

目次

气候变化对中国夏季臭氧影响	胡安琪, 谢晓栋, 龚康佳, 侯宇晖, 胡建林 (1801)
基于 EOF 分解和 KZ 滤波的 2019~2021 年中国臭氧时空变化及驱动因素分析	王浩琪, 张裕芬, 罗忠伟, 王艳阳, 戴启立, 毕晓辉, 吴建会, 冯银厂 (1811)
华北工业城市夏季大气臭氧生成机制及减排策略	郑镇森, 窦建平, 张国涛, 李丽明, 徐勃, 杨文, 白志鹏 (1821)
2015~2020 年中国城市 PM _{2.5} -O ₃ 复合污染时空演变特征	牛笑笑, 钟艳梅, 杨璐, 易嘉慧, 慕航, 吴倩, 洪松, 何超 (1830)
2015~2021 年京津冀及周边地区 PM _{2.5} 和臭氧复合污染时空特征分析	宋小涵, 燕丽, 刘伟, 贺晋瑜, 王亚晨, 黄同林, 李园园, 陈敏, 孟静静, 侯战方 (1841)
2000~2020 年中国典型经济区 PM _{2.5} 时空变化及其与植被景观格局的关系	徐勇, 李欣怡, 黄雯婷, 郭振东, 盘钰春, 郑志威, 戴强玉 (1852)
北京市核心区冬春季大气离子沉降量特征及来源解析	赵宇, 李贝贝, 黄玉虎, 梁静, 杨洪玲, 秦建平, 朱玲 (1865)
南京近郊农田大气颗粒物及金属干沉降输入特征	刘翠英, 靳浩, 樊建凌 (1873)
西安冬季 PM _{2.5} 中不同极性水溶性有机物的污染特征及氧化潜势	罗玉, 黄沙沙, 张甜, 孙健, 沈振兴 (1882)
机动车源和民用燃料源颗粒物中有机碳和元素碳的排放特征	王红磊, 刘思略, 孙杰娟, 刘煥武, 赵天良, 裴宇僊, 可玥, 武自豪, 刘诗云 (1890)
伊犁河谷核心区春季 PM _{2.5} 组分特征及来源解析	谷超, 徐涛, 马超, 伊布提哈尔·加帕尔, 郭丽瑶, 李新琪, 杨文 (1899)
基于高分辨率网格的郑州市城镇居民 PM _{2.5} 暴露浓度与健康风险变化评估	李媛, 徐艺斐, 袁明浩, 苏方成, 王申博, 王克, 张瑞芹 (1911)
基于多源数据融合的河南省建材行业排放清单	刘晓, 胡京南, 王红梅, 杨丽, 张皓 (1924)
开封市城区冬季大气挥发性有机物污染特征及来源解析	施雨其, 郑凯允, 丁玮婷, 刘金平, 陈洪光, 高光, 王玲玲, 王楠, 马双良, 郑瑶, 谢绍东 (1933)
2020 年和 2021 年南京城区臭氧生成敏感性和 VOCs 来源变化分析	陆晓波, 王鸣, 丁峰, 喻义勇, 张哲海, 胡崑 (1943)
北京市城区夏季大气 VOCs 变化特征及臭氧生成潜势	张蕊, 孙雪松, 王裕, 王飞, 罗志云 (1954)
青岛市臭氧污染与非污染期间 VOCs 化学特征及来源解析	贾智海, 顾瑶, 孔翠丽, 宋江邦, 孟赫, 石来元, 吴建会, 刘保双 (1962)
基于总过氧自由基观测研究合肥市西郊夏季 O ₃ 生成特征	俞辉, 韦娜娜, 徐学哲, 刘芊芊, 姚易辰, 赵卫雄, 张为俊 (1974)
“大气十条”政策的节能降碳效果评估与创新中介效应	李少林, 王齐齐 (1985)
北京市减污降碳协同控制情景模拟和效应评估	俞珊, 张双, 张增杰, 翟艳芝, 刘桐坤 (1998)
基于不同排放清单的长三角人为 CO ₂ 排放模拟	马心怡, 黄文晶, 胡凝, 肖薇, 胡诚, 张弥, 曹畅, 赵佳玉 (2009)
武汉汉江水源水质变化趋势及风险分析	卓海华, 姜保峰, 徐杰, 陈洁, 陈杰, 兰秀薇, 范文重, 欧阳雪姣, 兰静 (2022)
长江武汉段水源地典型抗生素及抗性基因污染特征与生态风险评价	李柏林, 张贺, 王俊, 沙雪妮, 陈晓飞, 卓海华 (2032)
陕北矿区典型河流多环芳烃的赋存特征、来源及毒性风险分析	吴喜军, 董颖, 赵健, 刘静, 张亚宁 (2040)
典型湖泊有机聚集体时空特征及驱动因子	谢贵娟, 龚伊, 朱富成, 刘昌利, 卢宝伟, 邓辉, 汤祥明 (2052)
桂林市不同功能型公园水体微塑料的分布特征及风险评估	李沛钊, 吴莉, 黄菲菲, 林才霞, 舒小华, 张倩 (2062)
长江流域浮游植物群落的环境驱动及生态评价	张静, 胡愈圻, 胡圣, 黄杰 (2072)
环境异质性对三峡库区支流香溪河附石硅藻群落的影响及驱动作用	纪璐璐, 赵璐, 欧阳添, 杨宋琪, 郑保海, 杜雨欣, 李玉鑫, 李佳欣, 施军琼, 吴忠兴 (2083)
武汉市 3 种类型湖泊浮游植物群落特点及关键影响因素	张浩坤, 闵奋力, 崔慧荣, 彭雪, 张心怡, 张淑烟, 李竹栖, 葛芳杰, 张璐, 吴振斌, 刘碧云 (2093)
重金属污染对不同生境中微生物群落结构的影响	何一凡, 肖新宗, 王佳文 (2103)
毫清河水体细菌群落的结构和分布特征	王森, 陈建文, 张红, 李君剑 (2113)
微塑料暴露对小棒指软珊瑚 (<i>Sinularia microclavata</i>) 共附生细菌群落结构和功能的影响	刘敏, 车文学, 曾映旭, 边伟杰, 吕淑果, 穆军 (2122)
上海市从源头到龙头的饮用水新型污染物分布特征及健康风险评价	严棋 (2136)
铝改性生物炭对水体低浓度氟的吸附特性	刘艳芳, 高玮, 刘蕊, 尹思婕, 张妙雨, 刘晓帅, 李再兴 (2147)
典型雌激素在微塑料上的吸附特征及位点能量分布	刘姜艳, 郑密密, 胡嘉梧, 柳玉荣, 贺德春, 潘杰 (2158)
面向工业园区废水臭氧氧化深度处理性能评价的模型污染物选择与评估	辛勃, 单超, 吕路 (2168)
基于地理探测器和多源数据的耕地土壤重金属来源驱动因子及其交互作用识别	张宏泽, 崔文刚, 刘绥华, 崔瀚文, 黄月美 (2177)
基于 APCS-MLR 和 PMF 模型的煤矸山周边耕地土壤重金属污染特征及源解析	马杰, 沈智杰, 张萍萍, 刘萍, 刘今朝, 孙静, 王玲灵 (2192)
基于蒙特卡罗模拟的铅锌冶炼厂周边农田土壤重金属健康风险评估	黄剑波, 姜登登, 温冰, 王磊, 石佳奇, 周艳 (2204)
基于 BP 神经网络预测北京市加油站周边土壤多环芳烃含量	马赛炎, 魏海英, 马瑾, 刘奇缘, 吴颐杭, 屈雅静, 田雨欣, 赵文浩 (2215)
石家庄市土壤中喹诺酮类抗生素时空分布及其风险评估	赵鑫宇, 陈慧, 赵波, 宋圆梦, 卢梦淇, 崔建升, 张璐璐, 李双江 (2223)
典型黑色岩系地质高背景区土壤和农产品重金属富集特征与污染风险	邓帅, 段佳辉, 宁墨兔, 谭林, 蒲刚, 陈际行, 齐小兵, 蒋尚智, 谢桃园, 刘意章 (2234)
岩溶区不同母质土壤 Cd 地球化学特征及玉米籽实 Cd 含量预测	戴亮亮, 徐宏根, 巩浩, 彭志刚, 肖凯琦, 吴欢欢, 许青阳, 郭军, 汤媛媛, 张俊 (2243)
龙岩市不同利用类型土壤及农作物 Pb、Cd 和 As 污染风险与贡献分析	王蕊, 陈楠, 张二喜 (2252)
小麦籽粒镉含量影响因素 Meta 分析和决策树分析	刘娜, 张少斌, 郭欣宇, 宁瑞艳 (2265)
黄土高原次生林演替过程土壤有机碳库及其化学组成响应特征	刘涵宇, 刘颖异, 张琦, 封伦, 高起乾, 任成杰, 韩新辉 (2275)
短期氮磷添加对祁连山亚高山草地土壤呼吸组分的影响	江原, 甘小玲, 曹丰丰, 赵传燕, 李伟斌 (2283)
黄河源区斑块退化高寒草甸土壤微生物多样性对长期封育的响应	杨鹏年, 李希来, 李成一, 段成伟 (2293)
不同海拔箭筈锦鸡儿根际和非根际土壤细菌群落多样性及 PICRUSt 功能预测	李媛媛, 徐婷婷, 艾喆, 魏庐璐, 马飞 (2304)
模拟酸雨及氮沉降对马尾松林土壤细菌群落结构及其多样性的影响	王楠, 钱少郁, 潘小承, 陈一磊, 白尚斌, 徐飞 (2315)
磷石膏和碱蓬对盐渍化土壤水盐及细菌群落结构的影响	刘月, 杨树青, 张万峰, 姜帅 (2325)
菌渣与化肥肥施对稻田土壤微生物群落组成及多样性的影响	耿和田, 王旭东, 石思博, 叶正钱, 周文晶 (2338)
增氧对不同秸秆还田稻田田面水养分动态及温室气体排放的影响	胡锦涛, 薛利红, 钱聪, 魏利祥, 曹帅 (2348)
外源褪黑素对胁迫下水稻幼苗生长和抗氧化系统的影响	储玉檀, 李颜, 黄益宗, 保琼莉, 孙红羽, 黄永春 (2356)
面向 2035 的节能与新能源汽车全生命周期碳排放预测评价	付佩, 兰利波, 陈颖, 郝卓, 邢云翔, 蔡旭, 张春梅, 陈轶嵩 (2365)
农田土壤微塑料分布、来源和行为特征	薄录吉, 李冰, 张凯, 马荣辉, 李彦, 王艳芹, 孙斌, 刘月岩 (2375)
农田土壤除草剂污染的修复技术研究进展	胡芳雨, 安婧, 王宝玉, 徐明恺, 张惠文, 魏树和 (2384)
我国黑土地农田土壤除草剂残留特征研究及展望	李睿, 吴秋梅, 赵归梅, 胡文友, 田康, 黄标, 吴祥为, 刘峰, 赵玉国, 赵永存 (2395)
《环境科学》征订启事(1910)	《环境科学》征稿简则(1984)
信息(2167, 2191, 2324)	

