

文章编号:1673-8411 (2019) 04-0081-05

# 桂林市大气气溶胶质量浓度变化特征分析

谭斐, 丘平珠, 俸玉端

(广西区气象信息中心, 南宁 530022)

**摘要:** 利用 2009–2018 年桂林大气成分站的大气气溶胶质量浓度观测资料, 分析了  $PM_{10}$ 、 $PM_{2.5}$ 、 $PM_1$  统计值的变化规律, 结果表明: (1) 2009–2018 年桂林  $\rho(PM_{10})$ 、 $\rho(PM_{2.5})$ 、 $\rho(PM_1)$  年平均值变化趋势基本相同, 2012–2014 年, 年平均值相对较高, 自 2015 年后有下降的趋势。一年中月变化基本呈冬高夏低的正 V 字型分布, 月平均峰值出现在 1 月, 谷值出现在 7 月。质量浓度小时平均值从数值上呈现出冬>春>秋>夏的趋势, 并呈现明显的双峰分布特征。 $\rho(PM_{2.5})/\rho(PM_{10})$ 、 $\rho(PM_1)/\rho(PM_{10})$ 、 $\rho(PM_1)/\rho(PM_{10.2.5})$  介于 60%–93% 之间, 说明全年可吸入颗粒物中细粒子占大多数。桂林大气气溶胶质量浓度月平均分布规律可能与天气气候特点有密切关系, 日变化主要受到气象条件和污染物排放的影响。(2) 桂林  $\rho(PM_{10})$ 、 $\rho(PM_{2.5})$  和  $\rho(PM_1)$  与日均气温、日均湿度、日降水量、日均风速显著负相关, 与日均气压显著正相关。中雨及大雨、暴雨可明显稀释污染物的浓度, 细颗粒物易被雨水冲刷清除。2 级以上的风力对于污染物有一定的驱散作用, 尤其粗颗粒物下降的程度较明显。

**关键词:** 桂林; 大气成分; 气溶胶; 质量浓度

**中图分类号:** P49

**文献标识码:** A

## Variation characteristics of atmospheric aerosol mass concentration in Guilin

Tan Fei, QiuPingzhu, Feng Yudian

(Guangxi Meteorological Information Center, Nanning Guangxi 530022)

**Abstract:** Based on the observation data of aerosol mass concentration in Guilin atmospheric composition station from 2009 to 2018, the variation rules of  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$  and  $PM_1$  statistical values were analyzed. The results showed that: (1) from 2009 to 2018, the annual average values of  $\rho(PM_{10})$ ,  $\rho(PM_{2.5})$  and  $\rho(PM_1)$  in Guilin had basically the same trend. From 2012 to 2014, the annual average values were relatively high, and there was a downward trend since 2015. The monthly variation basically showed a positive V-shaped distribution of high in winter and low in summer. The monthly average peak value appeared in January, and the valley value appeared in July. The hourly mean value of mass concentration showed the trend of winter > spring > autumn > summer, and showed obvious double peak distribution characteristics.  $\rho(PM_{2.5})/\rho(PM_{10})$ ,  $\rho(PM_1)/\rho(PM_{10})$ , and  $\rho(PM_1)/\rho(PM_{10.2.5})$  were between 60%–93%, indicating that fine particles accounted for the majority of the annual inhalable particles. The monthly average distribution of aerosol mass concentration in Guilin could be closely related to the weather and climate characteristics, and the daily variation was mainly affected by meteorological conditions and pollutant emissions. (2) In Guilin,  $\rho(PM_{10})$ ,  $\rho(PM_{2.5})$  and  $\rho(PM_1)$  were negatively correlated with daily average temperature, daily average humidity, daily average precipitation and daily average wind speed, and positively correlated with daily average pressure. Moderate rain, heavy rain and rainstorm could obviously dilute the concentration of pollutants, and fine particles were easy to be washed away by rain. The wind above level 2 can disperse the pollutants, especially the coarse particles.

