



中国环境与发展国际合作委员会

专题政策研究项目报告

双碳目标下的社区绿色更新研究

重大绿色技术创新及其实施机制研究第二期

2021 年 8 月

专题组成员

联合组长

中方组长：

李晓江 中国城市规划设计研究院原院长，国家工程勘察设计大师，
京津冀协同发展专家咨询委员会委员

翟 齐 中国可持续发展工商理事会执行秘书长，国合会特邀顾问

外方组长：

Dominic Waughray 前世界经济论坛执行董事，国和会特邀顾问

Dirk Messner 德国联邦环境署署长，国和会委员

项目组中外核心专家

中方核心专家：

王 凯 中国城市规划设计研究院院长
叶 青 深圳建筑科学研究院院长
詹 鲲 中国可持续发展工商理事会首席专家
吕晓蓓 中国城市规划设计研究院西部分院总规划师
张永波 中国城市规划设计研究院学术信息中心主任
伍速锋 中国城市规划设计研究院交通分院院长助理
任希岩 中国城市规划设计研究院生态市政院总工程师
魏保军 中国城市规划设计研究院生态市政院副总工程师
周 俊 中国城市规划设计研究院深圳分院所长
葛春晖 中国城市规划设计研究院上海分院所长
郭永聪 深圳建筑科学研究院高级工程师

外方核心专家：

林伯强 厦门大学中国能源政策研究所所长；世界经济论坛能源与材料平台执行委员
林 江 美国劳伦斯·伯克利国家实验室讲席科学家（中国能源政策）
Khee Poh Lam 新加坡国立大学设计与环境学院院长
樊胜根 中国农业大学特聘教授
Charles Godfray 牛津大学马丁学院院长
Arjan Harbers 荷兰环境评估署（PBL）研究员

Carlo Ratti	麻省理工学院可感知城市实验室主任
Claudia Sadoff	国际农业研究磋商组织（CGIAR）研究交付和影响力执行董事，执行管理团队召集人
Barbara Lenz	德国航空航天中心交通研究所所长

咨询专家：

李 艺	全国工程勘察设计大师，北京市市政工程设计研究总院有限公司副总经理
郭继孚	北京市交通发展研究院院长
Christian Stärz	德国国际合作机构(GIZ) 中德环境伙伴关系总监
宋晔皓	清华大学教授，建筑学院建筑与技术研究所所长
付 林	清华大学教授，博士生导师
方 莉	世界资源研究所 中国区代表
郑德高	中国城市规划设计研究院副院长
张 菁	中国城市规划设计研究院副总规划师，经营管理处处长

协调员：

胡京京	中国城市规划设计研究院学术信息中心副主任
Qiuping Li	世界经济论坛新兴市场与气候行动负责人
Sha Song	世界经济论坛全球公共产品中心中国合作伙伴关系主管
秦奕	中国城市规划设计研究院学术信息中心城市规划师

* 本课题/专题政策研究项目组中外组长、成员以其个人身份参加研究工作。

目 录

引 言	1
第一章 形势、机遇与发展目标	2
一、社区绿色更新的重要性	2
二、社区绿色更新的愿景准则与目标	2
第二章 中外经验与新兴最佳实践：从城市到社区	3
一、国际视野的城市/社区脱碳路径	3
二、国内外社区绿色改造技术经验	6
第三章 城市社区的碳排放特征：五个案例实证分析	8
一、案例城市与社区的选择	8
二、案例社区的基本情况与人口经济社会特征	8
三、案例社区碳排放数据收集、计量与分析	9
四、案例社区碳排放结构及影响因素分析	10
第四章 城市社区碳排放的前景分析与去碳难点	12
一、城市社区未来需求与趋势	12
二、案例社区建筑改造方式与碳排放、能耗影响	15
三、城市社区去碳的难点与挑战	19
第五章 双碳目标下社区绿色更新与绿色技术推荐建议	20
一、双碳目标、社区多元性的认识与应对	20
二、2030 碳达峰前社区绿色技术推荐	21
三、基于社区类型的绿色技术集成建议	22
四、面向 2060 碳中和的绿色技术创新建议	23
第六章 社区绿色更新中倡导绿色生活方式	25
一、低碳消费	25
二、减量使用	26
三、缩短碳链	26
四、绿色生活方式的保障条件	27
第七章 推动中国城市的数字化绿色转型	27
一、数字化绿色转型的五个因素分析	27

二、城市绿色智能转型建议	29
第八章 创造绿色技术应用的有利环境	30
一、绿色技术应用面临的关键挑战	30
二、创造绿色技术部署的有利环境	31
第九章 性别与人群视角：分享与共同参与	33
一、女性在社区绿色发展中的角色和作用	33
二、有利于老人和儿童的社区绿色更新建议	34
三、有利于低收入人群和弱势群体的社区绿色更新建议	34
第十章 政策建议	35
一、促进碳中和与城市、社区绿色发展的建议	35
二、社区更新绿色技术的政策建议	36
致 谢	39

引言

碳中和目标需要尽快对城市进行系统性强化干预。2020年9月习近平主席承诺中国将于2060年之前实现碳中和。这对中国社会经济发展的影响是广泛而具颠覆性的，中国将开启全新的阶段。数据显示，城市是能源消费的主要场所，消费占比可达85%左右。而中国城市生活领域的资源能源需求还将持续增长，以生产为主的能源消费和碳排放也将随着经济转型而转变为以生活消费为主。只有进行系统性强化干预，才能使中国城市在走向碳中和进程中健康可持续发展。

中国城镇化方式正在从扩张发展转向城市更新。国家“十四五”规划纲要明确提出要加快推进城市更新。相比扩张发展模式，存量资源利用为主的城市更新模式可以减少资源能源消耗，更加绿色低碳，城市更新也需要采取绿色方法。因此，关注城市社区绿色更新是城市发展的重要议题。

绿色技术 SPS 二期工作重点：社区绿色更新。在一期研究的城市绿色发展愿景、路径以及绿色技术推荐基础上，二期将进一步聚焦国家碳中和目标与城市更新战略，从社区层面探索具有针对性、实效性、可负担的绿色发展策略与绿色技术应用，力求在满足人民美好生活需要的同时更高质量的实现国家双碳承诺。

社区绿色更新需要掌握碳排放实际状况并判断未来需求增长趋势。国际经验表明，人均GDP达到1万美元以后是能源资源消费增长最快，中国城市居民消费与欧美发达国家差距很大¹，未来的新需求将带来更多的消耗与碳排。因此，选择不同城市及不同类型和人群的社区，并对其实际碳排放进行全面采集与分析，对居民未来的需求和社区更新的碳排进行预测，才能为去碳设计合理有效的方案。

社区绿色更新需要绿色技术与绿色生活方式推广。先进国家零碳社区的实践，本项目的实证都表明，仅靠绿色技术的应用推广难以实现零碳目标。因此既要通过对不同人群、建筑特征的各类社区提供适用的绿色技术及集成应用方案，还要通过居民绿色生活方式推广，以控制城市与社区碳排峰值，促进提前实现碳中和。

社区绿色更新应当学习国际经验。欧洲、北美的一些城市在绿色发展与零碳社区发展方面有不少成功的案例，也探索出成熟的治理机制。研究借鉴国际成熟的经验，是加快社区绿色更新的有效途径。

社区绿色更新需要充分利用数字技术和体制机制创新。诸多领域的技术创新需要充分利用数字与人工智能技术的支持。绿色更新的复杂性需要政府、企业和公众的多方参与，更需要在法律、政策、技术标准等多层次的制度创新。

社区绿色更新不仅是去碳重要领域，也是社会公平正义的综合议题。女性更愿意接受并践行绿色发展，社区更新需要女性的广泛参与。绿色更新也是与生活质量相关的重要民生议题，应当给社会各阶层人群创造更多福祉。

¹ 数据来源于 Wind.

第一章 形势、机遇与发展目标

一、社区绿色更新的重要性

社区更新与碳排放。社区和街区更新将成为我国城市更新的主要方式。社区是城市生活、居住的主要场所。从国际经验来看，居民生活品质的提高普遍会推高人均碳排放，而社区更新改造的本质就是要改善居民生活品质，中国未来社区/生活碳排放有大量上涨可能。因此，如果不提前采取绿色技术与绿色生活方式的积极干预，社区更新很可能成为中国实现“双碳”目标的巨大阻力。

中国政府倡导社区绿色改造。国家从 2020 年起将城乡老旧小区改造定义为重大民生工程和发展工程²，提出到“十四五”期末，力争基本完成总计约 22 万个小区、涉及居民上亿人的城镇老旧小区改造任务，拉动投资达万亿元级。2020 年 7 月，国家印发了《绿色社区创建行动方案》，倡导将绿色发展理念贯穿社区设计、建设、管理和服务等活动的全过程，以简约适度、绿色低碳的方式，推进社区人居环境建设和整治。随着未来中国城市碳中和战略的逐步落地，社区绿色低碳改造工作将获得更多的政府政策与财政支持。

社区绿色改造是城市碳中和解决方案的关键支点。社区是生活能源低碳最务实、最直接的应用场景，社区层面的小型试点和生活实验室已经被广泛使用于世界各地的领先城市，成为各类绿色低碳技术在应用推广前期的成熟测试工具和手段。社区改造的经验及商业模式是低碳技术推广的关键因素；可以更加广泛地动员公众参与，推动绿色生活观念的形成；还可以有助于相关政策法规的制定。

二、社区绿色更新的愿景准则与目标

社区绿色更新的愿景：以绿色营建、管理、服务方式和绿色生活方式实现人民美好生活的愿望，建设绿色繁荣、低碳集约、循环利用、公平包容、安全健康的宜居社区，为世界可持续社区更新提供“中国样本”。

社区绿色更新的准则：

准则 1：绿色社区发展应以满足人民美好生活的需要为目的，提倡可持续的消费和生活模式，充分考虑妇女、老人、儿童的需求，充分尊重弱势群体的发展权利，改善所有人的生活质量，让人人享有优质的绿色环境与设施，实现生活领域的永续发展。

准则 2：绿色社区要采用绿色低碳的规划、设计和运营方式，提供可负担的住房、服务、设施、交通、能源、水和空气质量等优质公共产品，为居民提供满足需要的美好空间品质，激发全社会共同参与的可持续生活方式。

² 《国务院办公厅关于全面推进城镇老旧小区改造工作的指导意见》

准则 3: 绿色社区要采取有效的手段, 循环高效利用资源, 降低生态脆弱性, 增强韧性, 以及对自然和人为灾害的反应能力, 最大程度的实现人与自然的和谐, 促进减缓和适应气候变化。

准则 4: 社区更新中运用的绿色技术应充分考虑不同地域的气候特征、地理特点、发展水平、发展模式等因素, 成本可控且安全稳定。社区更新中推广的低碳生活方式应具有社会可接受性, 且易于复制和推广。

准则 5: 绿色社区倡导所有利益相关方根据国家政策和法律, 建立和加强伙伴关系, 改善协调与合作, 最终促进社区居民乃至全社会生产方式、生活方式和价值观念向绿色低碳方向的转变, 以实现共同的绿色愿景。

社区绿色更新举措: 基于“双碳”目标的紧迫性, 城市社区须采用“绿色技术+低碳生活方式”的强化干预路径来实现绿色社区目标。

(1) **广泛采用绿色技术。**在社区更新中采用降低能源消耗, 提升能源利用效率的绿色技术; 以及减少资源消耗, 促进“循环利用”。

(2) **全面推广绿色建筑和绿色建造。**通过老旧建筑改造, 大力提高绿色建筑的比例, 通过推广绿色建材和循环利用拆除改造的建材, 推动资源的循环利用。

(3) **倡导紧凑混合的土地利用。**形成更多混合利用的公共空间, 促进地上地下空间集约利用; 通过管理实现更多建筑物的分时高效利用。推广公共餐厅等共享建筑模式, 营造适老化、生活化的公共空间和居家生活、工作场所。

(4) **塑造更加绿色、健康和韧性的公共开放空间。**通过社区更新, 扩大社区绿地空间, 增加碳汇, 改善微气候; 扩大社区共享的公共空间, 引导更加健康活跃的居民交往; 建设更加安全韧性的市政基础设施。

(5) **实现更加低碳绿色的生活方式。**为居民就近提供便捷完善的公共服务, 引导居民绿色出行; 支持居民采用节能环保和减少资源消耗的生活方式; 建设社区屋顶农场、垂直花园等, 打造立体微农场; 利用建筑外立面, 打造垂直绿化。

(6) **鼓励市场主体和社区居民参与社区绿色更新。**制定鼓励性政策、明晰的规则和社会公约, 保障各类群体, 特别是女性、儿童、老人和弱势群体的利益。鼓励居民直接参与社区碳排, 让社区成为公民履行减碳社会责任的主要载体。

第二章 中外经验与新兴最佳实践：从城市到社区

一、国际视野的城市/社区脱碳路径

能源领域

能源转型是中国实现净零排放的根本。这不仅是因为中国电力行业占其能源相关排放量的 50%左右（占全球能源相关排放量的 14%），还因为电气化将是未

来能源系统的核心，对其他行业实现净零增长至关重要。

中国已经是全球可再生能源生产的领头羊，在太阳能光伏（PV）和风力发电方面潜力巨大。如果全球可再生能源和储能平均成本继续快速下降，到 2030 年，中国可实现 62% 的非化石能源发电（“十四五”规划中该目标为 50%），电力部门排放量可降至 2015 年的一半³。在电气化不可行的部门，将需要氢气、碳捕获利用和储存（CCUS）以及可持续的生物能源。当前绿色氢发展势头较好，宝丰能源集团在中国投产了世界上最大的太阳能制氢厂，据介绍，绿色氢气的成本与棕色氢气（煤气化产生）相比具有竞争力，同时每年减少煤炭消耗 32 万吨。

交通领域

低碳交通选择的可用性和效率提高是城市交通领域碳中和的重点。便利的步行、骑自行车设施与可选择、高效的公共交通系统可以明显地促进居民的绿色出行和生活。如快速公交（BRT）使用专用车道为公众提供快速的城际和城内移动；通过降低车速和加宽人行道，创造慢行安全空间。中国城市正在广泛推广 15 分钟社区生活圈以减少出行量；墨尔本在“2017-2050 年墨尔本计划”⁴中，也正规划一个 20 分钟的社区，覆盖人们的“本地生活”，有安全的自行车和本地交通选择。

其次交通需求管理（TDM），共享乘车和出行方式，移动即服务（MaaS）等技术支持为消费者创造了低碳交通激励和解决方案。自动驾驶（AD）也有助于通过按需服务扩展公共交通。北京市交通运输委员会与高德公司共同推出了交通绿色出行一体化服务平台，这是中国第一个落地实施的 MaaS 平台，拥有超千万级用户。通过平台的碳普惠激励，鼓励市民通过碳包容性的方式参与绿色出行。

