

减污降碳协同多元共治体系需求及构建探析

王 涵¹, 马 军², 陈 民¹, 张 真³, 丁杉杉², 王淑兰¹, 阳平坚^{1*}

1. 中国环境科学研究院环境管理研究中心, 北京 100012

2. 公众环境研究中心, 北京 100600

3. 中国人民大学环境学院, 北京 100086

摘要: 碳达峰、碳中和目标的提出标志着我国生态环境保护进入减污降碳协同治理新阶段, 减污降碳协同增效成为促进经济社会发展全面低碳绿色转型的重要抓手。面对经济社会高质量发展、空气质量改善与碳达峰、碳中和的多目标需求, 仅依靠命令控制型手段为主的大气污染物治理措施将不足以实现减污降碳协同目标。结果表明: 构建“政府-科研机构-市场-社会组织”多元共治模式, 通过命令控制与非命令控制的协同实现治理方式转变, 从而提高减污降碳协同治理水平。在顶层设计层面, 综合考虑城市经济发展水平、空气污染程度及各行业污染控制措施的不同, 因地制宜的制定差异化减污降碳政策; 在科学研究方面, 开展学科融合、部门协作的减污降碳协同治理科技研究, 解决减污降碳协同增效措施评估以及科技数据、资源共享和研究成果落地等问题; 在市场方面, 将自愿减排交易和更多高排放行业配额交易纳入碳排放交易市场, 加强与排污权、用能权、绿色电力等环境权益交易之间的协同, 强化市场手段的减污降碳协同增效; 在治理机制和手段方面, 充分发挥社会组织纽带作用, 利用数字化信息系统构建第三方环境信用平台, 促进政府、企业、金融机构和公众等关键利益方形成有效沟通和良性互动。研究表明, “政府-科研机构-市场-社会组织”多元共治模式能有效构建减污降碳协同增效的多元共治体系, 充分发挥政府、科研机构、市场与社会组织的作用, 解决碳达峰、碳中和目标下的减污降碳协同治理新需求。

关键词: 减污降碳; 多元共治; 非命令控制; 数字化信息系统

中图分类号: X22

文章编号: 1001-6929(2022)04-0936-09

文献标志码: A

DOI: 10.13198/j.issn.1001-6929.2022.01.10

Analysis of Needs and Construction of Coordinated Multi-Governance System for Pollution Reduction and Carbon Reduction

WANG Han¹, MA Jun², CHEN Min¹, ZHANG Zhen³, DING Shanshan², WANG Shulan¹, YANG Pingjian^{1*}

1. Research Center for Environmental Management, Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China

2. Institute of Public and Environment, Beijing 100600, China

3. School of Environment and Natural Resources, Renmin University of China, Beijing 100086, China

Abstract: The proposal of peak carbon dioxide emission and carbon neutrality targets marks that China's ecological environmental protection has entered a new stage of coordinated governance of pollution and carbon reduction. Promoting the coordinated governance of pollution and carbon reduction has become an important starting point to promote the overall green and low-carbon transformation of economic and social development. Facing the multi-objective needs of high-quality development, air quality improvement, carbon peaking and carbon neutrality, air quality measures based on command-and-control method will not be sufficient to achieve the coordinated goals of reducing pollution and carbon. In this paper, a new multi-stakeholder governance model of 'government-research institution-market-social organization' was proposed to realize the governance transformation through the integration of command-and-control and non-command-and-control means. At the top-level design, considering the differences in urban economic development, air pollution and pollution control measures of various industries, pollution and carbon reduction policies should be formulated according to local conditions. In terms of scientific research, carrying out collaborative research on pollution and carbon reduction with discipline integration and departmental cooperation to satisfy the needs of evaluation on pollution and carbon reduction measures, environmental data, resource

收稿日期: 2021-09-13 修订日期: 2022-01-11

作者简介: 王涵(1989-), 女, 辽宁锦州人, 助理研究员, 博士, 主要从事空气质量管理、大气污染物控制研究, wang.han@craes.org.cn.

* 责任作者: 阳平坚(1980-), 男, 湖南邵阳人, 研究员, 博士, 主要从事环境规划与管理、公共政策研究, yang.pingjian@craes.org.cn

基金项目: 中央级公益性科研院所基本科研业务专项 (No.2021YSKY-01)

Supported by Basic Scientific Research Project of the Chinese Academy of Environmental Sciences (No.2021YSKY-01)

sharing and implementation of research outcomes. In terms of marketization, bringing voluntary emission reduction transactions and more quota transactions in high emission industries into the carbon emission trading market, synergizing environmental rights transactions such as emission rights, energy use rights and green power, strengthening the pollution and carbon reduction through market tools. In terms of governance mechanisms, giving full play to the role of social organizations, using digital information systems to build a third-party environmental credit platform, promoting communication and interaction among key stakeholders such as government, enterprises, financial institutions and the public. Our study shows that the proposed model can effectively build a multi-stakeholder governance system, synergize government, research institutions, market and social organizations into a unified platform, and solve the new demand of pollution and carbon collaborative reduction.

Keywords: air pollution and carbon dioxide reduction; collaborative governance; noncommand control; digital information systems

