

基于改进引力模型的医疗服务可达性评价¹

李朝奎^{1, 2, 3}, 卜璞^{1, 2, 3}, 方军^{1, 2, 3}, 马开森^{1, 2, 3}, 陈爱民³

(1. 湖南科技大学地理空间信息技术国家地方联合工程实验室, 中国湖南湘潭 411201; 2. 湖南科技大学地理空间信息湖南省工程实验室, 中国湖南湘潭 411201; 3. 湘潭市地理空间信息应用工程技术研究中心, 中国湖南湘潭 411000)

【摘要】:城市医疗服务的可达性评价是智慧城市建设的基本需求。基于传统引力模型的评价方法中医疗点服务能力的量化没有形成通用的算法, 且未考虑医疗点间的竞争效应, 因而医疗服务可达性评价结果的可靠性受到质疑。针对上述不足, 提出了以区域内人口作为竞争强度, 采用医疗点的 Vonmoir 多边形构建医疗机构的竞争区域, 进而对传统模型进行改进, 用改进模型进行医疗可达性评估的新方法; 提出了以医院等级、卫生技术人员数量及床位数作为医疗机构服务能力评价指标, 采用以时间距离为测度的灰关联分析模型测度医疗机构服务能力, 对医疗服务可达性进行评价, 以此评估湘潭市区医疗机构的布局适宜性。结果表明: 基于改进引力模型得出的湘潭市医疗服务可达性专题地图与实际情况吻合, 真实反映了区域医疗设施的分布特征及服务水平, 为优化湘潭市医疗空间布局提供决策依据, 亦为市民选择医疗服务机构提供决策参考。

【关键词】:智慧城市 可达性 改进引力模型 医疗服务 灰关联分析 医院与医疗点

【中图分类号】:K901 **【文献标志码】:**A **【文章编号】:**1000-8462(2018)12-0083-06 DOI:10.15957/j.cnki.jjdl.2018.12.011

随着人们对医疗卫生服务的需求日益高涨, 改善居民的医疗环境, 提高医疗卫生服务水平, 已成为国家与社会普遍关注的焦点。为此国家实行了“新医改”政策, 提高基本医疗卫生服务的可达性是其近期目标之一, 并确立了“适度规模、合理布局”为公立医院试点改革的指导思想和要求。空间可达性分析是进行城市医院布局评价的适宜方法, 它以研究医疗点(供给)与居民点(需求)之间的空间分布规律为目的, 通过综合分析市区医院与人口的空间分布特征, 进而对城市医疗卫生服务的便捷程度进行评价, 最终为市区医院的空间布局优化提供决策依据。

医疗环境的便捷度可直接影响到居民的生命安全, 是民众的迫切需求。因而, 医疗设施的空间布局受到了众多海内外学者的密切关注。Bosanac 等很早就提出了出行时间为 30min 的标准^[1]; Eck 等利用 GIS 技术对个人药店的区位选择问题进行了空间可达性分析^[2]; WanNeng 等在美国德克萨斯州以两步移动搜索法为手段, 探讨了该地区结肠癌服务的空间可达性^[3]。在国内, 熊娟等对湖北省松滋市医疗服务的均等化进行了可达性分析^[4]; 侯松岩等结合公共交通系统, 对长春市各居民小区与医院间可达性进行了分析, 得到了其空间分布特征^[5]; 钟少颖等对北京城六区医疗设施进行分析, 使用两阶段的两步移动搜寻法与多模态网络数据集的网络分析法相结合, 得到了在不同转诊率情况下医疗设施的空间可达性^[6]。

综合上述研究发现, 目前该方面的研究仍存在以下不足: 第一, 医疗机构自身对可达性的影响研究不足, 没有形成量化医疗

¹收稿时间: 2018-04-08; 修回时间: 2018-10-23

基金项目: 国家自然科学基金项目(41571374); 国家重点研发计划项目(2017YFB0503802); 湖南省教育厅重点项目(16A070); 湖南省自然科学基金湘潭联合基金项目(2017JJ4037)

