

数字碳中和 工业篇

(2024 年)

中国信息通信研究院泰尔终端实验室
中国信息通信研究院政策与经济研究所
2024年1月

版权声明

本报告版权属于中国信息通信研究院，并受法律保护。转载、摘编或利用其它方式使用本报告文字或者观点的，应注明“来源：中国信息通信研究院”。违反上述声明者，本院将追究其相关法律责任。

前 言

近年来，我国工业发展迅速，工业体系不断健全，总体规模不断扩大，工业领域节能降耗工作取得积极进展。然而，工业依然是我国能源消费和碳排放的重点领域，其能源消费总量占全国能源消费总量超过 60%。工业绿色低碳转型成为我国实现碳达峰碳中和目标和新型工业化的必经之路。

随着新一轮科技革命的突飞猛进和应对气候变化的深入推进，全球产业结构和布局深度调整，数据作为关键生产要素的价值日益凸显，数字技术深入渗透到工业领域高质量发展过程中，助力工业加速迈向高端化、智能化、绿色化的新型工业化。

本蓝皮书聚焦数字技术与工业领域的融合应用，系统梳理欧盟、美国、日本等国家地区借力数字技术推进工业脱碳的探索实践，分析数字技术助力工业碳减排的内涵机理和思路框架，建立数字技术赋能碳减排潜力评估模型，评估数字技术赋能钢铁、石化化工、建材等重点流程制造业碳减排的潜力和贡献度。数字技术赋能工业碳减排的潜力正处于快速增长期，未来十年现有的数字技术将分别助力钢铁、石化化工、建材行业减少 5%~20%、6%~16%、3%~9%的碳排放。随着数字技术的快速发展和应用场景的落地实施，数字技术对工业碳减排的效应将会进一步加强。从重点行业、绿色制造和企业主体等维度，研究数字技术赋能工业减碳管碳的实施路径和应用场景，并从顶层设计、要素支撑、技术布局、财税金融、企业动力、数字化碳管理等方面提出数字技术助力碳减排政策建议，为政府和企业提供参考借鉴。

目 录

一、数字技术成为新型工业化绿色化重要推动力.....	1
（一）工业是我国经济绿色低碳转型重点领域	1
（二）数字技术助力提升新型工业化“含绿量”.....	2
二、发达国家积极探索数字技术助力工业脱碳.....	3
（一）美国：围绕数字减碳强化顶层设计和资金支持	3
（二）欧盟：制定战略规划引领数字和绿色双重转型	4
（三）日本：强调政策融合推动数字化赋能绿色发展	6
三、数字技术将在工业领域持续释放降碳潜能.....	7
（一）数字技术助力碳减排科学内涵和思路框架	7
（二）数字技术对重点流程制造业减碳潜力分析	10
四、数字技术赋能工业减碳应用场景不断丰富.....	17
（一）重点行业层面	17
（二）绿色制造层面	23
（三）企业主体层面	28
五、政策建议.....	29
（一）加强政策顶层设计，推动数绿融合发展	29
（二）强化关键要素支撑，构建优质赋能基础	30
（三）持续推动技术攻关，强化技术支撑能力	31
（四）加大财税金融支持，降低投资改造成本	32
（五）提升企业赋能动力，鼓励企业赋能实践	33
（六）完善数字化碳管理，切实提高赋能效果	34

图 目 录

图 1 数字技术赋能工业碳减排机理框架.....	9
图 2 数字技术助力碳达峰碳中和的思路框架.....	10
图 3 数字技术助力钢铁行业碳减排潜力.....	12
图 4 数字技术助力钢铁行业碳减排增速.....	13
图 5 数字技术助力石化化工行业碳减排潜力.....	14
图 6 数字技术助力石化化工行业碳减排增速.....	15
图 7 数字技术助力水泥行业碳减排潜力.....	16
图 8 数字技术助力水泥行业碳减排增速.....	17
图 9 数字技术碳减排潜力评估框架.....	36
图 10 数字技术普及率曲线.....	37

一、数字技术成为新型工业化绿色化重要推动力

（一）工业是我国经济绿色低碳转型重点领域

多年来，工业始终是我国经济发展的主力军。我国工业发展迅速，工业体系不断健全，总体规模不断扩大，2010 年制造业产出超越美国，成为全球第一制造大国，实现了由小向大的历史性转变。我国拥有 41 个工业大类、207 个工业中类、666 个工业小类，是全世界唯一拥有联合国产业分类中全部工业门类的国家。在 500 余种主要工业产品中，有 220 多种产量位居世界第一。2022 年，全部工业增加值突破了 40 万亿元大关，占 GDP 比重达到了 33.2%。

然而，工业也是我国能源消费和碳排放重点领域。一方面，“十三五”期间，我国工业领域节能提效工作取得积极进展，工业企业节能降耗成果显著。另一方面，工业领域能源消费总量仍占全国能源消费总量的 60%以上，钢铁、有色金属、建材、石化化工等重点行业碳排放量占工业领域碳排放量的近 80%。

随着新一轮科技革命的突飞猛进和应对气候变化的深入推进，全球产业结构和布局深度调整，我国处于制造大国向制造强国迈进的重要关口期。工业绿色低碳转型成为我国实现碳达峰碳中和目标和新型工业化的必经之路。在“双碳”目标下，工信部等 3 部门印发了《工业领域碳达峰实施方案》，钢铁、有色、建材、石化化工 4 个行业均制定了行业碳达峰方案，明确了工业碳达峰的目标、任务、途径和措施。同时，我国聚焦高端化、智能化、绿色化，深入推进数字化与绿色化融合创新，加快传统工业转型升级，形成节约资源和保护环境的

绿色低碳生产方式，促使绿色低碳成为新型工业化的生态底色。

（二）数字技术助力提升新型工业化“含绿量”

随着新一轮科技革命和产业变革深入发展，互联网、大数据、云计算、人工智能、区块链等数字技术创新活跃，数字技术和绿色低碳产业深度融合，推动产业结构由高碳向低碳、由低端向高端转型升级。数据作为关键生产要素的价值日益凸显，深入渗透到经济社会各领域全过程，随着算力、算法、模型、数据等技术底座不断夯实、数字基础设施和服务体系不断完善，数字化转型深入推进，传统产业加速向高端化、智能化、绿色化方向转型升级，新产业、新业态、新模式蓬勃发展，推动生产方式、生活方式发生深刻变化，数字技术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。

近年来，我国高度重视数字经济发展，重点部署数字技术赋能全社会降碳。《工业领域碳达峰实施方案》指出要推动数字赋能工业绿色低碳转型，强化企业需求和信息服务供给对接，加快数字化低碳解决方案应用推广。《信息通信行业绿色低碳发展行动计划（2022-2025）》将“赋能全社会降碳促达峰”作为重点任务之一，提出以各行业数字化、智能化、绿色化转型需求为导向，以产业绿色低碳转型、居民低碳环保生活和城乡绿色智慧发展等领域为重点，加快提升数字技术与垂直行业应用深度融合的服务供给能力，助力经济社会数字化绿色化转型。此外，我国确定在河北省张家口市、辽宁省大连市、黑龙江省齐齐哈尔市、江苏省盐城市、浙江省湖州市、山东省济南市、广东省深圳市、重庆高新区、四川省成都市、西藏自治区拉萨市等 10 个地

区和城市开展首批数字化绿色化协同转型发展(双化协同)综合试点,以试点方式推动数字技术与绿色低碳产业深度融合,提升双化协同的能力和水平。

数字技术的快速发展为工业绿色低碳转型提供了新路径。通过集成利用先进的数字技术,促进研发设计、生产制造、经营管理、运维服务等全方位全链条的升级改造,推动工业向环境影响小、资源利用高、经济效益好的绿色化方向发展,实现生产效率与碳效率的双提升。根据全球电子可持续发展推进协会(GeSI)研究结果,在未来十年内,数字技术将通过赋能能源、制造业等行业减少 20%的全球碳排放。数字技术、数字基础设施与传统产业的融合将进一步推动产业数字化和绿色化转型,释放全领域数据价值,提高全过程生产效率,降低全链条能源消耗,实现发展和减排的双赢,助力推动全社会高质量发展。

二、发达国家积极探索数字技术助力工业脱碳

（一）美国：围绕数字减碳强化顶层设计和资金支持

美国在推进本国净零排放目标整体过程中高度重视数字技术的融合应用,特别是围绕数据、标准、技术、资金等制定了丰富的政策工具,助力绿色低碳方向的数字技术和应用创新推广。**一是充分发挥顶层设计对行业数字化减碳的支撑和引领作用。**2022 年美国能源部发布《工业脱碳路线图》,确定了减少美国制造业工业排放的 4 个关键途径及其研发和示范需求,在提高能效关键路径中提出在系统级优化工业过程性能的能源管理方法,以及来自制造过程加热、锅炉和热电联产的热能系统管理和优化,同时加强智能制造和先进的数据分析,

以提高制造过程中的能源生产力，从而有效提升制造业利用数字技术实现节能减排效率。**二是提供助力减碳模型开发/智能决策的高质量数据集和大数据工具。**针对当前行业由于应用越来越多的现代设备设施、仪器和高性能计算机而生成传统工具难以有效解析的海量数据，2021 年美国能源部拨款 2900 万美元用于开发应对清洁能源、气候和国家安全挑战的大数据工具，其中 800 万用于支撑超大型数据集系统简化，2100 万用于支持识别相关数据模型，服务能源领域智能决策，对提高能源领域利用数字技术开发节能减排模型具有重要意义。**三是为企业利用数字技术促进净零排放技术创新提供研发补贴。**在研发补助方面，2020 年美国能源部宣布提供 1600 万美元用于机器学习和人工智能高级研究，服务各领域智能化、可持续发展；在奖励资金方面，2020 年美国能源部设立 10 亿美元的“新人工智能奖项”，对 12 个提高效率、降低成本和能耗的人工智能项目给予资金奖励，同时美国能源部“可持续发展奖”还对一系列成效突出的数据中心绿色化集约化项目予以表彰；在贷款担保方面，能源部提供 85 亿美元贷款担保，支持利用数字技术减少或隔离温室气体排放。

