

2035美丽中国与低碳发展目标下 经济发展与能源转型路径

研究单位：北京大学城市与环境学院

2017年10月，党的十九大正式将美丽中国作为建设社会主义现代化强国的重要目标，美丽中国目标不仅强调我国生态文明建设，更提出将生态文明建设与经济建设、社会建设、政治建设、文化建设相融合，从能源体系、经济体系、资源利用体系等多个维度对我国发展新阶段提出具体要求。2020年9月，随着双碳目标的提出，进一步深化了实现美丽中国目标的必要性与重要性。实现双碳目标是一场广泛而深刻的社会经济变革，2035美丽中国作为中国低碳转型发展路径中的关键时间节点，不仅承接了2030年碳达峰目标下能源经济结构的转型步伐，同时也面向2060年碳中和目标下生产结构与生产技术的革新。有效衔接美丽中国目标与碳中和目标，实现中长期减排发展目标的协同治理，是中国低碳转型发展的重要保障。

有效的减排激励政策是实现中国低碳转型发展的必要条件，各类减排政策在提升化石能源部门和高耗能行业碳成本的同时，也将创造新的产业形态和就业机会，但是不同类型能源政策及政策组合下减排路径和侧重点不同，对能源结构和产业结构的影响也存在异质性。因此，本报告基于四类减排政策的基本特征和发展潜力，系统评估不同类型能源政策及其政策组合对宏观经济、行业产出及能源消费等因素影响，分析不同政策

组合对于实现碳中和目标的潜在贡献及成本收益，识别各产业部门的优化减排路径，并基于协同治理视角评估实现碳中和政策情景对于实现美丽中国目标的有效性，提出适应中国中长期低碳发展要求的转型路径及举措，为国家制定科学有力的减排措施提供参考依据。

第一，实现碳中和目标的难度较大，需要较高力度的多种政策共同实施。在外生考虑负碳技术潜力的基础上，通过对不同强度四类政策进行组合，构建了1295个政策情景，仅3.7%的政策情景可以实现碳中和，包括1个由三类政策构成的组合政策，和47个由四类政策构成的组合政策。在政策力度方面，所有能够实现碳中和目标的组合政策中，电能替代政策的力度均为高强度，其他政策的力度最多仅一种可以为低强度。

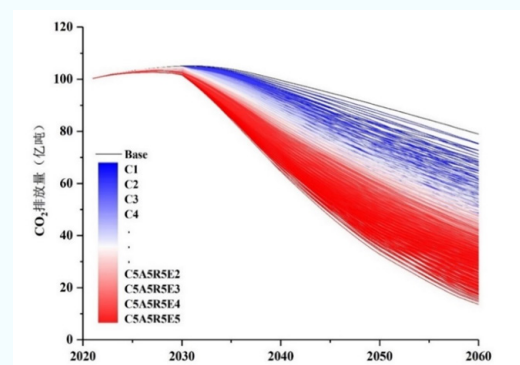


图 1: 所有政策组合情景的二氧化碳减排路径图

第二, 排放路径趋势为2029年前达峰, 2030年后年均减排约2.1亿吨。实现碳中和目标的排放路径呈现如下特征, 能源系统碳排在2027-2029年达峰, 峰值在103亿吨左右; 平台期位于2019-2031年区间, 大约11到13年 (在国际经验范围内, 排在峰值的95%范围均为平台期); 2030-2060年间三个阶段 (2030-2040年、2040-2050年、2050-2060年) 平均减排量分别为2.8亿吨/年、2.0亿吨/年和1.0亿吨/年, 关键时间节点2030年、2035年和2060年的碳排放量需分别控制在104.1、92.2和20.0亿吨以下, 最终由负碳技术中和排放。

第三, 实现碳中和目标的经济代价和就业损失基本可控, 但需关注重工业的产出受损。在实现碳中和目标的组合政策中, 2060年GDP累积下降幅度在2.4%-3.6%之间, GDP年均增速可以保持在3.46%以上, 经济损失较小。就业的损失也在可接受范围, 2060年与基准情景相比就业累计下降在0.5%以内, 宏观上对社会发展大局影响不大。但是在行业层面, 除化石能源行业严重受损外, 重工业也会受损, 2060年产出平均累积下降7%。

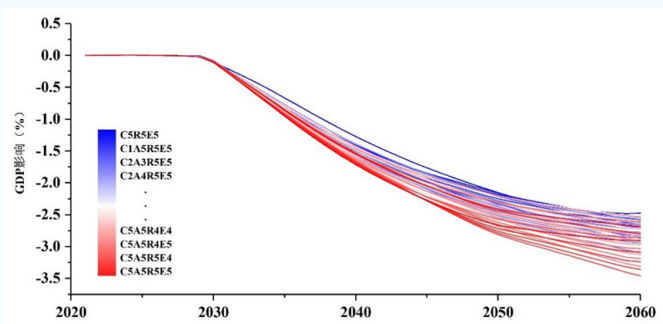


图 2: 实现碳中和目标组合政策的 GDP 累计影响

第四, 四类减排政策均可以一定的经济代价实现绿色收益, 但各类政策的减排效率和经济损失存在显著差异。从减排效果来看, 碳定价政策的减排量最大, 2060年二氧化碳排放最多可从78.9亿吨下降到51.2亿吨, 排放降幅达35%; 能效改进政策和电能替代政策的减排幅度相近, 2060年二氧化碳排放最大降幅分别为28.5%和28.8%; 可再生能源政策减排效果最差, 2060年二氧化碳

