

雄安新区建设数字孪生城市的逻辑与创新

周 瑜 刘春成* (中国社会科学院研究生院 政府政策与公共管理系 北京 102488)

【摘要】雄安新区提出“坚持数字城市与现实城市同步规划、同步建设”,首创“数字孪生城市”概念。论述了其技术背景、构建逻辑和概念框架,提出数字孪生城市以城市复杂适应系统理论为认知基础,以数字孪生技术为实现手段,通过构建实体城市与数字城市相互映射、协同交互的复杂系统,能够将城市系统的“隐秩序”显性化,更好地尊重和顺应城市发展的自组织规律。它不是智慧城市的 N.0 版本,而是数字时代城市实践的全新探索(1.0 版),是雄安新区探索面向未来的城市发展新模式的重要创新。

【关键词】雄安新区;数字孪生城市;城市系统论;概念框架

【中图分类号】C939; **【文献标识码】**A

时代是思想之母。当前,全球已经有超过一半的人口生活在城市,城市正成为人类发展的焦点,甚至可以说城市生活的美好程度决定了人类社会的福祉。然而,城市病从工业革命之后便伴随着城市化进程,成为每个时代不得不竭力应对的顽疾。如果说工业化催生了现代城市,那么信息化则让城市跳脱出功能与空间一一对应的线性发展,使城市的复杂性与日俱增。正如 1989 年 Manuel Castella 在《信息化城市》中所指出,“在信息时代,传统的城市空间将逐渐被信息空间取代,信息通信技术造就的信息流动空间将社会文化规范形式和整个物理空间进行区分并重新组合,进而形成了一个新的‘二元化城市’”^[1]。科技赋予了时代新的基因,数字时代的城市走向何方是一个值得深究的问题。

实践是理论之源。2017 年 4 月 1 日,雄安新区设立。“建设绿色智慧新城,建成国际一流、绿色、现代、智慧城市”在七大重点任务位列第一条。2018 年 2 月 22 日,中央政治局常务委员会听取了雄安新区规划编制情况的汇报,进一步强调要“同步规划建设数字城市,努力打造智能新区”。2018 年 4 月 20 日雄安新区规划纲要获批复,其中写到“坚持数字城市与现实城市同步规划、同步建设,适

度超前布局智能基础设施,推动全域智能化应用服务实时可控,建立健全大数据资产管理体系,打造具有深度学习能力、全球领先的数字城市”,并在随后的官方解读中,提出了“数字孪生城市”的表述。作为一个全新的概念,数字孪生城市引发了许多讨论和疑问。

本文将就雄安新区提出建设“数字孪生城市”的逻辑与创新展开论述,指出数字孪生城市与现有智慧城市实践在城市认知上有着根本区别,它没有以往智慧城市实践中“赋予城市以智慧”的傲慢姿态,而是通过对物质城市及其经济社会特征作统一的数字化记录和呈现,实现对城市复杂适应系统特性的认识、提取和应用,发现和顺应城市自身具有的自适应、自组织智慧,使不可见的隐性秩序显性化(make the invisible visible),以实现人工智能与人类智慧的综合集成,达到城市问题防患于未然、城市管理协同高效智能、城市发展动力持续强劲、城市安全韧性的实践效果。

1 数字孪生与数字孪生城市

1.1 数字孪生概念及其技术特点

数字孪生(Digital Twin)是指构建与物理实体完全对应的数字化对象的技术、过程和方法。这一概念包括三个主要部分:物理空间的实体;虚拟空间的数字模型;物理实体和虚拟模型之间的数据和信息交互系统^[2]。

* 通讯作者:刘春成(1968-),中国社会科学院研究生院,政府政策与公共管理系,博士生导师。研究方向为区域经济、城市系统论、城市管理创新。Email:liucec@263.net

从起源来看,这一概念最初只有“孪生”(Twin)的意义。在20世纪六七十年代美国宇航局的阿波罗计划中,建造了多艘相同的太空飞行器,就像“孪生体”。在飞行准备过程中,孪生体被广泛用于训练;在飞行任务期间,它被用来模拟地球模型上的备选方案,其中可用的飞行数据被用来尽可能精确地反映飞行条件,从而在危急情况下协助宇航员做出正确判断。这一方法后来也用于飞机制造业,通过飞机孪生体来优化和验证飞机系统的功能。随着仿真技术的发展,越来越多的物理部件被数字模型取代,并扩展至产品生命周期的各个阶段,直至形成与物理实体完全一致的虚拟数字模型,称为“数字孪生”。

在数字孪生概念正式提出之前,也已经有类似的提法。2003年,密歇根大学的Michael Grieves教授在有关产品生命周期管理(Product Lifecycle Management, PLM)的课堂上提出了“与物理产品等价的虚拟数字化表达”的概念,当时使用的是“镜像

