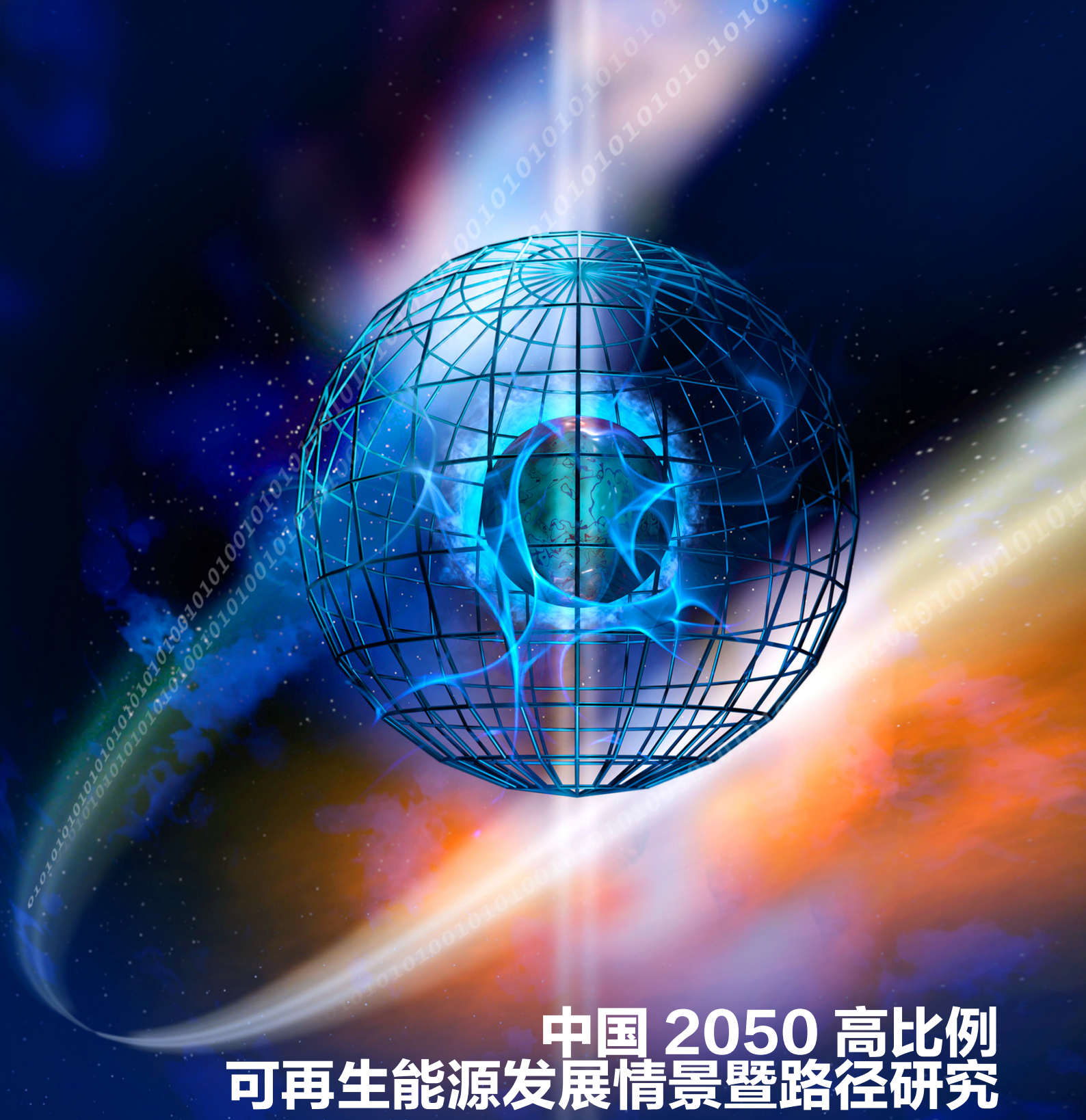
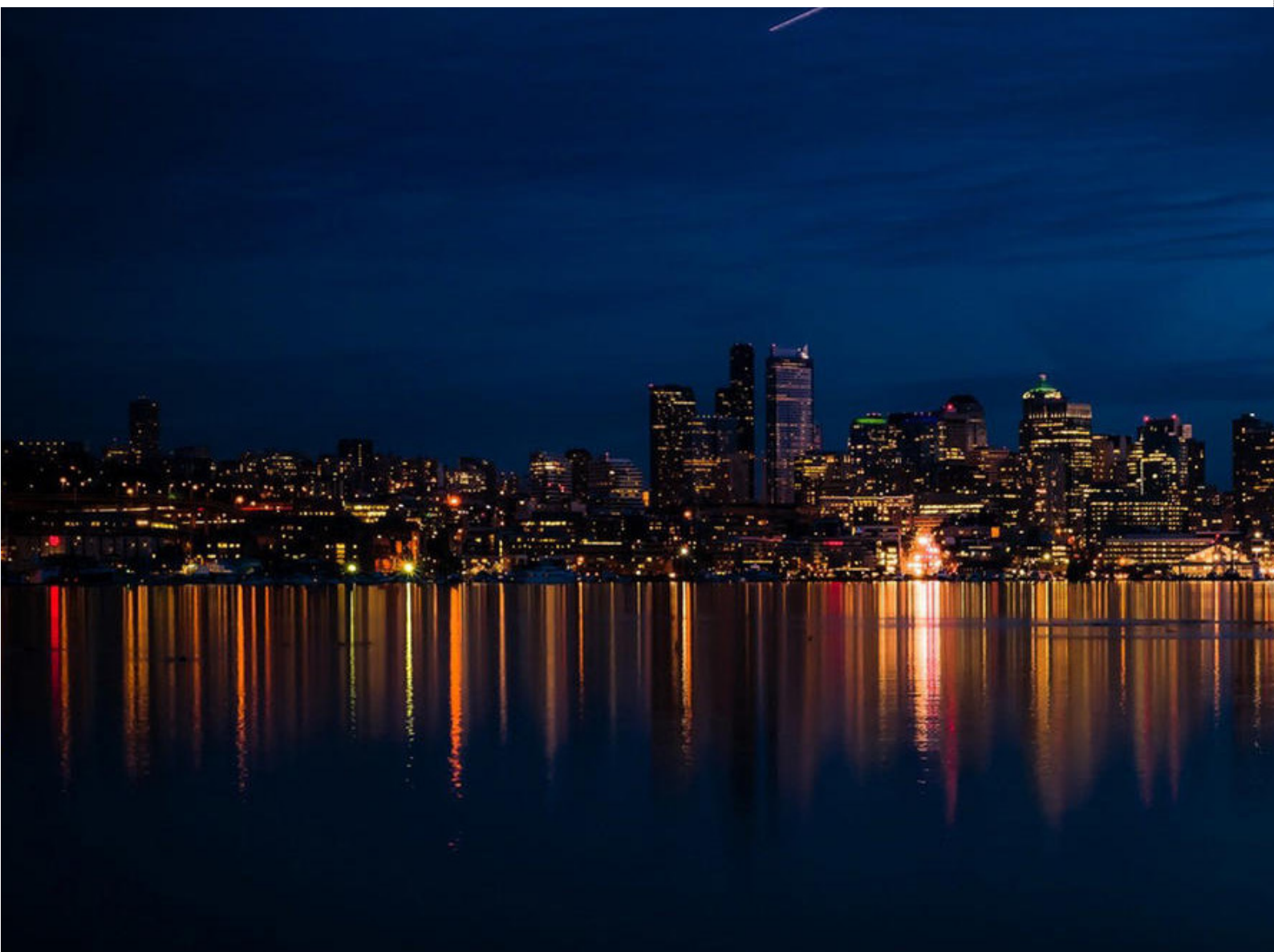




中国 2050 高比例 可再生能源发展情景暨路径研究

CHINA 2050 HIGH RENEWABLE
ENERGY PENETRATION SCENARIO
AND ROADMAP STUDY

CONTENTS 目录



2050



实现高比例可
再生能源发展
的共识及愿景

02

实践高比例可
再生能源发展
的未来之路

04

实施高比例可
再生能源发展
的行动计划

18

实现高比例可再生能源发展的共识及愿景

永远不要认为我们可以逃避，我们的每一步都决定着最后的结局，我们的脚步正在走向我们自己选定的终点。

—米兰·昆德拉

Do not ever think about that we can escape, our every each step determine the final outcome, our foot steps are moving towards the end of own chosen target.

