



面向碳中和的国际低碳技术发展研究报告

Report on International Low-carbon Technology Development
towards Carbon Neutrality

北京清华同衡规划设计研究院有限公司
Beijing Tsinghua Tongheng Urban Planning & Design Institute Co., Ltd.

2023.06.09

关于作者

邹涛，清华大学工学博士，现任清华同衡生态城市研究所所长。中国建筑节能协会绿色城市研究中心副主任，北京工程勘察设计协会绿色低碳分会副会长，低碳智慧建筑产业技术创新战略联盟副秘书长，中国城市科学学会生态城市研究专业委员会委员，中国测绘学会智慧城市专委会委员，兰州大学绿色金融研究院学术委员会委员。邮箱地址zoutao@thupdi.com

程洁心，北京林业大学硕士，现任清华同衡生态城市研究所主任工程师。主要研究方向为：政策规划研究、行政区域城市生态规划、绿色低碳规划；城市片区控规阶段的绿色生态专题研究及规划；生态新城（示范区）开发与管理专题研究、村镇可持续发展空间规划。邮箱地址chengjiexin@thupdi.com。

李玉寒，香港大学景观建筑学硕士，现任清华同衡生态城市研究所设计师。邮箱地址liyuhan@thupdi.com

王晓利，北京大学环境科学硕士，现任清华同衡生态城市研究所设计师。邮箱地址wangxiaoli@thupdi.com

郑巧依，北京林业大学风景园林硕士，现任清华同衡生态城市研究所设计师。邮箱地址zhengqiaoyi@thupdi.com

张嘉玮，谢菲尔德大学城市设计与规划硕士，现任清华同衡生态城市研究所设计师。邮箱地址zhangjiawei@thupdi.com

周戩，北京林业大学水土保持专业，现任清华同衡生态城市研究所设计师。邮箱地址zhoujian_th@thupdi.com

ABOUT THE AUTHORS

Zou Tao, Ph.D. in Engineering from Tsinghua University, currently holds the position of Director of the Department of Sustainable City Planning at THUPDI.

He also serves as the Deputy Director of the Green City Research Center at the China Association of Building Energy Efficiency, Vice President of the Green and Low-Carbon Sub-Committee at the Beijing Engineering Exploration and Design Association, Committee Member of the Ecological City Research Professional Committee at the Chinese Society for Urban Studies, Committee Member of the Smart City Special Committee at the Chinese Society for Geodesy, Photogrammetry and Cartography, Expert Committee Member of the Green Circular Inclusive Committee at the All-China Environment Federation, and Committee Member of the Academic Committee at the Green Finance Research Institute of Lanzhou University. Email address: zoutao@thupdi.com

Cheng Jiexin, Master's degree holder from Beijing Forestry University, currently holds the position of Chief Engineer and Director at the Department of Sustainable City Planning at THUPDI.

Her main research focuses on policy planning, ecological planning at the administrative district level, and green low-carbon planning. She also conducts specialized research and planning on green ecological topics during the control and planning stages of urban areas. Furthermore, she specializes in the development and management of ecological new towns (demonstration zones) and spatial planning for sustainable development in villages and towns. Email address: chengjiexin@thupdi.com

Li Yuhan, Master's degree holder in Landscape Architecture from the University of Hong Kong, currently serves as a designer at the Department of Sustainable City Planning at THUPDI.

Email address: liyuhan@thupdi.com

Wang Xiaoli, Master's degree holder in Environmental Science from Peking University, currently serves as a designer at the Department of Sustainable City Planning at THUPDI.

Email address: wangxiaoli@thupdi.com

Zheng Qiaoyi, Master's degree holder in Landscape Architecture from Beijing Forestry University, currently serves as a designer at the Department of Sustainable City Planning at THUPDI.

Email address: zhengqiaoyi@thupdi.com

Zhang Jiawei, Master's degree holder in Urban Design and Planning from the University of Sheffield, currently works as a designer at the Department of Sustainable City Planning at THUPDI.

Email address: zhangjiawei@thupdi.com

Zhou Jian, specializing in Soil and Water Conservation from Beijing Forestry University, currently serves as a designer at the Department of Sustainable City Planning at THUPDI. Email address: zhoujian_th@thupdi.com

致谢

本报告——《面向碳中和的国际低碳技术发展研究报告》由【北京清华同衡规划设计研究院有限公司生态城市研究所】统筹撰写，由【北京市生态环境局】指导，【北京市生态环境保护宣传中心】组织，由【能源基金会】提供资金支持。

本报告——《面向碳中和的国际低碳技术发展研究报告》是【能源基金会低碳城市项目组项目/工作组下的课题】的部分内容。

在本项目研究过程中，研究团队得到了北京市生态环境局、北京市生态环境保护宣传中心和能源基金会的大力支持，包括：陈维敏总工程师、明登历处长、安欣欣主任、龙艳副主任、汪媛副科长、刘敬奇博士、王志高主任、林微微主管、史胜南高级专员等；在此向他们表示诚挚感谢。

研究团队同时感谢以下专家在项目研究过程中作出的贡献：

- 【袁 昕 北京清华同衡规划设计研究院有限公司】
- 【李 迅 中国城市规划设计研究院】
- 【鲁 玺 清华大学碳中和研究院】
- 【何东全 能源创新中国区】
- 【焦 舰 北京市建筑设计研究院有限公司】
- 【黄献明 清华大学建筑设计研究院有限公司】
- 【杨新苗 清华大学交通研究所】
- 【田智宇 国家发改委能源研究所能源可持续发展研究中心】
- 【付 林 清华大学建筑学院】
- 【魏庆芄 清华大学建筑学院】
- 【杨姗姗 清华大学碳中和研究院】
- 【苏 腾 北京清华同衡规划设计研究院有限公司】
- 【孙国瑜 北京清华同衡规划设计研究院有限公司】
- 【张东旭 北京清华同衡规划设计研究院有限公司】

感谢赵文飞、庄智宇、田桢懿的图像绘制以及资料整理的工作贡献。

ACKNOWLEDGEMENT

This Report on International Low-carbon Technology Development towards Carbon Neutrality is coordinated and authored by the Institute of Ecological Cities at Beijing Tsinghua TongHeng Urban Planning & Design Institute. It is guided by the Beijing Municipal Ecology and Environment Bureau, and led by the Beijing Municipal Ecology and Environment Protection Propaganda Center. Funding support for this research is provided by the Energy Foundation.

This Report on International Low-carbon Technology Development towards Carbon Neutrality is a project/task under the Energy Foundation's Low-Carbon City Project/Working Group.

During the research process of this project, the research team received strong support from the Beijing Municipal Ecology and Environment Bureau, the Beijing Municipal Ecology and Environment Protection Propaganda Center, and the Energy Foundation. This support included Chief Engineer Chen Weimin, Director Ming Dengli, Director An Xinxin, Deputy Director Long Yan, Deputy Section Chief Wang Yuan, Dr. Liu Jingqi, Director Wang Zhigao, Supervisor Lin Weiwei, and Senior Commissioner Shi Shengnan. We would like to express our sincere gratitude to them.

The research team would also like to express their gratitude to the following experts for their contributions during the project research process:

- [Yuan Xin, Beijing Tsinghua Tongheng Urban Planning & Design Institute Co., Ltd.]*
- [Li Xun, China Academy of Urban Planning and Design]*
- [Lu Xi, Tsinghua University Institute of Carbon Neutrality]*
- [He Dongquan, Energy Innovation , China Region]*
- [Jiao Jian, Beijing Institute of Architectural Design Co., Ltd.]*
- [Huang Xianming, Tsinghua University Architectural Design and Research Institute Co., Ltd.]*
- [Yang Xinmiao, Tsinghua University Institute of Transportation Studies]*
- [Tian Zhiyu, Energy Research Institute, National Development and Reform Commission, Center for Energy Sustainable Development]*
- [Fu Lin, School of Architecture, Tsinghua University]*
- [Yang Shanshan, Tsinghua University Institute of Carbon Neutrality]*
- [Wei Qingpeng, School of Architecture, Tsinghua University]*
- [Su Teng, Beijing Tsinghua Tongheng Urban Planning & Design Institute Co., Ltd.]*
- [Sun Guoyu, Beijing Tsinghua Tongheng Urban Planning & Design Institute Co., Ltd.]*
- [Zhang Dongxu, Beijing Tsinghua Tongheng Urban Planning & Design Institute Co., Ltd.]*

The research team would like to express their gratitude to Zhao Wenfei, Zhuang Zhiyu, and Tian Zhenyi for their contributions in image drawing and data organization.

关于清华同衡生态城市研究所/关于能源基金会

清华同衡生态城市研究所，是北京清华同衡规划设计研究院有限公司的一级专业所，致力于生态城市、生态住区的研究与实践，业务范围涵盖城市生态规划与策划、低碳规划编制、城市规划及城市设计各阶段的生态专题研究咨询以及城乡生态修复与生物多样性保护规划、湿地生态修复等。

能源基金会是在美国加利福尼亚州注册的专业性非营利公益慈善组织，于1999年开始在中国开展工作，致力于中国可持续能源发展。基金会在北京依法登记设立代表机构，由北京市公安局颁发登记证书，业务主管单位为国家发展和改革委员会。

ABOUT Department of Sustainable City Planning at THUPDI/ ENERGY FOUNDATION CHINA

The Department of Sustainable City Planning at THUPDI belongs to Beijing Tsinghua Tongheng Urban Planning & Design Institute Co., Ltd.. As a primary specialized institute within Beijing Tsinghua Tongheng Urban Planning & Design Institute, it is dedicated to the research and practice of ecological cities and eco-districts. Its scope of work covers urban ecological planning and strategy, low-carbon planning, ecological thematic research and consulting at various stages of urban planning and design, as well as rural-urban ecological restoration, biodiversity conservation planning, wetland ecological restoration, and more.

The Energy Foundation is a professional non-profit charitable organization registered in California, United States, and has been working in China since 1999, committed to the development of sustainable energy in China. The Foundation shall register and set up a representative office in Beijing according to law, and the registration certificate shall be issued by the Beijing Municipal Public Security Bureau, and the competent unit shall be the National Development and Reform Commission.

报告正文

免责声明

本处特别声明，报告中陈述的观点仅代表作者个人意见，不代表能源基金会的观点。能源基金会不保证本报告中信息及数据的准确性，不对任何人使用本报告引起的后果承担责任。

-凡提及某些公司、产品及服务时，并不意味着它们已为能源基金会所认可或推荐，或优于未提及的其他类似公司、产品及服务。

Disclaimer

-Unless otherwise specified, the views expressed in this report are those of the authors and do not necessarily represent the views of Energy Foundation China. Energy Foundation China does not guarantee the accuracy of the information and data included in this report and will not be responsible for any liabilities resulting from or related to using this report by any third party.

-The mention of specific companies, products and services does not imply that they are endorsed or recommended by Energy Foundation China in preference to others of a similar nature that are not mentioned.

目录CONTENT

壹 / 执行摘要 - 11

报告重点 - 12

贰 / 研究概述 - 14

研究背景 - 16

研究目标 - 17

叁 / 相关政策与趋势 - 18

相关政策 - 20

趋势研判 - 26

肆 / 技术应用现状与最佳案例 - 29

案例综述 - 30

国内外低碳技术应用现状与前景研究 - 31

全球最佳实践案例 - 32

北京最佳实践案例 - 49

伍 / 面向碳中和的技术盘点 - 65

技术盘点方法 - 68

能源技术盘点 - 69

建筑技术盘点 - 80

交通技术盘点 - 94

陆 / 技术应用评估工具 - 105

评估目标 - 106

构建准则 - 106

构建方法 - 107

评估体系 - 107

技术应用评估 - 110

柒 / 应用场景 - 113

生活场景 - 114

工作场景 - 118

交通场景 - 122

游憩场景 - 126

捌 / 附件 - 131

参考文献 - 133

内容简介

本报告《面向碳中和的国际低碳技术发展研究报告》旨在回顾全球应对气候变化的历程和相关政策，研判未来发展趋势；通过构建面向碳中和的技术应用评估工具，对能源、建筑和交通等主要领域的绿色低碳技术的发展历程、关键技术及其趋势方向、典型案例和专家观点进行研究，全面盘点面向碳中和的绿色低碳技术，形成的研究成果。最终通过生活、工作、交通和游憩四大场景的构建，展现碳达峰碳中和与全民生活息息相关的未来愿景，展示人与自然和谐共生的美好蓝图。

1

执行摘要

01 报告重点

执行摘要

报告重点

1. 研判趋势

研判双碳目标下的城市发展趋势。研究通过相关政策的研究，总结回顾历史进程，分析全球碳排放发展历程及国别差异，明确我国实现碳中和目标的挑战和核心问题，立足国情和发展实际，从而研判四大趋势。一是供给供给侧能源结构的彻底转变；二是需求侧高度电气化；三是建筑节能和绿色建筑普及化；四是实现高水平的绿色低碳循环经济体系。

2. 最佳案例

分析全球最佳实践案例先进技术的应用，形成技术应用评估工具的研究基础。通过研究国内外和北京低碳技术应用现状和最佳实践案例。分析能源、建筑和交通等重点行业关键技术的应用和管理与持续运维的手段，聚焦北京市绿色低碳高质量发展道路，研究北京最佳实践案例、前沿低碳技术以及绿色低碳理念，形成技术应用评估工具的研究基础。

3. 技术筛选

盘点能源、建筑和交通领域面向碳中和的先进技术，形成面向碳中和技术的评估工具。为构建科学的面向碳中和技术应用评估工具，明确评估范围，从面向碳中和的技术的先进性、成熟性、适用性、经济效益、环境效益和社会效益等维度构建评价准则，应用专家打分法、案例分析法、文献分析法等研究方式，最终形成可供评估面向碳中和技术的工具。

4. 应用场景

构建碳中和技术应用场景，展现碳达峰碳中和美好生活图景。为展示碳中和的未来场景，让社会各层面了解碳中和目标实现的意义，研究通过搭建技术应用场景，展现生活、工作、交通和游憩四大绿色低碳生活场景为目标，应用适宜低碳技术，对调研的内容进行遴选，并提出展示方式的建议，展现面向碳中和的未来生活图景。

2

研究概述

01 研究背景

02 研究目标

研究概述

研究背景

2060年实现碳中和，是党中央经过深思熟虑作出的重大战略决策。作为最大的发展中国家，我国实现这个宏伟的目标时间紧、压力大、任务重。在此背景下，如何绘制可落地的“碳中和”路线图、如何向社会各层面展示碳达峰、碳中和的重大意义、如何展示我国在“碳中和”工作中作出的努力及贡献，积极助力各相关技术领域的协同和有效市场转化，是双碳工作中的一项重要内容。同时，在当前发展阶段下，面向社会和公众推广双碳理念和技术工作的过程仍然面临诸多难点，包括科学概念纷繁复杂、技术体系快速迭代、应用方式面广量大等，亟待体系梳理和系统呈现。

研究目标

理清双碳战略的关键技术性实施内容，解答双碳目标下要“做什么”的问题。作双碳战略提出后，全社会各个领域均表现出高度的参与热情。尤其在政策驱动和技术革新引领下，资本也表现出高度的关注，碳中和、碳交易、碳资产、零碳或低碳技术等相关概念得到市场追捧。然而概念的热炒并没有真正回答一些关键的问题，尤其是面向双碳目标，到底要做什么？要做什么？要如何去做等等。同时，由于涉及领域复杂，不同学科和视角对碳达峰碳中和的观点及表述差异巨大，也使得有关理念显得纷繁不明确。本报告试图梳理面向双碳目标的关键领域和关键技术性实施内容，就是为了全面追踪各领域的双碳战略实施路径和技术选择，能够较为完整系统地弄清各方面为了实现双碳目标，正在做什么，以及将要做什么。

研究能源、建筑、交通等重点领域的双碳技术发展现状和趋势。为建立双碳目标下的全副图景，必须将关键领域作为研究对象，分类明晰政策导向和技术发展现状。本报告选取能源、建筑、交通为重点领域，全面开展文献和访谈调查，分析研判其发展趋势，梳理总结各方观点，研判各领域未来重点关注方向。鉴于工业领域涉及的双碳相关技术内容极为复杂，将在后续工作中进一步开展研究。

提出一种双碳技术的评价和展览展示筛选工具。什么样的技术是“好”的技术？是否值得推广？如何界定双碳技术的科学性、系统性和可持续性？本报告试图通过构建多维度的技术评估体系，明确评估准则，应用主客观结合的评估方法，来达到对技术应用评估工具的构建目标。评估工具可用于分析技术特征，判断其总体应用和推广价值。评估结果也是未来技术展览展示研判的工具之一。

构建面向公众的碳中和低碳技术应用场景。一方面，碳中和与每个人息息相关。碳中和不只是宏大的愿景，它和人民的日常生活和切身利益息息相关。另一方面，公众参与对于双碳目标的实现意义重大。如何让人民群众切实加入到双碳目标的具体推进工作中，让社会公众了解双碳目标的重要意义同时，能够亲身体会、亲自参与其中。本报告为此做了初步描绘。

3

相关政策与趋势

- 01 相关政策
- 02 趋势研判

相关政策与趋势

01 相关政策

国际背景

《巴黎协定》提出全球各国应共同努力确保将温升控制在2°C以内并争取控制在1.5°C以内。联合国政府间气候变化专门委员会发布的《IPCC全球升温1.5°C特别报告》指出，若将全球气温上升幅度控制在1.5°C以内，将能避免大量气候变化带来的损失与风险，例如，能够避免几百万人陷入气候风险导致的贫困，将全球受水资源紧张影响的人口比例减少一半，降低强降雨、干旱等极端天气发生的频率，减少对捕鱼业、畜牧业的负面影响。

为了实现这一目标，各国需在本世纪下半叶实现温室气体源的人为排放与汇的清除之间的平衡，即“净零排放”。《联合国气候变化框架公约》秘书处要求各缔约方在2020年提交长期战略，截至目前，已经有17个国家或地区向秘书处提交了2050长期战略。此外，很多国外城市也制定了“净零”或“碳中和”目标和行动计划。



图3-1 世界主要国家（包括欧盟）提出的碳中和目标
图片来源：Energy&Climate Intelligence Unit

中国行动

我国提出的“30-60”双碳目标对全球减排的战略意义重大。作为世界上最大的发展中国家，我国长期以来积极参与全球气候变化行动，从《联合国气候变化框架公约》到《巴黎协定》，我国在全球气候治理体系中的角色已经悄然发生转变，从被动地参与到主动地引领，从全球生态文明建设的贡献者到代表发展中国家发声、争取权益、协助提供碳减排支持，我国一直在向世界展示着坚定的中国态度。随着社会的不断进步，我国民众的环境保护意识也在不断增强，“让低碳绿色生活成为新时尚”已逐渐融入我们的日常生活。我国节能减排取得的一系列成果得到了社会的广泛认同，为我国实现碳中和目标奠定了良好的社会基础。

1. “1+N”顶层设计文件

2021年，我国开始全面部署和落实碳中和任务，中共中央、国务院及相关部委和各省市陆续出台相关政策，形成“1+N”政策体系。其中“1”指《碳达峰碳中和指导意见》，从顶层设计上明确了做好碳达峰碳中和工作的主要目标、减碳路径措施及相关配套措施。“N”则包括《2030年前碳达峰行动方案》以及重点领域和行业政策措施和行动，未来各个领域的碳达峰实施方案还将陆续出台。

2. 各部委积极落实《工作意见》

围绕《工作意见》，各部委密集出台相关支持政策，以及科技支撑、财政支持、绿色金融、绿色消费、生态碳汇、减污降碳、统计核算、标准计量、人才培养、干部培训等碳达峰碳中和支撑保障方案落实碳达峰碳中和工作部署。如下文表3-1、表3-2所示。

时间	发文机构	政策	主要内容	时间	发文机构	政策	主要内容
2020年12月	生态环境部	《2019-2020年全国碳排放交易配额总量设定与分配实施方案（发电行业）》	加快推进全国碳排放交易市场建设。同时，确定纳入配额管理的重点排放单位名单	2021年5月	生态环境部	《关于加强高耗能、高排放建设项目生态环境源头防控的指导意见》	提出坚决遏制高耗能、高排放项目发展。推进“两高”行业减污降碳协同控制
2020年12月	国务院新闻办公室	《新时代中国能源发展白皮书》	中国坚持创新、协调、绿色、开放、共享的新发展理念，以推动高质量发展为主题，以深化供给侧结构性改革为主线，全面推进能源消费变革，构建多元的能源供应体系	2021年7月	国家发展改革委	《“十四五”循环经济发展规划》	提出推进循环经济发展，构建绿色低碳循环经济体系，助力实现碳达峰、碳中和目标
2021年1月	生态环境部	《碳排放权交易管理办法（试行）》	定位规范全国碳排放交易相关活动，规定了各级生态环境主管部门和市县参与主题得劲责任、权利和以为，以及全国碳市场运行的关键环节和工作要求	2021年9月	国家环保总局、商务部和科技部	《关于推进国家生态工业示范园区碳达峰碳中和相关工作的通知》	优化能源结构和产业结构；推动低碳技术创新应用转化；构建双碳目标管理平台；强化绿色低碳理念宣传教育
2021年1月	生态环境部	《关于统筹和加强应对气候变化与生态环境保护相关工作的指导意见》	协同优化高效的工作体系基本建立，在同一政策规则标准制定、统一监测评估、统一监督执法、统一督查问责等方面取得关键进展，气候治理能力明显提升	2021年9月	国家发改委等十部委	《关于印发全国特色小镇规范健康发展导则的通知》	特色小镇应按照碳达峰碳中和要求，协同推进经济高质量发展和生态环境高水平保护，有条件可开展屋顶分布式光伏开发
2021年1月	国务院	《关于加快建立健全绿色低碳循环发展经济体系的指导意见》	全方位全过程推行绿色规划、绿色设计、绿色投资、绿色建设、绿色生产、绿色流通、绿色生活、绿色消费	2021年10月	中共中央办公厅、国务院办公厅	《关于推动城乡建设绿色发展的意见》	到2025年，城乡建设绿色发展体制机制和政策体系基本建立，建设方式绿色转型成效显著；到2035年，城乡建设全面实现绿色发展，碳排放水平快速提升。

表3-1 各部委出台相关支持政策（截至2021年10月）

相关领域及区域政策体系一览表			
领域	发布时间	政策内容	部门
能源绿色低碳转型行动	2022年1月30日	《关于完善能源绿色低碳转型体制机制和政策措施的意见》	国家发展改革委、国家能源局
	2022年3月22日	《“十四五”现代能源体系规划》	国家发展改革委、国家能源局
	2022年3月23日	《氢能产业发展中长期规划（2021-2035年）》	国家发展改革委、国家能源局
	2022年5月10日	《煤炭清洁高效利用重点领域标杆水平和基准水平（2022年版）》	国家发展改革委等部门
	2022年6月1日	《“十四五”可再生能源发展》	国家发展改革委等九部门
节能降碳增效行动	2022年1月24日	《“十四五”节能减排综合工作方案》	国务院
	2022年6月17日	《减污降碳协同增效实施方案》	生态环境部等七部门
	2022年2月11日	《高耗能行业重点领域节能降碳改造升级实施指南(2022年版)》	国家发展改革委等四部门
工业领域碳达峰行动	2021年12月3日	《“十四五”工业绿色发展规划》	工业和信息化部
	2022年2月7日	《促进钢铁工业高质量发展的指导意见》	工业和信息化部 发展改革委 生态环境部
	2022年1月30日	《“十四五”医药工业发展规划的通知》	工业和信息化部等九部门
	2022年4月7日	《“十四五”推动石化化工行业高质量发展的指导意见》	工业和信息化部等六部门联合
	2022年4月21日	《化纤工业高质量发展的指导意见》	工业和信息化部 国家发展和改革委员会
	2022年4月21日	《关于产业用纺织品行业高质量发展的指导意见》	工业和信息化部 国家发展和改革委员会
	2022年6月17日	《推动轻工业高质量发展的指导意见》	工业和信息化部等五部门
	2022年6月21日	《工业水效提升行动计划》	工业和信息化部等六部门
	2022年6月29日	《工业能效提升行动计划》	工业和信息化部等六部门
	2022年8月1日	《工业领域碳达峰实施方案》	工业和信息化部 国家发展改革委 生态环境部
	城乡建设碳达峰行动	2021年10月21日	《关于推动城乡建设绿色发展的意见》
2022年1月19日		《“十四五”建筑业发展规划》	住房和城乡建设部
2022年2月11日		《“十四五”推进农业农村现代化规划》	国务院
2022年3月1日		《“十四五”住房和城乡建设科技发展规划》	住建部
2022年3月11日		《“十四五”建筑节能与绿色建筑发展规划》	住房和城乡建设部
2022年6月30日		《农业农村减排固碳实施方案》	农业农村部 国家发展改革委
2022年7月13日		《城乡建设领域碳达峰实施方案》	住房和城乡建设部
交通运输绿色低碳行动	2022年1月18日	《“十四五”现代综合交通运输体系发展规划》	国务院
	2022年1月21日	《绿色交通“十四五”发展规划》	交通运输部
	2022年6月24日	《中共中央 国务院关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》	交通运输部 国家铁路局 中国民用航空局 国家邮政局
循环经济助力降碳行动	2021年7月10日	《“十四五”循环经济发展规划》	国家发展改革委
	2022年2月10日	《加快推动工业资源综合利用实施方案》	工业和信息化部等八部门
绿色低碳科技创新行动	2022年4月2日	《“十四五”能源领域科技创新规划》	国家能源局 科技部
	2022年8月18日	《科技支撑碳达峰碳中和实施方案（2022—2030年）》	科技部等九部门

表3-2 相关领域及区域政策体系一览表（截至2022年10月）

相关领域及区域政策体系一览表			
领域	发布时间	政策内容	部门
碳汇能力巩固提升行动	2021年12月31日	《林业碳汇项目审定和核证指南》（GB/T 41198-2021）	国家市场监督管理总局、中国国家标准化管理委员会
	2022年2月21日	《海洋碳汇经济价值核算方法》	自然资源部
绿色低碳全民行动	2022年5月17日	《加强碳达峰碳中和高等教育人才培养体系建设工作方案》	教育部
各地区有序出台碳达峰行动方案	2022年8月22日	《关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的实施意见》	中共福建省委 福建省人民政府
	2022年8月22日	《海南省碳达峰实施方案》	海南省人民政府
	2022年8月1日	《吉林省碳达峰实施方案》	吉林省人民政府
	2022年7月28日	《上海市碳达峰实施方案》	上海市人民政府
	2022年7月25日	《中共广东省委 广东省人民政府关于完整准确全面贯彻新发展理念推进碳达峰碳中和工作的实施意见》	中共广东省委 广东省人民政府
	2022年7月18日	《江西省碳达峰实施方案》	江西省人民政府
	2022年6月28日	《内蒙古自治区党委 自治区人民政府关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的实施意见》	内蒙古自治区党委 自治区人民政府
	2022年6月8日	《浙江省碳达峰碳中和科技创新行动方案》	浙江省委科技强省建设领导小组
	2021年5月13日	《中共广西壮族自治区委员会 广西壮族自治区人民政府关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的实施意见》	中共广西壮族自治区委员会 广西壮族自治区人民政府
	2022年4月6日	《中共江西省委 江西省人民政府关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的实施意见》	中共江西省委 江西省人民政府
	2022年3月31日	《中共四川省委 四川省人民政府关于完整准确全面贯彻新发展理念 做好碳达峰碳中和工作的实施意见》	中共四川省委 四川省人民政府
	2022年3月22日	《关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的实施意见》	中共湖南省委 湖南省人民政府
	2022年3月21日	《上海证券交易所“十四五”期间碳达峰碳中和行动方案》	上海证券交易所
	2022年2月23日	《河南省“十四五”现代能源体系和碳达峰碳中和规划》	河南省人民政府
	2022年2月17日	《关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的实施意见》	中共浙江省委 浙江省人民政府
	2022年1月15日	《中共河北省委 河北省人民政府关于完整准确全面贯彻新发展理念认真做好碳达峰碳中和工作的实施意见》	中共河北省委 河北省人民政府
	2022年11月30日	《中共吉林省委 吉林省人民政府关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的实施意见》	中共吉林省委 吉林省人民政府
其他支持政策	2022年10月11日	《北京市碳达峰实施方案》	北京市人民政府
	2021年11月27日	《关于推进中央企业高质量发展做好碳达峰碳中和工作的指导意见》	国资委
	2022年3月15日	《做好2022年企业温室气体排放报告管理相关重点工作》	生态环境部
	2022年5月13日	《银行业保险业绿色金融指引》	中国银保监会
	2022年5月31日	《支持绿色发展税费优惠政策指引》	国家税务总局
	2022年5月31日	《财政支持做好碳达峰碳中和工作的意见》	财政部

