

现代化基础设施的科学内涵、互动机理与建设路径

陈晓红^{1,2}, 丁相江^{1,2}, 袁依格^{2*}, 徐选华^{1,2}, 李睿^{1,2}

(1. 中南大学商学院, 长沙 410083; 2. 湘江实验室, 长沙 410083)

摘要: 在数智技术快速突破与中国式现代化深入推进的背景下, 从系统视角全面理解现代化基础设施及体系建设成为事关经济社会高质量发展与国家治理现代化的关键议题。本文提出现代化基础设施是物理实体、认知智能、制度规则融合而成的综合性“技术-制度”系统, 通过技术供给、场景响应、规则嵌入不断拓展创新支撑与治理承载能力, 具有数实同构的全域感知性、模型驱动的认知迭代性、规制内生的韧性自适性、场景牵引的生态共创性等内在特征。基于“正向驱动-逆向牵引-侧向调节”的协同演进模型, 阐述了从要素支撑到“新质孵化”的价值创生机理、从被动使用到反向定义的智能迭代机理、从外部约束到韧性适配的制度治理机理。立足体系层级, 提出了以战略导向明确建设重点、结构优化强化网络协同、机制创新保障稳定运行、反馈校准提升体系适应性的建设路径。相关内容可为深化现代化基础设施的理论认识、推动现代化基础设施体系协同建设提供参考。

关键词: 现代化基础设施; 中国式现代化; 数智技术; 互动机理; 体系建设

中图分类号: F299.2; TP399 **文献标识码:** A

Scientific Implications, Interactive Mechanisms and Development Path of Modern Infrastructure

Chen Xiaohong^{1,2}, Ding Xiangjiang^{1,2}, Yuan Yige^{2*}, Xu Xuanhua^{1,2}, Li Rui^{1,2}

(1. Business School, Central South University, Changsha 410083, China; 2. Xiangjiang Laboratory, Changsha 410083, China)

Abstract: Against the backdrop of rapid advances in digital and intelligent technologies and the deepening implementation of the Chinese path to modernization, understanding modern infrastructure and the construction of its system from a systemic perspective has become a key issue for high-quality socio-economic development and the modernization of national governance. This study conceptualizes modern infrastructure as a comprehensive technological-institutional system formed through the integration of physical entities, cognitive intelligence, and institutional rules. Through technological supply, scenario responsiveness, and rule embedding, modern infrastructure continuously expands its capacity to support innovation and governance. It exhibits four intrinsic characteristics: system-wide perception enabled by digital-physical isomorphism, model-driven cognitive iteration, resilient self-adaptation enabled by endogenous regulation, and scenario-driven ecosystem co-creation. Building on a collaborative evolution model of “forward driving-reverse guidance-lateral regulation”, this study elucidates three mechanisms governing the interaction between modern infrastructure and socio-economic systems: the value-creation mechanism from factor support to the incubation of new quality productive forces, the intelligent iteration mechanism from passive use to demand-driven redefinition, and the institutional governance mechanism from external constraint to resilient adaptation. At the system level, it proposes a construction pathway in which strategic

收稿日期: 2025-12-19; 修回日期: 2026-03-16

通讯作者: *袁依格, 湘江实验室副研究员, 研究方向为大数据、人工智能、数字经济; E-mail: immyyuan23@163.com

资助项目: 中国工程院咨询项目“现代化基础设施与经济社会发展互动机理”(2024-JJZD-03); 国家自然科学基金项目(72088101); 湘江实验室项目(25XJ01006); 湖南省重点研发计划项目(2025JK2042)

本刊网址: sscae.engineering.org.cn

orientation clarifies development priorities, structural optimization strengthens network coordination, mechanism innovation ensures stable operation, and feedback calibration enhances system adaptability. The study can provide a reference for deepening the theoretical understanding of modern infrastructure and advancing the coordinated construction of a modern infrastructure system.

Keywords: modern infrastructure; Chinese path to modernization; digital and intelligent technologies; interactive mechanism; system construction

一、前言

基础设施是国家经济社会高质量发展的物质底座，也是衡量国家现代化水平的核心标志^[1]。构建现代化基础设施体系被确立为全面建设社会主义现代化国家的首要任务之一^[2]。在推进中国式现代化进程中，基础设施发展的外部环境正在经历深刻变化。一方面，以人工智能、算力网络、物联网、数字孪生为代表的新一代信息技术快速发展，推动数据获取、要素连接、智能计算能力大幅提升^[3]；另一方面，国家治理现代化持续推进，对基础设施的资源配置效率、系统协同能力、精细化管理水平提出了更高要求^[4-5]。因此，在技术革命和治理需求双重变革的背景下，从系统视角出发阐述现代化基础设施的科学内涵，使之精准适配并赋能强国建设，成为亟待开展的研究课题。

近年来，有关基础设施的学术研究主要沿着数字化转型、功能拓展、系统协同3个方向展开。在数字化转型视角下，既有研究普遍认为基础设施不再是传统意义上的硬件载体，而是在数字技术嵌入后逐步呈现集成化、互联化、智能化特征^[6-11]。在功能拓展视角下，相关研究更多关注基础设施对资源配置、产业升级、效率提升、民生改善的支撑作用，认为基础设施通过承接产业资本外溢、提升劳动生产率、降低经营成本、改善公共服务供给等途径支撑经济社会发展^[12-14]。在系统协同视角下，国内研究开始关注现代化基础设施体系在公共服务提升、可持续发展、安全保障方面的基础性作用，将之置于中国式现代化建设的战略框架中加以理解^[15-18]；国外研究更加重视基础设施在跨网络联动、系统韧性提升、公共管理支撑中的综合作用，强调通过数字技术嵌入、规则协调、治理机制优化提升基础设施的整体运行效能^[19]。

已有研究进展为理解现代化基础设施在数智技术赋能下的功能拓展、治理意义等提供了重要启示，但整体上存在一些待深化的议题。在概念层面，现代化基础设施与新型基础设施、数字基础设

施、基础设施现代化等相邻概念之间的边界尚未得到清晰区分，内在构成、功能指向仍显模糊。在关系层面，现代化基础设施与经济社会系统之间的技术供给、需求反馈、制度调节逻辑等尚未得到充分揭示，缺乏对互动机理的整体性阐释。在路径层面，多围绕单类设施建设或数字化改造展开探讨，而缺乏对多网络协同运行与治理方式转型的整体考量，尚未从系统整合的视角明确现代化基础设施体系的建设方案。

