

资源节约型双碳:概念缘由—评估方法—中国路径

黄鲁成^{1,2}, 郭鑫¹, 赵志耘³, 苗红², 罗晓梅², 嵇灵², 郑佳³, 孟浩³, 李欣², 吴菲菲²

(1. 哈尔滨工程大学, 黑龙江 哈尔滨 150006;

2. 北京工业大学, 北京 100124; 3. 中国科学技术信息研究所, 北京 100038)

摘要:节约资源与节约优先已经成为国家双碳工作的重要原则。首先,根据资源节约概念和双碳工作的特性,从目标维度、过程维度、成本维度和效益维度4个方面提出资源节约型双碳概念,阐述资源节约型双碳的缘由。其次,在梳理、归纳和总结现有评估方法的基础上,从方法、逻辑、理论3个维度阐述资源节约型双碳评估方法,并针对所存在的不足提出改进思路。最后,从评估对象、评估路线图、评估结果应用与组织实施方面,提出实施资源节约型双碳评估构想。在理论上,提出并阐述了资源节约型双碳概念,为贯彻节约优先原则奠定了理论基础;在评估方法上,完善了现有评估方法论;在实践上,提出了具体评估建议。

关键词:资源节约型;碳达峰;碳中和;评估方法

中图分类号:D996.9

文献标识码:A

文章编号:1005-0566(2023)06-0129-13

Resource-conserving carbon peaking and carbon neutrality: Conceptual dimension-Evaluation methodology-China path

HUANG Lucheng^{1,2}, GUO Xin¹, ZHAO Zhiyun³, MIAO Hong²,

LUO Xiaomei², JI Ling², ZHENG Jia³, MENG Hao³, LI Xin², WU Feifei²

(1. School of Economics and Management, Harbin Engineering University, Harbin, 150001, China;

2. School of Economics and Management, Beijing University of Technology, Beijing, 100124, China;

3. Institute of Scientific and Technical Information of China, Beijing 100038, China)

Abstract: Resource conservation and giving priority to saving have become important principles of national carbon peaking and carbon neutrality. Based on the concept of resource saving and the characteristics of “double-carbon” action, this paper puts forward the concept of the resource-conserving “double carbon” from four dimensions: goal, process, cost and benefit dimensions, and expounds the reasons of the resource-conserving “double” carbon. Secondly, after extensively reviewing the existing evaluation methods, this paper expounds the evaluation methodology of the resource-saving type of “double carbon” from three dimensions of method, logic and theory, and highlights the future directions to overcome the existing shortcomings. At last, the integrated conception for the resource-conserving “double carbon” implementation was presented, covering evaluation object, roadmap, result application, as well as organization and implementation. In general, this paper proposed and elaborated the novel concept of resource-conserving “double carbon”, which could enrich the theoretical research of “double” carbon field. Moreover, it also systematically sorted and expanded the existing evaluation methodology, and provided specific and effective suggestions for implementing “double carbon” strategy in practice.

Key words: resource conservation ; carbon peaking; carbon neutrality; evaluation methodology

收稿日期:2023-04-10 修回日期:2023-05-20

作者简介:黄鲁成(1956—),哈尔滨工程大学管理科学与工程专业教授,博士生导师,北京工业大学科学与工程专业教授,博士生导师,研究方向为科技与产业创新管理。通信作者:苗红。

2022 年 9 月 6 日,中央全面深化改革委员会第二十七次会议通过了《关于全面加强资源节约工作的意见》,指出“节约资源是我国的基本国策”,“要突出抓好能源、工业、建筑、交通等重点领域资源节约,发挥科技创新支撑作用,促进生产领域节能降碳”。《中共中央 国务院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》在强调节约优先原则时指出“从源头和入口形成有效的碳排放控制阀门”。习近平总书记在党的二十大报告中再次明确强调“实施全面节约战略”。因此,如何将基本国策之“节约资源”和“节约优先”用于指导双碳工作,应当成为理论与实践亟待解决的重要问题。

目前的相关研究十分欠缺。经在中国知网(CNKI)的 C 刊数据库以“双碳”为关键词在篇名中进行检索(检索时间为 2022 年 9 月 12 日),共检索到 355 篇论文,依据 CNKI 系统提供的计量可视化分析,发现目前双碳的研究趋势和主题具有以下特点:第一,研究起始时间比较短,但论文数量增长速度很快,从 2020 年的 0 篇增加到 2022 年的 220 篇,共计发表论文 355 篇。第二,研究的主要主题前 10 名为双碳目标、高质量发展、低碳转型、碳中和、碳排放、实现路径、电力系统、碳达峰、目标约束、发展路径。第三,研究的次要主题前 10 名为碳中和、碳达峰、碳排放、碳减排、石化能源、气候变化、低碳转型、可再生能源、低碳发展、高质量发展。第四,研究的主要和次要主题中均没有出现资源节约、成本与效益关键词。第五,研究类型主要是开发研究、行业研究、工程研究、政策研究、技术研究、技术开发、应用研究、管理研究、应用基础研究,其中政策与管理研究仅占 4%,也未涉及资源节约、成本与效益问题。

据此,本文确定了如下研究框架:首先,从资源节约概念和双碳工作特性出发,提出资源节约型双碳概念,并进行维度分析及缘由阐述。其次,在梳理、归纳和总结现有应对气候变化(特别是减排成本效益)评估方法基础上,从方法、逻辑、理论 3 个维度阐述资源节约型双碳评估方法论,并针对所存在的不足提出改进思路。再次,研究了我国

实施资源节约型双碳的重要基础性工作——双碳成本效益评估,具体包括评估对象、评估路线图、评估结果应用与组织实施等。最后,阐述我国实施资源节约型双碳的关键路径——依靠双碳科技创新。

一、资源节约型双碳的概念与缘由

(一)资源节约型双碳概念维度

资源是实现经济社会发展的基础,是国家繁荣富强的必要条件,与世界平均水平相比,我国人均资源水平还很低。因此,资源节约就显得尤为重要,主要表现在以下几个方面:首先,资源节约是社会可持续发展和谐发展的必然要求。一方面,人民已经不再单纯地要求满足温饱等基本生活需要,而是“对美好生活需要日益广泛”;另一方面,经济社会发展以一定的资源消耗为基础,而资源在一定环境条件下又是有限的,这就产生了“广泛性”与“有限性”之间的矛盾,为了实现社会的永续发展,必须使发展代价尽可能降低,节约即是其中的重要途径。其次,在百年未有之大变局下,外部环境的不稳定性和不确定性在增加,资源节约与安全是应对各种风险挑战的物质基础,也是国家总体安全的基础。最后,资源节约型社会已经成为各国首选的发展战略,欧盟委员会颁布了《欧盟资源节约利用宣言》(Manifesto for a Resource Efficient Europe),为各成员国的循环经济向资源(特别是初始资源)的节约利用方向发展提供政策支持,对成员国发展资源节约型循环经济的目标、原则、方式等进行了阐释^[1]。双碳工作作为社会发展的重要内容之一,也必然要走资源节约之路,唯有如此才能实现高质量发展。

