



能源低碳转型与气候变化

• 李 政 教授

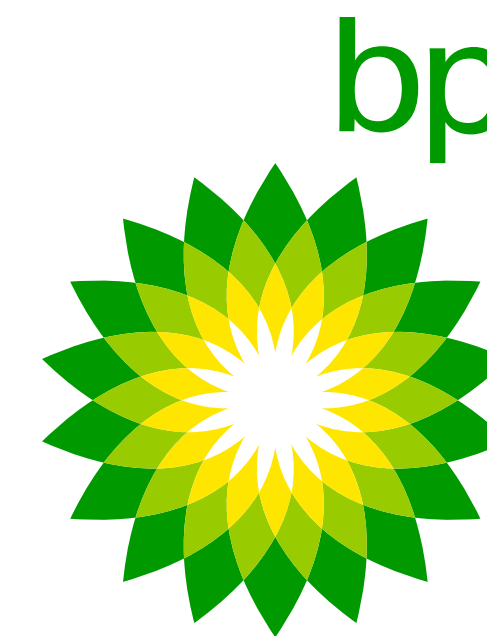
• 清华大学气候变化与可持续发展研究院

• 2019年11月13日，北京



- 世界能源现状与转型发展
- 《巴黎协定》与国际动向
- 中国能源现状与转型发展
- 我国电力工业低碳转型研究





BP世界能源展望

2019年版

新且转型研究系统、完整
作为主要国际研究参考对照



清华大学气候变化与可持续发展研究院

Institute of Climate Change and Sustainable Development, Tsinghua University

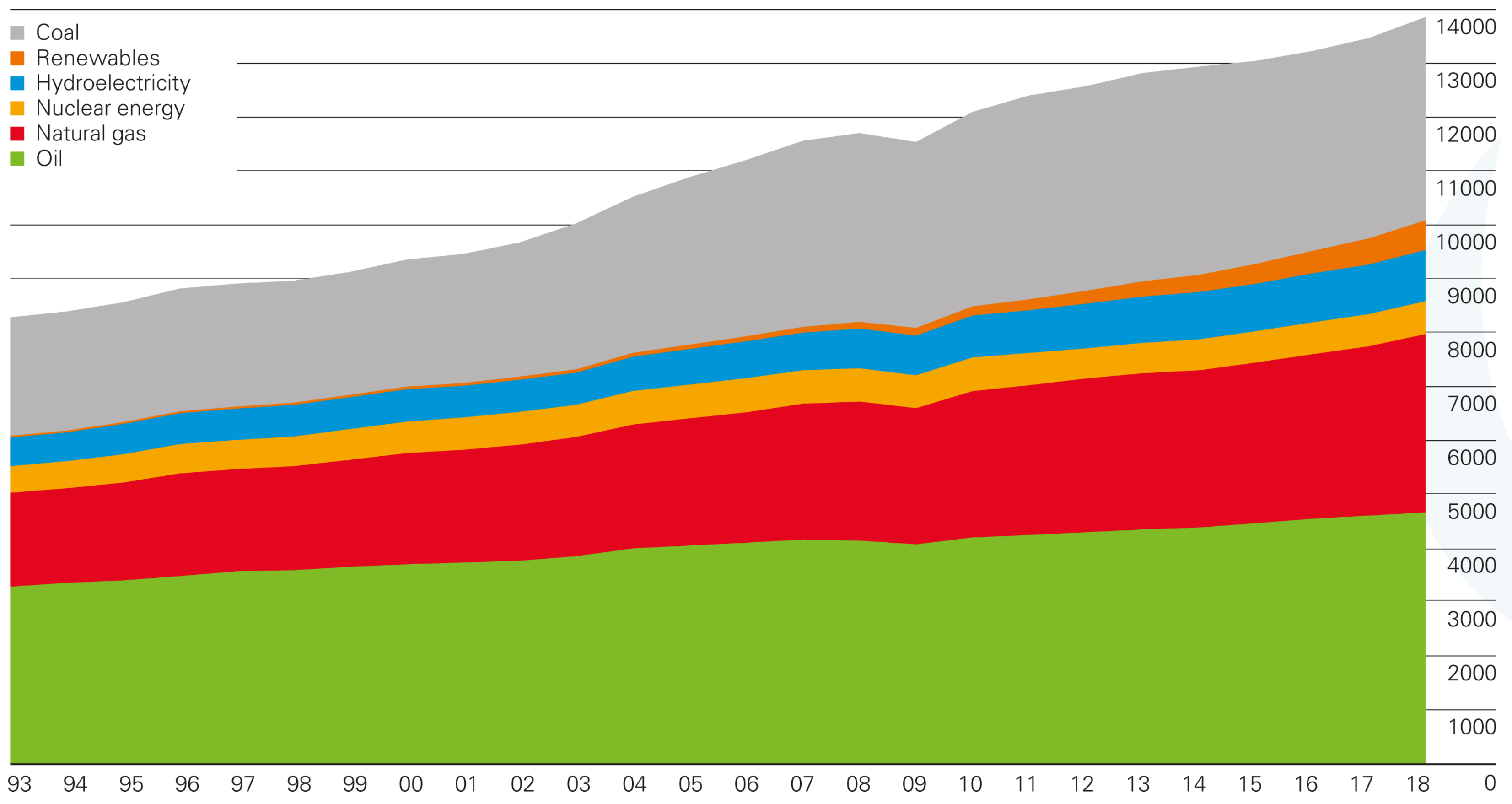
世界能源现状与转型发展



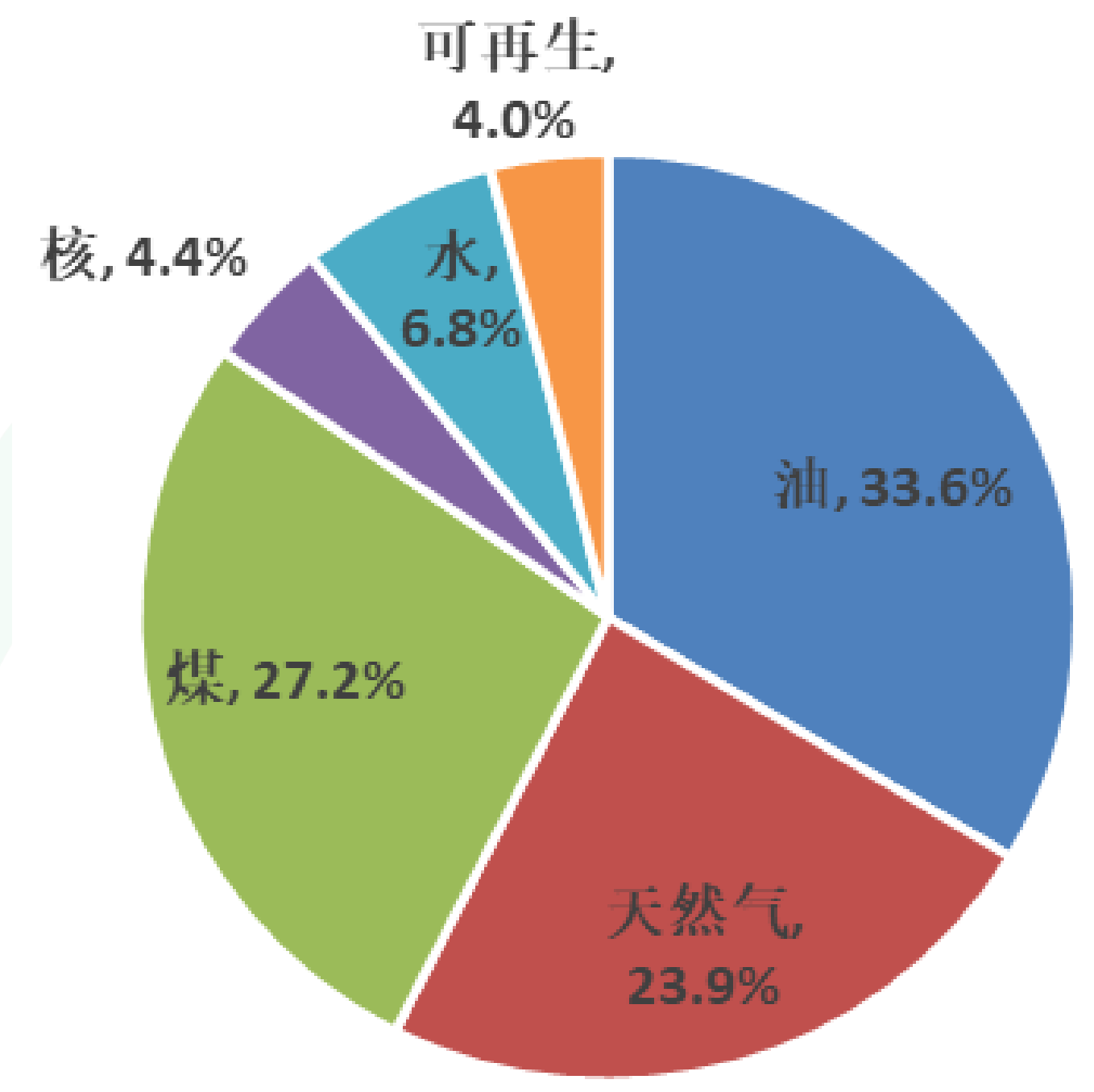


2018年世界一次能源消费量为138.6亿吨标准油

世界一次能源消费 (百万吨标准油)



