

# 拥抱绿色发展新范式

## ——中国碳中和政策框架研究报告

朱民、斯特恩 (Nicholas Stern)

斯蒂格利茨 (Joseph E. Stiglitz)、刘世锦、张永生、李俊峰、赫本 (Cameron Hepburn)

\*

2023年2月

---

\* 作者团队还包括谢春萍、克拉克 (Alex Clark) 和彭道菊。谢春萍，英国伦敦政治经济学院格兰瑟姆研究所高级政策研究员 (c.xie6@lse.ac.uk)；克拉克 (Alex Clark)，牛津大学史密斯企业与环境学院博士研究生 (alex.clark@smithschool.ox.ac.uk)；彭道菊，首都经济贸易大学金融学院副教授 (pengdaoju@cueb.edu.cn)。

## 关于作者

朱民，中国国际经济交流中心副理事长、国际货币基金组织前副总裁、清华大学国家金融研究院前院长 ([zhumin@pbc.gov.cn](mailto:zhumin@pbc.gov.cn))

斯特恩 (Nicholas Stern)，英国伦敦政治经济学院格兰瑟姆研究所所长 (Grantham Research Institute)、教授 ([N.Stern@lse.ac.uk](mailto:N.Stern@lse.ac.uk))

斯蒂格利茨 (Joseph E. Stiglitz)，哥伦比亚大学商学院教授、诺贝尔经济学奖得主 ([jes322@columbia.edu](mailto:jes322@columbia.edu))

刘世锦，全国政协经济委员会、中国环境与发展合作委员会、研究员 ([liusjl31@vip.sina.com](mailto:liusjl31@vip.sina.com))

张永生，中国社会科学院生态文明研究所所长、研究员 ([ys\\_zhang@cass.org.cn](mailto:ys_zhang@cass.org.cn))

李俊峰，国家应对气候变化战略研究和国际合作中心首任主任 ([bonn2008@126.com](mailto:bonn2008@126.com))、研究员

赫本 (Cameron Hepburn)，牛津大学史密斯企业与环境学院院长 (Smith School of Enterprise and the Environment)、教授 ([cameron.hepburn@smithschool.ox.ac.uk](mailto:cameron.hepburn@smithschool.ox.ac.uk))

## 致谢

朱民感谢能源基金会项目（项目号：G-2109-33290）和清华大学的支持。部分成果由朱民任清华大学国家金融研究院院长期间取得。张永生感谢中国社科院创新工程“生态文明范式下的经济学理论与政策研究”项目的支持。感谢潘柳、李长泰、巩冰提供的助研帮助；感谢研讨会上专家柴麒敏、陈诗一、高世楫、何建坤、何大勇、黄乐平、李善同、刘俏、王一鸣、徐华清、薛其坤、曾刚、张希良、祝宝良、邹骥（以姓氏拼音排序），以及徐江旻、禹湘、董亚宁的评论；感谢丁羽茜在项目协调和管理上的帮助。本报告中表达的观点代表作者的观点，未必代表作者单位或资助者的观点。作者单位和资助者并不保证本书引用数据的准确性。

## 报告概述

中国政府 2020 年 9 月宣布的“双碳”承诺，向世界宣告了中国进行绿色转型的决心和雄心。全球范围的碳中和共识与行动，标志着工业革命后形成的传统发展范式开始落幕，一个新的绿色发展范式的兴起。这一新发展范式，将创造人类新的现代化模式，为中国和世界带来可持续的绿色繁荣。本报告分析工业革命以来旧有发展范式的不可持续性，揭示绿色发展范式在发展目的、发展内容、发展方式以及发展普适性上，是对传统发展范式的一次深刻革命。报告在新的绿色发展范式框架下，重新思考经济学的基本问题如价值理论、财富的内涵和测度，以及个人和集体行为等。在此基础上，提出新范式下碳中和转型的政策原则，构建了新发展范式转变对于重塑中国重要经济部门和系统的基本思路及政策含义，并讨论了转型过程中体制机制、金融和技术创新等方面的重要保障，以及如何实现协调和平衡的转型。本报告同时提出中国如何引领世界碳中和治理机制建设，以及同世界实现绿色合作共赢的机遇和政策。

## 一、引言

工业革命后,以英国等为代表的西欧国家,拉开了工业化、城镇化和农业现代化的序幕。这种基于工业化的传统发展范式,带来物质生产力的飞跃,提高了人均产出和收入,取得了以传统指标衡量的巨大经济成功。但是,由于这种以物质财富生产和消费为中心的发展范式建立在高物质资源消耗、高碳排放、高生态环境破坏的基础之上,其对高碳能源和材料的过度开采和使用,以及对物质资本的严重依赖,导致了不可持续的全球气候变化风险、自然资本和生态恢复力的枯竭,以及越来越严重的“现代化悖论”。传统发展范式的不可持续性是全球所有国家都面临的严峻挑战。

由于中国的经济和人口规模巨大,其面临的挑战尤其明显。中国虽然是传统工业化模式的受益者,但是这种传统发展范式也不可避免带来了严重的生态环境问题,使得中国面临经济发展是否可持续的巨大挑战。中国在传统工业化模式下的四十年发展奇迹,在不同时期具有不同的经济增长动能。例如,1970年代后期对农业和家庭联产承包责任制进行重大改革,1980年代对创业、乡镇企业和经济特区给予支持,在1990年代和2000年代以出口导向型制造模式来推动经济发展,之后的增长动能则转向房地产开发和基础设施投资。但是,这些增长动能更多的还是传统发展范式的延续,侧重于狭隘的产出概念(通常以国内生产总值 - GDP 衡量),无法以此建立基于福祉的可持续长期发展路径,也无法满足构建中国新发展阶段下新发展格局的需要。在未来几十年,这些传统动能都无法继续推动中国在新发展阶段下贯彻新发展理念的经济增长。新的发展动能必须以可持续、有弹性和包容的方式,推动经济、社会和环境发展。

2020年9月22日,习近平主席在第七十五届联合国大会上宣布,中国力争2030年前实现碳达峰,2060年前实现碳中和。中国的“双碳”承诺,既是中国应对全球气候变化的大国担当,也是中国以碳中和推动经济绿色转型和全面建设社会主义现代化国家的战略选择。2022年10月召开的中共二十大会议,将“中国式现代化”确立为中国今后的“中心任务”。“中国式现代化”不只是简单地学习和追赶西方现代化,而是对工业革命后建立的现代化概念的重新定义。这其中,“人与自然和谐共生”,是中国式现代化重要的基本特征和本质要求。碳中和目标和“中国式现代化”,都意味着发展范式的深刻转变。

中国碳中和目标的宣布,推动形成了历史上前所未有的全球碳中和共识与行动。目前已有超过130个国家以各种方式承诺碳中和<sup>1</sup>。全球范围的碳中和共识与行动,标志着工业革命后形成的“先污染、后治理”的传统发展范式在全球范围的不可持续,以及一个新的绿色发展范式的兴起。一个能够纳入内生自然资本收益、基于福祉的新发展范式,将不仅造福中国,也对世界其他地区至关重要。如果中国能够以新的发展范式实现“人与自然和谐共生”,其经验必将成为全球可持续发展的重要推动力。

---

<sup>1</sup> 详见 <https://zerotracker.net>。

本报告旨在从更宏大的历史视野，揭示碳中和远不只是简单的化石能源替代和技术问题，而是工业革命以来最为全面和深刻的发展范式转变。在此基础上，报告提出中国 2060 碳中和战略的政策框架，并揭示发展范式转变如何体现在各个领域和部门，以及体现在宏观政策框架中。在接下来的第二部分，报告揭示为什么碳中和是一个全面而深刻的发展范式转变；第三部分讨论在新绿色发展范式下中国碳中和转型政策的基本原则；第四部分讨论这种发展范式转变对于重塑中国经济体系的基本思路及政策含义，包括能源体系、交通基础设施，以及城镇化、工业化、农业和生活方式等方面的转变；第五部分讨论如何为转型提供体制、金融和技术创新等方面的支撑体系，以及如何实现协调和平衡的转型；第六部分提出中国如何推动建立有效的全球碳中和治理机制，以及如何与世界实现绿色共赢。

## 二、绿色发展新范式

### （一）碳中和催生新发展范式和新发展理论

碳中和是对工业革命以来传统发展范式的颠覆性变革。目前全球面临的不可持续发展危机，实质是传统发展范式与传统现代化的危机。传统的现代化概念，很大程度上是以工业革命后西方发达国家的现代化标准为标准。但是，这种以西方发达国家为标准的现代化模式，却面临着现代化悖论。人们为追求物质消费而过度掠夺自然，导致了严重和广泛的环境退化，包括生物多样性和栖息地丧失。这又反过来削弱了气候系统的恢复力，削弱了社会稳定，造成进一步退化的风险。这种发展范式不仅导致人与自然关系的破坏，也不可避免地带来对人类健康和不平等的持续压力，削弱社会凝聚力（Stiglitz, 2013; Case and Deaton, 2020），物质主义和消费主义也并未带来福祉的相应提高（Easterlin, 1974, 2013; Stiglitz, 2013; Piketty, 2014; Deaton, 2015）。从联合国可持续发展目标（SDGs）、碳排放、生物多样性、环境等多维度看，目前所谓“现代化”国家的发展模式均不具有可持续性（UNEP, 2020）。

新古典经济学的传统发展理论使用 GDP 这一狭隘的产出衡量标准，将物质财富生产和消费最大化作为首要目标，夸大了物质商品和市场化服务的消费对福祉的作用，未充分考虑生产和消费对社会环境方面的机会成本和收益，也未能正确阐述或理解传统发展范式对环境施加的不可持续压力，以及对公共卫生和社会福利的威胁（Stiglitz, 2020）。新古典经济学中的环境经济学研究经济发展对环境的影响，但更多地将环境挑战视为外部性问题，在技术进步的研究框架下采用传统工具和政策对其加以管理（Nordhaus, 2019）。但是，碳中和不是一个简单的外部性问题，也不是简单的化石能源替代和技术进步问题，而是一个发展范式的深刻转变问题。由于不可持续危机的根源在于工业革命后建立的传统发展范式的内在局限，简单地将标准经济学的理论应用于生态环境领域，也就难以解决目前的全球环境危机（张永生, 2021; Stern, Stiglitz, and Taylor, 2022）。因此，我们需要从不可持续危机出发，对工业革命以来被奉为圭臬一些基本发展概念进行重新反思和定义，即重新思考和定义发展

的目的、发展什么、如何发展，以及发展的全球普适性。

第一，为什么发展。发展的根本目的是提高人们的福祉。但是，工业革命后建立的传统发展范式，却将追逐资本增值作为发展的首要目的，而非作为发展的手段（Weber, 1961; Richins and Dawson, 1992）。该发展范式以 GDP 为中心，而 GDP 只是用来衡量商品和服务市场价值的手段，无法衡量社会福祉，也不是发展的目的（Stiglitz, 2020）。这就不可避免地导致发展目的与手段的背离。如果个人的福祉同时取决于物质消费以外的因素，或他们的偏好随时间而变化，那么一个经济体中商品和服务的货币化价值的增长，就并不一定意味着社会福祉的改善，甚至还可能带来相反的结果。这就需要将发展目标从标准经济模型中固定偏好下的最大化产出（以 GDP 衡量，消费和收入的来源），转变为更广泛地思考福祉的含义，并多维地理解幸福感。这些思考理解反映了以人为本的价值理论（Stiglitz, Fitoussi, and Durand, 2018）。因此，需要重新审视基本的价值理论并重构效用函数以反映偏好的变化，以体现“超越 GDP”的基于福祉的价值观念。这个过程将反过来影响我们对偏好和行为的理解，并最终影响“发展什么”和“如何发展”。

第二，发展什么。不同的发展目的决定着不同的发展内容。传统发展范式建立在物质主义的基础之上，而人们“美好生活”的需求又不限于狭义的物质需求，同时人类的幸福感也并不总是随着物质商品消费的增加而增加（Easterlin, 1974; 2013; Frey and Stutzer, 2002, 2013）。以物质财富的生产和消费为中心，就必然带来“不平衡和不充分”的发展（Stiglitz, 2013; Piketty, 2014; Deaton, 2015）。因此，新的发展内容必须包括物质以及非物质产出，涵盖环境质量、健康、社会和谐等多个维度需求（Stiglitz, Fitoussi, and Durand, 2018）。这些需求要由新的发展内容来满足。同时，还需要引入广泛的激励措施和政策，以反映对价值的最新理解，并转变生产和消费系统。更进一步，必须以成本、收益、最优和福祉的不同定义以及对发展的不同理解为基础，来决定什么资源是有价值的，什么商业模式可以最好地利用和增长这种价值，最终重塑整个经济体系。

第三，如何发展。不同的发展目的和发展内容，决定着不同的发展方式。传统发展模式依靠物质资本和人力资本等要素投入，实现物质财富生产的最大化以及自然资本向物质资本的转化，未充分考虑生产活动对自然和社会的巨大社会成本，以致损害人类长期发展的根基（Stern, 2006; Stern, Xie, and Zenghelis, 2020）。新的发展范式则重构人与自然关系，将人类活动置于大自然的边界之内，考虑人力资本、物质资本、自然资本和社会资本等生产要素之间的平衡，物质资本的使用不能以削弱其他资本为代价。此外，四类资本除了通过进入生产过程提高人们福祉，其本身也在多个方面直接对人类福祉作出贡献。比如，优美的生态环境直接提高人们福祉。理解各类资本及其积累速度之间的相互影响关系，有助于确立各类资本的最优投入，以获取稳定的资本回报并管理其相互之间的负面影响。

