

# 中国 1 km 地形起伏度数据集

游 珍<sup>1</sup>, 封志明<sup>1,2\*</sup>, 杨艳昭<sup>1,2</sup>

1. 中国科学院地理科学与资源研究所 北京 100101; 2. 中国科学院大学 北京 100049

**摘 要:** 地形起伏度是区域海拔高度和地表切割程度的综合表征。本文基于封志明等(2007)中国人居环境评价背景下的地形起伏度定义及其计算公式,将数字高程模型(SRTM 90 m)数据重采样成 1 km,运用模型计算得到中国陆地地形起伏度公里网格数据集。该数据集包括:中国全国和分省地形起伏度公里网格空间数据;中国分省、分地区和分县的地形起伏度统计数据。数据集存储为 ArcGIS Grid 和.xlsx 格式,由 522 个数据文件组成,数据量为 126 MB(压缩为 1 个文件,11.2 MB)。

**关键词:** 海拔高度;地形起伏;中国;公里格网;数字高程模型

**DOI:** 10.3974/geodp.2018.02.04

## 1 前言

地形起伏度(Relief Degree of Land Surface),又称地表起伏度,是区域海拔高度和地表切割程度的综合表征。随着地形起伏度概念的提出,将其作为划分地貌类型的一项重要指标逐渐成为国内外地图编制的基本趋势。随着学科交叉的不断渗入,地形起伏度不仅在资源、环境评价方面得到了广泛应用<sup>[1-5]</sup>,而且在人文社科领域,众多学者将地形因素作为描述区域自然环境的重要因素之一,其与区域人口、经济、社会的相互关系的研究不断兴起<sup>[6-10]</sup>。由于不同领域应用目的不尽相同,界定地形起伏度的内涵、选取科学的提取方法与表达方式,已成为提高地形起伏度研究的有效性和实用性的关键。

由此,本文以数字高程模型(Digital Elevation Model)数据为本底数据,根据封志明等<sup>[11-12]</sup>中国人居环境评价背景下的地形起伏度定义及其计算公式,利用 ArcGIS 空间分析功能,计算了中国 1 km 的地形起伏度分布数据集及基于不同行政单元的中国地形起伏度数据集。该数据集可以反映中国不同空间尺度地形起伏度的空间格局,可以为不同空间尺度的研究提供地形因素的数据支撑。

## 2 数据集元数据简介

中国地形起伏度公里网格数据集<sup>[13]</sup>的元数据见表 1。

收稿日期: 2018-03-06; 修订日期: 2018-06-22; 出版日期: 2018-06-25

基金项目: 中华人民共和国科学技术部(2016YFC0503500); 国家自然科学基金(41430861)

\*通讯作者: 封志明 M-5550-2018, 中国科学院地理科学与资源研究所, fengzm@igsrr.ac.cn

数据引用方式: [1] 游珍, 封志明, 杨艳昭. 中国 1 km 地形起伏数据集[J]. 全球变化数据学报, 2018, 2(2): 151-155.

DOI: 10.3974/geodp.2018.02.04.

[2] 游珍, 封志明, 杨艳昭. 中国地形起伏度公里网格数据集[DB/OL]. 全球变化科学研究数据出版系统, 2018. DOI: 10.3974/geodb.2018.03.16.V1.

