

数字化绿色化协同发展 白皮书 (2022 年)

中国信息通信研究院

2023年1月

版权声明

本白皮书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白皮书文字或者观点的，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

党的二十大报告提出“推动形成绿色低碳的生产方式和生活方式”及“加快发展数字经济，促进数字经济和实体经济深度融合”。目前，我国已相继发布“1+N”的“双碳”政策体系文件中的《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》、《2030年前碳达峰行动方案》和各行业绿色低碳相关文件五十余个，给出我国碳达峰碳中和的时间表、路线图及相关举措的政策布局。

在全面贯彻国家政策，深入落实高质量发展目标上，传统高耗能产业亟需多环节实现用能结构转型、提质增效，数字技术的赋能作用逐渐强化。同时，数字领域的高速发展也需要以绿色低碳作为前提，并需促进自身技术不断创新升级，为全面赋能蓄力。因此，数字化绿色化发展正逐步从“比翼齐飞”向“融合共生”演进，最终实现经济社会发展与生态环境保护的“双赢”。

白皮书首次提出数字化绿色化协同（以下简称“双化协同”）发展内涵，并聚焦数字化赋能绿色化、绿色化牵引数字化进行深入研究。在数字化赋能方面，面向生产中能源结构转型、终端用能节能降碳、资源回收循环利用、能耗与碳排放管理，总结低碳转型着力点；面向生活，聚焦绿色出行、绿色消费、绿色办公和绿色服务，深入分析数字技术赋能绿色发展关键点。在绿色化牵引方面，解析绿色发展对采集、传输及应用等环节的数字技术提出的新诉求及牵引升级方向。最后给出我国数字化绿色化协同发展策略和建议。

目 录

| | |
|---------------------------|----|
| 一、 数字化绿色化协同发展必要性与内涵..... | 1 |
| （一）双化协同是我国高质量发展必然选择 | 1 |
| （二）双化协同发展的科学内涵 | 3 |
| 二、 数字化对绿色化的支撑与赋能..... | 4 |
| （一）数字化促进低碳生产新模式 | 4 |
| （二）数字化引领绿色生活新风尚 | 25 |
| 三、 绿色化对数字化的促进与牵引..... | 30 |
| （一）绿色化对数字化采集技术需求 | 30 |
| （二）绿色化对网络化传输性能要求 | 31 |
| （三）绿色化对智能化应用各类诉求 | 32 |
| 四、 数字化绿色化协同发展策略与建议..... | 34 |
| （一）强化统筹管理 | 34 |
| （二）提高协同意识 | 35 |
| （三）增强需求牵引 | 37 |
| （四）提高支撑能力 | 38 |
| （五）完善协同基础 | 40 |

图 目 录

| | |
|----------------------------------------------------|----|
| 图 1 数字化绿色化协同模型..... | 4 |
| 图 2 我国各部门 CO ₂ 排放变化趋势图（1990-2020） | 5 |
| 图 3 数字技术助力行业绿色发展测算过程..... | 17 |
| 图 4 数字技术助力行业绿色发展测算结果..... | 18 |

一、数字化绿色化协同发展必要性与内涵

（一）双化协同是我国高质量发展必然选择

2020 年 9 月 22 日，我国在第七十五届联合国大会上正式提出力争 2030 年前二氧化碳排放达到峰值，努力争取 2060 年前实现碳中和目标。两年来，我国在绿色低碳发展方面深入实践并取得良好成效。我国先后出台了《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》和《2030 年前碳达峰行动方案》，共同构成贯穿我国碳达峰、碳中和两个阶段的顶层设计，“1+N”政策体系已基本建立；我国可再生能源利用总量大幅增长，使用规模和装机容量均创新高；各行业碳排放强度不同幅度下降。但同时看到我国碳达峰碳中和仍然面临减排幅度大、转型任务重、时间窗口紧、核心技术受制约、资本投入大等挑战，迫切需要从技术创新和产业转型等深化推动低碳发展。

绿色化转型过程中数字赋能愈发凸显。我国碳达峰碳中和目标明确后，能源、工业、交通运输、城乡建设等分领域分行业均围绕绿色发展进行实践。**政策引导上**，“1+N”体系的建立为传统行业低碳发展明确具体行动。以工业为例，2022 年 8 月 1 日，工信部等三部门联合印发《工业领域碳达峰实施方案》，重点提出“主动推进工业领域数字化转型，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”。**产业发展上**，对于生产制造及能源消耗大国，我国的绿色化发展方向多、潜力大、效果强，在传统行业已率先开展众

多针对提质增效、节能低碳、循环利用等层面的探索尝试。其中，在数字化转型需求的牵引下，新一代信息技术逐渐释放对千行百业绿色发展赋能潜力。数字生产已渗透至设备运行提效、工艺流程优化、运维管理智能等重点环节。**民生服务上**，数字生活为低碳出行、远程办公、绿色消费等方面逐步提供先进解决方案。数字技术的不断创新，对绿色化发展的支撑作用日益明显。

数字化发展历程中绿色导向不断深化。随着数字经济飞速发展，我国数字技术和数字产业不断与社会各个领域深度融合，成为经济社会转型升级的关键引擎和重要底座。**政策引导上**，工信部联合七部门印发《信息通信行业绿色低碳发展行动计划（2022-2025 年）》，从行业重点设施绿色升级、产业链供应链协同发展、能源资源循环利用及共建共享、健全能耗及碳排放综合管理平台等方面提出了详实的工作方案。同时，该文件也重点提出了赋能产业绿色低碳转型、赋能居民低碳环保生活、赋能城乡绿色智慧发展要求。**产业发展上**，近年来运营企业、互联网企业等持续通过节能技术及节能产品的应用落地加快推进绿色化发展进程，并聚焦数据中心、通信机房、通信基站，大力推动用能结构转型、低碳技术应用、能源资源回收利用等。**技术升级上**，随着赋能垂直领域绿色发展需求不断深化，数字技术快速演进升级。首先，数字技术向多领域融通，实现关键资源的跨地域、跨系统、跨组织的高效配置；其次，数字技术达到多环节渗透，从聚焦单一能源消耗，逐渐向多个环节贯通；再次，数字技术实现多场景突破，如工业互联网标识解析体系在低碳领域形成碳标识等。综上，随着我国

“双碳”目标深入实践，数字产业发展中绿色化要求和导向不断深化。

党的二十大报告提出“广泛形成绿色生产生活方式，碳排放达峰后稳中有降，生态环境根本好转，美丽中国目标基本实现”，同时提出“加快发展数字经济，促进数字经济和实体经济深度融合”。从我国经济社会发展进程中可以看出，数字化与绿色化正从以往的泾渭分明阶段逐渐向共生互动阶段和渐次融合阶段演进。当前，我国经济已由高速增长阶段转向高质量发展阶段，数字化与绿色化协同发展的必要性不断显现并得到业界广泛认可。因此，双化协同既是“数字化”和“绿色化”两大发展趋势逐渐融合演进的自发过程，也是我国创新、协调、绿色、开放、共享新发展理念下的必然选择。

（二）双化协同发展的科学内涵

以数字化赋能绿色化、绿色化牵引数字化的双化协同为抓手，对经济社会生产、生活等领域进行数字化与绿色化升级，实现全面高质量发展。主要包含两个层次：

一是数字化赋能绿色化发展。以数字技术如 5G、物联网、大数据、人工智能、云计算、区块链技术等作为手段和工具，以数据资源作为关键要素，以信息网络作为重要载体，在各领域的能源供给、传输、存储和使用过程中，通过感知控制、数字建模、决策优化等方式，实现资源最优利用、助力节能减污降碳、促成经济效益与环境效益双赢。

二是绿色化牵引数字技术升级。以绿色为目标与驱动，围绕能源结构转型、低碳技术应用、资源循环利用和碳排放精准管理等手段，

面向设备智能化升级、过程控制优化、融合协同减碳等具体环节，对数字传感能力提出普适性要求、对传输网络提出高性能要求、对平台应用提出多元化要求，推动数字技术与各行业深度融合，进而实现全面绿色化转型。