2018年世界能源消费结构

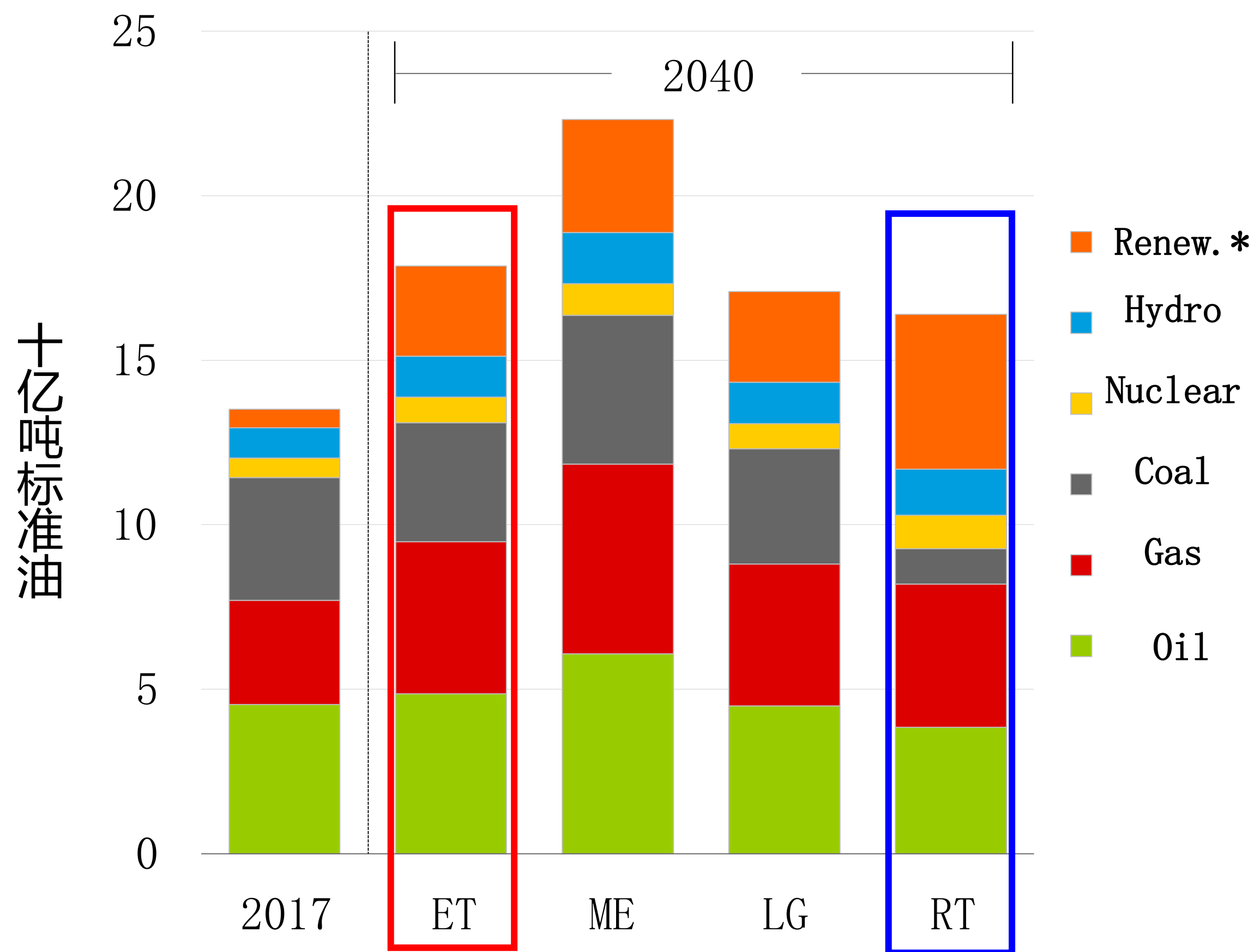


- 石油 : 1/3
- 煤炭/天然气 : 25+和25-%
- 水力能/核能 : 6+和6-%
- 可再生能源 : 4%

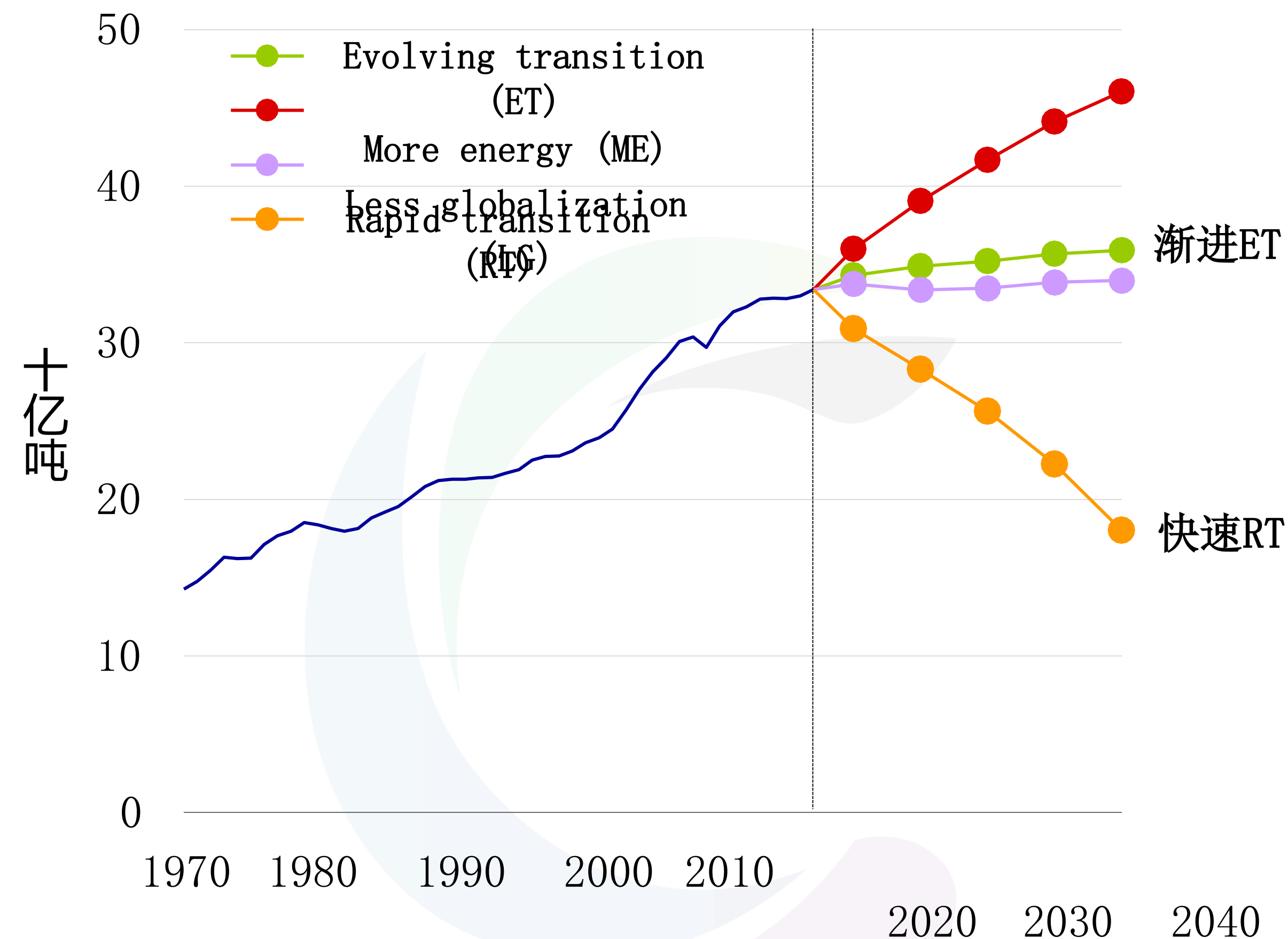


渐进转型情景ET vs. 快速转型情景RT

一次能源及构成



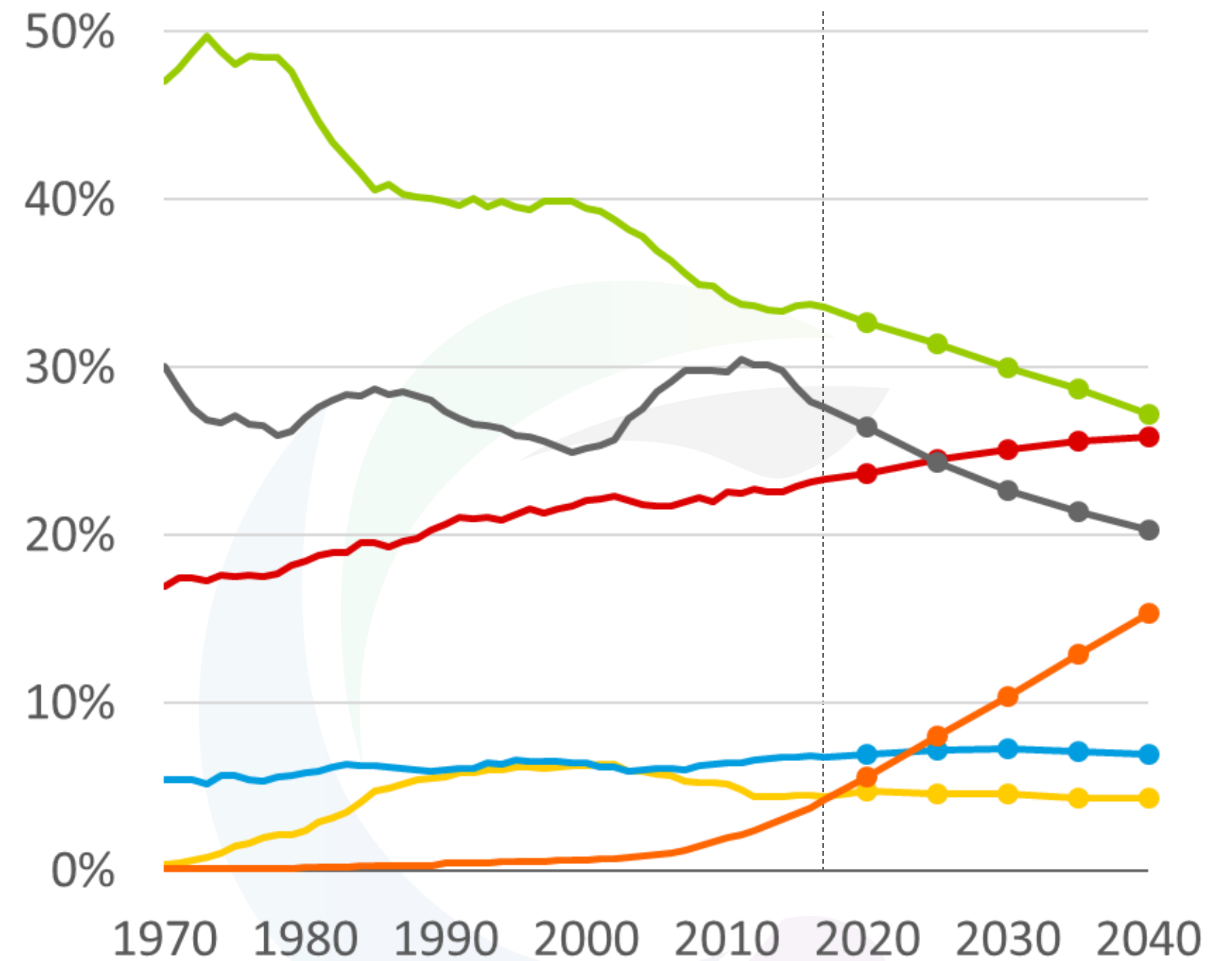
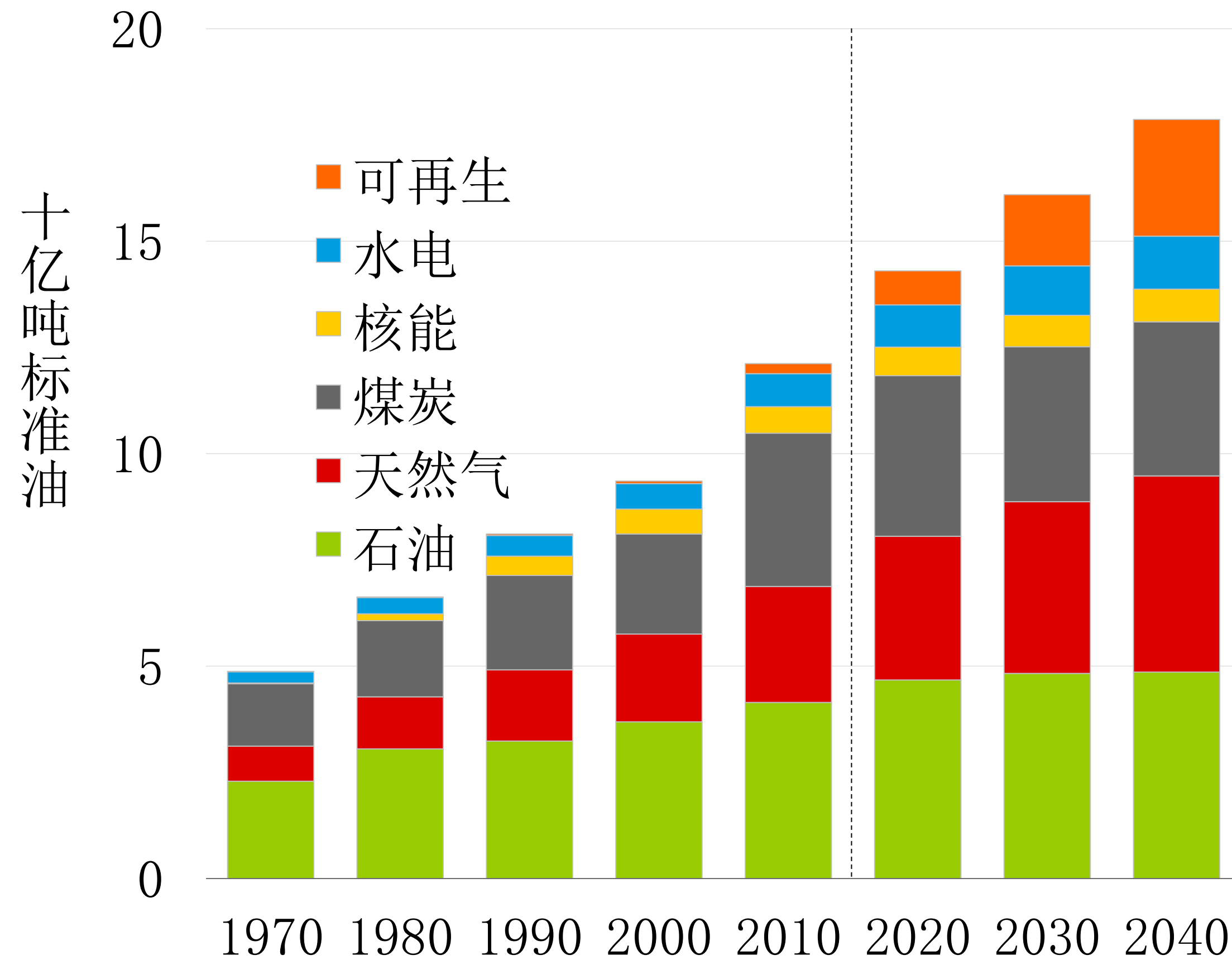
二氧化碳排放



- 渐进转型情景(ET): 按照当前的技术、政策和产业的趋势继续发展
- 快速转型情景(RT): 实现《巴黎协定》两度目标的转型路径



全球一次能源需求及结构（渐进情景）

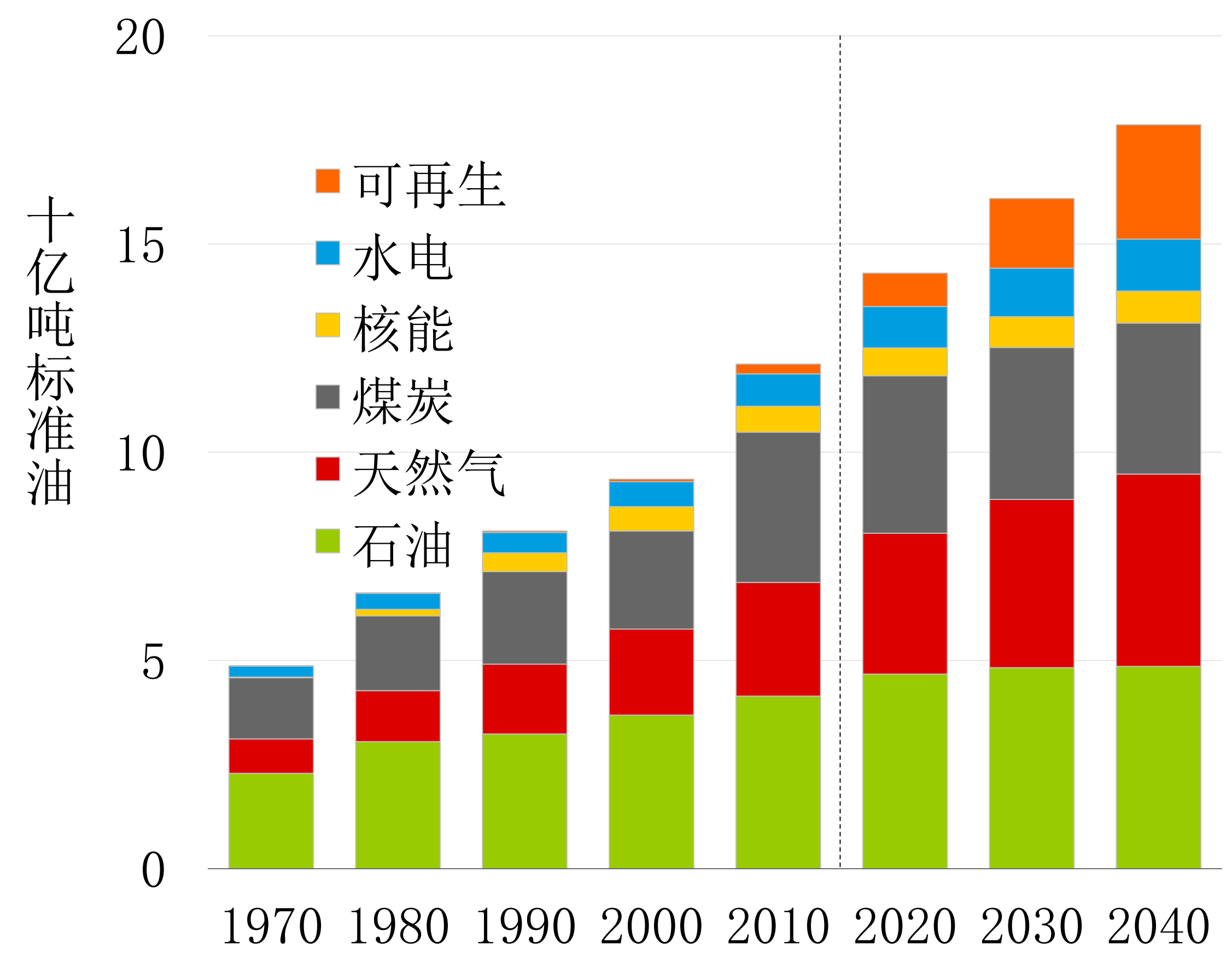


时间上限是2040年，全球一次能源的需求持续增长，能源结构也向低碳方向发展

数据来源: BP Energy Outlook 2019



全球一次能源需求及结构（渐进情景）



2040年能源结构	
• 石油	27.2%
• 天然气	25.8%
• 煤炭	20.3%
• 可再生	15.4%
• 水力能	7.0%
• 核能	4.3%
• 非化石	26.7%

