

数字碳中和白皮书



中国信息通信研究院
2021年12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

全球气候变化的影响正对全人类生存发展带来日益严峻的挑战，走向碳中和已成全球共识。实现碳达峰、碳中和是以习近平同志为核心的党中央统筹国内国际两个大局作出的重大战略决策，是构建人类命运共同体的庄严承诺，是践行生态文明理念的重要抓手，是推动我国绿色低碳发展的内在要求。

在后疫情时代，“数字化”和“绿色化”成为全球经济复苏的主旋律。数字技术在助力全球应对气候变化进程中扮演着重要角色。数字技术能够与能源电力、工业、交通、建筑等重点碳排放领域深度融合，有效提升能源与资源的使用效率，实现生产效率与碳效率的双提升，数字化正成为我国实现碳中和的重要技术路径。另一方面全球数字化转型的加速和对算力需求的增长，以及 5G 的更广泛应用，带动信息基础设施的蓬勃发展，同时带来能源需求与碳排放增长，信息通信业自身能耗不容忽视，迫切需要走绿色低碳发展之路。

本白皮书分析了数字技术赋能碳减排的机制途径和潜力，构建了相关模型，总结了数字技术赋能的总体思路和途径，梳理了赋能电力、工业、交通和建筑等高耗能行业碳减排的着力点和应用场景，促进碳管理数字化高效化；同时研究了信息通信业自身碳排放的主要特点和变化趋势，以及信息基础设施能耗问题；最后报告提出了数字技术助力碳达峰、碳中和的推进策略与建议。

目 录

一、气候变化与中国碳达峰碳中和目标任务.....	1
(一) 碳中和已成为应对气候变化共识.....	1
(二) 我国碳达峰碳中和目标意义重大.....	3
(三) 我国碳达峰碳中和工作面临挑战.....	5
(四) 扎实推进碳达峰碳中和重点工作.....	7
二、数字技术赋能碳减排的探索和途径潜力.....	8
(一) 国际借力数字技术应对气候变化的探索.....	8
(二) 数字技术赋能碳减排机制途径和潜力.....	11
三、数字技术助力重点行业碳达峰碳中和.....	16
(一) 数字技术助力构建以新能源为主体的新型电力系统.....	16
(二) 数字技术助力工业数字化智能化绿色化融合发展.....	21
(三) 数字技术助力建设绿色智慧交通体系.....	35
(四) 数字技术助力建筑全生命周期碳减排.....	39
(五) 数字技术助力碳管理数字化高效化.....	43
四、信息通信业自身能耗与绿色低碳发展.....	45
(一) 碳排放总量小增速快，存在结构性差异.....	45
(二) 数字基建重点用能领域节能降碳提速.....	47
(三) 多方发力推动信息通信产业绿色发展.....	49
五、数字技术助力碳减排推进策略和建议.....	51
(一) 构建关键要素支撑体系.....	51
(二) 强化数字赋能技术供给.....	53
(三) 建设绿色信息基础设施.....	54
(四) 开展数字管碳降碳示范.....	56
(五) 加大财税金融扶持力度.....	57
(六) 深化数字赋能国际合作.....	59
附件一：信息通信业与各部门碳排放关联关系.....	61
附件二：数字技术赋能各行业碳减排量值测算.....	63

图 目 录

图 1 全球和中国能源消费结构图.....	6
图 2 2020 年我国二氧化碳排放现状.....	7
图 3 数字技术助力碳达峰碳中和的思路框架.....	13
图 4 数字技术助力碳达峰碳中和的总视图.....	14
图 5 数字技术助力碳达峰碳中和的主要途径.....	15
图 6 智慧能源体系架构图.....	17
图 7 工业互联网赋能碳减排应用统计分类图.....	23
图 8 2019 年交通各子领域碳排放占比.....	36
图 9 建筑各阶段碳排放占比.....	40
图 10 2012-2017 年中国细分行业碳排放量增速.....	46
图 11 2012 和 2017 年中国 ICT 产业碳排放量.....	47
图 12 数字技术赋能碳减排量值计算.....	63

一、气候变化与中国碳达峰碳中和目标任务

全球气候变化的影响正对全人类生存发展带来重大挑战，主要国家和地区纷纷加速向碳中和迈进。2020年9月22日，习近平主席在75届联合国大会上提出我国二氧化碳排放力争在2030年前达到峰值，努力争取在2060年前实现碳中和。实现碳达峰、碳中和，是中国向世界的庄严承诺，是以习近平同志为核心的党中央统筹国内国际两个大局作出的重大战略决策，也是一场广泛而深刻的经济社会系统性变革。

（一）碳中和已成为应对气候变化共识

全球气候变化形势日益严峻。近百年来，全球气候变化的主要特征是变暖。煤、石油等化石能源的发现和利用使人类由农耕文明进入工业文明，一方面极大提高了劳动生产力，另一方面也产生了严重的环境和气候问题。化石能源的广泛使用带来了大量的二氧化碳排放，导致大气中二氧化碳浓度升高，全球气候变暖。众多科学理论和模拟实验也在验证温室效应理论的正确性，更多研究证据表明，人类活动导致的温室气体排放增长是全球气候变化的主要原因。根据世界气象组织（WMO）发布的《2020年全球气候状况》报告显示，全球平均温度较工业化前水平（1850~1900年平均值）高出1.2℃，2011~2020年是1850年以来最暖的十年。

气候变化将会带来诸多影响。气候变暖对全球自然生态系统和人类生产生活带来严重威胁，导致陆地和海洋温度上升、海平面上升、冰川消融和极端天气等，近年来，与气候有关的自然灾害变得

越来越严重和频繁。2018 年政府间气候变化专门委员会 (IPCC)《全球 1.5℃ 增暖特别报告》指出，全球升温 1.5℃ 将对陆地海洋生态、人类健康、食品安全、经济社会发展等产生诸多风险，如果全球升温 2℃，风险将更大。就我国气候变化的情况来看，近百年以来，地表温度显著上升，速率明显加快，北方冬春增暖趋势明显。气象数据显示，1950 年以来，我国极端降水明显增加增强，极端天气发生的频率越来越高。日益严峻的气候变化正在威胁着人类赖以生存的地球，影响全人类的可持续发展，必须通过行动减少温室气体排放。

走向碳中和已成为全球共识。20 世纪 80 年代以来，科学界对气候变化问题的认识不断深化。随着对全球环境认知的提升，从 1990 年开始，国际社会在联合国框架下开始关于应对气候变化国际制度的谈判，1992 年达成了《联合国气候变化框架公约》，1997 年达成了《京都议定书》，2015 年达成《巴黎协定》。《巴黎协定》提出了控制全球温升与工业革命前相比不超过 2℃，力争 1.5℃ 的目标。为实现该目标，各缔约方应尽快实现温室气体排放达峰，并在本世纪下半叶实现温室气体“净零”排放，各国根据自身国情提出国家自主贡献目标。近年来，世界各国就碳中和问题迈出了决定性的步伐。2019 年 12 月欧盟公布“绿色协议”，宣布 2050 年实现净零排放目标；2020 年 9 月中国宣布碳达峰碳中和目标；2020 年 10 月日本和韩国宣布碳中和目标；美国新任总统拜登在其就任总统之后宣布重返《巴黎协定》，美国将不迟于 2050 年前实现全经济净零排放。再加上此前已经宣布碳中和目标的英国、加拿大、南非、墨西哥等，世界上

主要的经济体（约占全球 GDP 的 75%、碳排放量的 65%）已经宣布走向碳中和，人类开始进入一个低排放发展的新时代，走向碳中和已成为全球共识。

（二）我国碳达峰碳中和目标意义重大

碳达峰、碳中和是构建人类命运共同体的大国担当。中国作为碳排放量最大的国家，在全球气候治理中的作用举足轻重。当前，中国已经成为推动全球气候治理进程的重要力量，是全球应对气候变化的参与者和贡献者。尤其是在《巴黎协定》形成的过程中，中美两国元首连续五次发表联合声明，为《巴黎协定》确定了基本原则和框架，为其达成、签署和生效发挥了关键作用。而在 2017 年，美国特朗普政府宣布退出《巴黎协定》之后，中国第一时间宣布，将继续全面履行《巴黎协定》，百分之百地兑现自主贡献的承诺，有力地推动了应对气候变化的全球合作，稳定了全球应对气候变化的大局。2020 年，中国较早地宣布提高国家自主贡献的力度与实现碳中和的国家目标，为推动全球迈向碳中和做出了重要贡献。中国提出“碳达峰，碳中和”目标，对于提升全球气候治理的话语权有重要意义。这一积极行动不仅有助于把握国际舆论和博弈的主动权，也有助于树立负责任大国的积极形象，为国内的经济社会的发展营造良好的国际环境。

碳达峰、碳中和是践行生态文明理念的重要举措。生态文明建设是“五位一体”发展理念的重要方面，近年来，“美丽中国”和“绿水青山就是金山银山”的可持续发展理念贯穿政策始终。2021 年 3

月 15 日，习近平总书记在中央财经会议上提出将“双碳目标”纳入生态文明的总体布局，足见政治定位之高，决心之大。碳达峰、碳中和意味着未来的发展将逐渐与碳“脱钩”，倒逼新一轮能源革命与产业结构升级，提高发展的质量，这与我们的绿色发展理念相契合。碳达峰、碳中和与“两个一百年”奋斗目标不仅具有时间上的同步性，而且具有战略方向和目标的一致性。从根本上看，碳达峰、碳中和本身就是生态文明建设的重要内容之一，是实现美丽中国目标的必由之路。

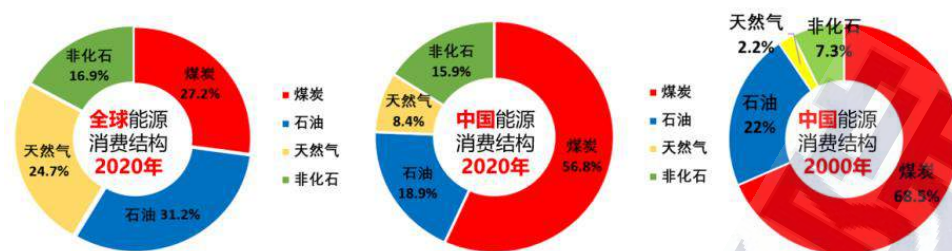
碳达峰、碳中和是推动我国绿色低碳发展的内在要求。绿色低碳发展不仅是国际减缓气候变化的客观需要，更是立足国内、以自身发展需求为主，着力解决资源环境约束突出问题、实现经济发展方式转变的必然选择。**我国固定资产投资占 GDP 比重的拐点已经出现。**中国过去几十年的发展历程，由于工业化与城镇化的发展，围绕基础设施、建筑及工业设备产生了大量的固定资产投资，对拉动经济增长起到重要作用。随着我国基础设施的日益完善，城镇化率增速放缓，固定投资需求也趋于减少，依赖粗放投资拉动经济增长的模式越来越难以为继，碳达峰、碳中和目标的提出源于我国经济社会的深刻变化。**随着工业化进程的深入，我国产业结构已经发生了深刻变化。**我国第一产业和第二产业占 GDP 比重近年来开始持续下降，2020 年第二、三产业占 GDP 的比重分别为 37.8% 和 54.5%（数据来源：国家统计局），第三产业已经超越第二产业成为经济发展的主力。**对照中国当前产业结构的发展趋势，处于工业化后期向后工业化过渡的阶段，已经具备了低碳发展的潜力。**按照发达国家的

发展规律，一般进入工业化后期或者后工业化阶段，以服务业为主的第三产业将成为经济的支柱产业，整个社会对能源消费的依赖将会相对降低，碳排放强度亦将逐步降低。对照中国当前产业结构的发展趋势，显然也正在朝低碳这一方向发展。

(三) 我国碳达峰碳中和工作面临挑战

我国能源结构以化石能源为主。2009 年我国超过美国成为全球第一大消费国，我国能源消费结构以化石能源为主，2020 年煤炭占全国能源消费 56.8%，占全国二氧化碳总排放 80%，2020 年全球能源消费结构、中国 2020 年和 2000 年能源消费结构情况对比见图 1。

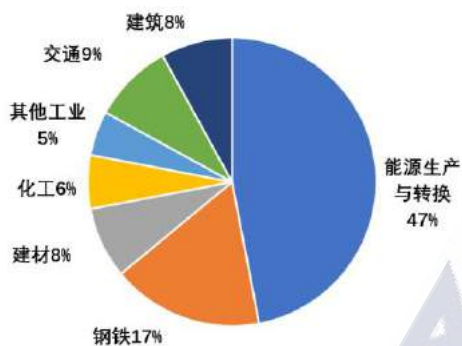
我国能源消费结构：**煤炭占比超过一半**，富煤贫油少气，煤炭在我国一次能源消费中的比重远超其他国家，煤炭的消费主力在电热行业，而煤炭的碳排放强度远高于油气能源，导致碳排放强度高。随着能源技术进步和政策引导影响，我国能源消费增速明显放缓、结构持续优化，碳排放渐入平台期。2000 年以来，我国天然气、水电、核电、风电等清洁能源消费占比正在快速提升，已由 2000 年 9.5% 提升至 2020 年 24.3%，为我国能源低碳转型、实现 2025 年非化石能源占比 20% 左右、2030 年达到 25% 左右、2060 年 80% 以上的目标提供了良好基础。



