

秋冬季京津冀地区重污染天气管控策略与效果评估研究

苏静怡

河南速创环保科技有限公司, 中国·河南 郑州 450000

摘要: 本研究围绕京津冀地区秋冬季重污染天气展开, 该时段重污染天气特征显著, 污染主要以 $PM_{2.5}$ 为首要污染物, 污染时段集中在 11 月至次年 2 月, 河北中南部为高发区域, 相较其他地区污染更为严峻。受气象条件如逆温、静稳天气及地形地貌等因素阻碍污染物扩散, 而工业排放、交通源及生活污染源等人为因素加剧空气质量恶化。当前管控策略已取得一定成效, 政策法规的出台、区域联防联控机制的建立以及各类具体管控措施促使污染物浓度下降、优良天数增加。然而, 管控进程中面临政策执行不到位、区域协同治理障碍以及经济发展与环保矛盾等问题。为进一步提升管控水平, 需完善政策法规与监管体系, 深化区域联防联控合作, 推动产业结构调整与能源转型, 并加强公众参与和环保意识培养, 从而助力京津冀地区改善空气质量, 有效应对重污染天气挑战。

关键词: 京津冀地区; 秋冬季重污染天气; 大气污染治理

Research on the Control Strategies and Effectiveness Evaluation of Heavy Pollution Weather in the Beijing Tianjin Hebei Region during Autumn and Winter

Jingyi Su

Henan Suchuang Environmental Protection Technology Co., Ltd., Zhengzhou, Henan, 450000, China

Abstract: This study focuses on heavy pollution weather in the autumn and winter seasons of the Beijing Tianjin Hebei region. During this period, the characteristics of heavy pollution weather are significant, with $PM_{2.5}$ as the primary pollutant. The pollution period is concentrated from November to February of the following year, and the central and southern parts of Hebei Province are high-risk areas, with more severe pollution compared to other regions. The diffusion of pollutants is hindered by meteorological conditions such as temperature inversion, stable weather, and topography, while human factors such as industrial emissions, transportation sources, and domestic pollution sources exacerbate the deterioration of air quality. The current control strategy has achieved certain results, with the introduction of policies and regulations, the establishment of regional joint prevention and control mechanisms, and various specific control measures leading to a decrease in pollutant concentration and an increase in the number of excellent days. However, the control process faces problems such as inadequate policy implementation, obstacles to regional collaborative governance, and conflicts between economic development and environmental protection. To further enhance the level of control, it is necessary to improve policies, regulations, and regulatory systems, deepen regional joint prevention and control cooperation, promote industrial restructuring and energy transformation, and strengthen public participation and environmental awareness cultivation, thereby helping to improve air quality in the Beijing Tianjin Hebei region and effectively address the challenges of heavy pollution weather.

Keywords: Beijing Tianjin Hebei region; heavy pollution weather in autumn and winter; air pollution control

0 前言

近年来, 京津冀地区工业化与城市化快速推进, 经济发展显著, 但大气污染问题突出, 秋冬季重污染天气频发。每年 10 月至次年 3 月, 不利气象条件与人为污染物排放相互作用, 致使雾霾多发。供暖燃煤量增加, 加剧污染, $PM_{2.5}$ 浓度常超国家空气质量二级标准数倍。重污染天气危害极大, 严重破坏环境, 增加居民患呼吸、心血管疾病风险, 因大气污染过早死亡人数逐年上升, 还对交通、农业、旅游等行业造成不利影响, 阻碍地区经济发展。因此, 加强管控刻不容缓。有效管控能改善空气质量、保障居民健康、促进经济可持续发展。本研究聚焦该地区秋冬季重污染天气, 通

过数据收集分析, 揭示形成机制与影响因素, 评估管控策略效果, 为完善策略提供依据, 也可为其他地区提供借鉴, 助力中国大气污染治理。

1 京津冀地区秋冬季重污染天气现状剖析

1.1 污染特征与时空分布

京津冀地区秋冬季重污染天气特征鲜明, 首要污染物通常为 $PM_{2.5}$ 。重污染期间, 其日均浓度常超 150 微克/立方米, 极端时突破 500 微克/立方米, 远超国家空气质量二级标准。除 $PM_{2.5}$, SO_2 、 NO_x 和 CO 等污染物浓度也会增加, 它们在大气中相互作用, 通过复杂化学反应转化为二次污染

物,进一步加重污染。

时间分布上,重污染天气集中在每年 11 月至次年 2 月。此时居民供暖需求增加,燃煤量大幅上升,加之静稳天气、逆温现象和高湿度等不利气象条件频繁出现,污染物难以扩散。12 月和 1 月重污染天气发生频率最高,占秋冬季总重污染天数的 60% 以上。