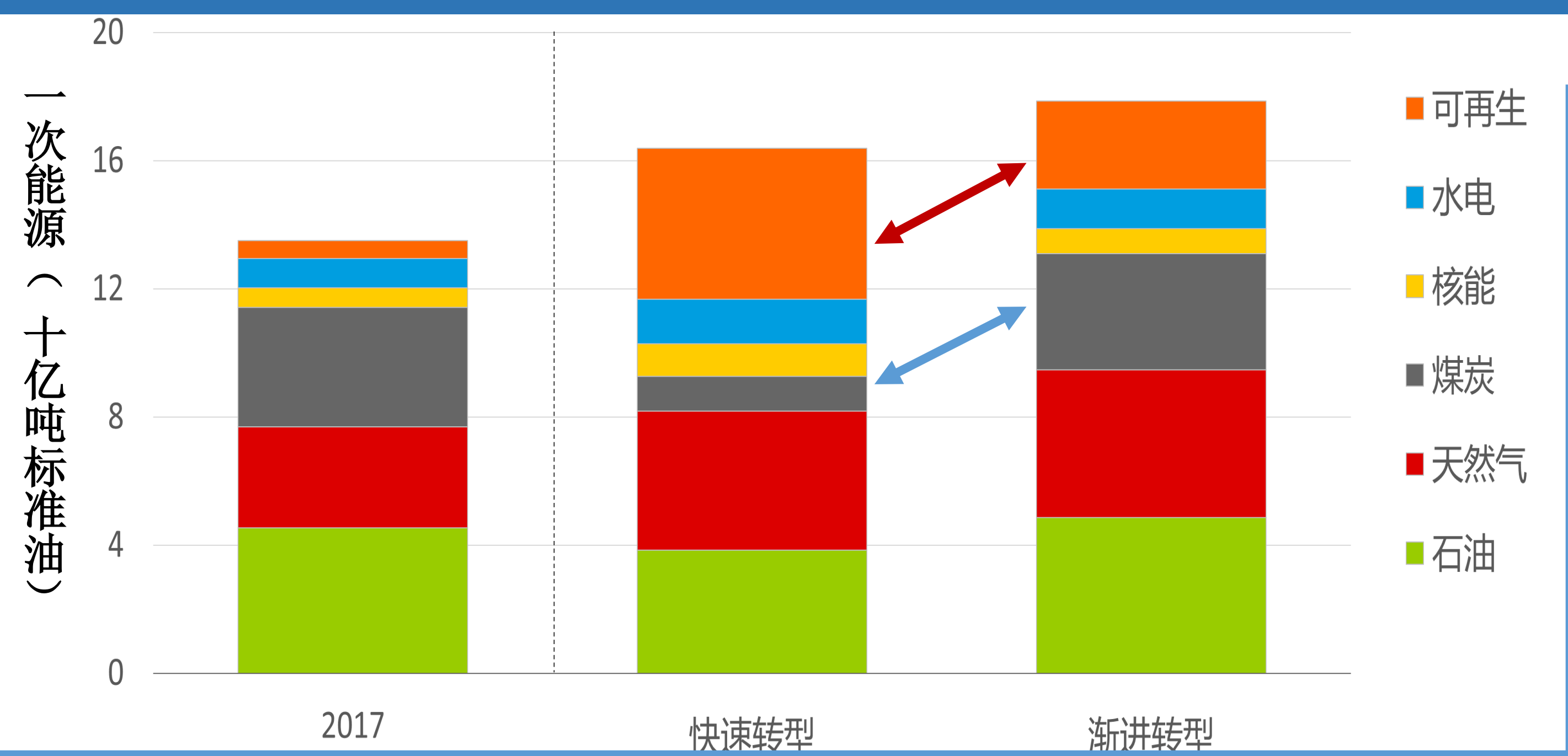
煤炭和可再生变化最大，前者由27%降低到20%，后者则由4%上升到15%



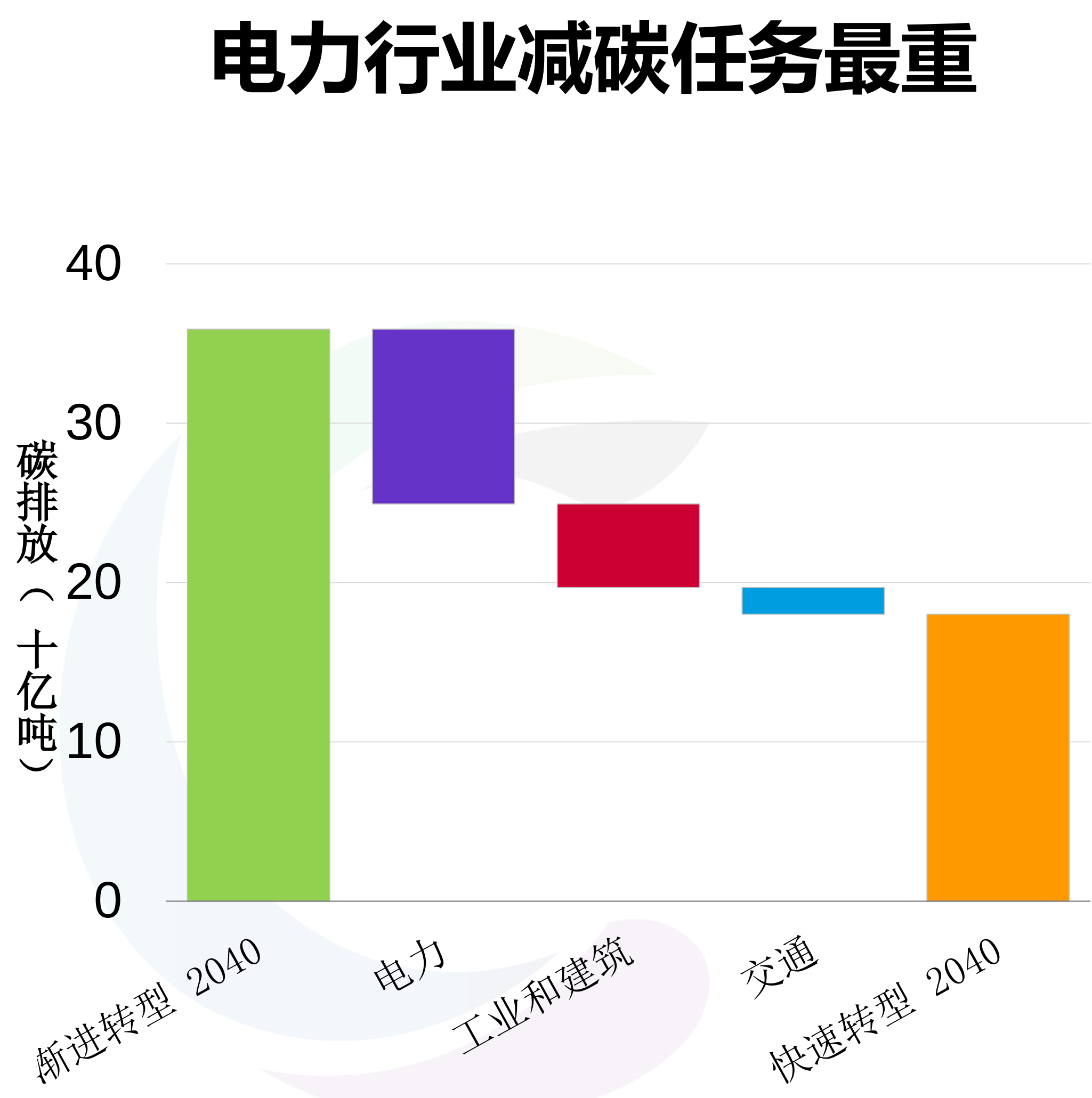
- 到2040年，全球经济增长100%，而能源仅增长约30%以上
- 全球能源生产能够满足消费的增长，除煤炭外的各种能源生产量都增加
 - 将近一半的新增生产量可再生能源，可再生和天然气占增长的85%
 - 煤炭总量基本持平，略有下降
 - 能源结构进一步绿色和低碳化：非化石15%→27%，煤炭→20%
- 全球地区能源生产和消费不平衡将加剧，低成本生产者将占优势
- 能源碳排放增速比前十年显著降低，但仍增加25%，高于2度要求
- 能源发展面临双重挑战：更多的供应vs.更少的碳排放



渐进情景ET vs. 快速转型情景RT



2017	2040ET	2040RT	
34%	27%	23%	石油
23%	26%	26%	天然气
28%	20%	7%	煤炭
4%	4%	6%	核能
7%	7%	9%	水力能
4%	15%	29%	可再生
15%	26%	44%	非化石



快速情景：能耗仅增加20%，煤炭和可再生变化更大，非化石能源占比44%



《巴黎协定》与国际动向

- 应对气候变化领域最重要的文件
- 为能源低碳发展起到了塑形作用





气候变化是人类社会可持续发展面临的最大威胁，保护全球生态安全，实现绿色低碳发展，已成为世界可持续发展的核心议题

- **（一）长期目标。**重申**2°C的全球温升控制目标**，**同时提出要努力实现1.5°C的目标**。为实现长期目标，缔约方旨在尽快达到温室气体排放的全球峰值，此后，**在本世纪下半叶实现温室气体源的人为排放与汇的清除之间的平衡**。
- **（二）国家自主贡献。**各国应制定、通报并保持其“国家自主贡献”，通报频率是每五年一次。新的贡献应比上一次贡献有所加强，并反映该国**可实现的最大力度**。努力**拟定并通报长期温室气体低排放发展战略**。
- **（三）减缓。**要求**发达国家**继续提出**全经济范围绝对量减排目标**，鼓励**发展中国家**根据自身国情逐步向**全经济范围绝对量减排或限排目标迈进**。我国：二氧化碳排放2030年左右达到峰值并争取尽早达峰
- **（四）资金。**明确发达国家要继续**向发展中国家提供资金支持**，鼓励其他国家在自愿基础上出资。
- **（五）透明度。**建立“强化”的透明度框架，重申遵循非侵入性、非惩罚性的原则，并为发展中国家提供灵活性。透明度的具体模式、程序和指南将由后续谈判制订。
- **（六）全球盘点。**每五年进行定期盘点，推动各方不断提高行动力度，并于2023年进行首次全球盘点。



- 达成了“**协定**” + “**决定**”的法律形式，具有最大包容性，照顾各方核心关切
- 坚持了《公约》下，**公平、共同但有区别的责任和各自能力原则，考虑不同国情**
- 确立了“**自下而上**”模式，形成各方结合国情**自主决定贡献**（NDC）的局面
- 提出了将全球温升控制在2°C以内，并争取控制在1.5°C以内的**长期目标**和全球低碳、气候韧性和可持续发展的**共同愿景**
- 建立了强化透明度框架和五年盘点一次持续提高力度的机制，确保实施可持续性
- 明确了**行动与支持相匹配**的要求，帮助发展中国家不断提高能力、透明度和力度

我国为《巴黎协定》的达成、签署、生效和实施做出了重要贡献



当前，《巴黎协定》和实施细则已经基本达成，2020年后各方合作应对气候变化的制度安排已经基本确立，下一步主要的任务就是落实在**行动上**和提高**力度**。

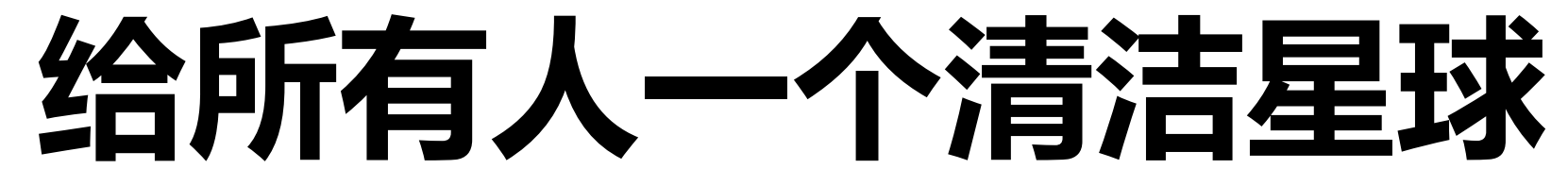
- 今年9月，古特雷斯秘书长召开联合国气候行动峰会，提升各国领导人的政治意愿，呼吁各方为实现温升控制**1.5°C**提高力度（**要处理好2°C和1.5°C目标的关系**）。
- 今年年底，将在西班牙召开联合国气候变化大会，完成**《巴黎协定》第6条市场机制未决问题的谈判**，主席国智利拟将推动各国提高力度作为本次大会的核心议题。
- 明年，各方将根据《巴黎协定》的要求**更新2020年后的自主贡献目标**，提出到**本世纪中叶的长期低碳发展战略**。



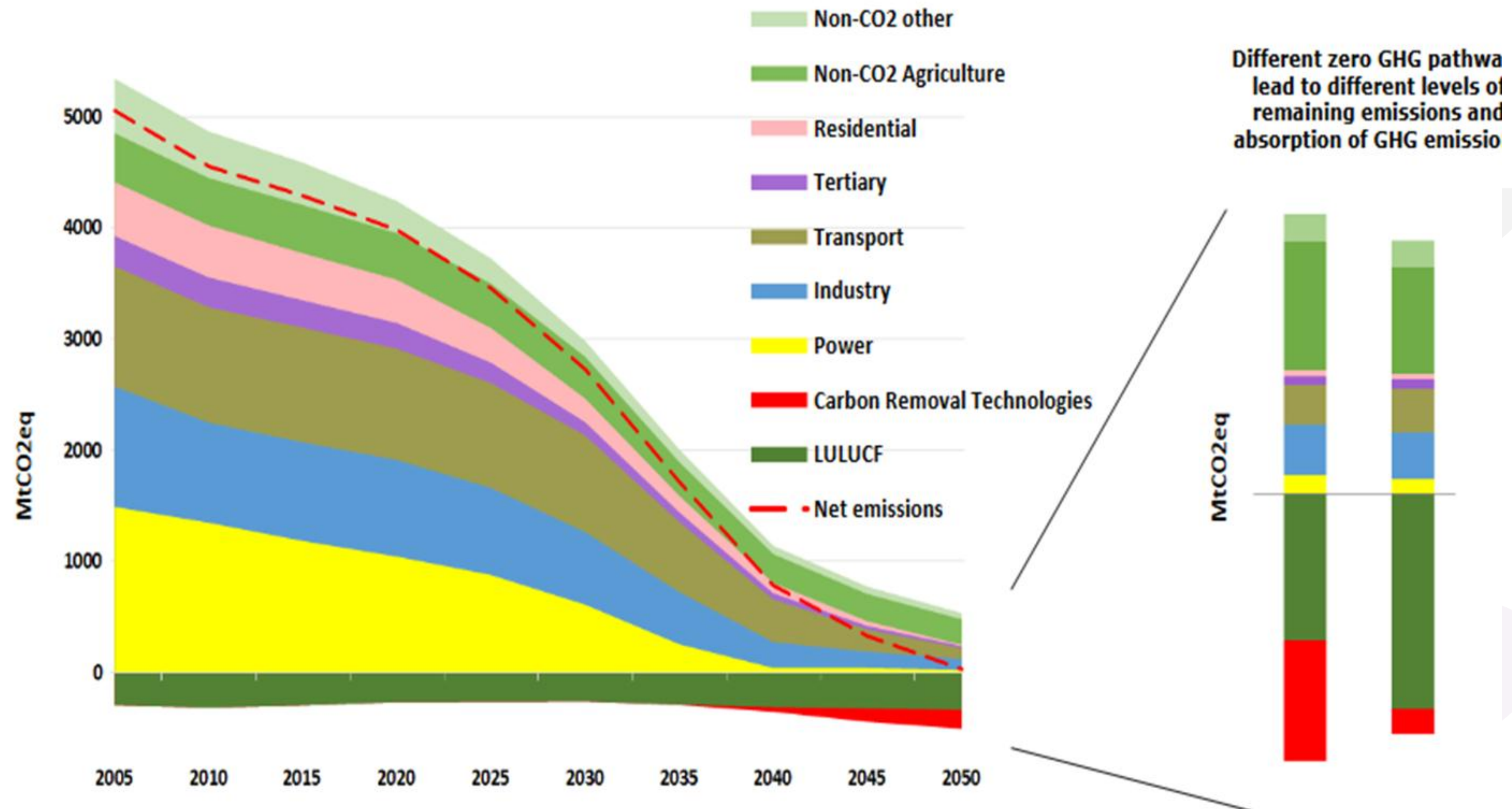
- **气候变化已经不是未来的挑战，而是眼前的威胁：**全球气温2017—2018年已比工业化前高出1°C，按照这一排放速度，2040年左右将高出1.5°C，2065年左右可能达到甚至超过2°C。这意味着提前40年超过《巴黎协定》确定的世纪末温升控制目标
- **实现1.5°C温升控制目标要求从现在起就采取大规模的减排措施：**到2030年实现全球净人为CO₂排放量比2010年水平减少45%，到2050年左右达到净零排放，同时要求非CO₂温室气体排放大幅下降。相应的**全球平均边际减排成本约高出3到4倍。**

- **1.5°C**，2030年CO₂排放相比2010年下降约45%，并在**2050年**左右达到净零
- **2°C内**，2030年CO₂排放相比2010年下降约25%，并在**2070年**左右达到净零

热潮：在9月气候峰会期间，欧盟、英国等77个国家、10个地区、100多个城市提出2050年实现碳中和的目标和战略



欧盟建设一个繁荣、现代、有竞争力的气候中性经济的长期战略愿景





主要国家气候变化立法进程

欧盟	英国	德国	新西兰
●2018年11月28日发布《欧盟建立繁荣、现代、具有竞争力和气候中性的经济长期发展战略远景报告》提出多种情景（2050年温室气体排放较1990年减少80%、90%、100%） ●《国家气候和能源计划》正在制定中	●2008年11月26日《气候变化法》生效2050年温室气体排放较1990年减少80%，2020年CO₂排放量较1990年减少26% ●2019年6月27日《气候变化法2019修正案（2050年目标修正）》生效：2050年温室气体排放较1990年减少至少100%	●2019年9月20日公布气候框架法和“气候行动方案2030”：2030年温室气体排放较1990年减少55%，2050年力求温室气体排放中和 ●将在未来几个月内完成立法程序	●2019年11月7日通过《零碳法案》：2050年基本实现碳中和（除甲烷以外，不生产任何温室气体）2030年甲烷排放量减少10%，2050年减少25%-50%；2035年实现100%可再生能源发电