本文采用“内涵—机理—路径”分析逻辑展开研究。首先界定现代化基础设施的理论边界、科学内涵、内在特征，其次分析现代化基础设施与经济社会系统之间的互动关系并提炼出“正向驱动—逆向牵引—侧向调节”的协同演进模型，最后从战略导向、结构优化、机制创新等层面提出现代化基础设施体系的建设路径。相关研究可为深化现代化基础设施的理论认识、推进现代化基础设施体系协同建设提供参考。

二、现代化基础设施的理论边界、科学内涵与内在特征

现代化基础设施主要指单类或单体基础设施在数智时代呈现出的“物理—智能—制度”三维融合形态，界定相应的理论边界、科学内涵、内在特征，可为进一步分析现代化基础设施与经济社会系统的互动机理以及体系层级的建设逻辑确立基础条件。

（一）现代化基础设施的理论定位与概念边界

现有研究中，与现代化基础设施相邻的概念主要有传统基础设施、新型基础设施、数字基础设施、基础设施现代化。传统基础设施主要指工业化时期形成的交通、能源、水利等物理设施，核心功能是提供物理连通条件并发挥经济增长的乘数效应，相应发展逻辑整体上以规模扩张为主^[20-21]。新型基础设施是我国新型基础设施建设战略导向下形

成的政策概念，主要涵盖第五代移动通信、数据中心、工业互联网等信息设施，强调数字技术对产业升级、经济转型的赋能作用^[22-23]。数字基础设施突出数据流通、算力供给、网络协同等技术支撑能力^[24]。基础设施现代化属于过程性表述，主要指传统设施通过数字化、智能化改造来提升运行效率与系统韧性的演进过程^[1]。这些概念共同揭示了基础设施由单一物理形态向数实耦合形态演进的趋势，有助于理解基础设施演进的不同侧面，但分析重心主要停留在设施类别、技术属性、改造过程层面，依然不足以完整解释数智时代基础设施在结构形态、功能边界、运行方式上的深层变化。

近年来的实践表明，基础设施已由单纯承载要素流动的静态通道拓展为承担多重功能的复合运行载体。一方面，国家数据基础设施建设强调硬件设施、软件系统、模型算法、标准规范、制度安排的协同配置，表明基础设施正在由单一设施载体转向多要素共同作用的运行单元。另一方面，全国一体化算力网建设强调通用算力、智能算力、超级算力协同调度，网络、数据、安全能力统筹配置，说明基础设施的关键环节不再仅是单项能力提升，而是多种能力在统一运行框架中的协同实现^[25]。同时，AI4Science 迅速兴起，反映了算力体系深度嵌入科研活动与知识生成过程^[26]。这表明，基础设施的功能边界正在由传统的要素支撑拓展为“资源调度—运行组织—创新支撑”的复合形态。

现代化基础设施不应被简单理解为传统设施的数字化升级（“物理设施+数字技术”的二维耦合），相应的本质变化不仅是技术附加，而且是运行结构重组：数智技术推动认知智能深度嵌入基础设施的运行过程，治理现代化要求制度规则以内生方式嵌入基础设施的运行过程。因此，物理设施、认知智能、制度规则由彼此分离的外在要素转变为在基础设施运行过程中相互嵌入、共同作用的整体结构。在这一转变过程中，基础设施由单维物理形态或双维数实耦合形态进一步演化为“物理—智能—制度”三维融合的系统形态。相关系统因能够同时解释不同类型基础设施的发展动力与运行逻辑而具有必要性。例如，对于重大科技基础设施，AI4Science 等范式变革显现了智能维度上的知识策源作用；对于交通、能源等基础设施，场景需求、绿色转型、安全治理更加突出制度协同与规则嵌入的重要性。尽

管不同领域基础设施的具体驱动力存在差异，但物理提供承载、智能赋予认知、制度确保规则约束及运行秩序的三维融合系统仍然能够作出统一解释。

基于上述辨析，本研究认为现代化基础设施是融合物理实体、认知智能、制度规则的综合性“技术—制度”系统，既承担要素流动与资源配置功能，又通过技术供给、场景响应、规则嵌入来不断拓展创新支撑与治理承载能力。

（二）现代化基础设施的三维构成与科学内涵

现代化基础设施集中体现为“物理—智能—制度”三维融合的系统形态（见图1），可从要素构成、功能边界、运行机制等层面进一步阐释相应的科学内涵。① 物理维度构成现代化基础设施的实体底座，包括交通网络、能源电网、算力枢纽、水利设施等物理设施^[27]。这些实体通过传感器、执行器等接口进行实时交互，形成可感知、可调控的“可编程物理矩阵”，核心功能是提供要素流动的空间支撑，体现为有形实体与空间刚性约束并具有清晰的边界。② 现代化基础设施的智能维度赋予系统认知与决策能力，主要涵盖生成式人工智能、数字孪生、智算网络等技术集群^[28]。通过算法模型、大数据分析、自主学习，开展全域感知、实时模拟、优化调度，形成物理空间与虚拟空间实时映射的“认知中枢”。回应技术革命的核心要求，使基础设施具备主动优化与知识生产能力，是开展智能维度界定的基本逻辑，相应边界侧重虚拟信息处理而非实体执行或外部规范。③ 制度维度为现代化基础设施提供规制保障，包括数据产权安排、算法治理规范、标准体系、安全监管机制^[29]。为了在技术嵌入条件下防控现代化基础设施中的潜在风险并确保公平与稳定，需要推动规则内生，即制度不再停留于外部法律条文层面，而是通过协议标准、合规算法嵌入系统运行以直接约束智能决策与物理执行。

“物理—智能—制度”三维融合系统的运行机制进一步体现为“数据—规则—执行”的逻辑闭环。物理维度持续生成运行数据，智能维度据此进行识别、预测与决策，制度规则对决策过程及执行结果实施约束与校正。当智能决策出现偏差或潜在风险时，内嵌规则将及时触发干预，阻断风险向物理层传导，形成具有负反馈能力的闭环校正机制。在这一机制的作用下，基础设施逐步由支撑要素流动的

