

# 基于大数据的区域大气污染联防联控机制

夏 凡

邯郸市生态环境局大名县分局 河北 邯郸 056900

**摘要:** 本文聚焦基于大数据的区域大气污染联防联控机制。理论基础融合环境系统工程、协同治理与公共产品理论,大数据构建“感知-分析-决策-执行-反馈”闭环。从感知体系的多源数据采集与融合,到精准溯源预测,再到决策机制的协同会商、减排方案优化与联动执法,全方位阐述大数据如何赋能,推动区域大气污染治理向精准、高效、科学方向转变。

**关键词:** 区域大气污染;联防联控;大数据;数据融合

引言:区域大气污染因流动性、跨界性、复合型特点,单一区域治理效果不佳。传统联防联控存在数据碎片化、决策粗放等问题。在此背景下,大数据技术凭借强大能力,为区域大气污染联防联控带来新契机。本文深入探讨大数据赋能的理论逻辑,构建起涵盖感知、溯源预测、决策等环节的完整机制,旨在为区域大气污染治理提供新思路与方法。

## 1 区域大气污染联防联控的理论基础与大数据赋能逻辑

### 1.1 理论基础

区域大气污染联防联控的理论基础源于环境系统工程、协同治理理论与公共产品理论的深度融合,核心是破解大气污染“流动性、跨界性、复合型”难题,打破行政区域壁垒,实现全域协同治理。环境系统工程理论明确,大气是无边界的开放系统,污染物的扩散、传输不受行政区域限制,单一区域的治理行动难以从根本上改善区域空气质量,需将区域内各城市作为一个有机整体,统筹考虑污染生成、传输、扩散的全链条。协同治理理论为联防联控提供了机制支撑,强调政府、企业、公众等多元主体协同发力,通过跨区域、跨部门协作,整合治理资源、明确权责分工,形成“统一规划、统一标准、统一监测、统一执法、统一调度”的治理格局。公共产品理论则表明,清洁空气属于典型的公共产品,具有非排他性和非竞争性,单靠市场机制难以实现有效供给,需依靠跨区域协同干预,保障全体公众的环境权益。

### 1.2 大数据赋能联防联控的逻辑框架

大数据赋能区域大气污染联防联控的逻辑框架,以“数据驱动”为核心,构建“感知-分析-决策-执行-反馈”的闭环体系,实现治理模式从“经验型”向“精准型”转型。其核心逻辑是通过整合多源数据,破解传统联防联控中数据碎片化、分析滞后、决策粗放等痛点<sup>[1]</sup>。首先,依

托大数据技术实现多维度、全时段的污染数据采集,打破数据孤岛,构建统一的数据资源池;其次,通过数据融合、挖掘与建模,完成污染溯源、传输模拟、趋势预测等核心分析任务,为治理决策提供科学依据;再次,基于分析结果优化协同减排、联动执法等决策方案,推动治理措施精准落地;最后,通过数据反馈实时评估治理成效,动态调整治理策略,形成闭环优化。这一框架将大数据技术与联防联控理论深度结合,实现了“数据资源化、资源智能化、智能决策化”,推动区域大气污染治理从“被动应对”向“主动防控”、从“粗放治理”向“精准施策”转变,提升联防联控的效率与科学性。

## 2 大数据支撑下的区域大气污染感知体系

### 2.1 多源监测数据采集

大数据支撑下的区域大气污染感知体系,核心是构建“空天地人”一体化多源监测数据采集网络,实现区域污染状况的全面、实时、精准感知,为联防联控提供基础数据支撑。采集范围覆盖区域内所有重点污染源、污染传输通道及敏感区域,采集内容包括空气质量常规指标、污染源排放数据、气象数据、地理空间数据等多类数据。其中,空气质量监测依托国控、省控、市控监测站点及微型监测设备,实时采集PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub>、SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、O<sub>3</sub>等常规污染物浓度数据;污染源监测通过企业在线监控系统、无人机巡查、卫星遥感等手段,采集工业企业、机动车、扬尘等各类污染源的排放数据,实现污染源实时监控;气象数据涵盖风速、风向、温度、湿度等参数,为污染扩散模拟提供支撑;地理空间数据包括地形、路网、产业布局等,辅助分析污染传输路径与影响范围。

