



中国环境与发展国际合作委员会专题政策研究报告

数字化与绿色技术促进可持续发展（2024）

数字绿色双转型与城市可持续发展

中国环境与发展国际合作委员会

2024年9月

专题政策研究项目组成员

中外组长*: 中方组长

- 龚克教授 世界工程组织联合会（WFEO）前任主席，中国新一代人工智能发展战略研究院执行院长

外方组长

- 德克·梅森纳教授 德国联邦环境署（UBA）署长
- 梁锦慧女士 世界经济论坛执行董事

协调员: 中方协调员

- 裴蕾 南开大学滨海开发研究院办公室主任

外方协调员

- Stephan Thurm 德国联邦环境署（UBA）国际事务主任
- 谢茜，世界经济论坛海洋行动议程中国项目负责人
- 何玲博士，德国环保署，研究员，废物处理技术和废物处理技术转移部门，国际关系部门

核心专家*: 中方专家

- 刘刚 教授，博士生导师，南开大学经济研究所所长，中国新一代人工智能发展战略研究院首席经济学家
- 邵超峰 南开大学环境科学与工程学院教授、博士生导师
- 代栓平 吉林大学经济学院教授、博士生导师，吉林大学中国国有经济研究中心研究员
- 王宇 内蒙古大学经济管理学院教授
- 刘典 复旦大学中国研究院副研究员
- 刘捷 中国新一代人工智能发展战略研究院讲师
- Nick Hajli 英国拉夫堡大学商业与经济学院教授，国际商务、战略与创新系主任
- Markus Taube 德国杜伊斯堡-埃森大学东亚研究所及高级研究院院长，德国鲁尔都市孔子学院外方院长、教授
- Mina Tajvidi 伦敦玛丽女王大学商业与管理学院副教授
- 罗纯 中国新一代人工智能发展战略研究院博士后

外方专家

- Felix Creutzig 教授 柏林工业大学土地利用，基础设施与交通工作小组负责人，可持续性经济学主席
- Keywan Riahi 教授, IIASA 项目主任兼首席研究学者
- 梁国勇博士 联合国资深经济学家
- Leila Niamir 博士, IIASA 变革性制度和社会解决方案研究小组研究学者
- Phillip Misselwitz 教授, 建筑师和城市规划师, 柏林工业大学建筑研究所前主任兼生活环境部门主席; 柏林 Urban Catalyst GmbH 合伙人。
- Alice Schröder, 德国联邦环境署（UBA）可持续发展空间和评价科科长
- Anna Eckenweber, Urbanizers 咨询公司顾问; 数字区域与城市发展专家
- Marie Neumüllers, Urbanizers 咨询公司创建合伙人, 社会和智慧城市发展专家

- Jan-Peter Glock, 德国联邦环境署（UBA），项目经理，政策顾问和移动性研究员
- Katja Becken, 德国联邦环境署（UBA），循环经济、建筑和生产专家
- Daniel Hausmann 气候、能源、环境与生物多样性领域 战略与业务发展经理（德国国际合作机构东亚）
- Josefine Hintz, 默卡托全球公域与气候变化研究所访问学者
- Tommaso Piseddu, 斯德哥尔摩环境研究所总部, 社会过渡部门研究员

支持专家：中方专家

- Chirantan Chatterjee 英国萨塞克斯大学科学政策研究中心创新经济学终身教授

外方专家

- Robert Wagner 博士, 人工智能和数字化专家，UBA 人工智能实验室负责人

项目管理团队：

中方团队

- 沈明喆 中国新一代人工智能发展战略研究院办公室主任
- 王冠一 南开大学国际组织任职服务办公室主任
- 景然 中国新一代人工智能发展战略研究院管理人员
- 张霖 中国新一代人工智能发展战略研究院管理人员
- 张涵音 中国新一代人工智能发展战略研究院管理人员
- 刘畅 中国新一代人工智能发展战略研究院管理人员

外方团队

- Jan-Hendrik Eisenbart 德国国际合作机构中德环境伙伴关系项目三期顾问
- 代敏 德国国际合作机构中德环境伙伴关系项目三期项目经理
- Niels Thevs 博士 德国国际合作机构中德环境伙伴关系项目三期项目主任

*本项目组长和成员以个人身份参与项目工作。本报告中所表达的观点和意见仅代表参与此项专题政策研究团队专家个人立场，不代表其所在组织和国合会的观点和意见。

执行摘要

一、研究意义

现代城市不仅是人类活动的主要场所，而且是经济和科技活动的空间载体，是经济和社会发展的引擎。随着城市化进程的加速，城市规模的扩张在带来经济繁荣的同时，也会产生包括环境污染和交通拥堵在内的诸多社会和生态问题。面对气候变化和频发自然灾害，如何通过数字和绿色技术的创新应用实现城市可持续发展，是未来城市转型和发展的方向。

在中国城市化的进程中，出现了北京、上海、深圳、重庆、广州、成都、天津、东莞、武汉和杭州等人口超过1000万的超大型城市。这种快速的城市化导致了对资源、能源和材料的消耗增加，并产生了负面的环境影响。城市的发展对于实现2030年可持续发展议程和可持续发展目标（SDGs）至关重要。目前，全球超过50%的人口生活在城市中。到2050年，全球将有68%的人口生活在城市及城市地区。如今，仅占陆地面积约3%的城市却产生了50%的垃圾，贡献了60-80%的温室气体排放，并消耗了75%的资源，其中仅建筑业就消耗了全球开采资源的40-50%。

2012年以来，中国政府始终把科技创新作为推动可持续发展的重要支撑和逻辑起点，协同推进经济高质量发展和生态环境高水平保护。近年来的实践表明，数字和绿色协同是实现城市可持续发展的基本途径。一方面，城市转型为数字和绿色技术发展提供应用场景；另一方面，数字和绿色技术创新及应用为城市发展提供了新动能。

在数字绿色转型促进城市可持续发展方面，中国已经取得了巨大成绩。尤其是在智慧城市建设方面，成果显著。2005年出台的数字城市管理政策，以及随后的2014年《关于促进智慧城市健康发展的指导意见》和2023年《数字中国建设整体布局规划》推动了中国的智慧城市的进程。目前，中国的智慧城市已覆盖全国各省、市、自治区。所有副省级城市、95%以上的地级市和50%以上的县级市都已正式规划建设智慧城市。这些措施发展了智能交通系统、减少拥堵和排放、提高了城市效率。

虽然中国在智慧城市发展方面取得了令人瞩目的成就，但城市的数字绿色协同发展从而实现向净零城市的转型还存在诸多问题。如缺乏系统思维，把城市发展的质量和速度对立起来，尤其是把绿色发展和经济增长对立起来，只讲绿色发展不讲经济增长；又如缺乏数字和绿色协同发展思路，过于强调数字化在城市发展中的作用，轻视甚至忽视绿色创新。因此，应坚持“以人为本”的发展理念，将“可持续的智慧城市”概念作为城市发展的主要范式。

二、研究重点

中国环境与发展国际合作委员会（CCICED）专题政策研究“数字绿色双转型与城市可持续发展”探讨了中国城市层面数字化与可持续性发展的整体融合。该研究旨在通过将尖端的数字技术与成熟的可持续实践相结合，为建设可持续的智慧城市提供战略见解和政策建议。

课题从复杂技术经济社会系统的视角，研究数字绿色双转型和城市可持续发展的理论框架和发展趋势。重点从理论层面解释在气候变化和第四次工业革命背景下，数字和绿色技术创新应用如何推进城市可持续发展的内在逻辑。

在理论研究的基础上，课题组先后调研了内蒙古鄂尔多斯光伏产业园、北京亦庄自动驾驶中心、维也纳智慧城市建设、赫尔辛基智能社区建设等项目，总结和概括全球重点城市数字绿色双转型推动可持续发展的前沿实践和经验。在理论分析和实证研究的基础上，通过全球城市比较，总结可借鉴的成功经验和存在的问题，探索可能的改进方向和值得复制推广的做法，为中国城市提供了有价值的基准和最佳实践，增强了城市创新发展的潜力。

基于联合国的定义，研究倡导对可持续的智慧城市的全面理解。可持续智慧城市利用信息和通信技术来改善城市运营、提高居民生活质量并确保城市经济、社会和环境的系统性、可持续性的协调发

展。研究探讨了数字和绿色双转型推动城市可持续发展的关键机制。重点研究如何通过政府、社区、企业、研究机构、居民等关键利益相关者协同的综合方式有效推进数字绿色技术创新应用，统筹经济、社会和生态的可持续协调发展。

报告具体阐述了数字化与可持续发展战略发挥作用的关键领域，包括利用数字化解决方案改进城市经济、能源系统和产业就业结构，促进公民参与，发展以人为本的、具有社会包容性的城市规划，设计紧凑、绿色、高效的公共交通系统，健全城市环境治理等方面，并关注性别、年龄等领域的政策。

在结论部分，报告为中国政府提供了一系列的政策建议，包括改善数据和人工智能治理、加强绿色能源和工业基础设施建设、促进可持续城市规划、推动社会包容、建立知识生产与共享机制及完善可持续智慧城市评价指标等。这些建议建立在“城市大脑”概念的基础上，利用数据优化城市管理，在中国城市发展绿色经济、向可持续智慧城市转型过程中发挥着关键作用。研究最终强调，数字绿色双转型不仅对中国未来的城市化至关重要，并且为全球实现城市可持续发展提供了模版。

三、关键政策建议

尽管取得了巨大成就，中国智慧城市和绿色城市的发展仍处于两条不同的轨道上。智慧城市建设需要吸纳可持续发展因素，提供智能和可持续的解决方案，推进关键技术的创新，促进数字化和绿色化转型的协同发展。本报告为推动中国可持续高质量发展提供了一系列关键的政策杠杆和可操作的政策建议，包括：1) 人工智能与数据治理；2) 绿色能源和工业基础设施；3) 智慧与可持续的城市规划；4) 社会参与和包容性；5) 知识生成和获取；6) 监测和学习。总体而言，这些具体的行动领域遵循了三个总体战略，我们将其定义为关键政策建议，包括：

1. 实施以人为本的“可持续智慧城市”战略

中国城市需将“可持续智慧城市”理念作为下一阶段智慧城市发展的主要范式。为此，政府应成立专门的可持续智慧城市委员会，并将可持续性理念全面融入智慧城市建设的各项工作之中，涵盖环境层面（如温室气体排放、数据中心能耗、环境污染、电子废弃物等）、社会层面（如性别平等、隐私保护、数字弱势群体等）以及治理层面（科学决策、公众参与、透明度等）。需要将可持续性因素纳入智慧城市建设的各个阶段和各个方面，例如数字能力建设投资、提供可持续解决方案和管理数据资源等。积极促进公民和组织的参与，加强社会网络和地方社区建设，确保智慧城市发展以人为中心。

2. 加快城市数字能力构建，提供可持续解决方案

可持续智慧城市的建设既要考虑数字能力的建设，也要考虑智慧和可持续解决方案的提供。城市数字能力包括信息与传播技术基础设施（硬件、软件）、信息与传播技术服务、城市人工智能系统（城市大脑、智慧城市管理中心）等方面；而智慧与可持续解决方案则包括数字孪生城市、智慧交通、智慧能源、智慧工业园区等一般应用场景，解决地方特色城市问题和痛点的特定应用场景，以及各类弱势群体的特殊需求。提升可持续解决方案的数字能力既需要技术赋能，也需要制度创新。

3. 推动数字和绿色创新融合关键技术的突破

数字和绿色创新在推动经济和社会转型和升级中发挥着至关重要的作用。将人工智能等数字技术与绿色技术相结合，是实现中国城市可持续发展的关键。应通过更有效地利用资源、快速的流程规划以及基础设施的战略性使用以加强城市空间的弹性。进一步完善国家和部门创新体系，开发和部署促进数字-绿色创新相融合的关键技术。

具体的行动领域包括：

人工智能与数据治理：以人为本的战略对于数字化转型至关重要。城市需要优先重视人工智能和数据治理的伦理使用，确保算法处于人类控制之下，具有透明度，并符合公众利益。需要改进数据管理系统，并减轻数字化带来的环境和社会风险。

绿色能源与工业基础设施：城市需要将金融投资引向绿色技术和数字服务，以促进可持续的城市经济发展，治理政策还需要支持技术和基础设施的发展。

智慧与可持续城市规划：城市需要利用人工智能和大数据的“城市大脑”技术来模拟和预测城市规划决策对环境的影响。人工智能有助于优化交通、建筑和气候适应，引导可持续的城市发展并减少环境破坏。环境可持续城市的设计需要使用智能化技术，以实现未来城市发展愿景。

社会参与和包容性：提供绿色和数字技术培训计划，使公民了解可持续性与生活质量之间的关系，以及理解和评判算法系统所需的技能。需要制定强有力且切实可行的治理政策来激励变革。对于老年人、儿童和低收入者等弱势群体，政府需要提供培训，帮助他们使用数字城市服务。此外，还需要在技术发展的各个阶段融入性别平等因素。

知识生成与获取：城市需要创建数据门户，让公众能够访问与可持续性相关的指标。增强透明度，鼓励公众参与可持续性工作，支持基于实证的气候行动，并使数据使用方法更简易。需要通过不同的激励措施来支持可持续发展领域的社会创新，重视循环经济发展和可持续商业模式的开发。

监测与学习：需要制定并采用具有城市特色的指标体系来衡量数字和绿色发展的进程。这些指标应有助于制定长期愿景、跟踪绩效并调整战略以实现持续改进。城市还应寻求不同监测系统之间的协同效应，以确定有效的可持续性指标。

目 录

导言	1
第一章 可持续城市未来的数字能力	3
一、数字时代的城市是技术-经济-社会的复杂系统	3
1. 城市发展的动因和边界	3
2. 数字能力和城市增长边界的扩张	4
3. 城市大脑	4
二、实现城市可持续性的途径	5
1. 未来城市的愿景	5
2. 紧凑型城市作为可持续性的焦点	5
3. 新欧洲包豪斯作为可持续城市发展的综合途径	5
三、数字化与可持续性的联系：协同作用与风险	6
1. 数字化促进城市可持续发展的潜力	6
2. 数字化和人工智能的能源需求	6
3. 人工智能部署的系统性风险	6
4. 人工智能既是技术领域的推动力，也是解决方案	7
5. 性别数据差距与偏见	7
第二章 双转型和经济可持续发展	8
一、通过技术创新实现可持续经济增长	8
1. 可再生能源和数字化能源系统	8
2. 需求方措施在建筑和交通领域	8
二、双转型与产业结构调整	11
1. 经济结构调整	11
2. 就业结构	11
三、数字解决方案对共享和循环经济的推动力	12
第三章 双转型与社会可持续发展	13
一、道德因素	13
二、政府服务数字化	13
1. 政府结构和关键利益相关者	14
2. 数字化和包容性策略	15
3. 政府服务的数字化未来	15
三、绿色转型背景下数字化对城市社会规划的影响	16

1. 城市数字孪生作为加强地方社区参与的工具	16
2. 地方社区参与绿色智慧城市设计	17
四、交叉性：妇女、移徙工人和老年人	17
1. 妇女	18
2. 移徙工人	18
3. 老年人口	19
4. 多元共融规划与数字工具的价值	19
第四章 双转型与环境可持续发展	21
一、面向未来城市的城市与环境综合规划和发展	21
二、以数字创新再造城市环境保护与发展	23
1. 数字化创新与城市环境治理	23
2. 在可持续环境发展中应用大数据分析和人工智能	24
三、人人享有可持续的城市交通	25
四、城市发展中的碳减排、资源效率和零污染	26
五、绿蓝城市促进气候适应、生物多样性保护和人类福祉	27
1. 城市地区生物系统的质量和稳定性	28
2. 基于生物多样性的城市公园建设与管理	28
第五章 政策建议	30
一、行动领域之一：人工智能和数据治理	30
1. 以人为本，以市场获得感为出发点，推动人工智能应用和数据治理	30
2. 控制算法，确保其服务于公共利益，并遵循道德和透明的使用原则	30
3. 改进数据治理，优化数据资源	30
4. 降低环境和社会风险	31
二、行动领域之二：绿色能源和工业基础设施	31
1. 针对城市经济绿色和可持续转型的目标，调整金融结构和资金流向	31
2. 制定促进技术和基础设施发展的政策措施	31
三、行动领域之三：智慧的、可持续的城市规划	31
1. 遵循未来城市愿景，设计环境可持续的智慧城市	31
四、行动领域之四：社会参与和包容	32
1. 防止不平等现象加剧，促进社会公平规划	32
2. 构建高效有力的治理体系，以激励变革	32
五、行动领域之五：知识生成和获取	32
1. 生成并提供与城市可持续发展相关的数据	32

2. 支持技术应用的社会创新	32
六、行动领域之六：监测和学习	33
1. 制定针对具体城市的指标，综合监测数字化和可持续转型	33
2. 改进现有的评估指标体系	33
七、总体战略	33
1. 实施以人为本的“可持续智慧城市”战略	33
2. 加快城市数字能力构建，提供可持续解决方案	33
3. 推动数字和绿色创新融合关键技术的突破	33
参考文献	35
附件	45
附件一：人工智能推动鄂尔多斯市能源绿色化转型	45
附件二：武汉智能网联汽车产业生态	50
附件三：德国鲁尔区的数字-绿色双转型与可持续发展	53
附件四：奥地利维也纳的数字-绿色双转型与可持续发展	55
附件五：芬兰赫尔辛基的数字-绿色双转型与可持续发展	57
附件六：人工智能在废物管理中的作用	59
附件七：欧洲和中国智慧城市指标	61
附件八：监测城市在实现社会可持续发展方面的基准和关键绩效指标	62
附件九：“人工智能+”探索北京亦庄生态环境治理的“数智”模式	63

导言

本研究旨在深入探讨如何在中国城市层面全面整合数字化和绿色转型。为创建可持续发展的智慧城市，我们建议将久经考验的可持续发展能力与具有创新性和前瞻性的数字设备相结合。通过理论和实证研究，本报告为中国政府促进数字化和绿色转型的协调发展提供政策建议，从而更有效地推动可持续发展。实证研究既包括对国内外具体城市的案例研究，也包括对全球城市数字化绿色双转型前沿实践的探索。这些全球层面的研究为中国城市提供了有益的标杆和对最佳实践的借鉴。

城市对于实现 2030 年可持续发展议程和可持续发展目标（SDGs）至关重要。目前，全球超过 50% 的人口居住在城市。到 2050 年，68% 的全球人口将生活在城市和城区[1]。如果使用钢材和水泥等传统材料，新基础设施的建设将消耗大部分 CO₂ 预算（1.5° C 情景）。近几十年来，建筑业已占全球能源需求的 34% 左右，占能源和工艺相关的二氧化碳排放量的 37%，成为最大的排放者[2][3]。

如今，城市仅占陆地面积的 3%，却产生了 50% 的废物，排放了 60-80% 的温室气体，消耗了 75% 的资源[4]，仅建筑业就消耗了全球开采资源的 40-50%[5][6]。2022 年，中国的城市化率达到 65.22%，到 2050 年可能上升到 71.2%。在城市化进程中，中国出现了人口超过 1000 万的特大城市，包括上海、北京、深圳、重庆、广州、成都、天津、东莞、武汉和杭州。

以数字化城市管理试点为标志，我国智慧城市建设实践始于 2005 年。2014 年，国家发改委《关于促进智慧城市健康发展的指导意见》出台，并于同年下半年建立了相关的部际协调机制。自此，智慧城市建设成为中国国家层面的官方政策。2016 年，国家发改委会同国家网信办、国家标准化管理委员会制定了《新型智慧城市评价指标》，随后多次更新。2023 年，中国政府印发了《数字中国建设总体布局规划》，这意味着智慧城市建设进入了一个新的、更加重要的阶段。

过去二十年来，中国对智慧城市进行了战略性投资，从密集的城市传感器网络到基于云的人工智能计算，再到智能应用，从而提高了汽车运输效率，减少了交通拥堵。然而，尽管中国的智慧城市能力令人印象深刻，中国也秉持人与自然和谐共生的理念，将二氧化碳减排、污染控制、生物多样性保护放在首位，寻求绿色发展，但城市仍然是中国二氧化碳排放和空气污染的主要来源。

在此背景下，数字技术与可持续发展能力的融合（也称为“双重转型”）显然尚未在中国实施，而且正如我们在下文中将论证的那样，实现净零排放城市的转型将从根本上取决于迈向可持续的智能城市的双重转型的战略实施。

因此，我们建议探讨如何调动数字技术来应对城市中的全球性挑战。具体来说，我们建议研究以下一系列问题：1) 如何引导数字基础设施实现可持续性；2) 如何提高数字能力以提供有效的可持续解决方案；3) 哪些指标有助于监测进展情况；以及 4) 如何管理与数字化相关的风险？

我们建议在中国智慧城市的规划和发展中将可持续发展的智慧城市的整体理解纳入主流。根据联合国的定义，可持续的智慧城市是“利用信息通信技术和其他手段提高生活质量、城市运行和服务效率以及竞争力，同时确保满足当代人和子孙后代在经济、社会、环境和文化方面需求的创新型城市”[7]。

如图 1 所示，本研究的主体部分将阐述在城市发展的重要领域整合可持续发展和数字化的最重要战略。本报告的第一章旨在讨论中国城市的发展现状，以及在数字化和气候变化时代城市所经历的根本性变化。第二章探讨了通过数字化手段实现城市经济、能源系统和产业的可持续转型。第 3 章讨论了公民参与、以人为本的城市规划以及对社会包容和性别偏见的考虑，第 4 章涉及紧凑型 and 绿色城市的设计、公共交通和环境治理。在整个研究中，简短的案例研究展示了数字和可持续最佳实践的实际应用。

报告最后在第 5 章中提出了一系列关键政策杠杆和可操作的政策建议，为实施可持续的智能城市铺平道路。这些杠杆点提供了以下方面的指导：1) 人工智能和数据治理；2) 绿色能源和工业基础设施；3) 智慧的、可持续的城市规划；4) 社会参与和包容；5) 知识生成和获取；6) 监测和学习。

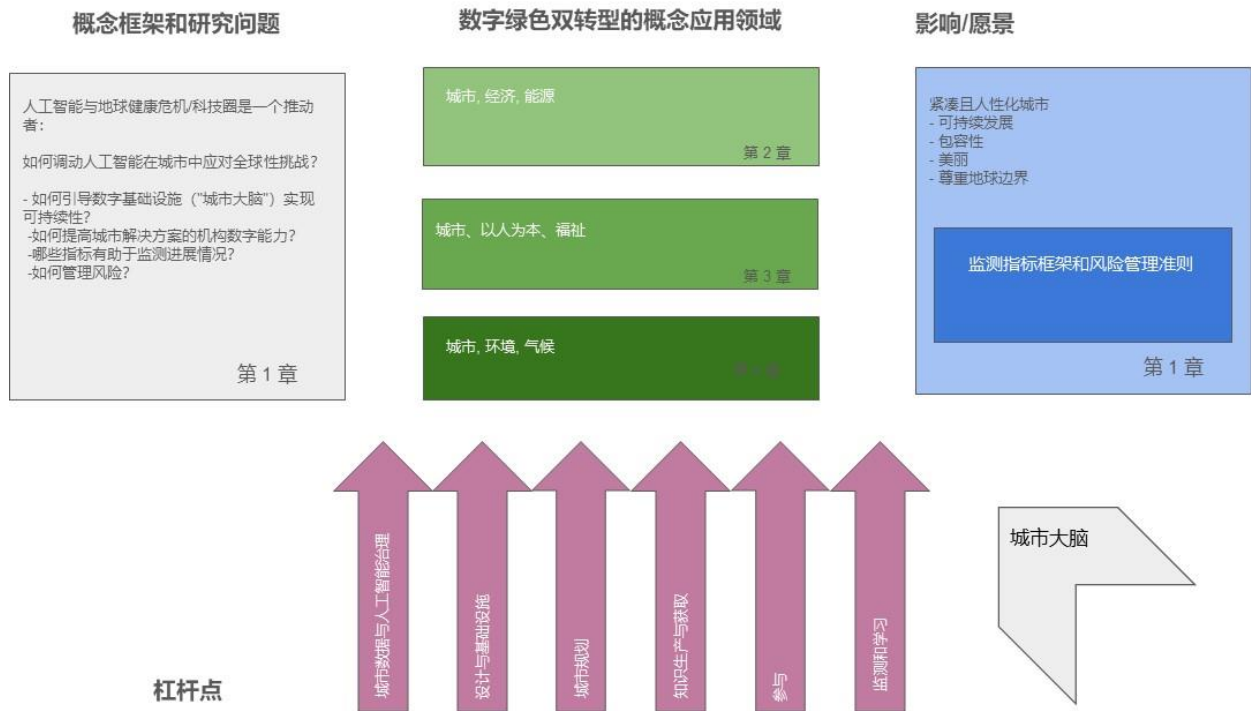


图 1. 数字绿色双转型与城市可持续发展：概念和分析框架

第一章 可持续城市未来的数字能力

面对气候危机、经济动荡和社会紧张局势，城市发展正面临日益严峻的挑战。与此同时，数字化为提升城市治理能力和拓展城市发展边界提供了前所未有的机遇。第一章建立了 SPS 研究的概念框架，内容组织如下：第一节讨论了城市发展的驱动力和边界，并介绍了“城市大脑”的概念；第二节阐述了城市所拥有的主要可持续发展能力；第三节则探讨了城市数字化带来的重要潜力和风险。

一、数字时代的城市是技术-经济-社会的复杂系统

城市是包含技术、经济、政治、社会、文化和生态诸多子系统的巨复杂系统。作为城市环境因素的基础设施和生态环境承载能力，是城市发展的限制因素。而技术系统和经济系统互动过程中产生的科技创新和产业变革能力，则是突破城市成长边界的关键。进入 21 世纪，全球科技创新越来越聚焦于人工智能，正在形成人智协同的科技创新范式和生产方式，为构筑数字能力实现城市经济、社会和生态的统筹协调发展创造了条件。

1. 城市发展的动因和边界

工业革命之前，城市规模有限且发展速度缓慢。工业革命以来，科技创新驱动的经济活动和人口在地理空间的集聚，是城市的根本动因。爱德华·格莱泽认为，城市发展的奥秘在于经济活动主体密度的增加带来的交易增长和效率提升[8]。人口和经济活动的空间集聚促进财富创造的机制包括共享、匹配和学习[9]。共享主要是指城市交通等公共基础设施的分享。匹配是供给和需求的对应，尤其是人与工作的匹配。学习则是指因集聚而带来的正式和非正式信息和知识流动，是科技创新的基础。城市，尤其是超大规模城市创造了超过 80% 以上的人类财富和几乎全部科技创新成果[10]。

作为人口和经济活动集聚的空间载体，城市是具有多重属性和功能的复杂网络。其中，包括交通在内的基础设施网络是城市发展的物质基础，决定了城市人口和企业聚集的规模和效率。同时，城市财富创造能力还取决于包括正式和非正式制度、教育水平、人才数量和质量在内的诸多关键因素。

城市人口和经济活动的集聚在带来财富增长的同时，带来了新的问题和挑战。例如，犯罪率上升，疾病传播，交通拥堵和环境污染。聚集的外部消极效应推动人口和经济活动从城市中心向郊区的迁移，成为城市扩张的限制。同时，随着气候变化和生态危机的出现，城市发展面临更加严峻的挑战。

从经济学视角看，如果人口和经济活动集聚是城市发展的根本驱动力量，那么城市增长停滞的条件是集聚的边际收益等于边际成本。从这个基本条件出发，可以发现影响城市边界扩张的因素包括：

第一，基础设施建设的限制。一方面基础设施建设需要大规模资金投入，另一方面在特定的城市空间范围内，城市基础设施建设不可能是无止境的。

第二，生态和环境承载能力。

第三，科技创新。从城市发展历史看，科技创新是城市发展的永恒动力。科技创新带来的基础设施改善和环境承载能力提升，在促进了人口和经济活动的进一步集聚的同时，能够带来经济效率的持续提升。

在三类因素中，假设生态和环境承载能力是一定的，基础设施和科技创新是决定城市规模扩张的基本因素。在既定技术条件下，基础设施投资和建设属于亚线性增长，对人口和经济活动集聚的影响是报酬递减的。与之相反，科技创新则属于超线性增长，对人口和经济活动集聚的影响是报酬递增的。

科技创新对城市边界扩张的报酬递增效应表现在三个方面：一是创造新基础设施投资机会，降低和提高现有基础设施建设的成本和效率；二是提高经济活动的效率，包括生产效率和交易效率；三是改善和提高生态和环境承载能力。例如，绿色能源的使用和共享经济的发展。

2. 数字能力和城市增长边界的扩张

一般而言，对城市发展产生重大影响的技术体系变革属于通用目的技术创新。通过在城市各个层次网络的创新应用，通用目的技术不仅能够促进生产效率的提升，而且能够对社会和生态发展带来影响。

人工智能是第四次工业革命的核心引擎，将对城市发展带来深刻影响。作为通用目的技术，人工智能属于技术体系变革。首先，作为人类脑力的替代，人工智能是包括智能芯片、计算架构、机器学习平台和关键硬件在内的巨复杂技术体系；其次，人工智能属于基于网络空间发展的数据智能。人工智能能够通过网络空间的数据和算法优化和控制物理和社会空间，实现城市资源配置方式变革；第三，人工智能能够引发经济社会结构变革。人工智能的广泛应用不仅能够变革现有产业结构，而且能够带来创新范式、生产和生活方式变革，是经济社会结构性变革的关键推动力量；第四，人工智能能够提升生态和环境承载能力。到目前为止，人工智能已经被广泛应用于包括智慧交通和水污染治理在内的生态环境改善和保护领域。

基于网络空间发展的人工智能通过推动城市数字化转型过程中数字能力的构筑，对城市发展带来深刻影响。主要表现在如下方面：

第一，随着人工智能的创新应用，城市发展将不再完全依赖物理空间基础设施，而是更加依赖网络空间基础设施。同时，人工智能对物理空间基础设施的改造会进一步提高现有基础设施的运行效率。

网络空间是新的资源配置方式。在理论上，交易活动在网络空间的聚集是无限的。网络空间打破了斯密定理的物理空间界限，市场不再由物理空间定义，而是由网络空间定义。网络空间交易活动的发展可以在更大范围上促进劳动分工和专业化的深化和发展。

人工智能能够促进交通和物流效率的提升。尤其是通过共享交通工具的方式，能够使公共基础设施支撑能力快速扩张。

人工智能+能够带来产业结构变革，尤其是能够消除“鲍莫尔病”的限制，促进第三产业生产效率的提升。经济增长和财富创造对地理空间人口集聚的依赖程度在降低；

人工智能促进科技创新范式的变革。近年来，AI for Science 的兴起和应用，极大地化解了科学研究中的数据维数灾难，极大地推进了自然和社会科学的发展。

人工智能促进了城市经济、社会和生态的统筹协调发展。到目前为止，人工智能不仅带来经济效率提升，而且帮助“社会痛点”问题的化解和促进生态环境的保护。

人工智能的创新应用能够提高城市韧性和对环境的适应能力。尤其是在面对极端天气变化频繁发生的背景下，更强和更灵感的城市感知和决策系统使城市能够敏捷地对包括自然灾害和流行疾病做出反应。

人工智能推动的城市数字化是数字能力的构筑过程。对城市而言，数字能力是指运用数字技术解决城市经济、社会和生态协调发展问题的能力的。数字能力是通用性的，既能够解决经济效率提升问题，又能够化解社会和生态发展问题。从近年来中国智慧城市发展的实践前沿看，城市大脑是构筑城市数字能力的基石和载体。

