

# 智慧城市人地系统理论框架与科学问题

甄峰<sup>1,2,3</sup>, 席广亮<sup>1,3</sup>, 张姍琪<sup>1,2</sup>, 秦萧<sup>1,2</sup>

(1. 南京大学建筑与城市规划学院, 南京 210093; 2. 江苏省智慧城市规划与数字治理工程研究中心, 南京 210093; 3. 江苏智慧城市研究基地, 南京 210093)

**摘要:** 智能技术的快速发展, 不仅为城市人地系统的监测与调控提供新的技术手段, 更会对城市人地系统的要素结构、耦合关系及动态演进等产生深刻影响, 探索并构建面向智慧城市的人地系统理论势在必行。从流空间、“人—技术—空间”一体化耦合、复杂韧性系统等方面探讨了智慧城市人地系统的理论基础, 进而提出智慧城市人地系统的概念模型。面向未来, 智慧城市人地系统研究需要聚焦要素时空耦合过程、要素构成及影响机理、建模方法与评价、综合调控与优化路径等内容。从智能技术带来的人类行为模式与活动变化、空间智能化、虚实关联等方面, 提出智慧城市人地系统理论、方法创新与可持续调控的未来展望, 以完善适应中国国情的智慧城市人地系统理论方法体系, 支撑城市地理学创新及“智慧大脑”、数字孪生城市建设等现实需求。

**关键词:** 智慧城市; 人地系统; 耦合系统; 流空间; 韧性

伴随人工智能、物联网、大数据和云计算等新一代智能技术的快速发展及应用, 智慧城市建设在改善或解决城市问题、提升城市品质与治理能力进而促进可持续发展目标方面的作用和价值已是全球性共识。2019年, 全球已启动或在建的智慧城市达1000多个, 其中50%以上分布在城市化快速增长与环境压力巨大的亚洲<sup>[1]</sup>。截至目前, 中国已有国家级智慧城市试点300多个, 这些试点城市通过智能基础设施、城市大脑、智慧服务、智慧管理、智慧社区等项目的建设运营, 很大程度上提高了城市智慧治理能力与智慧化发展水平。2020年, 中央政府提出加快“新基建”建设进度, 之后又印发了《数字中国建设整体布局规划》(2023年), 标志着智能技术集成应用开始加速驱动生产生活和治理方式变革, 全新的数字化、智慧化时代正在到来。

尽管如此, 我们也看到当前智慧城市建设高度依赖智能技术, 轻视人的需求, 缺乏对城市发展规律的把握<sup>[2]</sup>。近年来国内发生的化工园区爆炸、重大公共卫生事件等突发性公共安全事件, 表面上是城市在应急防控方面的不足, 实则暴露出城市整体功能韧性的不足, 以及城市发展在规划、建设与管理中的短板。在新型冠状病毒肺炎疫情爆发初期, 智慧城市未能在感染人群流动监测、时空感染风险预警、精准疫情防控与应急资源调配等方面很好地发挥作用, 让智慧城市受到了诸多质疑与指责。究其根本, 是对复杂环境下城市人地系统要素及时空耦合过程、规律及变化认识不足。也就是说, 现有的智

收稿日期: 2022-10-17; 修订日期: 2023-04-27

基金项目: 国家自然科学基金项目(42330510); 国家社会科学基金项目(20AZD040)

作者简介: 甄峰(1973-), 男, 陕西汉中, 博士, 教授, 博士生导师, 研究方向为智慧城市、大数据与城市规划。  
E-mail: zhenfeng@nju.edu.cn

通讯作者: 席广亮(1985-), 男, 甘肃庆阳, 博士, 副教授, 研究方向为数字化与城市区域发展、国土空间规划。  
E-mail: xiguangliang@nju.edu.cn

慧城市研究与建设过于关注技术驱动及治理导向,缺少对人地关系动态性、综合性与复杂性等问题的统筹考虑。同时,地理学有关人地系统的成果也未对智慧城市规划建设发挥应有的理论支撑与实践指导作用。

人地关系及其变化是地理学研究的核心任务<sup>[3,4]</sup>。西方国家从早期生态学领域强调人类社会及其活动与自然的关系<sup>[5]</sup>,之后拓展到城市安全、城市环境变化、贫困与环境问题、资源可持续发展和灾害等具体内容<sup>[6]</sup>。20世纪90年代,可持续发展理念引入到中国并形成了以“人地协同”为核心的人地系统思想,强调人与地在特定地域中的相互作用与影响<sup>[3,7]</sup>。基于对人地关系地域系统的理论认知,地理学者对不同尺度的人地关系地域系统进行了全面探索,主要围绕人地系统的过程、格局、机理与调控进行了大量理论与实践研究<sup>[8-12]</sup>。

作为人类社会经济活动的主要载体,全球城市预计在2050年将拥有66%的世界人口<sup>[13]</sup>,城市地域人地系统逐渐成为人地关系研究的热点与重点,以及关乎城市和谐与可持续发展的重要理论与实践命题。近些年来,技术创新与人地关系一直是城市地理学关注的重点领域,尤其是强调建立适应信息时代与智慧城市建设需求的人地关系新理论与新方法<sup>[14]</sup>。主要研究包括:(1)智能技术、流空间与人地关系。智能技术进步不仅促使时空压缩<sup>[15]</sup>,而且改变了各种要素“流”以及人地互动耦合关系,进而重塑信息时代的“人地关系”<sup>[2,16]</sup>。流空间成为分析技术、居民活动和空间互动耦合的重要框架,学者们对职住空间、迁居行为、企业空间组织等城市人地系统各要素耦合关系与影响机理进行了大量研究<sup>[17-22]</sup>。同时,从行为地理、时间地理等角度对智能技术作用下的个人行为时空变化、居民流动模式进行了理论研究和实践探索<sup>[23-25]</sup>。(2)基于复杂适应系统与韧性理论的人地关系。西方学者将人地关系系统视做人类与环境相互作用形成的复杂适应系统<sup>[26]</sup>,并从社会—生态系统可持续性框架等方面对其进行了探索<sup>[27,28]</sup>。同时,已有学者将城市韧性理论作为分析与调控城市人地关系的基本逻辑框架<sup>[29]</sup>,并衍生出开放互助、创新学习的城市适应性治理体系<sup>[30]</sup>。(3)基于智能技术及多源数据的人地系统研究。智能技术应用为研究人地系统提供了新的全样本、多尺度、多粒度数据<sup>[31,32]</sup>,大量学者开展多源数据支撑下的人地系统要素识别、评价与耦合分析,包括人类活动模式识别与特征<sup>[33-35]</sup>、人类活动与城市网络<sup>[36-38]</sup>、人类活动与城市建成环境<sup>[39-42]</sup>、人类活动与城市体检<sup>[43-45]</sup>。这些探索在智慧城市建设、国土空间规划等领域也得到了积极应用<sup>[46,47]</sup>。(4)智慧城市可持续发展模型与评价。智慧可持续城市更加强调社会、文化、福祉、知识等柔性的智慧指标<sup>[48]</sup>。国内学者从城市数据采集与共享、城市系统运行问题分析、城市空间模拟仿真与决策评估、城市空间发展规划体系四个层面提出智慧可持续城市空间发展模式<sup>[49]</sup>。同时,将“流动性”引入到多尺度空间分析并构建城市信息模型<sup>[50]</sup>。

