



武汉大学学报(信息科学版)

Geomatics and Information Science of Wuhan University

ISSN 1671-8860, CN 42-1676/TN

《武汉大学学报(信息科学版)》网络首发论文

题目：公共交通导向发展（TOD）的研究进展与展望
作者：苏世亮，赵冲，李伯钊，亢孟军
DOI：10.13203/j.whugis20220178
收稿日期：2022-04-01
网络首发日期：2022-09-16
引用格式：苏世亮，赵冲，李伯钊，亢孟军. 公共交通导向发展（TOD）的研究进展与展望[J/OL]. 武汉大学学报(信息科学版).
<https://doi.org/10.13203/j.whugis20220178>



网络首发：在编辑部工作流程中，稿件从录用到出版要经历录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿等阶段。录用定稿指内容已经确定，且通过同行评议、主编终审同意刊用的稿件。排版定稿指录用定稿按照期刊特定版式（包括网络呈现版式）排版后的稿件，可暂不确定出版年、卷、期和页码。整期汇编定稿指出版年、卷、期、页码均已确定的印刷或数字出版的整期汇编稿件。录用定稿网络首发稿件内容必须符合《出版管理条例》和《期刊出版管理规定》的有关规定；学术研究成果具有创新性、科学性和先进性，符合编辑部对刊文的录用要求，不存在学术不端行为及其他侵权行为；稿件内容应基本符合国家有关书刊编辑、出版的技术标准，正确使用和统一规范语言文字、符号、数字、外文字母、法定计量单位及地图标注等。为确保录用定稿网络首发的严肃性，录用定稿一经发布，不得修改论文题目、作者、机构名称和学术内容，只可基于编辑规范进行少量文字的修改。

出版确认：纸质期刊编辑部通过与《中国学术期刊（光盘版）》电子杂志社有限公司签约，在《中国学术期刊（网络版）》出版传播平台上创办与纸质期刊内容一致的网络版，以单篇或整期出版形式，在印刷出版之前刊发论文的录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿。因为《中国学术期刊（网络版）》是国家新闻出版广电总局批准的网络连续型出版物（ISSN 2096-4188，CN 11-6037/Z），所以签约期刊的网络版上网络首发论文视为正式出版。

DOI: 10.13203/j.whugis20220178

引用格式：苏世亮，赵冲，李伯钊，亢孟军. 公共交通导向发展（TOD）的研究进展与展望[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2022, DOI:10.13203/J.whugis20220178

Citation: SU Shiliang, ZHAO Chong, LI Bozhao, KANG Mengjun. Transit Oriented Development (TOD): A Review[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2022, DOI:10.13203/J.whugis20220178

公共交通导向发展（TOD）的研究进展与展望

苏世亮^{1,2*} 赵冲² 李伯钊^{1,2} 亢孟军^{1,2}

1 自然资源部 城市国土资源监测与仿真重点实验室, 广东 深圳, 518000

2 武汉大学资源与环境科学学院, 湖北 武汉, 430079

摘要：作为一种有效协调公共交通和土地利用良性互动的城市开发模式，公共交通导向发展（transit-oriented development, TOD）强调以公共交通站点为导向进行城市土地利用高密度开发，得到了世界上诸多国家的认可和成功实践，并在逐渐成为我国国土空间治理的一项重要政策工具。为了满足 TOD 本土化应用与实践，亟需深入梳理 TOD 相关理论及研究案例。秉承理论和数据分析双向驱动的理念，从理论内涵、类型划分、综合效应测度、系统优化等 4 个方面入手，系统回顾了 TOD 国内外的相关研究进展，总结了 TOD 研究面临的理论与方法挑战，形成了对我国国土空间治理的启示，以期为制定科学有效的 TOD 规划策略提供参考。

关键词：公共交通导向发展；土地利用和交通一体化；国土空间治理；空间分析与优化

Transit Oriented Development (TOD): A Review

SU Shiliang^{1,2} ZHAO Chong² LI Bozhao^{1,2} KANG Mengjun^{1,2}

1. Key Laboratory of Urban Land Resources Monitoring and Simulation, Ministry of Natural Resources, Shenzhen, 518000 China

2. School of Resource and Environmental Sciences, Wuhan University, Wuhan, 430079 China

Abstract: Emerging as an urban development mode that can effectively promote the sustainable feedback between land use and transport, transit oriented development (TOD) emphasizes the land use development surrounding the public transit node. Many cases across the world have showed the success of TOD and TOD has been adopted as policy tool for China's territorial spatial governance. It requires a literature review to inform the application and practice of TOD in China. From a dual perspective of theory and methodology, this paper systematically reviewed related studies of TOD from four aspects, namely the TOD conceptualization, the typology, the consequences and the optimization. Based on the review, challenges both in theory and in methodology were summarized and implications for China's territorial spatial governance were discussed, in order to provide references for

收稿日期：2022-04-01

基金项目：自然资源部城市国土资源监测与仿真重点实验室开放基金（KF-2020-05-021）；国家重点研发计划（2018YFF0215006）；中央高校基本科研业务费专项（2042021kf0204）。

第一作者：苏世亮，博士，教授，研究方向主要包括地理时空建模与可视化。shiliangsu@whu.edu.cn

formulating efficient TOD planning and strategies.

Key words: transit oriented development; integration of land use and transport; territorial spatial governance; spatial analysis and optimization

作为新城市主义的主要倡导者，彼得·卡尔索普在步行口袋理论的基础上，提出了公交导向发展模式（transit-oriented development, TOD）^[1]，希望通过公共交通引导城市土地高密度开发，从而实现塑造紧凑、功能多样、具有活力的社区。经过数十年的发展，世界各地相继出现了诸多成功的 TOD 实践案例，如美国华盛顿交通走廊、日本东京站城一体化、丹麦首都哥本哈根的“手指形”交通走廊等。近年来，TOD 逐渐成为我国国土空间治理的一项重要政策工具。2015 年，国家住建部发布了我国第一部 TOD 规划设计导则《城市轨道交通沿线地区规划设计导则》，明确以轨道站点为核心，构建集约高效、人性化的城市环境和活动空间；2016 年中共中央、国务院印发《关于进一步加强城市规划建设管理工作的若干意见》，将 TOD 的一些核心理念列入国家级指导意见；2018 年《国务院办公厅关于进一步加强城市轨道交通规划建设管理的意见》以及《十四五规划和 2035 年远景目标纲要》均明确提出，实施 TOD 是加快我国新型城镇化步伐并实现可持续发展的重要举措。此外，中国粤港澳大湾区以及诸多超大、特大城市（如上海、北京、杭州、成都、武汉、青岛等）均将 TOD 纳入国土空间规划体系，希望通过 TOD 规划与实践优化城市空间结构、缓解交通拥堵并提升社区活力。在这样的背景下，为了满足 TOD 这一西方舶来政策工具在我国国土空间治理中的本土化应用与实践，亟需对 TOD 相关理论及研究案例进行梳理，为制定科学有效的 TOD 规划策略提供参考。

目前，不同学科背景的学者均对 TOD 开展了相关研究，并逐渐呈现出交叉融合的趋势，但在 TOD 的概念范畴、理论模型以及测度方法等方面尚未达成一致。事实上，TOD 是一个必须借助交叉学科的优势才能妥善解决的问题。城市规划、人文地理、土地资源管理、政治学等社会科学，重视基于知识生产与人文思辨的理论机制剖析，但碍于空间数据处理和模拟计算工具的限制，往往只能将复杂的建模问题进行简单化处理。地理信息科学在利用时空大数据和人工智能等现代信息技术上表现出较大优势，但“唯数据论”的算法优化倾向则造成了研究缺失理论基础的困境。因此，需要采取理论和数据分析双向驱动的研究范式，以社会科学相关领域的理论为基础，借助地理信息系统建模技术，才能实现对 TOD 的深度解析。这一思想与当前测绘地理信息科学领域的热点方向——社会地理计算所倡导的“理论—方法—规划应用”研究理念不谋而合^[2-4]。秉承理论和数据分析双向驱动的理念（见图 1），本研究重点阐述以下几个关键问题：（1）TOD 的理论内涵是什么？（2）科学合理划分 TOD 类型应使用怎么样的方法？（3）如何测度 TOD 的综合效应？（4）如何优化 TOD？以此为基础，形成了对我国国土空间治理的建议和启示，以期为 TOD 的深入研究提供理论和实践参考。