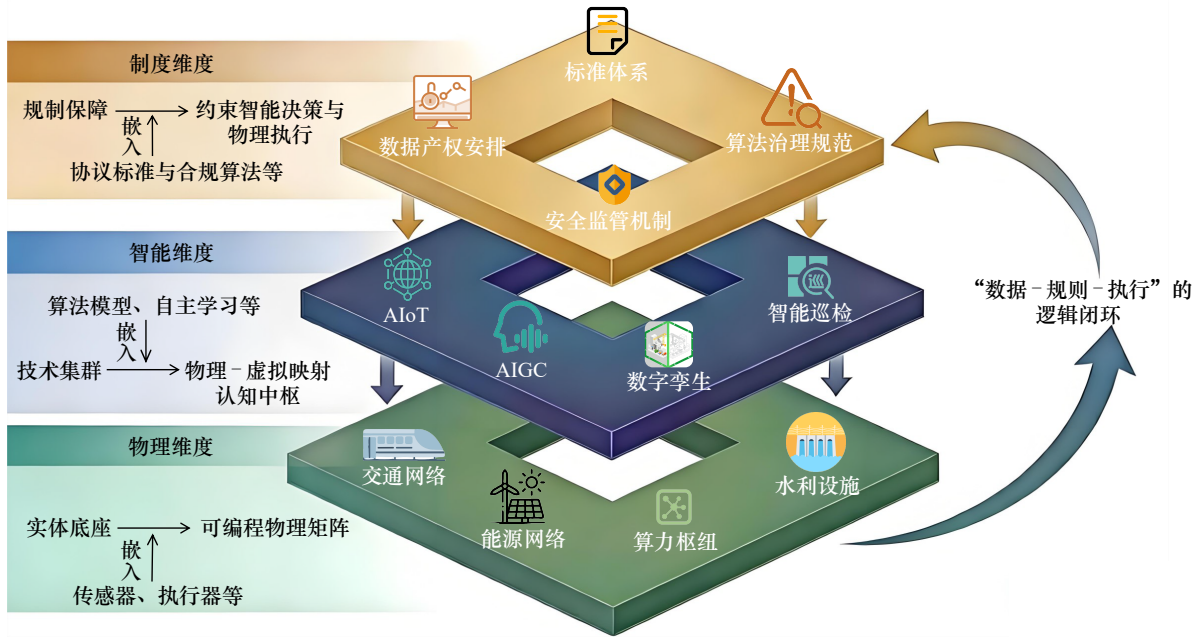


图1 现代化基础设施“物理-智能-制度”三维融合的系统形态

注：AIoT表示人工智能物联网；AIGC表示人工智能生成内容。

静态设施演化为兼具实时感知、动态优化、规则约束能力的综合性“技术-制度”系统，为与经济社会系统形成互动关系提供基础条件。

（三）现代化基础设施的内在特征

在“物理-智能-制度”三维结构融合的基础上，现代化基础设施逐步超越传统设施的单一工程属性，呈现出全域感知、认知迭代、韧性自适、生态共创等内在特征。

1. 数实同构的全域感知性

在物理和智能维度耦合的基础上，现代化基础设施逐步形成要素运行状态的全域感知能力。传统的基础设施依赖离散化的信息采集方式，难以及时反映整体运行态势^[30]；三维融合结构通过物理空间、数字空间的同步映射，使现代化基础设施能够持续感知资源分布、要素流动、运行状态的动态变化。基础设施逐步具备对资源状态、运行过程、场景变化进行持续感知和实时映射能力，有助于缓解时空维度上的信息割裂。

2. 模型驱动的认知迭代性

嵌入智能维度后，现代化基础设施开始具有基于模型学习持续更新认知结构的能力。与传统基础设施主要依赖预设规则进行运行管理不同，现代化基础设施可在运行数据持续积累、智能算法迭代过

程中动态更新状态识别和决策模型^[31]，逐步从单纯的信息处理平台演化为可进行模式识别与动态学习的认知型基础设施。随着数据规模扩大、计算能力提升，系统认知能力将持续迭代，展现出随数据累积而持续优化的决策寻优与知识生成能力。

3. 规制内生的韧性自适性

随着制度规则内嵌于系统运行过程，现代化基础设施逐步形成面向不确定环境的韧性自适能力。与传统基础设施依赖外部监管和物理冗余维持稳定不同，现代化基础设施在面临运行偏差、风险扰动、环境变化时，依据内嵌规则进行动态调节和状态修正，在常态条件下保持效率导向，在非常态条件下转换至安全优先与底线保障导向。制度维度成为支撑系统平急转换、风险吸收、持续运行的内在条件，使基础设施的稳定性更多体现为制度调节与技术响应相结合的复合能力。

4. 场景牵引的生态共创性

在物理、智能、制度等维度实现融合后，基础设施的演进逻辑将由单一供给导向转向供需协同导向。随着智慧交通、智能制造、城市治理等应用场景不断拓展，经济社会系统在持续使用基础设施的过程中不仅形成差异化的功能需求，而且通过数据反馈、应用实践不断推动既有能力调整与新功能生成^[32]。现代化基础设施的建设与演进逐步由单一供

给主体主导转向多元主体围绕具体场景开展协同创新,管理部门、市场主体、科研机构、用户共同参与能力供给、技术适配、规则完善,使基础设施的功能边界在场景迭代和主体互动中持续拓展。

三、现代化基础设施与经济社会的互动机理

现代化基础设施与经济社会系统之间不再是传统意义上的单向支撑、被动承载关系,而是逐步形成双向作用、持续反馈的动态协同关系。现代化基础设施通过技术供给与能力拓展支撑经济社会运行,经济社会运行中形成的场景需求、数据反馈又反向牵引基础设施的功能调整与技术迭代,制度规则贯穿两方面的互动过程,通过规范要素流动、协调主体关系、约束风险扩散来维持系统适配。从演进过程看,技术突破率先拓展基础设施的能力边界,社会需求和应用反馈推动相关能力扩散与功能深化,制度环境为技术应用和需求响应提供调节与保障。基于此,本研究将两方面的互动概括为“正向驱动-逆向牵引-侧向调节”,分别体现技术供给、需求反馈、制度调节的不同作用方向,通过持续反馈共同推动现代化基础设施与经济社会系统协同演进。

(一) 从要素支撑到“新质孵化”的价值创生机理 (正向驱动)

技术创新构成基础设施发展的重要驱动力。随着人工智能、具身智能、全域数字孪生、智算网络等新一代数智技术的深度渗透,“物理+智能”融合不断推进,现代化基础设施已由提供场地与通道的静态底座,逐步转变为新质生产力形成的重要支撑条件与创新活动的关键载体。这种正向驱动主要体现在要素供给的质变、产业链条的重构、全要素生产率的提升三方面。

