

“碳”路未来

中国能源企业 低碳转型白皮书

创新技术解锁可持续新价值



目录

3

摘要

5

携手并进 砥砺前行：
脱碳趋势大局已定

8

风口已至 破冰突围：
能源行业低碳转型路径

9 电力行业

20 油气行业

31 采矿业

40 化工行业

47

智慧赋能 生态融合：
数字化技术保驾护航

49 镜像世界

50 掌控全局

51 平台赋能

51 构建生态

54

参考资料

摘要

随着碳达峰、碳中和目标的正式提出，中国首次在国家层面为各行业低碳化发展指明了方向，企业也纷纷将“双碳”目标纳入发展规划和顶层设计。作为重要的碳排行业之一，能源行业的转型将对中国实现低碳发展的道路产生深远影响。当下，中国不断推进着能源行业改革，能源生产和利用方式正在发生重大、深刻、积极的变化：我们的能源生产和消费结构不断优化，能源利用效率显著提高，生产、生活用能条件明显改善，能源安全保障能力也在持续增强。

然而，随着经济发展和人民生活水平的提高，我国能源消耗和碳排放量也在不断攀升。目前，中国碳排总额已占到全球的三分之一，而中国提出的碳达峰目标，实现年限比欧美足足少了10年。中国实现“双碳”目标，任重而道远。其中，能源行业是核心关键，亟需向低碳化乃至无碳化转型，朝净零排放的目标迈进。

能源行业低碳转型路径

在实现碳中和的道路上，能源行业机遇与挑战并存，这要求电力、油气、采矿与化工等能源行业选择更有针对性的低碳转型路径，促进全产业的绿色可持续发展。

电力行业是我国碳排占比最大的单一行业。对此，国家相关政策正在加速清洁能源有序开发进程。随着可再生能源发电经济性日益凸显，传统煤电举步维艰。在传统电力企业遭受巨大冲击的同时，能源交易和消费形式的逐步演进也创造了新的增长点，为电力行业带来了新的机遇。埃森哲认为，当下中国电力转型正处于从“简单的可再生能源替代”迈向“更复杂的综合能源系统”的关键拐点。从电力产业链各环节来看，无论是上游发电，还是中游输配电、交易与调度，亦或是下游售电与服务均具备较大的减排应用机会，电力企业可通过结构优化、效能提升、技术减排、电网升级、市场交易、调度运行和模式创新七大举措进行低碳转型。

对以化石能源开采加工为主的**油气行业**来说，低碳转型非常关键且富有挑战。未来十年，油气仍将是经济增长的重要支柱；长期来看，由于化石能源发展空间显著受限，油气企业将进入向综合能源服务商转型的换挡期。然而，油气企业转型面临融资困境、化石能源项目投资受限等挑战。与此同时，气候目标 and 政策支持也极大地促进了低碳技术的发展。油气企业可通过稳油增气、效能提升、技术减排、燃料替代、多元布局和市场减排六大举措，促进产业低碳转型。

采矿业作为典型的高污染行业，随着金属需求的大量上升，产业减排压力持续加大。然而，得益于不断创新的低碳技术，矿业企业将可能实现更长远的可持续增长。在转型过程中，多元优化的业务投资组合及商业模式将成为矿业企业的发展新增长极。矿业企业可通过清洁电气化、燃料替代、采选技术创新、甲烷减排、循环经济及市场化交易六大转型举措实现全面脱碳。

我国**化工行业**作为典型的高耗能、高排放行业，面临着一系列严峻挑战：中小化工企业与大型化工企业两极分化；政策对高耗能、高污染行业进行的严格控制导致高耗能化工产能发展受限；区域分化，尤其是西部地区将迎来更大冲击与挑战；上下游分化，低碳减排催生了新增长领域；类型分化，国企、外企减排道路将各有不同。化工行业碳排放的特点为总量有限但强度突出，其低碳转型可主要通过调整产业结构、发展循环经济和精益运营生产三大举措推进。

多样数字化技术为能源转型注入新动能

埃森哲在全球范围的研究中发现，每个国家的能源低碳转型，都是从能源生产供需两侧的核心要素开始，然后逐步地向外延伸，转向市场和技术等辅助要素赋能，最后迈向数字化赋能的综合系统。在这条路径上有一个关键点，即从效果最快、最明显的核心要素切换到间接转型赋能的过渡。一般而言，如果可再生能源占比达到20%-30%，将迎来一个临界点。此时，依靠核心要素、辅助要素的投资推动行业增长的模式已经处于难以为继的拐点，需要向数字化场景寻求持续转型的突破。中国目前的可再生能源占比已经逐步接近这个比例，临界点即将到来。

作为低碳转型的重要推动力，数字化、智能化技术带来的效率和成本优势日益凸显，充分发挥技术创新的支撑作用，促进数字化和绿色化的产业融合，推动能源绿色生态建设，是实现转型升级和长期可持续发展的基础。目前，人工智能、大数据分析、云计算等数字化技术已广泛应用于能源行业。

平台赋能，瞄准端到端解决方案

能源企业在低碳转型进程中，需要建立包括碳资产盘查、碳目标设定、碳交易、碳管理平台解决方案、碳数据整合、绿色生态构建、长期运营等在内的一系列低碳转型资产与能力。未来，政府、企业一定都会看两张资产负债表，一张是传统财务的资产负债表，一张是碳资产的资产负债表。企业需要能够实时了解自己碳额余额的变化情况，也需要知道市场上实时可获得的碳供给的价格。

构建生态，加速实现可持续转型

能源企业低碳转型离不开可持续发展的生态构建。未来的传统油气公司转型新能源，燃气企业进入综合供能市场，发电企业走向客户端，矿产和化工企业进行园区节能改造，都需要借助生态的力量形成合力，并通过生态完成能力的快速部署和积累。

可持续将成为新的“数字化”

埃森哲认为，当前飞速进步的数字技术带来了构建可持续未来的契机。低碳转型的核心是数字化转型，助力企业创造并实现新的价值。中国能源企业应将低碳化的数字智能解决方案嵌入企业的核心业务及全产业链，更有效地进行产品组合及运营过程的管理及优化，充分释放减碳价值，实现可持续发展。

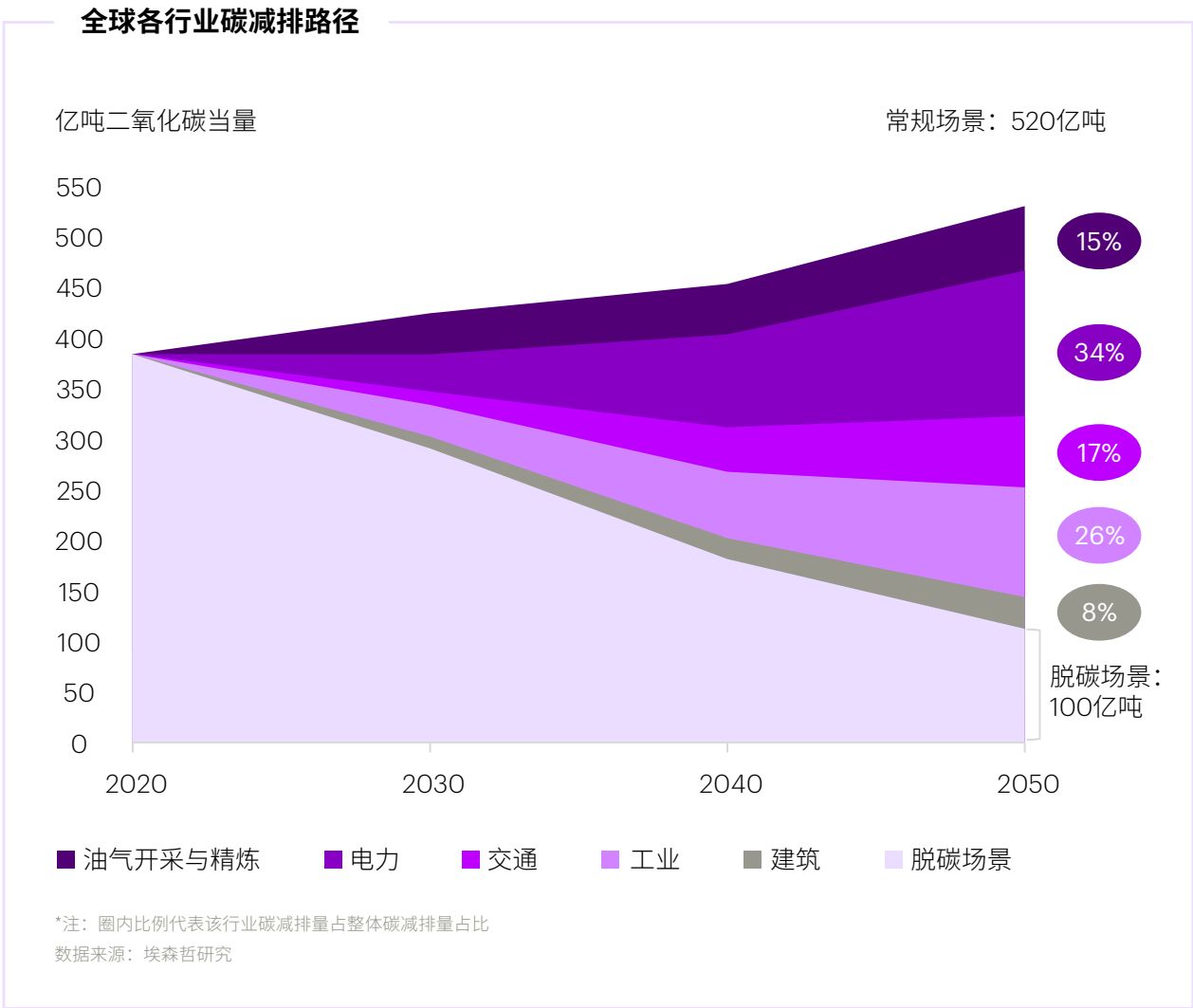
携手并进 砥砺前行： 脱碳趋势大局已定



气候变化威胁人类福祉，《巴黎协定》吹响全球碳中和响应号角

自18世纪中叶工业革命以来，人类频繁的生产经营活动导致大气中二氧化碳浓度不断上升，全球平均气温升高1.2℃，气候变化带来的生态风险及生存危机日益凸显。为遏制全球变暖的严峻趋势，防止自然灾害风险的不断扩大，2015年全球近200个缔约方共同签署通过《巴黎协定》，提出“力争把全球平均气温升幅控制在工业化前水平2℃之内，并努力限制在1.5℃之内”的长期目标，为全球许多国家提供了应对气候变化的发展路径与规划蓝图。截至目前，全球已有127¹个国家承诺在21世纪中叶前实现碳中和。英国、瑞典、法国等6国将碳中和目标纳入法律，欧盟、西班牙等6个国家和地区也相继提出了相关法律和草案²，能源低碳转型与实现碳中和已成为全球共振目标。

然而实现这一目标并非易事，根据2020年全球整体碳排情况来看，过去一年的碳排放总量约为400亿吨，若依据现有排放路径，埃森哲研究，预计到2050年，全球碳排放总量将达到520亿吨，其中电力、交通、工业与建筑四大部门分别占据碳排放总量的29%、27%、24%与7%。若各国积极采取低碳转型与排放管理措施，预计2050年碳排放总量将减少80%，降低至100亿吨左右。其中，电力与工业行业作为主要的碳排放来源部门，具有较大的节降空间，可占整体碳排放减少量的60%左右。然而，2050年100亿吨的碳排量与净零排放的目标仍有一定差距，各国仍需在现有基础上加大减排力度，携手并进、共同走向碳中和。



“3060” 彰显大国担当，减排之路任重道远

能源企业低碳转型迫在眉睫

21世纪中国经济快速崛起，但以工业主导的经济结构导致我国过度依赖化石能源，成为全球最大的温室气体排放国。近年来，我国排放量占全球近30%³，资源环境对于经济发展的制约作用日益剧增。为实现经济长期可持续的高质量发展，同时履行大国的责任担当，2020年9月，习近平主席在第七十五届联合国大会上郑重承诺中国二氧化碳排放力争于2030年前达到峰值，努力争取于2060年前实现碳中和，这一重要宣示为我国应对气候变化、绿色低碳发展提供了方向指引、擘画了宏伟蓝图。

而“3060目标”背后隐含着中国仅有30年的过渡时长，相较于欧美国家50-70年的过渡期而言，面临着更加陡峭的节能减排路径，任重而道远。2020年我国温室气体碳排放总量为142亿吨左右，与能源相关的碳排占比接近90%。因此，为实现碳中和目标，能源行业是核心关键，亟需向低碳化乃至无碳化转型，朝净零排放的目标迈进。



风口已至 破冰突围： 能源行业低碳转型路径

电力行业

低碳能源革命 电力行业首当其冲

电力作为我国碳排占比最大的单一行业，减排效果对实现“双碳”目标至关重要。2020年我国能源消费产生的二氧化碳排放占总排放量的90%左右，而电力行业占能源行业二氧化碳排放总量的30%以上。作为践行碳达峰、碳中和战略的主力军和引领全社会系统性变革的主战场，电力企业在低碳转型中挑战与机遇并存。

乘时借势 迎来变革新拐点

低碳转型下电力行业的机遇与挑战

跑马圈地模式受限，政策加速清洁能源有序开发进程

随碳中和目标的提出，构建以新能源为主体的新型电力系统奠定了电力行业低碳转型的基础和方向。然而，近年来清洁能源特别是风电、光伏发电高速发展所带来的供需不匹配造成了个别地区较大的消纳压力，同时也给电力系统的调度运行带来了更多挑战。在此背景下，国家能源局在2021年3月印发《清洁能源消纳情况综合监管工作方案》以进一步约束清洁能源的无序建设，促进可再生能源的高效利用，“大干快干”的抢装时代已不复返。

与此同时，政策充分发挥“指南针”作用，通过平价制度、绿色电力证书与明确的量化指标等多种手段推动可再生能源投资的有序健康增长。加强科学规划、统筹协调，降低相关投资风险，确保项目投资回报，为可再生电力开发主体提供了长期确定性。

可再生能源发电经济性日益凸显，传统煤电举步维艰

在全球各地，可再生能源发电成本持续下降并逐渐开始低于化石燃料，过去10年光伏和陆上风电的平准化发电成本（LCOE）分别下降了85%和60%⁴。同样的趋势在中国也在发生，中国光伏发电成本已降至每千瓦时0.2-0.41元的区间，在多数地区已经具备了与新建燃煤电厂竞争的能力，而陆上风电也将很快达到这一水平，海上风电成本将在未来十年具备竞争力。

可再生能源发电成本的进一步下降对现有煤电产生威胁。到2020年代末，新建风电发电成本也将低于现有燃煤电厂的运行成本，使其不再具备经济效益，而燃煤发电产能过剩更加剧了这一风险。目前中国燃煤电厂的平均利用率仅为56%，这一现状在可再生能源资源较为丰富的西北和西南地区尤为凸显（当地的燃煤电厂平均利用率仅为35%），造成巨大的经济损失和资产搁浅。

电改引发行业洗牌，能源交易和消费形式的演进创造新增长点

后电改时代，电力行业更加开放，行业玩家面临重新洗牌。经过过去多轮电力市场化改革，从发电企业和电网企业分家，到如今的市场化电力交易全面扩大，行业新玩家不断涌入。售电公司、综合能源服务公司，甚至来自于能源行业外的互联网和科技巨头凭借其强大的业务灵活性、更高效的决策流程、大胆的想法纷纷入局，传统电力企业遭受巨大冲击。

随着风、光的不断渗透及电力市场化改革的加深，传统的买卖双方关系被打破，创新的商业模式带来新增长机遇。过去能源生产模式以集中式为主，但未来考虑到东南沿海作为负荷中心，土地资源愈发紧张，分布式能源以其方便灵活，靠近负荷中心等特点将成为未来的新增装机主流。与此同时，传统的电力消费者逐渐转为生产者，通过自有分布式设备满足用电需求，并将富余电量卖回至电网或其他用户产生额外收益，带动商业模式的创新。

埃森哲认为，当下中国电力转型正处于从“简单的可再生能源替代”迈向“更复杂的综合能源系统”的关键拐点。

“绿”之所向 七大抓手多管齐下

电力行业低碳转型举措

肩负着“双碳”目标的重要责任和使命，以五大发电集团、两网为代表的主要电力企业纷纷响应，明确碳达峰、碳中和时间表和相关具体目标，并已着手行动。从电力产业链各环节来看，无论是上游发电，还是中游输配电、交易与调度，亦或是下游售电与服务均具备较大的减排应用机会。埃森哲认为电力行业低碳转型路径可归纳为七大举措，分别是：结构优化、效能提升、技术减排、电网升级、市场交易、调度运行和模式创新。



