

· 人文交通 ·

基于GIS的陆路交通可达性空间测度与评价

黄承锋, 田少斌, 郑淑心

(重庆交通大学, 重庆 400074)

摘要:基于GIS空间分析法和网络分析法,以成渝地区双城经济圈进行实证研究,定量研究区域陆路交通网络可达性,采用引力模型、潜力模型,定量测度和比较分析区域内城市空间作用强度、潜力值。结果表明:形成以成都、重庆为双核的优势区域,以成渝主轴向南北两极逐渐升高的平均最短旅行时间的空间分布格局;核心城市对区域内其他城市辐射带动作用受区域位置、距离、道路通达性影响而存在较大差异;潜力值的分布具有明显的梯度特征。

关键词:GIS; 成渝地区双城经济圈; 交通可达性; 加权最短平均旅行时间; 城市空间

中图分类号:F542.8 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-0297(2022)04-0023-06

交通可达性指的是交通网络中两个节点之间交通的难易程度,反映各节点城市之间相互影响作用机会的大小^[1]。可达性的概念由美国学者 Hansen 于 1959 年提出,被广泛应用于交通规划、城市规划等方面^[2]。随着 GIS 技术日趋成熟,许多学者在研究交通可达性时通过地理信息系统空间分析功能,评价地理因素和距离度量对可达性的影响。当前对可达性的研究主体多为单一交通方式,公路^[3]、铁路^[4-5]、航空^[6]等。研究方法多采用以 GIS 空间技术法、网络分析与成本栅格加权集成法等方法为主的定量研究。国内学者蒋海兵等以时空变化的角度评价交通基础设施可达性的发展脉络,并以空间分析、网络分析等方法研究可达性地域效应,提出可达性评价方法的不足和处理对策^[7];吕尧基于 GIS 技术,分析长江中游城市群交通可达性,提出提高区域交通可达性及其均衡性的针对性措施^[8];罗金阁等研究粤港澳大湾区铁路交通可达性与旅游经济联系的空间关系,发现区域交通可达性的提高对旅游经济发展具有明显的成效^[9];更多的学者研究交通可达性的时空演化格局^[10]。整理研究现有相关文献后发现:目前对区域交通可达性的研究对象比较单一,多集中在单种交通方式上;未结合地区经济、人口、区位等要素;鲜有评价大范围区域特别是经济圈范围内的交通可达性。

本文拟基于 GIS 技术,实证研究成渝地区双城经济圈陆路交通系统(公路、铁路),结合区域内经济、人口等要素,分析区域内陆路交通可达性空间分布格局及差异。在此基础上,进一步探究各城市空间相互作用强度,全面分析影响区域空间相互作用的要素,并提出针对改善可达性的建议,以期对成渝地区双城经济圈陆路交通发展战略的制定及区域可达性的提高提供理论依据。

一、研究区域概况

成渝地区双城经济圈位于长江上游,地处四川盆地,东部与湖南、湖北相邻,西部与青海、西藏接

* 收稿日期:2021-09-20; 修订日期:2021-11-27

基金项目:重庆市教育委员会哲学社会科学重大理论研究阐释专项重大项目“重庆推进内陆开放高地建设研究”(19SKZDZX09)

作者简介:黄承锋,男,重庆交通大学经济与管理学院教授,博士,博士生导师;田少斌(通讯作者),男,重庆交通大学交通运输学院硕士研究生;郑淑心,女,重庆交通大学交通运输学院硕士研究生。

通,南部与云南、贵州相连,北部与陕西、甘肃接壤,是我国西部地区发展水平最高的城镇化区域。2021 年 10 月 20 日《成渝地区双城经济圈规划纲要》发布,其地理范围包括重庆市部分地区和四川省 15 个市(成都市、自贡市、泸州市、德阳市、绵阳市、遂宁市、内江市、乐山市、南充市、眉山市、宜宾市、广安市、达州市、雅安市、资阳市)全部或部分地区。由于部分区县统计数据口径不一或有缺失,本文选取原成渝城市群区域 16 个城市展开研究。截至 2019 年底,成渝地区双城经济圈内公路、铁路覆盖所有地市。

二、研究方法 with 数据来源

(一) 研究方法

1. 加权最短平均旅行时间法

本文采用平均最短旅行时间和加权最短平均旅行时间法来计算成渝双城经济圈各节点城市间的时间距离,以此反映各个城市节点间的交通可达性,公式为

$$\begin{cases} A_i = \sum_{j=1}^n (T_{ij} \times M_j) / \sum_{j=1}^n M_j \\ M_j = \sqrt{P_j E_j} \end{cases}, \quad (1)$$