北京市减污降碳协同控制情景模拟和效应评估

俞珊^{1,2}, 张双^{1,2}, 张增杰^{1,2*}, 瞿艳芝^{1,2}, 刘桐坤^{1,2}

(1. 北京市生态环境保护科学研究院, 北京 100037; 2. 国家城市环境污染控制工程技术研究中心, 北京 100037)

摘要: 将能源、建筑、产业和交通作为减污降碳重点领域, 设置了基准情景、政策情景和强化情景, 以 2020 年为基准年, 2035 年为目标年, 开展北京市大气污染物和 CO₂ 减排潜力测算, 并构建了一种协同控制效应分级评估方法, 对政策情景和强化情景下大气污染和 CO₂ 协同控制效应进行量化评估。结果表明, 与基准情景相比, 政策情景和强化情景下大气污染物减排率分别在 11%~75% 和 12%~94%, CO₂ 分别为 41% 和 52%。优化机动车结构对于 NO_x、VOCs 和 CO₂ 的减排贡献最大, 政策情景下减排率分别达到 74%、80% 和 31%, 强化情景下分别达到 68%、74% 和 22%; 完成农村地区散煤清洁能源改造对 SO₂ 的减排贡献最大, 政策和强化情景下分别达到 47% 和 35%; 提升新建建筑绿色化水平对 PM₁₀ 的减排贡献最大, 政策和强化情景下分别达到 79% 和 74%。优化出行结构和推动数字基础设施绿色发展的协同控制效应最佳; 强化情景下, 完成农村地区散煤清洁能源改造、优化机动车结构和推进制造业绿色升级的协同控制效应提升至较好。北京市应重点关注交通领域协同减排, 提高绿色出行比例, 推广新能源车和货物绿色运输; 同时, 随着终端能源消费电气化的推进, 应通过扩大本地可再生能源电力生产和增加外调绿电输送能力来提高绿电占比, 以提升减污降碳协同控制效应。

关键词: 大气污染物; 二氧化碳(CO₂); 协同控制; 情景模拟; 效应评估; 北京市

中图分类号: X24 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2023)04-1998-11 DOI: 10.13227/j.hjxx.202204344

Scenario Simulation and Effects Assessment of Co-control on Pollution and Carbon Emission Reduction in Beijing

YU Shan^{1,2}, ZHANG Shuang^{1,2}, ZHANG Zeng-jie^{1,2*}, QU Yan-zhi^{1,2}, LIU Tong-shen^{1,2}

(1. Beijing Municipal Research Institute of Eco-Environmental Protection, Beijing 100037, China; 2. National Engineering Research Centre for Urban Environmental Pollution Control, Beijing 100037, China)

Abstract: Focused on the key areas of energy, buildings, industry, and transportation, with 2020 as the base year and 2035 as the target year, we respectively designed the baseline scenario, policy scenario, and enhanced scenario, calculated the emission reduction potential of air pollutants and CO₂ of Beijing, and constructed an assessment method of co-control effect gradation index to evaluate the co-control effect of air pollutants and CO₂ in the policy scenario and enhanced scenario. The results showed that in the policy scenario and enhanced scenario, the reduction rates of air pollutants emissions will reach 11%-75% and 12%-94%, respectively, and reduction rates of CO₂ emissions will reach 41% and 52%, respectively, compared with those from the baseline scenario. Optimizing vehicle structure had the largest contribution to the emission reduction of NO_x, VOCs, and CO₂, and the emission reduction rates will reach 74%, 80%, and 31% in the policy scenario and 68%, 74%, and 22% in the enhanced scenario, respectively. Replacing coal-fired with clean energy in rural areas had the largest contribution to the emission reduction of SO₂; the emission reduction rates will reach 47% and 35% in the policy scenario and enhanced scenario, respectively. Improving the green level of new buildings had the largest contribution to the emission reduction of PM₁₀; the emission reduction rates will reach 79% and 74% in the policy scenario and enhanced scenario, respectively. Optimizing travel structure and promoting green development of digital infrastructure had the best co-control effect. The co-control effect of replacing coal-fired with clean energy in rural areas, optimizing vehicle structure, and promoting green upgrading of the manufacturing industry will be improved to a better status in the enhanced scenario. More attention should be paid to improving the proportion of green trips, implementing the promotion of new energy vehicles, and the green transportation of goods to reduce emissions in the field of transportation. At the same time, with the continuous improvement in electrification level in the end energy consumption structure, the proportion of green electricity should be increased by expanding local renewable energy power production and increasing external green electricity transmission capacity, to enhance the co-control effect of pollution and carbon reduction.

Key words: air pollutants; carbon dioxide(CO₂); coordinated control; scenario simulation; effects assessment; Beijing

为积极应对全球气候变化, 展现大国责任担当, 中国提出了 2030 年碳达峰和 2060 年碳中和的战略目标。为此, 国家要求把碳达峰碳中和纳入生态文明建设整体布局, 以经济社会发展全面绿色转型为引领, 以实现减污降碳协同增效为总抓手, 统筹污染治理、生态保护和应对气候变化。北京市作为首都, 近年来通过调整能源结构、产业结构和交通运输结构, 大气污染防治和碳减排成效显著, 空气质量已实现全面达标^[1], 碳排放峰值也已经基本实现并呈现出稳定下降趋势^[2]。2017 年, 文献[3]的发布实施,

为促进北京市经济社会发展全面绿色低碳转型提供了方向指引, 提出以国际一流标准建设低碳城市, 到 2035 年大气环境质量得到根本改善。2021 年, 文献[4]提出, 到 2035 年, 生态环境根本好转, 碳中和实现明显进展。2035 年, 是北京城市总体规划的收官

收稿日期: 2022-04-29; 修订日期: 2022-07-01

基金项目: 能源基金会项目(G-2006-31826)

作者简介: 俞珊(1984~), 女, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为大气污染物与温室气体协同控制、环境规划与政策和环境承载力, E-mail: yushan@cee.cn

* 通信作者, E-mail: zhangzengjie@cee.cn

之年,也是北京市实现碳中和目标的重要节点,开展到 2035 年中长期大气污染物和 CO₂ 协同控制减排情景分析和效应评估具有重要意义,可以为北京市碳中和路径研究和大气污染防治政策制定提供参考。

国内外学者针对协同控制开展了相关研究,从研究领域来看,主要集中在电力^[5~8]、交通^[9~14]、钢铁^[15~19]和水泥^[19~22]等^[23]重点行业,结果显示上述行业在技术和管理方面均存在协同效应显著的减排措施^[24];从研究区域来看,欧美国家起步较早,更加关注气候变化政策带来的关于健康和社会的协同效益^[25],而国内研究集中在京津冀地区^[26~30]、长三角^[31~33]和珠三角^[34,35]等地区,以温室气体和环境污染协同控制为主;从研究方法来看,包括协同控制效应坐标系法^[36]、污染减排量交叉弹性法^[36]、边际减排成本曲线法^[37]和协同减排当量指标法^[38]等,国内以协同控制效应坐标系法最为常见。

目前国内大气污染物与温室气体协同控制的研究多集中在钢铁、水泥和交通等某一行业或领域,对未来中长期全方位多领域多情景下综合减排方案或措施的协同控制效应研究不多。本研究以 2020 年为基准年,以 2035 年为目标年,针对北京市能源、

建筑、产业和交通等重点领域,利用情景分析法,设置了基准情景、政策情景和强化情景,预测了大气污染物和 CO₂ 减排潜力,并构建了一种协同控制效应分级指数评估方法,对二者的协同控制效应进行了量化分级评估,以期对未来北京市减污降碳协同控制相关工作提供技术支持,并与其他城市协同控制效应评估提供借鉴。

1 材料与方法

1.1 协同控制效应分级指数法

协同控制效应分级指数法是基于大气污染物和 CO₂ 减排率而构建的一种分级评估方法,并用坐标系来进行表征。该方法对协同控制效应进行了定量分析和级别划分,并将结果反映在坐标系中,可较为直观地表示出协同控制效应的量化分级结果。协同控制效应分级指数记为 CGI (co-control effects gradation index),计算见公式(1),协同控制效应级别划分见如表 1 所示。

CGI-(CO₂/AP) = ER(CO₂)/ER(AP) (1)

式中,CGI-(CO₂/AP)为措施的大气污染物和 CO₂ 协同控制效应分级指数,ER(CO₂)为该措施的 CO₂ 减排率,ER(AP)为该措施的大气污染物的减排率。

表 1 协同控制效应级别划分
Table 1 Classification of co-control effect

序号	CGI-(CO ₂ /AP)值	含义
1	CGI-(CO ₂ /AP) ≤ 0	不具备协同控制效应
2	0 < CGI-(CO ₂ /AP) < 0.5	协同控制效应一般,措施对大气污染物的减排程度更高
3	0.5 ≤ CGI-(CO ₂ /AP) < 1	协同控制效应较好,但措施对大气污染物的减排程度高于 CO ₂
4	CGI-(CO ₂ /AP) = 1	协同控制效应最佳,措施对大气污染物和 CO ₂ 的减排程度相同
5	1 < CGI-(CO ₂ /AP) ≤ 2	协同控制效应较好,但措施对 CO ₂ 的减排程度高于大气污染物
6	CGI-(CO ₂ /AP) > 2	协同控制效应一般,措施对 CO ₂ 的减排程度更高

在二维坐标系中,横坐标表示大气污染物的减排率,纵坐标表示 CO₂ 的减排率。坐标系中的点分别对应某项措施的 CGI 值,当措施位于第一象限时,说明该措施的大气污染物和 CO₂ 减排率均为正值,具备协同控制效应,如图 1 所示;当措施位于第二、三和四象限时,说明该措施不具备协同控制效应。由图 1 可以看出,若措施位于第一象限,即具有协同控制效应时,措施的 CGI-(CO₂/AP) 值表示为该措施代表点与坐标轴原点连线的斜率。当 CGI-(CO₂/AP) = 1 时,措施的大气污染物和 CO₂ 减排率相同,说明该措施协同控制效应最佳,且措施所表示的点距离原点越远,减排比例越大,如 A 和 E 表示的措施协同控制效应最好,由于 E 表示的措施距离原点更远,则对大气污染物和 CO₂ 的减排比例更大;当 0.5 ≤ CGI-(CO₂/AP) < 1 时或 1 < CGI-

