

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

汤鹏飞^{1,2}, 向京京³, 罗 静^{1*}, 陈国磊¹

(1. 华中师范大学城市与环境科学学院, 武汉 430079; 2. 湖北省社会科学院长江流域经济研究所, 武汉 430077; 3. 武汉市规划编制研究和展示中心, 武汉 430014)

摘 要:空间可达性是评价教育设施布局合理性的重要指标,而潜能模型是度量教育设施空间可达性的重要方法。本文在引入学校服务能力因子的基础上,综合考虑学校服务能力等级影响和居民极限出行时间构建就学影响因素,对潜能模型加以改进。通过以湖北省仙桃市为典型县域单元的案例研究,结果表明:①村级居民点尺度,乡镇中心和高等级公路沿线居民点的小学空间可达性普遍较高,并按照一定的半径范围呈距离衰减过程,而乡镇毗邻地区居民点的小学空间可达性相对较差;②乡镇(街道)尺度,可达性较高的乡镇(街道)主要分布在沿G318的北部地区,且城乡间、主城区与城郊的小学空间可达性均存在一定差距;③改进潜能模型能合理地评价各农村居民聚落点和各乡镇的小学空间可达性,当摩擦系数 β 取值为2时,能更为准确地揭示农村居民所能获取的教育资源,为相关部门决策提供科学依据。

关键词:改进潜能模型;空间可达性;县域;小学;仙桃市;湖北省

1 引言

中国在2006年3月颁布的《国民经济和社会发展规划“十一五”规划纲要》中首次提出“公共服务均等化”要求,基础教育作为公共服务的重要组成部分,合理配置基础教育设施和资源是居民均等地享受教育服务的关键。尤其是在中国城镇化加速推进的过程中,大量农村人口向城镇流动,城乡基础教育供给不均等、资源配置失衡等问题逐步凸显的背景下,基础教育服务的合理配置问题更是引发了学界的普遍关注,而从空间视角研究设施分布的可达性是地理学服务于社会公共资源配置的关键视角(林康等, 2009)。

空间可达性是指从一个给定位置到活动位置的相对难易程度,其度量是评价公共服务资源布局 and 配置是否合理的重要指标之一(李孟桐等,

2016)。国外学者广泛将空间可达性技术运用于教育设施布局研究,研究内容主要涉及学区划分和规划(Maxfield, 1972; Pacione, 1989; Taylor et al, 1999; Caro et al, 2004; Hwang, 2005; Singleton et al, 2011)、学校可达性的交通成本分析(Talen, 2001; Hanley, 2007),以及学校空间可达性变化所引起的经济社会效应(Chin et al, 2006)等。21世纪以来,中国学者尝试将空间可达性引入基础教育服务研究,其研究对象涵盖小学、初中和高中,研究地区以城市城区为主,研究内容主要运用多种可达性定量分析方法结合GIS技术平台,分析和评价基础教育设施空间可达性的现状和均等化水平。此外,卢晓旭等(2010)将空间可达性运用于学校生源区研究;王侠等(2015)基于时间地理学的研究视角,将居民就学的时空行为特征引入学校空间可达性分析。由此可见,空间可达性分析技术已逐渐成为教育设施

收稿日期:2017-03;修订日期:2017-05。

基金项目:国家自然科学基金项目(41371183) [Foundation: National Natural Science Foundation of China, No.41371183]。

作者简介:汤鹏飞(1982-),男,湖北监利人,博士研究生,助理研究员,主要从事区域发展与城乡规划研究,

E-mail: tommy82127@163.com。

通讯作者:罗静(1966-),男,湖北松滋人,博士,教授,主要从事人文地理和经济地理研究, E-mail: luojing@mail.c-nu.edu.cn。

引用格式:汤鹏飞, 向京京, 罗静, 等. 2017. 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, 36(6): 697-708. [Tang P F, Xiang J J, Luo J, et al. 2017. 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, 36(6): 697-708.]. DOI: 10.18306/dlkxjz.2017.06.005

和资源配置合理性评价的有力工具。

关于教育服务设施空间可达性的度量方法,中国学者主要采用比例模型(胡思琪等, 2012)、等值线法(吕毅, 2005; 张鲜鲜等, 2015)、最小距离(最短时间)法(钟业喜等, 2011; 韩艳红等, 2012)、两步移动搜索法(任若菡等, 2014; 沈怡然等, 2016)和潜能模型(孔云峰等, 2008; 江文政等, 2015; 杨钦宇等, 2015)等方法。其中,比例法考虑了供需点的规模,但是没有考虑供需双方的空间阻隔因素,也不能反映研究区域内部可达性变化(侯松岩等, 2014);等值线法和距离法本质上都是通过对某点交通出行的便捷程度评价来衡量可达性水平,但未考虑度量点和吸引点之间的相互作用及其空间距离的衰减(陈洁等, 2007);而两步移动搜索法和潜能模型法综合考虑了供需点规模以及距离等多种因素,因此得到了更为广泛地应用和发展(宋正娜, 陈雯, 张桂香等, 2010)。两步移动搜索法分别以供给点和需求点为中心移动搜索两次(Wang et al, 2005),但在方法运用过程中较难以划定可达与不可达的临界值,且忽略了距离的衰减作用。相比两步移动搜索法,潜能模型则考虑了距离衰减作用,并将空间上供需双方的空间效应随距离衰减与供需双方自身的引力规模结合起来衡量可达性水平,反映了居民对服务设施选择利用的一般行为规律,能更为全面准确地衡量居民获取公共服务的难易程度(丁秋贤等, 2016)。基于上述分析,本文初步选用潜能模型进行研究。

潜能模型在教育设施空间可达性的度量与应用中有2个方面的问题值得深入思考:一是模型中的供给点(学校)通常选择学生数、教师数等单一性指标来表征学校服务能力,以此判断“供方”对“需方”的潜能大小,而学校服务能力通常是涉及多种因素的综合表现,且不同等级服务能力的学校对居民就学行为会产生影响;二是模型虽然考虑了距离衰减作用,但未对临界时间(距离)进行界定,而现实生活中居民的出行存在极限时间(距离)。因此,本文在引入学校服务能力因子的基础上,对不同等级服务能力的学校赋予不同的有效服务半径,并结合居民就学极限出行时间构建改进潜能模型,旨在对县域小学空间可达性进行更为科学地测算。

总体而言,教育设施可达性是中国理论和实践层面普遍关注的问题,但研究地区存在明显“城市偏向”,较少开展县域案例研究,而《国家中长期教

育改革和发展规划纲要(2010—2020年)》提出“率先在县(区)域内实现城乡均衡发展,逐步在更大范围内推进”。本文以仙桃市作为县域单元的研究案例,综合考虑学校服务能力、等级影响及极限出行时间等因素,结合“仙桃居民就学行为及影响因素”的问卷调查,构建改进潜能模型,重点分析农村小学的空间可达性及城乡差距,以期能够更为准确地评价小学资源空间布局的合理性,对县域学校布局规划具有重要的理论和现实意义。