作者简介: 李朝奎(1967—), 男, 湖南汉寿人, 教授, 博士生导师。主要研究方向为三维地理建模及其应用。-mail: chkljm@163.com。

机构服务能力的通用方法;第二,没有考虑距离测度的多元性。测度距离表现为实际距离、时间距离、成本距离及主观层面的感知距离^[7]。

距离定义的因素包括研究区域的空间尺度和地形复杂度^[8]。针对上述研究缺陷,本文提出以区域内人口作为竞争强度,采用医疗点的 Voronoi 多边形构建医疗机构的竞争区域,进而对传统模型进行改进;提出以医院等级、卫生技术人员数量及床位数三个指标构建医疗结构服务能力评价体系,采用时间距离,引入灰关联分析模型测度医疗机构服务能力,对医疗服务的便捷度即医疗服务可达性进行评价,以此评估研究区域内医疗机构的布局适宜性。

以湘潭市区为研究对象,以市区内街道办作为研究的空间单元,距离归集中心采用居民地人口加权质心,利用改进的引力模型计算湘潭市医疗服务的可达性,采用时间距离测度研究区内医疗服务的空间可达性,以此探索适宜的医院布局评价方法,系统性分析湘潭市医疗服务的便捷程度,给出专题评价图,为优化湘潭市医疗空间布局提供决策依据。

1 改进的引力模型

医疗服务空间可达性分析主要关注的是卫生服务供需双方的空间分布特征及相互关系,可选择的分析模型有多种^[9],不同的模型所反映的空间可达性内涵是不同的,这主要体现在各种影响空间可达性大小的因素的选择上。

大量研究表明,在一定范围内,受多种因素的影响,各居民点获得医疗服务的便捷程度存在着差异,而居民区周边医疗设施的数量、规模及分布情况则是医疗服务的空间可达性的重要影响因素。引力模型综合了可接近性和可获得性两种因素的量度,考虑了供、需双方的相互作用关系,被认为是最有效的空间可达性测量模型。

1.1 传统引力模型

引力模型最初由汉森提出,旨在计算居民与区域范围内所有医疗服务机构之间的相互作用,模型表达式为:

$$A_i^H = \sum_{j=1}^n S_j d_{ij}^{-\beta} \quad (1)$$

式中: A_i^H 为可达性指数; S_j 为供给方服务能力; n 为供给方数量; d_{ij} 为供给方与需求方之间的路网距离或出行时间; β 为阻抗系数, β 取值一般在1~2之间。

1.2 引力模型的改进

Joseph 等^[10]将引力模型引用到医疗服务空间可达性研究中,但初始模型只考虑供给方的积累和距离衰减效应,没有考虑需求方内部的竞争,Weibull^[11]在这一点上对模型作了改进,改进后模型表达式为:

$$A_i^G = \sum_{j=1}^n \frac{S_j d_{ij}^{-\beta}}{V_j}, V_j = \sum_{k=1}^m D_k d_{kj}^{-\beta} \quad (2)$$

式中: A_i^G 为修正的引力可达性指标; V_i 为竞争强度; D_k 为需求方的规模; m 为需求方的数量; d_{kj} 为需求方与供给方之间的距离或出行时间; β 仍为阻抗系数,取值一般在1~2之间。

但是在 Weibull 的改进模型中,引入的竞争强度因子 V_j 被定义为研究区所有需求点对该供应点的竞争效应,这样计算竞争强度首先大大增加了模型计算量;其次每个供应点都有一定的理论服务范围,只有在范围内的需求点之间才有竞争效应,超出范围的需求点基本上不参与竞争^[12-13]。因此,在计算竞争强度因子时,应首先确定每个供应点的竞争效应范围,再计算范围内所有需求点的竞争强度,计算公式为^[14-15]:

$$V_j = \sum_{k \in G_j} D_k d_{kj}^{-\beta} \quad (3)$$

式中: V_j 为竞争强度; D_k 为需求方的规模; G_j 为供应点 j 的竞争效应范围; d_{kj} 为需求方与供给方之间的距离或出行时间; β 为阻抗系数。

对于竞争效应范围 G_j 的确定,本文提出根据就医距离,采用研究区域医疗点的 Voronoi 多边形来表示竞争范围。Voronoi 多边形有如下特点^[16]:①每个 Voronoi 多边形内有且仅有一个供应点数据;②Voronoi 多边形内的任一需求点到该多边形内供应点的距离最近;③相邻 Voronoi 多边形公共边上的需求点到两个多边形内供应点的距离相等。

