



# 数智碳中和

以数智技术助力关键相关方实现碳达峰碳中和



# 作者与鸣谢

## 作者

落基山研究所: 李婷, 刘琦宇, 刘雨菁, 刘子屹, 姚远, 周勤, 邹乐乐

中国科学院科技战略咨询研究院: 刘昌新, 朱永彬

百度智能云: 韩庆, 姜峥超, 李卓, 吴国强, 杨芳芳, 姚炳雄, 詹颖

\*作者姓名按姓氏字母顺序排列。

## 其他作者

百度智能云: 匡晓烜, 马宁, 张文强, 林若森, 尹朝晖, 郭婷婷, 江春生

## 联系方式

李卓, lizhuo07@baidu.com

邹乐乐, lzou@rmi.org

## 版权与引用

落基山研究所&百度智能云, 数智碳中和——以数智技术助力关键相关方实现碳达峰碳中和,  
2022年1月, 北京

除特别注明, 所有图片均来自istock

# 关于我们

## 百度智能云



百度智能云是基于百度多年技术沉淀打造的智能云计算品牌，以“云计算为基础，人工智能为引擎，赋能千行百业”为战略，形成“云智一体”的独特竞争优势。百度智能云率先在业内打造AI原生云计算架构，“适合跑AI的云”助力企业快速“上云”并实现智能化，同时向各行各业输出百度大脑的领先技术，“懂场景的AI”使企业可以便捷高效的接入AI能力。百度智能云在智能制造、智慧金融、智慧能源、智慧城市、智慧医疗等领域拥有领先产品、技术和解决方案。百度智能云AI Cloud 连续五次在中国排名第一，工业质检市场第一，稳居中国公有云四朵云之一。

## 落基山研究所(RMI)



落基山研究所是一家于1982年创立的专业、独立、以市场为导向的智库。我们与政府部门、企业、科研机构及创业者协作，推动全球能源变革，以创造清洁、安全、繁荣的低碳未来。落基山研究所致力于借助经济可行的市场化手段，加速能效提升，推动可再生能源取代化石燃料的能源结构转变。落基山研究所在北京、美国科罗拉多州巴索尔特和博尔德、纽约市及华盛顿特区设有办事处。

# 目录

## 1 前言

## 2 数智技术助力碳中和

- 3 碳达峰碳中和, 既是艰巨挑战, 也是巨大机遇
- 6 科技创新是实现碳达峰碳中和的核心驱动
- 7 数智技术是实现碳中和目标的助推器

## 9 数智技术赋能相关方实现碳中和

- 12 政府监管部门
- 13 能源生产企业
- 16 能源输送企业
- 18 能源消费用户
- 23 金融投资机构

## 26 数智技术在碳中和目标下的创新实践

- 27 北京海淀“城市大脑”
- 28 安特卫普数字孪生城市
- 29 大唐集团工业大数据平台
- 30 国家电网人工智能中台
- 32 双汇物流智能调度
- 33 美欣达智慧能源管理
- 34 某机场集团智能调度
- 35 某水务集团智能调压
- 36 贝莱德气候风险评级体系

## 38 数智碳中和愿景展望

## 40 参考文献

# 前言

2020年9月，中国领导人提出了最新的应对气候变化和能源转型目标，即2030年前碳达峰、2060年前碳中和。其中，碳中和作为一个长期战略目标首次纳入中国的政策框架，并迅速成为中国核心战略目标之一。2021年，在“十四五”开局之年和第一个“百年”之际，碳达峰、碳中和目标成为指引经济社会发展的重要指示牌，中国正式迈入“碳中和元年”。作为最大的发展中国家，作为全球清洁能源的最大投资国和最多装机地，作为全球经济的引擎和扎实行动的典范，中国提出“碳中和”，加速了各国的跟进与响应，也使得2021年成为真正意义上的全球“碳中和元年”。中国的行动与全球政策、行动和动力相互呼应，成为应对气候变化和推动能源转型的全球领导者。

中国政府在2020年正式布局的“两建”，即新型基础设施建设和新型城镇化建设，提出了七大领域特别是典型新基建如5G网络、人工智能、物联网软硬件、数据中心与光纤网络等支持数字经济的基础设施。2021年，数字经济和智慧化进一步成为复苏与发展的内在引擎，数字化转型已经成为国家战略。“十四五”规划明确提出“迎接数字时代，激活数据要素潜能，推进网络强国建设”。10月，中共中央政治局就推动我国数字经济健康发展进行的第三十四次集体学习上，习近平主席强调，要积极参与数字经济国际合作，主动参与国际组织数字经济议题谈判，开展多边数字治理合作，维护和完善多边数字经济治理机制，及时提出中国方案，发出中国声音。中国的高质量发展正

呈现以智慧化和数字经济为重要支撑的特征。

数字经济和智慧化与碳达峰、碳中和所指向的智慧、高效、高质量、低排放目标高度一致。以创新引领的清洁能源革命、信息技术与数字经济将在未来10年到20年共同推动新一轮经济繁荣，这将成为各国发展战略的重心，也是中国迈向第二个百年目标的重要驱动力。面对经济社会百年未有之变局和新时代的机遇与挑战，如何推动低碳和零碳能源技术与数智技术不断实现双重突破并进一步紧密结合，如何依托实践和创新使得数智技术在各个领域成为碳达峰、碳中和的助推器，本报告进行了有益的探索和尝试。报告融合了百度智能云“云智一体”加速产业零碳转型的创新实践，以及RMI对双碳领域的深刻洞察，共同对数智技术如何助力相关方实现零碳转型进行系统的阐述，并通过精选案例与场景重塑，紧扣能源转型这一主题，深入探讨了不同相关方在这一变革中的重要定位与作用。

碳达峰、碳中和的实现将带来广泛而深刻的经济社会变革与生产消费各环节质的飞跃，各个领域、各类相关方都将置身变革，既深入参与，也将被这场变革所重构。报告宗旨之一是立足实践、展望未来，力促更大范围的协同创新，积极促进各类主体和资源集聚，共同推动数智技术与行业实践结合，为产业转型升级、能源系统革命、构建绿色生产生活方式开辟新的路径，确保中国“碳达峰、碳中和”与百年大计的实现。

# 第一章

数智技术  
助力碳中和

工业革命以来，全球经济持续发展带动能源需求强劲增长。在能源结构未发生根本性改变的情况下，人类活动产生的温室气体排放日益增多，由此带来的气候变化问题日益引起国际社会普遍担忧，各国纷纷提出向低碳社会转型的愿景目标。截至2021年7月30日，全球约70个国家作出了在本世纪中叶实现“碳中和”目标的承诺，围绕气候变化的国际合作也在不断深化。

中国历来重视生态文明建设，积极实施可持续发展战略。在应对气候变化领域，中国先后提出了一系列具有远见的目标、政策与行动。2015年，中国向《联合国气候变化框架公约》秘书处提交了中国国家自主贡献目标，提出2030年左右碳排放达峰等一系列远景目标；2020年9月22日，中国在第75届联合国大会上进一步做出承诺，提出“碳排放力争于2030年前达到峰值，努力争取2060年前实现碳中和”。

2021年10月，中共中央国务院先后印发《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》。作为碳达峰碳中和“1+N”政策体系中最为核心的内容，两份文件进一步明确了中国

实现碳达峰的总体目标，部署了碳达峰的重大举措和实施路径，对于统一全党认识和意志，汇聚全党全国力量实现碳达峰碳中和这一艰巨任务具有重大意义。

## 1.1 碳达峰碳中和，既是艰巨挑战，也是巨大机遇

**中国碳达峰、碳中和目标的提出，将加速全社会绿色转型，新的发展模式将带来前所未有的机遇。**

**多元清洁的能源转型目标带动可再生能源和新型电力系统快速发展。**碳中和目标将倒逼能源供应由高碳主导向多元清洁的综合能源体系转型，带动能源体系发生系统性改革。在能源生产环节，可再生能源将迎来重要的发展机遇，太阳能、风能、生物质等可再生能源发电将基本取代化石能源发电，新型储能技术将逐步取代化石能源发电技术为电力系统提供灵活的调度能力。在能源输送环节，以特高压电网为骨干网架的智能电网将成为大规模消纳清洁能源电力、实现多能互补和优化配置的重要载体。在能源消费环节，终端能源使用将全面步入电气化阶段，形成以电为中心的能源消费格局，能源效率也将随之大幅提高。

## 中国2030年前碳达峰主要目标

“十四五”期间，产业结构和能源结构调整优化取得明显进展，重点行业能源利用效率大幅提升，煤炭消费增长得到严格控制，新型电力系统加快构建，绿色低碳技术研发和推广应用取得新进展，绿色生产生活方式得到普遍推行，有利于绿色低碳循环发展的政策体系进一步完善。**到2025年，非化石能源消费比重达到20%左右，单位国内生产总值能源消耗比2020年下降13.5%，单位国内生产总值二氧化碳排放比2020年下降18%，为实现碳达峰奠定坚实基础。**

“十五五”期间，产业结构调整取得重大进展，清洁低碳安全高效的能源体系初步建立，重点领域低碳发展模式基本形成，重点耗能行业能源利用效率达到国际先进水平，非化石能源消费比重进一步提高，煤炭消费逐步减少，绿色低碳技术取得关键突破，绿色生活方式成为公众自觉选择，绿色低碳循环发展政策体系基本健全。**到2030年，非化石能源消费比重达到25%左右，单位国内生产总值二氧化碳排放比2005年下降65%以上，顺利实现2030年前碳达峰目标。**

**产业转型升级驱动战略性新兴产业和低碳环保产业快速发展。**在碳中和目标的约束下，高耗能产业发展空间将进一步压缩，中国经济增长将从资源依赖向创新驱动模式转变。新一代信息技术、生物技术、新能源、新材料、高端装备、新能源汽车、绿色环保以及航空航天、海洋装备等战略性新兴产业将得到加快发展；钢铁、有色金属、石化化工、建材、交通、建筑等高耗能行业需要加快技术改造并进入碳达峰平台期，高耗能高排放项目的上马也将受到严格遏制；产业结构的转型升级将带动社会生活方式和消费模式相应调整，绿色低碳的生产生活方式得到普及。

**数智科技与传统产业的深度融合为碳中和目标实现探索新的道路。**近年来，大数据、人工智能等新一代数字技术与实体经济加速融合，正驱动生产方式和生活方式发生深刻改变，在推进经济社会向低碳化绿色化方向转型中的作用也日益凸显。数字技术和人工智能与传统产业结合，产生智慧能源、智慧农业、智能制造、智慧交通、智慧医疗、智慧城市等新的产业业态，在创造新价值的同时有效整合各种要素资源，实现要素精准投入、生产过程精准控制、供需高效匹配，在节能降耗、提升效率和循环利用等方面都起到关键作用。因此，实现碳达峰、碳中和必须依靠

数智技术和降碳技术的融合创新和渗透应用。

**巨量的绿色投融资需求催生绿色金融产业蓬勃发展。**在碳中和目标的约束下，能源、交通、建筑、工业等行业中的传统高排放产业项目将面临趋紧的政策约束与额外的碳成本，盈利空间压缩导致其金融投资吸引力下降。这些重点领域的去碳化进程需要巨量的资金支持，迫切需要绿色金融的扶持。有研究测算，未来30年中国碳中和将带来138万亿的绿色低碳投资需求，占到同期GDP总量的2.5%<sup>1</sup>。为此，各大金融机构纷纷瞄准绿色金融方向，探索绿色信贷、绿色债券等金融产品创新。加之2021年正式启动的全国碳市场，已经成为全球规模最大的碳市场，也为绿色金融的蓬勃发展提供了空间。

**中国要在未来10年内快速达到排放平台期，并再用30年时间实现碳中和。在创造史无前例的机遇的同时，也势必会对未来经济增长、产业结构、能源系统等带来重大挑战和深远影响。**

**经济持续增长和城镇化进程的推进，给用能结构的根本变革带来挑战。**当前，中国正处于“全面建成小康社会、





图1.1 实现碳达峰、碳中和目标的机遇和挑战



实现第一个百年奋斗目标之后, 乘势而上开启全面建设社会主义现代化国家新征程、向第二个百年奋斗目标进军”的历史时期。为了支撑这一时期经济增长和城镇化的持续推进, 中国的能源消费总量和人均能耗都将大幅增长。目前, 中国人均能耗仅为美国的29%、日本的47%、德国的54%。实现碳达峰与碳中和, 意味着在保障能源消费总量增长的同时, 要实现能源结构根本性变革, 为实现经济与能源之间的脱钩带来重大挑战<sup>2</sup>。

**能源强度较高, 给产业结构和能源结构的绿色升级带来挑战。**中国的能源强度(单位GDP消耗的能源)近十年来逐步下降, 但2018年仍是世界平均水平的1.5倍(生产了全球15%的GDP, 消耗了全球能耗的23%)。这主要是由于中国目前仍处于工业化阶段, 工业在产业结构中的比重较高、高能耗高排放产业比重过大导致能源强度明显高于发达国家水平。2018年, 中国工业部门碳排放占比28%, 远高于全球的18%排放占比, 单位GDP能耗高达4.2吨标煤/万美元, 约为世界平均水平的1.7倍<sup>3</sup>。终端消费环节电能占比较低也是导致能源强度较高的原因, 中国电能占终端能源比重仅为28%左右, 电气化进程与北欧、美国、德国、日本等发达国家仍然存在差距<sup>4</sup>。实现碳达峰与碳中和, 意味着产业结构和能源利用的全面转型, 为产业转型升级、能效技术改进和终端用能电气化都带来巨大挑战。

**当前能源系统对化石能源的高依赖性, 给绿色转型过程中的能源安全提出挑战。**长期以来, 中国能源资源禀赋的最大特点是“富煤、贫油、少气”, 这种能源禀赋特点可能严重制约减排进程。此外, 中国能源对外依存度不断攀升, 能源安全隐患日益严峻。2020年, 中国原油和天然气对外依存度分别达到73%和41%, 随着中国城市化、工业化进程的不断推进, 将催生更多的油气消费需求, 同时能源进口风险也将持续威胁着中国经济的高质量发展<sup>5</sup>。实现碳达峰、碳中和要在推进能源结构转型的过程中确保能源安全, 任务艰巨且富有挑战。

**可再生能源电力快速增长, 给电力的稳定供应带来挑战。**经过多年发展, 中国形成了多元化的能源供应体系, 有力支撑了经济社会发展。随着可再生新能源技术日益成熟, 过去十年间可再生能源发电成本快速下降。在2010年到2020年十年间, 太阳能光伏发电(PV)、陆上风电场和海上风电场的成本分别下降了85%、45%、48%<sup>6</sup>, 同时清洁能源装机量也在快速增长, 居世界第一。但从一次能源占比来看, 中国清洁能源在一次能源中仅占15.3%, 较国际平均水平低5个百分点<sup>7</sup>。能源系统转型面临巨大沉没成本和新增投资成本。可再生能源波动性大对电网稳定性带来挑战, 管理能源系统的复杂性会大大增加, 对电网灵活性和智能调度带来很大挑战(图1.1)。

## 1.2 科技创新是实现碳达峰碳中和的核心驱动

科技创新是实现碳达峰碳中和的核心驱动。能源部门、工业部门、农业部门、社会部门及居民消费领域，已经涌现了大量的降碳技术，部分实现了能源节约和碳排放量降低。与此同时，信息技术的发展已经进入了数智时代，以云计算、大数据技术、物联网、人工智能等为代表的数智技术的快速演进为社会低碳转型不断开辟新的路径（图1.2）。

降碳技术可分为“低碳技术”、“零碳技术”和“负碳技术”三类，主要涉及电力、交通、建筑、冶金、化工、石化等部门以及可再生能源、煤的清洁高效利用、油气资源和煤层气的勘探开发、二氧化碳捕获与埋存等新技术。低碳技术主要包括减少能源生产、能源消费等环节碳排放的相关技术、如电力行业的煤炭清洁转化高效利用技术、绿色