政府间气候变化专门委员会 (IPCC) 第六次评估报告第一工作组报告《气候变化 2021: 自然科学基础》指出: 近 50 年全球地表温度的上升速度比过去 2 000 年中任何 50 年都要快。1750 年以来, 温室气体浓度的增加主要是由人类活动造成, 因此通过控制人类活动对减少温室气体排放意义重大。我国正处于工业化由低端向高端加速发展阶段, 尽管工业经济高质量发展会带来碳排放强度的大幅下降, 但以煤为主的能源结构、以重化工为主的产业结构和以公路运输为主的货运交通结构, 决定了未来很长一段时间 CO_2 排放总量仍将保持高位^[1-4]。从全球范围看, 我国 CO_2 现状排放量较高, 因此在减少碳排放方面同时面临巨大的国内挑战和国际压力^[5]。2020 年 9 月习近平在第 75 届联合国大会一般性辩论会上正式宣布中国将力争 2030 年前实现碳达峰、2060 年前实现碳中和, 这标志着我国生态文明建设进入了以降碳为重点战略方向、推动减污降碳协同增效的新阶段。在此之前, 随着我国经济社会的快速发展, 酸雨^[6-7]、细颗粒物 ($\text{PM}_{2.5}$)^[8-9] 及臭氧 (O_3)^[10-11] 等一系列大气污染环境问题也日益凸显。近年来, 我国针对 $\text{PM}_{2.5}$ 污染开展了一系列科技攻关项目, 在现象机理^[12-13]、成因来源^[14-15] 及控制对策^[16-17] 等方面取得积极成效, $\text{PM}_{2.5}$ 污染显著改善, 但环境空气质量改善成效仍不稳固、区域间不平衡, 全国半数及以上城市 $\text{PM}_{2.5}$ 年均浓度仍未达标, 且仍高于世界卫生组织推荐水平和发达国家 $\text{PM}_{2.5}$ 年均浓度; 同时 O_3 污染问题日益凸显, 实现环境空气质量根本好转的“美丽中国”目标仍然面临挑战。

CO_2 和大气污染物多由化石能源燃烧产生^[18], 这种同源性特征决定了二者应协同控制而不是分别对待, 因此减污降碳协同研究是一个极具理论意义和现实价值的课题。目前, 针对该课题的研究主要集中在协同减排效益评估及减污降碳协同治理体系等方面^[19]。国务院发布的《大气污染防治行动计划》提出了大气污染防治十方面的具体措施, 全面吹响了中

“呼吸保卫战”的号角; 在此指引下, 各地政府均加大力度实施了多项大气污染治理措施, 其中部分措施对污染物和 CO_2 减排具有协同作用。贾璐宇等^[20] 梳理《大气污染防治行动计划》政策措施, 运用排放因子法筛选并评估了 11 项政策措施在不同部门、不同省份的 CO_2 减排效果, 得出产业结构调整与布局、锅炉改造治理两项措施的 CO_2 减排效果较为明显。也有研究关注不同污染物对 CO_2 协同减排的影响, 如陆振宇^[21] 选择《大气污染防治行动计划》中对 CO_2 排放量存在明显影响的措施, 利用温室气体-大气污染相互作用和协同模型 (GAINS-China), 模拟全国各省级行政区 2012 年与 2017 年的排放情景, 估算各项措施对 CO_2 排放量的影响, 结果表明, 在主要空气污染物中 $\text{PM}_{2.5}$ 对 CO_2 减排的协同效应最显著, 在主要行业中工业对 CO_2 显示出最高的减排协同效应。吴潇萌^[22] 对我国机动车排放现状和历史趋势开展定量评估, 对未来排放趋势进行多情景预测和减排效益分析, 并对机动车污染物与 CO_2 排放协同减排潜力进行最优化模拟, 在此基础上提出了适用于我国的机动车污染物与 CO_2 协同控制策略。工业生产是大气污染及温室气体排放的重要来源, 然而不同地区工业发展水平存在差异。牛彤^[23] 比较了各省份之间工业大气污染物与 CO_2 协同减排水平的差异, 从而有针对性地提出工业大气污染物与 CO_2 协同减排的对策。

除了提升大气污染物及 CO_2 协同减排效益外, 立法与制度建设也是加强协同治理的重要手段。姜华等^[24] 认为, 我国进入经济社会全面低碳绿色转型的高质量发展新阶段, 顶层设计需按照减污降碳协同增效的总原则制 (修) 订相关法规政策, 完善碳排放与减排相关标准规范和指南, 将减污降碳纳入生态环境相关考核体系, 同时加强污染物减排与碳减排的监管执法。赵洪飞等^[25] 认为, 建立优化高效的工作体系, 是降低政策设计成本、提升环境管理效能、实现减污降碳协同增效的途径。田丹宇等^[26] 从立法、规范建设、制度、体制和机制等方面分析了大气污染物与 CO_2

协同减排制度机制建构的关键,为协同推进大气污染物与碳排放监管奠定了基础.上述研究提供了减污降碳协同效应分析方法,为减污降碳协同治理体系构建提供了思路.

在管理手段方面,过去我国以政府为主导的命令控制型管理手段为主^[27],然而,“十四五”期间我国进入经济社会高质量发展新阶段,保护和发展所触及的矛盾层次更深、领域更广、要求更高,在命令控制型管理手段上继续加大投入,其产生的边际效益将越来越低.因此,亟需充分调动政府之外的企业、科研机构、社会组织、公众等责任主体的积极性,加快数字化、智能化等先进技术和手段运用,实现以全社会多元协同共治为主要特征的环境治理体系现代化和以数字化高效管理为主要特征的环境治理能力现代化.此外,随着社会的发展和国内外形势的变化,统筹协调已经成为加快生态文明体制改革、推动经济社会高质量发展、建设“美丽中国”的内在要求^[28].鉴于此,深入探讨我国 CO₂ 和大气污染物多元协同治理体系构建,对于我国生态文明建设与社会发展具有重要而深远的意义.

1 我国大气污染物及 CO₂ 协同治理现状

我国从“十一五”时期开始逐步对能耗强度、非化石能源占比及大气污染物和温室气体排放提出了控制目标(见表 1),但空气质量管理仍以控制大气污染物为主^[29].对于 CO₂ 排放控制,主要实施以碳排放强度控制为主、碳排放总量控制为辅的管理方式,支持有条件的地方和重点行业、重点企业率先达到碳排放峰值.在部分大气污染重点防控地区,以空气质量管理为目标的防控措施有较强的减污降碳效应.如李慧等^[30]研究发现,对京津冀及周边“2+26”城市空

气质量产生较大影响的因素是产业结构、能耗消耗以及减排政策,显然这些因素也是影响碳排放的主要措施.在 2009 年哥本哈根气候大会上,我国承诺到 2020 年单位 GDP 的 CO₂ 排放比 2005 年下降 40%~45%.为实现这一承诺,我国开始采取多样化的经济激励政策促进温室气体减排^[31-32],包括推行碳排放权交易试点、重点企业节能补贴和发行绿色债券等.然而,这些政策所带来的碳减排效应均不及以大气污染治理和化解过剩产能为目标而形成的减排量.

