

基于熵权-TOPSIS的山区乡镇通达性研究 ——以重庆市石柱县为例

马雪莹¹, 邵景安^{1,2*}, 徐新良³

(1. 重庆师范大学地理与旅游学院, 重庆 400047; 2. 三峡库区地表过程与环境遥感重庆市重点实验室, 重庆 400047; 3. 中国科学院地理科学与资源研究所, 资源与环境信息系统国家重点实验室, 北京 100101)

摘要:交通是支撑区域经济社会发展的基础之一, 通达性则是反映交通设施水平的有效评价指标。本文以重庆市石柱县为例, 选取空间数据和调研数据, 引入熵权-TOPSIS模型构建集内外通达性和摩擦阻抗于一体的指标体系, 客观分析山区乡镇的通达性, 以期交通合理规划提供参考。结果表明: ①通达性指标对区域综合通达性影响程度为: 交通设施技术(C_4) > 摩擦阻抗(C_5) > 等效道路密度(C_2) > 乡镇内部连通度(C_1) > 与省干道衔接度(C_3)。②贴近度变异系数达0.5410, 说明样区交通通达性水平空间差异大。③通达性空间格局表现出以南宾、西沱、悦崃为极核点向外围扩散递减趋势; 通达性空间分布表现为西高东低, 高通达区主要分布在平川区, 低通达区主要分布在陡峭山区。④通达性良好区域呈“一环一轴”模式分布, 呈显著主干道指向性。⑤样区乡镇通达性空间分布格局与经济发展水平和土地流转面积有较高趋同性。研究结果能为区域协调发展、交通合理规划提供良好的理论与实践指导。

关键词:交通通达性; 空间变异; 通道—阻隔效应; 熵权-TOPSIS; 山区; 重庆石柱县

1 引言

通达性长期以来一直是地理学研究的热点之一, 山区农村交通通达性更与生产、生活有着密切的联系(黄晓燕等, 2011)。山区因地形起伏较大、资源流动受阻, 给农村人口向城镇迁移提供强有力的“推力”作用。同时, 工业化、城镇化快速发展, 非农务工工资逐年提升, 农村劳动力务农机会成本不断攀升, 加之户籍制度改革、城镇拥有较好的医疗和教育条件与机会, 又为山区农村大量人口迁移至城镇居住或进城务工提供“拉力”。在“推拉”综合作用下, 山区农村人口不仅向城镇迁移, 且向地势平缓地区集中, 移动的结果不仅导致人口资源的再

分配, 更将山区地势起伏较大区边缘化。在此背景下, 山区交通该如何合理规划建设和发展, 成为当前亟待解决的科学问题。

交通网络的发育水平通常以“通达性”表示。交通通达性是交通网络中各节点相互作用的机会大小(Hansen, 1959), 指某一地方到另一地方的难易程度(Johnston, 1994), 是交通网络综合效益与居民生活质量的体现, 反映区域间相互联系的作用程度, 对社会经济要素的集聚与扩散有着重要的空间指示意义(陈静云, 2009)。目前, 在交通通达性方面的主要研究可归纳为: ①研究尺度集中于国家(金凤君等, 2008; 封志明等, 2009; Wang et al, 2011)、省级(李九全, 2008; 郭丽娟等, 2009; 朱兵等, 2010; 黄

收稿日期: 2016-05; 修订日期: 2016-08。

基金项目:国家自然科学基金重大国际合作基金项目(41161140352); 教育部人文社科青年基金项目(10YJCZH122); 高分辨率对地观测系统重大专项(No.00-Y30B15-9001-14/16) [Foundation: Major International Cooperation Project of the National Natural Science Foundation of China, No.41161140352; Humanities and Social Sciences Foundation of Ministry of Education of China, No.10YJCZH122; Important National Project of High-Resolution Earth Observation System, No.00-Y30B15-9001-14/16]。

作者简介:马雪莹(1991-), 女, 黑龙江双鸭山人, 硕士生, 主要从事土地利用与土地管理研究, E-mail: mxxy19910102@sina.com。

通讯作者:邵景安(1976-), 男, 安徽亳州人, 博士, 研究员, 主要从事土地利用与生态过程研究, E-mail: shao_ja2003@sohu.com。

引用格式:马雪莹, 邵景安, 徐新良. 2016. 基于熵权-TOPSIS的山区乡镇通达性研究: 以重庆市石柱县为例[J]. 地理科学进展, 35(9): 1144-1154. [Ma X Y, Shao J A, Xu X L. 2016. Rural transportation accessibility in mountainous areas based on the entropy-weight TOPSIS method: A case study of Shizhu County, Chongqing Municipality[J]. Progress in Geography, 35(9): 1144-1154.]. DOI: 10.18306/dlkxjz.2016.09.009

晓燕等, 2011)、发达都市圈或县级层面(曹小曙等, 2003; 刘承良等, 2009; 李沛权等, 2011; 刘承良等, 2014); ②路网类别或级别以铁路、高速、公路为主(曹小曙等, 2005; 刘望保等, 2012; 陈少沛, 2013; 梅志雄等, 2013); ③重点关注交通设施引发的区域效应(Linneker et al, 1996; Sasaki et al, 1997; 邓丽等, 2015)或新建交通线路的选址分析(Moseley, 1979; Owen et al, 1998)。常用的交通通达性度量方法有: 一是空间阻隔法, 该方法考虑区域间交通网络连接程度, 为最常用的方法; 二是空间积累法, 该方法挖掘居民在一定时间内能够到达的工作地数量及工作机会量, 但指标值难以确切地反映某点在区域体系中的地位, 且确定阻隔空间范围主观性较大; 三是空间相互作用法, 该方法考虑两地间不仅受阻隔影响, 还将用地与交通紧密结合, 在城市交通规划研究中运用广泛。在交通通达性研究特征上则由单一交通向综合交通方式通达性转变(曹小曙等, 2003), 由区域对内部通达性研究向区域对内对外兼顾的通达性研究转变。

综上发现, 现有文献中的通达性研究对县级以下乡镇、农村涉及甚少(段德忠等, 2015), 尤其是对县级乡镇尺度的区域综合通达性研究更为薄弱。乡镇尺度区域地处高级别路网(省道、县道)和低级别路网(村路、石垫路)的交叉带, 是城市与农村之间的重要枢纽, 因此对乡镇区域综合通达性的研究具有现实意义。在区域综合性通达性研究方面, 金凤君等(2008)率先提出了理论框架并进行了测算, 黄

晓燕等(2011)在此基础上对方法作了修正并以海南省为例作了实测。刘传明等(2011)、程钰等(2013)也对区域综合交通可达性与经济发展水平的关系进行了分析, 但对指标权重算法都采用了主观性较强的层次分析法, 忽视了数据自身的客观性。基于此, 本文参考了综合评价方法的最新研究成果, 以重庆典型山区县——石柱县作为研究区, 尝试引入熵权-TOPSIS模型(赵丽等, 2012; 李灿等, 2013), 并结合GIS技术构建符合山区乡镇农村的交通通达性指标体系, 量化并分析乡镇综合交通通达性, 揭示样区交通通达性的空间格局, 并探讨其交通通达性与经济发展、土地流转间的关系, 旨在为转型期山区县域交通基础设施规划建设提供参考依据。

