

李俊,董锁成,李泽红,等.基于城镇用地和最小时间成本的城市影响区划分及其人口分析[J].地理科学,2016,36(7):1036-1042.[Li Jun,Dong Suocheng,Li Zehong et al. Urban Influential Spheres and Its Population Based on Urban Land and Minimum Time Cost. Scientia Geographica Sinica,2016,36(7):1036-1042.] doi: 10.13249/j.cnki.sgs.2016.07.009

基于城镇用地和最小时间成本的城市影响区划分及其人口分析

李俊¹,董锁成²,李泽红²,黄永斌³,陈艳晓¹

(1. 安徽工业大学商学院, 安徽 马鞍山 243032; 2. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101;

3. 安徽大学经济学院, 安徽 合肥 230039)

摘要:以宁蒙沿黄地带为案例,基于城镇用地和最小交通时间成本划分城市影响区,分区统计影响区人口,将其与城市行政区非农人口的增速差进行统计分析。结果表明:基于城镇用地和最小交通时间成本的城市影响区划分边界更接近于行政区界;考虑城镇用地后大城市影响区扩展,考虑最小交通时间成本后小城市影响区相对扩展;以东胜区-伊旗为中心的地区的非农人口增速始终显著高于潜在服务人口增速,这类城市应增强对周边县的扩散作用;以大武口-惠农区为中心的地区的非农人口增速始终显著低于潜在服务人口增速,这类城市应加速产业与非农人口集聚。

关键词:城市影响区;最小时间成本;引力模型;潜在服务人口;宁蒙沿黄地带

中图分类号:F291 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-0690(2016)07-1036-07

宁蒙沿黄地带(包括宁夏回族自治区银川、石嘴山、吴忠、中卫,以及内蒙古自治区呼和浩特、包头、鄂尔多斯、乌海、巴彦淖尔共计9个地级行政区)受自然条件制约,城市沿黄河沿交通线集中分布,呈现显著的“大城关,小城市”的城镇空间格局,适合应用引力模型划分城市影响区,同时这一地带为中国西北高强度开发而快速城市化典型地区^[1],分析此地带城市影响区具有典型性和现实紧迫性。

1 文献综述

伴随中国城市化进程,城镇体系规划已成为区域规划的主要内容之一。城镇体系规划包括等级规模结构、职能结构和空间结构。城市影响区划分是空间结构规划的一项重要基础工作。城市影响区划分目前主要包括两个方向:基于流的经验分析和基于空间相互作用模型的模拟分析^[2]。基于流的经验研究因为数据较难获取而常作为基于空间相互作用模型分析的检验与补充^[3]。基于

空间相互作用模型的模拟分析以引力模型及其衍生模型为常见^[4]。引力模型最早由Ravenstein^[5]提出,Friedmann^[6]和Lee^[7]等将其应用于城市影响区划分,其进展可总结为3方面:

第一方面,模型本身改进:城市中心性,由单个人口或经济指标向城市综合指数发展,计算过程包括城市质量综合评价指标体系的建立和基于主成分分析的指标权重的确定;距离,由最开始的直线距离向交通距离和时间距离拓展;摩擦系数,除探讨其经济含义外,应用上典型的是将不同摩擦系数应用于不同尺度的区划^[8-10]。第二方面,影响区划分:形成两条路线,一是以保证行政区单元完整性优先,按照行政区单元上下级关系,又可进一步分为由上而下分解和由下而上归并;二是优先考虑影响力变化的连续性,又进一步分化为基于场强的划分和基于断裂点与加权Voronoi图的划分^[11-13]。最后,验证与补充:目前尚没有规范的验证方法,主要结合自然地理界限、行政区划范围和交通线路等验证分界线^[3]。

收稿日期:2015-10-15; **修订日期:**2015-12-20

基金项目:国家自然科学基金项目(41271556)资助。[Foundation: National Natural Science Foundation of China(41271556).]

