



移动扫码阅读

吴凡. 忻州市夏季臭氧来源分析的数值模拟研究[J]. 能源环境保护, 2021, 35(2): 79-85.

WU Fan. Study on numerical simulation of ozone source analysis in Summer in Xinzhou City[J]. Energy Environmental Protection, 2021, 35(2): 79-85.

忻州市夏季臭氧来源分析的数值模拟研究

吴 凡

(山西晋环科源环境资源科技有限公司, 山西 太原 030024)

摘要:为科学制定 O_3 污染控制政策并减轻忻州市 O_3 污染,采用2018年忻州市空气质量监测国控站点的监测数据,基于WRF-SMOKE-CAM_x模型及OSAT模块和CPA模块对 O_3 污染的形成进行数值模拟和来源解析。结果表明:全年中5~8月 O_3 污染最为严重, O_3 成为首要污染物的天数共计109天,占比为36%; O_3 月均浓度呈单峰曲线变化,周末的 O_3 浓度高于工作日;外来 O_3 及前体物的区域传输对忻州市 O_3 浓度贡献率为8.86%~35.31%;忻州市移动源贡献率为9.65%~25.68%;忻州市工业源中 O_3 来源贡献最大的行业为电力、热力生产和供应,贡献率为28.25%;忻州市大部分区域 O_3 生成受 NO_x 控制,忻府区、原平市和定襄县中的少部分区域为VOCs控制,VOCs控制区仅占忻州市域面积的0.86%;单纯进行VOCs或 NO_x 减排并不能显著降低 O_3 浓度,两者协同减排时, NO_x 减排比例高于VOCs更有利于 O_3 浓度的降低。

关键词:忻州市;臭氧;时空变化特征;前体物控制区;CAM_x

中图分类号:X511

文献标识码:A

文章编号:1006-8759(2021)02-0079-07

Study on numerical simulation of ozone source analysis in Summer in Xinzhou City

WU Fan

(Shanxi Jinhuankeyuan Environmental Resources of Science and Technology Co., Ltd., Taiyuan 030024, China)

Abstract: In order to formulate O_3 pollution control policies and reduce O_3 pollution in Xinzhou City, the monitoring data of the air quality in Xinzhou in 2018 from the national control station was used to simulate the formation and analyze the sources of O_3 pollution, using WRF-SMOKE-CAM_x model, OSAT module and CPA module. The results indicate that O_3 pollution is serious from May to August in the whole year. The number of days when O_3 becomes the primary pollutant is 109, which accounts for 36%. The monthly average concentration of O_3 shows a single-peaked curve, and the concentration of O_3 on weekends is higher than that on weekdays. The contribution rate of extraneous O_3 and its precursors to the total O_3 concentration in Xinzhou City is 8.86%~35.31%, while the contribution rate of mobile sources is 9.65%~25.68%. Among all the industrial sources, the production and supply of power and heat industry has the largest contribution rate which is 28.25%. The formation of O_3 was controlled by NO_x in most areas of Xinzhou City, while by VOCs in a few areas of Xinfu District, Yuanping City and Dingxiang County, which accounts for 0.86% of the area of Xinzhou City. Reducing the emission of VOCs or NO_x separately can not significantly decrease the concentration of O_3 . When the emission of VOCs and NO_x are reduced simultaneously, it reaches better performance by keeping the reduction ratio of NO_x higher than that of VOCs.

Key Words: Xinzhou City; Ozone; Spatial-temporal variation characteristics; Precursors control area; CAM_x

0 引言

近年来,随着大气污染防治行动计划的实施,忻州市环境空气污染总体得到了改善,但臭氧浓度仍未得到控制,且呈现不降反升的趋势。

臭氧(O_3)是氮氧化物(NO_x)和挥发性有机物(VOCs)等前体物在日照条件下通过一系列光化学反应形成的二次污染物。 O_3 浓度的高低受 NO_x 与VOCs的相对比例及丰度的影响^[1],且 O_3 浓度水平与其前体物 NO_x 和VOCs呈典型的非线性响应关系^[2-3]。 NO_x 和VOCs减排比例的确定是降低 O_3 浓度的关键。叶绿萌等^[4]利用WRF/Chem模型研究了珠三角地区秋季 O_3 的生成敏感性。李磊等^[5]利用VOCs/ NO_x 比值法和EKMA曲线法分析了 O_3 的生成敏感性。武卫玲等^[6]基于 O_3 生成敏感性的指示剂法,利用OMI对流层柱浓度HCHO/ NO_2 分析了夏季 O_3 的生成敏感性。郑印等^[7]利用CAMx-OSAT源示踪法分析了莆田市 O_3 的生成敏感性。忻州市 O_3 浓度上升显著,但污染特征及影响因素尚不明确。本研究以2018年忻州市国控站点的空气质量监测数据开展 O_3 污染特征研究,采用WRF-SMOKE-CAMx模型及OSAT模块和CPA模块研究 O_3 的主要来源解析和

