

黄诗淇,和凌红,潘润西,等. 广西2020年2月一次大气污染过程分析[J]. 气象研究与应用,2021,42(2):95-99.

Huang Shiqi, He Linghong, Pan Runxi, et al. Analysis of an air pollution process in Guangxi in February 2020[J]. Journal of Meteorological Research and Application, 2021, 42(2): 95-99.

# 广西2020年2月一次大气污染过程分析

黄诗淇<sup>1</sup>, 和凌红<sup>2</sup>, 潘润西<sup>2\*</sup>, 黄乃尊<sup>2</sup>, 庞业<sup>2</sup>, 李方<sup>2</sup>

(1. 中山大学, 广东 珠海 519000; 2. 广西壮族自治区生态环境监测中心, 南宁 530028)

**摘要:** 利用气象数据、环境空气质量监测数据及卫星遥感监测火点数据,对广西2020年2月的一次区域性大气污染过程成因进行分析。结果表明,气温上升、湿度增加、风速减小是本次污染过程的气象成因;污染期间CO与PM<sub>10</sub>和PM<sub>2.5</sub>同步上升,更多指向生物质燃烧源的贡献;卫星遥感监测火点及后向轨迹聚类分析显示,污染过程的发生受秸秆焚烧及林火污染排放影响较大,特别是柳州、来宾、宾阳县及贵港市,对河池市PM<sub>2.5</sub>重污染的形成贡献最为明显;VOCs浓度的上升会导致大气氧化性增强,但大气氧化性增强不一定会使得PM<sub>2.5</sub>二次生成,PM<sub>2.5</sub>二次生成需要静稳高湿度的气象条件。

**关键词:** 大气污染;PM<sub>2.5</sub>;火点监测;大气氧化性;聚类分析

**中图分类号:** P413

**文献标识码:** A

**doi:** 10.19849/j.cnki.CN45-1356/P.2021.2.18

**OSID:**



大气污染物的排放在不利于气象条件下,由于大气扩散条件差,污染物不断累积和二次生成,从而导致污染过程发生。我国大气污染形成多是气象影响型,气压、气温、风速、降水量和相对湿度等气象要素对空气质量影响较大<sup>[1-3]</sup>,在大气污染排放稳定的情况下,污染天气往往受天气形势的影响,因此,不同地区均会有几种典型的污染天气类型<sup>[4-6]</sup>。广西位于华南地区,大气污染形成也属于气象影响型,呈现明显的季节性特征。广西大气污染来源以本地生成为主,但仍会受到北方大气污染气团传输影响<sup>[7]</sup>。广西大气污染以细颗粒物(PM<sub>2.5</sub>)为主,臭氧(O<sub>3</sub>)污染呈现上升趋势。

2020年2月18—24日,广西出现了一次区域性大气污染过程,其中河池市出现重度污染。通常情况下,大气污染过程的出现与工业企业大气排放及机动车排放有关<sup>[8-10]</sup>,但该污染过程发生正值我国受新冠肺炎疫情疫情影响期间。根据生态环境部发布的数据,各地工厂未复工、工地停工,工业排放同比减少;机动车排放及社会活动水平也明显减少。在此特殊

时期仍出现区域性大气重污染过程,说明广西存在其他污染源及有利于大气污染物堆积的气象条件,因此非常有必要对此次大气污染过程进行分析,以期能对污染源进行针对性治理。使用后向轨迹分析<sup>[11-12]</sup>能有效分析大气污染变化特征及来源,对污染源控制有较好的指导作用。本文利用环境空气质量监测数据及气象监测数据,分析此次污染过程的空间分布特征及演变,探讨了该时段内的气象条件与环境空气质量的关系。由于VOCs浓度、大气氧化性均与PM<sub>2.5</sub>的二次生成有关,因此本文还研究生物质燃烧及大气氧化性增强对PM<sub>2.5</sub>浓度的影响,以期能为大气污染治理工作提供技术支撑。