近年来,大力推行的能源、产业、交通、用地结构调整等措施,虽然是以控制大气污染物排放为主要目的,但其实施对我国碳排放起到了较强的协同减排作用^[33-37].在调整产业结构方面,国家发展和改革委员会于 2018 年印发了《关于推进供给侧结构性改革防范化解煤电产能过剩风险的意见》等文件,实现化解钢铁过剩产能超过 5 500×10⁴ t、煤炭过剩产能 2.5×10⁸ t;2020 年,进一步出台《关于做好 2020 年重点领域化解过剩产能工作的通知》等规定,持续推动系统性去产能、结构性优产能,全面提高行业治理能力.在行业层面,紧抓能源消耗大户,从“十一五”时期起加强对电力部门能源节约和污染减排的综合管控,出台了发展清洁能源、推广热电联产、鼓励加装能源节约装置等措施.在优化能源结构、严控煤炭消费方面,发布了《北方地区冬季清洁取暖规划(2017—2021 年)》等政策,推进煤改电、煤改气和燃煤锅炉节能环保改造等措施;国家能源局发布的《关于做好可再生能源发展“十四五”规划编制工作有关事项的通知》中提出,要因地制宜推进生物质、地热能、太阳能等非电利用方式,显著提升可再生能源在北方地区清洁取暖中的比重.尽管上述能源和产业结构调整等政

表 1 我国“五年规划”中对温室气体和大气污染物的控制指标

Table 1 Control targets for greenhouse gases and air pollutants in the ‘Five-Year Plan’ of China

指标	“十一五”期间 (2006—2010年)	“十二五”期间 (2011—2015年)	“十三五”期间 (2016—2020年)	“十四五”期间 (2021—2025年)
非化石能源在一次能源消耗中占比 ¹⁾ /%	—	11.4	15.0	—
非化石能源在能源消耗总量中占比/%	—	—	—	20.0
单位GDP能耗降低比例 ²⁾ /%	20.0	16.0	15.0	13.5
单位GDP碳排放强度减少比例 ²⁾ /%	—	17.0	18.0	18.0
SO ₂ 排放总量下降比例 ²⁾ /%	10.0	8.0	15.0	—
NO _x 排放总量下降比例 ²⁾ /%	—	10.0	15.0	10.0
地级及以上城市PM _{2.5} 浓度降幅 ³⁾ /%	—	—	18.0	10.0
地级及以上城市空气质量优良天数比例/%	—	—	>80.0	>87.5
重点地区重点行业VOCs排放总量降幅 ²⁾ /%	—	—	10.0	10.0

注: 1) 规划期末完成量. 2) 五年累积量. 3) 针对未达标城市.

策的主要目的是为了解决大气污染问题,但同时也对 CO₂ 减排工作带来极大的推动力。

国家统计局数据显示,2015—2020 年我国能源消费总量和人均能源消费量均呈逐年上升趋势(见图 1),其中,能源消费总量从 2015 年的 43×10^8 t(以标准煤计)增至 2020 年的 49.8×10^8 t(以标准煤计);但万元 GDP 能源消耗、万元 GDP 碳排放均呈逐年下降趋势(见表 2),2019 年之前下降尤其明显,2015—2020 年单位 GDP 能源消耗和单位 GDP 碳排放年分别下降了 4.0% 和 4.4%。由图 2 可见,能源消费结构

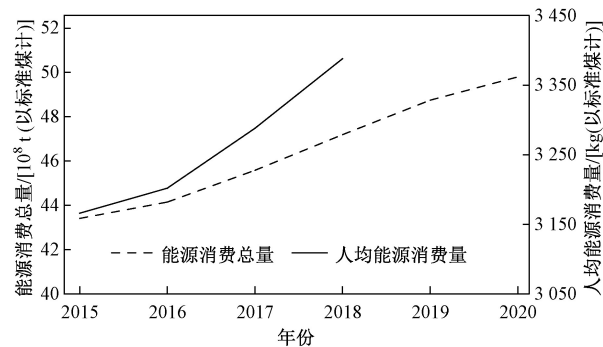


图 1 2015—2020 年全国能源消费情况

Fig.1 Energy consumption in China from 2015 to 2020

表 2 2015—2020 年万元 GDP 能源消耗、
万元 GDP 碳排放下降率

Table 2 Reduction rate of energy consumption and CO₂ emissions per 10⁴ RMB of GDP from 2015 to 2020 %

年份	万元GDP能源消耗下降率	万元GDP碳排放下降率
2015	5.6	—
2016	5.0	—
2017	3.7	5.1
2018	3.1	4.0
2019	2.6	4.1
2020	0.1	1.0

注:数据来源于国家统计局全国年度统计公报。2015 年和 2016 年统计公报中未统计万元 GDP 碳排放下降率。

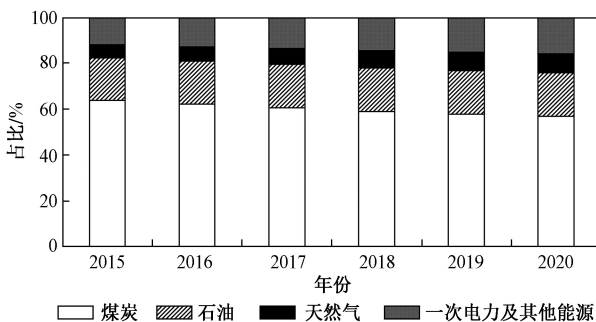


图 2 2015—2020 年全国能源消费结构

Fig.2 Energy consumption structure in China from 2015 to 2020

也出现明显变化,特别是对碳排放影响最大的煤炭,其消费量占能源消费总量的比例由 2015 年的 64.0% 降至 2020 年的 56.8%,降幅达 7.2%,相当于减排 CO₂ 约 9×10^8 t。

