

乡村振兴背景下武陵山区乡村路网通达性研究^{*}

——以重庆市秀山县为例

冉会平^{1,2}, 刘 睿^{1,2,3}, 闵 捷^{1,2,3}

(1. 重庆师范大学 地理与旅游学院; 2. 重庆师范大学 GIS 应用研究重庆市高校重点实验室;
3. 重庆师范大学 三峡库区地表过程与环境遥感重庆市重点实验室, 重庆 401331)

摘要:为考察乡村振兴背景下武陵山区典型县域乡村路网建设状况,以重庆市秀山县为研究区,运用 GIS 中的网络分析、CRITIC(criteria importance though intercriteria correlation)法、空间自相关检验等方法,分别计算分项评价与综合评价结果,考察乡村路网通达性,并进行空间自相关检验。结果表明:秀山县路网通达性水平呈“中间高、边缘低”“东南高、西南低”且由秀山县城中心向边缘递减的“圈层式”空间分布格局;高通达性区是秀山县的政治经济文化中心,面积为 202.01 km²,有关行政村个数占比为 17.91%,区域内地势平缓、内外交通便利并能够辐射带动外围邻近区域的经济的发展;低通达性区位于西南部,总面积达 259.58 km²,有关行政村个数占比为 8.21%,区域内地形复杂,经济发展相对落后;路网通达性水平具有很强的空间集聚性,热、冷点区分别有 5、2 个。研究结果为进一步改善偏远山区路网建设提供了科学依据与数据支撑,路网建设水平的提升将有效推动偏远山区经济发展并助力乡村振兴。

关键词:乡村振兴;路网通达性;CRITIC 法;武陵山区;秀山县

中图分类号:X22;F127

文献标志码:A

文章编号:1672-6693(2024)05-0074-13

2017 年,习近平总书记在党的十九大报告中提出了“实施乡村振兴战略”,这一战略的核心是着力破解城乡发展不平衡、农村发展不充分等突出问题,弥补全面建成小康社会的乡村短板^[1]。2018 年,《中共中央 国务院关于实施乡村振兴战略的意见》则明确提出“推动城乡基础设施互联互通”“以示范县为载体全面推进‘四好农村路’建设”^[2]。农村公路网络,特别是偏远山区的农村公路网络,对推动农村经济发展和改善农村生产生活的作用尤为明显;要缩小城乡差距,改变乡村相对落后的现状,促进乡村的发展,必须强化乡村公路网络的建设^[3]。偏远山区地势高低不平,是农村发展的薄弱环节,当地的公路网络则是乡村与外部联系最为密切的(甚至是唯一的)交通方式;全面、系统地研究乡村路网通达性,能够更好地优化偏远山区农业和农村经济的道路布局,从而进一步助力乡村振兴^[4-5]。

通达性概念起初由 Hansen 提出,指交通网络系统中每个节点相互作用机会的大小,是评价路网发展程度的一个有效指标^[6]。由这一概念衍生出的乡村路网通达性是一个衡量乡村与其他区域之间路网系统的连接程度和便利程度指标^[7]。目前,有关通达性的研究方已取得了一系列成果。一方面,相关研究聚焦城市交通规划、经济聚集、人口和可持续发展等方面,研究地域集中在社会经济发达的城市区^[8-10]。而关于经济欠发达地区的研究主要关注通达性与经济发展的相关性,如 Windle 等人^[11]通过比较 2 条道路并分析它们给马来西亚居住在沙撈越高地农民带来的经济效益,发现居民通达小城镇的道路与居民通达城市中心的道路相比,前者对农民经济效益的影响更小;Masot 等人^[12]使用网络分析技术和反距离加权插值法,探究农村道路通达性对卫生和教育服务带来的影响,结果表明:通达性越好,卫生和教育服务则越完善,两者成正相关关系。另一方面,相关研究还关注通达性的空间分布格局^[13]及对产业聚集变化^[14]、区域经济发展等方面的影响^[15],其中有关偏远地区的研究主要关注通达性与乡(镇)发展状况、交通路网建设、经济社会发展的联系^[16-18]。例如,潘裕娟等人^[7]通过路网连通

^{*} 收稿日期:2023-09-11 修回日期:2024-02-01 网络出版时间:2024-11-11T11:18

资助项目:国家自然科学基金面上项目(No. 42071277);重庆市教育委员会科学技术研究计划——重大项目(No. KJZD-M202200502)、面上项目(No. KJQN201800519);重庆师范大学研究生科研创新项目(No. YKC24008)

第一作者简介:冉会平,女,研究方向为区域发展与 GIS 应用,E-mail:m15213765875@163.com;通信作者:刘睿,男,教授,博士,E-mail:liur@cqnu.edu.cn

网络出版地址:https://link.cnki.net/urlid/50.1165.N.20241108.1754.007

度、可达性、农村路网与干线路网衔接的平均距离等3项指标对广东省连州市12个乡(镇)道路网通达性水平进行了分析,认为乡村路网通达性水平受地势、经济、道路交通等多个因子共同影响;黄江效等人^[19]通过路网密度、连通度、可达性、与干线路网衔接性等4个指标对农村公路网的通达性进行了研究,研究结果表明路网通达性空间分布格局与主要干线网走向有很大关联。

从整体上看,有关中国的路网通达性研究在长三角城市群、武汉都市群、珠三角城市群、中原经济区等大中尺度层面和经济较发达的地区取得了丰富的成果^[20-22],然而目前有关中国西南山区道路通达性的研究严重匮乏,特别是偏远山区小尺度层面路网通达性的研究甚为罕见,且已有的相关研究也未从乡村振兴视角来关注农村地区的发展问题和需求。2018年《中共中央 国务院关于全面推进乡村振兴加快农业农村现代化的意见》就提出“加强农村资源路、产业路、旅游路和村内主干道建设”“着力推进往村覆盖、往户延伸”“让广大农民过上更加美好的生活”^[23],而当前对区域的路网通达性的研究主要以高等级干线路网为基础来进行分析,忽视了村级道路的连通水平,不能准确和全面地反映目前中国山区乡村路网通达状况,无法精准回答乡村地区路网通达性对乡村经济和社会发展的作用或影响^[24-25]。有鉴于此,本研究在乡村振兴背景下以位于中国武陵山区的重庆市秀山土家族苗族自治县(后简称为秀山县)为研究区,以村域和乡(镇、街道)为基本单位,将路网网络进一步细化延伸至农村级道路,由“村域内部—整体村域—村域外部”层层深入;并在前人研究基础上充分考虑该县典型的山地地貌特征,选取4个关键性指标,由分项评价到综合评价对该县乡村路网通达性进行深入分析,以期为推进秀山县乡村路网的建设、经济社会发展和乡村振兴工作提供理论依据和资料。

1 研究区概况

秀山县地理范围为东经108.718 333°~109.316 111°、北纬28.161 944°~28.884 722°,位于重庆市东南部、武陵山区腹地,并处于渝、贵、湘、鄂等4省(直辖市)交界地带:南部与贵州省松桃苗族自治县紧邻;北部和西北部与重庆市酉阳土家族苗族自治县相接;东北部与湖南省湘西土家族苗族自治州的花垣、保靖、龙山等3县相邻,且与湖北省恩施土家族苗族自治州来凤县只相距20 km^[26]。秀山县内地势呈“西南高、东北低”特征,全县总面积2 462 km²,下辖27个乡(镇、街道)(图1)。根据重庆市第7次全国人口普查结果,截至2020年11月1日,秀山县总人口约49.6万人,其中农业人口约25.9万人,完成地区生产总值达301.27亿元。

