第 11 个点时 S 和 S_i 的差值达到最大, 这一点既是我们寻找的变点, 而第 11 个点对应的分析窗口为 12×12 网格, 因此计算得到本实验提取地势起伏度的最佳统计面积为 1.17 km^2 。

表2 均值变点分析的统计结果

Table 2 Statistics of mean change point analysis result

i	S_i	i	S_i	i	S_i
2	16.7112	12	5.1759	22	10.0873
3	13.8485	13	5.2652	23	10.9251
4	11.5338	14	5.4723	24	11.8040
5	9.7018	15	5.7836	25	12.7204
6	8.2723	16	6.1875	26	13.6711
7	7.1779	17	6.6743	27	14.6532
8	6.3644	18	7.2354	28	15.6642
9	5.7888	19	7.8634	29	16.7016
10	5.4166	20	8.5517	30	17.7633
11	5.2200	21	9.2947	31	18.8473

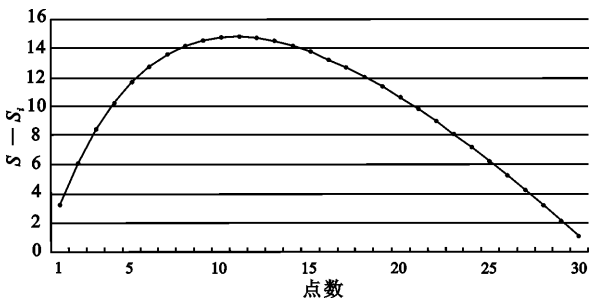


图3 S 和 S_i 差值的变化曲线

Fig.3 Change curve of the difference value between S and S_i

3 地势起伏度分级

根据数字地貌制图规范, 地势起伏度可划分为 7 级: 平原 ($<30 \text{ m}$)、台地 ($30\sim70 \text{ m}$)、丘陵 ($70\sim200 \text{ m}$)、小起伏山地 ($200\sim500 \text{ m}$)、中起伏山地 ($500\sim1\,000 \text{ m}$)、大起伏山地 ($1\,000\sim2\,500 \text{ m}$)、极大起伏山地 ($>2\,500 \text{ m}$)^[15]。本次实验考虑青藏高原地区地貌复杂多样, 地势起伏度小于 30 m 的区域基本为湖泊或盆地, 而湖泊的坡向变率值为零, 基于此特征掩膜出湖泊与盆地, 对研究区地势起伏度进行分级(图 4)。

从地势起伏的空间分布来看, 大起伏与极大起伏集中在喀喇昆仑山地区、冈底斯-念青唐古拉山地区、雅鲁藏布江中下游地区、川西北区域; 小起

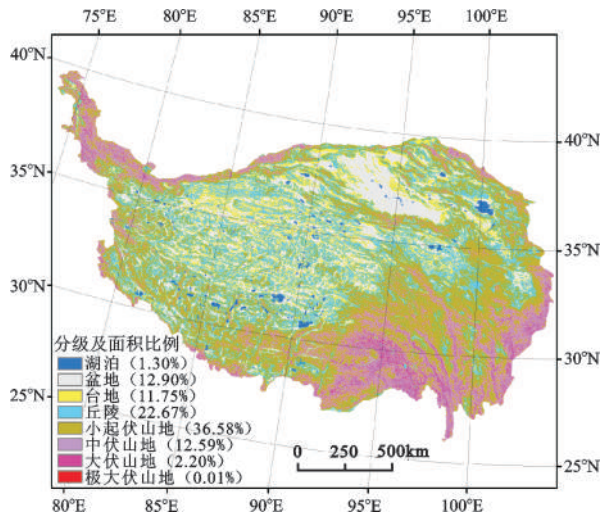


图4 青藏高原地势起伏度分级

Fig.4 Classification of relief amplitude of Tibetan Plateau

伏山地主要分布在藏南地区、长江上游地区、青南地区; 丘陵主要分布在羌塘地区、青南地区、祁连山南侧; 台地多分布柴达木盆地边缘、羌塘高原、青南高原、共和盆地, 主要是盆地与湖泊周围区域; 盆地主要为柴达木盆地、共和盆地、若尔盖盆地、羌塘地区的诸多小盆地。