资料来源：中国信息通信研究院

图 1 数字化绿色化协同模型

在数字赋能与绿色牵引的关系中，数字化与绿色化将深度协同、协调合作、互相促进，形成拉动效应，最终大力推动数字经济发展和绿色低碳转型。

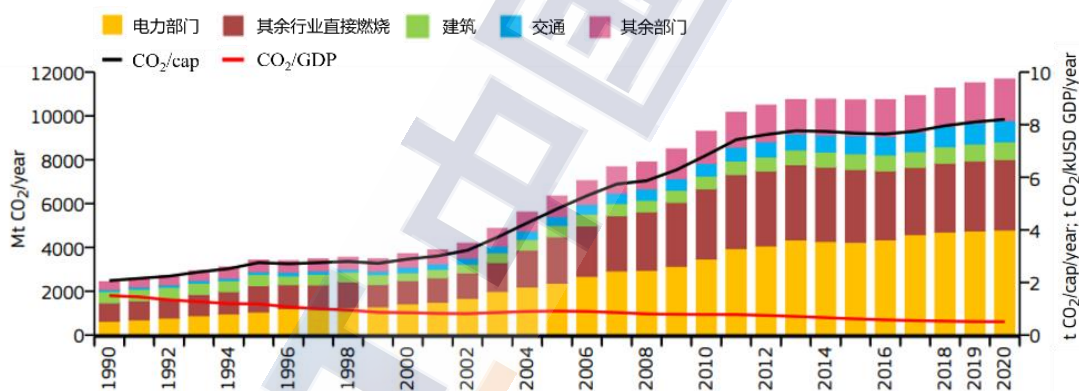
二、数字化对绿色化的支撑与赋能

（一）数字化促进低碳生产新模式

1. 数字化推动能源结构转型升级

据国际能源署统计，我国 2020 年全年总碳排放相比较 1990 年

增长了 382%，能源部门增长幅度更是达到了惊人的 650%。时至今日，能源部门的碳排放占据了我国总碳排放的 40% 以上。因此，对于我国碳达峰碳中和发展目标，能源领域是主战场与主阵地，能源行业低碳转型是实现重要路径和战略选择。二十大报告指出：“积极稳妥推进碳达峰碳中和，加快规划建设新型能源体系”，“加快发展数字经济，促进数字经济和实体经济深度融合”。数字产业正在成为经济转型升级的新引擎，以数字化转型为载体驱动能源行业结构性变革、推动能源行业低碳绿色发展，既是现实急迫需求，也是行业发展方向，数字技术将是构建新型能源体系的重要工具。



数据来源：世界各国的温室气体排放量(2021)

图 2 我国各部门 CO₂ 排放变化趋势图（1990-2020）

（1）能源生产结构高效绿色转型

立足于我国富煤、少气、贫油的能源资源特征，通过数字技术促进化石能源的高效开采、加工，各类可再生能源的高效发电与系统运行，是双化协同的直接体现。

数字技术赋能传统燃煤电厂升级智慧电厂。作为先进信息技术与

传统电力生产深度融合产物，智慧电厂可实现更加安全、高效、清洁、经济、可持续发展的生产目标。为解决传统火电厂在信息孤岛、数据质量、两化融合等方面的问题，传统发电厂通过智能化监控、操作及管理，利用大数据分析、数字建模、自动拟合、数字孪生等方式，确定电厂最优运行方式，降低单位产能能耗，对生产流程的排放数据进行监测分析，对高排放环节进行智能控制及优化，实现传统发电厂向智慧电厂发展。

数字技术赋能可再生能源比例提升。对于风能、太阳能等可再生能源，数字化技术毋庸置疑是可再生能源高效发电的重要引擎，更是调节新能源发电间断性、波动性、随机性等特征的有效手段。新能源发电基于大数据平台、物联网、云计算、机器学习及移动互联等先进技术实现选址建站和生产，并通过收集分析风、光等新能源资源实时及历史大数据监测，智能安排发电时间及时长，提升电站运行安全水平及发电效率。同时，在运维过程中将系统数据进行集中收集、存储、处理、分发，实现新能源电站的智能巡检、异常排查等智能化运维手段的应用。此外，以多能融合信息系统为多种能源的运行优化提供支撑，进一步推动多源协同、多能互补、供需互动的新型电力系统建设，有效助推能源结构绿色化发展。

数字技术助力智慧水电建设与运营。水力发电作为我国重要的电力供给之一，数字水电技术在推动水利水电发展进程中发挥了重要作用。但伴随对水力发电智慧化、绿色化的进一步要求，行业已开展从数字水电向智慧水电的探索。智慧水电是以数字水电为基础，以物联

网、智能技术、云计算平台与大数据等新一代信息技术为基本手段，以全面感知、实时传送和智能处理为基本运行方式，对水电大坝空间内包括人类社会与水工建筑物在内的物理空间与虚拟空间进行的深度融合，建立水电大坝数字孪生系统，可更加有力地推动水电站高效运行。

数字技术助力建设智慧矿山与智慧油田。煤矿绿色化、智能化发展是煤炭工业高质量发展的核心支撑。以智慧矿山系统建设、优化和关键技术为核心，基于煤炭矿山信息物理空间的数字孪生和深度学习方法，充分融合矿山行业工艺技术和生产管理知识，建立煤炭矿山可视化物理模型、可验证仿真模型、可表示逻辑模型、可计算数据模型，实现物理矿山实体与数字矿山孪生体之间的虚实映射、实时交互，构建全域感知、边缘计算、数据驱动和辅助决策的智慧矿山平台，最大限度地实现煤炭矿山资源利用最大化与绿色化。此外，智慧油田在油气开采中也在不断发展深化，通过充分运用数字技术手段，透彻地感知、全面地互联互通、深入地智能化以及有效地整合油田运行核心系统的各项关键信息，对油田生产、管理、居民生活等各层次需求做出智能响应，提升各方面的泛在化、可视化、智能化水平，最终推动油田的绿色环保和可持续发展。

（2）能源传输方式安全高效升级

能源体系变革不仅体现在供给端与需求端的高效节能，能源的安全传输同样至关重要。利用数字技术引导能量的有序流动，实现能源传输的高效管理和精准匹配，支撑构筑高效、清洁、经济的新型能源体系，提高能源系统的安全性、生产率、可获得性和可持续性。

数字技术赋能油气长输管道。管道运输是石油、天然气的重要传输方式之一，但管道传输存在着故障率高、管理覆盖不全等问题。数字化管道技术在充分利用国家空间数据的基础上，加强自身的设施建设，结合卫星遥感影像，航空摄影测量技术等，能够动态监测油气管道附近的水温和天气情况，保障数据传输的有效性和及时性，从而实现长距离油气管道的安全运行和智能化管理。通过数字化管道技术，能够实现长距离油气管道的自动化管理，检测的内容更加丰富、更新速度更快，投入资源较少，数据更加精确，长距离管控能力进一步提高，实现管道损坏率、能源损耗率大幅度降低。

数字技术推动智能电网建设。据《中国电力行业发展行业报告（2022）》，我国电力线损率占全国发电量的 5.26%，随着未来我国电气化率进一步提升，社会用电量将持续增长，输配电网络损耗将成为不容忽视的能源浪费。利用数字技术，助力实现输配电网络路的智能运维、状态监测、故障诊断等，助力提升电网管理水平，降低输配电网络损耗，助推电网绿色化发展。借助数字技术可建立全网协同、数据驱动、主动防御、智能决策的新一代电力调度体系，实现高弹性、高柔性智能电网，解决高比例新能源接入下系统随机性与波动性问题。

（3）能源存储模式灵活协同发展

伴随“风光水火储”和“源网荷储”两个一体化大力推进，储能将成为必备环节，其在优化电网、削峰填谷、提高电能质量等方面都可发挥重要作用。数字化技术配合储能技术，建成储能系统站内协同、站间协同、站网协同等模式，满足储能综合应用、智能协同、精细管理以及全场景应用，成为能源结构绿色化转型进程中的重要支柱。

区块链技术助推“共享储能”新模式。目前，已有大量政策支持鼓励发电企业、电网企业和电力用户租赁、购买储能电站服务，发挥储能“一站多用”的共享作用，且独立共享储能可作为单一主体参与电力市场交易。区块链技术，以其独特的去中心、去信任、集体维护、数据透明、可信任等特性，迎合了共享储能的急切需求。储能的分散式布局、紧急快速响应，放电电量的记载、贡献度互认，与区块链技术天然耦合适配。“区块链+共享储能”的智慧解决方案，一方面可缓解弃风弃光，促进清洁能源转型，增加企业效益，并从整体上提高新能源设备的装机容量，另一方面可建立共享储能新业态，使其在智慧能源体系中真正发挥出重要的调节作用。

数字技术赋能储能方案智慧运行。“智慧储能”指以智慧化为特征的新型储能方案，其围绕安全、智能、高效的设计理念，结合了电池层面的安全冗余、设备层面智能充放电的主动防护、应用层面的能源管理、节能改造和提高电能质量等，演进而来的创新储能模式。电力储能技术在电力系统中增加了存储环节，使得实时平衡的“刚性”电力系统变得更加“柔性”，特别是能够平抑大规模可再生能源接入电网带来的波动性，可提高多元能源系统的灵活性和可调性，以及能源交易的自由度。智慧储能系统通过促进储能系统技术与信息技术的深度融合，实现储能系统的互联网化管控，提高储能系统运维的自动化程度和储能资源的利用效率，充分发挥储能系统在能源互联网中的多元化作用。在需求侧，智慧储能主动协助平衡电力系统功率变化，自适应调控时间、调控额度、调控次数等，实现发电曲线与负荷曲线

