

2035“美丽中国”目标下的空气质量改善与应对气候变化协同管理研究成果摘要

研究单位：生态环境部环境规划院

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；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。常规大气污染物与温室气体排放具有高度同根同源同过程特征，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推动空气质量持续改善、实现美丽中国目标以及碳达峰碳中和目标的共同挑战。面对大气环境质量改善与温室气体减排的双重压力与迫切需求，亟待推进大气环境治理与温室气体协同控制，实现减污降碳协同增效。

一、大气环境与温室气体排放的形势

全国大气环境质量改善明显。2015-2022年间，全国339个地级及以上城市（以下简称339城市）主要大气污染物浓度持续下降，细颗粒物（PM_{2.5}）、二氧化硫（SO₂）、二氧化氮（NO₂）、可吸入颗粒物（PM₁₀）和一氧化碳（CO）浓度较2015年分别下降37.0%、60.9%、22.2%、34.6%和42.1%；339城市全部实现SO₂、CO、NO₂浓度达标，PM_{2.5}超标城市占比从68.5%下降到25.4%。重点区域空气质量明显改善，京津冀及周边地区、长三角地区、汾渭平原PM_{2.5}浓度分别下降45.0%、39.2%和17.9%。

PM_{2.5}污染形势依然严峻。2022年全国仍有超过四分之一的城市PM_{2.5}年均浓度超标。重点区域污染突出，京津冀及周边地区和汾渭平原PM_{2.5}平均浓度分别为全国平均浓度1.5和1.6倍。全国PM_{2.5}浓度是WHO准则值（5

微克/立方米）的5.8倍，是欧美当前水平的2~4倍，与国际先进水平差距仍然很大。

臭氧（O₃）污染逐渐凸显。“十三五”以来，O₃是环境空气质量评价6参数中唯一呈上升趋势的污染物。2022年，全国O₃浓度为145微克/立方米，比2015年上升17.9%；京津冀及周边地区、汾渭平原、长三角地区同比上升4.7%、1.2%、7.3%；珠三角地区、长江中游地区和成渝地区显著反弹，同比上升13.7%、15.2%和15.9%。全国以O₃为首要污染物的超标天数占总超标天数的48%，逐渐成为优良天数比例最主要因素。超标城市数量日益增加，全国O₃浓度超标的城市数量从2015年的20个增加到2022年的92个，超过PM_{2.5}超标城市。

我国PM_{2.5}和O₃暴露水平在全球排名靠后。根据全

球疾病负担 (GBD) 研究发布的数据, 2019年我国人均PM_{2.5}暴露水平为47.7μg/m³, 在全球204个国家中位于第176位; 人均O₃暴露水平为48.9ppb, 在全球204个国家中从低到高排第159位, 属于全球O₃污染高值区, 污染水平远高于纬度较高的欧美国家。

实现双碳目标面临艰巨挑战。欧盟碳达峰至中和约70年, 年均减排0.6亿吨; 我国碳达峰时碳排放量位于百亿吨量级, 2030年至2060年的30年间年均减排量需要达到3亿吨, 是全世界从碳达峰到碳中和时间最短、减

碳规模最大、降幅度速度最快的国家。

CO₂与大气污染物排放同根同源。CO₂排放源排放的SO₂、NO_x、VOCs和一次PM_{2.5}分别约占各项污染物排放总量(不含扬尘源)的99%、98%、47%和67%。大气污染物与CO₂排放空间高度聚集, 全国CO₂排放量排名前5%的网格, 合计贡献了CO₂、NO_x、一次PM_{2.5}和VOC排放总量的68%、60%、46%和57%。高度同源性和空间高度一致性使得协同开展减污与降碳工作的可操作性强, 实现协同增效目标的潜力巨大。

二、大气污染与温室气体协同治理国际经验

1. 协同控制的制度体系

从国际实践经验来看, 以应对气候变化、防范环境健康风险为核心的环境管理模式已成为主要发达国家的现实选择, 其中美国、欧盟、澳大利亚、日本等主要发达国家已将环境质量目标与减缓、适应气候变化挂钩, 积极推进多污染物的综合协同控制, 实施统一的环境监管。欧美等主要经济体都将温室气体排放控制纳入到环境综合管理体系中, 在温室气体排放监测和统计基础上, 以政策评估的形式为国家决策提供支持, 实现从国家层面统筹协调、统一监管、多部门共同参与的管理模式。

