



TOD理论的发展及新技术环境下的研究展望

黄建中 曹哲静 万 舸

提 要 从概念起源、实践探索、应用研究对公交导向开发 (transit oriented development, TOD) 理论发展溯源,厘清其共识和难点,并基于新技术环境提出对 TOD 理论研究的展望。研究表明, TOD 概念从早期微观层面站域开发扩展到宏观层面公交和土地协同开发,各地区 TOD 实践将其作为促进城市紧凑发展、降低碳排放、提升城市空间品质的手段, TOD 形态学分类、方案评估与优化、影响效能评价成为 TOD 应用研究重点。TOD 理论发展在强调公交主导地位 and 立体化空间管控手段,以及形成以密度、多样性、设计为核心的量化框架方面形成了共识,但也面临 TOD 概念简单套用、对 TOD 负面效应重视不足、缺少对人群需求的精细化策略和对新型出行服务的有效应对等难点。新技术环境下,大数据可以促进 TOD 形态精细化评估、提升对其负面效应的预测感知、实现基于人群特征需求的站域功能优化。此外共享定制出行服务可通过补充公交网络拓展 TOD 形态模式和站域功能。

关键词 公交导向开发; 研究综述; 规划理论与实践; 新技术环境; 精细化评估

中图分类号 TU984 文献标志码 A
DOI 10.16361/j.upf.202302006
文章编号 1000-3363(2023)02-0040-07

作者简介

黄建中, 同济大学建筑与城市规划学院、自然资源部国土空间智能规划技术重点实验室教授、博士生导师, huang03213@tongji.edu.cn

曹哲静, 同济大学建筑与城市规划学院、自然资源部国土空间智能规划技术重点实验室助理教授、硕士生导师, 通信作者, caozhejing1120@163.com

万 舸, 同济大学建筑与城市规划学院博士研究生

Development of the TOD Theory and Future Research Prospects in the New Technological Environment

HUANG Jianzhong, CAO Zhejing, WAN Ge

Abstract: The paper reviews the origin of the Transit Oriented Development (TOD) concept, relevant planning and development practices, and the applied research. It summarizes established perspectives in the TOD literature, identifies challenges faced in existing TOD practices, and points out future directions for TOD in the new technological context. The study reveals that the TOD concept has evolved from a narrow focus on land development around transit stations to a broader emphasis on the comprehensive coordination between public transit and land use at the urban scale. TOD practice in different locations are geared towards developing compact communities, lowering carbon emissions, and improving urban quality. In addition, applied research on TOD focuses on its typologies, assessment and optimization, and development outcomes. Established TOD theories acknowledge the significance of public transit in the shaping of urban development, highlight the importance of vertical planning tools in the implementation of TOD projects, and extensively apply 3D (density, diversity, design) principles as a quantitative measurement. However, the existing TOD practice faces several challenges, such as the simplistic application of the TOD concept, overlooking the socio-economic spillover effects of TOD projects, and ineffective responses to specific demands and emerging urban mobilities. New urban technology has brought many opportunities for TOD development. The application of urban big data can enable a better assessment of TOD typologies and the spillover effects of TOD projects, and capture more delicate rider patterns for improvement of the station-area functions. Furthermore, shared and on-demand mobility services can expand the form and station-area functions of TOD through integration with the transit networks.

Keywords: transit oriented development; research review; planning theory and practice; environment of new technology; fine-grained assessment

伴随着城市化的发展, 公共交通的重要性逐渐凸显, 成为降低能源使用和碳排放、引导城市紧凑发展的重要措施。公交导向开发 (transit oriented development,

* 国家自然科学基金项目“基于空间活动的大都市区多层网络结构的识别、评价与优化方法研究”(项目编号: 52178049); 国家自然科学基金项目“高品质出行导向下轨道交通与共享定制出行服务的多网融合及城市空间更新策略研究: 以上海为例”(项目编号: 52208081); “十四五”国家重点研发计划课题“城市存量空间评估和空间优化技术”(项目编号: 2022YFC3800204); 上海市浦江人才计划 (项目编号22PJC105)

TOD)由此成为广泛而重要的议题。TOD理论作为城市发展模式的概念指导,从上个世纪末至今得到了广泛的传播,其内涵和外延也不断拓展演变。各国公交站点建设和站域开发项目大量借用了TOD概念,在不同的城市发展背景下,形成了若干实践模式。此外学界针对TOD对城市发展的影响和效益一直存在讨论。因此有必要对TOD理论发展的脉络进行系统溯源,厘清其共识、难点和未来的发展方向。基于此,本文从概念起源、实践探索、应用研究等3个方面对TOD理论发展的脉络进行梳理归纳,凝练其共识,分析TOD理论在发展路径中面临的难点,并基于大数据和新型出行服务等新技术环境,提出对TOD理论的未来研究展望。

1 TOD理论的发展

1.1 概念起源

1980年代,美国面对郊区化和机动化引发的城市蔓延现象,提出了“新城市主义”(New Urbanism)和“精明增长”(Smart Growth)理论,倡导降低小汽车出行和增加非机动车交通出行^[1],以及促进城市用地紧凑发展^[2]。在此背景下,1993年卡尔索普(Calthorpe P.)^[3]在借鉴田园城市(Garden City)、带型城市(Linear City)等近现代城市规划理论的基础上,提出了公交导向开发^①(TOD)概念,即围绕公共交通站域600 m范围内形成高密度、步行友好的混合土地利用模式,以鼓励人们更多地使用公共交通出行。

