

人工智能辅助国土空间诊断的理论范式建构与思行方法变革*

Theoretical Paradigm and Methodology of AI-assisted Territorial Spatial Diagnosis

刘晓畅 吴志强

LIU Xiaochang, WU Zhiqiang

关键词 国土空间诊断; 人工智能技术; 理论范式; 思行方法; 空间规律; 人机混智

Keywords: territorial spatial diagnosis; artificial intelligence technology; theoretical paradigm; cognitive and action approach; spatial law; human-machine hybrid enhanced intelligence

提 要 面对国土空间上综合且复杂的城市病, 国土空间诊断经常是头痛医头、脚痛医脚, 在迅速进行的国土空间规划实践中忙乱地“拍脑袋”, 使得国土空间规划易于沦为脱离实际的空中楼阁。近年来, 虽然具备更高层级的整体复杂思维和生态理性逻辑的人工智能技术在提升国土空间规划的科学理性方面展现出了巨大的潜力, 然而在国土空间规划领域仍然缺乏有效的人工智能辅助国土空间诊断理论范式和思行方法。本研究从国土空间诊断的理论特性与核心任务出发, 梳理国土空间诊断技术发展脉络, 识别出国土空间诊断技术智能化所面临的挑战。在此基础上, 从准则、理论、模型等方面建构“人机混智”的国土空间诊断“双螺旋”范式与“钻石”架构, 进而实现人工智能技术辅助国土空间诊断。提出国土空间诊断引入人工智能技术后的5个思行方法变革方向与6个工作方法增益系统, 有望系统解决传统国土空间诊断中的问题和症结, 进一步提升国土空间规划的科学理性, 促进国土空间的永续发展。

Abstract: Faced with the complex "urban diseases" within territorial spaces, territorial spatial diagnosis (TSD) often resorts to fragmented, symptomatic solutions and arbitrary decision-making amid the rapid practice of territorial spatial planning. This tendency risks rendering territorial spatial planning detached from reality, akin to castles in the air. Recently, Artificial Intelligence (AI) technologies, characterized by higher-level, holistic, and complex reasoning, as well as ecological rationality, have demonstrated significant potential in enhancing the scientific rigor of territorial spatial planning. However, a critical gap remains: the lack of effective theoretical paradigms and practical methodologies for AI-assisted TSD. This paper builds on the theoretical foundations and core tasks of TSD. It systematically reviews the evolutionary trajectory of TSD technologies and identifies the key challenges confronting their intelligent advancement. Based on this analysis, the paper constructs a novel Dual-Helix paradigm and a Diamond scaffolding framework for TSD, underpinned by hybrid human-machine intelligence. Furthermore, the paper proposes five key directions for transformative shifts in thinking approaches and six systems for enhancing practical methods following the integration of AI into TSD. These advancements offer substantial promise for systematically addressing the inherent limitations of traditional diagnostic approaches. Consequently, they are anticipated to significantly elevate the rationality of territorial spatial planning, ultimately fostering the sustainable development of territorial spaces.

中图分类号 TU984 文献标志码 A
DOI 10.16361/j.upf.202601002
文章编号 1000-3363(2026)01-0012-09

作者简介

刘晓畅, 上海财经大学公共管理学院助理教授, 同济大学城乡规划学博士, liuxiaochang@mail.shufe.edu.cn

吴志强, 中国工程院院士, 德国国家工程科学院院士, 瑞典皇家工程科学院院士, 同济大学建筑与城市规划学院教授, 通信作者, wus@tongji.edu.cn

* 国家社科基金青年项目“基于多模态机器学习的城市街区建成环境降碳机制与策略研究”(项目编号: 25CJY130)资助

改革开放以来,我国国土空间上经历了人类历史上史无前例的大规模快速城镇化,各种负面效应和“城市病”大量涌现,严重威胁着国土空间的可持续发展。面对千变万化的国土空间病症,国土空间诊断经常是头痛医头、脚痛医脚,在迅速进行的空间规划实践中忙乱地“拍脑袋”,使得空间规划易于沦为脱离实际的空中楼阁。为了进一步提升空间规划的理性,空间规划学界对国土空间诊断的思想基础与数字化、信息化、智能化等辅助技术进行了深入的探索^[1],空间规划行业也发布了国土空间体检评估相关的规程标准^[2],国土空间病症认知和防治的国土空间诊断理论方法与技术体系逐步形成。

国土空间诊断辅助技术主要可归为两类:①知识驱动型。例如,国土空间体检评估,是通过建立专家知识库,将知识提取为指标体系及其具体指标设定,以此为标准来开展体检和评估工作^[3-5]。又如,基于if-then-else的规划支撑系统(PSS),也是通过将知识表达为机器可执行的规范化规则^[6-7]。②数据驱动型。例如,机器学习技术可以不再依赖于知识,通过对海量数据的训练、验证与测试,获得全样而非抽样、效率而非精确、相关而非因果的知识,并进行问题诊断^[7-8]。又如,近年异军突起的DeepSeek、ChatGPT、Midjourney、Gemini等AIGC技术,基于通用大模型,引入训练技术、检索增强生成技术、智能体技术等,建构空间规划专业大模型与行业大模型,有望完成国土空间体检评估等多样化内容的生成输出^[9]。然而,从这2个维度来审视国土空间诊断辅助技术,仍然面临诸多现实困境。知识驱动型技术的难点在于知识的有效提取与准确表达,这种困境源于空间规划学科整体性、包容性、平衡性、规律性、生态型与永续性的内在特性^[10]。数据驱动型技术虽然回避了知识提取与表达的问题,但在数据依赖性、结果解释性、认知迁移性、决策可信性等方面存在黑箱知识,无法全方位提升国土空间诊断的科学性^[11]。

尽管如此,空间规划学科中人工智能(AI)技术热潮却方兴未艾,对国土空间诊断领域产生了日益深远的影响^[8,10]。在此背景下,再次反观国土空间

诊断领域AI技术的应用,如何系统构建AI辅助国土空间诊断的理论范式与模型架构,全面厘清AI辅助国土空间诊断的思行方法变革方向,以弥补传统国土空间诊断难察民心、难觅流动、难辨脉络、难循规律、难显成效的技术理性缺憾^[12],成为亟待解决的核心问题。

1 国土空间诊断的理论特性与主要任务

1.1 国土空间诊断的理论特性

1.1.1 “客观规律”导向

循律推理(deductive reasoning)是临床诊疗(clinical diagnosis)中最常用的思维方法,为国土空间诊断的理论特性提供了有效借鉴^[13]。循律推理是从带有共性或普适性的规律出发,对照诊断标准(diagnostic criteria)^[14],推论出对个别事物的认识^[15]。