间的快速动态匹配。

数字技术优化改善电池管理功能。电池管理系统主要作用是对各个储能电池单元能耗管理及维护，从安全性、耐久性、可靠性方面防止电池出现过充电和过放电，延长电池的使用寿命，监控电池的状态。在电动汽车领域，电池管理系统通过传感器对电池的电压、电流、温度进行实时检测，同时进行漏电检测、热管理、电池均衡管理、报警提醒，计算剩余容量、放电功率及电池健康度，还根据电池的电压电流及温度，用算法控制最大输出功率以获得最大行驶里程，以及用算法控制充电机进行最佳电流的充电模式，并与车载总控制器、电机控制器、能量控制系统、车载显示系统等进行实时通信，实现电池能量最大化利用，延长使用寿命。

2. 数字化推进终端用能节能降碳

（1）强力推动建设现代化产业体系

通过 LCA 评价助力绿色产品研发。利用数据库、大数据分析等技术，在源头设计阶段进行产品绿色创新，并基于全生命周期数据采集与分析，优化性能参数，从而开发出高能效产品，实现制造过程与使用阶段的能耗与排放双降低。例如，某钢铁集团通过对多个产品进行全生命周期评价，修正了产品性能相关系数，从而实现了能耗和环境保护双降的绿色产品。

| |
|-----------------------------|
| 专栏 1 数字化助力绿色钢材研发 |
| 某钢铁集团自主研发了包含数据采集、运算分析、结果展示等 |

功能于一体的钢铁产品生命周期评价在线系统，针对稀土、稀土钢等多个产品全生命周期评价，基于此发现钢铁产品成材率是影响环境负荷的最关键因素，因此通过完善“成材率”这一指标，开发了绿色钢材。

- 实现了吨钢耗电下降约 4%，吨钢耗新水下降约 19%，烟粉尘排放量降低约 14%，二氧化硫排放量降低约 74%。

通过优化工艺流程实现节能降碳。一是利用数字孪生、人工智能、大数据分析、传感等技术，通过精准采集生产数据，开发生产机理模型及各类 APP 软件等，优化控制能耗和物料。二是通过建立生产制造各环节的绿色技术数据库，借助深度学习等算法，实现工艺配方自动推演与工艺改进。例如，某钢铁集团通过建立高炉数字孪生体，优化了生产参数，从而实现了降低能耗与安全生产的目标。此外，某纺织企业通过研发纺织面料生产配方自决策算法，实现了工艺配方的自动推演。

专栏 2 数字化助力绿色工艺节能减排降耗

案例 1：某钢铁集团建立高炉数字孪生体，实现高炉生产过程的虚拟-现实映射，进行生产过程的实时监控和预测，通过优化生产参数，达到了减少能耗、降低安全事故风险的目的。

- 实现冶炼效率提升 10%，单个高炉每年减少碳排放 20000 吨。

案例 2：某纺织企业基于染整工艺数据，研发纺织面料生产配方自决策算法，利用大数据分析和深度学习等技术，实现工艺配方自动推演。

- 染色一次成功率提升约 10%，能耗降低约 10%，工厂整体产能提高近 10%。

通过工序协同实现节能降耗。一是推动工序协同降碳。传感采集、网络传输、数据分析等，通过跨工序数据融合、智能联动数学模型，实现全部工序的大规模远距离集控，提高生产效率。二是助力精细化生产控制。通过工序协同改善资源能源过度配置的生产现状，实现按需下料，减少资源浪费。例如，某钢铁集团案例如下。

专栏 3 数字化助力钢铁与装备制造能

案例 1：某钢铁集团利用一体化智能管控平台，开发了跨工序数据融合、智能联动的数学模型，实现全部工序的大规模远距离集控，原有的 42 个中控室合并为一个集控中心。

- 精简操作岗位 40%，极大降低成本、通过集中管控实现年增产 3%，年经济效益超 3 亿。

案例 2：某机械制造企业基于 5G 云化 PLC 技术打造柔性生产线项目，实现产线的智能化、柔性化与可移动化，解决桩机工厂组装效率低，成本高等问题。

- 未来 8 年内将为工厂缩减人工量 64%，人均产值提高 24%，节约成本 1 亿元，产品不良率下降 14%，易损件、备件呆滞库存降低 40%。

通过设备监控诊断降低能源消耗。利用远程诊断系统，对设备的运行情况、能耗情况等进行监测与控制，并利用数据挖掘技术，对设

备进行诊断与预警，降低因故障导致的能源资源消耗。例如，某水泥企业利用数字技术，对水泥窑、余热发电等装备系统运行数字化远程诊断，持续提升能源使用效率。此外，某锻造企业通过远程系统诊断和维护功能，同样也高比例提升效率。

专栏 4 数字化助力建材行业设备故障诊断

案例 1: 某水泥企业利用数字化手段，对水泥窑、余热发电等装备系统运行远程诊断，持续提升运营能力。

- 实现发电量每小时增加 400 千瓦时，年增加发电量约 67.2 万度。

案例 2: 某锻造企业应用能源管理系统对能耗和设备进行管理，通过远程系统诊断和维护功能可随时对设备运行工况进行诊断和维护。

- 能源利用率提升 22%，线路损耗由 2.5% 降至 1%，年可节省 225 万度电能。

通过能源平衡与调度提高综合能源利用率。利用数字技术构建大数据模型，深度分析能耗数据，打通生产与用能数据，对能源运行与管控进行精细化管理和预测，从而合理制定综合能源利用计划。例如，某铜业企业通过建立优化操作模型，动态模拟电耗与蒸汽消耗平衡最优模式，实现综合能耗大幅降低。

专栏 5 数字化助力有色行业用能平衡与优化

某铜业企业通过大数据建模分析，在给定季节、温度、湿度变

化范围内，建立优化操作模型，动态模拟计算电耗与蒸汽消耗平衡最优情形，实现综合能耗高比例降低。同时结合电价政策，进行系统模型参数设定，给出基于经济最优规则的建议，推动降本增效。

通过污染物监控系统减少污染物排放。利用数字传感、智能分析、标识解析等技术，建立环保管理信息系统，通过对全过程环境数据在线采集、监控与报警，实现污染物减排。例如，某铝业公司通过固废标记与数据管理，有效实现了固废等污染物管理。此外，某钢铁集团通过安装分布式控制系统(DCS)，降低了污染物排放的比例。

专栏 6 数字化助力固废与废气减排

案例 1：某铝业公司开展固废标记与数据管理，在污染物流通过程中，通过生成固废标签方式，对固废进行识别，并将相关计量数据上传到管理系统，同时在 12 个工业固废和危废物质的库房内建立物联感知系统，提高了管控能力，有效实现了污染物管理。

案例 2：某钢铁集团对烧结机机头、烧结机机尾、高炉矿槽、高炉出铁场、转炉二次烟气、石灰窑等污染源治理设施安装了分布式控制系统(DCS)。

- 实现排放的颗粒物、二氧化硫、氮氧化物分别下降 23%、74%、58%。

通过废料定级系统提高工业再利用水平。利用机器视觉进行废钢、废铝等定级，提高可再生金属等可再生资源的利用效率，从而降低产品成本，提升生产能效。例如，某钢铁集团研发了废钢定级系统，具

体如下。

专栏 7 数字化助力废钢定级

某钢铁集团研发了利用 AI 技术的废钢定级系统，实时抓拍废钢车辆的卸料过程并逐层采样，对卸货过程进行单层和最终整车判级，识别不达标废钢和杂质、异物，计算出整车扣重的预估值。

- 实现了废钢定级准确率达到 95%。

通过工业互联网平台实现产业资源协同节能。基于产业级工业互联网平台，推动跨企业信息互通、产业链协同，从而促进资源调度配置优化，达到节约资源的目的。例如，某企业打造的钢铁工业品电商交易平台，覆盖原材料、生产、消费等多个环节，促进产业链协同，并有效化解了过剩产能，优化了产业结构。

专栏 8 数字化助力产业链协同节能

某企业打造钢铁工业品电商交易平台，覆盖了产业供应链原燃料、矿石、钢材、家电、汽车、造船等多领域，有效助力钢铁产业去产能、去库存、优结构，实现降低交易成本，减少因过度生产导致的能源消耗。

