

# 新城市科学：技术、计算、变革与应用\*

THE NEW SCIENCE OF CITIES: TECHNOLOGY, COMPUTATION, EVOLUTION, AND APPLICATION

龙 瀛 赵慧敏 张业成

LONG Ying; ZHAO Huimin; ZHANG Yecheng

**【摘要】**技术发展推动了城市科学的进步。第四次工业革命已推动城市科学进入新城市科学阶段。本文归纳总结了新城市科学的发展脉络，对其内涵和外延进行了拓展，并将以城市作为实验室的新城市科学归纳为以下3个维度：(1)新的城市科学方面，海量、高密、高频的新数据，主动城市感知等新技术及人工智能等新方法的发展促进了研究范式的转变；(2)新城市的科学方面，技术带来了城市本体，即个体日常活动、社会组织和城市空间的变革，越来越多的研究开始试图刻画这些变革的时空规律；(3)未来城市方面，新技术的发展将驱动未来城市的变革，城市科学家开始对未来城市空间原型进行推演并对其创造方式进行创新。城市科学工作者应抓住时代机遇，共同推进新城市科学的发展。

**【关键词】**新城市科学；第四次工业革命；颠覆性技术；城市规划；未来城市

**ABSTRACT:** The advancement of technology has significantly propelled the progression of urban science. Influenced by the Fourth Industrial Revolution, urban science has entered a new phase termed the new science of cities. This paper analyzes the origins and developmental trajectory of the new science of cities, further elaborates on the essence and scope of the new science of cities, and categorizes it into three dimensions based on the concept of using cities as laboratories. In the domain of new urban science, the emergence of voluminous, high-density, and high-frequency data, alongside the increasing adoption of proactive urban sensing technologies and innovative methodologies such as artificial

intelligence, has fostered a paradigm shift in research methodologies. Regarding the science of new cities, technological advancements have profoundly impacted the urban entity, affecting individual daily activities, social organization, and urban spaces, with an escalating number of studies focusing on these emerging urban phenomena to investigate their spatiotemporal laws. In terms of future cities, the advancement of new technologies is set to drive the transformation of urban spaces, prompting urban scientists to deduce future urban spatial prototypes and innovate their creation methods. Urban scientists are urged to seize the opportunities presented by the era to collectively advance the development of the new science of cities.

**KEYWORDS:** the new science of cities; the Fourth Industrial Revolution; disruptive technologies; urban planning; future cities

“城市科学”一词最早出现在帕特里克·格迪斯(Patrick Geddes)《进化中的城市》(Cities in Evolution)一书中，该书强调“实际上出现了城市科学的方法，即我们的城市应该进行独立研究，并科学地进行比较”<sup>[1]</sup>。当前国际学界对于城市科学的解读分为两个主要流派。其中，“Urban Science”概念侧重于利用数据，通过实验以及跨领域的研究手段，探索和理解城市的动态特性及其内在复杂性<sup>[2-3]</sup>；“The Science of Cities”概念则侧重于运用数学模型推理城市的形态和功能<sup>[4-5]</sup>。在国内，除了在《建筑学名词》一书中被定义为规划实践的理论基础外，“城市科学”一词通常被视为研究城市本质的一个学科领域，囊括了众多子学科。本文所探讨的“新城市科学”也基于此定义。

科技的进步对城市科学产生了深远的影响，这种影响主要体现在3个方面。首先，随着技术

\* 国家自然科学基金重大项目课题(62394331/62394335)；国家自然科学基金面上项目(52178044/51778319)。

**【文章编号】** 1002-1329  
(2024)07-0004-12

**【中图分类号】** TU984

**【文献标识码】** A

**【doi】** 10.11819/cpr20240702a

**【作者简介】**

龙 瀛(1980-)，男，清华大学建筑学院特聘副教授、博士生导师，中国城市规划学会城市规划新技术应用专业委员会副主任委员，中国城市规划学会会员，本文通信作者，ylong@tsinghua.edu.cn。

赵慧敏(1997-)，女，清华大学建筑学院博士研究生。

张业成(1999-)，男，清华大学建筑学院博士研究生。

**【修改日期】** 2024-04-22

的发展，学者们研究和理解城市的方法也在不断演进。尤其是在第三次工业革命之后，城市科学的研究趋向于以定量分析为主。如今不断出现的大量多样化且快速更新的城市数据为定量分析提供了丰富的资源，开辟了广阔的研究领域。其次，每一次工业革命都带来了革命性的技术，深刻影响和改变了城市的空间结构。在工业革命之前的长时间里，在城市中居住并不是普遍的生活方式<sup>[6]</sup>。第一次工业革命及其后的城市化现象促使大量人口迁入城市，随之而来的几次工业革命也对城市的布局、规模、形态和风貌，以及人与城市的互动关系产生了根本性的影响。最后，城市作为革命性技术的孵化器和主要实践场所，展现出了极强的适应性和灵活性。历史上，新旧空间结构的融合和拼接不断出现，预示着新兴技术正在塑造未来城市空间的发展方向。

随着技术的快速发展，城市的面貌也在经历着前所未有的变化，我们理解和认识城市的方式也随之发生了变革。特别是计算机技术与通信技术融合的第四次工业革命，通过一系列颠覆性的技术正在深刻地改变我们的城市生活和运作模式。这也代表着城市科学已经进入了新的发展阶段，即新城市科学。本文旨在总结新城市科学的起源与发展脉络，并从新的城市科学、新城市的科学及未来城市3个方面展开这一时代的讨论。

## 1 新城市科学的起源与发展

### 1.1 新城市科学的起源

前三次工业革命对传统城市科学与城市规划理论产生了深远影响，(新)城市科学也伴随着城市规划理论、城市模型、相关学科基础理论等不断发展而不断完善(图1)。

传统观点将城市定义为物理空间和场所的集合体，其中，城市的地理位置和规模分布一直是城市科学研究的核心议题。最早的定量研究起源于地理学领域，特别是围绕农业及工业区位论。进入20世纪初，随着中心地理论和地租理论的提出，区位理论的应用范围从第一、二产业拓展到了第二、三产业，甚至包括城市布局的整体规划，旨在平衡供需之间的关系，追求成本最低化和利润最大化。这些理论虽基于微观静态均衡的观点，将城市视作网络中的节点，假定城市与其周边地区的关系是静态平衡的，但它们为当时的城市研究注入了新思想和活力，超越了仅基于案例描述的研究模式，尝试发现普遍规律，为城市科学的发展奠定了基础。

二战后，城市科学开始关注区域经济，现代区位论被提出。1956年，沃尔特·艾萨德(Walter Isard)通过整合经济地理学、空间经济学等领域知识，创立了区域科学，这是一门旨在综合经济、地理、社会、政治等多学科知识来分析城