从上述分析来看,人地系统及其耦合协调发展一直是国内外地理学关注的核心主题,也是中国推进生态文明与新型城镇化建设的迫切需求。受制于数据等多方面因素的限制,当前的研究主要集中在国家、区域、流域等宏观、中观尺度人地关系耦合总体格局及机理的探索,对最为复杂的城市人地系统时空耦合过程与机理还缺乏系统综合的研究。面向未来,如何在生态文明、智慧社会框架下去推进以人为本的城市人地系统建设,是当前新型城镇化发展与国土空间治理中亟待破解的重大战略问题。

因此,本文试图将人地关系理论与分析方法引入到智慧城市研究与实践中,通过探

讨智慧城市人地系统相关理论, 提出智慧城市人地系统研究亟待突破的重点方向与应用领域, 这既是当前城市地理学创新发展的需要, 也是开展人地关系视角的智慧城市研究、助力智慧城市规划建设持续发展的迫切需求, 为理解智能技术影响下的城市人地关系提供样本与示范, 将进一步彰显和加强地理学服务国家战略需求的现实意义。

## 1 智慧城市人地系统理论框架

### 1.1 智慧城市人地系统内涵

作为一个复杂的非线性耦合系统, 城市人地系统中单个要素的变化可能会导致整个系统要素的巨变, 其中技术进步对城市人地系统的影响作用长期受到关注。尽管对智慧城市的概念尚没有统一认识, 但已有文献大都强调了传感器、实时监测和数字平台使用<sup>[51]</sup>、可持续性和高品质生活<sup>[52]</sup>、高质量人力与社会资本<sup>[53]</sup>, 以及智慧治理<sup>[54]</sup>。可见, 智慧城市是信息化发展的高级形态, 突出表现为智能技术对其地域系统内部基础设施、资源环境、经济社会以及空间的流动性产生持续深刻的影响。因此, 厘清智能技术使用对城市社会经济环境影响及其治理应对, 是理解智慧城市目标的关键所在。城市人地系统由地理环境和人类社会两大子系统构成, 又进一步分解为生态系统、社会系统、经济系统、土地系统、技术与基础设施系统、公共服务系统与治理系统等, 其内部的人口、资源、环境等要素交叉作用, 促使人地系统不断发展变化。伴随着智能技术应用、政策创新等方面的影响, 对“人”的理解从自然人转向情感关怀、需求满足和智慧化生活, 对“地”的认识从地理环境、自然资源条件等转向要素流动、科技创新、网络关系等方面<sup>[2]</sup>。因此, 认识智慧城市人地系统的内涵, 首先要充分认识到智能技术作为城市人地系统的最重要组成和创新驱动力, 智能技术应用支撑下的要素流将重塑社会经济活动、公共服务等子系统, 改变各类要素流动的结构和范式, 进而构建起“虚实融合”“形流融合”的智慧化城市人地系统; 其次应当立足于城市居民需求、人地和谐的视角, 考虑智能技术作用下城市人地系统内部技术、活动及物质环境等要素的运行状态、互动耦合关系与过程、协同演化趋势与机理, 同时强调智能技术集成应用对人类活动方式、地理环境及其耦合关系的影响与调控作用<sup>[55]</sup>。这一认识有助于打破智慧城市建设中只重视智能技术应用的局限性, 推动人本化和地理学系统综合视角的智慧城市发展。

### 1.2 智慧城市人地系统理论认知

根据上述理解, 要超越单纯计算科学视角的局限性, 立足人本需求和可持续发展理念, 以及智能技术、地理、城乡规划、社会、经济、管理等多学科视角, 构建更加全面系统和要素综合的智慧城市人地系统理论认知体系。

#### (1) 流空间与智慧城市空间组织

工业化时代, 城市空间开发与利用直接或间接地影响人口、资金等要素的流动特征与规律。伴随全球化、信息化的持续作用, 基于人流、物流、信息流、资金流等要素流的“流空间”, 形成了地域内部及其之间相互关系构建的基础<sup>[12,56]</sup>, 并逐渐成为解释信息化作用下人地关系地域系统格局与机制的分析框架<sup>[2]</sup>。据此, 人地关系系统不再局限于特定地域和场所, 而是以“流”的形式常态化存在。这也就意味着要素流动和城市空间之间的关系开始从“以形影流”向“以流塑形”转变, “流空间”逐渐成为智慧城市的主



导空间形态,而“形流融合”将成为智慧城市空间组织与人地系统塑造的主要驱动力。

作为生命有机体,智慧城市运营要依托于智慧管理中心、一体化数据平台、智慧功能区,通过智慧管理、要素流有机组织以保障整个系统的持续运行<sup>[57]</sup>,这也是调控智慧城市人地系统的重要途径。聚焦城市数据治理及功能与业务需求,一方面从智能技术、人类活动与地理环境的时空协调角度,引导各类信息基础设施、信息系统、智慧功能区、要素流的协同建设和时空优化布局,提高智慧城市要素运行效率和质量;另一方面可以利用多源数据对城市各类要素资源的时空配置进行分析评价、仿真模拟与预测,并通过智能技术进行资源配置的调节与优化,以实现提升城市综合承载能力和可持续发展能力的目标。

### (2) “人—技术—空间”一体化的智慧城市人地耦合系统

人地耦合关系是人类活动和地理环境在特定地域上相互联系、相互作用而呈现出的状态,是人地系统相互作用过程及其结果的重要表现。传统的人地关系地域系统,主要关注人与自然物质环境等之间的耦合关系。智能技术的快速发展及应用,使得物质环境和空间距离对人类活动的限制下降,并对人地关系地域系统持续产生影响,不断改变着人地系统的互动方式、广度和深度<sup>[58,59]</sup>,使得人地系统耦合关系也从传统的“人”“地”二元耦合转向“人—技术—空间”的三元耦合结构<sup>[55,60]</sup>,还有学者则强调了物理空间、社会空间和信息空间的映射与融合<sup>[61]</sup>。因此,开展技术、人和地理环境三者耦合关系的研究,既是理解智慧城市人地系统的核心,也是智慧城市规划、基础设施建设与要素协同布局的重要理论基础。

