

文章编号:2096 - 5389(2020)06 - 0009 - 09

贵港市污染天气分型及污染气象特征研究

许艺馨¹, 何林宴², 冯 磊¹

(1. 广西物流职业技术学院, 广西 贵港 537100 2. 广西壮族自治区贵港市气象局, 广西 贵港 537100)

摘 要: 污染天气分型研究对空气质量预报预警等具有重要的意义, 基于 2015 年 1 月—2018 年 12 月欧洲数值预报中心(ECMWF)再分析资料和国家气象站常规资料, 采用聚类分析法按高空及地面天气形势划分了贵港市的污染天气类型, 并探讨各天气类型下的污染天气特征和空气质量状况。结果表明, 发生大气污染时, 按高空(500 hPa)环流形势可分为两槽一脊型、一槽一脊型、副热带高压型, 其中两槽一脊发生在秋冬季的频率最高。按地面环流形势可分为冷高压底部型、冷高压控制型、冷高压后部型、西南暖低压型、热带气旋型、均压场型共 6 种类型, 并构建天气学模型。其中冷高压底部控制下的污染天气天数最多(61 d); 但冷高压控制型空气质量最差(AQI 为 163), 是造成颗粒物(PM_{2.5}、PM₁₀)超标的类型; 西南暖低压型次之(AQI 为 135); 热带气旋型和均压场型常常表现为高温多日照, 容易造成 O₃ 污染。大气污染发生时环流形势和气象要素表现为大气稳定度升高, 水平和垂直扩散条件变差, 地面平均风速不超过 1.5 m/s, 相对湿度大于 50%, 日雨量皆为不超过 5 mm 的零星小雨。

关键词: 天气分型; 两槽一脊; 高压; 低压; 均压场

中图分类号: X16 **文献标识码:** A

Study on Pollution Weather Classification and Pollution Meteorological Characteristics in Guigang City

XU Yixin¹, HE Linyan², FENG Lei¹

(1. Guangxi Logistics Vocational and Technical College, Guigang 537100, China;

2. Guigang Meteorological Bureau of Guangxi Zhuang Autonomous Region, Guigang 537100, China)

Abstract: The classification and mechanism of polluted weather are of great significance for air quality forecasting and early warning. Based on the US reanalysis data and ground conventional meteorological data from January 2015 to December 2018, the cluster analysis method was used to classify the types of polluted weather in Guigang City according to the high altitude and ground weather conditions. It also explores the characteristics of polluted weather and air quality under various weather types. It is expected to provide scientific basis for relevant departments to carry out air pollution prevention and control the total pollution source. The results show that when air pollution occurs, it can be divided into two - slot - ridge type, one - slot - ridge type and subtropical high type according to the high - altitude (500 hPa) circulation situation. Two - slot - ridge type occurs most frequently in autumn and winter. According to the situation of ground circulation, it can be divided into six types: cold high pressure ridge bottom type, cold high pressure control type, cold high pressure rear part type, southwest warm low pressure type, tropical cyclone type and pressure equalization type, then a weather model was built. Among them, the number of polluted weather days under the control of the cold high pressure ridge is the most (61 days). The cold high pressure controlled air quality is the worst (AQI is 163), causing particulate matter (PM_{2.5}、PM₁₀) to exceed the standard. The southwest warm and low pressure air quality is the second most serious (AQI is 135). Tropical cyclone type and pressure equalization field type often show high temperature and multiple sunshine, which

收稿日期:2019 - 08 - 27

第一作者简介:许艺馨(1989—),女,硕士,工程师,主要从事环境气象研究工作,E-mail:261786751@qq.com。

资助项目:广西气象科研项目(桂气科 2019M22);贵港市大气污染物时空分布特征及其气象影响机制研究。

is easy to cause O_3 pollution. When atmospheric pollution occurs, the circulation situation and meteorological elements show that the atmospheric stability increases. The horizontal and vertical diffusion conditions become worse and the average surface wind speed does not exceed 1.5 m/s. By the way, the relative humidity is greater than 50% and the daily rainfall is less than 5 mm.

