



上海科技大学  
ShanghaiTech University

2060 致力于  
2060 碳中和  
Institute of 2060 科技创新



Center for Education,  
Innovation and  
Sustainable Development

上海科技大学教育、创新和可持续发展研究中心

# 中国能源转型报告2026

## 执行摘要



2026年4月

## 锚点平移与系统重构：能源转型路径与技术经济学推演

2026 年，作为“十五五”规划的开局节点，中国气候治理与宏观经济运行的底层架构经历了一次实质性的逻辑平移。随着中国正式确立 2035 年国家自主贡献（NDC）目标，明确全经济范围的温室气体净排放量将在达峰水平上绝对降低 7%至 10%，国家气候战略的约束性指标完成了从“相对碳强度控制”向“绝对总量控制”的刚性跨越。

与这一宏观愿景相耦合的，是国内治理工具链的系统性重构：从沿用十余年的“能耗双控”向“碳排双控”全面切换。从经济学视角审视，“能耗双控”框架将化石能源与零碳能源无差别地置于总耗能分母之中，导致地方经济在扩大风能、光伏等清洁能源投资时，因总能耗指标的刚性约束，反而挤占了实体工业体系的扩张空间。“碳排双控”的实施，通过将调控锚点从前端的“物理能源输入量”后移至终端的“温室气体外部性”，非化石能源的发展获得了实质性的政策解绑，因其不产生碳排放，风光水核等清洁能源的扩容不再构成约束指标的负担，进而完成了经济学属性的翻转——从应对气候变化的“合规成本”，转化为支撑宏观经济高质量增长、对冲碳约束的“核心要素引擎”。

### 1、结构与路径：基于 ETAM 模型的演进全景

上海科技大学自主构建了中国能源转型的一般均衡模型分析模型（Energy Transition Analysis Model, ETAM）。模型主要包括生产模块、贸易模块、收支模块、市场出清和宏观闭合模块。核心创新在于，该模型对各种主要能源（包括煤炭、原油、天然气、成品油、电力等）的生产、需求、贸易等活动进行了详细刻画，对能源消耗过程中的二氧化碳排放也进行了专门描述，对未来新能源技术（包括第四代核能、先进氢能、碳捕集等）的技术成本和发展进行了详尽刻画。在先进技术生产的刻画上，本模型描绘了先进的碳捕集与封存技术（CCS），包括火电加装 CCS，生物质能 CCS（BECCS），钢铁、水泥、化工生产加装 CCS。

