

减污降碳协同增效的关键路径与政策研究

郑逸璇¹, 宋晓晖², 周佳³, 许艳玲¹, 林民松⁴, 牟雪洁⁵, 薛文博¹, 陈潇君², 蔡博峰², 雷宇^{1,2}, 严刚^{1,2*}

(1. 生态环境部环境规划院空气质量模拟与系统分析中心, 北京 100012; 2. 生态环境部环境规划院碳达峰碳中和研究中心, 北京 100012; 3. 生态环境部环境规划院生态环境管理与政策研究所, 北京 100012; 4. 生态环境部环境规划院生态环境投资与产业综合研究所, 北京 100012; 5. 生态环境部环境规划院生态保护修复规划研究所, 北京 100012)

【摘要】 全面推动实现减污降碳协同增效是新发展阶段我国兑现碳达峰碳中和庄严承诺、深入打好污染防治攻坚战、建设美丽中国的必然要求。环境污染物与二氧化碳排放的高度同源性是实现减污降碳协同增效的理论基础。本文首先就目标指标、管控区域、控制对象、措施任务、政策工具五个方面的协同性系统讨论了减污降碳协同增效的基本内涵。其次, 着眼于当前大气环境治理与碳减排在中国的重要性, 本文在国家层面讨论了二者的中长期协同控制路线图, 阐述了重点协同区域的识别方法和重点部门的协同治理思路, 系统提出了大气环境治理与碳减排的协同路径。再次, 本文还就“无废城市”建设和生态保护这两个领域与碳减排的协同治理思路展开分析讨论。最后, 针对减污降碳协同治理对政策体系的需求, 提出了统筹优化减污降碳协同目标、建立协同法规标准、建立减污降碳协同管理制度三个方面的建议。本研究将有助于厘清各方对减污降碳协同增效的认识, 对各级政府后续推进减污降碳协同治理工作提供理论和科学基础。

【关键词】 减污降碳协同增效; 环境污染; 二氧化碳排放

【中图分类号】 X321; X322

【文献标识码】 A

【文章编号】 1674-6252 (2021) 05-0045-07

【DOI】 10.16868/j.cnki.1674-6252.2021.05.045

引言

良好生态环境是最普惠的民生福祉, 积极应对气候变化事关中华民族永续发展和构建人类命运共同体。我国正处于深入打好污染防治攻坚战、持续改善环境质量、建设美丽中国的关键时期^[1]; 同时也处于积极部署谋划实现 2030 年前碳达峰目标和 2060 年前碳中和愿景的开局阶段。面对环境污染与温室气体排放这两个同根同源的问题, 党中央已明确要把碳达峰碳中和纳入生态文明建设整体布局^[2], 并将协同推进减污降碳写入国民经济和社会发展“十四五”规划^[1], 在多个重要场合反复重申、强调。

推动实现减污降碳协同增效, 是贯彻落实习近平生态文明思想的重要举措, 是兑现碳达峰碳中和庄严承诺的重大牵引, 是深入打好污染防治攻坚战建设美丽中国的关键路径, 是促进经济社会发展全面绿色转型的总抓手, 是建设人与自然和谐共生现代化的必然要求。全面、完整、准确贯彻新发展理念, 积极开展减污降碳协同治理实践, 完善理论体系, 将进一步丰富习近平生态文明思想内涵。为贯彻党中央决策部

署, 生态环境部发布了《关于统筹和加强应对气候变化与生态环境保护相关工作的指导意见》^[3], 在主管部门层面统筹推动相关工作协同开展。

实现美丽中国目标, 面临着大气污染物浓度整体仍处于高位、水污染治理在不同尺度仍有巨大挑战、土壤污染风险管控压力仍较大等问题^[4]。实现碳达峰目标和碳中和愿景面临时间紧、任务重、结构性问题突出的形势, 同时面临经济社会发展导致刚性需求增长强劲的压力^[5]。化石能源消费、工业生产、交通运输、居民生活等均是环境污染物与温室气体排放的主要来源^[6]。我国当前以煤为主的能源结构、以重化工为主的产业结构、以公路为主的运输结构是实现美丽中国目标以及碳达峰碳中和目标的共同挑战^[7]。面对环境质量改善与温室气体减排的双重压力与迫切需求, 亟待推进落实减污与降碳工作。考虑到环境污染物与温室气体同根同源, 减污与降碳在管控思路、管理手段、任务措施等方面高度一致, 可统筹谋划、一体推进、协同实施, 实现降本增效。另外, 现有减污制度体系可作为实现降碳目标落地的重要载体, 降碳措施可作为实现长效源头减污的关键牵引, 推动减污