“十三五”期间,全县累计实现县内路网总路程达4 687 km,道路密度达到1.903 7 km·km⁻²,交通投资达97.3亿元。秀山县内分布有通往重庆、贵州、四川、湖南、云南等省(直辖市)的多条交通要道——境内渝怀铁路纵向而过,与渝湘高速在县城东北方向以“十”字形相互交错,319国道和326国道在县城中以“T”形交汇。秀山县地形复杂、海拔差距大,现有道路建设水平较低,路网系统不够完善,这在一定程度上制约了当地社会经济发展并影响到人们的生产生活。

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源

以秀山县下辖的268个行政村为研究单元,根据分项评价指标,本研究所选取的空间地理数据主要有秀山县的数字高程模型(DEM)数据、各级行政区界线、各级道路路网数据等,其中:30 m物理分辨率下的DEM数据来自地理空间数据云平台(<http://www.gscloud.cn>);省(直辖市)行政区界线数据来自西南山地科学数据共享平台;交通站点兴趣点(POI)数据来源于高德地图(<http://www.amap.com>);在ArcGIS中将研究区道路路网数据进行栅格化处理,提取出以30 m为间隔的路网地形起伏度;截至2020年末的行政村界线、乡(镇、街道)居民点以及各等级道路数据(图2)来自重庆市秀山县规划和自然资源局;其他有关统计数据来自秀山县统计局。所有地理空间数据在使用之前均经矢量化、空间校正、数字化等预处理。

2.2 研究方法

与城市相比,乡村地区的交通路网相对不发达,生产生活也不甚便利。为研究乡村路网通达性水平,本研究根据已有乡村路网通达性评估方法,从“内部可达—区域道路密度—外部衔接”层层递进,采用4个分项评价因子即乡(镇、街道)内部可达性、等效道路密度、路网摩擦阻抗和外部衔接性以及综合评价来剖析秀山县各乡(镇、街道)的路网通达性水平。在ArcGIS环境下运用网络分析、自然断点法、CRITIC(criteria importance though intercriteria correlation)法、空间自相关检验等工具进行研究,其中:基于居民点数据、路网数据进行网络分析并

测算各级节点之间最短路网距离;采用自然断点法将各分项评价数值极差标准化处理后,进行分级可视化;运用 CRITIC 法确定各分项指标权重,进行加权叠加,使同一类别范围内行政村域间通达性差异最小而不同类别范围内行政村域间差异最大;最后运用空间自相关检验工具判别秀山县乡村路网通达性空间分布的集聚情况,并进行路网通达性冷热点分区。

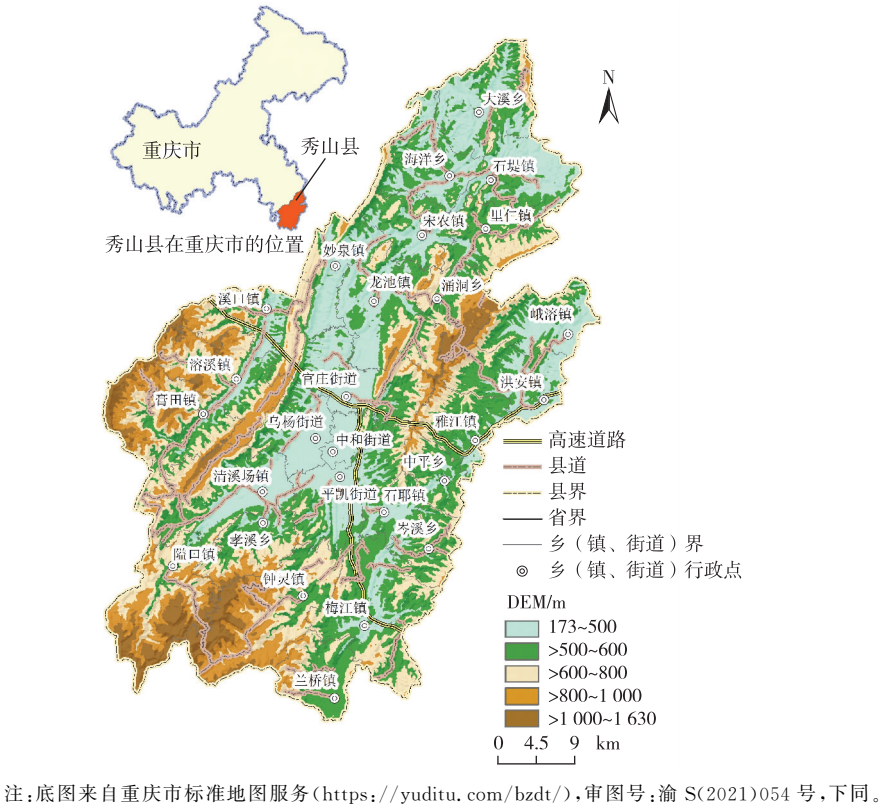


图 1 秀山县行政区划、地形及交通概况

Fig. 1 The administrative division, terrain, and traffic situation of Xiushan County

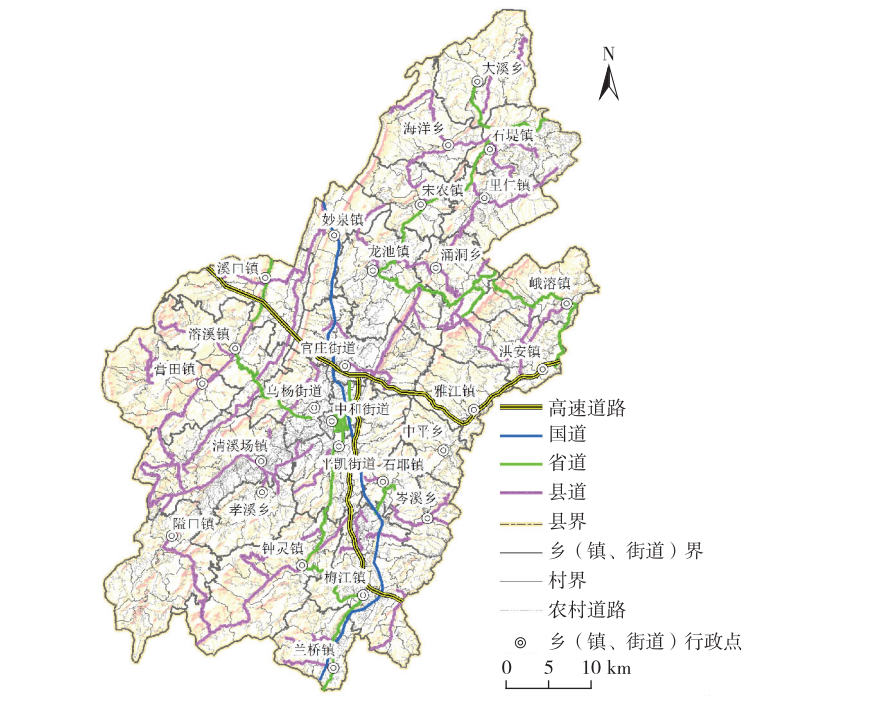


Fig. 2 Basic road network data of Xiushan County

2.2.1 网络分析

根据秀山县路网实地考察情况,参照《公路工程技术标准(JTGB01—2014)》^[27],测算各等级道路行车速度,可得国道、省道、县道和农村道路的行车速度分别为 60、50、45 和 30 km·h⁻¹;而后计算每条路段的通行时间。其次,基于 ArcGIS 地理数据库进行拓扑分析,创建网络数据集,建立网络分析。添加居民点、各等级路网等网络分析对象,并设置网络分析属性(时间可达性)。最后,构建 OD 成本矩阵(origin-destination cost matrix)并求解,计算最短时间成本。

