

“双碳”目标下环境空气质量改善路径研究

张卫清

伊犁州生态环境局伊宁市分局伊宁市环境监测站, 新疆 伊宁 835000

[摘要]碳达峰碳中和目标为空气质量深度改善提供战略机遇。我国大气污染防治取得历史性成就, 人为减排贡献率超过 70%, 但臭氧污染上升、末端治理潜力收窄等问题依然突出。若实现碳中和, 全国 PM_{2.5} 浓度可从 33 微克/立方米降至 8 微克/立方米左右。只有将清洁空气政策与气候政策相结合, 才能稳定达成 PM_{2.5}、臭氧与二氧化碳协同目标。通过分析能源结构、工业排放、交通运输、城市建设等关键因素, 提出能源绿色转型、工业协同治理、绿色交通体系、长效治理机制等改善路径, 旨在为减污降碳协同增效提供支撑。

[关键词]“双碳”目标; 空气质量; 能源转型

DOI: 10.33142/ucp.v3i2.19981

中图分类号: X51

文献标识码: A

Research on the Improvement Path of Environmental Air Quality under the Dual Carbon Target

ZHANG Weiqing

Yining City Environmental Monitoring Station, Yining Branch of Yili Prefecture Ecological Environment Bureau, Yining, Xinjiang, 835000, China

Abstract: The goal of peaking carbon emissions and achieving carbon neutrality provides a strategic opportunity for the deep improvement of air quality. China has made historic achievements in the prevention and control of air pollution, with a contribution rate of over 70% from human emissions reduction. However, issues such as rising ozone pollution and shrinking potential for end of pipe treatment remain prominent. If carbon neutrality is achieved, the national PM_{2.5} concentration can be reduced from 33 micrograms per cubic meter to around 8 micrograms per cubic meter. Only by combining clean air policies with climate policies can we achieve the coordinated goals of PM_{2.5}, ozone, and carbon dioxide in a stable manner. By analyzing key factors such as energy structure, industrial emissions, transportation, and urban construction, improvement paths such as energy green transformation, industrial collaborative governance, green transportation system, and long-term governance mechanism are proposed, aiming to provide support for collaborative efficiency in pollution reduction and carbon reduction.

Keywords: dual carbon target; air quality; energy transition

引言

目前我国正处在空气污染治理和气候变化应对的双重压力之下。由于两者高度同根同源同过程, 因此推进减污降碳协同增效是解决该问题的必然之路。经过十多年持续治理, 我国空气质量取得历史性成就, 但是对照美丽中国建设目标和人民群众对蓝天白云的期待, 治理任务仍然艰巨。中国目前的 PM_{2.5} 标准相当于世界卫生组织第一阶段目标值, 与指导值相比还有较大的差距。人口老龄化大背景之下, 对空气质量长期持续改善的要求更加迫切。“双碳”目标给能源结构彻底转变、空气质量大幅改善赋予了战略契机。探寻减污降碳协同治理途径, 对达成经济

效益、环境效益和气候效益三者共赢有着十分重要的意义。

1 “双碳”目标与环境空气质量改善的内在关联

碳达峰碳中和目标同环境空气质量改善高度契合、同根同源。从排放源头看, 化石燃料燃烧是二氧化碳的主要排放源, 也是细颗粒物、二氧化硫、氮氧化物等大气污染物的主要来源。虽然 CO₂ 排放和 PM_{2.5} 及其前体物排放有很强的同源性, 但是和挥发性有机物 (VOCs) 排放的同源性较低。因此同源性使减污和降碳在路径上具有高度一致性。从治理目标来看, “双碳”目标为空气质量根本改善提供战略引领。根据情景模拟可知, 仅靠末端治污到 2060 年全国 PM_{2.5} 浓度可由 2020 年的 33μg/m³ 降低到

25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 实现碳中和的目标 PM2.5 浓度可降低到 8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 左右, 是空气质量达到世卫组织指导值的重要支撑。从治理路径来说, 协同治理才是达到多赢的必然选择。清华大学研究显示, 只考虑气候政策对 O₃ 污染改善有限, 只有把严格的清洁空气政策和积极的气候政策结合起来, 才能稳定达成 PM2.5、O₃ 和 CO₂ 三者协同的目标。在这样的情况下, 全国 CO₂ 排放会在 2025 年之前达到峰值, 2030 年全国 PM2.5 年均浓度可以降低到 19.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下, O₃ 第 90 百分位数可以降低到 126.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下, 而且会带来超过 3 万亿元的净收益。

