引文格式：李晓,张静,陈杰,等. 山脉基础地理实体提取方法初探[J]. 地理空间信息, 2025, 23(7): 124-128. doi:10. 3969/j.issn. 1672-4623.2025.07.025

山脉基础地理实体提取方法初探

李　晓[1]，张　静[2*]，陈　杰[1]，延　雨[1]
（1. 自然资源部第一地理信息制图院，陕西 西安 710054；2. 自然资源部测绘标准化研究所，陕西 西安 710054）

摘　要：以基础地理实体为核心的新型基础测绘生产正在积极探索与实践中。目前自然基础地理实体生产中的山脉实体范围提取或采集还没有明确的方法。因此，在搜集分析利用DEM划分地貌类型方法的基础上，提出了一种基于山脚线提取山脉范围的方法。采用邻域分析法与均值变换法相结合的方式选定地形窗口的统计大小；再通过地形起伏度最佳窗口大小提取山脚线，对山脉的自然形态边界进行粗略提取；最后叠加坡度、水系等信息进行精细化修正，得到精确的山脉范围。以华山为例进行了实验验证，可为开展山脉实体大规模提取提供参考。

关键词：新型基础测绘；基础地理实体；山脉；山脚线
中图分类号：P208　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2025）07-0124-05

Preliminary Exploration of Extraction Method for Basic Geographical Entities of Mountain Ranges

LI Xiao[1], ZHANG Jing[2], CHEN Jie[1], YAN Yu[1]
(1. The First Institute of Geo-information and Cartography, Ministry of Natural Resources, Xi'an 710054, China;
2. Institute of Surveying and Mapping Standardization, Ministry of Natural Resources, Xi'an 710054, China)

Abstract: The new basic surveying and mapping production with basic geographical entities as the core is being actively explored and practiced. Currently, in the production of natural basic geographical entities, there is no clear method for extracting or collecting the ranges of mountain entities. To solve this problem, based on the collection and analysis of landform classification methods using DEM, we put forward a mountain range extraction method based on the foot of mountain line. We selected the statistical size of terrain window by combining the neighborhood analysis method and the mean transformation method at first. Then, we extracted the foot of mountain line according to the optimal size of terrain window, and roughly extracted the natural morphological boundary of mountain range. Finally, we made fine corrections by overlaying slope, water system information, and obtained the accurate mountain range. Taking Mountain Hua for example, we tested and verified the feasibility of this method, providing a reference for the large-scale extraction of mountain entities.

Key words: new basic surveying and mapping, basic geographical entity, mountain range, the foot of mountain line

新型基础测绘是以基础地理实体为核心的成果模式作为切入点，带动技术体系、生产组织体系和政策标准体系全面升级转型的基础测绘体系。根据新型基础测绘与实景三维中国建设指导性技术文件《基础地理实体分类与代码（试行）》中的规定，基础地理实体分为自然地理实体、人工地理实体和管理地理实体3大类，部分基础地理实体可通过存量基础地理信息数据转换生产。地理学词典[1]中对山脉的定义为沿一定方向有规律分布的若干相邻山岭的总称，其中构成山脉主体的山岭为主脉，从主脉延伸出去的为支脉。基础地理信息数据中并未采集山脉的范围线，仅以标注点表示山脉和山峰名称，因此山脉范围线的确定是自然地理实体范围采集的难点，也是大规模开展山脉实体采集亟待解决的问题。

1　研究思路与方法

确定山脉范围线的传统方法包括野外调查法、内业资料综合判读等，可获得精度较高的第一手资料，但费时费力。在新型基础测绘建设中，提取全国山脉、山峰的范围需要更高效、成本更低的技术手段。近年来，利用DTM、DEM对地貌起伏度的研究[2-4]越来越多，划分方法也由单一因子/方法分析向多个因子/方法综合分析转变[5-9]，但尚未有针对山脉边界范围提取的研究，缺少明确的边界定位方法。在分析多个

项目来源：国家重点研发计划资助项目（2023YFF0611903）。
第一作者简介：李晓（1989—），本科，工程师，主要从事测绘地理信息相关生产与研究工作，E-mail：470246703@qq.com。
通信作者：张静（1985—），硕士研究生，正高级工程师，主要从事测绘地理信息标准制修订及相关研究工作，E-mail：19051758@qq.com。