生成敏感性特征,以期为深入开展 O_3 成因及来源研究提供资料,为科学制定 O_3 污染控制政策提供依据。

1 研究方法

1.1 数据来源

1.1.1 环境空气质量数据

利用2018年忻州市空气质量监测国控站点 O_3 日最大8h滑动平均浓度(MDA8)的监测数据,依据《环境空气质量标准》(GB3095—2012)和《环境空气质量评价技术规范(试行)》(HJ663—2013)进行统计分析。

1.1.2 排放源清单建立

1.1.2.1 本地源

排放源清单结合忻州市大气污染源排放清单数据、第二次污染源普查数据等,汇总了包含化石燃料固定燃烧源、工艺过程源、溶剂使用源、移动源、扬尘源、废弃物处理源、油气储运源、餐饮油烟源、生物质燃烧源和其他排放源等10种排放源,主要包含9种大气污染物; SO_2 、 NO_x 、 PM_{10} 、 $PM_{2.5}$ 、挥发性有机物(VOCs)、氨(NH_3)、CO、黑碳(BC)、有机碳(OC)。基准年本地源 NO_x 和VOCs网格化排放清单示意图见图1。

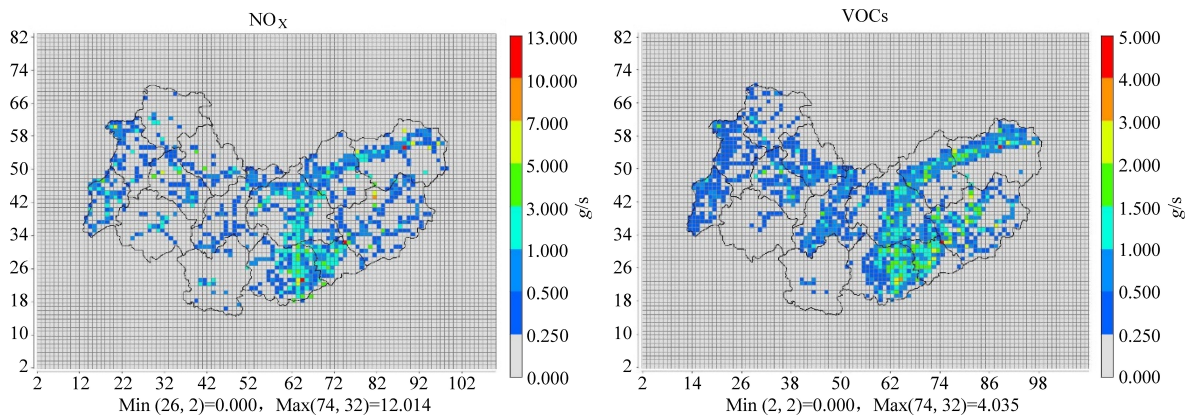


图1 基准年本地源 NO_x 和VOCs网格化排放清单(纵横坐标为网格编号)

Fig.1 Gridded emission inventory of NO_x and VOCs from local sources in the base year (horizontal and vertical coordinates are grid numbers)

1.1.2.2 外来源

忻州市以外区域的排放源清单采用清华大学开发的2016年中国多尺度排放清单(MEIC),MEIC清单涵盖固定燃烧源、工艺过程源、移动源、溶剂使用源、农业源和废弃物处理源等六大类人为排放源。

1.2 研究方法及验证

1.2.1 研究方法

本研究选取 O_3 污染特征月份,采用美国国家大气研究中心(NCAR)、美国国家环境预报中心(NCEP)、预报系统实验室(FSL)和奥克拉荷马大学的风暴分析预报中心联合开发的中尺度天气模式WRF(Weather Research and Forecasting Model)

