

京津冀及周边地区 “十四五”大气污染防治策略研究

执行摘要



生态环境部环境规划院

能源基金会

2021年12月27日

执行摘要

京津冀及周边地区是我国大气污染最严重的地区。虽然随着“大气十条”和《打赢蓝天保卫战三年行动计划》的强力实施，该区域空气质量显著改善，但该区域PM_{2.5}浓度仍然处于高位，秋冬季重污染依然频发，O₃浓度呈上升趋势，区域大气环境形势总体依然严峻。本研究基于《大气污染防治行动计划》、《打赢蓝天保卫战三年行动计划》实施后，空气质量改善情况，大气污染治理政策效果评估和存在问题分析，研究提出该区域“十四五”空气质量改善目标、重点污染物减排指标和碳协同控制目标，以及大气污染协同治理重点任务、政策建议等，为“十四五”京津冀及周边地区大气污染协同治理政策制定提供重要技术支撑。主要结论与建议如下。

一、京津冀及周边地区大气污染现状

1、空气质量总体改善，但形势依然严峻

近年来，京津冀及周边地区空气质量改善效果显著。2015-2020年，除O₃外，各项污染物年均浓度均呈下降趋势。2020年，SO₂、PM₁₀、PM_{2.5}和CO浓度分别为13 μg/m³、134 μg/m³、51 μg/m³和1.7mg/m³，与2015年相比，分别下降70.5%、35.3%、35.4%和45.5%。NO₂污染有所缓解。自2016年起，28个城市SO₂和CO全部达标。优良天比率从2015年的53.6%提高到2020年的63.5%。重度及以上污染天比率从2015年的8.9%降低到2020年的3.5%。

然而，该区域颗粒物污染依然严重，PM_{2.5}和PM₁₀年均浓度与环境空气质量二级标准相比，分别超标46.6%和24.3%。O_{3-8h} 90th显著增长，2015-2020年增幅高达24.5%。2018-2020年，28个城市O₃全部超标。28个城市间空气质量改善效果存在较大差异。北京市、河北省和山东省的城市PM_{2.5}年均浓度下降较为显著，山西省4个城市PM_{2.5}浓度下降较为缓慢。

2、《大气十条》和《打赢蓝天保卫战三年行动计划》成效显著

《大气十条》及相关配套措施的实施使京津冀地区减排142.5万吨SO₂、95.4万吨NO_x及67.9万吨一次PM_{2.5}，减排幅度分别为64%、30%和42%。对京津冀地区SO₂减排效果最明显的措施是燃煤锅炉整治、电厂超低排放改造和工业提标改

造，三项措施分别贡献了SO₂减排量的25%、18%和17%。对NO_x减排效果显著的措施是电厂超低排放改造、落后产能淘汰和移动源排放管控，分别贡献了NO_x减排量的40%、17%和13%。对于一次PM_{2.5}减排效果明显的措施有扬尘综合治理、工业提标改造、散煤清洁化替代，对一次PM_{2.5}总减排量的贡献分别为22%、19%和15%。从CO₂协同减排贡献来看，《大气十条》中对CO₂有协同减排作用的措施主要有落后产能淘汰、“散乱污”企业清理整治、电厂超低排放改造、燃煤锅炉整治、民用燃料清洁化和移动源排放管控等。落后产能淘汰和燃煤锅炉整治对CO₂协同减排贡献最大，占几项措施CO₂减排总量的90%以上。

《打赢蓝天保卫战三年行动计划》及相关配套措施的实施使京津冀地区减排55.0万吨SO₂、50.2万吨NO_x、56.0万吨VOCs和43.1万吨一次PM_{2.5}，减排幅度达到32.7%、12.7%、12.0%和24.2%。SO₂减排效果最明显的措施是钢铁行业超低排放改造、锅炉治理和民用燃料清洁化，贡献了减排量的31.9%、29.4和24.6%。减排NO_x效果显著的措施为锅炉治理贡献了减排量的47%。VOCs减排效果最明显的措施是工业涂装等溶剂使用源和石化、化工等行业VOCs综合治理，分别贡献了减排量的32.5%和17.0%。对于一次PM_{2.5}，减排效果明显的措施有钢铁行业超低排放改造、民用燃料清洁化和锅炉治理，对总减排量的贡献分别为25.8%、18.3%和14.3%。《打赢蓝天保卫战三年行动计划》中对CO₂有协同减排作用的措施主要有落后产能淘汰、电厂超低排放改造、燃煤锅炉整治、民用燃料清洁化和移动源排放管控等。其中落后产能淘汰对CO₂协同减排贡献最大，占几项措施CO₂减排总量的58%，其次为民用燃料清洁化和燃煤锅炉淘汰。