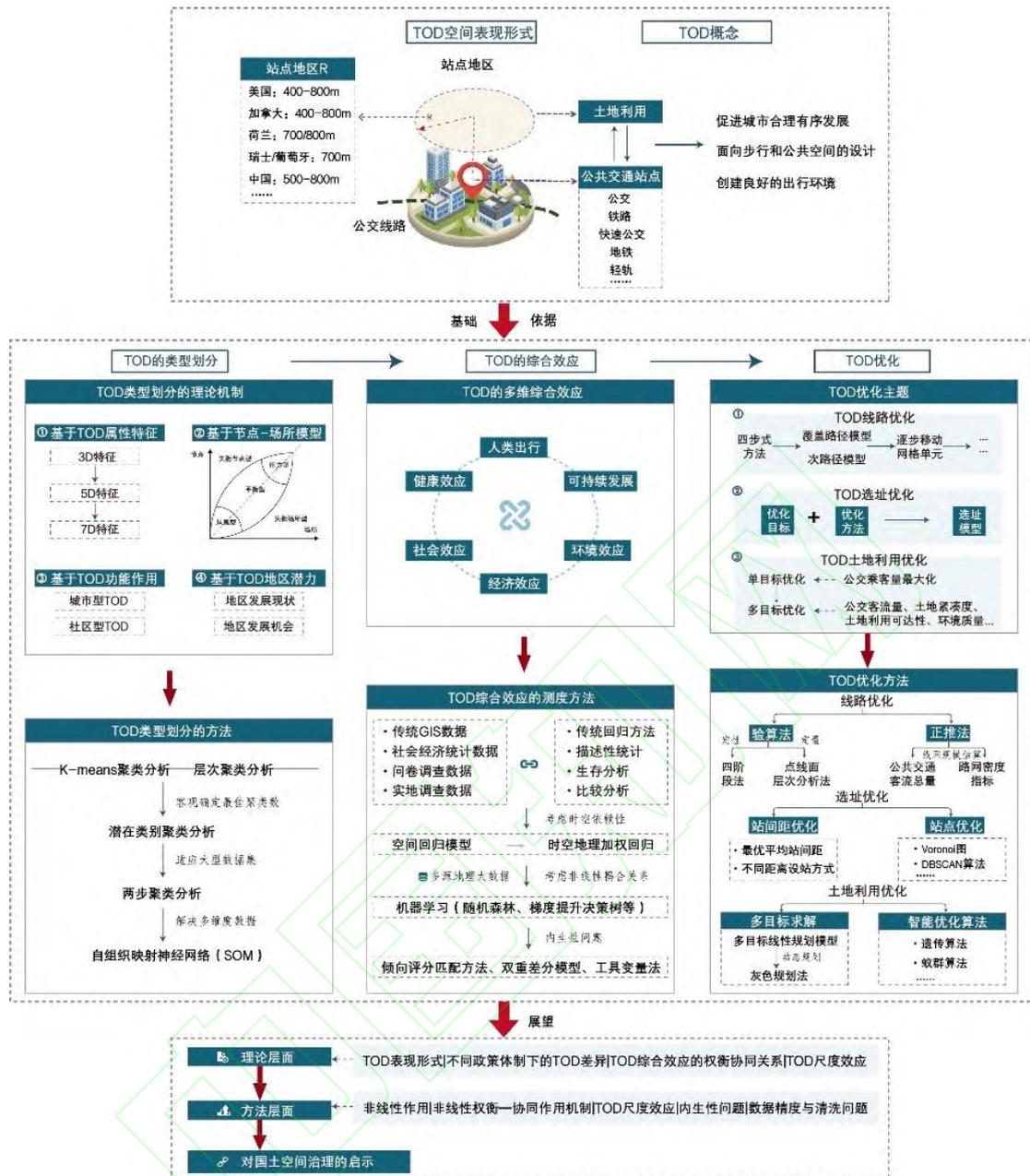


图 1 综述的逻辑思路

Fig.1 Logic of Literature Review

1 TOD 的理论内涵

1.1 TOD 的概念

TOD 模式即以公共交通为导向的城市发展模式，最初在 1993 年由美国规划师彼得·卡尔索普在其著作《The Next American Metropolis: Ecology, Community and the American Dream》中系统地提出。其后不同的学者和研究机构对 TOD 定义作了界定，但一直没有公认的统一表述。目前表达 TOD 的表述包括公交社区、公共友好的设计、以公共交通为支撑的发展以及公共交通导向发展。本文总结了几种较为经典的 TOD 概念论述（见表 1）。可以看出，虽然科学界和规划界对 TOD 的定义尚未达成一致，但 TOD 的目标可总结为通过将土地利用与城市交通相结合来促进城市合理有序发展，具有以下几个共同点：（1）围绕公共交通站点对周边土地进行综合开发；（2）强调空间紧凑、高密度发展及功能混合的土地利用模式；（3）

进行面向步行和公共空间的设计, 创建良好的出行以及人居环境; (4) 提高公共交通使用率, 实现与土地开发的均衡发展。

表 1 典型的 TOD 定义和内涵概述

Table 1 Overview of current typical TOD definitions and connotations

学者/机构 (年份)	TOD 定义和内涵
Calthorpe ^[1]	TOD 是一种混合型的社区发展模式, 以公交站点和核心商业区为中心, 在半径约 600 米的范围内组织适宜于步行的土地利用模式, 最终发展为集商业、办公、居住、公共服务等一体化的功能混合区域, 并提供一个良好的步行和出行交通环境。
Salvesen ^[5]	TOD 是在一个特定地理范围内围绕着公交站点的混合土地利用类型和所有权的开发行为。
Scott Lefaver ^[6]	TOD 是在交通干道旁, 也就是铁路、公车线路以及公路旁的较高密度的居住功能或者混合功能的土地开发。
Bernick & Cervero ^[7]	TOD 是布局紧凑、功能混合的社区设计模式, 以公交站点为中心, 在半径 500 米的范围内, 鼓励社区居民以公共交通代替私家车出行, 减少环境污染。
Robert H. Freilich (1998)	TOD 模式强调土地的高密度开发与利用, 采用土地混合利用与多样化的建设方式取代单调的土地使用形式, 提高公共交通的使用频率 ^[8] 。
美国马里兰州交通局 ^[9]	TOD 模式将居住、商业、就业、公共服务等功能混合在一个大型的公共交通或轨道交通站点周边适于步行的区域, 并在该区域内具有相对较高的开发密度, 允许小汽车的使用, 但更注重步行和自行车等慢行交通的设计原则。
美国精明增长联盟 ^[10]	(1) 用足城市存量空间, 减少盲目扩张; (2) 加强社区重建, 重新开发废弃用地; (3) 混合用地功能, 鼓励乘坐公共交通工具, 保护开放空间; (4) 强调政府的调控作用, 通过规划引导实现城市协调发展。
美国加利福尼亚交通局 ^[9]	适中或更高密度的土地利用, 将居住、就业、商业混合布置在一个大型的公交车站周围适于步行的范围内, 鼓励步行交通同时不排除私人汽车。
Parker ^[11]	TOD 是一种与公共交通相关的土地利用策略, 即社区与交通系统间的相互协调。
美国佛罗里达州交通部 ^[12]	一个步行、自行车、公交车和汽车交通相对平衡的, 可持续、经济适用和生活性较强的社区。

1.2 TOD 的空间表现形式

从空间的表现形式来看, 城市 TOD 是一个由公共交通站点、周边土地利用以及两者交互作用所构成的有机系统。TOD 在不同国家和地区所依托的公共交通并不相同, 主要包括公交、铁路、快速公交、地铁、轻轨等交通系统。美国为混合型, 包括快速公交^[13]、轻轨^[14]、地铁^[15]; 葡萄牙^[16]、瑞士^[17]、荷兰^[18]与比利时^[19]均依托铁路; 泰国曼谷主要包括地上轻轨和地铁^[20], 日本为混合型^[21], 依托铁路和地铁, 新加坡地铁又叫大众捷运系统, 是新加坡交通系统的支柱^[22], 印度德里^[23]、中国^[24]和韩国^[25]均是地铁。由此可见, 美国作为 TOD 的理论发源地, 其发展依托的公交系统是多样化的, 欧洲国家主要是铁路, 亚洲国家主要依靠地铁发展 TOD 模式。

TOD 站点地区指的是通过乘客步行或乘车前往车站的耗时来确定的公共交通站点的服务范围^[26], 通常被定义为以站点为圆心, 以一定出行距离为半径辐射的圆圈范围。卡尔索普认为 TOD 理念建立在可步行的社区环境基础上, 提出 TOD 社区空间范围为适宜居民步行 5~10 min 的范围, 即站点周围 400~800 m 范围^[1]。然而国内外关于 TOD 模式的研究与实践中, 对站点地区范围的定义并不相同, 未达成统一的标准。美国 TOD 模式开发设定的范围通常是 400~800 m^[27-28], 加拿大规定 400~800 m^[29], 荷兰为 700 m 或 10 min 步行距离 (800 m)^[18,30], 瑞士^[17,31]和葡萄牙^[16]均为 700 m。国内城市 TOD 研究主要借鉴国内外研究或案例的标准作为本城市的站区范围, 集中在 500~800 m 之间^[4,24]。

1.3 TOD 的衍生概念

TOD 社区是从 TOD 理念中衍生出来的概念, 是 TOD 形式和功能相结合的统一体, 其具体定义没有统一的标准, 最初是由 Bernick 与 Cervero 在《Transit villages in the 21st century》中作为 TOD 的另一命名提出^[7]。通常将 TOD 社区定义为基于 TOD 理论, 以交通学、城市

规划、市场经济学为理论开发形成的以公共交通站点为核心的社区^[7]。TOD 社区鼓励居民提高使用公共交通的频率，同时强调邻里单元的整合、社会的多样性、旧城的保护、公共安全以及社区的复兴。典型的 TOD 社区一般由站点、居住空间、办公区、商业区、次级区域等几种用地结构组成。TODness 即 TOD 度，通过评价指标定量描述 TOD 特征，对 TOD 整体发展水平进行评价，旨在以量化指标评估 TOD 的实现状况^[32]。TAD (transit adjacent development) 即公交毗邻发展模式，靠近公交站点但并未利用邻近性来促进交通出行，在土地用途组成、场所设计等方面均缺乏与交通功能的衔接^[33]。TAD 被认为是 TOD 的“邪恶双胞胎”^[34]，并不是所有站点周边的高强度开发都是 TOD，当 TOD 未充分完全开发时，通常会发展成为 TAD。美国交通研究委员会 (2004) 发现，美国约 97% 的车站具有 TAD 特征^[35]，Zhang 和 Lin 指出中国地铁站点周边的开发更加趋近于 TAD 模式^[36]。

2 TOD 的类型划分

2.1 TOD 类型划分的理论机制

TOD 类型划分的本质是对一组具有共同形态和功能特征的站点区域进行分组，以辅助决策者制定不同类型 TOD 规划策略，降低管理复杂性，提升区域内政策的一致性和连续性^[17]。国内外学者建立了不同依据和目标导向的 TOD 类型划分理论机制，主要包括基于 TOD 特征、基于节点—场所模型及其扩展模型、基于功能以及基于 TOD 市场潜力等。

2.1.1 基于 TOD 特征的类型划分

此类方法主要根据站点地区建成环境的属性特征，遵循 Cervero 等学者提出的 3D、5D、7D 等原则，通过不同的聚类方法将其划分为 TOD 与非 TOD 两种类型^[37-39]。所谓 3D，是指密度、多样性、合理的设计等典型 TOD 特征^[40]。其中，密度原则是指提倡高密度的开发，通过对土地资源的集约化使用来促进站点地区紧凑发展，提高公共交通客流量；多样性原则是指在站点地区及公共交通沿线混合用地功能，发展多元化的住宅类型，提升地区活力和吸引力；合理设计是指提倡合理布局站点区域内部空间，通过合理的设计确保在高密度的发展条件下为不同的人群提供多层次的选择，营造便捷的出行环境。5D 特征是对 3D 的扩充^[41]，增加了交通换乘距离和目的地可达性。距离原则强调站点的空间影响，对周边土地利用的有效辐射；目的地可达性原则强调站点基于公共交通线路所形成的可达廊道范围，强调站点作为一个节点在整个交通网络中的联通作用。7D 特征是对 5D 的扩充，增加了城市交通需求管理^[42]和高速交通服务^[43-44]，城市交通需求管理包括停车供应和成本，高速交通服务原则是指不同时间段内、不同交通系统的高频率、高速度和高容量。