早期TOD概念侧重于微观层面的站域开发,例如卡尔索普将美国TOD模式根据城市区位划分为城市TOD、邻里TOD等多种类型,针对每一种TOD类型提出了圈层结构、布局形态和城市设计导则。后期TOD概念逐渐演变为宏观层面公共交通和城市土地利用的协同开发:例如塞韦罗(Cevero R.)^[4]将TOD的概念进一步扩展为公交都市(transit metropolis),并从斯德哥尔摩、哥本哈根、新加坡、东京、慕尼黑、渥太华、库里蒂巴等

案例中总结了城市与轨道交通协同发展的若干经验模式;伯尼克(Bernick M.)等^[5]基于TOD概念提出了公交小镇(Transit Villages)概念,将高密度城市的公交导向开发拓展到低密度郊区的公交导向开发,以降低市郊小汽车使用和激活市郊社区开发。

1.2 实践探索

各国和地区有关TOD的实践探索可以分为两类。一类是随着TOD概念从美国传递到世界,将相关理念作为指导,同步进行公共交通建设和城市开发,例如中国内地、中国香港、新加坡等;另一类是在TOD概念产生之前便已经有了相应的公共交通与城市协同开发建设,如日本和欧洲等国家,但在TOD概念产生后逐渐提炼成若干种开发建设模式,并对TOD理论进行了实践补充。表1从TOD规划目标、TOD类型、TOD开发途径等方面总结了美国、日本、法国、新加坡、中国香港、中国内地的TOD模式。

在第一类的TOD实践中,美国TOD建设的主要目标为促进城市紧凑发展、增加公交客流量、降低小汽车使用、激活城市空间活力^[6-9];在若干大中城市,形成了由地方政府主导、公交部门进行站点建设、规划部门通过区划(Zoning)手段提升站域土地开发强度从而对站域私有开发主体进行约束的模式;站域形态上大多遵循了高密度(density)、混合利用(diversity)、步行友好设计(design)的3D原则^[10],例如丹佛市的轨道交通800m半径范围内的土地开发强度和多样性水平远高于城市平均水平^[6]。新加坡、中国香港、中国内地(上海、深圳、广州、杭州等)在TOD规划目标上具有一致性,均以引导城市空间布局 and 促进城市紧凑发展为出发点,以地铁为主导,在高密度市中心和近郊新城进行站点布局,部分站点形成了商业综合体上盖的模式。新加坡、中国香港、中国内地在部分TOD站域的圈层布局上借鉴了美国TOD理念,遵循了3D的开发原则。但与美国土地私有制背景下的TOD开发途径不同,新加坡、中国香港、中国内地均为土地公有制国家和地区:新加坡在新市镇的TOD

表1 典型国家和地区TOD开发模式

Tab.1 TOD models in typical countries and regions

	TOD规划目标	TOD类型	TOD开发途径	案例城市
美国	<ul style="list-style-type: none"> ·限制城市无序蔓延,促进城市紧凑发展 ·增加公交客流量,降低小汽车使用带来的碳排放和环境污染 ·解决城市空间品质衰败、土地利用零碎问题 ·激活城市和社区活力,营造城市公共空间 	在大中城市的市中心和市郊区,围绕公交站域形成高密度、混合、圈层开发	地方政府主导,公共交通部门进行站点建设,规划部门对站域土地进行区划引导	华盛顿特区、奥克兰、圣地亚哥、丹佛等 ^[16]
日本	<ul style="list-style-type: none"> ·依托轨道交通站点形成多中心城市结构 ·依托轨道交通站点促进市郊用地开发 	都会区形成以私铁(市郊)和国铁(市中心和市郊)为主导的TOD开发。私铁站域形成混合开发,国铁站域形成高密度开发 ^[14]	私铁作为沿线土地产权所有者进行一体化开发。国铁在站点内部和上盖建筑进行商业开发,站域原附属工业用地通过出售给民营资本进行商业再开发 ^[15]	东京、大阪、名古屋
法国	<ul style="list-style-type: none"> ·促进公共交通使用 ·引导城市空间发展 	支撑新城新区大型开发项目的TOD站点	围绕轨道交通站点,基于协议开发区(ZAC)制度进行大规模综合开发 ^[17]	巴黎、图卢兹、格勒诺布尔
新加坡	<ul style="list-style-type: none"> ·形成由轨道交通将新镇中心串联起来的城市场结构 ·提高土地利用效率,引导城市紧凑化发展^[18] 	支撑新市镇开发的TOD站点,围绕站点形成社区服务设施和公共住宅的圈层布局	陆路交通局进行轨道交通建设,建屋发展局进行新市镇开发,城市更新局通过总体规划对站域开发容积率进行指引 ^[11]	榜鹅、淡滨尼、金文泰等
中国香港	<ul style="list-style-type: none"> ·促进城市沿轨道交通紧凑集约发展 ·提升土地开发价值 	支撑高密度带型城市开发的TOD站点,围绕站点形成商业上盖	香港地铁具有站点上盖空间和附属用地的开发权,进行“地铁+物业”一体化开发 ^[12]	中环、九龙、旺角等
中国内地	<ul style="list-style-type: none"> ·建立以公交为主导的多中心城市结构 ·促进城市紧凑发展 	以地铁为主导的TOD站点,多在城市中心区,部分站点形成商业上盖	单经营性土地开发模式;公共交通枢纽建设+经营性土地开发模式;公共交通枢纽建设+公共交通运营+经营性土地开发模式 ^[13]	上海、深圳、广州、杭州等