2 “双碳”目标下环境空气质量现状及存在问题

2.1 环境空气质量改善取得的阶段性成效

自 2013 年大气污染防治行动计划、2018 年打赢蓝天保卫战三年行动计划实施以来, 我国的环境空气质量得到了明显改善。主要污染物浓度不断降低。2025 年全国 339 个城市的 PM2.5 平均浓度为 28.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 空气质量优良天数比例达到 89.3%, 创下了有监测记录以来最好的水平。

“十四五”期间空气质量达标城市由原来的 206 个增加到现在的 246 个。全国 96% 的煤电机组达到超低排放标准, 80% 以上的粗钢产能完成了超低排放改造。其次就是重点区域治理取得突破。京津冀及周边地区、长三角地区、汾渭平原通过“煤改气”“煤改电”和产业结构调整, 空气质量得到明显改善。京津冀及周边地区 PM2.5 浓度比去年同期降低了 27.7%, 汾渭平原 PM2.5 浓度比去年同期降低了 32.1%。北京市 PM2.5 浓度降至 27.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 相比 2013 年下降近 70%。再次人为减排贡献很大。贺克斌院士认为, 2013—2017 年京津冀、长三角等地区人为减排贡献率大于 80%, 人努力是空气质量改善的主要动力。最后, 减污降碳协同机制基本形成。清洁能源消费占比达到 30.4%, 新能源汽车保有量达到 4397 万辆, 绿色低碳转型的步伐不断加快。

2.2 环境空气质量持续提升面临的主要挑战

按照“双碳”目标和美丽中国建设的要求, 目前空气质量改善还存在着深层次的结构性矛盾。一是臭氧污染的波动上升。2024 年全国 O₃ 污染状况持续恶化, 京津冀及周边地区、汾渭平原的污染程度明显增大, 湖北省东部出现新的 O₃ 污染中心。2024 年以 O₃ 为主要污染物的超标天数占总超标天数的 45.3%, 主要是由于 VOCs 减排不够和全球变暖导致的热浪增多。二是末端治理的潜力越来越小。95% 以上的煤电机组达到超低排放水平, 80% 的粗钢产能完成超低排放改造, 削减的空间很小。2020 年京津冀和汾渭平原 80% 以上的用户实现了清洁采暖, 未来的减排

要依靠深层次的结构变革。三是碳污协同减排还没有全面实现。2020—2024 年人为源二氧化碳排放增长了 15.4%, 碳强度累计下降了约 7.8%, “十四五”碳强度下降 18% 的目标时序进度只完成了 43%。全行业的 CO₂ 和大气污染物还没有达到协同减排的效果。四是空气质量标准同国际水平存在差距。2024 年全国 339 个城市的环境空气污染超过标准的城市有 117 个, 其中 PM2.5 超标的城市占总数的 25.7%, O₃ 超标的城市占总数的 23.9%。现行标准达到世卫组织第一阶段目标值, 离指导值 (年均 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) 有很大差距。

表 1 为 2020—2024 年我国主要大气污染物及碳排放关键指标变化表

指标	2020 年	2024 年	变化趋势
全国 PM2.5 浓度中心值 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	约 50	50	维持稳定
PM2.5 平均浓度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	33	29.3	下降 11.2%
臭氧污染态势	多中心分布	加剧, 新增鄂东中心	波动上升
人为源 CO ₂ 排放变化	基准年	+15.4%	显著增长
碳强度累计降幅	—	7.8%	低于目标

