

湘西南地区地貌分类与地形特征研究

李晓亮, 徐显博, 夏长林, 毛 威
(96833 部队, 湖南 怀化 418000)

摘 要: 基于 90 m 航天飞机雷达地形测绘任务 (Shuttle Radar Topography Mission, SRTM) 数字高程模型 (Digital Elevation Model, DEM), 利用 ArcGIS 10.8、Excel 等统计分析工具, 采用均值变点法确定了湘西南地区地貌分析的最佳窗口, 提出了具体的地貌分类标准。通过提取高程、地形起伏度、坡度、坡向、地表切割度、地表粗糙度等地形因子, 分析了研究区地形特征。结果表明: 湘西南地区地貌分析最佳窗口为 13×13 像素 ($136.89 \times 10^4 \text{ m}^2$), 地形起伏度为 $0.00 \sim 1\,359.30 \text{ m}$; 湘西南地区地形复杂, 包含 9 种地貌类型且交错分布; 低海拔丘陵和小起伏山地为主要地貌类型, 面积占比达 73.10%; 地形坡度主要集中在 $0^\circ \sim 25^\circ$, 面积占比 88.69%, 以斜坡为主; 坡向中, 平缓坡极少, 其他各坡向占比大致相当; 地表切割度为 $0.00 \sim 995.43 \text{ m}$, 地表粗糙度为 $1.00 \sim 4.31$; 湘西南地区地形起伏度、坡度、地表切割度、地表粗糙度的空间分布基本类似, 低值区主要分布在邵阳市中部、永州市北部和中南部区域。

关键词: 数字高程模型; 地形起伏度; 均值变点法; 地形地貌; 湘西南地区

中图分类号: E234

文献标志码: A

文章编号: 2097-2741(2024)01-071-08

Geomorphological Classification and Topographic Features of the Southwest Region of Hunan Province

LI Xiaoliang, XU Xianbo, XIA Changlin, MAO Wei

(Troops No. 96833, Huaihua 418000, Hunan)

ABSTRACT: Based on the 90-meter shuttle radar topography mission (SRTM) digital elevation model (DEM) and statistical analysis software such as Excel and ArcGIS 10.8, the best window for geomorphological analysis in the southwest region of Hunan province was determined by mean-variation analysis. Accordingly, the specific geomorphological classification standard was proposed. Thereby, topographic characteristics of the studied area were analyzed by extracting the elevation, relief degree, slope, aspect, surface incision and surface roughness. Results showed that the best window for geomorphological analysis in the studied area is 13×13 ($136.89 \times 10^4 \text{ m}^2$) and the relief amplitude is from 0.00 to $1\,359.30 \text{ m}$. The topography of the area is complex, where nine kinds of landforms interlock. The main landforms are low-elevation hills and small undulating mountains, which occupy 73.10% of the total area. The gradient of 88.96% of the research area is between 0 and 25 degrees, which means most of the area are inclines. Except the flat slope, the ratio of other aspect is roughly the same. The surface incision is from 0.00 to

收稿日期: 2023-11-22

第一作者: 李晓亮 (1986—), 男, 工程师, 主要从事测绘地理保障研究。E-mail: 553575233@qq.com

引用格式: 李晓亮, 徐显博, 夏长林, 等. 湘西南地区地貌分类与地形特征研究[J]. 火箭军工程大学学报, 2024, 38 (1): 71-78.

995.43 m and the surface roughness is from 1.00 to 4.31. The space distribution of relief degree, slope, surface incision and surface roughness are basically similar in the studied area, while low value regions are mainly distributed in the middle of Shaoyang city, the north of Yongzhou city, as well as the central and the south of Hunan province.

KEYWORDS: DEM; relief amplitude; mean-variation analysis; landform; the southwest region of Hunan province

地貌是地球在内外动力相互作用下于地表表现出来的各种形态,是组成地球表层系统的重要一员,对地球系统的其他方面起着决定性的作用^[1]。同时,地貌也是自然环境最基本的组成要素,控制着自然环境的分异,因此地貌的研究十分重要^[2]。

