DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.260212

水利市政与绿色繁荣社区协同治理路径研究

陈贻海
(上海勘测设计研究院有限公司,上海市 200335)

摘 要: 针对气候变暖导致极端降水频发,我国水利市政与社区面临脆弱性及“重减缓轻适应”困境。以 C40“绿色繁荣社区”框架为指引,结合国家流域治理与数字孪生水务政策,构建“减缓-适应-韧性”协同路径。路径涵盖海绵城市、能源工厂等业务创新,以及数字孪生预警平台、EOD 融资模式等技术与机制。案例表明,水-能-碳-社区协同规划显著提升径流控制率、碳减排与洪涝预警能力。研究建议将水务碳核算与社区韧性纳入城市碳中和规划,并加快制定技术导则与设立专项基金,推动系统从被动防御向主动适应转变。

关键词: 气候适应;协同治理;绿色繁荣社区;双碳目标;数字孪生;社区韧性
中图分类号: X32 **文献标志码:** A **文章编号:** 1009-7716(2026)09-0286-06

Research on Synergistic Governance Path of Water Conservancy, Municipal Affairs and Green Prosperous Communities

CHEN Yihai
(Shanghai Investigation, Design & Research Institute Co., Ltd., Shanghai 200335, China)

Abstract: In response to the frequent occurrence of extreme precipitation caused by global warming, the water conservancy, municipal and community sectors are confronted with vulnerability and the predicament of “emphasizing mitigation over adaptation” in China. Guided by the C40 “Green and Prosperous Community” framework and combined with the national policies for river basin governance and digital twin water management, a collaborative “mitigation - adaptation - resilience” path was constructed. The path includes the core innovations such as sponge cities and energy factories, as well as technologies and mechanisms including digital twin early warning platforms and the EOD financing model. The case shows that the integrated water-energy-carbon-community planning significantly enhances the runoff control rate, carbon reduction and flooding early warning capabilities. It is recommended to incorporate the water utility carbon accounting and community resilience into urban carbon neutrality planning, accelerate the formulation of technical guidelines, and establish special funds to promote the transformation of the system from passive defense to active adaptation.

Keywords: climate adaptation; collaborative governance; green and prosperous communities; dual-carbon goals; digital twin; community resilience

0 引 言

在全球气候变暖的大背景下,我国提出双碳目标并构建了“1+N”政策体系,但行业焦点过度集中于新能源替代、碳排放双控等气候减缓方向,忽视了水利市政领域及城市社区尺度的气候适应需求。2024 年,我国遭遇 41 次大范围降水过程,洪涝、干旱等灾害导致直接经济损失 2 681.7 亿元[1]。极端天气频发凸显城市排水、水资源调配系统及社区承灾体的脆弱性等重大短板。城市社区作为人居环境的基本单元,既是能源消耗和碳排放的重要来源,也是极端气候事件影响的前沿阵地。传统的城市发展模式往往将减缓与适应割裂,导致政策碎片化[2]。与此同时,我国城市韧性工作存在不足,例如社区层面缺乏系统的韧性能力评估体系、公众认知有限、行动计划可操作性较弱、部门工作孤立等[3]。因此,水利市政行业亟需与社区发展协同进行战略重构,将气候适应与社区韧性提升至与减缓同等地位,通过主动适应转型培育新增长点,在保障民生安全的同时实现行业与社区的可持续发展。

在社区层面,C40 城市气候领导联盟倡导的绿色繁荣社区理念,为破解行业“重减缓轻适应”困境提

收稿日期:2026-03-03
基金项目:上海勘测设计研究院有限公司科研项目(2022QT(83)-007)
作者简介:陈贻海(1985—),男,硕士,高级工程师,从事给排水设计工作。

供了系统性框架[4]。其核心是通过社区综合干预，同步实现深度减排、提升居民生活质量与增强气候适应能力。相关中国专篇[5]的发布标志着该理念本土化实践正式启动，也为水利市政行业与社区协同发展提供了明确的载体支撑。