此外，可继续大规模推广新能源汽车（NEV），并建设充电基础设施（但该措施与希望减少私家车使用的城市规划目标相矛盾）。中国现有 500 万辆新能源汽车，将太阳能、电池储能、快速充电、电池交换站结合起来，可提高运输系统对非碳能源的应用。此外替代推进系统和替代燃料，如燃料电池电动汽车（FCEV）、绿色制氢和氨燃料等将是必要的，尤其在重型运输等领域。

建筑领域

从全生命周期来看，建筑施工和材料制造产生全球 11% 的二氧化碳排放量，建筑运营占 28%⁵。建筑脱碳要求新建建筑实现净零能耗（NZEB），并对现有建筑进行提高能效和电气化改造。NZEB 的商业化，需要将绿色建筑的外部成本整合到初始资本投资和运营成本上，配合程序标准化。同时，尽可能利用再生能源供暖，如北方城市的工业废热用于区域供暖。在建造方面，如钢结构-模块化内部空间（SS-MIS）建筑，材料和施工方法可减少排放，提高建筑寿命。建筑集成光伏（BIPV）和其他形式的分布式储能将通过数字化和物联网实现电网的灵活性。太古地产通过在建筑中安装智能仪表和物联网传感器，更好地掌握了电、水、废

³ He, G., Lin, J., Sifuentes, F., Liu, X., Abhyankar, N., & Phadke, A. (2020, May 19). 可再生能源和储能成本的快速下降加速了中国电力系统的脱碳。自然通讯, 11. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-16184-x>

⁴ 国会与世界论坛。 (2020 年 9 月)。中国城市主要绿色技术及实施机制。

⁵ Wang, M. & Hao, Y. (2020 年 5 月 22 日)。在城市发展中实施生命周期碳排放标准。落基山研究所。

物的消耗以及室内空气质量，并通过云平台来监控、分析和优化建筑资源环境和能源管理，实施中效果较好。

水务领域

快速城市化和气候变化导致水资源短缺，给世界各地的行业带来了重大挑战。水管理战略和技术可以保护水资源，提高效率，减少能源消耗和碳排放。通过减少水渗漏来提高非收入水（NRW）的管理效率和促进污水厂能源自给是城市水务脱碳的重要途径⁶。海绵城市是一个关于雨洪水管理以及含水层补给（MAR）的新概念，中国目标到 2030 年让 80%的城市地区吸收和再利用至少 70%的雨水。

土地利用与规划领域

技术、土地利用与规划战略的整合是城市绿色转型的关键支柱。可再生能源的生产将对土地利用产生巨大影响；海绵城市有助于解决城市人工水体和绿地；欧洲城市正在试行减少私人汽车拥有量，增加城市公共空间。在比利时布鲁塞尔，如果当地居民不购买新车情况下出售汽车，就可以获得当地为期一年的公共交通费⁷。新加坡的研究发现，共享出行可以减少 86%的停车位⁸，以用于其他用途。同样，新技术以及新冠流行减少了人们对办公和零售场所的需求，建筑“底层”空间可以用于共享工作空间、城市农业等⁹。通过系统性、可持续性和社会性的城市规划以支持未来新技术带来的城市空间的变化。

食品领域

在全球范围内，农业食品系统产生了三分之一的温室气体排放，中国食品供应链占 11%-12%。发展农业技术、减少粮食损失和浪费，改变饮食模式是减少农业粮食系统温室气体排放，实现碳中和的重要方面。农业技术可以直接减少温室气体排放，也可以通过提高生产率、改善供应链联系等间接减少温室气体排放。而大多数与食品有关的排放主要来自农田排放、动物肠道发酵、水稻种植、粪便管理和农业残留物¹⁰。

中国肉类消费量的增长是农业食品系统中温室气体排放、水消耗和土地使用面积压力的主要因素¹¹。因此减少食物浪费，摆脱肉类消费，发展城市型农业技术对碳中和有重要作用。垂直农业是一项新兴技术，产量高、用水量低、能高效利用自然资源。目前北美大多数垂直农业都专注于高价值作物，但在中国存在成本过高的争论。

⁶ 沃尔顿。M. (2018 年 11 月 19 日)。能源部门应该关心废水。国际能源署。

⁷ 布鲁塞尔低排放区。 <https://www.lez.brussels/mytax/en/>。

⁸ Ratti, C. (2020 年 12 月) 停车位：下一个伟大的城市前沿。世界经济论坛。

⁹ Ratti, C. & Catella, M. (2021 年 3 月 1 日)。进入底层：街道地块如何重振后 COVID 城市。世界经济论坛。

¹⁰ Zhang, Y., Fan, S., Chen, K., Feng, X., Zhang, X., Bai, Z., & Wang, X. (2021 年) 转变农业食品系统以实现中国 2060 年碳中和目标。中国和全球粮食政策报告。

¹¹ 同上

二、国内外社区绿色改造技术经验

国际绿色社区重点关注绿色技术、生活方式、公约保障与政策支持等方面。

绿色技术

绿色技术的应用逐渐从单项技术向多维度一体化集成进化。例如哈马碧和皇家海港城提出“共生城市 (SymbioCity)”理念，包括城市空间、交通、能源、水、固废、绿色建筑、智能管理和环境绿化 7 大维度 42 项绿色技术。根据技术与外部系统的关联性、本地适用性，研究将 42 项技术分为 3 大类：

外部系统支持的绿色技术。这类绿色技术需要在更大范围内实施、或需要城市市政进行系统配套，包括比较成熟的紧凑街区、混合功能、公共交通等共识，是通过就业、居住、休闲目的的就近可达或低碳出行，减少碳排。其他 9 项技术可以总结为 2 个趋势：一是市政基础设施向分布式转变。传统的垂直电力系统能源平均利用率为 36% 左右，而分布式能源系统通常利用燃气轮机、太阳能、生物质、燃料电池、热电联产、冷热电三联供等多元能源供给方式，综合能源利用效率可以达到 70-90%。二是能源、水、固废系统由独立运作向跨网协同、循环共生转变，包括污水制沼、生物堆肥等，但需要在更大范围内布置。以哈马碧为例，区域能源 50% 来自于太阳能，50% 来自于废物发电、沼气发电和废水余热。

新建区域的绿色技术。这类绿色技术通常对配套设施要求较高，适用于新建区域。包括区域供冷、地下真空垃圾收集系统、绿色建材、被动建筑、柔性配电等。目前国外案例应用较为广泛、国内逐步开始尝试的绿色技术有 2 项。一是区域供冷技术，利用夜间低谷电制冷蓄冷，日间进行区域集中供冷，适用于冷量需求密度较高的区域。二是地下真空垃圾收集系统，目前有近千运营成功案例，在国内由于垃圾分类不足与管理制度问题，尚未出现成功的实践案例。

街区更新的绿色技术。以小体量设施或智能化系统为主。其中光伏技术、绿色屋顶、中水回用和大部分绿色建筑技术国内已经开始推广。此类技术代表三个大的趋势：一是能源供给端、存储端、使用端对直流的需求越来越强烈，直流微网逐渐成为电力系统的重要发展方向。根据直流电的最优传输距离，可建立 300 米*300 米的直流微网街坊，依托分布式发电与储能设施，打造直流供电系统，使每个用户都可成为清洁电力提供者。二是利用热泵技术回收余热，进行热（冷）量梯级供应，提高能效。瑞典等北欧国家非常注重室内废气、交通场站废气、废/污水和焚烧发电过程中产生的余热回收，形成污水源热泵、空气源热泵、地源热泵等多种模式。热泵技术在国内的应用正在开展。三是由实体设施优化向虚拟运行优化转变，智能微电网和虚拟电厂是两种常用技术。智能微电网可在本地发电量充足时，形成独立社区自循环；过量时本地储电或并网售电；不足时城市电网补充。虚拟电厂将分布式发电机组、可控负荷和分布式储能设施有机结合，通过调控、通信技术实现整合调控，以作为一个特殊电厂参与电力市场和电网运行。

绿色生活方式

发达国家和绿色组织都在持续广泛宣传绿色生活方式。如世界自然基金会发布的《可持续生活指南》，包括衣食住行乐五大方面，提倡选择环保织物、旧衣送人、在家吃饭、点餐不浪费、选择并使用节能家电、垃圾分类与减量、共享单车出行、选购低碳车、享受自然、不消费一次性日用品等具体行动。UCS 科学家团队（Union of Concerned Scientists）通过延续数十年开发的经济模型，得到美国人真实的碳排放图像，梳理出 10 项最低碳生活点子，包括使用混合动力汽车、少吃 1/2 的肉，不喝瓶装饮料，少购物 20% 等。美国 Curbed 网站也发布了《101 种应对气候变化的行动》，提出在家里、出行路上、社区里如何实现低碳生活。

在欧洲和北美许多城市和社区，越来越多的居民开始接受并践行绿色生活方式。尤其在零碳社区和提出实现碳中和目标的城市，如哈马碧、哥本哈根，绿色消费与生活方式被广泛接受，奠定了他们实现碳中和目标的社会与民意基础。

公约保障

在发达国家的绿色社区均有政府或社区公约来约束碳排行为。如哈马碧，政府要求所有居民在入驻前签订环保合约，承诺共同努力达到一定的节电、节水目标，并严格执行垃圾分级分类和按重收费（pay-as-you-throw）制度；还成立了共享汽车团体，提供随时可领取的环保物品等。德国沃邦社区致力于让市民进入决策过程，无车社区和“零容忍停车政策”就是居民自行讨论出来的公约内容，实现了汽车保有率仅为 174 辆 / 千人，远低于德国 504 辆 / 千人。

加强公众低碳意识是推进社区公约施行的重要保障。哥本哈根将培养“气候公民”列为灯塔计划的重要内容。英国施行“绿色家居计划”，向伦敦市民提供家庭节能咨询。中国目前已经建立并正在推进全国低碳日主题活动。

政策支持

经济手段是国际最常用的手段。经济激励政策包括税收、补贴、价格政策。哈马碧规定如开发商、承包商经过环境负荷工具（ELP）评估，可获得政府补贴。建设初期政府承诺约 2200 万欧元补贴自主环境保护措施和技术的额外成本（真空垃圾系统的建设成本补贴达 50%）。在建设过程中，政府通过城市建设开发合同约定约束开发商，要求其符合城市对能源效率解决方案的基本要求和目标。

行政手段是国内最主要的手段。通过一系列政策法规，明确节能产品标准与建设要求，如要求建筑企业公布能耗、排放标准，以及设备、材料是否节能环保等等。把碳排放列为政府招标考虑因素之一。皇家海港城提出将可持续要求列入土地开发条件，纳入早期规划，成为中标的影响因素。针对开发商的具体环保条件有包括单位面积能耗水平，通过风能或太阳能集热标准，用水量，环保建材，废弃物收集真空管道系统，环境管理体系等条款。对于公共区域的设计，还增加了广场和街道使用浅色涂料，慢行和公交系统优先，共享汽车点设置。

第三章 城市社区的碳排放特征：五个案例实证分析

一、案例城市与社区的选择

案例社区选择的因素主要包括：一，不同时期社区建设的技术水平。案例社区的建设年代从 1980 年代到 2010 年代，反映不同阶段社区的建设特点和问题。二，不同人群与居住形态。包括中等收入社区、低收入社区、以年轻人为主的租房社群，以核心家庭为主的标准社区，以城市原住民为主的老龄化社区。不同产权和居住形态：不同类型的商品住房社区、私有产权社区、高密度的农村集体产权住房社区。三，考虑不同的气候区和不同规模城市。既有超大、特大城市；也有小城市，有平原城市与山地丘陵城市；有南方炎热地区城市与夏热冬冷地区城市（比较遗憾的是，没有选取北方采暖地区城市的案例）。综合考虑了社区区位以及绿色技术等因素后，最终选定四个城市中的五个社区（上海世博家园社区、景江苑社区、重庆红育坡社区、深圳和一社区、江山东塘社区）作为案例社区。

二、案例社区的基本情况与人口经济社会特征

社区基本情况

世博家园和景江苑均位于上海市闵行区浦锦街道，距离中心城（人民广场）15 公里，附近轨道交通 8 号线可直达中心。500 米内有三甲医院、中小学、大型超市、教堂等公共服务设施。具有较为完善的社区级公共服务设施和较好的绿化水平，并通过“美丽家园改造”工程，对外墙防水、公共照明、垃圾分类等基础设施进行了更新改造。世博家园还采用了保温隔热墙体和双层玻璃的绿色技术。

红育坡社区位于重庆市九龙坡区，所在的石桥铺地区为主城区传统商贸中心之一，人口密度高，交通便利，丘陵山地地形。建筑整体质量较差，普遍存在屋顶漏水、墙体开裂、墙面污损等问题。社区公共环境亟待改善，水源问题、排污问题、垃圾桶清洗、物业配合等问题严重，市政设施维护难度大。

和一社区建于位于深圳宝安区，社区周边多为工业园区，企业类型为电子信息零部件制造企业。新建的多层城中村，建筑密度很高，无公共空间。住宅底商为主要的服务空间，提供面向租客的饮用水站、餐馆、社区商铺、网吧服务。

东塘片区位于江山老城区核心。片区居民来往老城中心区仅需步行，周边 500 米范围内有沿街商业、江山市图书馆、科普活动中心等多处城市级公共服务设施。社区土地产权归居民私人所有，多为 1-3 层的独栋安置房、集资房和自建房。房屋较为简陋，但保温通风性良好。社区内无明确的公共空间和公共服务设施，缺少路灯照明。部分住户的供水和燃气未接入城市市政管网。



	世博家园	景江苑	红育坡社区	和一社区	东塘社区
区位	上海市闵行区浦江镇	上海市闵行区浦江镇	重庆市九龙坡区	深圳市宝安区沙井街道	江山老城区核心
建设年代	2006年	2004年	1970~1980S	2010年	1990s
特点	有低碳技术的新社区	无低碳技术的新社区	老龄化社区	城中村出租屋	老龄化私有产权
地块面积	29ha	18ha	40ha	8.1ha	5.3ha
容积率	1.28	1.24	1.34	2.19	0.88
建筑层数	多层为主，少量小高层	多层	小高层为主，少量多层	多层为主	多层为主
建筑质量	良好	良好	较差	良好	较差
绿化面积	90364	66744	132671	0	0
可更新建筑面积	0	0	107025	0	46800

图 3-1 五个社区基本信息一览图

社会经济情况

世博家园和景江苑是以核心家庭为主的中等收入社区。景江苑为本地动迁安置住宅，受教育水平和收入水平低于世博家园社区，但年龄结构相对年轻。红育坡为以主干家庭为主的老齡化社区，居民收入水平较低；出租房比例也较高，租户多为外来打工人员和高校毕业生；租金便宜、交通便捷是吸引租户的核心优势。和一社区以周边工业区就业的人群为主，均为租赁房屋；租户基本为单身人群。年龄相对年轻，受教育水平以初高中为主。东塘社区为小城市私有产权社区，以核心家庭为主，老齡化程度不高；收入水平和受教育水平在五个社区比较中最低。