通过碳资产管理平台助力碳资产管理。通过建立碳资产管控平台，集成各业务系统的数据，建立产品 LCA 环境复合模型，对不同工艺路径碳排放进行对比分析，并对产品碳足迹进行追踪。例如，某石化企业通过开发碳资产管理系统，具体如下。

专栏 9 数字化助力石化行业碳资产管理

某石化企业通过开发碳资产管理系统，按排放源对相关装置和设施进行碳盘查，并分析碳排放数据，得出企业碳排放结构分布图，有效支撑企业节能管理。

搭建数字技术助力行业绿色发展测算模型。对数字技术赋能绿色应用场景进行分析量化，依据不同场景赋能占比，以节能降本增效为目标，分别从能耗、成本、产能、效率等维度，测算数字技术赋能绿色化贡献成效。具体计算公式如下：

$$f(x) = \sum_{i=1}^9 m_i w_i$$

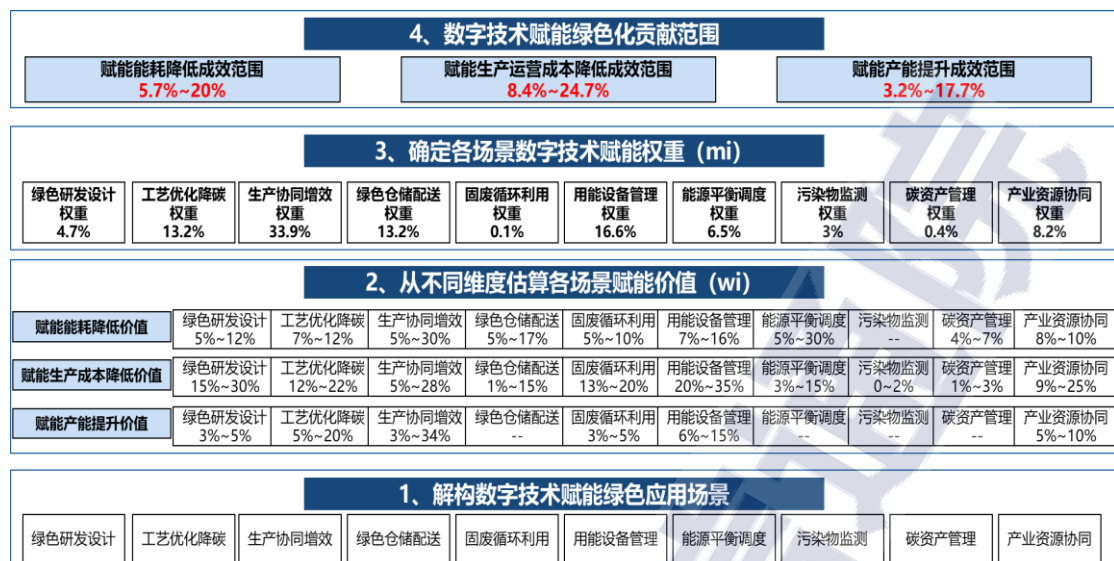
其中， $f(x)$ 代表数字化助力行业绿色化成效； i 代表第 i 个数字化助力行业绿色化场景； w 代表该场景形成的价值； m 代表该场景所占的比重。测算过程如图 3 所示，第一解析得出数字赋能绿色化的十大场景，包括绿色设计研发、工艺优化降碳、生产协同增效、绿色仓储配送、固废循环利用、用能设备管理、能源平衡调度、污染物在线监测与控制、碳资产管理、产业资源协同节能；第二从能耗降低、生产运营成本降低、产能提升三个维度估算各场景赋能价值，第三以 2022 年度中国信息通信研究院数字化转型 740 个案例样本以及相关专家访谈为依据确定各场景数字技术赋能权重；第四根据计算公式得出数字技术赋能绿色化的贡献范围。



资料来源：中国信息通信研究院

图 3 数字技术助力行业绿色发展测算过程

量化测算数字技术助力工业绿色发展成效。基于数字赋能测算模型，对不同维度各场景赋能价值进行估算，并确定各场景数字技术赋能的权重，具体如图 4 所示。经精确计算得出赋能能耗降低成效范围为 5.7%~20%，赋能生产运营成本降低成效范围为 8.4%~24.7%，赋能产能提升成效范围为 3.2%~17.7%。



资料来源：中国信息通信研究院

图 4 数字技术助力行业绿色发展测算结果

（2）全面推进建筑领域低碳化转型

根据国际能源署（IEA）统计，建筑材料（钢铁、水泥等）的生产和建筑物运行过程中化石能源使用产生了全球 9% 的直接碳排放和 19% 的间接碳排放，因此急需该领域数字化绿色化协同节能降碳。

数字技术助力建筑全生命周期节能。建筑的设计施工阶段，尽管碳排放占比小，但建筑的绿色化程度 80% 由设计阶段决定的，设计阶段应充分考虑节能低碳等因素，基于建筑信息模型和数字技术的集成与创新应用，对工程建设进度、质量、投资等信息进行全过程管控，实现基于“多维 BIM”的工程设计施工一体化管理，达到绿色设计和精确建造的目的，引导建筑综合品质绿色化提升。

在建筑的运营阶段，数字技术助力建筑行业从传统建筑向绿色智慧建筑转变。绿色智慧建筑以智能控制平台或中央控制系统为基础，综合管理各设备设施子系统，通过物联网、大数据和云计算等对整个

建筑进行实施监测和管理，降低建筑运维总体能耗，实现建筑内部能源资源利用最优，效率、性能和功能全面提升。智能控制平台作为绿色智慧建筑的核心技术，能够提供集成楼控、智能照明、消防、低压等子系统的智能化节能策略。暖通空调系统是建筑运行过程中能耗最高的环节，通过数字化技术实现暖通空调系统的精细化控制，能够精准控制加热和冷却系统的运行时间，结合空调与新一代自然冷源利用系统的智能联动技术，大大降低建筑暖通空调的能耗。

数字技术赋能建筑碳排放监测优化。建筑领域碳排放来源多样，从建筑的设计、建造、运行到拆除，各个环节都会产生直接碳排放和间接碳排放。准确的碳排放监测能够帮助建筑运营方全面了解自身碳排放的水平和特点，同时也能更好地为排放量大的重点环节和高能耗高碳排放建筑的升级改造提供数据支撑。物联网、云计算、大数据等数字技术能够提升碳核算的标准性、碳排放监测的实时性、碳数据的可追溯性、便捷性、安全性和可信性。另一方面还可以通过数据分析模型，可视化展示建筑物内碳排放结构分布，支撑企业节能管理。

（3）着力打造结构极优的交通运输

交通运输行业面临着日益严峻绿色发展挑战，它位于能源消费的末端，其碳排放量约占总量的 10%。随着我国城市化进程深入、汽车保有量的增加，交通行业排放占中国碳排放总量的比例预计会保持上升势头。大量实践证明，数字技术与交通行业的深度融合，能够充分释放节能降碳潜力。

车辆电气化。数字化技术将促进充电基础设施网联化，通过资源闲置情况、充电桩类型、电力资费等信息，为用户自主选择所需充电

资源提供条件，提升新能源汽车使用便捷性。利用通信技术与信息交互实现电动汽车与电网的双向互动，协助实现“削峰填谷”，并完成电力供应与需求的平衡。数字化、智能化充电模式将带动新能源汽车产业的规模化发展，并通过交通工具的电气化，推动能源清洁化替代，为实现交通行业绿色化转型奠定基础。

车辆智能化。基于智能化、自动化、自动驾驶和辅助驾驶等技术，可实现绿波通行引导、并线辅助、编队行驶、生态路径规划等智能驾驶功能，辅助规避突发事件或恶劣路况带来的急加减速、无效怠速等，有效降低驾驶能量消耗。车辆可通过车联网技术，从平台或路侧设备获取交通灯状态信息和道路状态信息，再结合自身速度、驾驶目的地等信息，向司机提供行驶速度建议、变换车道规划等辅助驾驶信息，从而减少车辆驾驶的启停顿挫、优化车道变换策略等，实现节能降碳的效果。

车路协同。车路协同是指采用先进的无线通信和新一代互联网等技术，全方位实施车车、车路实时动态信息交互，并在全时空动态交通信息采集与融合基础上，开展车辆主动安全控制和道路协同管理，从而建立保证交通安全、提高通行效率的道路交通系统。单车智能解决不了复杂路况、车辆混行以及极端天气等一系列问题，面向未来的交通需求，车路协同可以全方位实施车车、车路实时动态信息交互，开展车辆主动安全控制和道路协同管理，从而保证交通安全、提高通行效率。