来源：英国石油公司、国家统计局

图 1 全球和中国能源消费结构图

我国碳排放总量大，碳排放强度高于全球平均水平，能源利用效率偏低。我国目前是全球最大的碳排放国。2019 年我国单位国内生产总值能耗为 3.4 吨标准煤，是全球平均水平的 1.5 倍，是主要发达国家的 2-4 倍，能源利用效率偏低。根据全球能源互联网发展合作组织的研究，2019 年全社会碳排放（含 LULUCF，指土地利用变化和林业碳汇）约 105 亿吨，从能源活动领域看，能源生产与转换、工业、交通运输、建筑领域碳排放占能源活动碳排放比重分别为 47%、36%、9%、8%，其中工业领域钢铁、建材和化工三大高耗能产业占比分别达到 17%、8%和 7%（图 2）。我国碳排放的大户依次是电力、工业、交通和建筑，几乎贡献了全国碳排放量 90%以上，这些重点行业降碳迫在眉睫，本白皮书研究数字技术赋能碳减排主要聚焦上述重点行业。我国作为全球最大的发展中国家同时也是最大的碳排放国家，面临经济社会现代化和减排的双重挑战，从碳达峰到碳中和只有发达国家一半的时间，实现碳中和时间短任务重。



来源：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》

图 2 2019 年我国能源相关二氧化碳排放领域构成

（四）扎实推进碳达峰碳中和重点工作

我国实现碳达峰、碳中和时间任务重。我国承诺实现从碳达峰到碳中和的时间，远远少于发达国家所用时间，实现碳达峰、碳中和是一场硬仗，需要结合我国能源禀赋、碳排放现状等实际情况，围绕能源电力、工业、建筑、交通等重点领域，扎实推进各项重点工作，确保碳达峰、碳中和工作取得积极成效。

一是推进产业结构优化升级。一手做“减法”，坚决遏制“两高”项目盲目发展；一手做“加法”，加快发展新一代信息技术等战略性新兴产业。推动大数据、人工智能、5G 等新兴技术与绿色低碳产业深度融合，切实推动产业结构由高碳向低碳、由低端向高端转型升级。

二是有序调整能源结构。逐步提升非化石能源消费比重，加快构建清洁低碳安全高效能源体系。

三是加快城乡建设和交通运输绿色低碳转型。大力发展节能低碳建筑，加快优化建筑用能结构。优化交通运输结构，推广节能低碳型交通工具，积极引导低碳出行。

四是加强绿色低碳科技创新和推广应用。强化基础研究和前沿技术布局，加快先进适用技术

研发和推广，加快培养一批碳达峰、碳中和专业化人才队伍。**五是巩固提升生态系统碳汇能力。**着力提升生态系统质量和稳定性，为巩固和提升我国碳汇能力筑牢基础。**六是健全法规标准和政策体系。**研究制定碳中和专项法等法律法规。建立健全碳达峰碳中和标准计量体系，加强标准国际衔接。积极发展绿色金融，加大财政对绿色低碳产业发展、技术研发等的支持力度。**七是加强绿色低碳发展国际合作。**深化与各国在绿色技术、绿色装备、绿色服务、绿色基础设施建设等方面的交流与合作。

二、数字技术赋能碳减排的探索和途径潜力

现有研究表明数字技术在助力全球应对气候变化进程中扮演着重要角色。数字技术能够为经济社会绿色发展提供网络化、数字化、智能化的技术手段，赋能构建清洁低碳安全高效的能源体系，助力产业升级和结构优化，促进生产生活方式绿色变革，推动社会总体能耗的降低。我国碳达峰碳中和“1+N”政策体系中明确提出要推动大数据、人工智能、5G等新兴技术与绿色低碳产业深度融合；推进工业领域数字化智能化绿色化融合发展。数字化正成为我国实现碳中和的重要技术路径，为应对气候变化贡献重要力量。

（一）国际借力数字技术应对气候变化的探索

21世纪伊始，国际研究机构开展了数字技术赋能碳减排方面的应用和研究。据全球电子可持续发展推进协会（GeSI）的研究，数字技术在未来十年内通过赋能其他行业可以减少全球碳排放的20%，主要通过智慧能源、智慧制造等领域实现。《全球通讯技术赋能减排

报告》(The Enablement Effect, 全球移动通信系统协会(GSMA)与碳信托(Carbon Trust)合作撰写)显示,2018年移动互联网技术使全球温室气体排放量减少了约21.35亿吨,几乎10倍于移动互联网行业自身的碳足迹,而这些赋能减排主要通过智慧建筑、智慧能源、智慧生活方式与健康、智能交通与智慧城市、智慧农业、智慧制造等领域的应用而实现。在后疫情时代,“数字化”和“绿色化”成为全球经济复苏的主旋律。美国、英国、欧盟、日本等国家和地区的经济复苏方案均指向数字技术对于实现全球绿色经济增长以及应对气候变化的重要性。

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,围绕数据、标准、技术、资金等制定了丰富的政策工具,初步建立了科学合理、协调有力的政策方案。具体包括: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,美国能源局(DOE)于2021年3月拨款800万美元用于优化传统工具不可解析的应对气候变化相关的大量不规则数据,可持续能源发展办公室联合加州能源委员会开发基础设施投影工具EVI-Pro,支撑充电设施城市规划等。发布数字化方向碳中和标准,包括2016年美国国家技术实验室联合IBM、GE、google等联合发布的智能电网行业标准、2014-2018年橡树岭国家实验室联合丰田、Evatran(无线充电设备研发商)、克莱姆森大学等推进的无线充电标准等。实施研发补贴,2020年9月,美国能源部(DOE)宣布提供1600万美元促进机器学习、人工智能等方向基础研究和仿真应用,服务各领域节能减碳。设立奖励性支持,2020年DOE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。**提供贷款担保**，DOE 贷款担保计划办公室将智能化分布式能源、微电网、工业废物回收等纳入支持范围，鼓励利用物联网、人工智能等创新技术减少温室气体排放。

英国、欧盟等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，释放明确政策信号，鼓励企业通过数字转型提高应对气候变化的能力。利用绿色基金引导私人投资流向，如英国 2017 年设立 2000 万英镑的工业战略挑战基金（ISCF），促进人工智能、机器人等在工业领域的推广，提高工业生产效率，降低能耗和碳排放，欧盟还在 Speedinvest III EuVECA GmbH & Co. KG 等风投资金中关注利用数字技术支持减碳方向，开发废物识别软件的 Greyparrot 公司、为锂电池生产提供数字双胞胎解决方案的 TWAICE 公司等均在其资助范围。**在创新项目中部署智能出行、绿色建筑、智慧能源等内容**，如欧盟“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。**重视数据共享开发和利用**，《欧洲绿色协议》提出“可访问和可操作性的数据”是数据驱动创新的核心，未来将促进数据与信息基础设施（如超级计算机、云、超高速网络）和人工智能解决方案相结合，提高欧盟监测和管理环境灾害方面的能力。**合作开发大数据工具**，英国商务能源与产业战略部与中国合作开发“全球能源计算器”，为各国模拟脱碳场景及带来的影响，获得最优能源决策和脱碳路径提供支持。

日本政府十分强调绿色化与数字化的双轮驱动，即高度重视利

用新一代数字技术和基础设施支撑绿色转型。在全球范围内，日本是政策引导产业升级的典范，也是资源循环利用的践行者，其背后是日本作为岛国的资源约束。日本于2020年12月25日发布了《2050年碳中和绿色增长战略》，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，多集中在交通/制造业，其次是能源，最后是家庭/办公，14个领域的选择主要是基于资源禀赋和发展核心竞争力。**汽车和蓄电池产业：**利用先进的通信技术发展网联自动驾驶汽车。**交通物流和建筑产业：**在物流行业中引入智能机器人、可再生能源和节能系统，打造绿色物流系统。**下一代住宅、商业建筑和太阳能产业：**利用大数据、人工智能、物联网等技术实现对住宅和商业建筑用能的智慧化管理。**生活方式相关产业：**部署先进智慧能源管理系统；利用数字技术发展共享交通（如共享汽车）。

此外，德国、法国、韩国等也高度重视本国数字碳中和方案开发和推广，通过试点示范、人才培育、服务供给等政策工具全方位深化各行业数字化减碳应用，为更好地释放数字技术减碳潜力、促进气候目标实现提供坚实的政策支撑。

（二）数字技术赋能碳减排机制途径和潜力

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，另一方面通过对经济活动进行优化和非物质化从

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。

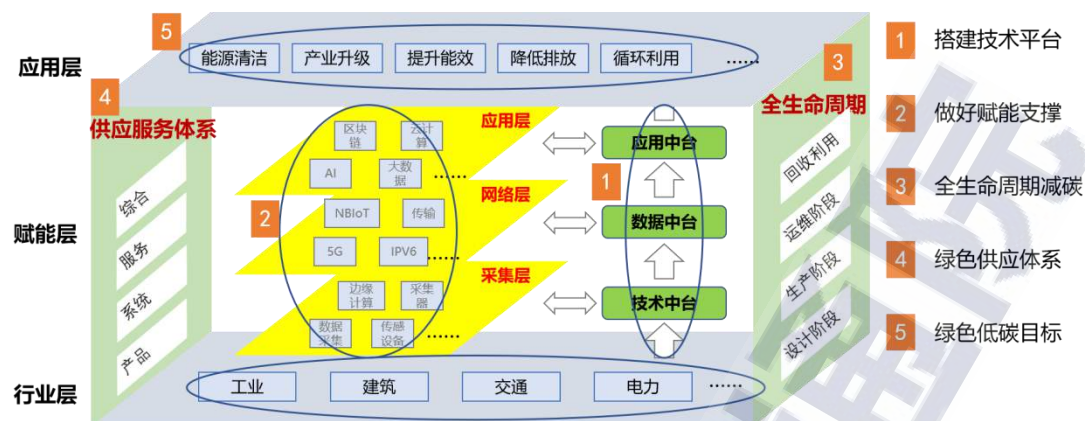
数字技术助力我国碳达峰碳中和的总体思路包括四个步骤：一是数据摸底，摸清“碳家底”，开展碳排放数据的盘查，实施碳排放数据监测、统计、核算、核查，认真分析碳排放来源，确定工作重点；**二是情景预测**，基于碳排放现状和目标，对碳达峰碳中和进程模拟预测；**三是明确路径**，设计科学、系统的“双碳”顶层规划，研究制定可操作、可落地的碳减排路径和行动计划，出台碳达峰、碳中和“1+N”政策体系；**四是实施调整**，完善碳排放管理体系，明确各部门职责权利，提供机制保障，推进经济社会发展全面绿色转型。在此过程中，能源互联网、工业互联网作为技术和产业融合的重要载体，5G、大数据与云计算、人工智能、物联网、数字孪生、区块链等数字技术在支撑我国碳达峰碳中和目标实现过程中将发挥重要的力量（图3）。



来源：中国信息通信研究院

图 3 数字技术助力碳达峰碳中和的思路框架

数字技术能够为经济社会绿色发展提供网络化、数字化、智能化的技术手段，赋能产业转型升级和结构优化、提升政府监管和社会服务的现代化水平，促进形成绿色的生产生活方式，推动社会总体能耗的降低。一是数字经济以战略性新兴产业中新一代信息技术为基础，可以显著拉动社会需求，对促进产业结构和能源结构调整和优化意义重大。二是数字技术对传统产业实施技术改进和优化配置，引领工艺和服务创新，对支撑低碳发展具有巨大潜力。三是在碳排放管理方面，能够促进碳管理高效化以及碳排放追踪监测。新一代信息技术应用在传统用能领域，促进其能源结构清洁化转型、用能效率提升、环境影响降低、资源循环利用等直接减少碳排放并促进碳达峰、碳中和目标实现（图 4）。

