

数字技术助力“双碳”目标实现 的挑战和对策研究

中国移动研究院（中移智库）
北京师范大学

2024年4月

目 录

1. 前言	3
2. 数字技术助力“双碳目标”实现的整体把握	6
2.1 数字技术助力的整体指向是高质量发展	6
2.2 数字技术助力的整体落脚是数字化绿色化协同发展	8
2.3 数字技术助力的整体效用是显著抑制碳排放	13
3. 数字技术助力“双碳”目标实现的理论逻辑与挑战	16
3.1 数字技术提高能源效率并抑制碳排放	16
3.2 数字技术推动结构升级并抑制碳排放	17
3.3 数字技术刺激能源消费反弹并提高碳排放	19
3.4 数字技术产业发展刺激能源消费并提高碳排放	20
4. 数字技术助力“双碳”目标实现的微观验证	24
4.1 数字技术应用拉升企业碳边际减排成本	24
4.2 数字技术应用显著抑制企业碳排放	26
4.3 数字技术应用的降碳效应存在规模分化	27
5. 对策与建议	29
参考文献	31

1. 前言

数字技术助力“双碳”目标是推进中国式现代化和经济社会发展全面绿色转型的重要命题。与发达国家实现碳达峰所处经济发展阶段的主要特征是借助工业化进入发达经济体不同，中国是经济高质量进程中稳妥有序推动“双碳”目标。因此，数字技术助力“双碳”目标的实现，在政策体系上的关键抓手是推动**数字化绿色化的协同发展**。

数字技术助力“双碳”目标的实现，**理论链条**是“数字技术—能源消费—碳排放”。数字技术作为一种技术进步，理论上可以通过提高能源效率与推动结构升级两种方式降低能源消费来减少碳排放。然而，这一过程也有可能提高能源消费：一方面，虽然数字技术可以引致的能源效率改进，但是在某个发展阶段会刺激能源消费，**不可避免遭遇“能源需求反弹”**，即数字技术推动经济产出扩张的规模效应。不过，这个挑战可以随着数字技术的深入应用、数字经济的深度融合而化解，即借助技术效应、结构效应而中和规模效应。另一方面，数字技术赋能低碳发展的前提是数字产业自身的发展，**这一阶段自身就会加剧能源消费**，从而增加碳排放。

数字技术助力“双碳”目标的实现，**微观体现**为企业通过在生产和管理过程中应用数字技术起到减少碳排放的效果。本报告研究发现，数字技术应用能够推高企业碳边际减

排成本，有力奠定了碳交易市场的形成，从而激励企业更自主降碳。其次，数字技术应用总体上可以显著抑制企业碳排放，说明根据当前经验，技术效应、结构效应可以中和规模效应，因此可以认为数字技术有助于“双碳”目标实现。然而，这一过程**存在规模分化的挑战**：企业规模越大，实力越强，数字技术助力降碳的效应越显著，大企业经济效率和能源效率同步改进会对小企业形成更大竞争优势，企业规模分化会进一步加剧。

数字技术、数字经济是引领经济高质量发展的主要动能，因此需要大力推进现代化产业体系建设，加快发展新质生产力，内在需要数字技术的深入应用和数字经济的深度融合。积极稳妥推进碳达峰碳中和，需要持续发挥数字技术助力“双碳”目标实现的积极作用。为此需要**推动数字化绿色化协同发展**，厚植高质量发展的绿色底色，推动经济社会发展全面绿色转型；要依靠数字技术**大力推动清洁能源的研发与应用**，实现能源技术的关键性突破，加速清洁能源结构转型；还要**大力强化数字基础设施的普惠性**，降低企业数字技术应用的成本和负担，让更多企业尤其是中小企业能够借力数字技术实现发展与降碳的协同。

应该看到，数字技术正在加速创新，数字经济正在加速演化，数字技术、数字经济对碳排放的影响还有可能发生深刻的变化，这取决于数字技术的突破性创新，以及数字经济

的放量性规模，这就需要持续关注和跟踪数字技术、数字经济对碳排放的影响，为协同推进经济高质量发展和生态环境高水平保护提供政策借鉴。

2. 数字技术助力“双碳目标”实现的整体把握

与发达国家实现碳达峰所处经济发展阶段的主要特征是借助工业化进入发达经济体不同，中国是经济高质量进程中稳妥有序推动“双碳”目标。当前典型经济特征是数字经济大发展，可以认为，发达国家是工业化时代实现碳达峰，是进入高收入经济体的自然而为，而中国是数字化时代实现碳达峰，是追求进入高收入经济体的自主而为。因此，讨论数字技术对“双碳”目标的贡献，要置放于中国经济高质量发展的战略部署，落实数字化绿色化协同转型。

2.1 数字技术助力的整体指向是高质量发展

党的二十大报告擘画了中国式现代化的“强国图”，明确指出高质量发展是全面建设社会主义现代化国家的首要任务，明确提出实现高质量发展是中国式现代化的本质要求，凸显了高质量发展对中国式现代化的全局性和战略性意义。

高质量发展基本标志之一就是人均 GDP 达到中等发达国家水平，意味着到 2035 年我国人均 GDP 有望达到或接近 3 万美元，任务伟大而艰巨，这就要把握新时代我国发展所面临的战略机遇与挑战。应该认识到，世界百年未有之大变局加速演进，新一轮科技革命和产业变革深入发展，国际力量对比深刻调整，我国发展面临新的战略机遇。当今时代，

数字技术、数字经济是世界科技革命和产业变革的先机，是新一轮国际竞争重点领域。近年来，数字经济发展速度之快、辐射范围之广、影响程度之深前所未有，正在成为重组全球要素资源、重塑全球经济结构、改变全球竞争格局的关键力量。不断做强、做优、做大数字经济，推动高质量发展，既是实现中国式现代化的必然要求，也是我国稳妥有序推进“双碳”目标的最大经济发展阶段和特征，这一点与发达国家实现碳达峰完全不同。