举措一：结构优化 首要抓手

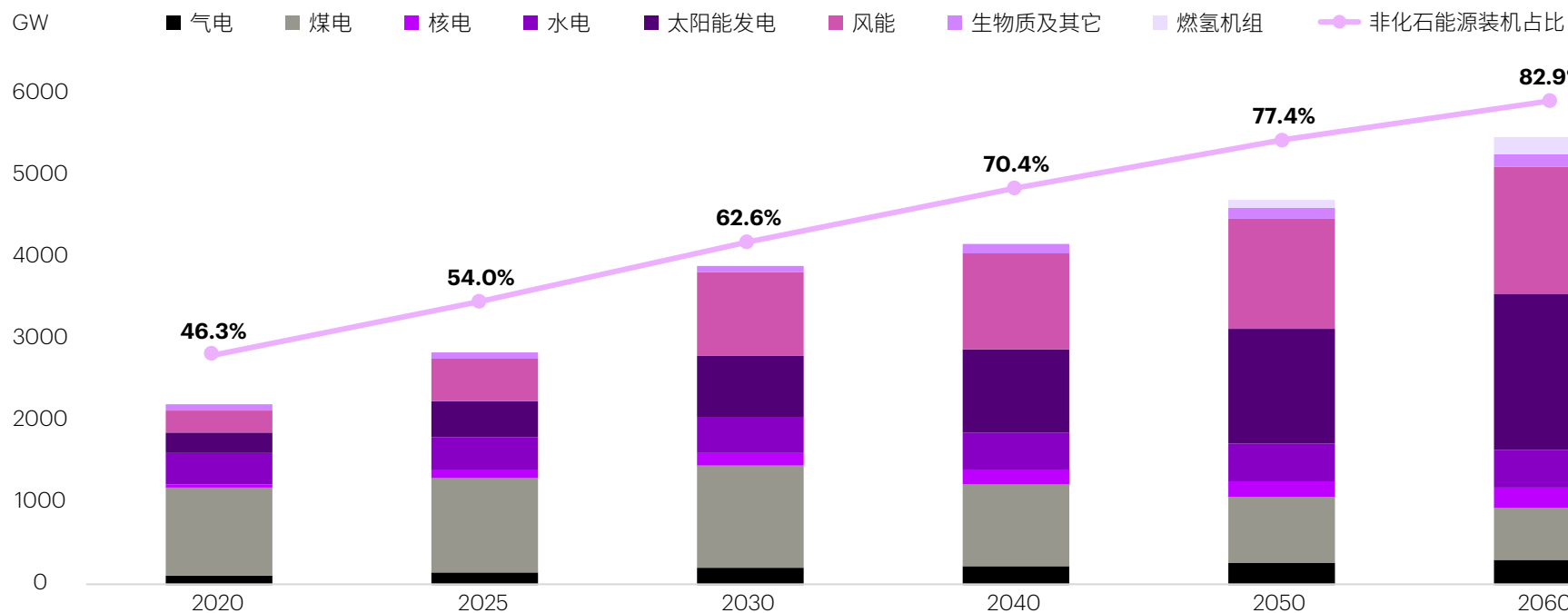
提高可再生能源、核能等低碳能源在电源结构中的占比是电力行业转型的重要基石。据国网能源研究院预测，到2030年我国非化石能源的装机占比将达到62.6%，其中风电、太阳能总装机容量将达17亿千瓦以上；清洁能源装机比例在2060年将进一步攀升至82.9%，届时风光总装机超60%。

在此目标背景下，**电力企业**应制定更加积极的新能源发展目标，加快风电和太阳能发电建设，因地制宜开发水电，积极有序发展核电。在风电方面，建议关注“三北”大型风电、东南沿海海上风电和东中部分散式风电的建设。在太阳能发电方面，西北地区依然是我国重要的能源供给基地，集中式光伏作为优势资源也将继续增长，东中部地区则可因地制宜合理发展分布式光伏。

同时，**电力企业**亟需改变煤电在能源转型中的定位，严控新增装机并淘汰落后产能，将煤电从电量供应型转变为电力调节型，促进和保障可再生能源电力的发展，果断关停小容量煤电机组以及一些低效的自备电站机组。此外，电力企业还需提升灵活调节电源的比重，推进东中部地区抽水蓄能电站和调峰气电建设，推广应用大规模储能装置，满足电网硬性要求、平滑出力曲线并提供辅助服务。

更为重要的是，在结构优化的过程中，电力企业需要承担起产业链的引领作用。通过构建生态圈，由末端的需求驱动，拉动整个新能源产业链从装备制造、设计施工、技术服务到运维的整体技术发展和生态规模化效应，从而进一步降低新能源发电技术的平准化发电成本（LCOE）。

中国2020-2060年电源装机总量及结构



资料来源：《中国能源电力发展展望2020》

举措二：效能提升 一举两全

效能提升包括能源供给侧和能源消费侧两端的能源利用效率优化，可在实现碳减排的同时为电力企业和用电用户带来收益。

在**能源供给侧**，**发电企业**应加快煤电灵活性改造和全生命周期的资产绩效管理。煤电技术改造将主要通过开发煤清洁转化高效利用技术和提高燃煤发电效率降低煤耗实现，包括余热回收、汽轮机流通改造以及具有发展前途的整体煤气化联合循环（IGCC）、循环流化床燃烧（CFBC）等技术。

针对发电资产全生命周期管理，**发电企业**可在项目开发环节，通过智能资产规划优化项目选址，降低资本开支，最大化资源利用率，提高项目收益。在生产运营环节，可采用运行优化工具通过分析电厂内部数据、历史运行数据、外部天气情况及电力需求预测形成运营指示，从经验决策型向预测分析型转变，提高发电量增加发电收入的同时，提高电厂灵活性。在运行维护环节，发电企业可借助数字化分析工具和人工智能算法，进行整体发电资产的状态监控，将过去被动式问题解决型运维改为全面主动型的预测性运维，帮助发电企业降本增效。

在**能源消费侧**，**综合能源服务企业和售电公司**可通过用能改造服务和用电负荷管理实现用户侧的效能提升。综合能源服务企业可建设基于互联网的系统能效监测、故障诊断、优化控制平台实现用户能效监测与提升，提供节能设备销售改造及多能供应等服务，降低用户用电成本；并基于不同行业与区域的用户用能需求，构建差异化和定制化的合同能源管理套餐，提高客户粘性。售电公司可通过智能电表及控制设备进行用电负荷管理，实时监测用户用电情况，提供用能分析与咨询服务，对用户的多种用电设备进行精细化管理控制，随时调整用电设备工作状态，帮助用户优化用电结构与生产计划，降低碳排。

举措三：技术减排 方兴未艾

技术减排主要来自未来新兴能源技术的规模化应用，包括氢能和CCUS碳捕捉、利用和封存技术。

氢能清洁无污染、燃烧热值高、利用形式多等特点使其成为能源结构转型的关键媒介。同时，氢能作为能源储存的新型方式，可调节可再生能源发电量的波动，并促进能源结构多元化和能源供应安全。随着可再生能源度电成本和电解槽成本日益降低，氢能将迎来快速发展的重大机遇期。

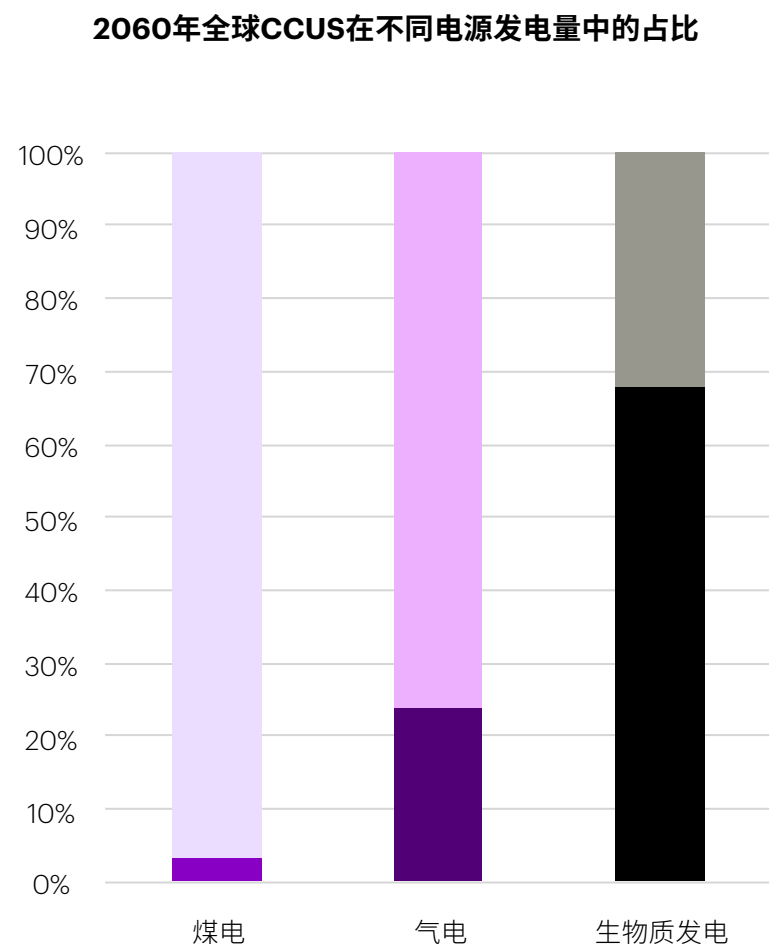
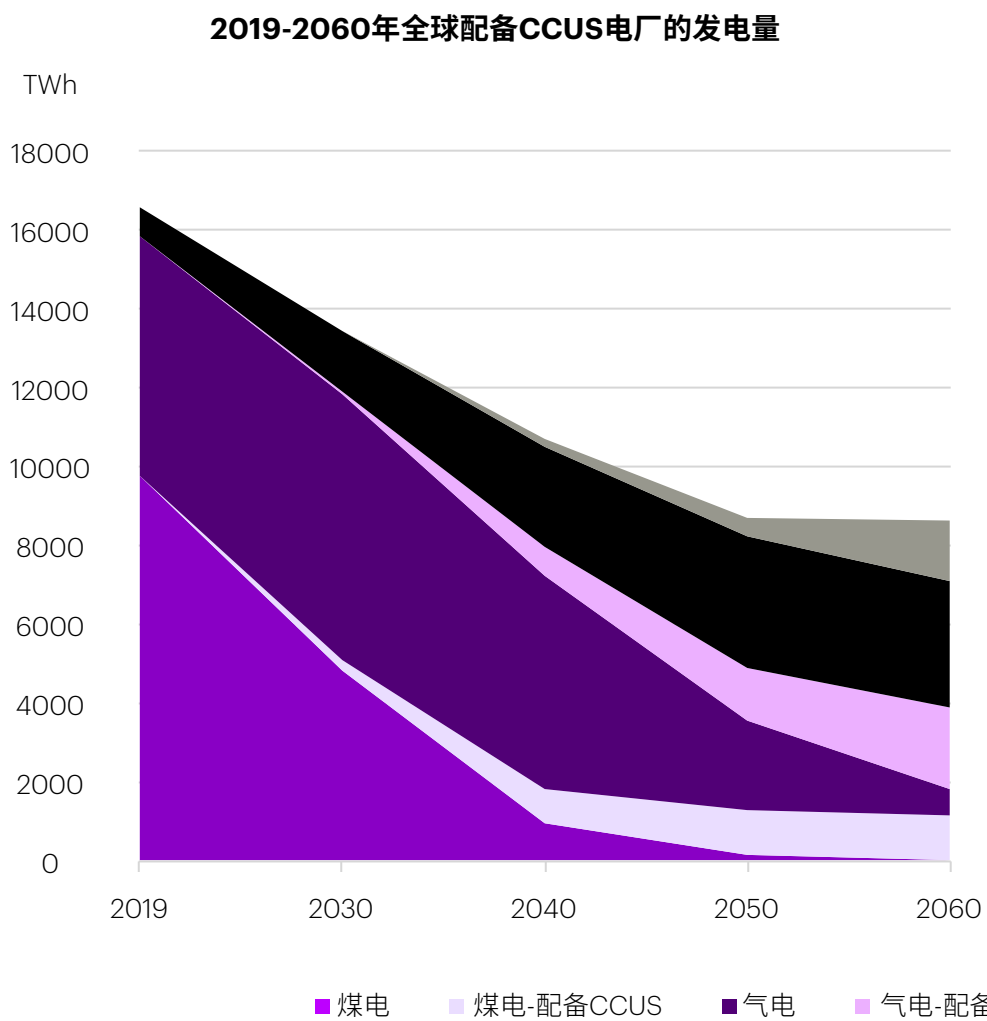
此外，CCUS碳捕捉、利用和封存技术作为降低化石燃料电厂碳排放的关键解决方案，在推进电力系统低碳转型中发挥着重要的作用。燃煤和天然气发电厂是电力系统灵活性的主要来源，为电网运行提供惯性和频率控制等，而碳捕集电厂既可以像传统火电机组一样提供灵活性支撑作用，又能很大程度降低自身的碳排放，有望在未来电力系统中起到“压舱石”作用。

据国际能源署（IEA）预测，至2060年全球约97%的燃煤电厂均将配备CCUS，气电和生物质发电配备CCUS装置的比例也将分别达到76%和32%左右⁵。

电力企业应积极布局，提前加码氢能、CCUS等新技术发展。短期内可充分利用弃风弃光进行电解水制氢，未来随可再生能源发电成本持续下降，可将氢能发电机整合到电网电力输送线路中，与制氢装置协同作用，在用电低谷时电解水制备氢气，用电高峰时再通过氢能发电，提高能源利用效率。总体来说，可以尝试以实践型参股投资的模式，在氢能产业链各环节同时布局，小额多点开花，为未来抓住氢能产业链核心环节做探索。

CCUS技术当前受限于成本因素，发展不及预期，但在全球关键地区均有试点，目前在运行的2个大型CCUS项目和在建的20个项目预计总碳捕集能力将达到5000万吨/年。发电企业应积极推动技术研发，通过模块化建设，提高捕集能力，提升发电机组效率，优化CCUS运行范围和供应链；减少胺降解；优化热能消耗和水耗；提高压缩效率和数字化技术等降低资本成本和运营成本，加快CO₂资源再利用，锁定未来技术红利。

可持续发展情景下2019-2060年全球配备CCUS设备电厂的发电量



资料来源：国际能源署（IEA）《碳捕集、利用与封存（CCUS）——世界能源技术展望2020特别报告》

举措四：电网升级 刚柔并济

电网连接电力生产和消费，是能源转型的中心环节，也是电力系统碳减排的核心枢纽。未来我国电力需求将继续平稳提升，东中部仍是用电中心，大型清洁能源基地则分布于西北部。电力需求和资源禀赋逆向分布决定了“西电东送”和“北电南供”电力格局不变，跨区跨省清洁电力流规模还将继续扩大。另一方面，随着新能源快速发展和用户侧新型用能设备，如分布式发电、电动汽车和储能设备的广泛接入，控制规模呈指数级增长，供需双方的不确定性给电网的安全稳定运行带来更大的挑战。

因此对**电网公司**来说，应加强“跨省区主干电网+中小型区域电网+配网及微网”的电网规划建设，提升电力传输灵活性，支持新能源优先就近并网消纳，提高清洁能源接纳能力；并积极探索智能微电网等技术，满足分布式能源和多元负荷用电需要。此外，需持续提升已建输电通道利用效率；提高电网信息采集、感知、处理、应用能力，实现向能源互联网转型升级。同时加快抽水蓄能电站建设，支持调峰气电建设和储能规模化应用，提高系统调节能力。

除此之外，**电网公司**还可通过实施电网节能管理，如推广节能导线和变压器应用、加强六氟化硫气体回收处理、电网废弃物环境无害化处置等，着力降低自身业务运行中的碳排放水平。

举措五：市场减排 经济导向

市场减排则包括电力市场改革及碳市场建设带来的减碳机遇。

电网公司交易中心应加快电力现货市场建设，加快构建促进新能源消纳的市场机制，完善以中长期交易为主、现货交易为补充的省间交易体系，扩大新能源跨区跨省交易规模，健全能源电力价格合理形成和成本疏导机制。同时健全辅助服务市场交易机制，引导火电机组主动参与系统调节，完善储能电站投资回报机制，调动发电侧和用户侧参与系统调节积极性。**发电企业**则应积极参与电力现货市场和辅助服务市场交易，更好地将可再生能源出力变化体现在市场价格信号中，通过跨区中长期外送、省内大用户及增量用户直接交易，提高新能源发电的消纳。