建筑节能技术、交通领域新能源汽车技术、以及钢铁、化工、建材、石化、有色等重点行业的工业流程再造工艺技术，包括电炉炼钢、应用生物基及生物降解塑料等。零碳技术主要包括新能源技术、储能技术、智能电网技术、其它非电能源无碳化技术、能量回收利用等零碳原料/燃料替代技术。负碳技术主要包括二氧化碳捕获、利用和封存技术（CCUS），其他地球工程技术以及森林和草原碳汇等。

数智技术，即数字技术和人工智能技术。在产业应用新兴技术和数据资源转型升级的过程中，数字化是基础。随着人工智能等新一代信息技术的发展，以及数据的爆发式增长，产业加快应用智能技术，从海量数据中发现规律、训练模型、提炼知识，促进产出增加和效率提升，实现企业生产经营的智能化，进而实现整个产业的智能化升级。得益于近些年中国企业在数字化转型过程中的丰富数据积累；计算、存储、网络等算力基础设施的性能提升和成本下

图1.2 实现碳达峰碳中和的创新科技体系

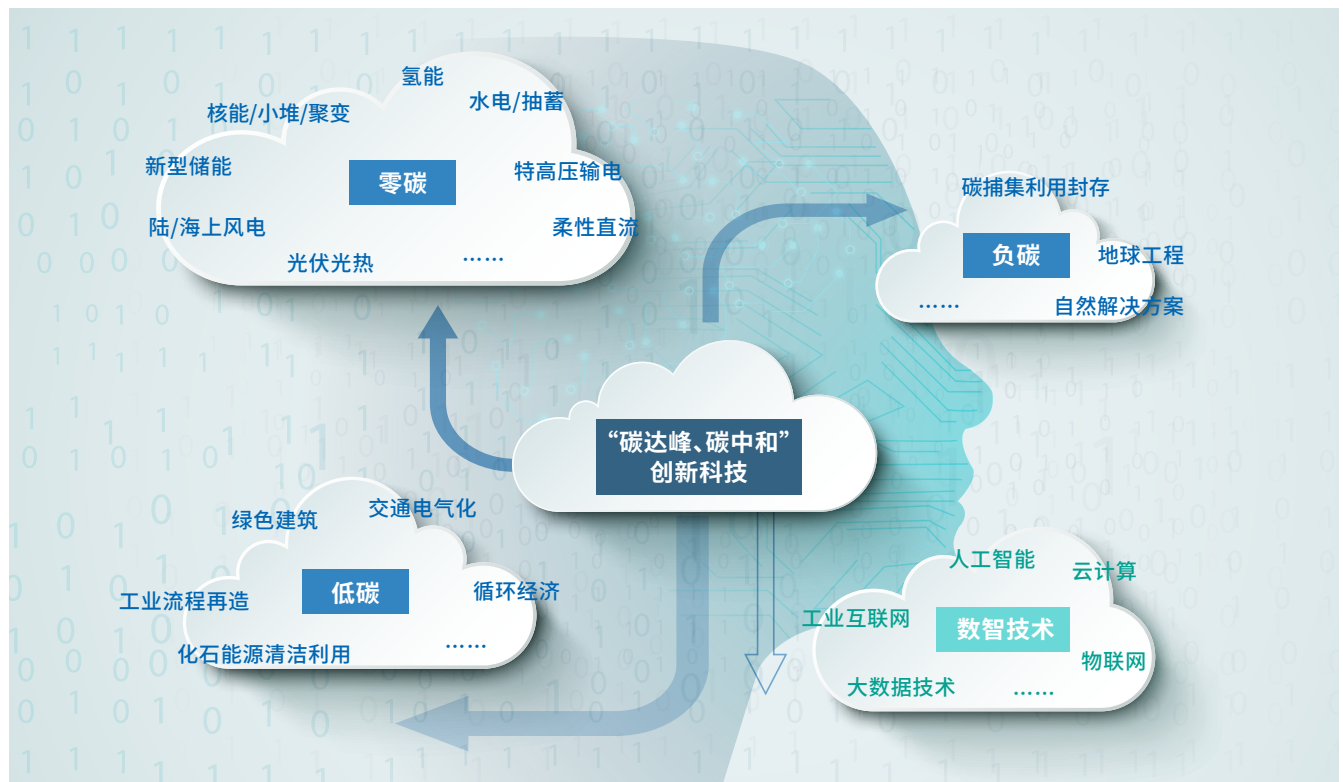


图1.3 数智技术的碳中和应用蓝图<sup>8</sup>



降；深度学习、大规模预训练模型带来的算法突破，以云智一体促进数字化转型和智能化升级一步到位，已经成为企业智能化升级的必然趋势。

### 1.3 数智技术是实现碳中和目标的助推器

数智技术的发展，为进一步提升能效和支撑能源快速转型提供更多可行性。数智技术与降碳技术深入融入传统产业的应用场景，孕育一批“智慧+”新业态新模式，助力生产和服务效率显著提升，推动生产方式和消费模式向绿色、节能、循环方向发展，促进碳达峰、碳中和目标的实现（图1.3）。

**在能源领域**，能源信息与物理融合技术、能源信息通信技术、数据共享与中台技术、物联网技术等一系列数字化新基建为能源流架构了一套完整的数字体系，为能源技术革命带来突破机会。**在能源绿色低碳生产方面**，利用数

智技术来监控清洁能源电力供应的波动，并调控电池、抽水蓄能或电转气等储能技术，可以在创建适应可变电力和灵活需求的先进电力市场的同时，减少备用发电机的排放，帮助过渡到零碳系统。**在能源安全高效输送供给方面**，利用数智技术可提供更安全、智能的输配电服务，支撑集中式清洁能源大规模、远距离传输，满足分布式清洁能源的规模化、经济化发展需求。**在能源降碳增效消费方面**，数智技术可实现全面、实时监测系统内能源的供给和消耗情况，开展综合能效分析和多环节协调管控优化。**在能源减碳政策优化与监管方面**，应用数智技术在政府类监管的应用场景中全方位、跨时空、多维度打通设备、数据与算力，支撑政府部门精准掌握区域和企业层面的能耗与排放情况，为决策提供支撑。

**在交通领域**，交通调度管理平台、5G、数字化监管设备等数字技术正在逐渐汇成一张数字交通网络，从提升清

洁动力效率、优化交通运输模式和路线、自动驾驶等方面有效提升交通运行和管理效率，降低排放。**在提升清洁能源效率方面**，数智技术已应用于电池能量管理，并能根据实时用电峰谷分布，实现智能充电，提升能源利用效率。数智技术还可以在电池的研发中发挥作用，利用监督学习技术、模糊逻辑和聚类来预测电池状态、退化和剩余寿命。**在自动驾驶方面**，数智技术可以发挥拥堵管理能力，减少排队能源消耗。**在优化交通运输模式和路线方面**，数智技术可以通过智能预测供需、优化运输路线来帮助减少供应链中的排放。


**在建筑领域**，BIM（建筑信息模型）、GIS（地理信息系统）、5G等数字技术为建筑设计、施工和评估等工作提供了便利的同时，减少了资源浪费和碳排放。**在建筑材料方面**，数智技术可以用来开发需要更少原材料的产品来减少碳排放量，并帮助重新设计材料的结构来帮助最大限度地减少温室气体排放。**在楼宇管理层面**，数智技术可以帮助选择适合各个楼宇的能源管理策略，降低排放。**在城市规划层面**，数智技术可用于收集和理解数据，支持财政激励或能源标准等政策的制定。

**在工业生产领域**，数智技术可通过数字孪生技术将工业流程数字化，构建数字流闭环，并通过智能算法提高能源使用效率。**在工业设备层面**，数智技术的模拟预测能力能够通过开展瑕疵产品识别和设备预维护来减少生产浪费，最大限度地减少特定设备和流程的温室气体排放。**在工业工艺创新方面**，鉴于数智技术可以将启发式方法与实验数据、物理学和推理相结合，支撑甚至扩展现有的物理知识，来推断潜在新材料的物理原理，并进一步帮助发现新材料，减少碳排放。**在工业控制系统方面**，基于优化的控制算法与图像识别、回归树和时间延迟神经网络等技术相结合的方法，机器学习可以潜在地提高工业控制系统的效率，减少系统的温室气体排放。

除此之外，在其他领域，数智技术也有着更为广泛的应用场景。例如，在教育、金融等行业，可以为更为精准的

情景模拟、趋势预测、知识传播等提供高效手段和方法；在气候和农业等领域，基于先进的算法和算力，既可以为气候和农产品产量等提供精准预测，也可以对农业生产活动进行精细化管理，有效防范相关风险，减少对气候变化的易损性；在二氧化碳清除和地球工程等领域，数智技术在大规模长周期的工程建设和运行管理方面，具有极大的优势，可以为敏捷制造、统筹建设等方面提供先进的支撑手段，使项目在全生命周期内更为高效、清洁；在社会生活领域，数智技术将深入到个人行动和集体决策的方方面面，为全社会生产生活的低碳化和清洁化做出贡献。总之，数智技术将与各个领域紧密结合，在创造新价值的同时有效整合各种要素资源，实现要素精准投入、生产过程精准控制、供需高效匹配，在节能降耗和节约资源方面起到关键作用，进一步助力碳中和目标早日实现。

## 第二章

The background features a large industrial facility, possibly a refinery or chemical plant, illuminated at night. The scene is overlaid with a network of white circles connected by thin lines, representing a digital or data network. Several circular icons are placed within this network: a globe in the upper right, a factory silhouette in a circle on the left, a truck in a circle in the lower left, and a clock in a circle at the bottom center. The overall color palette is dominated by dark blues, teals, and reds, with bright white and yellow highlights from the facility's lights and the network nodes.

数智技术赋能相关方  
实现碳中和

实现碳达峰、碳中和是一个典型的复杂系统中的复杂问题，尤其与能源系统密切相关。如图2.1所示，能源系统转型将为实现碳中和做出决定性的贡献<sup>9</sup>，因此，加快能源系统的低碳零碳转型、构建清洁低碳安全高效的能源体系成为实现碳中和目标的核心之一。

能源系统转型涵盖了能源的监管、生产、输送、消费、投融资等不同环节，需要政府监管部门、能源生产企业、能源输送企业、能源消费用户及金融投资机构等不同利益

相关方的决策和行为共同实现(图2.2)。

这些关键利益相关方，由于在整个社会经济环境系统中的位置和作用不同，它们在实现低碳转型的进程中的核心关切也各有不同。随着云计算、大数据技术、物联网、人工智能等技术的迅猛发展，数智技术为各利益相关方实现其核心关切提供了新的可能，助力相关方挖掘实现碳达峰、碳中和目标的实现潜力和创新空间，图2.3展示了数智技术在推动上述五类相关方实现核心关切过程中的应用场景。

图2.1 能源系统转型是实现碳中和目标的核心

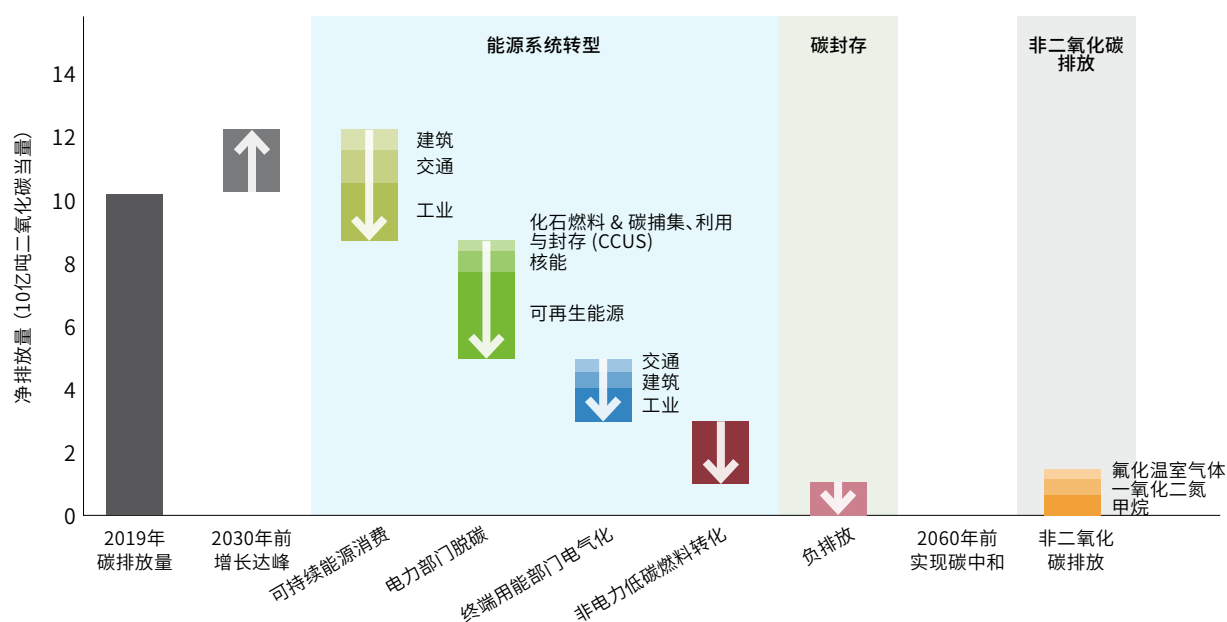
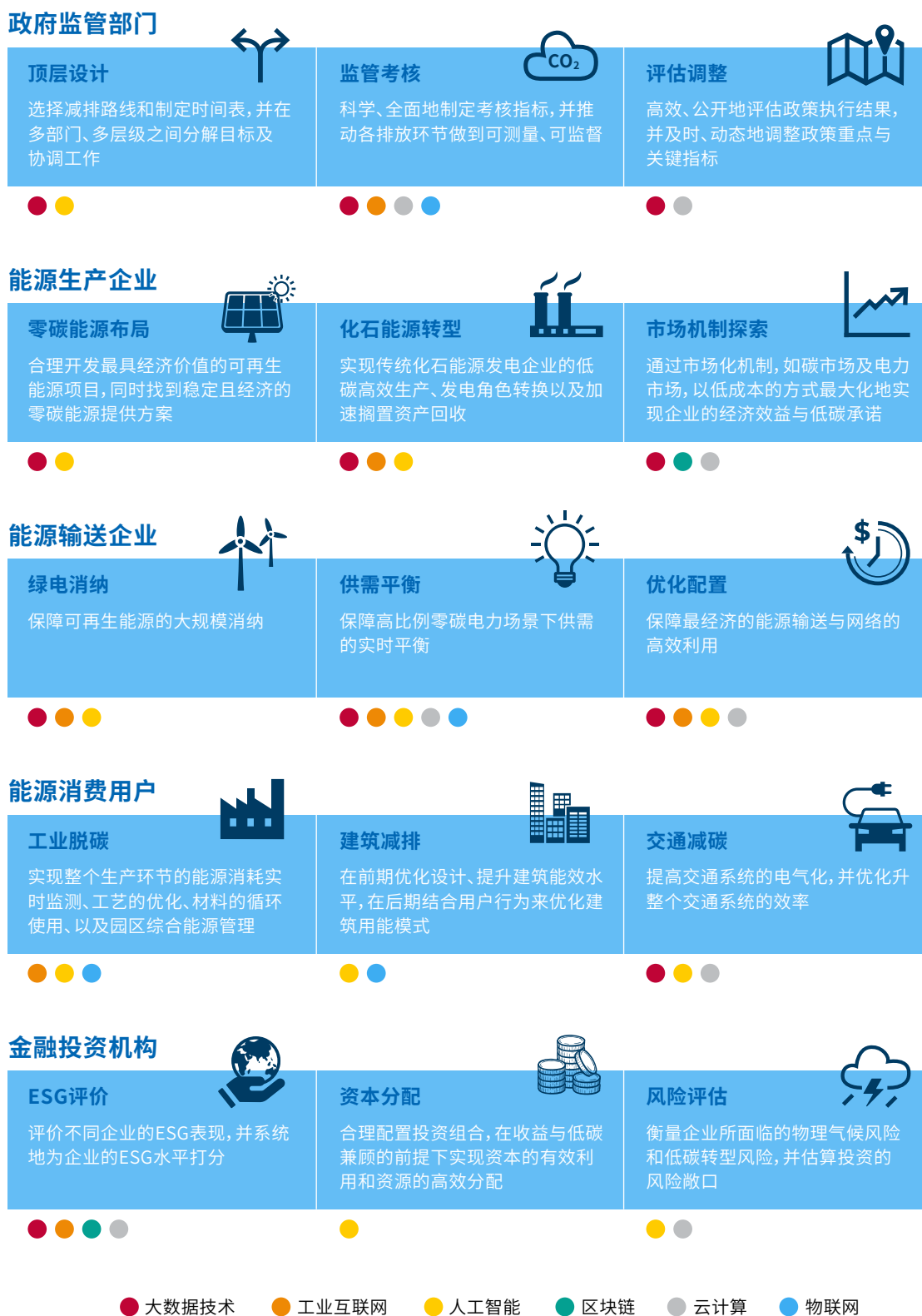