在智慧城市发展框架下,人、智能技术和城市空间要素的耦合关系具有远程交互、虚实关联、时空协同等特点。首先,传统人地系统的地方耦合转向智慧城市“人—技术—空间”的复杂耦合,在物联网等智能技术的远程控制与联动作用下,实现对信息传输、人类活动以及地理环境、土地系统的远距离联系、流动和反馈<sup>[62]</sup>。与强调不同地域空间尺度耦合关系的传统人地系统不同,智慧城市人地系统更强调时空耦合性,注重对技术、人与地理环境在不同时间、空间维度上的耦合关系、特征与规律的探索和挖掘。其次,传统人地系统的实体和物质要素耦合转向智慧城市人地系统的虚实耦合协同,主要体现在在线虚拟活动与实体活动、虚拟空间与实体空间之间的互动联系,实体空间要素在虚拟信息系统平台中的映射及其动态信息更新和运行管理,这也是城市信息模型(CIM)以及数字孪生城市建设的关键所在。

### (3) 智慧城市人地系统韧性

智慧城市本身就是一个复杂系统<sup>[63]</sup>。韧性则指城市中的个人、社区、机构、企业等行为主体在各种慢性压力(如交通拥堵、环境污染等)和急性冲击(如各种人为或自然灾害等)之下存续、适应、发展的能力<sup>[64,65]</sup>,智能技术驱动下的“人—技术—空间”深度交互促使智慧城市系统韧性处于时刻变化中。在技术、人类活动和地理环境的日常运行、时空互动和反馈机制基础上,如在灾害等不同情景下人地系统运行及韧性演化,智慧城市人地系统会呈现出复杂适应性特征,既具有不同于单独社会系统或生态系统时空耦合的过程与机理,也具有不同于对单一耦合稳态追求的调控思路。

智慧城市人地系统的动态运行、时空耦合和互动作用是理解其韧性状况的重要方面。居民行为活动对城市基础设施、公共服务以及资源环境的慢性压力,反映了各类设

施、资源环境的活动承载和韧性水平。同时，灾害等突发事件的不同阶段和发生过程，系统要素的承灾能力、应对能力和恢复能力等，以及人流聚集与地理环境的时空交互和耦合关系会有差异。因此，对智慧城市人地系统的动态适应性变化及风险进行综合监测评估和仿真模拟分析，可为探索大数据、云计算、虚拟现实等智能技术支撑的城市人地系统韧性提升与调控方法提供解决路径及方案。

### 1.3 智慧城市人地系统概念模型

在物联网、大数据、云计算等智能技术的影响下，城市中日益增加的各类线上线下活动，不断重塑社会经济活动、基础设施和公共服务等要素系统。与此同时，智能技术改变了人流、物流、资金流、信息流、技术流、生态流等要素流动的结构和范式，虚拟要素流与各类实体要素流更加融合，促进了网络在线活动和实体活动、虚拟空间和物质空间之间的互动，并持续对智慧城市人类活动系统与地理环境系统之间的调控、反馈和交互机制产生影响作用（图1）。

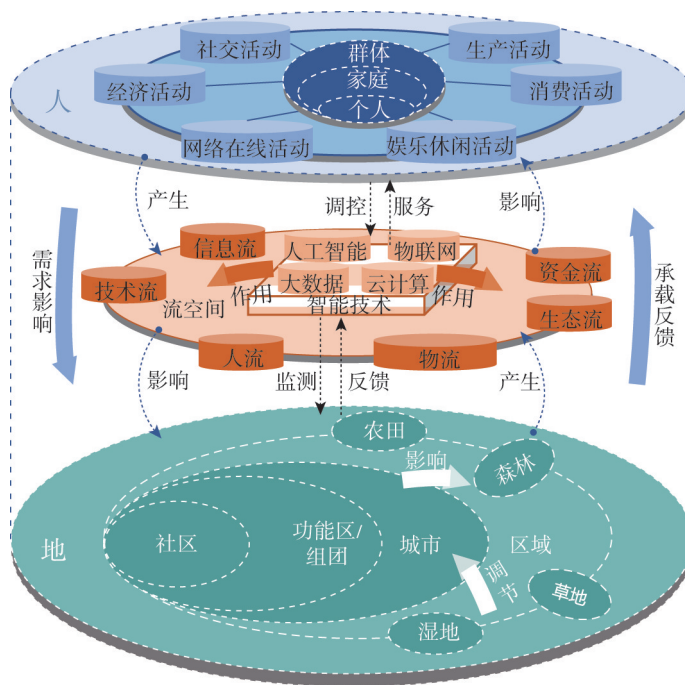


图1 智慧城市人地系统概念模型

Fig. 1 Conceptual model of smart city human-land system

与传统的城市人地关系相比，智慧城市人地系统中要素交互与联系的时空尺度在不断变化。空间尺度上，基于山水林田湖草要素系统在社区、功能区/组团、城市、区域等多层次空间的组合状况，探索人类活动、要素流动和地理环境互动作用的空间尺度变化，挖掘智能技术支撑下的活动系统和地理环境系统跨尺度协同、远程耦合和反馈作用。时间尺度上，关注智能技术广泛应用所带来的居民活动和城市地理环境互动耦合的时间弹性、灵活性和破碎化，进行智慧城市人地系统全生命周期的监测、管理和动态优化调控。

2 智慧城市人地系统重点研究方向与应用

2.1 人地系统要素时空耦合过程

借助基于智慧城市平台的数据采集分析、指标算法、业务应用与实施保障等建设框架，将多源大数据获取与社会调查、访谈相结合，构建由基础地理信息、资源环境、人口活动、社会经济等若干专题数据库组成的智慧城市人地系统多源数据库。针对不同类型智慧城市，进一步开展城市人地系统关键要素的识别，构建人地系统综合评价指标体系。关键要素的识别是一个演绎和归纳的双向过程。一方面从城市人地系统特征与规律角度演绎出一些预设的关键领域，如能源、资源、环境等底线要素，交通、生产等活力要素，居民生活相关的医疗、教育等民生要素。另一方面通过多源数据模拟分析，归纳出哪些是真正关键的要素；结合要素运行状态监测进行问题诊断、要素关联分析以及功能评价。针对智慧城市人地系统的特殊性，围绕城市居民活动和出行（居住、就业、通勤、消费、休闲娱乐、社交、健康活动等），从点、线、面等维度将城市居民的社会经济活动与城市物质空间关联起来，探索不同空间尺度的居民活动模式、空间需求及满意度、幸福感等内容，深入理解和阐释智慧城市人地系统要素结构、功能及布局模式变化。

城市人地系统耦合度是对要素之间、子系统之间相互关联水平和作用强度的度量。在对智慧城市人地系统要素分析的基础上，从个体与家庭、社区、功能区（组团）、城市尺度展开对人地系统时空耦合过程与规律分析，总结不同耦合类型及其特征，如域内与域外耦合、功能耦合（远程耦合、虚拟耦合）、内容耦合等。基于多维指标构建耦合度分析模型，在多角度、多时空维度下测度、评价城市居民社会经济活动和城市物质环境时空耦合水平（表1）。