2.1.2 基于“节点—场所”模型及其扩展模型的 TOD 类型划分

1999 年，Bertolini 意识到 TOD 和非 TOD 两类并不能有效代表城市中不同的 TOD 类型，提出了著名的节点—场所模型^[30]。其中，节点表示交通站点，场所表示站点周边区域的土地利用，其基本思想是交通与土地利用之间存在反馈循环^[30]。根据两者反馈循环的特点，节点—场所模型划分出五种典型的 TOD 形式：(1) 平衡型，处于纺锤形中部、斜线两侧平衡内地区，节点功能与场所功能的协同性较高且强度适中，说明两者的发展潜力均已实现；(2) 压力型，位于斜线顶部，交通设施水平与土地利用强度均较高，但很可能阻碍彼此的发展；(3) 从属型，位于斜线底部，交通与土地利用都不发达，有较大的发展空间；(4) 失衡节点型，位于斜线上半区，交通供给过剩，土地利用发展存在一定潜力；(5) 失衡场所型，位于斜线下半区，土地过度开发，超过了当前交通容量所能提供的服务水平。

随着“节点—场所”模型的广泛应用，研究人员开始意识到其局限性，首先，模型中的五种类型并不能充分展现 TOD 在现实中的不同表现形式^[16]；其次，该模型未能揭示交通与城市条件在功能和形态上相互作用的程度^[24,45]，例如，当站点地区未能满足高密度和混合用途分布时，功能相关性较弱，同样，当街道网络对步行和骑行不友好时，形态相关性较弱；

最后, 由于指标权重在不同维度上是相等的, 因此忽略了指标间差异的重要性^[46]。因此, 有研究在这些局限性的基础上对模型进行了一些扩展和改进。部分研究在节点一场所模型的基础上增加或调整了指标, 保留了模型的二维结构^[17,21]。之后一些学者考虑到其他因素, 如面向步行和骑行友好的建成环境^[24,47]等, 引入了新的设计维度, 如导向^[24]、城市设计^[16,47]、联系^[48-49]、功能^[4]等维度, 将节点一场所模型扩展到三维, 用于评估站点周边区域的“设计”指数。其中, Su 等^[4]通过对节点、功能、场所进行定量测度并将其投影到三维坐标系中, 以魔方的形式直观地展现出 27 种不同的 TOD 类型。

2.1.3 基于功能的 TOD 类型划分

基于功能的 TOD 类型划分主要强调 TOD 的功能作用。例如, 卡尔索普将 TOD 划分为城市型 TOD 和社区型 TOD^[1], 两者的差别体现在站点地区的公交服务和功能构成; Dittmar 和 Ohland^[50]划分为城市中心区、郊区中心区、城市邻里区、郊区邻里区、邻里中转区和通勤城镇中心等 TOD 类型; 美国科罗拉多州丹佛市将 TOD 划分为商业区、主要城市中心、城市中心、城市社区、城市通勤中心、主要街道和特殊站点等 7 个类型; 美国旧金山 BART 根据站点的区位、交通特点、步行环境和土地开发强度, 将站点划分为三类: 城市中心车站、城镇附近车站、远离城镇中心车站; 美国德克萨斯州奥斯汀市依据区位特征、功能构成、开发密度将站点地区分为四类: 邻里中心型、城镇中心型、区域中心型、城市中心型; 澳大利亚昆士兰政府根据密度、土地利用多样性和商业地积比率将 TOD 划分为六类: 城市中心 TOD、活动中心 TOD、专业活动中心 TOD、城市 TOD、郊区 TOD 和社区 TOD; Zhang 等^[26]将武汉市轨道交通 TOD 划分为住区型(城市住区型、郊区住区型)、中心型(城市中心型、片区中心型、新城中心型)、特殊型(大型公建型、特质园区型)和交通枢纽型; 我国广东省将珠江三角洲 TOD 区域划分为区域级节点、城市级节点、片区级节点; 中国国家住房和城乡建设部^[51]将轨道站点划分为枢纽站、中心站、组团站、特殊控制站、端头站、一般站六类, 并提出了针对不同类型站点的土地利用功能和建设强度指南。需要说明的是, 基于功能的 TOD 类型划分虽可直接指导 TOD 空间规划, 然而它对站点地区交通、环境、社会经济等要素考虑不足^[52], 无法在时间上量化城市结构和空间多样性, 并不能全面和准确地指导 TOD 规划和优化^[23]。

2.1.4 基于地区潜力的 TOD 类型划分

美国 TOD 研究中心提出了基于 TOD 地区发展潜力的分类方法, 将站点周边房地产市场作为站点地区发展的重要因素^[53], 该方法包含两个方面的要素: (1) 地区发展现状, 包括功能混合、步行条件、强度等; (2) 发展机会, 包括土地机会和市场活力。该方法被用于美国 Allegheny County 廊道站点分类^[54]及 Dallas-Denver 的 Knowledge Corridor 廊道站点分类^[55]实践案例中。该分类方法能够衔接 TOD 地区的发展政策, 引导公共财政投资和市场力量, 促进多方协作^[52], 但其对 TOD 发展现状评价的系统性存在不足。

2.2 TOD 类型划分的方法

在不同的 TOD 类型划分理论上, 学者们利用不同的聚类方法对 TOD 类型做了进一步划分, 主要包括 K-means 聚类分析^[47,56]以及层次聚类分析^[24,27]等无监督学习算法。此两类算法虽可以简单有效地合并相似对象, 但只能用于处理连续变量, 不适用于离散变量, 并且它们无法自动确定最佳聚类数目, 往往需要研究人员预先指定, 尽管可以通过其他理论、直觉或其他方式来选择最优数, 但判别方式较为主观、科学性不足^[57]。考虑到最佳聚类数确定的客观性问题, 减少主观因素对判断的干扰, 部分研究使用潜在类别聚类分析对相似 TOD 类型进行划分^[57-58], 该方法能够根据生成的统计信息(如贝叶斯信息准则)来确定最佳聚类数目, 符合统计学规律。与 K-means 和层次聚类分析相比, 该方法能够适应非标准化变量, 从而允许以原始单位解释模型输出结果。此外, 该方法可以同时处理连续变量和分类变量, 但计算量较大, 且依赖于局部独立性的基本假设。除此之外, Reusser 等人使用的

两步聚类分析利用统计量作为距离指标进行聚类,根据一定的统计标准(如贝叶斯信息准则、Akaike 信息准则)自动确定最佳聚类数^[17],可以应用于混合属性数据集(连续变量和分类变量)。同时,与潜在类别聚类分析相比,该方法占用内存资源较小,尤其适合于大型数据集的聚类研究,保证了算法的执行效率。为了解决多维度数据聚类问题,有研究采用自组织映射神经网络(self-organizing map,SOM)对 TOD 进行聚类^[48],该算法是一种降维的聚类算法,可以将高维的数据投影到节点平面上,实现高维数据可视化。与传统的聚类方法(如 K-means 和层次聚类)相比,SOM 算法具有以下三个优势:(1)不需要先验知识;(2)可以处理多维度数据;(3)在可视化方面具有适用性。

3 TOD 的综合效应

3.1 TOD 的多维综合效应

TOD 的实施与发展设计的地理过程十分复杂,并对城市社会、经济、环境等产生了直接的影响。TOD 综合效应测度已成为近年来一个重要的研究方向,学者们通过多种方法定量甄别了 TOD 对人类出行、经济、社会、环境、居民健康及可持续发展的影响。人类出行方面,部分学者基于微观调查数据探讨了 TOD 对出行选择、出行特征的影响。多数研究结果均表明 TOD 可以有效地促进公共交通出行模式,减少私家车使用率^[39,59-60]。部分学者对此问题的探讨纳入了居民的自主选择效应,并指出与 TOD 特征相比,个人态度和居住偏好对出行模式的影响更大^[61-62]。也有一些学者认为个人态度和居住选择仅在一定程度上影响出行模式^[63-65],TOD 的影响仍然是显著的。此外,随着多源地理空间数据尤其是打铁打卡数据的普及,让搜集海量人类出行数据成为了可能。学者们以观测出行模型为基础,使用不同的数理建模方法,构建了诸多经验模型^[66-67],用以揭示 TOD 和人类出行的关联联系。

经济效应方面,相关研究主要集中在对房地产价值的影响。国内外多数案例证明了轨道交通对周边房地产价值具有正面溢价效益,美国芝加哥、亚特兰大、波特兰等多个城市的实证研究发现 TOD 促进站点周边 400~2400 m 范围的房地产价格上升约 3%~50%^[68-70],国内实证研究结果表明溢价影响范围在站点周边 400~2000 m,溢价指数在 4%~20%之间^[71-73]。另外,少数学者探究了 TOD 对房租的影响,Renne 等^[74]发现 TOD 地区的房屋租赁价格高于非 TOD 地区;Su 等^[75]的研究表明 TOD 住房的出租价格明显高于非 TOD 住房,并且在具有更强运营能力的地铁站、休闲空间可达性高和交通选择多的邻里、地铁站与社区的协同作用强的 TOD 环境中,房屋租赁价格更高。

社会效应方面,相关研究主要集中在绅士化、城市活力、城市保护等方面。其中:(1) TOD 是否会导致附近社区的绅士化的研究结论尚未达成一致,现有研究得出了好坏参半甚至相互矛盾的结论。部分研究发现 TOD 社区比远离交通站点的社区更容易引发绅士化现象^[76-78],因为 TOD 住宅产生了溢价效应,导致中低收入家庭被高收入家庭所取代;然而一些研究得出了完全相反的结论,即轨道交通并不是绅士化的触发因素^[79];少数研究得到了相互矛盾的结论^[80-81],部分案例区的 TOD 社区经历了绅士化而其他区域没有。矛盾的是,较不富裕的居民更有可能使用公共交通工具并从中受益,而较富裕的高收入居民则不太倾向于使用公共交通工具,因为他们更有可能使用私家车^[82-83],建议通过提供经济适用住房和社会住房,将低收入居民吸引到 TOD 地区,作为未来 TOD 更广泛的政策目标。(2)相关研究以“节点—场所”模型及其扩展模型为基础,探究 TOD 与城市活力之间的关系。部分研究强调“节点”维度^[84-85],主张交通沿线的综合交通节点可以促进城市活力,部分研究发现良好的街道连通性为行人、社会活动和经济活动创造了一个可渗透的公共区域^[86],大量研究表明密度和土地混合多样性是提升城市活力的重要因素^[84,87]。特别地,Xiao 等发现 TOD 对城市活力具有非线性影响^[85]。少数学者探究了 TOD 空间特征对城市地下空间活力的影响^[88-89],结果显示空间结构的可达性和可视性、功能混合程度、空间布局 and 分布等环境变量均