表 2-1 中国与发达国家实现碳达峰的所处经济发展阶段

国家	碳达峰时间	经济发展水平	主要经济特征
英国	1971 年	人均 GDP：英国 2649 美元，全球 878 美元，比值为 3.02。	1970 年英国粗钢产量达到峰值之后开始下降。
德国	1979 年	人均 GDP：德国 11281 美元，全球 2302 美元，比值为 4.90。	德国鲁尔煤 1804 年进入现代化开采，1939 年达历史最高的 1.3 亿吨。20 世纪 60 年代开始转型，1960 年到 1980 年全区煤矿从 100 个减少到 29 个，采煤工作面从 1372 个降至 180 个。
美国	2005 年	人均 GDP：美国 44123 美元，全球 7293 美元，比值为 6.05。	1950 年美国汽车产量超过 800 万辆，全球占比超过 80%。20 世纪 70 年代美国汽车工业的全球竞争力下降，2000 年左右产销量达到顶峰（2000 年美国汽车产量接近 2000 万辆），2005 年下滑至近 1200 万辆，近些年维持在 1000 万辆左右。2003 年 3 月 10 日，NASDAQ 指数达到 5048.62 高点。
日本	2011 年	人均 GDP：日本 48760 美元，全球 10473 美元，比值为 4.65。	2011 年日本东京地震导致福岛第一核电站核泄露事故。2011-2013 年，日本贸易逆差达 18.1 兆日元，其中 55% 都是能源进口。
中国	“3060”	2023 年全球人均 GDP 为 1.30 万美元，中国为 1.29 万美元	2023 年，中国规模以上工业增加值同比增长 4.6%，较 2022 年提升 1 个百分点。其中制造业规模以上工业增加值同比增长 5.0%，中国制造业总体规模连续 14 年位居全球第一。

资料来源：根据公开信息整理。

2.2 数字技术助力的整体落脚是数字化绿色化协同发展

数字技术助力“双碳”目标是推进中国式现代化的重要命题。数字技术是推动经济高质量发展的主要动力，数字经济是经济高质量发展的主要特征，而“双碳”目标是人与自然和谐共生的现代化的重点工作和主要约束，因此，推进中国式现代化，需要高质量发展，需要数字技术/经济推动的

经济高质量发展，需要经济高质量发展和“双碳”目标并行并重，这就需要统筹经济高质量发展和生态环境高水平保护，在强调实体经济和保持制造业比重基本稳定的前提下，关键与抓手是数字化绿色化协同转型。

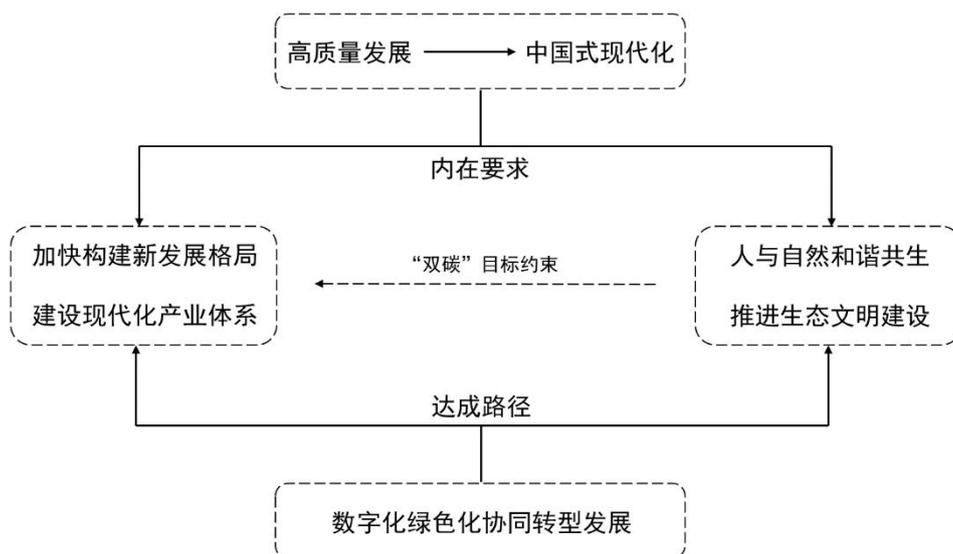


图 2-1 发展理念的内在逻辑

建设现代化产业体系是加快构建新发展格局、推动经济高质量发展的关键，其中，数字技术是建设现代化产业体系的牵引和制高点，大力发展数字经济是建设现代化产业体系的战略选择。习近平总书记指出，“当今时代，数字技术、数字经济是世界科技革命和产业变革的先机，是新一轮国际竞争重点领域，我们一定要抓住先机、抢占未来发展制高点”。近年来，互联网、大数据、云计算、人工智能、区块链等技术加速创新，日益融入经济社会发展各领域全过程，

也是大国经济博弈的主战场。数字技术的创新发展和融合创新，带来了经济结构的深刻变革。习近平总书记指出，“发展数字经济意义重大，是把握新一轮科技革命和产业变革新机遇的战略选择”。为此，2023年2月，中共中央、国务院印发了《数字中国建设整体布局规划》要求，促进数字经济和实体经济深度融合，以数字化驱动生产生活 and 治理方式变革，为以中国式现代化全面推进中华民族伟大复兴注入强大动力。

中国式现代化是人与自然和谐共生的现代化，要求“积极稳妥推进碳达峰碳中和”，内在要求建设现代化产业体系与“双碳”目标协同共进。二十大报告指出要“推动绿色发展，促进人与自然和谐共生”，要“统筹产业结构调整、污染治理、生态保护、应对气候变化，协同推进降碳、减污、扩绿、增长，推进生态优先、节约集约、绿色低碳发展”。2021年《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》明确要求“把碳达峰、碳中和纳入经济社会发展全局，以经济社会发展全面绿色转型为引领，以能源绿色低碳发展是关键，加快形成节约资源和保护环境产业结构、生产方式、生活方式、空间格局，坚定不移走生态优先、绿色低碳的高质量发展道路，确保如期实现碳达峰、碳中和。”