—Milan Kundera



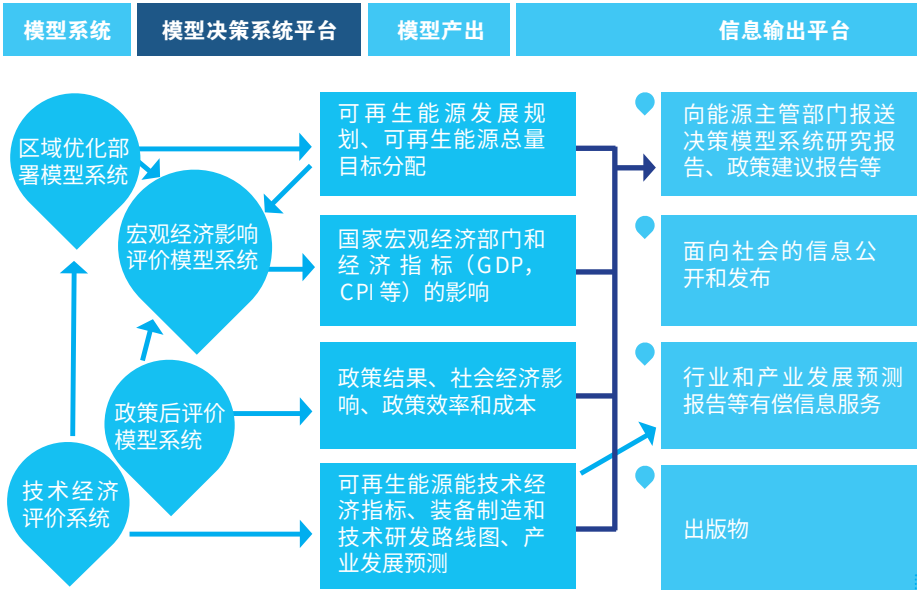


人类永远在持之以恒、不间断地书写社会螺旋式上升发展的崭新历史篇章。而逐步摆脱对化石能源的依赖是人类发展进程中已被证明的不可逆转的前进方向，实现“高比例可再生能源发展”则是这宏伟征程中的重要标志。

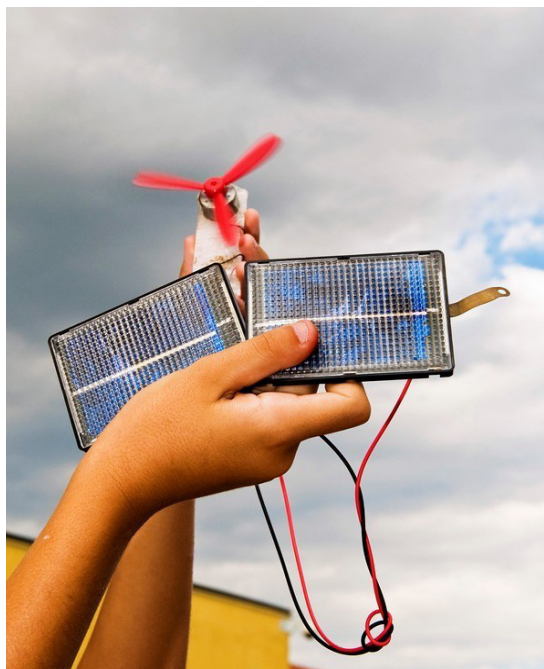
高比例可再生能源已成为国际社会应对气候变化、实现 2 度温升控制目标的必然道路和广泛共识，欧美发达国家已经率先描绘了蓝图迈出了实质性步伐。中国作为世界上最大发展中国家、最大煤炭消费国、最大温室气体排放国，在清洁低碳能源转型过程中面临更紧迫、更艰巨的挑战。“2050 中国高比例可再生能源发展情景暨路径研究”正是为探索在中国在 21 世纪中期社会经济达到中等发达国家发展水平、生态环境再现碧水蓝天的“美丽中国”的宏伟目标下，如何使化石能源——特别是煤炭——逐步退出主导中国能源发展、使低碳绿色电力拥有未来所进行的情景及路径研究。

本研究学习总结国际先进研究内容及方法学基础上，建立我国可再生能源高比例发展目标的决策思路，强化温室气体排放和大气污染物等环境容量约束倒逼，以高比例可再生能源发展为目标，分析模拟不同情景下优化部署能源发展途径，提出相应的实施路径方案，提前统筹规划未来能源体系，提早布局能源的生产和应用模式，使化石能源在整个能源系统的比例降到最低，到 2050 年形成可再生能源为主的能源体系，可再生能源在能源消费中的比例达到 60% 以上、占总发电量的比例达到 85% 以上，完全实现能源生产和消费革命。

图 1 模型簇



■ 实现高比例可再生能源发展的未来之路



2050 年可再生能源能够提供 60% 以上一次能源供应

由于终端能源需求 60% 以上为电力的高比例的可再生能源发展情景，2050 年的能源系统是一个高效率的系统，能源效率比 2010 年提高 90%。届时一次能源供应量仅为 34 亿吨标准煤，可再生能源占一次能源比例达到 62%。

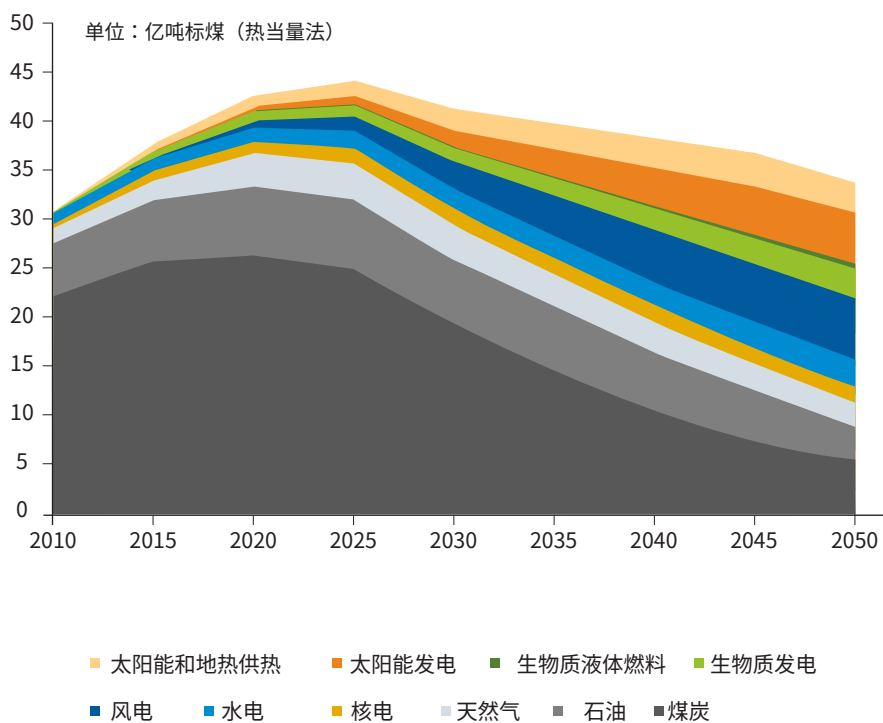


图 2 中国一次能源消费

高比例可再生能源推动 2025 年前实现化石能源消费和碳排放峰值

高比例可再生能源发展情景下，煤炭消费得到有效控制，煤炭消耗峰值在 2020 年前即可达到，进而化石能源消费峰值在 2025 年前实现，确保实现 2030 年前温室气体排放达到峰值的目标。

