

引用格式: 傅俐,王勇,曾彪,等.基于改进两步移动搜索法的北碚区医疗设施空间可达性分析[J].地球信息科学学报,2019,21(10):1565-1575. [Fu L, Wang Y, Zeng B, et al. Spatial accessibility of medical facilities in Beibei District based on modified two-step floating catchment area method[J]. Journal of Geo-information Science, 2019,21(10):1565-1575.] DOI:10.12082/dqxxkx.2019.190188

基于改进两步移动搜索法的北碚区医疗设施空间可达性分析

傅 俐¹,王 勇^{1*},曾 彪²,毛 泳¹,高 敏¹

1. 西南大学地理科学学院,重庆 400715;2. 兰州大学资源环境学院,兰州 730000

Spatial Accessibility of Medical Facilities in Beibei District based on Modified Two-step Floating Catchment Area Method

FU Li¹, WANG Yong^{1*}, ZENG Biao², MAO Yong¹, GAO Min¹

1. School of Geography Science, Southwest University, Chongqing 400715, China;

2. College of Earth and Environmental Sciences, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China

Abstract: In recent years, China's health industry has made rapid progress, but there are still gaps between different regions. As one of the basic public services, medical services is closely related to the quality of residents' life. However, there are still many problems in getting medical services with high quality in some areas, e.g., inconvenient transportation, lack of medical facilities, poor medical services, and so on. Therefore, it is critical to evaluate the rationality of the distribution of medical resources in a region. Spatial accessibility of medical facilities is an important index to evaluate the rationality of medical service distribution. Among a wide range of methods in measuring the spatial accessibility of facilities, the two-step floating catchment area method (2SFCA) is most popular. In this study, we analyzed the spatial accessibility of medical facilities in Beibei District, Chongqing, by using the modified two-step floating catchment area method and GIS spatial analysis technology. The modified two-step floating catchment area method takes the scale of hospital grade and the distance between supply and demand points into account, and adds Multi Catchment Sizes and Gaussian distance decay to make up for deficiencies of the traditional two-step floating catchment area method, so it is more widely used in spatial accessibility analysis. The spatial accessibility of medical facilities in Beibei were visualized by spatial interpolation. Moreover, the cluster of spatial accessibility was analyzed by Hot Spot Analysis. The basic unit of analysis was administrative villages. The results show that: (1) The results obtained by the original/unmodified and the modified two-step floating catchment area methods have different characteristics, but the modified takes into account the attraction of hospital scale to residents and the influence of distance attenuation factors to residents travel intention, it has higher sensitivity in identifying high accessibility regions with internal differences and low marginal accessibility regions, so its results can better reflect the spatial accessibility of medical facilities. (2) Overall, the spatial accessibility of medical facilities in Beibei District is high, illustrating

收稿日期:2019-04-24;修回日期:2019-06-08.

基金项目:重庆市发展和改革委员会学术委员会研究课题(4080491)。[Foundation item: Program of Academic Committee of Chongqing Development and Reform Commission, No.4080491.]

作者简介:傅 俐(1995-),女,山东滨州人,硕士生,主要研究方向为地表环境与应用地理。E-mail: sd_fuli@163.com

*通讯作者:王 勇(1975-),男,山西吕梁人,博士,副教授,主要从事地表环境与应用地理方向研究。E-mail: wyong@swu.edu.cn

that the medical services are more accessible to local residents. Meanwhile, the spatial accessibility of medical facilities in Beibei gradually decreased from central areas to surrounding areas. (3) The spatial accessibility of medical facilities in Beibei District varies greatly with obvious polar differences. The high-value areas are mainly concentrated in Dongyang Street, Chaoyang Street, Tiansheng Street, Beiwenquan Street, and Longfengqiao Street, while the low-value areas are mainly concentrated in marginal areas such as Jindaoxia Town, Liuyin Town, Sansheng Town, Fuxing Street, and Jingguan Town, etc. Our findings can provide reference for the relevant departments to make more informed decision-making.

Key words: medical facilities; spatial accessibility; modified two-step floating catchment area method; Hot Spot Analysis; GIS; Beibei District of Chongqing

***Corresponding author:** WANG Yong, E-mail: wyong@swu.edu.cn

摘要:针对当前医疗资源分布不均问题,本文以重庆市北碚区为例,以行政村为最小研究单元,借助GIS空间分析技术,将多级半径和高斯距离衰减函数相结合来改进两步移动搜索法,对北碚区医疗设施空间可达性进行研究。结果表明:①改进两步移动搜索法综合考虑了医院等级规模对居民的吸引力、距离衰减因素对居民出行意愿的影响等因素,在识别高可达性区域内部差异和边缘低可达性区域方面具有较高的敏感性,因此其计算结果能够更准确地刻画北碚区的医疗设施空间可达性特征;②北碚区整体医疗设施空间可达性较好,呈现由中心向四周递减的特征;③借助冷热点分析发现北碚区医疗设施可达性空间差异大,两极分异显著,高值区主要集中在东阳街道、朝阳街道、天生街道、北温泉街道和龙凤桥街道等中心城区,低值区主要集中在金刀峡镇、柳荫镇、三圣镇、复兴街道和静观镇等边缘地区。研究结果可为相关部门制定决策规划提供依据。

关键词:医疗设施;空间可达性;改进两步移动搜索法;冷热点分析;GIS;重庆市北碚区

1 引言

近年来,不同区域之间的医疗卫生事业水平仍然存在差距^[1],因此实现基本公共服务的均等化仍是目前各级政府努力的方向,也是实现区域统筹发展的重要保障^[2],而医疗卫生服务作为基本公共服务之一,其空间分布的合理与否直接关系到居民生活质量的高低^[3]。可达性指从一点到另一点的便捷程度^[4],是评估公共服务资源配置是否合理的重要指标,因此结合医院与居民点的实际情况测算医疗服务设施的空间可达性对于合理配置医疗资源,促进城市发展,提高居民生活水平具有重要意义。

国外学者对于公共服务设施可达性的研究起步较早。如Kalogirou等^[5]应用GIS技术和加权可达性方法对爱尔兰部分地区的医疗设施可达性进行了研究。Eason等^[6]对Iowa地区老年人口卫生保健机构的空间分布进行了分析,并进一步建立了空间分析及模型支持系统,用来预测未来的卫生保健需求。国内学者对可达性的研究起步较晚,但近年来也取得了较大的进展,胡瑞山等^[7]以江苏省东海县为例,应用两步移动搜索法对其医疗空间可达性进行敏感性分析,发现采用不同的时间阈值表现出的空间分异情况也不相同;陶卓霖等^[8]对两步移动搜索法的主要扩展形式进行了系统的梳理和总结,并