在双碳目标气候治理框架中，韧性、社区韧性与绿色繁荣社区构成底层内核—落地场景—实践载体的递进统一体：韧性是应对气候变化的底层核心能力，也是本文主张气候适应与减缓同等重要的理论依据；社区韧性是韧性理念在城市最小人居单元的具象化落地，是气候适应战略的核心抓手；绿色繁荣社区以净零碳排放与以人为本的韧性发展为两大支柱，既是韧性落地的完整实践框架，更是本文研究水利市政与社区协同治理的核心载体。基于此，本文系统探究二者的协同治理路径，以期为水利市政行业转型与气候适应型社区建设提供理论与实践支撑。

1　研究思路与研究方法

1.1　研究思路

以双碳目标下减缓–适应–韧性协同发展为核心逻辑，聚焦水利市政行业转型与社区韧性提升的耦合关系，应对“重减缓轻适应”的行业发展困境，构建减缓–适应–韧性协同发展体系。研究遵循政策框架解析—协同矩阵构建—核心困境诊断—路径设计推演的逻辑脉络，旨在为水利市政行业绿色转型与气候适应型社区建设提供理论支撑与实践指引。

1.2　研究方法

1.2.1　政策文本与文献分析法

系统梳理《国家适应气候变化战略 2035》《加快构建碳排放双控制度体系工作方案》等国家级政策文件 20 余份，检索 Web of Science、CNKI 等数据库中气候适应、水利市政、社区韧性相关核心文献 100 余篇，厘清行业发展的政策导向与学术前沿，明确现有研究的不足及本文的创新切入点。

1.2.2　矩阵分析法

从目标导向、典型领域、技术突破、政策工具、系统关联 5 个维度，构建减缓–适应–韧性协同发展矩阵，厘清气候减缓与适应两类措施的协同路径与内在逻辑，回应二者叙事割裂的行业痛点。

1.2.3　案例实证与定量分析法

选取 4 个典型案例开展实证分析：

（1）郑州 7·20 特大暴雨灾害，分析排水系统设计标准滞后、社区应急能力不足等短板；

（2）陕西西咸新区沣西新城通过实施蓝–绿–灰融合建设，热岛效应下降约 1 ℃，实现了小雨不积水、大雨不内涝、热岛有缓解的目标；

（3）北京高安屯再生水厂，测算能源工厂转型的能源自给率；

（4）北京城市副中心气候适应型城市建设项目，展示防洪体系与韧性规划的系统集成成果。具体数据来源详见 1.3 节。

1.2.4　多尺度系统分析法

从流域–城市–社区三级尺度，分析水利市政系统与社区人居环境的耦合关系，识别不同尺度、不同部门间的系统割裂问题，构建全链条的协同治理体系。

1.3　数据来源说明

数据主要来源于 4 类渠道：

（1）官方统计数据：生态环境部、水利部等发布的年度统计报告与专项公报；

（2）学术文献数据：已公开发表的学术论文中的实测数据；

（3）政策与机构公开资料：政策文件及 C40 等国际国内组织公开的案例资料；

（4）项目技术评估报告：案例项目公开的技术评估报告及相关报道。

2　国家战略、行业机遇与社区转型框架

2.1　国家战略政策框架与社区导向顶层设计双轨推进

在气候减缓方面，以《加快构建碳排放双控制度体系工作方案》为核心构建强度与总量双控机制，驱动能源与工业领域低碳转型。同时，在气候适应方面，《国家适应气候变化战略 2035》确立 2035 年基本建成气候适应型社会的目标，并将城市人居环境列为重点适应领域。水利部配套发布《关于全面推进幸福河湖建设的意见》，将韧性水利设施纳入国土空间规划。该战略明确划分自然生态系统和经济社会系统 2 个维度，并将水资源、基础设施与重大工程、城市人居环境列为重点适应领域，为水利市政的适应行动及社区韧性建设提供了直接依据。国家水网建设保持高强度投入，仅 2025 年便完成水利建设投资 1.28 万亿元。此外，美丽海湾建设范围已扩大至 110 余个，标志着生态基础设施的规模化布局正在加速。

