

时空信息赋能国土空间规划的发展方向*

Development Pathways of Spatiotemporal Information-Empowered Territorial Spatial Planning

陈 军 张姗姗 张 兵 赵鹏军 田 莉 詹庆明 张尚武

CHEN Jun, ZHANG Shanqi, ZHANG Bing, ZHAO Pengjun, TIAN Li, ZHAN Qingming, ZHANG Shangwu

关键词 时空信息; 时空型赋能; 国土空间规划; 发展方向

Keywords: spatio temporal information; spatio temporal empowerment; territorial spatial planning; development pathway

提 要 近些年来, 以对地观测、空间定位、GIS等为核心的时空信息技术取得了长足进步, 在推动我国规划行业的技术进步和数字化转型方面发挥了十分重要的作用。但就总体而言, 时空信息在国土空间规划中的赋能作用尚未充分发挥, 表现为对赋能机理的认识不透, 缺乏先进高效的成套技术工具和科学完备的数据资源。面对全社会数字化转型和人工智能技术应用的浪潮, 应加强时空信息赋能国土空间规划的研究与实践, 做到用时空数据说话、在三维空间研判、凭时空知识决策, 支撑国土空间规划的数智化发展。为此, 提出应以全域数字化表达、动态化分析、智能化推演、知识化服务为主线, 推动时空信息赋能国土空间规划的创新与应用。近期应围绕研制就绪化时空数据产品、构建专业型时空信息分析平台、开发业务化时空知识服务、建立智慧化公众参与机制、创建专门化的时空信息方法体系等重点任务开展科技攻关, 此外, 还应加强顶层设计, 健全保障机制, 推动应用示范。

Abstract: In recent years, spatiotemporal information technologies, including earth observation, spatial positioning, and GIS, have made significant progress and played a crucial role in advancing technological development and digital transformation in China's planning practices. However, their potential in strengthening territorial spatial planning has not been fully tapped. This is reflected in the limited understanding of enabling mechanisms, the lack of advanced and efficient technological toolkits, and absence of comprehensive scientific data resources. In response to the wave of digital transformation and worldwide application of artificial intelligence, efforts should be made to enhance the role of spatiotemporal information in territorial spatial planning. This involves utilizing spatiotemporal data, conducting three-dimensional spatial analyses, and leveraging spatiotemporal knowledge for decision-making. To advance innovation and application of technology in spatial planning, this paper suggests focusing on digital representation, dynamic analysis, intelligent simulation, and knowledge-based services. Key near-term priorities include developing ready-to-use spatiotemporal data products, building specialized spatiotemporal information analysis platforms, creating operational spatiotemporal knowledge services, developing intelligent public participation mechanisms, and establishing specialized spatiotemporal information methodologies to drive scientific and technological breakthroughs. Additionally, it is critical to strengthen top-level design, improve supporting systems, and promote application demonstrations.

中图分类号 TU984 文献标志码 A
DOI 10.16361/j.upf.202502003
文章编号 1000-3363(2025)02-0020-08

作者简介

陈 军, 中国工程院院士, 莫干山地信实验室主任, 国家基础地理信息中心教授, chenjun@ngcc.cn

张姗姗, 南京大学建筑与城市规划学院助理教授, 通信作者, zhangshanqi@nju.edu.cn

张 兵, 自然资源部总规划师

赵鹏军, 北京大学深圳研究生院城市规划与设计学院教授、北京大学城市与环境学院教授

田 莉, 清华大学建筑学院城市规划系教授, 自然资源部智慧人居环境与空间规划治理创新中心主任

詹庆明, 武汉大学城市设计学院教授

张尚武, 同济大学建筑与城市规划学院教授

* 国家自然科学基金面上项目“虚实空间交互的城市生活服务设施优化配置机理与规划响应”(项目编号: 52478061); 国家社科基金重大项目“当前中国城市规划理论与实践研究”(项目编号: 24&ZD147); 国家自然科学基金面上项目: “面向治理能力提升的基于时空大数据的空间规划方法研究”(项目编号: 52078389)

经过持续不懈的努力，我国“多规合一”国土空间规划体系基本形成，编制了全国国土空间规划纲要和地方规划，在空间和时间上对各类开发保护做出了安排，为空间发展提供了指南与蓝图^[1-2]。其主要特色之一是综合运用了包括基础地理信息、第三次全国国土调查、移动互联网大数据等在内的多类型、多尺度时空信息，为规划分析、划定“三区三线”和建设“一张图”及编制规划等提供了先进技术手段^[3-4]。例如，使用多尺度数字地形和地理国情、长时序遥感影像、多类型的手机信令、移动互联网大数据、工商企业统计数据等，完成了全国人口的空间分异、全国城市的空间扩张、全国地面沉降以及生态环境格局等综合研究，为编制全国国土空间规划纲要提供了重要的分析依据^[5]；再如，在多尺度基础地理信息的基础上，整合第三次全国国土调查和年度变更调查、自然资源调查监测、自然资源 and 不动产确权登记等自然资源分布与变化信息，构建了自然资源三维时空数据库，为“三区三线”研究与划定等提供了统一的数字基底，支撑了各类规划要素在数字地理空间中的精准落实和集成，初步形成了上下贯通的全国国土空间规划“一张图”，为国土空间规划可执行、可考核、好用管用奠定了基础^[6-7]。总之，在新的技术条件支撑下，我国国土空间治理体系和治理能力现代化取得了长足进步。

时空信息兼具空间和时间特征，既包括多尺度数字地图、多分辨率遥感影像、多类型地表覆盖、多角度定位信息等基础地理信息，也涵盖人群移动、自然资源分布与资产资本、空间规划要素等各类专题信息^[8]。它们能够反映或表征现实世界中各类要素、实体及现象的空间结构、分布形态、运动状态、相互作用、功能效应等，因此被广泛用于研究国土空间发展的地理条件、揭示其时空过程和认知政策的时空效应^[9]。自1980年代起，我国规划行业就大力推动以遥感和GIS为代表的时空信息技术应用，如：1983年北京市城市规划设计研究院组织了北京市的航空遥感综合调查应用，较为全面地获取了全市城乡规划、建设、管理的基础数据^[10]；1987—1991年，武

