

新形势下城市大气环境治理的创新对策

鲁小娟

运城市生态环境局垣曲分局 山西 运城 043700

摘要:作为全国能源革命综合改革试点,山西省在“双碳”目标与产业转型的双重压力下,大气环境治理面临新的机遇与挑战。本文基于山西省2024年环境空气质量数据,结合碳排放双控制度实施背景,分析了资源型地区大气污染治理的特殊性。研究表明,通过技术创新推动传统产业超低排放改造、构建“刚性约束+市场激励”的制度体系、实施精准化智慧监管以及建立多元协同治理机制,可实现生态环境保护与经济高质量发展的双赢。以太钢焦化超低排放、清徐园区“公转铁”等案例为实证,提出适合山西特点的大气环境治理创新路径,为全国资源型地区生态转型提供参考。

关键词:城市大气环境治理;创新对策;碳排放双控;产业转型;智慧环保

1 新形势下山西大气环境治理的背景与挑战

山西省作为我国重要的能源基地,依托丰富的煤炭资源构建起以煤炭开采、火力发电、钢铁冶炼、化工制造为主导的产业体系,长期以来面临着经济发展与生态保护的双重压力。从数据维度剖析,2024 年全省环境空气质量综合指数为 4.31,较 2018 年的 6.08 下降 29.1%,实现七年连降的突破;PM_{2.5} 平均浓度降至 36 微克/立方米,较 2015 年新国标实施时下降 50%;优良天数比例达 74.2%,较“十三五”初期提升 16.7 个百分点,这些关键指标印证了环境质量改善的显著成效。然而治理进程中出现新挑战:臭氧(O₃)已连续五年成为首要污染物,2024 年夏季(6-8 月)全省 NO_x 平均浓度达 58 微克/立方米,较非夏季时段高出 32%,形成 PM_{2.5} 与 O₃ 复合污染态势^[1]。这种结构性污染转变标志着山西大气污染治理已进入污染物协同控制、多污染源系统治理的“深水区”,亟需突破传统治理模式。

在“双碳”战略深入推进的新形势下,山西省面临着更为严峻的挑战。2024 年 11 月出台的《山西省加快构建碳排放双控制度体系实施方案》明确提出,到 2027 年全省单位地区生产总值能源消耗和二氧化碳排放分别降低 15%、19% 以上,非化石能源消费占比达到 15% 左右,这一政策标志着治理重点从能耗双控向碳排放总量和强度双控全面转型。作为全国重要的能源基地,山西煤炭产量连续多年稳居全国首位,2023 年全省原煤产量达 13.57 亿吨,占全国总产量的 35.5%;焦炭产量 1.36 亿吨,占全国的 24.6%;粗钢产量 4962.8 万吨,占全国的 3.9%。这样的产业结构使得山西单位 GDP 能耗是全国平均水平的 2.3 倍,单位工业增加值碳排放强度高达 18.6 吨/万元,远超全国 8.2 吨/万元的平均水平。这一转型

对以煤炭、焦化、钢铁等为支柱产业的山西而言,意味着必须重构能源结构与产业体系。特别是汾渭平原大气污染防治区域的定位,使得山西治理任务更加艰巨。汾渭平原 PM_{2.5} 年均浓度较京津冀、长三角等重点区域分别高出 27% 和 43%,秋冬季重污染天数占比超过 40%。其中,山西境内太原、临汾、吕梁等城市长期处于全国空气质量排名后 20 位。这要求山西在区域协同治理中承担更大责任,不仅要落实国家统一部署,更需结合本地实际,探索出一条具有资源型地区特色的治污减排新路径。