地形地貌统计分析方法的基础上，本文采用邻域分析法与均值变换法相结合的方式选定地形窗口的统计大小；再通过自然断点法确定地形起伏度最佳窗口大小以提取山脚线；然后对山脉的自然形态边界进行粗略提取；最后叠加坡度、水系等信息进行精细化修正，得到精确的山脉范围。

1.1　邻域分析法

邻域分析法可采用正方形邻域、圆形邻域、环形邻域和扇形邻域等[10]，通常多采用正方形窗口。地形起伏度是指某一特定区域内最高点高程与最低点高程的差值，能较直观地反映地表形态[11]。利用邻域分析法分析地形起伏度时，基于研究区DEM，依次选择$n\times n$（$n=2,3,\cdots,100$）的窗口，并统计窗口内像元范围（即最大、最小值的差值），即$n\times n$窗口下的起伏度图层。相关文献表明，平均地形起伏度随窗口大小呈对数曲线变化，变化速率由快变慢的点对应的窗口大小为最佳统计窗口。

1.2　均值变换法

均值变换法属于数理统计方法，主要用于确定一系列数据中发生突变的点，以此分析地形起伏度的最佳窗口大小。该方法对于仅存在一个变点的计算最有效[12]。具体步骤为：①根据各尺寸窗口下的地形起伏度均值，计算各窗口下单位面积的起伏度均值；②对不同窗口下单位面积的起伏度均值进行对数运算，得到X_t；③分别计算数列$\{X_t\}$的算术平均数X和方差S；④将数列分为$\{X_1, X_2, \cdots, X_{i-1}\}$和$\{X_i, X_{i+1}, \cdots, X_n\}$两个部分，$i=2,3,4,\cdots,n$，分别求取每个部分数列的算术平均值$X_{i1}$、$X_{i2}$和统计量$S_i=\sum_{t=1}^{i-1}\left(X_t-X_{i1}\right)^2+\sum_{t=1}^{n}\left(X_t-X_{i2}\right)^2$；⑤令$T_i=S-S_i$，则最佳统计单元即为$T_i$达到最大值时对应的分析窗口面积。

1.3　自然断点法

自然断点法基于聚类分析中的单变量分类原理，在分级数确定的情况下，通过迭代计算类间的数据断点，使类内差异最小、类间差异最大，从而对数据中的相似值进行最恰当的分组，常用于统计地理空间中各类要素的自然分界点。计算各分级集合中的样本均值和要素的偏差平方和以及所有类别的总值，总值最小的方案即为最优分级方案[13]。

1.4　技术路线

部分学者[14–16]认为山脚线是平地与山体的分界线，能勾勒出山地的整体轮廓，位于山体与平地两个坡面的交线上。在综合分析利用DEM进行地貌形态分析的基础上，本文提出了一种基于山脚线的山脉范围提取方法。具体操作流程包括：

1）多源资料收集。山脉构成了我国地形的骨架，是不同地形区域的分界。根据走向我国山脉可分为5类，其中东西走向的山脉包括3列5条，即北列天山—阴山、中列昆仑山—秦岭、南列南岭；东北—西南走向的山脉包括3列7条，即西列大兴安岭—太行山—巫山—雪峰山、中列长白山—武夷山、东列台湾山脉；西北—东南走向的山脉有两条，即阿尔泰山和祁连山；南北走向的山脉有两条，即横断山脉和贺兰山脉。弧形山系由几条并列的山脉组成，其中最著名的是喜马拉雅山。在梳理我国山脉的基础上，确定提取的山脉实体，搜集的相关资料包括：①基础地理信息数据，即包含山脉位置、高程、坡度等信息的基础地理信息成果数据（DLG、DEM、DOM等）；②行业专题数据，针对山脉所在的特定区域或行业（林业、农业、旅游业等）收集专题数据（土地利用类型、植被覆盖、土壤类型、气候数据等）；③图集图册，查找并获取包含山脉详细特征和描述信息的地图、地质图、地貌图等图集图册；④文献资料，收集与山脉相关的学术文献、研究报告、地方志等，可能包含山脉的形成历史、地质构造、生态环境等信息；⑤其他资料，介绍山脉的相关视频信息、图片或文字信息等。