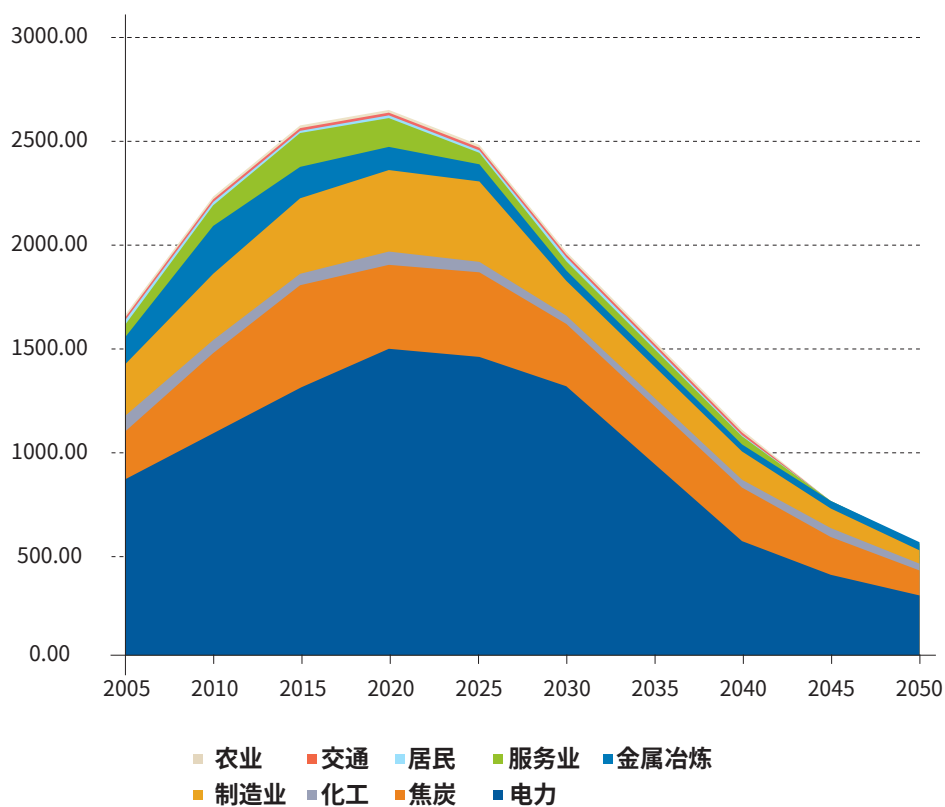


图3 高比例情景下中国煤炭消耗分部门情况(百万吨标准煤)

可再生能源电力是实现替代化石能源的根本途径

2050 年全国总发电量为 15.2 万亿千瓦时，可再生能源发电量占总发电量达到 86%，非化石能源发电占比达到 91%，煤电发电量占比下降到 7% 以下。

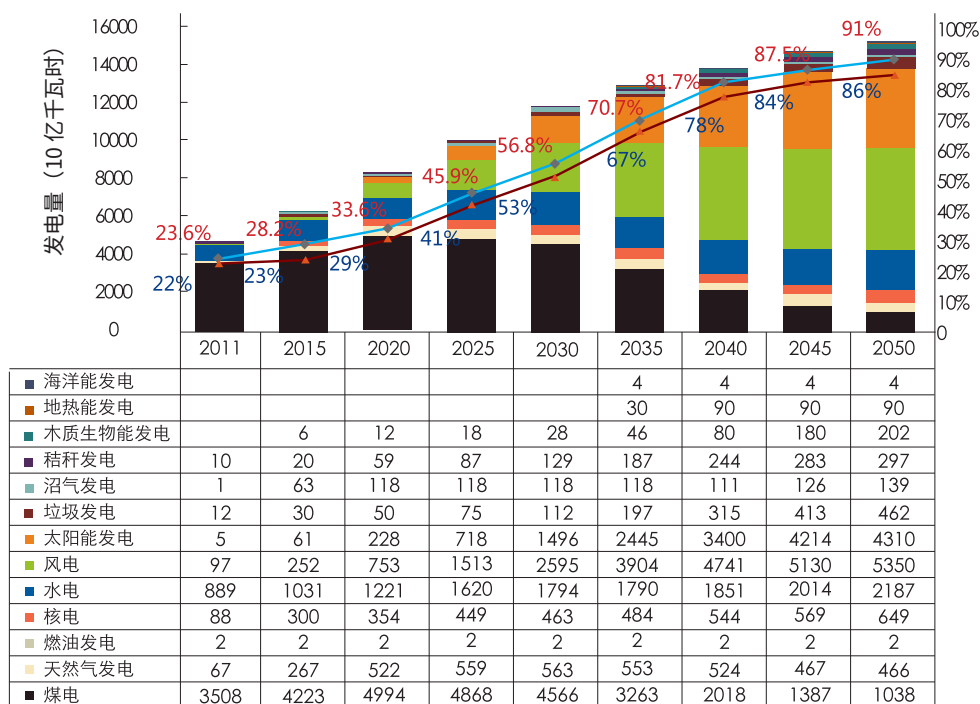


图 4 高比例可再生能源情景发电量

风电和太阳能发电成为未来电力供应的重要支柱

由于技术突破和成本降低，以及全面深化电力体制改革的成功，2020年至2040年间风电和太阳能发电得到迅猛发展，平均年度新增装机容量接近1亿千瓦。2050年将实现24亿千瓦风电和27亿千瓦太阳能发电，年发电量合计9.66万亿千瓦时，占全部发电量的64%，成为未来绿色电力系统的主要电力供应来源。