## 1 资料与方法

本文环境空气质量监测数据来源于广西14个城市国控空气自动监测站,包括SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>、PM<sub>10</sub>、PM<sub>2.5</sub>、CO和O<sub>3</sub>等6项指标,VOCs监测数据来源于广西超级站观测数据,气象观测数据来源于国家基本气象站,火点数据来源于卫星遥感监测,气流后向

收稿日期: 2020-09-29

基金项目: 广西重点研发计划(桂科 AB16380292)

作者简介: 黄诗淇(1999—),在读本科,应用气象学专业。E-mail: huangshiqi29@mail2.sysu.edu.cn

\* 通讯作者: 潘润西(1982—),高级工程师,主要从事大气监测与预报预警研究。E-mail: 156213422@qq.com

轨迹气象数据来源于美国国家海洋和大气管理局 gdas1 气象数据,数据时段为 2020 年 2 月 17 日至 24 日。本文通过分析污染过程变化趋势,分析平均风速、风向、降水量、相对湿度和平均气温等气象参数与细颗粒物  $\text{PM}_{2.5}$  之间的关系;并通过 OX 浓度 ( $\text{O}_3$  和  $\text{NO}_2$  浓度加和)与 VOCs 浓度的监测数据分析大气氧化性对  $\text{PM}_{2.5}$  生成的影响。此外,本文使用气团轨迹聚类的方法结合火点卫星遥感监测数据对污染过程的形成原因进行讨论。为了研究污染过程期间到达河池市的气团输送路径,利用 Hysplit 后向轨迹模式对 2 月 17 日至 24 日到达河池市的气流轨迹进行聚类分析。气团轨迹聚类分析是将在运动轨迹相似的气流轨迹进行分组分析的方法<sup>[13]</sup>,本研究采用由美国 NOAA 开发的 HYSPLIT5.0 模式,是目前应用最广泛的空气轨迹模型<sup>[14]</sup>。文中使用的空气质量评价标准为 HJ633-2012《环境空气质量指数(AQI)技术规定》(试行)。

## 2 区域大气污染过程分析

### 2.1 天气形势分析

2 月 16—17 日,受冷空气影响,广西的大气扩散条件较好。18 日 20 时之后,冷高压东移出海,广西转受高后控制,气压梯度变小,风速较小,大气扩

散条件逐步变差,污染物浓度开始上升,有些时段出现轻度污染。到 20 日 20 时,500hPa 为平直偏西气流影响,850hPa 存在辐散且有强的暖平流,大气湿度增加,广西地面气压梯度进一步减小,气温大幅升高,夜间近地面有明显逆温层,天气形势静稳,有利于细颗粒物二次生成。

### 2.2 污染过程概况

图 1 为本次大气污染逐日空间分布。在此次污染过程中,共出现了 13 城次的污染天。2 月 19 日,河池、崇左、来宾和柳州出现轻度污染;20 日,污染范围持续扩大,钦州、百色、贺州也出现轻度污染,其中河池出现中度污染和重度污染;21 日,污染逐渐消散,轻度污染集中在柳州、来宾和贵港;22 日,全区空气质量恢复到优良水平。为了更好地分析本次污染过程的生消演变,本文分析的时段为 2 月 18 日至 2 月 24 日。

本次污染过程以河池市污染最为严重,2 月 18 日至 20 日期间,河池市 6 项污染物中  $\text{CO}$ 、 $\text{PM}_{10}$  和  $\text{PM}_{2.5}$  浓度急剧上升,在 20 日达到峰值。8H 的  $\text{O}_3$  浓度却是逐步下降。由于  $\text{NO}_2$  和  $\text{SO}_2$  浓度无明显波动,表明此次污染过程与燃煤、工业排放及机动车尾气排放无关, $\text{CO}$  与  $\text{PM}_{10}$  和  $\text{PM}_{2.5}$  同步上升,更多指向是来自生物质燃烧源的贡献。