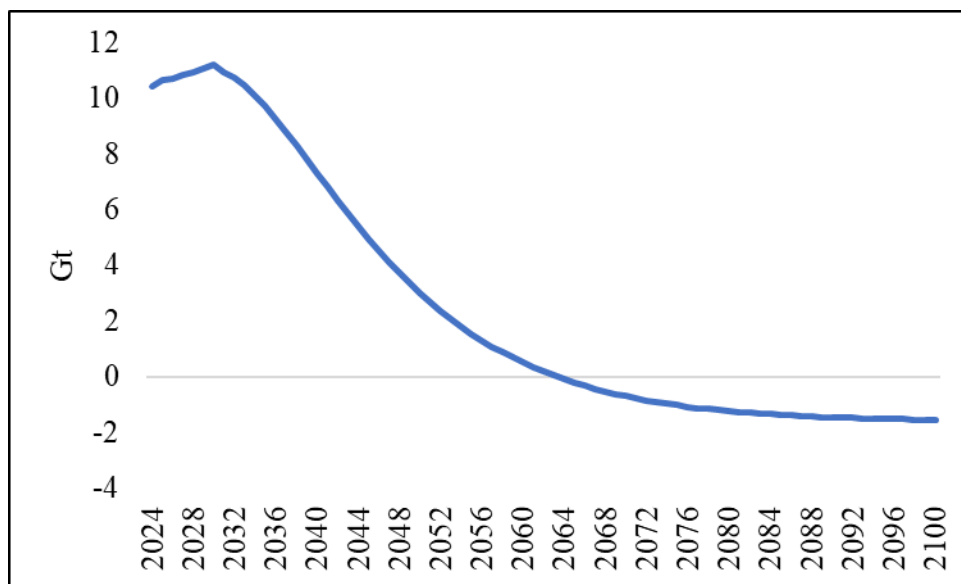


图 1 碳排放路径图

ETAM 模型的主要数据来源为 2020 年投入产出表，为了实现对能源系统的准确刻画，对 149 部门的投入产出表进行拆分合并。为更好地刻画中国特色的碳交易制度，根据已公布的碳市场拟纳入的八个部门（石化、化工、建材、钢铁、有色、造纸、电力、航空）的行业分类，在投入产出表中具体区分了这八个部门。根据模型测算，如图 1 显示，中国将在 2030 年实现碳达峰，碳排放峰值为 110 亿吨二氧化碳排放（化石燃料燃烧产生的二氧化碳排放与工业生产过程碳排放），到 2035 年，碳排放降至 97 亿吨，较 2030 年下降 12%。在 2060 年实现净零排放。

根据模型的测算，如图 2 显示，2030 年，以发电煤耗法计算的煤炭、油、天然气三种化石能源的占比降至 75% 以下（分别占比为 43.30%，18.89% 和 10.19%），满足中国 NDC 目标中提出的非化石能源占比超过 25% 的目标。与 2025 年相比，消费结构调整主要来自于煤炭消费量的显著下降，煤炭占能源消费比重下降八个百分点，并且煤炭消费的绝对量下降超过 7%。而化石能源中相对清洁的天然气比重略有上升，主要由于中国煤改气政策下，天然气大幅度替代煤炭发电，使得煤电减少，而气电增加，到 2030 年占能源消费的 10.45%。此外，近年来中国大幅提高可再生能源装机量，带来了可再生能源发电占比提升，到 2030 年风电、光电、水电和核电的消费占比分别提高至 8.06%、5.75%、9.64% 和 3.48%。