近年来,众多学者基于数字高程模型(Digital Elevation Model, DEM)开展了大量地貌形态划分和地形特征提取方面的研究,这些研究大致分为以下几类:一是进行地势起伏度统计单元研究,提出研究区的地貌最佳统计单元,例如,赵斌滨等^[3]研究提出我国的地势起伏度的最佳统计单元面积为2.25 km²;二是在研究地貌最佳统计单元的基础上进行地貌分类研究,例如,姜瑾斐、李婧晗、王丽娜等^[4-6]基于航天飞机雷达地形测绘任务(Shuttle Radar Topography Mission, SRTM)的数据提出了山东、安徽、甘肃等省份的地貌最佳统计单元和分类标准,并对地貌分类进行了系统研究;三是选择合适的地形因子对研究区地形特征进行提取研究,例如,张坤等^[1]选择高程、坡度、地表切割度、地表粗糙度和地形起伏度5个地形因子对祁连山自然保护区的地形特征进行了提取研究。但地貌形态因地理位置不同而各异,前述文献提出的地貌分类标准具有其明确的适用范围。因此,针对不同研究尺度和区域,需研究制定更适用于特定地区的分类标准,分析具体的地形特征。

湘西南地区位于湖南省西南部,包括怀化、邵阳、永州3个地级市,东西宽约371.7 km,南北长约488.1 km,面积约70 781.7 km²,区域内武陵山脉、雪峰山脉等山脉纵横,地形以山地、丘陵为主,地貌类型复杂多样,地势起伏大,最高海拔约1 990.9 m,最低约49.9 m。目前,对湘西南地区地貌类型划分和地形特征提取的系统研究还不多见。

综上,本文基于SRTM-DEM数据开展湘西南地区地貌分类和地形特征提取研究,以期为开

展地理环境分析研判、国土空间规划等活动提供基础数据支撑。

1 数据来源与方法

1.1 数据来源

本文采用的数据包括研究区的DEM数据及行政区划数据。其中:DEM是区域地表海拔的数字化表达^[7],采用90 m分辨率的SRTM-DEM数据,来源于中国科学院计算机网络信息中心地理空间数据云平台(<http://www.gscloud.cn>);行政区划数据采用Shapefile格式的矢量数据,来源于中国科学院资源环境科学数据中心(<http://www.resdc.cn>)。所有数据均采用WGS-84坐标系统,6°分带的高斯-克吕格投影。研究区范围及地形如图1所示。

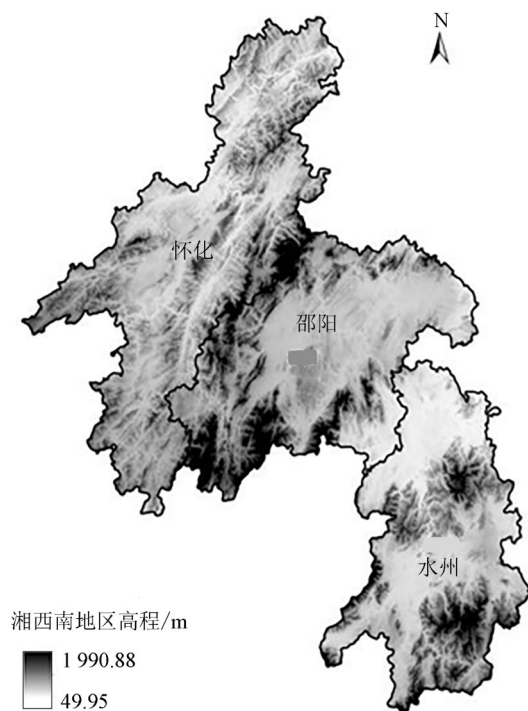


图1 研究区范围与地形

Fig. 1 Scope and topography of the study region

注:基于自然资源部标准地图服务网站下载的标准地图[审图号:GS(2020)4619]制作,底图无修改。

1.2 研究方法

地形因子是为有效研究与表达地貌形态特征而设定的具有一定意义的参数或指标^[1]。不同的地形因子可以从不同层面和尺度表征地貌特征。根据地理环境分析研判、国土空间规划等活动对宏观和微观2个方面基础地理信息数据的需求，本文选择高程、地形起伏度、坡度、坡向、地表粗糙度、地表切割度6个地形因子对研究区地形特征进行分析。

1.2.1 高程

高程（Elevation，正常高）即海拔，是地面点到似大地水准面的垂直高度。在中国陆地1：1 000 000数字地貌分类体系中，将我国地形的高程分为4级：低海拔（<1 000 m）、中海拔（1 000~3 500 m）、高海拔（3 500~5 000 m）和极高海拔（>5 000 m）^[1]。湘西南地区最低海拔49.95 m，最高海拔1 990.88 m，涵盖低海拔和中海拔2级地形高程。