2.2.2 分项评价

结合秀山县的实际情况,同时借鉴已有研究^[4],选取了 4 个代表性指标(表 1),由内部到外部依次递进。乡(镇、街道)内部可达性表示乡(镇、街道)内部及各行政村域联系的便利程度;当村域内居民点越分散、各行政村相距路程越远时,受经济、地势等因素影响,乡(镇、街道)内部交通不够发达,经济社会关联也显得不便与疏远,则内部可达性数值就越高,内部可达性也越低;反之则内部可达性越高。等效道路密度客观反映了各行政村范围内的各级道路网的建设发展状况,根据表 2 将路面实际等效长度转化为实际等效路面总长度^[4];若等效道路密度越大(或越小),表明研究区各级路网建设力度较弱(或较强),道路资源的数量及等级配比极化现象严重(或不严重)。在评价路网摩擦阻抗时,结合秀山县实际情况,需考虑其中关键因子高程及坡度;若路网摩擦阻抗值较大,则表明区域路网建设难度较大,提示当地应合理规划路网建设。外部衔接性表示行政村与对外主要道路的关联程度以及与对外站点的衔接程度,反映了行政村对外交通、集散水平的情况^[28];在计算过程中,村域内居民点的加权分布重心为行政村质心^[29];外部衔接性越大表明当地对外交通便捷、道路设施建设较好,反之则表明当地对外交通不便、道路设施建设较差^[30]。

表 1 分项评价指标说明
Tab. 1 Description of the sub-evaluation indicator

指标层	计算方法	指标含义
乡(镇、街道) 内部可达性	$E_1 = \sum e_i$, $E_2 = \sum e_i/n$	E_1 表示行政村内各居民点到最近路网的最短行车时间, e_i 为居民点 i 到最近路网(该路网包括乡村道路)的最短行车时间, E_2 表示某一行政村经过交通路网到达其余行政村的平均最短行车时间, e_{ij} 表示某一行政村经过交通路网到达其余行政村域的最短行车时间, n 表示现有的行政村个数。内部可达性为 E_1 、 E_2 的平均值
等效道路密度	$E_3 = e/S$	E_3 为等效道路密度, e 为实际等效道路长度总和; S 为行政村面积
路网摩擦阻抗	$E_4 = \sum e_p/L$, $E_5 = \sum e_q/L$	e_p 表示栅格化路网坡度值, L 表示行政村内路网总路程, E_4 表示平均坡度, e_q 表示栅格化路网起伏度值, E_5 表示平均起伏度。路网摩擦阻抗为 E_4 、 E_5 的平均值
外部衔接性	$E_6 = (e_h + e_f)/2$, $E_7 = (e_g + e_k)/2$	e_h 表示行政村质心至省道的最短行车时间, e_f 表示行政村质心至县道的最短行车时间, E_6 是两者的平均值, e_g 为行政村质心到最近高速口最短行车时间, e_k 为行政村质心到最近交通站点最短行车时间, E_7 为二者均值。外部衔接性为 E_6 、 E_7 的平均值

表 2 不同等级道路的等效道路长度换算
Tab. 2 Equivalent length conversion of different grades of roads

												m
道路类型	实际长度	等效长度	道路类型	实际长度	等效长度	道路类型	实际长度	等效长度	道路类型	实际长度	等效长度	
国道	1	1.000	省道	1	0.750	县道	1	0.625	农村道路	1	0.500	

2.3 综合评价

综合评价是分项评价运用 CRITIC 法进行矢量叠加的结果,由此可综合分析并评价秀山县乡村路网通达性

水平的总体特点。在 4 个分项评价指标中,乡(镇、街道)内部可达性与农行政村居民生活和生产出行的交通便利化程度等密切相关,需结合秀山县乡村居民点的空间分布特征,综合反映路网交通对居民出行的实际服务情况^[31];等效道路密度进一步反映了秀山县的路网交通建设情况;路网摩擦阻抗充分考虑了山区地形因素,使得评价结果更准确;外部衔接性则反映了乡村居民与外界的联系程度,例如:乡村地区居民的外出务工以及乡村青少年儿童外出上学的比例都日益增加,而且有的乡村地区以发展乡村特色旅游来带动经济发展等。鉴于各分项指标对路网的影响效果不同,故本研究采用 CRITIC 法对各分项评价指标的权重进行确定,使得综合评价结果更加贴近当地的实际情况。

2.3.1 数据标准化处理

不同评价指标因量纲和单位不一致,会对数据分析的结果产生一定不良影响,并导致相关数据无法直接比较。因此,需对原始数据进行量纲归一化处理。此外,本研究为了消除 0 和负数数值对相关算法的影响,还对量纲归一化后的数据在数轴上整体向右平移 0.000 1 个单位。

2.3.2 各指标权重确定

CRITIC 法是一种客观权重赋权法,也是确定指标权重的一种常用方法,它基于指标之间的冲突性和评价指标的对比强度来综合衡量指标的客观权重,利用数据自身的客观属性进行科学评价,比熵值法、层次分析法、变异系数法等更具优势^[32]。与主观赋权法相比,由 CRITIC 法得出的客观权重值具有较高的精确度和可信度,应用领域广泛,适用于具有减少人为因素影响、多目标等特点的评价系统。CRITIC 法的相关计算步骤如下。

1) 计算指标变异性,有:

$$S_j = \sqrt{\sum_{i=1}^p \left(x_{ij} - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{ij} \right)^2 / (n-1)},$$

其中: x_{ij} 为极差标准化处理后的数据, S_j 表示第 j 个指标的标准差, n 为样本总数, p 为指标总数。

2) 计算信息量,有:

$$C_j = S_j R_j = S_j \sum_{i=1}^p (1 - r_{ij}),$$

其中: R_j 为第 j 个指标与其他指标的相关系数, r_{ij} 为评价指标 i 和 j 之间的相关系数, C_j 代表第 j 个评价数据指标所包含的信息量。

3) 计算客观权重,有:

$$W_j = C_j / \sum_{j=1}^p C_j,$$

其中: W_j 代表第 j 个指标所的客观权重。

2.3.3 空间自相关检验

各行政村的乡村路网通达性综合评价指数是否存在关联还需要进行空间自相关检验。采用莫兰指数 (Moran's I) 验证模型中空间指标变量是否与自身临近范围内同一变量存在空间自相关性,从而刻画各行政村通达性综合评价指数整体上的空间相关性^[33]。莫兰指数的取值范围是 $[-1, 1]$,该指数值为正值时,表明乡村路网通达性存在空间分布上的聚集性,且数值越接近 1 表征聚集性越明显;该指数值为负值时,则表明乡村路网通达性具有明显的空间差异性,且数值越接近 -1 表征差异性越小。莫兰指数的计算公式如下:

$$I = m \sum_{k=1}^m \sum_{l=1}^m (Y_{kl} (x_k - \bar{x})(x_l - \bar{x})) / \sum_{k=1}^m \sum_{l=1}^m (Y_{kl} \sum_{k=1}^m (x_k - \bar{x})^2),$$

其中: I 为莫兰指数; x_k 、 x_l 分别为行政村 k 、 l 的乡村路网通达性综合评价指数, $\bar{x}$ 为研究区各行政村这一指数的平均值; Y_{kl} 为行政村 k 和行政村 l 之间的空间权重; m 为研究区行政村总个数。

3 结果与分析

3.1 乡村路网通达性分项评价结果

基于 ArcGIS 将 4 个分项评价的最终结果使用自然断点法划为 5 个等级,其中 1 级最低而 5 级最高;统计

4 个分项评价最终结果中各等级的行政村数量及占比情况如表 3 所示。

3.1.1 乡(镇、街道)内部可达性空间分布特征

本研究将秀山县的乡(镇、街道)内部可达性分为 5 个等级,等级越低表明对应区域的乡(镇、街道)内部可达性越高。整体上看,秀山县乡(镇、街道)内部可达性略高(表 3)。图 3 显示,秀山县乡(镇、街道)内部可达性呈“中间高、边缘低”且个别高(或低)内部可达性区域零星分布的空间分布特征。秀山县中部的中和街道、乌杨街道和平凯街道行政村内部可达性较高,因为这些区域处于中心城镇,经济发展水平较高,各级道路建设比较充分,居民点数量分布较多且较为集中,其中以朝阳社区、石莲社区、凤凰社区、官舟社区等地具有代表性;在上述区域应稳步推进居民点建设,持续提高城市经济水平。秀山县乡(镇、街道)内部可达性较低的行政村主要集中分布在该县西部以及西南部的膏田镇、溶溪镇和隘口镇,其中又包括云隘村、凉桥村、水田村、罗家村、中和村、大田村等。上述区域多为秀山县经济发展相对落后、地形起伏相对较大且道路修建比较困难的区域,由于交通长期不发达因而这些行政村居民点呈零散分布且数量相对较少,容易形成无人居住区。对于这类区域,应加大力度提升路网密度,整合分散居民点,在未来路网规划中加强各等级道路建设,以提高交通路网的便捷性和可达性,从而带动乡村经济可持续发展。