由此可以将式(3)进一步改进,得到改进后的引力模型为:

$$A_i^G = \sum_{j=1}^n \frac{S_j d_{ij}^{-\beta}}{V_j}, V_j = \sum_{k \in G_j} D_k d_{kj}^{-\beta} \quad (4)$$

式中: G_j 为医疗点 j 的 Voronoi 多边形竞争效应范围; d_{kj} 为医疗点与患者之间的欧氏距离。其余各参数与(2)、(3)同。

2 研究区域医疗服务可达性评价

2.1 评价方法

为了验证模型(4)的有效性,首先在研究区内收集人口、医院、交通路网等数据,建立专题数据库,充分利用 ArcGIS 及其二次开发工具,计算出居民点获得医疗服务的空间可达性指标,以此对医疗资源分配的空间特性进行评估分析。具体评估流程如图 1。

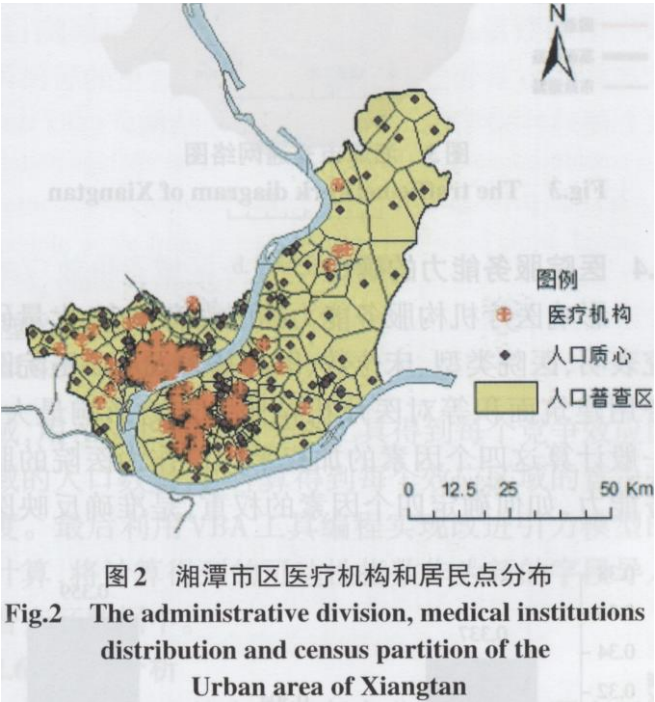
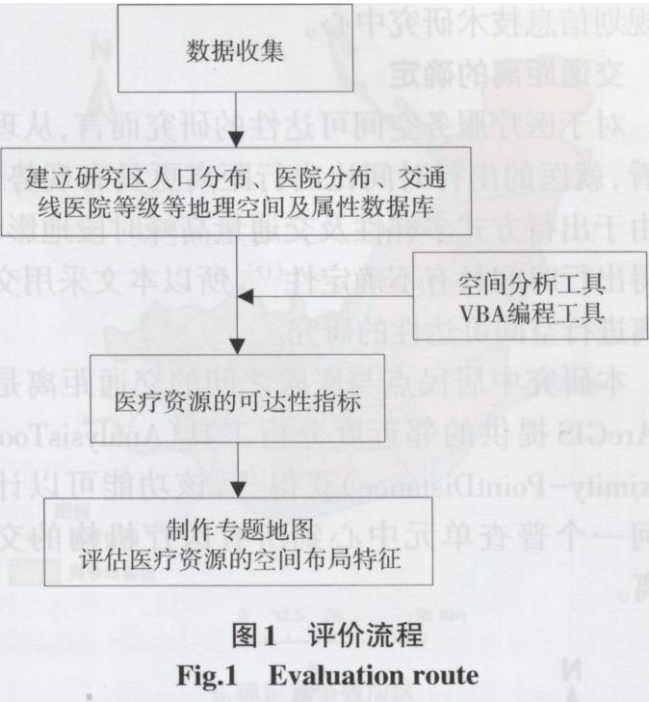
2.2 研究区域与数据来源