1.2.2 地形起伏度

地形起伏度（Relief Amplitude）又称地势起伏度，是指某一确定面积内最高和最低点的高程之差，是地貌学中描述地貌形态的重要指标^[1-4]。地形起伏度的计算公式为

$$\nabla H = H_{\max} - H_{\min} \tag{1}$$

其中： ∇H 为地形起伏度； $H_{\max}$ 和 $H_{\min}$ 分别表示分

析窗口高程的最大值和最小值。

地形起伏度的实质是坡度在宏观区域延伸，能够直观地反映地形起伏特征，是地貌类型划分的定量指标。根据中国陆地1：1 000 000数字地貌分类体系，我国的基本地貌形态依据地形起伏度分为平原（<30 m）、台地（30~75 m）、丘陵（75~200 m）、小起伏山地（200~500 m）、中起伏山地（500~1 000 m）、大起伏山地（1 000~2 500 m）和极大起伏山地（>2 500 m）7类^[1]。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，该面积能恰到好处地反映出研究区地貌的完整性，并在一定范围内具有较强的代表性^[1]。确定此最佳分析面积，是提取地形起伏度的关键。

本文基于ArcGIS 10.8软件邻域分析工具的焦点统计（Focal Statistics）功能，采用3×3、4×4、5×5...30×30像素的矩形分析窗口分别统计研究区DEM在不同矩形窗口下高程的最大值和最小值，根据式（1）即可得到研究区在不同矩形窗口下的地形起伏度和平均地形起伏度。窗口大小与平均地形起伏度对应关系如表1所示。

利用Excel软件对每个窗口下对应的面积与平均地形起伏度进行对数拟合，得出拟合曲线为 $y = 62.404 \ln x - 99.018$ ，相关系数 $R^2 = 0.986$ ，拟合程度良好。分析窗口的面积与平均地形起伏度拟

表 1 窗口大小与平均起伏度的对应关系

Tab. 1 Correspondence between the window size and average relief amplitude

窗口大小/像素	窗口面积/(10 ⁴ m ²)	平均地形起伏度/m	窗口大小/像素	窗口面积/(10 ⁴ m ²)	平均地形起伏度/m
3×3	7.29	52.01	17×17	234.09	235.36
4×4	12.96	73.37	18×18	262.44	243.75
5×5	20.25	92.29	19×19	292.41	251.83
6×6	29.16	109.31	20×20	324.00	259.64
7×7	39.69	124.85	21×21	357.21	267.18
8×8	51.84	139.17	22×22	392.04	274.49
9×9	65.61	152.46	23×23	428.49	281.58
10×10	81.00	164.90	24×24	466.56	288.46
11×11	98.01	176.58	25×25	506.25	295.16
12×12	116.64	187.62	26×26	547.56	301.68
13×13	136.89	198.08	27×27	590.49	308.04
14×14	158.76	208.04	28×28	635.04	314.24
15×15	182.25	217.54	29×29	681.21	320.30
16×16	207.36	226.64	30×30	729.00	326.22

合曲线如图 2 所示。从该曲线变化情况可知：曲线开始呈急剧增长，说明随窗口大小增大，平均地形起伏度增长速度明显；但存在一个变点使其增幅减小，该点对应的窗口面积即为最佳统计单元面积。

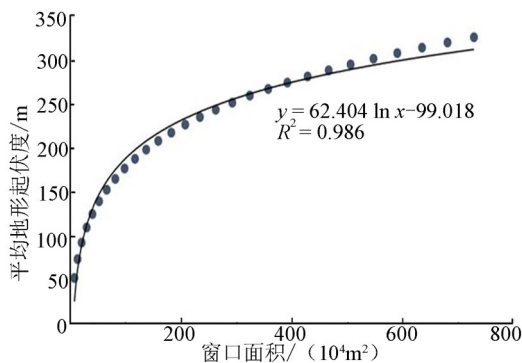


图 2 窗口面积与平均地形起伏度拟合曲线

Fig. 2 Fitting curve of the window area and the average relief amplitude

最佳统计单元对应的变点可通过均值变点法求取。均值变点法是一种对非线性数据进行处理的数据统计方法，该方法对恰有 1 个变点的检验最为有效^[3,6]。其计算过程如下。

