

王义耕,廖国莲,陈丹,等. 广西一次大范围长时间臭氧污染过程分析[J]. 气象研究与应用,2021,42(4):123–126.

Wang Yigeng, Liao Guolian, Chen Dan, et al. Analysis of a large-scale and long-time ozone pollution process in Guangxi [J]. Journal of Meteorological Research and Application, 2021, 42(4): 123–126.

广西一次大范围长时间臭氧污染过程分析

王义耕¹, 廖国莲¹, 陈丹², 潘润西³, 和凌红³

(1.广西壮族自治区气象台, 南宁 530022; 2.广西壮族自治区气象科学研究所, 南宁 530022;

3.广西壮族自治区生态环境监测中心, 南宁 530028)

摘要: 基于广西区域的地面气象观测数据、臭氧浓度数据和臭氧激光雷达观测资料,采用后向轨迹方法,分析了 2021 年 6 月 6—8 日广西出现的一次大范围长时间由南向北变化的臭氧污染过程的形成原因。结果表明,此次臭氧区域污染的主要原因是本地臭氧生成,次要原因是珠三角地区臭氧向广西区域输送;臭氧浓度与气象要素密切相关,与气温呈现较为一致的正相关,与降水量、地面风速和相对湿度呈现较为明显的负相关。

关键词: 臭氧污染;后向轨迹;气象要素;区域输送

中图分类号: X515

文献标识码: A

doi: 10.19849/j.cnki.CN45-1356/P.2021.4.22

OSID:

引言

大气中的臭氧(O_3)大约 90%集中在平流层中,约 10%集中在对流层中^[1],近地层中的 O_3 是典型的二次污染物,也是造成我国城市大气复合污染的重要因素。近年来随着“大气污染防治行动计划”和“蓝天保卫战”的实施,我国雾霾状况逐年好转,PM_{2.5} 污染天数显著减少,但以 O_3 为代表的光化学污染却有逐年加重的趋势。因此,目前对于 O_3 污染的研究备受国内外关注。曹庭伟等^[2]分析了成渝城市群 O_3 污染时空分布特征及其影响因子;彭丽等^[3]研究指出臭氧的垂直分布主要受光化学反应和动力输送作用影响,自由对流层甚至平流层的臭氧也会输送至地面,从而影响地面的臭氧浓度;Verstraeten 等^[4]研究指出 O_3 的生命期会有几小时至几天,在一定风场的作用下会出现跨城市或区域的污染传输特征。然而学者们针对广西地区 O_3 研究并不多,有少量的研究也多集中在单个特定城市^[5-6]。对 O_3 污染典型过程研究是 O_3 污染治理的基础,2021 年 6 月 6—8 日广西发生了一次大范围长时间的 O_3 区域污染过程,时

间长,持续 3d 之久,范围广,累计出现 21 城次的污染天。本文从高空和地面天气形势、地面气象要素、边界层风场特征、 O_3 区域输送等多个方面,对该次过程进行了系统全面分析,为广西 O_3 污染的预报预警和防控减排提供参考。

1 资料与方法

O_3 浓度数据来自广西壮族自治区生态环境监测中心 2021 年 6 月 5—8 日全区逐日逐时监测资料,根据《环境空气质量指数(AQI)技术规范(试行)(HJ663-2012)》的 O_3 浓度数据规范与标准,对 O_3 数据的有效性进行筛选,进行了严格的质控。气象数据来自广西壮族自治区气象局信息中心提供的同时段地面台站常规气象观测资料(气温、风速、降水量、相对湿度),高空及地面实况天气图来自中国气象局 CMA-Cast 信息系统下发的 Micaps 高空地面资料。

利用广西地区地面气象观测数据、臭氧浓度数据和臭氧激光雷达观测资料,并运用质点后向轨迹方法,分析了此次区域性臭氧污染过程的形成机理。HYSPLIT-4 模型是由美国国家海洋和大气管理局

收稿日期: 2021-08-10

基金项目: 广西气象科研计划项目(桂气科 2020Z04)、中国气象局预报员专项项目(CMAYBY2020-097)

作者简介: 王义耕(1978—),男,硕士,主要从事环境气象空气质量预报工作。E-mail:wyg780625@163.com

(NOAA)的空气资源实验室和澳大利亚气象局在过去 20a 间联合研发的一种用于计算和分析大气污染物输送、扩散轨迹的专业模型^[7]。模型所用数据是 NCEP 的 GDAS 资料,空间分辨率为 $1^\circ \times 1^\circ$ 。