表1 智慧城市人地耦合系统：要素、结构与尺度  
Table 1 Coupling system of smart city human-land: Elements, structure and scale

层级尺度		要素	结构		
			节点	连接	网络
域外耦合	区域、国家和全球	经济、贸易、创新、资本等要素	城市、门户与枢纽	经济流、商品流、技术流、资金流等	区域、国家和全球经济网络、贸易网络、创新网络、资本网络
域内耦合	城市	社会经济、基础设施、文化、生态、治理等要素	商业中心、游憩休闲中心、综合服务中心	经济流、交通流、能源资源流、生态流等	社会经济网络、基础设施网络、生态网络等
	功能区（组团）	产业、服务、居住区、休闲、交通等要素	功能区/组团中心	居住、就业、休闲、出行等活动流	功能组团网络
	社区	居住、服务、文化等要素	社区活动中心、社区服务中心	社区日常活动—移动	社区生活圈网络
	个体与家庭	居民活动、情感、幸福感等	智慧市民、智能家庭	阶层流、思想流	个体与家庭社会网络

首先，加强城市居民（活动本体）社会经济活动的时空耦合分析与评价。在深入挖掘人对地理环境、城市空间的感知、体验、偏好等情感及时空数据的基础上，进行居民个体及群体流动性和行为活动分析与评价，包括线上活动与线下活动，以及情绪与空间的互动研究。其次，加强城市物质空间（活动环境）要素时空耦合的分析与评价，包括



不同地理空间要素的发展质量及存在问题,如不同商业设施间的耦合关系与互动模式。最后,加强城市人地系统要素综合耦合协调度评价与可视化模拟。在居民日常行为活动模式、时空利用与交通出行特征分析基础上,借助流分析、复杂网络分析方法,通过居民行为活动要素和智能技术与城市基础设施布局、绿化设施与生态服务、公共服务供给、社会文化服务、经济发展等要素间的关联与耦合协调度评价研究,探索智慧城市中人与地理环境的时空耦合过程、模式与规律。

## 2.2 人地系统要素构成及影响机理

在个体与家庭、社区、功能区(组团)、城市等不同时空尺度下,智慧城市人地系统要素构成与耦合状态存在差异。因此,智慧城市人地系统研究,需要针对不同时空尺度构建差异化的时空耦合要素集,并挖掘不同尺度时空耦合的影响因素。按照全面感知系统要素、精准识别要素变化特征、系统认知要素关联、抽象要素互动耦合机理的思路,开展不同类型、不同尺度智慧城市人地系统时空耦合影响机理研究。

个体与家庭尺度,重点挖掘个人属性与家庭结构、个体活动与行为习惯、消费偏好、环境认知等要素对人—人关系、人—地关系及其形成的耦合关系网络结构的影响机理。社区尺度,分析社区功能、社区活动、社区服务、交通与建成环境、治理模式以及智慧社区系统建设等要素,对社区内部居民各类活动与物质环境时空耦合的影响,以及对智慧社区生活圈构建的促进作用。城市功能区(组团)尺度,探索其功能空间分布与规模、功能结构与组合关系等特征,以及相互之间的交通联系、信息、人口、资本、能源资源等要素流动,挖掘功能区内部的人地系统耦合和功能区之间时空交互的影响机理。城市尺度,基于社会经济、人口结构、空间布局与用地形态、基础设施与服务质量、道路交通系统支撑、资源环境承载能力、治理结构等全要素系统,分析其对城市内部人地系统时空耦合的影响机理及动力变化。全球与区域(国家)尺度,重点考虑不同等级城市的等级与节点作用、跨区域和城市的信息、人员、货物、资本、技术以及能源资源要素流动对人地系统时空耦合的影响,并考虑远程连接与信息交互、全球化与本地化互动的的影响作用。

## 2.3 人地系统建模方法与评价

基于智能技术的城市人地系统的感知监测、模拟仿真与预测分析,为城市人地系统复杂关系研究提供了新视角和新方法,有助于厘清智慧城市人地系统的构成要素、组织结构、作用机制及其功能变化,从而开展符合中国国情及新型城镇化发展与智慧城市建设需求的城市人地系统研究。通过构建人地系统耦合协调的智慧城市可持续发展仿真模型,科学评估人地系统要素的时空耦合协调度,建立智慧城市人地系统时空耦合调控模型工具集,为监测和评价智慧城市运行状态、支撑智慧城市发展决策提供重要的科学依据。

(1) 建立多尺度、全领域、虚实空间要素融合的智慧城市可持续发展仿真模型,模拟分析智慧城市人地系统要素时空耦合的格局特征与演变规律,揭示人地系统要素耦合的作用机理。针对人地系统复杂性和动态性等特点,智慧城市可持续发展仿真模型应以多源时空数据的融合与分析为基础,结合系统动力学、人类动力学、可达性分析、复杂网络等分析模型与方法,从人口、经济、资源、生态、基础设施、土地利用等方面构建城市人地系统子模型,模拟人地系统各类要素的运行状态<sup>[49,66]</sup>,进而根据要素交互的近远

程耦合机理,量化要素之间交互耦合的作用关系<sup>[67]</sup>,揭示多尺度、多要素的城市人地系统时空耦合规律。

(2) 构建人地系统时空耦合协调度评价方法,利用多源时空大数据,对城市要素耦合协同状态进行监测与评估,构建城市智慧发展监测评价的技术体系。基于人、地、业等多维度要素的相互作用关系,构建耦合协调度模型,测算城市人地系统要素的耦合协调程度;进而利用手机信令、社交媒体、移动支付等人类活动数据,遥感影像、土地覆盖、POI等基础地理信息数据,空气质量、水污染等环境监测数据,统计年鉴、问卷调查等统计数据,动态监测城市人—地—业各类要素的耦合协调状态,及时发现城市人地系统要素的矛盾与冲突。

(3) 建立人地系统时空耦合调控模型工具集,对不同调控政策下人地耦合关系变化、耦合协调度等进行模拟与预测,综合评估调控政策的影响。在智慧城市可持续发展仿真模型的基础上,结合元胞自动机、神经网络、贝叶斯网络、多智能体模型等方法,模拟在不同政策下,城市人地系统发展的情景;进而结合资源承载力评价、发展适宜性评价、耦合协调度模型等方法,分析在每种情境下,资源环境的承载情况、城市发展的适宜性情况和人地系统的耦合协调情况,为智慧城市发展决策提供支撑。

## 2.4 人地系统综合调控与优化路径

智慧城市人地系统研究需要以国家新型城镇化、高质量发展战略需求为导向,以解决城市可持续发展的实际问题为目标,探索一体化、协同发展的智慧城市空间数据和规划整合系统,重点从要素耦合与配置、空间布局优化、科学决策与协同治理等方面完善“人”与“地”之间相互作用方式、作用强度及其空间调控策略,推动智慧基础设施的整合协同以及城市空间布局的优化,并在此基础上构建具有中国特色的人地系统调控与适应性机制。