2 数据与方法

2.1 研究区概况

石柱县(29°39'~30°32'N, 107°59'~108°34'E)地处重庆东部、长江南岸、三峡库区腹心地带, 面积3014.06 km²(图1)。2013年底, 全县辖18个镇、14个乡, 共229个村, 总人口547871人; GDP总量107.43亿元, 在重庆列倒数第6位; 城镇化率36.98%, 固定资产总额140.42亿元, 均低于全市平均水平。地貌类型属巫山大娄山中山区, 境内地势东高西低, 西北为方斗山背斜、东南为老厂坪背斜, 呈北东—西南向纵贯全境, 形成“两山夹一槽”的地形地貌特征, 全县土地面积的93.8%属于中、低山

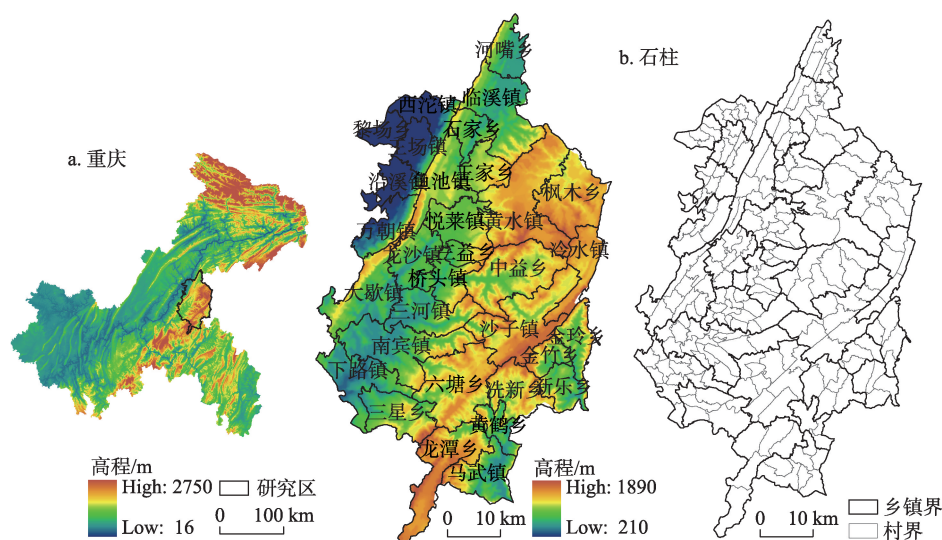


图1 研究区地形、区位和乡镇、村级行政区划

Fig.1 Topography and town and village scale administrative division in study area

区。地形起伏加大了道路建设的难度和道路抗风险系数。目前全县等级公路通车里程为2952 km (不含高速公路),其中省级公路占13.4%,县级公路占13.0%,乡级公路占21.0%,村级公路占52.6%,形成了以渝利铁路、垫利高速、丰石高速和省道为骨干的交通道路网络系统。

2.2 研究数据

(1) 基础数据:①点数据:乡村行政中心、高速公路口、火车站、客车站、港口结点数据来自石柱城乡综合现状图和三峡库区地图集;②线数据:道路数据基于100 m分辨率遥感影像的解译所得;③面数据:样区行政边界、乡镇行政边界及村级行政边界从石柱县国土局提供的1:1万标准分幅地形图提取;DEM(30 m分辨率)高程图来自中国西部数据中心。

(2) 调研数据:基础经济、土地流转数据来源于2012年石柱县农经报表。2014年4月3日-22日课题组以村为单元对全县32个乡镇开展参与式农村评估和实地调研,调研人员采用问卷访谈形式了解各村路况、人口、居民收入、土地流转情况等,并对照各村农业经济报表进行参与式评估;在此基础上,再随机抽取样本村进行实地访谈和考察,对收集的数据进行验证和补充。

2.3 研究方法

2.3.1 熵权-TOPSIS模型

TOPSIS模型又称“逼近理想解的排序法”,是一种距离综合评价法。其原理为检测出评价对象与最优值、最劣值的距离,再计算评价对象与理想值的贴近度,进行优劣排序。熵权-TOPSIS模型是对TOPSIS模型的改进,先利用熵权法确定评价指标的权重,客观评价指标的重要程度,再利用TOPSIS模型对决策目标进行排序。熵权-TOPSIS模型的优点在于可操作性和客观性,对样本需求不大且结果合理,故本文选用熵权-TOPSIS模型,定量、客观评价乡镇通达性时空分布特征。计算步骤如下:

(1) 构建评价指标体系矩阵(M)。假设被评价对象有 m 个,每个被评价对象有 n 个指标,则评价指标体系矩阵为:

$$M=(x_{ij})_{m \times n} \quad (i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n) \quad (1)$$

式中: i 为被评价对象; j 为评价指标。

(2) 采用极差法对指标矩阵标准化:

$$R=(r_{ij})_{m \times n} \quad (i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n) \quad (2)$$

式中: R 为标准化的评价指标体系矩阵; r_{ij} 为第 i 个被评价对象在第 j 个评价指标上的标准值; m 为评价对象总数; n 为评价指标总数。

$$(3) \text{ 计算熵值: } E_j = -k \sum_{i=1}^m p_{ij} \ln p_{ij} \quad (3)$$

式中: E_j 为熵值; $p_{ij}=r_{ij}/\sum_{i=1}^m r_{ij}$; k 为常数项, $k=1/\ln m$; p_{ij} 为矩阵 R 的第 i 个被评价对象第 j 项评价指标下的指标值比重。

$$(4) \text{ 确定指标权重: } w_j = \frac{1-E_j}{\sum_{j=1}^n (1-E_j)} \quad (4)$$

式中: w_j 为指标 j 的权重; E_j 为指标 j 的熵值。

(5) 计算规范化后的熵权矩阵(O):

$$O=(o_{ij})_{m \times n}, o_{ij}=w_j r_{ij} \quad (i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n) \quad (5)$$

式中: o_{ij} 为第 i 个被评价对象在第 j 个被评价指标规范化后的值。

(6) 确定最优解(o_i^+)与最劣解(o_i^-):

$$\begin{cases} o_i^+ = \max_j (o_{ij}) & (i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n) \\ o_i^- = \min_j (o_{ij}) & (i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n) \end{cases} \quad (6)$$