2）资料分析。逐一分析已有资料中的文字描述、图片信息、媒体内容等，确定山脉采集的大致范围。利用GIS软件对已有基础地理信息数据进行现势性信息提取与分析，初步确定山脉的轮廓、高程分布、坡度变化等关键指标。将行业专题数据与基础地理信息数据进行叠加分析，了解山脉所在区域的资源分布、生态环境状况等。通过详细阅读图集图册，了解山脉的地质构造、地貌特征、岩石类型等信息。通过文献资料了解山脉的形成历史、地质演化过程、生态环境变化等方面的知识。

3）范围线粗略提取。在提取山脉的概略范围时，需细致分析地形的过渡特征，以便更准确地描绘山脉的自然形态边界。该过程不仅需要宏观探究地形，还需要利用地形分析方法和工具来确保提取的可靠性。首先综合分析已有资料，初步确定山脉实体宏观区域与范围；再采用邻域分析法和均值变换法相结合的方式，利用GIS空间分析方法计算研究区的地形起伏度，并提取初始山脚线。确定分析窗口大小时，需综合考虑实验区内地形起伏度的变化特征、山脉尺度以及数据分辨率等因素，以确保提取的山脉范围既

能准确反映山脉的自然形态边界，又能保持一定的空间分辨率。

4）范围线精细修正。结合等高线、水系分布、地名、坡度、山体阴影以及相关图集资料等已有基础地理信息数据，对提取的初始山脚线进行精细化修正，以确保最终的山脉范围精确且符合自然形态。等高线可直观反映地形的起伏和变化，通过等高线走势确定山脉的走向、高度以及地形的陡峭程度，为精确划定山脉范围提供重要依据。将水系分布资料与初始山脚线进行叠加，根据河流的流向和分布进一步修正山脉的边界。需特别注意的是，大型河流的流域范围往往与山脉的边界相吻合，可作为修正山脉范围的重要参考。山峰、峡谷、关隘等地名信息有助于识别山脉的特定区域或特征，为精确划定山脉范围提供有力支持。坡度是反映地形陡峭程度的重要指标，山体阴影能直观展现地形的立体形态。将坡度数据与山体阴影数据相结合，通过设定合适的坡度阈值和山体阴影的对比分析，可进一步排除非山脉区域。

2 华山山脉范围提取研究

2.1 研究区概况

华山位于陕西省关中东部华阴市境内，是秦岭山脉的一个支脉；北瞰黄河、南连秦岭、东接晋豫、西望长安；东西长15 km，南部宽10 km；以巍峨雄险、挺拔俊秀著称，自古就有“奇险天下第一山”之称。

2.2 资料收集与分析

在开展华山山脉范围提取前，充分收集的相关数据资料包括：①DEM数据，格网间距为20 m，坐标系为CGCS2000，经纬度坐标，主要利用资源三号卫星立体影像和省级高精度DEM重采样两种方式生产，用于计算地形起伏度、山脉坡度、山体阴影等；②1∶50 000基础地理信息要素数据，坐标系为CGCS2000，经纬度坐标，高程基准为1985国家高程基准，主要采用河流、政区、地名、等高线等信息，等高线作为山脉概略范围提取的参考，河流作为山脉精细范围修正的参考；③中国主要山脉水系资料图，数据格式为jpg，用于判断山脉实体概略位置与范围，实际使用中将图片粗纠正至CGCS2000，经纬度坐标；④专题资料主要包括渭南市地图册、2020年陕西省秦岭生态环境保护图集等。

2.3 平均地形起伏度与各窗口面积的关系

本次实验利用邻域分析法对DEM数据进行计算，选定59个不同窗口大小的地形起伏度图层，分别统计各窗口对应的面积和平均起伏度（表1），可以看出，平均地形起伏度随窗口面积的增加而增加；平均起伏度与窗口面积之间呈对数变化的关系。

