

# 《中国能源转型 2023》摘要

*China Energy Transformation Outlook 2023 (CETO 2023)*

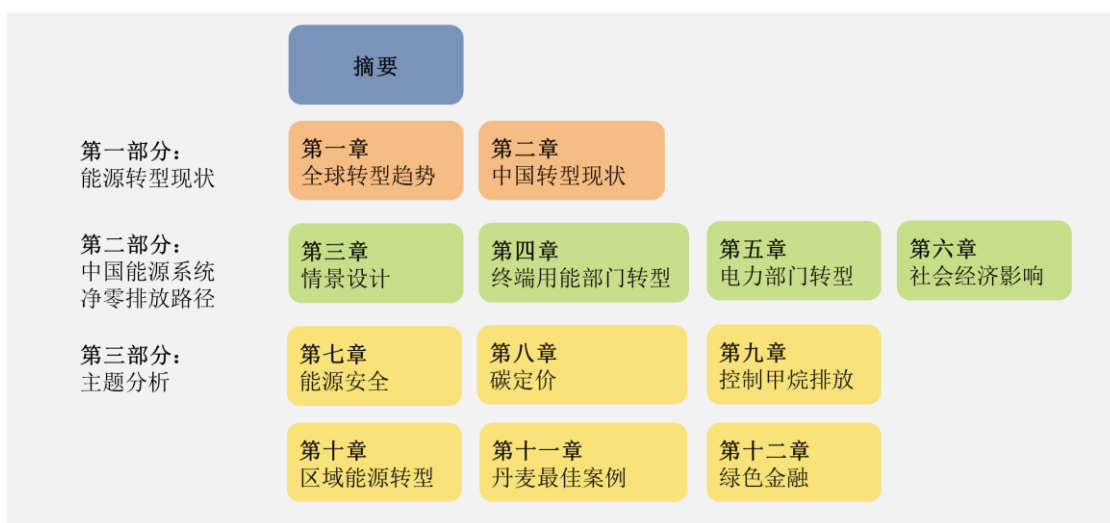
## CETO 2023 阅读指南

《中国能源转型展望2023》（CETO 2023）由摘要和三大部分组成。

**第一部分**简要概述了全球气候危机和能源发展形势（第一章），重点阐述了近年来发展趋势，并概述了中国能源体系发展情况和政策现状（第二章）。

**第二部分**对2060年实现碳中和的中国能源系统转型进行了基于模型的情景分析<sup>1</sup>，由四个章节构成。第三章总结了能源系统转型整体情况，包括展望提出的三个情景的框架设计及假设。第四章深入探讨了各个终端用能部门的能源消费路径，包括工业、建筑、交通和其他部门。第五章根据电力部门模型模拟结果对电力部门展开详细分析。第六章分析了能源转型的社会经济影响。

**第三部分**包含了未基于第二部分模型情景分析的六个热点主题章节。第七章描述了中国能源安全政策与形势，第八章分析了中国碳定价的最新进展，第九章阐述了全球和中国控制甲烷排放进展，第十章分析了中国区域能源转型相关趋势与案例，第十一章总结了丹麦的能源和气候政策发展情况，第十二章探讨了绿色金融对能源转型的重要性。



<sup>1</sup> 如无特殊说明，报告第二部分四个章节相关数据（包括基年数据）基于 CETO 数据库及模型测算。

摘要部分总结了展望报告的分析要点，包括第二部分情景分析的关键发现，可作为全报告的独立摘要阅读。第二部分的四个章节详细阐述了CETO情景分析的综合结论和具体发现，读者可以全面且深入的了解展望情景的设计细节和部门的详细结论。第三部分的每个章节都可以独立阅读，便于读者了解各个主题的具体内容。

祝您阅读愉快！

我们非常欢迎您对展望提供反馈。请将您的反馈意见发送到以下邮箱：  
[ceto2023@cet.energy](mailto:ceto2023@cet.energy)。