(7) 计算目标对象与优劣解间的欧氏距离:

$$r_j^+ = \sqrt{\sum_{i=1}^m [w_i(o_{ij} - o_i^+)]^2} \quad (7)$$

$$r_j^- = \sqrt{\sum_{i=1}^m [w_i(o_{ij} - o_i^-)]^2} \quad (8)$$

式中: r_j^+ 和 r_j^- 分别为每个评价对象到最优解和最劣解的距离。

(8) 计算综合评价指数:

$$C_j = r_j^- / (r_j^+ + r_j^-) \quad (9)$$

式中: C_j 为被评价对象与最优方案的贴近度,值越大则被评价对象越优。

2.3.2 通达度指标体系

本文基于通道—阻隔效应构建乡镇尺度交通通达性指标体系,思路为:①乡镇通道效应可分为乡镇内部通达性和乡镇对外通达性。内部通达性决定人流、物流的联系便捷度,选取乡镇内部各村连通度及等效道路密度作为内部通达度指标;外部通达性决定乡镇对外集散程度和互通往来,选取乡镇对省干道衔接度及交通设施技术水平作为对外联系度指标。②乡镇阻隔效应表现为山区地形复杂性对乡镇通达性的阻碍。具体研究区边界乡镇通达性指标、含义、实现步骤其获取公式等见表1。考虑边界乡镇的边界效应,本文选取与样区相邻的万州、忠县、丰都、彭水、湖北利川按邻近原则相互竞争,计算研究区乡镇最短通达时间。由于乡镇政府、村委会是乡镇、村的行政中心,故选取其为区域重心质点。

表1 研究区通达性指标、含义、计算步骤及其获取公式

Tab.1 Accessibility indictors and calculation steps and formulas in study area					
目标	因子	指标	指标含义及计算步骤		指标获取公式
乡镇 综合 通达 度(A)	内部通达性(B ₁)	乡镇内部连通度(C ₁)	反映乡镇内部各村联系紧密度,任意两村最短通行时间可直观表明联系程度,采用乡镇内部各村到其他村最短时间平均值表示。首先,计算乡镇内部各村到其他村最短时间之和,再求其平均值,得到各村最短时间平均值;其次,求各村最短时间平均值之和再求平均值,得到乡镇内部连通度。最短时间计算参考时速见表2。		$K=(\sum_i[\sum_j t_{ij}/(n-1)])/n$ 式中: t_{ij} 为乡镇内村 <i>i</i> 到村 <i>j</i> 最短时间/h; n 为村个数; K 为乡镇内部连通度。
		等效道路密度(C ₂)	直观地反映乡镇内部路网分布,使用等效道路密度表示。利用ArcGIS 10.2计算各乡镇不同等级道路的总长度,根据表2将实际道路长度换算为等效道路长度;计算各乡镇等效道路长度与乡镇行政面积之比,得到等效道路密度。		$D=L/S$ 式中: D 为等效道路密度/(km/km ²); L 为等效道路总长/km; S 为乡镇区域面积/km ² 。
	对外通达性(B ₂)	与省干道衔接度(C ₃)	乡镇内各村通过乡村路网到达干道的最短时间,反映乡镇对外集散程度,使用衔接度表示。计算乡镇内部各村通过乡村路网到达省、县干道最短时间之和求平均值,得到与乡镇与干道衔接度。		$C=\sum c_{min}/n$ 式中: C 为与省干道衔接度; c_{min} 为村到省干道最短时间/h; n 为村个数。
		交通设施技术等级(C ₄)	交通基础设施的优劣决定乡镇对外通行能力强弱。结合样区现有交通技术设施采用0.5间隔赋值法(表3)对乡镇不同交通设施赋值。高速公路、铁路港口为封闭性路段,按节点对待;最后对各乡镇各交通设施分值累加,得到乡镇交通设施综合值。		$T=\sum S_m (i=1,2,\cdots,n),(u=1,2,\cdots,m)$ 式中: T 为交通设施综合值; S_m 为 <i>i</i> 乡镇 <i>u</i> 类节点或线路对应赋值。
	摩擦阻抗(B ₃)	摩擦阻抗(C ₅)	不同地形对道路的影响程度不同,摩擦系数反映地形对路段的阻碍程度。基于ArcGIS 10.2计算样区及各乡镇高程、坡度平均值,利用地形位公式得到摩擦系数值。		$Te=\log[(E/\bar{E}+1)(S/\bar{S}+1)]$ 式中: Te 为乡镇摩擦系数; E 为高程/m; S 为坡度/°; \bar{E} 为平均高程/m; \bar{S} 为平均坡度/°。

表2 研究区不同道路等级的等效道路长度换算

Tab.2 Equivalent length conversion of different grades of roads in study area			
交通线等级	时速/(km/h)	实际长度/km	等效道路长度/km
省道	40	1	1.000
县道	30	1	0.750
乡道	25	1	0.625
农村硬化道路	20	1	0.500
农村石垫路	15	1	0.375

表3 研究区不同交通设施的技术等级赋值

Tab.3 Grades assignment of different transportation facilities in study area							
类型	子类型	标准	赋值	类型	子类型	标准	赋值
公路	高速	高速口	2.0	客运站	—	一级	2.5
	公路	最高级别为省道	1.5		—	二级	2.0
	省道	最高级别为县道	1.0		—	三级	1.5
	县道	最高级别为乡道	0.5		—	四级	1.0
	乡道				—	五级	0.5
铁路	—	距离车站1 h以内	2.0	港口	—	简易	0.1
	—	距离车站2 h以内	1.5		—	枢纽	1.5
	其他		1.0		—	一般	1.0
						其他	0.5

注:“—”表示未分子类型。

3 结果与分析

3.1 通达性指标标准化空间格局

由图2a可知,研究区西北部平坝区和中部槽谷地势平缓且行政区面积小的乡镇内部各村连通度高,东部山地地势陡峭区且行政面积大的乡镇内部各村连通度低。内部连通度大于0.58的乡镇多集中在中部槽谷区和西北部平坝区。受纵向岭谷大地貌分异的影响,七曜山和方斗山地形起伏较大,增加了道路建设难度,并伴随大量农村青壮年劳动力的外出,研究区常住人口仅为总人口的66.6%,且多为老人、儿童,外出场镇的支路通勤率较低,因此,在政府建设决策时,仅对村主路予以修建或完善,而对村支路投入重视不够,致使各村间联系的时间成本无法降低。由图2b可知,等效道路密度分布整体呈西北高东南低的基本格局。西北平坝区(沿溪、西沱、王场和黎场)乡镇内部等效道路密度较高,其次是槽谷区,低值出现在七曜山区,样区等效道路密度基本符合大的地貌格局分异规律。由图2c可知,中部的桥头、中益,东南金玲、金竹等4个乡和南部三星、龙潭对外集散度相对较差;而七曜山区的黄水、沙子、六塘相对要高。由图2d可知,

