

营口市大气污染物来源解析数值模拟研究

秦思达

(辽宁省生态环境保护科技中心,辽宁 沈阳 110161)

摘 要:该研究基于 WRF-CMAQ 搭建本地化模型对营口市 2018 年 1、4、7 和 10 月的大气污染状况进行模拟,并采 用零置法定量解析 SO₂、NO₂、PM₁₀ 和 PM_{2.5} 的来源。研究发现:营口市大气污染总体呈现出"西北部沿海地区污染重、东 南山区污染轻"的态势,污染高值区主要集中在西南沿海人口较为稠密地区。4 个季节中,钢铁源对 PM₁₀的贡献率在 16%~24%,全年平均为 20%;对 PM_{2.5}的贡献率在 16%~20%,全年平均为 18%,对 SO₂的贡献率在 27%~37%,全年 平均为 30%;扬尘源对 PM₁₀与 PM_{2.5} 年均贡献率分别为 25% 与 28%;移动源对 NO₂ 的贡献率为 34%。

关键词: CMAQ; PM_{2.5}; 源解析; 营口市

中图分类号: X51

文献标志码: A

DOI: 10.16803/j.cnki.issn.1004 - 6216.2022.01.23

A numerical simulation study on source analysis of air pollution in Yingkou

QIN Sida

(Liaoning Science and Technology Center for Ecological and Environmental Protection, Shenyang 110161, China)

Abstract: The WRF (weather research and forecasting model) along with CMAQ (congestion mitigation and air quality model) are used to build a localized model for simulating air pollutants of Yingkou in January, April, July, October in 2018. And the quantitative analysis based on the Zero-Out method for analyzing sources of SO₂, NO₂, PM₁₀, PM_{2.5} is also performed. It is found that the air pollution in Yingkou represents a trend of "a heavy pollution in the northwest coastal areas and a light pollution in the southeast mountainous areas", and the areas with high pollution values are mainly in the densely populated areas in the coastal areas in southwest. In the four seasons, the contribution rate of steel source to PM₁₀ is $16\% \sim 24\%$ and the annual average is 20%. The contribution rate to PM_{2.5} is $16\% \sim 20\%$ and the annual average is 18%. The contribution rate to SO₂ is $27\% \sim 37\%$ and the annual average is 30%. The average annual contribution rates of dust source to PM₁₀ and PM_{2.5} are 25% and 28%, respectively. The contribution rate of mobile sources to NO₂ is 34%.

Keywords: CMAQ; PM_{2.5}; source analysis; Yingkou CLC number: X51

营口市地处辽东半岛中枢,属大陆型季风气候,城市沿海发展,以冶金、石化、装备制造和镁制 材料业为支柱产业,大气污染状况具有典型北方寒 冷地区重工业城市污染特点。营口市属辽宁中部 城市群城市,与盘锦、鞍山相邻,城市间距离较短, 易发生城市间大气污染物传输效应,且通常具有影 响面积大、持续时间长的特点。为加强区域大气环 境治理,改善环境空气质量,掌握城市的大气污染 物来源是制订有效政策法规的基础。目前,源解析 的主要研究方法包括受体模型法¹⁻²¹和扩散模型 法^[3-4]。受体模型法不受源强、气象资料限制,解析 目标源类贡献情况,但解析过程中的受体采样、源 组分谱的获取与化学组分的测量可能会对结果产 生不确定性^[5]。扩散模型法不受限于观测点位的设 置,可根据需求获取目标行业的浓度贡献,在已建 立较为详细污染源清单的城市被广泛应用^[6]。本研 究基于 WRF-CMAQ 模式,搭建适用于营口市的空 气质量模型,对营口市 SO₂、NO₂、PM₁₀ 和 PM_{2.5} 的 来源进行解析,实际掌握大气污染的特征和演变趋 势,为制订大气污染防治措施提供理论依据。

收稿日期: 2020-10-20

基金项目:国家重点研发计划(2017YFC0212500);辽宁省生态环境厅委托项目(辽宁中部城市群大气污染物分布及来源数值模拟研究)

作者简介:秦思达(1989-),男,硕士、工程师。研究方向:大气环境科学。E-mail: qinsida46@163.com

引用格式: 秦思达. 营口市大气污染物来源解析数值模拟研究[J]. 环境保护科学, 2022, 48(1): 140 - 144.