空间模型”(2003~2005年)和“信息镜像模型”(2006~2010年)的名称。2012年,在NASA发布的技术路线图(Technology Roadmap)中,使用了“数字孪生”的表述,并被概述为“一种综合多物理、多尺度模拟的载体或系统,以反映其对应实体的真实状态”。2016年底,全球知名的IT研究与顾问咨询公司Gartner在其发布的《2017年十大战略科技发展趋势》中指出“数以亿计的物件很快将以数字孪生来呈现”,使这一概念受到广泛关注,进入公众视野。

数字孪生源于仿真技术,但它不同于“仿真”,更为“写实”。它既不是传统的计算机辅助设计(CAD),因为计算机辅助设计完全局限于计算机模拟的环境中;也并非以传感器为基础的物联网解决方案,因为物联网仅可用于位置检测和整个组件的诊断,但无法对整个生命周期过程进行检测。数字孪生被认为是模拟、仿真和优化技术的重要进展,是引领新一代仿真技术的前沿概念^[3]。

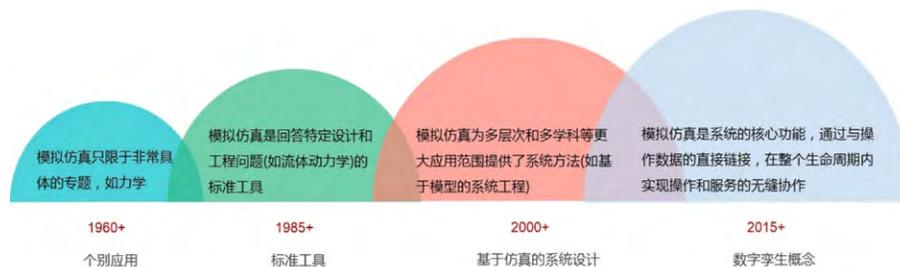


图1 模拟仿真技术发展历程示意

资料来源:作者自绘

首先,数字孪生代表了完整的环境和过程状态。数字孪生是一个高度动态的系统,涵盖整个全生命周期,从设计、建设、直到运行和管理阶段,具有统一的数据源,避免了数据孤岛问题。由传感器感知或由执行系统生成的所有信息都存储在数字孪生体中,并随着物理实体系统的变化而实时更新,具有超写实性。

其次,数字孪生是“自主(Autonomous)”系统而不仅是“自动化(Automated)”系统。传统自动化系统执行固定的、精心设计的动作序列,而自主系统基于对环境的认识来理解任务,对自动异常和错误处理的情况作出反应,而无需对系统进行重新配置。由于数字孪生所存储的数据信息和所提供的数字模型将作为系统行动规划所需的前向模拟的一部分,这些模拟用于预测在给定情况下系统的行

为结果,从而使系统对行动方案作出自主决策,具有更高的灵活性和适应性。

更重要的是,数字孪生可以将实时数据与数字模型紧密结合,使管理人员能够在实体系统正常运行的同时,在与实体系统对应一致的数字系统中预先对控制与管理带来的影响进行预演和验证,动态调整,及时纠偏。

1.2 数字孪生城市的提出及内涵

数字孪生的应用价值在于实现了现实世界的物理系统与虚拟世界的数字系统之间的交互和反馈,通过数据收集、挖掘、存储和计算等技术确保在全生命周期内物理系统和数字系统之间的协同和适应。目前,智能制造是数字孪生的主要应用领域。通过数字孪生产品,能够设计制造流程、预测设备故障、提高运营效率以及改进产品开发,推进

设计和制造的高效协同及准确执行。有学者进一步提出了数字孪生车间^[4] (digital twin workshop, DTW) 和“数字化工厂”^[5]的应用概念,将数字孪生技术的应用范围从产品扩大到车间及整个企业,旨在通过生产要素管理、生产活动计划、生产过程控制、甚至上下游供应商之间的全要素、全流程、全业务数据的集成、融合和迭代,实现更优的时间周期管理和协同生产效率。这些数字孪生的应用为提出“数字孪生城市”提供了宝贵的启示和借鉴。

城市是最复杂的人造系统,从技术上呈现其真实状态,并跟踪预测似乎是一件不可能的事情。生物学家 Lewontin 曾说道“我对社会学家所处的位置相当同情。他们面对着最复杂和顽抗的有机体的最复杂和困难的现象,却不能像自然科学家那样具有操纵他们所研究的对象的自由^[6]”。数字孪生城市在物理层面的应用有望取得突破,它能够建立一个与城市物理实体几乎一样的“城市数字孪生体”,打通物理城市和数字城市之间的实时连接和动态反馈,通过对统一数据的分析来跟踪识别城市动态变化,使城市规划与管理更加契合城市发展规律。