资源节约的程度高低或好坏,其主要评价指标是成本效益,“成本”是获取资源或服务所付出的货币数量,“效益”是资源投入后获得的有价值的效果,包括社会效益、经济效益和环境效益。据此提出资源节约型双碳概念,即在控制二氧化碳排放的各个环节上,以较少的资源投入量(双碳成本要低),控制较多的二氧化碳排放量(双碳效益要高),从而实现双碳目标。

如何全面准确把握资源节约型双碳概念,概

念维度分析方法是重要方法。“维度”来源于数学和物理学,在数学中是独立参数的数目,在物理学中是测度事物特性的基础物理量。Militaryspot^[2]认为术语“维度”指特征、思路、核心要素或重要方面,概念维度旨在确定概念的广度,并帮助理解概念,它们还有助于理解概念的深度。还有学者认为,维度是讨论一系列重要问题的框架^[3]。

为此,本文从目标维度、过程维度、成本维度和效益维度4个维度阐述资源节约型双碳概念。

(1)目标维度。“目标维度”是指在节约资源的条件下,2030年实现碳达峰目标、2060年实现碳中和目标。2个目标之间的关系是:碳达峰是碳中和的基础和前提,碳达峰的时间越早、峰值越低,实现碳中和目标的难度越小,资源节约的程度就越大。

(2)过程维度。“过程维度”是指在碳达峰碳中和的各个环节、各个方面要坚持资源节约。就能源领域而言:在能源供给端,坚持资源投入成本效益条件下,降低碳强度;坚持能源传输过程的资源节约;在能源使用端,坚持成本效益条件下,降低碳排放。

(3)成本维度。“成本”是为实现双碳目标而获取资源和服务的货币价值。根据双碳目标的差异,“成本”包括碳达峰成本与碳中和成本(简称“双碳成本”)。“双碳成本”结构构成是:第一,碳达峰碳中和都要采取措施控制二氧化碳排放(以下称“双碳措施”),从双碳措施类型看,双碳成本包括技术措施成本,即控制二氧化碳的技术与工程项目成本,也包括影响人们行为的非技术措施(政策、标准、制度等)成本。第二,依据控制碳排放技术的功能,可将双碳成本分为脱碳成本和减碳成本。脱碳成本包括零碳成本(采用不含碳的能源技术所带来的成本)和负碳成本(采用去除二氧化碳的技术所带来的成本)。减碳成本是指采用减少能源生产和使用过程中碳排放的技术所带来的成本。第三,从双碳工作层次看,有微观层次的成本,即双碳工作的设备装置、技术的投入使用形成了投入成本、运行成本和维护成本;有中观层次的成本,即使用部门模型来整合一系列措施,所

形成的不同情景的成本;有宏观层次的成本,即双碳措施对经济总量和增长率的潜在不利影响。第四,从研发创新的不确定性和决策角度看,还存在风险成本,包括由风险造成的实际成本和无形成本,以及应对风险的控制成本。第五,从评估得到的结果看,主要包括边际减排成本、总成本以及可视化成本曲线等。

成本维度分析要坚持正确的成本观。第一,低成本高效益是资源节约型双碳的金标准,具体包括以下几种情况:资源投入减少,效益不变;资源投入不变,效益提升;资源投入增加,效益提升幅度大于资源增加幅度。第二,坚持全时段减排成本优于近期减排成本,即以整个减排过程的成本高低作为决策依据,而不是将近期减排成本高低作为决策依据。这是因为如果仅追求近期成本低,将会忽视科技创新并采用低成本减排措施,有可能形成“碳锁定”,并导致远期减排成本大幅上升,并大于近期节约的成本;近期采用科技含量高、减排潜力大的减排措施,尽管近期减排成本较高,但会取得全时段减排成本低的效果。第三,全局减排成本优于局部减排成本,即坚持“全国一盘棋”的思想,以全局减排成本高低作为决策依据,而不是以局部减排成本高低为依据。经济发达和科技创新能力强的地区,应率先开发双碳前沿技术,并实施成本较高的减排措施,进而实现更程度的减排,虽然这可能使得经济发达地区多付出一些成本,但更程度的减排可以弥补负担能力较弱地区的减排。综合而言,全局减排成本总额不会升高。反之,不同经济发展水平的地区相互隔离,“各自只扫门前雪”,其全局减排成本总额必然升高。

(4)效益维度。“效益”不是一般意义上的有价值产出,而是指采取双碳措施后控制二氧化碳(减碳和脱碳)的量,不包括可能形成新产业带来的经济效益和提高人民健康带来的损失减少等。本文认为,减碳活动与脱碳活动是两种不同的应对二氧化碳排放的活动,所以存在两种效益,即减碳效益和脱碳效益。两种效益来自于减碳活动和脱碳活动。目前,理论界持有2种不同观点:一是

将二类活动不加区别的“混用”,二是将二类活动进行了区分。本文提出这二类活动既有区别也有联系。减碳活动是减少人类活动向大气中排放二氧化碳的行为,但这种行为无法将二氧化碳排放减至为零。脱碳活动是人类活动向大气中零排放和去除尚存在的二氧化碳的行为。二类活动的区别是:“脱碳”强调能源供给端减少碳强度,而“减碳”强调能源用户端通过减少能源消费而减少碳排放;“脱碳”主要强调技术举措、过程和方法的作用(越接近碳中和目标,越需要创新技术的支撑,因此更重视对设备、装置、系统的硬件投入),而“减碳”强调政策、市场机制的作用(更重视对体制机制、管理软件的完善);“脱碳”的目标是碳中和,是实现碳净零的路径,而“减碳”与阶段性减少碳排放量紧密相关,不同时间段上有不同的减碳目标。同时,这两类活动也是紧密相关的:“脱碳”与“减碳”同属于缓解气候变化的路径,都是力求尽可能减少人类活动对气候变化造成不利影响;若能高效实现“减碳”,则碳固存负担小,“脱碳”就容易实现——脱碳效益高,因此“减碳”是脱碳的基础;“脱碳”若体现为洁净能源比例不断提高,则“减碳”压力就不断降低,减碳效益就提升;当脱碳表现为一个过程(“脱碳”为动词),则减碳与脱碳的含义相同,即都是碳排放量的减少;若脱碳表现为 CO₂ 净零状态(“脱碳”为名词),则二者有差异——减碳无法实现 CO₂ 净零状态。

