

“碳中和”愿景对宏观经济及央行政策取向影响的 理论进展综述

王信，姜晶晶¹

摘要：工业革命以来，人类大量使用化石燃料，在推动经济发展的同时也极大影响气候。气候变暖引发的极端天气与生态灾难已造成巨大损失，促使人们更加关注气候变化风险，在本世纪中期实现碳中和，已成为多数国家的共识。要实现这一宏伟目标，将不可避免带来生产生活方式、经济和能源结构的巨大转变，其对宏观经济的冲击值得深入研究并及早进行前瞻性管理。有关碳中和目标及政策对宏观经济的动态影响机制，目前仍缺乏清晰和系统的论述。本文梳理了目前学界对“碳中和”政策及其宏观经济影响的代表性观点，提出央行政策支持中国低碳转型的初步看法。

Abstract: Since the Industrial Revolution, the large-scale use of fossil fuels has increased the impact of human activities on climate while promoting economic development. Extreme weather events and ecological disasters caused by climate warming have also caused huge losses to human production and life. It has become a consensus of most countries to pay more attention to the risks of climate change and achieve carbon neutrality by the middle of this century. This ambitious goal will inevitably bring about great changes of production and life mode, the economy and energy structure, and its impact on the macro-economy deserves in-depth study and forward-looking management as soon as possible. At present, the discussion on the dynamic impact mechanism of transition risks on macro-economy under carbon neutral target are insufficient. Based on the literatures review, this paper analyzes the representative views on the "carbon neutralization" policy and their macroeconomic impact, and proposes preliminary policy implications on central bank to support China's low-carbon transition.

关键词：碳中和；碳价；宏观经济；央行政策

声明：中国人民银行工作论文发表人民银行系统工作人员的研究成果，以利于开展学术交流与研讨。论文内容仅代表作者个人学术观点，不代表人民银行。如需引用，请注明来源为《中国人民银行工作论文》。

Disclaimer: The Working Paper Series of the People's Bank of China (PBC) publishes research reports written by staff members of the PBC, in order to facilitate scholarly exchanges. The views of these reports are those of the authors and do not represent the PBC. For any quotations from these reports, please state that the source is PBC working paper series.

¹ 王信，中国人民银行研究局，研究方向为国际经济金融、金融体制改革等。姜晶晶，中国人民银行金融研究所，经济学博士，副研究员，研究方向为货币政策、气候风险等。本文内容均为作者个人观点，不代表人民银行。作者感谢匿名审稿人、评议人及其他专家的宝贵意见，当然，文责自负。

一、引言

人类活动影响气候，而气候变暖也给人类生产生活造成巨大损失，提升人们对气候变化冲击的关注，本世纪中期实现碳中和成为许多国家的目标。这一宏伟目标不可避免将带来生产生活方式、经济和能源结构的巨大转变。发展方式和能源结构既决定经济增长与气候变化的关系曲线形态，也是人类应对气候变化负反馈的关键环节，其转型对宏观经济的冲击值得深入研究并及早进行前瞻性管理。

（一）经济发展影响环境与气候

经济发展与技术进步强化人类与气候间的互动。工业革命以来，人类活动过度使用化石燃料，产生大量以二氧化碳为主的温室气体排放，这是气候变暖的主要原因。环境库兹涅茨曲线（Environmental Kuznets Curve,EKC）表明，环境质量与 GDP 增长呈倒 U 型关系。但由于样本、实证方法差异，针对不同国家经济增长与环境质量关系的实证研究并无一致结论。Kohlscheen et al.(2021)对全球 121 个国家 1971-2016 年的人均碳排放和宏观经济数据进行动态面板回归发现，碳排放量随经济增速提高而上升。发达国家和新兴市场国家都遵循这一规律，更高的国民收入水平带来更高的碳排放，碳排放对经济增长的敏感度持续上升。Onafowora and Owoye (2014)分析中国、巴西、日本、埃及、尼日利亚、墨西哥、南非和韩国 8 个国家的时间序列数据发现，各国经济增长与气候变化的关系各不相同，韩国、日本二者的关系呈倒 U 形，其余六个国家则为 N 形。Fosten et al.(2012)、Al-Mulali and Ozturk (2016)等人的研究认为，高质量的经济增长只有在长期才能显著改善气候环境质量。一般而言，经济增长对碳排放量甚至气候的作用，取决于各国发展水平、能源结构及环保政策（Shahbaz et al.,2020）。

（二）气候变化冲击宏观经济与货币政策

与其他经济冲击相比，气候冲击影响的文献相对较新，BIS、IMF 等国际组织及欧央行、英格兰银行等央行逐渐重视这一影响，并针对气候变化对产出、价格、投资和贸易等方面的冲击进行了初步分析。英格兰银行的 Batten（2018）从供求两方面入手，分析气候变化冲击。在需求侧，洪水、风暴等气候事件造成的损失可能减少家庭财富和私人消费；气候灾害对有形资产和金融资产的损害增加未来损失的预期，进而改变当前偏好，减少商业投资和跨境贸易；鼓励低碳技术投资的政策可能“挤出”私人投资和消费，形成需求侧冲击。在供给侧，全球变暖可能降低劳动生产率，将更多生产性资本转向适应气候变化领域，降低潜在经济增长率；资本存量和基础设施受损将形成供应冲击。

总体看，当前论述气候变化对宏观经济影响的文献多侧重产出冲击。一是**降低劳动生产率**。气候变暖引发的人类死亡率上升及劳动生产率下降，是产出减少的关键驱动因素（BIS,2021）。联合国政府间气候变化专门委员会（IPCC）第六次气候变化评估报告显示，未来 20 年内，全球升温或超过 1.5℃。当全球升温超过 2℃时，极端高温将频繁达到人体健康的临界耐受阈值（IPCC，2021），影响劳动力健康及工作能力，导致劳动力投入减少。某些地区甚至不宜居住，增加国际移徙的频率和强度（Stapleton et al.,2017;IMF,2017），由此造成的移民浪潮将冲

击劳动力市场和工资增长 (ECB,2018)。二是随着劳动力投入减少和生产率下降,资本存量降低,净财富减少,消费支出受挤压,削弱经济内生增长动力。总体看,气候变化对产出的冲击偏负面(Noy,2009),升温越高,经济损失越大。如果不采取减缓措施,本世纪中叶全球气温较工业化前水平将升高 2-2.6℃,全球 GDP 较不升温情景损失 11%-14%。升温 3.2℃的情景下,全球 GDP 损失高达 18%。将升温幅度控制在 2℃以内时,GDP 的损失降至 4.2% (SWISS RE,2021)。其中,农作物减产和生产率变化对全球 GDP 增长的拖累最大 (OECD,2015)。小型开放经济体、较贫困国家产出和竞争力遭受的冲击更为显著 (Economides and Xepapadeas,2018; Burke and Tanutama,2019)。也有研究表明,全球升温 1℃以内会对经济造成较小甚至积极影响。但升温幅度更高时,要素供给和生产率变化范围也较大,导致跨部门和跨区域参数调整的难度更大,对气候变化潜在影响程度进行测算的不确定性更大 (OECD,2015;Tol,2018)。

气候变化冲击引发对政策干预的探讨。通常使用新凯恩斯一般均衡模型和泰勒规则来研究气候和货币政策之间的相互作用。理论上,气候变化可能以三种方式冲击货币政策有效性。一是增加央行识别经济冲击来源的难度 (Cœuré, 2018)。气候变化冲击宏观经济变量,导致信噪比 (Signal-Noise Ratio) 恶化,增加央行评估中期通胀水平变化的难度。二是气候变化影响冲击分布形态,挤压货币政策空间。灾难性气候事件冲击具有显著的肥尾特性 (Weitzman, 2011),对这类极端事件的应对通常会迅速侵蚀常规货币政策空间。央行是否应采取前瞻性措施或非正规政策规避这一尾部风险仍存争议 (NGFS,2021)。三是气候风险冲击具有持续性,增加央行在维护物价稳定与促进经济增长目标间的取舍难度 (Economides and Xepapadeas,2018; Brunnermeier and Landau,2020; Ilzetzki and Jia,2021)。

(三) 量化评估气候变化冲击的模型及缺陷

已有文献通常采用综合评估方法 (Integrated Assessment Models) 估计气候变化成本和碳排放的社会及经济成本,例如 Nordhaus and Sztorc (2017) 的 DICE 模型、Anthoff and Tol (2013) 的 FUND 模型和 Hope (2006) 的 PAGE 模型等。在碳中和目标下,能源部门作为主要排放者,将在重塑经济体系中起关键作用,因此近年来各国陆续开发能源经济模型,以评估能源转型的经济社会影响。主要有自下而上 (Bottom-Up) 能源部门模型 (如 TIMES 模型)、自上而下的 (Top-Down) 宏观经济模型 (例如 EPPA)。无论哪类模型,最终评估结果对资金成本、技术成本等参数设置及其随时间变化的基本假设都非常敏感 (Bachnera, Mayer and Steininger,2019),加之测算方法差异,评估结果存在较大不确定性。