2. 基于协同效益的规划方法

欧美发达国家与部分新兴经济体国家在编制城市/区域空气质量管理规划或温室气体减排计划时, 多设计综合、一体化措施, 并且基于模型和情景分析工具以协同效益为判别标准进行多种规划方案比选。为了便于规划制定者决策选择, 不同国家设立了不同判别标准, 如综合判别标准(即以最小成本获取最大协同效益)、常规大气污染物或温室气体协同减排量、空气质量改善的健康效益、常规污染因子的辐射驱动效应等。

3. 协同控制的政策手段

“一证双管”式排污许可证。大气排污许可证是美国为有效防治空气污染和控制温室气体排放采取的一项重要环境管理制度。US EPA发布“裁减规则”要求各州环保局通过在主要新源达标区发放PSD许可证的形式实行“一证双管”, 实现对温室气体和大气污染物的排放限制。PSD许可证核发依据是按污染源的排放潜能(指污染源全年连续运行8760小时的最大排放量)是否达到设定的阈值来决定。PSD审核许可证可以由EPA、州或者地方审批机构颁发。

“市场导向”与“命令—控制”相结合的协同管控手段。欧盟根据温室气体排放源的不同将管控方式分为两类: 一是对较大的固定排放源, 运用碳排放权交易制度进行总量控制的市场手段加以管制, 二是对于其他排放源, 依旧使用与大气污染防治相同的“命令—控制”手段加以管控, 目的在于“确保碳排放权交易所实现的碳减排目标不会因为其他领域的碳排放增加而冲抵”。欧盟对温室气体管控的主要制度包括碳排放许可制度、温室气体排放标准、温室气体报告制度。

三、面向2035美丽中国的空气质量改善预期



当前,PM_{2.5}仍是影响我国大气环境的最主要污染物,也是对环境健康风险贡献最大的大气污染物。我国PM_{2.5}污染水平和保障人体健康的需求和全球平均水平有较大差距,从保护公众人体健康的核心目标出发,以PM_{2.5}年均浓度作为面向2035美丽中国的大气环境质量改善的目标指标。

党的十九大提出“到2035年,生态环境根本好转,美丽中国目标基本实现”。采用国际对标法,通过对标欧美等发达国家在同等经济发展水平下的历史空气质量状况和世界卫生组织空气质量指导值(AQGs),结合《大气污染防治行动计划》(以下简称《大气十条》)实施以来

我国不同城市空气质量改善幅度分析,对美丽中国目标下的中长期空气质量提出预期。“十四五”规划提出,到2035年我国人均国内生产总值达到中等发达国家水平,即略高于2万美元,基于与欧美国家经济发展与空气质量改善历程的对标分析,发达国家人均GDP2-2.2万美元时PM_{2.5}浓度约为20~30μg/m³。同时,空气质量改善目标的制定需要从保护公众健康的角度,对标世卫组织AQGs中的里程碑式目标,预计到2035年我国迈入中等发达国家行列时,宜以25μg/m³作为全国PM_{2.5}浓度目标,达到欧盟现行PM_{2.5}浓度标准和WHO过渡时期第二阶段目标。

四、面向2035美丽中国的空气质量改善与应对气候变化协同路径

基于生态环境部环境规划院双碳目标下中国2020—2060年CO₂排放路径(CAEP-CP)研究成果,协同考虑重大治理工程,构建减污降碳协同下的空气质量改善情景。在结构调整和末端治理措施协同推动下,到2035年全国SO₂、NO_x、一次PM_{2.5}和VOCs排放量相比于2017年分别降低57%、58%、60%和42%左右。工业和民

用部门减排是SO₂排放量下降的主要推动力;交通和工业部门减排则是NO_x减排的主要推手,合计贡献了NO_x减排量的80%以上;民用和工业部门主导了一次PM_{2.5}的减排,合计约贡献了总减排量的85%;工业、交通和民用部门减排均对VOCs总量减排有较大贡献。