**Key words:** Guilin; atmospheric composition; aerosol; mass concentration

收稿日期: 2018-12-23

基金项目: 气象信息化实践中业务集约化和数据标准化研究([2017]第 M05 号)

作者简介: 谭斐(1984-), 女, 工程师, 主要从事气象观测数据质量控制相关工作。E-mail: 20953423@qq.com

引言

大气气溶胶是指均匀分散于大气中的固体微粒和液体微粒所构成的稳定混合体系,其中的微粒统称为气溶胶粒子,一般在大气科学研究中,常用气溶胶代指大气颗粒物。粒子的空气动力学直径多在 $0.001\sim 100\mu\text{m}$ 之间,非常之轻,足以悬浮于空气之中。尽管气溶胶在大气中的含量相对较少,但在大气过程中所起的作用却不容忽视,其突出的作用表现在气溶胶不仅对大气能见度、辐射、大气温度等具有较多影响,而且由于其粒径小、表面积大,为大气环境化学提供了反应床,从而影响大气的各种化学作用,同时影响人类健康<sup>[1]</sup>。

近年来随着城市扩张、工业发展,霾现象日趋严重,公众对于空气质量等环境污染问题也越来越关注。潘润西等人对于 $\text{PM}_{10}$ 、 $\text{PM}_{2.5}$ 等气溶胶质量浓度的时空分布特征及污染天气类型进行了分析<sup>[2-11]</sup>,郑凤琴,廖国莲等人对于霾展开了相关研究,分析了不同天气形势与霾及污染的关系<sup>[12-17]</sup>。白永飞,陆甲等人对于城市空气质量状况进行了分析<sup>[18-22]</sup>,梁昭等人分析了监测仪器的故障处理<sup>[23]</sup>。桂林地处中国华南,属山地丘陵地区及典型喀斯特岩溶地貌,遍布全市的石灰岩经亿万年风化浸蚀,形成千峰环立,一水

抱城,洞奇石美独特景观,自古以来就有“山水甲天下”的美誉,是国务院批复确定的中国对外开放国际旅游城市,是“一带一路”和黔粤湘桂交界重要联接点。良好的空气质量对于桂林的旅游业有重要意义。本文通过对桂林大气气溶胶质量浓度分布特征的分析,为大气成分观测数据和统计值的质量控制提供参考依据,为应对重污染天气和突发环境事件应急气象保障服务提供技术支撑。

1 资料来源

目前广西气象部门一共建设了4个大气成分(气溶胶)观测站,分别为桂林、南宁、柳州、北海。其中桂林、南宁于2006年建站,柳州和北海于2015年建站。目前大气成分观测数据已纳入全国气象信息共享平台(CIMISS)统一管理,通过气象数据统一服务接口(MUSIC),为各级用户开展环境和生态气象预报提供观测数据产品。为了更好地分析气溶胶质量浓度随时间变化的规律,选取建站较早的桂林,利用2009至2018年近十年的资料,以及同期气象观测资料,对 $\text{PM}_{10}$ 、 $\text{PM}_{2.5}$ 、 $\text{PM}_1$ 变化特征进行统计分析。气溶胶质量浓度的基础数据分辨率为5min,其要素单位为 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ,有效小数位数为0.1,统计规则参照2017年下发的相关业务规定,如下表1所示。

表 1 气溶胶质量浓度各统计项的数据源、统计区间以及有效性规定

统计项	数据源	时间段	数据有效性规定
小时均值	分钟级数据	hh:00~hh:59	每小时至少有9条有效数据
日均值	小时均值	北京时08时~次日07时	每日至少有18小时有效平均浓度值
月均值	日均值	自然月	
季均值	日均值	春季:3~5月; 夏季:6~8月; 秋季:9~11月; 冬季:上一年12月与次年1~2月	每月至少有24个日平均浓度值(平(闰)年二月至少有21(22)个日平均浓度值)
年均值	日均值	1~12月	

