

引用格式: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. 2017. Rationality assessment of the spatial distributions of urban medical facility. Journal of Geo-information Science, 19(2):185-196.] DOI:10.3724/SP.J.1047.2017.00185

城市医疗设施空间分布合理性评估

丁 慷¹, 陈报章^{1,2*}

1. 中国矿业大学环境与测绘学院, 徐州 221116; 2. 中国科学院地理科学与资源研究所 资源与环境
信息系统国家重点实验室, 北京 100101

Rationality Assessment of the Spatial Distributions of Urban Medical Facility

DING Su¹ and CHEN Baozhang^{1,2*}

1. College of Environment and Spatial Informatics, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, China;
2. State Key Laboratory of Resources and Environmental Information System, Institute of Geographical Sciences and Natural
Resources Research, Chinese academy of sciences, Beijing 100101, China

Abstract: With the development of economy and the improvement of living standards, urban residents pay more attention on health and medical facilities play a more and more significant role in public facilities. The continuous urban expansion make the distribution of medical facilities cannot meet the requirements of the size of the city. Thus, it is necessary to research on how to distribute medical resource reasonably and to fulfill residents' requirement to the most extent. In this study, based on the spatial analysis of GIS, we established the database of urban traffic network, distribution of medical facilities and the population according to relevant statistical data for the downtown of Wuhan city. We also evaluated accessibility and equity of spatial distribution of medical facilities in Wuhan. The accessibility of medical facilities in downtown Wuhan was evaluated using the evaluation method of geographical spatial accessibility and the cost model of travel time based on traffic network. The assessment shows that the convenience to medical services is generally good in Wuhan, distributing radially around Yangtze and Hanjiang River. By introducing demand index, medical institution scale, regional population and per capita disposable income, the equity of medical service system was evaluated using the Gini coefficient, spatial correlation and spatial stratified heterogeneity. It indicated that the distribution of medical institutions in Wuhan is reasonable from the aspect of population distribution. Medical institutions are mainly distributed in the area of dense population while the distribution of medical institutions is comparatively rare in suburban area. The advice was proposed to improve the distributions of medical facilities. In suburban area where traffic is underdeveloped, medical conditions should be taken more considerations in city planning in order to improve the distribution of urban medical facilities.

Key words: GIS; medical facilities; accessibility; equity; Wuhan city

***Corresponding author:** CHEN baozhang, E-mail: Baozhang.Chen@igsnrr.ac.cn

收稿日期 2016-04-07; 修回日期: 2016-05-19.

基金项目 国家自然科学基金面上项目“中国涡度相关通量塔空间代表性评估与碳源/汇尺度扩展研究”(41271116/D010106);
中国科学院地理科学与资源研究所“一三五”战略科技计划项目(2012ZD010); 江苏省“双创人才”、“双创团队”项目。

作者简介 丁 慷(1992-), 女, 天津市人, 硕士生, 研究方向为 GIS 与遥感应用。E-mail: suding@whu.edu.cn

***通讯作者** 陈报章(1963-), 男, 江苏邳州人, 博士, 研究方向为基于定量遥感和空间分析技术的陆面过程和陆地生态系统过程模型模拟和自然灾害风险评。E-mail: Baozhang.Chen@igsnrr.ac.cn

摘要 随着经济发展和人民生活水平的不断提高,城市居民对健康的重视程度不断的增加,医疗设施作为城市中不可或缺的公共设施发挥着越来越重要的作用。城市的不断扩张导致医疗机构的分布已不能适应当前的城市规模,如何能够将有限的医疗资源进行合理的分配,并能在最大程度上满足居民的需求成为当下研究热点。本研究基于地理信息系统(GIS)空间分析技术,根据统计资料建立武汉市中心城区交通网络、医疗机构分布、人口等数据库,分别从可达性和公平性角度评价武汉市医疗设施的空间分布合理性,并利用地理空间可达性评估法和基于交通网络行进时间成本法分别对武汉市中心城区医疗设施可达性进行评价。就医可达性评估显示,武汉市居民就医便捷程度总体上较好,并以长江和汉江的交界地区为中心,呈四周放射状分布。通过引入需求指数、医疗机构规模、区域人口、人均可支配收入等指标,利用基尼系数、空间相关性和空间分层异质性评价医疗服务设施空间分布公平性。结果表明,武汉市医疗机构分布按人口分布合理,医疗机构主要集中分布在人口密集的主城区;地理分布上城郊地区医疗机构相对稀少。最后,依据可达性和公平性评价结果,对武汉市医疗设施布局提出合理化建议。在城市规划发展中,应更多考虑改善郊区等交通欠发达区域居民的就医条件,从而完善城市医疗设施分布。

关键词 GIS;医疗设施;可达性;公平性;武汉市

1 引言

医疗设施是城市中最重要公共设施之一,也是评价城市发展水平的重要标准。城市医疗设施空间分布的合理与否直接影响到居民生活质量。当前中国正处于城市化进程加速阶段,利用GIS空间分析技术评估城市医疗卫生等公共设施空间布局的合理性,进而为城市发展决策提供依据,具有十分重要的研究和应用价值^[1]。

空间可达性和公平性测度是分析公共服务资源空间分布是否合理最常用的方法^[2-4]。不同学科领域对于可达性定义存在角度差异,一般意义上可达性表示由一点到达另一点的容易程度,而空间可达性更多关注可达性的空间属性^[4-6]。公平性是公共服务设施的本质属性之一,公共服务设施的空间公平性体现在其空间可达性和空间可用性2方面^[2]。通过公共医疗服务设施空间可达性和公平性分析实现资源优化配置决策一直是人文地理研究的热点之一。

针对公共医疗设施空间分布合理性评估分析,近年来,国内外学者利用GIS空间分析方法做了大量工作。张琦等^[1]通过对西安市高等级医院交通可达性测评,发现西安市已形成较好服务于老年人群就医出行的高等级医院交通可达性空间格局。王远飞等^[7]利用GIS技术建立引力多边形的服务域分析方法,评价分析了上海市浦东新区医院空间布局。宋正娜等^[4]以江苏省如东县为例改进势能模型对当地居民就医空间可达性和缺医地区分布进行了评估。侯松岩等^[8]采用GIS网络分析法,以最短可达时间和公共交通的服务频次作为评价指标,探讨了长春市各居住小区和医院之间的可达性的时空分布特征。陈晨等^[9]基于交通网络中心性对长春市大型综合医院空间可达性作了评估。Alegana等^[10]利用潜