数字技术助力“双碳”目标，抓手是数字化绿色化协同

转型发展。数字化和绿色化是当今世界的两大趋势，两者相互融合，相互促进，以数字化促进绿色化，推动经济社会发展全面绿色转型，将产生 1+1>2 的整体效益。

加快推进数字化绿色化协同转型和发展，是经济高质量发展的重要举措。习近平主席 2022 年 11 月 18 日在亚太经合组织第二十九次领导人非正式会议上表示，要加速数字化绿色化协同发展，推进能源资源、产业结构、消费结构转型升级，推动经济社会绿色发展。可以看到，数字化转型和绿色化转型不仅是当今世界发展的两大主题，也是相互依存、相互促进的孪生体：数字化是当前减少碳排放的重要手段，推进绿色化离不开数字化；绿色化转型需要坚实的数字化技术做支撑，同时也将产生一批数字化绿色化新技术、新产业。通过数字化绿色化协同转型发展助力“双碳”目标实现。

为全面推进数字化绿色化协同转型，2022 年 11 月中旬，中央网信办、国家发展改革委、工业和信息化部、生态环境部、国家能源局联合印发通知，确定在 10 个地区首批开展数字化绿色化协同转型发展（双化协同）合试点。试点工作自 2023 年 1 月开始，为期 2 年，重点围绕数字产业绿色低碳发展、传统行业双化协同转型、城市运行低碳智慧治理、双化协同产业孵化创新、双化协同政策机制构建等方面探索可复制、可推广经验。

表 2-2 数字化绿色化协同转型发展试点城市

试点城市	市情市况 (2023)	基础条件和主要试点内容
河北省 张家口市	GDP: 1842.7 亿元 人均 GDP: 4.52 万元。	张家口国际互联网数据专用通道建成开通,进入千兆城市行列,列入未来网络全国 40 个核心节点城市;实现产业全链发展,张北云计算基地、怀来大数据产业基地,特别是正在规划建设的市数字服务产业基地,是大数据产业全链发展的重要载体和平台;被评为首批数字化绿色化协同转型发展综合试点,2 个数据中心基地被评为国家新型工业化产业示范基地,6 个数据中心被评为国家绿色数据中心。
辽宁省 大连市	GDP: 8752.8 亿元 人均 GDP: 11.62 万元	《大连市数字化绿色化协同转型发展综合试点实施方案》明确以数字技术赋能全社会绿色发展,以行业绿色化转型推动数字产业升级,力争在 2024 年底前实现数字化绿色化协同转型、深度融合,形成以数字化引领绿色化、绿色化带动数字化的良性发展循环。
黑龙江省 齐齐哈尔市	GDP: 1327.6 亿元 人均 GDP: 3.37 万元	成立工作专班,建立专家咨询委,形成了试点建设方案起草专班,重点领域:大工业转型、大能源利用、大农业发展、大生态治理。
江苏省 盐城市	GDP: 7403.8 亿元 人均 GDP: 11.06 万元	《盐城市数字化绿色化协同转型发展行动计划(2022-2030 年)》,13 项行动,推动数字产业绿色低碳发展,推动数字技术赋能行业绿色化转型,发挥行业绿色化转型对数字产业的带动作用。
浙江省 湖州市	GDP: 4015.1 亿元 人均 GDP: 11.68 万元	积极探索以数字化工具助力实现“双碳”目标,以数字化改革推动生产方式变革,在全国率先构建“市、区县、园区、工厂、产品”五位一体绿色制造标准体系,创新规模上企业绿色工厂星级管理全覆盖。
山东省 济南市	GDP: 12757.4 亿元 人均 GDP: 13.55 万元	《济南市数字化绿色化协同转型发展综合试点实施方案》布局一批数字化转型促进中心,每年培育 10 家以上新一代信息技术与制造业融合应用创新示范企业、10 家以上智能工厂、数字化车间,积极创建国家智能制造先行区。
广东省 深圳市	GDP: 34606.4 亿元 人均 GDP: 19.59 万元	提出了以数字化赋能“生产、生活、生态”,加速数字化推动农业、制造业、服务业等产业的智慧绿色增长。以数字化引领绿色化,以绿色化带动数字化。大力发展数字和绿色的融合新技术和产业体系,打造高质量发展的新动能,推动生产生活方式的深刻变革,助力碳达峰、碳中和目标实现。
重庆 高新区	GDP: 30145.8 亿元 人均 GDP: 9.44 万元	着力打造全国首个“科、产、城”融合“双化协同”综合试点地区。
四川省 成都市	GDP: 22074.7 亿元 人均 GDP: 10.38 万元	大力推动产业数字化和数字产业化,实施重点行业数字化转型提升工程和数字技术创新突破工程,推

		进普惠性“上云用数赋智”，打造区域一体化工业互联网平台、数字化转型促进中心和场景实验室，壮大数字经济核心产业，推动数字经济新业态、新模式、新技术发展，建设国家新一代人工智能创新发展试验区、人工智能创新应用先导区和国家智能社会治理实验综合基地。
西藏自治区 拉萨市	GDP: 834.8 亿元 人均 GDP: 9.61 万元	具有低温低压低氧低硫低湿的自然环境优势，利于数据中心的运行，是天然的数据港湾。按照《国家技术创新中心建设运行管理办法（暂行）》相关要求，在拉萨市建设西藏自治区首个存算一体化数据中心，成为数据资源丰富、支撑能力强大的数据存力平台。

资料来源：根据公开信息整理

2.3 数字技术助力的整体效用是显著抑制碳排放

数字技术、数字经济助力“双碳”目标实现的政策主要分布在产业性政策和区域性政策中，前者包括“宽带中国”战略、中国制造 2025、“互联网+”行动等，在新型工业化建设、现代产业体系建设中都高度重视能源消费和碳排放，与“双碳”目标对标；后者包括智慧城市试点、国家大数据试验区以及创新型城市试点等，高度重视数字技术的赋能效应。众多实证研究表明，这些政策不仅对中国数字经济发展意义重大，也同时通过促进绿色技术创新、产业结构升级等途径影响了相应产业和地区的碳减排。