2 研究区域、数据与方法

2.1 研究区域概况

仙桃市位于湖北省中南部,属冲积平原,地势平坦,总面积 2538 km²,人口 155 万,全市现辖 3 个市属街道办事处、15 个建制镇、1 个省级工业园、2 个农场。仙桃作为江汉平原的典型县域单元,其自然和经济条件方面具有均质性,具有问题表征、模型建构和实验模拟的良好基础。同时,仙桃作为国家新型城镇化试点,对于探讨中国新型城镇化背景下的教育设施空间可达性的特点、设施优化及布局,实现服务均等化具有代表性意义。本文的基础教育需求对象为仙桃市城区 3 个街道、15 个建制镇,覆盖 647 个居民聚落点(包括 3 个街道办事处的 11 个居委、15 个乡镇中心驻地、621 个行政村);供给对象选择仙桃市的 123 个小学,其中,城区小学 26 所,乡镇小学 97 所(图 1)。

2.2 数据来源

基础空间数据来源于仙桃市国土局提供的县级和村级行政区划图和 1:5 万县级和村级界线图,仙桃市交通局提供的 1:5 万路网图,仙桃市教育局提供的《仙桃市中小学布局规划》中 1:5 万的学校布局现状图。运用 GIS 将地图矢量化,建立包括村级居民点、交通网络、小学点等信息的空间数据库。其中,647 个居民点图层用各居委会、乡镇中心和行政村等空间单元的几何质心来替代;空间交通数据建立包含国道、省道、县道、乡道的空间路网图层(居民一般不选择高速公路作为就学出行道路)。属性数据方面,由于研究需要涉及各个居民点学龄人口和学校的相关数据,数据来源从仙桃市第六次人口普查、《仙桃市教育统计年鉴》和《仙桃市义务教育均衡发展基本情况统计表》等资料获取。

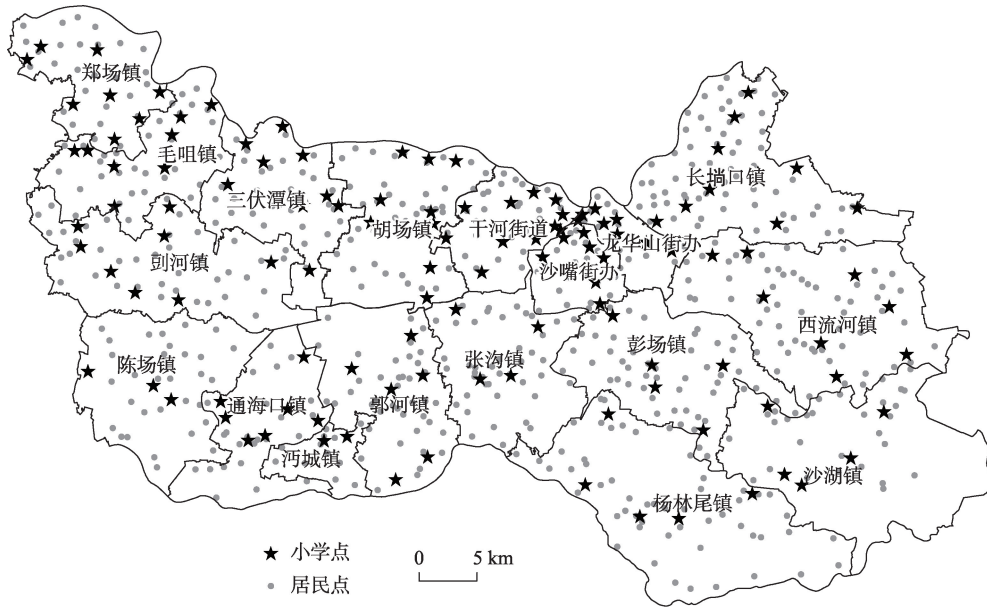


图1 仙桃市小学点和居民点的空间分布

Fig.1 Spatial distribution of primary schools and settlements in Xiantao City, Hubei Province

2.3 研究方法

2.3.1 潜能模型及其改进

潜能模型是区域经济学、地理学借鉴物理万有引力定律来研究经济、社会空间相互作用的经典模型之一。Hansen(1959)运用重力模型表达了可达性,该模型考虑到服务设施能力和达到设施的距离等因素。随后,学者突破了重力模型中距离指数因子的约束,引入出行摩擦系数 β ,形成了地理学的潜能模型一般公式(宋正娜等, 2009),公式如下:

$$A_i = \sum_{j=1}^n A_{ij} = \sum_{j=1}^n \frac{F_j}{D_{ij}^\beta} \quad (1)$$

由于一般潜能模型仅考虑了“供给方”因素,未考虑不同居民点分享同一设施而形成的有限资源竞争,造成了同样规模设施服务不同数量人口而得到相同的可达性。为解决这一问题,学者在研究时增加了“需求方”的人口影响因子(Joseph et al, 1982; Guagliardo, 2004),其改进潜能模型公式如下:

$$A_i = \sum_{j=1}^n \frac{F_j}{D_{ij}^\beta V_j} \quad \text{其中: } V_j = \sum_{k=1}^m \frac{P_k}{D_{kj}^\beta} \quad (2)$$

式(1)-(2)中: A_i 为居民点*i*至所有设施的空间可达性; A_{ij} 表示居民点*i*到设施点*j*的空间可达性; F_j 表示设施*j*的规模; D_{ij} 居民点*i*与设施*j*的距离(时间)成本; V_j 表示人口影响因子; P_k 为居民点*k*的服务需求人口数; D_{kj} 为居民点*k*与设施*j*的距离(时间)成本; n 和*m*分别表示设施点和居民点的数量; β 为出行摩

擦系数。

基于以上对潜能模型的讨论,本文在式(2)的基础上尝试从2个方面加以改进:一是引入小学服务能力因子 M_j ,替代单一以学生数、教师数等指标反映学校潜能大小的 F_j 。二是引入基于学校服务能力等级影响和居民极限出行时间的就学影响因子 R_{ij} 。改进后的潜能模型公式如下:

$$A_i = \sum_{j=1}^n \frac{R_{ij} M_j}{D_{ij}^\beta V_j} \quad (3)$$

式中: $M_j = f(w_t X_t)$, $R_{ij} = 1 - \left(\frac{D_{ij}}{D_j} \right)^\beta$, $V_j = \sum_{k=1}^m \frac{R_{kj} P_k}{D_{kj}^\beta}$;

A_i 表示居民点*i*的小学空间可达性; R_{ij} 为就学影响因子; D_{ij} 代表居民点*i*到小学*j*的距离(时间)成本; D_j 为居民上学的极限出行距离(时间); M_j 为小学服务能力因子; X_t 为小学服务能力第*t*个评价因子, w_t 是第*t*个评价因子权重; V_j 为学龄人口规模影响因子; R_{kj} 为第*j*个小学对第*k*个居民点就学行为的影响, P_k 为第*k*个居民点的学龄人口数; D_{kj} 为居民点*k*与小学*j*的距离(时间); n 和*m*分别表示小学点和居民点的数量; β 为出行摩擦系数。关于 β 的设定,因受不同区域、不同时间、不同交通方式、不同行业 and 不同人群的影响,Peeters等(2000)总结了前人的研究成果,发现 β 取值主要集中于0.90~2.29之间;且当 β 取值在1.5~2.0之间时,对研究结果影响不大。学者在运用潜能模型分析教育(孔云峰等, 2008)、医疗(宋正娜

等, 2009; 熊娟等, 2012)、养老(丁秋贤等, 2016)等公共服务设施可达性时, 多将参数 β 取值为1或2。因此, 本文将试验性地选择 $\beta=1$ 和 $\beta=2$ 进行对比分析, 讨论不同 β 值的小学空间可达性的敏感度。