式中: A_i 表示 i 城市加权最短平均旅行时间; T_{ij} 表示两节点城市间最短路程所对应的最短时长; M_j 表示节点城市的纳入能力和对外影响能力; P_i 表示各城市城镇人口; E_i 表示各城市国民生产总值; A_i 的值越小,表明 i 城市的可达性越好,反之,则说明 i 城市可达性越差。

综合平均加权旅行时间表示陆路交通网络可达性,公式为

$$IA_i = \sum A_{ix} \times R_x, \quad (2)$$

式中: IA_i 表示 i 城市的陆路交通网络加权最短平均旅行时间; A_{ix} 表示第 x 种交通方式的加权最短平均旅行时间; R_x 表示公路、铁路交通方式的权重,结合不同运输方式的客货运量,同时参考相关文献中的研究方法^[11-12],将公路和铁路权重分别设置为 0.56、0.44。

2. 城市空间引力模型

城市空间引力表示两个城市空间相互作用的强度,引力大小取决于两城市间相互作用的大小和城市最短时间距离。

$$I_{ij} = S_i S_j / d_{ij}^b, \quad (3)$$

式中, I_{ij} 表示两节点城市间的相互作用力, d_{ij}^b 表示两节点城市间最短路程所对应的最短时长, S_i 和 S_j 分别表示 i 、 j 城市的规模。城市距离摩擦指数 b 反映 i 、 j 城市间的交通机会和交通困难程度,在参考相关研究^[13-14]的基础上,本研究取 $b = 1$ 。

3. 潜力模型

城市间的潜力值表示空间上城市之间相互作用的潜力,计算公式为

$$I_i = \sum_{j=1}^n I_{ij} = \sum_{j=1}^n (S_i S_j / d_{ij}^b) + S_i S_j / d_{ij}^b, \quad (4)$$

式中, I_i 表示城市 i 的潜力值。

(二) 数据来源

本研究基于 GIS 平台,将成渝地区双城经济圈 16 个节点城市行政中心抽象为 16 个空间节点,利用路网的长度,分别测算成渝地区双城经济圈各节点城市之间的可达性。公路、铁路数据以国家地理信息处理中心 1:400 万中国道路矢量数据为基础,在 ArcGIS 中结合并匹配 Google 在线地图,数字化成渝地区双城经济圈内公路、铁路,提取道路网络要素类,再参照遥感影像及地形图进行修正。人口、GDP 等指标参考各市统计年鉴(2020)。

三、可达性计算

(一) 道路数据处理

鉴于研究区域内水路、航空运输所占比重较少,本文选取区域内公路、铁路两种交通方式进行可达性研究。根据《中华人民共和国工程技术标准》规定的标准速度,对各等级公路与铁路进行速度赋值,依托 GIS 平台 Network Analyst 功能,根据城市之间实际路网长度,计算各节点城市间最短时间距离矩阵。

(二) 指标体系确立权重

在计算加权最短平均旅行时间时,以各节点城市城镇人口数和 GDP 乘积 1/2 次方根作为权重来计算加权最短平均旅行时间,通达性的高低取决于人的移动性,即人的移动机会、移动能力和移动意愿^[15],以城镇人口作为权重参数,能更好地反映计算结果。在计算空间引力模型时,采用两点之间地表空间的直线距离作为节点间的距离来计算两节点之间的场强辐射,评价时会失去很多经济信息的相关影响作用,与实际出现偏差^[16]。本文借鉴其他学者的相关研究成果^[13-14],采用节点之间最短路径的旅行时间即最短时间距离,来衡量各个城市之间的距离,代入各个模型计算分析。

在量化各城市规模指标时,以往的研究多采用单一指标,为客观反映各节点城市的实力,参考 2020 年各节点城市统计年鉴,以地区生产总值,第二、三产业值,年末总人口数,城镇人口数,公路里程,高速等级公路里程,铁路里程等指标共同衡量城市规模。为统一指标,便于计算和分析,采用极差标准化法处理数据。公式如下

$$X'_{ij} = (X_{ij} - \min X_{ij}) / (\max X_{ij} - \min X_{ij}), \quad (5)$$

式中: X'_{ij} 为第 i 个城市第 j 个指标的标准化值,取值范围为 $[0-1]$; X_{ij} 为第 i 个城市第 j 个指标的原始值; $\min X_{ij}$ 为第 j 个评价指标所有样本中的最小值; $\max X_{ij}$ 为第 j 个评价指标所有样本中的最大值。