第四，发展范式的全球普适性。一直以来，新古典经济学中使用的总量增长模型都是基于物质资本和人力资本投入，忽略了很多重要的维度，包括健康、教育、环境和不平等。这

种高度依赖物质资源投入和高碳排放的增长范式，必然导致全球范围资源争夺加剧和环境不可持续。由于传统发展范式无法让全球共享繁荣，也就缺乏全球普适性。在新的绿色发展范式下，由于发展不再过度依赖物质资源投入，发展和环境保护之间就可以建立相互促进的共生关系，进而实现各国的绿色合作共赢和全球可持续发展目标，以及当代人与后代人的共赢。

发展范式的上述变化，意味着发展底层逻辑的变化，将彻底改变传统工业时代形成的发展理念、发展内容、发展方式，以及发展的环境与福祉含义。这些改变会体现在资源概念、企业组织模式、商业模式、金融模式、体制机制和政策体系等方面，又会具体表现为能源体系、基础设施、工业化、城镇化、农业现代化、金融体系、技术创新等各个领域。虽然对不可持续发展危机已有不少反思(比如, UNEP, 2011; Harangozo, Csutora, and Kocsis, 2018), 但发展范式的转变需要对经济学的基本问题进行重新思考, 包括价值理论、财富的内涵和测度、成本与收益概念、最优化概念、消费者和企业行为的目标及约束条件等。对经济学基本问题的重新思考, 意味着研究范式的转变(Kuhn, 1962)。

党的二十大提出的“中国式现代化”，标志着中国对发展的目的和手段的深刻反思，并强调发展目的是为满足人们“美好生活”需要。生态文明和绿色发展范式，标志着对基于传统工业化模式的现代化概念的重新定义，以重构“人与自然关系”。中国提出碳中和目标，以及将“中国式现代化”作为“中心任务”，二者的时间起点和终点高度契合，意味着中国将以“人与自然和谐共生”的绿色发展范式实现自身的现代化。这种新的发展范式，其基础是环境与发展之间的相互促进。这种相互促进，为国与国之间的合作共赢奠定了新的基础。因此，中国式现代化也将为全球共同繁荣带来新的历史机遇。

## （二）中国面临的挑战和机遇

碳中和对各国都是一个前所未有的挑战，但中国面临的挑战却更为特殊。第一，未来40年，中国经济很可能保持中高速增长。到2060年，中国经济规模预计将翻两番以上。即使中国力争实现净零碳排放的目标，能源消耗仍将继续增长，意味着中国经济增长的能源效率和碳排放结构都必须出现较大增幅的改变。第二，中国仍处于工业化和城市化进程当中，经济结构能源强度高，且化石能源超过80%以上，相比欧美发达国家服务业占经济的80%以上，中国能源转型任务更加艰巨。第三，与其他发展中国家相比，中国在工业化和基础设施建设方面的存量较高。这意味着中国不仅要以绿色方式实现增量增长，还必须对其巨大的存量进行绿色转型。第四，中国幅员辽阔，地区资源和特征差异显著，经济结构多样且发展不平衡，各群体收入差距较大。如何实现协调和平衡转型，就是一项艰巨的挑战。

虽然挑战巨大，但碳中和更将成为中国经济“换道超车”和高质量发展的新动力。碳中和并不意味着以高昂的代价来牺牲经济增长。相反，它可以在诸多方面促进经济增长，尤其是在就业、效率提升和经济转型升级等重要方面。例如，随着新能源发电技术和电动汽车的快速发展，碳中和对促进增长的作用在能源和交通运输领域尤为明显。2021年，中国光伏

装机比上年增长 20.9%，风电增长 16.7%。到 2022 年 6 月，中国新能源汽车保有量约 1000 万辆，包括纯电动、插电式混合动力和燃料电池汽车占全球估计总量 1600 万辆的一半以上 (Paoli and Gül, 2022)，新能源汽车产销量连续 7 年居世界第一。全球近 40%的可再生能源工作岗位在中国 (Stern and Xie, 2022)。在互联网、5G、人工智能 (AI)、特高压 (UHV)、数字基础设施等一系列低碳技术领域，中国也获得新的竞争优势<sup>2</sup>。这些新技术为中国提供了潜在的巨大出口机会。毫无疑问，碳中和将为中国提供发展尖端零碳技术、零碳制造和零碳服务体系的巨大机遇，并重塑整个经济系统和部门。

中国绿色发展具有独特优势。一是中国政府协调和管理国家发展战略系统性变化的能力 (Harangozo, Csutora, and Kocsis, 2018)。二是中国巨大的市场和增长潜力。中国的人口规模超过欧盟和美国的总和，今后将成为世界上最大的单一市场。这就为新技术的培育、孵化和发展提供了有利条件。三是中国的绿色技术和绿色产业，很多已处于全球领跑地位。例如，新能源、电动车等 (IEA, 2021)。这种优势有望继续保持和扩大。四是中国在数字技术的研发和应用方面也具有坚实基础，并可以利用数字技术加快低碳发展。综上所述，充分利用这些优势，中国将有望以“换道超车”的方式，降低传统产业的重置成本、沉没成本，推动一场技术、产业和发展范式的系统性重大变革。

### (三) 再创中国四十年发展奇迹

改革开放四十年以来，中国创造了经济发展的奇迹。从现在到 2060 年的下一个四十年，碳中和将成为中国新发展范式和新增长故事的核心，彻底重塑中国的经济结构、生产与生活方式、宏观管理架构和发展模式，给中国经济带来脱胎换骨的变化。中国宣布碳中和目标的时间，恰逢中国开启到本世纪中叶实现第二个百年目标——建成社会主义现代化强国的新征程。这两个时间点的契合，昭示着中国经济社会发展模式的一个全新开端 (Stern and Xie, 2022)。碳中和需要发展范式的转变，是对工业时代建立的传统发展范式的重新定义。中国式现代化，是对工业革命后在传统发展范式下建立的现代化概念的重新定义。二者具有内在一致性。中国有望以碳中和为抓手，以绿色发展方式开启中国式现代化之旅，再创又一个四十年发展奇迹。

碳中和对所有国家都是一个新生事物。越来越多的气候科学的证据 (例如全球范围内更强烈的热浪和极端天气) 以及技术进步，正在引导世界各国做出明确的承诺，因为他们认识到这是从向低碳经济转型中获益的巨大机会。这些好处远超过减少气候变化风险的成本，包括由可再生能源支持的更便宜的电力和运输、更少的浪费和拥堵、更清洁的空气和更小污染的土壤和水，以及更强大的生态系统 (IPCC, 2021)。

在这条赛道上，中国和发达国家大体处于同一条起跑线。这意味着，中国有望从过去 40 年传统发展范式的学习者和追赶者，成为新发展范式的并跑者和领跑者。如果说工业革

---

<sup>2</sup> 详见赛迪智库电子信息研究所 2020 年发布的《“新基建”发展白皮书》。

命是西方工业化国家引领世界发展的机遇，那么以碳中和代表的新绿色发展范式，就有望成为中国引领世界发展的新机遇。

这种发展范式的深刻转型，需要经济管理以及资源配置方式进行快速、深远、持久的变革。发展范式转型远不只是通过零碳技术促使排放与增长脱钩的问题，还包括改变资源配置、生产、流通、消费和分配的模式，以及社会价值观等方面的系统性重塑。此外，还需要改变城市和社区的资源利用方式，经济活动和行为模式的实际重组（例如，关于出行和饮食习惯），以及使用更普遍的“福祉”定义来衡量发展政策的成效。

这将是一个极具吸引力的可持续增长故事（Hepburn et al., 2021）。凭借明确的战略方向、强劲的储蓄和投资、已有的科技能力等优势，中国有潜力引领全球转向绿色发展新范式。对于广大发展中国家而言，由于他们已无法再按照发达国家的传统发展模式实现现代化，中国的绿色发展对这些国家就有重要的借鉴意义。

### 三、碳中和转型政策的基本原则

实现碳中和目标，并有效地指导中国长期的可持续发展，需要重新审视经济理论中的核心概念，对财富和福祉重新进行定义和衡量，并将其转化为发展实践。各国现有政策框架很大程度上是在传统工业时代建立，难以适应碳中和转型的要求。中国需要对其政策框架进行全面评估，将新发展范式和碳中和的内在要求体现在各项战略和政策之中。

#### （一）从“范式转变”的高度和深度制定碳中和政策框架

自中国政府提出碳达峰碳中和目标以来，中国各地方政府和政府各部门都积极落实，开始勾画落实战略，但在实施中仍然存在对“双碳”目标的认识和贯彻方面的差异，未能“完整准确全面”理解新发展理念。新发展理念的实质就是跳出过去“先污染、后治理”的思维，跳出长期以来形成的传统工业化模式的思维和体制框架，建立起环境与发展之间的相互促进关系。在认识上，需要认识到碳中和是一场生产与生活方式的深刻革命；充分认识“双碳”给中国带来的重大战略机遇。在贯彻上，需要全面评估中国的政策框架，体现绿色发展新范式。

第一，以新发展理念和“范式转变”为核心，超越狭隘的节能减排、技术创新和环境保护视角，在更高、更广和更深刻的层面理解碳中和目标带来的全面而深刻的变化。在此基础上，制定与碳中和要求内在一致的经济和社会发展目标、战略和路径，推动与碳中和转型相适应的、广泛的宏观经济金融体制改革。第二，从制度、经济系统、社会系统、城市和社区等全方位着手，建立基于“福祉”的新型组织和经济活动方式。这些制度和系统对应的基础，是对成本、效益、价值和福利等价值观的重新定义以及新的商业模式的探索，最终重塑整个经济体系。第三，运用系统的思路和方式构建政策框架。实现碳中和目标需要协调一致地对

每个子系统进行改造，所有部门和地区都必须发挥协同作用。因此，政策框架需要将碳中和全面纳入发展战略、实施路径、财政和货币政策、金融体系、产业政策、创新系统、市场机制、制度建设、国际合作，以及宏观调控体系中。

## **（二）在 1+N 政策体系基础上，细化目标、政策到位、改革体制和建立新机制**

2020 年 9 月习近平主席宣布“双碳”目标后，中国各地各行业积极贯彻落实。经过一年左右的探索、试错，中国在 2021 年 9 月陆续出台“1+N”政策体系，为“双碳”工作设立了时间表、路线图和施工图。其中，“1”是指中共中央、国务院出台的《关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》。“N”是指随后发布的《2030 年前碳达峰行动方案》，以及各部门和行业的减排方案。以此为标志，中国建立了立体和系统的“双碳”目标模式。

2022 年 10 月召开的中共二十大，强调“降碳、减污、扩绿、增长”。这实质上是要以碳中和为战略抓手，建立起三对“相互促进的关系”：一是环境与发展之间的相互促进关系，即“降碳、减污、扩绿”与“发展”之间的促进关系；二是“降碳”与“增长”之间的相互促进关系，避免“降碳”成为经济增长的负担；三是“降碳”与“减污、扩绿”之间的相互促进，避免“为减碳而减碳”的单一减排思维和做法。这三个“相互促进”，正是绿色发展范式下重构“人与自然关系”的核心要义。

这三个“相互促进”也是具体落实 1+N 政策体系和进一步细化碳中和政策的基础。需要细化的碳中和政策方向包括：第一，要进一步明确碳排放总量目标及其减排路径，以及明确非化石能源发展总量目标。第二，要在落实减排责任和任务时进一步体现如何在发展和增长中实现碳达峰和碳中和。第三，在落实统筹原则时进一步明确地区间的责任划分，并建立对地方政府在多目标任务下减排的有效激励机制。第四，要进一步体现短期和中长期的利益取舍。例如，在不同阶段优先考虑不同任务的侧重。第五，要进一步突出绿色技术和绿色市场中长期碳中和过程中的作用。第六，要进一步构建新型政企关系，制定“双轮驱动”原则的具体政策，探索政府在碳达峰碳中和中应承担的新型角色，构建政府和市场的新型关系，最大程度发挥政府和市场结合的优势和力量。

## **（三）强化政府的指导规划作用，加大政府支持力度**

碳中和本质上是政府提供的一种新型公共产品。碳中和的目标以及碳市场和相关法规不是市场自发形成，而是政府为避免气候危机和提升整体社会和人类福祉人为创造的（例如，通过限额和交易系统）。中国作为一个体量大、经济增速高、结构变化深刻和差异性显著的经济体，碳中和转型尤其是一项艰巨的任务。这就要求政府发挥比过去更积极的战略规划指导作用，同时更好地让市场发挥决定性作用。中国要以“顶层设计”的方式进行战略谋划，充分融合市场机制和激励机制，在转型过程中有效协调技术创新、制度改革和社会转型。

第一，政府要从发展范式转型的新视角制定公共政策，以人民为中心，坚持人与自然和

谐共生。政府要把碳中和承诺转化为客观的量化标准和指标。加快建立财政和货币政策、金融体系和创新生态等支持系统。尤其是，宏观经济政策应充分考虑碳中和目标。第二，政府要在早期引导大规模的碳中和投资，以此推进创新。碳中和转型初期的5年将是投资的重要时期。这一阶段的大规模投资，能为2030年碳达峰时的低碳技术、商业模式的形成提供坚实基础。要将研发、采购、融资和新市场构建等政府与企业之间的深度合作置于新范式转型的核心位置。第三，政府应推动形成广泛的碳中和社会共识，促进消费行为转变。广泛的社会共识可以大幅减少执行成本，形成“自我实现”的市场预期，为绿色技术创新和新经济的出现创造条件。