开发采取的模式是陆路交通局 (Land Transport Authority) 建设地铁, 城市更新局 (Urban Redevelopment Authority) 通过总体规划 (master plan) 提出站域土地开发强度指引, 建屋发展局 (Housing & Development Board) 和其他相关土地建设主体进行新市镇开发^[11]; 中国香港采取的是港铁同时具有地铁建设和上盖物业开发权的模式^[12]; 中国内地的大城市形成了多种组合开发模式, 如公共交通运营主体与地产机构形成的车辆段和上盖商业的联合开发模式^[13]。

在第二类的TOD实践中, 以欧洲和日本为代表的公共交通建设起源于工业革命后的19世纪末和20世纪初, 虽然这两大地区未率先提出TOD概念, 但其公共交通和用地协同开发模式与卡尔索普提出的TOD概念具有相似性。20世纪初欧洲和日本大城市的轨道交通建设旨在解决市中心拥堵问题, 20世纪末转为依托轨道交通引导城市区域空间发展和塑造多中心的城市结构。欧洲的TOD建设集中在巴黎、伦敦、阿姆斯特丹等大城市, 既包括市中心的站点商业综合体上盖, 又包括引导新城新区建设的站域开发。日本轨道交通建设集中在东京、大阪、名古屋三大都会区, 形成了由国铁 (Japan Railway)、地铁、私铁构成的多主体运营模式, 其中, 地铁主要服务市中心, 私铁主要服务市郊区, 国铁是连接市中心、市郊和卫星城镇的主要廊道。日本TOD建设主要由私铁和国铁引导, 地铁由于运营主体为城市政府且不具有沿线土地开发权, 缺少TOD开发的动机。国铁在1987年民营分割化改革后转变了经营模式, 国铁不仅自身得以进行站点内部和上盖空间商业开发, 还将站域附属工业用地出售给民营资本进行了高密度商业再开发; 私铁由于拥有沿线土地所有权, 自20世纪初便不断进行沿线用地开发, 多形成站域混合开发模式^[14-15]。

1.3 应用研究

1.3.1 TOD站点的形态学分类

伴随着TOD的实践, 一系列TOD理论的应用研究得此进行。首先是有关TOD站点的城市形态学分类。在微观站域层面, 塞韦罗 (Cevero R.) 和科克尔曼 (Kockelman K.) 提出了公交站域开发的3D原则, 即高密度 (density)、混合利用 (diversity)、步行友好设计 (design); 此后塞韦罗等^[19]在3D基础上增加了交通接驳距离 (distance to transit) 和目的地可达性 (destination accessibility), 形成了5D原则。以后, 一些学者^[20-21]依据3D和5D原则提出了TOD指数 (TOD index), 形成了对城市内部不同公交站点的定量评估工具。

在宏观城市尺度层面, 一些学者根据公交站点所在城市区位划分了不同的TOD站点类型, 并对各种站点类型提出了站域建设指引 (表2)。但是这些站点类型划分标准和站域建设指引缺少对站点交通功能的考虑, 伯特尼尼 (Bertolini L.)^[22]提出的“节点—场所”模型 (Node-Place Model) 弥补了这种不足。“节点—场所”模型从站点交通可达性和站域土地利用两个维度对公交站点进行分类: 节点刻画了站点在公交网络中交通功能的重要性, 包括站点公交发车频次、一定时间内乘坐公交可达的站点、与城市中心的距离等; 场所刻画了站域的土地利用属性, 包括站域一定范围内的人口密度、设施密度、土地利用混合度

表2 宏观层面根据城市区位的TOD站点类型划分和站域建设指引

Tab.2 TOD station classifications and planning guidelines according to station locations

TOD站点划分类型	站域建设指引
市中心站点、就业区站点、大学科研机构站点、社区站点等 ^[24]	对各类站点周围用地开发强度提出指引
市中心站点、城市一般地区站点、市郊区站点、休闲娱乐区站点、大学科研机构站点、创新服务区站点 ^[25]	对站域土地利用混合度、街区尺度、建筑形态、建筑高度提出指引
区域中心站点、城市中心站点、城市社区站点、市郊中心站点、市郊区站点、卫星镇站点等六大类 ^[26]	对建筑类型、公共空间等提出指引
高密度城市核心区站点、城市社区或历史文化区站点、工业区站点、市郊区站点、低密度远郊区站点 ^[27]	对不同区域的站点间距和站点周围土地利用模式提出指引
市中心核心区站点、市中心一般区域站点、就业中心站点、居住中心站点、社区中心站点 ^[28]	对站点接驳设施、开放空间、市民活动设施等提出指引
区域中心站点、城市中心区站点、卫星城中心区站点、交通枢纽站点、居住区站点 ^[29]	对城市不同区域轨道交通站点周边停车设施、广场和绿地规划模式提出指引

等。“节点—场所”模型根据站点交通可达性和站域土地利用的关系将公交站点划分为5种类型: 当站点交通可达性和站域土地利用的值相同且适中时为平衡型站点, 当二者值相同但过大时为压力型站点, 当二者值相同但过低时为依赖型站点, 当站点交通可达性大于站域土地利用时为非平衡型节点, 反之则为非平衡型场所。随后一些学者将“节点—场所”模型扩展为“节点—场所—客流量”模型^[4]和“节点—场所—客流量—时间”模型^[23], 进一步扩充了宏观层面TOD站点的形态学分类维度。