空间分布呈现明显区域差异。河北中南部地区工业发达,以钢铁、水泥、化工等重化工业为主,污染物排放量大,是重污染天气高发区。石家庄、邢台、邯郸等城市秋冬季常受重污染影响,PM_{2.5} 浓度长期居高。北京和天津虽采取诸多治污措施,但受周边地区污染物传输影响,重污染时空气质量也会恶化,如偏南风会将河北污染物传输至这两地。

1.2 典型污染事件回顾

2013 年 1 月,京津冀遭遇严重霾污染。1 月 1 日起,该地区便被雾霾笼罩,大气扩散条件持续不利,污染物不断累积。6~8 日首次出现强霾污染,北京 PM_{2.5} 小时浓度最高达 320 微克/立方米;9~15 日污染加剧,最高值飙升至 680 微克/立方米。多地空气质量指数爆表,整个 1 月,京津冀 22 天 PM_{2.5} 超 2016 年拟实施的国家二级标准,27 天超一级标准,仅 4 天晴好。

此次污染对京津冀地区影响巨大。健康方面,医院呼吸科、心内科患者激增,呼吸道和心血管疾病发病率大幅上升,老人、儿童和慢性病患者受威胁最大,污染期间因呼吸道疾病就医人数比平时增加 30% 以上。交通上,雾霾致能见度骤降,公路、铁路、航空均受严重干扰,高速公路多次管制、路段封闭,铁路晚点,北京首都国际机场众多航班延误或取消,旅客出行受阻。经济上,工业生产受限,部分企业停产限产;农业受影响,农作物生长缓慢、产量下降;旅游业遭受重创,景区游客和旅游收入锐减,直接经济损失达数十亿元。

面对污染,政府及相关部门迅速行动。环保部部署应对工作,要求加强监管执法。北京启动重污染日应急方案,停驶公车、停产污染企业,推进大气污染防治法,实施国五排放标准。市行政部门增加清扫频次,交通部门保障交通,教育部门保护学生健康,城管执法局整治违法行为。这次事件凸显了京津冀大气污染问题的严重性,为后续管控策略制定提供了重要参考。

1.3 与其他地区污染情况对比

与长三角、珠三角相比,京津冀污染情况独特。污染程度上,2013 年京津冀 13 个地级以上城市空气质量平均达标天数比例仅 37.5%,远低于长三角 25 个城市和珠三角 9 个城市。当年京津冀区域空气污染严重,PM_{2.5} 年均浓度远超国家二级标准,如 2013 年 1 月的严重霾污染,而同期长三角和珠三角污染相对较轻。

污染源构成方面,京津冀以重化工业为主,河北煤炭消费量占能源消费总量的 88.8%,远高于北京的 25.4% 和天

津的 59.6%,大量煤炭燃烧排放污染物。北京机动车保有量大、交通拥堵,机动车氮氧化物排放量占比达 45%,显著高于天津和河北。长三角产业结构多元,高新技术产业和服务业占比高,工业污染轻但机动车尾气和挥发性有机物污染突出。珠三角以制造业为主,虽工业、机动车尾气和挥发性有机物污染并存,但产业升级和环保技术应用领先,治理效果较好。

京津冀污染治理难度大,其处于太行山和燕山半封闭地形,不利于污染物扩散,且经济对传统产业依赖程度高,产业结构调整困难。而长三角和珠三角在污染治理方面经验值得借鉴,如长三角扶持高新技术产业和服务业优化产业结构,上海发展现代服务业改善空气质量;珠三角加强区域合作实现产业协同发展。在能源结构优化上,两地推广清洁能源,减少对煤炭依赖,上海推进清洁能源开发利用,珠三角建设风力和太阳能发电厂。交通污染治理方面,上海提高排放标准、加强公交建设、限行限购,广州推广新能源汽车、建设充电桩,有效减少机动车尾气排放。

2 影响因素探究

2.1 气象条件分析

2.1.1 地形地貌的影响

京津冀地区独特的地形地貌严重阻碍污染物扩散,是秋冬季重污染频发的关键因素。其地处太行山东侧与燕山南侧的半封闭区域,秋冬季盛行的西北季风受山脉阻挡,风速骤减,形成“弱风区”,污染物难以扩散,易在山前聚集,浓度不断攀升。气流遇山抬升,爬坡时速度减缓,携带污染物能力下降,背风坡的下沉气流又抑制垂直扩散,致使污染物在水平与垂直方向扩散均受限,空气污染加剧。