2 气溶胶质量浓度分布特征及其变化

2.1  $\text{PM}_{10}$ 、 $\text{PM}_{2.5}$ 、 $\text{PM}_1$  质量浓度年变化趋势

分析2009年至2018年桂林大气气溶胶质量浓度的年平均值分布(图1), $\rho(\text{PM}_{10})$ 、 $\rho(\text{PM}_{2.5})$ 、 $\rho(\text{PM}_1)$ 变化趋势基本相同,相关性较好,但是峰值出现的年份不相同。 $\rho(\text{PM}_{10})$ 峰值出现在2014年,达到了 $71.7\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ , $\rho(\text{PM}_{2.5})$ 、 $\rho(\text{PM}_1)$ 峰值出现在2012年,分别为 $51.9\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 、 $44.2\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ;  $\rho(\text{PM}_{10})$ 、 $\rho(\text{PM}_{2.5})$ 、 $\rho(\text{PM}_1)$ 谷值均出现在2015年,分别为 $37.7\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 、 $27.2\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 、 $23.6\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 。2012

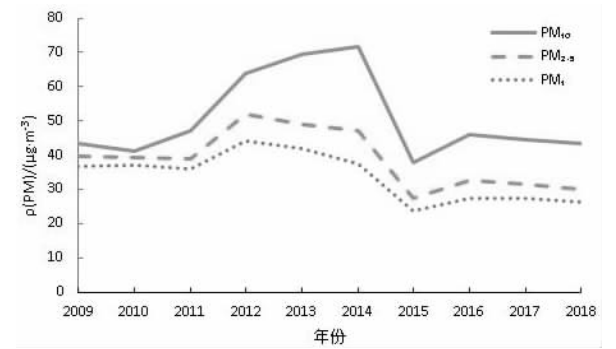


图 1 2009–2018 年桂林市  $\text{PM}_{10}$ 、 $\text{PM}_{2.5}$ 、 $\text{PM}_1$  质量浓度年平均变化

年至 2014 年间,  $PM_{10}$ 、 $PM_{2.5}$ 、 $PM_1$  质量浓度年平均值相对较高, 自 2015 年后有下降的趋势。

## 2.2 $PM_{10}$ 、 $PM_{2.5}$ 、 $PM_1$ 质量浓度月变化趋势

2009 年至 2018 年桂林大气气溶胶质量浓度的月变化分布表明(图 2), 一年中月变化基本呈冬高夏低的正 V 字型分布,  $\rho(PM_{10})$ 、 $\rho(PM_{2.5})$ 、 $\rho(PM_1)$  月平均峰值出现在 1 月, 分别为  $76.7\mu g \cdot m^{-3}$ 、 $61.2\mu g \cdot m^{-3}$ 、 $56.1\mu g \cdot m^{-3}$ ; 谷值均出现在 7 月, 分别为  $32.9\mu g \cdot m^{-3}$ 、 $25.2\mu g \cdot m^{-3}$ 、 $21.1\mu g \cdot m^{-3}$ 。这种月分布规律可能与桂林天气气候特点有密切关系。桂林夏季降水充沛, 大气边界层较高, 热力湍流发展旺盛, 对流强烈, 污染物易扩散; 秋冬大气层结较稳定, 湍流受到抑制, 逆温层易出现, 污染物不易扩散稀释, 降雨少常出现干旱, 烟尘聚集地表, 造成污染。

