

文章编号: 1673-5196(2014)01-0134-05

GIS 支持下石羊河流域路网空间测度分析

张维军¹, 王雪平²

(1. 甘肃长达路业有限责任公司, 甘肃 兰州 730030; 2. 兰州理工大学 土木工程学院, 甘肃 兰州 730050)

摘要: 道路交通通达性是城市空间相互作用和经济联系的重要前提. 利用 ArcGIS 的网络分析和空间分析功能, 在对石羊河流域公路交通网络可达性定量评价的基础上, 采用引力、潜力和场强模型对 7 个县(区)的空间相互作用程度、城市潜力值和城市的辐射场强进行定量测度和比较分析. 研究发现: 凉州区对区域内城市作用力最强, 城市对外相互作用潜力大、辐射带动作用强度高. 区域整体上形成了以金川区、凉州区为中心的辐射中心, 对区域内其他县(区)的辐射强度随交通距离增加和道路通达性降低而不断的减小.

关键词: 空间分析; GIS; 石羊河流域; 路网

中图分类号: TU984.191 **文献标识码:** A

GIS-based analysis of spatial measure of road network in Shiyang River basin

ZHANG Wei-jun¹, WANG Xue-ping²

(1. Gansu Changda Highway Co., Ltd, Lanzhou 730030, China; 2. College of Civil Engineering, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, China)

Abstract: The accessibility of the road network is an important premise of spatial interaction and economic connection among cities. By employing the functions of network analysis and space analysis of ArcGIS and on the basis of quantitative evaluation of the accessibility of highway traffic network in Shiyang River basin, the spatial interaction degree, urban potential value, and urban spreading field intensity in seven counties (districts) were quantitatively measured, compared and analyzed with attraction model, potential model, and field intensity model. It was found by investigation that the urban interaction, potential value, and spread-driving action of Liangzhou district in Shiyang River basin was either the strongest or stronger than in other districts. In the basin as a whole, a spreading center was formed at Jinchuan and Liangzhou districts and its spreading intensity decreased gradually with the increase of traffic distance and the decrease of road accessibility.

Key words: spatial analysis; GIS; Shiyang River basin; road network

城市之间、城市与区域之间总是不断地进行着物质、能量、人员和信息的交换, 通常把这些交换称为空间相互作用^[1-3]. 空间相互作用理论最早由美国地理学家 E. L. Ullman 提出, P. Haggett 于 1972 年借用物理学中热传递的方式把空间相互作用分为对流、传导和辐射 3 种类型, 具体表现为货物和人口的移动、财政金融上的往来和信息的流动^[4-6]. 对于城市空间相互作用的强度研究者们通常采用引力和潜力模型来衡量, 该模型 20 世纪 30 年代就在零售业

空间分布的研究中得以应用, 20 世纪 60 年代和 70 年代分别在北美和欧洲得到广泛应用^[7-10]. 遗憾的是中国学者长期以来专注于区域个性或独特性、区际差异或地域分异的研究, 而在区域联系方面的研究起步较晚, 对石羊河流域路网的此类研究更是很少^[11-14].

在借鉴相关研究成果的基础上, 将 GIS 空间分析技术与空间相互作用的有关理论模型相结合, 通过对石羊河流域路网空间相互作用强度进行定量测度, 进一步分析干旱内陆河流域城镇之间的相互作用与影响因素, 为该流域城镇规划和可持续发展提供参考和借鉴.

收稿日期: 2013-01-06

基金项目: 甘肃省自然科学基金(1208RJYA075)

作者简介: 张维军(1969-), 男, 甘肃靖远人, 高级工程师.

1 研究方法

1.1 研究区概况

研究区位于甘肃省河西走廊东部,祁连山北麓,介于 101°22′~104°16′ E,36°29′~39°27′ N 之间,该区域属河西走廊三大内陆河流域之一,流域行政区划包括武威市的凉州区、古浪县、民勤县全部及天祝县部分地区,金昌市的永昌县及金川区全部及张掖市肃南裕固族自治县,共 3 市 7 县(区),总人口约 240.81 万人.该流域地势南高北低,自西南向东北倾斜,深居大陆腹地,属大陆性温带干旱气候,太阳辐射强,日照充足,夏季短而炎热,冬季长而寒冷,温差大,降水少,蒸发强烈,空气干燥.流域内土壤、植被类型分布因受气候、水文和地形等自然条件的影响,形成了明显的土壤-植被垂直带谱^[15].截至 2009

年,流域内建成国道 158.14 km,省道 282.10 km,县道 1 452.20 km,乡道 1 023 km.运营车辆近 5 万辆.有高速 G30、国道 312、省道 214 等重点交通网络,其中乡镇公路基本实现全覆盖,基本实现了村村通道路.