分析了各种扩展形式的优缺点、适用情景和未来改进的方向;宋正娜等^[9]以江苏省如东县为例,运用改进的潜能模型对其医疗服务可达性进行分析,准确判定出了缺医地区;丁慷等^[10]分别从可达性和公平性的角度评价了武汉市医疗设施空间分布的合理性,并对其布局提出了合理化建议。

空间可达性评价近年来比较常用的方法主要有比例模型法^[11]、最近距离模型法^[12-13]、累积机会法^[14]、潜能模型法^[15-17]和两步移动搜索法(2SFCA)^[18-21]。比例模型法易于理解和计算,且数据易于获取,但其假设研究单元内的设施仅为内部居民服务,同时单元内居民也只能获取内部的公共服务资源,显然当研究区域较小时,这一假设很难成立,不能反应研究单元内部空间可达性变化。最近距离模型法测量居民所在地区到达最近的医疗设施的距离,一般以最短出行距离、出行时间及欧式直线距离最为常用,该方法假设居民始终选择最邻近公共服务设施,因此适用于卫生服务选择性差的农村地区、边远地区等,不适用于有多种就医选择的地区。累积机会法是在设定的出行极限时间或距离内,从某点出发能够获取公共服务资源的数量,其考虑了设施、需求者、供需双方的空间阻隔等,但却忽略了距离衰减作用^[22]。相比之下,由于潜能模型和2SFCA综合考虑了供需双方以及距离

等多个因素的相互作用,因此得到了广泛应用。潜能模型考虑了距离衰减效应,但并未对阈值进行限制,而实际人们对于设施的距离存在一定的接受范围,距离过远的设施在实际使用中并不可达^[18]。相对于潜能模型法,两步移动搜索法的操作性和实用性更强^[23],因此本文采用两步移动搜索法对北碚区医疗设施空间可达性进行分析。

目前,政府仅以单一的千人床位数及千人卫技人员数作为衡量医疗可达性高低的依据,评价指标单一,且随着交通的发展居民的出行能力得到了显著的提高,就医选择不再局限于本居住区内的医疗点,更多的是跨越行政村甚至乡镇之间的界限,因此不以行政区划为界限评价某区域的医疗设施空间可达性显得尤为重要。重庆作为四大直辖市之一,在全国的城市发展中占有重要地位,但其多山的地形使得居民的就医出行具有很大差别,因此本文以重庆市北碚区为例,借助改进的两步移动搜索法,对其医疗服务设施空间可达性进行分析,以期相关部门制定决策、合理配置医疗资源提供借鉴和指导意义。

2 研究区概况、数据来源与研究方法

2.1 研究区概况

重庆市北碚区是重庆主城区之一,位于 $106^{\circ}18'14''\text{E}$ – $106^{\circ}56'53''\text{E}$, $29^{\circ}39'10''\text{N}$ – $30^{\circ}3'53''\text{N}$ 之间,地

处重庆西北部(图1),幅员面积 755 km^2 ,轮廓大致呈西南-东北方向延伸,区内有嘉陵江穿过,国道、省道、铁路、高速公路、高等级公路等贯穿境内,水陆交通便利,且北碚城区与各乡镇均有公路相通,区内另有轨道交通6号线穿过,区位条件优势明显。2018年北碚区下辖天生街道、朝阳街道、北温泉街道、龙凤桥街道、东阳街道、蔡家岗街道、歇马街道、水土街道、复兴街道9个街道和金刀峡镇、三圣镇、施家梁镇、童家溪镇、柳荫镇、澄江镇、静观镇、天府镇8个镇,全区常住人口63.02万人(图2)。全区有各类卫生机构442个,医疗机构编制床位总数3999张^[24]。为了方便统计,本文选取乡镇卫生院及以上级别的医疗机构共42个(图3)。

为从整体上获取北碚区的医疗设施配备情况,本文首先采用比例模型法对该区域的千人床位数进行初步分析,比例模型法即计算某区域内服务资源总量(医疗点、卫技人员数、床位数)与需求人口总量的比值,表示某一区域内人均拥有的资源指标^[1],该方法常用于大致判断某区域的医疗资源分布情况,结果如图4所示。

根据2018年《中国统计年鉴》显示,重庆市平均每千人拥有床位数为6.71张^[25]。由图4可知,北碚区17个街道(乡镇)中,高于重庆市千人床位数平均水平的有5个,分别为天生街道、朝阳街道、东阳街道、歇马街道和天府镇,其中朝阳街道的千人床位数最高为41.71,远远高于其他街道和乡镇;而复兴街道、静观镇、童家溪镇、三圣镇和金刀峡镇的情况

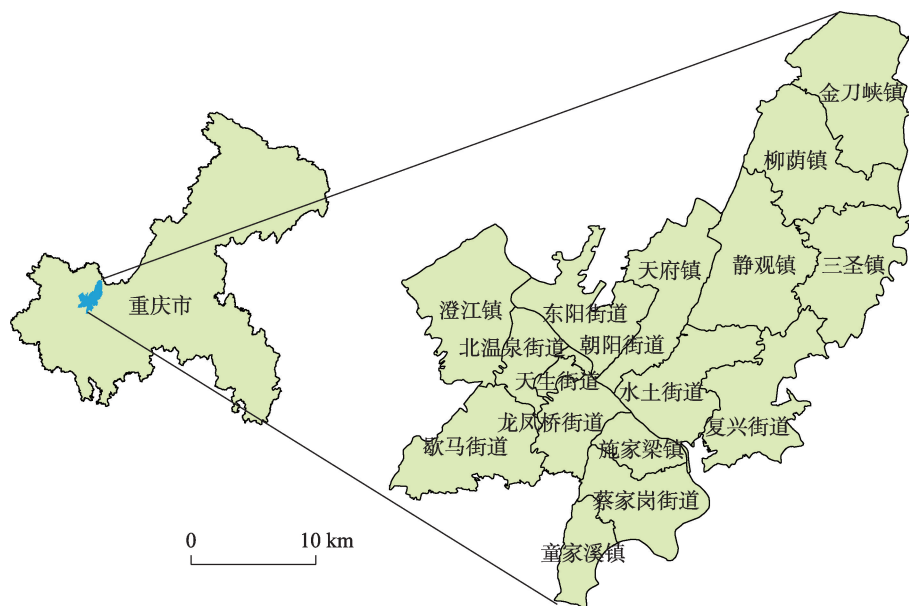


图1 北碚区地理位置及行政区划示意

Fig. 1 Location and Administrative Division of Beibei District in Chongqing

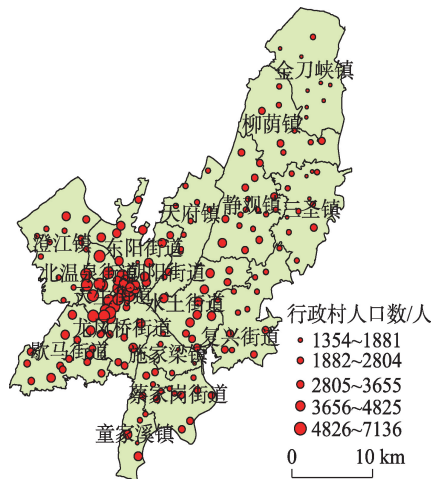


图2 2015年北碚区各行政村人口数量及分布

Fig. 2 Population quantity and distribution of administrative villages in Beibei in 2015