以湘潭市为例进行医疗资源配置研究。湘潭市位于湖南省中部,是湖南省最发达地区一“长株潭”经济区的重要组成部分。湘潭市主城区包括雨湖区和岳塘区两个行政区。其中,雨湖区下辖 2 个乡、3 个镇、12 个街道办事处,总面积 451.39km²,总人口 59.02 万人;岳塘区下辖 1 个镇、14 个街道办事处,总面积 206.03km²,总人口 34.96 万人。市区位于湘潭市中东部,地势相对高程差较小,比较平坦。

根据市卫计委统计,截至到 2013 年,全市共有卫生技术人员 15708 人,医疗机构开放床位 13741 张,总诊疗人次为 1030.6 万。市区共分布有综合性医院 18 家,乡镇卫生院 12 所,社区卫生服务中心 19 家(图 2)。

利用引力模型计算空间可达性需要行政区划数据、交通路网数据、人口数据和医疗结构数据。人口分布数据来自于湘潭市

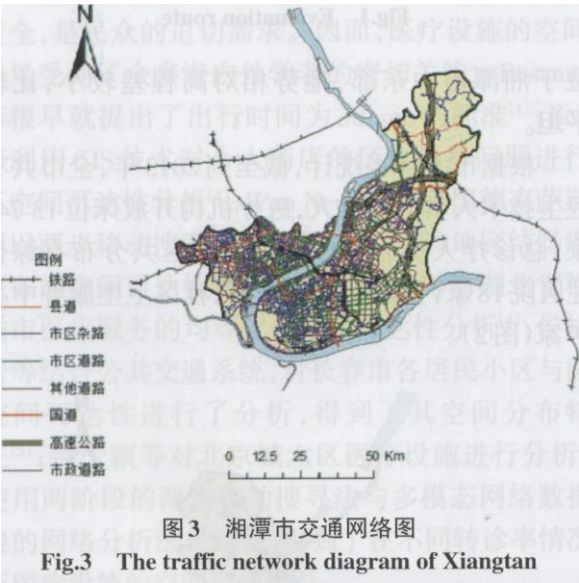
卫计委。医院数据来自于 2015 年《中国卫生和计划生育统计年鉴》，包括医院类型、床位数、医务技术人员、职业医师人数等。行政区划数据与交通路网数据均来源于湘潭市规划信息技术研究中心。



2.3 交通距离的确定

对于医疗服务空间可达性的研究而言，从理论上讲，就医的出行时间比出行距离更具有现势性，但由于出行方式多样性及交通量高峰时段地影响，使得出行时间具有不确定性^[17]，所以本文采用交通距离进行空间可达性的研究。

本研究中居民点与医院之间的交通距离是通过 ArcGIS 提供的邻近度分析工具（AnalysisTools-Proximity-PointDistance）获得^[18]，该功能可以计算任何一个普查单元中心到所有医疗机构的交通距离。



2.4 医院服务能力的确定

影响医疗机构服务能力的因素有很多，大量研究表明，医院类型、床位数、医务技术人员及医院医务用建筑面积等对医疗机构服务能力影响最大。一般计算这四个因素的加权平均值作为医院的服务能力，如何确定四个因素的权重，是准确反映医院服务能力的关键。本文采用灰色关联分析法，此方法是基于行为因子序列的微观或宏观的几何接近，以分析和确定因子间的影响程度或因子对主行为的贡献测度而进行的一种分析方法，通过计算每个因素与医院就医人数之间的灰关联系数，以此作为各个因素的权重，进而求得医院的服务能力。

表 1 2000—2014 年湖南省医疗卫生事业基本情况
Tab.1 Basic situation of medical and health care in
Hunan Province from 2000 to 2014

年份	诊疗人次 (万人)	床位数 (万个)	卫生技术人员 (万人)	职业医师人数 (万人)
2000	7 965.49	13.21	19.88	8.80
2001	8 986.52	13.43	19.89	8.90
2002	8 175.24	13.00	19.00	8.00
2003	7 791.88	13.00	18.95	7.90
2004	7 678.81	13.70	18.89	7.90
2005	8 078.32	14.16	18.94	7.99
2006	8 582.34	14.97	19.00	8.05
2007	9 079.70	16.17	22.06	9.25
2008	11 434.90	17.47	23.21	9.63
2009	19 458.39	19.73	24.81	10.07
2010	13 305.32	21.59	26.26	10.42
2011	21 697.46	24.20	27.55	10.59
2012	23 118.93	26.78	29.71	11.67
2013	24 405.29	29.25	32.34	12.74
2014	25 050.85	33.05	34.14	13.34

