



《中国长期低碳发展战略与转型路径研究》综合报告

项目综合报告编写组

(清华大学气候变化与可持续发展研究院 北京 100084)

中图分类号 F062 文献标识码 A 文章编号 1002-2104(2020)11-0001-25 DOI: 10.12062/cpre.20201025

前言

2020年是一个特殊的年份,在这一年中,新冠肺炎疫情肆虐,席卷全球,造成上千万人感染,夺去了上百万人的生命,对各国的公共卫生系统、公众健康、经济活动和居民生活造成了严重冲击,也深刻影响了并将重塑世界政治经济贸易格局。

与新冠肺炎疫情相似,气候变化也是人类面临的重大而紧迫的全球性挑战。新冠肺炎疫情是突发的、紧迫的危机,影响人类的健康和生命;而气候变化是更为长期、深层次的挑战,威胁人类的生存和发展。我们看到,过去几十年间,随着温室气体浓度的不断增加,气候变化和日益频发的极端气候事件越来越多地威胁到人类生存和健康,危害到陆地和海洋生态系统,带来生物多样性的丧失。IPCC报告阐述了气候变化带来的八大灾难性风险,并提出,气候变化已经不是未来的挑战,而是眼前的威胁。联合国秘书长古特雷斯指出人类已经站在了事关存亡的十字路口,并呼吁世界各国努力应对气候变化这一人类最为重大和紧迫的问题。

面对新冠肺炎疫情、气候变化等重大危机,人类开始重新思考人与自然的关系,愈发认识到人类和自然是一个休戚与共的命运共同体,我们要更加尊重自然、顺应自然和保护自然,更加重视人与自然和谐共生,统筹当前和长远,未雨绸缪地应对全球性挑战。这就意味着,我们必须从根本上转变传统的生产方式、生活方式和消费模式,推动转型和创新,走绿色、低碳、循环的发展道路。不能就气候谈气候,就发展谈发展,就环境谈环境,而要将气候行动与经济、社会、环境、健康、就业、稳定、安全等问题作为一

个大系统,实现协同发展,通过可持续发展的道路来应对气候变化,保护环境,扭转生物多样性丧失趋势,确保人类长期健康和安全。

今年的新冠肺炎疫情爆发后,通过绿色低碳发展实现经济复苏成为国际社会的普遍共识。联合国秘书长古特雷斯在2020年5月“地球日”提出绿色高质量复苏的倡议,号召世界各国确保气候行动处于经济复苏举措的核心。截至目前,全球已有一百多个国家承诺2050年实现碳中和。其中,欧盟2019年年底发布《欧洲绿色新政》,承诺于2050年前实现碳中和,并出台了关于能源、工业、建筑、交通、食品、生态、环保等七个方面的政策和措施路线图,坚持绿色复苏。新任欧盟理事会主席国的德国在提议的新冠肺炎疫情复苏计划中提出大力支持绿色增长,并将应对气候变化列为三大优先事项之一。美国众议院在2020年6月发布的《气候危机行动计划》报告也提出要为全球控制温升1.5℃目标努力,将应对气候变化作为国家的首要任务,要实现2050年温室气体排放比2010年减少88%、CO₂净零排放目标,并从经济、就业、基础设施建设、公共健康、投资等各个领域详细阐述了未来拟采取的措施,该计划得到了民主党总统候选人拜登的赞赏和支持。

我国始终高度重视应对气候变化,坚持绿色发展、循环发展、低碳发展,一直将其作为促进高质量可持续发展的重要战略举措。我国将应对气候变化融入社会经济发展全局,从“十二五”起,以单位GDP碳排放强度下降这一系统性、约束性目标为抓手,促进低碳发展,2015年提出了碳排放2030年左右达峰并尽早达峰等自主贡献目标,采取了调整产业结构、节约能源和资源、提高能源资源利用效率、优化能源结构、发展非化石能源、发展循环经济、

收稿日期:2020-10-12 修回日期:2020-11-01

作者简介:报告总指导:解振华。报告主编:何建坤。报告副主编:李政、张希良。报告编写组成员(以姓氏笔画为序):王海林、田智宇、李政、何建坤、杨秀、周丽、陈思源、赵小凡、张希良、欧训民、顾阿伦、袁志逸、姚明涛、常世彦、郭德悦、董文娟、滕飞。

通信作者:何建坤 教授,主要研究方向为能源系统工程和应对全球气候变化战略与政策。E-mail:hejk@tsinghua.edu.cn.

增加森林碳汇、建立运行碳市场、开展南南合作等各方面政策措施,推动全社会加速向绿色低碳转型。与2005年相比,2019年的我国单位GDP二氧化碳排放下降了48%,相当于减少二氧化碳排放约56.2亿t,相应减少二氧化硫约1192万t、氮氧化物约1130万t。同期,GDP增长超4倍,实现95%的贫困人口脱贫,第三产业占比从41.3%增长到53.9%,煤炭消费比重从72.4%下降到57.7%,非化石能源占一次能源比重从7.4%提高到15.3%,居民人均预期寿命由72.9岁提高到77.3岁。由此可见,应对气候变化的政策行动,不但不会阻碍经济发展,而且有利于提高经济增长的质量,培育带动新的产业和市场,扩大就业,改善民生,保护环境,提高人们的健康水平,发挥协同增效的综合效益。

然而,我们应当看到,我国的低碳发展转型还存在巨大的发展空间和发展潜力,也面临巨大挑战:一是制造业在国际产业价值链中仍处于中低端,产品能耗物耗高,增加值率低,经济结构调整和产业升级任务艰巨。二是煤炭消费占比较高,仍超过50%,单位能源消费的CO₂排放强度比世界平均水平高约30%,能源结构优化任务艰巨。三是单位GDP的能耗仍然较高,为世界平均水平的1.5倍、发达国家的2~3倍,建立绿色低碳的经济体系任务艰巨。

气候变化是我国可持续发展的内在需要。展望未来,中国特色社会主义现代化建设进入新时代,要解决发展不平衡、不充分的问题,协同推进发展经济、改善民生、消除贫困、防治污染等工作任务,实现到2020年年底全面建成小康社会、到2035年基本实现社会主义现代化、到2050年建成富强民主文明和谐美丽的社会主义现代化强国,绿色低碳转型发展是根本的解决之道。

应对气候变化是人类共同的事业。2017年10月18日,习近平总书记在中国共产党第十九次全国代表大会上的报告中指出,引导应对气候变化国际合作,成为全球生态文明建设的重要参与者、贡献者、引领者。放眼全球,绿色低碳已成为各国经济体系、能源体系、技术体系、治理体系不可逆转的发展潮流,是应对人类共同危机的根本途径。以习近平生态文明思想为指导,推动世界范围内的绿色低碳转型,努力构建人类命运共同体,是我国作为发展中大国的责任担当。

因此,我们更要保持战略定力,在“十四五”“十五五”及未来更长的一段时期内,始终坚持绿色低碳的发展理念,推动生态文明建设,继续采取积极应对气候变化的政策和行动,百分之百落实已经提出的国家自主贡献目标,并要努力做得更好。站在当前的历史方位,面对日益复杂的国际形势,中国如何在新时代社会主义现代化建设的宏伟蓝图中规划低碳发展的战略、路径和措施,如何根据《巴

黎协定》的原则履行符合我国国情和能力的国际责任和义务,如何推动和引领全球气候治理进程,是我们必须深入研究和思考的课题。

从2019年年初到2020年6月,清华大学气候变化与可持续发展研究院与国家应对气候变化战略研究和国际合作中心、国家信息中心、中国社会科学院城市发展与环境研究所、中国科学院科技战略咨询研究院、国家发展和改革委员会能源研究所、生态环境部宣传教育中心、商务部国际贸易经济合作研究院、交通运输部科学研究院和清华大学的能源与动力工程系、能源环境经济研究所、环境学院、建筑学院等十几家研究机构合作,在清华大学教育基金会全球绿色发展与气候变化专项基金和能源基金会的资助下,开展了“中国长期低碳发展战略与转型路径研究”项目,共设置18个研究课题。针对实现2050年建成社会主义现代化强国、实现美丽中国目标、实现《巴黎协定》全球升温控制目标以及全球可持续发展目标,综合考虑社会、经济、政策和能源等宏观发展趋势与需求,开展多领域、多学科的交叉和综合研究势在必行。

本综合报告是在各课题研究成果基础上,由综合报告编写组进行系统梳理、协调、总结和提升,并重新编写而成。希望我们的研究成果能够为社会开展相关研究提供参考,为制定和实施国家低碳发展战略和各项政策提供支撑,也为未来书写全球绿色低碳发展大趋势中的“中国故事”贡献力量。

1 指导思想

党的十九大报告提出,综合分析国际国内形势和我国发展条件,从2020年到21世纪中叶可以分两个阶段来安排。第一个阶段,从2020年到2035年,在全面建成小康社会的基础上,再奋斗十五年,基本实现社会主义现代化。第二个阶段,从2035年到21世纪中叶,在基本实现现代化的基础上,再奋斗15年,把我国建成富强民主文明和谐美丽的社会主义现代化强国。《巴黎协定》就控制全球升温不超过2℃并努力控制1.5℃以下的应对气候变化目标达成共识,实现这一目标需要世界各国都必须加大控制和减排温室气体的力度,到2050年全球要实现二氧化碳的近零排放,甚至要实现净零排放。应对气候变化的挑战是全人类的共同事业,中国要发挥重要参与者、贡献者和引领者作用。

我国长期低排放发展战略要同时支撑上述两个目标的实现:实现中华民族的伟大复兴,为中国人民谋幸福,是中国共产党的初心和使命;同时也把为人类进步事业而奋斗,为世界做出重大贡献作为自己的使命。到21世纪中叶,我国要努力实现社会主义现代化强国建设目标的同

时,也要实现与全球控制温升不超过 2°C 并努力低于 1.5°C 的长期目标相契合的深度脱碳发展路径。建成绿色低碳循环发展的产业体系和以新能源与可再生能源为主体的清洁安全高效深度脱碳能源体系,实现人与自然的和谐共生和可持续发展。研究和制定我国2050年的发展策略,就要以习近平新时代中国特色社会主义思想为指导,统筹国内国际两个大局,推进国内生态文明和全球生态文明建设,实现国内可持续发展与全球生态安全的统筹治理和协同共赢。

2020—2035年是社会主义现代化建设第一阶段,结合基本实现现代化的战略、任务及生态文明和美丽中国建设目标和规划,在实现生态环境根本好转的同时,落实和强化国家自主决定贡献(NDC)目标和减排承诺,实现环境质量和减排二氧化碳双达标,促进经济高质量发展,打造经济、能源、环境和应对气候变化协同治理多方共赢的局面。2035—2050年的第二阶段,在实现建成社会主义现代化强国和美丽中国目标的同时,要承担与我国不断上升的综合国力和国际影响力相一致的国际责任,把实现与 2°C 甚至 1.5°C 温升控制目标相契合的深度脱碳目标和对策作为社会主义现代化建设总体战略的一项重要内容,引领全球气候治理与国际合作进程,为保护地球生态安全和人类社会生存与发展做出中华民族新的贡献。

项目研究采用了“自下而上”和“自上而下”相结合的研究方法,既有“自下而上”对各部门能源消费和二氧化碳排放部门模型的情景分析和技术评价,又有“自上而下”宏观模型的计算和政策模拟,以多个模型产出软连接方式,实现各部门分析与宏观模型间的协调衔接。既针对

我国实际国情和发展阶段特征进行以问题为导向的深入分析,研究长期低碳发展的趋势、政策和路径,又以建成现代化强国和实现深度脱碳路径的目标为导向进行政策模拟,分析在长期深度脱碳目标倒逼下的减排路径、技术支撑及成本和代价(见图1)。为此设计四种情景展开研究和分析。

(1) 政策情景:以我国在《巴黎协定》下提出的NDC目标、行动计划和相关政策为支撑,延续当前低碳转型的趋势和政策的情景。

(2) 强化政策情景:在政策情景基础上,进一步强化降低GDP能源强度和二氧化碳强度的力度和幅度,进一步提高非化石能源在一次能源消费中占比等各项指标,挖掘减排潜力,控制二氧化碳排放总量,强化政策支撑,适应《巴黎协定》下各国强化和更新NDC目标和行动的要求。

(3) 2°C 温控目标情景(简称“ 2°C 情景”):是以实现全球控制温升 2°C 目标为导向,研究与之相适应的减排情景和路径。是以21世纪中叶深度脱碳目标倒逼下的减排对策和路线图分析为基础,对其技术资金需求、成本代价及政策支撑进行论证和评价。

(4) 1.5°C 温控目标情景(简称“ 1.5°C 情景”):以控制 1.5°C 温升目标为导向,到21世纪中叶努力实现二氧化碳净零排放和其他温室气体深度减排为目标,研究和论证其可能性和路径选择,并评价其可能产生的社会经济影响。

在这四个情景分析中,以强化政策情景和 2°C 情景为主要情景,在2030年和2035年之前,主要研究强化政策情景下对实现和更新NDC目标的影响,同时分析 2°C 目标倒逼减排路径对2030年和2035年目标和路径的影响。

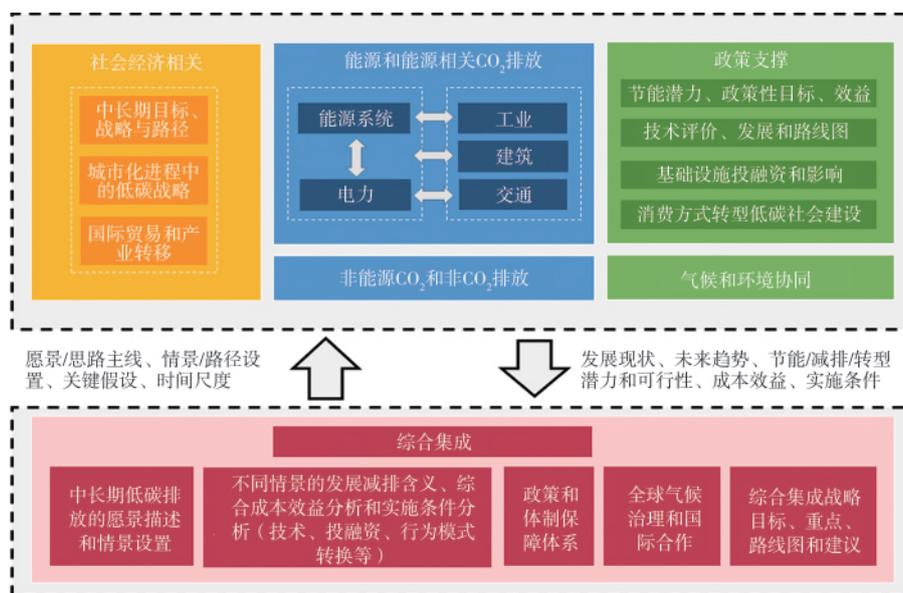


图1 中国长期低碳发展战略与转型路径研究框架

在2035年之后,在实现社会主义现代化强国建设目标同时,主要研究2℃目标下倒逼的减排路径和政策支持,也努力探讨实现1.5℃温升控制目标到2050年二氧化碳净零排放、其他温室气体深度减排的可行途径。同时统筹考虑与2035年前的自主贡献目标的相互衔接,并统筹“两个阶段”的低排放目标和战略。

2 全球气候治理新的形势与趋向

《巴黎协定》确立了2020年后全球气候治理新机制。以各缔约方自下而上NDC目标和行动计划为基础,推进全球合作进程。但当前各国的减排承诺距实现全球控制温升不超过2℃目标的减排路径尚有较大差距,需要激励各国进一步强化减排雄心和力度。当前进入全面落实《巴黎协定》的实施阶段,但如何体现和落实《联合国气候变化框架公约》(以下简称《公约》)与《巴黎协定》的目标和原则,全面推进适应、减缓、资金、技术、能力建设和透明度各要素平衡和有效实施仍面临严峻挑战。需要各方增强合作意愿,全面行动。