3. 城市大脑

面对日益严峻的城市交通问题，2016年4月，中国科学家王坚首次提出了城市大脑概念。在他看来，“城市大脑”是基于网络空间发展的融合数据和算力的城市数字基础设施[11]。网络空间的发展能够打破原有条块分割，通过把数据资源运用于城市运营，实现从局部优化到整体优化的转型，进而统筹经济、社会和生态协调发展。

城市大脑是基于网络空间技术体系发展而形成的新的城市资源配置方式和机制。作为一个巨复杂系统，城市各个子系统的局部最优的结果有可能导致城市系统的整体崩溃。城市大脑通过大数据关联和算法实现城市的整体优化和效率提升。

城市大脑由物联网、大数据、人工智能、云计算、边缘计算、5G、信息物理系统和数字孪生在内的相互嵌套技术构成的复杂技术体系。由人工智能技术体系所形成的智能属于类脑智能。人类的智慧和机器智能的协同，是城市大脑和智慧城市发展的根本驱动力量。在人工智能技术支撑下，城市构建感知神经系统、决策系统和推行系统，从整体最优的视角为人类的决策行为提供支持和帮助。

同时，城市大脑是基于网络空间的资源配置方式，通过网络空间、物理空间和社会空间互动，优化和控制物理空间和社会空间经济和社会活动，实现资源整体优化配置。作为一个巨复杂系统，城市系统包括交通、经济、社会和生态诸多子系统。城市大脑能够从整体上超越各个子系统进行资源优化配置，为城市的发展提供持续动力。

2016年以来，包括北京市、深圳市、上海市、杭州市、广州市、重庆市、成都市、青岛市、天津市、南京市、郑州市、武汉市、西安市和济南市在内的中国城市纷纷提出适合自身城市发展的城市大脑计划。尽管城市大脑计划由政府推动，但是技术创新则是由企业主导。在中国，包括华为、阿里云、中国移动和中国联通在内的人工智能企业是城市大脑建设的创新主体。以华为为代表的头部科技企业是基础软硬件技术体系和产业创新生态的主导者，推动垂直领域软硬件技术体系的发展和应用领域的扩展。头部科技企业主导的城市大脑产业创新生态不仅包括头部科技企业，而且包括大学、科研院所、新创企业和传统产业企业。头部科技企业主导的中国城市大脑企业集群结构通过基础和垂直软硬件技术体系的开发和应用，推动城市大脑在各个领域的应用。从中国城市大脑企业赋能的领域看，广泛涉及包括城市治理、智慧交通、智慧政务、新型基础设施、智慧安防、智慧能源、智慧社区、智慧园区、智慧校园、智慧建筑、智慧水务、智慧环保、智慧气象在内的诸多领域。

城市大脑计划的建设，中国城市的数字化转型过程中积累起包括基础和垂直领域软硬件技术体系在内的数字技术和能力。其中，头部科技企业和人工智能中小企业的协同构成的企业集群是数字技术和能力的搭建者。数字能力的积累不仅支撑城市经济、社会和生态的统筹和协调发展，而且为城市的人口和经济的持续集聚创新了条件。更加值得关注的是，在人工智能支撑下，新的网络空间产业体系在资源配置上打破传统的地理空间限制，正在构建新的城市与城市和城市与乡村关系。城市大脑的建设是塑造城市未来的关键变量。

二、实现城市可持续性的途径

城市可以通过多种方式发展关键能力，以提高其可持续性，从而提高市民的整体生活质量。在此，我们将介绍三个核心概念，即未来城市的愿景、作为可持续发展焦点的紧凑型城市以及作为综合性可持续城市发展途径的新欧洲包豪斯。

1. 未来城市的愿景

德国环境署的出版物《明日城市》为未来的城市生活提供了一个愿景，重点是创建可持续发展、宜居和高效的城市，强调城市发展需要一种平衡环境、社会和经济因素的综合方法。该计划提出了十项协调措施，以建设拥有紧凑型住宅和多功能区、无障碍绿地、环保交通和低噪音水平的城市（见第四章第一节）。

2. 紧凑型城市作为可持续性的焦点

紧凑型城市是可持续城市发展的一个重要范例，具有多重优势。在紧凑型城市中，距离很短，结构紧凑，四通八达的城市无需汽车即可到达，对汽车的依赖降至最低，这为环境的可持续发展、公共卫生和社会公平提供了巨大优势。在紧凑型城市中，保持较短的距离可确保步行或骑自行车即可到达基本服务和目的地。这就减少了长时间通勤的需要，降低了交通排放，并促进了体育锻炼。此外，优化建筑设计以提高能效有助于大幅降低能耗，从而减少温室气体排放和运营成本。鼓励人们从使用汽车转向步行和骑自行车，可大幅减少城市空气污染，缓解交通拥堵，并通过增加体育锻炼来改善公众健康（见第四章第一节）。

3. 新欧洲包豪斯作为可持续城市发展的综合途径

新欧洲包豪斯（NEB）是一种以过程为导向的未来城市生活愿景，并坚持以人为本的变革理论。新欧洲包豪斯由欧盟委员会主席冯德莱恩在其 2020 年国情咨文中提出，旨在将文化和创意融入欧洲绿色交易。冯德莱恩将其描述为“塑造我们希望生活的世界”（2020 年）的一种方式，而不是被动地让未经审查的社会和技术发展来塑造这个世界。

该倡议的重点是设想和实现环境可持续、包容和美丽的城市未来。它提倡将变革作为一个民主、共同创造的过程，鼓励在各种规模上采用自下而上的方法，从设计可持续家具到重建社会弱势社区。

这种方法利用了大量的社会和技术创新，同时强调可持续性、包容性和美感是未来城市生活的核心参数。然而，城市建筑、交通和蓝绿基础设施创新的实施取决于当地的有利条件，而这些条件在很大程度上受到地方和国家治理的影响[12]。

“新包豪斯地球”（Neues Bauhaus Erde）计划旨在解决建筑行业急需革新的问题，因为建筑行业是全球二氧化碳排放的主要来源。“新包豪斯地球”"的主要内容包括可持续建筑：地球新包豪斯提倡使用木材和竹子等有机和可再生建筑材料，而不是混凝土和钢材等传统材料。这种转变可以大大减少建筑物的碳足迹，并形成一个新的巨大的二氧化碳汇。

三、数字化与可持续性的联系：协同作用与风险

为了扩大可持续发展能力在城市发展中的潜力，我们建议将其与数字技术相结合，例如上文介绍的人工智能驱动的城市大脑。虽然整合将为城市可持续性带来改善，但城市数字化本身也带来了风险，值得进一步阐述。

1. 数字化促进城市可持续发展的潜力

数字化和绿色化协同是生态文明战略的内在要求，强调运用数字化技术实现绿色化，通过绿色化带动和引领数字化发展，进而实现可持续发展。同时，从工业发展的视角看，数字化和绿色化协同不仅包括生产的智能化和低碳化，而且包括产品产业的高端化。数字化和绿色化协同发展包括两个层次的涵义：一是数字化是实现绿色化的技术基础。在数据要素的驱动下，我们可以通过网络空间优化和控制物理空间，从而为绿色化和低碳化提供技术路径和解决方案。尤其是基于网络空间的优化属于整体性优化，对节能减排降碳具有十分重要的意义和价值，能够促进经济、社会和生态效益的统筹和协调；二是绿色化为数字技术应用提供场景，能够促进数字技术应用和数字经济发展。绿色化一方面包括新能源和低碳技术的运用，另一方面包括现有能源使用效率的提升。数字技术在这两个方面都能够发挥良好作用。

同时，在数字化核心产业部门中要高度重视绿色技术的运用。尤其是随着生成式人工智能大模型的创新应用，算力及其绿色化技术运用成为数字核心产业部门发展中引起高度关注的问题。因而，在数字经济时代，数字化和绿色化协同发展对全球经济长期发展具有十分重大的战略价值。

2. 数字化和人工智能的能源需求

数字化促进经济和社会发展的同时，在促进能源利用效率提高的同时，同样存在碳足迹[13]。数据显示，2021年全国数据中心的总耗电量达到2166亿度，碳排放量达到1.35亿吨，占全国二氧化碳排放量的1.14%左右。中国信通院《中国综合算力指数(2023)》报告显示，我国算力产业保持高速增长，其中人工智能算力在整个算力结构中的占比已经超过25%。截至2023年6月，我国算力的规模已突破了1080E字节(1E等于100万T)。

2022年以来，随着OpenAI提出ChatGPT生成式人工智能大模型，国内人工智能企业加快大模型的研发，人工智能算力需求快速增长。大模型的开发和应用推动的城市数字化转型的加速，将进一步带动智能算力的快速增长。算力的快速增长带来的碳足迹需要发展绿色能源。尽管绿色能源具有环保、可再性和安全性等优势，但是受到成本、技术和市场接受度的挑战，绿色能源发展和广泛应用受到制约。激励政策和人工智能应用有助于减少这些障碍（见第五章）。

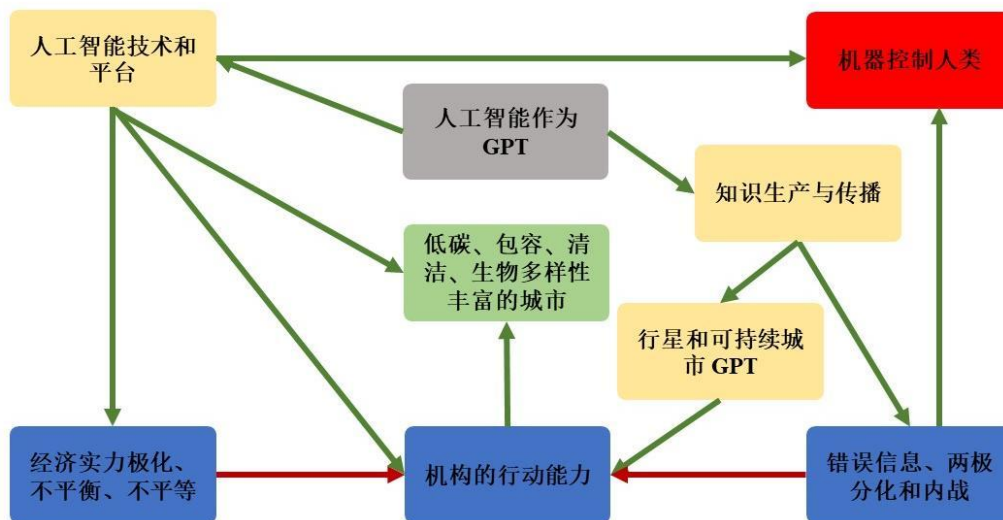
3. 人工智能部署的系统性风险

在智慧城市和云运营中部署人工智能会带来重大但不确定的系统性风险（见图2）。这些技术会集中经济力量，扩大贫富差距，破坏社会结构的稳定，加剧城市紧张局势[14]。人工智能驱动的错误信息和两极分化会破坏社会凝聚力，导致内乱。此外，虽然人工智能可以提高机构决策和效率，但它也可能产生依赖性，削弱独立运作，使治理容易受到失败和网络攻击的影响。

在深圳、杭州、北京和上海等中国智慧城市的背景下，有必要进行谨慎管理，以降低这些风险。针对人工智能素养、全民基本收入和再就业计划的促进政策有助于公平分配人工智能带来的好处。健全的事实核查算法和透明的机制对于打击错误信息至关重要。通过匿名数据和合成总体（模拟的人口

数据) 确保人工智能监控中的隐私和人权, 可以防止数据滥用。适当的监督、授权的机构和人类自主权的保障对于在保护社会利益的同时充分发挥人工智能的潜力至关重要。

图 2. 城市人工智能部署的系统性风险



(灰色和黄色: 技术和技术领域; 绿色: 积极结果; 蓝色: 问题结果; 红色: 灾难性结果)

4. 人工智能既是技术领域的推动力, 也是解决方案

华为、百度、腾讯、阿里巴巴等人工智能超级平台企业正在绿色能源和社会领域广泛布局人工智能。华为数字能源部聚焦碳中和过程中的能源化、智能化、移动化转型, 强调智能光伏储能发电机, 将光伏、风电、储能一体化, 建设高品质、数字化的清洁能源基地。华为计划到 2024 年至少建设 10 万个超级充电站, 支持新能源汽车的发展。在教育和卫生领域, 华为通过技术创新推动数字化进程。数字化与绿色化的协同对可持续发展至关重要, 通过数字化途径优化和控制物理空间, 实现低碳化。绿色化为应用数字技术、提高能效、支持数字经济提供了应用场景。绿色技术与数字产业的融合, 尤其是与人工智能大模型的融合, 对中国数字时代的经济发展至关重要。

5. 性别数据差距与偏见

数字技术, 尤其是人工智能, 以及它们的设计方式, 并非不分性别, 而是包含了性别偏见。性别偏见可以理解为 "基于性别的偏见行动或思想, 认为女性在权利和尊严上与男性不平等"[15]。这种偏见是特定社会文化背景的一部分, 也是作为分析基础的数据和算法的一部分。这些都会影响数字技术的设计 [16]。例如, 生成式人工智能往往会复制现有的刻板印象, 而近期旨在纠正这种影响的实验尚未取得成功。

数字技术中的性别偏见往往是性别数据差距造成的, 即缺乏按性别分列的可靠数据, 导致对现实的了解不全面[17]。因此, 不存在关于性别差异的数据意味着城市规划往往对性别问题视而不见[18]。目前, 根据联合国的估计, 中国在可持续发展目标方面的性别数据差距为 78%, 这使得大规模、可持续和包容性地使用人工智能变得更加复杂[19]。负责设计和开发人工智能解决方案的软件工程人员中男性居多, 也会造成偏见。如果系统不是由多元化团队开发, 就很可能无法满足所有人的需求[20]。

虽然在缩小性别数据差距和管理性别偏见方面没有放之四海而皆准的解决方案, 但关键方法包括按性别分类的开放数据集和积极主动的偏见管理。在可持续智慧城市背景下解决性别数据差距和性别偏见问题, 可提高城市安全性和宜居性, 造福所有人 [21]。

第二章 双转型和经济可持续发展

第二章旨在阐明城市经济的绿色转型和数字转型，重点关注可持续发展的经济层面。在第一节讨论了城市层面可持续经济增长的供需双方之后，第二节和第三节分别讨论了双转型对城市经济结构和就业的影响，以及对共享经济和循环经济的影响。本章着重强调技术创新的重要性。

一、通过技术创新实现可持续经济增长

通过技术创新，解决城市发展的供需两方面问题，可以极大地推动可持续经济增长。在供给方面，投资可再生能源和数字化能源系统可以提高效率、减少碳足迹，从而推动建立更清洁、更具弹性的能源基础设施。同时，在需求方面，城市可以利用数字平台来优化资源利用、改善公共服务，并在居民中推广可持续做法。通过将智能技术融入城市规划和服务提供，城市可以提高经济效益，创造绿色就业机会，营造更可持续的城市环境，从而实现经济增长与环境管理的和谐统一。

1. 可再生能源和数字化能源系统

数字化为提高能源供应系统的效率、可持续性和可靠性提供了重要机遇。能源供应方面的主要措施包括：

- **电网管理。**人工智能可以通过多种方式优化可再生能源与电网的整合。它可以帮助预测风能、太阳能和其他可再生能源的生产模式，从而确保稳定可靠的能源供应，尽管可再生能源本身存在变数。
- **智能电器。**利用人工智能的智能电器可以减少家庭能源需求和碳足迹，并使需求与间歇性可再生能源供应更好地匹配，进而减少对不稳定且成本较高的煤炭发电依赖。因此，人工智能有助于进一步提高需求的"灵活性"，从而与可变可再生能源相匹配。
- **预测性维护。**人工智能驱动预测性维护能在能源基础设施发生故障前识别出潜在故障，从而确保不间断的能源供应并延长电网组件的使用寿命。
- **改进预测和规划。**人工智能模型可根据历史数据和实时输入预测未来的能源需求，从而更好地规划和分配资源，满足预期需求。
- **资源管理。**人工智能通过管理发电厂燃料等原材料的采购和分配，优化能源生产供应链，确保及时、经济高效地交付。
- **物流与配送。**数字化工具简化了物流和分销网络，实现了循环，减少了延误，并将与能源资源运输相关的碳足迹降至最低。

通过利用这些数字和人工智能驱动的创新，数字化可以成为电气化的关键推动因素。在能源供应系统变得更加高效、可靠和可持续的同时，它们还有助于城市能源转型，确保在面对日益增长的需求和环境挑战时仍能稳定供应能源。

为了实现这一转变，治理创新和新的基础设施将至关重要。现代化和数字一体化城市的特点是电力和数据密度更高，需要对电网和数据连接基础设施进行前期投资。在利用资金的同时，还需要进行电力市场改革，以允许激励计划和实时定价，并与管理系统可靠性和弹性的行为者共享设备控制。

2. 需求方措施在建筑和交通领域

实现可持续城市需要在建筑、交通、城市规划和工业等各个领域进行快速而广泛的系统转型。这种转型涉及几个关键战略：避免战略旨在大幅减少能源和材料需求--例如，推广远程办公以减少对交通的需求。转变战略涉及利用共享和循环经济平台实现资源共享和协同消费。改进战略侧重于提高现有技术的效率，包括高效设计、施工、改造，以及通过材料替代和交通电气化最大限度减少能源和材料消耗的战略。

在全球与能源相关的二氧化碳排放量中，建筑和制造业占了近 40% [22]。这些排放源于不同阶段：施工期间，使用水泥和钢材等碳密集型材料；运行期间，供暖、制冷和其他用途的能源消耗以及制冷系统的制冷剂泄漏；以及拆除期间[23]。

实施充分性措施至关重要，其中包括限制建筑面积增长和优化供暖和制冷室温等战略[24]。减少建筑面积可大幅降低建筑材料需求以及空间供暖和制冷所需的能源。推广联合办公和共同居住可以进一步减少人均建筑面积，促进服务共享[25][26][27]。鼓励改变行为和生活方式，例如调节室内温度，也可以在减少能源需求方面发挥重要作用。[26]。城市规划应支持紧凑型建筑和城市形态，从单户住宅转向更紧凑的多户住宅，以避免无序扩张，并发挥建筑和交通部门在减排方面的协同作用 [28][29]。循环方法为避免浪费和减少对原始原材料的需求提供了重要机会。重新利用现有建筑比新建建筑产生的排放要少得多，应优先考虑重新利用现有建筑 [25][30]。此外，非物质化、轻量化设计和城市采矿（包括城市建筑报废后的材料回收和再利用）等战略有助于减少拆除废物和对新材料的需求 [31]。以自然为基础的解决方案在应对减缓和适应挑战方面具有巨大潜力，同时可提供一系列共同效益 [32]。绿色屋顶和外墙可吸收二氧化碳，改善空气质量，并提高城市居民的生活质量[33]。为了更有效地促进节能行为，行为暗示和邻里竞赛等策略可以利用社会和心理影响来鼓励家庭采用更高效的做法。分区法应有利于多户住宅，并应投资于支持紧凑型城市发展的基础设施。为建筑物的再利用提供税收激励或补贴，强制使用回收和再利用材料，以及城市采矿计划，这些都是提高建筑环境可持续性的综合政策方法的重要组成部分。

建筑战略应侧重于加快从化石燃料系统向高效可再生能源和供暖、制冷、烹饪和照明电气化的过渡，这对减少温室气体排放至关重要[34][35]。这一过渡包括采用热泵、太阳能光伏发电和高效电器等技术[36]。摒弃传统的生物质和煤炭，尤其是在低收入地区，不仅对减缓气候变化至关重要，而且对减轻贫困和通过减少室内空气污染改善公众健康也至关重要[37]。政策应鼓励使用现场可再生能源，如太阳能光伏发电、风力涡轮机和城市一体化分布式发电，这可以提高能源供应的可靠性并减少碳足迹。此外，在人口稠密的城市地区实施区域供热和制冷系统可持续满足建筑能源需求，同时进一步减少对环境影响[26][38]。

减少建筑物温室气体排放的改进战略和政策建议应侧重于提高现有技术的效率，这可占潜在减排量的 30% 至 70% [39]。优先考虑高能效建筑围护结构和被动房，包括隔热和适应气候的设计策略，可以显著降低运行能耗需求，同时改善室内舒适度[34][40][41]。需要改进的关键领域包括采用低排放技术系统，如先进的供暖、通风和空调系统，以及推广节能电器和照明。新建建筑和现有建筑都能以与传统建筑相当的成本达到净零能耗标准，因此它们对实现净零能耗目标至关重要[42]。建筑改造战略应针对特定的气候条件，以有效减少供暖和制冷需求。政府应支持这些努力，按照零能耗标准改造公共建筑，并利用智能家居技术和物联网来优化建筑运行，鼓励节能行为。采用低碳和生物基材料，如木材、竹子和生物质，可减少碳排放并提供长期碳储存，到 2050 年，管理良好的生物基材料可减少高达 40% 的行业排放 [34][43][44]。除使混凝土、钢材和铝材等传统材料脱碳之外，还需要财政和政策支持来推广这些材料，因为这些材料是全球排放的重要来源。利用可再生能源实现生产电气化、增加再生材料的使用以及促进创新是改造建筑环境和实现大幅减排的必要步骤。

数字化大大提高了电气化、现代化和城市一体化可再生能源等转变措施的效果。虽然数字化在避免和改进措施（如非物质化和节能建筑围护结构）中发挥了一定作用，但其最显著的影响在于推动高效智能家居技术的发展，从而促进经济增长并减少对环境影响（见表 1）。

表 1. 数字化对最大限度地发挥建筑需求方措施的潜力以实现节能减排和经济增长的影响

需求方措施	数字化对最大限度发挥潜能的影响	
避免	减少建筑面积	中型（通过远程办公）
	改变行为和生活方式	中型（通过新的智能电器和小工具）
	紧凑型建筑和城市形态	低
	避免材料浪费，重新利用	低*
	非物质化、轻量化设计	中高（通过 3D 打印）
	基于自然的解决方案	低（通过智能设计）

轮班	电气化	高
	太阳能光伏发电等现场可再生能源	高
	城市一体化分布式发电	高
改进	节能建筑围护结构	中-高
	智能家居技术	高
	低碳和生物基材料	低

交通系统是减少温室气体排放、改善城市空气质量以及通过最大限度地减少人为热量来降低城市温度的核心。因此，改造城市交通对于发展可持续的宜居城市至关重要。按照人工智能方法，城市交通部门的脱碳战略包括

主要的避免战略包括电子通勤和线上办公，尽管据估计，总的减排量不超过运输温室气体排放总量的 1%[39][45]。城市规划、街道空间的重新分配、智能物流系统和街道连通性的提高缩短了出行距离，在减少出行需求方面具有巨大潜力[39]。对于新建城市而言，这些策略可在 2050 年前将城市能源使用量减少 25%[46]。城市规划和分区策略对于减少长途通勤需求和鼓励可持续交通方式至关重要。设计土地混合使用、高密度开发、靠近公共交通枢纽的城市有助于推广步行和骑行的出行方式。扩大 15 分钟城市或超级街区等概念的实施范围，可以进一步提高这些效益[47][48]。发展积极的交通基础设施，如安全便捷的步行和骑行设施，鼓励非机动化交通，从而减少短途汽车出行，改善公众健康。这种方法在结构紧凑、适宜步行的城市尤为有效。

推广高效、便捷的公共交通系统，如公共汽车、有轨电车、地铁和轻轨，鼓励使用共享交通工具而非私家车，从而降低总体排放量。共享交通解决方案，包括汽车共享和自行车共享，通过减少汽车保有量 and 提高负载率，进一步支持去碳化。在“移动即服务”的推动下，将各种交通模式整合到一个统一的移动系统中，可以简化城市出行，鼓励人们放弃私家车。实施城市货运物流解决方案，如电动货运自行车、整合交付路线和安全的非机动化最后一公里交付基础设施，可大幅减少排放。此外，发展城市物流微型枢纽和集运中心，通过增加非机动化交付的比例，有助于进一步减少排放。这些策略在规划完善、布局紧凑的城市地区尤为有效。

电气化是减少交通排放的重要战略。鼓励私人客运、商业和快递车队向电动汽车（EV）转变，可以显著减少排放。为促进这一转变，提供补贴、税收减免和电动汽车免费停车等激励措施，可有效提高个人车主的采用率。此外，公交车、出租车和其他共享交通工具的电动化也能进一步降低排放，尤其是在以汽车为中心的城市，其他解决方案可能不会产生立竿见影的效果。协调这些政策可以创建更宜居的城市。要成功实现城市交通的去碳化，需要采取综合方法，将城市规划、技术、政策和社区参与结合起来，并根据每个城市的具体需求量身定制。

总之，数字化对避免措施（如远程办公和远程工作）有很大影响，可以显著减少能源使用和排放，其好处也延伸到建筑领域。在换乘措施方面，数字化大大提高了公共交通、共享交通基础设施和城市货运物流解决方案的效率。在改进现有系统方面，车辆电气化极大地受益于数字和技术的进步，为提高能效和减少环境影响提供了巨大潜力（见表 2）。从材料的角度来看，工业部门的战略将在建筑部门中讨论。下一节将讨论与供应和结构调整有关的战略。

表 2. 数字化对最大限度地发挥交通需求方措施的潜力以减少能源消耗和排放以及经济增长的影响

需求方措施	数字化对最大限度发挥潜能的影响	
避免	远程办公	高
	城市规划和分区战略	低（通过新的智能应用和传感器）
	主动移动	中型（通过智能应用程序和平台）
轮班	公共交通	中-高
	共享交通	中-高
	城市货运物流解决方案	中-高

二、双转型与产业结构调整

绿色与智能技术不仅能够提升城市运行效率和表现，同时也在不断重塑城市结构和功能。特别应该注意到，城市作为人口的集中地，城市的双转型将会影响到居民的生活质量，而且不一定是全部是正面的。

1. 经济结构调整

城市双转型已经为新技术部门发展的新土壤，它使得诸如新型通讯技术、大数据、人工智能等部门成为城市发展的关键驱动力 [49]。这些前沿动态在重构经济激励结构和治理框架，更多利益相关方特别是新兴技术领域的企业和个人都成为城市的重要力量[51]；在城市商业领域，新的商业模式和框架[52]、数字化平台[53]将会层出不穷而且难以预测。

与此同时，新兴技术也在城市管理者赋能造就新城市治理方案(Ersoy and Alberto, 2019)[54]。在新的情景下，越来越多的数据和技术被广泛地应用于绿色建筑，垃圾管理、水管理、可持续交通、智慧教育、智慧医疗等领域，进而推动这些传统经济部门也在新的愿景下转型并持续发展。欣欣向荣的智慧城市对城市管理者而言，机遇和挑战并存。例如，大数据分析可以在城市危险材料运输[55]和城市大脑[56]等有广泛的应用。

可以预见，智慧城市将会消耗大量的能源，所以绿色能源部门的发展是城市双转型的核心。与传统城市发展模式不同，如今的智慧城市在同等规模上的能源消耗更高，因此，智慧城市必须在强化绿色能源和降低环境和公众健康等方面做好工作。

数字技术融入城市发展同样为各类相关资本，例如，金融资本、物质资本和人力资本等，在一定程度上锁定了未来收益[57]。数字化转型引发的其他经济部门到数字部门的资本再配置对城市经济的影响同样深远[58]。一些与数字经济联系较少的部门将会逐渐衰落，相反联系紧密的部门将会蓬勃发展。

在新情景下，城市的数据管理和能源供应等越来越依赖城市之外甚至地理上很远的经济活动。因此，城市间的空间依赖程度以及城乡关系将呈现出前所未有的特征，例如，智慧城市对不再是对较远距离的城市能源消耗，相反将会有显著的正向溢出。所以，可以预见的是，城市经济活动的空间结构和组织将会被重塑，不过目前我们对城市间的差距的判断还知之甚少。

德国鲁尔区案例研究

2020年，一项新的重大举措已经启动，其愿景是将鲁尔区改造成“世界上最绿色的工业区”。这一绿色基础设施战略的理念是建立一个具有战略规划的自然或半自然绿色开放空间网络，将鲁尔区的各个工业区和居住区连接起来。在北莱茵-威斯特法伦州政府的领导下，该项目将采用灵活的参与式开发流程。约100个单个项目将逐步建立和实施。主要行动领域包括“网络化的交通--短距离”、“成功的经济--良好的工作”、“生活的多样性--强大的凝聚力”、“安全的能源--健康的环境”和“最佳的教育--卓越的研究”。必须指出的是，数字化并没有被指定为一个单独的行动领域，而只是对其他具体目标起辅助作用。（详见附件3）

2. 就业结构

城市的双转型原则上会确保经济利益的改进，但是对民众的生活质量影响是复杂的。就业就是其中很关键的方面。由于智慧城市在新技术和基建的大量投入，城市就业水平得以提升是很合理可预期的[59]。

数字化转型使得企业用高级工具和技术来替代工人和降低成本，特别是在非生产环节的低技能工人和管理人员受影响更大[60]。不过，数字化驱动的智慧城市会将创造新的工作机会 [61]并且使得个人可以更灵活的方式就业进而提升整体就业规模 [62]。

而且，城市可持续转型将会创造更多的绿色工作[63]。例如，与环境保护和自然资源的商品和服务会带来绿色工作需求的增长，劳动市场的绿色转型会将劳动力越来越多地重新配置到可再生能源技术、绿色建筑和新兴基础设施建设等部门[64]。

与双转型相适应的新工作创造同样将会重塑就业和技能结构。面对劳动需求和产业部门的调整，不同地区通常有特定的技能和默会知识，都要做相应回应。拥有与双转型适应的本地化多样性能力的城市在劳动力方面显示出了较强的韧性。不过，目前我们还处于可持续转型的前夕，企业和产业间应该为未来更深层次的转型及时更新能力基础[65]。

低技能弱势群体受可持续和智能转型影响较大[66]。劳动市场上的弱势群体受影响更大。例如，年轻一代劳动者在2008年经济危机以来一直饱受影响，而如今他们又不得不面对双转型的影响而去重新获得必要的技能[67]。

三、数字解决方案对共享和循环经济的推动力

中国市场对数字化解决方案的采用兑现了所谓“第四次工业革命”的承诺[68][69]，将为国家经济发展做出巨大贡献的承诺。我们曾多次尝试衡量这些贡献，2011年的数字徘徊在国内生产总值的4.8%左右，2016年则跃升至20%以上[70]。以下机构提出的审查建议综述显示，信息和通信技术（ICT）部门和严重依赖该部门的制造业活动对经济增长和总体生产率表现都大有裨益：2001-2018年期间，信息和通信技术（ICT）部门和严重依赖该部门的制造业活动分别以15.7%和11.4%的年增长率大大超过了所有其他经济部门。这些部门也是对全要素生产率增长贡献最大的部门。对最后一个变量的影响已通过对中国各省的额外研究得到进一步证实。之前的文献也证明了数字经济有助于改善环境。虽然这种影响的方向和表现形式不尽相同，但中国所有省份的数据都反映了数字技术的使用对环境的积极贡献[71]。数字技术产生积极影响的一些渠道包括，例如，通过减少能源损耗和降低能源需求来提高能源产出[73][74]。

共享经济这一理念背后的推理源于以下认识 [75]，在发达国家，有相当一部分商品和资源是私人持有的，而且往往分配不当或使用严重不足。作者认为，保障多用户使用这些资源将减少浪费和低效。迄今为止，还没有哪个国家能像中国这样充分挖掘共享经济的经济潜力。2014年，中国共享经济的规模为150亿美元，预计到2025年将飙升至335美元 [76][77]。中国拥有世界上最大的共享经济公司：截至2023年，美团拥有约115,000名全职员工，总收入达2,760亿元人民币，是2019年的三倍。