能模型对Namibia北部地区5岁儿童发烧时卫生设施的利用率进行了分析。Love等^[11]以机会累积模型分析了Illinois地区老年人口到达医院的便捷程度。此外,近年来许多研究者在GIS空间分析技术支持下对中国不同地区医疗设施空间可达性作了评估分析,对城市发展中医疗设施优化配置起到了一定指导作用^[12-15]。

本研究利用GIS空间分析方法评估武汉市医疗卫生服务设施空间分布合理性。首先,利用交通道路网、人口分布以及医疗设施空间分布信息评估了居民日常就医交通可达性;其次,通过引入医疗机构规模、区域人口等指标,利用需求指数、空间相关性及空间分层异质性等概念,对武汉市医疗服务机构空间分布公平性进行了评价。

2 研究区与数据源

2.1 研究区

武汉市是湖北省省会,地处113°41'~115°05'E, 29°58'~31°22' N(图1),是中国中部地区的中心城市,总面积约为8494 km²,2014年年末武汉市常住人口约为1033.80万人。武汉市下辖13个区,其中江岸区、江汉区、硚口区、汉阳区、武昌区、洪山区、青山区7个为中心城区,东西湖区、蔡甸区、江夏区、黄陂区、新洲区、汉南区6个为新城区。本研究以武汉市主城区为例,即主要为三环线以内区域,包括武昌区、青山区、汉阳区、硚口区、江汉区、江岸区、洪山区(部分)、东西湖区(部分)、蔡甸区(部分),面积约为899.87 km²。医疗设施数据以《武汉市综合医院名录(2007年)》为基础,人口数据根据各街道人口统计数据及武汉市住宅区分布图分别得到人口数量及其空间分布数据(图1)。根据武汉市统计信息网发布的《武汉统计年鉴2014》,武汉市主城区

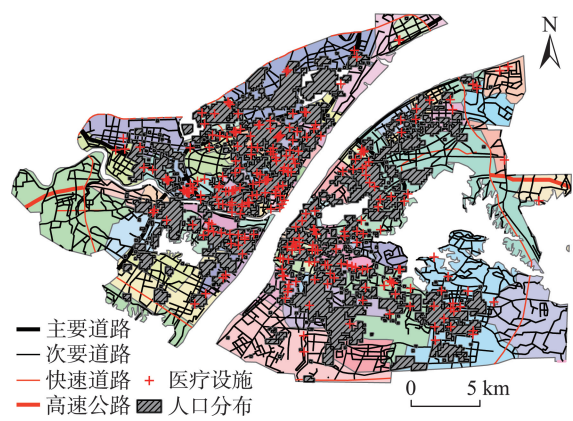


图1 研究区交通与医疗设施分布图

Fig. 1 Map of the distribution of traffic and medical facilities in study area

卫生机构2764个,其中医院、卫生院242个,社区卫生服务中心126个,卫生防疫、防治机构25个,妇幼保健院、所、站17个。卫生事业床位数66 563张,比上年增加4385张,其中医院病床55 076张。卫生技术人员数72 164人,比上年增加4152人,其中医生27 386人,护师、护士31 136人。平均每千人拥有医生3.3人,拥有医院病床7.12张^[16]。

2.2 数据源

本研究使用的数据包括基础地理信息数据和社会经济统计资料。其中,基础地理信息数据包括2013年武汉市1:1000基础地理信息数据和住宅分布图;社会经济统计资料包括《武汉统计年鉴2014》^[16]以及武汉市各区统计年鉴和国民经济和社会发展公报。

2.2.1 道路交通数据

根据出行方式的差异和车辆在不同道路上行进速度的不同,本研究将交通网络分为6类:不能行车区域、街区道路、主要道路、快速道路、高速公路、地铁和轮渡。根据《中华人民共和国公路工程技术标准(JTGB-2003)》认为机动车在街区道路的平均速度是20 km/h,在主要道路上的平均速度是40 km/h,轮渡的平均速度为20 km/h,步行速度设为5 km/h。行进速度为移动一个栅格所需要的时间,在街区和轮船上的行进时间为1.8 s/栅格,在主要公路上的行进时间为0.9 s/栅格,步行行进时间为7.2 s/栅格。快速道路、高速公路及地铁的行驶速度根据其限速设置(表1)。

2.2.2 医疗设施分布数据

医疗卫生服务数据由武汉市卫生局发布的《武汉市综合医院名录(2007年)》查询获取武汉市各医

表1 各级道路行进时间设置

Tab. 1 The speed limit of each level of road

道路等级	道路名称	限速/(km/h)	行进时间/(s/栅格)
高速公路	武鄂高速	100	0.36
	汉蔡高速	100	0.36
	机场高速	100	0.36
	东风大道	70	0.51
	汉施公路	70	0.51
快速公路	建一路	70	0.51
	汉西路	50	0.72
	二环路(发展大道)	60	0.6
	三环路(中环)	80	0.45
	解放大道	60	0.6
地铁	轨道交通	80	0.45
轮渡	轮渡	20	1.8

疗机构名称、地址、床位等信息(表2),并添加医疗设施各属性信息于空间数据中。

2.2.3 人口数据

表2 医院床位信息示例

Tab. 2 The levels of hospital and bed numbers

医院名称	床位/个
武汉市第八医院	300
武汉经济开发区神龙医院	98
武汉市第十一医院	405
武汉市第七医院	305
石化职工医院	120
中建三局职工医院	40
铁道地位勘察设计院职工医院	110
湖北省荣军医院	400
武汉市第九医院	300
湖北省航运职工医院	70
武汉市汉口铁路医院	499
武汉市普仁江岸医院	150

根据武汉市地名委员会办公室“武汉区划地名网”统计获得2007年武汉市中心城区的各街道人口统计表。以表3为例,为武汉市中心城区部分街道人口统计表。按表3标准,将武汉市中心城区划分

表3 人口数据统计示例

Tab. 3 The examples of population statistics data

街道名称	人口/万	面积/km ²	人口密度/(人/km ²)
关山街	28.00	35.00	8000.00
长丰	1.60	16.88	945.08
后湖街	1.63	27.31	596.10
汉阳经济开发区	1.55	8.80	1766.59
红旗街	1.90	50.00	380.00
张家港街	5.90	91.80	642.70
紫阳街	4.96	1.39	35 691.37
冶金街	6.75	4.70	14 362.55

为街道区域,并赋以人口属性数据,并计算各街道人口密度值。以武汉市住宅区分布近似为人口分布密集区进行数字化(图1)。

3 研究方法

首先分别利用 Voronoi 图方法和最短距离法对武汉市医疗设施的地理空间可达性进行评价。其次,基于道路网络最短距离分析评估交通可达性。在可达性评估基础上,分别以医疗机构从业人员数作为医疗资源评价指标,计算以人口分布和地理分布为角度的基尼系数,以及对医疗资源分布的相关性分析。综合0-14岁和65岁以上人口比重作为就医需求指标、人口分布、行政区划面积、人均可支配收入等因子进行地理探测,找寻医疗资源配置的影响因子,最终对医疗资源配置空间合理性进行分析评估。

