

城市实验室：基于新数据、新要素及新路径的批判与展望

龙 瀛 张恩嘉

City Laboratory: Criticism and Prospect Based on New Data, New Elements, and New Pathways

LONG Ying, ZHANG Enjia
(School of Architecture, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract Over the past decade, disruptive technologies have profoundly impacted various aspects of cities, changing the methods, subjects, and pathways of urban research and practice, and reshaping the connotation and extension of the concept of city laboratory. Based on the development of disruptive technologies in the Fourth Industrial Revolution, this paper analyses the influence of disruptive technologies on the research of city laboratory from the perspectives of methodology, ontology, and practice and also criticizes the limitations of current studies in terms of data analysis, research perspectives, and practical applications. This paper further proposes and anticipates, through practical cases, the potential, future development trends and opportunities of city laboratory in developing active urban sensing methods, studying new lifestyles and spatial structures, and empowering planning, design, and management policies through digital innovation technologies. Finally, we call for the integration of the above three new opportunities to address new urban spatial problems and challenges such as urban renewal and shrinking cities under the background of socioeconomic development, aiming to provide new perspectives and references for the development of disciplines related to human settlement environment.

Keywords disruptive technology; city laboratory; urban science; active urban sensing; reshaped urban space; digital innovation

摘要 过去十年间，颠覆性技术深刻地影响了城市各个方面，改变了城市研究与实践的方法、对象及路径，也对城市实验室这一概念的内涵与外延进行了重塑。文章基于第四次工业革命颠覆性技术的发展，从方法论、本体论及实践论层面分析了颠覆性技术对城市实验室研究工作的影响并批判了目前研究在数据分析、研究视角及实践应用方面的局限，进而通过实际案例提出并展望了城市实验室在发展主动城市感知方法、研究新的生活方式和空间结构以及通过数字创新技术赋能规划设计和管理的潜力、未来发展趋势及机遇。最后，文章呼吁整合以上三种新机遇解决社会经济发展背景下的城市更新、收缩城市等城市空间新问题和新的挑战，以期为人居环境相关学科的发展提供新的视角和参考。

关键词 颠覆性技术；城市实验室；城市科学；主动城市感知；空间重塑；数字创新

1 引言

回顾城市发展历史，每一次工业革命就是一个转折点，伴随着技术演进，城市研究和实践的方法与手段不断革新。将城市视为研究对象的思想被广泛地应用到城市研究和城市科学的发展中。一些学者强调新技术发展对城市形态的影响，提出了田园城市、邻里单元、明日之城、边缘城市等城市形态理论；一些学者则从研究方法的角度发展了用于城市社会经济演变模拟和分析的重力模型、投入-产出模型、元胞自动机等定量分析模型。

作者简介

龙瀛、张恩嘉，清华大学建筑学院。

近年来,在第四次工业革命的背景下,信息通信技术、大数据、无人驾驶、机器人、人工智能等前沿科技蓬勃发展。这些颠覆性技术不仅影响了城市相关教育、科研和实践工作者的工作与思维方式,也重新定义了城市空间和日常生活,塑造了城市的未来(Mitchell, 2000)。城市开始面临新的机遇和挑战。在此背景下,以圣塔菲研究所、UCL 高级空间分析中心、MIT 感知城市实验室、斯坦福城市信息学实验室、ETH 未来城市实验室、北京城市实验室为代表,将城市视为实验室的研究中心和机构逐渐崭露头角,其目标是通过利用数据、计算等前沿技术认知和解决城市问题,提高城市的可持续性、运行效率和居民生活质量。本文旨在厘清城市实验室的概念、特征及其在第四次工业革命中的发展机遇,并通过对城市实验室当下和过去十年研究工作的批判性分析,展望城市实验室如何利用新的发展契机开展研究及实践(龙瀛、张恩嘉, 2021),以期为人居环境相关学科的发展提供新的思路 and 参考。^①

2 城市实验室的概念

城市实验室是一种将城市视为实验室,通过数据分析、创新研究和实地试验来改善城市规划、设计、管理的科学研究与实践框架。^②其概念起源于与生物实验室的类比,生物实验室的研究方法和思维方式也可被应用到城市分析与研究中(Kohler, 2002)。芝加哥学派(Chicago School, 1918—1932)是最早将城市视为实验室的组织(Park, 1929; Smith and White, 1929),该学派将芝加哥城市作为研究对象和分析地点,通过标准化单元的数据收集与分析,描述与解释城市扰动和适应、竞争和演替的动态发展理论(Gieryn, 2006)。随着城市面临越来越复杂的挑战,越来越多的学者使用“实验室”一词来描述城市研究和实践(Waste, 1987)。肯普和斯科尔(Kemp and Scholl, 2016)对城市实验室的定义做了进一步的界定,强调城市实验室作为一种城市生活实验室(urban living lab)更关注地方管理和规划过程的创新,比设计实验室(design lab)更强调技术应用和制度创新,比创新中心(innovation hubs)更关注规划过程和解决城市挑战及社会问题。城市实验室有潜力成为了解城市规划新形式以及加强地方城市规划过程创新潜力的工具(Kemp and Scholl, 2016),扮演着提供者、赋能者、使用者和推动者的不同角色(Capdevila, 2015),并涉及具体的城市情景,立足于城市的演变和变化,同时关注偶然性和持续性要素(Karvonen and Van Heur, 2014)。然而,城市的开放性和复杂性使得基于城市的研究难以实现严格的控制变量与对照实验,因此,相关研究学者认为,城市实验室与生物实验室相似,相较于化学实验室、物理实验室等而言,兼具田野工作(field-site)和实验室(laboratory)的特征,既具备被自然观察的特点,也能被改变、干预和创造,研究结果既具有在地性和特殊性,也具有一定的普适性和推广性(Gieryn, 2006; Karvonen and Van Heur, 2014)。

综合而言,城市实验室的核心内涵包括:①城市环境是其研究对象和地点,真实城市环境的系统开放性对研究和实践的影响更加复杂;②数据与空间分析计算和基础理论知识是其支撑,用以分析城市各要素的时空关系与变化规律;③城市规划设计实践和政策优化是其应用(图 1)。