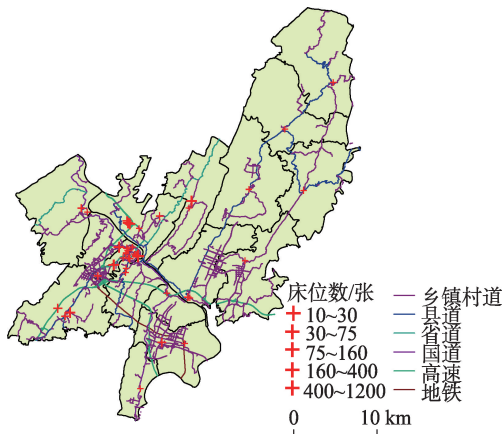


图3 2017年北碚区医疗点分布

Fig. 3 Distribution of medical facilities in Beibei in 2017

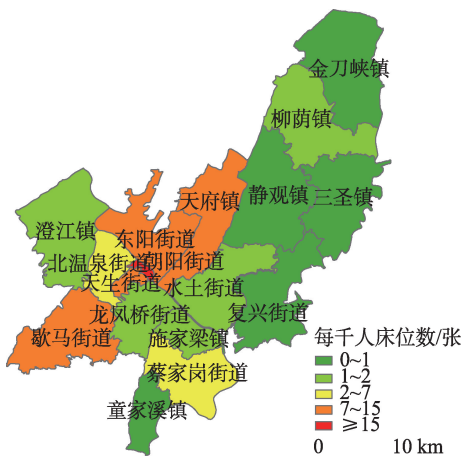


图4 2017年北碚区每千人床位数分布

Fig. 4 Number of hospital beds per 1000 persons in Beibei in 2017

则较差,远低于重庆市的平均水平;其他街道和乡镇的情况介于二者之间。

比例模型法可用于粗略判断区域的医疗资源分布情况,但由于未考虑到居民的出行阻抗、人口规模等因素,故无法了解各街道(乡镇)的医疗设施分布情况、可达性空间差异及缺医状况,无法准确揭示居民所能实际获取的医疗资源,具有一定的局限性,因此考虑用两步移动搜索法对北碚区内医疗设施可达性进行具体分析。

2.2 数据来源

以较小的单元为研究对象能够更好地反映区域内部医疗设施资源获取的差异性^[26],因此本研究以行政村作为研究重庆市北碚区医疗设施空间可达性的最小空间尺度,所需的数据主要包括:

(1)北碚区医疗机构信息。在本文所选取的42个医疗机构中,一级医疗点有24个,二级医疗点16个,三级医疗点2个,该类数据来源于兴趣点(POI)数据和北碚区人民政府2017年医疗机构设置规划^[27]。

(2)人口数据。北碚区街道人口数据来源于北碚区2018年统计年鉴^[24],行政村人口密度数据来源于worldpop网站(<https://www.worldpop.org/>),通过在ArcGIS中生成泰森多边形计算获得人口数量,行政村人口重心用各村行政中心代替。

(3)道路交通数据。北碚区道路交通数据来源于2018年的电子地图,包括北碚区公路、铁路、国道、省道、乡道、地铁等不同等级的道路,将其进行矢量化后,根据道路等级的不同,对其速度属性进行赋值,通行时间由道路长度/速度获得。道路速度根据《公路工程技术标准(JTGB01-2014)》^[28]以及《城市道路工程设计规范》^[29],并结合本研究区域的实际情况,确定不同等级道路的速度。

2.3 研究方法

2.3.1 两步移动搜索法

两步移动搜索法(Two-step Floating Catchment Area Method, 2SFCA),最初是由Radke和Mu^[30]提出,其充分考虑了供给和需求2个方面的因素^[30~31],对早期的移动搜索法进行了改进,因而更为完善。该方法实际上是一种基于机会累积思想的空间可达性度量方法^[32],其原理是通过设定阈值范围内居民能够到达的设施或获得的资源来进行量化,数量越多,可达性越好,从而评价某地服务设施配置

的合理与否。具体步骤为:

(1)以医院 j 为中心,确定时间阈值,搜索所有落在搜寻半径范围内的居民点 k ,并计算供需比,计算如式(1)所示。

$$R_j = \frac{S_j}{\sum_{k \in \{d_{kj} \leq d_0\}} D_k} \quad (1)$$

式中: R_j 为 j 点处的医疗服务供需比; S_j 为 j 点处的供给规模,用医院病床数来表示; D_k 表示 k 点的需求规模,用人口数量来表示; d_{kj} 表示 k 点与 j 点之间获取医疗服务的成本,通常用距离或时间来表示,本文采用时间表征,即居民通过各种交通方式到达医疗点的时间成本; d_0 为搜寻半径。

(2)以居民点 i 为中心,搜索所有落在搜寻半径范围内的医疗点 j ,将所有医疗点提供的服务 R_j 相加,得到居民点 i 点处的可达性 A_i^F ,如式(2)所示。

$$A_i^F = \sum_{j \in \{d_{ij} \leq d_0\}} R_j = \sum_{j \in \{d_{ij} \leq d_0\}} \frac{S_j}{\sum_{k \in \{d_{kj} \leq d_0\}} D_k} \quad (2)$$