碳排放量最多下降到64.7亿吨, 减排幅度为18.0%, 远小于其他三类减排政策。从经济损失来看, 可再生能源政策的经济代价最小, 2060年GDP相比基准情景最多累计下降0.15%; 其次是能效改进政策和碳定价政策, 2060年GDP最高累计降幅分别为0.96%和1.12%; 电能替代政策的经济损失最大, 2060年GDP相比基准情景累计降幅最高达2.49%。可以看出, 单一政策均无法实现碳中和目标, 并且不同减排量下都需权衡成本收益以选择最优减排策略。

第五, 四类减排政策下能源消费总量变化存在异质性, 但能源结构均从煤炭为主向多元化方向转变, 能源系统整体呈现电气化和低碳化特征。从一次能源消费总量来看, 除可再生能源政策会增加一次能源消费量, 其他三类政策均促进一次能源消费量减少, 能效改进政策的效果最显著, 2060年消费量降幅最高达到24.5%。从一次能源消费结构来看, 四种政策都可以提高一次能源消费量中非化石能源占比, 其中碳定价政策、可再生能源政策和电能替代政策的改进作用明显, 占比在基准情景43%的基础上最高可增加13%、13%和16%, 能效改进政策的改进效果相对较小, 占比最高增加5%。从终端能源消费结构而言, 电气化率水平均得到不同程度提升, 电能替代政策效果最显著, 终端电气化率最大可提升20%。可以看出, 能源系统中低碳能源对高碳能源的逐步替代是实现碳中和目标的必然要求。

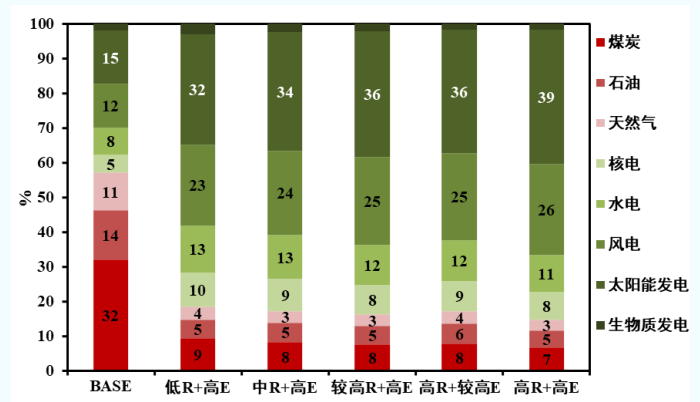


图 3: 基准情景和碳中和组合政策情景下的一次能源消费结构

第六,实现碳中和目标的组合政策,不会动摇我国美丽中国目标的实现。在经济发展方面,2035年碳中和政策组合的经济总量是2020年的2.03-2.04倍,人均GDP是2020年的2.002-2.016倍,实现翻番目标。在应对气候变化方面,2035年碳排放强度相比2005年平均下降76.6%,非化石能源占能源消费总量比重为30%-34%,能源消耗强度相较2020年下降40.6%-44.4%,国家减排目标均可实现。在生态环境方面,2035年碳中和情景组合的SO₂排放量相比2020年降低32.9%-44%,NO_x排放量相较2020年降低28.4-34.1%,颗粒物浓度比2020年下降24.4%-26.1%,在碳中和目标约束下减排和治污具有协同治理效应。

第七,美丽中国目标与碳中和目标对我国能源转型提出更高要求,也对我国经济发展提出挑战,因此我们需要认识到问题的长期性和复杂性,统筹考虑各项减排政策的减排潜力、减排路径和经济代价,协同推进碳定价、能效改进、可再生能源技术和电能替代政策方案。同时,在未来研究中需重点关注碳捕捉与封存、储能等竞争性减排技术及其动态演变关系,统筹协调不同阶段减碳和负碳技术发展路径,丰富减排措施在经济、社会、能源与环境等多维视角下的综合评估体系,为明晰我国总体减排路径规划提供参考依据。

(1) 推进多种减排政策共同实施,适度提高减排政策强度。积极推进碳价格政策、能效改进政策、可再生能源政策和电能替代政策共同实施,尤其保证高强度的电能替代政策。最终才能在CCUS技术和生态系统碳汇的配合下实现碳中和目标。

(2) 发挥不同减排政策之间的协同效益,提高政策的减排效率。建议推进高强度可再生能源政策和高强度能效改进政策的协同实施。高强度可再生能源政策将减少碳减排组合政策带来的经济和社会成本;高强度能效改进政策则可以降低终端电力需求,减少能源低碳转型对电力供给安全造成的挑战。

(3) 重视关键产业部门的减排作用,适当扶持严重受损产业。一是加大化石能源部门的减排力度,同时重视提升重工业等高耗能部门的减排效率;二是对基础化学原料、合成材料和交通运输等受影响较大并且对经济社会具有重要作用的部门进行适当扶持;三是推进可再生能源储能等技术以稳定电力价格,防止对设备制造业等支柱性出口产业造成较大负面影响;四是对高耗能行业失业人群提供失业保障,引导其向可再生能源行业、储能行业等绿色行业转移。

(4) 加快构建清洁低碳的能源体系,增强能源供应结构稳定性和安全性。一是协同四类减排政策,提升一次能源消费的非化石能源占比和终端电气化率;二是加快发展CCUS有关技术,缓解煤电产业减排压力,促进煤基能源清洁高效利用;三是加快可再生能源、储能等先进技术突破和广泛应用,提升整体能源供给结构稳定性,促进能源行业高质量发展。