表 1 中国地形起伏度数据集元数据简表

条目	描述
数据集名称	中国地形起伏度公里网格数据集
数据集短名	RdlsChina1km
作者信息	游珍 M-5487-2018, 中国科学院地理科学与资源研究所, youz@igsnrr.ac.cn 封志明 M-5550-2018, 中国科学院地理科学与资源研究所, fengzm@igsnrr.ac.cn 杨艳昭 M-5556-2018, 中国科学院地理科学与资源研究所, yangyz@igsnrr.ac.cn
地理区域	地理范围 3°52'N-53°33'N, 73°40'E-135°2'30"E, 位于亚洲东部, 太平洋西岸
数据年代	2014
空间分辨率	1 km
数据文件个数	522
数据量	126 MB (压缩后 11.2 MB)
数据集组成	包括 2 类文件。一类是基于 1 km 栅格的全国地形起伏度及 34 个省(市、自治区)的综合指数, 另外一类是分省、分地市、分县统计的平均综合指数
基金项目	中华人民共和国科学技术部(2016YFC0503500); 国家自然科学基金(41430861)
出版与共享服务平台	全球变化科学研究数据出版系统 <a href="http://www.geodoi.ac.cn">http://www.geodoi.ac.cn</a>
地址	北京市朝阳区大屯路甲 11 号 100101, 中国科学院地理科学与资源研究所
数据共享政策	全球变化科学研究出版系统的“数据”包括元数据(中英文)、实体数据(中英文)和通过《全球变化数据学报》(中英文)发表的数据论文。其共享政策如下: (1) “数据”以最便利的方式通过互联网系统免费向全社会开放, 拥护免费浏览、免费现在; (2) 最终用户使用“数据”需要按照引用格式在参考文献或适当的位置标注数据来源; (3) 增值服务用户或以任何形式散发和传播(包括通过计算机服务器)“数据”的用户需要与《全球变化数据学报》(中英文)编辑部签署书面协议, 获取许可; (4) 摘取“数据”中的部分记录创作新数据的作者需要遵循 10% 引用原则, 即从本数据集摘取的数据记录少于新数据集总记录量的 10%, 同时需要对摘取的数据记录标注数据来源 <sup>[14]</sup>

3 数据研发方法

3.1 算法原理

本文将地形起伏度定义为在一定区域范围内平均海拔高度水平面上地形的起伏程度。作为自然环境条件本底评价的重要指标之一, 在参考封志明等<sup>[6]</sup>地形起伏度提取方法的基础上, 本文将地形起伏度定义为:

$$ARI=ALT/1000+ \{[\max(H)-\min(H)] \times [1-P(A)/A]\}/500 \tag{1}$$

式中,  $ARI$  为地形起伏度;  $ALT$  为以某一栅格单元为中心一定区域内的平均海拔 (m);  $\max(H)$  和  $\min(H)$  分别为该区域内的最高与最低海拔 (m);  $P(A)$  为区域内的平地面积 ( $\text{km}^2$ );  $A$  为区域总面积, 本文  $A$  值定为  $25 \text{ km}^2$ 。

本文将中国地貌类型划分中山地与丘陵的分界线——海拔高度 500 m 视为中国基准山体高度<sup>[11]</sup>, 由此在扩大区间范围的同时, 地形起伏度作为独立数值具备了地理学意义: 地形起伏度为 1 的几倍则表示了其地形起伏为几个基准山体的高度, 小于 1 则表明低于一个基准山体的起伏。对于平地的界定, 有研究结果提出最大高差提取的最佳统计单元为  $21 \text{ km}^2$ , 本研究是基于  $1 \text{ km} \times 1 \text{ km}$  栅格数据的提取, 服务于宏观尺度上的区域性评价。因此, 在参考了中国地貌全图研制方法及地形起伏度划分类型等成果的基础上<sup>[12,15]</sup>, 本研究确定的判断标准为  $25 \text{ km}^2$  内, 即  $5 \text{ km} \times 5 \text{ km}$  栅格窗口内的最大高差小于等于 30 m 即为平地。

3.2 数据源说明

本数据集计算原始的数字高程模型（Digital Elevation Model）数据来自于中国科学院资源环境科学数据中心（<http://www.resdc.cn>），该数据采用的是美国奋进号航天飞机的雷达地形测绘 SRTM（Shuttle Radar Topography Mission, SRTM）90 m 的数据，通过重采样，获得 1 km 分辨率的数据。SRTM 数据有现实性强、免费获取等优点，全球许多应用研究都采用 SRTM 数据开展环境分析。数据投影方式采用 Albers 等积圆锥投影（Krasovsky\_1940\_Albers）。