一是前提假设差异,拉大不同的评估结果区间。在量化分析中,温室气体排放量、气候敏感性²、给定温度下的损害及分布、未来成本的折现率等都需假设。以折现率为例,作为评估碳排放社会成本的关键参数,在测算中对折现率的假设存在较大争议。美国有评估只考虑国内损害,并按 3%-7%的折现率估算碳排放社会成本,结果成本区间为 10 美元/吨至 100 美元/吨。而多数文献的评估结果在

² 即大气中温室气体浓度对温度升高的边际影响。

100-200 美元/吨（Auffhammer,2018）。美国特朗普政府曾一度采用 3%的折现率作为政策基准，碳排放社会成本更可能被大大低估。

二是不同测算方法也导致量化评估结果大相径庭（NGFS,2019）³。由于气候变化的冲击呈非线性、易受政策变量影响且无历史经验可循，定量模型难以精准刻画其潜在冲击，不同测算方法结论差异较大。在测算气候变化对经济的影响时，常用的 DICE、FUND 和 PAGE 模型一般假设升温预期会刺激适应性投资，减少经济损失（Revesz et. al.,2014;Diaz and Moore,2017），这类模型的估计结果通常更乐观。例如，Tol（2018）预测，在 5℃的升温幅度下，到本世纪末，全球 GDP 将温和下降 2%-10%。相反，Burke、Hsiang and Miguel（2015）等不考虑适应性投资，仅使用温度变化的历史影响来预测气候变暖对经济的冲击，发现在升温 5℃情景下，2100 年全球产出将减少 23%，考虑延迟影响的模型预计损失将高达 50%。Howard（2015）、Diaz and Moore（2017）甚至认为，同等升温幅度将导致全球 GDP 萎缩 60%。

除假设和测算方法等技术性差异外，基于模型的测算往往易忽略诸多难以建模的潜在重要因素。例如，小概率却能产生巨大经济损失的气候事件通常未纳入模型（如永久冻土融化导致的甲烷排放，极地冰盖、喜马拉雅冰盖崩塌等）。在评估碳排放的经济社会成本时，部分模型采用“趋势性经济增长具有外生性”的假设（Roos,2018），限制气候变化的产出影响，这往往会忽略在更高升温幅度下气候变化成本非线性增加的可能性（Dietz and Stern，2015）。另外，经济成本评估模型中如何纳入能源领域的重大技术变革也值得深入探讨。

二、实现“碳中和”目标的主流政策及效果

（一）“碳中和”的定义

为控制气候变化的负面影响，《巴黎协定》明确提出，应在本世纪下半叶实现温室气体人为排放与清除之间的平衡，并将本世纪末较工业革命前的升温控制在 2℃ 以内。据政府间气候变化专业委员会测算，为将本世纪末升温幅度控制在 1.5℃ 以内，有必要在本世纪中叶前实现净零碳排放（IPCC,2018）。尽管已有 60 多个国家（包括除波兰外的所有欧盟成员国）承诺到本世纪中叶前实现碳中和（Schiermeier,2020），但各国碳中和目标的具体含义、实现路径各不相同⁴。

一般认为，碳中和（Carbon Neutrality）指以节能减排、植树造林、捕捉封存等方式，减少或抵消工业、交通、能源生产、农业等活动中的二氧化碳排放，实现人为二氧化碳净排放为零。类似概念还有“气候中和（Climate Neutrality）”和“净零排放”（Net-Zero）。前者除二氧化碳外，通常还包括引起气候变化的其他温室气体排放。后者是更广义的概念，包括去碳和延缓气候变化的广泛行动，与碳中和概念相比，还包含更多间接碳排放，强调基于技术变革在各环节实施减

³ NGFS（2019）对模型和方法论进行了梳理。

⁴ 目前国际上对碳中和尚无统一、明确的界定，各国对此概念的理解也不一。部分国家将碳中和目标设定为“将碳排放量限定在某一特定水平”。例如，哥斯达黎加在巴黎协定提交的碳中和目标为“2015-2021 年二氧化碳总净排放不超过 2005 年总排放水平”；埃塞俄比亚的碳中和目标为“2025 年前实现中等收入状态的碳排放水平，2030 年前将净温室气体排放控制在 145 兆吨二氧化碳当量水平。”部分国家还将碳中和目标界定为“将碳排放稳定在某一特定水平。”

排，而非仅仅进行碳捕捉或抵消。目前碳捕捉与封存技术仍不成熟，碳抵消方式有限，实现碳中和目标在很大程度上依赖各环节碳减排，鉴于此，本文的讨论采用最宽泛的净零排放概念。

（二）不同政策及效果分析

将碳排放的外部性内部化，是实现碳中和的核心机制。广义而言，国际主流的碳中和实现路径包括：碳交易市场、绿色投融资等金融手段，碳税、补贴等财政手段，环保要求、行业规划等产业手段及其各种政策组合。本文从激励约束机制角度，重点聚焦两大类政策的文献分析：一是碳价类，如碳税和碳交易市场，可提高高碳活动相对于低碳活动的成本，引导资金、劳动力等生产要素向低碳领域流动；二是鼓励技术创新类，如鼓励绿色技术和清洁能源发展的政策框架、绿色投资激励机制等⁵，可提高低碳活动收益。评析两大类不同政策的效果、作用机制差异，有助于在禀赋约束下进行最优决策。

1.碳价类政策及实施效果

碳交易市场是形成碳价、内化外部性的主要手段，明确且逐步上涨的碳价具有更强的激励作用，是实现碳中和的基本政策（IMF,2021）。目前全球只对20%的温室气体排放量进行了定价，仅占《巴黎协定》要求的减排目标的5%（World Bank,2019）。为实现本世纪中期的碳中和目标，这一比例需大幅提高，对减排企业上下游商品价格的影响也将逐步显现。碳交易市场清晰的价格和灵活的履约方式可形成明确的激励约束机制，更可能平滑宏观经济波动，因此可能是市场化减排的首选（Annicchiarico and Dio Dio,2015;2017）。现实中，碳交易市场对高碳行为的矫正效果，取决于扭曲程度（即不完全竞争、价格调整成本和全球变暖的负外部性等）、市场定价效率、风险管理工具及其相互作用，碳价格水平及其波动幅度至关重要。碳交易市场赋予碳排放以金融属性，将相关影响延展至整个金融市场。

形成碳价的另一方式是碳税，政府可通过事前承诺逐步增加碳税，推动经济主体形成碳价上涨预期。碳税本质是庇古税，可均衡增加排放的边际社会成本。但征收碳税面临诸多问题：一是其有效性取决于政府公信力。碳税本质上是一种惩罚机制，易面临政治压力，当压力足够大以至于影响政策稳定时，反而会降低政府信誉。二是碳税对各地区、各部门的影响存在异质性，易引发公平性争议。一般认为，碳税对煤电行业影响大，但对同为能源密集型的交通等部门影响相对较小，其主要原因在于前者重置成本高，转型要求更彻底、难度更大。三是碳税税率受碳中和进程、经济增速、减排成本、经济周期等因素影响，需保持灵活调整的弹性以确保动态最优。税率高甚至可能直接影响生产成本和商品价格，造成效率漏损。Jaimes(2020)使用新凯恩斯主义DSGE模型研究表明，假设工资和价格刚性，如果使用碳税或配额收入来降低劳动者的收入税或消费税税率，而不是通过一次性转移来抵消应纳税额，会大大降低碳价对产出和消费的负面影响。

⁵ 例如，为植树造林、碳捕捉或其他基于自然的温室气体清除提供政策支撑、激励或监管工业碳收集和储存、鼓励研发可再生能源（例如，水电、太阳能）、鼓励研发提高农作物产量的农业技术等。

IMF 近期的研究表明，一揽子气候政策在最近 15 年内可拉动全球年均产出增长 0.7%，但之后碳税对 GDP 的负面影响更大，将导致 2050 年净产出损失约为基期 GDP 的 1%（Jaumotte et al., 2021）。

2.绿色技术变革类政策与效果

碳中和目标的实现，依赖于能效、新能源发电、能源储存与传输以及碳捕获、利用和封存（CCUS）等节能减排领域的技术创新。有观点认为，为脱碳和提高自然资源利用效率而采用的新技术，可能成为第四次工业革命的主要代表，国家和企业可借助能源技术变革保持可持续的竞争力，并提高潜在劳动生产率（Alam et al.,2019）。未来数年，新兴“清洁技术”部门可为创新驱动型经济增长提供巨大空间。

政府补贴可降低新技术研发和投资面临的不确定性，最终效果取决于一国的财政实力。借助补贴支持可再生能源行业发展，通常是在特定期限内直接进行转移支付，补贴水平视技术应用前景与成熟度而定。由于成本高、行政色彩浓厚、涉及不公平竞争等问题，补贴政策一直广受争议。一般来说，补贴计划应设定有效期，以避免因政府误判特定技术的创新速度而提供超额支持，造成财政资源浪费和能源市场价格扭曲。一国财政状况将决定补贴范围和水平，并影响政策效果。Monasterolo and Raberto（2018）使用资金流动模型，模拟绿色财政政策（包括绿色技术投资与绿色主权债券）对增长、信贷市场波动、失业、收入不平等、财富集中以及实体经济的影响，结果发现，绿色政策的相对有效性取决于一国财政状况。这也说明，财政金融政策与环境政策互相影响、彼此强化，在设计碳中和政策框架时应综合考虑，最大程度发挥政策协同作用。