当前山西大气环境治理面临的核心矛盾主要体现在三个方面:一是传统高碳产业升级缓慢与生态环境刚性约束的矛盾。山西作为我国重要的能源基地,焦化、钢铁等行业占工业总产值比重超 60%,既是经济增长的支柱产业,也是 PM_{2.5}、二氧化硫等污染物的主要排放源。以吕梁市为例,2023 年焦炭产量达 4500 万吨,但行业单位产值能耗较全国平均水平高 23%,污染物排放强度居高不下。而随着生态环境部《大气污染防治行动计划》等政策的刚性约束持续收紧,传统产业面临“保生产”与“保环境”的双重压力。二是技术创新能力不足与深度治理需求的矛盾。在超低排放改造领域,山西多数企业仍依赖传统脱硫脱硝技术,面对钢铁行业烧结机烟气中 NO_x 深度脱除、焦炉煤气精脱硫等技术难题,尚未形成成熟的自主解决方案。据山西省生态环境厅数据显示,全省重点企业中仅 35% 的超低排放改造项目达到预期效果,技术瓶颈导致治理成本增加 40% 以上,严重制约深度治理推进。三是行政管控手段与市场化机制结合不够紧密。目前山西大气治理仍以政府主导的“一厂一策”“错峰生产”等行政手段为主,碳交易市场、排污权交易等市场化工具尚未充分激活。2024 年全省碳配额

交易量仅占理论需求的 28%，排污权二级市场交易活跃度不足，尚未形成“污染付费、减排受益”的长效激励机制。这些矛盾的破解需要系统性的创新思维与制度设计。

2 技术创新是传统产业绿色转型的核心驱动力

技术创新是突破山西大气环境治理瓶颈的关键支撑。太原市焦化行业的超低排放改造实践为此提供了成功范例。太钢焦化自筹资金 3.8 亿元，申请省级大气污染防治资金 0.891 亿元，率先在全国完成焦化行业超低排放改造，其污染物排放浓度远低于国家及山西省标准，其中氮氧化物排放浓度仅为 $32.3\text{mg}/\text{m}^3$ ，不足国家标准的四分之一。这一实践表明，通过技术革新，传统高污染行业完全可以实现生态价值与经济价值的统一。

在具体技术路径上，山西探索形成了“源头减量 - 过程控制 - 末端治理”的全链条技术体系。源头减量方面，推广干熄焦技术替代传统湿熄焦，太钢焦化通过该技术年发电 3.2 亿千瓦时，相当于 17.5 万户家庭一年的用电量，实现了能源梯级利用。过程控制方面，采用 SCR 脱硝、SDS 干法脱硫和覆膜滤料袋式除尘等先进工艺，确保烟气污染物稳定达标排放。末端治理方面，组建高校技术联盟，大力推广活性焦协同治理、氢能炼焦等前沿技术，推动污染治理与碳减排协同增效。煤电行业的超低排放技术创新同样成效显著。针对山西低挥发分煤、高灰分难燃煤的特点，研发的低 NO_x 燃烧技术可降低氮氧化物排放约 20%，智能 SNCR+SCR 协同脱硝工艺总效率达 93-97%。这些技术已应用于山西境内 12 台机组改造，不仅带来显著环境效益，还创造了 70.6 亿元产值，证明环保技术创新能够成为新的经济增长点。技术创新的重点领域应聚焦臭氧污染防治。太原市投入 1451.42 万元建设移动源 $\text{PM}_{2.5}$ / 臭氧协同管控系统，通过精准识别污染来源和成因，为臭氧与 $\text{PM}_{2.5}$ 协同控制提供技术支撑，这种靶向治理思路值得在全省推广。同时，应加强 VOCs 治理技术研发，针对焦化、化工等重点行业特征污染物，开发适用性强、成本可控的治理技术。

3 构建碳排放双控的长效机制

制度创新是巩固治理成效、实现持续改善的保障。山西省在大气环境治理进程中积极探索制度革新，2024 年重磅推出的碳排放双控制度体系，标志着环境治理从行政命令为主向制度引导为主的根本性转变。该体系紧密结合山西作为能源大省的产业特点，通过科学的顶层设计，构建起全链条、多层次的制度约束与激励机制。