#### **（四）充分发挥市场在资源配置中的主导作用**

发展范式转变是一个系统性变化，必须依靠政府和市场的共同作用，特别是发挥市场在资源配置中的主导作用。当前的全球气候变化问题是市场和政府双重失灵的结果。造成这种双重失灵的根源在于，现有的政府与市场关系更多的是建立在传统工业时代的经济基础之上，难以适应碳中和的内在要求。认识政府和市场在实现碳中和目标中的不同作用，是成功转型的关键。

第一，发挥市场作用的重要前提之一，是将碳排放的社会成本引入生产者和消费者的决策体系，以转变其行为模式，促进绿色产业的兴起。在碳中和转型过程中，强有力、可预测的碳定价发挥着重要作用。由于碳定价的复杂性和市场失灵，需要建立并完善包括碳排放交易市场、碳金融衍生市场、碳税以及碳抵消市场在内的多维碳价形成机制(Ramstein et al., 2019; Van Den Bergh and Botzen, 2020)。这些工具各有优势。目前，碳交易市场是中国碳定价的主要形式。采取何种方式或不同方式的组合，最重要的是以执行成本最小化的方式，实现减排目标。第二，除碳成本之外，经济活动的生态环境成本，也必须进入经济主体的决策体系，以实现“降碳、减污、扩绿、增长”的协同。第三，政府提供明晰的战略方向、政策和监管框架以及激励机制，让市场在资源配置中发挥决定性作用。

#### **（五）确保安全、协调和平衡的转型**

安全、协调和平衡是制定碳中和政策的重要原则。碳中和是一个新事物，是一个复杂的系统工程。做好碳达峰、碳中和工作，防范风险是重中之重，要处理好减污降碳和能源安全、产业链供应链安全、粮食安全、群众正常生活的关系，有效应对绿色低碳转型可能伴随的经济、金融、社会风险。防止过度反应，确保安全降碳。特别是，在能源和产业链安全上，要遵循“先立后破”的原则，在保持能源安全和经济平稳运行的前提下推进结构转型，在新增产能和不中断产业供给的基础上，以同低碳或零碳产能增加相适宜的速度退出高碳产能，实现平稳转型。

对碳中和对产业体系冲击的深度和广度，也要有足够清醒的认识和准备。尤其是，要高度关注绿色转型对特定高碳行业、地区和群体的冲击，实现协调和平衡的转型。在认识和处

理风险时，要看到绿色转型的重大新机遇，并在绿色转型带来整体经济和社会福祉改进的认识下，讨论对特定受损部门的补偿，确保各行业、地区和群体的协调和平衡发展。

## 四、重塑中国的主要经济部门和系统

传统发展范式很大程度上是在化石能源驱动的传统工业时代形成，难以适应碳中和目标下发展范式转变的新要求。在这一部分，我们将重点关注五个重要部分（能源、交通、制造、城市化和土地利用）如何实现碳中和转型。这些部门的动态变化，与区域内和区域间发展以及个人生活方式密切相关。

### （一）重塑中国能源格局，逐步淘汰煤炭

实现碳中和的首要前提是能源体系转型。能源的转型不只是能源的生产端用可再生能源替代，以及能源的使用端用电气化替代（所谓“两个替代”），同时也要始终坚持能源节约优先的原则，在转变生产方式的同时加快转变生活方式，以减少能源消耗及其高生态环境足迹，不再重复工业化国家高能源消费的不可持续老路（IPCC，2021）。

#### 1. 主要任务和挑战

实现碳中和目标，要求中国到2050年左右电力系统实现净零排放，同时非化石能源在发电中的比重提高到至少80%（IEA，2019）。在短期内，电力行业排放应于“十五五”中期达峰（张希良等，2022），并平衡清洁能源发展速度与能源需求增长速度（林伯强，2022）。考虑所有碳源排放量和碳汇清除量，100%减少化石燃料产生的净排放量是实现碳中和的前提条件。构建以可再生能源为中心的全新能源供应系统，同时在全社会经济系统进行电气化改革，是中国能源转型的最低要求。中国的能源转型的具体路径，是以风电、太阳能为主，核电、水电为辅，建立以非化石能源为基础的新型电力体系。

为了实现这些目标，有三个主要障碍需要克服。一是搁置成本。能源转型使得化石能源时代建设的很多能源基础设施设备不得不提前退出，由此造成大量的搁置成本<sup>3</sup>。二是技术瓶颈。克服技术瓶颈以实现（i）维持以间歇性可再生能源为主的电力系统的安全性和稳定性；（ii）通过碳捕获和储存或直接空气捕获技术，以“中和”化石燃料发电产生的剩余碳排放。三是电力管理、交易和配电系统的不兼容性和缺乏互操作性。中国电力管理系统仍然高度本地化，各地区可再生能源的供需存在广泛的地域不平衡。这就需要大规模、高质量和大容量的跨区域输电线路，以及更全面的电力调度和管理系统，以有效地跨区域分配过剩电力（Greenblatt et al., 2017）。中国在特高压（UHV）输电和部署方面处于世界领先地位，但仍需要与之相适应的新型电力系统调度和管理模式。此外，在能源的使用端，包括工业、交通、建筑、农业以及家庭部门等的最终能源使用，都需要实现电气化，并基于分布式可再生能源的特点进行组织和管理方面的改革（李俊峰、李广，2021）。

---

<sup>3</sup> 根据麦肯锡2021年报告，全球将有2.1万亿美元资产将成为搁置资产，中国将有0.7万亿美元与煤相关的资产搁浅。

但是，上述挑战可以通过应用关键技术来克服。首先，因转向清洁能源而增加的短期成本和环境破坏，在长期内可以通过更多地使用太阳能和风能降低电力的平准化成本，以及稳步放松并消除对化石燃料的依赖而得到部分或全部补偿。随着可再生能源技术的发展，能源生产需求的整体碳足迹将下降。其次，尽管新能源技术所需的一些特定材料的竞争将会加剧，但中国已经在其中大多数材料的供应链中确立了主导地位。最后，能源终端使用的持续电气化为企业带来了重大的市场发展机遇，尤其是在交通运输领域。据公安部统计，截至 2022 年 3 月底，中国拥有 4 亿辆汽车，其中电动汽车不到 900 万辆。对于电动汽车开发商和零售商而言，这代表着巨大的市场机遇。

## 2. 主要政策建议

第一，加快将能源消费总量控制调整为化石能源消费总量控制，并逐步过渡到二氧化碳总量控制。逐步建立起以碳标识为基础的技术、企业管理机制。同时，对 GDP 的能源强度控制不放松，把能源强度控制继续作为提升中国工业制造竞争力的重要抓手，继续坚持节约优先的能源工作总方针，控制能源总需求增长。

第二，确保能源转型过程中能源供应安全，坚持先立后破、破立并举。主要包括：（1）提出新型能源体系和以新能源为主体的新型电力系统的时间表、路线图。（2）在“十四五”期间逐步形成新增能源由非化石能源发电提供的能源发展新态势，“十五五”开始逐步形成对非化石能源，特别是煤炭消费的存量替代。（3）在发挥传统火力发电托底和调峰作用的同时，积极稳步发展规模化的新型储能技术，非化石能源发电占比要与稳健的电力供应安全相适应。

第三，形成公平合理的非化石能源总量目标管理制度。为了平衡中国各地区可再生能源发展，应建立和完善公平合理的总量目标体系，赋予部分地区较大的灵活性，给发达地区更多的责任和压力，推动中东部与西部地区的长期战略合作制度，实现区域之间均衡发展。

第四，确保能源、环境、气候的协同治理、相互推进。从“十四五”规划起，应当加强能源、环境、气候的协同治理，并重点和关注优化低碳电力市场、严格的环境治理标准和实施机构之间的联动。

第五，建立和完善能源转型的微观激励机制、政府补贴机制以及市场机制。电价应建立在市场的基础上，遵循已在许多国家或地区采用的最低成本调度原则，逐步将化石燃料使用的外部成本内部化。逐步识别、量化和监管与转型中新能源基础设施建设相关的溢价，并在电价中反映该溢价。在一些地区，清洁发电的平准化成本（即使考虑了存储和间歇性）已经低于化石燃料发电（甚至不考虑一些重要成本和化石能源对当地污染的负面影响的情况下）。随着技术进步和旨在反映可再生能源和化石燃料发电真实相对价值的电力改革，清洁发电成本会进一步降低。在清洁能源溢价地区，以及短期内存在退回至化石燃料风险的情况下，应该采取反补贴措施来说服消费者改变他们的能源偏好，围绕清洁能源的使用建立社会规范，

并根据电力消耗的碳含量，为清洁能源消费者制定适当的补偿机制。为转型过程中有效分配资源，需要不断加强这些激励和市场机制，以在全国范围内优化配置碳、电力和技术创新。这些机制应继续侧重于改革现行电价制度，并在必要时激励消费者为使用低碳电力支付更高的市场价格。

## （二）加快中国交通运输低碳转型

交通运输是市场交易的重要载体，也是经济增长的重要引擎。中国交通模式和交通网络格局，很大程度上反映了中国过去传统能源和碳密集型工业化战略，难以适应碳中和时代的新要求。交通运输部门也是碳排放的重要来源。交通运输体系的碳中和面临巨大挑战。一方面，交通增量部分要以低碳交通模式来发展。另一方面，要对存量的高碳交通方式进行减碳。

### 1. 主要任务和挑战

中国交通运输部门的碳排放增长速度快，且不同运输方式的碳排放总量差异明显。占比八成多的道路交通，是交通行业低碳转型的重点。以 2019 年为基年进行测算，交通领域（含私人汽车，不含国际航空运输和国际海运）碳排放总量约为 11.8 亿吨。其中，营运性和非营运性公路运输（道路交通行业）排放量 10.3 亿吨，占 87%。水路运输、民航和铁路运输分别占 6.5%、6.1%、0.7%。

随着经济社会的快速发展和人民生活水平的不断提高，对各种形式交通工具的需求正在稳步上升。根据中国交通部规划研究院的预测，中国客运和货运需求总量到 2060 年将翻番<sup>4</sup>。其中，客运增量主要由铁路和航空实现，货运增量主要由水运实现。同时，由于对运输时效性、个性化、舒适度等的要求提高，与之相关的能源消耗也会成比例地增加<sup>5</sup>。

在面对不断增长的交通运输总需求的情况下，如何减少其碳排放是一项挑战。在存量上，短期内商业和工业的运输模式将如何脱碳，以及需要对能源供应结构进行哪些改变来支持其脱碳，答案尚不明确。尤其是重型货车、船舶等交通运输设备，还缺乏成熟和具有商业可行性的能源替代方案，需要建立完善的新能源车船产业生态。在增量上，未来新增的排放主要集中在航空领域，但航空运输减排同样缺乏成熟技术方案。目前的解决方案（生物燃料、氢燃料和空气碳捕集）都还处于研发阶段，具有非常明显的局限性和缺点。

在减排负担最大的道路交通行业，发展前景已经明朗。电动汽车是未来的发展方向，即使采用目前中国相对较高排放的动力组合，中国纯电动汽车包括从油井到车轮（包括能源开采、运输、发电和电力传输）的全过程二氧化碳排放量，也比燃油汽车平均低 35%<sup>6</sup>。中国在电动汽车生产和一系列基础技术方面，已是公认的全球市场领导者。在新能源汽车快速市场化和普及方面，中国的乘用车电气化政策也非常成功。国际电动汽车市场也在蓬勃发展。

<sup>4</sup> 中国交通部规划研究院课题组中国交通行业二氧化碳减排研究（阶段报告）。

<sup>5</sup> 详见《“十四五”现代综合交通运输体系发展规划》国发〔2021〕27号。

<sup>6</sup> 详见汽车工程学会《汽车生命周期温室气体及大气污染物排放评价报告 2018》。

全球锂电池技术在成本和复杂性方面都取得了巨大进步，电池系统成本将持续下降，实现与燃油动力汽车真正的“平价”<sup>7</sup>。目前，越来越多的国家采取更积极的政策措施来推动电动汽车的普及，约有 19 个国家或地区提出了终止销售化石燃料动力汽车的时间表。作为电动汽车生产和一系列基础技术领域公认的市场领导者，中国将加速向电动汽车过渡，并通过交通电气化实现对发达国家的“换道超车”。

## 2. 主要政策建议

第一，通过结构调整促进交通运输方式低碳化。按照“减少、转移和优化”的原则，充分利用数字技术和人工智能来设计和实施高效的交通运输系统。这些措施对于公路、港口和货场的货运物流特别有效。建设综合运输系统建设，并在城市交通发展规划中加大对公共交通的规划，特别是干线和支线交通服务的整合，确保地方和跨城市/跨区域公共交通的良好覆盖。加速促进长距离货运由公路转铁路，并扩大轨道运输。通过建设城乡自行车道和步道，发展自行车租赁等措施，提高城乡绿色出行的能力。