（二）欧盟：制定战略规划引领数字和绿色双重转型

欧盟将利用数字技术促进行业脱碳和可持续发展纳入投融资、研究创新、国际合作等政策，特别强调通过相关政策，引导和支持企业通过数字转型提高应对气候变化的能力。**一是在战略规划方面，重视工业数字化绿色化双重转型。**2019 年欧盟委员会发布《欧洲绿色新政》，明确提出工业领域要充分挖掘数字转型的潜力，使人工智能、

5G、云计算和边缘计算及物联网等数字技术尽快在欧盟应对气候变化和保护环境的政策中发挥重要作用。为持续推动工业领域双化协同转型，2020 年欧盟委员会还发布了《欧洲工业战略》旨在提升欧盟全球竞争力并带动欧洲绿色工业和数字化的发展，助推欧洲向更加可持续、数字化和更具全球竞争力的经济转型。2023 年 10 月欧盟委员会通过了战略能源技术（SET）计划的修订，旨在将最初的战略目标与欧洲绿色协议、REPowerEU 计划和绿色新政工业计划（特别是“净零工业法案”）相协调，此次修订，欧盟委员会将纳入跨领域问题的新优先事项，包括根据社会需求、数字化和市场准入度定制的可可持续性设计、技能开发、研究和创新。

二是利用大数据、区块链等数字技术提高碳市场可信度和碳交易效率。欧洲能源交易所 EEX 建立了电子碳交易平台，通过支撑线上登记/交易/拍卖、提供实时交易数据，助力政策优化调整、模拟交易过程，选择最优拍卖方案等功能，助力本国碳交易制度实施，最终利用数字技术更有效地利用市场机制促进电力、钢铁、玻璃、水泥等行业减碳。

三是成立绿色化数字化联盟，更好地集聚行业力量支撑政府决策和引导产业发展。欧盟召集埃森哲、达索、爱立信、施耐德电气、谷歌、西门子、思科等 26 家 ICT 龙头企业成立欧洲绿色化数字化联盟（EGDC），2021 年签署《支持欧盟绿色和数字化转型宣言》，同时与龙头企业合作制定能源、制造、交通、农业、建筑等领域绿色化数字化转型指导方案。

四是加强重点领域数字技术应用基金支持，在创新项目中部署利用数字化减少行业碳足迹研究。2020 年欧盟委员会与欧洲投资基金宣布部署风险投资基

金，促进人工智能、机器人等技术在工业领域的推广，降低生产能耗和碳排放。2021 年欧盟“地平线欧洲”（Horizon Europe）计划宣布未来两年将提供 7.24 亿欧元拨款，支持制造业和建筑业的数字化并减少行业碳足迹。2023 年 12 月，欧盟投入近 6 亿欧元支持跨境能源基础设施项目，包括支持五个二氧化碳网络项目、两个电力部门项目和一个储气库项目，其中电力部门项目包括 1 亿欧元的智能电网项目和 122 万欧元的电力互连线加固项目等，以实现更智能的电网、效率以及创新技术和解决方案。

（三）日本：强调政策融合推动数字化赋能绿色发展

当前日本面临着绿色发展、区域发展、生产力增长、低出生率和人口老龄化等一系列挑战，亟需推动数字化来实现可持续发展。日本数字化赋能工业绿色发展注重战略、法规、标准顶层设计的融合创新。一是制定实施国家战略，最大限度地推进绿色社会发展。2020 年 12 月 25 日日本发布《2050 年碳中和绿色增长战略》，明确了“2050 年日本实现净零排放”的碳中和目标，基于预算、税制、金融、监管、国际合作 5 个政策工具，将在海上风电、电动汽车、氢能等 14 个重点领域推进减排，提出了具体的发展目标和重点任务。半导体和通信行业作为 14 个重点领域之一，主要包括两个方面的内容：一是利用数字化提高能源消费的效率和减少二氧化碳排放；二是数字设备和信息通信自身的节能和环保，2030 年所有新建数据中心节能 30%。同时还提到要加快制定制造业、企业和区域的数字化方案，推进利用数字技术促进地区二氧化碳减排示范。二是完善公共采购、法规、标准

化等扩大需求引导。利用数字技术积极发展碳交易市场，促进汽车、半导体等行业采购无碳电源。统一《道路运输法》《高压气体安全法》等相关法规，促进电动汽车、氢能汽车普及，并基于此促进网联汽车加速发展。推进下一代太阳能电池性能评估系统等相关技术标准国际化，为国内碳中和技术、产品争取国际市场。三是引导在日企业夯实数字产业基础，发挥技术和生产方面的核心作用。2021 年 6 月日本经济产业省首次发布《半导体数字产业战略》，从半导体、数字基础设施、数字产业三个维度提出了总体和细分领域的战略目标以及施策方向，夯实基础提升话语权，确保经济与环境共优，同步推进数字化和绿色技术。在半导体领域，支持数字化和绿色投资的设计开发，推进半导体技术的绿色革新；在数字基础设施领域，建设绿色数据中心，推广使用可再生能源发电，降低数字化转型带来的能源消耗；在数字产业领域，绿色政策和能源政策融合实施，加强“数字×绿色”项目管理，统筹管理推动碳中和的数字技术成果。

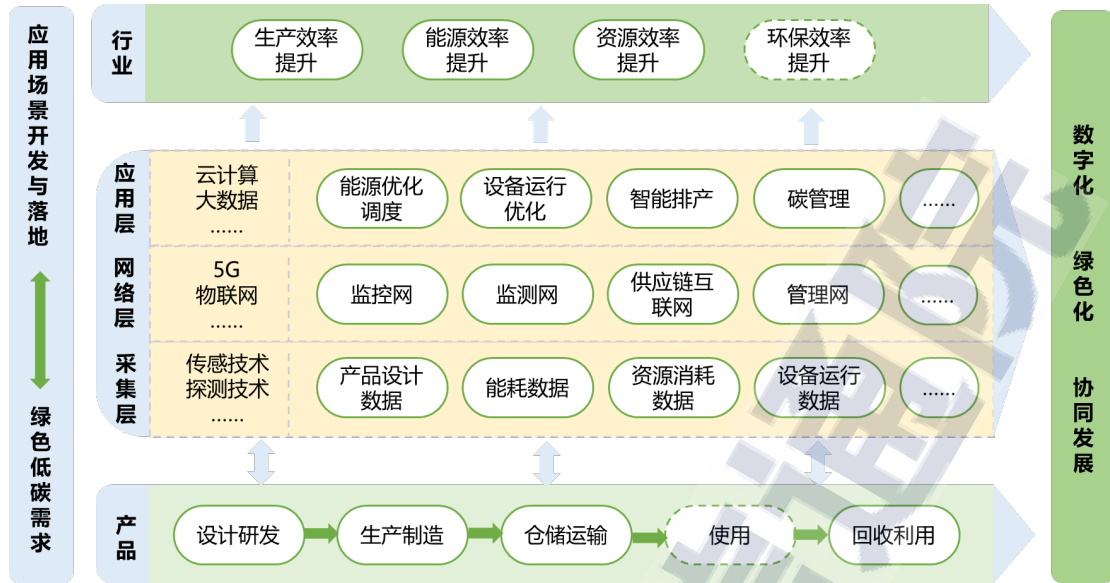
三、数字技术将在工业领域持续释放降碳潜能

（一）数字技术助力碳减排科学内涵和思路框架

数字技术助力减少碳排放，是指以数据资源作为关键生产要素，以现代信息网络为重要载体，以新型通信技术融合应用、全要素数字化转型为重要推动力，以碳达峰碳中和为重要目标，以减污降碳扩绿增长为重要抓手，提升能源效率、资源效率、环保效率和生产效率的同时减少碳排放，推动新业态、新商业模式、新产业加快发展，促进形成绿色的生产方式和生活方式。

数字化对环境影响的一个重要方面就是赋能效应，即通过在经济和社会活动中使用数字技术而产生的效应，数字技术一方面能够减少不必要活动；另一方面能够替代、优化、非物质化原耗能的功能，或者创造新的功能，从而提高效率，即通过减少、替代、优化、非物质化、创新经济活动从而有益于环境。赋能的流程包括绿色低碳相关的信息获取、传递、存储、加工和标准化五个环节。其基本逻辑可以归纳为“连接-挖掘-优化、管控-增效”，其作用机制分别是**改变价值创造方式、提高价值创造效率、拓展价值创造载体和增强价值获取能力**。具体而言，数字技术使用户以多种形式参与从研发到生产等价值创造过程，改变企业创造价值的方式；数字技术用数据逻辑强化了企业对生产、运营的管控，提高价值创造的效率；新一代信息通信技术实现了数据在产业链中的集成和流动，促进企业间的专业化分工，形成价值网，拓展了价值创造的载体；数字技术弱化了产业边界，催生出“跨界”等新型商业模式，增强了企业的价值获取能力。

对于工业而言，数字技术可赋能工业生产企业从产品设计研发到生产制造，再到仓储运输、回收利用的全流程碳减排，实现工业数字化绿色化融合发展（图 1）。通过利用云计算、大数据、物联网等数字技术，对产品设计数据、能耗数据、资源消耗数据、设备运行数据等多样化数据进行分类整合、统计分析，搭建生产过程模拟模型、能耗预测模型、碳排放预测模型、环境质量模型等数据模型，从而实现能源实时调度、设备联动运行、智能排产、碳管理、环境质量管理等功能，提升行业生产效率、能源效率、资源效率和环保效率。

