

数字技术赋能城市基础设施韧性的提升路径研究

李娜英

北京建筑大学 城市经济与管理学院, 中国·北京 100044

摘要: 随着全球城市化进程加快, 城市基础设施受自然灾害、气候变化等多重因素影响暴露出脆弱性, 如何通过技术创新提升基础设施韧性成为关键议题。数字技术依靠实时监测、智能分析和动态调度等特性, 为城市基础设施韧性提升提供了新的技术路径。论文系统探讨了城市基础设施韧性的内涵与重要性, 从极端天气频发、基础设施负荷过重、数据安全与整合困难等方面分析了当前数字技术赋能基础设施韧性的实践困境。在此研究基础上, 归纳了数字技术赋能的“感知—分析—决策—执行”全链条机理框架, 并从顶层设计、核心技术研发、数据共享、人才建设等方面提出具体策略。研究表明, 数字技术能够显著增强基础设施的抵御、适应与恢复能力, 但需要政策、技术与人才协同支持。未来应进一步探索技术应用的差异化路径, 为韧性城市建设提供科学依据。

关键词: 数字技术; 城市基础设施; 韧性; 提升策略

Research on the Path of Enhancing the Resilience of Urban Infrastructure Empowered by Digital Technology

Naying Li

School of Urban Economics and Management, Beijing Jianzhu University, Beijing, 100044, China

Abstract: With the acceleration of global urbanization, urban infrastructure is vulnerable to multiple factors such as natural disasters and climate change. How to improve infrastructure resilience through technological innovation has become a key issue. Digital technology, relying on real-time monitoring, intelligent analysis, and dynamic scheduling, provides a new technological path for enhancing the resilience of urban infrastructure. The paper systematically explores the connotation and importance of urban infrastructure resilience, and analyzes the practical difficulties of empowering infrastructure resilience with digital technology from the perspectives of frequent extreme weather, heavy infrastructure load, and difficulties in data security and integration. Based on this research, a full chain mechanism framework of “perception analysis decision execution” empowered by digital technology was summarized, and specific strategies were proposed from the aspects of top-level design, core technology research and development, data sharing, and talent construction. Research has shown that digital technology can significantly enhance the resilience, adaptation, and recovery capabilities of infrastructure, but requires collaborative support from policies, technology, and talent. In the future, we should further explore differentiated paths for technological applications to provide scientific basis for the construction of resilient cities.

Keywords: digital technology; urban infrastructure; resilience; enhancement strategy

0 前言

城市安全事关人民群众切身利益, 事关经济社会发展稳定大局, 而城市基础设施是城市安全的基石、城市韧性能力的物质载体。当前中国城市基础设施发展面临从“数量追赶”转向“质量追赶”, 从“规模扩张”转向“结构优化”, 从“要素驱动”转向“创新驱动”的发展需求^[1]。党的二十大报告明确指出要加强城市基础设施建设, 打造宜居、韧性智慧城市。通过运用大数据、云计算、物联网等先进技术, 可以实现对城市各类信息的实时采集、分析和处理, 为城市管理提供更加精准、高效的决策支持^[2]。为深化城市安全韧性提升行动, 增强城市风险防控和治理能力, 国务院下发了《关于推进新型城市基础设施建设打造韧性城市的意见》等, 积极推动城市基础设施进行数字化升级和智能化管理。立足

区块链、大数据、云计算、人工智能等为代表的新一代技术, 加快推进基于数字化的新型城市基础设施建设, 有利于构建全方位、多层次、立体化的城市安全体系^[3]。

着眼更好发挥数字技术对城市基础设施韧性提升的关键赋能作用, 论文分析城市基础设施韧性的内涵及重要性, 梳理基础设施韧性提升面临的挑战, 厘清数字技术赋能城市基础设施韧性提升机理, 进一步提出数字技术赋能城市基础设施韧性提升的策略。相关内容有助于充分发挥数字技术的赋能作用, 为构建更加安全稳定的城市基础设施提供参考。

1 城市基础设施韧性的内涵及重要性

1.1 城市基础设施的内涵

“韧性”一词源于物理学, 原意指系统恢复至干扰发

生前状态的速度^[4]。学界对“韧性”这一概念的界定形成了四种代表性的观点：“能力恢复说”“扰动说”“系统说”“能力提升说”。随着内涵的不断扩展，韧性逐渐成为多学科描述应对突发扰动的能力，其中被广泛接纳的韧性定义为系统、社会或区域从扰动事件中迅速有效反应、吸收、适应和恢复的能力。