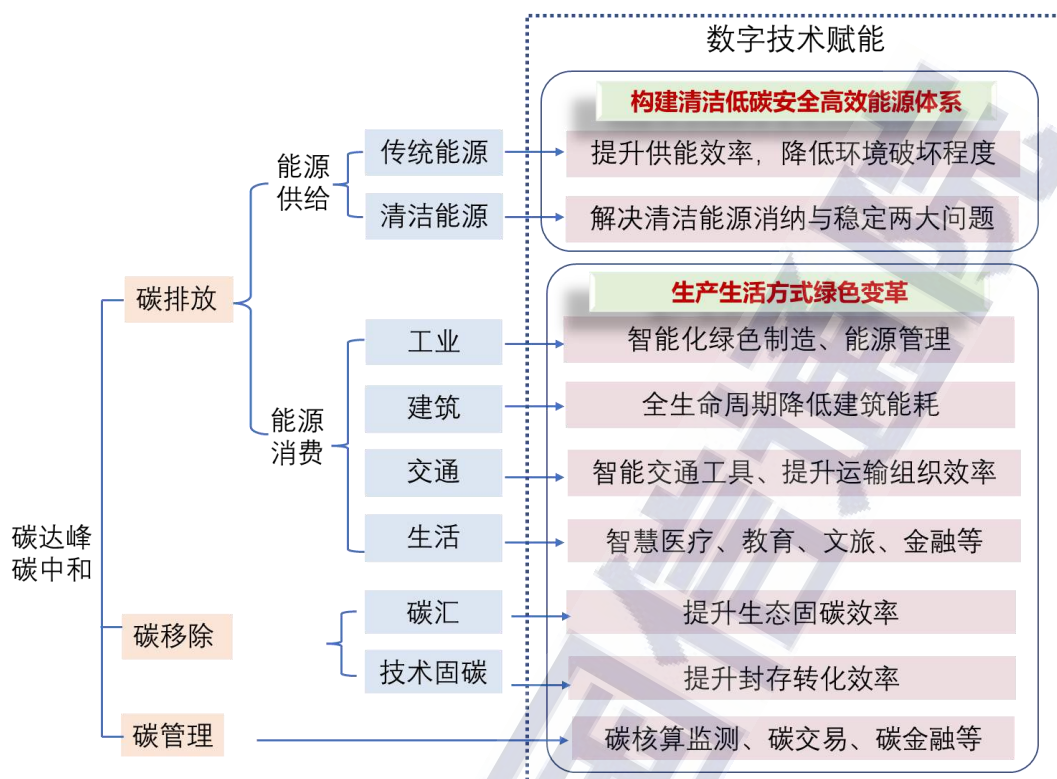


来源：中国信息通信研究院

图 4 数字技术助力碳达峰碳中和的总视图

数字技术在碳排放、碳移除和碳管理方面都将发挥重要作用。

碳中和主要包括碳的排放、碳的移除。如果碳的排放和移除相等，即可实现碳中和，在这个过程中始终伴随着碳的管理（数字技术赋能的主要途径见图 5）。碳排放包括能源的供给和消费，能源供给又包括传统能源和清洁能源，对传统能源来讲，数字技术提升供能效率，降低环境破坏程度；对于清洁能源，解决清洁能源消纳与稳定两大问题。能源消费侧包括工业、建筑、交通和生活，数字技术赋能工业智能化绿色制造和能源管理，赋能建筑全生命周期降低能耗，促进交通提升运输组织效率，在生活方面，数字技术赋能智慧医疗、教育、文旅、金融等。在碳移除方面，数字技术提升生态固碳效率。碳管理方面，碳核算监测、碳交易、碳金融等也离不开数字技术。数字技术助力构建清洁低碳安全高效能源体系，加快实现生产生活方式绿色变革。



来源：中国信息通信研究院

图 5 数字技术助力碳达峰碳中和的主要途径

数字技术赋能各行业碳减排潜力巨大。从宏观来看，根据 2012 和 2017 年投入产出表数据(国家统计局投入产出表最新数据为 2017 年)，运用产业关联效应模型，采用自上而下的方式估算 ICT 产业对国民经济其他部门碳减排的量化影响。从总体趋势上来看，ICT 推动经济部门深度减排的力度在逐步加强(具体计算过程见附件一)。

从搭建数字技术赋能各行业碳减排的计算模型看，自下而上对各行业碳排放结构及数字技术赋能减碳环节进行分析量化，依据不同行业内各环节的能耗及碳排放结构，分析研究数字技术赋能行业内各环节的减碳成效及占比。至 2030 年，各行业数字化水平不断提升，数字技术将赋能全社会减碳约 12%~22%、赋能各行业 10%~40%

(具体计算过程见附件二)。

三、数字技术助力重点行业碳达峰碳中和

数字技术能够与能源电力、工业、建筑、交通等重点碳排放领域深度融合，减少能源与资源消耗，实现生产效率与碳效率的双重提升。中国正在迈向数字经济大国，以数字化为核心的技术革命，可对经济转型和低碳发展起到重要促进作用，发挥其“一业带百业”作用，助力实现碳达峰、碳中和目标。

(一) 数字技术助力构建以新能源为主体的新型电力系统

电力行业（含热电联产）占我国碳排放总量的 40%，过去一百多年来，电力系统形成了以化石能源为主体的技术体系，碳达峰、碳中和目标下电力系统面临着从高碳排放向以新能源为主体的新型电力系统转变。在构建清洁低碳安全高效的能源体系和源网荷储一体化的新型电力系统的过程中，数字技术将发挥积极作用，实现广泛互联、智能互动、灵活柔性、安全可控。

1. 数字技术助力电力行业碳减排着力点

通过加强电网运行状态大数据的采集、归集、智能分析处理，实现设备状态感知、故障精准定位，人工智能技术应用将促进传统电网升级、电网资源配置能力提升，以数字化推动电网向智慧化发展，全面提升智能调度、智慧运检、智慧客户服务水平。数字技术助力电力行业碳减排的着力点包括数字技术赋能输配电网智能化运

行，推动城市、园区、企业、家庭用电智能化管控系统构建，数字化储能系统加速实现规模化削峰填谷。

2. 数字技术助力电力行业碳减排应用场景

(1) 数字技术赋能输配电网智能化运行

数据显示，我国输配电损耗占全国发电量的 6.6% 左右，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，输配电网损耗将成为不容忽视的能源浪费。目前，电网公司已经逐步利用数字技术，助力实现输配电网路的智能运维、状态监测、故障诊断等，助力提升电网管理水平，降低输配电网损耗，达到节能降碳效果（图 6）。



来源：中国信息通信研究院

图 6 智慧能源体系架构图

海量电网数据的深度挖掘和可视化呈现。电网在运行时会产生大量数据，通过数据挖掘，可从大量的实际运行数据中提取出隐含

的有价值的数数据，可视化运用计算机图形学和图像处理技术，与数据挖掘结合，能够快速收集、筛选、分析、归纳、展现决策者所需要的信息，实现复杂数据的可视化呈现。

边云协同实现电力物联全面感知。传统的云计算技术无法满足电力设备终端侧低延时数据传输需求，需要通过与边缘计算的协同来匹配各种需求场景。边缘计算能够对本地数据进行初步处理与分析，并将处理结果及相关数据上传云端，再利用云端强大的计算、存储能力对海量数据进行分析、处理、存储。

综合利用人工智能、物联网、大数据等先进技术推动实现电网智能化运维。基于物联网技术实现线路监控、设备巡检及电网设备的实时管控，提高设备故障响应速度。利用云计算、大数据技术构建重过载预警模型，有效预测配变重过载情况。以数据分析和机器学习为核心，实现业务应用健康度量化评估和自动化干预、系统故障原因分析，实现快速、精准定位。

(2) 数字技术推动城市、园区、企业、家庭用电智能化管控

电力用户侧的智慧化应用是“互联网+智慧能源”体系典型场景之一，基于先进数字技术的智慧用能体系，能够助力电力使用者精细化管理自身能源消耗、精准快速定位高能耗、高碳排放用电环节、智能分析用户用电行为，从而优化电力调度和匹配方案，达到提升用电效率、降低碳排放的目的。

通过人工智能算法实现用户侧智慧用能。机器学习技术具有良好的聚类/分类和辨识能力，能够被用于智慧用能领域，为综合能源系统合理定价和能源结构优化等提供理论支持。通过物联网管理平

台，用户能够实时查看用电统计和数据分析的可视化图形展示。通过区域划分展示，管理员能够查看各区域实时功率、实时用电等用电情况。平台将采集的数据进行统计分析，转换为可视化图表的形式，并预估未来能耗，便于用户开展节能减排工作。

区块链助力用户自主的能源服务安全对等化发展。用户自主的能源服务主要是以智慧能源中的灵活性资源为核心，用户能够自主提供能量响应、调频、调峰等灵活的能源服务，以互联网平台为依托进行动态、实时的交易。区块链技术的去中心化特征可实现智慧能源中能源用户、能源装备企业、设备间的对等、广泛互联；区块链技术的信息共享、智能合约特征可实现智慧能源中各相关主体对于各类信息的广泛交互和充分共享，助力提升系统运行质量和效益效率水平，实现构建智慧服务系统的目标。

(3) 数字化储能系统加速实现规模化削峰填谷

储能可以实现发电曲线与负荷曲线间的快速动态匹配，因此具有平抑波动、匹配供需、削峰填谷、提高供电质量的功能，是构建能源互联网的核心技术。数字化储能系统通过促进储能系统技术与信息技术的深度融合，实现储能系统的数字化和软件定义化，进而与云计算和大数据等数字技术紧密融合，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。例如，目前用户侧存在大量分散闲置电池储能资源，通过采用电池能量交换系统和电池能量管控云平台等数字化手段，可以将海量的碎片化闲置电池储能资源盘活为电网可以调度利用的大规模分布式储能系统，实现基

于“虚拟电厂”的配电网储能系统，有力支撑了储能系统的推广应用和能源互联网的发展。

专栏 1 数字技术助力电力行业碳减排的实例

(1) 数字技术赋能输配电网智能化运行：某储能电站示范项目，该项目重点采用了数字技术对单体电池的电气参数进行在线监控，电池单体循环寿命可达 12,000 次，集电池高安全性、模块集成高一致性及在线监控等多项先进技术于一体。按本地调度指令每天 1.5-2.0 次充放电，服役寿命预计超 20 年，整体技术水平行业领先。此外，项目搭载了百兆瓦时级别大规模电池储能电站统一调度与控制系统，可为附近 3 个 220kV 重负荷的变电站提供调峰调频服务，提高变电站的平均负载率，提升区域电网的利用效率。

(2) 数字技术推动城市、园区、企业、家庭用电智能化管控：某城市智慧能源管控平台，依托“大云物移智链”技术，将大数据、物联网、人工智能、边缘计算等技术与城市能源管理深度融合，实现了横向“水、电、气、热、冷”多能互补控制，纵向“源-网-荷-储-人”高效协同，打造了新区城市信息模型唯一智慧能源模块，满足当地“数字城市”建设需求。系统监控园区内 8000 多个点位，实时动态匹配能源生产与负荷需求，实现了多种能源梯级利用。稳定运行近两年来，城市智慧能源管控系统利用智慧运维等手段降低园区运维成本 10% 左右；通过对园区冷、热产耗平衡的精准调控，为园区节约冷/热供给量超过 5%。

(二) 数字技术助力工业数字化智能化绿色化融

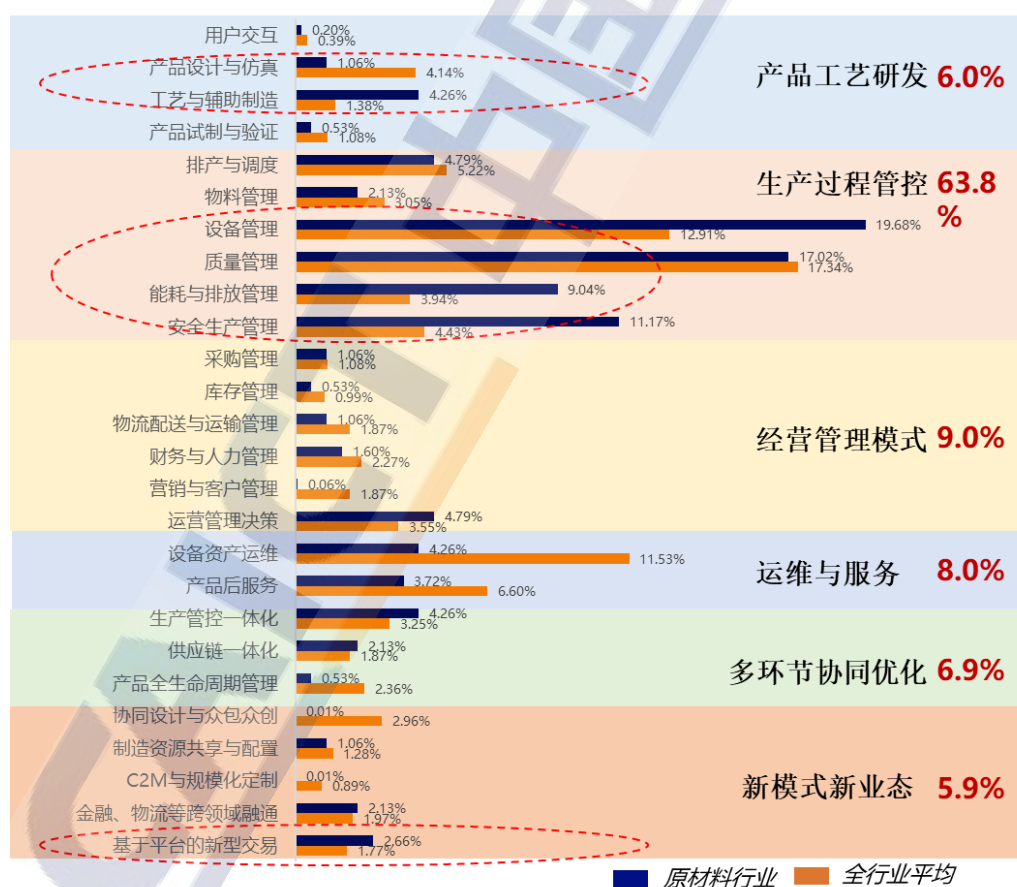
合发展

工业部门是国民经济中十分重要的物质生产部门，对社会生产起着巨大的推动作用，对国民经济发展起着决定性作用。同时，工业部门也是我国能源消费、温室气体排放的大户，是我国第一大终端能源消费与碳排放领域，因此降低工业部门高耗能制造业碳排放量，对于我国实现碳中和目标非常关键。