2.3.2 改进潜能模型中 M_i 的测算方法

在中国当前推进义务教育均衡发展的背景下, 学校服务能力是涉及多种因素的综合表现。《国家中长期教育改革和发展规划纲要(2010-2020年)》提出: “均衡配置教师、设备、图书、校舍等各项资源, 切实缩小校际差距”。王晋堂(2006)、李传江(2011)、肖军虎(2011)在分析中国县域基础教育均衡发展评价体系过程中, 将以办学条件为代表的“硬件”和以师资队伍为代表的“软件”作为评价学校服务能力的重要指标, 其中办学条件主要包括学校面积、建筑面积、危房面积、图书册数、仪器设备数等指标, 师资力量主要以教职工数、专任教师数、教师学历合格率、中级及以上职称教师数等指标来评价。

为深入了解仙桃市居民就学的实际情况, 调研组选择仙桃5个乡镇(张沟镇、彭场镇、毛嘴镇、陈场镇、郑场镇)的5个行政村开展“农村居民就学行为及影响因素”的问卷调查。本次调查共发放500份问卷, 回收问卷438份, 有效问卷356份, 问题主要涉及居民就学影响因素、交通方式、出行时间等。在仙桃案例的调查中, 发现对农村居民就学行为产生影响的因素依次为: 师资情况(82.5%)、上学距离(68.8%)、学校容量(62.3%)、硬件设施(56.5%)、学校费用(21.4%)和亲朋好友推荐(7.1%)。在距离的影响因素之外, 代表小学服务能力的师资情况、学校容量、硬件设施等成为农村居民就学所考虑的核心影响因素。

通过上述分析, 以《仙桃市义务教育均衡发展基本情况统计表》为基础, 综合考虑数据的准确性、可获取性和科学性, 选择师资情况、学校容量和硬件设施3个大类的9个指标构建小学服务能力评价体系(表1), 测算仙桃市“小学服务能力因子 M_i ”, 以此评价小学对各居民点潜能的大小。其实现过程如下: ①对评价体系数据进行无量纲化处理, 由于评价指标均为正向指标, 且避免评价指标出现0的情况, 采用极大值法进行处理; ②计算第 j 个学校的第 t 项指标值的比重: $Y_{jt} = X_{jt} / \sum_{i=1}^n X_{it}$, 其中 n 为学校数量, X_{jt} 为第 j 个学校第 t 项无量纲化后的评价指标, Y_{jt} 为第 j 个学校第 t 项无量纲化指标所占比重; ③计算指标信息熵: $e_i = -k \sum_{j=1}^n \ln Y_{ji}$, 其中, $k > 0$,

表1 小学服务能力评价体系及指标权重

Tab.1 Evaluation system and indicator weights of service capability of primary schools

类别	变量	指标	权重(w_i)
师资队伍	X_1	教职工数/人	0.136
	X_2	专任教师数/人	0.139
	X_3	中级及以上教师人数/人	0.221
学校容量	X_4	学生数/人	0.173
	X_5	班级数/个	0.076
	X_6	校园面积/亩	0.102
硬件设施	X_7	教学辅助用房面积/hm ²	0.022
	X_8	图书册数/千册	0.080
	X_9	计算机台数/台	0.051

$k = 1/\ln(n)$; ④计算指标的信息效用价值: $g_i = 1 - e_i$; ⑤计算各指标的客观权重: $q_i = g_i / \sum g_i$; ⑥为更准确地反映仙桃各个小学对居民潜能的大小, 根据仙桃问卷调查中的农村居民对师资情况 γ_1 、学校容量 γ_2 和硬件设施 γ_3 三大影响因素的比重结果, 运用AHP层次分析法测算其主观权重 γ_θ , 得到 $\gamma_1=0.484$ 、 $\gamma_2=0.395$ 、 $\gamma_3=0.121$, 且通过了一致性检验;

⑦按照公式 $w_i = \gamma_\theta q_i / \sum_{j=1}^n \gamma_\theta q_i$, 计算主客观综合权重

w_i , 确定小学服务能力因子公式为 $M_j = (0.136X_1 + 0.139X_2 + 0.221X_3 + 0.173X_4 + 0.076X_5 + 0.102X_6 + 0.022X_7 + 0.08X_8 + 0.051X_9) \times 100$; ⑧测算仙桃123所小学的服务能力因子 M_i , 并运用ArcGIS 10.2中自然间断点分级法将 M_i 划分为4个等级, 其中, 等级I为 $M_j > 53.40$, 等级II为 $25.73 < M_j \leq 53.40$, 等级III为 $12.50 < M_j \leq 25.73$, 等级IV为 $M_j \leq 12.50$ (图2)。

2.3.3 改进潜能模型中 R_{ij} 的测算方法

中国学者已尝试将居民对于养老(丁秋贤等, 2016)、医疗(宋正娜, 陈雯, 车前进等, 2010)等服务设施的等级影响引入潜能模型评价其空间可达性。借鉴这一思路, 不同等级服务能力的学校对居民的吸引力往往不同, 在小学服务能力评价的基础上引入就学影响因子 R_{ij} , 假设 M_j 等级越高, j 小学对居民就学行为的影响力越强, 但受极限出行时间(距离)限制。 R_{ij} 的计算公式如下:

$$R_{ij} = 1 - \left(\frac{D_{ij}}{D_j} \right)^\beta \quad (4)$$

式(4)中: R_{ij} 表示居民就学影响因子; D_{ij} 为居民点 i 到学校 j 的距离(时间); D_j 为居民选择不同服务能力设施所接受的极限出行时间(距离), 当 $D_{ij} > D_j$, 则 $R_{ij} <$

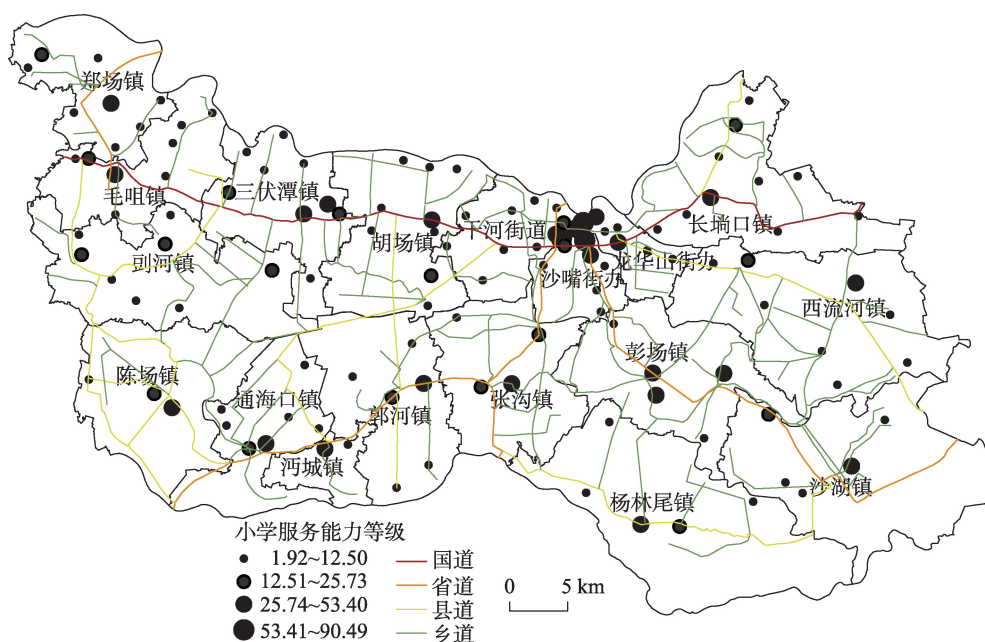


图2 仙桃市小学点服务能力等级的空间分布

Fig.2 Spatial distribution of service capability grade of primary schools in Xiantao City, Hubei Province