图 3-2 五个社区居民社会信息一览表

社区名称	上海-世博家园	上海-景江苑	重庆-红育坡社区	深圳-和一社区	江山-东塘社区
总人数	10119	6268	16000	11891	1734
户数	4195	2420	5383	8252	789
户均人数	2.41	2.59	3.0	1.4	2.2
家庭结构	核心家庭	核心家庭	主干家庭	单双人租户	核心家庭
老齡化比率（60岁及以上）	35%	22%	60%	1%	13%
租赁比例	20%	29%	60%	98%	0%
收入水平	中等偏高	中等	中等	较低	较低

三、案例社区碳排放数据收集、计量与分析

案例社区数据收集

社区碳排放计量需采集四类数据，分别是家庭用能数据、居民出行数据、衣食生活数据和绿化固碳数据，本次研究主要通过社区和物业获取相关数据。

家庭用能采集了高峰月的电、水和燃气的使用情况，根据高峰月与全年的比

例进行年度核算。居民出行数据受疫情影响不便入户采访，通过手机信令数据进行计算，然后通过城市出行调查报告进行校核。衣食生活数据根据垃圾收集量、供水量、城市城镇居民食物消耗量进行测算。绿化固碳根据社区平面图测算获得。

碳计量方法

基于碳排放计量相关研究，街区碳排放总量的具体计算公式为： $E=E_e+E_m+E_l-E_g$ 。E 指街区碳排放总量， E_e 代表社区用能碳排放总量， E_m 代表居民出行碳排放总量， E_l 代表衣食生活碳排放总量， E_g 代表绿化固碳总量。

四、案例社区碳排放结构及影响因素分析

五个社区碳排放结构

从人均碳排放总量来看，上海两个社区高碳排特征明显，人均年碳排放量达 2.2~2.3 吨，是其他社区 2 倍左右；深圳和江山两个社区人均碳耗较低，为每年 1 吨左右；重庆处于中间水平，为每年 1.6 吨。

从碳排放结构来看，不同城市有着较大的差异，居住用能和交通出行碳排放占主要比重。上海人用能最高，碳排达到 1~1.2 吨每年，占总碳排的一半左右，由于通勤距离较长，交通碳排也高，达到 0.6 吨每年，约占总碳排的 30%。深圳和江山社区用能仅为上海的 1/3~1/4，交通出行的碳排也很低。重庆社区位于中心城，同时老龄化程度较高，社区用能和交通碳排约为上海的一半。人均生活碳排放总量差异不大，各社区均在 0.5-0.6 吨左右。固碳贡献由于社区绿化不同有所差异，但在整体占比不高，约 3%左右。

表 3-1 各社区人均碳排总量和结构比较（单位：吨/人·年）

碳排放情况		世博家园		景江苑		和一社区		东塘社区		红育坡社区	
		人均	比例	人均	比例	人均	比例	人均	比例	人均	比例
居住用能	水	0.02	0.80%	0.02	1.00%	0.01	0.70%	0.01	0.80%	0.04	2.20%
	电	0.94	43.00%	1.01	43.40%	0.31	27.90%	0.27	28.60%	0.34	20.30%
	气	0.12	5.60%	0.18	7.70%	0	0.00%	0	0.00%	0.26	15.60%
	总量	1.08	49.30%	1.21	52.10%	0.32	28.60%	0.28	29.40%	0.63	38.10%
交通	总量	0.64	29.20%	0.64	27.60%	0.19	16.90%	0.02	2.20%	0.32	19.30%
市政	固废	0.17	7.50%	0.17	7.20%	0.23	20.50%	0.28	29.30%	0.26	15.70%
	污水	0.04	1.80%	0.05	2.10%	0.01	1.30%	0.02	1.80%	0.19	11.20%
	总量	0.21	9.30%	0.22	9.30%	0.24	21.80%	0.3	31.10%	0.45	26.90%
生活	呼吸	0.08	3.50%	0.08	3.30%	0.08	6.90%	0.08	8.10%	0.08	4.60%
	食物	0.26	11.90%	0.26	11.30%	0.28	25.80%	0.28	29.20%	0.24	14.50%
	总量	0.34	15.40%	0.34	14.60%	0.36	32.70%	0.36	37.30%	0.32	19.10%
固碳	植物	-0.07	-3.20%	-0.08	-3.60%	0	0.00%	0	0.00%	-0.06	-3.40%
总碳排		2.2	100%	2.32	100%	1.11	100%	0.95	100%	1.66	100%

表 3-2 各社区单位面积碳排总量和结构比较（单位：kg/m²·年）

碳排情况		世博家园		景江苑		和一社区		东塘社区		红育坡社区	
		单位面积碳排	比例	单位面积碳排	比例	单位面积碳排	比例	单位面积碳排	比例	单位面积碳排	比例
居住用能	水	0.47	0.80%	0.63	1.00%	0.69	0.70%	0.3	0.80%	1.51	2.20%
	电	25.21	43.00%	28.12	43.40%	29.14	27.90%	10.05	28.60%	13.72	20.30%
	气	3.27	5.60%	4.98	7.70%	0	0.00%	0	0.00%	10.53	15.60%
	总量	28.95	49.30%	33.73	52.10%	29.83	28.60%	10.34	29.40%	25.76	38.10%
交通	总量	17.13	29.20%	17.9	27.60%	17.69	16.90%	0.76	2.20%	13.03	19.30%
市政	固废	4.41	7.50%	4.65	7.20%	21.39	20.50%	10.32	29.30%	10.61	15.70%
	污水	1.04	1.80%	1.38	2.10%	1.38	1.30%	0.65	1.80%	7.59	11.20%
	总量	5.45	9.30%	6.03	9.30%	22.77	21.80%	10.97	31.10%	18.2	26.90%
生活	呼吸	2.03	3.50%	2.14	3.30%	7.24	6.90%	2.84	8.10%	3.1	4.60%
	食物	7	11.90%	7.32	11.30%	26.92	25.80%	10.25	29.20%	9.79	14.50%
	总量	9.03	15.40%	9.46	14.60%	34.16	32.70%	13.09	37.30%	12.89	19.10%
固碳	植物	-1.89	-3.20%	-2.35	-3.60%	0	0.00%	0	0.00%	-2.33	-3.40%
总碳排		58.68	100%	64.76	100%	104.46	100%	35.16	100%	67.55	100%

从单位面积碳排放来看，深圳和一社区最高，每平方米建筑达到 104 千克。和一社区人均居住面积低，人均碳排不高，但是单位面积碳排接近常规社区的两倍。上海两个社区和重庆社区相差不多，每年约 60 千克左右。江山社区由于生活水平较低基础设施不完备，单位建筑面积的碳排放均为最低，约每年 35 千克。

碳排放影响因素分析

通过五个案例社区对比分析可以看出，社区碳排放的主要影响因素包括居民生活水平、居住形态及社区类型、交通出行特征、用能行为等。

第一、居民生活水平越高，碳排放越高。居民碳排放与人均 GDP 水平呈正相关，社区同样遵循这一规律，收入水平直接带来居民生活能耗和交通碳排放的提升。收入水平较高的社区，人均居住面积较高，家用电器使用的种类更多、频率更高，小汽车的保有率和机动化水平也更高，这些都会带来碳排放的提升。从案例社区中，世博家园即便使用了绿色节能技术，人均碳排放水平依然较高。

第二、社区周边功能混合度越高，碳排放越低。功能混合度高的职住平衡，可以大幅缩减居民交通碳排放，从而影响碳排总量。位于中心城区的红育坡、东塘社区的交通碳排相对较低。和一社区位于工业聚集地区，租户又是企业员工，都在步行可达范围内就业，交通碳排降至很低水平。相反，上海的两个社区位处郊区，周边就业较少，居民通勤出行时间和距离远高于其它社区，交通碳排总量高，占比接近 30%。

第三、居住形态决定单位面积碳排放水平。锦江苑、世博家园社区和红育坡社区均为常规商品房小区，以家庭居住为主。虽然用能强度不同、出行距离有所差异，但是整体单位面积碳排放位于同一水平。东塘社区是私有住房，管网建设水平相对较低，居民生活中更倾向于利用天然水源、自然通风等，单位面积碳排

放只有常规住区的一半。当然，居住形态对于碳排放的影响是综合的，包括了人群结构的差异、用地混合度等等。

第四、日常行为对碳排放影响很大。红育坡为老龄化社区，用能行为较为节约，人均碳排放相对较低。深圳和一社区出租率高，早出晚归，不在室内做饭，建筑能耗也相对较低。即便是同一个小区，如世博家园，老年人群家庭有强的节能意识和节俭的生活习惯，家庭用能也低于普通家庭，最高可减少 15% 用能。

第五，节能技术确实带来了碳排放的减少，但也带来了持续成本的增加。一般情况下，应用绿色技术的低碳社区比普通社区人均建筑能耗更低，比如位于相同区位、人口结构类似的世博家园人均能耗较景江苑更低。但是调研中发现，由于当时低碳技术并不成熟，带来了很高的后续维护成本，每年都需要对墙面和屋顶进行维修，也给居民的生活带来了不便。绿色技术成熟度及后续维护成本也应当纳入技术选择的考量。

此外，社区物质空间对碳排放影响还可能包括：建筑高度对社区碳排有一定影响；居住区设计、建筑设计等物质规划要素，对社区微环境有影响，从而间接影响碳排；人口较多的家庭会增加家庭总碳排放，但是却有利于削减人均碳排放。

第四章 城市社区碳排放的前景分析与去碳难点

随着中国社区未来需求的快速增长，社区能耗与碳排放还将继续增长，同时，社区更新本身也会带来大量的新增建造碳排放，若不在社区更新过程中积极应用绿色技术，采用绿色更新方式，城市更新将成为中国“双碳”目标的极大阻力。

一、城市社区未来需求与趋势

中国城市社区未来需求主要来自住宅、交通、市政、生活四个领域。

（1）住宅用能趋势

我国住宅建筑能耗增长趋势十分明显，未来仍会有较大的需求增量。根据《中国建筑能耗研究报告（2020）》统计，20 年绝大部分城市居住建筑能耗均有 2 倍以上涨幅，大部分地区建筑能耗年均增速在 6~10% 左右。2017 年中国人均生活能源消费量为 415.6 千克标准煤，仅略高于世界平均水平，为日本的 82%、欧盟的 54%、美国的 39%。根据相关统计，美国人均 GDP 从 1.7 万美元发展至 2.5 万美元期间，欧盟及日本人均 GDP 从 1.0 万美元发展至 2.0 万美元期间，都伴随能源消费的快速增长，我国目前正处于这个区间。根据相关研究，在不进行人为干预前提下，我国城镇居住建筑运行总能耗将在 2045~2050 年达峰，预计从 2017

年 3.61 亿吨标准煤增加至 5.10(±0.52)亿吨标准煤¹², 还有 40%以上增量需求。

表 4-1 案例社区及所在城市住宅用电需求分析

社区名称	上海景江苑	上海世博家园	重庆红育坡	深圳和一	江山东塘
案例社区 2020 年人均住宅用电量 (千瓦时/年)	1700	1601	590	743	525
所在城市 2035 年人均住宅用电量预测 (千瓦时/年)	1940		1352	1417	1289
案例社区 2035 年人均住宅用电量预测 (千瓦时/年)	2300	2150	1100	1290	1300
案例社区 2035 年单位住宅建筑面积用电量 (千瓦时/年·平方米)	61	60	45	87	48
未来用电增长重点方向	采暖、家电		采暖、制冷、家电	热水、家电	家电、采暖、热水

案例社区主要居住用能为电力及天然气。电力主要包括照明、热水、家电及厨房电器、采暖、制冷等。预计照明不会明显增长；热水有较大增量，特别是东塘、和一社区；家电均会明显增长，上海、重庆社区厨房电器用电、深圳社区智能电子产品用电增量较突出；位于夏热冬冷地区的上海、重庆、江山社区采暖等能源需求增量较大，空调制冷频率与时长也会提高。因此，案例社区用电需求均处于上升期，预计 2035 年左右趋近峰值。天然气主要用于炊事及热水；预计世博家园、景江苑、红育坡无外部干预下会保持稳定；和一为租住社区，炊事用气等现状及未来需求较小；东塘社区待天然气管网接入后，用气需求会有一定增量。

将各社区预测结果折算成能耗后，形成住宅用能需求曲线如下。各社区住宅能耗均有明显增长，因社区所在气候区、人均住房面积及发展水平不同，人均住宅能耗增幅、达峰时间会存在差异。2035 年世博家园、景江苑社区增幅仅为 20% 左右；红育坡社区增幅为 37%；东塘社区增幅达到 77%；和一社区增幅 42%。

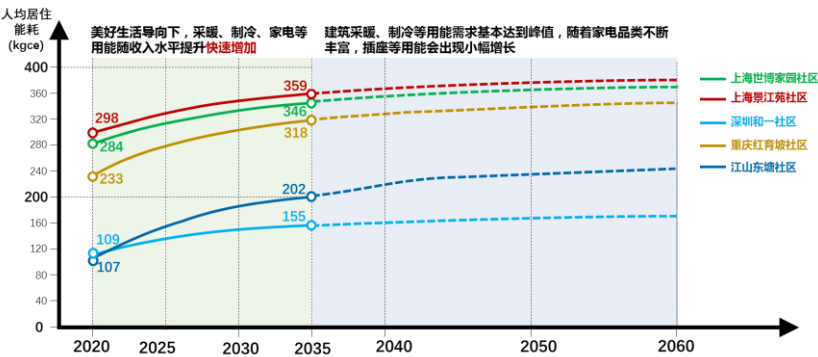


图 4-1 案例社区居住能耗需求曲线（无干预）

¹² 中国建筑能耗研究报告（2019）

（2）交通能耗趋势

2020 年全国汽车保有量为 2.6 亿辆，千人汽车保有量为 180 多辆，与发达国家相比尚有较大差距。随着经济持续发展，若无国家、城市、社区的交通政策管控和引导，未来个人机动化出行需求仍会继续增长。

表 4-2 三种典型模式方式构成比较

类型	公共交通比重 (%)	个体机动比重 (%)	慢行交通比重 (%)
北美模式	<10	>50	10~20
欧洲模式	30~40	30~40	30
亚洲模式	>50	<20	20~30

数据来源：陆锡明，亚洲城市交通模式，同济大学出版社，2009. 05

案例社区 2020 年个体机动化出行占比 10%~20%，人均年交通能耗最低为江山东塘社区 26 千克标准煤，最高为上海世博家园社区 83 千克标准煤。在没有绿色干预下，未来个体机动化比重将持续增加，公共与慢行交通持续下降，交通能源消耗将大幅增加，发展成类似欧洲模式的结构。2035 年，由于所在城市人口规模、出行距离，以及社区区位、人群收入水平、住宅形态等差别，各社区交通能耗存在较大差异。上海两个社区个体机动化水平可能达到 45%，和一、红育坡及东塘社区可能达到 30%。人均年交通能耗最高为上海世博家园社区的 182 千克标准煤，最低为江山东塘社区 49 千克标准煤，基本达到欧洲国家同等城市水平。