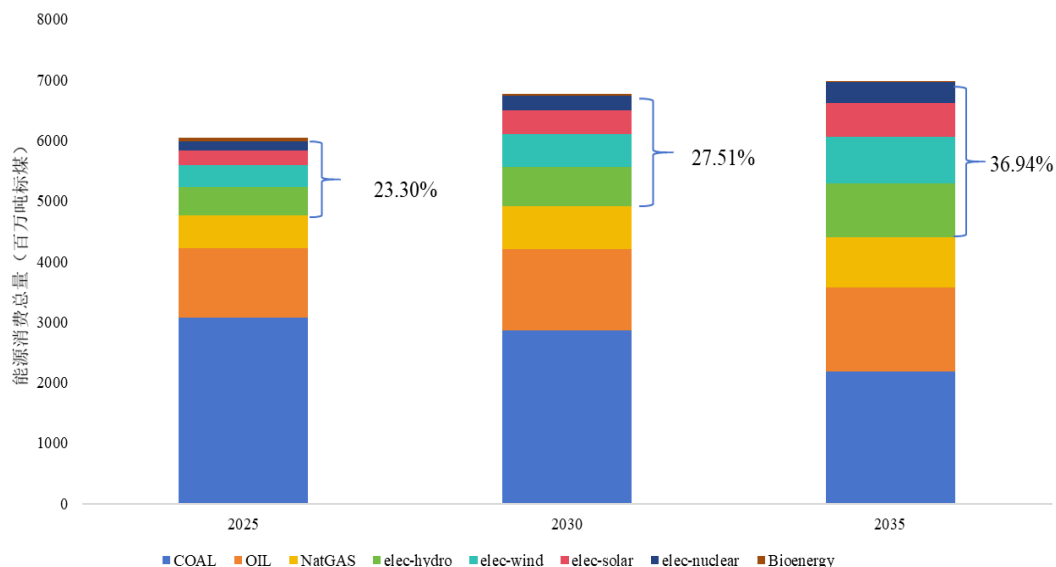


图 2 2025-2035 能源消费结构

2035 年伴随着能源消费持续增长，而碳排放持续下降，中国碳排放和能源消费已实现完全脱钩，能耗双控向碳排放双控全面转型初见成效。这主要由于大规模可再生能源装机带来的非化石能源结构消费进一步增长，此时能效消费达到 69.75 亿吨标煤，而风电、光电、水电和核电的消费占比进一步提高至 11.91%，8.13%，12.69%，4.90%。在这个阶段，风电、光电发展迅速，国家政策的支持也为风电和光伏行业的技术迭代和产业发展提供了良好的环境。此外储能技术、电解水制氢技术的发展和大规模应用，解决了风电、光伏间歇性发电和消纳的问题，为其持续增长提供了引擎。天然气作为较为清洁的化石能源，在能源转型中依旧扮演重要角色，到 2035 年，占比进一步提高至 11.92%。

如图 3 显示，根据模型测算，2060 年碳中和的实现得益于非化石能源的大规模使用以及负排放技术的发展。从一次能源消费结构看，到 2060 年，非化石能源占一次能源消费比重显著提升。其中风光等间歇性发电技术随着储能技术的发展，发电量大幅提升，到 2060 年占一次能源消费比重的 46%。中国第三代核能技术已经投入商业化运营，同时第四代核能技术也达到世界领先水平，因此，核电占比也大幅提升，到 2060 年可占一次能源消费比重的 17% 左右。为了保障能源供应安全，需保留一部分的化石能源，其中煤炭占比下降至 12%，石油占比降至 8.5%，天然气占比降至 5.5%。

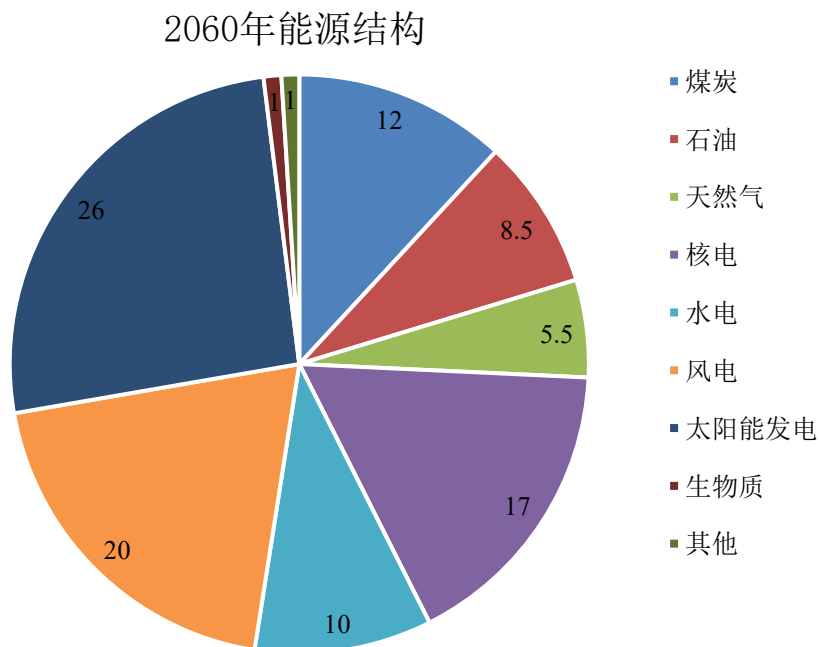


图3 2060年能源消费结构（电热当量法计算）

模型设置化石能源使用所产生的碳排放将通过 CCS 技术、DAC 技术以及 BECCS 等技术吸收和抵消。到 2060 年，将有约 32.96 亿吨二氧化碳得到移除和抵消，完全抵消电力、工业、交通、服务业和居民化石能源消费带来的剩余排放。

如图 4 显示，模型描绘了 2060 的中国能流图。其中，化石能源消费占比为 25%左右，终端电气化率达到 81%，农业、居民、服务业的电气化率均超过 90%。工业部门中如钢铁、水泥等，仍需使用化石能源，电气化水平最低，为 68%左右。而新能源汽车、可持续航空燃料等的发展促进了交通部门的脱碳。此为，随着能源效率的提升，终端用能部门的能源使用量较 2030 年均有所下降，使得整体一次能源的消费总量较 2030 年降低 21%。