Step1 计算各窗口下的单位地形起伏度。计算各个分析窗口下单位面积上的地形起伏度，按照从小到大排列，得到序列 T ， $T = \{T_i, i = 3, 4, \dots, 30\}$ ，其中， $T_i = h_i/s_i$ ， h_i 和 s_i 分别为 $i \times i$ 窗口对应的平均地形起伏度和窗口面积。

Step2 构建样本序列 X 。根据均值变点法的计算步骤，对 Step1 中得到序列 T 中的 28 个样本点分别取对数，即可得到样本序列 X ， $X = \{x_j, j = 1, 2, \dots, 28\}$ 。

Step3 计算样本统计量。对于样本序列 X ，以 x_j 为界，将样本 X 分为 2 段，分别计算每段样本的算术平均值 $\bar{x}_{1j}$ 和 $\bar{x}_{2j}$ 以及总样本的算术平均值 $\bar{X}$ ，计算统计量：

$$S_j = \sum_{k_1=1}^{j-1} (x_{k_1} - \bar{x}_{1j})^2 + \sum_{k_2=j}^n (x_{k_2} - \bar{x}_{2j})^2 \quad (2)$$

$$S = \sum_{j=1}^n (x_j - \bar{X})^2 \quad (3)$$

式中： S_j 为两段样本的离差平方和之和； S 为总的离差平方和； $k_1 = 1, 2, \dots, j-1$ ； $k_2 = j, j+1, j+2, \dots, n$ 。

Step4 计算最佳统计单元。计算 S 和 S_j 的差值，该差值最大值对应的窗口即为最佳统计单元。

根据式 (2)、(3) 计算可知，湘西南地区的最佳统计窗口为 13×13 像素，对应的最佳统计单元面积为 $136.89 \times 10^4 \text{ m}^2$ 。 S 和 S_j 的差值变化曲线如图 3 所示。

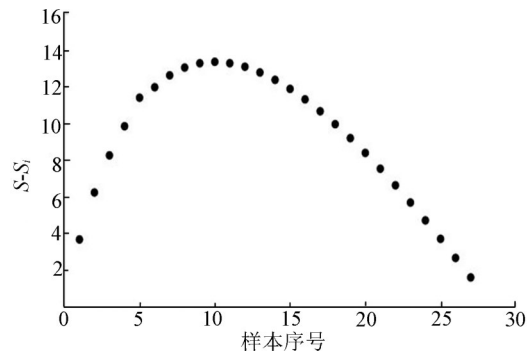


图 3 S 和 S_j 差值的变化曲线

Fig. 3 Variation curve of the difference value between S and S_j

1.2.3 地形坡度与坡向

地面上任意一点的坡度 (Slope) 是指过该点的切平面与水平地面的夹角。坡度是坡面倾斜程度的度量，其大小直接影响着地表物质流动与能量转换的规模与程度^[7]，决定了山坡的陡缓程度，对研究山坡稳定性具有重要意义。依据国际地理学联合会地貌调查与地貌制图委员会关于地貌详图应用的坡地分类标准，将坡度分为 7 个等级：平原 ($0^\circ \sim 2^\circ$)、缓斜坡 ($2^\circ \sim 5^\circ$)、斜坡 ($5^\circ \sim 15^\circ$)、陡坡 ($15^\circ \sim 25^\circ$)、急坡 ($25^\circ \sim 35^\circ$)、急陡坡 ($35^\circ \sim 55^\circ$) 和垂直坡 ($55^\circ \sim 90^\circ$)^[1]。本文采用上述 7 个坡度等级对研究区的坡度进行划分并统计。

坡向 (Aspect) 是指地表面上一点的切平面的法线矢量在水平面的投影与过该点正北方向的夹角^[7]。坡向以正北方向为 0° ，按顺时针方向计算，取值范围为 $0^\circ \sim 360^\circ$ 。坡向直接影响着地表接收太阳辐射能量的大小，对地表覆盖类型有重要影响。