采用熵值法确立各指标权重,结果见表 1。熵值法具有很强的客观性且精度较高,可以降低指标赋权时主观因素的影响,能较好地反映评价指标对评价结果的影响,计算表达式为

$$R_{ij} = X_{ij} / \sum_{j=1}^n X_{ij}, \quad (6)$$

$$e_{ij} = -\ln(n)^{-1} \times \sum_{i=1}^n (R_{ij} \times \ln R_{ij}), \quad (7)$$

$$g_j = 1 - e_j, \quad (8)$$

$$W_j = g_j \sum_{j=1}^m g_j, \quad (9)$$

式中, R_{ij} 为第 j 项指标下第 i 个样本占该指标的比重, e_{ij} 为第 j 项指标的熵值, g_j 为第 j 项指标的差异系数, W_j 为第 j 项指标的权重系数。

引入综合评价模型测算城市规模,计算公式为

$$S = \sum_{j=1}^n X'_{ij} W_j, \quad (10)$$

式中, S 表示城市规模值, W_j 为各项指标所对应的权重。

(三) 模型计算结果

借助 Arcgis10.2 软件,在 Network Analyst 功能中选择新建 OD 成本矩阵,计算最短路径和最短时间距离矩阵。根据公式(1),计算最短加权平均旅行时间和综合加权最短旅行时间,结果见表 2;由公式(3)计算城市空间引力;由公式(4)计算得到城市潜力值,由公式(5)~(10)计算

表 1 城市规模各指标权重

指标	权重/%
建成区面积/平方公里	12.53
GDP/亿元	12.46
第二产业值/亿元	10.73
第三产业值/亿元	14.84
年末总人口数/万人	6.86
城镇人口数/万人	11.50
公路里程/万公里	12.42
高速等级公路里程/万公里	10.62
铁路里程/万公里	8.04

表 2 区域内公路、铁路及综合平均加权旅行时间
分钟

城市	铁路	公路	陆路综合
重庆	64.48	116.6	91.33
成都	62.21	126.5	95.68
自贡	203.51	136.57	163.29
泸州	96.79	150.66	123.94
德阳	90.84	160.78	126.79
绵阳	103.26	171.34	137.95
遂宁	90.5	124.04	106.80
内江	64.8	128	97.63
乐山	113.7	163.36	138.24
南充	100.14	136.66	117.85
眉山	103.35	153.96	128.61
宜宾	147.03	170.16	156.57
广安	112.68	141.06	125.75
达州	185.26	206.77	193.17
雅安	188.68	184.41	182.60
资阳	87.72	123.31	105.18

得到城市规模值,如表 3 所示。

表 3 各城市规模值和潜力值

城市	潜力值	规模值	城市	潜力值	规模值
重庆	59.60	100.00	乐山	5.37	4.35
成都	47.68	54.97	南充	13.03	9.65
自贡	4.75	3.15	眉山	5.24	3.17
泸州	9.80	7.09	宜宾	8.84	7.85
德阳	7.38	4.53	广安	6.00	3.59
绵阳	10.15	8.40	达州	7.11	7.76
遂宁	5.40	3.39	雅安	1.37	1.24
内江	6.36	4.01	资阳	2.86	1.60

四、结果分析与评价

(一) 交通可达性空间分析

陆路交通网络的发达程度决定各城市在空间上相互作用的深度和广度,通过表 2 总结分析成渝地区双城经济圈陆路交通可达性表现为以下特征:第一,铁路可达性较差的地区主要分布在成渝地区双城经济圈西南地区与东北地区,这是成渝地区双城经济圈各城市空间分布、铁路网络及其城市引力差异共同作用的结果。

第二,雅安和达州铁路平均最短旅行时间分别为 188.68 分钟、185.26 分钟,位于成渝地区双城经济圈边缘,铁路网密度较低,可达性最差。第三,铁路平均最短旅行时间节点较低区域广泛分布在成渝主轴线上,包括内江、资阳、遂宁、德阳,平均最短旅行时间集中在 87~91 分钟。第四,成都、重庆是成渝双城经济圈核心城市,也是西部地区重要的铁路枢纽,铁路网密度大,可达性最好,平均最短旅行时间在 65 分钟内。第五,公路可达性空间分布差异和铁路类似,从成渝主轴向南北两翼的公路加权最短平均旅行时间依次升高,位于成渝地区双城经济圈南北边缘地区的公路平均加权最短旅行时间范围在 155~207 分钟,公路可达性最差。第六,遂宁、内江、资阳是公路平均最短加权旅行时间最低区域,可达性时间范围为 117~128 分钟,地处成渝主轴上,受到重庆、成都的空间引力最大,城市发展迅速,公路交通网密集,可达性较好。