基础设施的定义由于研究目的不同而具有差异。基础设施作为城市发展的影响因素之一，被认为是城市生存和发展所具备的工程性基础设施和社会性基础设施的总称^[5]，指为社会生产和居民生活提供公共服务的物质工程设施，用于保证国家或地区社会经济活动正常进行的公共服务系统，通常包括交通、邮电、供水供电等市政公用工程设施和公共生活服务设施等。经过长期以来的城市化与全球化发展，基础设施向着相互连接的网络系统发展，任何基础设施单体的变化都将作用于整个基础设施网络^[6]。数字赋能的基础设施是由新一代技术驱动的基础设施，李晓江强调基础设施布局必须考虑与交通、能源等传统基础设施的衔接^[7]，吴志强指出通过数字技术与现实基础设施的实时交互，可以实现更精准的规划、建设和运营管理，极大提升城市运行效率和公共服务水平^[8]。

近年来，许多研究人员在不同背景下分析城市基础设施韧性的概念和内涵。杨艳英总结出社会领域强调对外部干扰和危机的承受、适应和响应能力，经济领域强调系统接近稳定状态的稳定性，工程领域强调系统吸收干扰、重组并在变化中仍保持基本相同功能、结构和反馈的能力^[9]，邵亦文认为基础设施韧性是建成结构和设施脆弱性的减轻^[10]，李亚等认为韧性是灾害发生时抵御灾害、吸收损失并及时恢复至正常运行状态的能力^[11]，华智亚认为基础设施的韧性是基础设施在面对灾害扰动时能够吸收冲击并通过适应、转变从而保持或尽快恢复自身基本功能特性^[12]。综上所述，城市基础设施韧性即为城市基础设施系统对自然或人为扰动进行计划、吸收、恢复和适应的能力，用以保障基础设施的服务功能^[13]，既有必要抵抗力和可靠性，又具有良好的组织韧性，拥有应对灾害及快速恢复的能力。

1.2 城市基础设施韧性的重要性

1.2.1 保障城市安全运行

城市基础设施是维护城市安全的重要屏障。城市安全，是一个多维度、多层面、多特征的复杂系统问题，既有静态安全，也有动态安全；既有传统安全，也有新型安全；既有直接安全，也有衍生安全。用韧性形容城市安全，表达了城市与各安全风险的互动关系，包括灾前的预防、灾中的应对、灾后的调整^[14]。

1.2.2 提升城市竞争力

城市竞争力是一项综合性评价指标，不仅能衡量城市的经济实力，更强调在增进人民福祉、推动持续自我发展和创新方面的能力^[15]。在全球化背景下，城市之间的竞争日

益激烈，而基础设施的先进程度直接影响城市的吸引力和发展潜力。通过引入数字技术与城市基础设施韧性形成良性循环，极大的增强了城市综合竞争力。

1.2.3 促进城市可持续发展

面对资源紧张、环境污染和气候变化等挑战，具有全面感知、互联互通特性的绿色化、智能化的基础设施建设成为城市可持续发展的关键。经济层面，湛泳和李珊认为提升基础设施韧性可以提升城市经济发展质量^[16]；环境层面，石大千等认为提升基础设施韧性有助于提高城市生态效率^[17]；社会层面，楚尔鸣和唐茜雅等认为提升基础设施韧性可以优化社会治理效能，改善城市公共服务水平^[18]。

2 数字技术赋能基础设施韧性的实践困境

2.1 极端天气事件的频发性

全球极端天气频发，加剧城市基础设施的脆弱性。世界经济论坛发布的全球风险报告中，气候变化、极端天气已经连续十年被列入全球性重大风险事件的前三位^[19]。近年来打破传统认知的极端天气事件频繁发生，高温、干旱、暴雨等极端天气事件呈现趋多、趋频、趋强趋势^[20]。《2023年全球自然灾害评估报告》显示，2021年至2023年全球发生近3000次自然灾害，其中气象灾害占比最高达到60%以上。而中国自然灾害以洪涝、台风和地质灾害为主，干旱、风雹、低温冷冻和雪灾、地震、沙尘暴和森林草原火灾等也有不同程度发生。《中国气候变化蓝皮书（2024）》显示，中国平均年降水量呈增加趋势，气候变暖趋势仍在持续，极端天气事件也趋多趋重。数字技术可以通过大量的极端事件历史数据，分析并识别极端事件的异常模式与突发趋势。然而，极端天气事件的发生通常具有不确定性、不规律性和不可控性，基础设施无法应对当前极端事件^[21]。