雄安新区首次提出“数字孪生城市”,将其作为“建设数字城市,打造智能新区”的创新之举。中国信息通讯研究院认为,数字孪生城市是数字孪生技术在城市层面的广泛应用,通过构建城市物理世界及网络虚拟空间一一对应、相互映射、协同交互的复杂系统,在网络空间再造一个与之匹配、对应的孪生城市,实现城市全要素数字化和虚拟化、城市状态实时化和可视化、城市管理决策协同化和智能化,形成物理维度上的实体世界和信息维度上的虚拟世界共生共存、虚实交融的城市发展新格局^[7]。本文认为,数字孪生城市是数字时代城市实践的1.0版本,并不是“智慧城市”的N.0版本。它的最大创新在于物理维度上的实体城市和信息维度上的数字城市共生共长、虚实交融,这也决定了数字孪生城市与现有智慧城市实践在底层逻辑上有着根本区别,也有着不同的技术方案和城市治理理念。

第一,数字孪生城市的最大创新是全过程“写实”,建立起统一和广泛的数据源。数字孪生城市与雄安新区的实体城市同步规划、同步建设,共生共长,它将人、机、物等各类城市主体,从一开始就接入数字化系统,并能够实时或定期动态更新,代表了完整的城市环境和过程状态。而现有智慧城

市方案是在已有城市系统之上的技术补丁,“竖井式”方案在反映城市系统全貌和真实状态上存在先天缺陷。

第二,数字孪生城市与实体城市具有同步的生命周期和建设时序,能够不断更新。雄安新区从地上到地下,从生态环境到基础设施,从产业发展到公共服务都将随着建设时序在数字城市中同步构建,并随着城市发展而不断更新,始终与城市建设发展中的问题、需求和任务共同迭代,是一个不断进化的生态系统。相比之下,现有智慧城市实践限于城市的某一局部或某一阶段,零敲碎打的实施方式难以形成生态系统,无法沉淀有全景价值的数据,更无法形成城市发展取之不尽、用之不竭的数据资源。

第三,数字孪生城市是一个可计算的“城市实验室”,可以在与实体系统对应一致的情况中进行预测和验证。一方面,数字孪生城市通过归集的全主体、全要素和全过程数据,运用人工智能等不断进步的新技术识别和提取实体城市系统的特征和规律,将城市“隐秩序”显性化;另一方面,数字孪生城市通过数字城市系统的人工智能,结合实体城市中人的智慧,实现虚实交互,为科学合理的城市决策和管理提供支持。

2 数字孪生城市的构建逻辑与现实要求

2.1 城市作为复杂适应系统的理论逻辑

无论技术如何发展并应用于城市,“城市是什么”都是一个最根本的问题。追溯现代城市规划思潮和实践,每一个时代都在努力找寻城市的“真相”,而对城市本质的不同认识决定了不同的城市实践方法。作为物理实体城市的“写实”,数字孪生城市的底层逻辑是对城市本质的正确认知。从城市的机械还原论到复杂系统论是数字孪生城市超越以往智慧城市方案的根本区别。

在较长的历史时期,还原论作为经典科学方法的内核影响了人们对城市的认知,1933年达成的《雅典宪章》是一个集中体现。时至今日,绝大多数城市仍然是以雅典宪章所推崇的现代主义规划理念所建设的,产生了一系列城市问题。基于还原论的城市认知如同盲人摸象,虽然各学科领域都在不断对城市提出解释,但始终无法呈现城市全貌,把握城市的整体规律。自20世纪上半叶,系统科学兴

起,作为一种与还原论相对的科学理念,为城市认知带来了一次重要洗礼。自1961年简·雅各布在《美国大城市的死与生》中把城市定义为“有序的复杂(Organized complexity)、一种最为复杂、最为旺盛的生命”^[8]开始,对城市复杂性的朴素认知经常反映在城市与生物体之间的经典类比上。随着系统科学的发展,城市模型深受青睐^{[9][10]},被看作是检验规划设想的手段,甚至被视为能够预测城市未来的可靠方法。不过,著名的规划大师弗里德曼在晚年谨慎地认为,“城市建模本质上是还原论的,做研究很有用,对实践则意义稍逊,因为实践要面对现实中的城市,要求即时性”^[11]。尽管越来越多的研究揭示了城市是一个复杂系统^[12],但始终没有很好的回答“城市的复杂性从何而来”这一问题,因而难以对城市实践产生直接有效的指导作用。

