

DOI:10.11921/j.issn.2095-8382.20210206

基于空间句法的中国部分北方城市道路可达性评价

储金龙^{1, 2}, 李欣怡¹, 王爱^{1, 2}

(1. 安徽建筑大学 建筑与规划学院, 安徽 合肥, 230022; 2. 安徽省城镇发展研究中心, 安徽 合肥, 230022)

摘要: 选取中国北方具有代表性的 11 个城市, 运用空间句法对这些城市道路的可达性进行分析, 通过不同城市之间在全局整合度、全局深度和可理解度方面的比较, 发现各个城市之间可达性的特征和差异, 评价分析, 进而根据评价结果给出优化城市道路可达性的三点建议: 优选规整正交的城市路网; 优选团块状城市形态以及重视城市环路建设。以期为城市交通改善提供借鉴。

关键词: 空间句法; 可达性; 评价; 优化

中图分类号: TU984

文献标识码: A

文章编号: 2095-8382 (2021) 02-034-06

Evaluation of Road Accessibility in Some Major Cities in northern China Based on Space Syntax

CHU Jinlong^{1, 2}, LI Xinyi¹, WANG Ai^{1, 2}

(1. Department of Urban and Rural Planning, Anhui Jianzhu University, Hefei 230022, China;

2. Research Centre of Anhui Urbanization Development, Hefei 230022, China)

Abstract: Selecting eleven representative cities in northern China, using spatial syntax to analyze the accessibility of these urban roads, and comparing different cities in terms of overall integration, overall depth, and intelligibility, it is found that each city is different from each other in terms of overall integration, overall depth, and intelligibility. The characteristics and differences of inter-accessibility are evaluated and analyzed, and then based on the evaluation results, three suggestions for optimizing the accessibility of urban roads are given: Optimizing the regular and orthogonal urban road network; Optimizing the mass city form and attaching importance to the urban ring road Construction. In order to provide a reference for the improvement of urban traffic.

Key words: space syntax; accessibility; evaluation; optimization

随着城市的发展,城市交通拥堵问题日益严重,如何改进城市道路网,优化城市交通一直都是研究的热点。近年来利用空间句法进行的研究很多,包括共享自行车租赁^[1],古城景点^[2],城市轨道交通^[3],城市公园^[4],建筑空间^[5],刑事犯罪预防^[6]。通过梳理现有研究可以发现,目前关于可达性的研究都着眼于某个城市内部或者城市某一要素,对象只有一个;而选取多个城市(对象),进行城市之间

道路可达性横向对比评价的研究很少。因此,进行多个城市道路可达性的比较评价具有重要意义,其目的在于找到各城市道路建设的异同、优点和不足之处,发掘造成这些相似或差异的原因,进而提出优化道路可达性的方法建议,从而改善城市路网,提升城市交通环境。中国北方地区南至秦岭-淮河,北至黑龙江漠河一带,区域跨度很广阔,很多城市在城市形态、地形地貌、路网建设方面都具有典

收稿日期: 2020-09-10

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(51678001);安徽省自然科学基金项目(2008085QE241);安徽建筑大学博士科研基金项目(2018QD56)。

作者简介: 储金龙(1964-),男,博士,教授,研究方向:城市规划理论与设计。

型性。鉴于此,选取中国北方 11 个主要城市为对象,进行道路可达性对比评价,得出优化建议。

1 研究区域与研究方法

1.1 研究区域

选取哈尔滨、长春、沈阳、北京、石家庄、天津、太原、济南、郑州、青岛、大连等 11 个北方城市为研究对象,首先建立这些城市的空间句法轴线模型。(参考底图来源于 2019 年 4 月发布的《中国主要城市道路网密度检测报告》)

1.2 研究方法

空间句法理论以空间及其句法为基本支撑,探索建筑与城市的内在模式,目的在于通过空间划分模拟相关空间关系,从而能够判断实际工程和规划方案空间上的可行性与合理性^[7]。空间句法的根本任务在于挖掘和描述一个空间系统内部的复杂关系,为规划设计决策提供支持。

空间句法通过软件计算分析,可以得出全局整合度、局部整合度、全局深度、平均深度、控制值(度)、连接值(度)、选择度、可理解度和智能度。中国北方城市道路可达性评价涉及对象整体之间的比较,故应选取能反映整体情况的参数进行研究,经过筛选,得到符合要求的三个参数:

(1) 全局整合度(Integration):整合度值变量符号为 RA_i ,计算公式如式(1):

$$RA_i = \frac{2(MD_i - 1)}{n - 2} \quad (1)$$

公式中, MD_i 的拓扑学意义是相对深度; n 的拓扑学意义是连接图中所有节点的个数^[8]。全局整合度是反映整体道路可达性的重要指标,一般认为整合度越高,可达性越好。

(2) 全局深度(Total Depth):全局深度变量符号为 D_i ,计算公式如式(2):

$$D_i = \sum_{j=1}^k d_{ij} \quad (2)$$

公式中, d_{ij} 的拓扑学意义是从节点 i 到节点 j 的最短路程,表示某一节点距其他所有节点的最短步长^[5]。任意两个节点之间的最短拓扑距离,即空间转换次数表示这两点之间的深度值。节点空间转换次数越多,说明其便捷程度越差,即深度值越高可达性越差^[8]。

(3) 可理解度:它表示连接度与全局整合度之间的相关关系,通常用以 X 轴和 Y 轴为坐标系的散点图及回归线来表达, X 轴为全局整合度, Y 轴为连接度。通过计算得出 R^2 的值即为对象的可理解度。 R^2 值越高,说明空间系统的可理解度越好,局部空间与整体空间的相似度越高,局部空间可以较好地融入整体^[9]。 R^2 值越小,则表示空间系统的可理解度越差,空间结构没什么规律可言,局部空间和整体空间差异较大,人们不能很好地把握道路空间^[9]。通常认为 R^2 值大于 0.5,空间连接度与全局整合度之间的相关性较强,可理解度较好,而小于 0.5 则可理解度较差。

2 数据的比较和可达性评价

2.1 数据的比较

轴线模型建立之后,利用 Depthmap 进行计算分析,得到相关参数值(表 1)。

表 1 各城市空间句法参数汇总表

城市	全局整合度	全局深度	全局深度倒数 × 10000	可理解度
哈尔滨	0.914	2836.77	3.525	0.307
长春	1.251	2248.87	4.447	0.371
沈阳	1.005	5241.83	1.908	0.347
大连	0.452	12503.90	0.800	0.104
北京	1.789	2288.48	4.370	0.483
石家庄	1.773	513.13	19.488	0.627
天津	1.250	1749.71	5.715	0.373
太原	1.220	1540.65	6.491	0.425
济南	0.953	1876.32	5.330	0.286
青岛	0.716	6087.18	1.643	0.064
郑州	1.451	1937.73	5.161	0.405

通过表 1 得出的数据,经过比较,可以得出如下的结论:

(1) 就全局整合度来看,从高到低排列,城市依次为:北京、石家庄、郑州、长春、天津、太原、沈阳、济南、哈尔滨、青岛、大连。其中大连的数值明显偏低。

(2) 就全局深度看,从高到低排列,城市依次为:大连、青岛、沈阳、哈尔滨、北京、长春、郑州、济南、天津、太原、石家庄。其中,大连的数值出现奇高的情况,青岛和沈阳数值差别不大,分为一档;哈尔滨至太原数值变化均匀,为二档;石家庄数值出现奇低的情况。

(3) 就可理解度来看,从高到低排列,城市依次

为:石家庄、北京、太原、郑州、天津、长春、沈阳、哈尔滨、济南、大连、青岛。其中,大连和青岛数值明显偏低。

2.2 可达性评价

通过以上数据的比较与获得的参数值,可从三个方面来评价这 11 个城市道路的可达性。

2.2.1 全局整合度

各城市的整合度分析图如图 1,按照整合度值从大到小,从左到右排列。

数值最高的是北京,说明从全局整合度来看,它在所有城市中道路可达性最好。北京近年来倾向于主干道路建设,形成了环形放射结构路网^[10]。通过整合度图可以看出北京路网分布均匀,次干道和支路发达,中心区许多道路互联性(与其他道路相互连接的程度)很好,整体可达性高。石家庄与北京相似,城市中与主要道路连接的次级道路很多,且各级道路彼此的互联性强,路网密度比较高,使得石家庄全局整合度占优,可达性好。郑州整合度高的区域集中于市中心地带,这里道路密布且道路系统较为完善;而城市周边路网稀疏,互联性差,造成整体可达性下降。