0,说明该设施对居民不具备吸引力,在测算中将其设置为0; β 为出行摩擦系数。

仙桃问卷调查结果显示:在车行(校车和公共交通)方式下,42.9%的居民认为小学上学时间10 min以内较为合理,53.2%的居民认为10~20 min较为合理。据此,将居民的极限出行时间 D_i 最大值设置为20 min,并根据学校服务能力因子的4个等级按照等值递减的方式设置极限出行时间,即服务能力越高的小学,居民所愿意承担的极限出行时间越长,当上学时间超过居民的极限出行时间时($D_{ij} > D_i$)认为居民不再选择该学校就学,以此来反映对居民的就学影响。具体设置如下:等级Ⅰ小学的 D_i 为20 min;等级Ⅱ小学的 D_i 为15 min;等级Ⅲ小学的 D_i 为10 min;等级Ⅳ小学的 D_i 为5 min。值得注意的是, D_i 设置需对应学校服务能力等级划分,在相关拓展研究中,可通过增加学校服务能力等级数而相应地增加 D_i 设定,以考察不同阈值下的学校空间可达性。

2.3.4 改进潜能模型的实现过程

运用ArcGIS 10.2的“join”、“字段计算器”、“汇总统计数据”等功能可实现改进潜能模型的计算,具体实现步骤如下(图3):

(1) 数据准备预处理(M_j 、 D_j)。基于小学综合服务能力评价体系求得的各小学综合服务能力因子 M_j ,将测算结果按照“学校名称”连接到小学点图

层,实现 M_j 赋值给相应的小学点,并根据 M_j 的4个等级设置学校 j 的极限出行时间 D_j 。

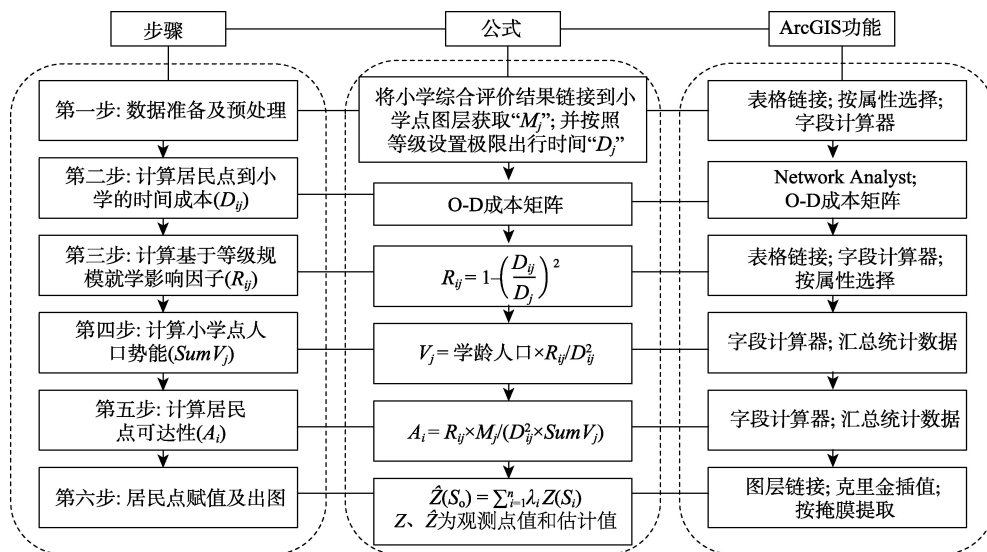
(2) 交通路网时间成本 D_{ij} 。居民就学时间的测算以车行(校车和公共交通)作为出行方式为例,车行速度以2004年《公路技术标准》为依据,结合仙桃实际情况,确定国道通行速度标准为70 km/h、省道60 km/h、县道40 km/h、乡道30 km/h,并据此测算居民就学出行时间。基于仙桃交通网络图层创建网络数据集,通过Network Analyst模块激活O-D成本矩阵工具,加载居民点为起始点位置、小学点与目的地位置,求解并导出“O-D成本.dbf”表,得到居民点 i 到小学点 j 的时间成本。

(3) 计算就学影响因子 R_{ij} 和人口因子 V_j 。将居民点图层和小学点图层分别基于“DestinationID”和“OriginID”连接到“O-D成本.dbf”。添加字段“ R_{ij} ”,

计算 $R_{ij} = 1 - \left(\frac{D_{ij}}{D_j} \right)^2$,并依托“属性选择”和“字段计

算器”将“ $R_{ij} < 0$ ”的值设置为0。添加字段“ V_j ”,用字段计算器计算“ $V_j = \text{学龄人口} \times R_{ij} / D_j^2$ ”,按照小学点位置汇总“ V_j ”,导出数据得到新表“Sum- V_j .dbf”。

(4) 计算居民点可达性 A_i 。将“Sum- V_j .dbf”按照“DestinationID”字段链接到“O-D成本.dbf”,添加字段“ A_i ”,计算 $A_i = R_{ij} \times M_j / (D_{ij}^2 \times \text{Sum} V_j)$;再按照居民点位置汇总“ A_i ”,导出数据“Sum- A_i .dbf”

图3 改进潜能模型在 ArcGIS 的实现过程($\beta=2$)Fig.3 Implementation of the improved potential model in ArcGIS ($\beta=2$)

(5) 将“ A_i ”赋值给相应的居民点及可视化表达。将“Sum- A_i .dbf”按照“OriginID”字段链接到居民点图层,再将可达性结果运用克里金法插值,实现各居民点小学可达性 A_i 的地理可视化表达。

(6) 敏感性分析。重复以上步骤,计算 $\beta=1$ 情况下的空间可达性,考察居民点空间可达性变化对 β 值的敏感性。

3 结果与分析

3.1 小学服务能力结果分析

基于小学服务能力因子 M_j 测算结果,以乡镇(街道)为单位统计小学数量及各小学 M_j 的总和(图4),

并结合图2分析得出以下几个特征:

(1) 小学点服务能力差距悬殊。一方面表现为城区小学点与农村小学点的差距,等级 I 的小学点均位于仙桃城区, M_j 值最高的仙桃实验小学(90.49)是最低值的三伏潭镇雷场小学(1.92)的 47.1 倍;另一方面,在小学服务能力较强的城区内部也存在较大的差距,如干河街道的 11 所小学中,等级 I 的学校仅 1 所,等级 IV 的小学数量达到 8 所,街道内 M_j 值最高的仙桃实验二小(74.13)是最低值的五丰小学(5.46)的 13.6 倍。