模型^[8]模拟气象背景场。WRF 采用 3 层嵌套模拟网格,最外层分辨率为 27 km×27 km,第二层模拟区域分辨率为 9 km×9 km,第三层区域分辨率为 3 km×3 km。利用美国北卡罗来纳微电子中心(MCNC)开发的 SMOKE (Sparse Matrix Operator Kernel Emissions) 模型对大气污染物排放源清单进行时间分配、空间分配和物种分配。最后利用美国 ENVIRON 公司开发的区域空气质量模式 CAMx(Comprehensive Air Quality Model with exten-

$$\frac{\partial c_1}{\partial t} = - \nabla_H \cdot V_H c_1 + \left[\frac{\partial(c_1 \eta)}{\partial z} - c_1 \frac{\partial^2 h}{\partial z \partial t} \right] + \nabla \cdot \rho K \nabla(c_1 \rho) + \left. \frac{\partial c_1}{\partial t} \right|_{\text{Emission}} + \left. \frac{\partial c_1}{\partial t} \right|_{\text{Chemistry}} + \left. \frac{\partial c_1}{\partial t} \right|_{\text{Removal}}$$

式中, V_H 代表水平方向风矢量, η 是净垂直传输率, h 是层界面高度, ρ 是大气密度, K 是湍流扩散系数。等式右边第一项代表水平平流(风场输送),第二项代表净垂直传输,第三项代表湍流扩散,第四项代表源排放,第五项代表化学反应过程,第六项表示污染物的去除过程。

运用 CAMx 内嵌的臭氧源解析 OSAT(Ozone Source Apportionment Technology) 模块^[11]对 O_3 来源进行分析,化学过程分析 CPA(Chemical Process Analysis) 模块^[12]对 O_3 生成敏感性与生成速率进行分析。

1.2.2 模型验证

模型评估是对模型进行性能评价最主要和最基本的内容。在实际工作中,通常采用一些统计学指标来评估模拟的效果。James W. Boylan

sions) 模型^[9]对忻州市大气污染物进行模拟。CAMx 模型是一个欧拉光化学扩散模型,基于“一个大气”的框架,将气态和颗粒态大气污染物在城市和区域等多种尺度进行综合模拟和评估。CAMx 通过求解每个网格中每种污染物的物理化学变化方程来模拟排放、扩散、化学反应及污染物在大气中的去除过程。本研究采用 Carbon Bond 05(CB05)气相化学机制^[10]。该模型的核心数学表达式如下:

等^[13]建议采用标准化分数偏差(MFB)、标准化分数误差(MFE),若 MFB 小于±30%同时 MFE 小于 50%,则模型的表现优秀;而若 MFB 小于±60%同时 MFE 小于 75%,则模型的表现处于可接受的范围。采用相关系数(R)表征预测值与观测值之间变化趋势的拟合度。均方根误差(RMSE)衡量观测值同预测值之间的偏差。图 2 为 2018 年 7 月 O_3 MDA8 实测值与模拟值的对比图。

由图 2 可知,7 月份预测平均值为 164.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$,观测平均值为 131.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$,预测值略高于观测值,但整体变化趋势基本一致。7 月份 MFB 值为 19%,MFE 值为 20%,R 值为 0.62,RMSE 为 45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 均在理想范围内,与陈焕盛等^[14]、陆维青等^[15]、沈劲等^[16]研究较为吻合。本研究所选模型可以较好地反应 O_3 MDA8 的浓度水平和变化趋势。

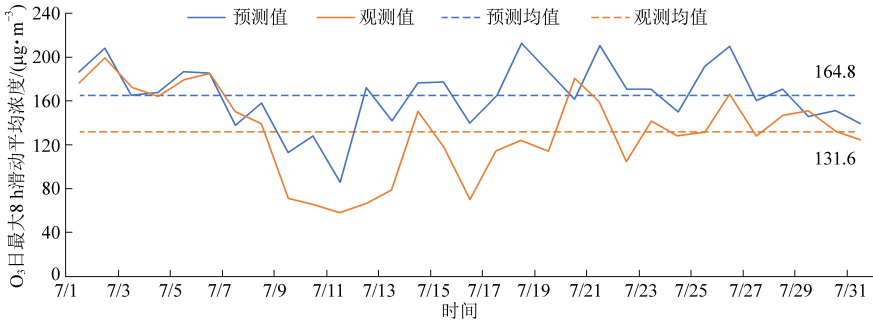


图 2 2018 年 7 月 O_3 MDA8 实测值与模拟值对比
Fig.2 Comparison between O_3 MDA8 measured and simulated values, July 2018

2 结果与讨论

2.1 浓度变化特征

根据 2018 年忻州市国控站点 O_3 MDA8 数据统计分析, O_3 浓度月变化趋势如图 3 所示。 O_3 月均浓度呈单峰曲线变化,1~6 月 O_3 月均浓度逐渐升高,6 月 O_3 月均浓度最高,为 146 $\mu\text{g}/\text{m}^3$,7~12 月 O_3 月均浓度呈逐渐下降趋势,12 月 O_3 月均浓