会对地下空间活力产生影响。(3) 极少数研究探讨了 TOD 与城市历史保护之间的关系, Michailof 研究发现地铁站附近的人口密度压力可能会对历史资源保护产生积极或消极的影响^[90], Renne 等探讨了城市保护地区发展 TOD 的机遇和挑战^[91], 并提出了一些综合战略用于保护 TOD 地区的历史建筑。

环境效应方面, 相关研究主要集中在热岛效应、噪声、空气污染、交通拥堵、碳排放等方面。研究表明: (1) TOD 的某些单独属性特征 (如高密度和公共交通服务) 会影响热岛效应^[92-93], 而 Kamruzzaman 等发现 TOD 地区是城市的高温区, 高温程度随着时间推移而增加, TOD 地区热岛效应的增长速度明显高于非 TOD 地区^[38]; (2) 与非 TOD 地区相比, TOD 区域内噪声水平更高^[94-95]; (3) 鲜有实证研究将 TOD 与城市空气质量联系起来, Gu 等发现轨道交通 TOD 发展水平与城市空气质量呈显著正相关^[96], 然而也有研究表明地铁站点的室内空气污染程度远超规定值^[97]; (4) TOD 对缓解交通拥堵具有正向促进作用^[98-99]; (5) 靠近交通站点可以有效地缓解汽车依赖, 从而减少碳排放^[42,100], 特别的是, Gao 等研究发现 TOD 也有助于减少因乘坐出租车而带来的碳排放^[101]。

健康效应方面, Frank 等^[102]发现 TOD 模式下的土地利用模式和基础设施可能有助于改善社区居民体育活动; Lanza 等^[103]从微观建筑环境特征的角度出发, 研究发现站点周边交通环境 (人行道和自行车道的连通性) 和社会环境 (街道上行人间的互动) 的改善有利于增加乘客量, 并更多地促进体育活动; Wang 等^[104]研究表明在地铁站周围的街道和自行车道上提供充足可见的绿化可以促进自行车使用和自行车交通一体化; Kamruzzaman 等^[105]指出随着时间的推移, TOD 可以改善附近社区居民居住不和谐的态度。

可持续发展方面, 现有文献缺乏关于社会可持续性衡量的统一标准, 学者们使用了不同的概念来衡量社会可持续性, 如社会资本、社会公平、社会互动、社会凝聚力、社会包容与安全等^[106]。Kamruzzaman 等^[34]从 TOD 整体角度对社会资本进行了综合评价, 研究发现当所有环境因素共同作用形成 TOD 时, 会对个体之间的信任、互惠和联系水平产生积极影响, 进而增强社会资本, 促进社会可持续性发展, 但仅仅一个环境因素的改善可能会产生相反的影响。Milan 和 Creutzig^[107]从社会公平的角度探讨了 TOD 效应, 结果表明精心设计的交通发展政策可以改善城市的社会公平性。

3.2 TOD 综合效应的测度方法

大部分文献基于传统的 GIS 空间数据^[38-39,59]、社会经济统计数据^[80-81]、问卷调查数据^[34,107]、实地调查数据^[88-89]等数据形式, 采用传统的回归方法 (逻辑回归^[39]、普通最小二乘回归^[38]、多元线性回归^[101]、多层回归^[74]、逐步回归^[89]、泊松回归^[102]等)、描述性统计^[108]、生存分析^[81]、比较分析^[80]等方法实现对 TOD 综合效应的测度。传统的经验统计方法往往忽略了潜在的空间相关性, 因此有研究纳入了空间回归模型^[96] (如空间误差模型、空间滞后模型)。其他一些研究考虑到了空间依赖关系, 将空间异质性纳入到建模中, 采用地理加权回归来捕捉 TOD 的影响机制^[67]。在空间异质性的基础上, 有学者考虑到了时间依赖性^[66], 运用时空地理加权回归来探索 TOD 的综合效应。然而, TOD 产生的综合影响并不是简单的线性加权之和, 而是复杂的累计、抵消和放大的非线性耦合, 并且浮动车轨迹、POI、手机信令、智能打卡、社交媒体等多源地理大数据在不断普及, 数据获取变得不再困难。在这种情况下, 传统的经验统计方法表现出较多的局限性, 如无法解释非线性关联、无法有效处理多维数据、高度依赖先验知识、过度拟合等。相反地, 机器学习方法在解决这些局限性方面具有先天的优势, 表现在 (1) 能够处理高维或多模态数据; (2) 处理解释变量和被解释变量之间复杂的非线性统计关系, 对解释变量之间的交互作用进行建模; (3) 处理多重共线性问题和缺失值; (4) 有效避免过度拟合问题; (5) 无需先验假设。因此部分研究开始采用随机森林^[109-110]、梯度提升决策树^[85,111]、贝叶斯网络^[112]、概率决策树^[113]、动态决策树^[114]等机器学习方法来分析 TOD 的综合效应, 以建立更加精细和非线性的统计关系。

传统的经验统计模型对因果关系的重视程度不够,表现在:(1) TOD 与其综合效应指标同时发生变化,彼此相互影响,造成了联立性偏误,违背了经典 OLS 的假设(x 与回归模型的误差项存在相关性),因此很难估计 TOD 对出行行为、房租房价等综合效应的真实影响;(2) 解释变量遗漏,某些会影响综合效应的因素没有纳入模型的解释变量中,就会造成 TOD 与回归模型的误差项相关,从而引起内生性问题。为了解决 TOD 综合效应测度的内生性问题,有学者采用倾向评分匹配方法^[37,60]、双重差分模型^[79,115]、工具变量法^[82,116]等方法进行研究。倾向评分匹配方法基于“反事实推断模型”的方法,一般用于对 TOD 和非 TOD 区域的某些属性进行匹配,通过实现其他影响变量完全匹配以解决内生性问题。双重差分模型常用于政策评估效应研究,“政策效应”通常为外生项,因而不存在双向因果关系,可以在很大程度上避免数据内生性问题。具体而言,通过比较 TOD 政策实施前后对照组和处理组变化幅度的差异,即可剔除时间效应,较为准确地分析 TOD 的政策净效应。工具变量法通过构建影响内生变量且与因变量不相关的外生性工具变量,基于诊断统计量,检验工具变量是否满足要求,进而借助两阶段最小二乘法来破解内生性问题。

4 TOD 优化

4.1 TOD 优化的主题

TOD 优化包括对线路和站点的优化以及对站点周边用地的优化,通过 TOD 优化以弥补城市交通线路规划中的不足,优化城市交通结构,促进公共交通的发展,形成合理的土地开发利用格局,促进城市交通与城市形态的协调发展,为城市的可持续发展贡献力量。

4.1.1 TOD 线路及选址的优化

在 TOD 模式的实施过程中,交通站点选址往往意味着 TOD 模式的核心,为城市发展过程中的资源交流提供了便捷交通的保障。合理的线路规划和站点选址不仅可以提升居民出行的便捷度和城市的通达性,而且可以提升城市面貌和区域价值,促进城市的可持续发展。由于 TOD 建设成本巨大,线路和选址优化要综合考虑客流集散、土地可开发强度、邻里区域发展、城市规划协调性以及与其他交通系统接驳等问题。

最常用的线路规划布局方法是由 Church 和 Clifford 于 1979 年提出的“四步式”方法^[117]:在拟建轨道交通系统范围内进行网格划分;依据划分评价标准对每个网格进行打分;将每个网格的分数进行叠加,按照计算规则求出权重值;最后使用 Dijkstra 算法选出权重值最小的路径作为最优路径。Current、Revelle 和 Cohon 对“四步式”算法进行了改进^[118],考虑了覆盖范围以内的人口密度和数量因素,提出了“覆盖路径模型”和“次路径模型”。Gendreau、Laporte 和 Mesa 采用逐步移动网格单元的方法,通过比较相邻网格单元的优劣生成线路优化路径^[119];加拿大卡尔加里大学土木系基于最小生成树的理论,运用相关分析的方法建立车站选址模型,估算车站设置的最优数目,使得建设轨道交通线路的总费用达到最小,解决了地铁选择放射形线路的特殊情况^[120]。

Brandeau 和 Chiu 最早开始研究选址问题,提出将潜在服务对象到达目标设施的总距离作为优化目标,采用多指标评价的方法对多个潜在设施点进行比较^[121];Li 等^[48]和 Wan^[49]以人口需求为优先考量,使用 DBSCAN (density-based spatial clustering of applications with noise) 算法进行站点选址,采用启发式路径搜索算法进行线路规划;Zhang 等^[122]在考虑居住地选择、房屋租金、交通成本和 TOD 住房供应的基础上,以利润最大化和社会福利最大化为优化目标建立了 TOD 的选址优化模型;Yang 和 Song^[123]基于“节点—场所”模型和基于信息熵的 TOPSIS (technique for order preference by similarity to an ideal solution) 方法建立了 TOD 站点比选指标体系;Wey^[124]将模糊层次分析法与数据包络分析-保证域方法相结合,对台北市潜在地铁站点选址进行评价,从中选出最优的站点方案;Sun^[125]选择乘客出行最短时间作为阈值常数,使用 Voronoi 图构建选址模型。

4.1.2 TOD 的土地利用优化

对公共交通站点周边区域土地利用格局进行布局优化,关系到站点及其周边土地利用的和谐发展,对城市的可持续发展具有重大意义。TOD 模式下的土地利用优化是一种特殊类型的土地利用规划,主要目的是构建地铁站周边土地利用规划的备选方案的数学模型,研究问题包括规划用地的位置、类型和面积大小^[126-127]。大量学者针对不同的场景开发了许多土地利用优化模型,如 Dokmeci 等讨论了综合土地利用规划^[127], Lin 和 Feng 的土地利用和网络综合规划^[128], Ridgley 和 Giambelluca 的土地利用扩展规划^[129],以及 Feng 等的交通和资源利用综合规划等方案^[130]。在土地规划模型的基础上,一些学者将土地利用优化与交通结合起来进行研究^[131-132],也有部分学者探讨如何在土地规划中应用 TOD 策略^[133-134], Feng 和 Chang^[135]、Kaneko 和 Fukuda^[136]通过单目标规划开发了区域 TOD 土地利用功能配置模型,该模型解决了公交乘客量最大化的问题。