资助项目: 国家自然科学基金面上项目“基于排放情景—空气质量模型的中国城市‘双达’评估方法研究”(72074154)。

作者简介: 郑逸璇(1992—), 男, 博士, 主要从事大气环境与碳排放协同管理方面研究, E-mail: zhengyx@caep.org.cn。

*** 责任作者:** 严刚(1976—), 男, 博士, 副院长/研究员, 主要从事大气环境与碳排放协同管理方面研究, E-mail: yangang@caep.org.cn。

与降碳合力，可提高资源调配能力、强化工作落实力度，实现提质增效。综上，面对当前形势，我国既应当协同推进减污降碳工作，也具备条件通过合理统筹谋划实现协同增效。

对减污降碳协同增效开展研究，识别关键路径及主要政策需求，是实现将其作为促进经济社会发展全面绿色转型总抓手的重要理论和科学基础。当前针对减污降碳协同增效这一新原则、新思路、新举措的研究仍较为缺乏，尚无对其基本内涵的系统梳理和讨论，对重点领域协同路径的系统分析和主要协同要点的梳理也较为匮乏。基于此，本文首先梳理并提出了减污降碳协同增效的基本内涵；之后对大气环境治理、“无废城市”建设、生态保护这三个领域与碳减排的协同路径与思路展开讨论，立足各领域特点，分析各自协同要点和协同治理思路；最后探讨了减污降碳协同治理对政策体系的需求，立足当前政策制度，从统筹优化减污降碳协同目标、建立协同法规标准、建立减污降碳协同管理制度三个方面提出了政策措施建议。研究将对后续推进减污降碳协同治理工作提供理论和科学基础。

1 减污降碳协同增效的基本内涵

人为活动是导致环境污染与温室气体排放的根源。如图1所示，能源消费、工业生产、居民生活、交通运输等均会产生或排放包括大气污染物、固体废物、水污染物等在内的各类环境污染物以及以CO₂为主的温室气体。来源相同意味着减污和降碳不是两个孤立问题，而是一个问题的两个方面，二者联系密切。通过在目标指标、管控区域、控制对象、措施任务、政策工具五个方面的协同，可以推动减污与降碳并举，实现提质增效。

在目标指标方面，实现美丽中国目标和碳达峰碳中和目标愿景均是落实习近平生态文明思想，贯彻新发展理念，推动高质量发展的重要举措。从根本目标来看，减污与降碳都是为了在不影响生态系统平衡和不降低生态环境质量的情况下，高质量推动社会经济绿色发展，最终实现民生福祉全面提升^[8-11]。减污和降碳是一体两面的任务，要把减污和降碳的目标指标有机统一。在时间维度上，减污直接响应了人民群众当下对环境质

量改善的热切期盼，降碳将筑牢中华民族永续发展和构建人类命运共同体伟大事业的根基。从当前至2030年前实现碳达峰，应做到减污与降碳两个目标协同推进，互相支撑；碳达峰后至实现碳中和目标阶段，可将降碳作为从根本上改善环境质量的总体牵引^[12,13]。

在管控区域方面，由于人为活动是环境污染物与温室气体排放的共同根源，所以我国的环境污染水平与碳排放的空间分布上具有高度一致性。经济发达、人口稠密、能源消费量大的区域往往是环境质量较差同时碳排放量巨大的区域^[14]。这些地区兼具高污染水平和高人口密度的情况，通常会对人群造成相对更高的环境风险^[15]。因此，从实现宏观目标的角度而言，在重点区域推动协同控制，不但对于改善全国整体生态环境质量以及降低碳排放量具有显著意义，同时也将对保护人群健康，提升全体国民福祉产生更高的效益，取得事半功倍的效果，实现协同增效。

在控制对象方面，能源消费、工业生产、居民生活、交通运输等均是环境污染物及温室气体的重要来源^[6]。各部门能源结构、能源消费方式、生产工艺、污染控制技术路径等均存在明显差别，导致主要污染物种类、污染物排放强度和排放量、碳排放强度和排放量也差异显著。在推进协同治理过程中，应重点关注污染物排放和碳排放“双高”的重点部门和行业，采取结构调整等源头治理措施，实现协同减排增效。

