

山区交通通达度测度模型与实证研究

刘斌涛¹, 陶和平¹, 刘邵权¹, 史 展^{1,2}, 郭仕利^{1,2}

(1. 中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所, 成都 610041; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘 要:交通发展滞后是制约山区发展的重要因素, 定量评估山区交通通达情况对认知山区交通空间格局和进行山区交通开发具有重要的现实意义。在综述国内外交通地理文献的基础上, 论文构建了以交通设施技术等级、距离交通枢纽的通行时间和交通线密度3个因子为核心的山区交通通达度测度模型, 并引入交通摩擦系数来提高山区交通通达度测算的精度。利用该模型对四川省凉山州各县市的交通通达度进行了测算, 结果表明凉山州交通通达情况总体较差, 其中较差和极差的县市有9个, 占全州国土面积的61.60%; 交通通达度理想和良好的县市仅有3个, 占全州国土面积的15.49%。凉山州的测算结果表明, 山区交通通达度模型结构合理, 测算精度高, 在我国广大山区具有一定的应用价值。

关 键 词:山区; 交通通达度; 交通摩擦系数; 凉山州

1 引言

交通通达性(也称为可达性)指一个地方能够从另外一个地方到达的难易程度^[1]。交通通达性反映了区域其他有关地区相接触进行社会经济和技术交流的机会及潜力^[2], 一个区域与其他邻接区域的通达性程度可以反映这一区域社会经济发达的程度, 通达性程度的高低也强烈地影响着这个区域的社会经济发展。在我国广大的高山地区, 由于受地形地貌等自然条件的限制, 交通发展非常落后。交通已经成为制约山区社会经济发展和农牧民脱贫致富的关键性因素, 并威胁着山区的资源环境安全与可持续发展。定量评估山区交通通达性是一个亟待解决的科学问题。

根据国内外学者的各自研究兴趣、研究对象和所获取的数据类型等情况, 主要发展了3种交通通达性测度方法^[3], 它们分别是基于空间阻隔的通达性测度方法、基于机会累计的通达性测度方法和基于引力模型的通达性测度方法。

基于空间阻隔的交通通达性测算方法只考虑不同区域之间以交通网络连接的空间阻隔程度(空间距离), 阻隔程度越低, 可达性越好^[3-4]。空间阻隔程度可以使用长度和时间两种标准进行衡量。

1971年, Ingram最先提出了相对可达性(relative accessibility)和综合可达性(integral accessibility)的概念, 并给出了具体的计算公式^[5]。Allen等^[6]于1993年提出了交通网络平均可达性的计算公式, 进一步改进了Ingram的计算模型。Muraco^[7]、Mackiewicz等^[8]分析认为交通通达性不仅与两地区之间的最短距离有关, 而且还要考虑两地区之间连通的交通线条数和空间布局等因素。该方法在实际工作中得到了最广泛的应用。我国学者利用该模型分别对公路^[9-13]、铁路^[14-15]及都市圈^[16-18]交通通达性进行了广泛的应用研究。

基于机会累积的交通通达度测度方法着重研究城市接近发展机会的难易程度, 指居民从住地出发, 利用某一种交通方式, 在一定出行时间范围内能够到达的工作地数量及工作机会数量^[3, 19]。该度量方法并不考虑距离衰减效应, 随着设定的出行时间或出行距离的增加, 计算所得的通达性增加^[1]。

引力模型(或称为重力模型、潜能模型等)将自然阻隔与各个地理实体的社会经济属性结合起来衡量通达性^[1]。引力模型借用了物理学中的万有引力定律, 认为城市、商场、医院等地理实体的空间效应随距离增加而衰减。引用引力模型进行公共基础设施空间布局和优化配置研究取得众多成功的研究实例^[20-21]。

收稿日期: 2010-10; 修订日期: 2011-02.

基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-YW-333, KZCXZ-EW-317)。

作者简介: 刘斌涛(1984-), 男, 硕士, 助理研究员, 主要从事空间数据挖掘、山区资源环境安全与风险调控、虚拟山地环境建模与仿真等方面的研究工作。E-mail: lbt609@163.com