灰关联系数计算原理为：设有参考序列 $X_0 = \{x_0(t) | t=1, 2, \dots, n\}$ 与比较序列 $X_i = \{x_i(t) | t=1, 2, \dots, n; i=1, 2, \dots, m\}$ ，参考数列用来表示系统行为的特征，比较数列用来表示影响系统行为的因素。由此可计算出比较序列相对于参考序列的灰关联序列：

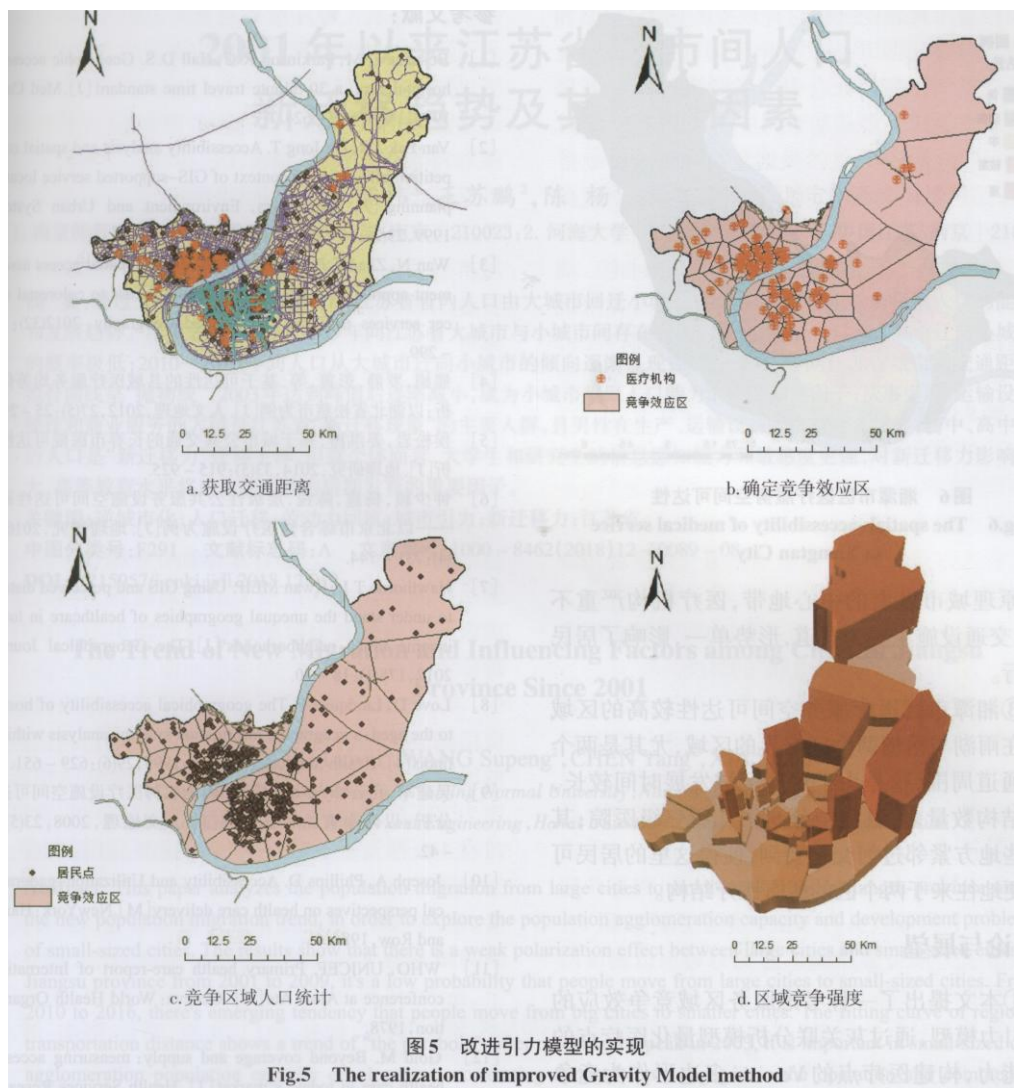
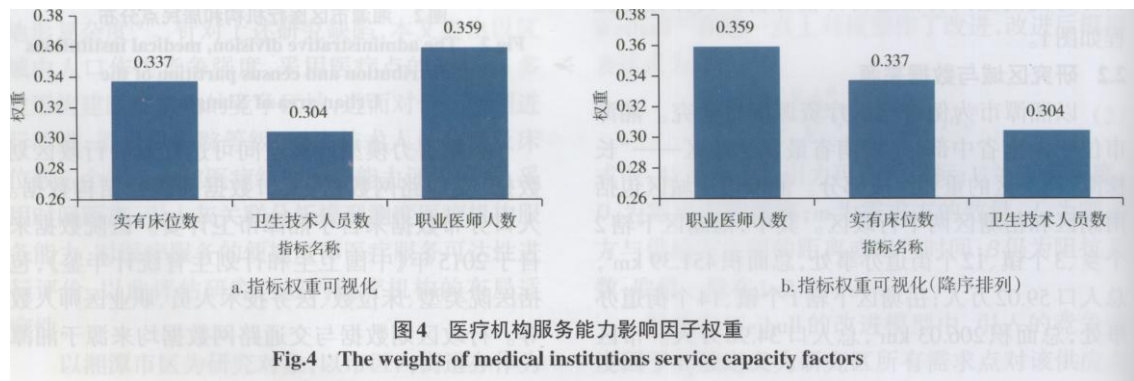
$$\delta_{0i}(t) = \frac{\min_{0 \leq i \leq m} \min_{0 \leq t \leq n} |X_0(t) - X_i(t)| + \rho \max_{0 \leq i \leq m} \max_{0 \leq t \leq n} |X_0(t) - X_i(t)|}{|X_0(t) - X_i(t)| + \rho \max_{0 \leq i \leq m} \max_{0 \leq t \leq n} |X_0(t) - X_i(t)|} \quad (5)$$