度最低,为 33 $\mu\text{g}/\text{m}^3$,全年中 5~8 月 O_3 污染最为严重, O_3 成为首要污染物的天数共计 109 天,占比为 36%。

O_3 的生成过程主要为过氧自由基(HO_2 、 RO_2)氧化 NO 产生 NO_2 , NO_2 随后光解产生 O_3 。受温度、光照和太阳辐射等气象条件的影响,夏季易发生光化学反应, O_3 浓度相对较高,冬季紫外线强度与气温低,且高浓度颗粒物导致气溶胶光学厚度

增大,削弱 O_3 光化学生成率, O_3 浓度相对较低。主要光化学反应过程如(1)~(5)所示。

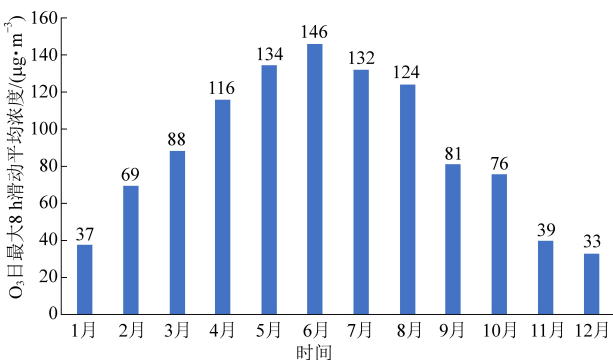
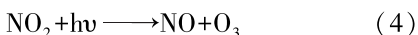
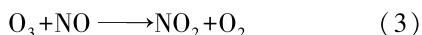
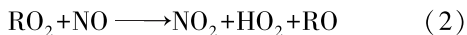
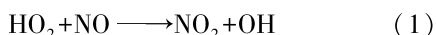


图3 O_3 浓度月变化情况

Fig.3 Monthly change in the O_3 concentration

根据2018年忻州市国控站点 O_3 和 NO_2 的逐时数据统计分析, O_3 和 NO_2 浓度工作日和周末的日变化趋势如图4所示。 O_3 的日变化呈单峰变化规律, 0:00~7:00时 O_3 浓度逐渐降低, 在7:00左右达到日变化谷值, 夜间 O_3 浓度维持较低水平, 主要是因为夜间生成 O_3 的化学反应较弱, 而 NO 通过反应(3)不断“滴定”消耗 O_3 。从8:00开始, 随着太阳辐射的增大和温度的升高, 生成 O_3 的光化学反应强烈, O_3 浓度迅速升高, 至15:30左右达到日变化峰值, 之后又随着太阳辐射的减少而降低。一般情况下人类工作日的活动要大于周末, 工作日中工业和机动车排放的颗粒物、 NO_x 、VOCs等污染物排放量要高于周末。Cleveland等^[17]在1974年首次提出 O_3 的“周末效应”的概

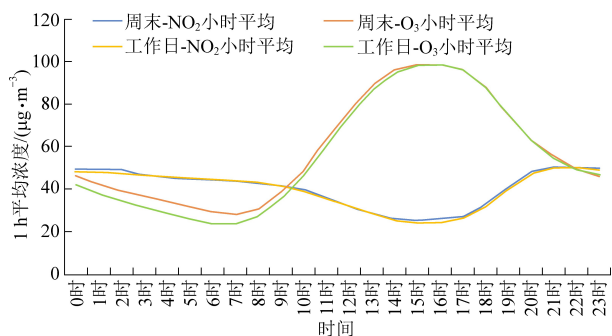


图4 O_3 和 NO_2 浓度工作日和周末的日变化情况

Fig.4 Daily change in O_3 and NO_2 concentrations on weekdays and weekends

念,即周末一些 O_3 前体物排放浓度水平降低,但 O_3 浓度却有明显增加的现象。如图4所示,忻州市同样存在 O_3 “周末效应”,即在周末0:00~22:00的 O_3 浓度高于工作日,周末 O_3 日平均1h浓度比工作日高 $2.5 \mu g/m^3$ 。出现 O_3 “周末效应”的原因是工作日人类活动频繁导致大气颗粒物浓度较高,使大气光透过率降低^[18],导致工作日大气光化学反应弱于周末,不利于反应(4)的进行。