1 研究方法

1.1 模型选择

气象模式选择中尺度气象模式 WRF(Weather Research and Forecasting Model)是由美国环境预测中心(NCEP)、美国国家大气研究中心(NCAR)等机构为中心着手开发的气象模式^[7-8]。空气质量模式选择 CMAQ(Community Multiscale Air Quality),该模式是由美国环保局(US EPA)发布的第三代化学质量平衡模型。本研究选用的 WRF 版本为 4.0, CMAQ 版本为 5.0.2, 化学机制选用 CB05。

1.2 模拟范围

气象模拟范围设计 3 层网格嵌套, 分辨率分别 为 27、9 和 3 km, 第 3 层模拟域网格数为 72×63, 采 用 Lambert 投影坐标系, 中心经纬度为(122.005°E, 41.088°N), 2 条真纬度为北纬 25°与北纬 40°。第 1 层覆盖中国东三省及京津冀部分地区, 第 2 层覆 盖辽宁省全境, 第 3 层覆盖营口市及周边区域。CMAQ 模拟网格与 WRF 模拟网格具有相同的分辨率和网格中心点,为降低边界场对空气质量模拟的影响, CMAQ 每层网格略小于 WRF 网格,第3 层网格数为62×53。垂直方向共设置24 个气压层,层间距自近地面向上逐渐增大。

1.3 模拟时间

模拟时间为 2018 年 1、4、7 和 10 月,分别代 表春、夏、秋、冬四季,为降低初始场影响,模拟时 将时间提前 7 d 以供模型预热^[9]。

1.4 数据来源

数值模拟采用的本地源清单采用营口市本地数据计算获取。外来源排放数据采用 2016 年清华大学开发的 MEIC 排放清单^[10], 天然源采用 MEGAN^[11] 模式计算获取。研究将本地源清单、外来源清单以及 MEGAN 模式计算获取的天然源清单进行空间 嵌套, 通过人口、道路和土地等信息进行再分配。 空气质量数据来自营口市国控站的监测数据, 监测 种类包括 SO₂、NO_x、VOC_s、PM₁₀ 和 PM_{2.5}, 见图 1。



- 2 结果与讨论
- 2.1 模型评估

利用空气质量监测数据与模拟对应网格的浓

度数据进行比对,以验证 CMAQ 模拟结果的可靠性^[12]。将营口市 PM_{2.5} 的监测值与模拟值进行拟合验证,时间为 2018 年 1 月 1~28 日、4 月 1~28 日、

7月1~28日和10月1~28日,分别代表四季变化 情况。CMAQ模式对营口市大气污染物的模拟拟 合度较高, SO₂、NO_x、PM_{2.5}、PM₁₀、VOCs 和 CO 的 相关性 *R*²均在 0.51~0.64 区间内。6 类污染物的 标准化平均偏差(NMB)和标准化平均误差 (NME), 见表 1, 基本满足 US EPA 关于模型验证的 相关要求。综合考虑各项评估指标, 本次模拟结果 较为理想, 可实际反应营口市污染现状。

指标	PM ₁₀ PM _{2.5} SO ₂ NO ₂ O ₃ CO
标准化均值偏差(NMB)	-14%-28%23%-12%-16%-26%
标准化标准误(NME)	28% 34% 35% 21% 21% 27%

2.2 污染物浓度分布

本研究对模拟结果进行了处理,获取到营口市 大气污染物的时空分布情况。营口市大气污染物 浓度呈现明显的季节性特征,浓度值1月>10月 >4月>7月。这一方面可能是由于北方寒冷地区冬 季供暖造成燃煤量增加,从而导致污染物排放量增 大。另一方面可能是由于冬季大气扩散条件不利, 易造成污染物的累积。从空间上来看,营口市大气 污染总体呈现出"西北部沿海地区污染重、东南山 区污染轻"的态势,浓度高值区主要出现在西北部 及西南沿海等人口稠密的地区。1月 PM,5 浓度在 老边区与大石桥市出现大面积高值区,浓度在 50~75 µg/m³,结合1月营口市以东北风为主导风 向来看,营口市可能是受到来自辽宁中部城市群的 污染物传输影响较大造成的。SO2浓度污染1月 较为严重,高值区浓度在 35 µg/m3 以上,其他月份 中高值区出现在城市中心与大石桥地区。NO2浓 度污染趋势总体看由东北向西南延伸,7月 NO2浓 度大幅降低,考虑可能是由于夏季温度高,有利于 NO_x的分解,光化学反应增加导致的,见图 2。





2.3 PM_{2.5} 来源解析

采用零置法对目标情景下营口市 1、4、7 和 10月的各类污染物贡献率进行解析,各类污染源浓 度贡献,见图 3。1月营口市本地排放源中扬尘源 的贡献率较高,为 22%,其次为钢铁源 16%,居民 源 10%;4月的扬尘对 PM_{2.5}的浓度贡献率最大,达 到 28%,其次为钢铁源 20%;7月本地各类源的贡 献率分别为扬尘(23%)>钢铁(19%)>移动(7%)>非 金属(4%);10月各类污染源的贡献率分别为扬尘 (28%)>钢铁(24%)>移动=非金属(6%)。通过模型 解析营口市 PM_{2.5} 外来源影响的贡献率在 29%~41%之间。全年来看,本地排放源中对营口市 PM_{2.5} 影响最大的源类为钢铁源(20%)与扬尘源(25%),因此,实施钢铁行业超低排放以及扬尘治理对营口市降低 PM_{2.5} 浓度尤为重要。