3.1 居民就医可达性评估方法

公共服务设施空间可达性可分为地理空间可达性和交通可达性。地理空间可达性计算不考虑交通道路状况,其结果反映了服务对象到服务实施空间距离上的可到达程度。交通可达性基于交通道路网最短距离分析,考虑了道路通行阻力,一定程度上更真实地反映了居民到达特定服务设施的可达性程度。本文基于空间分布和交通道路通行能力考虑,分别采用GIS空间分析和交通网络分析方法对武汉市医疗服务设施地理空间可达性和交通可达性进行评估。

3.1.1 地理空间可达性评估方法

Voronoi图表示空间任一对象(点)所属的多边形内的任意一点到该对象的距离小于到其他对象的距离^[17],Voronoi图空间分析是一种广泛应用的GIS空间分析方法。通常将空间点对之间的距离计算简化为空间查询,结合人口分布等属性数据分析所关注设施服务承载能力。在ArcGIS空间分析工具支持下,将以医院为中心的多边形与居民点图层进行叠加运算,首先得到医院服务范围,即以医疗设施为中心生成的泰森多边形内的人口数量分布数据,进一步计算人口分布几何中心与医疗设施的最短距离。

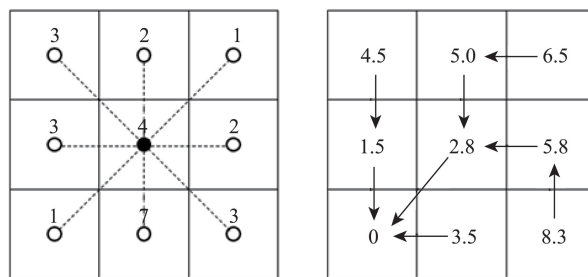
3.1.2 基于道路网的行进时间成本可达性评估方法

地理空间的可达性评价仅考虑医院和居民点的空间直线距离,其出行成本无论路况和出行方式视为匀质的,计算中并未考虑交通网络的设置和出行阻力。随着城市快速发展,交通道路通行状况很

大程度上决定了真实空间可达性。因此,本文在地理空间可达性分析基础上,进一步建立行进速度数据库,利用基于交通网络最短距离法对武汉市中心城区交通可达性进行评估。

空间可达性是指从一个区位到达服务设施的便捷程度,与起点、终点和交通条件有关,常使用距离、旅行时间或旅行成本表示^[17]。为简化计算,本文采用基于交通网络栅格的成本加权距离计算栅格单元可达性。原理如图2所示,对于每个非边缘网格以网格中心作为节点(node),将相邻的8个网格抽象为8条边(side),将各个网格的相邻分为垂直或水平相邻与斜相邻2种^[18]。垂直或水平相邻中以2个网格值相加的平均值表示该边的长度,如图2中间节点到右边节点的长度为 $(4+2)/2=3$;斜相邻中,2个网格值的平均值乘以 $\sqrt{2}$ 表示该边的长度,如中间节点到左下节点的长度为 $\sqrt{2} \times (4+1)/2 \approx 3.53$ 。

计算中以医疗设施为起始位置源设定为一个单



(a)成本栅格

(b)居民点到医院的最短距离分布

图2 行进时间成本原理

Fig. 2 The principle of travel time cost

独的节点,节点栅格的成本值设为0,每个“源”周围的若干个栅格与该“源”形成若干条边。如图2(b)所示。假设左下角网格作为一个“源”,通过成本加权距离的计算可以得到其他每个不同的节点到该“源”的累积总成本值和每个节点到最短路径上前一个节点的路径方向。最后,根据道路速度信息得到通过栅格所需时间综合人口密度数据获取综合成本值。

空间可达性研究中引用便捷度可以更好地表现研究区内部的可达性差异,表达出不同街道居民的就医情况。本文在交通成本计算基础上,引入式(1)的出行便捷度计算公式,评估出行就医便捷程度。

$$R_j = \sum_{i=1}^{n_j} \frac{A_i}{n_j} \quad (1)$$

式中: R_j 是第 j 个街道居民出行的便捷程度; n_j 表示落在第 j 个街道范围内的网格个数; A_i 为 j 街道中第 i 个网格的可达性。

3.2 居民就医公平性评价方法

在公平性评价中,以医疗机构从业人员比重及床位数作为医疗资源规模指标,利用洛伦兹曲线计算基尼系数评价医疗资源配置的公平性。根据全局莫兰指数计算结果评价武汉市医疗机构分布是否存在空间自相关性。利用人口年龄结构计算居民对医疗设施的需求指数,综合需求指数、各区面积、人口数、人均可支配收入以及医疗设施床位数和从业人员数等指标利用Geodetector综合评价医疗设施布局的公平性程度及其影响因子。

洛伦兹曲线和基尼系数广泛应用于公共服务设施空间公平性衡量。洛伦兹曲线是将不同地区所占资源的平均值按照从小到大的排序,然后按照人口累积百分比和相应的人口占有的资源累积的百分比绘制的曲线,每一点表示一定比例的人口所占有的资源总量。基尼系数是建立在洛伦兹曲线的基础上,表示资源分布公平性的定量指标,如式(2)所示。

$$G = 1 - \frac{S_1}{5000} \quad (2)$$

式中: G 为基尼系数; S_1 按式(3)计算。

$$S_1 = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n (Y_i + Y_{i+1}) h_{i+1} \quad (3)$$

式中: n 为单位数; Y_i 为资源累积比; h_{i+1} 表示相应的人口或面积累积百分比, $i=1,2,3,\dots,n$ 为按每单位平均占有的资源量从小到大排列的序列。基尼系数的与公平性的标准,采用经济学中收入分配公平性基尼系数的标准认为,基尼系数 <0.3 为比较公平,0.3-0.4之间为正常状态, >0.4 为警戒状态,0.6以上为危险状态^[19]。

全局莫兰指数从整体上分析医疗设施空间分布的聚集情况,医疗设施的空间分布是否存在空间自相关的现象。全局莫兰指数的计算公式如式(4)所示。

$$\text{Moran's } I = \frac{\sum_{i=1}^n z_i}{\sum_{k=1}^n z_k^2} \quad (4)$$

式中: z_i 为医疗设施的床位数属性与其平均值的偏差($x_i - \bar{X}$); n 为要素总数。Moran's $I \in [-1, 1]$,

当Moran's I 的绝对值越大,空间相关性越强。当Moran's I 值为正,要素分布成空间正相关,否则为空间负相关^[20-21]。

Geodetector的评价指标power值称为探测力值,该指标体现了探测因子对于医疗设施分布的影响程度,其计算模型如下:

$$P_{D,G} = 1 - \frac{1}{\delta_G^2} \sum_{i=1}^m n_{D,i} \delta_{D,i}^2 \quad (5)$$