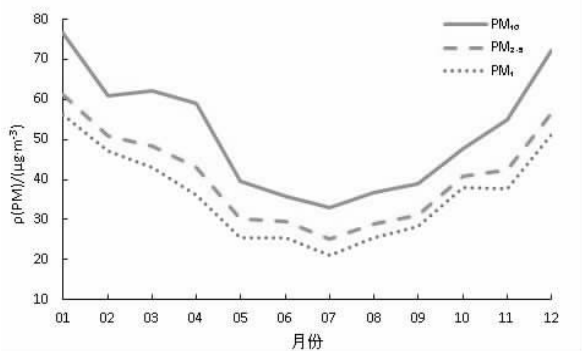


图 2 桂林市  $PM_{10}$ 、 $PM_{2.5}$ 、 $PM_1$  质量浓度月平均变化

## 2.3 $PM_{10}$ 、 $PM_{2.5}$ 、 $PM_1$ 细粒子占比的月变化趋势

$\rho(PM_{2.5})/\rho(PM_{10})$  反映了细粒子占可吸入颗粒物的比例,  $\rho(PM_1)/\rho(PM_{10})$  反映了亚微米级颗粒物占可吸入颗粒物的比例, 这三者的比值体现了颗粒物的分布特征, 污染程度越高, 细粒子含量越高。分析桂林细粒子占比的月变化分布(图 3),  $\rho(PM_{2.5})/\rho(PM_{10})$ 、 $\rho(PM_1)/\rho(PM_{10})$ 、 $\rho(PM_1)/\rho(PM_{2.5})$  的比值介于 60%–93% 之间, 说明全年可吸入颗粒物中细粒子占大多数,  $PM_{2.5}$ 、 $PM_1$  是引起大气污染的主要因素。

## 2.4 $PM_{10}$ 、 $PM_{2.5}$ 、 $PM_1$ 质量浓度日变化规律

分析桂林的  $PM_{10}$ 、 $PM_{2.5}$ 、 $PM_1$  质量浓度日变化分布(图 4), 质量浓度小时平均值与逐月变化分布(图 2)趋势类似, 从数值上呈现出冬>春>秋>夏的趋势, 曲线呈现明显的双峰分布特征。对于春季、秋季、冬

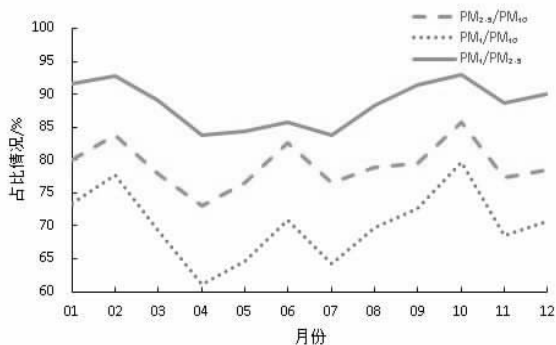


图 3 桂林市大气气溶胶质量浓度细粒子占比的月变化

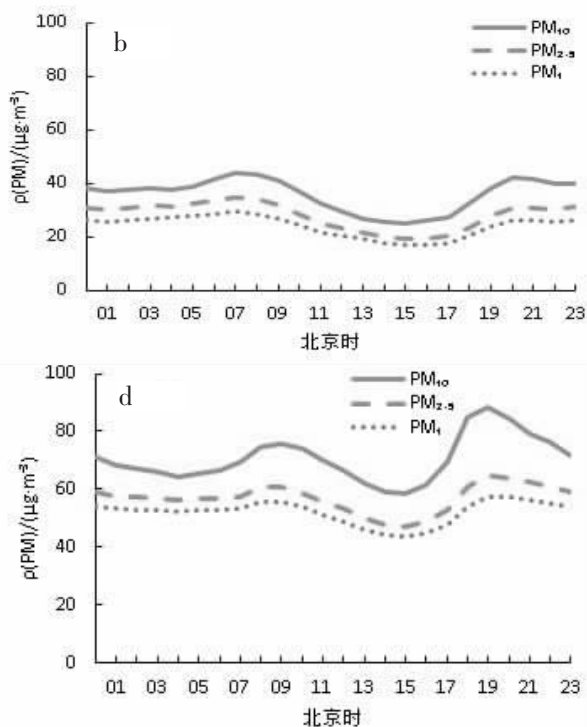
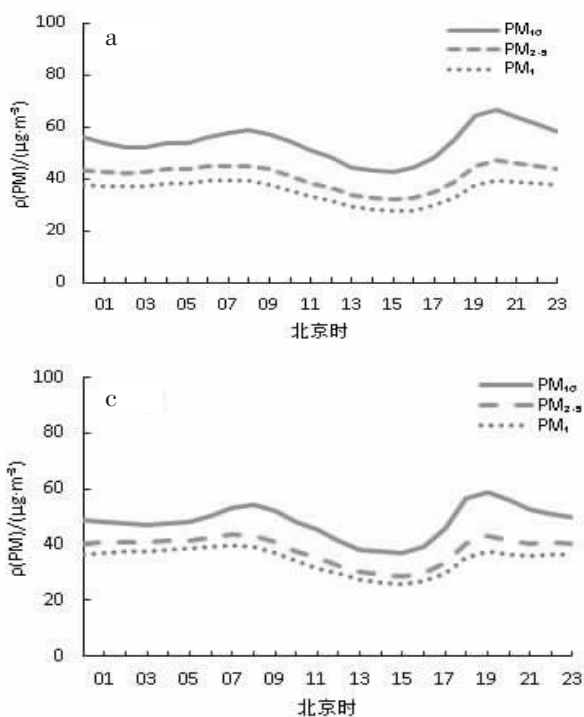