2 构建减污降碳协同治理体系必要性及需求

在大气污染防治的政策倒逼下,全国 CO₂ 减排情况总体有所好转,然而碳达峰、碳中和目标的制定为地方碳排放控制提出了更严峻的挑战。减污降碳协同需要实现从以大气污染物控制为主,到大气污染物与 CO₂ 减排并重的转变。有学者对碳达峰与碳中和目标的实现路径进行了探索与分析,通过模型预测等手段分析碳排放的空间集群效应,探究产生碳排放区域差异的影响因素,并指出碳排放交易市场是 CO₂ 减排的核心工具之一,同时还应加强部门和行业的全过程协作共同强化 CO₂ 减排措施^[38-40]。在当前大气污染排放标准逐渐提高的背景下,强化 CO₂ 减排目标极具挑战。以主要排放大户钢铁行业为例,企业进行大气污染物超低排放改造后吨钢成本增加百元^[41],要在此基础上实现 CO₂ 减排目标,资金投入难以为继,投入产出效益不佳,不能满足既减污又降碳的双重需求。因此,亟需发挥社会各方力量,以数字化、信息化平台为主要工具,识别提升治理水平的关键举措,统筹运用命令控制型和非命令控制型手段,探索构建“政府-科研机构-市场-社会组织”四方联动的多元共治的现代化协同治理体系,实现治理方式的转变。

2.1 需注重顶层设计,形成减污降碳协同的联防联控机制

首先,在大气污染治理的政策制定中需要充分考虑减污降碳协同的要求;其次,中国地域辽阔,各地经济发展、污染治理水平不平衡,国内行业产业众多,各行业产业技术应用、污染物排放情况有所不同。这对命令控制型联防联控政策工具的应用灵活度提出了更精准的要求;再次,我国 SO₂、NO_x 及 PM_{2.5} 排放量呈东高西低,CO₂ 排放呈北高南低的态势^[42],因此在制定相关减污降碳顶层策略时,需要结合发达国家大气污染治理经验以及国内实际情况,综合考虑各地的实际需求,协调好大气污染控制和地区经济社会发展目标。此外,在减污降碳协同治理顶层策略制定过程中,如何提高其不同地区的差异化、本地化程度,是策略顶层设计的另一重要需求。

2.2 需加强科技协同创新,形成可落地可反馈的协同治理科技支撑系统

近年来,国家在大气污染防治方面投入了大量的科技资金,并取得了相当瞩目的成效,PM_{2.5} 年平均浓

度显著下降, 公众的蓝天幸福感显著提升^[43-44]. 然而, 不管是污染物(如 $\text{PM}_{2.5}$ 和 O_3) 之间的协同防控, 还是污染物控制与 CO_2 减排的协同治理, 在相关科学研究方面均存在不足之处. 一方面, 当前科技资源配置的协调性不足, 不同阶段、不同科技计划、不同研究项目之间沟通交流较少, 亟需加强国家科技管理体系的协同效应, 在绿色发展模式、环境治理理念、环境科研方法、多技术融合以及体制机制上实现多元创新, 打造精准治污、系统治理的生态环境科技 2.0 时代^[45], 形成资源配置合力; 另一方面, 减污降碳协同理论支撑不足, 对减污降碳协同控制措施及政策等缺乏规范科学的效果评估和费用效益分析. 此外, 协同治理模式需重视科研成果落地, 构建减污降碳协同治理科研成果应用—实践—反馈—提升机制, 让科研成果在实践中得到应用反馈与提升.

2.3 需深化完善碳排放交易市场机制, 拓宽资源环境权益融资覆盖面

碳排放权交易是有效的非命令控制型协同管理机制. 研究^[46]表明, 我国碳排放权交易 (ETS) 可显著降低试点地区的 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度, 其主要作用渠道源自企业减排活动及城市产业结构调整, 尤其当 CO_2 交易量和交易价格较高时, ETS 对 $\text{PM}_{2.5}$ 的协同减排效应更大. 为了更好地发挥碳市场减污降碳协同效应, 首先, 需加大产业和能源结构调整的经济激励力度, 利用发展循环经济、清洁生产和支持低碳或零碳企业等政策; 其次, 需扩大市场经济政策的运用范围, 尽快将钢铁、水泥、化工、电解铝等高耗能行业纳入碳交易市场, 形成主要高排放行业全覆盖的配额交易体系; 再次, 加快构建自愿减排交易市场, 将具有生态、社会等多种效益的林业、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交易市场; 此外, 还需加快发展基于排污权、用能权、碳排放权等各类资源环境权益的融资工具, 建立绿色股票指数, 发展绿色权益期货交易等金融衍生品.

2.4 需加强信息化手段应用, 发挥社会组织纽带作用

减污降碳协同治理是一项综合性极强的系统工程, 需要统筹运用自然科学、社会科学、人文科学、工程技术等专业知识构筑治理体系, 并使政府、科研机构、市场、社会组织等主体多元参与并发挥各自作用. 信息流动是“政府-科研机构-市场-社会组织”这一共治体系良好运作的基础. 当前我国的社会组织和政府之间联动较少, 政府管理政策和措施向公众解读不足, 社会治理工作的公众参与度不足, 导致整体社会服务效能较低, 专业互补性差. 企业在落实减污降

碳要求中承担主体责任, 但由于缺乏必要的大气污染物及碳排放信息, 上游企业无法通过绿色供应链倒逼下游供应商积极减排. 科研机构在开展减污降碳相关研究时亦缺少有效数据支撑, 研究产出和市场实际需求的匹配度不高. 解决上述问题的关键在于加强信息流动, 有效发挥社会组织作用. 社会组织形式多样、机制灵活, 能够从社会各层面充分把握减污降碳的实践特征, 充当共治体系中信息的搜集者、加工者与传播者, 通过信息发布、专业支撑、反馈交流等方式, 加强政府、企业、科研和公众各方合作联动, 发挥好桥梁纽带作用.