1.2 数据来源

研究中道路数据是以 2009 年山东省地图出版社的中国高速及城乡公路网地图集中甘肃西部道路网络 1:150 万的数据为参考底图,参考遥感影像及地形图进行修正,再从 Google Earth 上提取流域内最新道路,用 Global Mapper 软件转成 shp 文件,并与地图集中的石羊河流域道路网络合并,得到石羊河流域道路网络图(图 1).其他数据包括石羊河流域 5 县 2 区数字化的行政边界矢量数据、居民点数据矢量数据和区域人口统计数据.

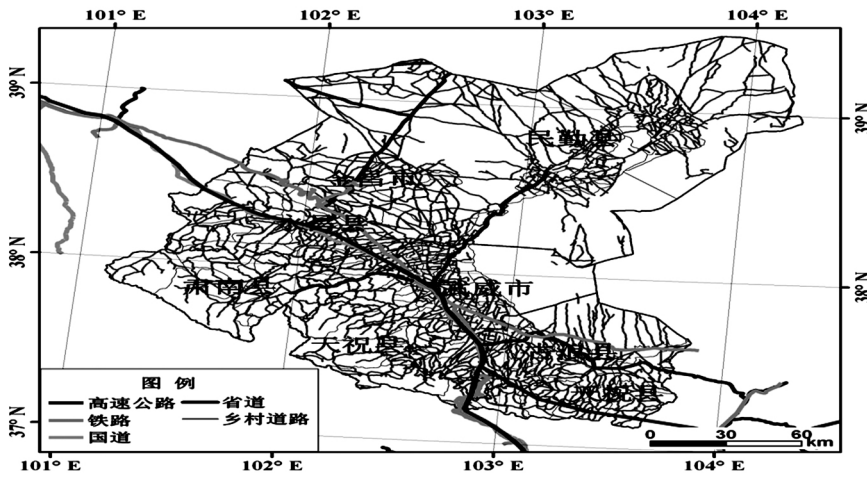


图 1 石羊河流域道路网分布

Fig. 1 Road network distribution in Shiyang River basin

1.3 研究方法

1.3.1 可达性评价模型

可达性评价的具体思路是依据区域交通网络现状和线路等级规模,计算区内某点到其他节点的距离或交通旅行时间,并通过交通联系的空间距离或所需时间的对比来反映空间联系的紧密程度.多数研究者采用平均最短旅行时间或加权平均最短旅行时间来衡量交通网络的可达性,计算公式如下.

$$A_i = (1/n) \sum_{j=1}^n T_{ij} \tag{1}$$

$$A'_i = \sum_{j=1}^n (T_{ij} \times M_j) / \sum_{j=1}^n M_j$$

式中: A_i 、 A'_i 分别为节点城市在交通网中的平均最短旅行时间或加权平均最短旅行时间; T_{ij} 为节点 i 到节点 j 沿路网中的最短路径旅行所需要的时间;

M_j 为节点 j 的质量,可以是节点 j 的人口规模或地区生产总值等.

考虑到城市规模对空间相互作用强度的影响,在此采用 j 节点城市市区的人口总量为权重. A_i 越小反映 i 节点城市的可达性越高,对外联系越方便.

1.3.2 城市引力模型

引力模型是空间相互作用理论的基础模型,得益于牛顿万有引力模型的启发.根据该模型城镇间的相互作用与城镇规模成正比,与城镇间距离成反比,数学表达式如下.

$$I_{ij} = P_i P_j / D_{ij}^b \tag{2}$$

式中: I_{ij} 为 i, j 城市间的相互作用量; D_{ij}^b 为 i, j 城市间距离, b 为测量距离摩擦作用的指数; P_i, P_j 分别为 i, j 城市的规模.

理论上认为 b 应该为 1 或 2,不过道路网的等

级或结构不同 b 值可能会有所变化,在参考相关研究^[13-15]的基础上本文暂取 $b=1$,城市空间相互作用量的大小反映了城市间联系的疏密程度.

1.3.3 潜力模型

潜力模型是在引力模型的基础上,计算某个城镇与区域内所有城镇间的相互作用量之和,则该城镇的潜力值 I_i 的计算式为

$$I_i = \sum_{j=1}^n I_{ij} = \sum_{j=1}^n (P_i P_j / D_{ij}^b) + P_i P_j / D_{ij}^b \tag{3}$$

式中: D_{ij}^b 采用第 i 城镇与距其最近城镇间距离的一半,潜力模型反映了 i 城镇在区域内与既定城镇集合间相互作用的可能性强度.