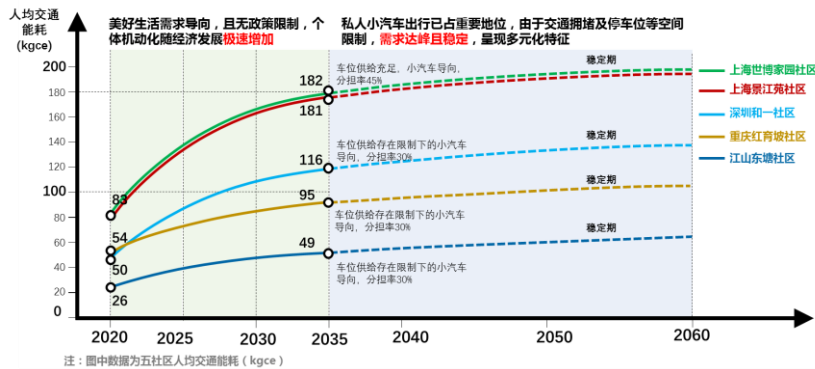


图 4-2 案例社区交通能耗需求曲线（无干预）

（3）市政领域碳排放趋势

五个案例社区未来的用水与固体垃圾是市政领域碳排放的主要来源。随着未来居民生活水平提高，生活习惯改变，在不考虑政策调控和绿色技术推广的情况下，随着人均收入和住房面积增长，案例社区人均日生活用水量和人均生活垃圾产生量将保持增长趋势。以城市用水总量、垃圾产生总量的未来增长趋势和相应的碳排放数据测算，社区产生的市政碳排放将会有较大的增量。目前各社区之间存在较大差异，未来的差距将会快速缩小趋于相近，而且绿色行为的削减量难以完全抵消生活品质改善带来的碳排增量。

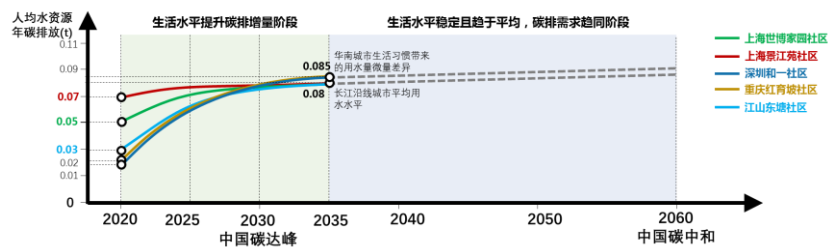


图 4-3 案例社区市政碳排趋势曲线（不干预）

（4）生活领域碳排放趋势

生活领域碳排主要指食物消费碳排，随着我国城市居民饮食结构向高碳模式转变，人均食物消费碳排放将出现显著增长态势，食物消费碳排在居民生活碳排占比也可能有大幅提升。2016 年中国居民植物性食物占人均食物消费总量的 81.40%，素食消费仍在中国居民日常饮食消费中占有重要地位，食物消费仍属于相对低碳消费模式¹³。随着居民对奶类、肉类等动物蛋白、脂肪消费的增加，食物消费结构将从植物性食物为主逐渐转向动物性食物为主，1997—2016 年中国居民食物消费人均碳排年均增长率 1.68%¹⁴。基于此，初步预测 2035 年案例社区将达到人均年 0.31 吨或更高的水平。

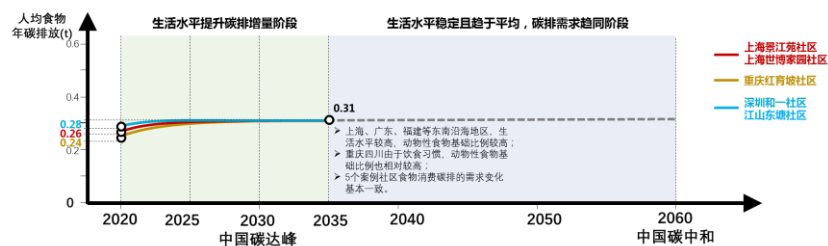


图 4-4 案例社区生活碳排趋势曲线（不干预）

二、案例社区建筑改造方式与碳排放、能耗影响

在五个案例中有三个社区在 2060 年以前还会发生规模不同的建筑改造。从建筑全生命周期分析，建造与拆除环节的碳排放所占的比例很高，因此社区更新中分析评估建筑改造的碳排放影响十分重要。

更新改造碳排放计量估算方法

依据《建筑碳排放计算标准》GB/T51366-2019，基于案例社区更新改造需求和碳排放数据可获得性，确定建筑改造碳排放计算参数。

新建阶段碳排放。包含建材生产及运输、施工产生的碳排放。依据相关研究

¹³ 曹志宏,郝晋珉,邢红萍.中国居民食物消费碳排放时空演变趋势及其驱动机制分析[J].地理科学进展,2020,39(01):91-99.

¹⁴ 雷思雨.中国食物消费碳排放计算及研究[J].环境与发展,2018,30(11):100-101.

¹⁵¹⁶¹⁷，保守原则下取新建住宅碳排放为 0.6 吨二氧化碳/平方米。

拆除阶段碳排放。包括拆除施工和废弃物处理产生的碳排放。根据相关研究¹⁸¹⁹，取值 0.05 吨二氧化碳/平方米。

绿色化改造阶段碳排放。包括围护结构节能改造、高效设备更换、室内环境改善、装饰装修等产生的碳排放，涉及建材生产及运输、施工等。绿色化改造可以改善居住环境品质，促进、运行节能。根据多项相关研究²⁰²¹，按绿色化改造按新建阶段碳排放的 40%估算，取值 0.24 吨二氧化碳/平方米。

结构加固工程碳排放。涉及建材生产及运输、施工等。杨石春²²研究表明按 50 年设计使用寿命设计建造的建筑工程，出现不能容许的开裂和变形状态的平均年限为 88.5 年；因性能退化最终导致承载力失效的平均年限为 150 年。而延长 20 年寿命可按建造能耗 25%估算，碳排量为 0.145 吨二氧化碳/平方米。本项目案例社区最早建设于 1970 年代~2010 年代，推测服务至 2060 年尚不须进行全面加固。本研究取建筑总量 20%加固，并根据各社区房屋现状及更新改造需求估计加固时间，加固碳排放取建造阶段碳排的 25%，为 0.15 吨二氧化碳/平方米。

表 4-3 建筑更新改造碳排放估算标准取值

阶段	单位住宅建筑面积碳排放（吨二氧化碳/平方米）
新建（建材生产及运输+施工）	0.6
拆除（拆除施工+废弃物处理）	0.05
绿色化改造	0.24
结构加固	0.15

建筑案例社区更新改造时间、方式与内容

更新改造时间主要受社区品质提升需求和政府计划影响。红育坡为老旧小区，和一社区以 15 平米单间为主，面积过小，且建筑密度过高，这两个社区品质提升需求强烈，且均被政府列入老旧小区近期改造计划，因而设定在 2025 年前进行改造；东塘社区建筑质量差，社区品质提升需求强烈，但全部为私人产权住房，尚未列入政府改造计划，可能在 2025 年以后开始进行改造。上海世博家园、景江苑建设年代较近，建筑质量较好，2060 年以前没有建筑改造需求。

更新改造方式主要受政府计划和建筑产权影响。红育坡社区是商品房，且已列入政府改造计划，由政府组织集中改造可能性大，建筑拆建量不大拆建，改造周期 4-5 年。和一社区集体建设用地的农房，已列入政府改造计划，房屋可能以村集体组织作为改造主体联合进行改造，改造周期 4-5 年。江山东塘社区为私有产权房屋，未列入政府改造计划，集中改造的可能性非常低，假设 2026 年起由

¹⁵ 仓玉洁,罗智星,杨柳,刘加平.城市住宅建筑物化阶段建材碳排放研究[J].城市建筑,2018(06):17-21

¹⁶ 林波荣,彭渤.我国典型城市全生命周期建筑能耗及 CO₂ 排放研究[J].动感:生态城市与绿色建筑,2010.

¹⁷ 王上.典型住宅建筑全生命周期碳排放计算模型及案例研究[D].西南交通大学,2014

¹⁸ 林波荣,彭渤.我国典型城市全生命周期建筑能耗及 CO₂ 排放研究[J].动感:生态城市与绿色建筑,2010.

¹⁹ 浙江省城市住宅生命周期 CO₂ 排放评价研究[D].浙江:浙江大学,2012.

²⁰ 时元元.既有居住建筑超低能耗节能改造全生命周期碳排放研究[J].建筑技术,2021, 52(4):417-420.

²¹ 彭路续.既有建筑改造过程碳排放计量及其综合评价[D].东北大学,2015

²² 杨石春,李祥军.延长既有建筑使用年限的价值分析[J].工程经济,2021, 31(2):67-72

居民自发分散改造，改造周期 10 年。

各个社区的更新改造内容差异较大。红育坡社区的高层建筑较新，不需要进行更新改造；基于实际情况对 3 栋危房及 4 层以下特别老旧的建筑进行拆除重建；对 6 层的多层建筑进行绿色化改造，并对其中约 20%质量较差的建筑进行结构加固。和一社区都为多层建筑，需要要进行整体改造，对少量建筑进行拆除。东塘社区均为老旧且质量差的建筑，全部拆除重建。

表 4-4 案例社区建筑更新改造时间及内容

社区名称		重庆 红育坡社区	深圳 和一社区	江山 东塘社区
改造时间(年)		2023-2026	2023-2026	2025-2035
改造后常住人口(人)		14200	8822	1734
总建筑面积(平方米)		392152	177274.9	46800
绿色改造，更新改造比例(%)		27%	100%	100%
更新改造内容(平方米)	绿色化改造居住建筑面积	99668	160557.9	0
	拆除建筑面积	7357	7565	46800
	重建绿色建筑面积	7357	0	46800
	结构加固建筑面积	19933.6	0	0

案例社区建筑改造碳排放计量

根据三个社区改造方式、改造面积及改造时间差异，按照前文不同改造阶段单位面积碳排放量计算参数，得到各社区历年改造碳排总量见图 4-5。深圳和一社区涉及绿色化改造和拆除，总碳排放 3.89 万吨；江山东塘涉及拆除和重建，总碳排放 3.04 万吨；重庆红育坡既涉及绿色化改造和结构加固，也涉及拆除和重建，总碳排 3.17 万吨。根据计算结果可以发现，建筑改造会显著增加社区总碳排放量。在建筑改造时间段，各社区每年改造碳排放均达到建筑运行能源碳排放总量（2020 年基准）的 5-6 倍，为社区每年总碳排放量（2020 年基准）的 1.5-2.2 倍，说明建筑改造本身是一种高碳排行为。因此，未来社区建筑改造过程中应尽可能同步加入建筑绿色化技术，避免后期因节能等需求而再次进改造，同时要尽可能降低改造过程的碳排放，此外在建筑能够使用情况下，应尽可能减少拆除重建。

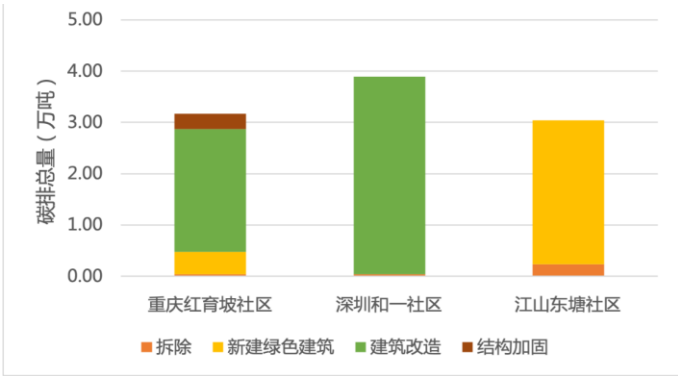


图 4-5 三个社区改造碳排放情况

案例社区更新改造与绿色改造能耗曲线对比

红育坡社区、和一社区均采用少量建筑拆除，并对其他低品质建筑进行绿色化改造的更新，通过提高房屋保温隔热性能、改善房屋采光及通风、采用更高能效的电器等，照明、采暖、制冷、热水等能耗均会低于不采用绿色化改造的情景。红育坡社区、和一社区现状建筑用能水平较低，随着空调使用时长提高及家电能耗增加，人均能耗仍会呈现增长趋势。但完成了建筑绿色化改造，2035 年的建筑运行能耗峰值将明显降低，建筑绿色化改造对节能的贡献突出。其中红育坡社区采用空气源热泵取代部分燃气热水器后，建筑节能效果更为显著突出，总建筑能耗可降低 13% 左右。和一社区由于采暖、制冷能耗占比低于红育坡社区，节能效果不够显著，总建筑能耗可降低 6% 左右。因此，从节能减排的角度，在老旧小区建筑更新中应积极推广同时实施建筑绿色化改造的方式。

东塘社区采用的全部拆除，以绿色建筑标准进行建筑改造的方式，改造后建筑节能水平会显著提升。但东塘社区现状人均建筑用能水平很低，未来人均能耗将会显著增长，如果在 2035 年前完成改造，即使采暖、制冷等用能需求持续增长，但由于绿色建筑可显著降低采暖、制冷能耗，按照 65% 的节能标准，2035 年东塘社区总建筑能耗对比不改造的情景可降低 19% 左右，节能效果十分显著。

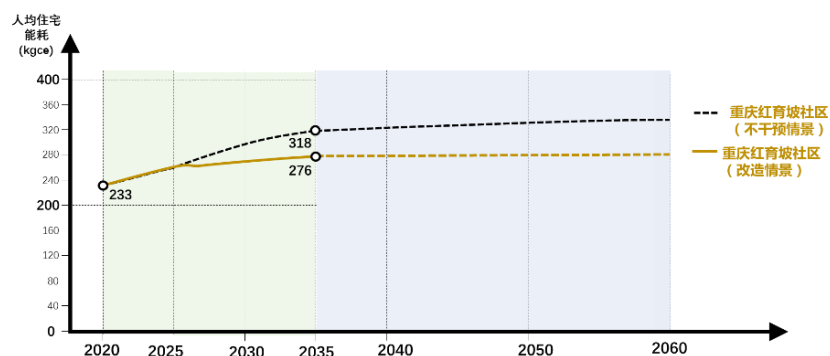


图 4-6 重庆红育坡社区建筑绿色化改造情景与无改造情景建筑能耗对比

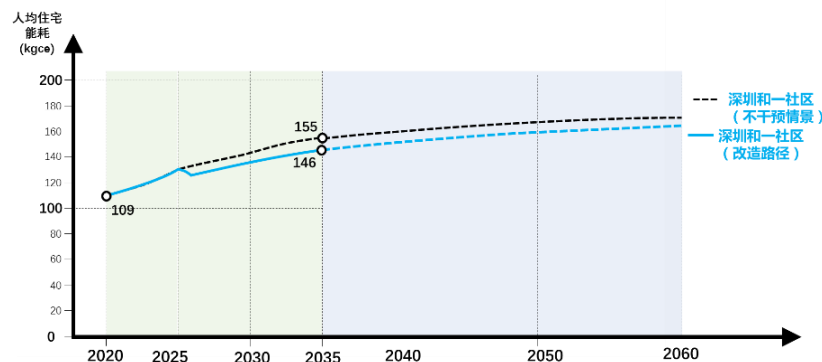


图 4-7 深圳和一社区建筑绿色化改造情景与无改造情景建筑能耗对比

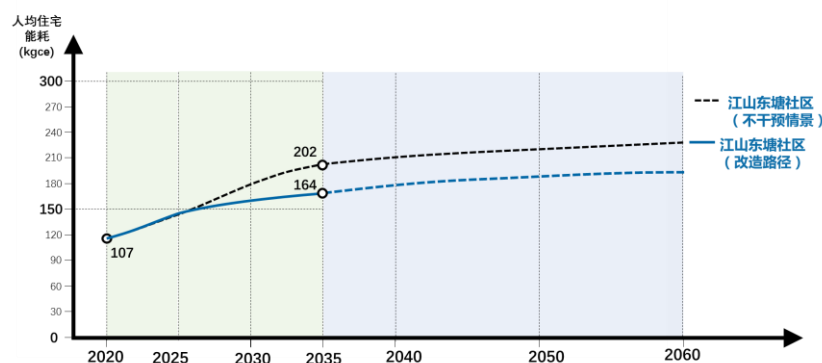


图 4-8 江山东塘社区建筑绿色化改造情景与无改造情景建筑能耗对比

三、城市社区去碳的难点与挑战

居住用能领域

根据案例社区研究，未来建筑能耗需求（特别是电力）会有较大增长，将显著推高国家碳排放峰值，使碳中和的难度与代价更高。因此，2035 年前居住用能领域重点任务为：通过建筑绿色技术推广和社区更新同步植入建筑绿色改造技术，以有效地降低建筑能耗，同时倡导绿色生活方式，控制住宅能耗的过快增长。