指出：发达国家能源结构好，碳达峰时间早，实现碳中和的条件远好于我国（压力大）

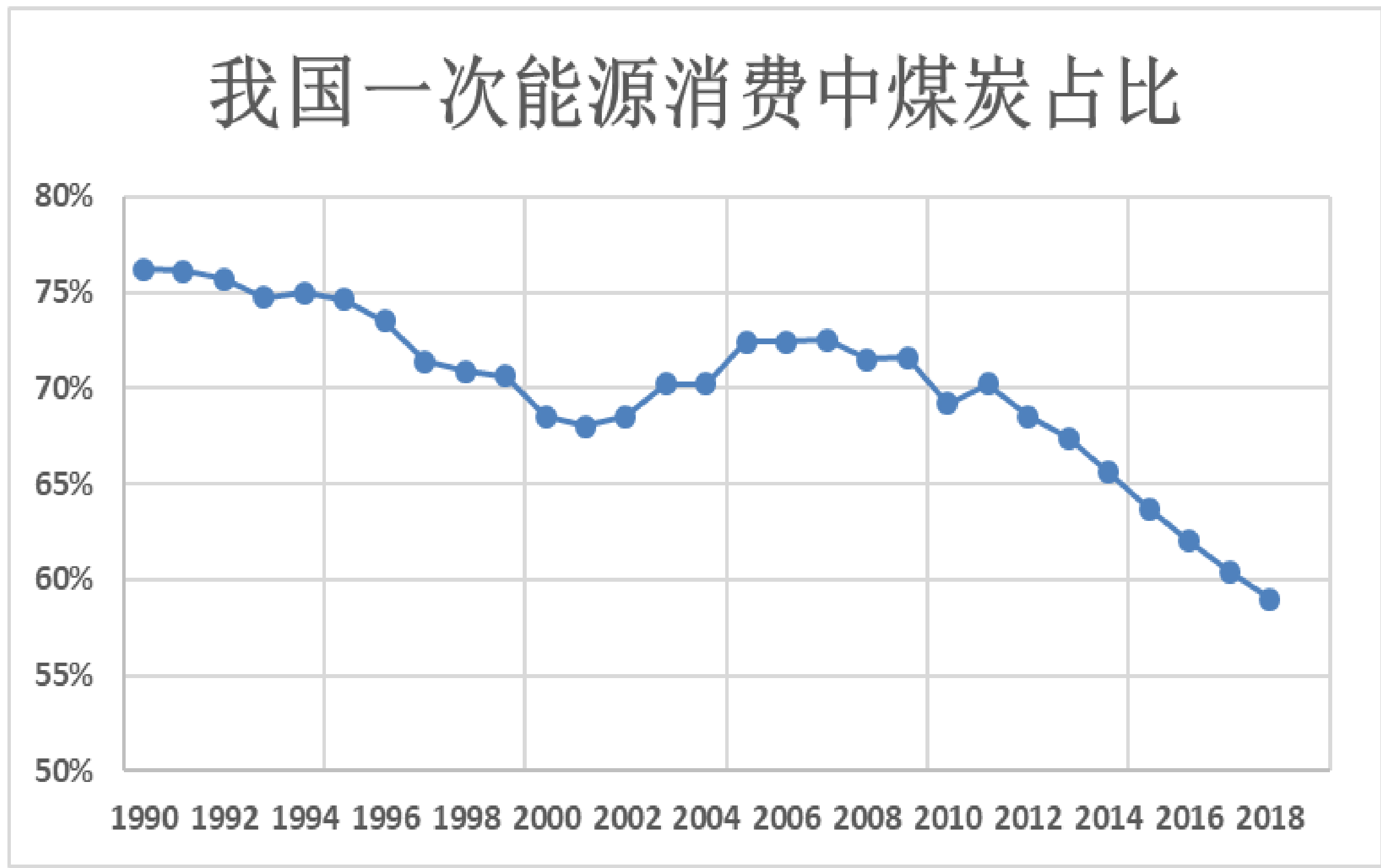
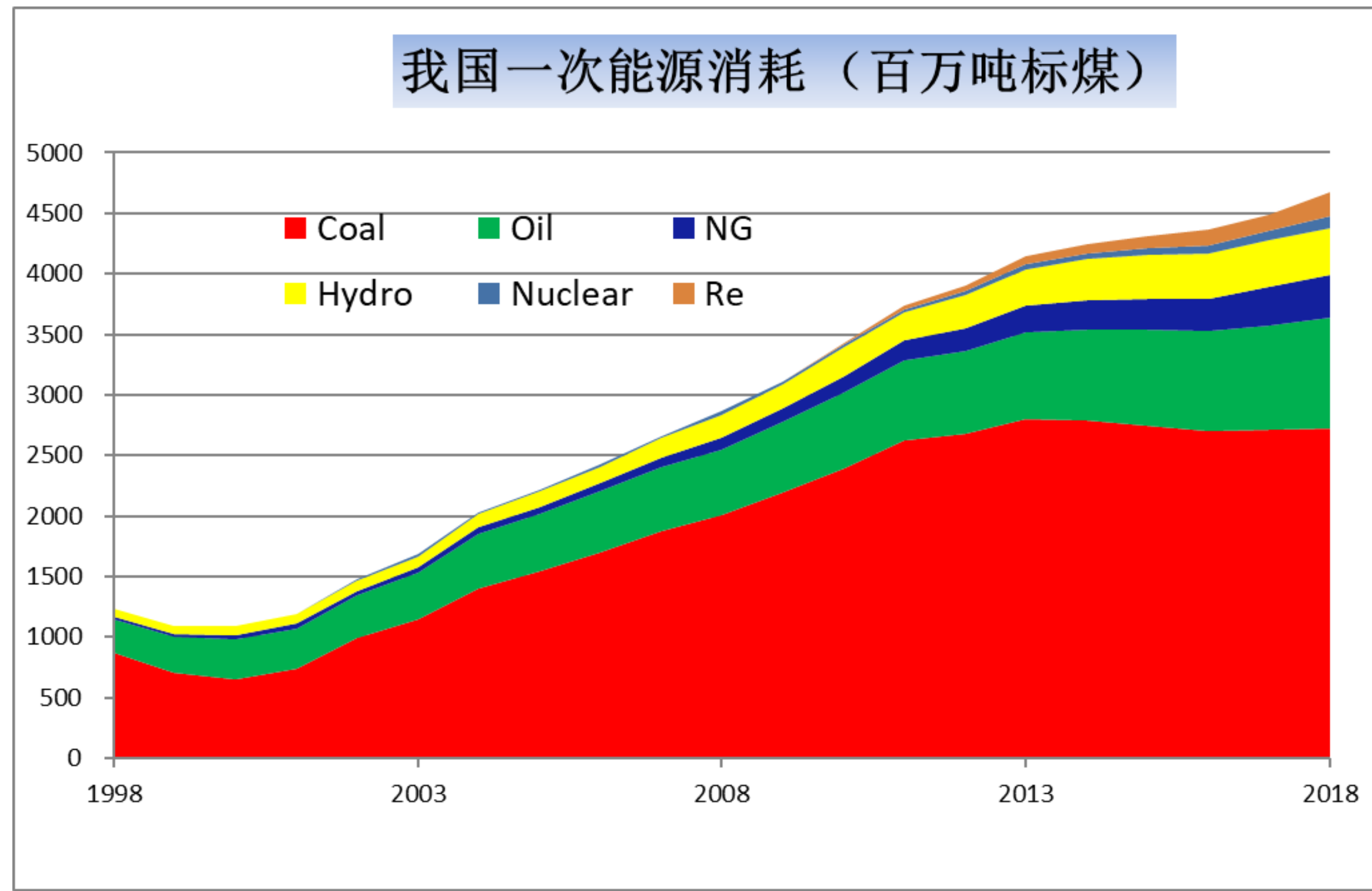


中国能源现状与转型发展

- 由于我国的能源结构特点，我国能源转型具有天然的难度



2018年一次能源消费为46.4亿吨标准煤

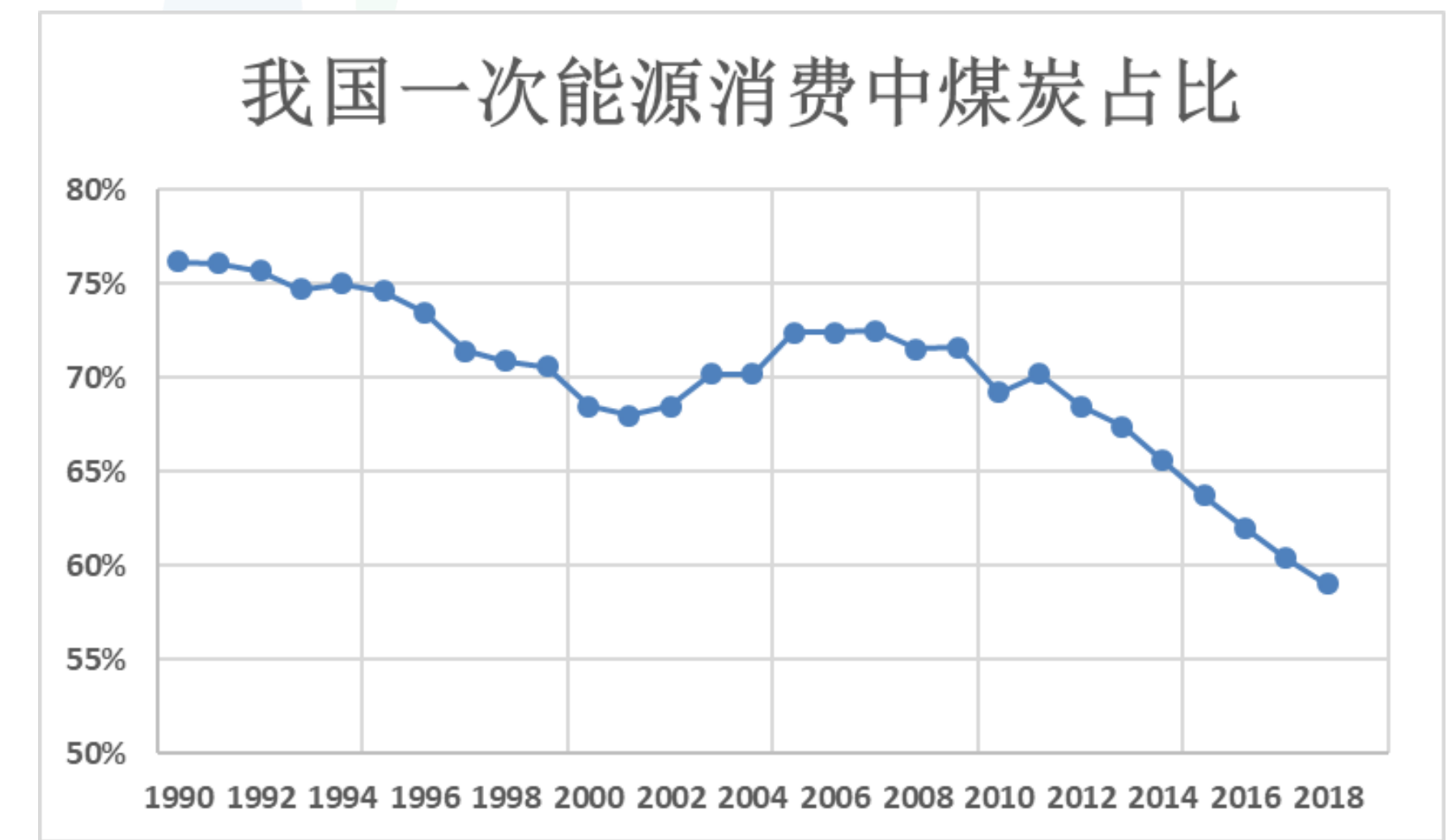
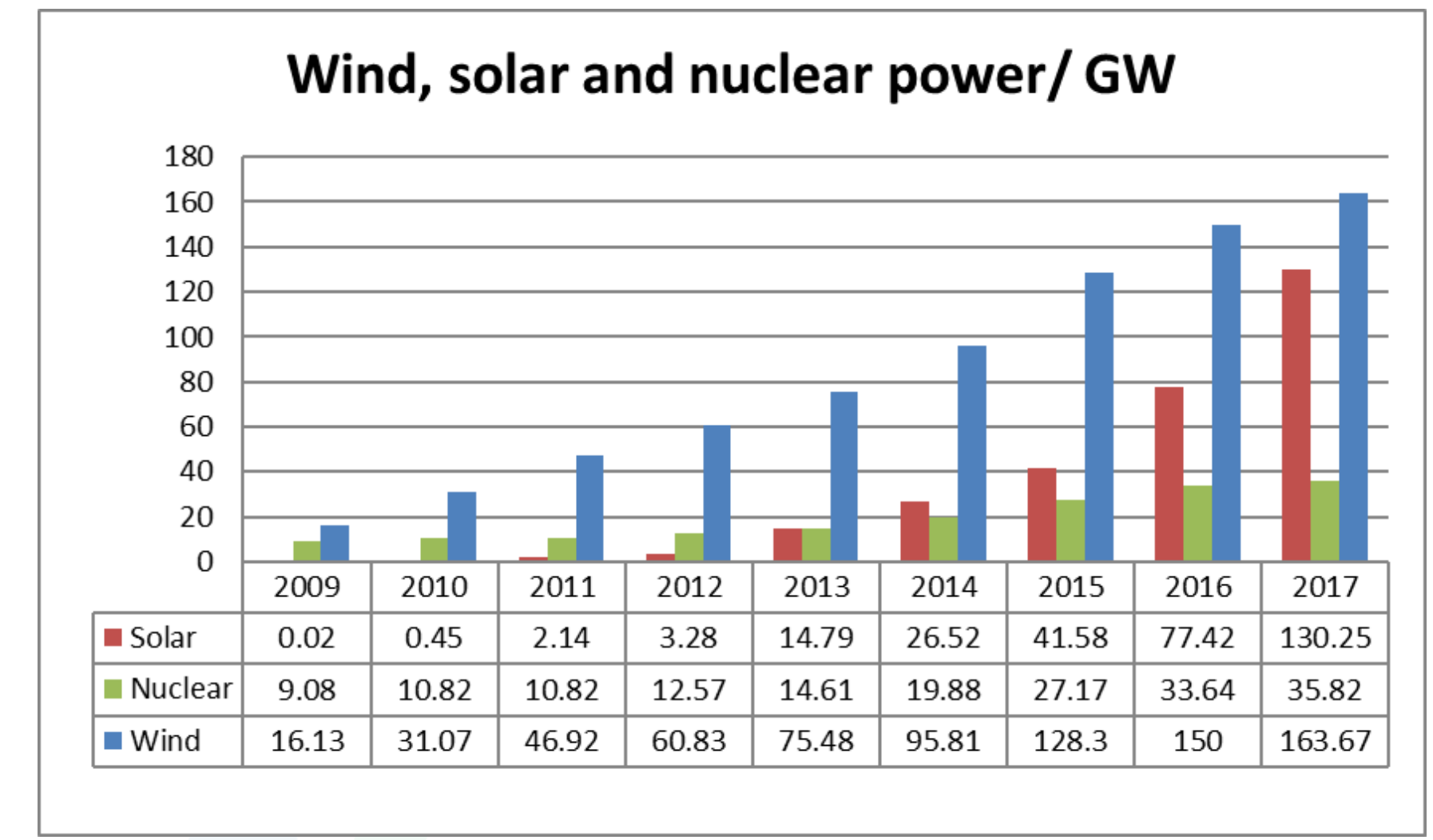
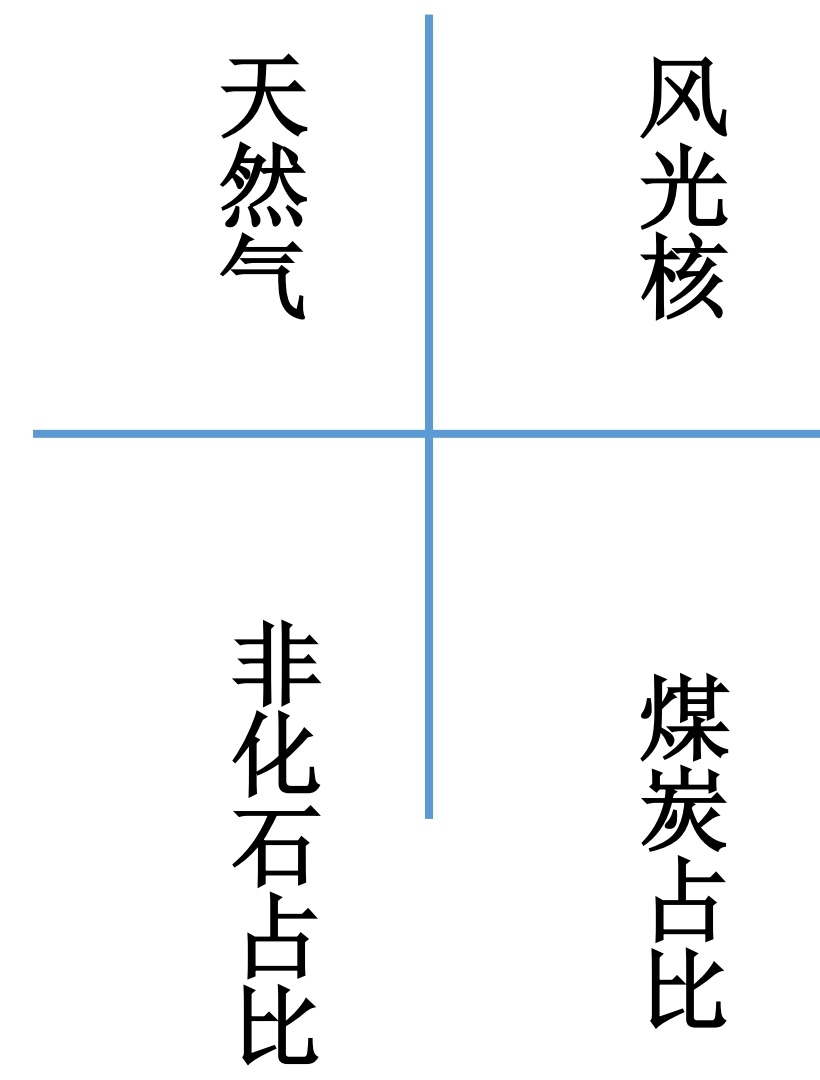
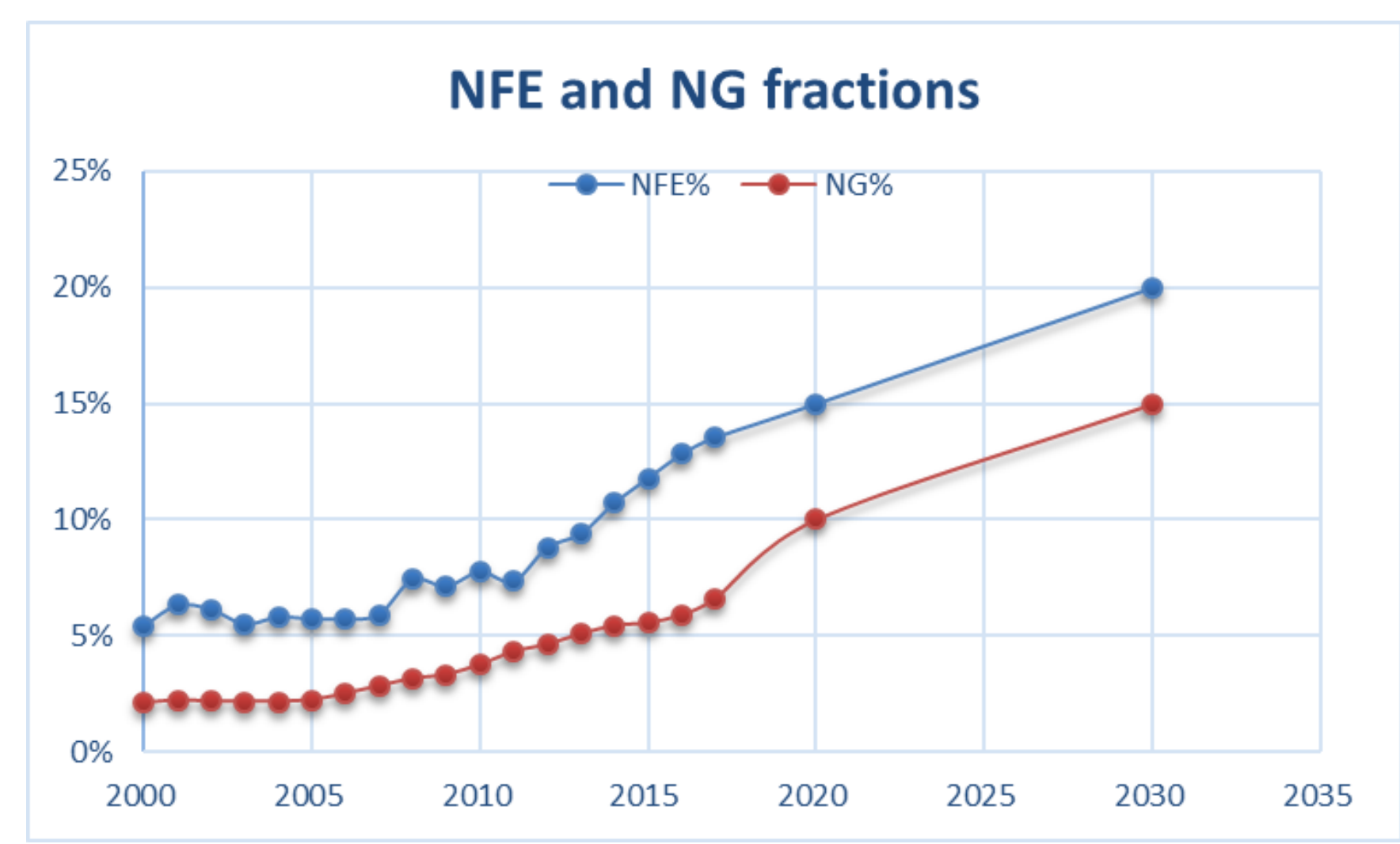
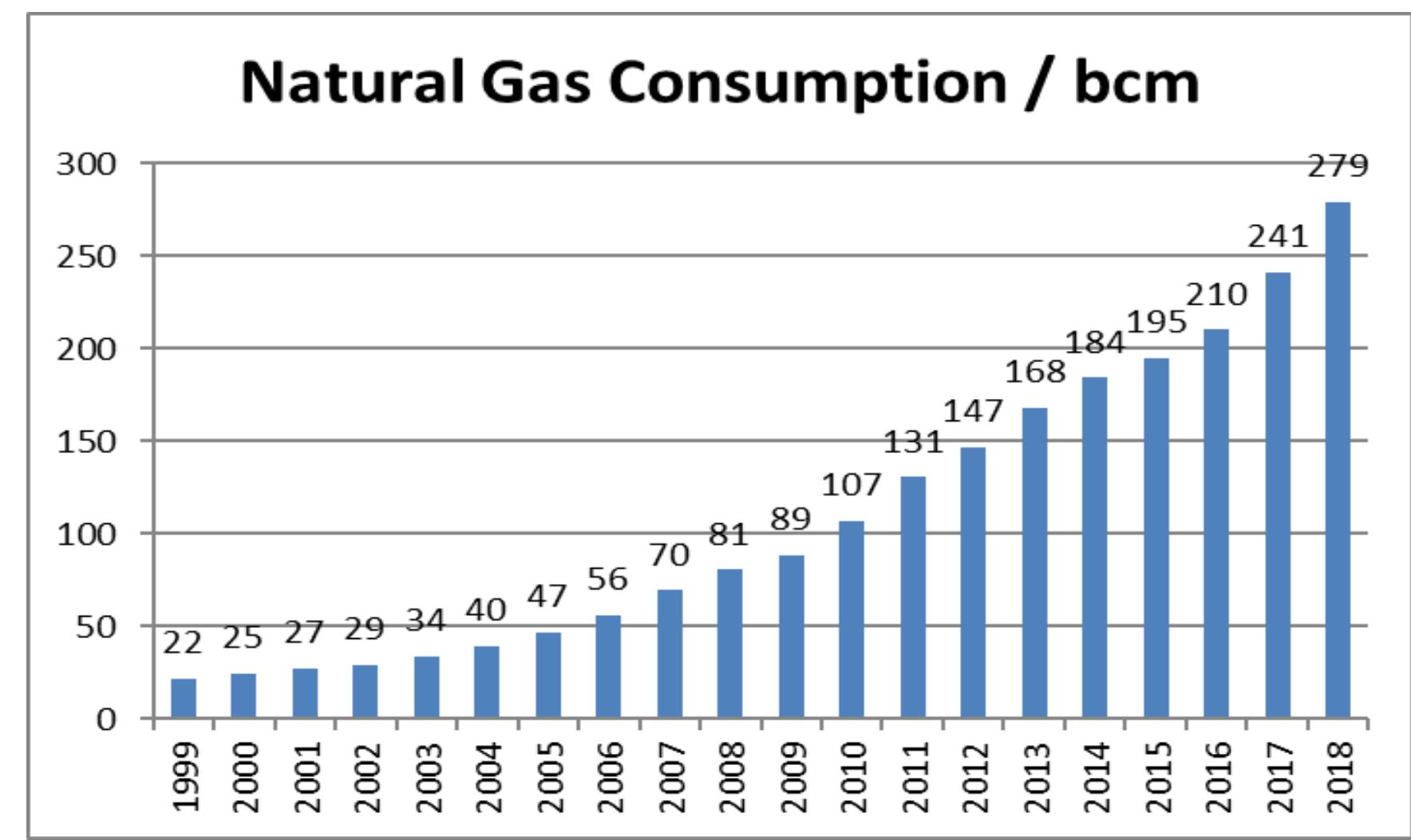