1. 数据与算力的平台化供给带来要素供给的质变

数据与算力由高门槛、分散化资源逐步转向可广泛获取、灵活调度的基础性生产要素,进而改变创新活动对传统稀缺资源的依附关系,这是现代化基础设施发展突破的本质支撑。不同类型基础设施在数智化改造、制度协同的推动下,能够持续生成、汇聚、传输多维数据,为数据要素化和算力共

享化提供要素支撑。例如,贵州省贵安新区等国家算力枢纽近年来持续集聚数据中心和智算资源,将数据与算力由分散配置转向平台化供给,成为支撑企业研发、模型训练、科技创新的重要底座^[33]。这表明,现代化基础设施正在由生产活动的外部支撑条件进一步转向通过数据资源和算力底座供给直接服务创新活动的重要基础平台,推动经济发展由传统要素驱动加快转向创新驱动^[34-36]。

2. 时空压缩与虚拟集聚推动产业链条重构

产业链组织方式的重构是现代化基础设施发挥正向驱动作用的另一个重要路径。一方面,依托综合立体交通网、高效物流体系,物理空间距离被有效压缩,供应链响应效率持续提升。另一方面,工业互联网平台借助数据贯通、智能调度、数字孪生技术,将分散于不同地域的制造能力进行重新组织,形成以网络协同为基础的虚拟集聚。例如,长虹、海尔等制造业品牌的发展实践表明,工业互联网平台开始在生产协同、流程优化、交付提效等方面发挥重要作用,即现代化基础设施不再仅是服务既有产业链的运行,而是在“物理联通+智能调度”的双重作用下推动生产组织由空间集聚型向网络协同型转变^[37]。现代化基础设施开始成为创新组织方式、新型产业生态的生成载体。

3. 智能连接与绿色优化提升全要素生产率

现代化基础设施对经济社会的正向驱动最终体现为提升全要素生产率,即通过“物理+智能”融合改善资源配置效率并降低信息摩擦。一方面,依托第五代移动通信、工业互联网、智算网络,知识、信息、数据得以更高效流动,显著缓解信息不对称和要素错配现象,从而提升经济系统的协同效率^[38]。另一方面,数字孪生、智能调度、绿色能源基础设施的融合使能源生产、传输、配置等过程更加精细可控,通过能源结构优化、资源调度效率提升、绿色技术扩散促进绿色全要素生产率增长。现代化基础设施已由外部支撑条件转变为效率提升、绿色转型、新质生产力成长的重要载体。

(二) 从被动使用到反向定义的智能迭代机理 (逆向牵引)

经济社会系统并非技术创新的被动接受者,而是现代化基础设施持续升级的重要牵引力量。随着基础设施深度嵌入生产生活与社会治理过程,

社会运行中不断生成的需求信号、行为数据、应用场景开始反向塑造基础设施的技术标准、功能边界、演进方向。现代化基础设施的智能化升级，不再仅由供给侧的技术突破来单向推动，而是在技术供给、社会反馈的持续互动中展开。相应的逆向牵引主要通过需求信号反馈、运行数据回流两条路径展开。

1. 需求信号反馈牵引技术路径调整

根据“需求引致创新”理论，经济社会需求的多元化不仅对基础设施提出新的能力要求，也在事实上塑造相关的技术标准与服务形态。超大城市精细化治理、产业实时协同、公共服务优化等均要求基础设施由规模扩张转向智能化升级^[39]。其中，需求不再仅是对既有设施的被动使用，而是结合具体场景提出新的能力要求并驱动技术路径调整。例如，北京市高级别自动驾驶示范区建设“车、路、云、网、图”一体化城市工程试验平台，推动道路设施、感知终端、通信网络、控制系统协同升级，体现出新兴应用场景反向塑造基础设施的能力边界与演进方向^[40]。这说明，场景需求能够形成“需求提出—设施升级—性能改进”的持续迭代链条，推动现代化基础设施在应用中的重新定义和创新发展。

2. 运行数据回流驱动智能能力演进

场景需求决定着现代化基础设施的升级方向，数据反馈则推动现代化基础设施变得更智能。经济社会系统在使用现代化基础设施过程中持续形成并集聚的大规模数据，不再仅是基础设施运行的附带结果，而是成为模型训练、能力优化、服务迭代的关键要素。交通流、物流、资金流等多维数据经由感知终端汇聚，为识别、预测、决策、调度提供动态数据支撑，使基础设施具备基于使用反馈持续优化模型的条件。经济社会系统与现代化基础设施的交互将成为基础设施智能升级的训练输入。在数据不断积累后，现代化基础设施将构成“使用即反馈、运行即训练、迭代即优化”的动态闭环。社会运行越复杂、反馈数据越丰富，开展识别、预测和调度的能力就越强，提供的服务也就越精准。数据反馈构成现代化基础设施内生智能持续生成的重要基础，使现代化基础设施由执行既定规则的技术系统逐步转向在持续交互中不断学习和优化的智能载体。

（三）从外部约束到韧性适配的制度治理机理（侧向调节）

在技术创新、需求反馈持续强化的过程中，现代化基础设施与经济社会系统并不会自动形成稳定的协同，反而可能因数据产权不清、算法责任模糊、跨域规则不一致产生新的制度摩擦。制度维度的作用由外部监管延伸至技术扩散、要素流动、风险控制之间的调节过程，使现代化基础设施与经济社会系统保持可持续适配，重点体现在要素流动的规则重构、系统稳定的内嵌保障两方面。

1. 要素流动的规则重构体现制度适配性

现代化基础设施的发展不仅改变要素的供给方式，也重塑要素的流动与价值实现方式。数据、算力、算法等新型要素开始嵌入经济社会运行过程，但产权界定、流通规则、协同标准未能同步调整而致技术扩散面临制度壁垒。通过规则重构形成与新质生产力相适配的制度环境，是制度维度上的要务：推动数据确权、授权使用、收益分配和标准协同，打通数据在现代化基础设施与经济社会系统之间流动的规则障碍，降低制度性交易成本。制度创新的作用不仅在于释放单一要素的价值，而且为算力、数据、场景之间的持续耦合提供稳定预期，使现代化基础设施更加顺畅地嵌入经济社会运行。