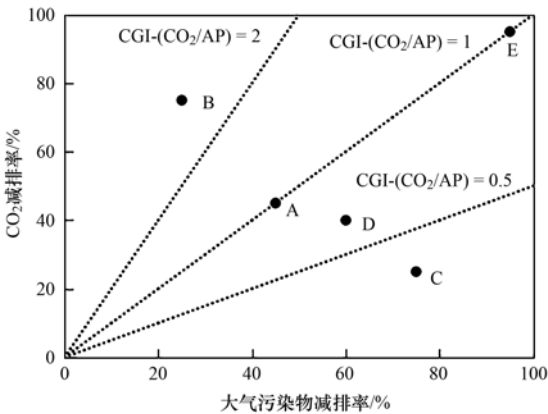


图 1 CGI 坐标系

Fig. 1 Coordinate system of CGI

(CO₂/AP) ≤ 2 时,措施的协同控制效应较好,如 D 表示的措施协同控制效应较好;当 0 < CGI-(CO₂/AP) < 0.5 或 CGI-(CO₂/AP) > 2 时,措施的协同控

制效应一般,措施对大气污染物或 CO₂ 减排程度更高,如 C 表示的措施对大气污染物的减排程度更高,B 表示的措施对 CO₂ 的减排程度更高;当 CGI-(CO₂/AP) ≤ 0 时,措施不具备协同控制效应。

1.2 大气污染物和二氧化碳排放量计算方法

本研究选择大气污染物 SO₂、NO_x、PM₁₀、VOCs 和 CO₂ 作为协同控制参数,排放量计算方法如下。

1.2.1 固定源排放量计算

固定源大气污染物和 CO₂ 排放量计算见公式(2)。

$$E_n = A_n \times K_n \quad (2)$$

式中, E 为排放量; A 为措施实施的活动水平数据; K 为排放因子; n 为某种大气污染物或 CO₂。其中,燃气锅炉和电厂主要大气污染物排放因子按照公式(3)计算,其他行业大气污染物排放因子主要参照文献[39~41]。燃料消耗 CO₂ 排放因子参照文献[42],水泥生产过程中碳酸盐 CO₂ 排放因子参照魏军晓等^[43]研究的结果。

$$K_n = Q_n \times C_n \quad (3)$$

式中, Q 为工业废气量,参照文献[39]; C 为污染物平均排放浓度,参照北京市企业事业单位环境信息公开平台中电厂自动监测数据和燃气锅炉自行监测数据; n 为某种大气污染物。

电网排放因子根据北京市电力消费结构进行本地化,采用考虑本地气电、煤电、绿电和外调煤电、绿电消费比重的综合排放因子,其中绿电按零排放,按公式(4)计算。

$$K_{\text{电力}n} = \sum (K_{in} \times G_i \times \theta_i) \quad (4)$$

式中, K 为电力消费排放因子; G 为单位电量生产所需能源消耗量; θ 为本地气电、煤电和外调煤电占全社会用电量的百分率; n 为某种大气污染物或 CO₂; i 为电力消费类型,含本地气电、煤电和外调煤电。

1.2.2 移动源排放量计算

移动源大气污染物和 CO₂ 排放量计算见公式(5)。

$$E_n = \sum (N_{ji} \times L_r \times P_r \times K_{rijn}) \quad (5)$$

式中, E 为排放量; N 为车辆数; L 为车辆年均行驶里程,参照北京市交通发展年报^[44]; P 为百公里燃料消耗量; K 为排放因子,燃油车大气污染物排放因子参照文献[41],CO₂ 排放因子参照文献[42],电动车排放因子参照公式(4)计算; n 为大气污染物或 CO₂; r 为机动车类型; i 为车用燃料类型; j 为排放标准。其中,机动车 VOCs 蒸发排放计算参照文

献[45]。

1.3 参数设置

与大气污染物和 CO₂ 排放密切相关的经济社会主要参数包括人口、GDP、电力、热力和机动车等,在相关规划的基础上^[3,4,46~52],利用 2010 年以来的统计数据^[53],采用趋势分析法综合确定。

1.3.1 人口和 GDP

常住人口规模参照文献[3],2020 年以后稳定在 2 300 万人以内。GDP 参照文献[4],并对统计数据进行趋势分析,到 2035 年 GDP 总量翻一番,年均增速在 4.5% 左右。制造业在“十四五”期间呈现快速发展态势,增加值占比参照文献[47],年均增长 7.6%,2025 年后保持相对稳定,与 GDP 增速相当。

1.3.2 电力

全社会用电量考虑未来经济社会发展、电能替代重点领域和电气化水平,采用趋势外推法、单耗法和弹性系数法等多种方法进行预测确定,预计到 2035 年用电总量在 1 900 亿 kW·h,年均增长 3.5%,万元 GDP 电耗年均下降 0.9%。受机动车加速电动化等的影响,“十四五”期间电力消费弹性系数较“十三五”有所上升,2025 年后则逐步降低,按每 5 a 下降 5% 左右预测。

1.3.3 热力

城镇供热面积参照统计数据采用趋势分析法预测,未来每 5 年新增供热面积较上 5 年下降 20% 左右,到 2035 年总计新增 2.5 亿 m²。采用热力负荷分析法估算单位建筑面积供热能耗,在 2020 年 10.8 kg·m⁻² (以标准煤计)的基础上,按每 5 年下降 10% 左右^[51]计算,预测城镇供热总能耗较 2020 年下降约 7%。

1.3.4 机动车保有量

机动车保有量考虑货车和客车。采用需求侧分析预测货车数量,2025 年物资供需总量达到约 3.87 亿 t,2025 年后预计保持稳定,但公路货运量有所降低^[50],货车总量基本保持不变。客车主要是小客车,延续北京市现有小客车指标调控政策,按每年新增 10 万辆预测,总计增加 150 万辆。

主要参数设置结果见表 2。

1.4 情景设计

参照文献[49,54,55],选择能源、产业、建筑和交通作为研究重点领域,筛选出 10 项协同控制措施,利用情景分析法分别构建了基准情景、政策情景和强化情景。其中,基准情景是将能源消费结构(包括电力和热力结构)、产业结构和交通运输结构,以及能效水平、大气污染物排放强度和 CO₂ 排放强度冻结在 2020 年水平上,且未采取任何减排措

表 2 主要参数设定¹⁾
Table 2 Setting of main parameters

参数和单位		2020 年	2025 年	2030 年	2035 年
GDP 和人口	GDP 增速/%	5.50	5.00	4.50	4.00
	制造业增加值占比/%	11.50	13.00	13.00	13.00
	常住人口/万人	2 189.00	<2 300.00	<2 300.00	<2 300.00
电力	全社会用电量/亿 kW·h	1 140.00	1 400.00	1 650.00	19 00.00
	万元 GDP 电耗/kW·h·万元 ⁻¹	316.00	302.00	289.00	278.00
	电力消费弹性系数	0.67	0.8	0.76	0.72
热力	城镇供热面积/亿 m ²	9.00	10.00	10.80	11.50
	单位建筑面积供热能耗(以标准煤计)/kg·m ⁻²	10.80	9.70	8.70	7.90
	供热总能耗(以标准煤计)/万 t	967.00	972.00	945.00	901.00
机动车	机动车保有量/万辆	657.00	707.00	757.00	800.00
	小客车保有量/万辆	527.00	580.00	630.00	680.00

1) GDP 增速和电力消费弹性系数表示 5 a 年均增速或弹性系数值; 万元 GDP 电耗为 2020 年可比价

施,即“零减排方案”;政策情景是以文献[3,4,49]为基础,延续现有规划和政策措施的趋势,不额外设定进一步的控制措施;强化情景是在政策情景的基础上部分加以强化,加快措施实施进度或推动实施存在一定难度的措施.具体情景设置如表 3 所示.

2 结果与讨论

2.1 基于不同情景的减排潜力分析

不同情景下 2020 ~ 2035 年大气污染物和 CO₂ 排放量变化情况如图 2 所示,减排比例如表 4 所示.在预测各情景措施带来的排放量变化时,大气污染

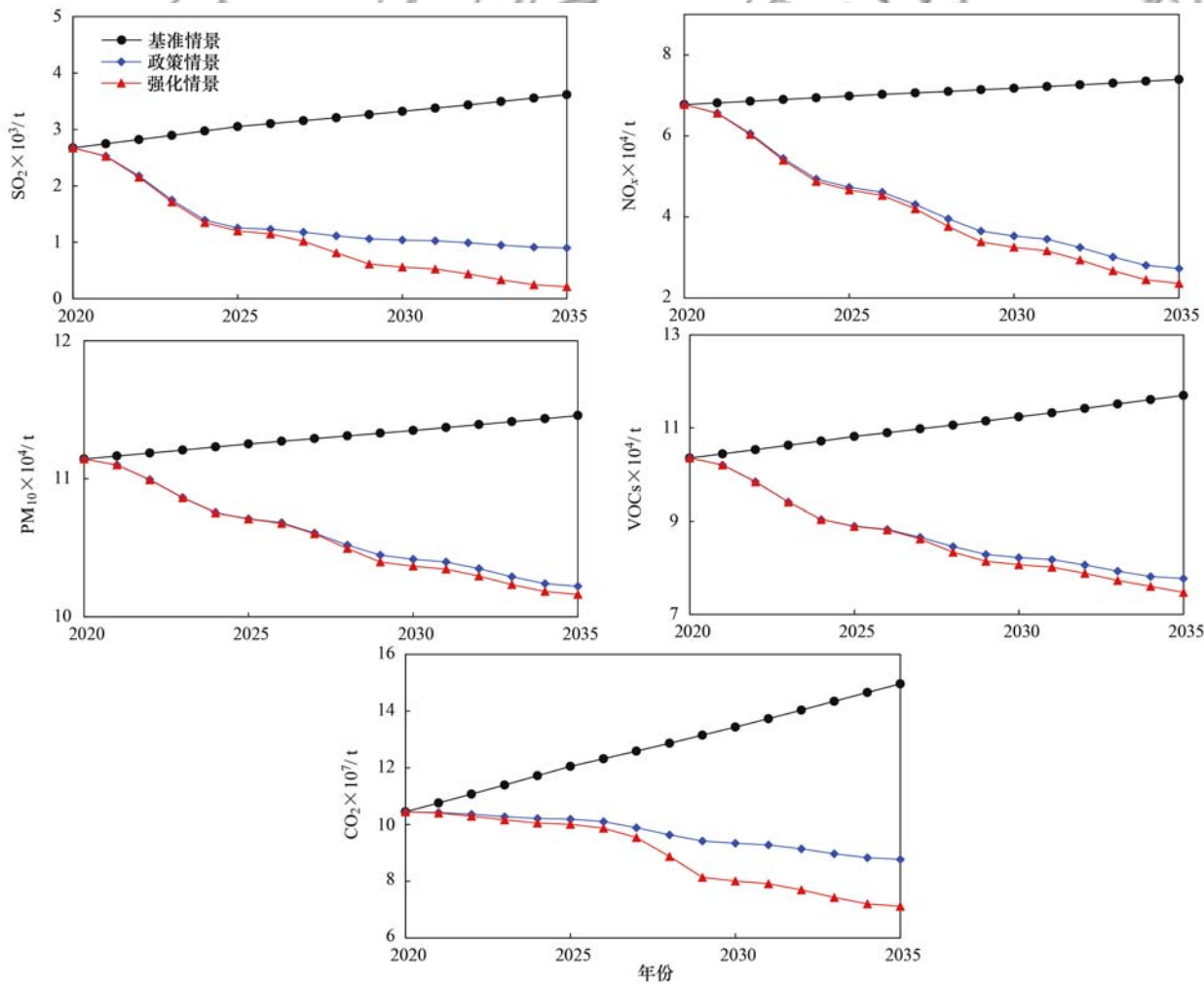


图 2 不同情景下大气污染物和 CO₂ 的排放量变化情况
Fig. 2 Emissions of air pollutants and CO₂ in different scenarios