图2.2 实现碳达峰、碳中和目标的利益相关方



图2.3 数智碳中和架构



## 2.1 政府监管部门

碳达峰、碳中和是国家重大战略决策，政府监管部门在其中的角色至关重要。特别是在碳中和的前半程，当社会运行和经济生产仍然沿袭着巨大惯性、在高碳的方向上持续快速发展时，作为掌舵人与架构师的政府监管部门需要明确新的征程目标、引领方向、同时保证稳健航行。

### 2.1.1 核心关切 - 宏观掌控，立体监管

掌舵人与架构师的角色决定了政府在碳达峰、碳中和进程中的角色是立体的、多元的且动态变化的。国家、省、市、县、乡五级监管机构都将在不同维度、不同层面、不同时段分别发挥显著作用（图2.4）。

#### 顶层设计、目标分解

实现碳达峰与碳中和既涉及全社会多行业、多部门的宽度，也涉及未来四十年的长度，需要政府监管部门高屋建瓴、纲举目张，进行顶层设计、路线选择及目标分解，来启动这场深刻的社会经济变革。顶层设计既要确保发展与减排、整体与局部、短期和中长期的关系可以得到系统性处理，更

要把零碳目标纳入经济社会发展的目标从而谋求全局最优。政府还需要强化各方统筹，识别不同阶段的主要抓手和突破重点，进而明确各地区、各领域、各行业的目标任务。

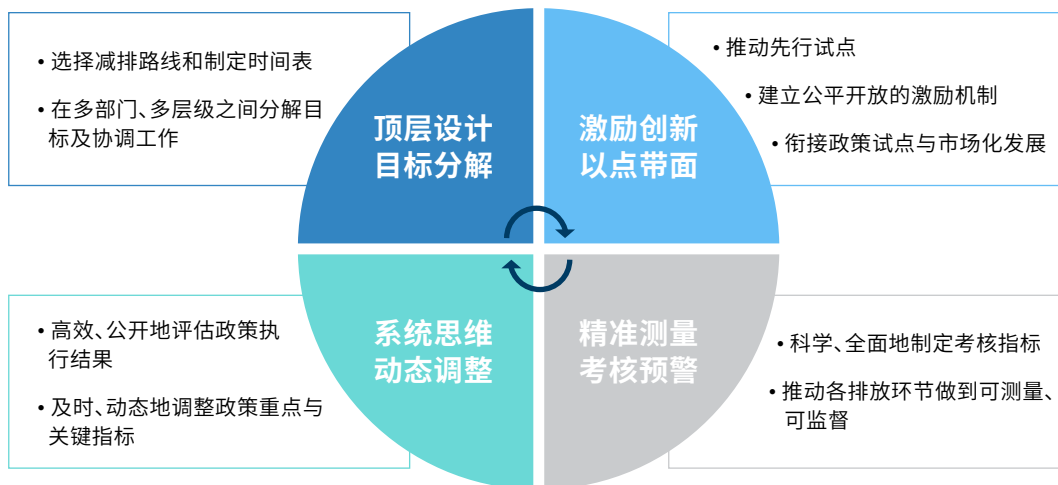
#### 激励创新、以点带面

与此同时，政府的另一重要任务是营造公平开放的环境，激励技术和机制的同步创新，尽早让碳达峰与碳中和从政策驱动转化为政策和市场的“双轮驱动”。一方面，更好发挥政府作用、构建新型举国体制，发挥制度优势加速能源系统与社会经济的转型。另一方面，也需要加速市场机制的建设和完善，推进绿色低碳科技创新，促使市场力量与政策同频推进零碳目标。

#### 高效管理、精准测量

在明确路径和阶段性目标后，各级政府都需要将目标转为可测量、可监管的指标，并夯实相关的技术基础和制度环境，从而落实零碳目标的稳步推进。政府监管机构一方面要从用能预算与预警管理、能耗与排放管理等多个方向设立全国性、行业性的统一标准，加强跨地区与部门联动；另一方面，更要对重点地区和行业的能源消费及碳排放行为进行全方位、全生命周期的测量考核。

图2.4 政府监管部门核心关切





### 系统思维，动态调整

接下来，各级政策的执行也需要及时、高效的跟踪评估，并回到更宏观的层面，结合社会运行、经济生产、国际环境等因素，对下一阶段的减排目标和实施手段进行系统性的动态调整。

值得强调的是，政府主导的产业园区、工业园区、物流园区等是中国经济发展的一大特色，也是碳中和进程中的重要抓手。从排放集中度而言，园区通常是市县级碳排放的主要来源，是碳中和进程中的核心场景，而且有着较为统一的能源消费模式和明确的测量边界，更有利于在明确指标、优化空间布局、优化资源配置的层面打造工业零碳样板。从管理模式而言，园区监管运营机构也在一定程度上担任着政府的职能，上述核心关切都与之相关。在更具体的层面，园区监管运营机构更需要综合协调园区内多个排放主体的用能特点、发展需求及减排任务。

#### 2.1.2 数智技术在政府监管中的价值实现

数据是政府部门各项工作的基础，而对海量数据进行全面收集、高效处理、前瞻性分析，则是政府部门各项工作的关键支撑。借助数智技术落实减排目标是各级政府实现其政府职能数字化转型努力的一部分，也将是助力政府部门解决其碳中和核心关切的主要手段。

### 建立动态前瞻的宏观晴雨表

在宏观把控层面，数智技术可以协助政府监管部门在传统统计和预测方法的基础上，进一步打造及时、立体、按需定制、甚至具有一定前瞻性的宏观晴雨表。实现碳达峰、碳中和要求全社会多个部门齐头并进、互动配合，因此要求政府监管部门对众多领域的多个环节都有及时、全面的把握。传统的统计方法在指标丰富度、频率与时效性、数据分析挖掘方面有着较多限制。政府监管部门可借助物联网技术采集和传输海量数据，利用云计算平台对数据进行存储、治理与集成，用人工智能进行分析提炼。

### 提高能源管理的智能化水平

在更具体的测量与考核层面，政府监管部门可基于大数据分析 & 挖掘技术，对区域及企业的减排效果进行统计、分析、评估与考核，提高监管考核的质量。除此之外，监管部门还可以据此提出相应的区域节能减排的重点方向、相关政策的调整策略与建议，并采用多种形式的数据可视化技术，对区域及企业碳排放与污染的实时状况与历史演变过程给出实时、动态、“驾驶舱”式的全景，确保政府部门对实现碳中和目标的进程洞察秋毫，一目了然。

### 打造高标准公共服务平台

在园区层面，数智技术的应用与单个工业能源消费用户层面的应用既有相似又有不同。一方面，二者都需要结合数智技术和降碳技术，打造节能高效的综合能源系统，因此园区可以成为政府探索工业加速减排的试验田。另一方面，园区监管机构更需要数智技术提升内部政务管理能力和业务协同能力，比如通过物联网技术对园区内多个能源用户进行高效率和高质量的测量和监管，利用区块链技术监管碳排放数据和碳资产数据、从而解决碳配额分配及清缴难以监管的难题，以及通过云计算和数据可视化等技术来打造高标准、高效率、智能化的公共服务平台。

## 2.2 能源生产企业

在向低碳社会转型的过程中，能源生产企业举足轻重。一方面能源生产企业肩负着保障国家能源需求、支撑经济基本盘的使命；另一方面，能源行业本身面临着传统与新兴技术剧烈碰撞、守成者与开拓者高度竞争的巨大变革，不同的相关方追逐着共同或截然不同的目标与诉求。

### 2.2.1 核心关切 - 全面转型，优化生产

从资产生命周期的维度，合理投资布局、高效运行生产和顺利回收退役是能源生产企业的核心关切（图2.5）。

## 化石能源转型

传统化石能源发电企业目前仍是能源生产主力，但转型压力严峻，不仅需要在役机组最大程度地高效、低碳生产，也需积极布局清洁能源资产，进行自我革新。由于中国资源禀赋的限制，煤电在相当长的一段时期内仍有存在的必要。传统化石能源发电企业短期需通过技术改造、流程优化等提高机组效率、降低单位燃料消耗，中长期需实现角色转换，从提供电力满足基本负荷需求转变为提供系统灵活性调节与运行备用能力。同时，化石能源企业需加速搁置资产的回收与退役，并积极布局清洁能源资产，顺利实现行业转型。

## 零碳能源布局

相比之下，能源转型极大地促进了清洁能源的大规模开发与消纳，相关企业需要在布局时合理评估可再生资源潜力，在运行中有效控制出力波动性影响，同时优化运维、降低成本。中国地域辽阔，不同地区风光水等资源差异巨大，以风电、光伏为代表的清洁能源生产企业需要规

划与建设最具经济价值的清洁能源项目，确保企业稳定的投资回报。同时在大比例可再生能源的发电结构下，相关企业需要精确预测出力、降低波动性对电网消纳的影响。此外，在资产全生命周期中，合理降低运维成本并有效延长服务寿命也和企业效益紧密相关。

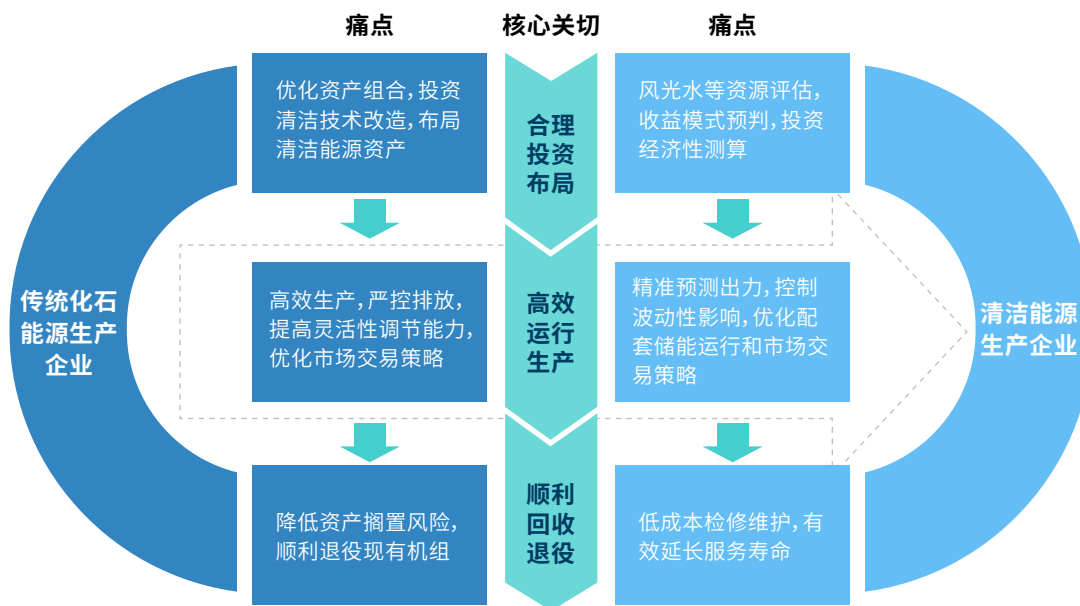
## 市场机制探索

此外，无论是化石能源还是清洁能源生产企业，一个共同痛点是如何通过市场机制，如电力市场、碳市场等，以低成本的方式最大化企业经济效益与减排贡献。尤其对于可再生能源来说，如何通过配套储能的协同控制、充分参与电力市场以最大化售电收益是其核心关切之一。

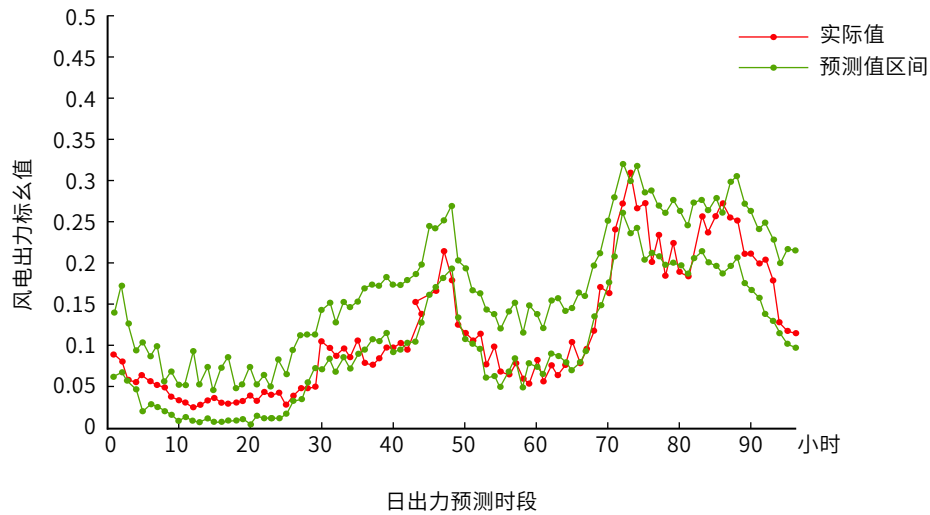
## 2.2.2 数智技术在能源生产中的价值实现

数智技术可以有效辅助化石能源和可再生能源的稳定生产，提高能源利用效率，优化交易策略，促进能源生产企业实现碳达峰、碳中和。

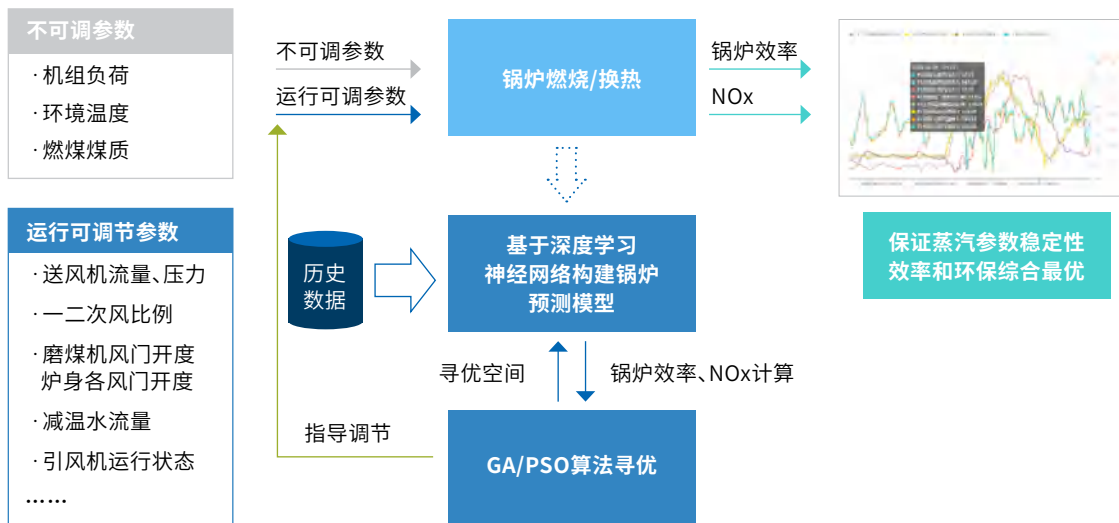
图2.5 能源生产企业的核心关切



**图2.6 基于深度学习算法的风电出力预测**



**图2.7 燃煤电厂运行参数优化**



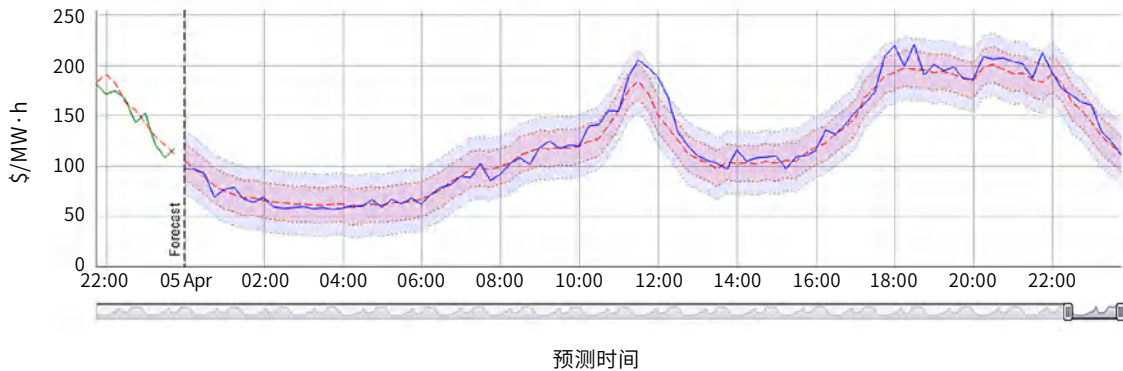
**可再生能源出力预测**

风力与太阳能发电已经成为电力供给的新生力量，在经济效益上可与化石能源发电技术一争高下，但其在发电输出的确定性与稳定性上却略逊一筹。利用大数据平台提供的海量历史数据，采用深度学习算法建立的预测模型将大幅提高可再生能源发电出力的预测精度，有力促进其大规模的消纳，解决可再生能源企业对于生产不可控的困扰（图2.6）。