式中: A_i^F 为 i 处的医疗服务可达性; d_{ij} 为 i 点与 j 点之间获取医疗服务的时间成本。

传统的两步移动搜索法虽然考虑了居民对有限的医疗资源的竞争,却忽略了医疗点的等级规模对居民就医行为的影响,一般来说,等级规模越大,医疗设施越完善,能够吸引到越远距离的居民;而等级规模越小,技术就相对薄弱,无法吸引到较远距离的居民。另外,在搜索半径内,随着距离的增加,居民的出行意愿也会降低,可达性具有随距离衰减的规律。基于此,众多学者通过扩展搜寻半径以及引入距离衰减函数对两步移动搜索法进行改进,对于搜寻半径的扩展形式主要有可变半径^[33]、动态半径^[34]、多级半径^[18]和最近设施型^[35]等形式,这些扩展形式在一定程度上弥补了传统的单一搜寻半径的不足,但也不可避免地存在一定主观性,需要更多研究进行不断地完善;对于距离衰减,大部分的扩展形式是针对距离衰减函数来进行扩展的,其一般形式如式(3)、式(4)所示,具体扩展形式则因函数 $g(d_{ij})$ 形式的不同而不同,主要有分段衰减形式^[36]、重力模型^[35]、核密度形式^[37]和高斯形式^[38]等,弥补了传统2SFCA中将 $g(d_{ij})$ 处理为恒等于一个常数的不足。本文综合考虑医疗点服务能力、不同医院等级规模对居民的吸引能力、距离衰减对于居民出行意愿的影响等因素,将多级半径和高斯距

离衰减函数结合来对两步移动搜索法进行改进。参考已有学者对多级半径的设定^[26,39]并结合本区域的实际情况通过实地走访抽样调查居民的就医出行意愿,结果表明:对于一级医疗点,44%的居民认为就医出行时间在15~20 min内可以接受,32%的居民认为就医出行时间在20~30 min内可以接受;对于二级医疗点,47%的居民认为就医出行时间在20~30 min内可以接受,35%的居民认为就医出行时间在30~40 min内可以接受。因此,本文将一级医疗点设置最大出行时间为20 min;二级医疗点最大出行时间为30 min;对于三级医疗点,因其医疗设备完善,技术力量雄厚,能够解决较多的疑难杂症,且在北碚区小区域范围内,其覆盖范围较大,因此本文将其最大出行时间设为全域范围内均可达。改进后的两步移动搜索法其表达式为:

$$A_i^F = \sum_{j \in \{d_{ij} \leq d_0\}} \frac{S_j \times f(d_{ij})}{\sum_{k \in \{d_{kj} \leq d_0\}} D_k f(d_{ij})} \quad (3)$$

$$f(d_{ij}) = \begin{cases} g(d_{ij}) & d_{ij} \leq d_0 \\ 0 & d_{ij} > d_0 \end{cases} \quad (4)$$

$$g(d_{ij}) = \frac{e^{-1/2 \times (d_{ij}/d_0)^2} - e^{-1/2}}{1 - e^{-1/2}} \quad (5)$$

式中: $f(d_{ij})$ 为距离衰减函数的一般形式; $g(d_{ij})$ 为搜寻半径 d_0 范围内的距离衰减函数,本文中为高斯距离衰减函数。

2.3.2 局域空间自相关

局域空间自相关主要用于区分热点区(高值聚集区)与冷点区(低值聚集区),以更好地辨别空间差异与集聚特点,表达式如下:

$$Gi^* = \frac{\sum_{j=1}^n w_{i,j} x_j - \bar{x} \sum_{j=1}^n w_{i,j}}{\sqrt{\frac{n \sum_{j=1}^n w_{i,j}^2 - \left(\sum_{j=1}^n w_{i,j} \right)^2}{n-1}}} \quad (6)$$

式中: x_j 是要素 j 的属性值; $w_{i,j}$ 是要素 i 和 j 之间的空间权重; n 为要素总数。其中, \bar{x} 和 s 的计算如下:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{j=1}^n x_j}{n} \quad (7)$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n x_j^2}{n} - \bar{x}^2} \quad (8)$$

Gi^* 统计即为 Z 得分, $Z > 0$ 并显著,则 i 区域为热

点区,若 $Z<0$ 并显著,则 i 区域为冷点区^[40]。

2.4 医疗设施空间可达性计算

由于本研究区域多山的地形因素,在图中直线距离较近的两点往往因交通不便、山脉阻隔等因素需耗费较长的时间,因此本文采用时间来表征居民的出行阻抗。具体计算过程如下:

(1)基于居民点、医疗点的空间位置信息,在ArcGIS中将其与道路交通数据结合,建立空间路网网络数据集。依据表1将不同等级的道路赋予不同的速度属性值,建立OD成本矩阵,计算各居民点到达所有医疗点的出行时间。

(2)根据已建立的OD成本矩阵,在ArcGIS中计算各居民点到医疗点的最短出行时间,求得各居民点最短就医耗时的平均值为38.18 min,因此本文将所有医疗点的固定服务阈值设为38.18 min。对于改进的两步移动搜索法则根据医疗点等级规模的不同,设置不同的搜寻半径,一级医疗点设为20 min,二级医疗点为30 min,三级医疗点设置为研究区全域范围内均可达。

(3)以医疗点为出发点,求得所有落在固定搜

寻半径38.18 min范围内的居民点,并根据式(1)计算各医疗点的供需比;对于改进2SFCA,则需根据不同医疗点的等级搜寻在相应的服务阈值下的所有居民点,根据式(4)、式(5)计算各居民点到医疗点的距离权重,并计算各医疗点的服务供需比。

(4)以居民点为出发点,计算在搜索阈值范围内所有医疗点的供需比之和;改进2SFCA则根据出行时间依据式(4)、式(5)求得距离权重,然后计算居民点对各医疗点供需比的加权求和值得到最终结果即各居民点的医疗设施空间可达性。为了便于比较本文改进2SFCA中加入距离衰减函数与无距离权重的效果,在改进2SFCA计算各行政村到医疗点时,搜寻半径 d_0 也设置为38.18 min。

(5)将计算结果可达性分别赋给各行政村,在ArcGIS中分级渲染,得到可达性分布图。

3 结果及分析

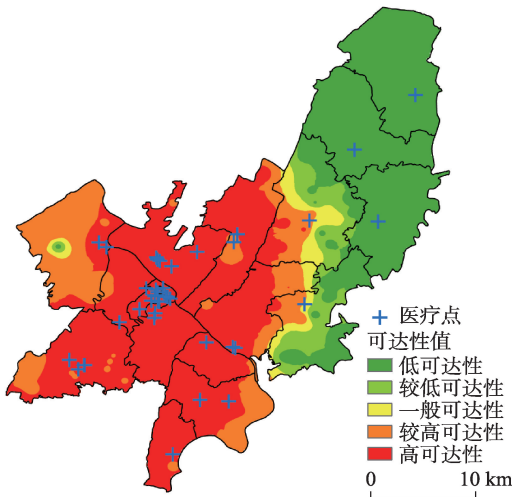
将传统2SFCA和改进2SFCA得到的北碚区医疗设施空间可达性结果进行插值分析,得到结果如图5所示。