智慧交通低碳化。智慧交通将信息技术集成运用于传统的交通运

输管理中，整合交通数据资源的同时协同各个交通管理部门，实现交通智能化运营和管理。例如，多式联运运输模式可提供全程一体化组织的货物运输服务，提升物流运输效率，综合提升路方竞争力以及路网整体服务水平，实现更低成本、更高效率、更低排放的跨区域产品流通。智慧交通最终实现各种交通方式合理配置、优化、整合，使路网通行能力更大化，减少路网资源浪费。

3. 数字化促进资源回收循环利用

节约资源是我国的基本国策，是维护国家资源安全、推进生态文明建设、推动高质量发展的一项重大任务。《“十四五”循环经济发展规划》指出，大力发展循环经济，对保障国家资源安全，推动实现碳达峰、碳中和，促进生态文明建设具有重大意义。数据显示，“十三五”期间，发展循环经济对我国减少二氧化碳排放的综合贡献率超过25%。数字化赋能是发展循环经济的重要抓手，通过推动循环经济与数字经济的协同发展，加强对再生资源全生命周期数据的智能化采集、管理与应用，利用平台化、可视化手段，为企业、居民参与能源资源循环利用提供畅通、便捷、规范、灵活的渠道，打通“回收、处理、再利用”全链条数字化体系，实现全行业的数据共享、综合监管、可追溯，从而实现能源资源循环利用水平的大幅提升。

互联网+废旧资源回收。废旧物资回收利用对保护环境、节约能源资源、带动社会效益具有积极意义。“互联网+回收”模式，能够实现线上线下协同，提高规范化回收企业对个体经营者的整合能力，进一步提高居民交投废旧物资便利化水平，完善废旧物资回收网络。以

手机回收为例，用户可登录 APP 进行在线估价，决定是否下单预约上门回收。系统将从机型、存储容量、屏幕外观等多个维度作出评测，确定回收价格后，快递员根据预约时间上门取件。数字化技术的应用使得回收过程在估价、质检、数据清除、服务效率等方面都有了质的提升，有效促进废旧资源的循环利用。

数字技术推动工业固废处理。工业固废处理领域面临产废主体多、产废主体规模差异大、部分企业环保意识弱等问题。基于数字化技术的固废监管系统，管理人员通过监管平台对辖区内企业进行统一管理，危险废物名称、产生量、产生环节、利用处置去向、处置方式等信息一目了然。企业通过工业互联网平台，能够及时同步固废类别、数量、位置等数据信息，下游处理和回收单位能够快速响应，及时处理，减轻上游仓储压力，实现产废端、运输端、处理端和再利用端的信息互通，废弃物资价值链可视化，实现快速信息共享和废弃物资的最大化利用。

数字化技术赋能动力电池循环梯次利用。动力电池梯次利用是指对废旧动力蓄电池进行必要的检验检测、分类、拆分、电池修复或重组为梯次产品，使其应用至其他领域的过程。通过数字化技术和物联网赋能，可以实现动力电池全生命周期的管理优化，从研发、生产、装机、二次利用、回收等各个阶段，全方位管理电池状态和故障预警，提高电池的安全性、效能和使用寿命，降低电池成本，从而解锁动力电池全生命周期价值，形成安全、高效、可追溯的动力电池梯次应用完整生态链。利用云端管理平台，通过数据分析建模的方式，实现梯

次电池安全模型和残值评估模型的构建。通过物联网平台，追踪梯次电池的流转足迹和安全系数，实现轨迹追踪、安全预警、数据分析和回收追溯，从而达到资源利用最优化。

4. 数字化助推能耗碳排放精准管理

碳排放管理的核心是降低碳排放量进而实现环境友好，绿色发展。而降低碳排放量的主要路径包括提高能源使用效率，减少能源消费总量及高比例渗透可再生能源应用。因此，我们认为碳排放管理与能耗管理可以同步实现。从较简单的能耗管理逐步过渡到碳排放管理，涉及的环节会显著增长。同时，碳排放又包含直接排放、间接排放等，并非如能耗数据通过相对简单计算便可得出。因此，海量能耗及碳排放信息的智能化获取、处理以及匹配度高的策略制定必须依靠数字技术来实现。在具体环节上，数字技术对能耗及碳排放管理可以落脚以下几个方面：

能耗及碳排放标识。进入万物互联时代，对于工业制造、建筑利用、交通运营等，能源供给、传输、利用、回收等环节上的各类设备如何实现对话，相关的碳排放信息又怎样实现互通互联，需要建立配套的标识解析体系。通过条形码、二维码、无线射频识别标签等方式可以赋予每一个实体对象唯一的身份编码，同时承载相关数据信息，实现实体对象的定位、连接和对话。任何载体可以通过标识解析体系的建立来获取物理边界范围内所有耗能设备的用能信息，同时借助碳排放核算相关标准及数据库的基础支持，获取有效的碳排放信息。

能耗测量及碳排放核算核查。用能设备的能耗计算通常借助高精

度传感、数据采集装置和预设计算工具来实现。碳排放的核算在能耗数据的基础上，借助碳排放因子库，通过核算模型得出准确的碳排放量化数据。同时需要考虑到，碳排放涉及组织、设施、产品等诸多方面，复杂度较高，存在重复核算的风险，依靠人脑进行非常细致的甄别和区分是很难实现的。而数字技术可以利用监测和计算相结合的模式，借助预设核算模型，获得各类设备的碳排放数据。对于重复核算问题，通过数字化监测，融合能耗服务资费数据，基于模型学习和迭代，及时发现并有效规避相关问题。

产品碳足迹核算与评价。对于单一产品、系统、服务、网络而言，碳足迹是衡量一个物理边界内全生命周期与活动直接和间接相关的碳排放过程，包括从原材料开采、产品生产（或服务提供）、分销、使用到最终处置/再生利用等多个阶段的各种温室气体排放的累加。通过大数据技术的资源整合及数字化管理平台的全面呈现，可清晰了解产品或服务从“摇篮到坟墓”¹各环节的能源消耗及相应的碳排放情况。同时借助人工智能的“专家库+深度学习”，为各环节降碳提供可操作及适用性强的策略建议，并虚拟化展现策略实施后效果，以便符合决策主体的现实需求。

碳排放综合管理。对于区域级能耗及碳排放管理而言，综合管理除了实现对物理边界内耗能设备的精准监控，还可以为提效减排提供具体方案，同时为碳汇、碳交易、碳资产管理实现统一接入路径和运行渠道。在区域制定了有目标性的双碳指标后，能耗及碳排放管理平

¹ 源自 WRI“GHG Protocol-Technical Guidance for Calculating Scope 3 Emissions (Version 1.0)”：from cradle to grave.

台可以有效利用人工智能等技术为省、市、区域制定相应的碳减排及碳达峰策略，并及时跟进策略实施效果以迭代优化策略。区块链技术的发展能够保障碳汇、碳交易等服务的安全性和可靠性。随着绿色低碳产品、服务的日益丰富和走向国际的迫切需求，综合管理可以实现海量对标工作，保障我国可持续发展与国际接轨。

（二）数字化引领绿色生活新风尚

数字技术已广泛深入人们的生产生活，在终端消费环节数字生活和绿色生活的协同增效模式不断被开发探索，数字生活中倡导绿色低碳新方向，绿色生活中体现数字智能新要素。2019 年 10 月国家发改委印发《绿色生活创建行动总体方案》，在全社会开展绿色生活创建行动，倡导简约适度、绿色低碳的生活方式，按照系统推进、广泛参与、突出重点、分类施策的原则，开展各项创建行动。在人们衣食住行的各个方面，数字、智能、绿色、低碳已然成为人们生活的“关键词”，绿色化生活新业态、新模式不断显现，数字化已引领全社会开启绿色生活新风尚。

1. 数字技术助推绿色出行

2020 年 7 月，交通运输部、国家发改委联合印发《绿色出行创建行动方案》，倡导简约适度、绿色低碳的生活方式，引导公众出行优先选择公共交通、步行和自行车等绿色出行方式，降低小汽车通行总量，整体提升我国各城市的绿色出行水平。在数字技术和政策引导的双重带动下，我国低碳交通工具不断发展，共乘出行、电动汽车等

绿色出行方式逐渐普及，交通出行领域碳减排效应显著。“数字+绿色”的出行新模式，通过数字技术手段提高城市交通运营效率和数字化服务能力，在提高人们出行便捷性、舒适性的同时，也将绿色理念、绿色模式与出行深度融合。绿色出行正在加快成为中国交通运输行业应对气候变化的主要措施之一，也是城市实现可持续发展的关键行动。