汉测绘科技大学与湖北省城市规划设计研究院合作，利用遥感和GIS辅助开展了黄石、沙市、襄樊和宜昌等多个城市的总体规划，完成了基础资料调查、城市形态变迁研究、用地评价、环境质量评价、交通规划等，开创了城市总体规划新技术应用的模式^[11-13]。从1990年代起，人们将GIS与办公自动化相结合，研制了深圳市规划国土信息系统^[14-15]、常州市国土规划局“一书四证”图文办公信息系统^[16-17]等，实现了基于数字地图的规划管理业务审批；进入2010年以来，人们开始利用包括手机信令、社交媒体、活动出行等时空大数据，感知和认知各类社会经济现象与要素流动情况，并将其与规划分析相结合，支撑区域、城市、社区/乡村等不同尺度的规划编制与评估，提高了对城市和国土空间人地关系等的认知能力^[18-22]。

应该说，在过去的40年里，以对地观测、空间定位、GIS等为核心的时空信息技术取得了长足进步，在推动我国规划行业的技术进步和数字化转型方面发挥了十分重要的作用。但就总体而言，时空信息在国土空间规划中的赋能作用尚未充分发挥，表现为对赋能机理的认识不透、缺乏先进高效的技术工具和完备的数据资源。面对全社会数字化转型和人工智能技术应用的浪潮，应该加强时空信息与人工智能技术的融合，厘清时空信息赋能国土空间规划的基本问题，明确重点任务，加强科技创新。

1 主要赋能作用

广义地讲，国土空间规划包括国土空间研究、国土空间规划和国土空间设计

等三大部分，其中：国土空间研究以强可持续发展为导向，聚焦资源供需约束与入地关系矛盾，通过研究认知资源保障能力、空间承载阈值、环境影响边界及灾害风险规律，为国土空间规划编制和实施管理提供科学认知^[23-25]；国土空间规划编制是对国土资源的开发、利用、整治和保护所进行的综合性战略部署；而国土空间设计是规划的延伸，将空间布局与发展策略转换成具体的功能配置、空间形态与秩序。可以说，无论是国土空间研究中的规律挖掘、空间规划中的多目标权衡与布局优化，还是国土空间设计的功能落地和形态塑造，均要以时空数据为基底、以时空分析工具为支撑、以时空知识为依据。在智能技术驱动全社会数字化转型的背景下，亟须加强时空信息应用，通过时空数据融合增强全域感知、时空技术嵌入优化分析逻辑、时空服务协同提升治理效能等，提升“时空型赋能”水平，重塑国土空间“研究—规划—设计”的范式，实现用时空数据说话、在三维空间研判、凭时空知识决策^[9]。见图1。

1.1 用时空数据说话

获取高质量时空信息，为规划提供科学可靠的分析依据，是推动国土空间规划数智化发展的关键。首先，在规划前期要能够方便地收集和整合遥感影像、基础地理、地理国情、人口流动等多源时空数据，构建涵盖自然地理、社会经济、生态资源等内容的基础数据集。在现状评价环节，利用GIS提供的时空分析模型与工具，利用各类时空数据，开展资源环境承载能力与国土空间开发适宜性评价、灾害风险、入地关系等分析，

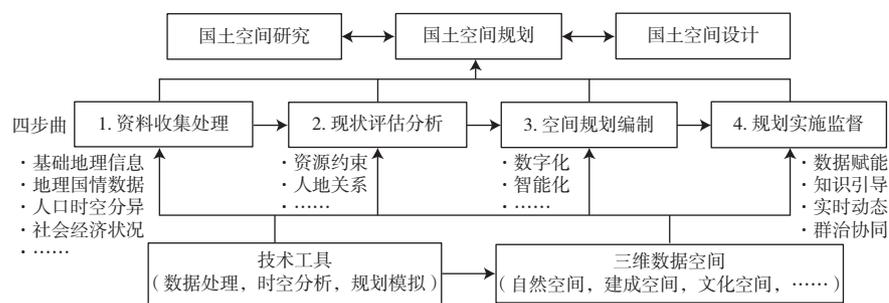


图1 国土空间规划的主要环节
Fig.1 Key steps of territorial spatial planning

进行国土空间的运行状态、演化规律与发展趋势评价与模拟，为划定生态保护红线、耕地和永久基本农田、城镇开发边界等提供依据^[26-28]。在规划编制环节，利用时空数据研究要素的统筹配置，模拟人口、土地、产业、交通等空间布局关系，审查规划指标的合理性^[29]。在规划实施期间，利用遥感和物联网感知等手段，开展土地利用、建成环境等变化测定，支撑规划实施的全生命周期监测与管控。随着数智化技术的发展，未来规划人员将通过人工智能算法与时空数据的有机融合，更精准地识别空间演化规律，更好地生成和优化规划方案，进一步提升规划的精细化与智能化水平^[30-31]。