数字解决方案的采用有可能极大地促进共享经济和循环经济的发展。例如，活跃在循环经济领域的公司所面临的主要挑战之一就是如何保证其产品来源的可追溯性[78][79]。创建数字产品护照有助于解决可追溯性问题，使消费者更清楚地了解所购产品的材料来源，并使公司对其供应链战略更加负责[80]。这些解决方案大多基于区块链技术，而中国在这一领域的研发已处于全球领先地位[82]。然而，尽管区块链有助于改善公司业绩，但中国公司似乎仍未能充分挖掘这项技术的潜力[83]。来自中国碳市场行业开发者的见解可能表明，以下领域仍可能对该技术的充分利用构成挑战：普遍态度和社会规范、数据准确性和真实性、刺激采用的融资机会、可使用户和非专业人士更容易采用该技术的功能特性[84]。更广泛地采用区块链技术或任何其他技术驱动的检测和跟踪服务，也有可能解决共享经济倡议所需的信任度问题，但这种信任度往往是缺乏的[85]。

数字解决方案还有可能帮助处理大量产生的城市固体废物（MSW），这是快速城市化的一个特征性副产品 [86]。中国的快速城市化加剧了这一问题[87]。为推动当地循环经济产业的发展，同时解决城市范围内空间有限的问题，香港因使用数字解决方案改进都市固体废物的收集、分类和编目工作而备受赞誉[89]。通过与厦门市的比较，作者得出结论，中国大城市在城市固体废物领域采用数字化解决方案的潜力仍然巨大。

第三章 双转型与社会可持续发展

社会可持续发展对于成功实现双转型至关重要。城市不仅是物理单位的聚集，也是一个复杂的系统以满足城市居民的需求。促进绿色和数字化转型必须与城市生活质量的各个方面相关，例如教育、医疗保健和交通便利性。在此背景下，我们提出了一个可持续性术语，其中包括社会方面，并提倡以人为本的可持续智慧城市。为了确定如何加强数据和人工智能驱动的城市发展与人们参与创建宜居城市的相互结合，本章探讨了在人工智能时代，城市社会可持续发展的几个关键方面。

一、道德因素

在数字时代，健全的隐私和安全框架对于建立政府与公民之间的信任至关重要。优先采取这些措施可以确保道德标准，增强公众信心，支持社会包容和利益相关者的有效参与。信任是社会包容和利益相关者有效参与的基石，它取决于个人数据是否得到最大程度的尊重和保护。政策制定者必须优先考虑严格的隐私保障和强有力的安全措施，以防止未经授权的访问和滥用敏感信息。这样做不仅符合道德标准，还能增强公众对数字计划的信心。这种信任对于鼓励社区积极参与，确保技术进步积极促进社会公平和包容，从而加强数字时代透明度和问责制的基本价值观至关重要。

二、政府服务数字化

政府服务的数字化是指将传统的、基于纸质的政府运作和服务转变为可在线访问和使用的数字形式的过程。这种转变旨在使政府服务变为更加高效、可及和用户友好型服务。

同时，城市基础设施的可及性、公平性和包容性是政府服务数字化过程中的重要考虑因素。城市基础设施的可及性、公平性和包容性指的是城市中所有居民，无论其社会经济地位、性别、种族、年龄或残疾情况如何，都能公平享受基础设施服务。政府服务的数字化转型通过消除数字鸿沟来改善城市基础设施的可及性。它旨在将那些数字素养最低、最难采用数字技术的群体也纳入数字城市基础设施的范畴。这也意味着道路、水、电力和支付系统等基础设施服务在数字化过程中不应导致群体歧视。

城市数字基础设施中的可及性差距通常表现为连通性、数字素养和技术公平使用方面的差异。为了有效弥合这些差距，评估关键利益相关者的角色及其在数字化过程中面临的复杂性至关重要。例如，新兴技术如智慧城市、物联网(IoT)和人工智能(AI)的整合有潜力改善城市生活。然而，如果这些进步没有包容性的设计和治理，可能会无意中扩大数字鸿沟[90]。

首先，服务系统整合。成功数字化转型的政府服务具有全程在线办理的特点，政府服务事项无论是在线还是线下接收和处理都遵循相同的标准，没有区别。这要求在系统建设中实现服务内容和组织结构的一致性，从政府服务的最高行政部门到线下服务窗口、自助终端、服务中心、便民服务中心和移动终端应用程序，实现信息互联互通。数字和物理操作具有同等效力，实现实时交互验证和线上线下协同操作。例如，在线申请后可以线下领取结果，或者在线下提交材料后可以在线查看进度、修正材料并领取结果。国家统计局的能源统计服务负责收集和分析全国能源生产、消耗和效率数据。数字化可以提高数据收集效率，增强数据分析能力，为能源政策制定提供更准确的依据。

其次，服务操作标准化。政府服务系统的建设应遵循统一标准。各级政府服务的垂直整合服务平台和基于功能的服务平台应按统一标准建设。否则，可能会出现信息瓶颈甚至信息孤岛，导致政府服务信息流通不畅，影响用户体验。系统建设标准包括各种业务流程、数据应用终端和政府服务平台的管理。各项政府服务事项应实施详细的标准化，明确政府服务事项的名称、代码、类型和依据等基本内容，纳入统一管理系统进行一致管理和发布。同时，政府服务机构应根据规定及时更新政府服务事项的相关内容和信息，并及时向公众公开服务指南。

最后，用户便利性。政府服务平台和终端应在各种适用设备上上进行自适应部署，包括但不限于移动设备。政府服务机构应根据实际情况推动政府服务事项向移动平台和自助终端引入。对于申请材料

多、信息不清晰导致多次往返和办理时间长等问题，应在各级政府服务终端平台上明确标注接收单位、受理条件、所需材料和可暂时省略的材料清单，并动态更新。特别要关注特殊群体、老年人等数字弱势群体，提供无障碍、便捷的政府服务和申请指南。

数字化转型面临的挑战包括数据隐私、网络安全、技术成本以及基础设施缺乏等问题，特别是在边缘化社区[91][92]。为克服这些障碍，以利益相关者为导向的方法至关重要。这包括促进公私伙伴关系，政府机构制定鼓励数字包容的政策，而私营实体提供基础设施支持和创新[93]。还必须解决可负担性问题，确保所有公民都能获得必要资源，而不会造成经济压力。扩展基础设施到服务不足的地区，加强数字素养项目，培养社区主导的努力也可以在缩小数字鸿沟方面发挥关键作用[94]。另一个关键的包容性战略在于有意识地让代表性不足的群体参与数字服务的设计和 implementation。这包括非歧视性地获取数字身份证，并确保妇女和女童从数字公共基础设施项目中受益[95]。

维也纳案例研究

为了成为一个开放的数字化城市，维也纳逐步实现了所有程序的数字化。在决定哪些程序优先于其他程序时，对气候变化的影响和市民的需求是两个关键因素。更具体地说，该市商定了 12 项数字化原则，如性别平等或环境可持续性。这些原则已在各种数字化战略和项目中付诸实践，如 "数字健康" 或数字平台 "Sag's Wien" (告知维也纳)，市民可以在该平台上报告任何基础设施故障或问题，然后由城市进行处理。

该市拥有数字化能力，并将继续推进和调整数字化能力，即该市有一名首席技术官和一名首席创新官，促进各部门之间的合作，与维也纳城市创新公司（创新公司）和各公司密切合作。例如，在与创新公司的合作中，城市利用卫星数据监测绿地、土地覆盖变化或停车场使用情况，并利用机器学习检测公共空间的使用模式。详见附件 4

1. 政府结构和关键利益相关者

利益相关者指对特定主题、业务、问题或产品有直接或间接利益的任何人。直接利益相关者包括员工、管理层、客户、供应商、承包商和股东；间接利益相关者可能包括压力团体、政府、监管机构、竞争对手、代理商、潜在合作伙伴，甚至是一般公众。基于利益相关者的治理理论认为，多个利益相关者或利益相关者群体必须包括在利益相关者范围内，如公司的员工、客户、供应商、融资方、社区、政府机构、政治团体、行业协会、工会，甚至竞争对手，因为他们也会影响公司。

在数字化过程中，从数据角度来看，任何提供数据或受数据影响的个人或组织都应成为数字政府服务的利益相关者。提供数据的利益相关者基于准确信息为数字政府服务的具体实施提供决策依据。在最大化利益相关者效用的同时，政府服务的实施激励利益相关者持续提供相关数据以支持后续政府服务。从社会角度来看，个人信息数据的开放和共享最终会产生外部性，这些外部性是积极还是消极取决于政府服务提供的质量。

公私伙伴关系(PPPs)也在弥合数字鸿沟方面发挥着基础性作用。通过利用私营部门的创新和资源，PPPs 可以提高数字基础设施的可及性和质量，使数字服务更具包容性。例如，那些由于缺乏技术获取而可能被边缘化的社区可以从这种旨在将数字服务扩展到所有社会经济群体的合作中受益[96] [97]。

社区参与作为包容性数字治理的关键组成部分脱颖而出。当社区成员积极参与数字举措的设计和 implementation 时，其采用率会显著提高。这种方法确保数字解决方案能够有效地针对地方挑战和需求进行定制。众包平台和开放数据倡议等技术不仅让公民参与治理过程，还通过将社区见解纳入城市规划和服务提供来刺激创新。

总之，城市基础设施数字化转型的包容性取决于确保广泛获取数字服务、利用 PPPs 优势、满足人口多样化需求以及积极让社区参与治理过程的策略。这些策略代表了构建公平、响应迅速和包容性数字治理生态系统的整体方法，从而提高整体城市生活质量和治理水平。

公共部门数字化转型举措的一个关键方面是关键利益相关者的动态参与。利益相关者包括各级政府部门、私营部门合作伙伴、公民团体、学术机构和普通公众。每个利益相关者在塑造和指导数字化项目成果方面都发挥着独特作用。

例如，政府实体通常发起和资助数字化转型努力，这是由提高服务交付和运营效率的需求驱动的。同时，私营部门贡献技术专长和创新解决方案，这对现代化老化基础设施和流程至关重要[96][97]。

公共机构和私营企业之间的协同合作可以带来更强大和有效的数字基础设施，正如 Agbeko、Effah 和 Boateng 的研究中指出的加纳成功实施电子采购系统所例证的那样[96]。

此外，公民团体和当地社区在提供实地反馈和倡导数字服务包容性方面发挥着关键作用。他们的参与确保数字化转型不仅仅满足技术方面的需求，还能解决社会需求和可及性问题。正如 ScholarSpace[96]所描述的，理解和纳入利益相关者的观点和反应对于减少项目失败和提高数字化举措的有效性至关重要。

最后，作为数字政府服务的用户，普通公众可能是最关键的利益相关者。他们对数字平台的采用和接受程度衡量了转型努力的成功。反馈机制，如调查、用户反馈平台和公共论坛，使政策制定者能够收集有关用户体验和需要改进领域的见解。

总之，这些关键利益相关者的参与不仅带来了多样化的观点和专业知识，还确保了数字化举措得到广泛支持和采用。它强调了成功实现城市基础设施数字化转型所需的复杂相互依存关系和合作。

2. 数字化和包容性策略

数字化转型是一个多方面且复杂的过程，尤其是在考虑转变城市基础设施以弥合可及性差距时。在分析利益相关者在这一数字化过程中的作用时，至关重要的是要理解利益相关者不仅包括政府实体，还包括私营部门参与者、非政府组织、社区和国际组织。他们的合作对推动以利益相关者为导向的数字化转型至关重要，这种转型将可及性和包容性置于优先地位。

例如，建立专门的国家数字包容办公室可以作为一个强有力的协调机构，倡导政策变革并确保问责制，正如 Ehimuan[98]所建议的。这些办公室可以密切监控数字包容举措，根据需要进行调整，以确保实现包容性目标。

此外，利用公私伙伴关系，如 Ehimuan[98]和 Monika Palani[91]所述，可以汇集各个部门的资源和专业知识，将连通性扩展到服务不足的人群，这是一个重大挑战。这种伙伴关系常常产生创新解决方案，如社区网络或促进数字健康创新的采用[99]，这可以增强获取医疗保健和其他关键服务的机会。

另外，解决互联网服务和设备的可负担性对于弥合数字鸿沟至关重要，如 Nick Awad 指出的[99]。像 FCC 的 Lifeline 计划这样的项目可以减轻低收入家庭的经济负担，促进数字获取的更公平分配。

Gustavo Streger 的见解表明，边缘化社区由于获取数字资源不平等而面临重大劣势[100]。因此，专注于扩展宽带基础设施、提高数字素养和实施可负担性措施的策略是数字包容综合方法的关键组成部分。

可以得出的结论是，以利益相关者为导向的数字化转型方法涉及旨在提高数字素养、促进创新和实施政策改革以支持包容性数字生态系统的协调一致的努力。策略应该是具体情境的，并解决不同人口群体面临的独特挑战，确保技术进步不会让任何人落后，而是作为一座桥梁，缩小数字赋权者和服务不足者之间的差距。

3. 政府服务的数字化未来

政府服务数字化的好处是多方面且广泛的，深刻地革新了政府机构与公民互动和管理运营的方式。从本质上讲，数字化旨在提高效率、推动成本节约并显著提升客户满意度[101]。例如，采用在线平台、电子签名和聊天机器人简化了服务交付，并促进了政府机构与公民之间更具响应性的互动[101]。

除了服务交易的即时改进，数字化转型将其好处延伸到治理的更深层次战略层面。通过采用先进的数据管理技术，如数据湖和人工智能(AI)，政府可以有效分析大型数据集，从而做出更明智的政策决策和服务改进[101]。这种转变不仅增强了服务能力，还加强了网络安全措施，为应对网络犯罪分子日益增长的威胁提供了强有力的保护，考虑到政府持有信息的敏感性，这一点至关重要[101]。

数字化还开启了前所未有的透明度和问责制。政府现在可以提供开放数据平台和在线绩效仪表盘，与公众分享有关服务交付和政策决策的重要信息，从而营造信任和协作治理的氛围[101]。后端流程的自动化和数字化不仅改进了内部工作流程，还为实现快速成果提供了重要机会，这可以在数字举措中产生公众好感和信任[102]。

因此，数字政府不仅仅是技术升级，而是对公共部门服务设计、交付和与社会互动的根本性重新构想。它承诺重塑对社会福利至关重要的部门，包括医疗保健、教育、基础设施和更广泛的治理，确保这些关键服务能够在日益数字化的世界中适应、维持和蓬勃发展[103]。

在城市基础设施的数字化转型中吸引关键利益相关者的参与对确保包容性和弥合可及性差距至关重要。政府、私营部门实体、社区组织和居民都必须在这一过程中发挥积极作用。这些群体之间的合作有助于创建对每个人都可及的数字服务，包括残障人士，从而增强社区赋权并确保公平获取政府服务和城市设施。

总之，在弥合城市数字基础设施可及性差距方面吸引关键利益相关者的参与需要多层次的方法。它要求政府、私营部门、社区组织和居民之间的合作。每个群体在确保数字城市服务具有包容性、可及性并响应所有社区成员需求方面发挥着独特作用。这种协作方法不仅提高了数字服务的效力，还培养了社区所有权和赋权感，有助于建设更公平和包容的城市环境。

三、绿色转型背景下数字化对城市社会规划的影响

城市社会规划在双转型中发挥着核心作用。通过社会可接受的城市规划和流程设计方法，结合不同参与者的经验和知识，将绿色和数字发展结合起来，使所有人口群体的生活条件都能得到公平对待。需要强调的是，向绿色和数字城市的双转型不仅要在国家甚至城市层面上做出决定，还需要考虑到社区层面。未来的绿色城市和数字城市将“更紧密”、“更公共”、“更灵活”[104]。因此，当地社区（居民和其他利益群体）的参与是一个至关重要的方面。

南京市栖霞区案例研究

栖霞区政府在管理和服务多样化人口方面面临着巨大挑战。随着官员游戏规则的改变，栖霞区领导层最先迷茫的是如何执行上级政府在“五位一体”计划下的新指示。

为了实现目标，栖霞区的年轻干部们在2016年主动出击，建立了747个微信群，覆盖全区119个街道社区。虽然微信是一个非正式、私密交流的社交媒体，但区干部们看到了利用微信创新治理的机会。到2018年已经吸引了全区15万多订阅者，并利用微信的多种功能创建公告栏、专门群组等服务功能。对于问题、意见和举报，官方承诺在两小时内及时回复。他们还信守承诺，对每项请求都作出回应。正如我们在上文的讨论中所预测的那样，这些年轻的官员在职业发展上非常依赖绩效，但他们在行政选择上仍然积极主动，勇于创新。

1. 城市数字孪生作为加强地方社区参与的工具

从根本上说，城市数字孪生能在多大程度上改善当地社区生活质量取决于综合数据的质量和数量。本章的重点是可持续发展的社会方面，因此所有相关数据包括个人数据（与个人相关）、公共数据（由政府机构收集或付费）、企业数据（由市场机构收集，但与个人信息无关）和商业数据（由公司商业化的专有数据）。

因此，由谁来控制数据的收集和使用就成了最重要的问题。为了使数字孪生对社区有意义，所包含的数据应该以社区为导向。例如，如果不明显缩短出行距离，将交通方式转向多模式和更积极的出行方式，数字绿色双转型就不会成功。这种转变的规划数据只能在个人的帮助下收集。中国有在地方规划过程中使用参与式地理信息系统（PGIS）和公众参与式地理信息系统（PPGIS）的成功范例。这可以系统地纳入地方层面的城市数字孪生项目。鼓励以公民科学为基础的项目，以便让社区参与进来，并收集有关噪声和其他威胁健康问题的数据，促进数字孪生项目的发展。

人工智能在复杂城市系统中的应用迅速增加，因此有必要制定一套规则，并解决由谁来控制算法的问题，特别是像“城市大脑”那样，由私营公司提供软件，由公共机构提供用于训练系统和维持系统运行的数据。为了建立人们对绿色和数字化转型的信任，他们需要知道自己的权利，他们需要知道自己的权利是否得到尊重，他们需要知道自己的数据是否被用于正确的目的。在这方面，《个人信息保护法》提供了重要的指导原则，但必须不断加以审查和更新。

全世界和中国的智慧城市论述都把重点放在特大城市、大城市和新开发的居住区上，这意味着缺乏资源和信息技术知识的小社区有被抛在后面的危险。这与社区层面数字转型发展的理念背道而驰。

为社会目的的开发和使用“城市数字孪生”需要一种整体方法，在技术进步与社会公平、隐私和道德考虑之间取得平衡。通过优先考虑利益相关者的参与、数据的可获取性和持续改进，城市可以利用数字孪生体提高复原力、可持续性和所有居民的生活质量。

2. 地方社区参与绿色智慧城市设计

数字技术有可能为人们及其社区服务，改善所有人的生活条件（即以人为本的智慧城市）。要以针对性和以人为本的方式使用数字技术，每个人都需要参与其中。此外，不仅是数字问题，气候问题也与社会问题密切相关。社区层面在此发挥着核心作用，这不仅体现在规划本身，还体现在社区被认为是社会凝聚力的核心，并带来了成功转型的关键因素。通过让当地社区参与进来，可以更好地了解当地情况（"Eigenart"），并以人为本地解决问题。

实现双转型的一个杠杆在于社区的参与，公正的转型要考虑社区的需求和关切。转型进程的目标应是加强社会结构和改善社区福祉。所有公民都应能平等地从进步中受益，平等地享受数字化和可持续发展的优势。如果不充分考虑社会方面的问题，双转型可能会导致某些人群与技术的隔绝，现有的不平等现象也会加剧（见本章第三节）。

在中国，数字技术具有改变环境政策的潜力。基于信息和通信技术的中国环境研究表明了这一点。根据该研究，信息和通信技术提高了透明度、问责制、公民与政府之间的沟通、效率和服务的提供。然而，这种潜力主要被那些在数字和环保方面已经十分活跃的群体所利用。这些工具没有让新的社会群体参与进程。这就造成了数字技术可能加剧社会政治不平等的风险。此外研究表明，中国公民往往将解决环境问题的责任归于政府，从而推卸个人责任[105]。

社区参与智慧城市设计，为城市注入了显著附加值，数字化手段在此扮演了关键角色。它不仅简化了复杂关系，提升了公众对自身影响力的认知与敏感度，还促进了公民科学的数据收集与民众间的互动。具体而言，透明化的数字规划表展现了规划进程，可视化、增强现实及游戏化工具寓教于乐，情景制图直观呈现问题，数字参与平台构建了利益相关者网络，而制图 APP 等则便捷了数据驱动的公众参与[105]。在使用新数字方法与格式的同时，我们亟需加强知识的获取与传递效率。因此，目标应聚焦于用新兴数字形式，丰富并优化现有的模拟参与手段，以拓宽城市社会中各目标群体的参与渠道。实现这一目标的首要条件在于，这些数字基础设施必须设计得简单直观、趣味盎然，并能为个人带来实际价值。此外，这些工具应服务于社区与城市规划，促进公众对城市及其发展进程的深入理解，共同推动构建可持续发展的未来城市。通过这一系列措施，我们不仅能加深社区融合，还能激发更多创新思维，共同绘制智慧城市的美好蓝图。

社区参与的核心目标在于促进包容与融合，这一理念尤其强调对弱势群体如残疾人、缺乏数字媒体经验的老年人、语言障碍者及女性的关注。为实现这一目标，首要任务是设计多样化的数字产品，确保这些产品能够适应不同人群的能力需求，即遵循“为所有人设计”的原则，正如《智慧城市宪章》所倡导的，推动地方数字化转型的可持续发展（2017年）。在将数字工具引入智慧城市设计流程之前，需要深入了解市民的需求，包括他们对这些工具的认知水平、潜在担忧以及对数字解决方案的接受程度。为此，需针对特定目标群体提供定制化支持，如建立支持体系、提供指导与建立交流网络，以确保新群体也能有效参与设计过程。同时，公共场所的数字设备与软件应具备高度的可及性，使公众能够轻松信赖并有效利用这些数字基础设施。重要的是，城市应保障居民在无法或不愿使用数字手段时，仍能通过传统方式获得必要服务，确保服务的全面覆盖与无障碍获取[106]。

维也纳案例研究

维也纳以其庞大的建筑存量著称，拥有约 220,000 座建筑，这一特点在推进建筑领域的气候适应行动时成为独特优势，尤其是在私人所有权普遍构成挑战的背景下。维也纳能够凭借广泛的公共建筑所有权，独立于私人市场，有效实施如“Raus aus Gas”（至 2040 年建筑供暖淘汰化石燃料计划）等大规模去碳化举措，展现了其在绿色建筑转型中的引领地位。详见附件 4

四、交叉性：妇女、移徙工人和老年人

200 多年来财富和收入分配的历史趋势表明，平等是一个缓慢的趋势。然而，在过去十年中，全球范围内的不平等现象有所加剧 [107]。本节的目标是平衡地阐述智慧城市、数据和数字技术如何促进这一趋势的发展，并展望如何利用这些技术进行补救。本章的关键概念是交叉性和性别平等。交叉性是指两种或两种以上的身份重叠，从而导致某些类型的不平等。例如，老年妇女可能因其性别和年龄而遭受不同形式或综合形式的不平等。如果所有性别身份的人都享有同样的权利、责任和机会，那

么性别平等就实现了。我们认为，交叉性使性别不平等问题变得更加突出。在中国，不平等现象呈全面上升趋势，且交叉性更强。自 20 世纪 80 年代以来，中国的基尼系数从 0.25 左右上升到 0.4 以上，成为全球最不平等的国家之一。然而，与 20 世纪 80 年代相比，中国取得了巨大进步，成功地使 7.7 亿中国人摆脱了绝对贫困。

1. 妇女

在过去的 50 年里，中国的性别平等状况与全国的趋势同步恶化，尽管从绝对值来看，妇女在接受教育、医疗保健和获得财富方面的状况有了显著改善。中国是少数几个不走 U 型曲线的国家之一：妇女的相对社会地位通常会随着工业社会向服务型社会的过渡而提高。相反，中国的发展更像一个 "L" 型曲线，没有相对改善的迹象[108]。迄今为止，智慧城市的发展也助长了这一趋势。例如，在开发和管理智慧城市所需的高薪 STEM 劳动力中，女性所占比例不到 30%。

不同性别在城市中的经历有很大差异。妇女往往身兼数职，需要高效的交通系统来满足不同的需求，而且通常交通预算较少[109]。男性主要表现为线性移动模式，而女性则在旅途中兼具多种目的[110]。例如，在北京女性的所有出行中，通勤出行只占 39.67%，男性则少 10%。35% 的女性出行是为了购物，比男性多 13%；8.91% 的出行是为了接人，比男性多 2%[110][109]。此外，许多数字出行服务并不符合护理出行的需求，例如共享单车不适合运送货物或接送儿童[111]。

城市环境中的安全问题是性别主流化的核心问题。在武汉和乌鲁木齐进行的一项对比调查发现，70% 的女性在公共交通中表示焦虑[109]。与此同时，性骚扰事件的报告率很高：武汉为 24.6%，乌鲁木齐为 19.3%，而未报告的案件数量很可能要高得多[110]。妇女遭遇的大多数性骚扰和暴力事件都发生在公共交通工具上，但也有许多妇女在车站或途中受到攻击[112]。这些动态解释了为什么中高收入妇女更倾向于选择更安全的私人交通工具[113]。

最后，许多妇女进入了“零工经济”，这是当今智慧城市不可或缺的一部分，它提供了灵活工作和怀孕后重新就业的低门槛等机会。2021 年，约有 2 亿人受雇于中国的“零工经济”，预计到 2036 年，这一数字将翻一番[114]。虽然没有关于“零工经济”中男女比例的可靠总体数据，但 2021 年，在滴滴出行的 1300 万名员工中，有 237 万名女性，略高于 18%[115]。在“零工经济”中，女性往往会受到厌恶女性的刻板印象和暴力侵害。不稳定的工作、没有居住权以及在工作之余独自承担养育子女的责任等不利因素对女性的影响尤为严重。最近的一项研究发现，许多经济平台对工作场所的性骚扰指控反应迟钝，一般不容易追究责任[115]。

2. 移徙工人

关于农民工家庭¹，存在两大挑战：首先，对智慧城市的大力关注可能会将资源引向已经富裕的城市。其次，中国 7.34 亿劳动力中有近 3 亿是农民工，由于他们所从事的行业受到数字化进程的威胁，他们可能会被甩在后面。在外来务工人员中，女性尤其脆弱，平均而言，她们更集中于低技能工作，健康水平低于男性。

教育是了解农民工状况的一个关键指标。在全中国，只有 36.6% 的劳动适龄人口（25-64 岁）受过高中教育（经合组织平均水平：83%），10% 的人拥有学士学位（经合组织平均水平：19%），硕士和博士学位占 1%（经合组织平均水平：14%）（经合组织，2022 年）。尽管没有关于城乡教育差距的现成数据，但一些估计表明，21% 的女性农民工受过小学及以下教育，而男性农民工中只有 9% 受过小学及以下教育。然而，在工作中使用电脑的女性外来务工人员较少，只有 44% 的女性使用电脑，而男性则为 50% [116]。总之，斯科特-罗泽尔（Scott Rozell）对“隐形”中国农村的研究充分说明，中国在经合组织中的地位较低，主要是因为农村人口的教育水平较低，因此农民工的教育水平也较低。由于自动化和智慧城市的发展不仅需要大量人才（见第二章），而且还可能减少对低技能劳动力的需求，因此相对缺乏技能的农村劳动力（其中许多是农民工）面临着被抛在后面的风险[117]。

许多非技术工人和农民工受益于“零工经济”。但除了经济上岌岌可危的处境，“零工”们还反映平台经济导致社会关系破裂。以滴滴司机为例，过去出租车司机的工作时间是有规定的，这意味着他们要与其他出租车司机共享一些时间。此外，他们必须取回并交还自己的汽车，这也是他们见面聊天的机会。现在，每个人都有自己的车，工作从出门开始[118]。

¹在中国，农民工一般被理解为居住在城市、具有农村户籍的工人。

3. 老年人口

从 2020 年到 2022 年，60 岁以上人口在中国劳动力中所占比例将从 8.8% 上升到 12.8%。预计 60 岁以上人口占总人口的比例将从略高于 20% 上升至 30% 左右。国家基础养老金很低，每月最低为 123 元，许多退休人员现在只有一个子女供养他们。农村老年妇女的处境尤为不利，因为她们的平均收入仅够支付 21% 的开支 [119]。老年妇女往往比男性长寿，但与男性相比，她们更容易罹患慢性疾病，健康状况普遍较差 [120]。妇女未得到满足的老年护理需求也更高 [121]。

迄今为止，数字工具、智能城市和平台的出现并没有起到补救作用，反而有可能使老年人更加落后。关于所谓“灰色数字鸿沟”的文献将老年人参与数字化转型的四大障碍分为动机、物质障碍、技能和使用。城市环境中的老年人使用各种各样的数字设备，但许多人反映存在问题。这些问题既包括视力等健康问题，也包括缺乏理解能力。尤其是数字化转型的速度和深度让老年人对未来是否有他们的位置感到焦虑。

政府为改变这种状况而采取的干预措施面临着一个棘手的挑战。一方面，老年人希望政府介入并支持他们，但另一方面，他们中的大部分人又不愿意向家庭以外的人寻求帮助，特别是不愿意向政府项目寻求帮助 [122]。

4. 多元共融规划与数字工具的价值

为了创建可持续的智慧城市，本节建议将城市设计建立在具有包容性的多方利益相关者规划基础上，并使用数字工具来推动。

首先，包容性的多利益相关方规划。中国的智慧城市通常以命令和控制的方式实施。因此，当地社区和利益群体很少参与规划和决策。不过，也有例外：联合国开发计划署与贵州省共同开发了一种方法，让当地社区参与进来，纳入他们的直接需求，并制定反映这些需求的指标。这种方法明显不同于中国政府的智慧城市标准，即最近批准的 GB/T 33356-2022。此外，诸如环境保护、社会和谐等领域未能作为独立部门，系统性地融入规划与决策框架之中，导致这些领域的诉求被边缘化。此现状下，地方政府机构间信息共享渠道不畅，尤其是关乎可持续发展干预措施规划与决策的核心数据难以顺畅流通，限制了政策制定的全面性和有效性（参考附件八）。

印度的多方利益相关者合作数据平台

印度城市数据交换（IUDX）平台通过实现城市与各利益相关方之间安全、实时的数据共享，推动印度未来城市的发展。作为一个开源项目，IUDX 促进了印度 40 多个城市的城市官员、私营部门合作伙伴和民间社会之间的合作。IUDX 依靠的是高质量的数据、利益相关者之间的合作、数据价值教育以及促进数据共享的政策。例如，在浦那，IUDX 支持一款通过数据分析帮助市民找到最安全路径的应用程序。它整合了社区反馈、街道照明和犯罪统计等各种来源的实时数据，为人们推荐路线，最大限度地减少不安全因素的影响，尤其是对妇女和儿童而言。该应用程序已在印度许多城市推出，并在全球范围内使用，例如在哥伦比亚波哥大。

第二，数字技术可以发挥关键作用，将性别平等主流化纳入城市规划，确保城市的公平性和包容性 [123][21][124]。性别平等主流化和社会公平规划要求将具体需求纳入政策和决策的各个方面 [21]。数字工具可以帮助规划者了解和分析这些动态变化 [114]。

马尼拉人工智能赋能的城市规划

在德国国际合作机构数据实验室的支持下，德国国际合作机构的“亚洲国家可持续发展交通倡议”和“TUMI 妇女动员妇女”项目采用了一种基于人工智能的方法，以包容和交叉的方式审视城市规划，创建了人工智能生成的马尼拉真实地点的图像。这些图像纳入了安全设施（如照明、摄像头、女性安保人员）、残疾人无障碍基础设施（如坡道、触觉人行道）以及满足人口不同需求的公共设施（如无障碍厕所、绿地）等元素，帮助参与者和决策者更好地直观了解城市空间的潜在改进措施。因此，人工智能可以在创造更安全、更具包容性的城市环境中发挥至关重要的作用。

