



全球能源转型及 零碳发展白皮书

2021年9月

因我不同
成就不凡

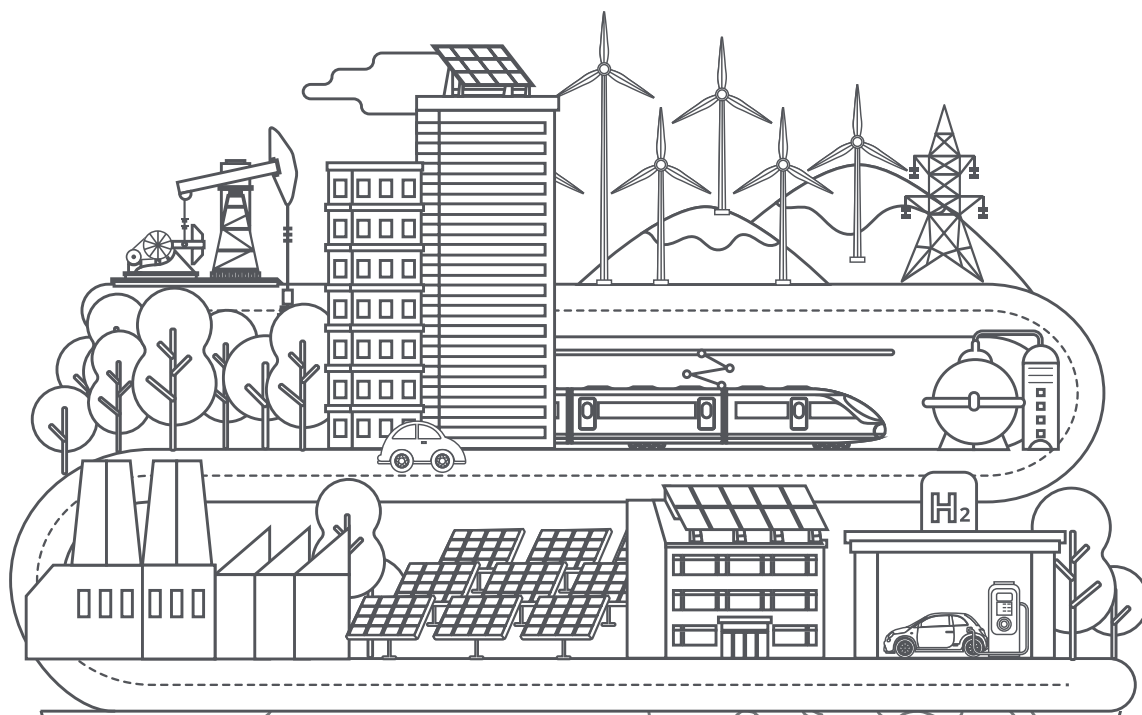
始于1845



全球能源转型及零碳发展白皮书

华为与德勤(中国)联合编写

2021年9月





目录

第一章 气候变化、能源转型与零碳发展	1
第一节 气候变化与全球碳中和行动	2
第二节 中国碳中和行动	5
第三节 全球能源转型	7
第四节 中国能源转型	10
第五节 能源转型案例	12
第六节 总结	15
第二章 未来能源规划	16
第一节 零碳智慧能源体系框架	17
第二节 零碳智慧能源体系目标	18
第三节 零碳智慧能源体系蓝图	19
第四节 零碳智慧能源体系特征	21
第五节 零碳智慧能源体系核心能力	22
第六节 零碳智慧能源体系发展路径	24



第三章 能源转型路径	26
第一节 电力行业转型路径	27
第二节 油气行业转型路径	29
第三节 煤炭行业转型路径	31
第四节 能源转型路径总结	32
第四章 能源数字化支撑体系	33
第一节 能源数字化转型内涵	34
第二节 能源数字化转型能力框架	36
第三节 案例：华为零碳智慧园区	42
结束语	47
参考文献	48
项目组核心成员	49

第一章 气候变化、能源转型 与零碳发展



第一节 气候变化与全球碳中和行动

1850-2019年期间，人类总计排放约2.4万亿吨温室气体，地表温度较工业化前水平上升近1.1°C¹，气候变化对环境、社会、经济的影响日益加剧，极端天气发生的频率增加，海平面加速上升，上百万物种濒临灭绝。为应对气候变

化，2015年全球近两百个国家通过《巴黎协定》，明确减少温室气体排放，本世纪内控制温升在工业化前水平2°C以内，并力争1.5°C的气候共识，全球需在本世纪中叶前后实现温室气体净零排放。

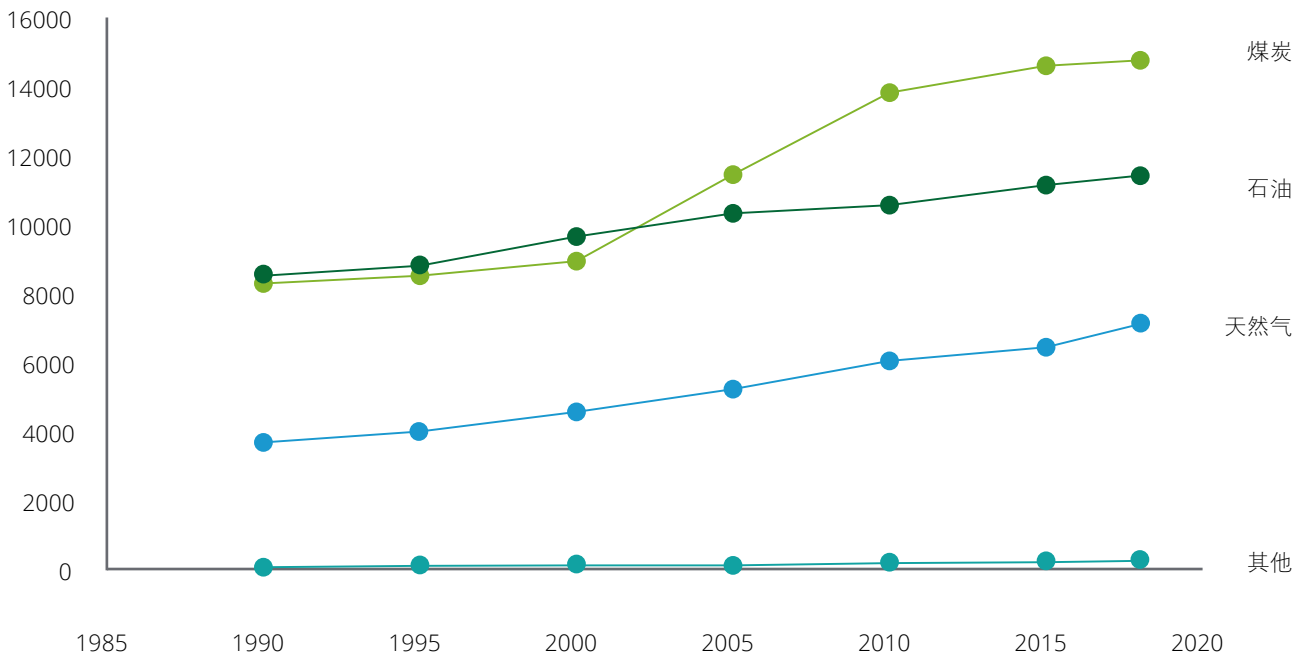
表1: 全球GDP前10国家的气候承诺

国家	净零目标	承诺性质
美国	2050年	政策宣示
中国	2060年前	政策宣示
日本	2050年	政策宣示
德国	2045年	法律规定
印度	/	/
英国	2050年	法律规定
法国	2050年	法律规定
意大利	2050年	政策宣示
巴西	2050年	政策宣示
加拿大	2050年	政策宣示

在本世纪中叶前后实现温室气体净零排放是实现《巴黎协定》目标的关键²。据政府间气候变化专门委员会 (IPCC) 数据, 在本世纪控制升温1.5°C的情景下, 2020年后全球碳

排放总量需控制在5000亿吨二氧化碳当量以内¹, 而2019年单年全球排放量已超500亿吨³, 按照当前发展趋势, 本世纪中叶将难以达成净零目标¹, 零碳转型亟需加速。

图1: 全球各类能源碳排放量 (单位: Mt)

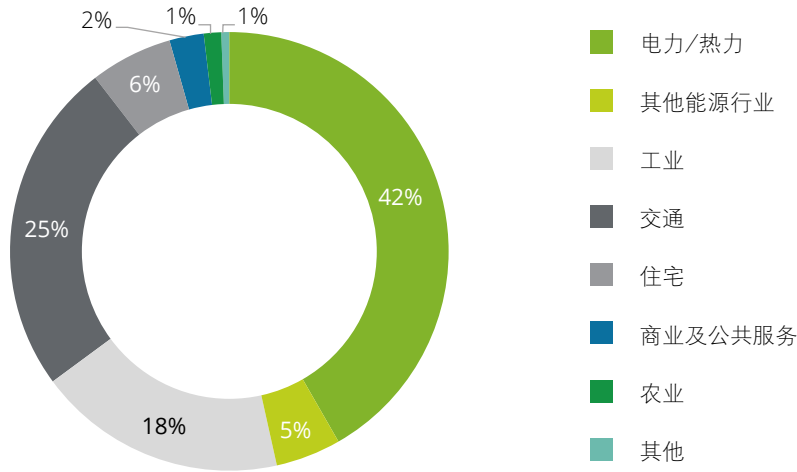


来源: 国际能源署

近十年来, 化石能源相关碳排持续增长, 2019年占温室气体总量65%。纵览世界经济体当前的气候行动, 可再生能源规模化部署、工业制造业减排升级、交通运输业绿色

转型、建筑能效提升和负碳技术开发利用成为零碳发展重点领域。

图2: 全球各部门碳排占比 (2018年)



来源: 国际能源署

1. 可再生能源规模化部署

2013年以来, 全球可再生能源领域投资约为年均3000亿美元, 太阳能和风能是最大投资热点; 2020年, 海上风能投资跃升至500亿美元左右, 成为增速最快的领域⁴。中国、美国和欧洲投资规模全球领先⁵。

2. 工业制造业减排升级

化工、钢铁和水泥三大行业占全球工业部门碳排放总量的70% (2020年)⁶, 三大行业正积极探索减排升级新方式, 如整合价值链资源, 推进废弃物转化利用; 引进氢能冶金工艺, 减少直接排放; 利用碳捕集、利用与封存技术 (CCUS), 推进净零排放⁷。

3. 交通运输业绿色转型

2014年以来, 以电能、燃料电池替代化石燃料的新能源交通产业蓬勃发展, 2020年全球电动汽车保有量突破1000万辆, 年增长率43%, 同期燃料电池车增长率40%。铁路电气化、货运氢能利用、交通系统智慧升级正在成为全球趋势。

4. 建筑能效提升

2019年, 73个国家制定了建筑能效标准, 全球可持续/绿色建筑认证数量保持增长。各国通过应用新型墙体材料、增强建筑围护结构的热工性能、提高建筑用能设备电气化水平、采用高效设备、提升建筑物用能系统运行效率等方式, 优化建筑能效。

5. 负碳技术开发利用

全球范围内, CCUS的捕集规模在2010-2020年期间翻了三倍, 2020年超4000万吨⁸。各国对CCUS、生物能源与碳捕集和封存 (BECCS)、空气直接碳捕集 (DAC) 以及造林与再造林等生态类负碳技术日益重视。

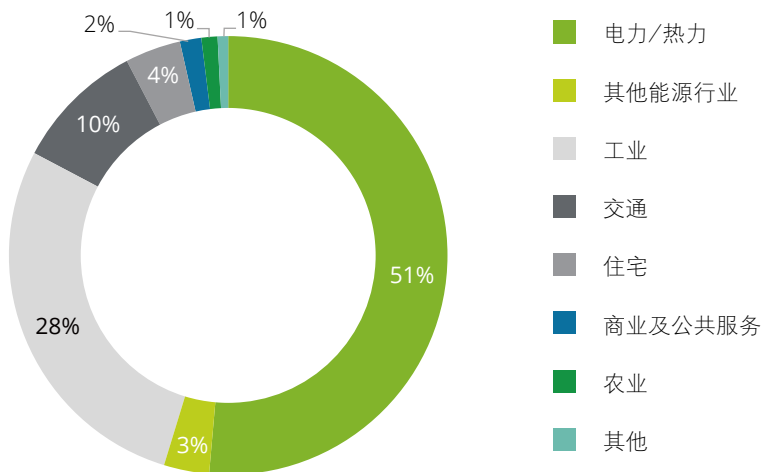
各国在推进气候行动的同时, 均高度重视数字技术应用, 支持能源、工业、交通和建筑等部门零碳转型。据世界经济论坛分析, 到2030年, 5G、物联网、人工智能、云等数字技术可以助力全球15%的碳减排⁹。

第二节 中国碳中和行动

2020年，中国正式宣布“二氧化碳排放力争于2030年前达到峰值，努力争取2060年前实现碳中和”的双碳气候目标。近四十年以来，中国经济高速发展伴随着资源高强度消耗、化石能源大量消费、污染物与碳排放迅速增长。自2010年起，中国发布多项政策，采取产业转型

升级、能源结构调整、技术创新等多方面措施应对气候变化。2019年底，中国碳排放强度较2005年下降48%¹⁰，提前实现了2015年提出的碳排放强度下降40%-45%的目标。

图3: 中国各部门碳排占比 (2018年)



来源: 国际能源署

中国碳排放总量大且仍呈上升趋势，2020年，中国温室气体排放逾100亿吨，约占全球四分之一³，总量全球第一。其中能源、工业排放比重高，在保障经济稳步发展的前提下实现双碳目标，挑战严峻。中国以政策、金融

和技术为支撑，从能源系统转型优化、工业系统转型升级、交通系统清洁化发展、建筑系统能效提升、负碳技术开发利用等方面开展碳中和行动。

图4: 中国系统性支持碳中和举措



来源: 德勤研究, 政府文件及公开资料

1. 能源系统转型优化

2020年中国煤炭消费占一次能源消费的比重为57%，单位能源消费碳强度高于世界平均水平30%¹¹，电力/热力行业煤炭依赖度高，碳排放占全国总量约二分之一。推动能源供给、消费、技术和体制革命，加强全方位国际合作，构建清洁安全高效的能源体系，建设以新能源为主体的新型电力系统是中国能源系统发展的主要方向。

2. 工业系统转型升级

中国单位GDP能耗是世界平均水平近1.5倍³，高能耗的工业制造业比重偏高，工业制造业碳排放量仅次于电力/热力行业¹²。中国以碳强度控制为主、碳排放总量控制为辅，控制钢铁等高耗能产业扩张，淘汰落后产能，促进节能环保产业发展，加深工业互联网等新技术应用，建设绿色制造体系，推进工业制造业产业结构调整升级。

3. 交通系统清洁化发展

新能源汽车在中国高速发展，保有量全球领先，并计划到2035年实现纯电动汽车成为新车销售主流。推进新能源汽车产业发展，铁路电气化、水运液化天然气应用，优化调整运输结构，形成铁路、水运替代道路运输为主的货运中长距离运输格局助力交通系统绿色发展。此外，交通、能源与信息通信融合加深将加速交通系统减排。

4. 建筑系统能效提升

2015-2019年期间，中国累计建设节能建筑超198亿平方米，占城镇既有建筑面积比例56%¹⁰。该比例计划至2022年提升到70%。2021年新版《绿色债券支持项目目

录》将绿色建筑、建筑节能等领域纳入支持范围；光伏屋顶、生物质供能等建筑供能改造，供暖、炊事电气化等措施进一步推广，助力全面提升建筑能效。

5. 负碳技术开发利用

中国CCUS技术目前整体处于工业示范阶段，煤炭、电力、化工等行业已经开展CCUS试点。伴随技术成本下降，应用规模扩大，未来将基本可以满足碳中和目标下6-21亿吨捕集量的需求¹³。同时，中国积极推进生态碳汇建设，森林面积30年保持增长，湿地、海洋等固碳作用日益受到重视。

