

“AI城市空间：变革、趋势与规划响应” 学术笔谈

Otthein Herzog 袁 烽 王兴平 龙 瀛 张晓春 黄经南 杨俊宴 张姗姗 甄 峰 晏龙旭

【主编按语】

新一代人工智能技术（AI）正以前所未有的深度和广度重塑人类社会经济活动，并深刻嵌入城市空间系统。AI正在演变为决定未来城市空间形态、治理模式和运行法则的核心要素。从传统“智慧城市”向深度“AI城市”跨越，探讨算法、算力和数据如何重构城市空间、预测城市空间的演化趋势和规划应对，是规划学界的重要理论命题和时代挑战。为此，本刊编辑部特邀10位专家进行“AI城市空间：变革、趋势与规划响应”学术笔谈，围绕城市认知、虚实空间、基础设施、经济社会关系与规划治理等方面展开讨论，现将他们的观点呈现如下：

1. 城市认知与规划方法正在发生转向

AI首先改变的是城市认知方式。城市已逐渐成为可以被实时感知、动态模拟和智能推演的复杂系统。袁烽提出AI城市的关键在于从工具调用走向自主推演，使规划师与智能体共同提出问题、组织模拟和验证结果，并进一步提出“超模拟-超映射-超耦合”三层空间方法论，主张城市多系统并行模拟、物理与数字空间双向实时映射，实现对城市复杂性的整体把握。Otthein Herzog从城市数字孪生和大语言模型出发，指出未来规划需要借助多模态智能体和反馈机制，处理城市中多主体、多目标、多尺度的复杂关系。AI不仅可以提高规划的工作效率，还可以推动规划方法从经验判断和单项分析，走向系统推演和协同决策。

2. 城市空间对象正在从物理空间扩展为虚实复合系统

AI城市的重要变化是规划对象本身的扩展。城市不只由土地、建筑、道路和设施构成，也由数据、模型、算法、规则和数字场景共同构成。杨俊宴提出，赛博城市并非物理城市的数字复刻，其与真实城市通过要素接驳与双向反馈实现协同演化。张晓春结合深圳数字孪生实践指出：数字孪生正在支撑空间规划从分散孤立走向全域统筹，从单一物理空间供给走向虚实空间同步供给；深圳探索将通用大模型与各专业垂类模型整合协同，实现跨领域的动态精准推演。

3. 新型基础设施正在推动城市从平面秩序走向立体协同

AI技术与低空经济、自动驾驶、智慧物流等新场景结合，正在改变城市基础设施的组织方式。黄经南认为，低空基础设施具有物理设施与信息网络同构的特征，起降场地、航路网络、通信导航、微气象环境、建筑高度和空间权属都需要被纳入统一判断。龙瀛聚焦居住区设计空间单元，探讨大模型如何帮助识别现有居住区的空间问题，并将无人配送、低空物流、机器人服务等新生活方式转译为具体的居住空间原型。AI城市最终会从云端和平台落实到街区、社区、屋顶、道路和日常生活场景之中。

4. 经济空间和社会关系正在被算法重新组织

AI对城市的影响还体现在经济空间和社会空间的重构。王兴平认为，算力、数据、算法和平台正在形成新的产业地理，农业、制造业和服务业也在自动化作用下发生空间重组，同时可能带来新的区域不均衡和数字边缘化风险。张姗姗、甄峰从人—地—算法协同出发，指出AI也带来算法偏差、隐私暴露和空间同质化等问题，AI城市也会成为新的公共治理问题。

5. 规划治理需要从静态管控走向动态适应

面对AI城市的复杂变化，传统规划治理逻辑也需要更新。晏龙旭提出，AI城市正在从宏观空间结构、中观功能布局和微观空间使用等三个层面挑战传统规划：中心体系更加动态，功能边界逐渐模糊，空间用途趋于复合和弹性。未来规划需要增强对动态过程的识别、调节和引导能力，在技术演进与公共利益之间建立新的制度接口。

本次笔谈所呈现的AI城市，是涉及城市认知、空间对象、基础设施、经济社会关系和治理逻辑等的复杂系统。AI需要算法和算力，也需要公共价值和专业判断；需要数字空间，也必须回应真实生活。规划学科的责任，是把AI重新放回城市发展的基本问题之中：城市如何运行，空间如何组织，技术最终服务于谁。

城市数字孪生与大语言模型：对现实城市规划的启示 (Urban Digital Twins and LLMs: Implications for Planning Real Cities)

Otthein Herzog (中国工程院外籍院士、德国国家工程科学院院士、同济大学教授、德国不来梅大学教授)

A city (or parts thereof) can be understood as a long-lived socio-technical system whose evolution is influenced by a lot of different interests and inter-dependencies:

- (1) a spatial embedding of the plan object in question within a larger hierarchy (city, state, traffic system) with stronger specific relationships to neighboring regions, increasingly also in the third dimension;
- (2) citizen or governance demands and resources from many different perspectives, e.g., mobility and logistics of goods/energy/water/data, industry and business development, sustainability, resilience, health, safety, and security;
- (3) historical experiences and infrastructures, existing values created by earlier decisions or specific recent issues.

Therefore, a city can be also viewed as an entity of interaction within a complex network of goals and interdependencies. To disentangle this complexity, urban planning and management operate on at least two different time scales and across the three dimensions of structural, and dynamic properties of a city which are the fertile ground for implementing the citizens' requirements:

- (1) longer-term urban planning aiming from the viewpoint of a specific point in time for a defined future scope to create the potential of a future infrastructure development with a defined time scope under goals including, e.g., attractiveness for citizens, business, tourism, but also sustainability including financial, ecological and capability aspects as well as adaptivity towards future ideas, innovations, and other opportunities, and resilience with respect to a wide range of relevant possible threats;
- (2) almost real-time operational planning, monitoring, and control of subsystems and their interaction with respect to important parameters based on IoT data management and related AI analytics.

