引文格式：张子健,李 朋,程振龙,等. 基于DEM数据的相对高程计算方法研究[J]. 地理空间信息, 2024, 22(2): 52-54. doi:10. 3969/j.issn. 1672-4623.2024.02.012

基于DEM数据的相对高程计算方法研究

张子健[1]，李　朋[2]，程振龙[3]，张晓峰[3]，周卫青[2]，周子龙[2]，李　超[2]，丁立萍[2]
（1. 国网冀北电力有限公司，北京 100054；2. 国网冀北电力有限公司电力科学研究院（华北电力科学研究院有限责任公司），北京 100045；3. 山东二十一世纪空间信息技术有限公司，山东 烟台 264003）

摘　要：提出一种基于DEM数据、适用于复杂地形区域的相对高程因子的计算方法。首先利用DEM数据划分地形单元，然后在每个地形单元内确定相对基准面，最后分区域计算相对高程。并选择河北省承德市丰宁县为研究区开展实验验证，研究表明，该方法能够方便、科学地计算出相对高程值，并为复杂地形区域相对高程提取及数字高程模型研究提供一种新的方法与借鉴。

关键词：相对高程；数字高程模型；相对基准面；地形单元划分
中图分类号：P284　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2024）02-0052-03

Relative Elevation Calculation Method Based on DEM Data

ZHANG Zijian[1], LI Peng[2], CHENG Zhenlong[3], ZHANG Xiaofeng[3], ZHOU Weiqing[2], ZHOU Zilong[2], LI Chao[2], DING Liping[2]
(1. State Grid Jibei Electric Power Co., Ltd., Beijing 100054, China;
2. Jibei Electric Power Research Institute, State Grid Jibei Electric Power Co., Ltd., North China Electric Power Research Institute Co., Ltd., Beijing 100045, China;
3. Shandong Twenty First Century Aerospace Information Technology Co., Ltd., Yantai 264003, China)

Abstract: In this paper, we proposed a calculation method for relative elevation factor based on DEM data, which was suitable for complex terrain regions. Firstly, we divided the terrain unit according to DEM data. Then, we determined the relative datum plane in each terrain unit. Finally, we calculated the relative elevation in different regions. We selected Fengning County, Chengde City, Hebei Province as the study area to carry out experimental verification. The research shows that this method can calculate relative elevation easily and scientific, and provide a new method for relative elevation extraction and reference for digital elevation model research in complex terrain regions.

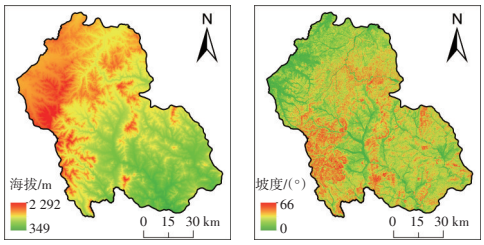
Key words: relative elevation, digital elevation model, relative datum plane, topographic unit division

地形因子的量化过程主要是利用数字高程模型数据进行分析处理提取，目前利用DEM数据提取的地形因子主要包括海拔、坡度、坡向、坡长、地表曲率、地表起伏度、地表粗糙度、山体阴影、可视域、地形特征线等[1-2]，但目前对相对高程因子的提取研究较少。熊波[3]提出基于水文分析模型通过DEM数据自动提取山地相对高程的方法，该方法应用快捷方便，但仍存在精度不高等问题与缺陷。另外，目前国内外关于相对高程的研究中，仍没有形成公认的较为合理的山地相对高程计算范围[4-5]。因此基于DEM数据的相对高程计算提取方法仍是一个迫切需要解决的问题。为此，本文拟在地形区划分的基础上研究一种更准确提取相对高程信息的新方法，并对目前数字地形分析过程面临的一些问题进行探讨。

1　研究区概况

研究区丰宁满族自治县，隶属河北省承德市，全县总面积8 765 km^2，常住人口32万人[6]。丰宁县地处燕山北麓和内蒙古高原南缘，地势由西北向东南呈阶梯状降低，分坝上、接坝、坝下3个地貌单元（图1）。坝上天高地阔；接坝峰高谷深，林木茂盛；坝下群山绵亘，河谷纵横。全县海拔最高点为燕山山脉主峰东猴顶，海拔2 292 m；海拔最低点349 m，海拔相差1 943 m。本区域具有典型性，适用于开展基于DEM数据的相对高程提取研究。

