

基于 sDNA 模型的国内外高铁站域 路网结构与空间感知对比研究

桂汪洋,李成成

(安徽建筑大学建筑与规划学院,安徽 合肥 230601)

摘要:近年来高铁站已成为城市交通枢纽和经济发展的重要动力,然而站点和周边地区空间开发隶属于不同部门,铁路部门和地方政府存在分割,站城融合度并不高。路网是城市的骨架,是城市及区域良好发展的基础,以中日6个高铁站域为研究对象,采用空间句法和地理信息系统(Geographic Information System, GIS)软件对比分析不同路网结构。研究发现,中国低密度大路网与日本高密度小路网在路网密度、可达性、便捷性及空间感知方面差异较大,不同路网结构的空间感知能力强弱依次为混合式、方格式、自由式,东京站站域的混合式路网空间感知最好。通过对比分析中日高铁站域路网结构的差异,为国内新建高铁站路网规划和已建成高铁站的路网优化提供参考。

关键词:高铁站域;路网结构;空间感知;感知差异

中图分类号:U491

文献标志码:A

高铁因其强大的时空压缩效应重构了城市和区域的空间格局^[1],成为国家和地区经济快速发展的重要动力。高铁站作为交通网络上的节点和城市触媒^[2-3],也日渐成为城市发展和再发展的热点空间。中国很多城市都在以促进城市经济发展为目的打造高铁新区,但实际上由于站城属于不同的管理部门,往往由于管理机制的问题而各自孤立发展,站城融合度较低。中国新建高铁站强调快进快出,形成了大路网结构,而老城区改造的高铁站,原有城市路网与新型交通枢纽发展不匹配,交通较为混乱,导致站域内的可达性、便捷性及空间感知相对较差,对高铁站大量的客流资源不能有效利用,进一步导致站域

及站城融合发展缓慢。在此问题上,日本因其以公共交通为导向(transit-oriented development, TOD)开发和城市再开发理念,高铁站域的建设取得了出色的成果,在满足交通出行的基础上,也带动了城市经济的再发展^[4]。日本由于人多地狭,土地资源较少,在经历过大开发之后,很早就提出土地调整和城市再开发措施,不断完善路网结构,调整土地性质和开发强度,引入多元业态,激活站域空间,成为国际上城市土地综合开发利用效率较高的国家之一。因此,对比分析中日高铁站域的路网结构,寻求符合中国国情的一个站域路网结构模式,提高道路的可达性及站域的便捷性和空间感知力,有效利用

高铁站的资源优势,对中国站城融合发展有较大意义。

一、研究综述

目前,关于空间感知的研究多从问卷调查、专业技术实验和构建模型等多方面定性与定量结合进行分析。谢峰等^[5]从居民身份重构角度出发,探究居民“生态、社会、文化”3类空间演化感知的影响程度,并以此为基础探究居民感知在旅游空间生产中的概念性转变;王一睿等^[6]通过梳理人在城市空间中的感知体验以及感知体验下的城市空间意图,构建感知维度城市空间营造的主要价值体系,划分出主观体验视角下的6种城市空间类型;胡烨莹等^[7]通过问卷调查,运用因子分析法和结构方程模型,划分游客对乡村公共空间的感知维度,并探讨乡村公共空间感知与游客地方感的内在影响关系。使用专业设备进行实验方面,任欣欣等^[8]通过对典型临街住宅建筑模式下街道视听环境的实地测量、视听实验,解析了不同类型街道的声环境特征、近人空间主观感知参量与街景审美质量的关系,以及客观参量对交通声舒适度的影响等;夏海山等^[9]基于眼动实验数据,对地铁站文化元素的视觉系统进行了量化研究,结合视觉反应与眼动实验数据总结地铁空间设计的相关规律,为提升换乘空间品质提供了理论依据;王敏等^[10]利用眼动轨迹追踪对广州红专厂工业遗产空间感知进行了分析,认为游客对工业遗产的空间感知取决于工业和艺术两种特征。还有多名学者通过构建空间句法模型进行定量分析,张振龙等^[11]通过提取陆巷古村中具有地域属性的空间组合模式及空间要素,使用空间句法从整体格局、街巷空间、节点空间等对村落居民空间感知进行了分析;高慧等^[12]以南京仙林地区为例,利用空间句法研究该区域街区制和小区制模式下的空间感知性差异,提出了街区制的推广意义和有效措施,为中国城市实行何种居住模式提供了科学依据;金珊等^[13]借助空间分析技术,以整合度、选择度与综合潜力