在要素耦合与配置方面,需要从贯彻落实生态文明建设战略和保障国土空间格局安全的视角,全面评估区域及城市内部山水林田湖草及土地等资源要素的供需匹配度,充分考虑智能技术影响和支撑下的要素加速流动所带来的未来区域城市网络及城市内部形态和功能结构可能发生的变化。一方面,利用大数据分析技术精准监测和动态调配区域各城市的资源要素,在供需相对平衡的基础上优先保障区域枢纽和潜力城市的配额;另一方面,深度理解智能技术与居民(自然人)、企业(法人)及政府(管理人)社会经济活动相互作用机制,结合智慧城市人地关系耦合模型分析结果,从不同类型“人”的全生命周期需求、日常活动规律及活力变化、流动性特征及模式等方面统筹安排城市内部各功能区的资源要素组合。

在空间布局与优化方面,以全域智慧化的目标来指导城市各功能区的协调与整合,重点推进智慧场景布局与建设。例如,利用智能技术去强化居民的社区感,提升社区的公共服务能力,并通过智慧平台和工程项目来完善居民生活圈功能体系;同时,利用这些技术、平台及空间场所改造项目来增加社区应对突发公共事件的韧性。智慧园区建设以园区产业数字化转型升级为目标,通过感知技术将人、设施、企业、环境等的相关信息全方位互联,科学诊断产业问题,全面分析产业发展链条,智慧化布局产业空间及配套设施,实时支撑园区的运行与管理。更重要的是,智慧城市是一个生命有机体,需要通过“智慧大脑”建设为智慧社区、智慧园区等场景提供决策分析和学习能力,并通过



城市信息模型将实体城市的各种要素及功能数字化到虚拟空间,把实体城市中复杂的社会联系、人与信息设施关系、人地关系映射到信息模型来支撑动态模拟分析与预测,搭建一个“数字孪生城市”,进而对实体城市的建设起到实时监测、动态优化的作用。

在科学决策与协同治理方面,需要从智慧城市全要素感知出发,利用大数据与人工智能技术,动态诊断城市问题,综合评估城市发展质量及可能的风险,科学模拟预测城市未来发展趋势,进而精准指导城市领导决策和部门管理服务,实现城市智慧治理。同时,智慧城市是一个复杂的巨系统,要做好技术系统、空间系统、活动系统和决策系统之间,以及各系统内部的交互联动,将各行各业的智慧应用协同起来,实现城市空间的智慧化发展。此外,还需要因地制宜地探索智慧城市数据采集、共享、安全、挖掘应用等方面的政策、标准或技术导则,最大限度地保障公民数据权益,充分发挥数据应用价值。

### 3 研究展望与讨论

新型智慧城市建设已成为推进中国以人民为中心的新型城镇化与国土空间治理体系建设的重要手段,也是未来城市发展的方向。面向未来的智慧城市理论研究与创新,需要更加深刻地理解智能技术变革对社会经济发展、人类活动以及城市物质环境的影响,将地理学关于人地关系研究的理论与方法引入智慧城市研究,通过对人地系统更全面地感知、监测、评估和预警,探索城市功能空间与人地关系的重构变化,提高对城市人地系统的调控能力。

(1) 探索未来智慧城市人地系统理论。首先,探讨智能技术应用下人类行为模式和活动方式变化,尤其是虚拟活动、远程在线活动的快速普及,对生产生活活动复杂性、适应性、时空弹性以及社会经济组织结构的影响效应。其次,研究城市空间的智能化以及未来智慧城市的空间重构。从绝对空间、相对空间、关系空间和情感空间等维度去架构智能空间<sup>[68]</sup>;超越地方的资源禀赋和地理区位,从场所所处的网络关系出发,研究未来智慧城市空间的远程和邻近、虚拟和实体、流动和停滞等不同耦合状态。最后,从虚实活动关联、虚实空间互动以及流动性角度,加强智慧城市人地系统的交互模式、组织形态与耦合机理研究。

(2) 创新智慧城市人地系统的分析与研究方法。大数据、云计算、人工智能、虚拟现实等智能技术,为人地关系的分析、监测和模拟方法创新提供了新的手段,可将人地系统理论和城市计算技术进行深度融合,构建智能人地系统研究方法体系,从而分析城市的物质空间和社会空间<sup>[69]</sup>,并进行城市人地系统时空动态、虚实关系的综合评估、仿真模拟和安全预警。

(3) 建构可持续的智慧城市人地系统。探索如何通过智慧城市建设,来促进可持续的人地系统构建与优化,一方面研究智能基础设施对各类资源能源以及教育、医疗等公共资源配置的作用,引导高效协同的智慧治理,构建安全、包容、韧性的城市;另一方面,考虑智慧城市建设对不同社会阶层、不同区域、城乡之间的公平性影响,探讨未来的“智慧鸿沟”解决方案以及数字化参与方式、社会包容性、充分就业等问题。

立足于中国新型城镇化发展的阶段性特点以及城市发展的实际情况,对于中国智慧城市人地系统的理论研究,在考虑“人—技术—城市空间”耦合协调基础上,综合生态城市、宜居城市、安全韧性城市、健康城市、可持续城市等理论与实践框架,并结合中

国新型基础设施、智慧城市服务在生产生活和政务管理中高度渗透融合的趋势,进一步完善适应中国国情的智慧城市人地系统理论体系。在实践和具体应用场景中,一方面,注重“智慧大脑”的建设,通过“智慧大脑”引导城市经济可持续发展、社会运行效率提升、基础设施创新和城市功能空间转型<sup>[70,71]</sup>;另一方面,加强以城市信息模型(CIM)为基底的数字孪生城市发展,促进数字城市与现实城市的深度融合与交互,并为国土空间的全生命周期规划、建设和管理提供应用支撑。