图 4 桂林市  $PM_{10}$ 、 $PM_{2.5}$ 、 $PM_1$  质量浓度逐时平均变化(a 为春季;b 为夏季;c 为秋季;d 为冬季)

季,主峰峰值出现于 19 至 20 时,次峰出现于 07 至 08 时之间,谷值出现于 16 时左右。对于夏季,主峰峰值出现于 07 时左右,次峰出现于 20 时,谷值出现于 15–16 时之间。早晨因夜间形成的辐射逆温尚未完全消失,正值上班早高峰出行拥堵,汽车尾气集中排放时段,污染物不易扩散,气溶胶质量浓度出现峰值;中午随着辐射逆温层的消失,同时近地面层能量聚集,空气对流加强,污染物浓度逐渐降低,达到一天中的低值;傍晚随着下班晚高峰的到来,太阳辐射减弱,地面气温进一步降低,辐射逆温渐渐形成,车辆尾气不易扩散,污染物浓度持续增大直至再次出现峰

值。

### 2.5 PM<sub>10</sub>、PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>1</sub> 质量浓度与气象条件分析

为了便于分析桂林大气气溶胶质量浓度与气象要素之间的关系,选取与大气成分站同站址的地面观测站资料,将 2009–2018 年的数据进行比较分析。统计 PM<sub>10</sub>、PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>1</sub> 质量浓度与各气象要素的相关关系(表 2),相关系数均通过了 95%的信度检验(n=3307d)。桂林  $\rho(\text{PM}_{10})$ 、 $\rho(\text{PM}_{2.5})$ 和  $\rho(\text{PM}_1)$ 与日均气温、日均湿度、日降水量、日均风速显著负相关,与日均气压显著正相关。

表 2 PM<sub>10</sub>、PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>1</sub> 与各气象要素的相关系数

可吸入颗粒物	日均气压	日均气温	日均湿度	日降水量	日均风速
PM <sub>10</sub>	0.2948	-0.2425	-0.3176	-0.2052	-0.2117
PM <sub>2.5</sub>	0.3423	-0.3216	-0.2530	-0.1997	-0.1734
PM <sub>1</sub>	0.3860	-0.3779	-0.2389	-0.2089	-0.1404

将 PM<sub>10</sub>、PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>1</sub> 质量浓度与降水量级(日降水量)进行比较(表 3),结果显示随着降水量级的逐级增大,气溶胶质量浓度逐渐减小;当达到中雨及以上量级时,质量浓度明显减小。因此,中雨及大雨、暴雨可明显稀释污染物的浓度,细颗粒物含有亲水性的化学物质,较易被雨水冲刷清除。

将 PM<sub>10</sub>、PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>1</sub> 质量浓度与风力等级(日平均风速)进行比较(表 4),结果显示随着风力等级的

