2060年
世界与中国能源展望

（2021版）



中国石油经济技术研究院

前　言

应对气候变化需要全人类共同相向努力、需要多种能源协同发展。从世界看中国、从能源看油气，展望中长期能源发展趋势，为读者提供一个理解未来能源系统的全新视角，是我们研究和编写本报告的初衷，希望能引发业界对未来能源发展的思考与讨论，为国家能源战略和能源企业发展规划的制定提供参考。

本报告分为两个部分：世界能源展望部分与中国能源展望部分。

中国石油经济技术研究院

2021年12月26日

目录 CONTENT

世界部分

3	情景设定
13	参考情景
20	合作减排情景 （重点描述）
21	一次能源
27	终端部门用能
41	石油
43	天然气
47	煤炭
50	电力与非化石能源
54	主要结论
56	博弈减排情景
68	几点启示







情景设定

情景设定

2021年是碳减排进程中具有里程碑意义的一年。多种因素交织推动全球能源发展迈入新阶段，应对气候变化成为全球能源发展重要任务，能源清洁低碳转型趋势愈加强烈。承诺碳中和的国家已覆盖全球74%的温室气体排放，更多国家出台更加清晰的减排路线图。但是应对气候变化任重道远，需要汇聚全人类智慧和力量，共同设计整体最优减排路径和方案，出台更加有效的一致性政策措施，各种力量和因素发挥最大相向作用，各种减排技术充分优化发展。

然而，目前国际社会发展环境非常复杂，面临各种不稳定不和谐因素，甚至可能出现逆全球化乃至发生激烈对抗；减排目标和认识也并不完全一致，一些国家和地区实行竞争性、博弈性政策措施，导致不同国家和地区发展进度差异较大。

鉴于此，今年的报告中，世界部分设立了参考情景、合作减排情景、博弈减排情景，对不同环境下世界能源发展进行展望。

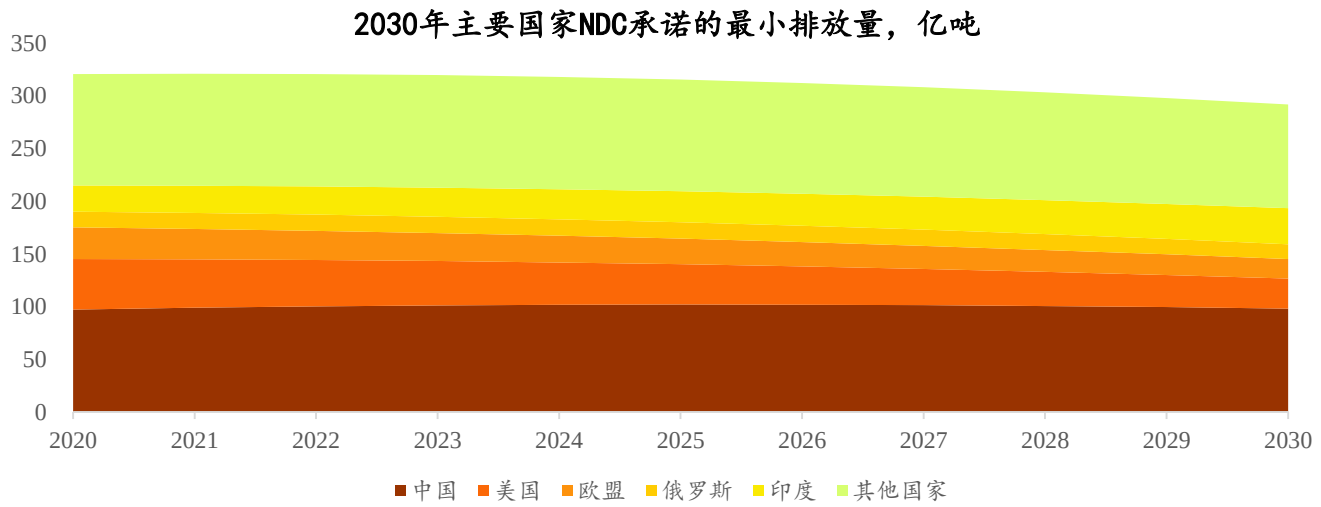
情景设定

- 不同情景的说明如下：

情景名称	情景设定基本说明
参考情景	按目前各国正在实施或已经确定将要实施的政策发展。不包括各国已经宣布减排承诺但还没有具体实施政策的内容。
合作减排情景	在应对气候变化问题上，国际社会充分合作，汇聚全人类力量和智慧。各国相互信任、优势互补、互通有无互相支撑、技术信息充分共享、共同设计全球最佳减排路径、各自贡献最大努力；各能源行业、能源企业以实现整体减排为目标，与整体减排目标高度融合，实现整体减排路径最优化；生产、生活方式不断与减排要求相一致。
博弈减排情景	主要国家承诺减排各自努力，但各国间不充分信任，不充分合作，对低碳转型的技术、经验和资本进行阻挠，甚至把减排作为地缘政治工具。 各能源行业、能源企业以自身利益最大化为出发点，有选择性地推进转型步伐；全社会没有形成减排的统一思想，缺乏自觉的绿色低碳生产、生活方式。

参考情景说明

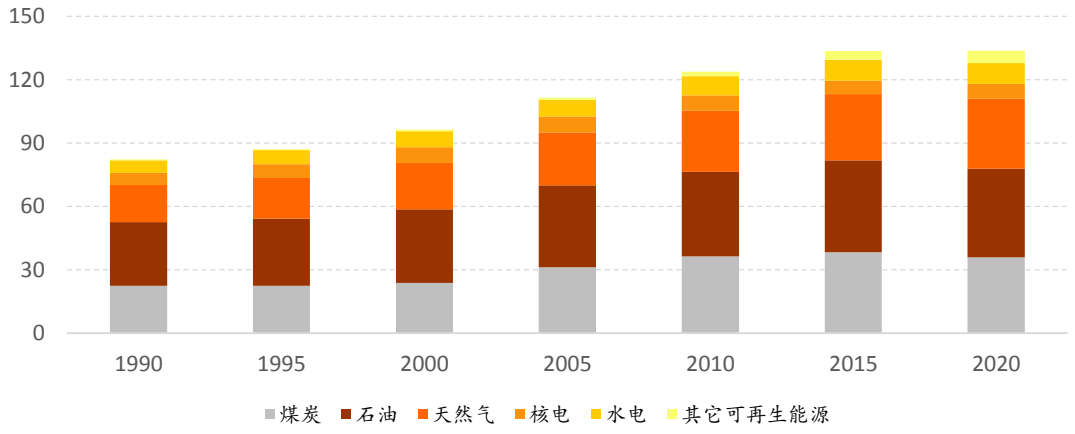
- 参考情景主要表征能源相关的政策约束、技术进步以及消费理念等保持不变情况下的世界能源发展图景，不包括各国已经宣布未实施的减排承诺以及没有具体实施政策的NDC（国家自主贡献）。
- 目前，全球大多数国家发布雄心勃勃的减排计划和承诺。但从承诺（包括NDC）到具体的政策措施再到承诺的实现，面临各种挑战，实际减排可能与承诺大相径庭。



参考情景说明

- 近年来，能源的清洁低碳化逐渐成为全球共识，国际社会不断出台推动能源清洁低碳化的政策措施，参考情景下能源的清洁低碳化转型力度也较大。
- 世界能源低碳化转型趋势显著。可再生能源快速增长，非化石能源占比上升。2020年全球非化石能源占比近17%，比2015年高近2个百分点，比2019年提高1.1个百分点。2020年全球一次能源需求略高于2015年，比2019年下降4.3%；化石能源比2015年下降1.9%，比2019年下降5.6%；而非化石能源比2015年增长11%，比2019年增长2.6%。

近年来世界一次能源需求发展趋势，亿吨标油



合作减排情景说明

合作减排情景是基于国际社会充分尊重全球碳排放空间的共一性以及全球化、历史排放事实，把减排作为共同的任务应对，坚持共同但有区别的责任和各自能力原则下，充分结合各国国情，共同设计最优减排路径，制定一致性强化行动政策，共同打造美丽地球村。

截至2021年11月15日，全球承诺碳中和的国家和地区已达147个。其中已实现碳中和的有2个，已立法的有13个，拟议立法的3个，53个已政策宣示。

- 合作减排情景下，各国间加强合作，充分分享和交流低碳技术和转型经验，适应低碳发展的产业链供应链优化布局调整，助力各国加快低碳转型步伐。
- 合作减排情景下，各行业以绿色低碳转型为理念，有序实施传统基础设施的绿色低碳和数字化智能化升级改造，推进新旧能源有序转型、智慧化升级。
- 合作减排情景下，经济社会低碳转型遵循“现有条件最优减排原则”，根据已有或最有可能的技术和经济社会发展趋势，制定最优化减排路线。
- 合作减排情景下，全社会以构建人与自然命运共同体为己任，节约低碳理念深入人心，绿色低碳生产生活方式加快形成。

博弈减排情景说明

博弈减排情景下主要国家按照自主承诺的减排力度推进低碳转型，但各国间不充分信任、不充分合作，低碳技术经验面临封锁，低碳技术进步和应用推广节奏放缓，减损各国减排努力、减缓全球减排进程。

气候行动追踪机构最近的报告指出，承诺净零排放的国家中只有6%有可接受的、稳健的国家净零排放目标。

- 博弈减排情景下，部分国家把低碳减排作为实现本国利益最大化的政治工具，利用其低碳技术和先排优势，设置碳关税等贸易壁垒，导致竞争性、博弈性的减排环境，损害合作减排基础和机制。
- 博弈减排情景下，各国能源行业、能源企业以自身利益最大化为出发点，有选择性地促进相关技术投资和技术布局，扭曲整体转型最优路径。
- 博弈减排情景下，低碳转型经验、技术推广和互联互通受阻，减缓绿色低碳生产生活方式的形成。

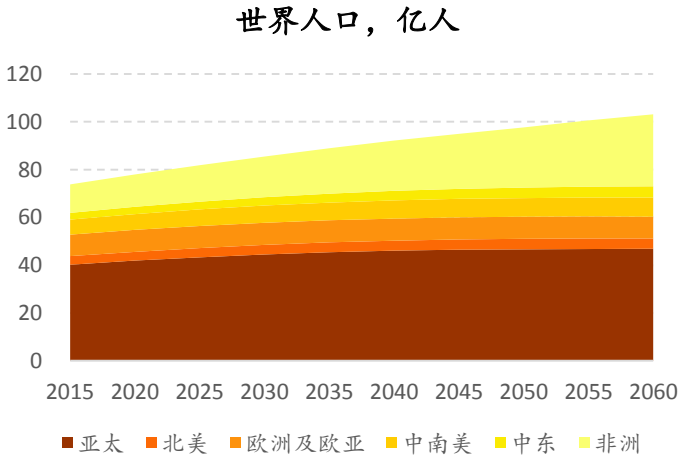
不同情景主要参数

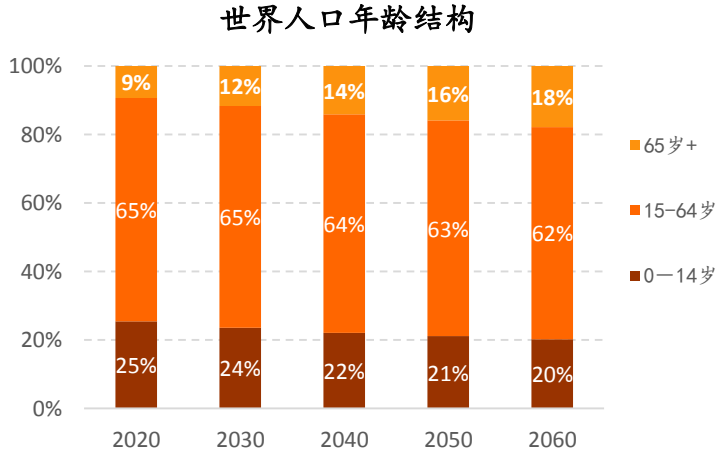
不同情景主要参数如下：

情景名称	参考情景	合作减排情景	博弈减排情景
经济社会	2060年世界人口将达到103.2亿，2015-2060年年均增长0.7%； 世界经济将达到237万亿美元，2015-2060年年均增长2.6%。		
能源效率	2060年主要行业能效提高30%。	2060年主要行业能效提高35%。	2060年主要行业能效提高25%。
技术发展	CCUS技术2040取得重大进展，全球应用规模不断提升； 可再生能源发电竞争力稳步提升，应用规模不断扩大； 大规模储能技术2040年取得突破，应用规模不断扩大； 新能源汽车2030年后应用规模快速扩大。	CCUS技术2035年取得重大突破，在全球大规模推广应用； 可再生能源发电竞争力持续大幅提高，全球大规模推广应用； 大规模储能技术2030年后取得重大突破，大规模推广应用； 新能源汽车竞争力持续提升，应用规模持续快速扩大。	CCUS技术2045年后取得显著进展，在全球大规模推广应用； 可再生能源发电竞争力稳步提升，应用规模逐渐加速扩大； 大规模储能技术2045年取得突破，应用规模不断扩大； 新能源汽车2030年后应用规模快速扩大。
碳排放约束	无约束	排放路径处于1.5℃和2℃温控路径之间。	各国按照自身的实际推进减排。

世界人口持续增长

- 经济发展、科技进步推动人们生活水平不断提高、生活环境变好、医疗水平提升，有利于发展中国家人口增长，带动全球人口增长。
- 2060年世界人口将达到103.2亿，比2015年增长39.8%，2015-2060年年均增长0.7%，其中非洲和亚太地区分别增长18.3亿与6.6亿，合计贡献世界新增人口的84.9%。
- 2060年，世界劳动力人口（15-64岁）占比61.9%，较2020年下降3.3个百分点。

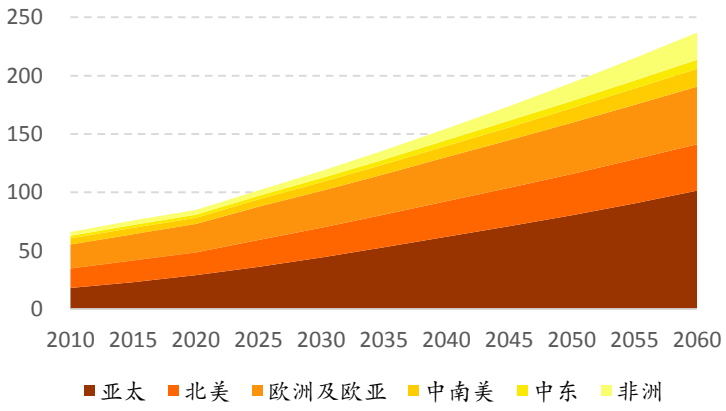




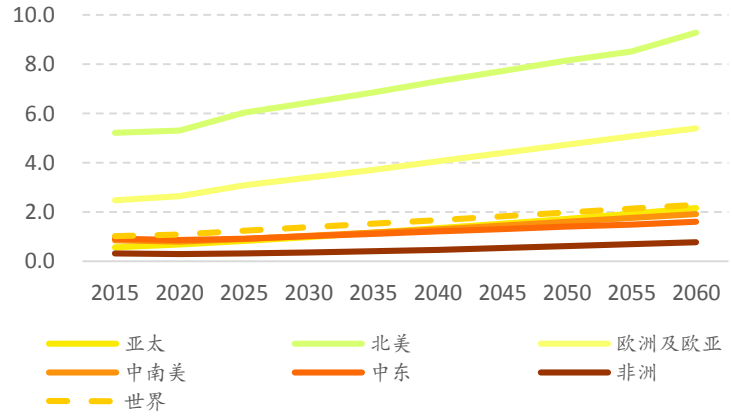
世界经济稳步增长

- 科技进步和人口增长拉动世界经济持续增长。经济的波动增长规律没有改变，疫情过后，经济快速反弹，长期呈波动增长趋势。2060年世界经济将达到237万亿美元，比2015年增长212.5%，2015-2060年年均增长2.6%。
- 增量的近一半（48.6%）来自亚太地区，其占比从2015的30.5%持续上升到42.8%。北美从24.5%下降到16.9%，欧洲及欧亚从29.5%下降到20.8%，非洲从5%上升到9.9%。人均GDP差距持续扩大，从2015年的5万美元上升到8.5万美元。

世界经济（GDP）增长趋势，万亿美元



分地区人均GDP，万美元/人



2

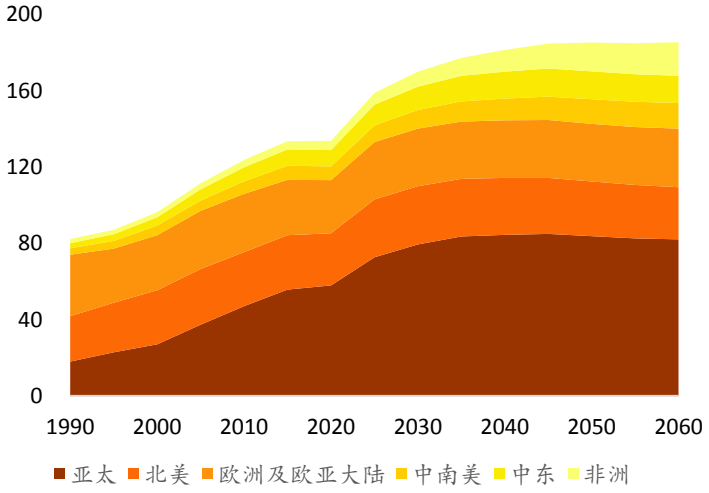
参考情景

参考情景

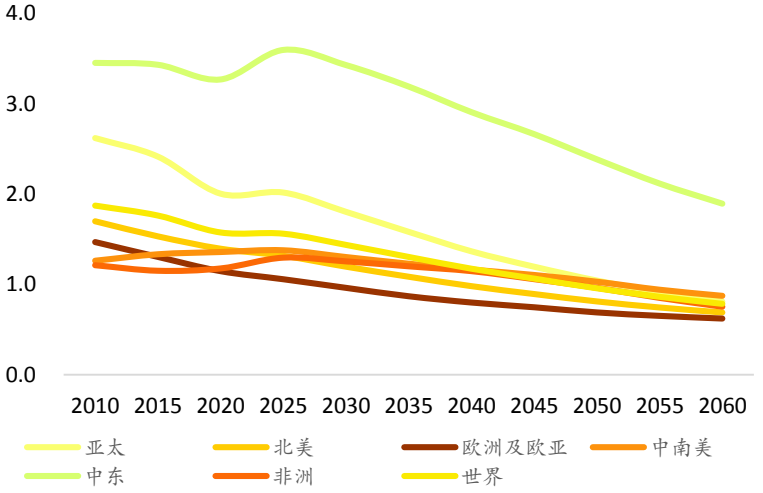
世界一次能源需求持续增长，能源消费强度不断下降

- 发展中国家的现代化工业化推动世界能源需求不断增长，**2060**年，世界一次能源需求达**185.4**亿吨标油，**2015-2060**年年均增长**0.7%**，其中亚太地区贡献增量的一半。
- 能效技术的不断进步及推广应用，节能意识的不断增强等推动能源消费强度不断下降，**2060**年降至**0.78**吨标油/万美元，年均下降**1.8%**。

参考情景一次能源需求，亿吨标油



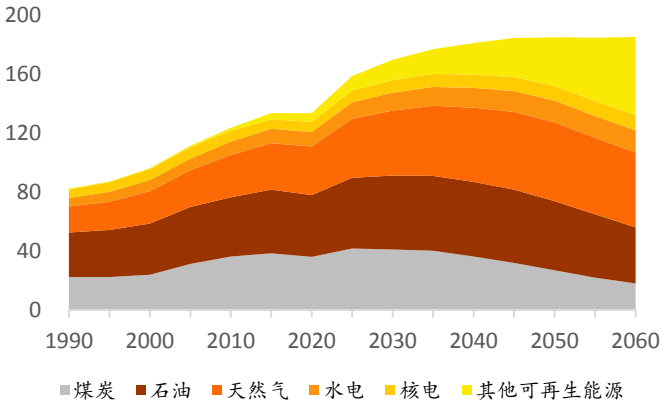
参考情景分地区能源强度，吨标油/万美元



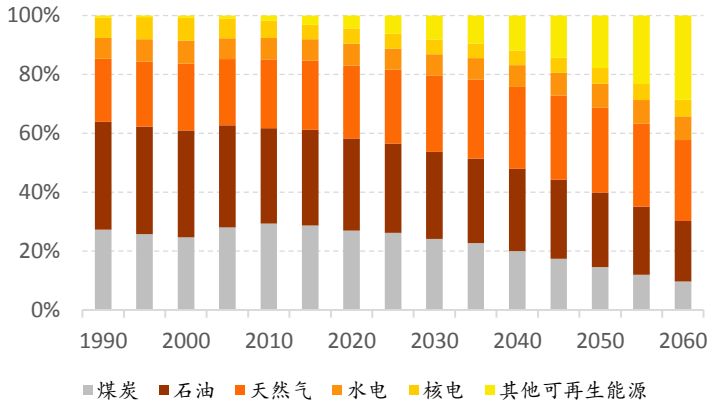
非化石能源较快增长，化石能源持续保持主体地位

- 过去三十年，非化石能源年均增长**2.1%**，占一次能源消费的比重从**1990**年的**14.7%**增至**2020**年的**17%**。
- 未来，随着新能源技术的不断进步，非化石能源增速将进一步加快，展望期内将达**3%**左右，高于一次能源消费增速**2.3**个百分点，届时非化石能源占比将达**42.3%**，较**2020**年提升**25.3**个百分点。

参考情景一次能源需求，亿吨标油

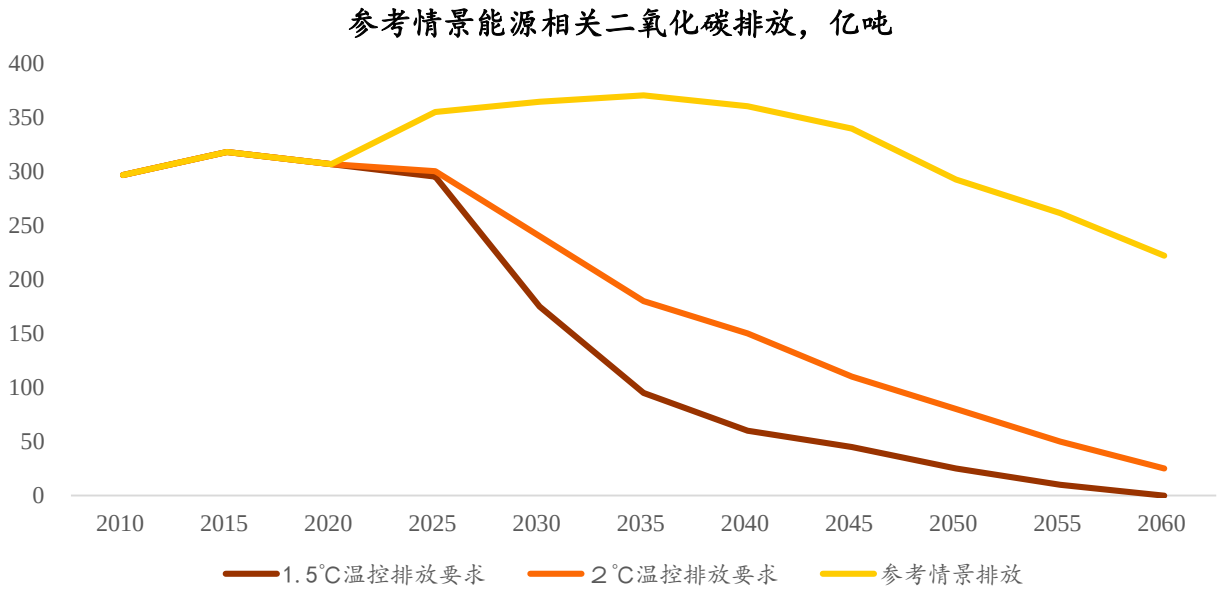


参考情景一次能源结构



能源相关二氧化碳排放远不能达到2度温控目标要求

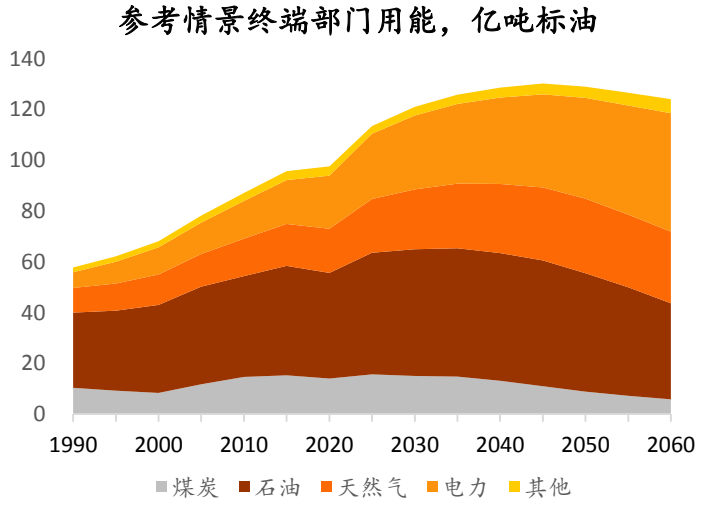
- 虽然节能和能效不断发展，能源快速转型，低碳零碳负碳技术不断进步，但远不能达到《巴黎气候协定》提出的目标，需要各国推进更大力度更快速度的低碳转型。
- 全球能源相关二氧化碳排放持续攀升到**2035**年前后**370**亿吨左右的峰值，之后缓慢下降，**2060**年仍达**222**亿吨。

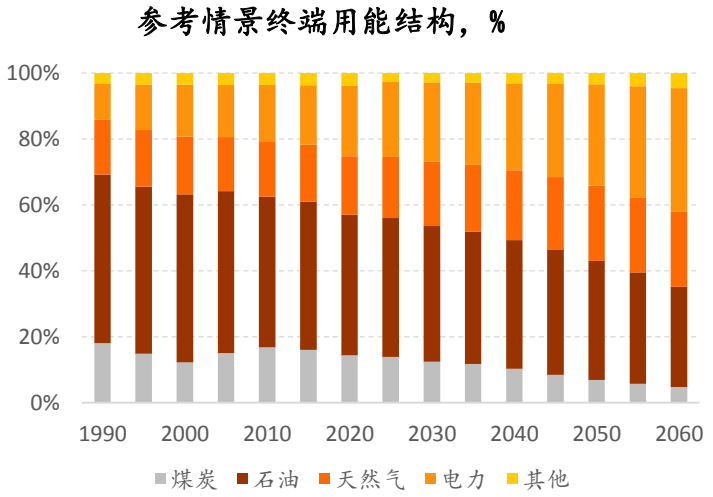


注：1.5和2℃温控目标线是根据IPCC报告作的能源相关二氧化碳排放的示意图

终端电气化水平将不断提高

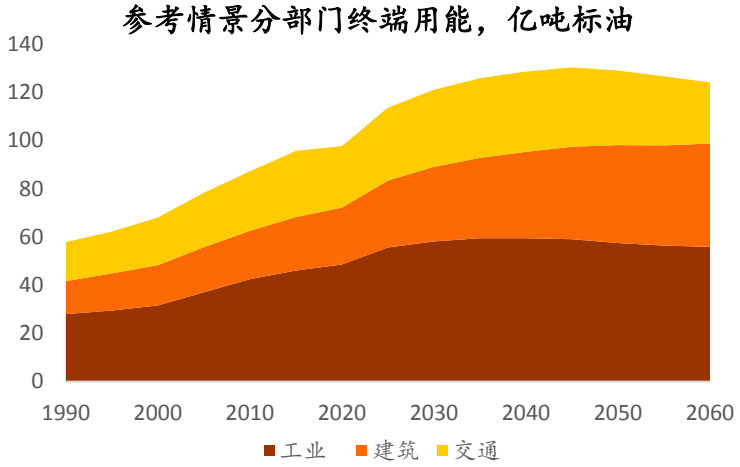
- 生产、生活方式转变以及数字化智能化电器的大量应用导致电力需求大幅增加，使终端部门电气化快速提升。
- **2060年，终端用能结构中，电力占37.6%，比2015年提高19.5个百分点；而石油、煤炭、天然气等化石能源直接利用比重分别为30.4%、4.8%、22.7%，较2015年下降14.6、下降11.2和提高5.5个百分点。**

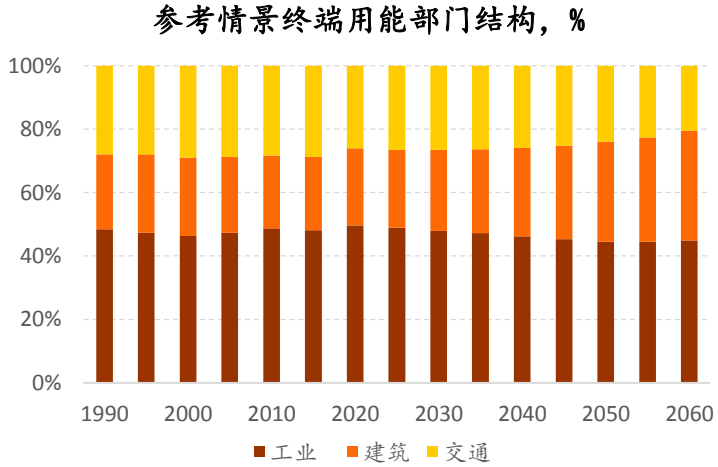




建筑部门用能占比不断上升

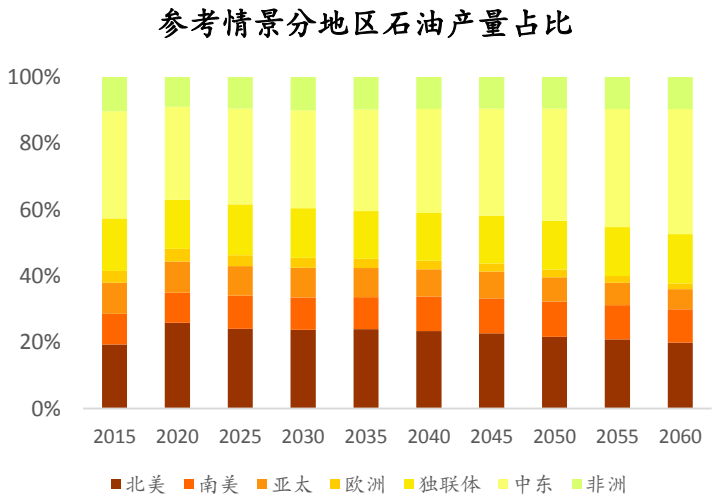
- 电气化的持续推进以及生产生活方式的集约化转变，使得终端用能增速减缓，并于**2045-2050**年间达峰，之后相对平稳，**2060**年为**124**亿吨标油，比**2015**年增长**30%**。
- 分部门看，随着生活水平提升，建筑部门用能持续增长，占比不断提高；而工业和交通部门用能**2040**年前后达峰。到**2060**年，建筑部门用能**43**亿吨标油，占比**35%**，比**2015**年提高**12**个百分点；工业和交通部门分别占比**45%**和**20%**，分别下降**3**和**9**个百分点。

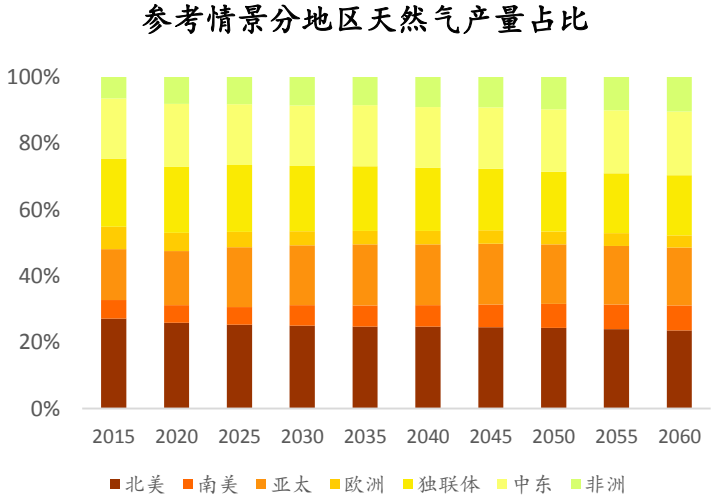




中东石油产量占比越来越大

- 随着北美、南美等地原油产量回落，展望后期中东等低成本资源地区优势凸显，产量占比不断提高。**2060**年，中东石油产量**14.4**亿吨，占全球石油总产量的近**38%**，比**2015**年上升近**6**个百分点。
- 天然气资源分布相对均衡，各地区产量占比相对稳定。





3

合作减排情景

合作减排情景

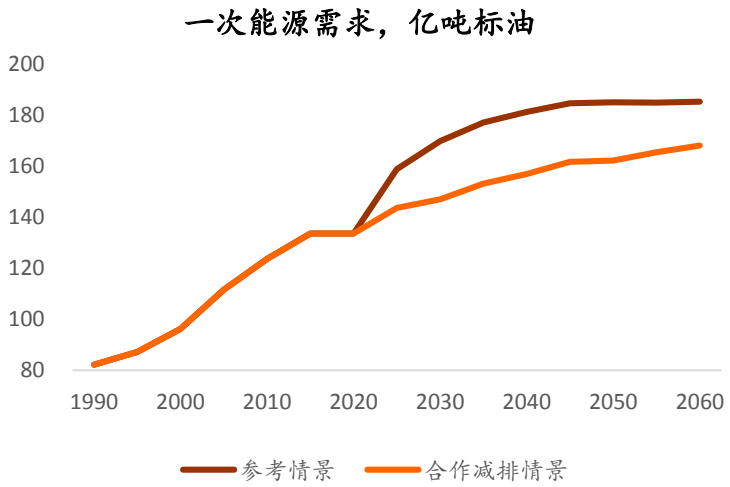
3.1

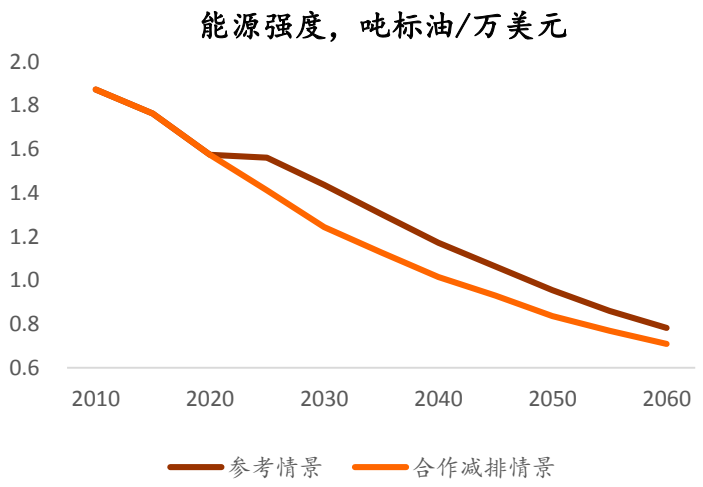
一次能源

合作减排情景

一次能源需求增速减缓，能源消费强度加速下降

- 全球能效技术水平提升加速，经济运行更加优化，电气化大幅提升，新材料应用、废物循环利用力度加大，循环节约生产方式加快推进，线上线下融合发展，绿色低碳生活方式加快形成等，促进能源消费强度加快下降，一次能源消费增速减缓。
- **2060年，世界一次能源需求达168.2亿吨标油，2015－2060年年均增长0.5%；能源强度0.71吨标油/万美元，年均下降2.0%。**

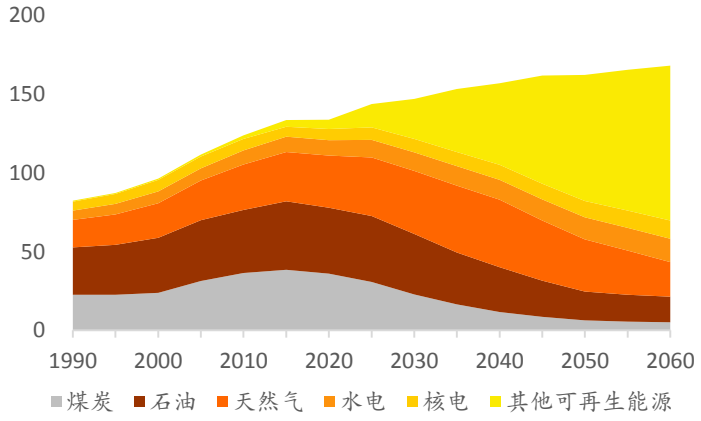




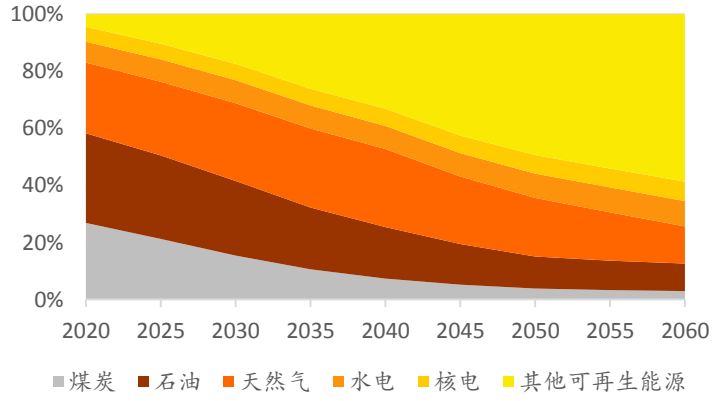
2040-2045年间非化石能源占比超过化石能源

- 各国因地制宜大力发展可再生能源，全球技术共享、资金优化流动、资源互补，化石能源行业、企业积极有序转型；消费者行为持续改变，购买零排放汽车、加装太阳能等意愿增强，推动能源低碳化转型。
- **2060**年非水可再生能源达**98.6**亿吨标油，占一次能源的比例达**58.6%**，比**2015**年提升**55.4**个百分点；非化石能源**125**亿吨标油，占比达**74.3%**，比**2015**年增加**59**个百分点。
- 化石能源于**2021-2025**年间达峰，之后快速下降；**2040-2045**年间非化石能源占比超过化石能源。

合作减排情景一次能源需求，亿吨标油

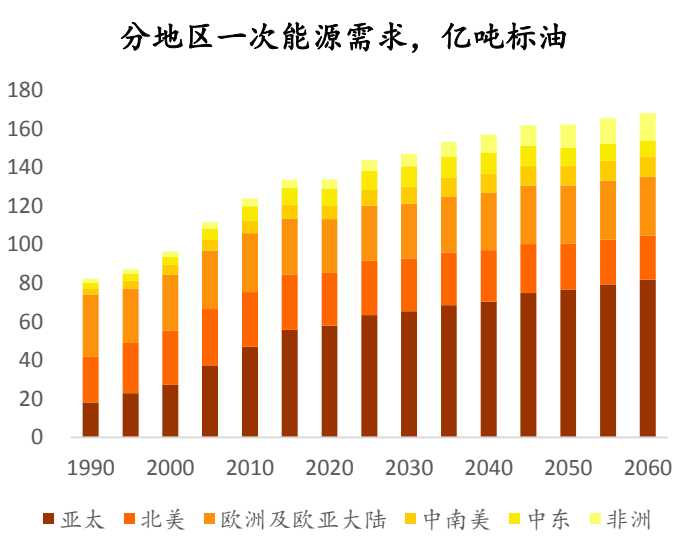


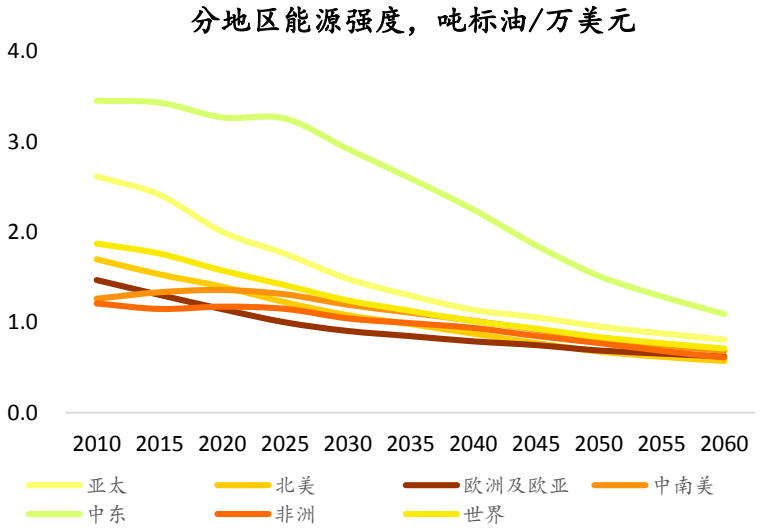
合作减排情景一次能源结构



亚太是能源需求增量主要来源地

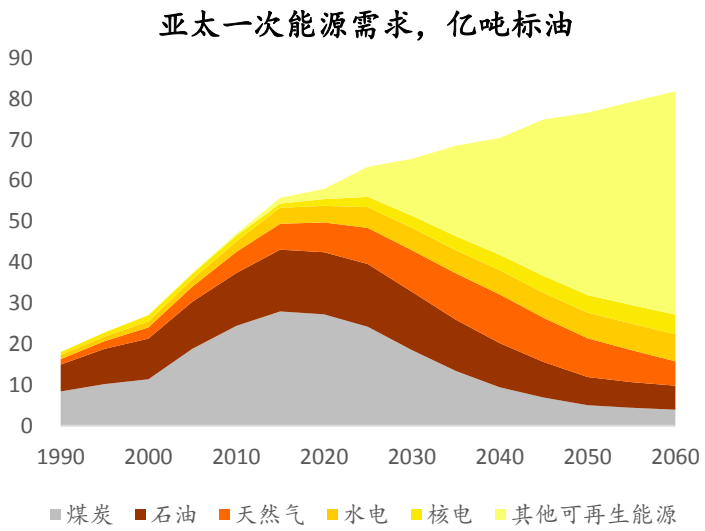
- 欠发达国家人均用能水平低，人口规模大，是世界一次能源需求仍持续增长的重要因素。亚太地区经济规模的扩大带动一次能源需求持续增长，展望期内增长**26.1**亿吨标油，占全球增量的**75.6%**，为全球一次能源增长的主要来源地。
- 未来非洲将持续改善能源贫困问题，展望期内一次能源需求增长**9.9**亿吨标油，占全球增量的**28.8%**，是除亚太地区之外增量第二主要来源地。

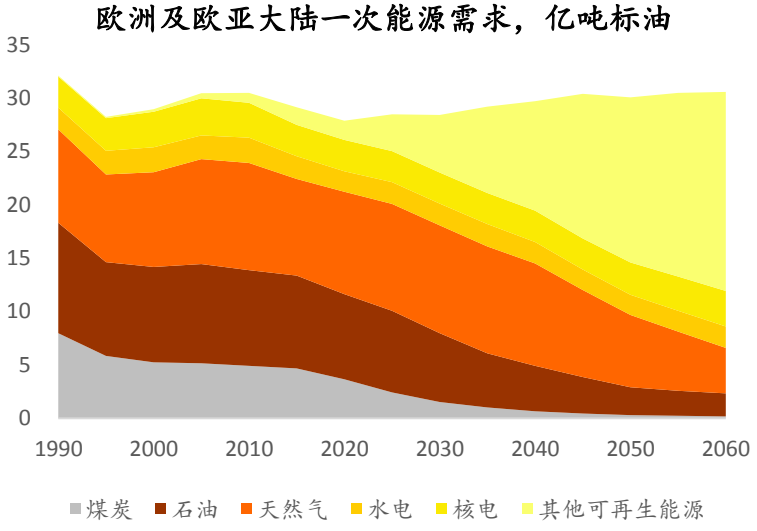




亚太也是全球可再生能源利用的主要地

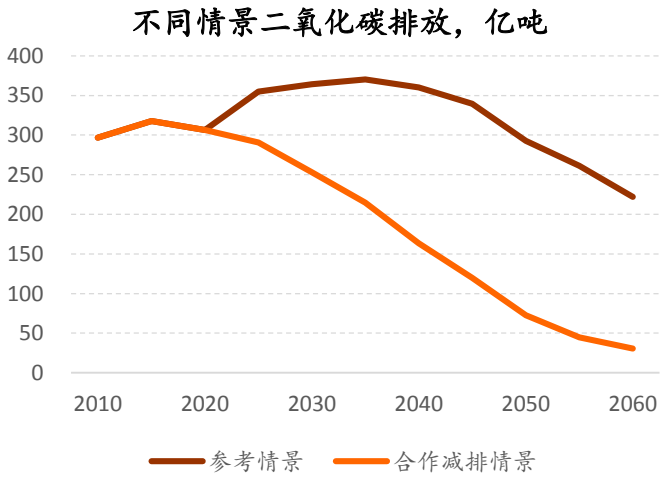
- **2060年亚太地区其他（非水）可再生能源达54.7亿吨标油，比2015年增长53.3亿吨标油，占全球增量的56.6%，排第一。**
- **2060年欧洲及欧亚大陆其他（非水）可再生能源达18.6亿吨标油，比2015年增长16.99亿吨标油，占全球增量的18.0%，排第二。**

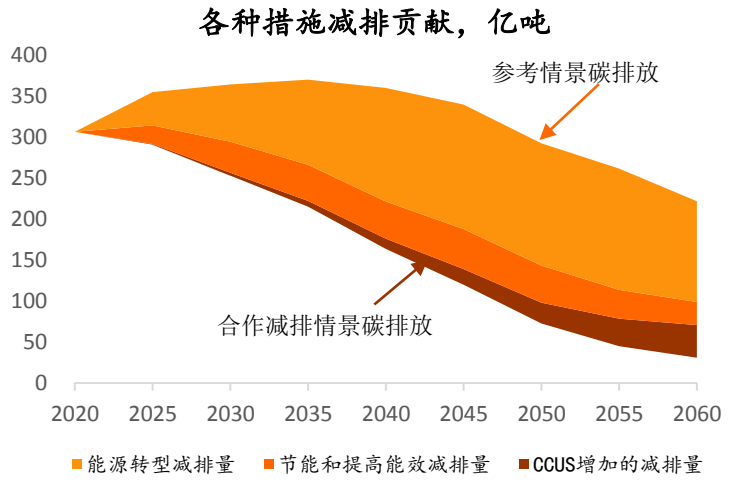




能源相关二氧化碳排放大幅下降

- 随着一次能源消费增速放缓，非化石能源占比大幅提升，全球能源相关二氧化碳排放将稳步下降，**2060**年至**30.7**亿吨，较**2015**年下降**287.1**亿吨，较同期参考情景少**191**亿吨。
- 与参考情景比，从减排贡献看，**2060**年能源结构调整对减排贡献最大，减排量达**123**亿吨，贡献**64.5%**；其次是**CCUS**减排，减排**40**亿吨，贡献**21%**；此外节能也将发挥重要作用，减排**28**亿吨，贡献**14.5%**。