3.1 传统两步移动搜索法和改进两步移动搜索法计算结果对比分析

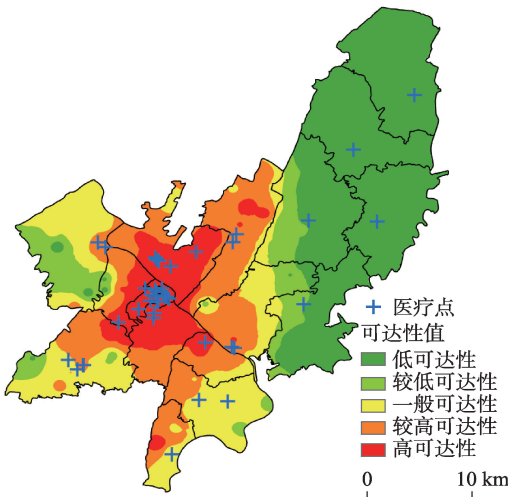
对比图5(a)、(b)用传统2SFCA和改进2SFCA两种方法计算得出的结果来看,大致都呈现出从中心向四周递减的特征,但也存在3点差异:

表1 北碚区不同等级道路速度设置
Tab. 1 Speed limits for the different grades of road in Beibei

道路类型	高速路	国道	省道	县道	乡道	地铁
速度/(km/h)	80	60	60	40	20	60



(a) 传统2SFCA



(b) 改进2SFCA

图5 北碚区医疗设施空间可达性结果

Fig. 5 Spatial accessibility of medical facilities in Beibei

(1)从空间分布上来看,传统2SFCA的结果呈现出两极分布的特点,多在高可达性和低可达性两端分布,而改进2SFCA的结果圈层过渡更显著,其将传统2SFCA判定的高可达性区域又进行了更细致的划分,表明改进2SFCA在识别高可达性区域内部差异上具有优越性。改进2SFCA还识别出了澄江镇、歇马街道和蔡家岗街道等边缘地区的低可达性,更好地反映了区域内部可达性的差异情况。另外,传统2SFCA可达性最高的分布区域过大,一些距县城较远且无医疗点密集分布的地区也被划为高可达性区域,如童家溪镇,而改进2SFCA则因考虑了人口规模对医疗资源的竞争以及距离衰减因素,其可达性值最高的区域仅出现在县城及其周边区域,因此其计算结果更符合实际情况。

(2)从计算结果来看,2种方法最大值与最小值之间的差距均很大(表2),表明北碚区医疗设施可达性存在较大差异,医疗资源分配不均。另外,对两种方法的计算结果进行归一化处理,得到其平均值、中位数、标准差等统计特征如表2所示,发现改进2SFCA的结果要略小于传统2SFCA,这是因为改进2SFCA综合考虑了医疗点的等级规模和供需点之间的距离,采用不同的搜寻半径并加入高斯距离衰减函数等因素,导致并非所有的医疗点对居民都可达,有一部分等级低、距离远的医疗点对居

民不可达,符合实际情况,因此使得整体的计算结果偏小。另外,2种方法计算结果的频数分布也呈现出不同的态势,如图6所示。传统2SFCA的结果呈现出两端分布的特点,可达性差异大,呈现两极分化的特点,难以反映内部的可达性差异,而改进2SFCA的结果则呈现出均匀分布的状态。

(3)与北碚区千人床位数对比来看,澄江镇的千人床位数指标较低,为1~2张,改进的2SFCA将其识别为较低可达性和一般可达性,而传统的2SFCA却将其识别为较高可达性;同样,处于边缘区域的蔡家岗街道和童家溪镇,其千人床位数分别为2~7张和0~1张,改进2SFCA将其分别识别为较高可达性和一般可达性混合区域,而传统2SFCA高可达性和较高可达性区域,显然与实际情况不符,说明改进2SFCA相对能更准确地识别出边缘的低可达性区域。

综上所述,改进2SFCA综合考虑了距离衰减因素、医疗点的等级规模因素,采用高斯距离衰减函数和多级半径相结合的方式弥补了传统2SFCA的不足,其计算结果从各个方面均较符合实际情况,均要优于传统2SFCA,因此下文将着重对改进2SFCA的计算结果进行分析。

3.2 北碚区医疗设施可达性空间分布特征

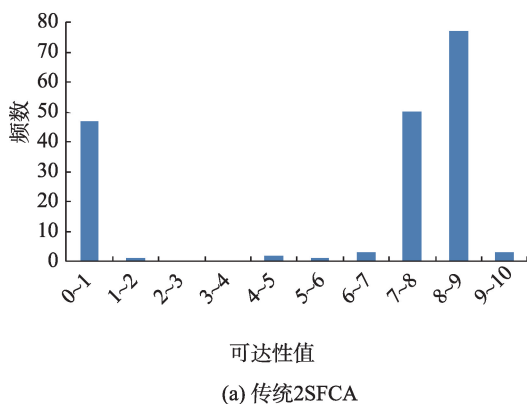
从整体来看,北碚区的可达性较高,结果呈现圈层式分布的形态,从中部向四周可达性逐渐降低,尤其是东北部地区,是北碚区可达性最差的区域,中部主城区区域的医疗可达性则较高。

(1)中部主城区区域的可达性最高,与周围区域相比具有明显的就医优势,主要包括东阳街道、朝阳街道、天生街道,以及北温泉街道和龙凤桥街道

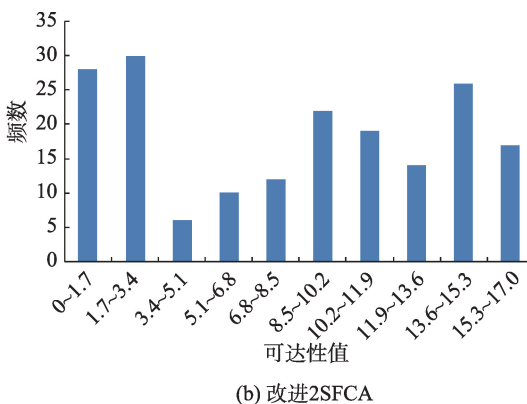
表2 2种方法可达性计算结果对比

Tab. 2 Comparisons of the spatial accessibility based on the two methods

	最小值	最大值	平均值	中位数	标准差
传统2SFCA	0.062	9.08	0.69	0.88	0.39
改进2SFCA	0.069	16.65	0.49	0.54	0.32