2.2　协同发展矩阵分析

基于前述气候减缓与适应双轨并行的顶层设

计，水利市政领域需打破流域–城市–社区的尺度壁垒，以低碳韧性设施一体化建设、数字孪生智慧管控平台搭建、碳汇湿地生态机制创新为核心路径，推动气候减缓与适应的深度协同；而这一协同目标的真正落地，核心在于向下扎根至社区这一最小人居治理单元。国际经验表明，将韧性嵌入城市总体规划，并落实到社区尺度的详细规划与治理中，作为最高级别的政策性文件来引导后续工作，是有效路径[6]。我国可借鉴此经验，在水利市政规划中深度融合韧性理念，并推动其在绿色繁荣社区建设中的具体应用。

为了方便阐释水利市政领域如何通过与社区发展深度融合，实现气候减缓、适应与韧性提升的协同，从目标导向、典型领域、技术突破、政策工具、系统关联等5个关键维度构建减缓–适应–韧性协同发展矩阵（见表1）。

表1　减缓-适应-韧性协同发展五维度矩阵

维度	减缓措施	适应措施	协同路径
目标导向	降低碳排放强度	提升系统与社区韧性	低碳韧性设施建设与社区一体化设计
典型领域	新能源替代、工业脱碳、社区建筑交通去碳化	海绵城市、生态河湖、社区可持续排水系统	光伏+湖库一体化项目、社区分布式光伏与微电网、蓝绿基础设施
技术突破	碳捕集利用与封存技术应用、社区智慧能源管理	智慧洪水预警系统、社区数字孪生	数字孪生流域管理平台融合社区智慧管理模型，实现水–能–碳协同仿真与调度
政策工具	碳市场交易、社区碳普惠	气候适应型城市与社区试点	碳汇型湿地银行机制、探索CCER方法学
系统关联	工业脱碳与社区用能需大量水资源	水资源调配与社区供水需依赖低碳电力	水–能–碳–社区协同规划与管理，提升多尺度系统韧性

该矩阵表明，实现碳中和与气候韧性目标需要打破减缓与适应的界限，并将水利市政系统与绿色繁荣社区的建设作为一个整体进行系统性谋划与创新。

3　存在的问题

3.1　“重减缓轻适应”叙事割裂与社区韧性缺失

当前气候投融资存在显著资源错配与标准滞后双重困境。一方面，资金分配严重失衡：据《中国应对气候变化的政策与行动2024年度报告》显示[7]，截至2023年末，投向具有直接和间接碳减排效益项目的贷款合计占绿色贷款的67.3%。与之形成对比的是，中央财经大学绿色金融国际研究院发布的《2024中国气候融资报告：适应投融资专篇》指出，我国大部分气候投融资仍主要用于减缓行动，适应融资占比较低，并援引世界资源研究所（WRI）的研究成果称，仅全面提高中国基础设施的气候适应能力，未来5年内年均资金缺口就将达近5 000亿元[8]。在此背景下，水利等气候适应项目获得的资金支持极为有限，面向社区的气候韧性改造资金则更为匮乏。这直接导致关键设施技术升级停滞和社区层面适应能力建设不足。另一方面，技术标准体系严重脱节，多数城市的暴雨强度公式修编滞后，其数据基础主要源于20世纪70—90年代的气象观测资料，未能充分纳入近几十年极端降水频率与强度增加的修正系数[9-11]；同时，社区层面的建设标准普遍缺乏强制性的气候韧性量化指标，致使基础设施与建成环境的抗灾能力严重不足。国务院灾害调查组发布《河南郑州“7·20”特大暴雨灾害调查报告》[12]指出，此次极端暴雨远超郑州市现有排涝能力和规划排涝标准。郑州市自然资源和规划局发布《关于发布郑州市设计暴雨强度公式及设计雨型的通知》[13]，明确宣布“郑州市2002版暴雨强度公式即日起废止”，并启用新修订的设计暴雨强度公式及设计雨型。新公式的修订工作明确考虑了包括“7·20”特大暴雨在内的近年极端降雨事件，以2021年“7·20”特大暴雨为样本进行雨量分配。这标志着郑州市在经历极端灾害后，对城市防洪排涝基础技术标准进行的重大调整。这两大问题相互叠加，不仅加剧水利市政系统脆弱性，更阻碍减缓–适应–韧性协同战略的落地实施。