数字手段提高公共交通乘用率。据统计，全国有 29 个城市开通了轨道交通，全国每天约有 2.5 亿人选择乘坐公共交通出行，我国已建成较为完备的公共交通体系。借助数字技术，地图、导航、定位等移动端软件不断整合优化公共出行服务功能，刷码乘车、信息查询、路径规划、时间规划、实时公交等一系列出行服务广泛应用于人们出行活动中，极大地提高了人们公共出行的便利性，让公共交通逐渐成为人们出行首选。部分数字出行软件开通了“绿色出行”与“碳足迹”门户，通过各类低碳出行活动将低碳出行概念下沉至消费群众。

数字手段促进共享出行。“共享”概念作为数字信息时代崛起的新秀，在交通出行领域更是发展迅速。通过大数据、人工智能、边缘计算等数字技术，各类打车平台通过计算合并路程、人员信息，推出顺风车、拼车等打车模式，在降低人们出行经济成本的同时，也实现汽车运行效益最大化，有效降低资源能源消耗与碳排放。此外，通过定位、蓝牙、NFC、无线通信等数字化技术，共享单车快速普及，并由于其便利、成本低廉等先天优势而广受欢迎，极大地推动了人们从驾车、打车向优先选择共享单车的转变。借助数字技术对共享交通工具进行资源最优化配置，构建灵活、高效、经济并绿色的共享出行方

式，有效提升了公众绿色出行行动力。

2. 数字技术促进绿色消费

绿色消费是我国经济社会绿色发展的重要一环，一方面可从消费终端引导人们节能减排，人人切实参与到我国的生态文明建设，另一方面绿色消费同时开拓了全新的消费板块，有效扩大我国内需市场。绿色消费有着巨大的潜力，但也存在着传播推广难、使用场景少等发展难题。通过数字技术能够实现精准高效地驱动绿色消费，推进绿色消费结构和品质升级，大幅提高绿色消费的广度、深度。

数字手段覆盖绿色化应用链条。将数字技术落实应用到各类消费品的制造、流通、使用和回收等环节，推动产供销全链条衔接畅通，实现绿色要素在产品全链条可视化、透明化，有效降低绿色产品信任成本与信任风险。相关企业将大数据、人工智能等技术与绿色产品设计进行深度融合，从设计阶段规划产品绿色闭环，最大幅度削减产品的浪费或污染情况。借助数字化技术，简化产品绿色认证流程、降低产品绿色认证门槛，建立企业友好型绿色发展通道，提升相关产品绿色辨识度。结合绿色产品市场大数据分析，促进绿色供需对接、扩大绿色产品供给、丰富绿色产品种类。

数字手段助推绿色消费观念传播。借助数字化应用精准匹配绿色产品的消费群体，利用短视频、自媒体等平台加大绿色消费的精准化、个性化传播推广。推出“数字+”绿色消费体验展等推介项目，通过VR、AR、元宇宙等新一代虚拟技术，丰富绿色产品的宣传方式，促进绿色消费理念的传播。线上购物平台通过绿色优惠、绿色折扣、绿

色积分等方式给予绿色消费支持，打造线上绿色消费热点。

数字手段丰富绿色消费场景。通过数字化手段，可进一步创新并丰富绿色消费模式及场景。企业利用互联网、大数据、人工智能等数字化技术应用，在不同场景下针对个性化需求创新绿色消费场景体验。例如，在绿色购买领域，鼓励大型商超建立绿色产品快捷支付通道；在绿色回收领域，加快推广普及物联网智能循环快递包装箱，提高资源回收效率。

3. 数字技术强化绿色办公

“绿色办公”是应对气候变化、开展节能减排全民行动的重要组成部分，其并不仅仅是鼓励以节俭为核心的办公模式，而是以促进办公资源、能源的高效利用为核心，通过不断减少办公场景中资源、能源的过度浪费、无意义损耗等行为，实现办公环境、办公模式等与绿色发展理念相适配。绿色办公涵盖了从建筑材料、办公室设计、办公采购的节能与生态友好，到办公人员日常行为方式的“绿色选择”。

数字技术促进日常办公模式绿色化演变。通过物联网技术、智能控制技术、云服务技术等数字技术，配合楼宇软硬件系统构成智能绿色办公生态圈，促进人们的办公模式绿色化演变。一是无纸化办公作为经济、环保、高效的数字化网络办公新模式，它以节约资源、提高效率为目标，帮助企业减少纸张消耗，符合建设资源节约型、环境友好型社会的基本要求。二是线上办公减少非必要资源消耗，远程会议依托互联网通信，实现声音、图像的实时传送，让人们足不出户就能够实现异地沟通，不仅提高了沟通效率，更从根本上减少了出行的必

要性。除远程会议外，线上打卡、即时沟通、文档编辑、数据处理、工作群组、电子公章、电子签名、财务报销、移动审批等越来越细致入微的功能，不仅支持员工、组织在工作场景中的无缝连接、高效协同、加速创新，同时都通过其便捷属性实现办公模式的绿色化转变。

4. 数字技术促进绿色服务

近年来，教育、医疗作为国计民生的重要板块，伴随现实需求的日益增长和数字技术的不断融合，形成了线上教育、远程医疗等新模式。在提高教育、医疗资源普及率的同时，也降低了传统服务模式下产生的资源能源消耗。

数字技术推动线上教育蓬勃发展。伴随近年来互联网的快速发展，在线教育应时而生，凭借时间优势、课程优势、选择优势、互动交流优势等，线上教育已然成为教育行业新的潮流趋势。尤其受到疫情形势的影响，线上授课已成为了众多学校的首选方式。通过互联网可实现视频、声音的实时传播、老师与学生的实时互动，甚至相比较线下授课可开发出更丰富的授课模式。更为重要的是，线上教育大大提升了人们的课程自由度与便捷性，师生足不出户即可完成课程学习，极大地降低了出行压力，节约交通和空间资源。

数字技术带动远程医疗新模式。远程医疗是依托于远程通信技术、全息影像技术、新电子技术和计算机多媒体技术发展而来的全新现代化医疗方式，其可发挥大型医学中心医疗技术和设备优势对医疗卫生条件较差的及特殊环境提供远距离医学信息和服务。它包括远程诊断、远程会诊及护理、远程教育、远程医疗信息服务等所有医学活动。多

点对多点的跨地域、均等化、体系配套的远程医疗服务模式提高了医疗资源的普惠性，降低了人们对高端医疗资源获取的门槛。无论对于病患、或是医生，远程医疗都使其通过尽量小的时间成本、出行成本、经济成本以实现更优质的医疗服务，减少了医疗活动所需要的能源资源消耗，促进医疗绿色化发展。

三、绿色化对数字化的促进与牵引

（一）绿色化对数字化采集技术需求

在数据类型丰富上，随着传统行业的绿色低碳转型需求，所需采集的数据来源更加广泛、数据量更大，且数据类型更丰富（包括结构化、半结构化、非结构化），同时需要分布式数据库的加持，以便未来能获得更有效的生产及使用决策。未来需要更全面的数字技术，有效识别各种类型数据，以保障信息的全面吸收，实现零遗漏，为后续平台决策方案实施提供高质量基础。

在传感功能强化上，从物理特征上看，风、光、电、热、气、油、煤、水等多类型的能源信息数据采集，需要传感器具备更丰富的感知功能，温度、湿度、尘埃浓度、流量、压力等已经不足以满足现有需求，气味、颜色、加速度等新类型传感需要逐步提升其技术水平及稳定程度。同时，随着电气化逐步深入，需要针对电网的感知需求，研究低功耗、宽频带、高频响的传感器。此外，在碳排放全链条数据采集上，涉及众多节点，对传感器的微型化及模块化提出需求，以满足大规模植入下的可操作性。并且为保障高效率响应，统一的交换互联

协议也是保障提质增效服务高质量的重要环节。另外，绿色化发展，主要面向能源生产消耗及碳排放环节，囊括各类型环境，如何更好适应极端环境并有效保障传感的精准度将成为未来研发的方向之一。

在近端信息处理上，由于绿色化需求，数据在采集传输处理等过程中以尽可能少的能源消耗实现尽可能多的有效输出。数字技术未来的发展需要加快脚步，提前做出预判，在数据采集阶段就具备一定信息处理及甄别能力，保障能耗及碳排放数据全面覆盖的同时，具有一定的判断逻辑及数据筛选功能，致力于在最前端就获得良好的信息基础，同时减少数据传输压力及平台应用复杂度。