式中: $P_{D,G}$ 为探测因子 D 的探测力值; D 为影响因子; G 为医疗资源规模指数; $n_{D,i}$ 为影响因子空间类型分区个数; $\delta_{D,i}^2$ 为影响因子的第 i 个空间类型分区; δ_G^2 为研究区医疗资源规模总体离散方差^[22-24]。

4 可达性与公平性评价结果

4.1 可达性评价结果

分别利用基于空间地理位置的Voronoi图及最短距离法以及基于交通网络的行进时间成本法对武汉市医疗机构的可达性进行评价。

4.1.1 地理空间可达性评价结果

利用Voronoi图法将人口数据和医疗机构泰森多边形进行叠加,根据人口密度数据及泰森多边形面积计算得到医疗机构各服务区内的人口总数如图3所示,其统计数据如表4所示。

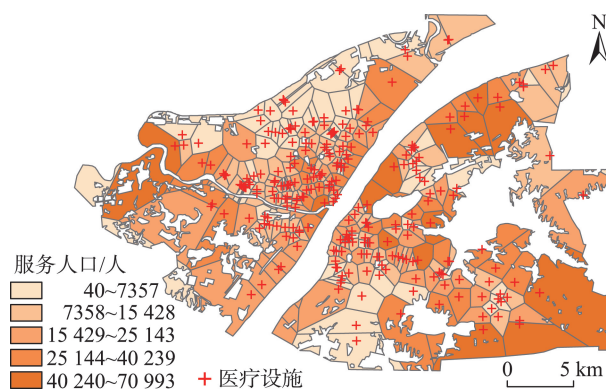


图3 武汉市医疗机构服务人口数量空间分布图

Fig. 3 Map of the spatial distribution of population served by medical institutions in Wuhan

表4 空间人口分布统计

Tab. 4 The statistics of the spatial distribution of population

统计指标	人口数/人				
	40~7357	7358~15 428	15 429~25 143	25 144~40 239	40 240~70 993
区域面积/%	22.64	18.82	22.06	16.43	20.05

图3中多边形代表医院的服务区范围,多边形颜色体现医院服务区范围内的人口总量。由图3医院服务区及服务人口情况分布及表4的人口分布统计可看出,在医疗机构分布密集的地区,医疗机构的服务区范围较小,分布稀疏的地方服务区范围较大。武汉市各医疗机构的服务人口数量大部分集中在40~15000人范围内,占总面积的41.46%,主要分布在三环以内的城市中心地区,大部分医院的人口压力相对较小。三环外郊区医院服务人口数量多,由于该地区医院分布稀疏,医院服务范围大,占总面积的20.05%。青山区人口数量大,医院分布相对较少,离市中心距离较远,故该区医院服务人口数量较大。

作为 Voronoi 图地理空间可达性结果对比,同时采用空间最短距离法评估地理空间可达性。首先根据人口分布以及医疗设施数据集计算居民点到附近医疗设施的最短距离,并利用克里格空间插值的方法得到连续评价医疗设施空间可达性的连续分布(图4)。表5列出了街道平均到达附近医疗设施最短距离空间分布频率。由图4的空间距离上来看,以长江和汉江相交地区为中点,居民点到医院的最短距离大小随着向外扩展而变大。居民地

到达医院的距离在1 km 范围内的区域占大部分。表5的统计数据表明,居民地到达医院的距离在1 km 范围内的区域约占总面积的60.67%,由于居民区与医院主要集中在沿长江、汉江地区,外围地区二者分布相对较少,到达医院最短距离小的街道集中分布在沿长江和汉江地区。该区域人口密集,居民点到医院距离小于1 km 的区域惠及人口占总人口的约65.09%。综合图3、4,武汉市中心城区医疗设施分布在人口密集的地区,经济发展比较好的区域医疗设施分布密集,医院服务范围较小,服务人口压力相对较小。靠近郊区医院分布密度减小,尤其是规模较大的医院大多分布在经济发展较好的中心城区,所以郊区周边的医院服务范围大,人口压力相对大于中心城区。居民点分布与就医距离趋势一致,多数居民能够享受近距离的医疗服务。

4.1.2 基于道路网的行进时间成本可达性评估结果

研究区武汉市中心城区的总面积为467.40 km²,将其划分为10 m×10 m的栅格。每个像元面积为100 m²,相对于整个研究区域而言非常小,故像元可视为这个区域网格中的匀质点。栅格的值代表行进成本,表示移动一个栅格所需要的时间,由该点处所属交通道路类型的行进时间和人口密度综合决定。交通道路类型的行进时间由行进时间数据库获取。人口密度根据人口数据库赋值。二者等权重叠加得到综合阻力行进成本栅格。以医院位置图层作为源,使用 ArcToolbox 中的成本距离工具,计算到各位置到达医院所需的时间信息。由式(1)计算获取各街道居民平均时间,其次利用 GIS 分区统计工具得到各街道平均行进时间分布图(图5)。

由图5可看出,7类就医可达性分布以长江和汉江的交汇处为中心,沿岸地区人口稠密,可达性并不是十分高,向外围扩展,可达性逐渐提高。三环以外区域,可达性降低。可达性高的区域主要分布在医疗机构密集的地区。其中,以硚口区、江汉区、江岸区、汉阳区沿江地区,武昌区沿江地区,洪

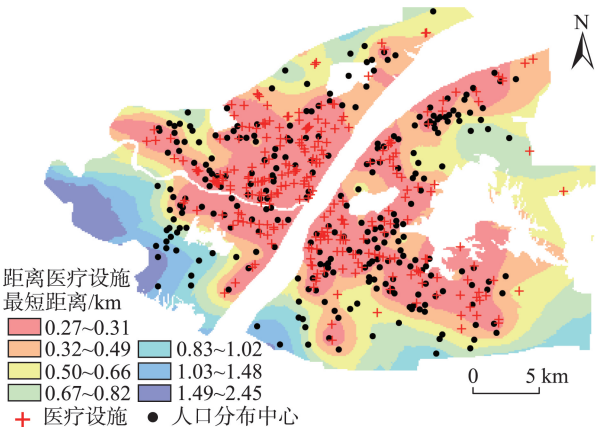


图4 居民点到医院的最短距离空间分布
Fig. 4 The spatial distribution of shortest home-to-hospital distance