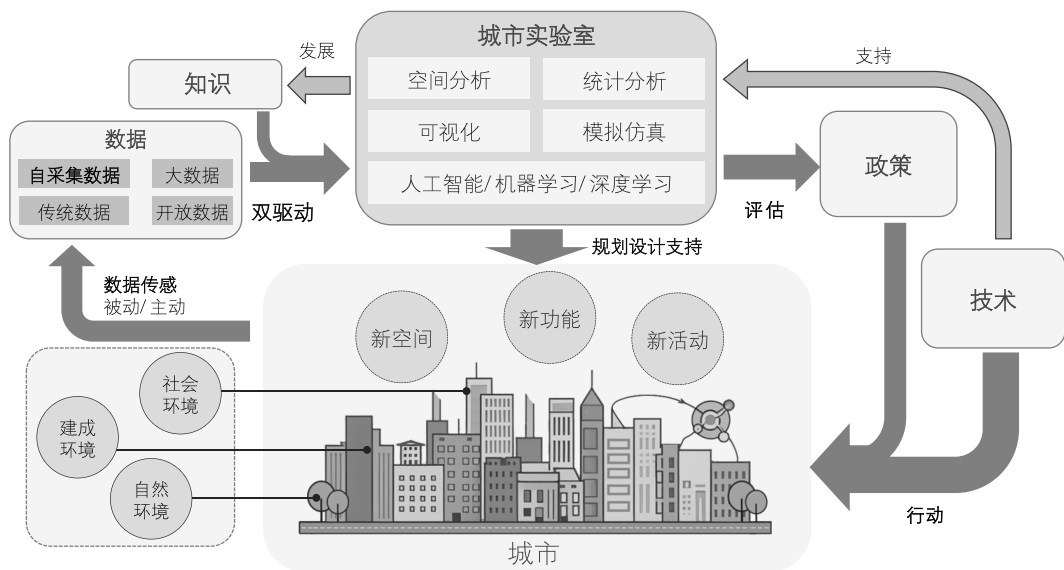


图1 城市实验室概念示意

资料来源：改绘自 Long and Zhang (2024)。

研究对象方面，城市实验室将城市视为科学研究的特定城市环境空间，涵盖建成环境、自然环境和社会环境三个方面。建成环境指城市中的人造空间，如地面铺装、建筑物等；自然环境包括噪声水平、光照程度及空气质量等；社会环境则关注个体属性及其在城市中的各类活动，包括人群的性别、年龄、社会经济水平、出行及活动等。

研究方法方面，在基础理论知识的指导下，数据的收集与分析为认识城市的动态发展及特征提供了实证依据。第四次工业革命带来的技术进步给城市研究提供了数据和方法层面的新机遇。城市运行中产生的大量数据，如高分辨率的遥感影像、街景图片、各类交通工具产生的活动轨迹、手机应用中的用户评论等，为城市实验室的分析和研究提供了精细化的视角（龙瀛、刘伦，2017）。城市实验室通过空间分析、统计分析、可视化、模拟仿真、机器学习和深度学习等一系列技术方法对城市建成环境、自然环境及社会环境的数据进行分析，将数据与现有研究整合，验证、更新或拓展已有的知识体系，从而为城市科学的发展奠定基础。

实践应用方面，城市实验室不仅通过现状和历史数据分析评估政策及规划实践情况来直接支持城市规划、设计、管理政策的制定，还基于数据分析和研究支持城市领域基础知识的发展，从而通过新知识进一步推动城市规划及设计实践和政策制定更好地匹配新时代的需求（龙瀛、张恩嘉，2019）。

本文关注城市实验室在第四次工业革命背景下的发展趋势和特征，强调利用新数据和新计算方法，以城市（空间）为实验对象，通过实证观察、诊断、分析、模拟等技术手段，支持城市理论发展，用

以支撑实践应用。相较于传统城市研究的方法和视角而言，本文关注的新时期的城市实验室的主要特征体现在：①主动收集数据并基于新技术手段研究和认识城市；②关注时代发展情景及需求变化趋势；③利用数字创新技术开展实践应用。具体来讲，在研究方法层面，除了数字化附带的新兴数据以外，各类传感器的发展为主动城市感知提供了新机遇，结合人工智能的发展为城市研究提供了方法论层面的积极影响。在研究对象层面，一系列颠覆性技术改变了城市生活和城市空间，新空间、新功能和新活动在城市中大量涌现，诸如“城市是什么”“城市具有怎样的功能”“城市扮演怎样的角色”等城市本体论层面的研究问题不断涌现，这体现了技术对城市本体论层面的影响。在城市规划及设计实践层面，新兴技术为规划及设计工作者提供了新的规划及设计方法和流程，为城市空间实践提供了空间干预以外的新思路和方法，这体现了新技术对城市实践论层面的影响。接下来，本文将围绕以上三个方面展开。

3 新数据：基于主动城市感知的数据获取新方式

3.1 新数据环境背景下的研究机遇及局限

以大数据与开放数据为代表的新数据环境的诞生给城市研究带来新机遇，推动城市研究进入数据密集型的第四代科研范式（Hey *et al.*, 2009）。相较于传统城市研究使用的如政府报告、统计年鉴等更新频率及空间精度较低的数据，高时空分辨率的新数据为城市实验室提供了从空中（如白天及夜晚遥感影像等）和地面（如街景图片等）认知建成环境与自然环境，以及通过社会感知（如手机轨迹、公交刷卡数据等）认知社会环境的机遇（Liu *et al.*, 2015）。在此背景下，数据密集型科研范式成为继经验科学、理论科学、计算科学（模拟仿真）之后的第四代科研范式，其显著特征是基于人工智能、统计学、数据挖掘、模式与异常检测等技术分析时间高频、空间高精度（大）数据。北京城市实验室作为国内城市规划领域大数据分析研究方面的先驱之一，曾使用各类活动数据精准识别城市空间模式、刻画人群行为特征。例如，基于百度人口数据识别中国鬼城（Jin *et al.*, 2017），利用滴滴出行数据识别中国功能性城市地域（Ma and Long, 2020），根据美团消费数据划定多个城市商圈^③，通过公交刷卡记录刻画北京通勤特征（Long and Thill, 2015），使用摩拜单车数据评价城市可骑行性（Zhang *et al.*, 2023），以及借助咕咚运动数据分析中国主要城市休闲性体力活动（Chen *et al.*, 2022）等。