6. 政策、金融与技术支撑

中国绿色金融体系建设自2016年后稳步发展，绿色债券发行量、绿色信贷存量全球领先。自双碳目标公布后，碳质押、碳回购等碳融资探索加速，中国碳市场2021年正式上线交易，发电行业成为首个纳入全国碳市场的行业，覆盖约45亿吨二氧化碳排放量，是全球规模最大的碳市场。碳市场的覆盖范围将逐步扩大到其他重点行业，通过发挥价格信号的引导作用，鼓励企业开展节能减排。2021年下旬，中国发改委和国家能源局联合成立碳排放统计核算工作组，加快建立统一的碳排放统计核算体系，提升各地区、各行业碳排信息标准的一致性，为制定减排政策和各类主体采取减排行动提供依据。此外，中国已将数字化转型上升为国家战略，数字技术与实体经济正加深融合，智能电网、智能制造、智慧建筑、智能交通、智慧城市等发展助力构建绿色经济。

第三节 全球能源转型

一、对能源转型的理解

能源转型是实现碳中和的关键因素。全球一半以上的温室气体排放来自能源行业，因此，能源行业是各国最为重视的减排领域，面临的减排任务艰巨。国际能源署发布的《2020能源技术展望》报告中显示，要实现全球经济与气候可持续发展，全球二氧化碳排放需在本世纪中叶前后实现净零排放，全球能源生产和消费模式需发生深刻变革¹⁴。

能源转型主要包括两个方面内容。一是实现能源结构调整，由化石能源向可再生能源转型，从能源生产、输送、转换和存储全面进行改造或者调整，形成新的能源体系，全面提升可再生能源利用率；二是加大电能替代及电气化改造力度，推行终端用能领域多能协同和能源综合梯级利用，推动各行业节能减排，提升能效水平。

二、影响全球能源转型的因素

未来能源格局将面临五类关键影响因素：

1. 社会

包括绿色发展和消费理念宣贯，社会公众对能源转型的理解及行动，消费者行为向绿色消费的转变程度，能源转型相关人才的储备；

2. 经济

包括能源产业政策，能源投融资成本，能源资产组合，能源市场体系，能源价格及碳价格，碳资产及碳税；

3. 政治

包括能源安全及相关保障，各地地缘政治格局，全球关系，以及发展中国家向可再生能源的发展速度及程度；

4. 环境

包括温室气体排放水平，气候变化影响，生态环境保护程度，公众及决策者在气候变化方面的应对举措；

5. 技术

包括新能源开发与利用技术，化石能源清洁高效利用技术，节能减排技术，负碳技术，能源数字化转型技术。

三、全球能源转型总体思路

全球能源需求量与日俱增及气候变化影响日益加剧，给能源市场带来巨大压力，故需在全球加快开展能源转型的相关行动。基于对全球能源转型五类关键影响因素分析，我们将全球能源转型总体思路总结如下：

1. 发展清洁能源

根据国际可再生能源署（IRENA）数据统计，从2012年开始，全球每年清洁能源新增装机容量已经超过了各类化石能源新增装机容量的总和；2020年，全球新增清洁能源装机容量，已经是其他来源的四倍多¹⁵，但清洁能源总装机占比仍低于化石能源；全球范围内要实现能源转型，应继续推进清洁能源大规模开发利用，并不断降低清洁能源开发利用成本。

2. 重视能源安全

重视能源安全，包括国家能源供给安全和能源系统自身的安全。各国结合自身的资源禀赋推动传统化石能源向可再生能源转型，为能源自给和能源安全创造有利条件；可再生能源的间歇性、波动性、随机性等特点对能源网络运行、调度和控制提出更高要求，需建立源网荷储综合协同的能源系统以保障能源安全可靠供应；化石能源由主能源转变为辅助调节型能源，化石能源清洁高效利用作为能源安全的备用保障，将有效降低能源系统风险。

3. 提升技术创新

IRENA在《世界能源转型展望》报告中分析，要成功实现2050年的气候目标，超过90%的解决方案，将涉及可再生能源供应、电气化、能效提升、绿氢和生物能源以及碳捕捉与封存等解决方案和新技术的应用。以绿氢为例，技术创新将赋能绿氢在钢铁、化工、长途运输、航运和航空等排放密集型行业的应用，助力脱碳难度大的行业实现低碳发展。全球能源转型应加强政策引导，加大研发投入，提升创新速度，降低开发应用成本。

4. 促进国际合作

随着《巴黎协定》的签署，诸多国家已经开始制定相关能源转型和零碳转型战略。如2020年3月，欧盟委员会发布《欧洲气候法》，建立法律框架，明确到2050年实现气候中性的欧洲愿景，推动各国依法制定气候中性实现路径。在各领域开展有效的国际互利合作，跨越国界部署协调一致的措施，将有助于全球能源转型和零碳发展目标实现。

四、全球能源转型不同区域分析

各国结合自身资源禀赋、能源战略、技术水平等差异，走上各自不同的转型道路。发达经济体先于其他经济体制定相关举措，如欧洲能源转型处于领先地位，进行能源脱碳和能源消费模式变革，出台《绿色新政》等政策以支持可再生能源的发展，塑造全球领导力；而美国能源转型侧重于寻求发展经济和降碳减排之间的平衡，在保留碳氢化合物产业同时，2020年出台一系列发展海上风电、限制石油和天然气产业开发等政策与举措，促进可再生能源的持续增长。

表2: 部分区域/国家能源转型战略及特色

国家	欧洲	北美	中东	日韩	澳大利亚
发展清洁能源	<ul style="list-style-type: none"> 快速开发商用可再生能源和氢能源，减少能源供应对外依赖 	<ul style="list-style-type: none"> 制定可再生能源补贴与激励政策，推动可再生能源产业技术创新 	<ul style="list-style-type: none"> 利用高效节能技术减少碳排放 	<ul style="list-style-type: none"> 大力发展清洁能源，提高能源独立性 关注绿氢等新技术的创新应用 	<ul style="list-style-type: none"> 提升可再生能源开发和利用及传统碳氢化合物清洁生产能力
提升技术创新	<ul style="list-style-type: none"> 利用先发优势，向亟待低碳转型的国家输出技术和知识产权 	<ul style="list-style-type: none"> 发展分布式能源、微网和区块链等技术以实现区域能源自治 设计开发领先的智能型、节能型创新运输模式 	<ul style="list-style-type: none"> 吸引境外直接投资并引进绿色技术，以支持经济增长 承接排放密集型产业（如制造业等） 	<ul style="list-style-type: none"> 通过科技攻关、政府投资和财政补贴等方式，多举措培育氢能产业 	<ul style="list-style-type: none"> 拓展碳氢化合物价值链
重视能源安全	<ul style="list-style-type: none"> 在确保能源安全的前提下，大力推进能源脱碳，煤炭等碳氢化合物尚未完全退出市场 	<ul style="list-style-type: none"> 大规模开采页岩气以保障能源安全，使美国成为能源净出口国 碳氢化合物产业地位仍然重要，加强国际贸易合作 	<ul style="list-style-type: none"> 能源需求持续增加，可再生能源占比较低，对碳氢化合物的依赖加剧 	<ul style="list-style-type: none"> 通过与能源出口国紧密合作和自由的国际能源贸易，确保稳定的能源供应 	<ul style="list-style-type: none"> 大力推进太阳能等清洁能源开发利用，实现能源多样化
促进国际合作	<ul style="list-style-type: none"> 引领绿色变革，推动制定协同的气候变化政策，在完善全球碳交易机制等方面发挥关键作用 	<ul style="list-style-type: none"> 能源企业持续向发展中国家能源市场渗透，与其他全球跨国公司的竞争加剧 减排难度高的行业大力使用液化天然气，降低碳排放强度 	<ul style="list-style-type: none"> 缺乏先进的低碳能源技术，可再生能源转型速度滞后于发达国家 依靠全球技术共享与合作，加速清洁能源布局 	<ul style="list-style-type: none"> 通过国际合作，积极开发氢能产业 	<ul style="list-style-type: none"> 通过自由国际能源贸易，提高国际能源市场占比

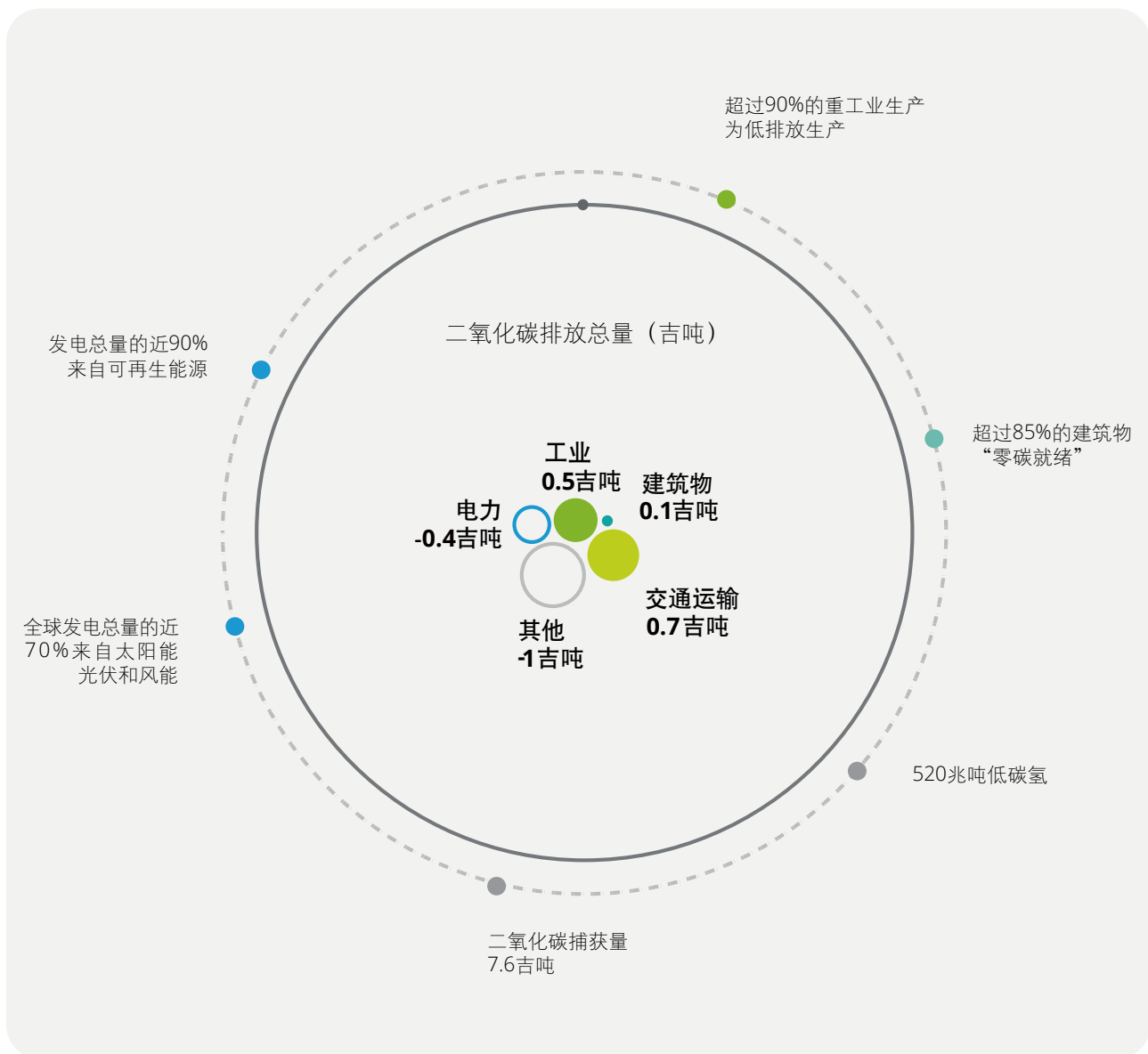
来源：德勤，德勤未来能源展望

五、2050年全球能源情景预测

2050年全球范围内实现净零排放是一个关键而艰巨的目标，需要全球各国群策群力，紧密协作。

根据国际能源署2050年净零排放路线图的情景预测，2050年全球能源将以可再生能源为主，各项低碳或零碳技术发展成熟，各行业将实现低碳排放或零碳排放。

图5：2050年全球能源转型情景预测



来源：国际能源署

注释1 “零碳就绪”建筑物指高效建筑，直接使用可再生能源或已脱碳的能源

注释2 低碳氢包含绿氢和蓝氢，以绿氢为主

第四节 中国能源转型

随着国际社会不断强化应对气候变化行动，全球能源转型持续加速。在“四个革命、一个合作”的能源安全新战略指引和双碳目标推动下，中国能源转型已进入新阶段。

一、中国能源安全新战略

2014年中国提出“四个革命、一个合作”的能源安全新战略，包括推动能源消费革命、能源供给革命、能源技术革命、能源体制革命，以及全方位加强国际合作。中国能源转型也以此为战略指导，开始构建清洁低碳、安全高效的能源体系。

1. 推动能源消费革命

坚持节能优先方针，完善能源消费总量管理，强化能源强度控制，把节能贯穿于各领域，推动终端用能清洁化、低碳化。

2. 推动能源供给革命

建立多元清洁的能源供应体系，优先发展非化石能源，推进化石清洁高效利用，统筹发展能源输配送和储备设施。

3. 推动能源技术革命

以绿色低碳为方向，推动技术创新、产业创新、商业模式创新，将能源技术及其关联产业培育成带动中国产业升级的新增长点。

4. 推动能源体制革命

构建有效竞争的能源市场，完善主要由市场决定的能源价格机制，转变政府对能源的监管方式，建立健全能源法治体系。

5. 全方位加强国际合作

遵循互利共赢原则开展国际合作，积极参与全球能源治理，共同维护全球能源市场稳定，引导应对气候变化的国际合作。

二、中国能源转型进入攻坚期

中国已经成为全球能源生产和能源消费大国，基本形成了煤、油、气、电、核、新能源和可再生能源多轮驱动的能源生产体系。煤炭是保障能源供应的基础能源，原

油产量保持稳定，天然气产量明显提升，在建核电装机容量世界第一，可再生能源开发利用规模快速扩大，水电、风电、光伏发电累计装机容量均居世界首位。中国能源发展现状呈现以下特点：

- 已成为世界最大的能源生产国和消费国，煤炭产量和消费量全球第一，石油消费全球第二，天然气消费全球第三；
- 能源供应已形成以煤为主的高碳能源结构，能源开采、转换、传输具有大型化、集中化特点，能源生产和消费中心分离；
- 可再生能源技术发展迅速，风电、光伏在全球具备竞争优势，蓄冷、蓄热、化学储能等应用商业模式逐步成熟；
- 油气、电力市场有序开放，能源价格机制改革稳步推进，能源市场体系日臻完善。

中国承诺争取2030年前碳排放达峰，2060年前达到碳中和目标。能源转型是中国双碳目标成功与否的关键，能源供应和消费系统亟待变革。中国计划2030年非化石能源占一次能源消费比重达到25%左右，风电、太阳能总装机容量12亿千瓦以上。能源低碳转型进入攻坚期，并面临以下重大考验：

- 安全与低碳平衡：中国富煤、贫油、少气的能源禀赋，以及全球频繁发生的极端事件，决定中国能源转型需要综合考虑能源安全供应与低碳环保目标，并积极应对极端事件影响；
- 多能协同互补：明确煤炭、油气发展定位，实现多种能源协同供应和能源综合阶梯利用；
- 能源消费优化：以节能技术提高能源利用效率，以电能深度替代化石能源，并系统性改变能源基础设施；
- 能源系统和网络调整：高比例可再生能源接入需要建立新型能源系统和网络，以实现可再生能源高效消纳、电网安全运行和市场机制高效灵活；
- 市场化改革推进：推进油气行业竞争性环节市场化改革，建设电力中长期、现货和辅助服务市场相衔接的电力市场体系。

三、中国能源转型趋势

未来中国能源转型的过程也是克服以上挑战的过程，中国能源转型呈现四大趋势。

1. 能源消费增速放缓，能源供应向多元清洁的综合能源体系转型

中国能源消费增速逐年放缓。2020年中国一次能源消费总量49.8亿吨标准煤¹⁶，预计2025年、2030年分别为56亿、60亿吨标准煤¹⁷。化石能源和可再生能源的比重和战略地位发生转变，能源供应由高碳主导向多元清洁的综合能源体系转型，实现“电、热、冷、气、水、氢”多能协同。与此同时，能源效率提升，电能占终端能源消费比重上升。一体化消费、生产型消费者等新的能源消费模式兴起。