基于 TOD 的站点周边土地利用优化问题是非常复杂和动态的,往往需要考虑多个目标,然而城市发展的各种目标之间往往是相互冲突的,如客流量的增加可能会降低生活环境,无法得到唯一的最优解。因此有学者提出了多目标优化模型,对各个存在矛盾的目标进行合理选优,平衡各种目标的发展,生成多种非劣的规划方案,供城市规划者因地制宜选择相应的最优土地利用规划方案。现有研究关于土地利用优化设定的目标包括:增加公共交通客流量、提高土地紧凑度、提高土地利用可达性、提升站点周边生活质量、改善环境质量、维护土地开发的社会公平、提高土地利用混合多样性、提高土地价值、减小污染控制和治理成本、减小环境影响、减小土地冲突度、保证公共基础设施数量等^[137-143]。

4.2 TOD 优化的方法

目前,城市轨道交通线路布局优化主要有以下两种途径^[144]:(1) 验算法,根据城市的交通状况和土地发展方向,用交通规划法规划线路或线网,进行轨道交通流量预测,寻找客流的主经线路,再通过评价确定方案的优劣;(2) 正推法或解析法,主要根据城市人口、土地资源,使用运筹学方法,反复修正建立的目标函数,正向寻求最佳路线。验算法在理论研究与实际应用中包括定量分析与定性分析,其中,定量分析工作集中于对客流的预测,目前国内城市交通需求预测理论与方法通常采用以集聚分析思想为指导,运用“四阶段”法进行需求预测,该方法将交通发生、吸引、出行分布和出行方式划分等相关因素作为因子,建立数学模型,通过交通网络分配来进行预测;我国城市开展的轨道交通网络的规划和调整工作以定性分析和经验为主,轨道交通网络中初级线网的产生主要包括总量控制下的点、线、面层次分析法和主要集散点连线、出行主经路法两种模式^[145]。正推法的思想最早体现在 Church 和 Clifford 提出的四步式方法^[117],有学者改进了此算法,提出了“覆盖路径模型”和“次路径模型”^[118]。以此为基础,后续研究者们分别根据人口的数量、周边土地利用情况等因素,采用运筹学的理论和方法来优化模型的目标函数^[119-120],以期找到最佳的轨道交通线路。通过正推法进行轨道交通线网规划时,一个重要的问题是如何根据城市现状及发展规划、交通需求、经济发展水平等,确定城市轨道交通线网的合理规模^[146],而后对单一线路进行规划,确定线路的走向。一般在估算线网规模时,通常采用以下两种方法^[146]:(1) 用城市公共交通客流总量来估算城市轨道交通线网规模;(2) 用路网密度指标来估算城市轨道交通规模。

TOD 站点优化主要包括优化轨道交通的站间距及站点的选址优化两方面,其中,对于站间距的优化分为两部分,第一部分是以前最优平均站间距为目标函数进行的研究,此类研究通常从乘客运行时间、运营成本、出行成本等角度出发,建立站间距优化模型来确定平均站间距的最优值^[147-148];第二部分是对根据站点布置时应采用不同距离的设站方式进行了研究,此类方法根据不同的划分方案(如枢纽站和其他站点、郊区站点和中心城区站点等)建立模型,确定针对最优乘车距离的布局方案^[149-150]。对于站点选址优化方面,一些学者通过对客

流量的预测分析、人口需求、出行时间、出行距离等的分析与研究,采用定性或定量的方法对轨道交通的站点设置进行优化,定量分析的模型与方法包括多指标评价体系^[121]、集合覆盖模型^[151]、DBSCAN 算法^[48]、Voronoi 图^[125]等方法。

TOD 模式下土地利用优化主要对站点周边土地利用结构以 TOD 理念进行调整,仍属于土地利用规划范畴,土地利用优化模型一般为多目标规划模型。针对 TOD 站点周边土地利用的多目标优化问题,目前国内外的研究主要集中在两个方面:多目标求解和智能优化算法。多目标求解问题的基本思想是将多目标转化为单目标,包括多目标线性规划模型^[142]和灰色规划法^[143]两类常用方法。其中,多目标线性规划模型可以在约束条件以内考虑一系列的目标而给出确定的有效解决方案,实质上是依据决策者对问题中目标的重要性判断和主观偏好,于限制间求得合理妥协,进行目标间的恰当权衡,得到一组帕累托最优解^[152],最终由决策者对各方利益加以权衡制定最终方案,以获得综合意义下“最优”的结果。然而,一般的线性规划存在一些问题,表现为(1)一般线性规划是静态的,不能反映约束条件随时间变化的情况,因而所得的结果往往因条件改变而失效;(2)如果规划模型中出现灰数,如约束条件中的技术系数、约束值等为灰数,则一般线性规划难以处理;(3)由于模型技术或计算技巧问题,在实际计算过程中往往出现无解或无法求解的现象。针对这些局限性,有学者采用灰色系统的思想和建模方法来解决,即灰色线性规划。该方法是一种动态的线性规划,不仅可以得到现下条件下的最优结构,而且可以反映最优结构关系的发展变化情况,灵活多变,有众多的调整余地,可适应情况的发展变化。另外一些研究基于遗传算法、蚁群算法^[153]等智能优化算法来求解多目标问题,其中,采用的遗传算法包括免疫遗传算法^[137]、启发式遗传算法^[138]、两阶段并行遗传算法^[139]、混合遗传算法^[140]、NSGA-II (non-dominated sorting genetic algorithm-II) 多目标优化遗传算法^[49]、基于 NSGA-II 改进的多目标优化算法^[141]以及各种改进算法。

5 展望

5.1 面临的挑战

本文系统回顾了国内外 TOD 相关研究,这些研究为深入了解城市交通与土地利用协同发展提供了证据,但仍存在一些局限和挑战需要解决。

理论方面:(1)关于 TOD 表现形式的理论仍未统一,TOD 现在不再仅仅基于单一的交通系统,而是涵盖多种形式的综合交通服务,这些交通服务通常具有高频率、高速度、高容量的特征,以促进城市再生和新城市发展,未来可能纳入互联和自动驾驶、出行即服务等推动交通模式转变的技术^[154],不同交通系统下 TOD 的差异仍存在研究空白;(2)不同政策和经济体制下的 TOD 差异研究仍有待完善,国内外 TOD 在理论和实践上存在较大差异,西方国家普遍关注让郊区实现更密集、紧凑的再开发,而中国则关注让原本密集的城市实现郊区扩张,并且中国的 TOD 实践更多地以政府政策为导向,因此不同制度下的 TOD 对比也是当下需要探讨的问题;(3)TOD 综合效应的权衡协同关系的相关研究尚处于初期阶段。TOD 可以驱动经济、社会、环境、健康等各方面的变化,但所引发的综合效应之间往往相互影响,存在着此消彼长的权衡关系或彼此增益的协同关系^[155-156]。例如,TOD 会促进房地产的繁荣发展,但同时会引起居住隔离、绅士化、犯罪等社会问题^[76,157],亦会影响空气污染和热岛效应^[155]。目前大多数研究仅关注 TOD 对某一维度的影响,而忽略了其引发的综合效应之间的权衡协同关系,这种互作关系的理论发展机制亟待突破;(4)研究通常采用不同的缓冲半径、行程距离或行程时间定义站点地区或通过格网分割 TOD 区域,不同尺度下定义的 TOD 范围对研究结论是否存在影响仍未得到证实;以及如何理解 TOD 在不同尺度上的影响作用,具体表现为 TOD 在微观尺度上对周边社区的影响和在宏观层面上对整体城市扩张的影响。

方法方面：(1) 多数关于 TOD 效应的研究忽略了普遍的非线性作用和潜在的时空异质性，机器学习等人工智能技术的发展通过非线性建模，使得更好地捕捉建成环境和人类活动之间的复杂关联成为可能，而地理时空加权回归和机器学习算法的结合可以将时空异质性纳入建模；(2) 如何在技术上解析不同维度 TOD 效应之间的非线性权衡—协同作用机制，并有效解决不同维度效应权衡的空间化和高精度定量化等问题；(3) 如何有效应对 TOD 尺度效应带来结论偏差的相关技术仍需进一步发展；(4) 如何定量甄别因果关系和解决内生性问题，仍然是 TOD 综合效应测度亟需解决的问题；(5) 目前研究采用的土地利用或社会人口等数据往往存在精度不足的问题，会影响结果的可靠性，难以支撑最后的研究结论。同时，面对海量的时空大数据，如何进行筛选、清洗处理和本地化建模仍是研究需要突破的技术难点。

5.2 对国土空间治理的启示

作为西方国家的舶来品，TOD 在国内的实践研究亟需继续深化，充分汲取国内外先进的 TOD 规划理念，并结合中国国情，为我国国土空间治理提供建议与启示：(1) 在中国背景下进行 TOD 实践需要置于中国的政治制度和发展环境之下，将 TOD 原则结合到城市交通规划的框架之中，进一步形成一套组织架构完善的城市规划制度。TOD 在落地实施过程中需要与不同的规划层面对接，依赖区域内各个层次的配合，协调城市发展和公共交通的各项政策。(2) 国内的 TOD 模式通常是在已建轨道交通的基础上提出和发展的，缺乏自然的实验论证，即在 TOD 模式下规划的轨道交通和土地开发模式是否具有成效，后续其他城市可以在 TOD 理念指导下综合规划交通站点，开发周边土地，在城市社区和公共空间的微观层面持续深入 TOD 的设计理念。(3) 摒弃“一刀切”的 TOD 策略，针对不同层次的问题，关注的侧重点和具体应对措施也应有所差异。在整体城市层面，结合各个城市的发展现状，构建与之相适应的城市交通体系和土地开发模式，在交通站点层面，针对不同的 TOD 发展类型制定有针对性的策略，在财政投资有限的情况下以最低成本实现最佳产出。(4) 正确看待 TOD 带来的正面效应和负面影响，TOD 模式可以促进公共交通出行、提升房地产价值、提升城市活力、缓解交通拥堵、改善居民健康以及促进可持续发展，然而也可能会导致居住隔离、绅士化、热岛效应、噪音污染以及犯罪等问题。(5) 在 TOD 实施过程中纳入一些其他方面的支持性政策，如为低收入家庭提供经济适用房或社会住房，实施汽车限令，吸引其他社会经济群体（如低收入、低教育人群）成为 TOD 的受益者。总而言之，针对我国国土国情，仍需开展大量 TOD 本土实践，综合考虑交通模式、土地利用和公共空间设计，将 TOD 理念贯彻到规划、实施和管理的整个过程中，形成一套成熟的、有针对性的、可操作的应用体系，在政策层面上形成从规划到实施再到评价的完整过程。