与此同时，充分考虑碳市场对电力市场的影响，将电能价格与碳排放成本有机结合，相互促进、互相补充。**电网公司**应积极研究绿证、碳交易机制及其与电力市场的耦合方式，推动构建适应高比例新能源发展的市场模式。**发电企业**应积极制定碳交易策略，及时分析发电层面碳排放数据，优化投资和交易组合，根据配额盈缺变化及时开展碳资产交易，优化生产调度，降低履约成本，更好推动能源清洁低碳转型。



举措六：调度运行 亟待创新

电源侧发电结构的改变与用电侧产销模式的变化，对以交流电技术为基础和集中式控制为主的传统电力系统产生了深远影响。电网的调度优化逻辑发生根本性变化，从集中式优化向集中式、分布式共存的方向转变。以高比例可再生能源、高比例电力电子设备的“双高”为特点的新型电力系统，具有随机、波动、间歇特性，为电源出力引入高度不确定性；同时分布式单机容量小、数量众多、布点分散、特性多样的特点，使得以新能源为主体的新型电力系统调度运行面临严峻挑战。

因此**电网公司**应升级电力系统分析认知体系，开展认知与分析基础理论研究，建设仿真分析手段。完善电力系统运行控制体系，利用“云大物移智链”等技术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、全方位负荷调度，促进清洁能源消纳多级调度协同、快速响应。强化电力系统故障防御体系，基于电网全景全频段状态感知，实现安全风险的事前主动防御，同时发挥电力电子设备调节快速、可塑性强的特点，增强电网故障的事中防御、事后恢复能力，着力做好清洁能源并网消纳。



举措七：模式创新 辅助减排

简单的数据收集和数据分析能带来运营上的降本增效，但商业模式的变革来自于数据的互通互联，对能源行业至关重要，是未来新的增长点。随着电改的进程，发电、输配电、售电环节放开管制，以数字化技术为依托，突破原有商业模式，如需求响应、V2G、虚拟电厂等新模式，在带来新的市场机会的同时，也为电力行业减排带来更多可能性。

对**电网公司**来说，应推动智慧能源系统建设，基于完善的ICT技术，设备的智能化与数据互联实现先进计量、远程控制和双向通信，充分挖掘需求侧响应潜力，构建可中断、可调节的多元负荷资源，并通过价格机制，调动用户节能降耗和参与需求侧响应的积极性。与此同时，需求响应项目与国家或省电力管理平台系统对接的端口和标准统一、电动车电网的双向充电技术、虚拟电厂的数字化平台搭建等技术加持对商业模式的更迭也至关重要。

对**综合能源服务企业和售电公司**来说，基于其节能改造与用电负荷管理的业务基础，提供需求侧响应服务可作为自身业务拓展新维度，成为盈利增长点之一。一方面，售电公司和综合能源服务企业通过收集用户的用电数据，对不同用电设备进行精细化管理，为用户提供智能化、个性化的用电与节电服务；另一方面，随着大数据在智慧能源中的应用不断深入，获取的用户侧用电数据也可以加以完善，售电公司和综合能服企业可通过负荷集成商的身份，综合利用自身具有的客户资源参与到需求侧互动响应的市场中，实现碳减排的需求侧改革。

案例分享：法国电力公司（EDF）三步走实现碳中和

法国电力公司（EDF）是全球领先的能源企业，其业务范围覆盖电力与燃气全产业链，为全球3360万电力用户及530万燃气用户提供能源产品及服务。截至2020年底，共拥有127.9GW装机容量，其中约84%为清洁能源。作为法国最大综合性能源企业，EDF早已将低碳环保作为其重要发展战略，在2018年承诺大幅减少直接二氧化碳排放量，计划到2030年降至3000万吨，并提出2050年实现碳中和。

在碳中和发展道路上，EDF提出“三阶段三步走”发展战略，首先通过优化电源结构、大力发展可再生能源降低直接碳排；其后通过创新能源技术提供用户侧节能减排服务，降低间接排放；未来将持续开发负排放项目，抵消剩余碳排。

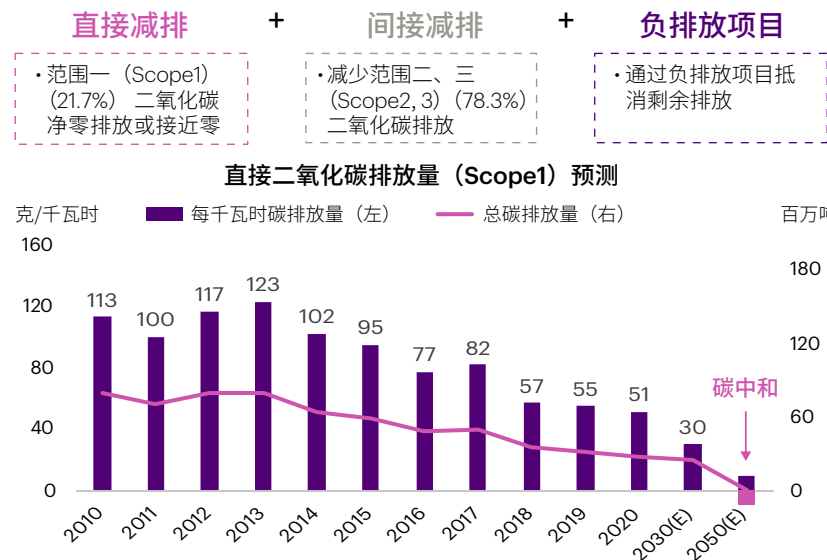
第一阶段自2005年法国加入欧盟温室气体排放权交易体系起，正式拉开帷幕。在此阶段，EDF专注于直接减排，着重降低发电供热碳足迹，并自愿进行碳资产盘查，积极参与碳交易和REC可再生能源证书交易。短期内致力于化石燃料机组脱氮脱硫除尘，长期发展集中式与分布式可再生能源，并持续关停高耗能煤电机组。

第二阶段始于2009年，法国提出碳税机制，鼓励用户减少对化石燃料的消费。在此背景下，EDF开始逐步关注用户侧间接排放，提供用户侧储能、需求侧响应、电动汽车、能源管理系统等多样化终端能源服务。同时EDF也未停下自身减排步伐，不断开发智能电网、氢能、CCS等创新能源技术，投运示范性项目。

2015年，法国提出国家层面的低碳战略，并正式建立碳预算制度。因此，在第三阶段，EDF进一步开展负碳排项目，加大碳吸收抵消剩余碳排。EDF将生物多样性及生态保护作为其企业社会责任目标之一，并在全球范围内不断与当地所有利益相关者进行协商，通过生态修复和植树造林实现负碳排。

未来EDF仍将以“碳中和”转型作为坚定的战略方向，在发电侧不断退煤发展可再生及储能技术；在用户侧通过综合节能服务进行一系列新技术的布局与实验，同步化被动为主动；通过碳补偿项目为低碳革命打下良好的基础。

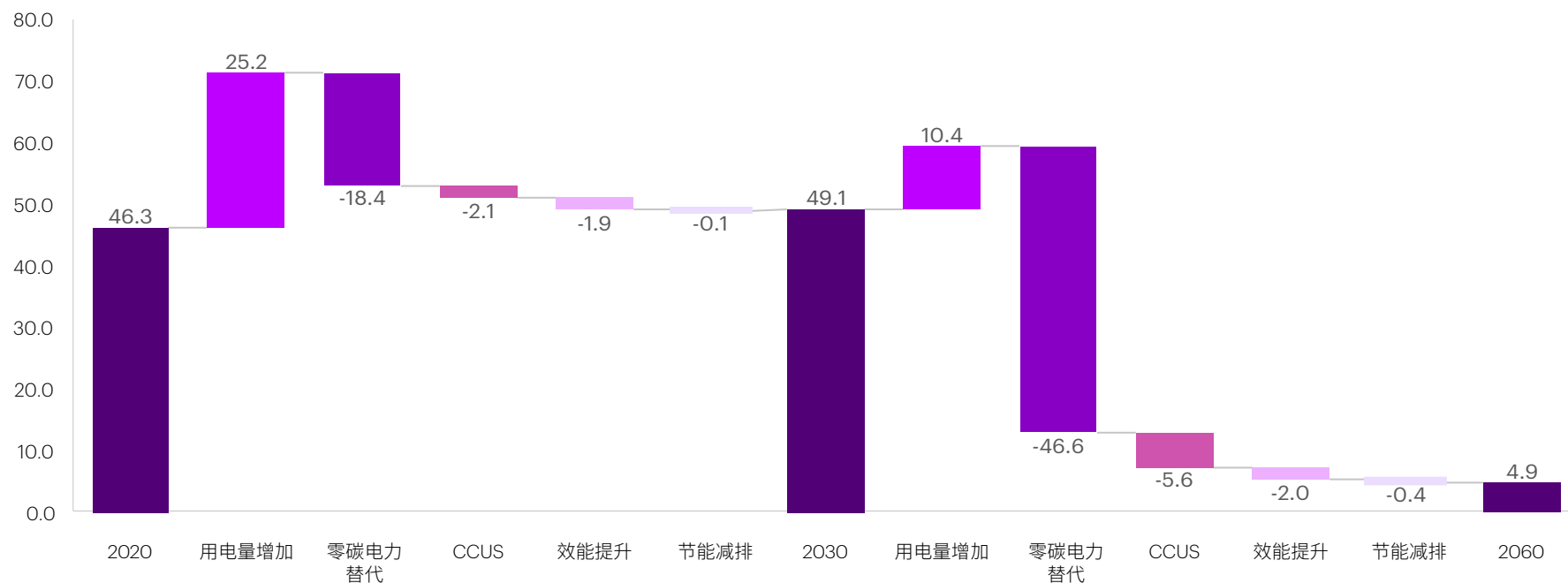
EDF碳中和战略三大举措及减排预测



中国2030、2060年电力行业温室气体减排路径

碳减排路径测算以范围一（Scope 1）为主

亿吨二氧化碳当量



数据来源：埃森哲分析

基于以上七大减排举措，埃森哲针对中国电力行业“3060”减排路径进行了相应测算。预计至2030年，电力行业温室气体排放将达49.1亿吨二氧化碳当量，至2060年将降至4.9亿吨。电网升级、市场交易、调度运行优化均为促进可再生能源消纳保驾护航，为避免重复计算，其所带来的碳减排效应已在结构优化的装机容量与发电利用小时数中进行考量。

在减排路径中，结构优化贡献了最大减排成效，2020年我国煤电装机量达1080GW，预计仍将保持上升趋势至2025年达峰。此后煤电将加快转型，逐步有序退出，至2060年煤电装机量将降至640GW⁶。因此2030年电力行业碳排量仍成上升趋势，后随煤电机组装机量退坡，风电、太阳能发电等零碳电力装机量增长迅速，碳排整体呈现下降趋势。若各电源装机容量或年均利用小时数与假设有所不同，结构优化所带来的减排量会出现一定程度浮动。

*测算中各电源在2030年的年均利用小时数为气电3000小时、煤电4000小时、核电7000小时、水电3600小时、太阳能发电1350小时、风电2000小时、生物质及其他4500小时；2060年年均利用小时数分别为气电3000小时、煤电2000小时、核电7000小时、水电3500小时、太阳能发电1800小时、风电2500小时、生物质及其他4500小时、燃氢机组2000小时

CCUS技术的应用是除结构优化外最大的碳减排贡献来源。据国际能源署（IEA）预测，至2060年全球煤电配备CCUS装置比例将接近100%，气电配备比例近80%，生物质发电配备比例将达32%左右⁷。技术适用性标准和成本是当前影响该技术应用的主要因素，若CCUS技术成熟度和经济性发展不及预期，其减碳成效将有所下降。

效能提升带来的减碳贡献主要体现在单位供电煤耗与供电气耗的降低所带来的碳减排效应。2030年前煤电仍占主流地位，气电仍在持续增长，效能提升将带来较为显著的减碳成效。随着煤电和气电机组装机容量达峰后逐步下降，其带来的减碳效应也将随之减弱。

用能改造和用电负荷管理水平不断提升也将进一步实现碳减排。随着综合能源服务企业与售电公司基于互联网和控制平台技术的不断成熟，节能的所带来的减排相应增长潜力不容小觑。

碳减排作为系统性转型需要电力行业各参与者多方共同努力，源网荷储各环节共同发力，加快推进能源供给多元化清洁化低碳化、能源消费高效化减量化电气化。为此，埃森哲细化了电力行业主要玩家在“3060”“双碳”目标下的转型措施。

企业类型	转型举措	
装备制造企业	- 提供带有数字化平台接入方案的新能源设备 - 推进大容量高压风电机组、光伏逆变器创新突破 - 加快大容量、高密度、高安全、低成本储能装置研制	- 大力投资参与产业园区等综合能源服务项目 - 布局CCUS和氢能等新兴技术应用 - 制定碳交易策略，优化投资和交易组合，开展碳交易
发电投资运营商	- 提高可再生能源、核能等低碳能源在电源结构中的占比，设定有序退役煤电机组规划与路线图，做到经济平衡 - 推进调峰电源及储能建设 - 开发煤清洁转化高效利用技术，提高燃煤发电效率	- 全生命周期的发电资产绩效管理 - 布局CCUS和氢能等新兴技术，主动构建生态圈，推动新能源产业链发展 - 参与电力现货市场和辅助服务市场交易 - 制定碳交易策略，优化投资和交易组合，开展碳交易
地方投资集团	- 提高可再生能源、核能等低碳能源在电源结构中的占比 - 开发煤清洁转化高效利用技术，提高燃煤发电效率 - 集团内高耗能产业用电负荷管理及用能改造 - 布局氢能等新兴技术	- 参与电力现货市场和辅助服务市场交易，构建供能主体与用能主体的共同调优与节能收益分享机制，搭建数字化平台实现资源协同最大化 - 制定碳交易策略，优化投资和交易组合，开展碳交易
电网企业	- 加强柔性电网建设 - 提升已建输电通道利用效率 - 提高电网信息采集、感知、处理、应用能力 - 抽水蓄能电站建设	- 推广节能导线和变压器应用、加强六氟化硫气体回收处理、电网废弃物环境无害化处置 - 主导推动电力现货市场建设，健全辅助服务市场交易机制和碳市场交易 - 升级调度运行技术和基础设施 - 推动智慧能源系统建设，推动新商业模式发展
售电公司	- 开展用电负荷管理 - 提供绿电套餐，差异电价等服务	参与需求侧响应
综合能源服务公司	- 开展用能改造服务 - 提供综合能源建设服务	参与需求侧响应

油气行业

劈波斩浪向未来 油气行业负重前行

作为以化石能源开采加工为主的传统行业，油气在能源领域的地位举足轻重，其贯穿全价值链的碳排放量也不容小觑，而油气企业自身重资产、广布局的特性也使得油气行业转型如大象转身，缓慢而富有挑战。在“双碳”目标的背景下，与碳减排密切相关的油气行业势必将进入加速转型变革的新时期。