一般来讲， ρ 越小，分辨力越大，具体取值应视情况而定。研究表明，当 ρ 的取值范围为 $\rho \leq 0.5463$ 时，分辨力最好，本文选取分辨系数 $\rho=0.5$ 。最后计算不同时刻关联系数的平均值：

$$\lambda_i = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \delta_{0i}(t), (i = 1, 2, \dots, m) \quad (6)$$

以此作为比较序列与参考数列间的关联度。

本文利用 Matlab 工具实现行为因子对参考序列灰关联度的计算，进而求出各因子的权重。



2.5 改进引力模型的算法实现

首先在人口普查数据属性表中建立新的字段——“交通距离”，利用邻近度分析方法计算出每个人口质心到所有医疗结构的交通距离，并将所得距离加载到人口普查区属性表中。然后建立医疗机构的 Voronoi 多边形作为医疗机构的竞争效应区域，用 ArcGIS 的统计分析工具得到每个竞争效应区域的人口数量，并计算得到每个效应区域的竞争强度。最后利用 VBA 工具编程实现改进引力模型的计算，将计算得到的可达性指数作为新的字段导入普查区数据中。

2.6 结果分析

用 ArcGIS 的自然间断点分级法对湘潭市区的医疗服务空间可达性进行可视化表达，结果表明：

- ① 总体上看，湘潭市雨湖区比岳塘区的医疗可达性更高，这是由于岳塘区为新城，发展起步较晚，相应医疗配套设施不足。
- ② 雨湖区的西北边、岳塘区的东北及东边的面积较大区域医疗可达性指数比较低，这是由于这些区域原理城市发展的中心地带，医疗机构严重不足，且交通设施主要为县道，形势单一，影响了居民的出行。
- ③ 湘潭市区医疗服务空间可达性较高的区域集中在雨湖与岳塘两个区交界的区域，尤其是两个过河通道周围，这是由于这些区域发展时间较长，医疗结构数量多，且集中分布了几所三级医院；其次这些地方紧邻过河交通要道，使得这里的居民可以方便地往来于两个区的所有医疗结构。