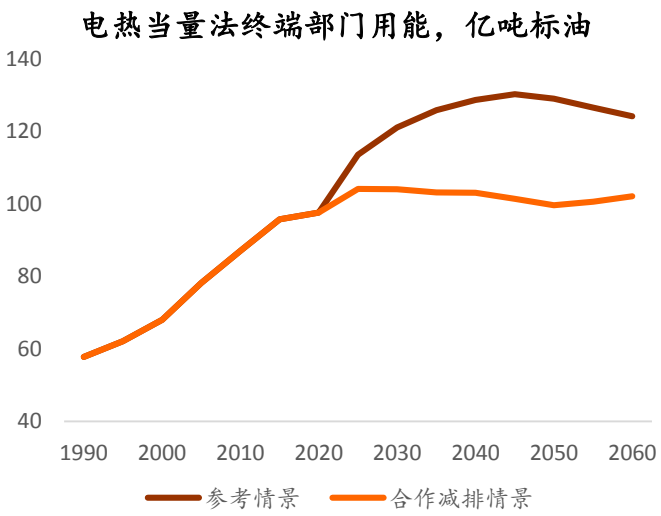
3.2

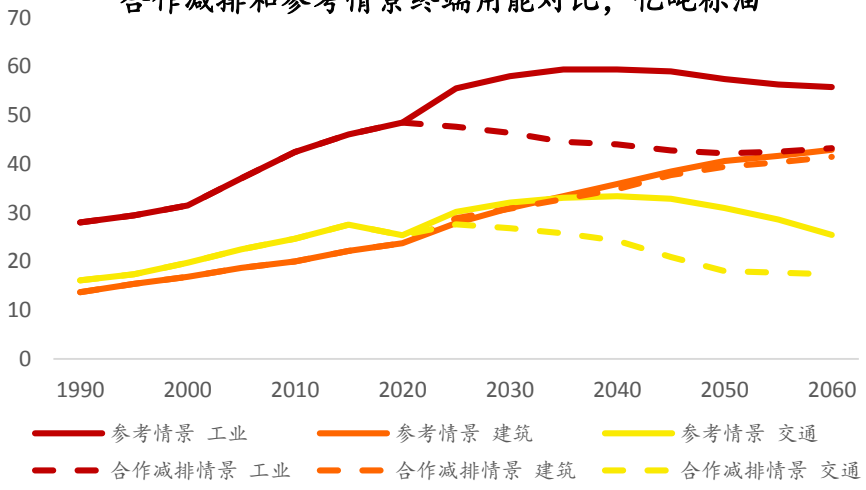
终端用能

合作减排情景

世界终端部门用能将于2030年前后进入峰值平台期

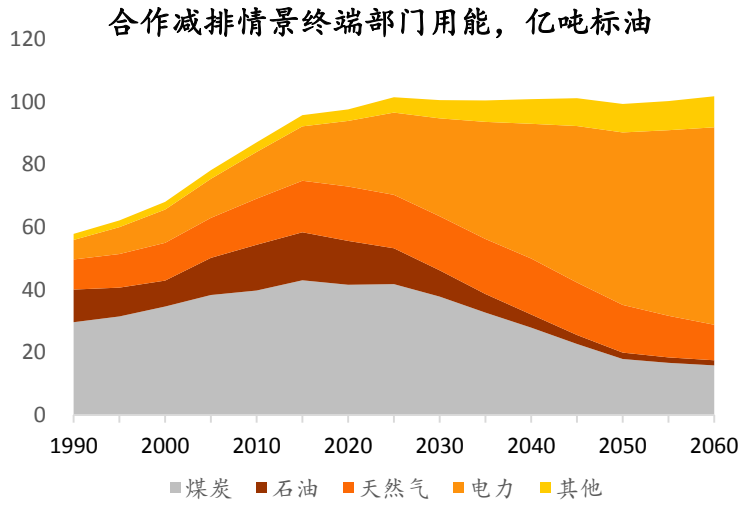
- 国际社会通力合作大力节能、提高能效，生产、生活方式更加节能高效，导致终端部门用能2030年前后进入峰值平台期，较参考情景提前15年左右。
- 2060年，工业、建筑、交通部门用能分别为43.2亿、41.5亿、17.4亿吨标油，比2015年分别增长-2.8亿、19.3亿和-10.2亿吨标油；占终端用能的比分别为42.4%、40.6%、17.0%，比2015年分别增加-5.7、17.5、-11.8个百分点。

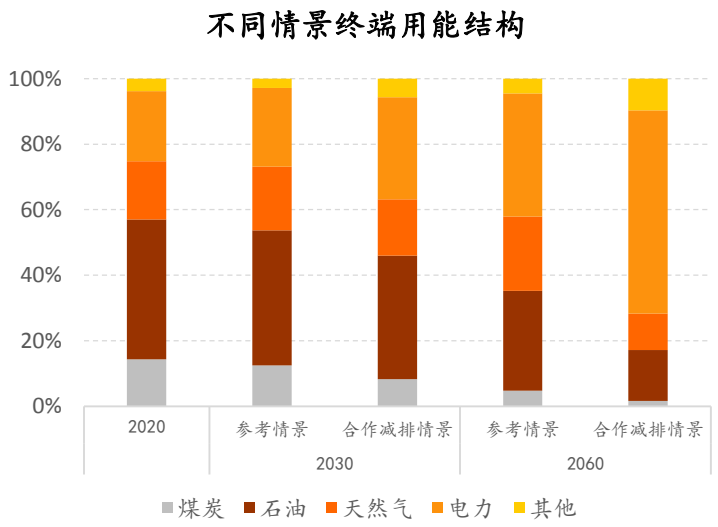




终端用能电气化持续加快

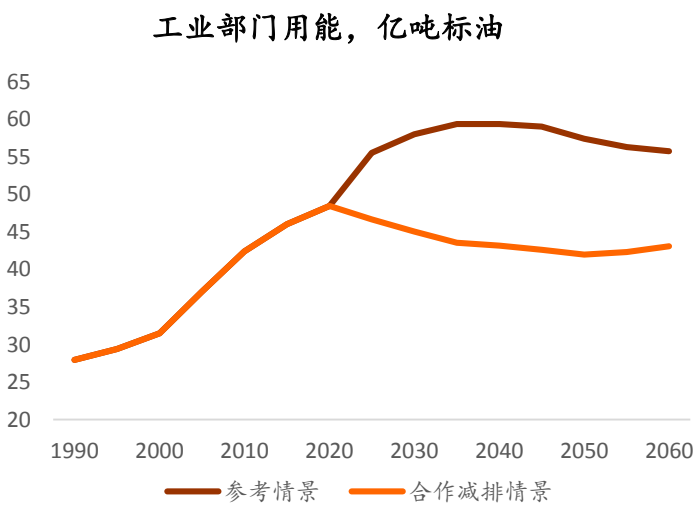
- 终端部门电气化作为终端部门低碳化零碳化的重要选项，将推动终端用能电气化率大幅提高，2060年终端部门电气化率达62%，是参考情景的1.6倍，比2015年提高44个百分点。
- 2060年，终端用能中煤炭、石油、天然气占比分别为1.6%、15.8%、11.1%，分别比2015年下降19.4、29.2、6个百分点。

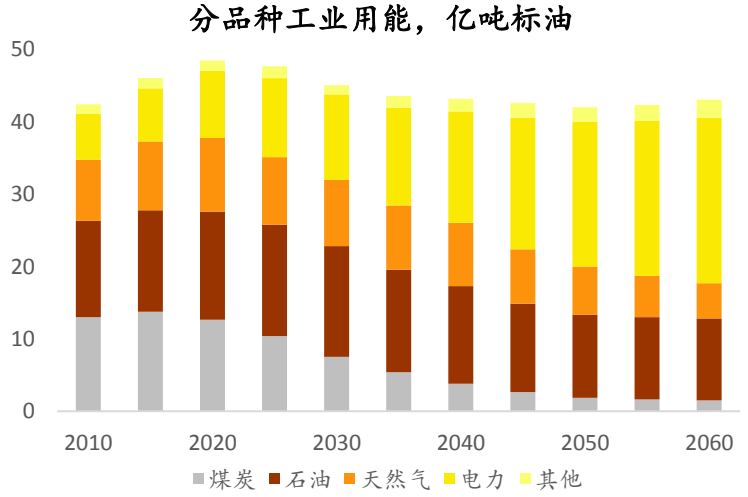




工业部门用能将于2025年前达峰，电力成为主导能源

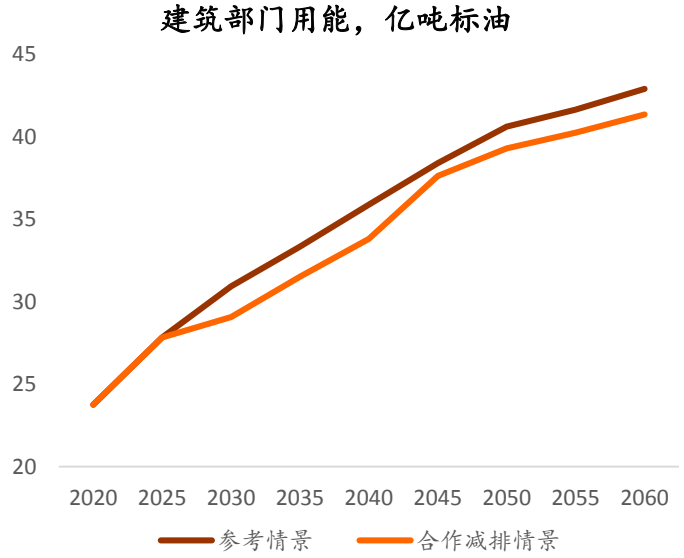
- 能效技术提升、管理水平提高、产销充分衔接浪费减少，推动工业部门用能于2025年前达峰（而参考情景下为2040年），之后稳中趋降，2060年达43.2亿吨标油，较参考情景下降22.5%。
- 工业部门电气化率从2015年的16%上升到2060年的52.9%（参考情景为32.8%）。而煤炭需求持续减少，工业用油则因化工用油增长而到2025年前后达峰。

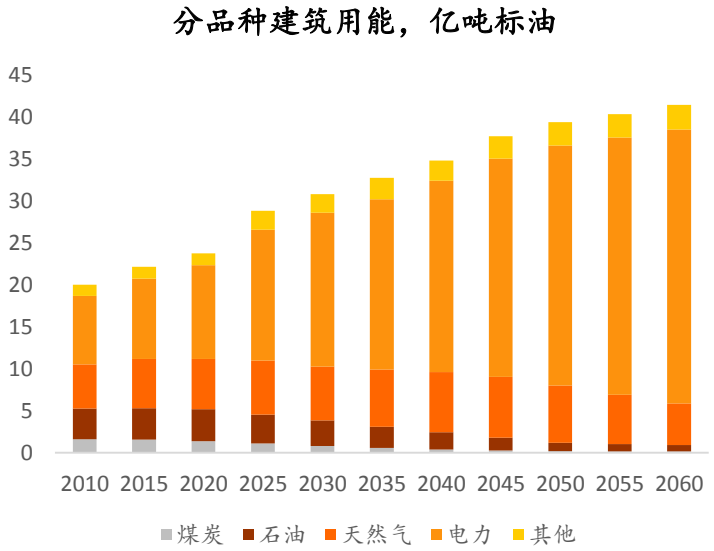




建筑部门用能持续增长，电力占比近80%

- 生产、生活方式的线上化、远程化、网络化将推动工业、交通用能需求向建筑部门转移，建筑用能将持续上升，**2060**年达41.5亿吨标油，比2015年增加19.3亿吨，仅比参考情景下降3.4%。
- 此情景下，建筑部门低碳化转型加速，电气化率大幅提升，2060年达79%，比参考情景提升19个百分点，比2015年增加35.5个百分点。

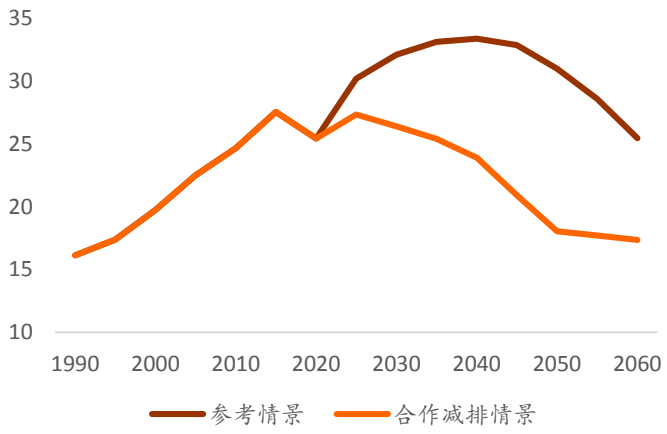




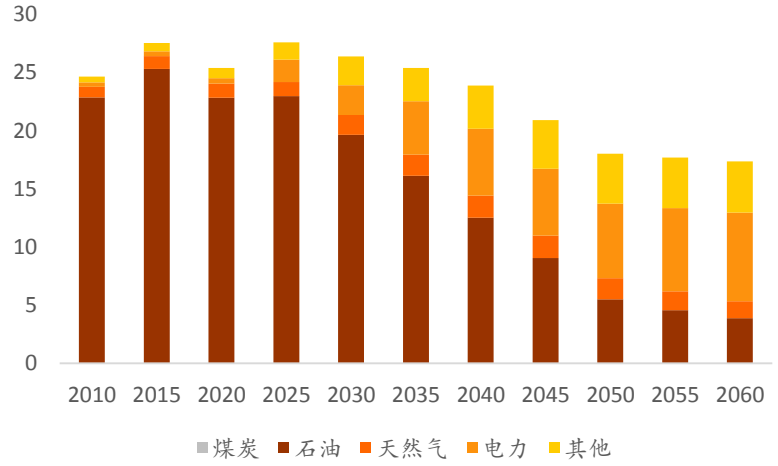
交通部门用能在2025年达峰后持续下降

- 交通体系变革，叠加效率更高的新能源汽车发展加快，使得交通用能需求在2025年达峰（参考情景2040年达峰）后稳步下降，2060年降至17.4亿吨（参考情景25.4亿吨）标油，比2015年下降36.7%。
- 交通部门将依赖电力、氢能、生物质液体燃料实现脱碳。2060年，交通部门电气化率43.9%（参考情景9.6%），比2015年提高42.6个百分点；氢等占比从2.5%上升到25.3%；而石油从91.9%下降到22.1%。

不同情景交通部门用能，亿吨标油



分品种交通用能，亿吨标油



合作减排情景

交通低碳转型：越来越多的国家和车企出台禁售燃油车时间表

- 截至2020年底，全球已有22个国家和地区出台禁售燃油车计划。但目前“禁燃”多为议案、规划等，还没有一个国家出台真正意义上禁售法令。
- 2021年11月10日，6家跨国汽车公司比亚迪、福特汽车、通用汽车、捷豹路虎、梅赛德斯-奔驰和沃尔沃汽车签署声明，承诺到2035年，在领先市场实现100%零排放汽车销售；到2040年，在全球范围内实现100%零排放汽车销售。

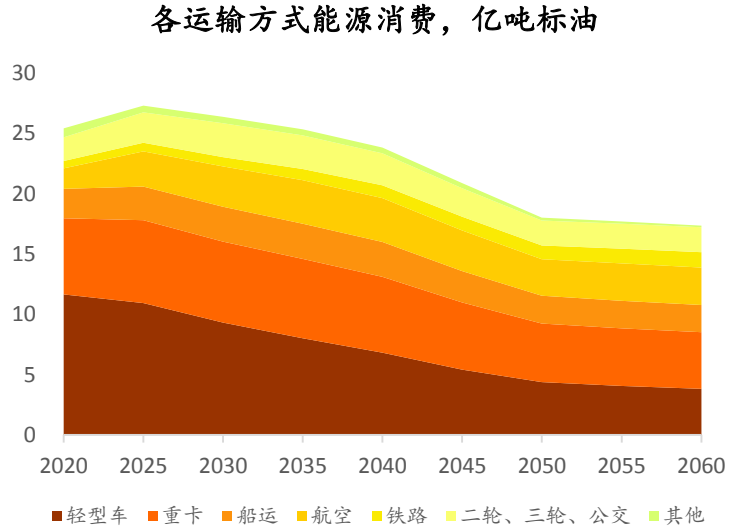
部分国家/地区燃油车禁售计划时间表

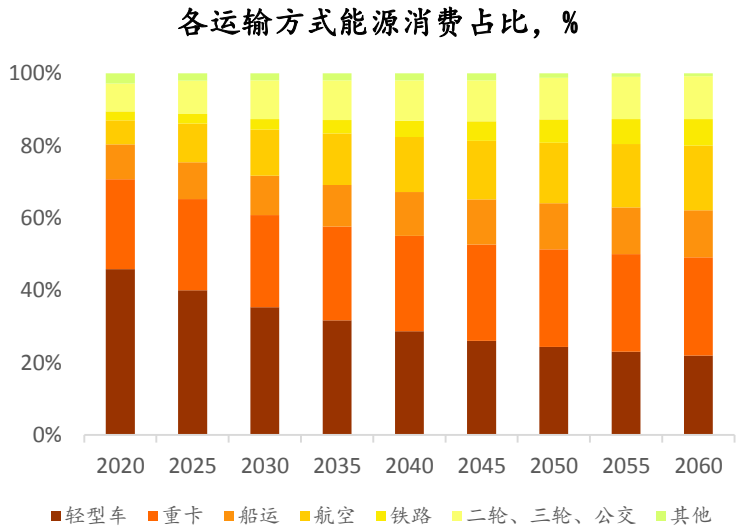
国家、地区或城市	时间	提出方式	实施时间	禁售范围
挪威	2016	国家计划	2025	汽油/柴油车
荷兰	2016	议案	2030	汽油/柴油车
巴黎、马德里、雅典、墨西哥	2016	市长签署行动协议	2025	汽油/柴油车
德国	2016	议案	2030	汽油/柴油车
法国	2017	官员口头表态	2040	汽油/柴油车
美国加利福尼亚州	2018	政府法令	2029	燃油公交车
英国	2020	政府规划	2030	汽油/柴油车
中国海南	2020	政府规划	2030	汽油/柴油车
日本	2021	首相表态	2035	汽油车
加拿大	2021	总理表态	2035	汽油/柴油车

说明：各国禁售范围主要针对轻型乘用车。

交通低碳转型：乘用车电动化

- 未来高效电动车（电池、插入式混合动力和燃料电池车）占比将大幅上升，2060年，新售轻型汽车几乎100%是电动车，轻型电动汽车保有量超过80%，这使得乘用车保有量仍增长的情况下，其用能水平和碳排放持续下降。
- 2060年，轻型车消费3.82亿吨标油，比2020年减少7.84亿吨标油；轻型车耗能占交通部门的22%，比2020年下降23.9个百分点。

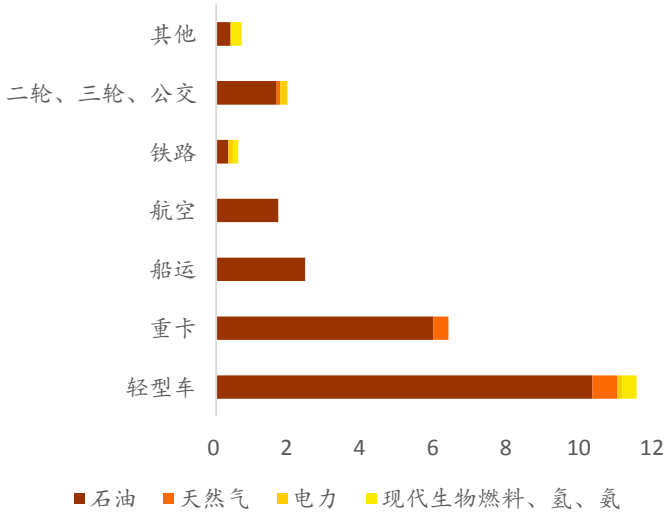




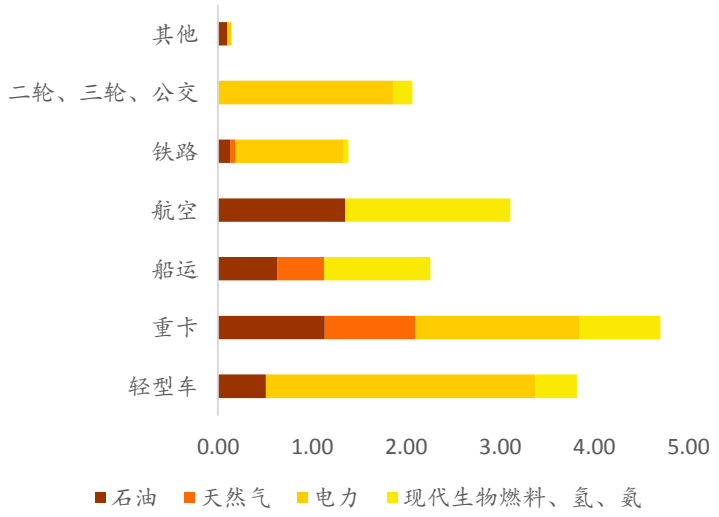
交通低碳转型：低碳燃料多元化

- 重卡、船运、航空因对能源密度要求高，电力替代难度大，需更多元的低碳选择。
- 此情景下，2060年，生物燃料和氢合成燃料占航空燃料的56%左右；氨、氢、生物燃料占船运燃料的50%左右。目前航空生物燃料研发趋于成熟、氨动力船预计2024年面世。

2020年各运输方式燃料结构，亿吨标油



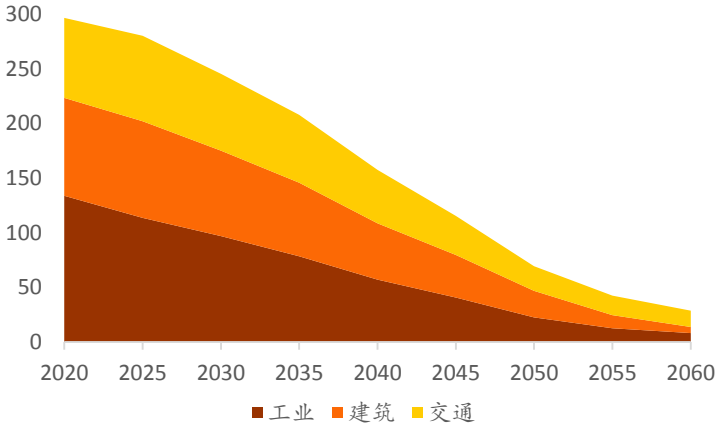
2060年各运输方式燃料结构，亿吨标油



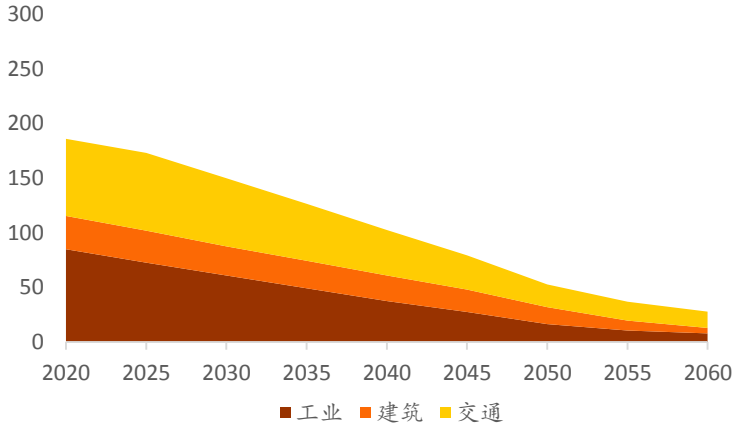
交通部门将成为最大二氧化碳排放部门

- 2060年，工业、建筑和交通部门二氧化碳排放分别为8、6和15亿吨，其中交通部门占比达52%。
- 由于重卡、航空、船运等领域替代燃料和低碳、零碳、负碳技术应用相对较慢，交通部门深度脱碳难度较大。建筑部门容易通过电气化实现脱碳，减排进程较快。工业部门排放可通过多种低碳零碳负碳技术脱碳，但在钢铁、水泥等领域深度减排难度也较大。

三大部门二氧化碳总排放，亿吨

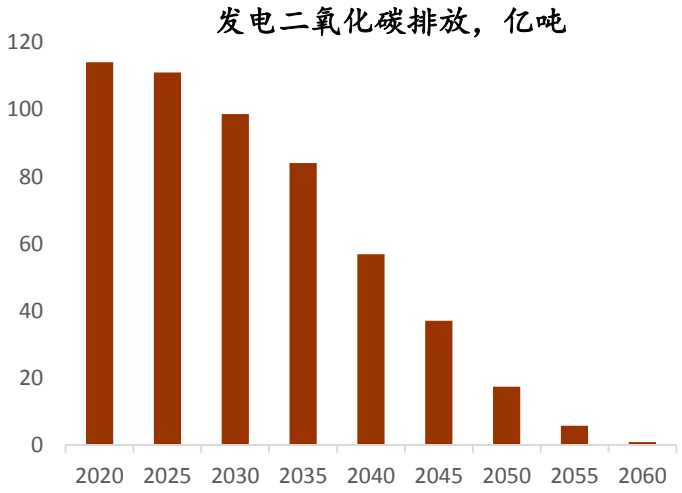


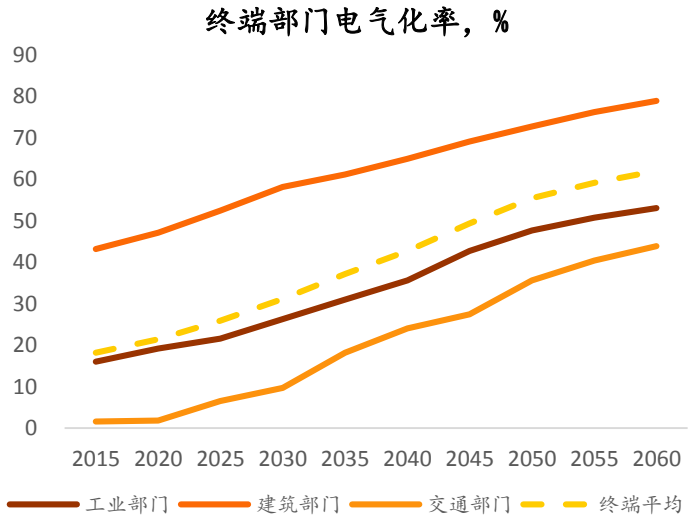
三大部门二氧化碳排放（不含电力），亿吨



绿电的大幅增长是各部门减排的关键

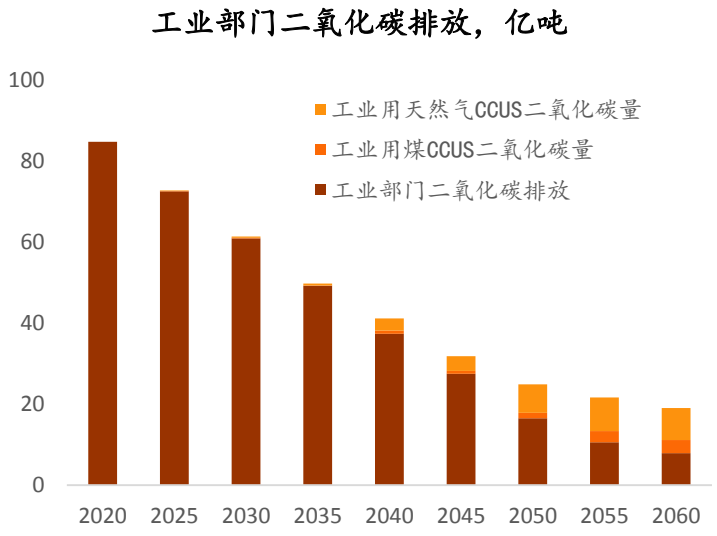
- 终端用能电气化率将大幅提升，从2015年的18%上升到2060年的62%。
- 在交通领域，电动汽车大幅替代燃油车；在工业领域，电力在一些高温加热领域发挥直接替代作用，或用绿电制氢等实现间接替代；在建筑部门，绿电则是减少排放的主要途径。

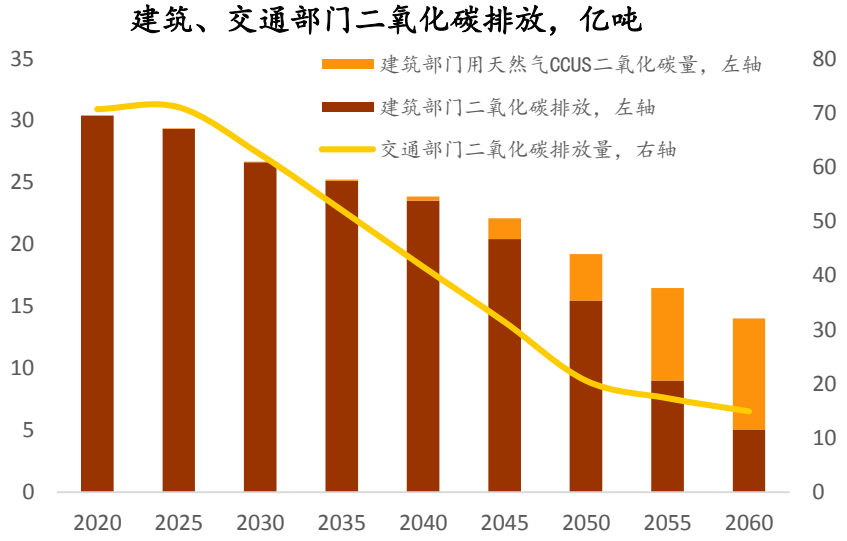




氢等绿色燃料以及CCUS等技术是应对减排难点的重要手段

- 在工业领域，除了改进工艺外，改用电、氢等替代燃料或用传统燃料加CCUS是重要途径。2060年CCUS贡献11亿吨减排量。
- 在交通领域，生物燃料、氢与电力互补替代化石能源。2060年，交通部门生物燃料、氢等占比从2015年的2.5%上升到25.3%。
- 在建筑领域，在集中供热、供暖等方面天然气加CCUS、天然气掺氢也将得到广泛应用。2060年，建筑部门通过天然气+CCUS的减排贡献超过8亿吨。





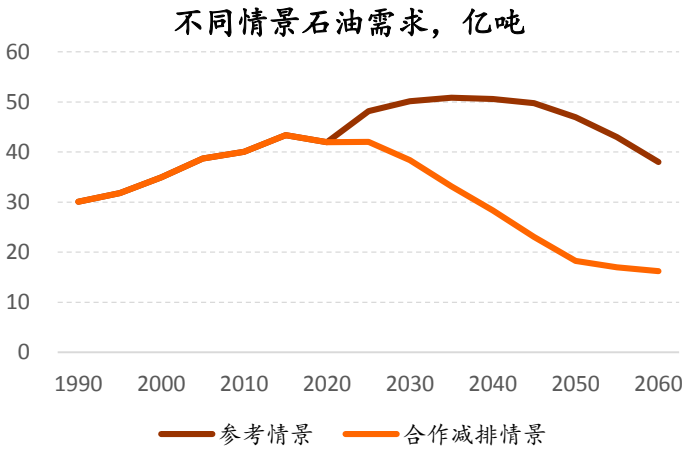
3.3

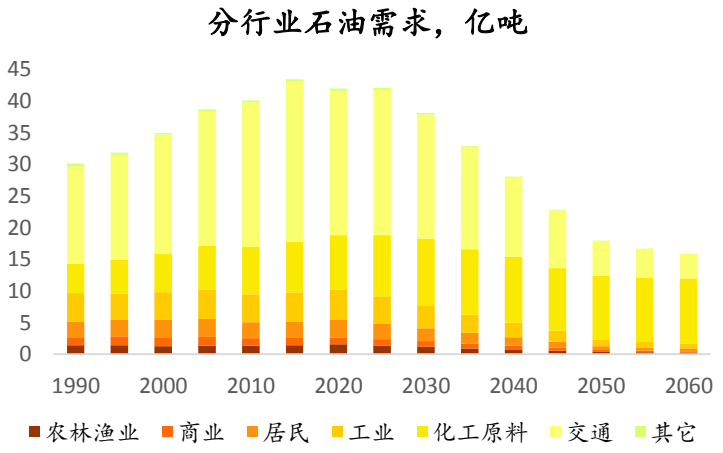
石油

合作减排情景

世界石油需求将于2025年前达峰

- 世界石油需求将于2025年前达峰，比参考情景提前10年以上，之后缓慢下降，2060年降至16.2亿吨，比2015年少27.2亿吨。
- 交通用油也将于在2025年前后达峰，之后更快下降，2060年至3.9亿吨，其占石油需求的比重从58.3%下降至23.8%。
- 化工用油还将有一定增长空间，将于2030年前后达峰，且之后其规模保持相对稳定，其占石油需求的比重将从18.5%上升到63.6%。

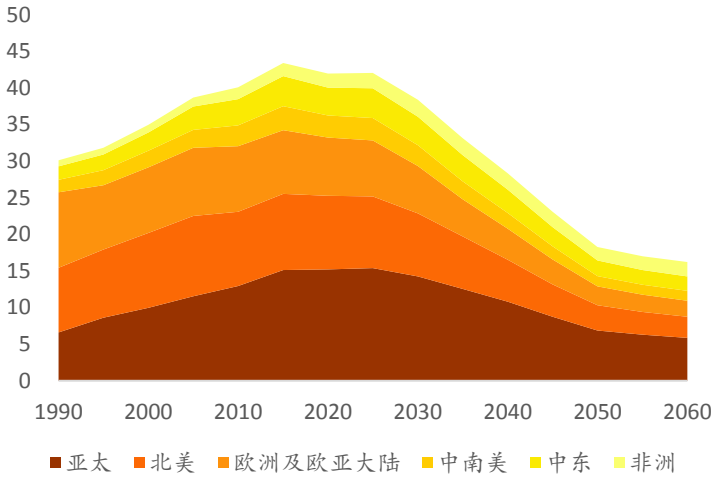




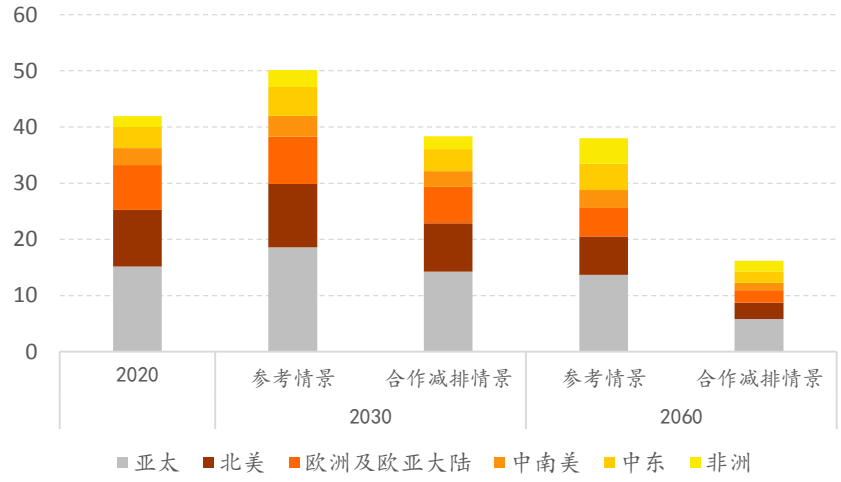
非洲将成为石油需求达峰最晚的地区

- 随着经济社会发展，非洲地区石油需求将在2040年前保持增长，成为达峰最晚的地区。且在展望期内，只有非洲地区石油需求较2015年有所增长，而其他地区均不同程度下降，其中亚太下降最多。

分地区石油需求，亿吨

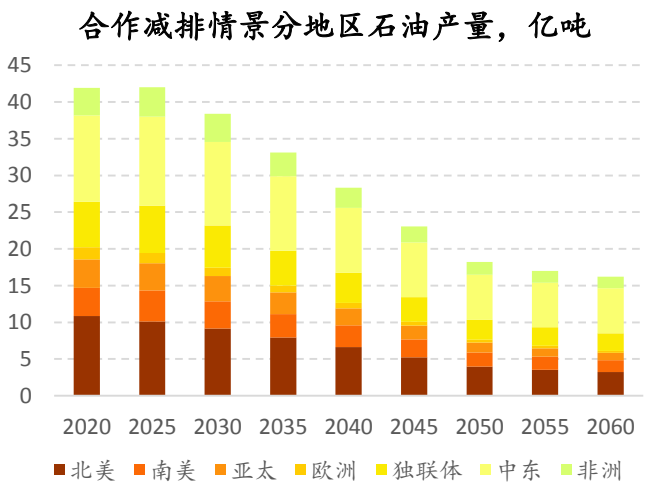


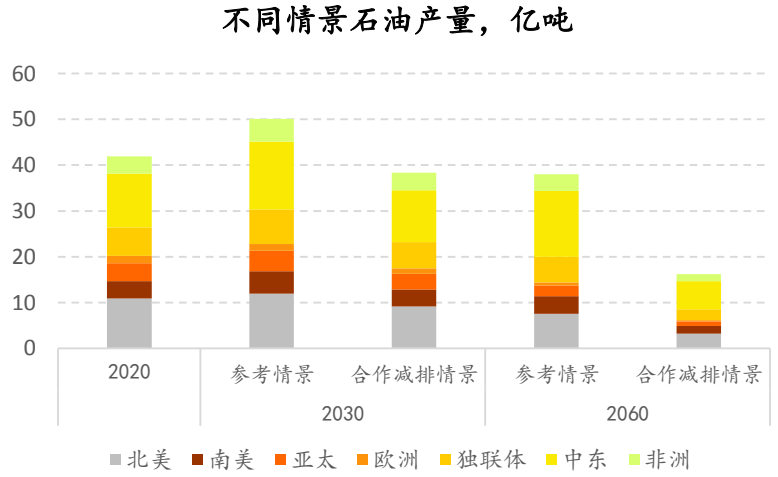
不同情景石油需求，亿吨



各地区石油产量均大幅下降

- 各地区以推动石油产业可持续发展为原则，以开采现有油田和已发现资源中的低成本资源为主满足全球需求。这使得中东地区（资源优势）、美洲地区（资源和技术进步优势）石油产量占比上升，其他地区占比下降。
- 2060年，中东地区石油产量6.1亿吨，占全球的37.8%，比2015年上升5.4个百分点；美洲地区占30%，上升1.4个百分点。





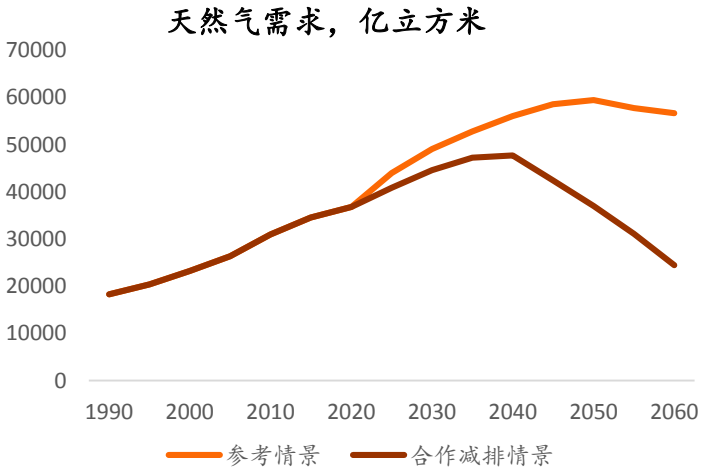
3.4

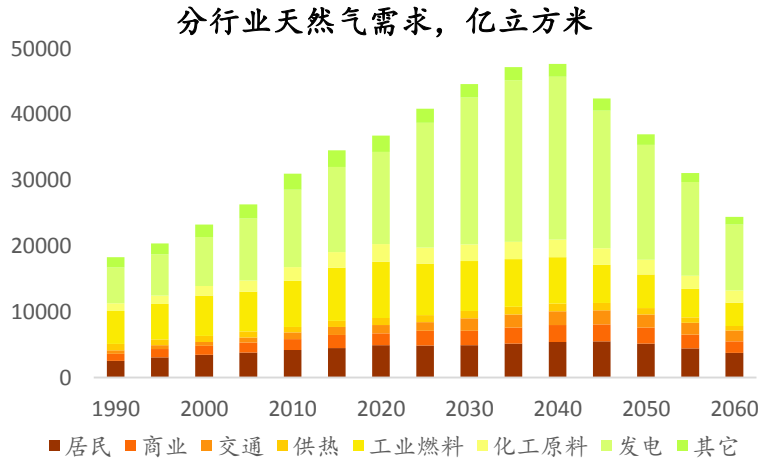
天然气

合作减排情景

世界天然气需求将于2040年前后达峰

- 天然气资源丰富、清洁低碳，是可再生能源的伙伴能源，2040年前将持续增加至4.8万亿立方米，比2015年增长36.6%；其中，发电用气近2.5万亿立方米，增长91.5%，占增量的52%。
- 2040年后，随着储能技术、氢能、智能电网等技术的不断发展以及深度减排要求，天然气需求开始下降，2060年至2.4万亿立方米，比参考情景低60%，比2015年下降29.3%。

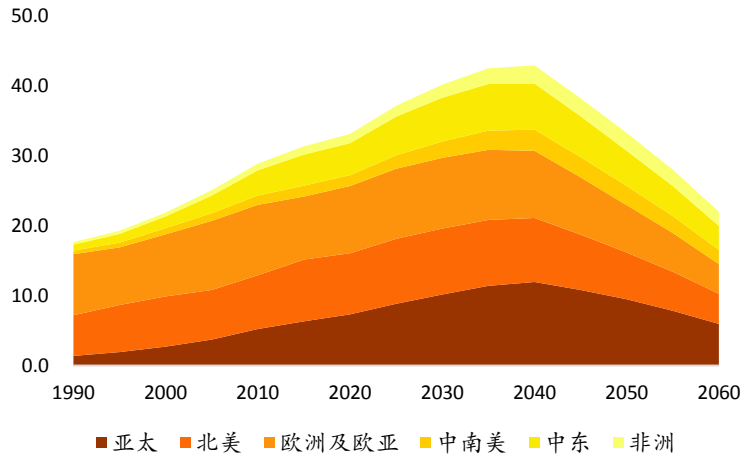




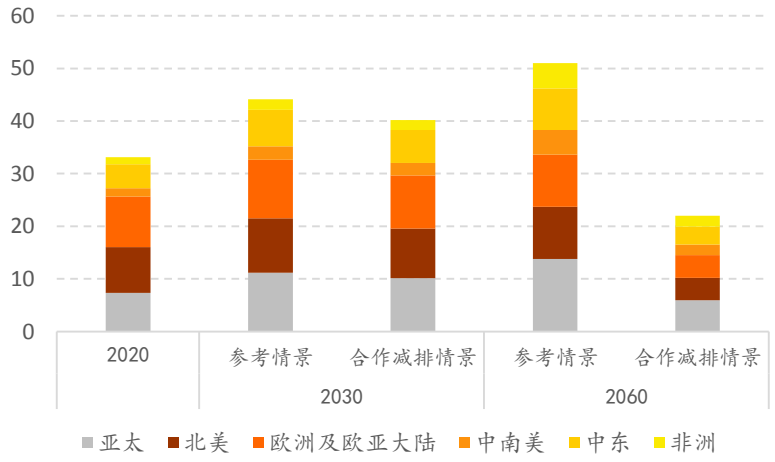
各地天然气需求走势相似

- 2040年前，各地区天然气需求均有所增长，增量主要来自亚太（占总增量的48.6%）和中东（占19.0%）地区。
- 2040年后，各地区天然气需求均不同程度下降，其中亚太下降幅度较大（占总降幅的28.6%），其次分别是欧洲和欧亚（25.6%）、北美（23.2%）。

分地区天然气需求，亿吨标油

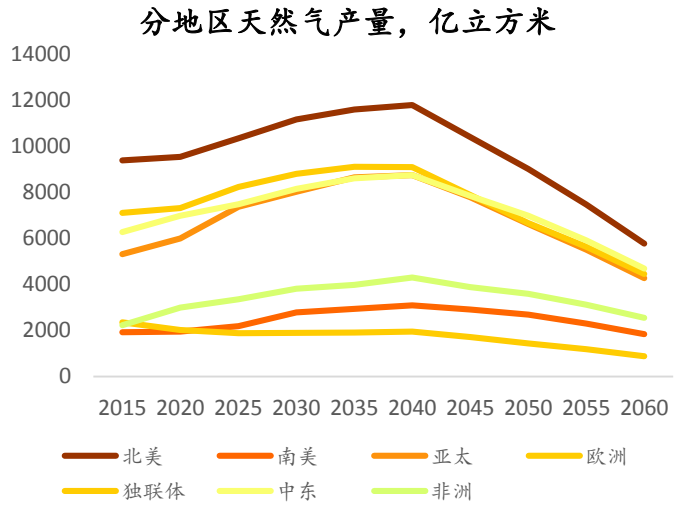


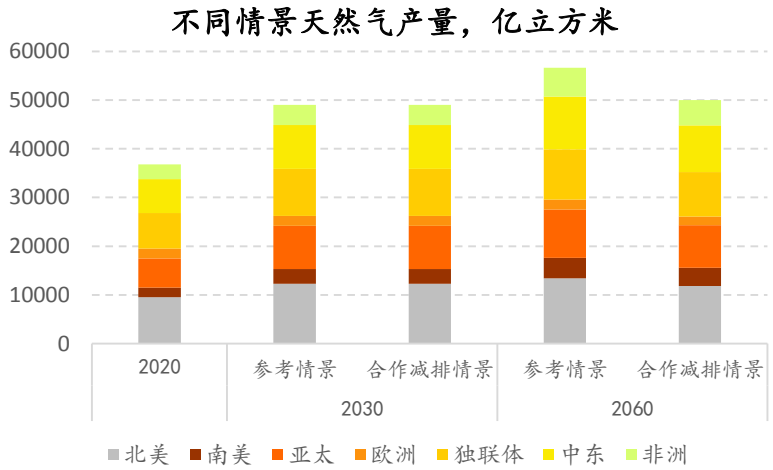
不同情景天然气需求，亿吨标油



分地区天然气产量结构小幅变化

- 各地区天然气生产将呈现前期以保供为主，后期以成本为主的特点。2040年前，各地区天然气需求增长将拉动产量持续增长；2040年后，各地区则以开采已有和已发现资源的低成本资源为主，产量均有所下降。
- 2060年，北美、中南美、亚太、欧洲、独联体、中东以及非洲产量分别占全球总产量的23.6%、7.5%、17.5%、3.6%、18.2%、19.2%、10.4%，比2015年分别上升-3.6、1.9、2.1、-3.2、-2.3、1.1、4个百分点。