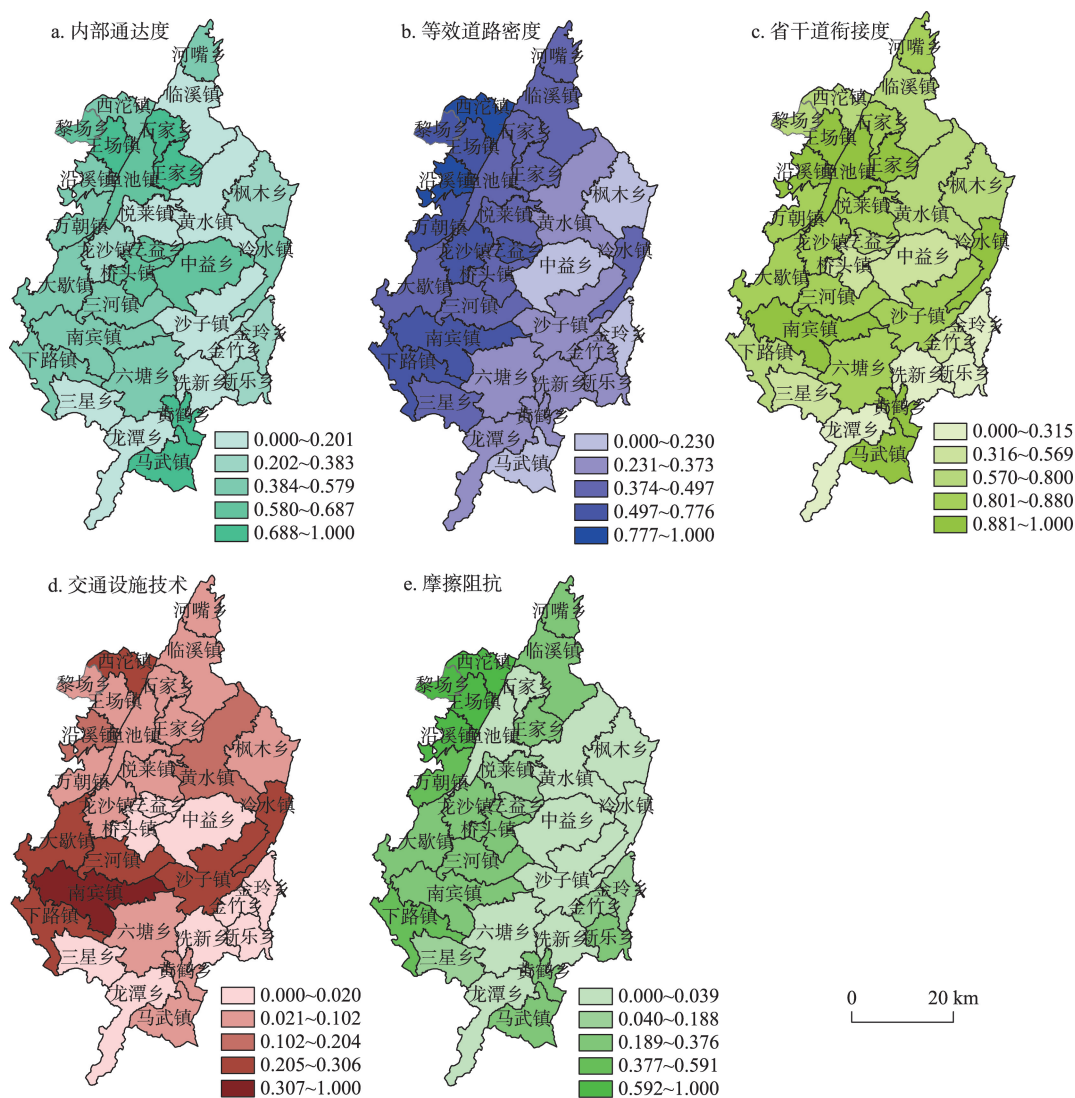


图2 研究区各指标标准化空间分布图

Fig.2 Standardized spatial distribution of accessibility indicators in study area

交通设施分配有一定的差异性。南宾的交通设施技术等级分值最高,邻近南宾的大歇、三河、沙子、下路分值较高,六塘次之。低值区有两部分:一是位于样区中部的桥头、三益和中益;二是位于东南部的金铃、金竹、洗新和新乐。由图2e可知,摩擦阻抗表现为西部和东南部值低,七曜山区值高,说明七曜山区的乡镇地形起伏大,陡峭险峻。

3.2 交通通达性指标权重优劣排序

当某一指标项的最优值 o_i^+ 和最劣值 o_i^- 差值越大,熵值越小,表示该指标变异程度越大,向决策者提供有用信息多,影响力度强,权重值越大。反之, o_i^+ 和 o_i^- 差值越小,熵值越大,变异程度越小,向决策者提供的信息不足,权重值越低。本文最优值与最劣值为加权矩阵中评价乡镇通达性的各指标的最大值和最小值。对于最优值,由于所有评价指标标

准化的最大值都为1,对加权后所有评价指标的最优值与权重值相同;对于最劣值,由于所有评价指标标准化的最小值都为0,加权后所有评价指标的最劣值均为0。表4显示,交通设施技术差距和地形阻抗所占权重高(>0.25),乡镇内部连通度和道路密度所占权重次之(>0.10),与省干道衔接度所占权重较低(<0.10)。从权重值看出,交通设施技术和地形对区域通达性影响最高,表明一个区域通达与否取决于交通设施技术水平的发展,但地形仍是影响交通建设的主要因素。乡镇内部连通程度和道路密度反映区域内部通达状况,道路等级多为乡村公路,但仍受环境制约,政府投资力度偏弱,影响级别要次一级。对于乡镇衔接度,因为各村都是通过农村路网连通至干道,除少量行政村村级公路没有硬化,其他村区别并不是很大,变异程度不高,与实际

认知相符。乡镇内部连通度(C_1)、等效道路密度(C_2)、与省干道衔接度(C_3)、交通设施技术(C_4)和摩擦阻抗(C_5)对乡镇通达的重要程度排序依次为: $C_4 > C_3 > C_2 > C_1 > C_5$,即交通枢纽及交通设施质量(C_4)和地形阻隔效应对乡镇通达性影响最为明显,与干道衔接度对通达影响效应最弱。

3.3 综合通达性优劣排序

表5是在熵权计算基础上,运用熵权-TOPSIS模型计算的乡镇综合通达性测度结果。距离最优值测度和最劣值测度分别代表乡镇综合通达度接近最优值和最劣值的程度,与最优值 o_i^+ 的距离 r_i^+ 越近越好,与最劣值 o_i^- 的距离 r_i^- 越远越好;贴近度 C_i 代表每个乡镇综合通达度距离最优值远近的综合值,即贴近度越大,乡镇综合通达性水平越高。由表5可知, r_j^+ 变化幅度0.0403~0.1555, r_j^- 变化幅度0.0083~0.1431,极差均大于0.1,贴近度最高的南宾镇0.7801,最小的金竹乡0.0509,极差达0.7292,变异系数为0.5410。由表6的综合排序结果可知:通达性位于前列的为南宾、悦崮(贴近度 >0.7);排在末

尾的新乐、金玲、洗新、金竹(贴近度 <0.1),表明乡镇综合通达水平存在显著的两极分化和区域差异。

3.4 综合通达性空间格局

为深入探究研究区乡镇通达性,按最大相似原理,采用自然断点法对样区乡镇通达性重新分类。将32个乡镇分为高通达区、较高通达区、中通达区、较差通达区和差通达区5类(图3)。

通达性表现为以南宾、悦崮、西沱为极核向外围扩散模式。南宾、悦崮、西沱通达度值均 >0.65 ,以其为极核点向外围通达度值降低,越到边缘地带,值越低,由此可知区位因素对乡镇通达性有重要作用。南宾地势平缓,是研究区的政治、经济、文化中心,S105、S202、S203等3条省道交汇于此,拥有火车站和二级客车站等高级别交通枢纽,交通基础设施等级高,结构完善,通达性最高。由于中心城区对周边乡镇的辐射带动作用,使得周边乡镇交通基础设施得到较快发展,具体表现为:以南宾为核心的下路、大歇、三河、沙子较高通达区呈“C”型分布,六塘、三星为中等通达区。下路、大歇、三河