表 3 情景设置¹⁾

Table 3 Settings of scenarios

类别	措施	情景编号	基准情景	政策情景	强化情景
推动能源绿色低碳转型	推进电力生产和消费绿色化	A	本地电力和外调电力比例,电网中气电、煤电和可再生能源电力占比与2020年保持一致	现有燃煤机组作为应急备用机组,燃气机组开展热电联产,发电负荷降低10%;大力发展本地光伏、风电和生物质发电,大规模调入外调绿色电力。2025年力争达到300亿kW·h ^[46] ;2025、2030和2035年可再生能源电力在全社会用电量中的占比分别达到30%、35%和40%	在政策情景的基础上,燃气机组深入开展热电联产和深度调峰,发电负荷降低20%;到2035年,可再生能源电力应用占比不低于50% ^[57]
	建设清洁低碳供热体系	B	城镇地区燃气供热、热电联产供热和可再生能源供热占比,以及供热设施排放水平与2020年保持一致	严格控制新增独立燃气供热系统,显著增加可再生能源供热规模,2025年可再生能源供热占比达到10%以上 ^[46] ;2030年和2035年占比分别达到12%和15%以上;提升燃气锅炉排放水平,2035年NO _x 排放水平下降50%左右,完成低效能和高排放燃气壁挂炉置换更新,能效提升10%以上,NO _x 排放水平降低70%左右	在政策情景的基础上,进一步深度挖掘本地可再生能源供热潜力,2025、2030和2035年可再生能源供热占比分别达到12%、15%和18%以上;加严燃气锅炉排放标准,2035年燃气锅炉整体NO _x 排放水平下降60%左右
	完成农村地区散煤清洁能源改造	C	不实施剩余农村散煤清洁能源替代	到2025年,基本实现剩余农村散煤采暖用户清洁采暖 ^[46] ,2025年之后持续巩固无煤化成果,防治散煤复燃	与政策情景保持一致
	推进既有建筑节能绿色化改造	D	不考虑既有居住建筑和公共建筑节能改造	提高既有居住建筑节能水平,到2025年完成2000年底前建成的老旧小区3100万m ² 节能改造任务 ^[52] ;推动既有非节能公共建筑节能绿色化改造,2025、2030和2035年累积改造面积分别不低于3000万 ^[4] 、6000万和9000万m ²	在政策情景基础上,2025年累计改造既有非节能公共建筑5000万m ² ,2035年基本完成全市改造
	提升新建建筑绿色化水平	E	装配式建筑比例保持在2020年水平,不发展超低能耗建筑	推广新型绿色建造方式,2025年装配式建筑占新建建筑的比例力争达到60% ^[4] ;2035年前新建建筑全面采用装配式建筑,装配率不低于50% ^[58] ;加快推广超低能耗建筑,2025、2030和2035年累计推广规模分别达到500万 ^[4] 、1500万和3000万m ² 以上	在政策情景基础上,2035年装配式建筑装配率大于75% ^[58] ;2030年和2035年累计推广超低能耗建筑分别达到3000万m ² 和6000万m ² 以上
构建绿色低碳产业体系	推进制造业绿色升级	F	单位增加值的主要大气污染物和二氧化碳排放强度保持在2020年水平	加快产业绿色低碳转型,调整退出一般制造业,存量企业全面实施清洁生产,建设绿色工厂和绿色工业园区,提升终端用能电气化水平,提高能源利用效率,每5a主要大气污染物排放总量下降10% ^[4] 、万元工业增加值碳排放强度下降20%左右 ^[48]	在政策情景基础上,2030年前压减在京石化生产规模和剩余水池产能50%左右
	推动数字基础设施绿色发展	G	5G基站和数据中心能耗水平保持在2020年水平	数据中心优化布局和实施总量控制,开展高能耗和老旧数据中心改造,电能利用效率(PUE)2025年不超过1.4,2035年不超过1.3 ^[59] ;推动5G基站绿色发展,单站能耗降低30% ^[56]	进一步加大数据中心和5G基站节能改造力度,2035年改造后数据中心PUE不超过1.2 ^[59] ,5G基站单站能耗降低40% ^[56]
	优化机动车结构	H	不同燃料、不同类型和不同排放标准车辆比例与2020年保持一致	公交(通勤)、出租(网约车)和物流配送等公共领域用车基本实现新能源化,推动存量燃油小客车更新为新能源汽车,到2025年新能源汽车保有量力争达到200万辆 ^[4] ,基本淘汰国四重型营运柴油货车 ^[49] ,到2030年和2035年新能源汽车保有量分别达到320万辆和420万辆以上,形成以新能源汽车和国六以上排放标准为主的车辆结构	在政策情景基础上,加大存量燃油小客车更新为新能源汽车的力度,2025年前推动国四轻型汽油车淘汰,逐步提高新能源车在新车销售中的比重,形成以新能源车为主体的车辆结构
构建绿色低碳交通体系	优化运输结构	I	货物运输总量,公路、铁路、航空和管道运输比例与2020年保持一致	推动砂石骨料等大宗货物“公转铁”,2025年全市货物到发绿色运输比例不低于12% ^[50] ,2030年和2035年分别实现30%和50%的砂石骨料绿色运输	2025年全市货物到发绿色运输比例不低于15%,2030年和2035年分别实现50%和80%的砂石骨料绿色运输
	优化出行结构	J	绿色出行比例和小客车出行强度保持在现有正常水平	大幅度降低机动车使用强度,2025年和2035年绿色出行比例分别提升至76.5%和80%以上 ^[3] ;小客车年均出行强度较2015年分别降低16% ^[50] 和30% ^[3]	在政策情景基础上,对标国际先进城市,2035年绿色出行比例提升至85%以上;小客车年均出行强度较2015年降低40%

1) 因2020年新冠疫情对机动车出行影响较大,小客车出行强度调整为现有正常水平

物包括本地人为源排放；CO₂ 按照文献[42]，考虑了煤炭、天然气、汽柴油和外调煤电排放，航空运输排放不在核算范围内。由于新冠疫情对机动车出行影响较大，行驶里程明显下降，因此对 2020 年机动车大气污染物排放量和汽柴油消耗量按照正常年份进行了相应调整。

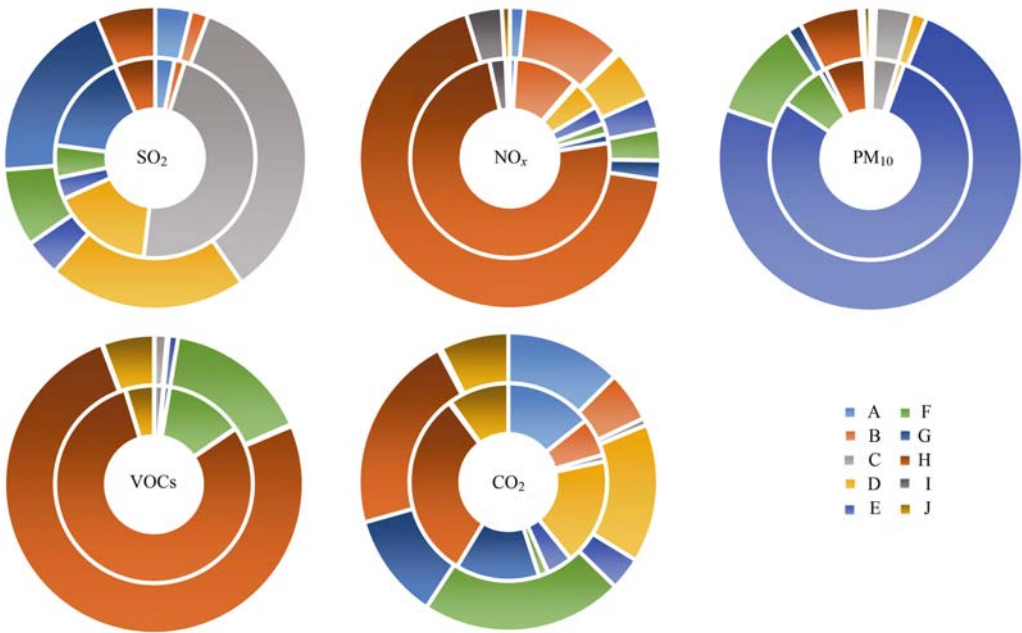
表 4 各情景减排率/%

Table 4 Emission reduction rates in different scenarios						
项目	情景	SO ₂	NO _x	PM ₁₀	VOCs	CO ₂
与 2020 年相比	基准	-35.34	-9.17	-2.96	-13.05	-43.10
	政策	66.26	59.71	8.64	24.94	16.07
	强化	92.03	65.13	9.19	27.82	31.94
与基准情景相比	政策	75.07	63.10	11.27	33.60	41.35
	强化	94.11	68.06	11.80	36.15	52.44

基准情景下，大气污染物和 CO₂ 排放呈持续上升趋势，与 2020 年相比，2035 年 CO₂ 排放量增长了 43%，大气污染物排放量增长了 9%~35%。与基准情景相比，政策情景和强化情景的大气污染物排放量持续下降，政策情景的减排率为 11%~75%，强化情景的减排率为 12%~94%，均为 SO₂ 减排率最高，其次是 NO_x。由于能源消费刚性增长，化石燃料占比居高不下，CO₂ 排放量在“十四五”时期变化比较平缓；2025 年后由于产业结构深度调整和可再生能源大规模应用，CO₂ 排放量下降较为明显，与基准情景相比，2035 年政策和强化情景分别下降了 41% 和 52%。