回到本节最初提出的问题，即智慧城市、数据和数字技术是否会助长全球日益加剧的不平等现象，抑或是一种补救措施，我们已经非常清楚地认识到，技术本身并不能解决问题，但谨慎、具有社会意识、尤其是具有包容性地使用技术，可以为促进社会公平的发展。

第四章 双转型与环境可持续发展

气候变化、原材料过度消耗或土地占用率高等多重环境挑战表明，必须转变城市发展方式，实现可持续城市发展，包括建设紧凑、安全和健康的住区，提供可持续和高效的出行方式，并增强抵御气候变化的能力[125]。面对气候变化、环境污染和生物多样性丧失，需要加快全球城市的可持续环境发展，以保护宜居和具有气候复原力的城市地区。数字化可以推动这一发展。从环境角度来看，有必要分析数字化如何有利于可持续发展，以及技术创新和数字化如何与可持续发展相联系。本章展示了数字化基础设施和工具，作为通过城市规划实现预定可持续环境发展目标的手段。本章就如何释放数字化潜力并将其引导到正确的渠道提出了建议。

一、面向未来城市的城市与环境综合规划和发展

自 2016 年 1 月 1 日《2030 年可持续发展议程》的 17 个可持续发展目标（SDGs）实施以来，联合国秘书处和各大国际组织一直致力于评估可持续发展目标的进展情况。从已有的评估结果来看，地球、人类、环境和生态系统的复原力和福祉正在退化，世界“严重偏离”了在 2030 年的最后期限前实现可持续发展目标的轨道。依据《2024 年可持续发展目标报告》，中国生态环境领域涉及的 7 项 SDGs 和 33 项评价指标中，水下生物（SDG14）和陆地生物（SDG15）评价为“红色”，清洁饮水和卫生设施（SDG6）、经济适用的清洁能源（SDG7）和可持续城市和社区（SDG11）评价为“橙色”，无绿色 SDGs，中国生态环境领域可持续发展目标在全球排名中处于相对较为落后的状态，亟需以减污降碳为主抓手推进绿色转型，推动现代化、智慧化城市环境基础设施建设，提高自然资源使用效率，保护和恢复淡水生态系统，遏制生物栖息地和生物多样性的减少；在全球发展倡议框架下深化国际数据合作，以“数据之治”助力落实联合国《2030 年可持续发展议程》，携手构建开放共赢的数据领域国际合作格局，为可持续发展提供新的动力和活力。

德国环境署提出未来城市愿景 [126]。该愿景旨在建设紧凑型绿色城市、多功能区、环保交通和减少噪音。它提出了未来城市生活的愿景，重点是创建可持续发展、宜居和高效的城市，强调城市发展需要采取综合方法，平衡环境、社会和经济因素。它提出了十项相互关联的一揽子措施，旨在系统地解决这些问题，应对交通拥堵、空气污染、噪音和缺乏绿地等核心挑战。

- **紧凑型多功能城市。**这一愿景提倡更密集、混合用途的城市发展，以尽量减少长时间的通勤并加强社区联系。这种方法被称为“双重内部发展”，旨在创建住宅、商业和娱乐空间共存的社区。例如，可以将城市汽车密度降低到每千名居民 150 辆。
- **城市绿地和公共区域。**增加绿地对于改善空气质量和娱乐活动至关重要。愿景包括公园、绿色屋顶和垂直花园，建议将未充分利用的区域改造成绿色地带。例如，将旧工业用地改造成社区公园，带来显著的环境和社会效益。
- **减少噪音。**防治噪音污染的策略包括限速、减少噪音的路面和安静区。愿景设定了雄心勃勃的目标，如遵守世界卫生组织关于夜间噪音水平不超过 40 分贝（A）的建议。实施这些措施可以减轻压力，改善城市生活条件。
- **主动交通网络。**加强步行和骑自行车的基础设施至关重要。愿景要求建立连续、安全、有吸引力的人行道和自行车道网络。例如，发展自行车道和人行道网络可以大大减少对汽车的依赖，促进更健康的生活方式。
- **综合交通服务和电动交通。**未来的城市交通应将各种交通方式整合成一个可通过数字平台访问的无缝系统。这一愿景支持电动汽车和汽车共享计划，以及强大的充电基础设施。奥斯陆等城市已成功普及电动汽车充电站，支持向电动交通过渡。
- **改善公共交通。**提高公共交通的质量和便利性至关重要。这一愿景包括增加服务频率和可靠性，以及过渡到电动公交车和火车。例如，布赖斯高地区弗赖堡已将电动有轨电车和公共汽车整合在一起，大大减少了城市废气排放。

- **可持续城市物流。**城市物流应有利于环境，减少送货车辆及其影响。这一愿景提倡将电动货运自行车用于最后一英里配送和城市集运中心。例如，阿姆斯特丹已采用电动货运自行车来简化送货流程，减少交通拥堵。
- **管理机动车交通。**交通管理战略包括征收拥堵费、停车管理和低排放区。该愿景旨在减少交通流量，促进可持续交通。伦敦的拥堵收费区就是一个例子，它有效地减少了中心城区的交通量和排放量。
- **生态友好型数字化城市规划。**数字工具和智慧城市概念在现代城市规划中至关重要。该愿景鼓励开放数据、智能交通管理和数字平台，以提高公众参与度。巴塞罗那的智慧城市计划利用实时数据有效管理交通和公共服务。
- **参与式合作规划。**让市民参与规划过程，对于创造符合居民需求和愿望的城市环境至关重要（见第三章第三节）。该愿景主张采用参与式方法，如生活实验室和对话论坛，确保社区参与。它还建议使用数字工具和平台来促进这种参与，使居民更容易为规划和决策过程做出贡献。这方面的例子包括维也纳的参与式城市规划项目，让居民参与决策过程。

这些措施的实施需要中央和地方政府的共同努力，也需要私营部门和社区的参与。实施这些措施需要大量投资、支持性法律框架、中央和地方各级增加资金投入，以及重新分配现有资金。由于公共财政有限，中央措施包括取消对环境有害的补贴，并将这些资金转用于可持续城市发展举措。在市政一级，综合城市规划是城市实现这些目标的关键机制。

紧凑型城市以及对有限城市空间资源的多功能和高效利用，是气候友好型城市发展的关键[127]。策略包括利用重新密集化的潜力以及对现有建筑的保护、翻新和改造。与此同时，紧凑的建筑结构必须与充足且方便使用的开放空间和绿地相结合，以避免在健康、气候适应能力（如城市热岛效应）和生活质量方面出现偏差（见第四章第五节）。三重内部城市发展的城市规划模式是一种综合规划和设计方案，旨在对建筑、交通和绿地进行新的空间分配[128]，其目标是将城市中紧凑型建筑的发展与绿色和开放空间的安全和质量保证，以及减少私人机动化交通以利于公共交通和主动交通联系起来。对交通区域进行（重新）设计和重新分配会对气候保护和适应、提供休闲场所和城市自然环境、提高空气质量和减少噪声污染，进而对人类健康有着至关重要的影响。三重内部城市发展得益于全面且最新的地理数据，这些数据是建筑物和空地登记、绿地信息系统、交通建模甚至数字孪生模型的来源。

除了分区规划和综合城市发展概念等传统的综合城市规划工具外，各城市正在越来越多地开发气候、环境和资源保护方面的智能概念。《德国智能城市宪章》就城市如何以可持续和积极的方式实现数字化提出了指导方针和建议[129]。数字化工具可以从不同方面支持城市规划。首先，城市和环境规划的数字化为数据收集和环境监测提供了新的可能性，可以根据新的、可靠的数据，更经济地确定和实施措施（见第四章第二节）。其次，数字化工具可以成为措施本身的一部分，这在交通领域最为突出（见第四章第三节）。第三，数字工具可以支持所有相关利益方进行新形式的沟通，支持公众参与规划过程（见第三章第三节）。

对数字化和城市可持续发展的案例研究分析表明，智能解决方案只有与城市可持续发展的非数字化措施（如城市基础设施的改造或扩建）相结合，才能为实现气候和环境政策的总体目标做出重大贡献 [130]。例如，要实现自行车交通模式的转变，除了智能交通灯之外，还需要扩大自行车交通基础设施。最后，提出了以下建议，以更好地整合智慧城市和城市环境保护概念[130]：

- 智能解决方案的设计应无害环境，利用其潜力，避免可能的风险和反弹效应。
- 应实施智慧城市的城市环境监测和评估系统，以确保透明度和可比性。
- 在数字化和智慧城市的资助计划中，应解决保护城市环境的问题。
- 应加强所有相关利益方（城市管理部门、基础设施公司、服务提供商、市民等）在开发环保型智能解决方案方面的意见和信息交流。
- 应为环保型智能解决方案提供试验平台。

人工智能促进可持续城市规划

越来越多地获取大数据和可扩展的人工智能 (AI) 模型使城市可持续性解决方案进入了一个新时代 [131]，通过高分辨率和高度情景化的方法开展工作。数据可用性、先进的分析模型和前瞻性能力的协同增效，标志着我们在设计和实施有效的本地化城市可持续发展战略的能力方面实现了重大飞跃。例如，基于人工智能的城市规划可根据不同城市地区的具体需求和背景量身定制可持续性和气候解决方案，同时将生物多样性、绿色发展或包容性等其他优先事项纳入分析。

二、以数字创新再造城市环境保护与发展

环境治理是“治理”概念在生态环境领域的延伸与应用，目的在解决环境污染、生态破坏、气候变化、生物多样性丧失等突出问题，实现人与自然和谐共生。把数字创新和智慧环保作为智慧城市的重要内容，是全球城市环境治理共同的诉求和大势所趋。

1. 数字化创新与城市环境治理

数字技术创新生态治理路径和模式，为公众提供系统化的环境服务、为政府提供智慧化的环境决策。作为一种现代化的城市生态环境治理方式，数字化导向下的生态环境智慧治理建设通过将大数据、5G、人工智能等数字技术有机嵌入城市生态环境保护与建设，在数字化与绿色化的深度融合中，不断提升城市生态环境治理的科学化、精细化、智能化水平。建设生态环境智慧治理，重点在于统筹好数字化和绿色化的关系，推动二者相互促进、协同发展。推进数字化建设，借助人工智能等技术发现数据背后的规律，能够为生态环境治理提供重要引擎，有助于达到高效、可持续的生态环境治理效果。推进绿色化发展，是建设数字生态文明的应有之义。

以数字技术创新拓展城市生态环境治理路径，实现城市生态环境的“数据之治”。借助海量数据和强大算力，运用大数据、云计算、人工智能等数字技术手段，能够有效提升生态环境保护的系统性、协同性、精准性，推动山水林田湖草沙一体化保护和系统治理。例如，为推进精准治污、科学治污、依法治污，我国一些地方运用数理统计、数字模拟、基因算法、大数据、机器学习等智能手段，融合多维环境数据，着力构建从污染源排放到环境质量变化的完整数据链，为在污染防治中实现精准溯源和精准预测提供了有力技术支撑。数字技术的广泛应用，为生态环境治理装上了高效监测和主动预警提供了科学分析和有效应对，丰富和拓展了生态环境治理的路径。

以数字技术创新推动生态环境治理向系统化、协同化转变。长期以来，由于生态环境数据信息在区域、部门、单位之间共享不够，导致生态环境治理在一定程度上存在碎片化现象，一些地方生态环境治理中“反复治理、治理反复”的问题较为突出。通过高效的数据汇聚和人工智能、云计算、数字孪生等先进技术，可以有效提升环境治理所必需的统揽全局能力、顶层设计能力、监测感知能力、预警预报能力、智慧决策能力和应急处置能力，为生态治理全系统全流程提供智慧支撑，为人民群众提供系统化的环境服务。以城市水系统为例，随着城镇化进程加快，城市水系统面临城市水安全风险、水生态破坏、水资源短缺、水环境污染等挑战。通过建立基于 AI+大数据的城市水环境智慧管控系统，联动城市厂—站—网—河体系，通盘考虑城市水资源、水环境、水生态、水安全、水文化，可以实现对地表水、污水、生态用水、自然降水、地下水等统筹管理、综合保护与系统利用。

以数字技术促进城市发展方式绿色升级，帮助企业推进绿色转型。数字技术的快速发展为促进减污降碳协同增效提供了新思路新方法，推动污染防治从末端治理转向源头控制，在数字化、绿色化协同转型中建立健全绿色低碳循环发展经济体系，推动经济社会发展全面绿色转型。一方面，数字技术有助于节能减排。通过采集、加工、处理生产数据，数字技术可以对生产全链条进行实时监测，并能根据需求变化精准调控生产管理方式，提升资源配置效率，减少资源能源的消耗 and 浪费。例如，在能源转型升级方面，鄂尔多斯市利用数字技术和智慧能源技术建设新型电力系统，推动数字化、大数据、人工智能技术与能源清洁高效开发利用技术有机融合，发掘和培育能源产业转型升级的增长点（见附件 1）。

生态工业园案例研究

在生态工业园区建设方面，天津市经济技术开发区综合运用工业物联网、标识解析、人工智能等技术构建起集安监、环保、能源等多元化监管与应急联控为一体的“工业环境大脑”，为建设资源友好、绿色可持续发展的智慧工业园区积累了宝贵经验。另一方面，数字技术可以为企业提供信息共享平台，降低企业研发创新的不确定性，支持企业从事创新活动，提升企业生产效率，降低单位产值的碳排放量与污染物排放量。生产运营数字化已经成为企业重要的减碳着力点，与人工智能相关的技术减碳贡献占比将逐年提升，发挥越来越重要的作用。

以数字化应用引领和推动城市居民养成可持续生活方式和消费模式。绿色发展既是生产方式的变革，也意味着生活方式的转变。伴随数字技术的发展，绿色消费、绿色出行、绿色家居等方面的数字化应用在日常生活中更加普及，正在吸引越来越多的人加入到绿色智慧生活的行列中来。目前，深圳市在智慧社区建设中坚持以群众需求为导向，积极拓展数字技术的应用服务场景，着力创新政务服务、公共服务方式，推动就业、健康、卫生、医疗等服务“指尖办”“网上办”“就近办”，通过让数据多跑路、群众少跑腿，高效聚合社区周边生活服务资源，建设便民惠民智慧生活服务圈，更好满足社区居民的多元化生活需求。此外，线上课堂、智慧医疗、智慧图书馆等数字技术的场景应用，在给社会生活带来便利，满足群众日益多样化、个性化需求的同时，也从技术层面强化了全社会的节约意识、环保意识、生态意识。

2. 在可持续环境发展中应用大数据分析和人工智能

人工智能和大数据技术的应用，为改善城市环境质量带来了新的机遇。智能交通系统、智能垃圾处理以及智能环境监测等应用可以有效地减少交通拥堵、改善垃圾处理效率和优化环境污染控制。同时，通过大数据的分析，可以实现科学的城市规划、精细化的环境治理以及智慧城市管理。建设生态环境智慧治理可重点从平台构建、数据挖掘、数智融合、政策保障等方面协同发力，形成“一张网”“一张图”，研发数据价值挖掘算法，推进数字技术在生态环境领域的深度应用，发挥好数字生态环境科技在美丽中国建设中的基础性、引领性作用（详见附件九：“人工智能+”探索北京亦庄生态环境治理的“数智”模式）。

根据地方特点，中国自 2016 年以来选择有代表性的省、市开展生态环境大数据创新应用，探索应用模式，推动试点成果的推广和实施。经过近十年的发展实践，大数据和人工智能已经被证明环境监管和治理的有效措施，并被作为环境保护和管理的新模式得到广泛推广。

- 建设生态环境全要素监测系统，覆盖大气、水、土壤、固废、噪声等，实现全面监测功能。通过科学部署感知终端与感知网络，建立覆盖辖区范围内各项生态环境要素的监测网络，实现感知信息数据的实时传输。
- 建设生态环境综合业务应用系统，实现管理考评与监察执法功能。以污染源全生命周期的监督管理为主线，对政府责任部门、排污单位、治污企业等监管对象，进行精准化监督管理与考核评价，建立起“横向到边、纵向到底”的网格化环境监管体系。比如：环境监察移动执法系统、环境网格化管理系统、IC 卡排污总量控制系统、污染源“一企一档”系统等
- 建设生态环境决策支持管理系统，实现决策指挥功能。融合生态环境监测数据资源和其它专业数据资源，建立“环保一张图”智能决策管理系统，为政府部门提供准确、及时的数据信息和科学、高效的指挥平台。例如苏州工业园区搭建的环境综合管理应急监测预警及指挥平台。在发生环境事件时，系统可以实时提供现场情况、应急方案，污染溯源管理等功能，辅助环境决策。
- 建设智慧环保民生服务系统，实现公众服务功能。通过智慧环保平台的开放应用，进行环境质量发布、环境问题投诉、行政许可申办、行政处罚公示等，形成政府与公众良性互动、共建共享的生态格局
- 探索大数据和人工智能在环境治理中的应用场景。人工智能技术通过计算机视觉技术和机器学习算法，可以对垃圾进行分类和识别，实现自动化处理，提高垃圾分类的效率和准确性。

大数据和人工智能在环境治理中的应用场景

法国苏伊士集团创新研发技术“Autodiag”智能识别技术的固废处理中心，该中心负责巴黎地区 100 多个城市的固废垃圾的收集和分拣。据悉，有了这项直接在垃圾分拣线上连续自动作业的质量控制技术，垃圾分拣效率将更高且结果也更可靠。Autodiag 智能识别技术已成功应用于塑料垃圾的分类检测，成功率高达约 98.5%。2023 年，北京市怀柔区庙城镇投入 127 套垃圾分类智能监控系统，工作人员在办公室就能实时监测 20 个社区（村）的 127 个垃圾分类驿站的垃圾分类情况，从而有针对性地开展分类工作，以 24 小时智能监测模式替代人工督导模式，节省人力物力的同时提高生活垃圾分拣率。浙江省平湖市曹桥街道景都佳苑内，AI 机器人以“智”替人，这一人工机器人能够 24 小时开启智能督导模式，降低人工成本，并且通过对问题发现、取证、宣教的闭环管理，建立垃圾分类长效化监管机制，解决了社区在垃圾分类工作中人工督导成本高、违规取证难、执法难、整改清理不及时、业务数据不准确等管理痛点问题，为城市的垃圾分类工作打开了新模式，助力垃圾分类加速实现智能化、数治化、精准化。

尽管人工智能帮助环保机构和相关企业更加高效和精准地进行环境监测、垃圾分类、碳排放监测、环境规划和环境治理等方面的工作，也有广泛的应用前景，不过，其大范围应用也面临一些挑战。例如，数据对环境具有重要意义，只有对现状的准确认知，才能做好总量控制。但人工智能技术需要大量的数据来进行训练和学习，目前，人工智能还需要加强环境数据的收集和管理，提高数据的质量和数量，以支持人工智能技术的应用。同时，人工智能的前期投入十分巨大，不论是技术、人力还是硬件基础设施，都有十分庞大的需求。并且，其框架搭建的过程需要一定时间，运行期间的费用也十分高昂，对于体量较小、经济薄弱的城市而言存在着较大压力。

三、人人享有可持续的城市交通

交通区域是城市环境发展的关键，其原因有三 [132]。首先，交通区域占城市空间的很大一部分，可用于气候适应措施等。其次，大部分交通区域密封性很强，增加了气候风险（如降水径流或热岛效应）。此外，这些区域主要用于机动化的个人交通，这种空间效率低、排放密集型的交通模式加剧了气候变化，成为上述风险的驱动因素。交通转型是解决这三种影响以及与交通相关的当地环境问题（如空气污染或噪音）、交通安全或社会公正和性别问题（如交通可达性、空间分布）的过程。其目标可概括为：避免不必要的交通（如规划紧凑型城市），从个人机动化交通转向公共交通或主动机动化交通（步行、骑自行车等），以及提高以（化石）燃料为基础的个人交通的效率（如改用电力驱动 [134]，见第二章第一节）。然而，改进措施很少产生有益的空间效应。

交通转型作为城市可持续发展的一种手段，可在多个方面受益于数字化。自动驾驶和联网驾驶将改变人们的出行行为，创造新的商业模式，并对交通系统产生巨大影响 [135]。这种影响是否符合城市可持续发展的目标，取决于工具的使用和影响。可以通过强制要求对各种交通模式进行技术评估来避免潜在风险，以防止对环境友好型交通产生负面影响。利用数字工具可以带来不同：自动驾驶汽车可以提高个人交通或公共交通的吸引力。这可以通过与技术进步同步的法规来管理。例如，统一数据和强调开放数据的法规将有可能增加依赖共享数据的多式联运 APP 和平台的有益影响，并促进从个体机动交通向公共交通的转变。但也可以通过资金进行管理，例如公共研究基金优先考虑公共交通的自动化研发，而不是机动化的私人交通。此外，在利用数字创新提高效率的同时，还应为减少汽车保有量制定有针对性的政策，如管制空驶或为共享车辆减税。

另一方面，由于自动驾驶汽车的通勤更具吸引力，无节制的交通数字化可能会导致城市无序扩张和更长的旅行距离。

利用机器学习推断建成环境的交通排放

Nachtigall 等人最近的一项研究（2023 年）[136] 解决了在考虑居民自我选择偏差的同时准确估算建成环境对诱发的交通二氧化碳排放的影响这一难题。该研究提出了一个双机器学习框架，其中包含以下两个机器学习模型：一个用于估算居民自我选择偏差，另一个用于预测诱发的交通二氧化碳排放，同时考虑这种偏差。研究结果表明，所提出的双重机器学习方法在考虑居民自我选择和提高估算与建成环境相关的交通二氧化碳排放量的准确性方面非常有效。

例如，基于对柏林的案例研究和 32000 名居民的旅行日记，他们发现建成环境导致柏林中心区和郊区的家庭旅行相关二氧化碳排放量大不相同，这主要是由于目的地的可达性不同。通过适当考虑居民自我选择偏差，模型对建成环境因素对交通排放的因果影响提供了更可靠的估计。这对城市规划和政策制定具有重要意义，因为这样可以做出更明智的决策。总之，这项研究强调了在城市可持续性研究中采用先进的机器学习技术的重要性。

四、城市发展中的碳减排、资源效率和零污染

本节概述了数字化和人工智能如何帮助释放各种工具和方法，并将其主流化，以实现建筑物和基础设施的建筑环境转型。根据政府间气候变化专门委员会（IPCC）的数据，通过在建筑领域采取减排措施，工业化国家可减少高达 90% 的温室气体排放，发展中国家可减少 80% 的温室气体排放 [3]。本节将概述数字化如何在塑造资源节约型、气候友好型和无污染型城市发展道路方面做出决定性贡献，从而为人类和环境带来积极成果。数字化工具、标准化方法和流程可以系统地绘制和评估应对现有建筑翻新挑战所需的信息，制定翻新和新建建筑的能源、材料和污染标准，从而帮助管理日益复杂的问题，为实现欧盟绿色新政提出的到 2050 年在建筑领域实现温室气体中和的政治目标。以及中国在 2030 年前达到二氧化碳排放峰值并在 2060 年前实现二氧化碳中和的政治目标做出贡献。

了解建筑物的全部环境成本，以此作为发展的基础。正如第 2 章所述，变革的一个关键杠杆是围绕满足关键的社会需求调整建筑经济的重点，同时抑制不必要的过度生产，从而避免出现未充分利用或空置的建筑，造成高昂的环境和社会成本。需求往往可以在现有建筑中得到满足。政策应抑制拆除行为，消除对建筑再利用、再使用、改造、扩建和密集化的监管障碍，促进城市的紧凑、混合使用和以人为本，同时避免或减少与新建建筑和城市扩张相关的碳排放、材料投资和进一步的环境干扰（第 2 章表 1 概述了数字化对需求方措施的影响）。一个关键的政策杠杆是在规划阶段进行环境影响评估，承认并评估现有建筑的内含碳量，从而抑制拆除行为。丹麦等国的创新规划立法 [137] 表明，数字化、易于获取的工具可帮助将全生命周期碳核算纳入主流，为将规划许可与碳预算（当地确定的最大碳排放和资源消耗目标）挂钩奠定基础，并有助于 a.) 在可节省排放和资源的情况下，优先考虑现有建筑的再利用、翻新或者扩建，而非拆除；b.) 在可能的情况下，激励优先使用可持续的自然材料和回收产品，而非传统的高能耗和碳密集型材料。

使用新材料进行规划和设计。由于改进了隔热性能和其他措施，建筑物运行（供暖、制冷、热水等）造成的温室气体排放比例正在不断下降 [4]，据预测，这一比例将从目前的 70% 降至 50%。因此，建筑物的环境足迹中越来越重要的一个因素将是建筑物的隐含碳排放量，即建造和安装所需材料的开采和生产所产生的排放量。因此，新建建筑和翻新建筑材料的选择对于实现预期的碳减排、资源效率和零污染目标至关重要。指导方针和数字化规划与评估工具对于将气候友好型和资源节约型设计主流化至关重要，可确保在建筑物的整个生命周期内最大限度地减少碳排放，优化材料效率和废物减量，并提供广泛的可持续材料选择。

气候友好型材料应遵循“避免-替代-改进”的模式。一方面应利用需求杠杆来避免不必要的材料投资，另一方面应充分利用各种努力来使主要由混凝土和钢材组成的城市建筑材料组合脱碳。这两项措施都不可能在短期内扭转建筑行业对气候的影响，因为大多数脱碳方案和低温室气体强度到零温室气体强度的生产工艺仍处于试验到接近商业化的阶段 [151]，成本高昂，且尚未得到大规模验证。因此，除了在使用混凝土和钢材时提高效率外，还需要对建筑行业进行系统性改革，同时用各种再生、生物基和土基材料取代大量的碳密集型材料需求，以满足迫切的住房和基础设施需求以及全球现有住房的

改造需求。这将包括基于自然的碳捕获的力量和基于建筑的碳储存的潜力，而不是将重点放在对生产和施工阶段可能产生重大影响的基本上未经证实的技术解决方案上。

建筑业从化石经济向生物经济过渡，为更均衡地分配社会经济机会提供了机遇。罗斯瓦格-克林格等人（2022年）[138]证实，通过在建筑施工和长期维护中大量使用木材和木质材料，建筑行业在一定条件下可以实现温室气体中和。木材的使用可以抵消施工阶段大量减少的、必要的混凝土构件所产生的温室气体排放。目前正在开发遥感等数字工具和人工智能，以更好地评估和指导自然材料的可持续采购，评估数量和安全供应链，或帮助了解如何优化更广泛的自然材料的应用。可数字化评估的环境产品申报标准化系统可确保只有由可持续采购的可再生原材料（如生物基材料或二次材料）（在某些情况下是脱碳矿物材料）制成的建筑产品才能在市场上销售，并满足以下有关循环性的要求。

确保循环性。在设计阶段之外，相关数据记录和所有相关数据的长期可用性确保翻新或新建结构的材料投资不会被浪费的关键。简单易用的标准化程序和文件，如产品和建筑护照、建筑数据库或数字孪生，是以经济可行的方式管理建筑材料循环的关键因素。这些数字协议可以成为拆卸设计方法的一部分，提前规划未来的再利用，并在后续建筑中逐级使用建筑部件，以最大限度地延长材料寿命和提高可回收性。在将这些工具纳入主流的同时，还需要进行监管干预：只有完全可回收或至少增加了可回收材料的比例、有害物质含量低、可多次使用、经久耐用且可修复的建筑产品才能投放市场[139]。对建筑材料和结构以及建筑材料和产品的可回收性进行相关评估需要方法和原则。必须进一步制定这些方法和原则，并以与基本数据一样普遍适用的方式向利益相关者提供和传播[152]。数字化支持、模块化、系列化的建筑和翻新对于通用建筑类型的翻新尤其具有前景。节约成本、缩短施工时间、为工厂生产高效采购材料、消除施工现场的浪费、提高回收材料的利用率以及模块的再利用都是经常提到的优势。

解决污染问题。建筑物及其建造、运行和拆除也会造成空气、水和土壤污染，从而导致相关污染，特别是在城市中心。要求用于翻新和新建的建筑材料必须保证基本不含有害物质，就是为了解决化学品造成的污染问题。例如，从抹灰、外墙涂料（如杀菌剂）或屋顶防水卷材（如根部保护剂）中渗出的有机添加剂。建筑产品也是室内污染物的主要来源。由于建筑产品事后很难更换，因此在规划阶段选择材料和建筑产品时，需要了解建筑产品所含物质的相关知识。这可能包括事先对建筑产品进行检测，只有这样才能做出明智的决定，避免日后采取成本高昂的拆除措施。此外，无污染的建筑材料是其回收利用的先决条件[139]。

让社会接受并创造动力。即使现在很多技术已经可以实现，但社会讨论和接受度以及政治手段和措施也很重要。可持续性证书、最佳实践范例、生态标签或奖项可以提高公众意识。以市场为基础的手段，如二氧化碳影子价格、可持续融资手段或货币激励措施，可以支持建筑业主选择可持续材料和施工方法。针对公共建筑业主的规范是影响市场的一种选择。此外，还有许多可能的监管措施，如碳足迹阈值、低排放要求、能效要求等。

五、绿蓝城市促进气候适应、生物多样性保护和人类福祉

鉴于世界范围内持续的城市化以及气候变化和生物多样性丧失等多重危机，城市绿地在国际上越来越受到重视[140][141][142][143]。基于自然的解决方案，包括蓝色（水）和绿色（植被）基础设施，对于减缓、适应、人类福祉和城市生物多样性至关重要。它们可提供多种生态系统服务，如调节温度、水量平衡、改善空气质量、提供娱乐和社交空间等[144]。因此，城市蓝绿基础设施是城市生活和环境质量的关键因素，与技术、数字和社会基础设施同等重要。

必须根据五项规划原则战略性地开发和维护城市绿蓝基础设施，这五项原则包括提高质量、创建绿蓝城市网络、促进多种用途、同步开发绿色和灰色基础设施以及鼓励跨机构合作与协作[145]。实施手段包括城市、开放空间和部门规划工具，以及为建立和管理城市蓝绿色基础设施提供充足的资金。另一个重要手段是将开放空间供应的量化水平以及绿色和蓝色空间的可达性与质量要求相结合。维也纳市就是一个最佳实践范例，该市规定了绿地和开放空间供应参数，作为城市扩建项目和现有城市结构的最低量化要求。

关于气候变化不可避免的影响，城市密集的人口和重叠的基础设施增加了气候诱发的风险，尤其是热浪或暴雨造成的风险。与此同时，如果将气候适应理解为一个转变过程，而不是任何城市基础设施

施抵御外部影响的能力，那么城市将为利用气候适应、公共服务和环境保护之间的协同作用提供许多机会[132]。海绵城市概念侧重于城市绿蓝基础设施在城市水循环中的功能，旨在提高城市的抗灾能力[146]。它标志着一种范式的转变，即从传统的将水尽快排出城市的方法转变为重新思考城市空间的能力，即分散储存雨水、允许雨水渗入或以较低的速度排出雨水。这样可以缓解废水处理基础设施的压力，使其更具弹性 [147][148]。此外，雨水还可用于管理城市植被，从而节约淡水资源。

数字解决方案能够以多种方式支持城市生物多样性、基于自然的解决方案和蓝绿色基础设施的建模、规划和监测。遥感技术有助于绘制城市蓝绿色基础设施地图，作为支持城市规划过程的绿地信息系统的数据基础。例如，德国的 UrbanGreenEye 项目旨在建立用于确定气候适应相关参数的卫星数据，作为市政管理和规划过程的工具[149]。数字气候建模工具有助于估算现有和新建建筑结构对未来气候的影响。此外，数字解决方案还可支持城市绿色基础设施的管理，例如通过与天气预报的耦合优化雨水管理，或利用传感器监测树木状况。