表3-2 相关领域及区域政策体系一览表（截至2022年10月）

02 趋势研判

1. 2030碳达峰实现的总体路径

从总体上看，**提高能效、结构性优化能源服务需求、提高终端电气化率和电力系统脱碳化**是实现中国国家自主贡献目标的主要途径。尽管中国在过去几十年里一直致力于提高能源效率，将单位GDP能耗从1990年比全球平均水平高出4倍降低到目前低于全球平均水平的2倍，进一步改善的潜力仍然巨大。要实现国家自主贡献目标，需在不同领域采取广泛行动，单位GDP能源消费量需要进一步从2015年的约0.92吨标煤/万元下降到约0.54吨标煤/万元，降幅约在41.3%左右。化石能源发电的效率需要进一步改善，要加快淘汰落后的燃煤电厂，逐步更新为超临界燃煤机组、整体煤气化联合循环煤机组和天然气联合循环机组等高效发电机组。交通部门能效提升的方面包括实施更严格的车辆燃油经济性标准，降低单位周转量能耗等。在建筑行业，包括通过改善建筑和供

热管道的保温性能，以及利用废热和高效的加热技术，需要将2030年北方采暖地区单位面积的供热能耗比2015年降低35%左右。工业领域应该更规模化地采用节能技术，如高效的废热回收技术和高效的锅炉和汽车，以及清退低效工业设施，将使能源消耗与工业领域的经济增长脱钩。

电力部门的脱碳对终端部门的脱碳至关重要，通过以电代煤、电动汽车的推广等，中国终端部门的电气化率将有可能从2015年的约21%提高到2030年的约28%，而电能将成为最终能源消耗的主要来源。同时，电气化率的上升还需要配合显著的电力系统脱碳，每度电的碳强度需要从2015年的约541gCO₂/kWh下降到2030年的387gCO₂/kWh以下，超过一半的发电量来自燃煤机组以外的清洁能源，包括天然气、核能和可再生能源。

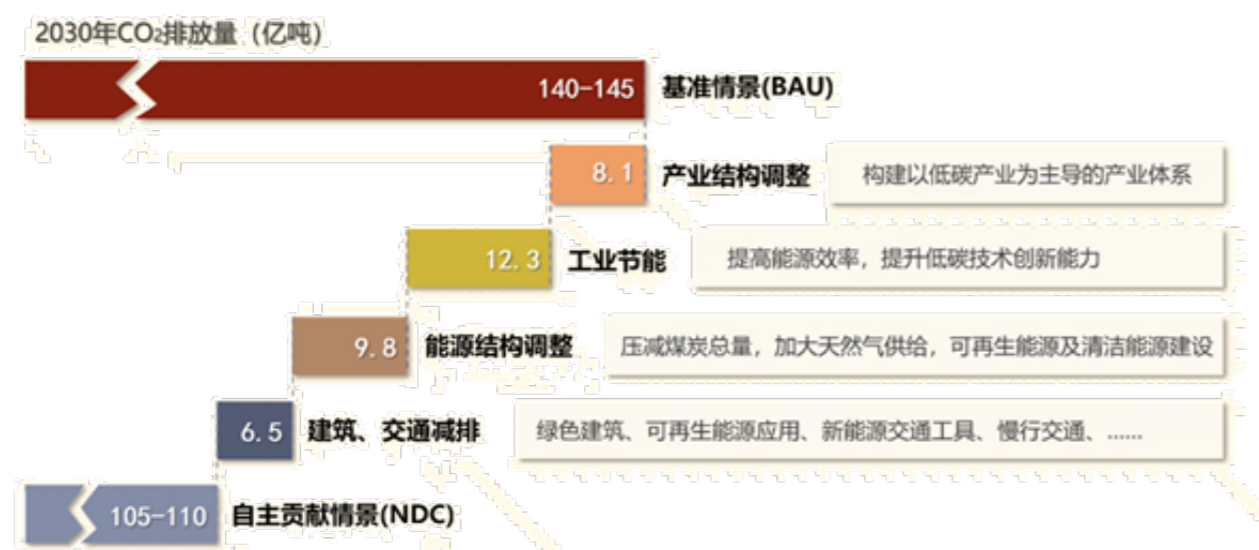
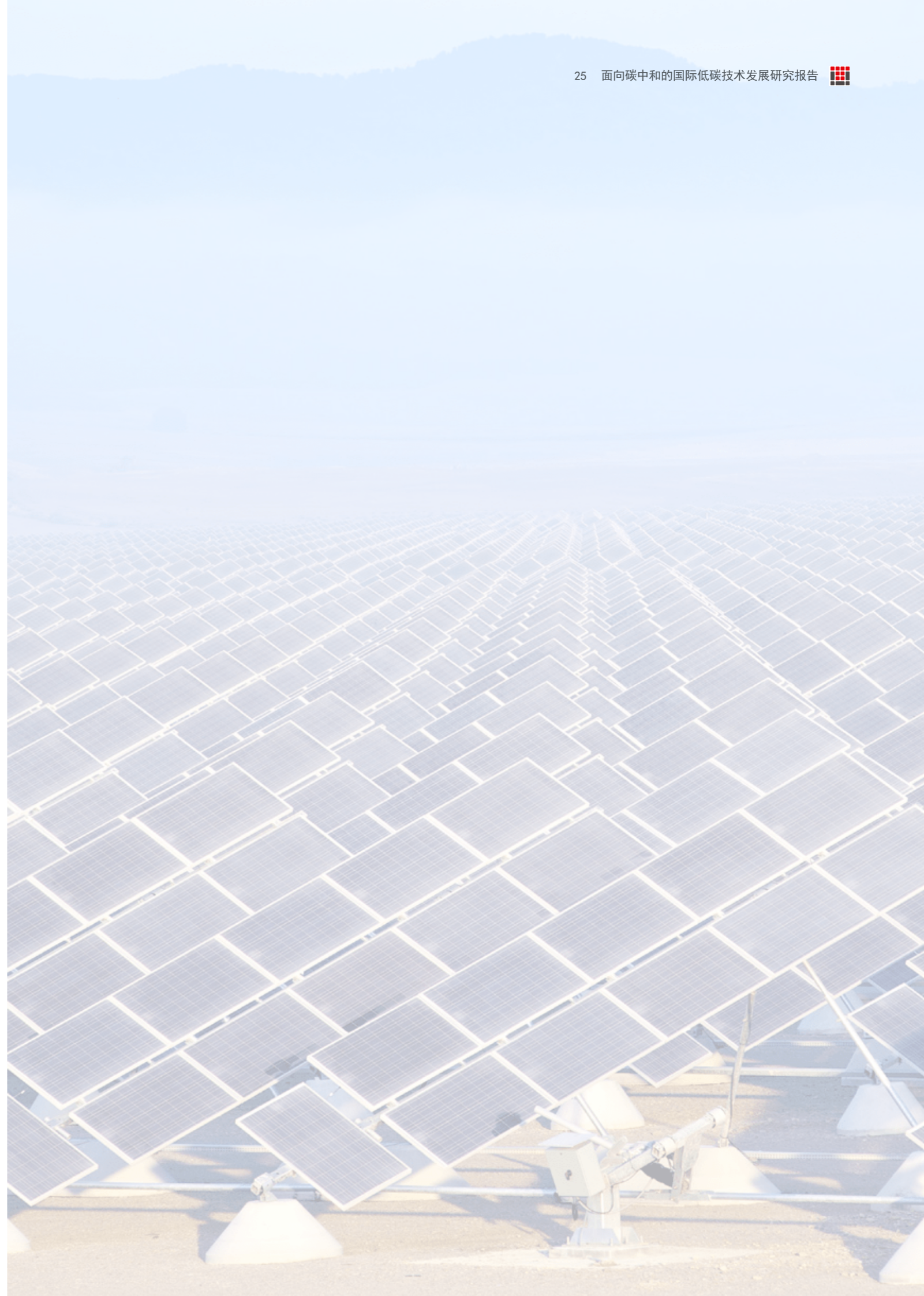


图3-2 中国国家自主贡献实施进展和路径示意图
资料来源：柴麒敏 等，2019



2. 面向碳中和目标的重大趋势

趋势一：供给侧能源结构的彻底转变

要实现碳中和，就意味着从2020年到2060年这40年间，中国的碳排放要从目前每年的近亿吨降低到“近零”排放。这是一个高难度的目标，根据有关研究，当前能源结构中，以煤、天然气等不可再生能源为主的供能结构将不复持续，火电将大面积退出，电网将以风力、光伏发电为主，辅以核电、水电、生物质发电技术，并以氢储能技术为重要的储能和调峰措施。

近年来，可再生能源成本的快速下降。2010年至2019年，在全球范围内光伏发电、光热发电、陆上风电和海上风电项目的加权平均成本已经分别下降了82%、47%、39%和29%。预计“十四五”期间，我国能源的增量将主要靠非化石能源，特别是可再生能源提供。

趋势二：需求侧高度电气化

根据国网能源研究院2019年12月的研究成果，终端电气化率将在2050年达到50%以上，其中工业、建筑、交通部门分别达到52%、65%、35%。

为实现巴黎协定，许多国家纷纷制定在2025年后逐步淘汰燃油车，禁止出售汽柴油车的政策。安永预测新能源汽车销量将在未来12年内超过燃油车，中汽协预计未来五年中国新能源汽车销量年均增速40%以上。据预测，到2030年，私人自用领域新能源汽车与充电桩比达到1:1，到2060年，全国充电桩总数将超过5亿个。到2045年电动车渗透率达到100%。氢燃料动力汽车技术将主要用于客货运输。

建筑领域也将要求实现充分地电气化，除供暖领域将更加突出热泵技术应用外，公建餐饮和住宅炊事电气化亦是重点。

趋势三：绿色建筑和BIPV的普及化

建筑节能和绿色建筑将需要长足发展。根据国务院新闻办公室《新时代的中国能源发展白皮书》，截止2019年底，我国累计建成节能建筑面积198亿平米，占城镇既有建筑面积比例超过56%。推动既有居住建筑节能改造，提升公共建筑能效水平，是建筑领域节能的重要途径。在居民制冷、取暖领域，热泵技术可以有效利用空气热能，较现有的壁挂炉、电加热等方式更节能。

此外，建筑光伏一体化设计（BIPV）也将助推分布式低碳能源网络的建设，直流建筑和直流电器也将逐步推广发展，智能电网技术将分布式能源系统的成本收益进一步合理化，提升该体系的现实应用价值。

趋势四：实现高水平的绿色低碳循环经济体系

再生资源的回收利用可以有效减少初次生产过程中的碳排放。目前来看，潜力主要集中在三大领域，包括：1) 高耗能行业（钢铁、水泥、铝和塑料）的产品再生；2) 废弃物（秸秆、林业废弃物、生活垃圾）的能源化利用；3) 动力电池回收利用。

重点领域	重点领域细分	关键突破口	2050年市场规模
高耗能行业的产品再生	废钢铁回收利用	确保废钢供应、废钢回收的垂直整合，重点关注EAF钢铁生产规模持续扩大的趋势	7130亿元
	废水泥回收利用	关注建筑垃圾回收利用政策目标较严的地域作为混凝土回收利用市场同时大力发展熟料回收技术	240亿元
	废铝回收利用	提升废铝处理为符合合金成份、性能要求的技术	6430亿元
	废塑料回收利用	完善废塑料收集处理系统，鼓励废塑料物理回收商业模式和化学回收技术创新	3340亿元
	其他(其他废有色废纸、轮胎等)	从设计、使用、丢弃、处理、回收再用全生命周期角度出发的技术和商业模式	4280亿元
废弃生物质的能源利用	秸秆和林业废弃物能源化利用	覆盖收集、加工、运输、利用的全产业链建设，推动多途径、高附加值利用	3430亿元
	生活垃圾回收和能源化利用	完善生活垃圾分类系统，包括收集设备、封闭式运输和末端处置等	1800亿元
	畜禽粪便回收和能源化利用	发挥畜禽粪便资源优势，终端渠道资源提升能源化利用技术水平	630亿元
循环经济中的储能市场	可大规模利用的商业模式创新、梯级和资源化利用等技术突破	1145亿元	

表3-3 中国零碳图景下的再生资源利用重点领域突破口及市场规模（资料来源：落基山研究院）

4

技术应用现状 与最佳实践案例

- 01 案例综述
- 02 国内外低碳技术应用现状与前景研究
- 03 全球最佳实践案例
- 04 北京最佳实践案例

技术应用现状与最佳实践案例

01 综述

本章研究全球低碳技术应用现状与未来前景，总结主要国家碳中和战略布局以及重点发展技术。分析中国作为最大的发展中国家在碳中和工作中时间紧、任务重的背景下，亟待借鉴来自全球各国的先进技术成果和最佳实践经验，这不仅仅涉及到技术层面的创新与推广和应用，也需要从顶层政策、机制设计乃至到引导社会观念意识等方面积极谋权变革转变。

案例研究中，国际案例包括哥本哈根城市碳中和计划、加州Google Bay View园区；国内案例包括乌兰察布源网荷储示范项目、张北柔性直流电网试验示范工程、宝丰能源国家级太阳能电解水质氢综合示范、深圳未来大厦；北京市案例包括金风科技园、大兴机场、北京冬奥会和冬残奥会场馆建设及绿色低碳政策制定、大兴氢能产业园等。

在案例研究中，分析全球最佳实践案例先进技术的应用，关注管理与持续运维手段。这其中包含在城市视角下《哥本哈根城市碳中和计划》以及大型赛事管理的北京冬奥会和冬残奥会的低碳管理手段的研究，分析促进可持续城市发展，减少城市碳减排的顶层设计手段；储能项目包含乌兰察布源网荷储项目以及张北柔性直流电网示范工程、国家级太阳能电解水质氢综合示范，以上项目探索了储能项目的应用，并在提高其效率和可靠性上进行突破和探索；绿色可持续建筑和园区的研究包含冬奥会及东残奥会场馆、Google Bay View园区、深圳未来大厦、大兴机场和大兴氢能产业园，以上研究案例建筑的“零”碳排放，不仅有赖于“零碳技术应用，更是建筑从“耗能到“产能”的身份转变，这其中涉及到多项技术的系统性

应用以及建筑与外部市政设施的链接等。

以上案例都是在推动可持续发展和碳中和方面具有重要意义的项目。这些项目采用了多种可再生能源技术和碳中和技术，以实现可持续的能源供应和减少碳排放。虽然这些项目都具有很多优势，但是也存在一些挑战，如成本和技术难度等。因此，在未来的发展中，需要继续对面向碳中和的技术进行研究和推广，以实现更加可持续的发展。



图4-1 齐鲁-胜利油田 CCUS 项目（图片来源：互联网）

02 国内外低碳技术应用现状与前景研究

1. 主要国家碳中和战略布局及重点发展技术

对于欧美等发达国家来说，碳达峰是一个伴随着国家经济和技术发展的自然过程，从碳达峰到碳中和的实现，通常有50~70年的过渡期。通过梳理发达国家和地区碳中和战略布局的重点技术清单（表4-1），可以得出3个共性特点：**构建零碳能源体系是各国战略布局的核心**。重点是大力发展可再生能源，逐步减少煤炭等化石燃料使用，推动能源终端消费电气化。**促进产业低碳转型是各国建立绿色经济的着力点**。大力推动高能

耗、高排放工业部门低碳和零碳转型，重点建立低碳产业示范集群，加速建筑节能改造和绿色转型，推进交通电气化、绿色化。保护并增强陆地和海洋生态系统固碳能力是各国提高气候治理水平的重要途径。**加大增强自然碳汇的行动部署，并构建多元负排放技术体系**。

实现碳中和目标是一项艰巨的挑战，要求各国清洁能源技术创新发生质的飞跃。根据国际

表4-1 主要发达国家和地区碳中和战略布局重点技术

国家地区	重点技术
美国	小型模块化反应堆、核聚变、绿氢、CCUS、电池储能、下一代低碳建筑、可再生能源、先进核能、可持续航空燃料、生物燃料、电动汽车、气候智能型农业等
欧盟	可再生能源、氢能、综合能源系统、智能电网、储能、CCUS、工业脱碳和数字化转型、绿色建筑、可持续和智能交通、精准农业、有机农业生态系统、生物经济、合成低碳燃料等
德国	绿氢、储能、电动汽车、智能电网、交通网络电气化、生物燃料、燃料电池、低排放工业生产技术、气候与环境友好型建筑、数字化能源系统、热电联产现代化、生态农业等
法国	可再生能源、核能、绿氢、能源网络、生态城市、工业脱碳、CCUS、绿色交通基础设施、电动汽车、生物基产品和可持续燃料、可持续农业系统等
英国	储能、氢能、海上风电、先进核能、电动汽车、交通网络电气化、零排放飞机、可持续交通燃料、清洁能源、绿色建筑、工业燃料转型、生物能源、直接空气碳捕集和先进CCUS、环境保护、能源领域人工智能等
日本	可再生能源、氢能与氨燃料、供热脱碳、先进核能、核聚变、电动汽车、储能、零排放船舶、智慧农林渔业、低碳半导体、航空电气化、碳资源化利用、净零排放建筑、资源回收再利用等
韩国	可再生能源、零能耗建筑、智能电网、电动汽车、氢能与燃料电池、资源回收再利用、氢还原炼铁、低碳燃料、智慧工厂、低碳半导体、生物能源、CCUS、智慧能源管理系统、智慧农业渔业、碳汇等

能源署的统计，全球电气化、氢能、生物能源及CCUS等关键技术领域的创新投入仅为成熟低碳发电技术和能效技术公共研发资金的1/3，并且到2050年几乎一半的减排量将来自目前还处于示范或原型开发阶段的技术。当前各国的研究部

署与实现碳中和目标还存在巨大的差距，必须通过加强跨领域交叉研究来破解碳中和相关的重大科学问题，引导技术突破形成全面支撑碳中和愿景的核心技术体系。

	欧盟	英国	日本	美国	韩国
立法	欧洲气候法(2020年)	2008年气候变化法案(2050年目标修正案)(2019年)	全球变暖对策推进法修正案(2021年)		
综合战略	欧洲气候中和战略愿景(2018年) 欧洲绿色协议(2019年) 应对气候变化一揽子提案(2021年)	绿色工业革命10点计划(2020年)	2050年绿色增长战略(2020年) 更新2050年碳中和绿色增长战略(2021年)	关于应对国内外气候危机的行政命令(2021年)	绿色新政计划(2020年) 2050碳中和战略(2020年) 2021年碳中和实施计划(2021年)
能源/基础设施	欧洲氢能战略(2020年) 能源一体化战略(2020年) 综合能源系统2030年研发路线图(2020年)	国家基础设施战略(2020年) 能源白皮书:推动零碳未来(2020年) 英国氢能战略(2021年)	氢能基本战略(2017年)	可持续基础设施与公平清洁能源未来计划(2020年) 氢能计划(2020年) 清洁能源革命与环境正义计划(2020年) 储能大挑战路线(2020年) 清洁未来法案(2021年)	韩国氢能经济路线图(2020年) 促进氢经济和氢安全管理法(2020年)
其他领域	新工业战略(2020年) 循环经济行动计划(2020年) 2030生物多样性战略(2020年) 森林战略(2021年)	工业脱碳战略(2021年) 交通脱碳计划(2021年) 净零创新投资组合计划(2021)	革新环境技术创新战略(2020年)		碳中和科技创新推进战略(2021年)

表4-2 主要发达国家和地区碳中和重点战略部署内容示例

2. 工作挑战与重点发展技术

2.1 现状及挑战

最大的发展中国家、最大碳排放强度降幅、最短时间实现从碳达峰到碳中和是对中国实现碳中和的最好概括。中国从自身国情出发，提出了“努力争取2060年前实现碳中和”的战略目标。中国目前的碳排放量大约占全球排放总量的29%，作为世界上最大的发展中国家，中国将完成全球最大的碳排放的强度降幅，用全球历史上最短的实践来实现从碳达峰到碳中和。

实现碳中和必将带来一场广泛而深刻的经济社会变革。虽然我国已基本具备了实现碳中和的基础条件，但从我国当前的碳排放规模和行业结构来看，实现碳中和的目标还存在挑战。这包含经济发展需求与节能减排的约束、能源转型面临的重大挑战以及碳中和目标下的社会观念意识的转变。**这更加证明碳达峰、碳中和是一项全局性长期性的工作**，不仅是一个环境问题或是能源问题，也并不单是单纯地技术问题，它是一个全局性发展问题，需要社会协同应对。

2.2 技术攻关方向

“碳中和”愿景的技术支撑体系需要供给端和需求端共同发力。在实现“碳中和”目标时期，能源供给端应依托新能源发电技术、氢能技术余储能技术实现化石能源的替代；在能源消费端，创新并推广节能减排技术，科技企业利用其数字化技术助力“碳中和”平台搭建和传统企业的绿色化转型；最后，创新并逐步应用CCUS技术，辅助高排放部门有效减排。

碳中和涉及领域极为广泛，涵盖了电力、化工、钢铁、水泥、交通、建筑等系列产业，与国家能源结构和产业结构息息相关。要实现人为碳源排放降低与人为碳汇的增强，涉及能源、资源、生态、大气、海洋、工程、技术、管理等诸多学科及其综合研究，同时这一延续数十年的重大课题也将带动前沿技术、颠覆性技术的多轮迭代、接续发展。

通过综合分析国际碳中和战略行动布局及碳中和的科技内涵，开展专家调查法（德尔菲法）和文献调研，本报告参考《国际碳中和战略行动与科技布局分析及对我国的启示建议》中对碳中和科技问题的总结，编制形成了技术清单；针对实现碳中和所需的“减排”和“增汇”两条根本路径，围绕“构建零碳能源体系”“再造低碳产业流程”“生态固碳增汇/负排放”三大布局方向，梳理出14个重要科技问题，归纳提出了面向近、中、远期不同发展阶段的超过70项关键技术突破需求。

碳基能源分子高效洁净利用与转化的物化基础与过程

- 低碳制清洁燃料 & 化学品 (近-中)
- 清洁燃烧与高效发电 (近)
- 多点源污染物一体控制 (近-中)

可再生能源高效转化利用变革性原理和低成本规模化储能新方法

- 太阳能高效转化利用 (近-中)
- 深海高空风电高效转化 (中)
- 生物质高效转化与高值利用 (中)
- 海洋能规模化高效利用 (中-远)
- 地热利用与深层开采 (中-远)
- 大规模长寿命物理储能 (近-中)
- 新型高能电化学储能 (中-远)

先进核裂变与可控核聚变安全高效利用

- 先进核燃料循环系统 (中)
- 核能非电综合利用 (中)
- 乏燃料后处理与高放废物安全处理处 (中)
- 可控核聚变 (远)
- 新型高能电化学储能 (中-远)

新能源化学体系构建

- 绿氢/氨制备 (近-中)
- 绿氢/氨高效储运 (近-中)
- 燃料电池及系统集成 (中-远)
- 绿氢/氨多场景应用 (中-远)

新型电力系统多时空耦合与系统形态演化

- 交直流混联电网 (近-中)
- 新能源发电并网消纳 (近-中)
- 多能互补与供需互动 (近-中)
- 新型电力电子装备 (近-中)

能势匹配和多能互补综合利用

- 能的综合互补利用 (近-中)
- 多能系统规划设计及运行管理 (近-中)
- 能源系统智慧化 (中-远)
- 多能源载体多能融合 (中-远)

绿色冶金过程工程

- 冶金节能增效技术 (近-中)
- 冶金电气化应用 (近-中)
- 生物质/氢燃料替代 (中-远)
- 短流程冶金工艺 (中-远)
- 氢冶金 (中-远)
- 钢化联产 (中-远)
- 物质能量循环利用 (中-远)
- 有色湿法冶金工艺 (中-远)
- 有色生物冶金工艺 (远)
- 冶金+CCUS (中)

可持续绿色化工材料与工艺过程

- 化工节能增效技术 (近-中)
- 分子炼油与分子转化 (近-中)
- 分子炼煤 (近-中)
- 绿氢与化工融合 (中-远)
- 可再生能源驱动化工合成 (中-远)
- 化工+CCUS (中-远)

智能低碳交通系统

- 交通节能技术 (近-中)
- 交通电气化技术 (近-中)
- 低碳航空海运燃料 (中-远)
- 智能网联交通系统 (中-远)

低碳建材与工艺过程

- 建材节能增效技术 (近-中)
- 过程电气化应用 (中-远)
- 低碳水泥原材料替代 (中-远)
- 绿氢直燃 (中-远)
- 清洁替代燃料煅烧 (中-远)
- 建材+CCUS (中-远)

绿色节能与智能建筑设计理论与方法

- 建筑节能增效技术 (近-中)
- 建筑电气化 (近-中)
- 零碳供热和制冷 (近-中)
- 低碳燃料 (近-中)
- 新型围护结构和环境控制系统 (中-远)
- 建筑智能化技术 (中-远)

气候变化背景下区域生态系统碳收支及其循环过程机制

- 刻画碳循环复杂过程的地球系统模型 (近-中)
- 天空地一体化温室气体观测系统 (近-中)
- 温室气体源-汇清单核算方法 (近-中)

碳元素高效转化和循环利用

- CO₂捕集 (近-中)
- CO₂运输 (近-中)
- CO₂地质利用与封存 (近-中)
- CO₂转化制燃料和化学品 (中-远)
- CO₂矿物转化、固定和利用 (远)
- CO₂生物转化利用 (远)

基于自然的解决方案研究

- 生态保护与修复技术 (近-中)
- 土壤增汇技术 (近-中)
- 森林增汇技术 (近-中)
- 草原增汇技术 (近-中)
- 湿地增汇技术 (中-远)
- 海洋增汇技术 (中-远)