1.3.4 辐射场强模型

城镇的辐射影响范围取决于城市对周围区域辐射能力的强弱,借用物理学中场的概念把中心城镇的吸引范围称为城镇影响力的“力场”,影响力的大小称为“场强”.以城镇规模作为评价城镇对外辐射场强的变量,则中心城市 i 作用于区域内其他任意节点 j 的场强的计算式可表示为

$$F_{ij} = P_i / D_{ij}^b \tag{4}$$

式中: P_i, D_{ij}^b 的涵义同上式; F_{ij} 表示节点城镇 j 受城镇 i 的辐射场强.

特别要指出的是现实生活中,城市间相互作用的疏密程度与城市之间交通条件有很大关系.模型中城市间的距离如果仍以两点间地表空间直线距离为准,就会表现出较大的局限性.因此,本文通过对城市间相互连通的公路等级和类型进行考察,运用节点城市间公路交通网络的最短路径来修正模型中的地表空间距离变量,又考虑到随着现代交通工具的发展,城市间的道路空间距离也在相对缩短,对交通便捷的地方道路空间距离已不具可比性,故采用节点城市间最短路径的旅行时间来衡量城镇间的距离.

2 结果分析

2.1 最短时间距离分析

基于 GIS 网络分析和空间分析功能,在石羊河流域公路交通网络可达性评价基础上采用可达性、引力、潜力和场强分析模型对石羊河流域 7 个主要县(区)的相互作用强度、对外联系作用潜力和对外辐射作用场强进行定量测度.无论是可达性评价还是相互作用强度及辐射场强的测算,首先都需要获得各城市间的最短行车时间距离,利用数字化的石羊河流域路网矢量数据构建网络数据集并经最短路

径分析,以此来获取各节点城市与其他县(区)间的平均最短旅行时间,见表 1.由于采用时间距离,因此还要在设定不同等级公路行车速度的基础上进行实际道路距离和时间距离的换算.根据《中华人民共和国公路工程技术标准》设定的各等级公路的行车速度为高速公路平均行车速度 100 km/h,一级公路 80 km/h,二级公路 60 km/h,三级公路 40 km/h,其它无等级乡镇乡村公路 30 km/h,过江通道行车速度的设定和与之相接道路的行车速度相同.

表 1 基于路网的石羊河流域县(区)间最短时间距离矩阵
Tab. 1 Road network-based matrix of shortest travel time between two counties (districts) in Shiyang River basin h

	永昌县	凉州区	古浪县	肃南县	金川区	民勤县	天祝县
永昌县	0	0.69	1.27	0.67	0.90	1.63	2.40
凉州区	0.69	0	0.59	1.40	1.19	1.58	1.68
古浪县	1.27	0.59	0	1.76	1.63	1.92	0.64
肃南县	0.67	1.40	1.78	0	1.40	2.63	2.27
金川区	0.90	1.19	1.63	1.40	0	1.06	2.10
民勤县	1.63	1.58	1.92	2.63	1.06	0	2.72
天祝县	2.39	1.68	0.64	2.27	2.10	2.72	0

2.2 石羊河流域路网可达性评价

交通网络的发达程度决定了城市空间相互作用的广度和深度.依据前述对可达性的定义和获取的基于公路网的石羊河流域县(区)间的最短旅行时间距离,分别测算各地级市的可达性值,即到其他所有城市的平均最短旅行时间和采用市区人口总量加权的平均最短旅行时间.由计算结果(表 2)可看出石羊河流域公路系统的可达性表现出以下几个方面的特征:1)从区域整体看,城市平均最短旅行时间形成了以凉州区为核心的向外围地区逐渐升高的空间分布格局.2)根据可达性值,大体可将区内主要城市分为 3 个层次:可达性较好的凉州区、永昌县,到区内其他城市的平均最短旅行时间在 1 h 左右;可达性一般的古浪县、肃南县,可达性值在 1~1.4 h 左右;另外公路可达性较差的民勤县、天祝县、肃南县可达性值都在 1.4 h 以上.3)采用各县(区)人口

表 2 石羊河流域县(区)可达性
Tab. 2 Road accessibility of counties (districts) in Shiyang River basin h

	永昌县	凉州区	古浪县	肃南县	金川区	民勤县	天祝县
A_i	1.08	1.02	1.18	1.45	1.18	1.65	1.69
A_i'	1.13	0.69	1.27	0.67	0.90	1.63	2.40