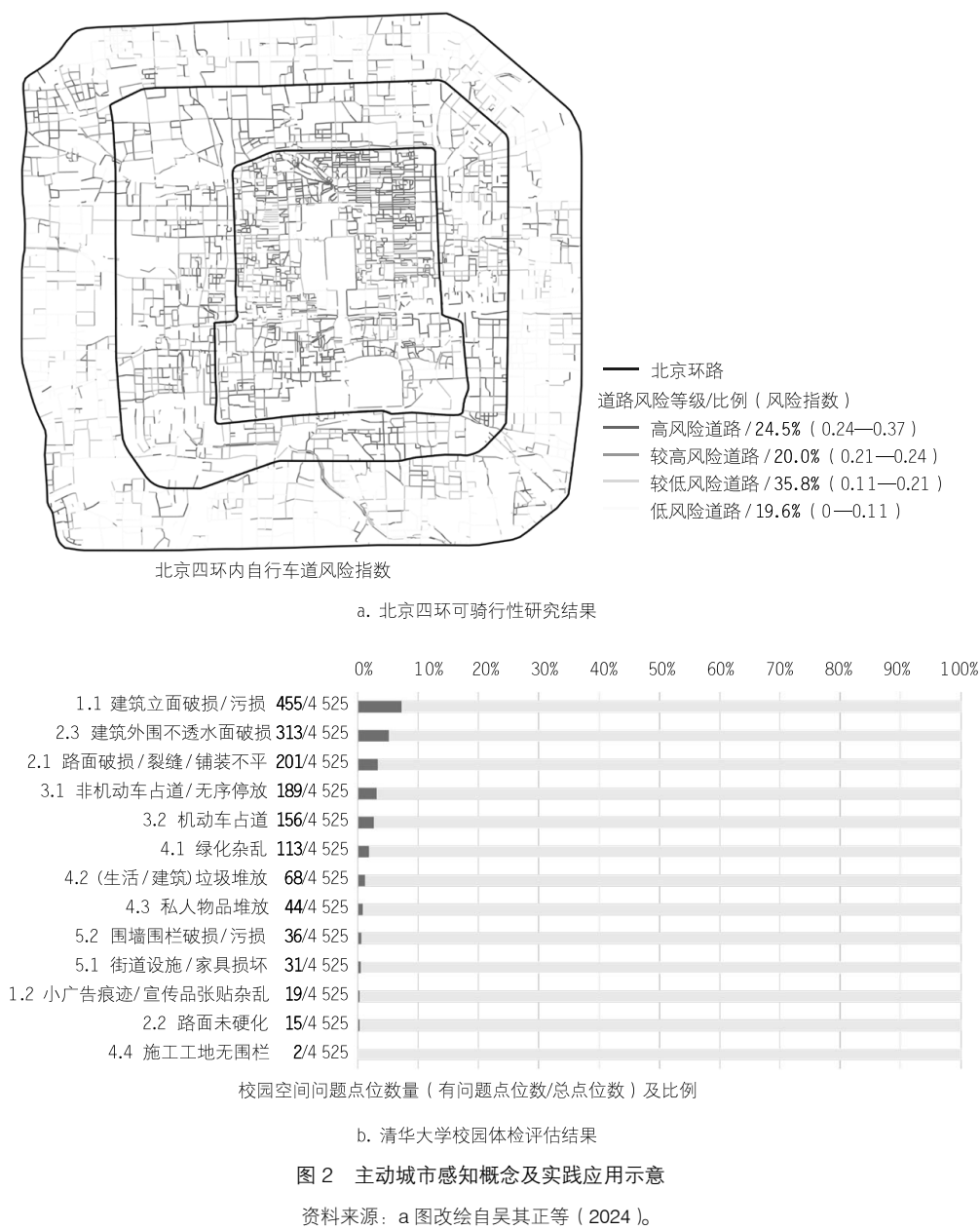
然而，既有大数据仍存在数据空间分辨率不足、时效性不够、覆盖度有限、匹配度不高等方面的局限。首先，数据分辨率方面，尽管许多数据已达到街道和地块尺度，但少有数据能达到建筑物或更精细尺度。例如，手机数据通常以基站（间距平均为 200 米）为尺度；公共交通刷卡数据以公交站为粒度（间距约 500 米）；遥感数据尽管最小分辨率可达 0.5 米，但高精度遥感的使用通常受到国家法规的限制，在实际分析场景中常为 30 米或 90 米。其次，数据时效性方面，多数用来刻画建成环境的影像数据更新频率较低。例如，近年来最常被使用的街景图片，全国实体城市中仅有 1.14% 的街景图片

是在 2021 年及以后拍摄的^④；开放遥感影像多为至少一年之前拍摄；而原本更新频率较高的社会感知数据，如手机信令及公交刷卡等数据，受隐私保护、数据购买及合作周期等约束，通常不能兼顾时间和空间范围的高精度。再次，数据覆盖度方面，由于城市之间设施服务水平的差异，数据的覆盖度也存在显著差异。例如，小城市、乡镇和偏远地区通常缺乏相关数据或现有数据老旧且分辨率不足、更新不及时等。最后，数据匹配度方面，由于一些数据并非专门为城市研究工作量身定制，而是在其他运营过程中产生的，因此，数据属性与研究需求存在错配。例如，手机数据是在运营商服务过程中产生的附加产物、副产品或增值服务，因此，有关人群个人属性（如收入、职业、家庭关系等）缺乏，限制了更具针对性的控制实验和分析研究。

3.2 主动城市感知：数据获取新方式

为解决以上问题，本研究团队提出了“主动城市感知”（active urban sensing）这一主动获取数据的方法框架和流程，为补充现有大数据提供了一种解决方案。具体来讲，主动城市感知以工程、研究及教学需求为目的搭建数据采集平台，通过固定感知、移动感知及耦合感知的框架，主动收集城市建成环境、自然环境和社会环境数据，以提升数据的精度、时效性、覆盖度及匹配度。固定感知采用构建监测站的方式，设置若干固定监测站点，实现对高频变化要素（如社会环境）的实时监测，关注传感器的布局选址及数量；移动感知通过无人机、车队、骑行者、行人等传感器载体实现对低频变化要素（如建成环境）的大范围监测，强调路径规划及载体选择；耦合感知则同时设置固定感知和移动感知模式，通过两者数据的耦合实现对监测要素环境场的构建，关注数据和知识双驱动的环境场的构建，主要针对知识体系相对完善的自然环境的感知（Hao *et al.*, 2023）。主动城市感知的关键技术包括传感器选择、感知方式、传感器布置及后续的数据融合处理分析。在实际研究和工程项目中，主动城市感知的主要流程包括研究范围确定、采集指标明确、采集平台搭建、感知方案制定、数据处理分析及结果可视化等。

本文通过北京城市实验室的西宁城市更新评估项目、北京四环可骑行性研究工作以及清华大学校园体检评估工作，介绍以摄像头移动感知为主的主动城市感知在实际研究和实践项目中的应用。^⑤三个项目分别以汽车、自行车、电动车/自行车为载体搭建 GoPro 等环境传感器，采集了西宁市主要城市道路、北京四环内城市道路以及清华大学校园内部道路的影像数据，然后通过视频抽帧的方式提取图片并与 GPS 点位进行匹配，获取观测点的多视角图像数据，从而基于图像深度学习和人工审计的方法实现对城市更新、道路可骑行性及校园环境等的评估。西宁城市更新评估项目通过对建筑、沿街商业、环境绿化、道路、基础设施的评估诊断城市空间问题，支持城市政策和规划的制定；北京四环可骑行性研究通过对动态及静态的自行车骑行环境风险因素识别，发现交通拥堵和自行车安全隐患要素，支持城市骑行环境的优化（吴其正等，2024）；校园体检评估通过对建筑立面、道路质量、道路使用、绿化环境及基础设施的定量评估，辅助校园环境的问题诊断和优化（图 2）。



随着各类技术的发展，主动城市感知具有较大的发展前景。首先是传感器选择方面，建成环境虚拟审计与在线系统性社会观察辅助调研工具如路见、猫眼象限，采集设备如 Wi-Fi 探针、眼动仪、无