表 3 分项评价各等级行政村数量及占比
Tab. 3 Sub-evaluation the quantity and proportion of administrative villages of each level

分项	1 级		2 级		3 级		4 级		5 级	
	行政村	行政村个	行政村	行政村个	行政村	行政村个	行政村	行政村个	行政村	行政村个
	个数	数占比	个数	数占比	个数	数占比	个数	数占比	个数	数占比
乡(镇、街道)内部可达性	63	23.50%	111	41.42%	72	26.87%	21	7.84%	1	0.37%
等效道路密度	18	6.72%	47	17.54%	79	29.48%	89	33.21%	35	13.05%
路网摩擦阻抗	47	17.54%	45	16.79%	77	28.73%	62	23.13%	37	13.81%
外部衔接性	54	20.15%	85	31.72%	73	27.24%	38	14.18%	18	6.71%

3.1.2 等效道路密度空间分布特征

在本研究中,秀山县的等效道路密度被分为 5 个等级,等级越低表明对应区域的等效道路密度越高。由表 3 可知,秀山县等效道路密度总体水平较低。从空间格局看,秀山县等效道路密度呈“东高西低”且由核心向边缘逐渐降低的空间分布特征(图 4)。秀山县等效道路密度等级为 1 级的行政村数量很少,而且集中分布在少数的乡(镇、街道),例如清溪场镇下辖的东林村、南丘村、龙凤村、沙南村,乌杨街道下辖的凉亭村、郭圆村等区域。这些区域地形条件优越、各级道路交汇聚集、经济社会发展好。此外,秀山县行政村等效道路密度等级为 4、5 级的行政村个数占比接近 50%,说明秀山县各级道路建设不充分,道路建设的数量及道路等级分配比例严重不平衡。溶溪镇、溪口镇、妙泉镇、宋农镇、大溪乡、雅江镇及它们附近的行政村在空间分布上呈现 6 个等效道路密度较低的聚集片区,总面积约占全县幅员面积的 1/3。这些行政村大部分都远离秀山县城中心,村域内部道路主要以农村道路为主,且区域地广人稀,居民点之间相互联系较少。从效益视角考虑,应根据人口密集程度增修高等级道路,优先保障乡村居民的基本出行需求,同时应避免大规模的路网建设造成资源浪费。

3.1.3 路网摩擦阻抗空间分布特征

本研究中,某区域的路网摩擦阻抗等级越低,它内部的路网建设水平则越高。整体上看,秀山县多数行政村路网摩擦阻抗等级偏高(表 3)。由图 5 可知,秀山县路网摩擦阻抗呈“西高东低”且由中心区域的倒“Y”型向边缘逐渐升高的空间分布特征。秀山县路网摩擦阻抗等级为 1 级的行政村个数占秀山县行政村总个数的近 1/5,主要集中分布在少数的乡(镇、街道),例如中和街道下辖的东风社区、朝阳社区、丹凤社区,官庄街道下辖的雅都村、望高村,平凯街道下辖的风栖社区、官桥社区,乌杨街道下辖的凉亭村、郭圆村,清溪场镇下辖的东林村、南丘村、龙凤村、沙南村等区域。这些区域位于高等级道路交汇区,地势平坦,且属于秀山县的经济政治文化中心。

此外,秀山县行政村路网摩擦阻抗等级为 4、5 级的行政村个数占比约为 40%。上述结果表明秀山县各行政村道路建设水平不均衡。隘口镇、孝溪乡、溶溪镇、溪口镇、大溪乡、涌洞乡及它们附近的行政村在空间分布上呈现 5 个路网摩擦阻抗高的聚集片区,总面积约占全县幅员面积的 1/3;其中绝大多数区域受地形影响,地势复杂,道路修建工程难度较大。在未来路网规划建设时,应采取综合措施协调地形与道路建设的关系,合理开发山地,全面考虑现有道路空间分布格局,建立符合自然规律的交通方式,助力山区旅游发展,同时获取路网建设带来的回馈。

3.1.4 外部衔接性空间分布特征

本研究中,外部衔接性等级越低表明对应区域的外部衔接性水平较高。表 3 显示,秀山县外部衔接性总体水平较高。由图 6 可见,秀山县外部衔接性呈沿 45°向上倾斜的双“C”型且“中部北部高、东西侧低”的空间分布特征。秀山县行政村外部衔接性等级为 1、2 级的行政村个数占比超过了 50%,主要集中在秀山县县城中心、中南部以及北部区域,与省、县级干道分布格局密切相关——中和街道、平凯街道、龙池镇、石提镇和兰桥镇是省道、县道和农村道路的主要交集地带,是秀山县经济社会发展的重要地区;中南部及北部区域又以兰桥镇及钟灵镇的东北部、石提镇及宋农镇的东部为典型,它们属于地形条件优越、经济发展良好的区域。外部衔接性较低的区域位于秀山县西南部及东部,所涉行政村呈连片分布,这些区域内几乎没有省、县级道路分布,居民点分布相对零散,社会经济发展也相对落后,其中:西南部包括隘口镇以及清溪场镇一带如百岁村、东坪村、富裕村、平所村、新院村等没有省道、县道等高级道路通过,距离高速公路也相对较远;东部则以雅江镇和中平乡一带如小贵村与桂坪村为典型,村内虽然有高速公路穿过但距离高速公路出入口仍有较远距离,且没有省道和县道分布,整体的高等级道路分布率低。因此,在未来高等级道路规划实施中,应加强高等级道路建设,合理增加交通站点数目,拓宽当地农产品的对外销售渠道,拓展对外经济联系渠道,同时逐步实现由树状路网向网状路网的转变。

3.2 秀山县乡村路网通达性综合评价结果

3.2.1 乡村路网通达性空间分布格局

各分项指标通过 CRITIC 法进行权重叠加(表 4)后,得到秀山县乡村路网通达性综合评价结果,并由此将全县各村域分为 5 个不同等级的路网通达性分区(表 5 和图 7)。该结果显示,秀山县乡村路网通达性在空间上的分布差异明显,其中:乡村路网通达性高的区域集中在秀山县城中心的乌杨街道、中和街道、清溪场镇、平凯街道以及东南部的梅江镇、兰桥镇,这些区域地势起伏小、路网设施建设完善、社会经济文化发展好;秀山县西部的溪口镇、溶溪真、膏田镇,西南部的隘口镇以及东部的雅江镇、中平乡、岑溪乡路网通达性低,且它们在秀山县西南部及西部边缘区域呈集中连片的分布格局,形成了秀山县乡村路网的低、较低通达性集中区,这部分区域地势起伏大、居民分布较少、路网设施建设缺乏、社会经济文化发展相对落后。秀山县各行政村的乡村路网通达性水平差别明显,综合评价数值标准化后的平均值为 0.358,其中:乡村路网通达性水平最好的是清溪场镇的三合村,综合评价标准化数值为 0.099;隘口镇东坪村的乡村路网通达性水平最差,综合评价标准化数值为 0.769,约为前者的 7.77 倍。