从青藏高原整体范围来看, 高原边缘的地势起伏度普遍较大, 这主要是由于青藏高原隆升后边缘区域受河流溯源侵蚀的幅度更大, 且多属于

断裂构造发育和活动的地区,构造运动和造山作用强烈;高原内部地势较为平缓,河流的溯源侵蚀与构造运动相对较弱,而冰川、冻土作用下的侵蚀搬运对地势起伏的影响可能更大。

4 结 论

1) 应用均值变点分析法提取实验区地势起伏度的最佳统计面积为 1.17 km^2 ,地势起伏度可分 8 级,其中山地面积比例达 51.38%,小起伏山地分布最广。

2) 从实验区起伏度空间分布规律来看,青藏高原边缘的地势起伏度较大,这主要是由于高原隆升后边缘区受构造运动、造山作用、河流溯源侵蚀强烈;高原内部地势较为平缓,河流的溯源侵蚀与构造运动相对较弱,而冰川、冻土作用下的侵蚀搬运可能对地势起伏的影响更大。

3) 大比例尺 DEM 从地貌发育稳定性出发,在提取反映宏观地形特征的起伏度因子时可识别出的类别更为细致,同时应用均值变点法可更为科学准确地计算最佳统计面积,这将为提高地势起伏度研究的有效性和实用性提供参考。

参考文献:

- [1] 徐汉明,刘振东.中国地势起伏度研究[J].测绘学报,1991,20(4): 311~319.

- [2] 张 婷,汤国安,王 春,等.黄土丘陵沟壑区地形定量因子的关联性分析[J].地理科学,2005,25(4):467~472.
- [3] 闫满存,王光谦.基于 GIS 的澜沧江下游区滑坡灾害危险性分析[J].地理科学,2007,27(3):365~370.
- [4] 陶 盼,汤国安,王 春,等.DEM 地形信息量计算的不确定性研究[J].地理科学,2010,30(3):398~402.
- [5] 俞 雷,刘洪斌,武 伟.基于 DEM 的重庆三峡库区水系提取试验研究[J].地理科学,2006,26(5):616~621.
- [6] 王 岩,刘少峰.基于 DEM 的青海贵德地区地势起伏度的研究[J].地质通报,2008,27(12):2117~2121.
- [7] 郭芳芳,杨 农,孟 晖,等.地形起伏度和坡度在区域滑坡灾害评价中的应用[J].中国地质,2008,35(1):131~143.
- [8] 刘新华,杨勤科,汤国安.中国地形起伏度的提取及在水土流失定量评价中的应用[J].水土保持通报,2001,21(1): 57~59.
- [9] 陈建军,张树文,李洪星,等.吉林省土壤侵蚀敏感性评价[J].水土保持通报,2005,25(3):49~53.
- [10] 曾 彪.青藏高原植被对气候变化的响应研究(1982~2003)[D].兰州:兰州大学博士学位论文,2008.
- [11] 李洪权,范广洲,周丁文,等.青藏高原春季植被变化特征及其对夏季气温的影响[J].地理科学,2006,26(5): 616~621.
- [12] 唐 飞,陈 曦,程维明,等.基于 DEM 的准噶尔盆地及其西北山区地势起伏度的研究[J].干旱区地理,2006,29(3):388~392.
- [13] 王 岩,刘少峰.基于 DEM 的青海贵德地区地势起伏度的研究[J].地质通报,2008,27(12):2117~2121.
- [14] 项静恬,史久恩.非线性系统中数据处理的统计方法[M].北京:科学出版社,1997.
- [15] 中国科学院地貌图集编辑委员会.中华人民共和国地貌图集 (1:100 万)[M].北京:科学出版社,2009.

Extraction of Relief Amplitude Based on Change Point Method: A Case Study on the Tibetan Plateau

HAN Hai-hui, GAO Ting, YI Huan, YANG Min, YAN Xiao-juan, REN Guang-li, YANG Jun-lu

(Xi'an Center of China Geological Survey, Xi'an, Shaanxi 710054, China)

Abstract: Choosing scientific method to extract and express relief amplitude has become the critical factor to improve the effectiveness and practicality in relief research. Based on SRTM3-DEM, the relief amplitude with increasing grid window method in the Tibetan Plateau was extracted, and then the best window area by the mean change point method was calculated. The result shows that 1.17 km^2 could be the best window area, the relief amplitude can be divided into eight classes, and the most widely distributed class is low rolling mountain. The relief amplitude is generally more violent at the edge of the plateau. It is mainly due to the intensive tectonic movement and river headward erosion. While the terrain is relatively flat in hinterland of the plateau, the erosion and removal caused by glaciation and unfreezing may be the greater impact on the relief amplitude.

Key words: change point method; relief amplitude; Tibetan Plateau