2 臭氧区域污染实况

2021 年 6 月 5 日,广西全区臭氧浓度明显上升,14 个地级市空气质量都是良, O_3 日最大 8h 滑动平均浓度都超过 $100\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,贵港最大达 $138\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 。6 月 6 日 10 时,臭氧浓度大幅上升,贵港 14 时臭氧小时值 $203\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,达到臭氧小时值轻度污染($200\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,下同),17 时出现最高峰值 $261\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,臭氧污染天主要集中在南部的防城港、北海、贵港和南宁。6 月 7 日臭氧浓度上升趋势加剧,13 时已有 9 个城市小时值超过 $160\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,6 个城市出现单站臭氧小时值轻度污染;污染区域逐步扩大,臭氧污染带总体北移,集中在中南部,9 个城市出现臭氧日污染,分别是贵港、玉林、柳州、百色、来宾、钦州、梧州、崇左和贺州。6 月 8 日,受南海季风槽北抬影响,臭氧污染带继续北移,臭氧污染带集中在中北部,贺州、来宾、柳州、贵港、玉林、百色、河池和桂林,共 8 个城市出现污染,贺州臭氧浓度上升最为明显,河池出现了自 2016 年以来的首次臭氧污染天。受南海季风槽逐渐北抬影响,此次区域性臭氧污染过程总体呈现由南向北移动的趋势,累计出现 21 城次的污染天,贵港不仅污染最严重,连续 3d 出现臭氧污染,而且臭氧浓度全区最高, O_3 日最大 8h 滑动平均浓度达 $214\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 。

3 高空及地面天气形势

选取 6 月 7 日 08 时高空及地面实况天气图(略):500hPa 位势高度场、地面气压场、850hPa 风场、925hPa 风场。6 月 6—8 日,从 500hPa 位势高度场分析,广西都处于 500hPa 高压脊的底部,从地面气压场分析,地面都受变性高压脊控制,从高空到地面都受高压脊影响,造成广西地区持续无云或少云,使得到达地面的太阳辐射增强,有利于 O_3 生成。从 850hPa 风场分析,6 日南海季风槽位于琼州海峡,7 日北抬至两广地区海洋和陆地交界处,8 日进一步北抬至沿海城市,在南海季风槽逐渐北抬过程中,季风槽外围下沉气流也逐渐北抬,造成广西此次臭氧污染由南向北移动的趋势。从 925hPa 风场分析,污染期间两广地区大气边界层盛行偏东风,6 日东南

风,7 日转偏东风,8 日又转东南风,且风速较大。6 月 5—8 日,广东省多个城市出现了臭氧污染,臭氧浓度高,在大气边界层偏东风作用下,臭氧源源不断地向广西地区输送,是造成广西此次大面积长时间臭氧污染的一个重要的原因。以下“后向轨迹图”进一步说明了此次广东臭氧输入过程。

4 污染原因分析

4.1 气象条件分析

2021 年 6 月 6—8 日受高压脊影响,太阳辐射强烈,广西大部分地区出现晴热天气。期间全区别有 32 站、31 站、13 站最高气温大于等于 35°C ,最高为三江站 36.9°C ,出现臭氧污染的城市最高气温在 $32.5\sim 35.4^\circ\text{C}$ 之间,绝大部分在 34.0°C 左右。高温可促进光化学反应的进行和植物排放 VOCs 的浓度^[8],有利于 O_3 生成, O_3 浓度增加较快, O_3 浓度与气温呈现较为一致的正相关。降水有利于 O_3 及其前体物的洗刷和湿清除,同时雨天云量较多,云对太阳辐射有散射和吸收作用,从而减少到达地面的紫外线光强,不利于生成 O_3 的光化学反应进行。三天中除了 8 日沿海城市有分散性小雨外,出现臭氧污染的城市降水量都是 0,无降水有利于 O_3 累积, O_3 浓度与降水量呈现较为明显的反相关。

从地面气压场来看(图略),整个广西等压线稀疏,气压梯度小,地面为微风或静风,天气静稳。地面风速大小决定了大气扩散能力,地面风速越小,大气水平扩散能力越弱。经统计,出现臭氧污染的城市地面日平均风速大小在 $0.9\text{m}\cdot\text{s}^{-1}\sim 2.4\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 之间,绝大多数在 $2.0\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 以下,风速较小,大气水平扩散条件差,小风速不利于 O_3 由城市向郊区扩散,聚集在城区形成 O_3 高值区。 O_3 浓度与地面风速呈现较为明显的负相关。相对湿度对 O_3 的生成、消除有重要影响,当相对湿度大时,大气中的水汽通过消光机制影响太阳辐射而使紫外辐射衰减,减缓了光化学反应的发生;湿度较高情况下,空气中水汽所含的自由基($\cdot\text{HO}_2$ 和 $\cdot\text{OH}$)等迅速将臭氧分解为氧分子,直接消耗 O_3 ,降低 O_3 浓度;相对湿度较高有利于 O_3 的湿清除,高湿环境也是形成湿清除的重要指标^[9]。因而相对湿度小反而有利于 O_3 生成, O_3 浓度与相对湿度呈现负相关。经统计,出现臭氧污染的城市地面日平均相对湿度大小 $55.0\%\sim 74.8\%$ 之间,绝大多数在 70.0% 以下,各站点臭氧峰值集中出现在 13:00—16:00,一天中光化学反应最强的时段,小时相对湿度更小,