人机、打猎相机、穿戴式设备等,都具有开阔的应用场景。^⑥其次是感知方式及传感器布置方面,基于无人机的数据采集方式也会进一步拓展为无人机、无人驾驶、机器人等耦合的自动化移动感知;基于APP的城市实验,采用随机对照试验的方法实现动态的个体选择和心理活动感知。^⑦最后是数据融合处理分析方面,许多支持数据分析的新方法也在发展,包括数据可视化工具,如 Tableau、Power BI、自然语言处理、计算机视觉与深度学习模型等,都将辅助城市研究者“测度不可测度”(measuring the unmeasurable)(Ewing and Handy, 2005),从而通过先进的传感技术和计算能力,更准确地测量并分析城市脏乱差、自行车风险等日常问题,为城市规划和管理提供更科学、可持续的解决方案。

4 新要素:基于技术进步重塑城市的研究新视角

4.1 新技术对个体行为与城市空间的影响及研究局限

新技术的发展不仅提供了新的数据和方法,更重要的是从本体论层面影响着城市。这不仅体现在多任务、碎片化、屏幕使用、远程办公等个体活动层面(李春江、张艳, 2022),也体现在无人工厂、共享经济、线上线下融合(online to offline, O2O)服务等服务层面(张恩嘉、龙瀛, 2022),还体现在共享居住、共享办公、直播基地、外卖工厂等新的空间形式层面(罗震东等, 2022)。MIT 建筑学院前院长米切尔(Mitchell, 2000)在21世纪初通过展望远程办公、远程及灵活布局的服务、在场经济等生活形式,强调了信息通信技术对人们传统日常生活的重塑以及对公共场所、乡镇和城市的重构。未来学者凯利(Kelly, 2016)关注信息通信技术、脑机接口等颠覆性技术对人们生活方式与合作组织形式的影响,强调数字技术对物品和信息使用方式的重新定义以及对共享、互动等新活动方式的构建,进而强调其对人们记录生活、认知和参与世界方式的重构。国内建筑批判学者、清华大学周榕(2016)则从空间的视角提出了“硅基城市”的概念,认为未来城市是碳基和硅基的混合体,城市深处的魅力将被数字信息发掘。英国皇家科学院院士巴蒂(Batty, 2018)更多关注技术进步对城市空间理论的影响,通过实证分析探讨新城市科学视角下的若干城市原则,鼓励城市规划、设计和研究者更新传统城市理论以适应新时代的发展需求。

然而,目前针对城市空间的研究更多关注基于新数据对传统城市问题和现象的讨论,而对城市本体论层面变化的新城市的研究相对较少。此外,受新技术的普遍性和深入程度的影响以及数据可获取性的约束,以往与新城市相关的研究也存在尺度、方法及领域等方面的局限性。在研究尺度方面,以往研究以区域层面和城市整体结构为主,强调新技术对区域联系、城市结构集中与分散等方面的影响,而对城市内部及个体行为空间的研究相对较少;在研究方法方面,以往研究以个案研究和理论展望为主,基于数据分析和模拟的实证研究较少;在研究领域方面,以往研究更关注信息化对企业的全球和区域布局、跨区域旅游和出行的影响,且更多受经济、社会、教育、旅游等领域学者的关注。近年来,随着信息通信技术对城市空间形态及功能的影响逐渐凸显,针对居住、交通、游憩、服务等各个方面

的研究开始兴起，但仍然处在初级阶段，尚未形成学术共识和城市空间新理论。

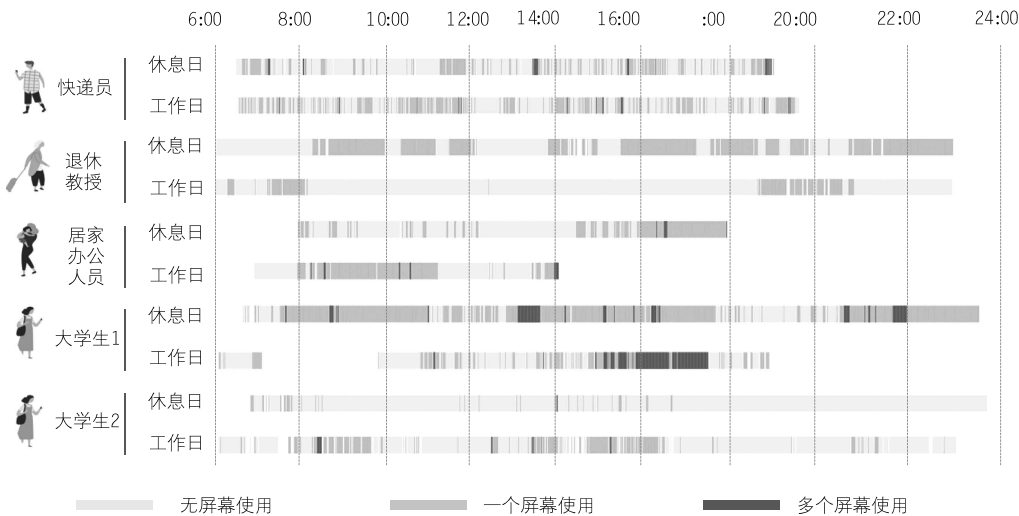
4.2 针对新行为与新空间的研究：城市研究新视角

近年来，越来越多的学者开始关注城市内新的居住、工作、交通、游憩及服务方式，例如，对远程办公、共享办公、第三空间办公等灵活办公方式的关注，对以短租、长租等形式存在的共享居住模式的探讨，对共享单车、共享电单车、共享滑板车等共享微出行影响的分析，以及对外卖、线上线下服务、无人超市等新兴服务形式的探索等。

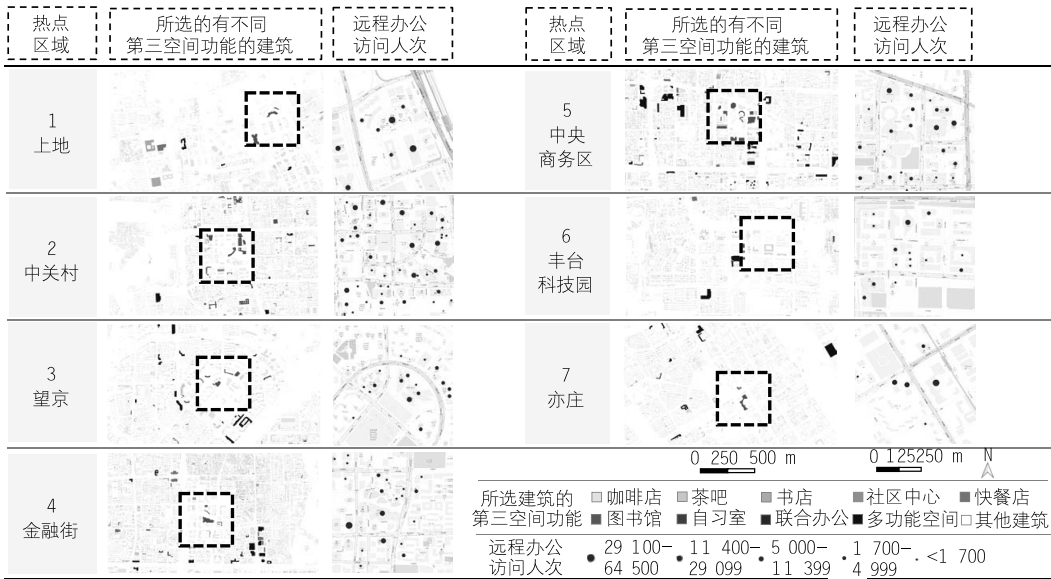
国内一些学者和团队也关注新技术对城市生活与空间的影响。例如，南京大学甄峰团队一直致力于研究信息通信技术对城市的影响，尤其是对城市空间结构的影响；同济大学王德团队和北京大学柴彦威团队则关注人们 24 小时日常生活的虚实空间及时空间行为规划（柴彦威等，2022；罗震东等，2023；王德、蔚丹，2023）；中山大学李郁团队一直研究机器替代人类的现象（秦小珍等，2021）；南京大学罗震东团队则专注于研究淘宝村和外卖工厂，探讨物流系统和食物系统在城市中的空间重组（罗震东等，2022）；武汉大学牛强团队研究数字时代 O2O 新兴业态（牛强等，2022）。尽管新技术在出现的初期总会受到一些批判，但我们应当高度重视第四次工业革命对城市重塑，并顺应时势，趋利避害，善用新技术的有益方面，进行借鉴、拥抱和呼吁；对于不利的方面，则需要进行调整和修正。