长春、天津和太原,三者数值十分接近。长春市整合度高的道路分布在东南部地区,中心城区道路整合度较低,有明显的整合度高低分区,斜向道路多^[10],可达性处于中上等水平。天津的整合度值与长春可达性几乎一样,但两者的整合度形成情况不同。天津整合度分布十分均匀,仅在边缘地带有几处整合度低的情况,而且高低数值相差不大,这表明天津道路建设内外兼顾,整体可达性优良。

太原的路网主要沿南北向类似带状发展,中部路网密集且整合度分布均匀可达性好;南北地区道路疏而少,整合度低,可达性一般。

沈阳至哈尔滨数值依次减少,差别不大。沈阳是环形放射状路网,中心城区道路密度大,整合度高,分布均匀;一环以外道路密度下降,整合度明显下滑,其道路互联性也明显处在劣势,整体可达性一般。济南路网比较简单,它同样呈现出中心区道路整合度偏高的情况,这里路网密而可达性好,而东边和西南地区整合度明显大幅度下降,造成可达性较差。哈尔滨是典型的组团型城市,可分为北部、中部和东南三个组团。中部是老城区,路网建设成熟,道路可达性好,直至绕城高速整合度开始下降;北部和东南组团道路孤立,路网稀疏,导致整体可达性偏低。

青岛整合度排在倒数第二,由于胶州湾的阻隔,形成了西南、东部和北部组团。其中西南组团为城市新区,道路建设不完善,路网较为稀疏^[11],互联性差,与其它组团联系不紧密,整合度很低。由于地形起伏变化明显,高差大,道路方向多样,东部组团(中心城区)整合度相对较高,路网密集而复杂,互联性较强,可达性较好;北部组团属于城市远郊地带,路网建设较为滞后,可达性差的道路居多,拉低了整合度。

大连整合度最差,它也属于组团型城市,其发展的东西向跨度很大,中间有山地的阻隔,组团之间距离较远。整合度较高的地域位于市中心,主要道路互联性较之前的城市还显不足,市中心与西部组团(旅顺口区)之间有大片山地,严重削弱了两者的交通联系;旅顺口区由于山体较多且成若干块状分布而被割裂,对交通建设影响很大^[11];同时东部组团

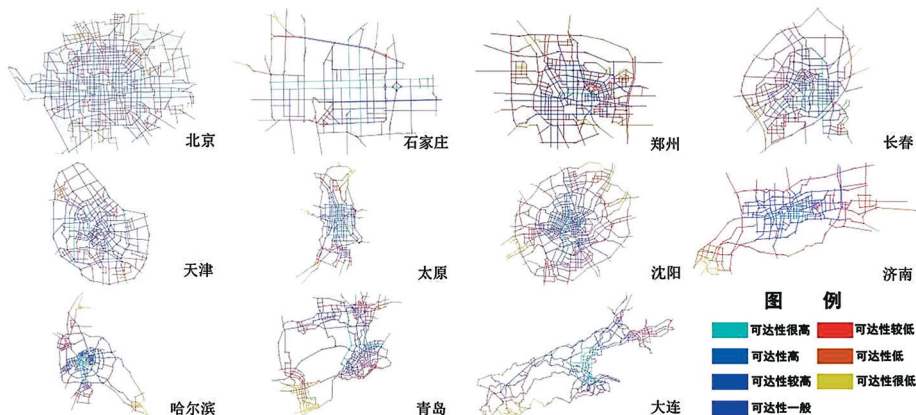


图 1 各城市全局整合度图

同样山地林立,阻碍了道路的建设,路网密度低。

2.2.2 全局深度

各城市的全局深度分析图如图 2,按照深度值从小到大,从左到右排列。

全局深度对可达性的反映表现为:数值越高可达性越差。为了方便分析,取全局深度的倒数,使其与可达性变化趋势一致。由于倒数值很小,故将所有数值都乘以 10000(下文称为深度倒数),更容易看出数值之间的差异。

处理之后发现石家庄的深度倒数值最高,证明从全局深度来看,它的可达性最好;而石家庄全局整合度排名第二,两者结合考虑,得知石家庄的道路可达性确实较好。太原排名第二,但在全局整合度排名中位列第六,两者对可达性的反映情况出现矛盾,这时为了平衡差异,应该统筹考虑全局整合度和全局深度。经过分析得知,全局整合度对太原道路可达性反映是不够准确的,其可达性应该更好。天津排在第三,全局整合度排名第五,综合考虑全局整合度和全局深度后,它的可达性也应更好。济南深度倒数排名第四,整合度排名第八,其可达性应比整合度反映的要好。