### 中文报告下载



### 英文报告下载



## CETO 2023 摘要

### 能源系统的三种情景

《中国能源转型展望2023》（CETO 2023）的分析基于中国在2060年前实现碳中和的基本出发点。与过去的低碳发展相比，实现碳达峰碳中和是一场更加广泛而深刻的经济社会系统性变革。2060年前实现碳中和，既要求大幅提升能源效率、加快发展非化石能源，还要求进一步开发碳汇或负碳排放技术以实现全社会的碳中和。

CETO 2023在碳达峰碳中和“1+N”政策体系的基础上，深入分析了包括各个终端用能部门、加工转换部门在内的能源系统转型情景，重点关注实现碳中和目标的路径及其可行性。课题组采用中国终端能源需求分析模型（ERI-LEAP）、中国电力部署优化模型（ERI-EDO）和中国能源转型社会经济影响评价模型（CETPA）分别分析了终端能源消费、电力供应、能源环境与社会影响，将经济发展、碳减排和能源安全等多重目标进行统筹分析。这意味着中国能源转型既要服务于实现碳达峰碳中和目标，又要推动经济高质量发展，满足人民美好生活需要，建设美丽中国，最终实现人与自然和谐共生的中国式现代化。在这个过程中，以新型电力系统为核心，构建清洁低碳、安全韧性、灵活智能、经济高效、普惠共享的新型能源体系，对实现碳达峰碳中和至关重要。

CETO 2023在对2060年前中国能源体系发展的分析中，设置了三种不同情景。

**参考情景（BLS）**是以当前能源系统发展趋势进行外推的情景，并以实现《巴黎协定》确定的本世纪将全球平均气温上升控制在2摄氏度之内的愿景进行倒逼。在分析过程中，考虑当前世界范围内发生的政治、经济冲突，也包括重点区域、重点国家提出的新政策，对由此可能对新能源与可再生能源产业发展、全球及中国能源转型的影响进行分析，提出转型力度相对更小的中国能源转型参考情景，用于提供与两个碳中和情景进行定量比较的参考。

两个碳中和情景有一个共同的前提条件，即世界各国紧密团结、齐心协力共同履行《巴黎协定》，以更大的力度实现《巴黎协定》确定的“将全球平均气温上升控制在低于2摄氏度之内，并努力控制在1.5摄氏度之内”的目标。两个碳中和情景都以中国在2030年前实现碳达峰、2060年前实现碳中和作为倒逼目标，但能源系统实现净零排放的路径选择和时间上存在差异。

**碳中和情景1（CNS1）**的策略是大力发展可再生能源，到2055年，生物质能发电和遗留的煤电、天然气发电机组全面采用碳捕集、利用与封存（CCUS）

技术，力争能源系统2055年前后实现净零排放。

**碳中和情景2（CNS2）**的策略是在大力发展可再生能源的基础上，需要进一步扩大风电和光伏发电装机容量，煤电机组发电小时数和发电量下降更快直至自然退役，2055年前，生物质能发电和遗留的天然气发电机组逐步采用CCUS技术，力争能源系统2055年前实现净零排放。



## 情景分析的主要发现

情景分析可以归纳出以下主要发现：

全球能源和气候形势迫切需要加速推进全球能源转型。两种碳中和情景（CNS1和CNS2）都表明，**能源系统绿色低碳转型发展能够保障中国在2060年前实现碳中和**。在碳中和情景1（CNS1）下，能源系统在2055年前后实现净零排放，而在碳中和情景2（CNS2）下，能源系统在2055年前实现净零排放。与此同时，到2060年，中国经济规模增长到2021年水平的四倍以上，2060年一次能源消费总量则仅为2021年水平的60%左右。

BLS情景是一种参考情景，由于全球政治经济局势的动荡和变化加剧，能源转型的困难挑战和不确定性有所增加。BLS情景下，化石燃料消费量2030年后有所降低，但化石燃料消费量无法在2060年降至很低水平。这意味着需要更强有力的、全球携手努力的政策，推动能源系统加快转型。