国土空间诊断的基本假设是:国土空间是一个生命体,有其自身发展演化的客观规律,国土空间诊断就是确定是否偏离规律、偏移程度及造成偏离的原因。因此,国土空间诊断应认识、尊重、遵循国土空间发展演化规律^[16],将有限的资源合理分配到严重偏移规律的病症上,避免诊断的言过其实或失枝脱节。

1.1.2 “多元协同”导向

循证医学(evidence-based medicine)的思维方法也为国土空间诊断的理论特性提供了有效借鉴。外部临床证据可以被告知但永远不能替代个体临床专业知识,正是这种专业知识决定了外部证据是否适用于个体患者。同样,在决定是否与如何匹配患者的临床状态、困境和偏好时,任何外部指南都必须与个人的临床专业知识相结合。因此,循证医学的核心思想是将临床证据、医生经验与病人意愿三者相结合,协同制定医疗决策^[17]。类似地,国土空间诊断是将国土空间病症的证据体、空间规划师的实践经验、利益相关者的急难愁盼三者相结合,进行国土空间病症诊断方法和治疗方案的协同制定,从而达到最佳的诊疗效果。

1.1.3 “时相演进”导向

病史分析(medical history taking)也是临床诊疗(clinical diagnosis)中最常用的思维方法。病史的主体是症状及

其发生、发展、诊治的经过和结果^[18],有助于支撑疾病的准确诊断和治疗^[14]。

类似地,国土空间是一个包含无数过程和要素的复杂生命体,其演化进程包含临界(criticality)、阈值(threshold)、突越(surprise)和相变(phase transition)等概念^[19],国土空间诊断不仅是对其所面临的现状问题进行研判,也是对其病症的发生时间、发展历程、诊治方案等进行综合考虑,更是对不同诊治方案下的病症演进态势进行推演,以预判诊治的不同效果,进而推动国土空间诊断由过去时、现在时转向未来时的诊断。

1.1.4 “形流相成”导向

国土空间规划以空间的形(forms)作为管理和干预的主要对象,空间中流(flows)的有序高效运行是国土空间规划更为深层级的目标^[20]。形流相成更多的是将国土空间视为生命体,强调其具有客观自然属性、主观流动意愿和价值标准的流^[1]。因此,国土空间诊断的对象不仅仅是建筑、河流、道路等形,也包括了自然流、人流、物流、经济流、功能流、信息流等大量流,还包括了形与流的互动关系。

1.2 国土空间诊断的主要任务环节

在现代医学语境中,对疾病的诊断步骤分为:搜集临床资料;分析、综合、评价资料;提出初步诊断;验证或修正诊断^[14]。这种认识疾病的程序不能遗漏与跨越,一般不容颠倒。借鉴该工作流程,国土空间诊断的任务可分为:

感觉认知,获取对国土空间的相关数据资料;

证据学习,挖掘国土空间自身发展的演化规律,作为诊断标准;

解释推断,确定偏离规律的偏移程度及造成偏离的原因;

预后研判,推演空间自愈或干预后的近远期效果、转归恢复或进展程度;

处方开具,进行空间自愈或规划干预的补充与修正,提出优化策略。

2 国土空间诊断技术发展的脉络及其智能化挑战

2.1 国土空间诊断技术发展的三个阶段

国土空间诊断技术的发展脉络可分

为以下三个阶段。

2.1.1 第一阶段：案例经验技术

以案例材料为研究对象进行经验总结，形成可能的因果关系结论，是一种常见的国土空间诊断方法^[1]。然而，其合理性受制于从业者知识的积累，具有证实的困难与证伪的局限^[21]，往往受到主观性强、随意性大、科学性弱的批判^[22]。

2.1.2 第二阶段：数据可视化技术、专业模型技术、一般决策支持技术

随着手机信令数据^[23]、GPS数据^[24]、出租车轨迹^[25]、公交刷卡数据^[26]、兴趣点(POI)^[27]等基于位置服务的地理数据集迅速发展，数据可视技术为观察、认知和剖析国土空间问题提供了全新的视角和方法^[1]，是从感知到认知的关键转变^[28]。

专业模型技术是引入数理统计(mathe-matical statistics)进行具有清晰理论框架的复杂计算。例如：郁亚娟等^[29]建构了一套集成阶梯形隶属度函数、改进的均方差法、加权欧氏距离法等国土空间健康综合评价模型；吴志强等^[5]基于投影寻踪算法对我国国土空间使用的生态、经济、社会效益进行诊断；等等。

一般决策支持技术是在数据可视和专业模型技术的基础上，融合计算机技

术，集成为一套“感知—动作型”的PSS^[30-31]，以便为国土空间诊断提供科学理性的支撑。例如，Klosterman等^[6]建构了土地承载力诊断系统WHAT IF。此外，一般决策支持技术在国土空间诊断的后端环节也取得了令人瞩目的成就。例如，黎夏等^[32]运用元胞自动机剖析国土空间增长机制。总体而言，一般决策支持技术是根据决策目标，对各种备选决策方案按一定规则进行优劣排序，是经过知识表示和推理的行为^[33]。

2.1.3 第三阶段：AI技术

AI技术是通过弱学习器按照不同的搭建方式形成强学习器进行复杂的运算、学习、推理，主要包含机器学习、深度学习、强化学习等。机器学习以输入的控制因素和输出的解作为训练数据，进而计算输入和输出之间的映射，在国土空间功能识别与使用效益评价方面具有广泛的运用^[33]，常用的算法包括决策树、支持向量机等^[27,34-36]。深度学习采用多层隐层架构，采用包含了判别式、生成式与混合式的“分层预训练”策略，有效增强特征提取和规律学习的能力^[37]，在国土空间图像处理、分析、理解与认知方面具有广泛应用^[38]，常用的算法包括深度置信网络、卷积神经网络等^[39]。强

化学习是通过最大化智能体从环境中获得累计奖励值，以学习到完成目标的最优策略，更加侧重于学习解决国土空间诊断问题的策略，常用的算法包括Q学习、演员—评论家等^[40]。总体而言，AI技术具有非线性、自适应学习、多方向性的特征，能够较好地处理复杂场景，在国土空间诊断中潜力巨大。

2.1.4 三个阶段的适用条件、机理逻辑与核心能力比较

基于对国土空间诊断技术发展三个阶段的比较分析，发现AI技术在适用条件、机理逻辑与核心能力等方面展现出根本性差异(表1)，能够较为有效地弥补传统国土空间诊断的技术理性缺憾，也为AI辅助国土空间诊断的理论范式建构奠定了重要基础。

2.2 国土空间诊断技术智能化的局限性

虽然智能技术有效地为国土空间诊断提供辅助，但这些技术是否真正地契合了国土空间诊断的理论特性？增益了国土空间诊断的核心环节？这些问题都值得更深入的讨论。当下，国土空间诊断技术智能化的局限性可概括为以下4个方面。