IPCC《1.5℃温升特别报告》更加凸显了应对气候变化的紧迫性。实现1.5℃温升控制目标比2℃目标可显著减少气候风险,更有利于实现联合国2030年可持续发展目标(SDGs),但也要付出更大成本和代价。气候变化负面影响比原来预计来得更早,影响范围更大,造成灾害和损失也更大。次国家层面和城市、地区、企业、社区、行业和社会团体等自下而上的气候联盟和行动倡议组织蓬勃发展。促进低碳发展转型的各种国际规则、行业准则及企业标准层出不穷。世界范围内力推实现1.5℃温升控制目标,到21世纪中叶全球实现碳中和的呼声日益强烈。欧盟提出“欧洲绿色新政”,宣布2050年实现净零排放,成为首个碳中和欧洲大陆。全球已有121个国家提出2050年实现碳中和的目标和愿景,其中包括英国、新西兰等发达国家以及智利、埃塞俄比亚、大部分小岛屿国家等发展中国家。不少国家和城市也提出2030—2050年期间实现100%可再生能源目标,提出煤炭和煤电退出以及淘汰燃油汽车的时间表,并有114个国家表示将强化和更新NDC目标。尽管当前新冠肺炎疫情下各国应对气候变化的行动力度有所减弱,但长期趋势不会改变,而且会越来越紧迫。发达国家在当前气候谈判中力推1.5℃温升控制目标的态度非常明显。

新冠肺炎疫情是全球突发性公共危机,气候变化是更深层次地球生态危机,两者都是全球性严峻而紧迫的挑战。全球应对气候变化目标、进程与大国间博弈都将深刻影响疫情后世界经济复苏和发展的趋向与国际治理秩序的重构。实现“绿色经济复苏”越来越成为各国共识,疫情后应对气候变化低碳经济转型将成为多数国家经济恢

复和发展的政策导向,也将成为大国竞争博弈与合作的重要领域。

《巴黎协定》要求各缔约方2020年通报和强化各自NDC目标和行动,同时提交到21世纪中叶长期低排放发展战略,并将于2023年进行全球集体盘点,激励各方强化行动。各缔约方如何强化和更新2030年前NDC目标以及如何确立2050年深度脱碳目标成为国际社会关注的焦点,中国等新兴发展中大国更备受关注,并给予较高期待。我国也需要研究和制定长期深度脱碳战略,适应并引领全球低碳发展转型的紧迫形势。

中国经济新常态以来坚持新的发展理念,经济增长由规模和速度型向质量和效益型转变,扭转了能源消费和二氧化碳排放快速增长的局面。能源消费和二氧化碳排放年均增长率由2005—2013年的年均6.0%和5.4%分别下降到2013—2018年的2.2%和0.8%,近两年虽有所反弹和波动,但总体也已回落到缓慢增长态势。煤炭总消费量也基本趋于稳定,单位GDP的二氧化碳强度2019年比2005年已下降48.1%,提前和超额实现我国对外承诺的到2020年比2005年下降40%~45%的目标,为实现2030年NDC目标奠定了基础。

新冠肺炎疫情对全球经济都带来巨大冲击和严重衰退,中国2020年经济增速也势必大幅回落,“十三五”期间GDP平均增速将下降到不足6%,但“十三五”规划中提出的节能和减排二氧化碳指标仍可基本实现或超额完成。“十四五”我国既要全面恢复经济健康持续发展,也将坚持“绿色复苏、低碳转型”政策导向,加快产业转型升级和高质量发展。要坚持和强化“十一五”以来节能减碳趋势,强化节能和减排二氧化碳的各项指标和政策措施。“十四五”期间在GDP年均增速不低于5%的预期下,单位GDP的能源强度下降幅度仍可不低于14%,非化石能源发展保持“十三五”年均7%左右增速,期末在一次能源消费中比重可达约20%,相应GDP的二氧化碳强度可下降19%~20%。工业部门特别是高耗能重化工产业的二氧化碳排放争取达到峰值,东部沿海较发达地区和城市的二氧化碳排放应率先达峰。结合煤炭消费总量控制,控制二氧化碳排放总量,与推进二氧化碳排放早日达峰目标相衔接。进一步完善支持低碳转型的政策体系、投融资机制和全国统一碳排放权交易市场的建设和完善。

“十四五”低碳转型目标、政策和实施效果,对实现2030年NDC目标至为关键,如“十四五”力度不够,会加大“十五五”减排压力和难度。因此要持续强化减排力度和行动,“十五五”期间GDP能源强度下降幅度也应不低于“十四五”14%以上的水平,到2030年实现《能源生产和消费革命战略(2016—2030)》所提出的非化石能源电力

占总电量消费 50% 的目标,在届时一次能源用于发电比例约达 50% 的情况下,非化石能源在一次能源消费中比重可达 25% 左右,GDP 的二氧化碳强度比 2005 年可下降 65%~70%。二氧化碳排放到 2025 年前后进入峰值平台期,可争取 2030 年前实现稳定达峰,化石能源消费的二氧化碳峰值排放量控制在 110 亿 t 之内,到 2035 年二氧化碳排放将比峰值年份显著下降。

3 我国终端用能部门的低碳转型

加强终端部门节能提效和电气化替代,是实现低碳转型的重要对策。工业、建筑、交通是主要终端用能部门,加强终端部门需求管理、引导和控制最终能源需求、加强节能低碳技术创新和产业化发展、发展智慧城市基础设施和管理策略、优化资源利用和生产方式、转变社会公众消费理念和生活方式均将促进终端能源消费节约和高效利用。另一方面,加强终端用能电气化,伴随大比例可再生能源电力系统发展,终端消费以电力替代煤炭、石油等化石能源直接利用,可有效减少终端部门乃至全经济尺度的二氧化碳排放。我国 2015 年电力在终端能源消费比例为 21.3%,2030 年将超过 30%,2050 年将达 70% 以上,将对减排二氧化碳发挥重要作用。

当前工业部门的能源消费占全国总终端能耗的 65% (包括建筑业的第二产业为 67.5%),是最主要的能源消费和二氧化碳排放部门。调整产业结构,降低重化工业比重,促进产业转型升级,提质增效,降低能耗物耗,提升能源和资源利用效率,加快发展数字经济,大力发展高新技术产业和先进制造业,促进产品向价值链高端发展,降低单位工业增加值能耗强度,可有效控制和减少工业部门能源消费。各种情景下工业部门终端能源消费及其直接二氧化碳排放(不含工业生产过程中的二氧化碳排放)见表 1 和图 2,工业部门含工业生产过程的直接二氧化碳排放见图 3。另一方面要加强工业部门电气化,以电力替代煤炭、石油等化石能源的直接消费,有效减少二氧化碳排放,

争取在“十四五”期间工业部门的二氧化碳排放达到峰值。在 2℃ 情景分析中,工业部门终端能耗 2050 年可比 2015 年减少约 26%,二氧化碳排放将减少 65% 以上。对于钢铁、水泥、化工等工业生产过程的二氧化碳排放,要发展先进突破性技术,比如氢作还原剂的零碳炼铁技术,可助力到 21 世纪中叶深度脱碳目标的实现。

加速电气化在工业低碳转型中发挥重要作用,电力将成为工业领域主导能源品种。具体而言,政策情景下 2050 年工业电气化率达到 31.0%,强化政策情景下达到 39.8%,2℃ 情景下达到 58.2%,1.5℃ 情景达到 69.5%。与历史发展趋势相比,我国工业电气化进程要明显加快,2000—2015 年,我国工业电气化水平年均提升约 0.5 个百分点,在 2℃ 情景和 1.5℃ 情景下,我国工业电气化水平年均提升约 0.9 和 1.4 个百分点(见表 2)。

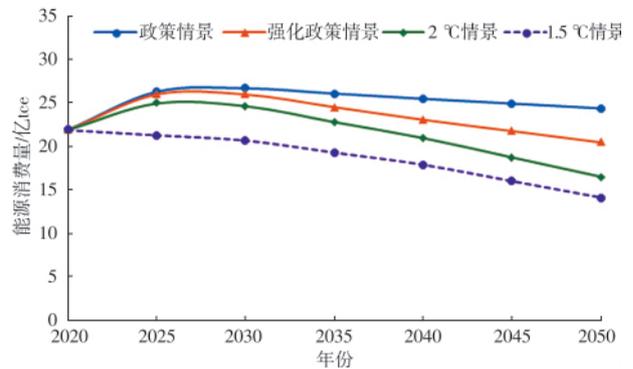


图 2 不同情景下工业部门终端能源需求

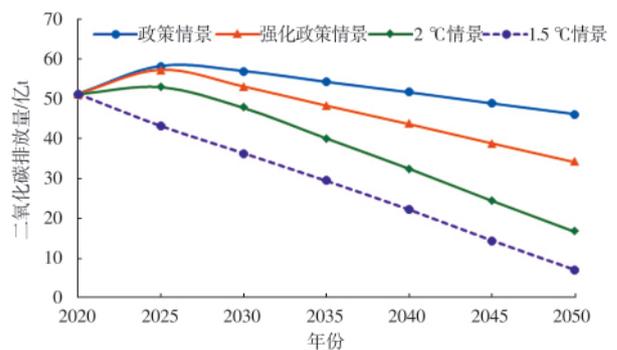


图 3 不同情景下工业部门二氧化碳排放总量

表 1 工业部门终端能源需求和二氧化碳排放

情景	2020 年		2030 年		2050 年	
	能源 / 亿 tce	碳排放 / 亿 tCO ₂	能源 / 亿 tce	碳排放 / 亿 tCO ₂	能源 / 亿 tce	碳排放 / 亿 tCO ₂
政策情景	21.8	37.7	26.7	45.4	24.4	36.9
强化政策情景	21.8	37.7	26.0	42.1	20.5	26.2
2℃ 情景	21.8	37.7	24.7	38.2	16.5	12.0
1.5℃ 情景	21.8	37.7	20.7	27.6	14.1	4.6

注: 不包含工业生产过程中的二氧化碳排放。

表 2 工业部门终端电气化水平 / %

情景	2020 年	2030 年	2050 年
政策情景	25.7	26.1	31.0
强化政策情景	25.7	27.8	39.8
2℃ 情景	25.7	30.0	58.2
1.5℃ 情景	25.7	37.0	69.5

随着工业部门电气化发展,化石能源直接消费的比例将明显下降,图4(a)和图4(b)显示强化政策情景和2℃情景下工业部门终端能源消费构成。

钢铁、水泥、建材、化工等工业过程原材料使用和分解过程中也排放二氧化碳。通过发展原材料或燃料替代,调整优化技术和工艺路线,提高系统能源利用效率,研发创新低碳产品等,既能减少能源活动二氧化碳排放,也能减少工业过程二氧化碳排放。不同情景下工业过程二氧化碳排放如表3所示,2050年与2020年相比,政策情景下工业过程二氧化碳排放降低约30%,强化政策情景下降约39%,2℃情景下降约64%,1.5℃情景下降约81%。

工业过程二氧化碳排放降低,一方面,源于工业内部结构优化和工艺革新,发展替代原料燃料技术等。例如,水泥生产过程中可以通过采用碳排放强度低的原料代替石灰质原料,包括电石渣、高炉矿渣、粉煤灰、钢渣等,降低

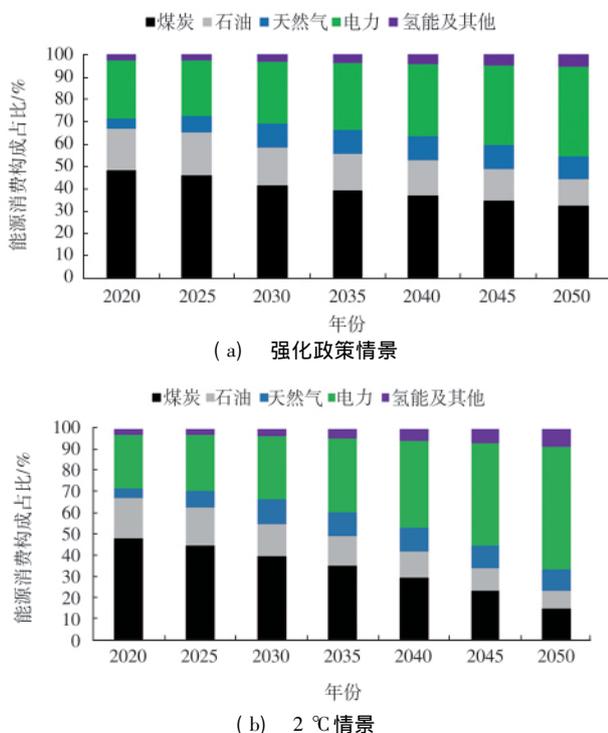


图4 工业部门终端能源消费构成

表3 工业过程二氧化碳排放 /亿t

情景	2020年	2030年	2040年	2050年
政策情景	13.2	11.7	10.4	9.2
强化政策情景	13.2	11.0	9.4	8.0
2℃情景	13.2	9.5	7.0	4.7
1.5℃情景	13.2	8.8	5.6	2.5

二氧化碳的排放。平板玻璃行业通过利用氧化镁和氧化钙替代白云石和石灰石,可以减少配料二氧化碳过程排放一半左右。煤化工等行业通过发展加压水煤浆气化技术、加压粉煤气化技术等新型煤气化工艺,可以明显减少工业过程二氧化碳排放。另一方面,源于伴随产业结构调整和产品质量升级,对高耗能产品需求持续下降。例如,在政策情景和强化政策情景下,2050年与2020年相比,水泥需求下降约30%,但在2℃情景和1.5℃情景下,水泥需求分别下降约62%和71%。

建筑部门能耗2018年约占总终端能耗的20%,今后随着建筑总量的增加和人民生活水平的提高,建筑能耗总量和占全国终端能耗比例均将呈增加趋势,通过合理规划和控制建筑总规模,到2050年控制在740亿m²以内,强化建筑节能标准,改进北方建筑供暖方式,以工业和电厂余热等低品位热源取代燃煤锅炉,增建储热等设施,发展分布式智能化可再生能源网络,实现热电气协同。同时扩大农村生物质资源在供热、供气、供电领域的商业化利用,以及推动全国现有建筑节能改造,提高设备系统效率,可努力争取二氧化碳排放到2030年达到峰值。建筑部门终端能源需求和二氧化碳排放如表4所示。2℃情景下,到2050年建筑总能耗可下降到7.13亿tce,电气化率可由目前28%提升到60%以上,二氧化碳排放也将回落到3.06亿t,见图5和图6。

表4 建筑部门终端能源需求和二氧化碳排放

情景	2020年		2030年		2050年	
	能源 /亿tce	碳排放 /亿tCO ₂	能源 /亿tce	碳排放 /亿tCO ₂	能源 /亿tce	碳排放 /亿tCO ₂
政策情景	7.75	10.0	8.60	9.69	9.95	8.34
强化政策情景	7.75	10.0	8.20	8.88	8.51	5.62
2℃情景	7.75	10.0	7.16	6.50	7.13	3.06
1.5℃情景	7.75	10.0	6.92	5.65	6.21	0.81

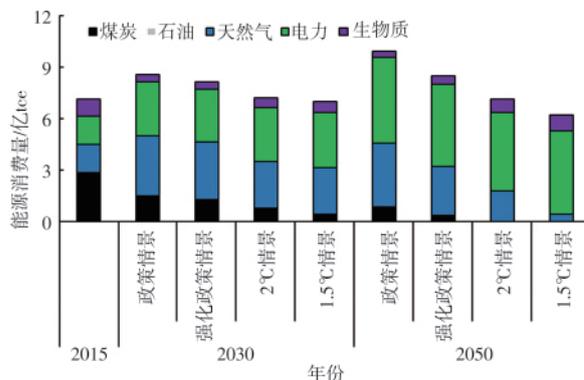


图5 不同情景2030和2050年建筑部门能源消费构成

当前交通部门能源消费占全国总终端能耗约 10%，随着城市化进程发展，也呈现较快增长趋势。交通部门通过统筹交通基础设施空间布局，促进资源集约高效利用，优化交通运输结构，提升绿色交通分担率，推进绿色交通装备标准化和清洁化，提高运输效率，降低单位运输周转量能耗水平，改进交通运输燃料构成，推广电气化、氢燃料和生物燃料的利用，同时强化绿色交通理念，引导社会公众出行的理念和生活方式。各情景下交通部门终端能源需求和二氧化碳排放如表 5、图 7 和图 8 所示。在 2℃ 情景下，交通部门电气化率可由 2015 年的 3.5% 提升到 2050 年的 25%，交通部门的二氧化碳排放可在 2030 年前后达峰，2050 年可比峰值年份下降 50% 以上。各情景下分品种的能源消费构成如图 9 所示。

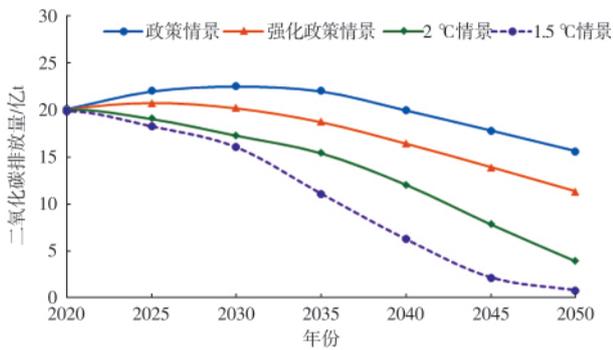


图 6 不同情景下建筑部门二氧化碳排放(含间接排放)