第二，积极推动公众和重点事业单位的减排行为和选择。为降低与出行相关的碳排放，中国应该倡导公共机构优先购买和配置电动汽车，对共享汽车以及使用公共交通和铁路的行为进行激励，以在公众中推广环保出行。尤其是，鼓励公务出行多采用铁路交通，减少出行碳排放。还应该采取措施淘汰老旧低效车辆。同时，协调各区域间的交通减排工作，确保地方政策与全国政策的一致性。

第三，做好技术性减排工作，部署关键、核心技术的研发、创新与合作。电动化是交通转型的核心和基础，需要动力总成（储能电池组和氢燃料电池）、系统设计、材料、安全性和有效性等方面新的突破。加快港口、机场的电气化建设。在无法实现电气化，以及还没有可替代液体燃料的情况下，创新应侧重于开发可用的液体燃料（可能是氢或氨燃料），以及部署二氧化碳去除技术（例如二氧化碳捕获和储存或直接捕获空气），以消除非电气化交通方式、尤其是航空的剩余排放。

第四，统筹交通运输电动化与城乡电力供应低碳化进程。中国应当加快构建新能源为主体的新型电力系统，并加大充电桩、换电站、加氢站等基础设施的建设。这些措施应与汽车销售协调发展，为交通转型提供清洁电力，并提高基础设施选址决策的有效性，最大限度地提高利用率，并减少搁浅资产风险。此外，应该加紧推出双向充电“车到网”技术的标准，以确保电动汽车发挥其作为灵活分布式能源存储的巨大潜力，并有效利用当地生产的清洁能源。

第五，抓紧制定全国禁售燃油车的路线图和时间表。可以采取几种形式，包括在特定行业逐步取消化石燃料汽车；明确规定到 2025 年公共部门、包括公共交通车队电气化；为示范和部署电气化或氢燃料货运技术制定目标和激励措施；在北京、上海、广州、成都、深圳

---

<sup>7</sup> 详见 Bloomberg New Energy Finance (NEF) 2022 New Energy Outlook。

等大都市，可以率先实行。

### （三）制造业绿色转型

制造业是中国高速发展的主要驱动力，也是传统工业化模式的核心。中国作为全球超大经济体和最大商品出口国的快速崛起，主要是由制造业推动。与此同时，制造业也是中国环境问题的一个主要成因。碳中和并不是要去工业化，而是要推动制造业部门在组织结构、能源和材料投入、生产过程、产出和回收/再加工等方面进行根本性再造，以使环境友好的增加值成为制造业增长的主要来源，从而改变产出的制造方式、产出内容，并以此推动生活方式转变。这个过程将给中国制造带来巨大挑战，同时也带来升级换代的重大绿色机遇。

#### 1. 主要任务和挑战

制造业转型是中国碳中和的重要内容。根据国家统计局，2021 年中国制造业增加值为 31.4 万亿元，约占中国 GDP 的 27%，占全球制造业比重近 30%。制造业碳排放总量约占全国碳排放总量 45%。在中国的碳排放中，大约 20-30%的碳排放内涵在出口产品中。

为实现制造业碳中和，需要对旧工业进行改造和重建。这些改造和重建带来了投资的搁浅风险，以及未成功转型产业的中断风险，但同时也让中国制造业有可能“超越”传统行业并满足未来对绿色制成品和中间品的需求。汽车和新能源行业就是典型的示例。目前，中国已是世界上最大的电动汽车和新能源装备生产国和消费国<sup>8</sup>（中国汽车工业协会，2021）。2021 年，中国新能源汽车销量占全球销量的一半以上，并且在全球二十大新能源汽车厂家中，中国占 12 家<sup>9</sup>（Pontes J, 2022）。中国企业投资开发电动汽车的制造能力，以及基础传动系统、机器人和电池技术，使中国电动汽车制造商有能力挑战，并超越在该领域积累了数百年经验的全球燃油车行业领导者。同时，中国也在国内广泛部署太阳能和风能技术，已经成为世界最大的可再生能源设备制造商和出口国<sup>10</sup>。中国为全球市场供应了 90%的光伏产业组件，也是世界最大的风机制造国，产量占全球一半。中国还在多项碳中和相关应用技术的开发和部署方面处于世界领先地位，包括无人机系统、先进机器人、5G 网络和互联网经济等。

但是，制造业绿色转型面临多重约束，包括制造业占 GDP 比重要保持基本稳定、制造业增长速度与 GDP 增速需持平，以及制造业与其他大型能源消费者竞争性使用有限的清洁能源。“十四五”规划和 2035 年远景目标纲要强调，中国要保持制造业比重基本稳定（2021 年，这一比重约为 27%）。同时，2035 年 GDP 预计将在 2020 年基础上翻番。这意味着，中国制造业绝对规模也将翻番。这将增加对清洁能源的需求，使得减少制造业绝对排放量的任务变得更具挑战性，并加剧制造业对清洁能源的需求。因此，只有同时大幅降低制造业能源强度，推动非化石能源加快发展才能实现。除了钢铁、水泥、有色金属、石油和化工等传统高耗能

<sup>8</sup> 详见中国汽车工业协会 <http://www.caam.org.cn/tjsj>。

<sup>9</sup> 详见 <https://cleantechnica.com/2022/06/29/electric-car-sales-global-top-20/>。

<sup>10</sup> 详见 [http://www.gov.cn/xinwen/2021-03/31/content\\_5597134.htm#1](http://www.gov.cn/xinwen/2021-03/31/content_5597134.htm#1)。

制造业的能源强度下降外，成长中的绿色制造业（如太阳能、风能、电动汽车）也必须着眼于降低能源消耗，并使用清洁能源。

制造业绿色转型不只是一个简单的能源替代和技术升级的问题，更是制造业价值创造方向和生产组织方式两个方面的深刻转型。为了保持可行性和灵活性，并充分利用电气化提供的技术可能性，制造业应充分挖掘其流程优化和数字化上的潜力，使一条装配线能够满足消费者的多样化、个性化需求。这样，在制造业增加值提高的同时，物质资源投入在产品价值中的贡献比重也不断下降，知识、设计、体验、生态服务、文化等无形投入的贡献比重不断提升，以尽可能实现制造业活动与能源资源环境损害的脱钩。

全球碳中和背景下，制造业未来的发展路径也将被重新定义。在制造业绿色转型及全球分工体系重塑的过程中，一国的制造业在 GDP 中的比重，取决于其在全球分工链条中扮演的角色，既可能增高，也可能降低。过去促进产业海外转移的环境标准的“逐底竞争”将不复存在，发达国家和发展中国家的环境和排放格局将面临重新洗牌。随着制造业的生态环境后果被充分计入成本，以及消费者偏好发生变化，制造业在经济中的“最优”比重将被重新定义。

## 2. 主要政策建议

制造业的转型是发展范式转型的关键。中国正从 GDP 导向的发展战略，转向以人民福祉为中心的发展战略。考虑到制造业巨大的能源消耗和对国民经济的核心贡献，制造业转型应在这一发展战略转型中扮演关键的角色。

第一，中国制造业既要加快绿色转型，又要避免产业“空心化”（也即将高碳制造转移到海外）。政策指导原则应该是避免（i）过度工业化，即为保持中国在制造业和制成品上的全球市场份额而忽视生态破坏；（ii）“空心化”，即简单地将无法满足碳中和要求的行业向海外转移或业务外包。这需要逐步摆脱以出口为导向的增长方式，并采取适当的激励措施来鼓励制造企业留在国内，同时实现脱碳目标并遵守法规。

第二，采取适当的激励措施，鼓励制造企业转变其价值创造方向，提高无形生产要素在最终产品价值中的比重，并转变商业模式。

第三，以严格的环境约束条件倒逼制造业转型。目前，中国制定了“三线一单”的制度，即生态保护红线、环境质量底线、资源利用上线和生态环境准入清单。政府要在碳排放、能源、生态环境、资源等领域，建立严格的“双控”（强度和总量）约束，通过市场机制倒逼制造业转变价值创造方向。这些措施将向制造业发出强烈信号，表明制造业必须适应新的发展方式。

第四，推动制造大国向高端绿色制造转型。对出口产品实施严格的资源环境管制标准，控制低附加值的“高能耗、高污染和资源消耗型”（“两高一资”）产品出口。加快制造业

向数字化、知识经济和个性化转型，以提高生产率、降低资源投入，并在价值量上抵消资源密集、低附加值商品出口的下降。

第五，从长期来看，应从制造品出口大国转向绿色海外投资（ODI）大国，以提高中国制造业及中国经济的全球竞争力和市场影响力。对新兴市场的投资，包括通过“一带一路”倡议，是中国制造业扩大其对全球减排影响力和贡献的主要手段。尤其是，中国可以利用其在新能源产品和数字技术制造方面的巨大优势，以及政府支持的对外贷款和投资能力，帮助发展中国家“跨越式”地实现绿色工业化，避免走上传统工业化老路。

#### （四）碳中和目标下的绿色城镇化

大规模的城镇化现象，始于工业革命之后。目前在城市规划、基础设施建设、空间布局等方面，很大程度上都是在传统工业时代形成。传统工业时代的特点是大规模生产和消费物质产品，并要求生产活动和资源在地理上聚集，以实现规模经济和聚集经济。当作为城镇化基础的传统工业化模式因为不可持续而必须转型时，建立在此基础之上的传统城镇化模式，包括城市承载的经济活动及其空间组织形式，也必须进行深刻转型。

##### 1. 主要任务和挑战

过去四十年来，在快速工业化和城镇化的共同推动下，中国经历了历史上前所未有的高速发展浪潮。1978年，中国城镇化率只有17.9%，属于典型的农业经济。2021年则提高到64.7%，预计未来将达到75%或更高的峰值。目前，70%以上的碳排放和环境污染，均发生在城市。

与此同时，一些重大的新技术正在重塑经济活动的空间格局，特别是在高密度的城市地区更是如此。这些包括：无处不在的互联网以及智能设备在私人通信和公共服务上的应用；数字交易在商业和政府公共服务中的快速应用；高度先进的工业技术和管理商品、服务生产和分配的网络化基础设施；四通八达的交通网络以及分布式能源发展。因此，城市生活和劳动分工体系的组织，不再像过去那样高度依赖于生产要素的地理集中，而是可以发生在一个更广阔的数字和地理空间。这就为中国城市的增长、重建和更新开辟了新的途径。

然而，中国的绿色城镇化转型仍然是一项艰巨的任务，至少面临着三大挑战：

一是存量转型，即现有64.7%水平的城镇化如何实现绿色转型。现有的城市基础设施主要集中在能源和碳密集型工业和制造业，围绕这些行业设计和建造的城市空间，锁定了大量效率低下且资源不可持续的城市基础设施。这使得绿色城镇化转型十分困难，耗费大量时间和成本。如何通过重建、重新设计和重新配置城市空间，并改造现有存量基础设施，对于实现中国碳中和目标就至关重要。

二是增量转型，即新流入人口和现有的城市新增人口如何以绿色方式实现城镇化。中国的城市人口大多集中在中小城市。在过去的几十年里，中国城镇化水平稳步提高，预计未来

还有约 10 个百分点的提升空间。虽然中国超大和特大城市的人口规模巨大，但中国城镇化出现了较明显的本地化趋势<sup>11</sup>。这些新增城镇化人口需要以绿色方式实现城镇化。此外，中国大部分工业设施都位于中小城市或大城市的外围。因此，可持续的城市-工业综合体需要关注围绕重工业建设的小城市，以及以商业中心为中心的特大城市。

三是绿色乡村振兴。按照传统的发展理论，乡村主要提供劳动力、粮食、原材料，以及为工业品提供市场，经济发展的目的是逐步扩大工业化和城市化。这种对乡村功能和城乡关系的传统定义，限制了乡村地区作为自然资本的管理者、生态系统服务的提供者创造价值的的能力 (He and Zhang, 2022)。因此，需要重新评估乡村地区的经济与非经济功能，将这些重要贡献纳入城市可持续发展的进程(张永生, 2022)。

上述三大任务面临的主要挑战，是如何跳出传统工业化模式的思维方式和发展模式。比如，目前一些碳排放与经济增长脱钩的城市，主要还是依靠产业价值链升级，并通过将低端产业外迁，实现碳排放降低和经济增长，但其消费端的碳排放并未同步下降。这种转型模式更多的还是传统意义上的产业升级概念，称不上是发展范式的深刻转变，以此无法实现全国乃至全球范围的碳中和。

## 2. 主要政策建议

实现碳中和与数字时代的绿色城镇化，必须跳出传统工业化模式的思维。在碳中和背景下，绿色城镇化转型的战略方向，是从 GDP 导向的城市发展，转向以人们福祉为中心的发展。

第一，中国应以城市群和县域城镇化作为两个战略重点，推动新型绿色城镇化。利用互联网等技术优势，将集中式与分布式生产的好处最大化，塑造中国新的经济地理格局和城镇化格局。尤其是，由于城市群同时涵盖城市和乡村区域，其绿色转型可以激发城市和乡村的互补优势，发挥“1+1>2”的效应。

第二，以实现“双碳”目标作为具体抓手，倒逼城镇化绿色转型。设定各城市的碳排放总量、强度等“双碳”目标及路线图。将碳排放、生态环境容量、资源利用等强度和总量作为城市发展的约束性指标，突出强调城市基础设施和城市建筑的生态环境效应，改变城市基础设施的规划设计理念，并规定现有基础设施存量的更新方式。