Even if these two layers can to a large degree be studied independently from each other, there is also a need to study and manage their mutual inter-relationships — how statistics and issues observed at the operational level can be used, e.g., through operational data and the IoT to improve urban planning, or how knowledge captured at the urban planning level can be (directly but intelligently) reused for the operational tasks.

In order to capture all city planning aspects, there is the need to create models for the planning aspects at hand beyond maps and data warehouses. Digital Twins have already been successfully used in many individual urban planning tasks. AI-based digital twins and a related data exchange and simulation infrastructure facilitate modeling the real-world aspects and their inter-dependencies.

The digital models can be implemented in the context of a broad framework of digital twin core conceptual models and services, which are defined by the international industry IoT consortium as:

"A digital twin is a virtual representation of real-world entities and processes, synchronized at a specified frequency and fidelity.

• Digital twin systems transform business by accelerating holistic understanding, optimal decision-making, and effective action.

• Digital twins use real-time and historical data to represent the past and present and simulate predicted futures.

• Digital twins are motivated by outcomes, tailored to use cases, powered by integration, built on data, guided by domain knowledge, and implemented in IT/OT systems."

The set of technological conceptual models called the digital twin core, focuses on interoperability aspects at the data and computational models, plus metadata, preprocessing, dataflow, and validation models. The report offers an impressive picture of the highly complex technological setting for Digital Twins from an object-oriented analysis and design perspective.

This perspective has been augmented by the advent of large language models (LLMs) that already play a prominent role in urban planning. Recently, LLMs were generalized to Agentic AI systems which can play a powerful role in respect to multimodalities, knowledge acquisition, plan validation, simulation, and decision making. This new technology allows to create a framework for typical Urban Planning Agentic Social AI systems that integrates well-known Multi-Agent Systems technologies with Multimodal LLMs. This allows for a flexible, modular, and extendable approach in order to build a distributed cooperating and competing system of agents to capture the interdependencies of relevant urban aspects in a distributed Agentic Social AI System.

For urban planning tasks, such an Agentic Social AI System is capable to model the relevant static urban structures, the necessary urban dynamics, and the rules, demands, and contributions of urban stakeholders. This also suggests an interactive workflow with feedback cycles including plan validations for the urban planning tasks at hand. This approach does not attempt to replace the human planner but instead provides intelligent support to the planners in a cooperative and interactive way based on multimodal communication, e.g., maps, images, reports, and voice.

The goal of such a planning cycle is the development of an urban digital twin which provides the necessary static and dynamic plan details for a subsequent implementation and reflects a balance between the large set of requirements which must be satisfied because of existing urban planning knowledge, technological issues, administrative regulations, and the requests by virtual and later on, human urban stakeholders. This iterative planning process cycle entails, e.g., citizen requests, administrative regulations, financing restrictions, citizens' living and working conditions. Moreover, interdependencies between the many different urban planning aspects can be identified and consolidated, e.g., by balancing citizen demands with land use, roads, mobility, energy, water, parks, resilience properties, and population health aspects. To this end, the static structural urban plan elements should be completed first as a basis to subsequently incorporate the dynamic plan elements for process-oriented plan validation and simulation.

In a next step, this preliminary urban digital twin can be validated and improved by input from LLM-based stakeholder models implemented by argumentative digital twins based on specialized multimodal agentic AI models, that can bring specific, and even antagonistic aspects into the urban plan creation and negotiation using also human behavioral models. Therefore, ex-

pensive and time-consuming citizen planning contributions can be considered at later plan stages when "real humans" will get the opportunity for plan critique.

Moreover, these enabling (simulation-based) evaluation of the "operational feasibility" of urban plans by evaluating different IoT architectural options such as data distribution and governance, scalability and robustness/resilience/openness to future innovation analysis of an operational execution of the urban plan; addressing also semantic issues in enabling cooperation or competition of very large number of Digital Twins in an operational setting.

It is obvious, that the notion of urban digital Twins that are implemented by a society of multi-modal LLM-based agents ("Agentic Social AI System") extends the original definition of "digital twin" in respect of interoperability and complexity. However, given the complexity of cities and consequently, urban planning, the urban planning field will need to develop a framework along the lines outlined above in order to successfully cope with the planning complexity for livable cities. Moreover, such an urban digital twin can be used also as a framework for dealing with the operational requirements of real-time operational planning, monitoring, and control of urban subsystems and their interactions.

思辨智慧空间驱动下的城市超智能体时代

袁烽（同济大学建筑与城市规划学院院长，长聘教授）

新一代人工智能正在突破“工具论”的边界，从辅助效率走向重塑认知思维模式，深度嵌入城市空间智能化的全过程，包括生产、生活、生态的诸多场景与内容细节。正如哲学家许煜所言，人类正在经历从人本主义的匠人（homo faber），走向智人（homo sapiens），甚至神人（homo deus）的新时代。“人—智能体—自然”正在以平等的方式重塑城市的内涵。因此智能城市（AI City）的核心命题已不只是“如何更智能化增强”，而是“如何重构认知、发现规律，创造未来”。这明显不是在马车时代的换上豪华马鞍，而是一种进入汽车时代的范式改变。

1. 从“自主调用”到“智算推演”：人机共治下的城市智能化

传统规划设计中，模拟（风环境、人流、能耗、声光热、交通流、应急疏散）是离散的、专家驱动的——规划师需要逐一指认软件、配置参数、连接数据。这种“工具丛林”使得多目标耦合极为困难，跨尺度、跨学科的整体性洞察长期被工具壁垒所阻断。