**化石能源能效优化**

传统化石能源发电生产过程中的碳排放治理至关重要，其中一个关键环节是提升燃煤发电过程中的能量转换效率从而降低碳排放。数智技术通过采集电厂丰富的历史运行数据，建立基于深度学习算法的能效优化模型，获取电厂运行各系统（锅炉，汽轮机等）的随出力变化的最佳运行参数曲线，保障电厂在运行出力的全范围内实现能效最优，从而最大限度地降低发电生产的碳排放（图2.7）。

**图2.8 电力市场价格预测**



**市场交易辅助决策**

无论是化石能源还是可再生能源发电企业，如何根据企业的自身优势及潜力、准确判断市场走向、制定最佳的市场交易策略是一个十分复杂的任务。基于大数据、博弈论及深度学习算法的价格预测与竞价策略模型将辅助交易决策，有望替代传统低效率的基于交易员经验的人工模式（图2.8）。

**2.3 能源输送企业**

能源输送企业承担着电、气、热等能源形式通过网络

向终端用户传输的任务。在向零碳社会转型的过程中，能源输送企业肩负着保障国家能源供给的安全输送使命。

**2.3.1 核心关切: 安全输送, 经济高效, 绿色低碳**

随着能源生产侧风电、光伏为主的可再生能源大规模开发，以及能源消费侧终端电气化需求的大幅提升，低碳、零碳化电力将是能源上网和输送的主体。因此电网企业责任重大，承担着清洁能源的安全、经济输送的任务。

**图2.9 电网企业碳中和核心关切与挑战**



传统电网企业的核心任务是在保障电网安全运行的前提下，以经济的方式输送电力。随着能源系统的转型，电网公司将经历从输送煤电为主转变为输送可再生能源为主的历程。其运行与调度将呈现与以往截然不同的特征：以风电，光伏为代表的非水可再生能源发电输出具有高度的间歇性与不确定性，而传统的煤电输出则是高度可控可调；中国可再生能源资源集中在西部省份，而电力的负荷中心在中东部地区，可再生能源发电需要大规模、长距离的西电东送。

因此，构建绿色低碳、安全可靠、经济高效的新型电网将是电网企业的低碳核心关切，而上述电网的新形态无疑将给电网企业带来新的挑战（图2.9）。

### 绿色低碳

**绿色低碳意味着电网必须保障可再生能源的大规模接入与消纳。**实现这一目标面临的主要挑战将包括如何规划与扩展电网的结构以便大规模接入可再生能源，如何准确的预测可再生能源的波动性出力以安排全系统的发电计划，又如何通过电网灵活性资源的快捷调度以提升可再生能源的利用率，最大限度的降低因可再生能源出力与电力负荷曲线不匹配造成的弃风、弃光现象。

### 安全可靠

**安全可靠意味着电网必须高比例可再生能源电力供应的场景下保障电力供需的实时平衡。**在可再生能源输出高度间歇与不确定性以及电力需求随机波动性的双重不可控条件下，准确及时地预测、判断与调节电网的运行方式，通过发电机组灵活性的提升、多元化储能技术的应用、需求侧的弹性响应等多种手段来保障在满足电力系统频率、电压等安全约束下的电力供需实时平衡。

### 经济高效

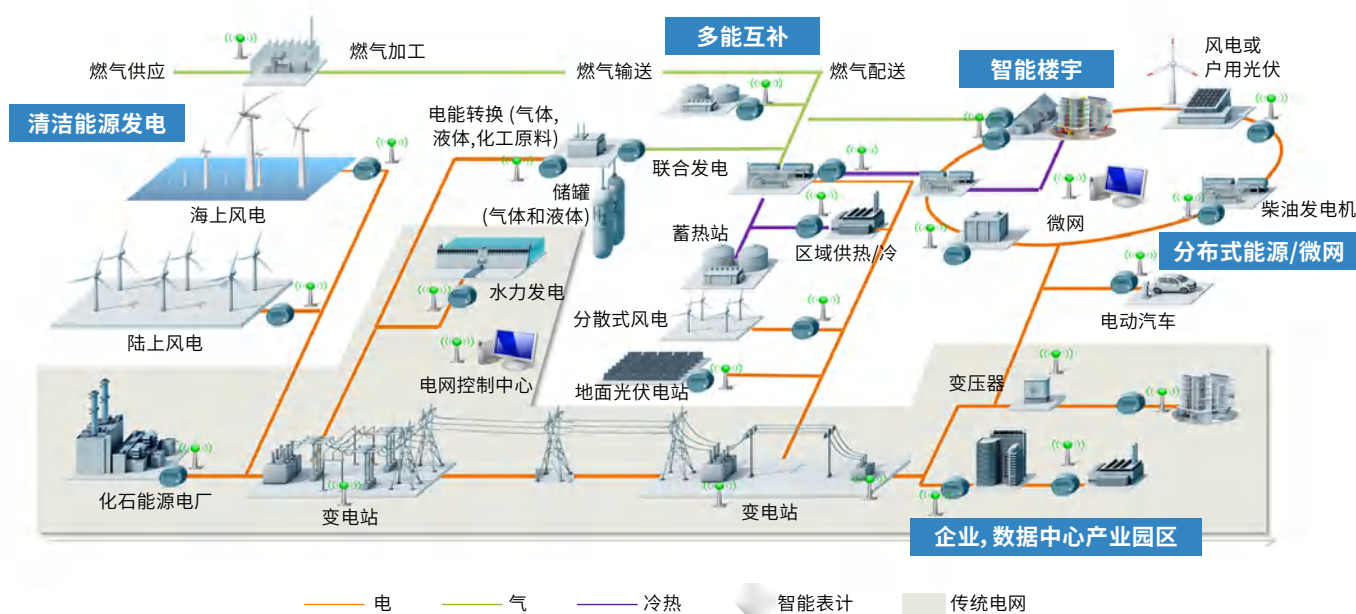
**经济高效意味着必须将最经济的电力供应给用户，同时最大限度地利用电网的输送能力。**立足可再生能源发电需要大规模西电东送的国情，如何充分发挥特高压交直流输电线路的能力，并依托省级及区域的市场机制将电网与电源资源在空间与时间上实现优化配置，从而使得电力系统总的生产与输送成本最低成为这一目标的主要挑战。

## 2.3.2 数智技术在能源输送中的价值实现

工业物联网、大数据、深度学习及机器人等数智技术将在电力系统的供需预测、电网的实时状态监测与调度及电网设备的运维护管理等多个方面发挥关键性的作用。



图2.10 区域能源互联网典型场景



### 电力供需精准预测

电网运行的核心任务是实时满足电力的供需平衡要求, 而及时准确的电力供应与需求预测是保障电网安全运行的前提条件, 利用大数据平台提供的海量历史数据, 采用深度学习算法建立的预测模型将大幅提高在全电网系统层面及电网各个节点层面对可再生能源发电出力及电力负荷的预测精度。

### 智能快速最佳调度

在电网的调度、运行方面, 数智技术已经被广泛地应用, 这包括对电网一二次设备及电厂发电机组的监测与控制, 一直到调度中心的能量管理系统和调度管理系统。在向新型电力系统的转型中, 新的数智技术将得到广泛应用, 通过监控系统、人工智能决策系统、调度系统间的数据共享和业务协作, 逐步实现全业务信息感知、全系统协同控制、全过程在线决策、全时空优化平衡、全方位资源调度的目标, 提升电网调度预想、预判、预控能力, 提高清洁能源消纳与经济运行水平, 为电网安全经济运行保驾护航 (图2.10)。

### 及时准确排除风险

电网运行维护管理同样会产生大量的数智技术应用, 电网由大量的输送设备构成 (如变压器, 线路, 电缆等), 其承担着安全、可靠地输送电力的任务。为此, 电网的运维管理是要确保所有的设备随时处于健康、可持续运行状态, 并及时发现有故障风险的设备, 进行更新换代, 因此设备维护与检修是电网企业的核心业务之一。传统的人工巡查、检测及更换的模式耗时费力、成本高、效率低, 而通过无人机、机器人等数智手段对设备巡检, 并利用图像识别技术实时地监视设备运行状态 (图2.11)。同时基于大数据平台收集的海量历史运维数据, 建立设备风险评估模型, 可更准确的预测设备发生故障的风险, 及时进行设备的更新换代 (图2.12)。

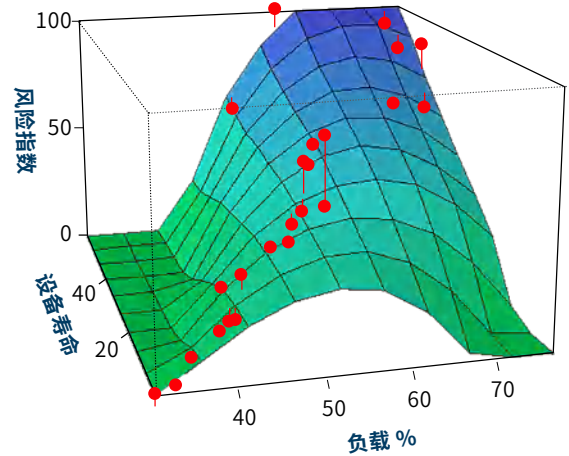
## 2.4 能源消费用户

企业和园区等能源消费用户是维持经济系统正常运转必不可少的组成部分。而能源消费用户的选择, 不仅决定了自身的行为方式, 同时对能源生产输送决策也会产生引导和制约作用, 是实现碳中和目标的重要决定性因素之一。

图2.11 基于图像识别技术的输电本体缺陷识别



图2.12 基于数据挖掘技术的电网设备健康风险指数



### 2.4.1 核心关切 - 行业转型，深度脱碳

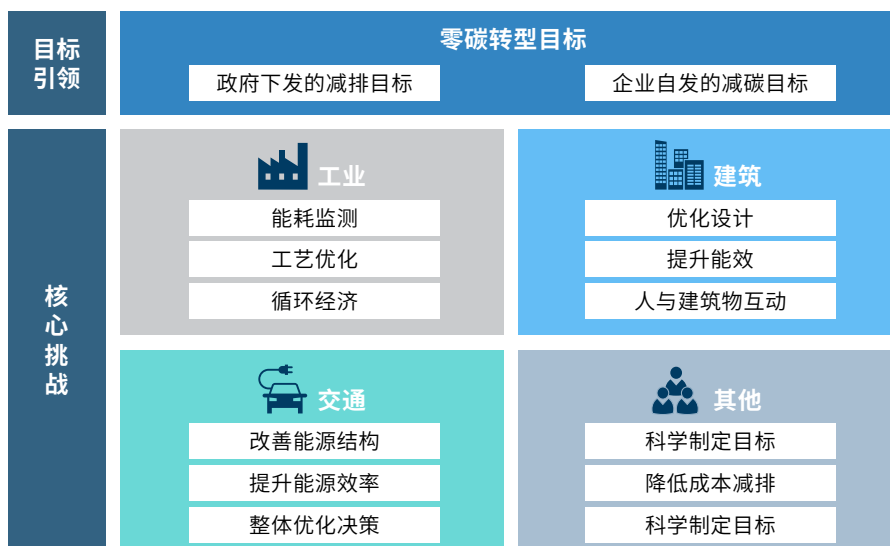
碳中和目标下，能源消费企业的核心关切是多方面的。

首先，能源消费企业面对逐渐增强的政策压力，如何提高合规能力以及碳资产管理水平是摆在企业面前的首要考验；其次，对控排企业来说，碳排放的外部性成本升高挤压了企业的利润空间，这对企业全流程成本控制能力提出了很高的要求；再次，产业升级的大环境下，率先进行绿色转型的

企业将获得产品、技术和品牌的先发优势，企业需要关注如何通过低碳行动来提升品牌价值和竞争力。

进一步聚焦到各类能源消费企业的低碳转型来看，企业以及园区需要结合自身特点和核心挑战推进**高效、低成本的减碳**。能源消费用户非常多元化，如图2.13所示包括了工业、建筑、交通等行业：

图2.13 能源消费企业低碳转型的核心挑战



### 两高行业：经济脱碳

高能耗、高排放企业如钢铁、化工、水泥等的脱碳压力巨大，面临着减排成本高和脱碳困难的痛点。在燃料端，尽管工业部门的电气化水平在逐年提高，但有高温要求的工业企业仍然需要创新性的科技来进行深度脱碳。这就意味着氢能、生物质、碳捕集利用封存（CCUS）等新兴科技的规模化和经济性对重工业的低碳转型有重要的影响。在工业生产中，实时的能耗监测与工艺优化也是进一步释放工业脱碳潜力的重要手段。因此在实现碳达峰、碳中和的进程中，如何利用有经济性的手段深度减排是这些“难脱碳”工业部门的核心关切。

### 建筑行业：全流程降碳

建筑行业在设计、施工、使用、拆除等各个阶段的减排都至关重要。建筑能耗在过去十年中增长迅速，而中国的城镇化仍处在高速发展的阶段，对新建建筑及旧房的改造需求旺盛。建筑的碳减排关注点已经逐渐扩展到全生命周期，这不仅体现在建筑施工期消耗的钢铁、水泥等原材料的隐含碳排放，还体现在建筑使用阶段的能耗，尤其是供暖和制冷。未来建筑脱碳的核心关切一方面是在设计、施工阶段使用全生命周期碳排放较低的建筑材料和效率高的设备；另一方面，前期需要优化设计以提升建筑能效水平。在使用阶段，聚合建筑用户行为模式、深度挖掘用户的

需求从而增强人与建筑物的互动联系也是建筑用户节能必不可少的一环。

### 交通行业：高效整合，系统管理

交通部门的核心关切可以总结为两点：第一是在有限的资源下提高新能源汽车的渗透率，第二是优化庞大而复杂的交通系统从而实现效率提升。中国交通部门碳排放约占全社会总量的10%，其中道路交通的降碳目前主要有两条路径，一条是通过交通电气化改善能源结构，另一条是提升交通能源效率。交通活动有分散、独立、难管理的特点，针对这两点关切，道路交通减排需要一套能够整合海量单一个体、并快速作出整体优化决策的管理系统。