坡度 α 和坡向 aspect 的计算公式如下：

$$\alpha = \arctan \sqrt{f_h^2 + f_v^2} \times 180/\pi$$

$$\text{aspect} = \arctan \frac{f_v}{f_h}$$

其中： f_h 和 f_v 分别为水平方向和垂直方向上的高程变化率。

1.2.4 地表切割度与粗糙度

地表切割度 (Surface Incision) 是地面上某一

点的邻域范围内，平均高程与最小高程的差值。该值能够直观地反映地表被侵蚀切割的情况^[7]。本文采用的地表切割度分类标准为：平原（0~30 m）、丘陵（30~100 m）、浅切割山地（100~500 m）、中等切割山地（500~1000 m）和深切割山地（>1000 m）^[8]。

地表粗糙度（Surface Roughness）为地表单元的曲面面积与其在水平面上的投影面积之比，是反映地表起伏变化和侵蚀程度的宏观指标，地表粗糙度越大表示地表起伏和侵蚀程度越大^[7]。

地表切割度与粗糙度计算公式分别为

$$D_i = H_{\text{mean}} - H_{\text{min}}$$

$$R = 1 / \cos \alpha$$

其中： D_i 表示统计单元*i*内地表某一点的切割深度（m），即地表切割度； H_{mean} 表示该统计单元内的平均高程（m）； H_{min} 表示该统计单元内的最小高程（m）；*i*为自然数，表示某统计单元；*R*表示地表粗糙度。

2 结果与分析

2.1 研究区地貌分类

湘西南地区位于湖南省西南部，涵盖低海拔和中海拔 2 级地形等级。地形起伏度为 0.00~1 359.30 m，如图 4（a）所示。

根据地表高程和地形起伏度可将湘西南地区划分为 12 种基本地貌类型。鉴于低海拔大起伏山地、中海拔平原、中海拔大起伏山地所占面积均在 0.01% 以下，难以在地貌分类图中表示，故对其进行归并处理：将低海拔大起伏山地和中起伏山地归并为低海拔大起伏山地，中海拔平原和台地归并为中海拔平原台地，中海拔大起伏山地和中起伏山地归并为中海拔大起伏山地。因此，最终将湘西南地区划分为 9 种地貌类型，如图 4（b）所示。

从图 4（b）可知，湘西南地区 9 种地貌类型交错分布。其中：低海拔平原主要分布于邵阳市的洞口县、邵东县，永州市的市辖区（大祥区、零陵区）、祁阳县、冷水江市和道县；中海拔区域主要分布在怀化市和邵阳市交界的雪峰山地区以及永州市的中部和南部区域。