我们正在推动的方向是建立“自主推演—科研代理”（Harness 架构），通过大模型的语义理解能力直接调用 GitHub 上分布式的开源模拟引擎集群，让 AI 自己根据设计语义去搜索、匹配、组合最适合的模拟工具，并在人机问答中验证结果的可靠性，实现从“指认工具”到“自主寻路”的跃迁。这是一条全新的赛道：科研工作流不再以软件为中心，而以问题语义为中心；工具被解耦、能力被聚合，城市规划由此进入一个高质量跃升（qualitative leap）的方法论拐点——规划师与 AI 的协作不再是“交付任务”，而是“共同提问”。

这一范式的技术内核可概括为三层架构：

“数据+知识”层——城市多源时空数据（遥感、IoT、移动

信令、BIM/CIM、历史规划档案）与领域知识图谱（规范、机理模型、设计经验）的融合底座；

“调用+算法”层——模拟引擎、生成式模型、优化求解器与可解释逻辑推理（因果、规约、伦理约束）的耦合中枢；

“工作流智驾”层——面向具体设计—科研问题的可编排、可追溯、可验证的智能体流水线。

2. 城市空间作为智慧空间的核心场景：超模拟—超映射—超耦合

如果说“智慧空间”的核心是数据可视化与运行监测，那么“AI 城市”的核心则是生成、决策与共演化。我用三个递进的概念来概括其空间方法论。

超模拟（Hyper-Simulation）——突破单一物理过程的封闭模拟，建立城市多系统、多尺度、多主体的跨域并行模拟，让城市的物理空间（自动驾驶廊道、低空物流网络、智能响应基建）与人的行为流、能量流、信息流可以在同一引擎中共振推演。

超映射（Hyper-Mapping）——突破“物理→数字”单向数字孪生，建立物理空间与数字空间的双向、实时、语义级映射。城市数字空间不再是物理空间的“影子”，而是物理空间演化的先行场：规划方案先在数字空间中长出形态、被检验、被博弈，再回传指导物理空间的建造与改造。

超耦合（Hyper-Coupling）——突破学科与系统的隔离，让交通—能源—生态—社会—经济—治理在算法层面深度耦合。低空物流的通道选址同时是噪声治理问题，是产业空间问题，也是社会公平问题——AI 第一次让我们有能力在同一个决策模型中处理这种本质上不可解耦的复杂性。

3. 规划建筑学科的响应

面对这一变革，规划建筑学科需要做三件事。其一，重构超智能体共生知识体系，将算法素养、模拟工程、智能体协作纳入规划师、建筑师的核心能力；其二，建设开放数智基础设施体系，推动城市级模拟引擎库、知识图谱、数据接口的共建共享，避免每个团队重复造轮子；其三，重塑后人文主义时代的伦理立场，在 AI 自主性快速扩展的同时，警惕算法黑箱、数字鸿沟与空间正义的新议题——技术越自主，规划师的价值判断越关键。

智能城市不是被动适配技术的城市，而是与技术共同进化的城市。规划学科的使命是在超模拟、超映射、超耦合的能力之上重新提出关于“未来城市为何更美好？”的根本之问。

AI与经济空间的生产与重组

王兴平（东南大学建筑学院教授，东南大学可持续产业园区发展与规划国际合作研究中心主任）

AI 即人工智能（artificial intelligence），是能够模拟、延伸和扩展人类智能的技术系统，使机器可以完成通常需要人类智能才能执行的复杂任务。AI 技术与产业可以直观地分为两类，即 AI 本身的软件研制与硬件生产，以及 AI 与各行各业的融合与应用。人类社会正在进入 AI 文明的新时代，虽然目前尚处于 AI 发

展与应用的“胎儿期”，主要是其所具有的全面“自动化”性能介入人类社会，而AI智能的深度“自主化”及其对人类智能的替代尚未成为现实，但正是这个看似初级的阶段，也已经深刻地“生产”和“重构”了经济空间——既包括AI自身产业链的物理与数字空间，也包括AI应用所渗透的泛在经济空间。我国高度重视这一历史机遇并走在全球AI发展的前列，先后出台《新一代人工智能发展规划》（2017）、《生成式人工智能服务管理暂行办法》（2023）、《国务院关于深入实施“人工智能+”行动的意见》（2025）等政策文件，明确2030年AI核心产业规模超1万亿元、带动相关产业规模超10万亿元的目标，从技术研发、基础设施、产业落地、治理规范等层面形成完整的引导体系。

目前，AI对经济空间的影响已经在以下三方面初步呈现并不断显化：

1. AI产业链催生全新经济空间类型与格局：AI软硬件生产正在催生与重构产业地理与价值分配逻辑。一方面，AI研发与制造产业在城市空间中涌现和集聚，催生了各类AI社区、OPC社区等新经济空间类型与形态；另一方面，AI偏好重构相关的软硬件产业地理格局。在硬件端，大模型训练对算力的海量需求，推动超大规模数据中心向贵州、乌兰察布等能源充足、气候冷凉的地区聚集；先进制程芯片制造高度集中于相关头部企业周边，广域范围内形成“算力核心区”与“算力外围区”的分工格局。在软件端，开源代码社区、云端模型服务（MaaS）平台打破了物理空间限制，开发者无论身处何地都可参与AI价值创造，形成无边界虚实互动的数字创新空间。

