

# POI 业态变化视角下轨道沿线用地优化策略思考 ——以广州地铁六号线为例

吴子超<sup>1,2</sup>, 王成芳<sup>1,2</sup>

(1. 华南理工大学 建筑学院, 广东 广州 510000; 2. 亚热带建筑与城市科学全国重点实验室, 广东 广州 510000)

**摘要:** 城市化转型新阶段, 轨道沿线土地利用和物业发展更需要科学规划和引导, 新型网络开源数据可提供更精细化的数据支撑. 以广州地铁六号线一期 20 个站点步行影响区域为研究对象, 选取 2009—2019 年期间六个年份 POI 作为主要研究数据, 采用 GIS 分组分析工具将站点分为中心区商业居住混合型、中心区办公居住混合型、城郊居住服务型、城郊综合发展型 4 类站点, 并对各类站域业态构成及多时期演变特征进行深度剖析. 研究发现: 不同区位和不同功能导向的地铁站点对其沿线各类业态的促进影响各不相同, 任由地铁站域业态自由发展而不加以适度引导会造成部分业态同质化发展, 导致部分站域功能混合度降低, 与提倡功能混合、高效低碳的轨道沿线站点发展理念相背离. 基于此, 从“因站施策”、适度引导业态复合发展、综合优化站域建成环境三个方面提出对轨道交通沿线用地优化提升对策和相关思考.

**关键词:** 业态变化; 地铁站域; 分组分析; 用地优化; 广州

中图分类号: TU984.13

文献标志码: A

文章编号: 1006-7930(2023)06-0840-09

## Optimization strategy of land-use along metro station area based on POI formats changes: A case study of Guangzhou metro line 6

WU Zichao<sup>1,2</sup>, WANG Chengfang<sup>1,2</sup>

(1. School of Architecture, South China University of Technology, Guangzhou 510000, China;

2. State Key Laboratory of Subtropical Building and Urban Science, Guangzhou 510000, China)

**Abstract:** In the new era of urbanization transformation, land use and property development along the urban rail transit line need more scientific planning and guidance, and the new big data can provide more refined data support. Taking 20 station areas in the first phase of Guangzhou Metro Line 6 as the case study, the POI data of six years from 2009 to 2019 was used for in-depth analysis. Based on GIS grouping analysis tool, the station area were divided into four types: commercial residential mixed in the central area, office residential mixed in the central area, suburban residential service, suburban comprehensive development. Moreover, the composition and multi-period evolution characteristics of various station types are deeply analyzed. It was found that metro stations with different location and function orientation had different effects on various types of business along the metro line. If the functional formats of subway stations were allowed to develop freely without appropriate guidance, it was easy to cause the homogenization of some formats, resulting in the reduction of the functional mixing degree of some stations. Therefore, three countermeasures were put forward to optimize and improve land use along rail transit, including formulating development policies according to different station types, appropriately guiding the complex development of functional formats, and comprehensively optimizing the built environment of station area.

**Key words:** Format change; Subway station area; GIS grouping analysis; Optimization strategy; Guangzhou

近二十多年来, 我国城市轨道交通行业整体 2023 年 3 月, 我国内地共有 54 个城市开通运营轨  
快速发展, 运营路线长度和数量快速增长. 截至 道交通线路 292 条, 运营里程 9 652.6 km<sup>[1]</sup>. 以

收稿日期: 2022-04-30

修回日期: 2023-01-21

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(52078217); 亚热带建筑与城市科学全国重点实验室自主研究课题(2022KA01); 广东省软科学研究计划项目((2020B1010010002))

第一作者: 吴子超(1995—), 男, 博士生, 主要研究方向为 TOD 与城市设计. E-mail: zichao.wu@qq.com

通信作者: 王成芳(1978—), 女, 博士, 副教授, 主要研究方向为城市保护与更新、TOD、GIS 与大数据. E-mail: cfwang@scut.edu.cn

地铁为主的大运量轨道交通是特大城市重要的基础设施之一,具有缓解交通拥堵、提高城市运行效率、带动站点周边城市区域发展等功能,一方面公共交通的使用降低出行活动产生的碳排放,另一方面以公共交通导向的城市开发(Transit-Oriented Development, 简称为 TOD)通过提高城市运行效率、减少出行,从交通产生的源头实现“减碳”。当前,我国城市化进入转型新阶段,优化调整城市结构、控制土地增量和盘活存量等将成为未来数十年城市发展主导方向,而轨道站点建设往往滞后于城市建成区发展,越来越多站点将全面融入城市的新陈代谢过程,轨道沿线站点的土地利用和物业发展更需要科学规划和引导。因此,亟需加强轨道沿线用地的实证与优化策略研究。

关于轨道交通与土地利用互动关系研究由来已久,如轨道交通对土地价值<sup>[2]</sup>、土地利用结构、开发强度等方面的影响<sup>[3]</sup>。随着研究的深入,进一步发现轨道交通与土地利用之间呈现出多个变量相互作用的关系<sup>[4]</sup>。国内相关研究始于 20 世纪 90 年代,主要包括轨道交通周边土地溢价回收、轨道交通客流换乘、轨道交通对周围居住房价的影响、轨道交通站域综合开发等几个主要方面<sup>[5]</sup>,但研究尺度普遍较为宏观,精细化定量实证研究有待进一步积累。