表4 研究区通达性评价指标最优值、最劣值、熵值、权重
Tab.4 Optimal solution, worst solution, entropy value, and weight of each transportation accessibility indicator in study area

	内部通达性		对外通达性		摩擦阻抗
	乡镇内部连通度 C_1	等效道路密度 C_2	与省干道衔接度 C_3	交通设施技术 C_4	摩擦阻抗 C_5
o_i^+	0.1288	0.1628	0.0799	0.3731	0.2553
o_i^-	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
E_j	0.9712	0.9636	0.9821	0.9166	0.9430
w_i	0.1288	0.1628	0.0799	0.3731	0.2553

表5 研究区距离最优值、最劣值测度及贴近度的离散统计
Tab.5 Discrete statistics of optimal distance, worst distance, and closeness degree in study area

优劣测度	最大值	最小值	极差	平均值	标准差	变异系数
距离最优值测度(r_j^+)	0.1555	0.0403	0.1152	0.1007	0.0334	0.3316
距离最劣值测度(r_j^-)	0.1431	0.0083	0.1349	0.0616	0.0343	0.5569
贴近度(C_i)	0.7801	0.0509	0.7292	0.3783	0.2046	0.5410

表6 研究区交通通达性计算结果
Tab.6 Transportation accessibility in study area

乡镇	贴近度	排序	乡镇	贴近度	排序	乡镇	贴近度	排序	乡镇	贴近度	排序
南宾镇	0.7801	1	黎场乡	0.5383	9	石家乡	0.3563	17	马武镇	0.2366	25
悦崮镇	0.7053	2	鱼池镇	0.5241	10	临溪镇	0.3432	18	龙潭乡	0.2193	26
西沱镇	0.6788	3	黄水镇	0.4992	11	三星乡	0.3199	19	三益乡	0.1746	27
下路镇	0.6347	4	龙沙镇	0.4341	12	河嘴乡	0.2988	20	中益乡	0.1300	28
沿溪镇	0.6084	5	冷水镇	0.4249	13	王家乡	0.2676	21	新乐乡	0.0786	29
三河镇	0.6010	6	王场镇	0.4237	14	桥头镇	0.2659	22	金玲乡	0.0666	30
大歇镇	0.5940	7	六塘乡	0.3942	15	黄鹤乡	0.2407	23	洗新乡	0.0518	31
沙子镇	0.5563	8	万朝镇	0.3669	16	枫木乡	0.2400	24	金竹乡	0.0509	32

地势平缓,在南宾带动效应下率先发展工农业,相应的基础设施较完善,路网质量和密度高;沙子虽地处七曜山区,地势复杂,但作为重庆与东部区域的重要通道,地处渝鄂铁路之咽喉,垫利高速、S404省道贯穿全境,通达性较高;六塘、三星虽紧邻县镇中心,然而地处槽谷区和七曜山区边缘带,地形变化较大,与沙子相比,缺少交通枢纽,且农村路网铺设率不高,通达度相对要低。

悦崮曾是石柱县通往湖北、长江及恩施通往石柱、重庆、成都等地的重要驿站,为现状交通路网建设奠定了基础。以悦崮为核心的鱼池、黄水较高通达区呈“H”型连通,通达值高于围绕悦崮的其他乡镇。经分析可知,鱼池、黄水是石柱县重要的旅游景区,森林资源丰富,集旅游、养生、养老等多功能价值于一体,地势虽险要,但政府或企业为发挥上述资源的多功能价值,大力改变这些区域的通达性状况,变阻隔为通道。悦崮“驿站”模式的辐射带动作用远不如中心城区强,因此除黄水、鱼池外其余乡镇通达性偏低;桥头、中益受地形的限制,通达性水平则更差。

西沱濒临长江,是石柱县的北部门户,也是县内最大、功能最全的长江口岸,受工业发展和特色旅游业的带动,路网通达水平高。黎场、沿溪海拔

低,同样濒临长江水域,设有作业港口,受西沱门户的带动作用向黎场、沿溪方向呈纺锤状延伸,形成较高的通达水平。

总体上,通达性西部高于东部,远离城区边缘带通达性差。由图1可知,研究区西部槽谷区和平坝区地势平缓,东部山区山势陡峭,从32个乡镇通达性分布情况看,通达水平为:地势平缓区>山势陡峭区。通达性>0.4的地区大多分布在地势平缓的槽谷区和平坝区,通达性<0.4的地区多分布在七曜山区,尤其是远离城市中心的边缘地带,如河嘴、枫木、黄鹤、马武、龙潭作为石柱县对外连通其他县的过渡带,建有高等级路网,但由于交通设施多经过乡镇中心,区位又远离县城,山区地势起伏大、环境复杂、灾害频发,路网建设难度大,导致乡镇内部连通性不高,农村公路条件差,排序位置靠后。

金竹、金玲、洗新、新乐与县城南宾间被七曜山系阻隔,与县城间的联系较差,同时又没有对外连通的省干道,属于样区边缘地带,流动性低,经济发展基础差,道路等级低,只通041、044和072乡道,村路硬化度不够,仍未实现“村村通”,属于交通条件最差的乡镇集聚区。中益乡地处七曜山海拔最高点,加之政府或企业未能像黄水一样开发其森林等自然资源,山区土地肥力又不足,致其成为石柱

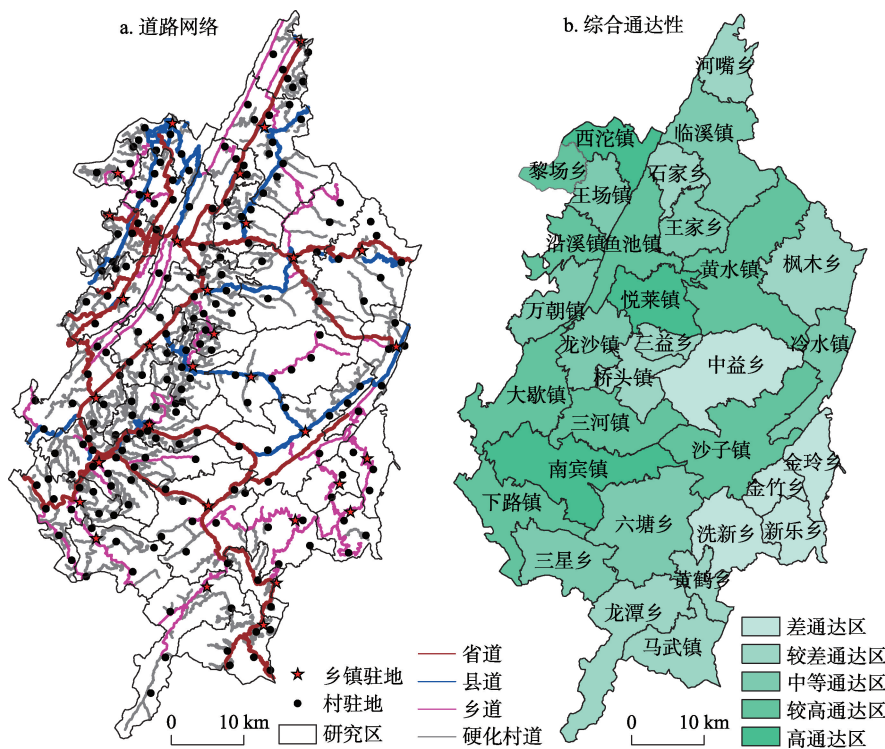


图3 研究区道路网络通达性空间格局

Fig.3 Spatial patterns of road network and transportation accessibility in study area