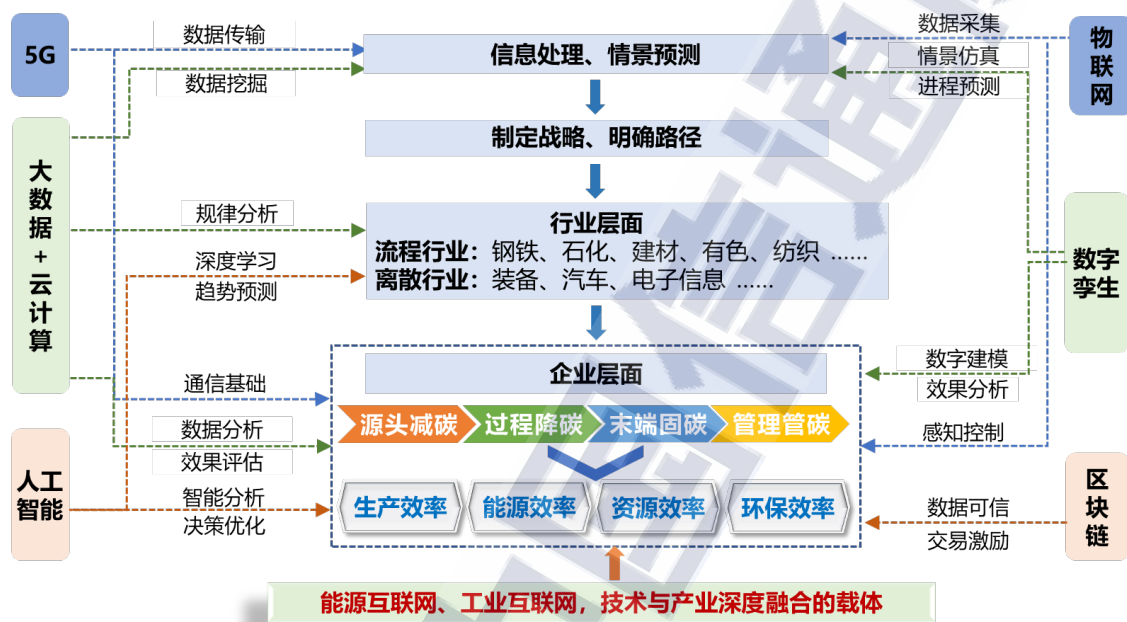


来源：中国信息通信研究院

图 1 数字技术赋能工业碳减排机理框架

数字技术助力碳达峰碳中和的总体思路包括：一是数据摸底与情景预测，利用数字技术开展数据采集、传输与挖掘，摸清“碳家底”，开展碳排放数据的盘查，实施碳排放数据监测、统计、核算、核查，综合考虑碳排放现状、技术发展、碳减排目标等方面，搭建能源资源需求模型、碳排放核算模型等，分析碳排放来源及减碳潜力；二是制定战略和明确路径，基于碳减排潜力，综合考虑技术进步、资金、人才等方面，设计科学、系统的“双碳”顶层规划，确定碳减排目标，制定可操作、可落地的碳减排路径和行动计划；三是行业层面分业施策，利用大数据、云计算等技术，深入分析行业碳排放规律，结合行业发展特点，探索分行业碳减排方案和数字技术应用场景，完善碳排放管理体系，明确各部门职责权利，提供机制保障；四是企业层面落地实施，在源头端、过程端、末端、管理端全过程实施碳减排行动，提升生产效率、能源效率、资源效率和环保效率。在此过程中，能源

互联网、工业互联网作为技术和产业融合的重要载体，5G、大数据与云计算、人工智能、物联网、数字孪生、区块链等数字技术在支撑碳达峰碳中和目标实现过程中将发挥数据分析、模拟预测、数据存储等重要作用（图 2）。



来源：中国信息通信研究院

图 2 数字技术助力碳达峰碳中和的思路框架

（二）数字技术对重点流程制造业减碳潜力分析

数字技术已与钢铁、石化化工、建材等重点行业不断渗透融合，为工业带来显著的减排效应，推动工业数字化绿色化协同转型。基于目前数字技术在流程制造业中的应用情况，现有的数字技术主要通过能源管控、生产过程自动化控制、副产物回用、系统集成控制四大方面的应用助力工业碳减排。基于此，采用数字技术碳减排潜力评估模型评估在 2025 年-2035 年之间现有的数字技术对钢铁、石化化工、建材三大重点流程制造业的碳减排潜力。结果表明，未来十年，现有的

数字技术将分别助力钢铁、石化化工、建材三大重点行业减少 5%~20%、6%~16%、3%~9% 的碳排放，赋能潜力正处于快速增长期。

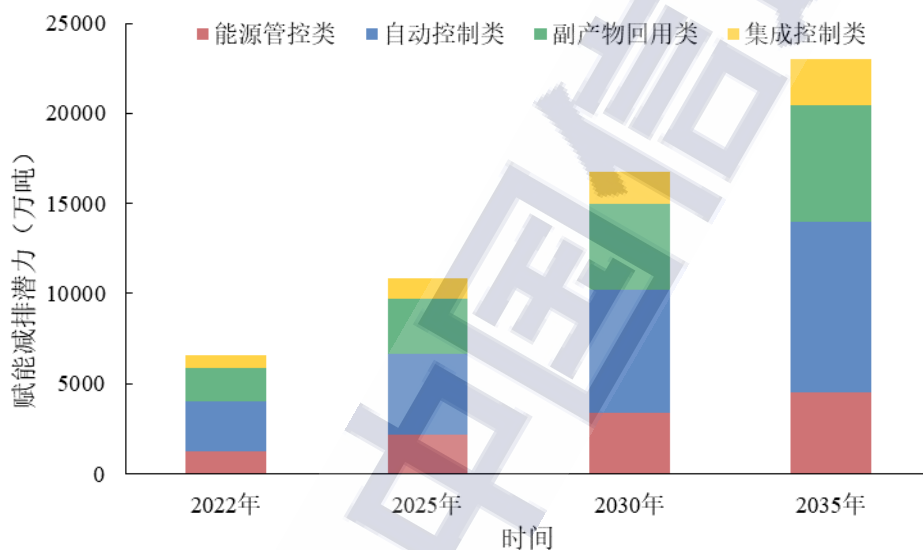
需要指出的是，一方面该模型仅考虑已经在用的数字技术，未来随着各种数字技术的快速迭代、新型数字技术的涌现更多应用场景的落地实施以及更大力度推进实施，数字技术对钢铁、石化化工、建材三大高载能流程制造业的碳减排潜力可能会更大；另一方面，和流程制造业相比，数字技术在离散制造业更容易实施，应用场景更丰富多样，从而更能彰显数字赋能碳减排的积极作用，流程制造业由于自身的工艺机理决定了其低碳转型难度更大，因此，数字技术对流程、离散制造业的减碳潜力不同，流程制造业低于离散制造业，对于离散制造业尤其是能源消耗以电力为主的装配制造业，数字技术减碳的潜力可能更大。数字技术碳减排潜力评估模型简介见附件一。

1. 钢铁行业

对于钢铁行业而言，现有的数字技术对行业的碳减排潜力在 2025 年、2030 年和 2035 年分别达到 1.1 亿吨、1.7 亿吨和 2.3 亿吨左右（图 3）。其中，自动控制类技术的碳减排潜力相对较大，约占数字技术总碳减排潜力的 41%，这主要是由于钢铁行业的碳排放集中在高炉炼铁、烧结等重点工序，对重点工序的自动控制类技术可大幅节约能源消耗；其次，副产物回用类技术的碳减排潜力约占数字技术总碳减排潜力的 28% 左右，焦炉煤气、转炉煤气、高炉煤气等副产物的余热回用技术也具有相对较高的普及度，带来了良好的节能减排效果。再次，能源管控类技术，碳减排潜力约占数字技术总碳减排潜力的 20%

左右，这类技术在钢铁行业的普及度较好，能够有效提升能源利用效率。最后是集成控制类技术，碳减排潜力约占数字技术总碳减排潜力 11%左右。

结合《中国碳达峰碳中和时间表与路线图研究》¹中钢铁行业碳排放研究情况，现有的数字技术在未来十年对钢铁行业碳减排的贡献度将在 5%~20%之间。

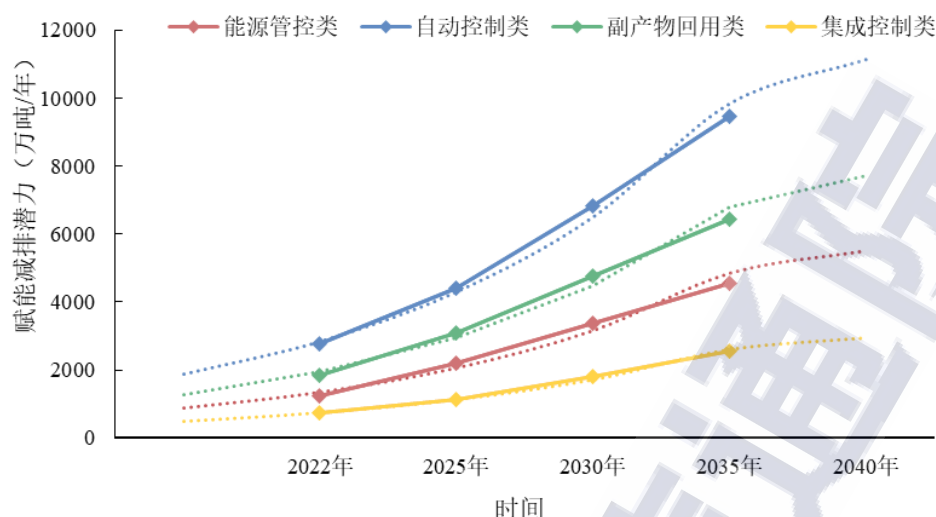


来源：中国信息通信研究院

图 3 数字技术助力钢铁行业碳减排潜力

此外，现有的数字技术对钢铁行业的赋能潜力目前正处于快速增长期，2035 年后潜力虽然可能仍在持续增加，但增加速率将有可能逐渐减缓。也就是说，数字技术赋能钢铁行业碳减排量在碳达峰期以及碳中和前期内快速增加，在碳中和后期内增速将有可能呈现放缓趋势（图 4）。

¹ 魏一鸣，余碧莹，唐葆君，等. 中国碳达峰碳中和时间表与路线图研究. 北京理工大学学报(社会科学版), 2022,24(04).