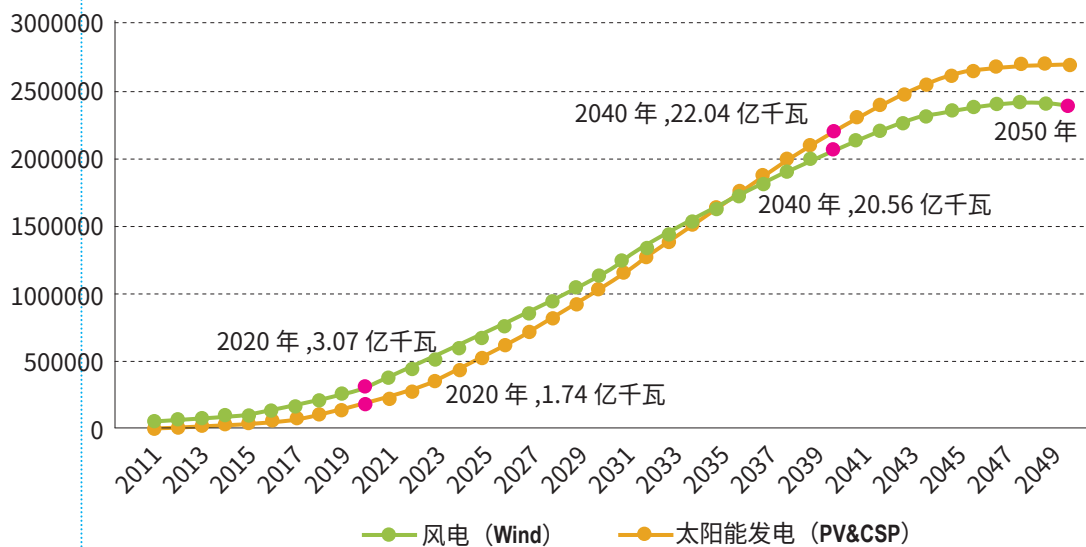


图 5-1 高比例情景下风电、太阳能发电发展阶段示意图

全国各区域风电、太阳能发电均具备大规模发展的能力，实现集中与分散并重开发。

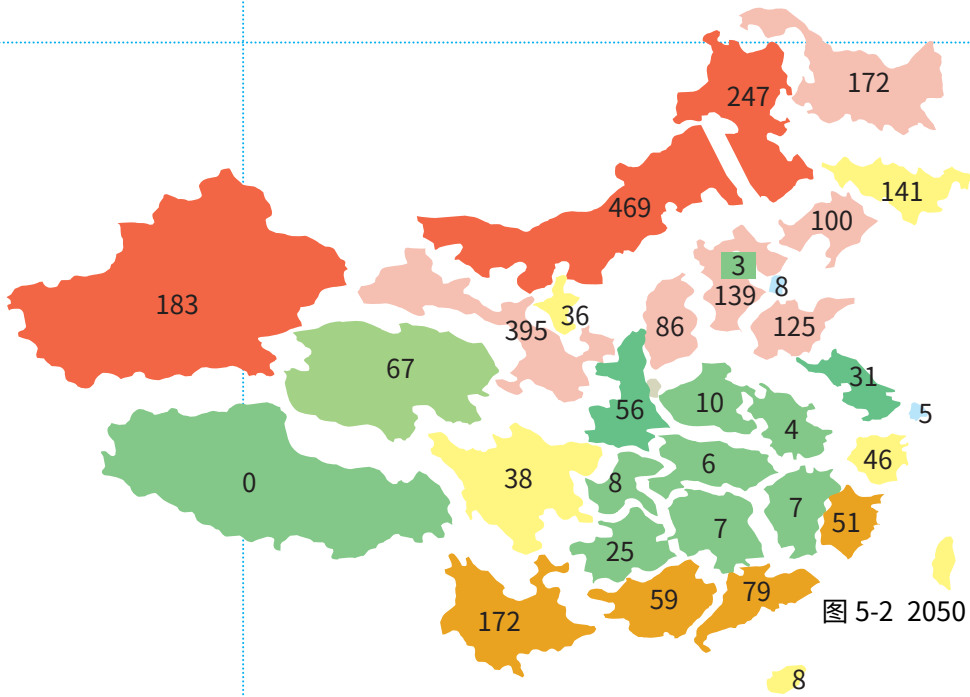


图 5-2 2050 年风电发展布局 (GW)

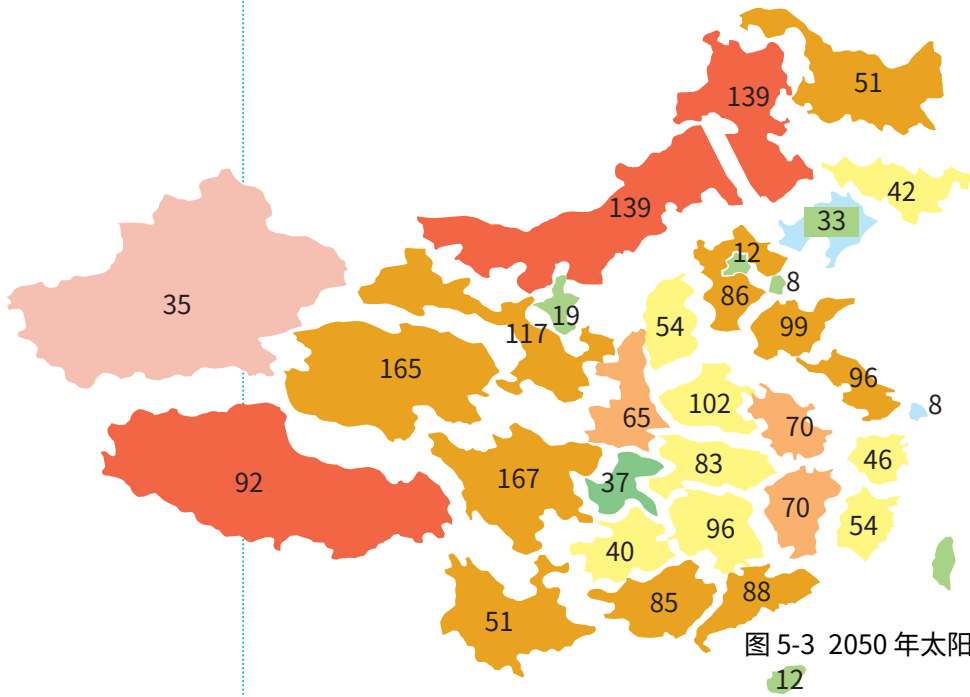


图 5-3 2050 年太阳能发电发展布局 (GW)

通过扩大能源终端电力利用 将人类社会推向更高级文明形态

2050 年中国终端能源消费量约 32 亿吨标准煤，电力占整个终端能源消费的比例为 60%，比 2010 年提高了 36 个百分点，电力将成为生产生活的主要用能方式。