1.3.2 TOD站域开发的方案评估与优化

针对新选址的公交站点, 一些学者^[30-31]提出了站域土地开发方案的评估工具, 从土地利用混合度、密度、路网结构、停车设施、可步行性等方面, 利用层次分析法 (Analytic Hierarchy Process, AHP), 对备选站域土地开发模式进行定量评估。此外一些学者^[32-33]构建了TOD站域土地开发优化模型, 通过设定优化目标, 例如最大化提升公交客流量、居住环境品质、社会公平性, 进而寻找最优的站域土地开发方案, 如各类型用地规模和开发强度等, 进而为TOD站域开发提供模式指引。

1.3.3 TOD站点建设的影响效能评价

TOD站点建设的影响效能主要关注TOD站点建设对出行行为、地产价格、社会发展等3个方面的影响。在TOD站点建设对出行行为的影响方面, 一些研究证实了TOD站域邻近范围内的居民比其他地区居民的公交使用率上升^[34-35]、小汽车使用率下降^[36-38], TOD站域范围内土地利用混合度、接驳巴士数量、就业密度、零售设施密度等要素对公交客流量具有显著促进作用^[39-40], TOD站点开通后附近居民到城市中心的出行次数增加^[41]。此外一些研究还揭示了TOD站域邻近范围内的居民存在居住自选择现象, 即偏好公交出行的人们更倾向于选择居住在TOD站域附近^[42-43]。

在TOD站点建设对地产价格的影响方面, 若干实证研究基于享乐模型 (Hedonic Model) 发现影响地产价格的TOD因素包括地产与TOD站点的距离^[44-47]、地产邻近TOD站点是否直达市中心^[48]、站域步行环境^[49]以及站域土地利用混合度、密度、设计

的综合效应^[50]。对于商业地产来说,一些研究^[47]发现距离TOD站点距离越近,地产溢价越高;对于住宅地产来说,若干研究^[44]指出住宅距离TOD站点距离过近会导致噪声,过远会导致站点接驳成本增加,进而使得地产溢价下降。

在TOD站点建设对社会发展影响方面,一些研究^[51]发现TOD站点开发前后,站域邻近范围吸引了更多的住宅开发和居住人口。另一些研究^[52]指出TOD站域500 m范围内相比500 m范围外吸引了更高的居住人口和就业岗位密度。此外一些学者^[53]指出TOD站点开发也可能带来绅士化等负面效应,例如通过形成站域邻近范围内的地产溢价,造成对低收入阶层的社会排斥和迫使其搬离到地产价格更低的区域,而迁入的高收入阶层相比原低收入阶层更倾向于使用小汽车而非公交,则会进一步削弱TOD站点开发的意义。

2 TOD理论与应用的共识与难点

2.1 共识

TOD理论经历了从概念起源到各国实践探索,再到应用研究的发展过程,业界和学界针对TOD的开发模式形成了一定的共识。一是强调公共交通在土地开发和城市建设过程中的重要性,认为公交导向开发可以起到降低小汽车使用、降低碳排放、促进城市紧凑发展、优化土地集约利用、提升土地开发价值的积极作用。二是TOD的实施需要形成立体化的空间管控手段,包括垂直层面的地上地下联动开发,以及水平层面不同功能空间的衔接,这需要相应的规划和建筑法规标准配套。例如我国上海在控制性详细规划中做出了探索,通过在附加图则中绘制地下一层和地上二层等分层控制图则,起到对空间立体化的控制和引导,包括轨道交通站点出入口和地下商业空间、垂直交通、地面公交车站、机动车出入口的衔接等。三是密度(density)、多样性(diversity)、设计(design)的3D原则已经成为TOD项目开发、站点形态学分类、TOD方案评估与优化、TOD站点开发影响效能因素分析的重要量化框架,并由此衍生出若干子指标^[54],如:密度可进一步包括站域一定范围内人口密度、工作岗位密度、容积率、住宅面积、商业零售面积;设计包括站域步行环境、道路交叉口密度等。

2.2 难点

2.2.1 TOD概念和模式存在泛化和简单套用

TOD概念的使用存在过度泛化和简单套用的现象。原TOD概念中的T(transit)即公交站点主要指城市内部公交站点,并以轨道交通站点为主。随着TOD概念在规划实践中逐步流行,许多其他类型的公交站点也被称作TOD站点,如城际铁路站点、高铁站点等对外交通枢纽站点^[55]。事实上对外交通枢纽由于承载的交通功能层级更高,站域的空间需求不同于城市内部公交站点,是否能简单套用TOD的圈层开发模式需要商榷。

此外原TOD概念中的D(development)即站域开发主要指围绕公交站点形成高密度、混合、步行友好的开发模式,后逐渐泛化成对公交站域开发的一般指导原则。然而并非所有的公交站点均适合高密度的开发模式,例如位于城市市郊区、交通