1.2 在三维空间研判

以往人们在规划工作中使用的时空数据主要是二维或二点五维。随着实景三维中国建设的快速推进和“空天地海”一体化感知体系的建设，规划工作者将会越来越多地使用三维时空数据，从传统的二维平面研究设计走向三维立体空间研究设计。在实景三维模型支持下，可以在三维数字空间中对规划对象和场景进行立体分析、精准研判与动态优化。例如：通过立体空间模拟分析，预判通风廊道、景观视廊、日照遮挡等可能的效果，辅助校验建筑限高、容积率等指标的合理性，为规划编制提供立体化的决策依据^[32]；运用三维表达与可视化手段，可以助力规划审批部门直观审查建筑形态、景观风貌与周边环境的协调性，减少传统二维图纸的认知偏差^[33]；三维分析将支撑国土空间规划从地表到低空、从城市到乡村的全域立体协同，如通过时空大数据模拟人流、物流的立体化流动，优化综合交通网络布局，实现低空航路与地面道路网和交通枢纽的有机衔接^[34]。沉浸式三维场景还为公众参与提供了新途径，便于他们直观了解规划方案及其对生活环境的影响^[35]。今后要以实景三维为底座，集成动态物联网数据，将人工智能算法与规划领域知识结合，发展AI驱动的三维空间规划分析算法与模型，在三维数据空间开展城市空间演化模拟与预测，进行三维空间规划方案的自动生成与优化等^[31]。

1.3 凭时空知识决策

国土空间研究、规划和设计涉及内容广泛、学科众多、复杂，既要考虑社会、经济、生态、文化等政策因素，还要顾及所在的地域情况、历史人文背景与发展规律等时空知识，方可对国土空间复杂系统的发展状态及存在问题进行科学判断与认知^[36-37]。为了实现时空信息赋能国土空间规划，需要深入地凝练和系统地总结人们在长期国土空间研究与规划实践中积累的知识与经验，利用结构化建模、领域化抽取、关联化处理等技术，从海量数据中挖掘出有价值的时空知识与案例，构建形成国土空间规划领域的大规模时空知识图谱^[38-42]；在此基础上，以时空知识为引导、群智感知数据为基础、模型算法为支撑，研发“人—空间—技术”三元融合的时空智能系统，发展知识引导的智能化规划方法与技术，形成时空知识的深度挖掘、时空关系的演绎推理和时空事件的分析研判等能力，提供描述型、诊断型、预测型、方案型等个性化知识服务与决策支撑^[38]。这就要求将时空知识的融合与应用贯穿到规划的初期现状分析、需求预测，中期的动态调整，后期的实施效果评估与规划政策持续优化等各个环节，推动国土空间规划全过程从数据驱动向知识引导和智能决策转型。

由此可知，充分地运用时空信息技术，精准把握国土空间演变规律，支撑规划编制和实施管理的动态监测调整，提升规划的科学性和前瞻性，是国土空间规划走向“可感知、能学习、善治理、自适应”的必然选择。就总体而言，目前这方面的研究方兴未艾，成效显著，但仍面临着诸多挑战，具体表现如下。

尚未建立成套的理论方法：以往人们在时空信息赋能国土空间规划方面开展了多方面探索，并取得了一定进展^[43-48]，但多侧重于单一领域的建模、处理与分析，尚未能针对国土空间的复杂巨系统特征，从时空赋能的底层技术逻辑上进行系统思考与深度研究，提出在国土空间研究与规划中做好时空感知、时空连接、时空计算、时空智能及时空安全的成套理论方法，形成基于时空信息的规划分析范式与可操作的工程技术。

缺乏先进的平台装备：目前规划的

技术平台多集中在二维数据的管理与展示，缺乏对国土空间时空发展规律与趋势进行深度分析的平台，尤其是缺乏国土空间规划领域的三维分析工具^[49]。近年来人们在基于多源时空数据的国土空间规划方面取得了丰富的研究成果，但还没有形成相应的技术工具，不能充分支撑国土空间规划工作。

尚未形成完备的国土空间数据资源：虽然近年来基础地理信息、自然资源调查监测等数据资源逐步丰富，高精度、广覆盖的社会感知大数据采集手段也已日趋成熟，但目前所构建的国土空间规划“一张图”在“两个统一行使”的部门职责框架下尚待充分发育，以全面覆盖自然资源—资产—资本等三大板块；数据精准性、全面性、现势性仍有不足，在应用实践中仍面临数据体系不完善、数据标准不统一、数据难以有效关联、跨部门数据壁垒等挑战^[50]。

2 总体发展思路

从技术本质看，时空信息赋能国土空间规划就是要构建覆盖全面、准确可靠的国土空间时空数据资源，动态跟踪国土空间规划发展态势，系统地分析国土空间这一复杂巨系统的演化规律与作用机理，科学地研判国土空间人地关系的发展趋势，为国土空间规划与治理提供科学认知与决策支持^[47,51]。为此，首先要对国土空间全域进行数字化表达，形成统一的时空数据底座；其次，面向国土空间人地系统进行时空动态分析与智能推演，构建国土空间实时监测、及时预警、动态评估、格局优化的成套模型与技术方法；然后，面向国土空间规划方案设计、规划审批、实施监督、监测评估预警业务流程，通过构建时空知识库和时空数字孪生，发展时空知识服务，为国土空间规划与治理提供决策支持。见图2。

2.1 全域数字化表达

国土空间涉及要素众多，数据来源广泛，必须采用时空数据建模手段，有效组织与管理各类国土空间运行态势、规划成果、规划管理与实施等数据，并与人口、土地、交通、环境等数据有机