### 参考文献(References):

- [1] 德勤咨询. 超级智能城市 2.0: 人工智能引领新风尚, 2020. [Deloitte Consulting. Super smart city 2.0: A new trend led by artificial intelligence, 2020.]
- [2] 甄峰, 席广亮, 秦萧. 基于地理视角的智慧城市规划与建设的理论思考. 地理科学进展, 2015, 34(4): 402-409. [ZHEN F, XI G L, QIN X. Smart city planning and construction based on geographic perspectives: Some theoretical thinking. Progress in Geography, 2015, 34(4): 402-409.]
- [3] 吴传钧. 论地理学的研究核心: 人地关系地域系统. 经济地理, 1991, 11(3): 1-6. [WU C J. Research core of geography: Man-land relationship geographic system. Economic Geography, 1991, 11(3): 1-6.]
- [4] 吴传钧. 人地关系与经济布局. 北京: 学苑出版社, 1998. [WU C J. Man-land Relationship and Economic Layout. Beijing: Xueyuan Press, 1998.]
- [5] HARDEN C P. Framing and reframing questions of human-environment interactions. Annals of the Association of American Geographers, 2012, 102(4): 737-747.
- [6] TURNER B L, MATSON P A, MCCARTHY J J. Illustrating the coupled human-environment system for vulnerability analysis: Three case studies. PNAS, 2003, 100(14): 8080-8085.
- [7] 陆大道. 关于地理学的“人—地系统”理论研究. 地理研究, 2002, 21(2): 135-145. [LU D D. Theoretical studies of man-land system as the core of geographical science. Geographical Research, 2002, 21(2): 135-145.]
- [8] 蔡运龙. 人地关系研究范型: 地域系统实证. 人文地理, 1998, 13(2): 11-17. [CAI Y L. A paradigm of the research on man-earth relationship: Positive study of territorial system. Human Geography, 1998, 13(2): 11-17.]
- [9] 方创琳. 中国人地关系研究的新进展与展望. 地理学报, 2004, 59(s): 21-32. [FANG C L. Recent progress of studies on man-land relationship and its prospects in China. Acta Geographica Sinica, 2004, 59(s): 21-32.]
- [10] 陆玉麒. 人文地理学科学化的总体目标与实现路径. 地理学报, 2011, 66(12): 1587-1596. [LU Y Q. The major objectives and implementation methods for human geography toward the tendency of physical science. Acta Geographica Sinica, 2011, 66(12): 1587-1596.]
- [11] 樊杰. 人地系统可持续过程、格局的前沿探索. 地理学报, 2014, 69(8): 1060-1068. [FAN J. Frontier approach of the sustainable process and pattern of human-environment system. Acta Geographica Sinica, 2014, 69(8): 1060-1068.]
- [12] 杨宇, 李小云, 董雯, 等. 中国人地关系综合评价的理论模型与实证. 地理学报, 2019, 74(6): 1063-1078. [YANG Y, LI X Y, DONG W, et al. Comprehensive evaluation on China's man-land relationship: theoretical model and empirical study. Acta Geographica Sinica, 2019, 74(6): 1063-1078.]
- [13] United Nations. World urbanization prospects. The 2014 revision. New York: Department of Economic and Social Affairs, 2015.
- [14] 赵生才. 社会信息化与人地关系: 香山科学会议第 169 次学术讨论会观点摘要. 地球科学进展, 2002, 17(4): 624-627. [ZHAO S C. Social informatization and man-land relationship: Summary of the opinions of the 169th Academic Symposium of Xiangshan Science Conference. Advance in Earth Sciences, 2002, 17(4): 624-627.]
- [15] HARVEY D. The Condition of Postmodernity. Oxford: Blackwell, 1989.
- [16] 马恩朴, 蔡建明, 韩燕, 等. 人地系统远程耦合的研究进展与展望. 地理科学进展, 2020, 39(2): 310-326. [MA E P, CAI J M, HAN Y, et al. Research progress and prospect of telecoupling of human-earth system. Progress in Geography, 2020, 39(2): 310-326.]
- [17] MOKHTARIAN P L. A typology of relationships between telecommunications and transportation. Transportation Research Part A: General, 1990, 24(3): 231-242.

- [18] GRAHAM S, MARVIN S. *Telecommunications and the City: Electronic Space, Urban Places*. London: Routledge, 1996.
- [19] 吴士锋, 路紫. 网站信息流对现实人流替代函数的计算与应用: 以中国互联网络发展状况统计报告为例. *经济地理*, 2007, 27(1): 22-25. [WU S F, LU Z. The calculation and application on replacement effect of website information flow to real human flow: The case of statistic report of internet development in China. *Economic Geography*, 2007, 27(1): 22-25.]
- [20] 贺灿飞, 朱向东, 孔莹晖, 等. 集聚经济、政策激励与中国计算机制造业空间格局: 基于贸易数据的实证研究. *地理科学*, 2018, 38(10): 1579-1588. [HE C F, ZHU X D, KONG Y H, et al. Agglomeration economy, incentive policy and the spatial pattern of Chinese computer manufacturing industry: A case study based on export data. *Scientia Geographica Sinica*, 2018, 38(10): 1579-1588.]
- [21] 刘彦随. 中国新时代城乡融合与乡村振兴. *地理学报*, 2018, 73(4): 637-650. [LIU Y S. Research on the urban-rural integration and rural revitalization in the New Era in China. *Acta Geographica Sinica*, 2018, 73(4): 637-650.]
- [22] 孙斌栋. 信息革命下的社会经济空间集聚与分散. *地域研究与开发*, 2018, 37(2): 172-173, 180. [SUN B D. Agglomeration and dispersion of social economic space under the information revolution. *Areal Research and Development*, 2018, 37(2): 172-173, 180.]
- [23] SCHWANEN T, KWAN M P. The internet, mobile phone and space-time constraints. *Geoforum*, 2008, 39(3): 1362-1377.
- [24] ZHEN F, WEI Z. Influence of information technology on social spatial behaviors of urban residents: Case of Nanjing city in China. *Chinese Geographical Science*, 2008, 18(4): 316-322.
- [25] 柴彦威, 塔娜. 中国时空间行为研究进展. *地理科学进展*, 2013, 32(9): 1362-1373. [CHAI Y W, TA N. Progress in space-time behavior research in China. *Progress in Geography*, 2013, 32(9): 1362-1373.]
- [26] LEVIN S A. *Fragile Dominion: Complexity and the Commons*. Cambridge: Perseus Publishing, 1999.
- [27] LESLIE H M, BASURTO X, NENADOVIC M, et al. Operationalizing the social-ecological systems framework to assess sustainability. *PNAS*, 2015, 112(19): 5979-5984.
- [28] MCGINNIS M D, OSTROM E. Social-ecological system framework: Initial changes and continuing challenges. *Ecology and Society*, 2014, 19(2): 30, <http://dx.doi.org/10.5751/ES-06387-190230>.
- [29] MEEROW S, NEWELL J P, STULTS M. Defining urban resilience: A review. *Landscape and Urban Planning*, 2016, 147: 38-49.
- [30] FOLKE C, HAHN T, OLSSON P, et al. Adaptive governance of social-ecological systems. *Annual Review of Environment and Resources*, 2005, 15: 441-473.
- [31] MAYER-SCHÖNBERGER V, CUKIER K. *Big data: A revolution that will transform how we live, work, and think*. Houghton Mifflin Harcourt, 2013.
- [32] 秦萧, 甄峰, 魏宗财. 未来城市研究范式探讨: 数据驱动亦或人本驱动. *地理科学*, 2019, 39(1): 31-40. [QIN X, ZHEN F, WEI Z C. The discussion of urban research in the future: Data driven or human-oriented driven. *Scientia Geographica Sinica*, 2019, 39(1): 31-40.]
- [33] BECKER R A, CACERES R, HANSON K, et al. A tale of one city: Using cellular network data for urban planning. *Pervasive Computing, IEEE*, 2011, 10(4): 18-26.
- [34] 龙瀛, 张宇, 崔承印. 利用公交刷卡数据分析北京职住关系和通勤出行. *地理学报*, 2012, 67(10): 1339-1352. [LONG Y, ZHANG Y, CUI C Y. Identifying commuting pattern of Beijing using bus smart card data. *Acta Geographica Sinica*, 2012, 67(10): 1339-1352.]
- [35] 潘竞虎, 赖建波. 中国城市间人口流动空间格局的网络分析: 以国庆—中秋长假和腾讯迁徙数据为例. *地理研究*, 2019, 38(7): 1678-1693. [PAN J H, LAI J B. Research on spatial pattern of population mobility among cities: A case study of "Tencent Migration" big data in "National Day-Mid-Autumn Festival" vacation. *Geographical Research*, 2019, 38(7): 1678-1693.]
- [36] KRINGS G, CALABRESE F, RATTI C, et al. Urban gravity: A model for inter-city telecommunication flows. *Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment*, 2009, 7: L07003, Doi:10.1088/1742-5468/2009/07/L07003.
- [37] 甄峰, 王波, 陈映雪. 基于网络社会空间的中国城市网络研究: 以新浪微博为例. *地理学报*, 2012, 67(8): 1031-1043.