《大气十条》和《打赢蓝天保卫战三年行动计划》实施成效显著，但也存在一定的局限性。与《大气十条》阶段相比，《打赢蓝天保卫战三年行动计划》执行期间主要污染物减排幅度收窄，且与CO₂减排协同性降低。在能源结构调整方面，煤炭消费总量在2017-2019年间连续增长，煤炭消费总量控制面临严峻挑战；在产业结构调整方面，钢铁、水泥等主要工业产品产量仍处于高位并存在上升态势，未来减排压力巨大；在交通结构调整方面，该区域运输结构仍以公路运输为主，“公转铁”减排潜力有待进一步释放。在重点污染物控制方面，VOCs排放控制力度不足，低效治理设施占偏高、企业管理水平普遍偏低，无组织排放严重。在主要污染物和CO₂协同控制方面，落后产能淘汰是该区域协同减排效果显

著的措施，然而由于区域钢铁、焦化、平板玻璃等主要高耗能产品产量和原油加工量逐年增加，以上行业 CO₂ 实际排放量不降返增。

二、“十四五”大气污染协同控制目标指标研究

统筹考虑 PM_{2.5} 和 O₃ 污染现状、协同推进 PM_{2.5} 和 O₃ 污染改善要求和环境管理需求，“十四五”期间，将京津冀及周边地区范围变更为北京市、天津市、河北省、山东省和河南省。山西省和陕西省为汾渭平原。

1、京津冀及周边地区“十四五”经济能源发展情景

综合考虑京津冀协同发展情景、新冠疫情对全国和区域经济的影响和碳达峰、碳中和政策等，提出该区域“十四五”发展情景。未来区域经济发展将更加均衡，经济转向服务业为主。假设重工业按照既有布局，从产量上没有大的转移。在碳达峰、碳中和背景下，钢铁、水泥、电解铝等高耗能产品产量在“十四五”期间陆续达峰。综合采用消费系数法和分部门预测法对“十四五”期间京津冀及周边地区主要产品产量综合预测，到 2025 年，该区域火力发电量、长流程钢铁、水泥、焦炭、平板玻璃产量与 2020 年相比分别下降 6%、5%、5%、8% 和 2%。原油加工量增长 11%。

预计“十四五”期间，该区域能源消费水平保持基本稳定，略有小幅增长。从能源消费结构看，煤炭和石油等化石燃料仍占主导地位，煤炭消费量下降 10% 左右，在能源消费量的占比将下降到 50% 以下，而石油消费量将上升 4% 左右。天然气消费量将增加 20% 以上。电力供应中，可再生能源发电比例将进一步提升。

2、京津冀及周边地区“十四五”空气质量改善目标研究方法

以城市空气质量达到《环境空气质量标准》(GB 3095—2012) 为远期目标，结合“基本实现美丽中国目标”的战略要求，倒推“十四五”目标要求。落实《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》中约束性指标要求，将优良天数比例作为“十四五”空气质量改善的综合性指标。按照“美丽中国”大气环境改善愿景，推进 PM_{2.5} 与 O₃ 协同控制，将 PM_{2.5} 和 O₃ 年均浓度作为主要指标；实现基本消除重污染天气的目标要求，将重污染天数比例作为主要指标。为消除气象条件波动的影响，本研究以 2018—2020 年平均值为基数，研究提出区域和城市“十四五”空气质量改善目标。

(1) PM_{2.5} 浓度下降目标

以 2018-2020 年 $PM_{2.5}$ 年均浓度平均值为基数，将城市分为 6 档，浓度越高的城市，要求其“十四五”期间 $PM_{2.5}$ 浓度下降幅度越高。其中 $PM_{2.5}$ 浓度基数超过 $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ 的，要求“十四五”期间下降 25%； $PM_{2.5}$ 浓度基数不高于 $25\mu\text{g}/\text{m}^3$ 的，要求“十四五”期间持续改善。在得到每个城市“十四五”期间 $PM_{2.5}$ 浓度下降预期后，汇总得到各省（市）和区域 $PM_{2.5}$ 浓度下降预期。

表 1 “十四五”京津冀及周边地区城市 $PM_{2.5}$ 浓度改善情景

2018-2020 年平均浓度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	下降比例
≤ 30	$\leq 9\%$
≤ 35	$\leq 12\%$
≤ 40	$\leq 16\%$
≤ 45	$\leq 19\%$
≤ 50	$\leq 21\%$
> 50	$\leq 25\%$