3.2　传统业务萎缩、创新滞后与社区转型脱节

受“重减缓轻适应”的行业发展偏差影响，水利市政行业面临市场萎缩与技术短板的双重压力：一方面，传统业务增长空间显著收窄，常规污水处理工程年增速已低于行业平均水平，水土保持等业务利润率大幅下跌，市场需求呈现结构性下行；另一方面，关键技术自主供给严重不足，暴雨内涝模拟软件依赖进口平台，适用于社区尺度的精细化模拟与评估工具稀缺，且绿色低碳专利明显偏向减碳方向，气候适应相关技术占比偏低，核心技术供给与转型需求严重错配[14]。双重压力的底层根源是行业认知偏差：城镇水务系统兼具高间接碳排放与直接温室气体排放属性，长期被视为高能耗高排放行业，但其巨大的碳减排潜力未被充分挖掘，业内对其纳入碳中和目标仍存疑虑。这种认知偏差不仅加剧了市场与技术困境，更直接导致社区碳排放核算与减碳路径设计，始终与水务系统低碳优化相割裂。市场与技术的双重困境相互交织，既压缩了传统业务盈利空

间,更从根源上阻碍了行业与社区向气候适应与低碳协同方向转型。

3.3　系统性短板与社区单元脆弱性叠加

当前水利市政系统存在多维结构性短板。图 1 直观地勾勒了水利市政系统与社区在气候适应性方面存在的硬件、技术、管理以及资金四大核心短板及其内在关联。总结而言,上述四大维度短板相互关联、彼此强化,共同构成一个标准滞后—技术依赖—管理割裂—投入不足的恶性循环,显著放大了水利市政系统与社区在气候变化背景下的整体脆弱性。图中碳管理、社区协同等短板,更是揭示了在碳中和战略下,系统转型所面临的新挑战。

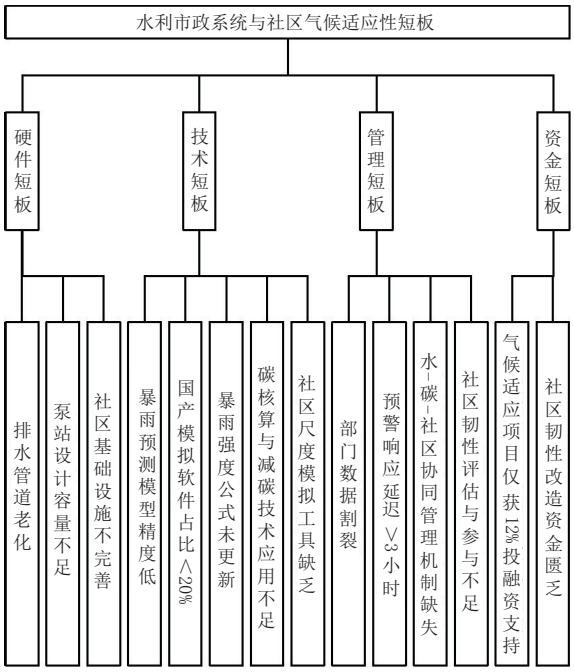


图 1　水利市政系统与社区气候适应性短板结构图

4　发展建议

4.1　从灰色基础设施向绿色繁荣社区延伸主业

主业延伸应聚焦气候韧性基建、水务低碳化转型与水–能–碳–社区协同,构建蓝–绿–灰基础设施交织,最终服务于韧性社区的体系。

4.1.1　气候韧性基建升级与社区空间融合

推进深度融合社区韧性的海绵城市升级版建设,通过蓝–绿–灰设施融合与微–小–大三级排水系统协同调控,因地制宜提升年径流总量控制率,配套建设河湖生态缓冲带,打通从市政主干设施到社区末端的雨洪管理链条。这不仅是应对洪涝,更是构建气候智慧型水管理系统的一部分,需系统评估气候风险,并将这些系统与社区内的社区公园、生态滞蓄塘、透水铺装等绿色基础设施进行有机衔接,形成连贯的雨洪管理链[15]。