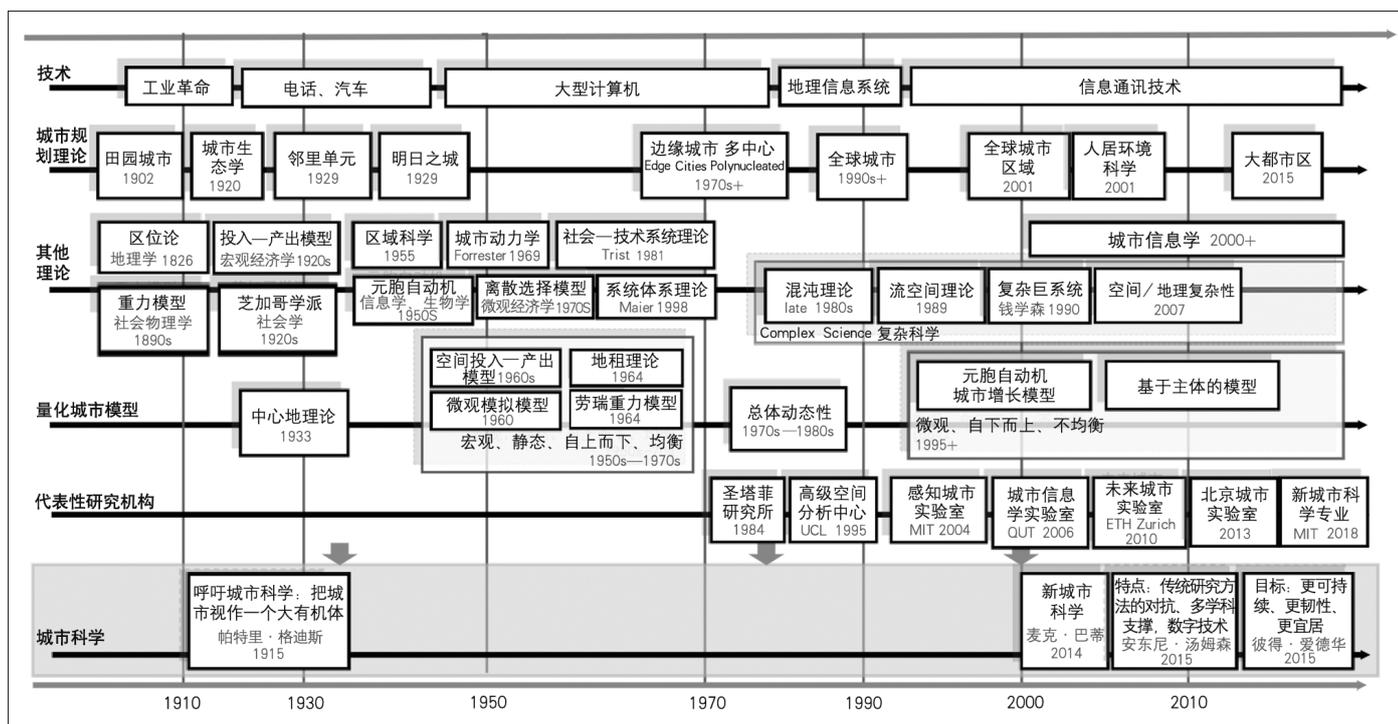


图1 城市科学发展脉络

Fig.1 Development of urban science

资料来源：本文图除另有注明外，均为作者自绘。

市、农村及区域空间的学科。区域科学作为一门新兴的综合性科学，虽提供了研究空间维度广阔视角，但其依然聚焦城市物理空间，未能打破传统城市科学理论的局限。

进入20世纪后期，随着均衡系统理论的兴起，定量城市研究达到了新的高潮，城市科学更加依赖数据和模型。城市在这一理论框架下被视为相互作用的实体集合，具有平衡状态和特定功能，并可通过科学规划和有效管理对其进行调控<sup>[7]</sup>。然而，这种静态系统的建模方法过于强调自上而下的逻辑，忽略了自下而上的居民自发行为对城市发展的影响。

21世纪初，随着计算技术、人工智能(Artificial Intelligence, AI)和地理信息系统等领域的飞速发展，学术界逐渐转向复杂性科学的研究。复杂性科学引入了众多新颖的跨学科研究方法，成为了21世纪科学研究的一个重要方向<sup>[8]</sup>。城市科学研究者关注到了城市结构的复杂性，开始将城市视为一个自下而上的动态体系。城市的复杂性特征主要体现在：一方面，城市具有涌现的属性，它是由于其内部各个子系统(如交通、绿化、工业等)的相互作用产生的，而非简单的部分之和<sup>[9]</sup>；另一方面，城市各部分的属性会跟随系统规模的变化而变化<sup>[10]</sup>。

### 1.2 新城市科学的提出

在第四次工业革命席卷全球的大背景下，2013年，英国皇家科学院院士迈克尔·巴蒂在其著作《新城市科学》(The New Science of Cities)中首次提出“新城市科学”的概念，即基于近20~25年间出现的新技术、新工具，并立足于复杂性理论的城市科学。相对于传统的、更多基于静态和系统论视角的城市科学，新城市科学采用了演化的、基于复杂性的视角，涵盖了离散性、

自下而上的思维方式和演进视角等多种特性。

相比《新城市科学》著作出版的2013年，过去10年(2014—2024年)技术对城市的渗透更加深入，很多颠覆性技术及其影响都是过去10年发生的，科学地研究城市的数据，方法和技术进步显著。因此，本文在迈克尔·巴蒂“新城市科学”定义的基础上对新城市科学的内涵和外延进行拓展，即新城市科学是在第四次工业革命一系列颠覆性技术对城市和科学研究方法影响下产生的一门“新科学”。它既是方法论层面的新的城市科学，即利用新数据、新技术和新方法研究城市；也是本体论层面的新城市的科学，关注受到颠覆性技术影响下城市的规律及内在机理方面的研究，同时还包括在二者支持下对未来城市空间原型的推演和创造方法的研究(图2)。

## 2 新的城市科学：技术与计算

随着技术变革的加速和科研范式的改变，城市科学家对城市的理解和认知也在被重塑。传感器和物联网技术的发展带来了海量、多源的城市空间新数据，也带动了主动城市感知等新技术的热潮，城市空间数据环境越发丰富。城市科学家开始采用一系列新的先进算法，更有效地感知城市环境、分析诊断城市问题、模拟城市空间(图3)。

### 2.1 新数据

近年来，科技的迅猛发展催生了前所未有的丰富数据环境，这是互联网科技公司、政府和社会组织之间协作努力的结果。龙瀛等<sup>[11]</sup>首次提出了“新数据环境”这一概念，并特别强调了“城市空间新数据”的重要性。“新数据”与传统数据相比，在多个方面表现出显著的优势。首先，在数据的来源和类型上，新数据覆盖了从空中到地面的多个视角，涵盖自然、建成环境和社会等多个维度(表1)。相比传统数据，新数据为研究者提供了海量的信息。其次，在时空精度方面，新数据也有显著的提高。传统的低频城市数据往往受限于收集频率和精度，而新数据的更新则更为频繁和精确，使得研究者能够更加细致地观察和分析城市发展的动态。

数据驱动的科学(Data-driven Science)已经成为研究的主流方向。一方面，新数据拓宽了研究的广度，全球等大尺度的研究逐年增多，更多专业的学者加入到了城市科学研究领域。例如，通过分析从各种互联网平台和卫星遥感等获取的大规模数据集，研究者能够观察和比较不同城市的发展模式、城市化进程，以及城市间的相互作用<sup>[12]</sup>。这种宏观视角的研究，不仅有助于理解全球城市网络的形成和演变，也为城市规划和