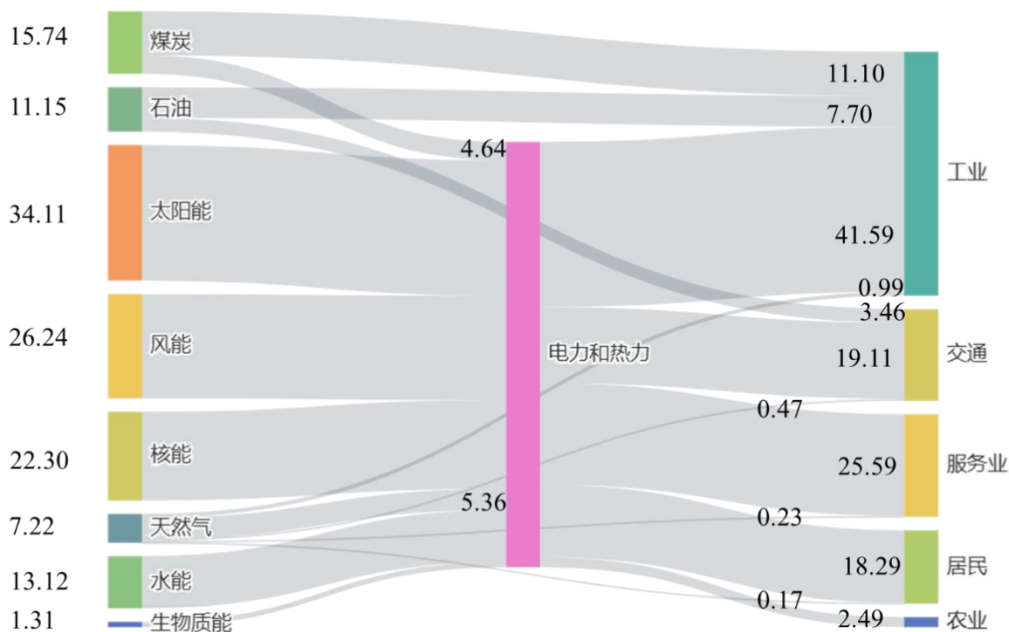


图 4 2060 年能流图(电热当量法计算)

## 2、工业深水区：技术经济学约束与双轨路径

宏观模型的演进逻辑，最终必须穿透至微观工业部门的生产函数中接受工程学与财务指标的检验。中国拥有全球最大、且资产平均炉龄极年轻的重工业体系，工业领域的脱碳，是一场受制于技术经济学约束的系统性重构。

ETAM 模型通过设定 1.1 至 1.3 的跨能源品种替代弹性，量化了宏观碳约束向微观决策传导的“非线性阈值效应”。工业底层的技术迭代绝非平滑曲线，而是由碳价锚定的阶梯式跃升。当全社会碳价处于 200 元/吨及以下的温区时，碳合规成本尚未对化石能源的经济优势构成实质性威胁，企业的理性边界停留在存量资产的物理能效改良；当碳价向上突破 300-400 元/吨的临界温区，燃料替代的经济拐点显现，天然气热电联产（CHP）凭借较燃煤低约 50% 的碳强度及 80% 的综合热效率，其综合运营成本开始反超燃煤锅炉；唯有当碳价进一步攀升至 400-500 元/吨的极值区间，氢冶金与大规模 CCUS 等颠覆性工艺高昂的“绿色溢价”才会被实质性抹平，触发资本向终极零碳工艺体系的雪崩式迁移。