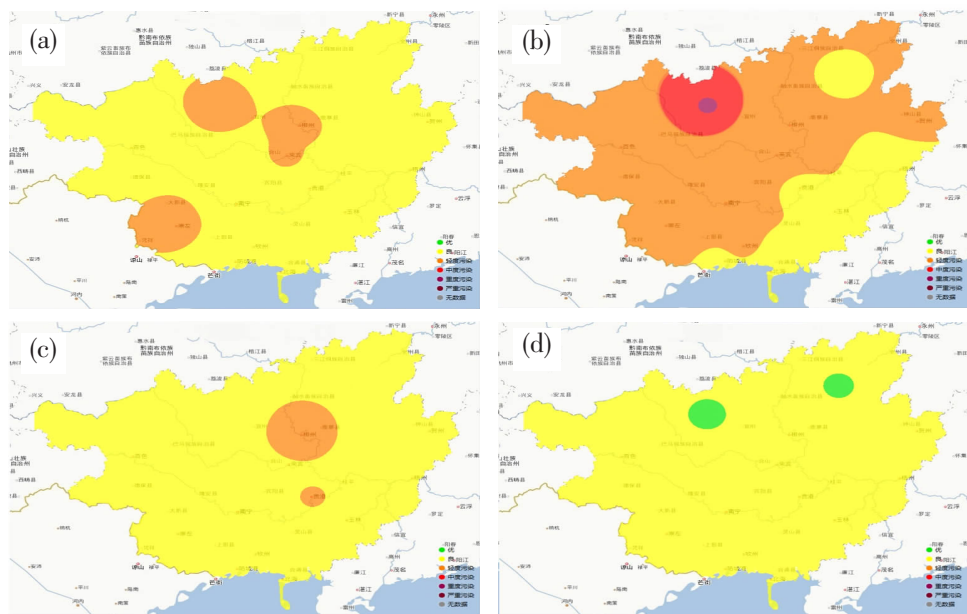


图 1 2 月 19—22 日污染的空间分布

(a)19 日;(b)20 日峰值;(c)21 日;(d)22 日结束

### 2.3 气象参数与 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度相关性分析

除大气污染源外,气象因子是影响大气污染物

浓度变化的重要影响因素之一,长时间序列  $\text{PM}_{2.5}$  浓度与气象条件相关性分析才具有统计学意义,研究

表明,PM<sub>2.5</sub>浓度与相对湿度、降雨量呈正相关,与风速呈负相关,对于某个典型的大气污染过程,受某种特殊气象条件影响更显著,一般情况下低风速、较高的相对湿度及近地面存在较厚逆温层是大气污染过程持续发生的不利大气扩散条件<sup>[15-17]</sup>,有利于PM<sub>2.5</sub>累积及二次生成,促发污染过程发生。本次污染过程的气象参数变化也符合上述规律,2月19日开始,广西大部分城市风速都低于2m·s<sup>-1</sup>,最低风速出现在河池市。全区大气相对湿度也是不断上升,从2月18日平均相对湿度48%上升到2月20日的78%,水汽对大气中细小颗粒物具有吸附作用,高湿空气进一步加剧了细颗粒物污染程度。河池市空气质量变化特征最能体现此次污染过程的变化趋势,表1给出了河池市气象参数的变化对PM<sub>2.5</sub>等污染物浓

度的影响。可见,18日至20日,河池的风向由东北转西南,气温变化不明显,但相对湿度上升幅度较大,由18日49.8%上升至20日的91.8%,20日风速下降到0.6m·s<sup>-1</sup>,大气扩散条件变差;相应地河池市PM<sub>2.5</sub>和PM<sub>10</sub>浓度是快速上升的,相对湿度与颗粒物成正比,体现了湿度有利于颗粒物的吸湿增长;20日河池风速降低到0.6m·s<sup>-1</sup>,PM<sub>2.5</sub>浓度156μg·m<sup>-3</sup>,达到重度污染。一般以PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub>的比值来判定二次生成的程度,比值越高,二次生成越明显。可以看到,20日PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub>的值达到最大,为1.11,由于湿度较高,PM<sub>2.5</sub>浓度高于PM<sub>10</sub>浓度,出现了倒挂现象,也表明了二次生成最多。21日开始,平均风速增加,且出现降水天气(降水量为3.7mm),有利于污染物的沉降,颗粒物浓度下降,空气质量转好。