(a) 传统2SFCA



(b) 改进2SFCA

图6 可达性值频数分布对比

Fig. 6 Frequency of the spatial accessibility

的部分区域。该类区域医疗点分布集中,医疗设施资源丰富,拥有2家三级医院,13家二级医院,18家一级医院,医院层级结构完善,能满足居民就医的不同需求,但与上海市杨浦区相比,仍然存在低等级医院数量偏多,大型综合医院较少的问题^[12]。另外,该区域道路网密集,居民出行便利,时间阻抗小,因此居民就医便利,可达性高。

当医疗资源充足、医院层级体系分布合理时,居民的就医可达性就高,但要注意避免同等级医院邻近布置、分布过于集中的状态,而应形成不同等级医院层级分布的模式,才能使医疗资源得到更充分的利用,避免资源冗余。

(2)主城外围可达性较好,主要包括天府镇、水土街道、施家梁镇、童家溪镇以及蔡家岗街道和歇马街道的部分区域。该区域因靠近主城,处于高可达性的延伸区域,能够享受到县城中心医疗点提供的医疗服务,加之该区域有3家二级医院,能够满足居民的基本就医需求。且道路交通条件较为完善,道路网密集,有利于居民的就医出行,因此可达性较好。蔡家岗街道和歇马街道虽然距离县城中心有一定距离,但有轨道交通6号线穿过,极大地方便了居民的出行,一定程度上提高了沿线居民的就医可达性,因此交通条件的改善也能够大大提高医疗设施的可获得性。

(3)可达性最差的区域为北碚区东部地区以及西部的边缘地区,该区域属于位置偏远地区,居民数量相对较少且较为分散,因此医疗点分布也较为

稀疏且没有二三级医院分布,大多为乡镇卫生室等一级医疗点,服务覆盖范围小,医疗能力差,因此居民往往需要跨越较远的距离前往二三级医院进行就医。此外,该区域交通不便,路网稀疏,连接行政村之间的也多为乡镇村道、县道等低等级的道路,居民就医出行阻抗大,因此导致居民的就医可达性很低。

可达性差的区域,医疗资源往往配备不足,居民可就近获取的医疗服务较差,对于这类区域,政府应实施补贴政策,如给予居民适当的医疗补助,合理配备医疗资源,提高医疗点的服务能力等改善居民的就医条件;另外交通的便利与否对于可达性的高低也有着重要影响,因此还要完善道路路网结构,提高道路等级,增加道路密度,完善多种交通出行方式,从而减小居民就医的出行阻抗。

3.3 北碚区医疗设施可达性空间分异特征

进一步借助Getis-Ord G_i^* 指数即冷热点分析来区分可达性的热点区(高值聚集区)与冷点区(低值聚集区),更深入地了解北碚区内医疗设施可达性的空间分异特点,结果如图7所示。通过对传统2SFCA和改进2SFCA的结果做冷热点分析,发现两者得到的结果具有一致性,由图可知,北碚区的医疗设施空间可达性值呈现出较明显的空间集聚态势,空间差异性较大:热点区主要集中在天生街道、朝阳街道和北温泉街道,该类区域的可达性水平明显要优于其他地区;冷点区主要分布在金刀

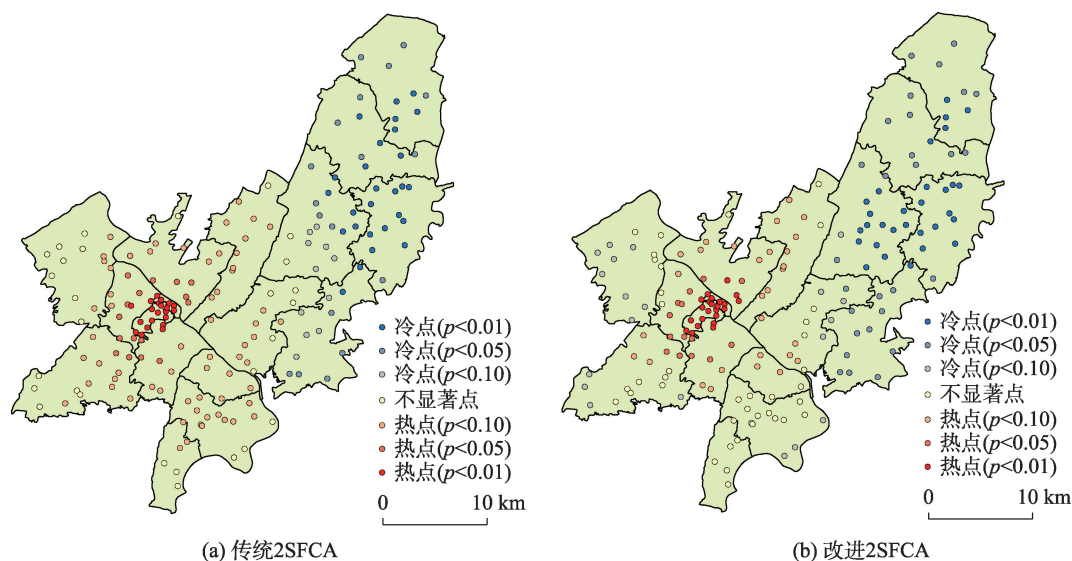


图7 北碚区医疗设施空间可达性Getis-Ord G_i^* 指数分析

Fig. 7 Getis-Ord G_i^* analysis of the spatial accessibility of medical facilities in Beibei

峡镇、柳荫镇、三圣镇和静观镇,该类区域的可达性值明显偏低,应通过增加医疗设施供给点或改善道路交通条件来提高医疗服务水平;其余区域则介于二者之间,处于热点向冷点的过渡区域或不显著点区域。

4 结论与讨论

本文在传统两步移动搜索法的基础上,考虑医院等级规模和距离衰减因素的影响,引入多级半径和高斯距离衰减函数来改进两步移动搜索法,基于GIS空间分析技术,以行政村为最小研究单元,综合考虑不同道路等级的速度设置,研究重庆市北碚区的医疗设施空间可达性,从而使研究结果更贴近实际。研究结果表明:

(1)改进的两步移动搜索法在空间分布上呈现更显著的圈层过渡特征,其在识别高可达性区域内部差异和边缘低可达性区域方面具较高的敏感性;在统计特征上相比传统2SFCA两极分化的特点,其标准差等统计值略小于传统2SFCA,呈现出更均匀分布的特征;在与本研究区域千人床位数的对比上,也表现出更高的一致性,如千人床位数指标相对较低的澄江镇、蔡家岗街道和童家溪镇,改进2SFCA将其识别为较低可达性和一般可达性,而传统2SFCA却将其识别为高可达性和较高可达性区域,因此其结果更准确地反映北碚区医疗设施可达性的空间分布特点。