### 2.2 数据融合与质量控制

多源监测数据的融合与质量控制,是保障区域大气污染感知准确性、可靠性的关键,也是大数据赋能联防

联控的重要环节。由于采集数据来源多样、格式不一、精度差异较大,需通过标准化处理与融合技术,实现数据的统一整合与效能提升。数据融合采用“分层融合”思路,先对单一来源数据进行预处理,消除数据噪声与冗余;再通过跨源数据关联分析,融合空气质量监测、污染源排放、气象等多类数据,挖掘数据间的内在关联,形成全域统一的污染数据视图。质量控制则围绕“真、准、全、快、新”五维体系,建立全流程质量管控机制,通过异常值检测、数据校准、缺失值补全、一致性检验等技术,剔除无效数据、修正偏差数据,确保数据的真实性与准确性。同时依托区块链等技术实现数据存证,保障数据不可篡改,提升数据可信度。

### 3 基于大数据的污染精准溯源与预测

#### 3.1 区域污染输送通道识别

基于大数据的区域污染输送通道识别,是破解跨界污染难题、实现精准联防联控的核心前提,通过整合多源数据与先进算法,精准定位污染传输路径与关键通道。依托空气质量监测数据、气象数据、地理空间数据及污染源排放数据,构建污染传输模拟模型,结合LSTM等机器学习算法,模拟污染物在大气中的扩散、传输过程,量化不同区域间的污染传输贡献。通过热点网格分析、轨迹追踪等技术,识别区域内主要污染输送通道,明确通道的走向、覆盖范围及传输强度,区分本地污染与跨界传输污染的贡献比例<sup>[2]</sup>。结合卫星遥感监测的大气污染物浓度分布数据,验证传输通道的准确性,动态更新通道信息。通过精准识别污染输送通道,可为跨区域协同减排提供明确靶向,指导相关区域针对性采取管控措施,阻断污染传输路径,减少跨界污染影响,推动区域联防联控从“全域共治”向“精准共治”转变,提升治理的针对性与有效性。

#### 3.2 动态高分辨率排放清单构建

动态高分辨率排放清单是区域大气污染精准治理的核心基础,大数据技术打破了传统排放清单编制周期长、精度低、更新慢的局限,实现清单的动态化、高分辨率更新与完善。构建过程中,整合工业企业在线监控数据、机动车登记与运行数据、扬尘污染源监测数据、能源消耗数据等多源数据,采用排放因子法与监测法相结合的方式,精准核算各类污染源的污染物排放量。依托大数据挖掘技术,分析污染源排放的时空分布特征,实现排放清单的高分辨率化,可精准到乡镇、街道及重点污染源,明确不同行业、不同时段排放差异。建立动态更新机制,实时接收各类污染源排放数据的更新信息,及时调整清单内容,实现排放清单与污染源实际排放状况

的同步匹配。结合区块链技术保障清单数据的真实性与可追溯性,为污染溯源、源解析及减排方案制定提供精准的数据支撑,确保减排措施能够靶向对准高排放源,提升区域大气污染治理的精准度。

#### 3.3 源解析技术

基于大数据的源解析技术,是明确区域大气污染源、量化各类污染源贡献比例的关键手段,通过融合多源数据与多方法协同,实现污染来源的精准识别与量化。核心是整合空气质量监测数据、污染源排放清单数据、污染物化学组分数据等,采用受体模型法、数值模拟法、统计分析法等多方法融合的思路,突破单一方法的局限性。其中,受体模型法(如PMF、CMB)通过分析环境空气中污染物的化学组成,反推各类污染源的贡献比例;数值模拟法(如CMAQ、WRF-Chem)结合气象场与排放清单,模拟污染物的生成与传输过程,量化不同区域、不同污染源的贡献;统计分析法依托大数据挖掘技术,分析污染物浓度与污染源排放的相关性,辅助验证源解析结果。通过多方法交叉验证,提升源解析结果的可靠性,明确工业源、移动源、扬尘源、生物质燃烧源等各类污染源对PM<sub>2.5</sub>、O<sub>3</sub>等重点污染物的贡献比例及时空变化规律,为针对性制定减排措施、优化治理方案提供科学依据,推动污染治理从“盲目治理”向“靶向治理”转变。

#### 3.4 区域空气质量预测预报

基于大数据的区域空气质量预测预报,是实现大气污染主动防控的重要支撑,通过整合多源数据与先进建模技术,提升预测预报的精度与时效,为联防联控决策提供提前量。预测预报体系以多源数据为基础,整合空气质量监测数据、污染源排放数据、气象数据、地形数据等,构建多模型集合预报系统,融合数值模拟模型与机器学习模型(如LSTM、随机森林),兼顾污染物扩散的物理化学过程与数据的统计规律<sup>[3]</sup>。通过大数据挖掘技术,分析历史污染数据与气象数据的关联关系,优化模型参数,提升短期(1-3天)、中期(4-7天)、长期(8-15天)预测预报的准确性,重点提升重污染天气过程的预测精度,确保污染过程不漏报。同时,实现预测预报结果的高分辨率呈现,精准到具体区域、具体时段及重点污染物,及时推送预测信息,为区域协同会商、预警发布及应急减排提供科学支撑,助力相关区域提前做好防控准备,有效降低重污染天气造成的影响。