在中国,钱学森早在1985年就提出城市是一个复杂的巨系统,要用系统科学的方法对城市进行研究^[13],影响了一批早期的规划学者,如吴良镛院士^[14]和周干峙院士^[15]。近年来,由于信息通讯技术对城市生产生活方式产生了巨大的影响,线性、机械切分的城市管理方式受到极大挑战,城市是一个复杂系统的认识逐渐回归。仇保兴参事指出,城市具有复杂自适应系统特征,城市规划学科发展过程中有一个易被忽视的问题就是对城市所固有的复杂性的研究^[16]。刘春成基于多年的城市发展和管理实践提出了以CAS理论为基础的城市系统论,为理解城市自下而上的生成机制和整体特性提供了重要的理论框架^[17]。

2.2 超越智慧城市的局限性的必然要求

伴随信息通讯技术的发展,城市发展与信息技术的结合始终是热点议题。学者们相继提出了“有线城市”(Dutton,1987)、“信息化城市”(Castella,1989)、“网络城市”(Graham & Marvin,1999)、“数字城市”(Ishida & Isbister,2000)、“智能城市”(Komninos,2002)、“智慧城市”(Hollands,2008)等术语^[18],在商界、政府以及学术界引发了广泛关注,被认为是解决城市病问题的灵丹妙药和实现可持续发展的有效途径。然而,自IBM在2008年左右首倡“智慧城市(smart city)”至今已有十年,与繁荣的技术工程市场相比,智慧城市项目并未取得其标榜的效果,引发越来越多的诟病。最为典型的批评是,智慧城市过于依赖企业技术方案,对技术以外

的因素考虑甚少,停留在工具手段的信息化,没有抓住治理方式的核心转变^[19],并忽略人的维度和用户体验^[20]。

中国已经成为世界上最大的智慧城市实践国。自2012年住房城乡建设部发布《关于开展国家智慧城市试点工作的通知》以来,截至2016年,我国95%的副省级城市、76%的地级城市,总计超过500座城市明确提出了构建智慧城市的相关方案^[21]。尽管试点建设如火如荼,但具体实践普遍存在四类问题:缺乏统一设计,局限于业务模块^[22];数据来源不一,城市信息碎片化^[23];忽视需求应用,流于形象工程^[24];以单向信息为主,智能化程度不高^[25]。严格意义上来说,当前智慧城市项目主要是对政府职能和工作流程的信息化改造,是现有条块分割、机械线性式城市管理系统上的技术补丁,而非革新方案。

2016年,中国在“十三五”规划中进一步提出建设新型智慧城市的新要求和新的目标。从各方对“新型”的内涵解读来看,这是对上一阶段智慧城市实践中主要问题的纠偏^[26]。然而,“智慧城市不懂城市”是一个根本性问题,由此削弱了智慧城市在技术实践上的有效性。虽然信息技术是把握城市复杂性的有效手段,但已有智慧城市项目仍然没有跳出机械还原式的城市认知,带来数据孤立、条块林立、系统分隔的新问题,使城市系统间的协同难度和管理成本由于技术屏障而进一步增高,难以真正实现智慧发展。如上文所述,现有“智慧城市”实践缺乏正确的底层逻辑,因此即使技术不断升级的智慧城市N.0版本也难以消除其与城市的“排异”反应,只能限于阶段性的城市局部优化,无法代表未来城市的发展方向。

2.3 雄安新区“破旧立新”的重要创举

雄安新区作为千年大计,国家大事,与当年的深圳特区和浦东新区一样,是顺历史发展大势而为,要积极响应时代的召唤。在数字技术取得惊人进步的时代,个人和国家的财富增长、繁荣发展和安全稳定越来越受到信息通讯和智能技术的影响。我国对以人工智能技术为核心的第四次工业革命高度重视,期望能借此实现中国经济高质量发展,提高社会治理现代化水平,为全球贡献信息技术应用的中国方案。作为千年大计的雄安,几乎是“从零到一”的建设一座新城,具有起点优势,有必要、

也有条件以“探路者”的姿态先试先行,将数字技术与城市建设发展紧密结合,以此吸纳和集聚创新要素资源,转变社会经济发展模式,创新城市治理方式,为数字时代的城市发展做出有益探索,提供宝贵经验。

破旧立新是“操作系统”的整体转换,雄安新区必须摒弃以规模数量论城市的固有理念,以高质量发展为基本要求,系统的架构新的发展模式,避免零敲碎打式的补丁方案。在数字时代,数字化的知识和信息成为关键生产要素。数字孪生城市建设覆盖从城市规划、设计、建设、运维的全生命周期,能够为雄安新区留下一笔宝贵的数据资产,并能提供全球独一无二的、最完整的城市数字应用场景,成为面向未来城市的创新试验场,从根本上改变依赖土地资源的城市发展模式。