作者简介:李俊(1985-),湖北天门人,讲师,博士,主要研究方向为城市空间结构。E-mail:panghuanzhi@163.com

总的来说,基于引力模型的城市影响区研究尚集中在模型本身的城市点、距离和摩擦系数的探讨,大多仅停留在影响范围划定,而限于空间人口数据的获取,进一步分析影响区人口的研究尚不多,以至于刘涛等^[14]提出“规模相似的东部城市等级普遍低于西部城市,影响范围也小得多,这样能够反映前者的影响力不如后者吗?”的质疑。对此,本文首先用城镇用地实现城市点到城市面源的拓展,同时结合交通时间成本和不同土地利用类型格网通行时间成本计算总的时间成本作为距离,利用最小距离法来划分城市影响区,并与传统点和面源 Voronoi 划分结果进行对比^[15];进一步结合人口格网数据分区统计影响区人口,对其与城市行政区非农人口的增速差计算 G_i^* 值进行统计分析,识别出两者显著不匹配的城市,以期指明区域城市发展重点。

2 研究思路、方法与数据来源

2.1 研究思路

利用 ArcGIS 构建研究区 1990、2000 和 2010 年交通网络图并计算最小交通时间成本,再与对应年份土地利用数据计算的最小通行时间成本比较,对每一栅格单元时间成本取两者较小值而得到最终最小时间成本图,然后将对应年份城镇用地作为城市源,利用 ArcGIS cost distance 分析工具划分出城市影响区,最后结合对应年份人口网格数据分区统计影响区人口并计算其 1990~2000 年和 2000~2010 年增速,计算其与城市行政区非农人口增速差的 G_i^* 值识别城市发展类型进而确定城市发展方向。

2.2 研究方法

1) 城市非农人口与影响区人口增长率差 (NAID)。通过城市非农人口增长率和影响区人口增长率之差衡量城市提供服务人口与城市服务人口间匹配度。

$$N_{\text{NAID}} = \frac{N_{\text{NAP}_{i+1}} - N_{\text{NAP}_i}}{N_{\text{NAP}_i}} - \frac{\ln P_{i+1} - \ln P_i}{\ln P_i} \quad (1)$$

式中, N_{NAID} 为人口增长率差值; N_{NAP_i} 为 i 期城市行政区非农人口; $\ln P_i$ 为 i 期城市影响区人口。

2) G_i^* 值。 G_i^* 值用于识别区域高低值集聚区^[15],本文基于 NAID 计算 G_i^* 值以识别城市提供服务人口与城市服务人口增速统计中显著不匹配的城市。计算如式(2)。

$$G_i^* = \frac{\sum_{j=1}^n w_{ij} x_j - \bar{X} \sum_{j=1}^n w_{ij}}{S \sqrt{\frac{n \sum_{j=1}^n w_{ij}^2 - (\sum_{j=1}^n w_{ij})^2}{n-1}}} \quad (2)$$

$$\bar{X} = \frac{\sum_{j=1}^n x_j}{n}$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n x_j^2}{n} - \bar{X}^2}$$