不同的通达性度量方法往往与交通通达性的不同理解方式相对应,笼统区分上述模型孰优孰劣并无实际意义。然而,对于山区这种特殊地域而言,直接套用上述模型进行交通通达性测算是不合适的,这突出表现在以下方面:①山区交通普遍很差,基于空间阻隔模型,构造距离矩阵测算的通达性结果往往与主观的感觉不一致;②在较大尺度上进行交通通达性测算时仅考虑一个或主要几个点的通达性来代替面的通达性是不科学的,比如以县为单元进行交通通达性评估时,就不能使用县城的通达性替代全县的通达性;③山区的交通线往往在狭长的高山峡谷地带穿行,容易受到地震、洪水、泥石流、滑坡等自然灾害破坏而中断,因此山区交通通达性测度必须考虑交通脆弱性因素。

2 山区交通通达度测度模型

2.1 测度模型

通过上文分析,作者认为山区交通通达度测算的基本思路为:山区某一点周边所有交通枢纽到达该点的综合难易程度即为该点的交通通达度,该点所在行政区的交通通达度还需要考虑该行政区域的交通线密度。该思路包含两方面含义,一是山区交通通达性由通行时间决定,这里面包含交通线长度和交通线质量等因素;一是山区交通通达性由交通枢纽的交通设施技术等级与评价区域的交通设施技术等级共同决定,交通设施技术等级越高,比如拥有机场、铁路或高速公路等,其交通通达性越好。

设交通枢纽的交通设计技术等级为 γ_i ,某一点到该交通枢纽的最短通行时间为 T_i ,那么参考引力模型直接给出该点的交通通达度 A 一般表达式为:

$$A = \sum_{i=1}^N \gamma_i \frac{1}{e^{\alpha \cdot T_i}} \tag{1}$$

式中: α 为衰减调节系数,为避免 γ_i 递减过快,并根据我国山区的实际情况, α 取 0.15~0.35 较为合适(山区两个相邻县的通达时间为 3 小时左右,考虑 3 小时后 γ_i 衰减到 0.5, 10 小时衰减到 0.1 左右)。通行时间 T_i 可以根据高速公路、国道、省道、县道的长度计算。根据山区实际情况,将高速公路时速设为 100 km/h(平原区)、85 km/h(丘陵区)和 70 km/h(高山峡谷区),国道、省道和县道的时速标准见表 1。

我国多数山区同时是山洪、泥石流、崩塌滑坡

等自然灾害的高危险区,交通设施受自然灾害破坏的现象时有发生。因此山区交通通达性还必须考虑交通设施的脆弱性。引入交通摩擦系数表示山区交通的脆弱性程度。设交通摩擦系数为 ϕ_i ,那么式(1)改进为:

$$A = \sum_{i=1}^N \gamma_i \frac{1}{\phi_i e^{\alpha \cdot T_i}} \tag{2}$$

交通通达性往往以市级行政单元、县级行政单元或乡镇行政单元为评价单元进行评价。要合理描述一个行政区域的交通通达情况还必须考虑行政单元内的交通通达情况。行政区内的交通通达性可使用被评价行政区的交通设施技术等级和公路网密度来描述。设一个单元的交通设施技术等级为 γ_0 ,公路网密度为 L ,那么可将式(2)改进为:

$$A = k \cdot L \cdot \left(\sum_{i=1}^N \gamma_i \frac{1}{\phi_i e^{\alpha \cdot T_i}} + \gamma_0 \right) \tag{3}$$

式中: k 为提高模型通用性而设置的调节系数,一般可以取 0.8。

设 η_i 为交通枢纽到评价地点的通达衰减指数,直接给出其计算公式如下:

$$\eta_i = \frac{1}{\phi_i \cdot e^{\alpha \cdot T_i}} \tag{4}$$

设 γ 为交通枢纽交通设施技术等级衰减与评价单元交通设施技术等级之和,直接给出其计算公式如下:

$$\gamma = \sum_{i=1}^N \gamma_i \eta_i + \gamma_0 \tag{5}$$

将式(5)带入式(3)便得到山区交通通达度的一般形式:

$$A = k \cdot L \cdot \gamma \tag{6}$$

由式(6)可以看出,山区交通优势度由交通枢纽与评价单元的交通设施技术等级、评价单元内的交通线密度和交通枢纽到评价单元以最短通行时间

表 1 等效国道长度换算建议表
Tab.1 Conversion table of the equivalent length of national highway

交通线类型	地貌类型	时速 /km/h	实际长度/km	等效国道长度/km
国道	平原	80	1	1.0000
	丘陵	60	1	0.7500
	高山峡谷区	40	1	0.5000
省道	平原	50	1	0.6250
	丘陵	40	1	0.5000
	高山峡谷区	30	1	0.3750
县道	平原	30	1	0.3750
	丘陵	20	1	0.2500
	高山峡谷区	10	1	0.1250
乡村公路	平原	20	1	0.2500
	丘陵	10	1	0.1250
	高山峡谷区	5	1	0.0625

