



中国2060年前碳中和研究报告

全球能源互联网发展合作组织

2021年3月



实现碳达峰碳中和是党中央立足国际国内两个大局做出的重大战略决策，对我国生态文明建设、引领全球气候治理、实现“两个一百年”奋斗目标具有重大意义。立足我国碳排放总量大、能源消费需求高、能源体系“一煤独大”的发展实际，提出和实施符合我国国情和发展阶段、能够有力推动我国现代化建设的碳中和综合方案和行动路线图是挑战巨大、意义重大的战略问题。

化石能源为主的发展方式是导致我国和全球气候环境问题的根源。**加快构建以特高压为骨干网架、各级电网协调发展的中国能源互联网是我国彻底摆脱化石能源依赖、实现碳中和目标的核心举措。**报告系统分析我国碳排放机理，综合运用全球综合评估模型、能源电力规划优化模型和权威数据库，研究提出以中国能源互联网为基础平台，加快推进“两个替代”，2060年前实现全社会碳中和的综合方案和行动路线图。



1. 碳中和重大意义与挑战

2. 碳中和总体思路

3. 基于中国能源互联网的碳中和实现路径

4. 碳中和重点行动

5. 碳中和综合效益



1.1 碳中和重大意义

实现碳达峰和碳中和是党中央、国务院统筹国际国内两个大局做出的重大战略决策，对加快促进生态文明建设、保障能源安全高效、推动经济转型升级、引领应对气候变化、实现“两个一百年”奋斗目标具有重大意义。

- **开创生态文明新时代**：建设生态文明是迈向新发展阶段所必须确立的发展方向。实现碳中和将转变传统的低效污染发展模式为绿色、低碳、循环的可持续发展模式，实现我国全面、协调、安全、可持续发展。
- **迈入能源可持续发展新阶段**：实现碳中和目标，有效降低油气对外依存度，改变“一煤独大”能源格局，切实保障我国能源安全；促进能源系统向清洁、低碳、高效、智能方向转型升级。
- **构建经济高质量发展新格局**：推动经济转型增效，引领全球绿色低碳技术和产业革命；到2060年第三产业比重提高到**66%**左右。

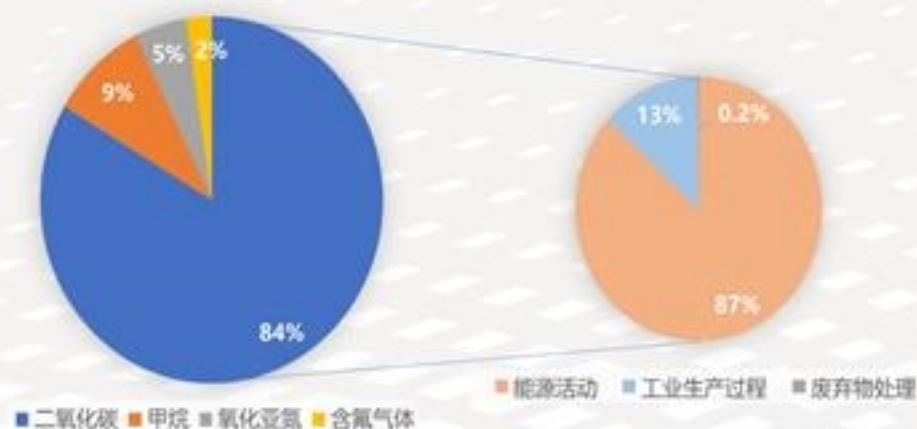


1.2 实现碳中和挑战



我国实现碳中和面临碳排放总量大、碳减排时间短、经济转型升级挑战多、能源系统转型难度大等复杂挑战，作为全球最大的发展中国家，我国2060年前实现碳中和需要在更短时间、采取更广范围和更大力度的减排行动。

- **碳减排时间短任务重。** 2014年我国温室气体排放总量比2005年增长**54%**，二氧化碳排放量约占全球的**27%**，能源活动二氧化碳排放量占全部二氧化碳排放的**87%**。应对气候危机的窗口期不足**10年**，我国从碳达峰到碳中和只有发达国家**一半**时间左右，减排力度和速度空前，实现碳中和的任务十分艰巨。
- **经济转型升级压力大。** 经济发展任务艰巨，产业转型升级难度大。2019年我国第二产业增加值占GDP比重下降到**39%**，传统“三高一低”（高投入、高能耗、高污染、低效益）产业占比仍然较高。
- **能源系统转型难度大。** “一煤独大”严重制约减排，清洁能源发展有待全面提速。2019年煤炭占我国能源消费的**58%**，占全国二氧化碳总排放的**80%**；煤电装机高达**10.4亿千瓦**，占全球煤电总装机的**50%**；能源消费的二氧化碳排放强度比世界平均水平高出**30%**以上。



2014年我国温室气体结构和排放领域构成



1. 碳中和重大意义与挑战

2. 碳中和总体思路

3. 基于中国能源互联网的碳中和实现路径

4. 碳中和重点行动

5. 碳中和综合效益

2.1 碳中和机理



碳排放是人类经济社会活动的综合反映，与人口、经济、产业、能源、技术等多重因素相关。必须加快建设清洁低碳、安全高效的能源体系和绿色低碳循环发展的经济体系，在降低能源消费总量、减低能源碳强度上“做减法”，在增加碳汇、负排放方面“做加法”。从我国国情出发，实现碳中和潜力最大的方向是能源结构的清洁化、低碳化，根本性措施是实现能源生产清洁化和能源消费电气化。



我国碳中和机理框架

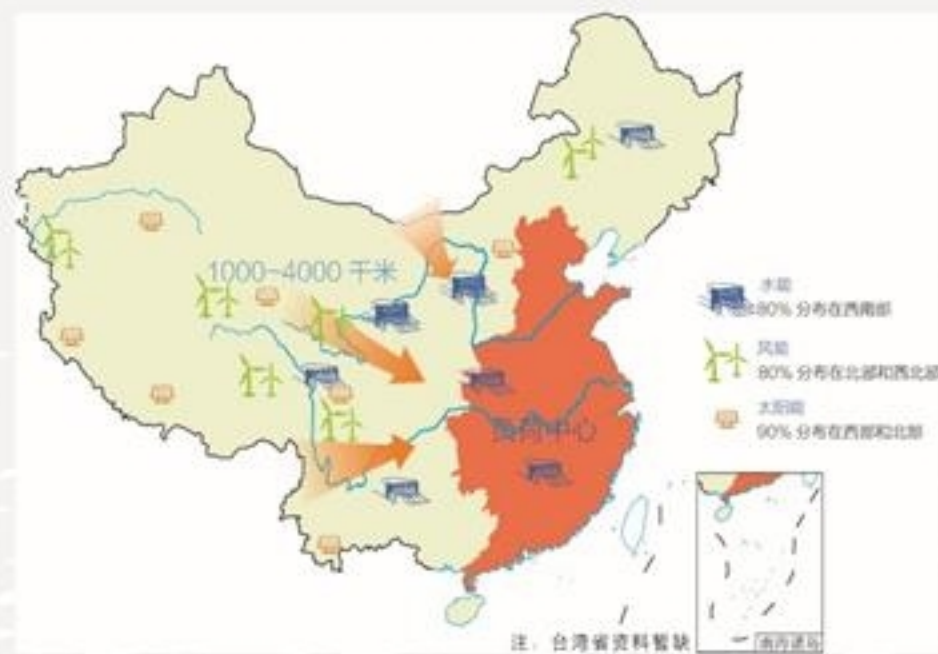
2.2 中国能源互联网



Global Energy Interconnection
Development and Cooperation Organization
全球能源互联网发展合作组织

我国清洁能源资源与负荷中心分布很不均衡、高比例可再生能源对电网结构和调节能力的要求，客观上决定了我国实现碳中和必须要加快形成以特高压骨干网架为核心的全国清洁能源资源优化配置平台。

- **电力互联互通是推动清洁能源大规模发展的必然要求。**我国资源与负荷中心呈逆向分布，67%水能、90%风能、80%太阳能资源分布在西部北部，距离东中部负荷中心1000~4000公里，只有融入大电网才能实现大发展。
- **电力互联互通发挥多能互补效益，提高可靠性水平。**风、光等新能源发电具有很强的随机性和波动性。发挥特高压技术输电容量大、距离远、损耗低、安全性高的优势，可以获得水、风、光多能互补效益，共享灵活性资源，大幅降低运行成本。
- **特高压输电技术已经全面成熟。**目前我国已建和在建特高压工程32项，并网清洁能源装机7.6亿千瓦，支撑我国清洁能源发展进入了快车道。这些都为实现碳达峰，推动碳中和奠定了坚实基础。