3.5

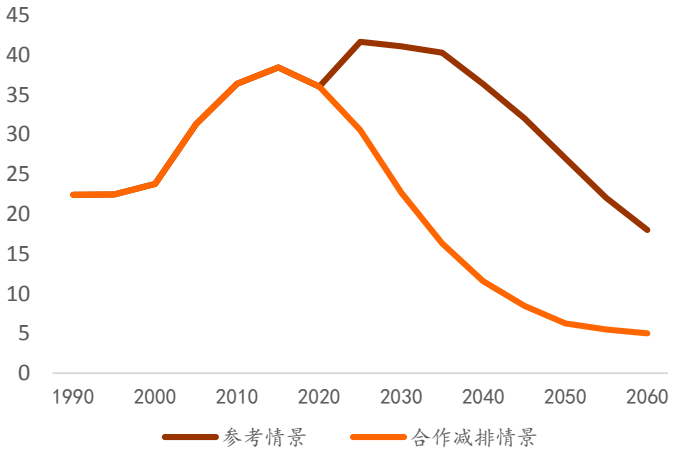
煤炭

合作减排情景

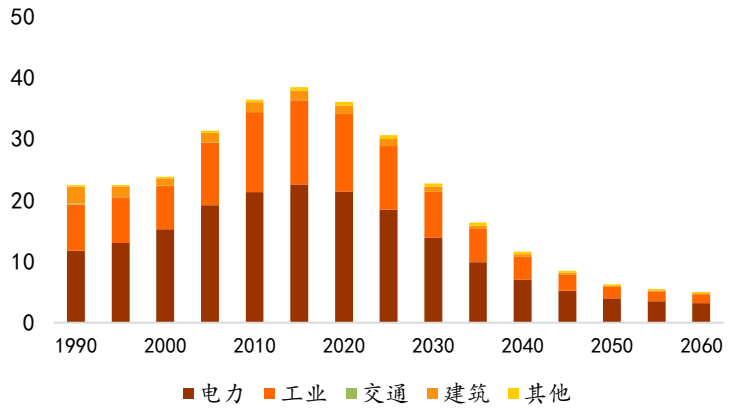
煤炭需求持续大幅下降

- 国际社会将高碳能源煤炭作为首要压减能源。煤炭需求高峰已过将持续下降。**2060**年煤炭需求下降到**5**（参考情景**18**）亿吨标油，比**2015**年少**33.4**亿吨标油。发电用煤占**63.2%**，比**2015**年增加**4.6**个百分点；工业用煤占**29.9%**，下降**5.9**个百分点。
- 传统主要以煤电为主的国家保留一定燃煤电厂稳定电力系统，非洲等地区少数落后国家保留少数规模燃煤电厂用于能源脱贫。工业燃料用煤大多被逐步淘汰。

不同情景煤炭需求，亿吨标油

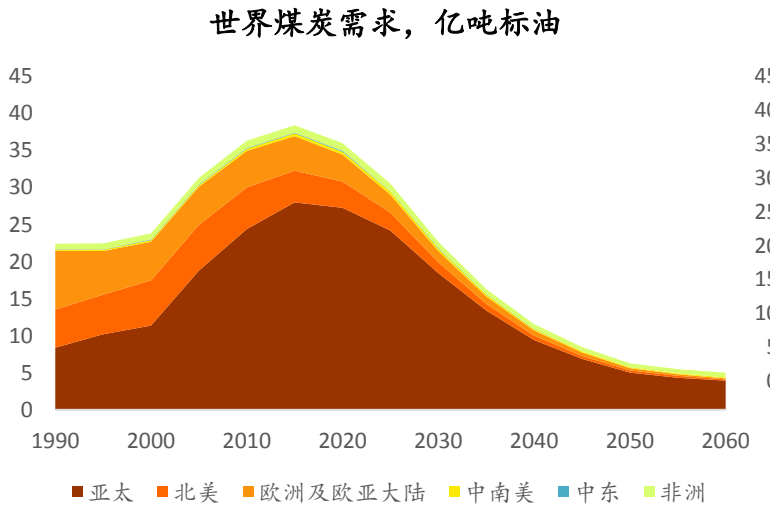


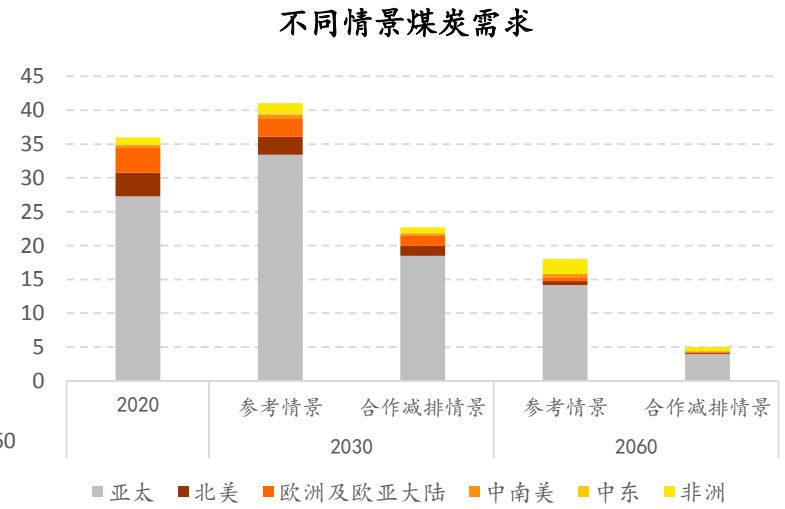
分行业煤炭需求，亿吨标油



各地区煤炭需求均大幅下降

- **2060年亚太地区煤炭需求3.9亿吨标油，比2015年减少24亿吨标油，占全球煤炭需求的78.8%。**
- **非洲地区煤炭需求0.6亿吨标油，比2015年减少0.4亿吨标油，占全球煤炭需求的12%。**





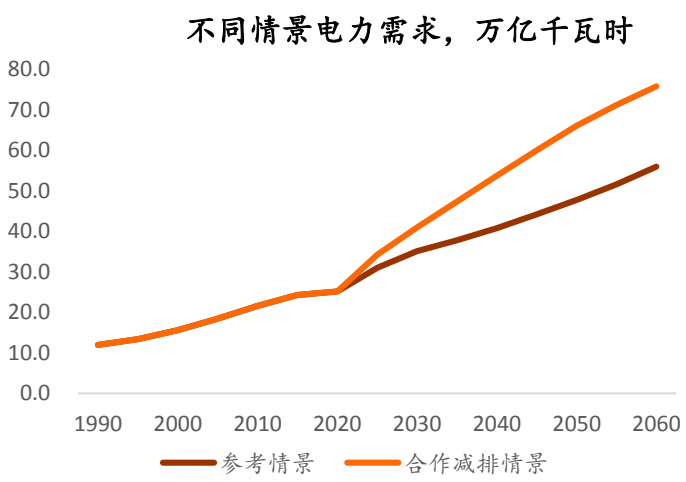
3.6

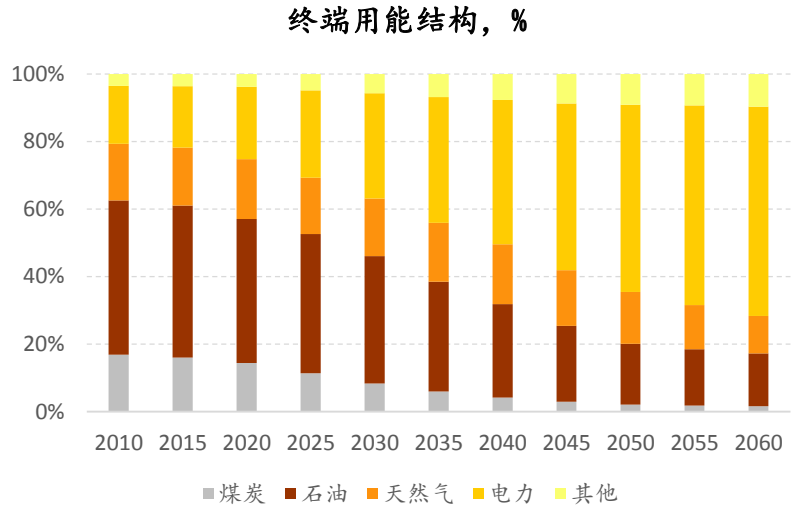
电力

合作减排情景

全球电力需求将达76万亿千瓦时

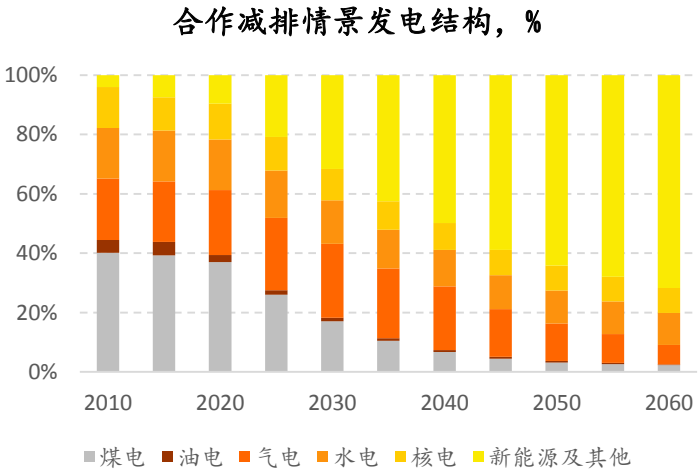
- 风电、光电等绿电得到充分发展，CCUS等低碳、零碳、负碳技术在传统能源电厂得到充分利用，使低碳零碳电源占比大幅增长；生产、生活方式充分低碳转型，终端用能积极用低碳、零碳电力替代等，合力推动电力需求大幅增长，2060年，终端能源消费中，电力占比达到62%。
- 2060年全球电力需求**75.7**万亿千瓦时，是2015年的3.1倍，年均增长2.6%，是一次能源年均增速的5.2倍。

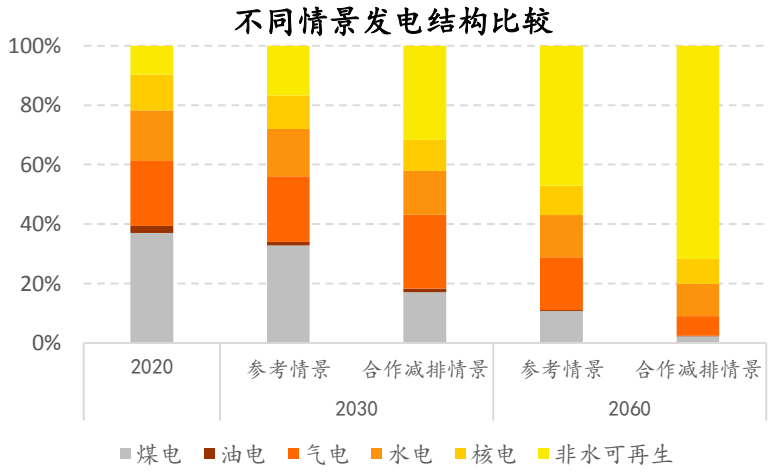




可再生能源发电成为绝对主力，化石能源发电大幅下降

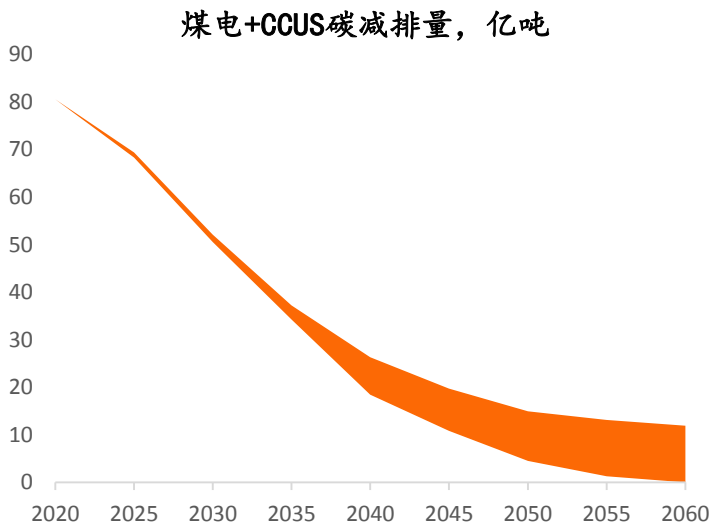
- 可再生能源技术充分发展，全球优化、顺畅推广，资金、人才、物资装备优化配置，传统能源行业、广大用能单位充分配合，推动非水可再生能源发电大幅增长，逐渐成为电力的主要来源，而化石能源发电大幅下降。因水利条件和对核电认识的争议性，水电和核电发展相对稳定增长。
- **2015－2060年，非水可再生能源发电年均增长7.2%。2060年，非水可再生能源发电占总发电的71.7%，水电占10.8%，核电占8.4%，而天然气、煤炭、石油发电占比分别为6.6%、2.3%、0.2%。**

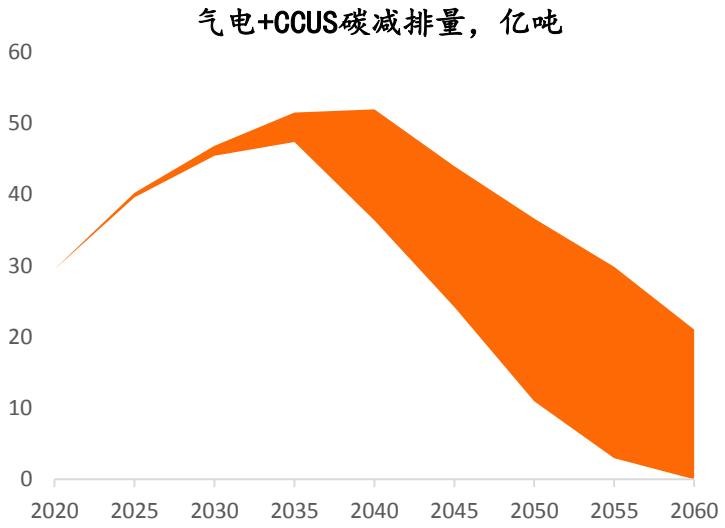




规模化石能源发电均配备CCUS技术

- **2060年，规模化石能源发电均配备CCUS技术。**
- **煤电以逐步淘汰为主，近期因CCUS技术还不成熟、成本高，应用比例低；中远期保留的规模煤电厂均配备CCUS技术。**
- **作为可再生能源发电的伙伴能源，前期天然气发电快速增长，配备CCUS的少。随着减排深入推进，天然气发电碳排放问题突显，天然气电厂也将加快配备CCUS。**





3.7

主要结论

合作减排情景

主要结论

1. 世界一次能源稳步增长，但增速放缓。2060年，一次能源需求168.2亿吨标油，年均增长0.5%；能源强度持续下降，2060年降至0.71吨标油/万美元，年均下降2.0%；能源相关二氧化碳排放尽快达峰后持续下降至2060年的31亿吨。
2. 可再生能源快速发展，逐步成为主导能源。2060年非水可再生能源占一次能源的比重达58.6%，非化石能源占比达74.3%。
3. 终端用能加速向生活消费端转移，建筑用能需求占比稳步提升。2060年，工业、建筑、交通部门用能分别占终端用能的42.4%、40.6%、17.0%，比2015年分别下降5.7、增加17.5和下降11.8个百分点。
4. 终端电气化持续推进，2060年，终端能源消费中电力占比达到62%；可再生能源发电成为绝对主力，占比达82.5%；规模化石能源发电均配备CCUS。
5. 石油需求达峰后快速下降，2060年石油需求16.2亿吨，比2015年少27.2亿吨。化工用油取代交通用油成为最主要石油需求领域，2060年交通用油3.9亿吨，占23.8%；化工用油10.3亿吨，占63.6%。
6. 天然气需求还有一个大幅增长期。2040年，天然气需求将达4.8万亿立方米，比2015年增长36.6%。

4

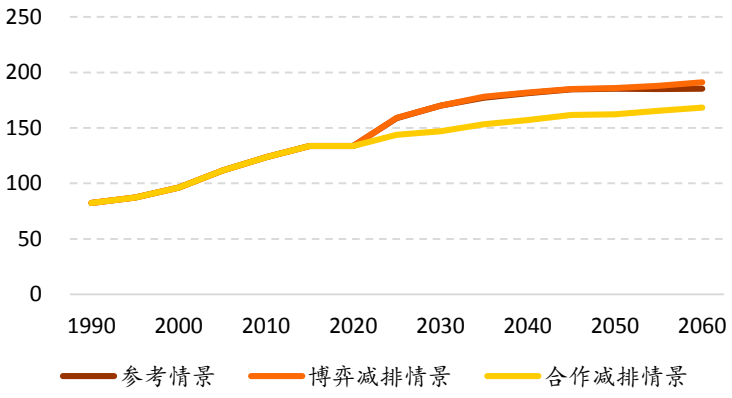
博弈减排情景

博弈减排情景

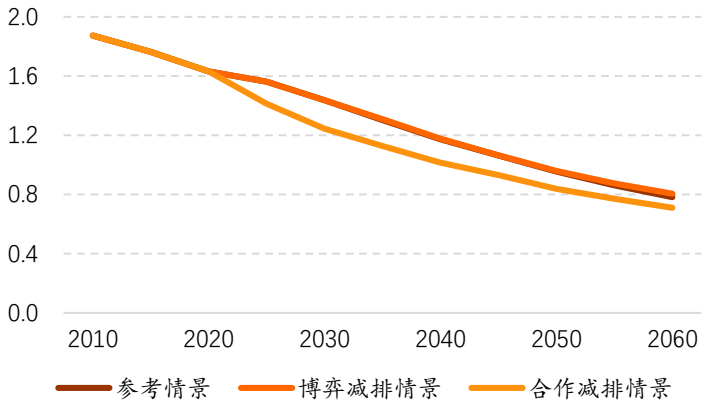
能源消费强度下降速度变慢

- 此情景下，受国际社会博弈影响，全球能源技术发展变慢、传播受阻，经济运行阻力增加，生产、生活方式节能低碳化转型速度变慢，能源消费强度下降速度减缓。
- **2060年，世界一次能源需求191亿吨，比参考情景多5.6亿吨标油；2015－2060年年均增长0.8%，比参考情景快0.1%；能源强度0.78吨/万美元，比参考情景高3%，年均下降1.8%，比参考情景低0.1个百分点。**

不同情景一次能源需求，亿吨标油



不同情景能源强度，亿吨标油/万美元

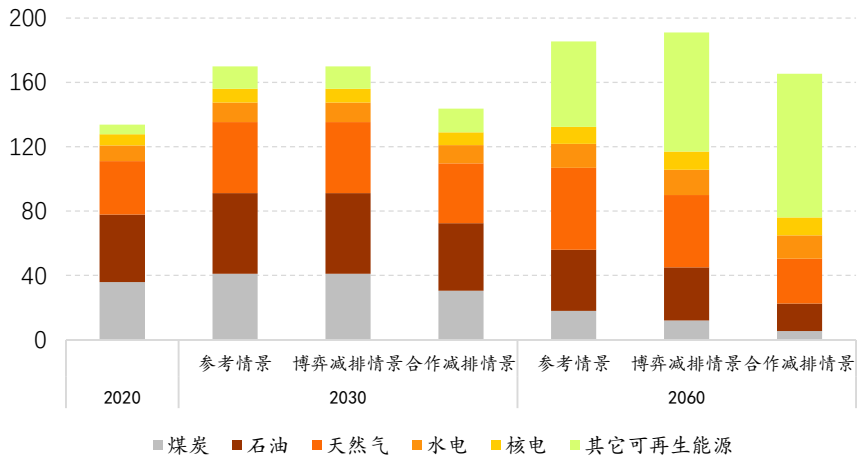


博弈减排情景

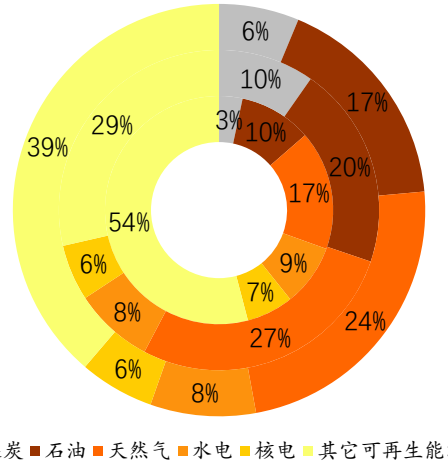
化石能源将长期保持主体地位

- 受能源转型和能源安全双重驱动，光电、风电等本地可再生能源增速加快。但全球资金、技术流动受阻影响可再生能源发展；传统化石能源国家和企业积极开展传统能源清洁低碳利用，利用各种手段最大限度延续传统能源寿命，传统能源将长期保持主体地位。
- **2060年，化石能源占一次能源的比重仍超过47%，其中，煤炭、石油、天然气分别占6.3%、17.3%和23.6%。**

不同情景一次能源需求，亿吨标油



不同情景2060年一次能源结构



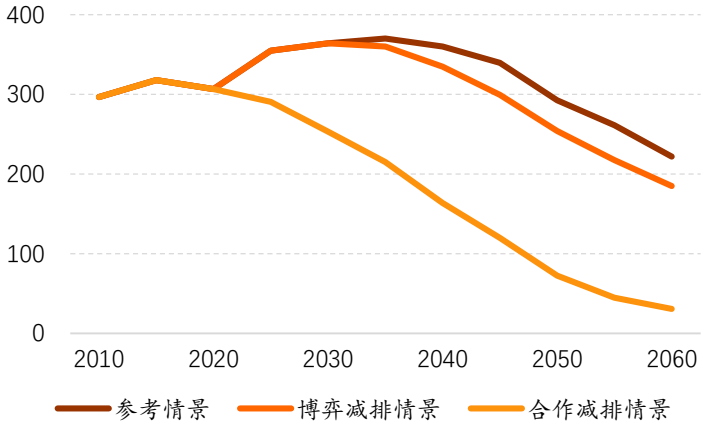
说明：由内向外分别为合作减排情景、参考情景、博弈减排情景

博弈减排情景

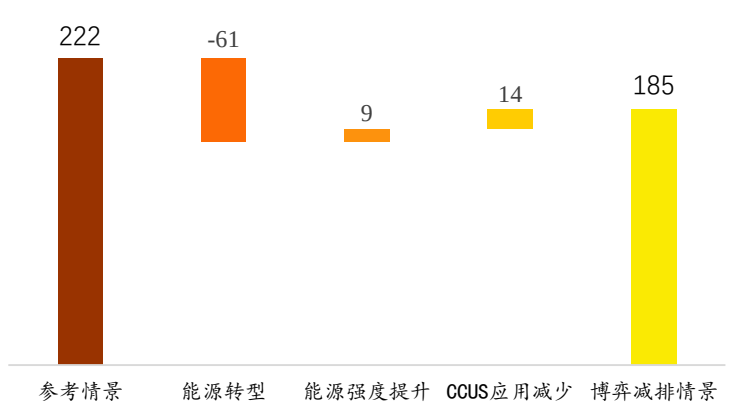
能源相关二氧化碳排放下降幅度有限

- 化石能源占主体地位，低碳零碳负碳技术发展速度变慢，二氧化碳下降速度较慢。**2060**年能源相关二氧化碳排放**184.8**亿吨，比参考情景少**37**亿吨，较**2015**年下降**133**亿吨。
- 较参考情景，能源结构优化贡献**61**亿吨减排量，远低于合作减排情景。

不同情景二氧化碳排放，亿吨

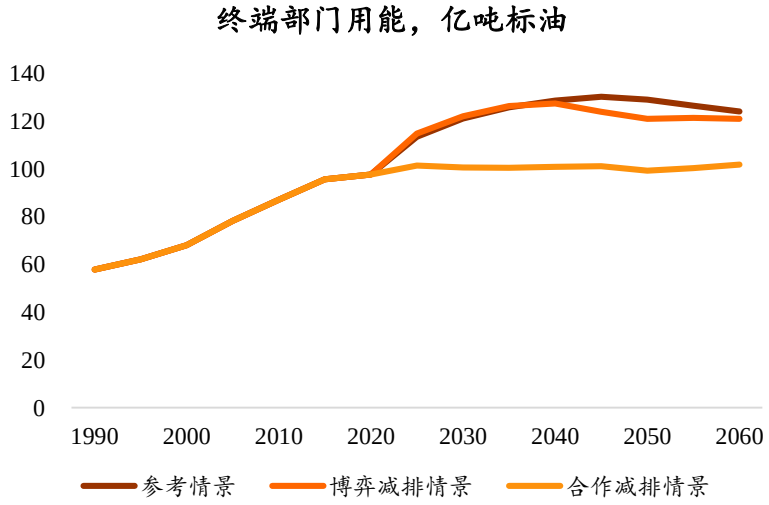


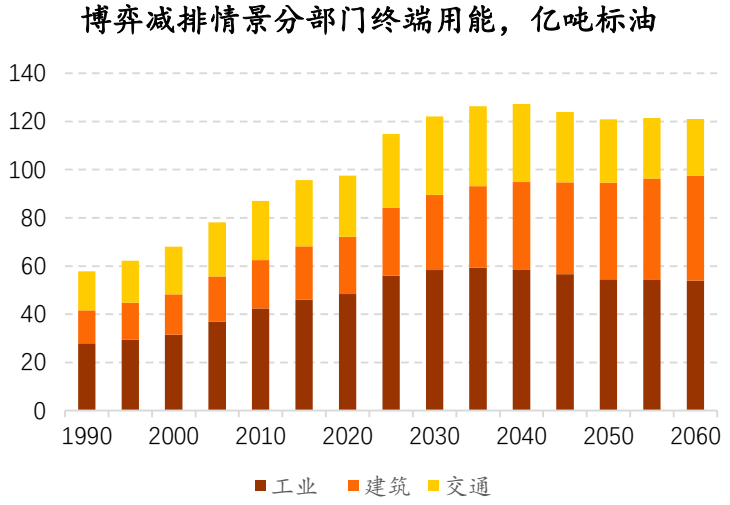
博弈减排情景碳排放变化，亿吨



终端部门能效提升幅度小

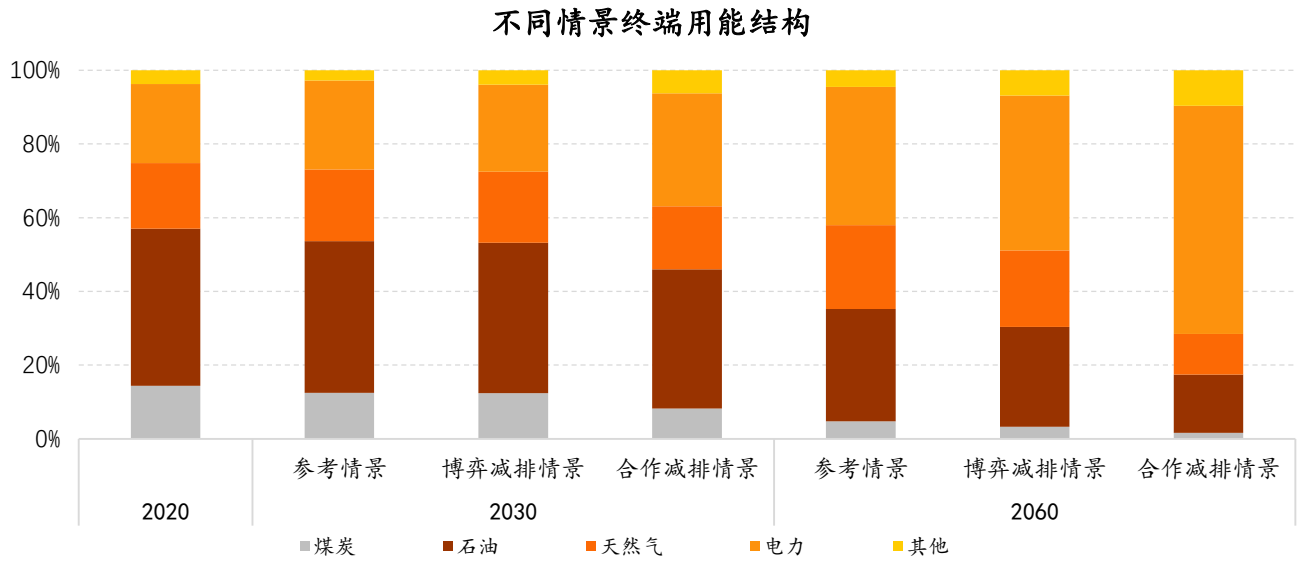
- 全球经济和技术发展堵点增多、增大，很大程度上抵消了各国的节能和提效努力，终端能源消费达峰时间、峰值及峰值平台水平都与参考情景接近。
- **2060年终端部门用能121亿吨标油，比2015年增加25.3亿吨标油，仅比参考情景少3.1亿吨标油；其中，工业、建筑和交通占比分别为44.6%、36.1%和19.3%。**





终端部门电气化率较快增长但化石能源长期保持重要地位

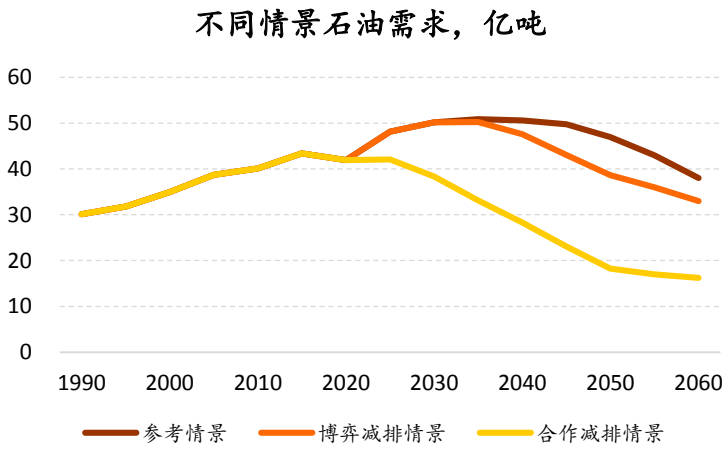
- 终端电气化率持续提高，2060年，终端用能电气化率42%，比参考情景高4.4个百分点；氢、现代生物燃料等绿色能源占6.9%，比参考情景高2.4个百分点。
- 在交通部门，石油仍是主要能源，2060年占比达66.3%，氢能等占13.9%，电力占11.4%，天然气占8.3%。在建筑部门，天然气占比仍达23.2%，电力占比达64.6%。在工业部门，石油和天然气分别占27.6%和24.2%，电力占36.9%。

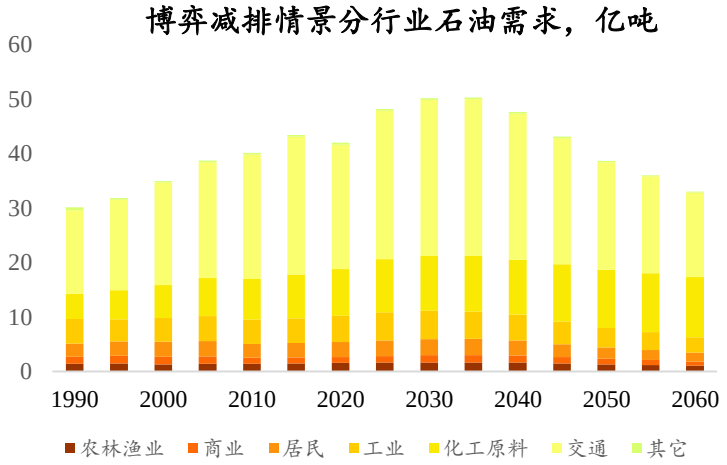


博弈减排情景

交通持续为石油最主要需求部门，化工用油持续上升

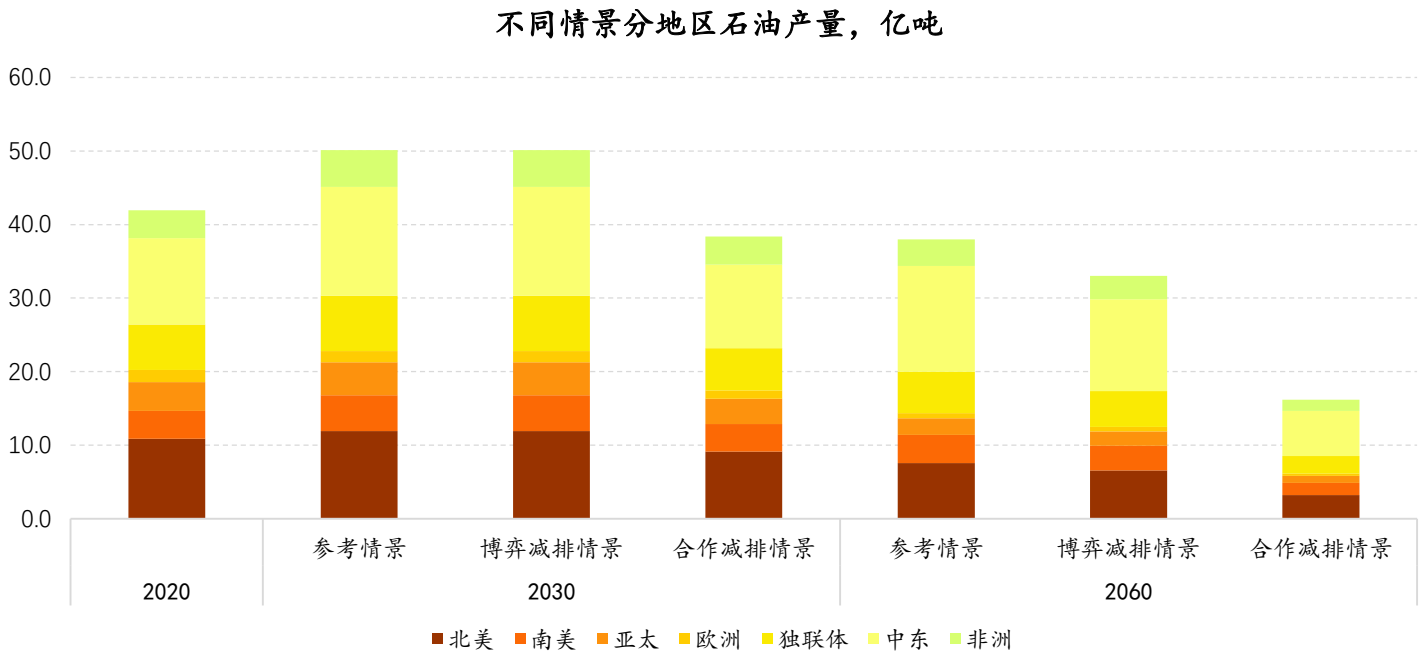
- 传统能源及汽车消费大国延缓传统汽车退出，使得石油仍将是交通部门最主要的能源。
- 传统能源及化工行业持续加强发展石油化工，同时循环经济受重视程度减弱、推广变慢，化工用油持续增长。
- **2060年，石油需求33亿吨。其中，交通用油15.5亿吨，占石油需求的47%（参考情景50.1%）；化工用油11亿吨，占石油需求的33%（参考情景28.9%）。**





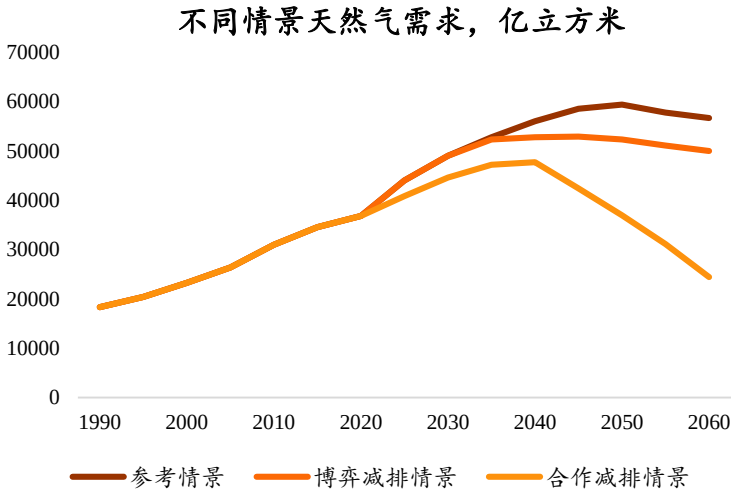
各地区石油产量趋势分化

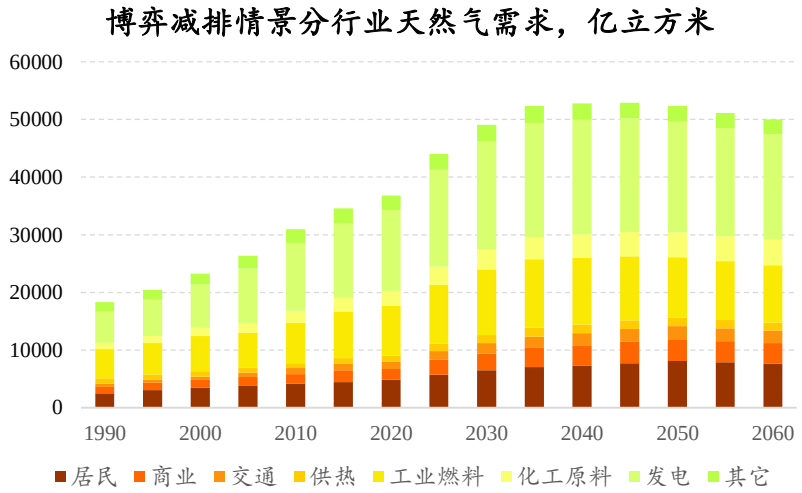
- 保供是石油生产主要考量因素，后期成本因素重要性上升。因保供需要等，随着需求增长，前期大部分地区石油产量均有所增长；但后期资源优势使中东地区占比有所增长。



天然气将长期占据重要地位

- 可再生能源、储能等发展达不到减排需要，天然气在能源转型中的重要性更为突出。天然气将持续增长到2045年左右，并长期稳定在峰值平台期。2060年，天然气需求5万亿立方米（ 比参考情景少11.8% ），是2015年的1.45倍。发电占36.5%（参考情景36.9%）；工业燃料、居民用气、化工原料分别占19.9%、15.3%、9.1%（参考情景分别为20.1%、15.5%、8.0%）。

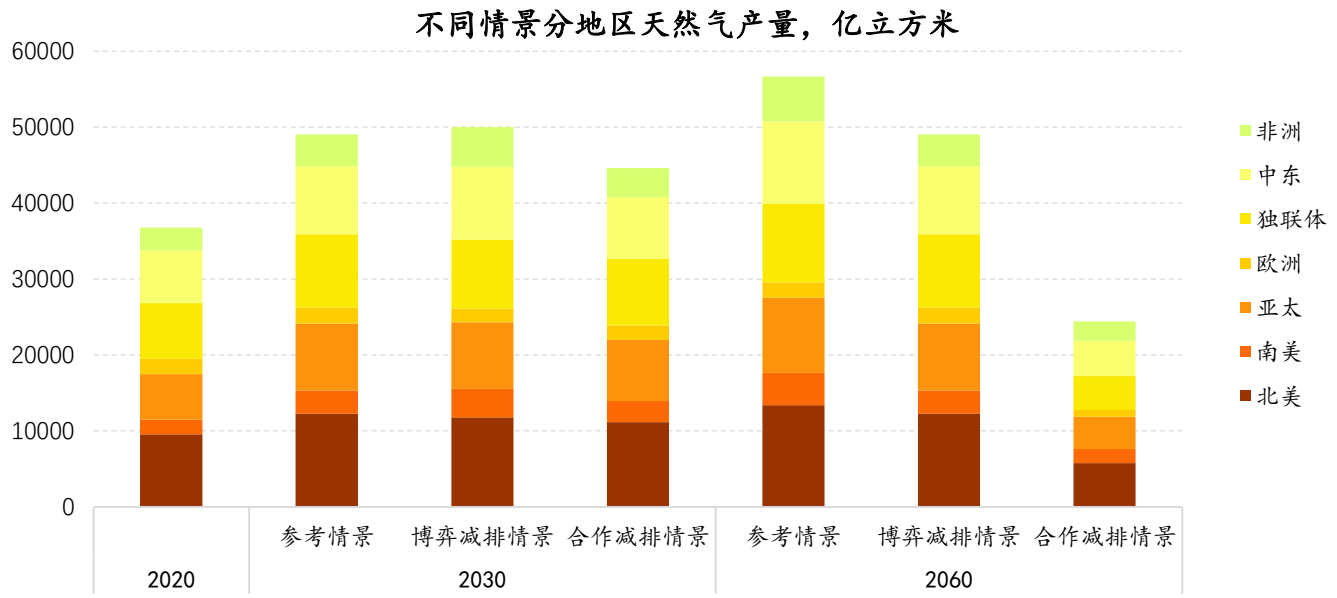




博弈减排情景

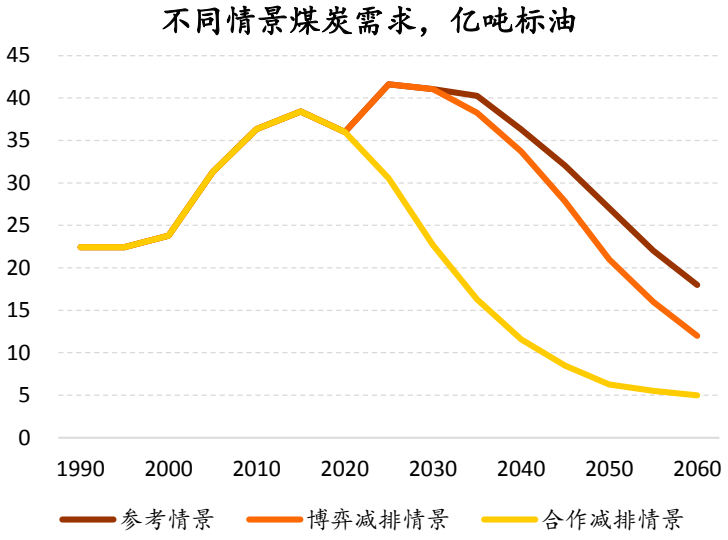
前期亚太地区产量增量最大，后期仅非洲和中南美小幅增长

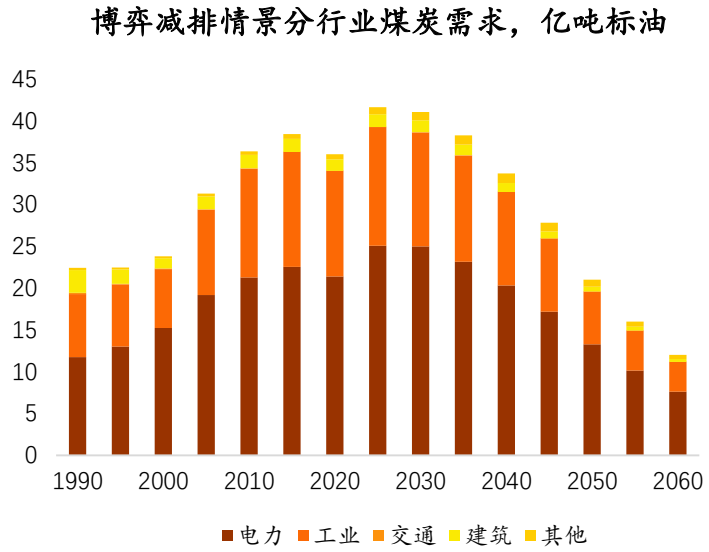
- 与需求演变相适应，**2045**年前大多数地区产量均有所增长，其中亚太产量增量占**24%**，北美和中东分别占**19.5%**和**19.2%**。
- **2045**年后，为满足不断增长的本地需求，非洲和中南美有所增长，其他地区都有所下降。



煤炭需求持续下降

- 博弈减排情景下，各国仍加大对高碳能源煤炭的替代，煤炭需求持续下降至**2060**年的**12**亿吨标油，是参考情景的三分之二，且主要用于发电和工业。

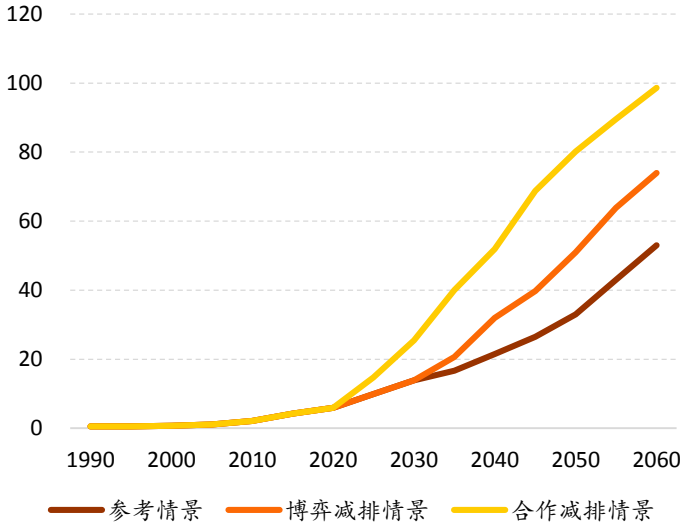




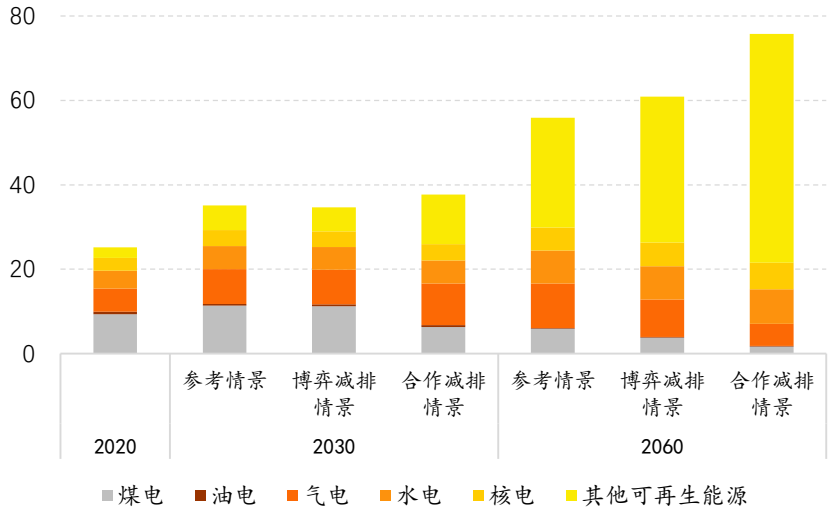
可再生能源发电占比明显提升

- 博弈减排情景下，各国面临能源转型和能源安全双重压力，大力发展本地化可再生能源，可再生能源发电大幅增长。
- 2060年，非水可再生能源发电34.6万亿千瓦时，占发电总量的56.8%，比参考情景多8.6万亿千瓦时和高12.3个百分点。

不同情景核电需求，亿吨标油



不同情景分燃料电力需求，万亿千瓦时



5

几点启示

三个情景结果的启示

- 要实现《巴黎协定》气候目标，现有的政策措施是远不够的，需要出台更激进的政策，采取更具建设性的措施。参考情景下，节能和能效技术、低碳能源转型、碳汇技术都将会不断取得进展，但与《巴黎协定》的目标差距较大。2050年、2060年能源相关二氧化碳分别达293亿吨、222亿吨，远不能达到净零排放要求。
- 应对气候变化需要全人类充分合作，共同相向努力。博弈减排情景下，虽然各国更大努力减排，但国际社会不充分合作，不充分分享低碳技术、经验等，导致各种能源和碳汇技术发展最慢，能源强度最大，CCUS等碳汇技术大规模应用时间最晚、应用规模最小。博弈减排情景下，能源转型和能源安全压力加重，各国通过出台更激进政策措施（包括更大力度优惠、补贴等政策），使具有本地能源性质的可再生能源、新能源汽车发展快于参考情景，但远慢于合作减排情景，不能实现《巴黎协定》温控目标要求。2050年、2060年能源相关二氧化碳排放分别高达254亿、185亿吨。