第三，将城市更新作为现有城镇绿色转型的重大契机。城市更新不只是硬件和基础设施的更新，更是城市发展理念的“软更新”。要避免“大拆大建”的做法，侧重于对现有基础设施进行有效的重新配置，并在城市更新的过程中转变居民生活方式。地方政府可以对城市资源使用进行定价（例如，个人车辆和停车收费），通过税费、补贴、规制、教育、倡议等政策工具，引导本地绿色生活方式，催生新的城市绿色经济，并满足民众的福祉需求。

---

<sup>11</sup> 2020 年第 7 次人口普查出现的超大城市和特大城市人口规模膨胀的现象，一定程度上是由于行政区划调整引起（撤县级市设区），以此得出“中国中小城市人口占比在萎缩，超大和特大城市占比在膨胀”的结论，可能并不可靠。

第四，发挥县域城镇化及特色小镇在乡村振兴中的作用。县域人口除了向县城集中外，还有大量人口将以特色小镇的形式实现就地城镇化。尤其是，利用大量新能源、污水处理、生态建筑等分布式技术，大幅提升县域城镇化和乡村的生活品质。

第五，建设“绿色+智慧”城市和乡村。要以“绿色化”、“数字化”、“智能化”协同为目标，推进新型智慧城市建设，通过 5G、人工智能、云计算、大数据、区块链等新一代信息技术重塑城市生活新方式、赋能城市治理现代化，并以“绿色+智慧”大幅提升乡村的经济活力和生活品质。尤其是，确定以大容量云计算为基础的数字、网络技术（例如 5G、分布式账本）和人工智能可以结合的领域，以支持可持续城市的设计、建设和管理，以及对资源使用和资源强度的监测。

## （五）重塑人与土地的关系

农业、林业和其他土地利用活动占全球温室气体排放量的 23%。同时，世界上超过一半的谷物用于动物饲料，超过 77%的农田直接和间接用于动物放牧。动物占比高的农业结构引致的土地需求，是全球森林砍伐的主要驱动力。而工业化农业和林业产业的兴起，则造成了储存在世界耕地和森林中的自然资本的损失。土地利用方式的改变成为气候变化的一个重要驱动因素。基于自然的解决方案主要是通过对农业、森林和其他土地利用进行“保护、恢复和改变土地利用”，以减少温室气体排放或吸收排放。实现基于自然的解决方案，就必须对农产品以及相关服务的生产和消费方式进行深刻转变，以重塑人与土地的关系。

### 1. 主要任务和挑战

中国农业的演变有两个关键特征：一是农业生产的内容从过去生产植物性产品为主，转变到直接（如畜牧业）或间接（如生产动物饲料）生产动物性产品为主。二是农业生产的方式从传统的多样化生态农业，转变到单一生产的工业化农业、化学农业。这种现代化农业虽然提高了单一作物的产量，但却带来了土地利用方式的改变，并带来一系列环境问题（比如，栖息地丧失、生物多样性丧失、农业径流、洪水风险）和健康问题（比如，接触化学品、抗生素滥用、肉类消费过度）。今天，中国的肉类、禽蛋和粮食产量均大幅增加，而过量使用农药、化肥和草地过度放牧，仍是增加短期产量的常见手段。

更具体的数字表明，中国肉类产量从 1979 年的 1062 万吨，持续提高到 2021 年 8887 万吨，增长了近 8 倍。禽蛋产量从 1982 年的 281 万吨，持续增长到 2021 年的 3409 万吨，增长了 10 余倍。粮食产量从 1978 年的 30477 万吨，持续增加到 2021 年的 68285 万吨，增长了一倍多。这其中，约一半的粮食被用作动物饲料。与此同时，中国农业化肥用量从 1978 年的 880 万吨上升到 2015 年的峰值 6020 万吨，在采取措施后 2020 年下降到 5250 万吨。类似的，农药使用量从 1995 年的 110 万吨增加到 180 万吨的峰值，随后 2019 年下降到 139

万吨<sup>12</sup>。

在全球范围，农业向畜产品的转变，以及化肥和农药的大量使用带来严重的环境污染，并伴随着人口疾病和发病率的上升，以及医疗成本负担的显著增加 (Dieleman, et al., 2020)。中国的农业生产方式、饮食方式、疾病负担和生态环境影响，正在逐步向工业化国家趋同，反映了传统工业发展模式在农业领域的不加批判的应用。要解决农业工业化所带来的不正当的商业激励，就需要把人类福祉重新置于农业发展的核心，注重利用有限的可耕地来满足均衡饮食的营养需求，改变土地的利用方式。

改变土地的利用方式要求中国实现对土地的“保护、恢复和改变土地利用”。中国在这方面已经取得了巨大成绩。森林砍伐以及草地和湖泊开垦已得到遏制。以森林为例，在全球森林资源减少的情况下，中国的森林资源却在持续增长。近 30 年来，中国新增绿色面积占全球 25%以上<sup>13</sup>。目前，全国森林面积已达 26.2 亿亩，活树存量达 136 亿立方米，森林覆盖率为 18.2%。2020 年 12 月，习近平主席在气候雄心峰会宣布，2030 年中国森林蓄积量将比 2005 年增加 60 亿立方米。根据“十四五”规划，到 2025 年，中国森林覆盖率将提升到 24.1%，森林蓄积量将达到 190 亿立方米，草原综合植被覆盖度将达到 57%，湿地保护率将达到 55%，以国家公园为主体的自然保护地面积占陆域国土面积的比例将超过 18%。2021-2030 年，中国将种植、保护、恢复 653 亿棵树，加上 10 年 50 亿棵的义务植树，中国 10 年内将总计种植、保护和恢复 700 亿棵。这些将成为巨大的碳汇。

## 2. 主要政策建议

第一，重新认识并定义粮食安全观。“粮食安全”一词最常用于指满足市场对粮食的需求，而不是指为人口提供健康饮食所需的粮食需求。中国应更多地基于健康标准重新定义并评估自身粮食需求和粮食安全问题。中国政府应该把粮食安全作为公共卫生问题来抓。在不妨碍市场有效配置资源的情况下，可以实施相应的规范来指导农业部门的活动。

第二，重新思考农业可持续发展问题。根据生态文明建设的要求，逐步实现农业生产活动由碳源向碳汇的转变。这就要求在农业生产内容上，减少对动物性产品的过度生产和消费，增加植物性和肉类和奶制品替代品的生产产量。在农业生产方式上，将化学农业和单一农业，转变为利用自然肥料和气候智能型技术培育多样性的作物，以保持农业产业的商业活力，并限制单一化生产对作物产量和食品价格的影响，促进多样化生态农业的发展。

第三，重新思考农业、健康和公共卫生之间的关系。国家健康战略在从过去注重“疾病治疗”转向更加注重“疾病预防”的基础上，应进一步注重促进新的“健康生活方式”。政府不仅要关注传统意义上的“食品安全”，而且要加强对健康饮食模式的政策引导。

第四，调整粮食产品价格，以充分反映农业生产和消费对环境与健康产生的外部成本。

---

<sup>12</sup> 详见国家统计局网站。

<sup>13</sup> 详见《2020 年中国国土绿化状况公报》。

中国应借鉴国际上的碳标签制度，建立起反映不同食品的碳、水和资源强度的综合机制，并逐步将这些成本反映在商品的市场价格中，以引导饮食模式的选择。

第五，进一步为基于自然的解决方案提供强有力的激励机制（农业、林地、草地、湿地），以在短期内（在外部性被充分定价之前）使得“保护、恢复和改变土地利用”的行为有利可图。进一步完善退耕还林、生态补偿、化肥农药减量、设施农业、生态农业转型等机制。

## （六）消费模式的绿色转变

碳中和要求从根本上转变生活方式和消费模式。发达工业化国家以物质消费主义和过度消费为基础的消费模式，是造成一系列环境和社会问题的根源。同时，它也未能带来福祉水平的同步提高（Easterlin, 1974; Easterlin, et al, 2010; Case and Deaton, 2020）。就正如消费观念的转变是农业社会向工业社会转变的前提一样，从不可持续的传统工业化模式转向可持续的绿色发展，同样需要消费观念的大规模转变。

### 1. 主要任务和挑战

工业革命之后，大规模生产提高了物质生产力，极大地促进了供给。供给的增加需要通过高消费以及新市场的扩张来为其提供新的需求。于是，大众消费主义和物质主义就成为现代经济的基石（张永生，2019）。

这种高消费的生活方式带来了严重的不可持续问题。据测算，如果地球上每个人都像美国人那样生活，则需要 5.1 个地球<sup>14</sup>。这种不可持续的高消费生活方式也不一定有利于整体国民健康。例如，在美国，同慢性病密切相关的成年人超重比例从 1975 年的 41% 上升到 2016 年的 67.9%。疾病的高发病率导致发达国家的公共和私人治疗费用高昂，反而使得疾病治疗成为经济增长的重要来源。2016 年美国的卫生总支出约占 GDP 的 17.9% (Dieleman, et al., 2020)，这些增长被认为是“高质量”的，但按照福祉标准，结果却完全相反。

中国自改革开放以来，随着经济迅猛发展和全球化进程加快，人民生活水平发生了天翻地覆的变化。比如，衡量居民食物消费比重的恩格尔系数，从 1978 年的 63.9% 下降到 2021 年的 29.8%<sup>15</sup>。中国百姓的生活水平和消费方式，逐渐与发达工业化国家趋同。同慢性病密切相关的成年人超重比例，中国也从 1975 年的 9.9% 迅速上升到 2016 年的 32.3%，且还在继续快速上升<sup>16</sup>。因此，需要从根本上重新思考“美好生活”的概念，并相应地重新确定发展政策的优先次序。

重新思考“美好生活”的概念，必然要求价值观、消费模式和生活方式的深刻转变。就正如从农业社会向工业社会的转变是以大众价值观和生活方式的深刻转变为前提一样（Rostow, 1960），从不可持续的传统工业社会向可持续发展模式的转变，也需要价值观和

<sup>14</sup> 详见 <https://www.overshootday.org/how-many-earths-or-countries-do-we-need/>

<sup>15</sup> 详见国家统计局网站。

<sup>16</sup> 详见 <https://ourworldindata.org/obesity>

生活方式的大规模转变。这种减少物质消费的转变，并不减少在服务和信息经济中涌现出的大量新消费需求和经济机会，也不减少对目前市场价格和 GDP 数字中未包含的商品和服务（包括自然商品和生态系统服务）的需求。这些新需求有助于我们多维地衡量幸福感。

## 2. 主要政策建议

消费模式和生活方式的深刻转变不仅是必要的，也是可行的。需要从国家发展战略、价值观念、相对价格等方面共同推动，将扩大绿色供给作为供给侧改革的核心内容，在需求侧通过激励政策降低绿色消费（旅游、休闲等）的相对价格，并最大限度实现经济增长与碳排放脱钩。

第一，发展战略转变。将可持续消费作为国家发展战略的一部分，利用价格、环境监管宏观经济政策、产业政策、税收和补贴以及金融政策，共同推动消费模式和生活方式的深刻转变。与此同时，在对政府官员的目标设定和绩效考核上，应从过去 GDP 导向的发展，转向包括一系列社会和经济指标的福祉衡量为中心的发展。

第二，重拾中国传统的价值观，对美好生活的概念进行重新思考。中国传统的“小康”概念更多地体现了发展的根本目的。它在追求简约物质消费的同时，注重精神层面的满足。既要追求物质消费不可或缺的好处，也要认识到自然资本和生态系统服务对人类福祉“用之不觉、失之难存”的重要性。

第三，积极鼓励发展新的商业模式。目前的主流商业模式很大程度上是传统工业化模式的产物。在传统商业模式下，新的绿色供给的价值，往往难以在市场中实现。政府应支持商业模式转型，不仅应将外部成本内部化在产品价格之中，也应促进供给内容、市场结构、交易模式、企业治理结构等方面的转变。将消费方式转变内置于宏观经济政策设计和评估体系。这不仅包括直接的消费，还应该包括投资、信贷、财政、出口等政策。现有的宏观经济政策很少考虑环境因素，而碳中和作为政府长期政策的一个关键约束，应作为政府宏观经济设计和决策的重要制约因素。最初的措施包括逐步加强监管并最终淘汰“高碳排放、高能耗、资源性产品”（尤其低附加值类型的“两高一资”产品）。

第四，政府在教育引导方面发挥更大作用，并出台一些标志性的促进绿色消费的政策，加快引导健康消费方式的形成。这些试点项目可以包括对工作时间的限制、灵活就业，以及前文提到的禁售燃油车等。实施这些措施的同时，还应大力鼓励文化、旅游、体育、休闲等非资源密集型经济部门的增长。

## 五、构建碳中和的支撑体系

发展范式转变是一个全面而深刻的系统性变革，需要机制设计、金融、技术等方面的强有力支撑。但是，目前的机制、金融和技术创新等体系，很大程度上是传统发展模式下形成

并为其服务的，必须根据碳中和新发展范式的内在要求进行相应的转变。同时，这种系统性转变还必须以公平转型为前提，让所有人群、地区、部门均能公平地分担/分享转型变革的成本和收益。

### （一）建立健全碳核算体系

健全的碳核算体系是满足理论和政策双重要求的重要前提。在新古典经济学理论中，经济增长理论并未充分考虑生态环境的价值。即使当前情况有所改善，生态环境问题逐步进入经济学研究，并在某些领域开始拓展，但由于缺少生态学与经济学合理贯通的微观基础，这类研究面临着难以摆脱的困境。其中，碳核算是用经济学理论研究生态环境问题的重要微观“基石”。