表1 国土空间诊断技术发展三个阶段的适用条件、机理逻辑与核心能力比较

Tab.1 Comparison of territorial spatial diagnostic technologies across the three developmental stages

比较项目		第一阶段	第二阶段			第三阶段
		案例经验技术	数据可视技术	专业模型技术	一般决策支持技术	AI技术
适用条件	问题类型	与历史案例高度相似、结构化程度较低的问题	信息呈现、模式发现、初步诊断、辅助决策	结构清晰、有明确规则和指标体系的问题	探索预设情景后果的问题诊断、空间动态模拟	高维、非线性、模式复杂、规则不明确/未定义
	数据条件	依赖定性经验、历史案例库	依赖结构化的定量(时空)数据	需要符合模型预设结构的特定类型的数据	结构化数据定义参数、规则、初始条件	海量数据、多源异构数据
	知识储备	高度依赖空间规划从业者的隐性知识和经验积累	高度依赖空间规划从业者解读可视化信息的能力	模型嵌入领域专家制定的显性规则、标准、算法	依赖专家预设交互规则、评估权重与情境框架	不需要专家领域知识，可从数据中自动学习知识
机理逻辑	原理模式	类比推理、专家启发	信息映射、表达感知	规则驱动、符号推理	情境模拟、交互计算	大数据驱动的训练、验证与测试
	推理方式	匹配当前情境与历史案例，基于经验规则判断	将数据映射为视觉元素，视觉启发假设和分析	基于预设逻辑、数学公式、指标体系进行评估	设定参数/规则/情境，进行复杂模型计算	通过算法挖掘数据的隐层规律，可进行推演预测
核心能力	感知能力	较弱，依赖碎片化案例，易遗漏隐性信息	强，直观呈现数据空间分布与统计特征	较强，按照预设指标结构化采集数据	适中，需要预设数据输入，对非常规数据感知弱	强，融合多源异构数据(结构化、非结构化)
	学习能力	弱，基于主观经验，难以发现复杂数理规律	无，仅展示数据，不具备学习能力	弱，由于规则固定，无法学习新规律	弱，规则由专家设定，模型不自主学习规律	强，从数据中可自动学习复杂非线性规律
	解释能力	较强，擅长定性归因，但定量精度较低	较弱，辅助发现异常，但无法自动归因	强，基于明确规则诊断问题	适中，可模拟不同情景，但归因依赖人工设定	较弱，可识别关联，但黑箱性制约可解释性
	预后能力	弱，仅能类比历史，无法量化推演动态系统	无，仅依赖人工解读	较弱，仅支持规则内静态推演	较强，擅长推演预测规则下的动态过程	强，高维复杂系统预测与未知场景探索
	处方能力	适中，可提出经验性的建议，依赖专家系统水平	无，无策略生成能力，仅为决策提供信息支持	较弱，可基于规则输出标准化策略，灵活性较差	较弱，能评估方案效果，但无法生成适配性策略	较强，可进行多目标优化，但黑箱性制约可靠性

2.2.1 局限之一：缺乏面向空间生命特性的理论框架

目前，在宏观层面，国土空间诊断研究主要为国土空间生态系统^[29]、使用绩效及障碍因子诊断^[41]等；在微观层面，国土空间诊断研究主要为功能区^[42]、公共开放空间^[43]、社区环境诊断^[44]等。总体而言，国土空间诊断的大部分研究均为针对某种规划系统、分项系统、空间类型。尽管学界对国土空间诊断的功能架构进行了系统仿生^[1]，然而较为缺乏面向空间生命特性的系统性理论框架研究。因此，AI技术导入国土空间诊断需要回归国土空间是一个包含无数过程和要素的复杂生命体的哲学本质，以增益客观规律、多元协同、时相演进、形流相成等理论特性。

2.2.2 局限之二：缺乏面向空间客观规律的诊断标准

虽然经典国土空间诊断技术在对同类型证据体样本进行计算之后取均值或中位数作为标准值（norm），这一标准会随着同时期整体证据体的水平变化而变化，不会局限于一个由经验判断的标准值造成的偏差，但是输入样本对于影响决策过程和依据缺乏可解释性，进而导致面向空间客观规律的诊断标准缺失，容易造成国土空间诊断的言过其实或失枝脱节。其原因有：①从技术目标来看，AI技术没有全面服务于客观规律挖掘和评价标准制定；②从技术路径来看，AI技术的研究对于帮助人们理解模型针对每一个输入样本的决策过程和依据涉及甚少^[45]；③从技术体系来看，可信、可靠、可解释的AI技术尚未充分应用于国土空间诊断所关注的作用机制、影响效应与优化策略研究。

2.2.3 局限之三：缺乏面向循证混合增强的人机协作

现行的国土空间诊断可归纳两类模式：第一，人类输入数据，机器被动执行；第二，忽视人类意识，机器直接生成。AI模型所使用方法本质上属于分类、归纳、试错等经验与反馈方法，在国土空间诊断的方法论上并不完备，且高度依赖于以往的类似经验和人对数据的标注，其所模拟的智能往往只能推广到有限的类似领域（局部泛化），而难以推广到所有领域（全局泛化），其应对条件变

化的抗干扰能力十分有限。因此，它要求在生成数据、开发算法和评价结果时进行人机协作。

2.2.4 局限之四：缺乏面向关键任务环节的技术框架

一方面，国土空间诊断的相关研究呈现出破碎化、零散化的特征，往往是针对某一系统的具体问题进行深度突破，缺乏总体技术体系框架。另一方面，国土空间诊断技术往往关注于自身算法、算力、算据的改良，缺乏面向感觉认知、证据学习、解释推断、预后研判、处方开具等国土空间诊断主要任务的技术框架。其原因有：①从技术目标来看，没有以服务国土空间诊断核心任务为目标；②从技术路径来看，国土空间规划从业者对于AI辅助国土空间诊断的理论范式与思想方法了解甚少；③从技术体系来看，相关算法尚未与国土空间诊断核心任务进行精准匹配。

3 国土空间诊断中引入AI的理论范式

3.1 准则：AI技术介入的类型

在国土空间诊断中，AI介入应同时遵循以下4条准则：

准则1：以数据为中心（data-centric AI），基于先验知识，将重点转向增强和丰富用于训练算法的有效数据；

准则2：以模型为中心（model-centric AI），通过捕获相关/因果关系，提高可解释性、鲁棒性和适应性，减少AI系统性偏差；

准则3：以应用为中心（applications-centric AI），通过明确理解国土空间规划如何做出决策，以及如何通过国土空间诊断来提升国土空间规划的科学理性；