(二) 资源节约型双碳缘由

双碳工作要走资源节约之路,是双碳工作持续时间长、资源耗费大决定的。《净零美国》指出,所有净零情景都比参考情景更加资本密集,因此严重依赖于及时调动大量资本^[4]。经济学的经典观点是,“向净零排放的过渡将是昂贵的”^[5]。由于要在全球范围内实现温室气体(GHG)减排造成的全球变暖控制在 2℃ 以下,所需的资本投资非常巨大^[6]。调研报告表明^[7],2015—2035 年期间,世界范围内的 WWS 系统(风能、水和太阳能 100% 可再生能源方案)的总体建设成本估计在 100 万亿美元左右,这还不包括输电。如果脱碳的影响过于强烈,而经济发展又没有改善,就会出现恶性通

货膨胀(成本推动型通货膨胀)的风险^[8]。2022 年 1 月,麦肯锡发布的《净零转型:巨大的成本能带来什么》指出,“净零”所需的经济转型规模将是巨大的,估计 2021—2050 年的净零过渡期间,在有形资产上的累计资本支出将约为 275 万亿美元。到 2050 年,支出需要从目前的平均每年约 5.7 万亿美元增至 9.2 万亿美元,即增加 3.5 万亿美元。3.5 万亿美元大约相当于全球企业利润的一半、税收总额的 1/4、家庭支出的 7%^[9]。国际能源署(IEA)^[10]认为,在净零排放情景下,全球的能源投资将从过去五年的年均 2 万亿美元扩大到 2030 年之前的年均近 5 万亿美元,以及 2050 年之前的年均 4.5 万亿美元。从我国现实看,多家研究机构对我国碳中和目标的实现成本有如下估计:有研究认为每年需要 3.5 万亿元投资,有的认为需要 3.2 万亿~4.8 万亿元投资,还有的认为需要 2.6 万亿元投资;有机构估计,2021—2060 年,我国绿色投资年均缺口约 3.84 万亿元,其中 2021—2030 年平均缺口约 2.7 万亿元,2031—2060 年平均缺口约 4.1 万亿元,碳达峰以后资金缺口呈现明显扩大趋势^[11]。全国气候变化专家委员会副主任何建坤表示,要实现碳中和的目标,从 2020—2050 年,需要新增投资 100 万亿~138 万亿元,相当于每年 GDP 的 2%~2.5%^[12]。

如此庞大的资源投入,双碳工作只有走节约资源之路,才能处理好发展与减排关系。走节约资源之路,可在不影响实现目标的情况下,降低资源投入,降低成本,从而能将更多资源用于经济社会发展。走节约资源之路还可以倒逼双碳科技创新和优化资源配置,为实现双碳目标提供减(脱)碳潜力大、资源投入少的双碳技术措施,进而促进双碳措施获得社会认可,促进社会和谐发展。《联合国气候变化框架公约》指出,应对气候变化的政策和措施应具有成本效益,以尽可能低的成本确保全球受益。

二、资源节约型双碳之评估方法

(一) 资源节约型双碳评估的重要性与紧迫性

在应对气候变化、减排和脱碳中,对成本效益的关注与评估已经成为共识,从部分国家和地区

的相关文件以及研究报告看,成本效益问题及对策研究已经成为人们关注焦点(见表1)。

表1 部分国家和区域的相关文件以及研究报告

国家/区域/ 国际组织	政策或研究报告	文档总长 /页	出现“成本” /次
欧盟	欧盟脱碳零成本	204	544
国际能源署	全球能源 2050 净零 路线图	224	108
美国	走向零:美国气候议程	80	86
美国	美国气候变化长期战略	105	81
美国	美国零碳行动计划: 联邦法律与行政框架	21	18
英国	英国净零战略	368	269
日本	日本环境创新战略	89	189
德国	德国 2050 气候变化行动	92	38
德国	净零德国	104	64
加拿大	泛加拿大清洁增长和 气候变化框架	86	56

《欧盟脱碳零成本》指出,要使整个社会能够在 2050 年实现净零排放,成本效益最优是社会成本最优路径^[13]。国际能源署(IEA)^[10]认为,到 2050 年实现净零排放存在多种路径,最关键是在技术上完全可行、成本效益最高和社会可接受度最大的一种路径。

《走向零:美国气候议程》指出,要开发和调动一系列广泛的技术解决方案,促进具有成本效益的解决方案^[14]。《英国净零战略》指出,要通过 4 个关键原理降低应对气候的投资成本^[15]。《日本环境创新战略》指出,制定环境创新战略的目的是,在日本具有优势的能源和环境领域创造创新,在颠覆性创新的基础上,尽早实现这类技术在社会中采用的成本可行性^[16]。《德国 2050 气候行动》强调,要避免过渡延迟所带来的重大额外成本,要对行动方案的有效性、成本、结果和辅助效果进行科学分析^[17]。《净零德国》指出,面向气候中和的转变是可以承受的,前提是采取一揽子措施,走成本最优之路^[18]。《泛加拿大清洁增长和气候变化框架》指出,联邦政府和艾伯塔省启动合作的加拿大减排创新网络以支持创新,使石油和天然气行业以成本效益的方式满足排放法规^[19]。还有学者指出,在国家层面,以最低的社会成本减少温室气体排放是制定气候变化政策的最重要的任务;而对于以利润最大化为经营目标的公司,则旨在寻求成本最低的温室气体减排方案^[20]。

在我国,双碳成本效益问题日益得到重视。国

家能源局、科技部发布的《“十四五”能源领域科技创新规划》和国家发展改革委、国家能源局发布的《能源技术革命创新行动计划(2016—2030 年)》以及《科技支撑碳达峰碳中和实施方案(2022—2030 年)》都反复强调“低成本”“成本降低”和“成本大幅下降”。如何把握成本降低的程度,对双碳进行资源节约评估——成本效益评估是重要抓手。《2021 年度国家自然科学基金专项项目指南——面向国家碳中和的重大基础科学问题与对策》把“面向碳中和的政策工具创新和评估方法研究”作为重要方向,资源节约型双碳成本评估应当属于重要方向之一。