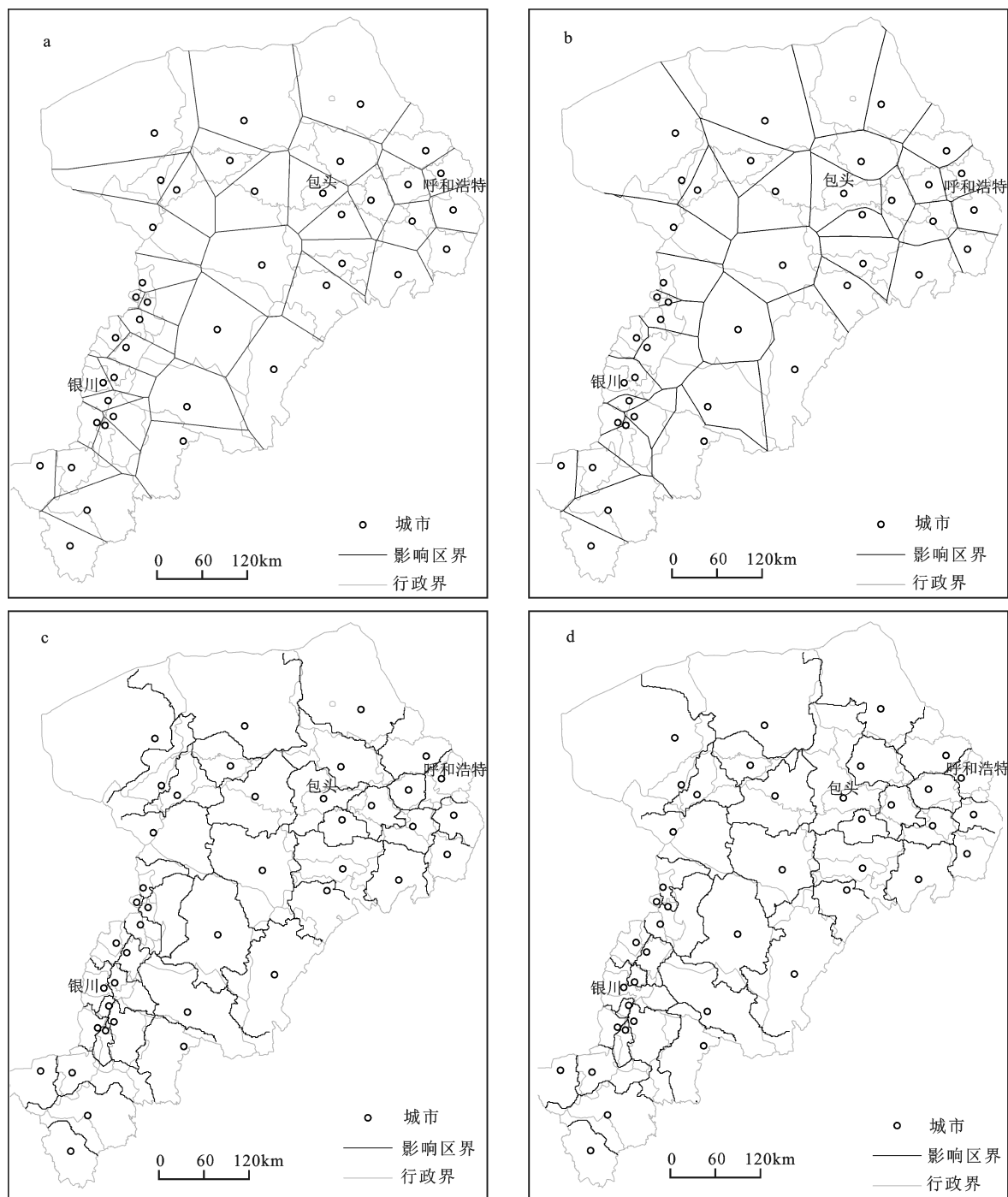
式中, x_j 是空间单元 j 的 NAID 值; w_{ij} 表示空间单元 i 和 j 的空间关系; n 为空间单元总数; S 为标准差。

2.3 数据来源

本文重点探讨如何应用城市影响区划分及其人口分析支撑城镇体系规划,结合数据易得性,以宁蒙沿黄地带 1990、2000 和 2010 年数据为例展开分析。其中交通数据通过中国分省交通地图集 (1989、2001 和 2011 年) 扫描后矢量化制作, 1 km 土地利用和人口格网数据来自国家科技基础条件平台建设项目: 地球系统科学数据共享平台 (www.geodata.cn)。1990、2000 和 2010 年分区县非农人口来自中国人口普查分县资料。交通最小时间成本计算过程中各道路类型通行速度参考中国《铁路线路设计规范》和中华人民共和国行业标准《公路工程技术标准》(JTGB01-2003) 和《公路线路设计规范》(JTGD20-2006) 而设定: 铁路 120 km/h, 高速公路 100 km/h, 国道 70 km/h, 省道 50 km/h, 县乡道 30 km/h, 简易路 20 km/h。各类用地通行速度参考值如下: 耕地和草地按照正常步行速度 5 km/h, 林地 3 km/h, 由于研究区水域基本没有通航功能, 这里将水域与未利用地设定为 0.1 km/h, 城镇用地 40 km/h, 农村居民点和工矿交通用地 20 km/h。中心地理论认为高等级城市也提供低等级城市所有职能, 因此划分中将地级市驻地也纳入城市源。