(2) O_3 浓度下降目标

以 2018-2020 年 O_3 浓度平均值为基数，根据 O_3 污染程度将城市分为 4 档，浓度越高的城市，要求其“十四五”期间 O_3 浓度下降幅度越高。 O_3 浓度基数在 $160\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上的城市五年下降 3-8%， $160\mu\text{g}/\text{m}^3$ 及以下的城市持续改善。在各城市“十四五” O_3 浓度预期的基础上，汇总城市得到各省（市）和区域 2025 年 O_3 浓度下降比例目标。

表 2 “十四五”京津冀及周边地区城市 O_3 浓度改善情景

2018-2020 年平均浓度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	下降比例
≤ 160	持续改善
≤ 170	$\leq 3\%$
≤ 180	$\leq 5\%$
> 180	$\leq 8\%$

(3) 优良天数提升目标

根据大量城市数据分析，PM_{2.5}浓度、O₃浓度和超标天数之间存在一定的相关性。结合PM_{2.5}和O₃浓度与优良天数间的相关性考虑个城市优良天数提升目标。

(4) 重污染天数下降目标

根据各城市重污染天数基数，基数越高的城市，要求其“十四五”期间重污染天数削减幅度越高。其中重污染天数大于3天的，要求“十四五”期间重污染天数削减50%；重污染天数1-2天的，要求“十四五”期间重污染天数归零。最后汇总城市得到各省和重点区域2025年重污染天数比率目标。

3、京津冀及周边地区“十四五”大气污染协同控制目标建议

根据上述空气质量改善目标测算方法，分别测算到2025年区域和各城市PM_{2.5}浓度、O₃浓度、优良天数比例和重污染天数比例。结果显示，到2025年，京津冀及周边地区优良天数比例达到70.1%，相比基数提高4.7个百分点；PM_{2.5}浓度均值39.9微克/立方米，相比基数下降22.8%；O₃浓度达到167.9微克/立方米，相比基数下降5.2%；重污染天数比例达到1.5%，相比基数下降1.6个百分点。

根据以上分析，经过5年努力，京津冀及周边地区空气质量全面改善。建议到2025年，区域PM_{2.5}浓度下降20%，O₃浓度下降5%，重度及以上污染天数比例不超过2%。NO_x和VOCs排放量分别下降15%和20%。北京市PM_{2.5}年均浓度达标。切实做好北京2022年冬奥会和冬残奥会空气质量保障，北京、张家口赛区赛时空气质量保持优良。

京津冀及周边地区CO₂排放主要集中在电力、钢铁、水泥、石化、化工、煤化工等重点行业及交通、建筑领域，根据区域“十四五”发展情景，估算“十四五”期间以上行业CO₂排放量变化，建议该区域在“十四五”期间实现CO₂排放达峰。

三、京津冀及周边地区“十四五”大气污染协同控制重点任务

1、持续调整产业结构

严格产业准入门槛。建议京津冀及周边地区严禁新增钢铁、焦化、水泥熟料、平板玻璃、电解铝、氧化铝、炼油产能。新、改、扩建项目产能置换比例不低于1.5:1。**加快产业升级与布局调整。**建议该地区焦钢比控制在0.4及以下，大力推进长流程炼钢转型为短流程炼钢；对500万吨/年及以下的炼油企业整合升级。

持续推进产业集群综合治理。坚决杜绝“散乱污”企业项目建设和已取缔的“散乱污”企业异地转移、死灰复燃。开展产业集群综合整治。**积极推进含 VOCs 产品源头替代。**禁止不符合 VOCs 含量限值标准的涂料、油墨、胶粘剂、稀释剂产品生产、销售和使用。在整车制造、家具制造、钢结构、塑料软包装等工业涂装和包装印刷重点行业实施含 VOCs 产品源头替代工程。培育一批 VOCs 源头替代的先进企业，带动行业绿色发展，推动有机溶剂产品替代。

2、深入优化能源结构

优化能源消费结构。加快推进太阳能、地热、风能和生物质能等新能源利用项目建设，使新能源消费比重显著提高。有序扩大区域外来电规模。进一步增加京津冀及周边地区天然气供应量，优化天然气使用方式。力争到 2025 年，该区域非化石能源消费比重提高到 20%以上，煤炭消费比重下降到 50%左右。**控制煤炭消费总量。**建议到 2025 年，京津冀及周边地区煤炭消费量下降 10%左右。原则上不增加煤电规模。淘汰管网覆盖范围内的燃煤锅炉和散煤。**加快推进工业炉窑清洁能源替代，持续推进清洁取暖。**