表 2-3 相关主要政策总结

	主要目标	关键举措	降碳途径
宽带中国	构建高速、泛在、智能的宽带网络体系,提升信息化水平	<ol style="list-style-type: none"> 1. 加快宽带网络建设和升级 2. 优化宽带网络结构和性能 3. 扩大宽带网络覆盖范围 4. 加强宽带网络技术研发和应用 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 提升能源利用效率和智能化管理 2. 促进绿色数据中心建设和节能减排 3. 推广智慧交通和绿色出行方式
中国制造 2025	实现制造业数字化、网络化、智能化转型,提升产业竞争力	<ol style="list-style-type: none"> 1. 加强制造业创新体系建设 2. 推进智能制造和工业互联网发展 3. 提升制造业绿色发展水平 4. 加强制造业人才培养和引进 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 推动制造业能效提升和资源循环利用 2. 促进绿色制造技术的研发和应用 3. 优化制造业产业结构,降低碳排放强度
互联网+	推动互联网与传统产业深度融合,创新经济发展模式	<ol style="list-style-type: none"> 1. 加强互联网基础设施建设 2. 促进互联网与传统产业融合发展 3. 创新互联网应用服务模式和业态 4. 培育和发展互联网新经济 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 促进信息化与工业化深度融合,提升能源效率 2. 推动绿色出行和智能交通系统发展 3. 促进绿色物流和供应链管理 4. 推动互联网企业实施绿色低碳发展战略
智慧城市试点	实现城市智能化管理和服务,提升城市可持续发展能力	<ol style="list-style-type: none"> 1. 建设智能化基础设施 2. 推广智能化公共服务 3. 加强城市数据收集和分析能力 4. 促进信息技术与城市管理、产业融合 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 优化能源管理和降低能耗 2. 减少交通拥堵和排放 3. 提升建筑能效和推广可再生能源 4. 促进绿色产业发展和资源循环利用
国家级大数	推动大数据产业发展,促进	<ol style="list-style-type: none"> 1. 建设大数据基 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 优化资源配置和提

	主要目标	关键举措	降碳途径
数据综合实验区	经济转型升级	基础设施和平台 2. 加强大数据技术研发和创新 3. 促进大数据与各行业融合应用 4. 加强数据安全保障和隐私保护	高能源利用效率 2. 促进工业、交通等领域的智能化减排 3. 支持绿色发展和环境监测 4. 推动数据驱动的绿色低碳经济政策制定
创新型城市试点	建设创新型城市,推动经济高质量发展	1. 加强创新体系建设和人才培养 2. 促进科技创新和成果转化 3. 优化创新环境和创新服务 4. 引导社会资本投入创新领域	1. 推动清洁能源和低碳技术发展 2. 促进绿色交通和智慧城市建设 3. 优化产业结构,降低高碳产业比重 4. 提升城市生态和环境质量

资料来源：根据公开信息整理

3. 数字技术助力“双碳”目标实现的理论逻辑与挑战

数字技术作为通用的技术进步，会对能源消费产生影响，进而影响碳排放，即“数字技术—能源消费—碳排放”的链条。具体来看，可以从技术效应、结构效应来分析数字技术助力“双碳”目标实现的逻辑；从规模效应和数字技术自身来分析这一过程存在的挑战。其中，技术效应表现为数字技术提高能源效率，结构效应表现为数字技术推动结构升级，规模效应表现为数字技术刺激能源消费。

如果规模效应比技术效应、结构效应更为显著，那么，数字技术就会整体表现为刺激能源消费、加剧碳排放，这就是能源消费反弹，即杰文斯悖论：随着能源利用效率的提高，导致社会对它需求的“绝对数量”增加和生产规模的扩大，最终社会对这类能源的总需求进一步增加而不是减少，这在发展早期阶段更容易被观察到。也就是说，数字技术应用为技术创新、产业结构升级注入新动能，生产技术的创新将有利于改进传统高耗能的生产方式，提高能源使用效率。然而，能源效率提高，往往会刺激能源消费，而不是节约使用。

3.1 数字技术提高能源效率并抑制碳排放

数字技术的应用可以引发一系列技术创新，推动技术进

步，能够改进经济效率，提高能源效率或是降低能耗强度，进而抑制碳排放，这是技术效应使然。

具体来看，数字技术有助于提升绿色技术的研发与资源配置效率。现有研究指出，数字技术能够为绿色技术创新体系的构建提供助力，大数据、人工智能等新一代信息技术也将成为绿色技术创新体系的重要组成部分。数字技术和数字平台可以打破传统时空限制，加快信息流通，为企业提供实时的市场与技术信息，通过智能分析与预测，实现科学研究，减少研发过程中的资源浪费，降低成本，进而促进要素资源合理配置，提升技术创新能力并降低碳排放。进一步，数字技术还能促进绿色技术进步，有助于提升能源效率以及可再生能源的使用。现有研究通过在中国的省份、城市、行业等层面上进行实证分析，发现数字技术可以通过抑制能源消耗强度而降低碳排放。在更为广阔的全球层面，现有研究也发现制造业数字化转型能够降低出口隐含碳强度。