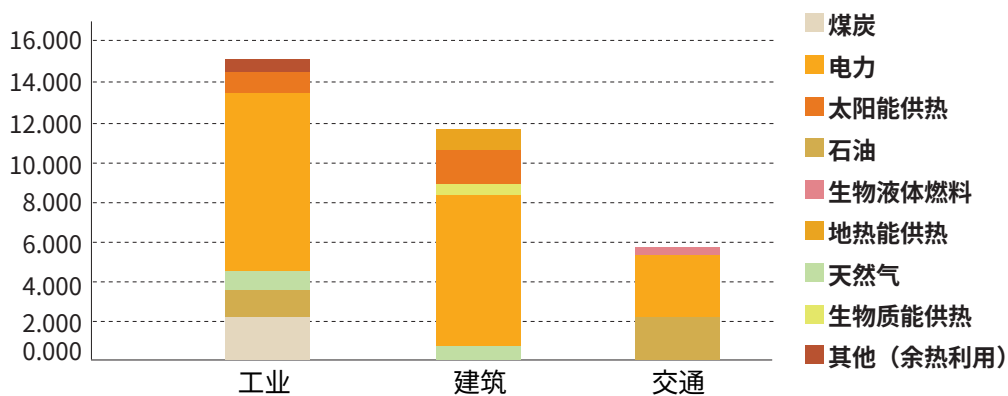


图 6-1 电力在各终端部门的应用

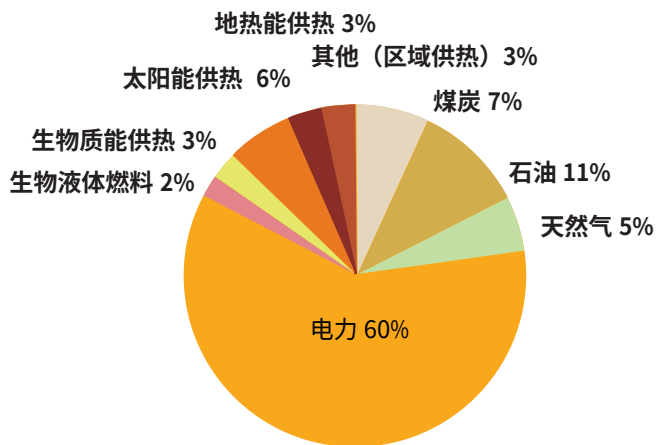


图 6-2 电力在终端能源消费的比重

实现电网从单一电力输送网络向资源优化配置平台转型

随着可再生能源发电的增加，需要增加配置传输基础设施实现在更大的地理空间范围内消纳可再生能源。通过区域互联，扩大调度区域范围有利于降低净负荷变化。三条跨区域传输容量超过1亿千瓦，分别为西北-华中、华中-华东和华北-华东。

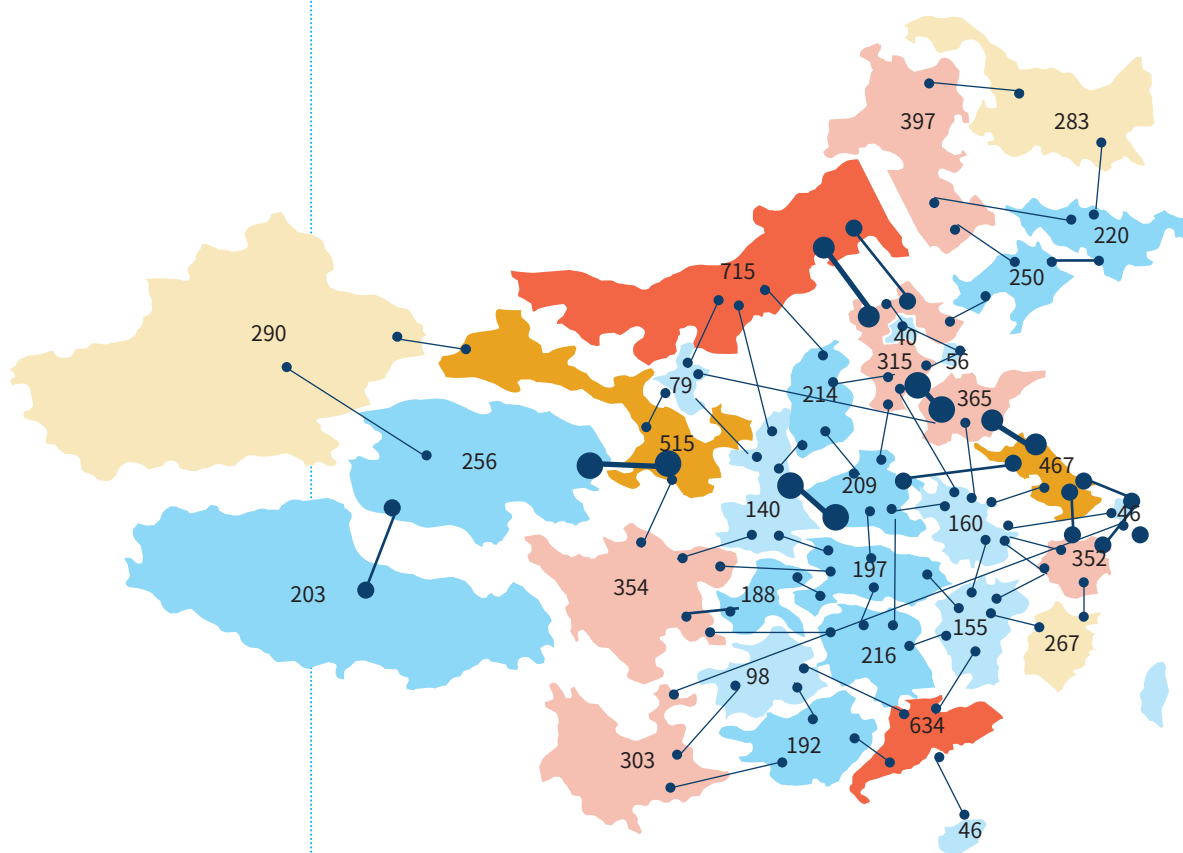


图7 高比例情景下省间新增输能力需求及各省累计装机容量 (GW)

技术与制度创新是构建高比例可再生能源电力系统的基石

波动性发电的贡献比率将从 30% 提高到 60%, 保证电力供应与需求之间的实时平衡更具挑战性。通过电力市场交易、灵活发电容量、储能装置和需求侧技术、扩展输电基础设施, 提高常规发电厂调节灵活性, 对与高比例风力发电和太阳能发电相关的波动性和不确定性进行管理。

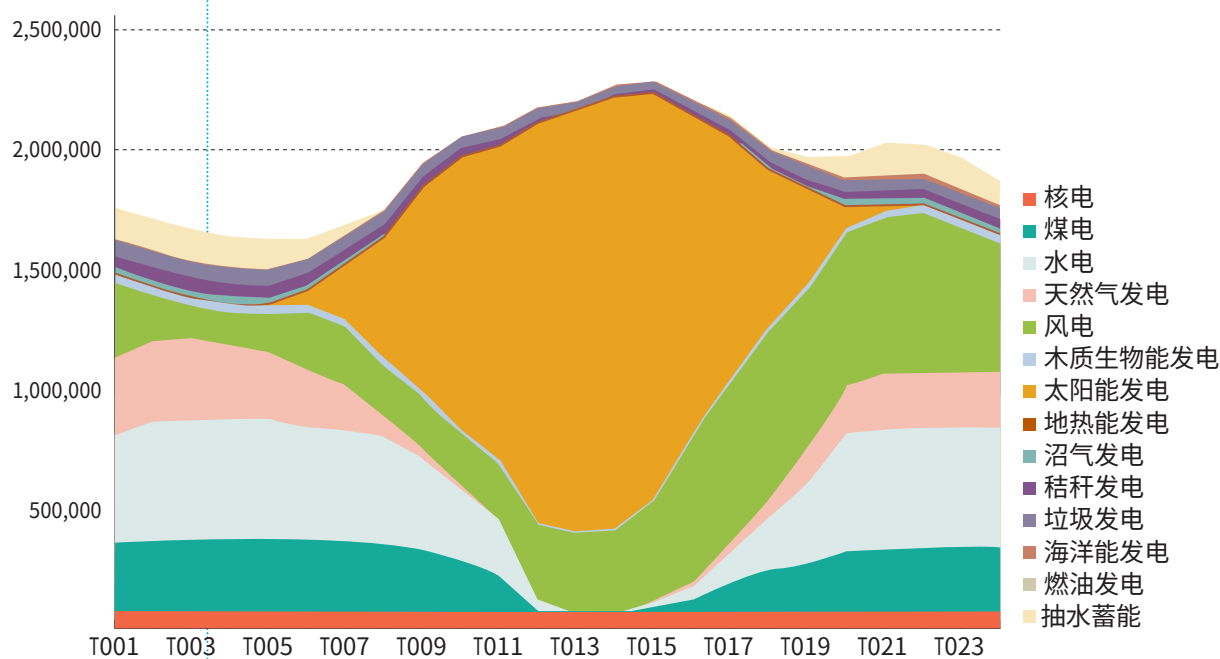


图 8 高比例可再生能源情景典型日全国发电机组小时级调度分析

能够以较小成本或无增量成本 建成高比例可再生能源电力系统

在高比例可再生能源电力情景下，平均度电成本在 2030 年至 2050 年间略有上升，基本保持在 0.672RMB/kWh 至 0.685RMB/kWh 之间。绝大部分增量资本投资都通过节约化石燃料的燃料成本而抵消。通过可再生能源技术不断进化和完善，可以在较小成本或无增量成本的前提下，实现可再生能源发电比基年水平大幅增加。