（二）绿色化对网络化传输性能要求

绿色化对网络传输自身能耗水平提出要求。近年来，随着 5G 商用部署和新一代 IT 技术飞速发展，网络传输流量急速增长，根据中国信息通信研究院统计，我国通信行业信息流量在十三五期间增长近 300%，网络传输能耗也随之呈指数型趋势增长。信息通信行业尽管不是碳排放大户，但作为千行百业转型升级的数字底座，其自身的绿色化发展不可忽视，这也对网络传输系统的低碳性、高效性提出了要求，网络传输既要满足数据信息高速率、大带宽、低时延的需要，同时必须强化自身绿色化发展，优化网络核心设备能效，稳步降低单位信息流量能耗及碳排放。信息通信行业亟需优化绿色发展总体布局，推动通信机房基站和各类数据中心的绿色能源供给、节能技术应用、资源循环利用、共建共享和绿色产业链供应链建设。

绿色化对网络传输带宽和传输效率提出要求。随着碳排放信息采

集和监测系统的进一步普及，能耗和碳排放传感装置将布置在企业生产的各个环节和设备中，需要实时传输的数据信息量较之前大幅增加，这对网络传输带宽和传输效率提出了新的要求，无论是短距离的蓝牙、WiFi，还是长距离的 4G、5G、光纤等传输方式，都需要在传输数据量大幅增加的情况下保证数据的时效性和稳定性，确保管理人员能够及时、准确地获取碳排放数据，快速预警碳排放异常环节，从而基于人工智能辅助决策做出优化整改。同时，随着智能化设备的普及，不同设备之间也需要传输碳排放数据，以便在绿色优化方面形成互联互通、设备联动，在完成原有业务基础上，优先使用低碳排放设备完成业务，实现整体低碳优化。

绿色化对网络传输的准确性、可靠性、安全性提出极高要求。随着碳足迹追踪的深化普及，未来各个产品将配置碳标签，实现全产业链碳信息可追溯。碳足迹数据信息往往是层层嵌套、环环相扣的，上游原材料、中间零配件、运输过程、组装加工环节等的碳排放核算准确性均直接影响下游产品碳排放核算结果，并且这些数据信息是动态变化的，例如上游零部件生产线升级，生产效率提升，使得单个产品碳排放量降低，该信息需要实时同步到下游产品中，以便采购方及时了解所选择产品的碳足迹情况。这就对碳排放数据的准确性和可靠性提出了要求，既要保证碳足迹数据稳定高效传输，同时要保证数据的准确、可靠、安全，避免信息错乱。

（三）绿色化对智能化应用各类诉求

绿色化对工业领域数字建模及数字孪生提出多元化诉求。数字建

模与数字孪生作为工业智能化发展的重要应用手段之一，其能够通过实时连接、映射、分析、反馈物理世界的资产与行为，使工业全要素、全产业链、全价值链达到最大限度闭环优化。同时，工业生产过程作为碳排放主要来源，也是绿色牵引智能应用的主要对象。伴随生产绿色化水平要求的不断提高，对数字建模与数字孪生要求也在不断向精细化、多元化演进，涵盖了感知控制、数据集成、模型构建、模型互操作、业务集成、人机交互等各项核心技术。一是模型构建技术需要不断向提升建模效率和精度的方向发展，二是数字孪生应用不断向园区、工厂、车间等层级精细化渗透；三是由虚拟验证转向虚实交互的闭环优化发展。伴随数字建模与数字孪生技术的发展，贯穿全生命周期、全价值链数字孪生体建立后，能够全面变革设计、生产、运营、服务全流程的数据集成和分析方式，强化全生命周期碳足迹管理与绿色理念，以系统观念和可持续理念，实现产业全链条绿色化转型。

绿色化对工业互联网提出更高的业务深度融合诉求。工业互联网作为全新的工业生态、关键基础设施和新型应用模式，正在全球范围内不断颠覆传统制造模式、生产组织方式和产业形态，推动传统产业加快转型升级、新兴产业加速发展壮大。伴随产业绿色化需求不断提高，生产过程协同配合、灵活优化将是实现各流程节能减排的重要路径，因此也对工业互联网的互联互通提出了更高的要求。通过人、机、物的全面互联，实现全要素、全产业链、全价值链的连接，通过更快速、更智能的需求响应，助力传统制造向智能制造与绿色制造模式转变。绿色化需求牵引工业互联网平台功能进一步优化，实现制造领域

生产排放低、资源消耗少、绿能利用高等目标，以尽量小的资源能源消耗和碳排放实现同样甚至更高的产出价值，达到节能减碳。

绿色化要求应用软件与操作平台进一步提升普适性。各类信息化、智能化手段持续转变着人们的生产、生活方式，但与此同时，传统的大众化、公共化、集中化的智能应用发展无法满足日益增长的现实需求。新阶段下的智能化应用需重点关注将科技与绿色融合，如共享工作平台、开源软件等，以实现从需求到供给、从理念到实践、从举措到成效的生活方式绿色升级。智能化手段的应用需要深入洞察当前绿色目标下受众群体的新需求、新动向和新特征，在此基础上优化设计智慧化手段的绿色格局、绿色逻辑和绿色模式。

四、数字化绿色化协同发展策略与建议

（一）强化统筹管理

一是加强数字化绿色化部门协同。针对数字化、绿色化涉及工信、网信、发改等多个数字化部门，工信、环保、发改等多个绿色化部门及工信、能源、交通等若干行业管理部门，需要较高层级机构进行发展规划和政策统筹的需要，建议设立国家级数字化绿色化协同机构，负责具体协同政策的制定、资源协调、资金部署和应用推广等。同时针对协同中具体涉及的技术创新、标准体系完善、重点领域协同试点示范部署等，明确各部门权责分配，以便更好地统筹各领域双化协同发展。

二是加强央地数字化绿色化协同。双化协同发展涉及中央明确协

同发展总体规划，在此基础上地方处理双化协同与中央发展蓝图关系，建议加强央地对双化协同发展的协调。第一，强化中央顶层设计，针对不同行业、不同类型企业制定双化协同发展的系列行动计划和实施指南，明确领域方向、协同路线、阶段性任务等，引导行业、企业有序推进。第二，充分调动地方政府积极性，鼓励地方政府将双化协同纳入地方发展规划，有条件的地方政府对智慧能源、智慧城市、智慧交通、智慧工厂等重点项目给予土地、资金、用电等政策支持，推动双化协同落地实施。

三是加强国内外发展布局、政策资源协同。双化协同是各国促进经济绿色复苏、更好应对气候变化的战略重点，应当妥善处理国内外协同发展步调和资源，更好利用国际资源和市场等，打造更高水平双化协同对外开放格局。第一，加强技术合作，将数字管碳、数字减碳等双化协同重点方向纳入国际科学技术合作联合实验室、合作项目等。第二，加强国际碳市场合作，碳市场是双化协同发展的重要战场之一，能够有效发挥数字技术在碳核算、碳交易等方面的作用，建议利用数字技术推动碳交易市场互联互通，有步骤、分阶段地提高我国在碳交易方面的国际影响力和话语权。

（二）提高协同意识

一是强化双化协同宣贯落实。发展双化协同仍面临动力不足、意愿不够等问题，有必要从政府层面积极引导，提高市场对协同发展的预期。第一，释放更明确政策信号。加快双化协同相关政策研究发布，为企业、城市、省份等提供协同发展愿景和目标。同时依托各类政府

智库加快对双化协同主要内涵、重点方向、发展路线、主要成效、协同愿景等的解读和研判，加深各界对双化协同的理解和认知。第二，强化企业主体责任。开展宣传督导培训，提高企业发展双化协同的责任意识，通过发布行业倡议、构筑数字化绿色化协同企业联盟等方式，推动企业发展双化协同。鼓励企业将开展双化协同纳入发展规划，同时相关政府采购、融资政策等对涉及双化协同部署的企业给予适当倾斜。

二是增强双化协同安全保障。部分企业出于安全考量不愿将碳核算、能耗管理及生产运营相关数据上传至云端，直接制约了双化协同的发展进度和质量，建议从国家层面完善安全保障，打消企业顾虑。第一，构建安全可信双化协同平台。利用公私合作（PPP）模式打造行业协同平台，依托行业协会、科研院所等独立第三方机构构建运营碳核算等协同数据平台，提高平台公信力和建设运营的专业化程度。第二，强化安全可信技术突破。强化数据传输、存储、加密、共识等安全可信技术突破。通过工业标识解析体系和区块链体系对产品碳足迹、能耗等实施集中动态监控和可信计算，推动协同数据安全治理、合规管控。

三是明确双化协同发展路径。整体上，我国开展双化协同仍处在大力发展阶段，在技术创新、应用推广等方面面临试错风险，建议完善路径规划和提高供给质量。第一，行业组织牵头、龙头企业积极参与，制订发布各行业双化协同实施指南，为需求场景识别、应用模式打造、关键系统构建和协同路径实施等提供参考借鉴。第二，开展双