表征的通达衰减指数决定。

2.2 公路网密度

表征公路网密度的主要指标有公路密度、等级公路密度等。由于不同等级公路的通行能力是不相同的,因此本文引入等效国道密度来计算公路网密度。设某行政区内所有公路的等效国道长度为 L ,行政区国土总面积为 A ,那么等效国道密度 S 计算公式为:

$$S=\frac{L}{A}$$

(7)

参照表1中给出的换算标准,确定各等级公路的等效国道长度及等效国道密度。

交通线密度参数在计算时,可以使用GIS软件统计每一个县级行政单元中的国道、省道、县道和乡村公路的长度,然后利用表1中推荐的等效国道长度换算关系计算该县级行政单元总的等效国道长度,最后完成交通线密度计算。

2.3 交通设施技术等级

地区性交通枢纽界定原则根据交通通达度评价的尺度不同而有所区别。对于以县级单元进行的交通通达度评价,地区性交通枢纽选择为该评价县域单元周边对其有影响的地级市。交通枢纽的交通设施技术等级要依据交通设施的技术—经济特征,采用分类赋值的方法确定,拥有多种交通设施可以累积计算。具体赋值方法见表2。

2.4 交通摩擦系数

交通摩擦系数是表征交通畅通能力的一个重要参数。交通摩擦系数与交通脆弱性程度、是否堵车等因素有关。山区的交通线容易遭受山洪、泥石流、滑坡等灾害的侵袭。5·12汶川地震、甘肃舟曲特大山洪泥石流灾害等都曾因道路中断而使城镇等地方成为“孤岛”,严重影响抢险救灾工作和人民的生产生活。鉴于以上考虑,山区交通摩擦系数主要考虑交通脆弱性情况,采用分级赋值的方法确定。具体赋值方法见表3。如果在计算地质灾害极高危险区或高海拔地区(如汶川地震灾区、青藏高原等)的交通通达度时,交通摩擦系数可按照表3中推荐的数值适当调高,以更加符合当地实际情况。

土面积6.01万km²,总人口374.5万人^[22]。凉山州地处青藏高原东缘,金沙江、大渡河分别在南、北两侧流过,雅砻江、安宁河贯穿其中,地形非常复杂,地质灾害分布广且发生频率高。州内主要交通设施包括108国道、西攀高速(西昌—攀枝花)、成昆铁路、西昌青山机场等。截至2008年,全州实现等级公路通车里程5491 km^[22],但公路网密度仅有0.09 km/km²,木里、布拖、金阳等县只有低等级的省道或县道进入,交通通达状况较差。

3.2 数据来源与处理

本研究使用的行政区划、公路、铁路数据来自1:25万电子地形图;高速公路、机场数据来自《中国公路交通地图集》^[23]。

在进行凉山州交通通达度计算之前,所进行数据预处理工作包括:①以1:25万地形图为准,对凉山州及周边的城市的交通地图进行校正、矢量

表2 交通设施技术等级赋值建议表

Tabl.2 Technical grades of transport facilities			
类型	子类型	技术标准	赋值
公路	高速公路	设计时速为80~120km/h的高等级公路	1.5
	国道	公路等级为二等~三等	1.0
	省道	公路等级一般为四等	0.5
	县道	等外公路	0.1
铁路	高速铁路	时速超过300km/h的高速铁路	2.5
	客运专线	开通动车组的铁路	2.0
	一般铁路	一般性的具有客货两用的铁路	1.0
航空	国际机场	开通众多航线的国际、国内航线的机场	2.0
	干线机场	开通5条以上航线的地区性机场	1.0
	支线机场	开通5条航线以下支线机场	0.5
水运	主枢纽港	具有远洋航运能力的港口	2.5
	枢纽港	具有集装箱码头的港口,但不具备远洋航运能力	1.0
	一般港口	不具备集装箱货运能力的小型港口	0.5

表3 交通摩擦系数赋值建议表

Tabl.3 Traffic friction coefficients		
交通脆弱性等级	分级说明	赋值
I级脆弱性	平原区	1.0
II级脆弱性	丘陵区	1.5
III级脆弱性	高山峡谷区	2.0