3、深化运输结构调整

货物运输绿色转型。建议 2025 年底前，京津冀及周边地区火电、钢铁、石化、化工、煤炭、焦化、有色等行业大宗货物通过铁路、水路、管道、新能源或国六货车等清洁方式运输比例达到 80%以上；建材（含砂石骨料）清洁方式运输比例达到 60%以上。**大力推广新能源车船。**建议到 2025 年，京津冀及周边地区新能源汽车新车销量占比达 20%左右，北京市、天津市和省会城市达到 40%以上。城市内公交车基本实现新能源化。建议新增或更新的 3 吨以下叉车、市政园林机械使用新能源比例达到 90%以上。**推动车船升级优化。**根据国家要求执行机动车和非道路移动柴油机械新排放标准。大力推进老旧车船辆提前淘汰更新。

4、强化 VOCs 和氮氧化物协同减排

深化 VOCs 治理。以石化、化工、工业涂装、包装印刷等行业为重点，通过源头替代、无组织排放管控和治理设施“三率”提升等措施，深化工业源 VOCs 治理，补齐大气污染治理短板。引导石化、化工、煤化工、制药、农药等行业企业和市政工程施工实施季节性调控。**推进重点行业污染深度治理。**持续推进钢铁企业超低排放改造，推动实施水泥、焦化及燃煤锅炉行业超低排放改造。燃气锅

炉推行低氮燃烧改造。推进玻璃、陶瓷等行业实施深度治理。全面加强无组织排放控制。强化移动源环境监管。**加强机动车达标监管。**完善 I/M 体系建设，加强对用车大户的入户检查，有序开展车辆燃油蒸发排放控制检测。大力推进老旧工程机械淘汰和深度治理。加快提升燃油清洁化水平。

5、加强面源综合治理

全面综合整治城市扬尘。实施降尘考核，建议京津冀及周边地区各城市平均降尘量不得高于 8 吨/月·平方公里。加强施工扬尘和道路扬尘精细化管控。稳步发展装配式建筑，提高城市道路吸尘式机械化清扫作业比例，力争到 2025 年，地级及以上城市建成区道路机械化清扫率达到 100%，县城达到 80%。**加强秸秆禁烧监管和综合利用。**到 2025 年，秸秆综合利用率达到 95%以上。持续做好秸秆禁烧工作。**促进大气氨排放控制。**推广畜禽规模化养殖，鼓励种养结合一体化经营，力争到 2025 年，大型规模化养殖场大气氨排放总量削减 5%。推进种植业肥药减量增效，持续提升测土配方施肥技术覆盖率，改进施肥方式。加强工业 NH₃ 排放污染防治。加强氮肥、纯碱等行业氨排放治理，强化固定源烟气脱硫脱硝氨逃逸防控。**加强生活源治理。**严格执行建筑类涂料和胶粘剂挥发性有机化合物含量限值标准。鼓励汽修行业建立集中化钣喷中心。干洗行业全面推广使用配备溶剂回收制冷系统、不直接外排废气的全封闭式干洗机。

6、加强区域联防联控和重污染天气应对

在优先控制本地源的基础上，在产业结构调整、重点工业源管控、秸秆禁烧、油品质量升级、散煤整治等方面应进一步加强区域合作；积极参与和组织实施区域空气质量监测预警、重污染天气应急联动、区域交叉执法与联合执法等工作，特别是在重污染天气发生时，加强应急联动合作。

7、推进大气污染和温室气体协同控制能力建设

提升监测能力。扩大工业污染源在线监控范围，加强移动源监测，组建城市路边交通空气质量监测网。推广重点污染源视频监控设备、用电监控设备和生产/治理设施施工过程监控设备的安装使用，实现污染全过程监控。**强化执法监管能力建设。**在总结“五步法”成效和经验基础上，加强双随机一公开，推进责任落实。加强自动监控、卫星遥感、无人机、电力数据、VOCs 走航监测等高科技信息化手段和执法装备的应用。健全区域监测执法联动机制，推进臭氧污染防治专项行动，加强重污染时期监测执法联动。

四、 减排潜力和空气质量改善效果分析

基于“十四五”京津冀及周边地区社会经济发展情景和大气污染协同控制任务措施，估算了 SO₂、NO_x、VOCs 和一次 PM_{2.5} 等主要大气污染物减排潜力。到“十四五”末，京津冀及周边地区 SO₂、NO_x、VOCs 和一次 PM_{2.5} 排放量分别可减排约 18.5%、17.0%、20.8%和 22.6%。

使用 WRF-CMAQ 模型，对京津冀及周边地区 PM_{2.5} 浓度进行模拟分析。结果显示，在本研究提出的社会经济和能源发展情景下，产业结构、能源结构和交通运输结构调整，以及末端减排措施的实施可使区域 PM_{2.5} 年均浓度下降 20%，基本可以实现区域空气质量改善目标建议值。