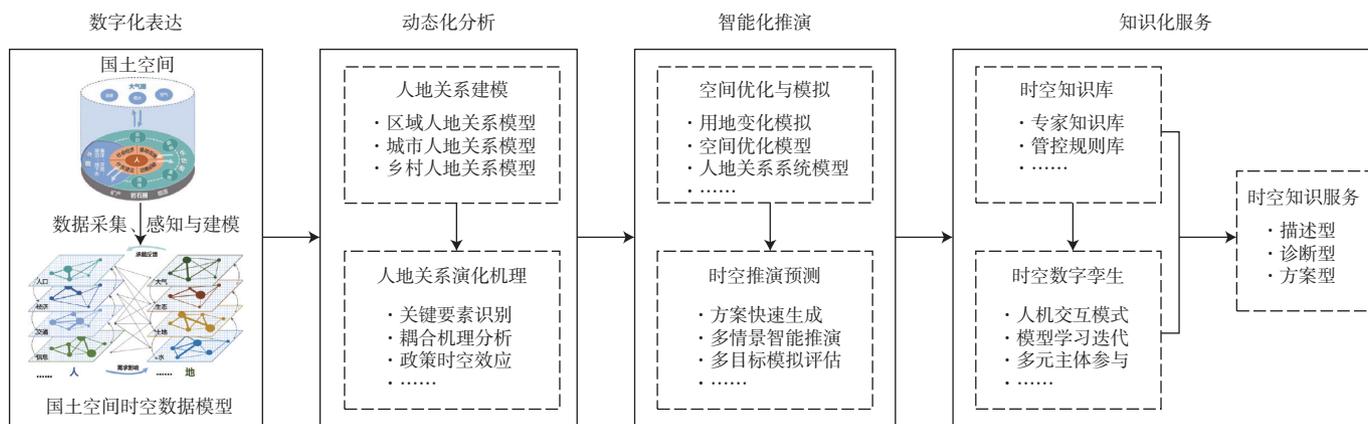


图2 时空信息赋能国土空间规划的总体思路

Fig.2 The overall framework of spatiotemporal information-empowered territorial spatial planning

关联，打造形成数字化的国土空间。

首先，需要全面感知国土空间及其所承载的各类自然资源和人类活动，包括国土空间所涵盖的各类自然资源和建成环境要素（即“地”要素）以及国土空间所承载的各项人类活动（即“人”要素）等两个方面。在“地”要素感知方面，以逐步完善的天—空—地—网为一体的自然资源统一调查监测技术体系为基础，全面摸清自然资源与建成环境的空间分布、时间变化及属性特征^[23,52]，建立起多尺度的国土空间基础地理信息库和多维度的数据产品^[53]。在“人”要素感知方面，运用社交媒体、手机信令、GPS轨迹等社会感知大数据获取人的活动、情感、认知等信息，感知国土空间所承载的各项人类活动和社会经济、人文环境特征^[54]。

针对国土空间的复杂时空巨系统特征，需要综合考虑不同来源、不同类型、不同精度的时空数据的有机关联和统一建模。为此，应以实景三维所表达的自然实体与人工实体为基底，运用“实体—属性”关联、时空关联、逻辑关联、网络关联等方法集成关联人口、事件、管理等数据，构建多尺度、多层次、立体化、系统化的数字国土空间^[55-56]。此外，采用区块链等新技术，实现国土空间的安全共享，并完善相关制度建设，形成开放可控、权责明晰、共建共享的国土空间数据生态，为规划决策全过程提供安全、可信的数据底座。

2.2 动态化分析

国土空间规划与治理面临的一个核心问题是做好人地关系协调、促进人与自然和谐共生^[25]。广义地讲，国土空间人地关系指人类活动与各类空间资源要素的交互作用关系（图3）。基于对自然地理和生态环境的综合研究，在区域、流域等宏观与中观尺度，揭示山水林田湖草沙等自然资源要素的相互关系，深入理解人地系统的动态演化过程，有助于认识自然资源开发利用与保护的规律，辨析资源约束、空间受限、环境影响、灾害风险等问题的根源；在城市及城市内部，揭示紧密关联区域的生态、农业、城镇的空间关系，深入探求城市系统与系统的关系，辨析和理解城市和社区层面的人口与土地、产业、住房、基础设施等交互作用关系，是认识城市发展规律、解决城市规划与治理的短板问题的基础^[57]。既有人地关系地域系统的研究已关注到社会经济与资源环境的指标体系构建和人地关系量化评估方法，但对于国土空间人地关系的内涵及其表征的探讨仍较为缺乏^[58]。因此，需要发展基于时空信息的国土空间人地关系多维建模和动态计算方法，在对国土空间人地关系量化描述的基础上，实现对其时空演化过程及成因的科学分析，识别人地关系矛盾突出地域，以更好地认知国土空间发展规律，支撑国土空间的科学规划与治理。

首先，针对国土空间人地关系的多

层级、跨尺度等特点，面向国土空间规划与治理需求，解析不同层级国土空间的关键人地要素和类型^[59]。例如：在区域层面，重点关注人类经济活动产生的施压强度和资源与生态环境的承载能力的匹配关系，在不突破资源环境综合承载能力的前提下，合理配置空间资源，最大限度地发挥资源价值^[60]；而在城市或城市内部，则需要分析人类居住、就业、生活、生产等各类活动与建成环境的相互关系，为符合人本需求的用地和设施精细化配置提供支撑^[61]。

其次，需要通过时空分析手段揭示国土空间人地关系的作用机理。国土空间中任意人、地要素的变化都可能影响其他要素，进而改变空间的整体协调发展情况^[60-61]。随着技术发展，人流、物流、交通流、信息流、技术流等要素流动加快，进一步影响甚至改变了人地要素的交互关系与作用机制^[57]。为此，需要构建人流、物流、能流、信息流、技术流等要素时空分布及其动态交互的模型方法，揭示国土空间各人地关系地域系统中关键人地要素的空间格局和时空变化趋势，解析国土空间格局与要素流动的多尺度互动关系^[62]。例如：在区域尺度上，通过建立经济、人口、技术等要素自由流动的通道，加强区域互补与合作，实现资源要素的优化配置，使之与区域主体功能定位相匹配^[63]；在城镇尺度上，研究用地性质、用途和配置等如何影响人流、资本流、技术流等各类