以陕西西咸新区沣西新城为例,通过实施蓝–绿–灰融合建设,构建四级雨水收集利用体系。年径流总量控制率达 87%,成功消除 10 处积水易涝点,地下水位回升 3.43 m,热岛效应下降约 1 ℃,实现了小雨不积水、大雨不内涝、热岛有缓解的目标[16]。

4.1.2　水务系统低碳化、资源化与社区循环

推动污水处理厂向能源工厂与资源工厂双维度转型,实现水务低碳升级与社区循环发展的协同落地。在低碳减排与能源自给方面,应用厌氧氨氧化、好氧颗粒污泥等先进工艺削减温室气体直接排放;同时,通过厂区分布式光伏、污泥厌氧消化产沼发电、水源热泵等多能耦合手段降低间接碳排放,水务能源工厂转型标杆项目可实现能源自给乃至余电上网。在资源循环与社区赋能方面,推动再生水回用于社区绿化、道路冲洗等场景,并将回收的磷等资源服务于社区绿地养护,打通城镇污水处理厂和再生水厂至绿色繁荣社区的资源循环链条。同步将水务系统碳核算纳入城市碳管理体系,明确其减碳贡献,完善转型配套管理机制。

以北京高安屯再生水厂[17]为例,该厂处理规模 20 万 m^3/d,是能源工厂转型与水务–社区资源循环的典型实践。该厂集成厌氧氨氧化高效脱氮技术,实现节约能耗 30%、碳减排 50% 以上;配套沼气热电联产与分布式光伏,年发电总量近 5 000 万 kW·h,年自用电 4 000 万 kW·h,余电上网,实现电能 100% 自给和清洁化。同时,该厂年产高品质再生水 6 000 万 m^3,大部分用于工业用水、景观绿化及河道补水,另一部分通过市政再生水管网供给周边社区,年替代自来水约 1 500 万 m^3,显著提升极端干旱天气下社区的水资源保障能力。

4.1.3　水–能–碳协同拓展与社区赋能

依托水务系统构建水–能–碳协同体系,在城镇供水领域推广光伏提水系统,提高水务设施电力自给率,降低碳排放;将污水处理过程中的温室气体减排、污泥与社区有机废弃物协同处置等项目开发为合规碳资产,参与全国碳市场交易,同步挖掘城市河湖、湿地、社区绿地的蓝绿碳汇价值。推动协同体系向社区尺度拓展,支持社区布局分布式光伏、储能系统,并与市政水系统联动,构建社区水–能微网,在实现低碳减排的同时,提升社区能源自给率与极端场景下的应急保障能力,打通行业减碳与社区韧性提

升的协同链路。

4.2　智慧赋能与多尺度协同创新

技术创新需融合数字化、材料科学和生态工程，实现从流域到社区尺度的智慧赋能与多目标协同。为实现上述协同，需要在以下关键技术方向实现突破（见表2）。

表2　融合社区尺度的技术创新重点一览表

技术类别	突破方向	应用场景	减碳/适应效益	协同效益
智慧水利与数字孪生	流域洪涝智能预警平台，融合大数据、物联网、云计算；社区数字孪生模型	长江、黄河等流域城市群；绿色繁荣社区试点	预警提前，优化调度；社区能耗、水耗、风险可视化	实现水资源需求决策与优化调配，提升用水效率，间接促进行业减碳；支撑社区精细化管理与居民行为引导
低碳材料与工艺	透水混凝土、高性能防渗材料、低碳建材	市政道路、河道护坡；社区更新项目	减少排水能耗，增强耐久性；降低建筑隐含碳	降低全生命周期碳排放；提升社区建筑与基础设施的物理韧性
生态工程技术	生态护岸、人工湿地、社区雨水花园	海岸防护、河流修复；社区公共空间	降低波高，净化水质，增强生物多样性；源头削减径流	增强碳汇，提升生态系统韧性；直接改善社区微气候与生活环境品质
水-能协同技术	小水电群优化调度、水电与新能源协同；社区微电网与水务设施联动	水资源丰富地区；韧性社区	提供灵活电力，支撑新型电力系统，促进新能源消纳；保障社区关键负荷应急供电	助力电力系统低碳转型，实现水能互补；提升社区能源韧性
负碳与资源回收技术	污水处理过程N_2O控制、磷回收、碳捕集利用与封存；社区有机废弃物资源化	大型污水处理厂、工业废水处理；社区	直接减少强温室气体排放，回收资源；减少填埋场甲烷排放	贡献于工业领域深度脱碳；推动社区循环经济发展，降低市政处理压力