2.2 O_3 来源贡献

图5为CAMx预测的2018年7月 O_3 MDA8浓度分布情况。高浓度区主要集中在忻府区、原平市、定襄县、静乐县、岢岚县、五寨县,低浓度区主要集中在繁峙县、五台县、保德县,与 O_3 MDA8现状浓度基本吻合。忻州市周边与其他地市相接壤的静乐县、五寨县的 O_3 MDA8预测浓度出入较大,原因可能为所使用的外来源 MEIC 清单数据为2016年的成果,经过2017年和2018年各省市大气污染防治行动计划实施,主要污染物的排放量已大幅度削减。

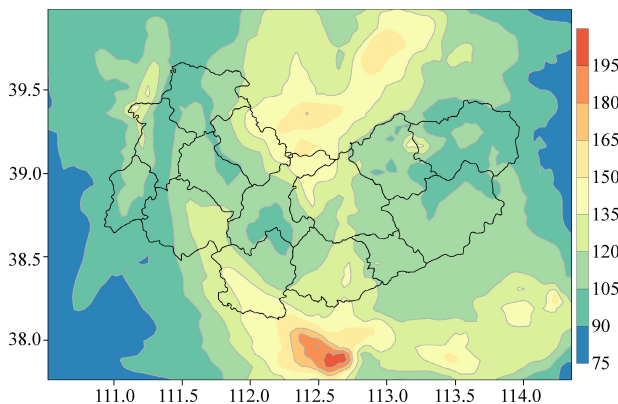


图5 O_3 MDA8预测浓度分布图($\mu g/m^3$)

Fig.5 O_3 MDA8 predicted concentration distribution map ($\mu g/m^3$)

忻州市各区县7月份 O_3 主要来源解析结果见表1。7月份各区县 O_3 的主要来源基本相同,其中生物源是 O_3 浓度的第一贡献源。除河曲县、保德县和代县外,其余区县中外来源为 O_3 浓度的第二贡献源。河曲县、保德县和代县的移动源为 O_3 浓度的第二贡献源,其余区县的移动源为 O_3 浓度的第三贡献源。忻州本地的工业源为第四贡献源,其中各区县中贡献较大的行业包括电力、热力生产和供应、石油加工、炼焦、非金属矿物制品业、黑色金属冶炼和压延加工业、有色金属冶炼和压延加工业等。

从 O_3 不同源的贡献率可以看出,各区县中外

来源对 O_3 贡献率均较高,因此在大气 O_3 污染防治方面,除精准减排外,加强区域联防联控是重要且

有效的手段。

表 1 忻州市各区县 7 月份 O_3 主要来源解析结果

Table 1 Results of source apportionment of O_3 in July in each district and county in Xinzhou City

类别	行业贡献/%													
	忻府区	原平市	五台县	偏关县	河曲县	保德县	五寨县	岢岚县	神池县	宁武县	静乐县	定襄县	代县	繁峙县
电力、热力生产和供应	6.95	28.25	9.80	12.16	14.40	11.37	3.44	1.52	11.82	11.99	9.73	5.16	3.62	13.51
石油加工、炼焦	4.00	0.39	0.18	0.35	0.10	0.15	0.60	5.86	0.49	0.42	0.24	0.65	0.21	0.13
非金属矿物制品业	0.47	0.37	0.12	1.12	0.78	3.09	0.66	0.41	0.53	0.49	1.25	0.20	0.66	0.77
黑色金属冶炼和压延加工业	0.15	0.22	0.23	0.14	0.03	0.03	0.11	0.07	0.19	0.18	0.05	1.03	2.31	6.79
有色金属冶炼和压延加工业	0.44	4.31	0.16	0.21	0.06	0.04	0.17	0.12	0.93	1.17	0.15	0.34	1.35	0.50
化学原料和化学制品制造业	0.02	0.02	0	0.01	0.27	0.01	0.01	0	0.01	0.01	0	0	0	0
煤炭开采和洗选业	0.01	0.02	0.02	0.49	0.27	0.53	0.31	0.15	1.48	2.84	0.10	0.01	0.03	0.03
其它工业源	0.02	0.01	0	0.02	0.01	0.01	0.04	1.63	0.02	0.01	0.01	0.01	0.03	0.02
移动源	23.50	15.21	9.65	12.51	10.57	25.68	20.46	12.38	12.97	20.65	18.53	25.27	20.79	14.62
生物源	34.10	30.60	44.51	52.33	64.65	46.66	46.71	47.15	36.91	33.60	41.36	40.47	52.64	47.04
外来源	30.32	20.61	35.31	20.64	8.86	12.43	27.49	30.71	34.64	28.64	28.57	26.85	18.37	16.58