3 实证分析

3.1 研究区概况

凉山彝族自治州位于四川省西南部(图1),是我国最大的彝族聚居区。全州下辖17个县市,国

图1 凉山州地理位置图

Fig.1 Location map of Liangshan region

化,建立交通数据库;②统计凉山州每一个县市到周边交通枢纽(成都、重庆、昆明、贵阳、西昌、攀枝花、宜宾、眉山、乐山、雅安、昭通等11个相关中心城市)最便捷交通路线的通行距离;③统计每一个县市的公路通车里程和交通设施技术等级以及交通枢纽的交通设施技术等级;④计算交通枢纽到达凉山州每一个县市的交通衰减指数,计算时交衰减调节系数 α 取0.21。

3.3 结果与分析

通过对凉山州及其周边地区的交通数据统计分析,利用式(6)计算了各个县市的交通通达度(表4)。使用表4中计算的凉山州各县市交通通达度数据,在ArcGIS 9.2软件支持下,分别制作了凉山州公路网密度分级图(图2)和凉山州交通通达度评价图(图3)。

通过对表4以及图2、3的分析,可以发现凉山州交通通达度具有如下特征:

(1) 凉山州交通通达度总体处于较差的水平。全州公路网密度平均为4.86 km/100km²,交通设施技术等级平均为2.75,交通通达度平均为15.20,分别为相邻区域的攀枝花的68.50%、48.18%和30.21%,仅为东边相邻的宜宾市的43.68%、33.53%和17.52%。交通通达度较差和极差的县市有9个,占全州国土面积的61.60%;交通通达度理想和良好的县市仅有3个,占全州国土面积的15.49%。

(2) 凉山州交通通达度具有明显的地带性分布特征,呈现沿主干交通线带状分布、绕中心城市点

一环状分布和在地貌类型急变区域出现陡变的空间分布规律。交通通达度高的县市主要分布在安宁河谷、G108和成昆铁路沿线以及西昌、攀枝花等交通枢纽周边。交通通达度差的县除分布在西北部的高山地区外,沿金沙江与大小凉山地区集中分布,呈现出明显地集聚性特征。这种地带性分布规律主要是由地形条件决定的,一方面地形条件决定了公路网密度,地形越平坦,地势开阔,公路网密度大,交通通达度高;另一方面,地形条件决定了通达该区域的交通设施质量,从而影响了其自身的交通设施技术等级以及到达其他中心城市的通行时间。

(3) 交通通达度与经济发展水平具有明显的正

表4 凉山州交通通达度数据表

Tab.4 Data of transportation accessibility for the

Liangshan region

县市名	交通设施技术等级	公路网密度 (/km/100km ²)	交通通达度
西昌	11.62	6.45	74.89
木里	0.62	3.05	1.90
盐源	1.13	4.88	5.54
德昌	7.88	5.48	43.19
会理	2.79	5.73	16.00
会东	0.73	5.17	3.76
宁南	0.90	6.71	6.00
普格	1.33	5.73	7.64
布拖	0.56	4.75	2.66
金阳	1.09	5.31	5.78
昭觉	1.53	6.72	10.28
喜德	3.31	4.66	15.41
冕宁	7.68	4.67	35.87
越西	1.85	5.56	10.29
甘洛	2.01	4.67	9.38
美姑	1.02	5.37	5.47
雷波	0.77	5.51	4.27