准则4：以人本为中心（human-centric AI），并非取代人类决策，而是赋能人类决策。

3.2 理论：国土空间智能诊断的“双螺旋”范式

在既有的研究中，AI技术通常被纳入国土空间规划的新技术研究领域，而没有形成专门的国土空间智能诊断的理论。本研究提出了AI技术辅助国土空间诊断的“双螺旋”范式（图1）。

具体而言，国土空间智能诊断以国土空间是一个复杂生命体为指导思想，以国土空间发展演化的客观规律为根本遵循，分别发挥“人类先验智慧”与“AI模型”在感觉认知、证据学习、解释推断、预后研判、处方开具五大国土空间诊断主要环节的优势能力，进行螺旋上升式的混合增强，明确国土空间上形流相成的正常/健康状态、偏离该状态的程度及其原因，将有限的资源合理分配到严重偏离客观规律的痛点之上，得以实现国土空间上的自然与建成环境的合一、多元系统要素间的和谐、文明延续与创新的永续的基本目标。

3.3 模型：国土空间智能诊断的“钻石”架构

基于国土空间智能诊断的“双螺旋”范式，本研究将“人类先验智慧”与“AI模型”嵌入国土空间诊断的五大主要环节，建构人在回路的国土空间混合增强智能诊断“钻石”模型。该模型的基本架构如图2所示，由表征“人类先验智慧”的五棱台和表征“AI模型”的五棱锥构成，两者的总体积表示国土空间混合增强智能诊断模型的整体性能^①。

4 国土空间诊断中引入AI的思想方法变革

4.1 从“单向被动型”走向“群落主动型”

所谓“单向被动型”的思想方法包含了两层含义。第一，“头痛医头、脚痛医脚”的单向性，否定了该系统外的其他系统对于系统的影响作用，就系统论系统^[46]。第二，被动性，较多地以个人意志、习惯、经验、喜好进行“拍脑袋”，并以套路化与形式化的现状分析作为国土空间诊断，往往草草了事，为分析而分析^[8]。

AI技术介入后的国土空间诊断思想方法将走向“群落主动型”。群落型相对于单向型，就是在思维过程中不但要求具有多系统思维途径，还要求多系统思维途径之间的合纵连横。主动型相对于被动型，就是依托AI技术的多源感知、深度学习、严密推理、敏感反馈与辅助决策能力，开展国土空间发展阶段特征

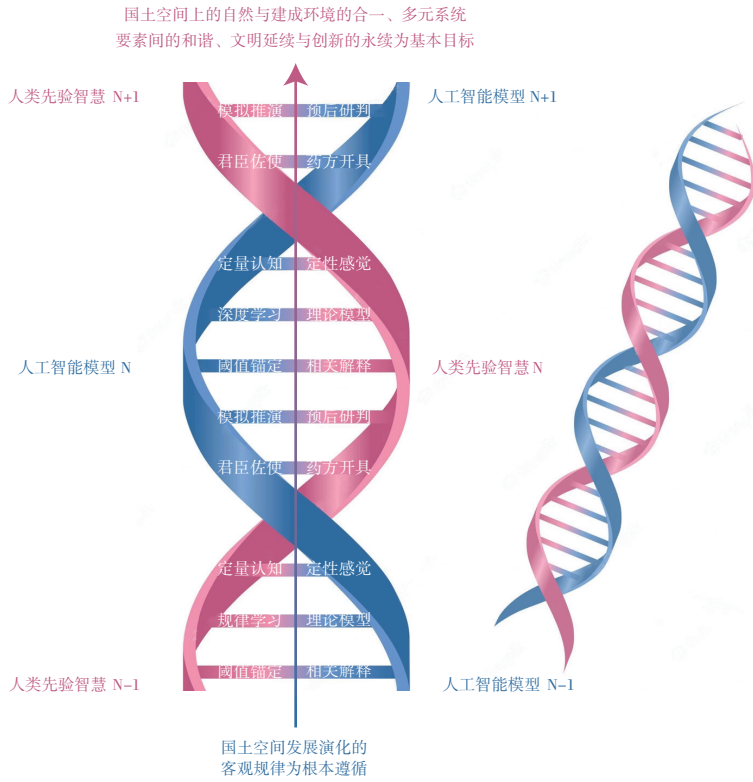


图1 国土空间智能诊断的“双螺旋”范式
Fig.1 The dual-helix paradigm of AI-assisted territorial spatial diagnosis

及规划实施效果的“主动体检”^[47]，将空间诊断视为与空间规划同样重要的工作。

4.2 从“以形定流型”走向“形流相成型”

“以形定流型”的国土空间诊断思想方法是以物质空间形态作为诊断的主体对象，将流作为物质空间形态的附属品，对流本身的研究有限。

“形流相成型”的思想方法是将国土空间中的流视为形的本源。倘若形不符合流的需求规律，流将发生梗塞，进而影响国土空间的健康状态。因此，国土空间诊断工作是要通过诊断流的健康状态，研判形是否符合流的需求规律，这样才能让形更好地遵循流，以保障流的通达顺畅^[4]。

4.3 从“经验导向型”走向“规律导向型”

国土空间诊断的“经验导向型”思想方法包含了两层含义：第一，线性特征。传统国土空间诊断往往基于过往的经验，推理途径偏于线性，难以适应国土空间的非线性复杂特征。第二，刚性特征。传统国土空间诊断总是希望出现符合已有知识经验所期待的结果，故先天地带有主观性。

AI技术引入国土空间诊断，其思想方法将向“规律导向型”变革。主要体现在以下两个方面：①依靠个人意志随机抽样进行片段经验总结的习惯被颠覆，取而代之的是揭示国土空间发展演化规律，并诊断是否偏离规律。②简单通过数据的高低作为好坏的评价标准被颠覆，取而代之的是引入药理学中效应剂量的概念，明确规律纠偏的最小有效剂量和最大耐受剂量，将有限的资源合理分配在严重偏移规律的痛点之上。

4.4 从“状态诊断型”走向“预后诊断型”

所谓“状态诊断型”的思想方法，是通过一定的分析检查方法，对具体国土空间的运行状态和发展情况进行认知和评价，发现问题并找到问题产生的原因，包含对历史与当前状态的诊断^[4]。