以各窗口面积为横坐标，对应的平均起伏度为纵坐标，绘制平均起伏度随窗口面积的变化曲线，并对

表1 平均起伏度值与窗口面积的对应关系

窗口大小	面积/万 m^2	平均起伏度/m	窗口大小	面积/万 m^2	平均起伏度/m	窗口大小	面积/万 m^2	平均起伏度/m
2×2	0.04	7.56	22×22	4.84	114.38	42×42	17.64	179.02
3×3	0.09	14.94	23×23	5.29	118.24	43×43	18.49	181.73
4×4	0.16	22.07	24×24	5.76	122.02	44×44	19.36	184.40
5×5	0.25	28.91	25×25	6.25	125.71	45×45	20.25	187.04
6×6	0.36	35.47	26×26	6.76	129.32	46×46	21.16	189.64
7×7	0.49	41.75	27×27	7.29	132.87	47×47	22.09	192.21
8×8	0.64	47.79	28×28	7.84	136.34	48×48	23.04	194.75
9×9	0.81	53.60	29×29	8.41	139.74	49×49	24.01	197.25
10×10	1.00	59.20	30×30	9.00	143.08	50×50	25.00	199.73
11×11	1.21	64.60	31×31	9.61	149.36	55×55	30.25	211.67
12×12	1.44	69.83	32×32	10.24	149.58	60×60	36.00	22.98
13×13	1.69	74.88	33×33	10.89	152.74	65×65	42.25	233.73
14×14	1.96	79.78	34×34	11.56	155.85	70×70	49.00	243.98
15×15	2.25	84.53	35×35	12.25	158.91	75×75	56.25	253.78
16×16	2.56	89.14	36×36	12.96	161.92	80×80	64.00	263.19
17×17	2.89	93.63	37×37	13.69	164.88	85×85	72.25	272.23
18×18	3.24	97.99	38×38	14.44	167.79	90×90	81.00	280.95
19×19	3.61	102.24	39×39	15.21	170.66	95×95	90.25	289.37
20×20	4.00	106.39	40×40	16.00	173.49	100×100	100.00	297.52
21×21	4.41	110.43	41×41	16.81	176.28			

其对数曲线进行拟合（图1），理论上拟合曲线方程的R^2接近于1，可以看出：①R^2为0.970 2，拟合效果较好；②平均地形起伏度随窗口面积的增加而增加，在单元面积为10万m^2之前增幅较大，在20~30万m^2之间增幅趋缓。

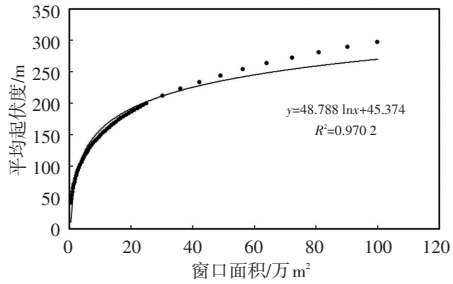


图1　平均地形起伏度与对应窗口面积的拟合曲线

利用均值变换法寻找由陡变缓点，基于表1计算的平均起伏度，对其取对数构建样本序列$\{X_i\}$，X为2.88，S为60.93，绘制T_i变化曲线。在软件中利用自然断点法对不同起伏度进行分析，从而确定第一类断点处，结果见图2，可以看出，第22个点处差值最大，为第一类断点处，该点对应的窗口大小即为最佳统计窗口。该点对应23×23栅格单元，即实验区域地形起伏度提取的最佳统计面积为5.29 km^2。

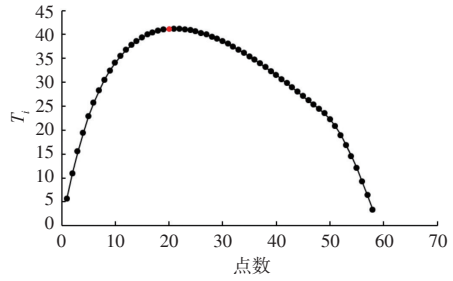


图2　T_i的变化曲线

2.4　粗略提取华山山脉范围

初步定位山脚线时需考虑山地与平地的宏观地形差异，体现其地形的过渡带特征。对比研究发现，地形起伏度在山地与平地的过渡处栅格图斑较完整且连续性强，有利于粗略提取山脚线。根据自然断点法分类，以第一类断点值为划分依据，分类结果见图3。在此基础上，参考中国山脉水系图中华山的范围与趋势，粗略修正华山山脉的范围。

2.5　精细修正华山山脉范围

初始山脚线虽反映了地貌的总体特征，但没有完全精细地表示宽度较小的河流或面积较小的盆地。为较好地反映地形特征，需结合等高线、水系、山体阴影等数据进行边界修正，以获得更精确的提取结果。对华山山脉的等高线数据分别进行20 km、10 km、5 km、1 km的平滑尺度测试，结果表明1 km为最佳平