近年来,随着数据采集手段的多样化,各类网络开源数据为轨道交通与城市空间互动关系研究提供更为丰富、细腻和多样化的数据支持。POI (Point of Interest, 兴趣点)属性相对全面,可以较为直观地反映城市土地利用和建筑使用的各种功能,数据承载的地理属性一定程度上反映了城市空间要素的分布、集聚和使用强度等特征,得到不少学者研究关注,如谭章智等<sup>[6]</sup>结合 POI 数据解读土地利用并通过回归模型工具解析轨道交通对土地利用的影响过程和规律;曾如思等<sup>[7]</sup>基于 POI 数据结合 GIS (Geographic information system, 地理信息系统)空间分析工具研究轨道交通站域商业集聚特征和演变规律;彭诗尧等<sup>[8]</sup>通过全局常参数和局部变参数模型对土地利用与轨道交通客流空间特征进行深度解析;于洋等<sup>[9]</sup>利用 POI 数据探索站域商业业态空间布局变化特征;方翰等<sup>[10]</sup>基于 POI 数据将轨道交通与土地利用的研究对象从地表延伸至地下空间。总体来看现有基于 POI 开源数据相关研究主要集中在轨道交通和土地利用的相互影响机制和空间变化特征上,在具体分类指引和优化方法等方面还有待进一步探索。

因此,本研究以广州地铁六号线为研究对象,结合 2009—2019 年隔年 6 个年份的 POI 数据,尝试探究地铁对站点周边用地业态格局的影响和时空变化特征,探索基于业态变化的站点类型划分方法并提出站域土地利用提升策略思考。

## 1 研究对象及范围

广州地铁六号线全线全长 41.94 km,大致呈现东西“U 型”(图 1),途径白云、荔湾、越秀、天河和黄埔 5 个行政区,共 32 个站点,其中一期工程共 21 个站点(浔峰岗站—长湴站)于 2013 年 12 月开通,自西向东串联了广佛同城的重要枢纽金沙洲、文化底蕴深厚的历史城区、改革开放后飞速发展的新城区及空间肌理混杂的原城郊地区,跨越了广州中心城区及外围城区空间形态类型各异的区域,具有非常好的典型样本意义。考虑地铁六号线二期工程 2016 年 12 月才开通,且后期该区段部分站点将拆解为其它线路,同时考虑西端浔峰岗站位于远郊且站点开通时其站域功能尚未完善,周边地块多为施工建设中导致其 2015 年前 POI 数量仅为个位数,因此本文将浔峰岗站从研究对象中剔除,采用地铁六号线一期工程(下文统一简称为“六号线”)其它 20 个站点(即横沙-天河客运站区间的站点)作为主要研究对象。

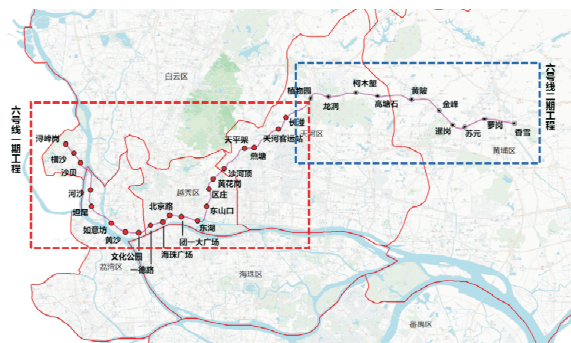


图 1 地铁六号线一/二期工程各站点分布示意

Fig. 1 Distribution of stations in phase I and II of Metro Line 6

本文重点研究范围为六号线沿线 20 个站点周边区域(下文统一简称为“站域”)。关于站域划定,学界主要有如下 2 种方法:一是以地铁站厅为圆心,以 500~1 000 m 为半径划定圆形区域作为步行可达范围作为站域研究对象<sup>[11]</sup>;二是在第一种方法基础上考虑交通路网、地块形状等影响,最终根据道路、产权及地块边界等要素修正为不规则多边形范围<sup>[12]</sup>。但上述两种站域划分方法仅考虑到理想化道路与地块划分,在实际步行路线情

况中,步行实际可达范围受到建筑或社区出入口、道路交叉口等方面影响,导致实际步行可达范围与圆形边界或修正后的多边形边界并不一致。因此,为了划定更符合实际的站域研究范围,本研究采用点阵拟合法进行划定<sup>[13]</sup>,将各站点周边区域划分为 $25\text{ m}\times 25\text{ m}$ 网格,利用高德地图开放平台步行路径规划 API,以站点中心作为步行时间采集出发点,结合 ArcGIS 计算所需时间的点阵网格导出获得更符合实际的地铁站域范围研究范围。参考国内外学者关于城市轨道交通步行接驳时间大多设定为 $10\text{ min}$ <sup>[13]</sup>,本研究以高德步行路径规划 API 计算 $10\text{ min}$ 步行范围作为站域研究范围,如图 2 和 3 所示。