上述技术方向涵盖了智慧水利与数字孪生、低碳材料与工艺、生态工程技术、水-能协同技术、负碳与资源回收技术等领域，共同构成从流域到社区尺度的协同创新体系。

4.3　多阶段推进实施与多维风险管控

4.3.1　3阶段协同推进路径

基于前述水利市政与绿色繁荣社区协同发展的核心路径，结合国家双碳战略中长期规划，分3阶段稳步推进落地，形成试点突破—全面推广—深度融合的递进序列，实现与国家政策节点的精准衔接：

近期（3年内）着力试点突破与能力建设，聚焦海绵城市升级版建设、水务绿色低碳标杆厂、绿色繁荣社区协同示范项目建设，完成核心技术验证与基础工具开发，形成可复制的协同发展体系。目前，已涌现一批协同发展典型案例。以通州为例，北京城市副中心[18]于2025年获C40“地方气候领袖”奖，其构建的一堰、十河、三网、多点、六体系防洪防涝体系将防洪标准提升至百年一遇，海绵城市达标面积占比48.2%，在近年极端强降雨中未出现明显内涝；与全面建设之初相比，碳排放强度下降约20%，森林覆盖率提升至34.62%，夏季地表温度平均降低2～3 ℃，为超大城市新区协同治理提供了可复制的经验。

中期（至2035年）着力全面推广与体系构建，实现低碳韧性技术的规模化应用，完善水利碳汇与社区碳普惠市场机制，推动水利市政系统与社区建设的全面协同，基本建成气候适应型行业体系与社区韧性框架。

远期（2036—2060年）着力深度融合与智慧引领，建成全国联网的智慧水网，规模化应用深度脱碳颠覆性技术，实现全国社区全面升级为净零碳高韧性的绿色繁荣社区，最终达成水安全、社区宜居与碳中和目标的协同统一。

4.3.2　风险应对与保障机制

为保障前述3阶段协同路径落地，针对项目实施中的核心风险，构建多维度配套保障机制。

针对技术与管理风险，设立气候适应与低碳技术保险基金，搭建跨部门数据共享与应急指挥平台，将社区韧性评估纳入规划审批与社区治理流程，开展常态化演练与能力培训；

针对融资风险，推广水利+社区融合型生态环境导向的开发模式，用好碳减排支持工具、绿色债券等金融产品，创新社区韧性专项债券，将水利与社区协同项目打包纳入气候投融资试点项目库，破解资金瓶颈；

针对数据与市场风险，构建水利市政与社区碳排放核算数据库与标准体系，积极对接CCER市场，开发水利市政与社区碳汇项目方法学，打通碳资产市场化转化路径。

5　结　语

本文围绕双碳目标下水利市政与绿色繁荣社区协同治理这一核心命题，通过政策框架解析、协同矩阵构建、核心困境诊断与路径设计推演开展系统研究，形成3点核心结论：一是气候减缓与适应具有同等战略地位，“重减缓轻适应”的结构性偏差是加剧水利市政系统与社区气候脆弱性的核心根源；二是

社区是减缓与适应协同落地的核心载体，本文构建的减缓-适应-韧性五维度协同矩阵，为水利市政领域跨尺度协同治理提供了新的分析工具；三是主业延伸、技术创新、分阶段实施是行业转型的三大核心路径，可有效破解传统业务萎缩困境，拓展行业绿色发展空间。

基于上述结论，提炼 2 项重点政策启示：一是设立水利市政-社区协同气候适应专项基金，将适应项目与社区韧性改造作为优先支持方向，推动协同项目纳入气候投融资试点库，破解资金瓶颈；二是建立强制性社区韧性评估与跨部门协同机制，将韧性评估纳入新建社区及水利市政项目规划审批前置条件，构建流域-城市-社区三级联动的风险预警平台。