数字技术能够促进传统产业能源优化、成本优化、风险预知及决策控制，整体上实现节能降本增效提质。数字化为中国工业绿色转型打开重要窗口，助推传统制造业“跳出厂房”发展绿色化生产，赋能制造业价值链全流程的绿色转型。以 5G 为代表的新型网络技术，赋能每个生产单元可感知可通信可连接可计算；以人工智能为代表的新型分析技术，变革决策模式，突破人类能力边界；以区块链为代表的新型互信技术，支撑在不可信环境中的可信业务协作，以大数据为代表的新型生产要素，基于传感器收集的海量数据，有效利用数据资源，充分释放数据价值，以云计算为代表的新型计算技术，催生各领域大数据的创新应用。

从总体来看，数字技术赋能工业碳减排主要包括产品工艺研发、生产过程管控、经营管理模式、运维与服务、多环节协同优化、构建产业链供应链协同等方面。原材料行业工艺复杂、危险性高、能耗和碳排放高、环保压力大，基于中国信通院对 1015 个工业互联网应用案例统计（图 7），数字技术赋能碳减排主要侧重于生产过程管

控，占比近 64%；基于数据分析监测和优化关键设备运行与耗能情况，能耗排放优化、质量、设备和安全生产管理成为数字技术赋能碳减排的核心环节，在各行业的应用占比也最高；工业 35% 的安全生产案例来自原材料，主要应用人工智能等技术对现场和园区进行安全感知识别。原材料制造业如钢铁、石化化工、建材、有色均为工业部门能源消耗和碳排放重点行业，不同行业存在一定的生产经营性差异，而且在不同的社会发展阶段，对不同工业品的需求不同，因此钢铁、石化化工、建材和有色的能源消耗和碳排放也不同，本白皮书进一步对上述 4 个行业展开分析数字技术赋能碳减排的着力点和应用场景。



来源：中国信息通信研究院

图 7 工业互联网赋能碳减排应用统计分类图

1. 数字技术助力钢铁行业生产运营集中一贯管理

钢铁行业是社会经济发展的重要支柱行业，目前我国钢铁行业占全国碳排放总量的 14% 左右，是除能源以外碳排放量最大的工业行业。**产能产量方面**，我国钢铁行业产能产量稳居世界第一，2020 年粗钢产量约占世界总产量的 57%。**工艺结构方面**，我国钢铁行业工艺流程以碳排放量高的高炉—转炉工艺为主，占比约 90%，碳排放量较低的电炉工艺仅占 10%。在钢铁炼制的整个过程中，每个工序都会产生不同强度的碳排放。碳排放贯穿钢铁生产的整个过程，仅仅针对其中某一工序并不能实现其减排效果，需要根据每个生产细节合理规划，从整体把握，以达到全流程最低碳。

(1) 数字技术促进钢铁行业碳减排着力点

钢铁行业生产流程长，生产工艺复杂。主要面临设备维护效率低、生产过程不透明、下游需求碎片化、绿色生产压力大等痛点，发展智能化制造、精益化管理等模式潜力大。另一方面，我国钢铁行业已初步具备较好的自动化和信息化基础，行业龙头企业纷纷基于外部形势与自身发展需求推进数字化转型，利用数字技术赋能企业乃至行业节能减排，打造绿色生产新模式。具体来说，**一是利用数字化技术赋能低碳钢铁产品及工艺研发过程**，通过研发轻质高强度高性能的钢材，提升钢材的利用效率，从而减少物质浪费导致的碳排放。**二是利用数字化技术赋能铁、钢、轧等主要工序的生产操作过程与企业运营管控过程**，通过开展集中一贯的企业管控，减少

企业内部生产运营过程中的能耗物耗，从过程减少碳排放。**三是利用数字化技术赋能产业链供应链协同**，通过基于产业级工业互联网平台的跨企业信息互通与资源调度配置优化，减少行业资源浪费，从而减少碳排放。

(2) 数字技术促进钢铁行业碳减排应用场景

数字技术赋能低碳钢铁产品开发过程。传统的钢铁材料研发基于大量实验，研发效率不高。通过建立材料开发全链条数据库，结合冶金原理、模型及工业大数据，深度挖掘所获得的知识，指导材料制造中的成分控制范围，构建以大数据和材料信息学为基础的钢材研发体系，可加速高性能、轻质高强度钢材的研发进程，显著提高研发效率。高性能钢材在汽车制造、基础设施建设等领域广泛应用，一方面可增加材料的使用寿命，减少物料损失，另一方面可减轻汽车等交通工具重量，减少用于交通运输的燃料消耗，间接赋能下游用钢行业减少碳排放。

数字技术助力生产运营集中一贯管理。一方面是智能化、无人化生产操作，在炼铁、炼钢、轧钢等各主要工序，部署可进行自我迭代升级的精细化分析控制模型，实现各工序的智能化闭环控制。同时还可部署无人铁水运输车、无人行车及工序专用机器人等各类智能装备，实现无人化生产。通过智能过程控制及智能装备的应用，提升生产操作精细化水平，减少由于生产操作不合理导致的多余能耗物耗。另一方面是跨工序、跨层级的协同优化，基于大数据平台，建设铁前、炼钢、能源管理等各种类型的集控中心，实现跨工序的调度排产优化、全流程质量管理、集中化的能源预测与调度优化以

及建立在 LCA（Life Cycle Assessment, 产品全生命周期管理工具）模型上的面向不同工序、不同产品的碳足迹分析追踪，从生产全局的角度提升能源与资源利用效率。同时基于企业工业互联网平台，还可实现多基地的协同管控，开展集团内部不同生产基地间原燃料及备品备件的协同调度，从全集团范围提升能源资源利用效率。

数字化技术赋能产业链供应链协同。建设钢铁工业品电商等产业级工业互联网平台，汇聚钢铁生产企业、加工运输与仓储服务商、金融服务机构等行业主体，打造智能钢铁生态圈，降低企业间交易成本，缓解低端产品过度同质化导致的恶性竞争，有效化解产能过剩，从而减少过度生产导致的碳排放。

专栏 2 数字技术促进钢铁行业碳减排的实例

（1）数字技术赋能低碳钢铁产品开发：某钢铁企业基于商用材料数据库建立汽车行业用钢板材料库，利用人工智能加速钢板材料可制造性分析、仿真性能优化、零件设计优化等分析过程，极大缩短汽车行业用钢板开发周期。

（2）数字化技术赋能生产运营过程：某钢企 2018 年建成“热轧 1580 智能车间”，在作业无人化、全面在线检测、过程控制系统、设备状态监控与诊断、产线能效优化、质量管控、一体化协同计划、可视化虚拟工厂八个核心领域进行数字化提升，建立涵盖制造全过程的智能化应用，提高生产线制造稳定性和灵活性，降本增效。工序能耗下降 6.5%，内部质量损失下降 30.6%，全自动投入率提升 10.5%，2019 年成功入选达沃斯世界经济论坛“灯塔工厂”。

（3）数字化技术赋能产业链供应链协同：某钢铁工业品电商

交易平台，具有多品种、跨区域的大宗商品市场服务架构，产业供应链已经覆盖原燃料、矿石、钢材、家电、汽车、造船等多个产业领域，服务对象几乎覆盖全国所有主流钢厂，有效助力钢铁产业去产能、去库存、优结构。

2. 数字技术助力石化化工行业能源优化和碳资产管理

石化化工行业为经济社会发展提供燃动能源、原材料和基础化学品，产业链长，工艺流程复杂，能源消耗总量大，品种多。石化化工行业的产品被广泛应用于生产生活的众多领域。石化化工行业也是碳排放集中行业。石化化工行业的碳排放包括来自化石燃料燃烧；以及来自工艺生产过程中的化学反应产生的二氧化碳；根据中石化相关统计，由化石燃料燃烧及工艺反应排放等方式直接排放的二氧化碳量约占石化化工行业总排放量 90% 以上。

(1) 数字技术促进石化化工行业碳减排着力点

石化化工行业工艺流程长、工艺机理复杂，生产过程具有较强的连续性，细分产业间关联度高。为了保证稳定品质的连续安全生产，对设备和设施运维要求较高，整体上具有较高的信息化和自动化水平，也比较关注成本控制、供应链稳定高效。数字化技术通过赋能石化化工行业全要素、全产业链、全价值链，打造绿色环保的行业生态，从而赋能行业实现“双碳”目标。具体来说，数字化赋能石化化工行业节能减排，一是通过数字技术赋能低碳石化化工产品与工艺研发，通过对产品结构及工艺合成过程的仿真模拟开发低碳工艺及高性能产品，从源头节能减排。二是通过数字化技术赋能

石化化工产品生产制造及企业管控优化，通过开展精细化的过程控制及生产运营管控，提升企业资源利用效率。三是通过数字化技术赋能石化化工行业资源配置优化，提升行业资源利用效率。

(2) 数字技术促进石化化工行业碳减排应用场景

数字技术赋能低碳石化化工产品与工艺研发。石化化工工艺开发需要经历小试、中试、工艺验证，直至商业化生产，需要进行大量实验。基于数字化技术进行基础化学物质的数字化表征，对化学反应过程进行模拟仿真，可大幅减少实验过程，加速低碳产品与工艺研发，如分子炼油技术就是从分子水平对原油性能进行分析，通过对原料组成及结构进行数据建模，结合反应动力学模型进行转化路径的流程进行模拟，优化工艺流程，实现“宜烯则烯、宜芳则芳、宜油则油”，提升物质的利用效率，从源头减少由于原料浪费导致的碳排放。

数字化技术赋能生产制造和企业管控。一是智能化过程控制，基于动态流程模拟仿真技术，结合当前原料成分、生产工况等信息，对化工装置工艺参数进行动态优化，给出操作优化建议，或直接将工艺动态仿真模拟系统与 APC（先进过程控制）系统打通，开展从读取数据、优化计算到控制调整的全自动闭环优化控制，通过“卡边操作”减少生产过程中的能耗物耗。二是协同集中的生产管理，基于大数据分析等技术，开展集中化的生产装置能源消耗预测与调度优化，以及不同生产工艺单元、不同生产装置的碳资产核算统计与分析，通过系统分析报告为企业内部生产节能减排提供指导建议，如中石化燕山、扬子等企业建设能源智能管控系统，实现企业公用工

程计划调度一体化建设和应用，又如中石化扬子、九江、茂名及总部开展碳资产管理系统建设，实现企业碳资产清晰、碳管控到位、碳分配合理、碳交易高效的低碳化管理。**三是企业一体化管控**，基于企业级工业互联网平台加强生产与业务的协同，实现企业内资源调度优化，提高资源利用效率，从而减少碳排放，如中国中化建立覆盖全系统的电商系统，实时收集客户需求信息和订单，在此基础上根据各生产单位情况分发生产计划，减少资源调度不合理导致的内部消耗。

数字化技术赋能石化化工行业资源配置优化。石化化工行业产业链较长，基于油品及化工品电商平台，开展线上交易撮合缩短从炼厂及化工企业、二级代理商、加油站等需求终端的采购过程，降低交易成本，还可基于区块链等技术保障交易安全，提高产业链上下游协同程度，可有效提高行业资源利用水平，缓解行业供需失衡及产能过剩的情况，实现行业低碳转型。

专栏 3 数字技术促进石化行业碳减排的实例

（1）数字技术赋能低碳石化化工产品与工艺研发：某企业打造超级计算机用于化工行业新功能聚合物研发过程，计算机通过对海量实验数据进行挖掘分析，预测出上万种符合设计性能的聚合物结构，经过专家筛选后得到了合适的方案，并实现了聚合物的合成，大大加速了研发过程。

（2）数字化技术赋能生产制造和企业管控：某石化企业通过建设碳排放监控系统，通过整合 MES、能源监控、实时数据库及 LIMS 等系统数据，结合排放源的排放因子计算方法等算法模型，

建立催化烧焦、煤渣量、火炬气、酸性气碳含量等监测折算模型，实现了 70 多套装置碳排放的实时监控，对企业固定、制程、间接、逸散 4 大类 20 多个小类碳排放量指标实时分析，及时发现不合理用能，降低能源消耗和碳排放。

（3）数字化技术赋能石化化工行业资源配置优化：某企业建设石化工业品电子商务平台，将超过 3 万家供应商资源向外部开放，商品覆盖钢材、煤炭、炼化三剂及油田化学剂等众多领域，有效解决石化化工企业寻求资源能力不足、供应商配合度差等问题，实现行业资源调度优化，提升行业资源利用效率，助力行业实现“双碳”目标。

3. 数字技术助力建材行业生产工艺和安全环保管理

建材作为国民经济建设中重要的基础原材料，广泛应用于土木建筑、水利、国防等工程，具有长期不可替代性。建材行业包括水泥、石灰石膏、墙体材料、卫生陶瓷、玻璃等工业类型，其中水泥生产是建材行业的能耗大户，水泥工业碳排放占建材碳排放的 83%，位居建材行业首位。我国是水泥生产和消费大国，水泥产量占世界水泥总产量的 60% 左右。本白皮书研究建材行业主要聚焦水泥。水泥最主要的碳排放来自于煅烧过程中石灰石的分解，占比 55-60% 左右，其次是原煤等燃料的燃烧，占比 35-42% 左右。消耗电力的间接碳排放不足 3-5%。目前，水泥生产过程中的熟料形成阶段无法替代，即暂时没有替代石灰石的有效方案。水泥的碳排放量很大程度上取决于每吨水泥的熟料比例、生产过程的燃烧类型以及设备功率。