图 2 基于高德路径规划 API 划定站点研究范围

Fig. 2 Delimitation of the rational pedestrian areas

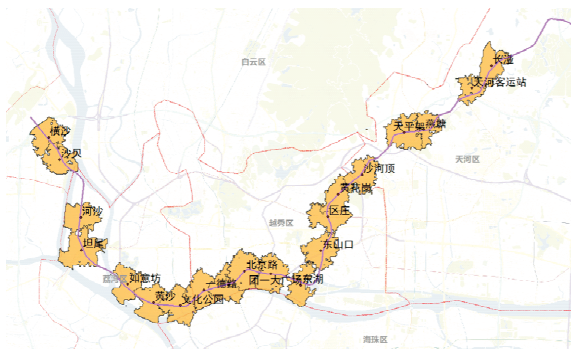


图 3 六号线一期 20 个站点区位及站域研究范围

Fig. 3 Location and research range of the 20 stations

## 2 POI 视角下六号线沿线站域业态变化特征及分类

### 2.1 数据来源与预处理

本研究功能业态数据主要源于 2009—2019 年期间每隔 2 年的 POI 数据,可以较为细致地反映六号线建设前及开通运营至今站点周边功能业态

变化情况。经数据清洗和重分类等数据预处理操作后,结合业态分为餐饮服务、公司企业、购物服务、交通设施服务、金融保险服务、科教文化服务、商务住宅、生活服务、体育休闲服务、医疗保健服务和住宿服务共 11 种类别(表 1),分别对应六号线建设完成与前后的六个时间节点。

表 1 站域范围内的 POI 数据情况(单位:个)

Tab. 1 POI data within the station areas

年份	2009	2011	2013	2015	2017	2019
餐饮服务	658	740	1 238	3 975	7 414	5 725
公司企业	148	166	492	3 418	6 902	7 981
购物服务	907	993	4 011	9 674	27 514	21 297
交通设施服务	238	721	557	984	2 262	2 717
金融保险服务	430	445	434	680	824	875
科教文化服务	234	251	646	1 051	1 653	1 758
商务住宅	240	273	408	623	1 175	1 318
生活服务	325	343	976	2 417	6 246	6 139
体育休闲服务	107	110	198	443	789	775
医疗保健服务	225	272	341	750	1 640	1 654
住宿服务	207	219	266	457	708	890
总和	3 719	4 533	9 567	24 472	57 127	51 129

### 2.2 六号线沿线站点业态整体数量与结构变化解析

通过表 1 可以发现,2009—2019 年表征各类功能业态的 POI 数量整体呈上升趋势,侧面反映地铁建设带来的交通区位改善与客流提升为站域业态发展带来促进作用。同时,为了减少各站点业态数量不同带来的误差,研究将进一步通过功能业态的结构占比进行分析。

结合业态占比变化明显发现:虽然地铁站点带来的大量客流从整体能为沿线站点周围功能业态数量带来较大的提升,但对不同功能业态的提升强度各不相同。其中购物服务、公司企业、生活服务 3 种功能业态占比明显呈上升趋势,且购物服务类的整体占比和增幅最高,2009—2019 年的占比从 22.3% 上升到 38.8%,可判定为沿线站域的主导业态;其次为公司企业类,十年前占比从 4.5% 增长到 16.7%;再次为生活服务类,其占比也呈缓慢上升趋势。而部分功能业态呈现比例下降,除了餐饮服务类比例保持在 10% 以上,其余 6 种类型 POI 数量比例逐步下降至 6% 以下。从上述研究结果中可看出总体特征:虽然地铁开通影响沿线站点周围的功能业态在数量上都有一定提升,但在业态结构上呈现出以购物服务、公司



企业、生活服务等业态为主导的发展趋势。

### 2.3 基于 GIS 分组分析的站点类别划分

为了因地制宜结合各站点情况制定土地利用规划策略,研究进一步采用分组分类的方法对比分析各站域业态数量占比变化。功能业态发展离不开城市的物质空间载体,因此,各站点的分组分类方法除了考虑业态结构,还需综合考虑其物质空间和区位要素。

ArcGIS 分组分析工具是综合要素的属性因素和空间特征进行综合聚类的良好工具,能通过给定创建的组数,使组内要素具有最大的相似性,并使不同组要素的特征差异尽可能不同,其最大的优势还在于能够充分考虑要素之间的区位关联性<sup>[14]</sup>。湛东升等<sup>[15]</sup>、廖开怀等<sup>[16]</sup>、闫晴等<sup>[17]</sup>利用该方法针对居住就业空间、边际城镇发展空间、社区分异等展开分类研究。本研究利用 ArcGIS10.8 分组分析工具,结合六号线各站域空间特征及现状用地调研,采用 K 均值算法进行分组。分组有效性可通过 Calinski-Harabasz 伪 F 统计量来测度。它是一个反映组内相似性和组间差异性的比率,如下所示,即

$$\text{伪 } F = \frac{\left( \frac{R^2}{n_c - 1} \right)}{\left( \frac{1 - R^2}{n - n_c} \right)}$$