鉴往知来 新赛道渐趋明朗

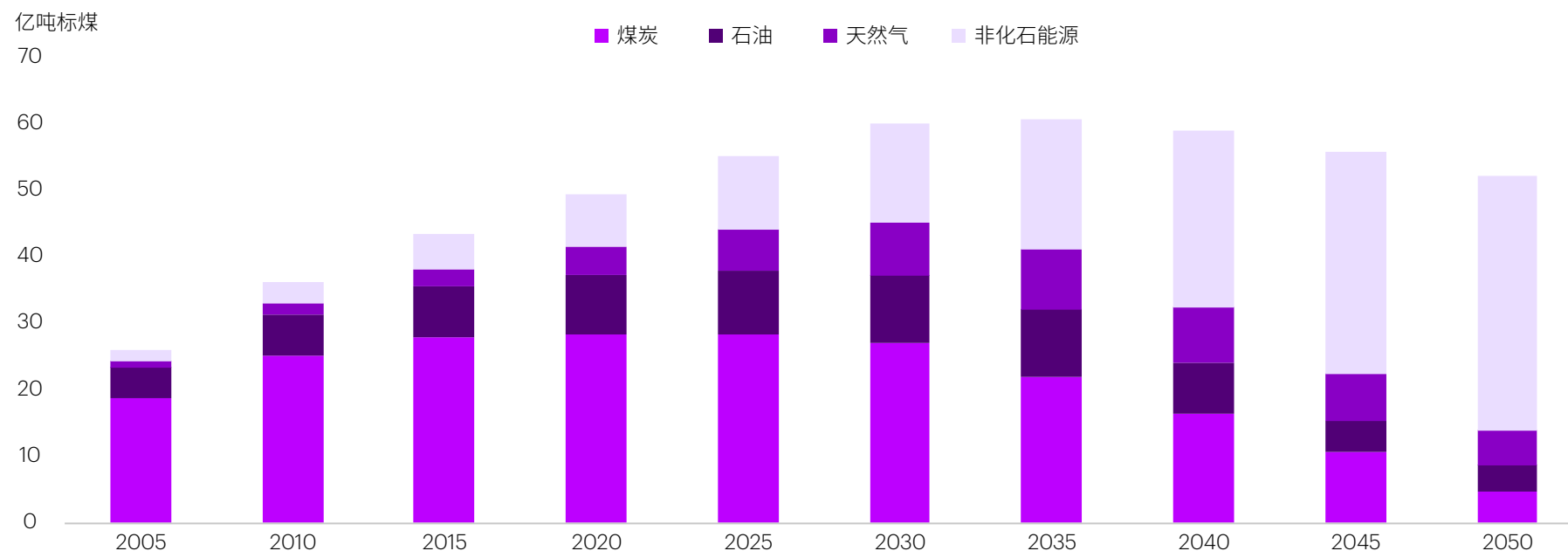
低碳转型下油气行业的机遇与挑战

油气短期十年仍是重要经济支柱，长期来看发展空间受限

中国经济增长阶段发生根本性转变，由过去的高速增长阶段，转为更加可持续的中高速增长阶段。伴随着经济增速的趋缓和环境约束趋严，我国能源消费总量也将于2035年达峰后逐渐下降。由于油气事关我国能源安全，具有战略性意义，且其能量密度高、便于存储和运输等特性，使得油气在运输领域、基础化工领域、城镇化发展等领域的作用难以被快速替代，油气仍将在我国国民经济和社会发展中发挥重要作用，至2030年油气在我国能源消费结构中仍占近30%，未来十年油气仍是经济增长重要支柱。

而后随着低碳转型进入深水区，一次能源消费中化石能源的占比将大幅减小，至2050年油气消费占比将降至17.8%，长期来看发展空间显著受限。从供给端来看，化石能源行业本身的能源消耗巨大，低碳政策将增加其碳排放成本和生产成本，降低其在能源市场上的竞争力；从需求端来看，低碳政策将增加各行业化石能源的使用成本，从而降低化石能源需求。因此，长期来看，低碳和减排政策的大力实施对化石能源行业将产生重大冲击。

2°C目标导向情境下中国能源消费结构情况



数据来源：《中国长期低碳发展战略与转型路径》

油气市场不稳定性增加，油气价格在中低位剧烈震荡

受各种因素的影响，过去几年，油气价格大幅下滑并维持低位震荡。未来在碳中和约束下，温室气体排放约束趋紧，化石能源消费减少，尽管油气供应方将加强对油气供应的协同调控，但油气供过于求的局面将更加显现化，且大概率将不断加剧。因此，长期来看油气供需基本面保持宽松，油气价格难以恢复高位，短期内受油气需求波动影响，市场价格走势不稳定性增加，剧烈震荡将成常态，油气企业盈利能力将受到巨大影响⁸。

油气企业转型面临融资困境，低碳技术前景广阔

油气生产企业融资难度增加。一方面，气候变化行动对资本市场产生深远影响，油气等化石能源项目的投资长期回报不再被看好，直接导致近年来油气公司现金流吃紧，股价持续下滑低迷。另一方面，新冠疫情叠加油价低迷也对油气企业的生产经营造成巨大影响。化石能源行业融资难度和成本显著上升，现金流和债务管理面临更大挑战。

虽然化石能源项目投资受到限制，但气候目标和政策支持极大地促进了低碳技术的发展。中国油气企业应抓住技术发展机遇期，综合运用自主研发、合作研发、技术引进集成及风险投资等多种方式，积极开展碳捕获和存储、甲烷排放管控等温室气体减排技术研究，充分利用数字化、智能化技术手段提升效能，逐步形成碳减排及新能源关键技术体系，降低气候变化带来的经济损失和发展风险。



冲破桎梏 六大对策向“新”而生

油气行业低碳转型举措

碳中和时代的到来，需要油气企业重新审视已经积累起来的行业经验和在能源领域的竞争优势，探寻新的可持续发展路径，重构业务链，不断降低产业链的碳排放强度。从油气产业链各环节来看，上游开采，以及下游炼油和化工具备较大的减排空间。埃森哲认为油气行业低碳转型路径可归纳为六大举措，分别是：稳油增气、效能提升、技术减排、燃料替代、多元布局和市场减排。



举措一：稳油增气 结构减排

短期来看，聚焦核心油气业务。中国油气需求将继续增长，油气企业在未来仍发挥着增储上产主力军的作用。油气田企业应加强国内核心区块的勘探开发力度，提升探明储量动用程度，增强供应体系的稳定性和弹性。同时，充分利用天然气的绿色低碳能源属性，积极提升天然气在产品结构中的占比，持续加大勘探开发力度，推进致密气、页岩气、煤层气等非常规天然气开发，多渠道引进国外天然气资源，推动天然气产量快速增长。

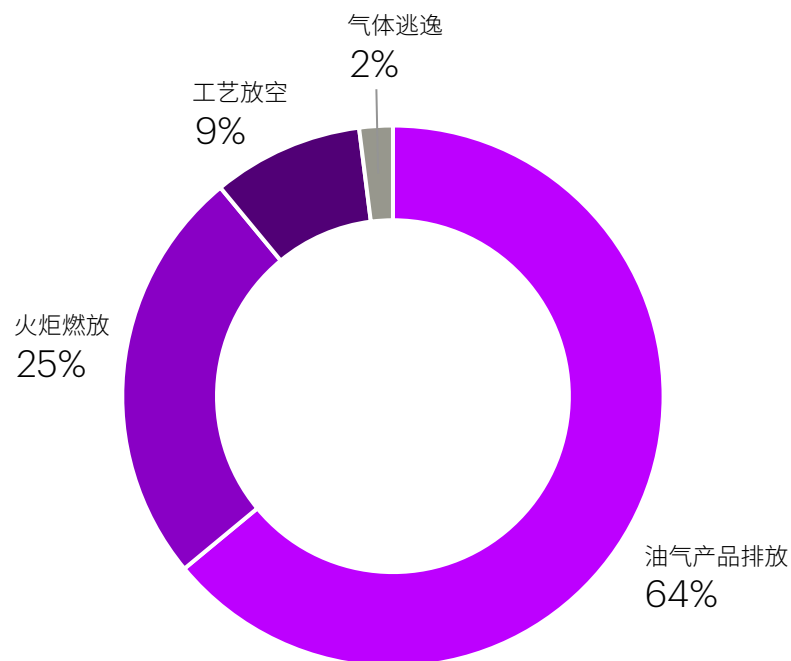
道达尔、壳牌、埃尼、挪威国家石油公司等国际油气企业提供的油气产品中，天然气所占比例已提高至约50%。道达尔提出2035年天然气产量占比要达到60%，壳牌更是提出了2030年后天然气占比要达到75%的超级计划。

举措二：效能提升 直接减排

从整个油气价值链的排放构成分析，除去消耗油气产品产生的碳排外，仍有36%的排放产生在油气行业企业生产运营环节，主要排放源包括火炬燃放（25%），工艺放空（9%）以及气体逃逸（2%）（参见右图）。除二氧化碳外，油气的生产运营还会产生甲烷等非二氧化碳温室气体的排放。

为降低生产运营过程中产生的碳排，油气田企业和炼化企业需加大新技术、新装备的使用力度，替换或升级高排放设备；提高火炬气、伴生气等资源的利用效率。同时在甲烷排放管控方面，减少计划性和逸散性甲烷排放；扩大泄露监测和修复（LDAR），及时发现存在泄漏现象的组件，并进行修复或替换，进而实现降低泄漏排放。

2019年油气行业温室气体排放构成



举措三：技术减排 未来可期

CCUS碳捕集技术可以显著减少开采炼化过程中产生的温室气体排放，抵消无法避免的温室气体排放。**油气田企业**可通过将二氧化碳注入油层，提高原油采收率的同时，解决二氧化碳封存问题。**炼化企业**也可通过布局CCUS技术捕捉、利用并存储生产运营过程中产生的二氧化碳。自2000年以来，埃克森美孚已经在减少排放的技术和项目上投资了100多亿美元，其中包括发展碳捕捉和储存技术。作为全球CCUS技术的领导者，埃克森美孚二氧化碳捕集能力为900万吨，在美国、澳大利亚和卡塔尔建有CCUS项目。埃克森美孚于2021年2月成立专业部门负责CCUS技术的商业化，并计划投资30亿美元用于推进未来全球碳捕集与封存项目。中石化也已经上马了百万吨级CCUS项目。

此外，雪佛龙也向CTV核心基金投资超过3亿美元，其中部分资金将用于发展碳捕集、利用和储存（CCUS）技术；且在2021年3月，雪佛龙宣布与斯伦贝谢（Schlumberger）和微软（Microsoft）在加州开发生物能源及碳捕获和封存（BECCS）项目，旨在发展负碳排项目。

举措四：燃料替代 清洁用能

油气企业也应更加注重自身用能结构的优化。建议**油气田企业和运输企业**可推广“油改电”、“油改气”技术，使用电力、天然气替代柴油消耗；同时推进地热、太阳能、风能等新能源利用，替代燃煤、燃油或燃气锅炉供热，建设分布式供电系统，推动能源结构清洁化调整。**炼化企业**可推广应用余热产汽、余热发电、余热供暖技术，提高能源利用率；开展蒸汽、电互供合作，实现热电资源互补和共享；利用闲置空间开展分布式光伏发电。

由于油气产品终端消耗是主要排放环节，根据国际油气生产者协会（IOGP）统计数据，2019年该部分占比达64%，因此油气行业企业也需向社会提供更加清洁的终端能源。发展氢能是实现全球能源结构向清洁化、低碳化转型的关键路径之一。**油气田企业和炼化企业**拥有多年石化产品经验，具备支持氢能相关创新发展的专业知识，现有的输配管道基础设施也为氢气输送提供了物理条件。此外，生物燃料也是推动终端能源清洁化的重要手段，**油气田企业和炼化企业**可利用餐饮废油、动植物油脂等可再生资源生产生物航空煤油、生物柴油及乙醇汽油，推动石油产品转型升级。

举措五：多元布局 势在必行

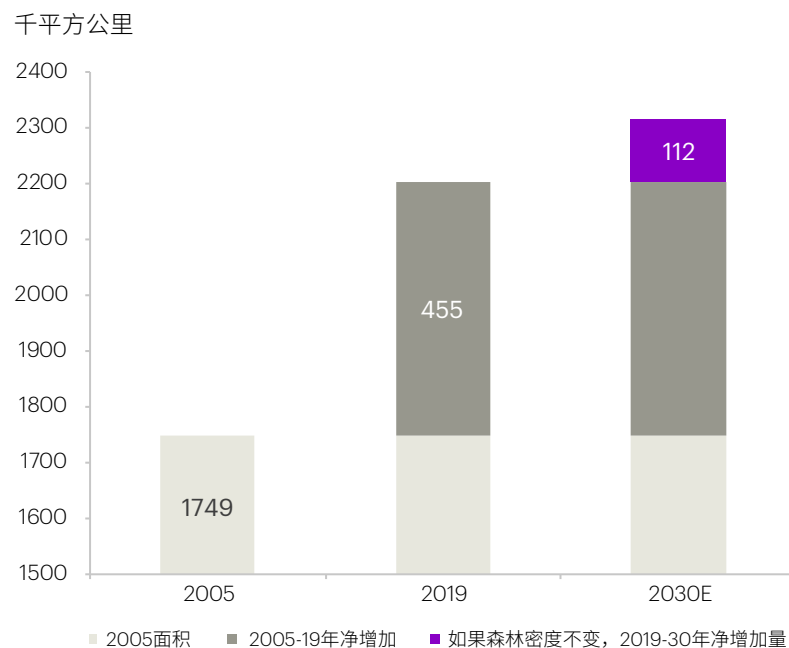
在立足能源安全的同时，油气企业应构建多元的能源供应体系，实现由单一化石能源供应商向综合能源服务商转型。建议**油气行业企业**加大新能源业务投资，重点布局太阳能发电、风力发电等与油气业务协同发展的新能源业务；同时可围绕新能源业务进一步推进下游充电站、非油产品零售等清洁多元化业务的有序发展。

国际领先油气企业已纷纷布局相关业务。道达尔集团太阳能发电业务已覆盖全球40多个多家，并在近年大举进军海上风电和储能业务，预计到2050年，其电力产品销售（尤其是可再生能源电力）将占总体业务的40%。壳牌公司也将电力作为未来业务核心，目标至2030年前实现每年560亿千瓦时的电力销售，并在近年来陆续收购了欧洲最大的电动汽车充电商之一NewMotion，储能电池制造商Sonnen，以及电动汽车充电和管理软件开发商Greenlots。预计至2025年，壳牌的电动汽车充电桩将从目前的6万扩展到50万。

举措六：市场减排 积沙成塔

市场减排主要包含碳交易和碳汇等市场手段。**油气行业企业**可积极参与国家试点地区碳交易，积累市场经验，合理制定交易计划和策略，应对全国碳市场新形势要求，降低履约成本。同时可大力实施林业碳汇，努力实现碳转移。以中国首个碳中和林——马鞍山碳中和林为例，据规划，马鞍山碳中和林项目占地面积510亩，分两期完成，2020年底完成一期项目建设，二期于2021年4月下旬正式启动。一期栽植面积185亩，栽植乔木7700余株，并取得了天津排放权交易所《碳中和证明书》⁹。

中国森林碳汇面积



资料来源：国家统计局，农银国际证券

案例分享：英国石油公司（BP）向综合能源服务商转型

新冠疫情导致2020年国际石油和天然气市场受到了较大的负面影响，全球油气需求在短时间内急剧减少，库存迅速增加，国际油气市场供需失衡，叠加俄罗斯-沙特阿拉伯石油价格战及投资者对油气企业信心低迷，国际油气市场进一步受挫。英国石油公司（BP）更是出现近五年来的首次全年亏损，在此背景下，BP提出了全新的十年战略规划，从根本上转变资本配置原则，由一家专注于生产油气资源的国际石油公司转变为综合性能源企业。实现这一目标并非易事，BP决定分三步走完成转型。

第一步：断臂求生——收紧油气开发业务，剥离资产获取现金流

未来十年内，公司将在2019年水平上减少四成油气产量，且不会尝试在尚未开展上游活动的国家进行勘探。此外，通过加速传统业务的资产剥离，改善现金流状况。2020年，BP将全部化工业务出售给英力士公司，随后2021年一季度出售20%阿曼天然气区块股权。BP计划2025年前从油气领域撤资250亿美元，并预计带来额外的60万桶当量/日的油气产量削减。以传统油气化工为主的资产剥离计划将为公司带来充裕的现金流。

第二步：调转船头——布局新能源领域，优化投资组合

在BP向综合能源企业转变的过程中，生物能源、氢气和低碳电力是重中之重。BP通过成立合资公司BP Bunge重点发展生物燃料和沼气业务。截至2020年末，BP Bunge是全球第二大生物燃料公司，生物燃料的产能达3200万吨/年。此外，BP在氢气产能规划中，呈现蓝氢和绿氢两手抓的情况。蓝氢的生产帮助氢能供应的快速增长，也可不完全依赖于可再生能源，而绿氢将视地域而行。同时BP计划通过同步布局新增市场（加大中国润滑油市场份额）、零售业务（扩大零售非油业务布局）和交通运输业务（增加充电桩和加氢站）进一步提升市场地位，并获得更多资金来支持公司业务转型。

第三步：组织变革——设立专业机构，支撑业务发展

成功的业务转型离不开组织架构和人才的支撑。BP公司在2020年公布了新的组织架构变革方案，专门成立了“天然气与低碳能源”板块，旨在对分散在各部门的能源团队进行整合，共同创建低碳解决方案，为推进自身综合能源服务商业务奠定坚实的基础。