表5 医院最短距离空间分布频率统计

Tab. 5 The frequency distribution of the hospital shortest distance

统计指标	距离/km						
	0.27~0.31	0.31~0.49	0.49~0.66	0.66~0.82	0.82~1.02	1.02~1.48	1.48~2.45
街道数/个	10	17	17	10	10	10	4
区域面积/%	1.81	7.25	15.30	16.66	19.65	24.97	12.26
人口/%	5.87	10.88	16.31	11.42	20.61	33.19	1.30

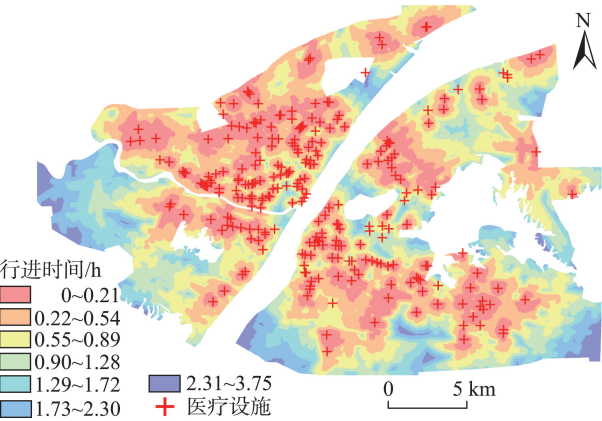


图5 就医行进时间分布
Fig. 5 The distribution of time cost for hospitalizing

山区南部地区的可达性程度高。由于武汉市人口密集区域的交通堵塞情况比较严重,导致人口密集的地区(如硚口区)沿长江沿岸的可达性并没有人口相对稀疏的地区可达性高,故三环以内处在沿江人口密集区中间部位的区域可达性最高。由于三环以外医院分布稀少,所以该地区可达性较低。由统计图5可达性分布(表6)发现,武汉市大部分地区的可达性在2等级,出行时间在0.21~0.54 h之间,同时该区段的惠及人口最多。出行时间在1 h以内的地区占总地区的59.36%,惠及人口69.5%。表明武汉市居民就医便捷程度相对比较高,大多数居民区附近有医疗机构分布,医疗机构布局较为合理。

表6 就医时间成本空间分布统计
Tab. 6 The statistics of spatial distribution of the hospitalizing time cost

统计指标	时间/h						
	0~0.21	0.21~0.54	0.54~0.89	0.89~1.28	1.28~1.72	1.72~2.30	2.30~3.74
分类等级	1	2	3	4	5	6	7
区域面积/%	5.89	27.81	25.66	18.26	12.16	7.72	2.50
人口/%	10.45	32.35	26.70	17.16	9.25	3.55	0.53

由图6可看出,武汉市就医便捷度整体上以长江和汉江为中心,向四周呈放射状分布。人口密集

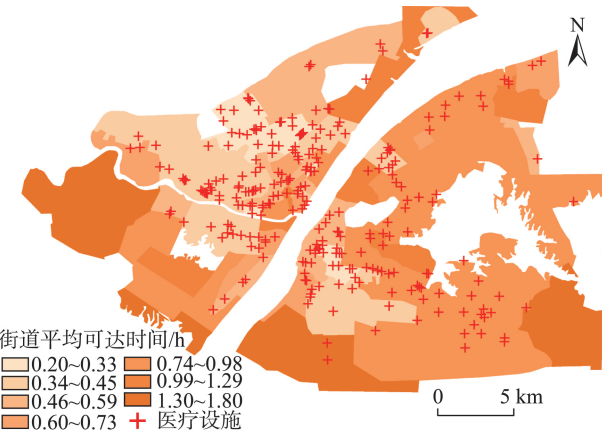


图6 街道平均行进时间分布图
Fig. 6 Map of the average traffic time of the streets

的沿江分布的街道由于交通状况的关系使就医便捷程度并未达到最高水平,向外围拓展区域可达性高于人口密集地区,三环外的郊区由于医疗设施分布少,可达性低。统计结果(表7)表明,就医时间在0.20~0.98 h的街道面积占总面积的81.17%,说明大多数街道的平均就医出行时间在1 h之内。其中就医便捷程度高的街道分布于江汉区、江岸区、硚口区、武昌区和汉阳区。由于这些地区属于武汉市经济发展水平较高地区,很多医院分布于此,居民区也分布密集,故平均就医便捷程度高。以三环线为界,三环线以外的区域包括蔡甸区、江夏区的就医便捷度最低,到达医疗机构的最短时间需要平均时间超过1 h。由于本次医疗机构的统计数据大多数以规模比较大的公立一、二、三级医院为主,这些医院大多数分布在三环以内的市区之中,故三环外区

表7 街道居民出行便捷度空间分布统计
Tab. 7 The statistics of the spatial distribution of average traffic time of the streets

统计指标	时间/h						
	0.20~0.33	0.33~0.45	0.45~0.59	0.59~0.73	0.73~0.98	0.98~1.29	1.29~1.80
街道数	5	16	18	11	18	9	4
街道面积/%	2.27	9.38	19.27	5.56	37.61	6.94	18.97

域的就医时间数值较大。

4.2 公平性评价结果

本文利用基尼系数评价武汉市医疗机构按人口分布和地理分布的公平性,进而通过计算医疗机构床位属性的全局莫兰指数得到武汉市医疗机构的分布状况是否存在空间自相关性。综合需求指数、人口分布、行政区划面积、人均可支配收入等指标,是利用Geodetector工具探测医疗资源配置规划时应首先考虑的影响因子。

4.2.1 基尼系数评价结果

本文利用各区统计的医疗机构从业人员数量比重,计算各区医疗机构从业人员的累积构成比,分别与人口累积构成比和区划面积累积构成比绘制成洛伦兹曲线。根据洛伦兹曲线分别计算按人口和地理分布的基尼系数。此外,利用人口年龄比例数据近似表达人口就医需求指数,由于0-14岁及65岁以上年龄段人口为就医需求较高群体,故通过统计各行政区划0-14岁及65岁以上人口比重,将二者等权重相加得到各区人口总的需求指数(式(6))。

$$N = \sum_{i=1}^n N_i \quad (6)$$

利用洛伦兹曲线方法分别分析医疗机构从业人员数累积比与人口累积比及面积累积比的关系及其拟合曲线(图7)。按人口分布洛伦兹曲线的拟合曲线与公平线所围图形面积之差即为该指标的基尼系数近似值,计算得到医疗机构从业人员数按人口分布的基尼系数为0.072,同理得到按地理分布的基尼系数为0.655。由基尼系数小于0.3为公平,大于0.6为不公平可知,武汉市中心城区医疗资源从人口分布角度是公平的,但按地理分布医疗资源配置不合理。

