

引用格式:刘华军,田震. 绩效视角下减污降碳协同效应的量化评估及提升路径[J]. 资源科学, 2024, 46(7): 1239-1251. [Liu H J, Tian Z. Quantitative evaluation of co-benefits of pollution reduction and carbon emission reduction and improvement path from the perspective of performance[J]. Resources Science, 2024, 46(7): 1239-1251.] DOI: 10.18402/resci.2024.07.01

绩效视角下减污降碳协同效应的量化评估及提升路径

刘华军^{1,2}, 田震³

(1. 山东财经大学经济学院, 济南 250014; 2. 山东财经大学高质量发展研究中心, 济南 250014;
3. 上海财经大学城市与区域科学学院, 上海 200433)

摘要:【目的】本文旨在从绩效视角构建减污降碳协同效应的量化评估方法,为评价减污降碳协同效应和探究减污降碳协同效应提升路径提供方法论支撑。【方法】基于协同效应“1+1>2”的绩效提高思路,在DEA框架下构造减污降碳协同效应量化评估方法,运用该方法评估2006—2021年中国的减污降碳协同效应,并基于情景分析对提升中国减污降碳协同效应的基本路径进行比较。【结果】①减污降碳协同治理能够同时提高中国的大气污染排放绩效与二氧化碳排放绩效,2006—2021年中国的减污降碳协同效应达到了22.35%。②协同减排的增效作用在不同地区和省份间具有普遍性,2006—2021年东部、中部、西部和东北地区减污降碳协同效应分别为12.97%、36.27%、30.29%和37.77%,在全国30个样本省份中有28个省份存在减污降碳协同效应。③情景分析表明,2015—2021年,能源节约高效利用和资源节约集约利用情景下中国减污降碳协同效应相较基准模型分别提升5.90%和5.64%,推进能源节约高效利用、推动各类资源节约集约利用是实现减污降碳协同效应提升的关键路径。【结论】推进减污降碳协同治理对于统筹实现空气质量改善和二氧化碳减排意义重大,建议因地制宜推进减污降碳协同治理,以能源节约高效利用强化减污降碳源头防控,以资源节约集约利用助力减污降碳协同增效。

关键词:减污降碳;协同效应;排放绩效;提升路径;量化评估;中国

DOI: 10.18402/resci.2024.07.01

1 引言

中国生态文明建设和绿色发展进入到协同推进降碳、减污、扩绿、增长的新阶段,基于环境污染与碳排放的高度同根同源性,实现减污降碳协同增效成为新发展阶段促进经济社会发展全面绿色转型的总抓手。2020年中央经济工作会议^①在部署“双碳”工作时首次提出“减污降碳”概念,强调要继续打好污染防治攻坚战,实现减污降碳协同效应。2022年6月,生态环境部等7部门联合印发《减污降碳协同增效实施方案》,提出2025年减污降碳协同度有效提升、2030年减污降碳协同能力显著提升等

主要目标,并对开展减污降碳协同效应评价研究作出明确要求。科学评价减污降碳协同效应是推动减污降碳协同增效的必要条件,特别是在当前中国终端减排空间逐渐压缩的背景下,减污降碳协同增效更多地依靠优化能源结构、产业转型升级、提高资源利用效率等途径实现,协同治理目标也不再局限于生态环境领域,而是从统筹高质量发展和高水平保护的战略高度进行谋划。为此,立足国家减污降碳协同增效实践要求,丰富拓展减污降碳协同效应评价方法、科学评估中国减污降碳协同效应水平,是准确把握协同治理现状、找准协同增效主攻

收稿日期:2023-10-30;修订日期:2024-01-23

基金项目:国家社会科学基金项目(21BGL003)。

作者简介:刘华军,男,山东广饶人,教授,博士生导师,主要研究方向为绿色发展与资源环境经济。E-mail: huajun99382@163.com

① 具体内容参见新华网(http://www.xinhuanet.com/politics/leaders/2020-12/18/c_1126879325.htm)。

方向、支撑政策落地的重要技术基础,对于实现美丽中国建设和碳达峰碳中和具有重要意义。

根据研究方法的不同,关于评估减污降碳协同效应的已有文献可以分为4类,分别是数值模拟法、相关性分析法、回归分析法和边际减排成本评价法。其中,①数值模拟法的关注点在于预估政策实施后的协同效益,相关研究采用CGE(Computable General Equilibrium model)模型、GIANS(Greenhouse Gas-air Pollution Interaction and Synergies model)模型、CMAQ(Community Multiscale Air Quality model)模型等^[1-3],根据政策目标模拟污染物减排量、能源节约量和健康收益等,评估政策实施带来的协同效益。这类研究有利于预估政策的实施效果,但评估结果是政策目标实现下的模拟值或预测值,缺少基于历史数据的回溯性分析。②相关性分析法的重点在于找出实现减污降碳协同效应的最佳方案,如运用协同控制效应坐标系、减排量交叉弹性分析、耦合协调模型等方法,比较减排措施的减排效果及其协同情况^[4-6],为探寻高效协同的减排方案提供经验借鉴,但评价结果依然是基于工程技术参数估算的模拟值。③回归分析法采用历史数据验证减污降碳协同效应的存在并探究其实现机制,这类研究通过构建计量模型,测度减污对降碳的回归系数或是降碳对减污的回归系数,以此评估减污降碳协同效应,并通过机制分析考察协同效应实现路径^[7-11]。限于模型中被解释变量仅有一个,回归分析法难以在同一模型中同时评价减污和降碳两者的协同效应。总之,无论是数值模拟法、相关性分析法,还是回归分析法,均是从终端减排视角对减污降碳协同效应进行评价,未能将经济、环境、能源等多方要素考虑在内。④在最新研究中,刘华军等^[12]在多投入多产出的数据包络分析(Data Envelopment Analysis, DEA)框架下,基于范围经济^②的成本节约思想,构建了成本视角下的减污降碳协同效应量化评估方法,并对中国的减污降碳协同效应进行了评价。成本节约与绩效提高可以看作一枚硬币的两面,尽管协同效应在本质上就是一种“1+1>2”的增效作用,但学界鲜有文献从绩

效提高视角对减污降碳协同效应进行评价。

关于排放绩效的测度研究,根据使用方法的不同可以分为单要素和全要素两种类型。①单要素指标测度主要采用排放量与某一要素的比值,如单位GDP排放量^[13,14]、人均排放量^[15],这类指标便于实际测算与理解,但难以体现经济社会发展全面绿色转型的全要素特征。②全要素测度方法则是基于全要素思想,综合考虑投入、期望产出和非期望产出,利用DEA模型对排放绩效进行测度^[16],这一方法得到学界的广泛应用^[17-20]。在DEA框架下,排放绩效测度方法的区别主要在于模型选择和绩效指数构建。关于模型选择,较早的DEA模型忽略了对非期望产出的考察,难免会对结果造成偏差,已有研究在测度排放绩效时往往采用改进后的模型,如基于松弛测度的SBM模型^[17]、方向距离函数模型^[18]等。其中,Chung等^[21]提出的方向距离函数(Directional Distance function, DDF)允许增加期望产出时减少非期望产出,突破了Shephard距离函数中所有产出同比例增加的限制。Zhou等^[22]放松了DDF中期望产出与非期望产出同比例增减的约束,提出非径向方向距离函数(Non-radial Directional Distance function, NDDF),避免了DDF可能存在的松弛偏差问题。关于绩效指数构建,一类研究以投入产出系统的整体效率作为非期望产出的排放绩效^[23-25],这类研究能有效衡量资源环境与经济发展的整体协同性,但难以对多种非期望产出的排放绩效进行分别测度。另一类研究将排放绩效视为单位非期望产出排放的实际期望产出与最优生产技术期望产出之间的比值^[22],这种方法便于对每一非期望产出的排放绩效进行测度。总体来看,既有文献采用多样的方法对大气污染和二氧化碳的排放绩效进行测度,而对单独减排和协同减排的排放绩效变动情况进行比较分析的研究较少。