河北中南部位于太行山东侧“背风坡”,受地形影响显著。该地区工业发达、排污量大,地形阻碍下污染物更难扩散,成为重污染高发区。石家庄、邢台、邯郸等城市秋冬季常受重污染困扰,PM_{2.5} 浓度居高不下,相关研究表明,静稳天气时太行山东侧 PM_{2.5} 浓度比周边高 30%~50%。此外,京津冀地形平坦,缺乏有效地形起伏促进空气对流,空气流动缓慢,污染物易局部积聚,水平传输距离短,加重本地污染负担。数值模拟清晰显示,地形影响下污染物在山前聚集形成高浓度污染带,远离山脉处浓度相对较低。

2.1.2 气候因素的作用

气候因素对京津冀秋冬季重污染天气影响重大,逆温、静稳天气和降水尤为关键。逆温现象是重污染形成的关键气候因素。秋冬季地面辐射冷却快,近地面空气降温迅速,高层空气降温慢,形成逆温层,像“盖子”阻碍空气垂直对流,污染物被限制在近地面层,浓度不断累积。重污染天气中逆温出现频率超 70%,其厚度与强度和污染程度紧密相关。

静稳天气也是重要诱因。此时风速小、大气稳定度高,空气水平与垂直扩散均受抑制,污染物局部积聚浓度升高。

京津冀秋冬季受大陆冷高压控制,盛行下沉气流、风力小,静稳天气出现频率约 30%~40%,持续时间越长污染越严重,持续 3 天以上时 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度常明显上升,重污染概率大增。

降水能调节空气质量,通过湿清除作用冲刷污染物,但京津冀秋冬季降水少,降水量仅占全年 10%~20%,且分布不均,部分地区长时间无降水,污染物难以有效清除。2017 年秋冬季部分城市数月降水稀少, $\text{PM}_{2.5}$ 浓度居高不下,重污染频发。此外,相对湿度和温度也有影响,高湿度利于二次污染物生成,温度低时大气稳定度增加、供暖需求上升,导致污染物排放增多。

2.2 人为污染源解析

2.2.1 工业排放的贡献

京津冀地区工业排放对重污染天气影响显著,钢铁、焦化等行业是主要污染源。钢铁行业生产环节多,烧结、炼铁、炼钢等均排放大量污染物。2017 年中国钢铁行业排放 $\text{PM}_{2.5}$ 约 131 万吨、二氧化硫约 127 万吨、氮氧化物约 66 万吨。京津冀地区钢铁企业集中,污染影响突出。

焦化行业同样污染严重,生产中产生大量挥发性有机物(VOCs)、颗粒物、二氧化硫等,不仅直接污染大气,还参与复杂化学反应生成二次污染物。京津冀地区焦化企业集中,部分企业环保设施不完善、超标排放,周边空气刺鼻,严重影响居民生活。空气质量模拟显示,钢铁、焦化行业排放量大的区域,污染物浓度显著升高。

2.2.2 交通源的影响

京津冀地区经济发展、城市化加速,机动车保有量持续增长,截至 2023 年底超 6000 万辆,尾气排放成为大气污染重要来源。机动车排放一氧化碳、碳氢化合物、氮氧化物和颗粒物等污染物,在城市中心区域形成污染带,影响居民生活与健康。交通拥堵时,机动车怠速或低速行驶,发动机燃烧不充分,尾气排放大幅增加,一氧化碳和碳氢化合物排放量可比正常行驶时增加 2~3 倍。北京、天津早晚高峰交通拥堵严重,尾气排放集中,空气质量下降,污染物浓度常超标,长期暴露增加居民患病风险。数据分析和模型模拟显示,空气质量与交通流量密切相关,交通繁忙道路周边污染物浓度明显升高,城市主干道两侧 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度比远离道路区域高 30%~50%。

2.2.3 生活污染源的作用

生活污染源在京津冀秋冬季重污染中作用不容小觑。农村地区冬季取暖大量依赖煤炭,每年用煤量可达数百万吨,燃煤设备简陋、燃烧效率低、排放控制不完善,排放大量二氧化硫、氮氧化物、颗粒物,冬季取暖期污染物浓度急剧上升,如河北部分农村冬季因散煤使用,雾霾频发。餐饮油烟也是重要来源,随着城市化,餐饮行业发展,油烟排放量增加,其中含大量 VOCs 和颗粒物,易生成二次污染物。城市商业区和居民区餐饮油烟集中排放,部分企业净化设备不完善,影响居民生活质量。建筑施工频繁产生扬尘,土地