根据洛伦兹曲线和基尼系数得到的武汉市医疗资源配置人口公平系数和地理分布公平系数可知。人口公平系数为0.072,小于0.3,属于资源配置合理的范围。地理分布系数0.655,大于0.6属于危险状态,属于不合理分布。换言之,武汉市医疗机构按人口分布合理,医疗机构集中分布在人口密集地区,主要集中于长江和汉江的交界地带,即江汉区、硚口区、武昌区、青山区的沿江地带,人口分布密集但区划面积为相对较小的区域;按地理分布不合理,城郊地区面积大的地区医疗机构分布较少,如洪山区区划面积较大,包括人口密集街道及远

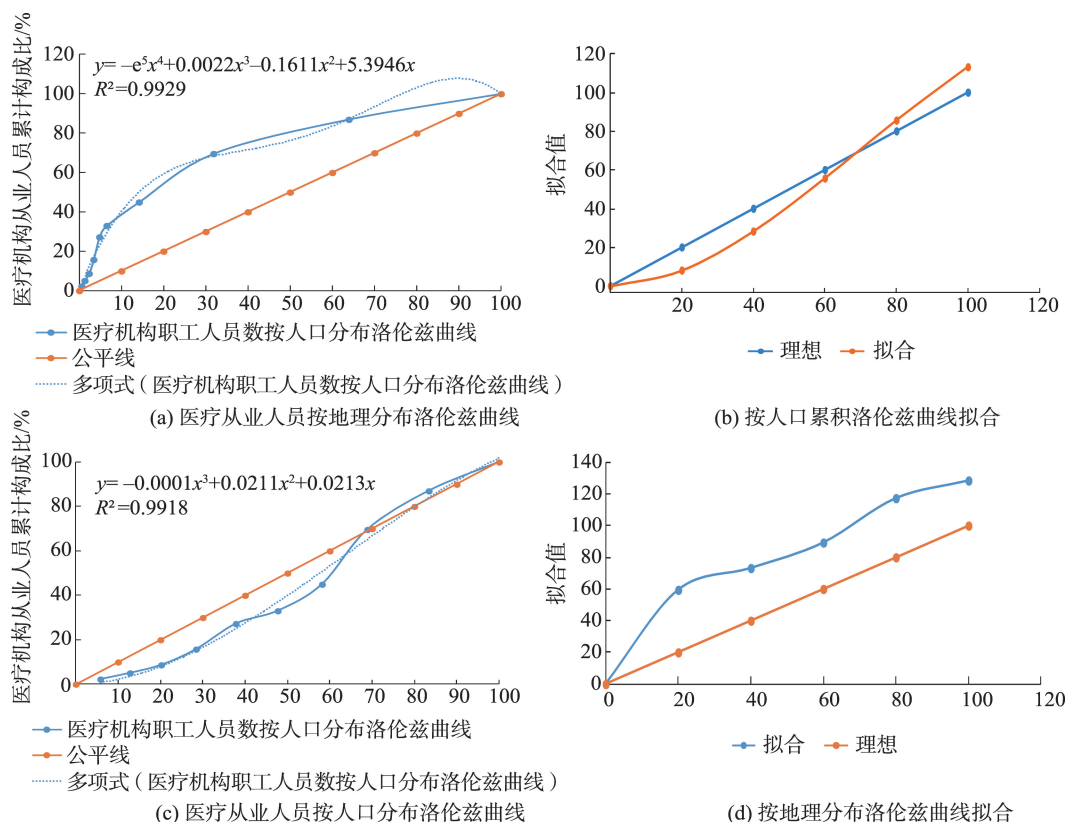


图7 洛伦兹曲线法公平性评价指标图

Fig. 7 Lorenz Curve of equity index

离中心城区的城郊地区, 医疗设施集中分布于人口密集的地区, 城郊地区医疗设施分布较少, 医疗设施数量与区划面积并非正相关关系。综上所述, 武汉市医疗机构按人口分布合理, 医疗资源分布状况能够满足大部分居民的需求, 但从地理分布的角度而言, 武汉市的医疗资源配置并不合理, 城郊地区居民享受的医疗资源少于中心城区居民。

4.2.2 空间相关性评价

利用 ArcMap 中的空间自相关工具计算武汉市医疗设施床位属性的全局莫兰指数, 得到 Moran's I 指数为 0.0824, z 得分 2.6094, p 值 0.0091。根据零假设原则, 当 p 值小于 0.05, z 得分大于 1.96 时, 可以认为要素的分布是非随机的, 由此可得武汉市医疗机构的分布是非随机的, 具有一定的空间相关性。Moran's I 指数为正, 说明武汉市医疗设施分布与其床位数量成正比, 但相关性较小。综上所述, 武汉市医疗机构的分布呈现一定的聚集特征, 医疗设施分布较为密集的地区, 医院内设置的病床数有越多的趋势。这进而说明医疗设施密集区域分布的是武汉市医疗资源规模较大的医疗机构, 综合基尼系数分析结果, 规模较大的医疗设施密集分布于人口密集的行政区划内, 保证了多数居民得到医疗资源服务。

4.2.3 空间分层异质性评价

本文利用 Geodetector 工具, 以武汉市各行政区划内医疗机构的床位数和医师数占总体的比重等权重相加作为 Y 值, 即医疗资源规模指数; 各行政区划需求指数、人口比例、人均可支配收入及面积作为 X 值, 根据数据分布特点, 将 X 值进行离散化处理 (表 8), 计算得到各影响因子的 power 值如表 9 所示, power 值越大, 则该影响因子的影响程度越大。

表8 地理探测输入数据

Tab. 8 Input data of Geodetector

Y (医疗资源规模指数)	$X1$ (需求指数)	$X2$ (人口数)	$X3$ (人均可支配收入)	$X4$ (面积)
0.1178	4	4	5	2
1.0865	3	2	5	1
0.7331	4	2	5	2
0.5037	3	2	5	2
0.8562	5	5	5	2
1.0340	2	1	5	2
0.3284	3	5	5	2
0.1918	1	2	1	3
0.1845	2	2	1	5
0.2949	4	3	1	5

可知武汉市各区内需求指数最大程度的影响了医疗资源的配置, 其次是人口分布。根据风险探测器的结果 (表 10) 显示, 人均可支配高的地区医疗资源指标较人均可支配地区低的地区高。表 11 结果显示, 2 个因素差异性为 Y , 在 $\alpha=0.05$ 水平上有显著性差异。此结果呼应了上述武汉市医疗资源按地理分布基尼系数的计算结果, 在经济发展较好的中心城区, 医疗资源配置程度高于城郊地区。