2035-2045 年，案例社区建筑能耗会达到峰值。因此 2035 年至 2060 年居住用能领域的重点是：通过提升设备能效减少能源需求，通过电气化替代天然气，通过分布式可再生能源部分替代等方式降低直接碳排放，通过电网能源结构非碳化，最终实现碳中和。

交通领域

交通领域减排主要为出行需求、出行方式结构和交通能源三方面。由于全国新能源汽车占比不足 2%，交通能源结构调整难以在 2035 年前发挥主导作用。因此 2035 年前交通能源需求控制的重点是：有效推进交通结构绿色化转型；同时通过有效的城市功能与服务组织减少出行次数和距离。

2035 年，案例社区绿色交通分担率（公共交通+非机动车+步行）可能达到 80%以上，交通方式结构转变已难以进一步降低交通能耗，因此 2035 年至 2060 年交通碳排降低重点任务是如何优化交通能源结构。当交通能源效率达到极限后，进一步降低能耗与碳排的重点在于清洁能源替代化石燃料成为机动交通的主体。

市政和生活领域

首先，应当尽早展开社区绿色生活方式的推广与实践。随着生活水平提高，居民用水、生活垃圾产生量、动物性食物消耗量将持续增长。在社区层面，需优先实现人民高品质生活的目标，同时还要增强居民对绿色生活方式的接受度，综合考虑节水、垃圾分类、节约食物等绿色生活方式推广普及所需要的时间周期，这些都可能社区层面碳达峰节点滞后于国家碳达峰的时间目标节点。

第二，应当充分保障基础设施和绿色装备的投入力度。水务方面应加快基础性市政管网的更新改造，采用新型污水收集、雨水利用技术；生活垃圾方面，主要通过有效分类实现碳减排；食物消费方面，可通过屋顶农场、垂直农业、建设社区公共食堂等方式实现去碳。这些设施均应优先实施，且需要较大的资金支持。

第三，必须借助外部及相关领域辅助才能实现碳中和目标。由于市政和生活领域是居民基本生活需求，经过绿色化改造后，碳排放将出现一定下降，但整体幅度不大，仅靠社区层面的改善，至 2060 年无法实现二氧化碳近零排放。

第五章 双碳目标下社区绿色更新与绿色技术推荐建议

国合会绿色技术 SPS 一期研究报告中，中外专家共同提出了城市绿色技术发展六个重点领域和二十项在“十四五”期间率先推广的绿色技术建议。总体而言，这些技术重点考虑了技术就绪度、减碳效益和财务可行性。

当二期的研究重心下沉至社区层面时，我们发现，社区层面的技术应用表现得更加复杂多元，绿色技术的推广需要考虑社区的诸多差异性和建议的针对性。尤其中国已经做出双碳目标承诺的背景下，绿色技术的建议需要更多考虑其对实现双碳目标的作用与贡献。

一、双碳目标、社区多元性的认识与应对

双碳目标下两个阶段绿色发展策略的差异性

案例社区的碳排放计量和需求分析表明，当前社区人均碳排并不高，但未来需求还将有着巨大的增量。因此，与欧美发达国家单一的减碳导向不同，中国社区的绿色更新与绿色技术推广应当关注两个阶段的差异：

阶段一：2030 年碳达峰前，重点考虑以绿色方式满足人居的新增生活需求，推动成熟绿色技术应用与普及，推广绿色生活方式，压低峰值。

阶段二：2060 年碳中和前，全面推广创新绿色技术在社区的应用，全面形成绿色生活方式与治理体系，实现净零排放。

社区多元性视角的三个认识维度

社区绿色更新与绿色技术必须充分考虑社区的多元性和人群的复杂性，至少应当考虑三个维度认识社区的差异特征：

（1）人群特征的维度。包括了老龄化、中等偏上收入、中低收入人群、以及外来年轻租住人群四种类型。四种人群的收入水平、长期改善意愿各不相同。

（2）建筑特征的维度。案例社区代表了中国社区的四种主要类型：集合住宅的老旧小区、私有住房老旧小区、2000 年以后建设的次新小区、城中村。四类

社区的更新主体、房屋改造模式、绿色改造方式的要求与实施途径有很大的差异。

(3) 资源禀赋从与基础条件的维度。案例社区的再生资源丰富性存在很大差别，和一社区属于可再生能源富集区（太阳能和风能），上海和江山属于可再生能源较好地区（太阳能），而红育坡则是可再生能源贫瘠区。此外这些社区气候条件不同（重庆、上海、江山地区处冬冷夏热，有冬季采暖需求），区位条件不同，这些差异也决定了绿色技术推广的不同需求。

二、2030 碳达峰前社区绿色技术推荐

建筑领域推荐技术

首先应当高度重视绿色建造技术问题，同时也要重视在既有建筑中推进建筑能效提升改造技术与智能楼宇管理技术，以实现建筑营建、运营全过程减碳。

绿色建造技术。包括绿色建材、装配式建造及装修。应优先选择使用低碳、无污染、低能耗的当地材料，经绿色建材认证的建材。装配式建造和装修可以提高质量，降低材料消耗和现场施工能耗，也可减少改造施工扰民问题。

建筑能效提升改造技术。主要是提升热工性能的围护结构节能改造，包括更换节能门窗、增加遮阳设施、增加保温隔热层、平改坡屋顶、采用浅色饰面等。

建筑立体绿化技术。指建筑屋顶、架空层、阳台、窗台、墙面或其他部位进行绿化的技术，包括建筑构造、维护管理系统、植物选择。这些技术具有提高热工性能、改善微气候、在地生产食物、贡献碳汇、重建生物多样性等多重效益。

智能楼宇管理技术。采用在线监测、云计算、物联网等技术，对楼宇供能与耗能实时监测、匹配；通过重点能耗设备监控、能耗费率分析等手段，准确把握能源成本比重和发展趋势，制订有效的节能策略。

能源领域推荐技术

节约能源，实施电能替代及可再生能源替代，是当前社区能源低碳转型的主要方向，也是社区绿色更新的重点技术方向。

节能电器与设备。节能型电器，比如采用热泵技术的高效空调及热水器等，可平抑新家电不断出现、使用频次不断提高的需求增长带来的能耗增量，也可应用于社区公共用能效率的提升。

分布式能源开发利用技术。分布式能源，包括太阳能（光伏、光热）、风能、浅层地热能、空气源热泵等可再生能源的利用，天然气热电冷联供系统的应用，对社区减碳十分重要。

多能互补能源供应技术。在采用分布式能源的社区中，将传统能源系统与分布式能源系统及储能整合在一起，既可实现分布式能源优先利用，也可实现传统能源的高效、低成本利用。该技术需要在社区更新中利用闲置用地增建互补能源站，也可对既有热力站、变电站改造升级。

智慧能源管理技术。对社区能源供应系统进行智慧化改造，增加负荷侧在线

监测、重点耗能设备监控、供能、储能主动响应设施，实现能源供需实时平衡。

交通领域推荐技术与策略

步行和自行车出行品质提升策略。通过改善步道铺装及宜人环境控制车速和引导交通流，提升慢行出行方便性和舒适度，吸引出行方式向低碳绿色转变。可以利用城市过街天桥、公共建筑、空间开放等实现慢行交通顺畅安全衔接。可以根据地形和气候条件增加垂直交通、有盖廊道、风雨连廊等形式多样连续步行道。

公交及轨道接驳优化技术。通过设置慢行专用路，增设小区开口等，增加公交站点、轨道车站入口，提升公共交通吸引力。高峰时段开通社区巴士，改善公交地铁接驳难和有效覆盖等问题。

共享交通精细化管理技术。按需科学配置共享交通工具（共享汽车、共享自行车、共享电单车等）的数量和规模，提高共享交通工具使用率。

市政水领域推荐技术

在社区更新时提高内部供排水单元效能，是提高城市水系统整体运行效率，降低水领域碳排放的主要技术发展方向。

社区污水提质增效（雨污分流）技术。在社区层面重点开展分流制地区雨污分流改造和消除雨污水错接，实现雨水浅层排水、污水纳管集中，提升污水收集效能。逐步取消社区化粪池，降低甲烷和氧化二氮等非碳温室气体排放，同时提高污水浓度，有利于污水处理节能减排。

社区低影响开发技术。建设海绵社区，加强源头雨水资源利用，保障防涝安全。优化场地竖向设计，合理配置植物；灰绿结合，提高基础设施绿色水平。

社区无收益水（NRW）管理技术。根据水源布局及地形特征，优化社区供水接入口布置，接入点供水压力与二次供水方式；降低管网漏损。加强夜间流量监管，加快老旧供水管道和破损管道更新，加快雨污分流改造，减少雨水进入污水系统，同时提高雨水利用与污水资源化利用水平。

市政生活垃圾领域推荐技术：

不同的处理工艺对生活垃圾最终产生的碳排有较大的影响，从源头减量，优化处理模式是生活垃圾领域的关键。

家用餐厨垃圾粉碎脱水技术。发展对厨余垃圾进行脱水或磨碎的家用电器设备，并可对残渣进行烘干或排入下水道中，减轻分类工作量，减少收集储运。

智慧化垃圾分拣回收技术。采用机械臂、风选、磁选等手段，实现垃圾自动、连续、大规模分拣回收，数据采集上传，提高资源回收比例。

三、基于社区类型的绿色技术集成建议

老旧小区更新的绿色技术集成建议

在社区更新中，老旧小区数量多、规模大，改造需求与资金有限之间的矛盾最大。因此，应当从投入相对小，效益突出的领域入手，逐步升级改造。老旧小

区的绿色更新关键在于市政、交通、建筑领域。

1) 市政水领域, 通过老旧破损管网更新, 取消化粪池, 海绵社区改造, 实现节约用水, 减少排放。2) 交通领域, 老旧小区的车位有限, 应当综合应用公交及轨道接驳优化技术、步行和自行车出行品质提升等策略, 提高慢行出行舒适度和便捷性, 保持绿色化的交通出行结构。3) 建筑领域, 应当首先考虑降低建筑闲置率、营造公共生活空间等非技术方式减碳。要重视既有建筑的能效提升改造技术, 通过更换门窗、外遮阳等投入少见效快的技术手段推广; 在进行建筑改造时, 严格采用绿色建造技术; 在公共建筑中积极推广建筑立体绿化技术。

老龄化与中低收入家庭社区更新的绿色技术集成建议

对于老龄化与中低收入人群, 要充分考虑其经济承受力有限, 用能和出行限制多的特征, 更多采用低成本技术, 在减碳的过程中降低居民的生活成本。

1) 交通领域, 更便捷的低成本低碳交通对中低收入人群意味着更高的移动能力; 更好的步行环境对于老年人意味着更安全舒适的生活, 因此和老旧小区相似, 公交及轨道接驳优化技术、步行和自行车出行品质提升策略是重中之重。2) 建筑领域, 应当在建筑改造的同时, 注重社区公共环境品质提升。通过门窗更换、外墙保温、通风采光条件改善, 在减碳的同时提升居住舒适度、降低生活成本。社区公共建筑中, 可采用高标准的建筑能效提升技术, 为他们提供居家之外舒适的交流和第二活动空间。

可再生资源富集地区的社区更新绿色技术集成建议

中国发达地区的社区更新已具备了全面采用绿色技术和充分利用可再生能源的可能性。深圳合一社区太阳能和风能资源丰富, 同时农村集体产权相对清晰, 具备进行全面绿色改造的条件, 应当鼓励探索建设低碳甚至零碳的先锋示范地区。

1) 能源领域, 大力推动分布式能源开发利用、多能互补能源供应、以及直流微网、储能等可再生能源高效使用高度相关技术集成应用。2) 交通领域, 积极探索新能源车辆推广与充电设施配套技术。3) 建筑领域, 全面推广以提升建筑能效为核心的近零碳与零碳建筑, 同时应用智慧楼宇技术和建筑立体绿化技术。4) 在可再生资源相对贫瘠的地区不鼓励盲目使用能源和建筑领域的高代价绿色技术, 不鼓励建设零碳社区。

此外, 对于私有住户、各家各户分散更新的东塘社区, 应针对独特的更新方式和老龄化、低收入人群特征, 应当重点关注低成本、分布式技术的集成应用, 把建筑建造、绿色改造和市政设施的绿色技术进行高度集成。

四、面向 2060 碳中和的绿色技术创新建议

为实现 2060 年碳中和目标, 社区绿色更新必须高度关注深度减排, 高度关注绿色创新技术的创新与应用。国合会绿色技术 SPS 一期已经推荐了二十项绿色技术, 这一推荐清单仍然是二期研究认为应该继续推广实施的。在此基础上针

对社区的需求和应用场景在第一期建议清单的基础上，在一些领域增加了部分创新与推广的绿色技术，以系统性强化干预，实现碳中和目标。

表 5-1 “十四五”期间六个重大领域的绿色技术推荐

重点领域	技术发展方向	推荐技术
水	污水处理与水循环经济	污水处理与厂网河一体提质增效技术
	再生水利用	再生水系统水质保障技术
	再生水利用和无收益水管理	再生水系统智慧运行技术
能源	一体化绿色能源电网	微电网技术
	近零排放制冷与供热	工业余热集中供暖技术
		中深层地热利用技术
	能源互联网	能源互联网综合管理平台技术
交通	智慧交通系统	MaaS 出行服务技术
	新能源交通工具及配套设施	氢能源车辆技术
		智能充电系统技术
	交通需求管理与自行车出行	自行车专用路技术
建筑	健康建筑	建筑立体绿化技术
	绿色建筑	“钢结构+模块化内部空间”技术
	近零能耗建筑	光伏、BIPV，分布式储能与直流供电技术
	建筑智慧运维	群智能建筑系统技术
土地利用和规划	绿色城市形态	绿色城市形态技术包
	绿色宜居、碳中和社区	绿色宜居、碳中和社区技术包
食物	食物溯源	食品安全信息监控和追踪技术
	城市农业	垂直农业技术
	智慧农业	数字食物平台技术