3.2 数字技术推动结构升级并抑制碳排放

数字技术的发展与应用、数字产业的发展，能够推动结构升级，并抑制碳排放，这是结构效应使然。

结构效应有两种表现形式：一是产业结构的变化，二是能源结构的变化。人工智能等新一代数字技术会对劳动力或资本产生替代，在不同产业具有差异化应用前景，并通过加

速生产要素在产业部门间的流动促进产业转型升级。在利润最大化的驱使下，数字资本会逐步由劳动密集型产业转向资本和技术密集型产业以及由制造初级产品产业转向制造中间产品和最终产品产业，具体表现为由第一产业向第二、三产业转移。还有就是产业内部的绿色化转型。以“互联网+”为核心的数字技术有助于颠覆企业盈利模式、改变市场结构、扩展资源配置边界，从而推动以劳动密集型、重工业为主的产业结构转向以技术含量高、环境友好型为主的产业结构。能源结构的变化主要体现为清洁能源的使用比例会因为数字技术的引进而上升。清洁能源在生产的过程中不会排放二氧化碳，因此清洁能源比例在能源消耗结构中的上升能够显著降低碳排放。当然，企业数字技术应用应该也会加速推动电气化或再电气化，对电力需求会进一步加大，相应，电力行业的结构优化也会产生显著的降碳效应。

表 3-1 中国电力的结构优化

单位：亿千瓦时	2020	2030	2040	2050	2060
化石能源发电量	51944	60930	51545	31730	12450
清洁能源发电量	25848	56878	95155	134630	162550

资料来源：《中国能源展望 2060》

数字技术与生产部门的集成整合能够助力产业结构优化调整，可以看到数字技术应用为产业结构升级提供了技术

支持和内需支持，现有实证分析也发现数字技术赋能产业结构升级存在一定的区域异质性。

3.3 数字技术刺激能源消费反弹并提高碳排放

数字技术赋能“双碳”目标的一个挑战来源于能源消费的反弹。数字技术应该能够抑制能源消耗强度，不过，如果数字技术推动了经济增长、刺激了能源消费，在能源结构转型没有完成的情况下，数字技术或许会扩大碳排放，这是规模效应使然。

通用的技术进步会促进经济效率改进、推动经济发展，这会带来经济产出规模总量的扩大，在工业革命之后，经济产出规模总量扩大往往对应的就是能源消费的增加，在能源结构转型或绿色低碳转型尚没有完成之前，技术进步带来经济规模扩张就会刺激能源消费。

在一定程度上，特别是数字经济发展的早期甚至较长周期内，数字技术的应用和创新伴生对数字基础设施的需求，这些数字基础设施是数字经济发展、经济高质量发展的重要基础，但也会刺激能源消费，带来碳排放，从这个角度来看，数字技术对碳排放影响的规模效应在较长时期内仍然存在，需要高度重视。

推动实现中国式现代化和经济高质量发展，需要数字技术突破性创新带来新质生产力的跃迁，需要数字经济大发展

带来新经济动能的放大。数字技术的应用会扩大经济产出规模的扩大，在较长周期内会刺激能源消费，对碳排放造成压力，也说是说，经济发展越快，“双碳”目标下对能源转型的压力就越大，这就要加快发展清洁能源。

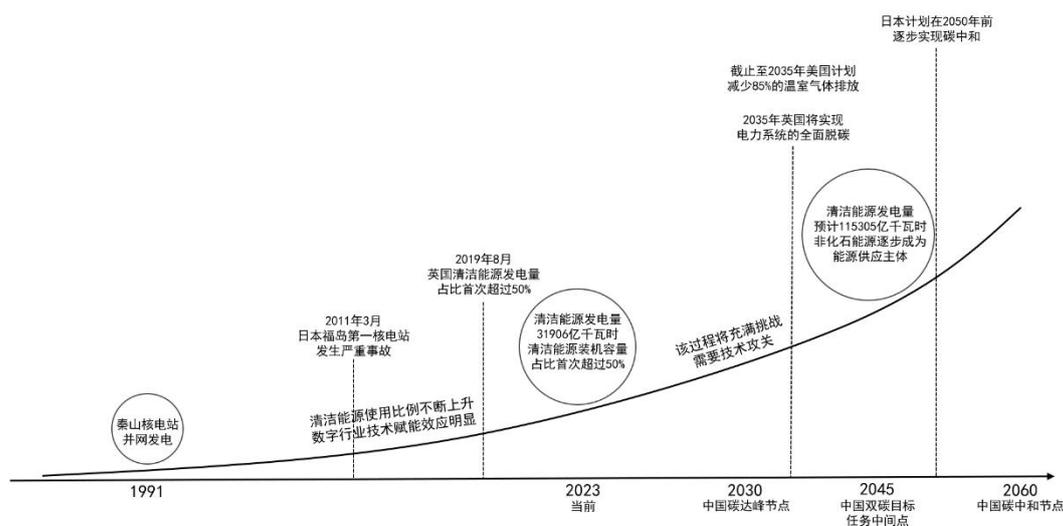


图 3-1 中国与世界其他主要国家清洁能源发展对比

资料来源：根据发改委公开数据以及互联网公开信息绘制

3.4 数字技术产业发展刺激能源消费并提高碳排放

数字技术赋能“双碳”目标的另一个挑战来源于数字产业自身的发展。通信运营商环境责任意识的引领和社会对5G基站能耗的关注。人工智能快速迭代拉动了算力需求，更强化了算力加剧能源消费的公共认知。应该看到，数字技术产业自身发展所带来的能源消费也是影响碳排放的重要因素。

随着5G建设的铺开，基站能耗引发了广泛关注。据中

国铁塔的测度结果，商用初期每个 5G 基站的日耗电量在 65 度左右。不过目前，据工信部在 2024 年年初在国务院新闻发布会上公布的数据显示，5G 基站能耗已经下降超过 20%。但是，随着基站数量的不断飙升，碳排放问题依然可能会成为一个严峻的挑战。为了缓解 5G 基站建设对能源消费的需求，主要措施有两个方向，一是基站绿色能源解决方案，二是基站能源消费管理优化。基站绿色能源解决方案就是通过绿色能源供电系统开发让基站能够实现零排放。例如，中国移动设计院信息能源所利用一体化能源柜和智能叠光系统开发的“零碳”基站，平时在利用太阳能和风能保障正常运行的同时，会把多余的绿色能源向数字储能装置充电，夜晚和天气恶劣时再利用存储的绿电为基站供电，从而实现基站的零排放。这种基站单个站点每年能减少碳排放 14.5 吨。基站能源消费管理优化就是开发和应用节能技术。例如，华为推出了一种名为“PowerStar”的解决方案，通过 AI 算法优化基站的功耗管理，降低空闲时段的能耗。另外，一些新型的基站设计也采用了更高效的散热系统和电源管理策略以降低能耗。