各措施的减排贡献率如图 3 所示。从不同污染物来看，SO₂ 减排主要来自完成农村地区散煤清洁能源改造（情景 C），政策和强化情景下减排贡献率分别达到 47% 和 35%；NO_x 减排主要来自优化机动车结构（情景 H），贡献率分别为 74% 和 68%，其

次为建设清洁低碳供热体系（情景 B），贡献率分别为 10% 和 11%；PM₁₀ 减排主要来自提升新建建筑绿色化水平（情景 E），贡献率分别为 79% 和 74%；VOCs 减排主要来自优化机动车结构（情景 H），贡献率分别达到 80% 和 76%，其次为推进制造业绿色升级（情景 F），占比分别为 13% 和 16%。政策情景下 CO₂ 减排主要来自优化机动车结构（情景 H）、推进既有建筑节能绿色化改造（情景 D）和推进电力生产和消费绿色化（情景 A），贡献率分别为 31%、18% 和 14%；强化情景下 CO₂ 减排主要来自优化机动车结构（情景 H）和推进制造业绿色升级（情景 F），贡献率均为 22%，其次是推进既有建筑节能绿色化改造（情景 D），贡献率为 15%。推进制造业绿色升级（情景 F）的 CO₂ 贡献率较政策情景明显提高，主要是由于提出了压减石化生产规模和剩余水泥产能，上述行业 2020 年 CO₂ 排放量占制造业的比重超过 50%。



内环为政策情景，外环为强化情景

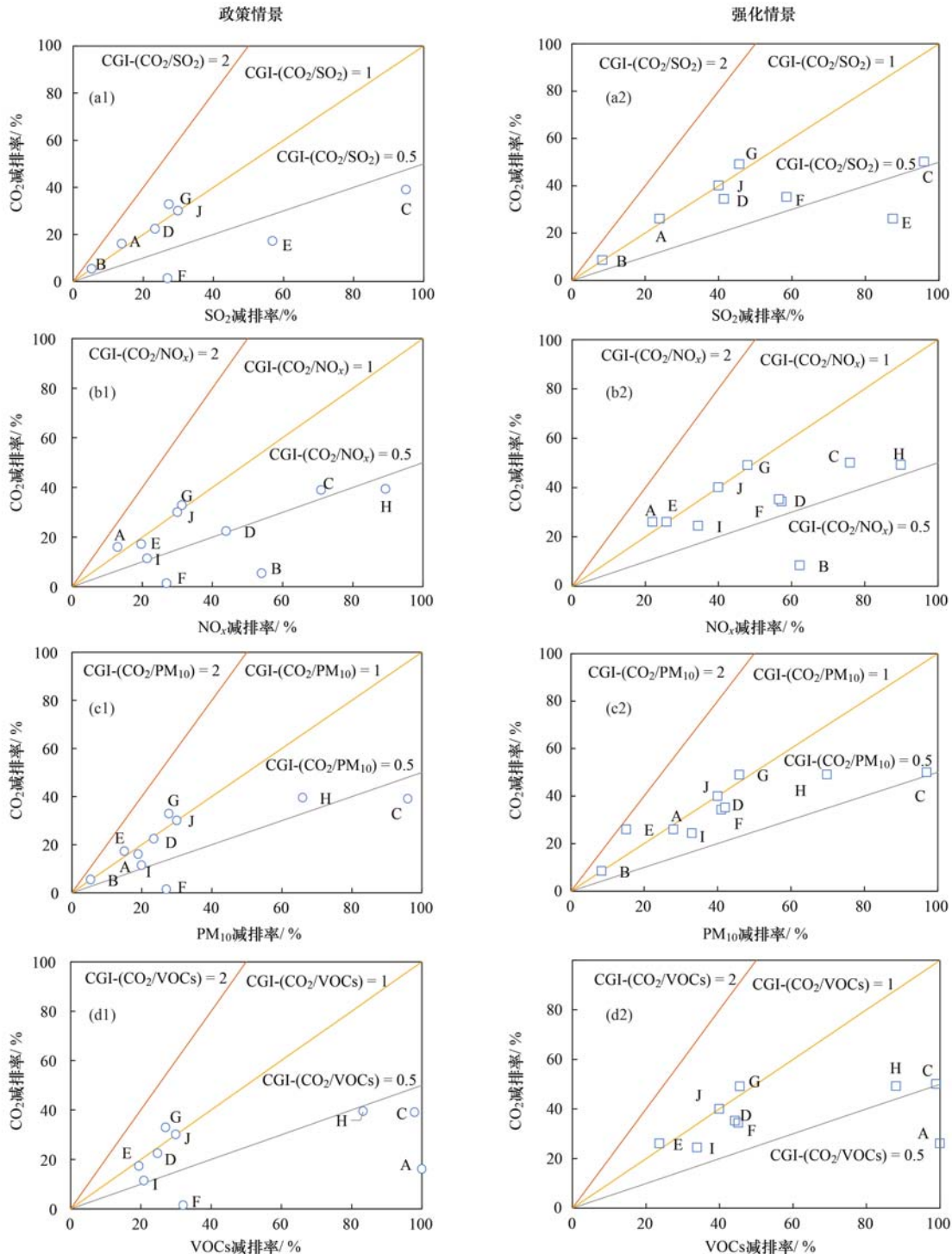
图 3 不同情景下措施减排贡献率

Fig. 3 Contribution rate of emission reduction in different scenarios

2.2 基于不同情景的协同控制效应评估

政策情景和强化情景下大气污染物和 CO_2 的协同控制效应分级结果如图 4 所示. 优化机动车结构(情景 H)和优化运输结构(情景 I)主要实施了“油改电”,对 CO_2 的减排效果明显;但由于未来电网中煤电占比仍在 33%~41%,新能源车推广和电气化铁路运输的 SO_2 排放因子要高于燃油车,因此增加了 SO_2 排放,不具备协同控制效应,CGI 值在

SO_2 和 CO_2 的坐标系中不体现. 建设清洁低碳供热体系(情景 B)减少了燃气消费,而国家和北京市的相关排放标准中未对天然气的 VOCs 排放做出相关要求,因此其 CGI 值在 VOCs 和 CO_2 的坐标系中同样不体现. 有必要指出的是,机动车排放的 SO_2 不到 NO_x 和 VOCs 的 1%,且北京市大气中 SO_2 年均浓度已远低于国家标准,尽管优化机动车结构和运输结构增加了 SO_2 排放,但总体上对环境空气质量的影



(a)、(b)、(c)、(d) 分别表示 SO_2 和 CO_2 、 NO_x 和 CO_2 、 PM_{10} 和 CO_2 、VOCs 和 CO_2 的协同控制效应分级结果

图 4 大气污染物与 CO_2 协同控制效应分级指数

Fig. 4 CGI of air pollutants and CO_2

响很小。

政策和强化情景下,优化出行结构(情景 J)的 CGI-(CO₂/AP)值均为 1,推动数字基础设施绿色发展(情景 G)的 CGI-(CO₂/AP)值均在 1.0~1.2 之间,上述两项措施的协同控制效应最佳;既有建筑节能绿色化改造(情景 D)的 CGI-(CO₂/AP)值在 0.5~1.0 之间,协同控制效应较好。从影响北京市环境空气质量改善的主要大气污染物 NO_x 和 VOCs 来看,电力生产和消费绿色化的 CGI-(CO₂/NO_x)值、优化运输结构的 CGI-(CO₂/NO_x)值和 CGI-(CO₂/VOCs)值在 0.5~1.2 之间,协同控制效应较好。

强化情景下,由于电网可再生能源电力占比的提高,完成农村地区散煤清洁能源改造(情景 C)的 CGI-(CO₂/SO₂)值、CGI-(CO₂/PM₁₀)值和 CGI-(CO₂/VOCs)值,以及优化机动车结构(情景 H)的 CGI-(CO₂/NO_x)值均较政策情景的 0.5 以下提升至 0.5~1.0 之间,协同控制效应从一般提升至较好;推进制造业绿色升级(情景 F)的 CGI-(CO₂/AP)值由政策情景的 0.05 左右提升至 0.5~1.0 之间,协同控制效应均从一般提升至较好,这是因为政策情景以大气污染物减排和能效提升为主,但制造业能源消费总量有所增长,CO₂ 减排不明显,而强化情景考虑了炼油石化和水泥行业产能压减,从源头同时降低了大气污染物和 CO₂ 排放,表明结构减排的协同控制效应较为显著。

3 结论

(1)从减排潜力看,基准情景作为“零减排方案”,大气污染物和 CO₂ 排放均呈上升趋势;与基准情景相比,政策情景下大气污染物减排率为 11%~75%,CO₂ 的减排率为 41%;强化情景下大气污染物减排率为 12%~94%,CO₂ 的减排率为 52%,均高于政策情景。从排放量变化趋势看,2020 年~2035 年的大气污染物排放量持续下降,CO₂ 排放量在前期下降平缓,后期则较为明显。总体来看,CO₂ 减排滞后于大气污染物,但随着各项情景措施的实施,北京市减污降碳成效将从“十五五”时期开始凸显。

(2)从各措施减排贡献看,农村地区散煤清洁能源改造和提升新建建筑绿色化水平分别对于 SO₂ 和 PM₁₀ 的减排贡献率为最高,优化机动车结构则对于 NO_x、VOCs 和 CO₂ 的减排贡献率为最高。北京市提出了推进 PM_{2.5} 和 O₃ 污染协同治理、大气污染物和温室气体排放协同控制,主要是加大 NO_x、VOCs 和 CO₂ 的协同减排力度。因此,优化机动车结构成为北京市减污降碳的重要措施。

(3)从协同控制效应看,由于未来电网中仍保留有相当比例的煤电,优化机动车结构和运输结构在减排 CO₂ 的同时增加了 SO₂ 排放,对两者不具备协同控制效应。其它措施对各大气污染物和 CO₂ 均具备协同控制效应,其中优化出行结构和推动数字基础设施绿色发展的协同控制效应为最佳;在强化情景下,推进制造业绿色升级的协同控制效应得到显著提升。北京市大气污染物减排聚焦 NO_x 和 VOCs,农村地区散煤清洁能源改造、优化机动车结构和运输结构等“煤改电”“油改电”措施对于 NO_x、VOCs 和 CO₂ 的协同控制效应较好,且增加绿电占比可提升上述情景措施的协同控制效应指数。因此,终端能源消费电气化成为减污降碳主要途径,绿电占比是主要影响因素,应通过压减火力发电、发展本地绿电生产和增强外调绿电输送能力,持续推动电力生产和消费绿色化。

参考文献:

- [1] 北京市生态环境局. 2021 年北京市生态环境状况公报[EB/OL]. <http://sthjj.beijing.gov.cn/bjhrb/index/xxgk69/sthjlyzwg/1718880/1718881/1718882/325831146/index.html>, 2022-05-11.
- [2] 李惠民, 张西, 张哲瑜, 等. 北京市碳排放达峰路径及政策启示[J]. 环境保护, 2020, 48(5): 24-31.
Li H M, Zhang X, Zhang Z Y, et al. The pathway and policy implication of reaching peak of carbon emission in Beijing[J]. Environmental Protection, 2020, 48(5): 24-31.
- [3] 北京市规划和国土资源管理委员会. 北京城市总体规划(2016 年—2035 年)[EB/OL]. http://www.beijing.gov.cn/gongkai/guizhu/wnggh/cqgh/201907/t20190701_100008.html, 2017-09-29.
- [4] 北京市第十五届人民代表. 北京市国民经济和社会发展第十四个五年规划和二〇三五年远景目标纲要[EB/OL]. http://fgw.beijing.gov.cn/fgwzgwkc/zcgk/ghjhwj/wnjh/202104/t20210401_2638614.htm, 2021-04-01.
- [5] 冯永超, 胡勇, 彭逸, 等. 燃煤电厂减污降碳协同治理探析[J]. 广州化工, 2022, 50(3): 103-105.
Feng Y C, Hu Y, Peng Y, et al. Analysis of carbon dioxide coordination air pollution emission reduction on coal-fired power plant[J]. Guangzhou Chemical Industry, 2022, 50(3): 103-105.
- [6] Jiang P, Khishgee S, Alimujiang A, et al. Cost-effective approaches for reducing carbon and air pollution emissions in the power industry in China[J]. Journal of Environmental Management, 2020, 264, doi: 10.1016/j.jenvman.2020.110452.
- [7] Mao X Q, Zeng A, Hu T, et al. Co-control of local air pollutants and CO₂ from the Chinese coal-fired power industry[J]. Journal of Cleaner Production, 2014, 67: 220-227.
- [8] Yu Y, Jin Z X, Li J Z, et al. Low-carbon development path research on China's power industry based on synergistic emission reduction between CO₂ and air pollutants[J]. Journal of Cleaner Production, 2020, 275, doi: 10.1016/j.jclepro.2020.123097.
- [9] 庞可, 张芊, 马彩云, 等. 基于 LEAP 模型的兰州市道路交通温室气体与污染物协同减排情景模拟[J]. 环境科学, 2022, 43(7): 3386-3395.

- Pang K, Zhang Q, Ma C Y, *et al.* Forecasting of emission co-reduction of greenhouse gases and pollutants for the road transport sector in Lanzhou based on the LEAP model[J]. *Environmental Science*, 2022, **43**(7): 3386-3395.
- [10] Alimujiang A, Jiang P. Synergy and co-benefits of reducing CO₂ and air pollutant emissions by promoting electric vehicles—a case of Shanghai[J]. *Energy for Sustainable Development*, 2020, **55**: 181-189.
- [11] 邢有凯, 刘峥延, 毛显强, 等. 中国交通行业实施环境经济政策的协同控制效应研究[J]. *气候变化研究进展*, 2021, **17**(4): 379-387.
- Xing Y K, Liu Z Y, Mao X Q, *et al.* Research on co-control effect of environmental economic policies in China's transportation sector[J]. *Climate Change Research*, 2021, **17**(4): 379-387.
- [12] Liu L, Wang K, Wang S S, *et al.* Assessing energy consumption, CO₂ and pollutant emissions and health benefits from China's transport sector through 2050[J]. *Energy Policy*, 2018, **116**: 382-396.
- [13] 李云燕, 宋伊迪. 碳中和目标下的北京城市道路移动源 CO₂ 和大气污染物协同减排效应研究[J]. *中国环境管理*, 2021, **13**(3): 113-120.
- Li Y Y, Song Y D. Study on the synergetic emission reduction effect of CO₂ and air pollutants from the mobile source of urban roads in Beijing under the target of carbon neutralization[J]. *Chinese Journal of Environmental Management*, 2021, **13**(3): 113-120.
- [14] 吴玉婷, 王晓荣, 何潇蓉. 基于 LEAP 模型的北京市交通能耗及环境污染排放预测[J]. *河北建筑工程学院学报*, 2018, **36**(4): 85-90, 110.
- Wu Y T, Wang X R, He X R. Forecast of traffic energy consumption and environmental pollution emission in Beijing based on LEAP model[J]. *Journal of Hebei Institute of Architectural Engineering*, 2018, **36**(4): 85-90, 110.
- [15] 高玉冰, 邢有凯, 何峰, 等. 中国钢铁行业节能减排措施的协同控制效应评估研究[J]. *气候变化研究进展*, 2021, **17**(4): 388-399.
- Gao Y B, Xing Y K, He F, *et al.* Research on co-control effectiveness evaluation of energy saving and emission reduction measures in China's iron and steel industry[J]. *Climate Change Research*, 2021, **17**(4): 388-399.
- [16] Yang H Z, Liu J F, Jiang K J, *et al.* Multi-objective analysis of the co-mitigation of CO₂ and PM_{2.5} pollution by China's iron and steel industry[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2018, **185**: 331-341.
- [17] Zhang Q, Wang Y J, Zhang W, *et al.* Energy and resource conservation and air pollution abatement in China's iron and steel industry[J]. *Resources, Conservation and Recycling*, 2019, **147**: 67-84.
- [18] 任明, 徐向阳. 京津冀地区钢铁行业能效提升潜力和环境协同效益[J]. *工业技术经济*, 2018, **37**(8): 20-26.
- Ren M, Xu X Y. Energy efficiency improvement and environmental co-benefits of iron and steel industry in Beijing-Tianjin-Hebei region[J]. *Journal of Industrial Technological Economics*, 2018, **37**(8): 20-26.
- [19] 毛显强, 邢有凯, 高玉冰, 等. 钢铁、水泥行业深度脱碳的协同控制效果评估与路径设计[R]. 北京: 北京亚太展望环境发展咨询中心, 北京师范大学全球环境政策研究中心, 2020.
- Mao X Q, Xing Y K, Gao Y B, *et al.* Co-control effect assessment of industrial deep decarbonization & co-control roadmap for China's iron and steel and cement sectors[R]. Beijing: Asia-Pacific Consulting Center for Environment and Development, Center for Global Environmental Policy, Beijing Normal University, 2020.
- [20] 何峰, 刘峥延, 邢有凯, 等. 中国水泥行业节能减排措施的协同控制效应评估研究[J]. *气候变化研究进展*, 2021, **17**(4): 400-409.
- He F, Liu Z Y, Xing Y K, *et al.* Co-control effect evaluation of the energy saving and emission reduction measures in Chinese cement industry[J]. *Climate Change Research*, 2021, **17**(4): 400-409.
- [21] Feng X Z, Lugovoy O, Qin H. Co-controlling CO₂ and NO_x emission in China's cement industry: an optimal development pathway study[J]. *Advances in Climate Change Research*, 2018, **9**(1): 34-42.
- [22] 王同桂, 吴莉萍, 张灿, 等. 碳减排项目协同效益评价体系构建研究——以重庆市一水泥厂余热发电项目为例[J]. *环境影响评价*, 2019, **41**(6): 86-90.
- Wang T G, Wu L P, Zhang C, *et al.* Study on construction of cooperative benefit evaluation system for carbon emission reduction projects: taking the project of waste heat power generation in a cement plant in Chongqing as an example[J]. *Environmental Impact Assessment*, 2019, **41**(6): 86-90.
- [23] 钟佳, 魏源送, 赵振凤, 等. 污泥堆肥及其土地利用全过程的温室气体与氨气排放特征[J]. *环境科学*, 2013, **34**(11): 4186-4194.
- Zhong J, Wei Y S, Zhao Z F, *et al.* Emissions of greenhouse gas and ammonia from the full process of sewage sludge composting and land application of compost[J]. *Environmental Science*, 2013, **34**(11): 4186-4194.
- [24] 毛显强, 曾桢, 邢有凯, 等. 从理念到行动: 温室气体与局地污染物减排的协同效益与协同控制研究综述[J]. *气候变化研究进展*, 2021, **17**(3): 255-267.
- Mao X Q, Zeng A, Xing Y K, *et al.* From concept to action: a review of research on co-benefits and co-control of greenhouse gases and local air pollutants reductions[J]. *Climate Change Research*, 2021, **17**(3): 255-267.
- [25] Plachinski S D, Holloway T, Meier P J, *et al.* Quantifying the emissions and air quality co-benefits of lower-carbon electricity production[J]. *Atmospheric Environment*, 2014, **94**: 180-191.
- [26] 席艳玲. 京津冀地区温室气体与大气污染物协同减排效果研究[J]. *城市*, 2021, (10): 49-61.
- Xi Y L. Study on collaborative emission reduction effect of greenhouse gases and air pollutants in Beijing-Tianjin-Hebei[J]. *City*, 2021, (10): 49-61.
- [27] 谢元博, 李巍. 基于能源消费情景模拟的北京市主要大气污染物和温室气体协同减排研究[J]. *环境科学*, 2013, **34**(5): 2057-2064.
- Xie Y B, Li W. Synergistic emission reduction of chief air pollutants and greenhouse gases based on scenario simulations of energy consumptions in Beijing[J]. *Environmental Science*, 2013, **34**(5): 2057-2064.
- [28] 杨添棋, 王洪昌, 张辰, 等. 京津冀及周边地区“2+26”城市结构性调整政策的 CO₂ 协同减排效益评估[J]. *环境科学*, 2022, **43**(11): 5315-5325.
- Yang T Q, Wang H C, Zhang C, *et al.* Carbon dioxide mitigation co-effect analysis of structural adjustment measures in the “2+26” cities in the Jing-Jin-Ji and its surroundings[J]. *Environmental Science*, 2022, **43**(11): 5315-5325.
- [29] 李敏姣, 李燃, 李怀明, 等. 天津市“十三五”期间大气污染防治措施对 PM_{2.5} 和 CO₂ 的协同控制效益分析[J]. *环境污染与防治*, 2021, **43**(12): 1614-1619, 1624.