其中:

$$R^2 = \frac{SST - SSE}{SST};$$

SST 反映组间差别;SSE 反映组内相似性;

$$SST = \sum_{i=1}^{n_c} \sum_{j=1}^{n_i} \sum_{k=1}^{n_v} (V_{ij}^k - \bar{V}^k)^2;$$

$$SSE = \sum_{i=1}^{n_c} \sum_{j=1}^{n_i} \sum_{k=1}^{n_v} (V_{ij}^k - \bar{V}_i^k)^2;$$

式中: $n$ 为要素数目; $n_i$ 为组*i*中的要素数目; $n_c$ 为类数目(组); $n_v$ 为用于为要素进行分组的变量数目; $V_{ij}^k$ 为*i*<sup>th</sup>组中的*j*<sup>th</sup>要素的*k*<sup>th</sup>变量值; $\bar{V}^k$ 为*k*<sup>th</sup>变量的平均值; $\bar{V}_i^k$ 为组*i*中*k*<sup>th</sup>变量的平均值。

通过 GIS 分组分析工具计算发现:当组数为 4、12、15 组时,伪 F 值相对高,兼顾现场踏勘调研和针对各站域业态结构校核后认为:将站点分为 4 组时能相对更好反映沿线站点以购物服务、公司企业、生活服务类为主的业态结构特征,同时与站点区位分布较吻合。分析结果如图 4 和图 5 所示,折线中的点代表该组站点在不同业态类别上的组平均数,通过对各组不同业态的组平均数位

置进行解析能获得各组站点的主导业态,并结合区位对比分析发现:以购物服务业态为主导的站点(黄)和以公司企业、金融保险、商务住宅等业态为主导的站点(蓝)多位于广州越秀等城市中心区。以生活、餐饮服务等业态为主导的站点(红)和未能体现明显主导业态的站点(绿)分别位于广州荔湾区北部和天河区西北部地区,空间形态主要呈现为城乡结合的特征。

综上,本研究综合各站点功能业态分组分析箱型图和站点区位分布(图 4 和 5),将六号线沿线 20 个站点类型分为 4 种类别:中心区商业居住混合型、中心区办公居住混合型、城郊居住服务型、城郊综合发展型。

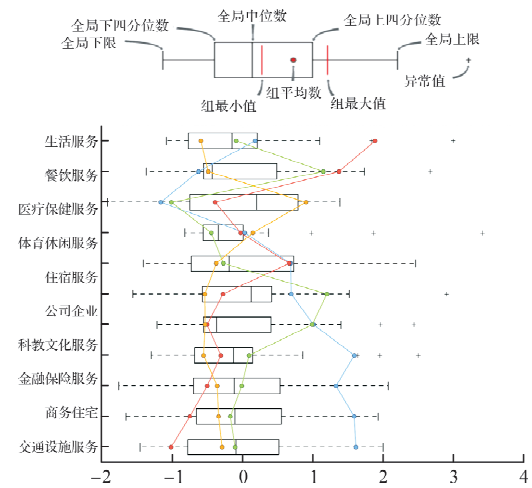


图 4 基于 GIS 分组分析的站点分类箱型图

Fig. 4 The box plots of stations classification results based on GIS grouping analysis

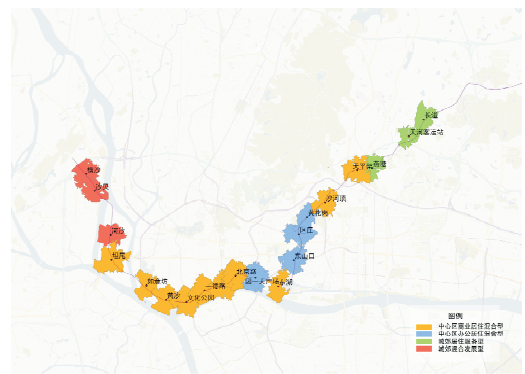


图 5 六号线站点分类区位示意

Fig. 5 The location of stations classification results

## 3 典型站点业态演变分类解析

### 3.1 四类典型站点业态演变解析

#### (1) 中心区商业居住混合型

该类站点主要位于广州荔湾和越秀老城区,



业态以购物服务类为主导。

以北京路站为例(图 6), 2009—2019 年购物服务业态由 35.25% 提升到 46.21%, 其它 10 种业态整体比例较低, 大部分业态占比处于下降状态。结合六个时期 POI 核密度分析(表 2), 站域业态主要呈单中心向多中心扩散的特征。经现场调研发现, 站点周围的街道、建筑等空间要素主要为广州历史遗留下来的城市肌理, 具有密集路网、小尺度街区的特点, 较长的沿街面、宜人的步行环境等与地铁站点共同促进了商业购物类业态发展。