(2) 小学服务能力在空间上表现出“中心”与“外围”的差距。华山、沙嘴、干河 3 个城区街道是仙桃小学服务能力较高的地区,而在城市南部外围地

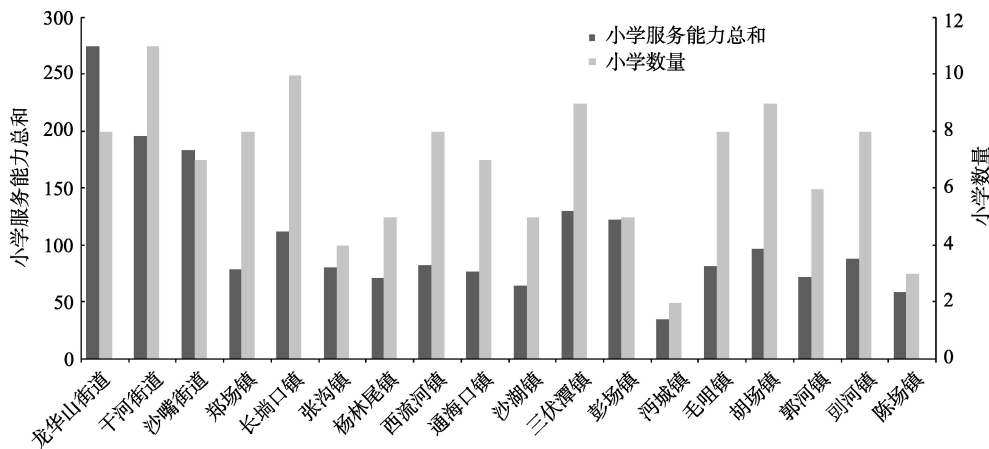


图4 仙桃市乡镇(街道)小学数及服务能力因子总和

Fig.4 The number of primary schools and the sum of M_j per each township in Xiantao City, Hubei Province

区的杨林尾、沙湖、陈场和沔城等乡镇的小学服务能力相对较弱。

(3) 服务能力较强的小学沿主要交通干线分布。从图2可以发现等级Ⅰ和等级Ⅱ的小学点主要分布在G318、S215和S321 3条等级较高的交通干线及附近。

(4) 服务能力较强的小学主要分布在乡镇中心3 km半径范围内。除剡河镇外,其余所有乡镇均分布有等级Ⅱ以上的小学。通过测算等级Ⅱ以上小学到乡镇中心的欧氏距离,结合缓冲区分析,发现陈场二小与乡镇中心的距离最小,为0.31 km;杨林尾二小与乡镇中心距离最远,为3.74 km。全市87.5%等级Ⅱ以上的小学均分布在乡镇中心的3 km半径范围以内。

3.2 β 值敏感性分析

分别观察式(2)和式(3)的摩擦系数 β 不同取值情况下,仙桃各居民点小学空间可达性的区间分布(表2),据此判断 β 值的敏感性与合理性。根据式(2)测算结果,当 $\beta=1$ 时, A_i 标准差为0.036,93.66%的 A_i 值集中在0.01~0.10区间;而 $\beta=2$ 时, A_i 标准差为0.095,仅68.01%的 A_i 值集中在0.01~0.10区间。在式(4)的测算结果中,当 $\beta=1$ 时, A_i 值在0.01~0.10区间的比重为78.68%,标准差为0.041;而 $\beta=2$ 时,同区间比重仅为64.3%,其标准差为0.057。此外, $\beta=2$ 时 A_i 的极大值与极小值区间的占比均高于 $\beta=1$ 时。据此判断, $\beta=2$ 时仙桃居民小学的空间可达性数值波动范围和离散程度更大。当数据过于集中时,不能

很好地反映居民点小学空间可达性的差异化程度,本文认为 β 取值为2更能准确地反映仙桃小学空间可达性的实际情况,在后续可达性分析中将采用 $\beta=2$ 的结果。

3.3 基于改进潜能模型的可达性结果分析

3.3.1 村级居民点尺度

运用改进潜能模型式(3)得到仙桃647个居民点在车行方式下的小学空间可达性值,并应用Arc-GIS 10.2中的克里金插值实现空间可视化(图5),据此分析仙桃各居民点小学空间可达性的差异及特征:

(1) 居民点小学空间可达性整体有待提升。仙桃各居民点的小学空间可达性平均值均为0.027,低于均值的居民点数量为478个,占全市比重高达73.88%,其中小学空间可达性 A_i 为0的居民点达到69个。

(2) 乡镇中心居民点的小学空间可达性较高,且呈距离衰减过程。将仙桃市中心城区和乡镇中心的点图层与居民点小学空间可达性克里金插值图层叠加,发现以中心城区和各乡镇中心为“核心”地区的小学空间可达性普遍较高,并按照一定的半径范围呈距离衰减过程。原因主要有2个方面:一是中心城区和各乡镇中心的交通基础较好,其道路等级普遍较高且路网相对密集,降低了附近居民点到小学的交通阻抗;二是服务能力较强的小学主要分布在各乡镇中心3 km半径范围内,有助于提高范围内居民点的可达性。

(3) 道路等级高、路网密集地区居民点的小学空间可达性高。从可达性三要素来看,交通是连接起点(供给)与终点(需求)的主要载体,在地理条件均质化的情况下,交通条件的改善会显著降低空间阻尼系数,有助于显著提高服务设施的可达性。小学空间可达性较高的居民点主要分布在道路等级相对较高的G318、S215和S321沿线,其次是县道和乡道相对密集地区的居民点。

(4) 大部分乡镇毗邻地区是仙桃小学空间可达性的薄弱地区。受乡镇中心区位、服务等级较高学校的布局和距离衰减效应的影响,使得仙桃大部分乡镇毗邻地区居民点的小学空间可达性较差,尤其在西部地区的陈场、剡河、通海口、胡场、郭河5个乡镇的毗邻地区以及南部的张沟、杨林尾毗邻地区表现尤为明显。但剡河镇与毛咀镇毗邻地区是特例,由于剡河镇中心的区位靠近与毛咀镇的毗邻地区,

表2 仙桃市各居民点小学空间可达性 A_i 分区统计(%)
Tab.2 Interval statistics for the spatial accessibility (A_i) per each settlement in Xiantao City, Hubei Province(%)

A_i	式(2)		式(3)	
	$\beta=1$	$\beta=2$	$\beta=1$	$\beta=2$
< 0.001	0.000	0.000	17.620	29.060
0.001~0.010	0.000	18.860	26.280	28.440
0.010~0.100	93.660	68.010	52.400	35.860
0.110~0.200	5.880	6.960	2.940	4.640
0.210~0.300	0.160	3.550	0.620	1.390
0.310~0.400	0.000	1.080	0.000	0.310
0.410~0.500	0.150	0.770	0.000	0.000
0.510~1.000	0.150	0.620	0.150	0.310
> 1.000	0.000	0.150	0.000	0.000
最大值	0.532	1.157	0.565	0.635
最小值	0.023	0.003	0.000	0.000
标准差	0.036	0.095	0.041	0.057