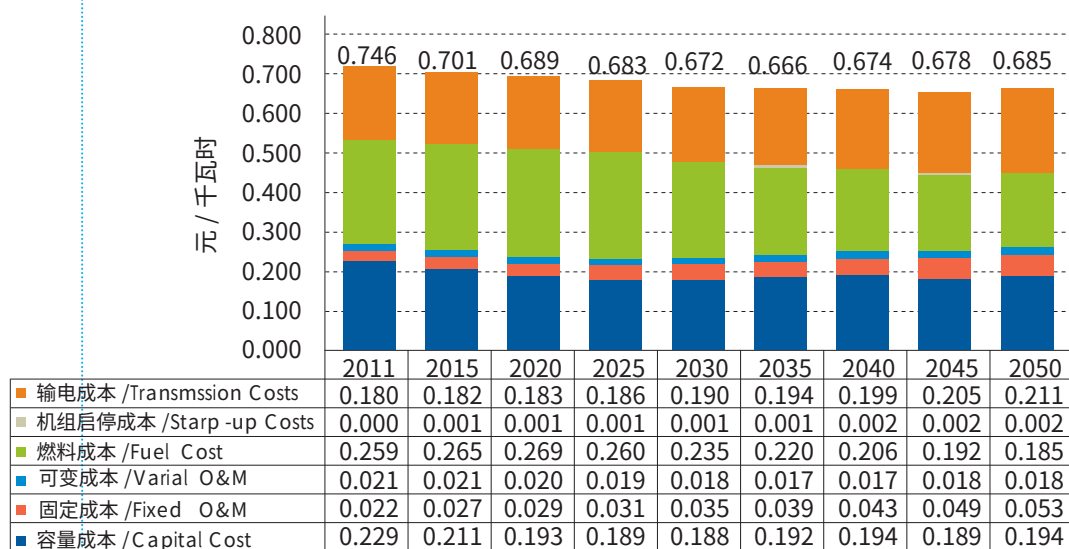


图 9 高比例可再生能源电力情景度电成本趋势

可再生能源作为新兴经济增长点 可显著提升宏观经济发展质量

风电、太阳能等可再生能源和电动汽车等新兴产业成为新的经济增长点。2050年可再生能源相关产业链增加值增长到 17 万亿元，对当年 GDP 的贡献达到 6.2%。电动汽车生产实现增加值近 8 万亿元，达到经济总量的 2.9%

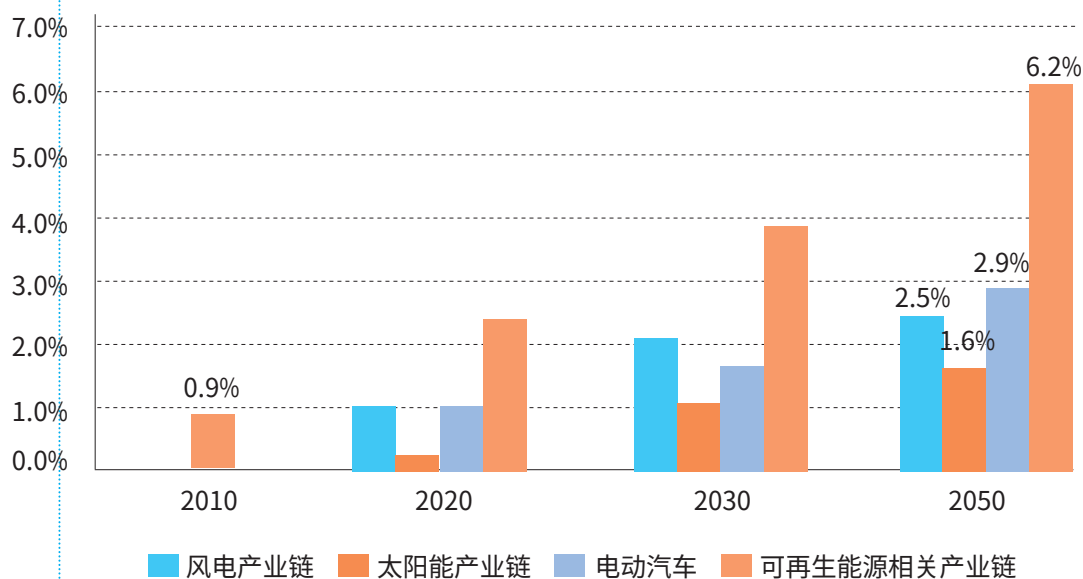


图 10-1 可再生能源及相关产业实现增加值对 GDP 的贡献

高比例可再生能源发展创造了可再生能源行业及相关产业就业人数共 1200 万人（2050 年），促进我国就业人口从传统制造业向高业态产业的发展。

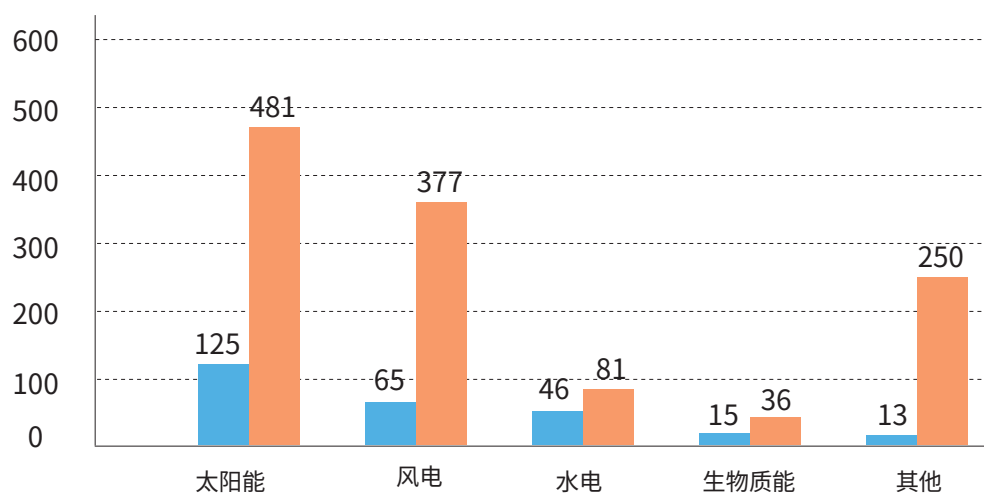


图 10-2 中国可再生能源及相关产业就业人数增长（万人）

高比例可再生能源发展助力重现碧水蓝天

化石能源燃烧排放的主要污染物和二氧化碳显著降低。2050 年主要污染物（SO₂、NO_x、重金属汞等）的排放量与 1980 年的排放水平持平，重现上个世纪八十年代的碧水蓝天。CO₂ 排放量降到 30 亿吨，为减缓全球气候变化做出突出贡献。