3 减污降碳多元共治体系框架构建探索

目前, 我国能源消费结构仍然以化石能源为主^[47], 在此背景下 2030 年前实现碳达峰、2060 年前实现碳中和为我国空气质量管理提出新的挑战^[48]. 中共中央、国务院发布的《关于深入打好污染防治攻坚战的意见》对我国空气质量管理提出了更高的要求, 管理模式需以减污降碳协同为导向, 从单一的命令控制型向“政府-科研机构-市场-社会组织”多方联动模式转变(见图 3).

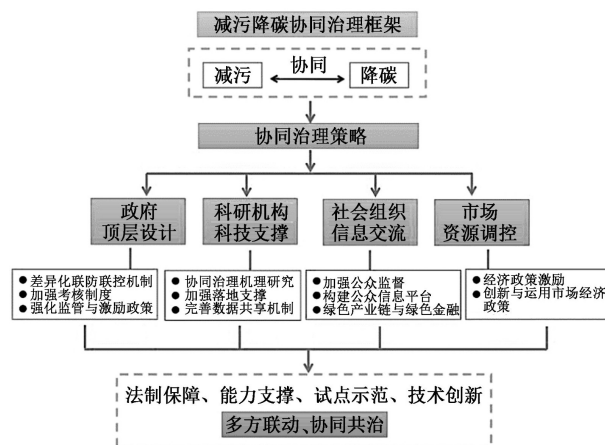


图3 多方联动的减污降碳协同治理体系

Fig.3 Multiple co-governance system of air pollution and carbon dioxide collaborative reduction

3.1 制定差异化的减污减碳协同顶层策略

由于各地区和城市经济发展水平和空气污染程度不同, 应充分考虑各区域不同城市、不同行业的差异化, 因地制宜地制定空气质量达标路线及碳达峰、碳中和路径. 首先, 依据地区发展水平和相互传输影响, 优化联防联控区域划分, 构建差异化联防联控协同治理思路, 将能源与产业结构考虑到联防联控区域划分中, 形成区域能源和产业置换优化, 形成“一区一策”的差异化联防联控协同治理方案; 其次, 完善

协同治理相关执行政策, 确认相关法律法规的可执行度, 尽量明晰每项政策主体及其权责, 以免出现相关部门重叠、职能交叉、权责不明等情况; 再次, 构建统一的生态环境保护与减碳责任考核制度, 包括完善应对气候变化与生态环境保护考核目标责任制, 探索建立能源消耗和碳排放“双控”目标责任考核, 完善项目库资金考核机制等; 此外, 发挥政策工具的多样性与协同性, 强化大气污染与碳排放监管与激励政策, 推进排污许可证与碳排放管控协同; 最后, 需注重市场经济手段和技术手段的协调作用, 引入社会组织和公众参与治理, 发挥其联结多元主体的纽带优势, 提升治理效率和公平。

3.2 强化减污降碳协同治理的科技支撑

强化减污降碳协同治理的科技支撑是贯彻落实好科学治污的基础。首先, 开展学科融合、部门协作的减污降碳协同治理科技研究, 解决减污降碳协同增效措施评估、科技数据及资源共享、研究成果顺利落地等问题^[49-51]; 其次, 强化减污降碳协同相关的经济学模型研究, 探索经济社会代价最小的能源、产业结构调整方式, 对现有管控策略下 CO₂ 及大气污染物的减排潜力与减排成本效益进行分析, 制定协同减排目标, 规划目标实现路线图与时间表; 再次, 构建减污降碳协同的数据共享机制, 制定数据采样、实验室分析等技术规范, 强化全流程数据质量控制, 统一数据提供与获取责权, 打破数据孤岛与壁垒, 整合环境、气象、工业、卫生等多方数据资源, 建立环境科研大数据共享和管理平台, 避免重复研究和观测造成的浪费, 全面提升财政资金使用效益; 最后, 着力解决科研工作与实际脱节的问题, 实现科学研究与服务地方深度融合, 全面提升地方精细化管控能力, 为地方政府排忧解难。

3.3 扩充碳排放交易市场, 强化市场手段减污降碳协同效应

得益于 2011 年以来北京市、天津市、上海市、重庆市、湖北省、广东省以及广东省深圳市持续多年的碳交易试点, 我国在碳排放核算、配额分配、核查、履约清缴等方面积累了宝贵经验, 为全国碳市场的启动奠定了较好的基础^[52-54]。目前, 我国已经建成全球覆盖温室气体排放量规模最大的碳市场。碳交易利用市场的手段对能源和产业结构进行灵活调整, 从而产生减污降碳协同作用, 可在火电行业碳市场运行良好的基础上, 扩大碳市场的覆盖范围, 纳入更多的高排放行业, 逐步丰富交易品种、交易方式和交易主体, 提升市场的活跃度。完善构建碳排放交易的减污降碳

协同体系理论构建, 研究将污染物排放权交易、用能权交易、绿色电力交易等纳入统一的交易体系, 使资源环境权益交易市场成为减污降碳协同的另一有效手段。

3.4 支持社会组织开发减污降碳协同信息化平台, 构建第三方环境信用体系

广泛和深入的社会参与, 需要建立在数据公开的基础上。社会组织能发挥纽带作用, 利用数字化信息系统, 将官方发布的大量分散的环境信息聚合到环境大数据平台, 及时协助企业获取所需的环境信息, 并与政府、金融机构、采购方、公众等关键的利益方形成有效沟通和良性互动。公众环境研究中心 (IPE) 依托全国重点污染源在线监测数据和企业自行填报的碳排放数据, 开发了基于移动终端的“蔚蓝地图”APP, 汇总了包括主要大气污染物和 CO₂ 排放在内的 220 多亿条数据信息, 方便公众对环境的监督。涉及供应链管理的生产企业可通过社会组织信息化平台第一时间获取环境和碳排放风险预警提示。对于环境信用受损的企业, 只要其愿意主动整改并及时动态公开整改情况, 社会组织可协助企业对其环境信用进行相应修复。通过信息互补与科研机构联合构建数据共享平台, 企业还可设定企业减排目标、识别减排路径, 乃至政策和管理建设机制, 极大地提升了政府监管效率, 降低了企业环境守法成本。

