

中国实施绿色低碳转型和实现碳中和目标的路径选择

武汉大学国家发展战略研究院课题组

(武汉大学国家发展战略研究院,湖北 武汉 430072)

摘要:面向碳达峰碳中和目标的转型发展,正在成为一场关乎经济社会高质量发展和持续繁荣的系统性变革。“双碳”目标顶层设计基本完成且取得积极进展,但在政策落地和实现有效治理过程中还存在一些认识偏差和转型焦虑,统筹安全、经济和转型的能源体系尚未形成,生产方式和生活方式碳排放偏高,碳市场制度建设和绿色金融治理体系有待进一步完善,科技和人才支撑不足。研究认为,实现碳中和的总体目标必须强化政策的系统集成,增强机遇意识与战略定力,形成“一个高效协同的治理体系,能源供给侧、需求侧低碳发展与碳吸收三端发力,碳市场与绿色金融两大市场支撑体系”的“132”碳中和行动方案。

关键词:碳达峰碳中和;绿色低碳转型;治理体系;能源转型;绿色金融

中图分类号:X3

文献标识码:A

文章编号:1005-0566(2022)10-0001-12

Path choice for China to implement green low-carbon transformation and achieve carbon neutrality

Research Group of National Institute of Development Strategy at Wuhan University

(National Institute of Development Strategy, Wuhan University, Wuhan 430072, China)

Abstract: The transformation and development towards the goals of carbon peak and carbon neutrality is becoming a systematic change related to the high-quality and sustainable development of the economy and society. The top-level design of the carbon peaking and carbon neutrality goals has been basically completed and positive progress has been made. However, there are still some cognitive deviations and transformation anxiety in the process of policy implementation and effective governance. The energy system that integrates safety, economy and transformation has not yet been formed. The carbon emissions of production mode and lifestyle are on the high side. The construction of carbon market system and green financial governance system need to be further improved, and the support of technology and talents is insufficient. The research group believes that to achieve the overall goal of carbon neutrality, it is necessary to strengthen the systematic integration of policies, enhance the awareness of opportunities and strategic determination, and form the “132” carbon neutral action plan of “an efficient and coordinated governance system, three-strengthening points including energy demand side, supply side and carbon absorption, two major market support systems of carbon market and green finance”.

Key words: carbon peak and carbon neutralization; green low-carbon transformation; governance system; energy transformation; green finance

绿色低碳发展是践行习近平生态文明思想的重要内容,是贯彻新发展理念和推动高质量发展的必由之路,是我国积极参与全球气候治理和全球经济合作的必然要求。实现碳达峰碳中和,是以习近平同志为核心的党中央统筹国内国际两个大局作出的重大战略决策,意义重大、影响深远。面向碳达峰碳中和目标的转型发展,正在成为一场关乎经济社会高质量发展和持续繁荣的系统性变革。绿色低碳发展是推进人与自然和谐共生的重要命题,是实现经济社会发展与环境质量兼顾的唯一途径^[1]。相较于突发的、紧迫的新冠肺炎疫情危机,气候变化的影响是更长期、更深层次的挑战,应对气候变化是我国可持续发展的内在需求,也是人类共同的事业^[2]。2021 年以来,本文课题组采取实地走访和线下加线上云调研的方式,分别与相关政府主管部门、专业研究机构以及相关企业等开展了 30 多场座谈会,广泛听取近百名专家学者、两院院士、企业家、领导干部和业界专业人士的意见建议。就现阶段国情而言,我国实现碳中和,仍面临高碳能源结构、高碳产业结构和中高速发展阶段的发展需求等重大挑战,且从达峰到中和仅有 30 年的时间,任务非常艰巨^[3]。推进碳达峰碳中和战略实施不能“就碳说碳”,必须坚持系统思维,把握好其中蕴藏着的巨大发展机遇,短期可以将绿色低碳转型作为推动疫后经济复苏的重大引擎,中长期要加快重塑经济社会发展方式,通过生产方式和生活方式变革促进经济社会可持续发展。同时,要在绿色低碳转型中进一步夯实新发展格局,促进“双碳”目标与“共同富裕”目标的协同。经济社会发展绿色低碳转型不可能一蹴而就,要先立后破,稳中求进,统筹发展、减碳与安全,有效应对各种潜在风险,保障能源安全 and 经济安全。实现“双碳”目标最终需要将国家意志转化为企业和公民行为,要用好我国制度优势,构建有效的激励约束机制,充分发挥市场在资源配置中的决定性作用,更好地发挥政府作用,把绿色低碳理念的基因植入高质量发展的肌体。

一、推进绿色低碳转型存在的问题与“双碳”治理的技术路线

“双碳”目标提出以来,全社会积极行动,贯彻落实中央决策部署,顶层设计初步完成,各方面工作积极推进,但在准确把握战略定位、坚持问题导向、科学把握工作方向等方面还存在差距。以下 5 个方面的问题需引起重视。

(一) 实现“双碳”目标的顶层设计基本完成,但在政策落地和有效治理过程中还有一些认识偏差和转型焦虑

随着“1+N”政策体系加快完善,“双碳”目标的制度框架逐渐清晰,但可细化、可评估、可操作性强的配套政策还不够完善,尤其是着眼解决政策合成谬误和分解谬误,促进各方节奏和力度协调一致方面,还需要进一步明确时间表、路线图和施工图。一些部门、地方政府和企业面对“双碳”这个极其复杂的系统工程,还存在“本领恐慌”“转型焦虑”,出现认识偏差和行动误区。围绕“双碳”工作对能源、资源、产业、就业、金融等方面综合影响的研究不够,尚未形成系统的风险应对方案。一些地方思想上出现“钟摆效应”,搞“一阵松、一阵紧”,“一时进、一时退”,片面理解上级微小的变动,把碳达峰理解为“碳冲锋”,盲目上马“两高”项目。有的地方工作方案“照猫画虎”“千城一面”,行业转型路径“盲目跟风”“千篇一律”,存在重短期轻长期、重局部轻全局的问题,对执行中潜在问题的预判和应对不足。如 2021 年个别城市的“拉闸限电”现象本质上是“市场煤、计划电、垄断网”的体制机制问题,一些地方为“取巧求快”采取“急转弯”而产生的问题,决不能“甩锅”给“双碳”。

(二) 统筹安全、经济和转型的能源体系尚未形成清晰的系统性解决方案,油气对外依存度过高,安全保供形势比较严峻,能源转型发展任重道远

我国能源的基本国情是“富煤”“贫油”“少气”,油气资源对外依存度高,风光水火储多能互补的技术手段、商业模式和规模应用还不成熟,短期内改变这个格局有较大难度。2021 年,我国煤炭能源消费量占比 56%,石油、天然气能源消费量