表9 影响因子 power 值

Tab. 9 P-value of impact factors

影响因子	$X1$ (需求指数)	$X2$ (人口)	$X3$ (人均可支配收入)	$X4$ (面积)
Power 值	0.8862011	0.83663	0.1061468	0.600608

表10 人均可支配收入风险探测结果

Tab. 10 The results of risk detector of per capita disposable income

人均可支配收入分级	医疗指标均值
1	0.223743
5	0.665655

表11 人均可支配收入不同区域医疗资源指数的统计学差异

Tab. 11 Statistical difference of per capita disposable income between different categories

差异	1	5
1		
5	Y	

5 武汉市医疗设施分布合理性评价

5.1 武汉市就医可达性评价结果

通过以上基于地理空间可达性评价法和基于交通网络的最短距离法 2 种方法对于武汉市中心城区的就医便捷度的评价结果来看, 2 种方法的评价结果基本一致。总体而言, 武汉市就医便捷程度以长江和汉江的交界地区为中心, 向四周呈放射状分布。中心地区就医便捷度较高, 住宅区到达医疗设施大多处于 1 h 路程范围内; 向外围就医便捷度逐渐降低, 住宅区到达医疗设施的路程增大。人口分布和就医便捷程度的分布基本一致, 人口密集区域医疗设施分布相对人口分布稀疏地区多, 医疗设施能够较好满足居民就医需求。基于交通网络行进时间成本法对于武汉市就医可达性的评价结果表

明,三环以内至人口密度最大的中心城区以外区域就医可达性最高,其次是中心城区,由于中心城区人口分布密集程度大,交通拥堵,行进时间增大,就医可达性程度由此降低。三环以内至中心城区以外区域医疗设施分布广泛,人口密集程度相对较小,交通同行状况较好,所以居民就医便捷度最高。三环以外地区经济发展水平低,人口分布稀疏,医疗设施分布较少,就医便捷度最低。根据2种方法对于武汉市中心城区的居民就医便捷度的评价结果可以看出,2种方法均能得到效果较为一致的结果。基于地理空间可达性评价法的操作简单,医院服务人口也能很清楚由图3表示。但没有考虑到交通网络对于可达性评价的影响,所以可达性结果与实际情况有些许出入。基于交通网络行进时间成本法考虑到交通网络的影响,并加入了人口分布因子,中心地区人口密集程度大,交通拥堵现象严重,在一定程度上延长了居民的出行就医的时间,所以基于交通网络行进时间成本法能够更加真实再现实际就医情景。但相较基于地理空间可达性评价法操作相对繁琐,对人口的分布也不能直观的体现在图中。

5.2 武汉市医疗设施空间公平性评价结果

依次通过基尼系数分析、空间相关性分析及空间分层异质性分析得到以下结论:武汉市医疗资源配置与人口分布保持一致,人口密集地区医疗机构分布呈现聚集状态,同时医疗资源规模较人口稀疏地区大;医疗机构集中分布于需求指数高的地区,0-14岁及65岁年龄段人口比例较大地区就医需求指数高,医疗资源充足。但是,武汉市医疗机构从地理分布角度不合理,医疗机构集中分布,行政区划面积大的蔡甸区、黄陂区和江夏区等医疗设施较少。综上所述,武汉市医疗设施分布趋势与地区经济发展水平相一致。经济发展水平高的中心城区人口聚集,医疗设施集中分布;经济发展水平低的城郊地区人口稀疏,医疗资源规模较小。总体而言,武汉市医疗资源配置比较合理,能够较好地满足大部分居民的就医需求,但应该增加城郊地区医疗设施的建设,以提高该地区居民就医公平性指数。

6 结论

就医可达性和公平性评价是医疗机构布局规划的重要根据,其评价涉及诸多空间问题。本课题

研究以 ArcGIS 为主要平台,借助 Excel 及 Geodetector 软件对公平性的计算处理,得到研究区域——武汉市中心城区的医疗设施可达性和公平性评价。本研究主要采用2种方法分别对武汉市医疗设施的可达性进行评价。利用基于地理空间法和基于交通网络最短距离法的评价结果基本一致。2种方法对于评价结果都存在着各自的优势和劣势。公平性的评价分别利用基尼系数分析、空间相关性分析和空间分层异质性分析的结果,相互比较补充得到武汉市医疗机构公平性评价及其影响因子。

本研究仍存在如下不足:

(1)由于大部分资料并未公开,所以资料的精度并不是很高,很难找到武汉市精确的街道区划信息和整个城区的矢量数据,所以研究主要以中心城区为主。研究数据中包含了不完整区域,包括蔡甸区、黄陂区和江夏区,所以该区域的可达性和公平性指标尚且存在问题。

(2)公平性评价中涉及人口年龄结构,此部分数据的获取途径只能通过各区的年鉴或各区第六次全国人口普查公报的数据。但各区的数据并不完整,同一年的数据同样也不完整,所以人口年龄数据存在较大的误差。

(3)医疗机构的位置信息是通过网络上公布的医疗机构名称和地址,并利用百度地图进行定位。由于统计年代的不同,很多医院的名称和地址与实际不符,加之医疗机构的统计不完整,所以仅能以所能查到确定位置的医疗机构作为代表进行可达性的评价。

(4)软件的处理结果同样存在误差,由于数据量的繁多,导致一些操作无法进行。通过利用其他方式代替不能进行的操作有可能会产生误差,能预见的误差积极利用别的方法避免,但不可预见的误差则成为本次研究中不尽完美的地方。

(5)可达性的评价很重要的评价因素之一是交通路况,获取准确的交通路况的信息能够提高可达性评价结果精度。

参考文献(References):

- [1] 张琦,李同昇,史荣.服务老年人群的城市高等级医院交通可达性测评——以西安市三级甲等医院为例[J].陕西师范大学学报:自然科学版,2016(1):96-101. [Zhang Q, Li T S, Shi R. Evaluation on the accessibility of high order urban hospitals for the aged: A case study of the first-level hospitals in Xi'an city[J]. Journal of Shaanxi Nor-