(1) 数字技术促进水泥行业碳减排着力点

水泥生产制造需经过“两磨一烧”，即生料研磨、窑内煅烧以及熟料研磨三个阶段，作业区域主要分为矿山、厂区（工厂产线）两大部分。水泥行业属流程制造，其业务连续性和精度要求相较于石化化工行业略低。水泥行业的发展目前正处于新旧动能更迭的关键阶段，自动化、智能化和信息化水平参差不齐，水泥行业因其碳排放结构的特殊性，数字化赋能碳减排主要着力点是**生产工艺和能源管理、设备设施管理智能化以及安全环保管理**，提升生产效率、能源效率，改善产品质量和安全绩效，助力生产和管理模式从局部粗放向全流程精细化和绿色低碳发展变革，解决资源、能源与环境约束问题，提高行业智能化绿色制造水平。

(2) 数字技术促进水泥行业碳减排应用场景

数字技术赋能水泥行业生产工艺优化和能源管理。**生产工艺：**依托于工业互联网技术的多层级展开与应用进行生产综合控制，在生产计划、设备监控、流程梳理、优化调度、安全生产等多领域实现智能化，优化燃料供应，大幅度减少能源和原材料的使用。更多的业务实现远程化，如设备的诊断、物流车辆调配与优化、工艺参数的调整，甚至无人矿山与爆破巡检等。**数字化能源管理：**利用物联网技术采集各能耗单元的数据并分析，为降低企业能耗、提高能源利用率、减少碳排放提供基础。基于 5G 网络，充分利用物联网技术，实时采集水泥生产环节各设备能耗信息，并进行大数据分析，实现用能趋势可预测、改善优化可持续、设备管理智能化、能源数据透明化，为企业能源管理提供依据，实现全流程能源管理可视、

可管、可控。

数字技术赋能水泥行业设备设施管理智能化。通过数字孪生模型反映整个生产过程和关键设备设施，并使用人工智能和机器学习进行优化，通过以简化和动态的方式模拟生产过程对流程的每一步优化，提出实现站点输出目标的最佳设备设置。同时，预测性维护帮助企业在设备故障之前解决维护问题，从而防止停机时间过长，避免不必要的损坏，提高运营效率，降低维护成本。基于数字孪生技术的三维可视化工厂，可以对设备设施及其状态参数进行实时监控、巡检和调整，获取诊断分析图谱和出具诊断报告，减少欠修和过修，减少现场巡检。

数字技术赋能水泥行业安全环保管理。环境、健康、安全 EHS（Environment, Health, Safety）问题在水泥行业这类复合型、综合型行业较为突出，其涉及矿山开采中的爆破作业、基于化学反应的工艺安全控制、人机协作的工作场所，以及频繁的物流装卸运输等高风险作业。在数字技术的助力下，一些应用场景如矿区无人机爆破巡检、三维安全人员定位、电子围栏安全识别、安全预警诊断分析、人的违章行为检测等逐步得到拓展和实践。对于环境管理，数字化赋能的领域从原来的环境污染物排放扩展到碳排放的监测监控，并逐步凸显出碳排放的生产调节功能，进一步完善数字化能源管理能力。

专栏 4 数字技术促进建材行业碳减排的实例

（1）数字技术助力水泥行业能源管理：某建材公司运用水泥能源管理系统进行能源信息集中管理、能源监控与分析、能耗数据

挖掘，工厂最好的单月熟料标准煤耗降低到 100 公斤/吨以下；某水泥厂运用窑磨专家优化控制系统，合理优化水泥窑操作参数，通过数据分析，建立预测模型，熟料标准煤耗下降 1 公斤以上。

（2）数字技术助力水泥行业生产管理：某水泥企业积极打造“5G+工业互联网”大数据平台，实现工厂内自动化和信息化系统的数据采集和集成，生成设备全信息画像，利用工业 PaaS 平台能力以及 5G、人工智能、物联网等技术提供先进的生产管理手段，挖掘准确可靠先进的生产模式。通过工业 APP 进行设备管理、能源管理、安全环保管理、经营管理，提升企业的总体生产管控水平、设备运维效率，实现从工业 3.0 向工业 4.0 转变。

（3）数字技术助力水泥行业安全环保管理：某公司充分发挥 5G、NB-IoT 网络技术优势，实现各类终端高速、泛在、海量接入，构建智慧水泥大数据平台，实现各系统数据信息共享。包括基于 5G 的生产设备管理、视频监控和实时矿山质量采集系统、生产数据分析、人员健康安全管理等，尤其是“人机安全智能管理系统”，在人员定位、不安全行为监测等方面做出尝试，为安全生产保驾护航，同时助力碳减排。

4. 数字技术助力有色金属行业设备精准控制和绿色高效

有色金属行业产业链包括采选、冶炼、加工三大环节，产品种类工艺细杂，被广泛应用于机械、建筑、电子、汽车、冶金、包装、国防和高科技等领域。我国铝工业碳排放量占有色金属行业排放超过 80%，其他如铜、铅、锌等有色金属冶炼行业碳排放量占有色行

业 9%。目前，我国有色金属行业生产中碳排放量主要存在于熟料烧成、脱硅工序、蒸发工序、高压溶出工序等 4 个高耗能阶段。工业炉窑是生产的核心装备，耗能巨大，环境恶劣、生产条件变化剧烈而且机理复杂，**提升智能控制技术是实现工业炉窑高效、节能的关键。**

(1) 数字技术促进有色行业碳减排着力点

有色金属矿山采选行业，数字技术赋能主要体现在通过物联网、大数据、人工智能、5G、边缘计算、虚拟现实等技术手段，实现智能生产管控、全流程无人化生产、基于工业大数据的智能决策等功能，使矿山采选资源集约、绿色安全。**有色金属冶炼行业**，数字技术赋能主要体现在通过工业互联网实现制造资源要素的平台化设计、智能化制造和网络化协同，全要素可视化在线监控、实时自主联动平衡和优化等功能，形成清洁环保、优质低耗、安全高效的企业管理。**有色金属加工行业**，数字技术赋能主要体现在通过新一代信息通信技术的应用，实现柔性化组织生产、产品质量全生命周期管控、供应链协同优化运营等功能，使企业能够质量稳定、协同高效、响应快捷。具体来说，**一是通过数字赋能高耗能设备精准控制；二是通过数字赋能绿色智能生产；三是数字赋能协同优化创新。**

(2) 数字技术促进有色行业碳减排应用场景

数字技术赋能高耗能设备精准控制。**有色矿山采选行业**，结合矿山生产工艺流程，应用数字控制、智能感知等技术对矿山机车、破碎机等采选工业设备及其他基础设施进行数字化改造实现节能减排。**有色金属冶炼行业**，结合企业生产工艺条件、工况特点，应用

数字化技术对回转窑、电解槽等高耗能工业设备进行精准控制和互联互通，提升设备综合效率，减少设备空置时间。**有色金属加工行业**，结合有色金属熔炼、铸造、轧制、挤压、拉拔等过程特点，对现有轧机、挤压机、热处理炉等生产设备的升级优化，实现质量稳定和精准控制。

数字技术赋能绿色智能生产。有色矿山采选行业，在选矿、采矿和运输等环节深度融合传感网络、精确定位与导航等技术，构建面向矿山采选全流程以“矿石流”为主线的高度集成化、智能化的矿山生产经营管理模式，实现矿山采选阶段的绿色低碳高效。**有色金属冶炼行业**，针对重点工序流程协同困难、无法预测和自动调节等问题，通过大数据、数字孪生等技术解决精确建模、实时优化决策等关键问题，实现工艺流程优化、动态排产、能耗管理和协同优化的智能生产过程。**有色金属加工行业**，通过大数据、云计算等技术，实现对订单、计划、工艺、质量、设备、能源、安全、环保、人员等要素的实时集中监控和动态优化调度，提高良品率，达到节能减排目的。

数字技术赋能协同优化创新。有色矿山采选行业，将有色金属矿山采选知识和技术模型化、模块化、标准化，为行业其他企业提供服务。打通矿山地质、测量、采矿、选矿等全流程数据链，加速矿山采选向自决策、自适应转变。**有色金属冶炼行业**，构建集数据资源库、虚拟仿真环境等一体的协同创新体系，提升基于大数据分析的生产线智能控制、生产现场优化等能力。**有色金属加工行业**，运用大数据对客户需求进行分析管理，为企业决策提供关键信息，

提升客户满意度。推进企业工艺技术和管理经验的知识沉淀和全面共享，对企业各业务场景进行应用创新。

专栏 5 数字技术促进有色行业碳减排的实例

（1）数字技术赋能高耗能设备精准控制：某企业通过电解槽漏液监测、传送带裂纹检测、天车远程操作等三个应用，减少巡检及操作人员超过 110 人以上；同时通过当前电解槽漏液及能耗分析系统结合未来规划的精准出铝系统，大大增强对能耗的精细化管理和分析，据当前模型估算可每吨铝降低直流电耗 100-200 度，按照企业满产 90 万吨的产量，每年可节约用电 9000 万度以上。

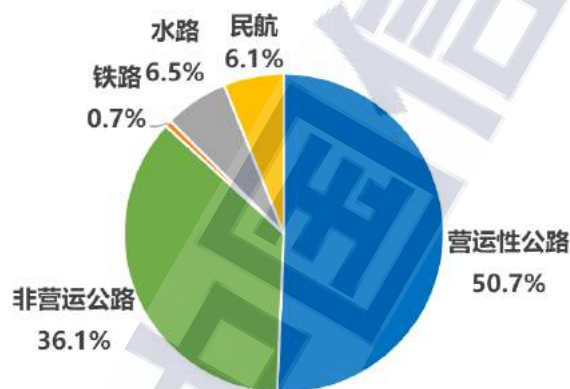
（2）数字技术赋能绿色智能生产：云南某铝业与某运营商合作，开建云南首个 5G+MEC（边缘计算）智慧工厂。MEC 边缘云作为工厂信息化基础平台“智慧大脑”，控制和存储着工厂各类系统及生产数据，以实现提高企业生产效率，降低企业碳排放的目标。

（3）数字技术赋能协同优化创新：某公司以工业大脑平台为基础进行生产工艺数据分析，全面建立有色金属产线参数推荐模型与控制能力，实现产线能耗优化、产品降本提质、产线自动化控制；利用区块链技术在溯源领域的应用，实现产品在生产、加工、运输、流通、销售等环节的全面追溯。

（三）数字技术助力建设绿色智慧交通体系

交通运输行业是能源消耗和温室气体排放的主要行业之一，碳排放量约占总量的 10%，从发达国家经验来看，交通能耗最终将占终端能耗的 1/3，未来我国交通运输总体需求仍将保持增长趋势，

这意味着我国交通运输行业碳排放还将继续增长，2030 年碳达峰存在一定挑战。从我国交通运输碳排放结构来看（图 8），营运性公路和非营运性公路碳排放分别占比 50.7%和 36.1%；以单位货物周转量来看，公路运输的能耗和污染物排放量分别是铁路运输的 7 倍和 13 倍。同时，我国乘用车平均油耗比欧洲标准高 1.0-2.0 升/百公里，比日本高 2.0-3.0 升/百公里。公路运输和城市交通优化将是交通领域碳达峰的关键。



来源：交通运输部规划研究院

图 8 2019 年交通各子领域碳排放占比

1. 数字技术促进交通部门碳减排着力点

降低交通运输领域碳排放涉及到全产业链条，通过大数据、车联网等技术进行资源配置优化、决策，助力构建更为灵活，高效、经济和环境友好的智慧绿色交通体系。车辆的智能化、出行结构的优化和出行效率的提升、电动汽车的充放电优化、新能源汽车与可再生能源协同是数字技术促进交通领域碳减排的核心着力点。

2. 数字技术促进交通部门碳减排应用场景

(1) 数字技术助力车辆智能化，实现节能降碳

车联网典型应用场景可降低车辆能耗水平，是实现交通领域碳减排的重要手段。基于车联网技术，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场景，通过数字化手段促进司机规避突发事件或恶劣路况带来的急加减速、无效怠速等驾驶行为，有效降低驾驶能量消耗。

(2) 数字技术支撑改善出行习惯，优化出行结构

车联网可优化公共交通服务水平，有效提升车辆使用率、共享率，改善出行习惯，构建绿色出行体系，实现综合碳减排。在公交系统方面，基于车联网的智慧公交可实现“人-车-路-站-云”协同，可打造十字路口优先通行、精准引导、超视距感知等应用功能，提升公交车的行驶安全和运行效率，多维度地优化用户乘坐体验。在共享出行方面，网联自动驾驶出租车在单车自动驾驶的基础上叠加车与路、车与平台之间的协同能力，可提升运行安全、优化运营效率。

(3) 数字技术赋能数字化治理，提升交通效率

车联网可支持区域交通整体优化，提升单位时间单位面积的交通运输能力和区域交通的通行效率。在城市道路场景下，基于车联网技术可实现交通信号精确控制、特殊车辆优先通行、弱势交通参与者管控等场景，优化交通数字化治理类的效率和效果。在高速公路场景下，可增强路侧的感知能力、动态管控能力、服务通行车辆能力，实现道路状况的可视、可测、可控，从而有效降低交通事故频率、减少经济损失、提升物流运输效率。