对于其他具有气候雄心的企业来说，引领行业实现碳中和的第一步在于科学的制定减排目标与路径。在积极应对气候风险并实现低成本转型的同时，寻找企业新的盈利点并使企业健康成长，是企业的核心关切。这对于企业树立绿色低碳的品牌形象，扩大社会影响力并获得竞争优势至关重要。

### 2.4.2 数智技术在能源消费中的价值实现

工业、建筑和交通部门是能源消费和碳排放的三大

图2.14 工业能耗优化示意图





重点领域。利用工业互联网，物联网，大数据技术采集、存储、处理能耗信息，并基于人工智能技术监测及优化能源消耗行为，则是解决这些能源消费用户的核心关切的最佳途径。

### 工业能耗监测与优化

到2050年，中国工业的能源需求在全国总能源需求中占比预计将高达约60%<sup>10</sup>。工业领域的减排潜力巨大，特别是高能耗的钢铁、化工、水泥等企业生产过程中的节能减碳工作将集中在以下两个方面：

**生产全过程的能源实时监测与分析：**能耗监测的对象涵盖了工业生产的多个用能系统，其中包括配电系统、制冷系统、照明系统、空压系统、余热余压回收系统、辅助生产系统等等。这需要工业互联网与大数据平台技术方能实现。

**生产过程能源消耗行为优化：**在采用行业相关的节能设备与技术的基础上，基于生产数据建立能耗优化模型，给出整体优化方案、工艺参数建议等，提高企业

能源管理水平，帮助降低能源成本，减少企业碳排放（图2.14）。

在工业园区层面，实现绿色低碳需要数智技术与低零碳技术融合的综合能源管理应用，两者相辅相成。低零碳技术如分布式的风电、光伏、储能、冷热电联供、蓄冰空调及地源热泵等满足了能源的低碳供给。如图2.15所示，基于物联网、大数据与人工智能预测与优化技术搭建的综合能源管理平台则确保园区在多种能源相互耦合供给的场景下，以最节能、高效的方式实现最清洁的能源消费。

### 建筑全生命周期减排增效

目前中国建筑部门每年的二氧化碳排放量达21.3亿吨，约占全国碳排放总量的20%。随着生活水平和居住条件的不断改善，特别是建筑的电气化率提高，建筑用能的需求将大幅度增加。除了广泛使用新型的节能材料和设备来降低能耗之外，数智技术在设计、施工、建成等阶段，都将发挥重要作用：在设计阶段，人工智能技术可以协助设计节能型的建筑；而在建后的用能阶段，通过基于物联网、大数据技术的综合能源管理平台可实时的优化调控建

图2.15 能源互联网技术平台助力园区综合能源管理<sup>11</sup>

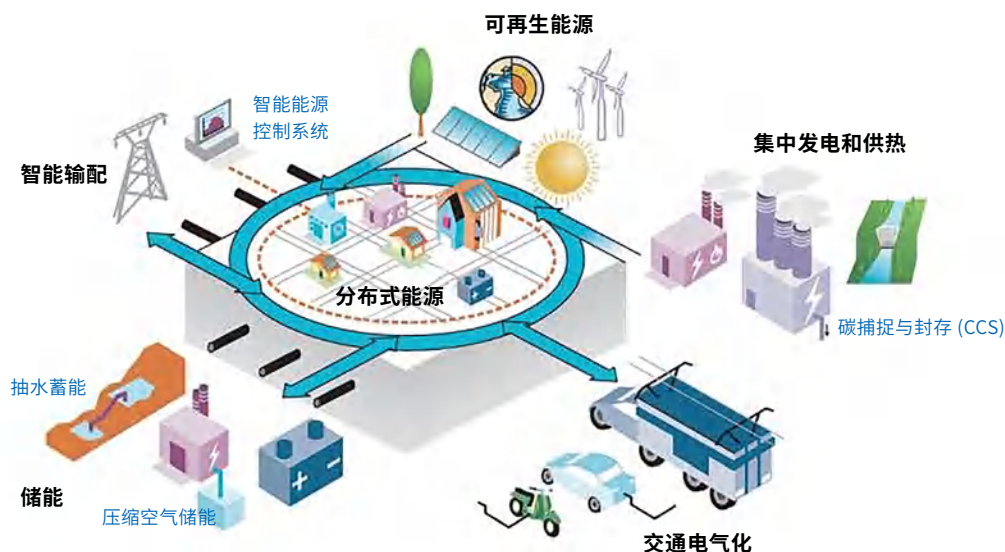


图2.16 建筑电气化示意图<sup>12</sup>

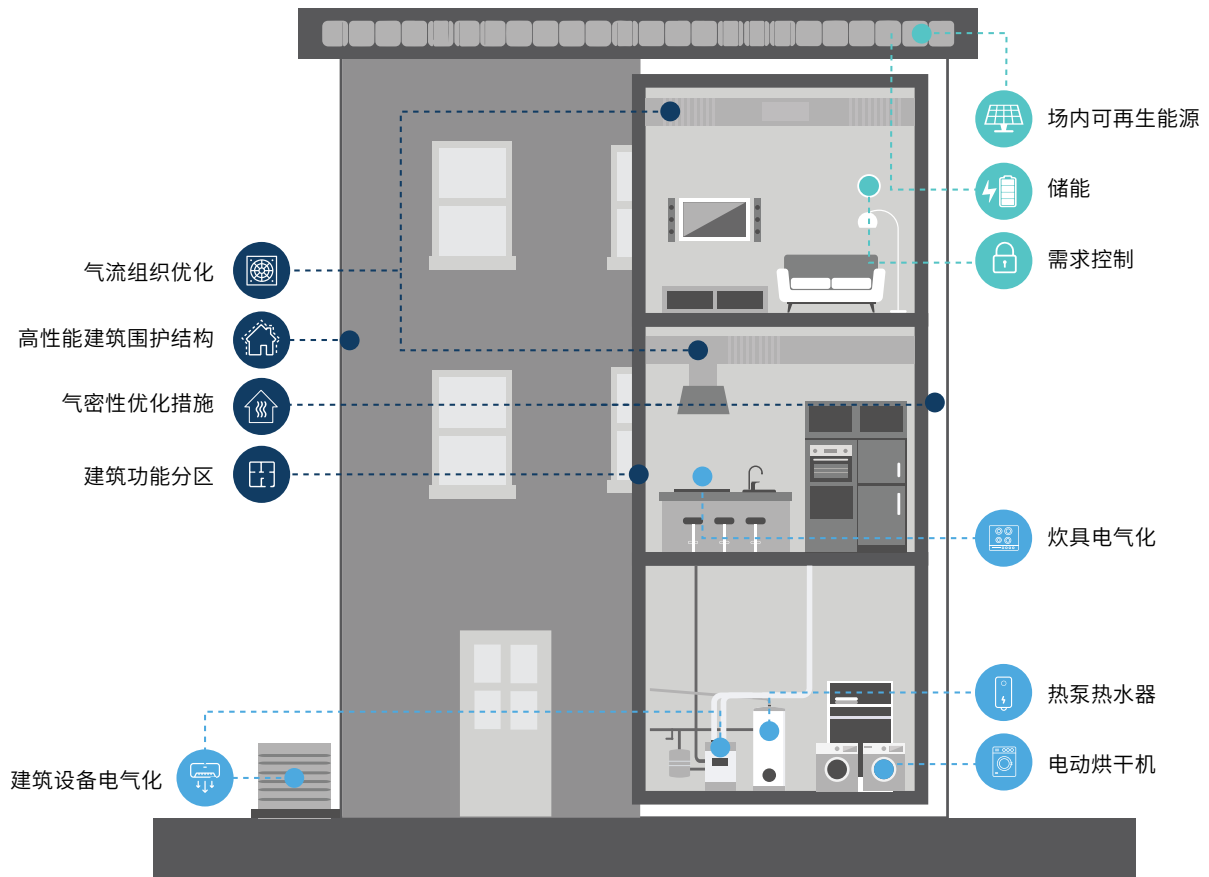
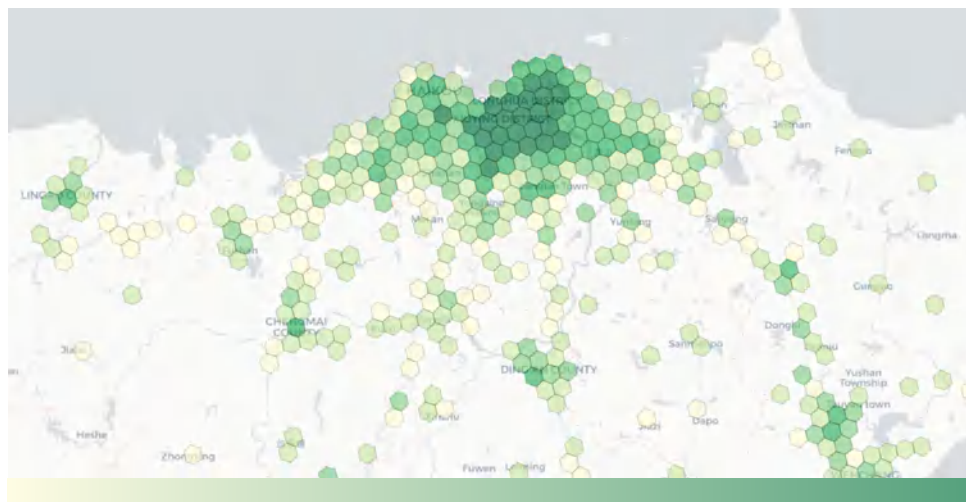


图2.17 利用大数据指导城市充电基础设施布局



充电设施需求小

充电设施需求大

筑的运行模式，甚至可以结合建筑用户的行为进一步优化调控（图2.16）。

### 交通系统电气化与效率提升

交通部门脱碳是最能体现数字化价值的领域之一，大数据系统天然适合整合、分析和管理海量用户行为，进而帮助实现更高的电气化水平和燃料效率。目前数字化变革已经在电动乘用车领域萌芽，全国已有超过600万辆电动乘用车接入了新能源汽车国家大数据平台，可以被实时分析监测。这些分析结果可以指导交通网络规划、运输工具生产决策以及交通调度运营，更好地为全方位的客货运系统服务。未来，大数据平台将不仅仅与道路车辆联网，大到飞机轮船、小到共享单车，都将成为智能交通系统的一部分。个体与管理中心互联互通，通过人工智能进行精细化管理，实现交通总体效率的优化（图2.17）。

## 2.5 金融投资机构

对于绿色投融资机构来说，实体经济大规模向低碳、零碳转型过程中，需要大量资本投入作为支撑，其中绝大部分需要通过金融体系动员社会资本实现。根据预测，为了实现2060年碳中和目标，预计中国在构建新型能源系统上需要

投资138万亿元，在用能侧传统产业的转型和改造上要投资36万亿元。如何满足如此庞大的投资需求、充分调动社会资本、高效发挥投资作用是绿色投资需要解决的难题。

### 2.5.1 核心关切 - 系统评估，高效投资

与政府不同，绿色金融虽然带有公益性质，却并非慈善机构，仍要关注投资的收益与风险。因此，绿色金融决策是传统投资决策考量（收益与风险）与低碳减排考量之间的平衡和优化（图2.18）。

#### ESG投资导向

为了同时满足收益与低碳目标，绿色金融机构一般会考察企业在ESG (Environment/Society/Government) 三个方面的表现，并将ESG表现作为投资决策的一部分，因为这在一定程度上反应了企业应对气候变化的态度。根据相关数据显示，ESG表现好的企业从长期来看其投资回报有明显优势。ESG领先型企业具有较低的风险水平，提升风险管理能力将带来较低的融资成本，在资本市场上具有更好的基本面表现、更低的风险和更高的市场估值。未来，对企业的环境绩效评价比例会不断扩大。

图2.18 金融投资机构的关注目标和核心挑战

绿色金融决策考量因素	关注目标		核心挑战	
	ESG投资导向	企业ESG自主披露 企业ESG主动调查	企业信息庞杂多样难以量化 企业数量庞大难以人工审查	
	资本合理分配	单位投资减碳潜力 减碳技术前景	投资碳减排回报难以预测	
	气候风险预防	物理气候风险 低碳转型风险	气候变化影响难以预测 企业受影响程度难以确定	

## 资本合理分配

绿色金融在分配资本的过程中必须慎重考虑、合理取舍，因为绿色投融资机构的作用不仅仅是为企业提供资金，在企业低碳转型的过程中还需要对投资机会进行取舍。实现碳中和目标的路径并不是清晰明了的，不同的企业和研究者有着不同的设想、支持不同的技术、提出了不同的方案，而这些设想和方案想要落地，都离不开资本的支持。但可供调配的资本毕竟是有限的，投资机构就不得不面临取舍。因此可以说，绿色金融机构责任重大，其资本分配决策甚至可以在一定程度上改变低碳路径的走向，决定一条技术路线的存亡。那么应当如何配置投资组合，选择哪些投资路线，如何最大化减排效果，这些都是绿色金融需要考虑的问题。

## 气候风险预防

除收益之外，绿色金融的另一大核心关切在于降低两种与气候变化相关的风险，即企业的低碳转型风险和物理上的气候风险。低碳转型风险一般指政府设定的低碳目标、民众对气候变化的关注等对企业发展造成的影响，例如高耗能企业在气候法规日益收紧的大背景下会面临更大的合规压力和降本压力。物理上的气候风险则是指气候变化带来的诸多负面影响有可能直接降低企业的营收，例如极端天气会破坏企业的供应链、打乱生产计划、农业减产使生产成本上升等等。绿色投资需要一方面通过投资高效、低碳排的企业来规避低碳转型风险，一方面通过气候模型分析与预测来规避物理气候风险。

### 2.5.2 数智技术在金融投资中的价值实现

金融决策的核心要素一直都是“风险管理能力”，投资人通过不断地搜集信息、解读信息来捕捉市场中涌动的暗流、预测市场的发展。对于绿色金融决策来说，无论是为了实现资本的高效分配和利用，还是为了规避气候风险、赚取高额收益，绿色金融机构都需要尽可能多地搜集与企业相关的信息与数据，并对信息做出解读和判断。而**大数据技术和人工智能的结合可以通过信息捕获存储、透明验**

**证、集成融合、分析决策四个步骤来助力绿色金融决策。**

## 高效捕获存储生产环境信息

数字技术可以实现信息捕获存储。稳健的数据基础设施是一切智能上层建筑的根基。通过工业互联网将企业的生产、排放、用能等行为转化成实时、廉价的数字化信息，处理后形成企业的原始数据。当然，对于数据基础设施不足的地区，金融机构也可以利用人工智能来抓取和排查官方网站、媒体报道、地方公告中的相关数据。

## 提供安全透明的数据基础

信息安全技术和区块链技术保障数据准确透明。由于数据的生产和搜集过程中涉及到成千上万的企业，数据难免产生错误、遗漏、篡改等现象，因此必须使用以区块链为代表的信息安全技术确保每家企业的数据准确、公开透明、可以追溯、无法篡改，不同企业之间的数据才能够做到可比可信可追踪，绿色金融才能实现真正的资本、资源高效分配。

## 实现环境信息有效集成融合

大数据和云计算助力信息集成融合。权威机构使用大数据平台对多来源、海量、时空颗粒度相异的结构化与非结构化数据进行集成与融合，并提供统一的数据服务，并通过API、报告、公告向公众公开，形成公开环境数据（PAED, publicly available environmental data）。而金融机构则要进一步将公开环境数据，以及其他渠道获得的零散、稀疏的数据一同整合、打通，尽量形成完整全面的数字画像。

## 支撑全面投资风险评价

人工智能参与信息分析决策。前三个方面共同构成了金融决策的数据基础，但其提供的数据本身并不能指导金融投资，还需要金融机构先将纷繁复杂的公开数据整理为可以理解的结论。在信息量有限的传统金融领域，这一步骤是通过人为解读实现的。但由于环境领域数据量巨大、不同因素之间的互动纷繁复杂，人为解读难以概括其全貌。人工