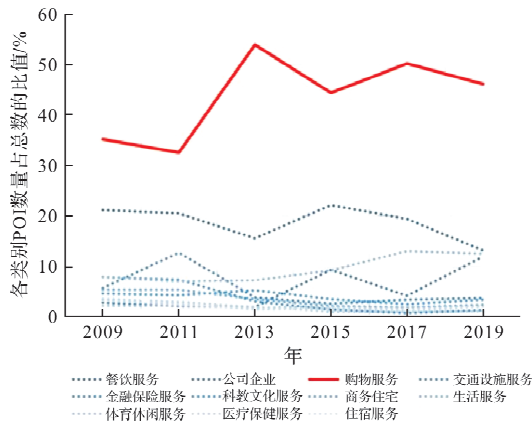


图 6 北京路站站域 2009—2019 年业态变化

Fig. 6 The change of POI proportion of BeijingLu station area

表 2 北京路站站域核密度分析

Tab. 2 POI kernel density analysis of BeijingLu station area

年份	核密度分析图	特征描述
2009		以北京路步行街为中心的集聚特征
2013		业态核心被强化, 并向文德南、万福路、大南路、高地街等区域扩张
2019		形成点面结合的业态空间形态特征

## (2)中心区办公居住混合型

此类站点主要位于广州越秀区中部, 包括团

一大广场、东山口、区庄、黄花岗等 4 个站点。站域主力业态为公司企业、交通设施服务、商务住宅、金融保险服务等类型。

以黄花岗站为例, 2009—2019 年间公司企业类业态明显提升, 从 5.06% 上升至 39.51%, 但其它业态占比多处于下降状态(图 7)。结合 POI 核密度分析(表 3)和现状调研发现, 站域空间呈“主干路延伸支路—支路连接封闭式地块”的“树”状分布特征, 大院式单位或住区较多, 建筑形式多为以功能单一的办公和居住建筑为主, 不利于混合商业业态发展。

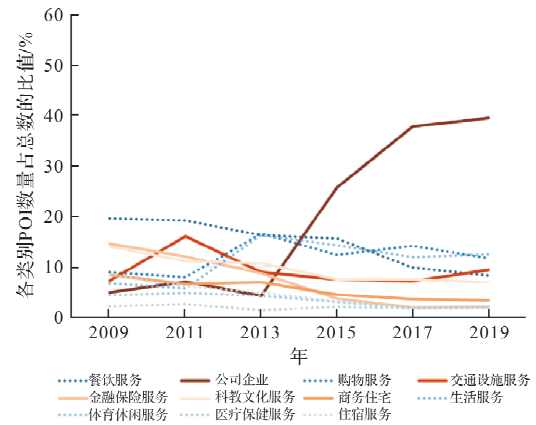


图 7 黄花岗站 2009—2019 年业态变化

Fig. 7 The change of POI proportion of Huanghuagang station area

表 3 黄花岗站核密度分析

Tab. 3 POI kernel density analysis of Huanghuagang station area

年份	核密度分析图	特征描述
2009		以先烈路和永福路的点轴业态集聚特征
2013		沿先烈路和永福路呈现点轴扩散的演化特征
2019		进一步扩散

(3)城郊综合发展型

此类站点主要位于六号线东部, 城市中心区外围, 包括燕塘、天河客运站、长湴 3 个站点. 站域以公司企业、住宿服务和餐饮服务为主力业态.

以天河客运站为例(图 8), 站域餐饮服务业态、公司企业业态及其它购物服务、生活服务等业态呈现一定上升趋势, 最高增幅为 17%, 其它业态多呈下降趋势. 结合 POI 核密度分析(表 4)和现状调研发现, 站点周围业态分布由“点、线”逐渐发展成为“面”状分布特征, 三种主力业态的空间载体主要由改造后的工业园区、城中村和密集街巷组成, 在站域形成了“办公生活服务圈”.

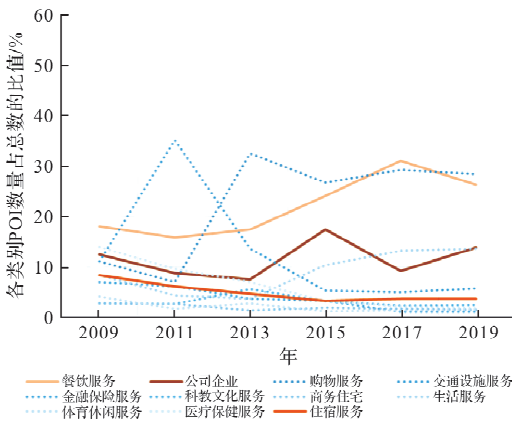


图 8 天河客运站站域 2009—2019 年业态变化  
Fig. 8 The change of POI proportion of Tianhe coach station area

表 4 天河客运站核密度分析

Tab. 4 POI kernel density analysis of Tianhe Coach station area

年份	核密度分析图	特征描述
2009		业态于元岗路、天源路、燕岭路等小范围聚集
2013		元岗路南段、元岗中横路、天源路和天河·新天地商业综合体等地区有明显扩散
2019		业态进一步扩散至员岗村内部, 形成“面”状分布特征

(4)城郊居住服务型

此类站点位于城市中心区外围, 包括横沙、沙贝、河沙 3 个站点. 该类型站点主力业态以餐饮服务和生活服务为主.

以横沙站为例(图 9), 站域餐饮、购物、公司企业等业态少量提升, 增幅约 10% 左右; 医疗保健、体育休闲等业态略下降, 其他业态变化不明显. 结合核密度分析(表 5), 横沙站域业态变化呈沿道路扩张的特征. 结合实地调研该站周围多为居住区和城中村, 临街商铺为商业业态主要空间载体, 大量住区人口对餐饮、生活服务及日常购物等业态保持较高的刚性需求.