参考文献

- [1] Calthorpe P. The Next American Metropolis: Ecology, Community, and the American Dream[M]. New York: Princeton Architectural Press, 1993
- [2] Yue Yang, Liu Yu, Chen Yunsong, et al. Integration Path of Spatial and Geo-Computing and Computational Social Science[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2022, 47(1): 1-18 (乐阳, 刘瑜, 陈云松, 等. 空间和地理计算与计算社会学的融合路径[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2022, 47(1): 1-18)
- [3] Meng Xiaofeng, Yu Yan. Develop Social Computing and Social Intelligence Through Cross-disciplinary Fusion[J]. *Computer Science*, 2022, 49: 3-8 (孟小峰, 余艳. 在跨学科交叉融合中深发展社会计算与社会智能[J]. 计算机科学, 2022, 49: 3-8)
- [4] Su S, Zhang H, Wang M, et al. Transit-oriented development (TOD) typologies around metro station areas in urban China: A comparative analysis of five typical megacities for planning

- implications[J]. *Journal of Transport Geography*, 2021, 90: 102939
- [5] Salvesen D. Promoting Transit Oriented Development[J]. *Urban Land*, 1996, 55(7): 31-35
- [6] Lefaver S. Public Land with Private Partnerships for Transit Based Development[R]. California: The Mineta Transportation Institute, San Jose State University, 1997
- [7] Bernick M, Cervero R. Transit villages in the 21st century[M]. New York: McGraw-Hill, 1997
- [8] Freilich R H. The land-use implications of transit-oriented development: Controlling the demand side of transportation congestion and urban sprawl[J]. *The Urban Lawyer*, 1998, 30: 547
- [9] Ma Q. Recent studies on transit-oriented development in North America[J]. *Urban Planning International*, 2003, 5: 45-50
- [10] Wang Dan, Wang Shijun. Understandings on Development View of New Urbanism and Smart Growth of the USA[J]. *Urban Planning International*, 2007, 22(2): 61-66 (王丹, 王士君. 美国“新城市主义”与“精明增长”发展观解读[J]. 国际城市规划, 2007, 22(2): 61-66)
- [11] Parker T, McKeever M, Arrington G B, et al. Statewide Transit-Oriented Development Study: Factors for Success in California: Final Report[J]. *Land Use Planning*, 2002, 65(1): 137-174
- [12] Florida Department of Transportation (FDOT), 2012. Florida TOD Guidebook. <http://www.fltod.com/Florida%20TOD%20Guidebook-sm.pdf>
- [13] Hendricks S J, Goodwill J. Building transit oriented development in established communities[R]. 2002
- [14] Baker D M, Lee B. How does light rail transit (LRT) impact gentrification? Evidence from fourteen US urbanized areas[J]. *Journal of Planning Education and Research*, 2019, 39(1): 35-49
- [15] Liu Y, Singleton A, Arribas-Bel D. Considering context and dynamics: A classification of transit-orientated development for New York City[J]. *Journal of Transport Geography*, 2020, 85: 102711
- [16] Vale D S. Transit-oriented development, integration of land use and transport, and pedestrian accessibility: Combining node-place model with pedestrian shed ratio to evaluate and classify station areas in Lisbon[J]. *Journal of Transport Geography*, 2015, 45: 70-80
- [17] Reusser D E, Loukopoulos P, Stauffacher M, et al. Classifying railway stations for sustainable transitions - balancing node and place functions[J]. *Journal of Transport Geography*, 2008, 16(3): 191-202
- [18] Singh Y J, Lukman A, Flacke J, et al. Measuring TOD around transit nodes-Towards TOD policy[J]. *Transport policy*, 2017, 56: 96-111
- [19] Caset F, Teixeira F M, Derudder B, et al. Planning for nodes, places and people in Flanders and Brussels: Developing an empirical railway station assessment model for strategic decision making[J]. *Journal of Transport and Land Use*, 2019, 12(1):811-837
- [20] Nyunt K T K, Wongchavalidkul N. Evaluation of relationships between ridership demand and transit-oriented development (TOD) indicators focused on land use density, diversity, and accessibility: A case study of existing metro stations in Bangkok[J]. *Urban Rail Transit*, 2020, 6(1): 56-70
- [21] Chorus P, Bertolini L. An application of the node place model to explore the spatial development dynamics of station areas in Tokyo[J]. *Journal of transport and land use*, 2011, 4(1): 45-58
- [22] Wibowo S S, Olszewski P. Modeling walking accessibility to public transport terminals: case study of Singapore mass rapid transit[J]. *Journal of the Eastern Asia Society for*

- Transportation Studies*, 2005, 6: 147-156
- [23] Kumar P P, Sekhar C R, Parida M. Identification of neighborhood typology for potential transit-oriented development[J]. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 2020, 78: 102186
- [24] Lyu G, Bertolini L, Pfeffer K. Developing a TOD typology for Beijing metro station areas[J]. *Journal of Transport Geography*, 2016, 55: 40-50
- [25] Woo J H. Classification of TOD typologies based on pedestrian behavior for sustainable and active urban growth in Seoul[J]. *Sustainability*, 2021, 13(6): 3047
- [26] Zhang Ming, Xu Tao, Li Xiaofeng. Urban rail transit TOD type research and planning and design guidelines[M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2018 (张明, 徐涛, 李晓峰. 城市轨道交通 TOD 类型研究与规划设计导则[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2018)
- [27] Atkinson-Palombo C, Kuby M J. The geography of advance transit-oriented development in metropolitan Phoenix, Arizona, 2000 - 2007[J]. *Journal of Transport Geography*, 2011, 19(2): 189-199
- [28] Austin M, Belzer D, Benedict A, et al. Performance-Based Transit-Oriented Development Typology Guidebook[J]. *Guidelines*, 2010
- [29] The City of Calgary. Transit-Oriented Development: Best Practices Handbook[Z]. The City of Calgary, 2004
- [30] Bertolini L. Spatial development patterns and public transport: the application of an analytical model in the Netherlands[J]. *Planning practice and research*, 1999, 14(2): 199-210
- [31] Zemp S, Stauffacher M, Lang D J, et al. Classifying railway stations for strategic transport and land use planning: Context matters![J]. *Journal of Transport Geography*, 2011, 19(4): 670-679
- [32] Zhou J, Yang Y, Gu P, et al. Can TODness improve (expected) performances of TODs? An exploration facilitated by non-traditional data[J]. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 2019, 74: 28-47
- [33] Cervero R, Ferrell C, Murphy S. Transit-oriented development and joint development in the United States: A literature review[J]. *TCRP research results digest*, 2002 (52): 1-144
- [34] Kamruzzaman M, Wood L, Hine J, et al. Patterns of social capital associated with transit oriented development[J]. *Journal of Transport Geography*, 2014, 35: 144-155
- [35] Transportation Research Board. Transit-Oriented Development in the United States: Experiences, Challenges, and Prospects[R]. TCRP Report 102, 2004
- [36] Zhang Feng, Lin Li. Further discussion on TOD in China: From the perspective of traffic travel results[C]// 2011 China Urban Planning Annual Conference, 南京, 中国, 2011 (张峰, 林立. 中国 TOD 的再探讨: 基于交通出行结果的视角[C]// 转型与重构——2011 中国城市规划年会, 南京, 中国, 2011)
- [37] Park K, Ewing R, Scheer B C, et al. Travel behavior in TODs vs. non-TODs: using cluster analysis and propensity score matching[J]. *Transportation Research Record*, 2018, 2672(6): 31-39
- [38] Kamruzzaman M, Deilami K, Yigitcanlar T. Investigating the urban heat island effect of transit oriented development in Brisbane[J]. *Journal of Transport Geography*, 2018, 66: 116-124
- [39] Kamruzzaman M, Shatu F M, Hine J, et al. Commuting mode choice in transit oriented development: Disentangling the effects of competitive neighbourhoods, travel attitudes, and self-selection[J]. *Transport Policy*, 2015, 42: 187-196
- [40] 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
- [41] Cervero R, Murakami J. Rail+Property Development: A Model of Sustainable Transit Finance and Urbanism[R]. Berkeley: Institute of Urban and Regional Development, University of California at Berkeley, 2008
- [42] Ewing R, Cervero R. Travel and the built environment: A meta-analysis[J]. *Journal of the American planning association*, 2010, 76(3): 265-294
- [43] Knowles R D. Transit Oriented Development in Copenhagen, Denmark: from the Finger Plan to Orestad[J]. *Journal of Transport Geography*, 2012, 22(1), 251-261
- [44] Knowles R D. OURSUS: Transport Geographers: ideas and experiences about aspects of sustainable cities[C]. International Geographical Congress, Beijing, China. 2016, 22
- [45] Schlossberg M, Brown N. Comparing transit-oriented development sites by walkability indicators[J]. *Transportation research record*, 2004, 1887(1): 34-42
- [46] Bian Y, Li L, Han T, et al. TOD typology: A review of research achievements [J]. *Journal of Southeast University(English Edition)*, 2021, 37(03): 306-316
- [47] Vale D S, Viana C M, Pereira M. The extended node-place model at the local scale: Evaluating the integration of land use and transport for Lisbon's subway network[J]. *Journal of Transport Geography*, 2018, 69: 282-293
- [48] Li Z, Han Z, Xin J, et al. Transit oriented development among metro station areas in Shanghai, China: Variations, typology, optimization and implications for land use planning[J]. *Land use policy*, 2019, 82: 269-282
- [49] Wan Chen. The Measurement and Optimization of TOD: Comparative Study of Three Typical Cities in China[D]. Wuhan: Wuhan University, 2019 (万琛. TOD 测度与优化:我国三个典型城市的比较研究[D]. 武汉: 武汉大学, 2019)
- [50] Dittmar H, Ohland G. The new transit town: Best practices in transit-oriented development[M]. Washington, DC, USA: Island Press, 2004
- [51] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 城市轨道交通沿线地区规划设计导则[S]. 北京, 2015
- [52] Xu Tao. Research on Spatial Pattern and Development Strategy for Rail Trasnit Station Area Cased on Wuhan, China[D]. Wuhan: Wuhan University, 2016 (徐涛. 基于溢价效应的城市轨道交通站点地区空间规划和发展模式研究[D]. 武汉: 武汉大学, 2016)
- [53] CTOD. Performance-Based Transit-Oriented Development Typology Guidebook. America: The Center for Transit-oriented Development, 2010
- [54] CTOD. Transit-Oriented Development Typology Strategy for Allegheny County. America: Center for Transit-Oriented Development, 2013
- [55] CTOD. Connecting the West Corridor Communities: An Implementation on Strategy for Tod Along the Denver Region's West Corridor. America: Center for transit-oriented development, 2012
- [56] Zhang Y, Marshall S, Manley E. Network criticality and the node-place-design model: Classifying metro station areas in Greater London[J]. *Journal of Transport Geography*, 2019, 79: 102485
- [57] Higgins C D, Kanaroglou P S. A latent class method for classifying and evaluating the performance of station area transit-oriented development in the Toronto region[J]. *Journal of Transport Geography*, 2016, 52: 61-72
- [58] Huang R, Grigolon A, Madureira M, et al. Measuring transit-oriented development (TOD) network complementarity based on TOD node typology[J]. *Journal of transport and land use*, 2018, 11(1): 304-324