智能可以参与数据的解读过程，从企业运营数据中挖掘出企业的生产理念、生产运行效率、气候风险抵抗能力、在绿色低碳方面的先进水平等等，并将这些信息整合成直观的ESG、气候风险评价，以供金融机构参考。例如：

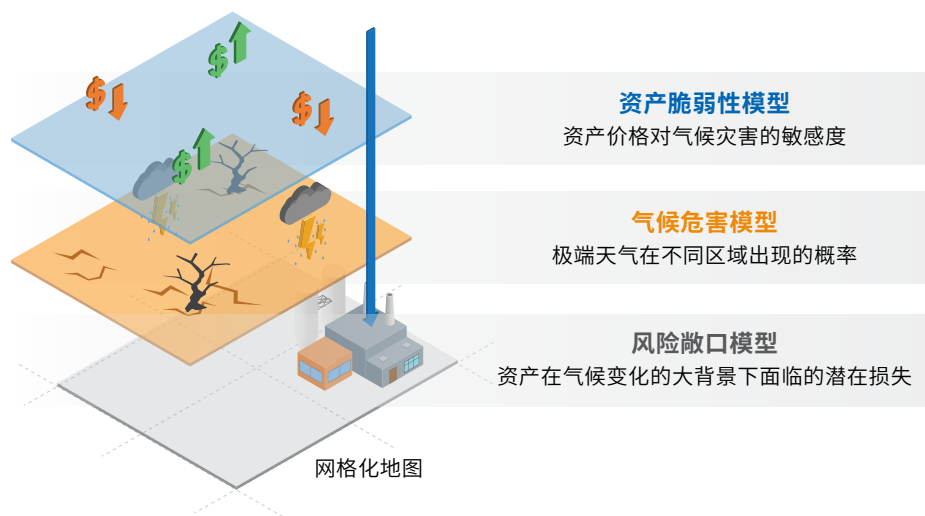
**ESG打分：**利用大数据平台整合不同企业在ESG方面的投入与产出情况，这些数据可能来自于政府的官方披露，也可能来自于媒体的侧面报道。人工智能可以进一步从这些杂乱又稀疏的多样化数据中为企业ESG表现综合打分。

**气候风险评估：**一方面利用人工智能与地理信息系统预测未来气候变化带来的极端天气危害风险，预测极端天气发生的概率；另一方面利用大数据平台的实际

生产数据判断资产在极端天气下的脆弱性，预测资产在极端天气下可能蒙受的损失，两者相结合，即可评估资产在气候变化大背景下的风险敞口，即气候风险可能带来的资产损失程度（图2.19）。

**资本分配与组合构建：**即使不谈绿色金融，传统金融学也早已将数智技术应用到了投资组合的构建之中。例如，传统金融机构往往会利用时间序列和蒙特卡洛等经典机器学习手段预测组合应对市场风险的能力，或者利用神经网络和深度学习等新兴手段预测单一风险因子对组合收益的增益效果。而绿色金融机构则可以用类似的方法预测在一个领域的投资能够带来的碳减排潜力，从企业的历史数据与科技的普遍走向中发掘一项技术的投资性价比。

图2.19 人工智能预测气候风险对企业资产的影响<sup>13</sup>



# 第三章

## 数智技术在碳中和 目标下的创新实践



利用数智技术加快能源低碳转型速度、降低转型成本、保障安全平稳过渡是一个充满挑战、持续探索、不断创新的过程。在这一过程中，无论是政府对碳达峰、碳中和目标的政策制定、监督与管理、绿色投资的精准把控、能源生产与供应的绿色低碳转型，还是能源消费用户的节能降碳增效，都需要探寻最适合中国国情的方法与路径。国内外在能源转型过程中利用数字技术和人工智能的尝试，也将为实现中国双碳目标提供宝贵的借鉴和经验。

### 3.1北京海淀“城市大脑”

碳达峰、碳中和的实现需要各级政府发挥领航作用，因地制宜地制定减排路线图，设计配套政策，利用监管地位确保零碳目标实现。同时城市是碳排放的主要来源，中国85%能源相关的碳排放来自于城市地区，而不断提高的城市化水平将进一步扩大能源消费需求<sup>14</sup>。面对复杂的城市系统，如何贯彻落实减碳政策、激发各行各业能动性，是政府部门面临的监管难题。

#### 城市碳中和需要政府创新监管方式

碳排放渗透在城市运行的方方面面，城市管理者亟需打通行业壁垒，统筹城市发展与减碳，用系统性的方法监管

落实碳中和目标。在一项针对全球167个主要都市圈的研究中<sup>15</sup>，25个特大城市贡献了52%的碳排放，其中23个为中国城市，包括北京。北京海淀“城市大脑”致力于打造城市治理的中枢系统，提升城市各环节运行效率，服务政府减碳决策与监管，开启政府节能减排精细化管理新思路<sup>16</sup>。

#### 城市大脑让减碳可观、可控

百度智能云支撑海淀“城市大脑”建设，以政务云为数字底座，以云边端设备为感官，以人工智能平台为思维，全时全域全要素感知城市动态，定制化支撑城市各领域业务需求，赋能城府“细胞级”精细管理，为减碳政策优化与监管提供数据支撑和科学判断，让城市减碳可观、可控（图3.1）。

**城市碳排放监管：**“城市大脑”全方位监测时空数据、地图数据、物联感知数据、社会数据、互联网数据等城市信息，利用人工智能实现海量多源异构数据信息的识别、处理和分析。人工智能平台的开放共享性，让“城市大脑”可融合各行业多模态数据，打破电力、热力、工业、交通、建筑等重点排放领域的数据壁垒，全方位的摸清“碳”家底。例如：海淀区与国家电网（后简称国网）北京电力公司合作，通过电力数据分析“透视”区内碳排放整体情况，一方面“电力看经济”，一方面“电力看环境”，通过比对用电量波动信息，辅助区环保部

图3.1 北京海淀城市大脑全景图



门和区住建部门监测140家重点排污企业、230个施工工地的停产情况，间接监管违规碳排放。依托“城市大脑”，海淀区聚焦碳达峰、碳中和做了多种应用场景的设计和落地实践，一是物联网场景，通过增加现有传感器密度，实时精准监测企业违规违法超标排放；二是重点车辆监管场景，通过算法识别准确抓拍违法“黑烟车”，杜绝重点车辆违规排放；三是智慧工地场景，通过人工智能技术实时监测扬尘等，防止环境污染；四是餐饮企业管理场景，在全区推广“阳光餐饮”，通过传感器和算法监测油烟排放。

**政府减碳政策优化：**“城市大脑”基于海量数据积累和行业沉淀构建了全流程、一站式知识图谱解决方案，提供城市减碳智能决策辅助。同时，丰富的人工智能及行业算法积累，让“城市大脑”在应用中不断学习和优化，贯穿服务于政策的设计、落地和迭代。例如：海淀区交通指挥中心依托“城市大脑”的大数据及人工智能技术支持，实时感知交通态势，分析各类交通事件原因，一方面应急调整交通运行状态，降低交通拥堵产生的碳排放，另一方面结合长时间运行数据，优化调整已有交规政策，提高道路运输效率。

### 数智技术赋能政府治理现代化

北京海淀“城市大脑”代表的政府低碳治理实践具有示范性作用，符合碳达峰行动方案中的试点建设精神，其开放共享的人工智能生态圈可为全国提供可操作、可复制、可推广的经验做法。试点城市以点带面，形成网络效应，构建起省级、国家级的碳中和目标精细化、智能化监管体系。这既给地方提供了因地制宜低碳发展的土壤，又为上级政府进行碳中和顶层设计、目标分解提供了养分，驱动全国一盘棋，实现经济社会绿色转型。

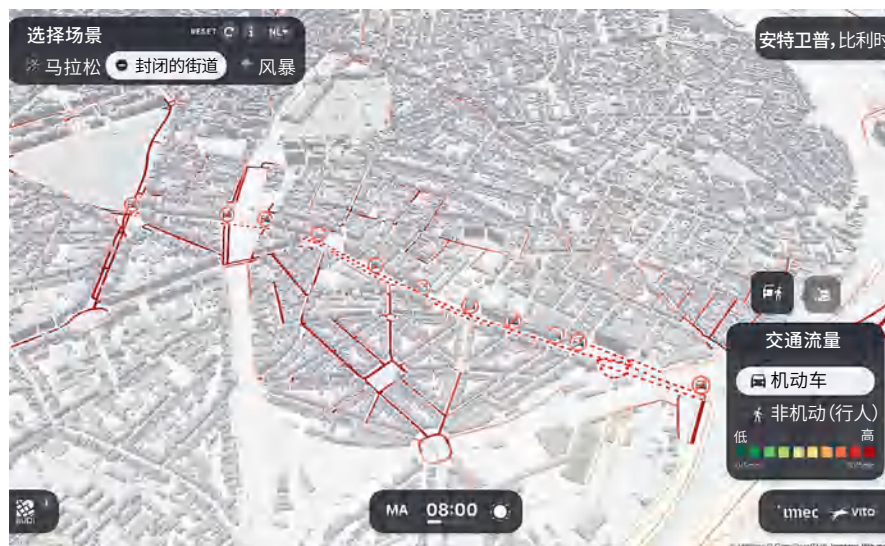
### 底层逻辑分析与启示

数智技术是建设数字政府的技术核心，是提高决策科学性和服务效能的重要抓手。数字技术支持政府及时、精准感知公共服务需求，人工智能帮助政府快速响应、针对部署，有效推动政府、市场与群众的良性互动，赋能政府治理数字化、智能化、现代化。

## 3.2 安特卫普数字孪生城市

为了保持城市和社区的吸引力和宜居性，政府层面需要综合考虑碳排放、空气质量、交通噪音等环境影响，改善

图3.2 数字孪生城市用户界面<sup>18</sup>





整体居住环境。但是城市作为一个复杂系统，对特定区域的干预性措施可能对城市中的其他位置和领域产生影响。举例来说，减少某些区域的车辆通行可以在减少当地碳排放的同时对邻近社区的空气质量产生积极影响，但也可能导致其他区域的交通拥堵和总体碳排放的恶化。因此，城市决策者在政策制定、城市规划时面临系统性挑战。

### 应对复杂性挑战需要更新城市决策工具

为解决上述挑战，政府层面需要跨时空、跨部门的多维实时数据，以支持不同场景的城市决策。作为比利时最大的港口和重工业城市，安特卫普市推出了“数字孪生城市”（digital twin），构架起数字世界和物理世界的桥梁，辅助城市决策者做出合理且低碳的城市规划<sup>17</sup>。

### 数字孪生城市支持多维度综合决策

通过大数据和地理信息系统构建的平台，数字孪生城市系统汇总了传感器实时采集的交通路况、空气质量、噪音污染等数据。这些信息与计算机模型相结合可以提供城市的最新情况以及预测性视图。这样一个平台实现了城市动态的监测

跟踪，并可以模拟和测试不同低碳减排措施对于城市的影响。例如图3.2展示了关闭安特卫普一条街道对于周边空气质量和交通流量的影响，为交通规划部门提供了决策支持工具。

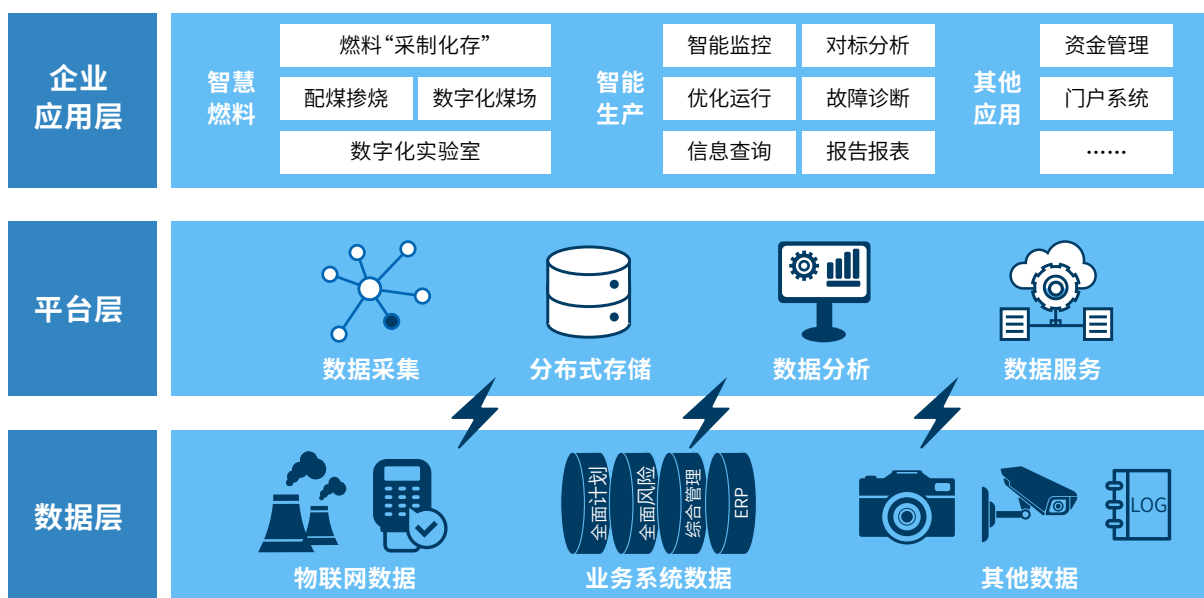
### 底层逻辑分析与启示

数字化手段为政策制定者提供了全新的管理工具，对城市治理有重要的借鉴意义。智能化手段让决策者充分利用了海量城市数据的价值，通过模型来挖掘、感知不同领域间的复杂关联，从而进行系统性的政策优化。在数字化底座和智能化引擎的支撑下，城市可继续扩展其他的创新应用方向，比如极端天气风险预警与应对以及疫情防控等。

## 3.3 大唐集团工业大数据平台

能源绿色低碳转型行动位列“碳达峰十大行动”之首，一个重要原因是火电行业贡献了全国约40%的碳排放，清洁、低碳、稳定的能源供给将是经济发展的必要动力<sup>19、20</sup>。实现碳达峰、碳中和，新能源将替代煤炭成为发电量主体，

图3.3 大唐集团大数据平台架构<sup>21</sup>



而火电厂则必须改善煤耗、实现节能减排，加快实现从发电主力到基础保障型和系统调节型电源的角色转变。

### 碳中和目标下煤电企业的角色转变

为实现向提供可靠电力、灵活性的调节型电源的转变，煤电企业不仅要通过技术手段尽可能降低煤耗、提高深度调峰能力，还要从设备、电厂、集团各层级优化管理、节约成本，以增加市场竞争力。自2012年起，作为全国五大发电集团之一的大唐集团积极布局物联网、数字孪生、云计算、人工智能、5G等先进技术，建设连通全国发电资产的工业大数据平台，通过大数据的监控和挖掘，提高煤电清洁、高效生产水平，实时保障电厂最优化运行，提升集团运营效益<sup>21、22</sup>（图3.3）。

### 工业大数据平台帮助火电减碳降本

大唐集团的发电资产遍布全国各省，总装机规模达到1.6亿千瓦，其工业大数据平台打破了机组、电厂、子公司间的数据孤岛，整合发电机组设备层数据、集团业务系统数据及地理信息、天气预报数据等，从数据采集、存储、清洗到分析与应用，实现了电厂数据挖掘和知识发现的全流程集成，其中智慧燃料、智能生产两个应用模块能够有效帮助火力发电减碳降本<sup>21</sup>。

**智慧燃料：**燃料成本通常占火电企业生产经营成本的60%以上，燃料管理不仅关系到发电过程的煤耗水平和燃煤效率，还涉及前期的燃料采购、运输和储存中的成本优化。该应用模块综合实时的燃料消耗、发电量、燃料库存和市场价格、运输车辆路线信息等数据，综合考虑单位燃料成本、锅炉燃烧效率、氮排放量等因素，一方面为电厂提供多目标优化的配煤掺烧方案，另一方面优化燃料竞价采购方案，降低燃料成本。仅2016年，全集团掺烧经济煤种原煤量共计8296万吨，节约燃料成本19.34亿元。