三个情景结果的启示

- 国际社会充分合作可推动《巴黎协定》目标实现。合作减排情景下，各种能源及碳汇技术得到充分发展，先进减排经验广泛推广应用，能源效率提升最快（例外：更多的国家加快淘汰燃油车，燃油车能效投资最小，新燃油车占比最小，燃油车总体能效提升三个情景中最小），CCUS等碳汇技术大规模应用时间最早、应用规模更大；加之各国出台更加积极的转型政策措施，可再生能源和新能源汽车发展最快。节能和提效、低碳转型、碳汇技术加快发展，2060年能源相关二氧化碳排放可降至31亿吨，温升可控制在2度以下。
- 要实现1.5度温控目标，国际社会充分合作的同时，还需生活、消费理念的深刻变革。**一是减少人均能源消费和碳排放**。全社会以节能、低碳零碳生活方式为荣，尽量减少个人生活碳排放，居家节约、绿色出行。合作减排情景下，工业和交通用能下降幅度大，而建筑用能持续快速增长，与参考情景建筑用能差别也小；在碳排放方面，2060年交通部门排放最大，这都与生活方式有关。**二是全面充分共享**。包括共享出行、物品共享等。减少交通出行，提高货物利用率、减少闲置，减少物品生产、保有量。**三是废物充分利用**。全社会形成废物充分利用和绿色循环经济充分发展观念和氛围，加快能源转型，提升全球资源承载能力。

目录 CONTENT

中国部分

72 情景设定

88 可持续转型情景（重点描述）

89 一次能源

96 终端部门用能

114 石油

125 天然气

131 煤炭

135 电力与非化石能源

142 主要结论

144 三种碳中和情景对比





情景设定

情景设定

围绕落实“3060”双碳目标，近期发布了《中共中央 国务院关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》和《2030年前碳达峰行动方案》，对实现双碳目标进行了顶层设计、总体部署和路径勾画。低碳技术的规模化应用是推进实现碳中和目标的根本，但多数低碳零碳负碳技术仍在孕育发展中，给未来转型路径带来了诸多不确定性。

鉴于此，今年中国展望报告设计了参考情景、碳中和-可持续转型情景、碳中和-CCUS技术大规模应用情景、碳中和-可再生能源更快突破情景，以期探讨不同技术进展下的能源发展路径。

情景设定

- 参考情景是按照现有发展趋势和模式外推的情景，作为碳中和情景的参照；三种碳中和情景则主要根据不同的技术发展趋势和政策取向进行设置。

情景名称		情景参数假设
参考情景		延续现有能源发展轨迹，能源相关技术按照当前趋势不断进步，无额外的能源气候政策约束。
碳中和情景	可持续转型	立足尽快实现2030年前碳达峰，达峰后碳排放量快速下降，2060年实现近零排放；化石能源加速向灵活性调峰电源、应急储备能源和原料转变；可再生能源技术、CCUS技术、氢能技术等低碳零碳技术不断进步，成本持续下降。
	CCUS技术更大规模应用	较可持续转型情景比，假定CCUS技术与产业突破性发展，更早实现大规模商业化应用，助力2030年前达峰，2060年碳中和目标实现的情景。
	可再生能源更快突破	在可持续转型情景基础上，设想可再生能源及相关配套支撑技术取得颠覆性突破，能源电力系统安全稳定运行问题得到根本解决，化石能源规模更快下降的情景。

不同情景的参数设定

不同情景主要参数设计说明如下：

情景名称	参考情景	碳中和情景		
		可持续转型	CCUS技术更大规模应用	可再生能源更快突破
社会经济	人口总量2030年前达峰；城镇化率稳步提升，2060年达75%； 经济增速保持较快增长，2035年前年均增长4.8%左右，2036-2060年间年均增长3.1%。			
能源效率	2035年前车辆燃油经济性年均提高1.5%，之后相对稳定； 煤电发电效率年均增长0.3%； 2060年前主要高耗能产品能效年均提升1.2%左右。	2035年前车辆燃油经济性年均提高2%左右，之后相对稳定； 煤电发电效率与参考情景一致； 2060年前主要高耗能产品能效年均提升1.3%左右。		
技术发展	关于可再生能源技术、CCUS技术等技术成本详见报告情景描述部分： 参考情景对应于相关技术成本的上限； 碳中和-CCUS技术更大规模应用情景中CCUS技术成本处于下限，其余技术成本为中值； 碳中和-可再生能源更快突破情景中风电、太阳能发电成本处于下限，其他技术成本为中值。			
碳排放约束	无	2030年前碳排放达峰，2060年前实现碳中和目标。		

参考情景设置说明

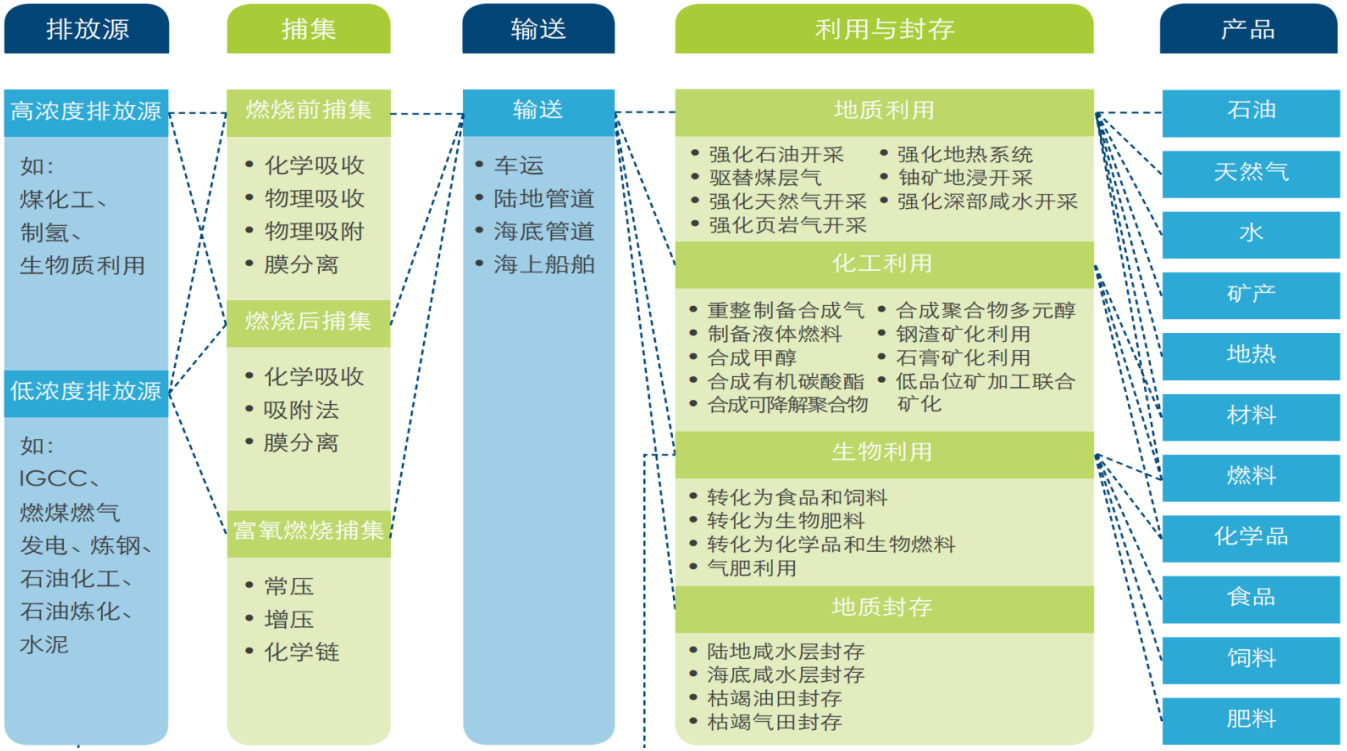
- 设置参考情景的目的一是为了研判不采取主动措施，能源和碳排放如何发展，二是作为碳中和情景的参照，分析能源系统需要做出的变革。
- 参考情景是延续现有能源发展轨迹，能源相关技术按照当前趋势不断进步，无额外的能源气候政策约束的情景，其主要特征为：
  - 能源发展的主要目标是保障经济社会全面发展。
  - 延续过去的能源转型节奏，不进行专门的能源气候政策干预和约束。
  - 能源相关技术延续过往的发展步伐，在各领域应用规模稳步扩大。
  - 全社会生产生活方式渐进转变。
  - 各能源领域投资无明显差别，基础设施建设持续完善。

碳中和—可持续转型情景设置说明

- 碳中和-可持续转型情景坚持“立足国情、安全发展、科学创新、务求实效”主基调，不同低碳零碳技术和产业布局齐头并进，推动化石能源清洁化低碳化和可再生能源规模化协调发展，助力2030年前碳达峰，2060年前碳中和目标实现。其主要特征如下：
  - 绿色低碳循环集约的经济发展模式加快形成，助力美丽中国实现。
  - 低碳节约理念深入人心，绿色生产生活方式全方位建立。
  - 低碳零碳负碳技术全方位突破，化石能源脱碳技术与可再生能源开发利用技术均取得极大进展。
  - 绿色低碳投融资体系加快建立，推动低碳零碳产业体系构建。
  - 能源基础设施升级加快，清洁低碳、安全高效的能源体系更早建立。
  - 能源国际合作持续深化，能源资源产业链供应链保持稳定。

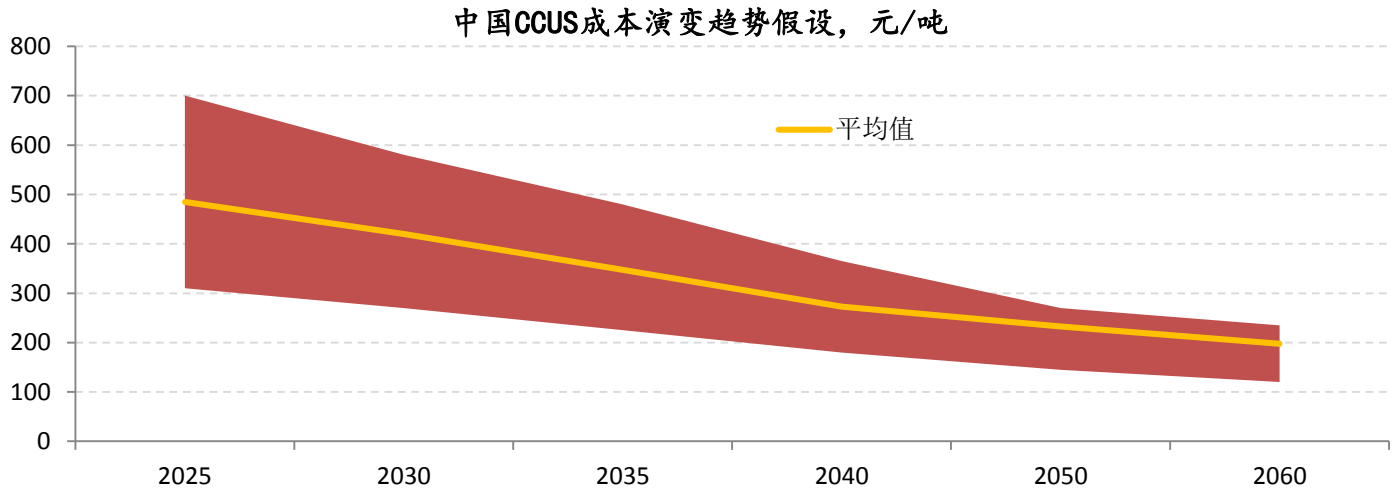
碳中和—CCUS技术更大规模应用情景说明

- 该情景是假定“碳中和—可持续转型情景”实现过程中，因CCUS技术，特别是资源化利用领域出现颠覆性重大突破，相关产业规模更快布局推广，化石能源排放的碳大部分或全部被中和的情景。



碳中和—CCUS技术更大规模应用情景说明

- 该情景设想CO_2的资源化技术革命性突破，获得大规模利用，从而在实现碳中和目标的同时，使传统化石能源被替代的过程更平稳，因能源转型带来的社会冲击与经济代价尽可能小。
- 随着技术进步及示范应用，CCUS成本总体处于成本区间下限，化石能源+CCUS具备技术经济可行性和工程实践可操作性，CCUS全产业链成本将稳步下降，预计2060年时较目前水平下降一半以上。

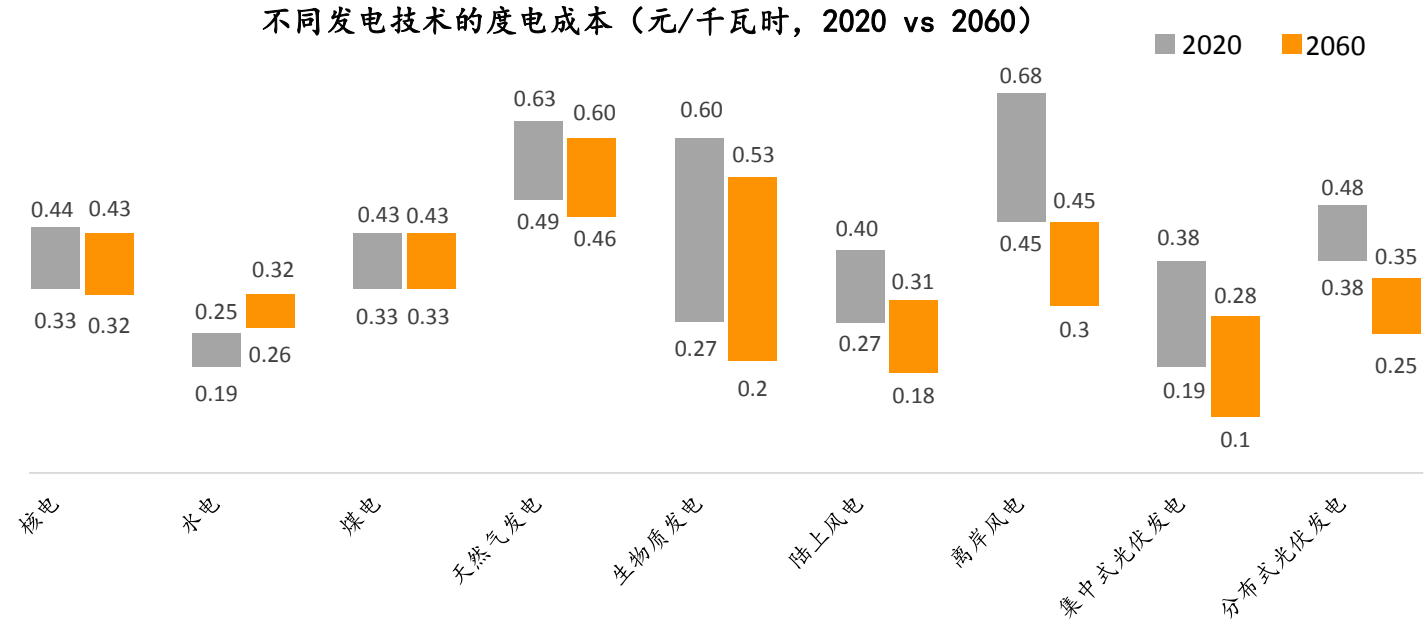


碳中和—可再生能源更快突破情景说明

- 该情景是假定在可持续转型情景基础上，可再生能源发电技术取得重大突破，其经济性显著增强，装机容量与发电量更快增长，为我国实现碳中和目标作出更大贡献得情景。其突出表现在：
  - 可再生能源开发利用的关键技术不断突破。可再生能源发电技术、新型电力系统规划、运行及安全稳定控制技术、新型先进输电技术、新型储能和电氢碳协同利用技术等持续攻克，筑牢新型电力系统根基。
  - 新型电力系统加速构建。不断提升现有电力系统的调峰调频灵活性备用调节能力，整合储能、氢能、电动汽车充放电等外部调节资源，大力推进智能微电网建设，实现可再生能源的大规模接入以及高可靠供给，推动构建具有韧性的、固有安全的新型电力系统。

碳中和—可再生能源更快突破情景说明

- 过去十年，风能、太阳能成本明显下降，其中太阳能光伏下降超过85%，陆上风电成本下降超过56%。
- 预计到2060年，集中式光伏、陆上风电、海上风电等可再生能源发电成本均值将较目前水平继续下降33%、27%和34%，展望期内年均下降1%，0.8%和1%。

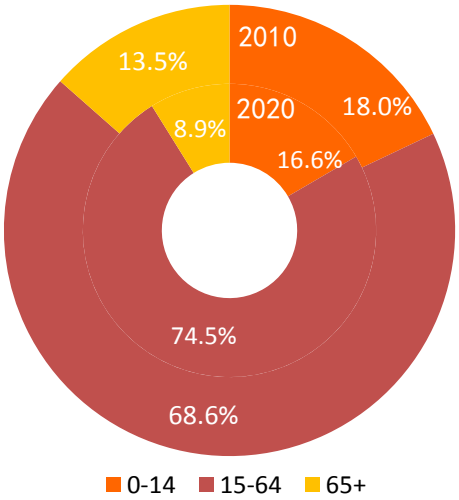


数据：BCG、中国石油经济技术研究院

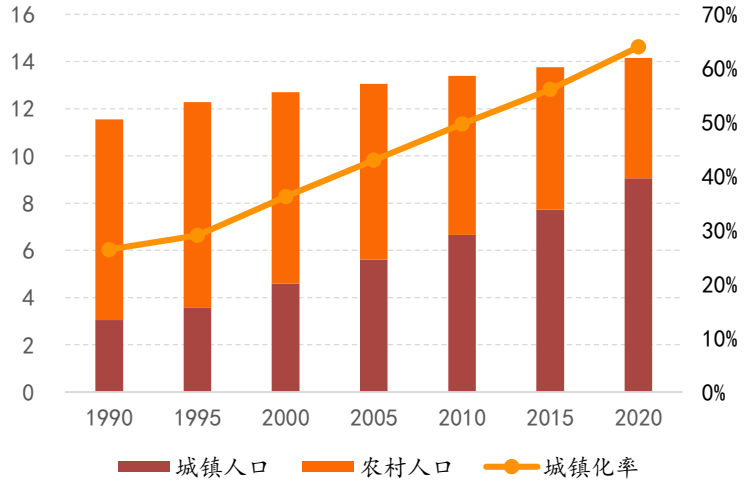
中国人口增速已明显放缓，城镇化率快速提升

- 近十年来中国人口低速增长，2020年总人口14.11亿，较2010年增长5.38%，年均增长0.53%，比2000-2010年增速下降0.04个百分点；人口老龄化程度进一步加深，65岁及以上人口占比较2010年上升4.6个百分点。
- 随着农业转移人口市民化政策落实落地和城市化进程的推进，城镇人口占比稳步提升，2020年达64%，较2010年上升14.2个百分点。

分年龄人口结构比较

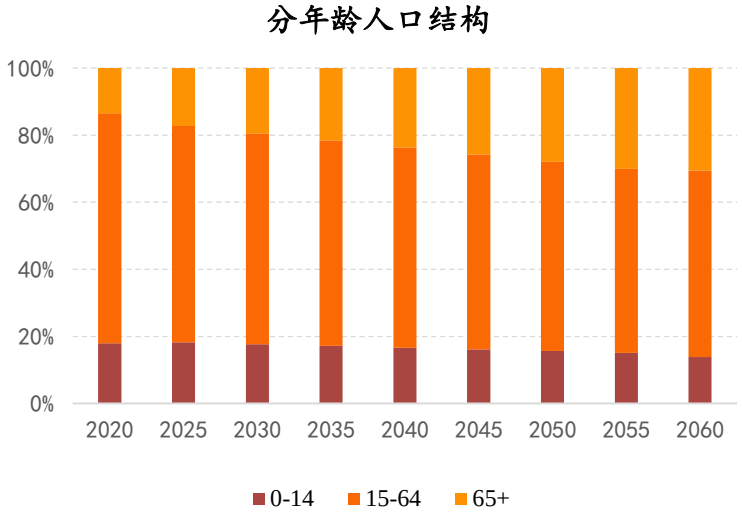


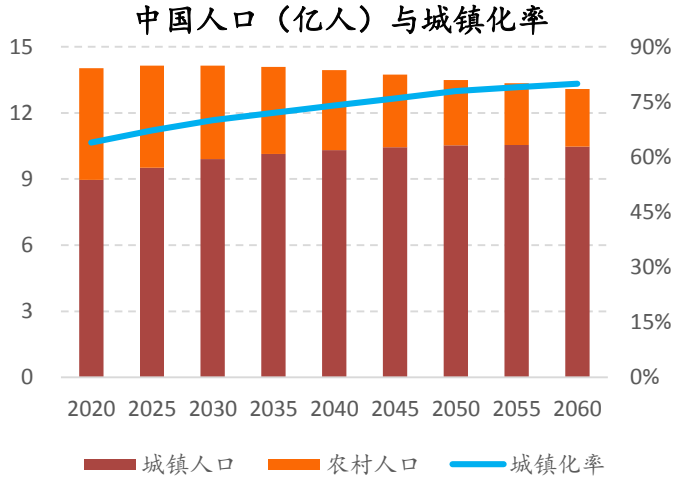
过去30年中国人口（亿人）与城镇化率



中国人口年龄结构与城乡结构将发生巨大变革

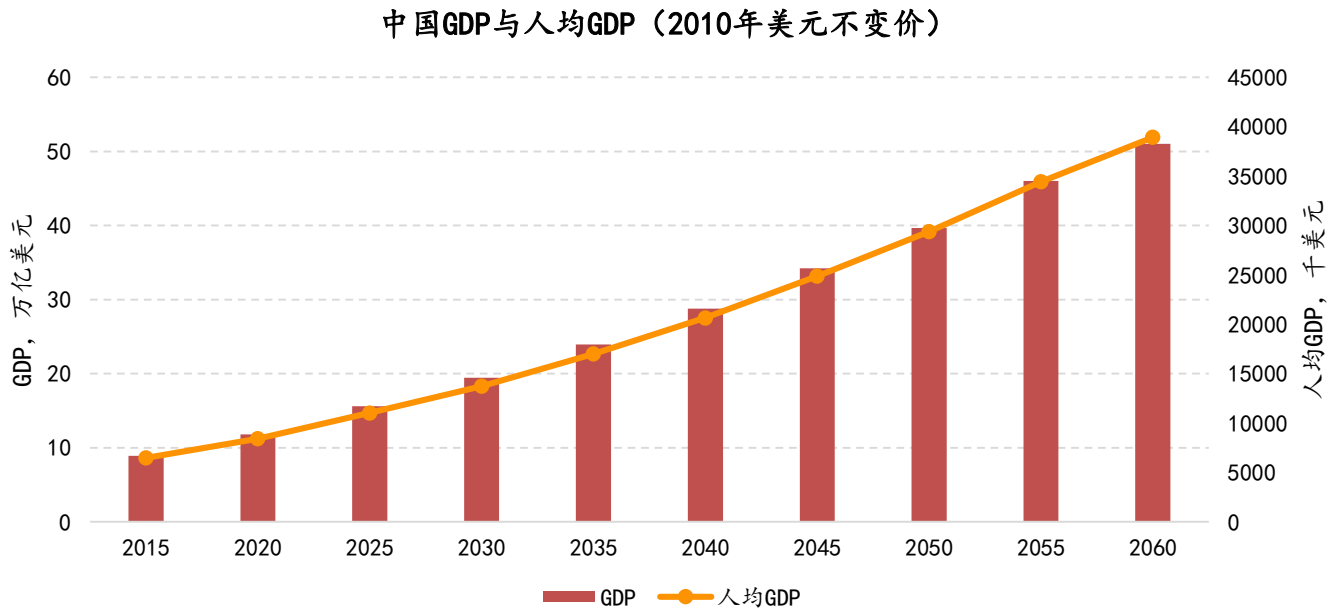
- 人们生育观念的转变，以及人口老龄化、少子化等将成为影响中国人口规模的重要因素，预计2030年前中国人口达峰，峰值为14.3亿，此后缓慢下降，2060年至13亿。
- 老龄化趋势明显，2060年65岁以上人口占比将超过30%。
- “双循环”新格局下，新型城镇化持续推进，预计2030年城镇化率达70%左右，城镇人口规模接近10亿，2060年城镇化率进一步增至80%左右。





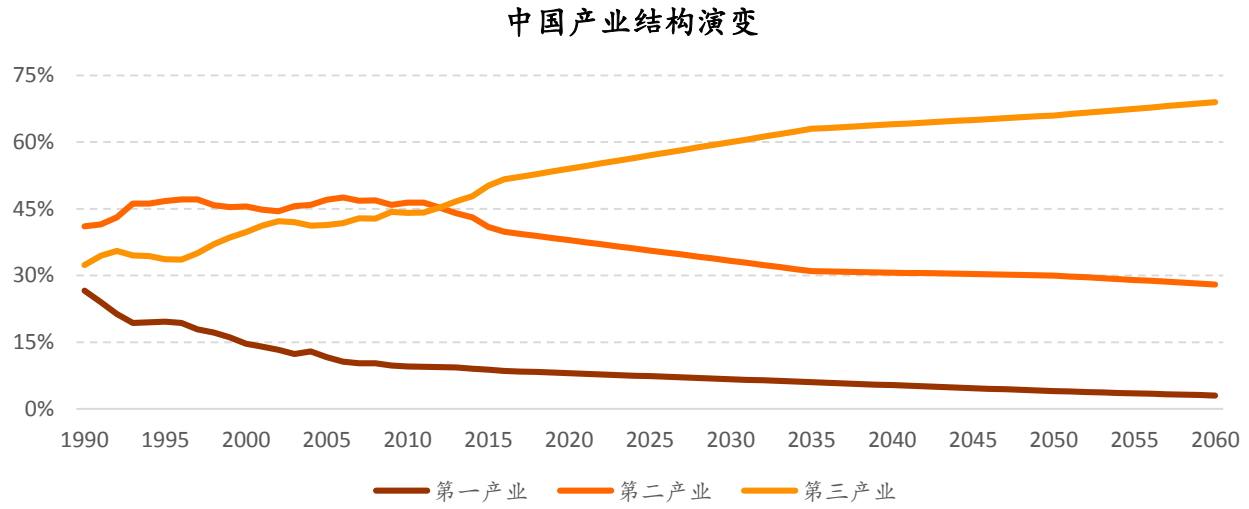
经济规模持续扩大，2055年前后翻两番

- 随着我国经济增长步入高质量发展阶段，潜在经济增长率将趋于下降，经济由高速增长转向中高速增长，更加依靠全要素生产率提升与国内消费拉动。
- 2021-2035年间年均GDP增速约4.8%，2036-2060年间年均GDP增速约3.1%，基本上呈现2035年经济规模较目前水平翻一番，2050-2060年间再翻一番的特征。



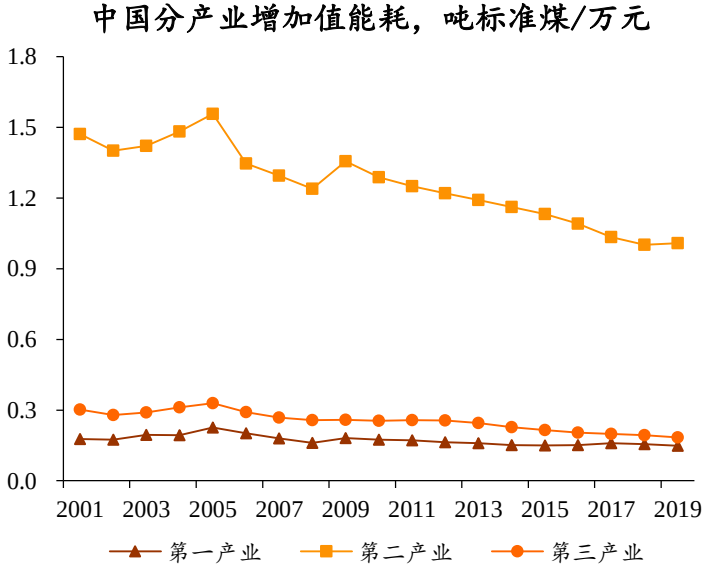
中国经济产业结构将渐进式调整优化

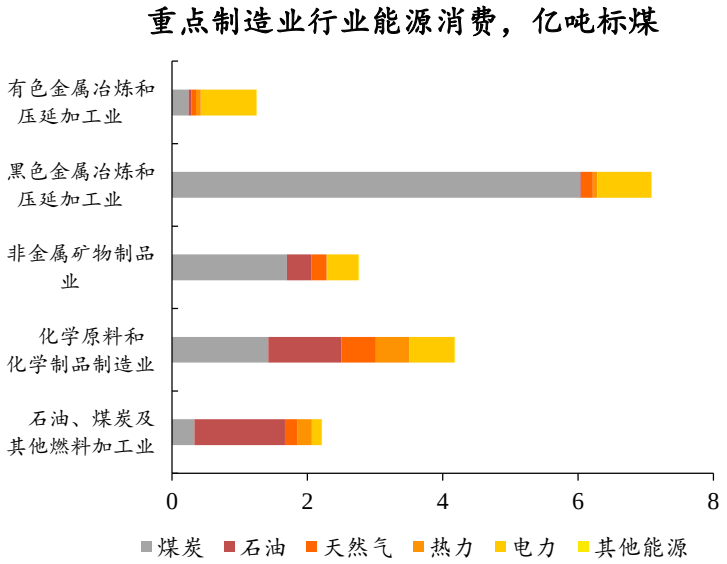
- 当前中国产业结构中第一、二产业产值占比较高，第三产业产值较低。长期看，随着数字化、智能化不断推广应用以及生产性服务业快速发展，中国第三产业比重提升将是趋势。中国提出“深入实施制造强国战略”，强调要“保持制造业比重基本稳定”，参照日本、德国等制造强国发展路径，第二产业产值占比将不会过快下降。
- 预计2030年第三产业占比将突破60%，2060年接近70%。



产业结构调整及能效提升共同助力能源消费强度下降

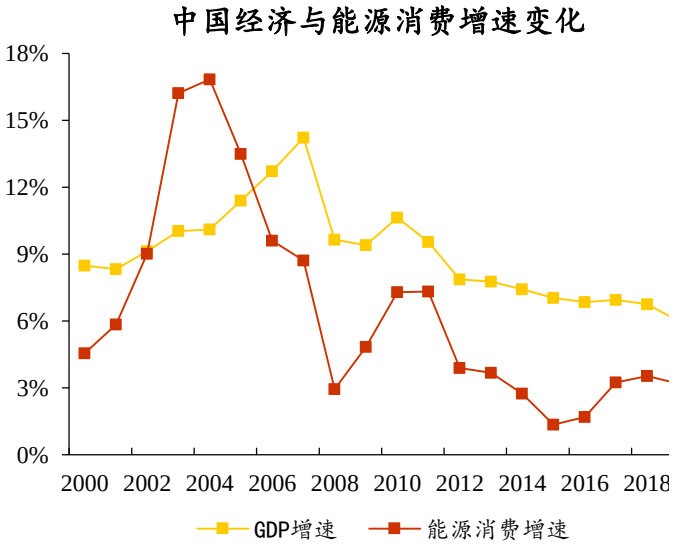
- 过去二十年，中国各产业单位增加值能耗均呈下降趋势。但三大产业的单位增加值能耗有较大差别，第二产业的单位增加值能耗分别是第一和第三产业的7倍和5倍左右。二产比重的下降也成为推动单位GDP能耗（能源强度）下降的重要因素。

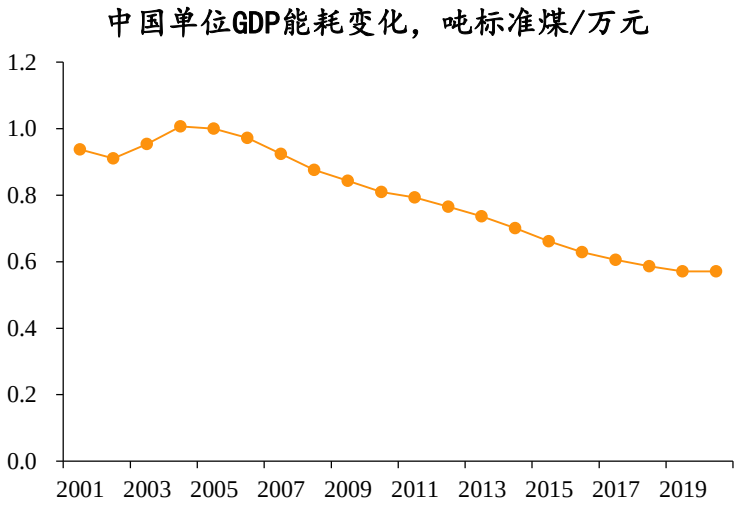




单位GDP能耗仍具有一定下降潜力

- 过去二十年，中国经济发展与能源消费的步调一致，能源消费增速略低于经济增速，其中GDP年均增长8.7%，能源消费年均增长6.3%。
- 与发达经济体相比，中国单位GDP能耗大约是美国的2倍、日本的2.5倍、英国的3倍，总体偏高，仍有进一步下降的空间。





2

可持续转型情景

可持续转型情景

2.1

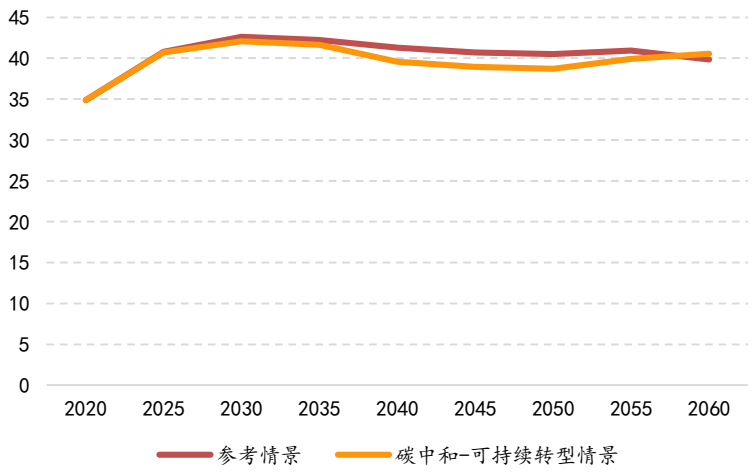
一次能源

可持续转型情景

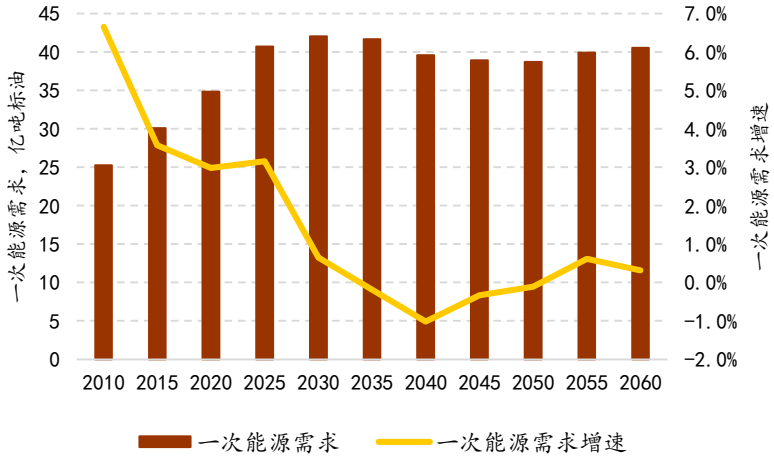
一次能源需求增速将进一步放缓并于2030年后进入峰值平台期

- 过去三十年，中国一次能源消费总体保持了较快增长，特别是二十世纪的第一个十年，工业化城镇化加快推进，一次能源消费增速较高（2000-2005年间增速达12.2%）。2010年以来，能源消费增速逐步回落，2015-2020年降至2.8%左右。
- 产业升级、能效提升、节约循环理念深入将使未来一次能源需求增速进一步放缓，于2030年后步入峰值平台期，约42亿吨标油或60.1亿吨标煤。

不同情景下一次能源消费，亿吨标油



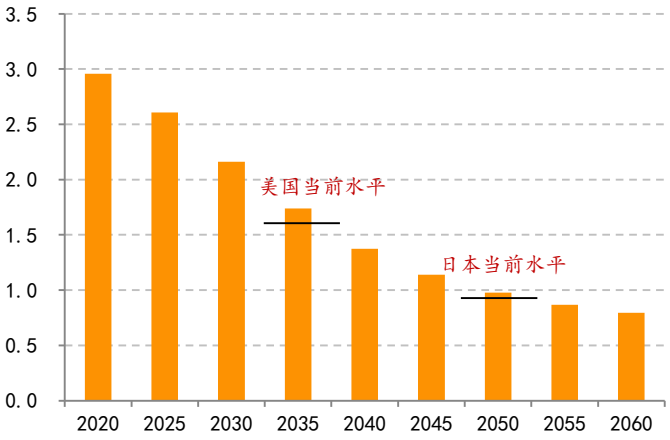
可持续转型情景下一次能源需求及增速



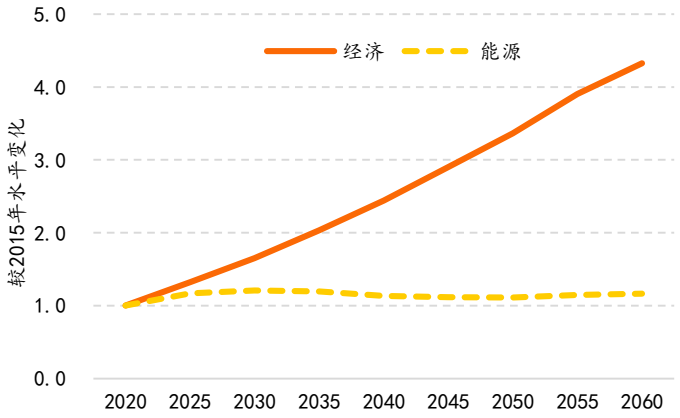
中国的单位GDP能耗将稳步下降

- 对高耗能高排放项目的有序管控及能源“双控”政策的实施，叠加能效提升、循环理念、能源资源节约发展模式深入推进，能源消费强度将稳步下降。2020-2030年间，年均下降3.1%左右，2031-2060年间下降3.3%左右。

单位GDP能耗，吨油/万美元



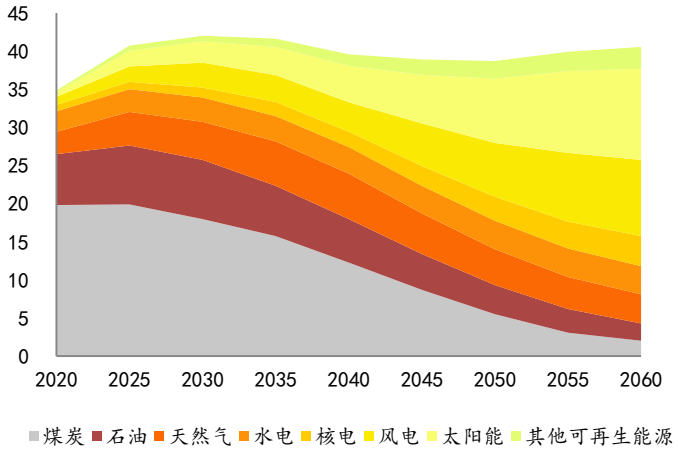
经济增长与能源需求变化趋势

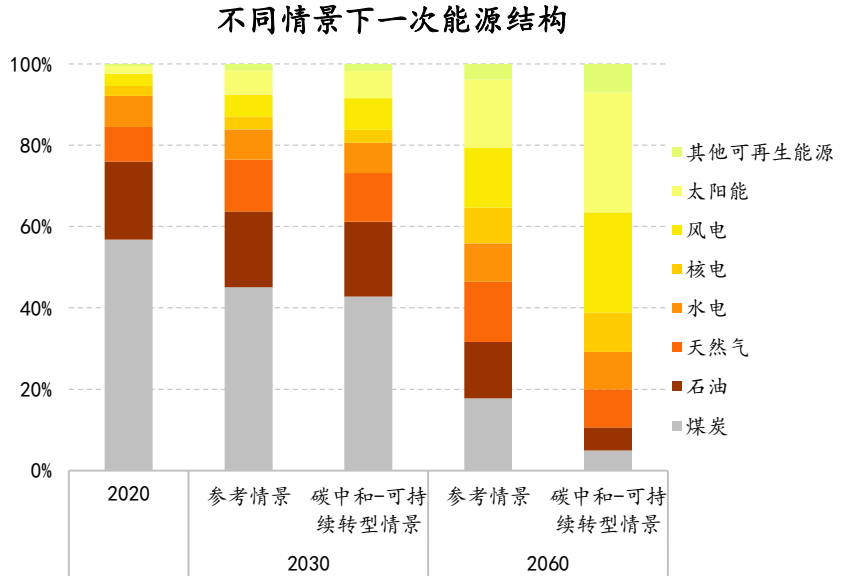


可持续转型情景

2040年前非化石能源超过煤炭成为第一大能源

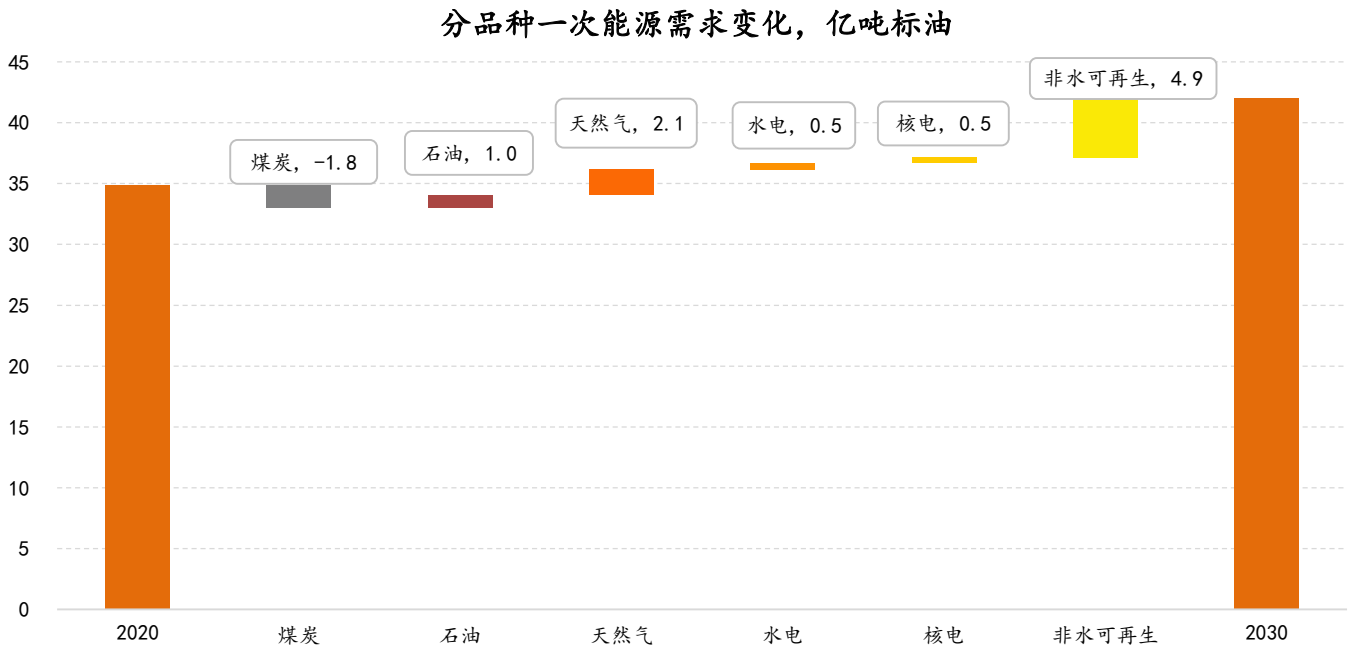
- 非化石能源的规模化开发利用是推进能源绿色低碳转型的重要手段，预计2030年和2060年非化石能源占一次能源比重分别增至26.9%和80%。煤炭占比持续下降，2030年和2060年分别降至42.8%和5%；2040年前油气占比稳定在30%左右，2060年降至15%。
- 2035-2040年间，非化石能源占比将超过煤炭成为第一大能源。





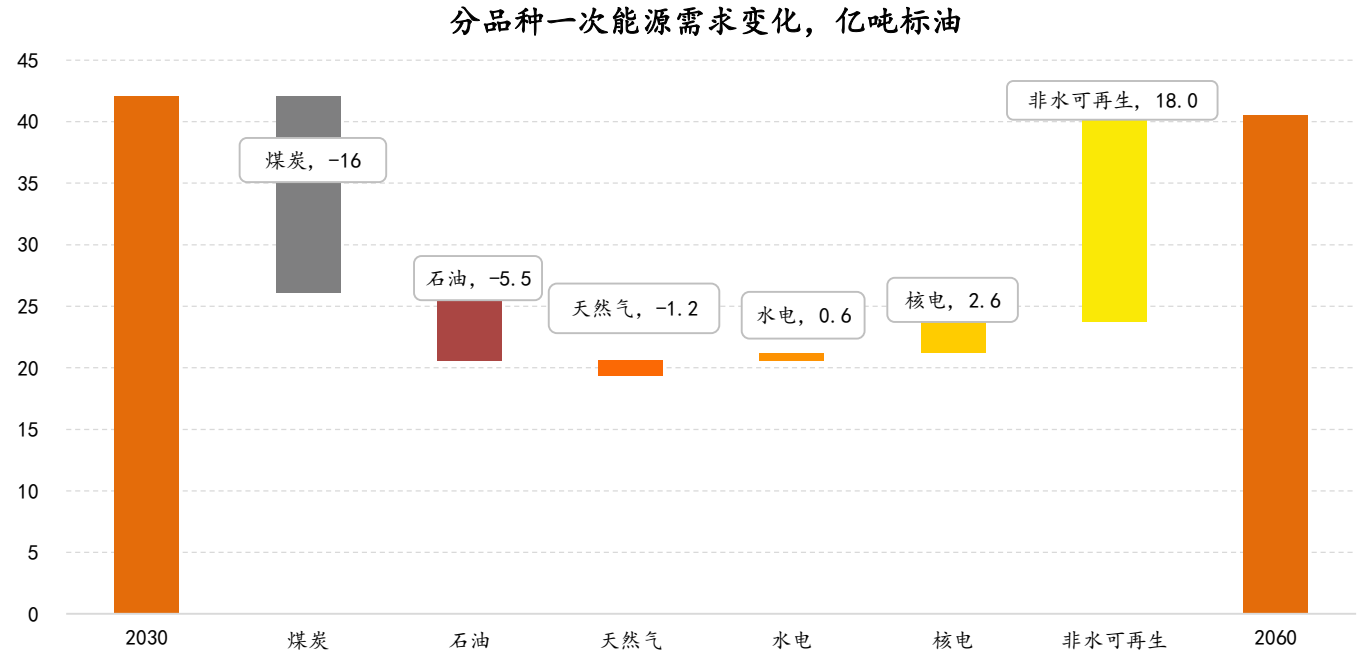
2030年达峰前阶段：增量清洁低碳阶段

- 2030年前，中国能源发展呈现煤炭减量，石油放缓、清洁能源（天然气和非化石能源）快速增加的特征；一次能源需求增量的近90%可由清洁能源满足。



2030-2060年碳中和阶段：存量绿色低碳阶段

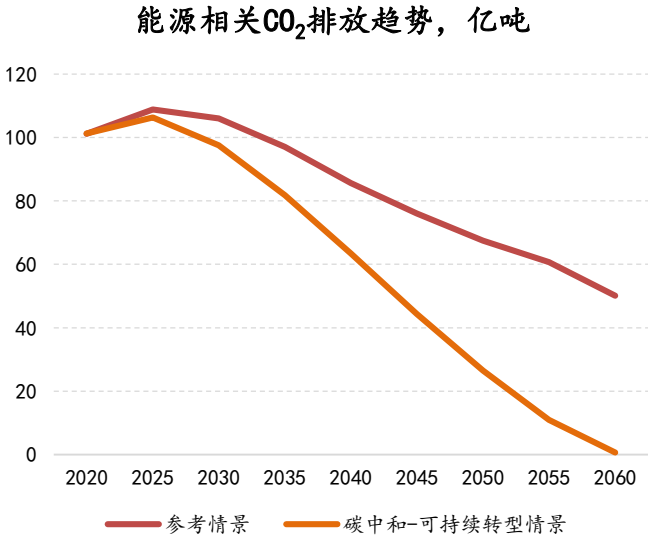
- 2030年后，非化石能源开发利用规模持续扩大，对煤炭和石油在发电、工业燃烧、建筑和交通用能等领域形成直接或间接替代，推动存量结构绿色低碳转型。