增大, $\rho(\text{PM}_{10})$ 逐渐减小; $\rho(\text{PM}_{2.5})$ 和  $\rho(\text{PM}_1)$ 表现了  $\rho(\text{PM}_{10})$ 不一致的规律,从 1 级风到 2 级风的过程中,质量浓度是随风力增大而减小的,但从 2 级风增大到 3 级风的过程中, $\rho(\text{PM}_{2.5})$ 和  $\rho(\text{PM}_1)$ 反而略微增加;从 3 级风增大到 4 级风,质量浓度随风力增大而下降,但降幅较小。因此,2 级以上的风力对于污染物有一定的驱散作用,尤其粗颗粒物  $\rho(\text{PM}_{10})$ 下降的程度较明显。

表 3 降水量与 PM<sub>10</sub>、PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>1</sub> 质量浓度的关系

降水量级	降水量/mm	样本数/d	$\rho(\text{PM}_{10})/(\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3})$	$\rho(\text{PM}_{2.5})/(\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3})$	$\rho(\text{PM}_1)/(\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3})$
无雨	0	1511	62.24	45.24	39.14
小雨	0.1–9.9	1351	45.23	36.94	32.89
中雨	10.0–24.9	238	30.66	25.49	22.33
大雨	25.0–49.9	134	26.28	21.54	18.56
暴雨	≥50.0	73	26.83	22.34	17.85

表 4 风力等级与 PM<sub>10</sub>、PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>1</sub> 质量浓度的关系

风力等级	平均风速	样本数/d	$\rho(\text{PM}_{10})/(\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3})$	$\rho(\text{PM}_{2.5})/(\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3})$	$\rho(\text{PM}_1)/(\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3})$
0–1	≤1.5	1310	62.38	46.20	39.46
2	1.6–3.3	1618	43.29	33.78	29.92
3	3.4–5.4	374	42.78	36.10	33.22
4	5.5–7.9	5	35.80	33.44	31.94

### 3 结论

(1)2009–2018 年桂林  $\rho(\text{PM}_{10})$ 、 $\rho(\text{PM}_{2.5})$ 、 $\rho(\text{PM}_1)$

年平均值变化趋势基本相同,2012 年至 2014 年间,年平均值相对较高,自 2015 年后有下降的趋势。一年中月变化基本呈冬高夏低的正 V 字型分布,月平



均峰值出现在 1 月, 谷值均出现在 7 月, 这种月分布规律可能与天气气候特点有密切关系。

(2) 质量浓度小时平均值从数值上呈现出冬>春>秋>夏的趋势, 并呈现明显的双峰分布特征, 主要受到气象条件和污染物排放的影响。

(3)  $\rho(\text{PM}_{2.5})/\rho(\text{PM}_{10})$ 、 $\rho(\text{PM}_1)/\rho(\text{PM}_{10})$ 、 $\rho(\text{PM}_1)/\rho(\text{PM}_{10.25})$  介于 60%–93% 之间, 说明全年可吸入颗粒物中细粒子占大多数。

(4) 桂林  $\rho(\text{PM}_{10})$ 、 $\rho(\text{PM}_{2.5})$  和  $\rho(\text{PM}_1)$  与日均气温、日均湿度、日降水量、日均风速显著负相关, 与日均气压显著正相关。中雨及大雨、暴雨可明显稀释污染物的浓度, 细颗粒物易被雨水冲刷清除。2 级以上的风力对于污染物有一定的驱散作用, 尤其粗颗粒物下降的程度较明显。