本文明确分阶段实施路径及前提条件：近期，前提是国家层面出台气候适应型水利市政设施技术导则和绿色繁荣社区韧性建设指南，完成首批国家级示范项目遴选与建设方案编制，形成可复制范式；中期，完善水利碳汇与社区碳普惠市场机制，实现核心技术规模化应用，在全国地级及以上城市全面推广；远期，建成全国联网智慧水网，实现全国社区全面升级为净零碳高韧性绿色繁荣社区。

本研究仍存在区域差异化路径研究不足的局限，未来将进一步完善协同效益定量评估模型，提升成果实践适配性。

参考文献：

[1] 中华人民共和国生态环境部. 中国适应气候变化进展报告[R]. 北京：中华人民共和国生态环境部，2024.

[2] 蔡竹君. 气候变化影响下城市韧性发展策略的国际经验研究[D]. 南京：南京工业大学，2018.

[3] 落基山研究所. 零碳园区建设路径与对策研究报告[R]. 北京：落基山研究所，2025.

[4] C40 城市气候领导联盟，奥雅纳. 绿色繁荣社区——以“15 分钟城市”为特征的迈向净零排放之路[R/OL].（2023-10-13）[2026-01-28]. https://gtn-caselibrary.org.cn/default/412.html.

[5] C40 城市气候领导联盟,住房和城乡建设部科技与产业化发展中心. 绿色繁荣社区（近/净零碳社区）建设指南之中国专篇[R/OL].（2023-09-28）[2026-01-28]. https://gtn-caselibrary. org. cn/default/225.html.

[6] 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）：113-122.

[7] 中华人民共和国生态环境部. 中国应对气候变化的政策与行动 2024 年度报告[R]. 北京：中华人民共和国生态环境部，2024.

[8] 中央财经大学绿色金融国际研究院 .2024 中国气候融资报告：适应投融资专篇[R/OL].（2025-08-01）[2026-04-02]. https://iigf.cufe.edu.cn/info/1014/10212.htm.

[9] 邵尧明，邵丹娜. 中国城市新一代暴雨强度公式[M]. 北京：中国建筑工业出版社，2014.

[10] 张宏伟. 气象与住建部门协同推进暴雨强度公式评估修订[EB/OL].（2025-12-30）[2026-04-03]. https://www. cma. gov. cn/2011xwzx/2011xqxxw/2011xqxyw/202512/t20251230_7517504.html.

[11] 刘俊，周宏，鲁春辉，等. 城市暴雨强度公式研究进展与述评[J]. 水科学进展，2018，29（6）：898-910.

[12] 国务院河南郑州“7·20”特大暴雨灾害调查组. 河南郑州“7·20”特大暴雨灾害调查报告[R/OL].（2022-01-21）[2026-04-03]. https://xxgk.mem.gov.cn/ezweb/ctrl/news/1825175337991507.

[13] 郑州市自然资源和规划局. 关于发布郑州市设计暴雨强度公式及设计雨型的通知[EB/OL].（2023-02-10）[2026-04-03]. https://zrzyhghj.zhengzhou.gov.cn/tzgg/6928586.jhtml.

[14] 国家知识产权局 .2024 绿色低碳专利统计分析报告[R/OL].（2024-07-29）[2026-04-03].https://www.cnipa.gov.cn/art/2024/7/29/art_88_193996.html.

[15] 刘智晓. 碳中和视角下城市可持续排水系统构建及评估指标体系[J]. 中国给水排水，2022，38（16）：1-15.

[16] 新浪陕西 . 西咸新区沣西新城海绵城市成效显著[EB/OL].（2021-09-23）[2026-04-03]. https://sx. sina. com. cn/city/csgz/2021-09-23/city-iktzqtyt7631419.shtml.

[17] 陈杭 . 北京打造首座电能自给再生水厂[EB/OL].（2023-09-22）[2026-04-03]. http://www. bj. chinanews. com/news/2023/0922/92114.html.

[18] 北京生态环境 . 北京城市副中心气候适应型城市建设项目 获 C40“地方气候领袖”奖[EB/OL].（2025-11-05）[2026-04-03].http://bj.news.cn/20251107/321719a1b0104bc1829ced63433a5ff0/c.html.