3.3 技术路线

地形起伏度的提取主要采用窗口分析法等方法，利用 Arc/Info 软件空间分析模块的 Neighborhood 模块实现。全国范围内，以 5 km×5 km 栅格大小为单元开辟研究栅格区，以其为准逐个栅格区提取地形起伏度。具体计算过程如下（图 1）：

1) 栅格区内平均海拔高度、最高海拔高度和最低海拔高度的提取。利用邻域分析中的焦点统计实现。A 为区域总面积，以 5 km×5 km 栅格为提取单元，A 值为 25 km<sup>2</sup>。再分别求出每个区域内的平均海拔高度、最高海拔高度和最低海拔高度。

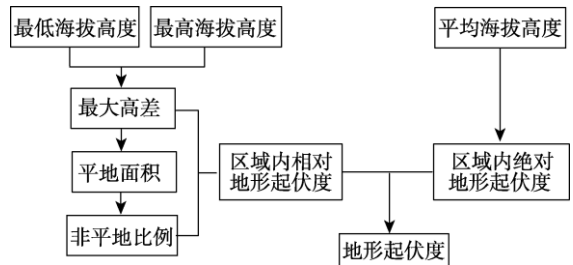


图 1 地形起伏度提取流程图

2) 栅格区内（5 km×5 km）最大高

差的提取。利用栅格计算器实现。利用上个步骤得到的最大值和最小值两个数据层，运算两个数据层的差值，得到栅格区内的最大高差。

3) 栅格区内非平地比例的提取。利用栅格计算器在上述结果数据层提取最大高差小于等于 30 m 的栅格数据层，运算求得栅格区内非平地的比例，即

$$R=[1-P(A)/A] \tag{2}$$

式中，R 为栅格区内非平地的比例，P(A)和 A 见公式(1)。

4) 最终提取。将步骤 1) 平均海拔高度的运算结果除以 1,000 即可获得区域内地形的绝对起伏度，再将步骤 2)、3) 的结果层相乘，运算结果层再除以 500 即可获得区域内地形的相对起伏度，再将绝对起伏度与相对起伏度二者相加即可完成栅格单元地形起伏度的最终提取。

5) 数据的形式调整。为了给每个栅格赋予可见的值，将最终的地形起伏度栅格数据乘以 100 再取整，即实际地形起伏度是本栅格数据除以 100。

4 数据结果

基于以上计算方法和计算过程，本文得到中国 1 km 地形起伏度（图 2）。从图中可以看出，中国地形起伏度介于 0-12.95 之间，区域之间差异较大。整体而言，中国地形起伏度很好地表达了我国地形条件呈三级阶梯分布的空间特征，总体空间分布趋势为西部高于东部，南部高于北部。最高值分布在藏东南——横断山区和天山地区，除一些巨大的盆地外，由此二处向两侧逐渐降低。最低值分布在东北平原、华北平原和长江中下游平原，四川盆地、准噶尔盆地、塔里木盆地为次低值区域。

利用 ArcGIS 中的 Zonal Statistics 功能，基于 1 km 分辨率的地形起伏度数据集分别统计了中国各省、各地市及各县（区、市）的地形起伏度平均值，如图 3-图 5 所示。

分省尺度来看，上海和西藏分别是中国地形起伏度最低和最高的省（直辖市）。上海市、江苏省、天津市和山东省为沿海地区省份，地形起伏度较低，均小于 0.1。西藏、青海、四川、云南的地形起伏度较高，均大于 2.5，主要分布在青藏高原、云贵高原地区。在全国 34 个省市中，地形起伏度值小于 1 的省份个数占比为 61.76%，仅有 17.65% 的省份地形起伏度大于 2（图 3）。