收稿日期：2022-09-01。
项目来源：国网冀北电力有限公司科技项目（52018K220011）。
第一作者简介：张子健（1979—），博士，高级工程师，主要从事生态环境监测评估等工作，E-mail：306550757@qq.com。



a 海拔　　b 坡度

图1　研究区

2　数据与方法

相对高程的定义为：在局部地区，假定一个基准面作为高程起算面，地面点到该假定基准面的垂直距离称为相对高程，又称为假定高程。根据相对高程的定义可知，决定相对高程计算成功的关键在于局部假定（相对）基准面的确定，本研究通过DEM数据划分不同的地形单元来确定相对基准面，最后分区域计算研究区内的相对高程，主要过程包括：①地形单元的划分；②相对基准面的确定；③分区域计算相对高程。

从地理空间数据云网站（http://www.gscloud.cn/）下载30 m分辨率的DEM高程数据，根据研究区矢量边界数据进行坐标转换、几何校正、镶嵌、裁剪等处理，得到研究区DEM数据。

2.1　地形单元的划分

根据对丰宁县DEM数据的初步分析与高原、山地、丘陵、平原、盆地5大地形区划分的基本原则[7]，首先对丰宁县DEM数据划分地形区，其具体划分依据如表1。

表1　地形区划分依据

地形区	地貌特征
高原	海拔高度在1 000 m以上，地势相对平坦或者有一定起伏的广阔地区
山地	海拔较高，一般在500 m以上，峰峦起伏，坡度陡峻
丘陵	地面起伏和缓，绝对高度在500 m以内，相对高度一般不超过200 m，地面崎岖不平，由连绵不断的低矮山丘组成
平原	地面平坦，海拔较低，一般在200 m以下
盆地	中心地势低，周边地势高

根据表1的划分依据在ArcGIS平台下对丰宁县DEM进行自动划分，结果进行拓扑分析检查遗漏或重合的区域，对于较难划分的小面积遗漏或重合的区域进行人工判别。在地形区划分的基础上，利用ArcHydrology模型方法提取地形沟谷线[8]，根据地形沟谷线的分布并在充分分析局部地形特征的前提下，将研究区在地形区的基础上划分若干个独立的地形单元，每个地形单元面积控制在5~30 km^2。

2.2　相对基准面的确定

地形单元划分完成后，一般可取每个地形单元界线的海拔最低值作为每个地形单元的高程起算值（即相对基准面），利用DEM数据与相对基准面进行差值运算，结果即为相对高程。但对于一些特殊、复杂形态的山地、丘陵来说，如图2所示，由于山地两侧地形单元不一，且海拔相差较大，在计算相对高程时，若选择A基准面为起算面，则会造成南坡部分地区为负值，显然是不合适的；选择B基准面为起算面，虽然能保证相对高程值皆为正值，但会增大北坡的结果误差；在此情况下，以该地形区边界线的高程值，拟合一条连续曲面C作为该地形单元的相对基准面，这样该山地任意点的相对高程值则为以距离为权重的平均相对高程值（投影距离越小，权重越大）。

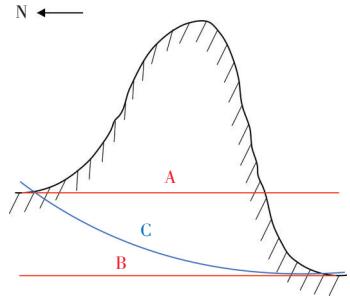


图2　复杂地形区基准面的确定

2.3　分区域计算相对高程

每个地形单元的相对基准面确定后，利用DEM数据与相对基准面进行差值运算，结果即为相对高程。用数学公式表示为：设山地内任一点m处海拔为 h_m，地形区边界线上的点的海拔依次为 h_1、h_2、…、h_2，其至m点的投影距离依次为 d_1、d_2、…、d_i，则m点的相对高程 H_m 如式（1）、（2）。

令 $d_1+d_2+\cdots+d_i=\mathrm{D}$，则该式简化为：

$$H_m=(h_m-h_1)\left[\frac{\left(1-\frac{d_1}{d_1+d_2+\cdots+d_i}\right)\times 100\%}{i-1}\right]+(h_m-h_2)\left[\frac{\left(1-\frac{d_2}{d_1+d_2+\cdots+d_i}\right)\times 100\%}{i-1}\right]+\cdots+$$

$$(h_m-h_i)\left[\frac{\left(1-\frac{d_i}{d_1+d_2+\cdots+d_i}\right)\cdot 100\%}{i-1}\right] \quad (1)$$

$$H_m=\frac{(h_m-h_1)\left[\left(\frac{D-d_1}{D}\right)100\%\right]+(h_m-h_2)\left[\left(\frac{D-d_2}{D}\right)100\%\right]+\ldots+(h_m-h_i)\left[\left(\frac{D-d_i}{D}\right)100\%\right]}{i-1}=\frac{\sum_{i=1}^{n}(h_m-h_i)\left[\left(\frac{D-d_i}{D}\right)100\%\right]}{i-1} \quad (2)$$