值为变量对深圳市级、区级公共文化设施与所在街巷的空间效率进行了双重分析与论证,从空间感知的角度为文化空间布局提供了新的思路。近年来空间句法在国内外学术研究和实践中的应用已较为成熟,现有的空间感知研究多从定性的角度出发,采用空间句法进行的定量研究还不多见,而采用空间句法对国内外高铁站域空间感知差异进行的研究还没有先例。因此,笔者借助空间设计网络分析(Spatial Design Network Analysis, sDNA)模型分析国内外高铁站域的路网结构及其空间感知差异,对sDNA模型应用范围的拓展和空间感知的定性分析有较大意义。

二、研究对象与方法

1. 研究对象

在对中国和日本城市路网的研究中发现,中国城市多为大路网结构,日本城市多为小路网结构。目前已形成的城市路网类型主要分为方格式、自由式、放射式、环形放射式、方格-环形-放射混合式5种类型^[14]。其中,单纯的放射式多见于小城镇,因为从城市的任一点到另一点都要绕经中心,这在建设有高铁站的城市中几乎不存在;环形放射式和方格-环形-放射混合式这两种路网类型之间没有明显的界限,现实中,环形放射式路网中也存在方格式路网。因此研究在中国大路网和日本小路网的基础上,按照方格式、自由式、混合式3种路网类型对高铁站进行选择。

所选高铁站点数据如表1、表2所示,其中方格式站点为北京南站、名古屋站,自由式站点为杭州东站、大阪站,混合式站点为天津西站、东京站。这6个高铁站点分别是中国和日本规模较大的车站,且路网结构类型较为明显,因此将其作为研究对象具有典型意义。

依据站区TOD发展模式^[15],高铁站影响区域划分为核心区、影响区和外围影响区,核心区一般为5~10 min路程范围,半径在800 m以内;影响区一般为10~15 min路程范围,半径在1 500 m以内;外围影响区一般为15 min路程范围以外,半径在1 500 m区域外。笔者以高铁站域的路网为研究对象,

表 1 中国高铁站点数据







国内站点	区域路网	路网结构类型	站台规模	站点性质	城市等级(人口数量)
北京南站		大路网方格式	13 台 24 线	老站新建	超大城市
杭州东站		大路网自由式	15 台 30 线	老站新建	超大城市
天津西站		大路网混合式	13 台 26 线	老站新建	超大城市

表 2 日本高铁站点数据

日本站点	区域路网	路网结构类型	站台规模	站点性质	城市等级(人口数量)
名古屋站		小路网方格式	8 台 16 线	老站改造	大城市
大阪站		小路网自由式	10 台 18 线	老站改造	大城市
东京站		小路网混合式	15 台 30 线	老站改造	超大城市

外围影响区的路网结构与站域内的路网结构相关性不大,因此将以站点为中心,1 500 m 半径范围内的区域定义为高铁站域。对现实中范围内的街区和道路进行分析,识别出较为合理的高铁站域范围。“边界效应”^[16]指的是对于模型边缘的线性元素而言,其分析所得的指标由于太靠近研究区域的边界,不能反映出它实际的空间属性,因此建模范围要足够大,以避免“边界效应”造成分析结果失真。在识别出站域范围的基础上,从站域边界向外扩展建立 3 000 m 的缓冲区,即分析范围是以高铁站点为中心 4 500 m 范围内的区域。由于中国城市和日本城市支路的数量、尺度差别较大,笔者所研究的路网范围为

城市主、次干道。

2. 研究方法

英国卡迪夫大学研发的 sDNA 模型是在传统空间句法理论和软件的基础上进行优化得到的,更加强调城市交通网络的整合和协同。本研究基于 sDNA 模型,选取接近度参数对中日 6 个高铁站域的路网结构进行分析,接近度表示区域内接近某道路的难易程度,可解释为可达性、便捷性,数值越高可达性越强。