- [59] Kamruzzaman M, Baker D, Washington S, et al. Advance transit oriented development typology: case study in Brisbane, Australia[J]. *Journal of Transport Geography*, 2014, 34: 54 -70
- [60] Dong H. Evaluating the impacts of transit-oriented developments (TODs) on household transportation expenditures in California[J]. *Journal of Transport Geography*, 2021, 90: 102946
- [61] Kumar P P, Sekhar C R, Parida M. Residential dissonance in TOD neighborhoods[J]. *Journal of Transport Geography*, 2018, 72: 166-177
- [62] Olaru D, Smith B, Taplin J H E. Residential location and transit-oriented development in a new rail corridor[J]. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 2011, 45(3): 219-237
- [63] Zhou B, Kockelman K M. Self-selection in home choice: Use of treatment effects in evaluating relationship between built environment and travel behavior[J]. *Transportation Research Record*, 2008, 2077(1): 54-61
- [64] Salon D. Cars and the city: an investigation of transportation and residential location choices in New York City[M]. University of California: Davis ProQuest Dissertations Publishing, 2006
- [65] Ettema D, Nieuwenhuis R. Residential self-selection and travel behaviour: What are the effects of attitudes, reasons for location choice and the built environment?[J]. *Journal of Transport Geography*, 2017, 59: 146-155
- [66] Su S, Zhao C, Zhou H, et al. Unraveling the relative contribution of TOD structural factors to metro ridership: A novel localized modeling approach with implications on spatial planning[J]. *Journal of Transport Geography*, 2022, 100: 103308
- [67] Cardozo O D, García-Palomares J C, Gutiérrez J. Application of geographically weighted regression to the direct forecasting of transit ridership at station-level[J]. *Applied Geography*, 2012, 34: 548-558
- [68] Knaap G J, Ding C, Hopkins L D. Do Plans Matter? The Effects of Light Rail Plans on Land Values in Station Areas[J]. *Journal of Planning Education & Research*, 2001, 21(1): 32-39
- [69] Immergluck D. Large Redevelopment Initiatives, Housing Values and Gentrification: The Case of the Atlanta Beltline [J]. *Urban Studies*, 2009, 46 (8): 1723-1745
- [70] Mi D. Sletivity, spatial atororelation, and the valuation of transit acessibilitiy [J]. *Urban Sudies*, 2014, 10: 1177-1196
- [71] Feng Changchun, Li Weixuan, Zhao Fanfan. Influence of Rail Transit on Nearby Commodity Housing Prices: A Case Study of Beijing Subway Line Five[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2011, 66(8): 1055-1062 (冯长春, 李维瑄, 赵蕃蕃. 轨道交通对其沿线商品住宅价格的影响分析——以北京地铁5号线为例[J]. *地理学报*, 2011, 66(8): 1055-1062)
- [72] Fang Ran, Liu Yanfang. Study on the Influence on Housing Price around the Urban Rail Transit Stations——Case Studies on Wuhan Metro Line 2[J]. *Territory & Natural Resources Study*, 2014, 5: 1-5 (方然, 刘艳芳. 城市轨道交通对站点周边住宅价格的影响研究——以武汉市轨道交通2号线为例[J]. *国土与自然资源研究*, 2014, 5: 1-5)
- [73] Pan Haixiao, Zhong Baohua. The impact of metro on property price: A case study of Shanghai[J]. *Urban Planning Forum*, 2008, 2: 62-69 (潘海啸, 钟宝华. 轨道交通建设对房地产价格的影响——以上海市为案例[J]. *城市规划学刊*, 2008, 2: 62-69)
- [74] Renne J L, Tolford T, Hamidi S, et al. The cost and affordability paradox of transit-oriented development: A comparison of housing and transportation costs across transit-oriented

- development, hybrid and transit-adjacent development station typologies[J]. *Housing Policy Debate*, 2016, 26: 819-834
- [75] Su S, Zhang J, He S, et al. Unraveling the impact of TOD on housing rental prices and implications on spatial planning: A comparative analysis of five Chinese megacities[J]. *Habitat International*, 2021, 107: 102309
- [76] Lin J. Gentrification and transit in northwest Chicago[J]. *Journal of the Transportation Research Forum*, 2002, 56: 175-191
- [77] McIntosh J, Trubka R, Newman P. Can value capture work in a car dependent city? Willingness to pay for transit access in Perth, Western Australia[J]. *Transportation research Part A: policy and practice*, 2014, 67: 320-339
- [78] Chava J, Newman P. Stakeholder deliberation on developing affordable housing strategies: Towards inclusive and sustainable transit-oriented developments[J]. *Sustainability*, 2016, 8(10): 1024
- [79] Dong H. Rail-transit-induced gentrification and the affordability paradox of TOD[J]. *Journal of Transport Geography*, 2017, 63: 1-10
- [80] 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
- [81] Grube-Cavers A, Patterson Z. Urban rapid rail transit and gentrification in Canadian urban centres: A survival analysis approach[J]. *Urban Studies*, 2013, 52(1): 178-194
- [82] Dong H. If you build rail transit in suburbs, will development come?[J]. *Journal of the American Planning Association*, 2016, 82(4): 316-326
- [83] Lucas K, Jones P. Social impacts and equity issues in transport: an introduction[J]. *Journal of Transport Geography*, 2012, 21: 1-3
- [84] Montgomery J. Making a city: Urbanity, vitality and urban design[J]. *Journal of urban design*, 1998, 3(1): 93-116
- [85] Xiao L, Lo S, Liu J, et al. Nonlinear and synergistic effects of TOD on urban vibrancy: Applying local explanations for gradient boosting decision tree[J]. *Sustainable Cities and Society*, 2021, 72: 103063
- [86] Long Y, Huang C C. Does block size matter? The impact of urban design on economic vitality for Chinese cities[J]. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 2017, 46(3): 406-422
- [87] Ye Y, Li D, Liu X. How block density and typology affect urban vitality: An exploratory analysis in Shenzhen, China[J]. *Urban Geography*, 2018, 39(4): 631-652
- [88] Xu Y, Chen X. Quantitative analysis of spatial vitality and spatial characteristics of urban underground space (UUS) in metro area[J]. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 2021, 111: 103875
- [89] Xu Y, Chen X. The spatial vitality and spatial environments of urban underground space (UUS) in metro area based on the spatiotemporal analysis[J]. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 2022, 123: 104401
- [90] Michailof S G. Can Transit-Oriented Development Accommodate Preservation Goals: A Study of Historic Structures and Districts in the Vicinity of Washington's Metro Stations[D]. Baltimore: Goucher College, 2007
- [91] Renne J L, Listokin D. The opportunities and tensions of historic preservation and transit oriented development (TOD)[J]. *Cities*, 2019, 90: 249-262

- [92] Deilami K, Kamruzzaman M, Hayes J F. Correlation or causality between land cover patterns and the urban heat island effect? Evidence from Brisbane, Australia[J]. *Remote Sensing*, 2016, 8(9): 716
- [93] Elsayed I S M. Effects of population density and land management on the intensity of urban heat islands: A case study on the city of Kuala Lumpur, Malaysia[J]. *Application of geographic information systems*, 2012, 14: 267-283
- [94] Yildirim Y, Arefi M. How does mixed-use urbanization affect noise? Empirical research on transit-oriented developments (TODs)[J]. *Habitat International*, 2021, 107: 102297
- [95] Yildirim Y, Jones Allen D, Arefi M. How does transit-oriented developments (TODs) deviate noise pollution of buildings? A comparative study of TODs and non-TODs[J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2020, 27(20): 25390-25403
- [96] Gu P, He D, Chen Y, et al. Transit-oriented development and air quality in Chinese cities: A city-level examination[J]. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 2019, 68: 10-25
- [97] Passi A, Nagendra S M S, Maiya M P. Characteristics of indoor air quality in underground metro stations: A critical review[J]. *Building and Environment*, 2021, 198: 107907
- [98] Aftabuzzaman M, Currie G, Sarvi M. Exploring the underlying dimensions of elements affecting traffic congestion relief impact of transit[J]. *Cities*, 2011, 28(1): 36-44
- [99] Zhang M. Can transit-oriented development reduce peak-hour congestion?[J]. *Transportation research record*, 2010, 2174(1): 148-155
- [100] Choi K. The influence of the built environment on household vehicle travel by the urban typology in Calgary, Canada[J]. *Cities*, 2018, 75: 101-110
- [101] Gao J, Ma S, Li L, et al. Does travel closer to TOD have lower CO2 emissions? Evidence from ride-hailing in Chengdu, China[J]. *Journal of Environmental Management*, 2022, 308: 114636
- [102] Frank L D, Fox E H, Ulmer J M, et al. Quantifying the health benefits of transit-oriented development: Creation and application of the San Diego Public Health Assessment Model (SD-PHAM)[J]. *Transport policy*, 2022, 115: 14-26
- [103] Lanza K, Oluyomi A, Durand C, et al. Transit environments for physical activity: Relationship between micro-scale built environment features surrounding light rail stations and ridership in Houston, Texas[J]. *Journal of transport & health*, 2020, 19: 100924
- [104] Wang R, Lu Y, Wu X, et al. Relationship between eye-level greenness and cycling frequency around metro stations in Shenzhen, China: A big data approach[J]. *Sustainable Cities and Society*, 2020, 59: 102201
- [105] Kamruzzaman M, Giles-Corti B, De Vos J, et al. The life and death of residential dissonants in transit-oriented development: A discrete time survival analysis[J]. *Journal of Transport Geography*, 2021, 90: 102921
- [106] Sharifi A, Murayama A. Changes in the traditional urban form and the social sustainability of contemporary cities: A case study of Iranian cities[J]. *Habitat International*, 2013, 38: 126-134
- [107] Milan B F, Creutzig F. Lifting peripheral fortunes: Upgrading transit improves spatial, income and gender equity in Medellin[J]. *Cities*, 2017, 70: 122-134
- [108] Tian G, Ewing R, Weinberger R, et al. Trip and parking generation at transit-oriented developments: a case study of Redmond TOD, Seattle region[J]. *Transportation*, 2017, 44(5): 1235-1254