在政策上，应对全球气候变化要求政府发挥其提供公共产品的作用。因此，制定能够克服市场失灵的政策和规章，并以灵活的方式实施就尤为重要。中国在国家层面设定了宏观的减排战略和目标。这一点十分重要。但是，现有的减排战略主要依赖于对各级政府设定碳排放目标，以及对地方政府的行政干预。这种行政方法造成了高昂的经济成本，也妨碍了市场在资源配置中有效发挥作用。只有以健全的碳核算体系为基础，才能在微观机制设计层面使碳减排能够自我实现。这对于碳中和战略的实施，以及提高市场效率而言至关重要。

健全的碳核算体系需要涵盖所有经济主体。这种核算体系的最基本功能，应该包括对各个企业、机构、各级政府的碳排放、碳资产和碳负债的核算，特别是明确界定那些碳排放量大的企业以及个人的碳“责任”（刘世锦，2021，2022）。只有这样，才能确定碳排放权归属，形成一套建立在经济、社会、生态协调发展基础上的功能完备的碳成本-收入核算体系，从而有助于利用碳排放关键指标去跟踪转型的进程、明确转型的特征。

#### 1. 主要任务和挑战

建立健全的碳核算体系建设面临着多重挑战。一是缺少统一的基于排放主体的碳核算体系。以经济学理论的观点考虑，构成分析对象的应当是某种能够满足人们需求的物品或服务，它们能够提供特定的效用，且这种效用是确定或可验证的，并且可用某种方式度量。这种度量需要涵盖经济、社会以及生态发展，并体现减碳、治污、增绿和增长之间的协调，并最终表现为统一的量纲。目前的碳核算标准，仍无法体现这一维度的统一量纲。另外，当前的碳核算方式，主要体现为国家层面的温室气体清单编制的工作体系和技术方法体系、全国及各省（区、市）分品种能源消费量及其相应排放因子的碳排放强度核算，以及重点行业企业的（自愿）碳排放核算。核算口径过于宽泛，无法为具体的碳排放主体（个人、企业等）提供有效的监测、评估和激励机制。

二是没有有效的碳责任分配体制。一方面，目前自上而下的碳责任分配，以及随之而来的行政干预造成了效率的损失。政府没有企业生产、能源使用决策等内部信息，不恰当的碳责任分配会干扰企业做出正确的能源决策，从而对减排产生不利影响。另一方面，确保各级

政府、政府的各个部门在碳减排中具有相互一致的利益、采取协调一致的行动至关重要。然而，层层往下的指标分配经常伴随着激励不足、搭便车、实施成本较高、区域间平衡性较差等问题。需要在健全的碳核算体系基础上，与经济核算（例如投入产出表）相对应，建立各级政府（国家、省、市、区等）、企业和个人的绿色责任账户，确定各个主体的减排责任。

三是没有健全的市场机制。在准确核算单个排放主体的碳排放，以及有效分配碳责任基础上，为所有责任主体建立健全的市场定价方式，以调节偏好差异、碳责任分配不均等问题。该市场是由政府创造的市场，但目前的全国碳排放权交易市场对交易主体仍然是软约束，碳排放的外部性仍然没有内部化。

## **2. 主要政策建议**

第一，开发一个基于“社会福祉”的国家统计系统，与基于物质产出和国内生产总值的统计系统一起使用。作为这一过程的一部分，采用一套更全面和通用的“福祉”指标来评估发展战略的成功与否。该体系的建设需要明确配套的价格和市场交易机制（以确定福祉的价格），由此倒逼涵盖全部经济主体的碳核算和碳市场建设。

第二，为全社会范围内各个主体设立碳账户，形成碳中和制度的核算基础。各级政府（国家、省、市、区等）应参与确定核算范围，以及每个经济主体授予的碳配额。该核算体系可扩展到对碳排放以外的生态环境影响的核算，即覆盖其他污染物和自然资本的存量和流量，并通过政策试验评估其有效性和准确性。

第三，设立碳排放统计核算制度和考核评估系统。这应该包括一个地方和国家政府层面的碳排放统计核算系统，一个评估和审核这些排放的透明机制和明确的时间表，让所有企业和政府机构发布公开、透明的评估报告，并制定相应的惩罚奖励机制。

第四，推动碳市场在确立推动资源高效配置方面发挥更大作用。积极扩大碳市场建设，覆盖更多经济体和更多企业。同时，积极推动场外交易，利用银行业监管机构的市場操作，平衡碳市场供需，通过保持一致的碳定价信号，引导经济主体的行为改变。优化各行业的碳排放权配额获取方式，优化市场交易机制，确保碳价在有效的合理运行区间。

第五，明确长期（到 2060 年）内各阶段的碳排放总量目标。引导社会经济主体的预期、促进市场交易的积极性以及硬化碳责任的约束性。

### **（二）构建世界领先的零碳金融体系**

实现碳中和目标，也给中国构建世界领先的零碳金融体系提供了“换道超车”的历史性机遇。中国金融将从服务对象、金融产品、总体规模，经营理念和战略，金融宏观管理框架和金融基础设施等方面进行深刻转变。

#### **1. 主要任务和挑战**

金融将在 2060 碳中和战略中发挥关键引领作用。第一，为规模高达 186 万亿元、期限长和风险高的新增投资进行融资。第二，管理高达 382 万亿元的高碳存量金融资产<sup>17</sup>。这就需要进行金融重构和风险转移，重塑国家、产业、企业和居民的资产负债表。第三，为碳中和和科技创新提供超过以往规模的高科技风险投融资。第四，设计旨在帮助高碳产业适应碳中和政策环境的金融产品，支持产业结构转型。第五，直接参加国际零碳金融市场建设的竞争与合作。政府和金融监管者要抓住碳中和的历史机遇，推动中国金融体系的“换道超车”，率先构建全球领先的中国零碳金融体系。

这些目标伴随着巨大的挑战。过去十年，中国的绿色金融政策在增加绿色金融工具种类、扩大绿色金融市场和资本流动方面取得了显著成就，但与碳中和经济的要求仍有较大差距。截至 2021 年底，我国绿色贷款余额 15 万亿元，居世界第一；绿色债券存量 1.1 万亿元，居世界第二。然而，绿色贷款仍仅占中国社会融资市场总额的 4.5%，绿色债券仅占中国国内债券总额的 0.7%。这些距离满足碳中和转型的投资和融资要求还有很长的路要走。同时，90%的绿色金融都是期限错配的银行贷款，缺乏相关的衍生品结构，在金融产品结构和风险控制方面不能满足碳中和转型的需要。

## 2. 主要政策建议

中国政府和金融监管者要抓住碳中和的历史机遇，推动中国金融体系的“换道超车”，率先构建全球领先的中国零碳金融体系。构建零碳金融需要尽早建立相应的宏观管理政策框架，给金融参与者和市场提供清晰和长期的政策信号，明确的政策指引，以提供激励导向和稳定的市场预期。

第一，在建立零碳金融体系的明确战略目标的推动下，加速向零碳金融转型。国家政策应该为环境和自然资本保护标准、气候风险的测量、管理和定价、碳密集型资产存量向低碳存量的转变、碳相关金融产品的开发、碳市场交易和市场提供指导和规则等。

第二，加快绿色金融向零碳金融跨越。确定零碳金融的定义，即覆盖绿色金融的环保内容、可持续金融的自然资源保护和可持续发展内容、气候金融的气候风险冲击和内生金融定价内容、转型金融的碳密集存量金融资产转向低碳的风险管理内容，以及碳金融的碳相关产品交易和市场规则等方面的内容。

第三，构建领先的零碳金融宏观调控体系。（1）扩大财政对零碳金融的支持规模，丰富支持工具，明确碳中和下财政和金融协调的长期路径。实现碳中和需要对零碳基础设施投资、科技研发、转型激励等提供大规模的财政支持。增加结构性财政支持的最有效途径，是加强政府支出与金融市场的合作，并完善指导该合作的政策体系（朱民等，2022）。（2）实行同碳中和目标一致的结构性的货币政策。央行需要通过非中性价格型和数量型货币政策来纠

---

<sup>17</sup> 数据详见中国人民银行网站和人民政府网站  
[http://www.gov.cn/xinwen/2022-03/16/content\\_5679310.htm](http://www.gov.cn/xinwen/2022-03/16/content_5679310.htm)。

正市场失误，支持碳中和转型，实现社会效用最大化。央行在宏观货币政策、金融稳定政策、市场操作政策和压力测试等工具中，建立与碳中和转型相适应的结构性预测模型（朱民、彭道菊，2022）。

第四，构建领先的监管和披露管理机制。（1）突破性构建“新巴塞尔零碳资本管理原则”（BIS-ESG）的监管框架。推出新的零碳投资分类标准，指导零碳和高碳资产对资本充足率贡献如何变化，并指导如何将零碳资产作为抵押纳入信贷市场。（2）探讨符合中国实践的零碳金融信息披露框架。包括：设计我国零碳金融信息披露内容和实施路径；通过推广分类体系和采用国际标准，大幅提高 ESG 数据和零碳金融的标准化、透明化和主流化；提高公司信息披露标准；推动信息披露以及数字化基础设施建设。

第五，完善绿色技术投融资创新体制，吸引社会资金广泛参与。国家可考虑成立绿色技术银行，利用公共资本战略性地撬动私人投资于碳中和创新，并探索建立基于项目的混合股权结构和合理的多方利益分配机制。发展多种直接融资方式，充分发挥风险投资市场对新兴颠覆性技术的早期融资和引导作用，引导风险投资向绿色和环保倾斜。同时，充分发挥中国间接融资的优势，引导银行信贷向绿色技术投资倾斜。

第六，构建复合性零碳金融市场生态。包括：零碳金融市场整体框架、银行、债券和股市融资合理结构、碳金融衍生品交易市场和零碳服务体系等。为金融市场参与者提供清晰的信息，以推动更合理的金融资源配置，助力碳中和目标的实现。

### （三）构建绿色科技创新体系

绿色技术的突破是实现碳中和的关键。绿色技术创新不仅要在生产端推动单位产出碳排放强度的下降，更要推动最终消费内容的绿色转变，以尽可能实现经济增长同碳排放的脱钩，避免技术进步扩大消费反而加剧资源能源消耗的所谓杰文斯悖论（Jevons, 1865）。

#### 1. 主要任务和挑战

技术创新是一个“创造性破坏”的过程。碳中和推动大规模、系统性的“绿色技术替代”为中国技术创新提供了一个跨越式发展的新机遇（Grubb et al., 2021）。中国绿色技术创新在很多领域已处于国际领先水平，但仍面临着创新不足、投融资不足、成果转化率低等突出问题。在市场上，新技术研发的动力是企业获得更高的利润。但是，在众多的技术创新方向中，绿色环保方向的创新并不总是回报最高的方向，尤其是在绿色市场未能得到充分发展的条件下。因此，绿色技术创新的一个重要特点，就是政府在其中起着重要的引导作用。

碳中和需要在许多领域进行技术创新，新能源及其相关技术是最先站稳脚跟的技术之一。在新能源方面，无论是技术、装备制造能力，还是市场规模，中国都已是全球领先者。特别是可再生能源发电，根据中国的长期能源目标，到 2060 年非化石能源占最终需求的比重将超过 80%，其中太阳能和风能是可再生能源的主要来源。预计到 2030 年，中国的可再生能源装机容量将从约 6 亿千瓦时增至 12 亿千瓦时。太阳能和风能技术现已成熟且具有商业可

行性。

灵活储能技术对于解决电网系统因可再生能源占比高而导致的间歇性和不稳定性问题至关重要。需要快速发展灵活、长寿命的能量存储和转换技术，以满足经济发展的需要，特别是在重工业和交通运输领域。但电池存储技术的进一步发展仍面临四个瓶颈：能量密度低、性能不稳定或不一致、成本高，以及关键矿物供应链风险高。

绿色制氢与能源储存和转换技术相结合是重要的突破方向。绿色氢燃料及其衍生物（如氨和甲醇）可能需要大量使用，以满足电气化不适宜行业的热能和燃料多样性需求。利用零碳电力生产氢及其衍生燃料用于化学发电和储能，是技术创新关注的重要方向。

仅靠减少排放不能实现全球碳中和，还需要辅之以大规模脱碳技术，即碳捕捉和除碳技术。这些技术大致分为碳捕获、利用和储存（CCUS）和直接空气捕获（DAC）。CCUS 技术长期以来一直存在成本高、效率低的问题，以及捕获的碳如何进行储存和再利用的技术问题；而 DAC 仍然非常昂贵并且尚未大规模部署(Nakano, 2022; Liu et al., 2022)。

由于上述新能源技术在具体演进路径上仍然具有高度不确定性，政府不能干预并支持某些特定的具体技术路径，而是要为不同路径的技术竞争创造良好的条件。

## 2. 主要政策建议

碳中和为中国技术创新提供了一个跨越式发展的机遇。政府在促进绿色技术创新上具有无可替代的作用。但是，政府的作用更多的是为绿色创新提供制度条件，在绿色技术的供给侧和需求侧两端同时发力，不仅促进新技术的出现，还为新技术的推广应用开辟市场条件。