北京城市实验室近年来也关注新技术对个体行为和城市空间的影响，围绕城市中涌现的新要素空间，与腾讯每两年发布一次《未来城市空间 WeSpace》报告[®]，关注技术发展趋势下的城市居住、工作、交通、游憩行为及空间组织形式（龙瀛等，2023）。此外，其通过系统性文献综述分析信息通信技术对城市空间影响的量化研究进展、数字化对城市低碳的影响（李文竹、梁佳宁，2023）等。在实证研究方面，北京城市实验室一方面探索了新的活动方式，例如，利用穿戴式相机研究人们的屏幕使用行为，探讨屏幕使用的日常模式及其与用户身份、使用时间和场景等因素的关系（Su *et al.*, 2024）；通过 AnyLogic 多智能体模型模拟校园末端物流无人化场景，识别末端物流现状需求和潜力空间、进行多情景比选及多层次空间规划应对，实现校园物流无人化情景模拟和对应措施的规划设计。另一方面，北京城市实验室通过定量分析识别和刻画了新的空间使用与功能组织模式，例如，利用手机信令和其他多源数据识别远程办公的第三空间，并探索其受欢迎程度与建成环境的关系（Li *et al.*, 2024）（图 3）；基于多年大众点评 POI 数据，识别水平和垂直渗透的城市休闲消费空间的布局及发展趋势，并分析其形成机制和影响要素（张恩嘉、龙瀛，2024）。

中国由于其信息通信技术影响深刻而呈现出更加显著的个体行为和空间结构重塑的特征。因此，针对中国的新城市行为与空间的研究，不仅具有国内的领先地位，还具有国际的启发意义。尽管如此，目前的研究更多关注对新行为和空间现象的识别与刻画，尚未形成数字时代的城市空间新理论。因此，相关研究应关注新的空间对象和研究议题，不断发展和更新城市空间理论，进而更新面向未来的规划设计规范和原则。此外，新技术发展引导的新行为与空间也会带来新的空间问题和挑战。例如，Airbnb 的发展带来管理边界模糊、绅士化现象、邻里矛盾、安全风险等问题。因此，针对新行为和空间的负



a. 屏幕使用研究



b. 第三空间远程办公研究

图 3 针对新个体行为及新活动空间的研究

资料来源：a 图改绘自 Su et al. (2024); b 图改绘自 Li et al. (2024)。

外部性的研究也需提上日程。例如，新时代的空间分异和社会公平问题、城市空间碎片化和商业渗透带来的邻里矛盾、公共空间的使用和公共性、网红空间的交通组织和消防问题等。面对这些变革和挑战，规划设计者、建筑设计师、室内设计师和城市科学研究者将会迎来更多机会。

5 新路径：数字创新赋能的城市空间设计新方法

5.1 空间干预为核心、场所营造为支撑的传统空间设计方法

空间干预作为创造性设计的主要手段，一直是城市设计、建筑设计、室内设计、产品设计等设计领域教学和实践的核心与基础。设计师通过对空间的形状、尺寸、密度、材质等要素进行干预，塑造出不同的功能空间和边界，为各类活动的开展提供空间载体。然而，空间给人的感知和形象除了物质空间要素外，还依赖人们在空间中参与的活动所带来的归属感和亲切感。因此，一些设计师采用参与式设计或共创的形式，让人们参与到空间的设计、改造和使用等各个阶段，以此加强人们对空间的感知和认同。随着数字技术的成熟，以数字中台为核心的数字城市和智慧城市建设成为新的城市建设趋势。建筑信息模型（Building Information Modeling, BIM）及城市信息模型（City Information Modeling, CIM）通过传感器与执行器联动的硬件及软件设施，提供了用以交互、监测和管理的工具与平台。

然而，目前针对新技术支撑下的智慧城市规划设计，更多强调规划设计流程中数字工具的应用或者强化空间感知和平台管理的能力，即更侧重于软件应用和软技术解决方案在支撑城市管理智慧化方面的作用，与城市规划开发建设的实际结合并不紧密。空间干预作为规划设计的核心手段，其更新频率相对较低，调整成本也相对较高，同时场所营造也需要规划师、设计者、管理者等对活动者的活动进行现场引导，且难以获取活动者长时间连续性的使用情况反馈，从而限制了空间干预优化的针对性和精准性。因此，结合空间干预和场所营造的新技术解决方案，能够更好地实现智慧城市的空间投影，支撑规划设计的实践应用。

5.2 数字创新赋能的面向未来的智慧空间设计实践

本文呼吁软硬件结合的空间设计方法，并将这些用于赋能空间干预和场所营造的数字技术称为“数字创新”（张恩嘉、龙瀛，2020）。城市规划及设计者可以通过空间干预、场所营造和数字创新结合的手段，打造韧性、灵活、自适应的互动空间。其中，空间干预是基础，在良好的物质空间设计基础上，场所营造和数字创新是锦上添花。相反，如果空间干预设计不当，场所营造和数字创新的作用将极其有限。

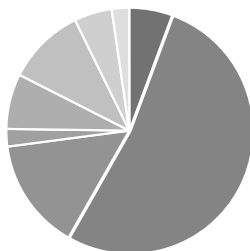
北京城市实验室也曾通过系统性研究和实践参与，深入认识和探索数字创新赋能的智慧空间设计方法。针对全球排名前400的城市设计和建筑设计事务所的研究发现，全球范围内已经有近600个项目实施了智慧化的城市公共空间先锋设计，以中国和美国为显著代表。这些项目包括光电互动投影屏、自动化机器人、新能源转换步道、物联网感知系统、VR/AR/MR互动设施等（李伟健等，2023）。北