三、“碳中和”政策对宏观经济的潜在影响

为实现碳中和目标所选择的政策工具，对宏观经济和金融市场的影 响范围和速度可能远大于气候事件本身。不同政策对宏观经济变量的影响各异，或具扩张性（如鼓励低碳技术创新的绿色投资或财政补贴），或具紧缩性（如碳税、淘汰化石能源的环保政策等），但核心机制都是通过供求或相对价格变化，在短期、中长期分别影响生产成本与竞争力，从而优化产业结构。本部分基于已有文献，归纳学界关于碳中和政策对宏观经济影响的代表性观点。

（一）关于“碳中和”对宏观经济一般性影响机制的观点综述

1.产出与劳动生产率

文献研究表明，碳价类工具对不同行业和企业短期产出与劳动生产率的影响存在异质性，但对整体劳动生产率的长期影响取决于碳价水平及碳价收入用途。碳交易市场和碳税等价格手段会直接增加高碳行业生产成本，减少企业利润，削弱其投资意愿，从而降低该行业产出与生产率（Economides and Xepapadeas,2018）。Carbone and Rivers (2017)对发达经济体的研究发现，当目标减排量增加 20%时，高碳企业产出平均减少 5%左右。这一影响对朝阳产业而言可能相反。在同一产业内部，更严格的环境标准可扩大清洁和前沿企业的产出与

就业，同时挤压生产率较低企业⁶的生存空间（Albrizio et al.,2017）。对经济整体而言，产业结构转型初期，资金和劳动力等生产要素随价格政策在低碳与高碳行业间重新分配。由于存在劳动力市场摩擦，这一转换不会一蹴而就，可能短暂拖累整体劳动生产率与产出水平，即丹尼森效应（Denison effect），这一效应在要素充分流动后，将逐步消失。总体来看，碳价对经济的冲击幅度取决于价格水平及配套政策。据 Goulder and Hafstead (2017)估计，美国若自 2020 年开始征收 40 美元/吨的碳税，并以每年 5%的实际税率增长，到 2035 年，GDP 将比无碳税情景减少约 1%。在温和的碳价情景下，多数行业的排放相关成本占总成本比例很小，整个经济产出与劳动生产率受碳价影响较小(Andersson et al.,2020)。Osterloh (2020)对欧洲碳排放权交易市场的研究也支持该结论，他们发现，碳配额价格上涨对 GDP 增长产生微弱的负面影响。Metcalf (2019)分析加拿大 1990-2016 年数据发现，不列颠哥伦比亚省碳税未对 GDP 产生不利影响。其对 1985-2017 年欧洲国家数据进行研究发现，碳税对 GDP 有温和的正面影响。如果各国政府能有效利用碳税收入，将其用于降低其他商品和服务的税收，可在一定程度抵消碳税造成的生产成本，对 GDP 产生积极影响（Vrontisi et al.,2019）。上世纪 90 年代初，部分北欧国家以征收的碳税作为收入来源，降低了本国所得税的边际税率，提高了经济增速（Brannlund and Gren, 1999）。

低碳技术创新对生产率的短期影响存在不确定性。在“碳中和”早期阶段，鼓励技术创新类措施由于更具长期性和趋势性，会引导高碳产业下调盈利预期，削减当期投资，减少资本存量 and 资本形成，形成潜在的负面供给冲击，这意味着，应用初期的低碳技术并不必然提高生产率，甚至可能给短期产出带来下行压力（Van der Ploeg and Rezai, 2020）。一是低碳体系初期生产效率可能低于化石能源等传统生产系统，从而抑制中短期生产率。二是只有能效和降污减排技术才能带来成本节约收益，而其他环境友好类创新多是成本类支出（Rexhäuser and Rammer,2014）。三是技术前景的不确定性可能转化为未来潜在增长的不确定性，影响当期投资决策与资本形成，进而影响产出与供给。四是由于存在技术转让壁垒，初期技术转化率较低，高碳企业产出受减排政策影响较大。

从长期看，绿色低碳技术进步可有效提升全要素生产率（TFP）和经济增长（绿金委课题组，2021）。Tugcu(2013)的研究表明，可再生能源消费对 TFP 有正面影响，其对 GDP 的影响弹性在 0.7 至 0.8 之间，而化石能源消费对 GDP 的影响弹性在-1.7 至-2.1 之间。究其原因，从技术特性角度看，清洁能源或电动技术较之传统电力会形成更多知识溢出，在更广范围内提振经济增长（Dechezleprêtre et al.,2013）。从投资收益角度看，低碳行业预期收益随气候科学数据、气候政策、减排技术进步不断修正，依据“托宾 q”理论，市场估值上升，低碳产业资本加速替代高碳产业，产出相应增加，鲍默效应(Baumol effect)显著，即伴随科技进步，低碳行业劳动生产率和行业权重提高，拉升整体劳动生产率。从成本节约角度看，低碳转型可节约大量资本支出，据估计，化石燃料、电力输送和配电以及更合理

⁶ 如化石燃料、黑色金属和有色金属及化学品企业等。

的城市设计，可为欧盟节省资本支出约 9.3 万亿美元（Andersson et al.,2020），低碳基础设施运营支出减少还可节约 5 万亿美元（New Climate Economy,2015、2016）。另外，新能源来源几乎零成本，虽前期资本支出巨大，但边际成本极低。资本支出节约既可覆盖重置成本，也可增加净储蓄，转化为新增投资，提高潜在产出。

2.通胀水平

理论上来看，碳排放权交易或碳税等价格型手段会在短期加剧能源供求导致的紧缩效应，推高通胀预期（Andersson,2020;Semieniuk et al.,2020）。在碳交易体系中，企业必须为排放权支付一定价格，从而增加生产成本，其效果类似于征收碳税。由于价格信号传导效率更高，企业可在短期将成本转嫁消费者，提高消费者价格，这是均衡条件下税收增加的典型结果（Semieniuk et al.,2020）。已有研究表明，欧盟碳交易体系中，配额价格上涨导致的企业生产成本增加在很大程度上转嫁消费者（Martin,2016），形成通胀压力，且市场预计这类压力还会进一步温和上升（Osterloh,2020）。如果碳税税率变化较大，也会扰乱通胀预期，但鉴于欧盟 EU-ETS 配额价格波动较大，碳排放交易体系对通胀波动的影响要远大于碳税（Andersson,2020）。尽管欧盟承诺将削减配额，但 ETS 期货并未显示强烈的价格上涨预期，尽管如此，配额价格波动仍然是未来通胀上行的重要影响因素（Osterloh,2020）。

从长远看，为实现碳中和目标而施行的政策、技术变革可抵消能源供求失衡造成的通胀压力，降低未来通胀水平（Kavlak,McNerney and Trancik,2018;Nemet,2019）。首先，节约成本的技术创新会进一步降低低碳技术价格，这是一个非线性过程（Rogers,2003）。新技术越便宜，随时间推移，技术之间的结构变化和相对需求比率的变化越快，低碳技术采用率越高（Creutzig et al.,2017），技术外溢导致其更便宜，直至成为“新常态”，最终改变技术范式（Dosi,1982 ;Arthur,1989）。这表明，技术扩散会自我强化和内生发展，一旦投入使用，即便没有任何新政策，也可显著降低价格（McShane,Bradlow and Berger,2012;Pettifor et al.,2017）。其次，技术创新可降低新能源边际成本及价格波动，引发能源、电力价格持续下跌和能源利用效率提高，最终压低通胀及其预期（Nemet,2019）。另外，各国只有通过显著提高能效才能实现减排目标，这意味着，未来达到同样效能所需的能源将更少（IEA,2017）。对化石燃料来说，远期的需求不足和供过于求加剧价格走低趋势。如果化石燃料生产商预期需求锐减是长期趋势，可能会采取低价策略，在短期争夺市场份额（Sinn,2008），进一步压低化石燃料价格（Mercure,2019），即“绿色悖论”，这同样会压低整体通胀水平。

第三，长远的消费者偏好变化可驱动需求和价格变化（Bowles,1998）。偏好对制度演变来说具有内生性，通过需求拉动效应，对低碳产品的偏好会影响技术变革的步伐和方向，进一步降低低碳商品价格和通胀预期（Semieniuk et al.,2020）。