总体上形成以重庆、成都为中心的核心优势区域,以成渝主轴向南北两极逐渐降低的可达性空间分布格局,具有明显的梯度特征。根据可达性空间分布格局,可以将成渝地区双城经济圈主要城市大致分为 3 个圈层,位于成渝主轴上的重庆、成都、内江三市为核心圈层,综合平均加权旅行时间范围在 91.33~97.63 分钟,陆路交通网络最发达,可达性最好。内江市位于成渝主轴中部,位置优越,处在成渝两地交通节点上,内有高速、高铁贯穿,陆路交通网络发达。德阳、眉山、资阳、遂宁、南充、广安 6 个城市的综合平均加权旅行时间范围在 105.18~128.61 分钟,为可达性一般的地区,属于第二圈层。这些城市或紧邻成都、重庆,或在成渝主轴南北两翼,虽然位置不优越,却是重庆和成都向西、向南、向北对外运输通道的必经之地,铁路公路网密度较大,可达性较好。自贡、绵阳、乐山、宜宾、达州、雅安 6 个城市的综合平均加权旅行时间超过 130 分钟,属于第三圈层,是可达性较差地区,其中达州市的可达性值最高,综合加权平均旅行时间为 193.17 分钟,贯穿成渝、达州只有两条铁路干线,公路网密度较低,交通网络欠发达。研究发现,地理区位优势对交通可达性有重要影响,位于边缘地区的城市的可达性高于中心地区,区域内交通网络的连通性也是影响区域交通可达性的重要因素。

可达性的高低还受人们出行机会、意愿、能力的影响。一个城市的可达性不仅与区位空间因素及交通设施有关,还与各城市的经济总量和人口数量有关。研究发现,重庆、成都较其他相邻城市的值小,说明人口的流动和城市之间的经济引力对可达性的提升具有促进作用。处在成渝主轴上的城市遂宁、资阳、内江,受重庆和成都之间对外频繁的人口、贸易往来影响,可达性呈现明显下降的趋势。反观处在可达性第三圈层的城市自贡、德阳两市,属于交通网络不发达的区域,城市间人口流动性差,可达性有所上升。说明可达性水平的高低与区域经贸发展、人口流动性相互作用。

(二) 引力模型与潜力模型评价

陆路交通网络是成渝地区双城经济圈各城市及其附属信息的主要传输媒介,交通可达性可以反映各城市节点间相互作用和联系的紧密性及便捷程度。成渝地区双城经济圈各城市之间的引力矩阵(图略)显示,成渝地区双城经济圈各城市空间作用最强的是重庆和成都,说明二者在区域经济的相互交流

联系最发达。其中:重庆对北部城市南充、广安、达州,南部城市自贡、宜宾、泸州的空间引力较强,对西部城市的空间引力较弱;成都对北部城市德阳、绵阳的空间引力较强,对南部和东部城市的空间引力较弱;城市空间引力表现出以重庆、成都为核心向四周逐渐减弱的趋势;边缘城市达州、雅安对其他城市的空间引力最小,且呈现从南北向成渝主轴逐渐增强的趋势。这说明城市地理区位优势 and 交通网络的连通性对城市空间相互引力产生重要影响。

通过表 3,可将成渝地区双城经济圈各城市潜力值分为三个等级:第一等级是成都和重庆,潜力值分别为 59.60 和 47.68,重庆和成都是最核心城市,在对外联系和辐射周边方面有着举足轻重的作用;第二等级是德阳、绵阳、南充、达州、宜宾、泸州 6 个城市,潜力值范围在 7.11 ~ 13.03,集中在北部与南部,是受成都、重庆辐射较大的地区;第三等级城市潜力值低于 7.11,分布在西部边缘地区,自身交通网络整体连通性不高,很难与其他城市相互辐射。

五、结语

本文利用 ArcGIS 空间分析和网络分析法,定量评价成渝地区双城经济圈陆路交通网络可达性,采用引力和潜力模型,定量测度和比较分析成渝地区双城经济圈区域内 16 个城市空间引力及潜力值。第一,可达性分析结果表明,成渝地区双城经济圈陆路交通可达性空间格局呈现向成渝主轴东西两侧逐渐递减的圈层式空间格局,以成渝主轴向南北两极逐渐升高的平均最短旅行时间的空间分布格局,具有明显的梯度特征。第二,引力模型计算结果表明,区域整体上形成以成都、重庆为核心的辐射带动中心,对区域内其他城市辐射带动作用受区域位置、交通距离和道路通达性影响而存在较大差异。第三,潜力值的分布趋势大致以核心城市成都、重庆为中心,向四周逐渐减少。