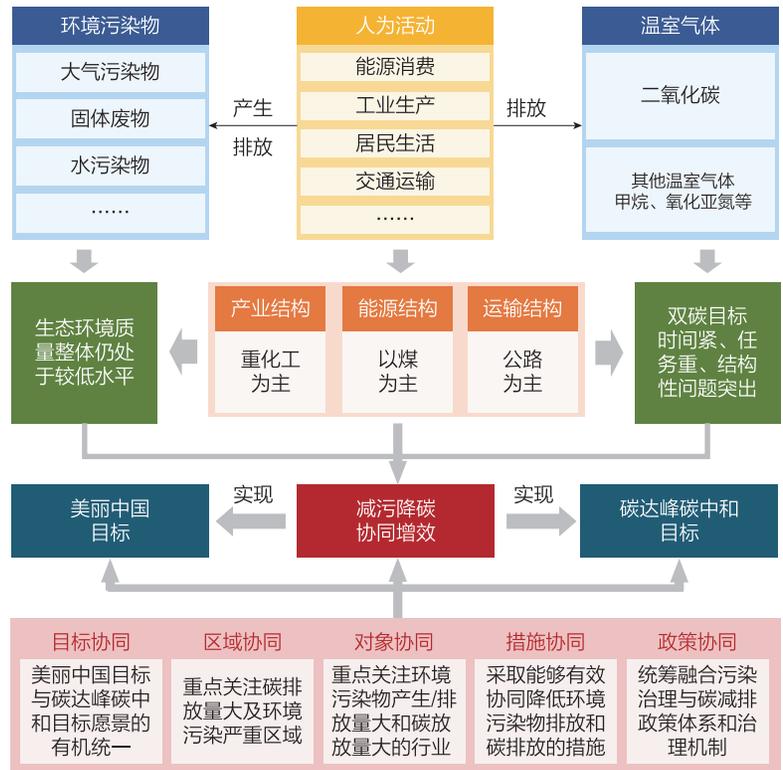


图1 减污降碳协同增效的基本内涵

同时，考虑到不同部门/行业碳排放进入大气后呈均一性，碳排放环境影响一致，因此从协同增效的角度来看，应更关注环境质量改善需求，识别降碳环境边际效益较大的部门和行业作为协同控制重点（图2）。

在措施任务方面，将环境污染物与温室气体的共同来源作为协同控制的重要落脚点，推动落实可协同减污降碳的控制措施；特别地，应以推进节能降耗、开发可再生能源、优化产业结构、发展循环经济、推动形成绿色生产生活方式等根本性、源头性、结构性措施作为主要抓手，实现减污与降碳源头减排相协同。同时，应将碳排放指标纳入污染治理技术的评价体系，在确定大气、固体废物等污染治理技术时，要同步考虑治理技术的协同控碳效果，优化选择治污技术路线，避免片面追求治污效果而导致大量碳排放，增强污染治理与碳排放控制的协调性。

在政策工具方面，需要强化顶层设计，以全局性、系统化的视角统筹谋划战略规划、政策法规、制度体系等，打通环境污染治理和气候变化应对的相关体制机制，建立减污降碳协同政策体系。多年的污染防治攻坚战使我国在减污方面已建立了较为完善的制度和政策体系，宜在现有减污政策体系中强化统筹气候变化应对相关工作要求，以减污制度体系作为实现降碳目标落地的重要载体，同时作为构建减污降碳协同政策体系的基础。

2 减污降碳协同增效的关键路径识别

2.1 大气环境治理与碳减排的协同路径与思路

我国大气污染与 CO₂ 排放同根同源，具备协同治

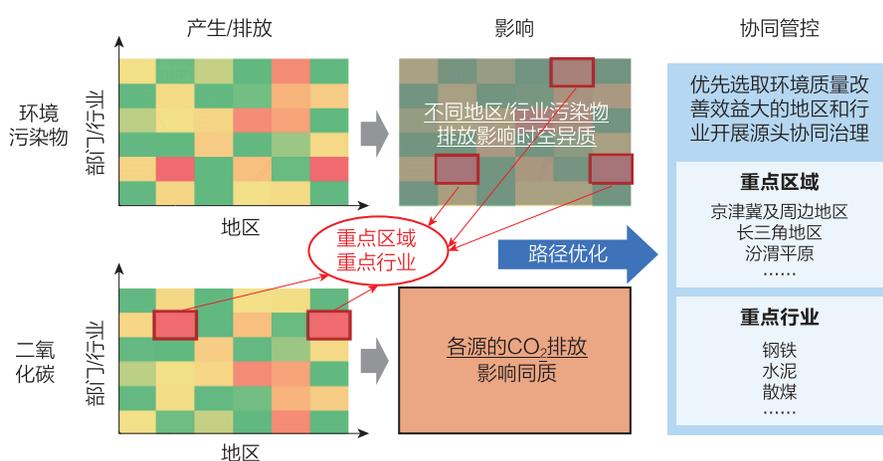


图2 以环境质量改善目标优化协同管控思路示意

注：图中网格颜色仅示意排放量及影响水平大小差异，不指代具体数值；由绿到红表示排放及环境影响水平逐渐增大

理的巨大潜力。从中长期来看，应科学研判不同历史时期减污与降碳的主要驱动力，系统谋划协同减排路径。从区域层面来看，应着重关注大气污染严重的地区，这些地区通常也是碳排放量大的区域。从行业和部门层面来看，重化工业、交通运输、民用等均是大气污染物和 CO₂ 排放的主要来源，应作为协同治理的重点予以关注。此外，推动城市空气质量达标和碳排放达峰“双达”试点示范，探索典型城市实现“双达”的主要路径、关键措施、政策机制，也是有益尝试。