古人云，圣人治已病治未病，不

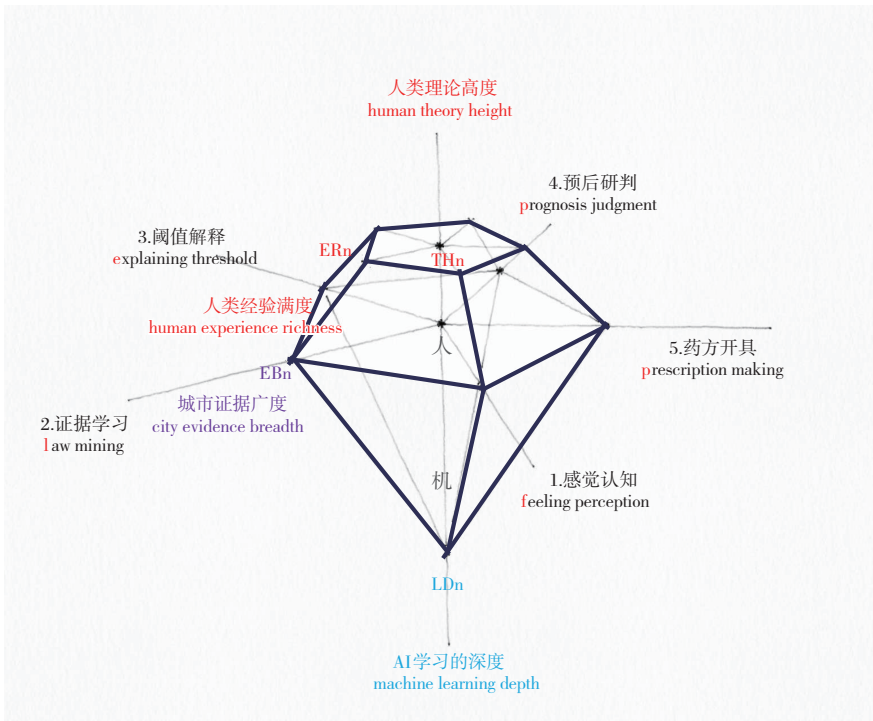


图2 国土空间智能诊断的“钻石”模型
Fig.2 The diamond model of AI-assisted territorial spatial diagnosis

治已乱治未乱。在医学上，“预后”(prognosis)用于预测疾病可能或预期的发展，包括体征和症状是否会改善或恶化(以及多快)或随着时间的推移保持稳定，以及并发症和相关健康问题的可能性等^[48]。国土空间诊断亦是如此，不能“只知近史，不知未来”。因此，“预后”是当前规划学科的迫切需要，且亟须攻克的技术难点。AI技术能够基于国土空间自身发展演进的客观规律，对国土空间未来可能会发展成的情形以及可能出现的问题进行推演预测，有望在问题发生之前将其化解，推动国土空间诊断的思想方法从“状态诊断型”向“预后诊断型”变革。

4.5 从“人机分离型”走向“人机共智型”

“人机分离型”的思想方法包含了两层含义。第一，完全依靠人类先验知识进行国土空间诊断，主观挑选能够验证

过往经验的算例与算据来预设国土空间问题。第二，完全依靠AI模型进行国土空间诊断。目前，AI模型在国土空间诊断的方法论上并不完备，且高度依赖于以往的类似经验和人对数据的标注，其所模拟的“智能”往往只能实现局部泛化，难以实现全局泛化，其应对条件变化的抗干扰能力十分有限^[49]。

因此，国土空间诊断思想方法应融合“人类先验知识”和“AI模型”，走向“人机共智型”，具体体现在“人一机”混合增强、螺旋上升、迭代共生。人类具备极强的对国土空间病证高屋建瓴的理论建构能力和拨云见日的归纳总结能力，而AI能够定量揭示国土空间发展演进的客观规律，确定偏离状态、偏移程度及造成偏离的关键要素，并基于复方用药的视角，预后各关键要素在方中地位及配伍后的性能变化，实现“君臣佐使”的药方开具。

5 国土空间诊断中引入AI的工作方法变革

在传统的国土空间诊断过程中，基本流程是输入静态低频的面板数据，通过具有特定演算程序的证据学习，进行国土空间问题研判。针对该过程所显现的弊端，引入AI的国土空间诊断的工作方法将具有6个增益系统(图3)，已在我国多个国土空间诊断项目中均获得较好的应用^②。

5.1 空间急难愁盼的感知增益系统

传统国土空间诊断对于多方利益相关者急难愁盼的认知，往往是通过与相关人员的调研访谈，人工进行归类和总结。但在实际应用中，两者的叙事中心内容总是不尽相同。AI技术的导入，能够从海量的图像、文本、视频和音频等跨媒体数据中更加全面且高效地感知政府、企业、市民等多方利益相关者的需