表1 污染过程期间河池市基本气象参数

日期	平均气温 (℃)	平均相对湿度 (%)	降水量 (mm)	平均风速 (m·s <sup>-1</sup> )	风向 (°)	PM <sub>2.5</sub> 浓度 (μg·m <sup>-3</sup> )	PM <sub>10</sub> 浓度 (μg·m <sup>-3</sup> )	PM <sub>2.5</sub> / PM <sub>10</sub>
2月18日	13.5	49.8	0	1.1	80	32	46	0.70
2月19日	14.6	53.8	0	1.3	83	83	88	0.94
2月20日	12.3	91.8	0.7	0.6	250	156	140	1.11
2月21日	13.9	88.3	3.7	1.6	280	70	80	0.88
2月22日	14.4	85.8	0	1.1	242	30	44	0.68
2月23日	17.1	77.3	0.2	1.2	165	49	61	0.80
2月24日	18.2	72.0	0	1.7	145	42	60	0.70

2.4 生物质焚烧对PM<sub>2.5</sub>浓度影响分析

生物质(包括秸秆、林火和垃圾等)的焚烧,会排放大量的大气污染物,对空气质量影响较大。根据卫星遥感监测火点结果显示(图2a),2月17—23日,广西境内监测到的秸秆焚烧和林火点合计1307处(秸秆点451,林火点856),火点数量较多,秸秆火点主要集中在来宾、柳州和崇左,林火点集中在梧州、

玉林博白县、钦州和百色市田林县。由于卫星遥感监测到的最小火点面积为100m<sup>2</sup>,可能还存在卫星遥感监测不到的小火点,火点产生的大气污染物大量累积。19日,来宾、柳州、崇左和河池出现轻度污染。20日,从图2b925hPa风场可以明显看到,河池处于东北和东南气流辐合区,火点排放的污染物顺着东

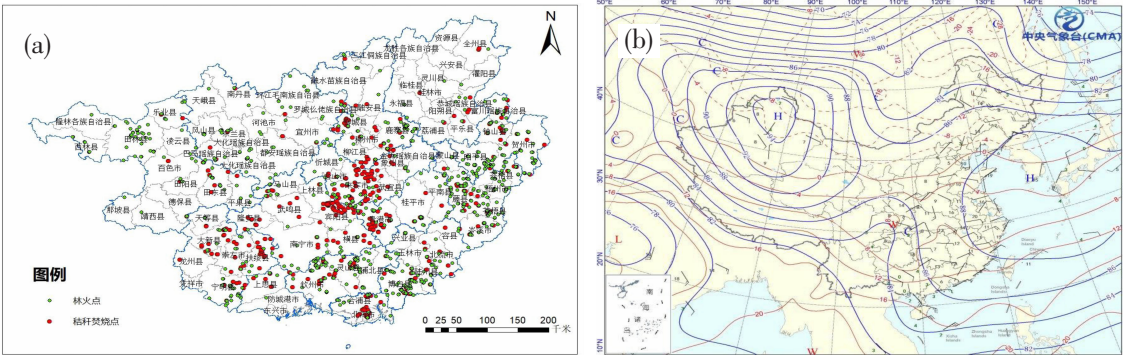


图2 2020年2月17—23日秸秆焚烧点和林火点分布(a)及20日925hPa风场(b)