2. 数字化和智能化提升能源系统整体效率和安全性

向综合能源体系转型的过程将伴随着各类能源间的灵活转换和互通互济，以及生产、传输、消费环节数据利用效率的提升。数字化和智能化将充分挖掘和利用各类能源全生命周期数据价值：5G技术为能源系统提供超大带宽、超低时延的通讯能力，物联网技术实现海量设备在线接入和数据采集，云计算和人工智能技术提高能源大数据的计算、处理和分析效率。能源企业通过数据分析优化决策，从而提升能源生产、传输、交易与消费的运营效率，最终提升能源系统整体效率与安全性。以电力

系统为例，清洁能源大规模接入，分布式能源、储能、电动汽车、智能用电设备等交互式设施大量使用，伴随大数据、云计算、物联网、人工智能等信息技术的广泛应用，电力系统向更加高效化、互动化、智能化发展成为必然趋势。

3. 能源服务模式及消费者角色发生变化

能源转型过程中，能源服务向多元化、综合化发展，为消费者提供丰富的用能选择，能源消费者与供应者的关系逐渐从单向供需关系向双向互动模式转变。能源消费者正从单一消费角色转变为消费、生产、交易和储存等多种角色，能源消费者的购买决定将不仅取决于价格，能源的品质、使用便捷性、环境影响、技术变革等因素也成为重要的考虑因素。

4. 零碳转型、能源转型和数字化转型推动新模式、新业态发展

零碳转型、能源转型与数字化转型的深度融合，正在驱动能源供需方式和商业生态发生深刻变化，催生新的商业模式和新业态。例如通过整合能源咨询、绿能替代、多能互补、投建运一体化、能效管理、碳资产管理、数字化平台等能力提供一站式智慧能源服务，实现与用户双向互动和能源生态数据共享；数字技术及互联网公司等非传统能源企业加入市场，形成传统能源企业与新兴服务商共存的商业生态。

图6: 中国能源转型趋势



来源：德勤研究

第五节 能源转型案例

一、意大利电力公司Enel：以循环经济战略推动源侧、网侧、用户侧脱碳

Enel实施“循环经济战略”并以此指导其能源转型：通过投资可再生能源和关闭燃煤电厂加速电源侧脱碳，开发应用智能电网技术提升电网可再生能源消纳能力，以数字化解决方案支持客户的电气化和脱碳。

意大利国家电力公司Enel (Enel S. p.A. / Enel Group) 为欧洲最大的公用事业公司，也是全球最大的私营可再生能源运营商及最大的私营配电公司。集团旗下业务遍布全球47个国家，2020年收入650亿欧元，毛利近180亿欧元¹⁸。

1. 转型背景

为应对气候变化，各大能源集团纷纷开启以脱碳、电能替代和数字化为特点的能源转型。Enel集团从事发电、配电、售电业务，但这些业务分属于不同业务单元，难以充分发挥电力价值链各个环节的协同效应。而且随着能源转型深入推进，集团业务管理复杂程度加大。为适应能源行业发展趋势和提升内部业务管理需求，Enel迫切需要进行转型。

2. 转型目标

Enel在2019年确立2050零碳目标，并计划在2021-2030年间投资1600亿欧元促进脱碳、电能替代及数字化平台发展：

- 成为可再生能源全球巨头，可再生能源装机容量从2020年的49GW增长至2030年的145GW，全球市场份额超过4%；
- 成为电网可靠性、服务质量和效率等方面的世界领先者，使电网更具弹性，利用数字化实现更高效的管理；
- 成为细分市场客户（工商业、交通、家庭、城市等）的最优合作伙伴，帮助客户实现脱碳减排和电能替代，提高能源利用效率，降低能源成本。

3. 转型举措

• 以“循环经济战略”指导转型

Enel在2016年宣布将可持续发展融入公司商业模式和业务运营，并制定“循环经济战略”。在这一战略指引下，Enel集团在实现财务和业务增长的同时大幅减少温室气体排放。在2015-2019年期间，Enel集团收入增长6%，可再生能源发电量增长20%，电力客户数量增长14%，温室气体排放量减少41%¹⁹。

• 通过投资可再生能源和关闭燃煤电厂加速电源侧脱碳

Enel计划到2030年每年投资70亿欧元，将旗下可再生能源资产规模扩大到三倍（装机容量达145GW），并始终秉承“循环经济战略”。例如，在干沙漠地区建造光伏电站情境下，Enel基于价值共享（CSV）模型设计一系列技术措施以缓解当地缺水问题。另外，通过关闭燃煤电厂加速电源侧脱碳，Enel的Futur-e项目也使用循环经济理念，通过与当地政府和社区合作，为旧的燃煤电厂寻找新用途，使之转变为工业园区、博物馆、或休闲文化场所。

• 持续开发和应用智能电网技术提升电网可再生能源消纳能力

通过建设智能电网、铺设光纤网络、部署电网侧储能系统和大规模安装智能电表等方式，加大可再生能源消纳，提升电力系统的灵活性和稳定性。Enel还设立“灵活性实验室”，与其他能源供应企业和配电系统运营企业合作，开发、集成和测试提高电力系统灵活性的设备和服务。同时，Enel秉承其“循环经济战略”，通过回收和再利用电网材料及设备促进电网侧脱碳。

• 数字化解决方案支持用户节能减排

Enel旗下综合能源服务公司Enel X，面向工商业、交通、城市和家庭四类用户提供数字化产品和解决方案及节能减排服务，包括能效提升服务、需求响应服务、电动车充电服务、城市节能服务等。Enel X依托数字化解决方案Enel X Connect，结合能源咨询服务，为客户量身定制最佳用能方案。Enel X Connect包含四个数字化工具：账单管理、能源管理、舒适度管理和交易管理，从能源的购买、使用、优化等方面入手，提升用户体验，帮助客户更好地了解和管理能耗，优化能源利用。

二. 新加坡：智慧国家与能源低碳转型协同

新加坡基于以智慧化驱动社会经济可持续发展的理念，为实现智慧国家建设与能源低碳转型协同的目标，大力推动智慧国家与能源转型并举、促进能效提升与可再生能源利用、以数字技术赋能智慧能源和绿色发展等举措。

新加坡能源转型成果显著，2021年世界经济论坛报告评选结果显示新加坡“能源转型指数（ETI）”位列亚洲第一，全球排名第21。众所周知，新加坡能源资源严重匮乏，能源不仅没有掣肘新加坡经济发展，反而成为推动其经济发展的抓手。

1. 转型背景

新加坡作为一个低洼城市，超过30%陆地海拔不到五米，自然资源匮乏，极易受气候变化影响，国家气候危机意识强烈。

新加坡95%的电力由天然气发电供应，而天然气主要进口自马来西亚和印度尼西亚，进口来源过于集中且贮存能力低。随着新加坡能源需求持续增长，能源供应多元化是保障能源安全的关键。

2. 转型目标

为实现2030年碳达峰（碳排放量6500万吨），新加坡设立了能源转型的两大目标。一是加强能源韧性，确保不依赖任何单一能源供应渠道。由于太阳能利用条件较好，新加坡大力发展太阳能，并设立2050年20%的电力来自太阳能的长期目标（目前占比大约为2%）。二是

加强节能减排，提高能源利用效率。到2030年，政府组屋通过智能LED灯和太阳能部署，减少15%的能源消耗；80%新开发建筑项目将为超低能耗建筑；新增车辆和出租车均采用清洁能源车型。

3. 转型举措

• 能源转型与智慧国家发展并举

新加坡于2015年推出“智慧国2025”战略，即政府构建“智慧国平台”，通过建设覆盖全岛数据收集、连接和分析的基础设施与操作系统，基于所获数据预测公民需求，提供更好的公共服务。

通过协调智慧城市建设与能源规划，新加坡打造了包括城市管理、交通、能源、环境等在内的综合解决方案，实现智慧能源管理和绿色低碳发展。例如，某智慧能源小镇为住户提供中央制冷、电动车快速和隔夜充电、用户数码显示屏等多种智慧能源服务。各种能源服务都通过OneTengah数码平台显示，便于设施管理人员监测系统状态，及时发现异常并采取行动。居民则可利用MyTengah应用，查看家庭水电用量和控制中央制冷系统的使用量等，践行绿色生活方式。

• **技术与设计创新促进可再生能源利用与能效提升**

新加坡通过SolarNova计划在政府组屋（HDB）安装屋顶光伏，扩大太阳能利用规模；通过海上浮式光伏系统和光伏建筑一体化应对土地限制；通过投资城市微电网、分布式能源、储能系统等技术，提高可再生能源比例并加强能源韧性；通过在能源消费端推行节能减排，如负能耗低层建筑、零能耗中高层建筑等，提升能源综合利用效率。

• **数字化转型赋能智慧能源**

比较典型的场景如虚拟电厂、商业园区智能电网、P2P绿色能源交易平台等。

- 新加坡能源市场管理局联合胜科工业和南洋理工大学共同开发虚拟电厂，整合各种分布式能源的实时信息，优化全岛可再生能源的电力输出；
- 建设中的Punggol数字区（PDD）商业园区智能电网项目，通过与该地区的开放式数字平台整合，实现楼宇间能源数据共享，提高能源效率并降低碳排放。据估计，该智能电网项目每年可减少1700吨碳排放量；
- Electrify的SolarShare项目利用区块链技术搭建P2P绿色能源交易平台，满足用户可再生能源交易需求，实现绿电就近交易。



第六节 总结

气候变化给全球发展带来巨大风险，世界各国应尽快降低温室气体排放量并实现零碳发展，关键措施包括可再生能源规模化部署、工业制造业减排升级、交通运输业绿色转型、建筑能效提升和负碳技术开发利用等。

能源转型是实现零碳发展的最关键因素，通过发展清洁能源、重视能源安全、提升技术创新、促进国际合作，实现能源生产和消费模式变革，推动人类社会可持续发展。

数字化转型是能源转型及零碳发展的助推器。利用数字化技术建立零碳智慧能源体系，推动未来能源综合化、融合化发展，是实现全球气候目标、维护世界能源安全、促进经济增长的核心动力。



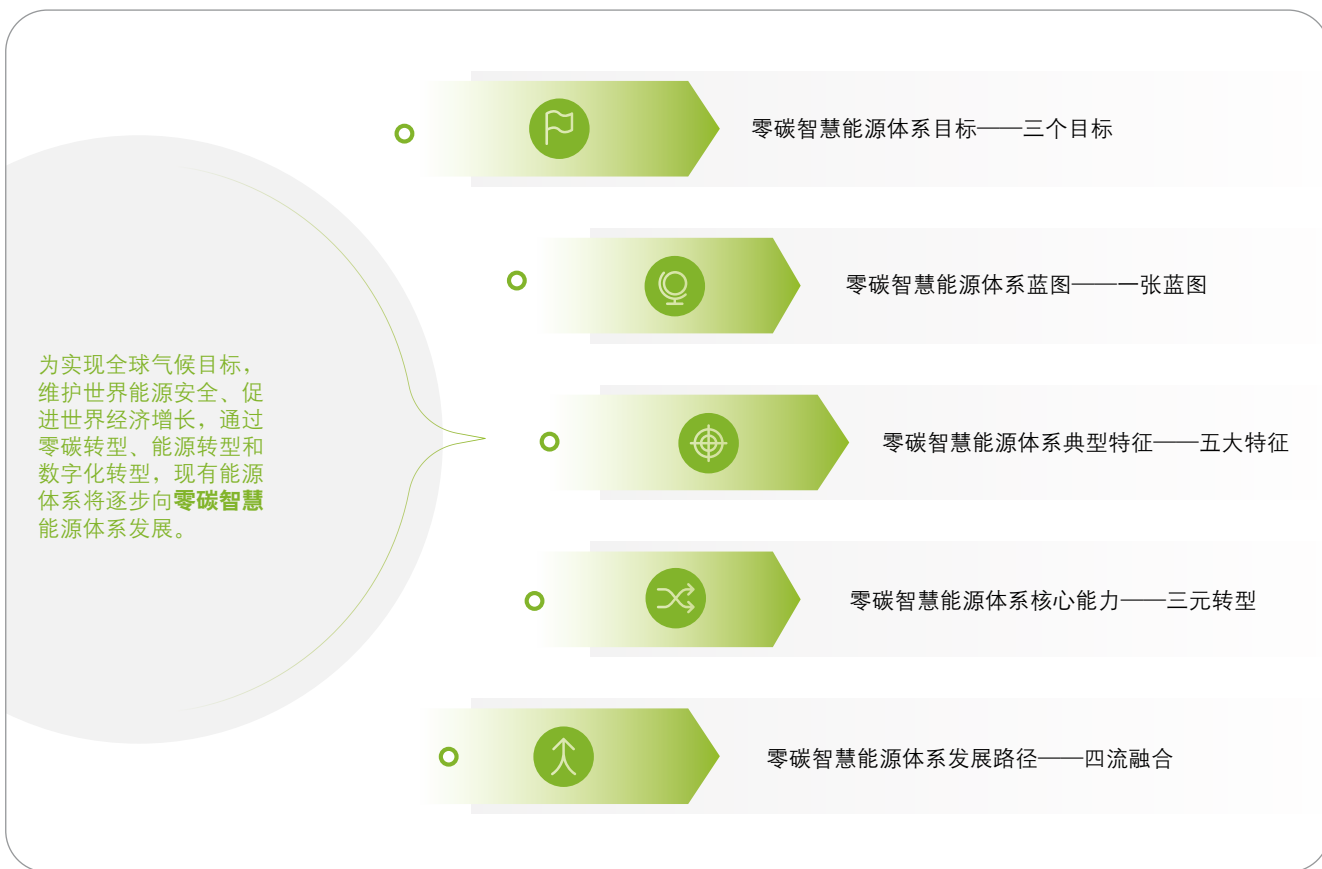
第一节 零碳智慧能源体系框架

零碳智慧能源体系是未来能源发展的愿景，也是实现全球气候目标、维护世界能源安全、促进经济增长的核心动力。本章将以未来能源规划的形式，明晰零碳智慧能源体系的目标、蓝图、特征、核心能力和发展路径。

总体而言，未来能源规划提出零碳智慧能源体系应实现“安全可靠、高效经济、零碳智慧”三个目标；描绘出包括“集中式清洁能源供应、化石能源清洁利用、生物质及氢能高效利用、零碳智慧能源网络、零碳智慧工

业园区、分布式零碳社区、零碳智慧车联网、零碳智慧空运与航运”等八大典型能源场景的**零碳智慧能源体系蓝图**；明确指出零碳智慧能源体系需具备“零碳能源供应、多能互补协同、能效综合最优、数字全面赋能、跨界模式创新”**五大特征**；应提升“零碳转型、能源转型、数字化转型”**三元转型核心能力**；规划了通过“能源流、碳流、信息流与价值流”**四流融合**推动零碳智慧能源体系建设的发展路径。

图7: 零碳智慧能源体系框架



第二节 零碳智慧能源体系目标

零碳智慧能源体系应实现“安全可靠、高效经济、零碳智慧”三个目标。

• 安全可靠

结合各国、各地区资源禀赋，优化能源结构，提高可再生能源比例，提升能源自给能力，保障能源战略安全。

实现多元化清洁能源供应，实现多能互换和多能互补，提升能源网络输送、转换、调度和存储能力，加强能源系统韧性及应对极端情况能力，实现能源供应安全可靠。

• 高效经济

建立竞争有序的能源市场体系，引导市场主体开展产业结构调整与节能减排，实现零碳目标下的减排成本最优。

提升终端能源中绿电占比，实现全社会能源综合利用效率最优。

大力发展新能源技术，降低新能源开发和利用成本，形成有竞争力的市场价格，保障经济可持续增长。

• 零碳智慧

建立以可再生能源为主体的新型能源系统，结合减碳、负碳技术的应用实现能源系统全面脱碳，推动能源系统绿色可持续发展。

加快能源技术与数字技术融合，提高能源系统自适应、自调节和自优化能力，推动能源技术升级和产业重构，实现业务和商业模式创新。



第三节 零碳智慧能源体系蓝图

零碳智慧能源体系蓝图包括**集中式清洁能源供应、化石能源清洁利用、生物质及氢能高效利用、零碳智慧能源网络、零碳智慧工业园区、分布式零碳社区、零碳智慧车联网、零碳智慧空运与航运**等八大典型能源场景，覆盖包括能源、工业、建筑、交通等主要目标脱碳行业或领域。