案例分享：国际领先油气企业碳减排举措

截至目前，国际领先油气企业均已在碳减排上开展相应举措

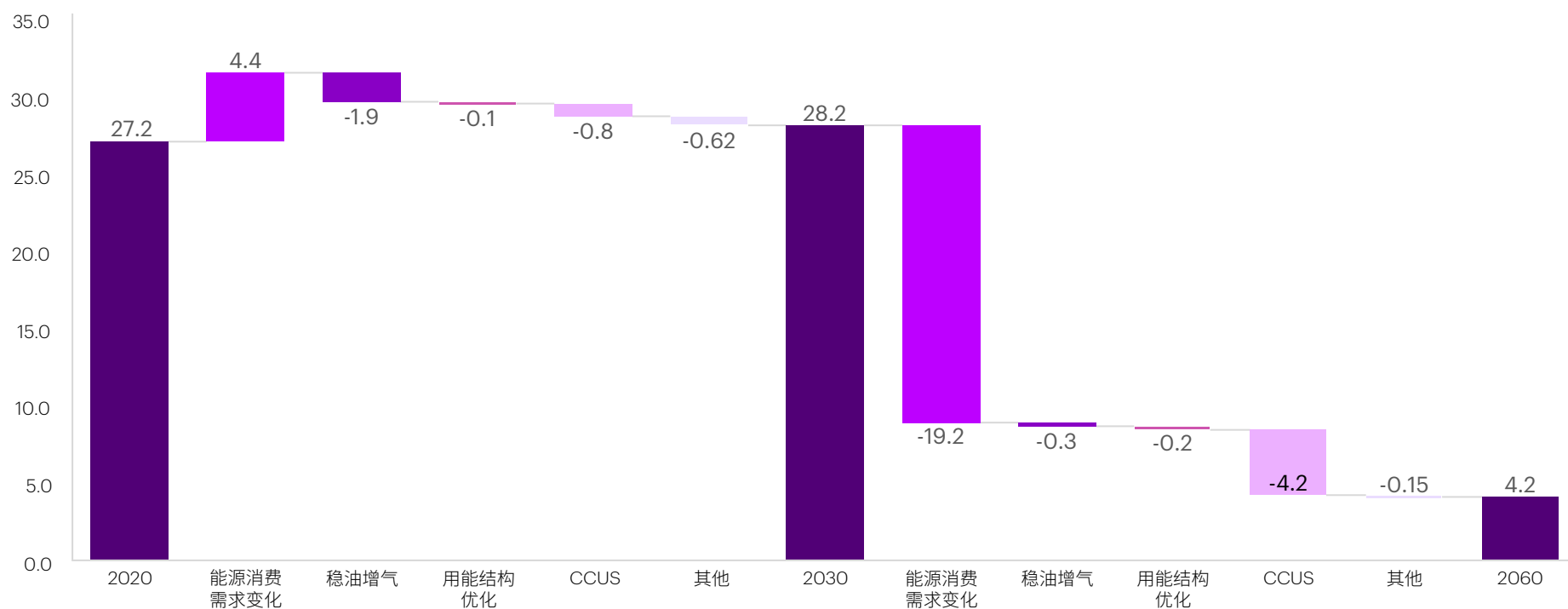
部分企业示例

✓ 全面开展 (✓) 部分实施 ✕ 尚无相关举措

气候行动	直接减排			替代			抵消		驱动因素	
	效能提升	减少天然气燃除	逃逸气体管控	电气化	购买绿电	替代能源投资	碳抵消	CCS	碳交易	高管薪酬绩效挂钩
	✓	✓	✓	(✓)	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	✓	✓	✓	(✓)	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	✓	✓	✓	✕	(✓)	✓	(✓)	✓	(✓)	✓
	✓	✓	✓	✕	(✓)	✓	✕	✓	(✓)	✓
	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	✓	✓	✓	(✓)	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	✓	✓	✓	(✓)	✓	✓	✓	✓	(✓)	✓
	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

中国2030、2060年油气行业温室气体减排路径

亿吨二氧化碳当量



基于以上各项减排举措，埃森哲针对中国油气行业“3060”减排路径进行了相应测算，埃森哲预计2030年油气行业温室气体排放量升至28.2亿吨二氧化碳当量，2060年将降至4.2亿吨。

油气行业最重要的减排路径来源于终端能源消费需求和结构的变化。预计我国能源消费需求将在2030年达峰至58.2亿吨标准煤；后逐步降低至2060年的46.9亿吨标准煤。同时，能源消费结构也将不断变化，当前非化石能源在我国能

源消费结构中占比17%，化石能源占比83%，其中石油18.4%，天然气8.4%。至2030年，石油占比将下降至13.9%，天然气占比将上升至14.3%；至2060年，非化石能源占比将达到83%，石油和天然气占比将分别下降至6.2%和8.6%。随能源结构不断优化，非化石能源占据主导地位，2030年后能源消费需求变化将贡献最大比例的碳减排量。若我国能源消费结构变化不及预期，则该部分带来的碳减排也将有所下降。

*能源消费需求变化已考虑碳中和目标下我国一次能源总消耗量和结构变化

稳油增气是油气企业当下调整自身产品结构的无悔举措，将天然气作为过渡能源填补石油需求萎缩带来的收益减少。与此同时，对于油气企业自身生产来说，CCUS和LDAR甲烷逃逸监测技术已在油气生产运营中试点应用，未来随技术成熟度不断提升、应用成本不断降低，在2030年后可贡献更多的碳减排量。此外，森林碳汇、用能结构优化的发展可在长期减排路径中起到辅助作用，助力油气行业碳减排目标实现。

碳减排作为系统性转型需要油气全产业链共同努力，在保证我国能源安全的前提下，积极推动能源供给清洁化进程。为此，埃森哲提出了油气行业主要玩家在“3060”“双碳”目标下的转型措施。

企业类型	转型举措	
装备制造企业	• 加大设备技术研发投入，提高设备效能 • 在油气生产设备中纳入数字化解决方案，形成碳排足迹闭环管理	
上游开采企业	• 稳油增气，提高天然气占比，加快非常规天然气开发技术突破 • 油气生产设备电气化，以及生产设备的清洁燃料替代 • 提高生产效率，降低单位能耗 • 推广甲烷逃逸监测及捕捉技术应用范围	• 发展CCUS技术 • 加快二氧化碳驱油技术应用 • 加快新能源开发布局 • 积极参与碳排放交易，开展碳汇活动实现碳抵消
下游炼化加工企业	• 优化自身用能结构，生产设备电气化，燃料替代 • 生产设备改造及工艺优化 • 产品结构升级，加快高附加值化工产品生产研发	• 发展CCUS • 加快新能源开发布局 • 积极参与碳排放交易，开展碳汇活动实现碳抵消
大型跨国综合油气企业	• 优化资产布局，剥离高碳低效资产 • 持续推进国际合作，扩大和稳定资源渠道 • 制定差异化区域业务发展策略	• 积极布局新能源资产，加快向综合能源服务商转型 • 积极参与碳排放交易，开展碳汇活动实现碳抵消
地方性综合能源企业	• 优化资产布局，加大天然气投资力度 • 拓展多能互补、能效管理等综合能源服务 • 投资发展新能源，加快向综合能源服务商转型	• 开展多元业务布局 • 积极参与碳排放交易，开展碳汇活动实现碳抵消

数据来源：埃森哲分析

采矿业

格局重塑 产业焕新势不可挡

随着我国经济进入高质量发展新常态，资源节约型社会建设的进程逐渐加快，采矿业¹⁰作为典型的高污染行业，不断加剧的环境风险和大规模的露天采矿引起社会认同度的广泛下降和投资者信心的持续低迷。与此同时，越来越多的金融机构将企业ESG表现纳入考虑范围，出台了限制煤炭、石油和天然气领域融资的政策，从而给资本密集型的采矿业带来了重重困境。为重拾社会认同度、重塑投资者信心、缓解融资难困境、激发市场主体活力，采矿业亟需深度转型，追求经济利益的同时也应关注矿产资源的科学化、低碳化开采，从而实现采矿业长期可持续发展。

发展受限 洞见增长新曲线

低碳转型下采矿行业的机遇与挑战

上游金属市场暖风已至，减排压力持续加大

矿业企业在中国低碳经济转型过程中扮演着至关重要的角色，可再生能源发电设备、电动汽车、氢燃料电池等低碳基础设施的建设，推动与之相关的金属需求进一步提升。例如，一辆典型的电动汽车所需要的金属需求为普通汽车的6倍¹¹，从而为钴、锂和镍创造增量市场；而氢燃料电池和碳捕捉等新兴技术也将提升对铂、钯和其他催化剂材料的需求。由于全球绿色经济对于金属和矿物应用前景的提振，采矿业即将迎来大繁荣。

为实现“3060”“双碳”目标，清洁能源技术需求将全面爆发，由此带来了金属需求的激增。预计到2030年，中国对于铜和铝等传统金属的需求将较2020年上升2-3倍，对于锂、钴、镍和稀土等新兴金属的需求将较2020年上升3-4倍，与清洁能源技术相关的金属总需求将提升3-4倍。

	铜	钴	镍	锂	稀土	锌	铝
光伏太阳能	●	○	○	○	○	○	●
风能	●	○	●	○	●	●	●
水电	●	○	○	○	○	●	●
聚焦式太阳能发电	●	○	●	○	○	●	●
生物能	●	○	○	○	○	●	●
地热能	○	○	●	○	○	○	○
核能	●	○	●	○	○	○	○
电网	●	○	○	○	○	○	●
电动汽车和蓄电池	●	●	●	●	●	○	●
氢能	○	○	●	○	●	○	●
总需求（2030）（百万吨）	29.0	0.02	0.2	0.4	0.1	2.4	40.5
总需求（2060）（百万吨）	89.3	0.1	0.5	0.9	0.3	7.6	130.5

*注：阴影颜色表示某一矿物对一种特定的清洁能源技术的相对需求量（●=高；●=中等；○=低）
数据来源：IEA，埃森哲研究



然而，大量上升的金属需求对于采矿业低碳转型带来了更大挑战。相较于传统金属而言，推动能源转型的金属碳排放强度更大，因此随着与清洁能源技术相关的铜、镍、锂等金属需求增加，未来采矿业能耗及碳排将呈上升趋势。此外，在过去20年中，上游开采的资源质量与数量均呈现不断下降的趋势，除了面临开采资源耗竭的风险外，开采和提取品位较差的金属需要消耗更多的能源，加剧了温室气体排放和污染量。

低碳创新技术层出不穷，潜在颠覆即将到来

近年来，科技的快速发展使采矿业站在了过去与变革性未来的十字路口。机器学习、虚拟现实和增强现实、智能传感器、3D打印、区块链等自动化和数字化技术的创新、推广和应用将为矿业智能化发展提供坚实的技术基础；安全绿色的勘探开采技术（如：充填开采技术、煤矸石再利用技术等）与清洁高效的选矿加工技术（如：浮选选硫技术、选矿拜耳法技术）为采矿业转型升级与高质量发展保驾护航。虽然技术变革在一定程度上增加了企业的成本投入，但生产和效率的提升及低碳高效的运营流程能够帮助矿业企业实现更长的可持续增长。

业务模式多元优化，“鱼”和“熊掌”亦可兼得

随着其他行业和采矿业的低碳转型深化，对于业务结构以传统金属为主的矿业企业来说将面临更多挑战，经营效益受到冲击，盈利空间进一步挤压，企业经营管理面临巨大压力。

因此，多元优化的业务投资组合及商业模式将成为矿业企业的发展新增长极。一方面，企业可通过投资布局与能源转型相关的金属，例如铝土矿、铜、镍、锂和铁矿石等金属提升经济效益；另一方面，对于拥有专业加工技术的矿业企业来说，可进一步将业务延伸至回收利用环节，通过向下游设备厂商降价“出租”金属，进而通过回收提升金属循环利用率，在缓解上游金属一次供给压力的同时，结合循环经济为企业带来更长足的优势。

蓄势待发 六大举措先发制胜

采矿行业低碳转型举措

目前来看，中国采矿业宣布减排目标的矿业企业仅不到一成。相对于其他行业而言，采矿业污染较高、起步较晚，仍处于减排初期，低碳转型之路道阻且长。从产业链各环节来看，上游勘探与开采、中游选矿与加工均具备较大的减排空间。除开采过程中甲烷逃逸导致的碳排外，埃森哲认为，矿业企业可通过清洁电气化、燃料替代、采选技术创新、甲烷减排、循环经济及市场化交易六大转型举措实现全面脱碳。由于矿业企业六成以上的碳排放源于电力消费和燃料，因此可率先从电力和燃料两端入手，逐步实现清洁脱碳。



举措一：脱碳之路 清洁电气化先试先行

截至目前，中国矿业企业40%左右的能耗来源于用电，其余作业仍以化石能源作为主要直接动力源，现场作业设备电气化具有较大提升空间。

短期内，对于部分拥有**自备电厂的采选企业**来说，可进一步提高作业电气化占比；对于**其他尚未建设自备电厂的采选企业**来说，可选择与发电厂签订购电协议（PPA）或直接向电网公司购电的方式，共同推进电气化进程。

中长期而言，随着可再生能源发电的经济性愈发凸显，矿场用电结构可逐步向清洁能源转型。对于**拥有自备电厂的采选企业**来说，应优化自身电源结构，例如，该类企业可利用矿场空地布局建设分布式光伏或分散式风电，并进一步结合储能系统搭建微电网，在保证电力系统稳定性的同时，实现离网运营的低碳化；另一方面，企业在满足自身用电需求的同时还可进一步通过“自发自用、余电上网”的方式增加收入来源，提升企业盈利性。对于**其他尚未建设自备电厂的采选企业**来说，随着未来发电结构的整体清洁化，企业通过与可再生能源发电厂签订购电协议或向电网购电的方式，减少用电过程中的温室气体排放；与此同时，随着可再生能源成本的下降，该类企业也可逐步部署可再生能源电站，从而推动矿业企业全面向清洁电气化转型升级。

目前，全球领先的采矿企业已纷纷开始脱碳计划，如必和必拓公司（BHP）为其位于智利的铜矿签订了四份可再生能源供电合同，不仅节省了20%的能源成本，同时减少了300万吨的二氧化碳排放，实现100%可再生能源供电¹²。现场作业设备的全面清洁电气化将大幅减少碳排，并最终将用电产生的排放减少至零。

举措二：低碳转型 替代燃料并驾齐驱

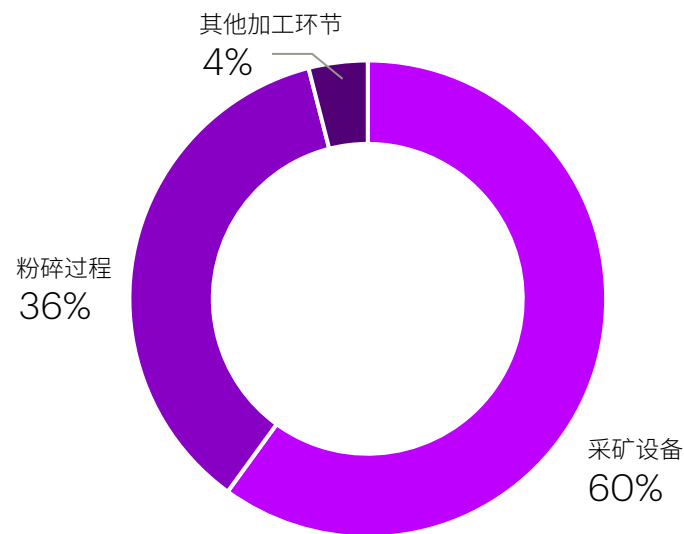
随着技术的进步和成本的下降，使用氢燃料、生物质燃料代替柴油、煤炭等化石能源成为**采选企业**的另一转型必选项。英美资源集团（Anglo American）正在与ENGIE集团共同开发全球最大的氢动力矿用卡车，并通过太阳能电解水制氢为其提供氢燃料。淡水河谷公司同样开展了多个燃料替代项目，在传统金属领域使用生物柴油、在球团厂利用生物燃料替代煤炭等，实现经济性的低碳转型。预计到2027年，氢燃料电池汽车的总拥有成本将有望低于电动汽车或内燃机

汽车，矿业企业应乘时借势，提前布局，通过氢燃料、生物燃料对传统化石能源的替代，大幅降低来自燃料使用的碳排，并最终将其降至为零。

举措三：节能高效 创新技术崭露头角

通过开采及加工技术的改进与创新，降低整体能耗，从而减少运营过程中的碳排也是**采选企业**未来低碳转型的主要途径之一。根据欧洲某采矿设备企业对核心矿产品耗能的调研结果来看，采选过程中粉碎环节（即破碎和研磨过程）是目前矿场能源消耗的最大单一环节，占比为25%以上，以金属铜为例，其采选过程中粉碎环节的耗能占比高达36%。随着未来高效粉碎设备及相关技术的发展，一方面可减少对于磨矿介质的需求，另一方面先进的粉碎流程控制系统及破碎技术可大幅提高能效，降低碳排，据估计5%的能效提升即可降低超3000万吨二氧化碳当量的温室气体排放¹³。