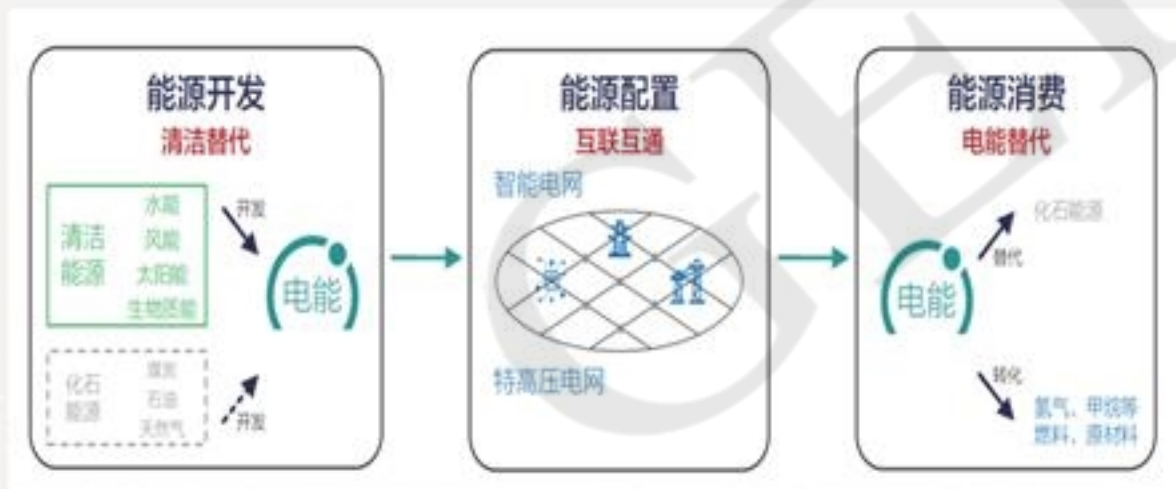
我国清洁能源资源与负荷中心逆向分布示意图

2.2 中国能源互联网



Global Energy Interconnection
Development and Cooperation Organization
全球能源互联网发展合作组织

中国能源互联网是促进“两个替代”、实现碳中和的基础平台，是清洁能源在全国范围大规模开发、配置和使用的平台，是清洁主导、电为中心、互联互通的现代能源体系，实质就是“智能电网+特高压电网+清洁能源”。中国能源互联网具备良好的发展基础，清洁能源成本快速下降，特高压技术先进成熟，智能电网广泛应用。我国率先提出全球能源互联网理念和方案，为落实《巴黎协定》提供全球碳中和方案。



中国能源互联网系统构成示意图

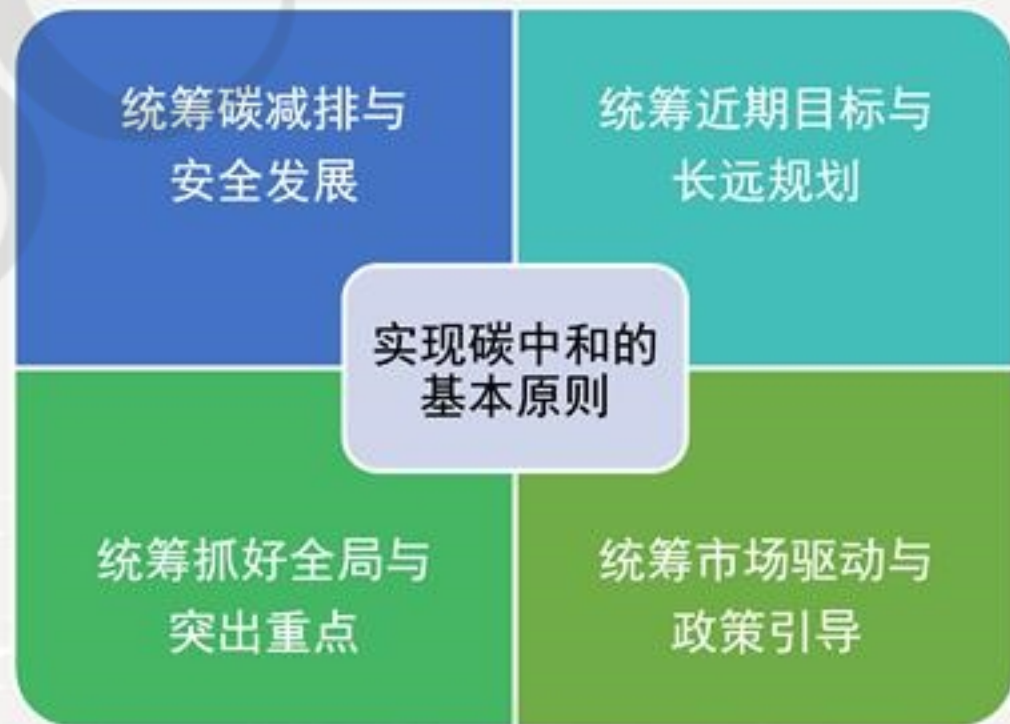


全球能源互联网实现《巴黎协定》目标

2.3 碳中和思路



我国实现碳中和目标的总体思路：坚持四个统筹，以中国能源互联网为基础平台，大力实施“两个替代”（能源开发实施清洁替代、能源使用实施电能替代），加快形成以清洁能源为基础的经济产业体系和绿色生产生活方式，实现“双主导”“双脱钩”的新格局，即能源生产清洁主导、能源使用电能主导、能源发展与碳脱钩、经济发展与碳排放脱钩，推动以“尽早达峰、快速减排、全面中和”三个阶段部署实现碳中和，促进能源经济社会环境协调发展。



2.4 碳中和综合方案



Global Energy Interconnection
Development and Cooperation Organization
全球能源互联网发展合作组织

报告围绕碳中和战略目标，基于碳中和总体思路，形成以中国能源互联网为基础平台的全社会、各领域、能源系统和电力系统碳中和实现路径，提出**8大重点行动**、**6大领域技术**和**6大政策机制**，形成实现我国碳中和的综合方案，为全社会、各行业凝聚共识、务实行动提供行动路线图。





1. 碳中和重大意义与挑战

2. 碳中和总体思路

3. 基于中国能源互联网的碳中和实现路径

4. 碳中和重点行动

5. 碳中和综合效益

3.1 主要研究方法



总体框架

研究以我国2030年前碳达峰方案为基础，以中长期经济社会发展、能源电力需求和累积碳排放预测为边界条件，运用**综合评估模型MESSAGEix-GLOBIOM**和**能源电力规划模型**，提出以建设中国能源互联网为基础平台实现全社会碳中和的实现路径。碳中和实现路径由全社会碳中和路径、分领域碳中和路径、能源系统转型路径、电力系统脱碳路径四方面构成，报告从投资需求、减排成本、综合效益等方面对实现路径进行分析。



碳中和实现路径研究总体框架图

➤ 碳中和综合方案

- 2030年前碳达峰路径
- 2060年前碳中和路径

➤ 现有模式延续情景



MESSAGEix-GLOBIOM能源系统框架图

3.2 经济社会发展预测



碳中和方案综合研判未来40年我国宏观经济增长、产业结构升级、人口城镇化发展、能源电力消费变化以及实现《巴黎协定》目标下的碳排放空间等关键要素，作为情景主要边界条件。

- **我国经济进入高质量发展新阶段。**预计到2060年，GDP总量达到435万亿元，人均GDP达到33万元/人。
- **我国由工业化中后期阶段进入到后工业化阶段。**第三产业在国民经济中的比重和对经济增长的贡献率将持续增加，预计2060年三产比重为4: 30: 66。
- **人口总规模增长惯性减弱，2030年前后达到峰值，城镇化率将维持较快增速。**2030年总人口约为14.64亿，2060年降至13.33亿。城镇化率2060年达到83%左右。
- **我国能源消费将持续增长，2035年后进入平台期，碳达峰与碳中和目标综合考虑了中国落实《巴黎协定》目标的累积碳排放。**预计2050、2060年一次能源消费总量在60亿吨左右。根据公平、效率及能力等综合原则确定我国2018~2100年累积二氧化碳碳排放。