3.就业与收入

无论采用碳价类政策还是绿色技术变革类政策，在逐步淘汰化石能源过程中，将导致大量相关产能萎缩和资产搁浅，中短期存在结构性失业风险。New Climate Economy (2014) 测算发现，当全球升温 2°C 以内的概率为 50% 时，全球二氧化碳只能排放约 1.1 万亿吨。但如果已有的煤炭、石油和天然气储量全部用完，将排放 3-5.4 万亿吨二氧化碳，约为碳预算的 3-5 倍。这意味着，除非使用可行的二氧化碳封存方法，否则为实现气候目标，将有大量化石燃料储备无法使用，形成“搁浅资产”⁷。搁浅资产的属性决定了失业的结构性特征，高碳行业可能面临严重的失业问题。如果政策不稳定，考虑到宏观经济整体收入与支出的乘数效应和连锁反应，高成本的化石燃料企业甚至可能失去高达 3%（美国）和 8%（加拿大）的就业机会（Mercure et al., 2018）。因资产搁浅失业的人员面临“再就业”难题，IMF 研究表明，为实现碳中和目标而采取的一揽子气候政策将导致全球约 2% 的工作岗位从高碳部门重新分配至低碳部门（Jaumotte et al., 2021），为确保“公平转型”而对劳动力进行再培训的成本巨大（Pollin, 2019; Oei et al., 2020）。另外，技术变革已推动可再生能源成本持续下降，化石燃料的价格优势逐步缩小，甚至不复存在，这将进一步挤压化石燃料企业的生存空间。清洁生产技术的转移限制和国际竞争，导致企业无法完全向消费者转嫁排放成本，降低其盈利和就业吸纳能力。

资产搁浅对就业的影响，还可能由化石能源部门外溢至其他行业。化石燃料属于采矿、加工过程中的投入品，也是消费等下游部门的关键中间产品，产业相关性强，资产搁置风险几乎可能发生在产业链的任何一环，对就业的影响无处不在。Cahen-Fourot et al. (2019) 的研究表明，在生产过程中剥离化石燃料，将影响整个欧洲生产网络。

也有研究表明，由于高碳行业的就业通常只占总就业的很小部分，随着绿色产业迅猛发展并逐步替代传统产业，就业形势趋于乐观。以欧盟为例，其前 10 大污染行业的碳排放量占比最高，但就业人数仅占 15% 左右（ILO and OECD, 2012）。即使在大型化石能源生产国中，由于低碳相关产业劳动力吸纳能力更强，且碳税等政策对就业影响有限甚至偏积极，快速转型期的净工作岗位变动也可能是积极的（Pollin, 2015; Bastidas and Isaac, 2019）。Garrett-Peltier (2017) 的研究发现，每投资 100 万美元，在可再生能源和能效领域可创造 7.49 个工作岗位，而化石燃料领域仅能创造 2.65 个工作岗位，投资于低碳行业创造的就业岗位可能显著高于因退出高碳行业而损失的岗位（绿金委课题组，2021）。Yamazaki (2017) 对加拿大不列颠哥伦比亚省碳税的就业效应进行分析发现，碳税对该省就业产生微弱的积极影响。Bernard et al. (2018)、Metcalf and Stock (2020) 等人的研究也支持该结论，后者对过去 30 年碳税对欧洲国家 GDP 及就业的影响进行估算发现，

⁷ 国际能源组织（The International Energy Agency）将搁浅资产定义为：在其正常使用寿命前结束使用、不再产生经济效益的投资，包括矿产开采权、化石燃料储备或可能导致高碳排放的基础设施等。搁浅资产一般分三种：一是监管搁浅，即由于环保政策变化形成的搁浅资产；二是经济搁浅，即由于相对成本或价格变化形成的搁浅资产；三是物理搁浅，即由于距离、洪水、干旱等导致的搁浅。

碳税对 GDP 和就业产生了温和的正向影响。尽管总体影响很小，但劳动力确实存在从碳密集型行业转换至低碳行业的趋势。

家庭部门因失业导致实际收入及收入预期负向变动，通过消费与信贷渠道冲击宏观经济。从消费渠道看，失业造成收入减少，通过养老基金等方式持有的资产由于包含大量化石能源而导致投资回报下降，家庭消费水平因此降低（Amromin, De Nardi and Schulze, 2018; Fisher et al., 2019）。贫困家庭由于消费倾向更高，收入的很大比例用于购买高碳产品，如果在实施碳税等价格型手段的同时不进行收入再分配，将导致福利净损失（Semieniuk et al., 2020）。据估计，最贫困地区的美国家庭比富裕地区的家庭要多付出 50% 的成本（Fremstad and Paul, 2019）。从信贷渠道看，失业或预期收入锐减的家庭贷款违约风险更高，未来获得信贷支持的可能性更低，这种因失业带来的收入和财富差距扩大以及信用歧视，会对消费、产出形成负面冲击。因此，碳中和政策设计需考虑整体社会福利，避免结构性失业和收入分配不合理导致居民成为低碳转型成本的主要负担者。

4. 金融风险及其与经济的循环反馈

在实现碳中和过程中，大量搁浅资产通过信贷、价值重估等渠道影响金融稳定。将搁浅资产从化石能源及其上下游企业、钢铁等高碳企业资产负债表中冲销，导致信用风险增加。为控制不良率，商业银行会收缩信贷投放，当存在金融摩擦时，获得外部融资的能力变化，可通过金融加速器及其他机制放大财富效应和替代效应，进一步拉低企业、家庭和政府的投资水平（NGFS, 2019）。融资受限、政策收紧引发行业价值重估，相关企业市值缩水、信用评级下降，直接冲击持有相关股权或债权的金融机构的财务状况。如果该类企业债务与股权关系较多，将对利益相关方和二级市场投资者形成财务压力，进一步压低相关行业整体估值，扰乱金融市场价格信号，最终通过相互交织的金融市场导致风险集中爆发，形成“气候明斯基时刻”（Bank of England, 2018）。这是一种气候变化导致实体资产搁浅进而影响金融体系和宏观经济稳定的风险。

除气候相关金融风险的研究外，越来越多文献关注气候变化下宏观经济与金融稳定的相互影响机制。例如，有研究表明，低碳转型过程中公共与私人债务积累，强化金融风险处置约束，易形成金融-经济循环反馈，放大经济冲击（Andersson et al., 2020）。一方面，产业转型伴随大量失业救助和资本重置需求，需财政发挥自动稳定器作用进行逆周期调节，相应增加的政府支出可能挤出其他常规支出。另一方面，金融风险的处置本质是去杠杆，这一紧缩过程直接影响企业和家庭部门行为，从而影响经济周期。私人与公共部门去杠杆，必然引致过度储蓄倾向，降低消费能力，宏观经济政策短期内无法有效提振消费和投资，从而影响产出与增长。

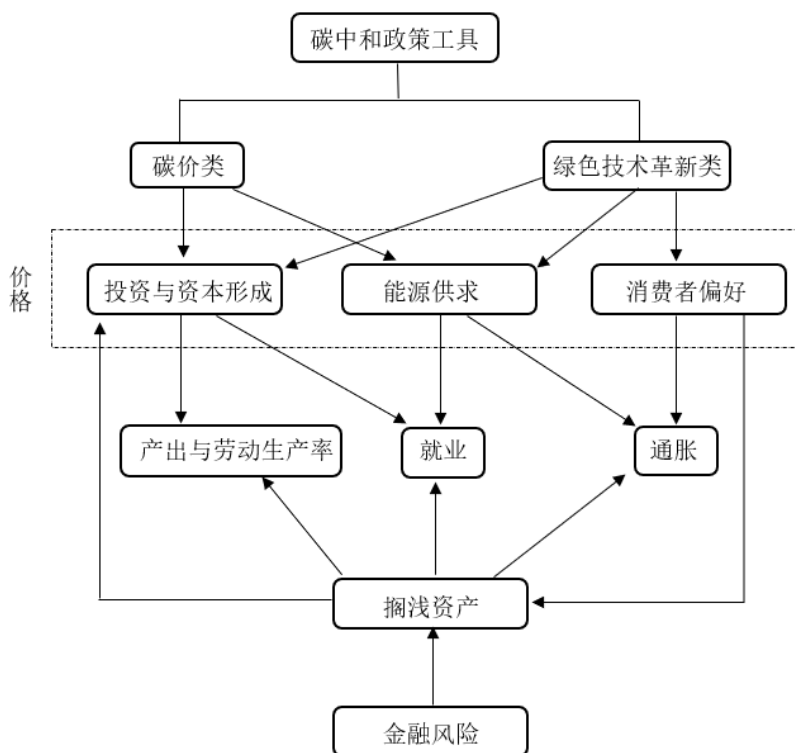


图 1 主要碳中和政策对宏观经济的影响渠道

(二) 关于低碳转型对我国宏观经济影响的观点综述

习近平总书记提出中国 2030 年碳达峰、2060 年前实现碳中和的目标，是全球应对气候变化进程中的里程碑事件。在 2020 年 12 月的气候雄心峰会上，习总书记对我国单位 GDP 二氧化碳排放强度、非化石能源占一次能源消费比重、森林蓄积量、可再生能源发电量等做出进一步承诺，将极大推动我国绿色低碳发展。