县的边缘化地区,通达性很差。

石柱县通达区域构成“一环一轴”分布模式:一环即:“南宾—沙子—冷水—黄水—悦崃—鱼池—大歇—南宾”,一轴为“河嘴—临溪—王家—鱼池—悦崃—龙沙—大歇—南宾—六塘”。其分布格局与交通主干线(铁路、高速、省道)分布基本吻合,说明主干线的骨架作用对区域通达性有重要影响。

3.5 通达性与经济、土地流转的关系

(1) 通达性与经济水平

欧洲学者普遍认为,通达性不高是制约欧洲外围地区经济落后的重要瓶颈(引自蒋海兵等, 2013),区域交通基础设施提高是促进区域经济发展的重要保障(Holl, 2004)。以乡镇GDP为因变量(y),综合交通通达性为自变量(x)建立回归方程(南宾镇GDP远高于其他乡镇,视为变异点),发现二者呈明显的正相关关系(图4)(回归方程为: $y=6.7098x+0.082$, $R^2=0.6513$)。研究区通达性的空间格局与经济集聚有较高的空间耦合性,通达性高的地区对经济发展有很强的支撑能力;经济发展也有助于增强对交通基础设施建设的投入力度,彼此是一个相辅相成和相互制约的过程。

伴随农村青壮年劳动力的大量外出务工,山区留守人口以老人、儿童为主,同时,山区起伏较大的地形条件,对经济发展和人类活动的阻隔效应尤为明显,低质量劳动力与较恶劣的自然环境致使地区经济发展滞后,但如有良好的生态旅游资源,政府与企业将会为其开发加大对交通建设的投资力度,变阻隔为通道,如黄水、沙子等;如若生态旅游资源不突出,环境又因地势陡峻险要,交通设施建设不仅需要大量的资金投入,且建成后的效果不经济,则这类区域常常被边缘化,阻隔效应较为明显。然而,地势平缓区,通道效应显著,经济发展基础好,加之交通基础设施有较好基础,为人口与经济的集聚之地,集聚的结果必然对交通的需求无论是数量

还是质量都会大大增加,这类地区的交通基础设施建设因投资相对较少且建成后利用率高,常常是决策者的首选,如南宾、下路、西沱等乡镇。

(2) 通达性与土地流转

工业化、城镇化的迅速发展,促使大量农村青壮年劳动力进城务工,进而导致农村劳动力的大量缺失,其结果引发大量耕地撂荒。当前,为确保耕地不被大量荒废,并提高耕作效率,土地流转是实现农业适度规模经营和农业现代化的必然选择。以乡镇通达性作自变量(x),土地流转面积为因变量(y)建立回归方程,二者呈指数相关关系(图4)(拟合方程为: $y=1.163e^{2.6384x}$, $R^2=0.5908$),拟合程度好,说明通达性与土地流转量有很强的正相关关系。高通达性区,不仅对外交通便捷,有助于农产品商品化率的提升和内外要素资源(如资金、技术、市场等)的流动,而且拥有很好的耕作便捷性,便于农业生产的机械化和开展适度规模经营。在这类区域发展农业具有比较优势,农业生产的级差地租效应更易显现,即相同的农业投入可取得显著的农业生产收益,而且在市场规律作用下,扩大农业生产规模的动力较强,因此,这类区域土地流转更容易发生,且大多为拥有丰富要素资源的企业参与,由此进一步改善生产和流通条件,越发重视对通达性的改善。

相反地,低通达性地区则在对外交通连接与耕作便捷性方面均处于比较劣势,农业生产的商品化率、耕作便捷性和机械化率、适度规模经营、要素资源的引进等都在很大程度上因交通通达性差而受阻,在这种情况下,因扩大规模经营获得比较收益较小,从而导致这一区域的耕地流转率较低,甚至会出现部分陡坡耕地撂荒现象。今后,这类地区要提高土地流转率,优化土地资源配置,实现农业生产的适度规模经营,就必须提高该区对内和对外的通达性水平,合理规划骨干路网及与其相连的生产、生活通道。

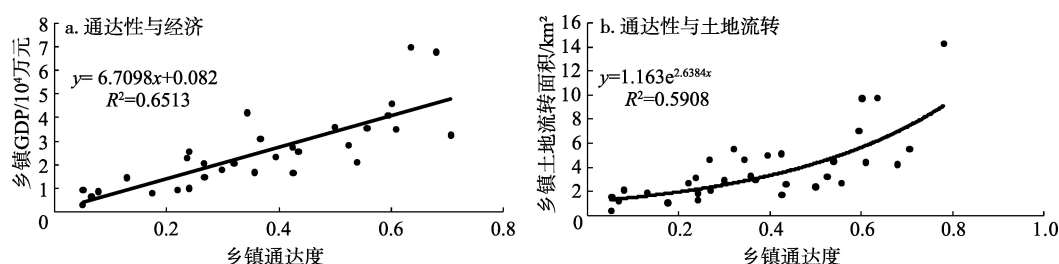


图4 研究区乡镇通达性与GDP和土地流转的关系

Fig.4 Relationship between rural transportation accessibility, GDP, and use right transfer of land in study area

4 结论与讨论

4.1 结论

本文将实际调研数据和高分辨率对地观测系统相结合,运用熵权-TOPSIS模型构建指标体系综合分析乡镇通达性。得出以下结论:①对比其他通达性计量模型,本文采用的模型更适合山区通达性研究。选取时间成本并加入地形因素作为衡量指标较以路网距离作为衡量指标分析区域通达性,在逻辑上更为严密,其结果更为客观、真实。②指标对交通通达性影响程度为:交通设施技术(C_4)>地形阻抗(C_5)>等效道路密度(C_2)>乡镇内部连通度(C_1)>与省干道衔接度(C_3)。通达性西部平坝区整体高于东部山区,交通设施虽提高了山区通达水平,但自然因素仍是制约山区通达性的重要因子。③石柱县通达性总体以南宾、悦崃、西沱中心城镇为极核向外围,从平缓区向地势陡峭区扩散递减,且交通主干线经过区通达性高,表现出一定的带状特征,形成“一环一轴”的分布格局。④乡镇通达水平与经济呈较高相关性,经济好的地方,通达性相对较高,二者之间有相互影响、相互制约的内在联系。⑤通达性提高有助于乡镇土地流转,缓解农村土地撂荒,提高资源要素流动,促进经济发展。