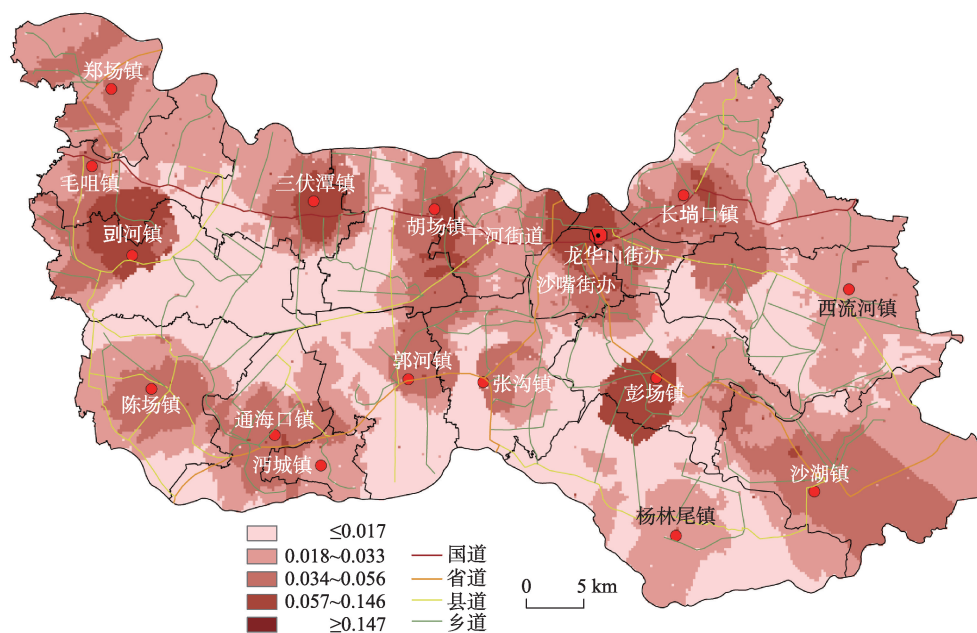


图5 仙桃市各居民点小学空间可达性克里金插值图

Fig.5 Kriging interpolation map of spatial accessibility per each settlement in Xiantao City, Hubei Province

且2个全镇服务等级最高的剅河中心小学和谢场小学布局在毗邻地区,其服务范围拓展到毛咀镇,提高了2个乡镇毗邻地区居民的小学空间可达性。

3.3.2 乡镇(街道)尺度

在仙桃647个居民点的小学空间可达性数据基础上,以城区街道和乡镇为行政单元,计算其所辖居民点小学空间可达性总和,并按照所辖居民点数

量进行算术平均得到其可达性均值 A' ,运用ArcGIS 10.2按照自然间断点分级法划分4个等级,实现空间可视化(图6)。根据结果得出以下主要特征:

(1) 区域差异明显。仙桃各乡镇的小学空间可达性较高的地区主要集中在北部地区,且沿G318呈带状分布;其次是S215和S321 2条省道沿线的郭河、沔城、通海口、彭场和沙湖等乡镇相对较高。

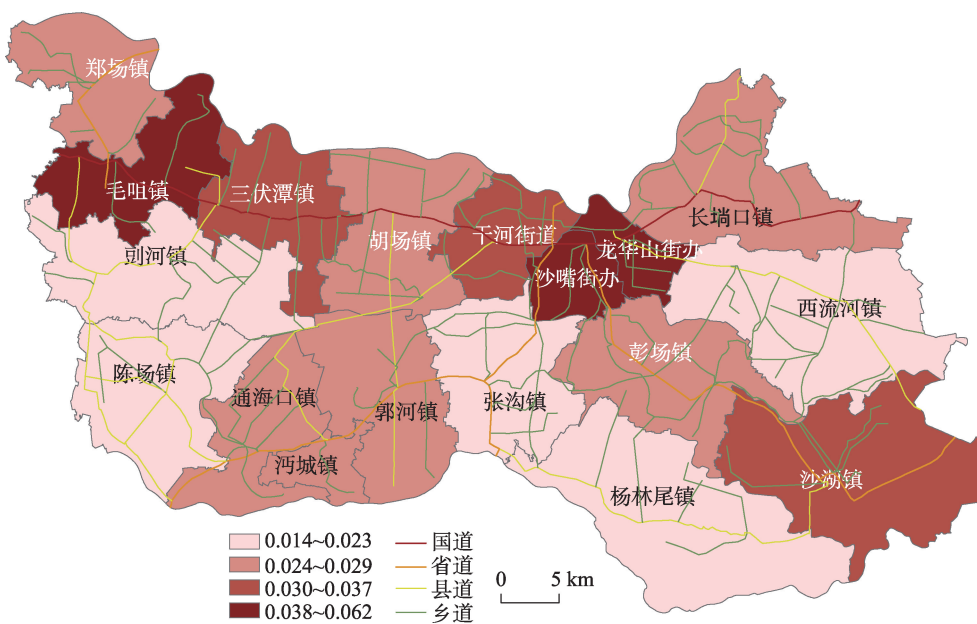


图6 仙桃市乡镇(街道)可达性分级图

Fig.6 Classification of spatial accessibility per each township in Xiantao City, Hubei Province

其中,毛咀镇的小学空间可达性在农村地区的15个乡镇中最高,其原因主要涉及乡镇内部的学龄人口与小学设施供需相对平衡、路网等级等因素;乡镇外部原因则与前文所述的剅河镇服务等级高的2所小学布局靠近毛咀镇边界,解决了毛咀镇毗邻地区居民的小学空间可达性问题有关。而东部地区的西流河、南部地区的张沟与杨林尾,西部地区的剅河与陈场等乡镇的可达性相对较差。

(2) 城乡差异依然存在。中心城区龙华山街办的小学空间可达性最高, A' 达到0.062;其次是沙嘴街办的 A' 为0.048。除毛咀镇外,所有乡镇与中心城区的龙华山街办和沙嘴街办存在一定的差距,尤其是张沟镇和杨林尾镇的 A' 分别为0.019和0.014,在18个行政单元中相对较低。综合而言,中心城区的可达性较高,而可达性较差区域主要集中在农村地区。

(3) 主城区与城郊的差异性。在仙桃城区的三个街道中,龙华山街道作为市中心区,其小学空间可达性为全市最高,主城区的沙嘴街办位列第2。而69.9%面积属于城郊的干河街道,其可达性则与其他2个街道存在较大的差距,空间可达性 A' 仅为0.031,排名第6位,且不及毛咀、三伏潭等乡镇的可达性。主要原因在于干河街道小学教育资源配置与设施布局不合理,该街道的11所小学中有8所服务能力等级为Ⅳ,仅仙桃小学和仙桃实验二小2所为等级Ⅰ,且其空间上集中于街道东北部的主城区范围内,其服务范围主要局限于街道的东北部地区,并辐射到与龙华山街道和沙嘴街道的毗邻地区。由于居民对于高等级服务能力小学的偏好,导致城郊地区部分群体就学行为出现“舍近求远”,进而影响干河街道整体的小学空间可达性。

4 结论与讨论

4.1 结论与建议

关于空间可达性的研究在地理学界历久弥新,而潜能模型在公共服务设施空间可达性度量中已得到广泛应用。本文通过以仙桃为案例的研究发现,综合考虑学校服务能力、居民等级偏好和极限出行时间等因素改进潜能模型,并通过选择适当的摩擦系数($\beta=2$),能较准确地评价仙桃小学空间可达性的现状,判别各农村居民聚落点和乡镇小学布局的合理性,得出以下结论与建议:

(1) 仙桃市小学空间可达性整体有待提升,可达性较高的乡镇主要分布在沿G318的北部地区,虽然毛咀镇与中心城区的小学空间可达性差距较小,但受城乡二元结构的长期影响,空间可达性的城乡差距依然广泛存在,农村地区仍是县域小学规划布局需重点关注的地区。从更为细分的村级居民点尺度来看,乡镇中心居民点的小学空间可达性普遍较高,且按照一定的半径范围呈距离衰减,而乡镇毗邻地区则是农村小学空间可达性的薄弱地区。为促进仙桃小学的合理布局,建议以农村尤其是乡镇毗邻地区为重点,加大教育资源和设施的供给力度,加强薄弱学校改造和资源的优化配置,并发挥各乡镇中心高等级服务能力小学的辐射带动作用,通过整合、重组、共享等多种形式,提高薄弱地区的办学条件和师资水平,适当提高学校的服务半径和范围,推动城乡居民均等地享有教育服务。