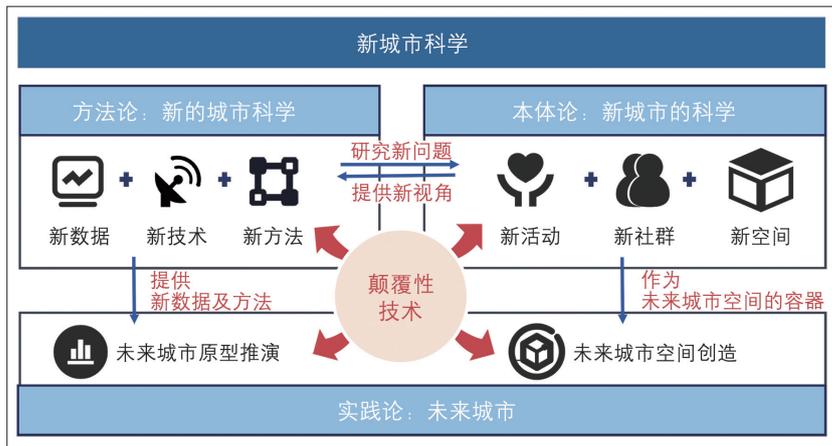


图2 新城市科学框架

Fig.2 Framework of the new science of cities

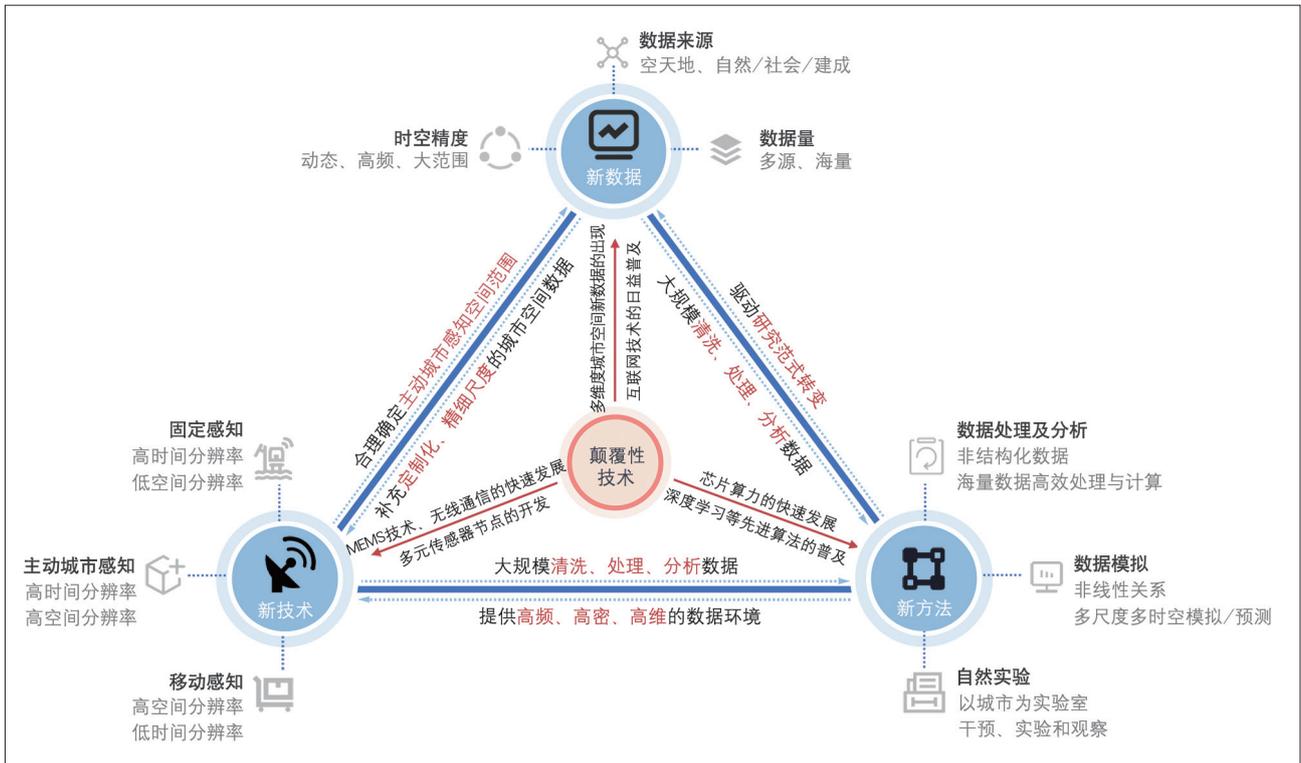


图3 新的城市科学研究框架  
Fig.3 Research framework of the new urban science

全球环境政策的制定提供了重要的参考。另一方面，新数据高时空分辨率的特点促进了对个体尺度时空规律的挖掘。例如，通过分析社交媒体、移动电话数据、交通流量监控等高频更新的数据，研究者可以深入了解城市居民的日常行为模式、活动范围，以及与城市空间的互动关系<sup>[13]</sup>。这种微观视角的研究，对于理解城市内部的社会、经济和文化动态，以及优化城市设计和提高城市服务效率具有重要意义。随着颠覆性技术的不断发展，预计数据的空间密度将持续增加，为推动城市研究跨越学术边界和城市规划与管理注入新动力。

## 2.2 新技术

当前新数据环境虽然提供了大规模且高精度的数据，但对于定制化、精细尺度的城市研究而言，这些数据在时间和空间的覆盖及分辨率方面仍存在局限性。为此，城市科学家正转向构建实验平台来主动获取数据。传统方法依靠固定传感器，导致数据空间分辨率有限。随着微电子机械系统(Micro-Electro-Mechanical System, MEMS)、无线通信和数字电子技术的进步，低成本、低功耗、功能丰富且便携的传感器开始普及，这为城市的主动感知提供了新的可能性(表2)。主动城市感知技术包括固定和移动感知，通过各种采集设备来感知和收集关于城市物理空间

和人类活动的信息。感知的内容覆盖了城市的多个层面，包括土地使用、建筑和道路等的宏观静态信息，以及车辆和个人行为等的微观动态信息，涉及到城市建成环境、自然和社会环境(图4)。

主动感知技术的应用，使得以低成本获取高频率、高密度、高维度的城市数据成为可能。通过这些技术，城市科学家不再局限于依赖科技公司或其他开放数据源，而是直接掌握数据采集的主动权。这种转变一方面有益于城市环境问题的实时监测，另一方面也可以从数据分析中提取时空规律，助力于问题趋势的预测和城市服务治理的提升。在国内外，已经有部分学者开展主动城市感知支持的城市研究和规划工作。例如，清华大学的研究团队深入探讨了这一方法，并在北京市、西宁市、拉萨市、牡丹江市和多伦市建立了不同尺度的监测网络。他们通过移动和固定的传感设备主动感知城市数据，将城市作为实验场，观测街道(包括自行车道)、社区内部等城市空间，以识别并解决如空间品质低下、低效开发等城市问题，从而支持城市体检及城市更新工作<sup>[14]</sup>。

## 2.3 新方法

虽然高频、高密、高维的数据环境不断丰富完善，但还需要经过新的方法(表3)从这些数据中提取隐含的信息。在数据处理方面，随着近年来存储和算力的进步，深度学习算法不断普

表1 城市空间新数据  
Tab.1 New data of urban space

新数据类别	新数据名称	具体描述
自然环境数据	河流水系	指自然河流、水系的面状数据，主要用于描述其精确的位置以及形状信息，一般为矢量数据，部分为栅格数据
	地形地貌	指描述地势高低起伏变化的数据，大多为数字高程数据
	自然环境遥感数据	指利用各种遥感技术，对自然环境的动态变化进行监测或作出评价的数据
建成环境数据	路网数据	指道路的矢量数据，一般包含道路的位置、几何形状、名称、等级等信息
	建筑物数据	指建筑物的轮廓数据，一般包含建筑的基底轮廓、层数/高度、面积等属性
	街景图片数据	街景图片数据是指运用街景图片采集车等采集设备获得的真实街道照片，能够反映城市街道周边的建成环境
	建成环境遥感数据	侧重于观测“人工地表”的遥感数据
	夜光遥感数据	夜光遥感数据是指使用遥感技术获取的地表夜间照明数据。这些数据可以显示夜间的亮度分布，反映人口分布、经济活动、能源消耗、城市扩张等方面的信息
社会环境数据	行政边界数据	指各级行政单元的边界数据，一般为矢量数据
	人口空间分布网格数据集	基于一定区域的人口统计数据，并在协变量(如夜光遥感影像、距主要道路距离、数字高程等)的配合下，将统计人口分配到网格层面的人口估计数据集
	房源数据	指二手房交易平台公开的大量房价、房源、销售量等相关信息所构成的数据集
	GDP空间分布网格数据集	指将GDP数据按照统一的标准划分到空间网格中，并用栅格属性值标识各网格的GDP值所形成的数据集
	公交IC卡刷卡数据	指公共交通工具上乘客使用公交卡(如市民卡、一卡通等)刷卡乘车时所产生的数据记录，包含了乘客上下车时间、地点、乘车线路、乘车次数、消费金额等信息，具有较高的时空精度和时效性
	兴趣点(Point of Interest, POI)	POI数据提供了真实世界中某些人群可能感兴趣的地方的信息，越来越多地被用于理解人与地点的互动、支持城市管理和构建智慧城市
	手机信令数据	指手机用户与通讯公司固定发射基站之间的通信记录，内含手机用户的地理定位、通话、短信、流量等数据信息
	公共交通轨迹数据	指公交车、网约车、共享单车等交通工具在运营时，基于位置服务所产生的大量的GPS定位数据
	用户评论数据	指用户运用社交媒体对某一事物进行评论时所记录的数据，如用户在某点评平台对店铺进行打分所形成的点评数据
	社交媒体数据	指的是通过各种社交媒体平台收集到的包含地理位置信息的用户生成内容数据
位置服务(Location-Based Service)数据	LBS数据是通过移动设备用户使用特定应用或服务时主动提供的位置数据	

及。和传统机器学习算法相比，深度学习以深层次的人工神经网络为架构，使得处理和分析大量非结构化数据(包括图片、视频、文本等)成为可能。近年来，人工智能大模型，如ChatGPT和