3 城市影响区划分

图 1a~d 分别是普通城市点 Voronoi 图、以城镇用地为面源的 Voronoi 图、城市点和城镇用地最小时间成本图, 总体上 4 张图比较一致, 体现了影响区划分的稳定性。其中图 1c 和 d 与图 1a 和 b 的对比显示不管城市源为点还是面, 基于最小时间成本城市影响区界更加细腻, 并更加接近于行政区



a. 普通城市点 Voronoi; b. 城镇用地面 Voronoi; c. 城市点最小时间成本; d. 城镇用地最小时间成本

图1 研究区2010年城市影响区4种划分结果对比

Fig.1 Contrast of 4 types of urban influential spheres in 2010

界。而对引入城镇用地的影响,基于 Voronoi 分割的图 1a 和 b 的对比显示,相较于基于城市点的 Voronoi 划分,基于城镇用地的 Voronoi 划分边界更加圆滑,由于城镇用地数量和方向的影响,城镇用地面积较大的城市与周边城市的影响边界出现较大

变化;基于最小时间成本的图 1c 和 d 对比显示,基于城市点的最小时间成本划分与基于城镇用地的最小时间成本划分边界差异类似于图 1a 和 b 间差异,但基于城镇用地的最小时间成本划分更加接近行政区界。

4 城市影响区人口分析

4.1 城镇用地与交通对城市影响区人口变化的影响分析

表1不仅展示了基于4种方法划分的影响区(普通城市点 Voronoi、城镇用地面 Voronoi、城市点最小时间成本和城镇用地最小时间成本)计算得到的1990~2000和2000~2010两期NAID值,并且考虑到城市影响区人口增长对城市非农人口增长可能存在的滞后效应,将2000~2010年行政区非农人口增长率与1990~2000年影响区人口增长率的差值与前两期NAID值对比验证。总体上,3期NAID均值都为正,验证了快速城市化进程中非农人口增长率大于总人口增长率的事实。具体看城镇用地和交通因素的影响:单独引入城镇用地后,3期NAID均值都出现增长,NAID标准差并不一致,其中不考虑交通因素时,出现一定程度上升,考虑交通因素后,反而显著下降;单独引入交通因素后,3期NAID均值均出现下降,标准差均上升。

进一步分析各城市NAID值可推断出NAID均值和标准差变化所蕴含的城镇用地和交通对城市影响区人口增速的影响。基于城镇用地最小时间成本,将2000~2010年各城市按NAID值降序排列,发现NAID前10名的城市平均NAP为16.15万,人口过10万的城市有7个,而后10名城市则为13.40万,过10万的仅有4个,因此可作大城市NAID值较大,小城市则较小的基本判断。在此前提下,表2假定有典型的大小两个城市,初始NAID值分别为50%和-30%,当小城市影响区扩展时,假设其NAID变为-35%,由于小城市影响区扩展增

加的人口等于大城市影响区扩展缩减的人口,而大城市人口基数较大,故NAID变化幅度较小,设其变为51%,则整体NAID均值降低,标准差升高;大城市影响区扩展时,类似得整体NAID均值升高,标准差降低。

在表2推断基础上,结合表1中引入城镇用地和交通因素后结果可推断:引入城镇用地因素,大城市影响区扩展,故整体NAID均值升高,标准差下降;引入交通因素,小城市影响区相对扩展,故整体NAID均值降低,标准差升高。故总体上城镇用地扩大了大城市影响区,交通则扩大小城市影响区。

4.2 城市影响区人口与城市非农人口的比较分析

前节从总体上分析了研究区NAID值分布情况,而图2a和b进一步显示:①以东胜区和伊旗为中心的内蒙古南部始终处于高值区,而以惠农区和大武口区为中心的宁夏北部始终处于低值区,且二者均在 $P=0.05$ 水平上显著;②研究区高低值区呈现东南-西北走向发展的态势,相比于1990~2000年,2000~2010年期间除前期以东胜区为中心的高值区范围有所缩小外,宁夏南部以沙坡头区为中心的区县成为高值区,而对低值区,除前期以惠农区和大武口区为中心的低值区范围扩大外,前期包括内蒙北部广大区县的低值区缩减到以临河区为中心的内蒙古西北部地区。根据NAID定义,NAID高值区意味着非农人口增速显著高于城市潜在服务人口增速,低值区则意味着非农人口增速显著低于城市潜在服务人口增速,处于NAID高值区的东胜区-伊旗和沙坡头区应积极提高市域交通通达度,以减少时间成本扩大潜

表1 基于4种影响区划分结果计算的NAID值对比(%)

Table 1 Contrast of NAID from 4 types of urban influential spheres (%)