开挖、物料运输等环节产生的扬尘颗粒易悬浮扩散,施工场地周边颗粒物浓度升高,遇大风天气影响范围更广,一些城市因施工管理不善,扬尘问题突出,居民投诉不断。

3 问题与挑战

3.1 政策执行中的问题

京津冀秋冬季重污染天气管控时,政策执行层面问题频出,影响空气质量改善。部分地区执行不力,对管控政策敷衍,地方政府重视不足,工业污染监管松懈。企业为逐利,违规操作,如钢铁企业脱硫、脱硝设施运行异常,篡改监测数据,而监管部门未能有效整改,致使企业长期违法排污。

环境监管部门也存在短板,人员、设备、技术不足,难以全面监管众多污染源。基层执法人员有限,面对大量工业企业、建筑工地和机动车,难以做到全面覆盖。老旧监测设备精度欠佳,难以为查处违法排污提供有力依据,监管技术不足使隐蔽污染行为难被发现。

企业违规排放屡禁不止,环保意识淡薄,为降成本不愿投入环保设施,或减少运行时间。且违法成本低,罚款相对违法所得微不足道,小型企业随意排污,难以从根本上遏制违规行为。

部门协调不畅也制约政策执行。大气污染治理涉及多部门,需协同作战,可实际中沟通协调机制缺失,各自为政。重污染应急响应时,环保、工信部门在企业限产停产上意见不一;交通、公安部门在机动车限行执法上配合欠佳。

解决这些问题,需强化对地方政府和监管部门的监督考核,建立问责机制;加大对环境监管部门投入,提升人员素质、更新设备、升级技术;提高企业违法成本,依法追究责任人刑事责任;加强部门沟通,建立常态化协调机制,明确职责分工。

3.2 区域协同治理的障碍

京津冀秋冬季重污染管控中,区域协同治理有进展,但障碍明显。三地经济发展、产业结构、资源禀赋不同,利益诉求有别。北京重环境,天津面临产业转型与污染治理压力,河北经济依赖传统高污染产业。利益差异致使协同行动方案和目標难统一。

信息共享不畅也制约协同治理。大气污染治理需全面信息,可三地监测体系、数据管理系统不同,监测设备、标准、数据格式和统计口径各异,数据共享整合困难。部分地区对关键信息保密,限制共享范围。制定协同治理策略时,因信息不全,决策科学性和针对性受影响,重污染应急预案制定也不够精准。

执法标准不统一带来跨区域执法难题。京津冀三地污染物排放标准、处罚力度不同,企业借此转移生产逃避监管,破坏市场公平竞争环境。跨区域执法时,执法人员因标准不一,执法依据不明,影响执法效率和权威。

大气污染跨区域传输,责任划分不清。重污染天气出

现时,难以确定污染源地,各地易推诿责任,治理积极性受挫,影响协同治理效果。

解决这些障碍,要建立区域利益协调机制,通过财政转移支付、产业转移补偿等平衡利益;搭建统一信息共享平台,规范数据标准;统一执法标准,加强人员培训交流;明确责任,建立追究制度。

3.3 经济发展与环保的矛盾

京津冀秋冬季重污染管控中,经济发展与环保矛盾突出。经济发展使能源需求增长,工业、居民生活、交通依赖煤炭、石油等传统能源。河北钢铁产业规模大,煤炭消耗多;农村冬季燃煤取暖量剧增;机动车保有量超 6000 万辆,燃油消耗量大。

但为改善空气质量,需严控污染物排放,这对能源消费结构和使用效率提出高要求。传统能源燃烧污染大,需开发利用清洁能源,可清洁能源开发成本高、供应设施不完善、价格波动大,能源需求与减排矛盾难解。

产业结构调整是关键,京津冀以重化工业为主,能源消耗和污染物排放高。河北钢铁行业污染物排放占比大,产业结构调整涉及企业转型、员工安置、地方经济发展等,困难重重。企业技术落后、资金短缺,难以升级转型,地方政府为保经济和就业,调整积极性不高。经济发展影响环境治理投入。大气污染治理需要大量资金,经济落后地区财政有限,环保设施建设、技术应用滞后。企业为降成本,减少环保投入,影响可持续发展。

要平衡经济与环保,需调整能源结构,开发利用清洁能源,完善供应设施;调整产业结构,制定政策引导企业升级,扶持高新技术产业和服务业;加大治理资金投入,建立多元投入机制,加强资金管理监督。

4 优化策略与建议

4.1 深化区域联防联控合作

深化区域联防联控是提升京津冀重污染管控水平的关键。要加强信息共享,搭建统一空气质量监测数据共享平台,整合监测数据,形成数据库,运用大数据分析挖掘规律,提前应对污染问题。共享污染源排放、气象等信息,建立排放清单共享机制,为污染治理提供全面依据。