SegmentAnything的出现更为数据处理和分析提供了新的机遇，这些大模型通过巨量的层次和参数来捕捉和学习大规模数据集中的高维度特征，不仅能够与人类进行高水平的对话交互，还能够处理未标注的图像，从而大幅节省人力成本。借助深度学习算法，城市科学家能够从新兴数据源中挖掘出城市各个层面的信息，如通过分析遥感影像和街景照片识别城市边界、功能区域、土地利用状况、建筑轮廓及高度、甚至是交通流量；从社交媒体的评论和帖子中提取公众情绪、行为倾向和社会动态。

在仿真模拟方面，传统仿真模拟通过抽象城市现象的宏观规则来模拟城市运行，与真实城市存在差距。随着高时空分辨率数据环境的搭建及算力的提升等，基于元胞自动机(Cellular Automata, CA)及多智能体系统(Multi-Agent System, MAS)的城市模型也在不断发展，为城市复杂系统的微观模拟和分析提供了新手段。此外，数字孪生(Digital Twins)通过数据驱动的实时

表2 主动感知设备及其采集的数据类型  
Tab.2 Active sensing equipment and data types

新型数据采集设备	采集的数据类型
Wi-Fi探针	行人活动数据
打猎相机/延时摄影设备	行人活动数据
可穿戴式设备	个人活动记录/城市环境数据
各类APP或小程序(如两步路、录城等)	地点标注数据、评论文本数据、图片数据
眼动仪	眼动轨迹数据
无人机	正摄/倾斜影像数据、点云数据
Citiy Grid集成传感器	人流车流活动数据/城市环境数据
手持式检测仪(PM2.5检测仪、噪音仪、气味检测仪等)	城市环境数据

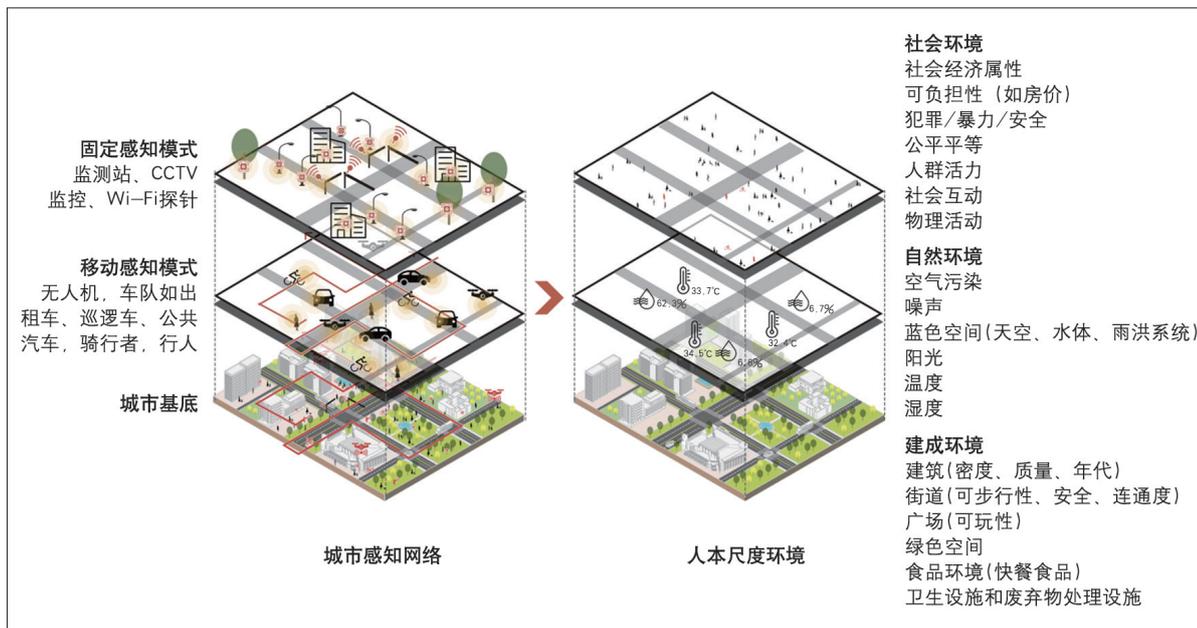


图4 城市感知体系  
Fig.4 Urban sensing system  
资料来源：<https://www.beijingcitylab.com/>。

表3 新方法及其应用  
Tab.3 New method and its application

新方法类别	示例	应用	
深度学习	计算机视觉模型	Faster R-CNN/YOLO/SSD等	图像数据的解析与信息提取
	自然语言处理模型	BERT、FastText、TextCNN等	文本数据的解析与信息提取
	大模型	ChatGPT、SegmentAnything等	与人类进行高水平的对话交互、自动化处理未标注的图像
仿真模拟	基于CA的城市模型	SLEUTH、BUDEM、FLUS等	通过简单地转换规则模拟复杂的空间结构演变，如城市增长边界、土地利用模式及空间形态方面的模拟
	基于MAS的城市模型	城市居住分异模型、居住区位空间选择模型等	以人工智能体代表现实世界的个体，模拟智能体之间以及智能体与环境之间的持续互动
	数字孪生	BIM、CIM等	创建真实城市环境的虚拟复制，并为城市进行仿真模拟研究
城市实验	干预实验	减盐创新研究	基于互联网平台直接开展助推干预实验

优化网络物理系统(Cyber-Physical Systems, CPS), 为城市仿真模拟研究提供了新的机遇。数字孪生技术结合了实时数据、物联网和人工智能技术, 创建真实城市环境的虚拟复制, 通过部署遍及城市的传感器网络, 实时收集有关交通流量、空气质量、能源使用等数据, 为仿真模型提供输入信息, 以提高模型的时效性和准确性, 实时监控、模拟、分析和预测城市运行中的各种现象, 为城市规划、管理和决策提供了强大的工具。

除数据分析外, 技术的发展使得城市科学家可以基于互联网平台开展干预实验。为应对食品环境变化带来的挑战, 清华大学与世界卫生组织驻华代表处、中国疾病预防控制中心营养与健康所共同开展了一项减盐创新研究, 在多个城市如沈阳、北京、西安等地的餐厅中进行随机对照试验, 将饿了么APP作为实验平台, 采用助推干预

的方法来促进中国外卖点餐的减盐选择, 该研究于2020—2022年间开展<sup>[15]</sup>, 旨在启发中国和西太平洋区域的主要利益相关方了解如何通过行为洞察来助推消费者选择更健康的食品、营造有利的食品环境并改善人民的健康及福祉。

### 3 新城市的科学：技术与变革

第四次工业革命中涌现的颠覆性技术不仅推动了城市研究中的数据、技术和方法的发展, 还推动了城市本体的变革<sup>[16]</sup>。因此, 部分学者开始关注到新城市科学本体层面的改变, 如关注城市虚实空间<sup>[17]</sup>、远程办公等现象, 但目前实证研究还较为缺乏。笔者与合作者<sup>[18]</sup>曾使用“新城市”一词来描述在新兴技术影响下出现的新城市新现象。本文新城市的科学(图5)继续延续这一定