分别占 18.5%、8.9%，且石油、天然气的进口依存度分别达 73% 和 43%。需求季节性波动对能源供应保障提出了较大挑战，在电力领域，新能源与传统电源协同互利发展机制还不健全，极限条件下能源保供能力存在较大隐患。在保障能源安全成为当前重中之重的形势下，统筹能源安全供应、经济平稳运行和绿色低碳转型处于探索和试错阶段。煤炭作为兜底的主体能源，其供应和消费也将持续增长，2021 年全国煤炭消费总量增长约 2 亿吨。能源领域的规划、政策和碳达峰方案均未设定量化的二氧化碳排放总量指标，实现多目标的系统性解决方案尚在探索过程中。

(三) 产业结构和消费结构不合理，生产方式和生活方式碳排放偏高

我国是全世界唯一拥有联合国产业分类中全部工业门类的国家，220 多种工业产品产量位居世界首位；工业是我国能源消耗和碳排放大户，能源消费量约占全国 2/3，碳排放量约占全国 80%。产业结构偏重，钢铁、有色、建材、石化等高耗能产业比重偏高，产品附加值偏低。自“十一五”以来，国家持续开展节能减排行动，节能技术改造成效明显，但重点工业领域的企业数量众多、规模小、集中度低，各行业中达到国内外领先能耗水平企业的比例普遍低于 5%。单位 GDP 碳排放量约为美国的 1.8 倍、日本的 3.2 倍、德国的 4.2 倍。从已公布的“N”个分行业碳达峰实施方案分析，行业总量控制约束不够强，重技术节能降碳，轻结构调整降碳，分行业的绿色转型升级仍延续以前单个企业生产装置节能改造的传统技术路径。绿色低碳消费模式还未成熟，一些领域依然存在浪费和不合理消费。

(四) 碳排放交易制度需要配套的法规、标准和政策等尚未到位，碳市场活跃度不高，绿色金融治理体系的机制不够“活”、体系不够“全”、考核不够“准”

碳市场和绿色金融两个关键的市场支撑只有进一步完善，才能牵引驱动实现碳中和所需的百万亿级投资。截至 2021 年年底，全国碳市场完成

交易量 1.79 亿吨，交易金额 76.6 亿元，第一履约期履约率达到 99.5%。但是，目前交易量不足电力行业二氧化碳排放总量的 4%，覆盖行业和交易主体较为单一，活跃度不高、流动性不足，碳履约驱动现象明显。支撑碳交易市场的是部门文件，法律定位缺失；发电企业碳配额与当前电力市场改革、可再生能源消纳和“三改”工程尚未有效衔接，致使交易价格形成机制不清晰；技术层面上的监测、报告和核查各个环节要求不严谨，容易使企业钻政策漏洞，出现虚假履约；金融企业由于碳市场不完善，仍处于观望态势。绿色金融服务“双碳”战略还存在“重融资、轻投资，重规模、轻效益，重短期、轻长期，重局部突破、轻系统转型”等问题。

(五) 科技支撑存在“短板”，关键资源对外依存度偏高，双碳人才供给不足

根据国际能源署预测，在 21 世纪中叶实现碳中和所需技术有 50% 仍处于示范或原型期，且这些技术研发主要集中在欧美发达国家，我国尚处于起步甚至空白阶段。调研发现，与世界领先水平相比，我国绿色低碳技术研发应用的领跑、并跑比例分别约为 10%、35%，55% 仍处于跟跑阶段。新能源汽车、可再生能源相关行业对国外供应链关键资源存在依赖风险，钴、镍等稀有金属生产和储备面临短板，2020 年电池原料自给率仅有 32%。有研究表明，仅在零碳电力、可再生能源和氢能等领域就将产生超过 3 000 万个新增就业岗位^[4]，某招聘平台数据显示，碳中和领域新发职位 2021 年同比增长 754%，2022 年一季度同比增长 408%。当前的学科设置、培养体系与庞大的“双碳”人才需求还不匹配，亟待培育一批紧缺专业人才和跨界复合型人才。

基于广泛的调研和深入的理论分析，本文认为实现碳中和的总体目标，必须强化政策的系统集成，形成“一个高效协同的治理体系，能源供给侧、需求侧低碳发展与碳吸收三端发力，碳市场与绿色金融两大市场支撑体系”的“132”碳中和行动方案（见图 1）。

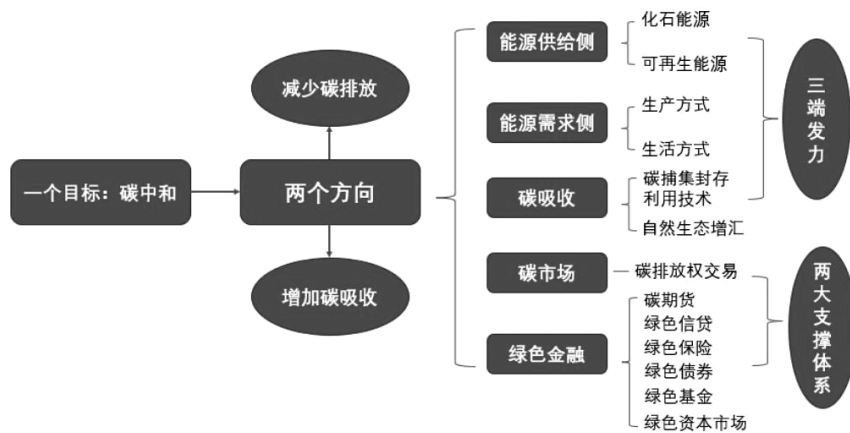


图1 碳中和技术路线

二、一个治理体系：“3060 双碳”顶层设计与高效协同治理

（一）辩证把握机遇与挑战：碳中和是涉及工业革命、能源革命、科技革命与消费革命的重大发展机遇，要将绿色低碳转型作为疫后经济复苏的重大引擎，通过发展范式系统性变革开启中国下一个40年发展奇迹；同时，构建好风险研判预警与防范机制，积极应对“双碳”战略实施过程中的各种潜在风险，避免“急转弯”“硬着陆”