资源节约型双碳评估就是对双碳(措施)成本效益进行评估,其重要性和紧迫性在于:首先,资源节约型双碳评估是落实党和政府关于双碳工作要坚持节约优先原则的需要。节约优先原则的重要内容之一是“形成有效的碳排放控制”,即在提高成本效益基础上见成效,成本效益评估为此提供了重要工具和主要抓手。其次,资源节约型双碳评估有助于落实防范风险之原则。由于成本效益评估要把握各种技术方案的技术与经济可行性,以及不确定性,因而有助于对双碳措施产生的社会经济影响与潜在风险进行评估,并提出应对策略。再次,目前在实践中仍然存在习近平总书记所提到的问题,即“有的搞‘碳冲锋’,有的搞‘一刀切’、运动式‘减碳’甚至出现‘拉闸限电’现象,这些都不符合党中央的要求”^[21]。这些“问题”都会导致全时段成本上升,或全局成本上升,造成风险成本并影响经济发展。要从根本上解决这些问题,必须坚持实施资源节约型双碳。最后,双碳成本效益评估对于引领创新与投资具有重要作用,对国际责任划分与利益分配也产生影响。目前,已有国际咨询机构对我国脱碳成本开展了评估,但尚未见到我们自己的成本评估结果,这对于统筹做好应对气候变化对外斗争与合作是十分不利的。

目前,我国虽然理论界开展有减排(减碳)成本的评估,但不是完全意义上的资源节约型双碳评估,且存在以下不足。第一,缺乏明确、系统的

评估方法论,双碳成本效益评估是分散进行的,方法与结果各异,分析认识问题缺乏共识的基础,难以开展学术交流和提高评估科学性,难以不断完善评估方法。第二,缺乏政府管理部门主导的评估,特别是面向决策的系统全面评估。第三,缺乏中国情境下评估方法创新及应用研究,难以统筹做好应对气候变化对外斗争与合作。第四,目前主要以减排成本评估为主,缺乏针对脱碳的成本效益评估。

(二)资源节约型双碳评估方法论的概念维度——WHW

如何科学有效地对双碳措施进行成本效益评估,掌握科学评估方法论是关键。

方法与方法论既有联系,也有区别。“方法”是研究的逻辑过程、方案、算法等^[22]。“方法论”指的是对采用特定方法深层原因的推理,还包括对其他学者用于研究该主题的方法的全面回顾^[23]。方法论是对研究方法的研究,或者更正式地说,是“研究的‘语境框架’,一种基于观点、信念和价值观的连贯逻辑方案,指导研究人员作出选择”。Uttkarsha^[24]认为,研究方法的目的是证明所选研究方法的可信性、有效性和可靠性,它阐述使用特定研究方法的理由,解释在整个研究过程中使用的系统方法的原因。Admin^[25]认为,研究方法和研究方法论之间的主要区别是,研究方法是解决问题的方法,而研究方法论决定在研究中可以采用什么方法及原因,并为研究方法的正确实施铺平道路;研究方法论在研究开始时被用来解释所选方法的目的以及它们将如何发挥作用,研究方法在研究或实验的后半部分更有用,它要获得适当的结论。Hitesh^[26]认为,定义明确的方法论可以解释为什么在研究中使用特定的研究方法,以什么顺序和如何应用研究方法来获得研究结果;研究方法论是一个多维度的概念,研究方法只是其中的一部分。

由此可以概括方法论是研究方法的科学,它是指导人们分析与选择具有科学性、有效性、可靠性方法的逻辑框架,是方法的系统组合。分析把握方法论,可以从概念维度入手,即从特点、途径、

本质、方面和功能去理解概念的宽度和深度^[27]。

据此,提出方法论的宽度结构,即方法维度、逻辑维度、理论维度,其深度是对每个维度内容的深入挖掘和分析,以便提高评估方法的科学性、系统性和逻辑性,为方法应用和改进奠定基础。

方法维度,即评估什么和用什么评估(what-W),包括评估对象、评估手段(模型、工具和方法),以及评估结果的可视化形态,这是资源节约型双碳评估方法论的核心,因为方法论以“方法”为研究对象。逻辑维度,即如何实施(how-H)评估,包括逻辑思维、基本假设、基本要求等,这是资源节约型双碳评估方法论有效实施的条件。理论维度,即依据什么(why-W)进行评估,包括评估根据、推理原则,这是资源节约型双碳评估方法论的支撑基础。

依据 WHW 三维度差异,资源节约型双碳评估方法论包括自上而下方法论、自下而上方法论和混合方法论 3 个具体方法论,每个方法论的三维度内容如图 1 所示。在图 1 中,上侧虚线框内容表示的是自上而下方法论,下侧虚线框内容表示的是自下而上方法论。评估结果可视化形态有二种,自上而下模型和系统优化模型的可视化形态是平滑曲线,而自下而上专家方法、模型驱动加分解分析的可视化形态为阶梯型曲线。混合方法论是自上而下方法论与自下而上方法论结合形成的,故后续不再专论,而仅对自上而下方法论与自下而上方法论进行论述。

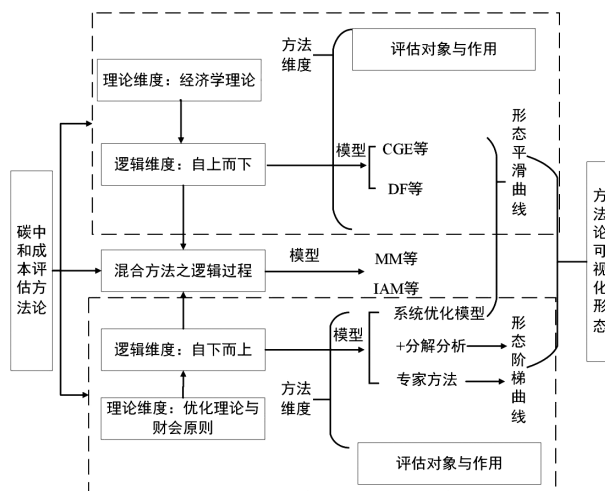


图1 资源节约型双碳评估方法论结构

(三) 基于 WHW 的自上而下的评估方法论

(1) 方法维度。评估模型工具主要包括^[28-31]:投入产出模型、新凯恩斯宏观经济模型、可计算的一般均衡模型(CGE)和微观经济供给侧模型(距离函数-DF),其中DF模型又可分为非参数和参数估计方法。其他具体模型还有 AIM/CGE、EPPA、GCAM、GTEM、KEI-LINKAGES、MERGE 等^[28]。

方法的作用对象及用途是:①评估政策措施:即评估能源和环境政策的宏观经济影响,特别是以市场为导向的政策,模拟能源行业和其他行业之间的关联与互馈关系,把握碳减排政策对宏观经济及各产业部门的影响^[32]。②评估市场机制:分析预测经济部门之间的大规模相互作用,特别是能源部门和其他经济部门之间的相互作用,强调通过碳税或碳排放交易机制等市场工具实现减排目标;捕捉市场扭曲、能源系统和更广泛的经济部门交互作用,为决策者提供有价值的见解^[33]。③评估成本效益:它通过分解能源转化过程,响应市场行为,把握生产者和消费者隐性成本,捕捉价格反弹效应,评估实现某一减排目标的潜在机会成本^[29];考虑能源需求具有价格弹性条件下,评估部门成本和自上而下模型的宏观经济成本^[34];模拟特定减排政策下的边际减排成本(MAC),包括模拟多区域、多部门的 MAC^[35]。