受资源禀赋约束，我国能源结构仍以化石能源为主，碳排放量占全球 30% 左右（BP 世界能源统计年鉴,2021），推动能源转型是实现碳中和目标的关键。为此，含天然气在内的清洁能源占一次能源比重在 2025 年、2035 年分别应达 22%、40%，2040 年左右应超过 50%，成为我国能源供应的主体，2060 年至少应达到 80% 以上（国网能源研究院，2020 年）。经济快速发展过程中，能源需求增长与碳排放约束之间的矛盾，增加我国实现碳中和目标的难度。为实现 2060 碳中和目标，2030 年后我国年减排力度将远超发达国家。这需全局性、根本性、精准合理的顶层设计，通过公平与效率兼顾的政策路径，助推能源转型。

我国要实现“碳中和”目标，需从节能减排、碳抵消两方面入手。节能减排需在供给侧完善能源结构，提升一次能源中非化石能源占比，在二次能源中加速推动氢能发展、提升电气化率；在需求侧，应着力降低生产、消费环节的能耗，提高能效。碳抵消需增加碳汇，大力推动碳捕集、利用和封存技术（CCUS）产业化。无论是供给侧还是需求侧降碳，都需合理的财政、金融及产业政策配合，引导资金向绿色领域配置，这一过程将深刻影响我国劳动生产率、通胀水平、就业结构与经济金融稳定。

研究表明，低碳转型对我国经济中短期、长期影响不同。Bai et al. (2021) 研究发现，通过限产推动减排会短暂影响部分行业产出，一定程度拖累国民经济增长。但这一影响可通过优化产业结构来化解。实现碳中和目标在降低我国化石能源、化工等高碳制造业劳动生产率的同时，增加清洁能源、数字经济、新材料等产业的权重，这类部门可显著提升产出和劳动生产率的拉动作用，抵消淘汰落后产能、产业结构转型中的产出与生产率损耗。第二产业的化工、建筑等产业链较长的部门拉动经济增长作用较强，碳排放量较大，其低碳转型对我国实现“碳达峰、碳中和”至关重要，从中长期看，这类部门的转型升级将带来巨大的投资需求，有助于碳减排和提升增长潜力。另外，由于我国是能源净进口国，2020年煤炭、原油、天然气进口规模分别高达3.04亿吨、5.4亿吨和1.02亿吨⁸，大力发展新能源将夯实我国在全球清洁能源领域的优势地位，增加能源出口，改善能源行业贸易条件，拉动经济增长。值得注意的是，碳中和存在巨大的收入再分配效果，可能在一定程度增加财政压力。

梳理文献发现，实现碳中和的各类政策主要通过三大渠道影响我国通胀水平。第一，能源供求。短期看，能源供求缺口可能因替代能源研发与投产滞后而进一步扩大，提高能源及下游产品价格。第二，新能源价格。清洁能源（如太阳能、风能）⁹具有间歇性和波动性特征，受局部资源条件、储能和智能电网技术所限，中短期内清洁能源单位电价成本将持续高于常规能源电价，推高通胀预期。据国家电网能源研究院测算¹⁰，零碳情景下，2025年和2030年新能源发电额外系统成本将达到0.14元/千瓦时和0.2元/千瓦时，分别为2020年的2.3倍和3倍。第三，成本转嫁能力。能源价格和减排技术应用增加企业生产成本，如果这一成本主要由消费者承担，将推动价格水平上行。长期看，随着清洁能源和减排技术的大范围推广与成熟运用，价格水平可能逐步趋降（Osterloh,2020, Semieniuk et al.,2020）。

较多文献认为，加速低碳转型可能在短期增加摩擦性失业，长期可改善我国就业结构。短期就业压力主要集中于中西部化石能源开采地区和高碳行业。中西部地区农业和第二产业占比高，劳动和能源密集型产业多，产业链相对较长，用工规模较大，劳动力（尤其是大龄工人）技能相对单一，就业更易受人工智能、自动化产业升级和能源结构转型的冲击（Bai et al.,2021）。为实现减排目标，高碳行业将更多采用封存利用等碳排放闭环管理技术，对产业工人的操作技能和知识水平要求更高。如果岗位技能培训和公共就业服务滞后，将增加传统产业工人的再就业难度。郑馨竺等人（2021年）通过实证研究发现，我国实现绿色转型

⁸ 引自国家统计局。

⁹ 页岩气作为新兴替代能源，其开采过程中耗水量约为常规天然气的10倍，井田面积约为常规天然气的几十倍，而我国页岩气多分布于西部缺水地区，开采成本高，其开发过程还面临水污染、空气污染和地质破坏等环境风险。另外，页岩气作为非常规天然气，使用中也会产生二氧化碳排放（约为煤炭的45%），在碳中和愿景下，这一能源类型是否清洁仍存争议。我国目前在尝试利用超临界二氧化碳开发陆相页岩气，将液态二氧化碳注入页岩气井下封存，同时挤出页岩气，这一技术对温度、压力要求较高，仍处于试验阶段，中短期内对改善能源供给效果有限。

¹⁰ 数据为作者赴国家电网能源研究院调研所得。

需要约 13%的就业人口跨行业就业，中、低技能劳动者占 96%以上，跨行业就业门槛和劳动者技能瓶颈可能增加劳动力流转匹配的时间成本，甚至引发结构性失业。从长期看，当环境政策与精心设计的补贴、财政激励措施及劳动力市场政策相结合时，促进就业的效果更优。在实践中，我国通过“十三五”期间的供给侧改革，关闭或整合一大批煤矿、冶金和电力企业，转岗安置约 180 万产业工人，通过提前退休、就业培训补贴、创业补贴、分流安置等措施，成功为 28 个省市、2000 家企业的 72.6 万名职工提供了再就业支持（Van Der,2017）。随着绿色清洁与数字经济相结合，形成的新业态将较传统产业具有更大的劳动力吸纳优势（Bai et al.,2021）。

四、经济低碳转型发展对中央银行的挑战

（一）低碳转型下，央行履职可能面临的挑战

诸多研究表明，低碳转型对宏观经济变量的潜在冲击可能从政策目标、政策空间、传导渠道等方面影响央行货币政策。

Bielen（2017）等人的研究认为，能源转型可能降低中长期通胀预期，加大实现货币政策目标的难度。如前所述，低碳经济转型过程中，可再生能源的边际成本将大幅降低，且供给趋于稳定，能源结构持续优化将改变相对价格。这种变化理论上不应影响货币政策，但如果变化幅度足够大且持久，企业、家庭和金融市场会调低中期通胀率预期，增加央行维持合意通胀水平的难度。例如，大宗商品价格急剧下跌，导致 2014 年底欧元区的标题通胀率为负，由于市场预期大宗商品价格将持续下降，2016 年底之前标题通胀率一直在 0 附近波动。尽管“中期”概念为央行提供了应对不同冲击的灵活性，但央行能承受持续供给冲击的程度有限，政策需要在广义的第二轮效应¹¹风险出现前采取前瞻性行动，有效管理预期，避免更大冲击。上世纪 70 年代末和 80 年代初，主要央行为避免石油价格冲击核心通胀率的“第二轮通胀效应”，曾大幅提高利率，以捍卫价格目标。

低碳技术变革引发产出与潜在劳动生产率波动，增加货币政策权衡难度（Cœuré,2018）。未来能源转型并非孤立进行，而是与其他技术创新一道，共同引发更广泛的经济结构变革。大数据分析有助于精确挖掘气候数据并提高应对能力，新能源与人工智能等科技手段结合，不仅能提高能源利用效率，还可能改变航空、运输、物流等行业。这类创新有助于扭转生产率增速的长期下降趋势，经济增速的趋势性增加可能提升自然利率水平，增加央行调整商业周期性波动时的货币政策空间（Cœuré,2018）。同时，与一系列持续的积极供给侧冲击类似，它们还可能引发潜在的产出与劳动生产率波动，需央行通过货币政策调整做出响应。碳中和作为远景目标，这一潜在产出和生产率冲击具有持续性。货币政策空间虽可扩展，但并非无限，为应对结构转型和技术变革带来的潜在产出冲击，货币政策任重道远。

气候相关金融风险与经济冲击相互交织，可能影响中长期的货币条件及货币政策传导渠道（Batten et al.,2016）。一方面，转型过程中，气候相关风险引发资

¹¹ Second-Round Effect.