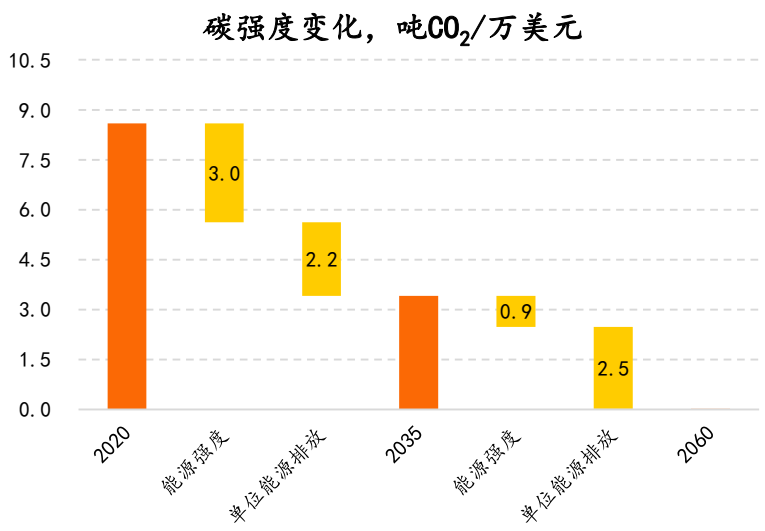


可持续转型情景

能源强度下降和能源结构优化推动碳排放达峰后快速下降

- 能源相关CO_2排放在2030年前达峰，峰值约106亿吨，之后逐步回落，2060年实现零排放。
- 碳排放强度下降较快，其中能源强度变化和能源结构低碳化对碳排放强度下降的贡献分别为45%和55%。





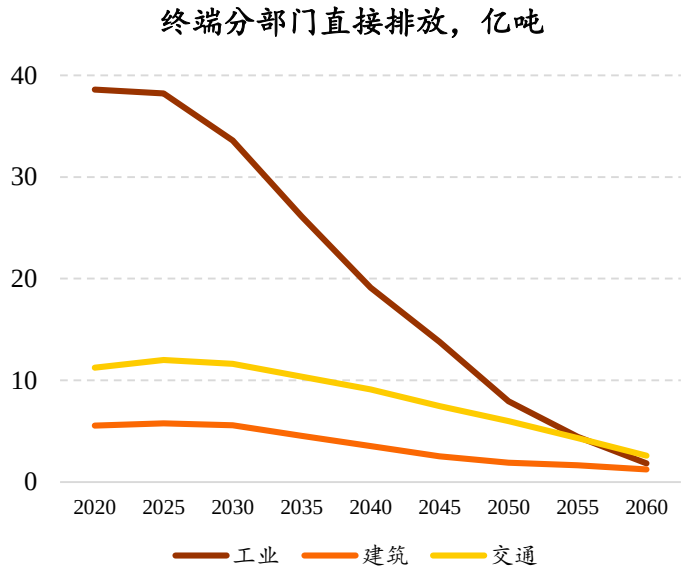
2.2

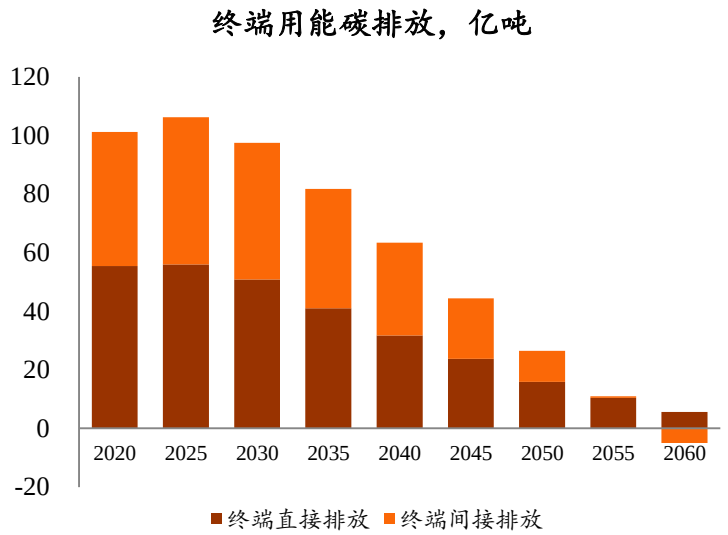
终端部门用能

可持续转型情景

终端部门能源相关碳排放将于2025年前后达峰

- 2020年，中国终端部门能源消费的直接碳排放约55.4亿吨。在碳中和-可持续转型情景下，终端部门直接排放将在2025年前后达峰，约56亿吨，之后稳步回落，降至2060年的5.6亿吨。

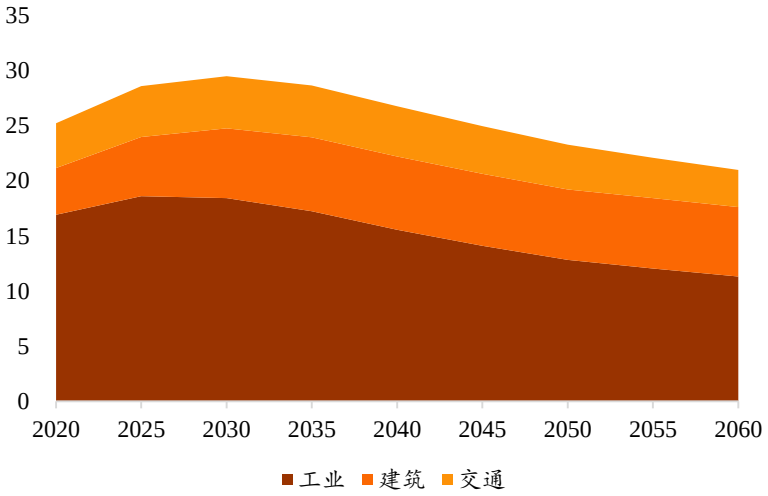




终端用能总量将于2030年前后达峰

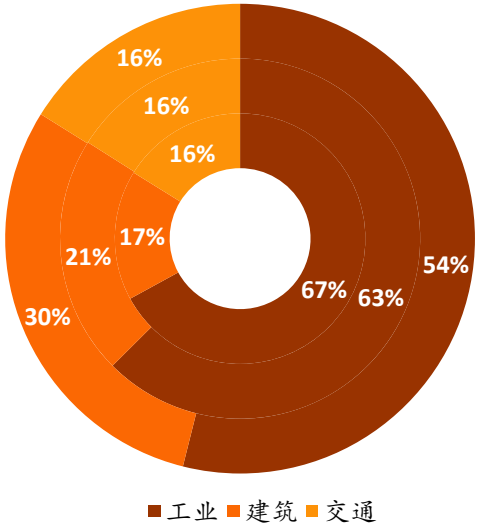
- 中国终端用能总量将于2030年前后达峰，约29.5亿吨标油，之后逐步回落，2060年降至21亿吨标油。
- 终端用能演变趋势与单位产出能耗更高的工业用能需求下降以及高效的电力技术等在终端部门的大规模使用密切相关。

分部门终端用能，亿吨标油



注：工业用能包括燃烧和非燃烧用能

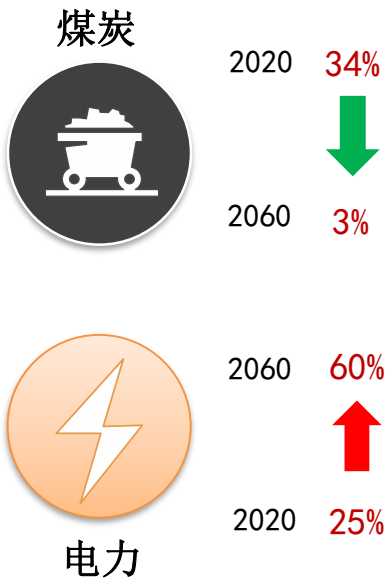
分部门终端用能占比

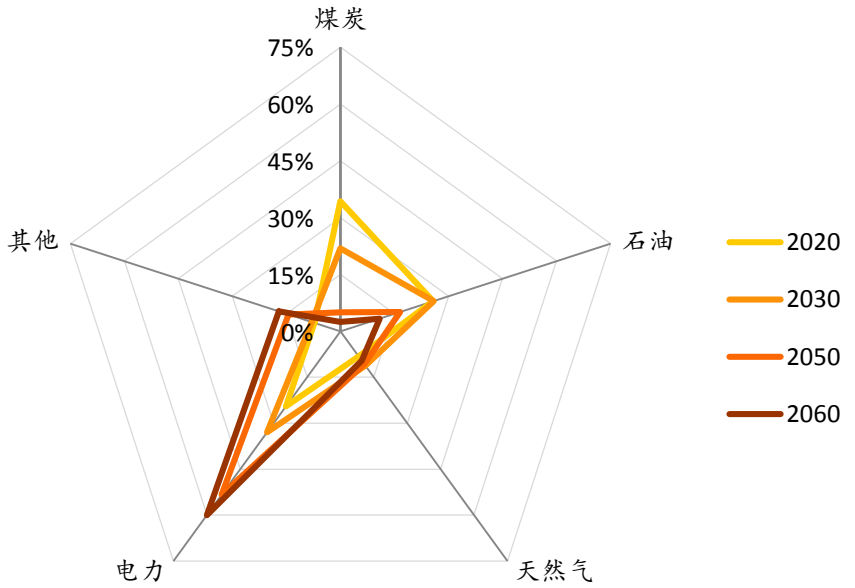


注：从里到外，分别代表2020、2030和2060年数据

终端部门的电气化进程将明显加速

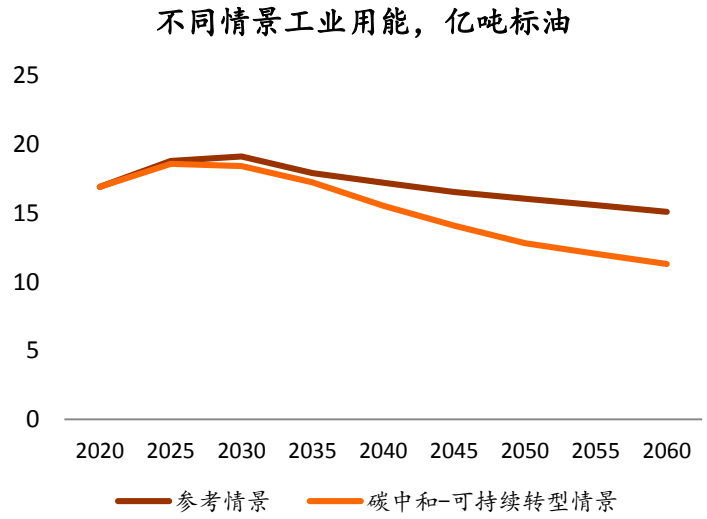
- 经济结构升级和能源转型合力推动终端用能绿色高效化，突出表现为煤炭占比快速下降，从2020年的34%降至2060年的2.5%；电力占比快速攀升，从2020年的25%增至2060年的60%，年均增长0.9个百分点。

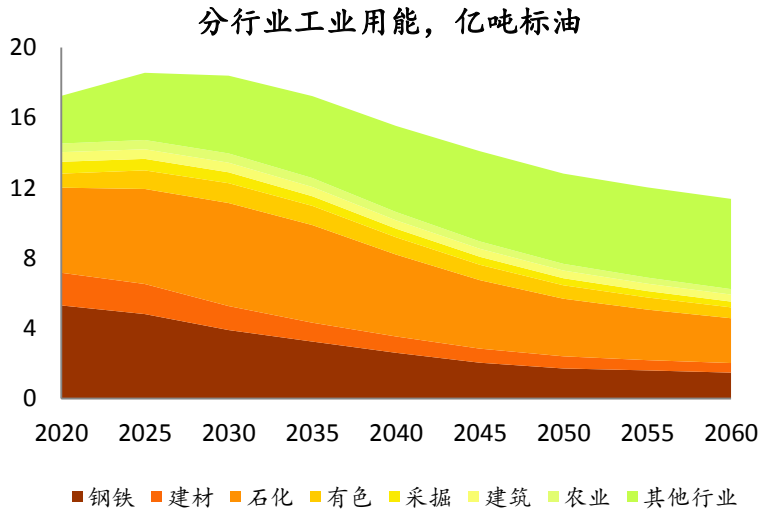




工业用能总量于2025-2030年间进入峰值平台期

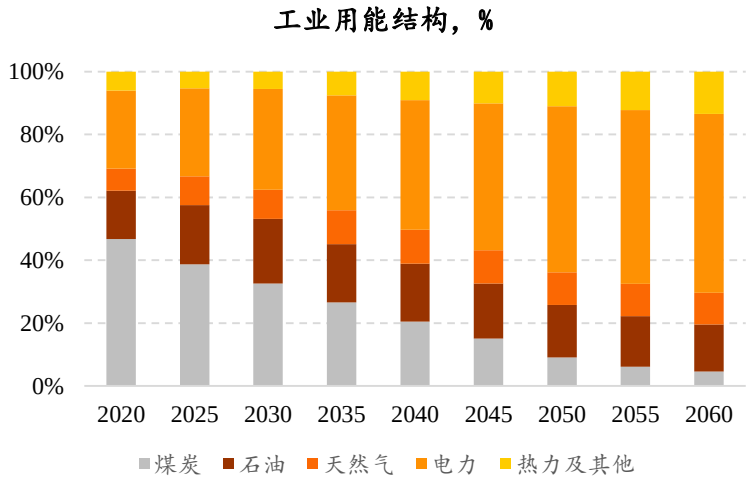
- 可持续转型情景下，随着中国在全球产业链价值链分工体系的角色转变，2025年前后低附加值、高耗能产品产量将基本达峰，工业用能需求也将在2025-2030年间达峰，约18.9亿吨标油。
- 长期看，伴随工业互联网及高效技术应用，能源资源价值创造能力将更强，工业用能将缓慢下降，2060年降至11.3亿吨标油，达峰后年均下降1.4%。

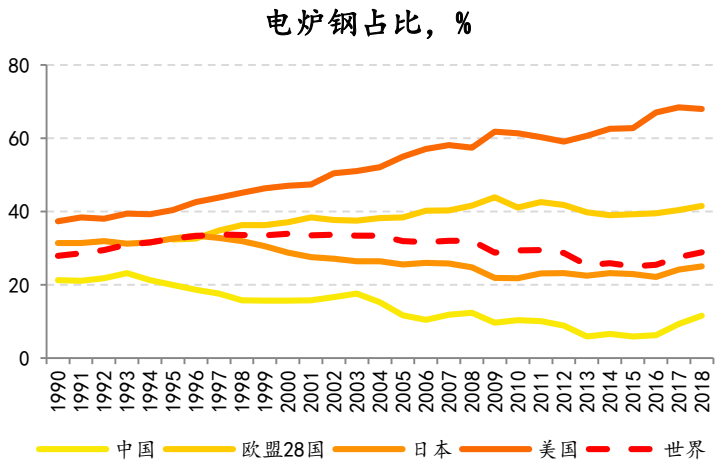




内外因素共同驱动工业用能结构优化

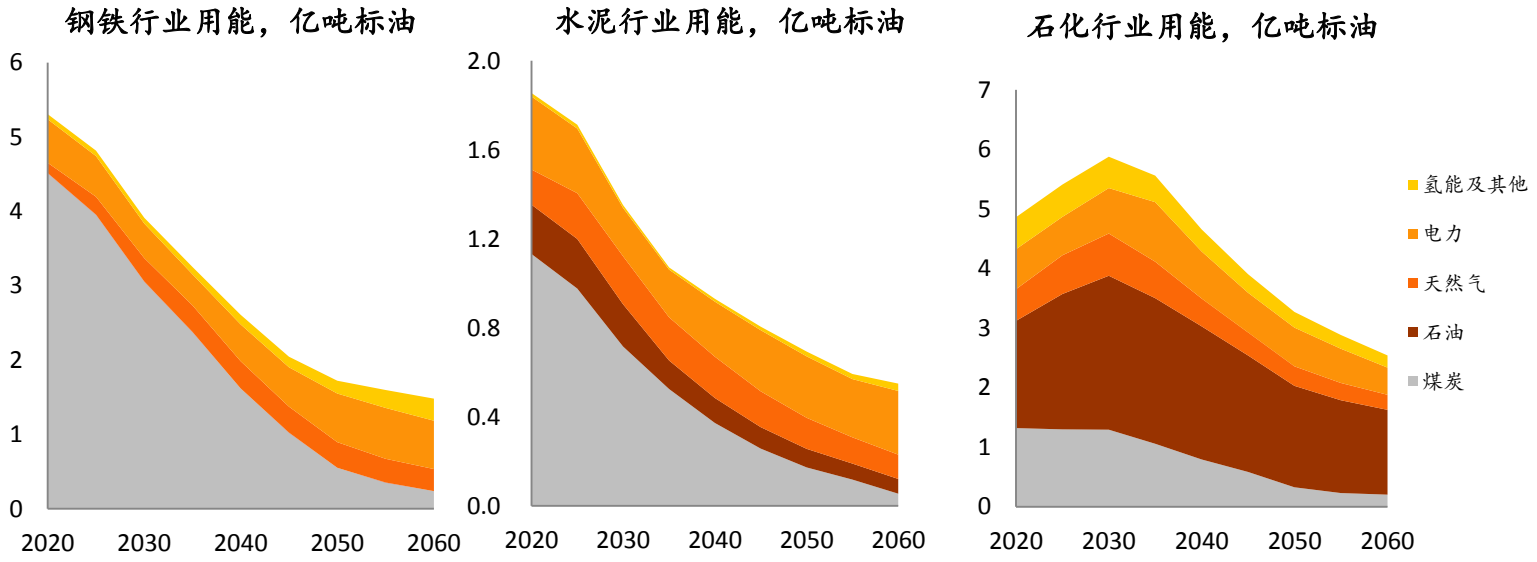
- 工业部门结构的调整及碳约束加大，将使工业用能呈现化石能源直接利用比重下降，电力等二次能源占比提升的特征。到2060年，化石能源直接利用比重仅为29.7%，较2020年大幅下降39.5个百分点。
- 工业用能节约和结构优化潜力巨大。以炼钢为例，电炉钢能耗较传统转炉钢能效下降40%左右，而当前中国电炉钢流程占比仅约12%，低于世界平均的29%，远低于美国约68%的水平。





高耗能行业低碳化步伐将明显加快

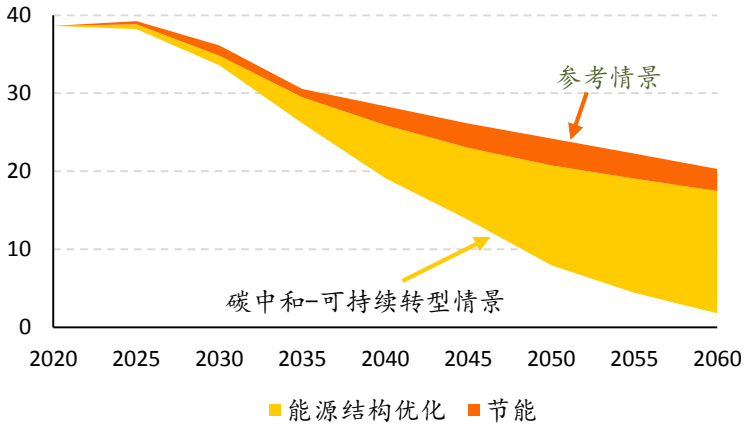
- 钢铁、水泥、石化等高耗能行业占工业用能比重大，化石能源消费量高，相关行业的绿色发展是促进工业低碳转型的关键。
- 该情景下，钢铁、水泥、石化等行业的煤炭需求将快速降低，电力、氢能、CCUS等低碳零碳技术将成为行业脱碳的重要选项。



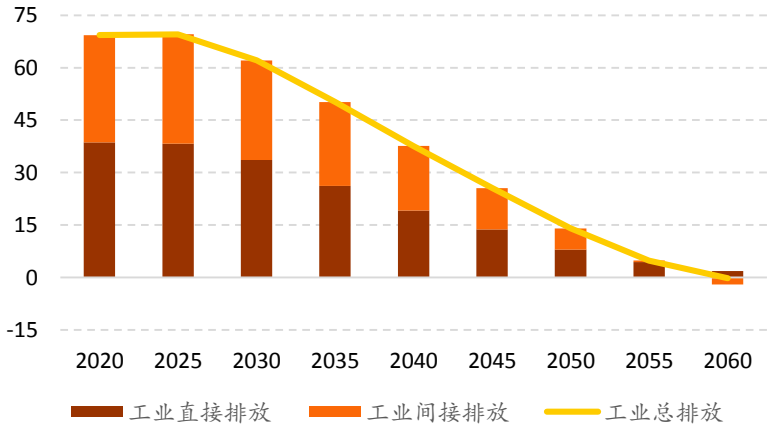
2030年后工业部门碳排放将进入快速下降通道

- 中国工业部门能源直接碳排放已基本进入峰值平台期，2025年前相对稳定，之后稳中有降，将是2030年前中国碳达峰的主要贡献者。这一阶段，节能和工业用能结构优化对碳减排的贡献相当。
- 2030年后，工业部门能源相关直接排放将进入快速下降期，2060年降至1.8亿吨，2031-2060年间年均下降7%，其中节能和工业用能结构优化对减排的贡献分别约21%和79%。

不同情景工业用能直接碳排放变化，亿吨



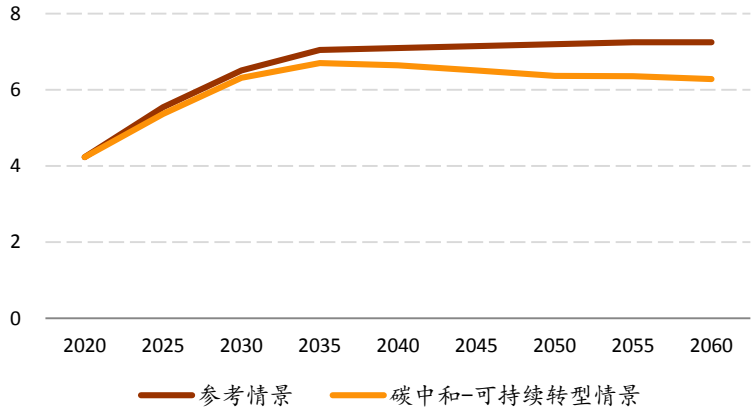
工业部门能源相关碳排放总量，亿吨



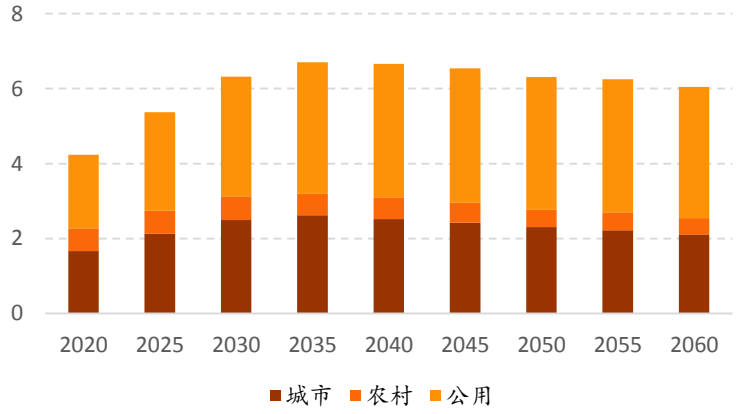
建筑部门用能需求于2035年前后达峰

- 中国建筑用能在2035年前保持较快增长，届时达6.7亿吨标油，较2020年增加58%。
- 随着现代服务业、数字经济等新经济快速发展，将推动公用建筑用能（商业用能）成为用能增量主体，2020-2035年间贡献增量的63%。
- 新型城镇化的持续推进，及生活方式的数字化线上化转型，将拉动城市用能增长，2035年前较2020年增加57%左右。此外，尽管农村人口逐渐下降，但随着乡村振兴战略的深入实施，2030年前农村建筑用能仍将增长。

不同情景建筑用能，亿吨标油

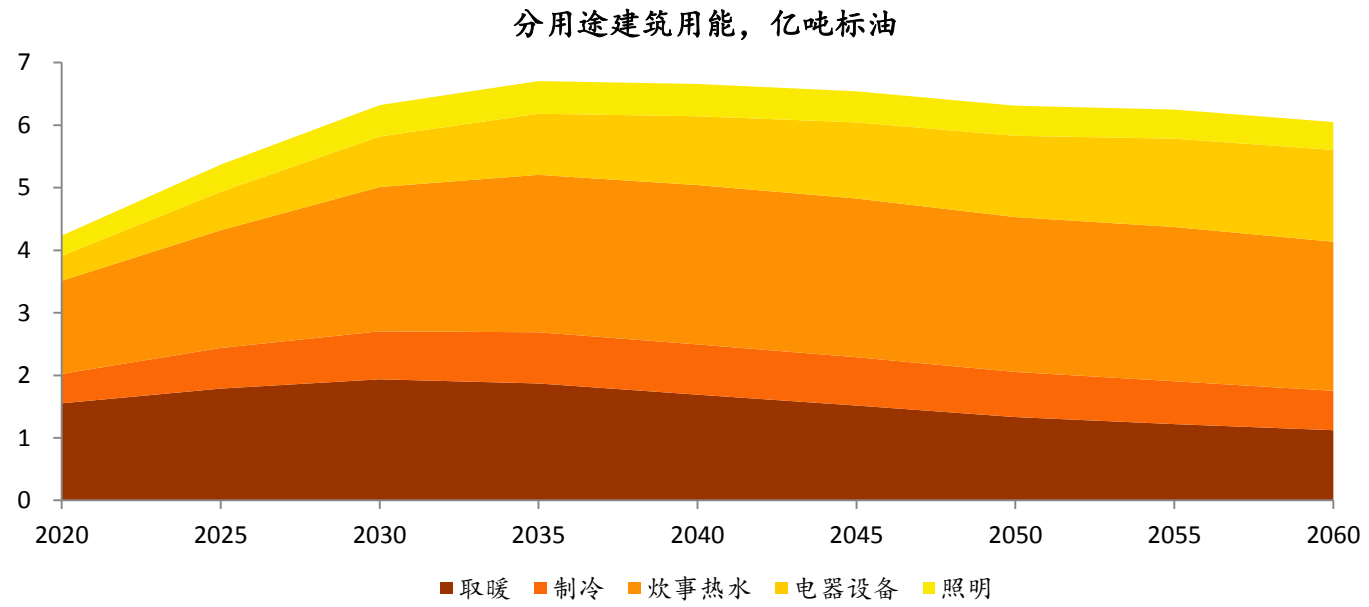


分领域建筑部门用能需求，亿吨标油



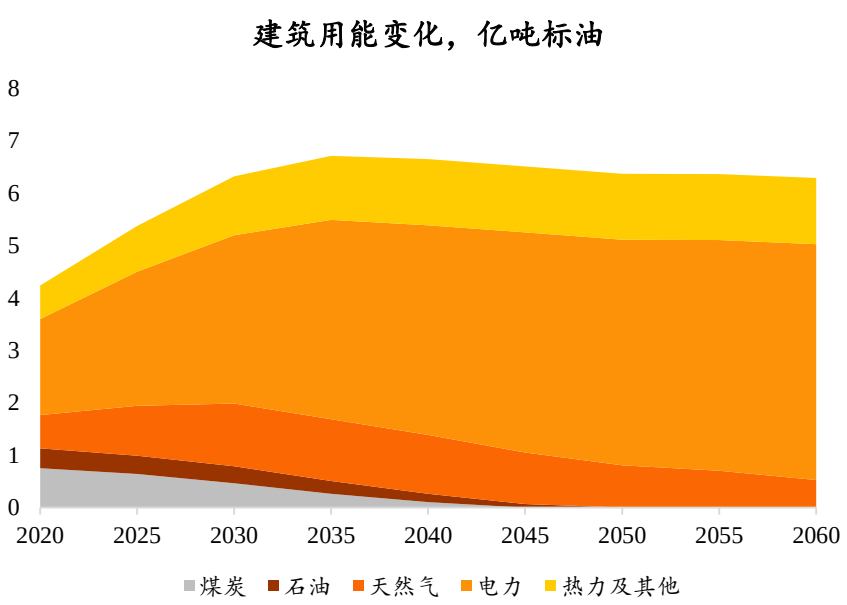
电器设备用能较快增长支撑建筑用能维持较高水平

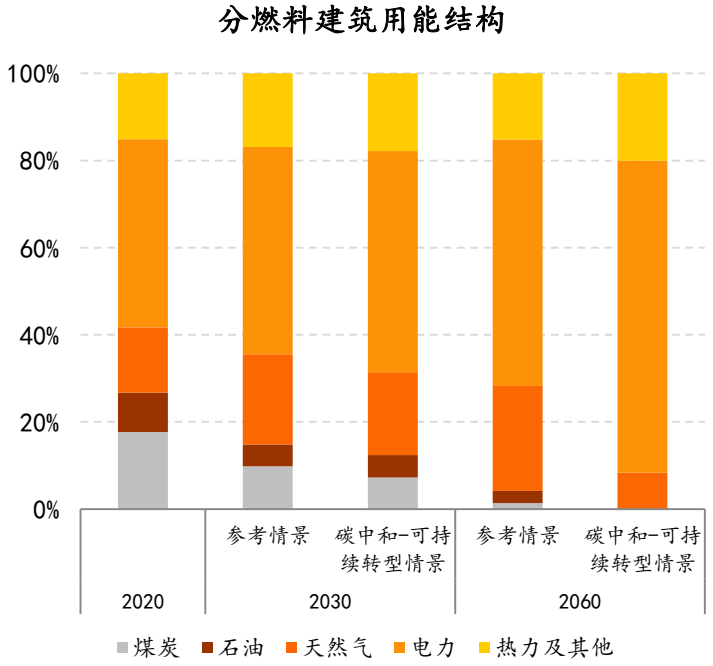
- 分用途看，炊事热水的用能在较长时间保持在较高水平，占建筑用能的比重在35%-40%间。炊事热水需求分散在千家万户，是建筑部门低碳化转型的重点难点。
- 电器设备用能的增幅较大，2060年达1.5亿吨标油，是2020年的3.7倍，其占建筑用能的比重也将从2020年的9.3%增至2060年的24.3%。



建筑用能电气化率持续提升

- 受电器设备等新型建筑用能需求的持续增长，以及大气污染治理约束、清洁能源基础设施日趋完善等影响，建筑用能电气化率持续攀升，到2060年达到72%，较2020年提升28个百分点。



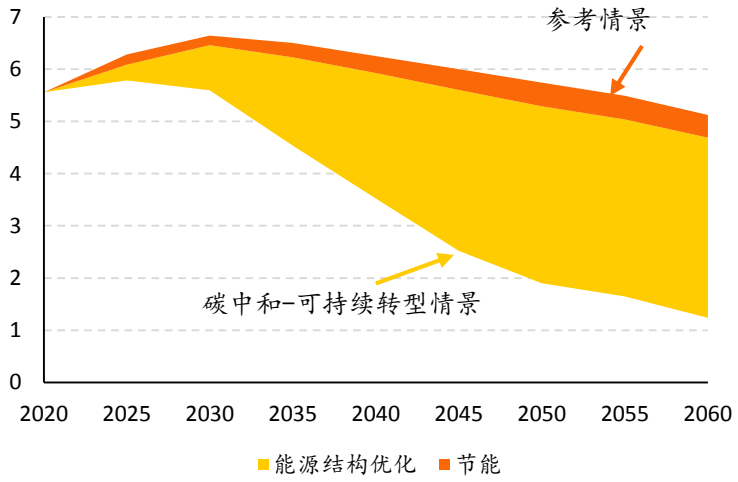


可持续转型情景

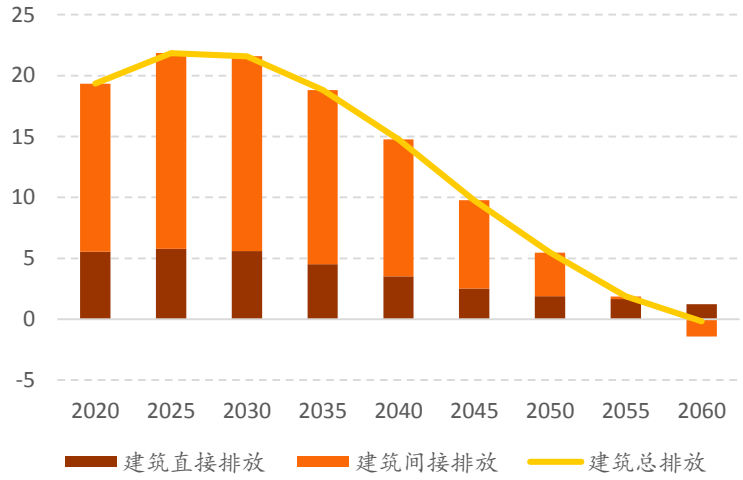
建筑部门碳排放将在2030年前后达峰

- 可持续转型情景下，建筑部门用能结构低碳化转型更快，推动建筑部门能源直接碳排放较建筑用能需求提前5-10年达峰，即2025-2030年间建筑碳排放基本达峰，约5.8亿吨（考虑间接排放，则约22亿吨）。
- 从减排贡献看，2020-2060年节能和用能结构优化的贡献率分别约13%和87%。

不同情景建筑部门碳排放，亿吨



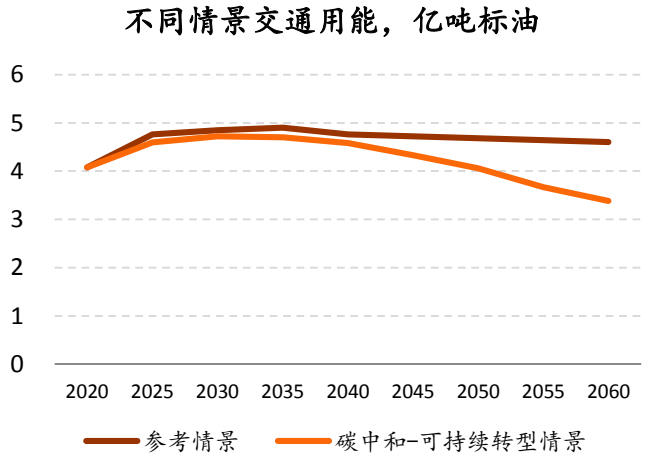
建筑部门碳排放总量，亿吨

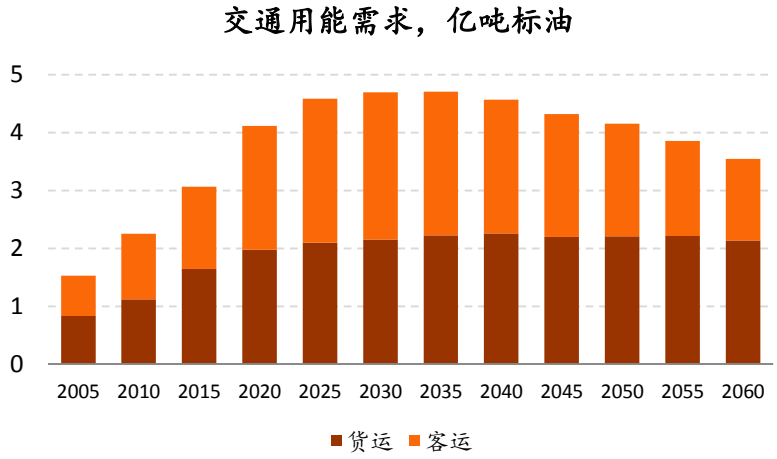


可持续转型情景

中国交通领域将走一条特色的低碳转型之路

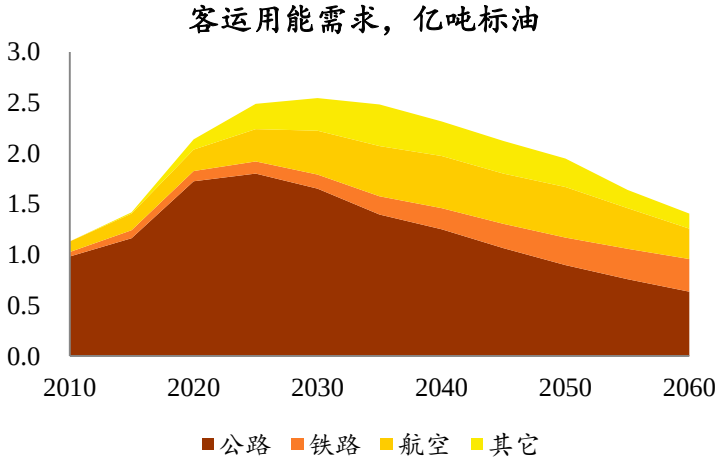
- 新世纪以来，中国经济规模和人均收入快速增加，拉动客运、货运需求较快增长。从用能增速看，2005-2020年间，客运和货运用能需求年均分别为7.8%和5.9%（同期，中国GDP增速约8.3%）。
- 中国持续推进集公路、铁路、航空、水运综合立体的集约型交通体系建设，高铁、地铁、新能源汽车、智能网联车等更高效节能运输方式加快发展，将使得中国交通用能走出一条特色的低碳转型之路。

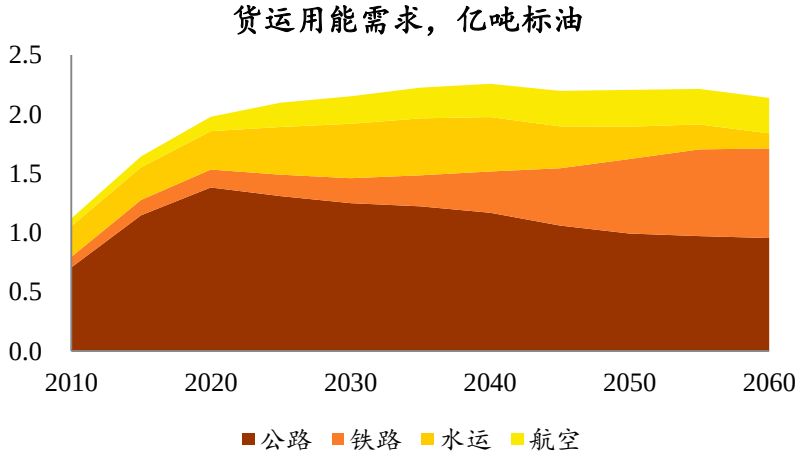




客运、货运用能将先后于2030和2040年进入峰值平台期

- 受新能源汽车发展加速，公共交通、绿色出行等集约节能出行方式的应用，客运用能需求将于2030年前后达峰，约2.5亿吨标油，之后较快下降。
- 中国经济规模的持续扩大支撑货运潜在需求，但受产业结构调整、城市群集聚带动的区域性产业链垂直融合、交通运输体系优化等因素影响，货运用能需求增速不断放缓，预计2040年进入峰值平台期，约2.3亿吨标油。

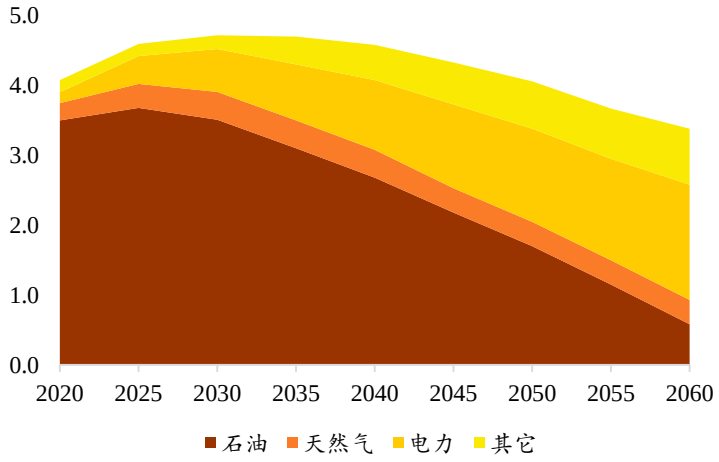




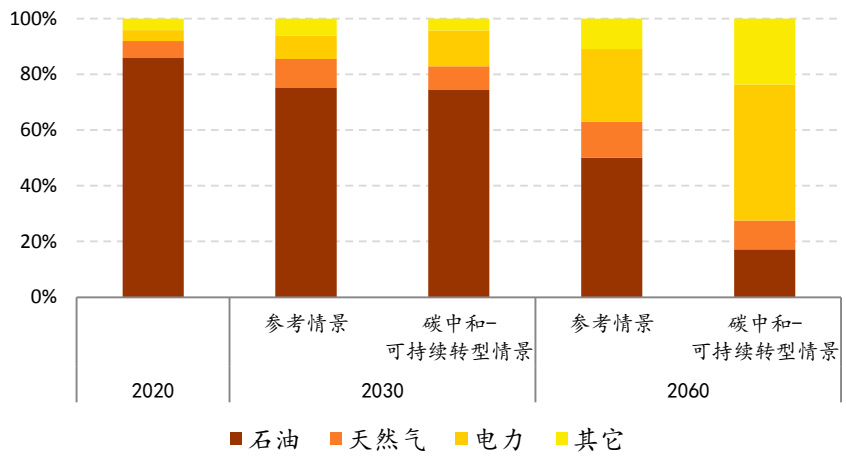
交通用能结构从“一油独大” 转向多元支撑

- 油品性质稳定、易储存、单位体积能量密度高，在当前交通用能体系中占主导。2020年油品占比约86%。
- 交通领域的低碳化转型需要加大电代油、气代油、氢代油步伐，特别是在乘用车领域需更快转型。交通用能将从“一油独大” 转向多元支撑，2060年，油品、天然气、电力及其它能源载体的占比分别为17.2%、10.4%、48.8%和23.7%。

交通用能变化,亿吨标油



分燃料交通用能结构

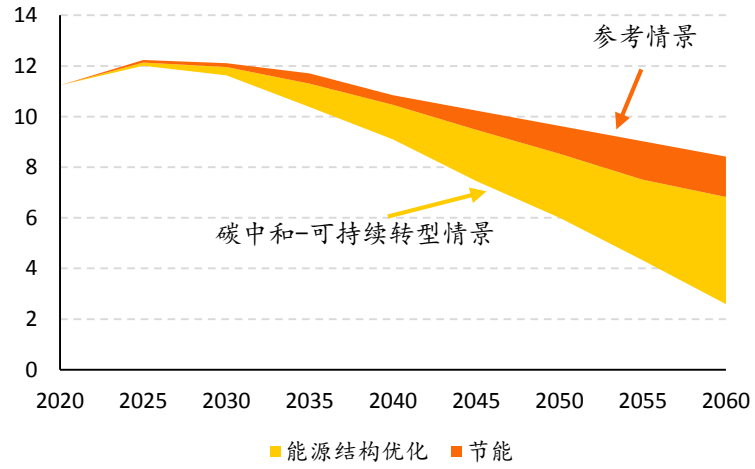


可持续转型情景

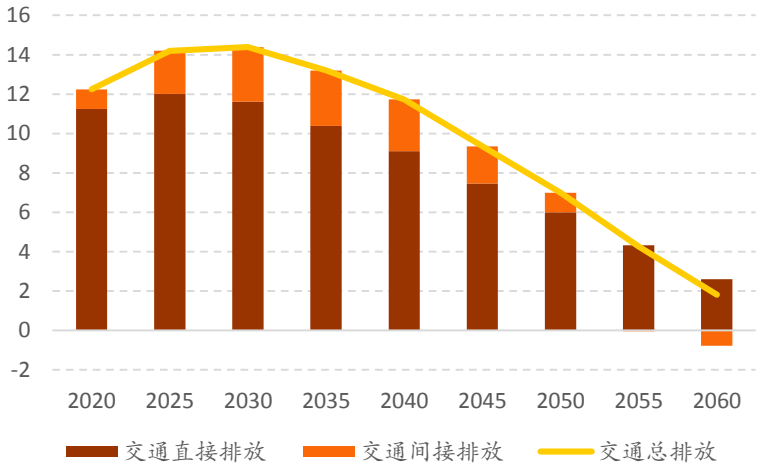
交通领域碳排放将在2025-2030年间进入峰值平台期

- 交通领域能源直接碳排放与交通油品需求走势基本一致，预计2025-2030年间达峰，约12亿吨（考虑间接排放，则约14.4亿吨）。
- 从减排贡献看，2030年前，节能和用能结构优化对交通领域减排贡献率分别约35%和65%；2031-2060年间，贡献率分别为29%和71%。