在已有研究的基础上,本文从绩效视角构造一种新型的减污降碳协同效应量化评估方法,运用该方法评估2006—2021年中国的减污降碳协同效应,并通过情景比较探究中国减污降碳协同效应的提升路径。本文的边际学术贡献在于:①基于协同效

② 范围经济(Economies of Scope)是由经营范围而非经营规模带来的经济,指的是同时生产两种产品的成本低于分别生产每种产品所需成本之和的现象。

2024年7月

应“1+1>2”的绩效提高思路,在多投入多产出的DEA框架下测算大气污染和二氧化碳的排放绩效,通过比较单独减排和协同减排情景下排放绩效变动情况,从绩效出发构造一种减污降碳协同效应量化评估方法,为评价减污降碳协同效应提供方法论支撑。②利用构建的绩效视角下减污降碳协同效应量化评估方法,从全国、地区和省级等多个空间尺度考察中国的减污降碳协同效应,为把握中国减污降碳协同治理现状提供科学依据。③根据当前减污降碳源头治理的实践要求,通过设置评价模型中投入产出变量的权重向量,模拟能源节约高效利用、资源节约集约利用等情景下中国减污降碳协同

效应的变化情况。通过比较不同情景下的减污降碳协同效应探寻中国减污降碳协同效应的提升路径,为挖掘中国减污降碳协同增效潜力提供实践参考。

2 减污降碳协同效应量化评估方法构造

2.1 绩效视角下减污降碳协同效应的内涵界定

减污降碳协同效应是中国生态文明建设领域的一个重要概念,其丰富内涵既包括“1+1>2”的协同增效思想,又涵盖中国生态文明建设和绿色发展的最新实践要求(图1)。首先,减污降碳协同效应本质上是一种“1+1>2”效应。通过协同治理实现单



图1 减污降碳协同效应的内涵

Figure 1 Connotation of co-benefits of pollution reduction and carbon emission reduction

位大气污染或是二氧化碳排放不增加的同时期望产出增加,促进减污系统和降碳系统绩效水平整体提高。其次,减污降碳协同效应中的减污和降碳同等重要。不同于发达国家已基本解决环境污染问题,中国的生态文明建设需要统筹考虑污染治理和温室气体减排,因此两者在协同推进减污降碳增效进程中具有同等重要的地位。最后,实现减污降碳协同效应是以促进经济社会发展全面绿色转型为导向的。中国推进减污降碳协同治理不仅要实现生态环境效益,更重要的是产生经济效益、社会效益。

2.2 绩效视角下减污降碳协同效应的量化评估方法构造

多投入多产出分析框架能够将能源、环境、经济等多个子系统纳入到减污降碳协同效应的量化评估体系中,更加满足当前中国生态文明建设和绿色发展的实践要求。DEA作为一种多投入多产出分析工具,具有处理资源环境变量的优势,为量化评估减污降碳协同增效过程的全要素属性提供了科学分析工具。本文在构造全局非径向方向距离函数的基础上,基于DEA测度的效率改进比例构造排放绩效测度指数,再进一步通过比较单独减排和协同减排的绩效变动情况构建减污降碳协同效应评价模型。

2.2.1 排放绩效指数

在多投入多产出的DEA框架下,本文构建了全局非径向方向距离函数。其中,方向向量与权重矩阵设置如式(1)–(3),权重矩阵设置理由如下:一是本文测度的是绩效提高视角下的减污降碳协同效应,考察的是在投入保持不变情况下,期望产出可扩大程度和非期望产出可缩减程度,因此设定为产出导向模型(投入权重为0)更为恰当。二是中国生态文明建设进入协同推进降碳、减污、扩绿、增长的新阶段,期望产出系统和非期望产出系统在衡量减污降碳协同效应时均十分重要。在没有其他先验信息的前提下,这种均等化的权重设定方法较为合理。本文从绩效视角下评价减污降碳协同效应的思路是比较单独减排和协同减排两类情景下的排放绩效变动情况,为此,在投入系统权重为0,期望

产出系统和非期望产出系统权重均为1/2的基础上,分别设置单独减污、单独降碳、协同减排3种情景(单独减污和单独降碳即为单独减排)。其中,单独减污情景以大气污染减排为重点目标,不考虑二氧化碳减排,因此非期望产出仅包含大气污染的3类污染物 $PM_{2.5}$ 、 PM_{10} 、 SO_2 ,在均等化的权重设定方法下,三者对应权重均为 $1/6(1/2 \times 1/3)$ (式(1))。同理,单独降碳情景以 CO_2 减排为重点目标,不考虑大气污染减排,因此非期望产出仅包含 CO_2 ,对应权重为 $1/2$ (式(2))。协同减排情景则同时考虑大气污染减排和 CO_2 减排,因此非期望产出包括大气污染与 CO_2 ,在均等化权重设定方法下,二者权重均为 $1/4(1/2 \times 1/2)$,大气污染包括 $PM_{2.5}$ 、 PM_{10} 、 SO_2 ,对应权重均为 $1/12(1/4 \times 1/3)$ (式(3))。

$$\begin{cases} \mathbf{G} = (-K, -L, -E, Y, -P_1, -P_2, -P_3, 0) \\ \mathbf{W}^T = \left(0, 0, 0, \frac{1}{2}, \frac{1}{6}, \frac{1}{6}, \frac{1}{6}, 0\right) \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} \mathbf{G} = (-K, -L, -E, Y, 0, 0, 0, -C) \\ \mathbf{W}^T = \left(0, 0, 0, \frac{1}{2}, 0, 0, 0, \frac{1}{2}\right) \end{cases} \quad (2)$$

$$\begin{cases} \mathbf{G} = (-K, -L, -E, Y, -P_1, -P_2, -P_3, -C) \\ \mathbf{W}^T = \left(0, 0, 0, \frac{1}{2}, \frac{1}{12}, \frac{1}{12}, \frac{1}{12}, \frac{1}{4}\right) \end{cases} \quad (3)$$

式中: $\mathbf{G}=(g_K, g_L, g_E, g_Y, g_{P_1}, g_{P_2}, g_{P_3}, g_C)$ 为方向向量,表示DMU(Decision Making Unit)达到有效率时,各变量的变动方向; K 为资本; L 为劳动; E 为能源; Y 为地区生产总值; P_1 为 $PM_{2.5}$; P_2 为 PM_{10} ; P_3 为 SO_2 ; C 为 CO_2 ; $\mathbf{W}^T=(w_K, w_L, w_E, w_Y, w_{P_1}, w_{P_2}, w_{P_3}, w_C)$ 为权重向量,表示各变量实现最大化或最小化目标的相对重要性。