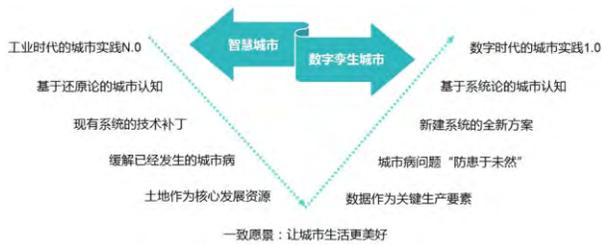


图2 数字孪生城市与智慧城市的区别
资料来源:作者自绘

3 基于城市系统论的数字孪生城市概念框架

数字孪生城市的建设需要契合城市作为复杂适应系统的真实状态。刘春成于2012年提出了基于CAS理论的城市系统论,将复杂适应系统的基本分析框架——“主体”和围绕“主体”的4个特性(聚集、非线性、流、多样性)与3种机制(标识、内部模型、积木块)在城市语境中加以应用,为构建数字孪生城市的概念框架提供了理论依据。

3.1 以主体、聚集和要素流的全面数字化为起点

数字孪生城市是以数据为核心驱动的,可以凭借统一的数据底层,实现城市政务数据资源和社会数据资源的融合、共享,形成人类生产、生活和生态数据的有机统一,构建人、机、物三元融合的数字化城市镜像。因此,全面数字化是数字孪生城市的基底,只有通过全方位、全流程和全系统的数据归集,城市的物化表现和人类智慧才能够更好的结合,这不仅仅是对局部了解的深化和细化,更重要的是提

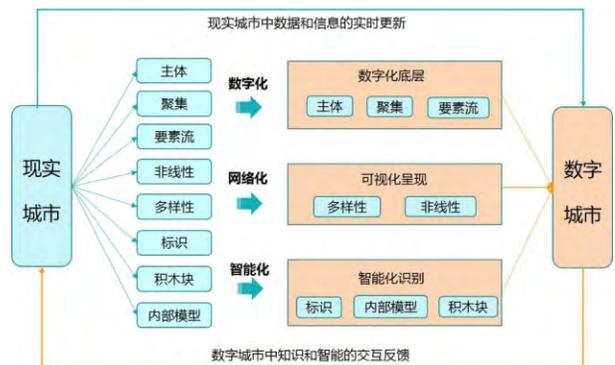


图3 基于城市系统论的数字孪生城市概念框架
资料来源:作者自绘

升了获得系统全面信息的能力,让更多的城市主体参与到城市管理中来。

根据城市系统论,城市主体是城市系统的研究起点,包括城市中的人,以及城市中与人的活动紧密相关的物质载体。适应性(Adaptive)是城市主体的突出特征,体现在其能够感知外界信息刺激,通过学习来调整自己的行为。首先,城市源于人,为人、因人而改变,正是通过人的活动才在空间与时间之间建立了联系。其次,与城市人的活动紧密相关的物质载体,比如城市基础设施、地下综合管廊、城市建筑等,承载着城市活动和人类智慧,其“活性”体现在承载能力范围内的弹性,以及超出承载而引发的城市安全事故上。数字孪生城市通过建设全域数字化标识体系,有望使城市公用设施、交通设施、特种设备涉及的所有城市实体部件具有唯一化、数字化身份标识,并通过统一物联网感知和管理平台实现统一的管理控制和动态监测。

第二,“涌现”是系统主体的聚集特征,它不是简单的量变,而是生成新的、更高层次系统的质变。涌现的本质是由小生大,由简入繁,来自于适应性主体在多种规则支配下的相互作用。城市是聚集的产物,从个体自下而上发展而成:人与人的聚集形成家庭、团体、组织机构等新主体,这些新主体再层层聚集直至形成乡镇、城市、城市群。这些大大小小的主体聚集中包含了多层次的适应性互动,并在不同层次上形成“涌现”。因此,城市整体智慧并不是城市参与者个体智慧之和,而是与所有个体智慧不一样的宏观涌现。数字孪生城市能够利用信息技术去感知和预测城市系统无处不在、随时可现的适应性行为,使对城市的干预和影响更接近接近城市实际的“涌现”趋势,从而让城市的物化表现和

人类智慧能够更好的结合,通过城市的“自组织”,用较小的外在干预取得更好的效果。

第三,要素流是主体互动的载体,它在主体间的传递渠道和传递速度决定了互动效果,进而决定系统的进化水平。在城市系统中,城市主体之间通过物质流、能量流、信息流和资金流等产生联系,城市发展的活力与这些“要素流”的强弱和质量直接相关。在当今时代,信息和通讯成为粘合社会的“混凝土”,集体行动的开展越来越依赖于对信息的沟通与交换。以往人们更关注城市的物质实体资源,但现在数据成为不容忽视的重要资源之一。数字孪生城市要发挥作用正是要通过主体间数据流和信息流的畅通连接,不断改变城市互动结构来优化城市功能。