要正确认识碳中和的机遇与挑战，统筹发展与安全的关系，正确处理好政府与市场的关系，平衡发展权与排放权的关系。增强机遇意识，保持战略定力，多做新产业的“加法”，更多赢得市场主体对“双碳”理念政策的支持，为“啃硬骨头”创造良好的条件与氛围。将推动绿色低碳转型作为结构性货币政策“宽信用”与积极财政政策“宽财政”的重要发力点，用好绿色低碳产业巨大投资机遇，适度超前布局相关基础设施，扩大绿色有效投资，提振绿色消费。如可以适度超前开展抽水蓄能项目规模化建设，不仅可以支撑新型电力系统、助力能源转型，还可以拉动水泥、钢材、电气设备等相关产业发展，同时抽水蓄能水库建成后还有利于改善气候和生态环境，保障农业灌溉和用水安全。加快孕育新产业新业态，推动传统产业换道超车，通过清洁和零碳技术创新进一步重塑中国的全球竞争力，抢占全球绿色复苏和绿色发展先机。要坚持谋定后动，不搞“一阵松、一阵紧”，“自上而下”和“自下而上”要衔接贯通，避免进进退退的“钟摆效应”。要防止政策“合成谬误”，防范局部

地区过于激进的碳减排举措、运动式减碳对产业链供应链造成“断链”冲击。做好政策缓冲和预期管理，给予市场出清调整的周期和空间，确保转型轨迹相对平滑，避免“急转弯”“硬着陆”。要确保能源供应安全，避免“一刀切”地“去化石能源”，防范化石能源退出过快、新能源难以补缺的“黑绿不接”。做好极端天气、自然灾害等情况下新能源电力供给波动性预演预案。结合区域和季节性周期特点，科学规划煤炭资源储备、产能储备和发电设施储备，在突发国际争端导致天然气与原油进口受阻情况下，可以迅速启动额外煤炭能源供应，保障能源基本安全。定期开展气候变化金融风险压力测试，完善碳排放权市场和衍生品市场的调控机制，避免盲目“一哄而起”形成绿色投资“泡沫”。做好能源材料等价格变化监测，用好财税金融政策，避免企业生产成本上涨过高、过快，造成成本推动型的“绿色通胀”。充分重视低碳约束下产业结构调整对地方财政收支、居民就业等产生的结构性影响，妥善做好高碳行业退出后劳动力的转岗培训。

（二）推进“双碳”协同治理和法治保障：规范治理体系中不同主体的权责边界，完善高效协同的治理体系，建设高效有序的碳交易法治实施体系和监督体系，出台体现“双碳”目标的能源法，适时制定“气候变化应对法”，充分发挥法治对实现“双碳”目标和应对气候变化的促进保障作用

“双碳”目标的有效实施，要靠市场化领航，法治化护航。要进一步强化高位统筹，完善高效协同的治理体系，做到“十个指头弹钢琴”。建立健

全碳排放“双控”制度,优先实现碳排放增量的总量控制,再逐步实现向碳排放总量和强度“双控”的转变。完善导向明确的明细分解落实机制和监督考核机制,用好“指挥棒”,避免“空转”“跑偏”。把握好执行的节奏和力度,要先立后破,快立慢破、防止慢立快破,既不“猛踩油门”也不“急踩刹车”。做好政策解读,让市场主体“听得懂、信得过”,稳定预期。进一步筑牢法治根基,通过法律或行政法规的方式制定碳排放交易管理条例,提升相关“办法”的权威和层级,明确碳市场建设的主要思路与管理体系,保障我国碳市场建设与运营有法可依。现有绿色低碳的相关法律涉及环境、能源、资源、森林等多个领域,但受限于立法时机和立法目的,缺乏对碳中和目标的统筹考虑,要通过“立、改、废”促进相关法律与碳中和目标的有效衔接。充分挖掘现行法律法规的规制潜力,在现行法律、条例或规章中纳入更多有利于绿色低碳转型的倡导性条款。尽快出台针对“双碳”目标的能源法,优化能源宏观调控与监管体系。稳步推进“双碳”领域专门性立法,适时制定“气候变化应对法”,与现行法律法规体系有机融合。鼓励有条件的地区开展以实现碳中和目标为主旨的地方性法规立法工作,丰富地方绿色低碳转型治理法治化的实践探索。构建多部门协调联动的综合执法体制机制,合理配置执法力量,依托新一代信息技术提高执法效能。建立健全碳中和领域相关的纠纷解决机制,拓展多元化解解决路径。立法机关、司法机关、行政机关要积极承担普法责任,普及有关法律法规及国际公约,结合执法实践和司法案例增强普法效果。强化法律监督职能,提升社会大众法治监督意识。

(三)健全核算体系:建立统一规范的碳计量体系和碳核算体系,规范碳排放数据采集,以“好制度+硬技术”强化碳排放基础数据在线直报系统建设,实现可追溯

建立统一规范的碳计量体系和碳核算体系,算好国家“总账”和“企业账”,针对不同类型的核算对象制定合理的核算边界,算好直接排放和间接排放“两笔账”。以“好制度+硬技术”实现温室气体排放监测“快、准、全”,完善相关配套技术规范、质量控制标准和评估审计制度。深化新一代

信息通信技术在温室气体天地一体化监测中的应用,构建自主观测网,尽快实现产品碳足迹全生命周期的可信记录,构建具备自主知识产权的温室气体清单核校技术体系,促进与国际标准接轨,并逐步扩大在全球盘点中的话语权。促进各级各类“碳账本”底数清晰、信息互通,为推动能耗“双控”向碳排放总量和强度“双控”转变提供有效依据,为政府精准施策、企业生产经营和居民绿色低碳消费提供基础支撑。积极推广生产运营协同调度信息化系统,将数字化碳管理系统嵌入产业园区和智慧城市建设。建立健全企业碳排放信息评估审计制度,会同第三方机构对企业自主上报和披露的碳排放数据进行常态化核查,以“长牙齿”的监管手段严防数据造假。

(四)科学分解任务:在各地区各行业之间科学分解任务,结合重大区域、流域发展战略,构建有利于绿色低碳发展的国土空间布局和产业分工格局,完善帮扶机制,建立区域间碳达峰对口支援制度,推动东中西部协同发展和共同富裕

充分考虑各地区各行业发展基础、比较优势和分工状况,科学合理设定“双控”目标分解任务和时间节点,防止简单层层加码和分解谬误。在有条件的地区设立碳中和示范区,发挥试点先行的“侦察兵”和“先遣队”作用,探索规律、积累经验、凝聚共识,积小胜成大胜。选取一部分可再生能源基础较好的西部地区城市、中部地区小城镇和东部地区工业园区,率先实现100%的可再生能源供应。零碳城市建设可以先从社区、工业园区、小城镇、大城市“卫星镇”着手,再逐步扩展到中等城市和大城市。大力支持西部地区探索将资源优势转化为经济优势的有效途径,加快形成一批以可再生能源为主的支柱产业,一方面通过“西电东送”外销模式加快东中部地区能源替代,一方面通过产业“内生”式发展和承接产业转移“外引”式发展促进可再生能源就地就近消纳,推动西部地区能源转型、产业发展和居民增收良性循环,进一步缩小区域发展差异。更好地借助“东数西算”契机,梯次推进数据中心区域布局调整,加强中西部地区数据中心和电力网一体化设计,提高绿色能源使用比例,缓解可再生能源电力与用电负荷的时空错配。要建立和完善绿色产业帮扶机制,以