煤炭长期占据主导地位，但近年来逐渐下降，2018年煤炭占比为59%



中国的绿色低碳能源转型正在发生

生态文明思想指导，制定了积极、有力度的自主贡献减排目标，推动能源革命，促进经济转型升级

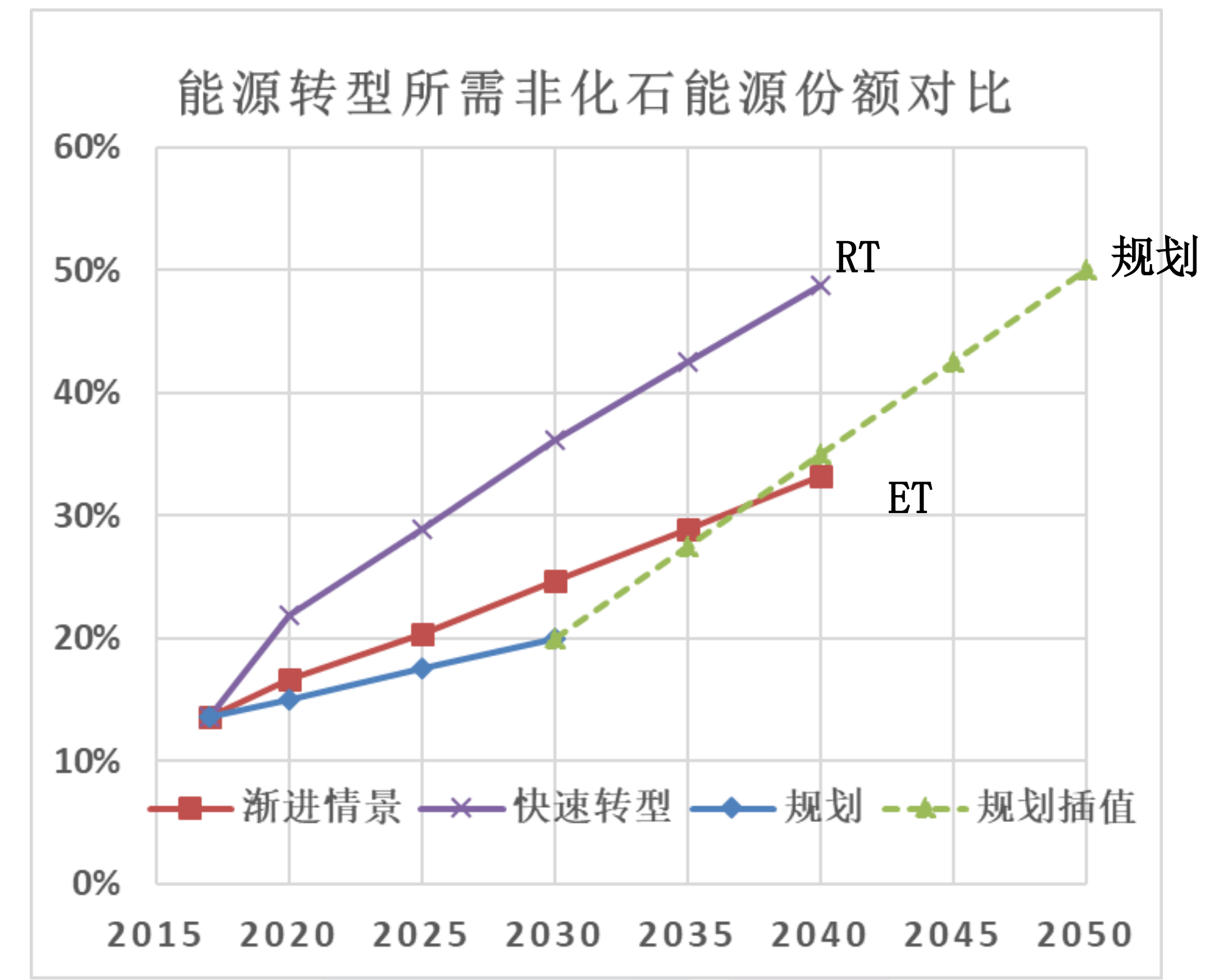
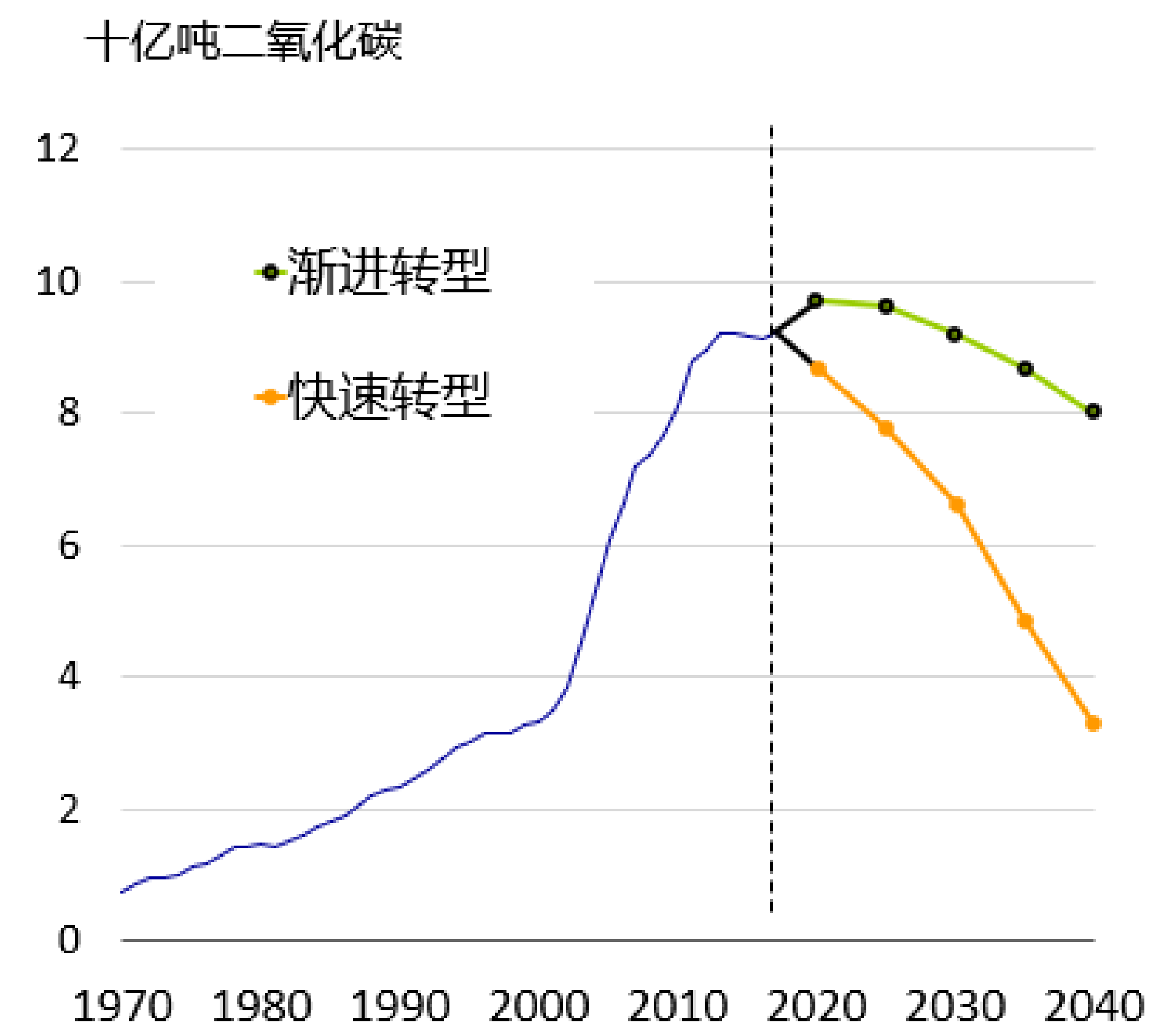




能源生产和消费革命战略（2016—2030）

	2018	2020	2030	2050
CO ₂ 排放达峰时间			达峰	
一次能源消费量（亿tce）	46.4	<50	<60	
全国煤炭占能源消费总量比重（%）	59%	58%以下		
非化石能源占一次能源消费比重	14.3%	15%	20%	50%
天然气占一次能源消费比重	7.8%	10%以上	15%	
单位GDP能源强度比2015年下降		15%	达到世界平均水平	
单位GDP二氧化碳排放比2005年下降	45.8%	40%-45%	60% - 65%	
非化石能源占全部发电量的比重（%）			50%	