利用机器学习了解城市形态特征和温度变化

Zekar 等人最近的一项研究（2023 年） [150]调查了城市形态特征如何影响柏林、苏黎世和塞维利亚环境温度的时空变化。该研究探讨了了解城市热岛效应及其对当地气候条件影响的重要性。通过比较不同的城市形态，作者旨在找出造成所研究城市环境温度变化的主要特征。为了开展研究，作者使用机器学习模型分析了城市形态特征与环境温度变化之间的关系。所提出的模型能够绘制出城市内部的温度差异和空间变暖模式，并为受影响地区的决策提供有价值的见解。

分析土地利用对白天和夜间的影响表明，柏林的水体和植被对白天的气温影响很大，最多可降低 2°C。相反，密集发展区的存在在夜间气温波动中非常明显，对城市变暖产生了显著影响。所绘制的热图提供了对城市单位层面小气候的详细了解，有助于确定需要有针对性气候解决方案的优先区域，以降低热强度，尤其是在易受不利影响的社区。

1. 城市地区生物系统的质量和稳定性

城市生态系统是城市居民与周围生物和非生物环境相互作用而形成的一类具有一定功能的网络结构，也是人类在改造和适应自然环境的基础上建立起来的特殊的人工生态系统，由自然系统、经济系统和社会系统复合而成，这三大系统之间通过高度密集的物质流、能量流和信息流相互联系，其中人类的管理和决策起着决定性的调控作用。城市生态系统作为人类起主导作用的人工生态系统，其人为性、开放性和不完整性决定了它的脆弱性。增加物种数量和营养结构的复杂程度，可提高城市生态系统抵抗力与稳定性。当前，城市生态系统质量提升的重点在于增加城市生物多样性，减少硬化空间，发展海绵城市，加大城市代谢途径研究，维持城市生态系统的稳定性、并提升其韧性。

根据生态优先、绿色发展的要求，中国实施加强生态保护修复、提升生物多样性和生态系统功能、促进人与自然和谐共生、保障经济社会可持续发展等国土空间管控的自然资源管理实践，确定了生态环境管控的“三线一单”和城市发展的国土空间规划融合管理体系，基于生态保护、农业生产、城镇建设 3 类空间划定需求，差异化构建评价体系，将土地资源、水资源、矿产资源及环境、生态、灾害 6 个单项要素，集成为国土空间在生态保护、农业生产、城镇建设 3 个功能指向下的承载能力等级，确定城市发展定位和规模，整合自然、绿色基础设施与无生命的灰色基础设施，构建集生物多样性保护、水土气安全、防灾避险、文化休闲等功能一体化的生态网络，提升城镇空间生态景观的连通性，促进城镇内部的水系、绿地和城镇外围的河湖、森林、耕地之间的联系，形成协同共生的生产生活生态支撑体系。

2. 基于生物多样性的城市公园建设与管理

世界工业化、城市化进程在创造巨大的物质财富和精神文化的同时，也产生了城市空间无边界扩张、要素资源低效率占用、公共服务供给不足、城市形态千城一面等必须正视和解决的严峻挑战，亟待全新的城市理念和城市形态来提供“整体解决方案”。城市公园的建设，要以瞄准公园城市的发展需求，统筹城市管理人口和服务人口需求，构建绿色生活生态消费应用场景，推行小尺度街区、人性化空间、窄密路网和口袋公园。

传统的城市公园往往作为城市景观或城市绿色基础设施，满足城市居民的休闲需要，提供休息、游览、锻炼、交往，以及举办各种集体文化活动的场所。因此，城市公园往往是政府财政投资驱动下进行建设，是投资导向的，但是并未形成良好的经济效益。公园城市，就是希望通过数字技术手段展示城市的真实特征，通过整合、调配与设计各类资源要素提升城市品质，让“人”获得更好的居、业、游体验。公园城市建设的核心就是要充分利用数字化技术生成空间形态方案，建立“人行活动”与“城市空间形态”的相互作用路径，统筹城市空间的生态营造、人文营造、产业营造，推进以数字产业、生态居住为主导的产城融合，探索自然与人无界共生的未来城市。

第五章 政策建议

城市是人类文明的核心，其创造了超过 80% 的社会财富和 90% 的技术成果。然而，人口和经济活动在城市地区的集聚也带来了社会痛点、环境退化等挑战。进入 21 世纪第二个十年，人工智能（AI）领域的创新变得日益重要，为更好地了解城市进程，并通过有针对性的激励措施适应未来发展创造了新的机会。面对气候变化和地缘政治对经济带来冲击，如何推动数字和绿色化双转型，实现超过 5% 以上的绿色经济增长是中国经济面临的挑战。围绕六大核心行动领域，本章给出了一系列有操作性的政策建议，帮助政策制定者推进城市的可持续性和数字化转型，并在最后提出了三项总体战略。

智慧城市的发展没有标准的解决方案。每个城市的人口、发展水平、经济结构、历史和文化各不相同，这决定了智慧城市建设的路径也千差万别。在完善智慧城市顶层设计的过程中，必须强调因地制宜、坚持务实导向、贯彻包容性可持续发展原则。在实际政策制定层面，中国城市应首先确定最重要的方针和战略，在提升技术效率的同时，发展充满活力的社会网络和社区。COVID-19 疫情期间的经验表明，网络和社区能够迅速应对新兴挑战并调动各种资源，成为城市韧性的强大源泉。

一、行动领域之一：人工智能和数据治理

加强城市数据治理需要同时解决能力和控制两方面的问题。关键措施包括加强数字基础设施建设，以确保数据收集、存储和处理的能力强大且安全。为了进一步加强市政数据治理，人为决策和领导的制度化至关重要。确保决策者信息畅通并能够解读复杂数据有助于保持透明度和推行问责制。此外，应促进学术界、行业和民间社团等各方利益相关者之间的合作，通过吸纳不同的观点和专业知识以增强治理框架。这有助于在城市规划项目中涵盖各种场景、降低参与门槛。具体而言，城市可以通过实施以下政策，健全和发展数据和人工智能治理能力：

1. 以人为本，以市场获得感为出发点，推动人工智能应用和数据治理

城市数字化转型过程中要坚持以人为本，满足人民日益增长的物质和文化需求。随着城市发展，居民的需求不仅多样化而且质量越来越高。例如，对绿色交通出行的需求，对教育的需求。通过数字和绿色技术解决居民的刚性需求，在使居民拥有获得感的同时，能够带动新兴技术和产业的发展。

2. 控制算法，确保其服务于公共利益，并遵循道德和透明的使用原则

首先，确保算法的透明度，要求供应商和开发人员提供关于算法运作、决策及使用数据的清晰文档，同时对城市官员和公众开放。其次，应用监管框架来监督算法的使用，包括制定人工智能道德准则、进行定期审计以及设立独立监督机构进行合规性监测并防止偏见。第三，算法开源，促进行业审查和协作，允许公民和专家审查和改进这些系统。第四，建立反馈和补救机制，允许公民报告对算法决策的担忧，并确保这些问题得到有效解决。最后，制定并实施全面的数字隐私和安全框架，保护公民个人数据，确保透明度和问责制并防止数据滥用。该框架应包括数据收集、存储和共享的明确指导方针，以及预防数据泄露的严格措施。此外，还应定期进行审计和评估，以确保遵守隐私标准。

3. 改进数据治理，优化数据资源

数据是智慧城市运行的核心，是连接数字能力和解决方案的纽带。《数字中国建设整体布局规划》指出，为夯实数字中国的基础，一方面要建设充足且高效的数字基础设施，另一方面要促进数据资源的顺畅流通，这一原则同样适用于新型智慧城市建设，加强数据作为关键生产要素的赋能作用。应改善数据治理，强调数据共享，建立开放的数据管理系统，避免数据重复采集和封闭使用导致的“数据孤岛”问题和资源浪费，发挥数据促进民生及经济发展的作用。在数据收集方面，依托智能交通和智能能耗系统，加强对个人、家庭和组织层面的可持续性相关数据（如“碳足迹”和“碳信用额”）的收集。

4. 降低环境和社会风险

首先，与专业机构合作、关注性别角度、共享智慧城市数据，确保人工智能系统的设计采用多样化的数据集，减少性别数据差距和偏见，提高城市发展的包容性。其次，定期评估智慧城市中人工智能和数字化工作对环境的影响，建立监测系统，跟踪数据中心和人工智能业务的能源消耗和碳排放，动态调整政策，保持数字增长和可持续发展目标之间的平衡。

二、行动领域之二：绿色能源和工业基础设施

确保能源需求和能源供应能够灵活匹配，支持将间歇性可再生能源整合到能源系统中，依赖智能工业和智能家居系统，并辅以动态定价。具体来说，城市可以实施以下政策，利用数字化手段改造能源部门和工业基础：

1. 针对城市经济绿色和可持续转型的目标，调整金融结构和资金流向

首先，有针对性地提供补贴和税收优惠，鼓励广泛采用数字服务和绿色技术，鼓励数据中心使用新建的可再生能源（太阳能、风能、电池）供电。其次，引导公共和私人投资于绿色和数字技术研发，建立创新中心并形成战略合作伙伴关系。第三，促进公共部门、企业和学术界之间的合作，以开发可持续的商业模式。调整税收政策以鼓励绿色化和数字化解决方案。

2. 制定促进技术和基础设施发展的政策措施

首先，实施市场改革，消除绿色和数字技术应用的障碍。更新法规，整合可再生能源，支持分散式生产，促进工业、交通和废物管理等领域的创新。其次，协调地方和国家多层次治理体系，确保政策的一致性、资源分配的高效性以及与气候目标的协同。第三，投资人工智能和数据驱动平台，优化工业系统和城市的可持续发展，在数据开发开放的过程中保护隐私。

三、行动领域之三：智慧的、可持续的城市规划

将城市大脑技术融入城市规划，利用人工智能模拟和预测交通及建筑领域的干预措施对温室气体排放以及气候适应力的影响，提升城市发展的可持续性。促进人工智能在交通领域的应用，使用高分辨率的空间数据及先进的数据驱动方式，制定城市规划战略并指导城市可持续发展，提升居民生活质量。具体而言，城市可以通过实施以下政策，利用数字化手段发展可持续的城市规划：

1. 遵循未来城市愿景，设计环境可持续的智慧城市

首先，设计紧凑、绿色、空间灵活、环保出行及低噪音的智慧城市，其核心在于采用新的方式管理有限的城市空间。“三重城市内部发展”的规划模型促进了城市土地的重新分配，并与海绵城市理念相一致[154]。基于人工智能的城市规划工具能够迅速监测、评估、预测并指导低碳和有韧性的居民区建设，其发展潜力巨大。

其次，鼓励交通领域的数字化创新，同时解决因效率提升而可能产生的副作用。公共交通和私人出行方式构成了可持续城市交通系统的主干，对减少城市交通空间的需求至关重要。应研究城市出行数据、实施法律和财政机制、利用数字化手段提升城市交通的高效和安全性。

第三，发展标准和主流的存量建筑数字评估工具以及易获取的生命周期碳核算工具，用于确定建筑行业中的脱碳、降低有害物质、优化资源消耗，为可持续转型设定监测目标和指标，实现气候友好和以人为本的建筑环境。

第四，立法应明确低碳、可拆卸、零污染建筑的环境目标，通过财政激励与监管措施推动实施，并建立监测体系。逐步淘汰水泥、钢结构等高碳建材，并通过建筑教育领域的革新项目，积极倡导可再生建筑材料的广泛应用。此外，应向采用创新材料的建筑企业提供财政资助与风险缓释机制，以激发市场活力。在可持续智慧城市发展过程中，城市环境保护需融入监管，建筑转型件以可持续融资与激励，如可持续性认证、最佳实践及生态标签，共筑智慧绿色城市。

第五，从居住环境到城市区域，保护、开发和提升网络化、多功能和可接入的城市绿蓝基础设施。通过综合基础设施的规划和管理，为城市空间的开放性和便捷性设定量化指标，并通过可持续的融资支持来实现。数字工具应支持城市绿蓝系统的建模、规划和监测。

第六，借助数字技术创新，推动城市生态环境管理的系统化和协同化。未来城市建设应考虑将人工智能等数字技术有机嵌入城市生态环境治理。为此，应支持生态环境数据收集，鼓励城市居民采用可持续的生活和消费模式，为美丽中国建设和城市环境可持续发展目标的实现提供强大动力。

四、行动领域之四：社会参与和包容

向市民提供数字素养培训项目，旨在提升其理解和批判算法系统的能力。通过引入参与式设计流程，让社区成员、专家及城市官员共同参与，确保算法开发过程中融入多元化意见，从而应对潜在偏见，并与社区价值观保持一致。此外，通过公众咨询、研讨会和论坛等形式让市民广泛参与，进一步揭开技术的神秘面纱，增强他们在治理过程中的主动参与度。具体而言，城市可通过实施以下政策来确保数字参与的普及性和社会发展的包容性：

1. 防止不平等现象加剧，促进社会公平规划

首先，为老年人、儿童和经济欠发达地区居民等弱势群体提供培训，确保他们能够享受到数字城市服务。其次，在利用数字技术解决城市挑战、促进城市发展的各个阶段融入性别平等因素。通过纳入所有性别的视角，智能设备能够平衡其使用数据中存在的偏见。

2. 构建高效有力的治理体系，以激励变革

首先，向政府提供科学研究成果，支持其在社区参与下设计可持续的智慧城市方案（即实现知识自上而下的传递），同时开展城市间的同行评审。其次，在国家层面设计并推广员工培训项目，提升公务员的能力，使其能够支持绿色智慧城市的设计过程。第三，采用积极的参与方式，确保所有相关利益方的参与并提供包括性别预算在内的充足预算支持，以确保资源的公平分配。

五、行动领域之五：知识生成和获取

建立数据门户网站，提供可持续发展相关指标的访问途径，通过预测性人工智能建模，采取循证气候行动。通过让公众获取数据并参与其中，可以提高城市可持续发展工作的透明度和包容性。此外，还应让数据使用方式更便捷。未来的城市应拥有研讨和实验的空间，使不同的参与者（市民、公司、科学家和雇主）都能根据自己的需求使用数据、创造知识。

1. 生成并提供与城市可持续发展相关的数据

首先，开发低碳城市规划预测模型，利用高分辨率空间数据和人工智能提高能源效率。人工智能方法可以确定低碳城市规划战略，例如，最大限度地减少新定居点，从而减少新增交通量。算法还可以通过分析建筑形态来推断建筑年代，并找出从节能改造中获益最多的旧建筑。这种数据驱动的洞察力能让城市更有效地分配资源，确保改造工作带来最大的环境效益。

其次，获取全面的移动性数据，包括 GPS 数据和交通使用模式，帮助城市规划者设计更高效的公共交通网络。通过分析这些数据，城市可以识别服务不足的区域，并优化交通路线，以减少与出行相关的温室气体排放。

最后，通过绘制城市热力图加强气候适应能力。详细的城市温度空间数据有助于识别极端天气事件中热应力最脆弱的区域。机器学习模型可以分析温度变化，并将其与城市形态特征（如绿地和建筑密度）相关联。这种方法使城市能够实施有针对性的干预措施，如在易受热浪影响的地区增加城市绿化，以缓解热浪的影响。

2. 支持技术应用的社会创新

首先，通过公共活动、教育和激励措施鼓励可持续发展行动，促进节能、可持续运输和减少废物排放。其次，支持开发以循环经济和可持续性为重点的商业模式，利用数字平台减少浪费，创造新的经济机会。

六、行动领域之六：监测和学习

智慧城市指数是明确双转型长期愿景和方向的重要工具，用于衡量进展、在过程中进行灵活调整并评估成果。智慧城市指数应考虑一系列广泛的标准，以评估城市的数字化和绿色化进展。城市未来的任务之一应是研究现有各学科监测系统之间的协同效应，并确定可持续智慧指标。具体而言，城市可通过实施以下政策，推进可持续智慧城市的发展：

1. 制定针对具体城市的指标，综合监测数字化和可持续转型

首先，应尽早制定智慧城市指标，综合考虑发展（投入和产出）及其影响，将研究结果作为政府部门有针对性规划和决策的基础，并通过宣传和沟通提高公众意识[35]。其次，反映每个城市的具体特点，确保政策的相关性和有效性。应由各利益相关群体共同设计制定指标及其收集方式。最后，在监测城市绿色化和数字化进程的框架中纳入伦理因素，考虑代际公正、社会公正、环境公正、财务公正、自治程度、诚实度和问责制等问题。

2. 改进现有的评估指标体系

《新型智慧城市评价指标》（2022年最新版，2023年5月1日实施）从两个角度对智慧城市建设进行评价：一是客观指标，包括公共服务、治理结构、生态宜居、信息基础设施、信息资源、产业发展、信息安全和创新发展；二是主观指标，即市民体验。该指标体系涵盖了智慧城市建设的各个主要方面，主要针对地级及以上城市。2019年共有275个城市参与评估。目前，如何完善《新型智慧城市评价指标》中的“生态宜居”部分的内容和权重值得思考。

七、总体战略

中国的智慧城市项目已覆盖全国各省、市、自治区。所有副省级城市、95%以上的地级市和50%以上的县级市都已正式规划建设智慧城市。近期，结合新基础设施建设，如5G、大数据中心、人工智能和工业互联网等，智慧城市建设正在加速推进。据统计，2023年中国智慧城市产业规模达到了11535.4亿元。然而，尽管取得了巨大成就，中国智慧城市和绿色城市的发展仍处于两条不同的轨道上。总体而言，智慧城市建设需要吸纳可持续发展因素，提供智能和可持续的解决方案，并推进关键技术的创新，促进数字化和绿色化转型的协同发展。

1. 实施以人为本的“可持续智慧城市”战略

中国城市需将“可持续智慧城市”理念作为下一阶段智慧城市发展的主要范式。为此，政府应成立专门的可持续智慧城市委员会，并将可持续性理念全面融入智慧城市建设的各项工作之中，涵盖环境层面（如温室气体排放、数据中心能耗、环境污染、电子废弃物等）、社会层面（如性别平等、隐私保护、数字弱势群体等）以及治理层面（科学决策、公众参与、透明度等）。需要将可持续性因素纳入智慧城市建设的各个阶段和各个方面，例如数字能力建设投资、提供可持续解决方案和管理数据资源等。积极促进公民和组织的参与，加强社会网络和地方社区建设，确保智慧城市发展以人为中心。

2. 加快城市数字能力构建，提供可持续解决方案

可持续智慧城市的建设既要考虑数字能力的建设，也要考虑智慧和可持续解决方案的提供。城市数字能力包括信息与传播技术基础设施（硬件、软件）、信息与传播技术服务、城市人工智能系统（城市大脑、智慧城市管理中心）等方面；而智慧与可持续解决方案则包括数字孪生城市、智慧交通、智慧能源、智慧工业园区等一般应用场景，解决地方特色城市问题和痛点的特定应用场景，以及各类弱势群体的特殊需求。提升可持续解决方案的数字能力既需要技术赋能，也需要制度创新。

3. 推动数字和绿色创新融合关键技术的突破

数字和绿色创新在推动经济和社会转型和升级中发挥着至关重要的作用。将人工智能等数字技术与绿色技术相结合，是实现中国城市可持续发展的关键。应通过更有效地利用资源、快速的流程规划以及基础设施的战略性使用以加强城市空间的弹性。进一步完善国家和部门创新体系，开发和部署促进数字-绿色创新相融合的关键技术。

结语：城市大脑是智慧城市运行的核心。在人工智能、大数据和云计算的推动下，城市大脑可以极大地提高城市运行效率，为可持续发展奠定基础。然而，一个城市只有高效的大脑是不够的，还要有一颗温暖的心。这颗心关注环境和自然，热爱城市中的每一个人。既有高效的大脑，又有仁爱之心，是城市成功实现数字化和绿色化双转型的关键。此外，双转型的核心是人，为了更好地服务于人对美好生活的追求，有效的市场和有为的政府都应发挥作用。在高效大脑和仁爱之心的指挥下，无形的手和有形的手将共同发挥作用，只有两者相互协作，才能创造可持续发展的城市未来。

参考文献

- [1] United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. World Urbanization Prospects: The 2018 Revision [M]. New York: United Nations, 2018.
- [2] United Nations Environment Programme. 2022 Global Status Report for Buildings and Construction: Towards a Zero emission, Efficient and Resilient Buildings and Construction Sector [EB/OL]. [2022-03-24]. <https://www.unep.org/resources/publication/2022-global-status-report-buildings-and-construction>.
- [3] United Nations Environment Programme. Circular Economy as an Enabler for Responsible Banking: Circular Solutions to Achieve Climate Targets in the Buildings and Construction Sector [EB/OL]. [2024-07-24]. https://www.unepfi.org/wordpress/wp-content/uploads/2024/07/PRB_CE-nexus_buildings-supplement.pdf.
- [4] United Nations Environment Programme. Building Materials and the Climate: Constructing a New Future [EB/OL]. [2023-03-24]. <https://wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/43293>.
- [5] World Green Building Council. Beyond Buildings: An integrated approach to a sustainable built environment: the co-benefits of resources & circularity [EB/OL]. [2021-03-24]. <https://worldgbc.org/article/an-integrated-approach-to-a-sustainable-built-environment-the-co-benefits-of-resources-circularity/>.
- [6] World Green Building Council. Beyond the Business Case [EB/OL]. [2021-03-24]. <https://viewer.ipaper.io/worldgbc/beyond-the-business-case/?page=2>.
- [7] United Nations Economic Commission for Europe. People-Smart Sustainable Cities [EB/OL]. [2020-03-24]. <https://unece.org/housing/smart-sustainable-cities>.
- [8] Edward Glazer. The Triumph of the City (Chinese version). [M]. Shanghai Social Sciences Press, 2012.
- [9] Smith, A., Hu Changming (trans). The Wealth of Nations [M]. Chongqing Publishing House, 2015.
- [10] Scott, A.J., Storper, M. The Nature of cities: the scope and limits of urban theory [J]. International Journal of Urban & Regional Research, 2014, 39(1): 1-15.
- [11] Zhang J. The Law of Scale: Exploring the Universal Law from Fragility to Urban Development [M]. People's Posts and Telecommunications Press, 2023: 117.
- [12] Conrad, A.; DeTroy, S. E.; Dross, M. et.al. Advancing the New European Bauhaus: Sustainable Mobility and Resilient Urban Spaces for a Better Quality of Life – the AdNEB project [J]. Environmental Law Network International Review, 2022, 22 (4), 26-29. <https://doi.org/10.46850/elni.2022.004>.
- [13] Kaack, L. H., Donti, P. L., Strubell, E., Kamiya, G., Creutzig, F., & Rolnick, D. Aligning artificial intelligence with climate change mitigation [J]. Nature Climate Change, 2022, 12(6): 518-527.
- [14] Creutzig, F., Acemoglu, D., Bai, X. et.al. Digitalization and the Anthropocene [J]. Annual review of environment and resources, 2022, 47(1): 479-509.
- [15] European Institute for Gender Equality (EIGE). Gender Bias [EB/OL]. [2023-02-03]. <https://eige.europa.eu/thesaurus/terms/1155>.
- [16] O'Connor, S., Liu, H. Gender bias perpetuation and mitigation in AI technologies: challenges and opportunities [J]. AI & Soc, 2024, 39: 2045–2057. <https://doi.org/10.1007/s00146-023-01675-4>.
- [17] Gauvin, L., Tizzoni, M., Piaggese, S., et al. Gender gaps in urban mobility [J]. Humanit Soc Sci Commun, 2020, 7: 11. <https://doi.org/10.1057/s41599-020-0500-x>.
- [18] Buvinic, M., Levine, R. Closing the Gender Data Gap [J]. Significance, 2016, 13(2): 34–37. <https://doi.org/10.1111/j.1740-9713.2016.00899.x>.
- [19] UN Women. Country Fact Sheet China [EB/OL]. [2024-08-26]. <https://data.unwomen.org/country/china>.
- [20] UNESCO. *The Race to Save Earth's Climate* [EB/OL]. (2023). UNESCO. [2024-08-29]. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000388971>.
- [21] German, S., Metternicht, G., Laffan, S., Hawken, S. Intelligent spatial technologies for gender inclusive urban environments in today's smart cities [J]. Intelligent Environments, 2023: 285-322.

- [22]OECD (2022), "China", in Education at a Glance 2022: OECD Indicators [EB/OL]. [2022-03-24]. OECD Publishing, Paris. <https://doi.org/10.1787/165b07ff-en>.
- [23]Lei B., Yang W., Yan Y., Tang Z., Dong W. Carbon Emission Reduction Evaluation of End-of-Life Buildings Based on Multiple Recycling Strategies [J]. Sustainability, 2023, 15: 15711.
- [24]Sandberg, Maria. 2021. Sufficiency transitions: A review of consumption changes for environmental sustainability[J/OL]. Journal of Cleaner Production, 2021, 293: 126097. DOI:[10.1016/j.jclepro.2021.126097](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126097).
- [25]Pauliuk, S., Heeren, N., Berrill, P. et al. Global scenarios of resource and emission savings from material efficiency in residential buildings and cars. Nat Commun 12, 5097 (2021). <https://doi.org/10.1038/s41467-021-25300-4>.
- [26]Niamir, Leila, Olga Ivanova, Tatiana Filatova, Alexey Voinov, and Hans Bressers. Demand-side solutions for climate mitigation: Bottom-up drivers of household energy behavior change in the Netherlands and Spain[J/OL]. Energy Research & Social Science, 2020, 62: 101356. DOI:[10.1016/j.erss.2019.101356](https://doi.org/10.1016/j.erss.2019.101356).
- [27]Levesque, Antoine, Robert C. Pietzcker, and Gunnar Luderer. Halving energy demand from buildings: The impact of low consumption practices[J/OL]. Technological Forecasting and Social Change, 2019, 146: 253-266. DOI:[10.1016/j.techfore.2019.04.025](https://doi.org/10.1016/j.techfore.2019.04.025).
- [28]Creutzig, Felix, Leila Niamir, Xuemei Bai, Max Callaghan, Jonathan Cullen, Julio Díaz-José, Maria Figueroa, Arnulf Grubler, William F. Lamb, Adrian Leip, Eric Masanet, Érika Mata, Linus Mattauch, Jan C. Minx, Sebastian Mirasgedis, Yacob Mulugetta, Sudarmanto Budi Nugroho, Minal Pathak, Patricia Perkins, Joyashree Roy, Stephane de la Rue du Can, Yamina Saheb, Shreya Some, Linda Steg, Julia Steinberger, and Diana Ürge-Vorsatz. Demand-side solutions to climate change mitigation consistent with high levels of well-being[J/OL]. Nature Climate Change, 2022, 12(1): 36-46. DOI:[10.1038/s41558-021-01219-y](https://doi.org/10.1038/s41558-021-01219-y).
- [29]Wiedenhofer, Dominik, Barbara Smetschka, Lewis Akenji, Mikko Jalas, and Helmut Haberl. Household time use, carbon footprints, and urban form: a review of the potential contributions of everyday living to the 1.5 °C climate target[J/OL]. Current Opinion in Environmental Sustainability, 2018, 30: 7-17. DOI:[10.1016/j.cosust.2018.02.007](https://doi.org/10.1016/j.cosust.2018.02.007).
- [30]Hossain, Md. Uzzal, S. Thomas Ng, Prince Antwi-Afari, and Ben Amor. Circular economy and the construction industry: Existing trends, challenges and prospective framework for sustainable construction[J/OL]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2020, 130: 109948. DOI:[10.1016/j.rser.2020.109948](https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.109948).
- [31]Koutamanis, Alexander, Boukje Van Reijn, and Ellen Van Bueren. 2018. Urban mining and buildings: A review of possibilities and limitations[J/OL]. Resources, Conservation and Recycling, 2018, 138: 32-39. DOI:[10.1016/j.resconrec.2018.06.024](https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.06.024).
- [32]Atanasova, Nataša, Joana A. C. Castellar, Rocío Pineda-Martos, Chrysanthy Elisabeth Nika, Evina Katsou, Darja Istenič, Bernhard Pucher, Maria Beatrice Andreucci, and Guenter Langergraber. Nature-Based Solutions and Circularity in Cities[J/OL]. Circular Economy and Sustainability, 2021, 1(1): 319-332. DOI:[10.1007/s43615-021-00024-1](https://doi.org/10.1007/s43615-021-00024-1).
- [33]Privitera, Riccardo, Gianpiero Evola, Daniele La Rosa, and Vincenzo Costanzo. Green Infrastructure to Reduce the Energy Demand of Cities[M/OL]//PALME M, SALVATI A. Urban Microclimate Modelling for Comfort and Energy Studies. Cham: Springer International Publishing, 2021: 485-503[2023-12-04]. http://link.springer.com/10.1007/978-3-030-65421-4_23. DOI:10.1007/978-3-030-65421-4_23.
- [34]Mastrucci, Alessio, Leila Niamir, Benigna Boza-Kiss, Nuno Bento, Dominik Wiedenhofer, Jan Streeck, Shonali Pachauri, Charlie Wilson, Souran Chatterjee, Felix Creutzig, Srihari Dukkupati, Wei Feng, Arnulf Grubler, Joni Jupesta, Poornima Kumar, Giacomo Marangoni, Yamina Saheb, Yoshiyuki Shimoda, Bianka Shoai-Tehrani, Yohei Yamaguchi, and Bas Van Ruijven. Modeling Low Energy Demand Futures for Buildings: Current State and Research Needs[J/OL]. Annual Review of Environment and Resources, 2023, 48(1): 761-792. DOI:[10.1146/annurev-environ-112321-102921](https://doi.org/10.1146/annurev-environ-112321-102921).