功能较弱、客流量较低的站点不适合高密度开发。站域土地利用模式需要和站点的交通功能以及客流量相协同,形成因站制宜的模式。

2.2.2 对TOD开发的负面效应和阻力重视不足

虽然TOD理念被普遍认为具有提高公交客流量和促进土地集约利用等积极效应,但也有一些研究指出TOD开发存在潜在的负面效应,如:新站开发客流量的不确定性可能导致开发收益降低和公交运营负担^[56];TOD项目带来大量人口和设施聚集,在部分城市地区导致站点附近的拥堵和交通条件恶化^[57]。此外TOD开发带来土地溢价,将导致绅士化和对低收入群体的社会排斥,例如站域邻近范围内保障性住房的缺失,进而引发社会公平问题^[58]。目前针对TOD开发的负面效应仍然缺少预测和感知,导致前置性干预措施不足。

TOD开发也往往面临一系列阻力。政府面临的阻力:TOD开发存在多主体协调的难点。TOD开发涉及公共交通建设和运营主体、产权所有者和地产开发者、政府与规划建设各个审批部门,当TOD开发的不同组成部分由多个政府主体审批时,会存在空间上的分离。此外当公共交通建设运营主体和地产开发主体各自为政时,会存在站点建设和站域开发的割裂。因此建立多主体的协作平台与“帕累托最优”的合作模式是解决该难点的重要措施。TOD建设面临的阻力:一是TOD开发在城市更新过程中面临地块征收的困难,例如土地碎片化、产权问题复杂、征收年限过长等问题;二是面临初始资金投入压力过大、项目投资回报周期过长、规划对开发强度管控过严的经济困难^[59]。因此需要针对TOD开发建立相应的土地储备、整理、征收制度,以及有针对性地放宽规划管控。

2.2.3 缺少针对TOD开发多样化需求的精细化策略

TOD站点根据城市区位、换乘线路数、距离市中心可达性等维度可以划分为多种形态类型,每一类站点有着不同的人群特征和使用需求,需要TOD站点和站域开发进行精细化应对,例如针对每一类站点提出站域土地利用、开发强度、步行环境、路网结构、开放空间、建筑形态模式,以及形成站内空间组织和流线设计的精细化策略。然而目前由于人群特征数据获取的限制和TOD精细化定量评估框架的缺失,往往难以形成针对TOD开发的需求评估和精细化应对策略。

2.2.4 TOD缺少针对新型出行服务的融合与有效应对

共享出行(ride sharing)和定制出行(mobility on-demand)等技术逐渐涌现,形成了微型公交(micro transit)、网约车(transportation network company)、共享(电)单车(bike sharing)等多种新型出行服务模式^[60]。然而新型出行服务和传统公交的关系尚不明确,对公交出行和TOD开发带来冲击,例如新型出行服务和公交处于各自为政状态,抑或新型出行服务对公交出行产生了替代效应^[61]。因此需要促进公交和新型出行服务的健康融合模式以及TOD对新型出行服务的有效应对,形成TOD理论的拓展。

3 新技术环境下的TOD研究展望

3.1 大数据促进TOD理论的实践与应用

3.1.1 提升TOD形态的精细化评估

城市大数据可以辅助TOD进行更为精细化的形态评估。当利用3D原则对TOD站域形态进行评估时,一方面大数据可以缩小时间尺度的颗粒度,反映不同时段站域空间使用情况的动态变化,另一方面大数据可以降低空间尺度的颗粒度,测度更加微观的空间形态。例如在密度维度中,利用热点数据可以获得TOD站域一天中人群的分布密度,弥补以往只能测量物质空间设施密度的局限性。在设计维度中,利用街景数据可以对站域街道慢行环境进行测度,例如街道绿视率、沿街建筑立面和过渡空间特征、街道是否具有骑行道、是否具有机非分离设施等,利用社交媒体数据可以获得人们在不同时段对站域空间使用的感受与评价。此外大数据可以对TOD站点的交通功能属性进行更为精准的评估,如利用公交GPS数据可以获得站点的发车频次与间隔、平均等候时间、正点率、公交运行速度及一定时间可以到达的距离和站点数量等。结合TOD站域形态和站点交通功能的精细化评估,可为TOD站点的分类规划引导提供依据,避免TOD概念和模式的泛化。

3.1.2 提升对TOD负面效应的预测和感知能力

针对TOD开发可能导致的负面效应,城市大数据可以辅助规划者进行预测和感知。例如:针对新站开发客流量的不确定性,将既有公交刷卡数据和土地利用数据、公交供给水平数据结合,可以提升新开站点客流量预测的准确性^[62];公交刷卡数据还可以对新开站点客流量进行监测,便于公交运营者及时调整和优化运营策略。针对TOD项目可能导致的土地溢价和社会排斥,可以利用历史站点和房价数据对新开TOD站点的地产增值效应进行预测^[63],同时可以利用社交网络数据和语义分析对TOD项目产生的社会舆论进行感知。

3.1.3 基于人群特征和需求,优化TOD站域功能

城市时空大数据可以捕捉TOD站点和站域的人群特征,辅助规划建设部门了解乘客需求,据此优化TOD站点和站点周边功能配置。例如:利用公交刷卡数据可以了解乘客出行时间的分布规律^[64];利用手机信令数据可以识别站点出发客流的起始点和到达客流的目的地,据此识别通勤和非通勤客流^[65-66];利用站点出入口摄像头数据可以基于人脸识别进行人群画像,了解乘客的性别和年龄结构等特征,利用站点附近摄像头数据可以识别乘客的接驳方式^[67]。对于通勤出行比例较高的站点,站点周围可配备便利店、早餐店,满足上班族上下班途中的生活需求;对于出行时间集中在早晚高峰期的站点,站点需设置较大的进出站疏散空间,并结合周边建筑设置多个进出站口;对于出发和到达客流的起止点距离站点较远的站点,站域可相应增加巴士和自行车的接驳设施。此外站域功能配置可结合客流人群特征,如对于年轻客流比例较高的站点,站域可适当增加商业设施和潮流店,并形成色彩明快的街道店招风格。