任重道远：20%—50%非化石能源占比意味着巨大的电力装机容量



即使在2050年50%非化石能源份额的规划下，非化石能源发展路径与ET接近，与2度RT方案相差甚远，意味着在《巴黎协定》目标下我国能源转型任重道远



清华大学气候变化与可持续发展研究院

Institute of Climate Change and Sustainable Development, Tsinghua University

我国电力工业低碳转型研究





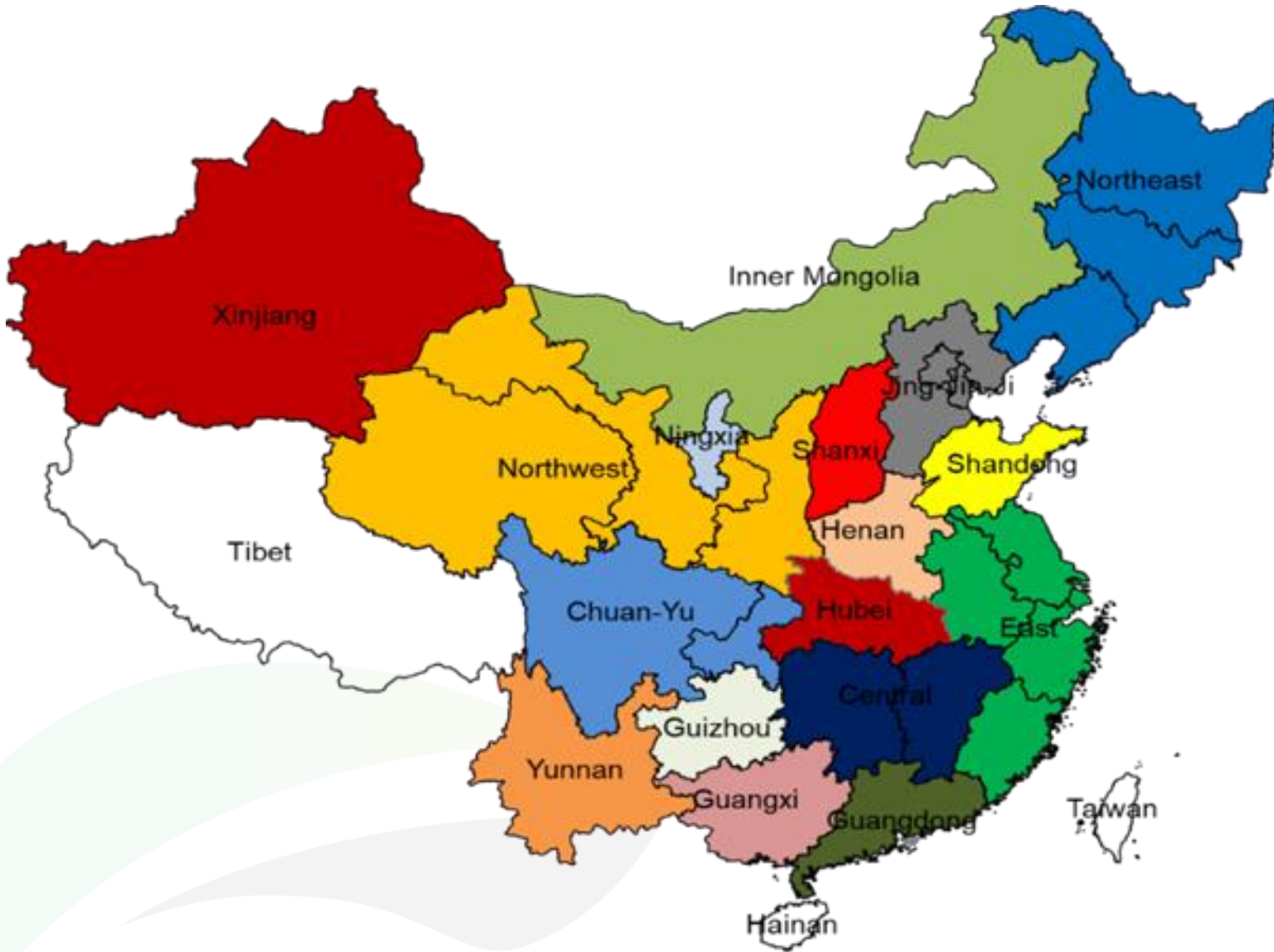
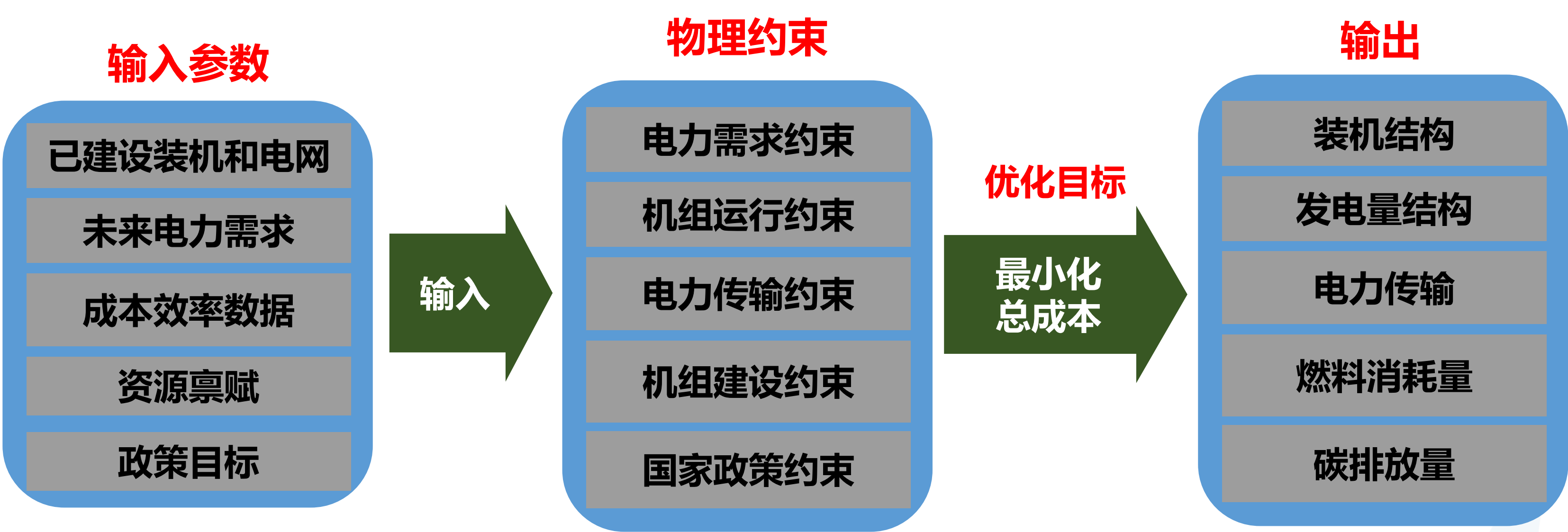
《中国低碳发展转型战略及路径研究》项目简介

- 《巴黎协定》要求2020年提交“长期温室气体低排放发展战略”，**提供支撑**
- 清华大学气候变化与可持续发展研究院牵头组织国内著名研究机构开展研究；
- 根据项目研究内容及产出要求，共设置十八个子课题，主要研究内容包括：
 - 中国中长期**经济社会发展**情景分析及低碳转型对策和途径；
 - 部门转型：**工业、交通、建筑、能源和电力**等部门低碳发展对策和路径；
 - 改善**环境质量**与减排二氧化碳的协同目标、协同对策和协同效益；
 - 非能源相关的二氧化碳及其它**温室气体减排**的战略、措施及路径以及低碳排放的政策保障体系等。



- 未来能源消费将以电力为主体，电力需求还有较大**增长**空间。
- 在电力供给侧，**非化石能源发电占比**将快速增加。
- 在电力需求侧，**终端部门电气化**水平将显著提升。
- **电力生产和输送布局**由大范围资源优化配置逐步**过渡**到大范围资源优化配置与分布式、就地平衡共举。
- 发电技术将实现**突破**性进展，并与储能技术、智能电网、能源互联网、多能互补体系、分布式用能系统等新技术和新模式协同发展，促使电力系统快速向信息物理深度融合、智能化演变。

来源：周孝信，2018；CNPC ETRI，2018；王志轩，2019



机组类型	亚临界及超临界发电机组	实施CCS的SPC机组	超超临界发电机组	实施CCS的UPC机组	天然气联合循环机组
符号	SPC	SPCC	UPC	UPCC	NGCC
核电机组	水电机组	风电机组	光伏机组	生物质发电机组	实施CCS的生物质发电机组
NU	HD	WD	PV	BE	BECCS

11类技术，分多区域，考虑区域间互联，规划和政策





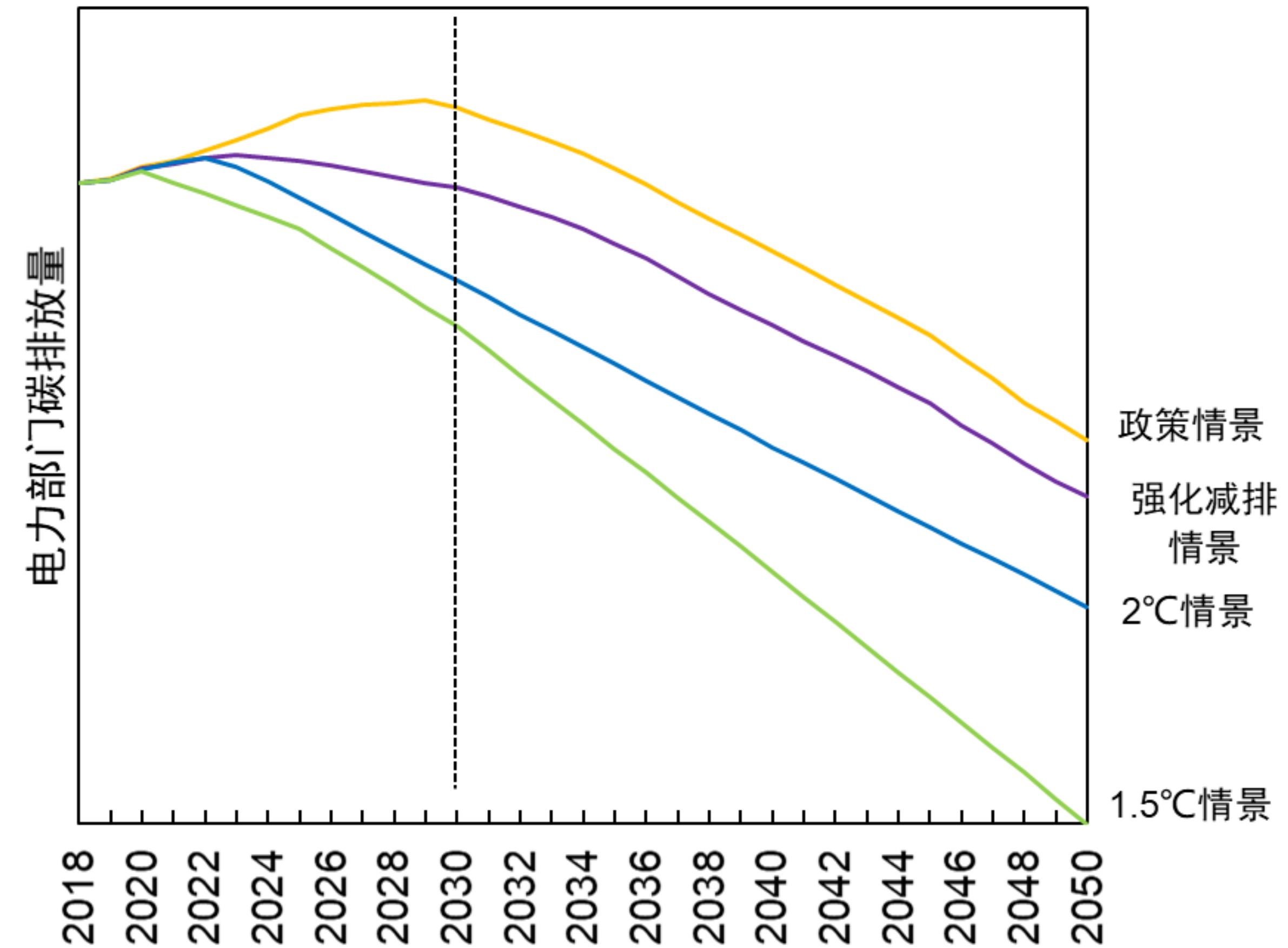
■ 四种情景

- **政策情景**：基于当前政策执行情况的延伸。
- **强化减排情景**：基于我国能源与电力领域既有中长期政策目标全部实现的基础上，加快2030年前非化石能源发展速度。
- **2°C情景**：电力部门2065-2070年实现净零排放，2018-2050年的碳预算为xxx亿吨。
- **1.5°C情景**：电力部门2050年实现净零排放，2018-2050年的碳预算为xxx亿吨。

■ **说明：研究仍在进行中，但形成了一些定性认识，借机和大家分享**

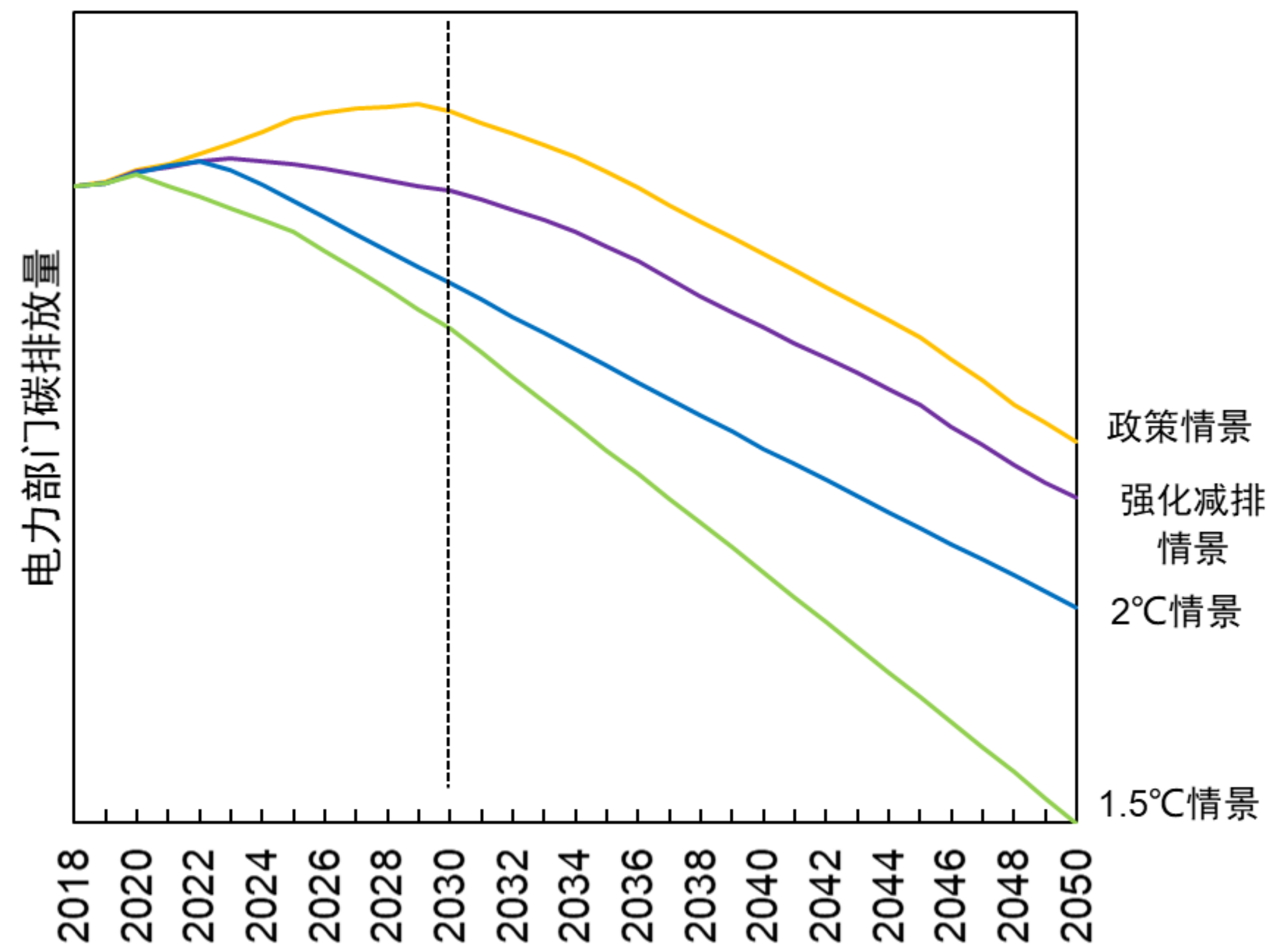


- 政策情景下，**2029**年碳达峰
- 强化减排情景下，**2023**年碳达峰，峰值低于政策情景
- 在设定的碳预算数值下，前述两种情景都不能满足2度目标要求