不同情景交通部门碳排放，亿吨

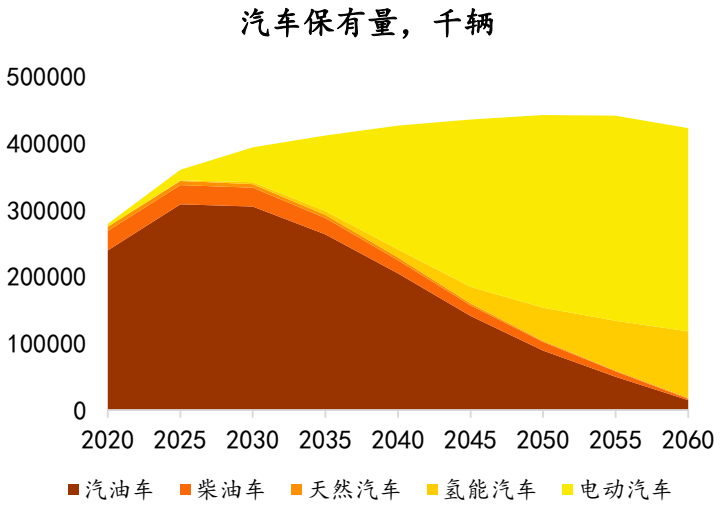


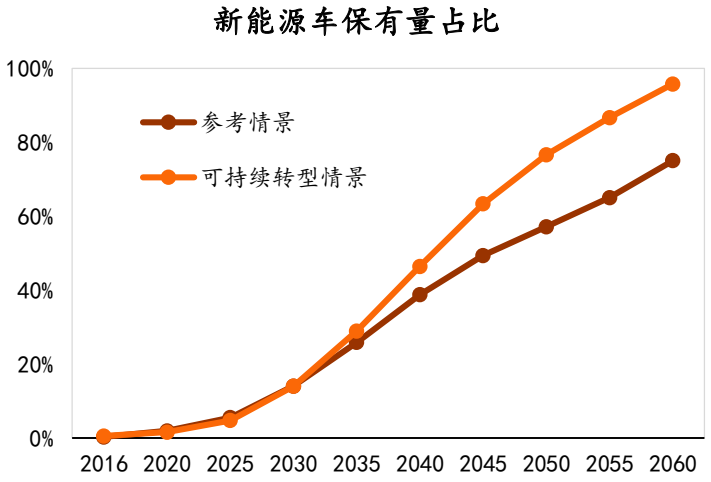
交通部门碳排放总量，亿吨



新能源汽车保有量占比将在2040—2045年间突破50%

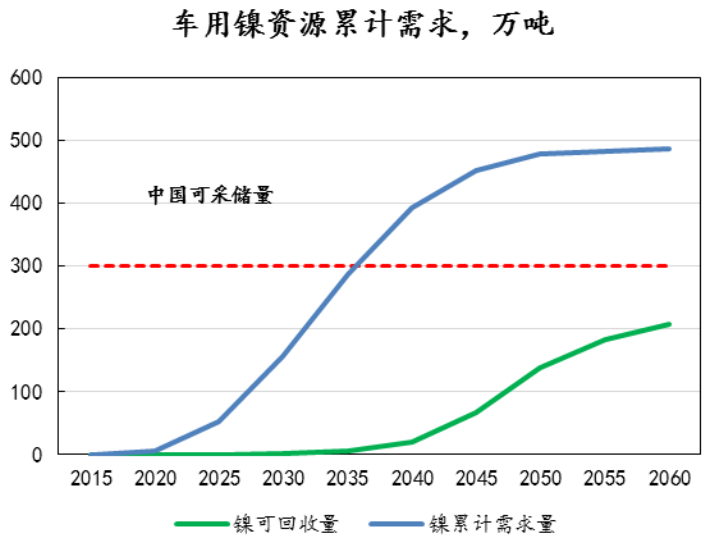
- 从千人汽车保有量视角看，中国汽车保有量还有很大提升空间，预计将从2020年的2.8亿辆增至2050年的4.4亿辆，然后缓慢下降至2060年的4.2亿辆。
- 长期看，汽车保有量结构将发生颠覆性变化。碳中和-可持续转型情景下，新能源汽车保有量占比将在2029年、2033年、2036年、2042年、2052年先后突破10%、20%、30%、50%和80%。

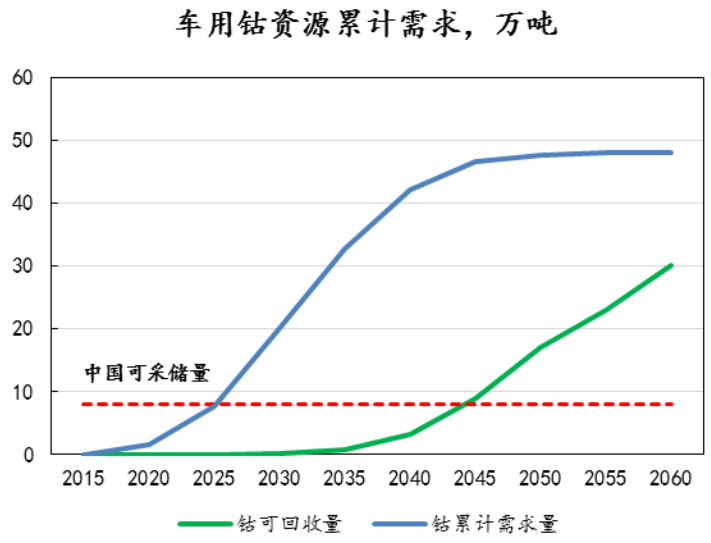




电动汽车快速发展面临一定的关键矿产资源约束

- 中国电动汽车大规模发展所需的电池材料镍、钴等矿物储量并不丰富，目前，镍、钴原料对外依存度分别超过80%和90%，上游材料稀缺性日渐凸显。
- 按照当前趋势预测，考虑循环回收利用情况下，中国电动汽车发展所需的镍和钴资源累计需求将分别于2035年和2025年左右超过国内资源可采储量。





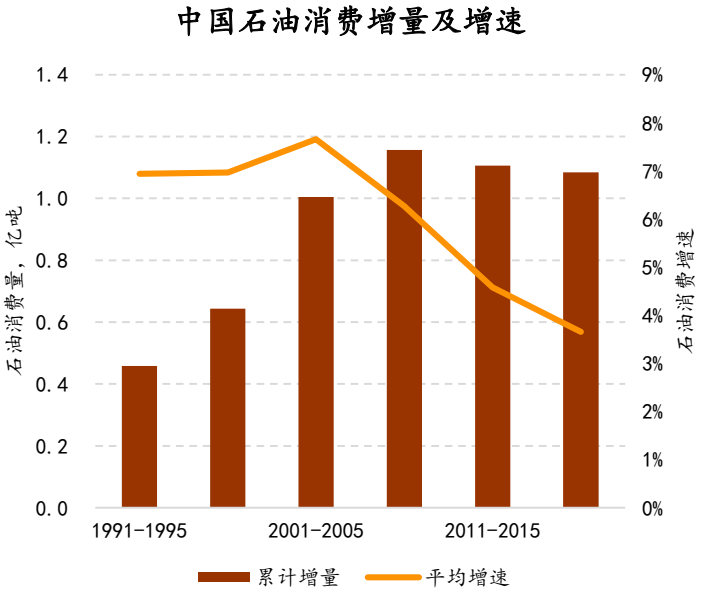
2.3

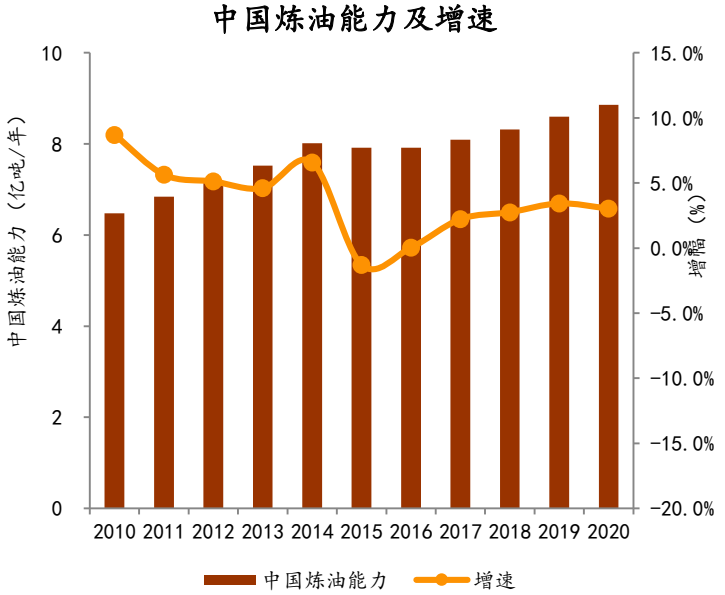
石油

可持续转型情景

中国石油需求已由高速增长转为中低速增长

- 2010-2020年，我国石油表观消费量从4.29亿吨增长至7.02亿吨，年均增长5.1%，增速较2000-2010年降低1.7个百分点，已由高速增长进入中低速增长时期。
- 2015年“两权”放开后，随着地方传统炼油的扩能和大型民营炼化一体化项目投产，中国炼油能力保持较快增长，2020年增至8.9亿吨/年，较2015年增长12%。



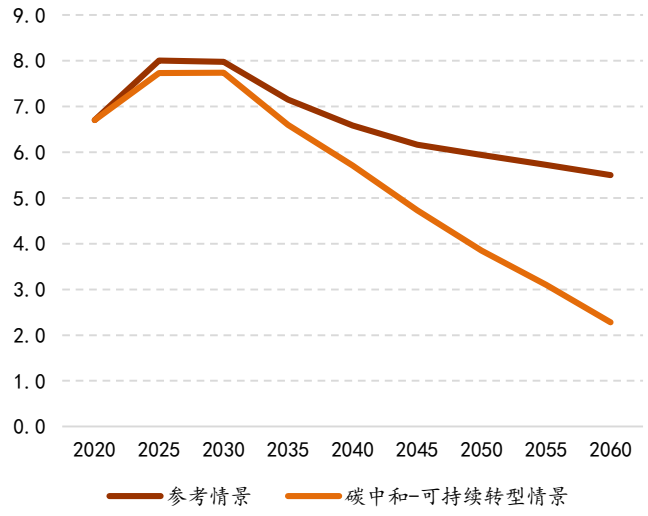


可持续转型情景

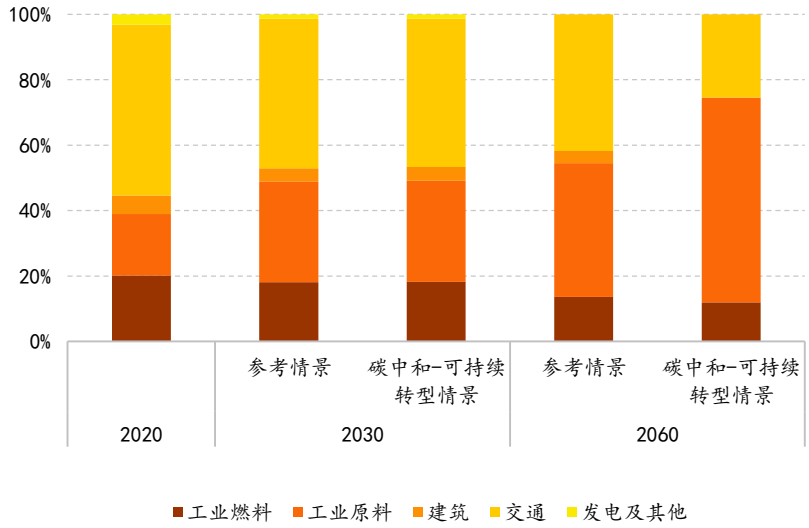
中短期石油消费仍将增长，未来突出“原料属性”

- 2030年前随着一批大型先进石化项目的上马，化工用油将快速增长，进而带动石油消费增长，2030年将达7.8亿吨左右。
- 2030年后随着交通领域替代能源的快速发展，石油消费稳步回落，2060年降至2.3亿吨。化工用油在相当长时期内保持稳步增长态势，其占石油消费的比例将增至2060年的63%左右。

不同情景下石油消费量，亿吨

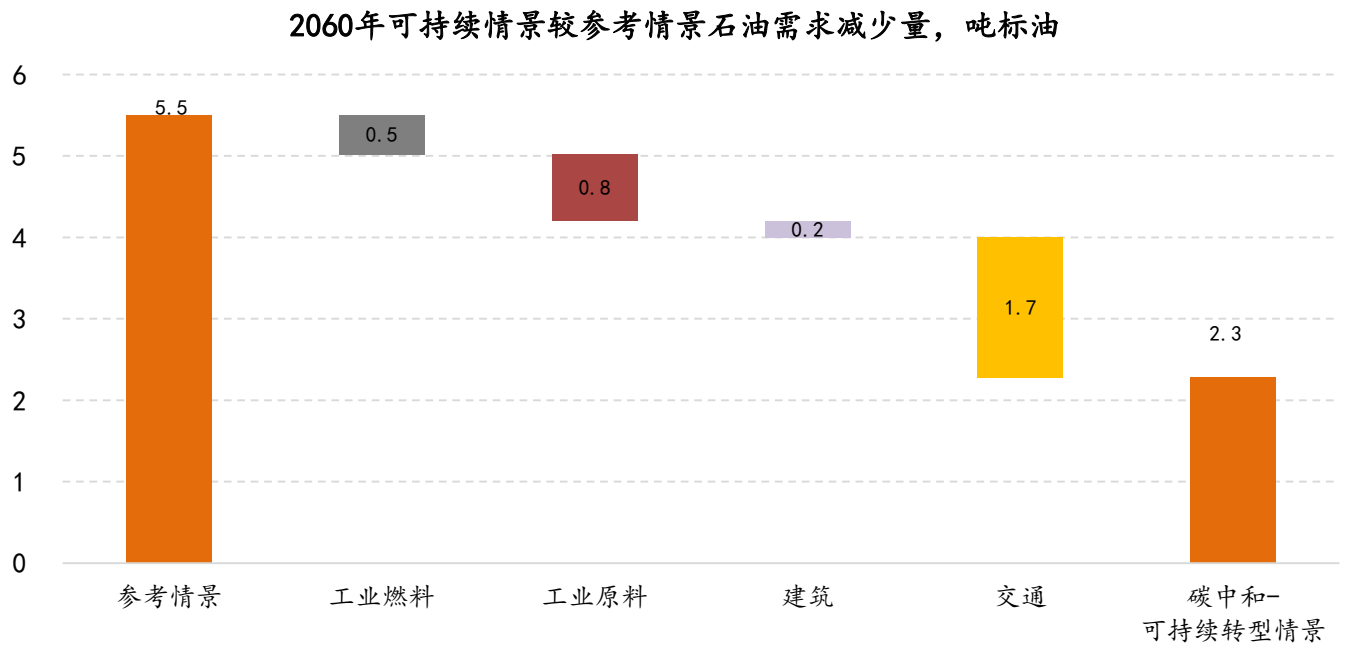


不同情景下石油需求结构



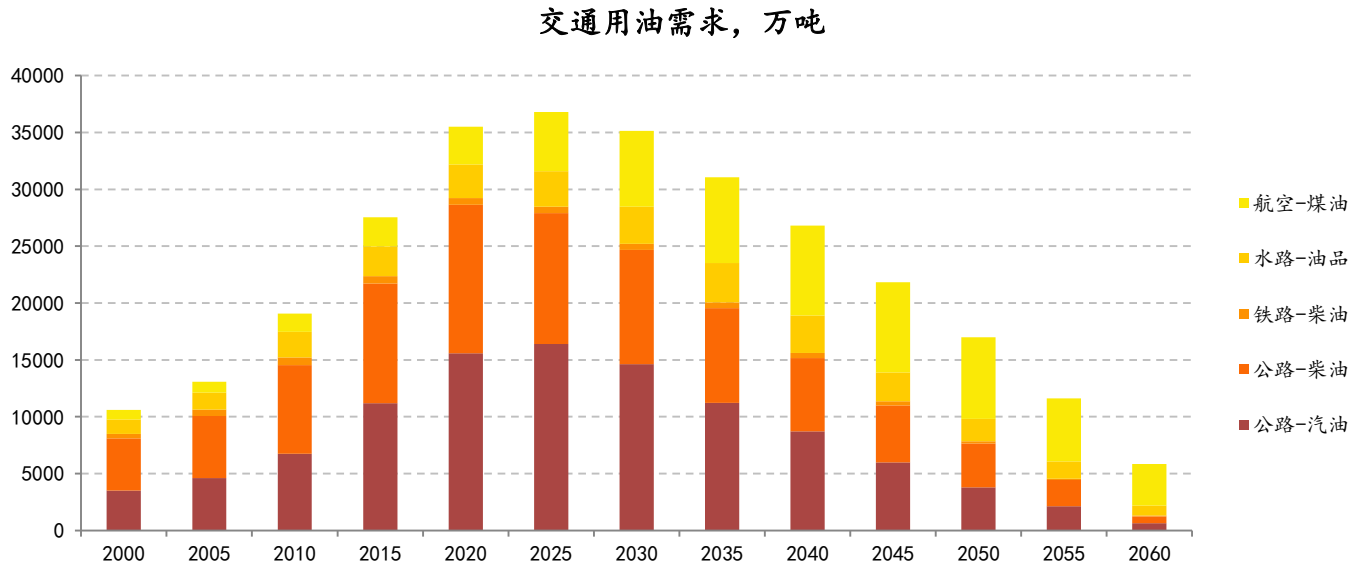
2030年后各行业石油消费逐步减少，交通降量最大

- 2030年后，各行业石油消费逐步降低，其中交通领域在电动化、网联化、智能化的影响下，交通用油持续下降。
- 较参考情景，2060年交通用油减少1.7亿吨，占石油消费减量的一半以上。



交通用油将于2025年前后达峰

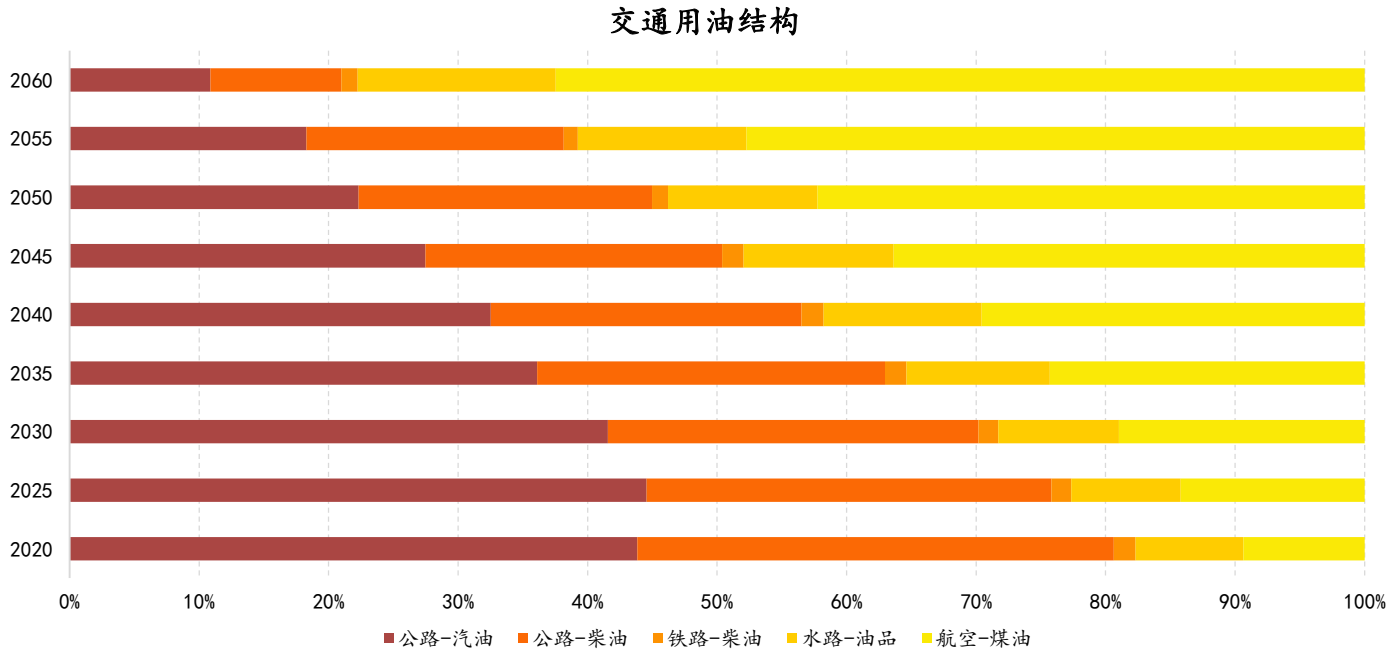
- 新世纪以来，中国交通用油需求突飞猛进，从2000年的1.1亿吨增加到2020年的3.5亿吨，年均增幅达6.2%。其中公路用油是交通用油的主力，占八成左右。
- 在新能源汽车快速发展及“公转铁”、“公转水”推动下，公路用油需求及其占比将不断下降，使得交通用油在2025年达峰，峰值约3.7亿吨，较2020年水平增加2000万吨。



可持续转型情景

交通用油结构将从以道路为主转由水空主导

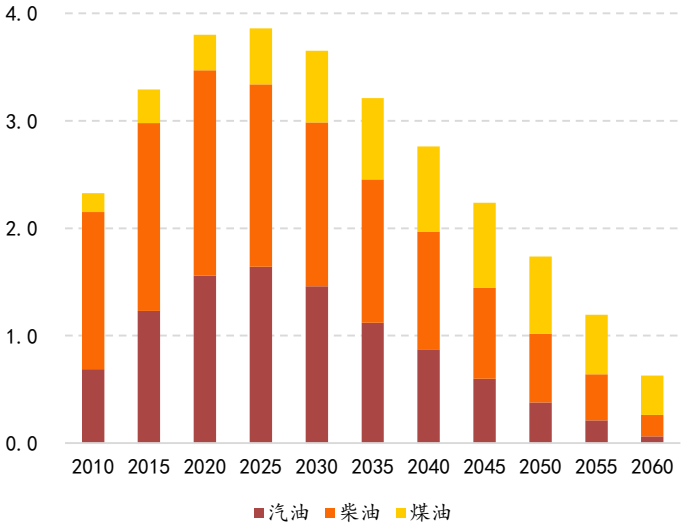
- 公路用油占交通用油的比例将从2020年的81%逐渐降至2060年的21%。
- 航空和水运的油品消费占比则分别从2020年的9%和8%升至2060年的62%和15%。



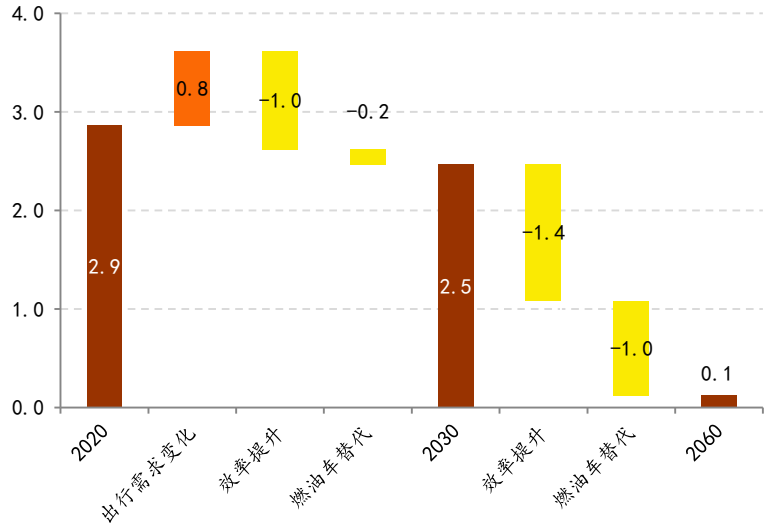
汽柴煤油需求量将于2025年前达峰

- 汽油和柴油主要用于交通领域，其需求达峰与交通用油达峰时间基本同步。2025年汽柴煤油需求总量将达峰，约3.9亿吨，之后快速回落至2060年的0.6亿吨。
- 随着燃油车能效提升及替代能源发展加快，车用油品需求将从2020年的2.9亿吨降至2060年的0.1亿吨。而航空煤油将持续增至2040年，约0.8亿吨。

汽煤柴实际需求量，亿吨



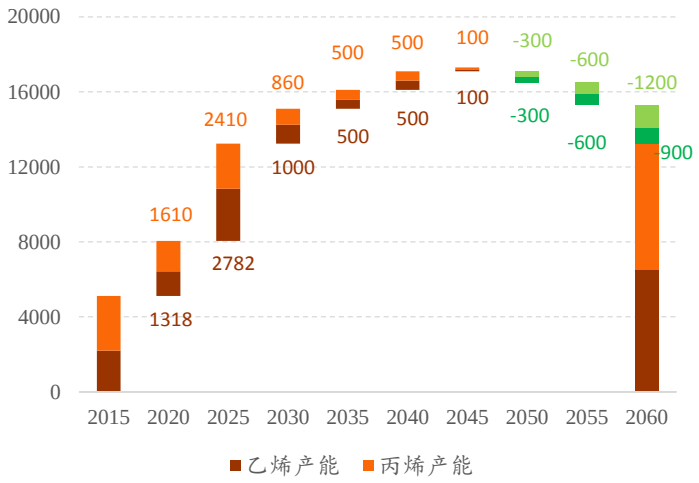
车用油品需求变化，亿吨



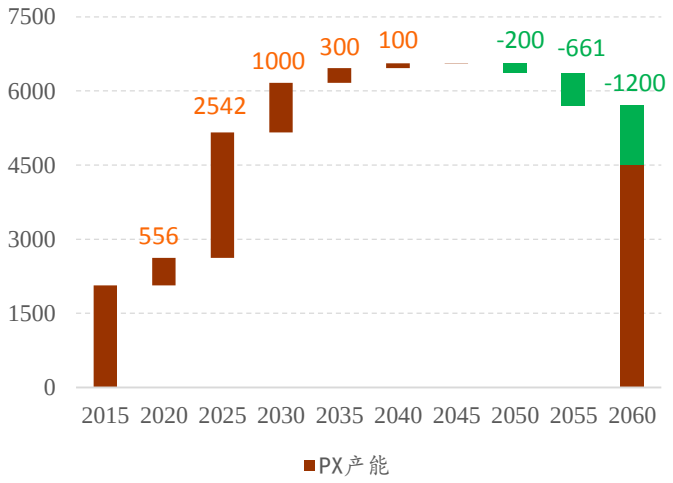
中国石化产业具有较大的发展空间

- 随着我国城镇化推进以及人均收入水平提升，烯烃及下游产品需求仍有较大增长空间，2030年前产能保持较快增长。
- 随着大型民营炼化一体化企业不断建成投产，2030年前PX产能保持快速增长。

烯烃产能变化趋势，万吨



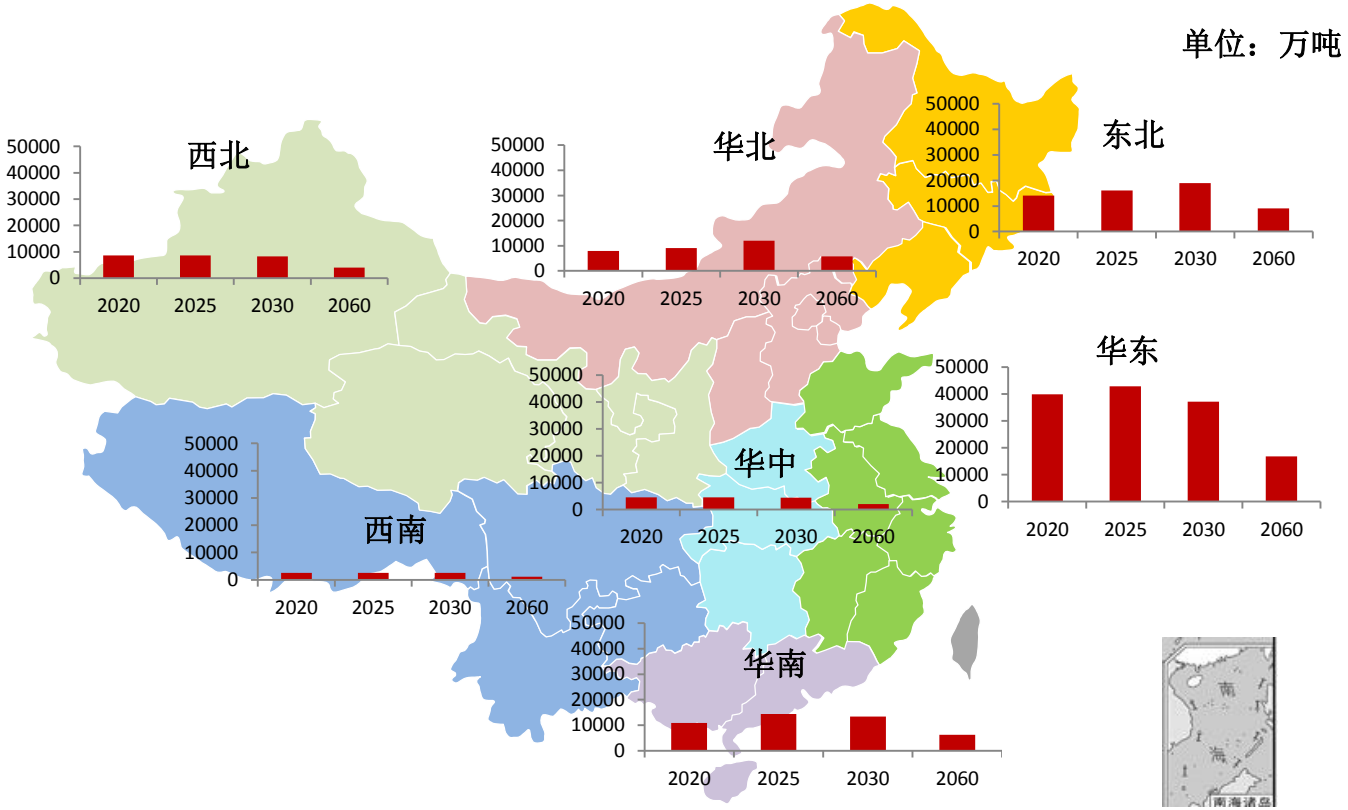
PX产能变化趋势，万吨



注：图中绿色表示产能减少

中国炼油能力在2025年将接近10亿吨/年

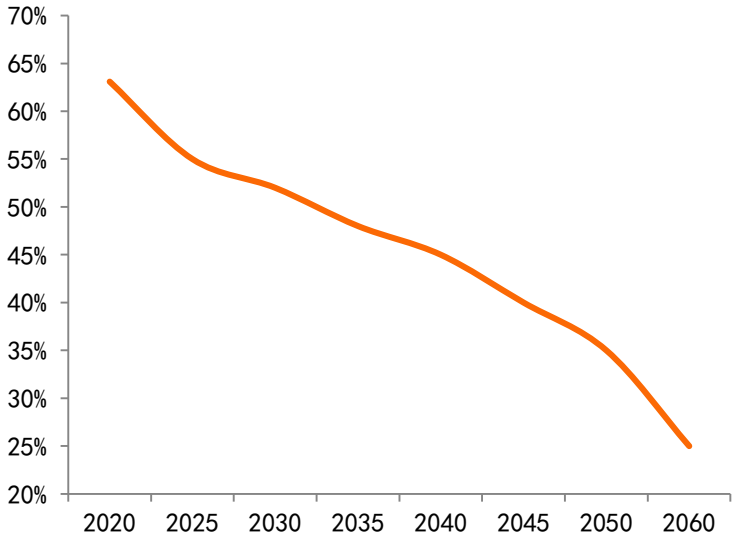
- 综合考虑现有规划与落后产能淘汰，预计2025年我国炼油能力将达到9.8亿吨/年，之后逐步降至2060年的4.5亿吨/年左右。分区域看，中国炼油能力进一步向华东、东北、华南和华北集中，展望期内占比由82%提升至84%。



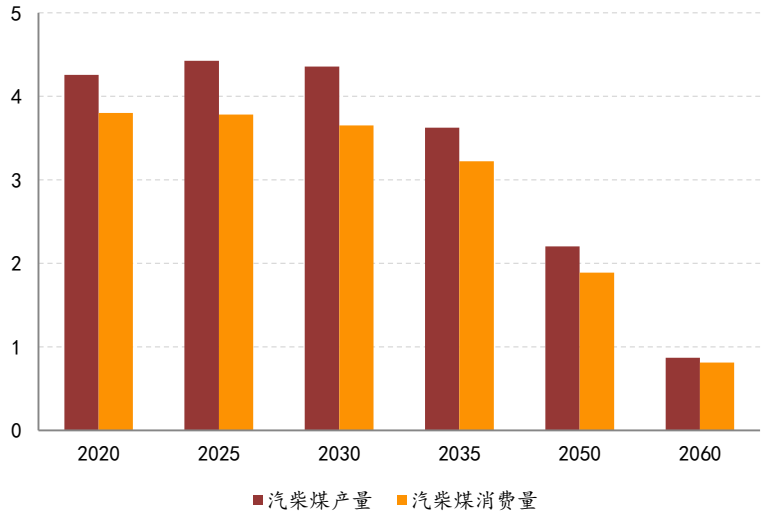
成品油供需总体宽松，有适度规模的出口

- 展望期内，随着炼厂转型升级及新能源大规模应用，成品油收率将稳步下降，预计从当前的63%降至2060年的25%左右，有利于化解国内成品油供应过剩局面。
- 总体上，中国成品油在相当长时期内供应大于需求，将有适量出口。

炼油行业成品油收率，%

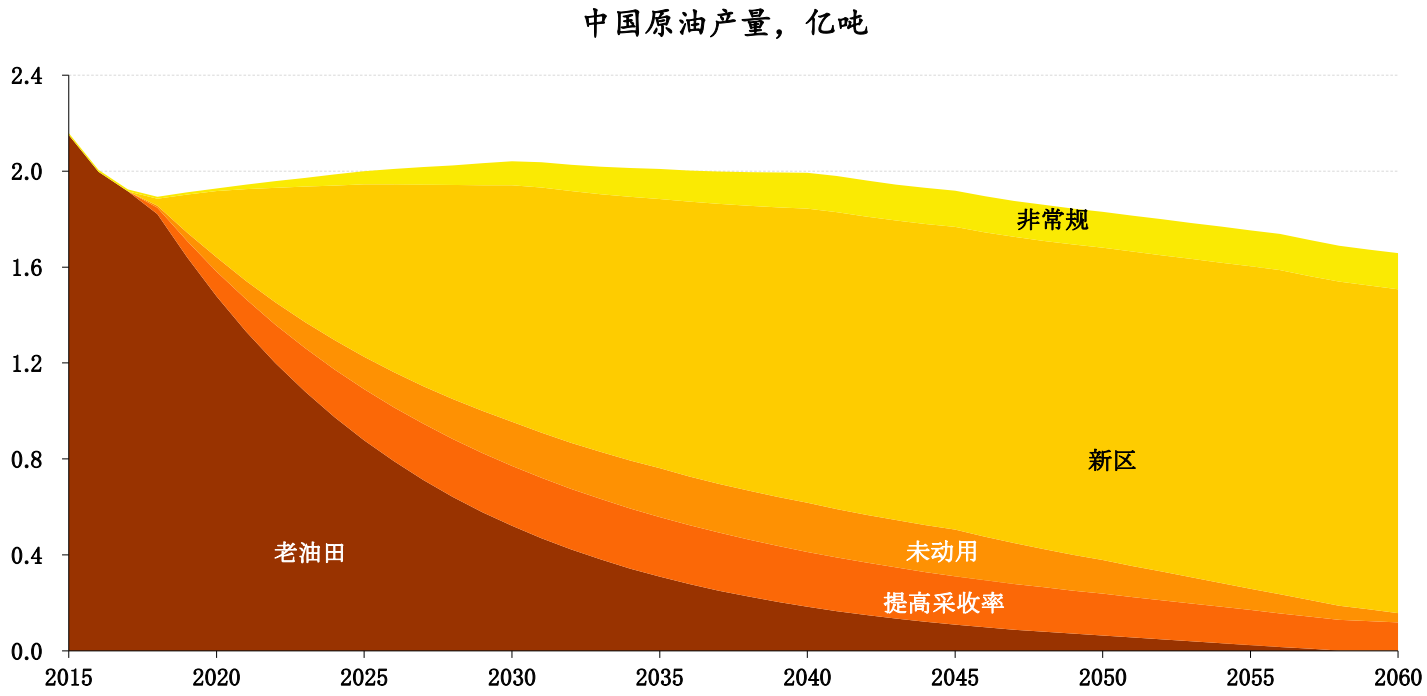


汽柴煤产量与需求量，亿吨



2035年前中国原油产量约2亿吨左右

- 新增探明储量快速增加、采收率的不断提高，以及非常规致密油产量提升是保障国内原油产量稳定的三驾马车。



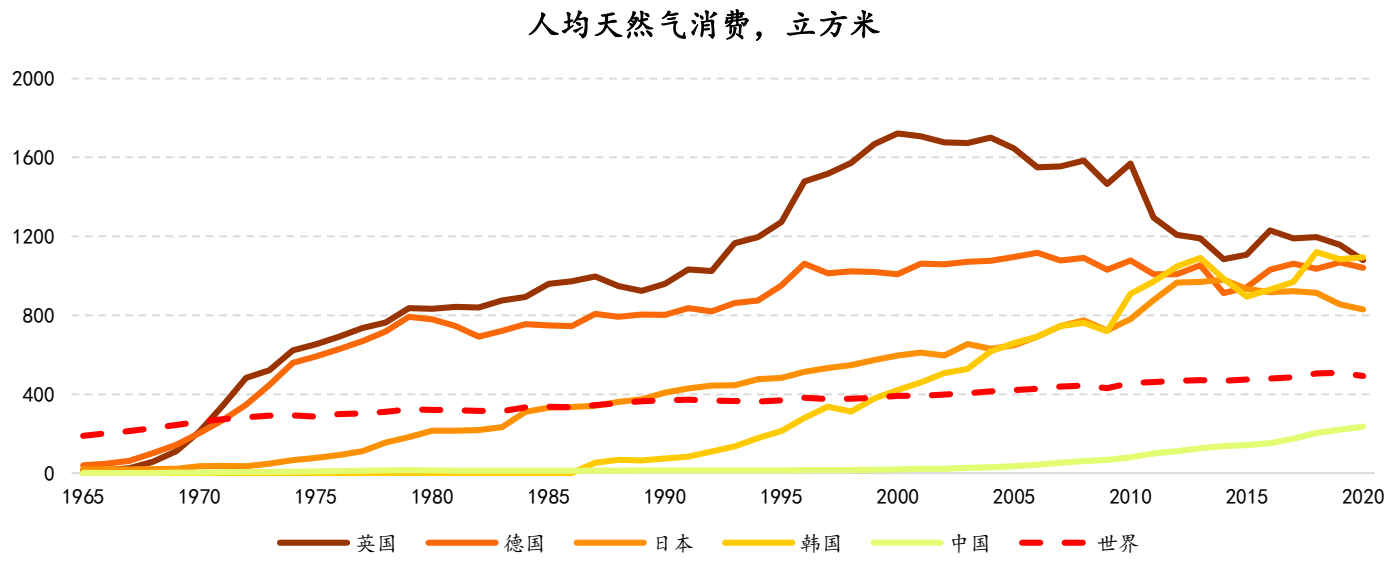
2.4

天然气

可持续转型情景

中国人均天然气消费水平较低，具有增长空间

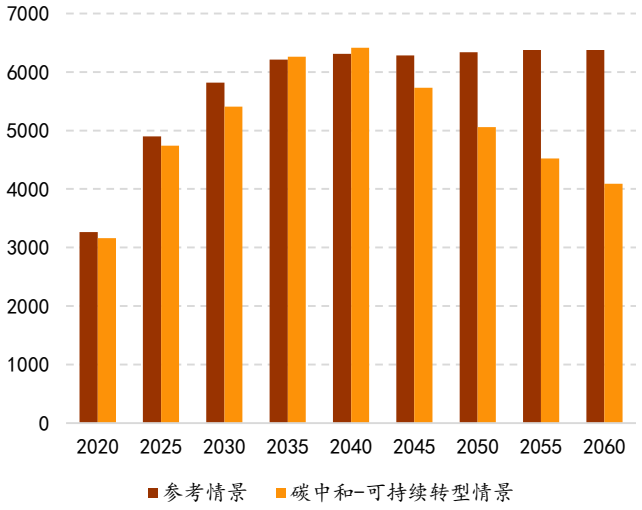
- 从人均天然气消费看，2020年中国人均天然气消费量约235立方米，仅为世界平均水平的47.8%，OECD国家的20%左右。
- 随着城镇化推进、管网设施完善、生活水平提升、大气污染治理及新能源融合发展需要，中国人均天然气消费有较大增长空间。



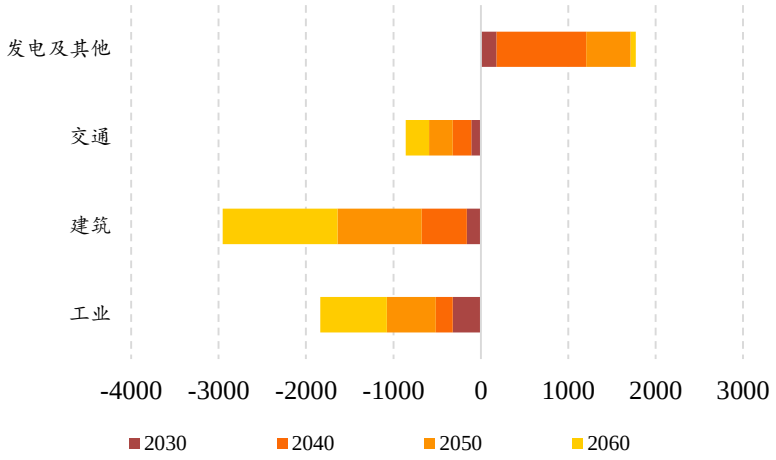
2040年天然气消费量将较目前水平翻一番

- 天然气发电具有低碳、高效、稳定、启停快、变负荷能力强等特征，是能源清洁低碳转型的“最佳伙伴”和支撑可再生能源大规模开发利用“稳定器”，是双碳目标下唯一保持增长的化石能源。
- 中国天然气需求将在2040年前保持较快增长，峰值将近6500亿方，而后平稳下降，2060年约4100亿方。

不同情景下天然气需求量，亿立方米



可持续转型情景较参考情景天然气需求变化，亿立方米



天然气发电大有可为

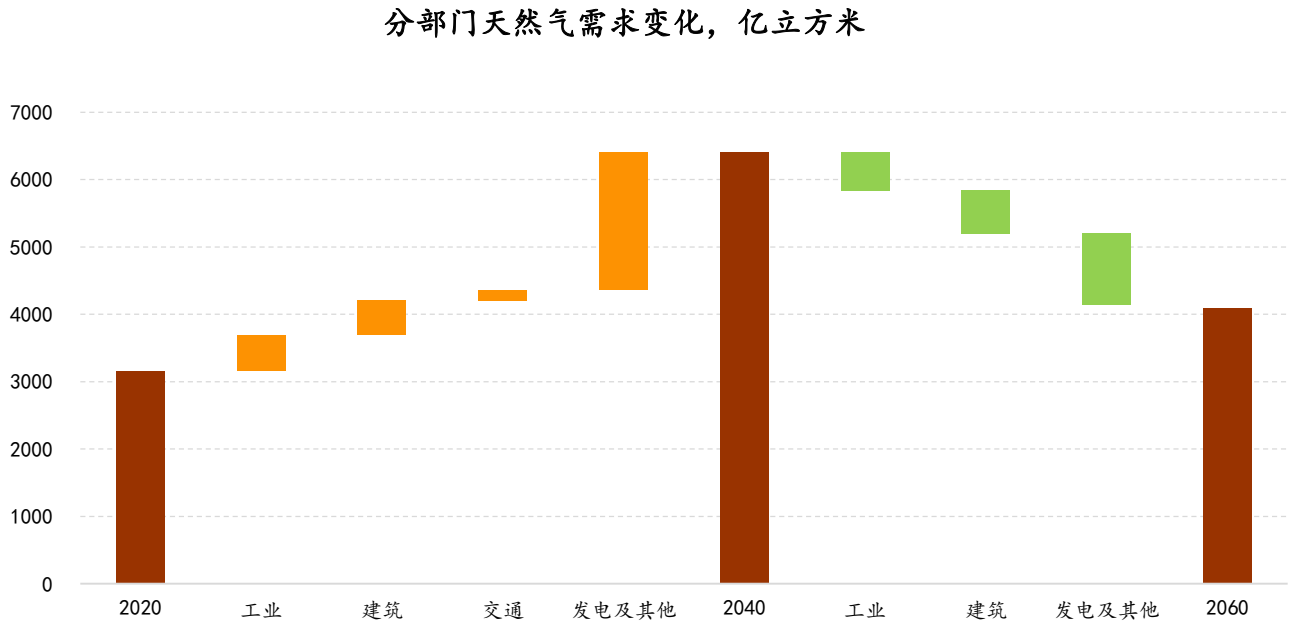
- 气电调峰能力强、升降负荷快、受限制条件少，是理想的灵活性电源。与煤电相比，气电虽然经济性较为不足，但是其调节性能强，还具有较好的环保特性，在实现碳达峰、碳中和的背景下，可以发挥更为重要的调峰作用，成为未来电力系统调峰的关键力量。

各类灵活性资源的性能比较

灵活性资源	煤电深度调峰改造	抽水蓄能	电化学储能	气电
优势	• 深度调峰技术手段成熟，可普遍适用于煤电机组，改造后的机组最小出力可达到额定出力的20%~30%	100%全负荷启动需2~3min	• 响应速度快，充放电时间为毫秒级 • 可多次调节	• 启停速度快，100%全负荷启动只需9~10min • 占地少，用水量少 • 适合在可再生能源富集区对系统进行调节、适合在负荷中心建设
劣势	• 响应调节速度慢，冷启动需5小时 • 改造后的机组煤耗增加，寿命缩短，污染增加 • 存在碳排放高的问题	建设规模受选址条件约束	• 受技术条件限制，目前尚不具备大规模建设条件 • 建设投资成本高	• 建设投资成本高 • 燃料成本相对较高
成本，万元	1350-2250	22500	8000-10000	14850