3.2 新型出行服务促进TOD理论的扩展

当新型出行服务部分纳入公共出行服务并对公交网络进行

补充时,可促进TOD理论的拓展,包括公交网络自身、TOD形态模式、TOD站域功能的拓展。

3.2.1 公交网络自身的拓展

传统TOD理论讨论的对象为定时定线的公共交通,但传统公共交通为了平衡建设运营成本和收益,在城市部分地区存在线网密度较低、末端接驳距离过远、缺少直达出行线路、站点发车频次较低等问题。这时新型出行服务可对传统公交网络进行补充,例如利用微型公交和共享单车提供公交站点接驳服务,或利用微型公交根据出行需求提供随叫随到的直达出行服务,由此形成对传统公交网络的拓展,提升出行效率和便利性。

3.2.2 TOD形态模式的拓展

新型出行服务对公交网络的拓展有可能改变传统的TOD形态模式。新型出行服务提供的便捷接驳服务可使公交站点间距和站域影响范围进一步增加,并削弱围绕公交站点进行圈层高密度开发的必要性。此外新型出行服务和传统公交网络的融合模式也可能改变传统的城市区位理论:经典的区位理论均将交通成本作为重要的考虑因素,例如中心地理论认为人们的消费活动遵循最小出行成本原则^[68];新型出行服务可通过缩小出行成本,使得围绕TOD分布的城市经济活动在地理空间上更加匀质化。

3.2.3 TOD站域功能的拓展

传统的TOD理论在“设计(design)”层面提出公交站域开发需要考虑步行设施和“停车+换乘(Park+Ride)”接驳模式下的停车设施,新型出行服务和公交网络的融合也会带来对公交站域功能拓展的需求,例如公交站域需要配置共享单车的停放设施,以及设置微型公交的接驳区域,并据此对公交站点和邻近街道进行空间设计。此外不同类型的公交站点对新型出行服务的需求不同,需要形成因站制宜的变化,例如:服务范围更大的公交站点需要更多的新型出行服务接驳设施;而对于缺少与城市重要目的地直达线路的公交站点,由于新型出行服务可提供便捷的直达出行服务而产生对部分公交出行的替代效应,公交站点则可相应减少新型出行服务接驳设施的配置。

4 结语

TOD概念自提出以来逐渐成为各国优化城市空间结构、促进城市紧凑开发、降低碳排放、提升城市空间品质、提高土地利用效率的重要空间手段,在强调公共交通在土地开发和城市建设中的重要作用、强调立体化空间管控手段的重要性以及形成以密度、多样性、设计(3D原则)为核心的TOD量化框架等方面已形成共识。但在既有的研究和实践中,仍然存在对TOD概念和模式的泛化和简单套用、对TOD开发的负面效应和面临阻力重视不足、缺少针对TOD开发多样化需求的精细化策略、缺少TOD与新型出行服务的融合和有效应对等问题。新技术环境为TOD理论发展带来契机,未来研究一方面需要结合大数据进一步深化TOD理论的实践与应用,尤其是在城市更新和存量规划背景下,深化对TOD站点形态的精细化评估、提升对TOD负面效应的预测感知能力、优化基于人群特征需求的TOD站域功能;另一方面要关注新型出行服务对TOD理论的扩展,如共

享定制出行服务对TOD形态模式和站域功能的拓展,包括扩大TOD站域的影响范围、促使围绕TOD分布的城市经济活动更加匀质化、增加TOD站域面向新型出行服务的空间配置等。