接近度(NQPDA)计算公式为

$$NQPDA(x) = \sum_{y=rx} \frac{p(y)}{d\theta(x,y)} \tag{1}$$

式中: $p(y)$ 为在离散或连续空间中根据搜索

半径和道路线段的关系而赋的权重, 值在 0 到 1 之间; $d\theta(x, y)$ 为分析时最短角度拓扑距离。

为量化分析不同站域空间感知能力的差异, 引入空间句法协同度的概念, 协同度也叫智能度, 由接近度参数经计算得出智能度数值, 可反映出各站域的空间感知情况。智能度代表了局部与整体的相互关系, 智能度高的空间意味着从局部空间可以较好地感受整体空间, 获得整体空间的更多信息。

智能度 R^2 计算公式为

$$R^2 = \frac{[\sum(C - \bar{C})(I - \bar{I})]^2}{[\sum(C - \bar{C})^2 \sum(I - \bar{I})^2]} \quad (2)$$

式中: C 为局部接近度; \bar{C} 为局部接近度的均值; I 为全局接近度; \bar{I} 为全局接近度的均值。

3. 数据来源与数据处理

Open Street Map 是一款免费开源的地图服务平台, 其地图中包含路网、用地性质等多种数据。通过在 Open Street Map 网站上搜索各高铁站点, 下载研究范围内的路网数据, 导入 ArcGIS 软件, 对获取的不同类型的道路进行筛选, 提取城市主次干道, 并参考谷

歌地图进行纠错和补充, 得到路网数据。利用嵌入 ArcGIS 10.6 平台的 sDNA 空间网络分析工具对处理后的路网进行分析, 得到包含多个属性值的图层。接近度分为全局接近度和局部接近度, 分别说明某一空间到达整体和局部区域的便捷性。采用 Pearson 相关系数计算全局接近度和局部接近度的相关性系数得到各站域的智能度, 智能度可以解释站域内路网的空间感知能力。

三、基础数据分析

1. 站域基础数据分析

在 ArcGIS 中对 6 个高铁站域的基础数据进行对比分析(见表 3)。在站域面积上, 中国站域面积比日本站域面积稍大, 这是由于日本站域内多为小路网, 在以道路尺度进行站域范围识别时, 更容易识别出 1 500 m 范围边界的区域, 而中国多为大路网, 识别出的站域范围受道路尺度的影响, 因此范围稍大。从数据上看, 与日本站域内路网相比, 中国站域内干道数量少, 道路总长度短, 平均长度长, 路网密度低。

表 3 各站域基础数据

站点	站域面积/km ²	道路数量/条	道路总长度/km	道路平均长度/m	路网密度/(km·km ⁻²)
北京南站	8.54	65	34.05	523.86	3.98
杭州东站	8.62	118	42.76	362.42	4.96
天津西站	7.08	82	33.02	397.81	4.66
名古屋站	7.63	248	56.44	227.58	7.40
大阪站	7.59	356	55.38	155.57	7.30
东京站	6.45	296	53.95	182.27	8.36

2. 站域肌理

通过对中日站域内建筑肌理的对比分析(见图 1)可以看出: 中国站场和站前广场建设规模较大, 加之站前高架桥等立体交通和轨道线路的共同作用, 导致站点周边和轨道线路两边土地利用效率较低, 存在大量未开发的土地; 日本站场和站前广场规模均较小, 站场与周边城市在地面上直接连接, 在地下通过轨道交通和地下通道连接, 站场及其配套设施与周边城市建筑融为一体, 轨道线路对城市开发的影响也较小, 路网系统和城市肌理均较完整。

3. 土地利用性质

通过中日站域内土地利用性质的对比分析(见图 1)发现: 中国站域土地利用较为单一, 除少量分布商务办公楼外, 大多数区域均为居住区, 以北京南站为例, 站场周边几乎都为居住区, 站域内除零散分布少量办公、商业用地外, 其余都是居住用地。中国居住区多实行小区制, 小区制的居住区内部道路与外界不连通, 导致临街商业用地更少, 所以中国的低密度大路网不利于站域发展; 日本站域内土地利用较为综合, 站场周边多分布高端办公、商业、酒店用地等, 站域内居住区