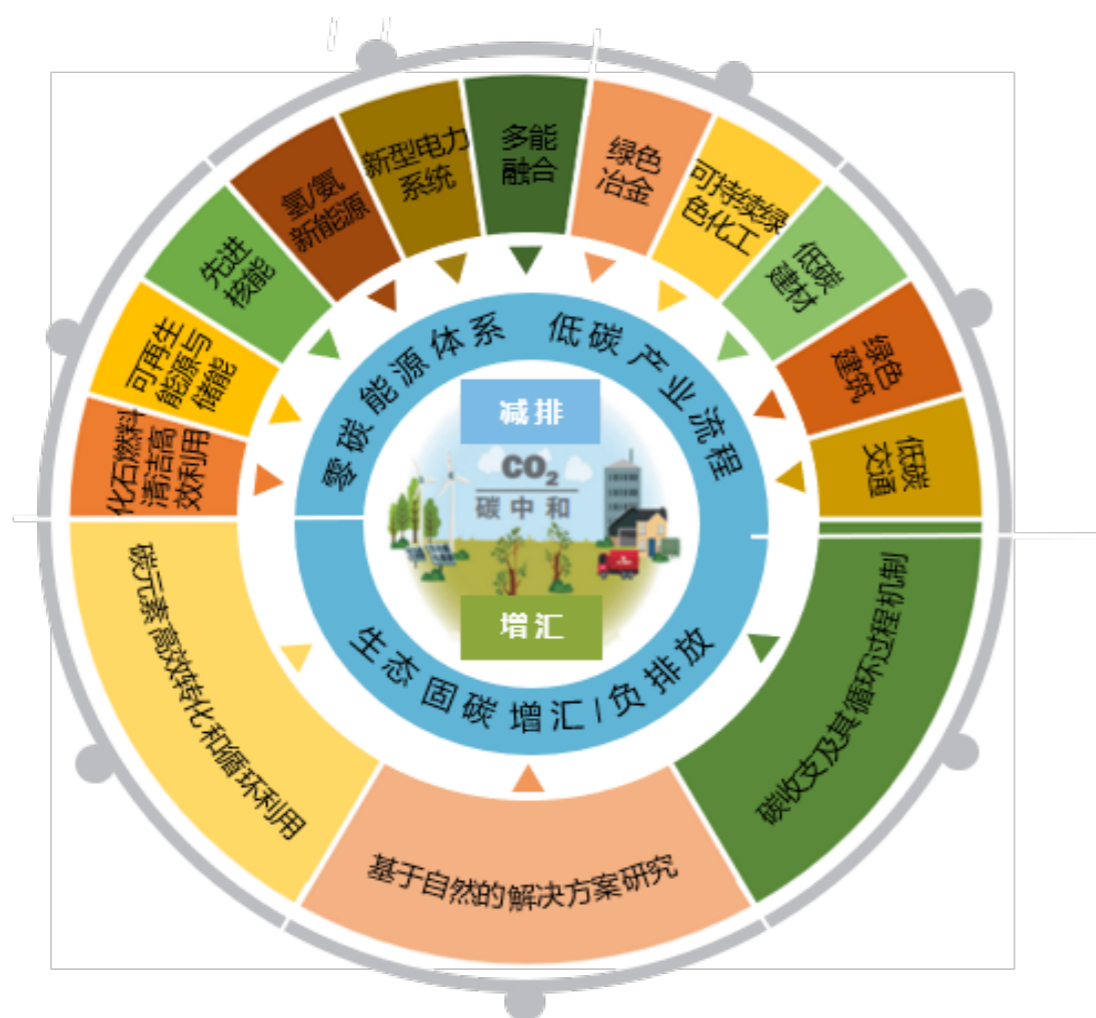


图4-2 碳中和工作涉及的重要科技问题
(图片来源: 国际碳中和战略行动与科技布局分析及对我国的启示建议, 曲建升等)

03 全球最佳实践案例筛选

1. 哥本哈根全球首个碳中和城市计划

2009年联合国气候变化大会期间，作为东道主的哥本哈根宣布要建设全球第一个碳中和城市：2015年使城市二氧化碳净排在2005年基础上减少20%；2025年降低为零。2020年，哥本哈根碳排放已经比2005年降低了40%以上。而早在2014年哥本哈根已被授予“欧洲绿色之都”的称号。

哥本哈根计划正稳步推进：2011年，哥本哈根已经提前实现了到2015年减排20%的目标，与2005年相比，二氧化碳排放量减少21%。根据最新数据，哥本哈根2019年的碳排放量约140万吨，较2005年下降了42%。虽然2022年8月，市长索菲亚·安德森突然宣布，2025年实现上述目标不太可能。但与2010年相比，哥本哈根至今已经完成80%的减排目标，将努力在2035年实现“迟到的”碳中和目标。与此同时，ARC仍然在努力建立一个全面的二氧化碳捕捉厂。预计从2027年起，每年可捕获50万吨二氧化碳。

在公布“零排放”的计划之后，哥本哈根市政府提出了50项具体措施。比如，采用集中区域供暖方案，目前已满足98%城市供热需求，热能主



图4-3 自行车上的城市
(图片来源：互联网)

要来自先进高效的垃圾焚烧站；又如，推广步行、骑自行车和乘坐公共交通工具方式，并发展电动车和氢动力车。当前已有一半的哥本哈根居民骑自行车出行，每年可节省的因污染、噪音、事故和拥堵带来的成本达4300万美元。另外，要求发电厂采用风力、地热和生物质能发电，鼓励民间资本投资绿色能源开发等。

尽管能源消耗仅占整体减排量的7%，但却是最有经济效率的减排方式之一。据此预测，哥本哈根每年通过节能可以减少大约5亿丹麦克朗(约5.2亿元人民币)的供暖费用。目前63%的丹麦住户与区域供热息息相关，他们的供暖与生活用水都来自区域供热。当使用热电联产发热和发电时，其整体能源效率要远高于分别发热与发电的方式。热电联产的效率可高达85-90%，与单独发热和发电相比，可节省约30%的燃料。区域供热和热电联产已经成为并将继续成为丹麦绿色转型的一个关键因素。哥本哈根经验显示，区域供热是最低碳、最灵活的能源生产和供应方式之一。

建筑能耗的降低反映了高效供热系统的贡献。丹麦政府一直致力于通过法律法规、行政财税等多种方式，降低建筑能耗，提高可再生能源使用比例。在全国范围内，通过规定新建建筑的能源效率指标，以及征收建筑采暖燃料税，建筑物的每平方米空间采暖净热量需求大大降低，目前丹麦新建建筑的供热能耗只有1977年之前的25%左右。丹麦最新建筑标准对2015—2020年新建建筑的能耗水平提出了明确要求，目标是新建建筑“能耗几乎为零”，主要依靠可再生能源供应。

当前，电力和热力供给是哥本哈根最大的碳排放源。据此预测，通过新建风力发电厂和生物质供热厂等一系列手段，哥本哈根计划在2025年实现每消耗一单位化石燃料，生产出一单位可再生能源，实现减少近90万吨的碳排放，占整体减

排量的近80%。此外，哥本哈根利用焚烧垃圾所产生的热能为城市提供暖气。

交通运输是这座城市碳排放量占比最大的单一领域，高达三分之一，而且还在不断增长。如何进一步提升步行、自行车及公共交通出行比例并扩大新能源汽车比例是减少交通部门14万吨碳排放的关键举措。在最新的哥本哈根“2025 零碳排放”计划中，市政府希望将骑自行车上班或上学的人群比例从30%多提高到50%。为此，哥本哈根市政府还为骑车一族打造自行车“高速公路”。该车道经过特别设计，尽可能减少中途的停靠，使用特别的交通信号系统，可以让骑车族享受“一路绿灯”。车道中途还设有自行车充气站、修理站和停靠站，可以使骑车族更安全地抵达目的地。新建成的自行车“高速公路”可以使哥本哈根市每年减少7000吨二氧化碳的排放，同时由于骑车

提升了居民健康，每年还可为政府节省3亿丹麦克朗(约3.1亿元人民币)的医疗支出。现在越来越多的哥本哈根市民把自行车作为出行的首选交通工具。

世界上超过一半的人口居住生活在城市里，同时这个比例还将不断提升。城市的可持续发展是实现“可持续发展”中的重要部分。哥本哈根在能源、交通、建筑等领域的创造性减排思路为世界上其他城市提供了借鉴经验。减少碳排放是城市可持续发展工作的一部分，一个可持续发展的城市，也一定是一个宜居城市，在那里人们可以轻松地生活和呼吸，工作和娱乐。



图4-4 哥本哈根最著名的绿色建筑-绿色灯塔
(图片来源：互联网)

2. 张北柔性直流电网试验示范工程

实现奥运史上首次全部场馆被城市绿色电网全覆盖

张北柔性直流电网试验示范工程是国家风光储输示范项目，已于2020年正式投入运行，是世界首个实现直流电网构建的重大科技示范工程，也是实现清洁能源大规模并网、推动能源革命、践行绿色冬奥理念的标志性工程。张北柔直工程是集大规模可再生能源的友好接入、多种形态能源互补和灵活消纳、直流电网构建等为一体的重大科技试验示范工程，也是世界首个真正具有网络特性的直流电网工程，创造了12项世界第一。

该工程采用世界上最先进的柔性直流电网新技术——柔性直流输电技术，建设张北、康保、丰宁和北京4座换流站，额定电压±500千伏，总换流容量900万千瓦，配套建设±500千伏直流输电线路666千米。张北、康保换流站作为送端直接接入大规模清洁能源，丰宁站作为调节端接入电网并连接抽水蓄能，北京站作为受端接入首都负荷中心。工程将张家口地区可再生能源安全高效地输送至北京市，全面满足北京和张家口地区冬奥场馆用电需求，可每年向北京输送140亿千瓦时的绿电，相当于北京年用电量的十分之一，年减排二氧化碳1280万吨。冬奥会赛时实现所有场馆100%使用绿色电力，实现奥运史上首次全部场馆被城市绿色电网全覆盖。



图4-5 国家风光储输示范项目架构布局图
(图片来源：互联网)



图4-6 国家风光储输示范项目架构布局图
(图片来源：互联网)



图4-7 张北柔性直流电网工程 (图片来源：互联网)

3. 乌兰察布源网荷储示范项目

全球规模最大源网荷储示范项目，国内首个储能配置规模达到千兆瓦时的新能源场站

项目建成后将成为全球储能装置配置最大的单体新能源场站



图4-8 乌兰察布源网荷储示范项目（图片来源：互联网）

该项目位于内蒙古乌兰察布，总建设规模200万千瓦，包括170万千瓦风电项目和30万千瓦光伏发电项目，配套建设55万千瓦×2小时储能系统。项目分为4个“风光储”单元，共建设1个智慧联合调度中心和4个升压储能一体化站。项目共分三期建设，工程总占地面积近960平方公里，是全国首个“源网荷储”项目、国内首个储能配置规模达到千兆瓦时的新能源场站，也是全球规模最大的“源网荷储”一体化示范项目。

以储能等新技术为突破口，通过“风光储”联合优化调度运行，可有效解决电力系统综合效率不高、“源网荷储”各环节协调不够、各类电源互补互济不足等问题。一期工程利用磷酸铁锂电池储能技术，共建设86个储能电池仓，一个仓11簇电池，每簇26个电池组，每组14个电池芯。这些电池仓可以储存电量28万千瓦时，相当于12727辆新能源汽车的储电量。目前，二三期仍在建中，将示范应用多种非锂电池新型储能技术，全面促进储能产业的科技创新。

乌兰察布“源网荷储”示范项目该项目建成投运后，将帮助提高当地电力系统的综合效率和源网荷协调等问题，提高清洁能源消纳水平，增强地区电力电网尖峰负荷保障能力，探索电网侧储能和绿色电力直供等新模式。预计每年可提供63.32亿千瓦时清洁电力，减少520.52万吨碳排放。

4. 宝丰能源国家级太阳能电解水制氢综合示范

中国首个用新能源替代化石能源真正实现“碳中和”路径的工业企业，或于2040年实现“碳中和”

宝丰能源实施的国家级太阳能电解水制氢综合示范项目包括20万千瓦光伏发电装置和产能为每小时2万标方的电解水制氢装置，于2021年4月在宁夏银川正式投产，是已知全球单厂规模最大、单台产能最大的太阳能电解水制氢项目。

用太阳能生产绿电，通过电解水制取出“绿氢”和“绿氧”，再用“绿氢”替代煤炭原料、“绿氧”替代煤炭燃料生产高端化工产品，宝丰能源这一项目采用“新能源发电+电解水制取绿氢、绿氧直供煤化工”的新模式，开辟了实现“碳中和”的科学路径。

2022年上半年新增电解水制氢能力20000标方/小时，目前已形成30000标方/小时电解水制氢产能。生产的“绿氢”一部分替代煤、石油、天

然气等化石能源，与工业融合协同发展，推动新材料、高端制造业绿色升级，带动化工产业链实现零碳变革；一部分立足全国氢能产业环境和市场空间，推动氢能在重卡、公交等物流交通领域示范应用，助力绿色交通发展。用太阳能生产绿电，通过电解水制取出“绿氢”和“绿氧”，再用“绿氢”替代煤炭原料、“绿氧”替代煤炭燃料生产高端化工产品，宝丰能源这一项目采用“新能源发电+电解水制取绿氢、绿氧直供煤化工”的新模式，开辟了实现“碳中和”的科学路径。

图4-9 宝丰能源国家级太阳能电解水制氢综合示范项目（图片来源：互联网）



5. 加州 Google Bay View 园区

建筑设计与光伏设施的完美结合。打造全天候零碳运营的湾景 (Bay View) 园区,为低碳绿色的办公和生活建立可持续性新标准。助力谷歌实现“2030年无间断零碳运营”目标。

建筑亮点:

完全由电力驱动;

90% 的时间里使用无碳能源供电;

北美地区最大的地热桩系统,能减少近50%碳排放和90%冷却用水;

通风系统使用100%外部空气;

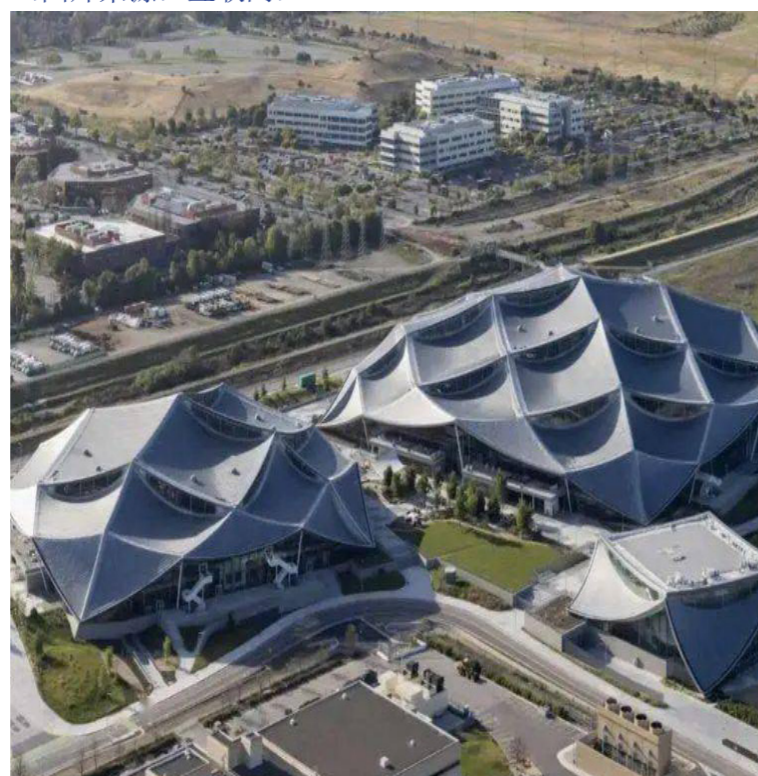
基地系统可以收集、处理和再利用所有雨水和废水,修复生态栖居地,提供海平面上升保护;

办公空间内部,实现超强开放性和按需灵活组合功能的平衡,探索个人、团队和整个公司“社区化的联结”。



图4-10 加州 Google Bay View 园区项目
(图片来源: 互联网)

图4-11 加州 Google Bay View 园区项目
(图片来源: 互联网)



Google Bay View园区基地位于硅谷NASA Ames研究中心,占地17万平米。项目由三栋建筑组成,总建筑面积超过10万平米,包含8万平米的开放空间,两栋办公楼,一座可容纳一千人的活动中心,以及240个短期员工居住单元。三栋建筑全部采用轻型顶棚结构,优化室内的光照和视线,创造舒适的合作、体验和活动空间。Google希望在2030年前成为第一家实现全年无间断零碳运营的主要公司,Bay View项目的三栋建筑便属于该愿景的一部分。

设计旨在让基地获得LEED-NC v4白金认证,成为有史以来最大的符合国际未来生活机构生活建筑挑战 Water Petal认证标准的设施。Bay View园区完全依靠电力运行,拥有北美最大的地热系统,可以减少50%的碳排放和90%的冷却水需求。此外,由Google建造的各种基地系统可以收集、处理和再利用所有雨水和废水,修复生态栖居地,提供海平面上升保护,让Google员工以及附近Bay Trail的大众都可以享受美丽的自然湿地景观。

6. 深圳未来大厦

全国首个走出实验室规模化应用全直流的建筑，全年能耗是同类办公建筑的一半，实现了光储直柔技术的工程化应用，

未来大厦项目位于深圳市龙岗区的深圳国际低碳城核心启动区内。项目由深圳建科院投资建设，总投资约7亿元，总建筑面积6.29万平方米，整体采用钢结构模块化的建造方式，包括了办公、会展会议、实验室、专家公寓等多种业态。深圳国际低碳城会展中心。项目整体定位为绿色三星建筑及夏热冬暖地区净零能耗建筑 (Net Zero Energy Building)。通过采用强调自然光、自然通风与遮阳、高效能源设备及可再生能源与蓄能技术集成的“光储直柔”的技术路线，探索建筑领域碳达峰路径。目前，未来大厦 R3 零碳模块（建筑面积 6259m²）已于 2019 年底完工，已投入科研使用，该部分在 2020年8月至2021年8月实测得到的单位面积能耗为 51.1kWh/m²。比2019年深圳市同类办公建筑平均全年能耗水平91.8 kWh/(m².a)低 44.3%，年度二氧化碳减排量达到 1592吨（能耗值将在建设和调试后的试验中进行校对）。



图4-12 深圳未来大厦项目（图片来源：互联网）



图4-13 光储直柔技术应用（图片来源：互联网）



04 北京最佳案例

北京地区低碳技术应用现状与前景研究

1. 战略布局

北京市长期践行绿色发展理念，在多领域探索减碳措施与方法，为全国其他地方碳达峰、碳中和工作起到示范和引领作用。在未来的十年将聚焦效率引领、科技支撑和机制创新，让绿色低碳成为社会主义现代化强国首都的鲜明底色。

《北京市碳达峰实施方案》、《关于印发进一步完善市场导向的绿色技术创新体措施的通知》、《北京市构建市场导向的绿色技术创新体系实施方案》等均提出北京市能源低碳技术方面应集中于新能源利用、智慧能源互联网、氢能、储能、碳捕集利用与封存等重点领域开展技术研发攻关，实现关键技术突破和产业化示范应用。

目前北京市已建成运营多个能源领域新技术示范项目，涉及地源热泵、光伏系统、源网荷储、能源智慧化平台等。

1.1 城市副中心

城市副中心行政办公区建成国内规模最大地源热泵综合能源系统；推进绿色基础设施体系建设，加强园林绿化和水环境建设，大力发展清洁能源和可再生能源。

1.2 北京大兴国际机场

北京大兴国际机场建成全球最大机场综合能源系统，建成全国民航业规模最大的地源热泵系统和国内首个飞行区跑道旁铺设的光伏系统，成为全国应用可再生能源比例最高的机场。

1.3 碳中和奥运会

冬奥会全部场馆实现奥运史上首次100%绿电供应。实施绿色场馆、绿色能源和绿色交通等节能低碳措施，全面推进场馆绿色建筑标准认证。

1.4 其他专业示范基地

在部分循环经济和污水资源化园区、厂区建设一批专业技术示范基地。在鲁家山循环经济园、北神树生活垃圾卫生填埋场、高碑店污水处理厂、槐房污水再生厂等专业园区，示范应用一批先进技术。

2. 发展现状

北京地区基本建立多源多向、清洁高效、覆盖城乡的现代能源体系，成为全国能源清洁转型的典范城市。北京地区自“十三五”规划实施以来，大力推动压减燃煤和清洁能源设施建设，平原地区基本实现无煤化，全市煤炭消费量与能源消费比重大幅削减，天然气、调入电消费比重不断提高，公交、环卫、物流、出租等重点行业车辆电动化步伐加快。

供热格局不断完善，形成以热网联产、燃气

供热为主导，多种能源、多种供热方式相结合的清洁供热体系。全市城镇基本实现清洁供热，并完成31座新城燃煤集中供热中心清洁能源改造，农村地区清洁供热设施建设加速推进。

可再生能源利用规模和质量在发展新路径的探索和相关政策措施的制定实现同步提升。2020年全市可再生能源开发利用折合703.3万吨标准煤，能源消费比重由2015年的6.6%提高到10.4%，同时，外调绿电规模成倍增加。

98%的能源供给需从外地调入，一旦外埠能源供应出现问题，会给全市能源供应带来较大影响。

3.1 现状及挑战

3.1.1 冬季供暖碳排放量较高、公共建筑节能效率低

北京市位于建筑气候分区中的寒冷地区。2020年，冬季城镇供热碳排放占全市总量的16%。四大直辖市中，北京受供暖影响，建筑碳排放量居第一。

3.1.2 过分依赖外部资源

北京自身可开发利用的新能源和可再生能源体量有限，属于典型的能源输入型城市，全市

3.1.3 高碳能源清洁化替代的空间已相对有限
随着供给侧结构性改革的深入推进和高精尖经济结构的加速构建，北京能源利用效率得到显著提高。目前，北京未来能源消费总量还将保持低速增长，以支撑经济社会发展，碳排放量已进入碳排放相对稳定的平台期。

3.1.4 外调煤电碳排放量高

北京市外调电力仍以燃煤火电为主，且碳排放强度大，成为影响北京市实现碳中和的关键因素。

3.2 技术攻关方向

3.2.1 构建清洁供热系统

大力发展地热及热泵、太阳能、储能蓄热等清洁供热模式。禁止新建和扩建燃气独立供暖系统，开展地热及再生水源热泵替代燃气供暖行动。

加快热电联产调峰热源项目建设。包括中深层地热能资源有序开发利用；山区与浅山区空气源热泵推广；太阳能热水系统应用；绿色电力蓄热锅炉示范工程，燃气电厂热电解耦等。

3.2.2 应用新能源利用及分布式分散式设施

推动光伏、地热及热泵应用，适度发展风电，实现经济可行的本地可再生能源规模化利用。加强重点领域光伏应用；光伏发电规模化利用；有序推进生物质能发电工程，包括垃圾焚烧发电与污泥沼气发电；科研领域应重点关注氢能与氢燃料电池、新型储能等研究方向。

构建以分布式为特征的新型绿色电源支撑体系。探索风力发电应用型模式，推进分散式风电应用；关注区域风电、光伏和绿氢资源，研究建设抽水蓄能电站等，助力京津冀区域能源低碳转型。

3.2.3 构建多能源融合互补系统

构建以新能源为主体的新型电力系统。以太阳能、风能等新能源发电为供给主体的源网荷储一体化构建。

构建多能源供热系统。包括浅层地源热泵应用、再生水源热泵等供热制冷技术与常规能源供热系统融合发展；浅层地源热泵与太阳能光热、蓄热多能互补应用；再生水源热泵供暖与市政热网融合应用。

3.2.4 构建绿色低碳交通体系

加强绿色道路系统建设。自行车专用道和行人步道等城市慢行系统建设，持续推进轨道交通体系建设，逐步降低小客车出行强度。推动新能源汽车规模化应用。推进机动车“油换电”，“十四五”时期市属公交车、巡游出租车、新增轻型环卫车全面实现新能源化，办理货车通行证的4.5吨以下物流配送车辆基本使用新能源汽车，逐步完善城市公路充换电和加氢网络。

3.2.5 推动建筑领域绿色低碳转型

发展绿色建筑。新建政府投资和大型公共建筑执行绿色建筑二星级及以上标准，到2025年，新建居住建筑执行绿色建筑二星级及以上标准，新建公共建筑力争全面执行绿色建筑二星级及以上标准。推广绿色低碳建材和绿色建造方式。到2025年，实现装配式建筑占新建建筑面积的比例达到55%。推广超低能耗建筑。到2025年，力争累计推广超低能耗建筑规模达到500万平方米。

3.2.6 构建智慧能源平台

促进分布式发电就地并网使用。开展虚拟电厂与能源互联网试点示范建设。

开展配电网建模、仿真技术、潮流波动及运行控制分析研究，解决高比例分布式电源接入问题，提升配电网综合接纳能力。开展源网荷储协同互动和优化调度研究，构建源荷双向互动支撑平台。全方位提升新型电力系统负荷调度能力。

探索区块链、5G等前沿技术应用。包括电力领域点对点交易、电网管理和系统运行、可再生能源交易、电动交通等场景。

适应北京地区的能源领域示范技术汇总表			
领域	技术措施	重点	
能源	清洁供热系统	中深层地热能资源有序开发利用；山区与浅山区空气源热泵推广；太阳能热水系统应用；绿色电力蓄热锅炉示范工程，燃气电厂热电联产等	
	新能源利用及分布式分散式设施应用	新能源利用及相关支撑技术完善	加强重点领域光伏应用；光伏发电规模化利用；有序推进生物质能发电工程，包括垃圾焚烧发电与污泥沼气发电；科研领域应重点关注氢能、氢燃料电池、新型储能等研究方向
	新能源利用及分布式分散式设施应用	区域分布式分散式设施应用	探索风力发电应用型模式，推进分散式风电应用；关注区域风电、光伏和绿氢资源，研究建设抽水蓄能电站等
	多能源融合互补系统构建	以太阳能、风能等新能源发电为供给主体的源网荷储一体化构建	
	多能源供热系统构建	包括浅层地源热泵应用、再生水源热泵等供热制冷技术与常规能源供热系统融合发展；浅层地源热泵与太阳能光热、蓄热多能互补应用；再生水源热泵供暖与市政热网融合应用。	
开展源网荷储协同互动和优化调度研究，构建源荷双向互动支撑平台			
探索区块链、5G等前沿技术在电力领域点对点交易、电网管理和系统运行、可再生能源交易、电动交通等场景应用。			

表4-3 适应北京地区的能源领域示范技术汇总表

适应北京地区的交通领域示范技术汇总表		
领域	技术措施	重点
交通	出行结构优化	结合MaaS (Mobility as a Service, 出行即服务) 的新理念，融合高度智慧的数字技术，一体化无缝融合、全程化主动触达、全局化效益最优的新型出行服务
	运输结构优化	构建了“电气化铁路+新能源汽车”的绿色运输模式
	车辆能源结构优化	推动新能源车辆占比
	运输组织与服务模式创新	动力电池类、车载储能类、能源补给类、模式融合类

表4-4 适应北京地区的交通领域示范技术汇总表

适应北京地区的建筑领域示范技术汇总表		
领域	技术措施	重点
建筑	优化建筑本体性能	优化建筑造型
		通过采用保温隔热的外墙和屋顶
		通过可调节自然通风的建筑设计和通风装置
		通过特殊的围护结构材料与建筑设计
		通过建筑内表面的吸湿蓄湿材料
		通过合理的建筑设计和遮阳与反射装置的设计
	减少建筑运行直接碳排放的技术	炊事设备电气化
		生活热水电气化
		蒸汽设备电气化
		分散采暖电气化
	高效的建筑机电系统	先进的空气动力学技术
		新型末端装置和调控技术
		创新的压缩机技术、新的系统梳理和热泵系统的关键部件
	建筑柔性机电系统	非常规制冷和除湿技术
光储直柔建筑新型配电系统		
为建筑提供热力的零碳热源关键技术	以分布式光伏为基础的农村新型能源系统	
	跨季节蓄热技术	
	余热供热管网供回水温度调节技术	
	通过地下换热器提取中深层地热技术	

表4-5 适应北京地区的建筑领域示范技术汇总表

04 北京最佳实践案例筛选

1. 金风科技零碳智慧园区项目

金风科技零碳智慧园区是中国首个碳中和园区。

经过北京绿色交易所对排放数据和国家核证自愿减排量（CCER）注销的监督核实，2021年1月28日，我国首个可再生能源“碳中和”智慧园区认证仪式在北京举行，北京绿色交易所向金风科技颁发了《碳中和证书》。