(2) 无论是从村级居民点尺度还是从乡镇尺度来看,仙桃市道路等级高和网络密集地区的小学空间可达性相对较高。主要原因是全市服务能力较强的小学均布局在高等级干线道路沿线及路网相对密集地区,而交通路网的改善会显著降低空间阻抗系数,有助于提高小学服务的覆盖范围和居民的空间可达性。建议小学空间可达性较差的乡镇尽量避免盲目地增加学校布点、扩大学校规模,并由此造成资源浪费和财政压力,但可通过优化路网结构、促进学校在路网密集地区布局等方式来减少交通阻抗因子的影响,提高全市小学教育服务的空间可达性。

(3) 在城市化进程中,伴随着城市规模的扩张和人口资源的快速集聚,作为城郊面积占大部分的干河街道,其小学资源配置滞后于人口集聚速度,加上服务能力较差的学校占比过高,服务能力较强的小学布局过度集聚,使得该地区成为教育“需求”与“服务”矛盾较为突出的地区。为提高城郊居民的小学空间可达性,建议以提高小学的覆盖范围和资源利用率为目标,针对现有服务能力较差、生源不稳定的小学进行资源整合,缩小校际差距,并推进服务等级较高的小学在区域内分散布局。

4.2 讨论

本文作为对小学空间可达性度量方法与特征分析的一个探索,文中所运用的改进潜能模型适用于度量和评价县域单元的基础教育设施空间可达性。但本文也存在以下几点不足:一是全文旨在

县域范围内挖掘农村地区小学空间可达性的不均匀和城乡差距,未考虑中心城区小学学区划分影响,如若将本文中的改进潜能模型应用到中心城区或更小的空间尺度,则需考虑该因素;二是不同服务能力学校的等级和服务半径(极限出行时间)设定存在一定的主观性,后续研究将利用不同的时间(距离)阈值进行可达性空间分布的敏感性分析;三是小学空间可达性的出行方式仅以居民选择车行的出行方式为例,后期将开展不同交通方式的可达性比较研究;四是全文侧重于全市小学空间可达性测算及评价,没有提出优化方案,后续将基于现有的小学空间可达性分析开展布局优化研究。

参考文献(References)

- 陈洁, 陆锋, 程昌秀. 2007. 可达性度量方法及应用研究进展评述[J]. 地理科学进展, 26(5): 100-110. [Chen J, Lu F, Cheng C X. 2007. Advance in accessibility evaluation approaches and applications[J]. Progress in Geography, 26(5): 100-110.]
- 丁秋贤, 朱丽霞, 罗静. 2016. 武汉市养老设施空间可达性分析[J]. 人文地理, 31(2): 36-42. [Ding Q X, Zhu L X, Luo J. 2016. Analysing spatial accessibility to residential care facilities in Wuhan[J]. Human Geography, 31(2): 36-42.]
- 韩艳红, 陆玉麒. 2012. 教育公共服务设施可达性评价与规划: 以江苏省仪征市高级中学为例[J]. 地理科学, 32(7): 822-827. [Han Y H, Lu Y Q. 2012. Accessibility assessment and planning of public service facilities for education: A case study on senior high schools in Yizheng City [J]. Scientia Geographica Sinica, 32(7): 822-827.]
- 侯松岩, 姜洪涛. 2014. 基于城市公共交通的长春市医院可达性分析[J]. 地理研究, 33(5): 915-925. [Hou S Y, Jiang H T. 2014. An analysis on accessibility of hospitals in Changchun based on urban public transportation[J]. Geographical Research, 33(5): 915-925.]
- 胡思琪, 徐建刚, 张翔, 等. 2012. 基于时间可达性的教育设施布局均等化评价: 以淮安新城规划为例[J]. 规划师, 28(1): 70-75. [Hu S Q, Xu J G, Zhang X, et al. 2012. Temporal accessibility based educational facilities even development evaluation: Huai'an new city planning example[J]. Planners, 28(1): 70-75.]
- 江文政, 乔观民, 邵黎霞, 等. 2015. 基于改进潜能模型的城市居民就学可达性研究: 以宁波市海曙区为例[J]. 生产力研究, (5): 67-71. [Jiang W Z, Qiao G M, Shao L X, et al. 2015. Jiyou gaijin qianneng moxing de chengshi jumin jiuxue kedaxing yanjiu: Yi Ningboshi Haishuqu weili[J]. Productivity Research, (5): 67-71.]
- 孔云峰, 李小建, 张雪峰. 2008. 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, 12(5): 800-809. [Kong Y F, Li X J, Zhang X F. 2008. 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, 12(5): 800-809.]
- 李传江. 2011. 《纲要》背景下苏北义务教育均衡发展研究[J]. 基础教育研究, (1): 3-5. [Li C J. 2011. 'Gangyao' beijingxia Subei yiwu jiaoyu junheng fazhan yanjiu[J]. Jichu Jiaoyu Yanjiu, (1): 3-5.]
- 李孟桐, 杨令宾, 魏治. 2016. 高斯两步移动搜索法的模型研究: 以上海市绿地可达性为例[J]. 地理科学进展, 35(8): 990-996. [Li M T, Yang L B, Wei Y. 2016. Improved Gaussian based 2-step floating catchment area method: A case study of green space accessibility in Shanghai[J]. Progress in Geography, 35(8): 990-996.]
- 林康, 陆玉麒, 刘俊, 等. 2009. 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, 28(1): 215-226. [Lin K, Lu Y Q, Liu J, et al. 2009. Assessment of fair space of public product based on accessibility: A case of Yizheng City[J]. Geographical Research, 28(1): 215-226.]
- 卢晓旭, 陆玉麒, 袁宗金, 等. 2010. 基于可达性的城市普通高中生源区研究[J]. 地理科学进展, 29(12): 1541-1547. [Lu X X, Lu Y Q, Yuan Z J, et al. 2010. Research on student distribution of general senior high school in city based on accessibility[J]. Progress in Geography, 29(12): 1541-1547.]
- 吕毅. 2005. 城市小学校可达性评价: 以长沙市雨花区为例[D]. 武汉: 武汉大学. [Lü Y. 2005. Evaluation of accessibility to primary schools: The case of Yuhua, Changsha, China[D]. Wuhan: Wuhan University.]
- 任若茜, 王艳慧, 何政伟, 等. 2014. 基于改进的两步移动搜索法的贫困区小学教育资源空间可达性分析: 以重庆市黔江区为例[J]. 地理信息世界, 21(2): 22-28. [Ren R H, Wang Y H, He Z W, et al. 2014. Research on spatial accessibility of primary school education resources in poverty area based on modified two-step floating catchment area method: A case study of Qianjiang[J]. Geomatics World, 21(2): 22-28.]
- 沈怡然, 杜清运, 李浪姣. 2016. 改进移动搜索算法的教育资源可达性分析[J]. 测绘科学, 41(3): 122-126. [Shen Y R, Du Q Y, Li L J. 2016. Spatial accessibility analysis of education resources by modified floating catchment area methods[J]. Science of Surveying and Mapping, 41(3): 122-