(4) 数字技术促进充放电优化

数字技术助力新能源汽车充电桩平台化管理，实现数字化、智能化充电模式促进交通领域的能源替代。数字技术使电动汽车充放电将从无序模式、单相有序模式逐步过渡到双向有序模式变为可能。具体将有三种可行的管理措施：一是在满足用户充电需求的前提下，供应侧可合理调度充电负荷；二是利用技术、政策、价格手段引导需求侧“错峰”，调节电力需求负荷的平衡；三是建立微网，园区微网内建设分布式光伏、储能单位，缓解电动汽车充放电负荷对公网的冲击。通过数字技术，一方面获取电网发布的分时电价信息，另一方面获取接入电网的电动汽车电池信息，基于这两个信息可灵活调整管辖范围内的电动汽车充电功率、分布式光伏电站和储能单位的供电，进而实现电动汽车的充放电优化。

充分发挥电动汽车充放电负荷的快速响应能力，在规模化后可深度参与电网调度，进一步促进可再生能源的消纳。如分布式光伏发电可利用白天分布在工作场所等地的电动汽车充电需求进行消纳；风力发电具有反调峰特性，可利用夜间分布在家庭小区等地的电动汽车充电需求进行消纳。

专栏 6 数字技术促进交通行业碳减排的实例

(1) 数字技术助力车辆智能化，实现节能降碳：除了人力和车辆成本，对于很多物流企业来说，卡车的油耗在每月的运营成本中占 30% 左右，某品牌卡车采用智能驾驶技术，创新提出机箱桥一体化的“体系节油”概念，不同于传统节油方式，司机只需打开巡航开关，车辆就可预先感知前方道路信息，并自动匹配最佳车速行

驶，综合节油率达到 4%。

(2) 数字技术支撑优化出行结构，提升出行效率：某车联网先导区进一步建设了基于车联网的定制化智慧公交，在某区域对出行大数据进行了梳理，并基于位置大数据对周边居民的通勤规律进行挖掘，筛选出热门的出发地与途径站。基于车联网的定制公交示范线将通勤时间从近 1 小时降低到不超过 30 分钟，近 1/4 的乘客由开车通勤转变为乘坐定制公交出行，仅仅半个月时间就让 700 多人从开车转变成了坐公交车出行，相当于单程降低了 1.27 吨碳排放。

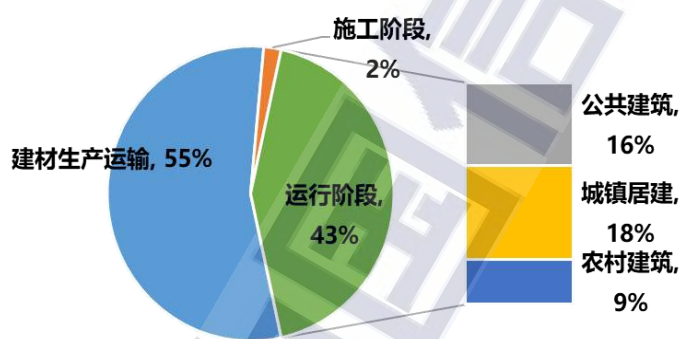
(3) 某城市打造了基于车联网技术的智能公交系统，可向司机提供行驶速度建议、变换车道规划等辅助驾驶信息，助力减少车辆驾驶的启停顿挫、优化车道变换策略，从而每车每年可节省油费近 2 万元，经测算可实现油耗降低约 10%。

(4) 数字技术助力充放电优化：某电动汽车服务有限公司在公共充电站已实现即插即充和功率调节，做到有序充电。以数字技术助力车联网、车辆到电网（V2G）、车网双向互动开展试点。双向互动，可明显平抑充电网络的功率跳变，有效减少能量损耗。

(四) 数字技术助力建筑全生命周期碳减排

建筑运行能耗是指建筑在使用过程中消耗的能源，建筑运行阶段碳排放包括直接和间接碳排放。建筑直接碳排放指建筑运行阶段直接消费的化石能源带来的碳排放，主要产生于建筑炊事、热水和分散采暖等活动；建筑间接碳排放指建筑运行阶段消费的电力和热

力两大二次能源带来的碳排放，间接碳排放是建筑运行碳排放的主要来源。建筑设计施工和建材生产带来的碳排放，也称为建筑隐含碳排放。直接、间接和隐含碳排放三项之和可称为建筑全生命周期碳排放。从建筑的全生命周期来看，建材生产运输碳排放占比为 55%，运行阶段碳排放占比 43%，施工阶段碳排放占比 2%（图 9）。通过数字技术赋能建筑的运行管理，绿色智慧建筑为建筑碳达峰、碳中和提供了有效途径。



来源：《中国建筑能耗研究报告（2020）》

图 9 建筑各阶段碳排放占比

1. 数字技术促进建筑部门碳减排着力点

数字技术促进建筑领域碳减排的着力点主要在于节能设计、运行阶段的能效提升和构建“光储直柔”建筑。将数字技术广泛应用于建筑项目的规划、设计、采购、生产、建造、运行的全生命周期过程中，提升建筑质量、安全、效益和品质。在建筑运行阶段其核心是绿色建筑和智慧建筑融合，基于传感器、计量设备的能源管理，在线监测、分析与计算各项能源指标，智能化控制的能源需求，通过对设备和环境的实时感知、智能决策和自我控制，实现建筑内部

能源资源利用最优和经济绿色运行。

2. 数字技术促进建筑部门碳减排应用场景

数字技术助力建筑节能设计施工。虽然建筑设计施工阶段的碳排放占比小，但建筑的绿色低碳很多是在设计阶段决定的，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，帮助设计师选择低能耗的材料和技术，通过精细化设计和精确建造，引导建筑的综合品质整体提升。

数字技术提升建筑运行阶段能效。基于数字技术的智慧建筑，数字技术助力建筑业，从传统建筑向绿色智慧建筑转变；通过智能控制、数据采集、统计计量等手段，运用云计算和人工智能分析数据，将建筑物的结构、系统、服务和管理根据用户的需求进行最优化组合，营造科技与人性化为一体的建筑生态，实现建筑内部能源资源利用最优。**楼宇自动化系统：**在商业领域较为成熟的楼宇科技系统，一般是以智能控制平台或中央控制系统为基础，智能管理楼控、智能照明、消防、低压等各种设备设施子系统，促进建筑用能效率提升。**智能供暖、通风与空气调节、照明：**低碳建筑或近零碳建筑不断融合绿色技术和数字技术，采用最有效的供暖、通风与空气调节、照明系统，通过供需平衡、实时监控、精准调配等方式进行综合精细化管理，运用数字技术实现此类系统的高效运行和定期维护，减少能源消耗。

数字技术助力“光储直柔”建筑柔性用电。集屋顶光伏发电-建筑储电-直流电系统-柔性供电用电模式的“光储直柔”建筑，是

指利用城乡建筑的屋顶空间安装分布式光伏，在建筑内设置分布式蓄电，将建筑内部供电系统由目前的交流变为直流，建筑从能源系统的使用者，转变为能源系统的生产者、使用者和储存调控者，从而更有效生产和消纳风电光电。“光储直柔”建筑配电模式，其中“柔”是最终的目的，数字技术能够赋能建筑柔性用电，使建筑用电由目前的刚性负载转变为柔性负载，有效消纳建筑自身的光伏和远方风电光电，实现建筑零碳电力运行。

专栏 7 数字技术促进建筑领域碳减排的实例

（1）数字技术助力建筑节能设计施工：某城市新机场的设计中，针对新机场项目特点，通过数字技术进行室外光环境的辅助采光与遮阳的模拟分析、室内照明系统的分析计算；物理风洞实验分析与计算机模拟分析、室内自然通风模拟以及基于建筑物理模型的围护结构热工参数优化分析等，使航站楼更安全、节能和高效。

（2）数字技术提升建筑运行阶段能效：某公司北京园区的分布式能源系统与智能楼宇解决方案，对其办公楼及工厂进行了暖通空调系统的改造，加装了峰值功率为 340kWp 的光伏发电系统。同时，办公楼应用了综合能效提升解决方案，包括制冷、新风系统优化以及照明系统改造等，对楼内整体能耗进行持续性优化，每年可减少碳排放量约 800 吨。另外，园区还应用了数字化光伏资产管理平台，实现光伏发电系统的高效精准运维，园区每年碳排放量减少 211 吨。

（3）“光储直柔”新型建筑：为建筑领域提供可再生能源利用、建筑负荷柔性调节的解决方案，促进可再生能源规模化应用，

激发建筑用户的负荷调节潜力，提高城市能源系统的整体效率和效益。如在深圳市每年 350-400 万平方米新建建筑中应用，直接碳减排量将达到 10 万吨/年，相当于 4 万亩森林的碳汇量，降低深圳市每年碳排放增量的 12-15%，节能减排效益显著。

(五) 数字技术助力碳管理数字化高效化

数字技术能够帮助政府管理部门和企业获取涉“碳”的各种信息，把“碳”管起来，摸清碳家底、规范碳核算，实现碳资产管理和碳排放追踪数字化。通过数字技术提升碳排放数据获取、传递、存储、计算、统计的精准性、便捷性、安全性、可信性和高效性，助力碳排放核算的实时化、精准化和自动化，促进碳市场碳金融高效运转。

数字技术助力政府部门提升碳管理效率和数据质量。对于各级政府主管部门，通过建立综合性的碳管理大数据平台，运用大数据、云计算等手段，实时采集监测跟踪区域能源供给侧、消费侧数据，实时分析区域碳排放情况，监测跟踪区域碳达峰、碳中和进度，采用虚拟现实技术对复杂经济社会事务变化发展进行多维动态模拟研判，动态演绎碳达峰、碳中和路径，提高政府对碳减排的管理、监督和预测预警等决策应对能力，为区域双碳目标实现提供有力支撑。对于应对气候变化常态化工作，例如企业能耗和碳排放数据报送、碳排放配额分配、温室气体清单编制等工作，也可以通过大数据平台理顺各业务间的数据关联关系，构建“一源多用”的数据体系，打通各业务之间的数据流，并通过构建多维数据分析模型，实现区域

碳数据分析与可视化呈现,实现应对气候变化工作智慧化、高效化、便捷化和精准化。

数字技术帮助企业建立高效可信的碳资产管理体系。对于各类企业,尤其是重点用能单位,搭建数字化能耗在线监测系统或能源管理中心,可以实现企业生产全过程和经营管理全范围能耗和碳排放、产品碳足迹数字化管理,有针对性地对高碳排放环节进行节能减排改进。基于碳数据治理的架构,环境管理生命周期评价、碳达峰碳中和的业务场景的生成与工业互联网平台 IaaS、PaaS、SaaS 结构是一致的,均需要从现场层获取静态和动态数据,通过数据治理后,在数据层汇集、存储和可视化,并通过数据分析和应用需求导入,形成以“碳数据”为核心的工业互联网模式下的 SaaS 服务应用。通过建立数据模型,从运行成本、环保效益、能源效率等多维度给出企业运行方式优化和决策建议,为企业管理碳资产、优化碳交易策略、开展节能减排提供信息化支撑,整体提升绿色竞争力。全数字化的管理方式将显著减少在数据存储分析过程中出现人为错误的可能性,大大提升碳排放管理的安全性、可靠性以及评估审核的效率,帮助企业建立高效可信的碳资产管理体系。

数字技术赋能碳市场碳金融高效运转。在碳市场方面,未来碳市场具有多主体、多模式和多规则的特点,对碳市场交易透明性、实时性和数据安全性都提出了需求与挑战。结合区块链的“去中心化、透明安全、不可篡改、信息可溯”的技术特征,可以为我国碳市场建设提供具体实施手段,实现碳市场的安全可信交易与高效结算,完善碳交易流程和自动化业务处理。**在碳金融方面,**数字技术

与碳金融深度融合,利用大数据、人工智能等先进技术在客户筛选、投资决策、交易定价、投/贷后管理、信息披露、投资者教育等方面提供更多支持。在碳汇方面,对于已经排放的二氧化碳,需要借助农林湖草等自然资源吸收碳排放完成碳中和,对土壤、作物、森林等环境要素进行数字化采集、存储和分析,已成为数字技术在碳汇方面的一大应用。

四、信息通信业自身能耗与绿色低碳发展

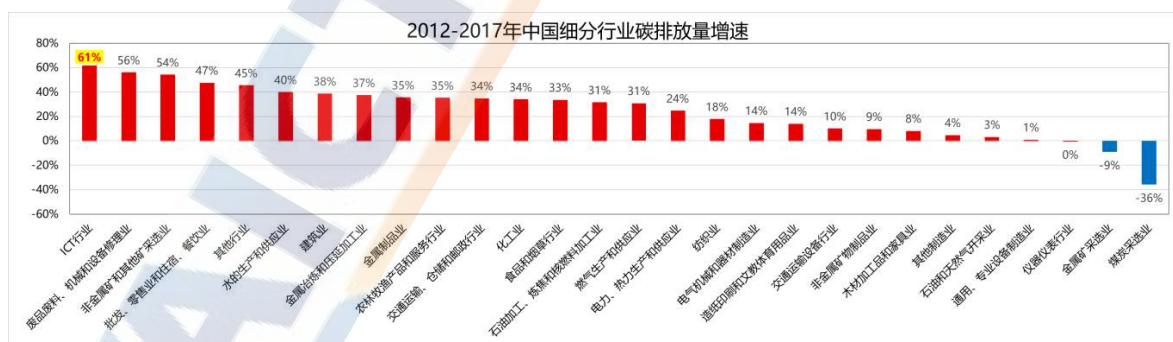
近年来,我国信息通信业发展迅速,逐渐成为国民经济发展的战略性支柱产业。数字技术对碳中和具有积极作用,但数字化转型的加速会驱动信息通信业能源需求和碳排放的增长,其中数据中心和 5G 基站较快的能耗增长,越来越引起社会关注。碳达峰、碳中和目标下,信息通信业自身的能耗问题不容忽视,迫切需要走绿色低碳发展之路,实现节能降耗与数字经济的协同发展。