Key words: weather classification; two slots and one ridge; high pressure; low pressure; pressure equalization field

0 引言

随着工业化的发展,城市化背景下环境污染问题也日益加剧。近年来“雾霾”问题频发,大气污染问题也逐渐引起了国内政府与学者的高度关注。追本溯源,“雾霾”天气的形成,与大气中各类颗粒物,尤其是 $PM_{2.5}$ 与 PM_{10} 的含量有着直接联系。大气污染与天气形势密切相关,天气尺度的时间内,污染排放源一般相对稳定,突发的污染事件和季节性污染特征往往就归结为大气输送扩散条件^[1-2]。由于不同季节污染天气的气象影响机制不同,因而探究不同天气形势下的大气污染状况特征尤为重要。程念亮^[3]等将北京的重污染天气按地面环流形势分为高压型、低压型、均压场型 3 类。江淑芬^[4]等将深圳市不同污染状况下的天气系统分为了 13 种类型,并构建天气形势预测模型;杨旭^[5]等将京津冀地区冬半年污染状况按地面形势划分为 9 类,天气特征表现为高湿小风,混合层高度低。然而现阶段研究的污染天气分型的天气学模型大多采用某个过程或者某个时次的资料画天气图,缺乏长期资料和样本,仅某个过程或某个时次的资料难以构建代表性好和鲁棒性强的天气学模型。

现阶段我国华南地区污染天气分型结合大气污染物浓度变化特征的研究相对较少。贵港市位于广西桂东南的浔郁平原,地处北回归线以南,能源结构以煤炭为主。水热资源丰富,夏季高温多雨,冬季干燥微寒。以贵港市为例对华南地区污染天气的气象影响机制进行研究,对污染天气的环流形势进行分型并构建天气学模型,以期为本地区污染天气预报和预警提供参考指标,为相关部门开展大气污染防治工作提供科学依据。

1 数据与概况

1.1 数据来源

本文利用 2015 年 1 月 1 日—2018 年 12 月 31 日的数据进行污染天气分型研究。环境空气质量小时监测数据、日数据来自贵港市环境监测中心,包括 SO_2 、 NO_2 、 CO 、 O_3 、 $PM_{2.5}$ 、 PM_{10} 6 种主要污染物和 AQI 共 7 项指标;再分析数据来自于欧洲数值预

报中心(ECMWF),包括高空、地面、物理量场资料,水平分辨率为 $1.0^\circ \times 1.0^\circ$ (由于资料限制,地面相对湿度资料用 1 000 hPa 相对湿度代替);地面气象要素小时观测数据、日数据来自贵港市国家气象观测站,包括日雨量、平均气温、最低气温、最高气温、平均气压、最高气压、相对湿度、平均风速、最大风速、日照时数。

根据《环境空气质量标准》(GB3095—2012)中的规定确定空气质量分指数(IAQI)和污染物项目浓度限值;并按照气象上对四季的划分,3—5 月为春季,6—8 月为夏季,9—11 月为秋季,12 月—次年 2 月为冬季。

1.2 研究区域大气污染概况

根据空气质量监测数据显示,2015—2018 年贵港市空气优良率为 88.2%,一共发生了 173 d 轻度及以上的污染天气,其中 2015 年污染天数 45 d,2016 年污染天数 27 d,2017 年污染天数 55 d,2018 年污染天数 46 d,有先下降后反弹上升的趋势。同时,统计发现中度污染以上的天数所占的百分比也呈先下降后增加的态势,2015 年为 22.2%,2016 年下降到 7.4%,而 2017 年和 2018 年又增加至 12.7% 和 13.1%。由此可知,2015 年空气污染最严重,到了 2016 年空气污染缓解最明显,但 2017—2018 年的空气污染程度有反弹加重的迹象。