占比相对较小,以东京站为例,站场周边分布着办公楼、商业综合体等,站域内居住用地占比极少。以名古屋站为例,站场西侧多为居住区,与中国不同的是,其居住区实行

街巷制,其中分布着办公、商业等多种功能用地。建设完整有序的高密度小路网与站域的商务功能定位相辅相成,极大地促进了站域的发展。

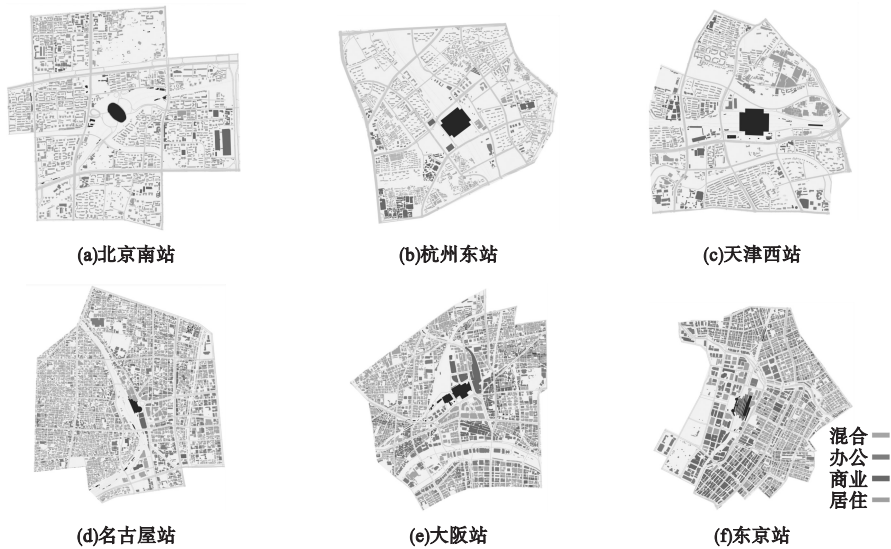


图 1 中日高铁站域建筑肌理及土地利用性质对比

4. 路网密度

在 ArcGIS 中对各站点研究范围建立 100 m×100 m 渔网,利用 ArcGIS10.6 中的空间连接功能,将最邻近的道路核密度参数连接到相应的网格上,运用自然断裂法将路网密度分为 6 个等级,颜色越深(蓝—红)密度越高。结果发现:中国站域路网密度较低,密度等级最高到第四级,日本站域路网密度较高,密度等级多集中在第四到第六级,中国站域路网密度明显低于日本(见图 2)。由于站房和站前广场建设规模较大,站房前多采用高架桥与周边干道连接,将站房与城市交通系统断开,导致中国站点周边城市干道较少;日本站房和站前广场建设规模相对较小,站房通过地面和地下交通接入城市交通系统,站点周边路网密度较高。

四、空间感知分析

1. 可达性分析

由图 3 可以看出,全局尺度下,方格式路网站域中,北京南站站域内处于方格网内的较长道路可达性都较高,其余支路可达性相对较低;名古屋站站域内东侧商务区路网可

达性较高,西侧居住区可达性相对较低。自由式路网站域中,杭州东车站域内,除较长的主要道路可达性较高外,大部分道路可达性相对较低;大阪站站域内,南侧商务区道路网相对较规整,道路可达性都较高,北侧居住区及道路自由分布的区域道路可达性都较低。混合式路网站域中,天津西车站域内,放射状和环状的主路可达性较高,其余支路可达性相对较低;东京站站域内道路整体可达性都较高,放射状和环状的主路可达性最高,其他小方格式路网可达性近乎均值分布。

由中日对比来看,中国站域道路可达性普遍低于日本站域,东京站站域道路可达性最高。由路网类型对比来看,混合式路网可达性最高,方格式路网次之,自由式路网最低。由站域内用地性质对比来看,商务区路网可达性高于居住区。可达性最高的东京站站域路网结构为混合式,站域内用地性质近乎全为商务用地。