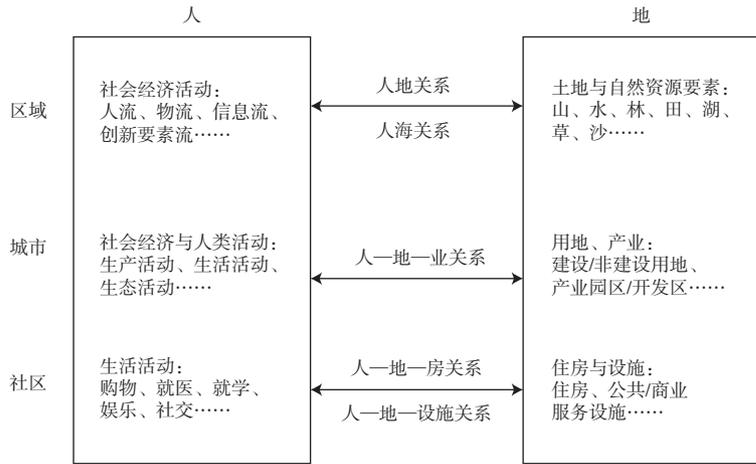


图3 国土空间人地关系示意图

Fig.3 The illustration of territorial planning-oriented human-environment relationship

要素流动,促进要素集聚,实现城镇功能空间的协调布局^[63-64];在街区尺度上,解析公共服务设施和居住空间配置与居民活动的交互关系,使其匹配居民的差异化需求^[65]。

2.3 智能化推演

国土空间规划应统筹社会、经济、生态、环境、文化等多元发展目标,通过调控开发强度、结构与布局,推动多目标协同的高质量发展^[66-67]。然而,基于经验决策和数据分析的规划方法系统性、科学性有限,在面对复杂的国土空间问题时往往力不从心。同时,既有研究虽然大多具有三维空间的视角,但不能完全适应“地下一地面—低空”一体、“陆地—海洋”一体的空间要求。为此,需要突破当下空间分析能力的局限,大力发展基于三维空间的国土空间时空智能推演方法,模拟不同政策情境下国土空间格局的演化规律,为国土空间规划方案编制与评估提供科学依据。

国土空间格局优化不仅需要考虑土地用途,而且需要基于空间的多重功能和价值,面向可持续发展目标,综合协调空间功能之间的关系,促进要素的有序流动^[68-70]。为此,需要针对国土空间格局优化在不同尺度、不同区域的差异化目标,结合国土空间规划明确的国土空间开发保护战略意图、指标分配、控制引导要求、实施保障措施等,构建基于三维空间的国土空间格局优化模拟方

法,对空间发展目标导向和条件限制下的不同情境的要素流动进行推演,评估对国土空间底线安全、生态安全等不同的影响,同时,充分运用人工智能新技术,将高质量时空信息与生成式人工智能、规划专业的垂直领域知识有机结合,构建规划方案的快速生成与多方案比选方法,以此支撑国土空间规划策略的制定与动态调整。

2.4 知识化服务

加强国土空间的数字化治理,建立健全规划监督实施制度,强化国土空间规划的科学性、战略性和权威性,是新时期国土空间规划的重点要求,也是提升国土空间治理水平的重要举措。在时空分析基础上,应发展描述型、诊断型、方案型等知识服务,为国土空间治理提供行动依据。

首先,要建立国土空间规划与治理的时空知识库。这包括文献知识、专家知识、业务知识、空间认知知识等。在时空分析与模拟方法构建的基础上,通过实践研究,深入理解空间要素及其形态、结构、格局的时空规律以及国土空间人地关系的动力学机制,完善国土空间知识体系。同时,将国土空间规划的规定、要求转译成量化的规则,为智能决策提供依据^[71]。在此基础上,基于空间化的数据和知识,运用知识图谱技术,构建空间规划的时空知识图谱。具体而言,以空间要素为本体,将空间要

素的位置属性、时间属性、行为状态、规划管理属性及其相关的规律认知进行结构化、关联化处理,形成时空知识体系^[38,72]。

其次,要打造国土空间的时空数字孪生。以时空数据为基础,数学模型为核心,规划知识为驱动,全面映射国土空间规划要素及管理活动,实现智能模拟与前瞻预演,与国土空间同步仿真、虚实交互优化,并通过虚实相生的交互反馈,持续推动国土空间动态感知、智能决策、智慧治理的演进发展^[30,73-75]。同时,通过时空数字孪生,提高政府、企业和市民等主体的沟通效率,平衡多元主体的利益,形成自下而上的决策能力^[76-77]。

3 近期重点任务

面向新时期国土空间规划的要求,应从五个方面加强时空信息赋能国土空间规划的研究与创新,包括构建内容完备且动态更新的就绪化时空数据产品、研发支撑国土空间规划与治理的专业型时空信息分析工具、开发业务化时空知识服务、建立智慧化公众参与机制、创建专门化国土空间规划时空信息方法与技术体系。见图4。

3.1 研制就绪化 (ready-to-use) 时空数据产品

应建立跨尺度时空统一、多类型规划协同、全业务流程联动的就绪化时空数据产品,包括:整合自然资源调查数据(数量—分布—属性)、高精度实景三维模型,形成空间资源本底;耦合人口流动、产业分布、住房供需等社会经济数据,叠加规划编制成果与审批动态信息,构建规划管理数据湖;通过时空索引引擎与API接口,按需输出规划审批、实施监测等场景的定制化数据服务。

3.2 构建专业型时空信息分析平台

以实景三维底座与入地关系量化模型为核心,构建国土空间规划“分析—模拟—预警”一体化平台,包括空间绩效评价、形流融合的三维空间优化配置、国土空间模拟与预警等核心功能模块。此外,结合人工智能等前沿技术,研发