2. AI应用重构泛在经济空间形态：AI的自动化渗透促进人类与类人机器人共存协作，正在对三大产业的传统空间形态进行系统性重组，塑造出新的经济空间场景和新空间模式。在农业领域，AI无人机巡田、土壤墒情监测、病虫害预测等技术的应用，使单个技术人员可管理上千亩耕地，生产空间从分散家庭农场向集中化数字农场收敛；在制造业领域，AI视觉质检、预测性维护、智能排产等AI技术全面介入生产与管理流程，降低了对传统人工的依赖和催生大面积“黑灯工厂”“无人化园区”等新场景，并推动制造环节向数字化基础设施完善、劳动力成本更低的区域转移；在服务业领域，远程医疗、AI教育辅导、智能客服等应用实现了服务供给与物理场景的时空解耦，偏远地区居民可平等获取一线城市的医疗、教育资源，在缩小城乡服务可及性差距的同时，也导致城市中心部分传统服务岗位出现萎缩。AI介入推动经济空间进一步呈现出虚拟集聚和实体分散并存互动的新常态。

3. AI应用的特殊偏好加剧区域经济空间的不均衡：AI带来的效率提升收益目前主要向拥有数据、算力、算法的平台企业和区域集中，北京、深圳、硅谷等拥有算力基础设施与数据资源的地区进一步强化了其AI新增长极地位，同时，能源资源丰富和气候适宜的边缘区域也借助AI产业获得后发崛起的新机会，而缺乏相关要素的区域则面临“数字边缘化”风险，普通劳动者与中小生产者的获益占比较低，有可能会进一步强化不同区

域经济空间之间的“中心—边缘”结构，区域间发展关系面临解构和不合理重构风险。

当然，“胎儿期”的定位意味着AI的发展方向仍具有高度可塑性，自动化介入是通向人机自主性协同的必经阶段。当前AI对经济空间的重构，既蕴含着优化资源配置、缩小城乡服务差距的机遇，也带来了区域发展失衡等挑战。同时，AI介入改变了生产力配置方式以及人类的存在方式，人地关系扩展为人类、类人（AI）以及虚实二维空间的复杂关系，并由此改写传统的产城空间关系。引导AI向善发展，不能放任技术自发演进，需要通过普惠算力建设、源生态培育、分配机制完善等制度设计，以及适应AI向善发展规律的科学规划引导，让AI的空间生产过程更加包容，最终实现技术发展红利的全民共享和AI时代经济空间的合理建构。

（AI使用声明：本文由作者撰写核心观点和拟定主体架构、提供关键信息，由AI辅助撰写完成，文责由作者自负）

大模型赋能下的居住区设计：问题发现、趋势适应与实践应对 龙瀛（清华大学建筑学院院长副教授）

以大模型为代表的新一代人工智能技术迅速发展，其卓越的自然语言理解、跨模态信息处理与逻辑推理能力为城市规划与空间设计提供了全新的支持工具。居住区作为城市基本的空间单元，其设计实践涉及庞杂信息分析与复杂要素整合，为大模型技术嵌入具体实践提供场景。我带领的团队目前重点围绕现有居住区的问题发现与经验提取、针对新生活方式的趋势适应以及人机协同的实践应对这三个核心环节开展探索。

在问题发现与经验提取方面，重点针对现有居住区开展现状问题识别与空间干预设计方法的系统提炼。过去受限于人工处理能力，在前期分析阶段难以对海量的非结构化案例数据进行快速分析并形成设计方法借鉴，如今借助大模型的图文理解能力能够有效打破非结构化数据的处理壁垒。我们通过收集海量既有居住区的相关案例图文信息，在提示词中设定明确的特征提取规则，引导大模型快速分析案例数据并自动提取建筑单体、公共空间、绿化基建与交通组织等不同维度的典型对象并归纳其空间痛点。同时开展对居住案例的文本分析，提取细粒度的设计方法，引入文本向量化与聚类算法对分散的、非标准化的设计方法文本进行降维与归类，结合人工校验归纳出数百项涵盖各类空间要素的设计方法集。在大模型的赋能下，此工作流程能将海量案例素材系统转化为结构化的“现有居住区问题图谱”与对应的“居住区设计方法集”，为后续的设计沉淀了丰富且高参考价值的策略底座。

在趋势适应方面，伴随新技术的发展，居住区中涌现了诸如机器人服务、无人机配送、自动驾驶车接驳等新场景，如何在居住区中回应居民新生活方式成为设计环节的重要考虑因素。我们以“低空经济与智慧物流”趋势为例，利用大模型的联网检索与图文分析能力开展跨场景的案例剖析，从互联网中广泛获取近年来的新技术落地项目并准确归纳各类开放空间中新技术应用的空间特征与成熟模式，随后结合实地调研评估这些前

沿技术向居住区物理空间迁移的适配性，将成熟的居住区空间应用转译为居住区内的空间原型，据此构建涵盖居住区公共空间、道路设施和居住空间的趋势应对应用场景库，包含诸如无人机物流起降节点、无人车配送通道等场景，实现居住区空间设计对新兴趋势的积极响应。

在实践应对方面，大模型不仅是前期设计的辅助分析工具，更是深度介入方案生成与评估的重要手段。针对具体居住区设计项目，将居住区的场地现状信息、相关政策文本与居民的实际需求，连同“设计方法集”及“趋势应对应用场景库”等知识输入模型，大模型能够基于不同的设计导向，快速生成多套包含方案说明文本、方案设计节点等的差异化居住区设计方案。在方案评估环节，大模型能基于设定的居民画像，模拟不同群体的视角与诉求，对生成的多个设计方案开展量化比较与定性评估。“调研数据分析—多方案生成—模拟评估反馈”的闭环实践印证了大模型在支持居住区设计实践中的巨大潜力。