南气流在河池一带汇聚,最终导致河池重度污染。

## 2.5 气团轨迹聚类分析

模式运算后得到了 5 种气团轨迹,如图 3 所示,5 种气团轨迹均为短距离输送,来自湖南省的 1 类气团和贵州省东南部的 4 类气团轨迹分别占总气流轨迹的 10%,代表着冷空气影响,是污染过程前期干净气团。2 类气团东北方向输送,占总气流轨迹的比例最多(41%);3 类气团的传输距离最短,偏东方向输送,占总气流轨迹的 21%;5 类气团为沿海气团,偏南方向输送,占总气流轨迹的 17%。2 类、3 类和 5 类气团轨迹代表着冷高压南下东移的转变过程,气流方向由东北转偏东再转为偏南气流,气流轨迹越短表示风速越小,均为区内输送影响,轨迹合计占比 79%,结合图 3 火点分布,可以明显看到,柳州、来宾、宾阳县及贵港市是气流轨迹经过的区域,火点排放的大气污染物对河池市  $\text{PM}_{2.5}$  重污染的形成贡献较大。

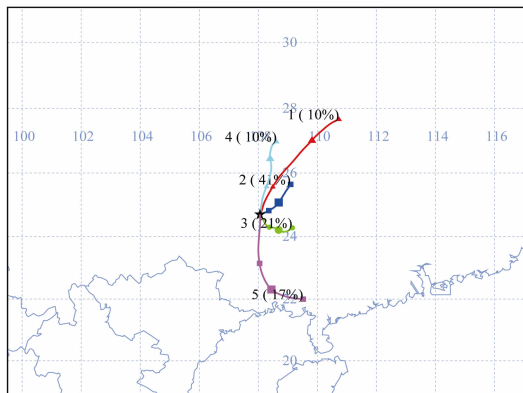


图 3 河池市低层大气的 5 种输送路径

## 2.6 大气氧化性对 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度影响

生物质的不完全燃烧同样也会排放大量的挥发性有机物 VOCs<sup>[18]</sup>,而 VOCs 可进行二次反应生成  $\text{PM}_{2.5}$ <sup>[19-21]</sup>,一般而言,VOCs 浓度水平高的区域,通常具有较强的大气氧化性,发生大气污染事件的可能性也较大。本研究用 OX( $\text{NO}_2+\text{O}_3$ )的浓度来表征大气的氧化性<sup>[22]</sup>,大气氧化性增加,在一定程度上也会影响  $\text{PM}_{2.5}$  的二次生成。以南宁市在污染过程期间 VOCs、 $\text{O}_3$  和  $\text{PM}_{2.5}$  的浓度变化为例,分析大气氧化性对  $\text{PM}_{2.5}$  浓度的影响,如图 4 所示。2 月 18—19 日,VOCs、OX 和  $\text{PM}_{2.5}$  的浓度变化基本同步,体现了各污染物浓度随气象条件变化而变化,没有明显的二次反应生成,但从 20 日开始,OX 与  $\text{PM}_{2.5}$  的浓度处于一种“此消彼长”的状态,从 19 日夜间到 20 日上

午  $\text{PM}_{2.5}$  浓度峰值变化可以看出,是前期 OX 浓度上升导致大气氧化性增强,在一定气象条件下使得  $\text{PM}_{2.5}$  二次生成加剧,从图中可以看出,VOCs 浓度的上升肯定会导致大气氧化性增强,但大气氧化性增强并不一定会使  $\text{PM}_{2.5}$  二次生成。22 日和 23 日大气氧化性较强,但是  $\text{PM}_{2.5}$  的浓度并不高,可能与大气中低层西南风加强,扩散条件转好有关。