产价格修正，抵押品缩水或交易对手风险偏好降低，可能增加银行等金融机构从银行间及其他短期融资市场获得流动性的难度（NGFS,2021）。资产价格下跌时，银行可能为满足信贷风险管理要求，减少信贷供应，降低企业和家庭的抵押贷款可得性。这种冲击会改变货币政策传导渠道（Batten, Sowerbutts and Tanaka, 2016）。另一方面，转型引发的资产价格修正，将直接影响货币政策操作中交易对手的财务稳健性及抵押品或直接持有资产的价值，进而影响货币政策工具的使用。因此，央行在政策制定和实施过程中，需考虑相关金融资产价格受气候风险负面冲击的情形。

（二）政策建议

学界普遍认为，央行可主要从两个方面着力，推动经济绿色低碳转型。一是，鼓励为能源转型提供长期融资。二是，采取明确和可预见的措施降低投资不确定性（Brunnermeier and Landau,2020）。两种方式都有助于引导经济主体的长期行为。从目前的国际实践看，央行推动绿色低碳转型的政策工具主要有信贷操作、抵押品政策和资产购买三类。信贷政策主要由印度、孟加拉国等发展中国家采用，具有一定行政性、强制性分配色彩。抵押品政策和资产购买主要由欧央行和英格兰银行采用，由于其中碳密集企业的比例远高于这类企业对就业和生产的贡献，政策中立性问题广受关注。碳密集型企业往往具有较高信用评级，很多低碳企业规模太小不足以发行公司债，因此抵押品政策和资产购买计划中所谓“市场中性”原则，实际上更利好碳密集型企业，反而造成政策有偏。例如，欧央行公司部门购买计划（CSPP）所购买的合格绿色债券主要集中于基础设施、交通、建筑等高排放领域，这类行业占 CPSS 合格债券的比重为 35%，占其合格绿色债券的比重高达 94%。欧央行体系抵押品框架中，所有碳密集型企业占合格公司债券余额的比重为 59%，而他们对欧盟就业和国民生产总值的贡献率分别为 24%和 29%，合格抵押品资格分配更偏好碳密集型部门（Dafermos et al.,2021）。英国在资产购买计划中，电力与制造业在合格资产中占比 49.2%，但仅占 GDP 的 11.8%（Schoenmaker, 2019）。以欧央行行长拉加德和西班牙央行行长埃尔南德斯德科斯为代表的部分官员呼吁，在公司债购买计划中逐步放弃市场中立性原则，有意识地将投资组合向绿色产业倾斜（Piazzesi et al.2021），这一做法并不会加剧通胀（Ilzetzki and Jia,2021）。德国央行行长魏德曼和西班牙央行行长埃尔南德斯德科斯建议，可考虑在资产购买计划中设定新的具体标准，引入气候相关披露要求，以便发行人获得欧央行的购买资格（Weidmann,2020; Hernández de Cos,2021），同时可在信用评级中充分反映气候风险对发行人财务状况的影响，扩大评级结果的使用范围（Hernández de Cos,2021），以此推动央行资产负债表上或抵押品框架内的所有企业资产脱碳。

我国应构建绿色金融激励约束机制，丰富政策工具体系，引导绿色低碳转型。在货币政策方面，谨慎评估气候政策对通胀与产出的短期干扰。在确定是否对冲击作出响应前，应区分是需求还是供给冲击，判断转型冲击的持续时间和力度。通过适宜的货币政策，熨平气候变化和低碳转型对产出、就业、通胀的潜在冲击，

更多关注公正转型问题。利用结构性货币政策，提高金融机构开展绿色金融业务的积极性，切实降低绿色企业融资成本，促进资金流向可持续资产，加大对清洁产业、先进产能的支持，但以不损害物价目标的实现为限。支持碳交易市场发展，通过激励约束机制，合理引导资源配置，促进产业、能源转型。同时，央行应高度关注气候变化相关金融风险，避免气候风险爆发与实体经济受冲击形成恶性循环反馈。全球主要央行基本认同，应评估并酌情采取额外的风险管理措施，维护自身资产负债表免受气候相关风险的冲击（NGFS,2021）。应稳步提高气候风险分析能力，逐步将气候相关风险纳入宏观审慎管理，统筹协调宏观审慎政策与微观审慎监管、金融风险有序处置的关系，逐步构建制度化的气候风险监管要求和评估体系，要求金融机构进行风险评估和压力测试，央行也要对整个金融体系的气候风险进行充分评估，适时开展金融机构绿色金融评价。

参考文献

- [1] 国网能源研究院, 2020年,《中国能源电力发展展望》。
- [2] 国新办, 2020年,《新时代的中国能源发展》白皮书。
- [3] 绿金委课题组, 2021,《碳中和愿景下的绿色金融路线图研究》。
- [4] 英国石油公司, 2021年,《BP世界能源统计年鉴》, 2021年7月, 第70版。
- [5] 郑馨竺、张雅欣、李晋和王灿, 2021年,《后疫情时期的经济复苏与绿色发展: 对立还是共赢》,《中国人口·资源与环境》, 2021年第31卷, 第2期, 1-13。
- [6] Al-Mulali, U., I. Ozturk. 2016. The investigation of environmental Kuznets curve hypothesis in the advanced economies: the role of energy prices *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 54 (2016), pp. 1622-1631.
- [7] Alam, M.S., M. Atif, C. Chien-Chi, U. Soytaş. 2019 “Does corporate R&D investment affect firm environmental performance? Evidence from G-6 countries”. *Energy Econ.*, 78 (2019).
- [8] Albrizio, S., Kozluk, T. and Zipperer, V. 2017. “Environmental Policies and Productivity Growth: Evidence Across Industries and Firms”, *Journal of Environmental Economics and Management*, Vol. 81, pp. 209-226.
- [9] Amromin, G., De Nardi, M., & Schulze, K. 2018. Household inequality and the consumption response to aggregate real shocks. *Economic Perspectives*, 2018(1), pp.1-20. <https://doi.org/10.21033/ep-2018-1>.
- [10] Andersson, Malin, Claudio Baccianti, Julian Morgan. 2020. “Climate change and the macro economy”. *ECB Occasional Paper Series*, No 243 / June 2020.
- [11] Annicchiarico, B. and Dio Dio, F.. 2015. “Environmental policy and macroeconomic dynamics in a New Keynesian model”, *Journal of Environmental Economics and Management*, Vol. 69, pp. 1-21.
- [12] Annicchiarico, B. and Di Dio, Fabio. 2017. “GHG emissions control and monetary policy”, *Environmental and Resource Economics*, Vol. 67, No. 4, pp. 823-851.
- [13] Anthoff, D. and Tol, R. 2013. “The uncertainty about the social cost of carbon: A decomposition analysis using fund”, *Climatic Change*, Vol. 117, Issue 3, April, pp. 515-530.
- [14] Arthur, W. B.. 1989. Competing technologies, increasing returns, and lock-in by historical events. *The Economic Journal*, 99(394), 116-117.
- [15] Auffhammer, M. 2018. “Quantifying Economic Damages from Climate Change”, *Journal of Economic Perspectives*, Vol. 32, Fall 2018, pp. 33-52.
- [16] Baek, J., H.S. Kim. 2013. Is economic growth good or bad for the environment? empirical evidence from Korea *Energy Econ.*, 36 (2013), pp. 744-749.
- [17] Bai, Shukuan, Boya Zhang, Yadong Ning, Ying Wang. 2021. “Comprehensive analysis of carbon emissions, economic growth, and employment from the perspective of industrial restructuring: a case study of China,” *Environmental Science and Pollution Research*. May 10, 2021. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-14040-z>.

- [18] Bank of England , Prudential Regulation Authority. 2018. “Transition in Thinking: The Impact of Climate Change on the UK Banking Sector.” PRA Report, <https://www.bankofengland.co.uk/prudential-regulation/publication/2018/transition-in-thinking-the-impact-of-climate-change-on-the-uk-banking-sector>.
- [19] Bastidas, D., & Mc Isaac, F..2019. Reaching Brazil's nationally determined contributions: An assessment of the key transitions in final demand and employment. *Energy Policy*, 135, 110983. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.110983>.
- [20] Batten, S., R. Sowerbutts, and M. Tanaka.2016. “Let’s talk about the weather: the impact of climate change on central banks.” Bank of England. Working Paper, No. 603.
- [21] Batten, Sandra. 2018. “Climate Change and the Macro-economy: A Critical Review.” Bank of England. Working Paper, No.706. <https://www.bankofengland.co.uk/-/media/boe/files/working-paper/2018/climate-change-and-the-macro-economy-a-critical-review.pdf?la=en&hash=D1A56DF33C50074F5D3383587A272BFD611CBA04>.
- [22] Benmir, G., Jaccard, I. and Vermandel, G..2020.“Green asset pricing”, London School of Economics and Political Science, London, U.K.
- [23] Bernard, Jean-Thomas; Maral Kichian and Misbahul Islam. 2018. "Effects of B.C.’S Carbon Tax on GDP," USAEE, Research Paper Series No. 18-329.
- [24] Bielen et al..2017. “The Future of Power Markets in a Low Marginal Cost World”, Resources for the Future Working Paper 17-26.
- [25] BIS. 2021. “Climate-related risk drivers and their transmission channels”, <https://www.bis.org/bcbs/publ/d517.pdf>.
- [26] Bjørnland, H., F. M. Nordvik and M. Rohrer.2017. “How Flexible is US Shale Oil Production? Evidence from North Dakota”, Centre For Applied Macro – And Petroleum Economics (Camp) Working Paper Series, No 2/2017.
- [27] Bowles, S..1998. Endogenous preferences: The cultural consequences of markets and other economic institutions. *Journal of Economic Literature*,36(1), 75–111.
- [28] Brannlund, Runar and Ing-Marie Gren eds. 1999. *Green Taxes: Economic Theory and Empirical Evidence from Scandinavia*. Cheltenham, UK: Edward Elgar.
- [29] Brunnermeier, Markus K, Jean-Pierre Landau.2020. “Central banks and climate change.” 15 January 2020. <https://voxeu.org/article/central-banks-and-climate-change>.
- [30] Burke, Marshall, Solomon M. Hsiang and Edward Miguel. 2015. Global Non-Linear Effect of Temperature on Economic Production, *Nature*, vol. 527, pp. 235-239, 2015.
- [31] Cahen-Fourot, L., Campiglio, E., Dawkins, E., Godin, A., & Kemp-Benedict, E..2019. Capital stranding cascades: The impact of decarbonisation on productive asset utilisation. WU Institute for Ecological Economics Working Paper Series, 18/2019.
- [32] Carbone, J.C. and Rivers, N. (2017), “The Impacts of Unilateral Climate Policy on Competitiveness: Evidence From Computable General Equilibrium Models”, *Review of Environmental Economics and Policy*, Vol. 11(1), Winter 2017, pp. 24-42.