在参考已有文献的基础上^[22],本文基于DEA测度的效率改进比例,构建了污排放绩效指数(Pollution Emission Performance Index, PEPI)和碳排放绩效指数(Carbon Emission Performance Index, CEPI),公式如下:

$$PEPI_i = \frac{Y/P_i}{(Y + \beta_Y Y)/(P_i - \beta_{P_i} P_i)} = \frac{1 - \beta_{P_i}}{1 + \beta_Y} \quad (4)$$

$$CEPI = \frac{Y/C}{(Y + \beta_Y Y)/(C - \beta_C C)} = \frac{1 - \beta_C}{1 + \beta_Y} \quad (5)$$

2024年7月

式中: i 为大气污染物的种类; $PEPI_i$ 为实际单位大气污染物排放下的期望产出量与潜在单位大气污染物排放下的期望产出量之比, $PEPI_i$ 测算结果在0~1之间, $PEPI_i$ 值越大,表明DMU越接近前沿面水平,实际单位污染物排放下的期望产出越多; β_i 为DMU进行效率改进时地区生产总值(Y)的扩张比例; β_p 为DMU进行效率改进时大气污染(P_i)的缩减比例。同理, $CEPI$ 表示实际单位 CO_2 排放下的期望产出量与潜在单位 CO_2 排放下的期望产出量之比, $CEPI$ 测算结果在0~1之间, $CEPI$ 值越大,表明DMU越接近前沿面水平,实际单位碳排放下的期望产出越多; β_c 为DMU进行效率改进时 CO_2 (C)的缩减比例。

2.2.2 减污降碳协同效应

基于本文对减污降碳协同效应内涵的阐释,进一步将协同效应定义为协同减排相较于单独减排的绩效变动比例,公式如下:

$$\Delta P_{P_i} = \frac{PEPI_{T_i} - PEPI_{B_i}}{PEPI_{B_i}} \quad (6)$$

$$\Delta P_{CO_2} = \frac{CEPI_T - CEPI_B}{CEPI_B} \quad (7)$$

式中: ΔP_{P_i} 为与单独减污相比,协同减排时污排放绩效变动的比例,也就是减污效应; $PEPI_{T_i}$ 为协同减排时的污排放绩效; $PEPI_{B_i}$ 为单独减污时的污排放绩效; ΔP_{CO_2} 为与单独降碳相比,协同减排时碳排放绩效变动的比例,也就是降碳效应; $CEPI_T$ 为协同减排时的碳排放绩效; $CEPI_B$ 为单独降碳时的碳排放绩效。考虑到减污和降碳同等重要,本文定义减污降碳协同效应为:

$$T = 0.5\Delta P_p + 0.5\Delta P_{CO_2} \quad (8)$$

式中: T 为减污降碳协同效应; $\Delta P_p = (\Delta P_{P_1} + \Delta P_{P_2} + \Delta P_{P_3})/3$,为减污效应; ΔP_{CO_2} 为降碳效应。

2.3 绩效视角下减污降碳协同效应的多情景设置

为进一步探究中国减污降碳协同效应的提升路径,本文分别设置了能源节约高效利用、资源节约集约利用两种情景。在构造基准模型时,考察的是投入保持不变的情况下期望产出可扩大程度及非期望产出可缩减程度,因此将评估重点放在了产出系统上。当前中国减污降碳协同增效开始更多地依靠源头治理,为满足这一实践要求,通过提高

投入系统权重向量,构造能源节约高效利用和资源节约集约利用2种不同的情景模型,强化投入系统在实现减污降碳协同增效进程中的重要性。

一方面,考虑到能源活动带来的大气污染和碳排放具有同根、同源、同过程的特点,削减能源消费总量能够达到很好的减排效应^[29],构造了能源节约高效利用情景下的减污降碳协同增效模型,着重考察能源投入、期望产出和非期望产出对排放绩效的影响,突出能源这一投入要素的缩减对于减污降碳协同效应提升的作用。此时,投入、期望产出与非期望产出权重各为1/3。投入系统仅考虑能源缩减,权重为1/3。期望产出权重为1/3。同样假设大气污染与碳排放同等重要,各自权重为1/6(1/3×1/2)。大气污染进一步分为 $PM_{2.5}(P_1)$ 、 $PM_{10}(P_2)$ 、 $SO_2(P_3)$,对应权重均为1/18(1/6×1/3)。

另一方面,当前中国经济进入高质量发展阶段,这就要求进一步提高资源利用效率,以更少的要素投入提供更多的期望产出。基于以上考虑,构造了资源节约集约利用情景下的减污降碳协同增效模型。资源节约集约利用情景同样是基于当前源头治理的实践要求,充分考虑了投入系统在减污降碳协同增效进程中的重要性,全面考虑了资本、劳动、能源等全部投入要素的缩减对于减污降碳协同效应提升的作用。在资源节约集约利用情景下,产出系统的权重设置与能源节约高效利用情景相同,而投入系统则同时包括资本、劳动、能源等全部投入要素,因此将资本、劳动、能源的权重均设置为1/9(1/3×1/3)。因此,能源节约高效利用和资源节约集约利用两种情景的方向向量与权重向量如下:

$$\begin{cases} \mathbf{G} = (-K, -L, -E, Y, -P_1, -P_2, -P_3, -C) \\ \mathbf{W}^T = \left(0, 0, \frac{1}{3}, \frac{1}{3}, \frac{1}{18}, \frac{1}{18}, \frac{1}{18}, \frac{1}{6}\right) \end{cases} \quad (9)$$

$$\begin{cases} \mathbf{G} = (-K, -L, -E, Y, -P_1, -P_2, -P_3, -C) \\ \mathbf{W}^T = \left(\frac{1}{9}, \frac{1}{9}, \frac{1}{9}, \frac{1}{3}, \frac{1}{18}, \frac{1}{18}, \frac{1}{18}, \frac{1}{6}\right) \end{cases} \quad (10)$$

式(9)和式(10)的区别在于:式(9)能源节约高效利用情景仅考虑了能源这一投入要素的缩减对于减污降碳协同效应的提升作用,式(10)资源节约集约利用情景则是全面考虑了资本、劳动、能源等

全部投入要素的缩减对于减污降碳协同效应的提升作用。

3 数据选取及处理

DEA是一种数据驱动的非参数效率测度方法,对投入产出数据的准确性、可靠性等要求较高。因此,科学选取与处理投入产出数据是运用DEA方法准确评估减污降碳协同效应的前提。

3.1 研究样本与时间跨度的选取

本文以中国30个省份为研究样本(因数据缺失,未包含西藏和港澳台地区)。减污降碳协同增效是一个系统性工程,区域是协同增效的具体执行主体。中国四大地区(东部、中部、西部以及东北)^③的经济发展水平、资源环境禀赋、产业结构等方面存在显著差异,在推动减污降碳协同增效进程中扮演不同角色。因此,本文除了从全国、省级层面对中国的减污降碳协同效应进行考察外,还从四大地区视角分析中国减污降碳协同效应水平。

本文的时间跨度设定在2006—2021年,具体原因有两方面:一是“十一五”规划纲要首次将“环境友好型社会”写入中国经济社会发展文件,标志着生态文明建设执政理念的突破。因此,本文选择以2006年为研究起点。二是综合考虑统计数据的可获得性与完整性,同时也要尽最大可能地保障研究内容的时效性与前沿性,因此将2021年设定为研究终点。