金属铜采选过程能耗环节拆分



*注：采矿设备包括拖运卡车、挖掘机、钻孔机等；粉碎过程主要包括破碎和研磨；其他加工环节包括浮选、过滤、干燥等

数据来源：Weir, Mining Energy Consumption 2021

举措四：转危为机 甲烷减排箭在弦上

甲烷是**煤矿企业**另一种主要排放的温室气体，其造成的温室效应影响更大。目前来看，煤炭开采和矿后活动导致的甲烷逃逸排放是中国最大的甲烷排放源。然而和油气行业不同，在煤矿行业中，泄漏甲烷的浓度低、波动大，相关处理技术的难度更大、成本更高，从而使得煤矿企业在甲烷减排的技术和成本上都面临着较大挑战，中国煤矿企业尚未针对开采和矿后活动中的甲烷逃逸问题进行主动处理。

甲烷逃逸作为采矿业中较为棘手的难题，虽然目前尚未形成广泛有效、经济可行的解决方案，但随着未来甲烷捕获、抽采及利用等技术的不断成熟，减少甲烷逃逸带来的温室气体排放仍有较大潜力。对于开采及碳排占比较小的露天矿而言，一旦开始开采很难减少甲烷逃逸性排放，减排幅度有限；而对于开采且碳排占比较大的井工矿，可选择对甲烷进行采前抽采和采后抽采，并将采出的甲烷用于发电、供热等，或与碳捕捉和封存技术进行结合，有效解决甲烷逃逸难题。

举措五：绿色矿业 循环经济如虎添翼

随着上游对于碳排放强度较高的金属需求持续增加，给金属一次资源供给和行业低碳转型带来更大挑战，而循环经济对**采选企业**长期可持续发展至关重要。一方面，金属的循环回收再利用可减少一次资源供给的开采，例如电动汽车和蓄电池中铜、锂、镍和钴的回收可以减少5-12%的金属需求。另一方面，金属回收再利用的二次资源供给碳排强度通常小于一次资源供给，例如从印刷电路板上回收铜、钯、金、银等核心金属的能耗仅为常规开采过程的5%左右；从生产废弃物中回收再利用铜的碳排放强度仅为常规开采的四分之一¹⁴。因此，金属的循环回收再利用可有效对冲上游金属需求增加所带来的碳排增量，拓宽矿业企业商业模式，成为发展新增长极。

举措六：“负碳”战略 市场化机制迸发活力

随着全国碳排放权交易市场的启动，在全社会范围内形成碳价信号，充分利用市场机制减少温室气体排放，促进能源行业转型和加速发展。虽然交易初期只覆盖电力行业企业，未来随着碳市场机制的逐步完善，越来越多的高排放、高污染行业将会纳入交易主体范围，采矿行业的市场化转型同样蓄势待发。除了直接参与碳市场交易以外，为降低自身履约成本，**采选企业**可进一步与负碳排企业签订碳汇合作协议，通过远期协议的模式锁定企业碳汇成本。

与此同时，碳中和背景下，未来将有越来越多矿业企业通过自主开展或战略合作的模式进行植树造林、生态修复等控制或抵消自身碳排，“负碳”战略的实现指日可待。随着碳市场的进一步成熟，矿业企业可充分利用绿色金融工具，放大碳汇项目商业价值，获取额外收益，通过市场化的方式全面焕发企业减碳活力，实现矿业企业商业价值及社会价值的最大化。



案例分享：跨界合作，碳汇交易实现双赢

2021年6月，某上游原料企业与某纸业公司签署碳汇合作协议，共同探索中国企业碳汇期权交易模式，引发市场高度关注。根据协议，纸业公司为上游原料企业提供不少于200万吨/年的CCER自愿减排指标，排放周期不少于25年。双方约定可以一次性签订排放周期25年的碳汇交易合同，也可以分期签订，单首期碳汇交易合同排放周期不少于10年。

交易价格采用浮动式定价，双方实际交割时，以“T+1”日国家指定机构CCER成交价格为指导价，具体而言：当CCER成交价格 ≤ 50 元人民币时，双方按照当期价格交割；当 $50 \text{ 元人民币} < \text{CCER成交价格} \leq 100 \text{ 元人民币}$ 时，纸业企业承诺给予上游原料企业10%的优惠幅度；当CCER成交价格 > 100 元时，纸业企业承诺给予上游原料企业5%-10%的优惠幅度。

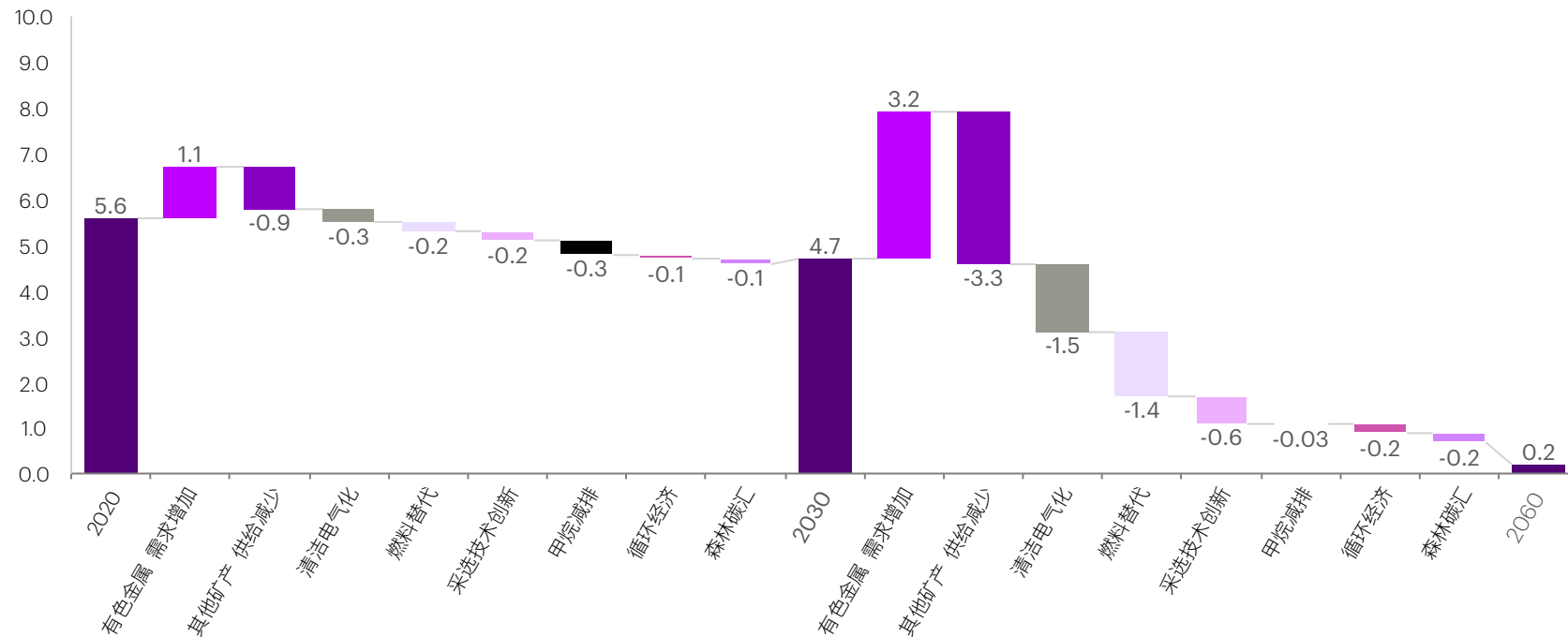
此外，双方还将利用各自优势共同合作开发碳汇造林项目和其他CCER减排项目，探索绿色金融模式，利用金融工具最大化林业碳汇项目的商业价值，拓宽企业融资渠道，同时提升林业碳汇项目收入规模，从而实现企业经济效益、生态效益、社会效益与碳汇效益的协同创造。



中国2030、2060年采矿行业温室气体减排路径

碳减排路径测算以范围一（Scope 1）为主

亿吨二氧化碳当量



*注：1. 有色金属主要包括铜、锂、镍、铝等，由于终端需求增加导致开采量增加

2. 其他矿产主要包括煤炭、黑色金属等，由于终端供给减少导致开采量减少

数据来源：埃森哲研究

基于以上六大减排措施，埃森哲针对中国采矿业“3060”减排路径进行了相应测算，预计至2030年采矿业碳排将小幅减少至4.7亿吨二氧化碳当量，至2060年采矿业可减少95%以上的碳排，并最终降至0.2亿吨二氧化碳排放当量。由于未来能源结构的清洁化转型，铜、铝、镍等有色金属需求将快速增加，开采量的上升带来了一定碳排增加；与此同时，煤炭、黑色金属等其他矿产的终端需求量减少，从而其他矿产开采量相较于2020年有所减少。若有色金属的需求增加和其他矿产的供给减少不及预期，该部分带来的碳减排将会有所波动。

由于采矿业低碳转型起步较晚，2020-2030年期间清洁电气化、燃料替代、采选技术改进、甲烷减排、金属回收利用的减排幅度较为有限。2030-2060年将迎来中国采矿业脱碳化的全面爆发期，清洁电气化及燃料替代的全面普及将有望实现净零排放，而高效采选及金属回收利用技术的不断发展与突破也将进一步推动采矿业脱碳。至2060年，由于终端煤炭需求量的大幅下降，因此煤炭开采活动的减少大幅降低了甲烷逃逸的温室气体排放量。

值得注意的是，虽然森林碳汇从绝对数值而言相较于其他举措略低，但随着未来我国碳交易市场的进一步成熟，未能有效控排将会造成企业高昂的履约成本，因此对于采矿业企业来说，森林碳汇也是低碳转型路径中必不可少的举措之一。

综上所述，采矿行业的低碳转型任重而道远，亟需采矿行业各环节参与者共同努力，加快推进采矿行业全面电气化、清洁化、高效化、市场化与循环化。为此，埃森哲总结了采矿行业不同类型企业在“3060”“双碳”目标下的主要转型措施。

企业类型	转型举措	
传统金属矿采选企业	- 开展企业碳足迹盘查，制定低碳战略 - 布局新兴金属矿业务，优化投资组合 - 推动电气化进程，长期全面向清洁电气化转型 - 加速燃料替代，布局氢燃料、生物质燃料等清洁燃料 - 开发高效绿色采选技术及数字化技术，提高能效，减少能耗 - 推进金属循环利用 - 开展植树造林、生态修复等项目，抵消部分碳排 - 积极参与碳市场交易，并进一步发展绿色金融 - 择机并购产业链各环节企业，开展业务转型或有效对冲风险	
新兴金属矿采选企业	- 开展企业碳足迹盘查，制定低碳战略 - 推动电气化进程，长期全面向清洁电气化转型 - 加速燃料替代，布局氢燃料、生物质燃料等清洁燃料 - 开发高效绿色采选技术及数字化技术，提高能效，减少能耗 - 推进金属循环利用 - 开展植树造林、生态修复等项目，抵消部分碳排 - 积极参与碳市场交易，并进一步发展绿色金融 - 择机并购产业链各环节企业，开展业务转型或有效对冲风险	
非金属矿采选企业	- 开展企业碳足迹盘查，制定低碳战略 - 推动电气化进程，长期全面向清洁电气化转型 - 加速燃料替代，布局氢燃料、生物质燃料等清洁燃料 - 开发高效绿色采选技术及数字化技术，提高能效，减少能耗 - 开展植树造林、生态修复等项目，抵消部分碳排 - 积极参与碳市场交易，并进一步发展绿色金融 - 择机并购产业链各环节企业，开展业务转型或有效对冲风险	
煤矿采选企业	- 开展企业碳足迹盘查，制定低碳战略 - 推动电气化进程，长期全面向清洁电气化转型 - 加速燃料替代，布局氢燃料、生物质燃料等清洁燃料 - 关注甲烷捕捉、抽采及利用技术，有效处理甲烷逃逸问题 - 开展植树造林、生态修复等项目，抵消部分碳排 - 积极参与碳市场交易，并进一步发展绿色金融 - 择机并购产业链各环节企业，开展业务转型或有效对冲风险 - 适当剥离高污染资产，加快实现脱碳化	
专业加工企业	- 开展企业碳足迹盘查，制定低碳战略 - 推动电气化进程，长期全面向清洁电气化转型 - 开发高效绿色加工技术及数字化技术，大幅提高能效，减少能耗 - 加大金属循环利用技术投资，开展循环经济业务，多元化商业模式 - 积极参与碳市场交易，并进一步发展绿色金融	

化工行业

备战“碳中和” 化工行业势在必行

化工行业作为典型的高耗能高排放行业，在我国低碳转型路径中扮演着重要的角色。2019年，化工生产部门产生碳排放量约5.88亿吨，约占工业领域总排放的16.7%，占全国能源碳排放比例为6%。我国化工行业产值高居世界第一，占全球近40%的份额，在全球产业链中占有至关重要的地位；并且预计2030年中国化工行业的产量将占到全球50%的份额。在产能产量持续迅速增长的同时，行业碳排要在2030年达峰，挑战与机遇并存。



分化发展 差异不断扩大

低碳转型下化工行业的机遇与挑战

两极分化，双高产能设定天花板

2021年6月1日生态环境部发布了《关于加强高耗能、高排放建设项目生态环境源头防控的指导意见》，高耗能、高污染的双高行业将受到严格的政策控制。高耗能化工细分行业，如电石、纯碱、黄磷等，已严格不批新上产能。与此同时，随着“双碳”目标下煤炭能源使用成本上升，对高耗能化工企业带来了更大的竞争差异，成本劣势、技术劣势、资源劣势使得中小化工企业与大型化工企业的差距进一步拉大，促进行业集中度进一步提高。由于产能发展受限而需求不减，这些化工产品将被重新定价，提前布局节能减排的龙头企业利润空间反而优化提升。

区域分化，西部地区冲击巨大

我国西北部地区自然资源丰富，是我国化工产品的主要生产地。内蒙古、新疆、贵州、云南、山东等地均为化工能耗大省。然而，广阔的西部地区与东部沿海发达地区的巨大差距，不仅体现在经济的增速和总量上，更多的还体现在经济发展的质量上。由于西部地区整体技术创新能力较低，产业结构相对低端，以及较低的能源资源利用率导致的资源型经济特点突出，整体西部地区发展效益不高，能源消耗与碳排亟待优化。

西部地区化石能耗大省服务全国，其化工产业以资源开发为主，高碳能源占比高，而加工能力薄弱，导致地方获取的利益较有限，面临资金短缺、技术落后、人才不足等问题，零碳能源发展空间有限。此外，东部地区是中国精细化工领先企业最集中的区域，在2020年中国精细化工百强企业中占据77家，而西部地区仅占7家，精细化水平较低。同时，西部地区由于多化石能耗大省，其化工产业结构依赖重化工业、原材料工业，能源结构以煤炭资源为主。云南、内蒙古、广西等西部省份工业增加值增速远低于能源消费增速，西部地区绿色发展形势严峻。因此，在迈向零碳转型的过程中，如果传统高耗能、高排放的化工企业没有进行合理的低碳转型，西部地区将迎来更大冲击与挑战。

上下游分化，减排催生新增长领域

在化工行业上游受到新趋势和政策冲击的同时，下游迎来了新的机会和转机，例如化工行业广泛应用的塑料制品领域，将催生新的生物降解塑料需求的快速增长。在2019年，中国塑料制品产量高达8184万吨，约占全球塑料需求量的四分之一。然而，中国对于生物降解塑料的需求并没有明显的增加，2019年我国生物降解塑料消费量仅为52万吨，约占全球的4.6%，远远低于全球平均水平。我国大部分塑料的消费仍集中于非可降解的塑料制品。如今随着限塑、禁塑政策陆续出台，可降解塑料将能够充分发挥其替代性潜力，到2025年完全可降解塑料有望迎来500亿左右的市场规模，2019-2025年的复合增速可达73%。

类型分化，国企外企减排道路各异

中国化工行业也是为数不多国企、民企、外企三足鼎立、争相竞争的领域。预计到2025年左右，民营经济将占据中国石油化工产业60%的市场份额。对于国内化工企业来说，其低碳路径更针对于节能减排。例如中国中化正在大力发展节能降碳技术，对于节能降碳累计投入超过3亿元，累计淘汰落后设备970余台套，公司整体能效水平不断得到提升。中化对炼化工艺进行优化，实施锅炉综合整治，累计投入超过3亿元，通过优化加热炉设计，提高加热炉的热效率，并强化装置之间的热联合，提高能量利用率；同时调整锅炉能源结构，使用更加清洁绿色的天然气作为锅炉的能源或广泛利用周边替代性热源，实现能源消费绿色转型。长期来看，国内企业的低碳路径将会是由简单的节能减排到多元的综合低碳举措方向发展。