图4-14 北京金风科技园项目（图片来源：互联网）

金风科技零碳智慧园区是中国首个碳中和园区，以能源场景为核心，汇聚、整合园区运营体系、园区集控中心、园区智慧门户/应用等技术模块，面向各行业园区提供能源、办公、生活、文化、管理、健康等多类型服务，构建绿色生态体系，有效提升园区能源综合利用效率、运营业务管理效率，推进信息资源共享与业务协同。

金风科技聚焦能源开发、能源装备、能源服务、能源应用四大领域，2021年金风科技新增装机容量全国第一、全球第二。截至2021年年末，金风科技已实现全球风电累计装机容量超86GW，逾4.4万台运行风电机组遍布世界，相较于火电每年可减少温室气体排放1.6亿吨。在积极

发挥可再生能源产业优势、推动绿色能源转型的同时，金风科技不断加强自身环境管理体系的建设和运营，发挥行业引领作用，探索构建“碳中和”园区——金风智慧园区，挖掘绿色潜力，打造“零碳”生态圈。

金风智慧园区建于2010年，建筑面积超过9万平方米，经过多年的发展，已形成集可再生能源、智能网、智慧水务、绿色农业和运动健康等功能于一体的绿色园区生态系统。园区部署了4.8MW分散式风电1.95MW分布式光伏和钒液流、锂电池、超级电容等多种形式储能，以大力推动绿色能源利用。

园区通过高效使用可再生能源，每年可节约电费超过300万元。在可再生能源发电量与园区用电负荷存在时间差异，新能源电量返送电网消纳的情况下，自发自用绿电，园区总体可再生能源发电比例将近50%，可实现清洁能源就地采集和消纳，提升园区清洁能源使用率。此外，金风智慧园区通过大数据等各项技术实现降能耗、提能效，在园区安装30余台直/交流充电桩，为员工使用纯电动汽车出行提供方便，引导员工选择更低碳的驾驶出行方式，贡献个人减排成效。一系列的创新举措，为园区能源结构的转型注入一股强大的驱动力，也为日后“碳中和”园区的建设提供了重要思路。

金风智慧园明确顶层设计，以绿色、低碳、循环发展理念为原则，强化低碳发展顶层设计，研究并制订低碳转型行动方案及路线图；其次是明晰碳排放统计、核算范围，界定园区内需要被纳入核算体系的生产活动；最后是筛选核算方法，结合碳排放核算标准和要求，对碳排放量统计和核销方法进行核算。

经过北京绿色交易所对排放数据和国家核证自愿减排量（CCER）注销的监督核实，2021年1月28日，我国首个可再生能源“碳中和”智慧园区认证仪式在北京举行，北京绿色交易所向金风科技颁发了《碳中和证书》。至此，我国首家“碳中和”园区正式诞生。

2. 大兴机场

大兴机场始终秉持绿色发展理念，努力打造“低碳机场先行者、绿色建筑实践者、高效运营引领者、环境友好示范者、人性化服务标杆”的世界一流绿色“新国门”。

大兴机场首创了全过程、全覆盖的绿色建筑管理模式。通过开展顶层设计，组织编制绿色建筑纲要、框架体系及设计任务书等，形成了一套全过程、全覆盖的绿色建筑实施程序，确保绿色理念贯穿从选址、规划设计、招标采购、施工管理到运行维护等的全生命周期，在机场各功能区及全部建设项目全方位贯彻。同时，大兴机场借助新技术推进节能减排，以噪声、污水防治保障周边群众环境权益，以绿色建筑运营树立行业环保标杆。

在低碳机场方面，大兴机场选用清洁能源，并提高可再生能源比例，形成“一主多辅”的能源供给结构。通过地源热泵、光伏发电、热回收技术等多种形式，实现全场可再生能源总量占比16%以上。仅通过集中式复合式地源热泵系统这一项技术，就可实现年减少1.81万吨标煤的消耗。通过绿电交易平台，大兴机场实现了100%绿色电力使用。

大兴机场空侧所有通用和可替代特种车辆均按清洁能源车标准采购，新能源通用车辆比例达

到100%。截至2021年4月，大兴机场内场车辆中清洁能源车辆达到1517辆，占车辆总数的78%。这一数据在国内外机场中均遥遥领先。

大兴机场是的空港和高铁站紧密结合。轨道交通在北京大兴机场的地下二层设站，地下一层则是个广场式的换乘中心，可以换乘高铁、地铁、城铁等，其中包括京雄城际，廊涿城际，还有机场快线。通过垂直交通极可换乘，极大降低通勤时间。

机场全面推广地面动力装置（GPU）替代辅助动力装置（APU），实现岸电设施和飞机地面专用空调（PCA）覆盖全部机位。创新飞机地面专用空调系统，采用集中热源，将空调机组改为落地安装，从而降低风机能耗和传输损失，使总能效比传统系统提升50%以上。

在绿色建筑方面，全场绿色建筑占比100%，70%以上的建筑达到中国最高等级的三星级绿色建筑标准。其中，航站楼首创双层出发车道边，在旅客步行距离、首件行李到达时间、四项主要中转时间、节能环保、无缝衔接的综合交通枢纽等

方面树立全新标杆，获得三星级绿色建筑设计和节能建筑设计3A级认证，是全国单体最大的三星级建筑，也是全国首个获得节能建筑3A级认证的建筑。

在环境友好方面，大兴机场优化跑道构型，使飞机噪声避开廊坊市中心城区。在地方政府支持下，实施最严格的噪声治理，噪声达到70分贝以上区域的房屋已全部采取搬迁、隔声等治理措施。

机场建设了集中除冰坪和除冰废液处理及再生系统，将废液收集后进行100%处理及再生利用，同时服务京津冀地区机场。机务维修区油污水和

飞机清洗污水收集与处理率为100%。全场污水处理率为100%。

机场建成了环境管理系统，通过大数据分析，为环境管理提供了支撑。建成了“海绵机场”，实现了85%的年径流总量控制率，构建了复合生态水系统，实现了水资源综合利用。

大兴机场建设紧紧围绕“四型机场”绿色建筑标准，成为绿色低碳循环转型中心点，以绿色低碳科技革命为驱动力、以能源体系深度脱碳化为抓手、以制度建设和政策机制创新为支撑，着力推进民航机场绿色化改造，提升机场的系统碳汇能力。



图4-15 大兴机场科技创新与绿色发展（图片来源：互联网）

3. 北京冬奥会和冬残奥会

全球首次实现碳中和的冬奥会。

北京市冬奥会和冬残奥会在实践低碳能源、低碳场馆、低碳交通上取得了显著的减碳成效，通过系列创新的绿色技术成功举办了一届“绿色”冬奥会，成为第一届实现碳中和的冬奥会。

符合绿色建筑标准是北京冬奥会和冬残奥会对场馆的严格要求。场馆共分为三类，第一类是新建场馆，国家速滑馆是为冬奥会新建的，达到绿色建筑评价标准三星级。第二类是改造场馆，达到既有绿色建筑标准二星级。面对国内国际都没有雪上场馆绿色建筑评价标准的情况，北京冬奥组委会同专业团队和北京市、天津市、河北省

相关部门，创新编制并发布了《绿色雪上运动场馆评价标准》京津冀三地的地方标准，2019年1月开始实施，这是一个国际领先绿色建筑评价标准。绿色标准包括设计过程中节碳，设计环节减少碳排放、减少资源能源的使用。例如，大道速滑馆的屋顶，用了一个扁的可以减少钢材使用量的椭圆形锁网结构，减少了很多碳排放。

在冬奥会短道速滑、花样滑冰、冰壶、冰球四个冰上场馆中，均在奥运会历史上首次使用最清洁、最低碳的二氧化碳制冷剂，不仅减少了传统制冷剂对臭氧层的破坏，而且大幅降低制冷系统能耗，与传统制冷方式相比可实现节能30%以上，该项技术将减少约等于3900辆汽车年度的碳排放量，也相当于植树120多万棵所中和的碳



图4-16 北京冬奥会速滑馆（图片来源：互联网）

排放减少量。还有冬奥会五棵松训练馆、北京冬奥村和延庆冬奥村三个超低能耗示范工程，总建筑面积50271平方米，在运营中全面实现低碳能源供应，为今后建设绿色低碳建筑发挥了示范作用。奥运场馆首次实现100%绿色用电：张家口崇礼扶贫光伏电站不仅每年贡献4443万度电，还同时扶贫1000户，带动扶贫资金约300万元，在帮助参与用户实现“煤改电”的同时也给他们带来了切实的收益。

奥运会是一个城市和国家对外展示新形象的窗口，历届奥运会都会留下一些宝贵的可持续性的文化遗产。这次北京冬奥会、冬残奥会首次将“奥运竞技+绿色科技升级+区域化优势+产业文化+脱贫攻坚”巧妙地融为一体，将可持续性理

念和要求与奥林匹克文化、中国传统文化相结合，打造的一系列场馆将为京津冀周边发展留下非常好的绿色低碳文化遗产，这些场馆作为城市新型绿色地标将带动区域经济产业绿色转型。

同时，北京冬奥会和冬残奥会的示范意义不仅仅在于科技创新成果的应用及技术性的突破，更为重要的是将生态保护、可持续发展理念及区域协同发展诉求统筹考虑，形成可持续管理的成功经验、零碳实践的展示载体、人与自然和谐共生的样板和构建区域协同一体化的标杆项目。为世界各国贡献了一套“绿色办奥”的中国方案，同时创造了丰厚的绿色低碳实践遗产。



4. 大兴国际氢能示范区

北京牵头推动京津冀氢能产业协同发展

大兴国际氢能示范区于 2020 年 8 月开始建设，位于北京南部中心位置，毗邻大兴国际机场，紧邻京东“亚洲一号”、京南物流基地等重要交通枢纽，分为核心区南北两个片区，规划占地面积 20.8 万平方米、建筑面积 36 万平方米，并以 2 公里半径辐射周边区域进行产业规划和发展。2021 年 11 月，北区 5.4 万平方米正式投入使用，南区一期 4.7 万平方米已启动建设。

园区依托北京清华工业开发研究院产业资源优势，构建以加氢示范站、氢能交流中心、科技园区为载体，产业基金、企业联盟、专项政策、试验基地为支撑的“3+N”氢能产业生态体系。积极搭建氢能产业生态平台，进行前瞻性技术布局，寻找前驱性关键技术团队补足短板，补齐产业链。园区围绕燃料电池、氢的制储运加和建筑能源三个产业链，储备项目 300 余个，集聚亿华通、科威尔、中集合斯康、东方电气等龙头企业 30 余家，氢能产业生态愈发活跃。



图4-17 大兴国际氢能示范区二期效果图（图片来源：互联网）



图4-18 大兴国际氢能示范区（图片来源：互联网）

园区积极搭建公共测试平台，提供发动机、电堆、单电池等氢能与燃料电池测试服务，可满足一般燃料电池企业从膜电极验证、短堆开发验证、成熟发动机产品研发全生命周期所有测试，解决了园区氢能企业的痛点和难点。联合上下游企业建设国际氢能孵化器，搭建丰富的氢能应用场景，通过“深度孵化+精准投资+创业培训+品牌曝光+资源对接”的孵化模式，打造氢能产业垂直孵化空间。

园区引进顺亿达、水木通达、氢运羚壹等 11 家运营平台企业，保障车辆应用推广。2022 年，完成全国首个一次性 100 台燃料电池冷藏车的交付运营。园区外侧的海珀尔加氢站，占地 6000 多平方米，日加氢量可达 4.8 吨，是全球日加氢量

最大的气氢加氢站。

园区不仅提供研发空间和生产厂房，还注重打造“一站式”服务、创业孵化服务、人力资源服务、科技金融服务、中介咨询服务、产业对外交流服务和科技成果转化等六大服务平台，为企业提供“保姆式”全生命周期服务。

园区将生产、生活、生态有机融合，从餐饮、环境、政务等基础服务出发，配备了 i 站服务中心、咖啡书吧、沐澜美食汇、蒲绒酒店大兴店、iGYM 健身房等配套设施，改善企业员工工作体验，丰富业余生活。

大兴国际氢能示范区从全产业链布局到配套服务和应用场景，示范区内的“氢能综合创新生态圈”已经形成。

北京地区面向碳中和最佳实践案例技术汇总分析

为更加清晰直观的明确北京地区最佳实践案例的先进技术应用情况及示范意义，对北京地区面向碳中和最佳实践案例技术汇总分析。

北京市先进案例示范技术汇总表									
分类	编号	名称	所属门类	所属案例	说明	示范意义	获得荣誉		
应用门类	能源	01	光伏系统	新能源利用、可再生能源	金风科技零碳智慧园区	金风科技建设自发自用、余电上网的分布式光伏发电系统，通过多种现代互联网技术（物联网数据采集、多维度数据分析、自有模型树配置等），搭建智慧能效平台。将各类能源（电、水、燃气等）进行实时监测、分析、管理，及时和清晰地了解各类能源在使用过程存在的异常情况，发现能源使用过程中存在的浪费及不合理问题，及时解决问题，最终实现节能降耗、提升管理效率。	新型的新能源开发模式		
					大兴机场	大兴机场在停车楼投建的太阳能光伏发电项目顺利投用，每年节约标准煤1080吨，减排二氧化碳3040吨	持续推进绿色机场建设		
		02	风电系统	新能源利用、可再生能源	金风科技零碳智慧园区	现代风力发电机组的设计由仿真驱动，整机多学科耦合仿真贯穿机组全生命周期的核心技术，也是风电技术持续进步的关键所在。金风科技自主研发了整机仿真软件，并针对叶片模型、传动链模型、整机稳定性模型等进行专项优化，可有效支撑大叶轮、长柔叶片、高塔架风电机组的仿真设计。	金风科技是我国最早进入风力发电设备领域的企业之一，在发展了二十年后，逐步成长为国内领军和全球领先的风电整体解决方案提供商	金风科技荣获Windpower Monthly 2022年度全球最佳风机金奖；金风科技GWH252-16MW海上风电机组入选“2022年度十大国之重器”	
		03	氢能	新能源利用、可再生能源	大兴国际氢能示范区	大兴国际氢能示范区构建以加氢示范站、氢能交流中心、科技园区为载体，产业基金、企业联盟、专项政策、试验基地为支撑的“3+N”氢能产业生态体系	大兴国际氢能示范区建成全球最大的加氢站，致力打造世界一流氢能产业高地		
	04	热泵系统	新能源利用、可再生能源	大兴机场	北京大兴国际机场地源热泵系统将为机场257万平方米建筑面积提供供热和制冷服务，总供热能力176兆瓦，总供冷能力123兆瓦	耦合式地源热泵系统是北京大兴国际机场的创举之一，开创了浅层地源热泵利用的新形式，为全球最大的浅层地源热泵集中供能项目			
建筑	05	绿色建筑	绿色建筑	大兴机场	大兴机场绿色建筑占比达100%，其中70%以上的建筑达到我国最高等级的三星绿色建筑标准。旅客航站楼集成优化被动式节能设计，最大限度地利用天然光和自然通风，实现室内自然采光面积占比超过60%。航站楼能耗小于29.51千克标准煤/平方米，比国家公建节能标准提高30%，每年减少二氧化碳排放2.2万吨。	航站楼首创双层出发车道边，在旅客步行距离、首件行李到达时间、四项主要中转时间、节能环保、无缝衔接的综合交通枢纽等方面树立全新标杆	全国首个获得节能建筑3A级认证的建筑		
				冬奥会场馆	场馆共分为三类，第一类是新建场馆，国家速滑馆是为冬奥会新建的，达到绿色建筑评价标准三星。第二类是改造场馆，达到既有绿色建筑标准二星级。	将“奥运竞技+绿色科技升级+区域化优势+产业文化+脱贫攻坚”巧妙融为一体，将可持续性理念和要求与奥林匹克文化、中国传统文化相结合，打造的一系列场馆将为京津冀周边发展留下非常好的绿色低碳文化遗产，这些场馆作为城市新型绿色地标将带动区域绿色产业绿色转型。	北京冬奥会是“最绿色”的奥运会		

表4-6 北京市先进案例应用示范技术汇总表（一）

北京市先进案例示范技术汇总表

分类	编号	名称	所属门类	所属案例	说明	示范意义	获得荣誉	
应用门类	交通	06	新能源车	清洁能源车	大兴机场	截至2021年4月，大兴机场内场车辆中清洁能源车辆达到1517辆，占车辆总数的78%。	北京大兴机场新能源汽车的应用在国内外机场中均遥遥领先	
		07	GPU（地面动力装置）设施	新型动力装置	大兴机场	大兴机场全面推广地面动力装置（GPU）替代辅助动力装置（APU），实现岸电设施和飞机地面专用空调（PCA）覆盖全部机位。GPU设施三年累计节约航油40余万吨，相当于减少二氧化碳排放近130万吨，减少各种大气污染物排放近4900吨，节约航油成本约12亿元	新型动力装置，推动减碳减排	
	环境	08	智慧水务	环境管理体系	金风科技零碳智慧园区	金风环保数字化水务平台系统，是集感知检测、精细监管、数字管控、客观评价、智慧决策为一体的标准化、扩展性强的智能化平台。将实时数据、化验分析、运行状况等数据进行接入，统一存储、汇总、分析、共享，通过对数据的智能分析，指挥水厂终端自控系统，进行工艺的运算和调整，以更加精细、暂态、瞬时的方式管理水厂生产、经营和服务的各个环节，提升水厂用能效率，保障出水稳定，进而推动水务行业的服务升级。	先进的水务管理平台	
可持续发展	建设	09	环境管理信息系统	环境管理体系	大兴机场	通过采集噪声、空气质量、地表水质、固体废弃物等信息，可以全面掌握大兴机场的生态环境状况，预测环境质量变化趋势，并通过大数据分析，实现对机场总体生态环境质量的全面管理。	奥林匹克历史上第一次把“大型活动可持续性管理体系、环境管理体系、社会责任指南”三个国际标准整合为一体，通过了第三方认证及绩效评价，在此基础上，成功将北京冬奥会可持续性工作实践转化为北京市地方标准《大型活动可持续性评价指南》（DB11/T1892-2021），已经完成中国国家标准立项，并获国际标准化组织（ISO）标准《体育设施与大型赛事可持续性评价指南》的预立项（ISO 20655），为大型活动可持续性留下珍贵遗产。	
			绿色建筑管理	建设管理体系	大兴机场	首创了全过程、全覆盖的绿色建设管理模式。通过开展顶层设计，组织编制绿色建设纲要、框架体系及设计任务书等，形成了一套全过程、全覆盖的绿色建设实施程序，确保绿色理念贯穿从选址、规划设计、招标采购、施工管理到运行维护等的全生命周期，在机场各功能区及全部建设项目全方位贯彻。	首创的全过程、全覆盖的绿色建设管理模式	

表4-6 北京市先进案例应用示范技术汇总表（二）

S

面向碳中和的 技术的盘点

- 01 技术盘点方法
- 02 能源技术盘点
- 03 建筑技术盘点
- 04 交通技术盘点

面向碳中和的技术的盘点

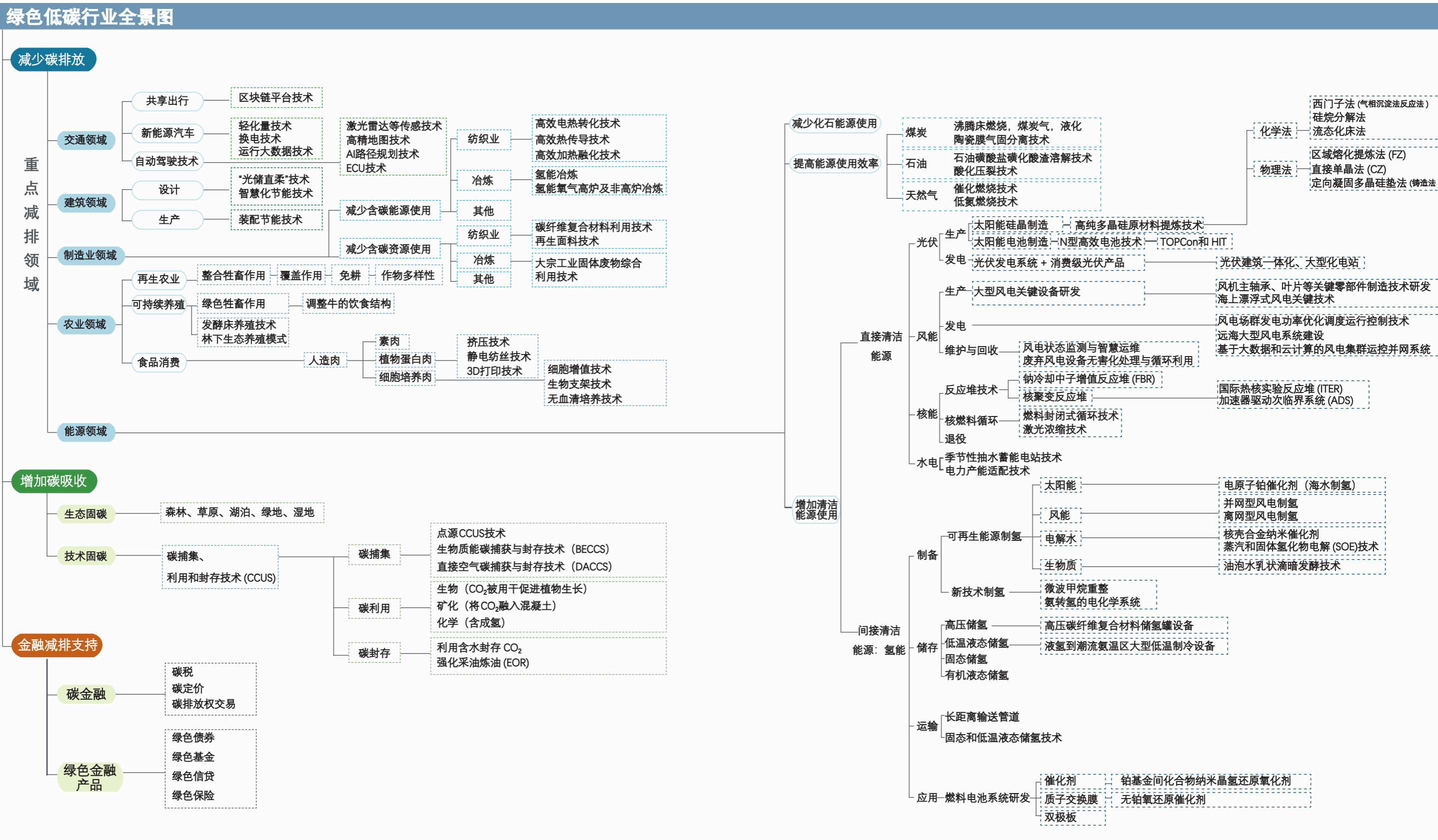


图 5-1: 绿色低碳行业全景图 (资料来源: 根据得勤《打造可持续的超级智能城市》报告改绘)

01 技术盘点方法

技术盘点以我国实现碳达峰与碳中和的发展战略、行动计划和政策措施为盘点依据，研究国际低碳发展态势，研究各领域在“双碳”背景下的关键问题、技术攻关方向，细化能源、建筑和交通领域的技术门类与相关的技术类别，从而明确遴选技术所处的研究发展阶段。技术盘点依据如下所示：

政策体系研究：对国家、各部委以及地方政策体系进行研究，梳理政策导向、关键技术突破方向等。

文献及报告研究分析：针对研究内容，搜索相关文献、书籍、报告；对研究内容进行“分析、综合、比较、归纳”，作为研究的理论依据。

专家咨询：咨询有关方面的专家，获得专业信息与意见。根据评价对象的具体要求选评价项目，再根据评价项目制定评价标注，聘请若干代表性专家凭借自己的经验按此评价标准给出各项目的评分值，再对其进行分析。

案例调研及分析：调研与课题相关的实际项目、研究相关案例。

现有评估标准体系研究：对不同领域评价绿色技术、低碳技术、节能技术以及可再生能源应用等评价方式进行研究，梳理其评分项目及细则。

02 能源

技术梳理

我国应对气候变化及实现“双碳”目标的紧迫性推动了全球能源领域绿色低碳技术的快速发展，主要包括可再生能源开发利用技术、储能技术与化石能源清洁开发技术。

近几年，为更高效、更有针对性地实现“双碳”目标，我国生态环境部、发改委、国家能源局等多部门陆续出台了多个指导能源部门发展的相关规划及文件，包括《2030年前碳达峰行动方案》、《中共中央、国务院关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》、《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规

划和2035年远景目标纲要》、《2022年能源工作指导意见》、《“十四五”能源领域科技创新规划》、《“十四五”现代能源体系规划》等，各类规划及文件中均提出了构建清洁低碳安全高效的现代能源体系的规划目标，要求加大绿色低碳科技攻关与推广应用，并针对能源转型方面需要重点关注的技术方向提出了引导。

根据近年来出台的相关规划及文件，归纳总结了七大门类的技术方向，细化了23项技术门类。



图5-2 多能互补示意图
(图片来源：根据德勤《打造可持续的超级智能城市》报告改绘)

能源技术政策支持情况汇总表								
技术方向	技术门类	《2030年前碳达峰行动方案》	《中共中央、国务院关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》	《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要》	《2022年能源工作指导意见》	《核电技术提升行动计划》	《“十四五”能源领域科技创新规划》	《“十四五”现代能源体系规划》
先进可再生能源发电及综合利用	水能发电	★	★	★	★		★	★
	风能	★	★	★	★		★	★
	太阳能发电	★	★	★	★		★	★
	其他可再生能源发电	★	★	★	★		★	★
	氢能与燃料电池	★	★	★			★	★
	储能技术	★	★	★			★	★
	新型电力系统技术	★	★				★	★
绿色高效化石能源开发利用技术	陆上常规油气勘探开发技术;非常规油气勘探开发技术						★	
	炼化技术				★		★	
	油气工程技术				★		★	
	炼化技术						★	
我国煤炭清洁低碳高效开发利用领域	先进燃煤发电技术	★	★	★	★		★	
	煤炭绿色智能开采技术	★	★		★		★	
	炼化技术			★	★		★	
	煤炭绿色智能开采技术		★		★		★	
	煤炭清洁高效转化技术		★		★		★	
安全高效先进核能技术	核电优化升级技术	★	★			★	★	
	小型模块化反应堆技术					★	★	
	新一代核电技术					★	★	
	全产业链上下游可持续支撑技术					★	★	
能源系统数字化智能化	基础共性技术		★	★	★		★	★
	行业智能升级技术			★	★		★	★
	智慧系统集成与综合能源服务技术			★	★		★	★

表5-1 能源技术政策支持情况汇总表（一）

能源技术政策支持情况汇总表									
技术方向	技术门类	《北京市城市总体规划（2016-2035年）》	《北京市国民经济和社会发展第十四个五年规划和二〇三五年远景目标纲要》	《北京市“十四五”时期生态环境保护规划》	《北京市碳达峰实施方案》	《北京市“十四五”时期能源发展规划》	《北京市氢能产业发展实施方案（2021-2025年）》	《北京市构建市场导向的绿色技术创新体系实施方案》	《北京市“十四五”时期应对气候变化和节能规划》
先进可再生能源发电及综合利用	水能发电	★	★	★	★	★		★	★
	风能	★	★	★	★	★			★
	太阳能发电	★	★	★	★	★		★	★
	其他可再生能源发电	★	★	★	★	★		★	★
	氢能与燃料电池	★	★	★	★	★	★		★
	储能技术				★	★	★		
	新型电力系统技术				★	★			
绿色高效化石能源开发利用技术	陆上常规油气勘探开发技术;非常规油气勘探开发技术								
	炼化技术								
	油气工程技术								
	炼化技术								
我国煤炭清洁低碳高效开发利用领域	先进燃煤发电技术								
	煤炭绿色智能开采技术								
	炼化技术								
	煤炭绿色智能开采技术								
	煤炭清洁高效转化技术								
安全高效先进核能技术	核电优化升级技术								
	小型模块化反应堆技术								
	新一代核电技术								
	全产业链上下游可持续支撑技术								
能源系统数字化智能化	基础共性技术								
	行业智能升级技术								
	智慧系统集成与综合能源服务技术								