式中，h_m 与 D 为常数。

3 结果与讨论

3.1 结 果

根据对丰宁县DEM数据分析发现：丰宁县可划分为高原、山地与丘陵3大地形区，无平原与盆地地形。在地形区的基础上划分为58个独立的地形单元，其中高原1个、山地47个、丘陵10个，结果如图3。在每个地形单元内计算相对基准面，利用DEM数据与相对基准面进行差值运算，最终的相对高程计算结果如图4，丰宁县全域相对高程最高点为1 240 m，最低点为0 m。

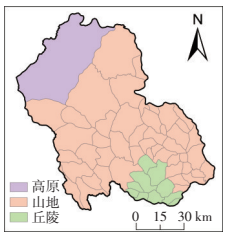


图3 丰宁县地形单元划分结果

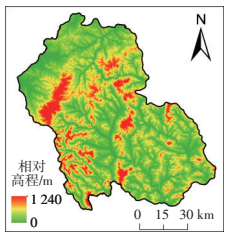


图4 相对高程计算结果

3.2 讨 论

以熊波等提出的基于水文分析模型提取山地相对高程的方法，提取丰宁县的相对高程，结果如图5所示，并对2种结果的数据进行差值运算，相差值主要在−300~135 m之间；总的来看，西部、西南部、东北部山地区域相差较大。山地相对高程的计算关键在于相对基准面的确定，而由于所使用方法、计算区域范围大小的不同，使得相对基准面的确定具有较大差距，从而导致相对高程结果相差较大。

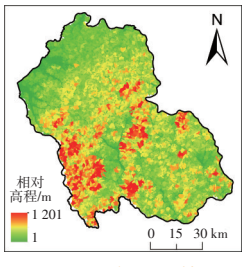


图5 相对高程计算结果

1）数据完整性：图5可以看出，该结果边界区域出现大面积空值区域，数据结果不完整（研究区西南区域尤为明显）。其主要原因是：由于其所使用的水文分析模型方法的限制，使用研究区边界对DEM进行裁剪后再计算栅格流向，研究区边缘的区域无法形成完整的流域范围，运行结果直接判为空值；而本研究所采用的根据地形特征划分地形单元确定相对基准面的方法则实现了研究区域的全覆盖（图4）。

2）结果比较：熊波等的研究结果仅仅是提取山顶点处的相对高程，所以结果呈片状离散形式；本研究结果为地面任一点的相对高程，结果为连续分布的数据。这也是两结果相差较大的主要原因之一。

3）相对基准面的确定：在局部地区内确定相对基准面，熊波等选择的方法是选择局部范围边界的海拔最低值为该区域高程起算面，即相对基准面，所以其所选择的相对基准面皆为平面，这在平原等地形区域是适用的；但在地形区类型变化较大、地面起伏大的复杂山区地带，这显然是不合适的；相对基准面应为高低起伏、连续分布的空间曲面。

3.3 结 论

总体而言，山地相对高程的计算首先应根据地形特征将研究区域划分为若干局部区域，即相对高程的计算范围，然后在每个计算区域内确定相对基准面，最后计算相对高程的过程。在这个过程中，仍存在许多需要规范与解决的地方，如计算范围的面积大小、形状，相对基准面确定的规则等。另外，由于目前还没有对相对高程的定义、计算等公认的解释，所以暂时无法对分析结果进行验证，这也是一个急需解决的问题。

参考文献

[1] 汤国安. 我国数字高程模型与数字地形分析研究进展[J]. 地理学报,2014,69(9):1 305-1 325

[2] 杨昕,汤国安,刘学军,等. 数字地形分析的理论、方法与应用[J]. 地理学报,2009,64(9):1 058-1 070

[3] 熊波,陈学华,刘艳锋. 基于水文分析的山地相对高程计算方法探讨[J]. 测绘科学,2009,34(增刊):86-88

[4] 祝国瑞. 地图学[M]. 武汉: 武汉大学出版社,2003

[5] 江晓波. 中国山地范围界定的初步意见[J]. 山地学报,2008,26(2):129-136

[6] 丰宁满族自治县人民政府. 丰宁概况[EB/OL]. (2014-10-26) [2015-12-16]http://www. fengning. gov. cn/col/col3214/index. html.

[7] 严钦尚,曾昭璇. 地貌学[M]. 北京: 高等教育出版社,1985

[8] 汤国安,杨昕. ArcGIS地理信息系统空间分析实验教程[M]. 北京: 科学出版社,2011