3 结论与展望

- ① 本文提出了一种考虑服务区域竞争效应的改进引力模型，通过灰关联分析模型量化医疗点的服务能力，构建医疗点的 Voronoi 多边形作为竞争区域，以区域内人口作为竞争强度带入传统引力模型中，实现区域医疗服务可达性指数计算。该方法的优点在于：考虑了医疗点服务范围内的竞争效应，强化了区域人口对可达性的影响，且采用交通路网距离作为距离测度，评价结果与实际情况具有相当的一致性，能有效地为政府合理配置医疗资源提供决策参考。
- ② 本文的研究对象为湘潭市，主城区被湘江划分为东西两部分，过江河流的增加将会使城区医疗通达性大大提升。
- ③ 本文在研究通达性过程中，对于居民所在地（需求点）的选择为社区质心，受到了社区边界划分的限制。随着研究的深入，如果能采用 POI 数据来提取居民区域分布，将会使研究成果更精准。

参考文献：

- [1] Bosanac E M, Parkinson R C, Hall D. S. Geographic access to hospital care: a 30-minute travel time standard [J]. Med Care, 1976, 14(7) :616-624.
- [2] Van Eck J R, De Jong T. Accessibility analysis and spatial competition effects in the context of GIS-supported service location planning [J]. Computers, Environment and Urban System, 1999, 23(2) :75-89.
- [3] Wan N, Zhan F B, Zou B, etc. A relative spatial access assessment approach for analyzing potential access to colorectal cancer services in Texas [J]. Applied Geography, 2012(32): 291 -299.
- [4] 熊娟, 罗静, 彭菁, 等. 基于可达性的县域医疗服务均等化分析:以湖北省松滋市为例[J]. 人文地理, 2012, 27(5) :25-29.

-
- [5] 侯松岩, 姜洪涛. 基于城市公共交通的长春市医院可达性分析[J]. 地理研究, 2014, 33(5):915 -925.
- [6] 钟少颖, 杨鑫, 陈锐. 层级性公共服务设施空间可达性研究 ——以北京市综合性医疗设施为例[J]. 地理研究, 2016, 35(4):731 -744.
- [7] Hawthorne T L, Kwan MEIP. Using GIS and perceived distance to understand the unequal geographies of healthcare in lower-income urban neighborhoods [J]. The Geographical Journal, 2012, 178(1):18-30.
- [8] Love D, Lindquist P. The geographical accessibility of hospital to the aged: a geographic information systems analysis within Illinois [J]. Health Services Research, 1995, 29(6):629 -651.
- [9] 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, 23(5):37 -42.
- [10] Joseph A, Phillips D. Accessibility and Utilization-geographical perspectives on health care delivery [M]. New York: Harper and Row, 1984.
- [11] WHO, UNICEF. Primary health care-report of International conference at Alma Ata [R]. Geneva: World Health Organization, 1978.
- [12] Gold M. Beyond coverage and supply: measuring access to health care in today's market [J]. Health Services Research, 1988, 33(3):625 -652.
- [13] 蒋海兵, 徐建刚, 祁毅, 等. 基于时间可达性与伽萨法则的大卖场区位探讨——以上海市中心城区为例[J]. 地理研究, 2010, 29(6):1 056- 1 068.
- [14] Brabyn L, Skelly C. Modeling population access to New Zealand public hospitals [J]. International Journal of Health Geographies, 2002, 1(1): 3.
- [15] 吴江洁, 孙斌栋. 居民就业可达性的空间分布及对收入的影响——基于上海都市区的实证研究[J]. 地理研究, 2015, 34(9): 1 745 - 1 754.
- [16] Zhan Q, Wang X, Sliuzas R. A GIS-based method to assess the shortage areas of community health service-Case study in Wu-han, China, 2001 [C]. IEEE: 5 654 - 5 657.
- [17] 沈惊宏, 陆玉麒, 兰小机, 等. 区域综合交通可达性评价——以安徽省为例[J]. 地理研究, 2012, 31(7): 1 280- 1 293.
- [18] 吴信才. 地理信息系统的原理与方法[M]. 北京: 电子工业出版社, 2002.