表5-1 能源技术政策支持情况汇总表（二）

技术盘点

能源领域

中国正在加快绿色多元的能源供给体系，构筑了多能互补，源、网、荷、储联动的清洁能源体系。城市电力系统脱碳为实现能源结构转型的关键，主要发展方向包括电网脱碳、电网灵活性的提升和分布式太阳能发电。

为实现“双碳”的目标导向，即构建清洁低碳安全高效的现代能源体系，技术领域应重点关注传统能源向清洁能源过渡，以及单一技术应用向智能化集成技术平台搭建。

我国能源体系规划及相关技术创新支持政策文件中进一步明确提出的能源转型的方向、主要能源开发及其重点攻关技术。重点包括三大技术发展方向，分别为单一技术领域科技（集成）创新、新型电力系统构建、智慧化能源互联网搭建。三大技术发展方向分别对应六大技术攻关领域，其中，单一技术领域科技（集成）创新包括先进可再生能源发电技术、储能技术、安全高效先进核能技术和化石能源绿色高效清洁开发利用技术；新型电力系统构建主要对应新型电力系统技术；智慧化能源互联网搭建主要对应能源系统数字化智能化技术。

根据相关政策文件、文献和书籍，分析技术门类所处的研究阶段（推广阶段、示范阶段、攻关阶段）。

得到当前政策支持的能源技术盘点表						
体系	技术门类	技术类别	推广阶段	示范阶段	攻关阶段	
先进可再生能源发电及综合利用	水能发电	水电基地可再生能源协同开发运行关键技术		★	★	
		水电工程健康诊断、升级改造和灾害防控技术		★		
	风力发电	深远海域海上风电开发及超大型海上风机技术			★	★
		退役风电机组回收与再利用技术	★			
	太阳能发电	新型光伏系统及关键部件技术			★	
		高效钙钛矿电池制备与产业化生产技术			★	
		高效低成本光伏电池技术			★	
		光伏组件回收处理与再利用技术	★	★		
		太阳能热发电与综合利用技术	★	★	★	
	其他可再生能源发电	生物质能转化与利用			★	★
		地热能开发与利用技术			★	★
		海洋能发电及综合利用技术			★	★
	氢能及燃料电池	氢气制备关键技术			★	
		氢气储运关键技术			★	
		氢气加注关键技术				★
燃料电池设备及系统集成关键技术				★	★	
储能技术	储能技术	能量型/容量型储能技术装备及系统集成技术		★	★	
		功率型/备用型储能技术装备与系统集成技术		★		
		储能电池共性关键技术		★	★	
		大型变速抽水蓄能及海水抽水蓄能关键技术		★		
		分布式储能与分布式电源协同聚合技术	★		★	
新型电力系统技术	适应大规模高比例新能源友好电网的先进电网技术	新能源发电并网及主动支撑技术		★	★	
		电力系统仿真分析及安全高效运行技术			★	
		交直流混合配电网灵活规划运行技术			★	
		新型直流输电装备技术			★	
		新型柔性输电装备技术			★	
		源网荷储一体化和多能互补集成设计及运行技术		★		
		大容量远海风电友好送出技术		★	★	
绿色高效化石能源开发利用技术	陆上常规油气勘探开发技术	低渗透老油田大幅提高采收率技术		★		
		高含水油田精细化/智能化分层注采技术		★		
		深层油气勘探目标精准描述和评价技术			★	
		深层页岩气开发技术		★		
		非海相非常规天然气开发技术		★		
		陆相中高成熟度页岩油勘探开发技术		★		
		中低成熟度页岩油和油页岩地下原位转化技术			★	
		地下原位煤气化技术			★	
	油气工程技术	海域天然气水合物试采技术及装备				★
		地震探测智能化节点采集技术与装备				★
		超高温高压测井与远探测测井技术与装备				★
		高效压裂改造技术与大功率电动压裂装备				★
		地下储气库建库工程技术	★		★	
	管输技术	抗高温抗盐环保型井筒工作液与智能化复杂地层窄安全密度窗口承压堵漏技术	★		★	
		新一代大输量天然气管道工程建设关键技术与装备	★			
炼化技术	特种专用橡胶技术				★	
	高端润滑油脂技术				★	
	分子炼油与分子转化平台技术			★		

表5-2 得到当前政策支持的能源技术盘点表（一）

得到当前政策支持的能源技术盘点表						
体系	技术门类	技术类别	推广阶段	示范阶段	攻关阶段	
我国煤炭清洁低碳高效开发利用领域	先进燃煤发电技术	先进高参数超超临界燃煤发电技术		★	★	
		高效超低排放循环流化床锅炉发电技术		★		
		超临界 CO ₂ (S-CO ₂)发电技术			★	★
		整体煤气化蒸汽燃气联合循环发电(IGCC)及燃料电池发电(IGFC)系统集成优化技术			★	
		高效低成本的 CO ₂ 捕集、利用与封存(CCUS)技术			★	★
		老旧煤电机组延寿及灵活高效改造技术			★	
		煤电厂节能环保、灵活性提升及耦合生物质发电等改造技术	★			
	燃气发电技术	燃气轮机非常规燃料燃烧技术			★	
		中小型燃气轮机关键技术			★	
		重型燃气轮机关键技术				★
	煤炭绿色智能开采技术	煤矿智能开采关键技术与装备			★	★
		煤炭绿色开采和废弃物资源化利用技术			★	★
		煤矿重大灾害及粉尘智能监控预警与防控技术			★	
		煤炭及共生资源综合利用技术			★	★
	煤炭清洁高效转化技术	煤炭精准智能化洗选加工技术			★	
		新型柔性气化和煤与有机废弃物协同气化技术			★	★
		煤制油工艺升级及产品高端化技术	★		★	
		低阶煤分质利用关键技术			★	★
		煤转化过程中多种污染物协同控制技术				★
	安全高效先进核能技术	核电优化升级技术	三代核电技术型号优化升级	★	★	
核能综合利用技术				★		
小型模块化反应堆技术		小型智能模块化反应堆技术			★	
		小型供热堆技术			★	
		浮动堆技术				★
		移动式反应堆技术				★
新一代核电技术		(超) 高温气冷堆技术				★
		钍基熔盐堆技术				★
全产业链上下游可持续支撑技术		放射性废物处理处置关键技术				★
		核电机组长期运行及延寿技术			★	★
	核电科技创新重大基础设施支撑技术				★	
能源系统数字化智能化	基础共性技术	智能传感与智能量测技术			★	
		特种智能机器人技术			★	
		能源装备数字孪生技术			★	
		人工智能与区块链技术			★	
		能源大数据与云计算技术			★	
		能源物联网技术			★	
	行业智能升级技术	油气田与炼化企业数字化智能化技术			★	
		水电数字化智能化技术			★	
		风电机组与风电场数字化智能化技术	★			
		光伏发电数字化智能化技术			★	
		电网智能调度运行控制与智能运维技术			★	
		核电数字化智能化技术				★
		煤矿数字化智能化技术装备			★	★
	智慧系统集成	火电厂数字化智能化技术			★	
		区域综合智慧能源系统关键技术			★	
多元用户友好智能供需互动技术				★		

表5-2 得到当前政策支持的能源技术盘点表（二）

专家观点



全国人大常委会副委员长、中国科学院院士 丁仲礼

光伏发电技术在降成本、增效率上还有潜力可挖；太阳能热发电技术成本过高，未来应在材料、装置上寻求突破；风力发电技术在大功率风机制造、更高空间风力的利用、更远的风上风电建设上下功夫；地热用于发电，重点突破从干热岩中提取热能的技术。储能技术在未来的电力供应系统中将占有突出的位置，是最重要的电力灵活性调节方式，还有火电机组的灵活性改造、车网互动、电转燃料、电转热等。

中国工程院院士、上海交通大学碳中和发展研究院院长 黄震

未来 CCUS（碳捕集和利用技术）会成为化石能源的标配，因此化石能源也能实现“零碳”。



中国工程院院士、生态环境部环境规划院院长、中国环境科学学会理事长 王金南

电气化与智慧电网、光伏和风能发电、氢能、CCUS等负碳技术将成为全球及中国实现碳中和的优先发展领域。

中国科学院学部主席团名誉主席、中国科学院院士、中国科技大学名誉校长、中国科学院原院长 白春礼

目前科学界认为能源革命和产业转型的重要核能是实现碳中和战略目标不可或缺的低碳能源，储能是可再生能源大规模融合利用的关键，氢储能与电化学储能具有互补性。



中国科学院院士、清华大学车辆与运载学院教授 欧阳明高

基于成本竞争力的新型储能技术中，锂电池与氢能具有竞争优势。



中国科学院工程热物理研究所研究员 / 中国能源研究会储能专委会主任委员 / 中关村储能产业技术联盟理事长 陈海生

大型抽水蓄能在“十四五”期间仍是电力储能的主体，储能电池将是技术创新的重点领域之一，关注并发展分布式储能与分布式电源协同技术，实现广域布局的分布式储能、储能电站的规模化集群协同聚合。

中国工程院院士、国家能源低碳催化与工程研发中心主任 刘中民

以合成气 / 甲醇转化；重点发展石化相关产业技术；以水 / 风 / 光 / 地热 / 生物质等可再生能源大规模产电制氢、氢储运等，以氢为纽带促进多种清洁能源转化过程的耦合，同时，以大规模储能、核能高效热利用等关键技术突破为基础，促进储能技术与火电、可再生电等新能源融合。从煤化工清洁化低碳化方面考虑，天然气、煤层气中富含甲烷，是富氢物质，可考虑尝试将天然气利用与煤炭利用相结合。从长远看，建议加大对煤层气、页岩气、可燃冰的开发力度，一旦取得突破，整个国家的能源格局将会发生根本性改变。



中国工程院院士，中国工程院能源与矿业工程学部副主任 顾大钊

我们应该特别关注来自可再生能源发电制氢的“可再生氢”。

国网能源研究院新能源与统计研究所所长 李琼慧

新型电力系统需要具备稳定可靠、清洁低碳、安全可控、灵活高效、清洁友好、开放互动六大特征。未来需要关注构网技术，即新型电力系统设备主动支撑技术；储能技术；需求侧响应技术；电力数字化技术；CCUS技术；电制氢技术。



专家观点



国家电网有限公司数字化工作部副主任 范鹏展

设计思路主要包括实体电网和数字系统融合、控制系统与信息系
统并举、电碳并重、数字赋能与管理优化并进四个方面，打造精准反映、
状态及时、全域计算、协同联动的新型电力系统数字技术支撑体系。

中国三峡新能源（集团）股份有限公司副总经理 吕鹏远

新能源电站点多面广线长，设备分散、环境复杂，需要技术
与业务深度融合强化新能源发展推动力。需要以“云、大、物、移、
智、链”为代表的新一代数字化技术加速向新能源领域渗透融合，
不断催生传统产业创新变革。



中国煤炭工业协会副秘书长 张宏

电力数字智能技术是能源革命与数字革命相融并进的关键，未来可能
在三类场景中优先应用。新型电力系统应用场景，实现电力系统安全稳定
运行和资源大范围优化配置；智能企业管理应用场景，助力企业科学决策
和智能运营；“能源 + 信息 + ”产业融合发展场景，为生产、销售、管理，
以及社会治理全面赋能。

华北电力大学国家能源发展战略研究所执行院长 王鹏

虚拟电厂发展需要经历邀约型、市场型和自由调度型三大阶
段，将促进四个转变。发电电源与用电负荷从“完全听话”向“越来
越不听话转变；电力系统从“以调度为中心”向“以客户为中心转变；
调度权从“以地理为划分”向“以资产为划分”转变；控制与优化的
方向从“从上到下”向“从下到上”转变。



中国工程院院士、英国皇家工程院院士 陈清泉

能源革命的内涵是低碳化、智能化、终端能源电气化、氢能化。

关键技术总结

能源领域

关键性技术总结旨在梳理能源关键技术，结合能源技术盘点及相关工作研究，形成技术评估工具的重要参考依据，用以指导生活场景、交通场景、办公场景和游憩场景的构建。

备注中对技术进行编号，并成为“应用场景”部分的技术支撑材料，用以指导应用场景的构建。

技术领域	技术方向与类别	关键代表性技术	备注
先进可再生能源	风能发电	深远海域海上风电开发及超大型海上风机技术	E-1
	氢能	氢气制备及储运关键技术	E-2
	其他可再生能源	深层地热能开发与利用技术	E-3
海洋能发电及综合利用技术		E-4	
新型电力系统技术	适应大规模高比例新能源友好并网的先进电网技术	新能源发电并网及主动支撑技术	E-5
		大容量远海风电友好送出技术	E-6
绿色高效化石能源开发利用技术	陆上常规/非常规油气勘探开发技术	中低成熟度页岩油和油页岩地下原位转化技术	E-7
	炼化技术	地下原位煤气化技术	E-8
	油气工程技术	海域天然气水合物试采技术级装备	E-9
地下储气库建库工程技术		E-10	
储能	储能技术	能量型/容量型储能技术装备及系统集成技术	E-11
		功率型/备用型储能技术装备及系统集成技术	E-12
		储能电池共性关键技术	E-13
煤炭清洁	先进燃煤发电技术	先进高参数超超临界燃煤发电技术	E-14
	炼化技术	超临界CO ₂ (S-CO ₂)发电技术	E-15
	煤炭绿色智能开采技术	高效低成本CCUS技术	E-16
	煤炭清洁高效转化技术	燃气轮机非常规燃料燃烧技术	E-17
		煤炭绿色开采和废弃物资源化利用技术	E-18
		煤矿中搭载海及粉尘智能监控预警与防控技术	E-19
		煤炭及伴生资源综合利用技术	E-20
		新型柔性气化和煤与有机废弃物协同气化技术	E-21
低阶煤分质利用关键技术	E-22		
核能	小型模块化反应堆技术	浮动堆技术	E-23
	新一代核电技术	移动式反应堆技术	E-24
	全产业链上下游可持续支撑技术	(超) 高温气冷堆技术	E-25
		钍基熔盐堆技术	E-26
		放射性废物处理处置关键技术	E-27
核电机组长期运行及延寿技术	E-28		
能源系统数字化智能化	基础共性技术	智能传感与智能量测技术	E-29
	行业智能升级技术	特种智能机器人技术	E-30
		核电数字化智能化技术	E-31
		煤矿数字化智能化技术	E-32

表5-3 能源关键性技术汇总表

03 建筑

技术梳理

中国建筑的碳排放总量在过去十几年总体呈持续增长趋势，建造和运行的总碳排放在2018年超过60亿吨。运营阶段最大的碳排放来自大量运用化石燃料的北方居民供暖和公共建筑。

我国建筑领域碳中和面临两大挑战，一是既有建筑存量巨大，节能建筑占比不高；二是我国建筑总规模上位达到峰值，且持续保持快速增长，新建建筑需要面向碳中和的技术作为强有力的支撑。

根据国家和北京市在建筑领域技术发展的具体要求，结合建筑全生命周期概念和建筑碳排放边界的认定，归纳总结了包含建筑能源供给低碳技术、高性能围护结构技术、建筑设备低碳技术、建筑运营管理低碳技术、智能建造与新型工业化技术、建筑拆除及废弃物资源化再利用和绿色种植技术7大技术方向。根据8大类别，细化30项技术门类。

建筑能源供给低碳技术：太阳能利用、地热能利用技术、风能利用技术、生物质能利用技术、余热回收利用技术。

建筑围护结构低碳技术：建筑设计技术、墙体、屋顶、门窗、遮阳、楼地面系统。

建筑设备节能低碳应用：供热系统、给排水系统、通风系统、照明系统、空调系统、建筑柔性电机系统、建筑运行直接排放系统等。

低碳建筑设计：光伏建筑一体化、光储直柔建筑、近零能耗建筑、净零碳建筑、绿色建筑、超低能耗建筑、装配式建筑和被动式建筑设计。

建筑运营管理：智能化建筑系统、物业管理系统。

绿色建造与工业化智能施工：建筑工业化技术、建筑施工智能装备、新一代信息化、数字化融合技术、建筑产业互联网平台。

建筑拆除及废弃物资源利用：就地再生资源化利用、房屋拆除、废料运输。

绿色种植技术：绿化种植系统、绿化屋顶、垂直绿化及坡地绿化系统。

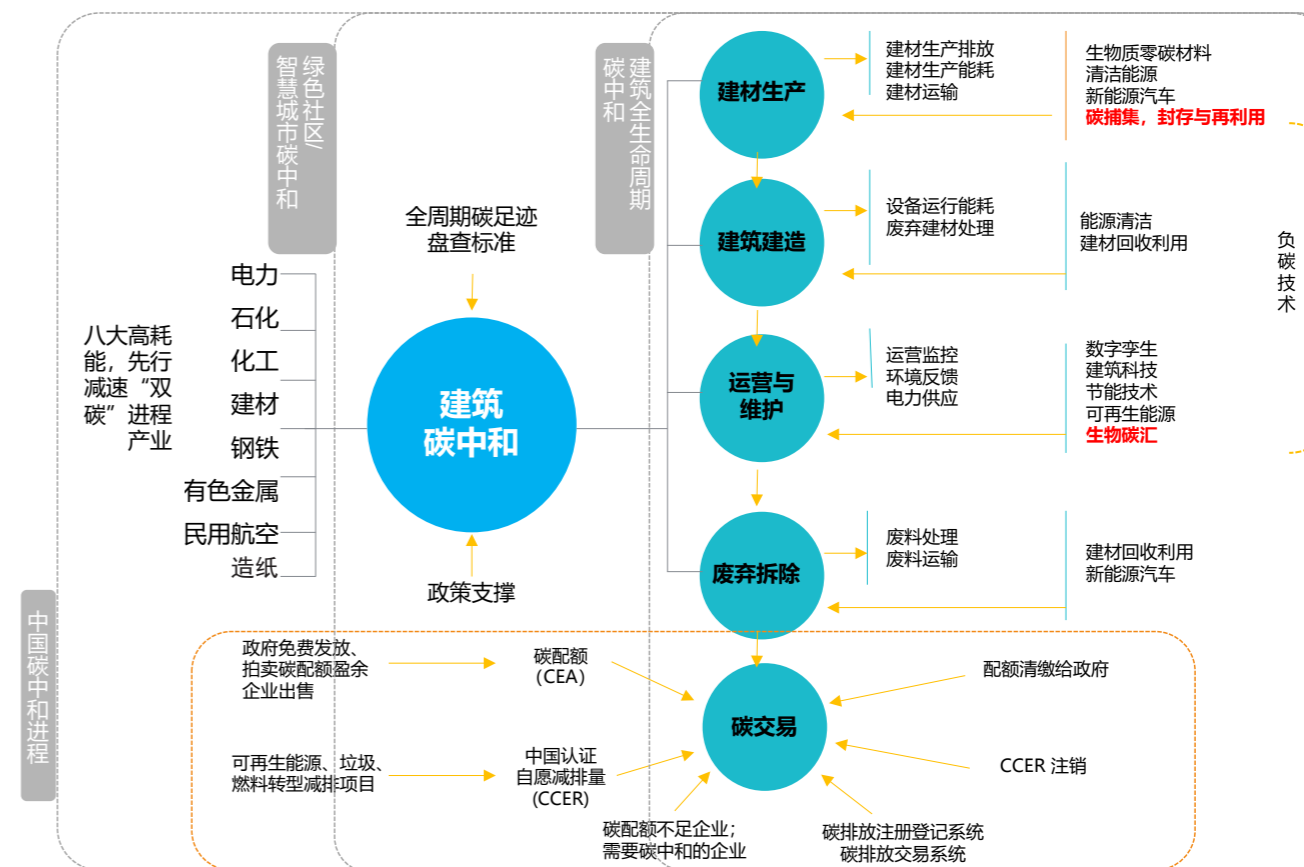


图5-3 全生命周期概念示意图（图片来源：《中国建筑白皮书》）

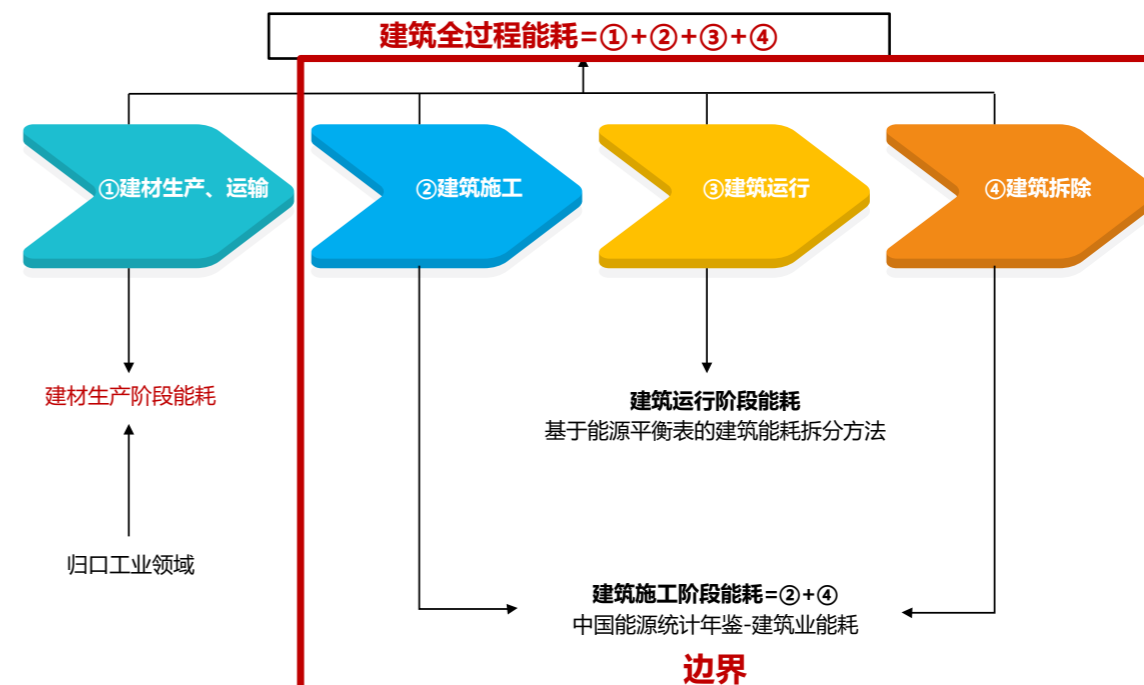


图5-4 建筑碳排放边界示意图（图片来源：中国建筑科学研究院 环境能源研究所）

建筑技术政策支持情况汇总表								
技术方向	技术门类	《2030年前碳达峰行动方案的通知》	《中共中央国务院关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》	《建筑节能与可再生能源利用通用规范》	《绿色建筑创建行动方案》	《绿色建筑评价技术细则（实行）》	《“十四五”建筑业发展规划》	《超低能耗居住建设设计标准》
建筑能源供给 低碳技术(可再生能源应用)	太阳能利用技术	★						
	地能能源利用技术	★						
	风能利用技术	★						
	生物质能利用技术	★						
	余热回收利用技术							
建筑围护结构 低碳技术	高性能建筑结构			★	★	★		★
	高保温墙体			★	★	★		★
	屋顶节能技术			★	★	★		★
	节能环保门窗			★	★	★		★
	外窗遮阳系统			★	★	★		★
	楼地面系统			★	★	★		★
建筑设备节能 低碳应用 (主动式技术)	供热系统			★	★	★		★
	给排水系统			★	★	★		★
	通风系统			★	★	★		★
	照明系统			★	★	★		★
	空调系统			★	★	★		★
	建筑柔性电机系统			★	★	★		★
	减少建筑运行直接碳排放的技术			★	★	★	★	★
建筑设计标准	近零碳建筑							
	净零碳建筑							
	光伏建筑一体化							
	光储直柔建筑						★	
	超低能耗建筑		★					
	装配式建筑		★				★	
	绿色建筑		★					
建筑运营管理 低碳技术	智能化监控系统		★			★		
	物业管理系统		★			★		
绿色施工	建筑工业化技术		★				★	
	建筑施工智能装备		★				★	
	新一代信息化、数字化融合技术		★				★	
	建筑产业互联网平台		★				★	
建筑拆除及废弃物资源化再利用	就地再生资源化利用							
	房屋拆除							
	废料运输							
绿色种植技术	绿化种植系统							
	绿化屋顶系统							
	垂直绿化及坡地绿化系统							

表 5-4 建筑技术政策支持情况汇总表（一）

建筑技术政策支持情况汇总表								
技术方向	技术门类	《北京市国民经济和社会发展第十四个五年规划和二〇三五年远景目标纲要》	《北京市“十四五”时期生态环境保护规划》	《北京市碳达峰实施方案》	《北京市“十四五”时期建筑业发展规划》	《北京市“十四五”时期应对气候变化和节能规划》	《“十四五”建筑节能与绿色建筑发展规划的通知》	《建筑节能与可再生能源利用通用规范》
建筑能源供给 低碳技术(可再生能源应用)	太阳能利用技术	★	★	★	★	★	★	
	地能能源利用技术	★	★	★	★	★	★	
	风能利用技术	★	★	★	★	★		
	生物质能利用技术	★	★	★	★		★	
	余热回收利用技术							★
	高性能建筑结构							★
建筑围护结构 低碳技术	高保温墙体							★
	屋顶节能技术							★
	节能环保门窗						★	★
	外窗遮阳系统							★
	楼地面系统							★
	供热系统							
建筑设备节能 低碳应用 (主动式技术)	给排水系统							★
	通风系统							★
	照明系统							★
	空调系统							★
	建筑柔性电机系统						★	★
	减少建筑运行直接碳排放的技术				★		★	★
	近零碳建筑							
建筑设计标准	净零碳建筑							
	光伏建筑一体化					★	★	
	光储直柔建筑				★		★	
	超低能耗建筑				★	★	★	
	装配式建筑				★	★		
	绿色建筑							
	智能化监控系统							★
建筑运营管理 低碳技术	物业管理系统							★
	建筑工业化技术				★		★	
绿色施工	建筑施工智能装备				★		★	
	新一代信息化、数字化融合技术				★		★	
	建筑产业互联网平台				★		★	
	就地再生资源化利用							
建筑拆除及废弃物资源化再利用	房屋拆除							
	废料运输							
	绿化种植系统							
绿色种植技术	绿化屋顶系统							
	垂直绿化及坡地绿化系统							

表 5-4 建筑技术政策支持情况汇总表（二）



技术盘点

建筑领域

建筑领域面向碳中和技术核心在于推动建筑电气化、提升建筑能效，与市政基础设施综合建设，使建筑从耗能转化为储能的载体；在实施层面覆盖“设计、建造、运营、拆除”全生命周期的低碳管理。

根据《建筑领域碳达峰碳中和实施路径研究》、《中国建筑节能年度发展研究报告》、《绿色建筑评价标准》、德国 DGNB、英国 BREAM、

美国 LEED 等评价体系，结合我国政策体系对建筑领域的低碳发展要求，细化了 31 类建筑领域门类面向碳中和技术的专项技术，归纳总结专项技术所处的研发阶段，并进行了分类。