第四次工业革命下的颠覆性技术对城市空间本体与规划方法论的影响势不可当。新一代人工智能不再仅仅是处理数据的效率工具，而是正全面演变为强大的生成与推理引擎。如同历史上其他新技术的普及一样，尽早拥抱并将其为我所用才是关键。因此，我呼吁城市规划学界与业界的同行们持续关注技术发展，将大模型等前沿技术切实融入城市研究与空间设计的各个实操环节，共同探索智慧赋能人居环境建设的新路径。

数字孪生赋能新时期城市空间规划

张晓春（深圳市智慧城市科技发展集团董事长，全国工程勘察设计大师，教授级高级工程师）

1. 新时期城市空间规划的主要挑战

大数据、人工智能等新一轮技术革命正对经济社会和城市运行深度重塑，功能高频更新成为新的重要特征，城市空间规划面临跨层级统筹、多专业协同及适配新质生产力等三大挑战。

一是空间底数不清、数字空间不连续，难以支撑全域跨尺度规划统筹。空间数据分散在多部门，时空基准不一、统计口径不一、属性定义不一，带来地上地下、二维三维、静态动态数据尺度割裂，难以互通，导致全域跨尺度统筹能力不足，多规冲突问题突出。

二是垂类专业模型分散独立、大小模型技术割裂，难以支撑多领域融合精准推演。各专业模型多按自身业务独立构建，数据口径、时空尺度难以对接，大模型和传统专业模型底层机理不同难以整合，导致跨域功能匹配失衡、跨部门决策失准。

三是传统空间规划的单维静态供给模式难以适配新质生产力数实深度融合发展。低空经济、自动驾驶、具身智能等战略性新兴产业急需数字空间仿真推演与物理空间同频联动的双重支撑。

2. 数字孪生技术赋能空间规划的深圳实践

深圳近3年在城市建设、经济运行等多领域开展450余项数字孪生应用，推动了全域数字化转型。在城市空间规划领域，从统一数据底座、关键支撑技术及规划应用模式等3个方面体系

化赋能。

一是建设城市级统一数字孪生底座，支撑多尺度空间规划统筹。深圳构建标准底图体系、鸿蒙架构感知组网及SZ-IFC数据标准体系，研发数据智能治理及更新算法，实施BIM/CIM强制报建制度，建立跨部门数据协同更新机制，建成全市域统一时空信息平台，形成规划、土地、海洋等50多类空间数据统一整合与动态更新的国土空间数据底座。近年来，深圳数字孪生底座已支撑深圳市国土空间规划等市级规划、轨道交通等专项规划、2026年APEC主场地区片区规划等600多个重大项目，支撑从宏观规划到片区规划及单体项目的跨尺度整合。

二是构建大小模型分层嵌套技术体系，实现跨领域协同动态精准推演。构建城市科学计算大模型，结合超融合数据库，统一数据口径、时空尺度与模型机理标准，构建大小模型嵌套的协同推演架构，整合通用与垂类专业模型，替代传统单域推理模式。针对节假日交通拥堵痛点，深圳利用大模型研判天气、景区活动、管控措施及经济波动等非常态影响因素，快速预测区域交通并提供全局调优策略，小模型专注关键断面和节点，制定匝道、路口级最优方案，通过大小模型时空关系嵌套实现局部和全局同步优化，显著提升预测精准度和交通调控实效。

三是构建虚实空间“同步供给、同频演进”模式，适配新质生产力发展需求。供给内容上，深圳依托数字孪生底座，既为低空经济、新能源、智能网联等新质生产力配置用地，又提供市域级统一连续数字孪生空间，支持具身智能仿真、虚实协同调度、人机协同等多元交互需求，实现从单维物理空间供给向虚实同步供给的转变。落地模式上，深圳规划建设大鹏、坪山等多个实训场，搭建“虚拟空间仿真推演→实训场地测试验证→空间规划泛化推广”动态实施链路，实现虚实空间共生同频，支持战新产业快速迭代升级。

深圳的实践表明，数字孪生技术可有效支撑城市空间规划从“分散孤立规划”向“全域跨尺度统筹”、从“单一部门决策”向“多部门协同”、从“单一维度一次性供给”向“虚实共生同频演进”转变。

“物理—信息”城市低空基础设施的构建及规划响应

黄经南（武汉大学城市设计学院城市规划系教授）

低空经济的兴起带动了城市低空基础设施的建设热潮。“物理—信息”同构的特点要求使城市低空基础设施的规划建设面临网络深度交织、时空变化复杂、韧性要求提升等复杂城市环境的新挑战。

近年来，以无人机、电动垂直起降飞行器（eVTOL）为代表的低空飞行器日益普及带动的低空经济的兴起，正推动城市交通从传统的地面交通向“空地一体、垂直分层”的全新交通形态转型。作为支撑低空经济发展的基础条件与关键载体，低空基础设施（low-altitude infrastructure）的建设至关重要。

低空基础设施与传统基础设施最大的不同，在于它由“物理”与“信息”两套系统共同构成。物理设施是我们可见的起降场地、充电站等实体；信息设施则是通信、导航等网络编织

而成的一张无形数字网。唯有两套系统都正常运转,才能保障飞行器的起降与运行。“有场无网”或“有网无场”的错位是低空基础设施规划中的常见问题。

低空基础设施“物理-信息”的同构特征也使其规划建设面临复杂城市建成环境的严重约束。首先,城市低空并非均质、静态的二维延伸,而是一个高密度、高异质性的三维空间。错落的城市建筑群不仅构成了直接的物理阻抗与视距障碍,更引发了“城市峡谷风”、尾流涡旋与强风切变等微气象突变。其次,低空飞行器的运行高度依赖通感一体化的无形通信网络。密集的钢筋混凝土介质与高频的城市背景噪声,导致通信与雷达监视波束在三维城市空间中发生信号衰减、多径反射与盲区割裂。最后,在时间维度上,城市低空系统持续承受着“人地交互”带来的动态扰动。常态下,低空物流与即时配送流量紧随人类活动轨迹,在时间分布上呈现显著的潮汐式波动;而在极端场景下,如气象灾害引发地面路网阻断,或火灾等突发事件触发大规模应急响应,低空网络将瞬时承压,极易因资源过载而陷入局部甚至全域性瘫痪。