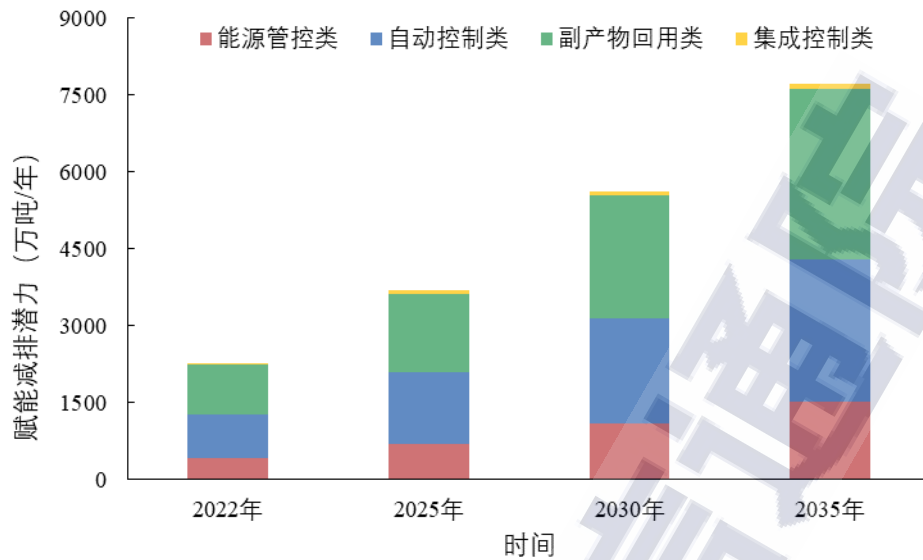
来源：中国信息通信研究院

图 4 数字技术助力钢铁行业碳减排增速

2.石化化工行业

对于石化化工行业而言²，现有的数字技术对行业的碳减排潜力在 2025 年、2030 年和 2035 年分别达到 3700 万吨、5600 万吨和 7800 万吨左右（图 5）。其中，副产物回用类技术的减排潜力最大，约占数字技术总碳减排潜力的 43%左右，这主要是由于石化化工行业的余热资源较其他行业更丰富，通过对余热等副产物开展动力系统建模、实时监测与优化调度，实现热能梯级利用、蒸汽系统优化等目的，可有效减少碳排放。其次是能源管控类技术和自动控制类技术，碳减排潜力分别约占数字技术总碳减排潜力的 36%和 19%左右。最后是集成控制类技术，碳减排潜力约占数字技术总碳减排潜力的 2%左右。

² 本报告中所指的石化化工行业包括合成氨、电石、乙烯和甲醇等行业，不包括煤化工、石油开采等行业。

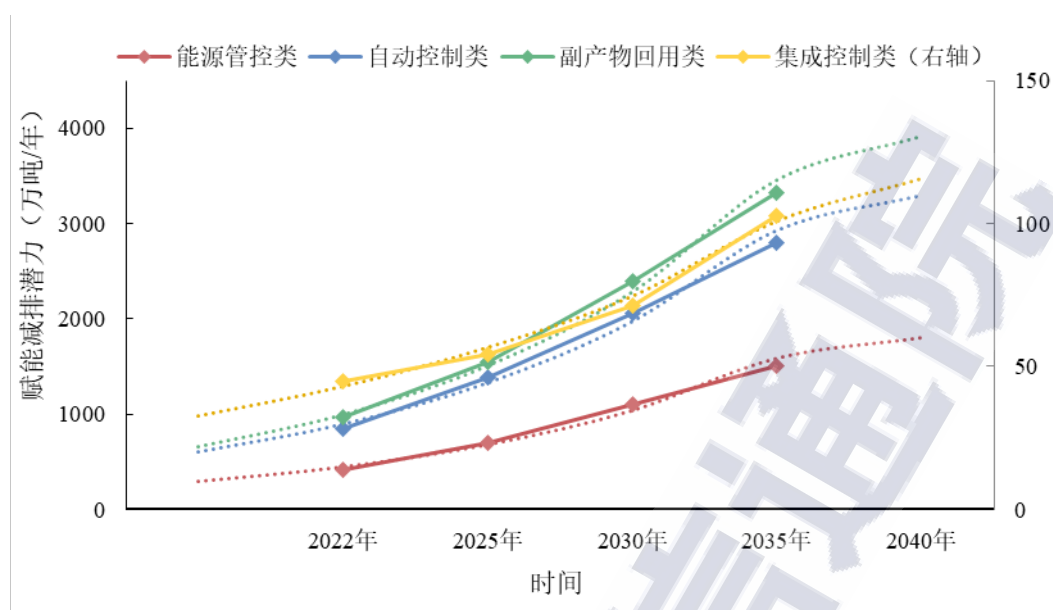


来源：中国信息通信研究院

图 5 数字技术助力石化化工行业碳减排潜力

结合《中国碳达峰碳中和时间表与路线图研究》中石化化工行业碳排放情况，现有的数字技术在未来十年对石化化工行业碳减排的贡献度将在 6%~16%之间。

与钢铁行业类似，现有的数字技术对石化化工行业的赋能潜力目前正处于快速增长期，2035 年后潜力虽然可能仍在持续增加，但增加速率将有可能逐渐变缓。也就是说，数字技术赋能石化化工行业碳减排量在碳达峰期以及碳中和前期内快速增加，在碳中和后期内增速将有可能呈现放缓趋势（图 6）。



来源：中国信息通信研究院

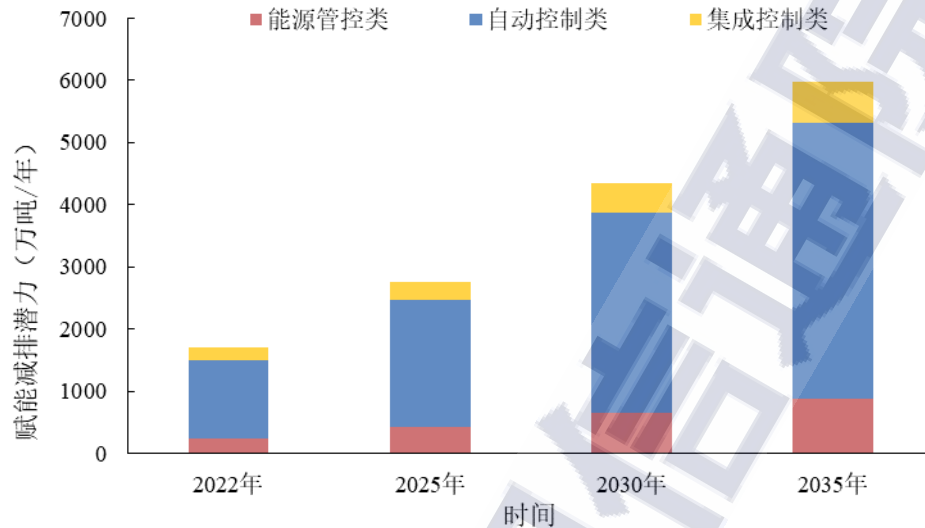
图 6 数字技术助力石化化工行业碳减排增速

3.建材行业

水泥行业的碳排放占我国建材行业总碳排放的 83%，是建材行业重点减排的领域。根据数字技术碳减排潜力评估模型，现有的数字技术对水泥行业的碳减排潜力在 2025 年、2030 年和 2035 年分别达到 2800 万吨、4300 万吨和 6000 万吨左右（图 7）。其中，自动控制类技术的碳减排潜力最大，约占数字技术总碳减排潜力 74%。这主要是由于水泥行业与其他高碳排行业不同，在水泥生产过程中，石灰石原料分解的碳排放占比达 60%左右。因此，水泥窑智能控制技术、水泥熟料烧成系统优化技术等数字技术对碳减排的贡献度较大。其次，能源管控类技术和集成控制类技术的减排潜力分别约占数字技术总碳减排潜力的 15%和 11%左右。