### 4 大数据驱动的联防联控决策机制

#### 4.1 协同会商与预警发布

大数据驱动的协同会商与预警发布机制,是推动区域大气污染联防联控协同发力的核心纽带,通过数据共

享与智能研判,实现跨区域、跨部门的高效协同与精准预警。依托大数据平台,构建区域统一的协同会商系统,整合各城市、各部门的监测数据、预测预报数据、污染源数据等,实现数据实时共享,打破部门与区域壁垒。建立常态化协同会商机制,定期组织区域内各城市、环保、气象、交通等相关部门,基于大数据分析结果,共同研判区域空气质量形势、污染传输趋势及重点污染问题,协商制定协同治理措施。预警发布环节,结合大数据预测预报结果与统一的预警分级标准,以AQI为核心指标,明确黄色、橙色、红色预警的启动条件,提前48小时及以上发布预警信息,明确预警范围、等级及应急响应要求。

#### 4.2 差异化协同减排方案优化

大数据技术为差异化协同减排方案的优化提供了有力支撑,打破传统“一刀切”的减排模式,实现“一区域一策略、一行业一措施”的精准减排。依托大数据分析,精准掌握区域内不同城市、不同行业、不同污染源的排放特征、污染贡献及传输影响,结合区域空气质量目标,构建差异化减排模型。针对不同污染程度、不同污染类型的区域,制定差异化的减排目标;针对工业、机动车、扬尘等不同行业,结合其排放强度与贡献比例,优化减排措施,如工业企业分级管控、机动车限行、扬尘精细化管控等。同时利用大数据模拟不同减排方案的实施效果,对比分析各类方案的环境效益与经济成本,优化筛选最优减排方案,确保减排措施既能够有效改善空气质量,又能最大限度降低对经济社会发展的影响。通过动态监测污染源排放数据与空气质量数据,实时评估减排成效,及时调整优化减排方案,形成“制定-实施-评估-优化”的闭环机制,提升协同减排的科学性与有效性。

#### 4.3 跨区域联动执法与监督

跨区域联动执法与监督是保障区域大气污染联防联控措施落地见效的关键,大数据技术有效破解了传统执法

中地域限制、信息不畅、监管低效等问题,构建了全域覆盖、智能高效的联动执法体系。依托大数据平台,建立区域联合执法信息共享机制,整合各城市执法数据、污染源在线监控数据、卫星遥感数据、热点网格数据等,实现执法信息实时互通,精准定位跨区域违法排污行为<sup>[4]</sup>。采用“线上监测+线下核查”的联动执法模式,通过大数据分析识别违法排污线索,如企业超标排放、旁路偷排、治污设施不正常运行等,推送至相关区域执法部门,开展联合核查与执法。强化重污染天气应急响应期间的联动执法,充分运用污染源自动监控、工业用电量、车流量等远程信息化手段,提升监管效能,督促企业落实应急减排责任。建立执法监督与考核机制,对执法情况与减排措施落实情况进行动态监测与评估,公开典型违法案例,强化震慑作用,确保跨区域联防联控各项措施落地生根、取得实效。

#### 结束语

基于大数据的区域大气污染联防联控机制,通过构建多元数据感知体系、实现精准溯源预测以及完善决策机制,有效提升了区域大气污染治理的科学性、精准性与协同性。未来,随着大数据技术的持续发展,该机制将不断优化完善,进一步增强区域大气污染联防联控能力,为改善区域空气质量、保障公众环境权益发挥更为重要的作用。

#### 参考文献

- [1]薛思瑶,刘志.基于环境资源法视角下的大气污染联防联控措施研究[J].煤炭经济研究,2021,41(9):28-31.
- [2]田广袤.区域大气污染联防联控机制研究[J].皮革制作与环保科技,2025,6(1):158-159,165.
- [3]王迪.大气污染联防联控机制下移动源污染跨区域协同治理研究[J].黑龙江环境通报,2025,38(8):91-93.
- [4]马海峰,黄娇.城市群大气污染联防联控机制构建与实践研究[J].大武汉,2024(23):269-270.