3.2 投入产出数据来源及处理

本文将资本、劳动和能源设定为投入变量,将地区生产总值设定为期望产出变量,将3类大气污染物^④($PM_{2.5}$ 、 PM_{10} 、 SO_2)和 CO_2 设定为非期望产出,相关数据介绍如下:

(1)资本投入以资本存量表征。本文采用永续盘存法(Perpetual Inventory Method, PIM)估算资本存量,该方法主要涉及4个变量:①基期基本存量 K_0 。PIM的基期选择越早, K_0 估计误差对后续年份

估算影响越小^[30,31]。鉴于1997年前重庆直辖市未设立,本文将资本存量估算基期设定在1997年,以保证样本数据的一致性。②当年新增投资额 I_t 。采用国家统计局公布的固定资产形成总额表征 I_t ,对于2017年后的缺失数据,利用《中国统计年鉴》中“分地区按领域分固定资产投资比上年增长情况”进行估算。③投资品价格指数 P 。采用国家统计局发布的固定资产投资价格指数表征 P 。对于广东和海南部分年份缺失数据,参考张军等^[30]的方法,用地理和经济水平较为接近的福建代替广东的固定资产投资价格指数,用海南的商品零售价格指数代替海南的固定资产投资价格指数。对于2019年后的缺失数据,基于《中国价格统计年鉴》中“各地区工业生产者购进价格总指数(上年=100)”,以线性拟合的方式补齐。④折旧率 δ 。由于固定资产投入结构不同,各地区折旧率往往存在差异^[32]。本文基于《中国固定资产投资统计年鉴》提供的分省建筑安装工程、设备工器具购置和其他费用分别计算三者权重,通过加权平均估算各省折旧率 δ 。其中,参照单豪杰^[31]的处理方法,设定建筑安装工程、设备工器具购置的折旧率分别为8.12%和17.98%。参照张军等^[30]的处理方法,设定其他费用的折旧率为12.1%。对于少数年份的缺失数据,利用《中国固定资产投资统计年鉴(1950—2000)》《中国投资领域统计年鉴》提供的3类固定资产投资增速数据进行估算。对于仍旧缺失的数据,利用各省份统计年鉴提供的3类固定资产投资数据进行补齐。经过计算发现,1997—2021年分省份3类固定资产投资比重的几何平均和算术平均十分接近,说明这一比例比较稳定^[30]。

(2)劳动投入采用三次产业就业人员合计量表征。本文的三次产业就业人员合计数来自各省统计年鉴,由于部分省份存在同一年份数据在不同年份统计年鉴中数据不一致的情况,本文基于“就新原则”,以最新年份年鉴中的三次产业就业人员合

③ 东部地区包括北京、天津、河北、山东、江苏、浙江、上海、福建、广东、海南10个省份;中部地区包括山西、河南、安徽、江西、湖北、湖南6个省份;西部地区包括内蒙古、广西、重庆、四川、贵州、云南、陕西、甘肃、青海、宁夏、新疆11个省份;东北地区包括辽宁、吉林、黑龙江3个省份。

④ 减污降碳协同增效中的“污”包括大气污染物、水污染物、土壤污染物等多类污染物,而大气污染物排放同温室气体排放放在时间和空间上同质性最强,两者在协同管控思路设计、方法选择、方案制定以及效应评估方面具有高度一致性,既有研究也广泛使用大气污染物作为减污降碳协同效应中“减污”的主要考察对象^[12,33]。因此,本文同样选择最具代表性的大气污染作为“减污”的考察对象。

2024年7月

计数为准。

(3)能源投入以能源消费总量表征。能源数据来源于《中国能源统计年鉴》,搜集过程同样遵循“就新原则”。对于2019年后《中国能源统计年鉴》不再公布的缺失数据,通过查找各省份统计年鉴及能源相关统计资料进行补齐。在此基础上,对于仍旧缺少2021年数据的内蒙古和黑龙江,基于近5年年均增长率估算其2021年能源消费总量。

(4)期望产出采用地区实际生产总值表征。本文将2006年设定为基期,对地区名义生产总值进行平减,进而得到以不变价格表征的地区实际生产总值。相关数据来源于国家统计局。

(5)碳排放以CO₂排放总量表征。本文CO₂排放总量数据选自EDGAR^⑤,相较于其他碳排放数据库(如IEA、BP世界能源统计年鉴、CDIAC等),EDGAR提供的碳排放数据具有误差小、时效性更佳、不受空间尺度限制等优点。

(6)大气污染以PM_{2.5}浓度、PM₁₀浓度和SO₂排放总量表征。有关大气污染的公开数据十分丰富^⑥,本文PM_{2.5}浓度、PM₁₀浓度选自国家地球系统科学数据中心^⑦,SO₂数据选择国家统计局公布的分省SO₂排放总量,原因如下:相较于其他数据库,国家地球系统科学数据中心能同时提供PM_{2.5}、PM₁₀的浓度数据,保证了数据来源的一致性。考虑到国家地球系统科学数据中心对SO₂缺失数据进行了取负值处理,提取结果存在较大误差,本文的SO₂数据选择国家统计局公布的分省SO₂排放总量。

4 结果与分析

4.1 全国层面减污降碳协同效应的量化评估

图2报告了全国层面的减污降碳协同效应演变趋势及其构成。根据图2可以看出,中国的减污效应、降碳效应、减污降碳协同效应均为正值,说明减污降碳协同治理能够同时提高大气污染排放绩效

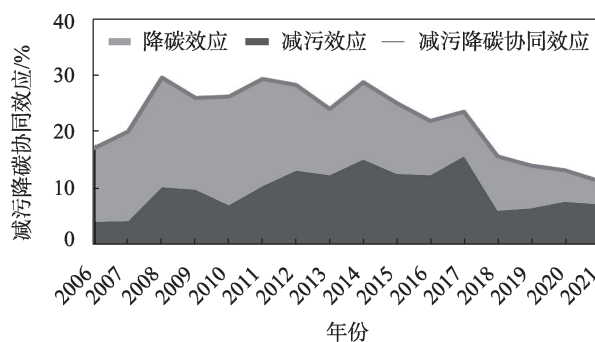


图2 2006—2021年全国层面的减污降碳协同效应及其构成

Figure 2 Co-benefits of pollution reduction and carbon emission reduction at the national level and its composition, 2006–2021

与CO₂排放绩效,最终实现减污降碳协同增效。具体来看,中国的减污降碳协同效应表现出3个特征:①减污降碳协同效应始终存在。2006—2021年中国减污降碳协同效应在11.40%~29.87%间波动,年均值达到22.35%,说明相较于单独减排,协同减排有效促进了减污系统和降碳系统整体增效。②减污效应和降碳效应均为正值。2006—2021年中国的减污效应在4.08%~15.79%之间波动,年均值为9.68%,降碳效应的变化范围是4.16%~19.60%,年均值达到12.67%,减污效应和降碳效应均显著存在,说明协同减排不仅能够提高大气污染排放绩效,而且对CO₂排放绩效的提高作用更为显著。③近年来中国的减污降碳协同效应呈下降态势。2006—2021年中国的减污降碳协同效应仅在2006—2008年保持着连续的上升,此后呈现波动下降的态势。其主要原因是,随着中国对大气污染治理和CO₂减排的各项举措深入落实,末端减排空间持续压缩,继续依靠末端治理的难度增大,因此减污降碳协同效应有所下降,这也意味着当前中国要更多地依靠源头治理实现减污降碳协同增效。