2.3 $VOCs$ 、 NO_x 与臭氧生成关系分析

$VOCs$ 和 NO_x 浓度对 O_3 生成的变化可以由指示剂法判断其敏感性,判断标准为 $P(H_2O_2)/P(HNO_3) = 0.35^{[19]}$,其中 $P(H_2O_2)$ 和 $P(HNO_3)$ 分别为反应过程中 H_2O_2 和 HNO_3 生产速率。当 $P(H_2O_2)/P(HNO_3) > 0.35$ 时, O_3 生成受 NO_x 控制,当 $P(H_2O_2)/P(HNO_3) < 0.35$ 时, O_3 生成受 $VOCs$ 控制。

通过模拟 2018 年 7 月逐小时 $P(H_2O_2)/P(HNO_3)$ 数据,经计算得出最大 8 时的 $P(H_2O_2)/P(HNO_3)$ 的空间分布情况,详见图 6。由图 6 可以看出,生成的 O_3 的 NO_x 和 $VOCs$ 控制区存在明显的空间分布。忻州市大部分区域 O_3 生成受

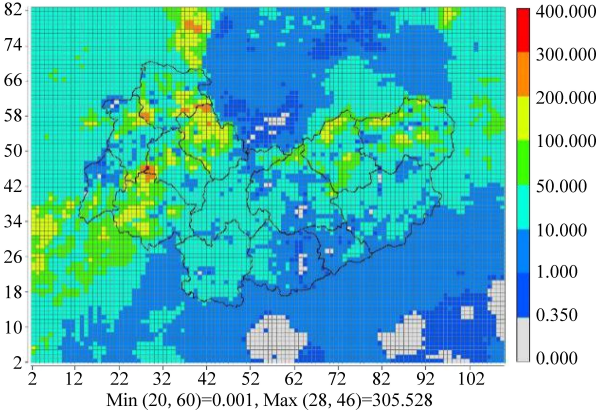


图 6 $P(H_2O_2)/P(HNO_3)$ 的空间分布 (横纵坐标为网格编号)
Fig.6 Spatial distribution of $P(H_2O_2)/P(HNO_3)$
(horizontal and vertical coordinates are grid numbers)

NO_x 控制,只有忻府区、原平市、定襄县中的很少部分区域 O_3 生成主要受 $VOCs$ 控制, $VOCs$ 控制区仅占忻州市域面积的 0.86%。

在 NO_x 控制区削减 NO_x 排放量可以显著降低该区域的 O_3 浓度,相反削减 $VOCs$ 排放量对降低该区域的 O_3 浓度不明显或无效果。为进一步验证忻州市大部分区域位于 NO_x 控制区,本次研究按照 NO_x 和 $VOCs$ 的不同减排比例设定七种情景,分析 NO_x 和 $VOCs$ 的不同减排比例对忻州市国控站点和省控站点处的 O_3 浓度的影响。各情景不同 NO_x 和 $VOCs$ 的减排比例设定详见表 2。

表 2 NO_x 和 $VOCs$ 的减排比例设定

Table 2 NO_x and $VOCs$ reduction ratio settings

名称	NO_x 减排比例/%	$VOCs$ 减排比例/%
情景 1	0	0
情景 2	30	0
情景 3	0	30
情景 4	15	30
情景 5	30	15
情景 6	15	60
情景 7	60	15

情景 1 为初始排放清单,做为基准参考。情景 2 为 NO_x 排放量在初始排放清单的基础上减排 30%, $VOCs$ 排放量不削减。情景 3 为 $VOCs$ 排放量在初始排放清单的基础上减排 30%, NO_x 排放量不削减。情景 4 为 NO_x 排放量在初始排放清单的基础上减排 15%, $VOCs$ 排放量在初始排放清单

的基础上减排 30%。情景 5 为 NO_x 排放量在初始排放清单的基础上减排 30%, VOCs 排放量在初始排放清单的基础上减排 15%。情景 6 为 NO_x 排放量在初始排放清单的基础上减排 15%, VOCs 排放量在初始排放清单的基础上减排 60%。情景 7 为

NO_x 排放量在初始排放清单的基础上减排 60%, VOCs 排放量在初始排放清单的基础上减排 15%。按照上述七种情景设定源清单, 采用 WRF-SMOKE-CAMx 模型模拟 O_3 浓度, 预测结果见表 3。

表 3 不同设定情景下预测各区县 O_3 MDA8 浓度

Table 3 Predicted O_3 MDA8 concentration in each district and county under different setting scenarios