零碳智慧能源体系蓝图中以零碳智慧能源网络为主干网络，通过主干网络和分布式网络交互协同，连接各典型能源场景，形成以新能源为主体、集中式与分布式相结合、源网荷储协调互动、多能转换、多能互补、多网融合、数字全面赋能的零碳智慧能源体系；通过智慧能源交易中心和智慧能源调度中心在更大范围内优化资源配置，实现零碳智慧能源体系安全可靠和高效经济运行。

1. 集中式清洁能源供应场景

结合各地区资源禀赋，形成以风、光、水、核、储、氢为核心的集中式清洁能源供应基地，通过零碳智慧能源网络，实现清洁能源的全网优化调度与配置；

2. 化石能源清洁利用场景

通过绿色智慧矿山、绿色智慧油田、零碳智慧电厂等建设，实现煤、油、气清洁高效开发利用，充分保障能源安全，运用CCUS等负碳技术，最大程度减少化石能源开采使用过程中的碳排放；

3. 生物质及氢能高效利用场景

与现代农业相结合，开发生物质发电或热电联产、生物质燃油生产等循环利用场景，运用BECCS等技术，实现生物质开发利用全过程负碳排放；发挥氢能作为燃料、原料和储能介质的特性，利用电解制氢技术生产绿氢，建立氢能输配储售网络，实现氢能与电能、天然气、合成燃油等之间的高效转换；

4. 零碳智慧能源网络场景

作为零碳智慧能源体系的主干网络，支持多元主体灵活便捷接入、多种能源高效灵活转换和储存，与分布式能源网络互通互济，具有强大的资源配置能力和服务支撑能力；通过智慧能源管理系统，开展能源供应侧和需求侧智能预测与调度，平抑供应侧新能源波动性，调节需

求侧消费随机性，实现能源管理体系持续优化与运行无人化；

5. 零碳智慧工业园区场景

综合能源服务商提供电、冷、热、气等一站式零碳能源服务，通过需求侧管理与零碳智慧能源网络协调互动；通过开发园区屋顶光伏、热泵利用、余热/余冷/余压利用等技术，提升能源自给率与能源综合利用效率；通过工艺改造、节能改造和CCUS等技术，降低园区能耗强度和碳排放强度；

6. 分布式零碳社区场景

利用屋顶光伏、光伏幕墙、节能环保材料、热泵技术、储能技术、智慧暖通系统、智慧照明系统和智慧楼宇控制系统等打造零碳建筑和负碳建筑，提升社区能源自给率；综合能源服务商提供电、冷、热、气等一站式零碳能源服务，梯次利用工业园区余热/余冷，降低社区能耗强度和碳排放强度；

7. 零碳智慧车联网场景

未来将形成以电动汽车、氢燃料电池汽车/卡车、生物质燃料/合成燃料卡车等为主体的公路交通系统，通过零碳智慧车联网提供充电、加氢、加燃料一站式服务；通过V2G技术实现可控充放电以提高能源网络的可靠性和稳定性，推动能源网络与电动汽车充放电网络融合；

8. 零碳智慧空运与航运场景

未来的航空将结合各地区资源禀赋采用生物质燃料/合成燃料替代传统化石燃料，其中合成燃料将主要基于绿氢与二氧化碳化学合成，通过不断提升生物质燃料和合成燃料的经济性，实现航空领域可持续发展；未来的航运将通过电力、氢能、生物质燃料、合成燃料等能源的综合利用实现脱碳。

图8：零碳智慧能源体系蓝图

零碳智慧能源体系蓝图



第四节 零碳智慧能源体系特征

零碳智慧能源体系需具备“零碳能源供应、多能互补协同、能效综合最优、数字全面赋能、跨界模式创新”**五大特征**。

1. 零碳能源供应

- 新能源大规模开发利用，开发利用成本优势明显，可再生能源成为主要能源；
- 绿电就地生产消纳，各种能源设施即插即用；
- 集中式与分布式能源系统协同运行，分层分级能源供应更安全可靠灵活；
- 煤、油、气等化石能源清洁高效开采与利用，利用绿色节能、CCUS等技术实现全生命周期近零排放；
- 氢能/储能等技术先进成熟，能源输送、转换和存储高效灵活、安全经济。

2. 多能互补协同

- 形成以绿电为主体的能源消费模式，全社会电气化水平持续提升；
- 能源转化技术广泛应用，电、冷、热、气等多种能源高效灵活转换、互济互通；
- 新型能源基础设施大量接入，用户/产消合一者深度参与，灵活自主选择最佳用能方式。

3. 能效综合最优

- 以零碳园区、零碳工厂、零碳建筑等为核心的新型能源单元，推动能源综合利用效率提升，经济增长与碳排放全面脱钩；

- 构建节能高效的综合交通运输体系，推进交通运输用能清洁化，提高交通运输工具能效水平；
- 传统产业智能化、清洁化改造，节能技术、节能设备及脱碳技术等大规模应用，节能意识持续加强，推动社会整体能效提升。

4. 数字全面赋能

- 泛在物联、全息感知、全景监测，能源数字化场景无处不在；
- 物理世界和数字世界互动协同，能源系统决策控制实时高效智能；
- 资源全局优化配置与调度，实现能源全业务数字赋能；
- 以数字化技术驱动能源流、碳流、信息流和价值流四流融合。

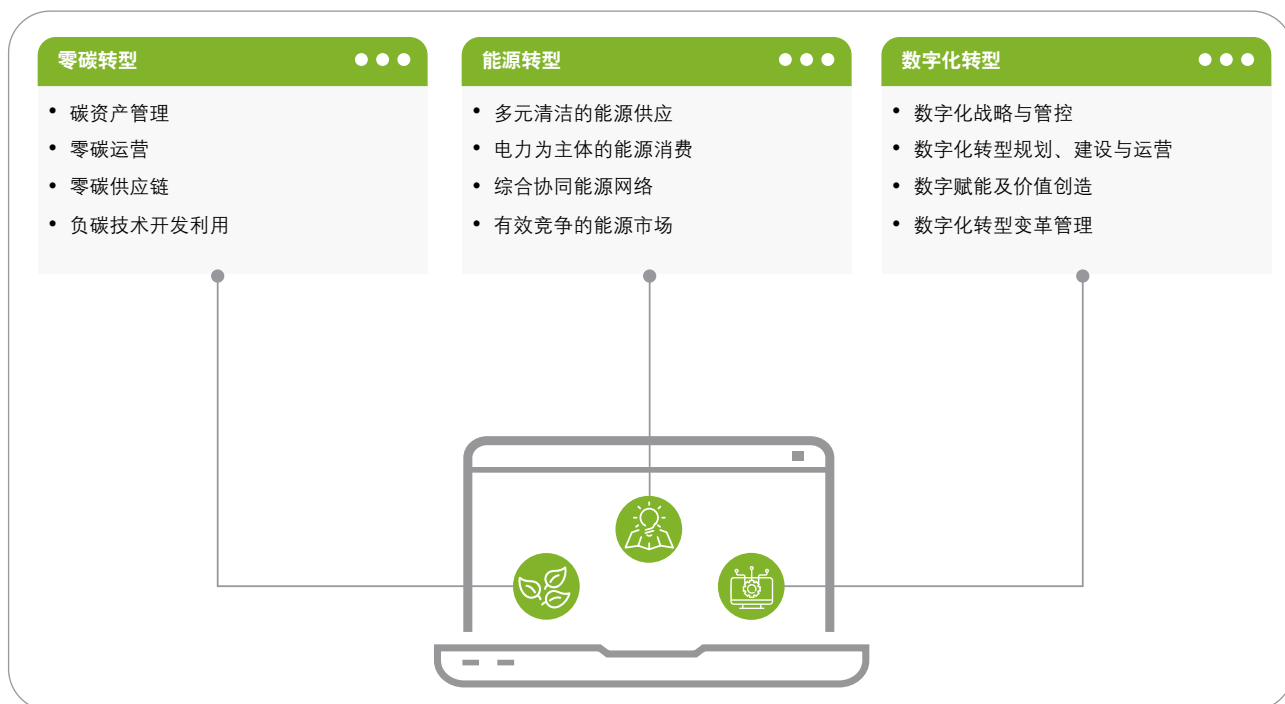
5. 跨界模式创新

- 建立能源现货市场、期货市场、辅助服务市场、碳交易市场和绿色金融等相融合的能源市场体系，能源交易与消费高度灵活民主，市场活跃度大幅提升；
- 传统能源服务商、能源设备商、互联网企业和能源用户等多元市场主体跨界经营，共同打造能源生态价值链，以客户为中心推动能源即服务、合同能源管理、能源托管和BOT等商业模式持续创新；
- 能源大数据广泛用于负荷预测、能效管理、碳资产管理和需求侧响应等场景，能源数据价值创造能力大幅提升。

第五节 零碳智慧能源体系核心能力

构建零碳智慧能源体系应提升“零碳转型、能源转型、数字化转型”三大核心能力。通过提升零碳转型能力，推动各行业结合自身特点全面开展碳资产管理和脱碳行动，实现零碳发展；通过提升能源转型能力，推动能源生产与消费方式向绿色节能、高效经济方向转变，提升能源综合利用效率；通过提升数字化转型能力，为零碳转型和能源转型提供数字化支撑，以数据为核心生产要素驱动传统能源体系向零碳智慧能源体系转变。

图9: 零碳智慧能源体系三大核心能力



1. 零碳转型

• 碳资产管理

提升碳中和规划、碳排放预测、监控、报告、核查、履约与交易能力，利用绿色债券、绿色信贷等绿色金融工具促进零碳发展；

• 零碳运营

推动零碳园区、零碳工厂、零碳建筑和零碳交通建设，大力发展循环经济，促进生产和经营全过程碳减排；

• 零碳供应链

建立零碳供应链标准体系、生态体系、监控体系和评价体系，开展供应链碳足迹跟踪和评价，推动供应链向绿色零碳转型；

• 负碳技术开发利用

加强对碳捕集、利用与封存（CCUS）、生物能源与碳捕集与封存（BECCS）、空气直接碳捕集（DAC）等技术研发利用，加大生态碳汇建设，助力脱碳难度大的行业实现低碳发展。

2. 能源转型

• 多元清洁的能源供应

推动新能源大规模开发利用、水电绿色发展、核电安全有序发展、煤油气等化石能源清洁高效开发利用，实现多元清洁的能源供应；

• 电力为主体的能源消费

推动用能终端电气化改造和电能替代；通过推动能源综合梯次利用、开展生产工艺和设备节能脱碳改造、开展需求侧响应和虚拟电厂建设等，降低能源强度和碳排放强度；

• 综合协同能源网络

建设电冷热气综合能源网络、氢能产运储销网络、电动汽车充放电网络、集中与分布式储能网络，实现多能转换、多能互补、多网融合；

• 有效竞争的能源市场

形成统一开放、有效竞争的电力市场、分布式能源交易市场、煤炭、石油和天然气交易市场，以及碳排放权交易市场，引导市场主体提升能效和零碳发展。

3. 数字化转型

• 数字化战略与管控

明晰数字化战略与愿景，推动组织及管控模式优化，开展数据驱动的经营决策；零碳转型、能源转型、数字化转型战略相互支撑、有机融合，成为企业级转型战略的重要组成部分；

• 数字化转型规划、建设与运营

开展数字化转型顶层设计，制定数字化转型规划；推动数字化项目建设，促进数字治理体系优化，提升数字化能力并持续改进数字化运营；数字化转型应结合零碳转型和能源转型的业务需求，从平台、数据、算法、算力等方面提供支撑；

• 数字赋能及价值创造

搭建数字平台，实现平台赋能、数据使能；开展能源生态体系建设，推动能源大数据共享，挖掘能源大数据价值，实现商业模式、业务模式、产品服务和生态整合创新；

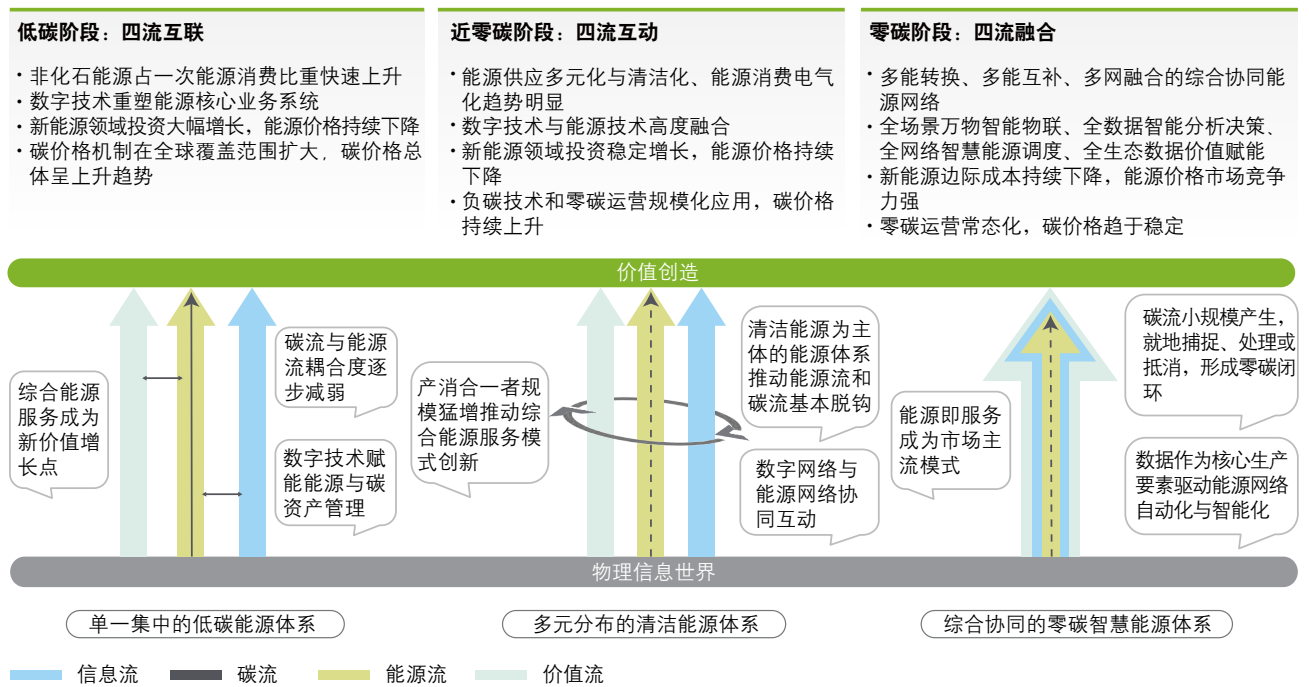
• 数字化转型变革管理

培养企业和员工的数字素养，培育数字文化、变革文化，构建数字化转型的人才队伍，培养新技术、业务与数据管理相结合的跨域人才，是数字化转型成功的重要保障。

第六节 零碳智慧能源体系发展路径

通过三元转型核心能力建设推动能源流、碳流、信息流和价值流逐步融合，以数据为核心生产要素的零碳智慧能源体系逐步形成，推动能源产业数字化进程，不断提升能源行业数字化、网络化和智能化水平。

图10: 零碳智慧能源体系发展路径



一. 低碳阶段：四流互联

单一集中的低碳能源体系占主导地位，化石能源尚未完全退出，碳流与能源流耦合度逐步减弱，数字技术赋能能源与碳资产管理，并为综合能源服务成为新的价值增长点提供支撑。

- 非化石能源占一次能源消费比重快速上升，新能源占比快速增长促使能源流与碳流的耦合度降低；
- 数字技术重塑能源核心业务系统，数字技术与能源技术的融合支撑各种能源单元广泛互联；
- 新能源领域投资大幅增长，去碳化投资组合持续优化，收购兼并成为能源行业转型助推器，能源价格持续下降；
- 负碳技术和零碳运营尚未成熟，碳价格机制在全球范围内覆盖扩大，碳价格总体呈上升趋势。