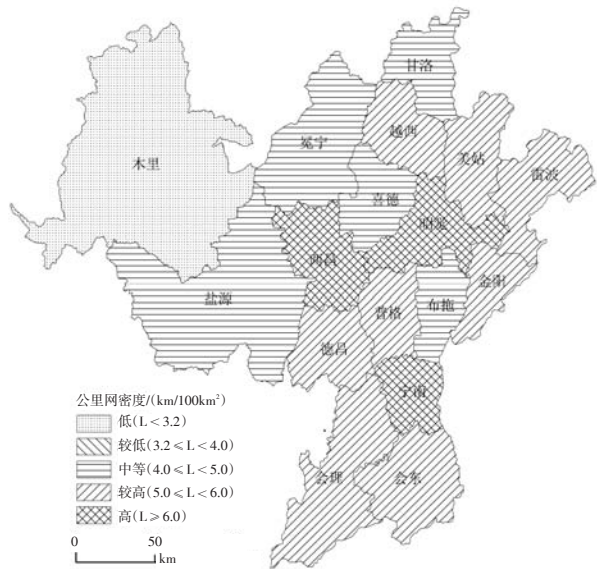


图2 凉山州公路网密度分级图

Fig.2 Classification map of road density

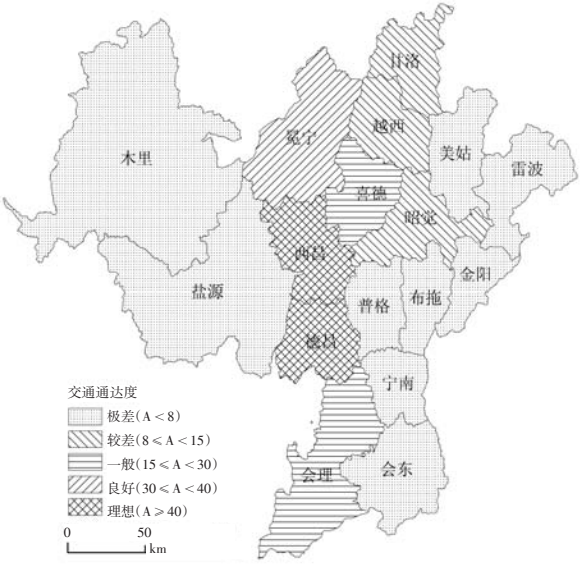


图3 凉山州交通通达度图

Fig.3 Classification map of transportation accessibility

相关性关系。使用交通通达度与GDP进行回归分析表明,二者符合 $GDP=1.3936A+11.827$ 的关系(图4),相关系数达到0.5193。这从一个侧面说明了交通通达度对山区经济发展的影响程度。山区交通发展滞后不仅严重影响了山区与外界进行经济交流的机会,而且也使得其社会与文化发展落后,而社会与文化层次落后又进一步加剧了山区贫困的程度^[24]。

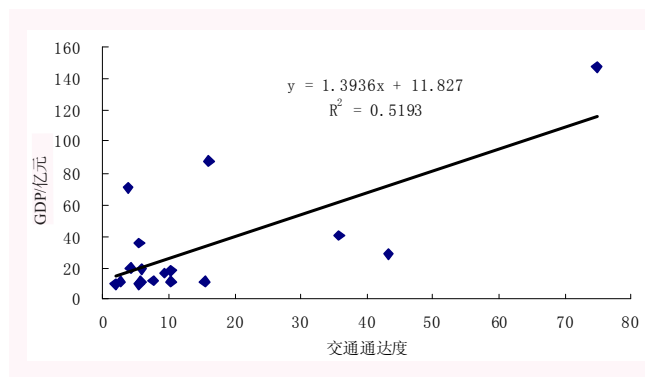


图4 交通通达度与GDP的关系

Fig.4 Relationship between transportation accessibility and GDP

4 结论

论文基于GIS空间分析工具,建立了适合山区复杂地形条件和较差交通状况情况下的山区交通通达度定量测算模型,并以四川省凉山彝族自治州研究区开展西南典型山区交通通达度评价,主要研究结论如下:

(1) 从山区交通通达性的决定因素出发,构建了以交通设施技术等级、到交通枢纽的通行时间和公路网密度三个因子为核心的山区交通通达度测度模型,并引入表征交通脆弱性的交通摩擦系数来改善山区交通通达度测算的可靠性。

(2) 对凉山州各县市交通通达度测算结果表明凉山州各县市交通通达度差距非常大,全州交通通达度以一般、较差和极差为主。交通通达度较差和极差的县市有9个,占全州国土面积的61.60%;交通通达度理想和较好的县市仅有3个,占全州国土面积的15.49%。

(3) 通过对凉山州交通通达度评价图的分析发现,交通通达度呈现沿主干交通线带状分布、绕中心城市点一环状分布和在地貌类型急变区域出现陡变的空间分布规律。交通通达度与经济发展水平存在明显的正相关关系,这从一个侧面说明二者之间相互影响、相互制约的内在联系。这对认知山