4.2 讨论

交通网络建设优化要充分考虑与社会经济发展、土地利用相结合。研究区高通达区人口聚集度高,经济发展快,土地流转多,因此,提高山区通达性对于山区转型发展有重要意义。在制定交通发展战略时,要综合考虑不同区域对交通可达性的需求程度和提高的“费用与效果”可行性。

伴随奉石高速、高速铁路等“四高一铁”工程完工,以生态资源为载体的生态旅游发展面临重大机遇。目前,“大黄水旅游圈”发展规划正逐步实施:重点构建以南宾—沙子—冷水—黄水—悦崃—鱼池—大歇—南宾的“一圈”状旅游环线,以彰显土家民族特色的河嘴—临溪—王家—鱼池—悦崃—龙沙—大歇—中心城区—六塘—龙潭—马武旅游廊道,形成“一环一轴”交通发展模式,将样区打造成渝东南最具有民族特色的生态旅游县。根据现有交通通达格局(图2),研究区中部“边缘化”区桥头、三益、中益等乡镇通达性差,严重制约当地经济发展,为开发其丰富的自然景观资源,建议打通中益与黄水间的通道,发展“双环双轴”模式,完善骨干交通网络,构建完整交通骨架和脊梁,提高七曜山

腹地通达度,增加当地居民的创收途径。

从通达水平而言,对于高通达区,实施点—轴模式的非均衡空间发展战略,继续加强对外连通度,发挥城镇中心极核作用,实现高通达高经济的良性循环。对于地形平缓的较高、中通达区,应进一步增强骨干交通路网的联通程度,修建完善农村路网,硬化村土(碎石)路,提高农村公路质量,将现有树状分支模式村路发展成神经网络模式,同时要加快土地流转,实行规模化经营,提高土地利用效率,促进山区现代农业发展。对于通达性差的偏远区,地理环境约束显著,经济发展滞后,人口也相对稀少,耕地利用率不高,基于成本角度,在这些区域投入过多交通建设力度会造成资源浪费,但为满足人们生产、生活需求和提供方便的出行条件,应加强乡镇内部乡镇中心到各村村路的硬化。对于人烟稀少的地区,则应考虑与山区移民政策相结合,不再兴建区域交通设施,以免造成资源浪费和对生态环境的破坏。

本文仍有部分内容需完善:第一,由于数据来源有限,仅对单时段数据进行分析,缺少时间上的连续性;第二,依据交通本身构建的通达性指标体系,可在一定程度上揭示乡镇的通达程度,但忽视了乡镇人口的出行意愿而选择出行方向的能动性;第三,于交通技术而言,最终都服务于社会发展和人口迁移,因此本文对样区通达性和常住人口密度作了相关分析,发现二者相关关系不明显,但在调研过程发现有人口密度大,通达性高;人口密度大,通达性低;人口密度小,通达性高;人口密度小,通达性低4种模式。因此,通达性提高对人口迁移有何影响,每个乡镇的交通基础设施到底服务多少人口等现象的驱动机制还需今后进一步深入探讨。

参考文献(References)

- 曹小曙,薛德升,阎小培. 2005. 中国干线公路网络联结的城市通达性[J]. 地理学报, 60(6): 903-910. [Cao X S, Xue D S, Yan X P. 2005. A study on the urban accessibility of national trunk highway system in China[J]. Acta Geographica Sinica, 60(6): 903-910.]
- 曹小曙,阎小培. 2003. 经济发达地区交通网络演化对通达性空间格局的影响:以广东省东莞市为例[J]. 地理研究, 22(3): 305-312. [Cao X S, Yan X P. 2003. The impact of the evolution of land network on spatial structure of accessibility in the developed areas: The case of Dongguan City in Guangdong Province[J]. Geographical Research, 22(3): 305-312.]

- 陈静云. 2009. 区域综合交通网络通达性研究[D]. 北京: 北京交通大学. [Chen J Y. 2009. Study on regional comprehensive traffic network accessibility[D]. Beijing, China: Beijing Jiaotong University.]
- 陈少沛. 2013. 城市轨道交通网络通达性度量与空间特征分析: 以广州市为例[J]. 地理与地理信息科学, 29(3): 109-113. [Chen S P. 2003. Urban rail transit network accessibility measure and spatial characteristics analysis: A case study of Guangzhou[J]. Geography and Geo-Information Science, 29(3): 109-113.]
- 程钰, 刘雷, 任建兰, 等. 2013. 县域综合交通可达性与经济发展水平测度及空间格局研究: 对山东省91个县域的定量分析[J]. 地理科学, 33(9): 1058-1065. [Cheng Y, Liu L, Ren J L, et al. 2013. The measuring and spatial structure between comprehensive transportation accessibility and the level of economic development at county level: Case of 91 counties in Shandong Province[J]. Scientia Geographica Sinica, 33(9): 1058-1065.]
- 邓丽, 邵景安, 郭跃, 等. 2015. 基于改进的两步移动搜索法的山区医疗服务空间可达性: 以重庆市石柱县为例[J]. 地理科学进展, 34(6): 716-725. [Deng L, Shao J A, Guo Y, et al. 2015. Spatial accessibility of medical services in mountainous regions based on modified two-step floating catchment area method: A case study of Shizhu County, Chongqing[J]. Progress in Geography, 34(6): 716-725.]
- 段德忠, 刘承良. 2015. 基于城市腹地的乡镇通达性的时空格局及其演化: 以湖北荆州市112个乡镇为例[J]. 长江流域资源与环境, 24(4): 548-556. [Duan D Z, Liu C L. 2015. Spatial-temporal pattern and evolution of township accessibility based on city hinterland: A case study of 112 towns of Jingzhou City, Hubei Province[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 24(4): 548-556.]
- 封志明, 刘东, 杨艳昭. 2009. 中国交通通达度评价: 从分县到分省[J]. 地理研究, 28(2): 419-429. [Feng Z M, Liu D, Yang Y Z. 2009. Evaluation of transportation ability of China: From county to province level[J]. Geographical Research, 28(2): 419-429.]
- 郭丽娟, 王如渊. 2009. 四川盆地城市群主要城市通达性及空间联系强度研究[J]. 人文地理, 24(3): 42-48. [Guo L J, Wang R Y. 2009. Study on accessibility and spatial connecting among the cities in Sichuan Basin Urban Agglomeration[J]. Human Geography, 24(3): 42-48.]
- 黄晓燕, 曹小曙, 李涛. 2011. 海南省区域交通优势度与经济发展关系[J]. 地理研究, 30(6): 985-999. [Huang X Y, Cao X S, Li T. 2011. The relationship between regional transport superiority and regional economic performance in Hainan[J]. Geographical Research, 30(6): 985-999.]
- 蒋海兵, 张文忠, 祁毅, 等. 2013. 区域交通基础设施可达性研究进展[J]. 地理科学进展, 32(5): 807-817. [Jiang H B, Zhang W Z, Qi Y, et al. 2013. Research progress on accessibility to regional transportation infrastructure[J]. Progress in Geography, 32(5): 807-817.]
- 金凤君, 王成金, 李秀伟. 2008. 中国区域交通优势的甄别方法及应用分析[J]. 地理学报, 63(8): 787-798. [Jin F J, Wang C J, Li X W. 2008. Discrimination method and its application analysis of regional transport superiority[J]. Acta Geographica Sinica, 63(8): 787-798.]
- 李灿, 张凤荣, 朱泰峰, 等. 2013. 基于熵权TOPSIS模型的土地利用绩效评价及关联分析[J]. 农业工程学报, 29(5): 217-227. [Li C, Zhang F R, Zhu T F, et al. 2013. Evaluation and correlation analysis of land use performance based on entropy-weight TOPSIS method[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 29(5): 217-227.]
- 李九全. 2008. 陕西省城市竞争力及其通达性比较研究[J]. 地理科学, 28(4): 471-477. [Li J Q. 2008. A study of comparisons of urban competitiveness and accessibility in Shanxi Province[J]. Scientia Geographica Sinica, 28(4): 471-477.]
- 李沛权, 曹小曙. 2011. 广佛都市圈公路网络通达性及其空间格局[J]. 经济地理, 31(3): 371-378. [Li P Q, Cao X S. 2011. The road network accessibility and spatial pattern of Guangzhou-Foshan Metropolitan Area[J]. Economic Geography, 31(3): 371-378.]
- 刘承良, 余瑞林, 段德忠. 2014. 1989-2010年武汉城市圈县域通达性的空间演化及对称性[J]. 人文地理, 29(3): 69-75. [Liu C L, Yu R L, Duan D Z. 2014. The spatial evolution and symmetry of accessibility of intra-county in Wuhan Metropolitan Area based on road network from 1989 to 2010[J]. Human Geography, 29(3): 69-75.]
- 刘承良, 余瑞林, 熊剑平, 等. 2009. 武汉都市圈路网空间通达性分析[J]. 地理学报, 64(12): 1488-1498. [Liu C L, Yu R L, Xiong J P, et al. 2009. Spatial accessibility of road network in Wuhan Metropolitan Area[J]. Acta Geographica Sinica, 64(12): 1488-1498.]
- 刘传明, 曾菊新. 2011. 县域综合交通可达性测度及其与经济发展水平的关系: 对湖北省79个县域的定量分析[J]. 地理研究, 30(12): 2209-2221. [Liu C M, Zeng J X. 2011. The calculating method about the comprehensive transport accessibility and its correlation with economic development at county level: The statistical analysis of 79 counties in Hubei Province[J]. Geographical Research, 30(12): 2209-2221.]
- 刘望保, 周永杰. 2012. 基于干线公路和铁路网的中国省会城市的交通通达性研究[J]. 华南师范大学学报: 自然科学版, 44(1): 124-128. [Liu W B, Zhou Y J. 2012. A study of Chinese provincial cities' accessibility based on national trunk highway system and railway network[J]. Journal of South China Normal University: Natural Science Edition, 44(1): 124-128.]
- 梅志雄, 徐颂军, 欧阳军. 2013. 珠三角公路通达性演化及其对城市潜力的影响[J]. 地理科学, 33(5): 513-520. [Mei Z X, Xu S J, Ouyang J. 2013. Road network accessibility and its influence on city potential in Zhujiang River Delta[J]. Scientia Geographica Sinica, 33(5): 513-520.]
- 赵丽, 朱永明, 付梅臣, 等. 2012. 主成分分析法和熵值法在