- Li M J, Li R, Li H M, *et al.* Analysis of the synergistic effect of various measures on PM_{2.5} concentration improvement and CO₂ emission reduction during the 13th five-year plan period in Tianjin[J]. *Environmental Pollution & Control*, 2021, **43**(12): 1614-1619, 1624.
- [30] 邢有凯, 毛显强, 冯相昭, 等. 城市蓝天保卫战行动协同控制局地大气污染物和温室气体效果评估——以唐山市为例[J]. *中国环境管理*, 2020, **12**(4): 20-28.
- Xing Y K, Mao X Q, Feng X Z, *et al.* An effectiveness evaluation of co-controlling local air pollutants and GHGs by implementing blue sky defense action at city level—A case study of Tangshan City [J]. *Chinese Journal of Environmental Management*, 2020, **12**(4): 20-28.
- [31] 方奕. 上海市大气污染减排协同效应研究[D]. 上海: 上海交通大学, 2020.
- Fang Y. Study on synergies of air pollution control in Shanghai [D]. Shanghai: Shanghai Jiao Tong University, 2020.
- [32] 唐伟, 郑思伟, 何平, 等. 基于情景分析的杭州市机动车尾气排放控制协同效应研究[J]. *环境科学学报*, 2019, **39**(6): 2033-2042.
- Tang W, Zheng S W, He P, *et al.* Study on the co-benefit of motor vehicle emission control based on scenario analysis in Hangzhou [J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2019, **39**(6): 2033-2042.
- [33] 王珍, 刘金培, 肖鹏, 等. 碳减排对 PM_{2.5} 的协同效应与交互效应分析——基于长江经济带 11 省市面板数据的实证[J]. *重庆工商大学学报(自然科学版)*, 2018, **35**(6): 63-69.
- Wang Z, Liu J P, Xiao P, *et al.* Analysis on the synergistic effect and interaction effect of carbon reduction on PM_{2.5}——an empirical study on panel data of 11 provinces and cities in the Yangtze River Economic Zone [J]. *Journal of Chongqing Technology and Business University (Natural Science Edition)*, 2018, **35**(6): 63-69.
- [34] 关琰珠, 钟寅翔, 吴毅彬, 等. 科技创新与碳达峰碳中和目标下区域碳排放与污染物协同减排的调控政策研究——以厦门市为例[J]. *中国发展*, 2021, **21**(5): 79-88.
- Guan Y Z, Zhong Y X, Wu Y B, *et al.* Research on regulatory policies for collaborative emission reduction of regional carbon emissions and pollutants under the goal of carbon peak and carbon neutrality with scientific and technological innovations – take Xiamen as an example [J]. *China Development*, 2021, **21**(5): 79-88.
- [35] 许鸿伟, 汪鹏, 任松彦, 等. 双碳目标下电力系统转型对产业部门影响评估——以粤港澳大湾区为例[J]. *中国环境科学*, 2022, **42**(3): 1435-1445.
- Xu H W, Wang P, Ren S Y, *et al.* Impact assessment of power system transition on industrial sectors under dual carbon targets—take the Greater Bay Area as an example [J]. *China Environmental Science*, 2022, **42**(3): 1435-1445.
- [36] 毛显强, 邢有凯, 高玉冰, 等. 温室气体与大气污染物协同控制效应评估与规划[J]. *中国环境科学*, 2021, **41**(7): 3390-3398.
- Mao X Q, Xing Y K, Gao Y B, *et al.* Study on GHGs and air pollutants co-control: assessment and planning [J]. *China Environmental Science*, 2021, **41**(7): 3390-3398.
- [37] Wagner F, Amann M, Borken-Kleefeld J, *et al.* Sectoral marginal abatement cost curves: implications for mitigation pledges and air pollution co-benefits for annex I countries [J]. *Sustainability Science*, 2012, **7**(2): 169-184.
- [38] Zhang Q Y, Cai B F, Wang M D, *et al.* City level CO₂ and local air pollutants co-control performance evaluation: a case study of 113 key environmental protection cities in China [J]. *Advances in Climate Change Research*, 2022, **13**(1): 118-130.
- [39] 中华人民共和国生态环境部. 关于发布《排放源统计调查产排污核算方法和系数手册》的公告 [EB/OL]. http://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk01/202106/t20210618_839512.html, 2021-06-11.
- [40] 中华人民共和国环境保护部. 关于发布《民用煤燃烧污染综合治理技术指南(试行)》与《民用煤大气污染物排放清单编制技术指南(试行)》的公告 [EB/OL]. http://www.mee.gov.cn/g kml/hbb/bgg/201610/t20161031_366528.htm, 2016-10-26.
- [41] 中华人民共和国环境保护部. 关于发布《大气可吸入颗粒物一次源排放清单编制技术指南(试行)》等 5 项技术指南的公告 [EB/OL]. https://www.mee.gov.cn/g kml/hbb/bgg/201501/t20150107_293955.htm, 2014-12-31.
- [42] 中华人民共和国生态环境部. 省级二氧化碳排放达峰行动方案编制指南 [EB/OL]. <https://www.doc88.com/p-28961729758312.html>, 2021-06-28.
- [43] 魏军晓, 耿元波, 王松. 中国水泥碳排放测算的影响因素分析与不确定度计算 [J]. *环境科学学报*, 2016, **36**(11): 4234-4244.
- Wei J X, Geng Y B, Wang S. Identification of factors influencing CO₂ emission estimation from Chinese cement industry and determination of their uncertainty [J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2016, **36**(11): 4234-4244.
- [44] 北京交通发展研究院. 北京交通发展年度报告 [EB/OL]. <http://www.bjtrc.org.cn/List/index/cid/7.html>, 2021-01-01.
- [45] 沈岩, 武彤冉, 闫静, 等. 基于 COPERT 模型北京市机动车大气污染物和二氧化碳排放研究 [J]. *环境工程技术学报*, 2021, **11**(6): 1075-1082.
- Shen Y, Wu T R, Yan J, *et al.* Investigation on air pollutants and carbon dioxide emissions from motor vehicles in Beijing based on COPERT model [J]. *Journal of Environmental Engineering Technology*, 2021, **11**(6): 1075-1082.
- [46] 北京市人民政府. 北京市“十四五”时期能源发展规划 [EB/OL]. http://www.beijing.gov.cn/zhengce/zhengcefaui/202204/t20220401_2646626.html, 2022-02-22.
- [47] 北京市人民政府. 北京市“十四五”时期高精尖产业发展规划 [EB/OL]. http://www.beijing.gov.cn/gongkai/guohua/wngh/sjzdxgh/202108/t20210818_2471375.html, 2021-08-11.
- [48] 北京市经济和信息化局. 北京市“十四五”时期制造业绿色低碳发展行动方案 [EB/OL]. http://www.beijing.gov.cn/zhengce/zhengcefaui/202206/t20220610_2734294.html, 2022-06-01.
- [49] 北京市人民政府. 北京市“十四五”时期生态环境保护规划 [EB/OL]. http://fgw.beijing.gov.cn/fgwzgwkc/zcgk/ghjhw/bwnjh/202205/t20220517_2711961.htm, 2021-11-28.
- [50] 北京市人民政府. 北京市“十四五”时期交通发展规划 [EB/OL]. http://www.beijing.gov.cn/zhengce/zhengcefaui/202205/t20220507_2704320.html, 2022-04-10.
- [51] 北京市人民政府. 北京市“十四五”时期城市管理发展规划 [EB/OL]. http://csglw.beijing.gov.cn/zwxw/zcwj/qtwj/202204/t20220427_2693977.html, 2022-03-14.
- [52] 北京市人民政府. 北京市城市更新专项规划(北京市“十四五”时期城市更新规划) [EB/OL]. http://www.beijing.gov.cn/zhengce/zfwj/zfwj2016/szfwj/202205/t20220518_2715630.html, 2022-05-10.
- [53] 北京市统计局, 国家统计局北京调查总队. 北京市统计年鉴 2011-2021 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2011-2021.
- Beijing Municipal Bureau Statistics, NBS Survey office in Beijing. *Beijing statistical yearbook 2011-2021* [M]. Beijing:

- China Statistics Press, 2011-2021.
- [54] 国务院. 2030 年前碳达峰行动方案[EB/OL]. http://www.gov.cn/zhengce/content/2021-10/26/content_5644984.htm, 2021-10-26.
- [55] 生态环境部, 国家发展和改革委员会, 工业和信息化部, 等. 减污降碳协同增效实施方案[EB/OL]. http://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2022-06/17/content_5696364.htm, 2022-06-10.
- [56] 中国数字基建的脱碳之路: 数据中心与 5G 减碳潜力与挑战 (2020-2035) [EB/OL]. <https://www.greenpeace.org.cn/wp-content/uploads/2021/05/China-5G-and-Data-Center-Carbon-Emissions-Outlook-2035.pdf>, 2021-05-28.
- [57] 国家发展改革委, 国家能源局. 关于印发《能源生产和消费革命战略(2016-2030)》的通知[EB/OL]. https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/tz/201704/t20170425_962953.html?code=&state=123, 2016-12-29.
- [58] DB11/T 1831-2021, 装配式建筑评价标准[S].
- [59] DB11/T 1139-2019, 数据中心能源效率限额[S].