京城市实验室曾参与腾讯在深圳大铲湾新总部的科技图层规划,与建筑设计事务所、景观设计事务所共同合作,完成基于各类数字化、交互设施的数字景观设计方案,实现景观数字化和数字景观化(梁佳宁等,2023);也通过黑河未来城市项目,以打造未来寒地边贸城市先行样板为目标,探索科技进步对黑河城市空间发展的影响,以及利用新兴技术打造产业、生活、游憩、交通空间的规划策略和布局方案(李文竹等,2023)(图4)。值得注意的是,数字创新不是目的,而是手段,其根本目的是提供一种在空间干预基础上,与场所营造共同赋能城市空间的方法流程,以支持实现城市的韧性、可持续性、宜居性和节能性等多重目标。

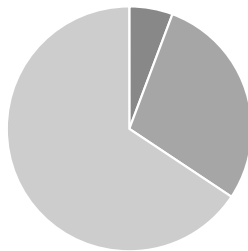
智慧城市空间设计案例库

39个国家 594个项目

• 案例主要依托的智慧技术

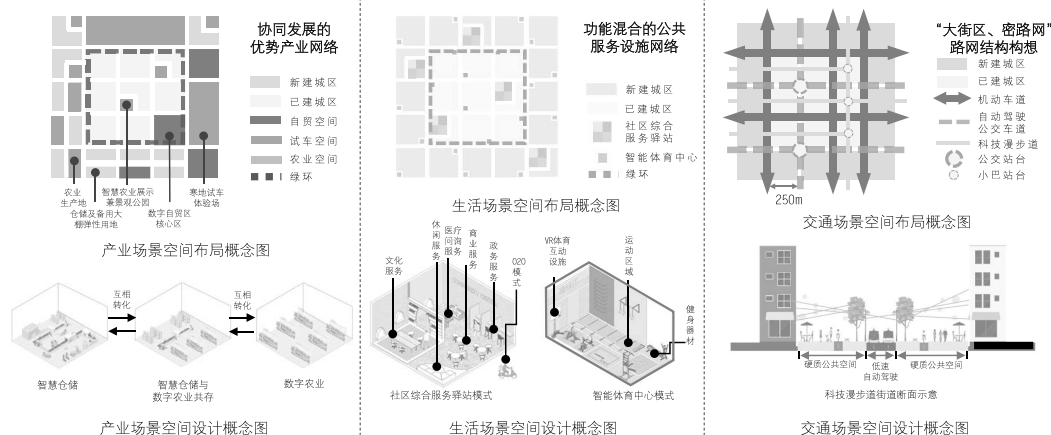


• 案例主要依托的空间载体



典型案例

a. 全球知名事务所案例研究



b. 黑河未来城市设计

图4 数字创新赋能的未来城市空间设计

资料来源: a图改绘自李伟健等(2023); b图改绘自李文竹等(2023)。

然而，数字创新的应用在实际操作中仍面临诸多挑战，特别是在资金投入和运营维护等方面。一方面，一些仅仅为了数字化而研发的设施，由于功能与实际需求不匹配，往往难以适应人们的活动需求和习惯，这导致它们在互动、娱乐、科普等方面的功能价值难以充分展现；另一方面，这些设施的投入和长期运营需要大量的资金与人力资源，因此，在设施的选择和应用上必须进行更为谨慎的评估。为了应对这些挑战，未来的实践中，我们可以考虑对数字创新应用前后的社会及经济效益进行对比评估：通过收集使用者的主动和被动反馈，不断优化设计，以更好地实现空间干预与数字创新的融合，提升场所营造的能力，使数字创新的应用更加符合实际需求，从而实现其最大的价值。

6 基于新数据、新要素及新路径的城市发展新挑战应对

6.1 城镇化发展现状及城市发展趋势

除了新技术的发展对城市研究和实践的长期影响以外，国家宏观的社会经济发展阶段与政策制定也会深刻影响城市规划、设计及管理。从社会发展层面看，中国人口预计在 2022 年已达到峰值，而 2023 年末的城镇化率为 66.16%，表明全国城市发展普遍处在存量更新时期。因此，城市更新将成为未来城市规划及设计的主要工作。与此同时，中小城市、县城和乡镇出现人口减少的现象，收缩城市的应对也将成为新的挑战。此外，国家实施的碳达峰战略、新冠疫情等因素也将使低碳城市、韧性城市等机遇和挑战成为城市规划及设计者的重要议题。由于空间是一切社会经济活动的永恒载体，因此，无论城市是进入新的发展阶段，还是面临新的挑战，城市规划及设计者都肩负着让城市更加绿色环保、更具韧性、更可持续、更宜居的历史使命。

6.2 应对城市发展新挑战的新范式

发展的问题需要以发展的眼光解决。因此，城市实验室可以通过充分整合与利用新技术带来的三方面的新机遇，以应对社会经济发展阶段与政策影响下的城市空间新需求和城市发展新问题，共同推动城市的可持续发展。以收缩城市为例，首先，基于大数据与主动城市感知精准诊断城市问题和需求，例如，基于人口普查传统数据、百度慧眼大数据以及基于无人机、GoPro 等主动感知数据，精准识别中国的收缩城市 (Meng and Long, 2022) 以及收缩城市在空间失序 (Chen *et al.*, 2023)、空置土地 (Mao *et al.*, 2022)、空置房屋 (Li and Long, 2024) 等方面的空间表征；然后，梳理与当地经济发展匹配的新生活方式，例如，鹤岗吸引了远程办公的翻译、游戏设计师、插画师等创意产业工作人员，伊春在数字农业项目上取得了新进展，黑河通过直播带货和寒地试车发展新产业等；最后，应用新技术手段提出新的应对策略，例如，针对精准识别的低效用地、空置住房等，通过数字创新的方式提出响应新的生活和产业模式的居住、工作、交通、游憩空间设计方案。^⑨

整体而言,新数据、新要素、新路径可以共同支撑应对城市新的发展阶段的需求和问题,并且在此过程中互相补充和促进。例如,新要素在发展过程中会提供和补充新数据,用以完善城市空间理论;反过来,新数据可以研究新技术对个体行为和空间的影响,从而可以更好地认识新要素。新路径由于其安装的传感器可以收集和提供实时新数据,用以研究建成环境、自然环境和社会环境的动态变化;同时,新数据可以识别城市问题,支撑规划设计应对,完善新路径中数字创新技术和设备的应用。新要素的演变会影响新路径中相应手段的更迭;同时,新路径的规划设计和管理目的也是为了更好地满足人们日新月异的新需求(图5)。