- [ZHEN F, WANG B, CHEN Y X. China's city network characteristics based on social network space: An empirical analysis of Sina micro-blog. *Acta Geographica Sinica*, 2012, 67(8): 1031-1043.]
- [38] 詹庆明, 范域立, 罗名海, 等. 基于多源大数据的武汉市区域空间格局研究. *上海城市规划*, 2019, (3): 30-26. [ZHAN Q M, FAN Y L, LUO M H, et al. Study on regional spatial structure of Wuhan based on multiple online data. *Shanghai Urban Planning Review*, 2019, (3): 30-26.]
- [39] HOLLENSTEIN L, PURVES R. Exploring place through user-generated content: Using Flickr tags to describe city cores. *Journal of Spatial Information Science*, 2013, 1: 21-48.
- [40] 钮心毅, 丁亮, 宋小冬. 基于手机数据识别上海中心城的城市空间结构. *城市规划学刊*, 2014, (6): 61-67. [NIU X Y, DING L, SONG X D. Understanding urban spatial structure of Shanghai central city based on mobile phone data. *Urban Planning Forum*, 2014, (6): 61-67.]
- [41] 王德, 钟炜菁, 谢栋灿, 等. 手机信令数据在城市建成环境评价中的应用: 以上海市宝山区为例. *城市规划学刊*, 2015, (5): 82-90. [WANG D, ZHONG W J, XIE D C, et al. The application of cell phone signaling data in the assessment of urban built environment: A case study of Baoshan district in Shanghai. *Urban Planning Forum*, 2015, (5): 82-90.]
- [42] 赵渺希, 梁景宇, 郭振松. 基于多维数据的特大城市建设用地类型识别. *上海城市规划*, 2018, (5): 82-87. [ZHAO M X, LIANG J Y, GUO Z S. Classifying development-land type of the megacity through the lens of multisource data. *Shanghai Urban Planning Review*, 2018, (5): 82-87.]
- [43] MARSAL-LLACUNA M L, COLOMER-LLINÀS J, MELÉNDEZ-FRIGOLA J. Lessons in urban monitoring taken from sustainable and livable cities to better address the smart cities initiative. *Technological Forecasting and Social Change*, 2015, 90: 611-622.
- [44] 柴彦威, 刘伯初, 刘瑜, 等. 基于多源大数据的城市体征诊断指数构建与计算: 以上海市为例. *地理科学*, 2018, 38(1): 1-10. [CHAI Y W, LIU B C, LIU Y, et al. Construction and calculation of diagnostic index of urban signs based on multi-source big data: Case of Shanghai. *Scientia Geographica Sinica*, 2018, 38(1): 1-10.]
- [45] 龙瀛, 张昭希, 李派, 等. 北京西城区城市区域体检关键技术研究与实践. *北京规划建设*, 2019, (s2): 180-188. [LONG Y, ZHANG Z X, LI P, et al. Key techniques in urban physical examination evaluation for Beijing Xicheng district. *Beijing Planning Review*, 2019, (s2): 180-188.]
- [46] 李德仁, 姚远, 邵振峰. 智慧城市中的大数据. *武汉大学学报: 信息科学版*, 2014, 39(6): 631-640. [LI D R, YAO Y, SHAO Z F. Big data in smart city. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2014, 39(6): 631-640.]
- [47] 甄峰, 张姗姗, 秦萧, 等. 从信息化赋能到综合赋能: 智慧国土空间规划思路探索. *自然资源学报*, 2019, 34(10): 2060-2072. [ZHEN F, ZHANG S Q, QIN X, et al. From informational empowerment to comprehensive empowerment: Exploring the ideas of smart territorial spatial planning. *Journal of Natural Resources*, 2019, 34(10): 2060-2072.]
- [48] HUOVILA A, BOSCH P, AIRAKSINEN M. Comparative analysis of standardized indicators for smart sustainable cities: What indicators and standards to use and when?. *Cities*, 2019, 89: 141-153.
- [49] 曹阳, 甄峰. 基于智慧城市的可持续城市空间发展模型总体架构. *地理科学进展*, 2015, 34(4): 430-437. [CAO Y, ZHEN F. The overall architecture of sustainable urban spatial development model based on the construction of smart cities. *Progress in Geography*, 2015, 34(4): 430-437.]
- [50] 吴志强, 刘晓畅. 改革开放40年来中国城乡规划知识网络演进. *城市规划学刊*, 2018, (5): 11-18. [WU Z Q, LIU X C. Evolution of knowledge network of urban-rural planning in China in four decades since the opening up in 1978. *Urban Planning Forum*, 2018, (5): 11-18.]
- [51] LIM Y, EDELENBOS J, GIANOLI A. Identifying the results of smart city development: Findings from systematic literature review. *Cities*, 2019, 95: 102397, <https://doi.org/10.1016/j.cities.2019.102397>.
- [52] AHVENNIEMI H, HUOVILA A, PINTO-SEPPA I, et al. What are the differences between sustainable and smart cities?. *Cities*, 2017, 60: 234-245.
- [53] MICHELUCCI F V, DE MARCO A, TANDA A. Defining the role of the smart-city manager: An analysis of responsibilities and skills. *Journal of Urban Technology*, 2016, 23(3): 23-42.
- [54] SCHOLL H J, ALAWADHI S. Smart governance as key to multi-jurisdictional smart city initiatives: The case of the eCityGov Alliance. *Social Science Information*, 2016, 55(2): 255-277.