第一，政府应发挥对绿色技术的引导作用。在供给侧，政府应提供财政激励以鼓励创新，提供融资机制（如无条件信贷额度）以资助早期应用，并支持碳中和产品供应链的构建。具体措施包括加大绿色技术产业战略布局，提供绿色创新企业认证，为产学研体系提供早期融资、通过公私合作促进技术的商业化，以及利用市场化激励机制创造新技术的早期需求，引导绿色技术产品市场发展。

第二，中国的技术替代路径应“两手抓”。一方面，对于在中国具有领先优势的风电、光伏、新能源动力电池等领域的新技术，应着重加大其市场化应用以及同现有体系的融合。另一方面，对处于新兴阶段、全新的颠覆式的绿色技术，例如氢能和燃料电池技术、大规模储能技术、碳捕捉、利用和封存技术等，应构建“技术开发-技术转移-再开发/产业化”的全链条创新体系，将产业化和应用融合到创新的每一个环节。

第三，发挥数字化和智能化科技在减碳中的作用，促进数字化和绿色技术的融合发展。数字和人工智能技术的广泛应用，有助于提高碳中和技术的性能、互操作性和监测能力。数字技术通过最优化产出和生产率水平提高来减少排放（例如智慧城市和智能交通），但不局限于此，数字技术还催生大量管理碳排放、促进高碳行业转型的新兴服务业。

第四，采取需求拉动型政策，以支持新技术的部署。主要工具包括：税收工具、补贴、可交易许可证制度、碳排放权交易市场，以及清洁能源技术标准和可再生能源投资组合标准等规制措施。政府还可通过绿色采购政策，刺激对绿色技术的需求。

#### （四）建立协调平衡的碳中和转型管理机制

协调和平衡是碳中和转型成功的关键。在传统工业化模式下，由于减排与发展相冲突，碳公平更多的是强调如何公平分担减排负担。在新的绿色发展范式下，绿色转型将驱动经济到一个更有竞争力的结构，而环境的改善又会提高民众非货币化福祉。碳公平的问题，既是特定地区、行业和群体公平分担减排成本的问题，也是公平分享碳中和带来的“福祉”的问题。

##### 1. 主要任务和挑战

碳中和会给全社会带来巨大的净收益，但也会对社会带来重大影响，需要妥善处理就业、产业、地方财政、社会保障、生态环境、金融市场等方面的重大结构性变化<sup>18</sup>。需要注意的是，一方面市场参与者倾向于高估某些特定行业面临的风险；但另一方面低估了碳中和对传统产业影响的深度和广度。例如，虽然很多人都在关注逐步减少使用煤炭的后果，但从燃油汽车转向电动汽车不仅会导致传统汽车生产商大量减少，还会淘汰至少三分之一的燃油汽车零部件行业，以及一半以上的汽车维修行业收入。需要更加清醒地认识和评估碳中和转型的影响，协调碳中和发展过程。与此同时，我们也需要认识到，与转型相关的许多风险（包括高碳产业面临的结构性挑战），与短期政策目标关系不大，而更多地与传统发展方式的潜在弊端有关。

具体地，转型过程中不同的群体会会有不同程度的受益或损失。一些特定的地区、行业和群体，会在短期内受到较严重的负面冲击。如果这些成本和收益不按照公平原则重新分配，碳中和进程就难以推进。中国面临的一项明显挑战是减排对主要煤炭地区的影响。据中煤协（2021）预测，2020年中国煤炭行业从业人员将近285万人，煤炭富集地区重点为山西、内蒙、陕西，分别占中国煤炭产量的35%、30%和20%。这些地区不只是面临能源转型的问题，更是其基于化石能源的整个产业基础（包括制造和服务）、财政基础、就业结构等的系统性转型问题。以内蒙古为例，其超过80%的工业是能源和原材料，六大高耗能工业约占其工业的90%，单位GDP能耗是全国平均水平的3倍，单位GDP碳排放和人均碳排放是全国平均的4倍（包思勤，2021）。

碳排放在重点工业行业集中度很高，工业碳排放总量占全社会碳排放总量70%以上（其中约40个百分点为工业电力排放），其能源消费占全社会能源消费总量的60%以上。工业最突出的是电力、钢铁、建材、有色金属、石油和化工六大高耗能行业，其碳排放占工业二氧化碳排放的80%左右，碳中和转型需要抓住重点行业 and 企业的转型。

<sup>18</sup> 详见生态环境部2021文件《关于统筹和加强应对气候变化与生态环境保护相关工作的指导意见》

碳中和对居民资产状况和资产所有者也会有重大影响，包括对个人投资者储蓄的影响。碳中和目标和相关政策改变市场预期，导致特定行业(尤其是化石能源和碳密集型工业设施)的资产重估。这将给资本市场、股票市场和重点企业的资产负债表带来重大且具有潜在破坏性的变化，对居民产生连锁反应，并对经济产生系统性影响，可能需要政府干预才能稳定(朱民等，2022)。

## 2. 主要政策建议

实现协调和平衡的碳中和转型要跳出传统的工业化路径，从新发展战略的角度重新评估碳中和转型的协调和平衡。尤其重要的是要认识到，由于未能应对传统发展方法的不可持续后果，最大的平衡可能是让后世后代免受气候变化的影响。在全球经济增长面临阻力的情况下，政策制定者应保持甚至加大对碳中和的战略聚焦，坚定不移地持续推进碳中和，最大限度地为高碳产业实施转型变革提供机会，并对最需要支持向碳中和和经济转型的特定地区、行业和人群提供有力帮助。

第一，主动加强碳中和转型的管理机制，促进支持碳中和的功能系统的发展，并建立健全的协调体系。包括：加强碳中和组织体系建设，进一步发挥碳达峰碳中和工作领导小组的作用；构建国家级碳中和专家委员会和政策研究院，加强碳中和功能体系建设，包括财政、金融、科技等部门和地方职能；构建有力的统筹协调机制。

第二，构建灵活且有适应性的制度创新机制。制度灵活性和适应性对于有效执行碳中和转型战略至关重要。政府应当鼓励制度创新，将顶层设计与基层试验紧密结合，放宽地方政府政策实验限制，并利用这一过程中收集到的信息，根据不同地区、不同行业、不同企业的具体情况，确定并不断调整有效的实施方式、政策和具体做法。

第三，制度建设应兼顾短期和长期政策目标，平衡地区间不同利益。短期内可以采取有针对性、灵活性的政策。比如，对高碳行业实行“放开碳市场、稳住资产存量、限制经营”相结合的区别化政策。长期而言，应前瞻性地制定受冲击领域的转型风险防控与产业就业转型规划和政策。

第四，将就业置于公正转型的突出位置，尤其加大对低收入人口和受碳中和冲击人群的支持。支持措施包括职工安置和再就业培训，关闭或重组相关高碳企业，确保社会保障措施以及社会救助的托底作用等。

第五，进一步细化不同地区梯次实现碳达峰与碳中和的战略。为了以最小成本实现全国“双碳”目标，应根据不同地区的产业结构、资源禀赋状况，制定梯次实现“双碳”目标的路线图，避免对所有地区采取统一的减排进度要求。需要明确的是，在“全国一盘棋”的基础上，实际碳排放高的地区对实现全国“双碳”目标的贡献，不一定就比实际排放低的地区小。

第六，在梯次碳达峰和碳中和的基础上，建立减排目标的灵活实现机制，推进不同地区、不同行业之间的减排合作机制，包括购买碳排放指标、灵活的电力价格机制等。那些排放高的地区或企业，可以通过购买碳排放指标完成减排任务。同时，建立包括跨省电力价格在内的灵活的价格机制。这样，就可以避免出现“拉闸限电”现象。

第七，通过加大国家财政纵向转移支付力度，以及区域间、行业间的横向补偿机制，包括转移支付、税收和补贴等，以帮助高碳地区解决财政、社会保障、就业、再培训等困难，并激励其从提供生态服务中受益，完善不同地区间内嵌排放（embodied emissions）的补偿机制。比如，内蒙古、山西、陕西均为煤炭和煤电输出大省，其碳排放中的很大比例是为全国输出能源。这些排放成本，要么在输出能源的价格中体现，要么进行利益补偿。

第八，促进传统化石能源地区的绿色发展。中国传统煤炭地区往往具有丰富的新能源和文化生态等绿色禀赋，绿色发展条件优越。在绿色转型方面，中央应加大对这些地区战略性新兴产业的规划布局，以金融、税收、产业、价格等政策促进其绿色产业发展。

## 六、引领全球气候治理，世界共享碳中和红利

在传统工业时代，减排被视为发展的负担，全球气候治理也就成为各国之间如何分担减排负担的零和博弈（Zhang and Shi, 2014）。随着时代的发展，与传统工业时代的立场明显不同，许多国家现在公开承认减排不一定是发展的负担；恰恰相反，碳中和将伴随更强劲和可持续的经济发展和增长。同时，碳中和不仅适用于发达国家，也可以成为发展中国家实现现代化的一条颇具吸引力的新路径。全球碳中和共识与行动，成为全球气候治理体系的一个重大历史转折点。在此背景下，多边合作从未像现在这样重要，以分享碳中和的全球发展红利和合作共赢。

中国的经济规模、技术优势和发展理念，决定了其必将成为全球碳中和的核心参与者和引领者，并推动建设共赢的国际治理体系（Kyriakopoulou et al., 2022）。未来 40 年，中国将以“人与自然和谐共生”的方式实现中国式现代化，并全面走向世界政治、经济、金融、科技和文化舞台的中心。推动全球碳中和是中国加大与世界合作、学习世界经验、分享中国理念、履行大国责任、推动构建人类命运共同体的历史机遇。

### （一）推动构建全球碳中和治理体系

中国需要以共同、可持续的未来愿景为指引，以核心参与者和引领者的定位，制定全面参与全球气候谈判和国际规则制定的国家战略，应坚定支持在多边主义框架下构建全球碳中和治理规则，通过进一步加强同各利益攸关方的合作，全方位、多层次参与全球气候谈判与治理，深化中国在参与全球碳中和治理机制建设的定位，发挥组织和领导作用，最终推动建立符合新发展框架、公平公正的全球气候治理体系。

中国还应主动参与制定全球目标和行动计划，确定共同感兴趣的领域，并在技术、政策、资金等方面制定具体参与计划，促进合作。中国应鼓励处于不同发展阶段的经济体分享经验，探索如何相互学习，互利共赢。

中国应更加积极地参与全球气候谈判和国际规则制定进程，包括：（1）推动各方减碳和环境相关信息披露的基本方法及标准的国际趋同；（2）促进零碳政策的国际可比性、兼容性和一致性；（3）消除环境贸易的非关税壁垒，参与碳中和贸易新规则制定和协调碳边境调节税；（4）发展和协调国际碳定价机制，支持碳市场和抵消机制建设，连接跨境碳交易市场；（5）建立具有韧性和适应性的全球系统，加强早期预警系统以及灾害风险的准备和应对等。

中国还应推动全球科技合作，投资建设科技研发中心，开展联合技术研究，扩大开发合作，促进跨境重大科技突破转移、渗透和转化，开展开发、融资支持、部署和共享低排放技术和配套基础设施，包括：（1）煤炭向清洁能源的全面转型；（2）全球低碳技术科研和科研政策合作；（3）积极参与全球气候科学的合作，促进减排目标共识的形成；（4）投资建设联合科技研发中心，扩大开发合作，促进跨境重大科技突破转移、渗透和转化；（5）开发和共享低排放技术和配套基础设施；（6）共同努力保护自然资本（Stern et al., 2020; Stern and Xie, 2020）。

## （二）推动构建国际零碳金融体系

金融是需求导向变革的催化剂，在转型过程中发挥着核心作用。格拉斯哥气候变化大会中，金融是一个主要议题（Glasgow Climate Pact, 2021），会议对零碳金融标准制定、私人资本投融资活动、国际零碳债券市场发展、金融机构零碳联盟等提出了初步设想和倡议。零碳金融已成为碳中和国际合作和竞争的最主要领域和前沿阵地，国际竞争也已经开始。国际合作和竞争主要围绕零碳金融标准制定、零碳金融资金流动，以及金融监管机构和金融机构之间的交流、合作和开放等方面展开。

中国要积极参与、引领、推动和完善全球零碳金融治理架构的建设。第一，推动上海成为国际零碳债券中心，在规模提升、产品创新、信息披露标准制定、优惠政策出台等领域不断推动我国零碳债券市场建设。第二，人民银行应更加积极地参加 G20 以及其他以央行为主体的金融联盟，在信息披露基础方法的国际标准趋同层面发挥更大作用。第三，积极与国际组织和欧美国家交流合作，推动数据衔接、产品交流和资金流动。第四，进一步推动“一带一路”零碳金融发展。加大对新兴经济国家和发展中国家零碳金融的能力建设的支持，加强与“一带一路”国家在绿色基建、绿色能源、绿色金融等领域的合作。

## （三）全球合作推动全球碳中和转型

早在上世纪 90 年代，中欧就已开始就气候与环境议题展开合作。中欧环境政策部长级对话自 2001 年 9 月首次成立以来，已举行 8 次。中欧双方在过去几十年中加强了合作。中欧双方应持续深化已有的高层对话合作机制，继续政府、智库和专家间的深层次多元合作，

在能源转型路径选择、碳减排与碳市场建设、能源转型技术创新（特别是欧洲重视的储能和能源数字化技术等领域）、发达国家气候资金承诺、生物多样性等方面深化合作，共同在全球气候治理中承担更多领导责任。