2. 稳定的内嵌保障强化风险治理能力

现代化基础设施与经济社会系统深度互动的另一表现是技术风险、运行偏差、系统脆弱性可能通过数据链路和网络关联被快速放大。如果缺乏有效的制度调节，智能技术带来的效率红利可能转化为新的不确定性来源。为此，制度维度还需承担风险治理功能，将安全边界、责任约束、应急规则嵌入系统运行之中，使风险控制由事后处置转向事前预防和过程校正。一方面，将伦理要求、安全阈值、合规规则嵌入算法决策与系统运行过程，防止局部偏差演化为更大范围的系统失灵。另一方面，构建平急转换框架，使系统在常态下保持效率导向，而在风险触发时及时切换至安全优先模式，通过预警、熔断、降级、协同响应保障核心功能的连续性。制度维度将由外部约束转为系统稳定和冲击吸收的重要内在条件。

四、现代化基础设施体系的建设路径

现代化基础设施与经济社会系统之间呈现出技术供给、需求反馈、制度调节相互作用的动态协同关系。这种互动关系也意味着，现代化基础设施建设不能再局限于单体设施扩张和单项能力提升，而应将持续反馈、规则嵌入、协同演进的运行逻辑进一步拓展至体系层级，从整体视角谋划现代化基础设施体系建设。具体而言，应将“物理-智能-制度”三维融合逻辑贯穿体系建设过程：在物理维度上形成跨区域、跨行业的互联网络，在智能维度上形成全域感知与动态调度能力，在制度维度上实现规则嵌入与治理协同。相应建设重在从系统整合视角出发推动多类型设施、多层级网络、多元治理机制的协同重构，进而通过战略导向、结构优化、机制创新形成空间布局、功能配置、运行机制相互支撑的有机整体。

（一）战略导向

基础设施投资规模大、建设周期长、空间锁定效应强，会在较长时期内影响资源配置格局、产业组织方式、区域发展态势。面向中国式现代化全局，现代化基础设施体系建设的首要考量是前瞻识别并提前形成支撑经济社会运行和长期发展的关键能力，而非单纯谋划工程布局。建设重点不应停留于围绕现实需求被动补缺，而应面向未来发展需要，对具有基础性、平台性、放大效应的能力进行前瞻部署。应将现代化基础设施体系建设嵌入国家整体发展战略，使之成为支撑高质量发展的长期基础，避免建设目标碎片化、设施供给短期化、区域布局失衡。

强化现代化基础设施体系建设的战略嵌入。现代化基础设施体系是深度嵌入现代化产业体系、现代流通体系、城乡融合发展格局、国家治理体系的底层支撑结构，相应建设方向不能仅由单一行业需求决定，而应围绕区域协调发展、创新驱动、绿色转型、安全治理等国家战略目标进行统筹谋划。据此，算力网络、工业互联网、绿色能源网络、智慧物流体系等应突破单一领域和单一环节的功能边界，在更大范围内促进要素流动、支撑创新扩散、增强区域协同，构成现代化基础设施体系的重要能力支撑。建设重心不在于单点项目突破，而在于形

成与国家发展目标相匹配的整体能力底座。

坚持适度超前与因地制宜相统一。适度超前强调关键能力的前瞻预置，因地制宜强调体系内部的差异化分工。现代化基础设施体系既服务现实运行也塑造未来发展格局，相应建设应围绕未来发展所需的关键能力、关键网络、重点应用场景进行前瞻预置。适度超前的重点不在于单个项目规模的提前扩张，而在于算力调度、数据流通、网络互联、场景支撑等基础能力的先行布局，避免体系运行受制于能力短板。不同区域在经济密度、产业基础、人口分布、公共服务需求等方面存在差异，具体建设不宜采取单一模式，而应在统一体系框架下形成差异化功能定位。例如，人口和产业高密度集聚地区侧重强化枢纽集聚与协同调度能力，中低密度集聚地区侧重基础覆盖与功能补足，特色产业功能区侧重围绕特定应用场景进行定向配置。

构建面向不确定性的开放演进能力。现代化基础设施体系面临技术快速演进、场景持续生成、规则不断调整的复杂环境，体系建设不宜采用一次性、静态化的设计方式，而应具备持续升级和动态演进能力。在建设初期预留接口兼容、模块扩展、标准衔接的空间，降低技术锁定和制度固化对后续调整的约束。推动技术标准、平台协议、数据规范的衔接互认，为不同设施网络之间的互联互通、功能协同、持续升级提供基础条件。

（二）结构优化

现代化基础设施体系的整体效能不再主要取决于单体设施性能提升，而是更多取决于不同设施网络之间的协同能力。交通、能源、水利、信息、算力等基础设施若仍以相对独立的方式并行建设和扩张，容易造成系统割裂与资源浪费。应通过结构重组推动多网络耦合，促进基础设施由分散设施集合向具有整体协同与调度能力的网络系统转变。

推动传统基础设施与新型基础设施的融合。传统基础设施提供空间承载与物质输送能力，新型基础设施依托数据和算法赋予系统认知与调度能力，两方面融合推动基础设施由单一物理设施转变为具有感知、分析、决策能力的复合系统。例如，在交通网络中嵌入感知终端与动态调度算法，在能源系统中构建“源网荷储”协同控制机制，在公共服务网络中形成智能化响应平台。这种结构融合使基础

设施逐步具备感知运行状态、协同配置资源、动态优化决策的能力。

推动跨领域网络协同运行。交通、能源、信息、物流、生态等网络之间的互联互通既是技术层面的连接，更是运行逻辑由分散响应转向协同响应的体现。应加强跨网络数据共享与平台互联，降低系统分割造成的资源重复配置，提高整体资源利用效率。例如，交通流调度和能源负荷管理的联动可推动交通与能源系统的联合优化，物流网络和产业空间布局的协同可提高供应链运行效率。

优化空间层级结构。现代化基础设施体系应形成“干线网络—核心枢纽—区域节点—末端覆盖”的层级结构，兼顾整体运行效率与基础服务公平。国家重大战略区域和城市群承担资源组织与创新扩散功能，应强化交通枢纽、算力中心、物流基地等关键节点布局；县域与乡村地区应强化基础设施网络末端覆盖和基本公共服务保障，补齐网络末端设施短板。