外资化工企业普遍具有经验丰富、行业基础完整、装置规模完善、技术水平高的优势，因此其低碳减排路径更加多元化。以巴斯夫大中华区为例，其采用的第一个重要举措是能源结构调整，通过投资和使用可再生能源降低碳排放。位于巴斯夫上海科技创新园和巴斯夫漕泾基地的光伏发电站，每年可减少超过1600吨二氧化碳排放量；巴斯夫湛江一体化基地首批装置将100%采用可再生能源电力，助力巴斯夫实现碳中和的气候目标。其次，巴斯夫对产品碳足迹进行跟踪测算，基于工艺排放、能源消耗及上游排放数据，将在2021年底提供全部产品组合“从摇篮到大门”的温室气体排放量，以助力实现气候保护目标。巴斯夫还对生产工艺技术进行投资，研发了无碳排放甲烷裂解制氢装置、电加热蒸汽裂解装置和甲烷与二氧化碳干重整制备合成气三项碳管理工艺技术。



赢者通吃 三大核心助力领先

化工行业低碳转型举措

2020年，化工行业受疫情影响，发展脚步相对放缓。随着中国与全球经济回暖，化工行业加快了复苏进程。我国化工行业的碳排放占总碳排的比例为4%，但部分省份化工品产能碳排放强度远超国家平均水平，化工行业碳排放的特点为总量有限但强度突出。埃森哲认为化工行业低碳转型路径可归纳为三大举措，分别是：调整产业结构、发展循环经济和精益运营生产。



举措一：结构优化 加速产业结构调整

目前，我国化工产品的品种较为单一，且产品链延伸不够，以生产大宗化工原料为主，精加工发展较弱。绿色低碳和双控政策对大宗化工加工带来发展天花板的同时，精细化工却迎来了发展机遇。精细化学品又被称为专用化学品，是基础化学品进一步深加工的产物，其基本特征是以高新技术为基础生产高质量、小批量、多品种、专用或多功能的精细化学品。随着国内市场对大宗化工需求的不断下降，化工原料的低端竞争将会被原料精加工替代，合成材料、精细化学品等附加值较高的行业将会崛起。化工产品将逐渐从大宗同质化向差异化方向转变，由基础化工产品生产转变为精细化工产品生产。

精细化工生产具有投资效率高、附加值高、利润率高的经济特性，对于化工企业来说，加速精细化工产品生产既是低碳转型道路上的一大重要路径，也为化工企业带来了长期发展的经济性利益。针对煤化工子行业，可以通过将煤中复杂大分子化合物定向裁剪、转化，选择性地拆断分子共价键，获得大量的高价产品，如不同取代基、不同芳环芳烃、含侧链的环烷烃、长链脂肪酸及酯等精细化学品。

化工企业应通过技术创新加速精细化工产品生产的转型，集中资源推动化工产品向精细化、高附加值方向发展，在生产运营中降低碳排放的同时，开拓二氧化碳资源化利用的新路径，打造长期绿色低碳的可持续发展道路。

举措二：效能提升 拥抱循环经济

化学工业是最具规模化和多样化的制造业之一，其生产的中间产品和最终产品几乎可用于所有行业。随着传统不可再生资源不断减少和环境法规日益严格，化工行业已开始向循环性发展，例如可再生、可持续产品生产投入，从单一用途转变到多种用途（从而减少聚合物总需求），以及最大限度减少泄漏到环境中的危险成分。

首先，化工行业可以通过开发可再生原料循环分子技术，降低供应链中的环境足迹，在供应链中增加使用分子循环回路的使用。帝斯曼研发的一种植物生态

友好型树脂Decovery®，就是这一领域最新的创新成果，并且正通过吸引供应商、客户等其他价值链伙伴扩大创新，以加快向生物/植物基油漆和涂料过渡。其次，可以开发技术和商业模式，实现再利用与回收。在再利用方面，目前已有针对聚对苯二甲酸乙二醇酯（PET）瓶和塑料购物袋成熟的技术解决方案。这些方案可以应用到其他产品，如汽车零部件、电子产品部件和白色家电。就回收而言，可以依靠机械技术，收集和处理使用过的最终产品，并在不修改其化学键的前提下将其完整分子重新插入价值链的更上游；或依靠化学手段，将长链碳氢化合物分解成前体。VinyLoop是一种机械回收工艺，由比利时化学品公司索尔维集团开发的专利工艺，该工艺通过溶解过滤和分离污染物，将PVC与其他材料分离。

除此之外，化工企业还可以在下游行业实现循环经济和数字化。若能成功实现下游循环，预计将增加对可持续化学品的额外需求和新需求，从2015至2030年，潜在增长率可达26%。在化工行业发展循环经济的过程中，需要基础设施和创新的长期投资，以及支持性监管政策的实施，并鼓励化工循环技术的研发。

举措三：数字化赋能 助力运营优化与精益生产

在低碳转型的道路上，化工企业需要改善管理能力，通过数字化技术全面优化企业的运营和生产，实现一体化运营。化工企业应着眼于精益化生产和数字化运营，利用端到端“能耗流”的概念，在各生产装置导入价值流诊断的模型优化工具，从运营系统、管理架构、理念行为三方面进行详细诊断和分析。精益化生产可以通过原料比例参数或者生产温度等环境参数的调整，减少最终产品的整体用能，对企业运营体系持续升级。在数字化平台方面，化工企业可以综合利用内外部数据，通过更高效的数据报告、数据处理、数据分析，评估技术设备的可用性、成熟度与供应商的可持续发展水平。通过因地制宜的数字化解决方案，精准提升节能减排效率，最大限度地挖掘创新潜力。针对管理体系，化工企业应分解效益目标并提高管理透明度，并建立一体化管理和组织系统，统筹管理原料采购、生产、运输、销售整套流程的优化。同时，化工企业需推动精益生产管理，采用精益原则和量化分析方法，及“端到端”的商务采购分析工具发掘成本节省潜力，并设计提升方案。通过系统的全流程诊断分析发现问题，建立整体运营提升路径和举措，推进系统性优化和综合效益优化，打造可持续的精益运营体系。

案例分享：巴斯夫大中华区全面实现碳中和

巴斯夫作为领先的低碳转型化工企业，提出了2050年实现企业碳中和的目标。巴斯夫大中华区已大力推动源结构调整，通过让生产装置采用100%可再生能源电力、投建光伏电站等方式，使得2020年巴斯夫大中华区较2019年减少了8287吨二氧化碳排放量。巴斯夫还对生产工艺技术进行投资，研发了无碳排放甲烷裂解制氢装置、电加热蒸汽裂解装置和甲烷与二氧化碳重整制备合成气三项碳管理工艺技术。此外，巴斯夫正在中国广东省考察建立投资总额达100亿美元的新型一体化生产基地（Verbund），该一体化系统创造了高效的价值链，从基础化学品一直延伸到高附加值产品，如涂料和作物保护剂。在这个系统中，化工生产过程将消耗更少的能源，在节约资源的同时生产更高产量的产品。通过这种方式，巴斯夫可以节省原材料和能源，最大限度地减少排放，降低物流成本并发挥协同效应。

巴斯夫大中华区已启动循环经济计划，通过聚焦原料循环、新材料循环等重点领域，实现巴斯夫“化学循环”项目及生物质平衡方案，循环利用难以机械回收或焚烧的塑料废弃物，如含食物残渣的塑料、多层食品包装、轮胎等。针对混合塑料废弃物，热解比焚烧产生的二氧化碳排放少50%。使用热解油生产塑料，比使用石脑油生产塑料产生的二氧化碳排放更少。至2030年，将实现循环经济解决方案相关的销售额翻倍，达170亿欧元。

巴斯夫大中华区积极推动数字化助力精益运营体系。巴斯夫利用一体化体系数据，开发出SCOTT数字化解决方案，帮助客户测算45000款在售产品“从摇篮到大门”的二氧化碳足迹，并与客户制定计划，量化可持续性绩效，助力客户实现气候保护目标。预计2021年底，巴斯夫可提供所有全球在售产品从原材料到成品的碳足迹数据。除此之外，巴斯夫研发的超级计算机“Curiosity”，拥有1.75petaflop计算能力，借助强大的数据库，为生产设备及工艺搭建更精准模型，如洗涤剂配方的分子模拟等。同时，Curiosity能预测设备维护时机，合理分配原材料与能量，实现高效运营、节能降耗。至2022年，巴斯夫全球超过350座生产装置将实现数字化。



综上，碳减排作为系统性转型需要化工全产业链共同努力，在保证社会生产和人们生活衣食住行各方面需求的前提下，积极推动低碳转型进程。为此，埃森哲总结了化工行业主要玩家在“3060”“双碳”目标下的转型措施。

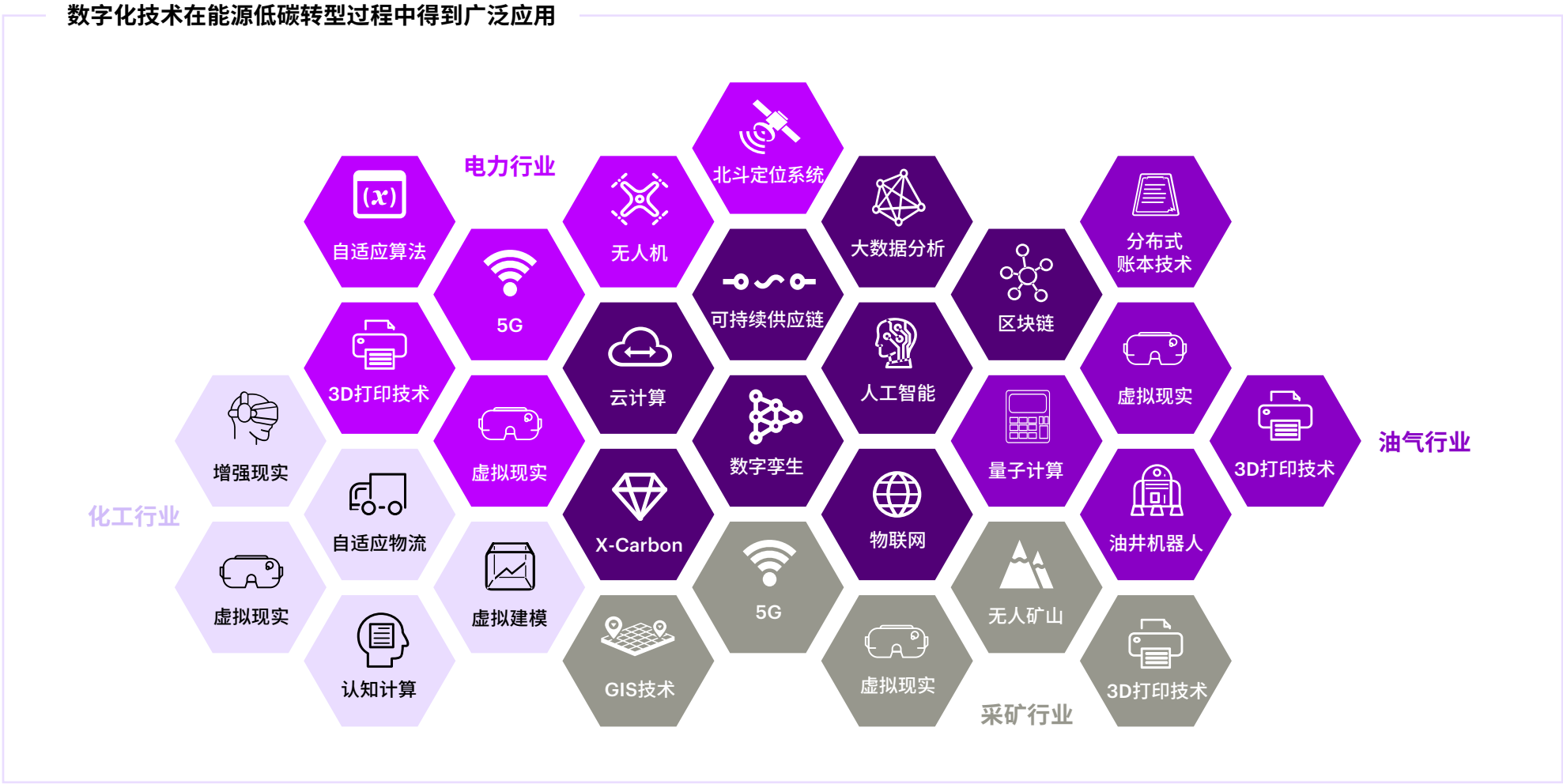
企业类型	转型举措	
原料与运输企业	• 利用基于替代原料技术的创新企业，开发环境友好的替代性原料	• 使用可再生原料和生物原料 • 积极研究，或扶持新化工材料研发企业
炼化与生产企业	• 制定限制二氧化碳密集型生产的政策 • 支持探索脱碳解决方案公司的研发活动 • 增加机械和化学回收，提高能源利用率	• 通过可再生能源，利用低碳能源动力 • 在化工领域中开发最具成本效益的CCUS机会
营销贸易企业	• 使越来越多的公司参与到生物降解塑料的营销中来 • 实行碳交易计划 • 深入了解客户在产品的可持续性及其潜在的最终用途方面的需求和愿望	• 增加赚取正贸易利润的潜力，并覆盖在新产品领域的风险 • 根据客户的需求推动石化企业对整体产品板块的改变
分销企业	• 制定限制塑料需求的一系列政策 • 鼓励和规范回收的法规和激励措施 • 改善报废管理，提高报废价值	• 加强循环性技术方面的设计和研发 • 增加对可降解塑料的需求，将需求转移到可持续包装和塑料上 • 推动共享经济，减少潜在化工最终产品需求

数据来源：埃森哲分析

智慧赋能 生态融合： 数字化技术保驾护航



作为低碳转型的重要推动力，数字化、智能化技术带来的效率和成本优势日愈凸显，充分发挥技术创新的支撑作用，促进数字化和绿色化的产业融合，推动能源绿色生态建设，是实现转型升级和长期可持续发展的基础。目前，人工智能、大数据分析、云计算等数字化技术已于能源行业广泛应用。其中，特别值得关注的是数字孪生、数据分析和平台赋能。



镜像世界，数字孪生推进能源技术革命

近年来，数字孪生技术得到越来越广泛的传播，同时，得益于物联网、大数据、云计算、人工智能等新一代信息技术的发展，数字孪生的实施愈发成为可能，有望广泛应用于能源行业。数字孪生技术充分利用精细化物理模型、智能化监测传感器、历史运维数据，集成多学科、多物理量、多时空尺度、多概率的仿真过程，在虚拟空间中完成对智慧能源系统的真实映射，反映智能设备的全生命周期过程，通过实时更新与动态演化助力能源企业低碳转型。

基于数字孪生技术在碳排放源锁定、数据分析、监控预警等方面起到的显著成效，能够合理管控设备碳排的智慧电厂应运而生。通过仿真模拟电厂的煤炭消耗，评估降低煤耗、提升运行效率的优化方案，协助传统煤电厂减排。此外，数字孪生技术还可实现对可再生能源出力及供电负荷的精准预测，实现分布式能源供需就地平衡，从而提高可再生能源发电比例，助力电力行业实现数字化低碳转型。

数字孪生技术也已逐渐应用于油气和采矿业，企业可依托仿真场景测试新型勘探开采工艺，从而以较低成本实现关键过程的节能减排。与此同时，领先油气和矿业公司利用数字孪生技术精确把控其生产加工流程，基于现场真实数据进行分析、预测、诊断，优化生产和决策流程，并提前识别设备故障或性能劣化，降低企业运营成本和能源消耗。此外，企业还可搭建交互式智能化协同管理平台，实现生产信息和反馈控制信息双向流通，从而设计并优化低碳运输路线，减少能源消耗，“虚实结合”地推动行业实现低碳转型与升级。