综上所述,从区域一体化的角度分析,成渝地区双城经济圈陆路交通可达性整体发展水平较高,成渝主轴及邻近城市可达性水平优于外围地区,但不同城市之间仍存在差异。区域内公路网络较完善,中部地区公路网密集,可达性差异较小。东北部地区公路网密度较低,应加强东北部高速、国道等公路交通干线的建设,提升整体可达性。铁路交通可达性受主要干线的影响较大,东部和西部边缘地区受限于铁路密度低,可达性较差。因此,要提高区域整体可达性,关键在于加强外围地区高速铁路与动车组列车的建设,使城市之间的联系更加密切。

参考文献:

- [1] 李平华,陆玉麒.可达性研究的回顾与展望[J].地理科学进展,2005,24(3):69-78.
- [2] 陈波.新形势下对珠三角城际轨道交通网发展的思考[J].都市快轨交通,2018,31(4):58-62.
- [3] LINNEKERI B, SPENCE N. Road transport infrastructure and regional economic development: the regional development effects of the M25 London orbital motorway[J]. Journal of transport geography, 1996,4(2):77-92.
- [4] 罗鹏飞,徐逸伦,张楠楠.高速铁路对区域可达性的影响研究:以沪宁地区为例[J].经济地理,2004,24(3):407-411.
- [5] GOETZ A R. Air passenger transportation and growth in the US urban system, 1950-1987[J]. Growth and change, 1992,23(2):218-242.
- [6] MATSUMOTO H. International urban systems and air passenger and cargo flows some calculation[J]. Journal of transport geography, 1996,4(2):77-92.
- [7] 蒋海兵,张文忠,祁毅,等.区域交通基础设施可达性研究进展[J].地理科学进展,2013,32(5):807-817.
- [8] 吕尧.基于 GIS 的长江中游城市群交通可达性研究[J].城市勘测,2020,35(5):36-40.

- [9] 罗金阁,张博,刘嗣明. 粤港澳大湾区交通可达性与旅游经济联系空间关系[J]. 经济地理,2020,40(10):213-220.
- [10] 曹小曙,阎小培. 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,2003,22(3):305-312.
- [11] 吴威,曹有挥,曹卫东,等. 开放条件下长江三角洲区域的综合交通可达性空间格局[J]. 地理研究,2007,26(2):391-402.
- [12] 阎福礼,邹艺昭,王世新,等. 中国不同交通模式的可达性空间格局研究[J]. 长江流域资源与环境,2017,26(6):806-815.
- [13] 刘继生,陈彦光. 分形城市引力模型的一般形式和应用方法:关于城市体系空间作用的引力理论探讨[J]. 地理科学,2000,20(6):528-533.
- [14] 吴茵,李满春,毛亮. GIS支持的县域城镇体系空间结构定量分析:以浙江省临安市为例[J]. 地理与地理信息科学,2006,22(2):73-77.
- [15] 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,2006,73(10):1065-1074.
- [16] 文雅. 穗港空港的物流发展态势:基于引力模型和场强模型的研究[J]. 国际贸易探索,2010,26(4):28-33.

Spatial Measurement and Evaluation of Land Traffic Accessibility Based on GIS

HUANG Chenfeng, TIAN Shaobin, ZHENG Shuxin

(Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China)

Abstract: Based on the methods of GIS spatial analysis and network analysis, this paper makes a quantitative study on the accessibility of highway, railway and comprehensive transportation network in Chengdu-Chongqing economic circle, and uses the gravity model and potential model to measure and compare the spatial function intensity and potential value of cities in the region. The results show that it has formed a spatial distribution pattern of average shortest travel time with Chengdu and Chongqing as the core advantage area and the main axis of Chengdu and Chongqing gradually rising to the north and south poles, with obvious gradient characteristics. The calculation results of gravity model show that the region as a whole forms a radiation driving center centered on Chengdu and Chongqing, and the radiation driving effect on other cities in the region is greatly different due to the influence of regional location, traffic distance and road accessibility. The distribution trend of potential value is roughly centered on the core cities, and gradually decreases around.

Key words: GIS; Chengdu-Chongqing economic circle; traffic accessibility; weighted shortest average travel time; urban space

(责任编辑:李晓梅)