碳中和实现路径主要宏观发展指标

	2019年	2030年	2050年	2060年
人口 (亿人)	14.00	14.64	14.02	13.33
GDP (万亿元)	99	169	338	435
三产结构	7:39:54	6:37:57	4:33:63	4:30:66
城镇化率	61%	67%	80%	83%
一次能源消费总量 (亿吨标准煤)	48.6	60	60	59
全社会用电量 (万亿千瓦时)	7.25	10.7	16	17

3.3 碳中和实现路径



Global Energy Interconnection
Development and Cooperation Organization
全球能源互联网发展合作组织

1 全社会碳中和路径

我国实现全社会碳中和总体可按照**尽早达峰、快速减排、全面中和**三个阶段有序实施。

➤ 尽早达峰阶段（2030年前）

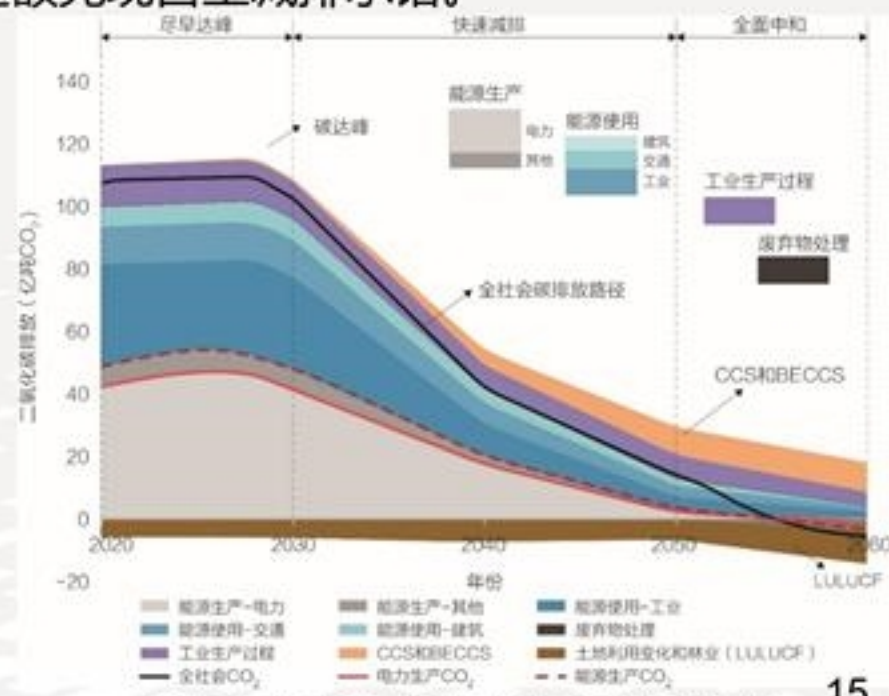
以化石能源总量控制为核心，能够实现**2028年左右**全社会碳达峰，峰值控制在**109亿吨**左右，能源活动峰值为**102亿吨**左右。2030年碳强度相比2005年下降**70%**，提前完成及超额兑现自主减排承诺。

➤ 快速减排阶段（2030~2050年）

以全面建成中国能源互联网为关键，**2050年前**电力系统实现近零排放，标志我国碳中和取得决定性成效。2050年全社会碳排放降至**13.8亿吨**，相比碳排放峰值下降约**90%**，人均碳排放降至1.0吨。

➤ 全面中和阶段（2050~2060年）

以深度脱碳和碳捕集、增加林业碳汇为重点，能源和电力生产进入负碳阶段，**2055年左右**实现全社会碳中和。2060年通过保持适度规模负排放，控制和减少我国累积碳排放量。



碳中和实现路径全社会碳排放路径

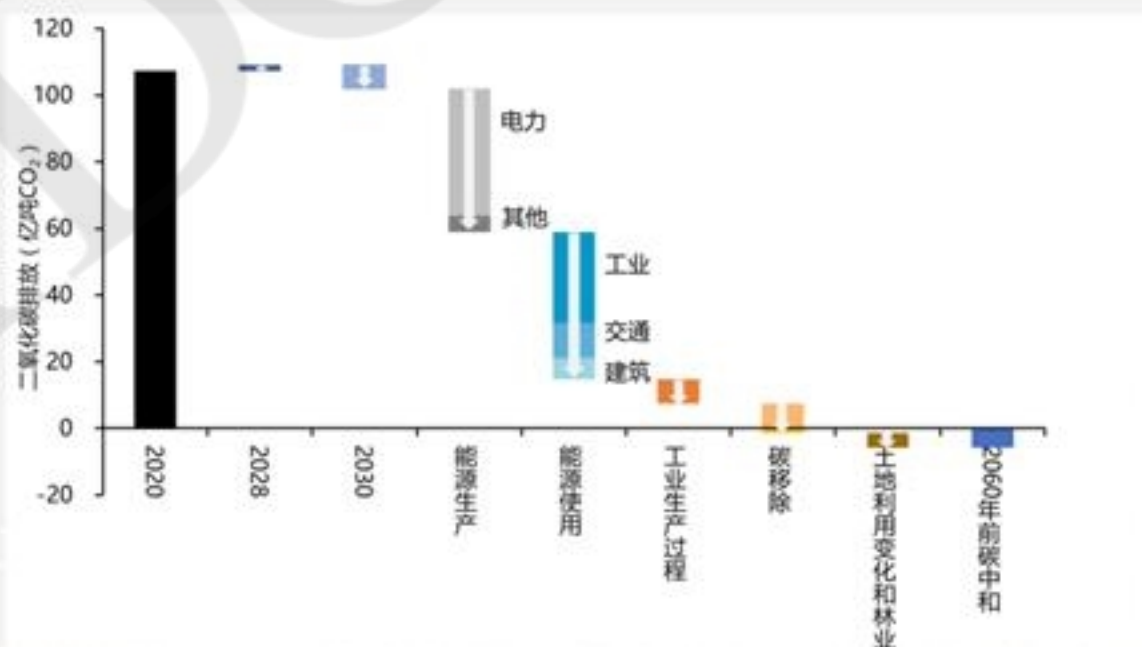
3.3 碳中和实现路径



2 分领域碳中和路径

实现全社会碳中和需要统筹考虑不同领域，包括能源活动、工业生产过程、土地利用变化和林业（LULUCF）、废弃物处理等。

- **能源活动碳排放（不含碳移除）**：减排**87亿吨**，占比超过**80%**，主要通过能源生产清洁替代、能源使用电能替代实现碳减排。
- **工业生产过程碳排放**：减排**7.4亿吨**，主要通过发展原材料或燃料替代技术，实现生产工艺过程中的二氧化碳减排。2060年排放降至4.3亿吨。
- **土地利用变化和林业碳汇**：增汇**4.6亿吨**，主要通过植树造林吸收大气中二氧化碳或利用土地实现固碳。2060年碳汇量增至10.5亿吨。
- **碳移除（CCS、BECCS和DAC）**：减排**8.7亿吨**，主要通过电力生产和燃料生产过程中使用CCS、BECCS等技术实现碳移除。2060年碳移除量增至9.4亿吨，其中负排放量为4.3亿吨。



碳中和实现路径分领域减排路径

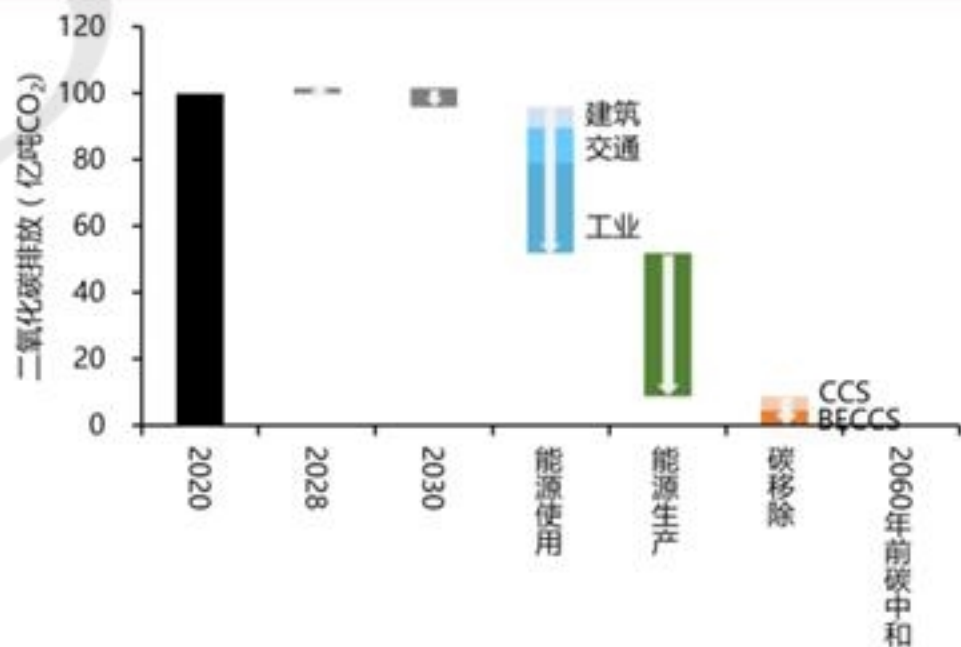
3.3 碳中和实现路径



③ 能源系统转型路径

能源活动碳排放包括能源生产和能源使用过程中的碳排放。能源生产包括电力生产、热力生产、液体燃料生产等，能源使用包括工业、交通、建筑等领域。2050年前能源生产领域实现近零排放，2060年前能源活动实现碳中和。