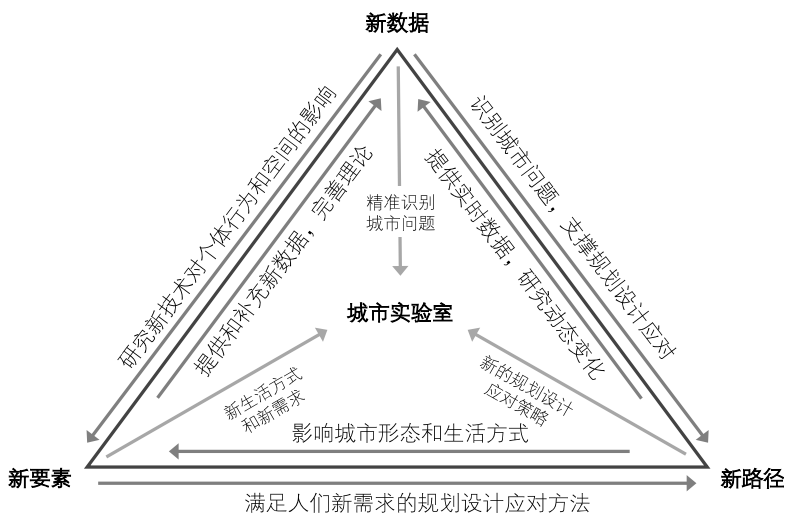


图5 基于新数据、新要素及新路径的城市实验室整合应用范式

6.3 基于城市实验室的人居环境相关学科发展展望

随着我国城市化进入新的阶段,未来无论是提升品质还是顺应新生活需求的城市更新,抑或是城市发展过程中出现的各类新问题和新的挑战,都离不开城市空间这一观察和实践的主体。城市实验室正在成为跨学科的城市研究与实践的框架。在第四次工业革命与社会变革并行的当代中国,人居环境相关学科的研究者、规划设计者和管理者,都迎来了前所未有的多方面、多层面的时代机遇。

首先,基于新数据,城市研究者对人居环境的认知能力得到了前所未有的提升与发展,使得“测度不可测度”成为可能,城市、街区、社区、建筑等人居环境领域成为新技术最广阔的跨学科应用领域。其次,基于新要素,人居环境领域正在发生新一轮的本体层面变革,这是一种新形式的“再城市化”。这一趋势为研究者提供了以中国城市为试验田的新城市研究前景,推动其更新城市规划原理与城市设计导则,同时为城市规划师、设计师提供广阔的新城市空间迭代和创造机遇,甚至推动专业法律

法规层面的进一步完善。最后，基于新路径，第四次工业革命为人居环境领域创造未来空间提供了新的工作软件（生成式人工智能/混合现实/数字孪生）和设计硬件（无处不在的传感器），使其工具箱得到了前所未有的丰富。同时，技术进步带来的机会，也迎合了人们对高品质住房、社区、城市的需求和向往，推动城市规划、设计及管理的“以人为本”和“精细化治理”。

7 结语

本文阐释了城市实验室的起源、概念及内涵，强调其以城市为实验室开展科学研究、支撑实践应用的能力。重点从新数据（方法论）、新要素（本体论）、新路径（实践论）三个方面展开对城市实验室相关研究的批判、演进与展望的介绍，以期为人人居环境相关学科的研究、教学和实践提供参考。在方法论层面，本文强调主动城市感知对大数据与开放数据在时空分辨率、时效性、覆盖度和匹配度方面的补充作用；在本体论层面，呼吁学界关注新的行为与空间并从研究尺度、方法和领域进行深化及拓展，以发展城市空间新理论；在实践论层面，提出数字创新对空间干预和场所营造的赋能作用，鼓励软件与硬件设施的融合。本文认为，在城市社会经济发展趋势、国家政策等背景下，综合利用颠覆性技术带来的新数据、新要素、新路径的机遇以应对城市发展新挑战和新需求，是城市规划及设计者新的工作机遇和前景。

致谢

本文受国家自然科学基金重大项目（62394331、62394335）、国家自然科学基金面上项目（52178044）资助。此外，本文的长摘要受邀发表于2024年6月的 *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science* 期刊。

注释

- ① 相较于2021年发表于《世界建筑》的“科技革命促进城市研究与实践的三个路径：城市实验室、新城市与未来城市”一文，本文更强调对城市实验室概念和内涵的介绍，对当前相关研究的批判，以及强调新数据、新要素、新路径共同支撑的城市发展新机遇和新挑战应对。
- ② 本文所指的城市实验室并非指具体的某个研究机构或科研院所，而是一种城市分析和实践框架。
- ③ 基于美团数据的商圈研究详见 <https://www.beijingcitylab.com/projects-1/47-understanding-commercial-districts-with-meituan/>。
- ④ 本团队曾采集全国3 666个实体城市2013—2022年的百度街景图片数据，共获取66 777 663张街景图片（783.7万个采样点），覆盖了2 655个实体城市。其中，2021年及2022年的街景图片共761 549张，占所获取的全部街景的1.14%。
- ⑤ 主动城市感知相关项目详见 <https://www.beijingcitylab.com/projects-1/58-active-urban-sensing/>。
- ⑥ 其他传感器的公共空间感知详见 <https://www.beijingcitylab.com/projects-1/55-sensing-public-space/>。
- ⑦ 基于饿了么APP的减盐项目研究详见 <https://www.beijingcitylab.com/projects-1/62-salt-reduction/>。

- ⑧ 《未来城市空间 WeSpace》报告详见 <https://www.beijingcitylab.com/projects-1/48-wespace-future-city-space/>。
- ⑨ 收缩城市相关研究及实践项目详见 <https://www.beijingcitylab.com/projects-1/15-shrinking-cities/>。

参考文献

- [1] BATTY M. Inventing future cities[M]. Cambridge, MA: The MIT Press, 2018.
- [2] CAPDEVILA I. How can city labs enhance the citizens' motivation in different types of innovation activities? [M]//AIELLO L M, MCFARLAND D (eds.), Social informatics. SocInfo 2014. Lecture Notes in Computer Science. Cham. Switzerland: Springer, 2015: 64-71.
- [3] CHEN J, CHEN L, LI Y, *et al.* Measuring physical disorder in urban street spaces: a large-scale analysis using street view images and deep learning[J]. Annals of the American Association of Geographers, 2023, 113(2): 469-487.
- [4] CHEN L, ZHANG Z, LONG Y. Association between leisure-time physical activity and the built environment in China: empirical evidence from an accelerometer and GPS-based fitness app[J]. Plos One, 2022, 16(12): e0260570.
- [5] EWING R, HANDY S. Measuring the unmeasurable: urban design qualities related to walkability[J]. Journal of Urban Design, 2009, 14(1): 65-84.
- [6] GIERYN T F. City as truth-spot: laboratories and field-sites in urban studies[J]. Social Studies of Science, 2006, 36(1): 5-38.
- [7] HAO Q, HONG Q, LONG Y. Constructing high-spatiotemporal-resolution maps of multidimensional environment indicators based on stationary-mobile sensing[C]//Processing of International Conference 2023 on Spatial Planning and Sustainable Development. August 25-28, Kanazawa, 2023.
- [8] HEY T, TANSLEY S, TOLLE K. The fourth paradigm: data-intensive scientific discovery[M]. Redmond, WA: Microsoft Research, 2009.
- [9] JIN X, LONG Y, SUN W, *et al.* Evaluating cities' vitality and identifying ghost cities in China with emerging geographical data[J]. Cities, 2017, 63: 98-109.
- [10] KARVONEN A, VAN HEUR B. Urban laboratories: experiments in reworking cities[J]. International Journal of Urban and Regional Research, 2014, 38(2): 379-392.
- [11] KELLY K. The Inevitable: understanding the 12 technological forces that will shape our future[M]. New York: Penguin, 2016.
- [12] KEMP R, SCHOLL C. City labs as vehicles for innovation in urban planning processes[J]. Urban Planning, 2016, 1(4): 89-102.
- [13] KOHLER R E. Landscapes and labscapes: exploring the lab-field border in biology[M]. Chicago: University of Chicago Press, 2002.
- [14] LI W, ZHANG E, LONG Y. Unveiling fine-scale urban third places for remote work using mobile phone big data[J]. Sustainable Cities and Society, 2024, 103: 105258.
- [15] LI Y, LONG Y. Inferring storefront vacancy using mobile sensing images and computer vision approaches[J]. Computers, Environment and Urban Systems, 2024, 108: 102071.