		NAID1	NAID2	NAID3
均值	普通城市点 Voronoi	62.97	40.88	46.17
	城镇用地面 Voronoi	71.42	53.16	55.05
	城市点最小时间成本	51.75	34.77	34.95
	城镇用地最小时间成本	59.15	41.63	41.12
标准差	普通城市点 Voronoi	63.95	75.83	64.64
	城镇用地面 Voronoi	64.31	84.12	66.74
	城市点最小时间成本	73.60	85.06	82.59
	城镇用地最小时间成本	68.72	71.07	75.55

注:NAID表示城市非农人口与影响区人口增长率差;NAID1和NAID2分别为1990~2000年和2000~2010两期NAID值;NAID3为2000~2010年行政区非农人口增长率减1990~2000年影响区人口增长率。

表2 小城市与大城市影响区变化对NAID均值
和标准差影响(%)

Table 2 Effect of small and large cities influential sphere variation
on NAID mean and standard deviation(%)

	初值	小城市影响区扩展
大城市	50.00	51.00
小城市	-30.00	-35.00
均值	10.00	8.00
标准差	56.57	60.81
	初值	大城市影响区扩展
大城市	50.00	49.00
小城市	-30.00	-25.00
均值	10.00	12.00
标准差	56.57	52.33

注:NAID表示城市非农人口与影响区人口增长率差。

在服务人口规模,增强对周边县的扩散作用;而处于NAID低值区的大武口-惠农区和临河区等非农人口增速低于潜在服务人口增速,表明这些城市服务能力尚不能满足潜在服务人口的需求,这些城市应重点加强城市间交通基础设施建设,积极接受核心城市的辐射,加速产业与非农人口集聚,

增强对周边人口的集聚作用。

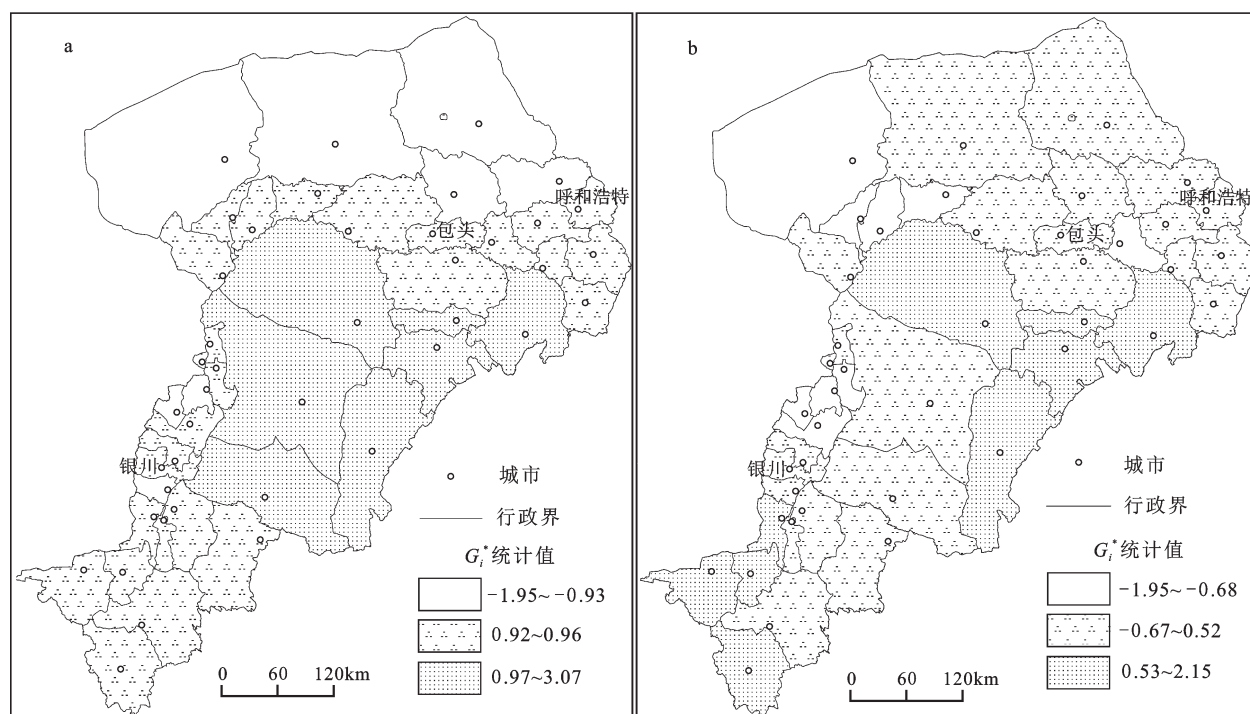
5 结论

本文以城市建成区作为源,综合交通数据和土地利用数据,以最小时间成本原则划分城市影响区,并分区统计出城市影响区人口,将其与城市非农人口对比来分析城市发展重点。主要结论如下:

1) 基于城镇用地的城市影响区划分边界相比传统Voronoi划分边界更圆滑,进一步引入最小时间成本划分原则后,边界更加细腻,更接近于行政区界。

2) 对1990~2000年和2000~2010年两期各城市非农人口增速与影响区人口增速之差的均值和标准差分析表明:引入城镇用地因素,大城市影响区扩展;引入最小交通时间成本因素,小城市影响区相对扩展。因此总体上1990~2010年间城镇用地相对扩大大城市影响区,交通则相对扩大小城市影响区。

3) 城市行政区非农人口与影响区人口增速差的 G_i^* 值分析表明:以东胜区-伊旗为中心的地区非农人口增速始终显著高于潜在服务人口增速,这类城市应重点提高市域交通通达度,扩大潜



a. 1990~2000年; b. 2000~2010年

图2 NAID的 G_i^* 值统计分析

Fig.2 G_i^* value of NAID

在服务人口规模,增强对周边县的扩散作用;而以大武口-惠农区为代表的地区非农人口增速始终显著低于潜在服务人口增速,这类城市应重点加强城市间交通基础设施建设,加速产业与非农人口集聚,增强对周边人口的集聚作用。

本文仅就区县级城市服务功能对区县级城市影响区进行了划分,城镇体系空间结构规划还包含空间等级性,在完善一个等级城市影响区划分基础上,可进一步拓展到多个等级的城市影响区划分,为区域城镇体系空间结构规划奠定全面的基础。

参考文献(References):

- [1] 董锁成,李雪,石广义,等. 宁蒙陕甘沿黄生态经济带建设构想[J]. 地理研究,2010,29(2): 204-213.[Dong Suocheng, Li Xue, Shi Guangyi et al. Study on the strategy of eco-economic zone in Shanxi-Gansu-Ningxia-Inner Mongolia region along the Yellow River. Geographical Research, 2010, 29(2):204-213.]
- [2] Wang K,Deng Y,Sun D et al. Evolution and spatial patterns of spheres of urban influence in China[J].Chinese geographical science, 2014, 24(1):126-136.
- [3] 吴殿廷,朱青.区域定量划分方法的初步研究——兼论用断裂点理论进行区域划分问题[J].北京师范大学学报(自然科学版), 2003, 39(3): 412-416.[Wu Dianting, Zhu Qing. Study On Quantitative Method of Regional Division: Also About The Questions of Breakpoint Theory. Journal of Beijing Normal University (Natural Science), 2003, 39(3):412-416.]
- [4] 韩刚,袁家冬. 论长春都市圈的地域范围与空间结构[J]. 地理科学,2014,34(10):1202-1209.[Han Gang, Yuan Jiadong. The Geographic Area and Spatial Structure of Changchun Metropolitan Area. Scientia Geographica Sinica,2014,34(10):1202-1209.]
- [5] Ravenstein E. The laws of migration[J].Journal of the Statistical Society of London, 1885, 48(2):167-235.
- [6] Friedmann J, Miller J. The urban field[J]. Journal of the American institute of Planners, 1965, 31(4): 312-320.
- [7] Lee Y. An allometric analysis of the US urban system: 1960-1980 [J].Environment and Planning A, 1989, 21(4): 463-476.
- [8] Andres F, Jesus L R. European Union Enlargement, European Spatial Development Perspective and Regional Policy: Lessons from Population Potentials[J]. Investigaciones regionales, 2006, 9(2): 3-21.
- [9] 赵宏波,马延吉. 老工业基地城市可达性及经济联系格局研究——以吉林省为例[J]. 地理科学,2013,33(11):1316-1322.[Zhao Hongbo, Ma Yanji. The Urban Accessibility and Economic Linkage Spatial Patterns of old Industrial Base in Northeast China: A Case Study of Jilin Province. Scientia Geographica Sinica,2013,33(11):1316-1322.]
- [10] 范强,张何欣,李永化,等. 基于空间相互作用模型的县城城镇体系结构量化研究——以科尔沁左翼中旗为例[J]. 地理科学,2014,34(5):601-607.[Fan Qiang, Zhang Hexin, Li Yonghua et al. Quantitative Analysis and Urban System Planning of County Area Based on Spatial-Interaction Model: A Case in Horqin Left Middle Banner, Inner Mongolia. Scientia Geographica Sinica, 2014,34(5): 601-607.]
- [11] 钟业喜,陆玉麒.基于空间联系的城市腹地范围划分——以江苏省为例[J]. 地理科学,2012,32(5):536-543.[Zhong Yexi, Lu Yuqi. Measuring Method of Urban Hinterland Based on Spatial Linkage: A Case of Jiangsu Province. Scientia Geographica Sinica, 2012, 32(5):536-543.]
- [12] Toth G, Kincses A. Factors of accessibility potential models[J]. Regional Science Inquiry Journal, 2011, 3(1): 27-44.
- [13] 余冰,叶信岳,房会会,等. 基于局部聚类的网络 Voronoi 图生成方法研究[J]. 地理科学,2015,35(5):637-643.[She Bing, Ye Xinyue, Fang Huihui et al. A Method for Integrating Network Voronoi and Spatial Clustering. Scientia Geographica Sinica,2015,35(5):637-643.]
- [14] 刘涛,曹广忠.城市规模的空间聚散与中心城市影响力——基于中国 637 个城市空间自相关的实证[J]. 地理研究, 2012, 31(7): 1317-1327.[Liu Tao, Cao Guangzhong. Agglomeration and dispersion of city sizes and the influence of central cities: Based on the multi-scale spatial autocorrelation and the case of China. Geographical Research, 2012, 31(7):1317-1327.]
- [15] Ord J K, Getis A. Local spatial autocorrelation statistics: distribution issues and an application[J]. Geographical Analysis, 1995, 27(4): 286-306.