#### 参考文献:

- [1] 维楣, 曹文俊, 蒋瑞宾. 空气污染气象学教程[M]. 北京: 气象出版社, 1993: 8–17.
- [2] 潘润西, 陈蓓, 莫雨淳, 等. 广西 PM<sub>2.5</sub> 时空分布特征及污染天气类型[J]. 环境科学研究, 2018, 31(3): 465–474.
- [3] 莫雨淳, 廖国莲, 郑凤琴. 南宁市 PM<sub>10</sub> 浓度与气象条件分析[J]. 气象研究与应用, 2008, 29(1): 55–56.
- [4] 韩茜, 魏文寿, 刘新春, 等. 乌鲁木齐市 PM<sub>10</sub>、PM<sub>2.5</sub> 和 PM<sub>10</sub> 浓度及分布变化特征[J]. 沙漠与绿洲气象, 2015, 9(1): 32–37.
- [5] 周秀玲, 王强, 刘承水. 北京 PM<sub>2.5</sub> 和 PM<sub>10</sub> 浓度变化特征分析[J]. 北京城市学院院报, 2016(6): 13–18.
- [6] 闫逢旗, 胡欢陵, 吴永华, 等. 北京地区冬夏季气溶胶不同参数的相关性分析[J]. 环境科学研究, 2004, 17(1): 35–40.
- [7] 王宇骏, 黄祖照, 张金谱, 等. 广州城区近地面层大气污染物垂直分布特征[J]. 环境科学研究, 2016, 29(6): 800–809.
- [8] 江益, 李春鸾, 林智丰, 等. 海口市 PM<sub>10</sub>、PM<sub>2.5</sub> 和 PM<sub>1</sub> 质量浓度的变化特征分析[J]. 广东气象, 2014, 36(3): 37–41.
- [9] 冯静, 董君, 李大伟, 等. 青岛市区春夏季大气能见度与颗粒物的关系[J]. 环境监测管理与技术, 2013, 29(1): 18–21.
- [10] 李彩霞, 朱国强, 李浩, 等. 长沙市 PM<sub>10</sub>、PM<sub>2.5</sub> 污染特征及其与气象条件的关系[J]. 安徽农业科学, 2015, 43(12): 173–175.
- [11] 王英舜, 邱玉珺, 吴风巨, 等. 内蒙古干草原冬、春季大气气溶胶的若干特征观测研究[J]. 中国环境监测, 2010, 26(6): 56–61.
- [12] 郑凤琴, 罗小莉, 廖国莲, 等. 南宁市霾日数变化特征及其与环流背景的联系[J]. 广西师范学院学报(自然科学版), 2017, 34(3): 48–53.
- [13] 廖国莲, 郑凤琴, 曾鹏, 等. 广西霾天气系统分型[J]. 气象科技, 2018, 46(1): 149–154.
- [14] 廖国莲, 程鹏. 南宁市大气能见度变化特征及影响因子分析[J]. 气象研究与应用, 2007, 28(4): 26–28.
- [15] 莫雨淳, 廖国莲, 潘润西. 广西一次大气重污染过程的气象条件分析[J]. 气象研究与应用, 2017, 38(2): 14–17.
- [16] 林巧美, 陈欲强, 陈璟, 等. 揭阳市空气污染特征及气象条件分析[J]. 气象研究与应用, 2018, 39(3): 76–79.
- [17] 廖国莲, 郑凤琴, 莫雨淳. 南宁典型空气污染和清洁过程的近地层流场分析[J]. 气象研究与应用, 2014, 35(1): 56–59.
- [18] 白永飞, 吕学斌, 平措, 等. 2014–2016 年拉萨市大气环境质量分析[J]. 气象科技, 2018, 46(6): 1274–1279.
- [19] 董蕙青, 阙秀美. 2002 年广西三城市空气质量状况及与气象条件的关系[J]. 广西气象, 2003, 24(2): 27–30.
- [20] 陆甲, 董蕙青, 谢宏斌. 2004 年南宁市空气质量回顾[J]. 广西气象, 2005, 26(1): 38–40.
- [21] 廖雪萍, 凌卫宁, 凌洪, 等. 南宁市适应风气候环境总体规划的建议[J]. 气象研究与应用, 2007, 28(2): 57–59.
- [22] 陈均, 李婷苑, 洪莹莹, 等. 2016 年广东两次气溶胶污染过程的气象条件分析[J]. 广东气象, 2018, 40(2): 39–43.
- [23] 梁昭, 梁水养, 陆飞. 一次颗粒物监测仪器故障排除的分析处理[J]. 气象研究与应用, 2016, 37(增刊 1): 145–146.