- [16] LIU Y, LIU X, GAO S, *et al.* Social Sensing: a new approach to understanding our socioeconomic environments[J]. *Annals of the Association of American Geographers*, 2015, 105(3): 512-530.
- [17] LONG Y, THILL J-C. Combining smart card data and household travel survey to analyze jobs-housing relationships in Beijing[J]. *Computers, Environment and Urban Systems*, 2015, 53: 19-35.
- [18] LONG Y, ZHANG E. City laboratory: embracing new data, new elements, and new pathways to invent new cities[J]. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 2024, 51(5): 1068-1072.
- [19] MA S, LONG Y. Functional urban area delineations of cities on the Chinese mainland using massive Didi ride-hailing records[J]. *Cities*, 2020, 97: 102532.
- [20] MAO L, ZHENG Z, MENG X, *et al.* Large-scale automatic identification of urban vacant land using semantic segmentation of high-resolution remote sensing images[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2022, 222: 104384.
- [21] MENG X, LONG Y. Shrinking cities in China: evidence from the latest two population censuses 2010-2020[J]. *Environment and Planning A: Economy and Space*, 2022, 54(3): 449-453.
- [22] MITCHELL W J. *E-topia: urban life, jim-but not as we know it*[M]. Cambridge, MA: MIT Press, 2000.
- [23] PARK R E. The city as social laboratory[M]//Smith T V, White L D (eds.), *Chicago: An Experiment in Social Science Research*. Chicago, IL: University of Chicago Press, 1929: 1-19.
- [24] SMITH T V, WHITE L D. *Chicago: an experiment in social science research*[M]. Chicago, IL: University of Chicago Press, 1929.
- [25] SU N, ZHANG Z, CHEN J, *et al.* Assessing personal screen exposure with ever-changing contexts using wearable cameras and computer vision[J]. *Building and Environment*, 2024: 111720.
- [26] WASTE R J. *Power and pluralism in American cities: researching the urban laboratory*[M]. Westport, CT: Greenwood Press, 1987.
- [27] ZHANG E, HSU W, LONG Y, *et al.* Understanding bikeability: insight into the cycling-city relationship using massive dockless bike-sharing records in Beijing[M]//GOODSPEED R (eds.), *Intelligence for future cities*. Cham, Switzerland: Springer, 2023: 109-123.
- [28] 柴彦威, 李彦熙, 李春江. 时空间行为规划: 核心问题与规划手段[J]. *城市规划*, 2022, 46(12): 7-15.
- [29] 李春江, 张艳. 日常生活数字化转向的时间地理学应对[J]. *地理科学进展*, 2022, 41(1): 96-106.
- [30] 李伟健, 吴其正, 黄超逸, 等. 智慧化公共空间设计的系统性案例研究[J]. *城市与区域规划研究*, 2023, 15(1): 31-46.
- [31] 李文竹, 梁佳宁. 新兴技术作用下未来城市空间的碳减排效益研究综述[J]. *城市与区域规划研究*, 2023, 15(1): 111-128.
- [32] 李文竹, 梁佳宁, 李伟健, 等. 技术驱动下的未来城市空间规划响应研究——以黑河市国土空间规划未来城市专题为例[J]. *规划师*, 2023, 39(3): 27-35.
- [33] 梁佳宁, 李文竹, 李伟健, 等. 数字技术驱动的城市景观应用场景与实践路径[J]. *风景园林*, 2023, 30(7): 29-35.
- [34] 龙瀛, 李伟健, 张恩嘉, 等. 未来城市的空间原型与实现路径[J]. *城市与区域规划研究*, 2023, 15(1): 1-17.
- [35] 龙瀛, 刘伦. 新数据环境下定量城市研究的四个变革[J]. *国际城市规划*, 2017, 32(1): 64-73.
- [36] 龙瀛, 张恩嘉. 数据增强设计框架下的智慧规划研究展望[J]. *城市规划*, 2019, 43(8): 34-40+52.

- [37] 龙瀛, 张恩嘉. 科技革命促进城市研究与实践的三个路径: 城市实验室、新城市与未来城市[J]. 世界建筑, 2021(3): 62-65+124.
- [38] 罗震东, 柴彦威, 王德, 等. 数字时代的城乡新空间[J]. 城市规划, 2023, 47(11): 20-24+100.
- [39] 罗震东, 毛茗, 张佶, 等. 移动互联网时代城市新空间形成机制——以“外卖工厂”为例[J]. 城市规划学刊, 2022, 270(4): 64-70.
- [40] 牛强, 吴宛娴, 伍磊. 信息时代城市活动与空间的演变与展望——基于线上线下的视角[J]. 城市发展研究, 2022, 29(10): 96-106.
- [41] 秦小珍, 潘沐哲, 郑莎莉, 等. 内生演化与外部联系: 演化视角下珠江三角洲工业机器人产业的兴起[J]. 经济地理, 2021, 41(10): 214-223.
- [42] 王德, 蔚丹. 空间行为研究的视角与技术范式[J]. 城市规划, 2023, 47(9): 4-11.
- [43] 吴其正, 苏南西, 李彦, 等. 基于自采集街景和深度学习的北京骑行环境风险评估[J]. 装饰, 2024(3): 12-17.
- [44] 张恩嘉, 龙瀛. 空间干预、场所营造与数字创新: 颠覆性技术作用下的设计转变[J]. 规划师, 2020, 36(21): 5-13.
- [45] 张恩嘉, 龙瀛. 面向未来的数据增强设计: 信息通信技术影响下的设计应对[J]. 上海城市规划, 2022, 164(3): 1-7.
- [46] 张恩嘉, 龙瀛. 城市弱势区位的崛起——基于大众点评数据的北京休闲消费空间研究[J]. 旅游学刊, 2024, 39(4): 16-27.
- [47] 周榕. 硅基文明挑战下的城市因应[J]. 时代建筑, 2016(4): 42-46.

[欢迎引用]

- 龙瀛, 张恩嘉. 城市实验室: 基于新数据、新要素及新路径的批判与展望[J]. 城市与区域规划研究, 2024, 16(1): 30-46.
- LONG Y, ZHANG E J. City laboratory: criticism and prospect based on new data, new elements, and new pathways [J]. Journal of Urban and Regional Planning, 2024, 16(1): 30-46.