(一) 碳排放总量小增速快,存在结构性差异

一是我国 ICT 产业规模增长快,相比于其他经济部门,碳排放总量规模相对较小。据全球电子可持续发展倡议组织 (GeSI)《SMARTer 2030 报告》研究,2020 年全球 ICT 产业碳排放约占全球碳排放的 2.3%,到 2030 年占比将降至 1.97%。根据我国国家统计局能源数据和投入产出表数据,采用 IPCC 清单分析法估算 ICT 行业的碳排放,2012 年中国 ICT 产业碳排放量约为 8225 万吨,仅占全国碳排放总量的 1.18%;2017 年中国 ICT 产业碳排放总量约为 13761 万吨,占全国碳排放总量的 1.48%。总体而言,与其他经济

部门如钢铁、电力和交通运输业相比，ICT 产业自身碳排放量相对较低，短期内将保持这一趋势。

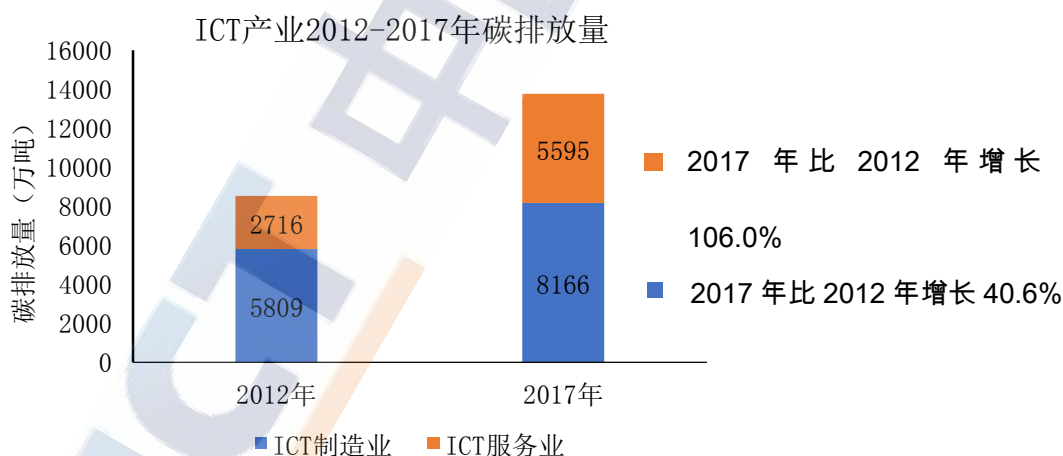
二是我国 ICT 产业碳排放规模增长快，增长趋势仍将保持一定时间，中长期呈下降趋势。2012-2017 年中国细分行业碳排放量增速见图 10，传统制造业的碳排放增速比较缓慢，尤其是金属矿采选产业和煤炭矿采选产业碳排放量呈下降趋势，但 ICT 产业碳排放总量涨幅为 61%，其涨幅为所有经济部门之最。数字化转型、算力需求的增长以及数字技术的发展与 ICT 产业的碳排放快速增长有密切关系。数据中心和基站等信息基础设施，其消耗的电能本质来自经济社会运行、千行百业发展所必需的数字化业务系统，为其分担了部分碳排放责任。随着 ICT 产业对社会经济发展的支持力度逐步加大，ICT 产业碳排放快速增长趋势短期内将延续。但随着 ICT 产业自身节能降碳技术进步以及我国能源结构调整优化、非化石能源消费比重提高，ICT 产业碳排放中长期将呈下降趋势。



来源：2012、2017 年中国能源统计年鉴

图 10 2012-2017 年中国细分行业碳排放量增速

三是 ICT 产业碳排放结构性差异。ICT 制造业碳排放量占比高，ICT 服务业碳排放增速更快。近年来，我国 ICT 产业加快向增加值较高的服务业转型升级，有力地拉动了 ICT 产业整体发展。但这一特点也导致了 ICT 服务业直接和间接碳排放快速增加。根据估算结果，2017 年 ICT 制造业碳排放量约为 8166 万吨，占 ICT 产业碳排放总量的 59%，与 2012 年相比 ICT 制造业碳排放量增长了 40.6%；2017 年 ICT 服务业碳排放量约为 5595 万吨，占 ICT 产业碳排放总量的 41%，与 2012 年相比 ICT 服务业碳排放量涨幅高达 106.0%，增长幅度远超 ICT 制造业（图 11）。ICT 服务业的碳排放量在 2012 至 2017 年期间增加了近一倍，占 ICT 行业碳排放比重也在上升，这说明 ICT 服务业碳排放与行业快速发展相吻合。



来源：2012、2017 年中国能源统计年鉴

图 11 2012 和 2017 年中国 ICT 产业碳排放量

（二）数字基建重点用能领域节能降碳提速

一是数据中心节能降耗技术加快推进。数据中心是算力基础设

施的代表，在“新基建”的推动下，数据中心越来越引起社会广泛关注。近5年来，我国在用数据中心机架规模持续增长，年均增速超过30%。截至2020年底，我国在用数据中心机架总规模约400万架。数据中心建设布局由北京、上海、广州、深圳一线城市集聚转变为京津冀、长三角、粤港澳等聚集区协同发展，中西部地区稳步推进的新格局。在节能减排方面，2020年我国数据中心年均运行PUE中位数为1.555，较上一年降低0.105。根据中国信通院测算，2020年我国数据中心的用电量占全社会用电量在1%以下。数据中心企业普遍通过定制化、人工智能调度及新型冷却技术应用等，提升数据中心能效。在绿色能源使用方面，部分优秀绿色数据中心案例已全球领先，获得了开放数据中心委员会及绿色网格标准推进委员会的5A等级评价。

二是共建共享助力基站节能减排。2019年第五代移动通信技术（5G）商用后，我国加速建设5G基站，2020年我国移动通信基站总数931万个，其中4G基站575万个，5G基站71.8万个，我国5G基站约占全球70%。为了实现更高的数据传输速度和传输量，5G基站使用了大带宽和大规模天线技术。从能源消耗量看，5G基站的能耗比4G基站高，但是从能源使用效率看，5G基站远超4G基站。下一阶段基站密度逐渐饱和，基站建设速度将放缓。在节能减排方面，工信部、国资委连续多年出台有关电信基础设施共建共享的实施意见，开展考核工作，促进节能减排。中国联通与中国电信提出共建共享同一个无线网络的探索，两家公司共享5G频率资源，合建5G接入网，相比两家公司单独建设而言，5G基站的总数

预计可以减少 20%-30%，每家公司可节省投资 2000 亿元（数据来源：《信息产业可提前实现碳中和，并服务全社会节能减排》，邬贺铨，2021 年 4 月）。基站总数的减少可以相应地减少基站能耗。

（三）多方发力推动信息通信产业绿色发展

“十三五”期间，在政策标准方面，工信部印发了《关于加强“十三五”信息通信业节能减排工作的指导意见》（2017 年），引导和推进十三五期间信息通信业节能减排工作；组织编制发布了《移动通信基站工程节能技术标准》（GB/T 51216）等国家标准，推进通信建设节能的规范化和标准化。在网络升级演进方面，大力发展光纤固定宽带接入、4G/5G 移动宽带等业务，持续推动基站机房、管道线路、住宅小区等重点场景电信基础设施共建共享，推进行业结构性节能减排。在设备淘汰和新技术推广方面，工信部发布了《高耗能老旧通信设备淘汰指导目录》、《通信行业节能技术指导目录》持续推进现网老旧高耗能设备淘汰及先进节能技术使用。

“十四五”开局以来，2021 年 2 月国务院发布了《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》，推动绿色低碳循环发展：提出要“加快信息服务业绿色转型，做好大中型数据中心、网络机房绿色建设和改造，建立绿色运营维护体系”。“十四五”规划和“2035 年远景目标纲要”提出打造智能绿色现代化基础设施体系：明确指出要“统筹推进传统基础设施和新型基础设施建设，打造系统完备、高效实用、智能绿色、安全可靠的现代化基础设施体系。围绕数字转型、智能升级、绿色发展，建设高速泛在、天地一

体、集成互联、安全高效的信息基础设施”。**碳达峰、碳中和“1+N”政策体系推动信息化基础设施能效提升**：《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》（以下简称《意见》），作为碳达峰、碳中和“1+N”政策体系中的“1”，提出要“提升数据中心、新型通信等信息化基础设施能效水平”。《关于印发2030年前碳达峰行动方案的通知》（以下简称《方案》），作为“1+N”政策体系“N”中的“1”，在“节能降碳增效行动”提出“加强新型基础设施节能降碳”，进一步深化和落实《意见》中的任务和目标。2021年7月工信部印发了《新型数据中心发展三年行动计划（2021-2023年）》提出数据中心绿色低碳发展专项行动，提出了绿色低碳发展行动等六个专项行动。2021年12月工信部印发了《国家通信业节能技术产品推荐目录（2021）》推动通信业节能和能效提升，助力碳达峰、碳中和目标实现。

在行业层面，中国通信标准化协会加强绿色标准供给，进一步完善了“十四五”信息通信业绿色低碳发展标准体系，组织制定了信息通信业碳达峰碳中和标准体系，以标准为引领，满足行业技术进步和绿色低碳发展的需要。在企业层面，三大运营商均已发布各自碳达峰、碳中和行动计划，明确了“十四五”节能降碳工作目标。中国移动目标是到“十四五”期末，单位电信业务总量综合能耗、单位电信业务总量碳排放下降率均不低于20%，中国电信目标是23%。中国移动还提出了到“十四五”期末，助力经济社会减排量较“十三五”翻一番、超过16亿吨。中国电信提出新建数据中心PUE低于1.3。众多互联网和ICT制造企业已发布碳减排、碳中和

计划并采取相应的行动。具体包括在数据中心能效提升、科技赋能千行百业碳减排、数字基建助推平台企业数字化转型升级；引领绿色低碳生活构建全生命周期绿色消费场景；可再生能源应用与回收利用等方面积极采取行动。

五、数字技术助力碳减排推进策略和建议

为落实党中央关于碳达峰、碳中和重大战略决策，信息通信行业应充分发挥数字化赋能重要作用，以数字化引领和支撑经济社会绿色低碳发展，大力发展绿色数字融合新技术，积极培育绿色数字产业新生态，助力各行业顺利实现碳达峰、碳中和目标。建议综合运用标准、数据、人才、资金、试点等一揽子政策工具，引导更多企业利用数字技术实现碳达峰、碳中和，同时积极开展相关领域国际合作，拓展我国数字碳中和的国际发展空间，获取战略竞争优势。另一方面，信息通信业也要提高自身的节能和能效水平，加快推动数据中心、5G 等信息基础设施节能和绿色化改造。

（一）构建关键要素支撑体系

行业利用数字技术助力碳达峰碳中和的效果，高度依赖于标准体系、数据资源、技术能力及智力建设等各类要素质量和水平，要更好地发挥数字技术对行业减碳的赋能作用，亟需从政策制度等方面着手，强化关键要素保障，夯实数字技术与碳排放领域深度融合的基础。

加快行业标准构建和推广。标准是推进行业利用数字技术助力碳减排的重要工具，但当前相关领域仍面临标准体系不完善、标准

推广应用不足等问题，亟需加快推进数字减碳标准化水平，为碳资产数字化管理、行业绿色化改造等提供支持。**第一，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，绘制现有标准的图谱，补充数字碳中和行业标准，完善数字碳中和标准体系建设。**第二，强化标准宣传推广。**可以依托一系列数字化、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，以便更好发挥标准引领作用。鼓励龙头企业将标准纳入其绿色供应链管理，利用其产业链带动效应推进对标达标。

推动碳排放数据收集、传递和开发利用。数据资源是推进行业进行数字化碳减排的驱动力量和关键要素，当前各行业开展碳排放数据管理水平参差不齐，有必要建立完善的碳排放数据管理体系，更好发挥数据助力行业减碳的资源价值。**第一，鼓励企业碳排放数据收集和管理。**鼓励各领域龙头企业建立“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”。**第二，推动碳排放数据通过供应链传递。**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。**第三，提供大数据开发工具。**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。随着数字技术与各领域深度融合，其在碳监测、碳减排等方面的作用逐步释放，对人

才也提出更高要求，需要在人才培育上投入更多资源、调动更多主体，强化人才体系构建。**第一，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。**第二，激励企业参与培训。**企业在利用数字技术开展碳管理、提升能源利用水平等方面积累了大量经验，可以积极鼓励企业提供一些碳排放管理、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，促进产业链发展与人才培育的衔接。

(二) 强化数字赋能技术供给

碳达峰碳中和目标的提出，使各行业将降低碳排放水平作为绿色化改造的重要内容，已有数字化技术已不足以满足行业进行精准碳排放管理、更低碳排放水平的绿色生产等发展需求，亟需加强基础、前沿和适用技术开发，提升数字管碳、减碳创新能力支持。