3 “双碳”目标下环境空气质量改善的关键影响因素

3.1 能源消费结构对空气质量的影响

能源消费结构属于决定环境空气质量的基本要素。我国以煤为主能源结构决定大气污染物排放的总体特点。煤炭消费在一次能源中所占比例虽然逐年降低, 但是总量仍然很高。从影响机制上看, 煤炭燃烧会直接产生二氧化硫、氮氧化物、颗粒物等污染物, 并且还会释放出大量的二氧化碳^[1]。2020 年以来煤电核准数量首次下降, 但是依然超过“十三五”期间年度新增核准装机容量的最高值, 化工行业产量的增长成了工业煤炭消费增长的主要原因。这就说明了能源结构的调整虽有进展, 但是压力仍然很大。就改善路径而言, 新能源的发展给空气质量改善带来的正向影响越来越大。以“新三样”为代表的新一代制造业, 以及以人工智能、大数据等为代表的数字产业推动了我国用电需求的迅速增长, 新能源成为新增装机发电的主要来源。由于风电、光伏等清洁能源的比重增加, 所以单位发电量的污染物排放强度持续下降。

3.2 工业排放与产业结构调整影响分析

工业部门是大气污染物的主要来源, 产业结构调整对空气质量改善起着决定性的作用。“十四五”期间我国工业部门工艺过程的碳污协同减排效果较好, 大多数省份在 CO₂ 排放和 PM2.5 污染改善上存在正协同效益。从钢铁

行业来看,超低排放改造使污染物排放强度明显降低。但是工业领域仍然存在着结构性的难题。高耗能行业在部分地区还占有较大的比重,产业布局同大气环境容量的匹配程度还需加强。就治理潜力而言,加大源头减排、结构减排和科技减排的力度,是污染治理措施层面再挖掘减排空间的新的重要锚点。工业领域深度治理要从末端控制转向源头替代、过程优化,促进工艺流程低碳化改造。

3.3 交通运输领域污染排放影响分析

交通运输是大气污染的主要来源,机动车排放成为城市PM_{2.5}、臭氧生成的前驱物。柴油车氮氧化物和汽油车挥发性有机物排放是目前主要的治理对象^[2]。从治理进展来说,应该加快柴油车排放标准的提升,以及加强工业涂料、石化、汽油车等重点源有机废气治理和溶剂源头替代工作,从而全面改善挥发性有机物治理的不足。就转型方向而言,交通运输电动化是实现减污降碳协同的主要途径。优先推广氮氧化物和挥发性有机物协同减排效果较好的低碳措施,柴油车电动化加强氮氧化物减排,汽油车电动化提高挥发性有机物协同控制水平。

3.4 城市建设与生态环境因素影响分析

城市建设活动给空气质量带来的影响,主要是扬尘污染、建筑能耗以及城市热岛效应。施工扬尘、道路扬尘属于颗粒物的主要来源,建筑采暖和制冷能耗同能源消耗存在联系。就政策实践而言,绿色建筑、低碳社区的创建属于协同治理的手段。提高建筑节能标准、推广超低能耗建筑、发展分布式可再生能源等措施,既可以减少建筑运行阶段的碳排放,也可以降低采暖、制冷过程中产生的污染物排放。从生态效益来说,城市绿地系统有吸附污染物、调节微气候的作用。中国陆地碳汇在“十四五”期间总体保持稳定,对人为源碳排放有部分抵消作用,但是年际增长速度变缓。未来要继续用科学的造林时间、提高树种适地性选择等科学的森林经营管理手段来保证碳汇的持续增长。

4 “双碳”目标下环境空气质量改善路径研究

4.1 推动能源结构绿色低碳转型

能源结构转型是减污降碳协同治理的治本之策。核心路径就是用非化石能源代替化石能源,从源头上减少二氧化碳、大气污染物的排放。在电力方面,要加快创建新型电力系统。继续增加风能、太阳能发电装机,提高储能能力。扩大海上风电规划,推广集中式、分布式太阳能光伏发电。依靠跨区域输电通道的创建来改善能源资源的配置状况,从而达成对清洁电力在更广地域内实施优化调度的目的。终端用能领域要大力推动电气化。建筑部门以补贴形式推动农村燃料转型,重点是传统生物质燃料和散煤供

暖方式的补贴。制定补贴政策,推动热泵、太阳能光伏发电设备和储能设备的普及。在工业部门中推进高温工艺的电气化改造,逐渐削减化石能源直接燃烧^[3]。贺克斌院士认为,“双碳”行动不但会带来减污,还会促使经济发展的模式发生绿色转型,进而达到美丽中国和健康中国的联动。能源结构根本性改变,给空气质量长期持续改善打下良好的基础。