结合《中国碳达峰碳中和时间表与路线图研究》中水泥行业碳排

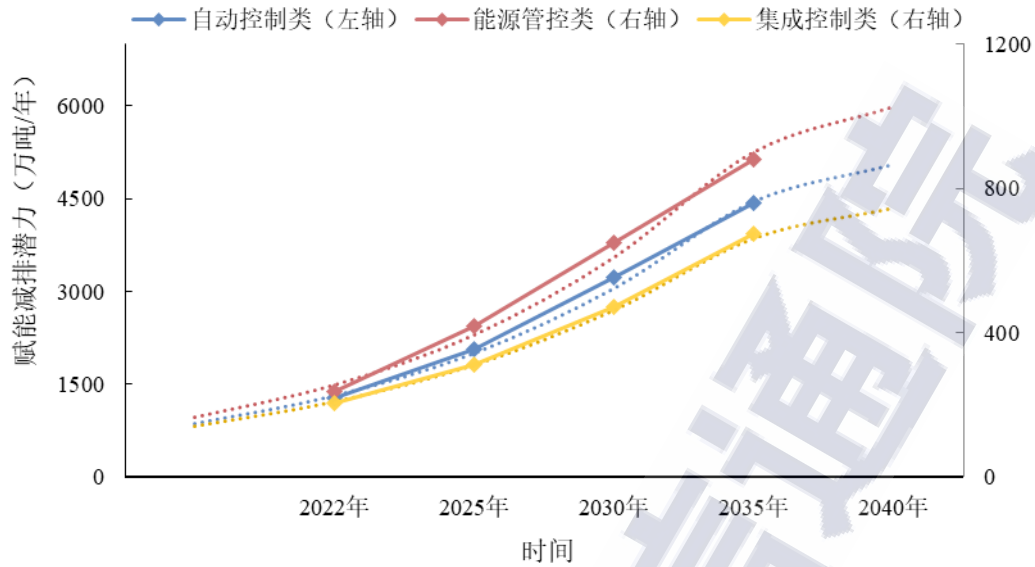
放情况，现有的数字技术在未来十年对水泥行业碳减排的贡献度将在3%~9%之间。



来源：中国信息通信研究院

图 7 数字技术助力水泥行业碳减排潜力

与钢铁和石化化工行业类似，现有的数字技术对建材行业的赋能潜力目前正处于快速增长期，2035年后潜力虽然可能仍在持续增加，但增加速率将有可能逐渐变缓。也就是说，数字技术赋能建材行业碳减排量在碳达峰期以及碳中和前期内快速增加，在碳中和后期内增速将有可能呈现放缓趋势（图8）。



来源：中国信息通信研究院

图 8 数字技术助力水泥行业碳减排增速

四、数字技术赋能工业减碳应用场景不断丰富

（一）重点行业层面

1. 钢铁行业

钢铁行业具有生产流程长、生产工艺复杂的特点，面临生产过程不透明、下游需求碎片化等痛点，发展智能化制造、精益化管理的生产模式可有效促进绿色低碳转型。目前，数字技术在钢铁行业能源管控和余热余压等副产物回应方面的应用已逐渐铺开。下一步，钢铁行业可通过数字化手段推动低碳产品研发与碳足迹管理，不断优化钢铁生产工序间的界面流程、强化生产控制，加强生产工序智能协同，系统推进上下游产业链协同，高效助力行业节能减排，促进钢铁行业；绿色高质量发展。

低碳钢铁产品研发和产品碳足迹管理。一是基于钢铁产品生命周

期理念，依托工业互联网、大数据等技术，建立材料开发全链条数据库，结合冶金原理和模型，深度挖掘相关大数据，指导材料制造中钢渣微粉、钢铁渣复合粉等成分的控制范围，构建以大数据和材料信息学为基础的钢材研发体系，研发轻质高强度高性能的低碳排放钢材。

二是通过建立原材料全链条碳数据库，构建涵盖碳监测、核算、优化的产品碳足迹管理体系，自动核算碳足迹数据，结合冶金原理、模型及工业大数据，深度挖掘高碳环节，指导材料制造中的成分控制范围，助力低碳钢铁产品研发。

生产工序智能协同。一是工艺协同优化。根据差异化的钢种、规格与用途建立不同产品从加热到轧制完成的工艺规范库，基于数字化技术进行工艺模型的数字化表达，对生产过程进行模拟仿真，优化生产工艺流程和工序间的衔接配合，减少工艺研发过程中的资源浪费，降低碳排放。

二是智能排产。通过 5G+工业互联网技术搭建可视化、可分析、可预警模拟、可快速决策的智能排产体系，运用工艺理论模型算法，综合考虑生产计划、原料需求、设备运行状态，自动制定烧结、球团、热轧、冷轧等工艺流程生产计划和执行方案，提高企业的生产效率。

产业链供应链协同：一是优化调度。通过互联网技术打造智能钢铁生态圈，汇聚钢铁生产企业、上游原材料供应商、下游需求方、运输与仓储服务商、金融服务机构等行业主体，实时汇集、分析和交互企业生产要素、运营管理、上下游供需信息，满足零库存运营要求，有效化解产能过剩，从而减少过度生产导致的碳排放。

二是协同降碳。

围绕产业链供应链各个环节，建设全生命周期的绿色低碳供应链管理体系，开展全流程碳排放核算，筛选绿色低碳供应商，推广低碳产品先试先用，构筑绿色低碳供应链产业链，推动钢铁产品绿色低碳产业链迭代升级。

2.石化化工行业

石化化工行业具有产业链条长、上下游关联紧密、原材料产品互供数量大等特点，门类众多，不同门类企业的工艺流程和装置设备不同，工艺流程机理复杂，产品数以万计，能源消耗总量大，污染大，既是国民经济的重要支柱产业，也是能源和资源加工转化行业，我国石化化工产业规模已达世界第一，在稳增长、稳投资、稳外贸等方面发挥重要作用。碳中和目标下，石油在交通燃料中的需求增速将逐渐放缓，石油加工将由“生产燃料为主”向“多产化工原料或材料”转型，有机化学品需求持续高速增长。石化化工行业具有良好的自动化基础，自动化、信息化程度走在工业前列，现阶段数字技术已经在能源管控、自动控制、建模仿真以及污染物管控和安全生产等方面发挥赋能碳减排的作用，未来将在碳资产管理、集成控制等方面逐渐释放减碳潜力。

生产制造智能建模仿真和自动控制。以石化化工行业工艺流程为基础，运用能量平衡原理、反应动力学原理等建立机制模型，利用模拟仿真平台进行工艺流程仿真，模拟生产状况、工艺系统、设备启停、故障处理，实现生产控制培训前移。利用生产制造信息平台和生产装置上面的先进自动控制系统，结合能源管理系统，实时采集各类能源

供应、生产、输送、转换、消耗全过程的完整能源数据和工艺数据，对能源供应、设备的启停状态等关键指标进行重点监控，实现能源供给与生产负荷联动调整等功能，提高蒸汽等能源的二次利用效率，降低工艺参数的波动方差和装置能耗，提高综合能源利用率，进而促进整个生产过程节能减排、安全环保。

环境污染物管控和安全生产。在环境污染物管控方面，通过建立环境智能监测与管控体系，对生产装置及储运系统的废水、废气、固体废弃物等各类污染物排放指标实测浓度、流量、超标次数及噪声进行实时动态监测、智能分析及可视化管理，实现全过程污染物管控和排放达标。在安全生产方面，利用先进工业互联网技术进行智能安全监测，强化装置、工艺、操作、现场作业等环节安全平稳。对非正常状况和安全风险进行报警，同时利用统计分析数据与现场部门和消防机构的联络协作，对产生的安全隐患进行迅速处理，确保石化化工生产稳定、持续运行，守住安全生产“红线”。

碳资产数字化管理。在线计算企业各环节碳排放、碳资产数据，通过数据分析和应用，及时、准确、完整反映企业碳排放情况，实现对设备装置和生产过程碳排放情况的事前预测、事中跟踪、事后分析，及时优化生产工艺流程，提高碳减排和碳交易效益。通过建立企业碳资产管理机制和体系，实时跟踪优化企业碳达峰碳中和工作进展和计划执行情况，实现企业碳资产清晰、碳管控到位、碳分配合理高效的低碳化管理。

3.建材行业

建材行业作为国民经济重要的原材料及制品业，具有碳排放总量大、组成多样、领域集中、重点领域过程排放占比高的特点，是我国能源消耗和碳排放量最大的部门之一，其碳排放量占钢铁、化工、建材三类主要工业行业碳排放量 35%。水泥行业是建材行业碳排放的第一大来源，约占建材行业总碳排放量的 80%，本研究报告在建材行业主要聚焦数字技术赋能水泥行业减少碳排放。包括水泥在内的建材行业属流程制造，其业务连续性和精度要求比石化化工行业略低，存在自动化、智能化和信息化水平参差不齐等问题，亟需采用信息化和智能化技术，推动生产、管理和营销模式从局部、粗放向全流程、精细化和绿色低碳发展方向变革，提高生产制造水平和效能。未来数字技术将在重点耗能设备自动控制、集成控制等方面逐渐释放减碳潜力。

数字技术赋能水泥行业设备设施智能管控。数字技术赋能水泥行业设备设施包括生产、感知以及环保等设备智能管控应用场景。在生产设备层面，通过应用工业机器人、智能巡检装备和设备管理系统，集成故障检测、机器视觉、AR/VR 和 5G 等技术，实现对设备的高效巡检和异常报警，同时应用高级计划排程系统（APS），集成调度机理建模、寻优算法等技术，进行基于多约束和动态扰动条件下的车间排产优化。在感知设备层面，在生产环节部署监控设备，利用 5G 高带宽特性实现实时数据回传，基于窑尾能耗、入窑分解率/温度设定等参数进行分解炉优化控制，并基于现场采集到的视频，机器视觉智能分析其特征，利用模态分析、聚类、分类等大数据和机器学习的方法建立设备运行的模型，进行智能检测分析和预警。在环保设备层面，应

用机器视觉、智能传感和大数据等技术，构建环保管理平台，开展污染源管理，实现全过程环保数据的采集、监控与报警，同时依托环保管理平台实现碳排放实时监测、分析预警和排放优化方案辅助决策。