- 能源生产减排量中80%以上来自电力生产。电力生产减排**38亿吨**，并通过采用一定规模的CCS、BECCS等技术，2050年前电力生产实现近零排放。
- 能源使用减排量中一半以上来自工业领域。工业领域、交通领域、建筑领域碳减排量分别为27亿、10.6亿、6.4亿吨。
- 碳捕集及封存技术是能源活动实现碳中和重要手段，提供**9%减排量**。CCS减排约4.4亿吨左右，BECCS减排4.3亿吨。



能源活动脱碳进程分析

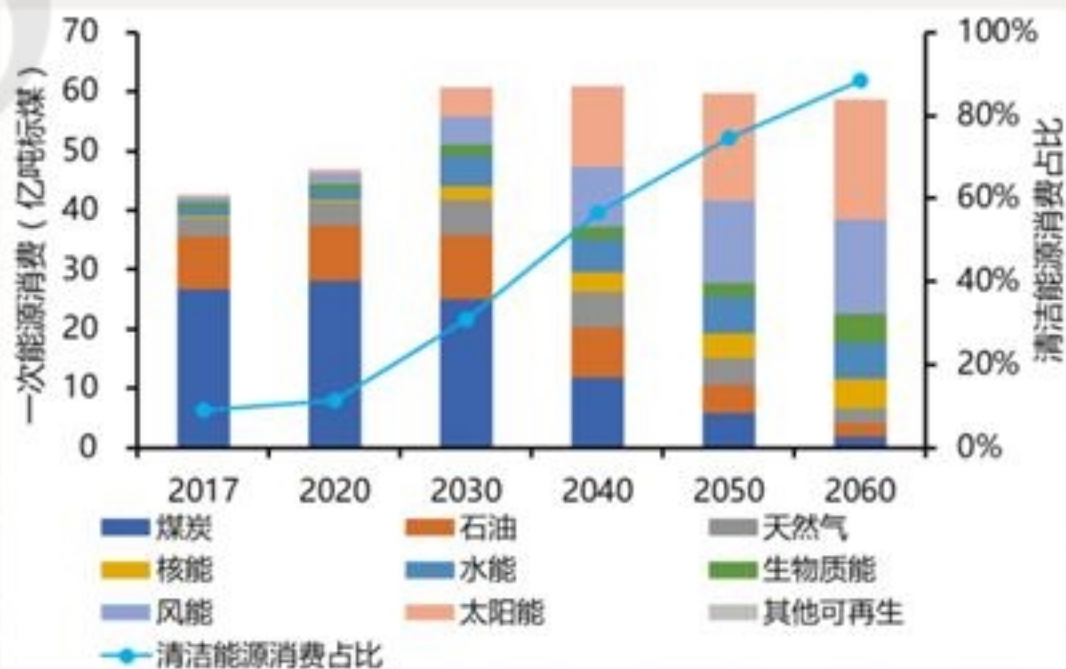
3.3 碳中和实现路径



Global Energy Interconnection
Development and Cooperation Organization
全球能源互联网发展合作组织

③ 能源系统转型路径——能源生产转向清洁主导

- **化石能源总量2028年左右达峰。**煤炭消费总量2013年后稳定在**28亿吨**左右，2025年电煤达峰后开始下降；石油消费总量2030年前达峰后逐渐下降，峰值约**7.4亿吨**。天然气消费总量2035年前后达到峰值，约**5000亿立方米**。
- **清洁能源2040年前成为主导能源。**2030年前，清洁能源比重每年需提高**1.3个百分点**，从目前的15.3%提高到**31%**。2030~2050年是清洁发展增速最快阶段，清洁能源比重需每年提高**2.2个百分点**，到2050年达到**75%**。2050~2060年清洁能源发展保持较高水平，占比每年提高**1.5个百分点**，2060年实现**90%**能源需求由清洁能源满足，实现能源生产体系全面转型。



一次能源消费总量及结构

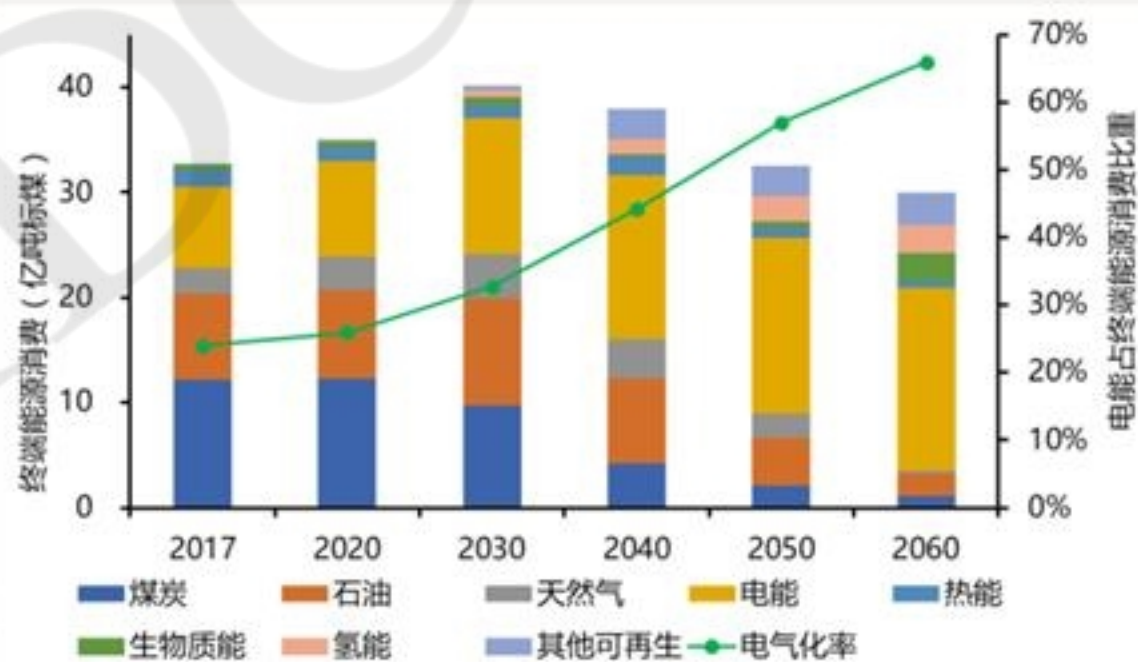
3.3 碳中和实现路径



Global Energy Interconnection
Development and Cooperation Organization
全球能源互联网发展合作组织

③ 能源系统转型路径——能源使用转向电为中心

- **全社会用电量持续增长。**2030年前，全社会用电量年均增速为3.6%，2030年达到**10.7万亿千瓦时**。2030~2050年全社会用电量年均增速保持在2.0%的水平，2050年达到**16万亿千瓦时**。2050~2060年全社会用电量年均增速为0.6%，2060年全社会用电量**17万亿千瓦时**。
- **电能成为最主要的能源利用形式。**2030~2060年，我国工业、交通、建筑领域用能方式加快转向电能，累计增加用电量分别达到0.9万亿、2.4万亿、3万亿千瓦时，全社会**2/3**的能源消费均为电能，实现能源消费体系转型。