对不同地貌类型对应的面积和比例进行统计，结果如表 2 所示。

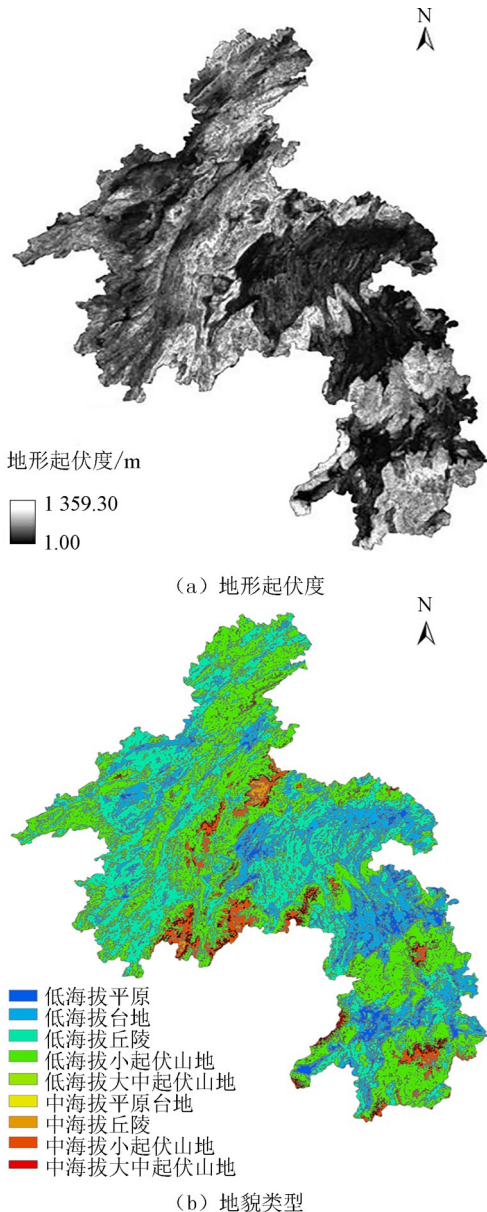


图 4 湘西南地区地貌
Fig. 4 Geomorphology of the southwest region of Hunan province

由表 2 可知，湘西南地区总面积中的 94.03% 位于低海拔区域，中海拔区域仅占 5.97%。其中：低海拔丘陵和小起伏山地为湘西南主要地貌类型，面积占比达到 73.10%；其次，为低海拔台地，合并面积占比 16.19%；低海拔平原和大起伏山地的面积分别仅占 3.60%、1.13%；中海拔区域中，小起伏山地面积占比最高，为 4.71%，其他地貌类型面积占比均不足 1%。

2.2 研究区地形特征

2.2.1 不同等级的面积占比

湘西南地区地形因子中，坡度、坡向地表切

割度的统计结果分别如表3~5所示。

表 2 湘西南地区地貌类型

Tab. 2 Geomorphological types of the southwest region of Hunan province

海拔		地貌		
类型	面积占比/%	类型	面积/km ²	面积占比/%
低海拔	94.03	平原	2 551.52	3.60
		台地	11 457.97	16.19
		丘陵	24 587.27	34.74
		小起伏山地	27 162.61	38.36
		大中起伏山地	802.23	1.13
中海拔	5.97	平原台地	6.84	0.01
		丘陵	367.85	0.52
		小起伏山地	3 334.30	4.71
		大中起伏山地	511.09	0.72

表 3 湘西南地区坡度统计结果

Tab. 3 Slopes of the southwest region of Hunan province

坡度/(°)	等级	面积占比/%	累计面积占比/%
0.0~2.0	平原	9.14	9.14
2.0~5.0	缓斜坡	15.72	24.86
5.0~15.0	斜坡	37.16	62.02
15.0~25.0	陡坡	26.67	88.69
22.0~35.0	急坡	10.21	98.90
35.0~77.0	急陡坡及垂直坡	1.10	100.00

由表3可知：湘西南地区的地形坡度范围主要集中在0°~25°，占研究区总面积的88.69%；35°以上坡度仅占1.10%；坡度类型以斜坡为主（占比37.16%），其他坡度类型按面积占比由大到小排列，依次为陡坡、缓斜坡、急坡、平原、急陡坡及垂直坡。

在ArcGIS中，通常将坡向综合成9类：平缓坡（-1.0）、北坡（22.5°~67.5°，337.5°~360°）、东北坡（67.5°~112.5°）、东坡（112.5°~157.5°）、东南坡（157.5°~202.5°）、南坡（157.5°~202.5°）、西南坡（202.5°~247.5°）、西坡（247.5°~292.5°）、西北坡（292.5°~337.5°）。由表4可知，湘西南地区除平缓坡极少外（面积占比仅0.04%），其他坡向占比大致相当。其中：东南坡占比最高，为13.93%；西南坡占比最低，为11.19%。

表 4 湘西南地区坡向统计结果

Tab. 4 Aspects of the southwest region of Hunan province

坡向/(°)	等级	面积占比/%
-1.0 ^①	平缓坡	0.04
0.0~22.5, 337.5~360.0	北坡	11.46
22.5~67.5	东北坡	11.43
67.5~112.5	东坡	13.57
112.5~157.5	东南坡	13.93
157.5~202.5	南坡	11.30
202.5~247.5	西南坡	11.19
27.5~92.5.5	西坡	13.18
292.5~337.5	西北坡	13.92

①：-1.0（非-1.0°）指趋于平缓、没有明显下坡向的区域（平缓坡/平面）。

表 5 湘西南地区地表切割度统计结果

Tab. 5 Surface incision of the southwest region of Hunan province

地表切割度/(°)	等级	面积占比/%	累计面积占比/%
0.0~30.0	平原	24.22	24.22
30.0~100.0	丘陵	38.23	62.45
100.0~500.0	浅切割山地	37.54	99.99
500.0~1 000.0	中等切割山地	<0.01	>99.99
>1 000.0	深切割山地	0.00	100.00

由表5可知，湘西南地区地表切割度为0~995.43 m，平均值为98.68 m。其中，平原（24.22%）、丘陵（38.23%）和浅切割山地（37.54%）的面积占比较大，中等切割山地及深切割山地的面积占比很小，合并占比小于0.01%。