**能源效率的大幅提升是实现碳中和的前提和基础，实现终端用能高比例电气化是能源绿色低碳转型发展的必要条件。**终端用能部门和能源供给部门全面提升能源效率，可以降低能源消费总量，实现经济发展和能源需求脱钩，这意味着中国的能源效率需要持续提高。终端用能行业的高比例电气化和电制氢规模化发展是拉用电量更快提升的主因。在工业、交通和建筑领域推行电气化，有助于降低终端用能部门的化石燃料消费。电力部门从火力发电向风能和太阳能发电转变，可以降低能源供给部门的能源加工转换损失。CNS2情景下，到2060年，中国经济规模将增长四倍左右，但终端能源消费量会下降到2021年的

64%，一次能源消费量下降到2021年的56%；终端部门电气化率达到66%。全社会用电量达到20.2万亿千瓦时。

**可再生能源跨越式发展助力新型电力系统加快建成，风电和光伏大规模发展。**在能源系统实现净零排放的路径中，无论是CNS1还是CNS2情景，到2060年，可再生能源在一次能源供给中的占比都将超过74%。电力系统全面实现清洁转型，以风电和光伏为主的可再生能源成为主体电源，装机规模化增加，成为便宜、充足的低碳能源，2060年可再生能源占总发电量的94%以上。剩余部分由核能承担。这意味着在煤电转型的前提下，能源结构的深度脱碳和全面转向非化石能源是实现能源系统净零排放的必要条件。

**煤电将经历从基荷电源向灵活性调节电源的转型。**CNS1和CNS2情景都表明，寿命期内煤电机组在一定的技术支撑下，年运行小时数逐步减少，将有效降低能源系统转型成本，是处理好发展与安全、实现中国能源系统净零排放的有力措施。在电力系统中，煤电将经历一个角色转变的过程，2040年前煤电灵活性改造全面完成。2040年后，随着现役机组接近运行寿命，煤电机组陆续退役，煤电的运行小时数降至1000小时以下。2050年后，两个CNS情景的煤电发电量均趋于极低水平，电力系统不再依赖煤电作为供电主力，但部分退役机组退而不拆，开展必要的运维保养，保持备用状态，发挥应急备用作用。

**核电作为一种重要的低碳基荷电源，发挥积极稳定的作用。**在所有情景中，预计核电装机容量将稳步增长，到2040年左右达到1.2亿千瓦，分布在我国沿海地区，承担基荷作用，运行小时数较高。

**天然气需求增长放缓，在能源消费中的地位逐步调整。**情景分析显示，可再生能源的快速发展使中国避免了油气高增速高比例发展的阶段。在电力部门，风电和太阳能发电成本迅速降低，天然气价格相对昂贵，同时燃煤发电机组在近中期转向用于电力系统调峰，综合制约了天然气发电需求增长，天然气主要用于终端用能部门。此外，生物质气在发电、工业、交通等领域的发展应用，可以替代部分天然气的潜在需求。三个情景下，2060年天然气在一次能源需求总量中的比重下降至不到7%。

**建立新型电力系统需系统统筹、多元平衡，同时构建高度智能化的电网新形态，新型储能、需求侧响应和智慧能源系统是保障电力系统安全的关键所在。**新能源可再生能源大力发展下，电网形态不断优化，形成“西电东送、东电西济，北电南送、南北互供”的电网新形态。新型储能、需求侧响应和智慧能源系统更加有效的整合大规模、间歇性、波动性的可再生能源，满足未来电力用户的需求，特别是在电力峰值负荷时发挥关键作用。电化学储能、电动汽车车