4.2 地区层面减污降碳协同效应的量化评估

图3报告了区域层面的减污降碳协同效应演变趋势及其均值。根据图3可以看出,四大地区的减

⑤ EDGAR 网址: <https://edgar.jrc.ec.europa.eu/>。

⑥ 学术研究中常用的大气污染数据库主要包括伯克利地球(Berkeley Earth)、中国环境监测总站(China National Environmental Monitoring Centre, CNEMC)、哥伦比亚大学国际地球科学信息网络中心(Socioeconomic Data and Applications Center, SEDAC)、加拿大达尔豪斯大学大气成分分析组(Atmospheric Composition Analysis Group, ACAG)、中国国家地球系统科学数据中心(National Earth System Science Data Center)、中国国家统计局等。

⑦ 国家地球系统科学数据中心网址: <http://www.geodata.cn/>。

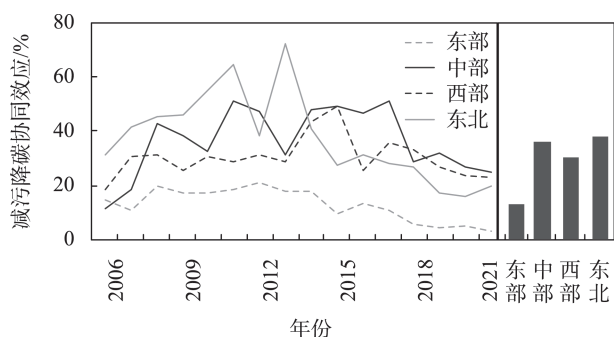


图3 2006—2021年四大地区的减污降碳协同效应

Figure 3 Co-benefits of pollution reduction and carbon emission reduction in the four regions of China, 2006–2021

污降碳协同效应均呈现先上升后下降的变化趋势,与全国层面减污降碳协同效应的演变态势相似。同时,四大地区的减污降碳协同效应始终为正值,表明协同减排的增效作用在中国不同地区间具有普遍性。具体来看,2006—2021年东北、中部和西部地区的减污降碳协同效应年均值分别达到37.77%、36.27%和30.29%,远高于全国平均水平,减污降碳协同增效空间较大。2006—2021年东部地区的减污降碳协同效应仅为12.97%,显著低于其他地区,主要的原因是东部地区的大气污染排放绩效和CO₂排放绩效较高,但这也意味着减排成本最高^[12],末端治理空间压缩最为严重。值得注意的是,无论是东北、中部和西部地区,还是东部地区,近年来减污降碳协同效应均呈现下降态势,其主要原因是大气污染和CO₂排放绩效水平不断提高的同时,继续提升的空间也在压缩,这也再次印证中国减污降碳协同增效空间正逐渐减小,迫切需要因地制宜

探索减污降碳协同效应提升路径。

4.3 省级层面减污降碳协同效应的量化评估

图4为省级层面的减污降碳协同效应的测度结果。从图4可以看出,全国30个样本省份中有28个省份存在减污降碳协同效应,印证了协同减排的增效作用在中国不同省份间具有普遍性。在普遍存在减污降碳协同效应的省份中,河北、河南、广西、四川、山东等11个省份的减污降碳协同效应年均值高于45%,这些省份经济体量较大、产业结构偏重或是化石能源消费比重较高,协同推进减污降碳往往具有较大增效空间。北京、广东、甘肃、青海4个省份的减污降碳协同效应年均值低于10%,这些省份中,一类是人均GDP较高的北京、广东等经济发达省份,这类省份在经济、能源、环境等领域已基本处于技术前沿面上,因此其投入要素与非期望产出成为地区经济发展的硬约束,协同减排则可能会造成排放绩效降低。另一类则是甘肃和青海等经济体量较小省份,这些省份经济发展对环境政策敏感度较高,协同减排虽能减少大气污染和CO₂排放,但对经济发展的影响更为强烈,从而造成整体排放绩效水平下降。在不存在减污降碳协同效应的省份中,海南的能源消费、大气污染和碳排放水平均处于全国最低水平,无论是从源头还是终端视角,其减排空间不大,因此在减污降碳协同推进过程中很难实现绩效提升。天津的大气污染治理成效显著,其SO₂排放放在2006—2021年下降96.67%,减排空间的大幅压缩造成SO₂减污效应为负,抵消了PM_{2.5}和

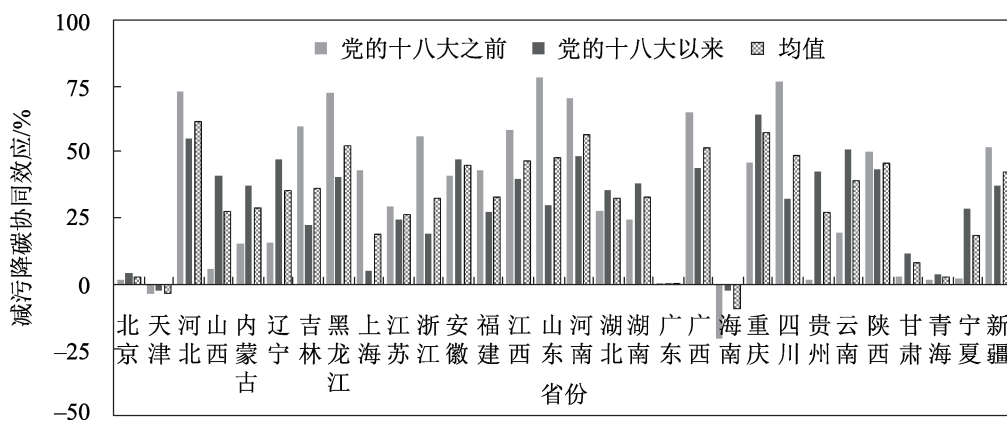


图4 省级层面的减污降碳协同效应

Figure 4 Co-benefits of pollution reduction and carbon emission reduction at the provincial level

2024年7月

PM₁₀的减污效应,最终造成天津减污降碳协同效应为负。

党的十八大以来,伴随中国生态文明建设和绿色发展深入推进,协同减排策略能更加有效地提升多数省份的排放绩效。具体来看,2012—2021年,中国16个省份的减污降碳协同效应相较2006—2011年有所提升,这表明中国减污降碳协同增效空间在不断扩大,协同治理能够事半功倍地实现经济社会发展和生态环境保护双赢。同时,河北、吉林、黑龙江等14个省份的减污降碳协同效应在党的十八大以来出现下滑,其主要原因在于,党的十八大以来,从“大气国十条”到打赢蓝天保卫战三年行动计划,再到深入打好蓝天保卫战,中国的大气污染治理正不断走向深入,伴随着经济体量增大与治理技术相对成熟,末端减排幅度收窄,排放绩效提升空间压缩,迫切需要转向源头治理。

4.4 提升减污降碳协同效应的基本路径及比较

当前,在末端减排空间逐渐压缩的背景下,中国减污降碳协同效应呈现下降态势,如何找到最佳的减污降碳协同效应提升路径是新时期减污降碳协同治理的关键。通过比较多种情景下的减污降碳协同效应,提出新时期实现减污降碳协同效应提升的最优路径。