评估结果的可视化形态,自上而下的 MAC 曲线是平滑连续的曲线,反映着不同减排量对应的 MAC。

(2) 逻辑维度。在逻辑思维方面,从总体上(“自上”即高度聚合)分析评估双碳措施成本效益、技术潜力和对经济的影响,并由此判断双碳措施恰当与否及如何调整。

在基本假设和实施方面具有以下特点^[28-30,32,36-38]:基本假设是现有技术条件、市场条件、能源结构不变;主要依赖于历史数据,估计总体经济关系;主要关注能源部门与经济其他部门之间的关系,通过总生产函数来代表部门经济活动;在具体行业结构和技术细节展现是有限的;所评估的成本数值通常较大,反映了悲观情绪。经济学家与政策部门通常采用此方法论。

(3) 理论维度。自上而下方法论以经济学为

理论基础。Grubb^[36]认为,一是以微观经济理论为基础,即根据技术和经济条件构建一个生产可行集(生产前沿),以导出生产过程中减少额外单位的不良产出的影子价格(机会成本);二是一般均衡理论,它专注于以市场为导向的政策(如碳排放或排放交易),并强调一种内源性均衡的价格,在供需平衡的情况下,所有行业的经济和一般市场行为的相互作用。Du 等^[39]认为,经济导向的自上而下方法覆盖整个经济系统,通过最小化系统成本或最大化消费者和生产者剩余来模拟均衡。Sathaye 等^[28]指出,基于宏观经济学的评估模型在时间维度上可分为短期或中期,在范围维度上可分为全球、国家、行业维度;均衡理论为基础的模型在时间维度上可分为中期、长期或目标年内,在范围维度上可分为全球或国家维度。

(四) 基于 WHW 的自下而上的评估方法论

(1) 方法维度。方法的模型工具主要包括基于专家(expert-based)的方法和模型驱动(model-derived)的方法,其中模型方法主要包括能源系统优化模型(ESOMs)——系统成本最小化或效益最大化、综合评估模型(IAMS)、TIMES 模型,以及 LEAP、POLES、PRIMES 等^[40]。

方法的作用对象及用途是^[29,34,41-42]:以微观层面的工程技术数据为基础,以工程技术措施为主要评估对象,聚焦于具体的技术战略,侧重于技术替代的组合变化;具有更详细的技术表征,更适合于识别每项措施的技术潜力、成本效益和减排效果;能针对不同减碳目标或碳去除目标给出不同的技术最佳组合建议,也可为研发创新方向提供建议;社会视角的边际成本评估可以为政策制定者提供指导,企业视角的边际成本评估可以为投资提供参考;在成本效益基础上既可以评估、排序、比较和选择各项技术措施,也可为技术措施实施顺序和推广程度提供建议;通过提供简单的经济指标,使不同部门的技术措施在同等条件下进行比较,识别哪些部门的减排或碳去除潜力最大,成本效益最高,因而有助于制定双碳工作方案;有助于预判措施效果,促进相关政策完善。

从结果的可视化形态看,各类模型方法产

生的 MAC 曲线形态是平滑型曲线,而专家方法得到的 MAC 曲线多为阶梯型。

(2)逻辑维度。逻辑思维是从措施细节(“自下”)分析评估成本效益和技术潜力,并由此判断各项措施恰当与否及如何调整。

在基本假设和实施方面具有以下特点^[30,34,36-38,41,43-44]:随着技术进步,双碳相关技术成本将呈下降趋势;技术措施具有高度细节,并根据其财务成本对单项措施进行评估,往往低估成本,是一种乐观的工程范式;使用微观层面的数据,不以历史时间序列数据为基础进行评估,不考虑价格或交易成本因素对特定措施的影响;倾向于引入直接成本;可用于评估不受价格(标签和标准、法规)驱动的技术政策;可以分析不同能源部门之间的组成和相互联系,从技术经济角度比较不同技术对能源系统的影响;属于技术—工程思路(technology-engineering approach),强调技术上最优方案。

(3)理论维度。自下而上方法论依据的理论是优化理论和财务会计原则。Yue 等^[45]认为,能源系统优化理论(energy systems optimization models-ESOM)将经济优化与技术丰富的数据相结合,为所有建模的技术经济特征提供一致的计算框架。Huang 等^[29]认为,工程系统优化理论有 2 种计算逻辑:一是对双碳施加越来越严格的限制,并计算由此产生的二氧化碳影子价格;二是逐步提高碳排放税(或价格),并计算相应的减排量。而财务会计原则也有 2 种计算依据:一是通过计算净现值确定每项措施的盈亏平衡时的成本及其减排潜力;二是计算相对于基准(业务照常情景)的替代技术措施的增量成本,然后除以减排量。Sathaye 等^[28]认为,以优化理论为基础的评估模型,在时间维度上适用于中期或长期,在范围维度上适用于全球或国家;以财务理论为基础的评估模型,在时间维度上适用于短期或特定目标时间内,在范围维度上适用于国家、区域和部门。

三、资源节约型双碳之中国路径——完善评估方法

资源节约型双碳评估方法论在中国情景下的应用,既要弥补已有方法存在的不足,也要结合中

国实践进行改进。

(一)考虑研发经费投入的评估方法

目前,评估方法的基本假设是被评估的技术措施都是已经大规模商业化适用的技术。如 Sachs^[46]指出,“碳经济成本曲线包括了目前在商业规模上可用的脱碳技术,以及每种技术在大规模采用时的当前成本”。类似地,《美国深度脱碳》研究报告在阐述脱碳路径时所确立的假设情景是,所有技术都是采用商业验证或接近商业化的技术,并采用保守的成本和性能假设^[47]。然而,在未来几十年的双碳工作进程中,假定技术不发生变化,忽略技术进步和技术创新对双碳成本的影响,这是不符合实际的,难以制定科学有效的减碳(脱碳)方案,这是完善资源节约型双碳评估方法必须解决的首要问题。