能源领域创新技术推荐（新增）

氢能利用及燃料电池技术。在技术及成本获得突破后，未来在建筑领域具有一定使用前景。可再生能源制氢-规模化储氢-天然气管网送氢-燃料电池用氢将构成一个完整的氢能源生产供应系统，有利于实现能源供应多样化与城市能源安全。其中燃料电池技术在社区中有望替代天然气供暖及制冷系统。

高效空调技术。指制热能效比（COP）不小于 7.0 的空调技术。近年来主流空调产品能效持续提高，特别是热泵技术使热效提升更快。目前已出现 COP 大于 12 的大型空调设备，未来可能会出现小型的、安装使用灵活的家用高效空调。

区块链技术。区块链技术在社区能源交易，特别是点对点交易中将起到重要作用，可用于隔墙售电、电价政策等。

生活垃圾领域创新技术推荐（新增）

垃圾低碳收集管道技术。通过管道系统，利用负压技术将生活垃圾抽送至中央垃圾收集站，再由压缩车运送至垃圾处置场的过程，整个收运过程可以完全实行自动化，垃圾收集方便快捷干净。

垃圾焚烧发电技术。将生活垃圾中热值较高部分用于焚烧发电，减少垃圾填埋量、土壤污染和碳排放，回收垃圾热能。

餐厨垃圾集中式厌氧发酵技术。对城市大规模的餐厨垃圾进行集中厌氧发酵处理，回收粗油脂、固渣和液体，实现生物质资源回收和沼气发电。

餐厨垃圾分散式好氧成肥技术。对社区内收集的餐厨垃圾进行就地好氧堆肥处理，减少餐厨垃圾收储运比例，生产有机肥料，也可将社区餐厨垃圾好氧成肥后直接用于绿化养护。

第六章 社区绿色更新中倡导绿色生活方式

绿色生活方式倡导包括方面，一是低碳消费，侧重于消费品和消费过程的低碳化，提倡购买使用绿色低碳产品。这些产品能耗低，排放低，更耐用，也包括选用绿色出行、低碳饮食。二是减量使用，侧重于使用过程的减量化，减少家电、交通工具等使用过程的碳排放。三是缩短碳链，侧重于活动链的缩减，指通过改变工作学习生活模式与场所，缩减通勤过程的碳排放。

一、低碳消费

购买低碳生活用品。包括：1）购买电器时查看能效标识，选用能耗等级较高的各类家用电器，如节能灯、节水马桶、变频电器等，可节约 10%以上的能耗和碳排放。2）选用太阳能等清洁能源产品，包括家电，如太阳能热水器，太阳能路灯等。3）选择循环耐用的低污染产品，如可降解材料制品、非一次性用品等。4）购买少包装、无包装、或回收包装的商品。5）避免使用含微塑料的产品，如某些洗面奶和沐浴露，寻找更绿色的替代产品。

选择绿色出行工具。中长距离选择轨道交通，短距离选择步行和自行车。根据英国 BEIS2018 年发布的不同交通工具碳足迹：轨道交通比汽车碳排更低，短途通勤碳排由高到低依次为汽车、公共汽车和摩托车、地铁、自行车、步行；车型越小，碳排越低；电动及插电式混合动力汽车的碳排是汽油、柴油汽车的约 1/3。

低碳饮食。鼓励增加食用果蔬类低碳食品，减少农业生产过程碳排。研究表明，无论从单位重量还是单位蛋白质供给角度，果蔬等植物类食品比肉、奶制品等动物类食品的碳排放更低，鱼类、禽类和猪肉较反刍动物类更低。

适度消费、减少浪费。理性判断生活需求，践行简约适度理念，适量购买适，减少因不适用、用不完等浪费情况。避免冲动消费、攀比消费等非理性行为，理性对待商家促销活动。杜绝食品浪费行为，适量购买食品，适量点餐/光盘行动。研究表明²³，中国人均粮食浪费为每年 44kg，位居全球 22 位，城市每年的食物浪费量可抵补进口的主粮总量。

二、减量使用

家电使用减量化和绿色化。包括：1）减少生活电器依赖，如用手洗代替洗衣机、洗碗机等机器，传统牙刷代替电动牙刷，自然晾干代替烘干机，扫把代替吸尘器，改电子钟为发条闹钟，低楼层尽量不使用电梯等。2）增加户外活动，减少室内健身器械使用，以及室内运动所增加的照明和空调能耗等。3）采用节能低碳的方式使用家电、水具等，同时配合节能家用器具、智能家居控制系统，在满足生活需求的同时降低能耗。例如，空调、供暖等温度设定更接近室外环境，关闭不需要制冷或采暖房间，出门提前关闭空调，随手关灯关水，洗衣机、洗碗机放满再用，不使用的电器直接断电等。

共享出行。鼓励多人拼车出行，共同分担出行碳排，可大幅降低个人出行的碳排，减低居民私家车购买意愿。网络运营商需要社区或其他机构搭建共享出行的网络平台，供居民匹配出行路线和出行时间，实现多人共享交通工具出行，尤其适用于相同目的地的通勤通学出行。

循环使用。通过废弃物改造或旧物交换交易等方式，实现日常用品循环利用，可延长物品的使用时间，省去物品处理、再制造、再供应的过程。循环使用需要社区提供相应支持，引导并教学旧物改造技能，组织跳蚤市场等交易市场，构建二手交易网络平台。

三、缩短碳链

远程居家办公学习。远程方式可以减少通勤通学需求。对于部分类型工作，如互联网、媒体、或语言类课程辅导等，借助网络即可实现远程工作。即使选择部分时间的远程办公学习，也可以显著减少碳排。研究表明，100 人每周 3 天居家办公，全年可减少 70t 温室气体排放²⁴。但这需要企业提供远程的条件与可能。

种植并食用本地食物。社区践行都市农业，居民参与社区农园种植，减少食物供给。动员居民充分利用社区废弃用地、屋顶等空间种植居民日常所需的蔬果等食材，同时结合新的农业技术，拓展社区垂直农业，增加果蔬种植面积和收成。

²³ 《2019 世界粮食安全和营养状况》

²⁴ GlobalWorkplaceAnalytics.com

社区种植的果蔬既能减少食品运输、包装、零售等过程的碳排，又能减少种植类食物的土地占用。在本项目执行进程中，中规院上海、重庆团队尝试了办公楼屋顶种植果蔬，获得了不错的收获及有趣的体验。

四、绿色生活方式的保障条件

绿色生活方式不仅仅来自于社区居民的良好意愿与自我组织，同样离不开良好的政策、治理与设施保障，具体如下：

政策保障。国家或城市应当对低碳产品进行价格控制和生产补贴，增加低碳产品标识，社区加强低碳产品宣传，支持购买低碳生活产品。城市政府和企业应当推广鼓励远程办公制度，支持远程居家办公。

治理保障。社区应当组织教学旧物改造，推动开展跳蚤市场等旧物交换或交易市场，或构建二手网络交易平台支持物品循环使用；推广教学家电低碳使用方法，支持家电使用的减量化和绿色化；组织搭建共享出行平台，支持共享出行。

设施保障。城市应当优化社区附近公交站点换乘，配置新能源车共享充电桩和太阳能充电桩，支持选择绿色出行；社区应当优化户外公共活动空间和设施，建设办公、学习、食堂等共享空间；利用废弃地、屋顶等空间推广都市农业等。

第七章 推动中国城市的数字化绿色转型

一、数字化绿色转型的五个因素分析

近几十年，城市更加宜居、包容和可持续的行动明显加强，绿色和可持续城市转变与数字转型或第四次工业革命（4IR）两个全球大趋势正在相融。城市的实体和数字基础设施融合为中国城市绿色和智能转型带来了许多机会，在智能和可持续城市转型中，基础设施、经济、治理、市民、环境这五个因素是关键所在。

表 7-1 为支持中国的绿色城市化，在不同领域的潜在数字应用实例

领域	数字技术的潜在应用
1：能源	启用可再生能源，包括点对点能源解决方案（能源消费者），提高能效，对能源系统进行预防性维护，改善能源规划
2：建筑	完善以人为本的城市规划。改善光、热管理。
3：交通	促进新形式的共享交通，改善交通系统以减少交通碳排放和噪音，提高公共交通效率和降低价格，半自动和自动驾驶
4：土地使用	通过资源与市民行为数据分析，支持土地利用规划编制及市民参与。
5：食品	促成参与式城市农业和食品生产，促进食品共享平台
6：水	改善水资源管理，监测水质，提高生活和工业用水效率

资料来源：基于世界经济论坛 2020 年的数据，由作者补充。

基础设施

智能城市改变了人们对基础设施的传统理解。传统基础设施如道路、供水、供电等，越来越多地与数据基础设施层（如传感器和网络）结合在一起，与城市管理和公共服务更紧密地联系在一起。数字技术和数据收集可以支持传统硬件基础设施的效率、可靠性和可持续性，使之更加耐用，并减少重建它们的资源消耗。数字技术还可以管理复杂系统，增强系统灵活性，如促进可再生能源整合开放；可以监测环境条件，更好地管理基础设施。

然而，基础设施数字化升级十分昂贵，需要熟练的管理和应用能力。此外，数字技术也可能创造新的漏洞，并对其复原力构成威胁。如对基础设施的网络攻击可能导致严重的后果²⁵。因此，用数字化升级实体基础设施需要新的整体性观念，应更全面地看待其与社会、环境互动，及可能的弱点和风险。

经济

城市空间的数字化被视为重要的经济因素和创新驱动力。生产和服务行业可以使用数据来提高其运营效率，跟踪环境影响并改进流程，从而减少资源消耗。企业也可以由此减少碳排放。公共机构和城市空间产生的数据可以帮助企业为其客户开发适应需求更好、价格更低的新产品和服务。

如果城市数据生态系统及治理体系缺乏精致有效的设计，可能会产生权力失衡或数据鸿沟，从而导致竞争力和数据创造价值的失衡，并最终阻碍社会的学习、创新和将数据用于共同利益。因此，城市需要仔细设计数据治理计划，以真正支持其智能和碳中和创新。

治理

数字科技有助于改变城市治理。数字系统可以为市民与其行政部门提供直接反馈，促进社区学习进程，促进市民参与城市治理；数据可以反映市民生活质量，有助于改善城市空间规划；环境监测数据有助于管理城市资源；数据还可以识别事故黑点，为居民提供安全信息，提高城市灾害和风险管理能力。

然而，数字科技也给市民和政府带来风险和挑战。发展中国家城市往往依赖于技术供应商，因此损害了他们对满足其需求技术的选择能力。而信息通信技术公司往往有意将自己置于智能城市的控制地位，并从城市数据流中获益²⁶。

此外，大量数据并不必然导致更有价值的认识或更好的决策。政府部门需具备理解和充分利用数据的能力，认识其应对居民现实问题的价值。否则，数字工具非但不能支持治理改善，反而使效率更加低下，甚至加重地方政府负担。

居民

智能绿色城市应以生活质量和人的需求为中心。智能城市可以使居民在能源、交通、公共服务和行政事务的快速处理等方面获益，可以促进市民与行政部门之

²⁵ 国家科学院利奥波第纳；德国工程院-德国科学与工程学院；德国科学与人文学院联盟（编辑）（2021）：数字化能源系统的恢复力。如何控制停电的危险？

²⁶ Söderström, Ola; Paasche, Till; Klausner, Francisco（2014）：智能城市是企业的故事。《城市》第18卷第3期，第307-320页。数字对象唯一标识符：10.1080/13604813.2014.906716。

间直接对话,也可以促进居民之间的交流,在困难时期可以提高社区意识复原力,还可以使弱势群体相互支持,解决他们的需要和困难。开放数据可以为市民提供追求目标和偏好所需的信息,参与城市发展。(可参考附件一)

但是,数字科技并不能确保包容性。即使技术先进的社会,仍然存在性别、年龄、收入和数字技能的巨大差距。数字工具的设计与实施必须考虑边缘化和处境不利群体的需求,还应包括更多线下服务,防止造成排斥和不利。此外,智能城市中数据生成技术的普遍存在引起了人们对隐私权和个人权利的关注,备受争议。城市需要提高数据生成技术使用的透明度,保护个人权利。(可参考附件二)

环境

数字技术可以帮助城市改善环境和碳足迹。信息通信技术可以管理可再生能源的分布式能源系统,降低城市能源消耗;还可用于替代移动,例如拼车或汽车共享。但数字技术本身也有很大的环境影响。相关研究认为,2020年信息和通信技术占全球碳排放量的1.8%至3.2%²⁷,未来几十年还会大幅增加。边缘计算、分布式账本技术(DLT)和5G等新技术的整体环境影响仍有很大不确定性。此外,还缺乏稀土金属等资源的数据,这些珍贵资源的开采往往对人和环境非常有害,且很少回收利用。全球电子废弃物监测报告估计,2019年全球产生5360万公吨电子废弃物,五年内增加了21%,只有17.4%被回收。

因此,评估数字科技对环境的全面影响具有挑战性。在实施数字技术前需要仔细评估生态和社会价值,依据有意义、可衡量的指标进行操作,并在使用阶段密切监测和评估。为了改善数字技术和系统的生命周期评估,还需要收集生产阶段资源使用数据。德国联邦政府2019年推出了“环境数字政策议程”,以使数字化转型与可持续发展相一致,并将其应用于气候、自然和环境²⁸。

二、城市绿色智能转型建议

绿色智能城市转型不会通过数字增强传统基础设施而自动发生,需要平衡使用数字技术的机会和挑战,从整体推动,并需要一个由以下要素组成的有利环境。

城市可持续性战略。城市转型需要立足于一个强大的、长期的、可持续的碳中和城市愿景。这个愿景应该由市民、利益相关者参与制定,包括如何使技术为实现绿色智能城市愿景做出贡献的思考;包括采购技术和数据中心的原则和规则。战略目标的制定需要具体、可衡量、可实现、相关联、有时限(SMART)的指标以及如何实现这些目标的具体步骤,还应当对战略实施进行监测,以检查其进展,是否达到预期。

数据治理。数据治理必须遵守国家 and 国际层面的法规。尤其在使用社区层面

²⁷ Bieser, Jan; Hintemann, Ralph; Beucker, Severin; Schramm, Stefanie; Hilty, Lorenz (2020): Klimaschutz durch digitale Technologien – Chancen und Risiken. Berlin: Bitkom.