方案明确提出，自 2026 年起全面实施以强度控制为主、总量控制为辅的双控制度，这一设定既考虑了经济发展的合理需求，又严守生态环境底线。在具体实施

层面，通过建立行业碳排放预警机制，对钢铁、焦化、电力等高耗能行业进行动态监测，一旦企业碳排放强度触及预警阈值，将触发阶梯电价、环保信用评级下调等约束措施；配套企业节能降碳管理制度，鼓励企业采用余热余压利用、清洁能源替代等先进技术，并对通过技术改造实现显著减排的企业给予税收优惠、绿色信贷支持；针对新建项目，则严格执行碳排放评价制度，将碳排放强度作为项目审批的核心指标，对不符合要求的项目实行“一票否决”。这些制度环环相扣，形成了覆盖行业监管、企业行动、项目准入的系统完备制度框架，为山西省大气环境质量的持续改善奠定了坚实的制度基础，也为全国能源型省份的绿色转型提供了可借鉴的“山西方案”。在市场机制创新方面，山西积极参与全国碳排放权交易市场，规范开展配额分配、核定、清缴等工作，同时探索碳足迹应用体系。方案鼓励重点产业链“链主”企业开展产品和供应链碳足迹核算，建立碳标识认证公共服务平台，推动碳足迹信息披露。这种将环境成本内部化的制度设计，能够激励企业主动减排，形成“谁减排、谁受益”的良性循环。环境监管制度创新显著提升了执法效能。太原市在焦化企业关键点位安装在线监测设备 89 套，建设挥发性有机物、总悬浮颗粒物等各类微观监测站 317 个，建立“管、控、治”一体化智能管理平台，实现了环境执法从“漫天撒网”到“精准定向”的转变。大同市通过“双随机”抽查机制，2024 年检查企业 767 家次，立案查处违法案件 125 起，罚款 2890 万元，同时实施轻微违法不予处罚制度，体现了刚柔并济的监管智慧。财政激励制度对推动企业治污减排发挥了重要作用。2024 年太原市获得省级大气污染防治专项资金 2245 万元，重点支持移动源管控系统、智能喷涂技术开发、污染防治设施改造等项目；3170 万元用于农村“煤改电”运行补贴，惠及 9.9 万户村民。这种“以奖代补”的资金使用方式，既发挥了财政资金的杠杆效应，又确保了资金投向最急需的治理领域，值得在全省范围内优化推广^[2]。

4 多元协同的系统治理路径

治理模式创新是破解跨区域、跨领域污染难题的关键。山西省立足资源型地区特点，以系统性思维构建起“政府主导、企业主体、公众参与”的多元协同治理体系，形成了独具特色的治理经验。在政府层面，创新建立“环保督察 + 专家帮扶”双轮驱动机制，既通过常态化督查压实属地责任，又邀请生态环境部专家组开展技术指导，累计帮助企业完成超低排放改造项目 327 个；在企业主体培育上，设立 20 亿元绿色转型基金，对采用先进环保

技术的企业给予税收减免和财政补贴,推动焦化、钢铁等重点行业污染物排放量同比下降 18%。

在区域协同治理方面,山西省积极融入京津冀及周边地区大气联防联控机制,与北京、河北建立污染源数据共享平台,实现重污染天气预警信息实时互通。省内层面,创新实施“一市一策”“一谷一策”精准治理:针对汾河谷地地形封闭、污染物易积聚的特点,组建由气象、环保、交通等部门构成的联合攻坚专班,运用卫星遥感、无人机巡查等科技手段,精准锁定工业排放、机动车尾气、扬尘污染等 12 类污染源;在太原都市圈推行区域环境容量动态调控机制,根据空气质量实时数据,动态调整重点企业生产负荷,2023 年汾河谷地 PM_{2.5} 平均浓度同比下降 9.3%,区域精准治理成效显著。