数字技术赋能水泥行业生产制造安全高效。数字技术赋能水泥行业生产制造环节安全高效包括矿山爆破与开采、生料和煤粉制备、熟料煅烧、水泥制成等应用场景。**在矿山爆破与开采环节**，通过 5G 无人机航拍，定期采集地形变化信息，结合 AI 图像识别和矿山开采监控系统，通过无死角的大范围监控，减少爆破警戒人员，提升爆破后地形数据采集效率，同时确保矿山均化开采及智能化配矿的高效率，提高生产效率。**在生料和煤粉制备环节**，通过智能设备调节生料和煤粉制备相关参数，防止过粉磨、欠粉磨现象，降低电耗，同时采用生料配料在线分析仪器及配套的生料配料调整软件，实现在线调整生料配比，提高出磨及入窑生料合格率，从而稳定窑的热工制度，减少工艺故障，提高熟料质量，进而实现节能降耗。**在熟料煅烧环节**，依托工业互联网和物联网等数字技术实时检测窑内相关参数，确保煅烧熟料处于最佳状态，实现风、煤、料之间相互平衡以及能源资源利用效率最大化。**在水泥制成环节**，对车体采用 3D 感知技术，支持多车型装车操作、多机多车道不同垛型同时装车，实现来料、插包、装车自动操作，无人值守，提升包装效率。

数字技术赋能水泥行业能源管理精细化。数字技术赋能水泥行业能源管理实时优化包括用能实时监控、能耗统计分析、能源综合管理、节能优化管控等应用场景。**在用能实时监控方面**，对用能单位、次级

用能单位和主要用能设备安装能源计量器具和监控设备，采用远传方式，分类、分项、分级采集能耗数据，实现对用能单位能源利用状况实时监控。在能耗统计分析方面，基于大数据技术统计相关能耗数据，并通过数字孪生、云计算等技术对主要用能设备能耗数据、系统参数、产量数据、质量数据、运行操作方法及环境条件等数据同步分析，实现能源的高效利用。在能源综合管理方面，综合考虑用能情况、生产实际、能源价格等建立优化调度模型，根据能源用户需求，灵活制定能源供需计划，提升用能合理性，同时结合能源预测等数据，开展多能量流协同管控，实现全局能源动态平衡与优化调度，保障供能平稳高效。在节能优化管控方面，通过对关键耗能设备和高耗能加工流程的数据采集，结合大数据、人工智能算法，分析耗能的关键因素，基于模型预测控制算法，识别设备运行参数并动态调节工艺参数，找出能耗低的参数来指导实际生产，提高关键耗能设备的运行效率，减少能耗成本，生成高效的能耗方案。

（二）绿色制造层面

绿色制造是促进资源能源利用效率大幅提升、实现工业绿色低碳发展的必由之路，是一种现代化制造模式，构建绿色制造体系的核心就在于推动资源利用效率最大化、环境影响最小化。截止到 2023 年底，已建设 5104 家绿色工厂、371 家绿色工业园区、608 家绿色供应链企业，推广近 3 万种绿色产品，绿色制造体系已基本构建，工业绿色制造水平稳步提升。近年来，我国绿色制造体系建设取得进展，制造业能耗和污染排放水平持续下降，能源资源利用效率大幅提升。但

是，由于我国制造业碳排放量基数大、污染治理任务重、转型时间窗口紧，加之钢铁、有色、石化、化工、建材等工业能耗和排放主体行业占比较高，部分企业技术装备落后，尚未摆脱粗放发展模式，未来需要进一步强化数字技术助力绿色制造体系建设，助推数字化绿色化协同发展，聚焦高端化智能化绿色化方向，提高工业“含金量”“含智量”“含绿量”，不断提升发展优势、创新发展动能、优化发展生态，加快推进新型工业化进程。

1.绿色工厂

数字技术赋能工厂设计研发绿色低碳。应用虚拟现实、数字孪生、工业仿真等数字技术实现研发设计数字化，协同研发低碳新技术、新产品，从源头开始即节能减碳。在产品设计时，充分考虑产品的环保设计，遵循能源资源消耗最低化、生态环境影响最小化、可再生率最大化原则，引入产品生命周期管理系统，确保产品的设计、质量、功能、生产过程符合绿色低碳要求。

数字技术赋能工厂生产运维智能高效。**工艺流程和设备管控：**应用云计算、人工智能等数字技术创建生产工艺全流程优化提升体系，建设覆盖生态系统的数字底座，通过实时调控、优化设备运行状态实现生产工艺流程和设备的全景监测和优化，从而提高生产效率。**能源和资源高效利用：**将网络协同制造、远程运维服务、智能环境数据感知等数字技术与能源监测管理相结合，实现数据采集、边缘计算、反向控制、数据分析、策略优化、策略下发和能源预测等功能，推动能源管理智慧化和精益化；利用工业互联网、云计算、大数据、区块链、

物联网等技术推动原材料供应、加工制造和产品销售等工业生产的全过程精准协同，强化生产资料、技术装备、人力资源等生产要素融通共享，实现生产资源优化整合和高效配置。

数字技术赋能工厂末端处置资源利用。依托互联网、大数据和云计算等数字技术，通过工业再生资源回收衔接模式和“互联网+回收”模式，基于工业再生资源回收信息化平台，以及集回收、分拣、集散为一体的工业再生资源回收体系，实现信息流与物质流的统一以及工业废钢铁、废有色金属、废纸、废塑料、废轮胎、废玻璃等主要品种工业再生资源的集约化综合利用。

2.绿色产品

数字技术提升产品设计绿色水平。在研发设计全过程贯穿应用数字技术，对海量过程数据深度挖掘，搭建虚拟仿真及虚拟装配环境，并结合人工智能技术快速筛选出符合设计目标的最优方案，提升研发设计生产效率。企业通过建立大数据知识库，在产品设计前期即从产品用料、产品运维能耗、循环利用难度等环节提供相关的设计方案，综合比对各种方案的优缺点，实现产品全生命周期对环境的影响最小化。

数字化技术提升产品使用品质寿命。产品深度融合人工智能、物联网等数字技术，全面提升产品智能化应用水平，在虚拟数字空间中对系统进行同步建模仿真，在此基础上对系统的下一步运行状况进行预判，并将实时生成的优化决策方案及时反馈到真实世界的运行系统中，从而实现产品全系统的快速有效迭代优化，节约维护成本，提升产品的能效和品质。

数字化技术推动产品回收循环利用。利用区块链、物联网等技术对产品零部件从原料采购到废弃物回收再利用的全生命周期管理，推动再生资源利用和产品再制造，构建数字化循环利用体系。依托数字技术建设完善废旧物资回收网络，实现线上线下协同，形成“互联网+二手”模式发展，提升废旧产品的循环高效利用。

3.绿色供应链

数字技术构建智能高效供应网络。基于工业互联网平台，实时采集企业内的设备、工具、物料、人力等数据，实时跟踪现场物料消耗精准配货，实现生产、库存的动态调整优化，应用互联网、云计算等数字技术建设互联互通的供应网络体系，替代传统线性序列式供应链，实现供应链协作互联互通、高频高效。

数字技术搭建资源动态优化配置平台。以工业互联网平台为连接枢纽，实时采集供应链上下游企业的排产、生产、库存、质量、物流方面的运行数据，结合供应链协同模型，优化全供应链资源配置，实时监测上游原材料/零配件供应情况以及下游产品需求信息，实现供应链动态、精准协同，助力企业提高能源资源利用效率。

数字技术赋能供应链碳数据协同管理。依托工业互联网、物联网和大数据等数字技术为驱动，打造供应链管理平台，将上游原材料、元器件、零部件企业碳排放数据向下游传递，为下游企业开展产品碳足迹和碳排放追踪提供高质量数据基础，实现碳数据精准协同管理和智能高效诊断，助力供应链管理数字化、智能化、绿色化。

4.绿色园区

数字技术赋能园区能源基础设施低碳化。园区传统能源基础设施呈现排放量大、持续期长的特征，因此新能源基础设施零碳转型亟需推进。通过充分运用光伏、微电网、氢能、储能等技术，构建以可再生能源为主的零碳能源系统，并配套智能电网等基础设施，将不同的能源资源进行智能化的调度和管理，减少园区对电厂的统一供电采购，实现园区自给自足的能源供应，整体上优化园区能源结构，减少园区碳排放和能源消耗，从而实现源头减碳。

数字技术赋能园区碳监测与核算。工业园区数量多、种类广、发展阶段各异，中小规模园区数量多，面临边界不明晰、不统一，绝大多数园区碳排放底数不清导致的碳排放精准测算难和减碳潜力定量化难等问题。基于人工智能、数字孪生、工业互联网等数字技术监测与核算园区内的直接和间接碳排放活动，获取园区各途径碳排放数据，制定针对性策略，推动园区零碳智慧转型。同时利用区块链技术的透明连接、价值可信、不可篡改及信息可追溯等特性解决碳排放计量数据不准确、碳排放核算体系不完善、信息不对称及数据不可追溯的难题，有效助力碳交易机制的建立。

数字技术赋能园区废弃物协同处置。基于物联网、智能监控、在线仿真技术等，构建园区固废管理多源异构大数据系统，形成固废智慧管控技术，支撑建立集固废监测、溯源、预报、应急、调控等功能于一体的可视化园区管理平台，将“减量化、资源化、再利用”理念充分融入固废、废水等废弃物处理处置领域，建设共建共享的园区内污水处理、中水回用、固废处理处置等公共基础设施，充分发挥固废

处置中的减污降碳协同增效作用，提升园区可持续运营综合实力。

（三）企业主体层面

企业作为数字技术赋能碳减排的重要实施主体，目前仍然存在数字赋能碳减排意识不足、能力不足、数据不清等问题，更要平衡数字化绿色低碳改造成本与投资的收益，因此各类企业都需要从现状摸排、战略引领、低碳行动等各方面去不断探索实践。大企业要做好示范引领，打造绿色供应链，中小企业同时也要紧跟龙头企业的步伐，拓展数字赋能中小企业减碳管碳应用，实现大中小企业融通发展。