郑州排在第五,整合度排名第三,两者情况基本一致,无需平衡差异,说明郑州的可达性较好,全局整合度反映可达性较准确。长春排名第六,整合度排在第四,说明整合度反映的情况较为准确。北京深度倒数排名第七,整合度排名第一,两者反映情况出入明显,说明其道路可达性并不是最好的,其可达性应该更差。

哈尔滨排名第八,整合度排名也第九,证明全局

整合度反映情况准确。沈阳深度倒数值排名第九,整合度排名第七说明沈阳的道路可达性的确较差。最后,青岛和大连分别排在第十,十一名,与它们在全局整合度中排名一致,说明整合度反映情况准确,青岛和大连的道路可达性都很差,其中大连最差。

2.2.3 可理解度

可理解度也称为感知可达性,是一种从主观角度评价可达性的方法,反映从局部空间理解整体空间的可能性。在这 11 个城市中,石家庄可理解度排名最高,也仅有它的可理解拟合度 R^2 值超过了 0.5,说明石家庄的感知可达性较好,空间整体较为规律,局部空间与整体空间彼此协调统一。其余 10 个城市的可理解度均低于 0.5,这 10 个城市可理解度较低的原因主要包括:整体路网错综复杂;局部路网与整体形态关联度差;道路规整性差,斜向路、曲折路,断头路多;城市跨江发展和城市道路路网间有山地阻隔等原因。大连排在倒数第二,城市组团分散布置,旅顺口区与市中心地区相距较远,中间山地阻隔,道路曲折性很大,无法形成规则的路网;市中心许多道路建设年代久远,规划先后不统一,各时期建设的道路生硬融合在一起形成了混乱的路网格局^[11],难以从局部空间感知整体,可理解度仅为 0.104。青岛可理解度排在最后,数值低至 0.064。青岛受到海岸线和山地地形影响,道路不可避免地出现曲折迂回;胶州湾东部市中心地区路网建设较早,由于历史上曾为租借地,各国对这里的规划建设思想存在矛盾,造成路网混乱复杂,没有规律性和统一性。此外,因地形造成的较大高差和交叉路口、道路方向的多样也让青岛道路空间

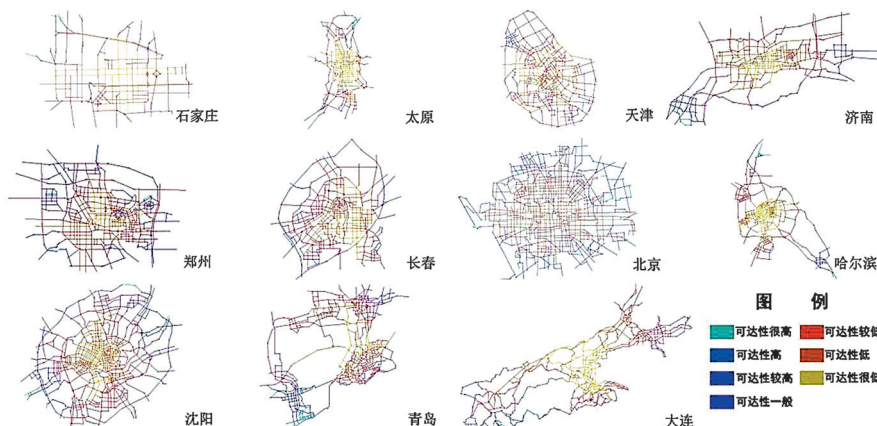


图 2 各城市全局深度图

辨识度大大降低,可理解度很差。

在分析了可理解度之后,将结论与前面全局整合度、全局深度得到的情况综合,进一步修正道路可达性评价结果,完善研究。

3 道路可达性的优化

3.1 优选规整正交的城市路网,避免斜交路、丁字路等异形交叉口

通过图表分析得知,可达性较好的城市,其路网明显呈规整正交布局,即城市道路建设规划严谨,等级明确,以道路彼此正交(垂直相交)为主要特征,大部分城市道路呈现十字交叉口的通达状态,而非丁字路(T型路)或斜交路(两条道路锐角相交)^[12]。本研究中,石家庄、北京、郑州、太原这几个城市的路网即符合“规整”的形态,这样城市道路体系相似程度便被提高,容易反映路网的形态和规律,进而带动城市道路可达性的改善。斜交道路往往向多个方向延伸且随意交织在一起,这必然会破坏城市路网的分布规律与格局,使路网显得混乱无序,进而降低城市路网的可达性;而丁字路则降低了车辆的通行效率,迫使车辆绕行而增加了附近道路的交通压力和拥堵风险,严重影响城市道路可达性,弱化道路通行能力^[12]。研究中,天津、长春、济南就有较多的丁字路或斜交路,因此他们的道路可达性不高。