- 126.]
- 宋正娜, 陈雯. 2009. 基于潜能模型的医疗设施空间可达性评价方法[J]. 地理科学进展, 28(6): 848-854. [Song Z N, Chen W. 2009. Measuring spatial accessibility to health care facilities based on potential model[J]. Progress in Geography, 28(6): 848-854.]
- 宋正娜, 陈雯, 车前进, 等. 2010. 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, 30(2): 213-219. [Song Z N, Chen W, Che Q J, et al. 2010. 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, 30(2): 213-219.]
- 宋正娜, 陈雯, 张桂香, 等. 2010. 公共服务设施空间可达性及其度量方法[J]. 地理科学进展, 29(10): 1217-1224. [Song Z N, Chen W, Zhang G X, et al. 2010. Spatial accessibility to public service facilities and its measurement approaches[J]. Progress in Geography, 29(10): 1217-1224.]
- 王晋堂. 2006. 重点校体制的终结与均衡发展的路径[J]. 人民教育, (18): 20-22. [Wang J T. 2006. Zhongdianxiao tizhi de zhongjie yu junheng fazhan de lujing[J]. People's Education, (18): 20-22.]
- 王侠, 陈晓键, 焦健. 2015. 基于家庭出行的城市小学可达性分析研究: 以西安市为例[J]. 城市规划, 39(12): 64-72. [Wang X, Chen X J, Jiao J. 2015. Accessibility of urban primary schools based on family travel behavior: A case study of Xi'an[J]. City Planning Review, 39(12): 64-72.]
- 肖军虎. 2011. 我国县域义务教育均衡发展指标体系的构建[J]. 教育理论与实践, 31(9): 30-33. [Xiao J H. 2011. Constructing the index system of balanced development of compulsory education in counties in China[J]. Theory and Practice of Education, 31(9): 30-33.]
- 熊娟, 罗静, 彭菁, 等. 2012. 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, 27(5): 25-29, 119. [Xiong J, Luo J, Peng J, et al. 2012. Equalization analysis of medical service of county level based on accessibility: A case study of Songzi, Hubei Province[J]. Human Geography, 27(5): 25-29, 119.]
- 杨钦宇, 徐建刚. 2015. 基于引力可达性的公共服务设施公平性分析模型: 以福建长汀为例[J]. 测绘与空间地理信息, 38(6): 48-51. [Yang Q Y, Xu J G. 2015. Based on the gravity of accessibility of public service facilities fairness analysis model: Take Fujian Changting as an example[J]. Geomatics & Spatial Information Technology, 38(6): 48-51.]
- 张鲜鲜, 李久生, 赵媛, 等. 2015. 南京市高级中学可达性及空间分布特征研究[J]. 测绘科学, 40(11): 111-114, 186. [Zhang X X, Li J S, Zhao Y, et al. 2015. Study on accessibility and spatial distribution characteristics of senior high schools in Nanjing[J]. Science of Surveying and Mapping, 40(11): 111-114, 186.]
- 钟业喜, 余双燕. 2011. 南昌市基础教育资源空间可达性研究[J]. 江西师范大学学报: 自然科学版, 35(6): 657-661. [Zhong Y X, Yu S Y. 2011. The accessibility of basic educational resources in Nanchang City[J]. Journal of Jiangxi Normal University: Natural Science, 35(6): 657-661.]
- Caro F, Shirabe T, Guignard M, et al. 2004. School redistricting: Embedding GIS tools with integer programming[J]. Journal of the Operational Research Society, 55(8): 836-849.
- Chin H, Foong K W. 2006. Influence of school accessibility on housing values[J]. Journal of Urban Planning and Development, 132(3): 120-129.
- Guagliardo M F. 2004. Spatial accessibility of primary care: Concepts, methods and challenges[J]. International Journal of Health Geographics, 3(1): 3.
- Hanley P F. 2007. Transportation cost changes with statewide school district consolidation[J]. Socio-Economic Planning Science, 41(2): 163-179.
- Hansen W G. 1959. How accessibility shapes land use[J]. Journal of the American Institute of Planners, 25(2): 73-76.
- Hwang H S. 2005. GIS-based public facility location planning model using stochastic set-covering[C]//Proceedings of the 35th international conference on computers and industrial engineering (CIE145). Istanbul, Turkey, Istanbul Technical University: 941-946.
- Joseph A E, Bantock P R. 1982. Measuring potential physical accessibility to general practitioners in rural areas: A method and case study[J]. Social Science & Medicine, 16(1): 85-90.
- Maxfield D W. 1972. Spatial planning of school districts[J]. Annals of the Association of American Geographers, 62(4): 582-590.
- Pacione M. 1989. Access to urban services: The case of secondary schools in Glasgow[J]. Scottish Geographical Magazine, 105(1): 12-18.
- Peeters D, Thomas I. 2000. Distance predicting functions and applied location-allocation models[J]. Journal of Geographical Systems, 2(2): 167-184.
- Singleton A D, Longley P A, Allen R, et al. 2011. Estimating secondary school catchment areas and the spatial equity of access[J]. Computers, Environment and Urban Systems, 35

- (3): 241-249.
- Talen E. 2001. School, community, and spatial equity: An empirical investigation of access to elementary schools in West Virginia[J]. *Annals of the Association of American Geographers*, 91(3): 465-486.
- Taylor R G, Vasu M L, Causby J F. 1999. Integrated planning for school and community: The case of Johnston County, North Carolina[J]. *Interfaces*, 29(1): 67-89.
- Wang F H, Luo W. 2005. Assessing spatial and nonspatial factors for healthcare access: Towards an integrated approach to defining health professional shortage areas[J]. *Health & Place*, 11(2): 131-146.

Spatial accessibility analysis of primary schools at the county level based on the improved potential model: A case study of Xiantao City, Hubei Province

TANG Pengfei^{1,2}, XIANG Jingjing³, LUO Jing^{1*}, CHEN Guolei¹

(1. School of Urban and Environment Science, Central China Normal University, Wuhan 430079, China;

2. Institute of Economic Research on Changjiang River Valley, Hubei Academy of Social Sciences,

Wuhan 430077, China; 3. Wuhan Planning & Research and Exhibition Center, Wuhan 430014, China)

Abstract: Spatial accessibility is an important index to evaluate the configuration of educational facilities, and potential model is an important method to measure the accessibility of educational facilities. This study improved the potential model from two aspects: by introducing the factor of primary school service ability, and constructing the school influence factor by considering the influence of schools with different grades of service capability and local residents' travel time limit. Based on the data of Xiantao City in Hubei Province by the end of 2010 on primary schools, residents, traffic network, and so on, the improved potential model was applied to assess the variation of spatial accessibility to primary schools in Xiantao City. The results show that: (1) At the village-level settlement scale, the spatial accessibility of primary schools for the residents is universally high at township centers and along transport corridors, and shows a distance attenuation effect at certain radius, but the spatial accessibility of primary schools at settlements between townships is relatively low. (2) At the township scale, the towns with higher spatial accessibility are mainly distributed in the northern area along the G318 road. (3) The improved potential model could reasonably evaluate the spatial accessibility of primary schools in each rural settlement and township. Also, when the value of friction coefficient (β) is set as 2, the educational resources available for rural residents can be reflected more accurately, and this provides a reference for the decision making by relevant government departments.

Key words: improved potential model; spatial accessibility; county level; primary school; Xiantao City; Hubei Province