中美两国在推动全球向碳中和方面拥有广泛的共同利益，碳中和为两国扩大合作领域提供了可能性，不依赖于其他悬而未决的外交问题的解决。双方在全球零碳金融、低碳农业和食品加工、电网一体化以及碳捕集、利用和储存等领域，都有广泛的合作空间。双方需要加强协调，创建一个更有利于低碳产品和技术贸易的强大而有弹性的全球供应链。中美应共同支持碳中和技术、基础设施建设和全球气候治理等层面的世界议程，推动其他碳排放大国承担更多的国际责任，也在碳中和领域开辟出中美国际影响力竞争的全新格局。双方应专注于建设性合作，避免陷入围绕碳中和的政治和经济冲突，这可能会给中美关系带来新的不稳定因素，给世界其他地区带来可怕的后果。更重要的是，中美作为大国，其合作应超越两国自身利益，更加着眼于提升全球公共福祉。中美应共同支持碳中和技术、基础设施建设和全球气候治理等层面的世界议程，促进世界新型大国关系的构建。

#### **（四）支持发展中国家和“一带一路”国家实现绿色起飞**

发展中国家和“一带一路”国家走高碳发展道路已不再可行。中国可以利用自身的绿色技术优势、资金优势、绿色转型经验，帮助广大发展中国家走一条新的绿色发展道路，对这些国家的低碳转型发挥巨大的积极作用。

第一，中国要加强对发展中国家和“一带一路”国家在碳中和过程中的投融资，支持气候变化相关的研究投入，分享转型过程中自身净零排放技术开发和政策创新的经验。中国在建设自己的国内零碳金融体系时，应考虑“一带一路”沿线国家生态修复、清洁能源、生态产业等“传统”绿色项目的投融资需求。中国应加强与“一带一路”沿线国家在绿色基础设施、绿色能源、绿色金融等领域的合作，鼓励甚至强制要求金融机构按照零碳金融标准在“一带一路”沿线国家投资，退出燃煤或燃气发电等高碳项目以及高碳基础设施，支持绿色转型投资，增加水电、风电、光伏发电、智能电网等可再生能源项目的建设投资。

第二，中国要加大支持发展中国家和“一带一路”国家碳中和转型的能力建设。在碳中和转型过程中，发展中国家和“一带一路”国家普遍面临零碳知识储备不足、政策制定能力缺失、零碳产品发展创新乏力等诸多挑战。中国应充分利用在绿色发展中积累的丰富经验，有针对性地围绕碳中和转型规划、政策制定、气候与环境风险评估监管体系、气候与环境信息披露、技术创新和开发政策等方面，对发展中国家和“一带一路”国家开展培训，助力《巴黎协定》全球气候目标达成，同时提升这些国家在构建全球碳中和治理机制中的国际影响力和话语权。

## 结束语

1860 年以来，中国一直在探索现代化的道路。成熟工业化国家的标准是过去人们理解现代性的基础，中国学习借鉴发达国家发展经验，融入全球市场体系，创造了改革开放以来人类历史上从未有过的发展奇迹。中国从传统工业化中获益最多，也是最大受益国之一。今天，中国率先提出生态文明和新发展理念，率先坚定绿色发展理念，因为中国看到绿色增长是未来的方式，而以牺牲环境为代价的传统发展方式是不可持续的。

中国经历了艰难的发现过程，并为掌握环境与发展之间的联系付出了惨痛的代价。与许多其他国家读者的认知相反，中国实际上是目前在环境和气候变化方面采取最积极行动的国家之一。中国增长理念和战略的转变，是中国承诺到 2030 年碳排放达到峰值、到 2060 年实现碳中和的基础。中国的“双碳”承诺不是战术举措，而是自觉的战略决策。中国有足够的信心从战略高度兑现“双碳”承诺。

碳中和是自工业革命以来意义深远的范式转变。中国认为这是实现自身可持续现代化的战略途径，也是一个重要的地缘政治机遇，但存在重大障碍。习近平主席在第 75 届联大讲话中指出“人类需要一场自我革命，加快形成绿色发展方式和生活方式”。这种“自我革命”需要对发展过程的理念、内容、模式、商业模式、制度、机制和政策体系进行有条不紊的重大变革。这份报告解释了为什么人类社会要摆脱当前的全球危机，就需要彻底而深刻地改变发展战略。该报告概述了中国到 2060 年实现碳中和政策的基础，并描述了这种模式转变将如何改变中国经济。如果中国能够通过绿色转型解决生态环境问题，实现“人与自然和谐共生”的现代化，那么中国的经验就不仅对世界其他国家和地区具有重要意义，其绿色增长也会成为世界其他地区发展的重大机遇。

## 参考文献

- [1] 包思勤，2021，《内蒙古发展报告（2021）》，远方出版社。
- [2] 李俊峰、李广，2021，《碳中和——中国发展转型的机遇与挑战》，《环境与可持续发展》，46(01)，50-57
- [3] 林伯强，2022，“碳中和进程中的中国经济高质量增长”，《经济研究》，1，56-71
- [4] 刘世锦、张蕾、周洪双，2021，《实现双碳目标要打基础利长远》，《光明日报》，12月29日，1版
- [5] 刘世锦，2022，《实现碳达峰碳中和目标起步期要做好打基础、利长远的事情》，《环境与可持续发展》，47(01)，14-17
- [6] 张希良等，2022，“碳中和目标下的能源经济转型路径与政策研究”，《管理世界》，38(01)，

- [7] 张永生, 2020, 《基于生态文明推进中国绿色城镇化转型——中国环境与发展国际合作委员会专题政策研究报告》, 《中国人口·资源与环境》, 30 (10), 19-27
- [8] 张永生, 2021, 《为什么碳中和必须纳入生态文明建设整体布局 - 理论解释及其政策含义》, 《中国人口·资源与环境》, 31 (09), 6-15
- [9] 张永生, 2022, 《城镇化模式: 从工业文明转向生态文明》, 《城市与环境研究》, 第1期, 79 - 87
- [10] 朱民、潘柳、张妮婉, 2022, 《财政支持金融: 构建全球领先的中国零碳金融系统》, 《财政研究》, 02, 18-28
- [11] 朱民、郑重阳、潘泓宇, 2022, 《构建世界领先的零碳金融地区模式——中国的实践创新》, 《金融论坛》, 27 (04), 3-11
- [12] 朱民、彭道菊, 2022, 《创新内含碳中和目标的结构性货币政策》, 《金融研究》, 504 (06), 1-15
- [13] Case, A., & Deaton, A. (2020). *Deaths of despair and future of capitalism*, Princeton University Press
- [14] Deaton, A. (2015). *The Great Escape: Health, Wealth, and the Origins of Inequality*, Princeton University Press.
- [15] Dieleman, J.L., Cao, J., Chapin, A., et al. (2020). US Health Care Spending by Payer and Health Condition, 1996-2016. *JAMA*. 323(9), 863 - 884.
- [16] Easterlin, R. A. (1974). Does economic growth improve the human lot? Some empirical evidence. In *Nations and households in economic growth* (89-125). Academic Press.
- [17] Easterlin, R. A., McVey, L. A., Switek, M., Sawangfa, O., & Zweig, J. S. (2010). The happiness - income paradox revisited. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(52), 22463-22468.
- [18] Easterlin, R. A. (2013). Happiness, growth, and public policy. *Economic Inquiry*, 51(1), 1-15.
- [19] Frey, B. S., & Stutzer, A. (2002). What can economists learn from happiness research?. *Journal of Economic literature*, 40(2), 402-435.
- [20] Frey, B., & Stutzer, A. (2013). *Recent developments in the economics of happiness*.

Edward Elgar Publishing.

- [21] Greenblatt, J. B., Brown, N. R., Slaybaugh, R., Wilks, T., Stewart, E., & McCoy, S. T. (2017). The future of low-carbon electricity. *Annual Review of Environment and Resources*, 42, 289–316.
- [22] Grubb, M., Drummond, P., Mercure, J.-F., Hepburn, C., Barbrook-Johnson, P., Ferraz, J. C., Clark, A., Diaz Anadon, L., Farmer, D., Hinder, B., Ives, M., Jones, A., Jun, G., Kelkar, U., Kolesnikov, S., Lam, A., Mathur, R., Pasqualino, R., Penasco, C., Pollitt, H., Ramos, L., Roventini, A., Salas, P., Sharpe, S., Zhu, S., Vercoulen, P., Waghay, K., & Zhang, X. (2021). *The New Economics of Innovation and Transition: Evaluating Opportunities and Risks*.
- [23] He, S.J. & Zhang, Y.S. (2022). Reconceptualising the rural through planetary thinking: A field experiment of Sustainable approaches to rural revitalisation in China, *Journal of Rural Studies*. 96, 42 - 52.
- [24] Hepburn C, Qi Y, Stern N, Ward B, Xie C, Zenghelis D (2021) Towards carbon neutrality and China's 14th Five-Year Plan: Clean energy transition, sustainable urban development, and investment priorities. *Environmental Science and Ecotechnology*, 8, 100130.
- [25] Harangozo, G., Csutora, M., & Kocsis, T. (2018). How big is big enough? Toward a sustainable future by examining alternatives to the conventional economic growth paradigm. *Sustainable Development*, 26(2), 172–181.
- [26] IEA. (2019). An energy sector roadmap to carbon neutrality in China
- [27] IEA. (2021). Global EV Outlook 2021.
- [28] IPCC. (2021). Summary for Policymakers. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change
- [29] Jevons, W. S. (1865). *The coal question; An inquiry concerning the progress of the nation, and the probable exhaustion of our coal mines*, London: Macmillan and Co.
- [30] Kyriakopoulou, D., Xia, L.Q., Xie, C. (2022). Internationalism in climate action and China's role. London: Grantham Research Institute, LSE.
- [31] Kuhn, T. (1962). The structure of scientific revolutions. *International*

- [32] Liu, Z., Deng, Z., He, G., Wang, H., Zhang, X., Lin, J., ... & Liang, X. (2022). Challenges and opportunities for carbon neutrality in China. *Nature Reviews Earth & Environment*, 3(2), 141–155.
- [33] Nakano, J. (2022). China's Hydrogen Industrial Strategy. *Center for Strategic and International Studies*.
- [34] Nordhaus, W. D. (2019). Climate change: The ultimate challenge for economics. *American Economic Review*, 109, 6, 1991–2014.
- [35] Piketty, T. (2014). About Capital in the 21st Century. *American Economic Review*. 105 (5), 48 – 53.
- [36] Paoli L, Gül T (2022) Electric cars fend off supply challenges to more than double global sales. International Energy Agency.
- [37] Pontes J (2022) Electric Car Sales: Global Top 20. Cleantechnica.com, 29 June.
- [38] Ramstein, C., Dominioni, G., Ettehad, S., Lam, L., Quant, M., Zhang, J., ... & Trim, I. (2019). State and trends of carbon pricing 2019. The World Bank.
- [39] Richins, Marsha L. & Dawson, S. (1992). A consumer values orientation for materialism and its measurement: Scale development and validation. *Journal of Consumer Research*. 19 (3), 303 – 316.
- [40] Rostow, W. W. (1960). *The stages of economic growth: A non-communist manifesto*. Cambridge: Cambridge University Press.
- [41] Stern, N. (2006). Stern Review: The economics of climate change.
- [42] Stern, N., Xie, C. & Zenghelis, D. (2020). Strong, sustainable and inclusive growth in a new era for China – Paper 2: valuing and investing in physical, human, natural and social capital in the 14th Plan” . Grantham Research Institute on Climate Change and the Environment, London School of Economics and Political Science.
- [43] Stern, N., & Xie, C. (2020). China's 14th Five-Year Plan in the context of COVID-1: Rescue, recovery and sustainable growth for China and the world. London: Grantham Research Institute on Climate Change and the Environment, London School of Economics and Political Science.

- [44] Stern N, Xie C (2022) China' s New Growth Story: Linking the 14th Five-Year Plan with its 2060 Carbon Neutrality Pledge. *Journal of Chinese Economic and Business Studies*: 1-21.
- [45] Stern, N., Stiglitz, J. & Taylor, C. (2022). The economics of immense risk, urgent action and radical change: towards new approaches to the economics of climate change. *Journal of Economic Methodology*, 29 (3). 181-216.
- [46] Stiglitz, J., J. Fitoussi, P. & Durand, M. (2018). Beyond GDP: Measuring What Counts for Economic and Social Performance. Sciences publications. Sciences.
- [47] Stiglitz, J. E.. (2013). The Price of Inequality: How Today' s Divided Society Endangers Our Future, W. W. Norton & Company.
- [48] Stiglitz, J. E.. (2020). Beyond GDP, Virtual Conference, Bertelsmann Stiftung.
- [49] UNEP (2011). *Towards a green economy, Pathways to sustainable development and poverty eradication*. Nairobi, Kenya: UN Environmental Program.
- [50] UNEP (2020). The Global Biodiversity Outlook 5
- [51] Van Den Bergh, J., & Botzen, W. (2020). Low-carbon transition is improbable without carbon pricing. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117(38), 23219-23220.
- [52] Weber, Max (1961): *The Protestant Ethic and the Spirit of Capitalism*, Routledge, Chapman & Hall.
- [53] Zhang, Y.S. & Shi H. L.. (2014). From Burden-sharing to Opportunity-sharing: Unlocking the deadlock of Global Climate Change Negotiation, *Climate Policy*, 14(1), 63-81.