一个城市如果路网规整正交,首先在可理解度(感知可达性)方面就占有优势,容易从局部感知和理解城市整体道路空间的状态,形成认知地图^[12]。像石家庄、北京、太原、郑州这些可达性好的城市,它们的路网相对规整,异形交叉口很少,容易发现其中的规律,城市道路空间同一性较好。而青岛、大连、哈尔滨这些城市拥有许多斜交路,丁字路,这些异形交叉口破坏了城市道路体系的规律性,大大妨碍了城市道路可达性。

此外,在道路建设中,采用规整正交的路网形态易促成更高的路网密度,提升道路彼此之间的联通程度,从而获得更高的全局整合度,提升道路可达性^[13];如纽约布鲁克林区的高密度方格状路网形成了小街区式的道路空间,规律性强,可达性好。

3.2 优选团块状城市形态,建设高密度路网体系

道路可达性与城市形态和路网密度有着紧密

的联系。对比全局整合度、全局深度和可理解度发现,石家庄、北京、太原、郑州、天津这些可达性高的城市布局紧凑,属于团块状城市;而青岛、大连、哈尔滨这些城市布局较为松散,呈组团式发展,可达性明显不如前面几个城市,说明团块状城市在道路可达性方面明显优于组团状城市。团块状城市发展较为集中和均衡,城市各部分之间联系更加紧密且很少受到地形的制约,易于形成紧凑规整的路网,强化了城市各节点和功能区的联系^[14],容易形成高可达性的路网体系。而组团状城市由于受地形影响很大,往往被山体、河流、森林分割打破,各组团之间不得不依靠交通主干道彼此连接,城市不同区域跨度较远,无法像团块状城市那样形成规整、发展均衡的路网体系,因此其道路可达性必然受影响而无法提高。而像哈尔滨、青岛、大连这样组团相距较远的城市,情况则更为严重。^[14]因此,在城市建设过程中,团块状城市是一个值得优先考虑的因素。

此外,路网密度也是影响道路可达性的因素之一。城市的路网密度越大,互联性越好,道路系统也就越发达^[14]。从前面的图表中可以看到,可达性高的几个城市,道路数量众多,密度大,支路体系发达,出行选择多样。高密度的路网可以让城市中任意区域间拥有较多的通勤选择,即有更多的线路使区域彼此联系,因此要提高道路可达性,可考虑将城市布置成团块状,若没有条件建设,也应尽量让局部形成团块状紧凑的发展模式,加强城市各部分的联系;同时注重城市支路建设^[15],增加路网密度^[15],使城市各功能区之间到达路径的选择丰富,缓解干道交通压力,分散车流,最终提升整体的可达性。

3.3 重视城市环路建设,兼顾中心与外围地区交通联系

通过前文的分析可以发现,无论城市形态如何,规模和经济水平有何差异,所有 11 个城市外围地区的可达性都较低,有的甚至呈现断崖式的下跌。城市外围地带通常属于城市郊区或者城乡过渡区域,高速路、铁路布置其中,建设用地较少,路网密度必然小于城市内部,使得城市外围道路相比于城市中心可达性降低明显。

虽然本研究的 11 个城市都出现了外围道路可达性低的情况,但仍有几个城市,整体可达性很好。

究其原因发现,这些可达性好的城市都拥有若干条环路,特别是城市边缘有明显的快速路串联其周边区域。如北京、石家庄、天津、郑州等拥有三条以上的环路,且环路肌理明显,交通疏导功能强大;相比之下,大连、青岛、哈尔滨等城市,它们并没有明显的城市环路或者环路建设并不能满足城市发展和交通运营的需求。青岛和大连本身就受到地形因素制约,城市各部分相对独立,加之没有环路将其串联沟通,城市边缘地带的“孤立”局面始终存在,周边城市用地的地理劣势被放大,拉低了城市道路的可达性。而哈尔滨,沈阳则因为环路的数量不能满足城市交通发展,造成城市部分边缘区域联系不畅,从而使整体的道路可达性不高。