从图 1 可得污染天气的季节特征,污染天数在秋冬季出现最多,污染状况在 12 月—次年 2 月显得尤为突出,这是由于 12 月—次年 2 月为气温较低的冬季,工厂燃煤量和汽车尾气都有所增加^[6]。而春夏季的污染天数较少,可能与春夏季的污染源排放物减轻和气象特征存在一定的关系。

$PM_{2.5}$ 、 PM_{10} 、 O_3 均作为贵港市首要污染物出现,但 $PM_{2.5}$ 作为首要污染物的出现频率远高于 O_3 和 PM_{10} (图 2), $PM_{2.5}$ 作为首要污染物集中发生在秋冬季,而 O_3 作为首要污染物则主要出现在夏秋季,且 O_3 作为首要污染物出现的频率逐年增加。说明贵港地区的大气污染已从传统的细颗粒物($PM_{2.5}$)污染逐渐过渡为以高浓度 $PM_{2.5}$ 和 O_3 为特征的区域性复合大气污染,这与当地污染源排放情况、地理地形、气象条件密切相关。

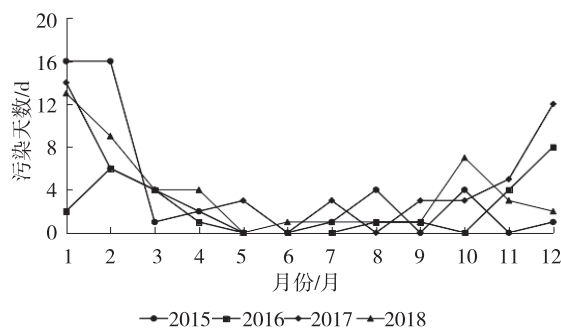


图1 2015—2018年污染天数月变化

Fig. 1 Monthly change in pollution days from 2015 to 2018

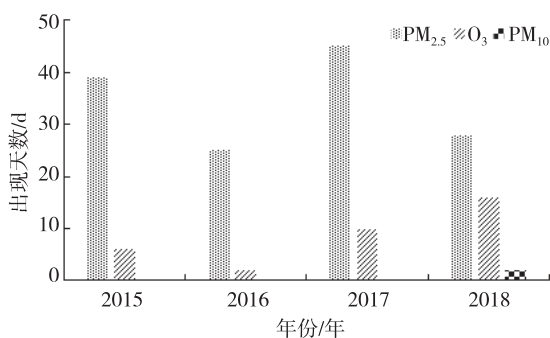


图2 2015—2018年贵港市首要污染物出现天数分布图

Fig. 2 Distribution of the number of days of primary pollutants in Guigang City from 2015 to 2018

2 结果与分析

2.1 高空环流形势分型

贵港市发生轻度污染以上的污染日中,500 hPa 亚欧大陆的环流形势可分为两槽一脊型、一槽一脊型、副热带高压型,其中,两槽一脊发生在秋冬季的频率最高,而副热带高压常发生在夏秋季。

两槽一脊型的污染一般出现在秋冬季,北半球冬季在中高纬度以极涡为中心环绕纬圈的西风环流,影响低纬度地区最主要的地面气压系统为亚洲冷高压,在贵港地区高空盛行弱西北气流,冷空气未大举南下时,天气形势稳定,细颗粒污染物容易缓慢积累。

当冷空气大举南下时,两槽一脊型自西向东发展,东亚大槽移入海面,经历一次新陈代谢,长波做了一次调整,变为一槽一脊型。

副高控制型形成的污染一般出现在夏秋季,此类型的西太平洋副热带高压 588 gpm 特征线强盛且稳定,范围大,呈东西带状分布,控制华南大部地区,脊线一般位于 20°N 附近^[7]。贵港在此种类型下 500 ~ 850 hPa 为辐散区,气流下沉,低层 850 hPa 以下为辐合区,有弱上升气流,大多以晴朗天气为