终端能源消费总量及结构

3.3 碳中和实现路径



4 电力系统脱碳路径——电源装机结构清洁低碳

建设中国能源互联网将发挥电力系统关键作用，2050年前实现电力生产近零排放，之后为实现碳中和提供负排放。电力将是减排力度最大、脱碳速度最快的领域。

- ▶ **新增电源装机主要为新能源发电：**预计2030年、2050年、2060年我国电源总装机将分别达到**38亿、75亿和80亿千瓦**，其中清洁能源发电比重持续上升。2030年、2050年、2060年清洁能源装机将分别增至25.7亿、68.7亿、76.8亿千瓦，2060年实现超过96%的电源装机和发电量均由清洁能源承担。
- ▶ **化石能源发电加快转型：**煤电总量控制在2025年达峰，2030~2050年转型进程加快，到2050年下降至3亿千瓦左右，2060年全部退出。**气电**主要作为调峰电源，80%以上装机在东中部地区。2030年、2050年、2060年装机分别为1.9亿、3.3亿和3.2亿千瓦。**氢电**主要作为调峰电源，2050年、2060年氢电装机分别为1亿、2亿千瓦。

2030~2060年我国电源装机容量（单位：亿千瓦）

水平年	合计	光伏	光热	风电	常规水电	抽蓄	核电	生物质及其他	煤电	气电	燃氢
2030年	38	10	0.25	8	4.4	1.13	1.1	0.8	10.5	1.85	0
2050年	75	32.7	1.8	22	5.7	1.7	2	1.7	3	3.3	1
2060年	80	35.5	2.5	25	5.8	1.8	2.5	1.8	0	3.2	2

3.3 碳中和实现路径



Global Energy Interconnection
Development and Cooperation Organization
全球能源互联网发展合作组织

4 电力系统脱碳路径——电网配置能力大幅提升

- **扩大电网配置规模和范围。** 转变过度依赖输煤的能源发展方式和局部平衡的电力发展方式，加强我国与周边国家互联互通，形成“**西电东送、北电南供、跨国互联**”的能源发展格局。2030年，跨区跨省电力流将达到4.6亿千瓦，跨国电力流约4250万千瓦；2060年，跨区跨省电力流进一步提升至**8.3亿千瓦**，跨国电力流约**1.87亿千瓦**。
- **建成东部、西部特高压同步电网。** 加快建设以特高压为骨干网架的东部、西部两个同步电网。西部电网包括西南电网、西北电网和南方送端（云南、贵州）电网，统筹西南大型水电基地和西北大型风电、太阳能发电基地开发和送出。东部电网包括华北电网、华东电网、华中电网、东北电网和南方受端电网，实现清洁能源大规模安全受入与高效消纳。



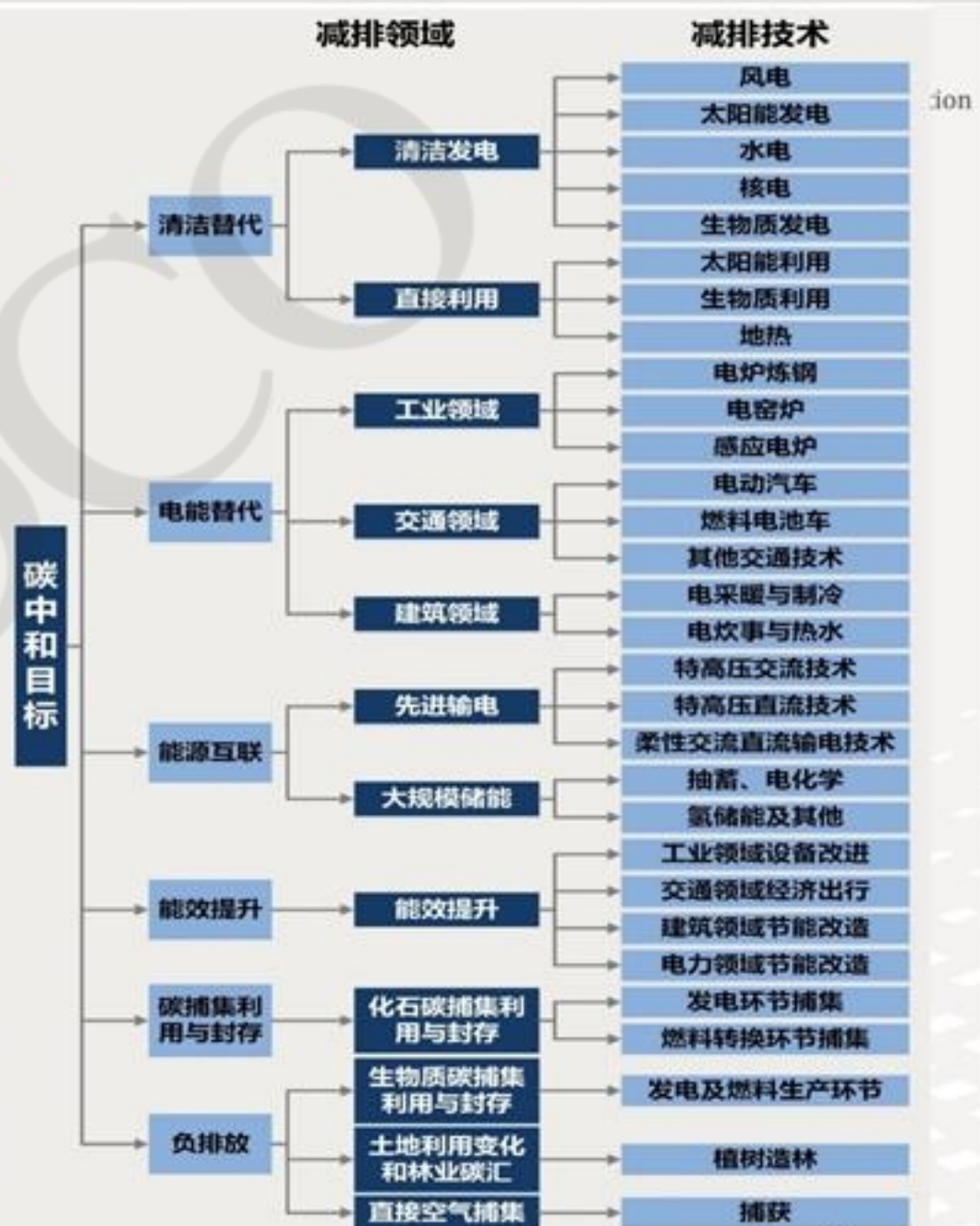
2060年我国跨国跨区跨省电力流示意图



2060年特高压骨干网架示意图

3.4 碳中和关键技术与潜力

低碳零碳技术是实现碳中和目标的关键。中国能源互联网为低碳零碳技术发展提供集成创新平台。发挥我国在能源电力领域的优势，重点在清洁替代、电能替代、能源互联、能效提升、碳捕集利用与封存、负排放与碳汇等6大领域30类技术开展研发攻关和推广应用，争取重大创新突破，挖掘更大减排潜力，为实现高质量发展和碳中和目标提供技术支撑。

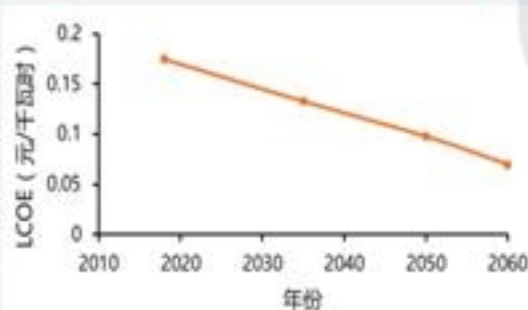


3.4 碳中和关键技术与潜力

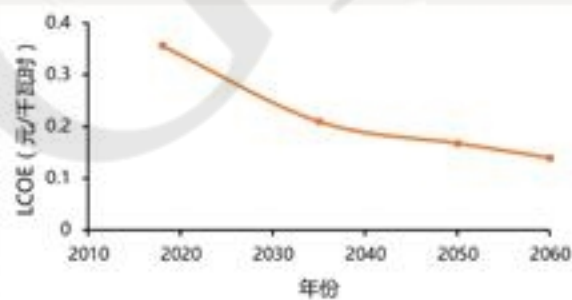


1 清洁替代技术

- **清洁替代技术**包括以清洁能源替代传统化石能源发电及清洁能源终端直接利用。
- **清洁发电作为零碳电源相比化石能源将更具竞争力。**预计2060年光伏发电、光热发电、陆上风电、海上风电技术平均度电成本将分别降至**0.07、0.3、0.15、0.3元/千瓦时**。
- **太阳能、生物质能、地热等清洁能源广泛应用。**预计2060年终端清洁能源利用总量达到**4.9亿吨标准煤**，较2017年增长约**7倍**。