表 5 交通部门终端能源需求和二氧化碳排放

情景	2020 年		2030 年		2050 年	
	能源 /亿 tce	碳排放 /亿 tCO ₂	能源 /亿 tce	碳排放 /亿 tCO ₂	能源 /亿 tce	碳排放 /亿 tCO ₂
政策情景	5.14	9.9	5.99	11.55	5.85	11.09
强化政策情景	5.14	9.9	5.90	11.12	4.71	8.04
2℃情景	5.14	9.9	5.83	10.75	4.02	5.50
1.5℃情景	5.14	9.9	5.83	10.37	3.46	1.72

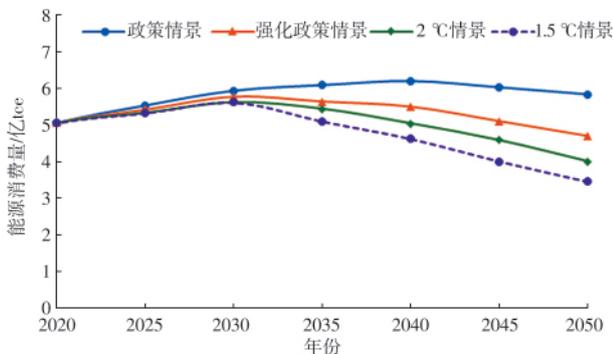


图 7 不同情景下交通部门终端能源需求

4 我国电力系统的低碳转型

中国未来随经济社会发展，实施长期深度脱碳战略，到 2030 年左右二氧化碳排放达峰后，能源消费仍会持续呈缓慢增长趋势，在不同情景下 2035—2050 年均将逐渐进入峰值平台期，能源总消费量趋于稳定，经济社会发展与能源和资源消费逐渐脱钩。另一方面，工业、建筑、交通等终端部门实现深度脱碳，在加大节能和能效提升力度同时，加快电气化发展，以电力替代煤炭、石油等化石能源直接燃烧和利用，或以可再生能源电力和核电制氢，强化氢能在终端部门的利用，这都将提高电力在终端能源消费中的比重和发电用能源在一次能源中比例，而导致电力的增长速度快于能源消费的增速，进而未来各种情景下电力需求仍将持续上升。在 2℃ 情景下，到 2050 年电力总需求将达 13.1×10^4 亿 kW·h 以上，由于终端电力替代力度加大，电力总需求量将高于政策情景。各种情景下电力需求如表 6 所示。

电力系统低碳化转型，将持续加大新能源和可再生能源电力对传统煤电等化石能源电力的替代。各种情景下 2050 年电力部门分能源品种的装机和发电量如表 7 和表 8 所示。发电总装机构成 2030 年各种情景下水电、风电、太阳能发电装机均将在 4 亿 kW 左右，到 2050 年 2℃ 情景下非化石能源总装机将达 53.0 亿 kW，非化石能源电力将占总电量的 90.4%。

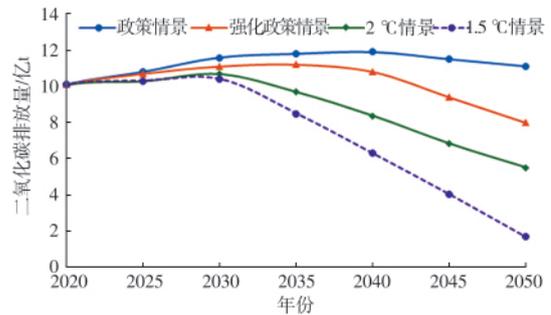


图 8 不同情景下交通部门二氧化碳排放

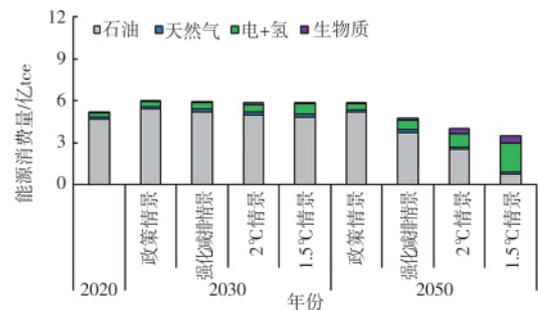


图 9 不同情景 2030 年和 2050 年交通部门能源消费构成

表6 各情景下未来电力需求构成

 /10⁴ 亿 kW·h

部门	2020年	2030年				2050年			
		政策情景	强化政策情景	2℃情景	1.5℃情景	政策情景	强化政策情景	2℃情景	1.5℃情景
工业	4.59	5.66	5.87	6.06	6.27	6.21	6.67	7.80	7.99
建筑	1.87	2.60	2.56	2.51	2.59	4.06	3.87	3.68	3.92
交通	0.22	0.29	0.37	0.42	0.56	0.32	0.55	0.79	1.59
其他部门及损失	0.59	0.63	0.65	0.63	0.62	0.78	0.82	0.86	0.76
电力总需求	7.27	9.18	9.45	9.61	10.04	11.38	11.91	13.13	14.27

各种情景下,电力部门的二氧化碳排放路径见图10,政策情景下电力部门二氧化碳排放2030年前可以达峰,峰值排放量41.5亿t,到2050年仍将超过30亿t;在2℃情景下,电力部门二氧化碳排放将在2025年前达峰,峰值排放量约为40亿t,到2030年后将呈快速下降趋势,到2050年将下降到3亿t左右,比峰值排放量降低92%。而1.5℃情景下2030年后要有更大的减排力度,到2050年基本实现净零排放。

电力系统深度脱碳需要以新能源和可再生能源为主体的安全、可靠和可持续的能源体系支撑。在大比例间歇性可再生能源上网情况下,保障电网安全稳定运行需要统

筹区域间电力的输送和当地分布式可再生能源智能网络互补,解决好日间电网调峰与季节间可再生电力资源的匹配和储能,解决好源、网、荷的优化调度和能源互联网建设,形成清洁低碳安全高效的电力系统(见图11和图12)。

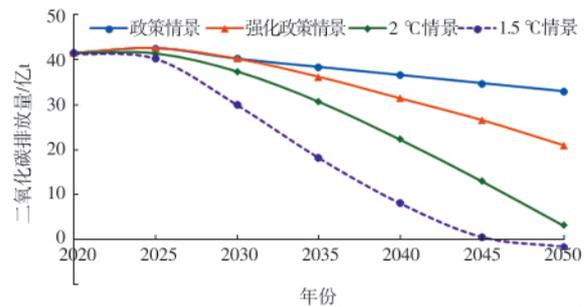


图10 不同情景下电力系统二氧化碳排放(含CCS)

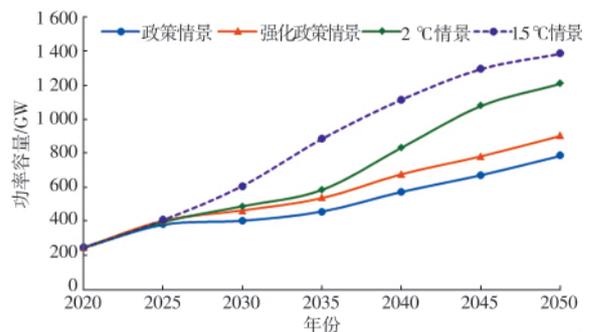


图11 不同情景下跨区域电力交换功率总容量

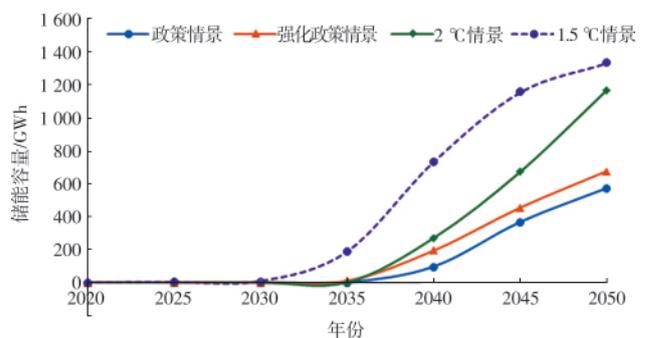


图12 不同情景下储能容量需求

表7 2050年不同情景下电力装机构成 /GW

类型	政策情景	强化政策情景	2℃情景	1.5℃情景
煤电	773	583	123	32
煤电 CCS	0	0	68	149
气电	200	200	200	200
核电	280	327	327	327
水电	410	412	414	416
风电	1 063	1 387	2 312	2 740
太阳能发电	893	1 380	2 205	2 367
生物质发电	0	2	6	5
生物质 CCS	0	0	32	48
总计	3 619	4 289	5 686	6 284

表8 2050年不同情景下发电量构成 /PW·h

类型	政策情景	强化政策情景	2℃情景	1.5℃情景
煤电	3.64	2.62	0.45	0.11
煤电 CCS	0	0	0.40	0.79
气电	0.34	0.37	0.39	0.38
核电	1.97	2.38	2.35	2.34
水电	1.44	1.48	1.47	1.48
风电	2.51	3.06	4.87	5.75
太阳能发电	1.48	1.98	2.96	3.11
生物质发电	0	0.01	0.04	0.03
生物质 CCS	0	0	0.19	0.29
总计	11.4	11.9	13.1	14.3

我国未来可以保留的煤电和天然气发电机组的容量很大程度上取决于 CCS 技术以及和生物能源技术相结合的 BECCS 技术。CCS 可以捕获 90% 的碳排放量,在燃煤电厂加装 CCS 将使得其变为一种相对低碳的发电技术, BECCS 是负排放技术,可以中和电力部门剩余的碳排放。CCS 技术的应用取决于其未来的成本下降速度,而 BECCS 技术应用除了成本下降速度之外,还取决于可利用的生物质资源量。目前的一些研究认为,至 2050 年我国仍需保留 400~700 GW 煤电,承担基荷、调峰和供暖需求,但是需要对现有机组进行灵活性改造和热电协同改造。本研究的结果与这些研究基本一致。

在 2℃ 情景和 1.5℃ 情景下,二氧化碳捕集和储存技术(CCS 技术和 BECCS 技术)将发挥重要作用。在 2℃ 情景下,2035 年开始规模使用煤电 CCS,至 2050 年装机容量达到 68 GW,2050 年二氧化碳捕集量为 3.2 亿 t;2040 年开始规模使用 BECCS 技术,至 2050 年装机容量达到 32 GW,2050 年二氧化碳捕集量为 1.9 亿 t。1.5℃ 情景下,煤电 CCS 规模应用的时间提前到 2030 年,至 2050 年装机容量达到 149 GW,2050 年二氧化碳捕集量为 6 亿 t,2040~2050 年累计捕集量为 41.3 亿 t;2040 年开始规模使用 BECCS 技术,至 2050 年装机容量达到 48 GW,2050 年二氧化碳捕集量为 2.8 亿 t。

实现长期深度减排,1.5℃ 情景将比 2℃ 情景带来更大基础设施提前退役的搁浅成本(见图 13)。

5 我国的一次能源需求与二氧化碳排放

综合终端用能分析与电力系统构成分析,各种情景下一次能源需求与能源系统二氧化碳排放见表 9。

从一次能源需求来看,各种情景下能源消费总量及构成见图 14 和图 15 所示。在不断强化节能同时,能源结构优化是减排二氧化碳的根本对策。各种情景相比较,政策情景下也要强化节能,控制能源消费总量的增长,使能源总消费量到 2050 年趋于稳定,基本达到峰值;强化政策情

景下能源总消费量到 2040 年左右可达峰值,2050 年将有所下降;2℃ 情景将在 2035 年左右基本达峰,2050 年将比 2030 年下降 7.8%;1.5℃ 情景下要求 2025 年左右基本达峰。与政策情景相比,一次能源总消费量 2050 年 2℃ 情景下将减少 16.5%,1.5℃ 情景需减少 19.7%。

各种情景下,能源结构低碳化的速度和力度差别更大,煤炭在一次能源消费中占比,到 2030 年强化政策情景和 2℃ 情景将分别下降到 46.0% 和 43.2%,比政策情景低 1.6 和 4.4 个百分点。到 2050 年,2℃ 情景将下降到 9.1%,比政策情景低 25.8 个百分点,相应非化石能源占比达 73.2%,比政策情景高 36.9 个百分点。强化政策情景和 2℃ 情景下分部门分品种一次能源消费构成如表 10 和表 11 所示。

表 9 一次能源需求与二氧化碳排放

情景	2020 年		2030 年		2050 年	
	能源 /亿 tce	碳排放 /亿 tCO ₂	能源 /亿 tce	碳排放 /亿 tCO ₂	能源 /亿 tce	碳排放 /亿 tCO ₂
政策情景	49.4	100.3	60.6	110.8	62.3	90.8
强化政策情景	49.4	100.3	59.8	106.1	56.3	61.8
2℃ 情景	49.4	100.3	56.4	94.2	52.0	29.2
1.5℃ 情景	49.4	100.3	52.5	74.4	50.0	14.7

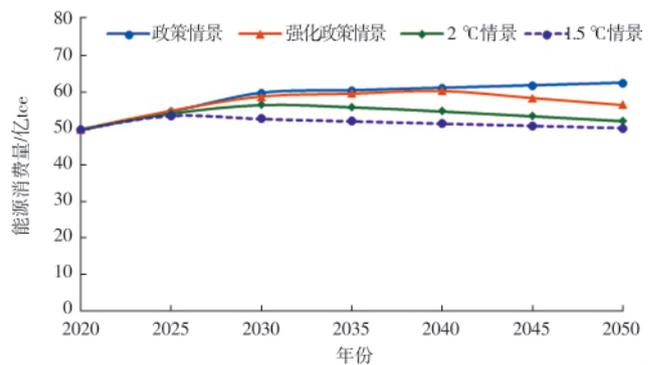


图 14 不同情景下一次能源消费总量

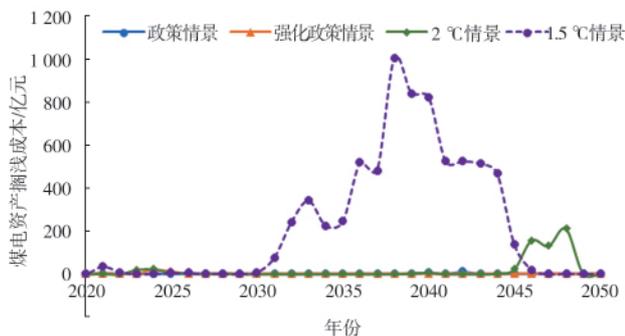


图 13 不同情景下煤电资产搁浅成本年际变化

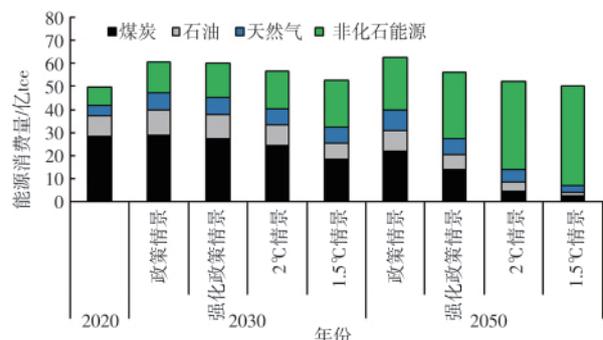


图 15 2030 年和 2050 年一次能源消费构成

由于控制和减少能源消费总量,特别是能源结构低碳化加速,未来二氧化碳排放将呈较快下降趋势,不同情景下的二氧化碳排放趋势见图16。总体而言,在政策情景下,可保障NDC目标实现,二氧化碳排在2030年左右达峰,强化政策情景的二氧化碳排放可在2030年之前达峰,而2℃情景则需要2025年前达峰,1.5℃情景则需要2020年左右达峰。

能源消费的二氧化碳排放的部门构成见图17。到2050年,工业部门仍是二氧化碳排放量最大的终端部门。随电力在终端能源消费占比提高,2050年2℃情景下工业部门二氧化碳排放主要发生在钢铁、化工、水泥等工业过程的难减排部门;电力部门的二氧化碳排放可在2030年左右达峰;随非化石能源电力在总发电量中占比增加,再加上CCS和BECCS技术应用,电力部门的二氧化碳排放到2050年2℃情景下基本可实现近零排放。

在保障经济社会持续发展同时,实现深度脱碳路径,要加大政策力度,也需投入较大资金。对经济系统而言,深度减排二氧化碳需要付出一定成本和代价,图18给出不同减排情景下的边际碳价,图19给出相应GDP损失的分析。