3.2 可视化呈现城市非线性和多样性的真实状态

城市主体的适应性决定了城市发展具有非线性特征。简单来说,非线性意味着整体不等于部分之和。在城市系统中,影响因素千千万万,这些因素之间并非完全独立,而是相互纠缠,无法用切分和加总的方法来分析。虽然在较短的时期内,城市发展仍然呈现出可追寻的秩序,但在较长时期中结果却是难以预测的,因为非线性会不断放大初始位置的微小偏差,差之毫厘,谬以千里,并且是一个不可逆的过程。目前大多数城市管理思维仍然是线性的,对城市问题进行人为切分来求解,往往陷入“按下葫芦浮起瓢”的窘境。数字孪生城市不执着于一因一果的单向关系,将通过不同来源的数据汇集和交融为跟踪和监测城市的非线性发展,如实记录城市动态反馈过程,尽可能预见到政策干预对各个子系统的影响,包括可能出现的各种规避行为、时间延迟和信息损失等问题,充分顺应系统的自组织和自适应能力,适时地进行改变、纠正或扩大,把“学习”功能融入城市管理过程之中,最终达到增加城市系统整体福利的理想效果。

复杂系统也是多样性的统一,多样性是大城市的天性。城市的多样性是城市主体在适应环境的过程中持续生成的。在信息爆炸时代,普通人受益于知识和科技的发展而更容易表达自我,社会个体的多样性得到更大的释放,使城市的时间和空间更具多样性。在时间上,城市不断有新结构、功能或状态出现;空间上表现为在不同的城市空间,结构、功能或状态也不一样。这个过程无时无刻不在发

生,从而保持城市系统的持续更新。因此,在数字孪生城市的实践中,城市治理将从避免传统城市管理中的一元化、一刀切问题,转向多元化、差异化、个体化、体验化的转变。“整齐划一”不是精细化,尊重多样性需求才是真正的精细化。

3.3 动态识别城市主体的互动标识和内部模型

城市系统论认为“标识”是引导城市主体选择性互动的重要机制。“物以类聚、人以群分”,“类”与“群”就可以理解为一种“标识”。标识的意义在于提出了主体在环境中搜索和接收信息的具体实现方法。正是主体通过标识在系统中选择互动的对象,从而促进有选择的互动。标识的这种机制可以解释城市发展中天然存在的不均衡现象,“极化”和“辐射”背后的微观基础,也可以更好地理解互联网中的信息分发、数据画像的做法。数字孪生城市将会通过技术手段动态识别不同城市主体的需求特点,以有效的促进相互选择,引导城市中的“自组织”行为朝着健康有益的方向发展。

在城市系统中,对一个给定的城市主体,一旦指定了可能发生的刺激范围,以及估计到可能做出的反应集合,大致可以推理主体之间互动规则,也被称之为“内部模型”。尽管这也仅是一个概率性推算,但系统主体仍然可以在一定程度上对事物进行前瞻性的判断,并根据预判对互动行为做出适应性变化。人们在城市生活中往往从过去与其他主体及环境间互动经验中提炼、挑选可行的“内部模型”来指导自己对环境变化的适应行为。此外,内部模型有隐性与显性之分。隐性的内部模型是主体自生自发的自组织规则,显性的内部模型则是外在施加的制度和法律等规定。有效的显性规则必须以尊重自组织的隐性规则为前提。

与传统的政府发号施令,以“他组织”和“整齐划一”为主的模式相比,数字孪生城市以发现和尊重城市隐性规则为前提,对城市发展进行适度干预,避免人为的对城市系统造成不必要、不恰当的剧烈扰动。从古至今,一个城市可以由强大外力牵引而建立,但要靠“自组织”的力量不断发展壮大,因为自组织充分内化了利益相关者的自我需求、自身利益,意味着各方有一个可接受的集体共识,从而具有内生力量。随着公众数字素养的提高,数字孪生城市能够更好地尊重公众的参与感,加强个人自律,创造“他律”与“自律”相结合的社会环境,促进