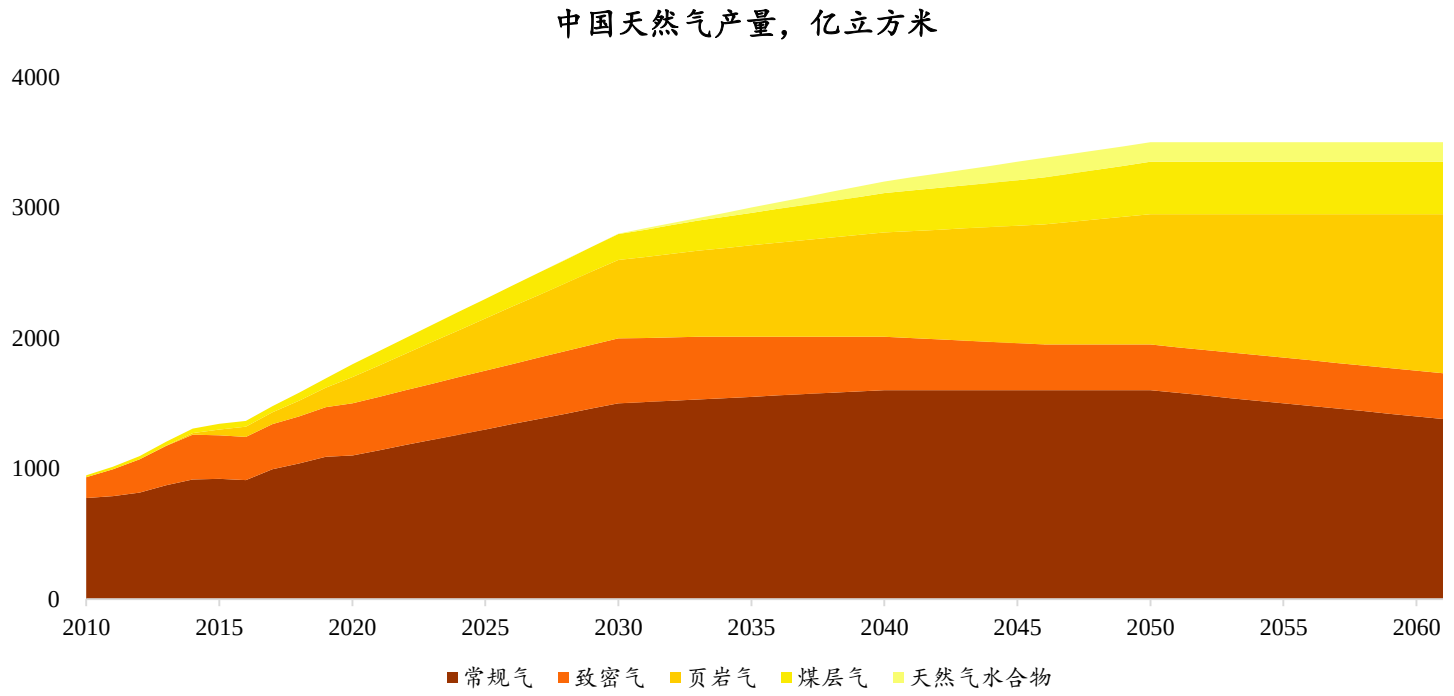
发电部门是天然气需求增长的主要拉动力

- 分部门看，2040年前，电力、建筑（公用和居民）和工业用气均有将大增长，其中发电用气将贡献2020-2040年间用气增量的63%左右。2040年后，各领域用气均将有所回落。



中国天然气产量将有较大幅度增长

- 随着勘探开发投资力度加大，及油气行业科技进步的推动，中国天然气产量将保持较快增长，预计2030年突破2500亿立方米，2060年近3500亿立方米。



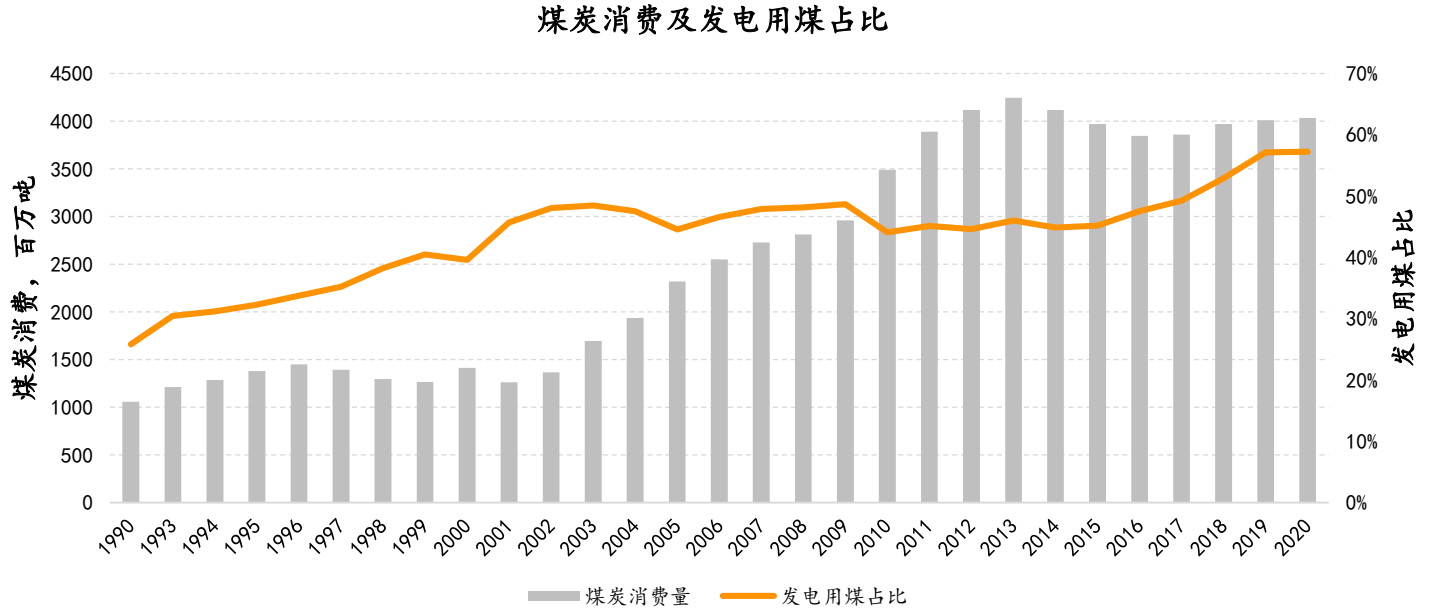
2.5

煤炭

可持续转型情景

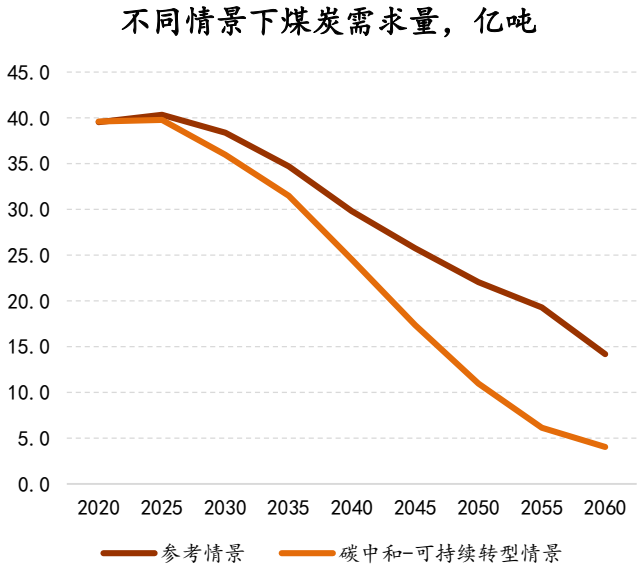
中国煤炭需求已进入峰值平台期

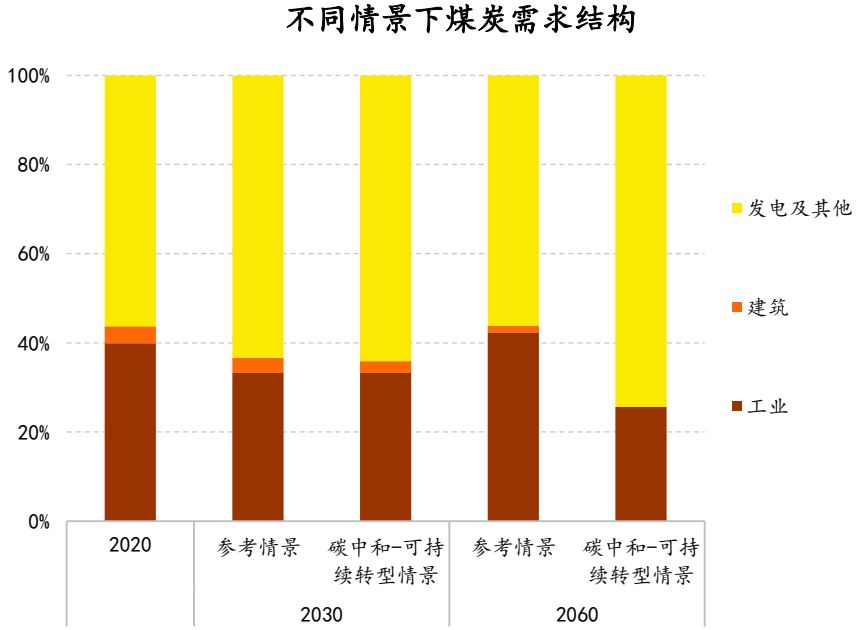
- “十二五”以来，随着供给侧结构性改革加快和产业结构转型升级，煤炭消费基本维持在40亿吨左右，波幅在±5%左右。
- 近来年，大气污染环境治理推动煤炭消费加快集中化清洁化利用步伐，突出表现在电煤消费占比稳步提升，2020年升至约57%。



中国煤炭需求将降至2060年的4亿吨左右

- 2025年前中国煤炭需求将基本维持现有水平，之后较快下降，2030年和2060年分别降至36亿吨和4亿吨。
- 煤炭在中国能源体系中的角色地位将不断演变，从2030年前的供给主体，转向2030-2040年间的多元支撑，和2060年的应急保障。

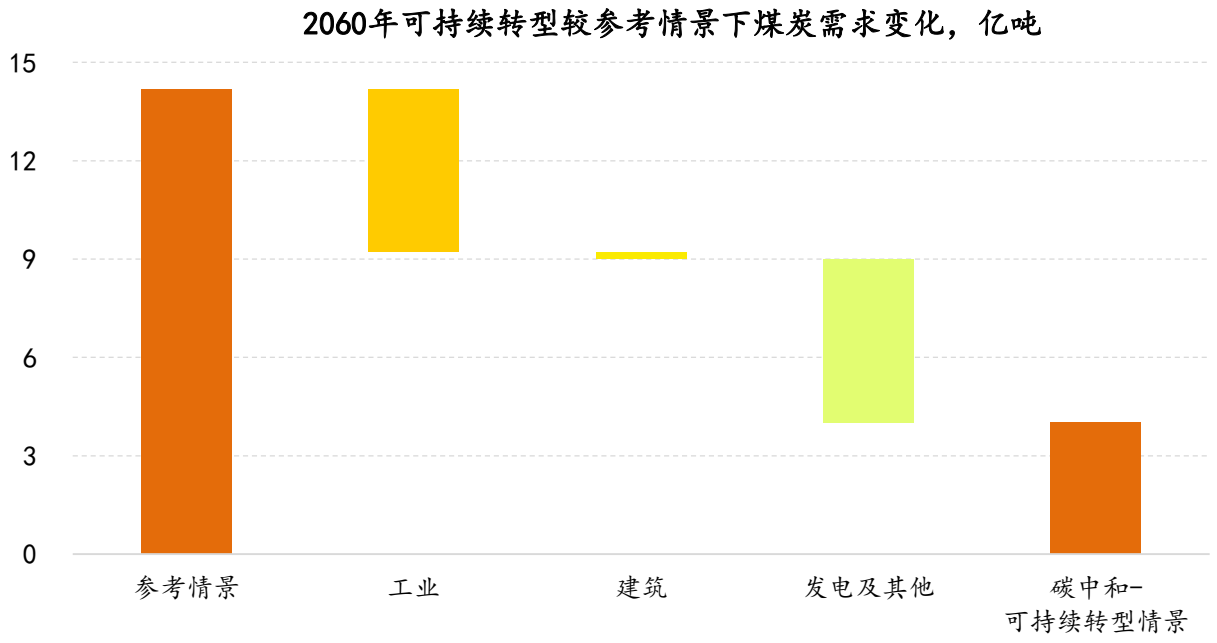




可持续转型情景

煤炭将面临全方位替代

- 碳中和-可持续转型情景下，煤炭在各领域均将面临一定程度的替代，尤其以工业和电力部门突出。
- 长期看，煤炭作为我国的战略性资源，仍将在保障国家能源安全，助力清洁低碳、安全高效的现代能源体系建设中发挥重要作用。



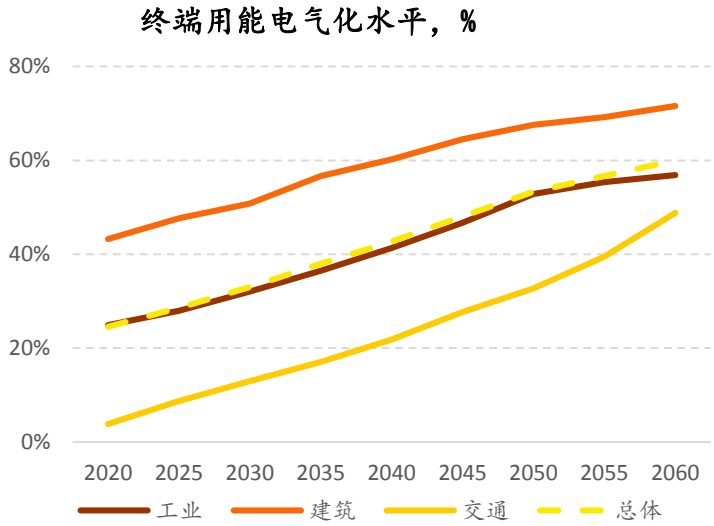
2.6

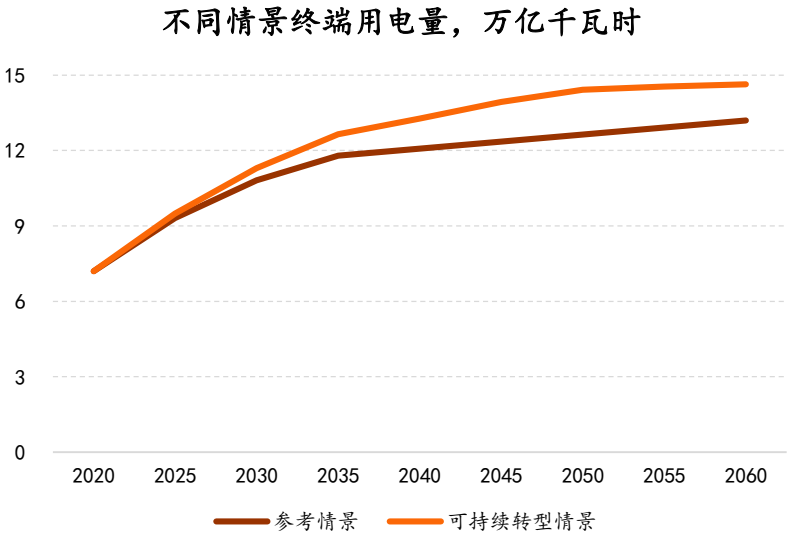
电力与非化石能源

可持续转型情景

中国电力需求将持续增长

- 该情景下，终端电气化水平将不断提升，到2060年我国终端用能电气化率达到60%，其中工业、建筑与交通领域电气化水平将分别提升至57%、72%、49%。
- 相应地，中国终端用电规模也将稳步提升，2030年达11.3万亿千瓦时，2060年进一步升至14.6万亿千瓦时；其中2021-2030年间年均增长4.6%，2031-2060年间年均增长0.9%。

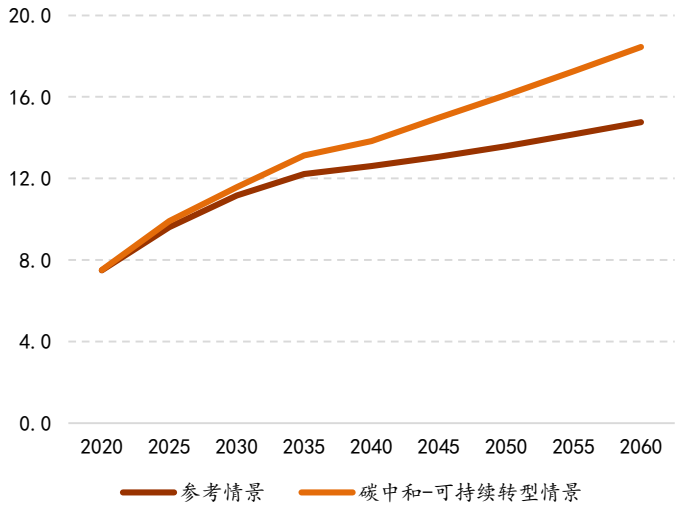




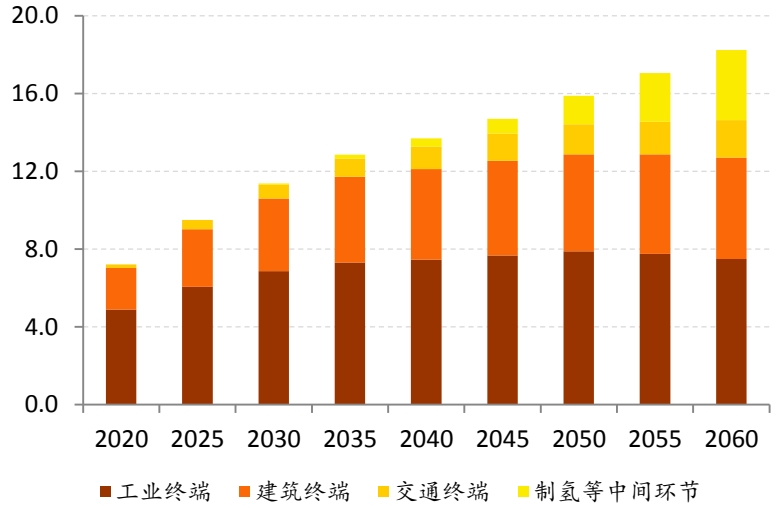
中国发电量将更快增长

- 考虑到2030年后，绿氢等中间转换部门用电需求的稳步增加，中国发电量规模将较终端用电需求增长更快。2060年，中国发电量将达18.5万亿千瓦时，较终端用电需求高3.9万亿千瓦时。

不同情景下发电量，万亿千瓦时



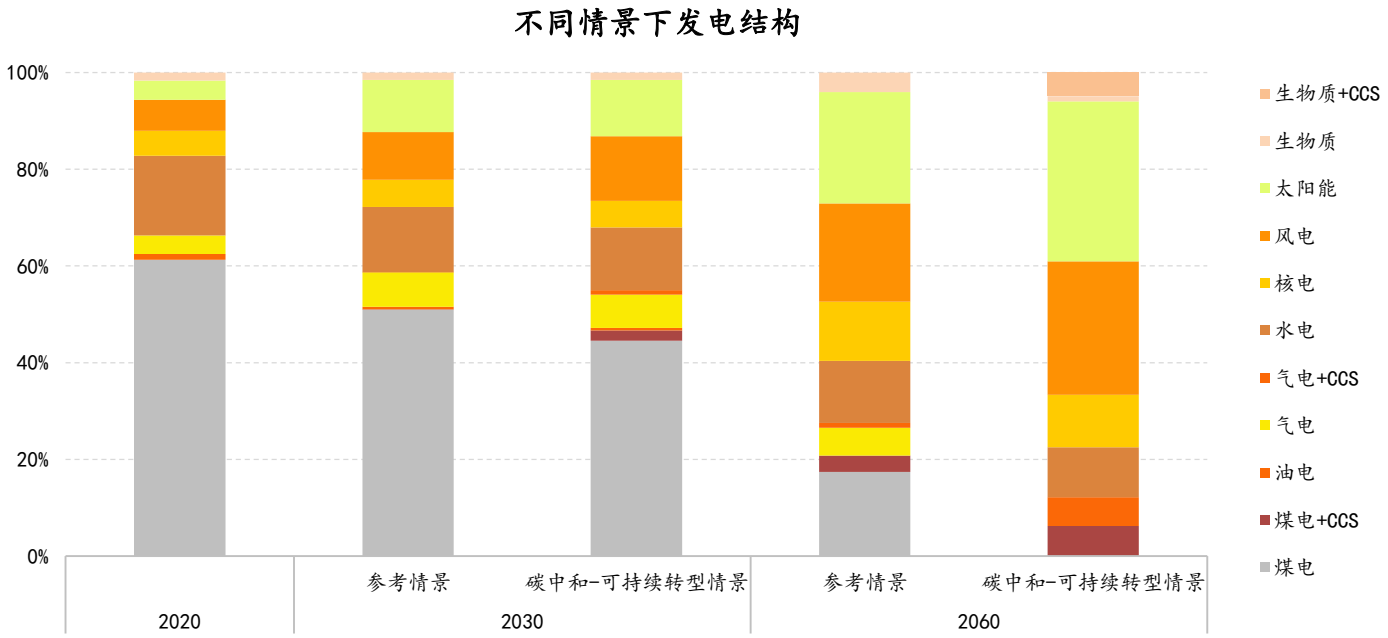
各领域用电需求，万亿千瓦时



可持续转型情景

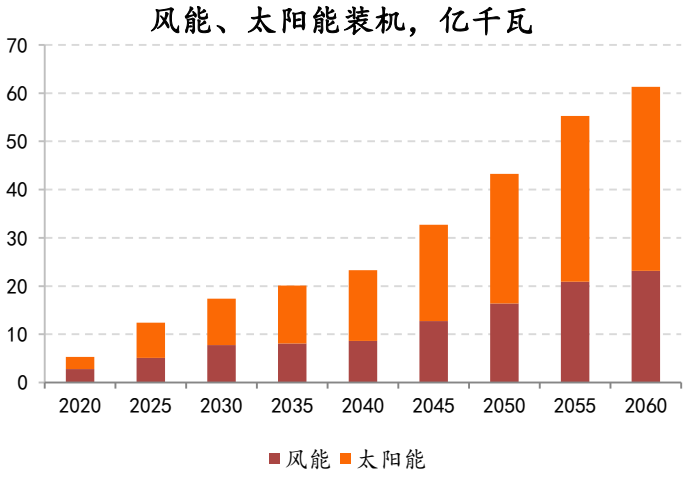
非化石能源发电占比将在2040年突破50%

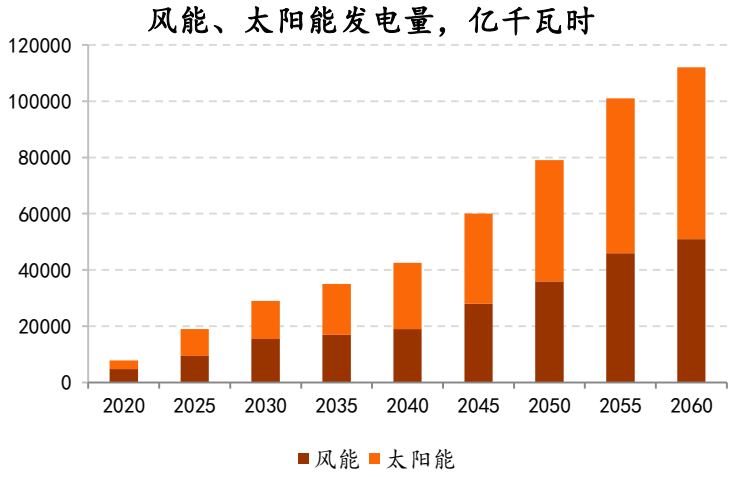
- 该情景下，风、光、水、核、生物质等非化石能源发电规模将大幅提升，2030年和2060年分别增至5.0和15.1万亿千瓦时，2021-2060年间年均增长4.7%。
- 非化石发电占比将快速提升，从2020年的34%增至2030年的45%，且在2050年突破75%，2060年进一步增至88%。



风能、太阳能已进入发展快车道

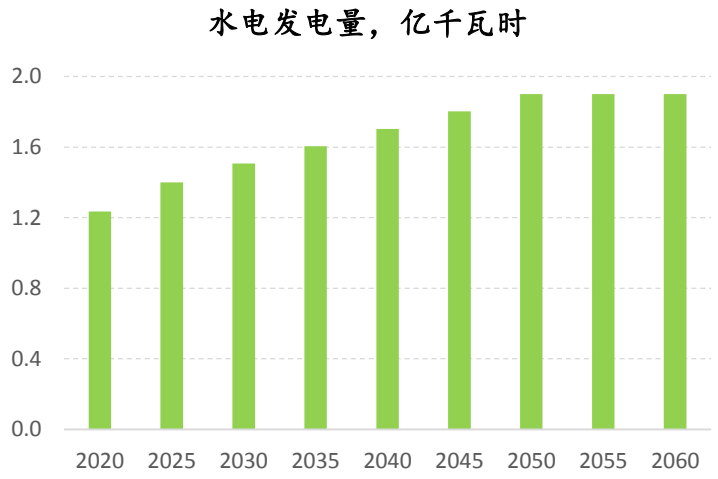
- 风、光等可再生能源大规模发展的前景可期，将带动风、光的技术进步、投资优化和规模扩张。预计2030和2060年仅风能、太阳能发电装机合计将分别达17.4和61.3亿千瓦左右。
- 随着储能、氢能、气电等灵活电源规模扩大、电网调节能力提升以及电力市场机制日益完善，风能、太阳能的发电量将快速增长，预计2060年风能、太阳能发电规模合计达11.2万亿千瓦时，占发电总量的60.7%。

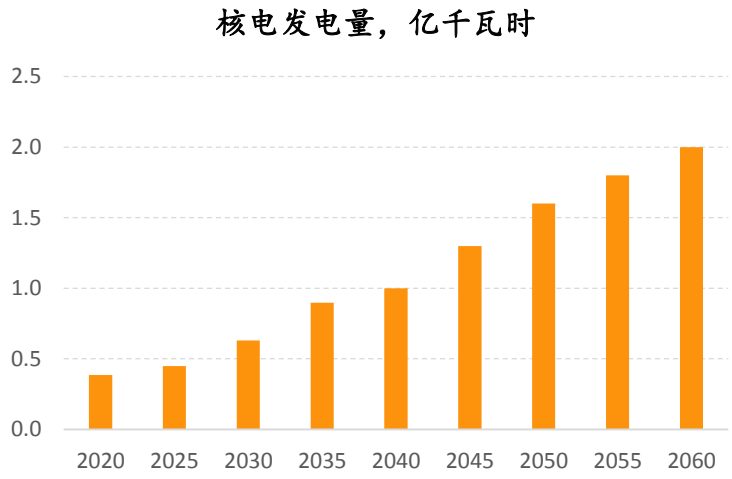




水电和核电有序稳健发展

- 中国水力发电量将稳中有升，从2020年的1.2万亿千瓦时升至2060年的1.9万亿千瓦时。剩余水力资源将继续有序、稳健开发，更加注重“储能调峰”和“风光水火储”一体化发展，支撑新型电力系统建设。
- 核电是“零碳”能源体系的重要组成，将继续安全有序发展。2030年前重点推进沿海核电基地建设，创新核能利用方式，核电发电量稳步提升。更长时期看，随着适度有序布局内陆核电基地建设，2060年核电发电量将达到2万亿千瓦时。

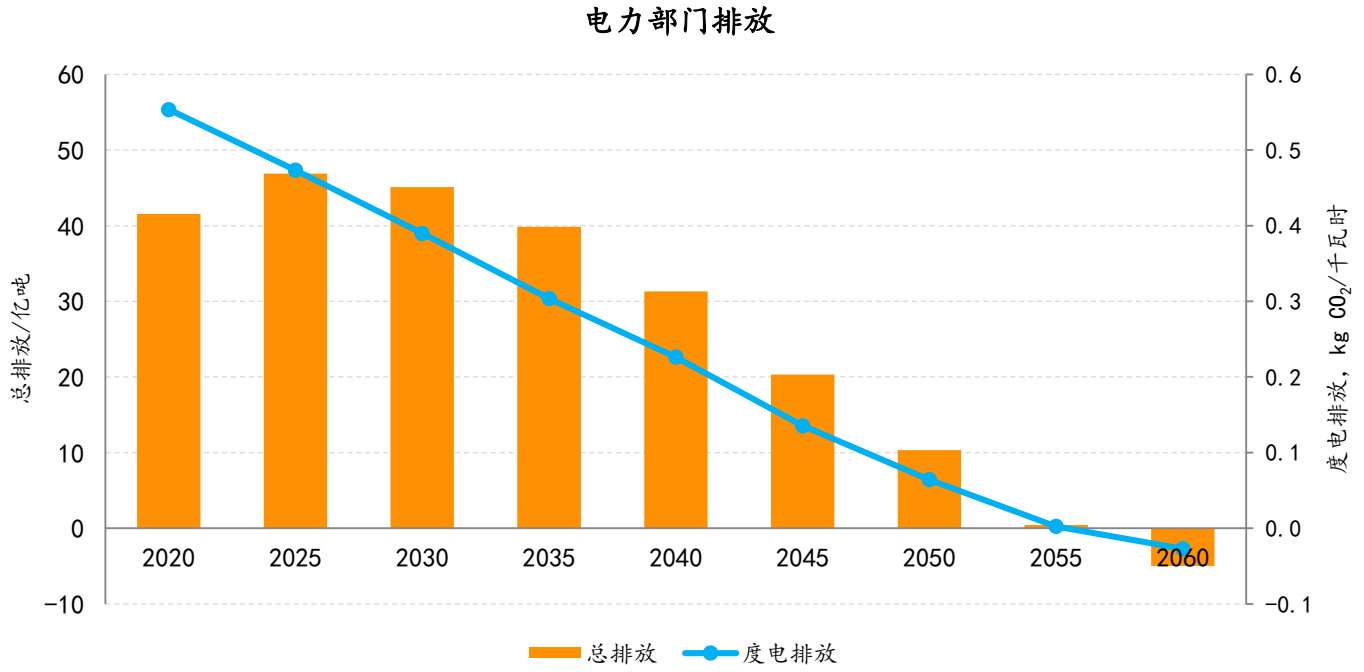




可持续转型情景

零碳电源比重提升推动电力部门在2055年前实现零排放

- 非化石发电占比的提升以及化石燃料发电加装CCUS等零碳技术的大规模推广，将使得电力部门碳排放在2025-2030年间达峰后（约47亿吨），而后快速下降至2060年的-5亿吨左右。
- 电力部门低碳化与终端用能电气化协调推进是实现中国低碳转型的必由之路。



2.7

主要结论

可持续转型情景

主要结论

1. 中国一次能源需求将于2030-2035间达峰，约41.7亿-42.5亿吨标油（60亿吨标煤左右），之后略有回落，2060年降至39.4亿-41.1亿吨标油（57亿吨标煤左右）。经济发展动能转变、产业结构优化、循环经济体系建立、绿色低碳生产生活模式形成和能效提升是主要因素。
2. 分阶段看，2030年前为增量清洁低碳阶段，一次能源需求增量的近90%可由清洁能源满足；2030-2060年为存量绿色低碳阶段，非化石能源对煤炭和石油形成直接或间接替代，推动存量结构绿色低碳转型。
3. 化石能源消费将渐次达峰。煤炭消费基本已进入峰值平台期，未来转向兜底保障；石油消费将于2030年前达峰，未来凸显原料属性；天然气作为能源清洁低碳转型的“最佳伙伴”和支撑可再生能源大规模开发利用“稳定器”，其消费将在2040年达峰。
4. 终端电气化与电力低碳化协调共促“双碳”目标实现。碳中和目标下，各行业电气化率均将提升，2060年终端电气化率将达60%左右，用电量将在13.3万亿-15.2万亿千瓦时。非化石能源发电占比将快速提升，2060年将达83%—91%。
5. 实现碳达峰碳中和需要巨量的能源投资，仅电力部门投资就将在1万亿-2万亿元/年，且呈现逐年增加态势。中国能源支出将于2030年前达峰，约9.4万亿元/年，之后随着用能规模及单位用能成本的变化，基本稳定在8.5万亿-9万亿元/年水平。

3

三种碳中和情景比较

碳中和情景比较

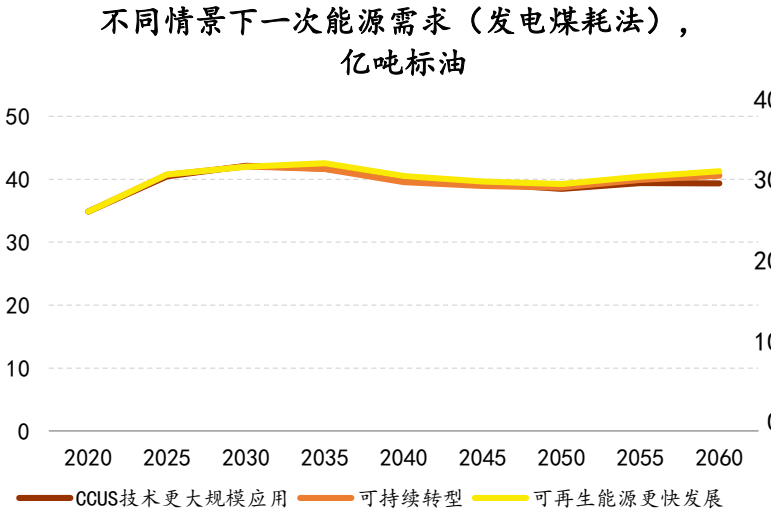
三种碳中和情景的主要区别

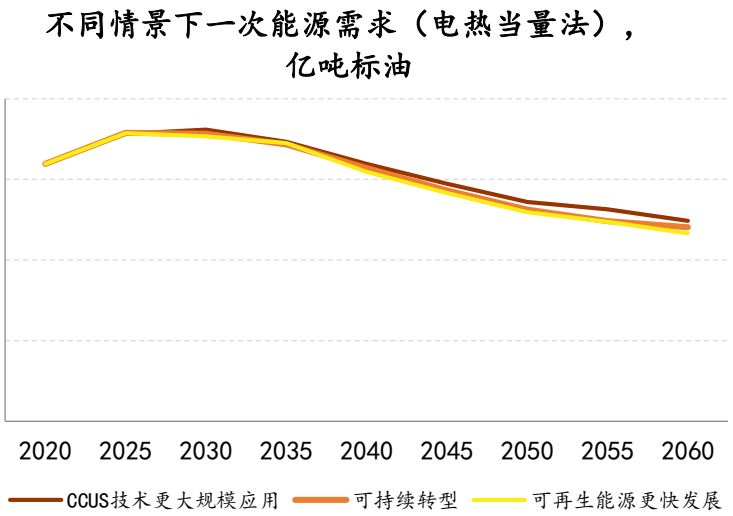
- 可持续转型情景是绿色低碳循环经济发展模式，绿色生产生活方式，低碳零碳负碳生产技术、产业体系、基础设施等各领域全面推进，均取得明显进展。
- 较可持续转型情景，CCUS技术更大规模应用情景下CCUS技术取得重大突破，化石能源得以在实现碳中和的同时得到更多保留的情景。
- 较可持续转型情景，可再生能源更快发展情景因可再生能源发电经济性及安全性大幅提升，而带动可再生能源发电应用规模增速更大的情景。



三种碳中和情景下一次能源需求总量差距不大

- 三种碳中和情景下以发电煤耗法测算的一次能源需求总量均将于2030-2035间达峰，约41.7亿-42.5亿吨标油，之后略有回落，2060年至39.4亿-41.1亿吨标油。
- 三种碳中和情景下以电热当量法测算的一次能源需求总量均将于2025-2030间达峰，约35.8亿-36.2亿吨标油，之后逐步回落，2060年至23.3亿-24.9亿吨标油。

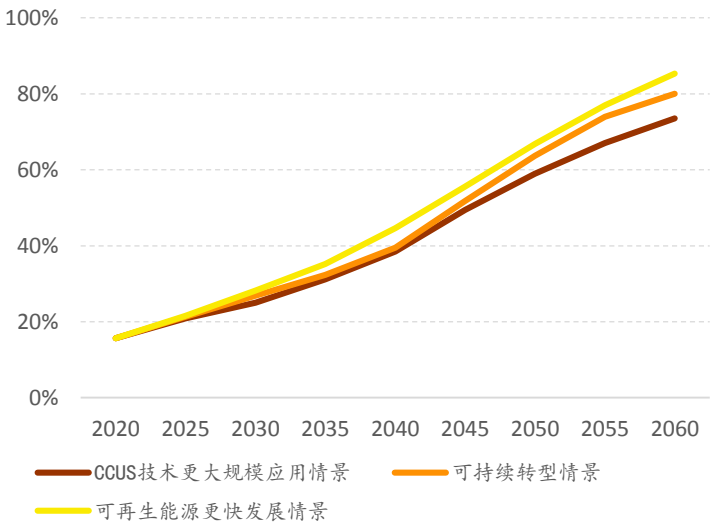




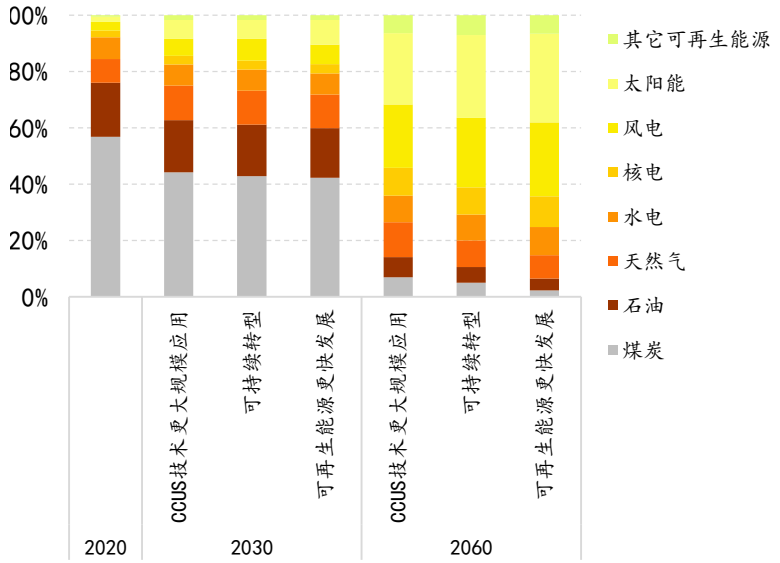
非化石能源占比提升速度将是“十三五”时期的两倍

- 三种碳中和情景下非化石能源呈现需求较快增长，占比快速提升的趋势，但发展速度不同。其中可再生能源更快发展情景下，可再生能源技术更早突破与推广带动非化石能源占比更快提升，到2060年非化石能源占比达到85%，较可持续转型情景高5个百分点；展望期内年均增长1.7个百分点，增速为“十三五”时期的两倍以上。

不同碳中和情景下非化石能源占比

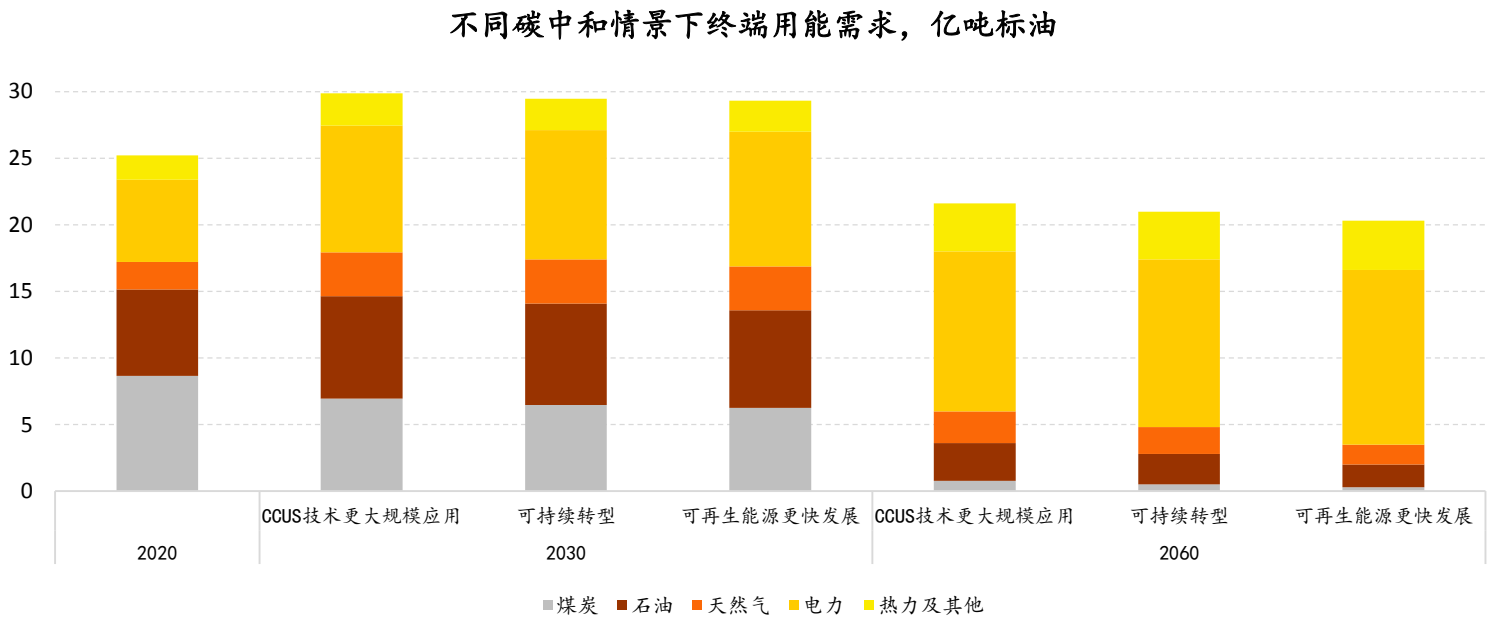


不同碳中和情景下一次能源需求结构



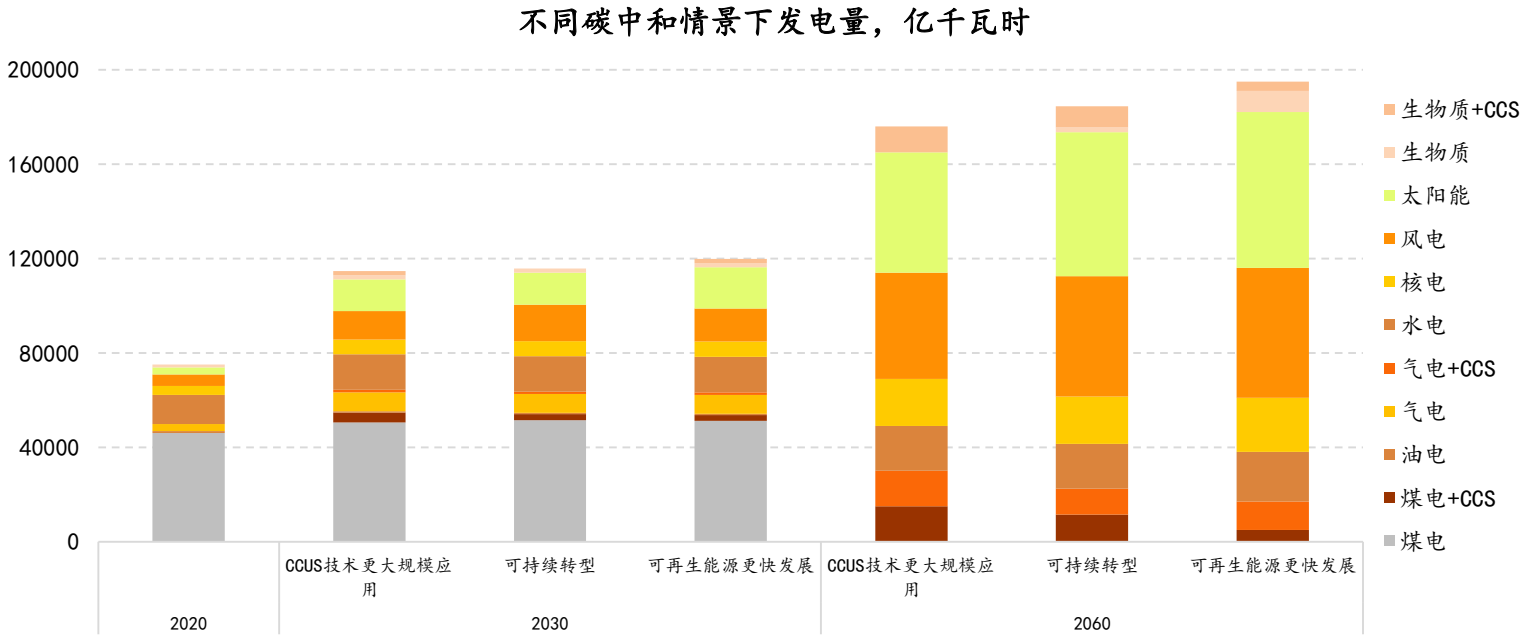
2030年后终端化石能源直接利用比重的差异扩大

- 三种碳中和情景下终端用能均将在2030年前后达到近30亿吨标油峰值后稳步回落，且化石能源占比将较快下降。在可再生能源更快发展情景下，非化石能源替代化石能源规模显著扩大，2060年终端化石能源占比最低，仅为17.2%，较可持续转型与CCUS技术更大规模应用情景分别低5.7和10.6个百分点。



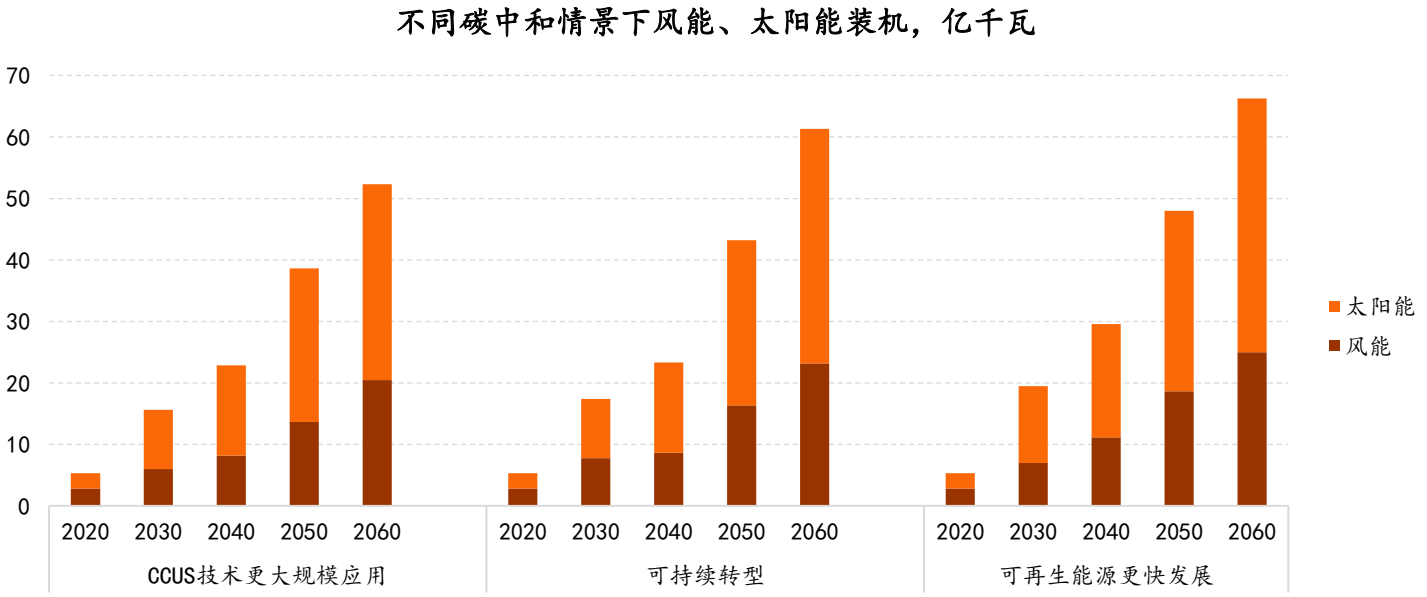
发电量进一步扩大、发电结构进一步非化石化

- 三种碳中和情景下发电量均较快增长，且以可再生能源更快发展情景下增幅最大。2060年，三种情景下的发电量将分别达14.6万亿、16.2万亿和17.8万亿千瓦时。
- 从发电结构看，非化石能源发电占比均将快速提升，2060年，三种情景下的非化石能源占比分别达83%、88%和91%。