- [35] Daioglou, Vassilis, Efstratios Mikropoulos, David Gernaat, and Detlef P. Van Vuuren. Efficiency improvement and technology choice for energy and emission reductions of the residential sector[J/OL]. *Energy*, 2022, 243: 122994. DOI:[10.1016/j.energy.2021.122994](https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.122994).
- [36] Niamir, Leila, Gregor Kiesewetter, Fabian Wagner, Wolfgang Schöpp, Tatiana Filatova, Alexey Voinov, and Hans Bressers. Assessing the macroeconomic impacts of individual behavioral changes on carbon emissions[J/OL]. *Climatic Change*, 2020, 158: 141-160. DOI:<https://doi.org/10.1007/s10584-019-02566-8>.
- [37] Pachauri, Shonali, Miguel Poblete-Cazenave, Arda Aktas, and Matthew J. Gidden. Access to clean cooking services in energy and emission scenarios after COVID-19[J/OL]. *Nature Energy*, 2021, 6(11): 1067-1076. DOI:[10.1038/s41560-021-00911-9](https://doi.org/10.1038/s41560-021-00911-9).
- [38] Lake, Andrew, Behnaz Rezaie, and Steven Beyerlein. Review of district heating and cooling systems for a sustainable future[J/OL]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2017, 67: 417-425. DOI:[10.1016/j.rser.2016.09.061](https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.061).
- [39] Creutzig, F., J. Roy, P. Devine-Wright, J. Díaz-José, F. W. Geels, A. Grubler, N. Maïzi, E. Masanet, Y. Mulugetta, C. D. Onyige, P. E. Perkins, A. Sanches-Pereira, and E. U. Weber. 2022. “Chapter 5: Demand, Services and Social Aspects of Mitigation.” in *Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. IPCC.
- [40] Niamir, Leila, Keywan Riahi, Elina Brutschin, Edward Byers, Adriana Gómez-Sanabria, Katrin Kaltenegger, Miho Kamei, Gregor Kiesewetter, Şiir Kılıkış, Zbigniew Klimont, Alessio Mastrucci, Luis Martinez, Nobuo Mimura, Gregory F. Nemet, Shonali Pachauri, Minal Pathak, Pallav Purohit, Kazuhiko Takemoto, Ferenc L. Toth, Bas van Ruijven, Yoshiki Yamagata, Caroline Zimm, and Eric Zusman. *Cities Transformation*[R/OL]. Zenodo, 2024[2024-09-12]. <https://zenodo.org/records/11445181>. DOI:[10.5281/zenodo.11445181](https://doi.org/10.5281/zenodo.11445181).
- [41] Dequaire, Xavier. Passivhaus as a low-energy building standard: contribution to a typology[J/OL]. *Energy Efficiency*, 2012, 5(3): 377-391. DOI:[10.1007/s12053-011-9140-8](https://doi.org/10.1007/s12053-011-9140-8).
- [42] Ürge-Vorsatz, Diana, Radhika Khosla, Rob Bernhardt, Yi Chieh Chan, David Vérez, Shan Hu, and Luisa F. Cabeza. Advances Toward a Net-Zero Global Building Sector[J/OL]. *Annual Review of Environment and Resources*, 2020, 45(1): 227-269. DOI:[10.1146/annurev-environ-012420-045843](https://doi.org/10.1146/annurev-environ-012420-045843).
- [43] Al-Obaidi, Karam M., Mohataz Hossain, Nayef A. M. Alduais, Husam S. Al-Duais, Hossein Omrany, and Amirhosein Ghaffarianhoseini. A Review of Using IoT for Energy Efficient Buildings and Cities: A Built Environment Perspective[J/OL]. *Energies*, 2022, 15(16): 5991. DOI:[10.3390/en15165991](https://doi.org/10.3390/en15165991).
- [44] Wilson, Charlie, Laurie Kerr, Frances Sprei, Emilie Vrain, and Mark Wilson. Potential Climate Benefits of Digital Consumer Innovations[J/OL]. *Annual Review of Environment and Resources*, 2020, 45(1): 113-144. DOI:[10.1146/annurev-environ-012320-082424](https://doi.org/10.1146/annurev-environ-012320-082424).
- [45] Shabanpour, Ramin, Nima Golshani, Mohammad Tayarani, Joshua Auld, and Abolfazl (Kouros) Mohammadian. 2018. “Analysis of Telecommuting Behavior and Impacts on Travel Demand and the Environment.” *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 62:563–76. doi: 10.1016/j.trd.2018.04.003.
- [46] Creutzig 2015
- [47] Logan, T. M., M. H. Hobbs, L. C. Conrow, N. L. Reid, R. A. Young, and M. J. Anderson. 2022. “The X-Minute City: Measuring the 10, 15, 20-Minute City and an Evaluation of Its Use for Sustainable Urban Design.” *Cities* 131:103924. doi: 10.1016/j.cities.2022.103924.
- [48] Lopez-Carreiro, Iria, Andres Monzon, Elena Lopez, and Maria Eugenia Lopez-Lambas. 2020. “Urban Mobility in the Digital Era: An Exploration of Travellers’ Expectations of MaaS Mobile-Technologies.” *Technology in Society* 63:101392. doi: 10.1016/j.techsoc.2020.101392.
- [49] Allam, Z. Big data, artificial intelligence, and the rise of autonomous smart cities [M]. In: *The Rise of Autonomous Smart Cities. Sustainable Urban Futures*. Palgrave Macmillan, Cham, 2021.
- [50] Chandler, C. 2023. Contested autonomy in “smart” and “inclusive” innovation: test-driving transportation technology and policy in Pittsburgh. *Urban Geography*, 44 (8), pp. 1608-1627.

- [51] Brochler, R., Seifert, M. STP Development in the Context of Smart City [J]. *World Technopolis Review*, 2019, 8(2): 74-81.
- [52] Timeus, K., Vinaixa, J., and Pardo-Bosch, F., 2020. Creating business models for smart cities: a practical framework. *Public Management Review*, 22(5), 726–745. <https://doi.org/10.1080/14719037.2020.1718187>.
- [53] Smith, A., Martín, P.P. Going beyond the smart city? Implementing technopolitical platforms for urban democracy in Madrid and Barcelona [M]. In: *Smart sustainable city Transitions*. Routledge, 2022: 280-299.
- [54] Ersoy A , Alberto K C .Understanding urban infrastructure via big data: the case of Belo Horizonte[J].*Regional Studies Regional Science*, 2019, 6(1):374-379.DOI:10.1080/21681376.2019.1623068.
- [55] Ye, L., Pan, S. L., Wang, J. Wu, J., Dong, X. Big data analytics for sustainable cities: An information triangulation study of hazardous materials transportation [J]. *Journal of Business Research*, 2021, 128(5): 381-390.
- [56] Noesselt, N. City brains and smart urbanization: regulating ‘sharing economy’ innovation in China [J]. *Journal of Chinese Governance*, 2020, 5(4): 546-567.
- [57] De Jong, M., Joss, S., Taeihagh, A. Smart city development as spatial manifestations of 21st century capitalism [J]. *Technological Forecasting and Social Change*, 2024, 202: 123299.
- [58] Albert, C., Bustos, P. and Ponticelli, J. 2021. The Effects of Climate Change on Labor and Capital Reallocation (No. w28995). National Bureau of Economic Research.
- [59] Lupu, D., Maha, L.G., Viorica, E.D. The relevance of smart cities’ features in exploring urban labour market resilience: the specificity of post-transition economies [J]. *Regional Studies*, 2023, 57(12): 2406-2425.
- [60] Cao, Y., Hu, Y., Liu, Q., Lu, M., Shan, Y. Job creation or disruption? Unraveling the effects of smart city construction on corporate employment in China [J]. *Technological Forecasting and Social Change*, 2023, 195: 122783.
- [61] Cortes, G.M., Jaimovich, N., Siu, H.E. Disappearing routine jobs: Who, how, and why? [J]. *Journal of Monetary Economics*, 2017, 91: 69-87.
- [62] Acemoglu, D., & Restrepo, P. The Race between Man and Machine: Implications of Technology for Growth, Factor Shares, and Employment [J]. *American Economic Review*, 2018, 108(6): 1488-1542.
- [63] Sulich, A., Sołoducho-Pelc, L. The circular economy and the Green Jobs creation [J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2022, 29(10): 14231-14247.
- [64] Vona, F. Labour markets and the green transition: a practitioner’s guide to the task-based approach [M]. Publications Office of the European Union, 2021.
- [65] Barbieri, N., Consoli, D. Regional diversification and green employment in US metropolitan areas [J]. *Research Policy*, 2019, 48(3): 693-705.
- [66] Hofman, J., Bruckmayer, M., Feyerabend, K., Larmour, S., Reed, M., Lymperis, L. Green Jobs and Skills Development for Disadvantaged Groups [EB/OL]. [2022-03-24]. https://www.rand.org/pubs/research_reports/RRA1603-1.html.
- [67] Sulich, A., Rutkowska, M., Ł. Popławski. Green jobs, definitional issues, and the employment of young people: An analysis of three European Union countries [J]. *Journal of Environmental Management*, 2020, 262: 110314.
- [68] Philbeck, T., Davis, N. The Fourth Industrial Revolution: Shaping a New Era [J]. *Journal of International Affairs*, 2018, 72(1): 17–22.
- [69] Schwab, K. The Fourth Industrial Revolution [M]. World Economic Forum, 2016.
- [70] Ito, A. Digital China: A Fourth Industrial Revolution with Chinese Characteristics? [J]. *Asia-Pacific Review*, 2019, 26(2): 50–75. <https://doi.org/10.1080/13439006.2019.1691836>.
- [71] Wu, H.X. and Yu, C. The impact of the digital economy on China’s economic growth and productivity performance [J], *China Economic Journal*, Routledge, 2022, 15 (2), 153-170, [https://doi:10.1080/17538963.2022.2067689](https://doi.org/10.1080/17538963.2022.2067689).

- [72]Li, Z., Wang, J. The Dynamic Impact of Digital Economy on Carbon Emission Reduction: Evidence City-level Empirical Data in China [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2022, 351: 131570. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131570>.
- [73]Wang, J., Ma, X., Zhang, J., Zhao, X. Impacts of digital technology on energy sustainability: China case study [J]. *Applied Energy*, 2022, 323: 119329. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2022.119329>.
- [74]Zhu, Y., Lan, M. Digital economy and carbon rebound effect: Evidence from Chinese cities [J]. *Energy Economics*, 2023, 126: 106957. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2023.106957>.
- [75]Botsman, R., Rogers, R. *What's Mine Is Yours: The Rise of Collaborative Consumption* [M]. Harper Collins, 2010.
- [76]Li, D., Schoenherr, T. The institutionalization of sharing economy platforms in China [J]. *Journal of Operations Management*, 2023, 69(5): 764–793. <https://doi.org/10.1002/joom.1253>.
- [77]Marukawa, T. Sharing economy in China and Japan [J]. *The Japanese Political Economy*, 2017, 43(1–4): 61–78. <https://doi.org/10.1080/2329194X.2018.1555666>.
- [78]Centobelli, P., Cerchione, R., Vecchio, P. D., Oropallo, E., Secundo, G. Blockchain technology for bridging trust, traceability and transparency in circular supply chain [J]. *Information & Management*, 2022, 59(7): 103508. <https://doi.org/10.1016/j.im.2021.103508>.
- [79]Francisco Luis, B.-M., Pedro Víctor, N.-C.-U., Valentín, M.-M., Esteban, R.-F. Blockchain as a Service: A Holistic Approach to Traceability in the Circular Economy [M]. In: S. S. Muthu (Ed.), *Blockchain Technologies for Sustainability*. Springer, 2022: 119–133. https://doi.org/10.1007/978-981-16-6301-7_6.
- [80]Giovanardi, M., Konstantinou, T., Pollo, R. et al. Internet of Things for building façade traceability: A theoretical framework to enable circular economy through life-cycle information flows [J/OL], *Journal of Cleaner Production*, 2023, 382: 135261. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.135261>.
- [81]Voulgaridis, K., Lagkas, T., Angelopoulos, C. M., Boulogeorgos, A.-A. A., Argyriou, V., Sarigiannidis, P. Digital product passports as enablers of digital circular economy: A framework based on technological perspective [J]. *Telecommunication Systems*, 2024, 85(4): 699–715. <https://doi.org/10.1007/s11235-024-01104-x>.
- [82]Wang, Q., Su, M., Li, R. Is China the world's blockchain leader? Evidence, evolution and outlook of China's blockchain research [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2020, 264: 121742. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121742>.
- [83]Tseng, F.-M., Liang, C.-W., Nguyen, N. B. Blockchain technology adoption and business performance in large enterprises: A comparison of the United States and China [J]. *Technology in Society*, 2023, 73: 102230. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2023.102230>.
- [84]Chen, X., Lloyd, A. D. Understanding the challenges of blockchain technology adoption: Evidence from China's developing carbon markets [J]. *Information Technology & People*, 2024, ahead-of-print. <https://doi.org/10.1108/ITP-05-2021-0379>.
- [85]Hawlitschek, F., Notheisen, B., Teubner, T. The limits of trust-free systems: A literature review on blockchain technology and trust in the sharing economy [J]. *Electronic Commerce Research and Applications*, 2018, 29: 50–63. <https://doi.org/10.1016/j.elerap.2018.03.005>.
- [86]Chen, Y.-C. Effects of urbanization on municipal solid waste composition [J]. *Waste Management*, 2018, 79: 828–836. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.04.017>.
- [87]Ma, M., Tam, V. W. Y., Le, K. N., Li, W. Challenges in current construction and demolition waste recycling: A China study [J]. *Waste Management*, 2020, 118: 610–625. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.09.030>.
- [88]Wu, Z., Zhang, Y., Chen, Q. et al. Attitude of Chinese public towards municipal solid waste sorting policy: A text mining study [J/OL], *Science of The Total Environment*, 2021, 756: 142674, doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.142674.
- [89]Kurniawan, T. A., Lo, W., Singh, D., Othman, M. H. D., Avtar, R., Hwang, G. H., Albadarin, A. B., Kern, A. O., Shirazian, S. A societal transition of MSW management in Xiamen (China) toward a circular economy through integrated waste recycling and technological digitization [J]. *Environmental Pollution*, 2021, 277: 116741. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.116741>.

- [90] Deep, G. Digital transformation in the public sector: Opportunities and challenges. [EB/OL]. [2023-12-03]. <https://ijsra.net/sites/default/files/IJSRA-2023-0995.pdf>.
- [91] Monika palani. Bridging the Digital Divide: Ensuring Equitable Access to Future Urban Technologies [EB/OL]. [2023-07-13]. <https://www.linkedin.com/pulse/bridging-digital-divide-ensuring-equitable-access-future-palani>.
- [92] Tanvir C. Identifying Challenges, Enabling Practices, and Reviewing Existing Policies Regarding Digital Equity and Digital Divide Toward Smart and Healthy Cities: Protocol for an Integrative Review [EB/OL]. [2022-12-08]. <https://www.researchprotocols.org/2022/12/e40068/>.
- [93] Superior Essex Communications. Bridging the Digital Divide with Communication Infrastructure [EB/OL]. <https://superioressexcommunications.com/news/bridging-the-digital-divide-with-communication-infrastructure>, 2023-06-06.
- [94] Lemonadecares. How can city governments incorporate digitalization when building urban resilience? [EB/OL]. [2023-12-21]. <https://futureready.resilientcitiesnetwork.org/how-can-city-governments-incorporate-digitalization-when-building-urban-resilience/>.
- [95] The World Economic Forum. Does digital public infrastructure work for women and girls? [EB/OL]. [2024-06-12]. <https://www.weforum.org/agenda/2024/03/digital-public-infrastructure-blessing-or-curse-for-women-and-girls/>.
- [96] Agbeko MN, Effah J, Boateng R. Digital Transformation Initiative in a Public Sector Organization [EB/OL]. (2024-6-17). <https://scholarspace.manoa.hawaii.edu/bitstreams/4fd87cf5-68ea-4efa-8413-cbf4d633d133/download>, 2021.
- [97] Nawel Lafioune. Managing urban infrastructure assets in the digital era: challenges of municipal digital transformation [EB/OL]. [2023-07-19].
- [98] Ehimuan, B. (2024). Digital transformation: Governance and policy implications. International Journal of Science and Research Archive [EB/OL]. (2024-6-30). <https://ijsra.net/sites/default/files/IJSRA-2024-0061.pdf>.
- [99] Nick Awad. Common Digital Inclusion Strategies [EB/OL]. [2023-09-22]. <https://www.accessibility.com/blog/common-digital-inclusion-strategies>.
- [100] Gustavo Streger. What is digital equity? [EB/OL]. [2023-06-21]. <https://www.isocfoundation.org/2023/06/what-is-digital-equity/>.
- [101] London Premier Centre. Digital Transformation in the Public Sector: Opportunities and Challenges [EB/OL]. <https://www.lpcentre.com/articles/digital-transformation-in-the-public-sector-opportunities-and-challenges>, 2023-09-05.
- [102] McKinsey & Company. Digital public services: How to achieve fast transformation at scale. [EB/OL]. [2024-09-01]. https://www.mckinsey.com/~/_media/McKinsey/Industries/Public%20and%20Social%20Sector/Our%20Insights/Digital%20public%20services%20How%20to%20achieve%20fast%20transformation%20at%20scale/Digital-public-services-How-to-achieve-fast-transformation-at-scale-vF.pdf.
- [103] Bandhiya, I. Government Digitization: Transforming Public Sector [EB/OL]. [2024-02-01]. <https://evincdev.com/blog/government-digitization-for-revolutionizing-the-public-sector/>
- [104] Schneidewind, U., Baedeker, C., Bierwirth, A. et al. Näher, öffentlicher, agiler: Bausteine einer resilienten Post-Corona-Stadt, GAIA 29/2, 2020. https://epub.wupperinst.org/frontdoor/deliver/index/docId/7552/file/7552_Schneidewind.pdf.
- [105] Maria Bondes, Genia Kostka, Wiebke Rabe. ICT-based environmental participation in China: Same, same but digital? [J] Environmental Science & Policy, 2024, 154: 103688 Accelerated Change and Resilience. Guidelines for the Development of Resilient Cities in the Digital Age, 2023.
- [106] Accelerated Change and Resilience. Guidelines for the Development of Resilient Cities in the Digital Age, 2023.
- [107] Piketty, T. Une breve histoire de l'egalite [M]. Seuil, 2021.
- [108] Brussevich, M., Dabla-Norris, E., & Li, B. G. China's Rebalancing and Gender Inequality [R]. IMF, 2021.

- [109] Yang, Y. Building gender equality into intelligent transport systems in China [EB/OL]. [2017]. <https://blogs.worldbank.org/en/eastasiapacific/building-gender-equality-into-intelligent-transport-systems-in-china> (accessed August 22, 2024).
- [110] World Bank. Assessment of gender impacts of ITS [R]. [2016].
- [111] Christensen, H. R. Smart biking as gendered innovations and smart city experiment?: The case of Mobike in China [M]. In *Gendering Smart Mobilities*. London: Routledge, 2019: 210-228.
- [112] Marchi, G. China's women-only subway cars, where men rush in [N]. *New York Times*, 2018, 4. März. <https://www.nytimes.com/2018/03/04/business/china-women-only-subway-cars.html> (accessed July 17, 2024).
- [113] Allen, H. Approaches for gender responsive urban mobility: A sourcebook for policy-makers in developing cities [EB/OL]. Sustainable Urban Transport Project. [2018].
- [114] Xu, Z. The gig economy in China [M]. In: Ness, I. (Hrsg.), *The Routledge Handbook of the Gig Economy* (Chapter 27). Routledge, 2022.
- [115] Kwan, H. Women's solidarity, communicative space, the gig economy's social reproduction and labour process: The case of female platform drivers in China [J]. *Critical Sociology*, 2022, 48(7-8): 1221-1236.
- [116] Wang, L., & Klugman, J. How women have fared in the labour market with China's rise as a global economic power [J]. *Asia Pacific Policy Studies*, 2020, 7(1): 43–64.
- [117] Rozelle, S., Hell, N. *Invisible China: How the urban-rural divide threatens China's rise* [M]. University of Chicago Press, 2020.
- [118] Xing, J. L. Why do some taxi drivers in China turn down e-hailing? [R]. MoLab Inventory of Mobilities and Socioeconomic Changes, 2022.
- [119] Feng, L., He, Y., & Zhan, P. Economic independence and living arrangements of older women with agricultural Hukou in China [J]. *China Economic Review*, 2023, 81.
- [120] Chu, L. Gender disparities in health and well-being among older adults in China [J]. *Journal of Women & Aging*, 2023, 35(3): 299-317.
- [121] Chen, X., Giles, J., Wang, Y., & Zhao, Y. Gender patterns of eldercare in China [J]. *Feminist Economics*, 2018, 24(2), 54-76.
- [122] Li, H., & Kostka, G. Navigating the digital age: The gray digital divide and digital inclusion in China [J]. *Media, Culture & Society*, 2024.
- [123] Macaya, J. F. M., Dhaou, S. B., & Cunha, M. A. Gendering the Smart Cities: Addressing gender inequalities in urban spaces [C]. In: *Proceedings of the 14th International Conference on Theory and Practice of Electronic Governance*, 2021: 398-405
- [124] Hawken, S., Leao, S., Gudes, O., Izadpanahi, P., & Fernandez, E. Gendering the Smart Cities: Addressing gender inequalities in urban spaces [C]. In: *Proceedings of the 14th International Conference on Theory and Practice of Electronic Governance*, 2021: 398-405.
- [125] Sachs, J. D., Schmidt-Traub, G., Mazzucato, M., Messner, D., Nakicenovic, N., Rockström, J. Six Transformations to achieve the Sustainable Development Goals [J]. *Nature Sustainability*, 2019, 2: 805–814. <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0352-9>.
- [126] German Environment Agency. Tomorrow's cities. Environmentally friendly mobility, low noise, green spaces, compact housing and mixed-use districts [EB/OL]. [2017-03-24]. <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/tomorrows-cities>.
- [127] Reitemeyer, E., Fritz, D., Jacobi, N., Díaz-Bone, L., Viteri, C. M., Kropp, J. P. Quantification of urban mitigation potentials - coping with data heterogeneity [J]. *Heliyon*, 2023, 9(6). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e16733>.
- [128] Schubert, S., Eckert, K., Dross, M. et al. Triple Inner Urban Development - Definition, Tasks and Opportunities for an Environmentally Oriented Urban Development [R]. Results of the Strategic Research Agenda for Urban Environmental Protection and the research project “Advancing the New European Bauhaus – AdNEB, 2023. <https://www.umweltbundesamt.de/en/publikationen/triple-inner-urban-development-definition-tasks>.

- [129] BBSR/BMUB 2021: Smart City Charta. Neuauflage der Smart City Charta | Smart City Dialog (smart-city-dialog.de).
- [130] Keppner, B., Kahlenborn, W., Libbe, J., Lange, K., Gieschen, J. H., Weiler, P. Smart Cities werden nachhaltig: Empfehlungen für den Bund [EB/OL]. [2020-03-24]. Dessau-Roßlau.
- [131] F. Creutzig, S. Lohrey, X. Bai, A. Baklanov, R. Dawson, S. Dhakal, W. Lamb, T. McPhearson, J. C. Minx, E. Munoz, B. Walsh. Upscaling urban data science for global climate solutions [J]. *Global Sustainability*, 2019.
- [132] Glock J-P., Hartl, R., Krieg, M., Becker, J.U. No Climate-Resilient Society Without a Resilient Transport System [M]. In: *The Palgrave Handbook of Climate Resilient Societies* (Robert C. Brears, Edt.), 2021: 1147-1175. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-42462-6>.
- [133] Banister, D. The sustainable mobility paradigm [J/OL]. *Transport Policy*, 2008, 15(2): 73-80. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2007.10.005>.
- [134] Bongard, D., Stiller, L., Swart, A., Wagner, A. Sustainable Urban Transport: Avoid-Shift-Improve (A-S-I) [EB/OL]. [2019-04-24]. https://www.transformative-mobility.org/wp-content/uploads/2023/03/ASI_TUMI_SUTP_iNUA_No-9_April-2019-Mykme0.pdf.
- [135] Albrecht, T., Kühne, B., Verse, B. Digitalisierung und Automatisierung im Verkehr. Ein regulativer Rahmen für eine nachhaltige Entwicklung. 2023. <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/digitalisierung-automatisierung-im-verkehr>.
- [136] Nachtigall, F., Wagner, F., Berrill, P., Creutzig, F. The built environment and induced transport CO2 emissions: A double machine learning approach to account for residential self-selection [EB/OL]. [2023-12-24]. arXiv preprint arXiv:2312.06616.
- [137] Ministry of Social Affairs, Housing and Senior Citizens' Affairs. Supplementary agreement between the government (Social Democrats, Liberals and Moderates) and the Socialist People's Party, the Conservative Folkeparti, Enhedslisten, Radikale Venstre and Alternativet on national strategy for sustainable construction: Social-, bolig- og Ældreministeriet[M], 2024.
- [138] Roswag-Klinge, E., Neumann, E., Klinge, A. Climate impacts of wood/timber as a building material – investigated on three urban quarters in Germany (CIW) [J]. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2022, 1078(1), 12029. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1078/1/012029>.
- [139] Bartke, S., Becken, K., Breitmeyer, M., Brozowski, F., DeTroy, S. E., Grimski, D., Ilvonen, O., Keßler, H., Meilinger, V., Messner, D., Schlippenbach, U. v., Schröder, A., Schuberth, J., & Schubert, S. Umwelt und Klima schützen - Wohnraum schaffen - Lebensqualität verbessern [EB/OL]. [2023-03-24]. <https://openumwelt.de/handle/123456789/1215>.
- [140] Convention on Biological Diversity / CBD. Decision X/22 Plan of Action on Subnational Governments, Cities and Other Local Authorities for Biodiversity [EB/OL]. [2010-10-29]. Nagoya. Decision X/22 (cbd.int).
- [141] Convention on Biological Diversity / CBD. Decision 15/12 Engagement with subnational governments, cities and other local authorities to enhance implementation of the Kunming-Montreal Global Biodiversity Framework [EB/OL]. [2022-12-29]. Montreal. Engagement with subnational governments, cities and other local authorities to enhance implementation of the Kunming-Montreal Global Biodiversity Framework (cbd.int).
- [142] European Commission / COM/2013/0249 final. Green Infrastructure (GI) — Enhancing Europe's Natural Capital [EB/OL]. [2013-05-06]. https://ec.europa.eu/environment/nature/ecosystems/index_en.htm.
- [143] European Parliament and Council (2024). Regulation of the European Parliament and of the Council on Nature Restoration and Amending Regulation (EU) 2022/869. pdf (europa.eu).
- [144] Kowarik, I., Bartz, R., Brenck, M., Hansjürgens, B. Ecosystem Services in the City - Protecting Health and Enhancing Quality of Life. Summary for decision-makers [EB/OL]. [2017-03-24]. 190507_TEEB_De_Broschuere_KF_Bericht3_Stadt_engl_web.pdf (ufz.de).

- [145] Bundesamt für Naturschutz / BfN (Federal Agency for Nature Conservation) (Ed.) (2017). Urban green infrastructure – A foundation of attractive and sustainable cities. Notes for municipal practice. Urban green infrastructure - A foundation of attractive and sustainable cities (bfnd.de).
- [146] Yu, K. Letters to the Leaders of China: Kongjian Yu and the Future of the Chinese City [M]. New York: Terreform, 2018.
- [147] Wong, T. H. F., Brown, R.R. The water sensitive city: principles for practice [J]. Water Science and Technology, 2009, 60(3): 673-682. <https://doi.org/10.2166/wst.2009.436>.
- [148] Chan FKS, Griffiths JA, Higgitt D, et al. “Sponge City” in China—a breakthrough of planning and flood risk management in the urban context [J]. Land Use Policy, 2018, 76: 772-778. DOI: 10.1016/j.landusepol.2018.03.005.
- [149] Luftbild Umwelt Planung GmbH / LUP. Regionales Vegetations- und Flächenmonitoring für die Klimaanpassung [EB/OL]. [2022-03-24]. <http://urbangreeneye.de/>.
- [150] Zekar, A., Milojevic-Dupont, N., Zumwald, M., Wagner, F., Creutzig, F. Urban form features determine spatio-temporal variation of ambient temperature: A comparative study of three European cities [J]. Urban Climate, 2023, 49: 101467. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2023.101467>.
- [151] Lee H, Calvin K, Dasgupta D, et al. Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change: Intergovernmental Panel on Climate Change (2023): Sections[R]: IPCC, 2023[2024-08-12]. IPCC_AR6_SYR_LongerReport.pdf.
- [152] Hillebrandt, A., Schwede, D. A., Steretzeder, J. Transformation zu einer zirkulären Bauwirtschaft als Beitrag zu einer nachhaltigen Entwicklung: Position der Kommission Nachhaltiges Bauen am Umweltbundesamt (KNBau) [EB/OL]. [2024-06-03]. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/knbau_transformation_zu_einer_zirkulaeren_bauwirtschaft.pdf.