2.1.1 中长期协同路线图

已有研究表明^[12, 13, 16]，碳达峰碳中和目标愿景对驱动空气质量改善有巨大贡献。如图3所示，在碳达峰碳中和目标的驱动下，全国 PM_{2.5} 年均浓度和 O₃ 浓度年评价值（日最大8小时浓度均值的第90百分位数）有望在2060年左右达到世界卫生组织2005版空气质量准则值（PM_{2.5} 年均浓度小于 10 μg/m³，O₃ 日最大8小时浓度均值小于 100 μg/m³），届时降碳对减污（PM_{2.5}）的累计贡献将超过80%^[12]。

在2030年实现碳达峰目标之前，需要坚持以美丽中国目标和碳达峰目标为双牵引，持续强化大气污染治理措施，特别是挥发性有机物（VOCs）排放相关的源头替代等措施，实现 PM_{2.5} 和 O₃ 污染协同控制以及与碳减排的协同；这一阶段，减污目标将推动中国获得额外的降碳收益^[16]。2035年以后，随着大气污染物末端治理技术进一步减排的潜力逐步收窄，根本性的结构调整等降碳措施将成为 CO₂ 与大气污染物协同减排的核心牵引，降碳措施将主导减污的进程^[12, 17]。

2.1.2 重点协同区域识别

大气污染物与 CO₂ 排放具有高度同源性，空间聚集性强。目前影响我国环境空气质量的 NO_x、PM_{2.5}、VOCs 等大气污染物的排放与 CO₂ 排放均主要集中在京津冀及周边地区、长三角、汾渭平原、成渝地区等经济发达、人口稠密的城市群。基于清华大学中国多尺度污染物排放清单模型（MEIC）^[6, 18] 网格数据分析表明：2017年，全国 CO₂ 排放量排名前5%的网格（空间分

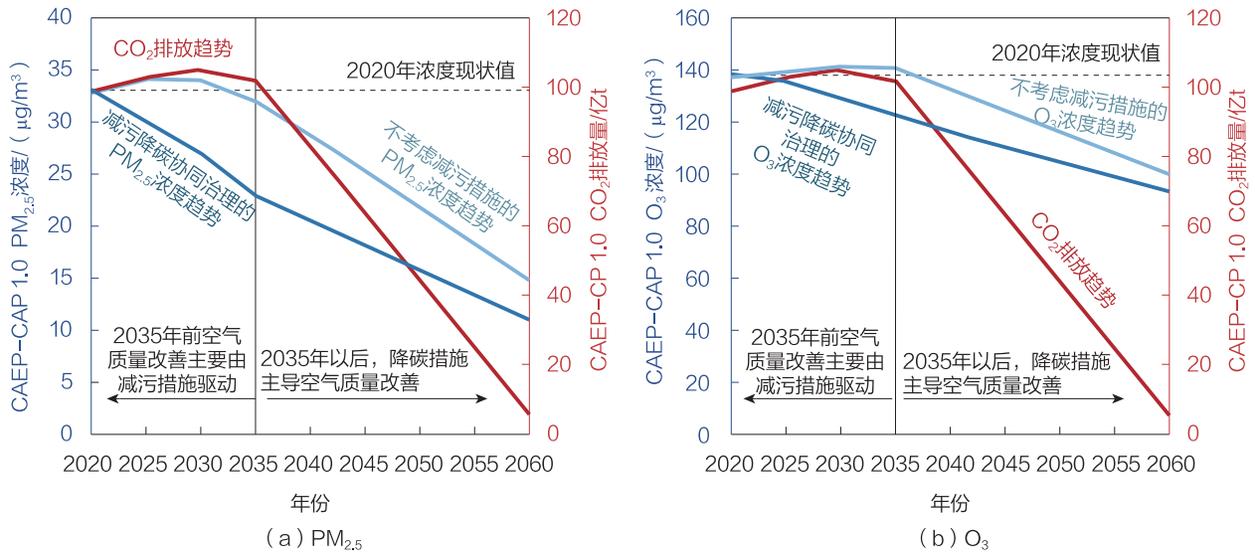


图3 大气环境质量减污降碳协同治理中长期路线示意

注：PM_{2.5}浓度为年均值，O₃浓度为O₃日最大8小时全年浓度第90百分位数全国均值；数据来源于生态环境部环境规划院研究成果^[12]