总量为权重,计算各县(区)加权平均最短旅行时间发现,全流域整体可达性空间格局没有大的变化(表 2)。4) 探究影响城市可达性差异的原因除道路网络本身的因素之外,居中性的地理区位优势对区域可达性也有重要影响,位于区域几何中心位置的城市一般通达性都较好,与其他城市的联系比较便捷(凉州区);偏居区域边缘的城市平均最短旅行时间都要比中心城市的高。不过随着公路网络的大规模建设和道路等级的提高,边缘地区的通达性也在逐步改善,其与地区间联系越来越方便。

2.3 城市引力和潜力测度

路网可达性可在一定程度上反映城市间相互作用和联系的便捷性,不过城市可达性好也只能表明该城市与其他节点城市间具有发生相互作用的优越条件,而不能就此认为该城市与其他城市相互作用程度强。为进一步讨论城市间相互作用程度,还需测算城市间的相互作用量及各城市空间相互作用的潜力值(结果如表 3、4)。县(区)间相互作用最强的是天祝县和古浪县,其相互作用量值达 12.70 个单位;平均对外引力最大的是永昌县,其对外平均相互引力值达到 4.34 个单位。通过图 2 可清楚的看出石羊河流域城市空间相互作用潜力表现出以永昌县和古浪县为核心向四周减小的趋势。

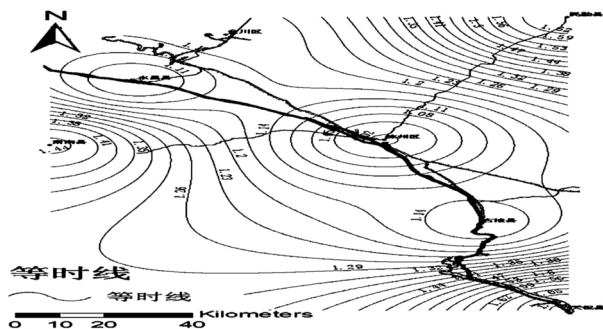


图 2 最短旅行时间等时线

Fig. 2 Isochrone of shortest travel time

表 3 石羊河流域县(区)间引力矩阵

Tab. 3 Matrix of spatial interaction value between two counties (districts) in Shiyang River basin $\times 10^5$

	永昌 县	凉州 区	古浪 县	肃南 县	金川 区	民勤 县	天祝 县
永昌 县	0	3.6	7.1	1.7	9.4	5.7	2.9
凉州 区	3.6	0	6.3	0.4	2.2	3.2	1.3
古浪 县	7.1	6.3	0	1.0	5.1	7.2	12.7
肃南 县	1.7	0.4	0.9	0	0.8	0.7	0.4
金川 区	9.4	2.2	5.1	0.8	0	7.3	2.2
民勤 县	5.7	3.2	7.2	0.7	7.3	0	3.1
天祝 县	2.9	1.3	12.7	0.4	2.2	3.1	0

表 4 石羊河流域县(区)间潜力值

Tab. 4 Potential value of counties (districts) in Shiyang River basin $\times 10^5$

永昌县	凉州区	古浪县	肃南县	金川区	民勤县	天祝县
50.1	24.1	65.2	6.9	37.3	38.3	28.3

2.4 城镇辐射影响分析

引力模型的测算结果反映出任意两城市间的作用具有相互性和量的对等性,这一点符合物理学中作用力与反作用力原理,但社会经济系统毕竟不同于简单的物质实体,事实上在很多情况下,城市间由于城市规模和经济实力的不同而使彼此间的影响强度并不完全对称,往往表现出高等级城市对低等级城市辐射作用强度大,为此有必要区分出单向的各城市对其它城市的作用强度。场强模型揭示了城市对其它城市辐射强度的高低,有助于对城市空间相互作用作进一步的分析。按照前述对场强模型的定义测算 i 城市对 j 城市的辐射作用强度,根据测算结果(表 5)可看出:

1) 凉州区作为流域内人口、经济规模最大的中心城市,对其他县(区)的辐射带动强度最大,平均辐射场强值达 2.41,其强度随交通距离增加和道路通达性降低而不断地减小。其中受凉州区辐射带动作用最大的是古浪县,辐射强度值达 6.20 个单位;受凉州区辐射带动作用最小的是肃南县仅 0.44 个单位。

2) 区域整体上形成了以金川区、凉州区为中心的辐射中心,对区域内其他县(区)的辐射强度随交通距离增加和道路通达性降低而不断地减小。

表 5 石羊河流域县(区)间场强模型矩阵

Tab. 5 Matrix of spread strength between two counties (districts) in Shiyang River basin