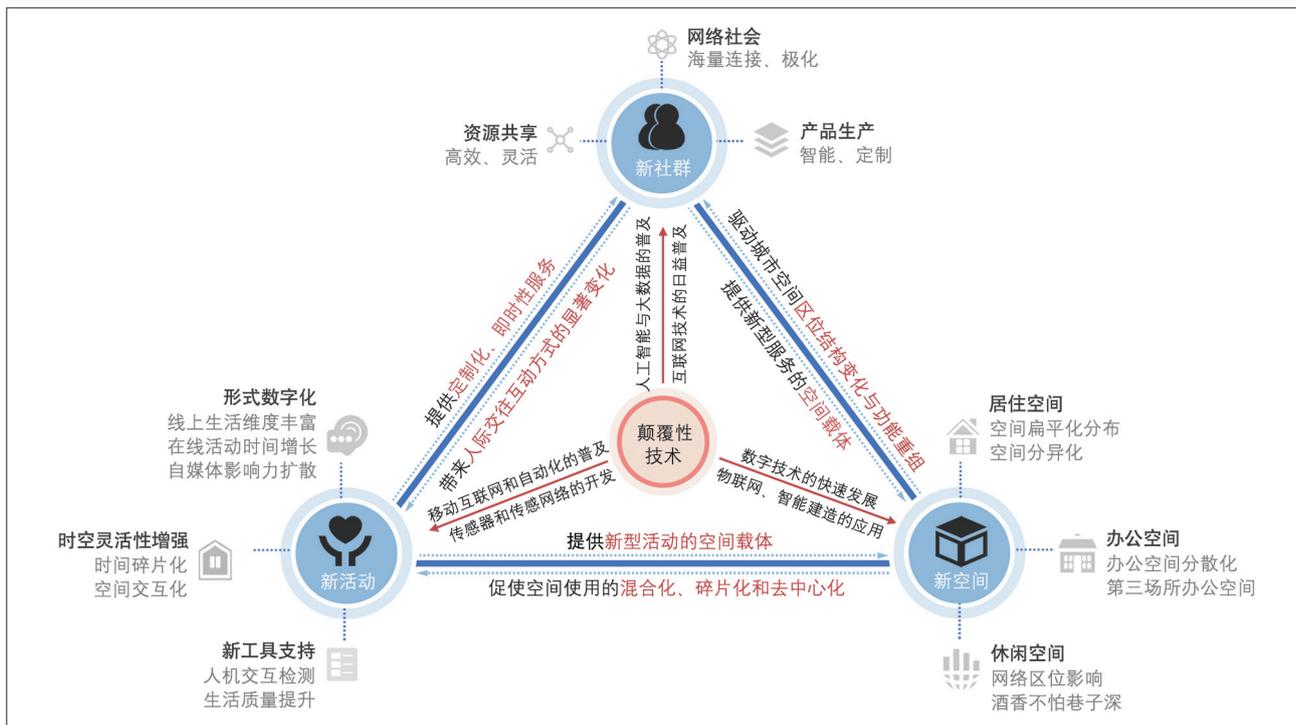


图5 新城市的科学研究框架  
Fig.5 Research framework of the science of new cities

义。新城市的科学，指代颠覆性技术影响下对日常生活、社会组织及城市空间开展的新城市方面的系列科学探索工作。

### 3.1 新日常生活

颠覆性技术的发展极大地改变了人们的日常生活方式，使其变得更加数字化，活动类型也更加丰富(表4)<sup>[19]</sup>。首先，人们的活动形式越来越数字化，这不仅体现在互联网用户比例的增加上，也反映在用户线上生活的日益丰富、用户在线时间延长以及自媒体影响力的扩大上。如今，数字生活与人们的日常生活紧密相连、相互交融。同时，个体表现出能同时进行多项任务的能力，即前台活动与后台活动并行。前台活动指个体主要集中精力参与的活动，无论是线上还是

线下，前台活动往往都处在一个连续的整体空间内；而后台活动则发生在前台活动之外，虽然吸引较少注意力，但其在线时长和频次往往超过前台活动<sup>[20]</sup>。

其次，随着移动互联网和智能设备的普及，个体活动的时间和空间灵活性显著增强。这些技术的进步打破了传统物理边界的限制，使得人们跨越时间和空间的界限进行日常活动变得可能。数字化生活的发展使得人们的行为越来越多地从线下转移至线上，个人时间愈发碎片化，日常活动也更加多元化，不再受限于特定场所，如远程工作的兴起等<sup>[21]</sup>。部分学者也指出，个体的线上线下活动已不再是既往的独立的二分活动，开始出现混合的特征，混合化正在以新的、不可预见的方式塑造和限制个人的日常生活和活动。个体混合性(多种活动的复合性)的日常活动也正在增加<sup>[22]</sup>。

此外，科技进步同样为个人自我认识和生活数字化提供了全新的工具。以往，个体数字生活的记录主要依靠问卷调查或日志记录等传统方法。当前，多种可穿戴设备如智能手环和智能手表等，不仅具有各种实用性功能，还能通过人机交互技术捕捉并记录佩戴者的生理信息和行为数据。这些设备越来越多地被用于日常生活的数字化记录，个体健康状况和睡眠质量的监测，提高了个体生活的质量。此外，这些可穿戴设备也为精确评价用户在不同时间和空间环境下的暴露水

表4 新日常生活变革  
Tab.4 New changes in daily life

新现象	新表征	新规律
个体活动形式的数字化	互联网用户比例的提升、用户在线时间时间的增长等	多任务、平行活动
个体活动的时空灵活性增强	日常行为由线下转至线上，如远程办公等	日常活动中时间与空间维度的跨度增大，线上线下活动开始混合化
数字自我的形式丰富	穿戴式设备，如智能手环、智能手表等的普及	个体日常生活及健康状况数字化

平提供了新的可能。

### 3.2 新社会组织

在个体生活方式改变的基础上，新技术的影响也使得人们之间的交往互动方式产生了显著变化，由此产生了新的社会经济组织，并带来了城市生产与服务的变革。首先是网络社会的迅速崛起。得益于各种社交媒体和视频平台的社交功能，人与人之间的社交距离被极大缩短，在不同平台上与他人建立联系成为可能。这些平台促进了虚拟社群的形成，使个人在网络中的联系更为广泛，进而影响到网络结构的极化现象，即网络中的热门人物能够吸引海量的关注，明星效应远超以往，网络直播带货等新业态也开始发展。

其次是开放共享的城市生活。共享经济可以被定位为一种社会经济系统，能够在个人和组织之间实现一系列商品和服务的中间交换，旨在提高效率和社会中未充分利用的资源优化。共享服务的使用模式存在时空差异，以共享单车为例，周末使用共享单车系统的平均出行距离明显大于工作日，且共享单车的使用特征与地铁站周边土地利用和人口密度相关，无论城市还是郊区。相比传统经济，共享经济可以抵消并取代个人的过度消费和不可持续的习惯。例如，共享交通的出现可以节省成本、提供便利并减少车辆使用、车辆拥有量和车辆行驶里程<sup>[23]</sup>。然而，不断提升的共享出行服务和新兴自动驾驶汽车技术的扩散也有可能干扰当前交通系统的运营<sup>[24]</sup>。

与此同时，城市生产与服务也开始不断迭代发展。一方面，即时、精准的在线服务开始盛行。在线服务具有可移动性和个性化等优势，可以使用户克服传统服务的时空限制<sup>[25]</sup>。相比传统服务，用户选择在线服务的主要动机包括便利性、个性化体验，以及更广泛的选择范围<sup>[26]</sup>。年轻人和技术熟练者更习惯于使用数字设备，也更愿意尝试新事物，因此更倾向于使用这些服务<sup>[27]</sup>。另一方面，还出现智能、定制的产品生产。消费者个性化、即时化的需求促使制造商与消费者之间的联系更为直接、及时，“客对厂”（Customer to Manufacturer, C2M）模式逐渐兴起，这样可以减少或消除中间商的作用，更精准满足消费者的使用需求及自我个性化表达<sup>[28]</sup>。

### 3.3 新城市空间

第四次工业革命以及全球化潮流下，技术发展导致了服务方式的变革以及活动方式的改变，进而推动了城市空间的重构；另一方面，数字技术也直接影响城市空间的效能和运行逻辑，进而重塑空间及功能，产生新的空间模式与空间分布规律等<sup>[29-30]</sup>。这种变化体现在不同尺度和不同维

度<sup>[31]</sup>的城市空间中。

在居住空间层面，在当前“共享经济”与“网络平台”趋势的影响下，居住方面出现了“共享居住”的新兴模式。该模式主要涉及两方面内容：一是居住空间在非使用时间的共享，二是对居住空间中部分空闲资源（如其中一个卧室）的共享。这种共享居住方式，通常更受短期旅游者的欢迎，其提供的住宿资源大多位于交通便利且酒店价格较高的地区，如城市中心<sup>[32-33]</sup>、旅游景点、公交站及周边区域。随着交通、物流和通信技术的进步，居住空间受地理位置和距离的影响也在逐渐减弱，这也导致居住空间的分布呈现扁平化态势。