2.2.2 不同等级的分布

湘西南地区各地形因子的等级分布如图5所示。由图5（d）可知，湘西南地区地表粗糙度为1~4.31，平均值为1.04。从空间分布看（图4（a）、图5），湘西南地区地形起伏度、坡度、地表切割度、地表粗糙度的空间分布基本类似，低值区主要分布在邵阳市中部、永州市北部和中南部区域，其他大部分区域均属高值区。

3 结论

基于90 m SRTM-DEM，分析了研究区地形特征，可得出如下结论。

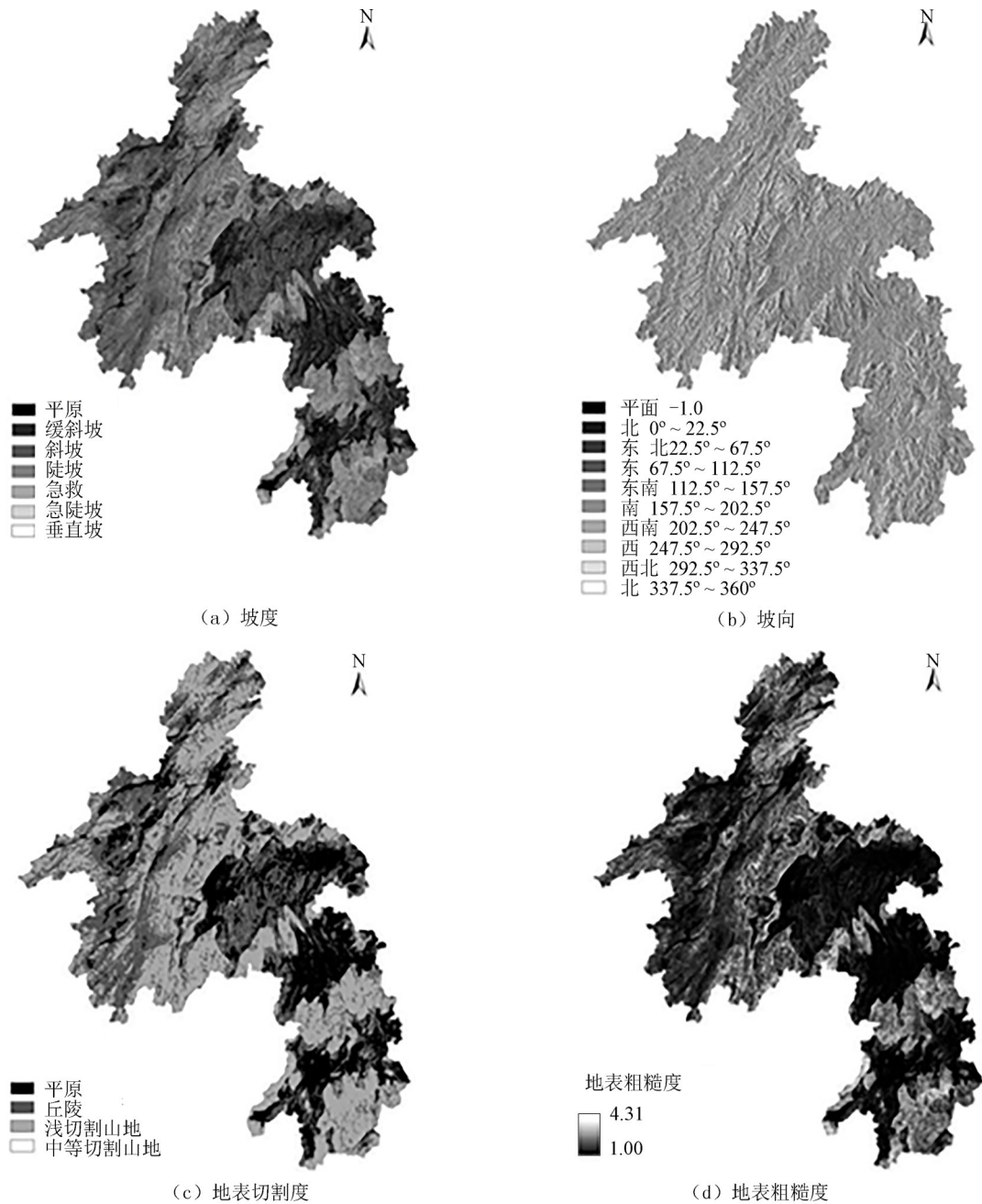


图 5 湘西南地区各地形因子的等级分布

Fig. 5 Rank distribution of topographic elements in the southwest region of Hunan province