低空基础设施的规划建设也面临社会规制与人居环境的邻避效应挑战。空间使用权冲突成为最直接的矛盾表现。起降点、充电站等设施多需布设于建筑屋顶、社区公共空间及建筑外墙等位置,与既有城市功能形成空间重叠,空间使用权属与收益分配机制亟待重新厘定。同时,低空飞行器以极近距离进入居民生活区域,其飞行噪声、隐私安全及坠物风险等外部性因素极易触碰公众心理安全底线,引发空间环境公平问题。

面对上述新特点新挑战,城市空间规划思路亟须相应调整,具体可从以下四方面考虑:

第一,突破以地面为中心的二维用地思维,构建统筹地上地下、空天地一体的综合分析方法。将建筑物高度、屋顶承载能力、空域可用性、通信导航覆盖、电磁环境等因素纳入统一考量框架,建立多维度、多尺度的空间适配模型。借助最新的人工智能算法与数字孪生平台,实现起降场选址与航路网络布局的协同优化,提升低空基础设施与既有城市空间的耦合效率。

第二,推动低空起降设施与交通、医疗、应急、物流等城市多场景或多领域的深度融合,形成集约复合的设施布局模式。通过空间功能的叠加利用,实现平时与灾时功能的灵活转换:平时融入商业物流体系,提升城市运行效率;灾时发挥低空飞行器响应迅速、路径灵活的优势,承担应急任务。此类功能混合利用方式有助于提升城市空间利用效率与系统韧性。

第三,将社会接受度与空间公平性纳入设施选址核心决策变量。通过量化方法评估噪声暴露、隐私侵犯、安全风险等社会影响因子,构建技术效率与社会影响之间的多目标优化模型。降低居民对低空设施的心理抵触,防止弱势社区在设施布局中承受不成比例的负面外部性。

第四,探索新的空域使用协调机制。低空设施的嵌入使得空间权属关系日趋复杂,空间使用正由传统的排他性占有向复合性共享转变。对此,亟需探索跨区域、跨权属的空域使用协调机制,明确空域使用权的界定、配置与流转规则,推动从

“土地产权”向“空间资源”治理的逻辑转型,为低空基础设施的有序发展提供制度保障。

虚实城市交映共生:规划学科的新命题

杨俊宴(东南大学建筑学院教授)

全球已有超过2亿人沉浸在赛博空间里的时间超过现实生活的。随着数字孪生、人工智能、元宇宙等技术的深度渗透,人类正逐步构建完整意义上的数字赛博空间,城市形态也随之迎来从物理空间维度延伸到虚实双维。城市规划学科也要直面未来人类聚落的三大新命题:未来赛博城市的存在可能与建构机理,赛博城市与真实城市演化的交互映射机理,数字技术从规划工具到数字城市规划范式的提升。回应这些命题,才能推动城市规划适配数字文明时代的发展需求,实现虚实城市的交映共生。

1. 赛博城市:可预见的未来城市形态与物理世界城市的建构机理分野

赛博城市并非科幻构想,而是数字科技与人类聚居需求深度融合的必然产物,其建构机理与物理城市存在本质差异。物理城市以“物质空间集聚”为核心逻辑,而赛博城市以“数据与关系集聚”为核心,依托数字网络、算法模型与虚拟场景,打破地理空间限制,呈现出无边界、可迭代、多维度的特征,其本质是人类社会关系、活动需求在数字空间的延伸与重构,是“超越地理场所的新型社会空间”。

这种建构机理的差异决定了两者的核心特征截然不同:物理城市的生长受自然条件、资源禀赋的刚性约束,形态建构具有渐进性与不可逆性;赛博城市则以“规则定义”为核心,可通过算法迭代快速调整空间形态与功能布局,甚至能模拟物理城市的演化过程,实现“先试后行”的虚拟推演。未来的赛博城市绝非物质空间城市的数字复刻,而是具有独立建构逻辑的“第二城市”——既能承载全人类的虚拟工作、社交、娱乐等新型活动,也能通过数据反馈反向影响物理城市的运行,形成“虚实双向赋能”的新格局。

2. 虚实交互:赛博城市与真实城市的接驳、反馈及演化机制

赛博城市与真实城市的交互映射并非简单的“虚对实”复刻,而是通过“要素接驳、双向反馈、交互演化”实现深度融合,这一过程的关键是“虚实接驳”机制的建立。物理城市的全要素数字化是交互的基础,赛博城市通过算法优化与场景模拟实现“虚生实”的反哺,即虚拟空间的社会规则与功能推演,直接影响物理城市的演化。

城市作为复杂巨系统生命体,有其独特的生长演化规律,而赛博城市同样是一种复杂巨系统,有其独特的建构、生长、演化周期,两者运行演化规则截然不同,又存在无数虚实要素接驳。真实城市的地域文化、民俗特点、空间基因等对赛博城市有很强的影响和约束,而赛博城市的创新和交互又会直接反馈影响真实城市的功能布局、设施场所运营等,两者的虚实交互映射越来越重要,逐步形成各自的协同演化机制。