单位：亿吨

注：2010 年之后中国为情景数据，
其他国家数据来自 IEAETP2014

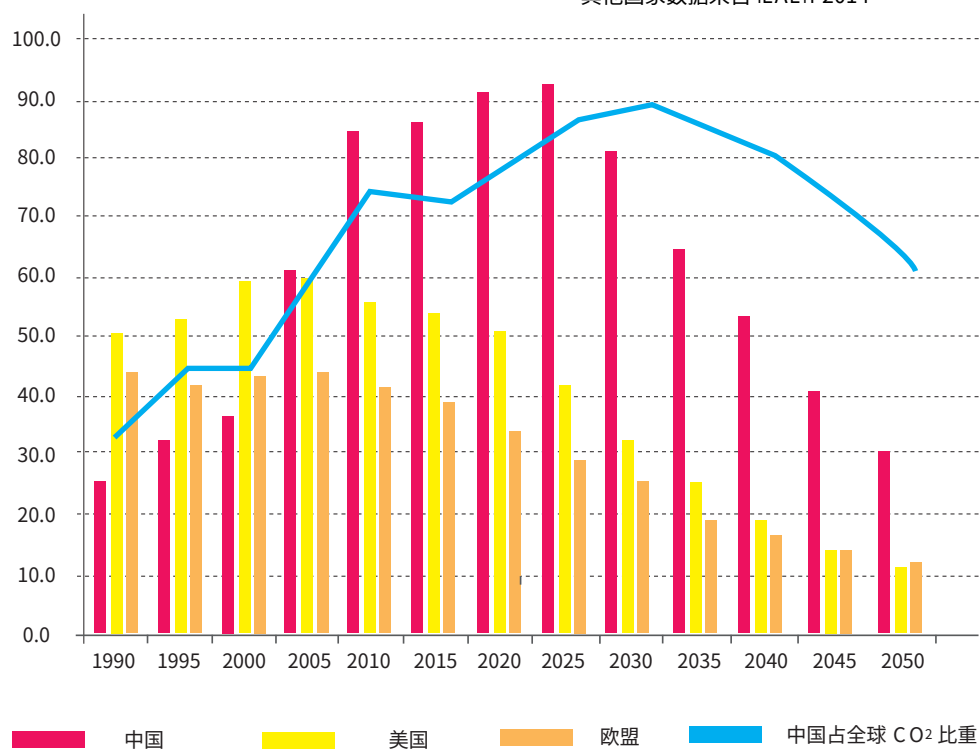


图 11-1 2050 高比例可再生能源发展情景下中国 CO₂ 排放量全球对比

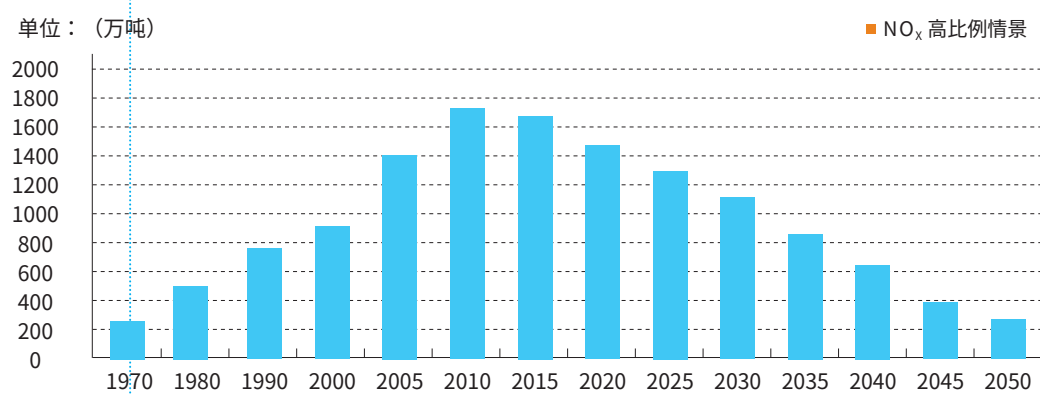


图 11-2 2050 高比例可再生能源发展情景下中国 NO_x 排放

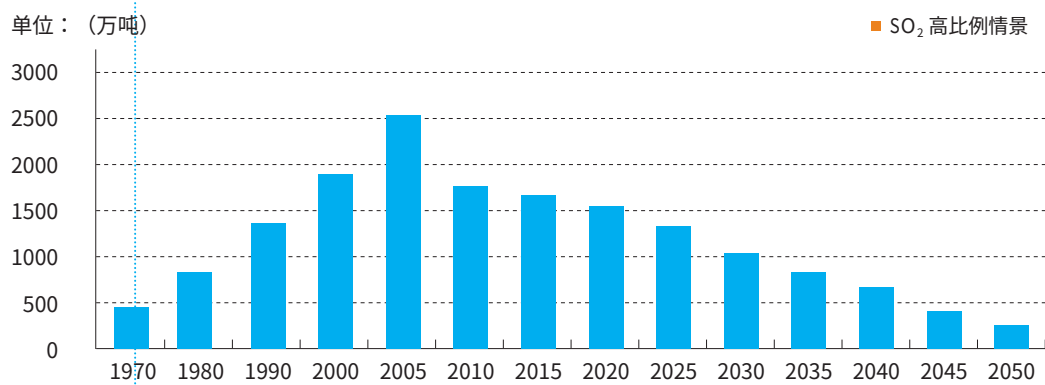
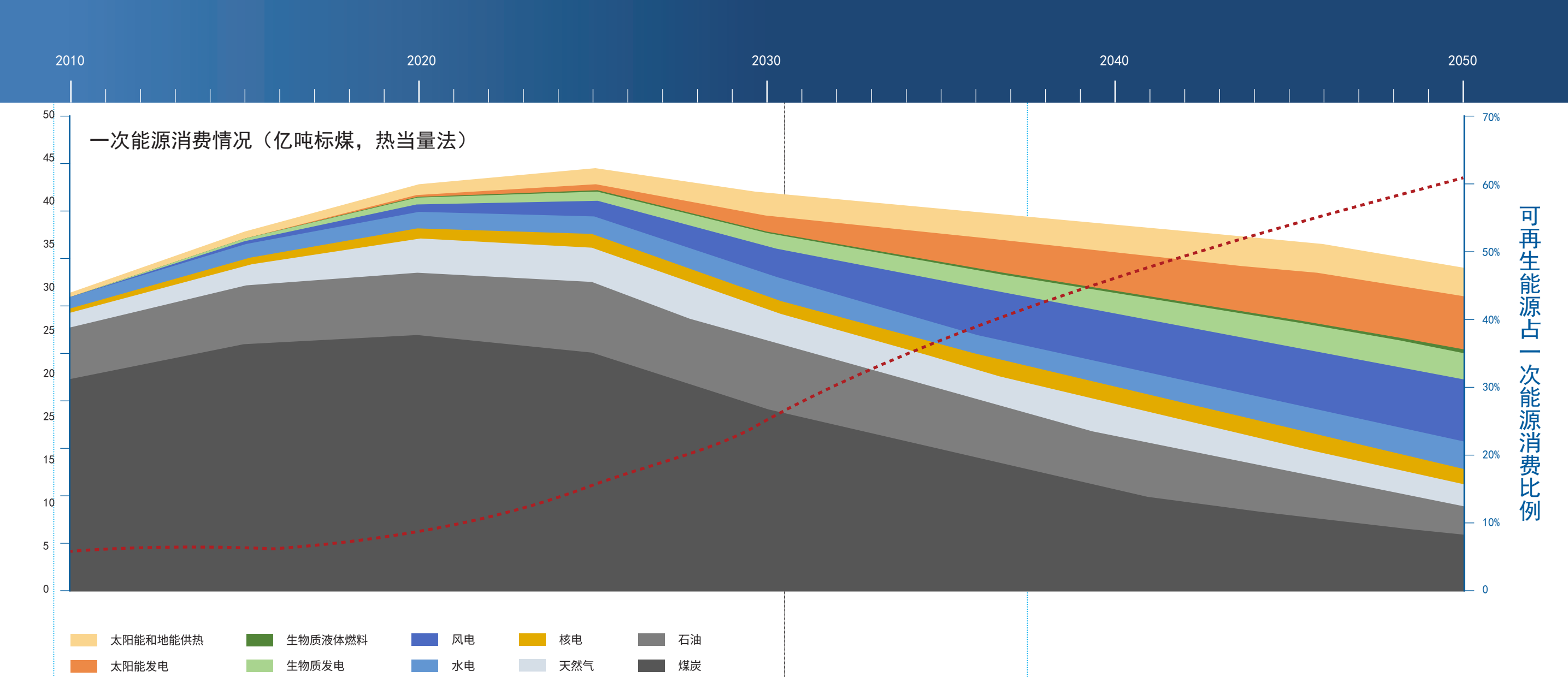