根据相关政策文件、文献和书籍，分析技术门类所处的发展阶段（推广阶段、示范阶段、攻关阶段）。



图 5-5 大兴机场顶视图（图片来源：互联网）

得到当前政策支持的建筑技术盘点表						
体系	技术门类	专项技术	推广阶段	示范阶段	攻关阶段	
建筑能源供给 低碳技术(可再生 能源应用)	太阳能利用技术	被动式太阳能利用技术	★			
		太阳能发电	★			
		太阳能供暖	★			
		太阳能热利用	★			
		太阳能空调制冷	★			
	地能能源利用技术	地热发电技术	★			
		地热供暖技术	★			
	风能利用技术	被动式风能利用技术	★			
		风能发电技术	★			
	生物质能利用技术	秸秆气化技术	★			
		沼气应用技术	★			
	余热回收利用技术	热量回收技术	★			
建筑围护结构 低碳技术	高保温墙体	墙体保温隔热技术	★			
		涂料保温隔热技术		★		
		相变(内)墙体材料		★		
	屋顶节能技术	通风屋顶	★			
		保温隔热屋顶	★			
		冰冷顶系统		★		
	蓄水屋顶(屋顶绿化)			★		
		高性能门窗	断桥式节能窗	★		
			复合材料节能窗	★		
	中空玻璃门窗(惰性气体中空玻璃、Low-E中空玻璃)		★			
	外窗遮阳系统	外遮阳系统	★			
		内遮阳系统	★			
		本体遮阳系统(中空玻璃夹百叶这样技术)	★			
		导光式遮阳系统	★			
	楼地面系统	浮筑式楼面	★			
		架空楼面	★			
		相变蓄热地面		★		
	建筑设备低碳 应用	供热系统	热泵技术(地源热泵、空气源热泵、复合热泵系统)	★		
管道保温隔热技术			★			
集中供热/制冷技术			★			
分散供热/制冷技术			★			
热回收利用技术			★			
基于核电余热的水热联产技术				★		
跨季节蓄热技术					★	
冷暖供给末端系统(高效散热器)			★			
给排水系统		给排水系统优化技术	★			
		中水利用技术	★			
		雨水利用技术	★			
		节水器具	★			
通风系统	被动式通风系统	★				
	高效节能的通风系统	★				
照明系统	高效节能灯具系统(LED灯)	★				
	光导照明系统	★				
	集光照明系统	★				
空调系统	冰、水蓄冷空调系统	★				
	空气调节风系统	★				
	变风量空气调节系统	★				
	空气调节水系统	★				

表5-5 得到当前政策支持的建筑技术盘点表(一)

得到当前政策支持的建筑技术盘点表						
体系	技术门类	专项技术	推广阶段	示范阶段	攻关阶段	
建筑设备低碳 应用	建筑柔性电机系统	光储直柔建筑新型配电系统			★	
		以分布式光伏为基础的农村新型能源系统			★	
	减少建筑运行直接 碳排放的技术	炊事设备电气化	★			
		生活热水电气化	★			
蒸汽设备电气化		★				
建筑运营管理 低碳技术	智能化监控系统	分散采暖电气化	★			
		群智慧楼宇技术	★			
		智能灯光控制系统	★			
		电动窗帘(百叶)控制系统	★			
		室内温度、湿度控制与显示系统	★			
		空调、采暖、通风设备智能控制系统	★			
	物业管理系统	电器设备远程智能控制系统	★			
		建筑物(家居)智能一体化模块控制系统	★			
		垃圾处理系统	★	★		
		建筑物物业智能管理中心	★	★		
		建筑物物业数字化管理控制平台	★	★		
		智能建造与新型 工业化技术	建筑工业化技术	BIM、互联网、人工智能等新一代信息技术在建造全过程的创新与集成应用		★
精益化生产施工安装配套装备				★		
钢结构防火、防腐性能提升与技术措施研究				★		
建筑管线分离、一体化装修技术迭代和应用研究				★		
建筑施工智能装备	建筑活动全产业链协同体系构建路径			★		
	施工装备智能化升级改造			★		
	建筑机器人自主协同自动化建造工艺等研究			★		
	混凝土装配式构建、钢结构件模块化智能生产线			★		
	柔性工业化加工制造单元技术与装备			★		
	建筑机器人和智能控制造楼机等智能建造装备			★	★	
新一代信息化、数 字化融合技术	标准化、模块化3D打印设备和技术			★		
	建筑工人健康及监测能力的可穿戴设备			★		
	BIM底层平台软件全生命周期应用、数字孪生技术		★			
	人工智能施工图自动识别技术		★			
建筑产业互联网 平台	多方协同系统,推动行业大数据技术的应用及评估		★			
	区块链技术在建筑建造和存储模式和方法的应用		★	★		
	建筑“物联网”技术的工程应用		★			
	建筑产业互联网平台的构建		★			
建筑拆除及废 弃物资源化再 利用	就地再生资源化 利用	绿色建筑供应链技术体系		★		
		部品部件生产和工艺流程数字化、智能物流管理等人工智能交互技术		★		
		建筑垃圾分类处理(渣土、碎石块、废砂浆、混凝土、沥青土、废金属料、木材回收处理(将混凝土和水泥等废弃物进行破碎、筛选工作;将木材、钢筋和有机物去除后,破碎砖渣类建筑垃圾并进行分拣、去除)	★			
		再生处理(再生骨料:混凝土和砖等材料可按照颗粒大小氛围再生粗骨料及细骨料;骨料:混凝土和砂浆可制备再生微粉)	★			
		资源化利用(再生骨料可用于制作再生砖——地面砖、透水砖等;再生砂浆;再生混凝土和路用无机料等)	★			
		产品应用(应用场景:内墙粉饰砖;植草混凝土;海绵城市构件)	★			
	房屋拆除	降低设备能耗(机械使用清洁能源)	★			
	废料运输	新能源汽车运输	★			
	绿色种植技术	绿化种植系统	人工绿化栽培技术	★		
			反季节种植技术	★		
绿化屋顶系统		轻型屋顶绿化技术	★			
		薄层基层屋顶绿化和垂直栽培技术	★			
		植生混凝土种植屋面技术	★			
垂直绿化及坡地 绿化系统		植被混凝土绿化技术	★			
	TBS护坡绿化技术	★				

表5-5 得到当前政策支持的建筑技术盘点表(二)

专家观点



中国工程院院士、清华大学教授 江亿

未来大比例风电光电的电源结构背景下，应大力发展建筑表面光伏发电，建筑实现灵活消纳再生电力的关键是柔性用电，“光储直柔”建筑成为发展零碳能源的重要支柱。（第十七届清华大学建筑节能学术周）。

热泵契合终端用能电气化发展的需求，是电力高效转为热量的最佳途径。无论是建筑领域，还是工业、农业和其他民用领域，在有合适的低位热源的条件下，使用热泵替代锅炉或者电热炉来提供热能，利用余热采集、区域供热网、大规模跨季节储热、长距离输热，为工业和建筑提供所需的各类热量，以满足建筑供暖、生活热水和各类工业生产过程中的热量需求，将大大减少。

深圳市建筑科学研究院股份有限公司副总工程师、中国建筑节能协会光储直柔专委会秘书长 郝斌

未来建筑将呈现高电气化率、高比例建筑场地内光伏、高比例柔性直流用电设备、安装储能装置和智能充电桩、具备与城市电网互动的能力等特征。（第十七届清华大学建筑节能学术周）



清华大学建筑学院副院长 清华大学教授 林波荣

探索实践了基于人工智能的建筑绿色性能提升关键技术，并提出未来应基于“人工智能+物理规律”融合模式，推动场景驱动/工程导向、覆盖设计到运维全过程的交叉协同创新。



深圳市建筑科学研究院股份有限公司董事长 叶青

新版 GB/T 50378—2019《绿色建筑评价标准》采用了安全耐久、舒适健康、生活便利、资源节约、环境宜居，以及创新的架构体系，它从最早关注“四节一环保”的资源、过程、建筑物，走向性能、结果和人——建筑不再仅仅是工业品，而是会呼吸、能生长的生命体。

清华大学建筑学院院长 清华大学教授 张利

对待自然最为谦恭的当然是因地制宜、以本地气候为参照的建筑，低（适宜）技术、地方材料与工法、社区营造的参与是这些建筑共同的特征，它们是当之无愧的“最绿色”的建筑。“最绿色”并不一定意味着“最可持续”。



中国工程院院士 中国建筑设计院有限公司名誉院长、总建筑师，国家工程设计大师，中国建筑学会副理事长 崔愷

随着我国双碳战略目标的出台，使得绿色环保的现代木结构建筑将会获得更积极的重视和推广。生物源材料的使用、生物气候设计和可再生能源的生产相结合，将成为可持续发展的生态转型的一个新阶段。



全国工程勘察设计大师、中国建筑科学研究院首席科学家 徐伟

我国建筑领域迫切需要寻找一条更高能效、减缓能耗上升和排放的节能减排的实施路径，其中，推动超低能耗建筑、近零能耗建筑规模化应用是主要的技术措施之一。



关键性技术总结

建筑领域

关键性技术总结旨在明确建筑关键技术，结合建筑技术盘点及相关工作研究，对关键性技术进行总结，形成技术评估工具的重要参考依据，用以指导生活场景、交通场景、办公场景和游憩场景的构建。

备注中对技术进行编号，并成为“应用场景”部分的技术支撑材料，用以指导应用场景的构建。

表5-6 建筑关键性技术汇总表

类别	关键技术	技术攻关方向	备注
优化建筑本体性能	优化建筑造型	研发BIRV要求的光伏与建筑材料一体化的新型功能材料	A-1
	通过采用保温隔热的外墙和屋顶	研发新型保温围护结构材料 研发具有对短波辐射高反射率、对长波辐射高发射率的表面材料	A-2
	通过可调节自然通风的建筑设计和通风装置	研制低阻力、可控排风热回收装置；	A-3
	通过特殊的围护结构材料与建筑设计	开发提高大型公共建筑围护结构气密性的技术	A-4
	通过建筑内表面的吸湿蓄湿材料	研发具有大含水量且表面平衡湿度在60%左右的可用于建筑内表面装饰的吸湿调湿材料；	A-5
	通过合理的建筑设计和遮阳与反射装置的设计	自然采光效果，减少对人工照明的需求	A-6
减少建筑运行直接碳排放的技术	炊事设备电气化	炊事设备的电气化替代，核心是电磁炉替代燃气灶具	A-7
	生活热水电气化	电热水锅炉	A-8
		热泵用二氧化碳压缩机的国产化;可以把动量转化为分离功的涡旋管的国产化和性能提高（空气源热泵热水器）	A-9
	蒸汽设备电气化	研制可实现湿蒸汽的蒸汽压缩机	A-10
	分散采暖电气化	利用各类热泵（包括热泵式冷热水机组、热泵热风机等）满足我国南方地区的分散采暖需求	A-11

类别	关键技术	技术攻关方向	备注
高效的建筑机电系统	先进的空气动力学技术	符合分散地提供服务、集中地管理控制的系统形式和调控方式	A-12
	新型末端装置和调控技术	电子换向电机驱动的风机水泵，实现风机水泵在大范围内都可以获得高效率的技术	A-13
	创新的压缩机技术、新的系统梳理和热泵系统的关键部件	二氧化碳作为工质的高效热泵系统，包括二氧化碳压缩机、服务于二氧化碳热泵的膨胀机、新的二氧化碳热泵流程等	A-14
	非常规制冷和除湿技术	可在温升范围变化下高效工作，可使制冷/制热量大范围变化的热泵机组；	A-15
	带有蓄能能力、可实现需求侧响应的建筑用电设备	建筑用电设备需求侧响应工作模式和功效调节策略，提高装置和系统蓄能的策略。	A-16
建筑柔性机电系统	光储直柔建筑新型配电系统	<ul style="list-style-type: none"> 建筑光储直柔配电系统仿真平台软件、系统调控算法的开发； 光储直柔系统关键电气设备的研究开发，如各类AC/DC变换器，用于光伏、电池、充电桩的DC/DC变换器，过流、短路、漏电保护器等； 各类建筑电气设备的直流化，以及各类电气设备和系统的需求侧响应调控方式。 	A-17
	以分布式光伏为基础的农村新型能源系统	<ul style="list-style-type: none"> 农村分布式直流微网技术开发； 家电设备直流化 农机装备电气化 生物质燃料气制备技术开发 生物质燃料制备技术开发 生物质固体燃料制备技术开发 	A-18
为建筑提供热力的零碳热源关键技术	基于核电余热的水热联产技术	<ul style="list-style-type: none"> 利用余热制备热水的最优流程和相应装置 长距离热淡水输送技术 高效水热分离技术 大规模跨季节蓄热技术 	A-19
	跨季节蓄热技术	<ul style="list-style-type: none"> 大规模跨季节热水蓄存系统的生态环境评估，以及选址方式 低成本建造大规模跨季节热水续存系统的关键技术 大型跨季节热水蓄存系统避免冷热掺混和减少楼热损失的关键技术 大规模跨季节热水续存系统的连接工艺和运行调控方法 	A-20
	余热供热管网供水温度调节技术		A-21
	通过地下换热器提取中深层地热技术	<ul style="list-style-type: none"> 地下深处水平钻井技术和地下水平管与两侧竖井的连接技术，这是大幅度提高中深层地下换热器系统效率并改善其经济性的关键； 地下长周期大尺度热传状况的研究，包括长期实测和仿 	A-22
建筑运营管理	智慧化监控系统	群智慧楼宇技术；	A-23
	物业管理系统	建筑物也数字化管理控制平台	A-24
绿色施工	建筑工业化技术	BIM、互联网、人工智能等新一代信息技术在建造全过程的创新与集成应用；	A-25
	建筑施工智能装备	建筑机器人和智能控制造楼机等智能建造装备；	A-26
	新一代信息化、数字融合技术	标准化、模块化3D打印设备和技术；	A-27
拆除及废弃物资源化处理	建筑产业互联网平台	BIM底层平台软件全生命周期应用、数字孪生技术；建筑物联网工程应用	A-28
	就地再生资源化利用	产品应用(应用场景：内墙粉饰砖；植草混凝土；海绵城市构件)	A-29
	房屋拆除	降低设备能耗(机械使用清洁能源)	A-30
	废料运输	新能源汽车运输	A-31

04 交通

技术梳理

2019年，我国能源活动碳排放约为98亿吨，其中交通碳排放量占比9%，在我国能源相关二氧化碳碳排放领域排名第三。

党的十八大以来，我国交通运输事业取得历史性成就，迎来了由交通大国向交通强国的历史性跨越，铁路、公路、水运、民航客货周转量、港口货物吞吐量、邮政快递业务量等主要指标连续多年位居世界前列。

交通建设技术及建设总量突飞猛进，高铁营业里程、轨道交通运营里程、通车总里程等稳居世界第一，新能源汽车技术突飞猛进，新能源汽车保有量逐步提升。我国已成为世界上运输最繁忙的国家之一。

以推动交通运输绿色低碳转型、加快推进低碳交通运输体系建设为目标导向，具体策略表现为推动运输工具装备低碳转型、构建绿色高效交通运输体系、加快绿色交通基础设施建设、强化绿色交通科技支撑、积极宣传引导低碳出行、完善绿色低碳政策体系。

交通技术政策支持情况汇总表							
技术方向	技术门类	《中国可持续发展报告》	《推进交通运输生态文明建设实施方案》	《绿色出行行动计划(2019—2022年)》	《绿色交通“十四五”发展规划》	《综合运输服务“十四五”发展规划》	
绿色基础设施建设技术	节能减排施工设备		★				
	基础设施分布式光伏发电设备及并网技术				★		
	废旧材料再生循环利用技术（如建筑垃圾应用于城市道路基层填筑、水泥砖等）						
	温拌沥青技术						
	高效照明技术						
	智能通风控制技术						
	供电设备节能改造技术						
	化石能源驱动载运装备降碳技术						
	非化石能源替代技术						
	交通基础设施能源自洽系统技术						
	岸电建设技术				★	★	
	新能源和清洁能源运输装备	高性能电动、氢能等低碳能源驱动载运装备技术		★			★
		重型陆路载运装备混合动力技术					
水运载运装备应用清洁能源动力技术							
航空器非碳基能源动力技术							
高效牵引变流及电控系统技术							
新能源智能汽车技术							
燃料电池汽车货运							
LNG动力船舶技术							
船舶LNG加注设施建设技术							
油电混合、氢燃料、氨燃料、甲醇动力船舶应用技术							
氢燃料动力车辆及船舶技术							
生物质燃料船舶技术							
动力电池技术							
驱动电机技术							
车用操作系统技术							
节能减排技术、交通网与能源网融合	光伏发电及储能设施技术						
	高效电能转换技术						
	能效提升技术						
	高效换热技术						
	交通专用及非碳基能源系统						
	分布式能源自洽						
	交通能源一体化建设运维						
	源—网—荷—储协同的交通电气化						
运输服务绿色环保技术	装备及能效检测评价技术						
	基于生态承载力的交通网络优化技术						
	基于多源数据的交通运输能耗技术						
	温室气体和大气污染物排放监测与评估技术						
	载运工具污染物在线监测及防控技术						
	智能公交技术		★				
	绿色汽车维修技术		★				
	新能源汽车性能监控与保障技术				★		
	碳排放监测及核算技术						
交通运输智慧化技术	电子不停车收费技术（ETC）	★	★	★			
	交通能源自洽及多能变换技术						
	交通自洽能源系统高效能与高弹性技术						
高效化运输组织技术	城市道路交通信号灯配时智能化			★			
	城市智能交通管理系统			★		★	
	互联网+高效物流		★				
	货运多式联运	★					

表 5-7 交通技术政策支持情况汇总表（一）

交通技术政策支持情况汇总表							
技术方向	技术门类	《“十四五”现代综合交通运输体系发展规划》	《北京市“十四五”时期交通发展建设规划》	《北京市“十四五”时期能源发展规划》	《交通领域科技创新中长期发展规划纲要(2021—2035年)》	《科技支撑碳达峰碳中和实施方案(2022—2030年)》	
绿色基础设施建设技术	节能减排施工设备		★				
	基础设施分布式光伏发电设备及并网技术				★		
	废旧材料再生循环利用技术（如建筑垃圾应用于城市道路基层填筑、水泥砖等）						
	温拌沥青技术						
	高效照明技术						
	智能通风控制技术						
	供电设备节能改造技术						
	化石能源驱动载运装备降碳技术					★	
	非化石能源替代技术					★	
	交通基础设施能源自洽系统技术					★	
	岸电建设技术					★	
	新能源和清洁能源运输装备	高性能电动、氢能等低碳能源驱动载运装备技术		★			★
		重型陆路载运装备混合动力技术					★
水运载运装备应用清洁能源动力技术						★	
航空器非碳基能源动力技术						★	
高效牵引变流及电控系统技术						★	
新能源智能汽车技术			★	★	★		
燃料电池汽车货运					★		
LNG动力船舶技术							
船舶LNG加注设施建设技术							
油电混合、氢燃料、氨燃料、甲醇动力船舶应用技术							
氢燃料动力车辆及船舶技术							
生物质燃料船舶技术							
动力电池技术						★	
驱动电机技术						★	
车用操作系统技术						★	
节能减排技术、交通网与能源网融合	光伏发电及储能设施技术						
	高效电能转换技术					★	
	能效提升技术					★	
	高效换热技术					★	
	交通专用及非碳基能源系统						
	分布式能源自洽						
	交通能源一体化建设运维						
	源—网—荷—储协同的交通电气化						
运输服务绿色环保技术	装备及能效检测评价技术					★	
	基于生态承载力的交通网络优化技术						
	基于多源数据的交通运输能耗技术						
	温室气体和大气污染物排放监测与评估技术						
	载运工具污染物在线监测及防控技术						
	智能公交技术		★				
	绿色汽车维修技术		★				
	新能源汽车性能监控与保障技术				★		
	碳排放监测及核算技术						
交通运输智慧化技术	电子不停车收费技术（ETC）	★	★	★		★	
	交通能源自洽及多能变换技术					★	
	交通自洽能源系统高效能与高弹性技术						
高效化运输组织技术	城市道路交通信号灯配时智能化			★			
	城市智能交通管理系统			★			
	互联网+高效物流		★				
	货运多式联运	★					

表 5-7 交通技术政策支持情况汇总表（二）

技术盘点

交通领域

基于国家实现碳达峰、碳中和目标的战略要求，需积极扩大电力、氢能、天然气、先进生物液体燃料等新能源、清洁能源在交通运输领域的应用。

公路交通以电力、氢能、LNG技术为主线，要提升电动汽车蓄电池的能效及安全性，突破氢燃料电池的性能、成本、寿命等关键瓶颈，推广电力、氢燃料、LNG动力重型货运车辆。

铁路交通以电力、氢能为主线，要深入推进电气化技术，积极开展磁悬浮列车、氢动力列车等技术的研究范围，进一步提高铁路电气化率。

水运交通以电力、LNG、氢/氢能等技术为主线，要加快船舶替代燃料技术的攻关及应用，降低零碳船舶建造和改装成本，完善基础设施服务体系，推进新能源、清洁能源船舶的示范应用。

航空交通以生物质燃料、氢能、电力为主线，要培育壮大生物燃料产业，进一步降低成本，扩大商业化应用；积极推进氢动力、电力新能源航空器技术的研发和示范。

根据相关政策文件、文献和书籍，分析技术门类所处的发展阶段（推广阶段、示范阶段、攻关阶段）。

得到当前政策支持的交通技术盘点表					
技术方向	技术门类	应用推广	示范试验	集中攻关	
绿色基础设施建设技术	节能减排施工设备	★			
	基础设施分布式光伏发电设备及并网技术			★	
	废旧材料再生循环利用技术（如建筑垃圾应用于城市道路基层填筑、水泥砖等）	★			
	温拌沥青技术	★			
	高效照明技术	★			
	智能通风控制技术	★			
	供电设备节能改造技术	★			
	化石能源驱动载运装备降碳技术	★			
	非化石能源替代技术	★			
	交通基础设施能源自洽系统技术				★
新能源和清洁能源运输装备	岸电建设技术	★			
	高性能电动、氢能等低碳能源驱动载运装备技术	★			
	重型陆路载运装备混合动力技术			★	
	水运载运装备应用清洁能源动力技术			★	
	航空器非碳基能源动力技术			★	
	高效牵引变流及电控系统技术			★	
	新能源智能汽车技术	★			
	燃料电池汽车货运		★		
	LNG动力船舶技术	★			
	船舶LNG加注设施建设技术	★			
	油电混合、氢燃料、氨燃料、甲醇动力船舶应用技术	★			
	氢燃料动力车辆及船舶技术	★			
	生物质燃料船舶技术	★			
	动力电池技术				★
驱动电机技术				★	
车用操作系统技术				★	
节能减排技术、交通网与能源网融合	光伏发电及储能设施技术	★			
	高效电能转换技术	★			
	能效提升技术	★			
	高效换热技术	★			
	交通专用及非碳基能源系统		★		
	分布式能源自洽		★		
	交通能源一体化建设运维				★
源—网—荷—储协同的交通电气化				★	
运输服务绿色环保技术	装备及能效检测评价技术				
	基于生态承载力的交通网络优化技术	★			
	基于多源数据的交通运输能耗技术				★
	温室气体和大气污染物排放监测与评估技术				★
	载运工具污染物检测溯源技术				★
	载运工具污染物在线监测及防控技术				★
	智能公交技术	★			
	绿色汽车维修技术	★			
交通运输智慧化技术	新能源汽车性能监控与保障技术				★
	碳排放监测及核算技术				★
	电子不停车收费技术（ETC）	★			
高效化运输组织技术	交通能源自洽及多能变换技术				★
	交通自洽能源系统高效能与高弹性技术				★
	交通运输智慧化技术	★			
	城市智能交通管理系统	★			
互联网+高效物流	互联网+高效物流	★			
	货运多式联运	★			

表 5-8 得到当前政策支持的交通技术盘点表

专家观点



中国科学院院士、清华大学车辆与运载学院教授 欧阳明高

纯电驱动汽车将带动交通全面电动化和电池与储能产业的大发展，燃料电池汽车将推动绿色氢能战略性产业集群的大发展，智能电动汽车产业化将带动下一代信息产业以及车网互动和分布式光伏这一黄金组合的大发展。车用动力系统的多元化是重要战略方向。



清华大学交通研究所所长 陆化普

降低交通领域碳排放不仅在于交通领域本身，而且涉及到交通行业的全产业链条，需要做好顶层设计。智慧交通是实现“双碳”目标的关键技术途径。交通基础设施建设、交通结构调整、交通运行管理、交通设备智能低碳等目标，都离不开数字化、信息化和智能化，绿色低碳交通的发展过程也是智能交通深度发展应用的过程。

勃艮第大学骑车和交通工程研究所主任 Luis Le Moyne

氢气内燃机是交通减碳的低成本解决方案。



清华大学交通研究所副所长 杨新苗

智能助力车才是未来的潮流出行方式，能实现人力骑行和电机助动一体化，是健康和低碳理念下的自行车交通发展的重要新型交通工具。



北京航空航天大学交通科学与工程学教授 马晓磊

在低碳出行一体化技术体系创新与攻关过程中，遵循“需求辨识 -> 信息推送 -> 资源调度 -> 能交融合 -> 出行平台”的总体思路，构建以碳普惠与能交融合为主导的低碳出行一体化（MaaS）技术体系，并总结出以下核心技术：多尺度出行需求时空辨识与可靠预测技术；多模式出行信息精准感知与方案生成技术；多运输方式资源协同调度与动态优化技术；多场景交通与能源融合规划与运营技术。他认为，中国 MaaS 需要以碳普惠为纽带，有效衔接碳市场，考虑“源 - 网 - 荷 - 储”四重耦合关系，保障与可持续能源网的深度融合。



澳大利亚国家工程院外籍院士、南方科技大学创新创业学院院长、清洁能源研究院院长 刘科

从能源的全生命周期来看碳中和和汽车动力系统的战略。他认为，碳中和的核心是能源转型，当煤炭发电居于主导地位，电动汽车从全生命周期来看对减碳的作用非常有限。从易于存储运输的角度来看，能源多样化及液化是必然道路。例如，比石油和煤炭发电过程降碳约5%的“绿色甲醇”，就是一种环保的燃料。燃烧绿色液体的内燃机不仅不应该禁，反而要大力发展，尤其是绿色液体和动力电池的混动是未来发展的方向。（2023年5月18-19日，第三届车用动力系统国际高峰论坛）。