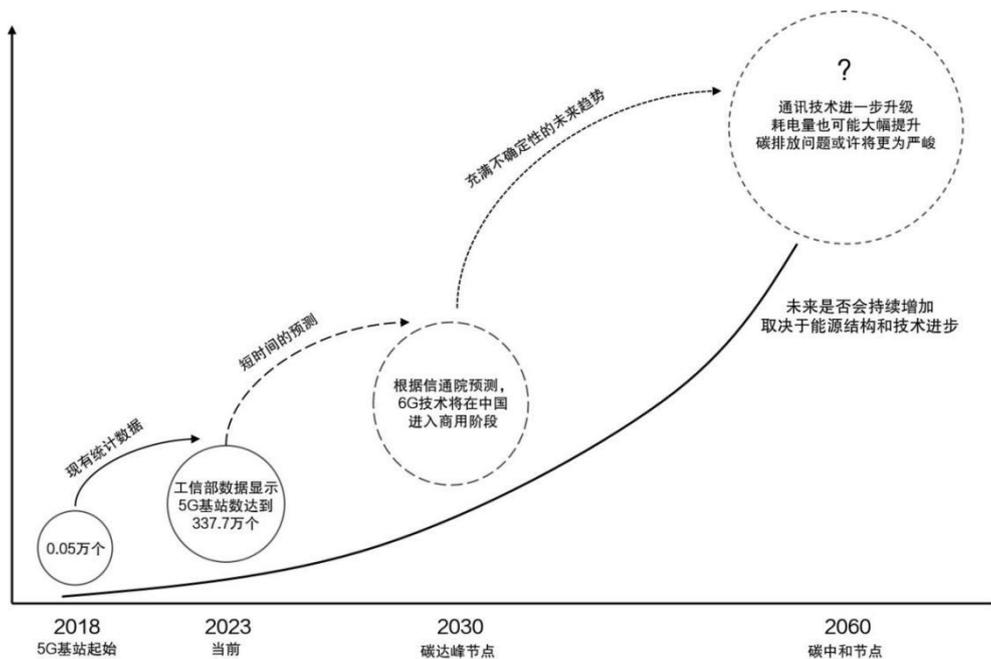


图 3-2 5G 基站的碳排放趋势

资料来源：根据工信部统计数据以及信通院预测信息整理绘制

人工智能的前景打开以及对算力需求的预测，触发了对其能源消费的关注，显然，追求可持续发展的数字产业/数字经济，在“双碳”目标或全球温控目标下，支撑人工智能发展的算力对能源消费、碳排放的影响就引发了焦点，众多业界人士的预言更是引起了热议，特斯拉创始人马斯克、英伟达创始人黄仁勋、OPEN AI 的创始人山姆·奥特曼近来都表现出对人工智能发展导致能源消费增长的持续关注。

人工智能、算力发展可能是指数级的，会带来能源消费需求的迅速拉升，或许不是指数级的，但至少是直线、线性增加。如果算力单位能耗不变，英伟达“未来 10 年算力再提高 100 万倍”预想注定是无法承受的。山姆·奥特曼曾警告

说，下一波生成型人工智能系统消耗的电力将远远超出预期，能源系统将难以应对。黄仁勋也公开表示，AI的尽头是光伏和储能，不要光想着算力，如果只想着计算机，需要烧掉14个地球的能源。由此可见，未来算力将是巨大的耗能行业。

在现有能源技术条件下，数字技术产业的发展将不可避免对低碳转型形成压力，对生态环境造成胁迫。如果没有新能源技术的重大突破和应用，数字技术产业的发展就会对可持续发展、全球温控目标或中国“双碳”目标形成挑战。

4. 数字技术助力“双碳”目标实现的微观验证

数字技术助力“双碳”目标的实现，微观上应体现为企业通过在生产和管理过程中应用数字技术起到减少碳排放的效果。为验证这一假设，本章节基于微观企业数据，实证检验企业数字技术应用对碳边际减排成本、碳排放的影响，并揭示所面临的挑战。

4.1 数字技术应用拉升企业碳边际减排成本

微观尺度上，企业的技术进步会带来经济效率改进，相应，处于技术前沿的企业，其碳边际减排成本要高。碳边际减排成本是碳减排的机会成本，衡量的是减少每单位二氧化碳排放所带来的产出损失，是“绿水青山”和“金山银山”的转化。显然，对企业来说，其碳边际减排成本越高，说明其绿色化、绿色发展水平就越高，其相对于其它企业而言，就可以通过碳交易市场与其它企业进行交换，实现整体经济产出增加。

借助方向距离函数，基于全国税收调查数据，可以计算得到企业层面边际碳边际减排成本与无效率项（减碳空间）。涵盖 2008~2016 年共计 1009114 条，进而在行业层面进行汇总得到表 4-1 的结果。

表 4-1 企业碳边际减排成本（前 10 行业）

行业	边际减排成本 (元/吨)	行业	减排空间 (无效率项)
烟草制品业	25007.92	交通运输设备制造业	0.4015
仪器仪表及文化、办公用机械制造业	19287.15	烟草制品业	0.3458
通信设备、计算机及其他电子设备制造业	7742.77	农副食品加工业	0.3265
交通运输设备制造业	6973.02	仪器仪表及文化、办公用机械制造业	0.3156
电气机械及器材制造业	3394.88	工艺品及其他制造业	0.2603
医药制造业	1978.2	橡胶制品业	0.2534
专用设备制造业	1763.19	黑色金属冶炼及压延加工业	0.233
文教体育用品制造业	1739.43	金属制品业	0.2094
食品制造业	1488.9	家具制造业	0.193
纺织服装、鞋、帽制造业	1381.06	木材加工及木、竹、藤、棕、草制品业	0.1743