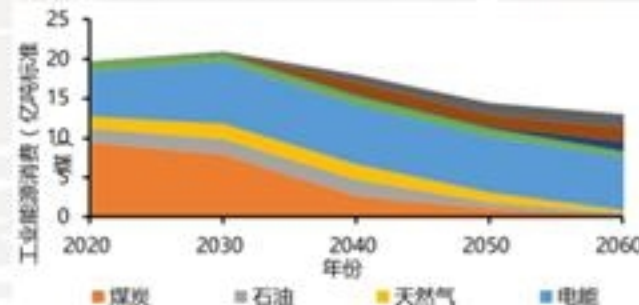
光伏发电度电成本预测



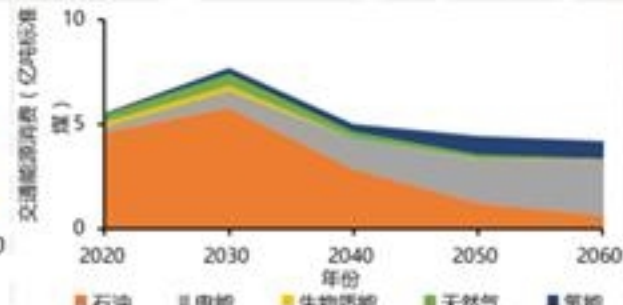
陆上风电度电成本预测

2 电能替代技术

- **电能替代技术**主要包括工业领域电制热与电机械动力技术，交通领域电动汽车、氢燃料电池汽车技术，建筑领域电采暖、热泵技术，电制氢、电制氨、电制甲烷、电制甲醇等电制燃料及原料技术。
- **终端电气化率大幅提升。**预计2060年工业、交通、建筑领域电气化率分别达到**54%、81%、79%**。
- **电制燃料及原料技术实现深度电能替代。**预计2060年我国氢产量达到**6000万吨**，电解水制氢、电制氨、电制甲烷成本大幅下降。



工业领域能源消费情况



交通领域能源消费情况

3.4 碳中和关键技术与潜力



3 能源互联技术

- **能源互联技术**是清洁能源大规模优化配置的基础，包括特高压交直流、柔性交直流等先进输电技术及大规模储能技术。
- **先进输电技术**：特高压交流输电技术将向低成本、低损耗、智能化等方向发展；特高压直流输电技术的电压等级、输送容量、可靠性和适应性水平将不断提高，成本进一步降低。
- **大规模储能技术**：

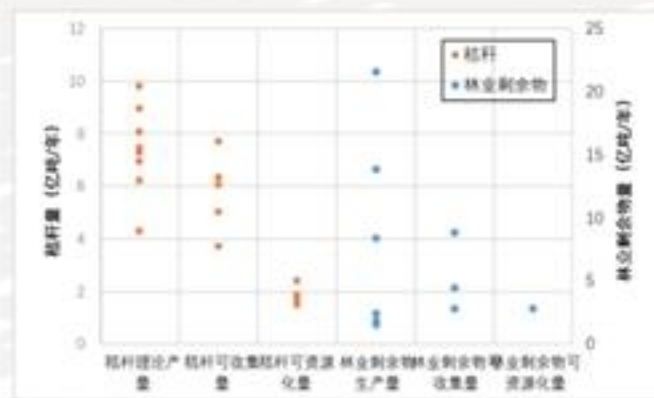


特高压输电主要技术特点

预计2050年抽水蓄能、电化学储能装机容量将分别达到**1.7亿、6亿千瓦**，氢储能实现效率提高至**60%~65%**。

4 碳捕集、利用与封存及负排放技术

- **二氧化碳捕集、利用与封存 (CCUS)**是指将二氧化碳从排放源中分离后捕集、直接加以利用或封存以实现二氧化碳减排的过程，主要包括碳捕集、输送、封存和利用技术。预计到2060年，CCUS技术二氧化碳移除能力超过**5亿吨/年**。
- **负排放技术**主要包括生物质碳捕集与封存 (BECCS)、直接空气捕集 (DAC)、土地利用变化和林业 (LULUCF) 碳汇。预计2060年BECCS将实现每年**4.3亿吨** CO₂ 负排放、LULUCF碳汇潜力达到**10亿吨**以上。



中国生物质资源潜力



保障电力系统安全可靠运行，是我国能源安全的核心。未来电力系统呈现“三高、双峰”特征，依靠技术创新、科学规划、协调运行，系统的充裕性、安全性能够得到有效保障。

1 充裕性

未来，以风光等为主的新能源装机占比大幅增加，定位由补充电源转变为主力电源，作为市场主体参与电力电量平衡，新能源资源的波动性、随机性和不确定性给高比例清洁能源系统充裕性带来挑战。

- **灵活性：**挖掘灵活性资源潜力，提升系统调节能力
- **电网互联：**发挥跨地区清洁资源互补效益，减少弃风弃光；发挥跨地区负荷错峰效益，降低系统备用需求
- **需求侧资源管理：**构建有序化、聚合化、市场化的需求侧资源管理体系，引导电力需求侧资源积极参与系统调峰

2 安全性

未来电力系统呈现“三高、双峰”特征，由于新能源作为一次能源的不可控性，电力电子装置的低惯性、弱抗扰性、多时间尺度响应等特性，以及受端电源“空心化”等问题，电力系统安全稳定运行面临一系列挑战。

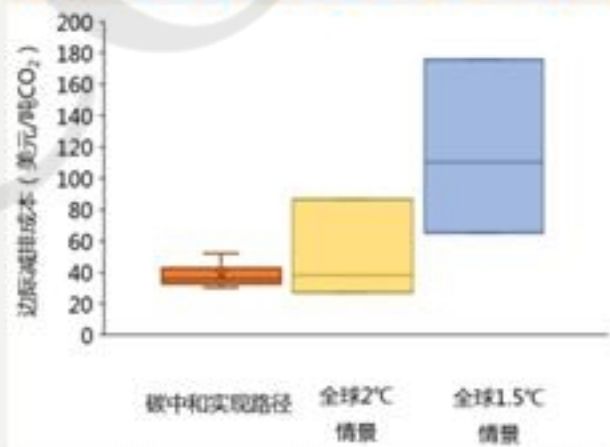
- **电源侧：**保持一定规模同步机组；适量发展燃气、燃氢和光热发电；配置同步调相机；提升新能源发电设备的电网支撑能力
- **电网侧：**加强交流网架结构，配置柔性交流输电设备，推进柔性直流技术应用
- **负荷侧：**发挥需求侧响应作用，合理配置电化学储能

3.6 投资成本分析

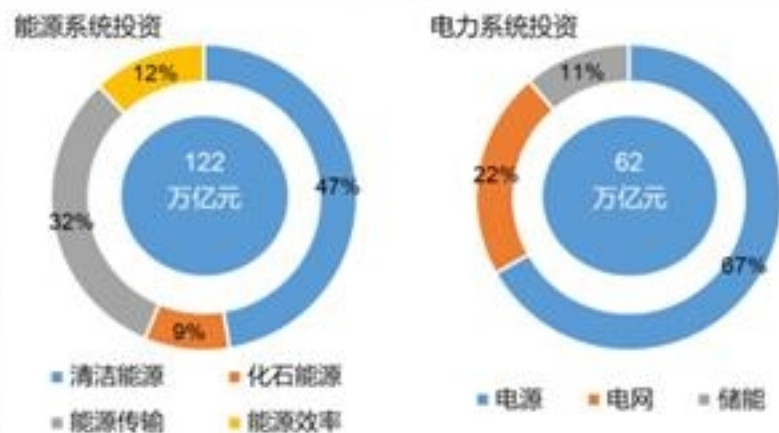


基于中国能源互联网实现碳中和目标，具有**边际减排成本低、能源系统投资少的经济性优势。**

- **减少碳中和成本。**建设中国能源互联网实现碳中和的全社会边际减排成本为**258元/吨二氧化碳**，低于全球1.5°C方案（约700元/吨二氧化碳）。电网互联互通能够大规模应用减排成本低的光伏、风电等清洁发电技术。建立大规模、跨区域的电力传输和交易网络能够帮助清洁能源优化配置，提升能源系统安全性，并降低碳减排成本。
- **降低能源系统投资。**预计2020~2060年我国能源电力系统累积投资约**122万亿元**，以占GDP不到**1.2%**的投资实现从以化石能源为主导到清洁能源为主导的能源体系变革。其中清洁能源投资占比近1/2，化石能源、能源传输、能源效率投资分别约占9%、32%和12%，清洁能源投资是化石能源投资的5倍。