关键性技术总结

交通领域

关键性技术总结旨在明确交通关键技术，结合交通技术盘点及相关工作研究，形成技术评估工具的重要参考依据；用以指导生活场景、交通场景、办公场景和游憩场景的构建。

备注中对技术进行编号，并成为“应用场景”部分的技术支撑材料，用以指导应用场景的构建。

类别	关键技术	技术攻关方向	备注	
绿色基础设施建设技术	绿色施工	节能减排施工设备	T-1	
		废旧材料再生循环利用技术（如建筑垃圾应用于城市道路基层填筑、水泥砖等）	T-2	
		温拌沥青技术	T-3	
	新能源与清洁能源利用	基础设施分布式光伏发电设备及并网技术	T-4	
		化石能源驱动载运装备降碳技术	T-5	
		非化石能源替代技术	T-6	
		岸电建设技术	T-7	
	基础设施节能减排技术	高效照明技术	T-8	
		智能通风控制技术	T-9	
		供电设备节能改造技术	T-10	
		交通基础设施能源自洽系统技术	T-11	
新能源和清洁能源运输工具装备	氢燃料电池汽车技术	高性能电动、氢能等低碳能源驱动载运装备技术	T-12	
		重型陆路载运装备混合动力技术	T-13	
		高效牵引变流及电控系统技术	T-14	
	纯电动汽车技术	燃料电池汽车货运	T-15	
		车用操作系统技术	T-16	
		驱动电机技术	T-17	
		动力电池技术	T-18	
		新能源智能汽车技术	T-19	
	液化天然气动力船舶技术		T-20	
	清洁能源船舶技术应用	油电混合、氢燃料、氨燃料、甲醇动力船舶应用技术	T-21	
		氢燃料动力车辆及船舶技术	T-22	
		生物质燃料船舶技术	T-23	
		水运载装备应用清洁能源动力技术	T-24	
	氢动力飞机技术	航空器非碳基能源动力技术	T-25	
	磁悬浮列车技术	针对磁悬浮技术中牵引电机效率、超导材料、储能等关键系统开展深入研究	T-26	
		真空管道磁悬浮技术	T-27	
	节能减排技术、交通网与能源网融合	节能减排技术、交通网与能源网融合	光伏发电及储能设施技术	T-28
			高效电能转换技术	T-29
			能效提升技术	T-30
高效换热技术			T-31	
交通专用及非碳基能源系统			T-32	
分布式能源自洽			T-33	
交通能源一体化建设运维			T-34	
源—网—荷—储协同的交通电气化			T-35	
运输服务绿色环保技术	运输服务绿色环保技术	装备及能效检测评价技术	T-36	
		基于生态承载力的交通网络优化技术	T-37	
		基于多源数据的交通运输能耗技术	T-38	
		温室气体和大气污染物排放监测与评估技术	T-39	
		载运工具污染物检测溯源技术	T-40	
		载运工具污染物在线监测及防控技术	T-41	
		智能公交技术	T-42	
		绿色汽车维修技术	T-43	
		新能源汽车性能监控与保障技术	T-44	
		碳排放监测及核算技术	T-45	
高效化运输组织技术	高效化运输组织技术	城市道路交通信号灯配时智能化	T-46	
		城市智能交通管理系统	T-47	
		货运多式联运	T-48	
		互联网+高效物流	T-49	
交通运输智慧化技术	道路交通智慧化	电子不停车收费技术（ETC）	T-50	
		V2G	T-51	
	自动驾驶技术	激光雷达等传感器技术、高精地图技术、AI路径规划技术、ECU技术	T-52	
	全自动化集装箱码头系统	雷达、AIS、视频CCTV、AGV、智能港口机械设备、智能船载设备	T-53	
航空物流信息系统	空域和航路航线结构、条形码、EDI、射频识别（RFID）、全球定位系统（GPS）、地理信息系统（GIS）	T-54		

表5-9 交通关键性技术汇总表

6

技术应用 评估工具的构建

- 01 评估目标
- 02 构建准则
- 03 构建方法
- 04 评估体系
- 05 技术应用试评估

01 评估目标

在全面盘点面向双碳的技术体系之后，本章将构建一套技术应用评估工具，其主要目标在于促进平台化策划设计和建设实施提供关键服务内容和科普展陈对象的筛选工具。

02 构建准则

评估原则

为建立一套科学合理的碳中和技术评估工具，首先要明确构建原则，各个评估维度的组合根据各领域面向碳中和的政策导向、典型示范案例、技术攻关方向、专家观点和关键问题等进行组合，通过科学性、可持续性、系统性及适用性原则，构建对面向碳中和的技术评估原则。

科学性原则：科学性原则主要体现在理论和实践结合，并采用科学的研究方法，在理论研究上要有理可依，并且能够反映评价对象的客观情况。

可持续性原则：可持续性原则体现在面向碳中和的技术在全生命周期过程中（资源获取和原料制作、产品制造、产品流通与使用，产品报废后的处置），实现资源利用最高效、环境影响最小的多层次技术。

系统性原则：系统性主要体现在不同领域的面向碳中和技术的差异化，在构建一个领域的评估工具时，应能够全面反映该领域涉及的各个方面，反映不同层次的包含关系和横向与纵向之间的联系，具有系统性。

动态更新性原则：面向碳中和的技术及其相关因素有相对的稳定性，但是通过迭代更新及演替，需定期对该技术进行重新评估，从而确保评估工具的持续先进性。

评估维度

根据对于面向碳中和的技术特点及相关技术评价体系研究，面向碳中和的技术评估工具的构建维度可分为技术的先进性、成熟性、使用性、经济效益、环境效益和社会效益。

技术的先进性：技术的先进性是指该项技术的科技成果必须是领先的。确认技术的先进性需与同类技术进行比较。另一方面，技术须在3-5年内通过不断迭代更新，在该领域持续拥有领先地位。同时，面向碳中和的技术需考虑其节能减碳效果。

技术的成熟性：一项技术是小试技术、中试技术，还是已完成工业化试生产技术，技术的放大效应、技术开发者工业化生产经验如何，对技术引进成功与否都具有重要意义。技术的成熟度越高，越有利于避免技术的风险性、提高技术应用成功的可能性，有利于技术的工业化。

技术的适用性：技术能够满足或适合使用者的生产需要和市场需要，能够适应于使用者的生产技术水平、条件和环境，能够迅速为使用者了解、消化和掌握，则技术适应性越好，越容易实现其使用价值。另一方面，技术对人员的技术水平、资源等也有一定的要求，因此也要注意外界对技术的适应性。

技术经济效益：指人们从事经济活动所获得的劳动成果产出与劳动消耗投入的比较。经济承受力，是指该项技术引进及应用能否获得足够的资金支持。只有当技术使用带来的经济效益大于使用成本，且不超过经济承受能力时，才有可能采用该技术。

技术环境效益：指人类活动所引起的环境质量的变化。技术的研究不仅仅从经济效益角度考虑来节约能耗，要更多的考虑到环境效益。把微观效益与宏观效益相结合，也要处理好眼前的经济利益与长远环境效益的关系。

技术社会效益：是指在项目全生命过程中，人类活动所产生的社会效果。社会效益是从社会角度来评价人类活动的成果。技术的社会效益是对就业率、生活水平、文化的提高程度。

03 构建方法

要进行科学合理的评价，评价指标的选择确定上需要考虑各方面的综合因素，才能保证评估工具建立的科学性、可持续性、系统性及动态更新性。基于以上研究内容，本报告主要采用以下研究方法。

文献调查法：有目的、有计划、有系统的对书籍与论题有关的文献，进行分析、综合、比较与归纳，形成报告研究的理论依据。

专家法打分法：咨询有关方面的专家，获得专业信息与意见。根据评价对象的具体要求选评价项目，再根据评价项目制定评价标注，聘请若干代表性专家凭借自己的经验按此评价标准给出各项目的评价分值，再对其进行分析。

案例调研：调研与课题相关的实际项目、研究相关案例。

04 评估体系

为建立系统的面向碳中和评估工具，使评估工具成为面向碳中和技术评估的成熟评估体系。评估工具充分利用专家资源，通过多元全面的评估维度，实现对专项技术的精准评估。评估细则说明如右表（表 6-1）所示：

评估准则		评估细则	评估分值	权重	总分值	
评估技术名称	技术先进性	评价该项技术的科技技术水平的高低，是否具有领先引领作用，是否有关键技术的突破。	该项技术可在5年内保持先进性；该项技术在国际、国内或者行业保持领先水平；该项技术在某点或者某个部分有所突破，填补空白，实现关键技术上的突破。	5分；极符合 4分；较为符合 3分；符合 2分；较不符合 1分；极不符合	等权	6个评估维度得分值加和
	技术成熟性	评价该项技术的稳定性、可持续性，是否有可借鉴的技术应用成功案例。	该项技术的故障率较低，相应建设产品的使用年限较高且便于维护管理；该项技术应用所需配套技术是否成熟完善；该项技术具有完善的法律法规和技术管理标准体系。			
	技术适用性	评价该项技术是否根据不同区域、单元特性，针对性地运用实施技术。	该项技术的应用符合当地的资源、气候和地质条件；该项技术的应用符合当地生产技术条件；该项技术性能能够满足当地生产、生活和市场需求。			
	技术经济效益	评价该项技术在建设和运行阶段所需费用，投资及收益，以及建成后对周边的经济发展影响。	降低整体建造成本以及运营阶段的维护费用，节约项目时间；应用该项技术在全生命周期内的投资收益率较高。			
	技术环境效益	评价该项技术在建设后对周边区域环境带来的影响，是否带来节能减排的效果。	该项技术可大大减少污染浪费，节能减排效果显著；该项技术在施工和运行过程中对于废弃物的处理和资源化利用情况；在后期使用过程中维护费用较低，且技术所应用的设备使用寿命较长；应用该项技术减少不开再生资源消耗。			
	技术社会效益	评价该项技术是否提升相关产业发展、是否具有示范引领作用、能否提升区域人居环境品质，方便周边居民使用。	该项技术可推动相关产业的发展；该项技术立足国际视野，在全世界范围起到示范和引领作用，助力30-60目标的实现；该项技术的应用符合所在地区地域特色、环境特征、自然风貌等。			

表 6-1 评估细则

05 技术应用试评估

为了验证上述评估体系是否能有效合理地对技术进行评估，特选用能源、建筑及交通等不同领域的不同技术进行试评估。

能源领域，选用深海风力发电和火力发电进行对比试评。深海风力发电技术作为一项创新技术，具有较高先进性，且具有良好的环境效益和社会效益，虽然在技术成熟性和适用性上略逊一筹，但总得分仍有23分，高于火力发电

技术。而火力发电技术作为传统发电技术，技术成熟性和适用性极好，但先进性较差，且环境效益极低，社会效益不佳，总得分为19分。

建筑领域，选用光伏建筑一体化BIPV和“安装型”太阳能光伏BAPV进行对比试评。两项技术均为光伏技术，都具有良好的环境效益，BIPV较BAPV更先进，且社会效益更好，但BIPV的技术成熟性和适用性略差。总体来说，BIPV和BAPV

总得分接近且较高，BIPV为23分，BAPV为22分。

交通领域，选用氢燃料电池汽车和传统燃油汽车进行对比试评。氢燃料电池汽车作为未来新能源汽车方向之一，具有较高先进性和良好的环境效益、社会效益，但技术成熟性和适用性有待完善，总得分为22分。而传统燃油汽车的技术成熟性和适用性极好，但先进性和环境效益较差，社会效益不佳，总得分为19分。

技术名称			技术评估										总技术得分		
领域	技术方向	技术	技术先进性 评价该项技术的科技技术水平的高低，是否具有领先引领作用，是否有关键技术的突破		技术成熟性 评价该项技术的稳定性、可持续性，是否有可借鉴的技术应用成功案例。		技术适用性 评价该项技术是否根据不同区域、单元特性，针对性地运用实施技术。		技术经济效益 评价该项技术在建设和运行阶段所需费用，投资及收益，以及建成后对周边的经济发展影响。		技术环境效益 评价该项技术在建设后对周边区域环境带来的影响，是否节能减排。			技术社会效益 评价该项技术是否提升相关产业发展、是否具有示范引领作用、能否提升区域人居环境品质，方便周边居民使用。	
			描述	分值	描述	分值	描述	分值	描述	分值	描述	分值		描述	分值
能源	发电	深海风力发电	深海风电相对于陆地更稳定且更快，可以提供更稳定和高效的能源，海上风力资源比陆地风力资源能量密度高，风大时有极高的风能可以转化高效利用，具有较高的先进性	5	截至2021年底，我国海上风电累计装机26.38吉瓦，占全球海上风电装机总量的48%，位居全球第一。但海上风电机组在功率提升、叶片加长、海况施工、免维护少维修等方面存在挑战。	3	由于深海风电需要水深大于50米的深海，只能在特定深海海域建厂，仅适用于一些位于沿海地区的能源需求城市	2	按照现阶段降本速度，深远海风电(固定式)已经初步具备经济性，评价下全投资收益率可达6%，未来有望继续提升。但应用成本和度电成本仍然较高	3	风能是可再生能源，取之不尽，且无污染	5	深海发电是风电的重要发展方向，资源储量丰富，海上风电是解决东部沿海省份用电紧缺问题的最佳选项之一，具有示范引领作用。深远海趋势带动风电部件持续发展，前景可期。	5	23
		火力发电	火力发电是传统、主要的供电方式之一，技术较为普遍，缺乏先进性	1	火力发电是一项比较成熟的技术，在我国火电的基础设施建设也已经基本完善，长期占据电力总装机容量和总发电量的七成左右比例。	5	火力发电不受天气时段限制，只要燃料充足、调峰性能优越，机组负荷稳定，电能质量高，易于调节	5	单位千瓦占地面积小，节约土地；单位千瓦投资小，节约投资	4	污染环境，消耗一次能源	1	火力发电成本低，技术成熟，是我国主要的发电方式，为居民生产生活提供了稳定高质量的电能	3	19
建筑	太阳能利用	光伏建筑一体化BIPV	光伏建筑一体化技术不仅满足光伏发电的功能要求同时还兼顾建筑的基本功能要求，具有较高技术先进性	5	中国光伏产业是光伏建筑一体化的供给端，已经走到世界前列，不管是光伏组件还是光伏电池，其产量都在逐年递增，且成本在降低。光伏建筑一体化技术是一种创新且可持续的太阳能发电技术，目前技术趋于成熟，供给端已经具备大规模化生产条件。	3	以新建建筑为主，且受天气影响大，适合日照较多城市及区域	3	建材要求高造价高，安装成本高难度大，且后期维护需同时检修维护光伏系统和屋面功能。太阳能发电成本每度2.5元，比常规发电成本每度1元翻倍。	2	太阳能是清洁能源，无污染，不占用土地，建筑节能。太阳能光伏建筑一体化技术采用并网光伏系统，不需要配备蓄电池，既节省投资，又不受蓄电池荷电状态的限制，可以充分利用光伏系统所发出的电力。	5	日照强时恰好是用电高峰期，光伏建筑一体化系统除可以保证自身建筑内用电外，在一定条件下还可能向电网供电，缓解了高峰电力需求，具有极大的社会效益。光伏建筑一体化系统在达到建筑围护、建筑节能、太阳能利用等多种功能的同时，保障建筑的美观性、安全性、舒适性等功能，做到与建筑的完美配合。	5	23
		“安装型”太阳能光伏BAPV	后期安装在现有建筑上，主要功能是发电，与建筑不发生冲突，不破坏或削弱原有建筑物的功能，技术较为普遍，缺乏先进性	2	中国光伏产业是“安装型”太阳能光伏建筑的供给端，已经走到世界前列，不管是光伏组件还是光伏电池，其产量都在逐年递增，且成本在降低。安装型太阳能光伏由于成本低、难度小，应用广泛，技术成熟性高。	5	主要用于存量建筑改造，且受天气影响大，适合日照较多城市及区域	4	造价低，安装成本低，难度小。太阳能发电成本高，每度2.5元，比常规发电成本每度1元翻倍。	3	太阳能是清洁能源，无污染；不占用土地，建筑节能	5	我国城镇和农村住宅屋顶可利用面积巨大，BAPV可以大大减少对土地资源的占用，合理利用住用户屋顶的闲置资源来达到盈利。屋顶组装 BAPV对房屋建筑外形影响的比较小，更能够满足小区业主针对美观的要求。	3	22
交通	运输工具	氢燃料电池汽车	氢燃料电池汽车领域的创新持续加速，例如，更高效的燃料电池系统、更低成本的氢气储存和输送技术等。	5	随着氢燃料电池技术的不断成熟，氢燃料电池汽车的性能和续航里程得到了显著提升。同时，氢燃料电池的充电时间也逐渐缩短。	2	需要氢气储运、加氢站，目前氢能储运能力和加氢站基础设施建设尚不完善。续航里程比燃油车短，更适合短途出行	3	氢燃料电池汽车的全生命周期总拥有成本明显高于纯电动车和传统燃油车。虽然氢能源车的售价相对较高，但是其运行成本比传统燃油车更低，因为电费和加氢费用比油价便宜，而且维护成本也相对较低	3	氢能是一种公认的清洁能源，具有重量轻、储量丰富、燃烧性能好等特点。氢燃料电池汽车在排放方面具有明显优势，其产物仅为水。这使得氢燃料电池汽车成为应对气候变化、减少环境污染的有效手段。	5	氢燃料电池汽车增加了车载储氢系统和具有发电能力的燃料电池系统，性能稳定，运行期间很平稳，驾驶起来特别舒适。但氢能源汽车的安全性还是有一定的风险的，主要是由于氢气的易燃易爆性。	4	22
		传统燃油汽车	传统燃油车是大众市场上的主流选择，技术较为普遍，缺乏先进性	1	加油方便，加油时间短，续航里程长，应用广泛，技术成熟性高。	5	加油站等基础设施建设完善，且续航里程强、性能稳定，长途出行均可	3	燃油车的制造成本相对较低，购买价格也比新能源车更实惠，但油价比加氢费用高，使用成本高	4	消耗大量燃油能源，且有汽车尾气排出，污染环境，消耗一次能源	1	安全性和稳定性好	3	19

表 6-2 技术试评估分析表

技术评估雷达图

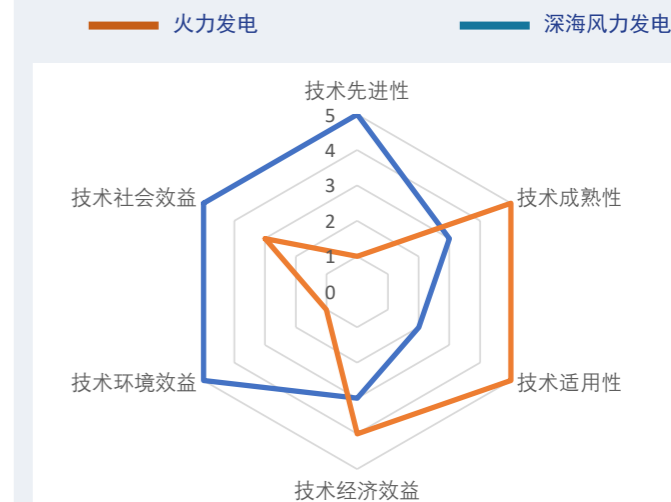


图6-1 深海风力发电与火力发电评估雷达图

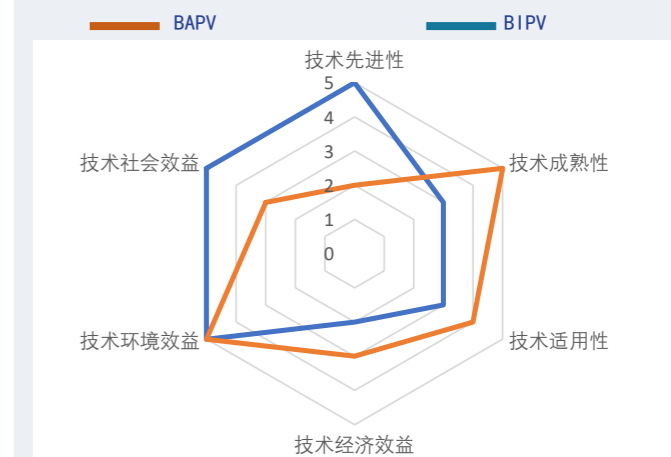


图6-2 BIPV与BAPV评估雷达图

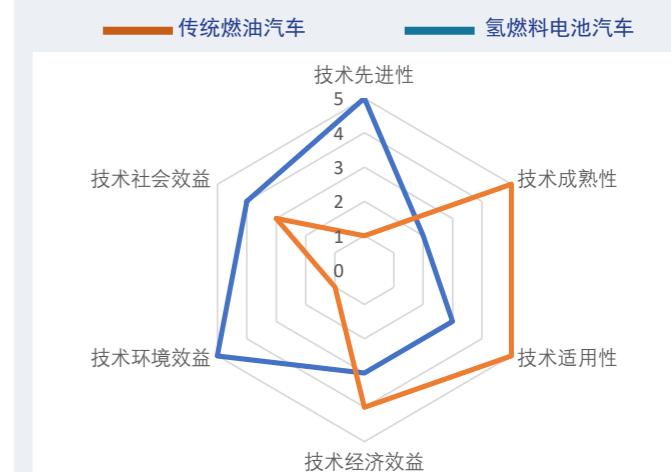
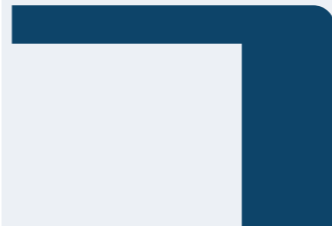


图6-3 氢燃料电池汽车与传统燃油车评估雷达图



应用场景

- 01 生活场景
- 02 工作场景
- 03 交通场景
- 04 游憩场景

生活场景

生活场景是与市民最息息相关的场景，涉及城市生活中应用的低碳技术。到2060年，低碳理念将深入人心，低碳环保将成为市民们购物决策、行为偏好的首要影响要素。

“零碳”住宅

居住方面，涉及低碳房屋建材、智慧家具家电、社区服务三部分。首先，新型低碳建材将全面普及，如零碳水泥、零碳钢、再生钢材、保温绝热板材等，基本杜绝房屋内外的热传递，达到冬季保温夏季保凉的效果。建材生产技术设备将全面革新，智能建造、3D打印技术在建设中应用越来越广泛，大大提高了建设效率，碳捕集技术也将在建材生产行业中形成一定商业规模。其次，智慧家具家电体系更加完善，低碳技术应用更加广泛，对室内保温、照明、物业报修、线上问诊、民办事需求，减少琐碎的外出流程，达到减碳的目标。

智慧化社区服务

结合物联网与AI的智能家居中枢、智能家居机器人等技术的广泛运用使得居住空间变为以人为本的全场景智能体技术增强居住空间与人的智能化交互反馈能力。例如通过智能家居中枢构建起居、厨卫、视频、通信、出行环境等在内的自动智能远程控制能力，促进线上线下资源服务、信息交流、虚拟与现实间的有机融合，提供全场景智能化、定制化服务。未来的居住空间将变成类似于“没有屏幕的手机”一般的智能体。居家享受“在线、即时”服务上门，在家即可满足购物、工作、学习、医疗等多种需求。电子商务、线上零售业、外卖餐饮、生鲜O2O等商业服务不断发展，未来远程医疗、网约护工、在线教育、养老服务等生活公共服务前景广阔。人们可在家中打开各种APP，在家购物、点外卖，享受各种服务上门；在家工作，云端同步办公室电脑内容，开远程会议；在家线上学习MOOC课程。随着物联网、3D打印等技术进一步发展，或可在家打印必备的生活物资，居住模式也将进一步变化。此外，线上居家服务满足了人们的功能需求，减少了部分出行活动。还可以提供线上物业报修、线上问诊、智慧养老、社区团购、无人快递车等服务，便利市民办事需求，减少琐碎的外出流程，

达到节能减碳的目标。未来以社区智慧化服务平台为依托，以智慧交通为骨架，以智能家居为载体，将推动社区可以更精准、高效的对即时动态信息的掌握和发布，智慧服务全面渗透和应用到邻里社交、社区健康、全龄教育、社区创业、智慧交通等全方位多领域，极大地提升社区的治理水平、服务效率和生活体验。

此外，建立更加良性互动的社区居民参与机制，通过服务设计和社会创新，构建一个更关注人与社区内在联动的新型生活互动空间，以及社区发展在创新社会治理中的新角色等，将会是未来社区发展的热点方向。

绿色食品

除有机食品、绿色食品外，碳中和食品将成为新流行。食品生产企业将注重生产全流程中的碳计算，如工厂以电供暖，实现能源转型，包装由可再生植物基材的纸板制作。

共享出行

共享出行将成为未来出行的主要方式，它极大解决了通勤问题并延伸更多O2O服务，提供更多到家生活服务。随着共享租赁汽车、私家车共享等出行方式普及，需要重新定义城市等服务半径、地铁房等概念，也可以提高产品的利用率，促进循环经济。结合共享出行方式，共享单车、共享电动车等微出行方式将解决最后一公里问题，有助于城市可持续发展。

绿色面料

随着环保面料技术的普及，人们将首选环保可降解面料制作的服装，如RPET面料（可乐瓶环保布）、有机棉、彩色棉、竹纤维、大豆蛋白纤维、麻纤维、莫代尔（Modal）、有机羊毛、原木天丝等，这类衣服将兼具舒适、时尚和环保的优点。衣物回收平台将形成“智能传感+全流程数据管理模式”，市民可通过小程序查看投放点位或预约上门回收，全程关注回收进度。市民还可以通过线下二手循环商店进行二手商品交换，减少资源浪费。在回收过程中收集碳积分计入个人碳账户，激励低碳生活行动。

生活场景

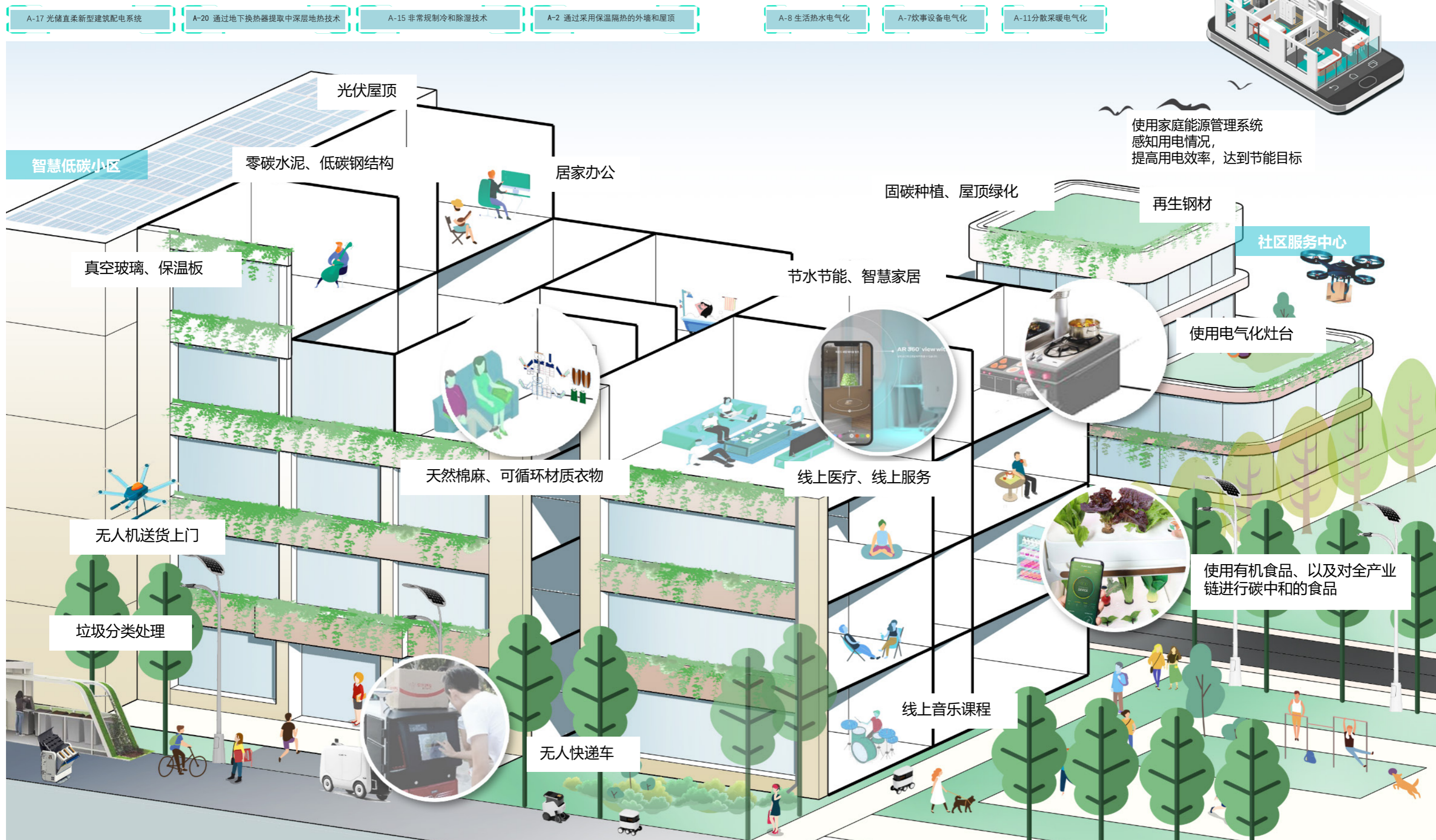


图7-1 生活场景

工作场景

研究表明人们一生中平均 1/3 生命都在工作场景中度过，是除睡眠外人们花费时间最长的场景。因此，工作场景中的“低碳变革”不仅能够积极应对气候、生态、资源危机，实现企业的社会责任，还可以节约能源成本，而且可持续的工作空间能提高员工的幸福感，增强生产力。到 2060 年，低碳办公场景主要体现在三个方面，包括办公环境的可持续设计、低碳办公运营和绿色工作方式。