3. 范式跃迁：从数字工具到数字范式的规划转型

从数字工具到数字范式的提升，是规划学科面对赛博城市兴起的核心应对，也是学科转型的必然要求。长期以来，数字技术在城市规划中始终扮演“辅助工具”的角色，无论是GIS绘图还是数据统计，本质都是为传统物质空间城市规划提供技术支持，未能突破“物理空间主导”的规划逻辑。而数字范式的核心是将数字空间视为与物理空间同等重要的规划对象，实现规划重心从“空间营建”向“规则设计”的转移，构建“虚实协同”的规划体系。

这种范式升级具体包含3个层面：其一，规划对象的拓展，从单一物质空间转向“真实—赛博”双重空间，将数据确权、算法伦理、虚拟空间边界等纳入规划范畴；其二，规划方法的革新，摆脱经验主导的规划模式，依托数字孪生、城市大模型等技术，实现规划方案的虚拟仿真、动态推演与实时优化；其三，规划目标的升华，从“空间优化”转向“虚实共生”，既要保障物理城市的宜居性，也要兼顾赛博城市的包容性与安全性，避免算法垄断与数字圈层隔离等问题。具体体现为两种路径：一是“功能互补”。赛博城市承接物理城市的非物质功能，如远程办公、线上教育、游憩社交等，缓解物理城市的空间压力；物理城市则为赛博城市提供物质载体与真实体验，弥补虚拟空间的真实性缺失。二是“动态协同”。赛博城市通过实时数据监测预判物理城市的运行隐患，如交通拥堵、灾害发生、设施漏损等，提前给出指导方案；物理城市的实践反馈则持续完善赛博城市的模型与算法，形成“感知—仿真—决策—优化”的闭环体系。

4. 结语：虚实共生，迈向数字文明时代的城市规划

赛博城市是人类聚居形态的范式升级；赛博城市规划也不是对传统规划的否定，而是学科内涵的延伸拓展。未来城市规划的核心在于把握虚实映射的内在规律，平衡技术理性与人文价值——通过规则设计规范赛博城市的建构与运行，依托交互机制实现虚实空间的协同演化。作为规划师，需跳出工具思维，以数字范式重构规划逻辑，将“天人合一”的东方智慧与数字技术相结合，让赛博城市与物理城市共同承载人类对美好生活的追求，推动城市规划迈向数字文明新时代。

“人—地—算法”协同：人工智能时代的城市空间重构

张姍琪（南京大学建筑与城市规划学院城市AI与绿色人居环境营造省高校重点实验室副教授），甄峰（南京大学建筑与城市规划学院城市AI与绿色人居环境营造省高校重点实验室教授）

技术始终是推动城市功能演化与空间重构的重要力量。新一代人工智能（AI）技术正推动城市从“数字化治理”迈向“自主化治理”。不同于以“感—传—知—控”为主的传统智慧城市技术，AI以自动驾驶、低空物流、服务机器人与生成式规划智能体等为主要载体，具备预测分析、生成表达与辅助决策能力，逐步嵌入城市运行的关键环节。城市不再仅被动响应外部需求的载体，而将逐步演化为在算法驱动下持续调整与自我优化的复杂系统。在这一过程中，城市空间正从以人地主

导的生产体系转向“人—地—算法”协同的生成体系，其演化逻辑也将发生根本转变。

首先，AI通过预测与推荐机制重塑居民的空间感知与决策方式。传统空间认知主要依赖空间要素，而在AI介入后，居民对城市的理解正逐步建立在实时数据、算法与智能体建议之上。自动驾驶与低空物流正体现了这种转变：一方面，自动驾驶在一定程度上降低了乘客对陌生驾驶者的人身风险担忧，无人机配送通过缩短配送时间、拓展服务半径提升了城市服务的可达性与时效性；另一方面，系统失灵、坠落事故、责任认定不清及应急处置不足等问题，又使技术本身成为新的安全焦虑来源。空间安全感知因而从单一的物理风险规避，转向涵盖算法偏差、隐私暴露与技术可信性的多维判断。此外，生成式AI通过自然语言交互降低了公众获取规划信息与表达空间诉求的门槛，使其能够更直接参与空间认知与讨论。然而，当个体经验逐渐被算法解释与个性化推送所替代，空间感知也可能在潜移默化中被平台逻辑与资本导向所引导，从而重塑行为选择与空间偏好。

其次，AI通过生成与优化机制改变城市空间的生产方式与组织逻辑。自动驾驶、无人配送与低空物流等技术正在重构道路系统、停车结构与仓配节点，推动城市基础设施由以静态配置为主转向以动态响应为特征的网络化体系，也为城市运行提供了更加实时化与数据驱动的空间组织基础。在此基础上，生成式AI逐步介入规划设计、方案比选与公众协商等环节，由辅助工具转变为空间方案的协同生成主体。这一转变显著提升了空间生产效率，但也带来了新的结构性风险：当模型基于既有高可见性、高转化率的空间样本进行学习复制时，不同区域可能趋向相似的空间形态与消费场景，导致空间同质化与地方性削弱。同时，AI对设计、驾驶与配送等职业任务的替代，也使空间生产问题进一步外溢为劳动结构调整与社会分配问题。

总体而言，AI对城市空间的影响正由局部嵌入走向系统重构，其作用机制亦由效率提升扩展至空间组织、社会关系与治理结构的全面重塑。一方面，预测、生成与决策能力的融合，使城市运行从“事后响应”转向“事前预判与动态调度”，为空间规划与治理提供了更强的前瞻性与适应性；另一方面，安全风险转移、隐私边界模糊、空间同质化加剧与算法偏差累积等问题，也表明AI城市并不必然导向更优的空间秩序。