本文提出了考虑研发经费投入后的评估方法:当研发经费投入后提升了原有技术措施减排潜力的评估方法;当研发经费投入后产生了新技术并提升了减排潜力的评估方法。所以改进后的评估方法实施路径是:①在不考虑研发经费投入条件下,按照传统评估方法进行评估,即在基线设置、假定条件、评估对象(各个技术措施)及技术潜力基础上,采用增量成本法或净现值法进行评估并得到无研发经费时的边际减排成本(MAC_0)。②评估研发经费投入后,新兴技术措施减排潜力提升后的边际减排成本($MAC_{R\&D}$),其中 $MAC_{R\&D} = MAC_0 - \Delta MAC_0$, ΔMAC_0 是研发经费投入后,原有技术潜力提升而导致的边际减排成本下降部分,这要依靠专家掌握原有技术潜力提升的相关信息确定。③若研发经费投入后,产生了新兴双碳技术并得到应用(不是改进原有技术),此时新兴技术的边际减排成本(MAC_N)评估过程是:首先由第三方为评估专家提供新兴技术措施未来分析的结果,评估专家据此研判新兴技术相关数据;然后采用专家启发法^[48]确定每项新兴技术措施成功时间点、每项新兴技术措施研发经费轨迹和获得成功的概率,以及这些新兴技术措施达到了成功端点时对成本的影响。

(二)引入技术未来分析之结果

在评估方法改进中将新兴技术未来分析结果

纳入评估之中,其必要性在于:一方面,当今科学技术飞速发展,科技信息爆炸式增长,而专家难以完全把握科学技术发展态势,因而视野具有局限性;另一方面,囿于专家的专长特性,难以完全避免片面性。因此,由第三方为专家提供技术未来分析之结果(技术发展前瞻性信息)是十分必要的。

新兴技术(减碳措施)未来分析结果是建立在技术未来分析理论方法基础之上的,其基本原理是:科技文献信息(学术论文、网络信息、专利、研究报告等)是科技研发与创新的结果,采用科学的分析方法对其进行分析,必然可以获得技术发展的规律和特征信息:新兴技术与技术前沿、技术热点、共性与关键技术、颠覆性技术、技术竞争态势、技术成熟度等。

将新兴技术未来分析结果引入评估中,可为评估专家提供系统、前瞻的技术措施信息,辅助专家分析识别、预判、比较、选择与决策。首先,分析识别新兴技术措施(能源供给端和用户端、不同行业领域的新兴技术、前沿技术、颠覆性技术),分析识别近期成本高而远期碳中和作用大的新兴技术措施。其次,预判新兴技术措施成熟度,预判不同行业共性技术措施及发展路线图等。再次,在分析识别和预判基础上,对不同新兴技术措施进行成本效益基础上的比较选择。最后,竞争战略决策,新兴技术措施是未来的重要竞争领域,掌握新兴技术措施竞争信息,有利于谋划双碳创新竞争策略,占领技术制高点、平缓脱碳成本,有助于实现双碳技术的自强自立,获得应对气候变化的国际话语权。

2021年,国家自然科学基金委员会发布了面向国家碳中和的重大基础科学问题与对策拟资助的28个研究方向,其中涉及的重要问题有“路径”“颠覆性技术”“路线图”“关键领域”“决策系统”“综合战略”“技术途径与措施”等。这些都是技术未来分析理论方法研究的范畴,主要包括:探讨中国实现碳中和愿景的动态技术路径;碳中和愿景下的经济转型成本;研究碳中和愿景下颠覆性能源系统技术与结构特征;颠覆性能源技术和碳移除(CDR)技术在实现碳中和目标中的作用和发展路线图;研究钢铁、水泥、石化等重

点行业和交通、建筑等关键领域实现碳达峰和碳中和目标的主要障碍、技术措施、转型成本和路径优化;研究自上而下与自下而上相结合的全国分区域碳中和路径评价理论和方法体系;建立由科学理论与技术支撑的碳中和路径决策系统,支撑国家形成并实施碳中和综合战略和对策。上述研究结果将为评估资源节约型双碳提供了用武之地。

(三)重视完善专家评估方法

实践表明,专家评估方法具有诸多优势:能提供详细技术措施细节,便于制定、评估双碳实施方案;便于评估、排序和选择双碳技术措施;便于分配双碳任务,且能为双碳技术措施实施顺序提供建议;可以为企业在双碳领域提供投资决策建议;便于参与方之间交流沟通,达成控碳共识;可以为新兴技术措施提供重点研究方向、研发实施顺序、研发组合、研发投入预判;预判双碳工作成效,促进相关政策完善。

目前,我国采用专家评估方法的还比较少,特别是在专家成本评估基础上研究技术创新、组合、优化决策的就更少。其中的主要原因是专家评估方法需要大量的领域专家,聚集行业领域大量专家对学者来说并非易事。据此,建议强化政府主导的专家评估,具体包括以下几个方面。

一是研究面要拓展,我国高耗能行业重点领域有5大类、11中类及18小类,这些重点领域都应成为专家评估对象;二是分析技术措施的粒度要细化,目前行业细分和技术细节还比较粗,技术举措粒度越“细”,评估越接近实际,对双碳技术的改进、优化部署就越有实践意义;三是研究层次要提升,要从国家层面评估包括电力、运输、工业、建筑、农业、林业其他土地用途的双碳成本,为这些行业的双碳工作提供系统的决策支持;四是鼓励企业、咨询与研究机构积极开展专家评估实践活动,要创新专家评估方法,解决专家评估方法存在的问题,如评估结果如何反映减排措施间、部门间相互作用的问题,如何解决双碳措施实施跨期的问题,如何考虑技术学习、能源价格、需求发展等不确定性问题,如何考虑制度障碍、交易成本和非货币成本问题等。

四、资源节约型双碳之中国路径——实施科学评估

如何对资源节约型双碳开展科学评估,关键在于正确确定评估对象和评估路线图,组织好评估过程,运用好评估结果。

(一)评估对象与路线图

从评估层次上看,评估对象包括宏观、中观和微观 3 个层次。宏观层次是指双碳措施对我国整体经济社会活动所产生的影响——对 GDP 总额和增长速度的影响;中观层次评估包括对电力、工业、建筑、交通、农林等行业部门实施双碳技术措施而产生的影响;微观层次的评估不仅包括对已经规模化采用的技术措施开展成本效益评估,而且包括对双碳技术潜力和采用新兴双碳技术的成本效益预判。

从评估重点上看,评估主要对象应当逐渐转移,即将碳减排成本评估为主逐渐转向为减碳成本和脱碳成本评估并行,并在碳达峰之后以脱碳成本评估为主。Marcucci 等^[49]对中国、印度、欧洲和美国 4 个主要经济体的脱碳路径进行了探索性的多模型分解分析,认为虽然能效(解决减碳问题)仍是主要战略,但 2030 年后的脱碳战略以及