办公环境的可持续设计

实体办公空间将通过智慧监测装置感知室内光环境、声环境、热环境、空气环境等，提高能源利用效率。简化设计、节约资源，优先选择可持续的装修材料和环保低碳的办公家具，如细木工、玻璃、木隔板等。办公空间还可利用老旧建筑物进行更新改造，拒绝一次性推倒重建的方式，在现有结构上进行可持续更新。办公空间布局考虑灵活的模块化或中枢辐射布局，减少路途中和各个场景的碳排放。

虚拟办公空间的应用将大大拓展办公空间范围，人们可以通过元宇宙办公平台实现工作信息的实时同步，开发虚拟办公产品，形成员工虚拟形象，云端储存会议记录、办公文件，形成云端数据库。混合现实（MR）头戴式显示设备将更多应用在办公场景，创意人员可以利用它们在现实世界和虚拟世界中进行无缝、互操作的协作。数字孪生技术的推广，可以使工程师实时监控基础设施建设进度，不需要把工程师派到几百里以外的地方，就可以远程指导当地工程师进行操作。

零碳办公运营

在能源和资源的使用方面，办公场景采用 100% 可再生清洁能源供能，光储直柔技术的规模化应用将促进办公场景的能源结构优化。最大程度利用光伏板，以“自发自用，余量上网原则消纳。

在办公采购和日常运营方面，碳排放、能耗指标将成为采购决策中重要的考虑内容。减少办公中纸质材料的使用。推广线上签约平台、线上协作平台的使用，建立云端档案库储存报告与资料等。统一信息管理平台，扁平化信在会议及活动举办方面，减少一次性制品，停止依赖无法重复使用的材料。倡导活动无纸化理念。餐饮供应选择当地供应商和季节性餐饮。通过碳汇和碳减排项目抵消会议产生的碳排放。由专业机构为企业体系化梳理企业可持续发展策略。未来还可通过统一公式计算公司经营活动产生碳值，建立碳交易平台促进公司间的碳值流动。

灵活办公形态

全息投影增强现实、远程协作办公等技术应用将使得办公形态更加灵活。与传统办公方式相比，未来办公将具有更具有韧性，在办公空间场所的选择上更具有灵活性，不易受到场地租金、通勤、疫情等方面的影响，并逐步提高办公与沟通的效率与趣味性。最新的办公软件已能够支持包括语音、视频会议、共享屏幕、文档演示，电话回拨接入等功能，并支持移动端、PC 端接入、支持手机和电脑间文件互传等，使人们能够突破集中化的办公模式，从传统“面对面”交流转变为线上远程办公和线下固定办公并行的模式，甚至抛弃实体工作室，完全脱离空间限制地实现全远程办公；同时工作方式转向更加依赖在线办公工具与协作平台。这些新的工作模式将不可避免地导致办公空间设计的演变，或替代性工作空间的设计。

绿色工作方式

出行方面，企业鼓励“绿色通勤”，通过提供电动班车、园区内提供共享单车等方式来减少相关碳足迹，同时鼓励低碳差旅，优先选择贯彻低碳环保理念的酒店住宿，减少不必要的差旅、自带洗漱用品。

餐饮方面，企业通过举办宣讲活动向员工推广低碳膳食、植物性饮食，鼓励光盘行动、堂食、带饭等环保餐饮形式，由专业机构制定餐饮指南，加强餐饮的可持续性和营养价值，同时最大程度减少食物浪费。

日常办公方面，通过选择高效能的办公设备减少能源消耗、节约资源，采用智能化办公设备，自动完成故障自检自修，减少人工维护成本。倡导随手关灯、关电脑的节能措施，减少一次性办公用品的使用，全面实现全流程无纸化办公，在办公区开展垃圾分类，借助专业 app 进行辅助分类，防止污染。

工作场景

A-17 光储直柔新型建筑配电系统

A-15 非常规制冷和除湿技术

A-2 通过采用保温隔热的外墙和屋顶

A-28 BIM底层平台软件全生命周期应用

A-24 建筑物数字化管理控制平台

A-28 BIM底层平台软件全生命周期应用

A-23 群智慧楼宇技术、数字孪生技术

T-51 V2G

T-19 新能源智能汽车

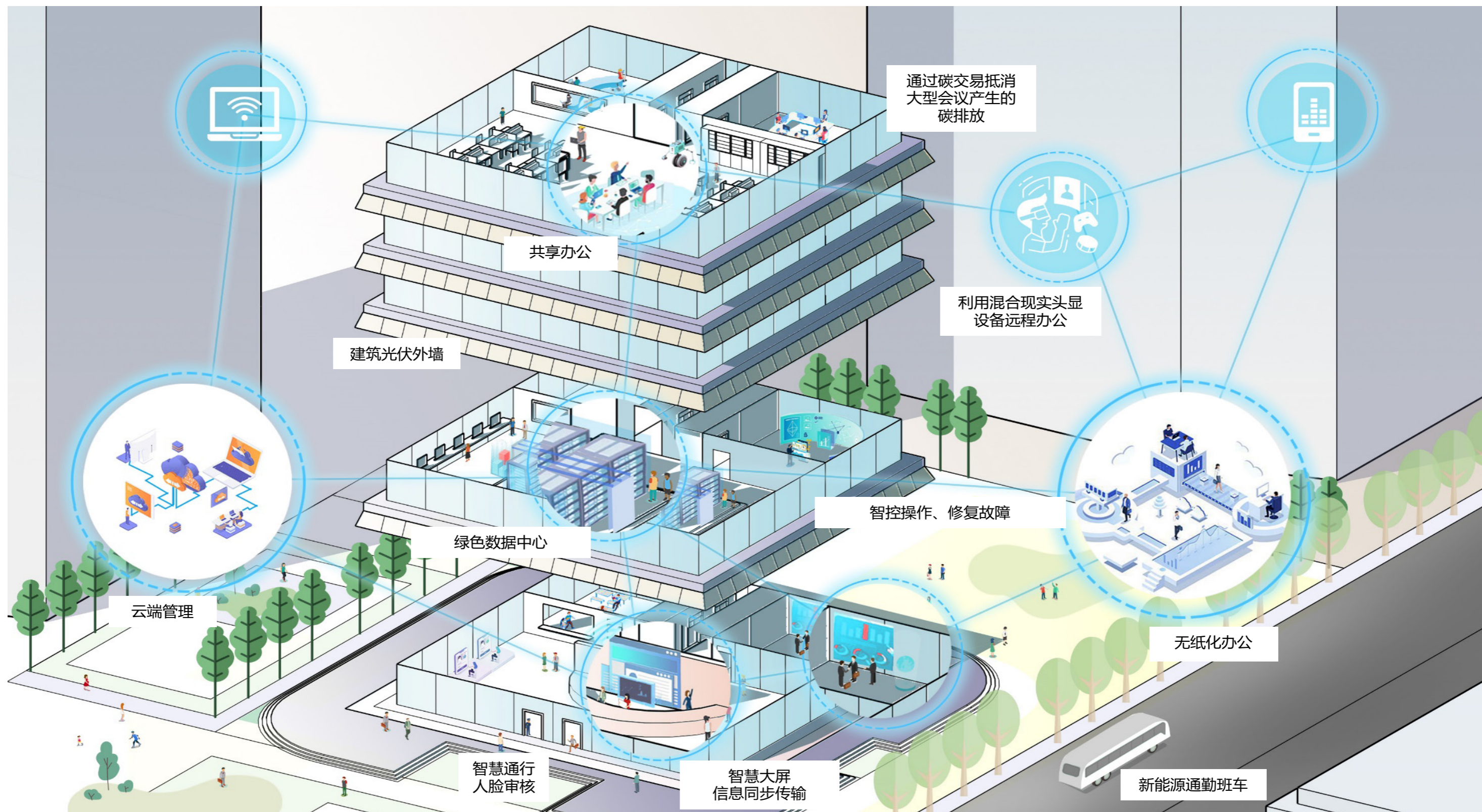


图7-2 工作场景

交通场景

我国交通建设技术及建设总量突飞猛进，高铁营业里程、轨道交通运营里程、通车总里程等稳居世界第一，因此未来交通场景中 will 实现更加高效的新型交通系统和更加绿色的交通工具，从公路交通、铁路运输、海运、航运等多种运输渠道开展低碳转型。

道路建设的革新

扁平化街道系统：未来将会出现无人驾驶专用车道 / 区域规划，“双棋盘”路网形态实现无人驾驶过渡。传统交通网络仍然通过中心到节点的点轴模式进行组织，道路起到中心之间串联和疏解的作用。无人驾驶的出现将会改变这种道路交通逻辑。无人驾驶网络不再需要层级化的物理枢纽来汇聚、组织和扩散交通，道路之间的等级差异缩小，道路主次支之间的差异基本消失，交通网络趋向扁平化。

三维交通立体化衔接：未来将有航空、公交、地铁、出租、共享单车等出行服务一体化运行规划；地上地下，建筑间与建筑内三维交通立体衔接；物流与快速车道移至地下，进一步利用地下空间、城市灰色空间。出现以核心地铁站点整合地上地下的超级商业娱乐交通综合体，将用户进出综合体 TOD 等建筑所需的出行服务进行联通，包括航空、公交、地铁、出租、共享单车等出行服务一体化衔接运行。

三维物流运输体系：未来将会出现地上地下空中无人三维物流运输体系。无人驾驶车在通道中串联行驶，提高空间利用效率。车内搭配湿度、温度、重量、货物姿态等传感器，帮助车辆自动调节货物的运输环境，以满足特殊物品的需要。小型物流机器人在人行道上行驶，大型物流运输车在机动车和非机动车的特定通道行驶。

绿色交通工具与技术创新

到2060年，道路交通将实现高度电气化，以道路交通为主的小型、轻型交通和铁路将采用动力电池，重型交通脱碳将大规模使用氢能，远程航空将采用生物质能源供能，并通过碳捕获技术实现碳中和。在技术创新方面，智慧交通依托云计算、大数据、人工智能、物联网、电动汽车 V2G、MaaS (Mobility as a Service, 出行即服务) 构建一体化出行体验，自动驾驶、预约出行将大大提高城市交通运行效率，节省道路拥堵带来的能源消耗。车辆将不仅作为能源的消耗者，也将作为一个个独立的“小型发电站”接入分布式电源电网，车主可以将电动车里多余的电以高于购买的价格返还给其他供电主体，赚取差价，以此鼓励居民绿色出行。

智能高效的交通系统

首先，在顶层引导方面，政策引导方面大力加强电动汽车、智能网联车的激励政策；规划设计中构建紧凑型城市形态，做到职住平衡，减少人们过远的通勤距离和对私家车出行的依赖。

其次，利用新技术建设智能高效的客、货运交通系统。利用车联网、数字道路基础设施，对城市道路的功能空间进行合理分配，减少车辆行驶里程，完善自行车和步行的慢行系统，重点打造“零换乘”交通枢纽。城市智慧大脑、车辆云信

息管理系统将自动根据交通拥堵程度控制交通指挥系统，智慧路口与智能车互联互通。再生材料在道路中的应用。发展“公转铁、公转水”的多式联运新货运模式的绿色运输模式提升城市间物流与货运效率。绿色交通配套服务设施网络在未来交通场景中是城市中已完善，新能源汽车创建车辆运营维护服务体系已搭建成熟，充电基础设施配套处处可见。完善的基于“碳价”的客、货运收费机制从顶层设计到具体实施，形成了交通碳中和市场机制，产生市场化效益。

智能化运营管理

未来交通标识系统智能化，将出现智慧路缘、停车诱导系统、智能泊车、智能导航、智能地锁等数字化设施，交通管理实现全域感知、实时监测、及时预警、智能管理。物联网、大数据、人工智能助力交通出行。人们日益依赖算法进行路线规划和目的地导航，采用刷手机、手环快速进站。出行即服务 (MaaS)、智能导航、智能公交车调度将成为一种常态，也提高了人们使用公共交通工具的概率。智能化的无人驾驶汽车与5G、车联网结合进行智慧调度，路线优化，避免交通拥堵、交通事故，并可以通过收集高效率高密度的感知数据，极大确保行人的安全。

交通场景

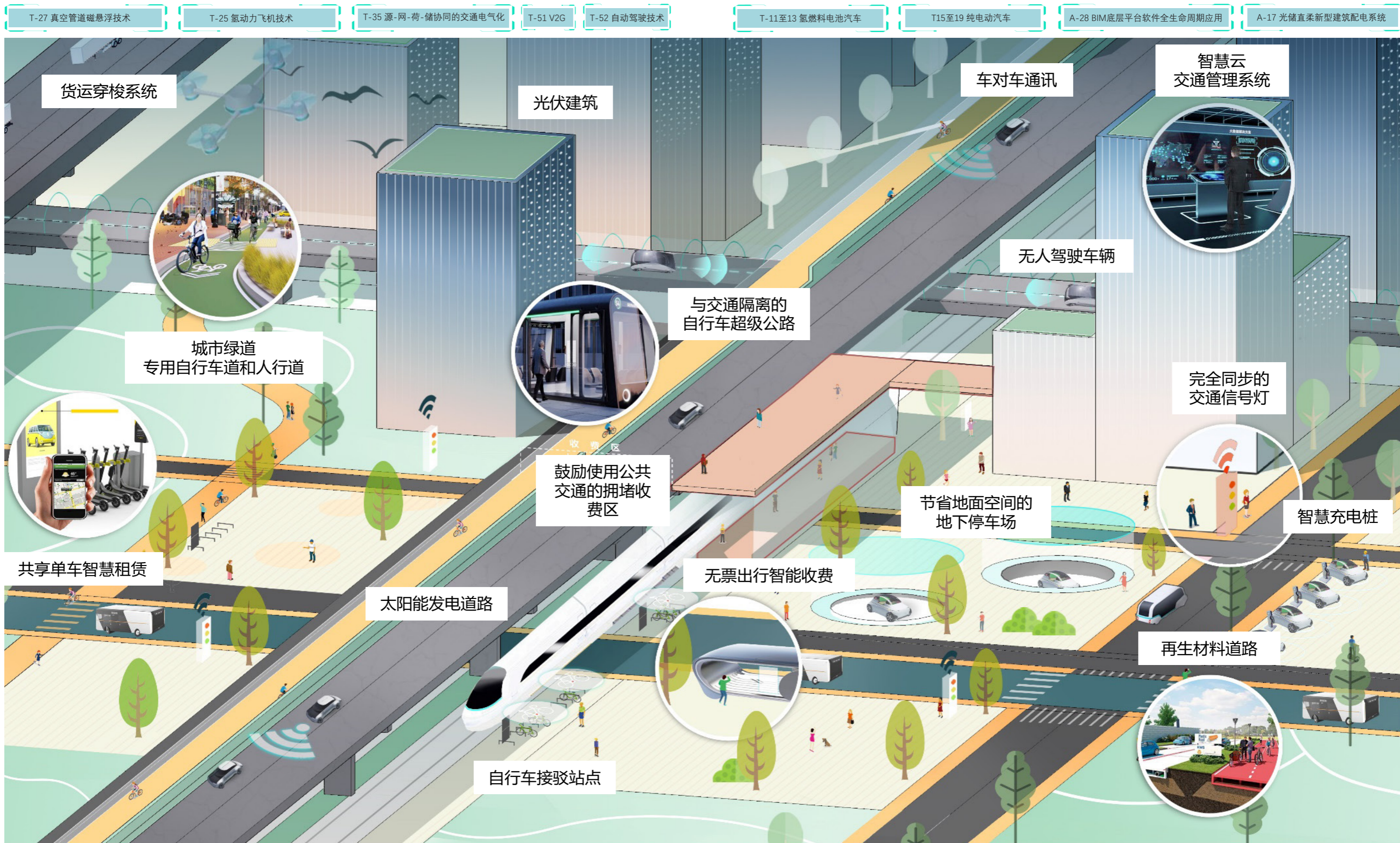


图7-3 交通场景

游憩场景

游憩场景是市民为满足精神生活和娱乐需求进行活动的场景，是“碳普惠”应用和推广的主要场景之一，对传播低碳理念，调动社会各方力量加入全民减排行动具有重要意义。针对此类场景的低碳优化措施需要从低碳景观设计、低碳游憩设施两方面实现。

绿色屋顶花园与屋顶农业

屋顶绿化技术具有前瞻性和重要性，作为城市中的“第五立面”，屋顶在城市热岛效应作用中扮演着重要角色。当城市建筑的屋顶被种上绿色植物，通过土壤和植被能有效吸收阳光热量、降低周边气温、吸收二氧化碳、减少温室气体。经过绿化的屋顶，可以成为城市“温度调节器”。常规的屋顶绿化，在植被选择上主要以景观性植物为主，而农作物与屋顶绿化技术的有机结合，除了具有屋顶绿化基本的节能降噪、充分利用城市闲置空间、提高建筑物内的舒适度、延长建筑物使用寿命、降低屋顶维护保养费用等作用，还具有利用城市的有机垃圾和生活废水（不含化学物质），为城市居民提供新鲜食物的附加效果。绿色屋顶是安装在建筑物屋顶上的一层植被。它可以在任何屋顶上创建，因为它为建筑带来了一系列好处。大致有两种类型的绿色屋顶系统：密集型屋顶绿化系统。它是一个分层系统，需要业主进行大量维护和保养。它具有作为一种系统类型的优势，人们可以在其中选择他们想要的植被类型。空间也可以变得可用。另外一种广阔的绿色屋顶系统。它是一个分层系统，业主在其中进行最少的干预，让植被像在野外一样生长。具有广泛绿色屋顶系统的屋顶空间不适用于娱乐活动。但是，它们适用于不可进入的露台空间。

多样化开放空间

游憩空间呈现碎片化发展趋势，碎片化游憩空间能够满足人们的即时需求。停车场、道路两侧将转变为城市绿地，出现大量线性及碎片化公共空间。出现更多装配式、模块化、私密化、自助式的商业娱乐体验服务设施。未来随着无人驾驶技术的发展，部分停车场、道路空间转化为城市绿地和公共空间，使绿道等线性空间和碎片化空间数量增多。智能家居、能源装置等数字化手段也能提高公共空间的利用率，使线下公共空间由单一功能向功能复合转型。智能手段提高了户外舒适度，鼓励人们参与户外活动，同时提高对清洁能源（风光能）的利用。技术带来生态城市理念的落实，通过智能手段加强管理能力，使城市回归可持续，人们回归自然。景观照明、喷淋等技术实行智能化管理；通过规划绿地、透水休闲广场、可渗透道路和绿色屋顶等方式进行收集和地表径流；合理设计串联点型、线型、面型绿地，布置街角绿地，建设节约型绿地，提高绿地空间的可达性，提供多层次、多样化的绿色开放式空间，有助于改善区域微气候，助力生态修复和低碳发展。更多的绿地空间，可以有效增加生态系统碳汇能力，促进碳中和。

低碳游憩活动与智慧运营

通过游憩互动设施向居民传递低碳理念，如开发低碳游园APP，当游客采用公共交通到达公园、进行垃圾分类、通过无人售卖机进行消费或产生其他低碳行为时进行碳积分奖励。采用太阳能或LED高效照明设施，减少能源消耗。丰富智慧公园设施，如AI健身、虚拟自行车，减少对室内健身房的依赖。对演唱会等大型娱乐活动通过碳交易达到碳中和。游憩场景内各类城市家具将全面装有环境指标感知模块，形成智慧运营网络，当指标异常时自动开启应对处理装置。

可持续景观设计

在设计层面充分利用现有地形，避免外界土方运输和浪费，优先选择再生景观材料。通过墙体垂直绿化、屋顶绿化等方式增加绿地覆盖面积，栽种固碳水平较好的植物，增加碳汇功能。屋顶绿化还可为建筑起到保温隔热、吸声减噪的作用。同时在设计层面构建智慧游园体系，引入碳普惠互动场景，预留智慧游憩设施点位。

游憩场景

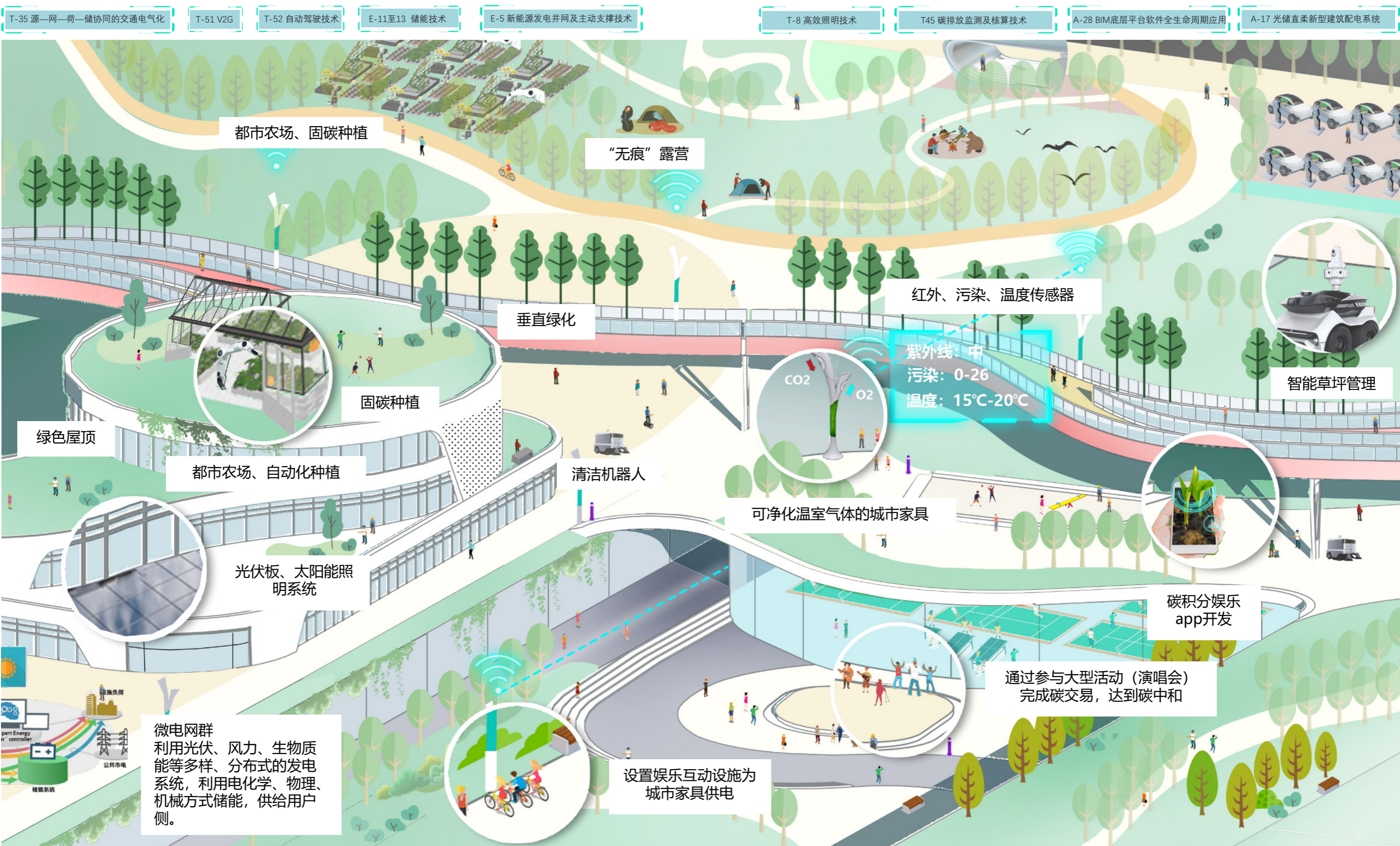


图 7-4 游憩场景

8

附录

01 参考文献

参考文献

- [1] 曲建升,陈伟,曾静静,孙玉玲,廖琴,郭楷模,秦阿宁,裴惠娟,滕飞,刘燕飞,岳芳,刘莉娜,汤匀,李岚春. 国际碳中和战略行动与科技布局分析及对我国的启示建议[J]. 中国科学院院刊,2022,37(04):444-458.
- [2] 郑琼,江丽霞,徐玉杰,高嵩,刘涛,曲超,陈海生,李先锋. 碳达峰、碳中和背景下储能技术研究进展与发展建议[J]. 中国科学院院刊,2022,37(04):529-540.
- [3] 曲建升,陈伟,曾静静,孙玉玲,廖琴,郭楷模 & 李岚春.(2022).国际碳中和战略行动与科技布局分析及对我国的启示建议. 中国科学院院刊(04),444-458. doi:10.16418/j.issn.1000-3045.20210829001.
- [4] 全球能源互联网发展合作组织. 中国2030年前碳达峰研究报告[R]. 北京: 全球能源互联网发展合作组织, 2021
- [5] 黄晓勇. 世界能源发展报告[R]. 北京: 中国社会科学院研究生院、国际能源安全研究中心, 2021
- [6] 邱丽静.世界能源前沿技术发展趋势及热点追踪. 能源情报研究中心. 2021
- [7] 京政发〔2022〕10号. 北京市“十四五”时期能源发展规划 [S]. 北京: 北京市人民政府
- [8] 京政发〔2022〕31号. 北京市碳达峰实施方案[S]. 北京: 北京市人民政府
- [9] 发改环资〔2022〕1885号. 关于印发进一步完善市场导向的绿色技术创新体措施的通知 [S]. 北京: 国家发展改革委、科技部
- [10] 发改环资〔2019〕689号. 北京市构建市场导向的绿色技术创新体系实施方案 [S]. 北京: 北京市发展和改革委员会
- [11] 国际能源署. 全球能源回顾:2021年的二氧化碳排放[R]. 美国: 国际能源署, 2022
- [12] GB/T 50378-2019. 绿色建筑评价标准[S]. 中国建筑科学研究院、上海市建筑科学研究院(集团)有限公司
- [13] 京环发〔2022〕16号. 北京市“十四五”时期应对气候变化和节能规划[S]. 北京市升天环境局
- [14] 奥雅纳.奥雅纳城市建设碳中和白皮书[R]. 2021
- [15] 北京冬奥组委.北京冬奥会低碳管理报告[R]. 北京: 北京市冬奥组委, 2021.
- [16] 落基山研究所.零碳城市手册[R]. 2021
- [17] 德勤研究. 打造可持续的超级智能城市报告[R]. 2021
- [18] 生态环境部环境规划院、清华大学碳中和研究院、美国环保协会北京代表处. 2022年冬奥会和冬残奥会十大绿色低碳最佳实践案例[R]. 2022
- [19] 沙涛,李群,于法隐. 低碳发展蓝皮书: 中国碳中和发展报告(2022) [R].北京: 中国林业生态发展促进会、中国碳中和发展集团有限公司, 2022
- [20] 建筑碳中和白皮书2021[R].绿翼建筑科技, 2021
- [21] 岑焯,黄晴淇,孙航. 2021中国商业建筑碳中和实施路径研究报[R].北京: 亿欧智库
- [22] 低碳办公的N种可能[R]. 循环派, 瑞安办公, MSC咨询
- [23] 城市零碳交通白皮书[R]. 清华大学互联网产业研究院.2022
- [24] 柴麒麟,傅莎,温新元.中国实施国家自主贡献的路径研究[J].环境经济研究,2019,4(02):110-124.

感谢您的阅读