1. 大企业

数字化助力大企业碳达峰碳中和，实现生产运营智能化、物流供应敏捷化、产品价值高端化。大企业在通过数字化提升自身绿色发展的同时，仍需不断发挥示范引领作用，强化赋能支撑，带动链上中小企业协同发展。

数字技术促进大企业碳减排的实施路径，首先是控源头：减少直接碳排放，应用产品数字化设计与仿真、工艺流程模拟和仿真、工艺数字化设计等，提升产品的环保低碳属性，从源头开始节能减碳；**其次是调结构：清洁能源替代**，通过多能互补综合能源平台、新能源电站、储能设施建设、配电系统改造和能源系统搭建，调整能源结构，形成绿色能源替代；**第三是提效率：提升能源利用效率**，应用生产设备智能能耗管理、碳排放管理系统、厂物管理和控制系统，提升生产过程中的能源的使用效率，达到节能减排的目的；**第四是精管理：数字化资产管理**，通过精益生产管理、产线柔性配置，主动式服务推送、

产品远程运维，主动型供应链、数据增值服务，形成精细化、数字化的碳资产管理。

2. 中小企业

中小企业占全国企业数量 99%，贡献了中国 60% 的 GDP、50% 的税收、80% 的城镇就业、70% 的技术创新，是保就业、稳经济、促创新的重要生力军，对经济发展以及实现共同富裕有着重大的意义。

数字技术促进中小企业碳减排的实施路径，一是**识别需求**：找准降碳关键业务场景与数字技术应用契合点。通过车间/工厂的数字化设计、建造、施工与交付，以及绿色节能、精细可控的智慧化生产体系寻求契合点；二是**转型实践**：升级改造车间，提升生产设备互联互通水平，加强能耗、碳排放数据采集、存储和展示。通过生产设备碳全景监测，以及能源管理系统、在线能源审计、设备能效对标、系统节能诊断等方式进行转型实践；三是**深度应用**：基于大数据分析和测算模型，助力科学智慧决策。通过人机协同作业，车间智能排产、先进过程控制，资产性能优化、一体化运营中心系统助力企业分析决策。

五、政策建议

（一）加强政策顶层设计，推动数绿融合发展

在全国和区域层级积极部署数字技术赋能绿色低碳发展相关工作。一是在宏观层面，结合我国工业领域发展的实际情况，制定工业领域数字技术赋能绿色低碳发展的战略规划，发布相关纲领文件，不断做强做优我国工业经济发展，为工业高质量发展提供有力支撑。二

是在中观层面，制定分领域、分行业、分区域的数字技术赋能绿色低碳发展专项行动计划，将数绿融合发展纳入行业或区域发展规划，加强多方协调度和行业配合度，为融合发展聚集、筹措各类资源，为工业领域数字化绿色化转型提供政策保障。

加快行业标准体系构建和宣贯推广，切实发挥标准的支撑引领作用。一是健全数字碳中和标准供给。推动行业协会、龙头企业、高端智库等，围绕钢铁、石化、有色、建材等重点行业数字化碳管理和碳减排，补充数字碳中和行业标准，完善数字碳中和标准体系建设。二是强化标准宣贯推广。依托一系列数字化绿色化主题的会议、论坛，对标准内容、要求、应用成效等进行宣贯。发挥链主企业的主体作用，鼓励龙头企业将标准纳入其绿色供应链管理，引导带动供应链上下游产业将相关标准纳入供应链管理，扩大标准应用推广范围。

（二）强化关键要素支撑，构建优质赋能基础

推动碳排放数据收集、传递和开发利用，更好挖掘数据对行业减碳的资源价值。一是鼓励企业碳排放数据收集和管理。通过资金引导、考核监督等，推动高碳领域龙头企业建立“碳资产管理系统”，面向不同环节、不同产品开展碳排放数据监测，规范碳数据管理和核算，摸清“碳家底”。二是推动碳排放数据供应链传递。鼓励上游原材料、元器件、零部件企业依托绿色供应链管理，将碳排放数据向下游传递，为下游企业开展产品碳足迹和碳排放追踪提供高质量数据基础。三是提供碳排放大数据开发工具。鼓励产学研合作，开发数量更多、质量更优的碳监测、碳减排大数据工具，助力数字减碳服务开发。

完善碳管理、数字化减碳等融合人才培养，强化相关智力支持。

一是大力推动融合学科建设。针对部分教学内容与行业需求脱节的现象，推动相关高校等结合数字减碳技术和服务需求，积极开设互联网、人工智能、大数据、环境工程、污染控制等相关课程，体现专业方向与行业需求对接。**二是激励企业参与培训。**通过培训补贴、产教融合试点、政府采购等政策，积极鼓励企业参与甚至主导人才培养培训，如提供碳排放管理、能源优化调度、工厂运维监测等方向的实习课程和资源，推动一线数字化碳排放管理人员、技术专家等到高校开展培训等，促进产业链发展与人才培养的衔接。

（三）持续推动技术攻关，强化技术支撑能力

加强基础研究和前沿技术布局，夯实数字化绿色化创新基础。**一是夯实数字产业基础创新能力。**突破芯片、工业软件等基础性技术瓶颈，减轻对国际供应链的依赖，摆脱受制于人的局面。扶持集成电路、基础电子等关键基础产业，保障数字技术产业供应链的战略安全。以新型智能终端、智能网联汽车、电力电子等需求为导向，利用大市场优势，大力发展核心基础元器件。**二是超前布局未来数字技术发展。**加快发展云计算、物联网、大数据、人工智能、量子计算、下一代通信网络技术等的研发和试验力度，着眼长远，抢占技术制高点，打造未来技术竞争优势。壮大产业规模，全面推动数字技术与实体经济的深度融合，加快传统产业数字化、网络化、智能化和低碳化发展。

加快先进适用技术开发及应用，提高技术供给能力和水平。**一是强化关键技术开发。**优化现有科技专项和研究计划等支持方向，加大

数据实时交换、信息处理与融合等传感技术攻关，提高碳传感器综合性能。推动大数据汇聚、监测管理、建模分析等大数据技术突破，促进碳数据管理、分析和预测。强化区块链存储、加密、共识和跨链等技术研发，助力区块链在碳资产管理、碳交易平台的应用。**二是鼓励重大技术集成示范。**利用技术试点示范工程等项目，面向智能制造等领域，开展数字管碳减碳示范应用，加快传统产业数字化、智能化、网络化和低碳化发展，更好地促进各领域数字化减碳。

（四）加大财税金融支持，降低投资改造成本

推动更多财政资源向数字化减碳方向倾斜。**一是加强科研专项和产业化专项引导。**通过研发补助、贷款贴息、项目奖励等方式，支持物联网、人工智能、区块链、大数据分析等数字技术促进行业减碳的创新应用开发。**二是鼓励开展公私合作。**围绕数字化碳管理及智慧能源、智能制造、智慧交通、智慧城市等数字减碳重点方向，推出一系列地方工程项目等，调动社会资本和产业投资的积极性。**三是发挥国企央企的产业链带动作用。**如在电力、能源等高耗能领域将碳排放监测管理系统及各类数字化减碳工具纳入中央企业集中采购目录等，为数字减碳创造市场空间，促进相关产品和服务的创新应用。

强化金融服务对数字技术促进碳减排的支撑作用。**一是引导基金投资方向。**鼓励现有绿色基金、互联网基金等关注大数据、云计算、物联网、人工智能技术赋能行业绿色化转型，加大相关方向投资力度。**二是加大信贷资源倾斜。**采用定向降准、再贷款、再贴现等货币政策工具，及税收优惠、信贷担保等财政政策工具，引导金融机构向数字

减碳技术和应用扩大信贷投放，增加对行业利用数字技术促进绿色转型的长期资金支持。三是充分利用全国碳交易市场。通过开发拍卖模型，模拟交易过程，助力交易主体选择最优拍卖方案等，更好地发挥数字技术对全国碳排放权交易市场线上交易运行的支撑作用。加速将电力、钢铁、水泥等行业纳入全国碳排放交易市场，推动各行业利用数字技术赋能碳减排。

（五）提升企业赋能动力，鼓励企业赋能实践

对大中小企业分类施策，促进企业数绿协调发展。一是推动大企业数字化助力前瞻性技术研发。通过联合大学、科研机构、政府等产学研主体组建创新联合体、新型共性技术平台等，共同推进资源和要素有效汇集，开展数字化、绿色化前瞻性、创新性的技术与应用研究。积极促进大企业承接科技重大项目，加强绿色化、智能化等关键共性技术研发，加速前瞻性技术的产学研结合以及成果转化，有效开展和验证技术的落地和创新。二是充分发挥中小企业自身优势。发挥中小企业创新灵活性强以及独特的单点深入优势，通过数字化技术制定更加精准的营销策略和产品开发，开发新型绿色技术、设计新颖绿色产品，推动中小企业向产业价值链中高端迈进，发展成为“专精特新”创新型中小企业。

促进大中小企业融通发展、融链成圈。一是引导大企业发挥示范引领作用。鼓励行业性龙头企业秉持“打造零碳供应链”理念，以绿色标准牵引带动上下游中小企业加快工业设备联网、申请获得绿色认证等。带动中小企业积极参与区域的工业低碳行动和绿色制造工程，渐