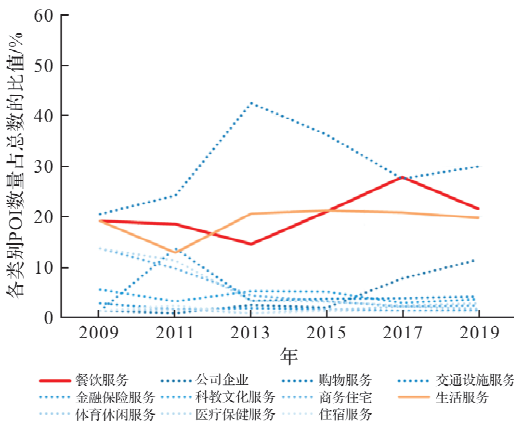


图 9 横沙站 2009—2019 年业态变化  
Fig. 9 The change of POI proportion of Hengsha station area

表 5 横沙站核密度分析

Tab. 5 POI kernel density analysis of Hengsha station area

年份	核密度分析图	特征描述
2009		主要分布在城西花园与沙凤村和金沙村交界处, 呈沿道路轴带发展的特征
2013		沿环洲三路和金沙洲路进一步扩散
2019		随着居住区逐步发展, 业态进一步扩散

3.2 分析校验与讨论思考

通过对 4 种类型典型站域业态演变分析发现:

地铁开通对沿线站域各类业态的促进影响各不相同。虽然各种业态的绝对数量均有增加,但从业态比例结构变化可以看出其影响往往与道路密度、建筑形式、居民对不同业态的需求等多方面相关;不同类型站域逐步形成各自主导业态,例如商业居住混合型或居住服务型站域商业业态占比往往在道路密度较高的站域得到更多提升;主力业态在地铁开通之初发展较快,但也容易造成沿线业态盲目发展,导致单一化或同质化,与提倡“功能混合、高效低碳”轨道站域发展理念有所背离。

一般而言,功能混合能够提升一个地区的城市活力,同时功能混合度也能够作为城市活力的衡量指标<sup>[18-20]</sup>。进一步结合功能混合度分析发现:2009—2019年期间,20个站点功能混合度大部分呈下降态势,其中中心区商业居住混合型站点下降最为明显,其次是中心区办公居住混合型站和城郊综合发展型站点(见图10)。因此,地铁站点开始建设和投入运营前,有必要结合站域空间环境对业态进行科学引导。

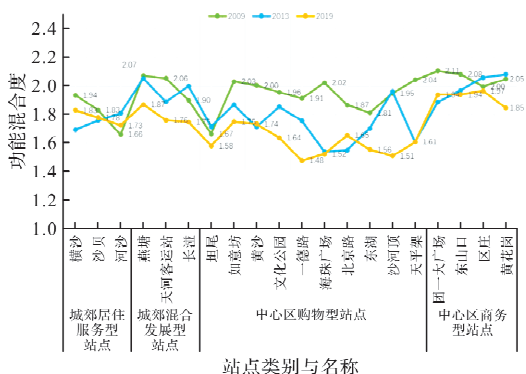


图10 各站域2009—2019年期间功能混合度变化

Fig. 10 Changes in function mix of different station from 2009 to 2019

众所周知“市场是一双看不见的手”,综上所述可以发现,在地铁触媒的影响下,站域各类功能业态并不一定是完全理性和良性发展的,站域业态发展伴随其建成空间环境不同呈现异质性。因此,针对地铁站点选址及站域业态发展,提出以下讨论和优化对策思考。

第一,建议“因站施策”,针对不同类型的站点,需要因地制宜根据站点空间形态和业态发展特征制定站域发展规划。一方面,功能业态更新不一定完全依赖空间形态更新,虽然老城区整体空间形态十年前后变化并不大,但可以看到六号线老城区范围内站域功能业态集聚和扩散特征都很明显,说明功能业态变化是空间形态变化的重

要补充;另一方面,功能业态的发展依托于空间形态,六号线4种类型的站域功能业态与其空间形态相匹配,站域功能业态发展沿道路多呈现点轴扩散的特征,而对于密路网、小街区的老城商业区站域则呈现多点扩散形式。故中心区办公居住混合型、城郊居住服务型站点需重视优化站域交通网络体系和复合化建筑空间;城郊综合发展型站点可发挥多样化的站域空间环境,加强混合业态建设从而提升其整体服务能力。

第二,应重视不同类型地铁站域业态配比研究,可考虑针对站域业态结构开展精细化研究,以期在后续站点再开发中进行科学优化和引导。以北京路站为例,毗邻广州千年传承的重要历史商街北京路,维持繁华的商业氛围固然重要,但同步关注提升其文化体验、历史展示等功能更符合未来长远发展,与之相关需要发展多元化餐饮、住宿等业态作为配套服务才能营造良好的历史站区环境,针对这类站点周边入驻商家类型还需要加强更科学的指引。