通过环路的建设,城市周边的各类用地都可以快速的联系,并依靠其他等级道路迅速沟通城市中心与郊区^[16]。这样原本处于城市边缘的城市外围地带便利用环路打破了“孤立”的格局,弱化了因为地理位置的偏远而难以融入城市路网体系的不利形势,相比于没有环路的城市,环路建设较为成熟的城市可达性必然更加优越。因此,“环路”是提升城市道路可达性的因素之一,城市交通规划布局应该重视环路的打造,利用环路带动城市周边用地的交通发展和联系^[16],兼顾市中心与外围郊区的交通衔接,让城市交通在一定程度上发展均衡,降低不利因素对城市可达性的干扰。

4 结论与讨论

全局整合度是衡量道路可达性的重要指标,但仅靠整合度来反映可达性并不一定准确,需要通过全局深度和可理解度的分析结果对全局整合度反映的情况进行修正,当三者出现矛盾时,应该综合考虑,平衡差异,才能得到相对准确的可达性结果。也就是说,对可达性进行评价需要从主观(感知可达性——可理解度)和客观(全局整合度、全局深度)两个方面统筹分析,才更具有科学性和价值。

综上所述,通过全局整合度、全局深度和可理解度图表的综合比较分析,可以得出11个城市道路可达性的最终排名(由高到低):石家庄、北京、太原、郑州、天津、长春、济南、沈阳、哈尔滨、青岛、大连。

总之,对于像城市这种相对宏观的整体对象,通过综合考虑全局整合度、全局深度和可理解度,

能够较为准确地评价道路可达性。当然,城市道路是一个十分复杂的巨系统,空间句法对可达性的评价还存在缺陷和不足,为了城市道路发展能够更加合理完善,需要空间句法技术的进步和其他各类专业的互相配合。

参考文献:

- [1] 韩鹏. 基于城市总体规划的城市交通组织优化设计与实施研究[J]. 智能城市, 2018, 4(8): 103-104.
- [2] 叶宇, 庄宇. 新区空间形态与活力的演化假说: 基于街道可达性、建筑密度和形态以及功能混合度的整合分析[J]. 国际城市规划, 2017, 32(2): 43-49.
- [3] 刘泉. 前TOD时代的铁路站点地区规划布局模式解读——以近代东北铁路附属地为例[J]. 现代城市研究, 2016, 31(11): 52-58.
- [4] 钱芳, 奚冠东. 界壳理论视角下城市滨水空间开放性评价模型构建研究——以大连黑石礁——星海湾滨海空间为例[J]. 中国园林, 2020, 36(1): 97-101.
- [5] 周君. 基于空间句法的济南大明湖滨水建筑布局及空间营造研究[J]. 山东林业科技, 2019, 49(2): 51-53.
- [6] 付玲玲, 梁养辉, 王燕. 西安城市交通现状问题分析[J]. 公路交通技术, 2007, 23(6): 117-120.
- [7] 李英杰, 段广德, 胡晓龙, 等. 基于Citespace的中国空间句法研究态势的可视化分析[J]. 内蒙古农业大学学报(自然科学版), 2020, 41(3): 27-32.
- [8] 张琳雅, 张晓瑞. 基于空间句法的肥东县城商业布局优化研究[J]. 长江大学学报(自科版), 2016, 13(19): 51-56, 5.
- [9] 鲁政. 认知地图的空间句法研究[J]. 地理学报, 2013, 68(10): 1401-1410.
- [10] 湛东升, 张晓平. 世界宜居城市建设经验及其对北京的启示[J]. 国际城市规划, 2016, 31(5): 7-13.
- [11] 黄晓军, 李诚固, 黄馨. 长春城市蔓延机理与调控路径研究[J]. 地理科学进展, 2009, 28(1): 76-84.
- [12] 郭雷, 王慧影. 哈尔滨市城市交通现状分析[J]. 黑龙江工程学院学报(自然科学版), 2011, 25(2): 48-51.
- [13] 张茜, 段城江, 周典, 等. 深圳城市出行空间结构研究[J]. 城市发展研究, 2019, 26(3): 16-23, 2.
- [14] 赵一新, 马清, 付晶燕, 等. 青岛城市空间的交通解构[J]. 城市规划, 2014, 38(2): 37-41.
- [15] 张琪, 谢双玉, 王晓芳, 等. 基于空间句法的武汉市旅游景点可达性评价[J]. 经济地理, 2015, 35(8): 200-208.
- [16] 张宸铭, 高建华, 黎世民, 等. 基于路网可达性的城市空间形态集聚分形研究[J]. 地理研究, 2018, 37(12): 2528-2540.