运输结构调整是山西大气污染治理的创新亮点。在“双碳”目标与蓝天保卫战的双重战略驱动下,山西省以清徐精细化工园区为试点,启动总投资 8.5 亿元的晋煤物流铁路专用线改扩建工程。该工程建成后,年运输能力提升至 2200 万吨,配套建设的智能皮带管廊系统,通过全封闭运输管道实现煤炭从开采到加工的无缝衔接;15 座大型封闭式焦仓采用负压除尘技术,有效遏制粉尘外溢,真正达成“煤不露天、焦不落地”的清洁运输目标。数据显示,该模式运行后,园区周边重型柴油车通行量减少 65%,氮氧化物排放量同比下降 38%,同时为周边道路释放出每日超 3000 辆次的运力空间。这种“公转铁+智能化储运”的创新模式,不仅从源头上削减了移动源排放负荷,更通过铁路运输的规模化、集约化优势,降低了企业综合物流成本。建议将该模式纳入全省重点工业园区的升级改造方案,通过铁路专用线建设补贴、运输价格优惠等政策组合拳,系统性推动运输结构深度转型。

公众参与机制的完善提升了治理的社会基础。大同市 2024 年受理 12345 环境信访举报 408 件,办结率和反馈率均为 100%,通过畅通民意表达渠道,形成了全民共治的良好氛围。山西省在推进碳排放双控过程中,应进一步完善环境信息公开制度,鼓励公众通过碳普惠、环保信用评价等方式参与治理,构建“人人有责、人人尽责”的治理共同体^[3]。

产业协同创新为生态转型提供了新动能。山西省以零碳(近零碳)产业示范创建为突破口,构建“政策驱

动+技术赋能+产业联动”的创新体系。在煤炭矿山领域,通过引入智能开采设备与碳捕集技术,实现开采过程的精准控污;针对钢铁、焦化等高碳行业,创新推行“链主企业牵头+中小企业配套”的集群化发展模式。其中,太原市通过空间重构形成的“北有太钢焦化,南有美锦华盛、梗阳新能源、亚鑫能源等三家民企”的焦化产业新格局极具代表性。该格局依托工业园区载体,整合上下游产业链资源,配套建设集中式煤焦油深加工、焦炉煤气综合利用项目,污染物集中处理率提升至 98% 以上。通过搭建统一的环境监测智慧平台,实现对废气排放、能耗数据的实时监控,使环境监管成本降低 30%。这种将产业布局优化与生态环境保护深度融合的实践,不仅破解了资源型地区“一煤独大”的发展困局,更为全国同类地区提供了产业转型升级与绿色发展协同推进的山西方案。

5 结束语

山西省在大气环境治理方面取得的成效表明,资源型地区完全可以走出一条生态优先、绿色发展的新路。通过技术创新推动传统产业“涅槃重生”,借助制度创新构建长效治理机制,依靠模式创新形成多元共治格局,山西正在书写大气环境质量持续改善与经济高质量发展协同推进的新篇章。2024 年全省 PM₁₀ 浓度首次达到国家二级标准,黄河干流(山西段)连续三年保持 II 类水质,这些成果印证了创新驱动治理的有效性。

面向未来,山西省应继续深化碳排放双控制度改革,加快形成减污降碳协同增效的制度体系;加大环保科技研发投入,突破关键核心技术瓶颈;完善市场化激励机制,激发企业治污减排内生动力;强化区域协同与公众参与,构建更加开放包容的治理体系。作为能源革命综合改革试点,山西的大气环境治理创新实践不仅关乎自身可持续发展,更将为全国资源型地区的生态转型提供宝贵经验,为美丽中国建设贡献“山西方案”。

参考文献

- [1]山西省人民政府.山西省 2024 年生态环境保护“成绩单”[EB/OL]. 2025-02-05.
- [2]中国青年报.山西临汾二氧化硫爆表“元凶”:散煤锅炉工业排放[EB/OL]. 2025-08-01.
- [3]山西省能源局.山西省落实〈空气质量持续改善行动计划〉实施方案[EB/OL]. 2024-03-21.