分地市来看，中国分地市的地形起伏度的分布与其地形三大阶梯的分布趋势基本一致。东部沿海地区及四川盆地的地形起伏度较低，中部的内蒙古高原、黄土高原及云贵高原等地的地形起伏度处于中等，西南部青藏高原的地形起伏度最高。在全国的 362 个地市中（除台湾外），地形起伏度小于 1 的地市个数占比为 64.92%，主要分布在中国东部地区。其中，地形起伏度在 0-0.5 的地市包括长江三角洲、江汉平原和黄淮海平原绝大部分区域的地市，地形起伏度在 0.5-1 的地市包括北京市、浙江沿海的台州市、温州市，以及广西、湖南、四川省的部分地市；地形起伏度介于 1 和 2 之间的的地市个数比为 20.72%，主要分布在中国的第二阶梯区域以及新疆以北和台湾地区，包括呼和浩特市、中卫市、宝鸡市、重庆市等 75 个地市。地形起伏大于 2 的地市个数占比为 14.36%，其中，地形起伏度在 2-3 的地市包括乌鲁木齐市、兰州市、绵阳市、昆明市等 22 个；地形起伏度大于 3 的地市主要包括青海和西藏的绝大部分地市，以及位于川北高原区的地市，共计 30 个。天津市的和平区、河东区、河西区等和上海市的黄埔区、奉贤区、浦东新区等的地形起伏度为 0，为最低值分布的区域；西藏的阿里地区、昌都市、日喀则市和拉萨市的地形起伏度均大于 5，为最高值分布的区域（表 2，数据文件为 Rdls\_China.xlsx）。

分县来看，中国分县地形起伏度以低值为主。当地形起伏度达到 0.5 时（相对高差不超过 250 m），县域个数的累积频率已

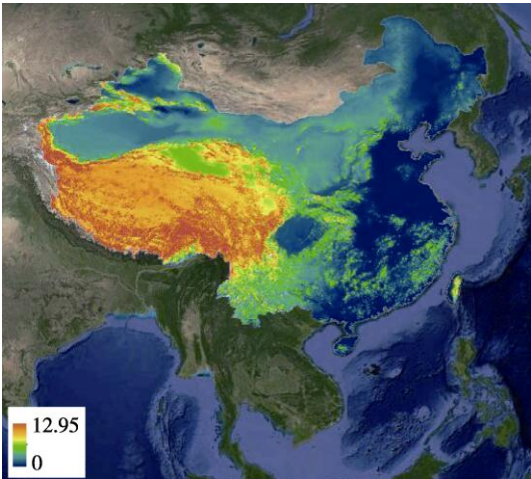


图 2 中国 1 km 地形起伏度分布图

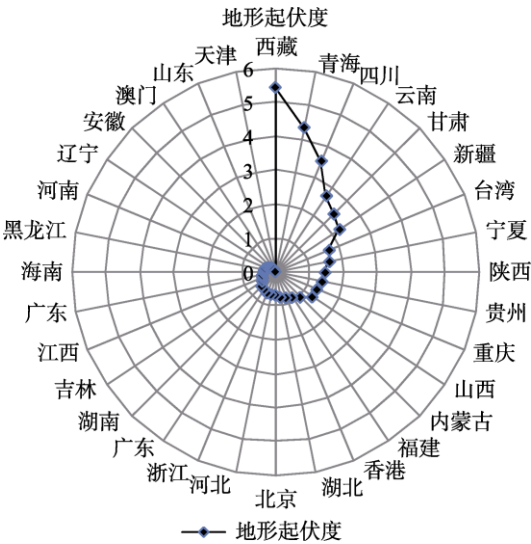


图 3 中国各省地形起伏度玫瑰序图

表 2 中国分地市地形起伏度统计表					
地形起伏度	0-0.5	0.5-1	1-2	2-3	>3
市地个数	183	52	75	22	30

经达到 51.76%; 当地形起伏度达到 1 时(相对高差不超过 500 m), 县域个数的累积频率达到 66.17%; 当地形起伏度达到 2 时(相对高差不超过 1,000 m), 县域个数的累积频率超过 85.90%; 地形起伏度超过 3(相对高差超过 1,500 m)的比例只有 8.04%(图 4)。