联合执法不可或缺。建立联合执法工作机制,明确各地执法职责,加强人员培训交流。定期开展联合执法行动,集中整治各类污染源,严格执行统一执法标准,严惩违法排污。针对跨区域污染,相关地区执法部门迅速联动,及时解决污染问题。

统一标准是协同治理基础。制定京津冀及周边统一的污染物排放、环境质量、监测等标准,消除标准差异导致的问题。规范重点行业污染物排放限值,明确空气质量评价指标与目标,统一监测设备标准,保障监测数据准确可比。

建立区域生态补偿机制,对大气污染治理牺牲大、成

本高的地区,通过财政转移支付、产业扶持等给予补偿,提升各地参与联防联控积极性。产业转移时对承接地区给予经济补偿,对治理成效显著地区给予奖励。此外,加强区域政策协同,在产业、能源、交通等政策制定上加强沟通,确保政策一致互补,推动区域大气污染治理。

4.2 推动产业结构调整与能源转型

推动产业结构调整与能源转型是解决京津冀重污染天气的根本。产业结构调整方面,要加大传统高污染、高耗能产业改造升级力度。钢铁行业采用先进工艺,实现余热回收,淘汰落后产能,优化产业布局。化工行业加强监管,推动清洁生产,采用绿色工艺,降低污染物排放,加强园区管理。

积极发展战略性新兴产业,如新能源、新材料、节能环保、生物医药等。新能源领域加快清洁能源开发利用,建设发电项目;新材料领域加强高性能材料研发生产;节能环保领域加大设备制造与技术研发投入;生物医药领域推动创新药物与医疗器械研发。通过发展新兴产业,降低对传统产业依赖,减少污染排放。

能源转型上,大力推进清洁能源替代。居民生活推进煤改气、煤改电;工业鼓励使用天然气、电力;交通推广新能源汽车。加大清洁能源开发,建设风电场、太阳能电站,完善能源输送基础设施。提高能源利用效率,工业采用节能技术设备,建筑推广绿色标准,交通优化管理,降低能源消耗。政府要加大政策支持,提供技术、资金扶持,健全市场机制,加强国际合作,推动产业结构调整与能源转型。

4.3 加强公众参与和环保意识培养

加强公众参与和环保意识培养对京津冀重污染管控至关重要。要加大环保宣传教育力度,借助电视、广播、网络等媒体,播放公益广告,开设专栏,组织社区、学校、企业宣传活动,普及环保知识,提高公众环保素养。

鼓励公众参与监督,健全举报机制,拓宽举报渠道,及时处理反馈举报,保护举报人信息,设立奖励制度,激发公众监督积极性。加强环保社会组织建设与支持,政府提供资金、技术支持,鼓励其开展环保监测、宣传等公益活动,参与环境政策制定评估。开展环保科普活动,举办展览、讲座、培训,普及大气污染治理知识与技术,提高公众环保科学素养。政府、社会组织、公众共同努力,营造全社会参与治污氛围,推动重污染管控工作,改善空气质量。

5 结语

本研究聚焦京津冀地区秋冬季重污染天气管控。该地区秋冬季重污染天气特征明显,PM_{2.5}为首要污染物,集中于 11 月至次年 2 月,河北中南部高发,相比其他地区污染更严峻。气象条件与人为污染源是主因,地形、逆温等阻碍污染物扩散,工业、交通、生活污染加重空气质量恶化。管控策略成效显著,政策法规出台、区域联防联控及具体管控措施使污染物浓度下降、优良天数增多。但管控过程中问题

也突出，政策执行有漏洞、区域协同存障碍、经济与环保矛盾凸显。提升管控水平需多管齐下，完善政策法规与监管，深化区域合作，推动产业结构调整与能源转型，加强公众参与和环保意识培养，助力京津冀地区改善空气质量，应对重污染天气挑战。

参考文献：

[1] 张晓郁,陈振飞,徐文哲.ArcGIS在大气污染源排放清单建立中的应用研究[J].环境科学与管理,2017(1).

[2] 王伶俐.基于后向轨迹模式下的重庆市大气污染来源可视分析

[J].重庆邮电大学,2021.

[3] 杨斌等.GIS在大气污染扩散模拟与评价系统中的应用[J].国土资源遥感,2010(3):6.

[4] ZHANG Xiaxia.大气污染物监测数据不确定度评估方法体系建立及其对PMF源解析的影响分析[C]//第五届经济快速发展地区空气质量改善国际学术研讨会,2017.

[5] 卢淑颖.污染源自动监控系统在环境保护工作中的应用[J].中国资源综合利用,2024,42(7):219-221.