CONTENTS

Impact of Climate Change on Summer Ozone in China	HU An-qi, XIE Xiao-dong, GONG Kang-jia, <i>et al.</i>	(1801)
Spatial-temporal Variation and Driving Factors of Ozone in China from 2019 to 2021 Based on EOF Technique and KZ Filter	WANG Hao-qí, ZHANG Yu-fen, LUO Zhong-wei, <i>et al.</i>	(1811)
Photochemical Mechanism and Control Strategy Optimization for Summertime Ozone Pollution in an Industrial City in the North China Plain	ZHENG Zhen-sen, DOU Jian-píng, ZHANG Guo-tao, <i>et al.</i>	(1821)
Spatiotemporal Evolution Characteristics of PM _{2.5} -O ₃ Compound Pollution in Chinese Cities from 2015 to 2020	NIU Xiao-xiao, ZHONG Yan-mei, YANG Lu, <i>et al.</i>	(1830)
Spatiotemporal Distribution Characteristics of Co-pollution of PM _{2.5} and Ozone over BTH with Surrounding Area from 2015 to 2021	SONG Xiao-han, YAN Li, LIU Wei, <i>et al.</i>	(1841)
Spatio-temporal Variation in PM _{2.5} Concentration and Its Relationship with Vegetation Landscape Patterns in Typical Economic Zones in China from 2000 to 2020	XU Yong, LI Xin-yi, HUANG Wen-ting, <i>et al.</i>	(1852)
Characteristics and Source Apportionment of Atmospheric Ion Deposition During Winter and Spring in the Core Area of Beijing	ZHAO Yu, LI Bei-bei, HUANG Yu-hu, <i>et al.</i>	(1865)
Input Characteristics of Dry Deposition of Atmospheric Particulates and Metals in Farmland in the Suburb of Nanjing	LIU Cui-ying, JIN Hao, FAN Jian-ling	(1873)
Pollution Characterizations and Oxidative Potentials of Water-Soluble Organic Matters at Different Polarity Levels in Winter PM _{2.5} Over Xi'an	LUO Yu, HUANG Sha-sha, ZHANG Tian, <i>et al.</i>	(1882)
Emission Characteristics of Organic Carbon and Elemental Carbon in PM ₁₀ and PM _{2.5} from Vehicle Exhaust and Civil Combustion Fuels	WANG Hong-lei, LIU Si-han, SUN Jie-juan, <i>et al.</i>	(1890)
Characteristics and Source Apportionment of PM _{2.5} in the Core Area of Ili River Valley in Spring	GU Chao, XU Tao, MA Chao, <i>et al.</i>	(1899)
Evaluation of Changes in PM _{2.5} Exposure Concentration and Health Risk for Urban Resident in Zhengzhou Based on High Spatial Resolution Grids	LI Yuan, XU Yi-fei, YUAN Ming-hao, <i>et al.</i>	(1911)
Emission Inventory of Building Material Industry in Henan Province Based on Multi-source Data Integration	LIU Xiao, HU Jing-nan, WANG Hong-mei, <i>et al.</i>	(1924)
Pollution Characteristics and Source Apportionment of Atmospheric Volatile Organic Compounds in Winter in Kaifeng City	SHI Yu-qi, ZHENG Kai-yun, DING Wei-ting, <i>et al.</i>	(1933)
Changes in O ₃ -VOCs-NO _x Sensitivity and VOCs Sources at an Urban Site of Nanjing Between 2020 and 2021	LU Xiao-bo, WANG Ming, DING Feng, <i>et al.</i>	(1943)
Variation Characteristics and Ozone Formation Potential of Ambient VOCs in Urban Beijing in Summer	ZHANG Rui, SUN Xue-song, WANG Yu, <i>et al.</i>	(1954)
Chemical Characteristics and Source Apportionment for VOCs During the Ozone Pollution Episodes and Non-ozone Pollution Periods in Qingdao	JIA Zhi-hai, GU Yao, KONG Cui-li, <i>et al.</i>	(1962)
Characteristics of O ₃ Production in the Western Suburb of Hefei in Summer Based on the Observation of Total Peroxy Radical	YU Hui, WEI Na-na, XU Xue-zhe, <i>et al.</i>	(1974)
Evaluation of Energy Saving and Carbon Reduction Effect of Air Pollution Prevention and Control Action Plan and Innovation Intermediary Effect	LI Shao-lin, WANG Qi-qi	(1985)
Scenario Simulation and Effects Assessment of Co-control on Pollution and Carbon Emission Reduction in Beijing	YU Shan, ZHANG Shuang, ZHANG Zeng-jie, <i>et al.</i>	(1998)
Simulation of Anthropogenic CO ₂ Emissions in the Yangtze River Delta Based on Different Emission Inventories	MA Xin-yi, HUANG Wen-jing, HU Ning, <i>et al.</i>	(2009)
Water Quality Change Trend and Risk Analysis of Wuhan Hanjiang River Water Source	ZHUO Hai-hua, LOU Bao-feng, XU Jie, <i>et al.</i>	(2022)
Pollution Characteristics and Risk Assessment of Antibiotics and Resistance Genes in Different Water Sources in the Wuhan Section of the Yangtze River	LI Bo-lin, ZHANG He, WANG Jun, <i>et al.</i>	(2032)
Occurrence Characteristics, Sources, and Toxicity Risk Analysis of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Typical Rivers of Northern Shaanxi Mining Area, China	WU Xi-jun, DONG Ying, ZHAO Jian, <i>et al.</i>	(2040)
Spatio-temporal Characteristics of Organic Aggregates and the Driving Factors in Typical Lakes	XIE Gui-juan, GONG Yi, ZHU Fu-cheng, <i>et al.</i>	(2052)
Distribution Characteristics and Risk Assessment of Microplastics in Water of Different Functional Parks in Guilin	LI Pei-zhao, WU Li, HUANG Fei-fei, <i>et al.</i>	(2062)
Environmental Driving Factors and Assessment on the Aquatic Ecosystem of Periphytic Algae of Six Inflow Rivers in Yangtze River Basin	ZHANG Jing, HU Yu-xin, HU Sheng, <i>et al.</i>	(2072)
Influence and Driving of Environmental Heterogeneity on the Epilithic Diatom Community in Xiangxi River, a Tributary of the Three Gorges Reservoir Area	JI Lu-lu, ZHAO Lu, OUYANG Tian, <i>et al.</i>	(2083)
Characteristics of Phytoplankton Communities and Key Impact Factors in Three Types of Lakes in Wuhan	ZHANG Hao-kun, MIN Fen-li, CUI Hui-rong, <i>et al.</i>	(2093)
Effects of Heavy Metal Pollution on the Structure of Microbial Communities in Different Habitats	HE Yi-fan, XIAO Xin-zong, WANG Jia-wen	(2103)
Structure and Distribution Characteristics of Bacterial Community in Boqing River Water	WANG Sen, CHEN Jian-wen, ZHANG Hong, <i>et al.</i>	(2113)
Effects of Microplastic Exposure on the Community Structure and Function of Symbiotic Bacteria in <i>Sinularia microclavata</i>	LIU Min, CHE Wen-xue, ZENG Ying-xu, <i>et al.</i>	(2122)
Distribution Characteristics and Health Risk Assessment of Emerging Contaminants from Raw Water to Drinking Water in Shanghai	YAN Qi	(2136)
Adsorption Characteristics of Fluoride in Low-Concentration Water by Aluminum and Zirconium-Modified Biochar	LIU Yan-fang, GAO Wei, LIU Rui, <i>et al.</i>	(2147)
Sorption Characteristics and Site Energy Distribution Theory of Typical Estrogens on Microplastics	LIU Jiang-yan, ZHENG Mi-mi, HU Jia-wu, <i>et al.</i>	(2158)
Selection and Evaluation of Model Pollutants for Performance Assessment of Advanced Treatment of Industrial Park Wastewater by Ozonation	XIN Bo, SHAN Chao, LÜ Lu	(2168)
Identifying Driving Factors and Their Interacting Effects on Sources of Heavy Metal in Farmland Soils with Geodetector and Multi-source Data	ZHANG Hong-ze, CUI Wen-gang, LIU Sui-hua, <i>et al.</i>	(2177)
Pollution Characteristics and Source Apportionment of Heavy Metals in Farmland Soils Around the Gangue Heap of Coal Mine Based on APCS-MLR and PMF Receptor Model	MA Jie, SHEN Zhi-jie, ZHANG Ping-ping, <i>et al.</i>	(2192)
Contamination and Probabilistic Health Risk Assessment of Heavy Metals in Agricultural Soils Around a Lead-Zinc Smelter	HUANG Jian-bo, JIANG Deng-deng, WEN Bing, <i>et al.</i>	(2204)
Prediction of PAHs Content in Soil Around Gas Stations in Beijing Based on BP Neural Network	MA Sai-yan, WEI Hai-ying, MA Jin, <i>et al.</i>	(2215)
Spatial-temporal Distribution and Risk Assessment of Quinolones Antibiotics in Soil of Shijiazhuang City	ZHAO Xin-yu, CHEN Hui, ZHAO Bo, <i>et al.</i>	(2223)
Accumulation and Pollution Risks of Heavy Metals in Soils and Agricultural Products from a Typical Black Shale Region with High Geological Background	DENG Shuai, DUAN Jia-hui, NING Mo-huan, <i>et al.</i>	(2234)
Geochemical Characteristics of Cd in Different Parent Soils in Karst Area and Prediction of Cd Content in Maize	DAI Liang-liang, XU Hong-gen, GONG Hao, <i>et al.</i>	(2243)
Pollution Risk and Contribution Analysis of Pb, Cd, and As in Soils and Crops Under Different Land Use Types in Longyan City	WANG Rui, CHEN Nan, ZHANG Er-xi	(2252)
Influencing Factors of Cadmium Content in Wheat Grain: A Meta-analysis and Decision Tree Analysis	LIU Na, ZHANG Shao-bin, GUO Xin-yu, <i>et al.</i>	(2265)
Response Characteristics of Soil Organic Carbon Pool and Its Chemical Composition During Secondary Forest Succession in the Loess Plateau	LIU Han-yu, LIU Ying-yi, ZHANG Qi, <i>et al.</i>	(2275)
Effects of Short-Term Nitrogen and Phosphorus Addition on Soil Respiration Components in a Subalpine Grassland of Qilian Mountains	JIANG Yuan, GAN Xiao-ling, CAO Feng-feng, <i>et al.</i>	(2283)
Response of Soil Microbial Diversity to Long-term Enclosure in Degraded Patches of Alpine Meadow in the Source Zone of the Yellow River	YANG Peng-nian, LI Xi-lai, LI Cheng-yi, <i>et al.</i>	(2293)
Diversity and Predictive Functional of <i>Caragana jubata</i> Bacterial Community in Rhizosphere and Non-rhizosphere Soil at Different Altitudes	LI Yuan-yuan, XU Ting-ting, AI Zhe, <i>et al.</i>	(2304)
Effects of Simulated Acid Rain and Nitrogen Deposition on Soil Bacterial Community Structure and Diversity in the Masson Pine Forest	WANG Nan, QIAN Shao-yu, PAN Xiao-cheng, <i>et al.</i>	(2315)
Effects of Phosphogypsum and <i>Suaeda salsa</i> on the Soil Moisture, Salt, and Bacterial Community Structure of Salinized Soil	LIU Yue, YANG Shu-qing, ZHANG Wan-feng, <i>et al.</i>	(2325)
Effects of Combined Application of Fungal Residue and Chemical Fertilizer on Soil Microbial Community Composition and Diversity in Paddy Soil	GENG He-tian, WANG Xu-dong, SHI Si-bo, <i>et al.</i>	(2338)
Effects of Aeration on Surface Water Nutrient Dynamics and Greenhouse Gas Emission in Different Straw Returning Paddy Fields	HU Jin-hui, XUE Li-hong, QIAN Cong, <i>et al.</i>	(2348)
Effects of Exogenous Melatonin Treatment on the Growth and Antioxidant System of Rice Seedlings Under Antimony Stress	CHU Yu-tan, LI Yan, HUANG Yi-zong, <i>et al.</i>	(2356)
Life Cycle Prediction Assessment of Energy Saving and New Energy Vehicles for 2035	FU Pei, LAN Li-bo, CHEN Ying, <i>et al.</i>	(2365)
Distribution, Sources, and Behavioral Characteristics of Microplastics in Farmland Soil	BO Lu-ji, LI Bing, ZHANG Kai, <i>et al.</i>	(2375)
Research Progress on the Remediation Technology of Herbicide Contamination in Agricultural Soils	HU Fang-yu, AN Jing, WANG Bao-yu, <i>et al.</i>	(2384)
Research Progress and Prospect of Herbicide Residue Characteristics in Black Soil Region of China	LI Rui, WU Qiu-mei, ZHAO Gui-mei, <i>et al.</i>	(2395)