(2)北碚区整体的医疗设施空间可达性较高,呈现出由中心向四周递减的趋势。

(3)通过冷热点分析发现北碚区医疗设施可达性空间差异大,医疗资源分配不均,全区有较明显的空间集聚态势,高值区域主要集中在县城中心,包括东阳街道、朝阳街道、天生街道、北温泉街道和龙凤桥街道,低值区域主要集中分布在北碚区东部,包括金刀峡镇、柳荫镇、三圣镇、复兴街道和静观镇。

(4)国内此方面的研究如柳泽等通过引入核密度型距离衰减函数和多级服务半径来改进两步移动搜索法^[2],其也将改进2SFCA与传统2SFCA结果进行对比,发现改进后的统计特征值整体要小于改进前的结果,且也呈现出更均匀分布的特点,另外改进前后的空间分布特征上其可达性最优区域不一致,通过综合分析发现改进后的结果更符合实际

情况,与本文的结论具有一致性,从而说明改进后的两步移动搜索法能够综合考虑各种因素,其结果相对能更准确地刻画研究区域的医疗设施可达性空间分布状况。

本文的研究结果有助于了解北碚区医疗设施空间可达性情况,为有关部门制定合理的规划与布局提供依据,但仍然存在有待改进之处:①对于不同规模等级医疗点的居民最大出行时间阈值的设定仍然存在一定的主观性,在下一步的研究中可通过设置不同的时间阻抗对可达性进行敏感性分析;②本文的研究建立在居民仅在北碚区内进行就医、区内医疗资源仅供研究区居民使用的假设条件上,没有考虑到边缘地区居民的就医习惯以及周边地区对本区域就医可达性的影响,对跨行政区进行就医的行为未做充分考虑。

参考文献(References):

- [1] 吴建军,孔云峰,李斌.基于GIS的农村医疗设施空间可达性分析——以河南省兰考县为例[J].人文地理,2008(5):37-42. [Wu J J, Kong Y F, Li B. The spatial accessibility analysis of rural medical facilities based on GIS: A case study of Lankao County, Henan Province[J]. Human Geography, 2008(5):37-42.]
- [2] 柳泽,杨宏宇,熊维康,等.基于改进两步移动搜索法的县域医疗卫生服务空间可达性研究[J].地理科学,2017,37(5):728-737. [Liu Z, Yang H Y, Xiong W K, et al. Spatial accessibilities of medical services at county level based on optimized two-step floating catchment area method[J]. Scientia Geographica Sinica, 2017,37(5):728-737.]
- [3] McGrail M R, Humphreys J S. Measuring spatial accessibility to primary health care services: Utilising dynamic catchment sizes[J]. Applied Geography, 2014,54(4):182-188.
- [4] McGrail M R, Humphreys J S. Measuring spatial accessibility to primary care in rural areas: Improving the effectiveness of the two-step floating catchment area method [J]. Applied Geography, 2009,29(4):533-541.
- [5] Kalogirou S, Foley R. Health, place and Hanly: Modelling accessibility to hospitals in Ireland[J]. Irish Geography, 2006,39(1):52-68.
- [6] Eason A, Tim S. Using GIS as a management tool for health care assessment and planning[C]. Geographic Information Systems in Public Health: Proceedings of the Third National Conference, 1998,299-310.
- [7] 胡瑞山,董锁成,胡浩.就医空间可达性分析的两步移动搜索法——以江苏省东海县为例[J].地理科学进展,2012,31(12):1600-1607. [Hu R S, Dong S C, Hu H. A two-step

- floating catchment area (2SFCA) method for measuring spatial accessibility to primary healthcare service in China: A case study of Donghai County in Jiangsu Province [J]. *Progress in Geography*, 2012,31(12):1600-1607.]
- [8] 陶卓霖,程杨.两步移动搜寻法及其扩展形式研究进展[J].*地理科学进展*,2016,35(5):589-599. [Tao Z L, Cheng Y. Research progress of the two-step floating catchment area method and extensions[J]. *Progress in Geography*, 2016,35(5):589-599.]
- [9] 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和缺医地区判断——以江苏省如东县为例[J].*地理科学*,2010,30(2):213-219. [Song Z N, Chen W, Che Q J, et al. Measurement of spatial accessibility to health care facilities and defining health professional shortage areas based on improved potential model: A case study of Rudong County in Jiangsu Province[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2010,30(2):213-219.]
- [10] 丁慷,陈报章.城市医疗设施空间分布合理性评估[J].*地球信息科学学报*,2017,19(2):185-196. [Ding S, Chen B Z. Rationality assessment of the spatial distributions of urban medical facility[J]. *Journal of Geo-information Science*, 2017,19(2):185-196.]
- [11] 孔云峰,李小建,张雪峰.农村中小学布局调整之空间可达性分析——以河南省巩义市初级中学为例[J].*遥感学报*,2008,12(5):800-809. [Kong Y F, Li X J, Zhang X F. Analysis of spatial accessibility for school redistricting in rural China: A case study of the secondary schools in Gongyi City, Henan Province[J]. *Journal of Remote Sensing*, 2008,12(5):800-809.]
- [12] 曾文,向梨丽,张小林.南京市社区服务设施可达性的空间格局与低收入社区空间剥夺研究[J].*人文地理*,2017,32(1):73-81. [Zeng W, Xiang L L, Zhang X L. Research in spatial pattern of accessibility to community service facilities and spatial deprivation of low income community in Nanjing[J]. *Human Geography*, 2017,32(1):73-81.]
- [13] Fan P L, Xu L H, Yue W Z, et al. Accessibility of public urban green space in an urban periphery: The case of Shanghai[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2017,165:177-192.
- [14] 车莲鸿.卫生服务空间可达性度量方法与应用领域[J].*中国卫生事业管理*,2013,30(2):88-91. [Che L H. Review on the measures and application of spatial accessibility to health care[J]. *Chinese Health Service Management*, 2013,30(2):88-90.]
- [15] Gharani P, Stewart K, Ryan G L. An enhanced approach for modeling spatial accessibility for in vitro fertilization services in the rural Midwestern United States[J]. *Applied Geography*, 2015,64:12-23.
- [16] Wu C, Ye X Y, Du Q Y, et al. Spatial effects of accessibility to parks on housing prices in Shenzhen, China[J]. *Habitat International*, 2017,63:45-54.
- [17] 汤鹏飞,向京京,罗静,等.基于改进潜能模型的县域小学空间可达性研究——以湖北省仙桃市为例[J].*地理科学进展*,2017,36(6):697-708. [Tang P F, Xiang J J, Luo J, et al. Spatial accessibility analysis of primary schools at the county level based on the improved potential model: A case study of Xiantao City, Hubei Province[J]. *Progress in Geography*, 2017,36(6): 697-708.]
- [18] 陶卓霖,程杨,戴特奇.北京市养老设施空间可达性评价[J].*地理科学进展*,2014,33(5):616-624. [Tao Z L, Cheng Y, Dai T Q. Measuring spatial accessibility to residential care facilities in Beijing[J]. *Progress in Geography*, 2014, 33(5):616-624.]
- [19] 党华敏.妇产医疗资源空间分布及可达性研究[D].北京:首都师范大学,2013. [Dang H M. The spatial accessibility research on maternity medical resources: A case of six district Beijing[D]. Beijing: Capital Normal University, 2013.]
- [20] 邓丽,邵景安,郭跃,等.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*,2015,34(6):716-725. [Deng L, Shao J A, Guo Y, et al. 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*, 2015,34 (6):716-725.]
- [21] Wang F. Measurement, optimization, and impact of health care accessibility: A methodological review[J]. *Annals of the Association of American Geographers*, 2012, 102(5): 1104-1112.
- [22] 宋正娜,陈雯,张桂香,等.公共服务设施空间可达性及其度量方法[J].*地理科学进展*,2010,29(10):1217-1224. [Song Z N, Chen W, Zhang G X, et al. Spatial accessibility to public service facilities and its measurement approaches [J]. *Progress in Geography*, 2010,29(10):1217-1224.]
- [23] 王法辉.基于GIS的数量方法与应用.姜世国,滕骏华,译[M].北京:商务印书馆.2011. [Wang F H. Quantitative methods and application in GIS. Jiang S G, Teng J H, Trans[M]. Beijing: The Commercial Press, 2011.]
- [24] 重庆市北碚区统计局.北碚统计年鉴2018[M].北京:中国统计出版社,2018. [Beibei district bureau of statistics in Chongqing. Beibei statistical yearbook-2018[M]. Beijing: China Statistics Press, 2018.]
- [25] 中华人民共和国国家统计局.中国统计年鉴2018[M].北京:中国统计出版社,2018. [National Bureau of Statistics of the People's Republic of China. China Statistical Yearbook 2018[M]. Beijing: China Statistics Press, 2018.]