区域间碳排放转移关系或能源输入输出关系为纽带,建立区域间碳达峰对口支援制度。

(五)强化科技创新与人才培养:加快推进绿色低碳科技革命,打造一批绿色低碳技术示范标杆,推动新能源、新材料、数字技术与重点行业技术交叉融合,协同创新,以产业需求为牵引建立健全碳中和人才体系,将绿色低碳理念深度植入各层级、各学科教育体系,增强各级领导干部抓绿色低碳发展的本领

聚焦石化低碳技术、远洋大型风机、新型电化学储能技术、煤炭分级分质转化利用、石灰石的零碳替代技术等领域,围绕绿色低碳转型“卡脖子”难题,发挥新型举国体制优势,补齐关键核心技术领域的“短板”,加快形成一批碳中和领域的原创性、引领性、颠覆性技术,提高原始创新能力和创新策源能力。重点在可再生能源制备和储运、负排放技术、挥发性有机物(VOCs)污染控制、零碳流程重塑等领域,整合行业龙头企业、技术路线企业和国家及省级重点实验室、高校、科研院所等,组建创新联合体和技术应用转化平台。加大财政投入支持力度,优化创新投入、研发、转化和激励机制,促进适用技术研发和推广应用,畅通科技成果向现实生产力转化的渠道畅通。促进技术集成创新,强化跨领域技术交叉融合和综合运用,推动新能源、新材料、生物技术、数字技术与重点行业生产技术工艺交叉融合、协同创新,推动形成一批绿色低碳技术群,在重点行业领域打造一批绿色低碳技术示范标杆。面向人人的绿色低碳转型需要面向人人的教育转型,要强化教育的系统性变革和人才的专业化培养,将绿色低碳理念深度植入各学科、各层级教育培养体系。瞄准科技前沿和关键领域加快造就一批储能、氢能和碳捕获、利用与封存(CCUS)等领域的紧缺人才,聚焦产业需求加快培养一批碳中和专业人才,大力培育复合型人才和通用人才。要让高校成为碳中和的“先行军”,推动建设一批示范性碳中和校园,在具有较好基础的高校探索建设碳经济、碳金融、碳管理等新学科,着力提升学生的“气候素养”和“碳中和素养”。要推动“双碳教育”向前拓展、向后延伸,使“双碳教育”走进中小学课堂。优化职业学校教育和职业技能培训体系,为人才转岗培训和持续

“充电”创造良好条件。发挥企业的重要办学主体作用,发展订单制、现代学徒制等多元化人才培养模式。优化碳中和领域职业能力证书制度,提高“双碳”领域技术技能人才和产业工人的经济社会待遇。要按照习近平总书记的要求,把“双碳”工作作为干部教育培训体系重要内容,组织应对气候变化专业技术培训进党校和行政学院,增强各级领导干部推动绿色低碳发展的本领,引导树立正确的政绩观,克服“转型焦虑”。

(六)参与碳中和全球治理:把气候外交作为求同存异、开创国际合作新局面的重大机遇,积极参与和引导公平合理、互惠共赢的全球气候治理体系建设,增强在全球碳中和标准制定中的话语权,携手共建绿色“一带一路”

海关总署和中汽协的统计显示,2022年1—4月我国累计出口太阳能电池组件同比增长92.8%,1—5月新能源汽车出口同比增长141.5%。要利用中国在新能源、新能源汽车、5G等方面的世界领先技术优势,帮助“一带一路”沿线的发展中国家走一条“低碳起飞”的新的现代化道路,为国内绿色产业开拓新的市场。要鼓励国内新能源龙头企业“走出去”,积极参与引领低碳技术、清洁能源、绿色投资、绿色金融国际合作,推动建成一批绿色能源国际合作示范项目。加强同共建“一带一路”国家在绿色供应链、绿色贸易、绿色交通、环境标志区域互认等合作,健全多边交流机制,支持相关国家提高应对气候变化能力。发起成立多层次、高水平的国际“双碳”峰会与交流平台,提升全球绿色低碳领域的“中国声音”。落实共同但有区别的责任,增强在全球低碳标准和碳中和认证标准制定中的话语权,引导多边规则制定和运用,努力推动相关规则朝公平有效且适应广大发展中国家国情的方向发展。

三、三端发力:能源供给侧、需求侧低碳发展与碳吸收

有研究表明:目前我国年碳排放总量约为100亿吨,碳汇为10亿多吨。我国能源产量和消费排名世界第一,是全球第一大煤炭进口国、石油进口国和天然气进口国。推动能源转型不仅是实现“双碳”目标的必然要求,还是我国把能源的饭碗端在自己手里、保障发展主动性和安全性的必然

要求。碳达峰前,实现减排应更多通过能效提升主导,再逐渐使能源替代发挥更大的作用^[5]。从能源供给端看,要进一步提升传统能源转型和新能源开发的统筹衔接,促进能源体系与新一代信息技术深度融合,“开源”与“节流”并举,提高能源利用效率;从能源需求端看,能源消费“含碳量”偏高,要加快构建绿色低碳现代产业体系,推动形成绿色发展方式和生活方式;从碳吸收端看,我国生态碳汇能力有待进一步提升,负碳技术开发、推广和转化应用还不成熟,必须统筹用好生物措施、技术措施增强碳吸收,巩固和提升生态系统碳汇能力。

(一)化石能源降碳:稳步推动化石能源消费总量控制、减量替代和清洁高效利用,构建煤炭产业低碳转型发展新格局,实现能源保供和碳排放“双控”等多目标平衡

必须从实际出发,稳妥有序做好化石能源消费总量控制与减量替代,推动由黑色能源革命向绿色能源革命转型。煤电“退役”不是对煤电厂大拆快退,而应着眼于转型升级和功能转换,从主体电源转向调峰调频和应急储备,通过逐步减少利用小时数、发展“煤电+CCUS(碳捕获、利用与封存)”的模式,保障电力系统安全稳定,以相对低的成本推动碳中和^[6]。继续发挥传统能源特别是煤炭、煤电的调峰和兜底保供作用,建立煤炭弹性产能制度,对属于国家战略原材料的高耗能产品优先确保能源供应,保障正常生产生活秩序和产业链供应链稳定。大力推动煤电机组节能降碳、供热改造、灵活性改造“三改联动”,加强煤炭气化、液化利用,推动提升终端用能低碳化电气化水平。控制新增大型燃煤火电和燃煤热电联产,因地制宜逐步关停和改造效率较低的分散燃煤锅炉、热电联产以及小火电。健全农村特别是北方农村散煤替代长效机制,促进农村生物质能综合开发利用。加强供热管网的拓展延伸和改造维护,提高官网覆盖率,促进能源集中集约利用。鼓励大型传统能源企业延长产业链条,发展高附加值产业,对冲能源低碳转型带来的成本上升,在经济利益与环保责任上寻找到平衡点。构建“开采源头治理+供储过程管控+需求侧清洁利用+终端生态增值”的煤炭产业低碳转型发展新格局,建设一批有示范效应的低碳矿区项目、零碳运输项目和低