致 谢

非常感谢中国环境与发展国际合作委员会（国合会）设立并支持“数字化与绿色技术促进可持续发展”政策研究课题，为中外方专家提供了一个充分讨论和交流的平台。特别感谢国合会中方首席顾问刘世锦先生、外方首席顾问 **Scott Vaughan** 先生在课题实施过程中提供的咨询建议，感谢国合会秘书处处长张慧勇先生、副处长刘侃女士、高级项目主管郝小然女士为本课题提供的咨询、组织和协调等方面的支持。同时项目组对以下专家和同事为本项目研究所做出的重要贡献表示感谢：

国合会国际支持办公室 (SISO): Sam Zhang, 郑琦, Brice Li, Isaak Bowers

世界经济论坛: 周海玲, 朱春全, 那娜, 夏冰

柏林工业大学: Ge Ke

暨南大学经济学院院长: 王春超教授

中国科学院城市环境研究所: 陈伟强教授

中国科学院城市环境研究所: 宋璐璐副研究员

附件

附件一：人工智能推动鄂尔多斯市能源绿色化转型

1. 鄂尔多斯市基本情况及其能源产业转型愿景

鄂尔多斯坐落于内蒙古自治区西部的黄河中游地区，年平均气温在 5.3℃—8.7℃，7 月平均气温为 21℃—25℃，气候凉爽宜人，非常适合居住。该市下辖 2 个市辖区和 7 个旗，总面积 8.7 万平方千米，占内蒙古自治区总面积的 7.35%。到 2023 年，鄂尔多斯常住人口 222.03 万人，城镇化率达到 79%，全年 GDP 总量 815.42 亿美元，人均 GDP 为 36.50 万美元，人均 GDP 排名中国首位。在中国浩瀚的版图之上，鄂尔多斯市拥有独特的地理位置和资源禀赋，是国家重要能源基地。鄂尔多斯全市天然气资源储量超过 10 万亿立方米，煤层气资源量 4.21 万亿立方米，天然气年产量现已突破 300 亿立方米。可供开发的太阳能、风能均在千万千瓦以上，是全国最大的能源输出地级市，十四个大型煤炭基地之一，九大煤电基地之一，四个国家现代煤化工产业示范区之一，并已经获批建设 2 个千万千瓦级新能源大基地，资源优势明显。

面对全球气候变化的严峻环境，鄂尔多斯能源产业高质量发展充满挑战。2023 年，鄂尔多斯电力、热力、燃气及水生产和供应业增加值同比增长 18.0%，能源产品供给稳定。然而，长期以来，以煤炭为代表的传统能源产业占鄂尔多斯经济总量的 50% 以上，且主要依靠“卖煤挖煤”等低端产业拉动经济增长，这种低端的生产经营方式难以为继。为适应资源型城市发展新要求，鄂尔多斯开始转变经济发展方式，将煤炭等传统资源产业与新能源产业齐头并进，顺应信息化发展新趋势，同时，把发展人工智能作为产业转型升级的重要举措。

绿色发展理念影射出鄂尔多斯城市能源结构的多维提升。鄂尔多斯通过全力推动 5G 技术入矿、打造智慧矿山、绿色矿山，推动煤炭产业向精细化、深加工发展，稳步提升煤炭产业能效。并构建集能源生产、装备制造、应用示范于一体的“风光氢储车”产业集群。兼顾非煤产业增长、高新技术企业和绿色能源发展。鄂尔多斯正处于转变发展方式、优化能源产业结构的转型新阶段，正向着追求高质量增长的模式转变。

2. 鄂尔多斯能源转型路上的挑战和困难

鄂尔多斯市的人均 GDP 近全国人均 GDP 的 3 倍，但其人均碳排放也大幅高于全国平均水平，属于典型的煤炭资源强依赖型城市。截至 2023 年底，鄂尔多斯全市电力总装机 4599 万千瓦。其中火电装机 3559 万千瓦、占总装机的 77.4%，可再生能源装机 1040 万千瓦、占总装机的 22.6%。一方面，鄂尔多斯经济发展长期依赖煤炭产业，能源结构单一；另一方面，能源资源丰富是一项巨大的禀赋优势，鄂尔多斯需要找到传统能源产业和绿色能源产业齐头并进的“平衡点”，而非一味排斥传统能源产业。“双碳”目标下鄂尔多斯能源转型和环境治理压力巨大，持续高强度的煤炭能源开采带来了一系列资源环境问题，表现为大气污染严重，水土流失加剧，生态承载力急剧下降；例如，张家梁煤炭公司露天堆放易产生扬尘的煤炭 950 平方米，且未进行密闭处理；鄂托克旗棋盘井区域 4 家煤矿企业在生产过程中超量疏干约 700 万立方米，导致煤矿周边地下水水位下降，对地下水生态环境造成严重损害。

鄂尔多斯探明煤炭储量约占全国的 1/6，探明天然气储量占全国的 1/3，能源、化工产业发展水平较高。2022 年鄂尔多斯年碳排放量为 1.93 亿吨，人均碳排放为全国人均水平的 6.9 倍；2023 年，鄂尔多斯三次产业结构为 3.5: 67.3: 29.2，二产增加值占 GDP 比重高达 67.3%，且大部分生产产品都属于初级产品。虽然太阳能、风能等新能源产业也在稳步启航，但鄂尔多斯目前能源现状决定了以煤炭为主的能源结构以及以第二产业为主的经济局面短时间内无法从根本上改变。如何摆脱“资源诅咒”，是鄂尔多斯在实现能源产业转型道路上面临的重大考验。

当前，鄂尔多斯新能源商业尚未形成完整的一体化产业集群，高科技、高附加值的技术密集型企业数量少，企业自主研发能力有限，加之绿色能源原材料价格持续走高，企业经营成本大幅提升，尤其是光伏发电在生产过程中能耗高、污染重，报废处理代价较大，绿色能源项目开发压力大。要素投

入和创新是经济增长的动力，而人才是创新的主体。鄂尔多斯的人力资本优势微弱，缺乏高层次人才，尤其需要接续能源产业转型发展的人才。鄂尔多斯具备资源和基础设施优势，但在技术、资金、人才等配套能力方面存在不足，因此，传统能源产业向绿色能源产业转型阻碍重重，难以探明持续健康的发展路径。

3. 人工智能助推能源产业转型发展的解决方案

鄂尔多斯对标国内或同行业先进标准，推动工业行业绿色化改造，以人工智能与煤炭开采技术融合发展为契机，推进煤矿智能化建设，提升煤炭开采的自动化水平。鄂尔多斯新建煤矿全部按照绿色矿山标准建设，以充分发挥绿色矿山成功修复的示范作用，打造全国绿色矿山建设样板区。

鄂尔多斯依托丰富的绿色能源资源，推进风光等可再生能源高比例发展，推进新能源倍增工程，优化风光发电项目布局，充分利用荒漠化治理区2、干旱硬梁区3、采煤沉陷区露天排土场4以及孔兑两岸5等区域，加快建设集中式大型风电、光伏发电基地。如伊金霍洛旗乌兰木伦镇昔日的 50 万千瓦采煤沉陷区，现已被改造为占地面积约 4.2 万亩的智能光伏田园综合体，形成板上绿色发电、板下种植养殖良性发展模式，该项目是鄂尔多斯建设绿色矿山工作的缩影，旨在维护区域生态环境平衡。



▲鄂尔多斯光伏产业

改造传统能源产业，一是发挥国有企业中坚力量，支持市数字投资有限公司建立以市场和客户需求为导向的国有网络货运企业，依托数字煤炭产销服务平台为更多物流企业提供服务。市数字投资有限公司积极参与智慧能源等数字化建设项目，主动承担政府机关及企事业单位信息化项目的开发、运维等服务。二是推进煤炭行业安全生产标准化、生产智能化和矿山绿色化融合建设，加速煤炭行业智能化，内蒙古智能煤炭公司麻地梁煤矿运用全视频调度通讯系统、5G+智能采煤系统、5G+智能掘进系统等 10 大智慧矿山系统，致力于将煤炭产业由人力驱动向科技驱动转型发展。鄂尔多斯市计划在 2024 年底前实现正常生产煤矿的全部智能化，到 2025 年底前符合条件的所有煤矿都将实现智能化。

鄂尔多斯市将传统能源产业融合绿色能源产业发展，支持现代煤化工与绿氢耦合发展。支持现代煤化工企业通过“煤化工+绿氢”一体化发展，降低项目碳排放总量和强度。以乌审旗中天合创风光融合绿氢示范项目为例，该项目是全球最大、全自治区第一个绿氢耦合煤化工项目，旨在用“绿氢”替代原工艺中的“煤氢”，助力企业做强、做大煤制烯烃及下游高端材料产业。

从宏观层面，促进城市整体智能化发展，开展低碳、零碳、负碳关键技术攻关，打造碳中和技术平台和产业链。鄂尔多斯以 CIM 基础平台为底座，围绕智慧工程、智慧住房、智慧城建、智慧城管四大领域，加快城市基础设施物联感知和数字监管应用。深化应用建筑信息模型（BIM）技术，加强建筑全生命周期管理。

2 荒漠化治理区即针对已经发生或即将发生荒漠化的地区，通过植树造林、草场恢复、水土保持等措施，进行生态修复和治理的区域。

3 干旱硬梁区通常指的是在干旱或半干旱地区，由于长期的水分缺乏和土壤侵蚀，形成的一种地表坚硬、植被稀疏、土壤贫瘠的区域。

4 采煤沉陷区是由于地下煤炭开采导致地表岩层移动和变形，形成的地表沉陷区域。

5 孔兑两岸是指干旱半干旱地区河流或沟谷两侧的陆地区域。



▲鄂尔多斯城市信息模型 City Information Modeling (CIM)

4. 鄂尔多斯能源产业转型的实际效果

传统能源产业方面，通过工业操作系统国产化和智能矿山建设，推进其智能化进程。全国首个国产化工业操作系统“矿鸿”已在鄂尔多斯投入应用，建成智能化采煤工作面 70 处、智能化掘进工作面 41 处，52 处煤矿接入 5G 网络，全市煤炭主产区共建设 7 处绿色智能陆港助力发展；目前，鄂尔多斯市共有符合条件的 178 处煤矿列入智能化建设名单，智能化煤矿涵盖产能 6 亿吨/年，占全市在产煤矿产能的 70%。

绿色能源产业方面，新能源消纳能力及项目并网规模扩大，布局快速。鄂尔多斯将人工智能技术引入城市电网主网架项目，提高电力系统智能化水平。以蒙苏经济开发区零碳产业园绿色微电网项目为例，该项目实现了绿电的 100% 就地消纳，工业余能利用率高达 70% 以上。全市新能源项目并网规模逐年倍增，2024 年并网总规模超 2400 万千瓦，建成储能 200 万千瓦、绿氢产能规模 11.8 万吨。2025 年并网总规模超过 5000 万千瓦，建成储能 600 万千瓦、绿氢产能规模 20 万吨。



▲库布其沙漠水生态治理效果显著

产业结构方面，以数字化、绿色化转型构建了新型产业链。鄂尔多斯全力打造集能源生产、装备制造、应用示范于一体的“风光氢储车”全产业链，产业基础雄厚，消纳条件良好。如今鄂尔多斯已经沿杭锦旗、鄂托克旗和鄂托克前旗建成沿黄高质量风电基地，全市新能源装机并网规模已突破 1000 万千瓦，累计获批新能源发电项目超 7000 万千瓦。2024 年上半年，鄂尔多斯市光伏装备制造业同比增长 5.6 倍，太阳能发电 49 亿千瓦时，同比增长 112.2%。根据规划，到 2025 年，鄂尔多斯新能源装机将超过 5000 万千瓦，占电力总装机比重超过 50%， “风光氢储车”五大产业链总产值超 697.85 亿美元。2020 年，鄂尔多斯市清洁能源发电占全部发电比重只有 5.8%，到 2030 年，可再生能源发电总装机容量达到 1 亿千瓦，清洁能源发电占全部发电比重达到 50%。



▲鄂尔多斯风力发电

产业效益方面，绿色能源产业发展的经济效益和生态贡献显著。以达拉特旗年产 500 万米预应力混凝土光伏管桩项目为例，该项目建成后可实现年产值 3489.23 万美元，可上缴税收 348.92 万美元，项目具备可观的投入产出比，经济效益较高，可以作为地方财政的稳定税源。库布其沙漠中的光伏发电应用领跑基地，已稳定发电 16 亿千瓦时，同时固沙治沙，使库布其沙漠的植被覆盖率达到 53%。鄂尔多斯全市风沙危害与水土流失基本得到控制。



▲达拉特旗光伏发电应用领跑基地

5. 鄂尔多斯经验汇聚的转型之道

(1) 加大政策支持和制度建设。鄂尔多斯市制定了支持能源产业绿色转型的若干政策，积极争取国家、自治区产业转型有关专项和政策支持，统筹鄂尔多斯生产方式转变与能源产业转型发展，并促进城市人工智能公共服务平台建设和系统解决方案供应商培育。

(2) 实行人才引进和科技创新。联合知名能源研究机构，开展绿色能源产业研究，积极创造条件引进绿色能源产业领域的国内外优秀人才和团队。鄂尔多斯通过建设国家级创新实验室、引进高端创新平台和人才、推动智能化和绿色化发展等措施，建设互联互通的市场环境，推动土地、劳动力、资本、技术、数据等要素在区域内自由流动，显著提升了能源产业的科技含量和竞争力。

(3) 建设智慧化基础设施体系。优化升级现有数字煤炭产销服务平台、智慧物联科技服务平台、煤炭交易综合服务平台，为煤炭企业提供全流程、全链条、全周期、可溯源数字化闭环综合服务，有效规范煤炭交易市场。

(4) 打造数字政府和低碳社会。通过推进城市智能体建设、全面推进数字政务建设、推进一流营商环境建设，实现打造新型数字政府任务。通过加强水生态数字治理、加强林草湿生态数字治理、高效益发展富民产业，构建提升黄河流域生态保护数字化水平重要举措。通过大气污染防治数智化、水污染防治数智化、土壤污染防治数智化、固废污染防治数智化 4 个重要工作，构建加强环境污染综合整治数智化能力重要举措。通过推动循环经济数智化发展、大力发展绿色能源、推进全域节能管理、推进国家碳检测试点城市建设，鼓励低碳生活，使绿色低碳的行为习惯在全社会蔚然成风，为绿色经济的发展提供了民众基础。

6. 总结和结论

(1) 政府部门创造人工智能应用场景需求。鄂尔多斯市能源产业转型正在推进阶段，主要以政府部门创造需求为导向，吸引市场企业提供人工智能服务，通过政府大量采购，创造人工智能试验场

地，引导上下各界利用人工智能技术，满足社会对智能化场景的需求，大力推动传统能源产业向绿色能源产业转型，促进城市“碳中和、碳达峰”目标的实现。

（2）发挥人工智能集成创新特征，提供城市能源转型智慧方案。人工智能凭借强大的算力和复杂的算法设计，可以代替传统的人工和部分机器生产。多模态人工智能技术的最大的亮点在于能够无缝集成并高效处理来自不同感知领域的多元化数据，能够将风电、光伏等新能源技术渗透、扩散和应用到以煤炭为代表的传统产业当中，进行技术集成，大大降低了传统能源产业转型成本，改变主导技术和生产方式更为容易。此外，运用人工智能技术提高城市管网、微电网的智能化水平，建成多种能源形式的协同供应体系，将可再生能源和高载能产业直接结合，推动能源产业跨越式发展。

（3）利用人工智能解决复杂问题能力，选择最优技术路线推动城市能源转型。从企业的技术应用、组织协调、结构适应水平等多方面进行衡量，选出具备先进数智技术的新能源企业。根据对企业在不同应用场景下多样性技术路线的筛选，结合我国当前能源产业转型发展规划，进行对比分析，总结出有利于企业整体盈利，催生人工智能技术和能源产业走向成熟的最优技术路线，并积极推动该技术路线的试验、示范和推广。

附件二：武汉智能网联汽车产业生态

1. 中国智能网联汽车道路测试及示范应用不断拓展

截至 2023 年底，中国共建设 17 个国家级测试示范区、16 个智慧城市与智能网联汽车协同发展试点城市，7 个车联网先导区、全国累计完成 22000 公里开放测试道路，发放测试示范牌照超过 5200 张，累计道路测试总里程 8800 万公里，自动驾驶出租车、无人巴士、自主代客泊车、干线物流以及无人配送等多场景示范应用在有序开展。

包括北京、上海、广州、深圳、重庆、武汉、长沙在内的 10 余个城市允许自动驾驶汽车在特定区域、特定时段从事出租汽车、城市公共汽（电）车等商业化试运营，且应用规模不断扩大。其中，北京起步最早，武汉落地最快。2022 年 4 月底，北京市智能网联汽车政策先行区率先发布首批“无人化示范应用道路测试”通知书。2022 年 8 月，武汉也发布了自动驾驶全无人商业化试点政策，车内无安全员的自动驾驶车辆率先在社会道路上开展商业化服务；随后，广州、上海、深圳等地也陆续开启无人化载人道路测试和示范应用。

在政策法规方面，随着测试示范加速向纵深发展，无人化测试、商业化运行加速推进，地方立法突破迎来全国新高潮，测试结果互认持续推进，智能网联汽车向规模化示范新阶段演进，相关部委加强产业发展创新政策供给。北京、上海、广州、深圳、武汉、重庆六个城市都发布了针对无人驾驶汽车测试和示范应用申请、运营以及监管方面的政策法规。

2. 武汉市智能网联汽车应用落地迅速

2016 年 11 月，国家工信部和湖北省签署建设“基于宽带移动互联网的智能汽车与智慧交通应用示范”项目并落户经开区，“中国·武汉智能网联汽车示范区”成为中国第六个智能网联汽车示范区。2019 年 9 月 22 日，国家智能网联汽车（武汉）测试示范区正式揭牌，百度、海梁科技、深兰科技等企业获得武汉市交通运输部门颁发的全球首批自动驾驶车辆商用牌照。截至 2023 年 9 月 5 日，武汉市向百度集团发放国家智能网联汽车（武汉）测试示范区第 1000 张自动驾驶测试牌照。经过多年的建设和发展，国家智能网联汽车（武汉）测试区已建成“开放+封闭+仿真”三位一体的智能网联汽车测试体系。

2019 年 12 月，武汉市经开区在全国率先建立 108 公里 5G 覆盖的车路协同自动驾驶测试道路。此后，武汉市分三批逐步扩展了约 321 公里的开放测试道路。2023 年 1 月，武汉市开放第五批智能网联汽车测试道路，344 公里里程的道路全部位于武汉市经开区。武汉市经开区累计开放道路里程 669.6 公里，是我国中部地区首个全域开放智能网联汽车道路的区域。

2023 年 7 月，武汉市发布第六批 60 公里智能网联汽车测试道路。新开辟道路首次将高速路和跨江线路纳入智能网联汽车道路测试范围。由汉阳区延伸到天河机场，包括 40.1 公里高速道路和 18.9 公里的城市高架道路。

2023 年 8 月，武汉市第七批开放 651.35 公里测试道路，覆盖面积约为 500 平方公里，属于武汉市同一批次道路开放里程最多和覆盖面积最大的一次。主要分布武汉三个行政区，其中硚口区开放道路 48.14 公里，汉阳区开放道路 177.65 公里，东西湖区开放道路 425.56 公里。东西湖区和汉阳区三环内的区域接近全域开放，逐步从新城区向中心城区延伸，其中汉阳区与汉口区实现了跨区连片道路开放。

截至 2023 年 12 月，武汉开放的智能网联汽车测试道路 3378.73 公里（单向里程），覆盖 3000 平方公里范围和 770 万人口；建成占地 1312 亩的武汉市智能网联汽车封闭测试场，是全球唯一一个 T5 级测试场和 F2 级赛道相结合的封闭测试场；累计为 19 家自动驾驶企业发放 1581 张测试牌照，车城网平台累计接入智能网联车 675 辆；实现智能网联汽车测试累计总里程 780 万公里，测试总时长超 53 万小时；进行常态化测试和运营的智能网联汽车超过 387 辆，2023 年全年自动驾驶出行服务订单超 73.2 万单，服务 90 万人次，位居全国前列。全无人^[6]自动驾驶车辆达 300 辆，单程最长距离达 95 公里。其中，截至 2024 年 7 月，百度“萝卜快跑”自动驾驶示范运营车辆达到 400 辆。到目前为止，武汉市是自动驾驶商业化订单最多的城市。

^[6] 自动驾驶汽车在行驶过程中没有配置安全员。

在持续加强道路测试的基础上，2022年初，武汉市发布全国首个城市级智能网联道路建设标准（《智能网联道路建设规范（总则）》），为武汉全市智能网联道路的风险评估和开放测试提供依据。该标准的制定不仅填补了我国智能网联道路建设地方标准的空白，而且为智能网联道路省级标准、行业标准乃至国家标准的形成提供先行经验和参考。

2021年，为了提升我国城市基础设施的智能化水平，加快智能网联汽车产业发展，形成可复制可推广经验，国家住房和城乡建设部共同确定北京、上海、广州、武汉、长沙、无锡为首批全国6个“双智”试点城市。^[7]“双智”试点启动以来，武汉市积极推进智能化基础设施和车路网平台建设，^[8]推动自动驾驶示范应用和商业化运营。2023年10月31日，住建部、政信部公布全国6家首批“双智”试点城市验收考核成绩单，武汉市综合得分87.47分，排名第二，仅次于上海。武汉市经开区作为“双智”试点核心承载区，积极探索“双智”试点示范，推动智能网联汽车的技术创新、标准制定、测试验证和示范应用。

在“双智”城市基础设施建设方面，武汉市经开区累计建成5G基站1014个，实现5G信号全覆盖。建成106公里5G全覆盖车路协同自动驾驶开放测试道路，具备L4级以上自动驾驶汽车测试运行条件，是目前国内规模最大，场景最丰富和首个全5G接入的开放道路自动驾驶示范区。同时，武汉市经开区基于车路协同搭建了“开放、包容、共享”的车路网平台，建成160平方公里的高精度城市三维空间模型，实现人、车、路、物、云之间的互联互通。

2023年，在国家智能网联汽车示范区综合能力评估中，武汉被评为“2023年智能网联汽车测试示范区综合能力评估领先单位”，位居全国第二，国家智能网联汽车与智慧交通（京津冀）示范区、国家智能网联汽车（长沙）测试区分列第一和第三。在“封闭场地测试能力评估”中，被评为“2023年智能网联汽车测试示范区封闭场地测试能力评估通过单位”，国家智能网联汽车与智慧交通（京津冀）示范区、国家智能网联汽车（长沙）测试区、国家智能网联汽车（武汉）测试示范区位列前三。

3. 武汉市智能网联汽车产业生态

作为武汉市科技创新和经济发展的主战场，经济技术开发区是我国传统汽车、新能源汽车和智能网联汽车产业的重要聚集地，被称为“中国车谷”。近年来，武汉经济技术开发区紧紧抓住汽车产业电动化和智能化发展机遇，通过创新资源和产业资源的集聚，快速成长为我国新能源汽车和智能网联汽车产业集群。截至2023年6月，“中国车谷”聚集了9家整车企业、13座整车工厂、500多家零部件配套企业，是我国汽车产业集中度最高的地区之一。2021年，武汉市经开区汽车产业完成产值2298.8亿元，整车产量94.3万辆，占武汉市的67.7%，湖北省的45%，全国的3.6%。2022年，以“中国车谷”为龙头，“武襄十随”汽车产业集群获评工信部国家级“先进制造集群”。

武汉市经开区把智能网联汽车作为主攻方向，重点通过智能网联汽车示范区建设，形成了全国排名前列的产业集群和富有活力的产业创新生态。围绕汽车产业的智能化，2022年，武汉市经开区出台《武汉经开区新能源与智能网联汽车产业战略提升行动方案（2023-2025年）》（简称《行动方案》）。《行动方案》提出，到2025年实现新能源与智能网联汽车产业发展五大目标。一是汽车生产规模上台阶。汽车产能达到300万辆，其中新能源汽车产能达到150万辆。汽车整车产量突破150万辆，其中新能源汽车产量超过60万辆，力争超过100万辆；二是显著提升品牌影响力。打造10款以上具有标识度的新能源与智能网联汽车和关键零部件品牌；三是实现核心技术突破。新能源与智能网联汽车三电系统、车规级芯片等关键技术实现国内领先，智能驾驶和智能座舱等终端系统技术加速产业化；四是完善产业生态。培育优化新能源与智能网联汽车研发、设计、制造、测试和应用等全产业链生态；五是创新应用勇立潮头。涌现出一批新能源与智能网联汽车示范和典型应用场景，形成常态化可持续的商业化运营场景，推动L4级智能网联汽车实现规模化商业应用。

^[7]同年12月，重庆、深圳、厦门、南京、济南、成都、合肥、沧州、芜湖、淄博10个城市被确立为第二批“双智”试点城市。

^[8]武汉经开区打造了全国首个车路网平台——武汉车路网。2021年4月25日，第四届“数字中国”建设峰会在福州隆重开幕。作为住建部的重点示范项目，来自“中国车谷”的武汉车路网受邀参加了本次峰会。车路网平台入选国家两部委“双智”协同发展最佳实践案例。

《行动方案》提出，未来三年，武汉市经开区全力打造新能源与智能网联汽车示范和典型应用场景，支撑武汉市申报国家智能网联汽车准入和上路通行试点城市，开放测试道路2500公里，不断提升自动驾驶汽车投入量，形成1000辆商业化运营规模，发放相关牌照超过1800张。《行动方案》的制定和实施明确了武汉市经开区发展智能网联汽车的战略要点，为一下深化发展指明了方向。

2016年以来，武汉市经开区紧抓智能网联汽车应用场景开放，吸引和集聚科技创新资源，整合现有汽车产业资源，加快人工智能产业的发展，形成了较为完整的智能网联汽车产业链和产业创新生态。

应用场景开放带动了智能网联汽车企业和科研机构的进入和发展。到目前为止，武汉市集聚了包括东风悦享、亿咖通和芯擎科技在内的智能网联汽车产业链核心企业130多家（其中，4家独角兽企业^[9]），创建了包括联合创新实验室和国家级智能交通技术创新中心在内的多家科研机构。随着开放测试路网的扩充和自动驾驶车辆的增加，5G通信、北斗定位和智慧交通领域的企业加速聚集。智能网联汽车企业和科研机构联合195家相关企业共同组成“智能汽车与智慧城市协同发展联盟”，形成了包括“研发+测试+应用”诸环节在内的智能网联汽车创新产业生态。

在武汉市经开区智能网联汽车产业发展过程中，一批具有高成长潜力的企业开始出现。2023年湖北省经信厅发布的《关于湖北省第五批专精特新“小巨人”企业和第二批专精特新“小巨人”复核通过企业名单公示》中，东西博泽汽车系统有限公司、东风马勒热系统有限公司、武汉理工氢电科技有限公司、华砺智行（武汉）科技有限公司、湖北三六一一应急装备有限公司等11家武汉市经开区企业成功入选。截止2023年6月，湖北省共有217家企业入围专精特新“小巨人”企业名单，武汉市共有103家企业入选，武汉市经开区新增11家，累计37家。在智能网联汽车领域，包括华砺智行（武汉）科技有限公司在内的新创企业经过研发积累成为产业创新生态重要的组成部分。

2023年9月19日，毕马威中国发布第六届中国汽车科技50榜单，武汉市经开区的华砺智行、东软睿驰、博雷顿、镁佳科技和轻舟智航等企业入选。其中，东软睿驰武汉公司主要从事智能驾驶、车云一体、汽车基础软件产品等的研发。通过与岚图的合作，重点研发下一代自动驾驶控制器。

2023年1月30日，福布斯中国发布2022年新晋独角兽企业名单，湖北省新增4家独角兽，武汉市经开区独占2席，分别是岚图汽车和芯擎科技。2021年，武汉市经开区企业亿咖通科技、路特斯科技成为独角兽企业。岚图汽车、路特斯科技、亿咖通科技和芯擎科技都属于智能网联汽车产业领域。

依托国家智能网联汽车示范区，武汉市经开区集聚了包括东风领航、东风悦享、元戎启行、亿咖通、清华大学和武汉大学在内的智能网联汽车产业企业和联合实验室，形成了覆盖自动驾驶解决方案、芯片、激光雷达、毫米波雷达、高精度地图和V2X等关键和核心技术的产业创新生态。尤其是拥有强大研发和辐射能力的产业链链主企业的出现，为武汉市智能网联汽车产业的发展奠定了坚实的基础。

作为智能网联汽车产业链链主企业，芯擎科技专业从事高性能车规级芯片和解决方案的研发和生产，成功量产国内首款7nm车规级智能座舱“龙鹰一号”，实现了国产高端汽车芯片领域的技术突破。搭载“龙鹰一号”的领克08、睿蓝7和领克06EM-P等车型已经实现量产和市场销售。计划2024年初，芯擎科技推出对标国际最先进产品的高阶自动驾驶芯片AD1000，AI算力将达到256POPS，为车企舱驾一体化技术架构提供强有力技术支持。

2016年以来，武汉市通过应用场景开放，实现了智能网联汽车产业创新资源的聚集和发展，初步形成了产业创新生态，为下一步发展创造了条件。如何进一步加快应用场景开放，推动科技创新和产业资源的加快聚集，实现关键核心技术突破，完善产业链和产业创新生态，是武汉市进一步推动智能网联汽车产业发展的战略选择。

^[9] 截至2023年12月，武汉市共有独角兽企业7家。

附件三：德国鲁尔区的数字-绿色双转型与可持续发展

鲁尔区，作为德国国内最大的城市群，以其超过 500 万的人口规模和近 4500 平方公里的广袤土地，雄踞欧盟第五大城市群之列。鲁尔区的辉煌历史可追溯至 1870 年，当时，这片原本的农业区域经历了向重工业集群的剧变，当地煤炭也得到广泛开采。这一变革成功孕育了强大的煤炭和钢铁工业，吸引了众多相关企业云集，包括煤炭、铁矿和钢铁行业的公司，以及机械工程、汽车制造等行业的厂商，带来了丰厚的资本和劳动力资源。然而，与此同时，工业化浪潮也带来了环境资源的急剧枯竭和自然资源的显著退化。煤炭开采导致地下基岩被掏空，引发了地面塌陷和广泛的地质不稳定。当地工业生产中的有毒化学品使用，以及有害废料的积累，对环境和公共健康均造成了长远的负面影响。早在 20 世纪初，流经鲁尔区的埃姆舍河就因严重污染而臭名昭著，从一条自然流淌的河流沦为了露天的人造排污系统。

在这一背景下，鲁尔区致力于推进数字-绿色双重转型并实施可持续发展战略，这不仅是一项充满挑战的艰巨任务，而且该地区在此过程中积累的成功经验，对于其他地区开展类似的转型努力具有极高的参考价值和借鉴意义。

埃姆舍河的复兴是标志着当地消除重工业扩张带来的负面影响、引导该地区重返可持续发展轨道的关键里程碑。自 1992 年起，埃姆舍水系（流域面积达 865 平方公里）的生态转型项目历经三十年的持续努力，于 2022 年圆满完成。在整个过程中，数字和人工智能模型的使用相对有限，项目的总投资额约为 54 亿欧元，主要聚焦于三个核心领域：鲁尔区的中央污水处理系统的建设、地下污水管道网络的构建，以及埃姆舍河及其支流的生态恢复工作

这些关键工程的实施是在 1970 年代和 1980 年代末期爆发的地面沉降问题得到基本控制之后才成为可能。也正是在这一时期之后，才得以在 10 至 40 米深的封闭地下污水管道中安全地排放废水。其中，埃姆舍运河作为新排水系统的主要干线，全长 51 公里，连接了多特蒙德-德尤森污水处理厂与位于丁斯拉肯-奥伯豪森-杜伊斯堡城市三角区的埃姆舍河入海口污水处理厂，为约 230 万居民及众多工业和商业区域提供污水收集与处理服务。这些污水随后通过与埃姆舍河支流同步建设的地下管道系统被输送至主运河。这一关键措施为埃姆舍河的净化和生态恢复奠定了基础，如今该河段已无废水直排。埃姆舍尔河现已转变为一条绿色走廊，贯穿鲁尔区的工业景观，不仅为当地生态提供了栖息地，也为本地居民提供了一个与自然和谐共处的空间。

沿埃姆舍河畔 200 公里的旧工业道路也得以翻新改造，更好的服务于公共用途的同时，也为可持续交通理念的创新提供了契机。例如，“NEMO--可持续未来的智能交通”项目旨在将这些废弃的工业道路整合纳入区域交通网络，并促进多式联运（自行车、公共交通、电动汽车、自动驾驶等）融合发展。不过，这些项目当前仍处于实施阶段。

尽管鲁尔区在建立高度数字化和人工智能化的智慧城市网络方面做出了显著努力，但并非所有尝试都取得了卓越成效。以杜伊斯堡市为例，该市与中国科技巨头华为公司建立了合作关系，目标是将其打造成为欧洲中型智慧城市的参考样板。双方的合作举世瞩目，2018 年 1 月，杜伊斯堡市与华为签署了一份谅解备忘录（MoU），并于同年 6 月进一步与杜伊斯堡供电和交通公司签订框架协议，共同规划建立“莱茵云”——一个旨在支持本地智慧城市发展的云平台，并提供智能城市服务。三个月后，杜伊斯堡代表团访问了华为位于深圳的全球总部，标志着合作进入了新的阶段。华为在其网站上宣布，合作的目的是通过智能政府、智能港口物流、智能教育、智能基础设施、5G 和宽带、智能家居以及城市物联网等技术，助力杜伊斯堡从传统工业城市向服务型智能城市转型。该计划本应利用华为的技术专长和经验，推动杜伊斯堡的数字化转型，最终将其建设成为西欧的创新和数字化标杆城市。然而，这一宏伟倡议从未真正付诸实施，随着 2022 年谅解备忘录的到期，合作正式宣告结束，期间双方没有任何具体项目落地。

造成此次合作失败的原因复杂多维：一方面，杜伊斯堡必须首先具备相应的技术吸收能力，以便能够有效地整合华为的技术投入。另一方面，合作双方在城市规划和商业目标上并未完全达成一致，这引发了一系列的误解和规划上的失误。而随着政治阻力的不断上升，上述问题变得愈加复杂化。德国政界和公众对中国技术，特别是华为参与关键基础设施项目的强烈反对，最终导致了合作的终止。

尽管杜伊斯堡市在推进智能城市转型的过程中遭遇了一些障碍，但市政府对未来发展的规划仍然坚定。事实上，市政府在 2020 年成立了“杜伊斯堡智能城市创新中心”，致力于推动数字化技术的广泛应用。此外，市政府还在港口设立了一个智能城市试验场，作为技术测试和应用的前沿基地。这一举措得到了德国政府和北莱茵-威斯特法伦州（NRW）政府的大力支持，杜伊斯堡市、杜伊斯堡港（duisport）、德国电信（Deutsche Telekom）和杜伊斯堡-埃森大学等合作伙伴也积极参与其中。目前，杜伊斯堡市正在采取一种更为稳健的策略，专注于分阶段实施数字化和人工智能的具体项目。通过一系列子项目，例如可持续热能供应系统、智能电表的部署、电动汽车充电基础设施的建立以及分散式排水系统的开发，综合推进其数字化和绿色转型的双重目标。