注释

- ① 此处“公交”指公共交通,包含了轨道交通、轻轨、地面有轨电车、巴士等多种公共交通类型。

参考文献

- [1] Congress of The New Urbanism. Charter of the new urbanism[M]. Columbus, OH: McGraw-Hill Education, 2013.
- [2] DOWNS A. Smart growth: why we discuss it more than we do it[J]. Journal of the American Planning Association, 2005, 71(4): 367-378.
- [3] CALTHORPE P. The next American metropolis. ecology, community and the American dream[M]. New York: Princeton Architectural Press, 1993.
- [4] CEVERO R. The transit metropolis: a global inquiry[M]. Washington, D.C.: Island Press, 1998.
- [5] BERNICK M, CEVERO R. Transit villages in the 21st century[M]. New York: McGraw-Hill, 1997.
- [6] RATNER K A, GOETZ A R. The reshaping of land use and urban form in Denver through transit-oriented development[J]. Cities, 2013, 30: 31-46.
- [7] CERVERO R. Transit oriented development in America: strategies, issues, policy directions[C]//Transit oriented development: making it happen. Perth, Australia: Curtin University, 2005: 26.
- [8] JACOBSON J, FORSYTH A. Seven American TODs: good practices for urban design in transit-oriented development projects[J]. Journal of transport and land use, 2008, 1(2): 51-88.
- [9] BOARNET M G, COMPIN N S. Transit-oriented development in San Diego county: the incremental implementation of a planning idea [J]. Journal of the American Planning Association, 1999, 65(1): 80-95.
- [10] CERVERO R, KOCKELMAN K. Travel demand and the 3Ds: density, diversity, and design[J]. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 1997, 2(3): 199-219.
- [11] NIU S, HU A, SHEN Z, et al. Study on land use characteristics of rail transit TOD sites in new towns: taking Singapore as an example[J]. Journal of Asian Architecture and Building Engineering, 2019, 18(1): 16-27.
- [12] CERVERO R, MURAKAMI J. Rail and property development in Hong Kong: experiences and extensions[J]. Urban Studies, 2009, 46(10): 2019-2043.
- [13] 夏海山, 韩宝明, 王琳妍. 中国城市轨道交通TOD建设发展30年回顾与思考[J]. 都市快轨交通, 2022, 35(4): 2-11.
- [14] CAO Z, ASAKURA Y, TAN Z. Coordination between node, place, and ridership: comparing three transit operators in Tokyo[J]. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 2020, 87: 102518.
- [15] CAO Z. Integrating station-area development with rail transit networks: lessons from Japan railway in Tokyo[J]. Urban Rail Transit, 2022, 8(3): 167-174.
- [16] Reconnecting America. a national review of state, regional and local programs that fund transit-oriented development plans and projects [DB/OL]. (2013-01-01)[2022-12-30]. <http://reconnectingamerica.org/inventory/index.php>
- [17] 刘健, 周宜笑, 谭纵波. 巴黎都市区轨道交通与城市空间协调发展的历程与启示[J]. 都市快轨交通, 2022, 35(4): 12-19.
- [18] 牛韶斐, 华夏, 胡昂. 新加坡社区型TOD实践的模式、特征及启示[J]. 建筑技艺, 2020, 26(9): 36-39.
- [19] CERVERO R, SARMIENTO O L, JACOBY E, et al. Influences of built environments on walking and cycling: lessons from Bogotá[J]. International Journal of Sustainable Transportation, 2009, 3(4): 203-226.
- [20] MOTIEYAN H, MESGARI M S. Development of a TOD index through spatial analyses and HFIS in Tehran, Iran[J]. Journal of Urban Planning and Development, 2018, 144(4): 04018038.
- [21] TEKLEMARIAM E A, SHEN Z. Determining transit nodes for potential transit-oriented development: along the LRT corridor in Addis Ababa, Ethiopia[J]. Frontiers of Architectural Research, 2020, 9(3): 606-622.
- [22] BER TOLINI L. Nodes and places: complexities of railway station redevelopment[J]. European Planning Studies, 1996, 4(3): 331-345.
- [23] AMINI P A, Yang Q, Zhang S, et al. Node, place, ridership, and time model for rail-transit stations: a case study[J]. Scientific Reports, 2022, 12(1): 1-16.
- [24] The City of Edmonton. Transit oriented development guidelines[R]. Sustainable Development and Transportation Services Department, 2012.
- [25] DENVER. Transit oriented development strategic plan[R/OL]. (2014)[2023-01]. https://www.denvergov.org/content/dam/denvergov/Portals/193/documents/TOD_Plan/TOD_Strategic_Plan_FINAL.pdf.
- [26] Reconnecting America, Center for Transit-Oriented Development. Station area planning: how to make great transit-oriented places[R/OL]. (2008-02)[2023-01]. <https://community-wealth.org/content/tod-202-station-area-planning-how-make-great-transit-oriented-places>.
- [27] SANTASIERI C. Planning for transit-supportive development: a practitioner's guide[R]. (2014-06)[2023-01]. https://www.transit.dot.gov/sites/fta.dot.gov/files/FTA_Report_No._0056.pdf.
- [28] GLEAVE S D. A guide to transit oriented development[R]. Sacramento Regional Transit, 2009.
- [29] 邓亚娟, 马荣国, 胡绍荣. 轨道交通站点及其区域配套设施规划[J]. 城市问题, 2010(6): 22-28.
- [30] BANAI R. Transit-oriented development suitability analysis by the analytic hierarchy process and a geographic information system: a prototype procedure[J]. Journal of Public Transportation, 1998, 2(1): 3.
- [31] STRONG K C, OZBEK M E, SHARMA A, et al. Decision support framework for transit-oriented development projects[J]. Transportation Research Record, 2017, 2671(1): 51-58.
- [32] LIN J J, GAU C C. A TOD planning model to review the regulation of allowable development densities around subway stations[J]. Land Use Policy, 2006, 23(3): 353-360.
- [33] MA X, CHEN X, LI X, et al. Sustainable station-level planning: an integrated transport and land use design model for transit-oriented devel-