区交通空间格局和进行山区交通开发具有重要的参考价值。

参考文献

- [1] 杨家文,周一星. 通达性: 概念、度量及应用. 地理学与国土研究, 1999, 15(2): 61-66.
- [2] 李平华, 陆玉麒. 可达性研究的回顾与展望. 地理科学进展, 2005, 24(3): 69-78.
- [3] 刘贤腾. 空间可达性研究综述. 城市交通, 2007, 5(6): 36-43.
- [4] Pooler J A. The use of spatial separation in the measurement of transportation accessibility. Transportation Research A, 1995, 29(6): 421-427.
- [5] Ingram D R. The concept of accessibility: A search for an operational form. Regional Studies, 1971, 5(2): 101-107.
- [6] Allen W B, Liu D, Singer S. Accessibility measures of U. S. metropolitan areas. Transportation Research B, 1993, 27(6): 439-449.
- [7] 陈翔, 李强, 王运静, 等. 临界簇模型及其在地面公交线网可达性评价中的应用. 地理学报, 2009, 64(6): 693-700.
- [8] Mackiewicz A, Ratajczak W. Towards a new definition of topological accessibility. Transportation Research B, 1996, 30(1): 47-79.
- [9] 曹小曙, 薛德升, 阎小培. 中国干线公路网络联结的城市通达性. 地理学报, 2005, 60(6): 903-910.
- [10] 徐旭, 曹小曙, 阎小培. 不同指标下的穗港城市走廊潜在通达性及其空间格局. 地理研究, 2007, 26(1): 179-186.
- [11] 刘俊, 陆玉麒. 江苏省公路交通网络可达性评价研究. 南京师大学报: 自然科学版, 2008, 31(3): 129-134.
- [12] 吴威, 曹有挥, 梁双波. 20世纪80年代以来长三角地区综合交通可达性的时空演化. 地理科学进展, 2010, 29(5): 619-626.
- [13] 张莉, 陆玉麒. 基于陆地交通网的区域可达性评价: 以长江三角洲为例. 地理学报, 2006, 61(12): 1235-1246.
- [14] 金凤君, 王娇娥. 20世纪中国铁路网扩展及其空间通达性. 地理学报, 2004, 59(2): 293-302.
- [15] 孟德友, 范况生, 陆玉麒, 等. 铁路客运提速前后省际可达性及空间格局分析. 地理科学进展, 2010, 29(6): 709-715.
- [16] 刘承良, 余瑞林, 熊剑平, 等. 武汉都市圈路网空间通达性分析. 地理学报, 2009, 64(12): 1488-1498.
- [17] 刘承良, 丁明军, 张贞冰, 等. 武汉都市圈城际联系通达性的测度与分析. 地理科学进展, 2007, 26(6): 96-108.
- [18] 周凯. 长江三角洲高速公路网通达性与城镇空间结构发展. 地理科学进展, 2010, 29(2): 241-248.

[19] Wachs M, Kumagai T G. Physical accessibility as a social indicator. *Socio-Economic Planning Sciences*, 1973, 7 (5): 437-456

[20] 宋正娜, 陈雯. 基于潜能模型的医疗设施空间可达性评价方法. *地理科学进展*, 2009, 28(6): 848-854.

[21] 宋正娜, 陈雯, 车前进, 等. 基于改进潜能模型的就医空间可达性度量 and 缺医地区判断: 以江苏省如东县为例. *地理科学进展*, 2010, 30(2): 213-219.

[22] 四川省统计局. 2008 四川统计年鉴. 北京: 中国统计出版社, 2008: 325-331.

[23] 星球地图出版社. 中国公路交通地图集. 北京: 星球地图出版社, 2010: 128-133.

[24] 郭佩霞. 凉山彝区政府反贫困研究. 北京: 经济科学出版社, 2008: 214-218.

Transportation Accessibility Evaluation Model
for Mountainous Areas and Its Application

LIU Bintao¹, TAO Heping¹, LIU Shaoquan¹, SHI Zhan^{1,2}, GUO Shili^{1,2}

(1. Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China;
2. Graduate University of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: The delayed development of transport is an important factor restricting the development of mountain areas. Quantitative assessment of transportation accessibility in mountainous areas is significant for understanding the transport spatial patterns and the development of transport in the future. This paper develops a transportation accessibility evaluation model for mountainous areas using three core factors. They are technical grades of transport facilities, time distance between the evaluation area and the central city and road density of the evaluation area. It also uses an index which is named traffic friction coefficient to improve the accuracy of transportation accessibility assessment in mountainous areas. Taking Liangshan region of Sichuan Province as an example, the transportation accessibility was computed by the model. The results show that the area with poor transportation accessibility and very poor transportation accessibility in Liangshan area occupies 61.60% of the total land area, and the area with better spatial accessibility and satisfactory transportation accessibility in Liangshan occupies only 15.49% of the total land area. The result also proves that the model developed in this paper has a high accuracy and it is valuable for the mountainous areas of China.

Key words: mountain area; transportation accessibility; traffic friction coefficient; Liangshan region

本文引用格式:

刘斌涛, 陶和平, 刘邵权, 等. 山区交通通达度测度模型与实证研究. *地理科学进展*, 2011, 30(6): 733-738.