在办公空间层面，随着远程办公技术的进步和交通设施的发展，工作地点的选择越来越不受时空限制，促使办公空间从传统的城市中心向郊区转移，导致区域性工作中心的形成<sup>[34]</sup>。此外，作为工作和居住之外的第三空间，如咖啡馆、茶室和自习室等新型非正式公共场所，为传统的办公室工作和居家办公提供了创新的替代选择，这已经成为了一种普遍现象<sup>[19]</sup>。这些第三空间不仅为个人提供了一个新的社会互动和工作的场所，也反映了工作和生活方式的多样化发展趋势。因此，办公空间的分布趋向扁平化，更多围绕住宅区分布。同时，也有研究指出，知识的形成（信息向知识的转换）依赖于复杂的社会互动过程，因此，越来越多的知识密集型企业也在选择重新

表5 新社会组织变革

Tab.5 New transformation of social organizations

新现象	新表征	新规律
网络社会的迅速崛起	虚拟社群(如微博等)的普及	网络内每个个体连接增多，出现远超以往的明星效应
开放共享的城市生活	共享经济的发展	不同共享服务使用模式存在时空差异，资源分配高效、灵活、及时、低碳，但可能干扰当前城市系统的运营
生产服务的发展迭代	在线服务及C2M的崛起	便利性、智能化、定制化、低时空限制及更广泛的选择范围

表6 新城市空间变革

Tab.6 New urban space reform

新现象	新表征	新规律
新居住空间	“共享居住”的新居住模式出现	区位影响减弱，居住空间扁平化分布
新办公空间	远程办公、第三场所办公等新工作方式的发展	常规办公空间从城市中心迁移至郊区，咖啡厅等第三场所发展成为新办公空间，知识密集型企业重返市中心
新休闲空间	用户的出行、活动等决策越来越依赖电子口碑	算法与评价使商业空间选址和需求发生改变，休闲空间开始向地块内部及高层渗透

回归城市中心<sup>[35]</sup>。

在休闲空间层面。电子口碑和实时导航技术的应用正日益影响人们的出行和活动选择，为到达未知地点提供了便利。这一变化使得传统的休闲空间位置的选择标准发生了改变，原有的“金角银边草肚皮”吸引力法则被重新定义。通过网络平台上的信息和评价，能够降低城市边缘或不太显眼空间的地理位置的不利影响，以较低的租金提供更高水平的服务和空间体验，被越来越多的商家青睐。“酒香不怕巷子深”的观念在互联网的加持下获得了新的解读，休闲空间开始向城市的背街小巷和内部地块<sup>[36-37]</sup>及高层楼宇<sup>[38-39]</sup>渗透。

#### 4 未来城市：技术与应用

颠覆性技术的发展带来了城市生活方式的改变，其共同驱动城市产品服务的更迭，乃至未来城市空间的转型。近未来，新技术将持续促进数字创新的应用和发展，并在新的数据、方法和技术的支持下进一步支持城市规划范式范式的改变，从而带动新的城市原型的产生和新的空间创造方式的研发(图6)。

##### 4.1 未来城市空间原型

技术进步重新塑造人们生活方式和城市结构的同时，也提供了洞察未来城市空间交互机制和影响的新视角。无论是老城还是新开发的城区，未来城市空间原型将在新的城市科学，新城市的科学共同支持下进行空间创造，成为智慧城市等技术在建城环境的空间投影<sup>[40]</sup>。

未来城市并不会突然出现，而是会逐渐演变<sup>[41-42]</sup>。一方面，对于已经发展的老城，其内在功能和活动的巨大变革预示着一场大规模的城市更新和改造浪潮即将到来。不断进步的新技术正共同驱动着城市空间的演化，进而在不同层级上重塑城市空间。未来城市将在保持现有结构的基

础上，通过更新改造项目引入新的功能和活动，满足未来社会的需求，实现对现有城市空间的有效利用与优化。另一方面，扩张中的新城区域将大规模拥抱技术，如混合使用空间、无人技术等，共享经济和弹性设计成为新常态。相比传统三维城市空间，未来城市将转向包含时间维度的四维空间属性，城市将受到高频的管理<sup>[43]</sup>，空间结构受技术影响更加灵活便捷<sup>[44]</sup>，功能复合并呈碎片化发展<sup>[45]</sup>，注重低碳可持续发展，并在空间互动维度上呈现共享与适应反馈的特征<sup>[46]</sup>。

已有研究表明，未来城市不一定是增长的，人口收缩的城市大量存在<sup>[47-48]</sup>。人口流失为城市带来了显著的变化，除经济下行及产业衰退外，城市内部空间的变化也非常显著，以城市空置最为突出。一方面，局部人口收缩最终传导为城市空间质量的下降，形成恶性循环；另一方面，城市空置也蕴含着大量的机遇，绿色基础设施的广泛出现为城市增添了自然的生机。回顾历史，技术的发展不断重塑并推动着人类城市文明的演进，当下第四次工业革命同样以一系列颠覆性技术改变并影响着收缩城市的未来。如数字游牧的鹤岗，拥抱科技发展的黑河，以及机器换人的东莞高埗镇。在技术变革下，这些收缩城市正在通过技术重塑人居环境，抓住其智能转型的机遇，达到与自然的共生平衡。

##### 4.2 未来城市空间创造

未来不是预测的，而是创造的，我们应洞察到在当下技术革新中未来城市的模式和特征，并主动干预和创造。笔者<sup>[49]</sup>提出一种未来城市空间创造理论，综合考虑了数字创新、空间干预和场所营造3个关键维度。数字创新，作为其中最关键的维度，通过集成信息通信技术和其他先进技术，可基于物联网等利用空间干预赋予城市空间新的功能和特性，也可以利用信息平台或系统等赋能场所营造，以提高空间品质和效能<sup>[50-51]</sup>。数字创新是未来型数据增强设计(Data Augmented

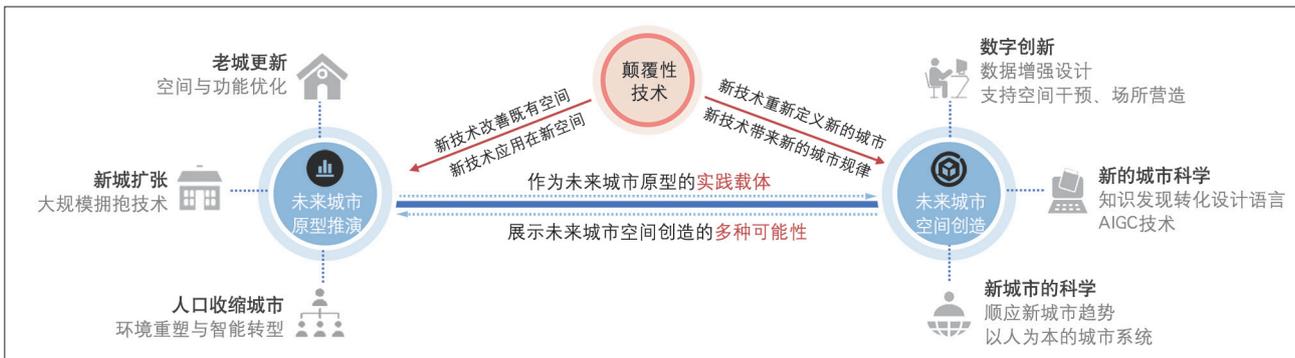


图6 未来城市的科学研究框架  
Fig.6 Research framework of the science of future cities

Design, DAD)中的重要手段<sup>[52]</sup>，面向未来的城市空间创造，需要在多个场景中应用数字创新工具，以适应人们日常生活与城市空间的发展趋势，提升空间品质，达到解决问题、提高效率和增加收益的目标<sup>[53]</sup>。

数字创新在未来城市空间创造方面的应用，应当当前新的城市科学。首先，城市科学家应该基于目前通过大规模数据分析得到的城市物理空间及社会空间的规律知识，提取优秀空间的基因并转化为设计语言的一部分，支持更优秀空间的设计和创造。其次，还需要将新技术，如传感器、人机交互设备等，布设在传统城市空间中，以完成对传统城市空间的实时监测，实现传统城市空间效能的提升。此外，AI技术的演进为设计领域带来了新的辅助工具。从数据的收集和对数据的解读，到设计意图和方案的生成，人工智能生成内容(Artificial Intelligence Generated Content, AIGC)技术已经有潜力应用于规划设计的全过程。此外，AIGC通过交互式聊天反馈为既往无法直接参与到空间设计中的公众提供了更易于理解和参与的方式。