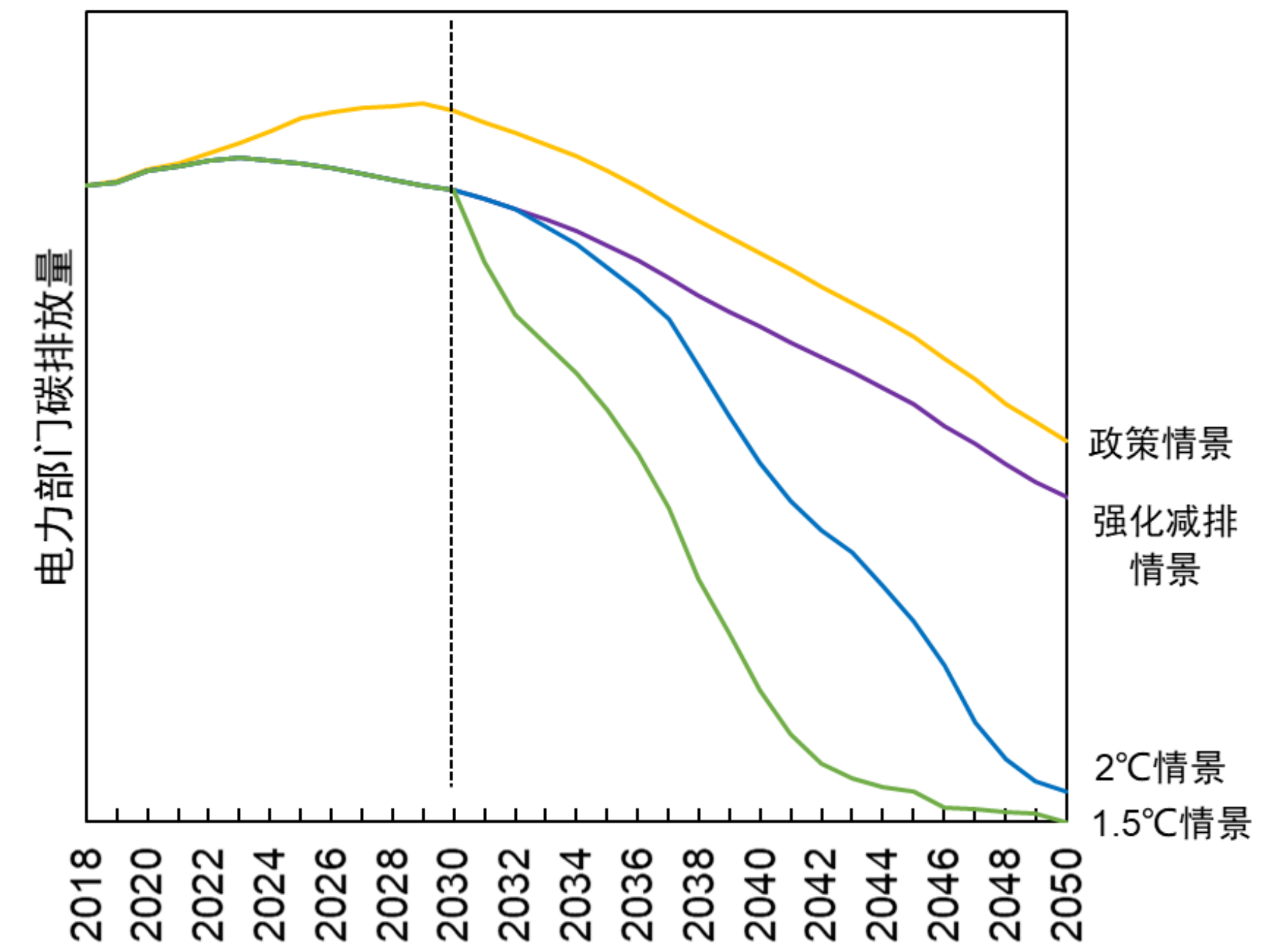




立即增强行动



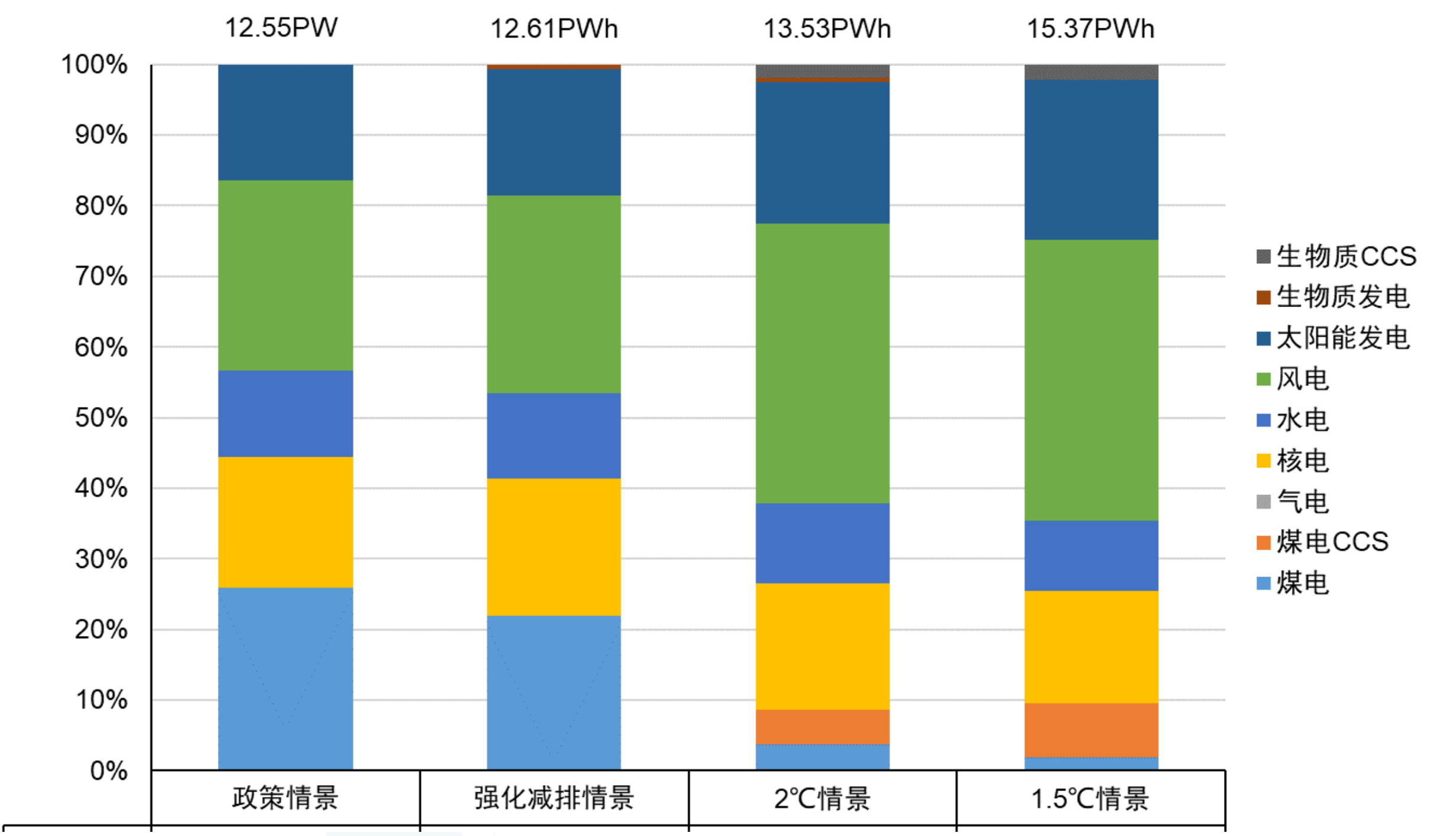
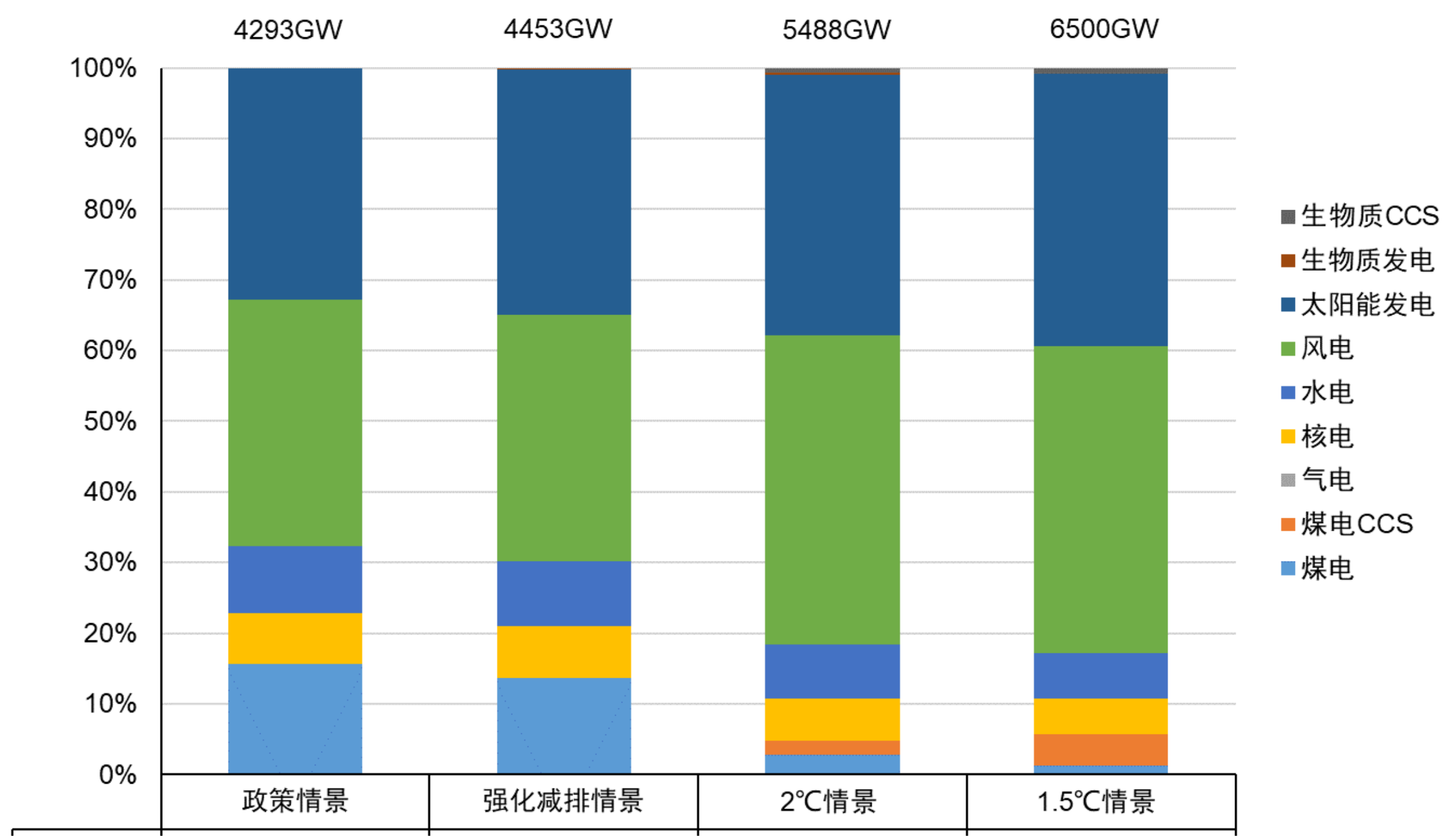
2030年后增强行动