**智能生产：**大数据平台聚合了集团国内外所有发电设备的运行数据，通过前期的数据积累，构建设备异常

预警和故障诊断模型，并通过实时运行数据对模型不断进行检验和迭代。该应用模块实现了对发电设备的实时状态监测，提高了事故预兆识别能力，辅助现场人员优化运维策略。

### 底层逻辑分析与启示

工业大数据平台横向打通了分布广泛的生产设备传感器数据，纵向贯穿采购、生产、财务等管理流程，实现全方位、全流程的数字化管控和运营，构建起坚实的数字技术基础，为工业企业的数字化、智能化转型提供了基础。未来，“智慧能源供给物联网”的构建将以工业大数据平台为数字化底座，进一步整合水电、风电、光伏等清洁能源资产，开发相关智能运维模块，实现多能互补、全要素优化配置的能源生产体系，加速实现能源绿色低碳转型<sup>23</sup>。

## 3.4 国家电网人工智能平台

电网是衔接能源生产消费的生命线。在双碳愿景下，电网承担着大规模新能源消纳和传输的枢纽作用，同时伴随着化石能源的大量退役，实现安全、稳定、高效的电力传输面临着多重挑战。而通过打造电力人工智能平台，助力坚强智能电网建设，用数字化和智能化的方式护航电力传输成为当下的一个重要趋势。

### 新型电力系统下电网企业的新挑战

在以新能源为主体的新型电力系统下，电网企业面临着系统性的挑战：1)发电侧高比例的可再生能源带来系统波动性，同时风光水资源分布不均需要电力大规模跨省跨区传输；2)消费侧分布式电源、微电网的发展，电网运行由传统的生产者到消费者的单方向能量流动转变为和“生产者”的双向甚至多向流动，增加了电网调度运行的复杂性。在此背景下，国家电网积极拥抱智能化电网建设，打通发输配用全链条中数字与物理系统的深度融合，结合人工智能技术增强电网的感知、决策和执行能力，同时在集团内部建设AI人才培养体系、培育数智能力<sup>24</sup>。

**图3.4 人工智能在电力系统的应用场景**

	发电	输变电	配用电	电网安全与控制	企业经营	服务政府社会
机器学习	分布式电源功率预测 光伏风机主动运维	应急抢修指挥 主设备状态评价	营配调贯通治理 配网重过载预警 用电行为分析	调度监控自动预警 源网荷储协同分析 人在回路混合增强	上下游用户画像 综合能源服务 智慧物资管控	电力复工复产 征信信贷
计算机视觉	灾害预报 光伏功率预测	本体与输电通道检测 变电站智能监测运维	作业现场预警 人员姿态检测	电网状态全息感知 现场安全作业管控	OCR文档处理 财务智能管控	电力天眼 政务一站式服务
自然语言处理		电网一张图 主设备缺陷智能分析	应急指挥抢修 智慧客户服务	电网调度系统决策 二次设备状态评价 电网事故智能处置	企业知识库	支撑智慧城市 用电服务指南
电力智能机器人	光伏板清扫 风电场巡视	无人机巡线 绝缘漆喷涂 变电站巡检	配网带电作业 营业厅导航	调度智能助手	RPA流程自动化	

**国家电网人工智能平台助力坚强智能电网建设**

在2020年7月，国网公司召开了一次云签约仪式，与国内包括百度在内的多家互联网企业，签署战略合作协议，发布了数字新基建的十项重大任务。其中，在人工智能方面提出要构建电力人工智能平台，助力十三个典型场景的应用。在国网公司制定十四五发展规划的过程中，也对人工智能方面提出要求，包括突破人工智能的关键技术，包括开展典型的应用示范，以及在后续构建和推广智能的电力应用系统。

**输电设备巡检：**为解决输电线路分布广泛、户外环境复杂，人工巡视工作繁重的问题，联研院、中国电科院等单位攻克图像识别等关键技术，形成覆盖输电线路本体和通道巡视的8大类29小类缺陷的智能分析模型，并通过国网云平台实现全公司范围内的输电线路人工智能图像识别云服务，已在公司27个省，约300个地级市单位试点应用，获得广泛认可和好评。

**调度故障处置：**在智能调度场景中，国网公司为解决电网调度的故障处置问题，基于知识图谱技术构建了电网故障处理系统和电网调控知识网络，实现故障处理动态知识路径的自动推理判断以及提供知识检索、问答及业务流程引导服务，知识问答准确率达到95%以上，辅助调度员进行调度运行的有效决策，有效增强了调度人员的电网事故处理能力，显著提升了电网事故管控水平。

**底层逻辑与启示**

在新型电力系统下，坚强智能电网建设不可缺少数智技术的助力。无论是坚强主网架支撑的跨省跨区新能源传输，还是柔性配电网承载的微电网、虚拟电厂、车网融合等分布式能源应用，都要求电网充分利用跨业务、跨时间、跨区域的数据，及时准确预测发用电平衡、优化调度策略，这正是云智一体和电力场景融合创新的用武之地。

智能电网的成功实践对其他能源形式的高效输送具有指导性意义，如：供热网络，油气管网，以及未来可能大

规模应用的氢气管网等。数字技术让供能网络全区域、全层级的感知数据和共享资源；人工智能让数据与知识融合，赋予供能网络决策和执行能力。数智技术携手护航低碳能源的高效输送，打造多样化能源智慧供应链。

### 3.5 双汇物流智能调度<sup>i</sup>

随着收入水平提升，出行和货运的需求持续增长，中国交通系统的碳排放上行压力较大，绿色化势在必行，这将倒逼行业技术升级和模式创新。双汇携手百度智能云打造智慧物流系统，实现调度运输的管理闭环，显著提高全流程效率，加速双汇物流数字化、智能化、低碳化转型升级。

#### 业务扩张带来的物流调度压力

双汇物流是国内食品冷链行业的龙头企业，物流网络遍及全国各地，在全国拥有18个工厂及仓库，每天发车线路3000条以上。随着业务规模的快速增长，物流调度的压力剧增。双汇物流对信息化系统建设愈加重视，通过引入

更加智能、高效的系统，来使公司实现降本增效、节能减排，使物流重要节点调度更快捷、更低碳。

#### 智慧物流打造数字化管理闭环

通过对双汇物流的仓库、客户、承运商等业务主数据及冷链配送、常温配送等业务场景的梳理，智能调度系统可快速输出最优的运输车辆调度方案，降低物流成本，提升调度及配送的效率（图3.5）。

双汇物流通过智能调度系统记录调度过程，量化调度效率和调度结果的优劣，并通过延展订单管理系统（OMS）、运输管理系统（TMS）、计费管理系统（BMS）的部分功能，实现与ERP企业资源计划系统、车货匹配平台、货车导航等进行集成，实现了从接单、调度组单、派单派车、导航运输的管理闭环。双汇物流通过全调度流程的数字化，摆脱人为经验，更高效的对订单和运力类型进行组合，实现调度时间降低70%，综合成本下降5%，有效降低车辆空驶率，减少能源浪费。

图3.5 双汇物流智能调度系统界面（示例数据）



i: 本案例基于百度内部资料整理

## 底层逻辑与启示

数字化底座对订单、运输、计费、调度等关键环节的打通，是提升调度效率、降低成本的关键。在此基础上，物流行业进一步利用人工智能技术发展车货匹配平台，提升车辆利用率，优化仓、运、配等环节的运作效率，通过节能增效减少碳排放，将成为交通领域的总体发展趋势。作为能源消费侧的主要部门之一，交通领域应大力推动数智技术的应用，支持无人驾驶、智能汽车产业发展，发挥智能系统在通行状况实时监测、诊断分析、趋势判断、预报预警等方面的作用，优化资源配置、规避交通拥堵，有效降低车辆运输排放量。

## 3.6 美欣达智慧能源管理<sup>ii</sup>

工业是能源消费和碳排放的大户，因此工业绿色低碳转型是实现碳中和目标的重点领域。在此背景下，作为传统高耗能产业之一，纺织印染行业面临着“双控”制度下限产限电、落后产能淘汰的严峻挑战<sup>25</sup>。为此，浙江美欣达纺织

印染科技有限公司携手百度智能云，成功建立了智慧能源管理系统，在有效实现能耗管控的基础上力求降本增效，使其产品竞争优势更加明显，企业综合实力显著提升。

### 制造业不容忽视的能源管理难题

从2005起，美欣达就逐步建立了比较完善的能效管理体系，但由于各业务数据计量的覆盖率、时效性、颗粒度等限制，已经无法支撑企业从能源维度更深一步进行成本管控。因此，美欣达积极践行数字化转型，依托企业实际业务，同百度智能云共同开发了AIoT（即人工智能物联网）智慧能源管理服务云平台，促进企业能效水平、成本管控的进一步提高。

### 量身定制的纺织业智慧样本

美欣达智慧能源管理系统实现了设备层、资源层、平台层、应用层全面的生产与能效管理，并以数字化、物联网化、可视化、智能化的方式为能耗管理与工艺优化提供了更多可能（图3.6）。

图3.6 美欣达度能能源成本分析界面（示例数据）



ii: 本案例基于百度内部资料整理



通过度能平台,美欣达将现场能耗数据、产品质量检测等数据进行解析和数字化展示,实现了基础数据的一致性,并进一步通过能耗监测、评估、报表分析等,建立企业标准能耗体系。经过能源数据的系统级分析和深度应用,实现数据反哺生产工艺,使美欣达的系统蒸汽单耗下降了0.75t/万米,预期每年节约能源成本近百万元。

### 底层逻辑与启示

智技术帮助传统制造企业从生产控制到质量检测的全面能耗管控。AIoT技术的应用,为企业实现了碳排放数据监测、评估和分析。在此基础上,通过模型算法提升了生产工艺的稳定性和科学性,实现产能、品质、交付能力的综合提升,为传统制造业打造了智能化生产、能效管理的新样本,也为工业领域绿色高质量发展提供了借鉴方案。

## 3.7 某机场集团智能调度<sup>iii</sup>

2018年中国交通运输行业碳排放占全社会比重为11%,公路货运、水路货运、民航客运为交通运输行业碳排

放前三。2018年公路货运、水路货运、民航客运的碳排放分别为5.65亿吨、1.95亿吨、1.17亿吨,占比53.9%、18.6%、11.2%。交通运输的需求将随着人均GDP的提升而持续增长,中国交通运输的碳排放面临较大的上升压力。

### 碳达峰碳中和带来机场调度优化新需求

传统的调度通常采用纯运筹学的方法,计算速度较慢,而且泛化能力较差,每次问题变动都需要重新求解,效率较低。某机场集团机位资源分配和地勤人员排班主要依靠人工计算,容易出现飞机滑行时间过长,地勤人员工作量过饱和情况,导致机场整体运行效率较低,静态计划无法随着航班情况的变化而动态调整。客户希望建设机位资源智能分配系统,借助AI能力提高用户满意度和机场运行效率。

### 数智技术助力机场调度优化

结合运筹学和AI算法进行调度优化,首先可以实现快速求解,特别是在大规模参数条件下;其次模型泛化能力较强,同类问题模型可以复用,不需要重新建模求解;最后,结合AI算法的求解调度效果优于纯运筹学算法。

iii: 本案例基于百度内部资料整理

通过综合考虑某机场集团航班计划、机位使用情况等多个因素，百度智能云应用AI算法+运筹学模型快速建模寻优，帮助客户实现了机位的自动化、智能化分配，保障靠桥率并提高航班始发和放行正常率：1000多航班批量统一分配时间降低到1分钟以内，实时分配用时不超过10秒，靠桥率提升了5%-10%，通过智能调度能够减少每架飞机1-2分钟的滑行时间，减少10-20升航油消耗，从而减少碳排放。

### 底层逻辑与启示

飞机使用氢能可以直接有效的减少碳排放，实现碳中和，但是当前使用氢能与航油的成本差较高，短期内能源替代的技术难度较大。因此目前航空的碳排放减少主要依赖于飞行路线的优化、机场运行效率提高和燃油利用效率提升，其中采用人工智能等技术优化机位分配及航班靠桥是减少碳排放的最优选择之一，人工智能提升航班运行效率能为航空带来明显的降碳空间：根据中国民航局数据，2019年至2020年全国机场平均年起将1035万架次飞机，起降落优化每年可以减少二氧化碳排放量40.8万吨。

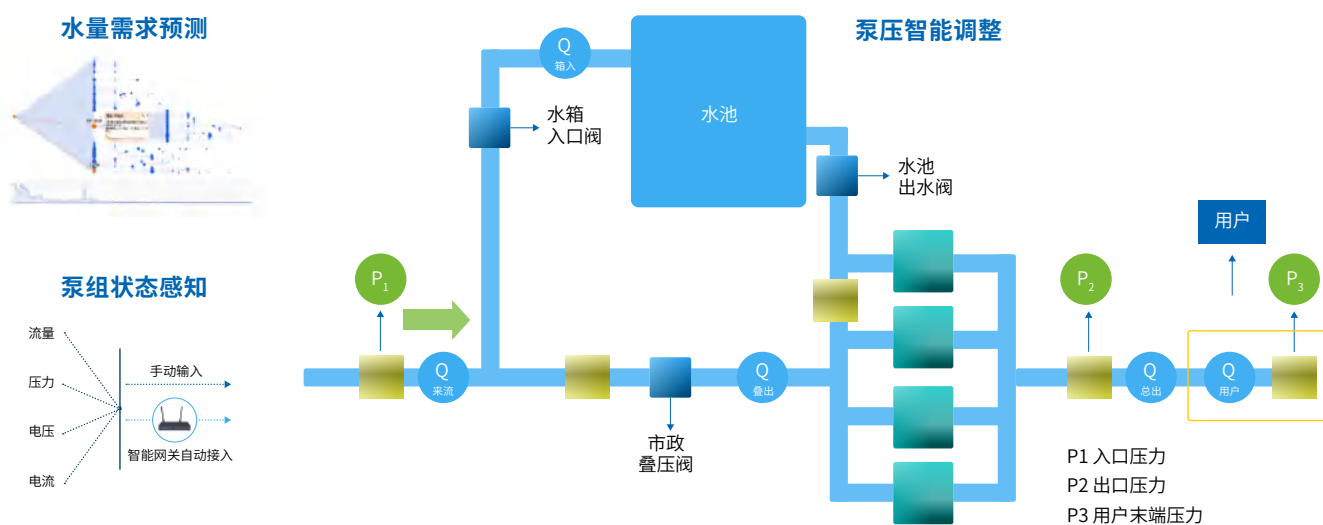
## 3.8 某水务集团智能调压<sup>iv</sup>

水务行业产业链包括原水、制水、供水、排水、污水、节水等环节，上述业务链条具有地域分布广、业务归属部门分散的特点。水务行业作为供排水民生保障类行业，更需要以实现碳达峰、碳中和目标为契机，开发绿色低碳和可持续新型工艺，挖掘碳减排潜力，达到减污与降碳协同增效的目的。某水务集团携手百度智能云，通过建设水务大脑，使整体人员效率提升5%以上，分散式污水处理设施正常运行率提升5%，实现了良好的经济效益、管理效益和社会效益。

### 水务行业能耗优化新需求

虽然与能源、工业、建筑、交通等部门相比，水务行业产生的温室气体排放比重较小，但其单位产值能耗高，属于能源密集型行业。某水务集团目前虽然使用变频水泵，但是未对区域用水量进行需求预测，水平衡模型建立存在误差，数据不准确，以恒定频率供水难以做到按需实时调控水泵的频率，导致用电量，造成能源浪费。

图3.7 某水务集团智能调压技术路线



iv: 本案例基于百度内部资料整理

### 水务大脑实现水泵精准调压

依托百度智能云建设水务大脑，沉淀水务数据，基于历史数据建立区域用水量预测AI模型，根据用水量需求预测、泵机流量、进出口压力、电机电压和电流等参数计算泵机效率，分析泵组实际运行工况，给出开/停机、频率等控制参数推荐值。在保证安全、稳定供水的前提下，进行智能化调压控制，实现能耗优化。经测算可以使制水供水单位能耗下降8%，减少供水环节用电造成的间接碳排放（图3.7）。