图5为基准模型、能源节约高效利用、资源节约集约利用3种情景下减污降碳协同效应的对比结果。图5显示,能源节约高效利用和资源节约集约利用情景下中国的减污降碳协同效应逐渐超越基准模型,这意味着推进能源节约高效利用、资源节约集约利用将是中国新时期实现减污降碳协同效应提升的基本路径。根据图5a,2006—2021年基准

模型情景下中国的减污降碳协同效应仅在2006—2008年保持了连续的上升,2008—2021年则呈现出波动下降的态势,由2008年的29.87%下降到了2021年的11.40%。根据图5b,2006—2021年能源节约高效利用情景下中国的减污降碳协同效应应在2006—2016年呈现持续上升的态势,由2006年的-5.62%上升到2016年的29.51%,随后又下降到2021年的15.77%。资源节约集约利用情景下中国的减污降碳协同效应演变态势与能源节约高效利用情景相似,考察期内同样呈现出先上升后下降的态势(图5c)。比较3种情景下的减污降碳协同效应可以发现,2006—2015年,中国在能源节约高效利用和资源节约集约利用情景下的减污降碳协同效应远远低于基准模型,其主要原因在于,这一阶段中国经济依然以要素驱动的外延型增长模式为主,对要素投入的依赖性较强,过度削减要素投入虽在一定程度上降低了非期望产出量,但也更多地减少了期望产出,难以实现经济发展和生态保护整体增效。值得注意的是,这一阶段能源节约高效利用和资源节约集约利用情景下的减污降碳协同效应呈现快速上升趋势,与基准模型下减污降碳协同效应的差距大幅缩小,这意味着中国的能源结构和经济结构正不断优化,依靠节约能源等要素投入实现经济发展与生态保护双赢逐渐成为可能。2015—2021年,中国在能源节约高效利用和资源节约集约利用情景下的减污降碳协同效应实现了对基准模型的超越,相较基准模型分别提高了5.90%和5.64%,这表明推进能源节约高效利用、推动资源节约集约利用已成为中国实现减污降碳协同效应提升的基本路径。

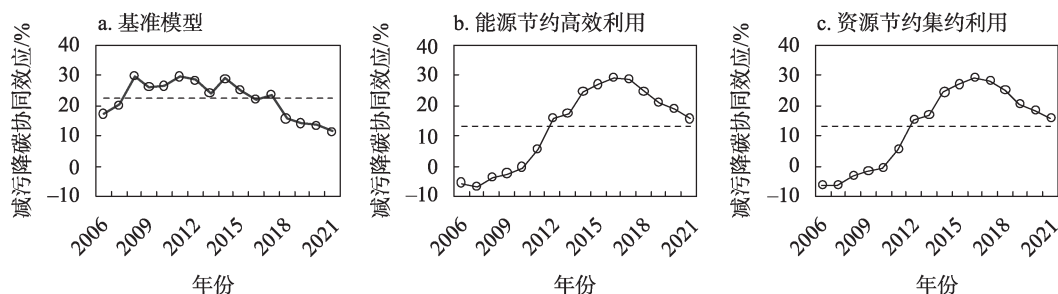


图5 2006—2021年中国减污降碳协同效应的多情景比较

Figure 5 Multi-scenario comparison of co-benefits of pollution reduction and carbon emission reduction in China, 2006–2021

5 结论与政策启示

5.1 结论

本文基于协同效应“1+1>2”的绩效提高思路,在多投入多产出的DEA框架下测算大气污染和CO₂的排放绩效,通过比较单独减排和协同减排情景下排放绩效变动情况,从绩效视角构造了一种减污降碳协同效应量化评估方法,运用该方法对2006—2021年中国减污降碳协同效应进行了量化评估,并基于基准模型、能源节约高效利用、资源节约集约利用等多种情景比较,探究了中国减污降碳协同效应的提升路径。主要结论如下:

(1)减污降碳协同治理能够同时提高大气污染排放绩效与CO₂排放绩效,最终实现减污降碳协同效应。2006—2021年中国的减污效应、降碳效应、减污降碳协同效应均分别达到了9.68%、12.67%和22.35%。中国的减污降碳协同效应在2006—2008年保持着连续上升,此后开始呈现波动下降的态势。

(2)协同减排的增效作用在不同地区和省份间具有普遍性。区域层面,东部地区、中部地区、西部地区和东北地区的减污降碳协同效应分别达到了12.97%、36.27%、30.29%和37.77%。无论是东北地区、中部地区和西部地区,还是东部地区,近年来减污降碳协同效应均呈现下降态势。省级层面,在全国30个样本省份中有28个省份均存在减污降碳协同效应。其中,有16个省份的减污降碳协同效应在2012—2021年相较2006—2011年有所提升,14个省份的减污降碳协同效应在2012—2021年相较2006—2011年有所下将。

(3)在能源节约高效利用情景和资源节约集约利用情景下,中国减污降碳协同增效空间逐渐扩大。2015—2021年,考虑能源要素投入减少的能源节约高效利用情景相较基准模型的提升空间可达5.90%,考虑全部要素投入减少的资源节约集约利用情景相较基准模型的提升空间可达5.64%,推进能源节约高效利用、推动各类资源节约集约利用是实现中国减污降碳协同效应提升的关键路径。

5.2 政策启示

上述研究结论对于提升中国的减污降碳协同效应具有重要的政策启示:

(1)因地制宜推进减污降碳协同治理。协同减排的增效作用在不同地区和省份间具有普遍性,但经济发展水平和资源禀赋的不同决定了不同地区 and 不同省份的协同增效路径不同。东部地区具有较高的排放绩效,协同增效的空间较小,因此要更多地从优化产业结构、能源结构、交通运输结构等源头治理措施入手。特别是北京、广东等经济-能源-环境系统相对成熟的省份,在当前要素投入与环境污染的发展硬约束下,要积极培育绿色低碳生产生活方式、强化绿色低碳生产技术研发,实现排放绩效的进一步提高。而中部、西部和东北地区协同增效空间巨大,要积极引进先进的生产和治理技术,综合采用源头减排、过程控制和末端治理多种措施。

(2)以能源节约高效利用强化减污降碳源头防控。推进能源节约高效利用是实现中国减污降碳协同效应提升的关键路径之一,为此,一方面要在能源结构、产业结构、机制创新、科技创新等方面找准能源效率提升的制约因素,深入挖掘并加快释放能源利用效率。同时,重点控制化石能源消费总量,有序淘汰煤电落后产能,逐步调整汽油消费规模,在保障国家能源安全基础上降低经济发展对化石能源消费的依赖程度。另一方面,推进非化石能源的开发利用,积极推动核电、可再生清洁能源发展,根据地区自然资源禀赋发展具有竞争力的水电、风电、太阳能、地热能、生物质能和海洋能等可再生能源,逐步实现可再生能源对化石能源从增量替代到存量替代。

(3)以资源节约集约利用助力减污降碳协同增效。推动各类资源节约集约利用是提升中国减污降碳协同效应的另一关键路径。因此在减污降碳协同治理进程中要注重转变资源利用方式、提高资源利用效率。一是要强化科技创新引领,加强节能降碳先进技术的研发与应用,强化对资源节约的科技支撑。二是要大力发展循环经济,加快构建资源循环型产业体系和废旧物资循环利用体系。三是要深化生产制造过程的数字化应用,发挥数字要素可复制、非消耗、边际成本低等优势,促进数字经济和实体经济深度融合,从而提升传统生产要素使用效率。