加强基础研究和前沿技术布局。**第一，加强自主创新，夯实数字产业基础能力。**突破芯片、操作系统、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。以新型智能终端、智能网联汽车、电力电子等需求为导向，大力发展核心基础元器件。保障数字技术产业供应链的战略安全，为实现深度减排提供技术支撑。**第二，着眼前沿领域，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、智能化、网络化和低碳化发展。

加快先进适用技术开发及应用。第一，强化关键技术开发。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。

第二，鼓励重大技术示范应用。面向智慧能源、绿色建筑、智慧交通、智能制造等领域，开展数字管碳、减碳示范应用，应当加快传统产业数字化、智能化、网络化和低碳化发展，以更好地促进各领域数字化减碳。

(三) 建设绿色信息基础设施

数据中心、通信基站和通信网络等信息基础设施的碳排放是社会关注重点。随着我国数字化需求不断提升，信息基础设施建设带来的碳排放量将呈上升趋势。因此，未来应加大信息基础设施绿色化转型力度，特别是应重点加强数据中心、通信基站的节能减排，助力行业 and 全社会实现碳达峰、碳中和。

加快建设绿色低碳的新型数据中心。第一，推动数据中心绿色集约布局。发挥政府引导作用，加强对大型以上数据中心的能耗指标、土地等扶持政策引导，鼓励企业集约建设数据中心。鼓励企业

向气候适宜、可再生能源富集地区部署数据中心。**第二，加强绿色能源供给和使用。**鼓励各地推动数据中心企业参与电力市场化交易，加大绿电供给。加强可再生能源电力系统与数据中心布局协同，探索打造“分布式可再生能源+数据中心”试点示范项目。鼓励数据中心通过可再生能源专线供电、开展可再生能源电力交易或可再生能源绿色电力证书交易等方式提高可再生能源利用比例。**第三，加快绿色低碳技术研发应用。**依托行业标准化组织、科研院所、龙头企业等单位，加快数据中心绿色低碳技术研发攻关。推动企业加快液冷、自然冷却、高压直流、余热回收等节能技术应用，降低数据中心设施层能耗。加快数据中心 IT 设备节能等级、碳等级标准制定，支持第三方机构开展数据中心绿色低碳等级评估。

促进基站节能降碳与可再生能源供给。第一，推动基站节能技术研发应用。促进基站主设备节能技术应用，采用新设计、新材料、新工艺等硬件节能技术，重点推动利用氮化镓等材料技术提升功放效率，降低芯片能耗。适时在全网推广无线网络亚帧关断、通道关断、浅层休眠、深度休眠等软件节能技术。支持基站机房设备冷板式液冷和浸没式液冷技术研发，提升室外设备自然冷却技术应用水平。促进基站供电节能技术应用，推广室外型小型化电源系统。**第二，强化基站智能化管理。**扩大数字化智能电源系统在基站新建和存量站址改造中的应用。推广基站智慧节能监测系统，实现节能扇区的最大化发现、最佳节能时段推荐、最适合的设备节能功能推荐。推广空调节能管控技术，精准控制空调启停。**第三，加大基站可再生能源供给。**持续推进风能、太阳能等可再生能源技术在基站中的

应用。推动风光电互补系统建设，最大化利用风能和太阳能资源。依托基站建设具有分布式电源、储能等功能的智慧微网。

(四) 开展数字管碳降碳示范

对于数字化助力碳减排，应高度重视试点示范的积极效应，推进数字赋能碳减排先行先试，降低数字技术助力碳达峰碳中和方向的新模式、新技术、新应用等的推广风险，总结先进做法和经验并积极宣传推广，助力数字减碳在各行业的加速部署和演进升级。

加强示范引领。面向重点领域开展一系列试点应用，厘清各行业利用数字技术开展碳达峰碳中和的着力点和典型应用场景，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。**第一，强化顶层设计。**可以采用“自上而下”的开展方式，相关部门探索发布利用数字技术促进碳达峰碳中和的试点示范的顶层设计，明确领域方向、工作任务、遴选要求等内容。**第二，开展项目遴选。**鼓励重点领域开展数字技术促进碳达峰碳中和最佳实践项目试点，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。**第三，完善政策支持，**合理推动试点项目与其他重点工程、科技规划的衔接，有条件的地方政府也可以对试点项目给予土地、资金、用电等政策支持，降低推行阻力。

加强经验总结。开展数字技术助力碳达峰碳中和试点的最终目的是发挥先行官、探路者作用，摸索出一系列具有示范效应和普适推广价值的碳数据摸底、碳排放情景预测、碳减排应用等新技术、新应用、新模式，以点带面的大范围推广，具体可在以下方面着手。

第一，组织实施上，推动政府部门会同行业协会、龙头企业等定期对试点推进情况进行总结，提炼先进经验和做法。开展试点评估，诊断当前数字减碳推进的问题和瓶颈，为后续针对性地优化政策提供参考和依据。**第二，经验宣传上**，可依托数字中国、碳达峰碳中和、绿色经济等相关主题的大会、峰会、论坛等，开展数字技术促进各行业碳减排经验宣讲，向企业、地方宣传入选试点的赋能路径、赋能效果等。或者发布数字化促进碳达峰碳中和试点的案例集，分享企业利用数字技术节能减碳的新技术、新应用、新模式。

(五) 加大财税金融扶持力度

数字技术对促进碳达峰碳中和具有重要作用，但企业往往由于改造成本高、资金回收周期长、经济效益不显著等原因缺乏推进数字化绿色化的动力，应当完善相关政策措施，增加财税金融资源对数字减碳方向的投放，降低数字技术推广成本，分担数字化改造风险，引导企业将数字化作为推进绿色低碳转型的重要路径。

推动更多财政资源向数字化减碳方向倾斜。财政政策是宏观调控的重要手段，应当充分利用科技专项、公私合作等政策工具，助推数字技术赋能碳中和创新产品和服务的开发应用。**第一，加强科技专项引导**，如通过研发补助、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。**第二，鼓励开展公私合作**，如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。

第三，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。党中央一直强调金融服务要“回归本源”，重回服务实体经济的轨道，绿色发展无疑为金融资本提供了投资新赛道，同时良好的金融引导也将为各领域利用数字技术开展低碳转型引来更多资金活水，具体可从以下方面着手。**第一，引导基金投资方向**，可以鼓励现有绿色基金、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。**第二，加大信贷资源倾斜**，可采用定向降准、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化转型的长期资金支持。**第三，鼓励金融服务创新**，如基于企业碳监测、碳管理数据提供个性化、精准化金融产品，支持企业利用数字技术开展碳足迹追踪和碳排放优化。

完善碳定价机制对数字技术助力碳减排的政策。我国可以在全国碳交易市场建设和运行、未来碳税政策完善等方面充分释放大数据、人工智能等的科学决策作用，同时将碳价机制作为引导企业进行绿色低碳转型的有效措施和手段。**第一，充分利用全国碳交易市场**，今年7月，全国碳排放权交易市场正式上线交易，该平台本身利用数字技术支撑线上交易运行，未来可以通过开发拍卖模型，模

拟交易过程，助力交易主体选择最优拍卖方案等。未来电力、钢铁、水泥等行业陆续被纳入全国碳排放交易市场，也有助于各行业利用数字技术赋能碳减排。**第二，推进碳税机制构建及实施**，一方面可以开展碳税政策模型构建及模拟仿真，分析预测不同碳税政策对各类产业部门的影响和碳减排效果，筛选最佳碳税方案。另一方面适当时机推出碳税政策，能够有效促进微观主体推进数字化绿色化改造。

（六）深化数字赋能国际合作

全球应对气候变化为我国数字化、绿色化提供了国际发展空间，未来有必要积极发挥数字经济的独特优势，以行业脱碳为突破口，深入开展数字减碳技术、标准、投融资等方面的合作，提高数字减碳企业、技术、服务等国际市场竞争力，共同抢抓绿色发展先机，助力全球气候治理体系构建。

布局数字减碳技术、标准等国际合作。数字技术在各领域深度融合，深刻改变了经济社会运行方式，但在绿色减碳方面的潜力还远远没有挖掘出来，部分企业基于行业碳排放相关场景开发了一些碳管理系统、能耗监测与优化解决方案等，但仍面临关键技术不成熟、标准不完善、工具缺失等问题，有必要加强国际合作，整合各国在数字减碳方面的优势力量，强化在数字减碳技术创新、标准制定等各方面合作交流。**第一，支持 ICT 促进行业减碳国际创新合作**，比如可以将其纳入国际科学技术合作联合实验室、合作项目等，激励我国 ICT 企业、各高耗能行业龙头企业等参与 ICT 促进行业减碳

的国际技术创新合作。**第二，推动 ICT 促进碳中和相关标准国际化**，要支持高耗能领域的领军企业参与和主导数字减碳方向国际标准制定，及推进我国相关标准与国际接轨，提高我国国际话语权。

推动数字减碳技术、项目“走出去”。当前我国电力、钢铁、交通等行业利用数字技术推进行业减碳方面开展了大量实践，在全球加强气候治理的当下，应抓住世界经济低碳转型带来的市场机会，推动我国数字减碳技术、项目“走出去”，向国际释放中国数字减碳发展动能。**第一，加强国际宣传推广**。要在国际场合加强对我国利用数字技术赋能行业减碳的成功经验和优质案例的宣传推广，让中国在全球气候治理的舞台发挥更大作用。**第二，挖掘国际数字减碳市场需求**。要强调合作共赢理念，可以鼓励企业采用技术合作、境外投资、项目承包、解决方案出口等方式，与日、韩等周边国家、欧洲国家及“一带一路”开展数字减碳技术、项目合作。**第三，健全配套服务**。要加强企业、金融机构、地方政府、行业协会等资源对接机制，如通过提供资金、信息、政策咨询等服务，为优质的数字减碳企业和项目“走出去”铺路架桥。

附件一：信息通信业与各部门碳排放关联关系

将整个国民经济产业部门分为农业、工业、电力生产和供应、水的生产和供应、建筑业、交通运输业、ICT 产业和服务业等部门。运用产业关联效应模型，估算 ICT 产业对国民经济其他部门碳减排的量化影响。国民经济行业碳排放强度 S 和碳排放单位需求矩阵 T 如下：

$$S_i = \frac{\sum_{k=1}^n E_k \times \beta_k}{X_i}$$

E_k ：第 k 种化石能源的消耗量；

β_k ：第 k 种化石能源的碳排放系数；

i ：第 i 个国民经济行业；

X_i ：第 i 个国民经济部门的总产出。

碳排放单位需求矩阵 T 的计算公式：

$$T = S \times B$$

T ：碳排放单位需求矩阵；

B ：列昂惕夫逆矩阵。

ICT 产业赋能国民经济部门行业碳减排估算公式：

$$IF = \sum_i t_{ij} \quad (i = \text{ICT 产业}, j = 1, 2, \dots, n)$$

t_{ij} ：碳排放单位需求矩阵中，第 i 国民经济部门每万元的投入，能够关联第 j 国民经济部门的碳排放。

IF ：ICT 行业通过赋能拉动各国民经济部门碳减排。

从宏观来看，根据 2012 和 2017 年投入产出表数据，对于不同经济部门，ICT 产业通过技术投入带动国民经济各部门减排强度和

总量都在不断的增加。2017 年相比 2012 年，ICT 产业赋能服务业减排总量增加了 100%，赋能交通运输业减排总量增加了 97%，赋能建筑减排总量增加了 42%，赋能工业减排总量增加了 26%，赋能电力减排总量增加了 19%。

附件二：数字技术赋能各行业碳减排量值测算

通过搭建数字技术赋能各行业碳减排的计算模型，自下而上对各行业碳排放结构及数字技术赋能减碳环节进行分析量化，依据不同行业内各环节的能耗及碳排放结构，分析研究数字技术赋能行业内各环节的减碳成效及占比，结合各行业整体碳排放情况综合分析数字技术赋能重点行业碳减排效果。伴随各行业数字化智能化发展进程，至 2030 年，各行业数字化水平不断提升，结合各行业在全社会碳排放总量中的占比和企业优秀典型案例，数字技术赋能全社会总体减排约 12%~22%，赋能不同行业碳减排约 10~40%。具体计算过程如下：



来源：中国信息通信研究院

图 12 数字技术赋能碳减排量值计算

工业：对工业各环节碳排放结构进行分析量化，数字技术主要从降低生产及制造设备能耗、改善工艺流程、工业原料及废料的再利用、工业能源综合管理等方面赋能工业节能减排，结合各部分数

字技术赋能成效与各部分的总体占比，数字技术赋能工业减碳比例大致为 13%~22%。

建筑业：对建筑业各环节碳排放结构进行分析量化，数字技术主要从采暖系统节能减碳、空调系统节能减碳、照明系统节能减碳、热水系统节能减碳等方面赋能建筑业节能减排，结合各部分数字技术赋能成效与各部分的总体占比，数字技术赋能建筑业减碳比例大致为 23%~40%。

交通业：对交通业各环节碳排放结构进行分析量化，数字技术可通过工具智能化、公共出行、路网运行等方面减排，综合可赋能交通业减排 10%~33%。

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：010-68094556

传真：010-62304980

网址：www.caict.ac.cn