- 农村居民点集约利用评价中的比较[J]. 农业工程学报, 28(7): 235-242. [Zhao L, Zhu Y M, Fu M C, et al. 2012. Comparative study on intensive use of rural residential land based on principal component analysis and entropy method[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 28(7): 235-242.]
- 朱兵, 张小雷, 桂东伟, 等. 2010. 新疆城镇发展与交通可达性相互影响[J]. 地理科学进展, 29(10): 1239-1248. [Zhu B, Zhang X L, Gui D W, et al. 2010. The relationship between urban development and transport accessibility in Xinjiang[J]. Progress in Geography, 29(10): 1239-1248.]
- Hansen W G. 1959. How accessibility shapes land use[J]. Journal of the American Institute of Planners, 25(2): 73-76.
- Holl A. 2004. Manufacturing location and impacts of road transport infrastructure: Empirical evidence from Spain[J]. Regional Science and Urban Economics, 34(3): 341-363.
- Johnston R J. 1994. Dictionary of human geography[M]. 3rd ed. Oxford, UK: Basil Blackwell.
- Linneker B, Spence N. 1996. Road transport infrastructure and regional economic development: The regional development effects of the M25 London orbital motorway[J]. Journal of Transport Geography, 4(2): 77-92.
- Moseley M J. 1979. Accessibility: The rural challenge[M]. London, UK: Methuen and Company Limited.
- Owen S H, Daskin M S. 1998. Strategic facility location: A review[J]. European Journal of Operational Research, 111(3): 423-447.
- Sasaki K, Ohashi T, Ando A. 1997. High-speed rail transit impact on regional systems: Does the Shinkansen contribute to dispersion[J]. The Annals of Regional Science, 31(1): 77-98.
- Wang Z B, Xu J G, Fang C L, et al. 2011. The study on county accessibility in China: Characteristics and effects on population agglomeration[J]. Journal of Geographical Sciences, 21(1): 18-34.

Rural transportation accessibility in mountainous areas based on the entropy-weight TOPSIS method:

A case study of Shizhu County, Chongqing Municipality

MA Xueying¹, SHAO Jing'an^{1,2*}, XU Xinliang³

(1. College of Geographical Science, Chongqing Normal University, Chongqing 400047, China; 2. Key Laboratory of Land Surface Process and Environment Remote Sensing, in the Three Gorges Reservoir Area, Chongqing 400047, China; 3. State Key Laboratory of Resources and Environmental Information System, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China)

Abstract: Transportation is one of the foundations to support economic and social development of a region, and accessibility is an important indicator of the level of development of transportation facilities. In this study, we used spatial and survey data to construct an indicator system that considers internal accessibility, external accessibility, and terrain impedance based on the entropy-weight TOPSIS method for Shizhu County, Chongqing Municipality. This study explores mountain transport accessibility condition and can provide some references for mountain transport planning. The results indicate that: (1) The degree of impact of accessibility indicators on regional comprehensive accessibility ranks as: transport facilities technology (C_4) > frictional impedance (C_5) > equivalent road density (C_2) > internal connectivity (C_1) > degree of connectivity with main roads (C_3). (2) The variation coefficient of closeness degree was 0.5410, indicating that the level of transport accessibility of towns in the study area was very different. (3) Accessibility decreased from the three core areas in Nanbin, Xituo, and Yue Lai. The spatial pattern of accessibility is high in the west and low in the east, with high accessibility areas mainly distributed in places of flat terrain, and low accessibility areas mainly distributed in mountainous areas. (4) The area of high accessibility forms a "double axes", which is closely associated with main roads. (5) The spatial distribution of transport accessibility is clearly correlated with economic development level and the total area of land use right transfer. The results can provide some theoretical and practical guidance for the regional coordinated development and transportation planning.

Key words: transportation accessibility; spatial variability; passing-blocking effect; entropy-weight TOPSIS method; the mountainous area; Shizhu County, Chongqing Municipality