面对上述技术经济学约束，以碳排放占比逾 15% 的钢铁行业为代表，中

国确立了兼顾资产安全与工艺重构的“双轨并行”战略。在增量路径上，战略重心向西北绿电富集区及沿海高端产业集群倾斜，直接越过化石能源过渡路线，布局氢基直接还原铁（H<sub>2</sub>-DRI）工艺。然而，配套的电弧炉（EAF）在熔炼中会向电网注入强烈的谐波与非线性冲击。在弱电网生态下，重型燃气轮机展现了不可替代的物理耦合作用。作为大型同步发电机，燃机能提供极高的短路容量，充当庞大的“电磁飞轮”，刚性支撑电网电压，从物理底层化解了绿电炼钢的电能质量危机。

在存量路径上，针对难以立刻淘汰、沉淀数万亿资本的长流程高炉体系，产业界通过工艺改造构建了高碳资产的“集群化逃生通道”。核心在于对高炉副产的低热值高炉煤气（BFG）进行极致利用与 CCUS 深度耦合。现代重型燃气轮机联合循环（CCPP）不仅将这类低热值煤气的发电效率由传统的 30% 跃升至 45% 以上，更为精妙的是，燃气轮机排出的高温废气通过余热锅炉，可精准转化为满足 CCUS 胺液吸收系统热再生所需的低压蒸汽。这种能源梯级利用的热力学闭环，从根本上消解了碳捕集过程高昂的“寄生能耗”，使得庞大的高碳钢铁资产在逐步降低碳强度的同时，获得了平稳度过财务折旧期的经济合理性。

### 3、 市场定价重构：ETS 与统一电力市场的协同

微观企业跨越技术阈值、实施重资产更替的先决条件，在于宏观要素市场能够提供长期、稳定且具备可预期性的价格信号。中国正通过全国碳排放权交易市场（ETS）的扩容升级与全国统一电力市场的建构，在底层彻底重塑能源与环境资产的定价体系。

ETS 的机制转型是这场重构的起点。《关于推进绿色低碳转型加强全国碳市场建设的意见》清晰界定了碳市场从基于产出的“强度控制”向“绝对总量控制与有偿分配”（Cap-and-Trade）的战略转轨。在旧有 100% 免费分配及强度基准线模式下，配额供给缺乏绝对约束，导致碳价长期在较低区间窄幅震荡（远低于欧盟 ETS）。随着 2027 至 2030 年间钢铁、水泥、铝冶炼等高排放行业的全面纳入，以及配额拍卖机制的稳妥引入，总量天花板的确立将在市场中制造实质性的配额稀缺。有偿分配将人为陡峭化高耗能行业的边际减排成本曲线，迫使碳价逐步向反映真实减排成本的阈值区间靠拢。高

昂的碳价将不再是惩罚，而是促使深度脱碳技术从“合规负担”转化为“套利资产”的核心经济杠杆。

与 ETS 重构“碳外部性”定价相平行，统一电力市场的改革旨在解决新型电力系统“灵活性正外部性”的定价失灵。面对 2035 年 3600 吉瓦风光装机带来的巨大系统随机性，传统仅按“电能量”（kWh）结算的单维市场已脱离物理现实。辅助服务市场通过高频次的调度补偿，为电池储能（BESS）等毫秒级响应资源赋予了独立的调频收益；而容量市场（Capacity Market）的全面落地，则标志着定价哲学的代际演进——从“为电量付费”转向“为可用性（Availability）付费”。

两大市场的协同产生了长期经济学后果：一方面，ETS 不断攀升的碳成本将高碳煤电逐步挤出基荷电量市场；另一方面，容量市场为其提供了脱钩于发电量的固定容量现金补偿，实现了存量煤电向系统备用角色平稳过渡的“软着陆”。而对于清洁灵活性资产（如燃气轮机、长时储能），“碳规避成本底线+灵活性主动收益上限”构成了双重叠加的价格信号。这种具备金融机构认可度（Bankable）的长效财务激励，是引导私营资本涌入深度脱碳领域的根本制度保障。

#### 4、 焦点透视：AI 超级周期下的燃气轮机价值重估

在电力市场定价逻辑重构与系统物理拓扑演进的交汇处，一个强劲的外部变量深刻改变了特定能源资产的估值框架：以大语言模型为代表的人工智能（AI）超级周期爆发，与高比例新能源并网导致的电网“惯量空心化”形成了激烈的物理冲撞。在这一超级周期下，传统被视为“过渡桥梁”的燃气轮机，其资产属性正经历颠覆性的价值重估。