3.2.2 乡村路网通达性空间近邻效应

采用 ArcGIS 空间统计工具下的空间自相关检验对秀山县乡村路网通达性空间联系特征进行解释,得到莫兰指数为 0.98, Z 得分为 29.12 (>2.58), p 值小于 0.01。该结果说明秀山县乡村路网通达性水平表现出很强的空间聚集性。随后,利用空间统计中的热点分析进行局部空间自相关检验,并划分出 7 类路网通达性冷热点分区。由图 8 可知:热点区有 5 个,即集中连片分布在秀山县的中心城镇区的乌杨街道、中和街道、平凯街道、官庄街道和清溪场镇。这些区域的高程较低,地势平坦,经济社会发展水平相对较高,并处于或紧邻秀山县的政治经济文化中心。该结果说明经济以及高程因子在一定程度上能够对乡村路网通达性水平产生影响。热点区边缘多为次热点区和偏热点区,而非敏感区分布范围最大,约占秀山县幅员面积的 60%。冷点区有 2 个,即在秀山县西南部的隘口镇和膏田镇。次冷点区、偏冷点区一部分分布在秀山县东北部的大溪乡,其余大多分布在冷点区外围,为乡村路网低通达性集中区。这些区域地势起伏较大、经济发展相对落后。从整体上看,乡村路网通达性热、冷点区会对周围区域产生一定影响,热点区能够促进邻近区域的社会经济发展,进一步提升居民的生活质量与幸福感;冷点区则需要采取一定的措施,强化路网建设,促进区域经济发展。

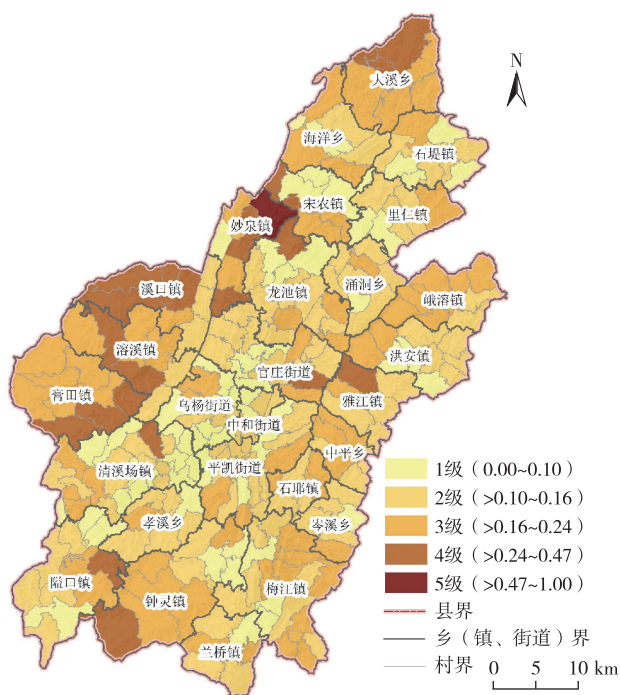


图3 乡(镇、街道)内部可达性评价结果

Fig. 3 Evaluation results of township internal accessibility

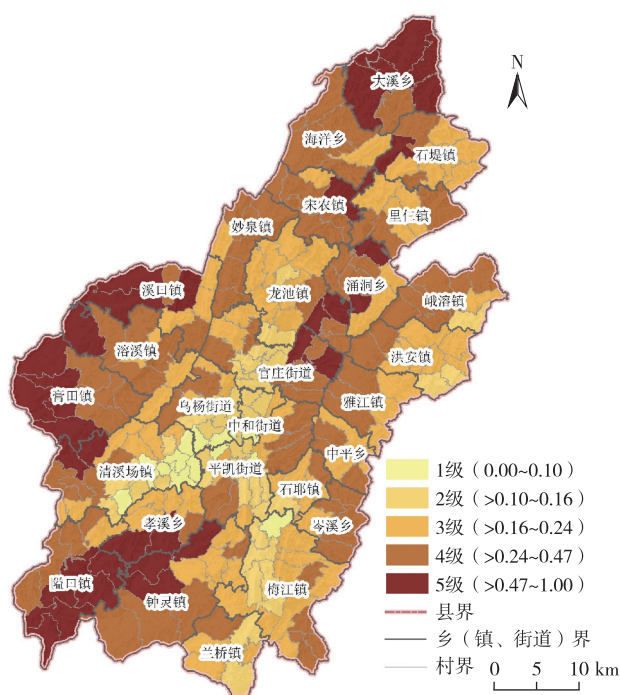


图4 等效道路密度评价结果

Fig. 4 Evaluation results of equivalent road density

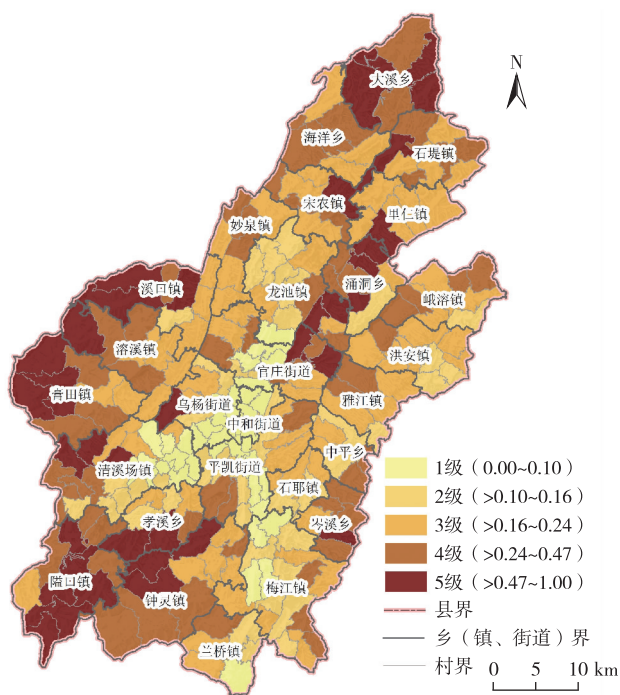


图5 路网摩擦阻抗评价结果

Fig. 5 Evaluation results of road network friction impedance

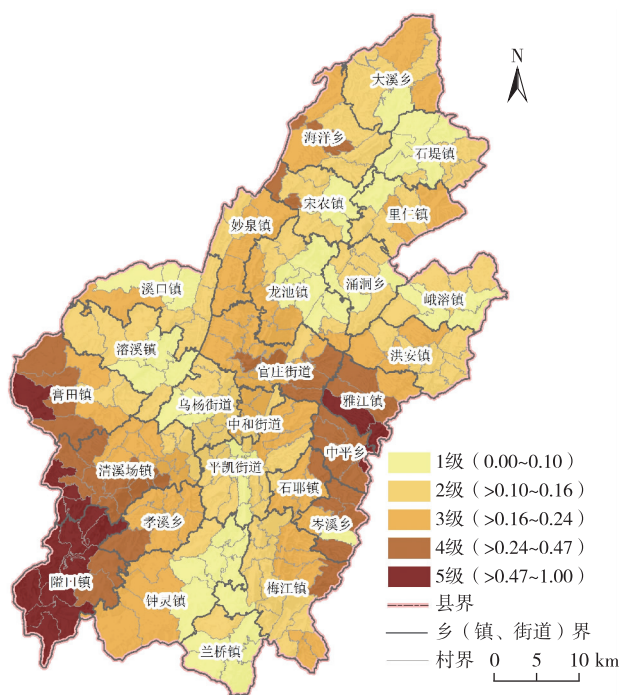


图6 外部衔接性评价结果

Fig. 6 Evaluation results of external cohesion

4 结束语

本研究以乡村振兴背景下的武陵山区典型县域重庆市秀山县为例,从村域尺度出发,结合了秀山县地势陡峭、居民点位置分散、经济发展相对落后、路网建设水平低的实际状况,通过构建以交通路网为基础的通达性评