减污降碳协同情景下全国PM_{2.5}年均浓度有望提前

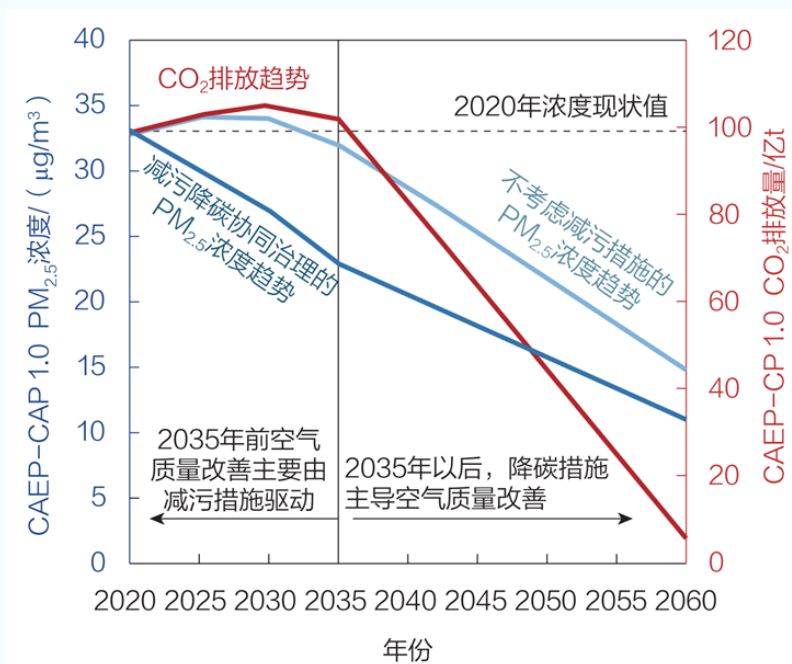


图 1. 大气环境质量减污降碳协同治理中长期路线示意

实现2035美丽中国目标。2035年前,结构调整、末端治理措施对PM_{2.5}浓度下降分别贡献10%、90%,空气质量改善主要依赖于末端治理技术,末端治理措施有效抵消了能源消费阶段性增长的影响,这一阶段,减污目标将推动中国获得额外的降碳收益;低碳政策将抑制能源消费快速增长,推动碳排放尽早进入峰值平台期,缓解空气质量改善压力。2035年之后,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;到2060年,低碳政策的协

同效益空气质量改善的累积贡献率将高于80%。

面向2035年的大气环境治理路线图应以美丽中国和碳达峰目标为双牵引,持续强化大气污染治理措施,特别是深化VOCs与NO_x协同减排,实现PM_{2.5}和O₃污染协同控制,以大气环境治理推进高质量达峰,降低达峰峰值、提前达峰时间;结构调整政策将抑制能源消费快速增长,推动碳排放尽早进入峰值平台期,以碳达峰深化结构调整、源头防控等治本措施,缓解空气质量改善压力。

五、政策建议

2035年“美丽中国”目标下的空气质量改善与应对气候变化协同管理,应结合碳达峰战略,深入发挥和提升能源、产业、交通和用地结构调整在污染减排中的作用,发挥控碳对空气质量的牵引。此外,为实现空气质量持续改善,需重点强化PM_{2.5}和O₃污染协同控制,深化VOCs和NO_x协同减排,以原辅材料和产品源头替代为根本,高效推进VOCs综合治理;在VOCs和氮氧化物末端治理技术的选择上,要统筹考虑污染治理效果和协同控碳效果,在系统评价各类污染控制技术减污降碳协同效益的基础上,择优选择合理的技术路线。