²⁸ BMU - 德国联邦环境、自然保育及核能安全部。环境数字政策议程。

产生的数据目标上，城市应与市民、企业、利益相关者共同制定数据治理战略，支持可持续发展目标，为公共利益服务。数据治理应该认真考虑数字化的社会兼容性，并评估使用数据的环境影响²⁹；应当加强个人的数据主权，提高透明度，并强化企业和政府数据生成、使用的责任；应当包含开放数据战略，以便企业、学术界、社会等能够从数据中受益。最后，数据治理需要有机构设置，明晰的实施监督数据治理原则，以创造一个繁荣的生态系统，支持不同行为者间数据共享。

公众参与。绿色智能城市需要市民参与，尤其应关注弱势群体以提高包容性和公平。管理部门需要公开透明、可靠负责以及长久持续的实现参与，应当就进程、问题的处理及结果、持续的监测和评估进行沟通，以激励市民进一步参与。

实验性和体验性空间。绿色智能实验室的想法已经在国际上得到了广泛的关注。为了探索超越特定领域的解决方案，使居民、企业和教育机构共同参与城市的创新，方法之一就是与城市教育和学术系统合作建设绿色智能实验室。通过实验室与居民共同确定、开发、实施绿色智能的解决方案。实验室本身也成为了知识群体交流、联网和合作的中心，形成科技和可持续发展研究群体。

地方政府的能力建设。政府或社区为了管理绿色和智能转型，需要全新的技能组合。包括对数字技术趋势、潜在风险和好处的深刻认识，对数字技术如何在各个领域为管理所用的实践知识，以及与市民和变革者进行建设性互动的能力。要满足这些要求，政府和社区还需要有足够能力、训练有素的工作人员，以及适当的内部体制、文化和对自身角色的理解，以支持学习、交流和共同创造。

为转型提供资金。转型的财政支持手段之一是将地方基础设施项目支出的一定比例用于实施共同创造的过程。此外，还需要为企业提供激励：一是激励私营部门投资城市可持续转型的领域和项目；二是激励推广数字服务或产品以形成可持续优势，如“绿色和智能城市转型基金”以支持初创企业；三是投资者可以在企业社会、生态和经济可持续性方面得到指导，以支持投资决策。

第八章 创造绿色技术应用的有利环境

一、绿色技术应用面临的关键挑战

通过专家磋商以及来自 20 多家在中国开展业务的大型国企和跨国公司的意见，确定了六大领域绿色技术推广所面临的技术、监管和社会障碍与挑战。

基础设施壁垒

除了技术成熟度之外，许多技术的扩展过程中，更大的问题是缺乏基础设施

²⁹ Schnabel, Frieder; Heydkamp, Constanze; Schmitz, Michael; Braun, Steffen; Albrecht, Philipp; Lonien, Joachim; Rothballer, Carsten; Jacobi, Nikolai; Ullrich, Peter (2020): 智能环境基础设施：市政角度的应用领域、需求、实践经验。最终报告。由联邦环境署编辑。德绍。

（硬件设施和软件设施）。我国现行的能源体系不支持可再生能源推广，未来智慧能源系统转型需要对资产结构进行代价高昂的重大调整。有企业提出，NEV 充电基础设施选址在实施阶段遇到了许多障碍，包括土地使用审批、电网连接、电网和社区安全以及环境和城市规划法规等。

监管障碍

数据共享机制至关重要，而目前缺乏汇集所有部门和行业专家的跨领域合作机制。食品领域，研究人员无法获取平台公司生成的大量数据，这些数据对食品系统的可持续性至关重要。建筑领域的营业执照管理制度造成了建筑设计与施工分离，给全生命周期管理带来了诸多困难。

市场机制不足妨碍了采用绿色技术。例如，碳捕获利用储存（CCUS）技术应用用于燃煤电厂需增加 14%-25%的能耗和 20%-30%的额外投资³⁰。由于缺乏政府的政策和财政支持，加上碳交易价格低廉，企业没有动力应用该技术。

标准体系、认证体系和合规性制度的缺乏，妨碍了绿色技术推广。在自动驾驶汽车方面，智能电网与自动驾驶汽车之间的传感器系统和通信缺乏标准化，加上保险和责任规定等监管障碍，使其无法跨越示范阶段。电动汽车和电池缺乏标准化，接口无法兼容，导致电池交换业务不成熟。中国与国际绿色建筑标准之间缺乏兼容性，制约了绿色建筑发展。蛋白质替代食品、生态食品的食品标签十分重要，但由于缺乏信息或不被信任，对激励中国消费者购买作用不大。

社会障碍

低碳转型面对着重大社会挑战。如山西省等地区，煤炭行业是就业、GDP 和税收的最大来源之一，如果没有援助政策，将会面临就业机会、公正转型等困难。转型需要一支既满足新型就业需求又熟悉环保的劳动力队伍，但目前社会技能培训尚未纳入气候变化和绿色转型内容，也缺乏相应的部际协调机制³¹。绿色建筑企业一致认为，在该行业构建全生命周期管理方面，技能型人才缺口很大。

提高公众对气候问题的认识和参与可以推动城市消费者更广泛地采用绿色技术。越来越多的中国公众意识到了采用低碳生活方式的重要性，消费者在饮食、出行方式等方面的需求和行为变化有助于推动绿色技术规模化发展和净零转型。

二、创造绿色技术部署的有利环境

绿色技术推广需要政府、公众、企业和学界的共同参与。政府应当针对性的解决在绿色技术推广中的各种障碍。从战略规划设计，利益相关者、跨部门及国际合作开始，采用有效的政策和融资工具，并培养创新文化和公众意识。

战略规划与设计。实现碳中和目标，首先需要制定明确的长期愿景和顶层战略，以指导技术发展，防止资源分配不当和浪费，应当既支持新技术开发，也支

³⁰ <http://www.tanjiaoyi.com/article-27399-1.html>

³¹ 国际劳工组织。（2018 年）。中国绿色就业技能。

持现有技术推广。战略规划和设计应当覆盖碳中和的所有领域，应特别关注包含高比例可再生能源、智能能源基础设施所需的大量投资。输电、新能源汽车充电、储氢和配电网的建设都是智能能源系统基础设施的组成部分，需要政府的战略设计和承诺。同时还应强化国家与省、城市政策相互支持。城市中长期规划与国家顶层战略设计相辅相成。城市在数据收集、开发和共享方面可发挥重要作用。

利益攸关方和跨部门合作。应当推进各级政府间、不同部委间以及与企业、金融机构、学术界和民间社会的合作，利益攸关方的伙伴关系将有助于制定推广绿色技术，技术创新和基础设施投资的政策。实现碳中和需要建立跨部门合作机制，同时政府还应在技术推广和数据管理方面与私营部门合作，通过不同领域、部门合作，提高系统效率。

国际合作。今年中欧气候对话为在气候问题上达成雄心勃勃的共同承诺提供了一个平台；中美也共同宣布合作应对气候危机，更多分享国际最佳做法，推进减少排放的政策和市场机制³²；2019年成立的“一带一路倡议”国际绿色发展联盟（BRIDC），旨在促进国际共识、理解、合作和协调行动，实现一带一路的绿色发展。这些活动为中国进一步开展国际合作奠定了坚实的基础。绿色技术应用和推广需要全球商界领袖、顶尖学者、政府官员和投资的共同努力，以实现技术突破和投资可行性。国际标准和协调机制将有助于绿色技术的全球推广。

优惠政策。财政补贴、税收优惠及价格政策是重要工具。非财政激励也可以刺激推广。如交通领域的优先车道、零排放区、限号出行和购车资格限制等都会鼓励新能源汽车购买。最佳策略是多措并举，在实现利益最大化的同时避免不利负面效应。例如，在推广电动汽车的同时，不扩大清洁能源和共享经济的规模，可能反而导致机动车排放量增加。

利用市场的机制。碳市场有助于企业将排放成本内部化，并为企业把投资转向绿色技术提供价格信号。中国碳市场需要进一步优化，向电力以外的行业延伸。

监管。当成本以外因素阻碍绿色技术的推广，造成价格信号失灵时，监管可以成为更有效的政策工具。优化监管环境，可以鼓励包括国有企业在内的更多企业进行绿色创新。中海油公司（CNOOC）已经宣布“绿色发展行动计划”，并拓展了海上风电等可再生能源新业务，江苏的第一个海上风电项目已于2020年投产。

融资机制。基础设施、绿色技术创新所需投资应由公共和私人资金来满足。政府政策需要发出市场信号，动员民间资金。技术研发的公共财政应优先用于绿色技术，特别是处于早期技术准备阶段的技术，如CCUS和氢气。绿色技术推广的资金大部分最终将由私营部门提供³³，但政府可以通过降低风险来鼓励调动私人资金，采用适当的政策和监管框架来吸引更多的私人投资。加强知识产权、税收支持，以及专用产业基金等其他机制，也可以支持中国的绿色投资环境改善。

³² 发言人办公室。中美应对气候危机联合声明 [媒体报道]。 <https://www.state.gov/u-s-china-joint-statement-addressing-the-climate-crisis/>

³³ 国际能源署。（2021年5月）到2050年净零：全球能源部门的路线图。

另一方面，标准化的 ESG 披露可以帮助企业降低绿色融资成本，增加绿色投资。公私合作伙伴关系有助于降低企业财务风险，尤其在水务等公共基础设施工程中。

创新文化。碳中和需要包括 4IR 技术在内的跨部门创新。技术、商业模式、政策和富有远见理念的创新，是培育创新文化、推进碳中和议程的关键。政府在创造创新环境方面发挥着核心作用，如知识产权保护、基础研究投资、克服市场失灵有助于市场主体协调的标准以及为创新提供低成本资金³⁴。

绿色公众意识。提高公众意识、气候教育和公众参与势在必行。55%的碳减排需要绿色技术与市民、消费者的积极参与，8%的碳减排需要行为改变和材料效率提高³⁵。政府可以通过优质基础设施，如为蛋白质替代产品贴上可信食品标签，引导消费者更容易做出决定选择低碳替代产品。政府还应考虑碳中和的社会和经济影响。确保能源价格可承受，对工人进行再培训等政策，确保公平转型。

第九章 性别与人群视角：分享与共同参与

一、女性在社区绿色发展中的角色和作用

女性在绿色生活方式中发挥主导作用

女性在环保行动领域的参与，早已超过男性。在不同的年龄组和国家，包括中国，女性生活更加环保¹。同时女性在绿色生活方式主导上还发挥着更重要的影响力。由于社会传统及性别分工，中国女性更多地承担了抚育幼儿、照顾老人及家务劳动的责任；在采购和食物方面拥有更多话语权；更重视健康，并在家庭绿色观念的培养和教育上承担重要角色。中国女性相对更倾向于合作、聚集与交流，因此更多参与社区进步的改造。因此，从绿色个人行为到绿色社区活动，女性都具有主导作用。社区共享洗衣房、共享厨房、社区陪护、本地绿色食品、低碳教育、旧物回收等众多绿色生活方式离不开女性的参与甚至引领。

绿色发展需要女性的参与和领导

女性在气候变化问题面前更脆弱。由于根深蒂固的社会传统和经济结构，女性比男性更容易因为气候变化而遭遇健康、就业、家庭问题³⁶。因此通过女性视角才能更完整地理解气候带来的影响，以及气候和性别之间可能产生的恶性循环。

女性参政能有效地提高政府应对气候变化的能力。证据显示，妇女参政水平较高的国家在减少二氧化碳排放方面最为成功³⁷。欧洲女性领导人的行动证明了

³⁴ 桑德洛，D(2011 年 10 月 29 日)。为什么政府需要在创新中发挥作用。格林比兹。

³⁵ 国际能源署(2021 年 5 月)到 2050 年实现净零排放：全球能源行业的路线图。

³⁶ 联合国妇女署，中国社会性别视角的气候变化脆弱性研究[R]，2016[2021-07-03]。

³⁷ <https://static1.squarespace.com/static/559d276fe4b0a65ec3938057/t/55df34f2e4b08e5b72c24ede/1440691442499/Gender-and-the-climate-change-agenda-212.pdf>

女性比她们的男性同行更好地管理危机³⁸。因此，女性是可持续发展非常有效的领导者。中国城市和社区应该拥有更多女性领导人，他们可以在技术创新、包容性、公众参与、更加智能和宜居取得成功，还可以帮助女性在绿色发展的重大领域提出需求和观点，让女性作为重要利益相关者和创新者参与绿色发展。

绿色技术转型发展中女性具有巨大潜力

科学、技术、工程和数学（STEM）领域是创新、社会福利、包容性增长和可持续发展的基础。联合国报告中指出“全世界只有 35% 的女孩学习 STEM 科目，高等教育中只有 3% 的女学生选择学习信息和通信技术（ICT）”³⁹。帮助女性学习和从事 STEM 相关职业，能在绿色技术繁荣的同时提高女性的经济稳定性，也使女性有更大动力从事绿色技术转型发展。而绿色转型本身也是一个解决性别不平等和歧视，促进包容性和公平的机会。

二、有利于老人和儿童的社区绿色更新建议

在城市绿色发展、社区绿色更新和绿色技术推广的讨论中，对青壮年的关注较多，往往忽视了老人与儿童。而中国社会的老龄化和少子化正在产生越来越多的社会问题。因此社区绿色更新应当尽量采用老人和儿童友好的更新模式，关注老人和儿童需求、能力和适应性。研究表明，充足的开放空间，良好的步行性，完善的生活服务设施，令人愉悦的环境设计，既可促进老人与儿童户外体力活动，有效增加社会交往、建立情感纽带、促进社区归属感；其本身也是绿色低碳的减排行为。因此在社区绿色更新中应当重视以下内容：

1) 组织提供共享式养老和儿童照料看护服务，健全社区保障体系的同时节约居家碳排放。2) 设计屋顶农场，不仅可以满足老年的喜好，还能实现家庭食物的供给，促进资源的节约利用。3) 建设公共空间，但要选择具备防滑性和透水性的低碳材料，为老人提供安全、无障碍的路径和设施。4) 社区绿化改造中，降低水面深度，设置坡地式岸线，创造适宜儿童集聚游乐的场所。5) 利用自然地形、植物材料建造儿童场所，帮助孩童与大自然建立亲密关系，培养绿色生活方式。此外，社区还可以充分利用老年人力量，组建老年人低碳环保志愿者队伍。

三、有利于低收入人群和弱势群体的社区绿色更新建议

社区绿色发展，还应重点关注低收入人群和弱势群体，包括贫困者、下岗职工、农民工、非正规就业者、残疾人等。应当倾听他们的声音，保障他们的基本权利，帮助他们自立自强，提供低成本高质量的绿色生活，具体包括：

³⁸ <https://www.greenbiz.com/article/25-badass-women-shaping-climate-action-2021>

³⁹ <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000253479>

1) 让更多的低收入人群和弱势群体参与社区活动，尤其是绿色更新改造项目应充分考虑他们的实际需求；2) 打造更具适应性的公共空间，减少弱势群体的室内活动时间，更多融入社会；3) 加强建筑的自然通风采光，减少电、气等能源消耗；4) 采用低价格更新改造，避免提高住房与设施成本；5) 绿色更新改造、共享设施运营中创造更多的就业机会，提供给本地的低收入人群和弱势群体。