碳零碳电力化工园区,积极开展多能互补综合能源系统的园区化、基地化发展模式探索。

(二)新能源碳中和:大力开发非化石能源,将新能源及相关产业作为推动经济复苏的重要着力点,探究传统化石能源和新能源组合规律,循序渐进推动能源间优化组合和有序替代

新能源是我国破解煤炭等化石能源占比高、油气对外依赖度高的“双高”格局的关键。既要 will 将新能源及相关产业作为推动疫后经济复苏的重要抓手,加快新能源开发利用,也要从资源可开发潜力和盈利潜力等方面加强对可再生能源项目开发审核,避免忽视投入产出比而盲目上马。调研发现,过去 10 多年来,我国光伏发电成本降低了 90% 以上,一些地区大约已降至 0.3 元/千瓦时,“十四五”时期有望进一步下降到 0.25 元/千瓦时,如果考虑生态环境成本,光伏发电的优势会更加明显。要探索不同发展阶段的传统化石能源和新能源组合规律,逐步实现新能源电力从增量替代向主体电源转变,确保能源低碳转型平稳过渡。加快开发风能、光伏、生物质能、地热能、海洋能、氢能等新能源,统筹水电开发和生态保护,积极安全有序发展核电,大力支持建设一批支撑性的清洁煤电、内陆核电、地热资源利用、生物质能源等项目。加快建设大型风光(水火)储一体化基地,重点推动西部地区可再生能源多能互补、协同发展。充分发挥央企的优势和作用,鼓励传统电力企业发挥煤电资产优势,牵头开发建设和运营管理大型一体化基地,实现煤电资产与新能源资产的高效协同、优化组合。鼓励地方和企业结合实际情况,通过自建分布式光伏、绿电绿证交易、直供电试点等方式提高电力消费结构中非化石占比。促进分布式能源系统发展,重点在集中式供电电网难以覆盖的偏远地区和能源负荷较为集中的园区加快布局。同时,应当注意能源系统转向金属密集的清洁能源系统会使锂、镍、钴、稀土等关键矿物需求大幅增加,生产等量电力时光伏、海上风电对金属资源的需求分别是燃气发电的 5 倍和 13 倍^[7]。鉴于少数资源我国并不具备较大的比较优势,应当前瞻性地为新能源基础设施和关键材料、设备、零部件等构建安全稳定的供应网络,做好替代性资源和技术储备,避免相关产业在

进一步发展壮大过程中出现受制于人的局面。以氢能为媒介,推动新能源与煤化工、冶金等行业耦合发展,要加快“灰氢”的捕集封存的研究及低碳零碳制氢技术的研发,降低可再生能源制“绿氢”的成本,降低弃风弃光率,推进国家级氢能技术创新平台和重点实验室建设,开发安全可靠、经济便利的氢能存储运输手段。丰富氢能应用场景,围绕燃料电池商用车、新型氢储能、大型高炉富氢冶金、绿氢等领域推出一批示范项目,鼓励风光氢储融一体化、油氢气电综合能源站发展模式。

(三)构建新型电力系统:重构以新能源为主体、风光水火储多能互补的电力体系,科学有序规划布局新型储能发展,促进数字化赋能,推进电力系统智慧化数字化升级

从电网稳定性看,我国电力系统的运行模式和调度方式是以化石能源电力为基础构建的,特点是“集中发、集中送”,对“源网荷储”一体化有一个适应和技术调整的过程。构建新型电力系统是推动能源革命的重要支撑,新型电力系统主要“新”在:电源侧将呈现以新能源为主体、风光水火储多能互补、集中式与分布式电源并举的态势,电网侧将呈现特高压交直流远距离输电、主干网与微电网互动的态势,调度侧通过构建主动防御、智能决策的新一代调控体系,用户侧主要发挥需求响应机制的作用,储能侧推广新能源+加储能、微电网+储能等多种模式。要加强能源系统与信息技术深度融合,推动能源产、运、储、销、用各环节设施的数字化升级,提升能源体系智能化水平。适度超前布局能源数字化基础设施和新型智慧能源基础设施,推进煤炭、油气田、油气管网、电厂、电网、油气储备库、终端用能等领域设备设施、工艺流程的数字化建设,加快建设绿色智慧矿山、智慧港口、数字船舶等示范项目建设。推动智能电网建设,在新能源发电大规模并网消纳、电网柔性互联、智能一体化调度等方面实现突破,提升智能电网的安全性、兼容性、灵活性,构建适应大规模分布式可再生能源并网和多元负荷需要的智能配电网。科学有序规划布局新型储能发展,加快部署数字化新型储能设施,将其作为新型电力系统和新型电力市场体系建设的试验田,深化市场体制机制改革和政策激励引导,稳步推动新型储能

从新技术到新产业的规模化发展。可以利用电动汽车的闲置时间和冗余充放电次数,将其作为储能终端,实现多元化源荷的开放接入和双向互动,用电高峰时向电网反向售电,用电低谷时存储过剩电量,既可以优化储能调节、促进电网稳定,也能以市场化方式通过充放电价差创造额外收益,降低新能源汽车使用成本。

(四)能源大市场建设:提高能源储备调节能力,“开源”与“节流”并重,深化电力体制改革,加快完善全国统一的大能源市场建设,强化共享互济和优化配置

科学规划煤炭开发布局,加强优势矿区先进煤炭产能建设,提高煤矿回采率和瓦斯等副产品利用率,加强避免“可采未采、应用未用、采富弃贫”的能源浪费。加大对油气储备体系建设的支持力度,鼓励能源企业推进商储基地布局,进一步完善化石能源储备调节机制,建立以应急资源储备、产品储备和产能储备为核心的储备体系。改变煤炭油气矿权竞争性出让过程中单纯“价高者得”的模式,更加注重企业的技术、管理和人才等综合实力以及环境责任意识及履行能力,提高资源开发价值和效率。深化能源领域市场化改革,促进自然垄断性业务与竞争性业务分开经营,完善公平有效的市场竞争环境,优化各类所有制企业进入门槛,推动油气管网设施互联互通并向各类市场主体公平开放。深化能源财税体制改革,在各主体之间合理分配能源资源收益。促进煤电油气新能源等各类能源市场相互衔接。加快建设全国统一的煤炭市场、电力市场,进一步发挥全国煤炭交易中心作用,研究组建全国电力交易中心,优化价格形成机制,通过高位统筹解决跨省跨区电价差异难题,实现电力资源在全国更大范围内的共享互济和优化配置。