在 42.6%~60.0% 之间, 这种相对湿度非常有利于 O_3 生成。

4.2 后向轨迹分析

为了分析本次 O_3 外来传输的来源, 利用 NOAA 的 HYSPLIT 模型做玉林观测点后向轨迹分析(图 1)。质点的经纬度选定污染较重的玉林观测点(110.117°E、22.667°N), 气团的时间选定 O_3 浓度大幅上升的北京时间 6 月 7 日 12:00(图中时间是世界时), 分别从 3 个高度(800m、500m 和 100m)进行质点后向 24h 轨迹追踪, 污染物主要聚集在大气边界层内, 故选的 3 个高度都低于大气边界层的高度。到达玉林的 24h 后向轨迹模型显示, 距地面 800m(绿色)、500m(蓝色)和 100m(红色)的污染气团高起低落来自珠三角地区。由图可知, 前 12h 污染气团主要是水平传输, 从珠三角地区传入广西境内, 后 12h 除了水平传输, 污染气团向下垂直传输也明显加快, 将臭氧输送至地面, 造成广西境内的 O_3 浓度剧增。

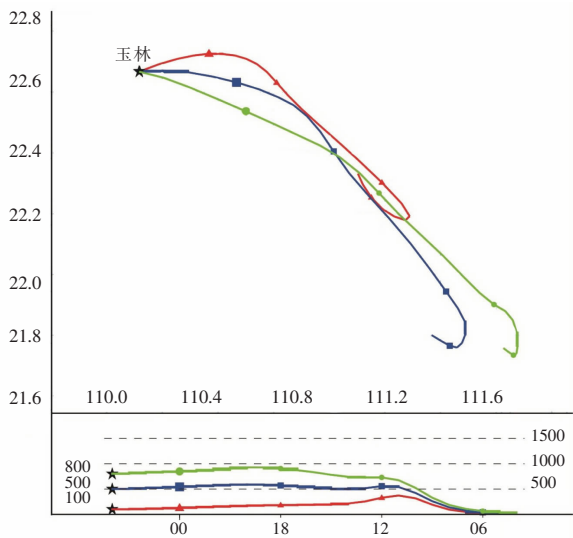


图 1 6 月 7 日 12 时到达玉林的臭氧 24h 后向轨迹图

4.3 区域输送分析

在区域输送不明显时, 边界层内 O_3 生成由局地化学反应主导, O_3 是挥发性有机物(VOCs)和氮氧化物(NO_x)在太阳紫外光照射下进行光化学反应的生成物。日落后, 光化辐射不存在了, 生成 O_3 的自由基链式光化学反应就终止了, O_3 浓度迅速下降, 而且 O_3 是一种反应性极高的气体, 也是一种强氧化剂^[10], O_3 能与多种还原性的污染物发生气相反应, 随着时间的推移, 消耗 O_3 的化学反应不断进行, 到了凌晨 O_3 浓度会下降到很低的水平。

然而从监测数据看, 此次 O_3 污染过程期间, 柳州柳东小学、防城港大海花园、钦州沙埠小学、玉林南江一中等站点晚上 20:00 后 O_3 浓度仍然超过 $170\mu g \cdot m^{-3}$, 玉林师范学院东校区夜间 23:00 O_3 浓度维持 $163\mu g \cdot m^{-3}$ 的超标状态, 多地臭氧夜间高居不下。显然这些 O_3 不全是本地光化学反应产生的, 区域输送明显, O_3 随着边界层偏东风, 从珠三角地区传入广西境内, 在南海季风槽外围下沉气流作用下, 向下垂直传输, 将臭氧输送至地面, 造成广西境内多地夜间的 O_3 浓度仍然维持在较高水平。

地面臭氧激光雷达也监测到了这一反常现象, 由图 2 可见, 凌晨近地层臭氧浓度仍然较高, 6 月 7 日凌晨, 樟木三中臭氧仍高达 $180\mu g \cdot m^{-3}$ 以上, 臭氧区域水平输送和高空沉降影响显著, 这也间接解释了此次 O_3 区域污染过程贵港不仅污染最严重而且臭氧浓度全区最高的现象。