2. 便捷性分析

为揭示各站域内便捷性的微观差异,基于 100 m×100 m 渔网图,利用 ArcGIS10.6 中的空间连接功能,将最邻近的道路全局接

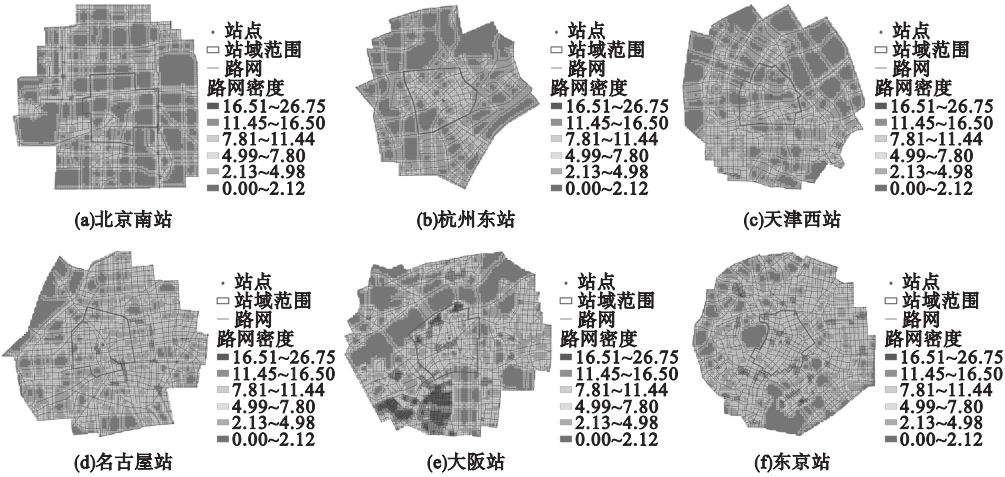


图 2 中日高铁站域路网密度对比

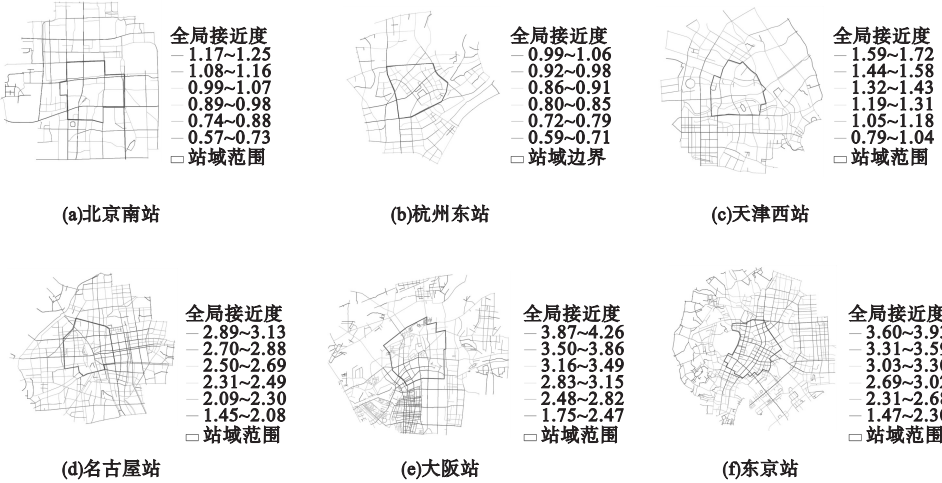


图 3 中日高铁站域全局接近度对比

近度参数连接到相应的网格上,运用自然断裂法将便捷性分为 6 个等级,颜色越深(蓝—红)便捷性越高。由图 4 可见,中国站域全局便捷性与日本站域全局便捷性差异较大。中国站域便捷性等级多在第一到第三级,天津西站的混合式路网便捷性大于北京南站的方格式路网,杭州东站的自由式路网便捷性最低,且站点附近区域便捷性较低。日本站域便捷性等级多在第四到第六级,东京站的混合式路网便捷性大于大阪站的自由式路网,名古屋站的方格式路网便捷性最低,站点附近区域便捷性较高,且站域内便捷性等级分布较均匀。

3. 空间感知分析

将 6 个站域的 sDNA 模型全局接近度和局部接近度参数导入 SPSS 进行相关性分

析,得出各站域的智能度指数及散点图(见表 4、图 5),在统计学中,0.50~0.79 为中度相关,0.79~0.99 为高度相关。可以发现:

整体上,各站域局部接近度与全局接近度的相关关系显著性概率水平为 0.01,呈显著正相关。北京站站域智能度最高,为 0.894,其次为东京站 0.859,从散点图也能看出北京站和东京站站域的线性关系最强。道路数量对空间感知的影响也较大,中国站域中,道路数量相对较少,更容易呈现出线性关系,日本站域中,道路数量较多,少数可达性较低的道路对整体的空间感知影响较大。

按路网类型进行分析,①方格式路网中,北京南站站域智能度高于名古屋站,呈高度相关。其原因是北京南站站域内路网较简单、规整,近似于九宫格,在全局尺度和局部

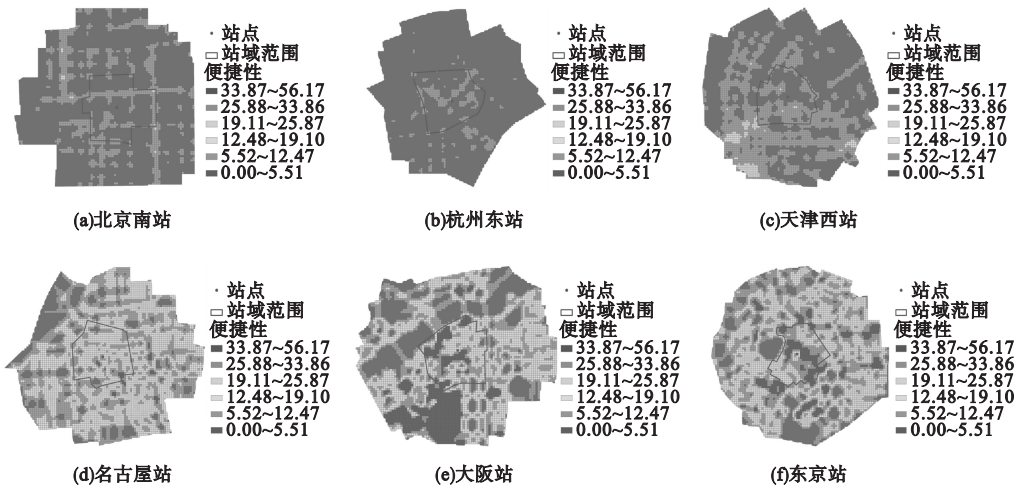


图 4 中日高铁站域便捷性对比

表 4 各站域智能度值

路网结构类型	站点	智能度
方格式	北京南站	0.894
	名古屋站	0.798
自由式	杭州东站	0.615
	大阪站	0.845
混合式	天津西站	0.806
	东京站	0.859

尺度下都有较高的可达性,智能度指数较高;而名古屋站商务区道路可达性较高,但西侧的居住区可达性较低,导致智能度指数不高。②自由式路网中,大阪站站域智能度高于杭州东站,呈高度相关。其原因是大阪站站域内北侧路网分布较为杂乱,但南侧商务区路网较为规整,且南侧站域外路网为方格式,接