第三,建议结合站域建成环境进行精细化城市设计实现综合效益最大化和整体高质量发展。站域业态的优化发展离不开建筑空间实体,引导站域复合业态发展还需多元、高品质的建筑空间载体,站域新建或既有建筑的更新改造需要考虑复合、弹性化的建筑空间设计,期望和多元业态发展形成良性互动。同时以人为本的站域多元交通体系也是影响业态发展的重要要素,一方面发达的步行交通网络能够更好地扩展站点服务范围,将人流自然引入地块内部;另一方面密集的道路网络能够获取更多的建筑临街面,为业态的良性发展提供空间支持。

## 4 结语

目前各大城市轨道交通建设还在如火如荼进行中,以地铁为典型代表的大运量公共交通设施作为城市触媒对站点周围地区会带来持续不断的更新动力,引导周边用地和业态持续变化和发展。引导土地利用结构变化、提升开发强度、促进功能业态发展,但不同类型站点还需根据其自身特点“因地制宜”制定发展策略。在存量时代来临和地铁大规模建设之际,如何充分发挥地铁的触媒作用促进城市更新、如何促进地铁与城市建成区之间的协同发展相关研究将会受到越来越多的重视,也需要更多业界同仁共同合作开展相关研究,



共同为建设更加美好的城市而努力。

#### 备注:

①“K均值”算法的目标是对要素进行划分,从而使所有组的每一个组中要素之间的差异最小化。

②功能混合度计算公式为

$$F_i = \frac{n_i}{N_i} (i = 1, 2, 3, \dots, 8) \quad LM = - \sum_{k=1}^n F_i \ln(F_i)$$

式中,  $F_i$  为研究区域内  $i$  类型的数量占比;  $n_i$  为研究区域内  $i$  类型 POI 数据的数量;  $N_i$  表示研究区域内  $i$  类型的 POI 数据总量;  $LM$  为缓冲区内的用地功能混合度。

#### 参考文献 References

- [1] 中华人民共和国交通运输部. 2023 年 3 月城市轨道交通运营数据速报[N/OL]. [https://www.mot.gov.cn/fenxigongbao/yunlifanxi/202304/t20230407\\_3790012.html](https://www.mot.gov.cn/fenxigongbao/yunlifanxi/202304/t20230407_3790012.html), 2023. 04. 07.  
Ministry of Transport of the People's Republic of China, 2023 Urban Rail Transit Operation Data Quick Report[N/OL]. [https://www.mot.gov.cn/fenxigongbao/yunlifanxi/202304/t20230407\\_3790012.html](https://www.mot.gov.cn/fenxigongbao/yunlifanxi/202304/t20230407_3790012.html), 2023. 04. 07.
- [2] BOWES D R, IHLANFELDT K R. Identifying the impacts of rail transit stations on residential property values[J]. *Journal of Urban Economics*, 2001, 50(1): 1-25.
- [3] CERVERO R, LANDIS J. Twenty years of the bay area rapid transit system: land use and development impacts[J]. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 1997, 31(4): 309-333.
- [4] 王亚洁. 国外城市轨道交通与站域土地利用互动研究进展[J]. *国际城市规划*, 2018, 33(1): 111-118.  
WANG Yajie. International studies on the interaction between urban rail transit and land use of station areas [J]. *Urban Planning International*, 2018, 33 (1): 111-118.
- [5] 何尹杰, 吴大放, 刘艳艳. 城市轨道交通对土地利用的影响研究综述——基于 Citespace 的计量分析[J]. *地球科学进展*, 2018, 33(12): 1259-1271.  
HE Yinjie, WU Dafang, LIU Yanyan. Review on the impacts of public rail transport on urban land use change: A citespace-based quantitative analysis [J]. *Advances in Earth Science*, 2018, 33(12): 1259-1271.
- [6] 谭章智, 李少英, 黎夏, 等. 城市轨道交通对土地利用变化的时空效应[J]. *地理学报*, 2017, 72(5): 850-862.  
TAN Zhangzhi, LI Shaoying, LI Xia, et al. Spatio-temporal effects of urban rail transit on complex land-use change[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2017, 72(5): 850-862.
- [7] 曾如思, 沈中伟, 罗克乾. 轨道交通站域商业集聚特征与演变研究——基于 POI 数据的实证分析[J]. *南方建筑*, 2020(6): 126-132.  
ZENG Rusi, SHEN Zhongwei, LUO Keqian. Agglomeration and evolution characteristics of commercial function in metro station areas: An empirical study based on POI data[J]. *South Architecture*, 2020(6): 126-132.
- [8] 彭诗尧, 陈绍宽, 许奇, 等. 基于 POI 的土地利用与轨道交通客流的空间特征[J]. *地理学报*, 2021, 76(2): 459-470.  
PENG Shiyao, CHEN Shaokuan, XU Qi, et al. Spatial characteristics of land use based on POI and urban rail transit passenger flow[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2021, 76(2): 459-470.
- [9] 于洋, 周睿, 吴冰瑕, 等. TOD 导向下地铁站域商业空间演变与优化路径——以成都市 3 个城市级地铁站域为例[J]. *规划师*, 2022, 38(4): 107-114.  
YU Yang, ZHOU Rui, WU Bingxia, et al. Evolution mechanism and optimization path of commercial space in metro station area under TOD guidance: Three cases in Chengdu[J]. *Planners*, 2022, 38(4): 107-114.
- [10] 方翰, 沈中伟, 喻冰洁, 等. 基于 POI 的成都市地下商业空间演化与机制研究——以火车北站、春熙路、环球中心片区为例[J]. *南方建筑*, 2022(1): 85-93.  
FANG Han, SHEN Zhongwei, YU Bingjie, et al. Spatial and temporal evolution of underground commercial space in Chengdu based on POI data: A case study based on north railway station area, Chunxi road area and global center area[J]. *South Architecture*, 2022(1): 85-93.
- [11] 陈泳, 何宁. 轨道交通站地区宜步行环境及影响因素分析——上海市 12 个生活住区的实证研究[J]. *城市规划学刊*, 2012(6): 96-104.  
CHEN Yong, HE Ning. Analysis on the walkable environment and its influencing factors in the rail transit station area: An empirical study of 12 living quarters in Shanghai[J]. *Journal of Urban Planning*, 2012(6): 96-104.
- [12] 王成芳. 基于多维度视角下城市轨道交通站区用地优化策略研究——以广州为例[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2015.  
WANG Chengfang. Research on land use optimization strategy of urban rail station area based on multi-dimensional perspective: Take Guangzhou as a case study [M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2015.