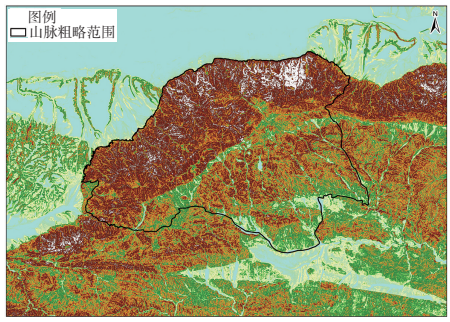


图3　地形起伏度

滑参数。对抽稀后的等高线进行平滑处理（图4），将其作为精细修正华山山脉范围的边界线。

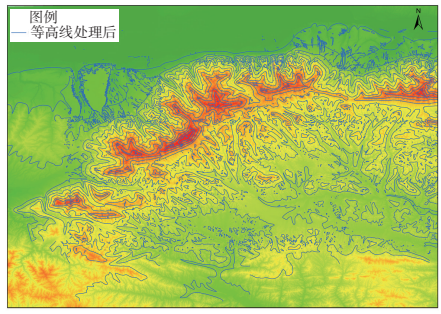


图4　等高线平滑处理效果图

利用山体阴影工具获得山体阴影数值图，通过最低处数值提取判断合理边界线，制作华山山脉的阴影图，直观显示山地与平地的分界线；再叠加河流、沟渠等水系要素，结合山脉最低处的水系走向，进一步精细化华山山脉边界[17-19]（图5），东侧部分位置参考石坡河、西侧部分位置参考道峪沟、南侧部分位置参考洛河、北侧为山地与平地的分界线。

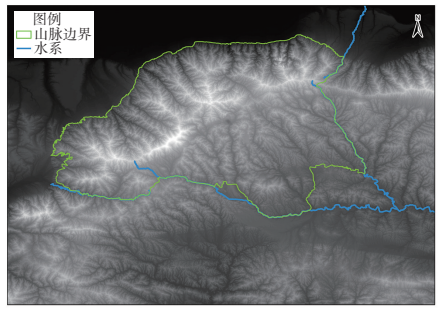


图5　叠加河流数据精细化山脉边界

2.6　华山山脉范围线验证

由图6~8可知，华山山脉范围线与整体地形走势贴合较好。对范围线进行量测，山脉最北端坐标为34°30′57"N、109°54′05"E；最南端坐标为34°04′01"N、110°14′26"E；西侧以道沟峪河流为界，最西端坐标为34°10′38"N、109°33′08"E；东侧以禹坪河、大河、潼河为界，最东端坐标为34°28′45"N、110°14′16"E；山脉平均坡度约为34°，平均起伏度约为150 m，平均海拔约为1 425 m，符合相关公开资料对华山山脉的描述。

由于现有国家标准和行业文件对山脉地理实体

采集方式和采集精度均无明确要求，而本文采用的数据源为格网间距20 m的DEM和1∶50 000基础地理信息要素数据，因此本次采集精度介于1∶50 000～1∶250 000之间。