- [109] Rasouli S, Timmermans H. Using ensembles of decision trees to predict transport mode choice decisions: Effects on predictive success and uncertainty estimates[J]. *European Journal of Transport and Infrastructure Research*, 2014, 14(4): 412-424
- [110] Chen E, Ye Z, Wu H. Nonlinear effects of built environment on intermodal transit trips considering spatial heterogeneity[J]. *Transportation Research Part D Transport and Environment*, 2021, 90: 102677
- [111] Ding C, Cao X, Liu C. How does the station-area built environment influence Metrorail ridership? Using gradient boosting decision trees to identify non-linear thresholds[J]. *Journal of Transport Geography*, 2019, 77: 70-78
- [112] Janssens D, Wets G, Brijs T, et al. Improving performance of multiagent rule-based model for activity pattern decisions with Bayesian networks[J]. *Transportation Research Record*, 2004, 1894:75-83
- [113] Arentze T, Timmermans H. Parametric action decision trees: Incorporating continuous attribute variables into rule-based models of discrete choice[J]. *Transportation Research Part B: Methodological*, 2007, 41(7):772-783
- [114] Kim S, Rasouli S, Timmermans H, et al. Estimating panel effects in probabilistic representations of dynamic decision trees using bayesian generalized linear mixture models[J]. *Transportation Research Part B Methodological*, 2018, 111:168-184
- [115] Dubé J, Thériault M, Des Rosiers F. Commuter rail accessibility and house values: The case of the Montreal South Shore, Canada, 1992-2009[J]. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 2013, 54: 49-66
- [116] Duncan M. The synergistic influence of light rail stations and zoning on home prices[J]. *Environment and Planning A*, 2011, 43(9): 2125-2142
- [117] Church R L, Clifford T J. Discussion of “Environmental Optimization of Power Lines” [J]. *Journal of the Environmental Engineering Division*, 1979, 105(2): 438-439
- [118] Current J R, ReVelle C S, Cohon J L. The hierarchical network design problem[J]. *European Journal of Operational Research*, 1986, 27(1): 57-66
- [119] Gendreau M, Laporte G, Mesa J A. Locating rapid transit lines[J]. *Journal of Advanced Transportation*, 1995, 29(2): 145-162
- [120] MTR system Planning. University of Calgary, 1988, 3(51): 24-17
- [121] Brandeau M L, Chiu S S. An overview of representative problems in location research[J]. *Management science*, 1989, 35(6): 645-674
- [122] Zhang K, Liu D, Yu L, et al. Rail transit corridor design modeling based on TOD project development[J]. *International Journal of Electrical Engineering Education*, 2021: 002072092199977
- [123] Yang L, Song X. TOD Typology Based on Urban Renewal: A Classification of Metro Stations for Ningbo City[J]. *Urban Rail Transit*, 2021, 7(3): 240-255
- [124] Wey WM. Smart growth and transit-oriented development planning in site selection for a new metro transit station in Taipei, Taiwan[J]. *Habitat International*, 2015, 47: 158-168
- [125] Sun Hongfei. Research on the Problem of the Urban Rail Transit Station’s Location[D]. Lanzhou: Lanzhou Jiaotong University, 2014 (孙宏飞. 城市轨道交通站点选址问题研究[D]. 兰州: 兰州交通大学, 2014)
- [126] Bammi D, Bammi D, Paton R. Urban planning to minimize environmental impact[J]. *Environment and Planning A*, 1976, 8: 245-259

- [127] Dokmeci V F, agda G, Tokcan S. Multiobjective land-use planning model[J]. *Journal of Urban Planning and Development*, 1993, 119: 15-22
- [128] Lin J J, Feng CM. A bi-level programming model for the land use-network design problem[J]. *Annals of Regional Science*, 2003, 37: 93-105
- [129] Ridgley MA, Giambelluca TW. Linking water-balance simulation and multiobjective programming: land use plan design in Hawaii[J]. *Environment and Planning B*, 1992, 19: 317-336
- [130] Feng CM, Wei KC, Hung CH. Integrated analysis of transportation and resource usage by multi-objective programming[J]. *Journal of Management Science*, 1989, 6: 27-44
- [131] Walker W, Gao S, Johnston R. UPlan: Geographic Information System as Framework for Integrated Land Use Planning Model[J]. *Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board*, 2007, 1994: 117-127
- [132] Gregor B. Land Use Scenario Developer: Practical Land Use Model Using a Stochastic Microsimulation Framework[J]. *Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board*, 2007, 43: 93-102
- [133] Cottrell W D. Transforming a bus station into a transit-oriented development improving pedestrian, bicycling, and transit connections[J]. *Transportation Research Record*, 2007, 2006: 114-121
- [134] Dunphy R T, Porter D R. Manifestations of development goals in transit-oriented projects [J]. *Transportation Research Record*, 2006, 1977: 172-178
- [135] Feng CM, Chang CY. A transit-oriented land use model[J]. *Transportation Planning Journal*, 1993, 22: 429-444
- [136] Kaneko Y, Fukuda A. A location control model for transit-oriented development[J]. *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 1999, 3: 137-148
- [137] Ma X, Chen X, Li X, et al. Sustainable station-level planning: An integrated transport and land use design model for transit-oriented development[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2018, 170: 1052-1063
- [138] Chen Wei, Jiao Hongzan, Wang Tao. Corridor TOD land use genetic algorithm optimization model[J]. *Engineering Journal of Wuhan University*, 2020, 53(11): 995-1005 (陈威, 焦洪赞, 王涛. 廊道式 TOD 土地利用遗传优化模型[J]. 武汉大学学报(工学版), 2020, 53(11): 995-1005)
- [139] Yan L, Guo H L, Li H, et al. Transit-Oriented Land Planning Model Considering Sustainability of Mass Rail Transit[J]. *Journal of Urban Planning & Development*, 2010, 136(3): 243-248
- [140] Wang Huibin, Song Rui, Chen Qiang. Urban Land-use Optimizing Model Based on Transit Oriented Development[J]. *Transport Standardization*, 2009(17): 23-26 (王会彬, 宋瑞, 陈强. 以公交为导向的城市土地利用优化模型研究[J]. 交通标准化, 2009(17): 23-26)
- [141] Lu Hao, Luo Xia. Optimization Model of Land Use Surrounding Rail Transit Stations Based on TOD[J]. *China Transportation Review*, 2020, 42(01): 38-43 (路昊, 罗霞. TOD 模式下轨道交通站点周边土地利用优化模型[J]. 综合运输, 2020, 42(01): 38-43)
- [142] 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: 353-360
- [143] Lin J J, Li C N. A grey programming model for regional transit-oriented development planning[J]. *Papers In Regional Science*, 2008, 87: 119-138
- [144] He Ning, Li Bin. Network Analysis and Planning of Urban Express Rail[J]. *Urban Planning Review*, 1997(3): 59-63 (何宁, 李彬. 城市快速轨道的网络分析和规划[J]. 城市规划汇刊, 1997(3): 59-63)

- [145] Li Bin, Li Tao, Yang Dongyuan. On Urban Mass Transit Network Planning[J]. *Urban Mass Transit*, 2002(4): 39-42 (李彬, 李涛, 杨东援. 城市轨道交通线网规划方法探讨[J]. 城市轨道交通研究, 2002(4): 39-42)
- [146] Ye Xiafei, Gu Baonan. Urban rail transit planning and design[M]. Beijing: China Railway Press, 1999 (叶霞飞, 顾保南. 城市轨道交通规划与设计[M]. 北京: 中国铁道出版社, 1999)
- [147] Saka A A. Model for determining optimum bus-stop spacing in urban areas[J]. *Journal of Transportation Engineering*, 2001, 127(3): 195-199
- [148] Chien S I, Qin Z. Optimization of bus stop locations for improving transit accessibility[J]. *Transportation planning and Technology*, 2004, 27(3): 211-227
- [149] Tan Yu. Research on Planning and Design Theory of Rail Transit Hub[D]. Shanghai: Tongji University, 2002 (覃裔. 轨道交通枢纽规划与设计理论研究[D]. 上海: 同济大学, 2002)
- [150] Xu Hao, Shi Chao. An optimal model for urban-rail station spacing[J]. *China Science and Technology Information*, 2006, 5(2): 119-120 (徐浩, 施超. 城市轨道交通站点设置优化模型[J]. 中国科技信息, 2006, 5(2): 119-120)
- [151] Wei Jinli. Study on Distributing Station in Urban Rail Transit Line[D]. Xi'an: Chang'an University, 2006 (魏金丽. 城市轨道交通线路站点布设研究[D]. 西安: 长安大学, 2006)
- [152] Sheng Zhaohan, Cao Xin. Basic course of optimization method[M]. Nanjing: Southeast University Press, 1992 (盛昭瀚, 曹忻. 最优化方法基本教程[M]. (南京: 东南大学出版社, 1992)
- [153] Xiao Qiuying. Research on Transit-oriented Development Land Use Evaluation and Optimal Allocation[D]. Chongqing: Chongqing Jiaotong University, 2020 (肖秋盈. 基于TOD导向的土地利用评价及优化配置研究[D]. 重庆: 重庆交通大学, 2020)
- [154] Knowles R D, Ferbrache F, Nikitas A. Transport's historical, contemporary and future role in shaping urban development: Re-evaluating transit oriented development[J]. *Cities*, 2020, 99: 102607
- [155] Mukhamedjanov A, Kidokoro T, Seta F, et al. Reshaping the concept of transit-oriented development in response to public space overheating near the transit nodes of Tokyo[J]. *Cities*, 2021, 116: 103240
- [156] Liang Y, Du M, Wang X, et al. Planning for urban life: A new approach of sustainable land use plan based on transit-oriented development[J]. *Evaluation and Program Planning*, 2020, 80: 101811
- [157] Bowes D R, Ihlanfeldt K R. Identifying the Impacts of Rail Transit Stations on Residential Property Values[J]. *Journal of Urban Economics*, 2001, 50: 1-25

First author: SU Shiliang, PhD, professor, specializes in spatiotemporal modeling and visualization. E-mail: shiliangsu@whu.edu.cn

Foundation support: The Open Fund of Key Laboratory of Urban Land Resources Monitoring and Simulation, Ministry of Natural Resources (KF-2020-05-021); the National Key Research and Development Plan (2018YFF0215006) and the Fundamental Research Funds for the Central Universities (2042021kf0204).