1. 构建清洁低碳能源体系

统筹推进化石能源压减和非化石能源发展。实施可再生能源替代行动,大力发展风电、太阳能、生物质能、地热能、海洋能等可再生能源,积极稳妥发展核电,因地制宜推进水电、抽水蓄能电站开发,加快绿色氢能发展,力争到2030年风电、太阳能发展总装机容量达到12亿千瓦以上,新增水电装机8000万千瓦左右。严格控制化石能源消费,全面实施煤炭消费减量替代,“十四五”时期严格合理控制煤炭消费增长,“十五五”时期逐步减少。全面禁止新建自备燃煤机组,重点区域严格控制燃煤机组新增装机规模。持续推进清洁能源替代煤炭,大力削减中小型燃煤锅炉、工业炉窑、民用散煤与农

业等非电力用煤,持续推进北方地区清洁取暖,到2035年基本实现农村地区散煤清零。持续推进工业、建筑、交通运输、公共机构等重点领域节能和提高能效。

2. 加快生产方式绿色转型

严格控制高耗能高排放项目盲目发展,严格落实产业规划、产业政策、“三线一单”、规划环评,以及产能置换、煤炭消费减量替代、污染物排放区域削减等相关要求。重点区域严禁新增钢铁、焦化、炼油、电解铝、水泥、平板玻璃等产能,提高重点行业产能减量置换比例。加大高污染高碳排行业落后产能淘汰和过剩产能压减力度。推进重点行业绿色低碳化改造。大力推进钢铁、焦化、烧结一体化布局,发展电炉短流程炼钢,加快钢化联产、氧气高炉、富氢冶金等低碳技术的研发应用。提高短流程电解铝比例,推动电解槽余热回收等节能技术应用。推进绿色低碳技术创新和产业发展,加快发展战略新兴产业、高技术产业、现代服务业。

3. 建设绿色低碳交通运输体系

优化调整运输结构。到“十五五”末形成大宗货物中长途运输使用铁路、水路,中短途货物运输使用管道或新能源车辆,城市货物运输主要采用新能源轻型物流车的局面。到2025年,铁路货运量力争增加5亿吨,水路货运量增加9亿吨左右;京津冀及周边、长三角地区、珠



三角地区等沿海主要港口煤炭集疏港全部由铁路或水路运输,矿石、焦炭等大宗货物集疏港铁路、水路、封闭式皮带廊道、新能源汽车等清洁方式运输比例达到70%左右。加快新能源汽车发展,推动电动、氢燃料电池等清洁零排放汽车示范应用,2035年汽车销量中新能源车占比达到60%;公共领域用车全面电动化。有序推进充电桩、换电站、加氢站等基础设施建设。全面实施轻型车和重型车国6b排放标准,大力推进老旧机动车提前淘汰更新。全面实施船舶第二阶段和非道路移动柴油机械第四阶段排放标准,全国基本淘汰使用20年以上的内河航运船舶、国一及以下排放标准的非道路移动机械。推动新能源和清洁能源船舶发展。提高港口岸电和机场桥电使用率。优先发展公共交通等绿色出行方式。

4. 优化含VOCs原辅材料和产品源头替代

严格控制生产和使用高VOCs含量溶剂型涂料、油墨、胶粘剂、清洗剂等建设项目,重点区域原则上不再新建。现有高VOCs含量产品生产企业要加快调整产品结

构,提高水性、高固体分、无溶剂、粉末等低VOCs含量产品的比重,加大低VOCs含量原辅材料的源头替代力度。严格执行涂料、油墨、胶粘剂、清洗剂VOCs含量限值标准。到2035年,除受生产工艺所限以外,全国溶剂型工业涂料、油墨、胶粘剂实现全替代。

5. 推进重点行业污染深度治理和协同减碳

统筹考虑重点行业大气污染深度治理与低碳节能,挖掘系统性和结构性减排空间。对电力、钢铁、水泥等行业超低排放改造的碳排放协同控制效果进行定量化评价,将碳排放影响评价纳入超低排放评价指标,实现有组织排放、无组织排放和清洁运输全环节全生命周期的协同控制。推进重点行业提标改造和深度治理,优先选择能耗和物耗低的技术路线,推进工业烟气协同碳减排技术创新。推进大气污染治理设备节能降耗,提高设备自动化智能化运行水平,根据工况及时自动调整运行情况,减少脱硫剂、脱硝剂消耗和污染治理设施能耗。