在2℃情景下,碳价水平到2030年将达到126元/tCO₂(2011年不变价),到2050年将达到1364元/tCO₂(2011年不变价),GDP损失也将分别达0.15%和1.38%,而1.5℃情景下还将成倍增加。

实现2℃甚至1.5℃的深度脱碳目标,对提高环境质量水平有重要影响。按政策情景趋势测算,到2050年PM_{2.5}浓度也将比目前有较大降低,全国、京津冀及周边、汾渭平原、长三角地区PM_{2.5}浓度将下降到14.0、24.9、

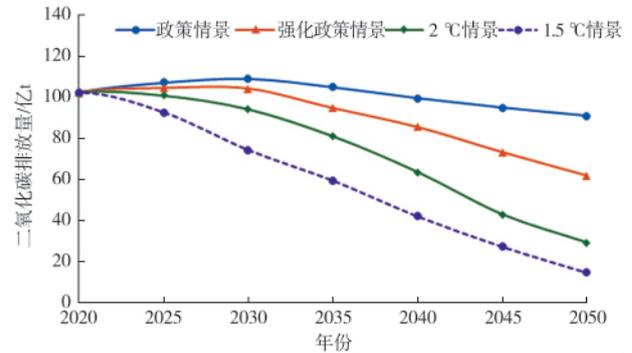


图16 不同情景下化石能源燃烧产生的二氧化碳排放

表10 强化政策情景下分部门分品种能源消费构成

/亿 tce

部门	2020年					2030年					2050年				
	煤炭	石油	天然气	非化石能源	总计	煤炭	石油	天然气	非化石能源	总计	煤炭	石油	天然气	非化石能源	总计
工业	10.5	4.1	1.0	0.6	16.2	10.7	4.4	2.8	0.8	18.8	6.7	2.5	2.1	1.1	12.3
建筑	2.2	0.0	2.6	0.7	5.5	1.3	0.0	3.4	0.4	5.1	0.4	0.0	2.9	0.5	3.8
交通	0.0	4.7	0.2	0.0	4.9	0.0	5.2	0.2	0.1	5.4	0.0	3.7	0.2	0.1	4.0
其它	0.5	0.2	0.2	0.2	1.1	1.0	0.4	0.3	0.5	2.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.5
电力	15.2	0.0	0.4	6.3	21.8	14.5	0.0	1.1	12.7	28.3	7.0	0.0	1.5	27.2	35.7
总需求	28.4	8.9	4.3	7.8	49.4	27.5	10.0	7.8	14.5	59.8	14.2	6.4	6.7	29.0	56.3

表11 2℃情景下分部门分品种能源消费构成

/亿 tce

部门	2020年					2030年					2050年				
	煤炭	石油	天然气	非化石能源	总计	煤炭	石油	天然气	非化石能源	总计	煤炭	石油	天然气	非化石能源	总计
工业	10.5	4.1	1.0	0.6	16.2	9.8	3.7	2.9	0.9	17.3	2.4	1.4	1.7	1.4	6.9
建筑	2.2	0.0	2.6	0.7	5.5	0.8	0.0	2.7	0.6	4.1	0.1	0.0	1.8	0.8	2.6
交通	0.0	4.7	0.2	0.0	4.9	0.0	5.0	0.2	0.1	5.3	0.0	2.5	0.2	0.4	3.0
其它	0.5	0.2	0.2	0.2	1.1	0.4	0.1	0.1	0.3	0.9	0.1	0.1	0.1	0.1	0.3
电力	15.2	0.0	0.4	6.3	21.8	13.4	0.0	1.2	14.3	28.9	2.2	0.0	1.5	35.4	39.1
总需求	28.4	8.9	4.3	7.8	49.4	24.4	8.7	7.1	16.2	56.4	4.7	4.0	5.2	38.1	52.0

14.6和14.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$,但全国会仍有24%城市达不到15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 的一级标准,京津冀及周边地区90%以上城市难以达标。在2℃情景下,从源头上有效减少了化石燃料消费量和常规污染物排放,在未来末端污染治理技术潜力不断收窄情况下,将对2050年实现全国重点地区 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度不高于15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 的标准提供根本性保障。到2030年,除京津冀及周边仍有约10%的城市 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度难以达到35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 标准外,全国及其他主要地区均可达标。到2050年,全国、京津冀及周边、汾渭平原、长三角地区 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度可分别下降到8.3、14.1、9.6和7.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$,全国已没有 $\text{PM}_{2.5}$ 高污染地区,绝大多数城市均可实现低于15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 的目标值,有82%的城市可实现10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 的高标准值。

6 我国的非二氧化碳温室气体排放

中国非二氧化碳温室气体排放2014年为20亿 tCO_2e ,其中甲烷占56%,氧化亚氮占31%,含氟气体占12%。非二氧化碳温室气体排放占总温室气体排放量的16%(见图20),当前仍呈增长趋势。

煤炭开采过程瓦斯排放,约占甲烷总排放量的40%,2015年约5.4亿 tCO_2e 。未来随煤炭开采量下降以及加强煤矿瓦斯的利用,煤炭开采过程的甲烷排放会呈下降趋

势。农业部门动物肠道发酵和水稻种植的甲烷排放2015年约4.7亿 tCO_2e ,未来将呈持续上升趋势,2050年后将超过煤炭开采的排放量成为最主要的甲烷排放增长来源。油气逸散和废弃物填埋也是促使未来甲烷排放增长的主要因素。未来通过控制和减少煤炭和油气生产过程中甲烷排放,推广回收利用和末端处理分解技术,改良水稻种植方式和牲畜饲养方式及饲料转换,改进废弃物管理和处置方式,在强化政策情景和2℃情景下,甲烷排放量可在2030年达峰(约12亿 tCO_2e),2050年甲烷排放有望下降到8亿 tCO_2e 左右,比峰值排放量有较大下降。但由于甲烷深度减排的边际成本呈非线性陡峭上升趋势,实现近零排放仍有较大困难。

氧化亚氮排放主要来自氮肥施用、动物粪便管理和施用、乙二酸加工生产过程物质燃烧等。通过加强农业肥料管理,控制和减少化肥施用,改进农田耕作方式,加强乙二酸生产过程中源头控制和末端治理,氧化亚氮排放也有望2020年左右达到峰值,峰值水平约6.5亿 tCO_2e ,2050年有显著下降。

含氟气体排放主要来自制冷剂、发泡剂、灭火剂和化工原料的生产过程,涉及多个工业领域。通过对家用空调、商用空调、汽车空调等领域制冷剂的替代,以及生产过

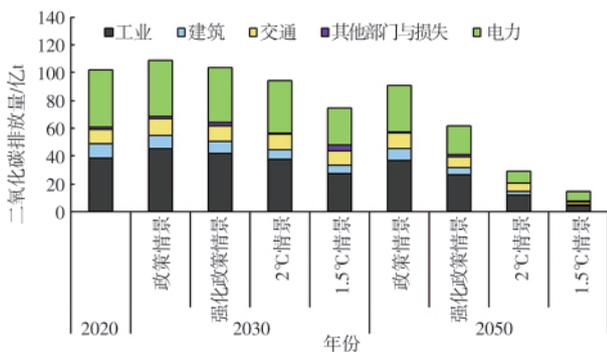


图17 不同情景下二氧化碳排放部门构成

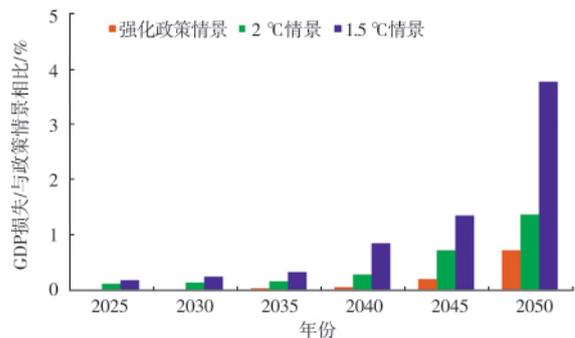


图19 不同情景下GDP损失分析

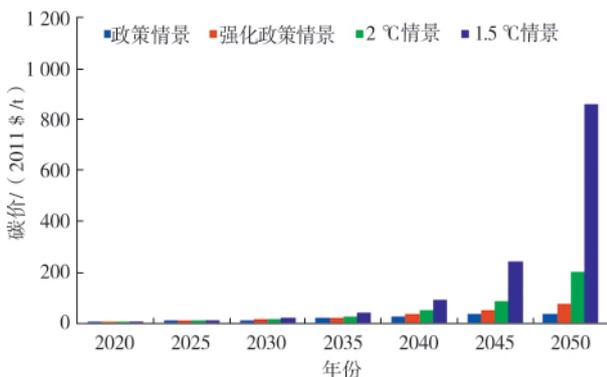


图18 不同情景下碳价/边际碳减排成本分析

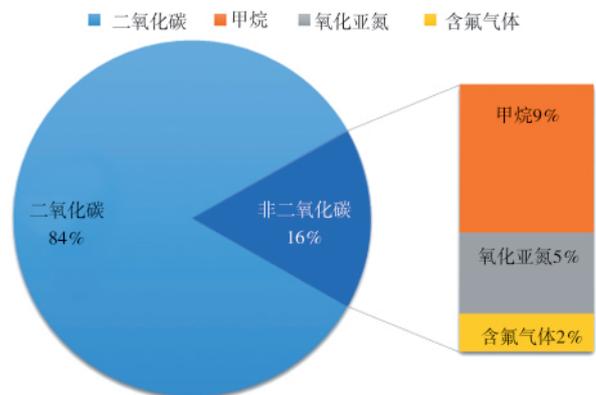


图20 2014年温室气体排放占比

程加强对 HFC-23 的副产品减量、焚烧处理和资源化利用,可使含氟气体排放到 2030 年达到峰值,峰值排放量控制在 7.3 亿 tCO₂e,到 2050 年可下降到 5 亿 tCO₂e 以下。2℃ 情景下可比政策情景减排 44%,1.5℃ 情景下可减排 60%。

各种非二氧化碳温室气体在不同情景下排放总量及构成分别见表 12 和图 21。在强化政策情景和 2℃ 情景下,挖掘各种非二氧化碳温室气体减排潜力,在成本可接受的情况下,非二氧化碳温室气体可在 2030 年前或 2025 年左右达到峰值,基本可与二氧化碳排放同步达峰,峰值排放量在两种情景下可分别控制在 28 亿 tCO₂e 和 25 亿 tCO₂e。由于非二氧化碳温室气体减排初期成本较低,存在较多的成本有效的减排技术和潜力,当前发达国家的自主减排目标大约有 1/3 依靠非二氧化碳减排实现。我国要加强非二氧化碳温室气体减排对策和行动,逐步将其纳入国家 NDC 目标。非二氧化碳温室气体减排技术和主要领域见图 22。但由于非二氧化碳温室气体实现深度减排非常困难,其边际成本也成陡峭上升趋势(见图 23),因此到 2030 年后,随二氧化碳的大幅快速减排,非二氧化碳温室气体排放占总温室气体排放的比例将会上升,对 2℃ 目标下到 2050 年实现深度脱碳成为重要的难减排领域和部门,因此需要超前部署,研发非二氧化碳减排的突破性技术和对策,推进国家长期低碳排放发展战略的全面实施。不同情景下非二氧化碳温室气体排放趋势见图 24。

当前,要建立和完善甲烷等非二氧化碳温室气体排放的测量、核算方法和统计报告体系,识别并推广成本有效

表 12 不同情景下非二氧化碳温室气体排放量 /亿 tCO₂e

情景	2020 年	2030 年	2040 年	2050 年
政策情景	24.42	29.73	31.31	31.70
强化政策情景	24.42	27.81	26.33	23.67
2℃ 情景	24.42	24.87	21.53	17.61
1.5℃ 情景	24.42	19.44	15.87	12.71

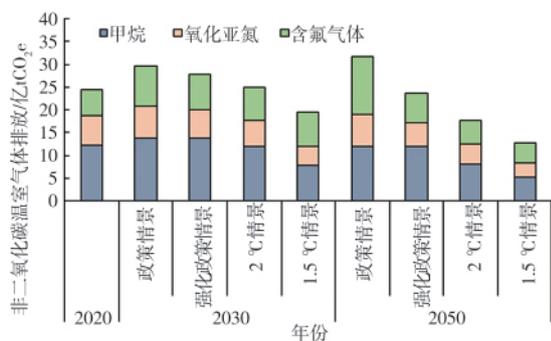


图 21 不同情景下非二氧化碳温室气体排放构成

的减排和利用技术,制定行业和产品排放标准,加强行政手段和财税政策的激励措施,争取把甲烷、含氟气体减排项目经核证的减排量(CCER)作为抵消机制进入自愿碳交易市场,以市场手段促进非二氧化碳温室气体减排,并与《巴黎协定》下国际市场机制相对接,参与国际市场机制下的合作减排行动,以市场手段促进非二氧化碳温室气体的减排和 MRV 体系的建设。

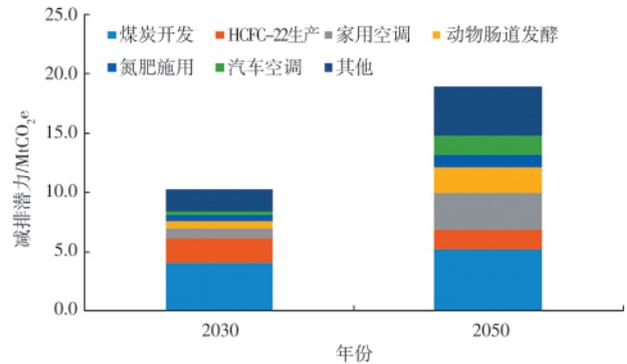


图 22 我国非二氧化碳温室气体减排关键领域的减排潜力

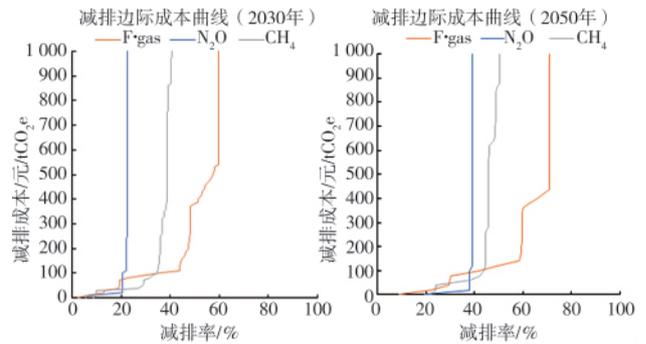


图 23 非二氧化碳温室气体的减排成本曲线(2030 年和 2050 年)

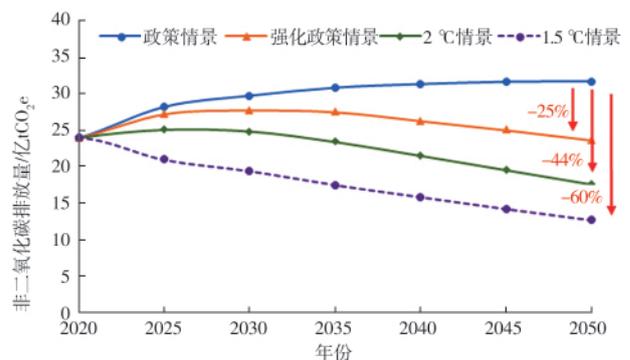


图 24 不同情景下非二氧化碳温室气体排放

7 低碳转型的技术支撑

实现长期深度脱碳或碳中和目标,需要有突破性技术支撑。特别要关注常规减排技术或替代技术难以实现深度减排的领域,需要有革命性的技术突破。除进一步强化普遍关注的需求侧管理和能效技术、新能源和可再生能源发电和热利用技术外,特别需要关注当前技术还不太成熟、成本较高,但对深度脱碳可发挥关键作用的战略性技术,并需要对其未来技术可行性、成熟性、经济性以及对社会、环境和生态影响进行全面系统评估,加快研发和产业化(见图 25)。

在未来大比例间歇性可再生能源电力上网情况下,电力系统安全稳定运行需要大规模储能技术、智能电网技术、分布式可再生能源网络技术的支撑。除抽水蓄能外,电化学储能是最受关注的技术,全球已有装机 6 625 MW,其成本也在呈快速下降趋势,有望达到与抽水蓄能相当的水平。以可再生能源电解水制氢,氢燃料作为跨季节、跨地区储能手段也备受关注。先进核电技术因负荷因子高、运行稳定,可在未来以非化石能源为主体的电力系统中发挥基础负荷作用,有利于电网的安全稳定运行,同时核电也加强自身的灵活性,适应电网调峰及热电联产的需求。利用核反应堆高温工艺热以热化学循环工艺实现核能-氢能高效转化,实现氢能生产的大规模产业化发展。发展智慧电网技术,加强电网侧储能和需求响应的互动,发展全球能源互联网,统筹优化全球和各个区域可再生能源的开发利用,都将是值得重视的支撑电力系统实现净零排放的