2.4 PM₁₀ 来源解析

营口市各类污染源对 PM₁₀浓度贡献,见图 4。1月营口市本地排放源中扬尘源的贡献达 21%, 其次为钢铁源(16%)、居民源(12%)和供暖源 (6%);4月的扬尘对 PM₁₀的贡献率达 36%,其次为 钢铁源与非金属源,分别为 18% 与 7%;7月各类源 的贡献分别为扬尘(27%)>钢铁(17%)>移动(7%); 10月本地各类污染源的贡献率分别为扬尘(29%) >钢铁(20%)>非金属(7%)>移动(6%)。全年来看, 营口市本地排放源中对 PM₁₀ 贡献最大的源类为扬 尘源(28%),其次为钢铁源(18%),因此,治理扬尘 源与钢铁源是营口市降低 PM₁₀ 污染的重点。



2.5 SO2 来源解析

营口市各类污染源对 SO₂ 的浓度贡献情况,见 图 5。1 月营口市本地排放源中钢铁源的贡献率最 大,为 27%,其次为电力源和居民源,分别为 12%和11%,后为非金属(8%)和供暖源(7%);4 月 的钢铁源对 SO₂的贡献达到 27%,其次为电力源 10%;7 月本地各类源的贡献分别为钢铁(28%)>电 力(15%)>居民=非金属(7%);10 月本地各类污染 源的贡献分别为钢铁(37%)>电力(9%)>非金属 (6%)>居民(5%)。营口市 SO₂ 的外来及其他源贡 献全年在 33%~43% 之间。全年来看,本地排放源 中钢铁源对城市 SO₂ 的贡献达到 30%,因此,改善 工业企业,尤其是钢铁企业的脱硫设备,优化脱硫 工艺对降低城市 SO₂浓度有重要意义。





1月营口市本地排放源中移动源的贡献最大, 为35%,其次为钢铁源(26%)、电力源(7%)和居民 源(6%);4月的移动源对NO₂的达到39%,其次为 钢铁源(18%);7月本地各类源对NO₂的贡献分别 为移动(30%)>钢铁(24%)>电力(5%);10月本地各 类污染源对NO₂的贡献分别为移动(33%)>钢铁 (30%)>电力(6%)。营口市NO₂的外来及其他源 贡献全年在19%~34%之间。全年来看,本地排放 源中移动源(34%)是对NO₂浓度贡献最大的源类, 夏季贡献率占比低于其他月份,这可能是由于夏季 温度高、太阳辐射强,有利于SO₂、NO_x和VOCs等 前体物发生化学反应生成二次颗粒物造成的。

3 结论

(1)从空间上看,营口市大气污染呈现出"西北 部沿海地区污染重、东南山区污染轻"的态势,污染 高值区主要集中在西南沿海人口较为稠密地区。 其中,1月在东北风的作用下,受到辽宁中部城市群 的影响,老边区与大石桥市污染较为严重。

(2)本地排放源中扬尘源与钢铁源是营口市 PM₁₀与 PM_{2.5}的主要来源,两者的贡献值占比在 4个季节中均远超其他源类。因此,营口市实施钢 铁行业超低排放以及扬尘治理对实际改善环境空 气质量有重要意义。

(3)钢铁源是营口市 SO₂ 主要来源,全年贡献 率为 30%,移动源是 NO₂ 的主要来源,全年贡献率 为 34%。因此,营口市应重点改善钢铁企业的脱硫 设备,优化脱硫工艺,并进一步加强机动车污染治理。

参考文献

- [1] 张敬巧, 罗达通, 王涵, 等. 廊坊市开发区冬季颗粒物碳组分污 染特征及来源分析[J]. 环境科学研究, 2019, 32(11): 1818-1829.
- [2] WANG Y, ZHUANG G S, ZHANG X Y, et al. The ion chemistry, seasonal cycle, and sources of PM_{2.5} and TSP aerosol in Shanghai[J]. Atmospheric Environment, 2006, 40(16): 2935 – 2952.
- [3] CHENMEL C, FISHER B, KONG X, et al. Application of chemical transport model CMAQ to policy decisions regarding PM_{2.5} in the UK[J]. Atmospheric Environment, 2013(82): 410 – 417.
- [4] 周成, 李少洛, 孙友敏, 等. 基于 CMAQ 空气质量模型研究机动