- [33] Cœuré, B..2018. “Scars that never were? Potential output and slack after the crisis”, speech at the CEPII 40th Anniversary Conference, Paris, 12 April.
- [34] Cœuré, Benoît.2018.Monetary policy and climate change. Speech at a Conference on “Scaling up Green Finance: The Role of Central Banks”, organised by the Network for Greening the Financial System, the Deutsche Bundesbank and the Council on Economic Policies, Berlin, 8 November 2018.
- [35] Creutzig, F., Agoston, P., Goldschmidt, J. C., Luderer, G., Nemet, G., & Pietzcker, R. C. 2017. The underestimated potential of solar energy to mitigate climate change. *Nature Energy*, 2(9), 17140. <https://doi.org/10.1038/nenergy.2017.140>.
- [36] Dechezleprêtre, Aghion, P., A., Hemous, D., Martin, R., and van Reenan, J..2012.“Carbon taxes, Path Dependency and Directed Technical Change: Evidence from the Auto Industry”, NBER Working Paper, No 18596.
- [37] Dafermos, Yannis, Daniela Gabor, Maria Nikolaidi, Adam Pawloff and Frank van Lerven.2021. “Greening the Eurosystem Collateral Framework.” New Economics Foundation.
- [38] Diaz, D.. and F. Moore.2017. "Quantifying the Economic Risks of Climate Change," *Nature Climate Change*, vol. 7, pp.774-782, 2017.
- [39] Dietz, S. and Stern, N..2015.“Endogenous Growth, Convexity of Damage and Climate Risk: How Nordhaus’ Framework Supports Deep Cuts in Carbon Emissions”, *The Economic Journal*, Vol. 125 (March) pp. 574-620.
- [40] Dosi, G..1982. Technological paradigms and technological trajectories. *Research Policy*, 11(3), 147–162.
- [41] ECB.2018.Labour supply and employment growth.*Economic Bulletin*, Issue 1.
- [42] Economides, G. and Xepapadeas, G..2018. “Monetary policy under climate change”, Bank of Greece Working Papers, No. 247, Athens.
- [43] Ferrari, Alessandro and Valerio Nispi Landi.2020. “Whatever it takes to save the planet? Central banks and unconventional green policy.” ECB Working Paper Series, No 2500 / December 2020.
- [44] Fisher, J., Johnson, D., Latner, J., & Smeeding, T. (2019). Estimating the marginal propensity to consume using the distributions of income, consumption, and wealth. *Federal Reserve Boston Research Department Working Papers* 19-4.
- [45] Fosten, J., B. Morley, T. Taylor. misspecification in the environmental Kuznets curve: evidence from CO2 and SO2 emissions in the United Kingdom. *Ecol. Econ.*, 76 (2012), pp. 25-33.
- [46] Freeman, C., & Louca, F. 2001. *As time Goes by*. Oxford and New York: Oxford University Press.
- [47] Fremstad, A., and Paul, M..2019. The impact of a carbon tax on inequality. *Ecological Economics*, 163(July 2018), 88–97. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2019.04.016>.
- [48] Gabriel Bachnera, Jakob Mayer , Karl W. Steininger.2019.Costs or benefits? Assessing the economy-wide effects of the electricity sector's low carbon transition – The role of capital costs, divergent risk perceptions and premiums. *Energy Strategy Reviews* Volume 26, November 2019, 100373.

- [49] Garrett-Peltier, Heidi.2017. “Green Versus Brown: Comparing the Employment Impacts of Energy Efficiency, Renewable Energy, and Fossil Fuels Using an Input-Output Model,” *Economic Modelling* 61 (February 1, 2017): 439–47.
- [50] Goulder, Lawrence H. and Marc Hafstead. 2017. *Confronting the Climate Challenge*. New York: Columbia University Press.
- [51] Hassler, J, P Krusell, C Olovsson, and M Reiter.2020. “On the effectiveness of climate policies,” Working paper.
- [52] Hernández de Cos.2021. “ECB Should Account for Climate Risks in its Price Stability Mandate.” www.centralbanking.com.
- [53] Hope, C..2006. “The marginal impact of CO2 from PAGE2002: an integrated assessment model incorporating the IPCC’s five reasons for concern,” *Integrat Assess J* 6(1), pp. 19-56.
- [54] Howard,P..2015. "Expert Consensus on the Economics of Climate Change," Institute For Policy Integrity, 2015.
- [55] Ilzetzki, Ethan, Jason Jia.2021. The ECB’s green agenda.10 March 2021, <https://voxeu.org/article/ecb-s-green-agenda>.
- [56] ILO and OECD.2012. "Sustainable development, green growth and quality employment: Realizing the potential for mutually reinforcing policies, "Background paper for the Meeting of G20 Labour and Employment Ministers, Guadalajara, Mexico, 17–18 May, <http://www.oecd.org/employment/emp/50318559.pdf> (accessed on 30 July 2018).
- [57] IMF. 2017. “The Effects of Weather Shocks on Economic Activity.” in *World Economic Outlook*, Chapter 3, International Monetary Fund, October.
- [58] IPCC.2018. *Global Warming of 1.5 Degree Celsius*. Geneva: IPCC.
- [59] IPCC.2021. “Climate Change 2021: The Physical Science Basis.” <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/#SPM>.
- [60] Jaimes, R..2020. “The dynamic effects of environmental and fiscal policy shocks”, mimeo., University of Tilburg.
- [61] Jaumotte, Florence, Weifeng Liu, and Warwick J. McKibbin.2021. “Mitigating Climate Change: Growth-Friendly Policies to Achieve Net Zero Emissions by 2050.” IMF Working Paper, WP/21/195.
- [62] Kavlak, G., McNerney, J., & Trancik, J. E..2018. Evaluating the causes of cost reduction in photovoltaic modules. *Energy Policy*, 123, 700–710. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.08.015>.
- [63] Kohlscheen,Emanuel, Richhild Moessner and Előd Takáts.2021. BIS Working Papers, No. 929,03 March 2021. <https://www.bis.org/publ/work929.htm>.
- [64] Krogstrup, Signe and William Oman. 2019. “Macroeconomic and Financial Policies for Climate Change Mitigation: A Review of the Literature.” IMF Working Paper, WP/19/185.
- [65] Martin, R. et al..2016. “The Impact of the European Union Emissions Trading Scheme on Regulated Firms: What Is the Evidence after Ten Years?”, *Review of Environmental Economics and Policy*, Vol. 10, issue 1, 2016, pp. 129 -148.
- [66] McKibbin, W.J., Morris, A.C., Wilcoxon, P.J. and Panton, A.J..2017. “Climate Change and