主,地面温度高,湿度低,日照时数多,气压梯度小,风速较弱,平均风速约为 1 m/s,不利于污染物垂直对流活动,利于发生光化学反应造成臭氧超标。

2.2 地面环流形势分型

根据贵港发生大气污染时,影响地面的主要天气系统,归纳出不利于污染物扩散和稀释的地面环流形势,分高压型、低压型、均匀场型 3 类。本研究中,高压是指地面气压大于 1 025 hPa 所对应的等压线包围的区域;低压是指地面气压小于 1 015 hPa 所对应的等压线包围的区域。

表1 污染天气按地面环流形势分型

Tab. 1 Classification of polluted weather according to the situation of ground circulation

高压型	低压型	均压型
冷高压脊底部	西南暖低压控制	均压场型
冷高压控制	热带气旋外围	
冷高压后部		

2.2.1 冷高压脊底部型 此类型一般出现在 11 月一次年 2 月,秋冬季贵港处于冷高压底部的时间较多,因此造成此类污染天气持续时间最长。500 hPa 高度场合成图上(图 3a),东亚大陆分为一槽一脊,中纬度西风带较平直,东亚大槽位于我国东部沿海,中低层受较弱的东南气流控制,垂直速度为较小的负值,有轻微不明显的上升运动,见图 3b。

当冷高压主体从北方或西北方南下到达一定的纬度后稳定少动,它的前方常以“扩散”形势扩散出一股股冷空气向偏南方向移动,在气压上表现为小的冷高压或高压脊^[8]。图 3c 的海平面气压图上,冷高中心绝大多数位于 90 ~ 110°E (贝加尔湖以西)、42 ~ 52°N (内蒙古以北),少数位于 110°E 以东;冷高中心强度多在 1 030 hPa 以上,只有少数在 1 030 hPa 以下,冷高脊线有明显的南北向特征,南北气压梯度较大。包括贵港在内的广西地区处在贝加尔湖以西的高压脊区底部,贵港地面气压在 1 007.5 ~ 1 020 hPa 之间,图 3d 显示地面吹东北风,不时还有干冷空气南下补充。

此时又分两种类型,一种是当贵港处于冷锋前(例如 2015 年 2 月 8 日、18 日),空气干暖,湿度较低,大气层结稳定,不利于污染物输送和扩散。第二种是当地面锋区南压到桂南沿海(例如 2016 年 2 月 19 日),贵港处在较稳定的冷区,在近地面易形成上暖下冷逆温层。由于受锋面影响产生降水,使得近地面湿度大,当锋面过境消失后,转好天气,晴朗少云,天气静稳,使得清晨会出现辐射降温,水汽凝结成雾、雾滴或小的水滴,有利于水溶性无机离