(上接第139页)

方法对地下水系统脆弱性进行评价,得出以下结 论:二七区侯寨镇南部、马寨镇南部、中原区须水 街和惠济区邙山风景区周边,地下水脆弱性低,防 污性能好;惠济区黄河大堤以北、管城区南曹乡周 边,地下水脆弱性高,防污性能差;整体上研究区地 下水脆弱性较低,防污性能较好。

(2)影响研究区地下水系统脆弱性的指标按影 响程度由大及小依次为:地下水位埋深、包气带介 质类型、垂向净补给量、含水层厚度、含水层渗透 系数、土壤介质和地形坡度。在城市规划中应对脆 弱性高的区域进行高度重视,防治对地下水系统造 成污染。

参考文献

- [1] 唐辉, 郭林, 刘沙沙, 等. 郑州市中心城区地下水环境质量调查 评估项目 (2019 年度) 成果报告[R]. 郑州: 河南省地质调查院, 2020.
- [2] 唐辉, 匡恒, 李志娟, 等. 基于改进 DRASTIC 和 AHP 对尉氏 县地下水防污性能评价 [J]. 环境保护科学, 2020, 46(1):

车对济南市空气质量的影响[J].环境科学研究, 2019, 32(12): 2031-2039.

- [5] 曹云擎, 王体健, 韩军彩, 等. "2+26"城市一次污染过程 PM_{2.5}化学组分和来源解析研究[J]. 环境科学学报, 2020, 40(2): 361-372.
- [6] 薛文博, 王金南, 杨金田, 等.《大气污染防治行动计划》实施环境效果模拟[J]. 中国环境管理, 2015(2): 25-30.
- [7] BAKER K R, NGUYEN T K V, SAREEN N, et al. Meteorological and air quality modeling for Hawaii, Puerto Rico, and Virgin Islands.[J]. Atmospheric Environment, 2020(234): 117543 – 11753.
- [8] TIE X, MADRONICH S, LI G H, et al. Characterizations of chemical oxidants in Mexico city: A regional chemical dynamical model (WRF-Chem) study[J]. Atmospheric Environment, 2007, 41(9): 1989 – 2008.
- [9] 方冬青,魏永杰,黄伟,等.北京市2014年10月重霾污染特征 及有机碳来源解析[J].环境科学研究,2016,29(1):12-19.
- [10] Tsinghua University. Multi-resolution emission inventory for China. [EB/OL]. China: Tsinghua University, 2012[2017-02-01]. http://www.meicmodel.org/.
- [11] GUENTHER A B, JIANG X, HEALD C L, et al. The model of emissions of gases and aerosols from nature version 2.1 (MEGAN2.1): An extended and updated framework for modeling biogenic emissions[J]. Geoscientific Model Development, 2012, 5(6): 1471 – 1492.
- [12] 沈劲, 王雪松, 李金凤, 等. Models-3/CMAQ 和 CAMx 对珠江 三角洲臭氧污染模拟的比较分析[J]. 中国科学:化学, 2011, 41(11): 1750-1762.

130 - 134.

- [3] MA Y, LIU Z H, XI B D, etal. Characteristics of groundwater pollution in a vegetable cultivation area of typical facility agriculture in a developed city [J]. Ecological Indicator, 2019, 105: 709 – 716.
- [4] 唐学芳, 吴勇, 陈晶, 等. 基于 DRASTIC-GIS 模型的成都典型区 域地下水脆弱性评价[J]. 环境监测管理与技术, 2020, 32(6): 28-32.
- [5] 李豆, 申彦萧. 雄安新区典型区包气带防污性能研究[J]. 人民黄河, 2020, 42(增2): 93-96.
- [6] 李平平, 薛雅彬, 郎涛, 等. 基于 GIS 与 DRASTIC 模型的嘉峪关 市平原区地下水防污性能评价[J]. 中国水土保持, 2018(6): 65-68.
- [7] 韩亚, 杨利国, 匡恒. 河南商丘市规划中心城区浅层地下水防污 性能评价[J]. 矿产勘查, 2020, 11(7): 1450-1455.
- [8] 莫美仙,李峰,王宇,等.云南高原岩溶山区地下水脆弱性评价——以泸江流域为例[J].科学技术与工程,2014,14(12):136-140.
- [9] 陈雪梅,席恺,郑立博,等.蚌埠市浅层地下水防污性能研究[J]. 地下水,2020,42(2):31-33.
- [10] 中华人民共和国生态环境部办公厅.关于印发《地下水环境状况 调查评价工作指南》等4项技术文件的通知[S/OL]. (2019-09-29).https://sthjt.nx.gov.cn/page/news/article/201910/2019101111 2106fJtGKJ.html.