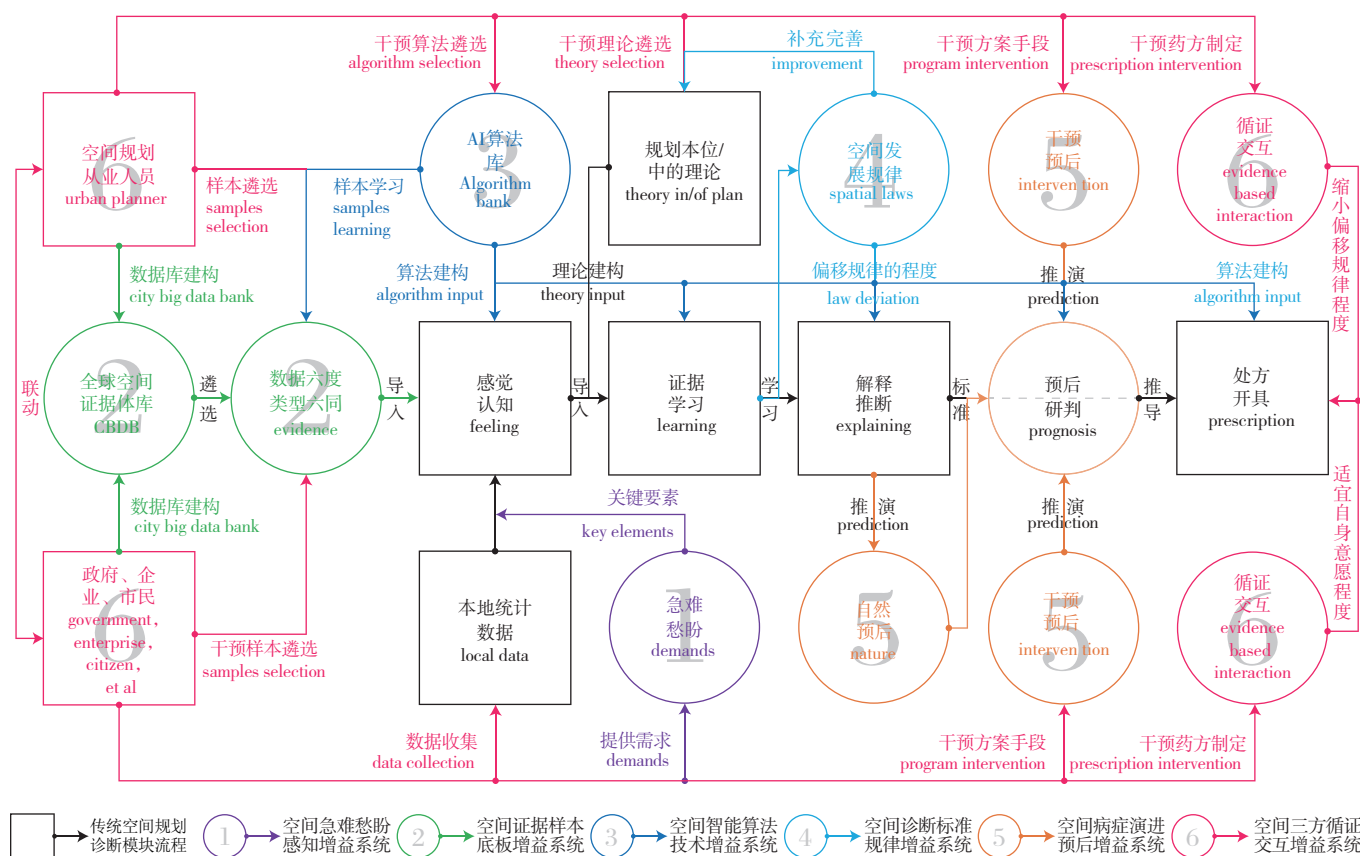


图3 国土空间智能诊断工作方法的6个增益系统

Fig.3 The six gain systems of the methodology for AI-assisted territorial spatial diagnosis

求信息。

5.2 空间证据样本的底板增益系统

全球空间证据样本库具有“数据六度、类型六同”的特征。

数据六度，即多源异构数据的维度、广度、跨度、粒度、频度、速度不断提升和超越，进而更精确地揭示国土空间发展演进规律，为建构大规模的“全球国土空间证据样本库”提供可能。

类型六同，即同地域空间、同地形空间、同规模空间、同形态空间、同性性质空间、同阶段空间^[10]。临床医学常呈现成人与儿童、男性与女性、青年与老年的大不同。类似地，国土空间是一个复杂生命体，其孕育、出生、发展、突变、更新、衰亡和进化不仅仅具有物理学意义上简单到复杂、无序到有序、低级到高级的运动形式，还会因其所属地域、所涉地形、所达规模、所展形态、所具性质、所历阶段呈现不同的生命特征。因此，相似生命特征的类型学研究是科学确立国土空间诊断的参考标准的关键前提^[50]。

5.3 空间智能算法的技术增益系统

在国土空间诊断中对AI算法围绕“感觉认知 (feeling) — 证据学习 (learn-

ing) — 解释推断 (explaining) — 预后研判 (prognosis) — 处方开具 (prescription) ” 5个层级进行搭接重组，形成“FLEPP”算法增益系统。

层级1，要求AI算法对国土空间发展阶段特征及规划实施效果进行感觉认知，例如采用数据增强（变分自动编码器、扩散模型等）与数据降维（自动编码器、卷积神经网络等）等算法。

层级2，要求AI算法对国土空间自身发展演进的客观规律进行学习，例如采用谱聚类、梯度提升机、贝叶斯学习、神经网络等算法。

层级3，要求AI算法确定偏离客观规律的偏移程度及推断偏离的原因，例如采用全局模型无关算法（部分依赖图等）与局部模型无关算法（沙普利加性可解释算法等）进行重要特征识别与阈值效应解释。

层级4，要求AI算法研判国土空间自育或干预后的近远期效果、转归恢复或进展程度，例如采用决策树学习、神经网络、生成对抗网络等算法进行推演预测。

层级5，要求AI算法对空间自育或规划干预进行补充与修正，例如采用基于值函数或策略梯度的强化学习算法（演员—评论家框架）确定国土空间规划

最优策略组合。

5.4 空间诊断标准的规律增益系统

AI技术具有系统关联、深入思考、生态思维的特征，能够通过深度学习挖掘国土空间发展的演进规律，并基于该规律制定国土空间诊断的标准。国土空间涵盖了区域联动、生态环境、经济产业、科创动力、社会人口、历史文化、交通流动、形态功能、康乐永续等多个方面^[51-52]，深入贯彻“天人合一”“系统和谐”与“代际永续”的理念，分别回应和处理国土空间上的不“合”（即自然与建成环境的矛盾冲突）、不“和”（即多元系统要素间的关系失衡）以及不“续”（即文明延续与创新间无法交接）这三方面关键病症^[10]，形成国土空间诊断HOS规律增益系统（图4）。

(1) 空间“合”律，包含空间生态环境规律族群。

(2) 空间“和”律，包含：①空间经济产业规律族群；②空间社会人口规律族群；③空间交通流动规律族群；④空间形态功能规律族群；⑤空间区域联动规律族群。

(3) 空间“续”律，包含：①空间科创动力规律族群；②空间历史文化规律族群；③空间康乐永续规律族群。

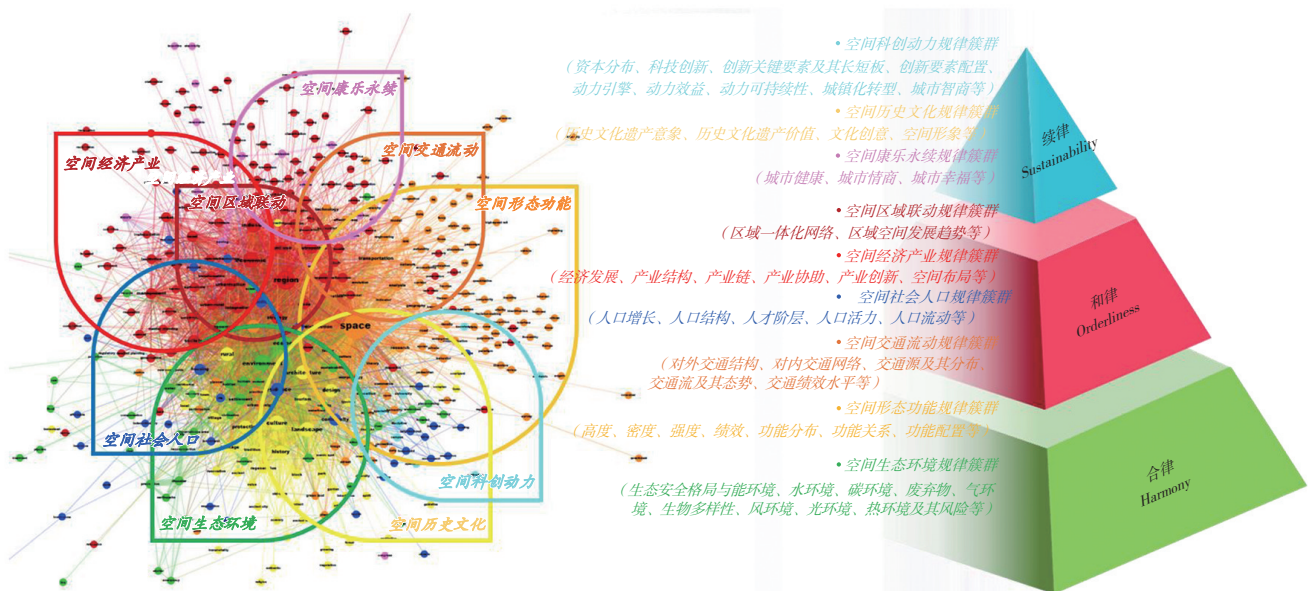


图4 国土空间智能诊断的“HOS”规律增益系统
Fig.4 The "HOS" law gain system of AI-assisted territorial spatial diagnosis