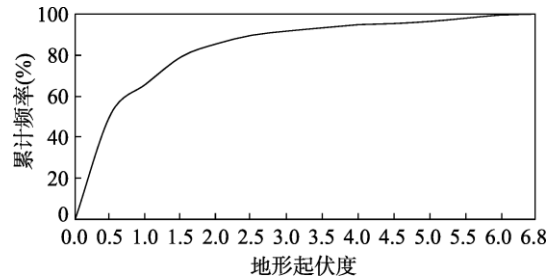


图 4 中国分县地形起伏度累积曲线图

## 5 讨论和总结

地形起伏度是区域海拔高度和地表切割程度的综合表征。本文基于 1 km 数字高程模型 (Digital Elevation Model) 数据, 根据封志明等<sup>[11-12]</sup>中国人居环境评价背景下的地形起伏度定义及其计算公式, 计算了中国 1 km 地形起伏度。在此基础上, 计算了全国各省、各地市、各县的平均地形起伏度。结果显示中国地形起伏度介于 0-12.95 之间, 区域之间差异较大。上海、西藏分别是中国地形起伏度最低和最高的直辖市、自治区, 中国分地市的地形起伏度的分布与其地形三大阶梯的分布趋势基本一致, 中国分县地形起伏度以低值为主, 三分之二的县域地形起伏度小于 1(相对高差不超过 500 m)。随着区域研究尺度的不断细化和研究区范围的扩展, 未来还将计算 90 m 和 30 m 的地形起伏度, 以及世界重点地区的地形起伏度, 以满足不同地理尺度和不同区域范围的研究需要。

**作者分工:** 游珍完成了数据集设计、模型运算及论文的撰写; 封志明和杨艳昭完成了模型的设计, 并对论文撰写提出修改意见及论文最后审定。

## 参考文献

- [1] Saha, A. K., Gupta, R. P., Sarkar, I., *et al.* An approach for GIS-based statistical landslide susceptibility zonation: with a case study in the Himalayas [J]. *Landslides*, 2005, 2(1): 61-69.
- [2] 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.
- [3] 闫满存, 李华梅, 王光谦. 广东沿海陆地地质环境质量定量评价研究[J]. 工程地质学报, 2000, 8(2): 416-425.
- [4] 游珍, 杨艳昭, 姜鲁光等. 基于 DEM 数据的澜沧江-湄公河流域地形起伏度研究[J]. 云南大学学报(自然科学版), 2012, 34(4): 393-400.
- [5] 齐文娟, 杨晓梅. 江西省都昌县山地与平原植被界线提取[J]. 地球信息科学, 2017, 19(4): 559-569.
- [6] 封志明, 唐焰, 杨艳昭等. 中国地形起伏度及其与人口分布的相关性[J]. 地理学报, 2007, 62(10): 1071-1082.
- [7] 胡鑫. 长沙市农村居民点驱动机制研究[J]. 经济研究导刊, 2014(22): 22-25, 95.
- [8] 封志明, 张丹, 杨艳昭. 中国分县地形起伏度及其与人口分布和经济发展的相关性[J]. 吉林大学社会科学学报, 2011, 51(1): 146-160.
- [9] 冷志明, 唐珊. 武陵山片区自我发展能力测算及时空演变分析[J]. 地理学报, 2014, 69(6): 782-796.
- [10] 张婧, 王国梁. 忻州乡村聚落空间分布与地形起伏度关系[J]. 信阳师范学院学报: 自然科学版, 2015, 28(2): 195-198.
- [11] 中国科学院可持续发展战略研究组. 2005 中国可持续发展战略报告[M]. 北京: 科学出版社, 2005: 273.
- [12] 陈志明, 刘振东, 于秀波. 中国地貌全图研制[J]. 地图, 1995(1): 36-38.
- [13] 游珍, 封志明, 杨艳昭. 中国地形起伏度公里网格数据集[DB/OL]. 全球变化科学研究数据出版系统, 2018. DOI: 10.3974/geodb.2018.03.16.V1.
- [14] 全球变化科学研究数据出版系统. 全球变化科学研究数据共享政策[OL]. DOI: 10.3974/dp.policy.2014.05 (2017 年更新).
- [15] 陈志明. 论中国地貌图的研制原则、内容与方法: 以 1:4000000 全国地貌图为例[J]. 地理学报, 1993, 48(2): 105-113.