子为硫酸盐、硝酸盐、铵盐等细颗粒物吸湿增长和二次转化,形成二次气溶胶漂浮在低空中,并加重近地面细颗粒物污染程度。

需等到中等强度的冷空气南下,地面偏北风加大到 4 m/s 及以上,尤其是强锋面过境的几个小时,水平扩散条件才能好转,减弱或清除大气污染。

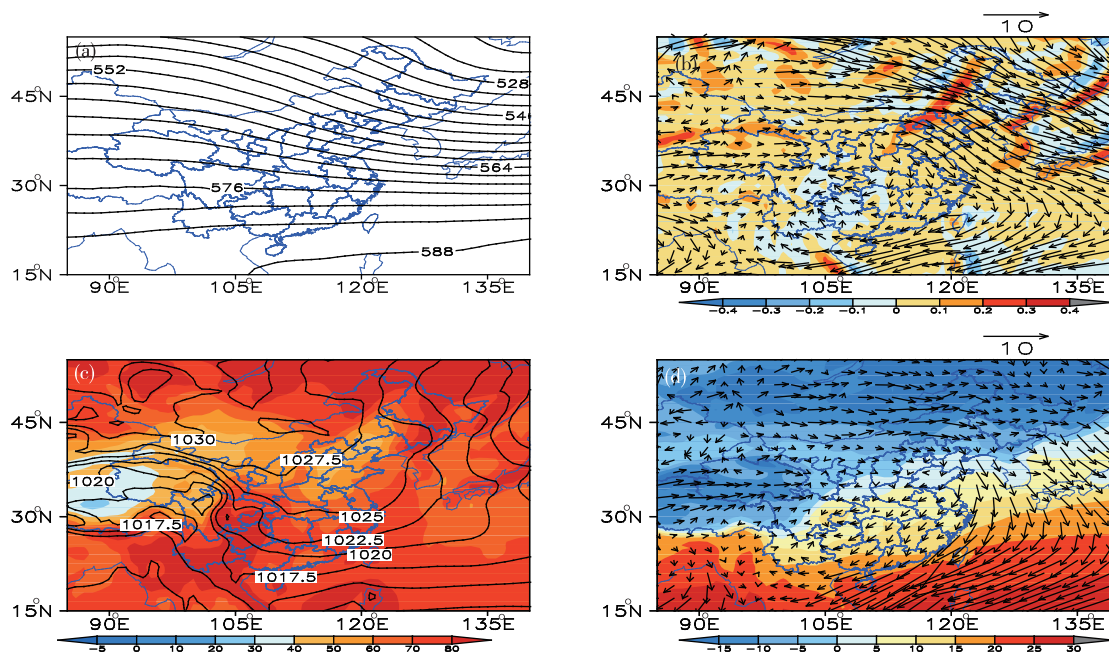


图 3 冷高压底部型天气学模型

(a) 500 hPa 高度场合成图(单位: dagpm); (b) 850 hPa 风场叠加垂直速度(填色)合成图(单位: m/s, hPa/s); (c) 海平面气压场叠加相对湿度(填色)合成图(单位: hPa, %); (d) 海平面风场叠加气温(填色)合成图(单位: m/s, °C)

Fig. 3 Cold high pressure ridge bottom type weather model

(a) 500 hPa height situation graph (unit: dagpm); (b) 850 hPa wind field superposition vertical velocity (colouring) Composite graph (unit: m/s, hPa/s); (c) Sea level pressure field superposition relative humidity (colouring) composite graph (unit: hPa, %); (d) Composite map of sea level wind field superimposed temperature (colouring) (unit: m/s, °C)

2.2.2 冷高压控制型 图 4a 的 500 hPa 等压面图可分析出东亚大槽移到东部沿海,往往有东北冷涡中心移入东北,东亚大槽发展得更强更深,气流经向度加大。贵港受 500 hPa 脊前西北气流影响,图 4b 显示中低空(700 ~ 925 hPa)为弱的东风,出现持续下沉气流,地面的水汽和尘埃不宜上升凝结。

冷高压是指冷锋后地面高压,是冷高压底部型的延续,大举冷空气南下,广西从冷高压底部变为冷高压控制占比 14%,出现频率不高。图 4c、4d 地面形势合成图上看贵港地面受大范围的高压主体控制,反气旋内没有锋面,地面吹弱的偏北风或静风,温度平流不明显,相对湿度在 50% ~ 60% 左右。高压控制下天气晴朗,风速小。在夜间或者清晨有时会出现辐射雾,在日出后逐渐消散。反气旋的外围往往有锋面存在,贵港若处在高压边缘部分上空且有锋面逆温,如果水汽较多时,低层容易出现微量降水、雾等现象,不利于污染物扩散稀释,但在高层能见度很好,碧空无云,污染物停滞在低层。

2.2.3 冷高压后部型 冷高压后部型也是从冷高

压底部型演变而来,从冷高压底部型过渡到冷高压后部型的频率为 60%,此时亚欧大陆中纬度长波位置进行了一次调整,恢复平直的环境形势。

500 ~ 700 hPa 受偏西气流控制(图 5a), 850 ~ 925 hPa 转为偏南暖湿气流(图 5b),从而造成近地面 850 hPa 以下为较弱的辐合上升运动。这种浅层上升运动可以使近地层的水汽向上输送,对流层 500 ~ 850 hPa 存在弱辐散下沉运动,下沉运动阻止了近地面水汽向上输送,污染物垂直输送能力差,有利于底层水汽的积累和湿度增大,相对湿度有时达 60% ~ 70% 以上,利于水溶性离子吸湿增长,造成细颗粒物浓度超标。