数据来源：本报告的测算。

从企业层面计算结果来看，平均边际减排成本最低的前三个行业是石油加工、炼焦及核燃料加工业（22.69 元/吨）、造纸及纸制品业（72.52 元/吨）、有色金属冶炼及压延加工业（78.49 元/吨），平均边际减排成本最高的三个行业是烟草制品业（25007.92 元/吨）、通信设备、计算机及其他电子设备制造业（7742.77 元/吨）、仪器仪表及文化、办公用机械制造业（19287.15 元/吨）。这一结果表明，样本期间高耗能行业企业具有较低的减排成本，而对于低耗能、资本密集型行业企业具有较高的减排成本。行业间企业平均边际减排成本最大相差 850 倍。

基于微观数据的实证发现，企业数字技术应用提升了碳边际减排成本。表 4-2 中，第（1）列控制企业、年份固定

效应，第（2）列将企业固定效应的控制上升到四位数行业层面，第（3）列进一步控制企业规模、资本密集度等控制变量。

表 4-2 企业数字技术应用拉升碳边际减排成本

变量	(1) 碳边际交易成本	(2) 碳边际交易成本	(3) 碳边际交易成本
企业数字应用	0.0016*	0.0028***	0.0019***
固定效应	企业-年份	行业-年份	行业-年份
控制变量	未控制	未控制	控制

注：*、**、***分别表示在 10%、5%、1%水平上显著。

企业碳边际交易成本越高，离技术前沿就越近，因此，企业数字技术应用拉升了碳边际交易成本，充分证实了数字技术应用的通用性技术进步的特征。

进一步可以看到，企业数字技术应用拉升碳边际减排成本，奠定了碳交易市场的微观基础。简单来看，碳边际减排成本高的企业，可以通过交易获得配额来支撑其产出扩张，这能改进整体经济产出和效率，因此，企业数字技术应用拉升碳边际减排成本，在一定程度上让激励了数字技术应用程度高的企业，使其处于碳交易市场的有利位置。

4.2 数字技术应用显著抑制企业碳排放

本报告分别根据煤、油、电力消费以及煤炭消费测算得到企业二氧化碳排放量对数值。表 4-3 第（1）、（2）列回归

结果显示，企业数字技术应用显著降低企业碳排放量。这一结果与现有宏观层面的实证研究结论相契合。

表 4-3 企业数字技术应用抑制碳排放

变量	(1) 基于煤、油、电力消费测算的 CO ₂	(2) 基于煤炭消费测算的 CO ₂
企业数字应用	-1.4096***	-4.0680***
固定效应	行业-年份	行业-年份
控制变量	控制	控制

注：*、**、***分别表示在 10%、5%、1%水平上显著。

4.3 数字技术应用的降碳效应存在规模分化

更微观来看，数字化转型抑制企业碳排放有显著的异质性，存在规模分化。根据企业资产规模的中位数划分大企业、小企业，回归结果显示，企业数字技术应用的降碳效应只在大企业样本中存在，在小企业样本中并不显著。

表 4-4 企业数字技术应用降碳效应的规模分化

变量	(1)	(2)	(3)	(4)
	基于煤、油、电力消费 测算的碳排放		基于煤炭消费 测算的碳排放	
	小企业	大企业	小企业	大企业
企业数字应用	-0.7033	-2.2270***	-0.0091	-0.0140***
固定效应	行业-年份	行业-年份	行业-年份	行业-年份
控制变量	控制	控制	控制	控制

注：*、**、***分别表示在 10%、5%、1%水平上显著。

熊彼特假说认为大企业拥有更丰裕的资金，应该更具创

新性，同时可以通过创新阻挠潜在进入者。大企业规模庞大，拥有足够的资源，这是企业创新活动的基本保障条件。相对于小企业，大型企业在规模经济、风险分担和融资渠道等方面具有明显优势，能够持续进行研发投入，因而能够持续推动企业生产技术前沿的扩张，导致企业碳边际减排成本的提高。对于规模较小的企业来说，绿色技术的研发成本高、周期长、风险大，大多数企业往往没有足够的资金投入其中。此外，企业绿色创新对资金的要求较高，资源基础较弱的企业选择绿色创新活动的意愿更低，而且，环境规制也会提高企业绿色创新的难度与风险，甚至严苛的环境规制还会阻碍企业绿色创新，企业规模有可能调节甚至逆转环境规制对企业绿色创新的影响，最终导致企业“愿不愿”“能不能”实施和实现绿色创新的挑战。

5. 对策与建议

协同推进经济高质量发展和生态环境高水平保护，发挥数字技术的降碳效应，助力实现“双碳”目标，核心和挑战在于有效实现数字化带动绿色化。为此，应大力推动数字化绿色化协同发展，强化数字赋能的降碳效应的绿色创新机制，着力数字化转型对绿色创新的激发激励，强化“数字化转型—绿色创新—降碳”的机制链条，厚植高质量发展的绿色底色，推动经济社会发展全面绿色转型。

数字技术的应用带来了通用技术进步改进了经济效率并提升了能源效率。在“数字技术—能源消费—碳排放”这个逻辑链条中，可以通过技术效应、结构效应来应对规模效应带来的挑战。例如，本报告基于全国税收调查数据的微观实证发现，数字技术应用总体上能够显著抑制企业碳排放，有助于“双碳”目标实现。然而，本报告发现企业数字技术应用的降碳效应存在规模分化的挑战：企业规模越大，实力越强，数字技术的降碳效应越显著，大企业经济效率和能源效率同步改进会对小企业形成更大竞争优势，企业规模分化会进一步加剧。

针对这一挑战，本报告认为要大力强化数字基础设施的普惠性，推动中小企业的高质量发展，实现减污降碳协同增效。数字技术、数字经济是推动高质量发展的新质生产力，需要加快数字基础设施的建设，应该充分发挥数字基础设施