4.2 深化工业领域减污降碳协同治理

工业是减污降碳的主战场,协同治理要从末端控制向全过程优化转变。从源头削减、过程控制、末端治理三方面来开展治理工作。强化工业产品二次循环利用,即钢铁、水泥、铝、塑料产品等,用数字化改造来提高能效管理水平。从技术路线来讲,积极研发具有突破性的低碳技术。推进高炉向电炉转变,研发氢基直接还原等钢铁制造技术,采用氢燃料进行高温工艺的转换。碳捕集利用与封存技术属于深度减排的主要方式之一。从空间上来说,对产业的空间分布进行优化,促使高耗能产业向环境容量较好的地方转移,防止污染跨区域转移。

4.3 构建绿色交通与低碳出行体系

交通运输领域绿色转型要依靠车辆技术革新、能源结构调整以及出行方式改变三者一起推进。从车辆技术角度来讲,应该大力推广新能源汽车。扩大氢燃料电池的研发与应用,促进消费者、企业购买氢燃料电池汽车。加强各方面的合作,维护和发展充电基础设施。对传统柴油车应加快淘汰国三及以下排放标准的车辆,实行更加严格的排放标准。从运输结构上来说,要推进大宗货物运输的“公转铁”、“公转水”。加大研发投入力度,加快航空、航海及其他货运车辆的替代燃料研发工作,尤其是长途重型运输。通过优化运输组织,提高铁路和水运在货运中的比重。从出行方式上来说要形成以公交为主的出行方式体系,改善慢行交通环境,促使人们采用绿色出行方式。智慧交通管理可以缓解交通拥堵,减少车辆怠速排放。

4.4 完善空气质量治理长效机制

实现空气质量的持续改善要建立长效治理机制。完善标准体系。按照世界卫生组织的指导值,分阶段提高空气质量标准,发挥标准的引领和倒逼作用。并且把居民清洁用能、建筑节能和室内空气质量一同纳入到减污降碳政策的设计当中。二是给予经济上的奖励。健全排污权、碳排放权交易市场,完善差别化电价、气价政策,用价格信号引导企业和公众的减排行为。对老年人、儿童以及慢性病患者这些高脆弱人群展开细致的健康风险识别及干预工作。三是提高监测监管的能力。随着新一轮国家自主贡献

目标的提出和“十五五”规划的编制工作展开,地方对于融合清单编制和应用的重视程度将会明显提升,在“十五五”期间有效推进减污降碳工作。推进大气污染物和温室气体融合排放清单编制工作,在重点区域、城市逐步展开。第四点为区域协同。臭氧污染有明显的区域传输特征,要创建起跨行政区域的联防联控机制。清华大学研究团队建立的综合评价体系很好地解决了臭氧协同减排规划中出现的高非线性问题,给多目标协同减排提供了一种可行的技术手段。

5 结语

“双碳”目标和环境空气质量改善同根同源,协同推进减污降碳才能达到二者的共赢。研究表明,人为减排是我国空气质量改善的主要动力,但是随着末端治理潜力的减小,未来要更多地依靠能源结构、产业结构和交通结构的深层转型。仅靠清洁空气政策很难稳定达成PM_{2.5}、臭氧和二氧化碳“三协同”的目标,只有把严格的清洁空气

政策同积极的气候政策结合起来,才能真正保证空气质量不断改善。面向“十五五”时期,要推进能源结构绿色低碳转型、加强工业领域减污降碳协同治理、创建绿色交通和低碳出行体系、健全空气质量治理长效机制,用减污降碳协同增效助力美丽中国创建。

[参考文献]

- [1]陈婉.《中国碳中和与清洁空气协同路径(2023)》报告发布减污与降碳的协同效应正在显现[J].环境经济,2024,10(4):38-41.
 - [2]范远华,王世进.基于双层嵌套LMDI的长三角减污降碳驱动因素研究[J].资源与产业,2024,26(5):37-46.
 - [3]赵焕,许博,徐晗,等.我国典型区域二氧化碳和细颗粒物精细化协同减排路径[J].科学通报,2024,69(10):1373-1384.
- 作者简介:张卫清(1971—),毕业于新疆大学生化专业,就职于伊犁州生态环境局伊宁市分局伊宁市环境监测站,副高五级。