辨率为0.25°的网格)合计贡献了全国CO₂排放总量的68%、NO_x排放的60%、一次PM_{2.5}排放的46%和VOCs排放的57%。大气污染物排放与CO₂排放在空间上均表现出集聚效应，且二者热点网格呈现高度一致性，这些热点地区主要分布在省会(自治区首府)等大中城市以及重点城市群。与污染物排放相似，中国的PM_{2.5}污染和O₃污染也呈现明显的区域性特征，且大气重污染区域与CO₂排放重点区域高度重叠。鉴于此，应聚焦重点地区和热点网格，根据大气环境污染程度与温室气体排放强度筛选“双高”热点区域及网格，重点推动热点区域能源结构调整和产业布局优化，采取针对性措施，实现大气环境质量和温室气体排放控制协同向好；同时应充分考虑污染的空间异质性(如图2所示)，以大气环境质量为约束谋划碳减排的差异化空间管控方案，全国统筹优化产业、能源转型空间布局，重点降碳任务措施指标向大气污染防治重点区域倾斜，强化实施力度。

2.1.3 重点部门协同治理思路

图4为2017年主要大气污染物和CO₂排放部门构成。工业是对污染物和CO₂排放贡献均最大的部门，其NO_x、一次PM_{2.5}、VOCs、CO₂排放量占全国比重分别达42%、46%、67%、42%。电力部门得益于持续污染治理，对污染物排放贡献逐渐降低^[6]，但CO₂排放贡献仍高达40%以上。此外，民用部门和交通部门也同样对大气污染物和碳排放均有重要贡献。整体而言，在识别重点管控对象时，应聚焦大气污染物排放量大的高碳行业(图2)。

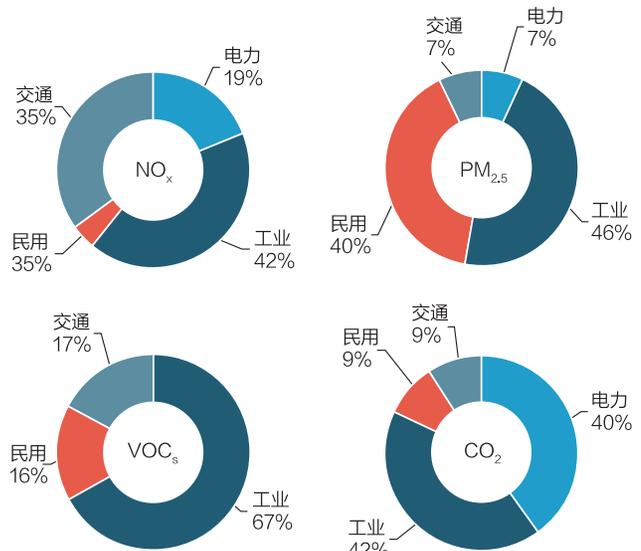


图4 2017年重点部门主要大气污染物和CO₂排放贡献

数据来源：污染物清单来自清华大学MEIC清单结果^[6]，CO₂排放数据来自生态环境部环境规划院碳情速报研究结果^[19]

工业作为对大气污染物和CO₂排放贡献均最大的部门，是推进减污降碳的重点，应着力构建高效低碳循环工业体系，严控“两高”项目盲目发展，大力推进钢铁、水泥等重点工业行业节能降耗，加强再生资源回收利用率，从源头减少生产过程能源、资源消耗以及相关污染物和CO₂排放，实现大气污染物与CO₂协同减排。电力部门是当前全国主要的CO₂排放部门，但受减污政策持续推动，其对大气污染物排放贡献逐渐降低，因此电力部门应以降碳为主牵引，全面提升非化石能源发展，构建电力体系新格局，从源头实现协同减污降碳^[20]。交通部门对大气污染物和CO₂

排放均有重要贡献，特别是对 NO_x 和 VOCs 排放贡献显著，对 $\text{PM}_{2.5}$ 和 O_3 污染协同治理有重要影响；考虑到未来需求增长预期，交通部门能源消费预计将进一步增加，是下一步协同治理的重点^[21, 22]，应以交通运输结构和车队结构的调整优化为核心抓手，全面提速新能源车发展、持续推动燃油车队清洁化低碳化、积极构建绿色低碳出行体系。能效提升与用能结构优化并举是民用部门协同推进减污降碳的核心手段，应以标准引领推动新建建筑低碳化发展，按照宜改则改原则提升既有建筑节能水平，此外还应加快生活取暖散煤和供暖燃煤锅炉替代。

2.2 “无废城市”建设与碳减排的协同思路

“无废城市”是以创新、协调、绿色、开放、共享的新发展理念为引领，以“减量化、资源化、无害化”为原则，通过源头减量、资源化利用、安全处置等方式，将固体废物环境影响降至最低的一种新型城市管理方式。因此，“无废城市”建设与碳减排具有天然耦合性^[23]，可主要在推广绿色生活理念、构建资源循环利用体系、垃圾无害化处置等三个方面实现协同。