4 结论

a) 大气污染物和 CO₂ 排放同根同源, 治理过程具有很强的协同效应。面对经济社会高质量发展、空气质量改善与碳达峰、碳中和的多目标需求, 仅依靠实施以大气污染物控制为主的措施将不足以满足实现减污降碳协同目标。在我国生态文明建设进入以降碳为重点战略方向、减污降碳协同增效的新阶段, 以数字化、信息化平台为手段, 识别提升治理水平的关键举措, 综合运用命令控制型和非命令控制型手段, 探索构建多元共治的现代化协同治理方案, 实现治理方式的转型, 对大气污染物与 CO₂ 协同减排具有重要意义。

b) 通过已有的大气污染控制政策措施, 我国减污降碳协同治理取得初步成效, 然而还存以下几个方面的需求: ①需注重顶层设计, 形成减污降碳协同的联防联控机制; ②需加强科技协同创新, 形成可落地、可反馈的协同治理科技支撑系统; ③需深化完善碳排放交易市场机制, 拓宽资源环境权益交易市场覆盖面; ④需加强信息化手段应用, 发挥社会组织纽带作用。

c) 为了充分调动各界力量, 发挥各方所长, 治理

思路需从以政府为主的单一命令控制型向“政府-科研机构-市场-社会组织”多方联动模式转变,构建减污降碳协同增效的多元共治体系,主要包括如下几个方面:①在顶层设计中实现因地制宜地制定不同地域不同行业的减污降碳政策;②在科学研究中解决减污降碳治理过程中的目标协同、数据共享、成果落地等难题;③在碳排放交易市场上完善机制,将排污权、用能权等交易项目纳入统一体系,更好发挥环境权益交易市场的减污降碳协同作用;④强化社会组织的信息化数据平台作用,利用数字化信息系统构建第三方环境信用体系,促进政府、企业、金融机构和公众等关键利益方有效沟通和良性互动。

参考文献 (References):

- [1] ZHENG H Y, SONG M L, SHEN Z Y. The evolution of renewable energy and its impact on carbon reduction in China [J]. *Energy*, 2021, 237: 121639.
- [2] LONG X L, NAMINSE E Y, DU J G, et al. Nonrenewable energy, renewable energy, carbon dioxide emissions and economic growth in China from 1952 to 2012 [J]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2015, 52: 680-688.
- [3] OKWANYA I, ALHASSAN A, MIGAP J P, et al. Evaluating renewable energy choices among rural communities in Nigeria: an insight for energy policy [J]. *International Journal of Energy Sector Management*, 2021, 15(1): 157-172.
- [4] SONG M L, ZHAO X, SHANG Y P. The impact of low-carbon city construction on ecological efficiency: empirical evidence from quasi-natural experiments [J]. *Resources, Conservation and Recycling*, 2020, 157: 104777.
- [5] ZHAO X, SHANG Y P, SONG M L. Industrial structure distortion and urban ecological efficiency from the perspective of green entrepreneurial ecosystems [J]. *Socio-Economic Planning Sciences*, 2020, 72: 100757.
- [6] LI Y F, WANG Y Q, ZHANG W Q. Impact of simulated acid rain on the composition of soil microbial communities and soil respiration in typical subtropical forests in southwest China [J]. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2021, 215: 112152.
- [7] LIU Z Q, WEI H, ZHANG J E, et al. Seasonality regulates the effects of acid rain on microbial community in a subtropical agricultural soil of southern China [J]. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2021, 224: 112681.
- [8] ZHANG L K, YANG G F, LI X N. Mining sequential patterns of PM_{2.5} pollution between 338 cities in China [J]. *Journal of Environmental Management*, 2020, 262: 110341.
- [9] CHANG Z, DENG C H, LONG F J, et al. High-speed rail, firm agglomeration, and PM_{2.5}: evidence from China [J]. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 2021, 96: 102886.
- [10] XIE Y T, CHENG C L, WANG Z H, et al. Exploration of O₃-precursor relationship and observation-oriented O₃ control strategies in a non-provincial capital city, southwestern China [J]. *Science of the Total Environment*, 2021, 800: 149422.
- [11] CAO J C, WANG X M, ZHAO H, et al. Evaluating the effects of ground-level O₃ on rice yield and economic losses in southern China [J]. *Environmental Pollution*, 2020, 267: 115694.
- [12] LUO L, ZHU R G, SONG C B, et al. Changes in nitrate accumulation mechanisms as PM_{2.5} levels increase on the North China Plain: a perspective from the dual isotopic compositions of nitrate [J]. *Chemosphere*, 2021, 263: 127915.
- [13] WANG S S, YU R L, SHEN H Z, et al. Chemical characteristics, sources, and formation mechanisms of PM_{2.5} before and during the Spring Festival in a coastal city in southeast China [J]. *Environmental Pollution*, 2019, 251: 442-452.
- [14] CHENG M T, TANG G Q, LV B, et al. Source apportionment of PM_{2.5} and visibility in Jinan, China [J]. *Journal of Environmental Sciences*, 2021, 102: 207-215.
- [15] JIANG H M, GENG X F, CHENG Z N, et al. Source apportionment of PM_{2.5} carbonaceous aerosols during a long-lasting winter haze episode in Xiangyang, Central China [J]. *Atmospheric Pollution Research*, 2021, 12(2): 470-479.
- [16] XIAO Q Y, GENG G N, LIANG F C, et al. Changes in spatial patterns of PM_{2.5} pollution in China 2000-2018: impact of clean air policies [J]. *Environment International*, 2020, 141: 105776.
- [17] SHI W, BI J, LIU R Y, et al. Decrease in the chronic health effects from PM_{2.5} during the '13th Five-Year Plan' in China: impacts of air pollution control policies [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2021, 317: 128433.
- [18] SWART R, AMANN M, RAES F, et al. A good climate for clean air: linkages between climate change and air pollution: an editorial essay [J]. *Climatic Change*, 2004, 66(3): 263-269.
- [19] 郑佳佳, 孙星, 张牧吟, 等. 温室气体减排与大气污染控制的协同效应: 国内外研究综述 [J]. *生态经济*, 2015, 31(11): 133-137.
- [19] ZHENG J J, SUN X, ZHANG M Y, et al. Review of researches on the synergistic effect of GHGs mitigation and air pollution control at home and abroad [J]. *Ecological Economy*, 2015, 31(11): 133-137.
- [20] 贾璐宇, 王艳华, 王克, 等. 大气污染防治措施二氧化碳协同减排效果评估 [J]. *环境保护科学*, 2020, 46(6): 19-26.
- [20] JIA L Y, WANG Y H, WANG K, et al. Evaluation of carbon dioxide coordination emission reduction based on national air pollution control plan [J]. *Environmental Protection Science*, 2020, 46(6): 19-26.
- [21] 陆振宇. 大气污染防治措施对二氧化碳减排协同效应的贡献分析 [D]. 南京: 南京信息工程大学, 2019.
- [22] 吴潇萌. 中国道路机动车空气污染物与CO₂排放协同控制策略研究 [D]. 北京: 清华大学, 2016.
- [23] 牛彤. 中国工业大气污染物和二氧化碳协同减排研究 [D]. 太原: 太原理工大学, 2019.
- [24] 姜华, 高健, 阳平坚. 推动减污降碳协同增效 建设人与自然和谐共生的“美丽中国” [J]. *环境保护*, 2021, 49(16): 15-17.
- [24] JIANG H, GAO J, YANG P J. Promote co-control of air pollutants