### 底层逻辑与启示

除了供水环节通过精准调压节省用电外，在污水处理的加药、曝气等多个环节存在利用人工智能技术精准加药、精准曝气，从而减少能耗、药耗的优化空间。随着物联网、大数据和人工智能等数智技术发展，依托云智一体平台，一方面可以准确预测水务行业各种场景下用水、用气、用药需求，另一方面可以实时感知和自动控制泵机、阀门、风机、料机的开关度、压力等各种参数，实现按需供水，按需加药，按需曝气，进一步节约能耗、药耗，助力水务行业碳达峰、碳中和。

## 3.9 贝莱德气候风险评级体系

绿色金融是实现碳达峰、碳中和的重要支柱之一。如图3.8所示，联合国测算全球层面实现碳中和需要125兆亿美元的投资，用来变革经济和规避气候灾难<sup>26</sup>。绿色金融是指为支持环境改善、应对气候变化和资源节约高效利用的经济活动所提供的金融服务，例如环保、节能、清洁能源、绿色交通、绿色建筑等领域的项目投融资、项目运营、风险管理等<sup>27</sup>。同时近年来，随着气候变化逐渐加剧，许多金融机构都意识到气候风险不再是虚无缥缈的阴谋论，而是迫在眉睫且触手可及的实际威胁。

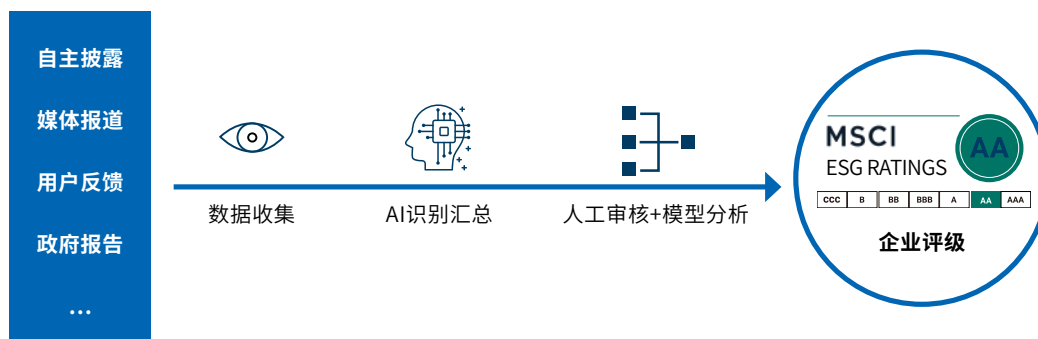
2020年，贝莱德(BlackRock)集团的创始人Larry Fink在其“写给CEO们的一封信”中，提出了气候风险就是投资风险的概念，强调绿色金融不是慈善活动，而是投资中规避风险的必要手段。作为全球最有影响力的资产管理公司之一，黑岩的策略转变引发了整个金融界的重视，绿色金融也得到了前所未有的关注。

图3.8 世界主要经济体实现碳中和在2021-2030年所需的金融投资<sup>26</sup>





图3.9 贝莱德&MSCI企业ESG评级体系



### 资产的气候影响难以判断

绿色金融的概念并不复杂，但衡量资产在气候方面所受到的影响却面临诸多挑战。对于以投资回报为导向的传统金融而言，资产的投资价值往往反映在其公开发表的报表之中。但判断一家企业在气候和环境领域的投入往往不能仅凭其年报的一面之词，而是需要通过搜集整合政府公开数据、新闻报道、第三方监测等多个渠道的信息来综合研判。对于金融机构而言，对所有可供投资的资产逐一进行人工排查和筛选显然是不现实的，这不仅会耗费大量的人力物力，也很难做到全面和具体。

### 借助人工智能判断企业气候影响

为了解决上述问题，贝莱德集团利用大数据和人工智能配合的方式为固定收益、股权投资等传统证券的气候影响评级。如图3.9所示，针对每一个证券，大数据平台会首先汇集尽可能多的信息，包括自主披露、政府监管文件、用户反馈、媒体报道等来源。之后，具有自然语言处理能力的AI系统会对收集到的信息做精简和整理，以供分析员人工审核。最后，这些通过精简和审核的数据会经过模型计算生成最终的气候影响评级。借助这套体系，贝莱德得以对全球超过1万家企业的股票和债券进行评估，其所代表的总市值超过了市场总可投资市值的95%以上<sup>28</sup>。

从结果上看，这套体系的受益者不仅仅是投资人，还是真正有雄心推动能源转型、减缓气候变化的企业。这些

企业也许在投资回报率上并不引人注目，但是其在气候和能源领域的投入却可以被人工智能和大数据平台捕捉，使其在众多企业中脱颖而出，获得投资人的青睐。根据贝莱德推算，其在气候领域的投资已经帮助企业减少了超过8500万吨的二氧化碳排放。

### 底层逻辑分析与启示

随着物联网技术的发展以及投资人对绿色投资的关注与重视，未来必将出现更细致、更严谨、更权威的气候风险评估体系。工业互联网与云平台技术使得AI系统能够调取企业的实际生产数据，并将其与企业主动披露的数据比对，包括能效、能耗、碳排放、能效提高方案等。基于这些方面的数智技术，金融体系能够将资源投入到气候负面影响最小、投入产出最高、对低碳节能推动最多的优质资产中，真正实现金融服务实体经济，服务碳达峰、碳中和。

# 第四章

A woman in a white lab coat is writing on a tablet. In the background, a modern glass skyscraper is visible. The image is overlaid with a teal and orange gradient.

数智碳中和  
愿景展望

科学技术始终是人类社会经济发展的主要动力。以创新引领的清洁能源革命与信息技术革命将在未来十年共同推动新一轮经济繁荣，这已经成为各国发展的战略重心，也必将是中国迈向绿色低碳社会的核心驱动。在实现碳达峰、碳中和的道路上，亟需降碳技术与数智技术的重大突破和紧密结合，而数智技术则将快速进入以人工智能为引领的高级阶段，为产业转型升级、能源系统革命、构建绿色生产生活方式开辟新的路径。

展望未来，数智碳中和之路需要社会各界共同参与、携手共进。

### 政府是数智碳中和的架构师

政府的角色将由直接激励转向引导零碳生态系统的构建。通过调整创新政策手段，减少对资金资助、税收减免等直接激励方式的依赖，更多地通过创造需求、营造环境、提供服务等手段引导数智技术的有序发展，构建生态系统。包括：建设和完善创新基础设施，促进数智技术的应用；通过技术共享、产学研合作、信息共享等平台建设催生更多数智技术的零碳创新应用场景；通过加强市场监管和知识产权保护等，保障数智技术应用的持续发展。

### 企业是数智碳中和的践行者

企业对数智技术的理解和应用将直接决定它在低碳转型中所处的位置。国内外的最佳实践已充分说明，在落实碳达峰碳中和目标的过程中，数智技术与降碳技术紧密结合相辅相成，成为企业能源转型过程中缺一不可的手段。建立以数字技术为基础底座、人工智能为推动引擎的低碳、零碳应用体系将是企业在未来增强抗风险能力、提升竞争力、创建绿色品牌、打造企业低碳引领形象方面的核心工作之一。此外，各行业的核心企业应利用其在产业链和供应链上的主导地位，通过建立产业绿色转型联盟等技术协作方式，推动全行业应用数智技术，持续推动供应链各环节的节能降碳。

### 金融机构是数智碳中和的撬动者

数智技术将成为金融机构锁定优质绿色投资标的的重要技术工具。机器学习将被广泛应用于绿色金融领域，其数据处理及推理的能力和效率将辅助金融机构对企业的生产和投资动态进行全面跟踪和分析，锁定最具ESG潜力的投融资对象，精准预测绿色投资收益，将资源投入到负面气候影响最小、投入产出最高、对低碳节能推动作用最大的优质资产。而寻找、评估与锁定最具有零碳价值实现的数智技术公司将是金融机构一个新的关注方向。也即，应投资于那些能够在落实碳达峰、碳中和进程中发挥技术引领作用，有巨大市场空间的数智技术的企业。无疑，如何能锁定这样的企业是非常现实的挑战。

### 数智技术公司是碳中和的助推者

数智技术公司将秉承开拓与创新的使命，以科技力量助推碳达峰、碳中和。在数字产业化浪潮下，利用数据进一步提升效率、降低成本成为技术演进的必然趋势，数智技术也就成为时代的必然选择。世界各国都加强了人工智能发展的布局，这也是中国在科技领域争取先发优势的重要赛道。在碳达峰、碳中和这项重大议题面前，数智技术公司要承担开拓与创新的使命，与实体经济深度融合，为社会培育双碳领域的人工智能人才，保障我国社会快速而平稳地向碳达峰、碳中和迈进。百度智能云将秉持“云智一体”赋能千行百业、促进经济高质量发展的使命，与重点行业企业开展更为密切的合作，打造数智化绿色转型样板，引领行业进入绿色发展的快车道。

碳达峰、碳中和意味着广泛而深刻的经济社会变革，各个领域、各类相关方都将深入参与这场变革，也将被这场变革所重构。面对这样重大的历史转折，所有相关方中的企业、机构、中间组织等创新主体应秉持生态共同体的理念，构成协同合作网络，才能最大程度地释放技术进步对生产力的引领作用。因此，促进更大范围的协同创新将是未来推动数智技术发展的重要举措之一。通过建立行业联盟、技术创新联盟及供应链联盟等多种平台，充分发挥平台的网络协同效应，积极促进各类主体和资源集聚，推动数智技术与行业实践结合，共同迈向碳中和。

# 参考文献

1. 项目综合报告编写组, 何建坤, 解振华, 李政, & 张希良. (2020). 中国长期低碳发展战略与转型路径研究. 中国人口·资源与环境, 30(11), 25.
2. EIA美国能源信息署. (2018). Energy intensity statistics. <https://www.eia.gov/international/data/world>
3. IEA国际能源署. (2019). China key energy statistics. <https://www.iea.org/countries/china>
4. 国家能源局. (2021). 2021年能源工作指导意见. [http://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2021-04/22/content\\_5601529.htm](http://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2021-04/22/content_5601529.htm)
5. BP. (2021). BP世界能源统计年鉴. [https://www.bp.com/zh\\_cn/china/home/news/reports/statistical-review-2021.html](https://www.bp.com/zh_cn/china/home/news/reports/statistical-review-2021.html)
6. IRENA国际可再生能源署. (2020). 2020年可再生能源发电成本.
7. 全球能源互联网发展合作组织. (2020). [读懂中国能源互联网] 破局: 中国能源转型之困与未来方向.
8. Rolnick, D., Donti, P. L., Kaack, L. H., Kochanski, K., Lacoste, A., Sankaran, K., ... & Bengio, Y. (2019). Tackling climate change with machine learning. arXiv preprint arXiv:1906.05433.
9. Yu, S., Cui, R., McJeon, H., Hultman, N., Clarke, L., & Yarlagadda, B. (2020). Five strategies to achieve china's 2060 carbon neutrality goal. [https://spp.umd.edu/sites/default/files/2020-09/5%20Strategies\\_China%202060\\_english.pdf](https://spp.umd.edu/sites/default/files/2020-09/5%20Strategies_China%202060_english.pdf)
10. RMI落基山研究所, ETC能源转型委员会. (2020). 中国2050: 一个全面实现现代化国家的零碳图景.
11. Azgomi, H. F., & Jamshidi, M. (2018). A brief survey on smart community and smart transportation. In 2018 IEEE 30th International Conference on Tools with Artificial Intelligence (ICTAI) (pp. 932-939). IEEE.
12. RMI落基山研究所. (2021). Decarbonizing Homes. <https://rmi.org/insight/decarbonizing-homes>
13. Carbon Delta. (2017). Carbon Delta Methodologies Overview. [https://www.tcfhub.org/wp-content/uploads/2019/07/201711\\_Carbon\\_Delta\\_Methodologies.pdf](https://www.tcfhub.org/wp-content/uploads/2019/07/201711_Carbon_Delta_Methodologies.pdf)
14. 贾思敏·蒂鲁, 齐晔, 宋祺佼等. (2021). 加快中国城市转型: 推动高质量增长、提升碳中和领导力的国家优先政策行动. [https://urbantransitions.global/wp-content/uploads/2021/03/Accelerating\\_Chinas\\_Urban\\_Transition\\_ZH\\_2.pdf](https://urbantransitions.global/wp-content/uploads/2021/03/Accelerating_Chinas_Urban_Transition_ZH_2.pdf)
15. Wei, T., Wu, J., Chen, S. (2021). Keeping Track of Greenhouse Gas Emission Reduction Progress and Targets in 167 Cities Worldwide. Frontiers in Sustainable Cities. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/frsc.2021.696381/full#h2>

16. 国家工业信息安全发展研究中心, 百度智能云. (2021). 人工智能助力城市“双碳”目标达成
17. Imec. (2018). Imec and TNO launch Digital Twin of the city of Antwerp. <https://www.imec-int.com/en/articles/imec-and-tno-launch-digital-twin-of-the-city-of-antwerp>
18. Coenen,T., Walravens, N., Vannieuwenhuyze, J., Lefever, S., Michiels, P., Otjacques, B., Degreef, G. (2021). Open Urban Digital Twins - insights in the current state of play. <https://vlocavis.z6.web.core.windows.net/Urban%20Digital%20Twins.pdf>
19. 中国电力企业联合会. (2021). 中国电力行业年度发展报告.
20. 中国煤炭工业协会. (2020). 2020年煤炭行业发展年度报告. <http://www.coalchina.org.cn/upload-file/2021/0303/20210303022435291.pdf>
21. 中国信息通信研究院. (2017). 工业大数据技术与应用白皮书. [http://www.cac.gov.cn/2017-07/04/c\\_1121534664.htm](http://www.cac.gov.cn/2017-07/04/c_1121534664.htm)
22. 姜永斌. (2021). 我国首家燃煤发电“智慧电厂”迈向2.0版, 超低排放打造绿色火电. 中央纪委国家监委网站. [https://www.ccdi.gov.cn/yaowen/202105/t20210517\\_242063.html](https://www.ccdi.gov.cn/yaowen/202105/t20210517_242063.html)
23. 中国大唐集团有限公司. (2021). 加快推进数字化转型 培育高质量发展新动能. 国务院国有资产监督管理委员会. <http://www.sasac.gov.cn/n4470048/n13461446/n15927611/n15927638/n16135038/c16512416/content.html>
24. 百度智能云. (2021). “云智一体”技术与应用解析系列白皮书 (第一期) -企业AI开发篇
25. 浙江省发展和改革委员会. (2021). 关于印发《浙江省节能降耗和能源资源优化配置“十四五”规划》的通知. [http://www.zj.gov.cn/art/2021/7/7/art\\_1229505857\\_2310529.html](http://www.zj.gov.cn/art/2021/7/7/art_1229505857_2310529.html)
26. UNFCCC. (2021). Race to Zero campaign. <https://www.gfanzero.com/netzerofinancing>
27. 新华社. (2016). 七部委发布《关于构建绿色金融体系的指导意见》. <http://www.scio.gov.cn/32344/32345/35889/36819/xgzc36825/Document/1555348/1555348.htm>
28. MSCI. (2021). ESG Investing Better investments for a better world. <https://www.msci.com/documents/1296102/23188071/MSCI-ESG-Investing-Brochure.pdf>



除特别注明, 所有图片均来自istock



# 百度智能云

北京市海淀区上地十街10号

百度大厦2层

[cloud.baidu.com](http://cloud.baidu.com)



北京市朝阳区景华南街5号

远洋光华国际C座1606

[www.rmi.org](http://www.rmi.org)

© January 2022 RMI. All rights reserved.

Rocky Mountain Institute® and RMI® are registered trademarks.