通过推广绿色低碳建筑、实施限塑令、构建绿色低碳出行服务体系等培养形成绿色生活理念，以绿色低碳消费带动产业升级，从源头减少固体废物产生，降低生产、使用、处置等环节产生的碳排放^[24]。通过构建废钢、废铝等再生资源 and 工业固体废物的资源循环利用体系，加快发展电炉短流程炼钢，强化废铝资源分级分类回收处理，提高废铝资源保级利用水平。另外，推进粉煤灰、冶炼废渣等工业固体废物在建筑材料生产过程中替代原材料，从而有效降低原生矿产资源开采产生的工业固体废物，同时减少矿产开采、金属冶炼、处置等环节产生的碳排放。完善生活垃圾、生物质焚烧发电等无害化处置环节的能源体系建设，因地制宜发展生物质能清洁供暖，有序发展农林生物质发电，使用无法再生的纸张、纺织品等高热值固体废物制备垃圾衍生燃料，推进生活垃圾焚烧发电，可以在保障固体废物安全处置的同时，减少化石能源发电产生的碳排放。

2.3 生态保护与碳减排的协同思路

当前至未来一段时期，我国生态保护工作的主要目标是保障国家生态安全、恢复提升重要生态系统服务功能，守住自然生态安全边界^[25]。强化生态环境保护，提升生态系统碳汇能力是实现碳中和目标的重要

生态保障；统筹生态保护与新能源发展用地关系则是贯彻新发展理念的内在工作。

当前应该因地制宜推进山水林田湖草沙一体化保护修复，加快“三区四带”生态屏障建设，实施重要生态系统保护和修复重大工程，开展大规模国土绿化行动，科学推进荒漠化、石漠化和水土流失综合治理，稳步提升陆地和海洋生态系统碳汇能力，为实现碳达峰碳中和战略目标奠定生态根基^[26]。

同时应该因地制宜推进可再生能源使用，促进重点生态功能区能源结构清洁低碳发展。在重点生态功能区、生态保护红线等生态空间，按照“点上开发、面上保护”的思路，合力布局可再生能源开发，科学评估可再生能源开发对生态环境的影响，兼顾考虑未来新能源替代过程中的退出机制和生态恢复成本，在促进绿色发展、增加人民福祉的同时，实现经济社会发展与生态环境保护的协同。在不损害生态功能的前提下，在重点生态功能区内资源环境承载能力相对较强的特定区域，可支持其因地制宜适度发展可再生能源开发利用相关产业。在水资源严重短缺、环境容量有限、生态十分脆弱、地震和地质灾害频发的地区，应该严格控制可再生能源开发。

3 主要政策措施建议

协同政策体系的建立需要将减污降碳、协同增效的思想贯穿于整个生态环境管理制度设计中，需要以全局性、系统化的视角设定目标、统筹规划、设计政策机制。当前，我国应对气候变化治理体系是以强度管理为核心，结合规划、目标分解、产业政策、排放权交易市场等手段；囿于强制性环境管理规制的缺失，在推动结构调整、落实碳源管理等方面的约束力明显不足。因此，实现政策协同的关键是目标规划、法规标准、管理制度的协同。

3.1 统筹优化协同目标

目标规划协同与否是决定整个协同政策体系能否真正发挥效益的关键。协同设定环境质量、污染控制、能源消费与温室气体减排目标，要做到多方面统筹协调，步调一致，建议进一步完善我国经济社会发展主要指标体系，在当前绿色生态指标体系中增加减污降碳综合指标，表征地区环境质量改善和应对气候变化的协调性与协同效益。在地区开展重大环境、能源、经济决策与规划制定中，要将环境气候协调共治作为核心原则，合理确定环境目标与气候目标的分配权重。此外，在协同目标的约束下，如何最大化协

同减排效应是制定管控战略、明确管控领域、设计一体化任务和措施过程中应当关注的重点,针对污染物与温室气体排放的重点领域,应同步设计减排技术路径,尤其是对于增碳的污染治理技术工艺选择,应当充分论证,满足污染排放标准的同时,尽量做到节能降耗,从而真正实现应对气候变化与改善环境质量的有机结合。

3.2 建立协同法规标准

立法是明晰权责主体、确立管理目标、建立管理机制、落实监督执法的根本,因此,实现政策协同的前提是首先完成法规标准层面的协同。一是在现有的环境基本法中补充应对气候变化的规定,现阶段要考虑到我国传统环境问题尚未完全解决的基本国情,秉持统筹协调、分类管理的基本原则,树立协同管理的思想理念,明确减污降碳的权责边界、提出协同管理的制度体系。二是将温室气体管理纳入我国《大气污染防治法》《环境影响评价法》《排污许可管理条例》等法规,为协同管理制度体系建设提供法制依据。三是在现行标准体系中体现应对气候变化与保护生态环境的综合效益,制修订环境空气质量标准、排放标准、燃料使用与控制标准、绿色产品与技术性能标准,形成融合温室气体管控的新型生态环境标准体系,特别是同源排放的工业企业,要逐步建立起治污与控碳相协调的排放标准、技术标准和监测标准。