以应用场景牵引体系结构重组。现代化基础设施体系的结构优化不只是既有网络之间的被动叠加，而且是受新兴应用场景牵引的重组过程。智慧城市、零碳园区、低空经济、城市生命线等场景对感知、计算、调度、能源保障、规则协同等能力提出综合要求，推动交通、能源、信息、算力等基础设施由分散配置转向面向场景的组合联动。现代化基础设施体系中的不同网络不宜按照单一行业边界进行独立运行，而应在具体场景中形成跨网络、跨层级、跨主体的协同结构，推动体系由设施并列转向功能耦合与结构协同。

（三）机制创新

现代化基础设施体系的长期稳定运行不仅取决于设施建设条件和网络结构，而且取决于与之相适配的制度安排。随着不同系统之间耦合程度的不断提高，制度规则不再仅是外部约束，而是逐步嵌入资源配置、数据流通、风险治理过程。若缺乏相应的机制支撑，技术协同和网络联动可能引发新的制度摩擦。应通过机制创新推动制度规则进一步嵌入体系运行，在资源保障、规则协同、安全治理之间形成动态平衡。

构建多元投入与全生命周期管理机制。现代化基础设施建设和运营的资金需求、维护成本、更新

压力不断上升，仅依靠财政投入难以满足体系持续建设与更新需求。应发挥政府投入的引导作用，用好政策性金融工具，稳妥发展基础设施领域的不动产投资信托基金，盘活存量基础设施资产，吸引保险、社保基金等长期资本参与，形成多元可持续的投入格局。也应推动管理重心由增量建设转向存量运营，树立全生命周期管理理念，采用数智化技术实施预防性养护与精准化更新，充分释放存量基础设施效能，实现由规模扩张型向质量效益型转变。

完善数据要素流通与标准协同机制。现代化基础设施协同运行的关键在于不同网络之间保持接口互通、标准衔接、规则协同。应加快制定跨领域接口规范与互操作协议，推动技术架构、数据格式、流通规则衔接互认，为跨系统联动提供制度基础。在数据治理层面，推广“可用不可见、用途可控可追溯”的流通模式，运用隐私计算、可信数据空间等技术降低共享障碍，推动协同运行由接口联通转向规则协同和语义互通。

健全跨域协同与韧性治理机制。现代化基础设施网络耦合程度持续提升，局部故障、规则失配、治理断点都可能在网络中快速传导并放大为系统性风险。在治理过程中，应统筹体系韧性提升与跨领域协同能力建设，在保障体系安全的同时提高整体运行效率。在关键设施与关键链路中，完善风险感知、动态预警、冗余备份、平急转换机制，提高体系对突发冲击的应对能力。建立跨区域、跨领域的协同规则框架与运行协调机制，推动治理模式由部门分割走向多元主体协同，形成管理部门、市场主体、科研机构、社会力量共同参与的治理格局。

（四）“战略—结构—机制”协同

战略导向、结构优化、机制创新并非彼此独立的建设环节，而是分别承担目标设定、能力承载、运行保障功能。现代化基础设施体系的关键不在于单项设施能力的简单叠加，而是在于战略目标能否转化为网络化能力并由相应机制维持协同运行。相应体系建设需要在战略、结构、机制三方面形成连续传导关系，避免规划目标、设施布局、运行规则相互脱节。

战略导向首先界定体系需要形成的关键能力及优先序，结构优化据此将抽象目标转化为枢纽节点、网络层级、功能组合。不同区域和场景所需的

能力存在差异,结构配置应更多围绕能力缺口而非设施数量展开,使交通、能源、信息、算力等网络在空间布局与功能分工上形成互补。可见,战略导向并不直接对应具体项目,而是通过“目标-能力-结构”的转换关系约束项目布局与建设时序。

在结构形成后,机制创新的重点在于使网络连接转化为协同运行。基础设施耦合程度越高,越需要与网络关系相匹配的接口标准、调度规则、权责边界、风险治理安排,才能降低跨区域、跨行业协同中的制度摩擦。机制设计不能脱离结构单独展开,而应随着网络组织方式同步调整,使设施互联进一步转化为资源、数据、服务的协同配置。

战略、结构、机制还需根据运行结果进行持续校准。面对技术迭代、需求变化、风险扰动,应依托运行监测与绩效评价识别体系中的能力短板,优先通过节点配置、网络关系、运行规则调整予以修正;当变化超出既有体系的适应范围时,再反馈至战略层面调整建设重点和实施时序。由此形成“战略定向-结构承载-机制保障-反馈校准”的循环链条,推动现代化基础设施体系由静态规划和增量扩张转向持续适配与协同演进。

五、结语

本文立足数智技术加速演进与中国式现代化深入推进的时代背景,系统分析了现代化基础设施的科学内涵、互动机理、体系建设逻辑,构建了相应的分析框架。现代化基础设施已由单纯承载要素流动的物理设施演化为融合物理实体、认知智能、制度规则的综合性“技术-制度”系统;与经济社会系统之间不再表现为传统意义上的单向支撑关系,而是形成了技术供给、需求反馈、制度调节相互作用的动态协同过程;体系建设的关键在于将单体设施层面的三维融合逻辑拓展到体系层级,通过战略导向、结构优化、机制创新推动多类型设施、多层级网络、多元治理机制的协同重构,再通过反馈校准提升体系对技术演进、需求变化、风险扰动的适应能力。

现代化基础设施既是新质生产力形成的重要条件,也是国家治理现代化的重要基础,在筑牢中国式现代化的物质技术基础、提升国家整体运行效能方面具有重大价值。展望未来,现代化基础设施将

伴随技术变革、制度调整、社会需求变化持续演进,可围绕现代化基础设施发展水平测度、人机协同治理、算法风险规制、互联互通条件下的网络韧性等课题开展进一步研究,为现代化基础设施体系建设提供更具解释力和操作性的理论依据与决策参考。

利益冲突声明

本文作者在此声明不存在任何利益冲突或财务冲突。

Received date: December 19, 2025; **Revised date:** March 16, 2026

Corresponding author: Yuan Yige is an associate research fellow from Xiangjiang Laboratory. Her major research fields include big data, artificial intelligence, and digital economy. E-mail: immyyuan23@163.com

Funding project: Chinese Academy of Engineering project “Interaction Mechanisms between Modern Infrastructure and Socio-Economic Development” (2024-JJZD-03); The National Natural Science Foundation of China Project (72088101); Xiangjiang Laboratory Project (25XJ01006); Hunan Province Key Research and Development Programme (2025JK2042)