二. 近零碳阶段：四流互动

多元分布的清洁能源体系成为主流，以清洁能源为主体的能源体系推动能源流和碳流基本脱钩，数字网络与能源网络协同互动，支撑不同能源形式高效灵活转换，大规模分布式能源和集中式能源间互通互济，产消合一者规模猛增推动综合能源服务模式创新。

- 能源供应多元化与清洁化、能源消费电气化趋势明显，不同能源间转换效率大幅提升；
- 数字技术与能源技术高度融合，能源大数据全生态协同共享，驱动客户价值深度挖掘；
- 新能源领域投资稳定增长，大量高碳搁浅资产有待处置，能源价格持续下降；
- 负碳技术和零碳运营规模化应用，碳交易机制打破地缘和行业边界，碳价格持续上升。

三. 零碳阶段：四流融合

综合协同的零碳智慧能源体系全面确立，数据作为核心生产要素驱动能源网络自动化与智能化，推动能源流、碳流、信息流、价值流四流融合，数字赋能能源业务模式和商业模式创新，能源即服务成为市场主流模式，碳流小规模产生，就地捕捉、处理或抵消，形成零碳闭环。

- 多能转换、多能互补、多网融合的综合协同能源网络；
- 全场景万物智能物联、全数据智能分析决策、全网络智慧能源调度、全生态数据价值赋能；
- 新能源边际成本持续下降，能源交易高度灵活，能源价格市场竞争力强；
- 负碳技术应用体系成熟，零碳运营常态化，开放透明的碳价机制形成，碳价格趋于稳定。

第三章 能源转型路径



第一节 电力行业转型路径

电力作为清洁、高效的二次能源，在能源转型过程中具有举足轻重的作用，加快电力行业转型是促进能源转型的关键。

一. 电力行业转型总体方针

建立以新能源为主体的新型电力系统，风电、光伏为电力装机增量主力，煤电成为辅助性能源。未来横向形成“电、热、冷、气、氢”等多种能源协同供应，以多能互补、协同发展的方式构成的综合能源供应体系；纵向实现“源网荷储”互动优化，充分发挥源侧协调互补、网侧高效消纳、荷侧灵活调节、储能实时平衡等特性，满足用户个性化用能需求。以下将从零碳转型、能源转型、数字化转型三个维度分析电力行业转型重点。

二. 零碳转型

1. 电源：兼顾发电结构转型与碳排放管理

布局中长期发电结构转型，投资经济性高、有助于实现净零目标的资产和技术，发展“可再生能源发电+储能”与“火电+CCUS”的技术组合，并合理设计煤电分阶段退出路径。

推动碳排放权市场与电力市场融合，将碳价纳入发电成本，通过改变电源优先级排序鼓励清洁能源发展，加速高排放化石能源转型和退出。

随着监测制度完善和监测技术进步，逐步引入数据质量等级制度，提高CEMS(连续排放监测系统)渗透率，提升碳核算的准确性。

电力企业成立专门的碳资产管理公司或部门统筹集团碳管理；参与碳金融市场，以金融手段对冲排放成本上升风险，有效盘活企业碳资产。

2. 电网：统筹安排电网与电源建设

优化电网规划和布局，支持可再生能源大规模接入和消纳，重点推进配电网改造升级，发展以消纳分布式可再生能源为主的微电网；开发和应用绿色智慧的输配电设备，提高能源利用效率并助力电网脱碳。

3. 负荷：技术、场景、市场三线并进

加速电能替代技术攻关和推广，建立以电为中心，氢能、生物质能多能互补的能源消费体系，降低终端各领域碳排放。

推动产业集群脱碳。通过在工业园区、商业园区、出口加工区等部署零碳智慧园区管理平台，统筹用能终端电气化、建筑节能、智慧能源管理、碳资产管理以及循环经济体系等，实现园区绿色发展。

优化可再生能源电力交易机制，促进用电侧可再生能源采购。

4. 储能：利用储能技术提高可再生能源消纳水平

推广储能在可再生能源波动平抑、电网削峰填谷、需求侧管理等场景的应用，促进可再生能源消纳。

三、能源转型

1. 电源：高比例新能源接入

以集中式与分布式并举发展风电、光伏，优化电源结构；通过风光储、光储联合运营提高新能源并网友好性；通过风光新技术、数字智能运维、环保新材料等提升新能源效率与可靠性；加快燃煤/燃气电厂灵活性改造，推动化石能源角色从主能源向调节型能源转变，严控新增燃煤产能，逐步淘汰部分燃煤电厂，配备CCUS技术的燃煤/燃气电厂作为可再生能源的调峰补充。

2. 电网：高弹性电网优化资源配置

未来电网将呈现出交/直流远距离输电、区域电网互联、主网与微电网互动的形态。利用交/直流远距离输送技术，实现集中式清洁电力的全网调度与平衡；利用主网和微网互联互动技术，实现分布式能源就地接入与消纳；利用储能和需求侧响应技术，保障新能源消纳和系统安全稳定运行。

3. 负荷：提升负荷侧电气化、互动化和可控化水平

提升工业、建筑和交通等领域电气化水平，利用自动化和智能化技术提高能源综合利用效率；通过需求侧响应和虚拟电厂建设，实现源网荷储协同，提高绿电利用占比，平抑负荷曲线波动，推动用能模式向互动化和可控化方向发展。

4. 储能：多场景储能应用

推广储能在电力行业不同环节的应用，提高电力系统运行可靠性或提升新能源消纳能力，如风/光电站+储能、储能与火电机组联合参与调频辅助服务市场、储能作为独立资源参与调频辅助服务市场、并入储能资源提升电网容量、用户侧储能实现削峰填谷和负荷平衡、利用V2G技术实现可控的电动汽车充放电等。

四、数字化转型

1. 数字化赋能“源网荷储”一体化

依托“云大物移智链”等技术，打通电力产业链各环节数据壁垒，加强“源网荷储”的多向互动，以海量数据驱动电力供应的智能调控和结构转型。

源侧以数字技术连接不同类型电源，加强对新能源出力的监控和预测，实现风光水火储一体化，强化电源侧灵活调节作用；网侧打造覆盖电网全过程与生产全环节的数字孪生电网，赋能电网智能决策与调度控制；荷侧借助数字技术自动调整负荷特性，聚合分布式电源、充电站和储能等负荷侧资源组成虚拟电厂，参与供需互动；储能侧动态监测电源、电网、负荷和电池等情况，发挥其灵活调节作用，保障电力系统的可靠经济运行。

2. 构建电力大数据模型深挖数据价值

将数据资源作为核心资产进行管理和运营，赋能电力行业的科学规划、智能运行及商业模式创新。例如，利用数据模型科学规划投资，选择可再生能源投资最优方案；构建基于数据分析的多场景电网规划，选择安全性、可靠性和经济性最优的电网规划方案；建立设备能效模型，开展负荷实时分析预测，优化能耗、能效和用能管理；优化充放电决策模型，自动调整充放电参数，提高储能设施的利用率和经济性。通过整合电力大数据与政府、企业、消费、环境和天气等外部数据，构建电力大数据分析模型，打造电力经济指数、供应链金融和企业多维画像等应用场景。

3. 数字化综合能源服务

基于信息物理系统耦合技术，打造综合能源服务平台，广泛接入并实时感知各类能源设施的运行状态，将数字技术广泛应用于多能互补协同控制、源网荷储协同调度、能量优化管理、混合储能利用、能效管控与智能运维等场景，实现多能协同供应和能源综合梯级利用，提高能源系统效率，降低能源生产与消费成本。

第二节 油气行业转型路径

一、油气行业转型总体方针

随着世界主要经济体净零目标的明确，全球石油与天然气市场已发生巨大转变，但石油的特殊作用仍然不可替代。随着油气直接消费逐步降低，油气行业将呈现两种转型趋势：**（1）向国际综合能源公司转型，打造低碳资产组合；（2）基于传统油气业务+负碳技术，实现创新优化。**无论通过何种方式，油气企业均需要加强与新材料、新技术、新装备和专业服务机构等多方合作，扩大生态圈，提高运营和创新能力，研究不同的商业模式以及制定严谨的资本支出方法，以实现其能源转型。

二、向国际综合能源公司转型，打造低碳资产组合

1. 零碳转型

• 遵从国际标准与各国相关法律政策

油气企业在向其他能源领域拓展的进程中，需要综合考虑并遵循零碳转型相关政策法规及行业标准，如德国的碳中和法律体系（包含《可再生能源法》和《国家氢能战略》），指引本国企业向综合能源公司转型；法国政府通过实施《绿色增长能源转型法》和《中长期能源规划》，为国内企业绿色能源转型提供路径及保障。

• 加强碳资产管理

建立碳资产管理机制，针对不同板块，在生产经营过程中对直接和间接的碳排放进行统计分析，开展检测核查和趋势预测；优化低碳资产组合，推动产品结构绿色转型，辅以购买碳信用、植树造林等碳抵消措施，实现低碳发展。

2. 能源转型

• 进军可再生能源领域

发展不同形式的可再生能源技术，实现多元化转型，

增强可再生能源领域的竞争力，例如收购可再生能源企业，利用海洋作业优势发展海上风电，通过布局充电桩创新下游业务等。

• 发展氢能产业链

油气企业可以利用产业优势，通过上游制氢、中游储运和下游利用，实现氢能与油气工业的融合发展；积极发展绿氢制造技术，加大氢能业务占比，构建氢工业全产业链。

3. 数字化转型

• 打通板块间系统整合

通过搭建综合能源管理一体化平台，提供目录式、自动化的服务，促进多元化能源服务与各业务板块融合，实现板块间的信息共享、互联互通和协同配合，推动上中下游产业链协同及全球生态供应链优化。

三、基于传统油气业务+负碳技术，实现创新优化

1. 零碳转型

• 加强碳资产管理

制定碳管理整体战略，建立碳管理机制，在生产经营过程中实施碳排放统计分析、检测盘查和趋势预测等方案；加强碳核算、碳交易、碳咨询的人才招聘与培养，提升碳资产组合、配额、交易与履约等管理能力。

• 发展负碳技术

传统油气企业需要加大对各类负碳技术的开发力度以达到系统化利用水平，利用CCUS、甲烷捕获技术、二氧化碳再利用技术等，延展清洁固碳产业链，推动化石能源行业低碳转型。如英国石油、壳牌和道达尔等公司联合成立了北方坚忍合资公司（NEP），开发英国北海的海上二氧化碳运输和储存基础设施，实现负碳技术的产业化应用。

2. 能源转型

• 开展节能降耗，提升资源利用率

利用非常规油开采技术推动良性增产或稳产，通过生产设备换代提高生产过程中的能源利用效率，采用最新技术控制生产过程中的碳排放；通过三相分离、废气回收循环利用技术和增材制造方法，减少废弃物量并增强供应链灵活性。

• 加大可再生能源利用

扩大生产用能清洁替代，在生产经营过程中实现电气化转型，采用光伏、地热发电等可再生能源技术提高电力自给率。

• 主动运补与优化生产决策方式

油气消费量下降及油价长期走低，促使油气行业提升综合效率，降低运营成本。油气企业通过优化物流环节减少燃料消耗和碳排放，例如对陆运和船舶等物流设备进行协调，优化物流模式，实现运输能力共享；油气炼厂以市场需求为驱动，优化生产决策方式，提升生产效率。

3. 数字化转型

• 对生产运营进行优化提升

使用物联网技术，在感知层、传输层和应用层进行油气数据采集、传输和分析处理；利用数字孪生和虚拟现实等数字化工具模拟场景、监控操作、跟踪能源使用情况，优化油气行业生产过程，提质降耗；在油气藏精准建模、钻井作业优化、油气设备的动态诊断及预防性维护等领域使用人工智能技术，提升生产管理和分析决策水平；同时探索AI、区块链、5G技术在油气领域的应用场景，逐步通过新技术来赋能业务。

• 对管理决策提供分析支持

健全数据治理体系，加强大数据分析与洞察能力，提升数据资产全生命周期管理能力，充分挖掘数据资产价值。使用OSDU数据平台进行多学科的协同运作，通过数据标准化、科研成果共享与数字化移交等手段，构建勘探和开发的一体化协作体系，优化油气勘探、开发、生产环节的精准决策。



第三节 煤炭行业转型路径

一、煤炭行业转型总体方针

由于传统煤炭在能源消费中的比重逐步下降，煤炭企业需要积极推进转型升级。同时，煤炭行业的碳排放主要来自煤炭消费，如何优化产业布局和产业结构，如何推动煤炭消费侧节能减排，成为煤炭企业实现能源转型和零碳发展的关键。煤炭企业需坚持“减煤与去碳协同”的方向，逐步实现能源转型。

二、零碳转型

• 发展负碳技术

煤炭企业需要加大对各类负碳技术的研究和投资，为煤炭行业的近零排放提供技术支撑，碳被捕集后可作为化工原料再利用，提升经济性。如中国国家能源集团CCS示范项目，是目前中国规模最大的燃煤电厂燃烧后二氧化碳捕集与驱油封存全流程示范项目，成功实现燃煤电厂烟气中二氧化碳大规模捕集，对落实双碳目标具有里程碑意义。

三、能源转型

1. 煤炭生产端——注重清洁高效

强化高效开采技术研发应用，加快推广智能化矿山建设，推动清洁生产，建设生态绿色煤矿，并通过兼并重组与国际合作，发展优质产能；同时优化物流流程，协调物流设备，以减少运输过程中的燃料消耗。

2. 煤炭使用端——加强技术创新

实现煤炭由燃料向原料与燃料并重转变，通过煤炭低

碳化技术创新和煤炭产业低碳化实现“用煤不排碳”，发展煤制油、煤制气、煤制甲醇和精细化工产品等新型现代煤化工，推进煤炭清洁高效利用，推动煤炭上下游产业协同发展，打造未来煤炭行业（低碳化转型+高技术升级+需求决定的适度规模）。

通过优化高炉工艺，降低能耗水平，开展余热回收、干熄焦以及喷射式碱性氧气转炉等技术应用，实现消费环节的节能减排；实施精准定制化供应，与供应链中（如钢铁、电力等）企业密切合作，精准生产投放，形成碳减排产业链。

四、数字化转型

1. 煤炭产业链的数字化应用

提高煤炭低碳清洁生产水平，在煤炭产业链的各个环节（煤矿开拓、采掘（剥）、运输、通风、洗选、采购、销售、安全保障、经营管理等）应用数字化技术，包括提升采掘设备智能化程度（如大型无人综采设备），实现高效数据传输（如井下5G技术）等，在提高煤炭生产效率、工作质量和安全性的同时，减少执行过程中的损耗。

2. 煤炭价值链的数字化应用

整合并优化煤炭价值链上的集成系统及相关技术，并依托数字化技术开展高阶分析，改进系统决策，实现产业上下游协同；建设煤炭行业一体化智慧管理系统，优化新型煤化工产业布局，实现运营高效化。

第四节 能源转型路径总结

数字化转型是能源转型及零碳发展的重要支撑。通过能源各行业转型路径分析，开展碳资产管理、零碳运营、零碳供应链和负碳技术开发利用，可推动能源行业零碳转型。通过能源供应、消费、网络及市场等领域转型，形成以清洁能源为主的能源供应结构，提升各行业能效

水平。通过能源流、碳流、信息流、价值流四流融合，赋能能源服务模式创新，加快能源生产、传输、存储、消费的数字化与智能化进程，形成多网融合的零碳智慧能源体系。



第四章 能源数字化支撑体系



第一节 能源数字化转型内涵

未来数字经济和实体经济的深度融合，将为能源行业带来全新的机遇和挑战，需要通过数字化为能源转型和零碳发展铺设一条“数字之路”，华为将协同伙伴助力全球能源行业构建零碳智慧能源体系，与能源企业共创绿色低碳新价值。