2.2 基础设施负荷过重

基础设施的稳定和高效运行对于数字技术赋能城市基础设施韧性至关重要。传统市政基础设施多从节约用地的角度规划城市各种设施，在规划初期功能单一、冗余性不足，随着城市基础设施老化、损坏或维护不及时，导致其自身运行不稳定^[22]。智能传感器部署密度不足，形成“数字监测洼地”；数据异构性问题突出，各系统间数据互通率不高；老旧基础设施数字化改造困难，部分设备设施无法安装智能终端；数字化技术适配困难，智能传感器平均寿命低于基础设施设计寿命。基础设施负荷过重情境下，数字技术赋能的城市基础设施韧性存在显著的边际效益递减现象，当系统负荷超过设计容量时，数字技术投入产出比下降，加剧城市基础设施负荷。

2.3 数据整合困难与数据安全

城市基础设施工程涉及多个部门及重点领域，如何跨部门收集数据和共享以实现城市关键基础设施的实时监测、预警和处置，是一个重要问题。第一，城市基础设施的

建设和运营需要多部门的协同合作,各方的职责和权限四至不清,与之配套的管理模式和运行制度界限不明,会导致职责和数据重叠或缺失。第二,数字技术的应用可能会加剧社会不平等,先进的科技设备和技术往往需要大量的资金投入,一些经济发达地区有能力采用最新的科技手段进行基础设施韧性评估和建设,而经济落后地区则可能因缺乏资金而无法享受到这些科技带来的好处,这将导致不同地区之间基础设施韧性水平的差距进一步扩大,影响社会公平。

数字技术的应用使得城市基础设施运行数据的深度挖掘和分析成为可能,如何从海量数据中提取有价值的信息,发现潜在的安全隐患和风险点,仍然是一个技术难题^[23]。一方面,大数据分析虽然能够处理海量数据,由于传感器故障或数据传输问题,可能会导致数据缺失或不准确,影响分析结果的可靠性;部分基础设施的监测数据存在误差,尤其是一些老旧基础设施,监测设备落后或维护不及时,数据质量难以保证。另一方面,物联网技术的不同厂家生产的能源设备和传感器可能存在通信协议不兼容的问题,导致数据传输不畅,增加了数据处理的难度。

3 数字技术赋能城市基础设施韧性提升的机理

在数字技术加持下,现代城市基础设施管理模式从传统人工向智能化、数字化方向转型,形成“感知—分析—决策—执行”的全链条技术体系。感知层构成数据采集端,通过多源感知设备形成城市基础设施“神经末梢”;分析层构建“智慧中枢”,实现多部门数据融合;决策层实现“转型引擎”,从经验决策转向数据决策管理模式;执行层打造“智能终端”,实现精准化运维管理。该体系通过多层次技术融合,构建起城市基础设施韧性的智能管理系统,显著提高基础设施运维效率和城市治理水平。

3.1 感知层:城市运行的“神经末梢”

感知层是城市韧性机理的前沿。物联网基础设施的高质量建设是支撑传统行业数字化转型的坚实基础,可以实现物理世界与数字世界的深度融合^[24]。传感器技术是物联网感知层的关键构成要素,通过利用无线通信技术实时收集交通、能源、水务等各类基础设施的设备运行参数、能耗数据等信息,全方位达成基础设施运行状态的动态监测,为基础设施的预防性维护与安全评估提供科学依据。将遥感技术与地理信息系统深度融合,可以实现城市环境数据的时空可视化与动态分析,为城市基础设施韧性提升、资源合理利用以及可持续发展提供了重要的技术手段。

3.2 分析层:城市大脑的“智慧中枢”

分析层肩负着数据融合与知识挖掘的重任。大数据分析技术作为城市的神经感知网络,通过对多源异构数据的深度融合与挖掘,构建起基础设施运行状态的实时监测与预警体系。人工智能技术为城市大脑赋予“前瞻决策”的核心能力,借助深度学习、强化学习等前沿算法,从海量数据中提炼复杂规律,实现基础设施故障预测与灾害预警的智能化升