3.3 建立协同管理制度

碳交易市场作为当前碳源管理的主要手段,对源的约束度不够,仅局限于微观层面的配额分配体系,缺少与地区、行业等规划政策的有效衔接。因此,建议依托现行生态环境管理制度完善碳管控,达到强化碳源管理的目的。

一是要注重从源头上实现协同管理,在环境分区管控和准入清单中强调环境目标与气候目标的双约束,并建立其向中观规划与微观落地的传导机制,强化重点排放领域空间布局约束、减污降碳管理、能源利用效率等方面准入、限制和禁止的要求。在规划和建设项目环境影响评价中引入温室气体排放的评价指标,作为对局地大气污染物排放控制指标的补充,在环境影响评价过程中同步评估新增排放源污染物与碳排放水平、环境影响、减排潜力,同步作出污染防治与节能降碳的技术路径优选,提出减污降碳协同管控措施和应对方案。

二是要强化污染物与碳排放同源过程管控,利用

好固定源大气污染防治体系与温室气体减排本身具有一体化和协同性这一有利条件,充分借助排污许可基础性制度管理优势。一方面,通过同源过程管控发挥大气污染防治措施对温室气体的减排产生协同效应,在现有许可体系中完善和补充资源能源消耗、能源使用效率、碳排放配额等控制要求。另一方面,排污许可制度体系中的污染防治、自行监测、台账记录、报告等许可管控要求也同样适用温室气体,可实施统筹管理。

三是要逐步强化二氧化碳减排的刚性约束,实施污染物与碳排放总量“双控”制度。围绕碳达峰碳中和要求,设立国家、地区、行业总量控制目标,对重点领域采取源总量控制模式,根据各领域碳排放形势及达峰安排,分批分区推动总量控制。“十四五”时期,以电力、钢铁、水泥、有色、煤化工等行业为重点,体现行业同源排放与协同控制特点,综合设定污染物与碳排放行业总量目标,制定企业主要大气污染物排放总量指标及碳配额分配方案。“十五五”以后,可适时将碳排放总量控制纳入国家约束性指标体系,建立控制温室气体排放目标责任制,作为生态环境考核体系的重要内容,将应对气候变化相关工作存在的突出问题纳入生态环境保护督察范畴。

参考文献

- [1] 中华人民共和国中央人民政府. 中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和 2035 年远景目标纲要 [Z]. 2021.
- [2] 中华人民共和国生态环境部. 中国应对气候变化的政策与行动 2020 年度报告 [R]. 北京: 生态环境部, 2021.
- [3] 生态环境部. 关于统筹和加强应对气候变化与生态环境保护相关工作的指导意见 [Z]. 2021.
- [4] 王金南. 全面推动生态文明建设取得新进步 [N]. 人民日报, 2021-05-26(014).
- [5] 生态环境部环境规划院. 基于重点行业 / 领域国家碳达峰路径研究报告 [R]. 北京: 生态环境部环境规划院, 2021.
- [6] ZHENG B, TONG D, LI M, et al. Trends in China's anthropogenic emissions since 2010 as the consequence of clean air actions[J]. Atmospheric chemistry and physics, 2018, 18(19): 14095-14111.
- [7] 雷宇, 严刚. 关于“十四五”大气环境管理重点的思考 [J]. 中国环境管理, 2020, 12(4): 35-39.
- [8] IPCC. Climate Change and Land: an IPCC Special Report on Climate Change, Desertification, Land Degradation, Sustainable Land Management, Food Security, and Greenhouse Gas Fluxes in Terrestrial Ecosystems[R]. Cambridge: Cambridge University Press. IPCC, 2019.
- [9] STOCKER T F, QIN D, PLATTNER G K, et al. Climate Change 2013: The Physical Science Basis[M]. Cambridge: Cambridge