在利用数字创新创造未来城市的过程中，还需要紧密关注和预见新城市发展的潮流。城市科学家和规划者应当深刻理解城市空间正在发生的变化，并基于这些变化设计和创造出能够顺应未来趋势的空间解决方案。未来城市的规划设计不仅应当响应当前的发展需求，还应具有前瞻性，目的是为了构建一个能够应对未来挑战和把握机遇的城市环境。考虑到技术的快速发展，未来的城市环境可能会表现出“技术拼贴”的特征，不同的功能和服务通过数字化手段紧密连接，进而形成一个既高效又充满活力和适应性的以人为本的城市系统。这个系统将不仅包含先进的技术，还表现为社会、文化和环境层面上的和谐共生，所有城市居民将生活在一个更加宜居和有吸引力的环境中。

## 5 结论与讨论

新城市科学是在第四次工业革命一系列颠覆性技术对城市和科学研究方法影响下的一门“新科学”，由新的城市科学(方法论)、新城市的科学(本体论)及未来城市(实践论)3个核心构成。本文通过介绍新城市科学的发展脉络，归纳梳理“新城市科学”在近十年的新发展，为实现可持续、韧性、宜居的未来城市提供理论基础。在新的城市科学方面，技术变革的加速与越来越丰富的城市数据环境带动了城市科学方法论的发展，促使城市科学家能够更加有效地感知、诊断和预测城市环境及其问题。在新城市的科学方面，城

市本身在新兴技术的影响下出现的新现象背后的规律及其内在机理，需要城市科学家在城市本体论的层面进一步关注和研究。在未来城市的空间创造上，颠覆性技术的发展将促进数字创新在实践中的应用，与空间干预和场所营造一起促进构建既高效能又富有活力和适应性的未来城市环境。

然而，我们需要认识到技术对城市的影响并不完全是正面的。新的城市科学方面，大数据的兴起引发了数据隐私和安全问题。城市科学家仍需意识到技术只是工具，它无法替代研究者对城市现象的发现、思考和解释；新城市的科学方面，信息茧房、数字鸿沟、机器换人引发失业浪潮等社会问题<sup>[54]</sup>给治理和公平等城市议题带来挑战<sup>[55-56]</sup>。

总体而言，新城市科学展现出了新时代机遇与挑战并行的局面，当前城市科学研究与实践领域还有较大的拓展空间。城市仍在颠覆性技术影响下继续变革，新城市科学这门新兴的科学还在不断地演进与发展，城市科学家也应持续开展以中国城市为实验田的新城市科学研究。

注：本文扩展版本详见《新城市科学概论》(2024年出版)教材。

### 参考文献(References)

- [1] GEDDES P. Cities in Evolution: An Introduction to the Town Planning Movement and to the Study of Civics[M]. London: Williams, 1915: 269.
- [2] KONTOKOSTA C. Urban Informatics in the Science and Practice of Planning[J]. Journal of Planning Education and Research, 2021, 41(4): 382-395.
- [3] BATTY M. Big Data, Smart Cities and City Planning[J]. Dialogues in Human Geography, 2013, 3(3): 274-279.
- [4] BETTENCOURT L, WEST G. A Unified Theory of Urban Living[J]. Nature, 2010, 467(7318): 912-913.
- [5] BETTENCOURT L. The Origins of Scaling in Cities[J]. Science, 2013, 340(6139): 1438-1441.
- [6] 谭纵波. 城市规划[M]. 北京: 清华大学出版社, 2016: 3-5.  
TAN Zongbo. Introduction to Urban Planning and Design[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2016: 3-5.
- [7] CHADWICK G. A Systems View of Planning[J]. Journal of the Town Planning Institute, 1966, 52(5): 184-186.
- [8] 蒋士会, 郭少东. 复杂性科学的方法论探微[J]. 广西师范大学学报(哲学社会科学版), 2009, 45(3): 33-37.  
JIANG Shihui, GUO Shaodong. The Research on Methodology of Complexity Science[J]. Journal of Guangxi Normal University (Philosophy and Social Sciences Edition), 2009, 45(3): 33-37.
- [9] MORONI S, COZZOLINO S. Action and the City. Emergence, Complexity, Planning[J]. Cities, 2019, 90 (2019): 42-51.

- [10] BETTENCOURT L, LOBO J, YOUN H. The Hypothesis of Urban Scaling: Formalization, Implications, and Challenges[J]. arXiv preprint arXiv: 2013. 1301.5919.
- [11] 龙瀛. 街道城市主义 新数据环境下城市研究与规划设计的新思路[J]. 时代建筑, 2016, 148(2): 128-132.  
LONG Ying. Street Urbanism A New Perspective for Urban Studies and City Planning in the New Data Environment[J]. Time + Architecture, 2016, 148(2): 128-132.
- [12] ZHAI W, JIANG Z, MENG X, et al. Satellite Monitoring of Shrinking Cities on the Globe and Containment Solutions[J]. Iscience, 2022, 25(6): 1-20.
- [13] 牛强, 易帅, 顾重泰, 等. 面向线上线下社区生活圈的服务设施配套新理念新方法——以武汉市为例[J]. 城市规划学刊, 2019(6): 81-86.  
NIU Qiang, YI Shuai, GU Zhongtai, et al. New Concepts and Methods for Service Facilities in Online and Offline Community Circles: A Case Study of Wuhan City[J]. Urban Planning Forum, 2019(6): 81-86.
- [14] 王新宇, 李彦, 李伟健, 等. 城市更新视角下的公共空间品质评估方法——基于移动感知技术的探索[J]. 国际城市规划, 2024, 39(1): 21-29.  
WANG Xinyu, LI Yan, LI Weijian, et al. Quality Assessment of Urban Public Space from the Perspective of Urban Renewal: Exploration Based on Mobile Sensing[J]. Urban Planning International, 2024, 39(1): 21-29.
- [15] SONG C, LI W, CUI Y, et al. Do Restaurants Comply with Reduced Salt Requests from Consumers Ordering on Meal Delivery Apps?[J]. BMC Public Health, 2023, 23(1): 2000.
- [16] KIZILHAN T, KIZILHAN S B. The Rise of the Network Society—The Information Age: Economy, Society, and Culture[J]. Contemporary Educational Technology, 2016, 7(3): 277-280.
- [17] 申悦, 柴彦威, 王冬根. ICT对居民时空行为影响研究进展[J]. 地理科学进展, 2011(6): 643-651.  
SHEN Yue, CHAI Yanwei, WANG Donggen. Reviews on Impacts of Information and Communication Technologies on Human Spatial-Temporal Behavior[J]. Progress in Geography, 2011(6): 643-651.
- [18] 张思嘉, 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.  
ZHANG Enjia, LONG Ying. Spatial Intervention, Place Making and Digital Innovation: Design Transformation Driven by Disruptive Technologies[J]. Planners, 2020, 36(21): 5-13.
- [19] ALIAS N. ICT Development for Social and Rural Connectedness[M]. New York: Springer, 2013: 11-16.
- [20] THULIN E, VILHELMSON B. Bringing the Background to the Fore: Time-Geography and the Study of Mobile ICTs in Everyday Life[M]. London: Time Geography in the Global Context. Routledge, 2018: 96-112.
- [21] 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.
- [22] LI C, THULIN E, CHAI Y. Understanding the Hybridization of Everyday Activities from a Time-Geographic Perspective[J]. Annals of the American Association of Geographers, 2024, 114(1): 185-199.
- [23] HOSSAIN M. Sharing Economy: A Comprehensive Literature Review[J]. International Journal of Hospitality Management, 2020, 87: 102470.
- [24] NARAYANAN S, CHANIOTAKIS E, ANTONIOU C. Shared Autonomous Vehicle Services: A Comprehensive Review[J]. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 2020, 111: 255-293.
- [25] YAN M, FILIERI R, GORTON M. Continuance Intention of Online Technologies: A Systematic Literature Review[J]. International Journal of Information Management, 2021, 58: 102315.
- [26] WANG C, TEO T. Online Service Quality and Perceived Value in Mobile Government Success: An Empirical Study of Mobile Police in China[J]. International Journal of Information Management, 2020, 52: 102076.
- [27] KEEBLE M, ADAMS J, SACKS G, et al. Use of Online Food Delivery Services to Order Food Prepared Away-From-Home and Associated Sociodemographic Characteristics: A Cross-Sectional, Multi-Country Analysis[J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2020, 17(14), 5190.
- [28] 甄杰, 严建援. 在线个性化产品定制研究综述与展望[J]. 重庆工商大学学报(社会科学版), 2018, 35(6): 12-21.  
ZHEN Jie, YAN Jianyuan. A Literature Review of Online Product Personalization[J]. Journal of Chongqing Technology and Business University (Social Science Edition), 2018, 35(6): 12-21.
- [29] ZAKHARENKO R. Self-Driving Cars Will Change Cities[J]. Regional Science and Urban Economics, 2016, 61: 26-37.
- [30] HARPER C, HENDRICKSON C, SAMARAS C. Exploring the Economic, Environmental, and Travel Implications of Changes in Parking Choices Due to Driverless Vehicles: An Agent-Based Simulation Approach[J]. Journal of Urban Planning and Development, 2018, 144(4): 04018043.
- [31] 龙瀛. (新)城市科学: 利用新数据, 新方法和新技术研究“新”城市[J]. 景观设计学, 2019, (2): 8-21.  
LONG Ying. (New) Urban Science: Studying “New” Cities with New Data, Methods, and Technologies[J]. Landscape Architecture Frontiers, 2019, (2): 8-21.
- [32] GURRAN N, PHIBBS P. When Tourists Move in: How Should Urban Planners Respond to Airbnb?[J]. Journal of the American Planning Association, 2017, 83(1): 80-92.
- [33] QUATTRONE G, PROSERPIO D, QUERCIA D, et al. Who Benefits from the “Sharing” Economy of Airbnb?[C]//Proceedings of the 25<sup>th</sup> International Conference on World Wide Web, 2016: 1385-1394.
- [34] 刘婧, 甄峰, 张姗姗, 等. 新一代信息技术企业空间分布特征及影响因素——以南京市中心城区为例[J]. 经济地理, 2022, 42(2): 114-123, 211.  
LIU Jing, ZHEN Feng, ZHANG Shanshan, et al. Spatial Distribution Characteristics and Information Factors of