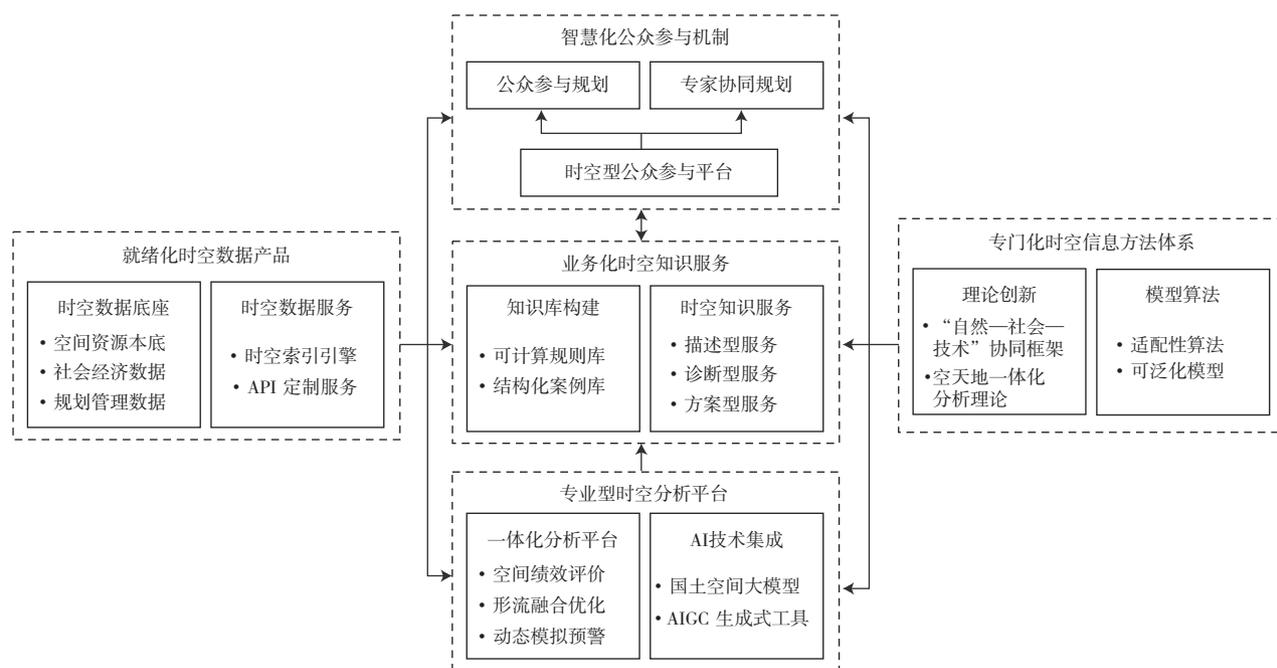


图4 近期重点任务
Fig.4 Key near-term tasks

国土空间基础大模型和AIGC生成式工具，实现规划方案的快速生成、自动推演、多方案比选，支撑规划智能决策。

3.3 开发业务化时空知识服务

研发国土空间规划与治理所需的各类知识服务。首先构建规划的时空知识库，包括将规划管理要求转译成可计算规则、将历版规划方案与实施效果结构化归档为规划案例库等。在此基础上，开发面向场景的时空知识服务，如：面向规划实施监督业务，研发检测空间底线和图斑等冲突、研判人地矛盾等诊断型时空知识服务；面向规划编制和审批，提供方案推荐、报告自动生成等方案型知识服务。

3.4 建立智慧化公众参与机制

规划不仅是政府职能部门的业务工作，也是一项包括了专家、居民、企业等诸多主体的社会工作。公众参与是规划编制的重要环节，也是推进规划实施的重要保障。应建立时空信息赋能的规划公众参与平台，动态化实时收集居民对于医疗、教育、交通等基本公共服务设施的布局的意见和企业对于生产空间的需求，并对这些意见进行分类评价、

舆情分析，生成需求热力图辅助决策，制定规划完善建议。同时，打造时空信息赋能的规划专家协同平台，及时收集、整合和分析各领域专家和行业协会等意见，形成决策建议，推进政、企、社三维协同的规划参与机制。

3.5 创建专门化时空信息方法体系

通过学科交叉、技术融合、实证迭代，创建服务国土空间规划的时空信息方法体系。这就需要加强规划、土地、林草、地矿、海洋、测绘地理信息等跨领域的协同融合，并充分吸收人工智能、物联网、大数据等先进技术，创新“自然—社会—技术”协同、空天地一体的国土空间分析理论框架与知识体系。同时，针对国土空间的区域异质性、对象关联性、过程复杂性、领域多样性等特点，开发面向区域、城乡、陆海、地上地下空间等不同条件下国土空间人地关系地域系统的适配性算法，并通过系统性、广泛性的实证研究与试点，验证模型方法的泛化能力。

4 结语

推动时空信息与国土空间规划的深

度融合，是新时期实现可感知、能学习、善治理、自适应的智慧国土空间规划的迫切需求。为此，需深化对时空信息赋能国土空间规划的机理研究，实现用时空数据说话、在三维空间研判、凭时空知识决策。这就要求加强顶层设计，从全域数字化表达、动态化分析、智能化推演、知识化服务，谋划时空信息赋能国土空间规划的总体发展思路，推动国土空间规划数智化发展与技术转型升级。近期应加大科技创新力度，研制就绪化时空数据产品、构建专业型时空信息分析平台、开发业务化时空知识服务、建立智慧化公众参与机制、创建专门化的时空信息方法体系。此外，还应健全保障机制，推动应用示范。

参考文献

- [1] 张兵. 国土空间规划的知与行[J]. 城市规划学刊, 2022(1): 10-17.
- [2] 庄少勤. 履行生态文明建设主体责任贡献自然资源力量[J]. 资源与人居环境, 2023(4): 1.
- [3] 吴洪涛. 自然资源信息化总体架构下的智慧国土空间规划[J]. 城乡规划, 2019(6): 6-10.
- [4] 段进, 赵民, 赵燕菁, 等. “国土空间规划体系战略引领与刚性管控的关系”学术笔谈