- Monetary Policy: Dealing with Disruption”, Brookings Climate and Energy Economics Discussion Paper, November.
- [67] McShane, B. B., Bradlow, E. T., & Berger, J. 2012. Visual influence and social groups. *Journal of Marketing Research*, 49(6), 854–871. <https://doi.org/10.1509/jmr.11.0223>.
- [68] Mercure, J. F., Pollitt, H., Viñuales, J. E., Edwards, N. R., Holden, P. B., Chewpreecha. 2018. Macroeconomic impact of stranded fossil fuel assets. *Nature Climate Change*, 8(7), 588–593. <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0182-1>.
- [69] Mercure, J.-F. 2019. Toward risk-opportunity assessment in climate-friendly finance. *One Earth*, 1(4), 395–398.
- [70] Metcalf, Gilbert E. 2019. "On the Economics of a Carbon Tax for the United States." *Brookings Papers on Economic Activity*, (Spring), 405-458.
- [71] Metcalf, Gilbert E., James H. Stock. 2020. The Macroeconomic Impact of Europe’s Carbon TAXES. NBER Working Paper 27488, July 2020. <http://www.nber.org/papers/w27488>.
- [72] Metcalf, Gilbert E. and James H. Stock. 2020. "Measuring the Macroeconomic Impacts of Carbon Taxes." *American Economic Review: Papers and Proceedings*, 110(May), 101-106.
- [73] Monasterolo, I. 2020. “Climate change and the financial system”, *Annual Review of Resource Economics*, Vol. 12, pp. 299-320.
- [74] Nasir, M.A., T.L.D. Huynh, H.T.X. Tram. Role of financial development, economic growth & foreign direct investment in driving climate change: A case of emerging ASEAN. *J. Environ. Manage.*, 242 (1) (2019), pp. 131-141.
- [75] NGFS. 2019. “A call for action Climate change as a source of financial risk.” First comprehensive report.
- [76] NGFS. 2021. “Adapting central bank operations to a hotter world Reviewing some options.” Technical document, March 2021.
- [77] Nikolaidi, M., & Stockhammer, E. 2017. Minsky models: A structured survey. *Journal of Economic Surveys*, 31(5), 1304–1331. <https://doi.org/10.1111/joes.12222>.
- [78] Nemet, G. F. 2019. *How solar energy became cheap: A model for low-carbon innovation*. London: Routledge.
- [79] New Climate Economy. 2015. “Seizing the Global Opportunity”, *The Global Commission on the Economy and Climate*, Washington.
- [80] New Climate Economy. 2016. “The Sustainable Infrastructure Imperative: Financing for Better Growth and Development”, Washington.
- [81] Nordhaus, W.D. 2017. “Revisiting the social cost of carbon”, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, Vol. 114, No. 7, pp. 1518-1523.
- [82] Noy, I. 2009. “The macroeconomic consequences of disasters”, *Journal of Development Economics*, 88(2): 221-231.
- [83] OECD. 2015. *OECD Economic Outlook*, Issue 2, Chapter 2, “Cool Policy: Climate Change Mitigation Supporting Growth”.

- [84] Oei, P.-Y., Hermann, H., Herpich, P., Holtemöller, O., Lünenbürger, B., & Schult, C..2020. Coal phase-out in Germany—Implications and policies for affected regions. *Energy*, 196, 117004. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117004>.
- [85] Osterloh, Steffen.2020. “The implications of fiscal measures to address climate change”.Published as part of the ECB Economic Bulletin, Issue 2/2020. https://www.ecb.europa.eu/pub/economic-bulletin/focus/2020/html/ecb.ebbox202002_04~a7d137cb35.en.html.
- [86] Onafowora, O.A., O. Owoye.Bounds testing approach to analysis of the environment Kuznets curve hypothesis.*Energy Econ.*, 44 (2014), pp. 47-62.
- [87] Özokcu, S.. Ö Özdemir. 2017. Economic growth, energy, and environmental Kuznets curve. *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 72 (2017), pp. 639-647.
- [88] Pettifor, H., Wilson, C., Axsen, J., Abrahamse, W., & Anable, J..2017. Social influence in the global diffusion of alternative fuel vehicles – A meta-analysis. *Journal of Transport Geography*, 62, 247–261. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2017.06.009>.
- [89] Pham, N.M., T.L.D. Huynh, M.A. Nasir.Environmental consequences of population, affluence and technological progress for European countries: A Malthusian view.*J. Environ. Manage.*, 260 (1) (2020), Article 110143.
- [90] Piazzesi, M, M Papoutsi and M Schneider.2021. “How green is unconventional monetary policy?” presented at JEEA-FBBVA Lecture at the ASSA 2021(see summary in Julia Wdowin’s Economic Observatory note here).
- [91] Pollin, R..2015. *Greening the global economy*. Cambridge, MA: MIT Press.
- [92] Pollin, R..2019. Green economics and decent work: A viable unified framework. *Development and Change*, 51(2), 711–726. <https://doi.org/10.1111/dech.12559>.
- [93] Rogers, E. M..2003. *Diffusion of innovations*. New York: Free Press.
- [94] Schumpeter, J. A. 1939. *Business cycles: A theoretical, historical, and statistical analysis of the capitalist process (Vol. 1)*. New York and London: McGraw-Hill.
- [95] Sinn, H. W..2008. Public policies against global warming: A supply side approach. *International Tax and Public Finance*, 15(4), 360–394.<https://doi.org/10.1007/s10797-008-9082-z>.
- [96] Revesz, R. et. Al..2014. "Improve Economic Models of Climate Change," *Nature*, pp. 173-175, 2014.
- [97] Rexhäuser, S. and Rammer, C..2014. “Environmental Innovations and Firm Profitability: Unmasking the Porter hypothesis, *Environmental and Resource Economics*”, Vol. 57(1), pp. 145-167.
- [98] Roos, M..2018. “Endogenous Economic Growth, Climate Change and Societal Values: A Conceptual model”, *Computational Economics*, Vol. 52, pp. 995-1028.
- [99] Schiermeier , Quirin.2020.The US has left the Paris climate deal — what’s next? <http://eproxy2.lib.tsinghua.edu.cn/rwt/66/https/P75YPLUPMF4HK6UFF3SX85B/articles/d41586-020-03066-x>.

- [100] Schoemaker, Dirk.2019. Greening monetary policy. Working Paper, Rotterdam School of Management, Erasmus University.CEPR.
- [101] Shahbaz, M., H. Mallick, M.K. Mahalik, N. Loganathan.2015.Does globalization impede environmental quality in India?Ecol. Indic., 52 (2015), pp. 379-393.
- [102] Shahbaz,M., S.J.H. Shahzad, M.K. Mahalik.2018.Is globalization detrimental to CO₂ emissions in Japan? New threshold analysis.Environ. Model. Assess., 23 (5) (2018), pp. 557-568.
- [103] Shahbaz,M., S. Kablan, S. Hammoudeh, M.A. Nasir, A. Kontoleon. 2020.Environmental implications of increased US oil production and liberal growth agenda in post -Paris Agreement era.J. Environ. Manage., 271 (2020), Article 110785.
- [104] SPGlobal.2020.China's carbon neutral pledge signals turning point for fossil fuel markets. <https://www.spglobal.com/platts/en/market-insights/latest-news/electric-power/092320-chinas-carbon-neutral-pledge-signals-turning-point-for-fossil-fuel-markets>.
- [105] Stapleton et al. 2017.Climate change, migration and displacement – The need for a risk-informed and coherent approach.report by the Overseas Development Institute and the United Nations Development Programme, November.
- [106] Strulik, H & T Trimborn.2018. “Natural disasters and economic performance”, Environmental and Resource Economics, forthcoming.
- [107] Tiwari, A.K., M. Shahbaz, Q.M.A. Hye.The environmental Kuznets curve and the role of coal consumption in India: cointegration and causality analysis in an open economy.Renew. Sustain. Energy Rev., 18 (2013), pp. 519-527.
- [108] Tol, R. S. J.2018. "The Economic Impacts of Climate Change," Review of Environmental Economics and Policy, vol. 12,No. 1, pp. 4-25, 2018.
- [109] Tugcu, C. T.2013. “Disaggregate Energy Consumption and Total Factor Productivity: A Cointegration and Causality Analysis for the Turkish Economy,” International Journal of Energy Economics and Policy. 3, 307-314 (2013).
- [110] United Nations Development Programme.2016. “Scaling up climate action to achieve the sustainable development goals,” www.undp.org/content/undp/en/home/librarypage/climate-and-disaster-resilience-/scaling-up-climate-action-to-achieve-thedsdgs.html.
- [111] Vague, R. 2019. A brief history of doom: Two hundred years of financial crises. Philadelphia, PA: University of Pennsylvania Press.
- [112] Van der Ree, K..2017.“Mainstreaming green job issues into national employment policies and implementation plans: A review,”Employment Working Paper No. 227 (Geneva: ILO), http://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---ed_emp/documents/publication/wcms_618884.pdf (accessed on 30 July 2018).
- [113] Van der Ploeg, F., & Rezai, A..2020. Stranded assets in the transition to a carbon-free economy. Annual review of resource economics, 12(1).<http://dx.doi.org/10.1146/annurev-resource-110519-040938>.

- [114] Vrontisi, Z., K. Fragkiadakis, M. Kannavou, and P. Capros. 2019. "Energy System Transition and Macroeconomic Impacts of a European Decarbonization Action Towards a Below 2 °C Climate Stabilization," *Climatic Change*, 162, 1857-1875.
- [115] Weidmann, Jens. 2020. "How central banks should address climate change." *Financial Times*. <https://www.ft.com/content/ed270eb2-e5f9-4a2a-8987-41df4eb67418>.
- [116] Weitzman, M. 2011. "Fat-Tailed Uncertainty in the Economics of Catastrophic Climate Change", *Review of Environmental Economics and Policy*, 5 (2), pp. 275-292.
- [117] World Bank. 2019. *State and trends of carbon pricing 2019*. Washington, DC: World Bank Group.
- [118] Yamazaki, Akio. 2017. "Jobs and Climate Policy: Evidence from British Columbia's Revenue-Neutral Carbon Tax." *Journal of Environmental Economics and Management*, 83, 197-216.