关键技术。

能源系统的低碳技术发展将与全社会的技术创新变革相辅相成。具体而言,能源系统的各项低碳技术与能源系统的能源互联网、能源大数据、能源与人工智能等技术相互关系,并进一步与信息技术、新材料以及高端装备等产业的发展相互关联。如图 26 所示,能源系统、能源系统和技术创新系统中战略性技术相互支撑。实现深度脱碳,需要先进低碳技术发展作为战略支撑。

钢铁、水泥等工业过程中的二氧化碳排放是深度减排比较困难的部门。在生铁和粗钢生产过程中,以基于氢气直接还原技术取代传统焦炭利用是钢铁生产过程深度脱碳的革命性技术。以高温气冷堆的高温工艺热制氢,与氢气炼钢工艺相结合,实现大规模产业化发展很有前景。发展基于电力和氢能的低碳化工技术,实现以电力和氢气为原料进行甲醇、烯、烃、合成氨以及成品油等石油化工产品生产的技术工艺路线,减少或取代煤炭、石油等化石能源



图 25 深度脱碳关键技术综合分析框架



图 26 电源系统、能源系统和技术创新系统中战略性技术相互支撑情况

作为化工原料的应用,对实现深度减排有重要作用。发展基于原料替代的低碳水泥技术,研发和应用替代材料,优化水泥生料的原材料配比,也具有较好的减排潜力。但这些技术目前成本都比较高,尚待技术上的突破(见图27)。

交通部门以电力和氢能取代化石燃料的利用,是重要的深度脱碳技术。要加快发展和推广电动汽车技术以及氢燃料电池汽车技术。当前电动汽车技术和产业化推广迅速,成本不断下降,充电基础设施快速发展,综合成本与燃油车逐渐趋近,将为交通部门深度脱碳提供重要支撑。氢燃料电池车的发展需要形成氢气制备、存储、运输、加注及燃料电池及车身的生产和管理等全产业链发展和相应基础设施的完善。当前燃料电池系统及电堆技术可以满足车用要求,燃料电池车辆性能也已总体满足商业化推广的需求,燃料电池客车、卡车也进入示范运行阶段,随着技术成熟和成本降低,也有较宽广的发展前景。

CCS技术和地球工程技术是实现深度脱碳的重要备选技术,在深度减排目标下,CCS技术可用于化石能源发电和煤化工及石油化工领域,实现化石能源利用的深度脱碳。BECCS技术是将生物质燃料发电和热利用过程的二氧化碳排放捕集和埋存,形成二氧化碳负排放技术。实现控制温升2℃和1.5℃目标,最终都需要实现碳中和,BECCS技术的负排放可抵消工业生产及非二氧化碳温室气体等难减排领域的剩余排放,实现全经济尺度的净零排放。考虑到我国生物质资源与利用前景,到2050年存在通过BECCS实现6亿~10亿tCO₂负排放技术的潜力,当前要加强研发和示范。地球工程技术一般包括碳移除(CDR)技术和太阳辐射管理(SRM)技术,CDR技术指直接从大气中移除二氧化碳,或通过人为增加海洋和陆地碳汇以减少大气中二氧化碳的技术。世界上各种CDR技术研发活跃,有些已到工程示范阶段。SRM技术是通过平流层气溶胶注射(SAI)、陆地和海洋上空增加云反照率和增加陆地、海洋表面反照率等手段,减少到达地球的太

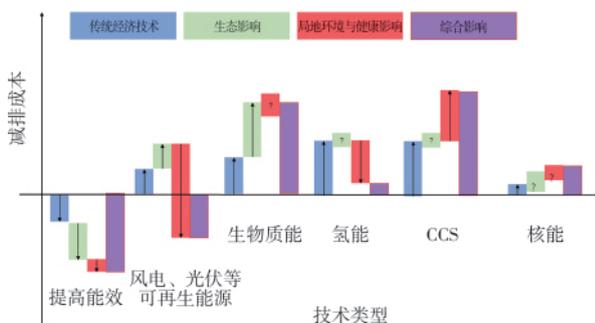


图27 考虑生态和健康影响的中国中长期关键减排技术减排成本变化示意图

阳辐射来缓解地球升温。SRM技术具有高风险和不确定性,其研发进展缓慢,但值得关注。

8 不同情景下投资与成本分析

实现长期低碳转型目标的投资需求包括能源和电力系统新建基础设施投资、终端节能和能源替代基础设施建设和既有设施改造的投资。从总量来看,按2015年不变价,2020—2050年累计能源供应投资需求从53.7×10⁴亿元攀升到2℃情景下99.1×10⁴亿元和1.5℃情景137.7×10⁴亿元。强化情景下的能源供应投资需求是政策情景的1.5倍,2℃情景和1.5℃情景下的能源供应投资需求则分别是政策情景的1.8倍和2.6倍。包括工业、建筑、交通等能源终端需求部门的总投资构成见表13。

表13中各终端部门的投资数据中:工业部门的投资是以政策情景为基准,其他情景下的投资系在政策情景基础上所增加的投资量。在2℃情景下,建筑部门总投资需求达7.94×10⁴亿元,交通部门总投资需求达17.57×10⁴亿元,实现2℃情景总计需127.24×10⁴亿元,而实现1.5℃情景总投资需求将达174.38×10⁴亿元。实现21世纪中叶深度脱碳目标,需要建立完善投融资机制和资金保障措施。

对于未来各种情景下能源和电力供应成本,从近期来看,能源转型会使能源和电力供应成本有所上升,但长期来看将呈下降趋势。政策情景下电力供应成本总体呈下降趋势,强化政策情景下电力供应成本在较长的一段时间内都比较平稳并略有上升,在2028年后显著下降。2℃情景和1.5℃情景下电力供应成本都呈现出先上升后下降的趋势,电力供应成本都在2028年达到最高,分别为2018年的1.4倍和1.41倍。远期来看,电力供应成本仍然是下降的,政策情景、强化政策情景、2℃情景和1.5℃情景下2050年的电力供应成本分别为2018年的69%、66%、75%和90%。从2050年的电力供应成本构成来看,2℃情景和1.5℃情景下的电力供应成本显著高于政策情景和强化政策情景,主要原因是固定投资成本、运行维护成本和电力传输成本都更高,见图28和图29。

表13 2020—2050年各种情景下总投资需求 /10⁴亿元

情景	能源供应	工业	建筑	交通	总计
政策情景	53.71	0.00	6.29	10.51	70.51
强化政策情景	77.89	0.39	7.42	13.99	99.69
2℃情景	99.07	2.66	7.94	17.57	127.24
1.5℃情景	137.66	7.18	7.88	21.66	174.38

从长期来看,随能源消费总量达峰后,能源总需求量下降,全社会总用能成本可能呈下降趋势(如表 14 所示),能源成本占 GDP 的比重将呈下降趋势。

9 中长期低碳转型路径选择

如何实现长期低碳排放发展路径,既需要以控制温升 2℃ 并努力争取 1.5℃ 目标下深度减排作为目标导向,又要全面统筹经济、社会、环境与应对气候变化的各项目标,以解决当前各种紧迫问题为导向,进行统筹规划和部署。

当前,落实和强化 2030 年 NDC 目标,需要强化行动力度,必须与长期实现 2℃ 甚至 1.5℃ 温升控制目标的深度减排路径相衔接。从当前经济转型和能源变革具体情况出发,首先要强化实现 NDC 的政策情景,不断加强政策和行动力度,以逐渐与 2℃ 目标或 1.5℃ 目标下的转型情景相衔接,到 21 世纪中叶实现深度脱碳目标。这样的路

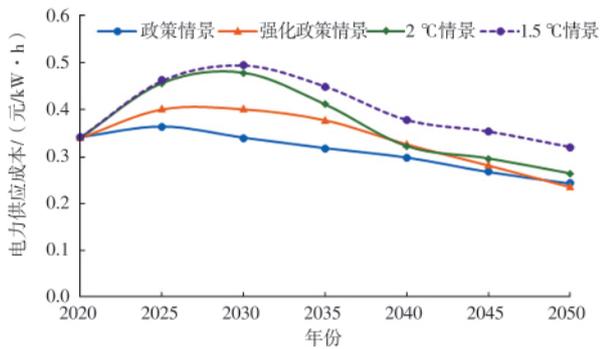


图 28 不同情景下电力供应成本变化趋势

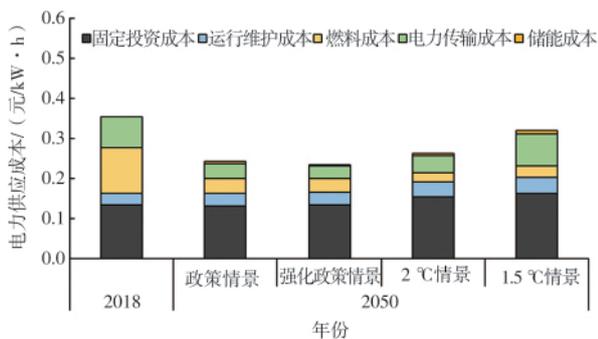


图 29 不同情景下 2050 年电力供应成本构成

表 14 不同情景下全社会能源总成本 /10⁴ 亿元

情景	2020 年	2030 年	2050 年
政策情景	9.1	11.7	11.3
强化政策情景	9.1	12.5	10.7
2℃ 情景	9.1	13.3	12.2
1.5℃ 情景	9.1	13.1	13.5

径选择会使 2030 年特别是 2035 年之后需要更加迅速的能源变革和经济转型,也会使未来低碳发展转型的压力不断加大。

新冠肺炎疫情对全球产业链的冲击和供需形势造成影响,未来经济发展和能源转型会有较大不确定性。当前在“六稳”和“六保”基础上,坚持新的发展理念,加快产业转型升级和高质量发展,着力发展数字经济和高科技产业,经济增长由规模和速度型向质量和效益型转变,GDP 增速总体上将呈逐渐放缓趋势。到 2035 年实现现代化建设第一阶段目标,基本实现现代化,按 GDP 比 2020 年翻一番,人均 GDP 按当前不变价达 2 万美元测算,未来 15 年内 GDP 年均增速约为 4.8%。“十四五”期间 GDP 年均增速可能会比“十三五”有所降低,但仍可预期超过 5%，“十五五”期间也将保持年均 4.8% 左右水平，“十六五”也将保持约 4.4% 的水平。

采取强化的减排对策,“十四五”和“十五五”GDP 的二氧化碳强度下降幅度均可保持在 20% 左右水平,到 2025 年即可达到二氧化碳排放峰值平台期,2030 年前实现达峰并开始下降,2030 年 GDP 的二氧化碳强度可比 2005 年下降 65%~70%,非化石能源比重可达 25% 左右,提前和超额实现 NDC 目标(见表 15)。

实现这一路径,从 2020 到 2030 年 GDP 能源强度年下降率要持续保持年均 3% 左右的下降趋势,而由于能源结构低碳化使单位能耗的二氧化碳强度年下降率将会持续提升,从“十三五”年均 1.16% 提升到“十四五”的 1.38%，“十五五”的 1.59%。使“十五五”期间 GDP 的二氧化碳强度年下降率达年均 4.5% 以上水平,以支撑 2030 年前实现二氧化碳排放达峰。

在大力节能和改善能源结构同时,加强电力在终端能源消费中对化石能源的替代,发电用能在一次能源消费中比例不断提升,也为可再生电力快速发展提供了空间。到 2030 年,电力在终端能源消费中占比将由当前约 25% 提升到 30% 以上,非化石能源电力在总电量中占比将达约 50%,发电用能占一次能源消费比重也将由目前约 45% 提升到 50% 以上。加强终端能源消费电气化也是降低二氧化碳排放的重要措施。

对于 21 世纪中叶长期低碳转型路径,将按 2℃ 目标导向与 1.5℃ 目标导向分别研究。首先考虑到 21 世纪中叶实现 2℃ 目标导向下的低碳发展转型路径。全球实现控制温升不超过 2℃ 目标,到 2050 年二氧化碳排放需比 2010 年减少 70%,届时人均排放量不高于 1.5 t。我国实现 2℃ 目标导向下低碳转型,需要在强化政策情景基础上,在 2030 年前就要进一步加大减排力度向 2℃ 情景下的减排路径过渡,争取 2035 年二氧化碳排放比达峰年份

有显著下降,到2050年实现与2℃目标相契合的减排路径。由此形成本研究的2℃目标导向推荐情景,即长期低碳转型情景(见图30)。

在2℃目标导向推荐情景下,一次能源消费将于2030年前后进入平台期,2035年左右达到峰值,到2050年能源消费量将比2030年下降13.0%,强化经济转型提高能效仍将发挥重要作用。能源消费构成低碳化,2030年后也显著加快,煤炭消费比重到2030年将下降到45%,2050年下降到10%以下。非化石能源比重到2030年将提升到25%,而到2050年将提升到73%,非化石电力占总发电量的90%(见图31)。单位能耗的二氧化碳强度下降68%,基本形成以新能源和可再生能源为主体的深度脱碳能源体系。能源系统二氧化碳排放,2050年将比2030年减少72.1%,其中由于能源消费量减少的贡献率约14%,而能源结构低碳化的贡献率为86%,见表16。因此,在实现经济增长与能源消费脱钩后,加快能源系统深度脱碳进程,对实现2050年净零排放目标将起决定性作用。

由于节能和能源替代的双重作用,能源消费的二氧化碳排放将快速下降,到2050年,电力占终端能源消费的比重将达55%,终端部门化石能源直接消费的比重将大幅下降。工业部门和电力部门直接二氧化碳排放仍是届时与能源相关二氧化碳排放的最主要部门。到2050年,尤其是电力,在能源结构低碳化的驱动下,其直接排放的二氧化碳将比2020年水平下降约80%,为终端部门提供了更加清洁的电力。能源系统的二氧化碳排放下降到29.2亿t。

实现长期二氧化碳深度减排,CCS技术和BECCS技术将发挥重要作用。到2050年,电力系统CCS技术埋存量可达5.1亿t,能源系统的二氧化碳净排放量可降为

24.1亿t,工业生产过程的二氧化碳排放将由2030年9.4亿t降低为4.7亿t。农业和土地利用及土地利用变化碳汇净增量每年约为7.0亿t。2050年全部二氧化碳总排放量为21.8亿t,比2030年下降80%,人均二氧化碳排放约1.5t,与届时2℃目标下全球减排路径相吻合,见表17和表18。

在保障经济社会持续发展同时实现二氧化碳深度减排,到2050年,GDP总量约达2020年的3.5倍。能源消费总量在2035年左右达到峰值后,逐渐有所下降,但新能源和可再生能源仍呈持续快速发展趋势。单位能耗二氧化碳强度将呈加速下降趋势,由于2030年前已实现二氧化碳绝对减排,实现了GDP增长与二氧化碳排放脱钩,所以单位GDP的二氧化碳强度年下降率,2030年后将呈更加快速增加趋势(见图32),到2040年后可达年均10%以上水平,其中能源结构变革的贡献率将越来越大。

到2050年实现2℃目标导向下的全部温室气体的深度减排,除能源系统的二氧化碳减排外,还要包括工业生产过程的二氧化碳减排,也包括非二氧化碳温室气体减排,同时要考虑CCS和BECCS的捕集埋存量和农业碳汇增加量。到2050年,2℃目标导向情景下农业及土地利用和土地利用变化年增碳汇可达7.0亿t,CCS和BECCS的二氧化碳埋存量达5.1亿t。非二氧化碳温室气体的深度减排将有更大难度,到目前为止尚缺乏成本可接受的深度减排措施。到2050年,不计碳汇和CCS埋存量,在全部温室气体排放中非二氧化碳温室气体排放比例将高达34%,远高于当前16%的比例,未来非二氧化碳温室气体减排更加重要。未来全部温室气体排放情况见表19和图33。到2050年,全部温室气体净排放比2030年减少

表15 2030年强化NDC目标下能源消费与二氧化碳排放情景分析

项目	2005年	2010年	2015年	2020年	2025年	2030年
GDP 年增长率/%		11.3	7.9	5.9	5.3	4.8
5年 GDP 能源强度下降幅度/%		19.1	18.5	14.3	14.0	14.0
能源消费量/亿 tce	26.1	36.1	43.4	49.4	55.0	59.8
能源消费结构						
煤炭/%	72.4	69.2	63.7	57.0	51.0	45.0
石油/%	17.8	17.4	18.3	18.5	18.0	17.0
天然气/%	2.4	4	5.9	8.5	11.0	13.0
非化石/%	7.4	9.4	12.1	16.0	20.0	25.0
单位能耗 CO ₂ 强度/(kg CO ₂ / kgce)	2.32	2.25	2.16	2.03	1.90	1.75
二氧化碳排放量/亿 t	60.6	81.3	93.7	100.3	104.5	104.6
GDP 的二氧化碳强度 5 年下降幅度/%		21.5	21.2	19.7	19.4	20.6
比 2005 年下降幅度/%				50.3	60.0	68.3