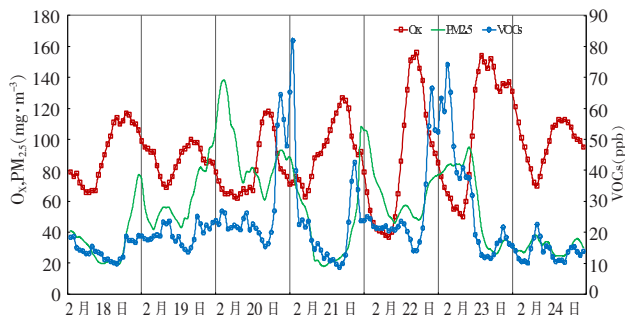


图 4 南宁市污染过程期间 VOCs、 $\text{O}_3$ 、 $\text{PM}_{2.5}$  浓度变化曲线

## 3 结论

(1) 冷高压南下东移,广西处于高压后部控制时,气温上升,湿度增加,风速减小,大气扩散条件转差,这是本次污染过程的气象成因。

(2) 本次污染过程广西共出现了 13 城次的污染天,以河池市污染最为严重,出现了 1d 重度污染;污染期间  $\text{NO}_2$  和  $\text{SO}_2$  浓度无明显波动,表明此次污染过程与燃煤、工业排放及机动车尾气排放无关; $\text{CO}$  与  $\text{PM}_{10}$  和  $\text{PM}_{2.5}$  同步上升,更多指向来自生物质燃烧源的贡献。

(3) 卫星遥感监测火点及后向轨迹聚类分析表明,污染过程的发生受秸秆焚烧及林火污染排放影响较大,特别是柳州、来宾、宾阳县及贵港市的火点,对河池市  $\text{PM}_{2.5}$  重污染的形成贡献最为明显。

(4) VOCs 浓度的上升肯定会导致大气氧化性增强,但大气氧化性增强并不一定会使得  $\text{PM}_{2.5}$  二次生成, $\text{PM}_{2.5}$  二次生成需要静稳高湿度的气象条件。

### 参考文献:

- [1] 周兆媛,张时煌,高庆先,等.京津冀地区气象要素对空气质量的影响及未来变化趋势分析[J].资源科学,2014,36(1):191-199.
- [2] 郑美琴,卢振礼.日照市区  $\text{PM}_{10}$  污染物特征及其与气象要素的关系[J].南京气象学院学报,2006(3):413-417.
- [3] 张宝贵,孙丽华.秦皇岛市空气污染与气象要素的关系[J].气象与环境学报,2009,25(4):43-47.