一、数字化转型的定义和内涵

随着时间的推移，数字化转型的内涵一直在演进。我们认为在当前时代，数字化是以数据为中心的思想理论体系、方法论和技术架构体系，其本质是向数据要生产力。就数字化转型而言，数字化是方向和趋势，转型是路径和手段，其本质是由软件和服务驱动的一场变革，伴随着生产关系的重塑。我们必须抓住价值创造的锚点，改变习惯，为数据和知识买单，需要把软件和服务的价值显性化，这样才能纲举目张，将转型深入开展下去，这恰恰是非数字原生企业容易忽略的方面。“以数据为中心”是数字化区别于信息化最核心的特征，也是智能化的基础。

二、数字化转型已经成为全球发展共识

欧盟在2020年工作计划中明确2020年-2025年间重点推动欧盟经济社会向绿色和数字化转型；日本设立了数字化特别工作机构推动日本社会数字化全面发展；中国明确提出推进数字产业化、产业数字化，引导数字经济和实体经济深度融合的工作方向。

三、数字化转型是能源转型及零碳发展的重要支撑

1. 数字化转型是能源转型及零碳发展的助推器

零碳转型和能源转型都是复杂的系统工程，涉及到能源战

略调整、能源结构转变、能源体系优化、能源业务变革。通过数字化转型，构建零碳智慧能源数字基础设施，发展零碳智慧能源技术体系，形成零碳智慧能源数字化产业集群，可以支撑新能源大规模开发利用，支撑绿电为主体的能源消费，支持多能转换、多能互补和多网融合，支持碳资产全生命周期管理，助力更大范围优化资源配置，助力用能效率和水平提升。

2. 数字化转型为零碳智慧能源体系奠定坚实基础

利用云大物移智链等数字化技术，建设能源企业数字底座，打造数字神经网络，覆盖能源开发利用和碳资产管理各环节的数据采集、传输、处理、存储和控制，嵌入能源企业生产、调度、运营、市场、客服全过程；通过平台、数据、算法、算力等赋能零碳智慧能源体系，以数字技术为手段提升零碳智慧能源网络的资源配置、安全保障和智能互动能力，推动能源流、碳流、信息流、价值流四流融合。

3. 数字化转型赋能商业模式创新和价值创造

数字化转型本质是向数据要生产力，通过数据湖和能源大数据中心等建设，以共享开放理念整合能源生态链数据资源，引入社会感知数据和环境数据，持续积累并优化数据资产，发现数字化应用高价值场景，充分挖掘数据资产价值，实现数据资产化、资产服务化，赋能能源企业商业模式创新和价值创造。

华为能源塔环是一套成熟的能源行业数字化转型方法论

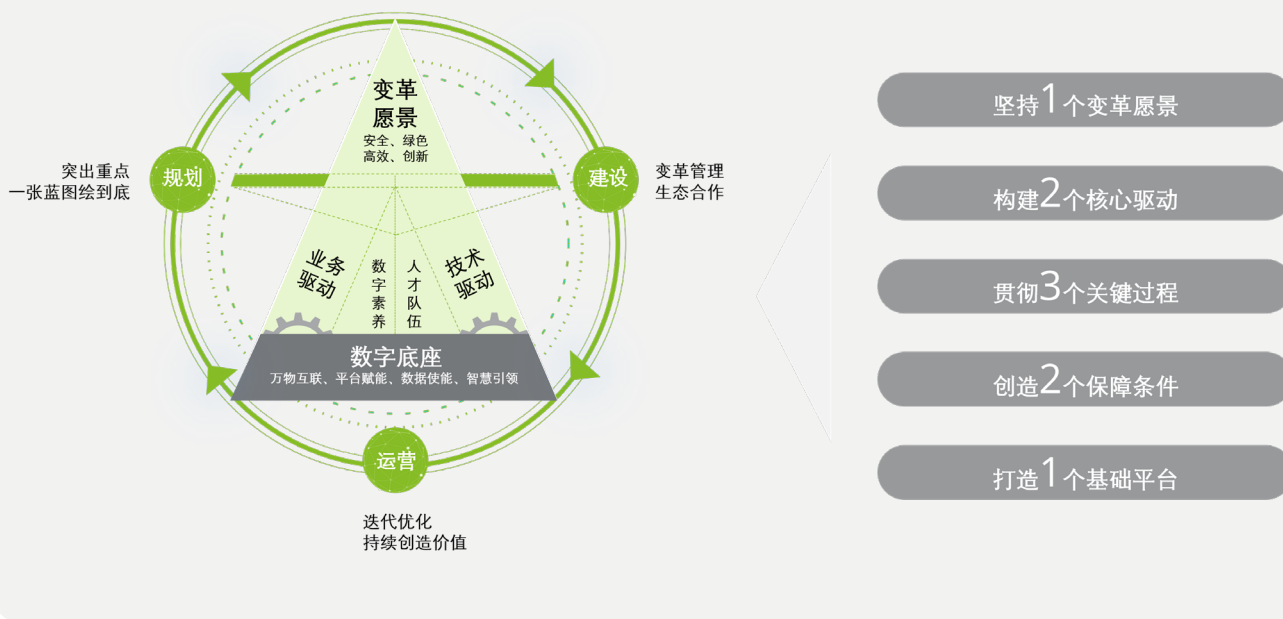
数字化转型涉及生产关系的重塑，需要有相应的方法论支撑，华为于2020年9月23日全球正式发布能源行业数字化转型方法论——能源塔环，希望为能源企业带来启发，帮助能源企业做更好的自己。

“能源塔环”方法论共包含五大要素：一是坚持1个变革愿景，转型是一把手工程，需要明确企业的变革愿景；二是构建2个核心驱动，业务和技术要素双轮驱动；三是贯彻3个关键过程，规划、建设、运营一体化统筹，要一张蓝图绘到底并重点突破，围绕“解决问题和创造价值”持续建设、迭代运营；四是创造2个保障

条件，要构建数字化的文化、氛围、知识、技能，通过人才进行突破，通过团队和平台进行固化，形成能力；五是打造1个数字底座，按需实现万物互联、平台赋能、数据使能、智慧引领。

在“能源塔环”方法论的基础上，本白皮书结合未来能源体系规划，明晰能源数字化转型能力框架，能源数字化转型方法论重点关注能源企业如何开展数字化转型，能源数字化转型能力框架重点关注能源企业数字化转型应该做什么。华为能源数字化转型方法论和能力框架，为能源行业数字化转型构建了理论体系和行动纲领。

图11: 华为能源行业数字化转型方法论——能源塔环

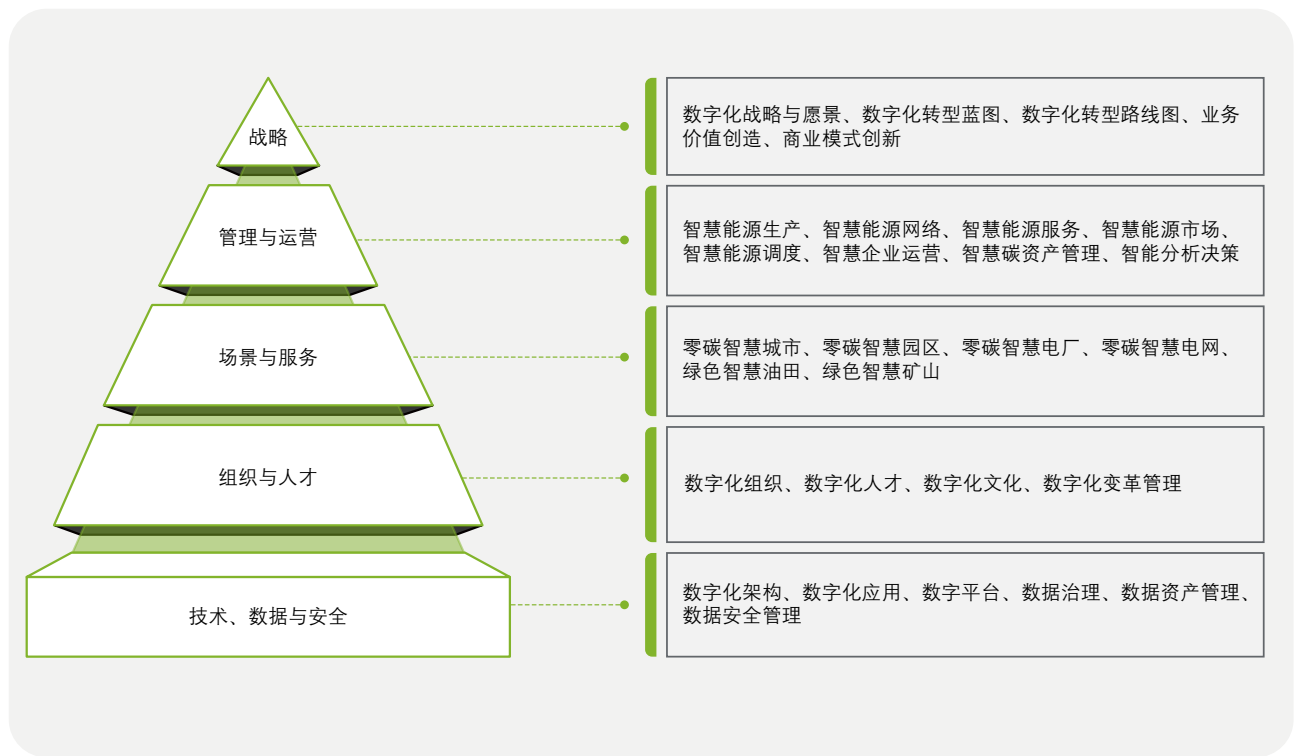


第二节 能源数字化转型能力框架

数字化转型不仅仅局限于新技术的实施和运作，真正的数字化转型通常会对企业的战略、人才、商业模式以及组织方式产生深远影响。数字化转型能力包含**数字化战**

略能力、数字化管理与运营能力、数字化场景与服务能力、数字化组织与人才能力以及数字化技术、数据与安全能力。

图12: 能源数字化转型能力框架



一、数字化战略能力

能源企业将“数字化转型”作为企业级转型战略，作为企业总体战略的重要组成部分，以战略为指引，在高层次上面向未来，在方向性、全局性的重大决策方面开展数字化转型。

1. 数字化战略与愿景

数字化转型需要与企业发展战略相结合，有明确的愿景和目标，通盘考虑业务、运营、组织、人才、技术等各个方面，赋能业务变革，支撑能源转型及零碳发展。

2. 数字化转型蓝图

数字化转型需结合企业业务现状、数字化现状及需求、数字化愿景和目标等因素，规划设计数字化转型蓝图，作为企业数字化转型的指导框架。能源企业数字化转型蓝图设计需综合考虑新能源大规模开发与利用、碳资产管理、能源大数据等对数字化转型的需求。

3. 数字化转型路线图

数字化转型需制定前瞻性、整体性和可操作性的路线

图，在资源有限的情况下，可明确优先项目，由点及面逐步推开；依据制定的路线图和设定的目标开展试点项目落地工作，实现数字化变革速赢并树立数字化转型信心；以敏捷模式推进数字化转型，通过不断迭代，形成数字化组织的常态运营和演进能力，实现数字化全面转型和全面覆盖。能源企业数字化转型路线图可优先关注智慧电厂、智慧矿山、智慧油田等行业高价值应用场景。

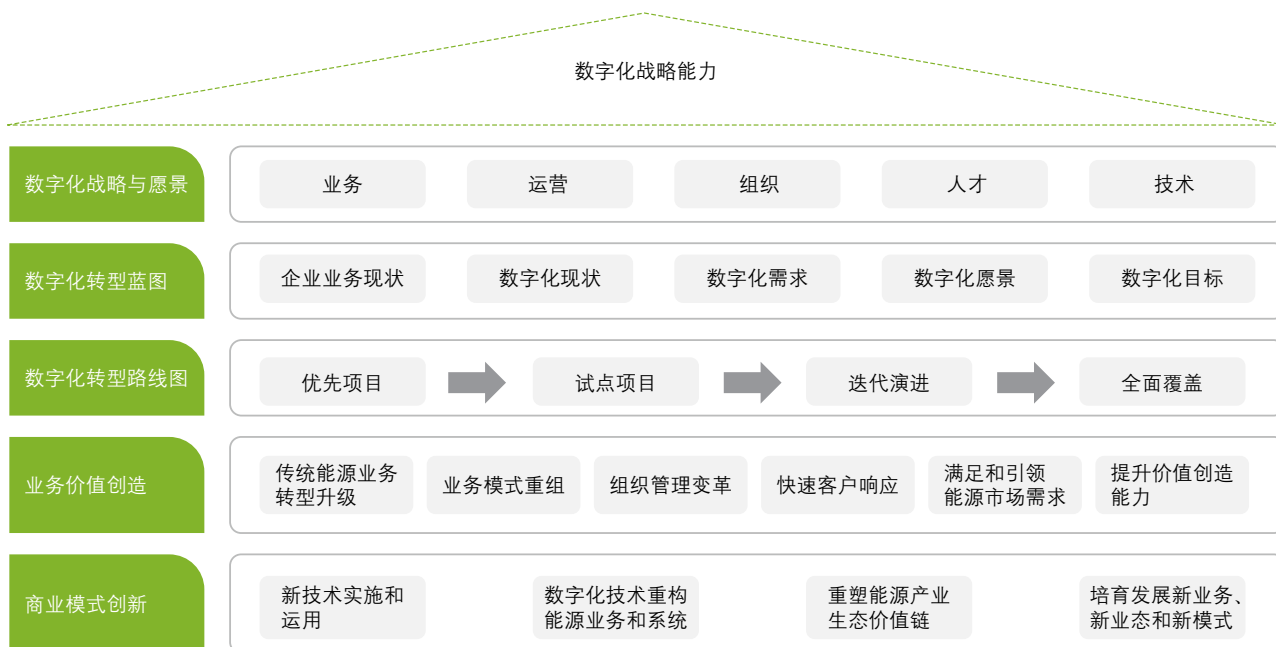
4. 业务价值创造

数字化转型需构建数字赋能的业务创新体系，加快以数据驱动为核心的四流融合进程，推动传统能源业务转型升级、业务模式重组、组织管理变革，快速响应、满足和引领能源市场需求，提升价值创造能力。

5. 商业模式创新

数字化转型需要积极运用数字化技术重构能源业务和系统，重塑能源产业生态价值链，从轻资产、服务化、便捷支付、碳资产货币化等方面推动商业模式创新，培育发展数字化综合能源服务、能源大数据服务、智慧车联网服务等新业务、新业态和新模式。

图13: 数字化战略能力



二、数字化管理与运营能力

能源数字化转型应以业务和技术“双轮驱动”，将数字化技术渗透进企业的管理与运营流程中，推动业务与管理变革，提升管理和运营效率，优化成本结构，促进能源产业链价值优化整合。

1. 智慧能源生产

基于工业互联网平台，集成智能传感与执行、智能控制与优化、智能管理与决策等技术，形成具备自学习、自适应、自趋优、自恢复、自组织的智慧能源运行控制管理模式，实现更加安全、高效、清洁、灵活的能源生产方式。

2. 智慧能源网络

利用数字化能源网络技术，支持集中式能源系统、分布式能源系统、各种储能设施和各类用户友好互联，各类能源系统互通互济；满足新能源大规模开发利用和各类能源设施“即插即用”，实现源网荷储协调互动，适应能源分布式、互动式、综合化发展需求。

3. 智慧能源服务

利用人工智能、知识图谱、移动应用等数字化技术打破行业边界，重构能源客户体验，敏捷响应客户需求，主动引领能源消费新趋势，为客户提供一站式综合能源服务，打造以客户为中心的能源生态价值网络。

4. 智慧能源市场

利用能源区块链等数字化技术消除能源价值链中各交易环节的痛点，为支付、销售、交易和价值分配提供智能化基

础设施，支撑能源生产和消费的去中心化，实现点对点交易及分布式能源系统去中介化，使得购售电交易、需求侧响应等自动完成；利用信息物理融合、物联网、云计算及大数据等技术，有效聚合海量中小型负荷资源，参与能源市场交易及需求侧响应，执行负荷调度计划。