- New-Generation information Technology Companies: A Case of Nanjing Central City[J]. *Economic Geography*, 2022, 42(2): 114-123, 211.
- [35] MORISET B. Building New Places of the Creative Economy. The Rise of Coworking Spaces[J]. 2013, halshs-00914075.
- [36] 王竞凯, 葛岳静, 唐宁. “互联网+”时代“城内城”型高校周边商业空间的分异特征及形成机制——以西南大学实体商业空间与网络商业空间为例[J]. *经济地理*, 2017, 37(9): 125-134.  
WANG Jingkai, GE Yuejing, TANG Ning. Differentiation Characteristics and Formation Mechanism of “City Within City” Type University Surrounding Commercial Spaces in the “Internet+” Era: Case Study of Physical and Online Commercial Spaces of Southwest University[J]. *Economic Geography*, 2017, 37(9): 125-134.
- [37] 晏龙旭. “均质化-再集聚”: 互联网影响下餐饮业空间布局新特征——基于上海内环开放数据的研究[J]. *城市规划学刊*, 2017(4): 113-119.  
YAN Longxu. “Homogenization-Reaggregation”: New Characteristics of Catering Industry’s Spatial Layout Under the Influence of the Internet - Based on the Study of Open Data Within Shanghai’s Inner Ring[J]. *Urban Planning Forum*, 2017(4): 113-119.
- [38] 路紫, 王文婷, 张秋雯, 等. 体验性网络团购对城市商业空间组织的影响[J]. *人文地理*, 2013, 28(5): 101-104, 138.  
LU Zi, WANG Wenting, ZHANG Qiuluan, et al. The Impact of Experiential Online Group-Buying on the Urban Commercial Spatial Organization[J]. *Human Geography*, 2013, 28(5): 101-104, 138.
- [39] 孙世界, 王锦忆. 隐形消费空间的分布特征及影响因素研究——以南京老城为例[J]. *城市规划学刊*, 2021(1): 97-103.  
SUN Shijie, WANG Jinyi. Distributional Characteristics and Influencing Factors of Invisible Consumption Space: A Case Study of Nanjing Old City[J]. *Urban Planning Forum*, 2021(1): 97-103.
- [40] 张京祥, 张勤, 皇甫佳群, 等. 未来城市及其规划探索的“杭州样本”[J]. *城市规划*, 2020, 44(2): 77-86.  
ZHANG Jingxiang, ZHANG Qin, HUANGFU Jiaqun, et al. Future City and Planning Practice of “Hangzhou Sample” [J]. *City Planning Review*, 2020, 44(2): 77-86.
- [41] KHAN S, UZAMAN, A. Future Cities: Conceptualizing the Future Based on a Critical Examination of Existing Notions of Cities[J]. *Cities*, 2018, 72: 217-225.
- [42] JAVED A, SHAHZAD F, UR REHMAN S, et al. Future Smart Cities: Requirements, Emerging Technologies, Applications, Challenges, and Future Aspects[J]. *Cities*, 2022, 129: 103794.
- [43] BATTY M. *Inventing Future Cities*[M]. Cambridge: The MIT Press, 2018: 19-40.
- [44] DADASHPOOR H, YOUSEFI Z. Centralization or Decentralization? A Review on the Effects of Information and Communication Technology on Urban Spatial Structure[J]. *Cities*, 2018, 78: 194-205.
- [45] 王晶, 甄峰. 信息通信技术对城市碎片化的影响及规划策略研究[J]. *国际城市规划*, 2015, 30(3): 66-71.  
WANG Jing, ZHEN Feng. Study on the Impact of Information and Communication Technology on Urban Fragmentation and Planning Strategies[J]. *Urban Planning International*, 2015, 30(3): 66-71.
- [46] 龙瀛, 张思嘉. 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.  
LONG Ying, ZHANG Enjia. Smart Urban Planning Under the Framework of Data Augmented Design[J]. *City Planning Review*, 2019, 43(8): 34-40, 52.
- [47] WANG X, MENG X, LONG Y. Projecting 1 km-Grid Population Distributions from 2020 to 2100 Globally Under Shared Socioeconomic Pathways[J]. *Scientific Data*, 2022, 9(1): 563.
- [48] WANG X, LONG Y. Future Shrinking Cities on the Globe: A Projection Map for 2020-2100 Based on Global Gridded Population Dataset[J]. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 2023, 50(7): 1994-1997.
- [49] 张思嘉, 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.  
ZHANG Enjia, LONG Ying. Spatial Intervention, Place Making and Digital Innovation: Design Transformation Driven by Disruptive Technologies[J]. *Planners*, 2020, 36(21): 5-13.
- [50] BATTY M. *The New Science of Cities*[M]. Cambridge: MIT Press, 2013: 1-495.
- [51] KOENIG R. *Generative Urban Design: Computational Methods for Urban Design*[M]. New York: Springer, 2015.
- [52] 龙瀛, 郝奇. 数据增强设计的三种范式——框架、进展与展望[J]. *世界建筑*, 2022, (11): 24-25.  
LONG Ying, HAO Qi. Three Paradigms of Data Augmented Design: Theoretical Frameworks, Research Progress and Future Prospects[J]. *World Architecture*, 2022, (11): 24-25.
- [53] COSTA C, MENEZES M. The Penetration of Information and Communications Technologies into Public Spaces: Some Reflections from the Project CyberParks COST TU 1306[J]. *Urbe. Revista Brasileira de Gest o Urbana*, 2016, 8: 332-344.
- [54] DIJK J V, HACKER K. The Digital Divide as a Complex and Dynamic Phenomenon[J]. *The Information Society*, 2003, 19(4): 315-326.
- [55] FONSECA A, OSMA J. Using Information and Communication Technologies (ICT) for Mental Health Prevention and Treatment[J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2021, 18(2): 461.
- [56] LIM Y, EDELENBOS J, GIANOLI A. Identifying the Results of Smart City Development: Findings from Systematic Literature Review[J]. *Cities*, 2019, 95: 102397.