价体系,采用网络分析、自然断点法、CRITIC 法、空间自相关检验等方法进行深入分析,得到了秀山县乡村路网通达性分项评价与综合评价结果,并基于该结果针对性地提出合理建议。

表 4 各分项评价指标权重
Tab. 4 The weight of each sub-evaluation indicator

分项	指标变异性	信息量	权重
乡(镇、街道)内部可达性	0.086	0.190	13.30%
等效道路密度	0.167	0.311	21.71%
路网摩擦阻抗	0.224	0.449	31.36%
外部衔接性	0.178	0.481	33.63%

表 5 各路网通达性分区行政村数量、数量占比及面积统计
Tab. 5 Statistics on the quantity, quantity proportion, and area of administrative villages in each district of road network accessibility

指标	综合评价分区				
	高通达性区	较高通达性区	适中区	较低通达性区	低通达性区
行政村个数	48	73	77	48	22
面积/km ²	202.01	607.81	779.27	584.46	259.58
行政村个数占比	17.91%	27.24%	28.73%	17.91%	8.21%

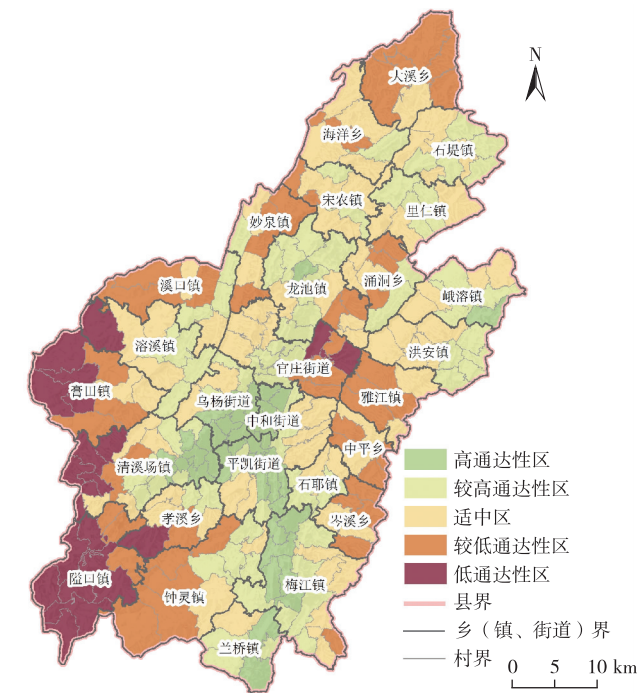


图 7 路网通达性综合评价结果
Fig. 7 Comprehensive evaluation results of road network accessibility

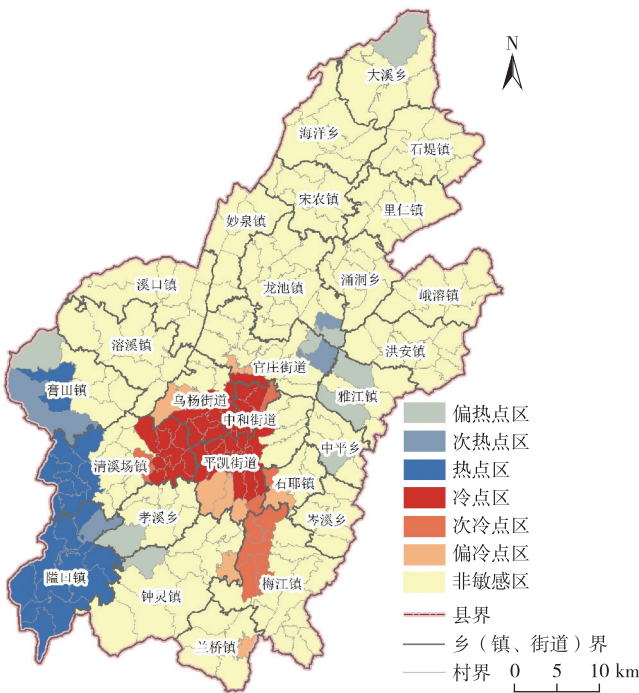


图 8 路网通达性冷热点空间分布结果
Fig. 8 Results of the spatial distribution of cold or hot spots of road network accessibility

秀山县乡村路网通达性分项评价结果显示:1) 乡(镇、街道)内部可达性整体呈“中间高、边缘低”且个别高(或低)内部可达性区域零星分布的空间分布特征,总体水平略高;乡(镇、街道)内部可达性等级为 1、2 级的行政村个数占比约为 65%,这部分区域多位于中心城镇,经济发展较好,各级道路建设充分;乡(镇、街道)内部可达性

等级为3~5级的行政村个数占比较低,约为35%,大多集中分布在居民点数量较少且零散分布的边缘区域,他们的经济条件或者地形条件较差,经济社会发展相对困难。在乡(镇、街道)内部可达性较差区域应加大力度提升路网密度,整合分散居民点,在未来路网规划中加强各等级道路建设,以提高交通路网的便捷性和可达性,从而带动乡村经济的可持续发展。2) 等效道路密度整体呈“东高西低”且由核心向边缘逐渐降低的空间分布特征,总体水平较低;等效道路密度等级为1、2级的行政村个数占比不足25%;等效道路密度等级为4、5级的行政村个数占比则接近50%,大多属于地形条件差、经济发展困难、道路建设密度低的区域。对于等效道路密度较低区域建议从效益视角考虑,根据人口密集程度增修高等级道路,在优先保障乡村居民的基本出行需求的同时避免大规模的路网建设造成资源浪费。3) 路网摩擦阻抗整体呈“西高东低”且由中心区域的倒“Y”型向边缘逐渐升高的空间分布特征;路网摩擦阻抗等级为1~3级的行政村个数占比接近65%,分布格局与当前路网建设状况基本一致;路网摩擦阻抗等级为4、5级的行政村个数占比略高于35%,主要集中在秀山县西部及西南部,这些区域内高等级道路建设水平低、地形条件复杂。在未来路网规划建设中,应根据各行政村实际情况,采取综合措施协调地形与道路建设的关系,合理开发山地,全面考虑现有道路空间分布格局,将自然环境保护和城乡经济发展有机结合起来,建立符合自然规律的交通方式,助力区域旅游发展,推进地域的社会经济发展,汲取路网建设带来的回馈。4) 外部衔接性整体呈沿45°向上倾斜的双“C”型且“中部北部高、东西侧低”的空间分布特征,总体水平较高;外部衔接性等级为1~3级的行政村个数占比接近80%,分布格局与省、县级干道的分布格局相一致;外部衔接性等级为4、5级的行政村个数占比略高于20%,主要集中在秀山县西南部,这些区域高等级道路建设水平低、地形条件差。建议未来应加强高等级道路建设,合理增加交通站点数目,拓宽当地农产品的对外销售渠道,拓展对外经济联系渠道,实现由树状路网向网状路网的转变。