从电网运行的底层力学来看，风光等变流器电源的大规模接入，剥离了电力系统原有的旋转质量。由于缺乏同步发电机转子提供的刚性转动惯量，新型电力系统对抗频率震荡的安全裕度被急剧压缩。叠加超大规模 AI 数据中心要求 99.999% 不断电可靠性的极限负荷，传统的电网扩容与建设周期长达数年的核电，在时间尺度上完全无法匹配 AI 算力 18 至 24 个月的敏捷部署速度。

在由“电力交付速度”（Speed-to-Power）主导的新估值体系下，燃气

轮机脱离了单纯消耗化石燃料的工具范畴，跃迁为支撑高比例新能源并网与 AI 基础设施的核心物理枢纽。它与主干电网同步旋转所提供的刚性物理惯量与短路容量，构成了当前抵御电网微观崩溃最有效的系统保险。

更为深远的战略重估在于，现代燃气轮机展现出了卓越的“氢能就绪”（Hydrogen-ready）跨期属性。随着 30%-50%掺氢乃至 100%纯氢燃烧技术的工程化验证，现有的燃气管网与机组不仅不会沦为搁浅资产，反而将平滑演进为未来氢能经济的核心节点。在风光资源富集区，它们将在电力过剩时作为制氢的协同下游，在极寒无风的冗长周期内燃烧绿氢发电，实质性地承担起跨月、跨季节的长时储能物理职能，完成全生命周期资产价值的深刻升维。

## 5、 全球竞合

中国的宏观能源系统重构并非封闭在国境线内的孤立工程，它以前所未有的广度与深度牵动着全球工业资本流动与地缘经济版图的重组。

在物理制造端，中国在光伏组件、锂电池及新能源汽车领域建立的压倒性结构优势，构成了全球能源转型的庞大产业底座。中国凭借规模效应与供应链极致的降本能力成为全球脱碳的中央引擎。

面对欧盟碳边境调节机制（CBAM）等实质性落地的外部贸易壁垒，中国的应对策略展现出了高度的经济学理性。CBAM 对进口高碳基础材料（如钢铁、铝、水泥）征收等同于欧盟碳价的费用，表面上构成了严峻的成本冲击。但在客观传导机制上，它与中国内部不断升级、走向总量控制的 ETS 形成了一场“内外钳形”。外部碳关税压力的存在，为国内碳价提供了一个向上的“外部锚定”，从财务实质上倒逼中国出口导向型高耗能行业加速出清，主动向绿氢冶金与 CCUS 等深脱碳技术进行资本切换。通过做高内部碳价，中国在有效截留碳关税税基的同时，利用外部壁垒完成了内部重工业体系迭代的催化。

同时，在“一带一路”的多维框架下，中国正实施务实的“双轨战略”：一方面向全球南方输出绿电基建与系统解决方案，以应对外部壁垒并构建新型的绿色软实力；另一方面维持对关键化石能源的战略投资，以保障国家的广义能源安全。在更为前沿的国际规则博弈中，无论是在中欧关于绿

氢（RFNBO）标准的竞合，还是在 BECCUS 与核聚变领域的治理框架内，中国正从早期国际规则的被动采纳者，蜕变为新一轮工业标准的核心引领者。

总之，2026 年，中国宏观脱碳的演进框架已从早期的“愿景确立”全面进入“系统重构”的深水区。这场由“碳排双控”底层驱动的范式革命，彻底解绑了清洁能源的要素生产力。依托严密的宏观模型推演、精细的市场价格引导以及对工程物理规律的严格锚定，中国正推动着庞大规模的工业存量资产进行一场平稳的代际更迭。在这个重构周期中，脱碳早已剥离了感性的口号，演化为一次基于热力学法则与微观经济学逻辑的国家资产负债表重置。在洞察并顺应这一客观规律的进程中，中国确立了自身在全球气候治理与大国产业竞争中不可撼动的长期坐标。