2050 年后的负碳排放至关重要。重视脱碳成本效益评估,要解决好以下问题:第一,要关注能够涵盖不同行业领域的关键共性技术措施,特别是负碳技术措施,并由此获得支持脱碳(净零)技术研发创新的决策信息,助推研发创新方案设计与实施。第二,要研究脱碳成本可视化新形态,以便能发现技术措施之间、部门之间的相互作用、技术措施与环境的相互作用,以及技术措施部署顺序对成本和潜力的影响,从而更准确把握双碳技术措施成本分布。第三,所得到的成本评估结果(MAC 曲线)能够深度解析。一方面,按照碳中和目标确定每项技术措施潜力、最低和最高成本;另一方面,也可以在技术措施成本确定基础上,获得各项技术措施的状态(技术减排潜力和变化范围)。第四,提供较大时间跨度的技术措施成本预判,诸如进行 2030 年、2040 年和 2050 年的碳中和成本评估,以便为实现不同阶段目标提供具体技术措施方案。第五,也要关注那些只有在大量部署其他措施时才具有成本效益的技术,进而为深度脱碳部署技术措施奠定基础。

评估路线图见图 2。

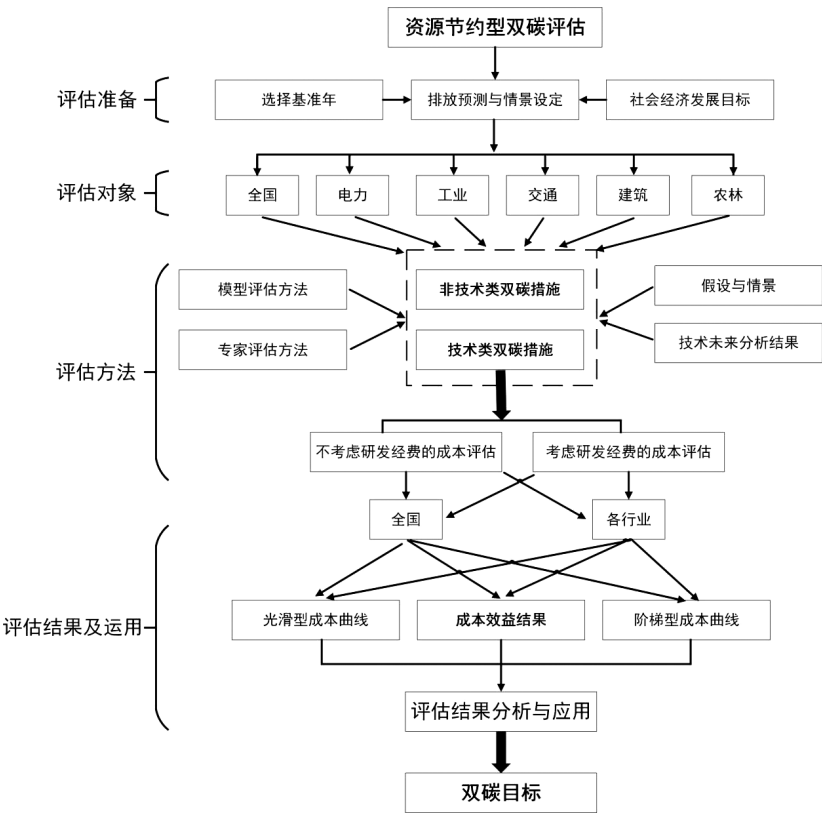


图 2 评估路线

(二) 评估结果的运用

通过科学评估可以得到资源节约型双碳目标实现的相关重要结论:双碳措施成本大小(边际减排成本、总成本等)、社会效益(环境保护、人类健康等)、减排(脱碳)的重点环节与领域、技术创新的薄弱环节及研发方向、非技术措施的成效及改进之处。这些评估结果可以提高双碳工作质量和效率,主要表现在以下几个方面。

第一,服务于双碳科技立项。对国家明确强调的“强化基础研究和前沿技术布局”“在国家重点研发计划中设立碳达峰碳中和关键技术与示范等重点专项”“具有前瞻性、战略性的国家重大前沿科技项目”进行成本效益评估,把握成本大小、预判成本效益,辅助立项决策。

第二,服务于双碳工作考核与评价。一是把双碳成本效益纳入国家确定的“碳达峰碳中和综合评价考核制度”和“碳达峰、碳中和目标任务落实情况考核”之中;二是将双碳成本效益纳入“经济社会发展综合评价”和“碳达峰碳中和科技考核评价机制”之中;三是为建立重点排放行业碳中和和技术进步指数提供支撑,为监测碳中和新技术研发和应用成效提供支撑。

第三,服务于双碳科技创新与工作方案优化。通过成本效益评估掌握双碳技术措施成本的空间(整体和局部)分布、时间(短期和中长期)分布,以及在不同行业与技术领域的分布,辅助设计出具有成本效益的双碳工作方案。

第四,服务于非技术措施(政策、标准、碳价格、碳税、碳交易机制)的设计、实施与完善。实现双碳目标不仅要依靠技术措施,也要依靠非技术措施,不同类型的非技术措施及实施程度,对于双碳成本的大小、发展趋势和边际成本曲线形态产生着重要影响。因此,可以通过边际成本曲线的变化,分析把握非技术措施的合理性、有效性,为完善非技术措施给出有价值的见解;可以对不同非技术措施进行比较,评价、选择最适合特定双碳目标的非技术措施及其组合。

(三) 评估的组织实施

一方面,要对我国二氧化碳排放总量及分布(区域和行业)进行科学的统计和计量,识别碳排放的重点领域和变化规律,由此确定各项双碳措施的实施对象。

另一方面,确立资源节约型双碳评估的领导者、组织者和实施主体。建议“碳达峰碳中和工作领导小组”作为双碳成本评估的领导者,“碳达峰碳中和科技创新部际协调机制”作为实施组织者,并在即将成立的国家碳中和科技专家委员会中吸收经济与管理专家,负责制定双碳成本评估方案,通过立项方式确立评估任务,鼓励研究机构、高校、咨询机构联合申报(投标),中标者成为实施主体。

参考文献:

- [1] European Commission Memo. Manifesto for a resource efficient europe [EB/OL]. (2011-09-20) [2013-08-16]. http://europa.eu/rapid/press-release_MEMO-12-89_en.htm
- [2] Militaryspot. U.S. Should not surrender clean energy technology to China[R/OL]. <https://www.militaryspot.com/news/u-s-should-not-surrender-clean-energy-technology-to-china>.
- [3] STILGOE J, OWEN R, MACNAGHTEN P. Developing a framework for responsible innovation [M]//The ethics of nanotechnology, geoengineering and clean energy. Routledge, 2020: 347-359.
- [4] ERIC L, GREIG C, JENKINS J, et al. Net-Zero America: potential pathways, infrastructure, and impacts [R]. Princeton: Princeton University, 2021.
- [5] National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. Accelerating decarbonization of the US energy system [R]. National Academies, 2021.
- [6] IRAHIM N, KENNEDY C. A methodology for constructing marginal abatement cost curves for climate action in cities[J]. Energies, 2016, 9(4): 227.
- [7] LOFTUS P J, COHEN A M, LONG J C S, et al. A critical review of global decarbonization scenarios: what do they tell us about feasibility? [J]. Wiley interdisciplinary reviews: climate change, 2015, 6(1): 93-112.
- [8] JAPAN Forward. We want decarbonization, but is it helping drive up inflation [EB/OL]. <https://japan-forward.com/we-want-decarbonization-but-is-it-helping-drive-up-inflation>.