级。数字孪生技术通过创建与物理世界高度映射的虚拟镜像,为城市大脑打造全维度、可视化的“数字孪生体”,实现基础设施的数字化管理与仿真验证。依托智能技术风险评估,将原始数据转化为极具价值的信息,可以实现基础设施从“被动响应”到“主动预防”、从“事后维修”到“事前预警”的转变,为资源动态调配与基础设施维护提供数据驱动的决策依据。

3.3 决策层:管理模式的“转型引擎”

决策层是城市基础设施管理的核心中枢。专家系统是将城市基础设施管理领域的专家知识、历史案例及行业规范进行数字化整合的智能决策支持平台,提供基础设施维护和应急决策支持。机器学习技术凭借其强大的数据分析与模式识别能力,对城市交通、能源管理、水务调度等领域海量数据的深度挖掘,进而实现运行策略的动态调整与优化。可视化技术通过先进的图形处理技术,将复杂的城市基础设施运行数据转化为可视化图表与模型,直观展示分析结果。当城市基础设施运行出现异常状况时,基于对设备设施运行数据的分析,主动调整设备运行参数,并且借助虚拟仿真模型,可以辅助管理者快速做出更科学、更合理的决策。

3.4 执行层:精准运维的“智能终端”

执行层实现基础设施的精准化运维管理。在城市基础设施运维体系中,高危作业场景长期面临人员安全风险高、作业效率低等难题,机器人技术能够适应复杂环境,高效完成传统人工难以企及的工作任务。自动化控制技术作为推动城市基础设施智能化转型的核心力量,以传感器实时采集设备运行数据,以智能算法对数据进行分析处理,以执行机构完成自动化控制指令,以此实现对城市运行关键环节的精准调控。区块链技术则凭借去中心化、不可篡改、可追溯等特性,为数据安全与数据共享提供了革命性解决方案,同时助力多部门、多主体间实现数据的可信交互,有效提升协同管理效能。执行层将决策层的指令精准转化为实际行动,全方位实现基础设施运维管理的精准化与高效化,通过数字技术赋能有效提升基础设施韧性。

4 数字技术赋能城市基础设施韧性的提升策略

4.1 注重韧性工程顶层设计

4.1.1 明确发展目标和重点任务

城市基础设施作为复杂性系统工程,韧性提升需通过对某项任务或者某个项目的各方面、各层次、各要素统筹规划,实现资源整合与目标协同^[25]。明确数字技术赋能城市基础设施的各阶段发展目标、重点任务和相应的政策措施、资金保障机制,制定数字技术赋能城市基础设施韧性提升的长期发展规划,采用“基础能力建设—关键领域突破—全域智能协同”的发展模式,开展城市基础设施韧性评估。

4.1.2 建立健全相关法律法规和标准体系

加快推动城市基础设施领域数字化应用相关法律法规,明确数字技术应用的权责边界、安全义务和合规要求,统筹

数字技术应用的安全评估、风险防控和应急处置,覆盖城市基础设施关键领域。针对城市基础设施的不同类型,制定差异化的技术准入标准,明确数据采集的最小必要原则、共享交换的接口规范和存储销毁的技术要求。

4.1.3 引入可行性评估机制

可行性评估机制是韧性工程顶层设计的重要组成部分,其核心在于通过科学、系统的评估方法,确保数字技术赋能城市基础设施韧性提升的规划、建设和运营等各阶段具备技术可行性、经济合理性和社会可接受性。在基础设施韧性工程建设过程中,增强城市基础设施的抗灾能力,采用可持续的建筑材料与前沿数字技术,可以更好的减少气候变化对基础设施韧性的影响^[21]。

4.2 加强关键核心技术研发

4.2.1 加强传感器、芯片、算法等核心技术研发

推动数字技术赋能传统城市基础设施,依赖信息的充分流动与创新资源的有效配置。提升城市基础设施韧性需以核心技术自主可控为前提,加大对传感器、芯片、算法等核心技术的研发投入,持续提升自主创新能力。同时,推广具有高抗灾能力的城市基础设施数据采集设备,以突破实现极端环境下的数据采集与实时处理。

4.2.2 推动数字技术与城市基础设施领域深度融合

促进多种数字技术的综合运用,把握数字化、网络化、智能化方向,聚焦物联网、大数据、人工智能、区块链等技术融合,为城市基础设施的提升提供更完备、更智能化的解决方案^[26]。充分发挥数字技术的潜力,运用物联网技术实现设施的实时感知、实时监控,通过大数据分析提供决策辅助,借助人工智能实现智能预警和自动化管理,利用区块链技术保障数据的安全性和可信度。