从综合评价结果来看,秀山县乡村路网通达性水平整体相对较差,呈“中间高、边缘低”“东南高、西南低”且由核心向边缘递减的“圈层式”空间分布特征,其中:1) 高通达性区集中于秀山县城镇中心区及东南方向,属于该类区域的行政村个数占比接近18%,总面积不足全县幅员面积的10%,区域内路网建设相对完善。对于此类区域应恰当利用城镇中心经济交通发达的优势,吸引资金投入,发展特色产业,逐步带动周边区域的社会经济与交通发展,保持区域内经济发展的良性循环,从而有助于强化边缘区域乡村路网建设。2) 较高通达性区呈零散分布,有关行政村个数占比略高于25%,总面积接近全县幅员面积的25%,且多处于国道、省道等高等级道路交汇处,交通便捷,对外联系紧密。未来需在这一区域适量增修交通站点数,强化路网建设规模,努力提高秀山县的路网运输能力。3) 适中区在高通达性区与较高通达性区外围零散分布,有关行政村个数占比接近30%,总面积约为全县幅员面积的32%,区域内整体上道路连通性较好。该区域应借助紧邻高通达性区的经济、交通优势,加强区域内的乡村路网建设,从而更好带动它们边缘的较低、低通达性区的交通路网发展,在由高通达性区向低通达性区辐射路径上起到承接和枢纽的作用。4) 较低通达性区零散分布在秀山东部、西部和北部,有关行政村个数占比接近18%,总面积略低于全县幅员面积的25%,区域的高程较高,经济活动空间多局限于村域,村域内部居民的经济收入主要来源于农业。应强化此类区域的村级道路建设,适当增加基础路网,拓宽区域农产品销售渠道,保障区域农业的有效、可持续发展。5) 低通达性区在秀山县西部、西南部边缘连片分布,有关行政村个数占比略高于8%,总面积约为全县幅员面积的10%,区域内绝大多数居民点分布比较零散且人口稀少、村域内低等级道路分布较少、地形条件较差。对于此类区域应加强对外联系强度,整治分散居民点,推动区域内道路建设均衡化与合理化,避免大规模实施路网建设造成资源浪费。6) 路网通达性热点区集中连片分布在秀山县的中心城镇区的乌杨街道、中和街道、平凯街道、官庄街道和清溪场镇。这些区域地势平坦,经济社会发展水平高。对于此类区域应发挥它们的辐射引领作用,向周围区域给予一定财政或设施资源支持,拉动经济向上发展,从而有利于保障进一步强化乡村路网建设。7) 路网通达性冷点区分布在秀山县西南部的隘口镇和膏田镇。这些区域地势起伏较大,路网建设水平也相对较低。未来在不影响环境的前提下,应依据地形地貌,科学规划路网布局,或利用技术创新客服地形障碍,确保道路建设既符合实际需求,又能减少建设成本。特别是对于秀山县经济最不发达并位于重庆市与贵州省交界处作为重要交通地带的隘口镇而言,更应加强内部路网建设,尽量选在地形相对平坦的区域建设路网,切实有效地促进经济发展,改变落后面貌,促进乡村振兴。

总而言之,路网通达性对促进区域经济社会可持续发展具有重要意义,对广大偏远山区尤为重要。本研究对重庆市秀山县乡村路网通达性的评价结果为进一步改善如武陵山区等偏远山区的路网建设提供了科学依据与数

据支撑,路网建设水平的提升将有效推动偏远山区经济发展和助力乡村振兴。值得注意的是,虽然本研究采用的 CRITIC 法在确定各分项指标权重时能够充分考虑到相关问题的复杂性和主观性,也能够反映出各因素之间的相对重要性,赋权更加客观且可信度更高,使得研究结果更具说服力;但该方法需要一定的时间和人力成本。同时,由于研究数据的获取仍存在一定局限性,因而本研究只考虑了秀山县境内单一时间段的路网数据而未能涉及周围邻近区域交通设施对秀山县所带来的影响,也未能进行连续性地时序演变分析,而这些都将是今后研究中需要加以改进或纳入考虑的方向。

参考文献:

- [1] 刘彦随. 中国新时代城乡融合与乡村振兴[J]. 地理学报, 2018, 73(4): 637-650.
LIU Y S. Research on the urban-rural integration and rural revitalization in the new era in China[J]. Acta Geographica Sinica, 2018, 73(4): 637-650.
- [2] 中华人民共和国中央人民政府. 中共中央 国务院关于实施乡村振兴战略的意见[EB/OL]. (2018-02-04)[2023-09-11]. https://www.gov.cn/zhengce/2018-02/04/content_5263807.htm.
The State Council of the People's Republic of China. Opinions of the Central Committee of the CPC and the State Council on implementing the strategy for vitalizing villages[EB/OL]. (2018-02-04)[2023-09-11]. https://www.gov.cn/zhengce/2018-02/04/content_5263807.htm.
- [3] 吕启明. 推进公路基础设施建设, 促进乡村振兴[J]. 农业工程技术, 2022, 42(9): 92-93.
LÜ Q M. Promoting road infrastructure construction and rural revitalization[J]. Agricultural Engineering Technology, 2022, 42(9): 92-93.
- [4] 罗雨, 李同昇, 王昭, 等. 乡村振兴视角下秦巴山区农村路网通达性评价与分区优化研究: 以陕西省山阳县为例[J]. 人文地理, 2020, 35(3): 104-114.
LUO Y, LI T S, WANG Z, et al. Assessment and zone optimization research on rural road network accessibility in Qin-Ba Mountain Areas from the perspective of rural revitalization: a case study of Shanyang County in Shaanxi Province[J]. Human Geography, 2020, 35(3): 104-114.
- [5] 丁建军, 冷志明. 区域贫困的地理学分析[J]. 地理学报, 2018, 73(2): 232-247.
DING J J, LENG Z M. Regional poverty analysis in a view of geography science[J]. Acta Geographica Sinica, 2018, 73(2): 232-247.
- [6] 李星星. 中山地区乡村路网通达性评价研究: 以陕西省丹凤县为例[D]. 西安: 西北大学, 2012.
LI X X. Research on evaluation of rural road network accessibility in medium mountain regions: taking Danfeng County in Shaanxi Province as an example[D]. Xi'an: Northwest University, 2012.
- [7] 潘裕娟, 曹小曙. 乡村地区公路网通达性水平研究: 以广东省连州市 12 乡镇为例[J]. 人文地理, 2010, 25(1): 94-99.
PAN Y J, CAO X S. Comprehensive accessibility level of rural road network: a case study of Lianzhou City, Guangdong Province[J]. Human Geography, 2010, 25(1): 94-99.
- [8] HOLL A. Twenty years of accessibility improvements. the case of the Spanish motorway building programme[J]. Journal of Transport Geography, 2007, 15(4): 286-297.
- [9] CHI G Q. The Impacts of transport accessibility on population change across rural, suburban and urban areas: a case study of Wisconsin at sub-county levels[J]. Urban Studies, 2012, 49(12): 2711-2731.
- [10] NUTLEY S. Indicators of transport and accessibility problems in rural Australia[J]. Journal of Transport Geography, 2003, 11(1): 55-71.
- [11] WINDLE J, CRAMB R A. Remoteness and rural development: economic impacts of rural roads on upland farmers in Sarawak, Malaysia [J]. Asia Pacific Viewpoint, 1997, 38(1): 37-53.
- [12] MASOT A N, ALONSO G C. Research on the accessibility to health and educational services in the rural areas in Extremadura [J]. European Countryside, 2015, 7(1): 57-67.
- [13] ROZELLE S, PARK A, BENZIGER V, et al. Targeted poverty investments and economic growth in China [J]. World Development, 1998, 26(12): 2137-2151.
- [14] 陈松林, 陈进栋, 韦素琼. 福建省综合交通可达性格局及其与制造业空间分布的关系分析[J]. 地理科学, 2012, 32(7): 807-815.
CHEN S L, CHEN J D, WEI S Q. The integrated transportation accessibility in Fujian Province and its correlation with the