参考文献

- [1] 张雪原,许景权,高国力.我国基础设施系统集成的机制构建、突出问题与优化思路[J].经济纵横,2024(3):60-69.
Zhang X Y, Xu J Q, Gao G L. Mechanism establishment, key problems, and optimization ideas of the integration of infrastructure systems in China[J]. Economic Review, 2024(3):60-69.
- [2] 党的二十大报告辅导读本[M].北京:人民出版社,2022:27-28.
The report of the 20th National Congress of the Communist Party of China: A guidebook[M]. Beijing: People's Publishing House, 2022:27-28.
- [3] 潘雅茹,龙理敏.传统和新型基础设施融合赋能双循环协调发展:测度与机制[J].改革,2024(7):95-110.
Pan Y R, Long L M. The integration of traditional and new infrastructure enables the coordinated development of dual circulation: Measurement and mechanism[J]. Reform, 2024(7):95-110.
- [4] 闫强,许冠南,易兰丽.数据基础设施赋能新质生产力:理论阐释、底层逻辑与优化路径[J].公共管理学报,2025,22(3):102-116,172.
Yan Q, Xu G N, Yi L L. Data infrastructure empowering new quality productive forces: Theoretical interpretation, foundational logic and optimization path[J]. Journal of Public Management, 2025,22(3):102-116,172.
- [5] 张夏恒.“十五五”时期巩固壮大实体经济的新形势、战略目标和行动方向[J].西南大学学报(社会科学版),2025,51(6):1-9,277.
Zhang X H. New trends, strategic goals, and action directions for consolidating and strengthening the real economy during the 15th Five-Year Plan period[J]. Journal of Southwest University (Social Sciences Edition), 2025,51(6):1-9,277.
- [6] 任保平,张倩.中国式现代化新征程中高质量数字基础设施建

- 设的新要求和实现路径[J]. 求是学刊, 2023, 50(2): 48-56.
- Ren B P, Zhang Q. New requirements and realization paths of high-quality digital infrastructure construction in the new journey of Chinese-style modernization[J]. Seeking Truth, 2023, 50(2): 48-56.
- [7] Knox H, Gambino E, Stein F. Infrastructure[EB/OL]. (2023-05-01)[2026-03-15]. <https://www.anthroencyclopedia.com/entry/infrastructure>.
- [8] Pandey B, Brelsford C, Seto K C. Infrastructure inequality is a characteristic of urbanization[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2022, 119(15): e2119890119.
- [9] 江小涓. 数智时代的秩序重构与治理合作: 合理合意双重目标[J]. 管理世界, 2025, 41(5): 1-14, 58.
Jiang X J. Reconstructing order and collaborating governance in the digital-intelligent era: Pursuing dual objectives of rationality and acceptability[J]. Journal of Management World, 2025, 41(5): 1-14, 58.
- [10] 曹琳, 高国力, 许景权. 现代化基础设施功能的内涵特征、存在问题及优化对策[J]. 中国经贸导刊, 2024(1): 53-56.
Cao L, Gao G L, Xu J Q. Connotations, characteristics, existing issues, and optimization strategies of modern infrastructure functions[J]. China Economic & Trade Herald, 2024(1): 53-56.
- [11] Grabowski Z J, McPhearson T, Matsler A M, et al. What is green infrastructure? A study of definitions in US city planning[J]. Frontiers in Ecology and the Environment, 2022, 20(3): 152-160.
- [12] 田佳禾. 现代化基础设施建设推动高质量发展的理论机制与实践方略[J]. 福建师范大学学报(哲学社会科学版), 2024(5): 10-19.
Tian J H. The theoretical mechanisms and practical strategies of modern infrastructure construction for promoting high-quality development[J]. Journal of Fujian Normal University (Philosophy and Social Sciences Edition), 2024(5): 10-19.
- [13] Hu J, Zhang H, Irfan M. How does digital infrastructure construction affect low-carbon development? A multidimensional interpretation of evidence from China[J]. Journal of Cleaner Production, 2023, 396: 136467.
- [14] 崔佳伟, 曾滨, 翟长海, 等. 城市基础设施安全韧性技术研究进展与发展趋势[J]. 中国工程科学, 2025, 27(4): 55-70.
Cui J W, Zeng B, Zhai C H, et al. Safety and resilience technologies for urban infrastructure: Current progress and future trends[J]. Strategic Study of CAE, 2025, 27(4): 55-70.
- [15] 陈晓红, 曹廖滢, 汪阳洁, 等. 算力基础设施碳排放估算: 方法、进展与展望[J]. 中国科学院院刊, 2025, 40(10): 1777-1791.
Chen X H, Cao L Y, Wang Y J, et al. Carbon emission estimation for computing infrastructure: Methods, progress, and prospects[J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2025, 40(10): 1777-1791.
- [16] 张玲玲, 王富强, 张明泽, 等. 重大科技基础设施赋能民营企业高质量发展: 现状、挑战与对策建议[J]. 中国科学院院刊, 2025, 40(6): 1058-1069.
Zhang L L, Wang F Q, Zhang M Z, et al. Large-scale research infrastructure empowers high-quality development of private enterprises: Current situation, challenges, and policy recommendations[J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2025, 40(6): 1058-1069.
- [17] Lutfiani N, Puji Lestari Santoso N, Ahsanitaqwm R, et al. AI-based strategies to improve resource efficiency in urban infrastructure[J]. International Transactions on Artificial Intelligence, 2024, 2(2): 121-127.
- [18] Große C. A review of the foundations of systems, infrastructure and governance[J]. Safety Science, 2023, 160: 106060.
- [19] Howell B. Beyond infrastructure: Internet ecosystem resilience and the public good[J]. Telecommunications Policy, 2025, 49(7): 102998.
- [20] 卢春房, 翁孟勇, 刘飞, 等. 公路交通基础设施“四网融合”发展研究[J]. 中国工程科学, 2025, 27(1): 202-215.
Lu C F, Weng M Y, Liu F, et al. Four-network integration in the highway infrastructure field of China[J]. Strategic Study of CAE, 2025, 27(1): 202-215.
- [21] 陈晓佳, 徐玮. 数据要素、交通基础设施与产业结构升级——基于量化空间一般均衡模型分析[J]. 管理世界, 2024, 40(4): 78-95.
Chen X J, Xu W. Data factor, transportation infrastructure and industrial structure upgrade: An analysis based on quantitative spatial general equilibrium model[J]. Journal of Management World, 2024, 40(4): 78-95.
- [22] 李连成. 构建现代化基础设施体系的思考[J]. 北京交通大学学报(社会科学版), 2025, 24(3): 66-72.
Li L C. Thoughts on constructing a modern infrastructure system[J]. Journal of Beijing Jiaotong University (Social Sciences Edition), 2025, 24(3): 66-72.
- [23] 叶玉瑶, 陈奕嘉, 刘向杰, 等. 超越技术的视角: 新型基础设施推动区域经济发展的理论基础与科学议题[J]. 地理科学, 2024, 44(4): 553-561.
Ye Y Y, Chen Y J, Liu X J, et al. Beyond the perspective of technology: Theoretical basis and scientific issues of new infrastructure to promote the high-quality development of regional economy[J]. Geographical Science, 2024, 44(4): 553-561.
- [24] 赵正, 安小米, 郭明军. 我国数据流通利用的总体思路及推进路径研究——基于数据基础设施建设的视角[J]. 信息资源管理学报, 2025, 15(6): 67-81.
Zhao Z, An X M, Guo M J. Research on the overall framework and implementation path of data circulation and utilization in China: A perspective based on data infrastructure construction[J]. Journal of Information Resources Management, 2025, 15(6): 67-81.
- [25] 国家数据基础设施建设指引[EB/OL]. (2024-12-31)[2026-03-15]. https://www.ndrc.gov.cn/xwdt/tzgg/202501/t20250106_1395457_ext.html.
Guidelines for the construction of national data infrastructure[EB/OL]. (2024-12-31)[2026-03-15]. https://www.ndrc.gov.cn/xwdt/tzgg/202501/t20250106_1395457_ext.html.
- [26] Miao Q H, Wang F Y. Artificial intelligence for science (AI4S): Frontiers and perspectives based on parallel intelligence[M]. Cham: Springer Nature Switzerland, 2024.
- [27] 金成浩, 荣莉莉, 李若飞, 等. 基于物理关联的相互依赖关键基础设施网络模型构建[J]. 系统管理学报, 2019, 28(4): 667-678.