- [] 城市规划学刊, 2021(2): 6-14.
- [5] 陈军. 陈军院士: 新时代测绘的双重使命与科技创新[EB/OL]. 搜狐新闻, https://www.sohu.com/a/454487016_650579. 2021-03-07[2025-02-17].
- [6] 吴洪涛, 张子平, 贾萍, 等. 自然资源信息化面临的挑战与实施策略: 从《自然资源部信息化建设总体方案》说起[J]. 北京规划建设, 2020(S1): 10-15.
- [7] 李满春, 陈振杰, 周琛, 等. 面向“一张图”的国土空间规划数据库研究[J]. 中国土地科学, 2020, 34(5): 69-75.
- [8] 刘万增, 陈军. 时空信息的基本内涵与赋能机理[J]. 地理学报, 2024, 79(5): 1099-1114.
- [9] 陈军, 王艳慧, 武昊, 等. 时空信息赋能高质量发展发展的基本问题与发展方向[J]. 时空信息学报, 2023, 30(1): 1-11.
- [10] 张其昆. 从北京航空遥感综合调查谈遥感在城乡规划中的作用[J]. 城市规划, 1988(1): 20-24.
- [11] 陈军, 万幼川, 边毅岭, 等. 空间型城市信息系统的建立和应用[J]. 城市规划, 1988(1): 28-30.
- [12] 陈军, 仇肇悦, 孙玉国, 等. 城市总体规划采用遥感与信息系统技术的模式和实践[J]. 遥感信息, 1991(1): 8-11.
- [13] 陈军, 仇肇悦, 孙玉国. 基于遥感与GIS的城市总体规划信息工程[J]. 测绘学报, 1991(2): 125-130.
- [14] 郭仁忠, 向发灿. 深圳市规划国土管理信息化建设[J]. 测绘通报, 1999(11): 4-6.
- [15] 郭仁忠, 杨成樞, 彭子凤, 等. 规划国土管理办公自动化系统的设计与实现[J]. 办公自动化, 2000(1): 10-14.
- [16] 陈军, 蒋捷, 严荣华, 等. 城市规划国土管理的图文集成管理[J]. 测绘学报, 1998(2): 62-69.
- [17] 陈军, 蒋捷, 金舒平, 等. “图文办公信息系统”的设计与建设[J]. 遥感学报, 1998(3): 222-227.
- [18] 张姗姗, 甄峰, 秦萧, 等. 面向城市社区规划的参与式感知与计算: 概念模型与技术框架[J]. 地理研究, 2020, 39(7): 1580-1591.
- [19] 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[J]. 城市规划学刊, 2014, 6(219): 61-67.
- [20] 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[J]. 城市规划学刊, 2015(5): 83-90.
- [21] 秦萧, 甄峰. 大数据时代智慧城市空间规划方法探讨[J]. 现代城市研究, 2014(10): 18-24.
- [22] 赵鹏军, 罗佳, 胡昊宇. 基于大数据的老年人生活圈及设施配置特征分析: 以北京市为例[J]. 地理科学, 2022, 42(7): 1176-1186.
- [23] 陈军, 武昊, 刘万增, 等. 自然资源时空信息的技术内涵与研究方向[J]. 测绘学报, 2022, 51(7): 1130-1140.
- [24] 单卫东, 乔文怡, 谢森辉. 自然资源时空信息的自然系统基础[J]. 时空信息学报, 2023, 30(1): 12-17.
- [25] 赵鹏军, 刘正莹, 陈军. 国土空间人地关系的概念与内涵辨析[J]. 地域研究与开发, 2024, 43(4): 1-8.
- [26] 杨保军, 陈鹏, 董珂, 等. 生态文明背景下的国土空间规划体系构建[J]. 城市规划学刊, 2019(4): 16-23.
- [27] 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[J]. 自然资源学报, 2019, 34(10): 2060-2072.
- [28] 张鸿辉, 洪良, 罗伟玲, 等. 面向“可感知、能学习、善治理、自适应”的智慧国土空间规划理论框架构建与实践探索研究[J]. 城乡规划, 2019(6): 18-27.
- [29] 党安荣, 田颖, 李娟, 等. 中国智慧国土空间规划管理发展进程与展望[J]. 科技导报, 2022, 40(13): 75-85.
- [30] 陈军, 翟曦, 王艳慧, 等. 智慧国土的基本内涵与发展方向[J]. 时空信息学报, 2024, 31(2): 157-167.
- [31] 陈军, 胡越. 测绘助力建筑新视野[J]. 建筑创作, 2024(3): 8-16.
- [32] 江梓杉, 梁雪君. 三维模型技术在控制性详细规划指标制定中的应用: 以南宁AJ-05单元控制性详细规划及城市设计为例[J]. 规划师, 2016, 32(S1): 67-71.
- [33] 冯琪, 郭容寰, 刘一宁. 三维GIS应用于规划审批中的关键技术研究[J]. 测绘通报, 2012(S1): 555-558.
- [34] 刘泉, 陈瑶瑶, 洪晓苇, 等. 面向无人机的城市低空空域规划的国际经验[J]. 城市规划学刊, 2024(5): 64-70.
- [35] 仇巍巍, 陈从喜, 项家铀, 等. 三维GIS在国土空间规划中的应用综述[J]. 自然资源信息化, 2022(2): 28-33.
- [36] 吴志强, 周咪咪, 刘琦, 等. “跨代孪生”: 映射城市生命特征[J]. 城市规划学刊, 2024(1): 9-17.
- [37] 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[J]. 城市规划学刊, 2018(5): 11-18.
- [38] 陈军, 刘万增, 武昊, 等. 基础地理知识服务的基本问题与研究方向[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2019, 44(1): 38-47.
- [39] 刘万增, 陈军, 翟曦, 等. 时空知识中心的研究进展与应用[J]. 测绘学报, 2021, 50(9): 1183-1193.
- [40] 邓敏, 王达. 自然资源时空大数据挖掘与知识服务研究进展[J]. 地球信息科学学报, 2025, 27(1): 27-40.
- [41] 吴杭彬, 韦朝旭, 陈茜茜, 等. 基于本体和知识图谱的城市空间数字底座架构及应用[J]. 时空信息学报, 2024, 31(2): 292-301.
- [42] 陈展鹏, 杜启勇, 胡鑫, 等. 面向辅助用地报批的知识图谱协同构建与智能问答方法及实现[J]. 时空信息学报, 2024, 1(3): 1-15.
- [43] YE H A G O, WU F L. The new land development process and urban development in Chinese cities[J]. International Journal of Urban & Regional Research, 1996, 20(2): 330-353.
- [44] YE H A G O. Decision support systems for sustainable development: a resource book of methods and applications[M]. Springer Science & Business Media, 2000.
- [45] 杨俊宴. 全数字化城市设计的理论范式探索[J]. 国际城市规划, 2018, 33(1): 7-21.
- [46] 孔宇, 甄峰, 李兆中, 等. 智能技术辅助的市(县)国土空间规划编制研究[J]. 自然资源学报, 2019, 34(10): 2186-2199.
- [47] 吴志强, 甘惟. 转型时期的城市智能规划技术实践[J]. 城市建筑, 2018(3): 26-29.
- [48] LIU H M. The influence of urban form on surface urban heat island and its planning implications: evidence from 1288 urban clusters in China[J]. Sustainable Cities and Society, 2021, 71: 102987.
- [49] 曹春华, 陈光, 蒋正坤, 等. 面向智慧国土的重庆时空数字化变革[J]. 时空信息学报, 2024, 31(2): 179-188.
- [50] 张耘逸, 吴洪涛, 罗亚. CSPON要求下的智慧规划场景设计与关键技术探索[J]. 城乡规划, 2024(4): 40-48.
- [51] 龙瀛, 刘伦伦. 新数据环境下定量城市研究的四个变革[J]. 国际城市规划, 2017, 32(1): 64-73.
- [52] 陈军, 武昊, 张继贤, 等. 自然资源调查监测技术体系构建的方向与任务[J]. 地理学报, 2022, 77(5): 1041-1055.
- [53] 陈军, 刘建军, 田海波. 实景三维中国建设的基本定位与技术路径[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2022, 47(10): 1568-1575.
- [54] 刘瑜. 社会感知视角下的若干人文地理学基本问题再思考[J]. 地理学报, 2016, 71