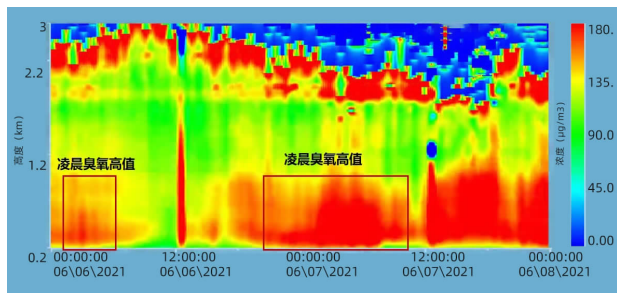


图 2 贵港樟木三中 6 月 6—8 日臭氧激光雷达监测结果

桂东北县份也呈现较反常的污染规律, 全区空气质量较好的金秀县在 6 月 8 日 10:00 开始出现臭氧超标, 11:00 就开始回落, 显然不全是本地光化学反应产生, O_3 区域输送明显。按纬度由南向北选择柳江区、柳城县、钟山县和兴安县, 4 县区的臭氧峰值变化趋势, 峰值变化基本上呈现先南后北, 峰值时刻有显著滞后现象, 且都出现明显的双峰特征, 表明有臭氧水平输送影响。

5 结论

(1) 受南海季风槽北抬影响, 此次臭氧区域污染过程总体呈现由南向北变化的趋势。

(2) 此次臭氧区域污染与本地的气象条件密切相关, O_3 浓度与气温呈现较为一致的正相关, 与降水量、地面风速和相对湿度呈现较为明显的负相关, 本地适宜的气象条件生成高浓度的 O_3 是造成此次臭氧区域污染的主要原因。

(3) 在边界层偏东风作用下,珠三角地区 O_3 向广西区域输送是造成此次臭氧区域污染的次要原因。

参考文献:

- [1] 葛茂发,佟胜睿,等.大气化学动力学[M].北京:科学出版社,2016:37-39.
- [2] 曹庭伟,吴锴,康平,等.2018.成渝城市群臭氧污染特征及影响因素分析[J]环境科学学报,38(4):1275-1284.
- [3] 彭丽,高伟,耿福海,等.上海地区臭氧垂直分布特征分析[J]北京大学学报(自然科学版),2011,47(5):805-811.
- [4] Verstraeten W W, Neu J L, Williams J E, et al. Rapid Increases in Tropospheric Ozone Production and Export from China [J]. Nature Geoscience, 2015(8):690-695.
- [5] 张容菁,廖国莲,陈明璐,等.玉林市 2019 年秋季一次臭氧污染过程特征分析 [J]. 气象研究与应用, 2020, 41(1):84-88.
- [6] 黄远盼,黎馨,欧徽宁.广西贺州市城区空气质量与气象条件的关系研究[J].气象研究与应用,2019,40(4):66-71.
- [7] Draxler R R, Hess G D. An Overview of HYSPLIT4 Modeling Aystem for Trajectories, Dispersion and Deposition [J]. Australian Meteorological Magazine, 1998, 47(2):295-308.
- [8] Walcek C J, Yuan H H. Calculated influence of Temperature Related Factors on Ozone Formation Rates in the Lower Troposphere [J]. Journal of Applied Meteorology, 1995, 34(5):1056-1069.
- [9] 姚青,孙玫玲,刘爱霞.天津臭氧浓度与气象因素的相关性及其预测方法[J].生态环境学报,2009,18(6):2206-2210.
- [10] 唐孝炎,张远航,邵敏.大气环境化学[M].北京:高等教育出版社,2006:102-106.

Analysis of a large-scale and long-time ozone pollution process in Guangxi

Wang Yigeng¹, Liao Guolian¹, Chen Dan², Pan Runxi³, He Linghong³

(1. Guangxi Meteorological Observatory, Nanning 530022, China;

2. Guangxi Institute of Meteorological Sciences, Nanning 530022, China;

3. Guangxi Ecological Environment Monitoring Center, Nanning 530028, China)

Abstract: Based on the surface meteorological observation data, ozone concentration data, and ozone-lidar observation data in Guangxi, the formation causes of a large-scale and long-time ozone pollution process changing from south to north in Guangxi from June 6 to 8, 2021 were analyzed by using the backward trajectory method. The results show that the main cause of ozone regional pollution is local ozone generation, and the secondary cause is the regional transmission of ozone from the Pearl River Delta to Guangxi. Ozone concentration is closely related to meteorological elements, has a consistent positive correlation with air temperature, and has an obvious negative correlation with precipitation, ground wind speed and relative humidity.

Key words: ozone pollution; backward trajectory; meteorological elements; regional transportation