碳中和实现路径与全球主流情景边际减排成本比较



2020~2060年碳中和实现路径能源电力系统
累计投资及占比

3.7 与现有模式延续情景比较



- 大幅提升碳减排成效：减排速度更快、减排力度更大，发挥全球气候治理引领作用。**到本世纪中叶，能源相关碳排放、单位能耗碳排放量、单位GDP碳排放强度，分别为现有模式延续情景的**1/6、1/5、1/6**。累计多减排二氧化碳**超过2000亿吨**，对全球减排贡献达**1/3左右**。
- 加快能源清洁转型进程：发展规模上**，到2060年，我国清洁能源占一次能源消费比重达**90%**，清洁能源装机达到**76.8亿千瓦**，是现有模式延续情景的**2倍**。**发展速度上**，2030~2060年，清洁能源占比年均提高**2个百分点**，是现有模式延续情景的**2.5倍以上**。
- 提升全社会电气化水平：发展规模上**，2060年电能占终端能源消费比重达到**66%**，全社会用电量达到**17万亿千瓦时**，分别是现有模式延续情景的**1.7和1.3倍**。**发展速度上**，2030~2060年，终端电气化率每年提高**1.1个百分点**，全社会用电量增速达**1.6%**，分别是现有模式延续情景的**2.8倍和1.3倍左右**。

碳中和实现路径与现有模式延续情景比较主要指标

领域	指标	现有模式延续情景		基于中国能源互联网的碳中和实现路径	
		2030年	2060年	2030年	2060年
碳排放	碳中和	2060年前无法实现		2060年前	
	能源活动排放 (亿吨二氧化碳)	115	82	95.8	0
能源	消费总量 (亿吨标准煤)	62	65	60	59
	清洁占比 (%)	20	42	31	90
电力	电能消费 (万亿千瓦时)	9.5	13.5	10.7	17
	终端电气化率 (%)	27	39	33	66
电源	清洁装机 (亿千瓦)	14	41	26	77
	清洁装机占比 (%)	47.6	78.1	67.5	96.0
终端领域 电气化率	工业 (%)	27	38	34	54
	交通 (%)	5	15	11	81
	建筑 (%)	43	53	49	79



1. 碳中和重大意义与挑战

2. 碳中和总体思路

3. 基于中国能源互联网的碳中和实现路径

4. 碳中和重点行动

5. 碳中和综合效益

4 碳中和重点行动



实现碳中和是全国层面集政策机制、方案行动、重大工程于一体的开创性系统工程。为落实碳中和目标，需要国家统一部署，在能源、工业、交通、生态、环境等关键领域开展八大重点行动，凝聚转型动力、形成发展合力，从政府、行业、企业、个人等多层面推动落实。



4.1 清洁发展跨越行动



按照集约高效、优化布局的原则，以集约化开发建设大型清洁基地为重点，大力发展太阳能发电和风电，积极开发水电，安全有序发展核电，重点规划开发18个大型太阳能发电、21个大型陆上风电、7大流域水电基地，全面提速我国清洁能源开发规模和速度。

- **全面提速太阳能开发。**到2030年、2050年和2060年，光伏总装机分别达到10亿、32.7亿和35.5亿千瓦，光热总装机分别达到0.25亿、1.8亿和2.5亿千瓦，形成集中式与分布式并举开发格局。
- **集约高效开发风电。**到2030年、2050年和2060年，风电总装机分别达到8亿、22亿和25亿千瓦，形成西北陆上、东南海上风电并举格局。
- **积极稳妥开发水电。**到2030年、2050年和2060年，常规水电总装机分别达到为4.4亿、5.7亿和5.8亿千瓦，形成西南水电集约开发格局。
- **安全有序发展核电。**到2030年、2050年和2060年，核电总装机分别达到1.1亿、2亿和2.5亿千瓦。



清洁发展跨越行动路线图

4.2 化石能源转型行动



按照清洁低碳、结构优化的原则，以严控煤电规模、优化气电功能和布局为重点，合理有序减少化石能源利用，发展碳循环及非能利用技术产业，促进煤油气主要用作原材料，更好地发挥化石能源基础设施和能源资源的经济社会效益。

- **严控新增煤电，淘汰落后产能。** 力争2025年煤电达峰，峰值**11亿**千瓦。2030年控制煤电下降至10.5亿千瓦，2060年煤电装机**全部退出**。
- **推动煤电转型，有序实现改建。** 循序推进燃氢发电、生物质能掺烧等形式替代煤电，到2050年燃氢发电装机1亿千瓦；到2060年，燃氢发电装机增长至2亿千瓦。
- **科学发展气电，发挥调峰作用。** 到2030年、2050年和2060年，气电装机分别达1.85亿、3.3亿和3.2亿千瓦。
- **降低燃油消耗，推动非能利用。** 力争石油消费2030年左右达峰，峰值**10.6亿**吨标准煤，到2060年下降至约2.2亿吨标准煤。



化石能源转型行动路线图



4.3 能源互联互通行动

按照广域配置、统筹兼顾的原则，以构建东、西部特高压同步电网和全国电-碳市场为重点，通过构建特高压骨干网架促进清洁能源大规模开发和高效消纳，加快打造全国零碳能源优化配置平台。

- 加快建设以特高压为骨干网架的东部、西部两个同步电网，加强与周边国家互联互通，形成“西电东送、北电南供、多能互补、跨国互联”的电网总体格局。2030年，形成东部“九横五纵”、西部“三横两纵”格局；2050年，全面建成坚强可靠的东部、西部同步电网；2060年，电网配置能源进一步提升。
- 构建中国电-碳市场。到2030年，实现电力与碳市场整体融合，推动市场繁荣。2050年前，加强市场全面建设，完善加强各项机制实施，形成完整的电-碳市场管理体系。



能源互联互通行动路线图



4.4 全面电能替代行动

按照技术引领、经济高效的原则，以更大领域的电能替代和发展电制原材料及燃料为重点，加快形成以清洁电力为基础的工业、交通、商业、居民生产生活体系，以能源利用环节的电气化促进全社会脱碳。

- **工业领域。** 钢铁领域发展电炉钢、氢能炼钢，2030年电气化率相比2017年提高11个百分点；化工领域发展电制原材料技术，2050年氢产量达到**5000万吨**。
- **交通领域。** 公路运输加快电动汽车、氢燃料电池汽车发展，到2060年，电动汽车保有量约**3.9亿辆**，替代率超过**90%**；加快高速电气化铁路建设和改造，加快电动飞机等技术发展。
- **建筑领域。** 采暖领域推广热泵、蓄热式电锅炉、氢能采暖，2030年，供暖领域电气化率达到**20%**以上，2050年整体提升系统与设备效率；推广电炊事技术、使用电热水器。



全面电能替代行动路线图

4.5 产业转型升级行动



Global Energy Interconnection
Development and Cooperation Organization
全球能源互联网发展合作组织

按照创新引领、优化布局、提质增效的原则，以能源产业转型升级带动战略性新兴产业和高端装备制造业发展，促进传统高耗能高污染产业低碳转型，加快产业结构优化升级和现代化经济体系建设，实现经济绿色低碳、高质量发展。

- **着力培育战略性新兴产业。**到2030年，战略性新兴产业占GDP比重超过**20%**，初步实现产业基础高级化、产业链现代化；到2060年，战略性新兴产业实现全面领跑。
- **优化传统高耗能产业格局。**到2030年，六大高耗能行业占工业增加值比重降至**20%**左右；到2060年，高耗能行业能效水平达到全球领先，建成低碳生产体系。
- **全面加速优化产业结构。**以知识技术密集型行业和生产性服务业成为主导，实现产业结构全面优化调整和绿色低碳转型。到2030年、2050年、2060年，服务业吸纳就业人口比重分别超过**60%、70%、75%**。



产业转型升级行动路线图



4.6 能效综合提升行动

按照效率优先、综合集成的原则，大力推动发电及工业、交通、建筑等终端领域的能源效率提升，加快构建综合能源服务完整产业链，形成绿色集约化能源生产及消费模式，促进能源各领域提质增效。