区县	O_3 MDA8 浓度/ $(\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3})$						
	情景 1	情景 2	情景 3	情景 4	情景 5	情景 6	情景 7
忻府区	171.97	166.05	171.97	169.42	166.05	169.42	156.86
原平市	159.49	156.71	159.62	158.67	156.71	158.67	146.85
保德县	133.58	129.67	133.58	131.66	129.67	131.66	123.94
代县	145.63	136.24	145.63	140.95	136.23	140.95	128.39
定襄县	153.42	148.23	153.39	150.88	148.23	150.88	142.11
繁峙县	167.10	155.05	167.10	161.65	155.05	161.65	136.93
河曲县	163.23	155.99	164.79	160.67	155.98	160.67	145.74
静乐县	177.19	177.13	177.19	177.17	177.13	177.17	176.98
岢岚县	150.02	149.88	150.02	149.96	149.88	149.96	149.70
宁武县	158.39	156.75	158.39	157.59	156.75	157.59	154.91
偏关县	127.07	130.53	131.85	131.21	130.53	131.21	129.00
神池县	171.66	170.86	171.66	171.27	170.86	171.27	169.96
五台县	135.50	134.89	135.50	135.21	134.89	135.21	134.12
五寨县	139.36	138.91	139.36	139.15	138.91	139.15	138.27

由表 3 可以看出, 只削减 NO_x 排放量的情景 2 中只有偏关县 O_3 MDA8 浓度上升, 其余各区县 O_3 MDA8 浓度均有所下降, O_3 浓度平均降低 2.09%。情景 3 只削减 VOCs 排放量, 各区县 O_3 MDA8 浓度并无明显变化, 甚至原平市、河曲县、偏关县 O_3 MDA8 浓度反而有小幅度的上升, O_3 MDA8 浓度平均上升 0.34%。情景 2 和情景 3 的预测结果表明, 单纯进行 VOCs 或 NO_x 减排对降低 O_3 MDA8 浓度效果不明显。情景 4 至情景 7 按不同比例削减 NO_x 和 VOCs 排放量后, 除偏关县外, 其余各区县 O_3 MDA8 浓度均有所下降, O_3 MDA8 浓度平均降低分别为 0.79%、2.09%、0.79% 和 5.41%。对比情景 4 和情景 5、情景 6 和情景 7 的预测结果, VOCs 与 NO_x 协同减排时, NO_x 减排比例高于 VOCs 时更有利于 O_3 MDA8 浓度的降低。对比情景 4 和情景 6 预测结果, 增大 VOCs 减排比例后, O_3 MDA8 预测浓度几乎不变。对比情景 5 和情景 7 预测结果, 增大 NO_x 减排比例后, 预测 O_3 MDA8 预测浓度明显降低。

偏关县与其他区县略有不同, 偏关县在情景 1 的所有区县中 O_3 浓度最低, 但出现一种特殊现

象, 不论哪种削减比例的情景, O_3 浓度均高于基准参考值, 即减排 NO_x 和 VOCs 反而提高了 O_3 浓度。这一现象与 2020 年初新冠肺炎疫情期间全国其他地区普遍存在 O_3 浓度升高的情况相吻合。据有关资料, 2020 年 2 月山西省 11 个地市中大同市、朔州市、运城市和忻州市 O_3 MDA8 同比增长 10.8%、5.3%、2.9% 和 0, 其余地市为负增长, 而在这个特殊时期, 除基础的生产生活排放外, NO_x 和 VOCs 排放量大幅度降低, 反而出现了升高的异常现象, 需要深入探讨。由此可见 O_3 的生成和削减机理比较复杂, 目前对 O_3 污染认识只是冰山一角, 大量的可能还不为人知, 这需要开展长期的基础研究。

3 结论

(1) 外来 O_3 及前体物的区域传输对忻州市 O_3 浓度贡献率较大, 其贡献率为 8.86%~35.31%, 其中对五台县、神池县、岢岚县和忻府区贡献率高达 30% 以上, 因此在大气 O_3 污染防治方面, 除精准减排外, 加强区域联防联控是重要且有效的手段。

(2) 忻州市移动源是 O_3 来源贡献的主要源之

一,其贡献率为 9.65%~25.68%,其中对保德县、定襄县、忻府区、代县、宁武县和五寨县贡献率高达 20%以上,可通过优化发展公共交通,调整能源结构,提倡绿色出行等方式降低移动源对 O_3 浓度贡献。