当前，AI技术快速演进而制度供给相对滞后，技术能力与公共价值之间的张力日益凸显，规划回应不应停留于技术接入与工具适配层面，而应转向面向治理场景的制度与方法重构。一是将算法规则、数据流动与平台机制纳入空间规划分析与管控体系，拓展传统以物理要素为核心的规划范式；二是构建面向AI影响的空间监测与评估指标体系，识别算法驱动下的空间不平等与结构偏差；三是结合多智能体模拟与生成式模型，预测不同技术介入路径下的空间演化趋势，提升规划决策的前瞻性与韧性。唯有在技术演进与公共价值之间建立有效衔接机制，AI方能成为推动城市高质量发展与空间治理现代化的关键动力。

AI城市背景下规划面临的若干挑战

晏龙旭（同济大学建筑与城市规划学院副教授）

以大数据、人工智能和算力基础设施为核心的新一轮技术变革，正推动城市从“智慧城市”迈向更深层的“AI城市”。在这一过程中，技术不再只是附着于城市运行之上的工具，而逐渐成为重塑空间结构、功能配置与城市运行的基础性力量。本文从空间结构、空间布局与空间使用等3个方面，简要探讨规划面临的挑战。

1. 宏观空间结构规划面临的挑战

从宏观尺度看，AI及相关技术的核心特征在于显著降低要素流动成本，使其更加迅速便捷，从而动摇建立在物理距离与运输成本基础上的“中心—外围”树形结构。

在“向心力”方面，传统城市经济学认为城市中心源于空间邻近带来的规模效应与集聚经济。随着制造业外迁，中心更多依赖生产性服务业和高端商业，其运行依赖面对面交流、多样性环境与复杂互动网络。然而，远程协作、云计算、数字孪生等技术正在削弱这种邻近性依赖。软件开发、AI应用、数据服务等新功能可在分布式条件下协同，其区位对传统中心的依赖显著下降。这些功能究竟会继续向少数优势节点集聚，形成新的“数字中心”，还是在更广范围内分散布局，将深刻影响城市空间结构的演化路径。

在“离心力”方面，中心地理论以地理距离对服务范围的限制为基础，形成稳定的等级体系。但在AI与数字经济条件下，生产性服务、网络消费与平台经济逐渐摆脱明确的空间服务范围。借助数字平台，城市节点可以服务全国甚至全球，其“市场区”不再受物理距离约束。由此，能够扩大服务范围的节点将获得超越传统层级体系的规模优势。

在“向心力”与“离心力”均高度不稳定的背景下，城乡体系与中心体系将呈现更加动态复杂的演化。规划的关键挑战在于：如何在高度不确定的技术条件下，总结新的空间组织模式，识别结构演化机制，并据此形成具有指导意义的宏观框架。这显然有赖于跨学科研究与长期经验积累。

2. 空间布局上“功能分区”理念面临的挑战

在中观尺度上，AI城市的发展正在冲击以“功能分区”为核心的空间组织理念。

现代规划体系形成于工业化背景，其基本假设是不同功能之间存在外部性冲突，需要通过空间分离提高效率并保障安全。因此，“居住、工业、商业、公共服务”等分区体系长期构成空间组织的基础。

然而，AI及相关技术正推动生产与生活功能重新耦合。一方面，自动化、智能制造与无人化降低了工业对空间条件的依赖，污染与噪声等外部性减弱，工业区趋于轻量化与无感化。另一方面，远程办公、平台经济与数字内容生产使大量生产活动嵌入居住与社区空间，生活空间逐渐具备生产属性。同时，需求识别、即时配送与分布式服务网络的发展，推动商业、物流与公共服务向生活圈与社区节点下沉，城市由少数中心承载功能，转向多节点、近端化的服务体系。

在增量空间有限、存量空间固化的背景下，这种功能重组对规划提出现实挑战：既有分区体系难以容纳高度复合与动态变化的功能组合，而大规模空间调整成本高昂。因此，需要重新理解“分区”的意义，从刚性分离转向多功能共存、强调兼容性与弹性的“非树型”空间组织。这不仅是形态问题，更是管控逻辑的转型。

3. 具体空间使用与用途管控面临的挑战

在微观尺度上，AI城市最直接的影响体现在空间使用方式的重构及用途管控体系的失效。随着AI深度介入城市运行，生产与消费空间正在重新组织。商业、公共空间、公共服务设施及交通系统正日益依赖实时数据进行动态调节。例如，公共空间可根据需求灵活配置，商业设施可随客流调整经营内容，交通系统通过算法实现流量优化。

由此，城市空间呈现出弹性化与响应型特征，同一空间在不同时段承担不同功能，使用方式高度可变。然而，现行规划体系仍以静态用途管控为核心，通过用地性质、指标与规范对空间进行预先限定。该体系建立在“功能相对稳定”的前提下，难以适应高度动态与复合的空间使用。实践中，这种不适应已逐渐显现：一方面，新业态难以纳入既有分类体系，带来审批灰区；另一方面，严格管控反而制约城市更新、建筑改造与空间再利用，降低灵活性并抑制创新。

因此，规划面临的核心问题是从“静态管控”转向“动态治理”：减少“一刀切”式控制，引入更具弹性的用途分类，为临时性与复合性使用提供制度空间；同时借助数字化手段实现实时监测与动态调节，在保障安全与公共利益的前提下提升空间适应性。

总体而言，AI城市正在重塑城市空间的生成逻辑与运行机制：宏观上，中心体系趋于动态与不稳定；中观上，功能分区边界逐渐模糊，空间走向复合与分布式；微观上，空间使用日益弹性化，传统用途管控体系面临失效。面对这些变化，规划不仅需要引入新技术工具，更需在制度层面进行深层调整。换言之，AI城市不仅是技术议题，更是规划范式转型的起点。

（排名不分先后，限于篇幅略有删减）

修回：2026-05