70%以上 2℃目标导向推荐情景的全部温室气体排放将比政策情景下的 123.0 亿 tCO₂e 减少 83.6 亿 tCO₂e,降低 68%。

当前,越来越多的国家和地区将实现碳中和作为长期

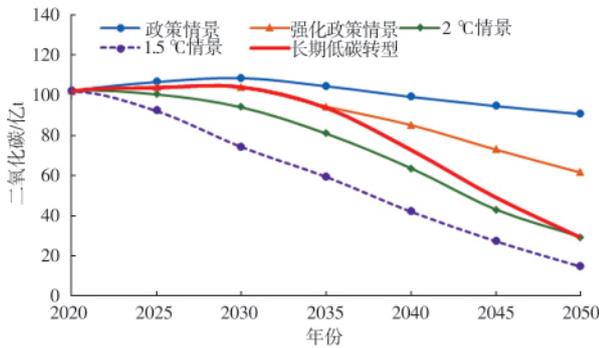


图 30 2℃目标导向推荐情景下长期二氧化碳排放路径

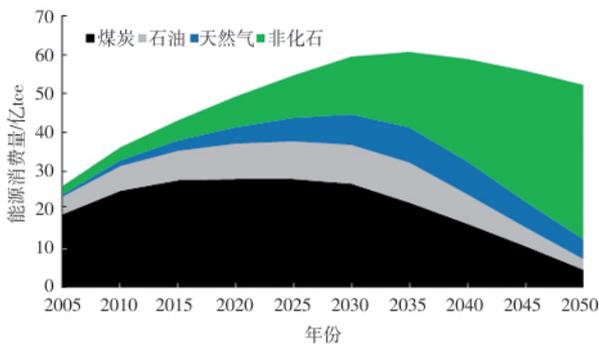


图 31 2℃目标导向推荐情景一次能源消费构成

发展战略和愿景,努力以实现全球控制升温 1.5℃倒逼经济社会的低碳转型。我国统筹社会主义现代化建设“两步走”战略的发展目标,2030年前要努力在经济发展中寻求减排空间,以减排为抓手,力促经济社会的更高质量发展。在 2030 年前努力实现二氧化碳排放达峰基础上,进一步加大能源低碳化变革和经济转型的速度和力度,到 2050 年努力实现二氧化碳净零排放和其他温室气体的深度减排,为尽快实现全部温室气体净零排放奠定基础。实现上述情景,必须在上述推荐情景基础上,尽快向 1.5℃目标下的脱碳路径转型,需比上述的 2℃目标为导向的推荐情景有更大和更快的转型力度(见图 34)。由此形成该研究 1.5℃目标导向 2050 年二氧化碳净零排放情景,即 2050 年净零排放情景。

努力实现 1.5℃目标导向 2050 年二氧化碳净零排放的转型路径,最主要的抓手是在进一步控制能源消费总量的同时,加速提升非化石能源在一次能源消费中的占比,一次能源消费和相应构成变化见图 35。

实现以 1.5℃目标为导向的深度脱碳路径,也要加大农林业碳汇和非二氧化碳温室气体减排力度。到 2050 年,在农林业和土地利用年增碳汇 7.8 亿 t 和 CCS/BECCS 8.8 亿 t 埋存量的贡献下,全经济尺度的二氧化碳排放将减少到 0.6 亿 t 左右,基本实现二氧化碳的净零排放。届时,非二氧化碳减排仍缺少成本有效的技术支撑,2050 年的排放量仍将达 13.3 亿 tCO₂e 左右。全部温室气体排放比峰值年份下降约 90%,见表 20 和图 36。

2050 年若要实现从 2℃目标导向的推荐情景向 1.5℃目标导向 2050 年二氧化碳净零排放情景的跨越,

表 16 2℃目标导向推荐情景下能源消费与二氧化碳排放

项目	2005 年	2010 年	2015 年	2020 年	2025 年	2030 年	2035 年	2040 年	2045 年	2050 年
GDP 年增长率/%		11.3	7.9	5.9	5.3	4.8	4.4	4.0	3.6	3.2
GDP 指数/(2005 年=1.00)	1.00	1.71	2.50	3.33	4.31	5.45	6.75	8.22	9.81	11.48
能源消费量/亿 tce	26.1	36.1	43.4	49.4	55.0	59.8	60.6	58.9	55.8	52.0
能源结构										
煤炭/%	72.4	69.2	64.0	57.0	51.0	45.0	36.0	28.0	19.0	9.1
石油/%	17.8	17.4	18.1	18.5	18.0	17.0	17.0	13.0	9.0	7.7
天然气/%	2.4	4.0	5.9	8.5	11.0	13.0	15.0	14.0	12.0	10.0
非化石/%	7.4	9.4	12.0	16.0	20.0	25.0	32.0	45.0	60.0	73.2
单位能耗二氧化碳强度/(kgCO ₂ /kgce)	2.32	2.25	2.16	2.03	1.90	1.75	1.55	1.24	0.88	0.56
单位能耗二氧化碳强度年下降率/%		0.58	0.83	1.27	1.30	1.59	2.46	4.38	6.50	8.62
二氧化碳排放量/亿 t	60.6	81.3	93.8	100.3	104.5	104.6	93.8	72.9	49.3	29.2
单位 GDP 能耗强度年下降率/%		4.15	3.82	3.09	2.97	2.97	3.96	4.39	4.53	4.44
单位 GDP 的二氧化碳强度下降率/%		4.72	4.62	4.33	4.23	4.57	6.32	8.58	10.74	12.74
比 2005 年下降幅度/%		21.5	38.0	50.3	60.0	68.3	77.1	85.4	91.7	95.8

表 17 2℃目标导向推荐情景分部门能耗和二氧化碳排放

终端部门	2020年		2030年		2050年	
	能源 /亿 tce	碳排放 /亿 tCO ₂	能源 /亿 tce	碳排放 /亿 tCO ₂	能源 /亿 tce	碳排放 /亿 tCO ₂
工业	16.1	37.7	18.8	41.5	6.9	11.9
建筑	5.5	10.0	5.1	8.8	2.6	3.1
交通	4.9	9.9	5.4	10.9	3.0	5.5
电力	21.7	40.6	28.3	39.5	39.2	8.3
其他部门	1.2	2.1	2.2	3.8	0.3	0.4
总计	49.4	100.3	59.8	104.6	52.0	29.2

表 18 2℃目标导向推荐情景全部二氧化碳排放及构成 /亿 t

碳源	2020年	2030年	2050年
能源消费二氧化碳排放	100.3	104.6	29.2
工业生产过程二氧化碳排放	13.2	9.4	4.7
CCS/BECCS 埋存量	0.0	0.0	-5.1
碳汇量	-5.8	-6.1	-7.0
二氧化碳净排放量	107.7	107.9	21.8

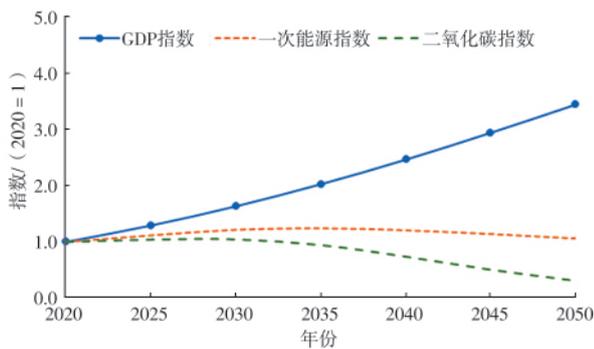


图 32 GDP、一次能源消费和二氧化碳排放指数

 表 19 2℃目标导向推荐情景下全部温室气体排放 /亿 tCO₂e

碳源	2020年	2030年	2050年
能源消费二氧化碳排放	100.3	104.6	29.2
工业过程二氧化碳排放	13.2	9.4	4.7
非二氧化碳温室气体排放	24.4	27.8	17.6
农林业增汇	-5.8	-6.1	-7.0
CCS/BECCS 埋存量	0	0.0	-5.1
净排放	132.1	135.7	39.4

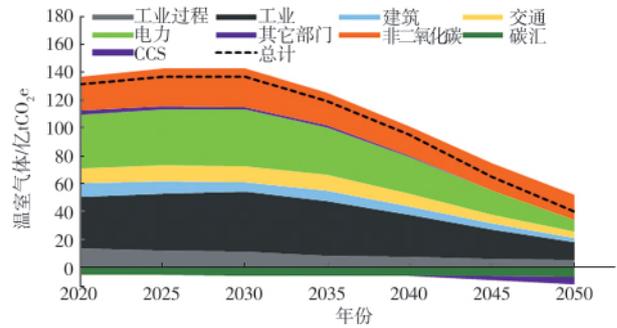


图 33 2℃目标导向推荐情景全部温室气体排放部门构成

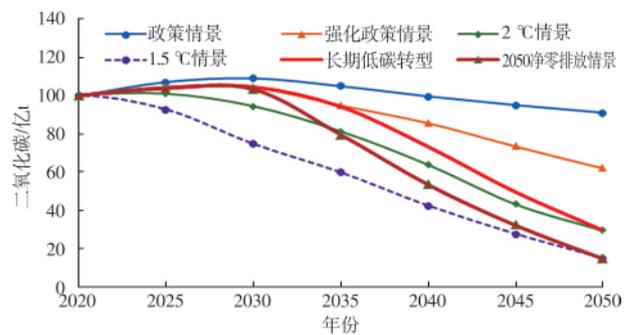


图 34 1.5℃目标导向2050年二氧化碳净零排放情景和其他情景的比较

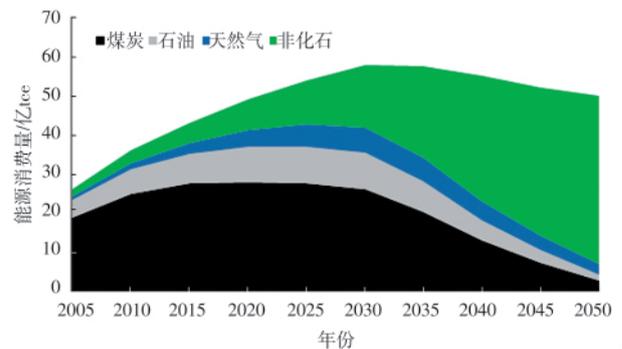


图 35 1.5℃目标导向2050年二氧化碳净零排放情景下一次能源消费构成

 表 20 1.5℃目标导向2050年二氧化碳净零排放情景下全部温室气体排放及构成 /亿 tCO₂e

碳源	2020年	2030年	2050年
能源消费二氧化碳排放	100.3	103.1	14.7
工业过程二氧化碳排放	13.2	8.8	2.5
非二氧化碳温室气体排放	24.4	26.5	12.7
农林业增汇	-7.2	-9.1	-7.8
CCS/BECCS 埋存量	0.0	-0.3	-8.8
净排放	130.7	129.0	13.3

各部门需要做出的额外减排努力如图 37 所示。终端部门的减排力度都需要进一步的提升之外,CCS/BECCS 这些零碳和负碳技术对于实现“净零排放”至关重要。同时非二氧化碳减排技术也需要进一步提前部署,努力争取 2050 年后早日实现全部温室气体净零排放。

10 我国应对气候变化的战略要点与政策保障

我国实施应对气候变化的国家战略,当前已基本建立和形成门类齐全覆盖面广泛的政策体系。自“十一五”以来,在每个五年规划中都确立节能减碳的约束性目标,并分解到各省市,强化各级政府目标责任制,同时建立并形成相应财税金融政策支撑体系,推进碳排放权交易市场体系建设,以政府规制性措施与市场机制相结合,推进应对气候变化战略的实施。

应对气候变化涉及经济社会环境各个领域,应对气候变化战略也必须和国家总体发展战略相结合,并且融入经济社会发展的各个领域和部门战略之中,打造经济、社会、环境和应对气候变化的协调治理和协同共赢的局面。我国 2050 年长期低碳发展战略首先立足于发展,支撑国家建设富强民主文明和谐美丽的社会主义现代化强国目标

的实现,同时要加强生态文明建设,走绿色低碳循环发展路径,促进人与自然和谐共生与可持续发展,实现与全球控制温升不高于 2℃ 并努力低于 1.5℃ 目标相契合的深度脱碳目标(见图 38)。以国家宏观战略角度分析,我国应对气候变化战略和政策支撑,要突出如下几个方面。

10.1 明确应对气候变化的国家战略定位,把实现全球控制温升不超过 2℃ 并努力低于 1.5℃ 目标下深度脱碳路径纳入社会主义现代化建设中长期总体发展目标和战略之中

应对气候变化与我国节约资源、保护环境的基本国策在目标和政策取向上相一致,实现绿色低碳循环发展是我国社会主义现代化建设的重要目标和途径,是生态文明建设的核心内容,也是为保护地球生态安全、为全人类共同利益的大国责任担当。因此,要把实现全球控制温升不高于 2℃ 并努力低于 1.5℃ 目标与 21 世纪中叶实现现代化强国建设目标相协调,统筹部署和推进。要把 2030 年落实和强化 NDC 目标纳入社会主义现代化建设“第一阶段”战略规划和重点任务之中,落实行动措施,实现国内环境质量根本好转与落实国际减排承诺的“双达标”,促进经济高质量发展。把 21 世纪中叶实现全经济尺度、所有温

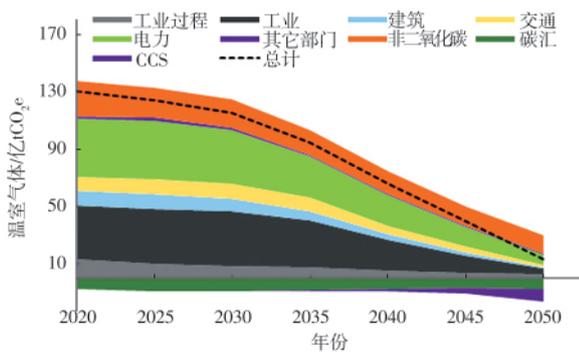


图 36 1.5℃ 目标导向二氧化碳净零排放情景全部温室气体排放及构成

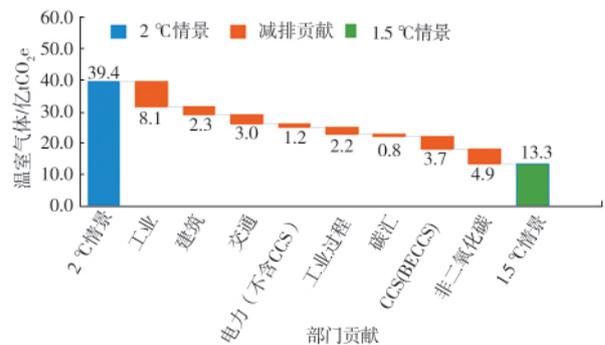


图 37 2050 年由 2℃ 目标导向推荐情景向 1.5℃ 目标导向二氧化碳净零排放情景转变下各部门减排贡献

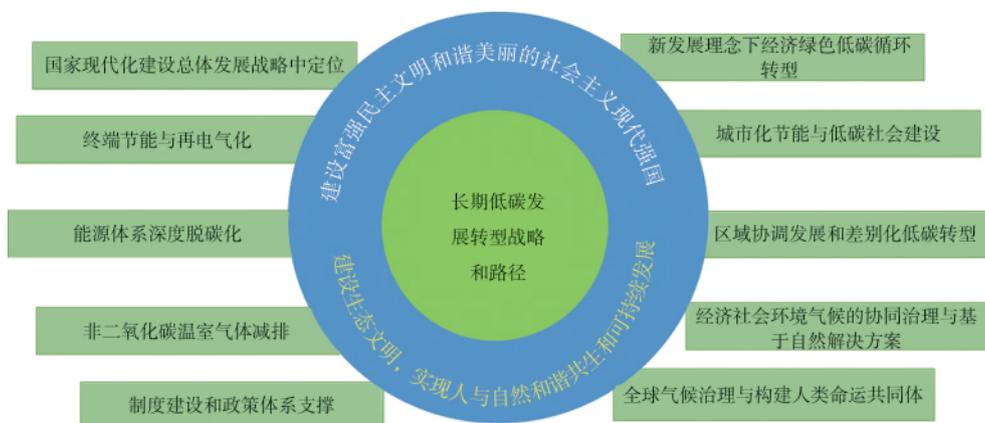


图 38 实现长期低碳排放发展转型的战略框架

室气体深度减排目标纳入国家“第二阶段”社会主义现代化建设的总体目标和战略之中,在建成社会主义现代化强国和美丽中国的同时,形成绿色低碳循环的产业体系和以新能源与可再生能源为主体的近零排放能源体系,能源和资源利用效率达国际先进水平。应对气候变化是一项重要国家战略,实现《巴黎协定》所倡导的气候适宜型低碳发展路径也是我国顺应和引领世界能源变革和经济转型的潮流,打造经济、贸易、科技领域竞争优势,提升国际影响力和竞争力的重要战略选择。各级政府和领导要提高应对气候变化的责任感、使命感和紧迫感,统一思想,加强行动。