这类型的海平面等压图上(图 5c)贵港处在出海高压主体的西南象限,高压中心多数从长江中下游出海,气压场东高西低,气压梯度小,地面由偏北风转为弱的偏东风(图 5d),风速较小,气温逐渐回升,天气形势稳定,大气扩散条件差,此前环流形势所积累的污染物无法稀释、扩散。

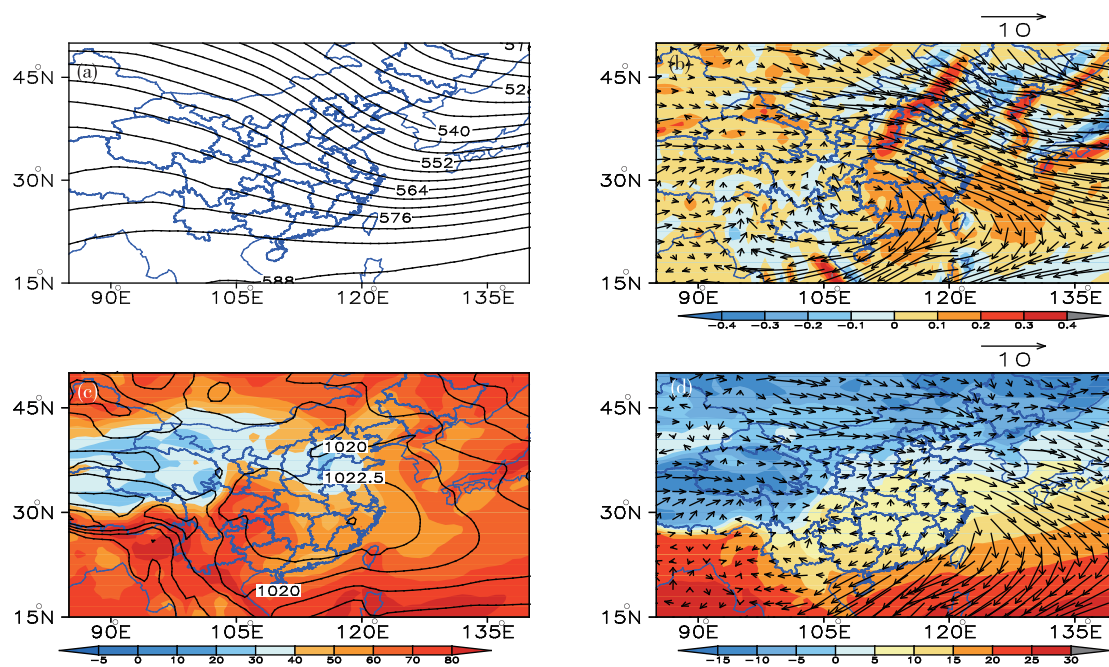


图4 冷高压控制型天气学模型

(a) 500 hPa 高度场合成图(单位:dagpm);(b) 850 hPa 风场叠加垂直速度(填色)合成图(单位:m/s,hPa/s);(c) 海平面气压场叠加相对湿度(填色)合成图(单位:hPa,%);(d) 海平面风场叠加气温(填色)合成图(单位:m/s,℃)

Fig. 4 Cold high pressure controlled weather model

(a) 500 hPa height situation graph (unit:dagpm);(b) 850 hPa wind field superposition vertical velocity (colouring) Composite graph (unit:m/s,hPa/s);(c) Sea level pressure field superposition relative humidity (colouring) composite graph (unit:hPa,%);(d) Composite map of sea level wind field superimposed temperature (colouring) (unit:unit:m/s,℃)