网互动（V2G）、压缩空气储能等新型储能技术将作为抽水蓄能电站、水库调峰电站的重要补充，未来可以逐步替代燃煤机组的调峰功能。CNS2情景下，2021-2035年新型储能技术的年均增长率为26%，发展规模倍增式增长。2030-2060年期间，V2G将大规模普及，年均增长率可以达到14%左右。2060年，抽水蓄能、新型储能和需求侧响应成为电力系统的主力调节资源，电动汽车储能对电力系统的稳定运行发挥重要作用，绿氢在支持工业转型的同时，也通过制氢平衡电力系统负荷。

**碳捕集与封存（CCS）是实现碳中和的重要选项和“最后手段”。** CCS技术将主要用于消除难以深度脱碳部门的碳排放，作为燃煤发电和燃气发电机组降低碳排放的技术支撑。与生物质发电结合在一起的生物能源碳捕集与封存（BECCS）技术，可以为实现电力系统净零排放提供新的解决方案。

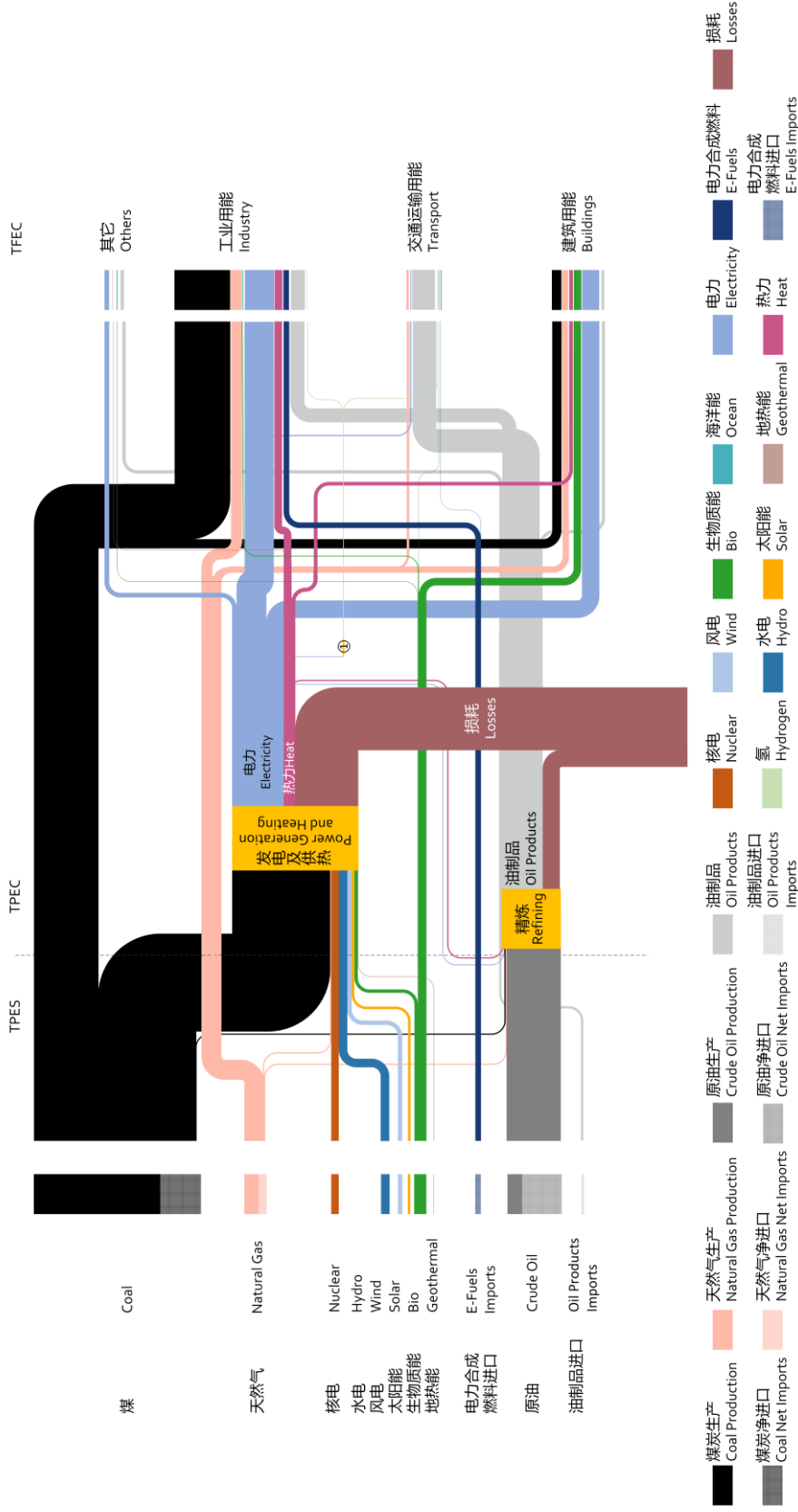
**过度依赖CCS技术实现碳中和存在巨大风险。** 情景分析显示，CCS技术自身存在一定技术局限性，过度依赖CCS技术带来的潜在问题和风险值得警惕。首先，CCS技术实现碳捕集、压缩、运输和封存过程，需要消耗大量电力和热力，必将降低燃煤燃气发电厂的效率，带来更多额外碳排放，加大CCS系统的工作负荷。其次，即使是加装了CCS技术的燃煤或燃气电厂，也很难实现100%的二氧化碳捕集。因此，实现碳中和必须还要依靠其他碳移除技术（如价格更高昂的直接空气捕获技术，简称DAC技术）或者森林碳汇，这意味着无法实现能源系统的净零碳排放。第三，CCS技术对地质条件要求很高，一百年或更长时间后储存的二氧化碳是否会泄露，也需要更多实验、更长时间来验证，对当地地下环境和地表环境是否带来新的影响，也需要进一步检验。