5. 智慧能源调度

基于能源大数据平台，加强多样化、分布式能源主体接入和管理能力，实现可再生能源智能经济调度，实现多能互补和多能转换，更大范围内优化能源平衡与配置，提高能源网络安全性和可靠性，支撑能源交易市场高效运行。

6. 智慧企业运营

重塑核心业务系统，支撑能源企业各业务间的协同与融合，整合内外部资源实现企业高效运营，以数据驱动企业流程优化和精益化管理，优化企业人、财、物等资源配臵，实现企业降本增效和管理提升。

7. 智慧碳资产管理

建设数字化碳资产管理平台，实现对碳排放实时监控，支持科学碳目标设定、碳减排多场景模拟分析、碳成本测算、碳核查、履约与交易，实现碳资产全生命周期的可测、可视、可控。

8. 智能分析决策

利用云计算、大数据、人工智能等技术，建立智能化分析决策模型，开展实时监测和趋势分析，支持多场景模拟，提高决策的实时性、连续性和科学性。

图14: 数字化管理与运营能力



三、数字化场景与服务能力

能源数字化转型必须落到具体业务场景，实现数字化技术、能源技术和自动控制技术的融合，推动能源转型和零碳转型，解决业务问题并创造业务价值。

1. 零碳智慧城市

构建城市生命体感知能力，以云计算为基础，结合 AI 和大数据技术，城市大脑对整个城市进行全环节实时分析；连接跨领域、深层次、多维度的数据，实现城市全要素跨域融合、各系统智能化协同，实现资源智能找人，持续优化以人为本的体验；利用数字化技术支撑城市各功能系统的智能化、节能化和零碳化，推动零碳建筑、零碳交通、绿色能源的发展；打造“全场景感知交互、全环节智能决策、全要素协同推进、全触点体验运营、全环境绿色零碳”的零碳智慧城市。

2. 零碳智慧园区

利用新能源技术、碳管理技术、碳能交易技术结合数字化技术，实现多能互补和节能增效，打造“绿色高效、全域融合、智慧敏捷”的零碳智慧园区。

3. 零碳智慧电厂

利用数字化、自动控制、CCUS等技术，构建智慧感知、智慧运行、智慧控制、智慧检修、智慧减排、智慧安全、智慧经营等电厂核心能力，打造“近零/零碳排放，无人/少人值守、最优绩效运营”的零碳智慧电厂。

4. 零碳智慧电网

通过数字化技术、智慧能源技术和自动控制技术的融合，促进各类能源互通互济，源网荷储协调互动，支撑新能源发电、多元化储能与新型负荷的大规模友好接入，打造“绿色零碳、安全可靠、智能高效”的零碳智慧电网。

5. 绿色智慧油田

通过物联网传感器、数字孪生和虚拟现实等数字化工具模拟场景、监控操作、跟踪排放与能源使用情况，实现设备预测性维修，优化生产和油藏管理；通过数据分析优化产能利用率，扩大生产用能清洁替代，通过全生态积极合作加速脱碳进程，打造“智能、安全、可靠、绿色、高效”的绿色智慧油田。

6. 绿色智慧矿山

实现煤矿全时空多源信息实时感知，风险闭环管控本质安全，全流程人一机一环一管数字互联、高效协同运行，生产现场全自动化作业，发展煤炭开采碳排放控制技术和节能降耗技术，打造“智能化生产决策控制+机器人作业”的绿色智慧矿山。

图15: 数字化场景与服务能力



四、数字化组织与人才能力

能源数字化转型面临缺少数字化技能与人才资源、企业文化转型等方面的重大挑战，调整培育相应数字化组织，培养员工数字素养，打造数字文化和变革文化，是数字化转型成功的重要保障条件。

1. 数字化组织

通过建立敏捷、全能型数字化转型管理办公室，增强跨职能综合业务需求分析能力、跨系统高效协同与资源整合能力；统一管理顶层设计和需求，通过持续迭代方法，形成以数字化组织为核心、以数字化运营为目标的敏捷交付模式；全面实现规划管控，保证数字化顶层设计有效落地。

2. 数字化人才

数字化转型需要提高员工特别是中高级管理人员对数字化转型的认知度，掌握数字化转型的理念、知识、方法和工具；招聘、培养和保留数字化人才，构建数字化转

型人才队伍；培养新能源技术、数字化技术、能源业务管理与能源大数据分析等相结合的复合型人才，支撑和落实数字化转型。

3. 数字化文化

数字化转型是一个长期过程，需要转变原有思维模式、工作模式和决策模式，培养员工的数字素养。通过巩固并沉淀转型成果，持续迭代创新，充分认识到数据是企业的核心资产与核心生产要素，培育数据驱动的新型企业文化。

4. 数字化变革管理

培养企业自上而下的全员“数字化”意识，构建变革计划、执行和反馈机制，自上而下全力推动。数字化变革需要公司高层深度参与、带头示范并持之以恒，引领企业在数字化转型道路上稳步前进。传统能源企业需引入互联网思维，主动拥抱变革，通过“互联网+能源”推动业务及商业模式创新。

图16: 数字化组织与人才能力



五、数字化技术、数据与安全能力

能源数字化转型需要利用和融合多种技术以适应新业务发展和创新的要求，同时解决好数据安全和隐私保护的课题。

1. 数字化架构

数字技术驱使企业商业模式和运营方式发生变化，企业需要引入云架构及平台化思想，建立数字生态体系，开展生态整合创新，驱动并引领业务绿色创新发展；运用企业架构的方法，采用业务技术一体化模式，积极开展敏捷开发模式，培养敏捷交付能力。

2. 数字化应用

以云计算、大数据、物联网、移动互联网、人工智能、区块链等新一代数字技术为核心驱动力，构建各类数字化应用能力，支持业务按需调用数字化应用；打造支持数据洞察、智能决策、自动执行的大数据分析和AI能力，以快速响应市场需求变化，从而加速推进业务创新和变革，获取可持续的竞争优势。如电网企业可通过建立人工智能和大数据分析技术充分挖掘海量智能表计数据的商业价值。

3. 数字平台

以云平台、物联网平台、大数据平台等为基础构建能源企业数字底座，实现覆盖能源生态系统的监督、数据分析、互联等功能，通过云、网络、应用、边缘和设备之

间的统一协调，帮助企业实现对应用和数据的组织、连接和管理。如油气企业可通过开放地下数据空间平台（OSDU）等实现地震、储油层、油井等数据可视化，推动数据管理产业化并缩短新解决方案开发周期。

4. 数据治理

建设数据标准和数据模型，开展数据治理，持续提升数据质量；打造与数字化能力建设、运行和优化相匹配的数据治理体系。如发电企业通过建立火电、光伏、风电设备的统一数据模型，实现数据资源标准化管理和数据共享。

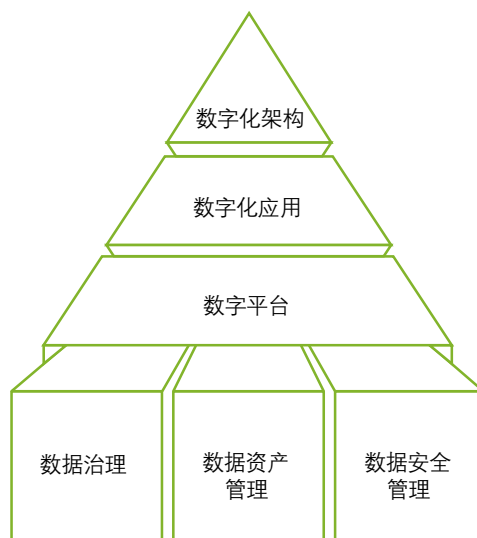
5. 数据资产管理

以共享开放理念整合能源生态链数据资源，引入社会感知数据和环境数据，持续优化并积累数据资产；以数据为核心生产要素，充分挖掘数据资产价值，实现数据资产化、资产服务化，全面支撑不断丰富的能源业务创新和场景化新需求。

6. 数据安全治理

利用和融合多种技术以适应新业务发展和创新的要求，建立数据安全保护机制，解决好数据安全和隐私保护；深入应用多种防护措施，强化数据识别、分类和保护措施，优化网络与终端数据防泄漏系统，加强数据容灾备份设施应用，实现数据安全治理全过程“可见、可控、可管”。

图17: 数字化技术、数据与安全能力



第三节 案例：华为零碳智慧园区

园区是指规划建设配套设施齐全、布局合理的企业和建筑区域聚集体，主要包括企业园区、产业园区、制造园区、商业中心和政府公共建筑、住宅社区等。园区是城市的基本单元，是生产生活和产业集聚的主要载体，是能源、工业、交通、建筑等多系统协同构建的经济平台。

华为提出“绿色高效、全域融合、智慧敏捷”的零碳智慧园区理念，以园区为缩影，为更多零碳智慧场景提供参考。

一、零碳智慧园区价值主张

零碳智慧园区以“管理精益智慧化、能源互补高效化、运营低碳绿色化和碳能交易在线化”为目标，利用数字化技术，通过边缘智能网关采集园区内能源、交通、碳排放及其他全要素数据，基于园区统一数字平台，以及能源管理、零碳管理、碳能交易和综合管理应用模块，实现园区的碳排流、能量流、信息流和价值流互动互融、协同优化，推动园区零碳转型、能源转型和数字化转型。

图18：华为零碳智慧园区价值主张

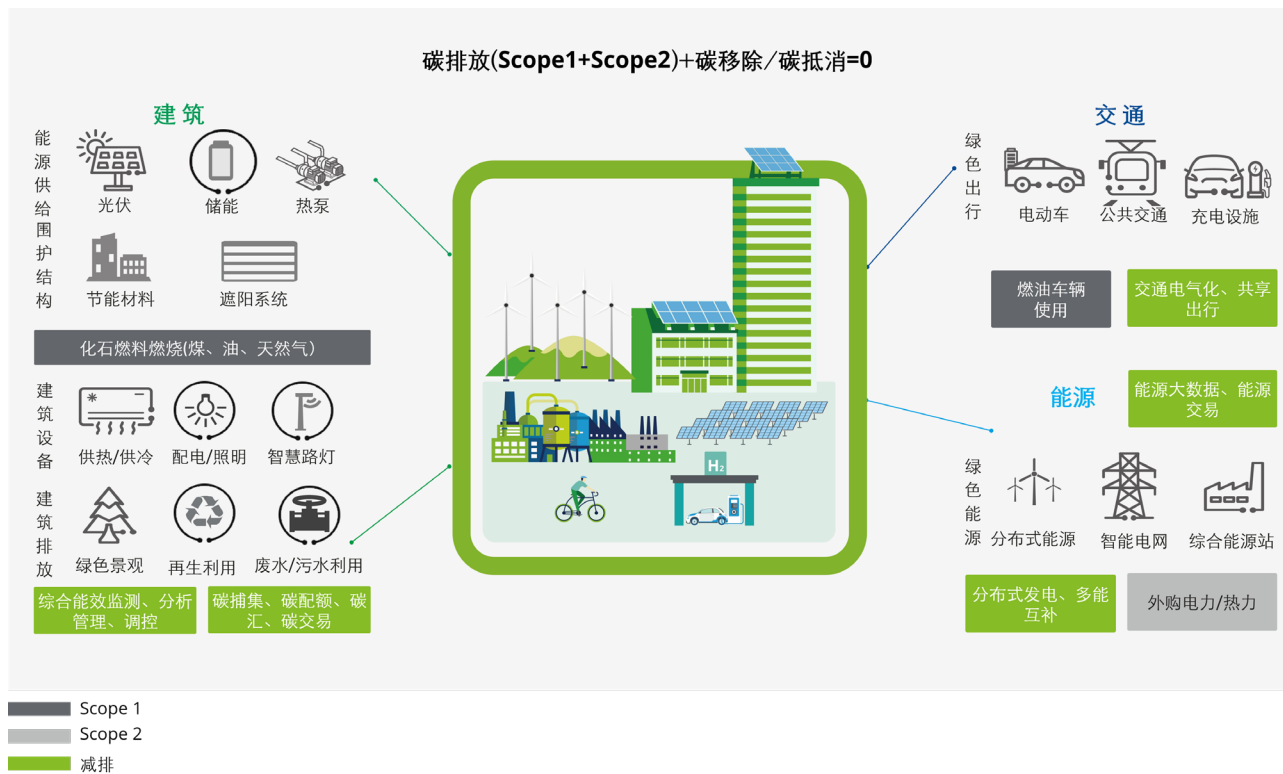


二、零碳智慧园区业务蓝图

建筑、交通和能源系统组成园区的主要基础设施，覆盖能源、楼宇自动化、弱电、办公和循环5个主要子系统。园区范围1排放主要来自建筑供暖、交通等直接化石能源使用，范围2排放主要来自建筑、交通、公共设施使用的外购非可再生能源电力。

因此，建筑绿色化、交通电气化、能源清洁化和能源设施智慧化是实现园区净零排放的主要方向。利用节能低碳建筑材料、分布式绿色能源与智能楼宇管理系统相结合，推动建筑绿色化；利用安全经济高效的配电网、以智能电表为代表的智能感知设备与电动汽车充电站等用能终端相结合，推动能源设施智慧化和交通电气化；利用太阳能、风能等为园区提供主要能源供应，推动能源清洁化；最终实现能源系统、交通系统、建筑系统的绿色、智慧运营，最大化减少范围1和范围2排放，并借助减碳、负碳技术和碳交易助力园区达到净零排放。

图19: 华为零碳智慧园区业务蓝图



三、零碳智慧园区建设路径

零碳智慧园区建设按照低碳、近零碳和净零碳三个阶段动态演进。利用NSI (Net Zero Carbon - Smart Campus - Integrated Energy, 净零碳-智慧园区-综合能源) 三维模型从“零碳化”、“智慧化”和“能源综合化”三个方面对园区发展阶段进行评估,判断园区所处阶段,支持园区制定建设目标和行动计划,通过规划、建设、运营一体化持续优化迭代,逐步发展为零碳智慧园区。

1. 低碳阶段

利用物联网、大数据、人工智能等ICT技术,以科技为园区赋能,实现对园区能源状态、碳排放状态的全面、实时、准确感知,促进减排,降低园区的二氧化碳排放量,提升园区的社会和经济价值。

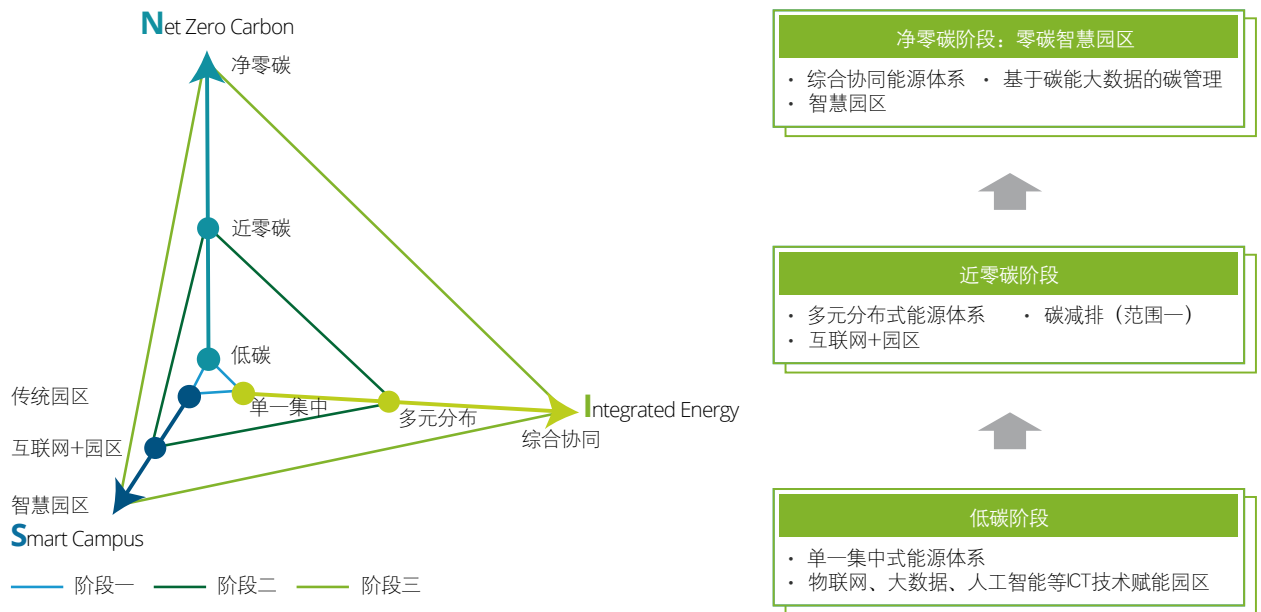
2. 近零碳阶段

在低碳阶段基础上,通过分布式能源、新能源改变单一集中的供能形式,实现能源多元化,降低园区燃烧化石能源的二氧化碳直接排放(范围1)。通过提高能源效率和碳减排措施降低园区的二氧化碳直接和间接排放量(范围1和范围2),使园区的二氧化碳排放量大幅度下降,逐步接近于零。