10.2 坚持新的发展理念,促进产业结构调整和经济的绿色低碳循环发展转型

要坚持走新型工业化道路,调整经济结构,促进产业转型升级,大力发展高新科技产业和先进制造业,发展数字经济,严格控制高能耗高排放产业扩张,淘汰落后产能,降低重化工业比例,提高制造业产品的增加值率。产业结构调整和产品结构变化导致的结构性节能当前对GDP能源强度下降的贡献率约为2/3,提高能源利用效率等技术性节能的贡献率约为1/3。今后相当长时期内,经济发展方式转变和产业转型升级的结构性节能对降低GDP能源强度,提高能源利用的效率和产出效益仍将发挥重要作用。同时发展循环经济,提高资源利用效率。当前我国物质资源利用效率与发达国家有较大差距,2035年要实现物质资源利用效率倍增,2050年达世界先进水平。资源节约和循环利用对保护生态环境和降低能源消费及二氧化碳排放有重要促进作用。另一方面,改变对外贸易出口产品结构,增加服务业出口比重,出口制造业产品向价值链高端发展,降低出口贸易产品的隐含能源消费和隐含二氧化碳排放。2018年我国出口产品的隐含二氧化碳排放约占全国总排放的15.3%,进出口隐含二氧化碳排放抵销后的净出口隐含排放仍占总排放量的10.5%。减少进出口贸易中隐含能源和碳排放的净转移额,对我国降低二氧化碳排放,实现低碳转型也占据重要地位。总体而言,坚持创新驱动,绿色增长的新发展理念,建设绿色低碳循环发展的产业体系,是提高能源资源利用效率和降低二氧化碳排放的根本举措和必由之路。

10.3 强化终端部门节能提效,推进电力和氢能对化石能源直接燃烧利用的替代

推动能源消费革命,加强对工业、建筑、交通等终端部门的用能管理和节能提效。工业部门要加强产业技术升级,淘汰落后产能,推广先进节能技术,强化节能技术标准和能耗总量管理与二氧化碳排放配额制度。发展循环经济产业园区,促进工业产业链节材节能。建筑部门推行先

进节能标准,加快对既有建筑节能和计量供热改造,实施公共建筑能耗限额制度。交通部门要优化交通运输结构和运输方式,提升燃料消耗限值标准,提高运输效率,倡导绿色出行,提高公共交通比例,可有效降低交通能源需求。在2℃情景下,工业、建筑、交通部门总终端能源需求到2050年将比2020年降低20%。同时加大用电力替代化石能源的直接消费,工业部门推进再电气化进程,在制造业生产环节加快对化石能源直接利用的替代。建筑部门通过分布式可再生能源系统发展,拓展电力在供热供暖中的应用。大力发展电动汽车,限制和逐渐淘汰燃油车。通过提高电力在终端能源消费中比重,将有效减少化石能源消费和二氧化碳排放。电力在终端能源消费中比重2018年为23%左右,到2050年2℃情景下将达55%以上,在1.5℃情景下达70%。推动氢能在钢铁、化工原料生产领域的应用,实现低碳化创新技术的突破。推广氢燃料电池在楼宇和家庭应用以及燃料电池汽车的大规模应用,对终端减排部门和领域的深度减排将发挥重要作用。发展循环经济,提高资源利用效率,是实现低碳发展转型的重要战略选择。通过资源利用减量化、再利用和再循环,以更少的资源消费和环境排放,获得更多、更高附加值和更可持续的产品服务。争取到2035年实现主要资源产出率倍增,到2050年资源利用效率达到世界先进水平。

10.4 加快能源结构脱碳化进程,保障清洁安全经济的能源供应

能源结构低碳化是在保障能源供应同时减排二氧化碳的关键对策,要建成以新能源和可再生能源为主体的可持续深度脱碳能源体系,实现大比例可再生能源电力系统。在2℃目标导向推荐情景下,非化石能源在一次能源消费占比2030年将达约25%,2050年达70%以上,非化石能源电力占总电量约90%。在1.5℃目标导向情景下,能源体系脱碳化进程还要加速,到2050年要实现能源系统二氧化碳净零排放,非化石能源在一次能源消费中占比要超过85%,非化石电力在总电量的比例超过90%。同时发展储能、氢能、智能电网技术,发展CCS和BECCS技术,强化农林业和土地利用的碳汇吸收,到21世纪中叶建成以新能源和可再生能源为主体的现代化能源体系,也从源头上控制和减少了常规污染物排放,对实现环境质量根本好转和空气质量达标发挥了基础性作用,同时也是以本土可再生资源替代石油、天然气进口,保障能源供应安全的根本出路,打造先进能源技术和产业的国际竞争力。

10.5 推进非二氧化碳温室气体减排,实施全经济尺度全部温室气体减排对策

中国当前NDC目标中主要聚焦能源活动的二氧化碳减排,《巴黎协定》要求发展中国家根据国情要逐渐实现

全经济尺度所有温室气体减排或限排目标。我国 2014 年非二氧化碳温室气体约占总温室气体排放量的 16% ,其中甲烷占 56% 。我国要逐渐把非二氧化碳温室气体减排纳入 NDC 目标和行动计划 ,建立相应 MRV 体系 ,实施全经济尺度全部温室气体的减排对策。非二氧化碳温室气体减排初期成本较低 ,可争取在 2030 年前使其与二氧化碳排放同步达峰 ,非二氧化碳峰值排放量可控制在约 28 亿 tCO₂e 。但在深度减排目标下 ,其边际成本将成陡峭上升趋势。到 21 世纪中叶随能源系统二氧化碳深度减排非二氧化碳温室气体排放占总温室气体排放比例将会升高 ,成为全部温室气体深度减排的难点和重点领域 ,到 2050 年 ,在 2 °C 目标导向情景中 ,非二氧化碳温室气体排放可比政策情景减少 40% 以上 ,1.5 °C 目标导向情景将下降约 60% 。当前要研究非二氧化碳温室气体长期深度脱碳战略 ,加强突破性技术研发和应用 ,到 21 世纪中叶之后 ,尽快实现全经济尺度、所有温室气体的净零排放 ,达到碳中和目标。

10.6 重视城镇化节能 促进消费观念转变和低碳社会建设

城市化进程中要统筹城市布局、基础设施建设、交通出行方式、建筑结构与能耗标准、能源供应和消费方式等多个层面 ,并与智慧城市建设结合 ,优化资源配置 ,提高效率 ,发展智慧型低碳城市。同时引导社会公众建立勤俭节约的消费观念和文明简朴的生活方式 ,促进低碳社会建设。要加强舆论引导和信息传播 ,提高公众对气候变化认识 ,鼓励公众和社会基层团体的广泛参与和积极行动。消费方式转变也将促进生产方式和产品结构的转变 ,对降低全社会能源需求 ,实现深度脱碳目标有重要导向作用。

10.7 平衡区域间协调发展 ,因地制宜推进差别化低碳转型

中国地域广大 ,各地区发展不平衡 ,自然资源条件迥异 ,国家对不同区域发展的战略定位、产业布局也有很大差别。要根据各自特点 ,实现差别化和包容式低碳转型:东部沿海较发达省(区、市)要严格控制化石能源消费 ,率先实现二氧化碳排放达峰 ,21 世纪中叶也要尽早实现近零排放。中西部地区也要发挥可再生能源资源丰富的优势 ,在向中东部大量输送可再生能源电力同时 ,加强自身低碳转型 ,西南可再生能源资源丰富地区可率先建立 100% 可再生能源的示范城市 ,有些省(区、市)也可率先实现二氧化碳排放达峰。东北老工业基地和资源型城市要加快产业绿色低碳转型。重点生态功能区要划定生态红线 ,限制高能耗、高碳产业项目开发 ,对不符合主体功能定位的产业进行退出机制 ,因地制宜发展低碳特色产业 ,实现包容式低碳转型。在产业布局上高能耗强度的重化工及数据中心等高耗电基础设施可优先布局在西北和西

南可再生能源资源丰富地区 ,促进可再生电力就地消纳。同时特别重视边缘农村地区贫困群体改善生产生活条件、保障清洁优质能源供应的需求 ,因地制宜发展分布式可再生能源 ,并将其核证减排量(C CER)作为抵销机制纳入国家或省市的碳排放交易市场 ,助力贫困地区可持续发展。

10.8 实施基于自然的解决方案 ,统筹促进经济发展、保护生态环境与应对气候变化和改善生物多样性的协同对策

实施基于自然的解决方案 ,遵循大自然的规律 ,通过生态系统的保护、修复、改进和加强管理 ,提升其服务功能 ,提高气候韧性。增强森林、草原、湿地、农业用地的储碳能力 ,减源增汇 ,并带来新的经济增长和就业机会 ,提高水、土壤和空气等环境质量 ,改善食品安全 ,保护生物多样性等协同效应。这也是以生态优先、人与自然和谐发展的生态文明思想为指引 ,以尊重大自然、依靠自然生态系统功能提升 ,应对全球气候危机 ,促进经济、社会、环境和应对气候变化协同治理和可持续发展的重要途径。实施基于自然的解决方案要以习近平生态文明思想为指导 ,并将其置于生态文明制度建设框架之中 ,以提升自然生态系统服务功能 ,实现环境保护和应对气候变化与生物多样性等多重目标。因此 ,要把适应和减缓气候变化与节约资源、保护环境的各项政策相结合 ,实现山水林田湖草等生态系统的综合治理。要大力开展植树造林、实施天然林保护、退耕还林还草、防护林体系建设、沙漠化综合治理、水土保护等生态工程建设 ,减源固碳。基于自然的解决方案对未来实现碳中和具有重要意义 ,中国到 21 世纪中叶 ,农林业等碳汇年增量可达 7 亿 tCO₂ 左右 ,对抵消工业生产过程、土地利用和土地利用变化等难减排部门的剩余排放将发挥重要作用。

10.9 完善应对气候变化制度建设 ,形成保障长期低碳发展的政策体系、投融资机制和市场体制

应对气候变化制度建设是生态文明制度建设的重要内容。首先要推动应对气候变化立法 ,以法律形式保障应对气候变化长期战略目标和对策的实现。要加强和完善支撑长期低碳发展的政策体系 ,加大政府财政投入和税收优惠 ,形成支持低碳转型的投融资机制 ,通过建立绿色投资项目指南 ,完善绿色信贷机制 ,发行绿色信贷资产证券化产品(ABS)和发行绿色债券 ,建立绿色信贷优惠和担保机制 ,激励企业、金融业和社会资金的投资导向。要推进和完善全国统一的碳排放权交易市场 ,逐渐扩充碳市场覆盖行业范围 ,不断增加碳排放配额拍卖比例 ,以政府规制性措施与市场机制相结合 ,保障国家减排目标的实现。同时要形成推动深度减排的技术创新体系 ,促进先进低碳技术的创新和产业化推广 ,前瞻性部署对难减排部门长期深

度脱碳的战略性技术的研发和示范,为实现长期低碳发展转型创造良好的制度环境、政策环境和市场环境。

10.10 引导全球气候治理和国际合作,推动全球生态文明建设和构建人类命运共同体

中国引导气候变化的国际合作,成为全球生态文明建设的重要参与者、贡献者、引领者,并将继续以习近平生态文明思想和构建人类命运共同体理念为指导,推进公平正义、合作共赢的全球治理体系建设,遵照《公约》的原则,促进《巴黎协定》全面平衡和有效实施。中国实现绿色低碳循环和高质量发展的能源和经济转型的成功实践,也将为世界特别是发展中国家提供可借鉴的经验和方案。积极推动应对气候变化国际合作特别是“一带一路”建设中南南合作,加强低碳发展转型政策导向,加强绿色投融资和低碳技术转移,建设绿色“一带一路”。同时加强与发达国家在国家层面、地方和城市层面、企业、民间团体和科研机构等层面的交流合作,努力使应对气候变化领域成为构建人类命运共同体的先行端和成功范例。

11 全球气候治理与国际合作

《联合国气候变化框架公约》确立了全球应对气候变化的目标和原则,是全球气候治理最基础和最根本的法律文件。《巴黎协定》遵循《公约》目标和原则,确定了2020年后全球应对气候变化具体目标和机制,开创了全球应对气候变化新的里程碑。当前进入全面落实《巴黎协定》实施阶段,要坚持《巴黎协定》重申《公约》的原则,即公平和共同但有区别责任的原则,各自能力原则,考虑各国国情,全面、平衡和有效地推进《巴黎协定》各要素的实施。中国将继续发挥积极的引领作用。

新冠肺炎疫情是当前全球面临的公共危机,将深刻影响和重塑世界政治经济贸易格局,加剧百年大变局的动荡。全球气候变化是世界面临的长期地球生态危机,是人类生存和发展的最大威胁。疫情后全球应对气候变化合作进程将面临巨大不确定性,也势必成为国际社会普遍关注的重要领域和紧迫问题。当前疫情下各国应对经济衰退,首先是救助企业、保障民生和补产业链短板,疫情后经济复苏各主要大国将更加突出保障国家经济安全、打造新兴产业和新经济增长点、引领世界经济变革方向的战略取向,应对气候变化低碳转型的优先权重受到影响,但国际社会呼吁各国实现“绿色经济复苏”的舆论非常强烈。联合国秘书长古特雷斯公开呼吁,要确保应对气候变化行动处于各国复苏举措的中心位置,要为未来坚持正确的方向,携手实现更高质量的复苏,共同应对气候变化这一更深层次的危机。跨国公司和企业界、金融界也都在研究支持“绿色经济复苏”的对策和商机。虽然当前和短期内全

球应对气候变化低碳转型的行动和力度可能会有所减弱,但长期趋势将不会改变,而且变得越来越紧迫。疫情后加快实现“绿色复苏、低碳转型”已是国际社会普遍共识,应对气候变化绿色低碳转型也将成为疫情后经济变革和发展的主导方向。

《巴黎协定》提出控制温升不超过 2°C 并努力控制 1.5°C 以下的全球应对气候变化目标。实现这一目标的减排路径十分紧迫,控制温升不高于 2°C 需在21世纪下半叶(2060—2070年左右)全球实现温室气体的净零排放,即碳中和。而实现 1.5°C 温升控制目标,则需要21世纪中叶(2050年左右)实现全球碳中和。当前欧盟等发达国家在气候谈判中力推 1.5°C 减排目标,并在其《欧洲绿色新政》中提出2050年实现净零排放目标;英国也通过修改《气候变化法》把2050年碳中和纳入法律条款;包括加州、纽约州等覆盖美国人口和GDP 65%以上的24个州组成的“美国气候联盟”,也大都提出2050年碳中和目标,美国民主党总统候选人拜登也提出他执政后第一天就重返《巴黎协定》并在国内进行大规模紧急投资,到2050年实现净零碳排放,并声称将再次领导世界。当前已有121个国家提出2050年实现碳中和的目标或愿景,其中也包括有些发展中国家如智利、埃塞俄比亚及部分小岛屿国家和最不发达国家。不少国家和城市也提出在2030—2050年实现100%可再生能源目标,提出煤炭和煤电退出以及淘汰燃油车的时间表。疫情下和疫情后世界范围深度脱碳的意愿和行动短期内可能会有所减弱,但长期能源和经济低碳转型的形势和趋势将越来越紧迫。

欧盟提出绿色新政,旨在到2050年建成繁荣、现代化、碳中和和经济竞争力的欧洲。这也是欧盟统筹自身繁荣发展和应对全球气候变化的长期战略部署,是提升自身在世界范围内经济竞争力和国际领导力的战略选择,从而确立其经济转型和全球治理中的领导地位。在其实施强化减排对策同时,为保护本土企业竞争力,也提出实施碳边境调节制度(BCAs),酝酿对特定行业或产品征收碳关税,或强制其购买欧盟内部的碳配额。这种单边主义措施既不符合《公约》的原则,也不符合《巴黎协定》下的减排机制,是向其他国家主要是发展中国家转移减排责任,转嫁减排成本,只会引发新的贸易争端,加剧世界大变局的动荡,对全球经济贸易发展增加不确定性,更不利于推动全球在《巴黎协定》下的合作进程。