- [26] 程敏,连月娇.基于改进潜能模型的城市医疗设施空间可达性——以上海市杨浦区为例[J].地理科学进展,2018,37(2):266-275. [Cheng M, Lian Y J. Spatial accessibility of urban medical facilities based on improved potential model: A case study of Yangpu District in Shanghai[J]. Progress in Geography, 2018,37(2):266-275.]
- [27] 重庆市政府网.重庆市北碚区人民政府办公室关于印发北碚区医疗卫生机构设置规划的通知[EB/OL]. http://jb.cq.gov.cn/publicity_bbqzf/wsjsyfnets/ws/. [Chongqing municipal government network. Notice of the Office of the People's Government of Beibei District of Chongqing on the Issuance of Planning for the Establishment of Medical and Health Institutions in Beibei District[EB/OL]. http://jb.cq.gov.cn/publicity_bbqzf/wsjsyfnets/ws/369254.]
- [28] 交通运输部公路局.公路工程技术标准(JTGB01-2014) [S].北京:人民交通出版传媒管理有限公司,2017. [Ministry of Transport Highway Bureau. Technical standard of highway engineering[S]. Beijing: China Communications Publishing & Media Management Co.,Ltd,2017.]
- [29] 北京市市政工程设计研究总院有限公司.城市道路工程设计规范[S].北京:中国建筑工业出版社,2016. [Beijing General Municipal Engineering Design & Research Institute Co.,Ltd. Code for design of urban road engineering [S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2016.]
- [30] Radke J, Mu L. Spatial decompositions, modeling and mapping service regions to predict access to social programs[J]. Geographic Information Sciences, 2000,6(2): 105-112.
- [31] Wang F H, Luo W. Assessing spatial and nonspatial factors for healthcare access: Towards an integrated approach to defining health professional shortage areas[J]. Health & Place, 2005,11(2):131-146.
- [32] 但文羽,肖映辉,胡周灵,等.基于高斯两步移动搜寻法的村镇避难场所可达性研究[J].地球信息科学学报,2018,20(10):1412-1421. [Dan W Y, Xiao Y H, Hu Z L, et al. Rural emergency shelter accessibility using Gaussian based 2-step floating catchment area method[J]. Journal of Geo-information Science, 2018,20(10):1412-1421.]
- [33] Luo W, Whippo T. Variable catchment sizes for the two step floating catchment area (2SFCA) method[J]. Health& Place, 2012,18(4):789-795.
- [34] McGrail M R, Humphreys J S. Measuring spatial accessibility to primary health care services: Utilising dynamic catchment sizes[J]. Applied Geography, 2014,54(4):182-188.
- [35] Jamtsho S, Corner R, Dewan A. Spatio-temporal analysis of spatial accessibility to primary health care in Bhutan [J]. ISPRS International Journal of Geo- information, 2015,4(3):1584-1604.
- [36] Luo W, Qi Y. An enhanced two-step floating catchment area (E2SFCA) method for measuring spatial accessibility to primary care physicians[J]. Health & Place, 2009,15(4): 1100-1107.
- [37] Dai D J, Wang F H. Geographic disparities in accessibility to food stores in southwest Mississippi[J]. Environment and Planning B: Planning and Design, 2011,38(4): 659-677.
- [38] Dai D. Racial/ethnic and socioeconomic disparities in urban green space accessibility: Where to intervene[J]. Landscape and Urban Planning, 2011,102(4):234-244.
- [39] 高雁鹏,李沐雨.基于改进 2SFCA 的医疗设施空间可达性研究——以沈阳市 9 区为例[J].信息记录材料,2018,19(2):115-118. [Gao Y P, Li M Y. Spatial accessibility of medical facilities based on improved two-step floating catchment area method: A case study of 9 Districts in Shenyang City[J]. Information Recording Materials, 2018, 19(2):115-118.]
- [40] 沈体雁,冯等田,孙铁山.空间计量经济学[M].北京:北京大学出版社,2011. [Shen T Y, Feng D T, Sun T S. Spatial Econometrics[M]. Beijing: Peking University Press, 2011.]