- [55] 甄峰, 孔宇. “人—技术—空间”一体的智慧城市规划框架. 城市规划学刊, 2021, (6): 45-52. [ZHEN F, KONG Y. An integrated "human-technology-space" framework of smart city planning. Urban Planning Forum, 2021, (6): 45-52.]
- [56] 樊杰. “人地关系地域系统”是综合研究地理格局形成与演变规律的理论基石. 地理学报, 2018, 73(4): 597-607. [FAN J. "Territorial System of Human-environment Interaction": A theoretical cornerstone for comprehensive research on formation and evolution of the geographical pattern. Acta Geographica Sinica, 2018, 73(4): 597-607.]
- [57] 席广亮, 甄峰. 基于可持续发展目标的智慧城市空间组织和规划思考. 城市发展研究, 2014, 21(5): 102-109. [XI G L, ZHEN F. The spatial organization and planning of smart cities based on the sustainable development goals. Urban Development Studies, 2014, 21(5): 102-109.]
- [58] 郑度. 21世纪人地关系研究前瞻. 地理研究, 2002, 21(1): 9-13. [ZHENG D. Prospects of studies on man-land relationship in the 21st century. Geographical Research, 2002, 21(1): 9-13.]
- [59] 刘彦随. 现代人地关系与人地系统科学. 地理科学, 2020, 40(8): 1221-1234. [LIU Y S. Modern human-earth relationship and human-earth system science. Scientia Geographica Sinica, 2020, 40(8): 1221-1234.]
- [60] 曹小曙. 基于人地耦合系统的国土空间重塑. 自然资源学报, 2019, 34(10): 2051-2059. [CAO X S. Geogovernance of national land use based on coupled human and natural systems. Journal of Natural Resources, 2019, 34(10): 2051-2059.]
- [61] 郭仁忠, 林浩嘉, 贺彪, 等. 面向智慧城市的GIS框架. 武汉大学学报: 信息科学版, 2020, 45(12): 1829-1835. [GUO R Z, LIN H J, HE B, et al. GIS framework for smart cities. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2020, 45(12): 1829-1835.]
- [62] FRIIS C, ØSTERGAARD N J, OTERO I. From teleconnection to telecoupling: Taking stock of an emerging framework in land system science. Journal of Land Use Science, 2015, 11(2): 131-153.
- [63] KHATOUN R, ZEADALLY S. Smart cities: Concepts, architectures, research opportunities. Communications of the ACM, 2016, 59(8): 46-57.
- [64] MEEROW S, NEWELL J P, STULTS M. Defining urban resilience: A review. Landscape and Urban Planning, 2016, 147: 38-49.
- [65] SPAANS M, WATERHOUT B. Building up resilience in cities worldwide-Rotterdam as participant in the 100 Resilient Cities Programme. Cities, 2017, 61: 109-116.
- [66] 崔学刚, 方创琳, 李君, 等. 城镇化与生态环境耦合动态模拟模型研究进展. 地理科学进展, 2019, 38(1): 111-125. [CUI X G, FANG C L, LI J, et al. Progress in dynamic simulation modeling of urbanization and ecological environment coupling. Progress in Geography, 2019, 38(1): 111-125.]
- [67] 方创琳, 周成虎, 顾朝林, 等. 特大城市群地区城镇化与生态环境交互耦合效应解析的理论框架及技术路径. 地理学报, 2016, 71(4): 531-550. [FANG C L, ZHOU C H, GU C L, et al. Theoretical analysis of interactive coupled effects between urbanization and eco-environment in mega-urban agglomerations. Acta Geographica Sinica, 2016, 71(4): 531-550.]
- [68] SHAW S L, SUI D. Understanding the new human dynamics in smart spaces and places: Toward a spatial framework. Annals of the American Association of Geographers, 2020, 110(2): 339-348.
- [69] POORTHUIS A, ZOOK M. Being smarter about space: Drawing lessons from spatial science. Annals of the American Association of Geographers, 2020, 110(2): 349-359.
- [70] 席广亮, 甄峰, 冷硕峰. 2022年城市数字化转型发展热点回眸. 科技导报, 2023, 41(1): 194-201. [XI G L, ZHEN F, LENG S F. Research of hot topics on urban digital transformation development in 2022. Science & Technology Review, 2023, 41(1): 194-201.]
- [71] 姚冲, 甄峰, 席广亮. 中国智慧城市研究的进展与展望. 人文地理, 2021, 36(5): 15-23. [YAO C, ZHEN F, XI G L. Research progress and prospect of smart city in China. Human Geography, 2021, 36(5): 15-23.]

## Theoretical framework and scientific problems of smart city man-land system

ZHEN Feng<sup>1,2,3</sup>, XI Guang-liang<sup>1,3</sup>, ZHANG Shan-qi<sup>1,2</sup>, QIN Xiao<sup>1,2</sup>

(1. School of Architecture and Urban Planning, Nanjing University, Nanjing 210093, China;

2. Jiangsu Engineering Research Center of Smart City Design Planning and Digital Governance,

Nanjing 210093, China; 3. Jiangsu Smart City Research Base, Nanjing 210093, China)

**Abstract:** The rapid development of intelligent technology not only provides new technical means for the monitoring and regulation of urban man-land system, but also has a systematic impact on the element structure, coupling relationship and dynamic evolution of urban man-land system. It is imperative to explore the theory of building a man-land system for smart cities. Based on the interpretation of the connotation of the smart city man-land system, this paper discusses the theoretical basis of the smart city man-land system from the aspects of flow space, technology- man- land coupling and resilience system, and then puts forward the conceptual model of the smart city man-land system. On the one hand, we should explore the spatial scale changes of the interactions among human activities, elemental flows, and geographic environments, and further investigate into the cross- scale collaboration, tele-coupling, and feedback between activity systems and geographic environment systems regulated by intelligent technologies. On the other hand, we should pay attention to temporal elasticity, flexibility and fragmentation of the interactive coupling between residents' activities and urban geographical environment caused by the wide application of intelligent technology. Then it is necessary to carry out the monitoring, management and dynamic optimization with the smart city man-land system. Facing the future, the research on man-land system of smart cities needs to focus on the spatio- temporal coupling process of elements, elemental composition and impact mechanism, modeling methods and evaluation, comprehensive regulation and optimization path, etc. Finally, from the aspects of human behavior patterns and activity changes brought about by smart technology, spatial intelligence, virtual reality correlation, etc., the research prospect of theoretical exploration, analysis method innovation and sustainable regulation of smart city man-land system is proposed. All in all, based on the coupling of people, technology and urban space, we build the theoretical framework of smart city man-land system adapted to China's national conditions in consideration of the trend of high penetration and integration of China's new infrastructure and smart city services in production, living and governmental management. This framework could support the innovation of urban geography theory and method and the practical needs of "smart brain", digital twin city construction.

**Keywords:** smart cities; man-land system; coupling system; space of flow; resilience