在鲁尔区，尤其是在新冠疫情之后，杜伊斯堡采取的这种更多依靠单个项目网络而非大规模规划为主导的发展模式正在兴起。区内最大的五个城市（波鸿、多特蒙德、杜伊斯堡、埃森和盖尔森基兴）均各自推行了数字化战略，但这些战略仅在有限的领域内实现了整合。各城市的数字化解决方案主要通过众多独立项目组成，其中大多数项目之间互不沟通缺乏联系，由不同的实体负责管理和执行。因此，智慧城市发展所需的数字基础设施和人工智能解决方案的潜力亟待被发掘。在这种情况下，数字解决方案在一定程度上也被用于支持“绿色目标”的实现。例如，波鸿市确定了五个关键主题：“可持续基础设施”、“智能城市管理”、“数字社会”、“可持续交通与环境”以及“创新商业与科学”。在“能源与资源效率”（7 个项目）、“气候保护与气候影响适应”（6 个项目）和“可持续综合交通”（7 个项目）等领域，至少有 20 个项目正在为实现绿色转型助力。将波鸿的一系列举措与其他城市进行比较，便可以看出鲁尔区各城市的举措是多么独立。例如，在绿色转型方面，多特蒙德市仅专注“电动汽车充电基础设施”、“智能废物管理”和“环境仪表盘”这三个领域。相比之下，埃森市的重点则是智能市政供热、扩建光伏发电系统和建造生物质供热厂。与这些独立举措相比，跨城市的项目合作非常罕见。其中一个例子是“城市绿景”（Urban Green View）项目，该项目利用卫星数据在波鸿、多特蒙德和埃森进行市政绿地规划和微气候控制，是鲁尔区各个城市与欧洲航天局（ESA）等机构合作的典范。

在 2020 年，鲁尔区启动了一项具有里程碑意义的倡议，目标是将其打造成为“世界上最绿色的工业区”。该战略的核心是构建一个贯穿整个区域的具有战略意义的绿色基础设施网络，旨在将工业区与住宅区通过自然或半自然的绿色开放空间相连。在北莱茵-威斯特法伦州政府的引导下，该项目通过一个灵活的参与式发展流程进行实施，计划设立约 100 个独立项目，并通过逐步推进的方式实现。该项目的主要行动领域已被明确界定，包括：“网络化交通——短距离出行”、“成功的经济——优质工作”、“多样化生活——强大凝聚力”、“安全能源——健康环境”和“优质教育——卓越研究”。值得注意的是，数字化作为一项技术工具，并未被单独列为一个独立行动领域，而是作为实现上述各个领域目标的辅助手段。

纵览全局，德国鲁尔区的数字化-绿色双重转型与可持续发展战略的实施呈现出成功与挑战并存的复杂局面。在生态恢复方面，鲁尔区取得了显著成就，成功逆转了一度生态崩溃的局面。近年来，该地区在绿色转型和构建新的可持续发展结构方面也取得了长足进步。相比之下，鲁尔区在数字化和智能城市结构发展方面却相对滞后。特别是随着杜伊斯堡雄心勃勃的综合智能城市战略的失败，鲁尔区转而采取一种循序渐进的发展理念，考更加注重满足不同群体多样化的需求。鲁尔区目前正在推行一种模式，旨在通过分散的、修修补补式的建设过程而非一个全面的总体规划，来建立一个综合的智能城市生态系统。观察总体情况还可发现，鲁尔区的数字-绿色双转型理念迄今为止依然没有作为一个综合概念来得到充分的整合和实施。相反，推动绿色或数字单一转型的方法仍占主导地位，而通过创新数字结构促进绿色转型的综合路径则相对较少。

附件四：奥地利维也纳的数字-绿色双转型与可持续发展

维也纳市作为原则驱动、以人为本的发展典范、致力于提高全民生活质量。这一愿景在其各项战略和计划中得到了明确体现，如气候计划和数字化议程均融入了明晰的指导原则，并在战略层面实现了有效整合。例如，2022年，该市推出了“智能气候城市战略”，该战略避免了单独制定智慧城市战略和气候行动计划的做法，而是做到将两者有机结合。维也纳市的目标是到2040年实现碳净零排放[1]，并在气候行动中遵循代际团结原则[2]、实施协作性气候治理，同时关注保护和适应的双重目标。数字化在此过程中扮演着推进可持续发展议程，包括实现气候目标的关键工具角色。

根据该市的碳预算，维也纳尚剩余约6000万吨二氧化碳当量的排放空间，这突显了采取紧急有效行动的必要性。在制定行动优先顺序时，维也纳坚持“大杠杆优先于小杠杆”的原则，重点聚焦于逐步淘汰交通和建筑领域的化石燃料。这两个部门合计产生的温室气体排放量约占城市总排放量的3/4[2]。因此，该市正在实施措施，推动电动汽车、公共交通和自行车出行的转型；并逐步减少建筑领域使用的天然气，以及推动区域供热和制冷网络的电气化和脱碳。

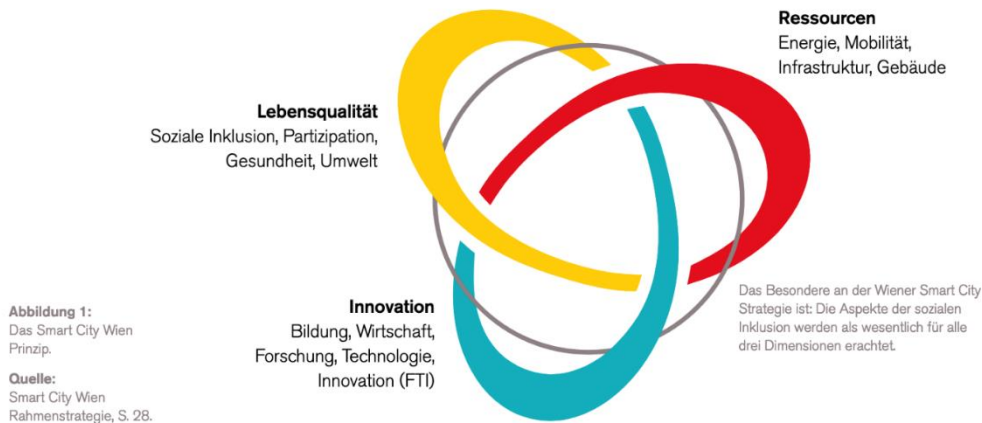
与其他许多城市政府在扩大建筑领域气候行动时面临的私人所有权限制不同，维也纳市拥有显著的优势——它拥有城市中约22万栋建筑物的所有权。这使得维也纳市能够独立于私有市场，实施大规模的建筑脱碳项目，如“摆脱天然气”计划（该计划旨在到2040年淘汰建筑供热中的化石燃料）。

维也纳市致力于成为一个开放的数字化都市，并且正逐步推动所有行政程序实现数字化转型。在确定数字化进程的优先顺序时，该市特别考虑气候变化的影响及市民的实际需求。具体而言，该市已制定了12项数字化原则，其中涵盖了性别平等或环境可持续性等内容。这些原则已在各种数字化战略和项目付诸实践，如“数字健康”或数字平台“Sag's Wien”（告诉维也纳）便是其中的典型代表，后者允许市民在该平台上报告任何基础设施故障或问题，然后市政府将及时处理。

维也纳市具备强大的数字化能力，并坚持不断强化及调整这一能力。市政府设有首席技术官和首席创新官，他们促进各部门间的合作，并与创新公司以及企业紧密协作。例如，通过与创新公司的合作，维也纳市能够利用卫星数据监测绿地、土地覆盖变化，以及停车场利用率，并通过机器学习技术分析公共空间的使用模式，从而更好地规划和管理城市资源。

维也纳市持续推进数字化能力的最新举措是发布《工作场景中生成式人工智能使用指南》，该指南指导工作人员负责任地、有目的地使用生成式人工智能工具。

维也纳市展示了智慧城市指数在监测战略目标进展方面的实际应用。为支持其“维也纳智慧城市框架战略”，该市建立了一套与欧洲标准相一致的复杂指标体系。这一体系是在与主要利益相关方的紧密合作下，基于城市数据和报告而开发的。下图清晰展示了“指标集”的结构和目标维度。维也纳共制定了51项具体目标，并通过调查等方法收集了对相关指标的意见。



▲ 维也纳智慧城市框架战略的目标维度和目标领域

关于数字绿色双转型和智慧城市的可持续发展，每个领域都涵盖了相关的指标：

目标维度和目标领域	指标示例
生活质量	
社会包容	家务和育儿工作的分配 对居住区内的广场和其他公共开放空间感到满意的人群比例
健康	高温导致的超额死亡率统计 从开始接受护理起在家中逗留的平均时间
环境	绿地面积比例 噪音和光污染
创新	
教育	全面无线接入互联网的学校数量 开放的儿童和青年工作岗位数量
经济	性别薪酬差距 制造企业的能源消耗
研究、技术、创新	大型任务导向的研究和创新项目数量 市政管理部门、大学、研究机构、公司和用户之间的合作项目数量
资源	
能源	城市中可再生能源系统的数量 人均建筑物供暖、制冷和热水排放量
流动性	人均交通二氧化碳排放量 环保交通网络在总体交通方式分布中的占比
基础设施	现有数字网络基础设施的覆盖范围 城市中物联网传感器的数量
建筑物	光伏系统的总输出功率与建筑面积的比例 屋顶绿化面积占屋顶总面积的比例

资料来源：Nachhaltig wirtschaften 2017; 的智慧城市 2022 年。

经验教训：

1. 智慧城市发展的许多机会可以用于推动气候行动战略的实施
2. 围绕提升所有人的生活质量这一主旨建立气候治理机制和强有力的原则，是维也纳可持续和智慧发展取得成功的关键。
3. 数字技术可以成为气候行动的一部分，而气候影响则是数字化议程决策中的一个重要考量。
4. 重要的是，要慎重使用衡量进展的指标。

参考资料：

- [1] Vienna Municipal Administration, 2022: “Smart Climate City Strategy Vienna”. Available at: https://smartcity.wien.gv.at/wp-content/uploads/sites/3/2022/05/scwr_klima_2022_web-EN.pdf
- [2] Vienna City Administration, 2022: “Vienna Climate Guide”. Available at: <https://www.wien.gv.at/english/environment/klip/program.html>
- [3] City of Vienna, 2024: “Compass for the use of generative AI in a work context”. Available at: https://digitales.wien.gv.at/wp-content/uploads/sites/47/2024/04/Compass-for-the-use-of-generative-AI_V-2.0_10-Apr24_engl.pdf

附件五：芬兰赫尔辛基的数字-绿色双转型与可持续发展

芬兰首都赫尔辛基是一个拥有 160 万居民的国际化都市。该城整年都面临着极端自然条件带来的问题，譬如一天内 6 小时日照与 18 小时黑夜的巨大时长差，以及一年内上至三十摄氏度下至零下三十度的剧烈温变。但与此同时，它拥有欧洲最繁忙的港口之一，这成为了当地经济繁荣的重要基础。赫尔辛基汇集了众多新兴科技企业，游戏等产业在此集群，推动了首都发展的人才就业，为招商引资提供了更多机遇。除此之外，赫尔辛基注重高质生活保障，如水渠航道的灵活运营和可持续发展城市规划的实施，都让它成为了一座极具魅力的城市。

作为可持续发展的引领者，赫尔辛基致力于在 2030 年实现碳中和目标，促进联合国 2030 可持续发展目标的本地化实现，推动反歧视和促进性别平等运动进程[1]。目前赫尔辛基面临的可持续发展核心问题在于协调城市发展与绿色空间保护，减少交通及建筑等行业温室气体排放[2]，同时满足高标准人居环境需求，增强对愈加频繁和严重的洪涝灾害的应对能力。作为 2050 气候倡议的坚定维护者，赫尔辛基全力推动土地规划、安全应对计划、暴雨洪水管理以及绿色区域及结构发展等方面适应措施的开展[7]。

在赫尔辛基，智慧的可持续发展是为民众创造便利的可持续发展。赫尔辛基智慧城区倡议策略性地将可持续发展目标与智慧城市议程核心联结起来[3]。城市创新意味着以人为本，以当地发展的长远利益为重。“为谁服务”以及“如何实现长远可居住性”的问题成为了当地城市规划的出发点。这样一来，居民获得感得以充分保障，交通运输以及公共空间也能更好适应民众需要。

目前，赫尔辛基智慧可持续城市方案在耶特卡萨里区 *jätkäsaari* 和卡拉萨塔马 *Kalasadama* 两个新城实施。*Jätkäsaari* 耶特卡萨里区位于赫尔辛基西南角，作为内城的拓展，伸入临海区域。这个区域以各种服务业著称，遍布的铁路网，便捷的自行车道与人行道是其城市特色。通过净化工业污染土地、对外拍卖规划权等措施，*jätkäsaari* 卓有成效地实现了土地使用多样化，增强了社区归属感、获得感，提高了居民生活品质。在 2030 目标实现之际，*Jätkäsaari* 将会让 18000 居民安家落户，为 6000 公司职员提供商务办公空间。在完善楼房建筑设计方面，增强社会及代际包容是项目实施的重点关切。相关举措包括坚决维护住房条件在贫富居民中地无差别平等。除此之外，区域内的废物处理措施和交通基础设施让可持续生活方式变得更加便捷，比如采取适当的垃圾分类措施，以及鼓励以骑行取代私家车出行等。

Kalasadama 的区域建设与此类似。*Kalasadama* 原为工业港口，现在正成为一个拥有 25000 居民和 10000 工作岗位的宜居之地。智慧 *Kalasadama* 的总体愿景是让每个人都能通过城市提供的智慧无污染服务而享有每天一个小时的额外闲暇时光。为了达成这个目标，*Kalasadama* 立足于“试验场”的区域定位，承接了众多前沿实验，为城市、企业、研究者和居民之间在智慧可持续城市发展方面的合作创造了条件。例如，创新使用碳中和和智慧管道，成功让电能实现了循环可再生的利用。除此之外，*Kalasadama* 的发展得益于数字科技在赋能民生建设的综合运用。该城的一项绿色城市试点项目验证了增强现实技术在帮助居民了解并从事绿色空间建设方面的潜力。通过使用“绿色 *Kalasadama*”客户端，不同年龄阶段的居民都能看到绿色空间的具体形态。目前试点设置在 *Kalasadama* 的一个名为 *Sompasaari* 的街道。街区临海而建，建筑密度极大。而通过使用该应用程序中，不论是在校小学生还是其他居民都能参与到社区未来规划之中，为绿色空间建设建言献策。

在欧洲城市中，赫尔辛基不仅在数字化方面走在前列，而且在智慧城市的实践中也展现出其领导力。在与“*Forum Virium*”公司的合作之中，赫尔辛基率先开展联合研发项目，共同推动可持续发展议程的实现。数十年来，赫尔辛基已在数据采集以及数字化基础设施建设方面取得成效，这将推动数字能力建设更好转化为智能服务产品，更好助力人工智能等科创实验。

赫尔辛基地区信息共享平台（*Helsinki Region Infoshare*）[6] 是赫尔辛基市公开共享数据集和 API 的一个典型案例。该平台旨在促进私营部门的创新，从而惠及所有市民。此外，该市还为员工提供了多种技能提升项目，如数据工程领域的培训，以提升整个城市的数字素养。

经验教训：

1. 智慧的可持续发展是为民众创造便利的可持续发展。
2. 赫尔辛基市通过数字化创新，在维持经济持续发展的同时协调多元化环境下民生福祉建设。

3. 推进城市与周边区域、研究院所以及企业之间的协同合作对于建成智慧可持续城市至关重要。

参考资料:

[1] City of Helsinki Website on Sustainable Development. Accessed August 14th 2024:

<https://www.hel.fi/en/decision-making/information-on-helsinki/sustainable-development> [2] From Agenda to Action – Implementation of the UN Sustainable Development Goals in Helsinki 2023. Available at: <https://www.hel.fi/static/kanslia/Julkaisut/2023/from-agenda-to-action-2023.pdf>

[3] <https://helsinkismart.fi/>

[4] <https://www.extremeweatherwatch.com/cities/helsinki>

[5] Smart Kalasatama <https://fiksukalasatama.fi/en/smart-city/>

[6] Helsinki Region infoshare: https://hri.fi/en_gb/

[7] Helsinki Climate Change Adaptation Policies 2019-2025

https://www.hel.fi/static/kanslia/Julkaisut/2019/Ilmasto_Sopeutumislinjaukset.pdf

[8] Green Kalasatama Website. Accessed August 22nd, 2024: <https://fiksukaupunki.fi/en/projects/green-kalasatama/>

附件六：人工智能在废物管理中的作用

一次性塑料废弃物是一项严峻的环境挑战，对海洋和淡水生态系统均造成了显著的负面影响。为应对这一问题，全球各国政府积极制定并实施相关政策，特别是致力于减少一次性塑料的使用，以减轻塑料废物对环境的压力。根据 Xanthos 和 Walker（2017 年）的研究，塑料废物领域的政策工具包括禁令等监管措施，以及信息和经济手段。这些政策干预措施旨在通过各种方法解决普遍存在的塑料污染问题，其效果和公众接受程度各有差异。

1. 上海的智能垃圾管理系统

中国在应对塑料废物问题上采取了重大举措，并制定了一项全面计划，目标是到 2025 年禁止或限制一次性塑料制品的使用。该政策包括在 2020 年前在主要城市禁止使用不可降解塑料袋，并计划到 2022 年将禁令扩展至全国范围。到 2025 年，中国旨在将重点行业的塑料使用强度减少 30%。截至 2021 年，北京、上海和深圳等主要城市已报告塑料袋使用量减少了 50%（生态环境部，2021 年）。

在智慧废物管理系统的实施方面，上海始终走在前列，该市整合了人工智能技术来解决塑料垃圾问题。2019 年，上海实施了《生活垃圾管理条例》，规定垃圾需按四类进行分类回收，并对违规行为处以罚款。这一措施显著提高了厨余垃圾的分类回收量，甚至超出了政府的既定目标（上海市政府，2020 年）。

主要特点

（1）人工智能监控技术：智能垃圾桶集成了面部识别技术，能够自动称重垃圾，并为遵守分类规定的用户提供社会积分或现金奖励

（2）公众参与：通过创新的教育呼吁方式，如视频游戏、智能手机应用程序和歌曲，引导公众正确进行垃圾分类。

（3）投资：对回收系统的投资超过 30 亿美元，随着公众合规性的提高和废弃物的减少，这一投资已初见成效（住房和城乡建设部，2021 年）。

中国在实施一次性塑料禁令的过程中面临诸多挑战，包括公众的合规性、替代品的可用性和执法力度。人工智能技术的应用为这些问题提供了创新解决方案，增强了监控能力，优化了废物管理流程，并支持了数据驱动的政策制定。上海的实践案例表明，人工智能技术不仅是实现可持续发展目标的关键，也是减少塑料污染的核心手段。

2. 政策干预及其效果

实施一次性塑料禁令是众多政府采纳的关键策略之一。这类禁令作为自上而下的命令与控制型政策工具，通过直接限制一次性塑料的可获得性，推动消费者行为的转变。例如，加勒比海地区针对一次性塑料和聚苯乙烯的禁令，有效减少了这些在该地区海洋垃圾中占比极高的物质的存在（Clayton 等人，2021 年）。在美国，地方政府采取了包括禁令、收费和教育活动在内的各种措施来减少一次性塑料袋的消费。事实证明，旧金山和西雅图等地实施这些措施后，塑料袋使用量的显著下降（Wagner，2017 年）。

经济手段，如征税，同样在减少塑料废物方面显示出显著效果。爱尔兰对塑料袋征税后，塑料袋的使用量立即大幅减少，这证明了经济手段在积极影响消费者行为方面的潜力（Xanthos & Walker，2017）。同样，威尔士在征税后，一次性塑料袋的消费量也大幅减少，凸显了此类经济干预措施的成功（Wagner，2017）。

3. 人工智能在塑料废物管理中的作用

人工智能（AI）已成为提升塑料废物管理可持续政策成效的有力工具。人工智能技术可以在废物管理的全过程中发挥协助作用，从监测和数据收集到优化回收流程，再到预测污染趋势。例如，人工智能可以利用机器学习算法识别和分离不同类型的塑料，从而提高废物分类效率，进而提升回收率并减少回收过程中的污染（Xanthos & Walker，2017 年）。

此外，人工智能驱动的数据分析可以为消费模式和政策干预的有效性提供深入洞察。通过分析大型数据集，AI 帮助决策者理解塑料禁令和征税对使用行为的影响，并识别出可能需要采取额外措施的领域。预测建模还可以预测拟议政策的潜在结果，使政府能够设计出更有效、更有针对性的干预措施（Wagner，2017 年）。

将人工智能技术整合到废物管理系统中，是应对塑料污染挑战的重要步骤。借助人工智能，政府可以强化其政策框架，确保更高效、更可持续地管理塑料废物。这种技术方法不仅能支持现有法规的执行，还能促进创新解决方案的开发，以应对塑料污染这一复杂挑战（Clayton 等人，2021 年）。

总之，采用可持续政策，包括禁令和经济手段，已被证明在减少一次性塑料废物方面成效显著。人工智能技术的融入进一步增强了这些政策的效力，为优化废物管理和加强环境保护提供了新的途径。随着各国政府持续优化其战略，政策干预与人工智能之间的协同作用将在实现长期可持续发展目标中发挥关键作用。

参考资料

- [1] Ministry of Ecology and Environment. (2021). Progress report on the implementation of the plastic ban in China.
- [2] Ministry of Housing and Urban-Rural Development. (2021). Smart waste management system in Shanghai. Shanghai may become a model for zero-waste cities around the world. (n.d.). China Britain Business Council. Retrieved from focus.cbbc.org.
- [3] Clayton, C. A., Walker, T. R., Bezerra, J. C., & Adam, I. (2021). Policy responses to reduce single-use plastic marine pollution in the Caribbean. *Marine Pollution Bulletin*, 162, 111833.
- [4] Wagner, T. P. (2017). Reducing single-use plastic shopping bags in the USA. *Waste Management*, 70, 3-12.
- [5] Xanthos, D., & Walker, T. R. (2017). International policies to reduce plastic marine pollution from single-use plastics (plastic bags and microbeads): A review. *Marine Pollution Bulletin*, 118(1), 17-26.
- [6] Ministry of Ecology and Environment. (2021). Progress report on the implementation of the plastic ban in China.
- [7] Ministry of Housing and Urban-Rural Development. (2021). Smart waste management system in Shanghai. Shanghai may become a model for zero-waste cities around the world. (n.d.). China Britain Business Council. Retrieved from focus.cbbc.org.

附件七：欧洲和中国智慧城市指标

欧盟对智慧城市的评估标准涵盖了多个关键指标：其中包括智慧经济（即创新驱动型经济）、智慧交通（不仅限于交通领域，还扩展至教育、购物等其他重要生活领域）、智慧环境（即关注城市的生态环境）和智慧治理（即对政府管理模式进行优化和改进）。在此领域的评估工具和框架实例包括国际标准化组织（ISO）发布的“城市可持续发展--智慧城市指标”[1]、智能可持续城市联盟（U4SSC）提出的智能可持续城市（SSC）关键绩效指标（KPIs）[2]以及国际管理发展研究院（IMD）编制的智慧城市指数[3]。

2013年，王广斌对我国的国家评价指标体系进行了总结。他指出，中国有多样化的评价指标体系。[4]这些体系涵盖了陈明等（2011）[5]以及中国学者崔璐、杨开瑞（2018）[6]所提出的评价指标体系。王广斌指出，鉴于不同城市在政府政策、经济基础、基础设施、法律法规、人才储备等方面存在显著差异，评价指标的设定呈现出多样性。这些评价指标体系大多源自政府行动，格外注重信息技术等基础设施建设和信息化进程，强调投资价值。虽然这些体系具有明确的针对性，但普遍缺乏指导性。

2024年5月1日，广东省在深圳、珠海等城市启动了智慧城市标准化体系的试点研究工作。该研究的核心目标是构建一套智慧城市标准化体系，借助智慧城市和数字城市建设，打造智慧城市标准化创新服务平台。重点涉及感知、识别采集、网络传输、计算机存储、数据服务、通用工程服务、智能应用、安全保障等多个方面。在基础设施、信息采集、数据交换、数据元素、业务应用、运行管理、服务规范、智能交通、数字家庭、安全保障等方面，研究团队正积极探索并制定相应的地方标准和团体标准。此项工作的成果已汇编成《2022年智慧城市标准化白皮书》。

2023年5月1日开始实施的《新型智慧城市评价指标》（GB/T33356-2022）提出了地县级新型智慧城市建设的指标体系。

中国信息通信研究院也从产业角度梳理了智慧城市的七个关键环节，包括顶层设计、标准规范、基础设施、智能枢纽、智能应用、运营服务和网络安全。

参考资料：

[1] <https://www.iso.org/standard/69050.html>

[2] https://www.itu.int/en/ITU-D/Regional-Presence/CIS/Documents/Events/2019/02_Minsk/Presentations/Training-S1-and-S2-Pres2-SmiciklasJohn-U4SSC_KPIs-John-Smiciklas.pdf

[3] <https://www.imd.org/smart-city-observatory/home/>

[4]王广斌，张磊，刘洪雷.国内外智慧城市的理论研究与实践思考[J].科技进步与对策，2013，30(19)：153-160.

[5]陈明，王千晨，张晓海等.“智慧城市”评价指标体系研究--以“智慧南京”建设为例[J].城市发展研究，2011，18（05）：84-89.

[6]崔璐，杨开瑞.智慧城市评价指标体系构建[J].统计与决策，2018，34（06）：33-38.

附件八：监测城市在实现社会可持续发展方面的基准和关键绩效指标

城市采用数字化战略，给本已极其复杂的城市系统又增添了一个新的层次。而确保这一新层次实现其简化并向更可持续的城市环境过渡承诺的有效途径之一便是监测这一过程的进展。在瑞典，这种监测实践已广泛实施。以关键绩效指标（KPI）为例，瑞典公众可以利用 Kolada 比较服务来对瑞典各市政当局进行评估和排名。在可持续性方面，Kolada 不仅展示了市政当局作为组织机构取得的成就，也展现了其作为地理实体在可持续性方面的表现。具体来说，前者作为组织机构的成就，例如，提供了对运营维度的深入分析，这包括支持绿色采购、提升市政工作人员公共交通使用率以及确保市政府所属场所产生的废物得到高效利用的行动。而作为地理实体的表现，后者则涵盖了集体（包括私人公民和企业）在可持续发展方面的共同努力和成果。然而，需要注意的是，排名的使用可能会对城市产生不恰当的激励，导致它们过分关注短期目标，而忽视了长期的可持续发展视角。

城市之间的竞争也会削弱它们之间的合作意愿（Giffinger 等人，2010 年）。鉴于各城市都希望自己在绿化和数字化竞赛中处于领先地位，因此关键绩效指标的定义极易成为争议的焦点。特别是在可持续性的界定上，争议尤为显著。一方面，以服务为导向的城市可能倾向于采用基于地域的排放测量方法，而以生产为导向的城市更倾向于推动一种更为公平的核算方式，如基于消费的排放核算方法，将排放责任与更大、更富裕城市产生的需求联系起来。此外，城市系统的复杂性不仅体现在单个城市内部，还在于它们是广泛的商品和服务贸易网络的一部分（Athanasiadis 等人，2018 年）。因此，将排放责任归咎于特定城市，往往会引发长期的争议和辩论。

城市虽然在扩张过程中可能会导致绿色环境锐减，但在促进城市环境对生物多样性有益方面，它们同样能够发挥关键作用。在过去十年中，尽管衡量生物多样性一直面临特殊挑战，但通过使用人工智能、机器学习和智慧城市应用，城市环境在生物多样性保护方面已取得显著改善。Nitoslawski 等人（2019 年）综述了可用于城市环境监测和提升生物多样性质量的技术，包括：用于评估和测量城市森林的增强现实（AR）和虚拟现实（VR）技术；适用于实时分析的开放数据和大数据技术；以及用于物种识别和疾病诊断的图像分类自动化技术等。

参考资料：

- [1] Athanasiadis, A., Christis, M., Bouillard, P., Vercalsteren, A., Crawford, R.H. and Khan, A.Z. (2018), “Comparing a territorial-based and a consumption-based approach to assess the local and global environmental performance of cities”, *Journal of Cleaner Production*, Vol. 173, pp. 112–123, doi: 10.1016/j.jclepro.2016.10.068.
- [2] Giffinger, R., Haindlmaier, G. and Kramar, H. (2010), “The role of rankings in growing city competition”, *Urban Research & Practice*, Routledge, Vol. 3 No. 3, pp. 299–312, doi: 10.1080/17535069.2010.524420.
- [3] Nitoslawski, S.A., Galle, N.J., Van Den Bosch, C.K. and Steenberg, J.W.N. (2019), “Smarter ecosystems for smarter cities? A review of trends, technologies, and turning points for smart urban forestry”, *Sustainable Cities and Society*, Vol. 51, p. 101770, doi: 10.1016/j.scs.2019.101770.
- [4] Wang, X. and Feng, Y. (2021), “The effects of National High-tech Industrial Development Zones on economic development and environmental pollution in China during 2003–2018”, *Environmental Science and Pollution Research*, Vol. 28 No. 1, pp. 1097–1107, doi: 10.1007/s11356-020-10553-1.
- [5] Yu, T., Rong, A. and Hao, F. (2022), “Avoiding the middle-income trap: The spatial–temporal effects of human capital on regional economic growth in Northeast China”, *Growth and Change*, Vol. 53 No. 2, pp. 536–558, doi: 10.1111/grow.12597.

附件九：“人工智能+”探索北京亦庄生态环境治理的“数智”模式

北京亦庄以持续改善辖区生态环境质量为核心，不断丰富人工智能在生态环境保护方面的应用场景，拓展提升对环境问题的分析预测能力，探索精准治污、智慧管理新路径，为提升现代环境治理能力、促进新质生产力发展、建设绿色智慧的数字生态文明贡献亦庄力量。

增添智能网联汽车“新神器”，助力生态环境保护提质增效。2024年1月16日，全国首批获准上路测试的无人巡逻车开始在北京亦庄的多个园区、地铁站点、商业广场等人口密集和重点场所24小时不间断执勤，成为全国首批移动智能监测大气环境质量的无人车，车身安装了雷达及多参数的大气环境质量监测传感器，具有“安全守卫者”和“大气污染侦察兵”的双重身份。无人巡逻车与现有卫星遥感监测、走航监测形成互补，24小时不间断运行，实现了对可吸入颗粒物（PM_{2.5}）、细颗粒物（PM₁₀）、以及氮氧化物、臭氧等气态污染物共8项参数实时监测，助力精准监控大气环境质量，制定应对措施。

“一网管全城”，按下生态环境保护“快进键”。作为共建共享、集约高效的城市运行综合感知体系，“城市运行大脑”按照“定位治理重点、问题原因诊断、事件处置调度、治理效果评价”的管理思路，统览空气质量态势，支撑分析污染趋势，实现事件闭环处置，生态环境治理如虎添翼。通过连续自助监测设备、振动传感器等，北京亦庄实现了对重点行业、重点企业、机动车遥测点等的密集、实时监测，指导企业规范生产、绿色生产。同时，以视频抓取道路有无渣土遗洒、渣土运输是否苫盖、工地是否处于土方作业阶段，及时做好扬尘管控，实现可靠溯源、精准治污。通过精准、科学施策，北京亦庄协同推进生态环境高水平保护和经济高质量发展，生态环境质量持续改善。2024年上半年，PM_{2.5}累计浓度同比下降9.5%，道路尘负荷同比下降53%，河流断面达标率100%，优良水体比例稳定达到50%。

“智慧之眼”，守护生态持续向好。为了更好地了解区域内的生物多样性情况，此前鸟类监测大多采用“人工+观测设备”的方法。但人力物力投入大，且对监测人员的要求较高，难以保证鸟类监测的准确性、连续性、完整性。2022年7月，北京麋鹿生态实验中心与中国科学院半导体研究所合作建立了一套基于“音视频智能感知”的AI鸟类识别系统，为鸟类多样性调查和动态监测提供了创新手段。2023年初，麋鹿苑更是首次以人工智能的方式监测到国家一级保护动物白尾海雕，这也是此地采用“鸟”脸识别后首次监测到珍稀猛禽。这只白尾海雕在麋鹿苑停留近3个月，度过了一个完整的冬季。有了智慧监测系统的“提醒”，对监测人员摸清鸟儿的生活习性也有很大帮助。