5.5 空间病症演进的预后增益系统

在医学上,预后是指根据经验预测的疾病发展情况,可分为“自然预后”与“干预预后”,分别是指在未经治疗/医学干预的情况下,对某种疾病发展过程及其后果的预测。

类似地, AI技术导入的国土空间诊断增加了对于空间病症演进的预后增益系统,也可分为“自然预后”与“干预预后”,是指在(未经)规划干预的情况下,基于国土空间发展演进的客观规律,对某种国土空间病症发展过程及其后果进行推演预测^[53]。

值得一提的是,预后增益系统尤其需要关注的便是国土空间的韧性机制,如有正向影响则需要顺势而为,如有负向影响则需要逆势改良^[13]。尊重其自育规律将会降低国土空间规划成本,这也是国土空间诊断的依据基础之一。

5.6 空间三方循证的交互增益系统

国土空间智能诊断增加了基于国土空间发展演进客观规律、空间规划从业者的实践经验、多方利益相关者的急难愁盼的三方交互增益系统,进行国土空间病症诊断方法和治疗方案的协同制定,从而达到最佳诊断和治疗的效果。三方循证交互主要体现在以下6个方面:

(1) 空间规划从业者与多方利益相关者可基于空间“类型六同”的特征干预空间证据样本参照系的遴选。

(2) 空间规划从业者与多方利益相关者可根据“国土空间规划本位理论”(theory of planning, TOP)与“国土空间规划中的理论”(theory in planning, TIP)干预诊断理论模型的建构。

(3) 空间规划从业者与多方利益相关者可根据不同AI算法的准确性、效率、鲁棒性、可解释性和泛化能力干预诊断技术模型的遴选。

(4) 基于全球空间证据体样本库的国土空间发展演进规律,是对TOP与TIP的进一步完善,也是对空间规划从业者的实践经验的进一步提升。

(5) 空间规划从业者与多方利益相关者对空间规划方案进行干预,推演预测国土空间病症进程及其后果。

(6) 遵循“最大地缩小偏移规律的程度”和“最大地适宜利益相关者意愿”

原则,空间规划从业者与多方利益相关者共同制定国土空间病症“君臣佐使”的防治方案。

6 结语

推动AI技术与国土空间诊断的深度融合,是增益国土空间诊断客观规律、多元协同、时相演进、形流相成导向的学理特性的迫切需求。为此,本研究以国土空间是一个复杂的生命体为指导思想,以国土空间发展演进的客观规律为根本遵循,从准则、理论、模型等方面建构了AI技术介入后的国土空间诊断“双螺旋”范式与“钻石”架构。

在此基础上,本研究论述了国土空间诊断引入AI技术后从单向被动走向群落主动、从以形定流走向形流相成、从经验导向走向规律导向、从状态诊断走向预后诊断、从人机分离走向人机共智的5个思想方法变革方向,提出了包括急难愁盼的感知、证据样本的底板、智能算法的技术、诊断标准的规律、病症演进的预后、三方循证的交互等6个工作方法增益系统,有望系统解决传统国土空间诊断中的问题和症结,进一步提升国土空间规划的科学理性,促进国土空间的永续发展。

感谢匿名审稿专家提出的建议与意见,感谢《城市规划学刊》编辑部在文章发表过程中的帮助。

注释

① 一方面,在国土空间诊断5个任务环节的实践过程中,从业者可以不断进行证据体(EB_n)的人脑学习,提升国土空间诊断的理论高度(TH_n)和经验满意度(ER_n) (一般情况下,个体的经验满意度不会超过全集的证据广度,即 $ER_n \leq EB_n$),进而全面增强人类的“先验智慧”。另一方面, AI模型可以不断进行证据体(EB_n)的机器学习(LD_n),提升将从有限的证据中获得的知识应用到新的情境中,进而全面增强模型的“泛化能力”。因此,不断提升 TH_n 、 ER_n 、 EB_n 、 LD_n 能够增强模型的整体性能。

② <http://www.wupen.org/lectures/190?lesson=446>

参考文献

- [1] 叶锺楠,吴志强.城市诊断的概念、思想基础和发展思考[J].城市规划,2022,46(1):53-59.
- [2] 中国自然资源报.新版《国土空间规划城市体检评估规程》发布[EB/OL].(2025-05-19)[2025-07-25].https://www.mnr.gov.cn/dt/ywbb/202505/t20250519_2884504.html.
- [3] 石晓冬,王吉力,杨明.北京城市总体规划实施评估机制的回顾与新探索[J].城市规划学刊,2019(3):66-73.
- [4] 伍江,王信,陈焱,等.超大城市城市体检的挑战与上海实践[J].城市规划学刊,2022(4):28-34.
- [5] 吴志强,刘晓畅,赵刚,等.空间效益导向替代简单扩张:城市治理关键评价指标[J].城市规划学刊,2021(5):15-22.
- [6] KLOSTERMAN R E. The what if? collaborative planning support system[J]. Environment and planning B: Planning and design, 1999, 26(3): 393-408.
- [7] 吴志强,甘惟,刘朝晖,等. AI城市:理论与模型架构[J].城市规划学刊,2022(5):17-23.
- [8] 张庭伟.复杂性理论及人工智能在规划中的应用[J].城市规划学刊,2017(6):9-15.
- [9] 肖飞,吴洪涛,郭文华,等.自然资源行业大模型建设框架与典型场景研究[J].自然资源信息化,2024(6):54-62.
- [10] 吴志强.论新时代城市规划及其生态理性内核[J].城市规划学刊,2018(3):19-23.
- [11] 钮心毅,林诗佳,桑田,等.数字化规划技术:数据与知识[J].城市规划学刊,2024(2):18-24.
- [12] 吴志强,李欣.城市规划设计的永续理性[J].南方建筑,2016(5):4-9.
- [13] 吴志强.国土空间规划原理[M].上海:同济大学出版社,2022.
- [14] 万学红,卢雪峰.诊断学[M].北京:人民卫生出版社,2018.
- [15] 季聪华,刘姝,张颖,等.基于诊疗大数据研究的循证医学证据等级思考[J].中华中医药杂志,2019,34(12):5540-5542.
- [16] 新华社.中央城市工作会议在北京举行习近平发表重要讲话[EB/OL].(2025-07-12)[2025-07-25].https://www.gov.cn/yaowen/liebiao/202507/content_7032083.htm.
- [17] MAYER-SCHÖNBERGER V, CUKIER K. Big data: a revolution that will trans-