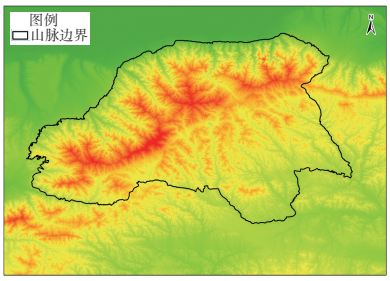


图6 DEM叠加华山山脉范围线

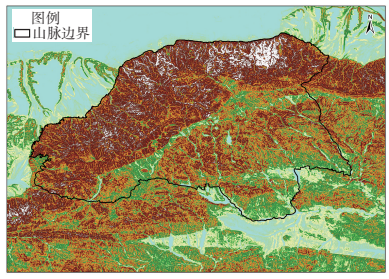


图7 地形起伏度叠加华山山脉范围线

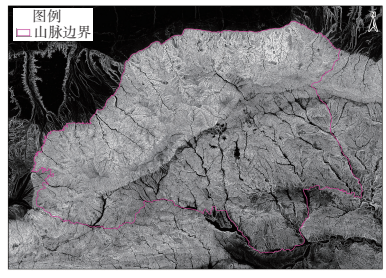


图8 坡度数据叠加华山山脉范围线

3 结 语

为更好地支撑基础地理实体生产工作的开展，本文提出了一种基于山脚线的山脉实体范围提取方法，并结合基础地理信息数据、山体起伏度、阴影数据等进行了精细化修正，可准确提取山脉的整体轮廓。以华山山脉为例，验证了其可行性与准确性，对后续山脉自然地理实体的边界划定具有借鉴意义。在生产实践中，利用本文方法对秦岭山脉（二级山脉）进行了范围提取，验证了技术流程的可行性；并与公开资料进行对比分析，验证了提取范围的准确性。总体来说，四级以上山脉由于具有较丰富的专题资料，可在利用基础地理信息数据提取粗略范围线后进行精细修正，并进行范围与精度验证；但对于较低等级的山脉和山岭暂时没有较好的方法进行范围的准确性判定与验证，需要进一步深入研究。

我国山脉众多、地貌特征复杂丰富，为更加精确地通过提取山脚线确定山脉实体范围、降低人工参与度、提高提取效率，后续还需探索优化提取方法，更加准确划定山脉、山岭等自然地理实体边界，构建新型基础测绘重要基底框架，为高质量发展提供丰富的数据保障，支撑自然资源管理、服务经济社会发展。

参考文献

[1] 马永立. 地理学词典[M]. 上海:上海辞书出版社,1982

[2] 刘振东,孙玉柱,涂汉明. 利用DTM编制小比例尺地势起伏度图的初步研究[J]. 测绘学报,1990,19(1):57-62

[3] 闾国年,钱亚东,陈钟明. 基于栅格数字高程模型提取特征地貌技术研究[J]. 地理学报,1998,53(6):562-569

[4] 涂汉明,刘振东. 中国地势起伏度最佳统计单元的求证[J]. 湖北大学学报(自然科学版),1990,12(3):266-271

[5] 刘慧丽,董廷旭,陈浩,等. 基于DEM的都坝河流域地貌类型识别[J]. 绵阳师范学院学报(自然科学版),2023, 42(11):106-113

[6] 李炳元,潘保田,韩嘉福. 中国陆地基本地貌类型及其划分指标探讨[J]. 第四纪研究,2008,28(4):535-543

[7] 张静,吴洁,秦公伟,等. 基于DEM的秦巴山片区地貌特征及形态划分[J]. 云南大学学报(自然科学版),2021,43(6):1 147-1 155

[8] 王岩,刘少峰. 基于DEM的青海贵德地区地形起伏度的研究[J]. 地质通报,2008,27(12):2 117-2 121

[9] 杨露,赵荣. 一种基于DEM的山脚线提取量化方法研究[J]. 测绘科学,2022,47(8):220-229

[10] 张锦明,游雄. 地形起伏度最佳分析区域研究[J]. 测绘科学技术学报,2011,28(5):369-373

[11] 熊俊楠,曹依帆,程维明,等. 福建省山洪灾害危险性评价[J]. 山地学报,2019,37(4):538-550

[12] 范建容,张子瑜,李立华. 四川省山地类型界定与山区类型划分[J]. 地理研究,2015,34(1):65-73

[13] 黄起,李敬平,郑峥,等. 自然断点法在材料设备分类分级管理评价体系中的应用[J]. 住宅与房地产,2023 (11):44-48

[14] 方莉. 利用图像处理技术提取地形特征线的方法研究[D]. 西安:西安建筑科技大学,2011

[15] 苏婧. 地形特征线的提取方法研究[D]. 西安:西安建筑科技大学,2012

[16] 刘大维. 基于DEM的盆地标识与山脚线提取方法研究[D]. 西安:西安建筑科技大学,2016

[17] 黄萌萌,李灿,郭凤娇. 基于流域边界分析的山脊线提取方法研究[J]. 地理空间信息,2021,19(9):19-22

[18] 谢小华. 基于山脊线的河流沿岸一重山划定方法研究[J]. 地理空间信息,2022,20(8):82-85

[19] 谭麒,原瀚杰,陈亮,等. 一种基于地形预分类的渐进加密点云滤波方法[J]. 地理空间信息,2023,21(1):108-112