3. 净零碳阶段：零碳智慧园区

在近零碳阶段基础上,构建综合智慧能源体系,实现多能互补和能源的综合协调优化,通过智慧管理系统促进节能减排,进一步降低园区的二氧化碳直接和间接排放量(范围1和范围2)。通过碳捕集、碳吸收、碳交易等方式抵消剩余的二氧化碳排放量,从而实现园区的二氧化碳净排放量为零。通过建立碳能大数据平台,开展碳能实时监测,利用园区智慧运营中心IOC实现碳能的“可视、可管、可控”。

图20: 华为零碳智慧园区建设路径



四、零碳智慧园区解决方案架构

华为零碳智慧园区解决方案通过边缘智能设备连接能源、楼宇、办公、循环等子系统，将数据接入数字平台，支撑能源、碳、碳能交易和综合管理，开展碳能大数据分析，助力智慧运营管控，实现园区绿色高效、全域融合和智慧敏捷的目标。

1. 边缘智能及终端层

边缘智能网关基于控制、管理、计算和通信一体化的开放平台，集成物联代理、高速通信、边缘计算、安全加固等多种能力，实现对园区能源、楼宇、弱电、办公、循环等各种终端设备的全连接、全采集、全管理，实现实时感知、万物互联。

2. 平台层

数字平台是零碳智慧园区解决方案的核心。依托云平台、大数据、视频云、物联网、GIS和AI技术，数字平台通过“统一接入”、“统一服务”和“统一运维”三大能力，将能源、楼宇、办公、弱电、循环等子系统统一接入、汇聚，支持综合分析展示、集成联动和统一服务，一方面为园区企业经营和园区运营提供数据支持，另一方面驱动第三方合作伙伴的数据汇融与接入，实现以数字为生产要素的园区智慧运营。

3. 业务层

• 能源管理系统

能源管理系统实现园区内各种能源供应和消费系统的相关数据采集、接入及监控管理，管理范围包括分布式光伏发电系统、分布式风力发电系统、储能系统、地源/水源/空气源热泵系统、充电桩/充电站系统、冷热电三联供系统、电制热/制冷系统、智慧路灯及直流微网系统等，实现多种能源互补互济、协同优化，以及园区能源系统的精细化运行，提升能源综合管理水平。

• 零碳管理系统

零碳管理系统是园区零碳管理体系的基础。零碳管理系统协助园区掌握日常运营过程中的碳排放情况，满足国家、行业的监管要求，降低企业碳减排履约风险。为实现碳交易效益最大化，零碳管理系统还助力园区及园区企业建立并完善碳资产管理、碳足迹管理、碳减排项目管理、碳市场预测等能力，支持企业灵活参与碳交易。

零碳管理系统包括碳排放监测、碳排放基础数据库和碳排放管理三个模块。碳排放监测模块监测并记录园区内各供能和用能设施的活动水平数据，并导入碳排放基础数据库。碳排放基础数据库依据国家及行业监管要求搭建框架，管理各类碳排放计算因子。碳排放管理模块依托碳排放基础数据库和碳排放监测模块，构建碳排放量计量与核算、碳排放配额管理、碳信用管理和碳资产交易四大功能，实现园区碳管理闭环，赋能园区全面减排。

• 碳能交易系统

碳能交易系统包括碳交易、能源交易和碳能交易互动。碳交易和能源交易覆盖内部交易与外部交易：内部交易指在园区建立分布式能源交易市场，支持园区内成员开展市场交易以及成员之间的P2P交易；外部交易指园区为成员企业搭建平台，支撑企业参与外部碳市场和能源市场交易。碳能交易互动重点分析碳价格与能源价格的动态关系与相互作用，为企业提供更市场洞察，进一步推进清洁能源利用与节能减排。

• 综合管理系统

综合管理面向园区日常运营管理，通过园区数字平台，将原本孤立的周界、门禁、消防、车辆、楼宇、群控、设施、资产、环境、办公等业务子系统统一接入、汇聚、建模，建立安全管理、人员管理、车辆管理、设施管理、资产管理、环境空间管理和办公管理等应用，支撑综合分析、集成联动和统一服务，实现园区管理对象的全联接、数据的全融合，打造安全舒适、高效低成本的园区运营环境。

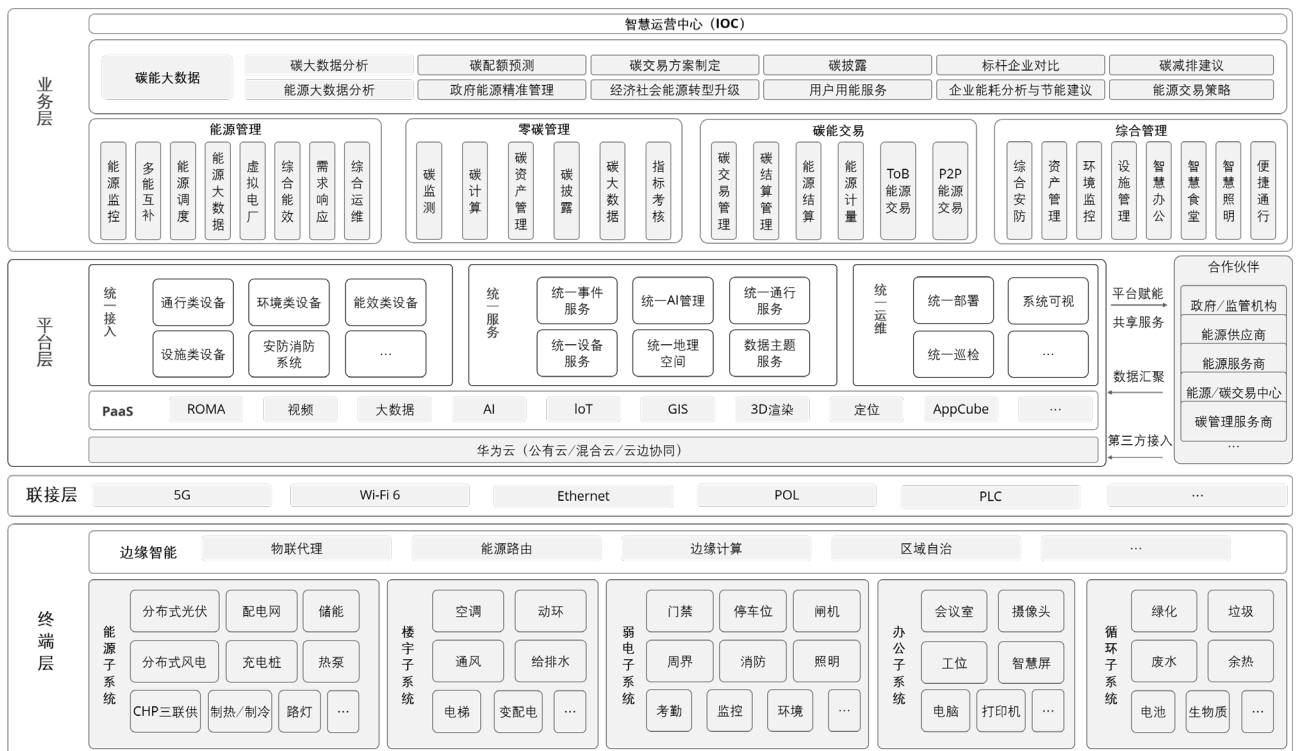
• 碳能大数据

碳能大数据通过碳排放和能源大数据分析，对园区未来能源供应、消费，以及园区碳达峰和碳中和进程进行预测，横向上与国际国内标杆对比，纵向上与历史数据对比，为园区节能减排提供决策支持。同时，通过碳交易和能源交易数据分析，为园区及成员企业参与内部和外部碳交易和能源交易提供交易方案和策略建议，实现园区及企业效益最大化。

• 智慧运营中心 (IOC)

IOC作为零碳智慧园区系统的报告中心、指挥中心和统一入口，支撑园区能源、碳和综合管理运营状态可视化、业务分析和预警以及辅助决策和执行，实现园区能源、碳及综合管理运营状态的可视、可管、可控，完成园区数字化运营目标。

图21: 华为零碳智慧园区解决方案架构



结束语

工业革命至今人类总计排放约2.4万亿吨温室气体，地表气温正以前所未有的速度上升，极端天气事件频发，应对气候变化已成为国际社会共识。自2015年全球近两百个国家通过《巴黎协定》以来，世界各国的减排承诺和实际行动距离气候目标实现仍有较大差距，零碳转型亟需加速。

全球一半以上的温室气体排放来自能源行业，要实现社会经济绿色可持续发展，能源生产和消费模式将发生深刻变革。能源结构由化石能源向可再生能源转型，通过多能互补互济，全面提升能源利用效率；各行业通过电能替代及电气化改造，推行用能领域多能协同和综合梯次利用，实现节能减排和能效提升。面向碳中和目标，未来能源系统将面临高比例新能源接入、高灵活能源调度、综合化能源需求、多元化能源交易等诸多挑战，能源转型任务艰巨。

能源转型和零碳发展是复杂的系统性工程，应兼顾社会经济发展、能源供应安全与碳中和目标实现，涉及到能源战略调整、能源结构转变、能源体系优化、能源业务变革及节能减排行动，需数字化全面支撑。能源数字化转型需方法论先行，体系化构建能力，实现数字技术和能源技术深度融合，为零碳转型和能源转型铺设一条“数字之路”。

本白皮书通过对能源转型及零碳发展的现状和趋势分析，描绘了未来能源发展的方向，即构建包括“三个目标、一张蓝图、五大特征、三元转型、四流融合”的零碳智慧能源体系，提出电力、油气和煤炭行业的能源转型路径；通过构建能源数字化转型方法论、能力框架及支撑体系，打造零碳智慧园区场景化解决方案，为践行绿色可持续发展提供有价值的参考与建议。

参考文献

1. 政府间气候变化专门委员会, 2021, 《气候变化2021: 物理科学基础》
2. 政府间气候变化委员会, 2018, 《1.5°C 特别报告》
3. 联合国环境署, 2020, 《排放差距报告2020》
4. Energy Transition Investment Hit \$500 Billion in 2020 – For First Time | BloombergNEF (bnef.com)
5. 联合国环境署、彭博新能源财经, 2020, 《全球可再生能源投资2020》
6. 国际能源署, 2020, 《2050净零排放》
7. 德勤, 2021, 《迈向2030脱碳之路》
8. 国际能源署 [About CCUS – Analysis - IEA](#)
9. 世界经济论坛 <https://www.weforum.org/agenda/2019/01/why-digitalization-is-the-key-to-exponential-climate-action/>
10. 生态环境部, 《中国应对气候变化的政策与行动2020报告》
<http://www.mee.gov.cn/ywgz/ldqhbh/syqhbh/202107/W020210713306911348109.pdf>
11. 清华大学气候变化与可持续发展研究院, 2020, 《中国长期低碳发展战略与转型路径研究》综合报告
12. 国际能源署数据库
13. 生态环境部环境规划院, 2021, 《中国CCUS年度报告2021》
14. 国际能源署, 2020, 《2020国际能源技术展望》
15. [World Adds Record New Renewable Energy Capacity in 2020 \(irena.org\)](#)
16. 《中华人民共和国2020年国民经济和社会发展统计公报》, 2020-03-02
17. 全球能源互联网发展合作组织, 2021-03
18. Enel's Integrated Annual Report 2020, https://www.enel.com/content/dam/enel-com/documenti/investitori/informazioni-finanziarie/2020/annuali/en/integrated-annual-report_2020.pdf
19. 数据来源为2015到2019年Enel集团年报

项目组核心成员

孙福友

华为企业BG副总裁，全球能源业务部总裁

胡浩

华为企业BG全球能源转型（碳中和）首席代表

王磊

华为企业BG全球能源转型（碳中和）合作总监

郭威

华为企业BG全球能源转型（碳中和）战略与咨询总监

马明伟

华为企业BG全球能源转型（碳中和）方案与集成总监

翟宇

华为企业BG全球能源转型（碳中和）营销总监

蒋颖

德勤中国副首席执行官

谢安

德勤中国气候变化与可持续发展服务主管合伙人

金小筠

德勤中国华北区能源与资源行业领导合伙人

徐强

德勤中国战略风险咨询总监

曹彤

德勤中国能源、资源及工业行业高级经理

屈倩如

德勤研究高级经理

邓敏讷

德勤研究助理经理

致谢

特别鸣谢世界经济论坛（WEF）对本报告的支持。



关于德勤

Deloitte (“德勤”)泛指一家或多家德勤有限公司, 以及其全球成员所网络和它们的关联机构(统称为“德勤组织”)。德勤有限公司(又称“德勤全球”)及其每一家成员所和它们的关联机构均为具有独立法律地位的法律实体, 相互之间不因第三方而承担任何责任或约束对方。德勤有限公司及其每一家成员所和它们的关联机构仅对自身行为及遗漏承担责任, 而对相互的行为及遗漏不承担任何法律责任。德勤有限公司并不向客户提供服务。请参阅 www.deloitte.com/cn/about 了解更多信息。

德勤是全球领先的专业服务机构, 为客户提供审计及鉴证、管理咨询、财务咨询、风险咨询、税务及相关服务。德勤透过遍及全球逾150个国家与地区的成员所网络及关联机构(统称为“德勤组织”)为财富全球500强企业约80%的企业提供专业服务。敬请访问www.deloitte.com/cn/about, 了解德勤全球约330,000名专业人员致力成就非凡的更多信息。

德勤亚太有限公司(即一家担保有限公司)是德勤有限公司的成员所。德勤亚太有限公司的每一家成员及其关联机构均为具有独立法律地位的法律实体, 在亚太地区超过100座城市提供专业服务, 包括奥克兰、曼谷、北京、河内、香港、雅加达、吉隆坡、马尼拉、墨尔本、大阪、首尔、上海、新加坡、悉尼、台北和东京。

德勤于1917年在上海设立办事处, 德勤品牌由此进入中国。如今, 德勤中国为中国本地和在华的跨国及高增长企业客户提供全面的审计及鉴证、管理咨询、财务咨询、风险咨询和税务服务。德勤中国持续致力于中国会计准则、税务制度及专业人才培养作出重要贡献。德勤中国是一家中国本土成立的专业服务机构, 由德勤中国的合伙人所拥有。敬请访问 www2.deloitte.com/cn/zh/social-media, 通过我们的社交媒体平台, 了解德勤在中国市场成就非凡的更多信息。

本通讯中所含内容乃一般性信息, 任何德勤有限公司、其全球成员所网络或它们的关联机构(统称为“德勤组织”)并不因此构成提供任何专业建议或服务。在作出任何可能影响您的财务或业务的决策或采取任何相关行动前, 您应咨询合资格的专业顾问。

我们并未对本通讯所含信息的准确性或完整性作出任何(明示或暗示)陈述、保证或承诺。任何德勤有限公司、其成员所、关联机构、员工或代理方均不对任何方因使用本通讯而直接或间接导致的任何损失或损害承担责任。德勤有限公司及其每一家成员所和它们的关联机构均为具有独立法律地位的法律实体。

© 2021。欲了解更多信息, 请联系德勤中国。

Designed by CoRe Creative Services. RITM0766380



这是环保纸印刷品