- (4): 564-575.
- [55] 朱庆, 张利国, 丁雨淋, 等. 从实景三维建模到数字孪生建模[J]. 测绘学报, 2022, 51(6): 1040-1049.
- [56] 王俊, 陈行, 黎栋梁. 时空信息聚合: “多规合一”信息化研究[J]. 城市规划, 2016, 40(6): 32-36.
- [57] 甄峰, 席广亮, 张姗姗, 等. 智慧城市人地系统理论框架与科学问题[J]. 自然资源学报, 2023, 38(9): 2187-2200.
- [58] 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[J]. 地理学报, 2019, 74(6): 1063-1078.
- [59] 刘彦随. 现代人地关系与人地系统科学[J]. 地理科学, 2020, 40(8): 1221-1234.
- [60] 樊杰, 蒋子龙, 陈东. 空间布局协同规划的科学基础与实践策略[J]. 城市规划, 2014, 38(1): 16-25.
- [61] 陆大道. 关于地理学的“人-地系统”理论研究[J]. 地理研究, 2002(2): 135-145.
- [62] 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[J]. 地理学报, 2016, 71(4): 531-550.
- [63] 杨建新. 国土空间开发布局优化方法研究[D]. 中国地质大学, 2020.
- [64] 严金明, 黄宇金, 夏方舟. 面向中国式现代化的国土空间格局优化: 基本遵循、理论逻辑和战略任务[J]. 中国土地科学, 2023, 37(11): 1-10.
- [65] 张姗姗, 甄峰, 孔宇, 等. 基于虚实空间交互的社区生活圈服务设施评估与优化配置: 研究进展与展望[J]. 自然资源学报, 2023, 38(10): 2435-2446.
- [66] 樊杰. 主体功能区战略与优化国土空间开发格局[J]. 中国科学院院刊, 2013, 28(2): 193-206.
- [67] 张尚武, 刘振宇, 王昱菲. “三区三线”统筹划定与国土空间布局优化: 难点与方法思考[J]. 城市规划学刊, 2022(2): 12-19.
- [68] 张骏杰, 高延利, 蔡玉梅, 等. 基于“多规合一”的市级国土空间优化方法: 以烟台市为例[J]. 地理科学进展, 2018, 37(8): 1045-1054.
- [69] 焦利民, 刘耀林. 可持续城市化与国土空间优化[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2021, 46(1): 1-11.
- [70] 席广亮, 甄峰, 钱欣彤. 流动性视角下的国土空间安全及规划应对策略[J]. 自然资源学报, 2022, 37(8): 1935-1945.
- [71] 杨俊宴. 从数字设计到数字管控: 第四代城市设计范型的威海探索[J]. 城市规划学刊, 2020(2): 109-118.
- [72] 杨俊宴, 邵典, 程洋, 等. 数字国土空间治理的“空间码”理论与技术研究[J]. 规划师, 2023, 39(3): 13-19.
- [73] 田颖, 杨滔, 党安荣. 基于场景迭代的数字孪生城市构建逻辑[J]. 上海城市规划, 2023(5): 24-30.
- [74] 郭仁忠, 林浩嘉, 贺彪, 等. 面向智慧城市的GIS框架[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2020, 45(12): 1829-1835.
- [75] 杨滔, 田颖, 徐艳杰. 数字孪生赋能下的互动生成式规划与治理[J]. 上海城市规划, 2023(5): 4-10.
- [76] TIAN L, LIU J X, LIANG Y L, et al. A participatory e-planning model in the urban renewal of China: implications of technologies in facilitating planning participation[J]. Environment and Planning B, 2022(6): 1-17.
- [77] 田莉, 于江浩, 杨滔. 智慧人居环境理论模型与应用探索: 复杂系统视角[J]. 城市规划, 2023, 47(12): 78-88.

修回: 2025-03