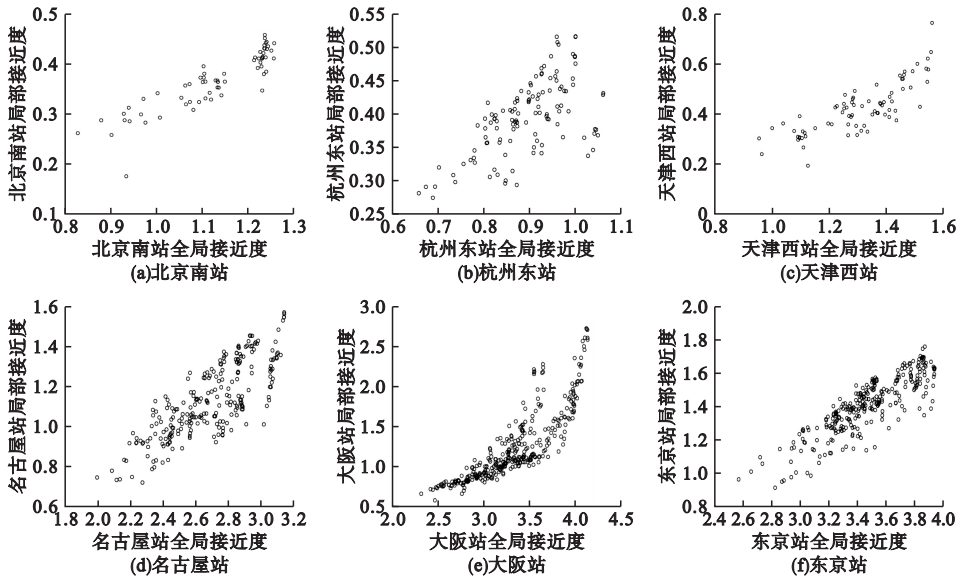


图 5 各站域智能度散点图

近度指数较高,因此大阪站站域内路网可达性较高,智能度指数也相对较高;杭州东站在站域内路网分布较杂乱,且站域外路网仍较杂乱,因此路网可达性不高,智能度指数较低。③混合式路网中,东京站站域智能度高于天津西站,呈高度相关。其原因是东京站站域

内路网为放射-环状-方格混合式路网,站域内除西侧临近皇宫外,其余几乎都为商务区,路网较为规整有序,整体可达性都较高;天津西站虽然也属于混合式路网,但环状道路和放射状路网之间的连接不如东京站紧密,同时缺少方格式路网的连接,道路可达性

较低,智能度不高。

五、结论与建议

1. 结 论

笔者应用 sDNA 模型和 GIS 空间分析方法,对比分析中日高铁站域的路网结构,并针对不同类型的路网结构分析其可达性及站域便捷性,进一步研究站域的空间感知差异。研究发现:中国站域路网为低密度大路网,站域内主干道可达性较高,日本站域路网为高密度小路网,站域内道路可达性普遍较高。在路网密度和可达性差异的影响下,中国站域和日本站域的便捷性表现出不同的空间特征,中国站域的便捷性普遍较低,由于站点与城市交通没有有效衔接,站点周边便捷度较低,日本站域的便捷性普遍较高,站点与城市交通衔接较好,站点周边便捷度较高。智能度指数反映空间感知能力的差异,从路网类型看,空间感知能力强弱依次为混合式路网、方格式路网、自由式路网,从中国和日本站域空间感知能力的差异来看,日本站域空间感知能力高于中国,北京南站智能度指数较高是由于站域内路网密度较低,方格式路网较规整,在进行智能度计算时数值较高,但结合站域便捷度综合来看,东京站可达性、便捷度、空间感知能力均较高,路网结构较合理。

2. 建 议

为推动资源的高效利用,促进站城融合发展,研究国内外高铁站域路网结构与空间感知具有重要的理论意义与实践意义。通过对比研究借鉴国外优秀的路网建设经验,对中国高铁站域的路网建设提出规划建议:①未建成的高铁站在设计时,要注重站点的立体交通换乘系统的建设,以应对站点开通后的大量人流集散,同时减小站前广场的尺度,避免站场与城市交通的割裂;站域内路网建设以大路网为骨架,小路网有序穿插,提高站域的可达性、便捷性、空间感知能力,同时增加建筑沿街立面,促进站域经济发展。②已建成的高铁站及其站域由于路网系统不易更改,因此要在原有路网的基础上,优化道路两

侧的空间布局,构建良好的步行系统,强化行人的步行体验感,同时优化沿街立面,尤其是商业空间,以此增加站域商业空间的吸引力,促进站域经济发展。优化站场空间,将地面换乘设施移到地下,构建立体交通换乘体系,提高站点的人流疏散效率,加强站点与城市交通的联系。

空间句法在国外城市设计等领域已广泛应用,并开发出了 Depthmap、sDNA、UNA 等多种软件,其中,sDNA 更加强调城市交通网络的整合和协同,笔者在使用 sDNA 模型研究站域路网可达性、便捷性的基础上,引入智能度的概念,对中日站域不同路网结构的空间感知进行了对比分析,拓展了 sDNA 模型的应用范围。sDNA 模型将获取的路网数据进行拓扑处理后再进行分析,但未考虑道路的宽度、周边建筑的高度等影响因素,同时研究对象选择中国和日本共 6 个高铁站域,研究案例较少,结果缺乏一定的说服力。在后续研究中要增加案例数量,将影响空间感知的其他因素纳入研究范围,以期提高研究结果的普适性和可信度。

参考文献:

[1] 王少剑,莫惠敏,吕慧妮,等. 区位因素影响下高铁站区产业结构特征:基于 POI 数据的实证分析[J]. 地理学报,2021,76(8):2016 - 2031.