《巴黎协定》所确定的控制全球温升不超过 2°C 并努力低于 1.5°C 目标的描述,是在联合国政府间气候变化专门委员会(IPCC)科学评估基础上,世界各国政府达成的政治共识和共同愿景,也是气候谈判中来之不易的成果。当前在全面落实《巴黎协定》的实施阶段,关键在于各方

加强务实行动,推进《巴黎协定》各条款全面均衡和有效实施。另一方面,全球最终总体上实现碳中和目标,并不意味着所有国家都同时和同步实现,发达国家应率先提早实现净零排放,其后还要大力发展碳汇技术和大气中二氧化碳去除技术,实现较大幅度的负排放,为发展中国家公平实现可持续发展留有必要排放空间和实现经济转型的时间,中国等新兴发展中大国实现碳中和时间总体上也会比发达国家迟缓。

我国倡导相互尊重、公平正义、合作共赢的全球治理新理念,把应对气候变化作为各国可持续发展的机遇,促进各方互惠合作,共同发展。有利于扩展各国自愿合作的领域和空间,扩大各方利益的交汇点,促进气候谈判由“零和博弈”转向合作共赢,构建人类命运共同体。我国在气候治理理念和合作方式上展现出不同于美、欧国家的新型领导力和引领作用,越来越被世界范围所认同。

在气候变化谈判进程中形成的发展中国家和发达国家两大阵营的基本格局仍将长期存在,在当前应对气候谈判进程中,发达国家淡化共同但有区别责任原则的意图和行动日益激烈,片面强化减缓,而忽视对适应、资金、技术、能力建设、透明度等《巴黎协定》中其他要素的全面、平衡和有效地实施,不顾及发展中国家利益和诉求,谈判中缺乏建设性和灵活性,部分发达国家单边主义和保护主义的倾向对当前《巴黎协定》的落实和实施细则谈判也带来负面影响。中国坚持发展中国家战略定位,维护和拓展广大发展中国家战略依托和内部团结,维护发展中国家的合理诉求和公平实现可持续发展权益,同时加强与发达国家交流和协商,寻求各方利益与全球共同利益的契合点,推进全球治理和合作进程,发挥大国的影响力和引领作用。

中国在《巴黎协定》达成和实施过程中发挥了重要作用,成为全球应对气候变化积极参与者、贡献者、引领者。在疫情后复杂的国际关系背景下,我国必须巩固和强化全人类共同事业引领者地位,一方面要联合印度等新兴大国与立场相近发展中国家积极应对,坚持共同但有区别的责任原则,与不同类型和不同发展阶段的国家及国家集团广泛开展务实合作与共同行动。另一方面国内也要强化绿色低碳循环发展的政策导向,加强实施应对气候变化措施和行动,落实和强化2030年自主减排承诺目标,展现主动承担国际责任的大国姿态。争取主动,树立良好形象。从长期来看,我国到21世纪中叶实现社会主义现代化强国建设目标的同时,也需要实现与全球控制升温 2°C 目标乃至 1.5°C 目标相契合的深度脱碳路径,从而顺应并引领世界能源和经济低碳化变革潮流,为地球生态安全和人类进步事业做出中国新的贡献,提升国际竞争力和影响力。

全球应对气候变化推进了世界范围内能源和经济的低碳发展转型。习近平生态文明思想对全球实现低碳发展转型有重要的指导意义,是世界范围内建设全球生态文明、构建人类命运共同体、实现可持续发展与保护地球生态安全协调共赢的根本方略。中国坚持生态优先、绿色低碳循环发展的理念和实践,也将为全球低碳发展转型提供中国智慧和中国经济。推进应对气候变化国际合作,特别是“一带一路”建设中南南合作,与沿线国家包容互鉴,共同走上气候适宜型低碳经济发展路径。总之,要以习近平生态文明思想和构建人类命运共同体理念为指导,积极推动并引领全球气候治理和合作进程。

12 结论与政策建议

通过该项目的研究和论证,对我国制定长期低碳发展战略的目标与转型路径提出如下思考和建议。

12.1 制定并实施长期低碳发展战略是我国顺应世界经济社会变革趋势的必然选择

全球气候变化是当前人类社会可持续发展面临的巨大威胁,保护地球生态安全、合作应对气候变化的挑战已成为国际社会广泛共识。应对气候变化的核心是减缓人为活动的温室气体排放,其中主要是化石能源消费的二氧化碳排放,由此推动了世界范围内能源体系的革命性变革和经济发展方式的低碳化转型。先进能源和深度脱碳技术已成为世界科技创新的热点领域,也是大国必争的先进技术制高点,能源和经济低碳转型的发展能力也成为一个国家经济、贸易和科技竞争力的体现。建立并形成清洁低碳安全高效的能源体系和绿色低碳循环的经济体系,也成为现代能源体系和经济体系的重要特征。我国中长期低碳发展的目标、情景和实施路径既要以我国国情、能力和现代化进程为依据,确保我国新时代社会主义现代化建设目标实现,又要以《巴黎协定》确立的控制全球温升不超过 2°C 并努力低于 1.5°C 的长期减排目标为导向,为地球生态安全和人类共同事业承担与我国不断上升的综合国力和国际影响力相一致的国际责任和贡献,并体现与发达国家有区别的责任和进程,是一个经过长期艰苦努力可以实现,并在国际社会有较好显示度,提升国家竞争力和影响力的目标和愿景。

12.2 长期低碳发展战略是一个目标导向下的综合性发展战略

长期低碳发展战略的核心是发展,是在保障经济社会可持续发展的同时,走上绿色低碳循环和可持续的发展路径,实现人与自然的和谐发展。因此,我国长期低碳发展战略要在确保21世纪中叶建成富强民主文明和谐美丽的社会主义现代化强国目标实现的同时,实现与全球控制温

升不超过 2°C 并努力低于 1.5°C 的目标相契合的深度脱碳发展路径。因此,长期低碳转型发展战略是以国内社会主义现代化强国建设目标与全球应对气候变化长期减排目标两个目标为导向的发展战略,要全面统筹经济发展、社会公平繁荣、资源节约与高效利用、生态环境保护 and 应对气候变化各个方面目标和愿景,进行协同和综合治理。使之成为新时代社会主义现代化建设总体目标和总体战略的重要部分,并纳入总体发展战略和部署之中。从而统筹国内国际两个大局,在实现中华民族伟大复兴中国梦的同时,为全球生态文明建设和构建人类命运共同体做出中国新的贡献。

12.3 中长期低碳发展战略要实现“两个阶段”的统筹

党的十九大报告提出新时代社会主义现代化建设的目标和基本方略,并综合分析国际国内形势和我国发展条件,进行了两个阶段的安排和部署。2020—2035年第一阶段基本实现现代化,需要同时实现国内生态环境根本好转和落实国际减排承诺的“双达标”,促进经济社会高质量发展,并为2050年实现深度脱碳奠定技术和产业基础以及政策保障和市场环境。2035—2050年第二阶段建成社会主义现代化强国和美丽中国同时,需要更加突出控制 2°C 温升甚至 1.5°C 温升下减排路径的目标导向,主动承担与我国不断上升的综合国力和国际影响力相一致的国际责任。并从提升低碳转型的国际竞争力、影响力和领导力视野下,不断加大减排力度,到2050年实现近零排放的深度脱碳目标,体现我国综合国力和国际影响力世界领先的社会主义现代化强国的引领者地位。

12.4 明确2050年长期低碳发展战略目标和转型路径

到2050年实现 2°C 温升控制目标的深度减排路径,需要实现二氧化碳近零排放,二氧化碳净排放量需要并有可能降低到20亿t左右,与世界届时人均排放 $1.0\sim 1.5\text{t}$ 的平均水平相当,将比2030年前二氧化碳峰值排放量减排约80%。非二氧化碳其他温室气体排放也将与二氧化碳排放同步达峰,并不断加大减排力度,到2050年全部温室气体排放应比峰值排放量下降70%。能源消费总量也将在2035年左右达到峰值,到2050年将比峰值消费量下降20%以上。到2050年非化石能源占一次能源消费比重应超过70%,非化石能源电力将占总发电量约90%,基本形成以新能源和可再生能源为主体的近零碳排放能源体系,从根本上保障了能源供给安全,从源头上控制了常规污染物排放。到2050年GDP总量将比2005年增加10倍以上,单位GDP的能源强度将比2005年下降80%以上,二氧化碳强度下降将超过95%,实现经济社会持续发展与二氧化碳排放脱钩。实现 1.5°C 温升控制目标,全球需在2050年实现二氧化碳净零排放和其他温室气体的深

度减排。以此目标为导向,我国还需进一步加大对全经济尺度、全部温室气体的减排力度和进程,二氧化碳排放需努力争取2025年左右达到峰值,到2050年要基本实现二氧化碳净零排放,全部温室气体减排约90%。2050年后还要进一步加强非二氧化碳温室气体减排以及增加碳汇和采用BECCS技术与CDR等负排放措施,尽快实现全部温室气体净零排放,达到碳中和目标。这将需要付出更为艰苦卓绝的努力、更大规模投资和更大的成本代价,需要制定并实施国家长期低碳发展目标和战略,进行超前部署和规划。

12.5 强化和更新2030年国家自主决定贡献(NDC)目标

我国实施应对气候变化国家战略,节能降碳取得举世瞩目成效,2020年对外承诺的自主减排目标已提前和超额实现,为落实和强化2030年自主贡献目标奠定了基础。我国到2035年实现现代化建设第一阶段目标,基本实现现代化,按GDP比2020年翻一番,人均GDP按目前不变价达2万美元测算,未来15年内GDP年均增速约为4.8%。“十四五”期间GDP年均增速可能会比“十三五”有所降低,但仍可预期超过5%,2020—2030年GDP年均增速保持约5%,单位GDP能源强度下降幅度可继续保持14%~15%的较高水平。到2030年能源总消费量可控制在60亿t标准煤以下,在保障经济持续增长同时,实现《能源生产和消费革命战略(2016—2030)》所提出的控制能源消费总量目标。新能源和可再生能源仍将持续呈现较快的增长速度,在满足能源总需求增长情况下,可再生能源发展潜力会进一步释放,其占比将有较快提升,2030年将达约25%,届时一次能源用于发电比例将由目前45%提升到约50%,与我国《能源生产和消费革命战略(2016—2030)》中提出的2030年非化石能源电力占总电量需求50%的目标吻合。节能和能源替代双重效果,到2030年单位GDP的二氧化碳排放比2005年下降幅度可达65%~70%,届时水电、风电、太阳能发电装机都将达5亿kW左右,成为新的经济增长点和新增就业领域。按此测算,二氧化碳排放到2025年即可进入峰值平台期,到2030年前即可实现稳定达峰。根据相关林业发展规划,森林蓄积量到2030年将达210亿 m^3 ,将比2005年增加55亿~60亿 m^3 。到2030年各项自主减排目标均存在提前和超额实现的潜力和可能。当前要进一步强化和更新2030年国家自主贡献(NDC)目标,将有力引导疫情后经济绿色复苏和高质量发展,对外回应国际社会关切,引领全球气候治理合作进程。

12.6 “十四五”规划中强化应对气候变化目标和政策措施

我国是世界上最早控制住疫情并实现经济复苏的国家,“十四五”规划中如何体现绿色低碳发展理念,强化节能降碳各项指标和政策导向广受国际社会关注,并期待成

为疫情后世界实现高质量可持续绿色复苏的“风向标”。“十四五”在 GDP 年均增速仍将达 5% 以上预期下,单位 GDP 能源强度下降幅度仍可保持 14% ~ 15% 的水平,期末能源消费总量可控制在 55 亿 t 标准煤以内。在当前风电、太阳能发电等可再生能源发电成本已与煤电相竞争的情况下,“十四五”非化石能源仍可保持“十三五”期间年均 7% 左右的增长速度。相应储能和智能电网发展潜能较大,到 2025 年非化石能源在一次能源中占比将达 20%。随新能源和可再生能源的快速发展,“十四五”新增电力需求可主要依靠增加非化石能源电力满足,以有效抑制煤电供给和煤炭消费量的反弹。“十四五”期间除个别情况下因电网调峰和区域供热等补短板需求外,要严格控制新建煤电站。节能和能源结构优化的双重效果,可使单位 GDP 的二氧化碳强度下降 19% ~ 20%,期末二氧化碳排放总量将低于 105 亿 t。

“十四五”规划中要继续延续“十二五”和“十三五”规划中节能和减排二氧化碳各项指标,特别要继续纳入并突出单位 GDP 的二氧化碳强度下降的约束性指标,这是我国兑现《巴黎协定》下自主减排目标承诺的标志性指标,并以此作为落实和实现我国对外承诺 2030 年单位 GDP 的二氧化碳排放比 2005 年下降 60% ~ 65% 自主贡献目标的阶段性安排,并编制“十四五”应对气候变化专项规划,明确阶段目标、主要任务及政策和行动。开展地区和行业二氧化碳排放达峰行动,鼓励东部沿海较发达省市和高耗能高碳排放行业制定率先达峰目标。

12.7 加强应对气候变化制度建设

应对气候变化制度建设是我国实现长期低碳排放发展战略的根本保障,也是生态文明制度建设的重要内容。要建立并形成完善的法律法规和财税金融等政策保障体系和实施机制,深化改革,完善能源价格机制和碳市场交易制度,形成支撑低碳转型的技术创新体系。

要加强应对气候变化立法,以法律形式保障应对气候变化战略、机制和政策体系的实施以及长期减排目标的实现,加强和完善支撑长期低碳发展的财税金融政策体系,加大政府财政投入和税收优惠,形成支持低碳转型的投融资机制。要加快推进全国碳排放权交易市场建设,发挥市场机制对推进能源和经济低碳转型的基础性作用,以市场机制和政府规制性措施相结合,保障国家减排目标的实现,同时使之成为对冲和反制欧美等发达国家边境调节措施的有效制度工具。要深化改革,强化政府实施低碳转型

发展战略的主导性作用,强化各级政府的节能降碳目标责任制,将节能降碳各项指标纳入国家和地方五年发展规划。要加强技术创新和先进技术产业化的制度建设和政策保障体系建设。以科技创新体系支撑先进技术研发和产业化发展,打造先进技术和产业的领先地位和竞争优势。

12.8 积极应对疫情后全球气候治理新形势

新冠肺炎疫情重创了世界经济,疫情后美国力图领导世界经济秩序重构,应对气候变化将是大国竞争博弈的重要领域。我国在气候变化领域已经展现出日益上升的影响力和协调能力,国际社会也期待中国进一步发挥领导力和引领作用。在中美关系持续恶化背景下,应对气候变化领域仍然存在与美方周旋、博弈、合作的空间和机会。积极参与并推进全球气候治理,有助于巩固发展中国家战略依托,坚持以多边主义应对美国的单边主义,扩展我国在气候变化领域外交优势,争取主动,化解对我国的挑战和压力。在疫情后复杂和充满不确定性的国际形势中,我国要积极推进全球气候治理和合作进程,推进公平正义、合作共赢的全球气候治理制度建设,坚持公平、共同但有区别责任和各自能力的原则,加强与各个不同国情和不同发展阶段的国家和国家集团的交流与沟通,努力推动《巴黎协定》中减缓、适应、资金、技术、能力建设和透明度各要素和条款全面、均衡和有效的实施,努力促进 COP26 完成《巴黎协定》第 6 条谈判,全面通过《巴黎协定》实施细则,加强应对气候变化的南南合作,推进国际社会务实合作行动。努力使气候变化领域成为践行习近平生态文明思想和构建人类命运共同体理念的先行端和成功范例。

综上所述,当前面临复杂的国内外形势,我国要保持战略定力,遵照习近平主席提出的应对气候变化要“外树形象、内促发展”的指示精神,统筹国内与国际,近期和长远。在 2020 年即将向联合国气候公约秘书处提交的关于落实和更新 2030 年自主贡献 (NDC) 报告和 21 世纪中叶低碳排放发展战略两个文件以及国家“十四五”规划纲要中,明确不同阶段积极的节能和减排二氧化碳目标、政策和措施。对内促进产业转型升级和高质量发展,打造经济发展、能源安全、环境保护与应对气候变化协同治理和多方共赢的局面。对外巩固和扩展应对气候变化领域的外交优势,回应国际社会普遍关切,化解减排和出资等诸多压力,展现对全球共同事业负责任的大国形象。

(责任编辑:李 琪)