- University Press, 2014.
- [10] GALLAGHER K S, ZHANG F, ORVIS R, et al. Assessing the policy gaps for achieving China's climate targets in the Paris Agreement[J]. *Nature communications*, 2019, 10(1): 1256.
- [11] 秦大河, 陈振林, 罗勇, 等. 气候变化科学的最新认知 [J]. *气候变化研究进展*, 2007, 3(2): 63-73.
- [12] SHI X R, ZHENG Y X, LEI Y, et al. Air quality benefits of achieving carbon neutrality in China[J]. *Science of the total environment*, 2021, 795: 148784.
- [13] CHENG J, TONG D, ZHANG Q, et al. Pathways of China's PM_{2.5} air quality 2015-2060 in the context of carbon neutrality[J]. *National science review*, 2021: nwab078.
- [14] LI Y M, CUI Y F, CAI B F, et al. Spatial characteristics of CO₂ emissions and PM_{2.5} concentrations in China based on gridded data[J]. *Applied energy*, 2020, 266: 114852.
- [15] VAN DONKELAAR A, MARTIN R V, BRAUER M, et al. Use of satellite observations for long-term exposure assessment of global concentrations of fine particulate matter[J]. *Environmental health perspectives*, 2015, 123(2): 135-143.
- [16] 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 sciences of the United States of America*, 2020, 117(47): 29535-29542.
- [17] 蔡博峰, 曹丽斌, 雷宇, 等. 中国碳中和目标下的二氧化碳排放路径 [J]. *中国人口·资源与环境*, 2021, 31(1): 7-14.
- [18] 清华大学 MEIC 团队. 中国多尺度排放清单模型 [DB/OL]. (2018-04-01)[2021-07-14]. meicmodel.org.
- [19] 生态环境部环境规划院. 中国碳情速报研究 [R]. 北京: 生态环境部环境规划院, 2020.
- [20] 朱法华, 王玉山, 徐振, 等. 中国电力行业碳达峰、碳中和的发展路径研究 [J]. *电力科技与环保*, 2021, 37(3): 9-16.
- [21] LIANG X Y, ZHANG S J, WU Y, et al. Air quality and health benefits from fleet electrification in China[J]. *Nature sustainability*, 2019, 2(10): 962-971.
- [22] PAN X Z, WANG H L, WANG L N, et al. Decarbonization of China's transportation sector: in light of national mitigation toward the Paris Agreement goals[J]. *Energy*, 2018, 155: 853-864.
- [23] 国务院办公厅. 国务院办公厅关于印发“无废城市”建设试点工作方案的通知 [Z]. 2019.
- [24] MIKULČIĆ H, KLEMEŠ J J, VUJANOVIĆ M, et al. Reducing greenhouse gasses emissions by fostering the deployment of alternative raw materials and energy sources in the cleaner cement manufacturing process[J]. *Journal of cleaner production*, 2016, 136: 119-132.
- [25] 王夏晖, 张箫. 我国新时期生态保护修复总体战略与重大任务 [J]. *中国环境管理*, 2020, 12(6): 82-87.
- [26] 国家发展改革委, 自然资源部. 全国重要生态系统保护和修复重大工程总体规划 (2021-2035 年) [Z]. 2020.

Synergetic Control of Environmental Pollution and Carbon Emissions: Pathway and Policy

ZHENG Yixuan¹, SONG Xiaohui², ZHOU Jia³, XU Yanling¹, LIN Minsong⁴, MOU Xuejie⁵, XUE Wenbo¹, CHEN Xiaojun², CAI Bofeng², LEI Yu^{1,2}, YAN Gang^{1,2*}

(1. Center of Air Quality Simulation and System Analysis, Chinese Academy of Environmental Planning, Ministry of Ecology and Environment, Beijing 100012, China; 2. Center for Carbon Neutrality, Chinese Academy of Environmental Planning, Ministry of Ecology and Environment, Beijing 100012, China; 3. Institute of Environmental Policy and Management, Chinese Academy of Environmental Planning, Ministry of Ecology and Environment, Beijing 100012, China; 4. Institute of Environmental Investment and Industry, Chinese Academy of Environmental Planning, Ministry of Ecology and Environment, Beijing 100012, China; 5. Institute of Ecological Conservation and Restoration, Chinese Academy of Environmental Planning, Ministry of Ecology and Environment, Beijing 100012, China)

Abstract: China has entered the new development stage. To fulfill the carbon peaking and carbon neutrality target and the Beautiful China target, it is essential to control environmental pollution and CO₂ emissions synergistically. The theoretical basis for implementing the synergetic control is the fact that environmental pollutants and CO₂ emissions generally share the same sources (homology). This study first introduces the basic idea of the synergetic control framework of environmental pollution and CO₂ emissions by discussing synergies between the two issues in five main aspects, including overall targets, key regions, major sectors, control measures, and supporting policies. Given the importance of controlling air pollution and CO₂ emissions in China at the current stage, the synergetic control pathway of the two issues is systematically proposed in this study: the mid-to-long-term synergetic control pathway of the two at the national level is introduced; the method for identifying key regions for synergetic control is introduced; and the strategies for conducting synergetic control in major sectors are proposed. The synergies between CO₂ abatements and the construction of “waste-free cities”, and the synergies between CO₂ abatements and ecological protection are also analyzed and discussed, respectively. To build a policy system that can effectively support synergetic control, suggestions are proposed to increase the synergies between environmental governance and carbon mitigation in terms of target planning, laws, regulations, and standards, and management mechanisms. This study will help clarify the understanding of the synergetic control of environmental pollution and CO₂ emissions. It will also provide the theoretical and scientific basis for implementing synergetic control of environmental pollution and CO₂ emissions by Chinese governments at all levels.

Keywords: synergetic control of environmental pollution and carbon emission; environmental pollution; CO₂ emission