政府监管和公众自律的良性互动。

3.4 城市系统“积木块”的灵活解构和智能耦合

系统论并不一概反对还原,但主张“还原到适可为止”^[27]。城市系统本没有边界,但根据研究目的的不同,可以形成不同的子系统“拆封”(拆开和封装)方式。系统积木块为解决城市系统不同层次、不同类别的问题划分提供了分析工具。在应用到分析时,其本质作用与“主体”是相同的。两者的区别是,主体是不可拆封的基本元素,而系统积木块是可拆封的子系统。由于以“适应性主体”为起点四个特性和三种机制之间有着严谨的逻辑关系,贯穿一体,只挑选其中某些概念而抛开其他,无法整体而正确的认识城市这一复杂适应系统,因此,系统积木块的拆封需要遵循一个基本原则,即子系统之间应该有着共同的主体,并能共享上述关于系统特性和机制的基本概念。比如从指导城市管理实践的视角,将城市系统拆封为规划、基础设施、公共服务、产业四个基本子系统,分别对应为城市的智慧系统、物理支撑系统、平衡系统和动力系统^[28]。这种对城市系统的解构对于建立城市数字孪生体的借鉴意义主要在于,它更贴近城市发展管理实践工作,对如何与实体城市同步模块化的建设数字城市提供了有益的借鉴。

城市是由小到大、由简到繁,不断聚集形成的,不同的城市问题对应的模型尺度和系统层次不同。贵阳在大数据发展实践中曾提出“块数据”^[29]概念,即一定空间和区域内形成的涉及到人、事、物等各类数据的综合,相当于将各类“条数据”解构、交叉、融合^[30]。实体城市系统由子系统耦合而成,那么数字城市相应的也由不同的“块数据”叠加而成。因此,数字孪生城市以城市作为整体对象,并不是建立一个单一城市整体模型,而是拥有一个模型集,模型之间具有耦合关系,其价值就在于通过对“块数据”的挖掘、分析、灵活组合,使不同来源的数据在城市系统内的汇集交融产生新的涌现,实现对城市事物规律的精准定位,甚至能够发现以往未能发现的新规律,为改善和优化城市系统提供有效的指引。

数字孪生城市的概念框架建设在城市系统论的基础之上,也是一个具有包容性的跨学科范式,有利于城市多学科领域的专业融合,并实现技术应用方案与城市系统特性的高度匹配,达到城市发展

管理的“知行合一”。

4 研究展望

建设数字孪生城市是技术创新、行政改革、公众觉悟和民众参与等一系列问题相互交织、共同演进的复杂系统,不是“一次性设计”,也不是“交钥匙工程”,迭代过程中有许多不确定性的问题和风险。首先,技术很少能独自驱动伟大变革,需要组织调整、政策变革与技术创新的紧密结合与良性互动。数字孪生城市的创新实践要求城市治理逻辑从碎片化、条块化、割裂化转向以数据驱动的整体性治理、弹性治理和适应性治理。其次,要正视当前数字孪生技术的局限性,清晰地了解技术的边界,避免走向另一种技术极端。与数字孪生产品相比,在城市层面应用数字孪生的最大挑战在于城市本身的复杂系统特性更强,且受制于目前技术能实现的计算能力。第三,必须充分考虑涉及人的个体信息数据的获取渠道、隐私保护等与技术交织的法律、伦理和安全问题,避免将每个人当成一串数字标签而导致管的更全、更严、更死。要通过数字更好地认识、理解和尊重一个个鲜活的个体,支持人在城市中的全面发展。

展望未来,“人们往往高估未来两年的变化,而低估未来十年的变化”。科学技术的飞速发展不断刷新我们对未来的想象力,数字化标识、自动化感知、网络化连接、平台化服务、智能化应用等领域取得了显著的技术进步,为数字孪生城市的实践提供了可能。在雄安新区建设数字孪生城市的创新中,尊重城市发展规律将不是一句空洞的口号,而是一种切实的城市实践。△

【参考文献】

- [1] 张元好,曾珍香. 城市信息化文献综述——从信息港、数字城市到智慧城市[J]. 情报科学, 2015(6): 131-137.
- [2] 庄存波,刘检华,熊辉,等. 产品数字孪生体的内涵、体系结构及其发展趋势[J]. 计算机集成制造系统, 2017, 23(4): 753-768.
- [3] Rosen R, Wichert G V, Lo G, et al. About The Importance of Autonomy and Digital Twins for the Future of Manufacturing[J]. *Ijac Paperonline*, 2015, 48(3): 567-572.
- [4] 陶飞,张萌,程江峰,等. 数字孪生车间——一种未来车间运行新模式[J]. 计算机集成制造系统, 2017, 23(1): 1-9.
- [5] 唐堂,滕琳,吴杰,等. 全面实现数字化是通向智能制造的必由之路——解读《智能制造之路: 数字化工厂》[J]. 中国机械工