- [4] 李国翠, 连志鸾, 郭卫红, 等. 石家庄市污染日特征及其天气背景分析[J]. 气象科技, 2006(6): 674-678.
- [5] 王璟, 伏晴艳, 王汉峥, 等. 上海市一次罕见的连续 11 天空气污染过程的特征及成因分析[J]. 气候与环境研究, 2008(1): 53-60.
- [6] 王式功, 杨德保, 李腊平, 等. 兰州城区冬半年冷锋活动及其对空气污染的影响[J]. 高原气象, 1998(2): 33-40.
- [7] 莫招育, 刘慧琳, 毛敬英, 等. 2016 年 5 月广西桂林一次空气污染过程及其成因分析[J]. 环境科学与技术, 2017, 40(12): 165-169.
- [8] 胡敏, 唐倩, 彭剑飞, 等. 我国大气颗粒物来源及特征分析[J]. 环境与可持续发展, 2011, 36(5): 15-19.
- [9] 吴兑. 近十年中国灰霾天气研究综述[J]. 环境科学学报, 2012, 32(2): 257-269.
- [10] 徐敬, 丁国安, 颜鹏, 等. 北京地区 PM<sub>2.5</sub> 的成分特征及来源分析[J]. 应用气象学报, 2007(5): 645-654.
- [11] 朱先磊, 张远航, 曾立民, 等. 北京市大气细颗粒物 PM<sub>2.5</sub> 的来源研究[J]. 环境科学研究, 2005(5): 1-5.
- [12] 赵恒, 王体健, 江飞, 等. 利用后向轨迹模式研究 TRACE-P 期间香港大气污染物的来源[J]. 热带气象学报, 2009, 25(2): 181-186.
- [13] Lee J G, Han J W, Whang K Y. Trajectory Clustering: a Partition-and-Group Framework[J/OL]. <http://hdl.handle.net/2142/11301>.
- [14] Wang F, Chen D S, Cheng S Y, et al. Identification of regional atmospheric PM<sub>10</sub> transport pathways using HYSPLIT, MM5-CMAQ and synoptic pressure pattern analysis[J]. Environmental Modelling & Software, 2010, 25(8): 927-934.
- [15] 张玮, 郭胜利, 申付振, 等. 南京地区 PM<sub>2.5</sub> 和 PM<sub>10</sub> 浓度分布特征及与相关气象条件的关系[J]. 科学技术与工程, 2016, 16(4): 124-129.
- [16] 顾凯华, 史红仙, 张帅, 等. 上海崇明岛近三年 PM<sub>2.5</sub> 浓度变化特征与气象条件的关系[J]. 长江流域资源与环境, 2015, 24(12): 2108-2116.
- [17] 江琪, 王飞, 张恒德, 等. 北京市 PM<sub>2.5</sub> 和反应性气体浓度的变化特征及其与气象条件的关系[J]. 中国环境科学, 2017, 37(3): 829-837.
- [18] 唐喜斌, 黄成, 楼晟荣, 等. 长三角地区秸秆燃烧排放因子与颗粒物成分谱研究[J]. 环境科学, 2014, 35(5): 1623-1632.
- [19] 张宇静, 赵天良, 殷翀之, 等. 徐州市大气 PM<sub>2.5</sub> 与 O<sub>3</sub> 作用关系的季节变化[J]. 中国环境科学, 2019, 39(6): 2267-2272.
- [20] 徐正宁. 长三角西部地区挥发性有机物及其对大气臭氧和二次有机气溶胶生成的影响研究[D]. 南京: 南京大学, 2019.
- [21] 解鑫, 邵敏, 刘莹, 等. 大气挥发性有机物的日变化特征及在臭氧生成中的作用—以广州夏季为例[J]. 环境科学学报, 2009, 29(1): 54-62.
- [22] 王占山, 李云婷, 陈添, 等. 北京城区臭氧日变化特征及与前体物的相关性分析[J]. 中国环境科学, 2014, 34(12): 3001-3008.

## Analysis of an air pollution process in Guangxi in February 2020

Huang Shiqi<sup>1</sup>, He Linghong<sup>2</sup>, Pan Runxi<sup>2\*</sup>, Huang Naizun<sup>2</sup>, Pang Ye<sup>2</sup>, Li Fang<sup>2</sup>

(1. Sun Yat-Sen University, Zhuhai Guangdong 519000;

2. Guangxi Ecological Environment Monitoring Center, Nanning 530028)

**Abstract:** Based on meteorological data, air quality monitoring data and satellite remote sensing fire point data, the causes of a regional air pollution process in Guangxi in February 2020 were analyzed. The results showed that the meteorological reasons of this pollution process were the temperature rise, humidity increase and wind speed decrease. CO, PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> increased synchronously during the pollution period, which contributed more to the biomass combustion source. Fire point monitoring by satellite remote sensing and cluster analysis of backward trajectory showed that the occurrence of pollution process was greatly affected by the pollution discharge of straw burning and forest fire, especially the fire points in Liuzhou, Laibin, Binyang and Guigang contributing the most to the formation of PM<sub>2.5</sub> heavy pollution in Hechi. The increase of VOCs concentration will definitely lead to strong atmospheric oxidation, but the enhancement of atmospheric oxidation will not necessarily lead to the secondary generation of PM<sub>2.5</sub>. The second generation of PM<sub>2.5</sub> needs stable and high humidity meteorological conditions.

**Key words:** air pollution process; PM<sub>2.5</sub>; fire point monitoring; atmospheric oxidation; cluster analysis