- spatial distribution of manufacturing[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2012, 32(7): 807-815.
- [15] 刘承良,余瑞林,熊剑平,等. 武汉都市圈路网空间通达性分析[J]. *地理学报*, 2009, 64(12): 1488-1498.
LIU C L, YU R L, XIONG J P, et al. Spatial accessibility of road network in Wuhan Metropolitan Area[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2009, 64(12): 1488-1498.
- [16] BARROS C P, MATIAS Á. Assessing the efficiency of travel agencies with a stochastic cost frontier: a Portuguese case study [J]. *International Journal of Tourism Research*, 2006, 8(5): 367-379.
- [17] BARROS C P. Analysing the rate of technical change in the Portuguese hotel industry[J]. *Tourism Economics*, 2006, 12(3): 325-346.
- [18] BARROS C P. Measuring efficiency in the hotel sector[J]. *Annals of Tourism Research*, 2005, 32(2): 456-77.
- [19] 黄江效,伍世代,伍博炜. 东南沿海农村地区公路网通达性研究:以福建省霞浦县为例[J]. *贵州师范大学学报(自然科学版)*, 2015, 33(1): 18-23.
HUANG J X, WU S D, WU B W. Study on road network accessibility in Southeast coastal rural areas: a case study of Xiapu County, Fujian Province[J]. *Journal of Guizhou Normal University (Natural Sciences)*, 2015, 33(1): 18-23.
- [20] 肖燕,邹再超,刘清春. 山东半岛蓝色经济区路网空间通达性研究[J]. *世界地理研究*, 2021, 30(3): 567-576.
XIAO Y, ZOU Z C, LIU Q C. Study on spatial accessibility of road network in Shandong Peninsula Blue Economic Zone[J]. *World Regional Studies*, 2021, 30(3): 567-576.
- [21] 刘建军,陈颖彪,千庆兰,等. 广州市交通网络的综合通达性及其空间特征[J]. *经济地理*, 2016, 36(2): 45-52.
LIU J J, CHEN Y B, QIAN Q L, et al. Guangzhou comprehensive accessibility and its spatial characteristics[J]. *Economic Geography*, 2016, 36(2): 45-52.
- [22] 吴威,曹有挥,曹卫东,等. 长江三角洲公路网络的可达性空间格局及其演化[J]. *地理学报*, 2006, 61(10): 1065-1074.
WU W, CAO Y X, CAO W D, et al. Spatial structure and evolution of highway accessibility in the Yangtze River Delta[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2006, 61(10): 1065-1074.
- [23] 中华人民共和国中央人民政府. 中共中央 国务院关于全面推进乡村振兴加快农业农村现代化的意见[EB/OL]. (2018-02-21) [2023-09-11]. https://www.gov.cn/gongbao/content/2021/content_5591401.htm.
The State Council of the People's Republic of China. Opinions of the CPC Central Committee and the State Council on comprehensively promoting rural revitalization and accelerating agricultural and rural modernization [EB/OL]. (2018-02-21) [2023-09-11]. https://www.gov.cn/gongbao/content/2021/content_5591401.htm.
- [24] 尹凌,李满春,陶冶. 乡镇土地利用总体规划对农村居民出行可达性的影响研究[J]. *地理与地理信息科学*, 2006, 22(1): 62-66.
YIN L, LI M C, TAO Y. Impact assessment of overall land use planning at town level on rural people accessibility[J]. *Geography and Geo-Information Science*, 2006, 22(1): 62-66.
- [25] NUTLEY S D. Rural transport problems and non-car populations in the USA: a UK perspective[J]. *Journal of Transport Geography*, 1996, 4(2): 93-106.
- [26] 段玲红. 基于 SWMM 模型的秀山县 LID 改造雨水径流模拟分析[D]. 重庆:重庆交通大学, 2018.
DUAN L H. Simulation analysis of stormwater runoff by LID retrofitted in Xiushan County based on SWMM[D]. Chongqing: Chongqing Jiaotong University, 2018.
- [27] 中华人民共和国交通运输部公路局,中交第一公路勘察设计研究院有限公司. 公路工程技术标准(JTGB01—2014)[S]. 北京:中华人民共和国交通运输部, 2014.
Highway Bureau of Ministry of Transport of the People's Republic of China, CCCC First Highway Consultants Co. Ltd.. Technical standards of highway engineering (JTGB01—2014)[S]. Beijing: Ministry of Transport of the People's Republic of China, 2014.
- [28] 李威,JOH K,LEE C,等. 社区步行通达性对独栋住宅房价的效益评估:美国德克萨斯州奥斯丁市空间特征分析[J]. *城市交通*, 2016, 14(4): 75-91.
LI W, JOH K, LEE C, et al. Assessing benefits of neighborhood walkability to single-family property values: a spatial Hedonic study in Austin, Texas[J]. *Urban Transport of China*, 2016, 14(4): 75-91.
- [29] 李生梅,侯光良,金孙梅. 拉萨市农村路网通达性评价与分区优化研究[J]. *长江流域资源与环境*, 2023, 32(8): 1608-1619.
LI S M, HOU G L, JIN S M. Study on access evaluation and zoning optimization of rural road network in Lhasa City[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2023, 32(8): 1608-1619.
- [30] 王缉宪. 易达规划:问题、理论、实践[J]. *城市规划*, 2004, 28(7): 70-74.

- WANG J X. Accessibility planning: problems, theories and practices[J]. City Planning Review, 2004, 28(7): 70-74.
- [31] 李星星, 李同昇. 乡村地区路网通达性研究: 以陕西省丹凤县为例[J]. 人文地理, 2012, 27(3): 78-85.
- LI X X, LI T S. Study on road network accessibility in rural areas: a case study of Danfeng County, Shanxi Province[J]. Human Geography, 2012, 27(3): 78-85.
- [32] 朱贵玉, 方世跃, 尹春风, 等. 基于 FAHP-CRITIC 的暴雨洪涝灾害风险评估: 以西安市临潼区为例[J]. 水利水电技术(中英文), 2023, 54(4): 37-48.
- ZHU G Y, FANG S Y, YIN C F, et al. Risk assessment of rainstorm-flood disaster based on FAHP-CRITIC: taking Lintong District of Xi'an City as an example[J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2023, 54(4): 37-48.
- [33] 王晶, 高艳云, 高燕. 中国多维相对贫困的空间格局与动态演进研究[J]. 统计与决策, 2023, 39(11): 55-60.
- WANG J, GAO Y Y, GAO Y. Spatial pattern and dynamic evolution of multidimensional relative poverty in China[J]. Statistics and Decision, 2023, 39(11): 55-60.

Resources, Environment and Ecology in Three Gorges Area

A Study of the Accessibility of Rural Road Network in Wuling Mountain Area in the Context of Rural Revitalization: Taking Xiushan County in Chongqing Municipality as an Example

RAN Huiping^{1,2}, LIU Rui^{1,2,3}, MIN Jie^{1,2,3}

- (1. School of Geography and Tourism, Chongqing Normal University;
2. Chongqing Key Laboratory of GIS Application Research, Chongqing Normal University;
3. Chongqing Key Laboratory of Remote Sensing of Surface Process and Environment in the Three Gorges Reservoir area, Chongqing Normal University, Chongqing 401331, China)

Abstract: In order to examine the construction status of rural road network at typical counties in Wuling Mountain Area under the background of rural revitalization, Xiushan County in Chongqing Municipality is taken as the research area, and the network analysis, CRITIC (criteria importance though intercriteria correlation) method and spatial autocorrelation test in GIS were used to calculate the sub-evaluation and comprehensive evaluation results, investigate the accessibility of rural road network, and carry out spatial autocorrelation test. The results indicate that: the accessibility level of the road network in Xiushan County follows a spatial distribution pattern of “high in the middle and low at the edges”, “high in the southeast and low in the southwest”, and decreases from the center of Xiushan County towards the edges in a “circle” pattern. The high accessibility area is the political, economic and cultural center of Xiushan County, with an area of 202.01 km² and the number of administrative villages accounting for 17.91%, which has a gentle terrain, convenient internal and external transportation, and is able to radiate and drive the economic development of the peripheral neighboring areas. The low accessibility zone is located in the southwestern part, with a total area of 259.58 km² and the number of administrative villages accounting for 7.84%, which has complicated terrain and relatively backward economic development. The level of road network accessibility has a strong spatial clustering, with five hot spots and two cold spots. The results of research provide scientific basis and data support for further improvement of road network construction in remote mountainous areas, while the improvement of the road network construction level will effectively promote the economic development of remote mountainous areas and contribute to the revitalization of the countryside.

Keywords: rural revitalization; road network accessibility; CRITIC method; Wuling Mountain Area; Xiushan County

(责任编辑 方 兴)