- and GHGs to build a beautiful china with harmonious coexistence between human and nature[J].*Environmental Protection*,2021,49(16):15-17.
- [25] 赵洪飞,邹世英,杜蕴慧,等.将温室气体纳入排污许可管理的分析研究[J].*环境影响评价*,2021,43(5):15-17,26.
- ZHAO H F,ZOU S Y,DU Y H,et al.Analysis and research on incorporating greenhouse gases into pollutant discharge permit for coordinated control[J].*Environmental Impact Assessment*,2021,43(5):15-17,26.
- [26] 田丹宇,常纪文.大气污染物与二氧化碳协同减排制度机制的建构[J].*法学杂志*,2021,42(4):101-107.
- TIAN D Y,CHANG J W.Construction on collaborative emission reduction of air pollutants and carbon dioxide[J].*Law Science Magazine*,2021,42(4):101-107.
- [27] 臧家宁.异质性环境政策工具的环境治理效应研究[D].北京:中国科学技术大学,2021.
- [28] 李海生,陈胜,吴丰城,等.协同创新科技助力打赢蓝天保卫战[J].*环境保护*,2021,49(7):8-11.
- LI H S,CHEN S,WU F C,et al.Collaborative innovations and technological boost to beat air pollution[J].*Environmental Protection*,2021,49(7):8-11.
- [29] 柴发合.我国大气污染治理历程回顾与展望[J].*环境与可持续发展*,2020,45(3):5-15.
- CHAI F H.Review and prospect on the atmospheric pollution control in China[J].*Environment and Sustainable Development*,2020,45(3):5-15.
- [30] 李慧,王淑兰,张文杰,等.京津冀及周边地区“2+26”城市空气质量特征及其影响因素[J].*环境科学研究*,2021,34(1):172-184.
- LI H,WANG S L,ZHANG W J,et al.Characteristics and influencing factors of urban air quality in Beijing-Tianjin-Hebei and its surrounding areas (‘2+26’ cities)[J].*Research of Environmental Sciences*,2021,34(1):172-184.
- [31] 张希良,张达,余润心.中国特色全国碳市场设计理论与实践[J].*管理世界*,2021,37(8):80-95.
- ZHANG X L,ZHANG D,YU R X.Theory and practice of China's national carbon emissions trading system[J].*Journal of Management World*,2021,37(8):80-95.
- [32] 李少林,杨文彤.碳达峰、碳中和理论研究新进展与推进路径探索[J].*东北财经大学学报*,2021.<https://kns.cnki.net/kcms/detail/21.1414.F.20210824.1431.002.html>.
- LI S L,YANG W T.New Advances in carbon peak and carbon neutral theory research and exploration of promotion paths[J].*Journal of Dongbei University of Finance and Economics*,2021.<https://kns.cnki.net/kcms/detail/21.1414.F.20210824.1431.002.html>.
- [33] LU Z Y,HUANG L,LIU J,et al.Carbon dioxide mitigation co-benefit analysis of energy-related measures in the Air Pollution Prevention and Control Action Plan in the Jing-Jin-Ji Region of China[J].*Resources,Conservation & Recycling*,2019.doi:10.1016/j.rcrx.2019.100006.
- [34] 谢元博,李巍.基于能源消费情景模拟的北京市主要大气污染物和温室气体协同减排研究[J].*环境科学*,2013,34(5):2057-2064.
- XIE Y B,LI W.Synergistic emission reduction of chief air pollutants and greenhouse gases based on scenario simulations of energy consumptions in Beijing[J].*Environmental Science*,2013,34(5):2057-2064.
- [35] 薛婕,罗宏,吕连宏,等.中国主要大气污染物和温室气体的排放特征与关联性[J].*资源科学*,2012,34(8):1452-1460.
- XUE J,LUO H,LV L H,et al.Emission characteristics and correlation of main air pollutant and greenhouse gas in China[J].*Resources Science*,2012,34(8):1452-1460.
- [36] 程晓梅,刘永红,陈泳钊,等.珠江三角洲机动车排放控制措施协同效应分析[J].*中国环境科学*,2014,34(6):1599-1606.
- CHENG X M,LIU Y H,CHEN Y Z,et al.A comparative co-benefit analysis of the implements of vehicle emissions control policy in Pearl River Delta[J].*China Environmental Science*,2014,34(6):1599-1606.
- [37] 毛显强,曾桢,胡涛,等.技术减排措施协同控制效应评价研究[J].*中国人口·资源与环境*,2011,21(12):1-7.
- MAO X Q,ZENG A,HU T,et al.Study of coordinate control effect assessment of technological measures for emissions reduction[J].*China Population,Resources and Environment*,2011,21(12):1-7.
- [38] 王深,吕连宏,张保留,等.基于多目标模型的中国低成本碳达峰、碳中和路径[J].*环境科学研究*,2021,34(9):2044-2055.
- WANG S,LV L H,ZHANG B L,et al.Multi objective programming model of low-cost path for China's peaking carbon dioxide emissions and carbon neutrality[J].*Research of Environmental Sciences*,2021,34(9):2044-2055.
- [39] 江志高.基于不同情景的莆田市碳排放峰值测算研究[J].*环境科学与管理*,2021,46(6):29-33.
- JIANG Z G.Calculation of peak carbon emission in Putian City based on different scenarios[J].*Environmental Science and Management*,2021,46(6):29-33.
- [40] 范德成,张修凡.基于PSO-BP神经网络模型的中国碳排放情景预测及低碳发展路径研究[J].*中外能源*,2021,26(8):11-19.
- FAN D C,ZHANG X F.Scenario prediction of China's carbon emissions based on PSO-BP neural network model and research on low carbon development path[J].*Sino-Global Energy*,2021,26(8):11-19.
- [41] 央广网.五部委联合出手:黑色系产业变“绿色”!钢铁行业迎来“大变局”[EB/OL].北京:央广网,(2019-06-08)[2022-02-07].<https://baijiahao.baidu.com/s?id=1635762295683435999&wfr=spider&for=pc>.
- [42] 王涵,李慧,王涵,等.我国减污降碳与地区经济发展水平差异研究[J].*环境工程技术学报*,2021.doi:<https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.5972.X.20211110.1838.004.html>.
- WANG H,LI H,WANG H.The difference research between ‘air pollution and carbon dioxide reduction’ and regional economic development level in China[J].*Journal of Environmental Engineering Technology*,2021.doi:<https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.5972.X.20211110.1838.004.html>.
- [43] 刘仪梅.京津冀及周边地区大气污染防治成效研究[D].天津:南