(3)忻州市工业源中 O_3 来源贡献较大的行业包括电力、热力生产和供应行业、黑色金属冶炼和压延加工行业、石油加工、炼焦行业、有色金属冶炼和压延加工行业和非金属矿物制品行业,五大行业的最大贡献率分别为 28.25%、6.79%、5.86%、4.31%和 3.09%。

(4)忻州市大部分区域 O_3 生成受 NO_x 控制。只有忻府区、原平市、定襄县中的很少部分区域 O_3 生成主要受 VOCs 控制,VOCs 控制区仅占忻州市域面积的 0.86%。单纯进行 VOCs 或 NO_x 减排对降低 O_3 浓度并不明显,VOCs 与 NO_x 应进行协同减排。 NO_x 减排比例高于 VOCs 时更有利于 O_3 浓度的降低。

参考文献

- [1] SHAO M, ZHANG Y, ZENG L, et al. Ground-level ozone in the Pearl River Delta and the roles of VOC and NO_x in its production [J]. Journal of Environmental Management, 2009, 90: 512-518.
- [2] 唐孝炎,张远航,邵敏.大气环境化学(第二版)[M].北京:高等教育出版社,2006:232-238.
- [3] Xing J., Wang S. X., Jang C., et al. Nonlinear response of ozone to precursor emission changes in China: A modeling study using response surface methodology [J]. Atmospheric Chemistry and Physics, 2011, 11 (231): 5027-5044.
- [4] 叶绿萌,樊少芬,常鸣,等.珠三角地区秋季臭氧生成敏感性时空变化模拟研究[J].南京大学学报(自然科学版),2016,52(6):977-988.
- [5] 李磊,赵玉梅,王旭光,等.廊坊市夏季臭氧体积分数影响因素及生成敏感性[J].环境科学,2017,38(10):4100-4107.
- [6] 武卫玲,薛文博,雷宇,等.基于 OMI 数据的京津冀及周边地区 O_3 生成敏感性[J].中国环境科学,2018,38(4):1201-1208.
- [7] 郑印,周广柱,李洋,等.莆田市 O_3 污染来源解析模拟研究[J].环境科学研究,2019,32(8):1340-1347.
- [8] Skamarock W C, Klemp J B, Dudhia J, et al. A description of the advanced research WRF Version 3, Tech. Note, NCAR/TN-475+STR [R]. Boulder: National Center for Atmospheric Research, 2008.
- [9] CAMx. Comprehensive air quality model with extensions [EB/OL]. (2016-12-23) [2020-12-30]. <http://www.camx.com/home.aspx>.
- [10] Yarwood G, Rao S, Yocke M, et al. Updates to the carbon chemical bond mechanism: CB05 [R]. USA: Report to the US Environmental Protection Agency, RT-04-00675, 2005.
- [11] Yarwood G, Morris R E, Yocke M A, et al. Development of a methodology for source apportionment of ozone concentration estimates from a photochemical grid model [C] //The 89th Annual Meeting of the Air and Waste Management Association. Nashville TN, 1996.
- [12] CASTELL N, STEIN A F, MANTILLA E, et al. Evaluation of the use of photochemical indicators to assess ozone- NO_x -VOC sensitivity in the southwestern Iberian Peninsula [J]. Journal of Atmospheric Chemistry, 2009, 63(1):73-91.
- [13] James W. Boylan, Armistead G. Russell. PM and light extinction model performance metrics, goals, and criteria for three-dimensional air quality models [J]. Atmospheric Environment, 2006, 40(26):4946-4959.
- [14] 陈焕盛,王自发,吴其重,等.空气质量多模式系统在广州应用及对 PM_{10} 预报效果评估[J].气候与环境研究,2013,18(4):427-435.
- [15] 陆维青,江峰琴,刘丽霞,等.江苏省空气质量预报与实测结果比对研究[J].环境监控与预警,2017,9(1):10-14.
- [16] 沈劲,刘瑀菲,晏平仲,等.基于三维空气质量模型的广东省臭氧生成速率分析[J].中国环境监测,2020,36(2):157-164.
- [17] Cleveland W S, Graedel T E, Kleiner B, et al. Sunday and workday variations in photochemical air pollutants in New Jersey and New York [J]. Science, 1974, 186(4168):1037-1038.
- [18] 殷永泉,单文坡,纪霞,等.济南大气臭氧浓度变化规律[J].环境科学,2006,27(11):2299-2302.
- [19] Sillman S. The use of NO_y , H_2O_2 , and HNO_3 as indicators for ozone- NO_x -hydrocarbon sensitivity in urban locations [J]. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 1995, 100(D7):14175-14188.