- 程, 2018, 29(3): 366-377.
- [6] 王飞跃. 关于复杂系统研究的计算理论与方法[J]. 中国基础科学, 2004, 6(5): 5-12.
- [7] 高艳丽. 以数字孪生城市推动新型智慧城市建设[EB/OL]. 中国信息通信研究院 CAICT. http://www.sohu.com/a/214256385_735021 2018. 01. 02.
- [8] 简·雅各布斯. 美国大城市的死与生[M]. 金衡山, 译. 译林出版社, 2005: 393-410.
- [9] Forrester J W. Systems Analysis as a Tool for Urban Planning[J]. *IEEE Transactions on Systems Science & Cybernetics*, 1970, 6(4): 258-265.
- [10] Batty M. The size, scale, and shape of cities. [J]. *Science*, 2008, 319(5864): 769-771.
- [11] 约翰·弗里德曼, 徐南南. 金字塔式的规划体系可以休矣——约翰·弗里德曼谈城市复杂系统论和区域规划[J]. 北京规划建设, 2017(3): 188-196.
- [12] Bettencourt L, West G. A unified theory of urban living [J]. *Nature*, 2010, 467(7318): 912-913.
- [13] 钱学森. 关于建立城市学的设想[J]. 城市规划, 1985(4): 26-28.
- [14] 吴良镛. 人居环境科学导论[M]. 中国建筑工业出版社, 2001: 97-106.
- [15] 周干峙. 城市及其区域——一个典型的开放的复杂巨系统[J]. 城市规划, 1997(2): 4-7.
- [16] 仇保兴. 城市规划学新理性主义思想初探——复杂自适应系统(CAS)视角[J]. 南方建筑, 2016(5): 14-18.
- [17] 刘春成. 城市隐秩序: 复杂适应系统理论的城市应用[M]. 中国社科文献出版社, 2017: 46-56
- [18] Kitchin R. The real-time city? Big data and smart urbanism [J]. *Geojournal*, 2014, 79(1): 1-14.
- [19] 唐·泰普斯科特. 数据时代的经济学[M]. 机械工业出版社, 2016: 24
- [20] Gardner N, Hespanhol L. SMLXL: Scaling the smart city, from metropolis to individual [J]. *City Culture & Society*, 2017(6): 10-12.
- [21] 周锦昌, 林国恩, 陈淑娴, 等. 未来超级智能城市——德勤中国超级智能城市指数[R]. 德勤中国 2018: 7-8.
- [22] 张振刚, 张小娟. 智慧城市系统构成及其应用研究[J]. 中国科技论坛, 2014(7): 88-93.
- [23] 单志广, 房毓菲. 以大数据为核心驱动智慧城市变革[J]. 大数据, 2016, 2(3): 1-8.
- [24] 陈德权, 王欢, 温祖卿, 等. 我国智慧城市建设中的顶层设计问题研究[J]. 电子政务, 2017(10): 70-78.
- [25] 胡小明. 智能资源与智能城市[J]. 电子政务, 2012(4): 51-59.
- [26] 许欢, 杨慧. 智慧城市迭代发展的问题、逻辑与路径[J]. 学术研究, 2017(10): 68-72.
- [27] 苗东升. 文化系统论要略——兼谈文化复杂性(一) [J]. 系统科学学报, 2012(4): 1-6.
- [28] 侯汉坡, 刘春成, 孙梦水, 等. 城市系统理论: 基于复杂适应系统的认识[J]. 管理世界, 2013(5): 182-183.
- [29] 大数据战略重点实验室. 块数据——大数据时代真正到来的标志[M]. 北京: 中信出版社 2015: 14-21.
- [30] 陈刚. 块数据的理论创新与实践探索[J]. 中国科技论坛, 2015(4): 46-50.

作者简介: 周瑜(1985-), 中国社会科学院研究生院政府政策与公共管理系博士研究生, 研究方向为面向城市复杂性的数字治理、公共政策的复杂性。

收稿日期: 2018-06-25

The Logic and Innovation of Building Digital Twin City in Xiong'an New Area

ZHOU Yu, LIU Chuncheng

【Abstract】Xiongan New Area proposed "synchronously plan and construct the physical city and digital city" and initiated the concept of "digital-twin city". This paper discusses its technical background, underlying logic and conceptual framework. As an innovative application of "digital twin" in city, it will build digital mirror of city, a complex system of mutual mapping and cooperative interaction between real cities and digital cities. digital-twin city is based on the urban complex adaptive system theory, which make it manifest the "hidden order" of city so as to better respect and comply with the "self-organization" during urban development. It is not the N. 0 version of smart city, but pioneering work for Xiongan New Area to explore new patterns of urban development in the digital era.

【Keywords】Xiongan New Area; Digital-Twin City; Urban Complex Adaptive System Theory; Conceptual Framework