Urban Influential Spheres and Its Population Based on Urban Land and Minimum Time Cost

Li Jun¹, Dong Suocheng², Li Zehong², Huang Yongbin³, Chen Yanxiao¹

(1. School of Business, Anhui University of Technology, Maanshan 243032, Anhui, China; 2. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China; 3. School of Economics, Anhui University, Hefei 230039, Anhui, China)

Abstract: Considering ignore of traditional urban influential spheres on population analysis, population analysis was made on non-agricultural and influential population growth rate difference, by introducing urban land and minimum time cost to extend current urban influential spheres research, better to instruct urban system planning. Base on minimum time cost, taking urban land area as urban source, urban influential spheres were delineated, by contrast with traditional Voronoi diagram based on point and polygon source. Then based on urban influential spheres, combined with population grid data and urban administrative non-agricultural population, non-agricultural and influential population growth rate difference was calculated and its mean and standard error analysis on non-agricultural and influential population growth rate difference were made to make a deeper exploration on effects of urban land and minimum time cost on urban influential spheres delineation. By employing Getis statistical index of non-agricultural and influential population growth rate difference, cities with significant non-agricultural and influential population growth rate difference were recognized, so special suggestion could be made for each type of city. A case study on the areas along Huanghe River in Ningxia and Inner Mongolia Autonomous Region in 1990, 2000 and 2010, showed after introducing minimum time cost and urban land, edges of urban influential spheres were more exact like urban administrative edges, compared to traditional point and polygon Voronoi diagram; taking urban land instead of urban point as urban source, larger city's influential sphere was larger, while traffic seemed to narrow the gap between large and small city's influential sphere which meant traffic helped to enlarge small city's influential spheres and reduce large city's spheres; Dongsheng and Yijinhuluo Counties were typical of cities whose potentially served population grew slower than administrative non-agricultural population, so this type of urban needed to enhance diffusion effect on nearby counties, while as for cities like Dawukou and Huinong whose potentially served population grew faster than non-agricultural population, infrastructure construction emphasis should be placed on aggregation of industry and attracted more population from nearby counties. This work could provide an alternative technique for urban system planning.

Key words: urban influential spheres; minimum time cost; gravity model; potentially served population; the areas along Huanghe River in Ningxia and Inner Mongolia Autonomous Region