	永昌 县	凉州 区	古浪 县	肃南 县	金川 区	民勤 县	天祝 县
永昌 县	0	3.57	1.94	4.59	4.59	1.89	1.29
凉州 区	1.46	0	1.71	1.20	1.06	1.07	0.60
古浪 县	2.88	6.20	0	2.61	2.51	2.39	5.76
肃南 县	0.68	0.44	0.26	0	0.38	0.23	0.18
金川 区	3.81	2.15	1.40	2.10	0	2.43	0.98
民勤 县	2.32	3.19	1.96	1.91	3.58	0	1.39
天祝 县	1.16	1.32	3.47	1.08	1.06	1.02	0

2.5 空间相互影响因素分析

综合前述分析并结合石羊河流域的实际情况探讨影响城市相互作用的因素。城市空间距离、道路网络通达性、区域空间结构、城市规模等因素均对石羊河流域城市空间相互作用和城市辐射带动强度具有重要影响。首先,城市间的空间距离和既有的道路网

络通达状况直接影响城市间空间相互作用的强度,凉州区到区域内其他城市的可达性最高,平均最短旅行时间值在区域内最小,对区域内其他城市平均辐射场强值达 2.41,这说明一个城市对外交通联系越方便,其对区域内其他城市的发展带动作用越强;其次,城市规模或经济实力的强弱影响中心城市对其他城市和地区的辐射带动强度,凉州区依托优越的区位优势和较高的经济发展程度对流域内城市的辐射场强值最大。

3 结论

1) 从区域整体看,城市平均最短旅行时间形成了以凉州区为中心向外围地区逐渐升高的空间分布格局。位于区域几何中心位置的城市一般通达性都较好,与其他城市的联系比较便捷(凉州区);偏居区域边缘的城市平均最短旅行时间都要比中心城市的高,不过随着公路网络的大规模建设和道路等级的提高,边缘地区的通达性也在逐步改善。

2) 县区间相互作用最强的是天祝县和古浪县,其相互作用量值达 12.70 个单位;平均对外引力最大的是永昌县,其对外平均相互引力值达到 4.34 个单位。从整体看,石羊河流域城市空间相互作用潜力表现出以永昌县和古浪县为核心向四周减小的趋势。

3) 凉州区对区域内城市作用力最强,城市对外相互作用潜力大、辐射带动作用强度高。区域整体上形成了以金川区、凉州区为中心的辐射中心,其对区域内其他县(区)的辐射强度随交通距离增加和道路通达性降低而不断地减小。

4) 由于道路网络布局的复杂性,在计算路网连通时只考虑了 4 个以上节点,其它小节点对路网密度如何影响还需要在后续工作中进一步分析和研

究。此外,由于交通受自然条件、社会经济、政府决策等影响显著,城镇空间影响与相互作用与这些综合因素的相互关系还需开展大量工作。

参考文献:

- [1] 张务栋. 交通运输布局概论 [M]. 上海: 华东师范大学出版社, 1993.
- [2] 金凤君, 王成金, 李秀伟. 中国区域交通优势的甄别方法及应用分析 [J]. 地理学报, 2008, 63(8): 787-798.
- [3] REILLY W J. Methods for the study of retail relationships [M]. Texas, US: University of Texas, 1929.
- [4] LI Siming, SHUM Yiman. Impacts of the national trunk highway system on accessibility in China [J]. Journal of Transport Geography, 2001, 9(1): 39-48.
- [5] 李世泰, 孙峰华. 农村城镇化发展动力机制的探讨 [J]. 经济地理, 2006, 26(5): 815-818.
- [6] 王召森. 规划路网密度指标调整之思考 [J]. 城市交通, 2004, 8(3): 24-27.
- [7] 任 慧, 周振红, 周鑫鑫. 基于 RS 与 GIS 的城市道路网密度计算 [J]. 计算机与信息科学, 2009, 18(2): 85-87.
- [8] 麻清源, 马金辉, 年雁云, 等. 基于 GIS 的甘肃省道路网络评价 [J]. 甘肃科学学报, 2004, 16(3): 72-76.
- [9] 朱方海, 凌建明. 西部地区公路网规模和结构改善研究 [J]. 交通科技与经济, 2007, 9(1): 59-62.
- [10] 吴 威, 曹有挥. 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.
- [11] 徐 旭, 曹小曙. 不同指标下的穗港城市走廊潜在通达性及其空间格局 [J]. 地理研究, 2007, 26(1): 180-186.
- [12] 陈彦光, 刘继生. 基于引力模型的城市空间相互作用和功率谱分析 [J]. 地理研究, 2003(6): 742-752.
- [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 [J]. 地理科学, 2000(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(2): 73-77.
- [15] ISARD W. Methods of Regional Analysis: an Introduction to Regional Science [M]. Cambridge: MIT Press, 1960.