的普惠性，尤其是推动中小企业的数字化转型。然而，企业数字技术应用、绿色化转型都需要相应的投入，甚至存在投入的阈值，中小企业受制于资源、资金等实力约束，数字化、绿色化转型都面临挑战，本报告也发现数字化转型的降碳效应在小企业样本中并不显著。因此，要通过激励、约束等方式，强化数字基础设施的普惠性，发挥新质生产力的扩散和溢出效应，推动中小企业的高质量发展，协同推进减污、降碳、扩绿、增长。

本报告认为当前阶段的另一挑战来源于数字技术发展引致的能源消费。中国目前的经济发展在较长周期内很难摆脱对化石能源消费的依赖，而数字技术的深层次应用可以提升清洁能源的研发速度与应用规模，为破解碳锁定提供了有效途径。数字技术能否在可预期的时间内通过能源结构的转型抵消甚至扭转当前引致的化石能源消费将成为重中之重。结合现有案例经验和现状，本报告提出如下对策与建议：在短期内，数字技术产业应尽可能降低设备能耗，大力推动相关节能技术的普及和应用。在长期中，要发挥数字技术，特别是高性能计算和人工智能技术，在清洁能源系统高精度模拟和仿真方面的优势，大力推动清洁能源的研发与应用，尽快实现能源技术的关键性突破与能源结构的绿色转型。

参考文献

- 1 陈劲、李佳雪, 2022:《创新公地:后熊彼特创新范式的新探索》,《科学学与科学技术管理》第8期。
- 2 李青原、肖泽华, 2020:《异质性环境规制工具与企业绿色创新激励——来自上市企业绿色专利的证据》,《经济研究》第9期。
- 3 黄海燕、刘叶、彭刚, 2021:《工业智能化对碳排放的影响——基于我国细分行业的实证》,《统计与决策》第17期。
- 4 刘婧玲、陈艳莹, 2023:《数字技术发展、时空动态效应与区域碳排放》,《科学学研究》第5期。
- 5 刘战豫、张伞伞, 2024:《“双碳”目标下制造业碳减排的数字技术实现路径研究》,《资源开发与市场》第2期。
- 6 户华玉、余群芝, 2022:《制造业数字化转型能否降低出口隐含碳强度》,《国际贸易问题》第7期。
- 7 王小华、和扬亦兰、宋檬, 2024:《智慧降碳:金融科技发展的城市碳减排效应研究》,《贵州财经大学学报》第1期。
- 8 田秀娟、李睿, 2022:《数字技术赋能实体经济转型发展——基于熊彼特内生增长理论的分析框架》,《管理世界》第5期。
- 9 任保平、豆渊博, 2024:《数字技术赋能实体经济转型发展——基于熊彼特内生增长理论的分析框架》,《管理世界》第5期。
- 10 方岚, 2024:《数字技术赋能实体经济转型发展——基于熊彼特内生增长理论的分析框架》,《管理世界》第5期。
- 11 孙振清、刘保留、李欢欢, 2020:《产业结构调整、技术创新与区域碳减排——基于地区面板数据的实证研究》,《经济体制改革》第3期。
- 12 余畅、马路遥、曾贤刚、马冬妍, 2023:《工业企业数字技术应用的节能减排效应》,《中国环境科学》第7期。
- 13 马从文、杨洁, 2023:《企业数字技术应用的碳减排效应研究——来自制造业上市公司的经验数据》,《南京财经大学学报》第2期。
- 14 薛飞、周民良、刘家旗, 2022:《数字基础设施降低碳排放的效应研究——基于“宽带中国”战略的准自然实验》,《南方经济》第10期。
- 15 郭丰、任毅、柴泽阳, 2023:《“双碳”目标下数字基础设施建设与城市碳排放——基于“宽带中国”试点政策的准自然实验》,《中国经济问题》第5期。

- 16 郭劲光、王虹力, 2022: 《数字赋能下减排战略的创新性选择——基于“宽带中国”试点政策的准自然实验》, 《产业经济研究》第 4 期。
- 17 陈波、徐换歌、倪晨旭, 2023: 《新型基础设施建设与城市绿色低碳发展——基于“宽带中国”战略的经验证据》, 《兰州学刊》第 4 期。
- 18 张荣博、钟昌标, 2022: 《智慧城市试点、污染就近转移与绿色低碳发展——来自中国县域的新证据》, 《中国人口、资源与环境》第 4 期。
- 19 黄和平、谢云飞、黎宁, 2022: 《智慧城市建设是否促进了低碳发展——基于国家智慧城市试点的“准自然实验”》, 《城市发展研究》第 5 期。
- 20 程云洁、段鑫, 2024: 《数字经济能促进城市减霾降碳吗——基于八大国家级大数据实验区的准自然实证分析》, 《软科学》第 1 期。
- 21 Acemoglu, D., P. Aghion, L. Bursztyn, and D. Hemous, 2012, “The Environment and Directed Technical Change”, *American Economic Review*, 102(1):131-166
- 22 Borsatto, J. M. L. S., and C. L. Bazani, 2021, “Green Innovation and Environmental Regulations: A Systematic Review of International Academic Works”, *Environmental Science and Pollution Research*, 28: 63751-63768.
- 23 Cole, M.A., R. J. R. Elliott, and T. Okubo, 2010, “Environmental Regulation and Industrial Mobility: An Industry Level Study of Japan”, *Ecological Economics*, 69(10):1995-2002.
- 24 Li, D., M. Zheng, C. Cao, X. Chen, S. Ren, and M. Huang, 2017, “The Impact of Legitimacy Pressure and Corporate Profitability on Green Innovation: Evidence from China top 100”, *Journal of Cleaner Production*, 141: 41-49.
- 25 Pan, G., Q. Bao, and R. Huang, 2023, “Moving with the Wind: Environmental Regulation avoidance and the Adjustment of Firms Location”, *China Economic Quarterly International*, (3):238-247.