(五)重点产业绿色低碳发展:要抓住重点产业的“牛鼻子”,加快构建绿色低碳现代产业体系,打造更多低碳产业链“链主”企业,通过产业产品升级减碳、技术创新应用减碳、用能用料源头减碳等,多措并举推进产业绿色低碳循环发展

深度调整产业结构,依法依规推动落后产能退出,大力发展战略性新兴产业,培育壮大低碳、零碳和负碳产业,提升农业、服务业绿色低碳发展

水平。以绿色化改造、数字化转型全面推动钢铁、有色、石化、建材、造纸等高耗能行业低碳工艺革新,通过市场化的手段有力倒逼行业进行整合,有序引导兼并重组,优化重点区域、流域产业布局,提高产业集中度、区域集中度。充分发挥能源等领域央企“领头羊”作用,培育更多全球低碳产业链“链主”企业,释放产业链协同优势和创新优势,促进区域产业联动共赢。大力发展新能源汽车,加快推进电动化等驱动装备的普及使用,优化调整运输结构,促进交通运输业低碳化发展。大力推广应用装配式建筑、绿色建材和节能家电,加强建筑节能改造,推动建筑用能清洁化,加快建筑行业绿色化转型。开展低碳技术产业化示范应用,鼓励应用绿色低碳生产工艺技术的行业领先企业做大做强,支持技术先进、产品高端、符合国家战略需要、示范引领作用强的行业项目建设,有序扩大绿色低碳产品产能,以产品市场竞争和龙头企业为牵引制定行业零碳化标准。聚焦需求缺口较大、依赖国外供应的产品和环节,引导行业龙头企业和技术领先企业实施保链稳链工程,发展高附加值、高资源利用率的产品,降低单位产出碳排放水平。推动用能源头减碳,加快用能设施电气化改造,合理引导燃料“以气代煤”,适度增加富氢原料比重。促进用料绿色转型,开发和利用生物质等绿色低碳新材料,推动产品全生命周期减碳。加快资源跨区域跨产业优化配置,加强钢铁、有色、建材、化工企业间原材料供需结构匹配,推动“钢化联产”、电力化工多联产等,提高资源利用水平。加强再生资源回收利用,推进垃圾分类回收与再生资源回收“两网融合”,鼓励地方建立再生资源区域交易中心,大力实施园区集约化、废物资源化、能源低碳化的循环经济发展。大力发展节能环保服务业,强化节能环保服务对产业绿色发展的支撑作用。坚持节约优先战略,协同推进节能、控耗、减污和降碳,推动减少处理环节、优化工艺流程、提高处理效率和设备智能化升级。

(六)提倡绿色低碳生活方式:增强全体公民绿色低碳、环保节约意识,适时谋划基于消费端的碳交易市场机制,构建低碳消费激励约束机制和保障体系

实现碳中和不仅仅是一个技术进步和能源转

型问题,还必须依靠生活方式、社会心理和消费偏好的深刻转变,实现整体性变革,否则将陷入杰文斯悖论而更不可持续^[8]。要打造低碳交通、低碳建筑、低碳商场、低碳社区等多元应用场景示范,建设一批低碳绿色城市和示范单位。我国新能源汽车产业发展迅速,在全球居于领先地位,要完善配套措施,增加新能源汽车停车位,扩大公用充电桩覆盖范围和覆盖密度,积极构建便利高效、适度超前的充换电网络。依托各类支付平台和消费平台做好绿色消费行为的统一记录,探索实行个人碳积分制度,研究制定量化算法和奖励分发规则,建立个人数字碳账本并与绿色金融、信用体系相连接。以碳普惠为切入点,适时谋划基于消费端的碳交易市场机制。完善绿色环保低碳产品标准认证、标识体系和可溯源机制,充分发挥政府采购的导向支持作用,鼓励地方、特色行业建立绿色低碳物资采购目录和供应链协同采购机制,在全社会范围内积极宣传政府绿色采购绩效,引导消费转型。利用支付行业广泛链接个人和商户的特点,结合各类商业和公共服务场景,开展低碳支付服务创新。针对高碳消费行为构建灵活多样的成本约束调控机制,择时对碳密集消费品开征碳税。加强生态文明教育,把绿色低碳教育内容列入中小学课程中,积极开展绿色校园创建、低碳环保行动、绿色环保使者等实践活动,让广大学生增强低碳生活的意识,从小养成爱护环境、倡导低碳生活的好习惯。强化绿色文明宣传教育和“双碳”科普,增强全民节约意识、环保意识、生态意识,把建设美丽中国转化为全体人民自觉行动。

(七)提升生态碳汇能力和负碳技术开发:巩固和提升生态系统碳汇能力,强化生态补偿转移支付力度,将生态系统碳汇纳入到生态产品价值核算标准体系和生态保护补偿体系,促进“含绿量”转化为“含金量”,同时推动 CCUS 等负碳技术应用和商业化发展

要进一步开展森林、草原、湿地、土壤、冻土、岩溶等碳汇本底调查,充分利用卫星遥感技术,科学评估我国陆地生态系统碳汇能力及变化趋势。严守生态保护红线,推进山水林田湖草沙一体化综合治理,全面保护森林、草原、湿地生态系统,重点实施石漠化综合治理,巩固和提高陆地生态系