- opment[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2018, 170: 1052-1063.
- [34] CERVERO R, GORHAM R. Commuting in transit versus automobile neighborhoods[J]. *Journal of the American Planning Association*, 1995, 61(2): 210-225.
- [35] CERVERO R. Transit-oriented development's ridership bonus: a product of self-selection and public policies[J]. *Environment and Planning A*, 2007, 39(9): 2068-2085.
- [36] NASRI A, ZHANG L. The analysis of transit-oriented development (TOD) in Washington, DC and Baltimore metropolitan areas[J]. *Transport policy*, 2014, 32: 172-179.
- [37] CHATMAN D G. Does TOD need the T? on the importance of factors other than rail access[J]. *Journal of the American Planning Association*, 2013, 79(1): 17-31.
- [38] CERVERO R, ARRINGTON G B. Vehicle trip reduction impacts of transit-oriented housing[J]. *Journal of Public Transportation*, 2008, 11(3): 1.
- [39] LOO B, CHEN C, CHAN E. Rail-based transit-oriented development: lessons from New York city and Hong Kong[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2010, 97(3): 202-212.
- [40] PAN H, LI J, SHEN Q, et al. What determines rail transit passenger volume? implications for transit oriented development planning[J]. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 2017, 57: 52-63.
- [41] 刘畅, 潘海啸, 贾晓辉. 轨道交通对大都市区外围地区规划开发策略的影响: 外围地区 TOD 模式的实证研究[J]. *城市规划学刊*, 2011(6): 60-67.
- [42] LAHAN M L, NOLAND R B. Nonwork trips associated with transit-oriented development[J]. *Transportation Research Record*, 2017, 2606(1): 46-53.
- [43] 潘海啸, 陈国伟. 轨道交通对居住地选择的影响: 以上海市的调查为例[J]. *城市规划学刊*, 2009(5): 71-76.
- [44] 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.
- [45] HESS D B, ALMEIDA T M. Impact of proximity to light rail rapid transit on station-area property values in Buffalo, New York[J]. *Urban Studies*, 2007, 44(5-6): 1041-1068.
- [46] DEBREZION G, PELS E, RIETVELD P. The impact of rail transport on real estate prices: an empirical analysis of the Dutch housing market[J]. *Urban Studies*, 2011, 48(5): 997-1015.
- [47] YU H, PANG H, ZHANG M. Value-added effects of transit-oriented development: the impact of urban rail on commercial property values with consideration of spatial heterogeneity[J]. *Papers in Regional Science*, 2018, 97(4): 1375-1396.
- [48] KAY A I, NOLAND R B, DIPETRILLO S. Residential property valuations near transit stations with transit-oriented development[J]. *Journal of Transport Geography*, 2014, 39: 131-140.
- [49] DUNCAN M. The impact of transit-oriented development on housing prices in San Diego, CA[J]. *Urban Studies*, 2011, 48(1): 101-127.
- [50] JIANG Y, GU P, CAO Z, et al. Impact of transit-oriented development on residential property values around urban rail stations[J]. *Transportation Research Record*, 2020, 2674(4): 362-372.
- [51] DONG H. If you build rail transit in suburbs, will development come? [J]. *Journal of the American Planning Association*, 2016, 82(4): 316-326.
- [52] 陈骏, 潘海啸. 上海轨道交通与人口和就业岗位布局的耦合分析[J]. *城市规划学刊*, 2020(5): 32-38.
- [53] KAHN M E. Gentrification trends in new transit-oriented communities: evidence from 14 cities that expanded and built rail transit systems[J]. *Real Estate Economics*, 2007, 35(2): 155-182.
- [54] 夏正伟, 张焯. 从“5D”到“5D+N”: 英文文献中 TOD 效能的影响因素研究[J]. *国际城市规划*, 2019, 34(5): 109-116.
- [55] 张姿. TOD 视角下铁路客运站周边地区精细化规划管控探索[J]. *城市规划学刊*, 2018(2): 57-64.
- [56] YANG J, CHEN J, LE X, et al. Density-oriented versus development-oriented transit investment: decoding metro station location selection in Shenzhen[J]. *Transport Policy*, 2016, 51: 93-102.
- [57] ZHANG M. Can transit-oriented development reduce peak-hour congestion? [J]. *Transportation Research Record*, 2010, 2174(1): 148-155.
- [58] PADEIRO M, LOURO A, DA COSTA N M. Transit-oriented development and gentrification: a systematic review[J]. *Transport Reviews*, 2019, 39(6): 733-754.
- [59] IBRAEVA A, DE ALMEIDA C G H, SILVA C, et al. Transit-oriented development: a review of research achievements and challenges[J]. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 2020, 132: 110-130.
- [60] KHAN A M, SHAHEEN S A. Shared mobility and autonomous vehicles[M]. London: The Institution of Engineering and Technology, 2022.
- [61] DIAO M, KONG H, ZHAO J. Impacts of transportation network companies on urban mobility[J]. *Nature Sustainability*, 2021, 4(6): 494-500.
- [62] VAN OORT N, BRANDS T, DE ROMPH E. Short-term prediction of ridership on public transport with smart card data[J]. *Transportation Research Record*, 2015, 2535(1): 105-111.
- [63] DIAO M, LEONARD D, SING T F. Spatial-difference-in-differences models for impact of new mass rapid transit line on private housing values[J]. *Regional Science and Urban Economics*, 2017, 67: 64-77.
- [64] 龙瀛, 孙立君, 陶遂. 基于公共交通智能卡数据的城市研究综述[J]. *城市规划学刊*, 2015(3): 70-77.
- [65] 钮心毅, 林诗佳. 城市规划研究中的时空大数据: 技术演进、研究议题与前沿趋势[J]. *城市规划学刊*, 2022(6): 50-57.
- [66] 杨东援. 城市居民空间活动研究中大数据与复杂性理论的融合[J]. *城市规划学刊*, 2017(2): 31-36.
- [67] 张晓春, 邵源, 安健, 等. 数据驱动的活动规划技术体系构建与实践探索: 以深圳市福田区中心区街道品质提升为例[J]. *城市规划学刊*, 2021(5): 49-57.
- [68] CHRISTALLER W. Central places in southern Germany[M]. Prentice Hall, New Jersey, 1966.