- [13] 申犁帆,王烨,张纯,等. 轨道站点合理步行可达范围建成环境与轨道通勤的关系研究——以北京市44个轨道站点为例[J]. 地理学报, 2018, 73(12): 2423-2439.  
SHEN Lifan, WANG Ye, ZHANG Chun, et al. Relationship between built environment of rational pedestrian catchment areas and URT commuting ridership: Evidence from 44 URT stations in Beijing[J]. Acta Geographica Sinica, 2018, 73(12): 2423-2439.
- [14] ArcGIS 帮助文档. 分组分析的工作原理[EB/OL]. <https://desktop.arcgis.com/zh-cn/arcmap/latest/tools/spatial-statistics-toolbox/how-grouping-analysis-works.htm>[https://www.mot.gov.cn/fenxigongbao/yunlifanxi/202304/t20230407\\_3790012.html](https://www.mot.gov.cn/fenxigongbao/yunlifanxi/202304/t20230407_3790012.html).  
ArcGIS Tool Reference. How Grouping Analysis works [EB/OL]. <https://desktop.arcgis.com/zh-cn/arcmap/latest/tools/spatial-statistics-toolbox/how-grouping-analysis-works.htm>[https://www.mot.gov.cn/fenxigongbao/yunlifanxi/202304/t20230407\\_3790012.html](https://www.mot.gov.cn/fenxigongbao/yunlifanxi/202304/t20230407_3790012.html).
- [15] 湛东升,张文忠,孟斌,等. 北京城市居住和就业空间类型区分析[J]. 地理科学, 2017, 37(3): 356-366.  
ZHAN Dongsheng, ZHANG Wenzhong, MENG Bin, et al. Spatial structure of urban residence and employment in Beijing[J]. Scientia Geographica Sinica, 2017, 37(3): 356-366.
- [16] 廖开怀,陈姝卉. 广东省市际边界城镇发展的空间类型划分[J]. 热带地理, 2022, 42(3): 431-443.  
LIAO Kaihuai, CHEN Shuhui. Identification of spatial development types of inter-city border towns in Guangdong Province, China[J]. Tropical Geography, 2022, 42(3): 431-443.
- [17] 闫晴,李诚固,陈才,等. 基于手机信令数据的长春市活动空间特征与社区分异研究[J]. 人文地理, 2018, 33(6): 35-43.  
YAN Qing, LI Chenggu, CHEN Cai, et al. Characteristics of activity space and community differentiation in Changchun: A study using mobile phone signaling data[J]. Human Geography, 2018, 33(6): 35-43.
- [18] 龙瀛,周垠. 街道活力的量化评价及影响因素分析——以成都为例[J]. 新建筑, 2016(1): 52-57.  
LONG Ying, ZHOU Yin. Quantitative evaluation on street vibrancy and its impact factors: A case study of Changdu[J]. New Architecture, 2016(1): 52-57.
- [19] 郝新华,龙瀛,石淼,等. 北京街道活力:测度、影响因素与规划设计启示[J]. 上海城市规划, 2016(3): 37-45.  
HAO Xinhua, LONG Ying, SHI Miao, et al. Street vibrancy of Beijing: measurement, impact factors and design implication[J]. Shanghai Urban Planning Review, 2016(3): 37-45.
- [20] 李苗裔,马妍,孙小明,等. 基于多源数据时空熵的城市功能混合度识别评价[J]. 城市规划, 2018, 42(2): 97-103.  
LI Miaoyi, MA Yan, SUN Xiaoming, et al. Application of spatial and temporal entropy based on multi-source data for measuring the mix degree of urban functions[J]. Urban planning Review, 2018, 42(2): 97-103.

(编辑 吴海西)