(1) 湘西南地区地貌分析的最佳窗口为 13×13 像素，对应最佳统计单元面积为 $136.89 \times 10^4 \text{ m}^2$ ，地形起伏度为 $0 \sim 1\,359.30 \text{ m}$ 。

(2) 湘西南地区地形复杂，包含 9 种地貌类型且交错分布，其中低海拔丘陵和小起伏山地为主要地貌类型，合并面积占比达 73.10%。

(3) 湘西南地区地形坡度主要集中在 $0^\circ \sim 25^\circ$ ，坡度类型以斜坡为主。坡向中，平缓坡极少，其他各坡向占比大致相当，为 11.19%~13.93%。地表切割度为 $0 \sim 995.43 \text{ m}$ ，平均值

98.68 m ，以平原、丘陵、浅切割山地为主。地表粗糙度为 $1 \sim 4.31$ ，平均值 1.04。

(4) 湘西南地区地形起伏度、坡度、地表切割度、地表粗糙度的空间分布基本类似，低值区主要分布在邵阳市中部、永州市北部和中南部区域，其他大部分区域均属高值区。

参考文献：

[1] 张坤，肖燕，何振芳，等．基于 SRTM-DEM 的祁连山自然保护区地形特征研究[J]．干旱区地理，2020，

- 43(6): 1559-1566.
- ZHANG K, XIAO Y, HE Z F, et al. Topography features of Qilian Mountains nature reserve based on SRTM-DEM[J]. *Arid Land Geography*. 2020, 43(6): 1559-1566.
- [2] 常直杨, 王建, 白世彪. 基于 SRTM-DEM 数据的三峡库区地貌类型自动划分[J]. *长江流域资源与环境*, 2014, 20(12): 1665-1670.
- CHANG Z Y, WANG J, BAI S B. Auto-classification of landform in Three Gorges region based on SRTMDEM[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2014, 20(12): 1665-1670.
- [3] 赵斌滨, 程永锋, 丁士君, 等. 基于 SRTM-DEM 的我国地势起伏度统计单元研究[J]. *水利学报*, 2015, 46(增刊1): 284-290.
- ZHAO B B, CHENG Y F, DING S J, et al. Statistical unit of relief amplitude in china based on SRTM-DEM[J]. *Journal of Hydraulic Engineering*, 2015, 46: 284-290.
- [4] 姜瑾斐, 公培臻, 王栋, 等. 基于 SRTM 的山东省地形起伏度研究[J]. *河北地质大学学报*, 2021, 44(3): 71-75.
- JIANG J F, GONG P Z, WANG D, et al. Research on relief degree of Shandong province based on SRTM[J]. *Journal of Hebei GEO University*, 2021, 44(3): 71-75.
- [5] 李婧晗, 江岭, 左颖, 等. 面向对象的安徽省基本地貌类型划分方法[J]. *地理与地理信息科学*, 2018, 34(5): 80-85.
- LI J H, JIANG L, ZUO Y, et al. Landform classification based on object-oriented method in Anhui province[J]. *Geography and Geo-Information Science*, 2018, 34(5): 80-85.
- [6] 王丽娜, 丁文广, 许丹阳. 基于 DEM 的甘肃省地貌形态特征分类[J]. *水土保持通报*, 2019, 39(1): 258-263.
- WANG L N, DING W G, XU D Y. DEM-based geomorphological features of Gansu province[J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2019, 39(1): 258-263.
- [7] 汤国安, 李发源, 刘学军. 数字高程模型教程[M]. 北京: 科学出版社, 2016: 140-141.
- TANG G A, LI F Y, LIU X J. Digital elevation model coursebook[M]. Beijing: Science Press, 2016: 140-141.
- [8] 胡最, 聂阳意. 基于 DEM 的湖南省地貌形态特征分类[J]. *地理与地理信息科学*, 2015(31): 68-71.
- HU Z, NIE Y Y. DEM-based landform taxonomic features of Hunan province[J]. *Geography and Geo-Information Science*, 2015(31): 68-71.