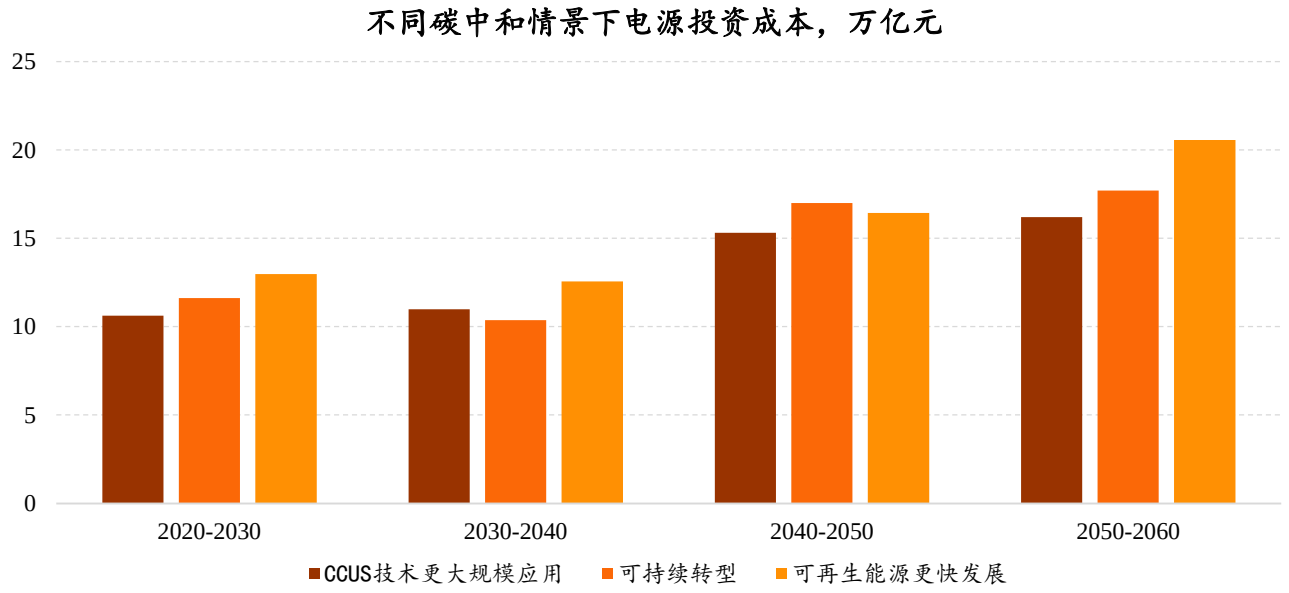
风能太阳能发电装机年均净装机合计将达1.2亿-1.5亿千瓦

- 三种碳中和情景下风能和太阳能装机均将快速发展，2030年分别为15.6亿、17.4亿和19.5亿千瓦，2030年后，三种情景下的装机差距逐步拉大，2060年分别为52.3亿、61.3亿和66.3亿千瓦。2021-2060年间，年均分别净增1.2亿、1.4亿和1.5亿千瓦。
- 风能、太阳能装机规模的扩大需要足够的土地支撑，考虑到我国可再生能源禀赋分布特征，中短期尽量挖掘东北南部沿海地区资源潜力，长期则继续以西部和北部为主。



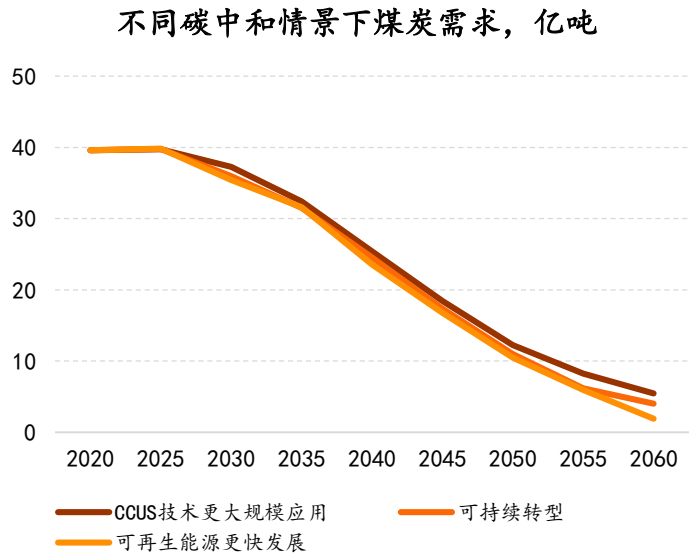
2060年前年均电力部门投资成本将达1万亿—2万亿元

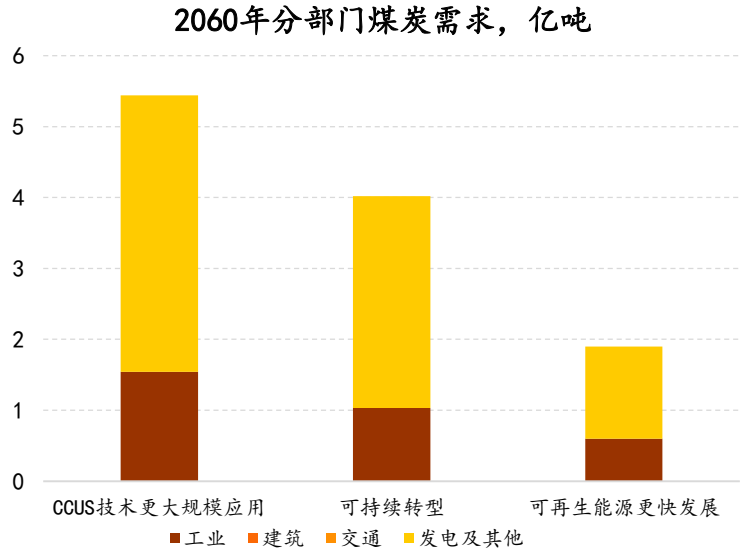
- 随着电力装机规模的不断扩大，未来电源投资成本将保持较高水平，2060年前基本保持在年均1万亿-2万亿元之间，且呈现先低后高的走势。
- 不同情景下电力装机及结构的不同使得电源投资成本有所差距，其中CCUS技术更大规模应用情景下依赖现有装机，新增装机少，展望期内投资额最低，约为53万亿元。较可持续转型情景低6.3%。可再生能源更快发展情景下，新增装机多，总投资额大，约62万亿元，较可持续转型情景高10.3%。



煤炭需求在2025年后快速下降

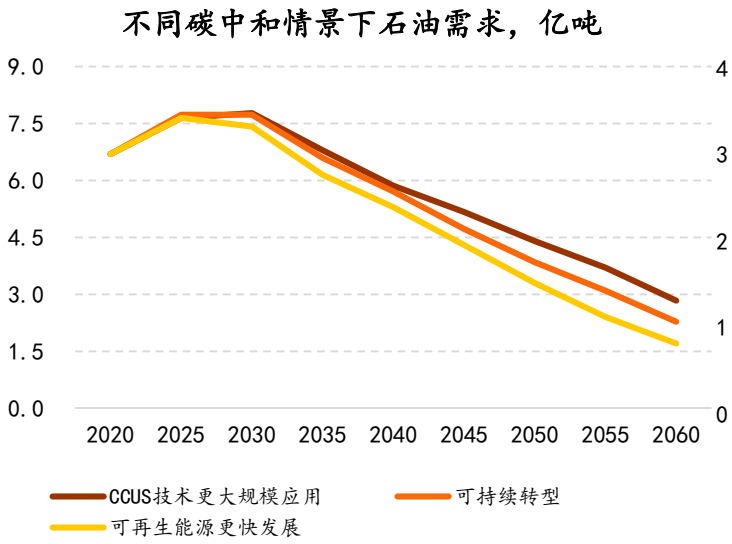
- 三种碳中和情景下煤炭均在2025年后进入快速下降期，2035年后降速进一步加快，到2060年分别降至1.9亿、4亿和5.4亿吨。CCUS技术更大规模应用情景下，煤炭在发电和工业部门仍有一定的利用空间。
- 当前煤炭是我国的主体能源，其转型牵涉面广、影响巨大，须妥善处理由此引发的资源型城市转型升级等经济社会问题。

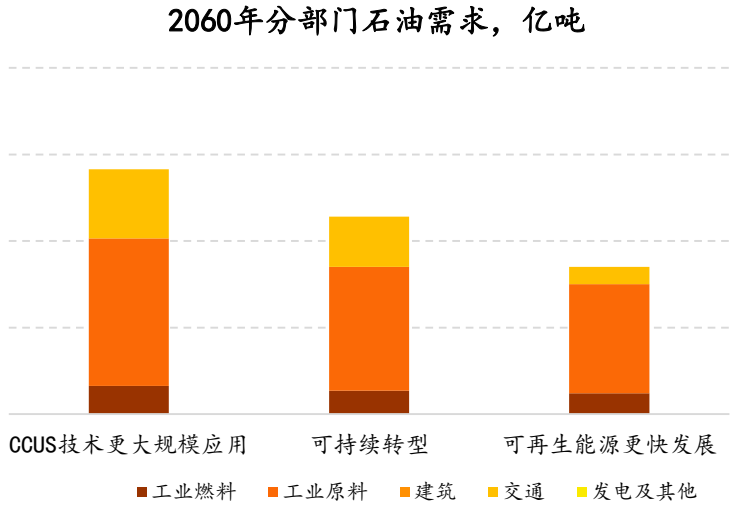




2060年石油需求约1.7亿-2.8亿吨

- 三种情景下，交通用油均面临更快替代，特别是在可再生能源更快发展情景下，储能、氢能等技术更早突破，推动新能源汽车更快发展,使得石油需求更早达峰（2025年），之后较快下降，2060年降至1.7亿吨，较可持续转型情景低0.6亿吨。
- 2030年后，随着石油需求锐减，国内炼油能力过剩问题更加突出，须尽快着手产业链国际竞争力提升和石化产品高附加值提升工程。

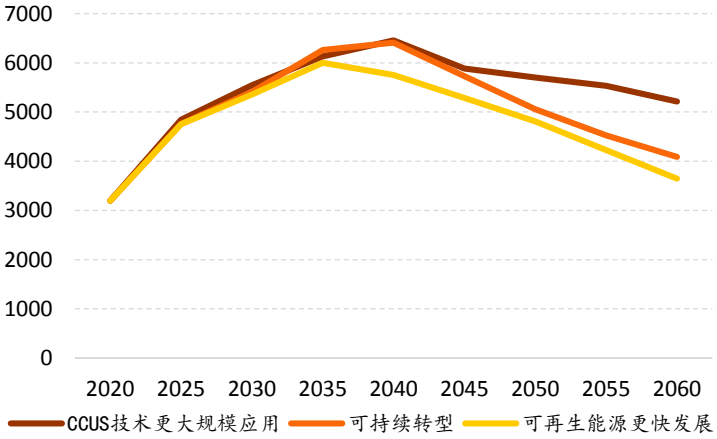




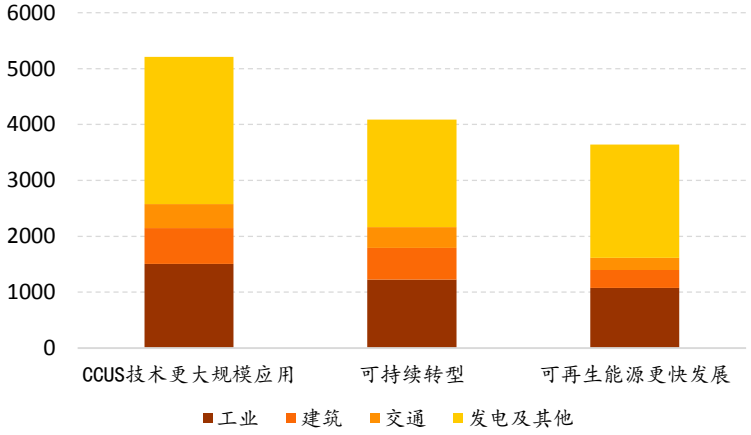
天然气需求峰值将超6000亿立方米

- 2035年前，天然气作为稳定的清洁的能源品种，在建设美丽中国、支撑可再生能源发展中发挥着不可替代的作用，其需求量稳步增至6000亿立方米左右。
- 2035年后，关键脱碳技术的发展差别，使得不同情景下天然气在发电和工业领域的需求出现分化。2060年CCUS技术更大规模应用和可再生能源更快发展情景下的天然气需求分别较可持续转型情景高1120和低447亿立方米。

不同碳中和情景下天然气需求，亿立方米

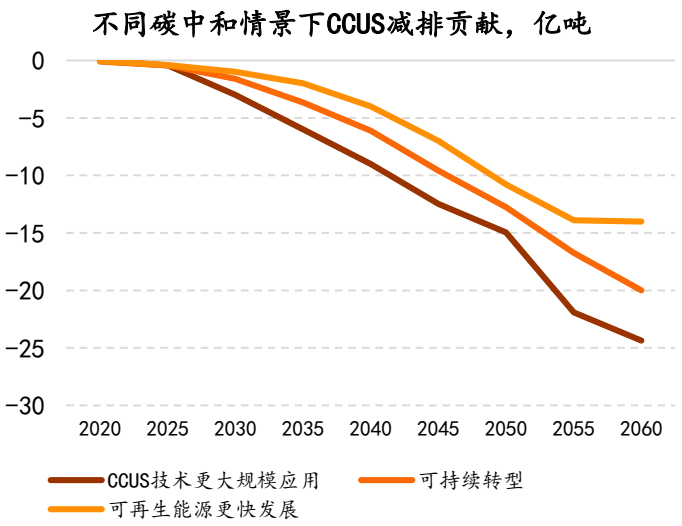


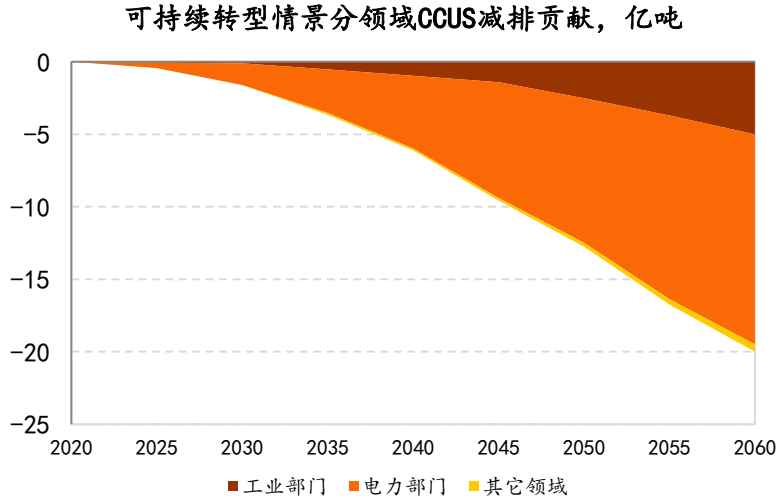
2060年分部门天然气需求，亿立方米



CCS/CCUS技术将成为未来减排的重要选项

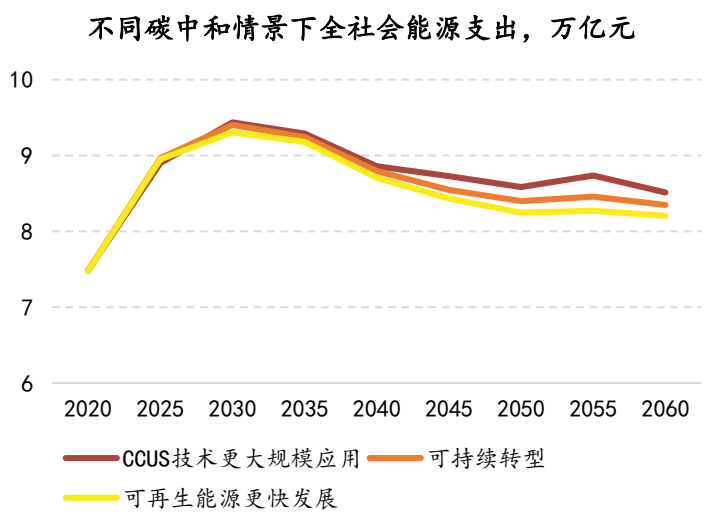
- CCS/CCUS是实现碳中和目标的重要选项，各种情景下利用规模均将扩大。2060年，三种情景下的CCUS减排贡献分别在24.4亿、20亿和14亿吨。从具体领域看，2060年电力部门的脱碳规模在10亿-19亿吨，工业部门的脱碳规模在4亿-5亿吨。
- CCUS技术更大规模应用情景下因CCUS技术进步更快，应用规模更大，2060年脱碳量也最大。

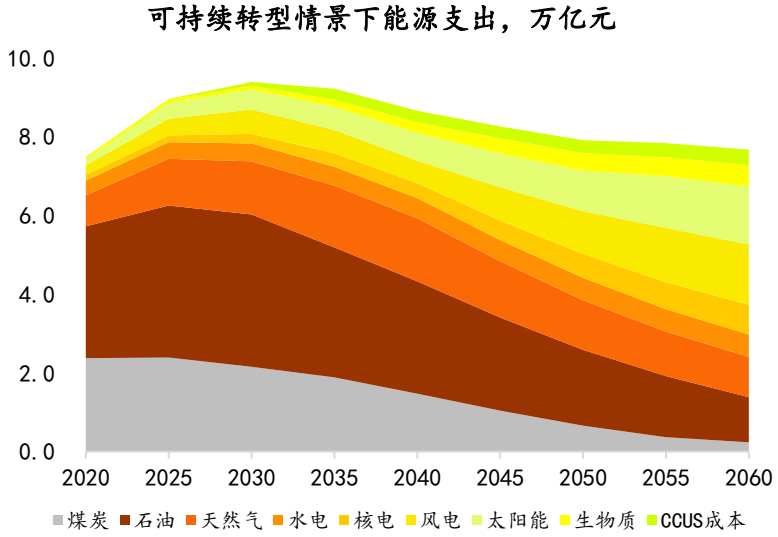




全社会直接能源支出达8.5万亿-9万亿元/年

- 2030年前随着用能总量的增加，中国能源支出规模将有所上升，2030年约9.4万亿元/年，之后随着用能规模及单位用能成本的变化，基本稳定在8.5万亿-9万亿元/年。
- 与未来能源结构演变趋势一致，能源支出成本结构将发生改变，其中化石燃料用能成本在2025年达峰后稳步回落，非化石能源成本将稳步增加。2060年，化石能源支出成本占比在20%—32%间，较当前的85%明显下降。





附录

研究方法与思路

本研究遵循“自下而上”与“自上而下”相结合的展望分析建模思路。模型综合考虑能源供需平衡、资源环境约束、能源政策影响等多重因素。

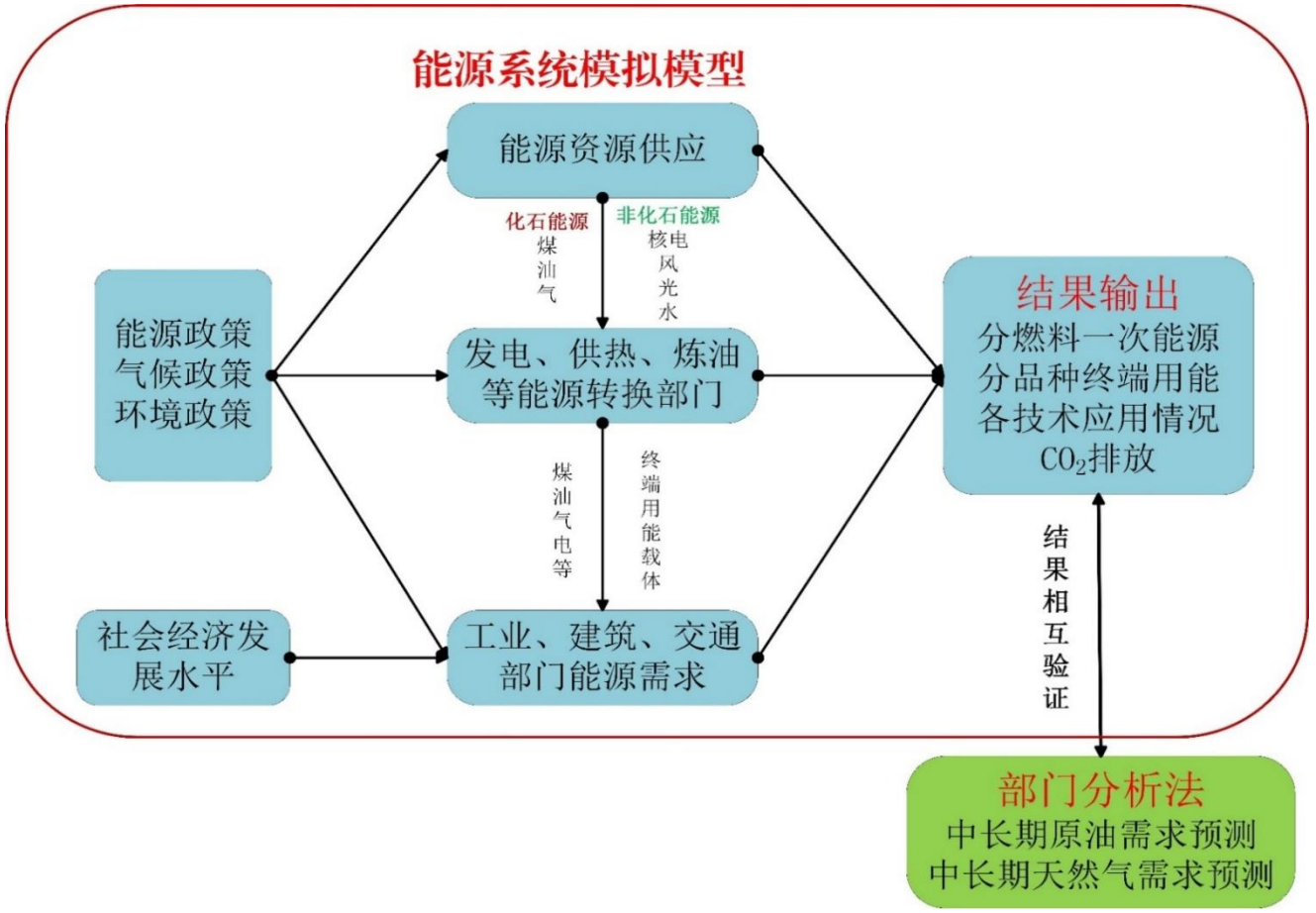
首先，从社会经济发展水平分析终端用能需求，即基于社会经济发展水平、能效提升水平、产业结构变化等因素，采取S曲线法、计量回归法、专家分析法等方法判断未来终端部门用能需求。

其次，确定终端分部门分品种能源需求，即终端部门各能源载体。主要根据时间序列、政策影响因素作用、趋势外推、计量经济、Logit选择函数等方法确定。

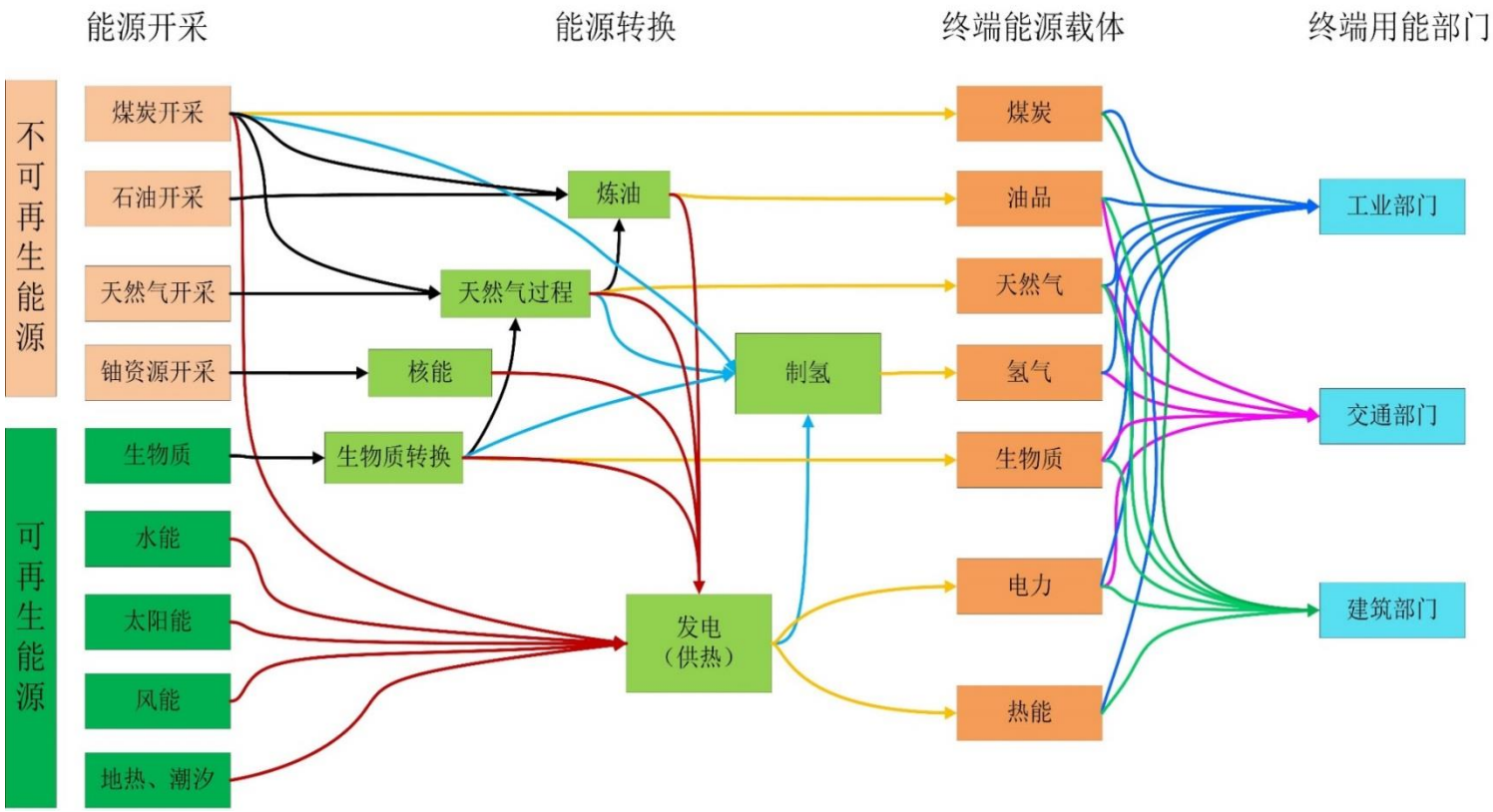
再次，对电力等二次能源供应根据产业发展规划、资源约束、技术成本等因素确定各发电技术的发电量。

最后，基于能源系统分析法汇总一次能源需求量，并测算能源相关的碳排放。

研究方法与思路

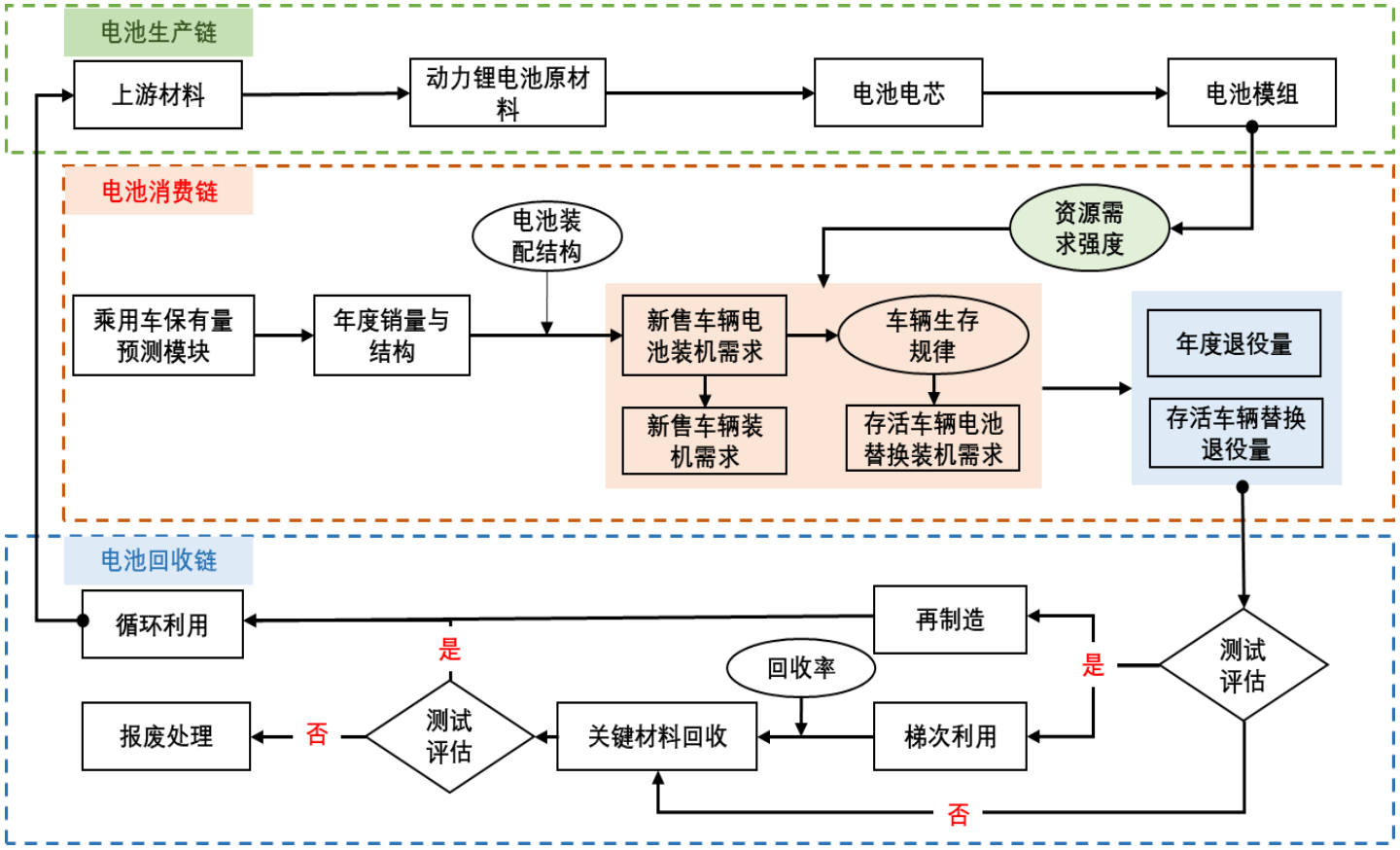

能源系统模拟模型
能源资源供应
化石能源
煤
油
气
非化石能源
核电
风
光
水
能源政策
气候政策
环境政策
发电、供热、炼油
等能源转换部门
煤
油
气
电
等
终
端
用
能
载
体
社会经济发
展水平
工业、建筑、交通
部门能源需求
结果输出
分燃料一次能源
分品种终端用能
各技术应用情况
CO_2排放
结
果
相
互
验
证
部门分析法
中长期原油需求预测
中长期天然气需求预测

研究方法与思路


能源开采
能源转换
终端能源载体
终端用能部门
不可再生能源
可再生能源
煤炭开采
石油开采
天然气开采
铀资源开采
生物质
水能
太阳能
风能
地热、潮汐
炼油
天然气过程
核能
生物质转换
制氢
发电
（供热）
煤炭
油品
天然气
氢气
生物质
电力
热能
工业部门
交通部门
建筑部门

研究方法与思路

车用动力电池资源需求预测模型



世界能源展望附表—参考情景

	一次能源需求									一次能源结构		
	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055	2060	2020	2030	2060
分品种需求(亿吨标油)												
煤炭	36.0	41.6	41.1	40.3	36.3	32.0	27.0	22.0	18.0	26.9%	24.2%	9.7%
石油	41.9	48.1	50.1	50.9	50.6	49.8	46.9	43.0	38.0	31.4%	29.5%	20.5%
天然气	33.1	40.0	44.2	47.5	50.4	52.7	53.5	52.0	51.0	24.8%	26.0%	27.5%
水电	9.8	11.3	12.1	13.0	13.4	14.2	14.8	14.8	14.9	7.3%	7.2%	8.0%
核电	7.0	8.0	8.5	8.9	9.1	9.5	10.0	10.2	10.5	5.2%	5.0%	5.7%
其他可再生	5.9	9.9	13.9	16.7	21.5	26.5	33.0	43.0	53.0	4.4%	8.2%	28.6%
一次能源需求总量	133.7	158.9	169.9	177.2	181.4	184.8	185.2	185.0	185.4	100%	100%	100%
能源相关碳排放（亿吨）												
排放总量	306.5	355.0	364.3	370.2	360.1	339.6	292.5	261.4	221.9			
分部门需求(亿吨标油)												
工业部门	48.4	55.5	58.0	59.4	59.4	59.0	57.4	56.3	55.7			
建筑部门	23.7	27.8	30.9	33.3	35.9	38.4	40.6	41.6	42.9			
交通部门	25.4	30.2	32.1	33.1	33.3	32.8	30.9	28.6	25.4			
终端用能总量	97.6	113.5	121.0	125.8	128.6	130.2	128.9	126.5	124.1			
用电量（万亿千瓦时）												
用电量	25.2	31.0	35.1	37.8	40.8	44.1	47.7	51.5	55.9			

世界能源展望附表—合作减排情景

	一次能源需求									一次能源结构		
	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055	2060	2020	2030	2060
分品种需求(亿吨标油)												
煤炭	36.0	30.5	22.7	16.3	11.6	8.5	6.3	5.5	5.0	26.9%	15.4%	3.0%
石油	41.9	42.0	38.4	33.1	28.3	23.1	18.2	17.0	16.2	31.4%	26.1%	9.6%
天然气	33.1	37.1	40.2	42.5	42.9	38.2	33.3	28.0	22.0	24.8%	27.3%	13.1%
水电	9.8	11.3	11.8	12.3	12.8	13.3	13.9	14.5	14.9	7.3%	8.1%	8.9%
核电	7.0	8.0	8.5	9.0	9.5	10.0	10.5	11.0	11.5	5.2%	5.8%	6.8%
其他可再生	5.9	14.8	25.5	40.0	51.9	68.7	80.2	89.5	98.6	4.4%	17.3%	58.6%
一次能源需求总量	133.7	143.7	147.1	153.3	157.0	161.8	162.3	165.5	168.2	100%	100%	100%
能源相关碳排放（亿吨）												
排放总量	306.5	290.7	255.9	217.8	166.5	122.8	75.4	47.7	33.6			
分部门需求(亿吨标油)												
工业部门	48.4	47.6	46.4	44.5	44.0	42.8	42.2	42.5	43.2			
建筑部门	23.7	28.8	30.8	32.8	34.8	37.7	39.4	40.4	41.5			
交通部门	25.4	27.6	26.8	25.8	24.2	20.9	18.0	17.7	17.4			
终端用能总量	97.6	104.1	104.0	103.1	103.0	101.4	99.6	100.5	102.1			
用电量（万亿千瓦时）												
用电量	25.2	34.2	40.9	47.3	53.7	60.0	66.0	71.1	75.7			

世界能源展望附表—博弈减排情景

	一次能源需求									一次能源结构		
	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055	2060	2020	2030	2060
分品种需求(亿吨标油)												
煤炭	36.0	41.6	41.1	38.3	33.7	27.8	21.0	16.0	12.0	26.9%	24.2%	6.3%
石油	41.9	48.1	50.1	50.3	47.6	43.1	38.6	36.0	33.0	31.4%	29.5%	17.3%
天然气	33.1	40.0	44.2	47.1	47.5	47.6	47.1	46.0	45.0	24.8%	26.0%	23.6%
水电	9.8	11.3	12.1	13.0	13.4	14.2	14.8	15.3	15.8	7.3%	7.2%	8.3%
核电	7.0	8.0	8.5	8.9	9.1	9.8	10.3	10.8	11.2	5.2%	5.0%	5.9%
其他可再生	5.9	9.9	13.9	20.7	32.0	39.7	51.0	63.9	74.0	4.4%	8.2%	38.7%
一次能源需求总量	133.7	158.9	169.9	178.2	183.4	182.3	182.8	188.0	191.0	100%	100%	100%
能源相关碳排放（亿吨）												
排放总量	306.5	355.0	364.3	360.1	335.0	299.6	254.0	217.4	184.8			
分部门需求(亿吨标油)												
工业部门	48.4	56.0	58.4	59.3	58.6	56.7	54.5	54.2	53.9			
建筑部门	23.7	28.3	31.2	33.9	36.4	38.0	40.2	42.2	43.6			
交通部门	25.4	30.6	32.5	33.2	32.4	29.2	26.3	25.0	23.4			
终端用能总量	97.6	114.8	122.1	126.3	127.3	123.9	120.9	121.4	121.0			
用电量（万亿千瓦时）												
用电量	25.2	30.9	34.7	38.2	43.0	46.5	51.2	56.6	60.9			

中国能源展望附表—可持续转型情景

	一次能源需求（发电煤耗法）									一次能源结构		
	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055	2060	2020	2030	2060
分品种需求（亿吨标油）												
煤炭	19.8	19.9	17.9	15.6	12.3	8.7	5.5	3.1	2.0	56.8%	42.6%	5.0%
石油	6.7	7.7	7.7	6.6	5.7	4.7	3.8	3.1	2.3	19.2%	18.4%	5.6%
天然气	2.9	4.4	5.0	5.8	6.0	5.3	4.7	4.2	3.8	8.4%	12.0%	9.4%
水电	2.7	3.0	3.2	3.3	3.5	3.6	3.7	3.7	3.7	7.7%	7.5%	9.2%
核电	0.8	1.0	1.3	1.9	2.0	2.6	3.1	3.5	3.9	2.4%	3.2%	9.7%
风电	1.0	2.0	3.3	3.5	3.9	5.6	7.1	9.0	10.0	3.0%	7.8%	24.7%
太阳能	0.6	2.0	2.8	3.7	4.8	6.4	8.4	10.8	12.0	1.9%	6.8%	29.5%
其他可再生	0.2	0.7	0.7	1.1	1.5	2.0	2.3	2.5	2.9	0.6%	1.7%	7.0%
一次能源需求总量	34.9	40.7	41.9	41.5	39.6	38.9	38.7	39.9	40.6	100%	100%	100%
能源相关碳排放（亿吨）												
排放总量	101.3	106.3	97.5	81.8	63.4	44.4	26.5	11.0	0			
分部门需求（亿吨标油）												
工业部门	16.9	18.6	18.4	17.2	15.5	14.1	12.8	12.0	11.3			
建筑部门	4.2	5.4	6.3	6.7	6.6	6.5	6.4	6.4	6.3			
交通部门	4.1	4.6	4.7	4.7	4.6	4.3	4.1	3.7	3.4			
终端用能总量	25.2	28.6	29.5	28.6	26.8	24.9	23.2	22.1	21.0			
电力供需（万亿千瓦时）												
终端用电量	7.2	9.7	11.7	13.4	13.9	14.5	14.7	15.0	15.2			
发电量	7.5	9.9	11.5	13.0	13.8	15.0	16.1	17.3	18.5			

中国能源展望附表—可持续转型情景续表

	发电量及装机									发电与装机结构		
	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055	2060	2020	2030	2060
发电量（万亿千瓦时）												
煤电	4.6	5.2	5.2	4.6	3.5	2.3	1.2	0.1	0.0	61.3%	44.5%	0.0%
煤电+CCS	0	0	0.3	0.8	1.1	1.2	1.2	1.2	1.2	0.0%	2.2%	6.2%
油电	0.1	0.1	0.1	0	0	0	0	0	0	1.2%	0.5%	0.0%
气电	0.3	0.7	0.8	1.0	1.2	1.0	0.6	0.2	0	3.9%	6.9%	0.0%
气电+CCS	0	0	0.1	0.4	0.5	0.6	0.8	1.0	1.1	0.0%	0.9%	6.0%
水电	1.2	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	1.9	1.9	16.5%	13.0%	10.3%
核电	0.4	0.5	0.6	0.9	1.0	1.3	1.6	1.8	2.0	5.1%	5.4%	10.8%
风电	0.5	1.0	1.6	1.7	1.9	2.8	3.6	4.6	5.1	6.4%	13.4%	27.6%
太阳能	0.3	1.0	1.4	1.8	2.4	3.2	4.3	5.5	6.1	4.0%	11.7%	33.1%
生物质	0.1	0.1	0.2	0.4	0.5	0.7	0.8	0.7	0.2	1.7%	1.5%	1.1%
生物质+CCS	0	0	0	0	0	0.1	0.1	0.3	0.9	0.0%	0.0%	4.9%
发电总量	7.5	9.9	11.6	13.1	13.8	15.0	16.1	17.3	18.5	100%	100%	100%
电力装机（亿千瓦）												
煤电	11.2	12.0	11.6	10.9	8.8	6.6	4.0	0.3	0.0	50.4%	29.6%	0.0%
煤电+CCS	0.0	0.1	0.6	1.8	2.4	2.7	2.7	2.7	2.6	0.0%	1.4%	3.2%
油电	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0%	0.8%	0.0%
气电	0.9	1.8	2.7	3.3	4.0	3.3	2.0	0.7	0.0	4.1%	6.8%	0.0%
气电+CCS	0.0	0.0	0.3	1.2	1.7	2.0	2.7	3.3	3.7	0.0%	0.9%	4.6%
水电	3.5	4.0	5.0	5.5	6.0	6.2	6.5	6.5	6.5	15.7%	12.8%	8.2%
核电	0.6	0.7	0.9	1.3	1.4	1.9	2.3	2.6	2.9	2.5%	2.3%	3.6%
风电	2.8	5.1	7.8	8.1	8.6	12.7	16.4	20.9	23.2	12.7%	19.8%	29.3%
太阳能	2.5	7.3	9.6	12.0	14.7	20.0	26.9	34.4	38.1	11.4%	24.6%	48.2%
生物质	0.3	0.3	0.4	0.8	1.1	1.4	1.6	1.4	0.4	1.2%	1.0%	0.5%
生物质+CCS	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.5	1.8	0.0%	0.0%	2.3%
总装机量	22.2	31.7	39.1	45.1	48.9	56.9	65.2	73.3	79.1	100%	100%	100%

中国能源展望附表—可再生能源更快发展情景

	一次能源需求（发电煤耗法）									一次能源结构		
	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055	2060	2020	2030	2060
分品种需求（亿吨标油）												
煤炭	19.8	19.9	17.8	15.4	11.8	8.4	5.2	3.2	1.0	56.8%	42.3%	2.3%
石油	6.7	7.7	7.4	6.2	5.3	4.3	3.3	2.4	1.7	19.2%	17.6%	4.1%
天然气	2.9	4.4	5.0	5.6	5.4	4.9	4.5	3.9	3.4	8.4%	11.9%	8.3%
水电	2.7	3.0	3.2	3.3	3.5	3.6	3.7	3.9	4.1	7.7%	7.5%	10.0%
核电	0.8	1.0	1.4	2.0	2.2	2.6	3.1	3.7	4.5	2.4%	3.2%	11.0%
风电	1.0	2.0	2.9	4.0	5.0	6.4	8.0	9.6	10.8	3.0%	7.0%	26.2%
太阳能	0.6	2.1	3.7	4.4	6.0	7.6	9.2	11.2	12.9	1.9%	8.7%	31.5%
其他可再生	0.2	0.7	0.7	1.3	1.4	1.9	2.1	2.4	2.7	0.6%	1.7%	6.6%
一次能源需求总量	34.9	40.8	42.1	42.1	40.5	39.6	39.2	40.4	41.1	100%	100%	100%
能源相关碳排放（亿吨）												
排放总量	101.3	106.0	96.3	81.8	61.2	43.6	26.3	11.7	0			
分部门需求（亿吨标油）												
工业部门	16.9	18.6	18.1	17.0	15.4	14.0	12.7	12.1	11.2			
建筑部门	4.2	5.4	6.5	6.8	6.6	6.4	6.3	6.2	6.1			
交通部门	4.1	4.7	4.8	4.7	4.4	4.2	3.7	3.3	3.0			
终端用能总量	25.2	28.7	29.3	28.5	26.4	24.6	22.7	21.6	20.3			
电力供需（万亿千瓦时）												
终端用电量	7.2	9.7	11.7	13.4	13.9	14.5	14.7	15.0	15.2			
发电量	7.5	10.0	11.9	13.9	14.7	15.8	17.0	18.2	19.4			

中国能源展望附表—CCUS技术更大规模应用情景

	一次能源需求（发电煤耗法）									一次能源结构		
	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055	2060	2020	2030	2060
分品种需求（亿吨标油）												
煤炭	19.8	19.9	18.6	16.2	12.7	9.2	6.1	4.1	2.7	56.8%	44.2%	6.9%
石油	6.7	7.7	7.8	6.8	5.9	5.2	4.4	3.7	2.8	19.2%	18.5%	7.2%
天然气	2.9	4.5	5.2	5.7	6.0	5.5	5.3	5.2	4.9	8.4%	12.3%	12.3%
水电	2.7	3.0	3.2	3.3	3.5	3.6	3.7	3.7	3.7	7.7%	7.5%	9.5%
核电	0.8	1.0	1.3	1.9	2.0	2.6	3.1	3.5	3.9	2.4%	3.1%	10.0%
风电	1.0	2.0	2.5	3.1	3.7	5.0	5.9	7.3	8.8	3.0%	6.0%	22.4%
太阳能	0.6	1.8	2.8	3.6	4.8	6.4	7.8	9.4	10.0	1.9%	6.7%	25.4%
其他可再生	0.2	0.7	0.7	1.1	1.4	1.9	2.1	2.5	2.5	0.6%	1.7%	6.4%
一次能源需求总量	34.9	40.5	42.1	41.7	39.9	39.3	38.5	39.4	39.4	100%	100%	100%
能源相关碳排放（亿吨）												
排放总量	101.3	106.1	99.3	82.9	65.3	47.2	30.2	13.2	0			
分部门需求（亿吨标油）												
工业部门	16.9	18.6	18.7	17.2	15.6	14.2	13.0	12.5	12.0			
建筑部门	4.2	5.4	6.3	6.7	6.7	6.5	6.3	6.3	6.1			
交通部门	4.1	4.6	4.9	4.9	4.6	4.5	4.3	3.9	3.6			
终端用能总量	25.2	28.5	29.9	28.8	26.9	25.3	23.6	22.7	21.6			
电力供需（万亿千瓦时）												
终端用电量	7.2	9.5	11.1	12.4	13.0	13.5	13.6	13.7	13.9			
发电量	7.5	9.8	11.3	12.8	13.7	14.7	15.6	16.5	17.6			

致　谢

能源展望研究团队在报告形成过程中，多次邀请有关方面院士专家进行研讨交流，对世界与中国经济和能源发展趋势、能源各品种发展趋势，以及研究思路和方法进行探讨，有效提升了报告质量，在此深表感谢！

中国石油经济技术研究院

中国石油油气市场模拟与价格预测重点实验室