- ▶ **提升终端领域能源效率。**到2030年，工业生产流程智能化水平显著提升，新能源汽车应用场景全面突破，绿色建筑技术、装备和产业体系蓬勃发展。到2060年，全面优化能源使用体系，工业、交通、建筑领域能源强度分别较当前下降**超过20%、40%和60%**。
- ▶ **创新开展综合能源服务。**到2030年，形成电、热、冷、气、氢等多种能源优化布局、高效利用新模式。到2050年，普及园区、城市、区域综合能源系统，助力节能改造、满足终端用户多元化需求。到2060年，打造社会综合能源服务生态圈，实现集成式服务。



能效综合提升行动路线图



4.7 零碳社会建设行动

按照理念先行、全面普及的原则，以在城市与农村建设能源互联网为重点，通过零碳城市建设、美丽乡村建设以及低碳生活方式普及，打造集清洁能源、绿色设施、低碳农牧一体的发展模式，全面形成绿色、零碳、循环的经济社会发展方式。

- **遵循绿色理念，建设零碳城市。**到2030年，打造多类零碳城市新模式，建设零碳城市（区、县）超过300个。到2050年，以点带面加速建设零碳城市，实现普及率超过90%。到2060年，完成零碳城市全面普及。
- **发展低碳农牧，建设零碳农村。**到2030年，实现东中部地区首批农业农村零碳化。到2060年，全面普及零碳农村。
- **转变传统思维，推广低碳文化。**到2030年，建立绿色GDP发展导向。到2060年，将低碳理念融入到生活、工作的各个领域，形成零碳经济社会发展新形态。



零碳社会建设行动路线图



4.8 生态治理协同行动

按照开发和保护并重、防治和修复结合的原则，以能源-生态创新发展模式为重点，将中国能源互联网与基于自然的解决方案发展理念深度融合，实现荒漠化土地防、治、用有机结合，以清洁能源开发促进自然增汇和负排放，推动经济、社会、环境全面协调发展。

- “光伏治沙”促进荒漠土地恢复。实施“板上发电、板下种植、板间养殖”的模式，到2030年、2050年、2060年，在西北地区治理荒漠化土地分别达**7000、2.3万、3万**公顷。
- “电-水-土-林-汇”模式推动植树造林与土壤固碳。到2050年，通过“电-水-土-林-汇”模式提升干旱地区土壤固碳能力，实现累积增加土壤固碳超过**40亿**吨。到2060年，累积增加土壤固碳超过**50亿**吨。
- 因地制宜发展生物质碳捕集与封存。到2030年，开发BECCS示范试点项目，实现年捕集量超过**1000万**吨二氧化碳。到2060年，年捕集量超过**4亿**吨二氧化碳。



生态治理协同行动路线图



1. 碳中和重大意义与挑战

2. 碳中和总体思路

3. 基于中国能源互联网的碳中和实现路径

4. 碳中和重点行动

5. 碳中和综合效益

5.1 实现碳中和的综合效益

建成中国能源互联网实现碳中和目标，标志我国全面形成零碳能源体系，迈入可持续发展新阶段，对经济发展、能源安全、生态环境、社会民生均产生巨大协同效益。至2060年，通过拉动经济增长、减少化石能源补贴、创造就业、避免气候损失、增加健康协同效益，**创造社会福利累计约1100万亿元，相当于1元的能源投资能获得9元的社会福祉。**



相当于1元的能源投资能获得
9元的社会福祉

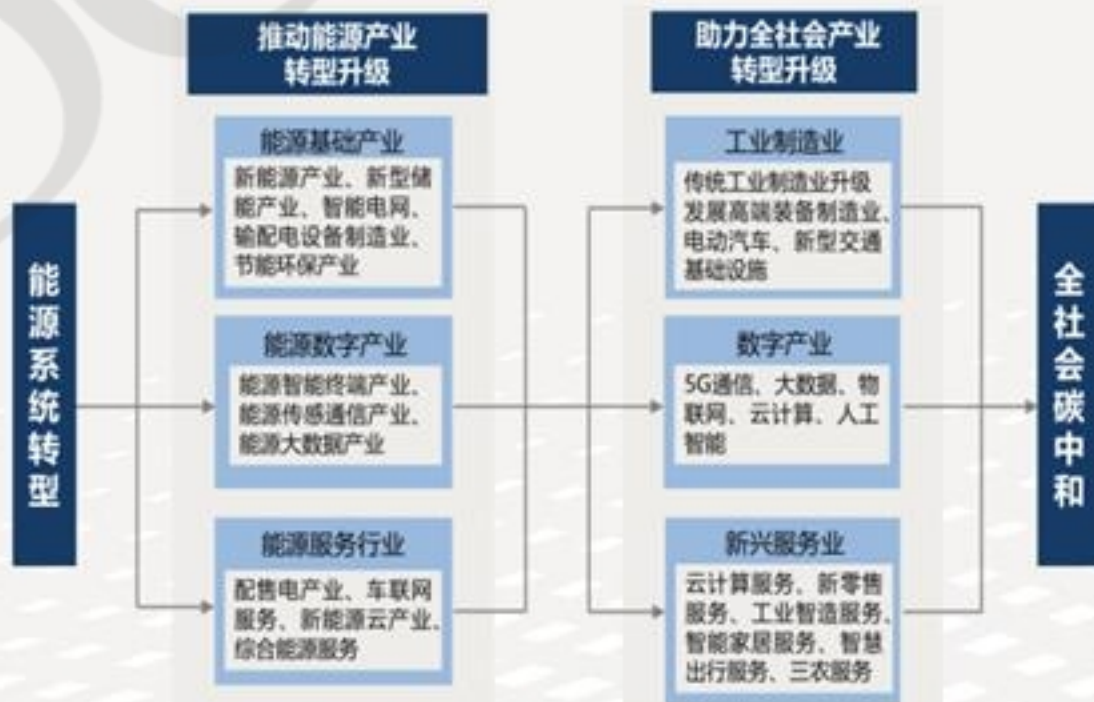
能源系统投资	122	万亿元
拉动全社会投资	410	万亿元
对经济增长的贡献率	2%	
减少化石能源补贴	174	万亿元
创造大量就业岗位	1	亿个
减少气候损失	31	万亿元
减少二氧化硫排放	1576	万吨/年
减少氮氧化物排放	1453	万吨/年
减少细颗粒物排放	427	万吨/年
减少死亡人数	2000	万人
减少疾病人数	9600	万人

5.2 经济社会效益



实现碳中和带动绿色投资拉动经济增长，带动上下游产业链发展，创造建设地人力需求，推进战略性新兴产业创新发展，培育经济发展新动能，降低能源成本，保障能源安全。

- **经济发展**：到2060年能源系统累计投资**122万亿元**，带动整体投资规模超过**410万亿元**，对我国GDP增长的贡献率超过**2%**。
- **能源保障**：到2060年，我国清洁能源供应量能够满足**90%**的一次能源需求，单位GDP能耗相比2018年降低**80%以上**，能源自给率提升至**接近100%**，全社会用电成本下降**20%**。
- **创造大量就业岗位**：到2060年，可累计增加约**1亿**就业岗位，促进我国经济社会快速发展。
- **促进东西部协调发展**：带动西部地区人均可支配收入增长，缩小区域发展差异。



碳中和实现路径带动能源产业和全社会产业转型升级

5.3 环境健康效益



我国实现碳中和目标，能够降低气候系统风险，减少气候变化损失，同时降低污染物排放，将带来生态环境的根本改善，并对居民健康有巨大的协同效应。

- **减少气候损失**：相比现有模式延续情景，中国能源互联网碳中和实现路径到2060年能够累计避免气候损失约**31万亿元**。
- **减少环境污染**：到2060年，二氧化硫、氮氧化物、细颗粒物排放分别减少1576万吨、1453万吨、427万吨，分别减排**91%、85%、90%**。
- **保障居民健康**：到2060年，我国空气中细颗粒物浓度相比2015年减少**80%以上**，可避免因室内和室外空气污染、气候变化、极端天气造成死亡人数**2000万例**，累计减少污染相关疾病**9600万例**。



碳减排对人类健康影响的机理框架示意图

实现碳达峰、碳中和是一场广泛而深刻的经济社会系统性变革，党中央明确要求将落实“双碳”目标纳入生态文明建设整体布局。我们需要深入贯彻新发展理念，发挥技术产业和制度体制优势，加快“两个替代”和中国能源互联网建设，尽早将化石能源为主体的传统能源系统转变为以新能源为主体的新型能源系统，加快新技术战略布局，抢占绿色产业制高点，推动建设全国电-碳市场，确保2060年前实现碳中和战略目标，走出一条经济社会环境协调发展的中国特色创新之路。

谢谢!