第十章 政策建议

一、促进碳中和与城市、社区绿色发展的建议

加快国家实现双碳目标的制度建设

应尽快建立中国碳市场，制定碳价策略，完善碳交易体系；在减碳困难行业实行碳排放额度分配，并最终涵盖所有行业；尽快制定具有明确目标和时间表的能源转型路线图，并为整个系统层面的绿色转型提供指导。

加快鼓励企业参与去碳进程低碳发展

通过发放低碳产品与服务的经营许可，改善业绩评估等方式，促进国有企业在去碳和绿色技术发展中的领导力；通过更广泛多样的激励政策和约束机制引导民营企业参与绿色技术创新与低碳产品生产，低碳建筑与基础设施建设；通过“绿色基金”等方式，支持中小企业和初创企业低碳发展；通过“碳标签”制度，明确生产者对产品全生命周期的低碳责任；倡导居民购买低碳产品。

高度重视并积极推动城市与社区碳减排

制定城市层面碳减排战略总体方案，推进能源、建筑、交通、土地利用、基础设施等领域协同转型；将气候风险纳入城市与社区规划；加快推进“零碳城市”试验项目；建设一批“零碳社区”示范项目；将数字技术与人工智能技术应用于绿色管理；设计透明、负责任和持续的制度与机制，鼓励企业、公众的广泛参与。

加强社区绿色技术推广与应用

构建社区级碳排监测、评估系统，掌握社区碳排放现状特征，采取更有效的绿色发展策略；在能源、建筑、交通、市政等领域加快推进成熟绿色技术的应用，加快技术创新与推广；加快完善社区低碳技术应用的标准规范。

倡导践行绿色生活方式

通过碳中和、可持续发展的主流价值观培养，激发居民的气候危机社会责任感，转变居民消费方式，增强绿色生活意愿；通过学校、社区培养新一代气候公民；引导并保障公众和社会组织参与社区绿色低碳事务。

加强去碳与绿色发展的社会影响评估

充分认识并评估双碳目标进展中不同社会群体获得的福祉和可能受到的不利影响；在城市绿色发展与社区绿色更新、绿色技术应用中，高度重视女性、老

人、儿童，低收入人群与弱势群体的风险和脆弱性，在公平、包容等方面制定相应策略机制。

加强绿色发展与更新的国际合作。进一步开展学术与专业部门在绿色低碳发展中的交流与合作，积极学习发达国家在零碳城市、社区领域的实践经验，推进企业部门在绿色技术全产业链的国际交流。

二、社区更新绿色技术的政策建议

能源领域

推动电力需求侧响应(荷随源动)的市场价格机制。扩大峰谷时段电价差额；对高效能源利用技术与高效节能产品进行补贴，包括节能效果突出的家电产品。

鼓励储能市场发展，激励 V2G 业务和更多换电站的建设；鼓励隔墙售电，放开可再生能源电力销售权，激活分布式发电市场，促进可再生能源的消纳；

建筑领域

制定与发达国家一致或兼容的绿色建筑标准。建立对建筑设计、施工、运营、拆除全生命周期监测与评估的方法和治理体系，推进绿色建筑全生命周期管理。

建立家庭/个人减碳激励机制。可对能耗达到优秀标准的家庭，纳入个税专项扣除优惠；能耗超标严重的居民可申请政府补贴进行节能改造，并接受监测。

交通领域

推进交通低碳激励政策。包括低碳出行积分政策，老旧车辆淘汰补贴，低碳车船使用奖励优惠等；试点城市交通低碳排放区示范项目。

优化城市交通结构。发展自行车专用路，保障人行步道的连续性和网络性；优化轨道线网规划，提升轨道交通的通勤覆盖率。

改善交通能源结构。加速新能源车辆推广与置换；持续降低新生产燃油车污染和碳排强度，建立全生命周期的汽车行业碳足迹评估。

市政领域

改革水价，通过阶梯水价市场调节机制，促进节水和高效利用；实现城市、社区水资源与供排水能耗的协同治理；将新鲜水、雨水、再生水等多源水分质协同智慧管理，实现系统效率提升、用能降低、碳排减少。

完善垃圾分类监管体制，制定奖惩措施，提高分出垃圾的质量；优化垃圾处理收费制度，促进垃圾源头减量；加快建立可回收物体系，引入市场机制，激励社会资本参与，促进可回收物回收增量和其他垃圾末端处置减量。

食物领域

优化食物和农业补贴政策，建立可信赖的食品标签体系，来推广可持续食物；提高公众对可持续粮食系统的认知，鼓励减少食物浪费和改变饮食习惯。

推广都市农业与垂直农业，在资源紧缺条件下推动实现食物本地化生产、配送与绿色食物需求，改善环境。积极探索降低垂直农业经济成本。

附件

附件一：深入分析共享经济与气候

随着信息通信技术，特别是智能手机的普及，共享经济见证了无数平台和应用程序的诞生，人们可以在这些平台和应用程序中共享商品，如汽车或工具、技能和服务、住房和住宿等。问题是：共享有助于环境和气候吗？关于这个问题的科学文献显示出矛盾的结果。一方面，共享有助于避免或减少消费，减少对某些商品的生产需求，从而节约资源，避免碳排放。另一方面，这些潜能是否真的被涵盖，取决于许多不同的因素。

例如，通过共享应用程序，某人可以从其他人那里借用他或她并不经常需要的工具——比如电钻。这将使新的或最初购买的工具过时。在其生命周期内，电钻产生约 28 kg 二氧化碳当量，使用该工具仅占该量的 2%（Skjelvik 等人，2017 年）。如果使用频率更高，其能源消耗的排放量可能会增加（取决于所使用的能源组合），但新电钻生产阶段产生的排放量会减少。但是，计算并不是那么简单，因为还需要询问工具需要共享多少次才能显着减少电钻产量，从而显着减少相关的二氧化碳排放总量。此外，还可能出现所谓的反弹效应，从而减少、消除甚至逆转积极的环境效应。反弹以不同的方式发生，例如，当借用电钻的人把攒下的钱投资于购买另一个产品，甚至可能是碳密集型产品时。

考虑到这些不同的因素——对于其他共享的例子，它们也以类似的方式成立，很明显为了成为气候和环境挑战的真正解决方案，需要做的不仅仅是共享。只有融入向更可持续的生活方式和行为（包括充分消费和更可持续的生产模式）的全面转变，才能提升其潜力。

附件二：多伦多智能城市码头区案例

2017 年多伦多市宣布将其滨湖区一块 49.000 m² 的土地开发为智能城区（Wilkens，2020 年）。为此，多伦多海滨区开发署与 Alphabet-daughter Sidewalk 实验室展开合作。一开始人们对利用数据和机器人、地下垃圾处理等最新技术创建智能绿色住宅区和商业区寄予厚望和赞誉（Wakefield，2019 年），很快就变成问题案例，引起当地民众的极大批评。

特别是，围绕智能城市项目数据治理方法的担忧成为公众不满的焦点，并刺激了一个名为“BlockSidewalk”（BlockSidewalk，2021 年）的维权组织的发展。分析该案例的研究人员指出，除其他遗漏外，公共咨询过程不充分且无效，多伦多滨湖区缺乏数字专业性和合法性，以及对计划用于该项目技术的经济、社会和生态分析不存在或不合理（Haggart，2020 年）。此外，他们还认为，由于加拿大数据治理框架发展薄弱，没有公开问责的多伦多滨湖区土地开发署将获得前所未有的权力，以制定未来的加拿大数据监管政策（Haggart、Tusikov，2020 年）。多伦多人行道实验室的强大存在可能进一步对加拿大决策者施加压力，迫使他们监管数据，而不是为了谷歌的利益，忽略了加拿大科技公司的利益，更不用说加拿大公民的利益（Haggart、Tusikov，2020 年）。

经过多次辩论，人行道实验室以新冠疫情带来的经济不确定性为由，于 2020 年 5 月退出了该项目（Hawkins，2020 年）。然而，研究人员从码头区智能城市项目中得到了许

多经验教训：政策制定者和城市开发商需要认真对待数据问题和知识产权，独立并提前制定数据治理和政策框架，以便与供应商接触，并建立自己强大的数字能力。此外，他们需要重新思考平台的作用，让民众参与智能城市概念的发展，以避免未来城规划的解决主义方案，并解决城市居民的实际需求和利益（Haggart、Tusikov，2020 年）。

经过多次辩论，人行道实验室以新冠疫情带来的经济不确定性为由，于 2020 年 5 月退出了该项目（Hawkins，2020 年）。然而，研究人员从码头区智能城市项目中得到了许多经验教训：政策制定者和城市开发商需要认真对待数据问题和知识产权，独立并提前制定数据治理和政策框架，以便与供应商接触，并建立自己强大的数字能力。此外，他们需要重新思考平台的作用，让民众参与智能城市概念的发展，以避免未来城规划的解决主义方案，并解决城市居民的实际需求和利益（Haggart、Tusikov，2020 年）。

附件三：社区用能碳排放的计算方法

社区用能碳排放量包括社区消耗的电能、燃气、水三大主要能源的碳排放量。计算公式为： $E_e = E_{\text{电}} + E_{\text{燃气}} + E_{\text{水}}$ 。其中： $E_{\text{电}} = Q_{\text{电}} \times f_{\text{电}}$ ； $E_{\text{燃气}} = Q_{\text{燃气}} \times f_{\text{燃气}}$ ； $E_{\text{水}} = Q_{\text{水}} \times f_{\text{水}}$ 。

Q_i 代表各类用能总量， f_i 代表各类用能碳排放因子， $f_{\text{燃气}}$ 和 $f_{\text{水}}$ 分别取自《2006 国家温室气体清单指南》和中国科技部《公民节能减排手册》， $f_{\text{电}}$ 来源于 2019 年中国区域电网基准线排放因子⁴⁰，采用各城市所属区域电网的排放因子计算。

附件四：居民出行碳排放的计算方法

交通碳排放量为每人每次出行的碳排放量，受出行距离、出行方式的影响。计算公式为： $E_m = \sum_{i=1}^{40} \sum_k A_{k,i} \cdot L_{k,i} \cdot GHG_{k_i}$

$A_{k,i}$ 指交通方式 k 第 i 年交通出行量， $L_{k,i}$ 指交通方式 k 第 i 年交通出行距离，两者均可通过居民出行调查获得，出行距离可通过数据信令数据获取。 GHG_{k_i} 指交通方式 k 第 i 年的碳排放因子，可依据报告文献研究取得该参数，或采用城市情景年测算数据，也可采用考虑新能源车替代情景条件进行折算。

⁴⁰ <http://mcc.gov.cn/ywgz/ydqhbh/wsqtkz/202012/W020201229610353340851.pdf>

致 谢

我们感谢中国环境与发展国际合作委员会（国合会）设立并支持《重大绿色技术创新及其实施机制研究》专题政策研究项目。在项目组开展工作的近两年时间里，国合会对项目组研究工作提供了重要研究指导与资金支持，使项目组中外方专家的讨论、交流和研究得以有效开展。

感谢国合会中方首席顾问刘世锦先生、外方首席顾问斯科特先生对项目研究给予的重大指导；感谢国合会秘书处以及国际支持办公室的重要支持。

《重大绿色技术创新及其实施机制研究》专题政策研究项目组在研究工作中得到了国内外有关部门、机构和专家的大力支持和协助，在此特别表示感谢：感谢参与此项目的世界经济论坛（WEF）、德国联邦环境署(UBA)，德国国际合作机构(GIZ)，未来研究和技术评估研究所（IZT），中国可持续工商理事会、深圳建筑科学研究院和中国城市规划设计研究院的专家与工作人员为项目的顺利开展和报告的最终完成做出的贡献。他们分别是：

世界经济论坛：James Pennington, Antonia Gawel, Louise Anderson, Maya Ben Dror, Peng He, Alice Charles, Yamin Xu, Lisa Sweet, Natalia Suescun Pozas, Noopur Desai, Kristen Panerali, Jeff Merritt, Alex Mung, Sean de Cleene, Roberto Bocca, Anna Acanfora, Eleni Kemene, Rob Johan Adriaan Van Riet;

德国联邦环境署(UBA)：Anna Rosenbaum, Tim Schubert, 赵丽智, Marcel Dickow;

德国国际合作机构(GIZ)：Katherine LI;

未来研究和技术评估研究所（IZT）：Kerstin Fritzsche;

落基山研究所：朱思捷;

中国可持续工商理事会：张静;

深圳建筑科学研究院：刘鹏、赖玉珮;

中国城市规划设计研究院：邵玲，肖颖禾，史帅，张亢，华沅，李舒梦，张振广（上海分院）；余妙、陈婷、蔡磊、陈泽生、秦维、王怡婷、李亦晨、翟炳英（西部分院）；金鑫、周游、陈杨、刘旭东、曹方、题加荣（深圳分院）；张中秀、常魁、冯一帆、李爽、覃露才、郑桥、谭建光、宋晓栋、卢蕾（生态市政院）；王芮、白颖、廖璟瑒（交通分院）；张园、孙若男、徐少雄、何佳慧（学术信息中心）。

作为研究的一部分，项目组开展了一系列相关企业的调研。企业受访人有：王震，中国海油集团能源经济研究院院长；韩守亮，郑州宇通客车股份有限公司部长；徐兴无，国轩高科工程研究总院常务副院长；张贤铭，远大科技集团有限公司副总经理；姚强，中国电力建设集团有限公司副总经理；崔煦，京东科技集团数字城市群副总裁，数字能源总经理；蒋琤，蚂蚁科技集团股份有限公司绿色发展部资深总监，蚂蚁森林负责人；郭家耀，奥雅纳工程咨询有

限公司东亚区主席；黄维杰，奥雅纳工程咨询有限公司副董事；赵志勇，奥雅纳工程咨询有限公司总事务经理；范晓军，苏伊士集团亚洲地区高级副总裁；高辉强，上汽大通汽车有限公司燃料电池平台总经理；林笛，蒙牛集团社会责任工作部可持续发展高级经理；孙福友，华为技术有限公司企业业务副总裁；曹巧红，荷兰皇家帝斯曼集团可持续发展负责人；刘振飞，阿里巴巴集团高德事业群总裁；邱万鸿，太古地产（中国）投资有限公司技术统筹及可持续发展总经理；罗能钧，中信和业投资有限公司董事副总经理；胡家阳，中信环境技术有限公司水务运营管理中心副总经理；王叶刚，中信环境（汕头）印染环保综合开发有限公司总经理；卢荻，荷兰皇家壳牌有限公司中国能源转型及发展总经理；李卫东，中国华能集团清洁能源技术研究院有限公司董事长；高曼，上海福伊特水电设备有限公司亚太区数字化总监；党彦宝，宁夏宝丰能源股份有限公司董事长。

同时，感谢项目的知识合作伙伴：德国国际合作机构(GIZ)，世界经济论坛净零碳城市项目，未来城市全球理事会，全球能源社区-中国。

感谢所有曾经帮助过我们，但由于篇幅关系原因没有提及到的专家、学者、朋友、同仁，在此一并致谢！