化协同试点示范。在钢铁、有色、石化、建材等重点领域遴选一批数字化绿色化协同发展试点，开展技术创新和应用推广先行先试，对战略意义重大、协同成效突出、示范效应显著的协同项目和企业主体，给予一定政策倾斜，为下一步全面推广奠定基础。第三，强化成熟案例推广。发布数字化绿色化协同发展案例集，分享企业利用数字技术节能减碳的新技术、新应用、新模式，为广大企业提供双化协同发展参考。

（三）增强需求牵引

一是强化政府采购对“协同”创新支持。在现有的政府绿色采购规则基础上，需进一步向具备双化协同发展特征的项目、产品进行倾斜，同时需要利用更加先进的数字化手段提升政府绿色采购产品判定标准的科学性。第一，要将双化协同的理念嵌入到政府绿色采购项目的需求中，对具备双化协同特征的设计方案、工艺、材料和技术设备等在评分标准的权重和评分细则的分值上给予侧重，使政府采购项目尽可能地使用双化协同的产品。第二，政府绿色采购过程须统筹考虑产品在原材料制造、运输、生产、流通和销售等全生命周期的碳排放量。目前我国还没有统一的标准，因此，建议相关部门通过工业互联网标识解析等数字手段建立更加全面科学的政府绿色采购产品碳足迹评价标准及标识。

二是加大国企对双化协同市场的带动作用。大企业往往具有较强技术、人才与资金优势，对产业链上下游的企业发展双化协同业务具备显著的带动作用。第一，要支持行业优势企业深入推进全区域、全

链条、全过程的双化协同项目，大力推动大、中、小企业以双化协同为手段实现节能提效、资源循环利用，在此基础上挖掘产业链上下游的有效需求，大力推广一批关键共性节能新技术新产品和新装备。第二，要鼓励“链主”企业基于工业互联网平台开展协同采购、协同制造、协同销售和协同配送，高水平打造双化协同供应链体系。第三，要鼓励行业性龙头企业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，推动产业链上落后产能循序化解。

三是拓展双化协同的下游市场。目前，我国大部分工业企业对于双化协同项目的开展还保持观望态度，需要进一步深挖企业发展需求，保障相关项目的顺利实施。第一，要鼓励各地行业主管部门围绕本地企业双化协同的短板弱项和高碳排放量的生产环节开展评估诊断，有序推动重点企业开展双化协同项目，促进双化协同相关技术、产品及解决方案与企业的有效对接，持续拉动企业数字化、绿色化水平的迭代升级。第二，要支持工业互联网平台企业进一步发挥平台技术优势与资源优势，在企业采购、研发、生产、销售、服务等环节全面拓展服务能力，降低企业使用服务的资金、技术等门槛，逐步扩大全行业的需求市场。

（四）提高支撑能力

一是进一步提升数据要素的关键支撑作用。数据是企业发展双化协同的关键核心，当前各行业普遍面临缺乏有效数据的难题，需要在硬件基础、使用规范及交易规则等方面加快完善。第一，要持续推动传统制造企业生产运营全过程的数字化改造，打通系统间的数据孤岛，

促进数据的采集、传输与聚集，为开展双化协同所需的分析与建模提供基础数据要素支持。第二，要组织制定能源使用活动和碳排放监测数据的采集流程和使用规范，建立各利益相关者的协调机制，确保跨企业、跨行业开展双化协同业务的数据真实有效。第三，要着力培育数据要素市场，加快数据确权、流转、共享、安全等相关领域的制度建设，指导行业及组织有序开展数据治理，充分释放数据的应用价值。

二是着力提升技术创新引领能力。随着我国工业企业双化协同发展走深向实，对新技术的需求持续提升，需要进一步加快新技术的研发与验证，推动新技术的有效转化应用。第一，要加强产学研协同合作，面向绿色制造亟需的重大关键技术、原材料、工艺、系统等开展集中攻关，通过国家重大科技专项、成立创新科技中心、绿色制造工程中心等方式推动先进数字化技术与绿色制造技术的协同创新。第二，要推动建设全国统一的绿色技术交易中心，及时发布绿色技术推广目录，充分发挥技术研发与转化平台功能，形成龙头企业、科研机构、知识产权服务机构和金融机构的合力，加快双化协同技术研发和转化。第三，要发展双化协同新技术新产品的检测认证公共服务，在双化协同领域形成从基础研究、技术开发、试验示范到检测认证的全过程闭环，提高新技术新产品的可靠性与安全风险防范能力，加快产品的研发周期与迭代更新速度。

三是持续扩大复合型人才供给。双化协同作为近年来的新兴发展方向，涉及专业领域繁多，对人才的综合能力要求较高，当前企业普遍存在人才缺口。第一，要加强工业数字化绿色化融合人才需求预测，

基于求职平台、工业互联网平台等数据资源，科学预测研判双化协同人才需求并动态发布相关岗位信息。第二，要规范双化协同人才培养内容，制定发布人才职业能力标准，建立细分岗位的认证体系，鼓励双化协同标杆企业、科研机构及高校强强合作，通过建设实训基地、组织高级研修班等方式，加强对从业人员教育培训。

四是进一步加强资金支持。面对当前企业开展双化协同项目普遍遇到的资金短缺问题，要发挥好财政资金、金融机构、资本市场的相关资源，建立多元化资金支持渠道，提升对双化协同企业的支持效果。第一，要鼓励各地进一步加大对双化协同项目的财政补贴力度，提升对开展双化协同项目企业的财政补贴比例，同时积极落实财税支持政策，支持双化协同领域高新技术企业用好用足所得税优惠、研发费加计扣除等税收优惠政策。第二，要鼓励各类金融机构按照风险可控、商业可持续原则创新绿色信贷、绿色债券等金融产品，对具备双化协同能力的企业予以优先支持。第三，要进一步完善资本市场的融资和再融资机制，鼓励在双化协同领域有优势的企业通过科创板、创业板上市，充盈企业发展资本。

（五）完善协同基础

一是推动各地区数字化绿色化差异化和协同发展。我国各地区数字化和绿色化发展基础差异较大，需结合各地区的能源禀赋和产业结构等实际情况，通过打造双化协同产业链形成各地区的协同联动。第一，要鼓励各地行业主管部门利用工业互联网平台开展本地制造业耗材、耗电、耗能，及材料、能源再回收再利用数据监测，定期对行

业建立绿色制造能力进行监测评估,适时指导企业进一步开展双化协同能力建设。第二,要鼓励发达地区与欠发达地区围绕双化协同产业链和创新链的关键环节,组建双化协同技术创新联合体,开展产业链降碳合作,最终实现全产业链协同降碳。第三,要合理布局绿色新基建,协同推进千兆光纤网络和 5G 网络建设,鼓励共建共享太阳能基站、风能基站、光电互补基站,引导新型数据中心向新能源发电侧布局,促进可再生能源就近消纳。

二是推动各行业数字化绿色化差异化和协同发展。双化协同涉及的领域极为宽广,各细分领域的发展需求与路径差异巨大,需要进一步扩大参与主体范围,形成各行业协同推进共同发展的合力。第一,要加强细分领域差异化解决方案的打造。在钢铁、石化、有色、建材等重点行业支持一批双化协同解决方案优势企业,集聚信息通信和工业领域的融合技术与应用模式,面向绿色设计、绿色制造、绿色消费、绿色回收与处理等全生命周期环节,打造一批数字化综合服务解决方案,面向各行业细分领域形成差异化的双化协同服务目录。第二,要培育跨行业充分合作的双化协同产业生态。支持智能制造、绿色制造、工业互联网等领域产业联盟、行业组织以双化协同为重要着力点进一步做大做强。鼓励联盟内企业在双化协同领域积极开展共建测试床、合作研发产品、共同打造场景等活动,对合作形成的优秀案例通过联盟平台进行大范围推广。

三是加快双化协同标准研究制定与推广。目前我国在双化协同领域整面临标准的缺失、现有标准难以与国际接轨等问题,在一定程

度上阻碍了相关行业进一步将双化协同做大做强。第一，要健全数字减碳标准体系，完善钢铁、石化等行业数字化碳管理和碳减排标准，积极稳妥开展行业层面的数据要素市场的分级分类管理，研究制定并执行各行业内的数据流通、交易等环节的行业规范、协议标准等强化相关标准的推广应用。第二，要强化协同标准国际合作，参与和主导数字减碳方向国际标准制定，及推进我国利用数字技术赋能低碳产品研发、低碳生产、高效运维、回收利用等全流程、全环节的双化协同相关标准成为国际标准，推进同类标准国际互认。

中国信息通信研究院

地址：北京市海淀区花园北路 52 号

邮编：100191

电话：010-58846069

传真：010-62304980

网址：www.caict.ac.cn