- [9] McKinsey & Company. The net-zero transition[R]. 2022.
- [10] IEA. Net zero by 2050-A roadmap for the global energy sector. [R]. Iea. li/nzeroroadmap, Paris: IEA, 2021.
- [11] 红衫中国. 迈向零碳—基于科技创新的绿色变革[J/OL]. 2021.
- [12] HOU L Q. Carbon neutrality to cost 100 trillion yuan[J/OL]. ChinaDaily, 2021.
- [13] McKinsey & Company. Net-Zero Europe[R]. 2020.
- [14] DIRINGER E, TOWNSEND B, BOBECK J, et al. Getting to zero: a US climate agenda[J]. C2ES, Climate Innovation, 2019(2050): 66.
- [15] Clifford Chance. UK net zero strategy – a clearer view of the challenges to 2050[R]. 2021.
- [16] AIST. Environment innovation strategy[R]. 2020.
- [17] Clean Energy Wire. Germany's Climate Action Plan 2050 [R]. 2019.
- [18] McKinsey & Company. Net-zero Germany: chances and challenges on the path to climate neutrality by 2045[R]. 2021.
- [19] Government of Canada. Pan-Canadian framework on clean growth and climate change[R]. 2016.
- [20] LEVIHN F, NUUR C, LAESTADIUS S. Marginal abatement cost curves and abatement strategies: taking option interdependency and investments unrelated to climate change into account[J]. Energy, 2014(76): 336-344.
- [21] 习近平. 正确认识和把握我国发展重大理论和实践问题[J]. 中华魂, 2022(8): 4-6.
- [22] GOUNDAR S. Chapter 3-Research methodology and research method[J]. Cloud computing, 2012.
- [23] BRYMAN A. Of methods and methodology [J]. Qualitative research in organizations and management: an international journal, 2008.
- [24] Uttkarsha B. Top 5 key differences between methods and methodology[R]. enago academy, 2021.
- [25] ADMIN. Difference between research methods and research methodology[J]. pediaa, 2015.
- [26] HITESH B. 7 key differences between research method and research methodology[J]. Market research, 2019.
- [27] BURGET M, BARDONE E, PEDASTE M. Definitions and conceptual dimensions of responsible research and innovation: a literature review[J]. Science and engineering ethics, 2017, 23(1): 1-19.
- [28] SATHAYE J, SHUKLA P R. Methods and models for costing carbon mitigation[J]. Annual review of environment and resources, 2013.
- [29] HUANG S K, KUO L, CHOU K L. The applicability of marginal abatement cost approach: a comprehensive review [J]. Journal of cleaner production, 2016(127): 59-71.
- [30] JIANG H D, DONG K Y, ZHANG K, et al. The hotspots, reference routes, and research trends of marginal abatement costs: a systematic review[J]. Journal of cleaner production, 2020(252): 119809.
- [31] 周鹏, 周迅, 周德群. 二氧化碳减排成本研究述评[J]. 管理评论, 2014, 26(11): 20-27, 47.
- [32] KOK R, ANNEMA J A, van WEE B. Cost-effectiveness of greenhouse gas mitigation in transport: a review of methodological approaches and their impact [J]. Energy policy, 2011, 39(12): 7776-7793.
- [33] KESICKI F, STRACHAN N. Marginal abatement cost (MAC) curves: confronting theory and practice [J]. Environmental science & policy, 2011, 14(8): 1195-1204.
- [34] KESICKI F. Marginal abatement cost curves for policy making-expert-based vs. model-derived curves [J]. Energy Institute, University College London, 2010: 1-8.
- [35] TANG B J, JI C J, HU Y J, et al. Optimal carbon allowance price in China's carbon emission trading system: perspective from the multi-sectoral marginal abatement cost [J]. Journal of cleaner production, 2020(253): 119945.
- [36] GRUBB M, EDMONDS J, TEN BRINK P, et al. The costs of limiting fossil-fuel CO₂ emissions: a survey and analysis[J]. Annual review of energy and the environment, 1993, 18(1): 397-478.
- [37] LATIN H A. Climate change mitigation and decarbonization[J]. Vill. Envtl. LJ, 2014(25): 1.
- [38] PRINA M G, MANZOLINI G, MOSER D, et al. Classification and challenges of bottom-up energy system models-A review [J]. Renewable and sustainable energy reviews, 2020(129): 109917.
- [39] DU L, HANLEY A, WEI C. Estimating the marginal abatement cost curve of CO₂ emissions in China: provincial panel data analysis [J]. Energy economics, 2015 (48): 217-229.
- [40] ENKVIST P, NAUCLER T, ROSANDER J. A cost curve for greenhouse gas reduction[J]. McKinsey quarterly, 2007 (1): 34.

- [41] Studies. Planning for a low carbon future[R]. 2012.
- [42] KEVIN T. GHG reduction explorer, innovation and economic opportunity[R]. Clean & Prosperous Institute, 2013.
- [43] ZHANG Z X, FOLMER H. Economic modelling approaches to cost estimates for the control of carbon dioxide emissions[J]. Energy economics, 1998, 20(1): 101-120.
- [44] HOURCADE J C, JACCARD M, BATAILLE C, et al. Hybrid modeling: new answers to old challenges introduction to the special issue of the energy journal[J]. The energy journal, 2006 (Special Issue# 2).
- [45] YUE X, DEANE J P, O' GALLACHOIRall B, et al. Identifying decarbonisation opportunities using marginal abatement cost curves and energy system scenario ensembles [J]. Applied energy, 2020(276): 115456.
- [46] SACHS G. Carbonomics: China net zero: the clean tech revolution[J]. 2021.
- [47] WILLIAMS J H, HALEY B, KAHRL F, et al. Pathways to deep decarbonization in the United States[R]. 2014.
- [48] BAKER E, CHON H, KEISLER J M. Advanced nuclear power: combining economic analysis with expert elicitations to inform climate policy[J]. Available at SSRN 1407048, 2008.
- [49] MARCUCCI A, FRAGKOS P. Drivers of regional decarbonization through 2100: a multi-model decomposition analysis[J]. Energy economics, 2015(51): 111-124.

(本文责编:海 洋)