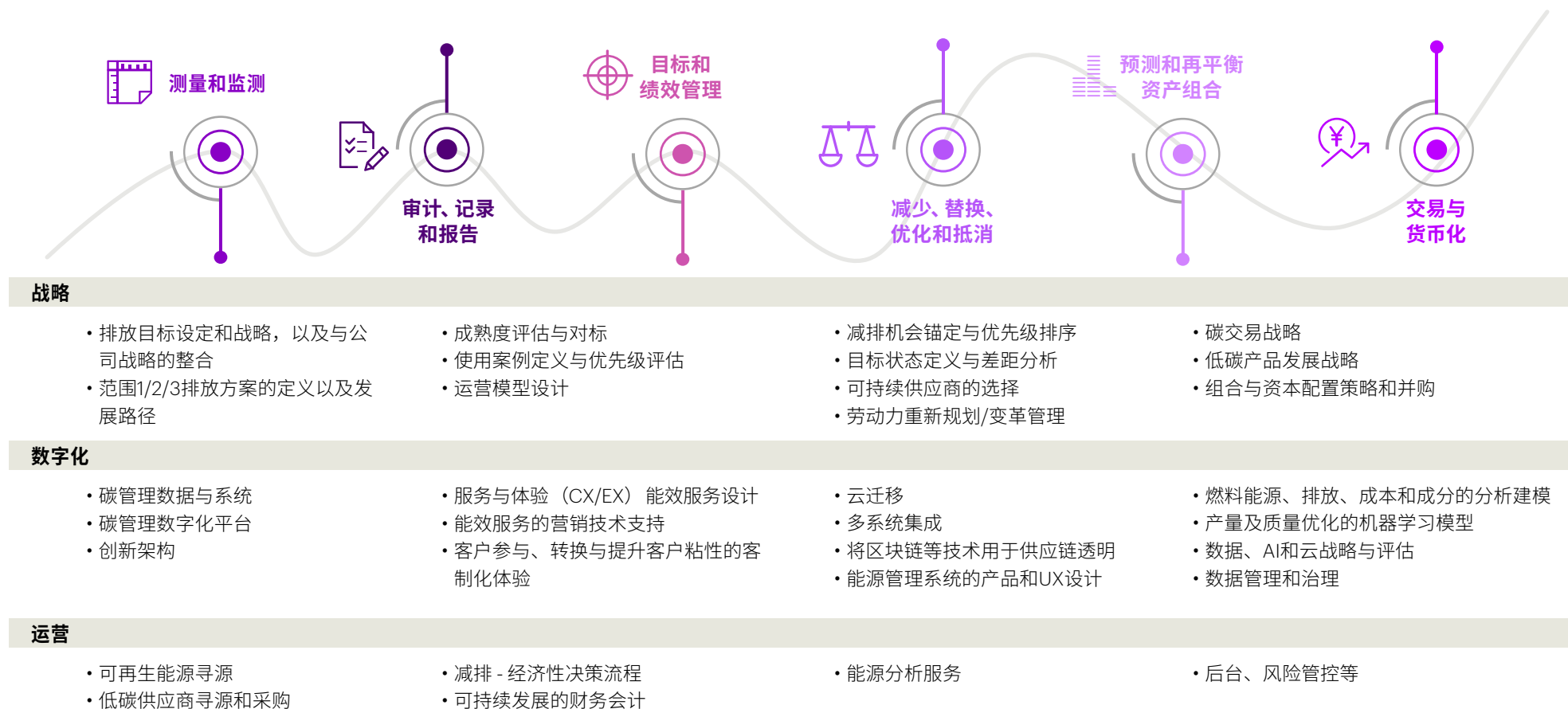
掌控全局，X-Carbon释放全产业链减碳价值

能源企业通过将低碳化的智能解决方案嵌入核心业务及全产业链，从而更有效地进行产品组合及运营过程的管理及优化，将有助于长期可持续发展，并充分释放减碳价值。

埃森哲X-Carbon作为零碳转型的数字化解决方案，通过监测与测量能源企业产业链各个环节的碳排数据，追溯碳足迹来源，并将碳排记录和相关报告与企业未来投资计划和财务指标相结合，帮助企业设立合理碳排目标，把握企业在全产业链各环节所有范围内的减排机会。同时将低碳化转型提升到企业的战略高

度，优化企业运营与决策过程，并促进企业进一步开展碳交易等差异化产品和服务，提升企业整体竞争力，助力企业长期可持续发展。

埃森哲依托X-Carbon平台协助某大型油气公司下属燃气厂优化运营流程、提升能源效率，促进其实现低碳转型。通过能效管理数据大屏，X-Carbon可实现工厂碳排放量、能源效率及相关指标的实时监控与追踪，并对能源数据展开分析，确定燃气厂整体碳排放量及碳排放强度，进一步通过调试设备最优参数减少工厂整体碳排放量，提升能源效率，每年节约约90万美元的能耗支出和20万美元的碳税支出，成功帮助该燃气厂实现低碳转型。



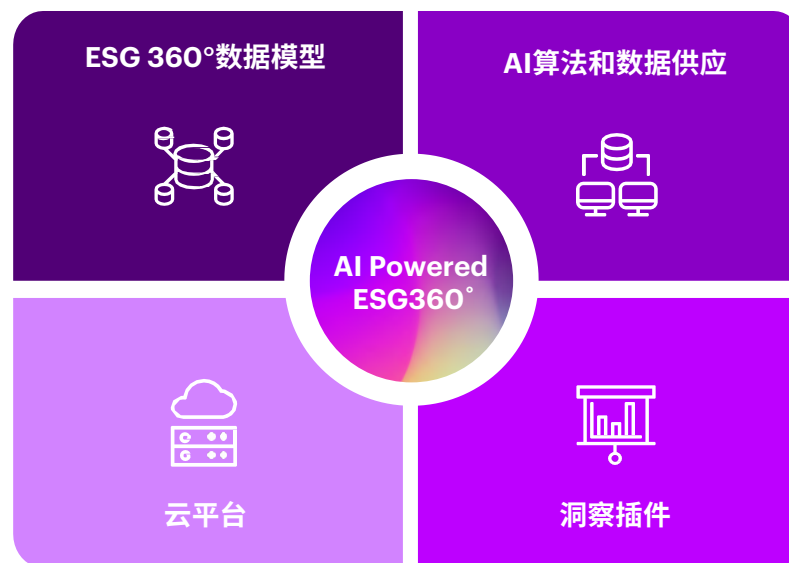
平台赋能，瞄准端到端解决方案

企业要将能源转型的所有新要求纳入其数字化战略。埃森哲一项全球调研项目¹⁵发现，近四分之三受访者认为，扩展和部署解决方案是整个创新生命周期中的重大或中等挑战。然而，这种挑战可以通过与外部合作伙伴建立战略合作来应对，合作有助于企业更有效地交付和提升收益，增加获得核心技能的机会，同时利用现成的解决方案可以加速部署，提高成本效益，管控技术过时的风险。

在推动企业低碳转型领域，埃森哲拥有碳资产盘查、碳目标设定、碳交易、碳管理平台解决方案、碳数据整合、绿色生态构建及长期运营等端到端的一体化能源低碳转型解决方案。

同时，埃森哲利用各平台助力各类企业评估绿色转型的收益，如myNav平台通过数据中心能耗数据的收集与分析，评估可持续发展指数，为企业推荐最适宜的云服务商和数据中心的最佳地理位置，从而减少能源企业数据中心的整体碳排放。埃森哲AI Powered ESG 360°是一个统一平台，可以汇总企业ESG数据，帮助企业进行深入的洞察和分析，以支持各行业企业绿色转型的相关决策。这一平台具备以下特点：第一、数据模型。ESG 360°的数据模型可从GRI、SASB等标准中全面捕捉相关且符合行业特点的关键绩效指标清单。第二、AI算法和数据供应。ESG 360°从内部定制的人工智能算法中收集ESG数据，该算法建立在公开披露的基础上，并从ESG及其他数据供应商处收集信息数据。第三、洞察插件。

ESG 360°使用洞察插件与用户进行交流，对基于收集的ESG数据所产生的分析结果进行展示和描述。第四、云平台。ESG 360°建立了统一的云平台来储存ESG数据，并让埃森哲的各类用户能够充分利用这些数据进行分析洞察以帮助其制定战略决策。AI Powered ESG 360°平台利用人工智能从不同的来源挖掘ESG数据，更全面地帮助企业进行商业分析并制定可行的战略实施路线图。



构建生态，全面奏响可持续发展协奏曲

能源企业低碳转型离不开可持续发展的生态构建。未来，无论传统油气公司转型新能源，还是燃气企业进入综合供能市场，或者发电企业走向客户端，亦或矿产和化工企业进行园区节能改造，都需要借助生态的力量形成合力，并通过生态完成能力的快速部署和积累。基于“双碳”目标的大背景，埃森哲与一众生态伙伴合作，开展可持续能力的共建：如与SAP在可持续供应链技术领域开展合作，共同开发全新解决方案，旨在产品设计和生产流程中将可持续性指标纳入其价值链和供应链，并将各个运营部门的数据加以整合与分析，帮助企业更有效地进行设计和生产，同时减少浪费，提高产品的可回收性，加速供应链全面脱碳进程的同时助力企业在万亿循环经济市场中发掘收益。埃森哲还与远景能源在智能平台与碳资产管理工具方面合作，帮助企业以轻量化的模式，设计与构建碳管理能力，并形成长期的运营服务。

案例分享：远景科技集团（Envision Group）绿色科技赋能碳中和

远景科技集团作为一家全球领先的绿色科技公司，将“为人类可持续发展解决挑战”作为公司使命，正在通过持续创新软硬件技术，加速能源系统的智慧化与清洁化，推进全球碳中和转型进程。

远景于2019年正式加入全球“RE100”倡议，成为中国首个承诺2025年实现100%绿色电力消费的企业。为实现运营碳中和，远景将加速可再生能源电力消费进程，争取在2022年前实现100%使用可再生能源电力。2021年4月，远景宣布了迄今国内最具挑战的碳中和目标：2022年年底实现全球业务运营碳中和，2028年年底实现全供应链碳中和。在碳中和道路上，远景提出了三个方面的零碳战略。第一方面、自身率先实现零碳。远景致力于通过软硬件技术创新解决零碳挑战，引领行业树立新的技术标准，同时联通生态进行产品、商业模式与解决方案创新。为加快实现运营碳中和并探索价值链赋能，远景创新研发了覆盖碳足迹监测、减排路径规划、能效提升、可再生能源开发、绿证与碳交易等领域的全生命周期零碳解决方案——“远景方舟”智能碳管理系统。“远景方舟”碳管理系统能实时监测企业或机构的碳足迹，自动生成碳排放报告，并模拟及优化减排路径，直接采购绿电、绿证、碳汇服务，一站式实现碳中和闭环。与此同时，为了更好地提升绿电的易得性和经济性，远景持续探索以多种方式进行可再生能源开发，包括：分布式开发、绿电项目投资、绿电供给，绿证交易等。在充分提升能效和利用可再生能源电力后，预计在2022年仍有一部分剩余排放，远景将持续在具有减排潜

力的技术上发力以扩大减排范围，不断评估和识别最佳可行技术（例如相关工业过程的电气化）。

第二方面、赋能合作伙伴。远景致力于为供应链上下游的合作伙伴提供低碳、低成本的解决方案，帮助合作伙伴加速低碳转型，从而实现供应链的碳中和。首先，从内部的产品制造出发，远景一方面将优化产品设计以提升能效，降低其用户端使用产品的排放；另一方面也将采购更低碳的生产原料，包括尽可能地使用可循环或再生的材料，例如风机叶片材料将更加低碳，并且可循环和可降解。其次，从外部的供应商出发，远景将携手供应商合作伙伴，利用“远景方舟”智能碳管理系统的零碳解决方案协助探索可低碳转型机会，助力供应商不断降低其生产运营的碳排放。

第三方面、助力构建零碳经济体系。远景正联合中国企业和跨国公司、地方政府、投资机构，推动构建零碳新工业体系，加速工业和经济的零碳转型，助力中国实现2060年碳中和目标。通过智能风机产品，远景为千家万户提供可再生能源电力，不断减少化石能源的使用；通过智能物联操作系统与面向多领域的解决方案，远景帮助客户实现能源资产的智能集控与高效运营，以数字化驱动低碳化；通过电池、储能与充电服务，让100%绿色出行成为可能。远景致力于成为企业、政府与机构的“零碳技术伙伴”，以绿色科技赋能能源和工业体系，助力全球迈向更清洁、更智能的能源系统。

当前飞速进步的数字技术带来了构建可持续未来的契机。低碳转型归根到底是数字化转型，助力企业创造并实现新的价值。中国能源企业应将低碳化的数字智能解决方案嵌入企业的核心业务及全产业链，更有效地进行产品组合及运营过程的管理及优化，充分释放减碳价值，实现可持续发展。

明者因时而变，知者随事而制。当前，每家能源企业都在研究如何应对低碳经济，并希望尽快探索出转型道路。虽然此举并非易事，却不可或缺。低碳转型不再是锦上添花，而是能源企业生存的必要条件。未来既来，能源企业也应当适逢其时，以转型应对变局、以创新开拓新局。

参考资料

1. 联合国环境规划署
2. 英国能源与气候智库
3. 联合国环境规划署
4. BNEF, 1H 2020 LCOE Update
5. 《碳捕集、利用与封存（CCUS）——世界能源技术展望2020特别报告》
6. 《中国能源电力发展展望2020》
7. 《碳捕集、利用与封存（CCUS）——世界能源技术展望2020特别报告》
8. 《石油钻探技术》2021年，第49卷
9. 中国石油报，2021年3月24日
10. 下文报告采矿业分析主要围绕产业链上游展开，即勘探与开采、选矿与加工环节
11. 国际能源署《主要矿物在清洁能源转型中的作用》(IEA, The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions)
12. 必和必拓《2020年气候变化报告》(BHP, Climate Change Report 2020)
13. Wier《2021年矿产能源消耗》(Weir, Mining Energy Consumption 2021)
14. 国际能源署《主要矿物在清洁能源转型中的作用》(IEA, The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions)

作者

郑子霆

埃森哲大中华区资源事业部总裁
kenneth.c.cheng@accenture.com

孙越

埃森哲大中华区战略与咨询董事总经理、可持续业务主管
yue.alex.sun@accenture.com

黄民杰

埃森哲大中华区战略与咨询经理、公用事业与可再生能源行业
minjie.huang@accenture.com

陈礼洋

埃森哲大中华区战略与咨询顾问、公用事业与可再生能源行业
juliette.liyang.chen@accenture.com

鸣谢

王誉然、楚靓、崔恬

业务联系

郑子霆

埃森哲大中华区资源事业部总裁
kenneth.c.cheng@accenture.com

孙越

埃森哲大中华区战略与咨询董事总经理、可持续业务主管
yue.alex.sun@accenture.com

王靖

埃森哲大中华区董事总经理、公用事业行业主管
joy.jing.wang@accenture.com

王斐

埃森哲大中华区董事总经理、能源行业主管
philip.f.wang@accenture.com

李喆

埃森哲大中华区董事总经理、自然资源行业主管
eric.zhe.li@accenture.com

周嘉

埃森哲大中华区资源事业部总监、化工行业主管
jia.j.zhou@accenture.com

关于埃森哲

埃森哲公司注册于爱尔兰，是一家全球领先的专业服务公司，在数字化、云计算与网络安全领域拥有全球领先的能力。凭借独特的业内经验与专业技能，以及翘楚全球的卓越技术中心和智能运营中心，我们为客户提供战略&咨询、互动体验、技术服务和智能运营等全方位服务，业务涵盖40多个行业，以及企业日常运营部门的各个职能。埃森哲是《财富》全球500强企业之一，目前拥有约62.4万名员工，服务于120多个国家的客户。我们秉承“科技融灵智，匠心承未来”的企业使命，致力于通过引领变革创造价值，为我们的客户、员工、股东、合作伙伴与整个社会创造美好未来。

埃森哲在中国市场开展业务30余年，拥有一支约1.9万人的员工队伍，分布于多个城市，包括北京、上海、大连、成都、广州、深圳、杭州、香港和台北等。作为可信赖的数字化转型卓越伙伴，我们正在更创新地参与商业和技术生态圈的建设，帮助中国企业 and 政府把握数字化力量，通过制定战略、优化流程、集成系统、部署云计算等实现转型，提升全球竞争力，从而立足中国、赢在全球。

详细信息，敬请访问埃森哲公司主页www.accenture.com以及埃森哲大中华区主页www.accenture.cn。

免责声明：

本研究报告由埃森哲撰写和制作。报告仅作为研究内容介绍之用。未得到埃森哲的书面许可，文中内容不得采取任何形式进行复制。尽管我们对所依据的信息和资料保持高度谨慎，但无法对其中的准确性和完整性做出绝对保证，请勿绝对化地加以利用。本报告并非埃森哲受托所作。文中所述观点有可能在未经知会的情况下进行调整。报告内容亦非根据任何公司所处独特环境而提供的具体咨询建议。

本研究报告对可能归他人所有的商标进行了引用。对这些商标的使用不表示这些商标为埃森哲所有，也不代表或暗示埃森哲与这些商标的法定所有人之间存在关联。