- Jin C H, Rong L L, Li R F, et al. Network modeling of interdependent critical infrastructures based on physical interdependency[J]. *Journal of Systems & Management*, 2019, 28(4): 667-678.
- [28] Zhang L Z, Hou Y, Deng K Z, et al. Advancements toward a standard system for intelligent operation and maintenance of buildings and municipal facilities[J]. *Buildings*, 2025, 15(21): 3965.
- [29] 吴志刚, 闫晓丽, 高婴励, 等. 数据基础制度——夯实数据要素市场根基[M]. 北京: 电子工业出版社, 2024.
- Wu Z G, Yan X L, Gao Y M. Data infrastructure institutions: Consolidating the foundation of the data factor market[M]. Beijing: Electronic Industry Press, 2024.
- [30] 陈燕, 金雯, 顾建祥. 上海三维空间地理数字底座构建关键技术及应用[J]. *测绘通报*, 2025(1): 161-164, 184.
- Chen Y, Jin W, Gu J X. Key technologies and applications for building Shanghai 3D spatial geographic digital base[J]. *Bulletin of Surveying and Mapping*, 2025(1): 161-164, 184.
- [31] Lu Y, Liu C, Kevin I, et al. Digital twin-driven smart manufacturing: Connotation, reference model, applications and research issues[J]. *Robotics and computer-integrated manufacturing*, 2020, 61: 101837.
- [32] Schmookler J. Invention and economic growth[M]. Cambridge: Harvard University Press, 1966.
- [33] 蒋昌俊. 赋能东数西算战略 构筑智能算力网络[J]. *中国科学基金*, 2025, 39(2): 193.
- Jiang C J. Empower the “east data, west computing” strategy, build an intelligent computing power network[J]. *Bulletin of National Natural Science Foundation of China*, 2025, 39(2): 193.
- [34] Kostenko G, Zaporozhets A. Enhancing of the power system resilience through the application of micro power systems (microgrid) with renewable distributed generation[J]. *System Research in Energy*, 2023, 2023(3): 25-38.
- [35] 王福涛, 周盈盈, 袁永, 等. “东数西算”战略视角下算法支撑资源空间分布探究——基于 1997—2020 年数学学科国家三大科技奖获奖者的分析[J]. *科技管理研究*, 2023, 43(8): 71-81.
- Wang F T, Zhou Y Y, Yuan Y, et al. Exploration on the spatial distribution of algorithmic support resources under the strategic perspective of China's east-to-west computing resource transfer project: Based on the analysis of the winners of the three major national science and technology awards in mathematics from 1997 to 2020[J]. *Science and Technology Management Research*, 2023, 43(8): 71-81.
- [36] Du Z Y, Wang Q. Digital infrastructure and innovation: Digital divide or digital dividend?[J]. *Journal of Innovation & Knowledge*, 2024, 9(3): 100542.
- [37] 张明超, 孙新波, 李俊悦. 工业互联网平台赋能制造企业价值链数字创新——基于海尔卡奥斯的案例研究[J]. *科学学研究*, 2025, 43(2): 325-336.
- Zhang M C, Sun X B, Li J Y. Industrial Internet platform enabling digital innovation in the value chain of manufacturing enterprises—Based on the case study of Haier Cosmoplat[J]. *Studies in Science of Science*, 2025, 43(2): 325-336.
- [38] 郭凯明, 潘珊, 颜色. 新型基础设施投资与产业结构转型升级[J]. *中国工业经济*, 2020(3): 63-80.
- Guo K M, Pan S, Yan S. New infrastructure investment and structural transformation[J]. *China Industrial Economics*, 2020(3): 63-80.
- [39] Kankanhalli A, Charalabidis Y, Mellouli S. IoT and AI for smart government: A research agenda[J]. *Government Information Quarterly*, 2019, 36(2): 304-309.
- [40] 杨柳, 梁越, 张颂安, 等. 无人驾驶技术如何重塑街道空间规划与设计——基于理论与实践的双重视角[J]. *西部人居环境学刊*, 2025, 40(3): 49-57.
- Yang L, Liang Y, Zhang S A, et al. How autonomous driving technology reshapes street planning and design: Dual perspectives from theory and practice[J]. *Journal of Human Settlements in West China*, 2025, 40(3): 49-57.