进融入产业园区、产业集群绿色转型，共同推动区域落后产能循序化解。二是数字化赋能“以链促转”。遵循“大企业建平台、中小企业用平台”思路，供应链上下游中小企业应积极融入供应链协同平台，通过链上龙头企业及平台的带动效应，促进自身进行数字化、绿色化转型升级，同时在水产品设计、采购、生产、销售、服务全过程实现高效协同的组织形态，共同推动绿色供应链发展。

（六）完善数字化碳管理，切实提高赋能效果

政企联动推动体系化的碳核算方法、碳核算数据库和碳核算数据平台，实现碳资产精准管理。一是建立健全碳管理数据库。加强企业层面数据采集监测，鼓励企业在政府部门平台上开展企业碳排放信息披露，增强碳排放数据的透明度和可靠性。统一实施国家层面数据核算，提高数据统计核算的效率、准确度、可信和可追溯。二是推动企业和各级政府建立数字化碳管理公共服务平台。鼓励企业内部的数字化碳管理系统与地方政府的公共服务平台对接，推动地方政府碳管理平台与部委平台对接，实现自下而上企业能源消耗、碳排放以及产品碳足迹等数据的自动核算以及上传上报。三是建立碳评价体系，依托评价结果支撑企业绿色化改造和政府精准施政。推动建立企业绿码管理体系和区域碳效评价体系，集成用电、用煤、用气、用油等数据，对企业和区域的减碳水平进行精准画像。依托评价结果给予绿电交易、绿色金融、绿色技改、绿色工厂评价等政策倾斜，提高政策精准性。

加大试点示范力度，发挥引领带动作用。一是开展试点示范工程，强化数字技术赋能工业绿色发展最佳实践供给。探索形成一批可复制、

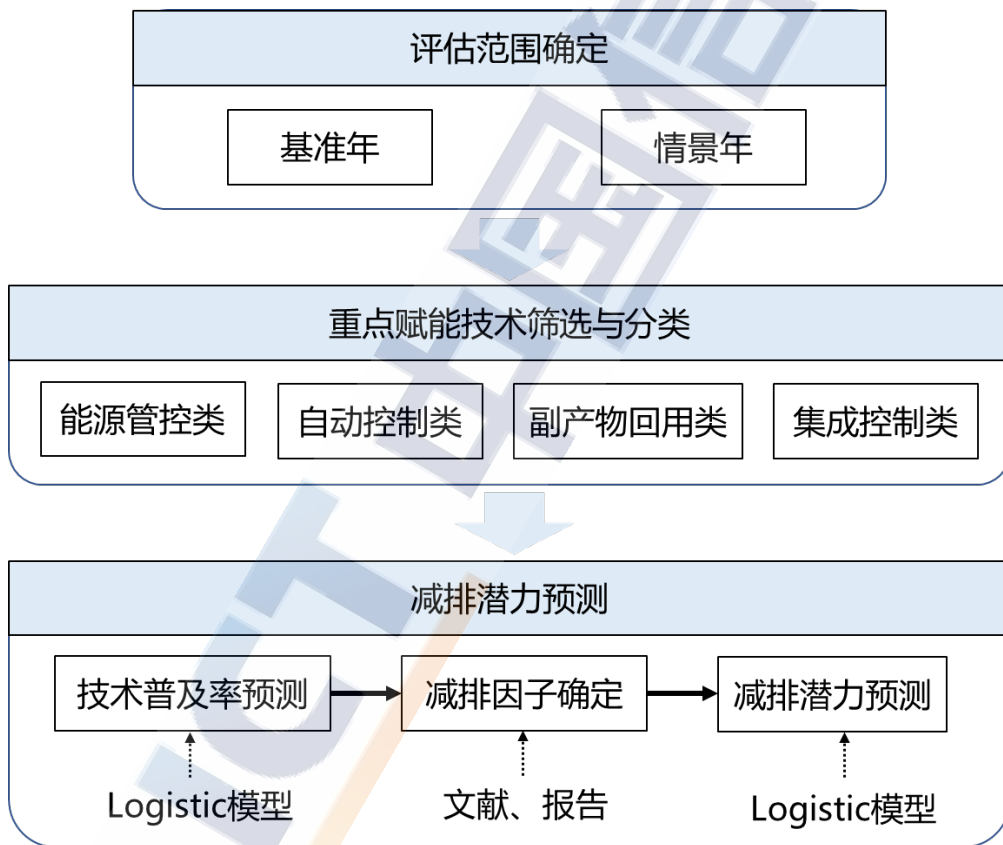
可推广的数字减碳解决方案和创新应用。遴选一批工业、通信、能源、交通、建筑等领域先导试点应用，推进多维度数字减碳应用和服务创新。合理推动试点项目与其他重点工程、科技规划的衔接，鼓励地方政府对试点项目给予土地、资金、用电等政策支持，降低推行阻力。

二是加强经验总结，以点带面大范围推广。定期对试点推进情况进行总结，提炼先进经验和做法。发布数字化促进碳达峰碳中和实施指南，分享企业利用数字技术节能减碳的新技术、新应用、新方法。依托相关大会、峰会、论坛等平台，开展数字技术促进各行业经验宣讲，推广赋能路径和效果等。

附件一：数字技术赋能工业碳减排潜力评估模型

本研究主要聚焦数字技术在能源管控、生产过程自动化控制、副产物回用、系统集成控制四大方面的应用途径，建立数字技术碳减排潜力评估模型，评估数字技术赋能钢铁、石化化工、建材等重点高耗能行业的碳减排潜力。

研究综合考虑数字技术普及率及其减排效果的变化，构建数字技术减排潜力评估模型，具体评估框架如图 9 所示。



来源：中国信息通信研究院

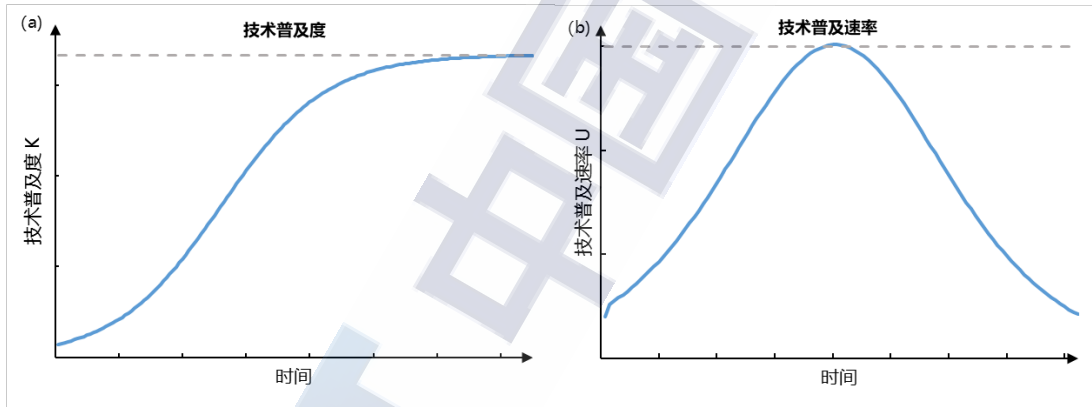
图 9 数字技术碳减排潜力评估框架

在考虑数据质量的基础上，选定 2022 年作为基准年，以 2025 年、2030 年、2035 年作为情景年，预测数字技术赋能重点高耗能行业的

碳减排潜力。

逻辑斯蒂模型（logistic 模型）常用于描述事物的动态变化过程，广泛用于表征经济和社会变量随时间变化的规律，如区域发展过程、城镇化进程、人口变化、行业产能等。因此，本研究假设数字技术普及率随时间的变化符合逻辑斯蒂曲线，即起始阶段技术普及速度较慢，中间阶段普及速度加快，随后普及速度下降并且趋于稳定。数字技术普及率和普及速率如来源：中国信息通信研究院

图 10 所示。同时，假设数字技术的减排潜力和数字技术普及率之间是非线性正相关关系。



来源：中国信息通信研究院

图 10 数字技术普及率曲线

对于数字技术普及率，参考节能技术普及率研究，其普及率随时间的变化如公式（1）所示：

$$K_{i,t+\Delta t} = (K_{i,t} - K_{i,m})e^{\frac{-(\Delta t)^2}{2s^2}} + K_{i,m} \quad (1)$$

式中， $K_{i,t+\Delta t}$ ——数字技术 i 在第 $t + \Delta t$ 年的普及率，%；

$K_{i,m}$ ——数字技术 i 的最大普及率；

s ——技术渗透参数。

数字技术 i 在第 $t + \Delta t$ 年赋能某行业的碳减排潜力根据式（2）计算：

$$ER_{i,t+\Delta t} = ER_{i,t} + \frac{e^{\alpha_i + \beta_i K_{i,t+\Delta t}}}{1 + e^{\alpha_i + \beta_i K_{i,t+\Delta t}}} \cdot RF_i \quad (2)$$

式中， $ER_{i,t+\Delta t}$ ——数字技术 i 在第 $t + \Delta t$ 年赋能的碳减排潜力；

$K_{i,j}$ ——数字技术 i 在第 j 年的普及率；

RF_i ——数字技术 i 的碳减排因子；

α_i, β_i ——数字技术 i 的碳减排参数。

数字技术 i 的碳减排因子根据式（3）计算：

$$RF_i = \sum RA_{i,w} \cdot EF_w \quad (3)$$

式中， $RA_{i,w}$ ——生产单位产品时数字技术 i 带来的 w 类型能源节约量；

EF_w —— w 类型能源的碳排放因子。

根据式（1）~（3）即可估算数字技术 i 在第 $t + \Delta t$ 年赋能某行业的碳减排潜力。

中国信息通信研究院 泰尔终端实验室
中国信息通信研究院 政策与经济研究所

地址：北京市海淀区花园北路 52 号

邮编：100191

电话：010-68094183

传真：010-68094183

网址：www.caict.ac.cn