- mal University(Natural Science Edition), 2016,1:96-101.]
- [2] 林康,陆玉麒,刘俊,等.基于可达性角度的公共产品空间公平性的定量评价方法——以江苏省仪征市为例[J].地理研究,2009,28(1):215-224. [Lin K, Lu Y Q, Liu J, et al. Assessment of fair space of public product based on accessibility: A case of Yizheng city[J]. Geographical Research, 2009,28(1):215-224.]
- [3] Smoyer-Tomic K E, Hewko J N, Hodgson M J. Spatial accessibility and equity of playgrounds in Edmonton, Canada[J]. Canadian Geographer, 2004,48(3):287-302.
- [4] 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及缺医地区判断——以江苏省如东县为例[J].地理科学,2010(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 of Rudong County in Jiangsu Province[J]. Scientia Geographica Sinica, 2010,2:213-219.]
- [5] 陈洁,陆锋,程昌秀.可达性度量方法及应用研究进展评述[J].地理科学进展,2007,26(5):100-110. [Chen J, Lu F, Cheng C X. Advance in accessibility evaluation approaches and applications[J]. Progress in Geography, 2007,26(5):100-110.]
- [6] 刘钊,郭苏强,金慧华,等.基于GIS的两步移动搜寻法在北京市就医空间可达性评价中的应用[J].测绘科学,2007,32(1):60-65. [Liu Z, Guo S Q, Jin H H, et al. Application of GIS-based two-step floating catchment area method in measurement of spatial accessibility to hospitals in Beijing[J]. Science of Surveying and Mapping, 2007,32(1):60-65.]
- [7] 王远飞,张超.GIS和引力多边形方法在公共设施服务域研究中的应用——以上海浦东新区综合医院为例[J].经济地理,2005,25(6):800-803. [Wang Y F, Zhang C. GIS and gravity polygon based service area analysis of public facility: A case study of hospitals in Pudong new area[J]. Economic Geography, 2005,25(6):800-803.]
- [8] 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. [Hou S Y, Jiang H T. An analysis on accessibility of hospitals in Changchun based on urban public transportation[J]. Geographical Research, 2014,33(5):915-925.]
- [9] 陈晨,修春亮.基于交通网络中心性的长春市大型综合医院空间可达性研究[J].人文地理,2014(5):81-87. [Chen C, Xiu C L. Spatial accessibility of large general hospital in Changchun city center based on street network centrality[J]. Human Geography, 2014(5):81-87.]
- [10] Alegana V A, Wright J A, Pentrina U, et al. Spatial modeling of healthcare utilization for treatment of fever in Namibia[J]. International Journal of Health Geographics, 2012,11(1):1-13.
- [11] Love D, Lindquist P. The geographical accessibility of hospitals to the aged: a geographic information systems analysis within Illinois[J]. Health Services Research, 1995,29(6):629-651.
- [12] 许昕,赵媛.基于GIS技术的镇江市中心城区医疗机构空间分布研究[J].南京师范大学学报:工程技术版,2015(4):58-65. [Xu X, Zhao Y. Spatial distribution of medical institutions in Zhenjiang: A geographical analysis based on GIS[J]. Journal of Nanjing Normal University (Engineering and Technology Edition), 2015,4:58-65.]
- [13] 付加森,王利,赵东霞,等.基于GIS医疗设施空间可达性的研究——以大连市为例[J].测绘与空间地理信息,2015(4):102-105. [Fu J S, Wang L, Zhao D X, et al. Accessibility evaluation in public health care facilities based on GIS: A case study of Dalian[J]. Geomatics & Spatial Information Technology, 2015,4:102-105]
- [14] 谢小华,王瑞璋,文东宏,等.医疗设施布局的GIS优化评价——以翔安区医疗设施为例[J].地球信息科学学报,2015,17(3):317-328. [Evaluating the medical facilities layout based on GIS: An application of Xiang'an district[J]. Journal of Geo-Information Science, 2015,17(3):317-328.]
- [15] 于珊珊,彭鹏,田晓琴,等.基于GIS的长沙市医院空间布局及优化研究[J].长沙大学学报,2012,26(2):90-94. [Yu S S, Peng P, Tian X Q, et al. Research of hospital space layout and optimization in Changsha city based on GIS[J]. Journal of Changsha University, 2012,26(2):90-94.]
- [16] 武汉市统计局.武汉统计年鉴2014[M].北京:中国统计出版社,2014. [Wuhan city bureau of statistics. Editorial department of Wuhan statistical yearbook- 2014[M]. Beijing: China Statistics Press, 2014.]
- [17] 周廷刚,郭志达.基于GIS的城市绿地景观空间结构研究——以宁市为例[J].生态学报,2005,123(5):901-907. [Zhou T G, Guo Z D. GIS-based study on spatial structure of urban greenbelt landscapes: Taking Ningbo city as an example[J]. Acta Ecologica Sinica, 2005,123(5):901-907.]
- [18] 黄杏元,汤勤.地理信息系统概论(第一版)[M].北京:高等教育出版社,1989:207-210. [Huang X Y, Tang Q. Introduction to Geographical Information System.(The first edition) [M]. Beijing: higher education press, 1989:207-210.]
- [19] 曹书平.农村医疗资源的空间可达性分析[D].重庆:西南大学,2009. [Cao S P. The spatial accessibility analysis of rural medical resource[D]. Chongqing: southwest university, 2009.]
- [20] 肖卫东.中国种植业地理集聚的空间统计分析[J].经济地理,2014,34(9):124-129. [Xiao W D. Spatial statistics analysis of China's planting geographic agglomeration[J].

- Economic Geography, 2014,34(9):124-129.]
- [21] 肖光恩,陆应松. 外商在华直接投资地区非均衡增长的测度及其决定因素[J].武汉大学学报·哲学社会科学版, 2011(6):16-21. [Xiao G E, Lu Y S, Unbalanced growth of foreign direct investment in China region measurement and determinants research[J]. Wuhan University Journal (Philosophy & Social Sciences), 2011,6:16-21.]
- [22] Wang J F, Li X H, Christakos G, et al. Geographical detectors-based health risk assessment and its application in the neural tube defects study of the Heshun Region, China[J]. International Journal of Geographical Information Science, 2010,24 (1):107-127.
- [23] 丁悦,蔡建明,任周鹏,等.基于地理探测器的国家级经济技术开发区经济增长率空间分异及影响因素[J].地理科学进展,2014,33(5):657-666. [Ding Y, Cai J M, Ren Z P, etc. Spatial disparities of economic growth rate of China's National-level ETDZs and their determinants based on geographical detector analysis[J]. Progress in Geography, 2014,33(5):657-666.]
- [24] 李晓龙.我国流行性乙型脑炎时空分布特征及相关地理气候因素研究[D].北京:中国疾病预防控制中心,2014. [Li X L, Study on Spatial-temporal distribution and related geographic and climatic factors of Japanese encephalitis in mainland China[D]. Beijing: Institute for Viral Disease Control and Prevention Chinese Center for Disease Control and Prevention, 2014.]