- 后期碳预算不足，需快速减排/陡，煤电短时大规模退出，导致社会问题/成本
- 愈晚行动，到2050年剩余煤电/火电容量愈少，导致电网可调度调峰容量缺乏



2050年装机和发电构成



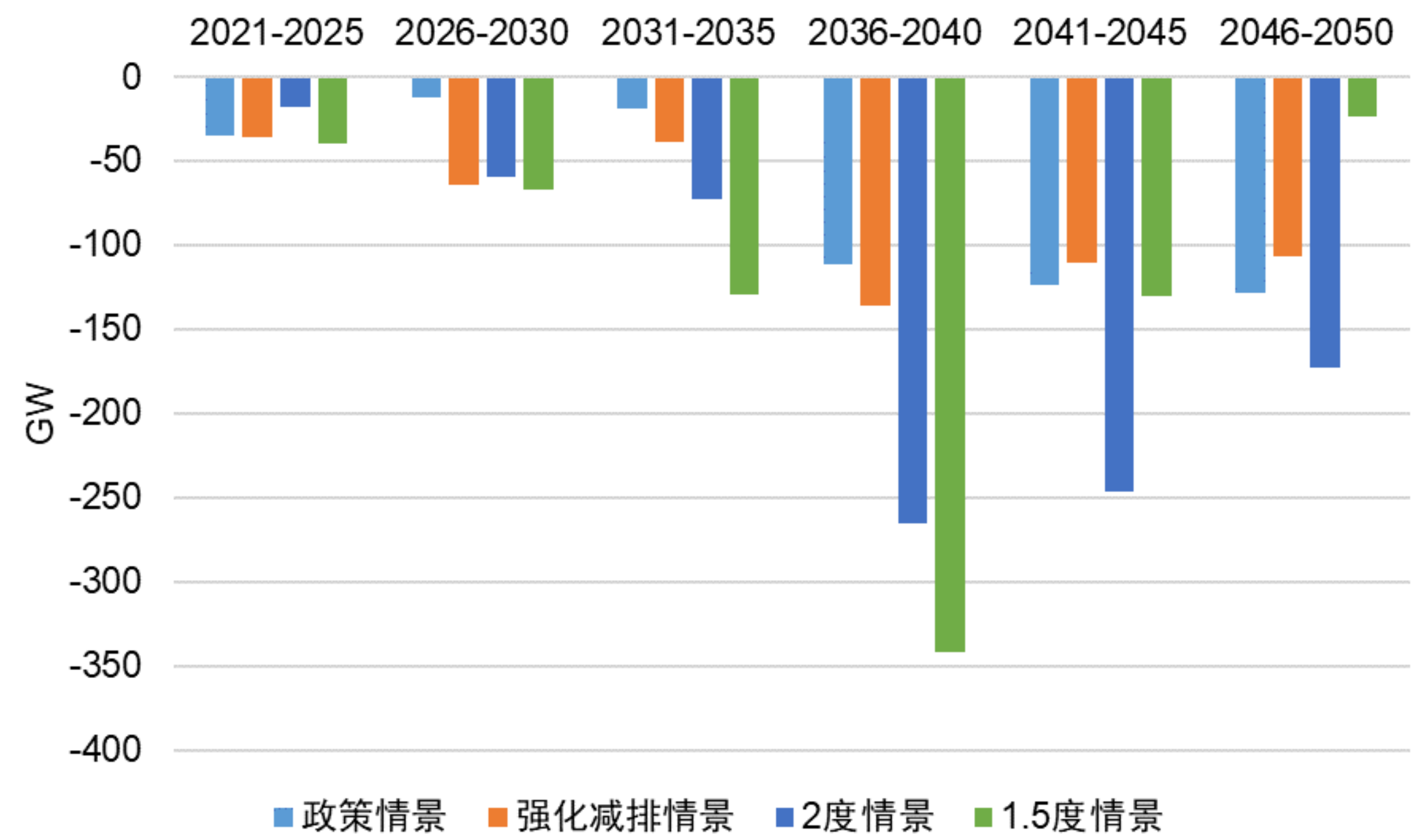
• 各情景减排要求依次提高→煤电减少/可再生增加，后两情景非化石占主要份额

• 为低/净零排放，需要煤电CCS以及负排放BECCS技术，但生物质资源存在疑问

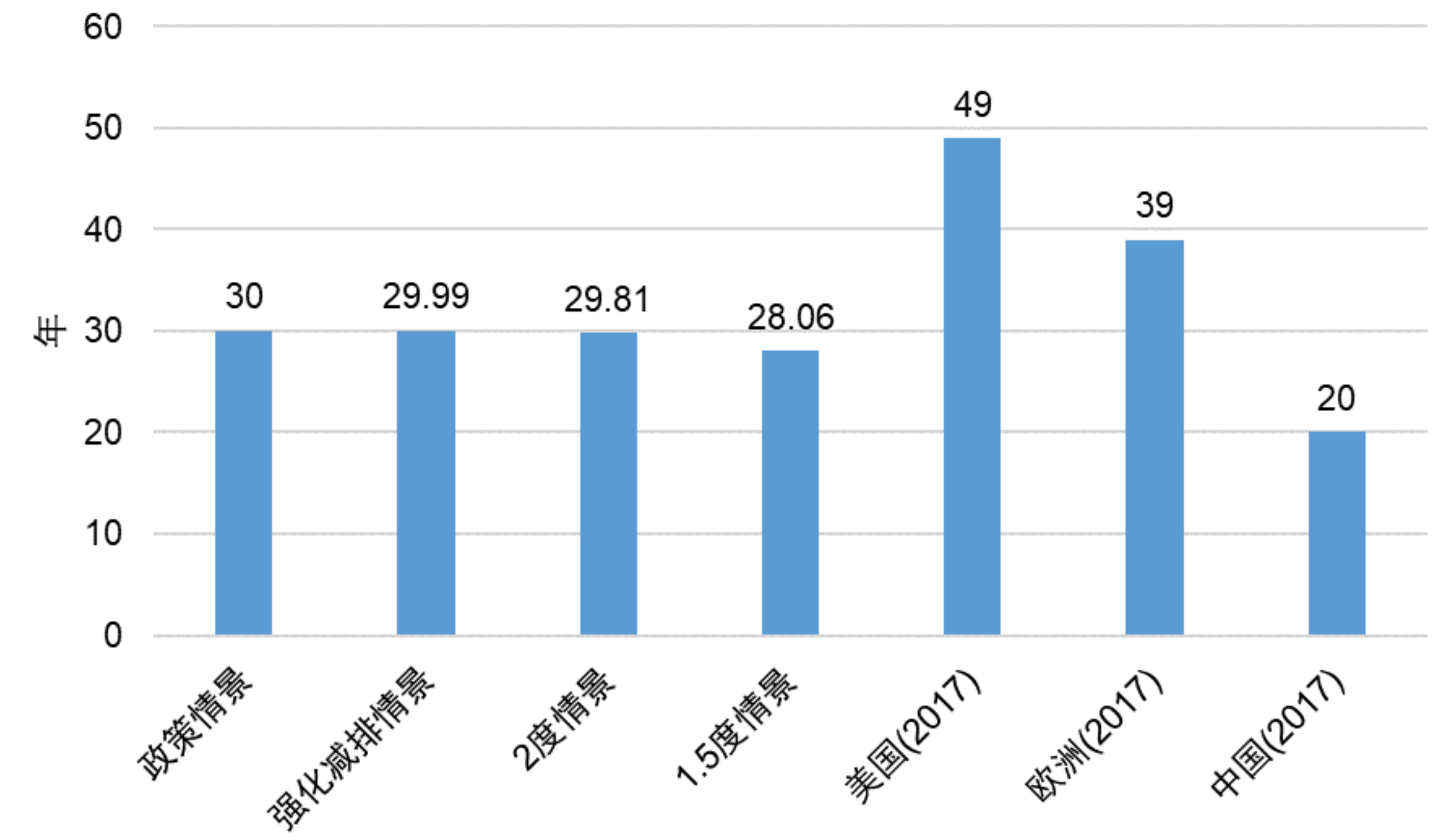


煤电机组大量过早退役导致巨大经济损失

煤电机组退出时间及规模



退役机组平均寿命

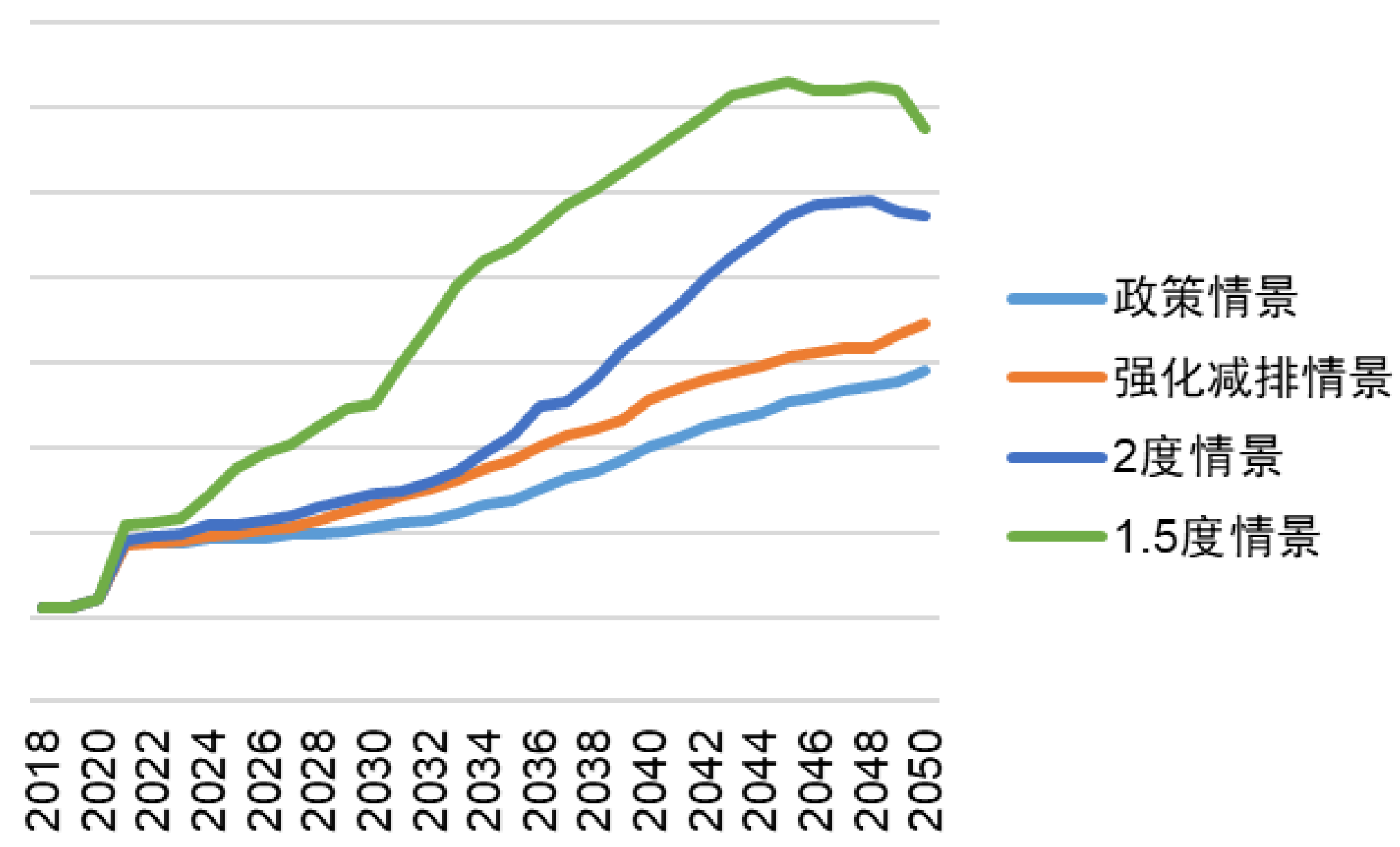


- 减排程度要求越高，提前退役规模越大、寿命越短，远低于欧美平均寿命
- 启示：建设新煤电需要格外慎重，避免成为搁浅资产

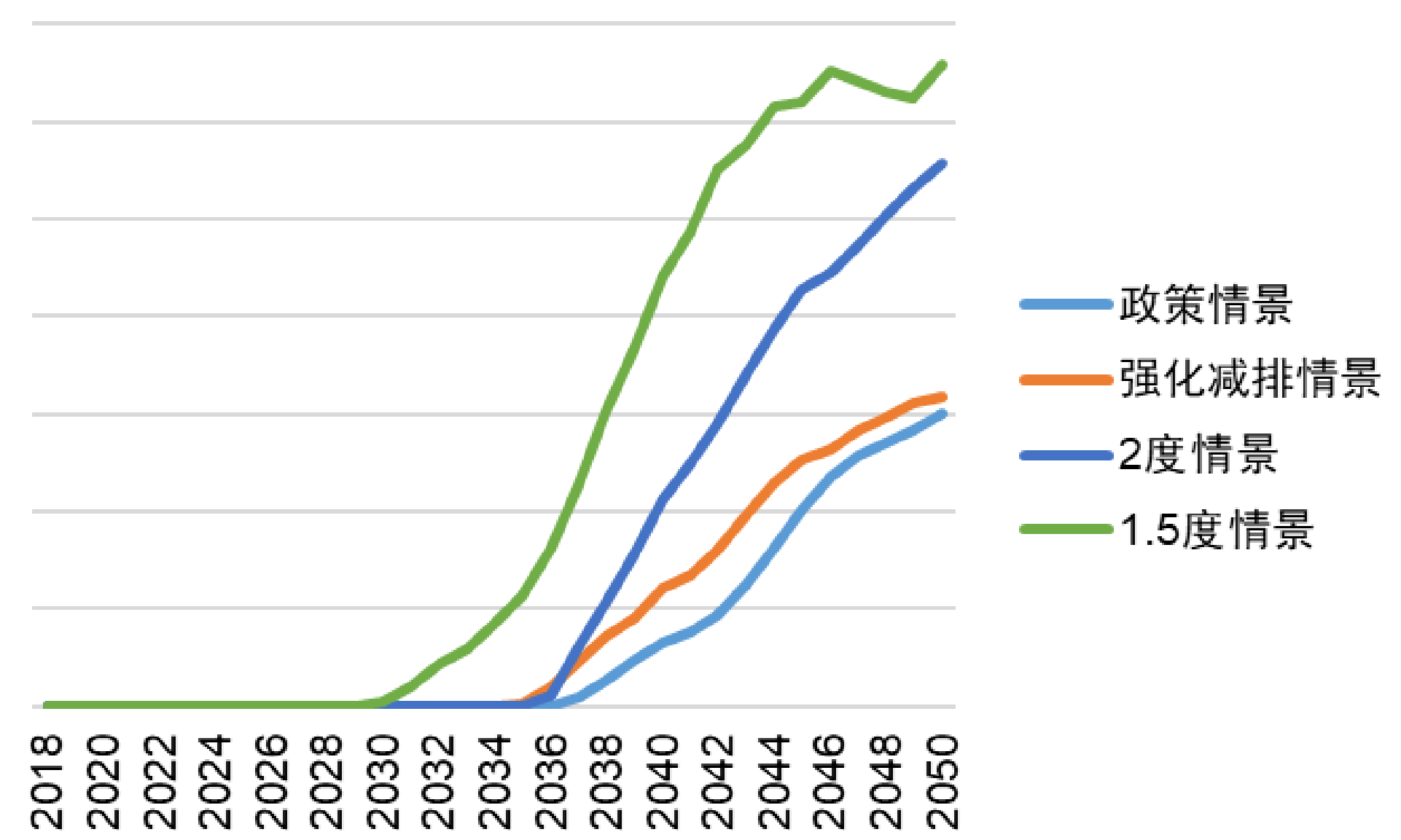


跨区域输电/储能容量需求和投资均增加

跨区域电力交换功率总容量



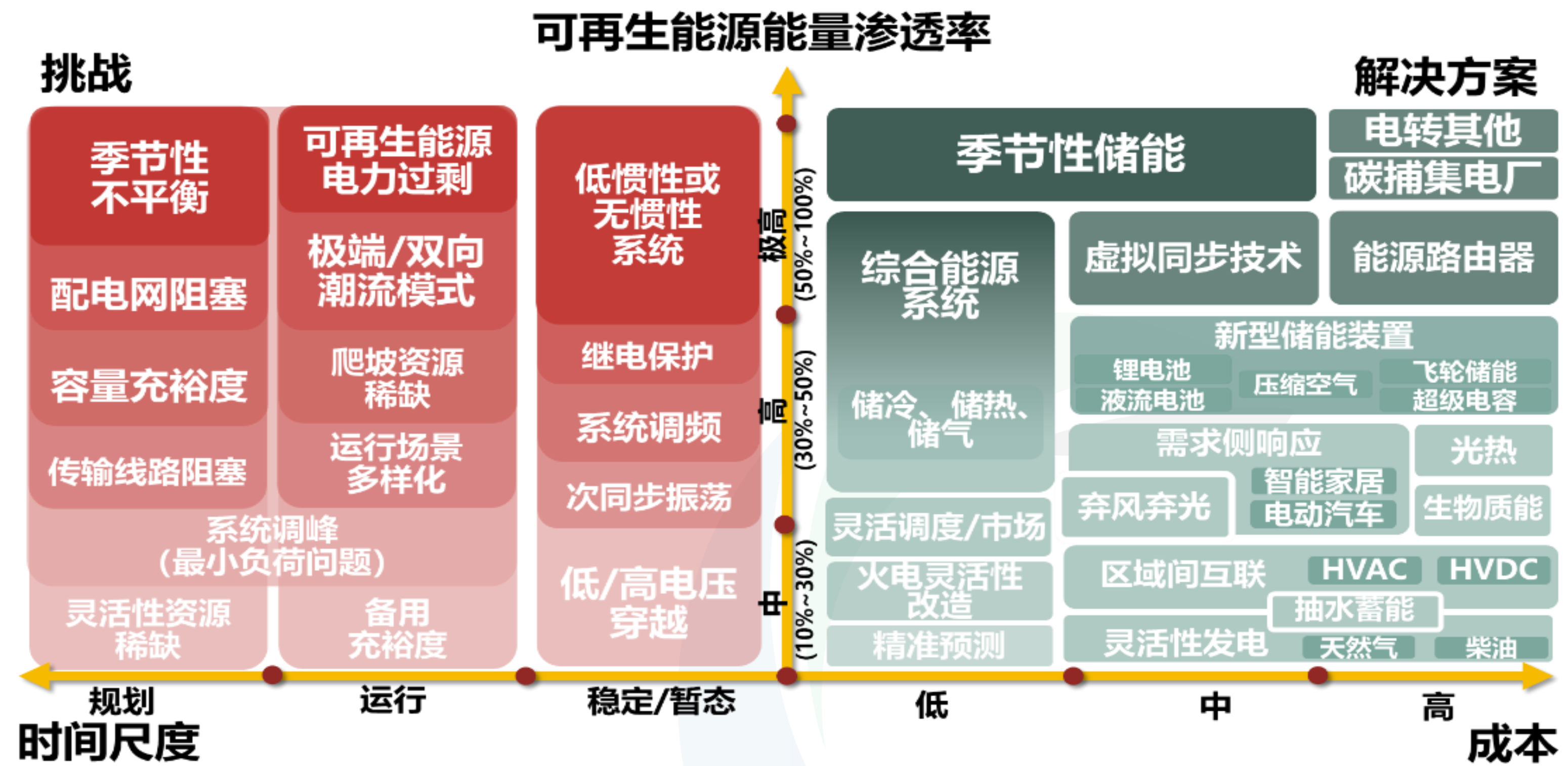
储能容量





高比例可再生能源接入电网存在技术和经济性挑战

- 中比例接入：可再生能源能量渗透率10%-30%
- 高比例接入：可再生能源能量渗透率30%-50%
- 极高比例接入：可再生能源能量渗透率50%-100%



高比例可再生渗透，存在不同时间尺度的挑战，需要创新性解决方法和投资



结束语

- 气候变化是人类社会可持续发展面临的最大威胁，《巴黎协定》体现了全球合作应对气候变化、保护地球生态安全和人类社会可持续发展的空前共识和合作行动，对能源发展具有塑形作用
- 能源发展面临着增加供应和减少碳排放的双重挑战，但低碳转型已经成为全球能源发展的主格调
- 我国能源绿色低碳转型已经在路上，但以煤为主的能源结构和经济持续增长使得能源转型任重而道远，1.5度温升对我国挑战和压力巨大
- 电力工业在全社会碳减排中担负着特殊重要的作用，是先行者和调节器
- 电力工业低碳转型存在许多技术和经济挑战，一方面需要创新，抢占低碳技术制高点，另一方面也需进行深入前瞻性研究和政策部署



结束语

- 气候变化是人类社会可持续发展面临的最大威胁，《巴黎协定》体现了全球合作应对气候变化、保护地球生态安全和人类社会可持续发展的空前共识和合作行动，对能源发展具有塑形作用
- 能源发展面临着增加供应和减少碳排放的双重挑战，但低碳转型已经成为全球能源发展的主格调
- 我国能源绿色低碳转型已经在路上，但以煤为主的能源结构和经济持续增长使得能源转型任重而道远，1.5度温升对我国挑战和压力巨大
- 电力工业在全社会碳减排中担负着特殊重要的作用，是先行者和调节器
- 电力工业低碳转型存在许多技术和经济挑战，一方面需要创新，抢占低碳技术制高点，另一方面也需进行深入前瞻性研究和政策部署



结束语

- 气候变化是人类社会可持续发展面临的最大威胁，《巴黎协定》体现了全球合作应对气候变化、保护地球生态安全和人类社会可持续发展的空前共识和合作行动，对能源发展具有塑形作用
- 能源发展面临着增加供应和减少碳排放的双重挑战，但低碳转型已经成为全球能源发展的主格调
- 我国能源绿色低碳转型已经在路上，但以煤为主的能源结构和经济持续增长使得能源转型任重而道远，1.5度温升对我国挑战和压力巨大
- 电力工业在全社会碳减排中担负着特殊重要的作用，是先行者和调节器
- 电力工业低碳转型存在许多技术和经济挑战，一方面需要创新，抢占低碳技术制高点，另一方面也需进行深入前瞻性研究和政策部署



结束语

- 气候变化是人类社会可持续发展面临的最大威胁，《巴黎协定》体现了全球合作应对气候变化、保护地球生态安全和人类社会可持续发展的空前共识和合作行动，对能源发展具有塑形作用
- 能源发展面临着增加供应和减少碳排放的双重挑战，但低碳转型已经成为全球能源发展的主格调
- 我国能源绿色低碳转型已经在路上，但以煤为主的能源结构和经济持续增长使得能源转型任重而道远，1.5度温升对我国挑战和压力巨大
- 电力工业在全社会碳减排中担负着特殊重要的作用，是先行者和调节器
- 电力工业低碳转型存在许多技术和经济挑战，一方面需要创新，抢占低碳技术制高点，另一方面也需进行深入前瞻性研究和政策部署