统碳汇能力(“绿碳”)。通过“电—水—土—林—汇”模式解决水资源缺口,促进植被自然恢复,提升干旱地区土壤固碳能力。制定差别化的生态碳汇提升方案,结合林木种类与生长状态,合理调整林分结构,加快培育固碳能力较强的幼龄、中龄林,精心防护生长速率下降的成熟、过熟林,科学提高森林储汇能力。海洋碳汇(“蓝碳”)是生态系统碳汇的重要组成部分,其固碳增汇能力是陆地生态系统的 10 倍以上,且生态经济综合效应明显,但如果不遏制蓝碳系统退化,海洋将成为新的碳源^[9]。要重视红树林、盐沼和海草床等滨海湿地生态修复,扩大海洋碳汇产品供给。以大型能源企业、高耗能企业为牵引,带动更多市场主体开展碳汇投资与经营管理,对于积极投资植树造林、湿地保护等碳汇项目的企业提供适当的政策支持。广泛开展乡村中国核证自愿减排量(CCER)林业碳汇项目,制定碳汇收益资金管理使用办法,充分调动农户植树造林、养林护林的积极性。将生态系统碳汇纳入到生态产品价值核算标准体系和生态保护补偿体系,积极探索横向与纵向双轮驱动下的“工业补偿农业、城镇补偿农村、排碳补偿固碳”的多元化生态补偿机制。搭建生态产品价值实现平台,打造“两山银行”“湿地银行”“森林银行”等金融服务中心,整合生态资源收储,通过资本赋能和市场化运作,推动生态资源变现。大力推动 CCUS 等负碳技术商业化发展,加强顶层设计,启动 CCUS 国家重大科技专项,抓住技术与工程示范和产业培育 10~15 年的关键窗口期,鼓励大型能源化工企业发挥一体化优势,加大技术开发力度和示范引领作用,力争到 2035 年实现 CCUS 全流程示范和成熟化应用。尽快开展全国重点碳排放集中区域的二氧化碳地质封存选址,前瞻性建设布局 CCUS 运输基础设施。通过设备更新改造等措施更好解决甲烷等温室气体逃逸和回收利用。

四、两大市场支撑体系:碳交易市场与绿色金融

碳中和需要两大市场支撑体系,即碳排放交易体系和绿色金融体系。碳中和将为我国带来“百万亿”级规模投资需求,蕴藏巨大发展机遇。要通过价格信号和金融市场机制引导全社会资源配置和

减排路径选择,实现低成本、高效率的节能减排。

(一)健全碳市场与完善碳定价机制:从“量”和“价”的双重维度发力,扩大碳排放权交易市场的覆盖范围和参与主体,推动配额分配方式改革,推动以碳市场为主体、以碳税为补充的混合式碳定价机制,逐步形成合理碳定价

进一步扩大行业覆盖范围,尽快纳入更多的高排放行业,制定统一的交易准入标准。在市场企稳的前提下,引入更多机构投资者和个人投资者,提高碳排放权交易市场的活跃度和流动性。适度从紧设定碳排放权配额发放总量,积极推动碳配额分配方式改革,在生产环节构建主体多元的竞价体系,在消费环节构建减排与收益挂钩的激励机制,配置环节构建“统一市场、统一运作”的交易模式。适时逐步扩大碳排放权配额有偿分配范围和比例,实现以免费分配为主、免费与有偿分配并存的格局。在有偿分配机制逐步完善的基础上,进一步健全排放权交易流通的二级市场。设置拍卖保留价格(底价)和最高价格,引入公开市场操作等市场调节机制,在必要时对市场进行合理调控,助力二级市场碳价稳定。建立健全碳价监测调控机制,实施价格涨跌停及最大持仓量限制、设定碳价走廊、建立碳市场政府平准基金、建立碳排放配额储备机制等措施,确保碳交易价格的公允性。在合适条件下重启 CCER 市场,借鉴往期经验规范 CCER 的签发流程,促进审批政策、申请流程、项目审定和核证规范化标准化,逐步将林业、可再生能源、甲烷利用等领域温室气体自愿减排项目纳入全国碳排放权交易市场。从价格信号的角度看,电力系统是碳价格最主要的“二传手”,是向全社会传导的关键环节,类似于货币政策从基础货币供给向多层次货币量及价格传导的机制^[10]。建立健全电力市场与碳市场的联动机制,加强碳市场、电力市场、用能权交易市场、以煤炭为代表的一次能源市场间的衔接协调,促进多市场间价格信号有效衔接、顺畅传导,完善绿色电力认证、识别和交易制度,推广绿色电力证书交易。完善碳排放权交易市场监管体系,形成有责任明确、分工合理、相互配合的管理体系。充分发挥碳市场与碳税的各自优势与互动互补作用,探索推动以碳市场为主体、以碳税为补充的混合式碳定

价机制,逐步形成合理定价机制,提供稳定的社会碳价预期。

(二)稳步发展碳期货与绿色金融产品:稳妥有序发展碳期货市场,加大绿色金融产品创新和供给力度

完善期现货主管部门、交易机构、注册登记机构、结算机构等相关单位的联系协调机制,促进政策协同,更好形成期现合力。贴合现货市场机制创新期货合约规则设计,以全国碳市场碳排放配额(CEA)排放权期货为切入点,逐步向CCER等其他标的扩展,根据市场运行情况合理设置期货合约序列,确保市场保持适度的流动性,进一步完善市场化的碳价发现机制。期货交易所可以通过运用保证金、价格限制、持仓和交易限额、强制平仓与减仓、结算担保金和风险警示措施,有效管理期货市场风险。引入商业银行、投资银行、公募基金、私募基金、低碳基金、个人投资者等多元化投资者,培育更多具有风险管理需求和较强风险管理能力的市场主体。鼓励保险机构创新研发更多涉及碳定价、碳交易、碳履约等过程的碳保险产品,设立自愿与强制相结合的环境责任险机制,扩大可再生能源项目保险覆盖范围。

(三)探索气候绿色投融资改革:建立更加强有力的绿色金融激励机制,优化支持绿色低碳发展的结构性货币政策工具,探索气候投融资试点差异化发展路径

2021年年末,我国绿色信贷余额15.9万亿元,同比增长33%,远高于贷款总额10%左右增速,但其体量仍满足不了“双碳”目标的需求。短期可以借鉴抗疫专项债券和再贷款等经验,推动“绿色低碳复苏”专项债券和再贷款发行,创设“绿色中期借贷便利”(GMLF)等碳减排相关的结构性货币政策工具。中长期可以通过金融监管框架调整对绿色发展低碳发展给予更多倾斜。在守住风险底线的基础上,适当下调绿色信贷的风险权重,放宽低碳资产抵押品和绿色信贷抵押品要求。将提高绿色金融业绩在中央银行金融机构评级中的权重作为重要的激励约束手段^[11]。在宏观审慎评估中针对气候风险综合应对和绿色金融发展进一步丰富考核指标、提高考核权重,将存款准备金率和偿付能力充足率一定程度与绿色金融业绩挂

钩,对绿色信贷利息收入给予适当税收优惠。探索将碳排放权作为信贷融资的增信措施,适时鼓励银行将碳排放控制管理纳入授信评价体系,探索“碳排放权增信+抵押贷款+碳保险”融资模式,促进各种绿色低碳金融工具的协同互补。探索碳排放权抵押融资机制,健全低碳技术知识产权市场化交易和质押融资机制。气候投融资试点建设要与地方转型发展紧密结合,探索差异化发展路径,避免平均用力。通过绿色信贷贴息、风险分担等方式用好地方财政配套资金的撬动作用,着力完善长期激励机制。可以将废弃矿山修复作为气候投融资支持生态修复的重点,我们调研发现,仅黄河流域由地方政府承担恢复治理任务的历史遗留矿山约1.5万个,完成生态修复治理可以拉动1000亿元直接投资,还可以带动碳汇增加和相关产业发展。