图 11-3 2050 高比例可再生能源发展情景下中国 SO₂ 排放

政府、可再生能源行业、电力部门和全社会的重大行动

		2017 年前	2020 年
政府部门	(一) 制定实施优先发展可再生能源的清洁低碳能源革命战略与行动计划	制定 2030 年能源革命战略、行动计划和 2050 年愿景目标	使煤炭消费和煤电装机达到峰值；CO2 排放在 2020~2025 年达到峰值
	(二) 建立适应新能源发电的电力市场体制机制	放开售电侧市场；可再生能源优先调度机制；建立独立交易（调度）平台机构	建立竞价市场机制、多部制电价机制、跨省区电力交易市场；推进输配电网分开
	(三) 健全促进可再生能源公平竞争的绿色税制和碳交易市场体系	出台资源税、环境税；建立资源化环境税收入支持可再生能源的投入机制	全面建成碳交易市场，逐步有偿拍卖碳排放权；出台碳税
	(四) 全面建立适应新能源发展的法律保障、综合管理和专业监管体系	修订《电力法》；强化电力规划、扩大投资准入；健全监管体系	出台《能源法》、完善《可再生能源法》；建立与市场化改革协调的监管体系
可再生能源行业	(一) 建设重大公共平台和技术创新体系	制定创新引领的技术路线图；建设风电、太阳能发电等资源评价、技术研发、检测等公共平台	基本建成风电、太阳能发电技术体系；风电和太阳能发电平准化度电成本平均降到 0.5 和 0.6 元以下
	(二) 持续大规模发展可再生能源发电	建成一批海上风电、分布式光伏应用示范项目（区）	理顺水电开发机制实现稳步开发；加快并重新开发集中和分散风电、太阳能发电
	(三) 全面推广可再生能源供热和燃料	开展太阳能、生物质能、地热能清洁供热技术和商业模式创新示范	全面推广中低温各类可再生能源热利用；推进先进生物燃料商业化示范
电力部门	(一) 建设新型电网公共服务平台	示范应用智能电网、微电网；整合应用风电、光伏发电功率预测系统。配套建设跨区输电通道	全面推广智能电网；建成先进的调度平台，实现大规模、多层次联合优化调度
	(二) 优化灵活电源布局、结构和运行特性	东部控制优化煤电发展布局；加快建设抽蓄和天然气电站；提高煤电（热电联产）调节能力	全面控制煤电规模，扩大抽蓄电站、天然气发电规模；挖掘煤电、太阳能热发电和核电的调节能力
	(三) 大规模发展负荷响应和储能	示范可调节负荷和负荷响应；发展抽蓄；示范先进储能	扩大可调节负荷的规模；在用户侧推广先进储能
全社会共同行动	(一) 转变能源发展理念，人人行动成为能源产消者	加强社会宣传，充分认识可再生能源是能源发展必由之路	人人行动推进清洁可再生能源生产利用
	(二) 居民和商业建筑推广普及可再生能源供热和建筑光伏系统	加快推广建筑屋顶和建筑一体化光伏发电。建设居民和商业建筑可再生能源热水、供暖、制冷示范项目（区）	规模化推广等可再生能源供暖、制冷系统。全面推广屋顶光伏系统、建筑一体化光伏系统
	(三) 工业部门开展清洁电力和可再生能源供热替代	开展印染、纺织、食品行业的电力替代和可再生能源供热技术应用商业化示范	推动电力替代和可再生能源热利用技术在印染、纺织、食品等行业规模化应用
	(四) 交通部门推进电力化提供低估负荷和灵活储能	推广电动汽车和低谷负荷充电	电动汽车具有一定规模应用，初步发挥低谷负荷作用
	(五) 建设城镇可再生能源体系和能源互联网	示范楼宇、小区、区域微电网和综合能源网，集成应用可再生能源、电力、燃气、热力	示范融合居民、商业、工业、交通部门能源供应服务的城镇综合清洁能源网，试验智能能源互联网

	2030 年	2050 年
	化石能源消费从峰值开始下降，可再生能源替代存量化石能源	可再生能源满足 60% 一次能源和 80% 电力需求；CO2 排放大幅下降
	建成智能电网支撑下的现代电力市场体系	形成人人自由参与的 21 世纪电力市场
	全面有偿拍卖碳排放权	全面形成绿色税制和碳市场体系
	建成健全的法律保障、综合管理和专业监管体系	形成新型能源治理体系
	掌握可再生能源集成应用技术；风电和太阳能发电全面形成经济竞争力	形成引领全球的可再生技术和产业体系
	实现水电和屋顶光伏发电全面开发；快速开发三北风电、太阳能发电	全面实现各类可再生能源发电技术的多元化应用，可再生能源发电比重达到 80% 以上
	在工商业领域全面推广中（高）温可再生热利用	全面普及低温太阳能热利用，满足全部建筑和部分热需求
	大力推广智能微电网，建成适应高穿透率分布式发电的智能配电网；煤电转为备用和调峰	建成电能双向传输、互动服务为一体的综合服务型电网平台
	与气电成为主力调节电源；各类电源均具有调节能力	全面形成多元灵活电源体系
	全面挖掘可调节负荷潜力；普及先进储能技术	负荷响应和先进成为重要灵活资源
	能源用户普遍成为能源产消者（prosumer）	实现人人享有能源、户户销售能源、人人受益于能源的新形态
	全面推广可再生能源供暖、制冷系统。新建建筑普遍实现建筑光伏一体化	可再生能源成为居民和商业供暖、制冷的主导能源
	推动电力、钢铁、化工等对热能品质要求较高工业领域的可再生能源热利用	全面实现电力替代和可再生能源热利用技术在工业领域的应用，规模化替代常规化石能源
	全面推广电动汽车，形成上亿千瓦低谷负荷	普及电动汽车，提供超过 10 亿千瓦低谷负荷
	将能源网、物联网和互联网耦合形成“能源互联网”	全面建成智能能源互联网



合作伙伴



技术支持单位