2024年7月

参考文献(References):

- [1] Jiang H D, Purohit P, Liang Q M, et al. Improving the regional deployment of carbon mitigation efforts by incorporating air-quality co-benefits: A multi-provincial analysis of China[J]. *Ecological Economics*, 2023, DOI: 10.1016/j.ecolecon.2022.107675.
- [2] 杨添棋, 王洪昌, 张辰, 等. 京津冀及周边地区“2+26”城市结构性调整政策的CO₂协同减排效益评估[J]. *环境科学*, 2022, 43(11): 5315-5325. [Yang T Q, Wang H C, Zhang C, et al. Carbon dioxide mitigation co-effect analysis of structural adjustment measures in the “2+26” cities in the Jing-Jin-Ji Region and its surroundings[J]. *Environmental Science*, 2022, 43(11): 5315-5325.]
- [3] Xing J, Lu X, Wang S X, et al. The quest for improved air quality may push China to continue its CO₂ reduction beyond the Paris commitment[J]. *Proceedings of the National Academy of the Sciences*, 2020, 117(47): 29535-29542.
- [4] 毛显强, 邢有凯, 高玉冰, 等. 温室气体与大气污染物协同控制效应评估与规划[J]. *中国环境科学*, 2021, 41(7): 3390-3398. [Mao X Q, Xing Y K, Gao Y B, et al. Study on GHGs and air pollutants co-control: Assessment and planning[J]. *China Environmental Science*, 2021, 41(7): 3390-3398.]
- [5] 唐湘博, 张野, 曹利珍, 等. 中国减污降碳协同效应的时空特征及其影响机制分析[J]. *环境科学研究*, 2022, 35(10): 2252-2263. [Tang X B, Zhang Y, Cao L Z, et al. Spatio-temporal characteristics and influencing mechanism of co-benefits of pollution and carbon emission reduction in China[J]. *Research of Environmental Sciences*, 2022, 35(10): 2252-2263.]
- [6] 俞珊, 张双, 张增杰, 等. 北京市“十四五”时期大气污染物与温室气体协同控制效果评估研究[J]. *环境科学学报*, 2022, 42(6): 499-508. [Yu S, Zhang S, Zhang Z J, et al. Assessment of co-control effects for air pollutants and greenhouse gases in Beijing during the 14th Five-Year Plan period[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2022, 42(6): 499-508.]
- [7] 陈晓红, 张嘉敏, 唐湘博. 中国工业减污降碳协同效应及其影响机制[J]. *资源科学*, 2022, 44(12): 2387-2398. [Chen X H, Zhang J M, Tang X B. Synergistic effect of industrial air pollution and carbon emission reduction in China and influencing mechanism[J]. *Resources Science*, 2022, 44(12): 2387-2398.]
- [8] 孙慧, 邓又一. 环境政策“减污降碳”协同治理效果研究: 基于排污费征收视角[J]. *中国经济问题*, 2022, (3): 115-129. [Sun H, Deng Y Y. The effect of “reducing pollution and carbon emissions” in environmental policy: A study based on the perspective of pollution fee collection[J]. *China Economic Studies*, 2022, (3): 115-129.]
- [9] 张瑜, 孙倩, 薛进军, 等. 减污降碳的协同效应分析及其路径探究[J]. *中国人口·资源与环境*, 2022, 32(5): 1-13. [Zhang Y, Sun Q, Xue J J, et al. Synergistic effects of pollution control and carbon reduction and their pathways[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2022, 32(5): 1-13.]
- [10] 叶芳羽, 单汨源, 李勇, 等. 碳排放权交易政策的减污降碳协同效应评估[J]. *湖南大学学报(社会科学版)*, 2022, 36(2): 43-50. [Ye F Y, Shan M Y, Li Y, et al. An evaluation of the synergistic effect of air pollutants and carbon reduction of the carbon emissions trading policy[J]. *Journal of Hunan University (Social Sciences)*, 2022, 36(2): 43-50.]
- [11] 田嘉莉, 付书科, 刘萧玮. 财政支出政策能实现减污降碳协同效应吗?[J]. *财政科学*, 2022, (2): 100-115. [Tian J L, Fu S K, Liu X W. Can fiscal expenditure policy achieve synergistic effects of pollution reduction and carbon reduction? [J]. *Fiscal Science*, 2022, (2): 100-115.]
- [12] 刘华军, 郭立祥, 乔列成. 减污降碳协同效应的量化评估研究: 基于边际减排成本视角[J]. *统计研究*, 2023, 40(4): 19-33. [Liu H J, Guo L X, Qiao L C. Quantitative evaluation of co-benefits of air pollution and carbon emission reduction: Based on marginal abatement cost[J]. *Statistical Research*, 2023, 40(4): 19-33.]
- [13] 胡久凯, 王艺明. 地方政府竞争模式转变与碳排放绩效: 来自地级市政府工作报告的经验证据[J]. *经济学家*, 2022, (6): 78-87. [Hu J K, Wang Y M. The transformation of local government competition mode and carbon emission performance: Empirical evidence from working reports of municipal governments[J]. *Economist*, 2022, (6): 78-87.]
- [14] 邓荣荣, 张翔祥. 中国城市数字金融发展对碳排放绩效的影响及机理[J]. *资源科学*, 2021, 43(11): 2316-2330. [Deng R R, Zhang A X. The impact of urban digital finance development on carbon emission performance in China and mechanism[J]. *Resources Science*, 2021, 43(11): 2316-2330.]
- [15] 谢品杰, 谭婷婷, 王锦斌. 提升中国CO₂排放绩效的最优FDI规模研究[J]. *生态经济*, 2022, 38(2): 27-34. [Xie P J, Tan T T, Wang M B. Research on optimal FDI scale to improve China's CO₂ emissions performance[J]. *Ecological Economy*, 2022, 38(2): 27-34.]
- [16] 程钰, 张悦, 王晶晶. 中国省域碳排放绩效时空演变与技术创新驱动研究[J]. *地理科学*, 2023, 43(2): 313-323. [Cheng Y, Zhang Y, Wang J J. Spatial-temporal evolution of provincial carbon emission performance and driving force of technological innovation in China[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2023, 43(2): 313-323.]
- [17] 张悦, 王晶晶, 程钰. 中国工业碳排放绩效时空特征及技术创新影响机制[J]. *资源科学*, 2022, 44(7): 1435-1448. [Zhang Y, Wang J J, Cheng Y. Spatiotemporal characteristics of China's industrial carbon emission performance and influence mechanism of technological innovation[J]. *Resources Science*, 2022, 44(7): 1435-1448.]