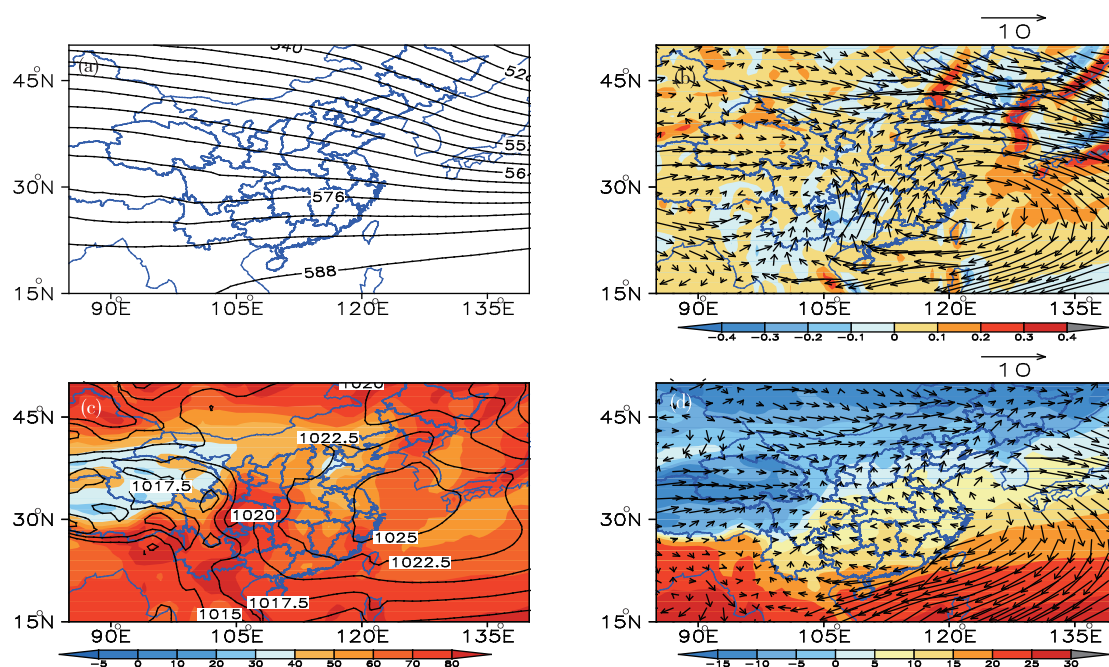


图5 冷高压后部型天气学模型

(a) 500 hPa 高度场合成图(单位:dagpm);(b) 850 hPa 风场叠加垂直速度(填色)合成图(单位:m/s,hPa/s);(c) 海平面气压场叠加相对湿度(填色)合成图(单位:hPa,%);(d) 海平面风场叠加气温(填色)合成图(单位:m/s,℃)

Fig. 5 Cold high pressure rear weather model

(a) 500 hPa height situation graph (unit:dagpm);(b) 850 hPa wind field superposition vertical velocity (colouring) Composite graph (unit:m/s,hPa/s);(c) Sea level pressure field superposition relative humidity (colouring) composite graph (unit:hPa,%);(d) Composite map of sea level wind field superimposed temperature (colouring) (unit:unit:m/s,℃)

2.2.4 西南暖低压控制型 热低压是由于近地层空气受热不均而形成的,热低压最容易出现在盆地地区,西南暖低压的发源地多在四川盆地,是浅薄而移动较慢的暖性低压系统^[9]。广西由于地理位置紧靠云贵高原南麓,云贵高原对南下冷空气起到阻挡和削弱作用,因而贵港春季、冬季易受西南暖低压的影响,并且常常伴随出现在冷高压主体东移出海后,是由高压后部演变而来的一种形势,一般出现在一次污染过程的后期。

从图 6a 高空图上看,500 hPa 和 700 hPa 贵港处于南支波动的偏西气流中,850 hPa 有强盛的西南暖湿气流(图 6b),给低层输送源源不断的水汽。