(四)资本市场赋能绿色发展:发挥多层次资本市场对“双碳”战略的支持作用,积极引导中长期资金入市,引导风险投资(VC)、私募股权投资(PE)用好绿色投资的发展机遇,促进绿色创新资本形成,开发多种利率品种和更多长期限的绿色债券产品

支持更多绿色低碳企业通过首次公开募股(IPO)、再融资、新三板挂牌、并购重组等方式上市融资,建立“绿色”通道,在同等条件下优先支持绿色低碳企业上市,参与国际证监会组织(IOSCO)可持续金融发展协作。目前,我国绿色债券发行量位居全球第三,要进一步提高实体经济企业绿色债券和低碳债券发行比例,开发多种利率品种和更多长期限的绿色债券产品,提高绿色债券投资吸引力。提高绿色低碳债券的质押折算系数,银行持有一定比例的绿色债券可以享受央行再贷款的优先权,提升绿色债券在银行间市场的质押融资比例。鼓励更多民营中小低碳企业参与发行绿色资产支持证券(ABS),提高绿色信贷资产支持证券(CLO)的发行比重。探索设立以碳减排量为项目效益量化标准的市场化投资基金,加速开发电力减碳、新能源基础设施等不动产投资信托基金(REITs)产品,有效盘活存量绿色资产,探索“投资—REITs出表—再投资”的轻资产、可循环运营模式。鼓励机构开发多类型绿色指数,并依托绿

色低碳指数发行低碳信托、低碳债券等指数化产品。引导社保基金、养老金、企业年金、社会公益基金等中长期资金入市开展“环境、社会、公司治理”(ESG)投资,培育一批专业化机构投资者。ESG 不仅是价值投资的重要方式,也是一种投资者管理风险、发现投资机会和改善收益的重要工具^[12]。要探索建立我国 ESG 评价标准体系,扩大 ESG 主题投资基金数量 and 市场规模,推动 ESG 主题的 ETF(交易型开放式指数证券投资基金)上市,引导社会资本的长期价值投资取向,鼓励投资机构将绿色投资纳入绩效评价体系。引导 VC/PE 用好绿色投资的发展机遇,通过政府领投、社会资本跟投,绿色风险投资定向募资支持、税费优惠等方式,引领社会资本转变投资理念。研究设立国家低碳转型基金,鼓励社会资本以市场化方式设立绿色低碳产业投资基金。支持绿色低碳领域政府和社会资本合作(PPP)项目,鼓励民营资本与国有企业合作开展新能源项目投资和建设经营。

(五)健全信息披露与金融风险防控机制:完善适应我国国情的环境信息披露机制,以透明化提升市场有效性,强化风险预研预判有效管理,避免“监管真空”,防范“绿天鹅”风险

健全环境信息披露框架,明确环境信息披露的主体、频率、时限、责任等方面的内容,监管部门要尽快制定上市公司强制 ESG 信息披露的细化准则,推动上市公司强制 ESG 信息披露进程,建议将重大 ESG 相关违规事件纳入上市公司预警机制和退市机制中。截至 2021 年年末,披露 ESG 相关报告的 A 股上市公司仅为 1 147 家,还不到 A 股上市公司总数 1/4。积极引导社会机构成立 ESG 相关自律组织,加强 ESG 投资专业领域人才培养和投资者教育工作。完善环境信息披露的激励约束机制,出台披露标准,注重将市场与行政措施、约束与鼓励性措施、机构内部与外部措施有效结合,开展环境信息披露评估。发挥大企业的先行示范作用,逐步由鼓励向强制披露过渡。强化金融机构环境责任,要求金融机构核算并披露自身投融资活动碳足迹信息,披露碳减排贷款的情况以及贷款带动的碳减排量等信息。促进实体企业公开披露碳排放,以及配额分配、交易、履约和碳资产管理、开展碳金融业务等情况,引导各类社会第三方

机构参与环境信息披露。明确各部门在环境信息披露的监管职能,建立环境信息整合管理平台,在一定权限内实现碳排放信息共享,更好形成监管合力。气候相关的宏观金融风险主要是物理风险和转型风险^[13],要关注气候变化对资产质量的影响,前瞻性为高碳资产可能存在的“搁浅”风险谋划政策储备,把握好实体经济减排政策与金融政策的协同,将合理的风险参数纳入宏观审慎监管框架。针对不同类型的金融产品和服务,应明确监管部门和职责,避免“监管真空”,充分发挥交易所的自律监管职能。促进部门间统筹协调,做好联动监管,对重点领域和源头风险强化预研预判,防止风险叠加共振和放大升级。

参考文献:

- [1] 辜胜阻. 绿色转型是实现经济社会发展与环境质量兼顾的重要途径[J]. 宏观经济管理, 2016(4): 6, 8.
- [2] 项目综合报告编写组. 《中国长期低碳发展战略与转型路径研究》综合报告[J]. 中国人口·资源与环境, 2020, 30(11): 1-25.
- [3] 贺克斌. 碳中和, 未来之变[N]. 光明日报, 2021-06-26(10).
- [4] 安永碳中和课题组. 一本书读懂碳中和[M]. 北京: 机械工业出版社, 2021: 15-18.
- [5] 张希良, 黄晓丹, 张达, 等. 碳中和目标下的能源经济转型路径与政策研究[J]. 管理世界, 2022, 38(1): 35-66.
- [6] 林伯强. 碳中和进程中的中国经济高质量增长[J]. 经济研究, 2022, 57(1): 56-71.
- [7] International Energy Agency. The role of critical minerals in clean energy transitions [R]. Paris: International Energy Agency, 2021.
- [8] 张永生. 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[J]. 中国人口·资源与环境, 2021, 31(9): 6-15.
- [9] 杨越, 陈玲, 薛澜. 中国蓝碳市场建设的顶层设计与策略选择[J]. 中国人口·资源与环境, 2021, 31(9): 92-103.
- [10] 王信. 审慎管理气候变化相关金融风险[J]. 中国金融, 2021(4): 41-42.
- [11] 杨燕青, 程光. 碳中和经济分析——周小川有关论述汇编[M]. 北京: 中国金融出版社, 2021: 31-36.
- [12] 屠光绍. ESG 责任投资的理念与实践(上)[J]. 中国金融, 2019(1): 13-16.
- [13] 陈雨露. 当前全球中央银行研究的若干重点问题[J]. 金融研究, 2020(2): 1-14.

(本文责编: 辛 城)