4.2.3 创新应用场景

结合城市基础设施发展需求和民生痛点,在政务服务、公共卫生、防灾减灾救灾、城市体验等领域丰富应用场景,开展城市综合风险评估^[27]。数字技术赋能智慧交通、智慧水务、智慧能源等领域,利用数字技术优化能源系统运行,保障城市基础设施运行效率;在数字技术赋能城市基础设施监测预警、应急响应、维护管理等方面,利用数字技术构建城市基础设施监测预警体系,提升城市基础设施应急响应能力。

4.3 推进基础设施数据共享

4.3.1 打破数据孤岛实现数据互联互通

在保障数据安全的前提下,制定城市基础设施运行数据共享机制,完善城市基础设施大数据平台建设,整合城市基础设施运行各部门数据资源,破除“数据孤岛”,促进各有关部门间数据互联互通,提高信息交流、共享和应用水平^[28]。强化数据资源利用,增强城市基础设施对极端气候灾害、基础设施负荷过重的监测能力以及应急响应效率。

4.3.2 促进多模态数据融合

随着数字技术在多领域的广泛应用,为了使机器能从多模态的信息中综合提取信息,需要赋予机器理解、推理和学习的能力,因此需要将不同模态的信息进行融合,以获得更全面准确的分析和决策能力。多模态信息融合的目标是减少这些异质性的差距,使用不同模态信息共同完成相同的任务^[29]。

4.3.3 筑牢数据安全防护线

数字技术赋能城市基础设施韧性提升的过程中,数据安全与隐私保护是核心挑战。为确保海量感知数据的合法合规使用,需构建覆盖数据全生命周期的数据安全管理模式,有效发挥多元主体优势,提升安全智慧管理和风险预警的有效性,促进“公共理性”和“重叠共识”^[30]。明确数据分类分级标准,规定数据采集、存储、共享、销毁各环节的责任主体,确定数据的完备性;构建数据质量保障机制,涵盖数据验证、校验、纠错等方面,确保数据的准确性。

4.4 优化复合人才梯队建设

4.4.1 强化人才培养与引进体系

完善人才培养和引进机制,一方面加强跨学科人才培养,培育数字化思维和治理模式,建立数据定位、数据选择、数据分析、数据创新和数据决策的新理念,增加数据分析、人工智能、地理信息等学科知识的教学内容,打造既懂数字技术又熟悉城市基础设施的复合型人才队伍;另一方面加大对相关人才的引进力度,建立人才激励机制,激发人才的创新活力和积极性,吸引国内外优秀人才投身于基础设施韧性评估及建设工作。

4.4.2 深化产学研协同创新

鼓励高校、科研机构和企业开展产学研合作,协同研发适用于基础设施韧性评估的新技术、新方法和新设备,促进科技成果转化,以产学研融合赋能基础设施韧性评估工作发展。

5 结语

数字技术凭借其卓越的数据处理、智能分析与互联协同能力,已成为提升城市基础设施韧性的关键驱动力。面对自然灾害、公共事件、能源危机等各类突发风险,数字技术可借助实时监测、智能预警、动态调度等功能特性,增强城市基础设施的抵御、适应及快速恢复能力。

数字技术赋能城市基础设施韧性提升,是一项复杂的系统性工程。为确保数字技术赋能城市基础设施韧性提升的顺利实施,政策、技术、人才等多方面保障不可或缺。政策层面,需制定针对性的法规制度和标准规范,营造良好的发展环境;技术层面,应加大对关键核心技术的研发投入,突破数字技术瓶颈;人才层面,需优化人才培养体系,加强专业人才的引进与培育。只有形成政策引导、技术支撑、人才保障的强大合力,才能实现数字技术赋能城市基础设施韧性

提升的可持续发展。

未来应继续深入研究数字技术赋能城市基础设施韧性提升的机制与路径,系统剖析数字技术与城市基础设施韧性提升之间的内在逻辑和关键影响因素,明确技术应用对基础设施韧性的影响机理。同时,结合不同城市的特点与需求,探索适用于多样化场景的实施路径,为城市基础设施韧性建设提供科学指导。

参考文献:

- [1] 戴德胜,李香云,胡凯丽.城市体验视角下城市基础设施更新原则与策略研究[J].建筑经济,2024,45(6):37-43.
- [2] 李兰军,周衍锋.智慧城市数字化平台赋能城市精细化管理创新研究[J].中国建设信息化,2025(4):52-5.
- [3] 梁丽芝,司艳宁.数字技术创新背景下城市安全韧性的影响因素与路径提升——基于TOE理论框架[J].中国应急管理科学,2024(2):82-91.
- [4] 徐圆,邓胡艳.多样化、创新能力与城市经济韧性[J].经济学动态,2020(8):88-104.
- [5] 杨宁,刘钢,黄晨,等.面向生态文明建设的城市韧性基础设施研究知识图谱与趋势分析[J].资源与产业,2024,26(6):48-61.
- [6] 洪志方.城市韧性视角下绿色基础设施建设的理论框架与实现路径[J].建筑与文化,2025(1):79-81.
- [7] 梁媛媛.规划视角的城市安全韧性思考[J].城市建设理论研究(电子版),2024(10):22-4.
- [8] 吴志强,何睿,徐浩文,等.论新型基础设施建设的迭代规律[J].城市规划,2021,45(3):9-14.
- [9] 杨艳英.城市基础设施系统韧性提升研究[J].城市建筑空间,2024,31(S1):227-8.
- [10] 邵亦文,徐江.城市韧性:基于国际文献综述的概念解析[J].国际城市规划,2015,30(2):48-54.
- [11] 李亚,翟国方,顾福妹.城市基础设施韧性的定量评估方法研究综述[J].城市发展研究,2016,23(6):113-22.
- [12] 华智亚.韧性思维、韧性基础设施与城市运行安全[J].上海城市管理,2021,30(1):19-26.
- [13] 王丹,鄂凡.TOE拓展框架下城市基础设施韧性组态路径研究[J].中国安全生产科学技术,2025,21(2):208-16.
- [14] 孙向谦,陶振.治理现代化视域下建设韧性安全城市的理论逻辑与实践路径[J].上海城市管理,2025,34(2):2-11.
- [15] 陈逸珊.数字化城建对提升城市竞争力的作用分析[J].新城建科技,2024,33(9):76-8.
- [16] 李珊,湛泳.产业转型升级视角下智慧城市建设的碳减排效应研究[J].上海财经大学学报,2022,24(5):3-18+107.
- [17] 石大千,丁海,卫平,等.智慧城市建设能否降低环境污染[J].中国工业经济,2018(6):117-35.
- [18] 楚尔鸣,唐茜雅.智慧城市建设提升市域社会治理能力机制研究——来自中国智慧城市试点的准自然试验[J].中南大学学报(社会科学版),2022,28(4):139-50.
- [19] 樊良树.极端天气频发背景下城市韧性治理模式创新路径[J].国家治理,2024(1):73-6.
- [20] 高长胜,胡江.气候变化对我国水利基础设施安全影响及应对建议[J].中国水利,2024(24):60-7.
- [21] 陈晓红,张高南,张乘,等.数字技术赋能新型电力系统安全韧性提升的策略研究[J].中国工程科学,2025,27(1):168-79.
- [22] 陈智乾.韧性城市理念下的市政基础设施规划策略初探[J].城市与减灾,2021(6):36-42.
- [23] 梁正.数字双赋打通韧性城市建设“最后一公里”[J].人民论坛·学术前沿,2022(Z1):26-34.
- [24] 任保平,苗新宇.新发展阶段物联网赋能经济高质量发展的路径与支持体系研究[J].经济与管理评论,2022,38(3):14-24.
- [25] 邱瀚武.物联网应用工程顶层设计分析[J].中国宽带,2023,19(11):67-9.
- [26] 陈建兴,潘爽.数字基础设施赋能企业数字化——基于数字技术创新视角的考察[J].统计与决策,2024,40(21):173-8.
- [27] 王亚英,刘畅,詹玮璇,等.市政基础设施韧性评估及提升策略研究[J].城市与减灾,2024(6):33-9.
- [28] 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):60-9.
- [29] 张虎成,李雷孝,刘东江.多模态数据融合研究综述[J].计算机科学与探索,2024,18(10):2501-20.
- [30] 林宇航,叶勤,林怡.数据驱动模式下特大城市公共基础设施安全的智慧管理与风险预警框架构建——以上海市为例[J].北京测绘,2022,36(11):1576-81.

作者简介:李娜英(1998-),女,中国河南濮阳人,硕士,从事城市基础设施建设与管理研究。