- [18] 邵帅, 尹俊雅, 范美婷, 等. 僵尸企业与低碳转型发展: 基于碳排放绩效的视角[J]. 数量经济技术经济研究, 2022, 39(10): 89–108. [Shao S, Yin J Y, Fan M T, et al. Zombie firms and low-carbon transformation development: A perspective on carbon emission performance[J]. Journal of Quantitative & Technological Economics, 2022, 39(10): 89–108.]
- [19] 冯新惠, 李艳, 余迩, 等. 江苏省城市土地开发与碳排放绩效耦合关系[J]. 经济地理, 2024, 44(5): 161–171. [Feng X H, Li Y, Yu E, et al. Coupling relationship between urban land development and carbon emission performance in Jiangsu Province[J]. Economic Geography, 2024, 44(5): 161–171.]
- [20] 李珊, 温榕冰, 李建军, 等. 中国五大城市群用地景观格局对碳排放绩效的影响[J]. 经济地理, 2023, 43(12): 91–102. [Li S, Wen R B, Li J J, et al. Impact of land use landscape pattern on carbon emission performance in five major urban agglomerations in China[J]. Economic Geography, 2023, 43(12): 91–102.]
- [21] Chung Y H, Färe R, Grosskopf S. Productivity and undesirable outputs: A directional distance function approach[J]. Journal of Environmental Management, 1997, 51(3): 229–240.
- [22] Zhou P, Ang B W, Wang H. Energy and CO₂ emission performance in electricity generation: A non-radial directional distance function approach[J]. European Journal of Operational Research, 2012, 221(3): 625–635.
- [23] 刘华军, 乔列成, 郭立祥. 减污降碳协同推进与中国3E绩效[J]. 财经研究, 2022, 48(9): 4–17. [Liu H J, Qiao L C, Guo L X. Coordinated promotion of pollution and carbon reduction and China's 3E performance[J]. Journal of Finance and Economics, 2022, 48(9): 4–17.]
- [24] 王少剑, 高爽, 黄永源, 等. 基于超效率SBM模型的中国城市碳排放绩效时空演变格局及预测[J]. 地理学报, 2020, 75(6): 1316–1330. [Wang S J, Gao S, Huang Y Y, et al. Spatio-temporal evolution and trend prediction of urban carbon emission performance in China based on super-efficiency SBM model[J]. Acta Geographica Sinica, 2020, 75(6): 1316–1330.]
- [25] 张文洁, 许宁, 洪名勇. 长江经济带碳排放绩效的分布动态与地区差异研究[J]. 经济问题, 2023, (11): 105–113. [Zhang W J, Xu N, Hong M Y. Distribution dynamics and regional differences of carbon emission performance in the Yangtze River Economic Belt[J]. On Economic Problems, 2023, (11): 105–113.]
- [26] Haken H, Graham R. Synergetik. Die Lehre vom Zusammenwirken[J]. Umschau, 1971, DOI: 10.1007/978-3-642-83843-9_21.
- [27] 刘华军, 张一辰. 减污降碳协同效应的生成逻辑、内涵阐释与实现方略[J]. 当代经济科学, 2024, 46(3): 32–44. [Liu H J, Zhang Y C. Synergistic effect of pollution reduction and carbon emission reduction: Generating logic, connotation explanation and realization strategy[J]. Modern Economic Science, 2024, 46(3): 32–44.]
- [28] Haken H. Can Synergetics Be of Use to Management Theory?[M]. Berlin: Springer Verlag, 1984.
- [29] 董直庆, 王辉. 市场型环境规制政策有效性检验: 来自碳排放权交易政策视角的经验证据[J]. 统计研究, 2021, (10): 48–61. [Dong Z Q, Wang H. Validation of market-based environmental policies: Empirical evidence from the perspective of carbon emission trading policies[J]. Statistical Research, 2021, (10): 48–61.]
- [30] 张军, 吴桂英, 张吉鹏. 中国省际物质资本存量估算: 1952–2000[J]. 经济研究, 2004, (10): 35–44. [Zhang J, Wu G Y, Zhang J P. The estimation of China's provincial capital stock: 1952–2000[J]. Economic Research Journal, 2004, (10): 35–44.]
- [31] 单豪杰. 中国资本存量K的再估算: 1952–2006年[J]. 数量经济技术经济研究, 2008, 25(10): 17–31. [Shan H J. Reestimating the capital stock of China: 1952–2006[J]. Journal of Quantitative & Technological Economics, 2008, 25(10): 17–31.]
- [32] 张少辉, 余泳泽, 杨晓章. 中国城市固定资本存量估算与生产率收敛分析: 1988–2015[J]. 中国软科学, 2021, (7): 74–86. [Zhang S H, Yu Y Z, Yang X Z. Estimation of China's urban fixed capital stock and productivity convergence analysis: 1988–2015[J]. China Soft Science, 2021, (7): 74–86.]
- [33] 涂正革. 降碳减污增效的协同研究: 基于SBM方法对高能耗企业的硫碳减排效率测度[J]. 华中师范大学学报(人文社会科学版), 2023, 62(5): 161–174. [Tu Z G. On the synergy of carbon reduction, pollution reduction and efficiency enhancement: Measurement of sulfur and carbon emission reduction efficiency for high energy consumption enterprises based on SBM model[J]. Journal of Central China Normal University (Humanities and Social Sciences), 2023, 62(5): 161–174.]

Quantitative evaluation of co-benefits of pollution reduction and carbon emission reduction and improvement path from the perspective of performance

LIU Huajun^{1,2}, TIAN Zhen³

(1. School of Economics, Shandong University of Finance and Economics, Jinan 250014, China; 2. Center for High Quality Development, Shandong University of Finance and Economics, Jinan 250014, China; 3. School of Urban and Regional Sciences, Shanghai University of Finance and Economics, Shanghai 200433, China)

Abstract: [Objective] The purpose of this study was to establish a quantitative evaluation method for the co-benefits of pollution reduction and carbon emission reduction from the perspective of performance, to provide methodological support for evaluating the co-benefits of pollution reduction and carbon emission reduction and exploring the improvement path of the co-benefits. [Methods] Based on the performance improvement thought of co-benefits “1+1>2”, a quantitative evaluation method for the co-benefits of pollution reduction and carbon emission reduction was constructed under the framework of data envelopment analysis (DEA). The method was used to evaluate the co-benefits of pollution reduction and carbon emission reduction in China from 2006 to 2021, and the basic paths for improving the co-benefits of pollution reduction and carbon emission reduction in China were compared based on scenario analysis. [Results] (1) The collaborative treatment of pollution reduction and carbon emission reduction could improve both air pollution emission performance and carbon dioxide emission performance in China, and the co-benefits of pollution reduction and carbon emission reduction in China from 2006 to 2021 had reached 22.35%. (2) The co-benefits of collaborative emission reduction were universal among different regions and provinces. From 2006 to 2021, the co-benefits of pollution reduction and carbon emission reduction in the eastern, central, western, and northeastern regions was 12.97%, 36.27%, 30.29%, and 37.77%, respectively. Among the 30 sample provincial units in China, 28 had co-benefits of pollution reduction and carbon emission reduction. (3) Scenario analysis showed that from 2015 to 2021, the co-benefits of China’s pollution reduction and carbon emission reduction under the scenario of energy conservation and efficient use and resource conservation and intensive use increased by 5.90% and 5.64% respectively compared with the benchmark model. Promoting energy conservation and efficient use and promoting the conservation and intensive use of various resources are the key paths to achieve the collaborative improvement of pollution reduction and carbon emission reduction. [Conclusion] Promoting the collaborative governance of pollution reduction and carbon emission reduction is of great significance for the overall realization of air quality improvement and carbon dioxide emission reduction. We recommend to promote the collaborative governance of pollution reduction and carbon emission reduction according to local conditions, strengthen the prevention and control of pollution and carbon emission reduction at the source through the saving and efficient use of energy, and promote the collaborative efficiency of pollution reduction and carbon emission reduction through resource conservation and intensive use.

Key words: pollution reduction and carbon emission reduction; co-benefits; emission performance; improvement path; quantitative evaluation; China