- form how we live, work, and think[M]. Boston: Houghton Mifflin Harcourt, 2013.
- [18] 夏征农, 陈至立. 大辞海[M]. 上海: 上海辞书出版社, 2016.
- [19] BATTY M. Understanding cities with cellular automata, agent-based models, and fractals[M]. Cambridge, MA: MIT Press, 2005.
- [20] 吴志强. 人工智能辅助城市规划[J]. 时代建筑, 2018(1): 6-11.
- [21] 张磊. 证实抑或证伪? 经验科学证实的困难与证伪的局限[J]. 山东师范大学学报(人文社会科学版), 2012, 57(3): 148-153.
- [22] 张浩. 城市规划范式的转变: 从定性规划向定性与定量相结合的过渡[J]. 美与时代(城市版), 2017(8): 24-25.
- [23] RATTI C, FRENCHMAN D, PULSELI R M, et al. Mobile landscapes: using location data from cell phones for urban analysis[J]. Environment and Planning B: Planning and Design, 2006, 33(5): 727-748.
- [24] SHOVAL N. Tracking technologies and urban analysis[J]. Cities, 2008, 25(1): 21-28.
- [25] LIU L, ANDRIS C, RATTI C. Uncovering cabdrivers' behavior patterns from their digital traces[J]. Computers, Environment and Urban Systems, 2010, 34(6): 541-548.
- [26] 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[J]. 地理学报, 2012, 67(10): 1339-1352.
- [27] LIU X C, QIAO R L, ZHANG X N. Dissecting the nonlinear economic implications of urban extreme thermo-environment using a Monte Carlo simulation-based ensemble learning model[J]. Habitat International, 2025, 156: 103274. DOI: 10.1016/j.habitatint.2025.103274.
- [28] 王劲峰, 葛咏, 李连发, 等. 地理学时空数据分析方法[J]. 地理学报, 2014, 69(9): 1326-1345.
- [29] 郝亚娟, 郭怀成, 刘永, 等. 城市病诊断与城市生态系统健康评价[J]. 生态学报, 2008(4): 1736-1747.
- [30] GEERTMAN S, STILLWELL J. Planning support systems: an inventory of current practice[J]. Computers, environment and urban systems, 2004, 28(4): 291-310.
- [31] 钮心毅. 规划支持系统: 一种运用计算机辅助规划的新方法[J]. 城市规划学刊, 2006(2): 96-101.
- [32] 黎夏, 叶嘉安. 基于神经网络的元胞自动机及模拟复杂土地利用系统[J]. 地理研究, 2005(1): 19-27.
- [33] 甘惟, 吴志强, 王元楷, 等. AIGC辅助城市设计的理论模型建构[J]. 城市规划学刊, 2023(2): 12-18.
- [34] 王德, 王灿, 谢栋灿, 等. 基于手机信令数据的上海市不同等级商业中心商圈的比较: 以南京东路、五角场、鞍山路为例[J]. 城市规划学刊, 2015(3): 50-60.
- [35] WU Z Q, QIAO R L, ZHAO S, et al. Nonlinear forces in urban thermal environment using Bayesian optimization-based ensemble learning[J]. Science of the Total Environment, 2022, 838(3): 156348.
- [36] LIU X C, QIAO R L, WU Z Q, et al. Unveiling the spatially varied nonlinear effects of urban built environment on housing prices using an interpretable ensemble learning model[J]. Applied Geography, 2024, 173: 103458.
- [37] LIU X C, LIU Z Y, ZHU Z L, et al. Decoupling the multi-drivers of urban extreme heat environment in urban agglomerations using ensemble learning[J]. Building and Environment, 2024, 258: 111618.
- [38] 谢永杰, 智贺宁. 基于机器视觉的图像识别技术研究综述[J]. 科学技术创新, 2018(7): 74-75.
- [39] 周飞燕, 金林鹏, 董军. 卷积神经网络研究综述[J]. 计算机学报, 2017, 40(6): 1229-1251.
- [40] 万里鹏, 兰旭光, 张翰博, 等. 深度强化学习理论及其应用综述[J]. 模式识别与人工智能, 2019, 32(1): 67-81.
- [41] 吴一凡, 雷国平, 路昌, 等. 基于改进TOPSIS模型的大庆市城市土地利用绩效评价及障碍度诊断[J]. 水土保持研究, 2015, 22(4): 85-90.
- [42] 白光润. 城市商业区位诊断研究[J]. 上海师范大学学报(自然科学版), 2006(3): 74-80.
- [43] 陆路, 刘静, 周旋. 城市公共开放空间满意度综合诊断模型[J]. 西安建筑科技大学学报(自然科学版), 2015, 47(6): 915-919.
- [44] 杨谦柔, 张世典. 可持续都市住区环境诊断模式之研究[J]. 城市发展研究, 2008, 15(6): 43-48.
- [45] BAEHRENS D, SCHROETER T, HARMELING S, et al. How to explain individual classification decisions[J]. Journal of Machine Learning Research, 2010, 11: 1803-1831.
- [46] 林家彬. 我国“城市病”的体制性成因与对策研究[J]. 城市规划学刊, 2012(3): 16-22.
- [47] 石晓冬, 杨明, 金忠民, 等. 更有效的城市体检评估[J]. 城市规划, 2020, 44(3): 65-73.
- [48] CROFT P, ALTMAN D G, DEEKS J J, et al. The science of clinical practice: disease diagnosis or patient prognosis? evidence about "what is likely to happen" should shape clinical practice[J]. BMC Medicine, 2015, 13(1): 20.
- [49] 段伟文. 人工智能时代的价值审度与伦理调适[J]. 中国人民大学学报, 2017, 31(6): 98-108.
- [50] 朱劭. 城市研究中生命视角的引入[J]. 城市规划学刊, 2008(2): 24-30.
- [51] 刘晓畅. 改革开放40年来中国城乡规划研究领域演进[J]. 城市发展研究, 2021, 28(1): 6-12.
- [52] 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.
- [53] 吴志强, 刘晓畅, 刘琦, 等. 基于水资源约束的我国城市发展策略研究[J]. 中国工程科学, 2022, 24(5): 75-88.