- 开大学,2019.
- [44] 侯林莉.“2+26”城市大气污染防治政策效果评估:基于四省的实证分析[D].太原:山西财经大学,2021.
- [45] 李海生,李鸣晓,邹天森,等.持续创新,打造我国生态环境科技2.0[J].环境科学研究,2021,34(9):2035-2043.
- LI H S,LI M X,ZOU T X,et al.Continuing innovation,creating a 2.0 era of the eco-environmental technology in China[J].Research of Environmental Sciences,2021,34(9):2035-2043.
- [46] LIU J Y,WOODWARD R T,ZHANG Y J.Has carbon emissions trading reduced $PM_{2.5}$ in China?[J].Environmental Science & Technology,2021,55(10):6631-6643.
- [47] ZHAO L T,LIU Z T,CHENG L.How will China's coal industry develop in the future? a quantitative analysis with policy implications[J].Energy,2021,235:121406.
- [48] ZHAO X,MA X W,CHEN B Y,et al.Challenges toward carbon neutrality in China: strategies and countermeasures[J].Resources, Conservation and Recycling,2022,176:105959.
- [49] 孙彩萍,王维,何立环,等.大气环境科学综合数据采集共享平台建设及应用研究[J].环境科学研究,2021,34(1):202-212.
- SUN C P,WANG W,HE L H,et al.Construction and application of comprehensive data collection and sharing platform for atmospheric environmental science[J].Research of Environmental Sciences,2021,34(1):202-212.
- [50] 孙彩萍,王维.美国FEA框架和数据中台技术在大气环境数据资源共享中的应用[J].环境工程技术学报,2020,10(6):951-956.
- SUN C P,WANG W.Federal Enterprise Architecture Framework and data middle platform technology and its application in sharing of atmospheric environment data resources[J].Journal of Environmental Engineering Technology,2020,10(6):951-956.
- [51] 王琼,黄嫣旻,易敏,等.用户视角下的大气环境监测数据共享网站绩效评估[J].环境与可持续发展,2019,44(6):140-144.
- WANG Q,HUANG Y M,YI M,et al.Performance evaluation of websites shared atmospheric environment monitoring data in the view of users[J].Environment and Sustainable Development,2019,44(6):140-144.
- [52] 宋德勇,朱文博,王班班.中国碳交易试点覆盖企业的微观实证:碳排放权交易、配额分配方法与企业绿色创新[J].中国人口·资源与环境,2021,31(1):37-47.
- SONG D Y,ZHU W B,WANG B B.Micro-empirical evidence based on China's carbon trading companies: carbon emissions trading, quota allocation methods and corporate green innovation[J].China Population,Resources and Environment,2021,31(1):37-47.
- [53] TAN R P,LIN B Q.The long term effects of carbon trading markets in China: evidence from energy intensive industries[J].Science of the Total Environment,2022,806:150311.
- [54] CHEN Z,SONG P,WANG B L.Carbon emissions trading scheme, energy efficiency and rebound effect: evidence from China's provincial data[J].Energy Policy,2021,157:112507.

(责任编辑: 刘 方)