**绿氢发挥零碳原料和零碳燃料的双重作用。** 绿氢的开发和利用，对难以深度脱碳的部门（如钢铁行业、石化行业）具有重要意义。氢可作为还原剂，替代炼铁过程中所需的焦炭，也作为原料，替代合成氨生产过程中的煤炭。氢能还能在交通运输领域替代汽油、柴油等石油产品。此外，氢可用于生产其他电制燃料（PtX），在航空和航运中发挥替代燃料作用。在各种情景下，氢的需求量将持续增长，与制氢相关的电力消费量也持续增加。

**能源绿色低碳转型是实现中国社会经济可持续发展的必然选择。** 实现碳达峰碳中和目标是一场广泛而深刻的系统性变革，能源转型在其中发挥重要作用。随着清洁能源技术的倍增式、跨越式发展，不仅促进绿色产业壮大发展，还将创造更多的绿色就业机会，并显著提高大气污染物的源头减排效果。能源转型在提供能源安全高效保障的同时，与产业升级相互促进，推动经济高质量发展，贡献于实现多元化可持续发展目标。

# 中国能流图

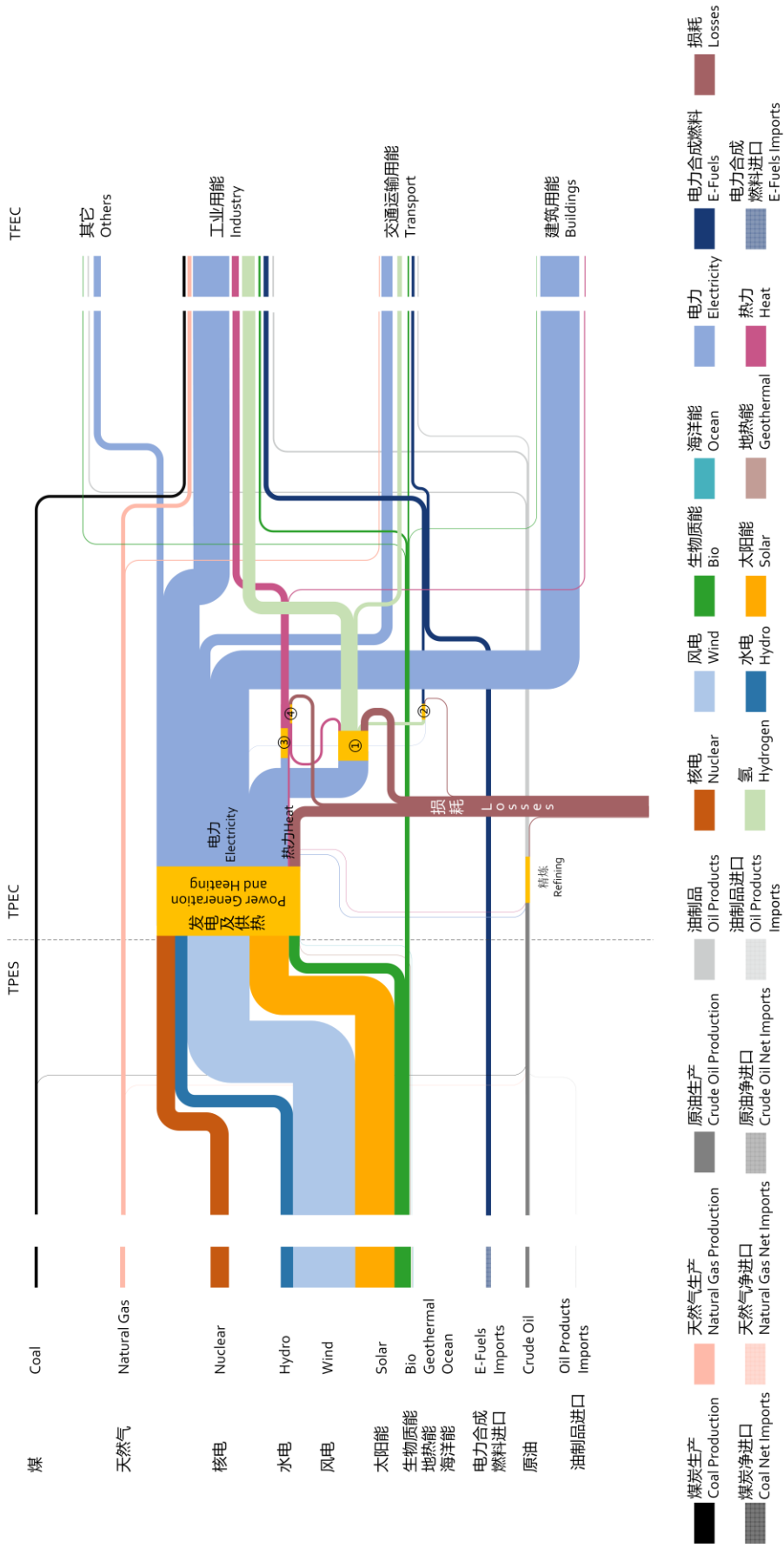
2021年中国能流图 / 2021 China Energy Flow Chart (CETO 2023)



2021年中国能流图

注: ①制氢 Hydrogen Production; ②制电力合成燃料 E-Fuels Production; ③制热 Power to Heat; ④工业碳排放 CO<sub>2</sub> Industry Capture  
 TPES: 一次能源供应量 (Total Primary Energy Supply); TPEC: 一次能源消费量 (Total Primary Energy Consumption); TFEC: 终端能源消费量 (Total Final Energy Consumption)

2060年中国能流图 / 2060 China Energy Flow Chart - CNS2 (CETO 2023)



注: ① 制氢 Hydrogen Production; ② 制电力合成燃料 E-Fuels Production; ③ 工业碳捕集 CO<sub>2</sub> Industry Capture  
 TPES: 一次能源供应量 (Total Primary Energy Supply); TPEC: 一次能源消费量 (Total Primary Energy Consumption); TFEFC: 终端能源消费量 (Total Final Energy Consumption)

2060年中国能流图 - CNS2 情景