[2] 靳聪毅,沈中伟. 基于“站城融合”理念的城市铁路客站发展策略[J]. 城市轨道交通研究,2019,22(3):12 - 15.

[3] 桂汪洋,张旭. 大型铁路客站站域空间步行网络构建研究[J]. 地下空间与工程学报,2022,18(1):20 - 27.

[4] 大松敦,西田康隆,横尾茂,等. 东京站城一体开发模式的实践:以中城日比谷综合体开发为例[J]. 都市快轨交通,2022,35(4):27 - 30.

[5] 谢峰,明庆忠,侯兵. 居民感知视角下遗产地旅游空间生产研究:以江苏省无锡市南长街为例[J]. 地域研究与开发,2022,41(4):131 - 136.

[6] 王一睿,周庆华,杨晓丹,等. 基于感知体验的城市空间类型探讨[J]. 规划师,2022,38(7):

135 – 140.

[7] 胡烨莹,张捷,周云鹏,等. 乡村旅游地公共空间感知对游客地方感的影响研究[J]. 地域研究与开发,2019,38(4):104 – 110.

[8] 任欣欣,孙玉琴,李琦,等. 居住区街道近人空间感知及其对道路交通声舒适度的影响研究[J]. 建筑科学,2022,38(6):70 – 78.

[9] 夏海山,赵一锰,徐然,等. 地铁站寻路感知眼动试验与空间优化研究[J]. 南方建筑,2022(7):1 – 9.

[10] 王敏,江冰婷,朱竑. 基于视觉研究方法的工业遗产旅游地空间感知探讨:广州红专厂案例[J]. 旅游学刊,2017,32(10):28 – 38.

[11] 张振龙,陈文杰,沈美彤,等. 苏州传统村落空间基因居民感知与传承研究:以陆巷古村为例[J]. 城市发展研究,2020,27(12):1 – 6.

[12] 高慧,杨山,王玉娟,等. 基于空间句法的街区制与小区制路网结构与空间感知研究:以南京仙林地区为例[J]. 长江流域资源与环境,2018,27(4):745 – 755.

[13] 金珊,闫安,周麟,等. 空间感知视角下的城市公共文化设施空间分布研究:以深圳市为例[J]. 建筑学报,2015(3):19 – 23.

[14] 周全. 城市道路路网规划分析:评《城市路网结构体系规划》[J]. 工业建筑,2021,51(5):234.

[15] 曹阳,于立,李松涛. 高铁站点地区空间演化与规划应对[J]. 城市规划,2020,44(11):88 – 96.

[16] 段进,希列尔. 空间句法在中国[M]. 南京:东南大学出版社,2015.

A Comparative Study on Network Structure and Spatial Perception of High-Speed Railway Stations Based on sDNA Model

GUI Wangyang, LI Chengcheng
(School of Architecture & Urban Planning, Anhui Jianzhu University, Hefei 230601, China)

Abstract: In recent years, high-speed railway stations have become urban transportation hubs and important driving forces for economic development. However, in China, the spatial development of stations and surrounding areas is subordinate to different departments, and railway departments are separated from local governments, so the integration degree of stations and cities is not high. Road network is the skeleton of a city and the basis for the good development of a city and a region. Taking six high-speed railway stations in China and Japan as the research object, this paper uses space syntax and GIS software to compare and analyze different road network structures. It is found that there are great differences between China's low-density large road network and Japan's high-density small road network in terms of road network density, accessibility, convenience and spatial perception. The spatial perception ability of different road network structures is in order of hybrid, square format and freestyle, and Tokyo station has the best spatial perception of hybrid road network. By comparing and analyzing the differences of network structure of high-speed railway stations between China and Japan, this paper aims to provide reference for network planning of new high-speed railway stations and network optimization of existing high-speed railway stations in China.

Key words: high-speed railway station area; road network structure; spatial perception; perception differences

(责任编辑:王丽娜 英文审校:林 昊)