图 6c 海平面气压图上西南暖低压生成并发展,加大东西两侧气压梯度力,地面气压呈现东高西低的形势。地面低压中心一般为 1 010 ~ 1 012.5 hPa,随着高空槽的引导气流移动低压中心扩大东伸到桂西或

桂中。贵港处于西南暖低压的外围,受高压后部影响慢慢减弱,受西南暖低压系统影响增强。随着时间推移,低压中心强度也逐渐减弱,最后移出海面或者减弱消失。图 6d 可反映出受西南暖低压影响,气旋环流导致地面偏南风加大,带来的印度洋暖湿气流增强,贵港地面东北风逐渐转为东风或南风,气温回升,湿度增大,常常会出现 90% 的高湿区,温度露点差减小,一般在 3 ℃ 以下,称为“回南天”,伴随出现雾或微量降水。“回南天”是污染物发生的温床^[10],水溶性离子吸湿增长,液滴分子凝结在水溶性离子表面非均相成核,成核之后的分子簇经过初始增长和冷凝增长,迅速积累增多,进而可以作为云的凝结核,促进成云致雨。待 850 hPa 的南风逐渐增大,风速几乎达到急流,带来西南暖湿气流增多,容易出现间歇性小雨使污染物湿沉降,大气污染状况快速好转。

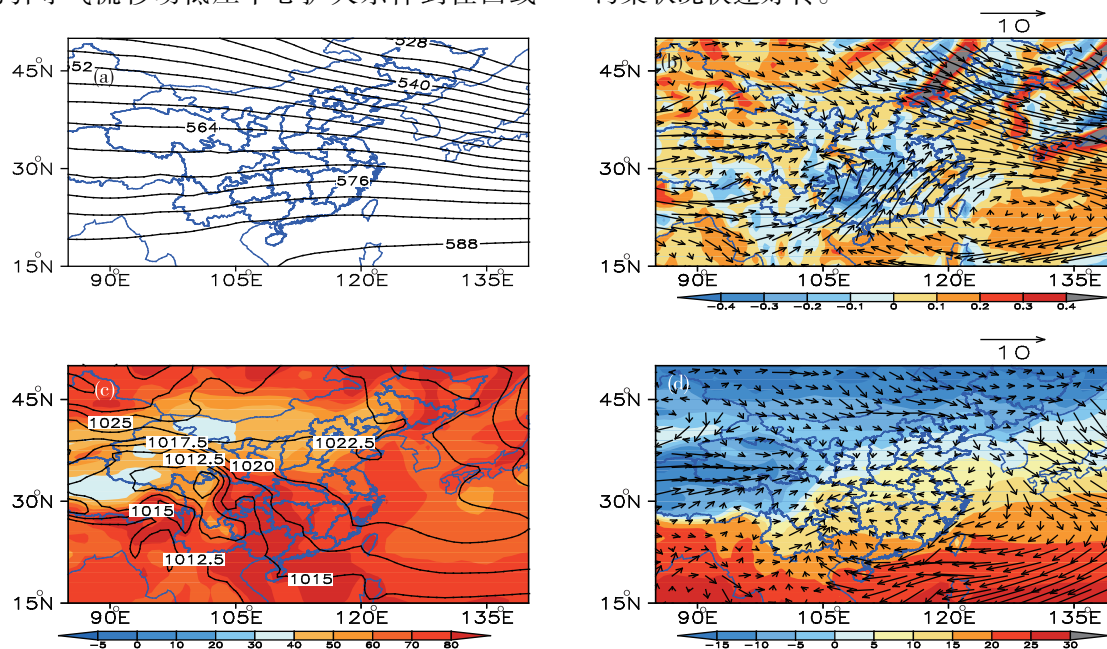


图 6 西南暖低压型天气学模型

(a) 500 hPa 高度场合成图(单位:dagpm);(b) 850 hPa 风场叠加垂直速度(填色)合成图(单位:m/s,hPa/s);(c) 海平面气压场叠加相对湿度(填色)合成图(单位:hPa,%);(d) 海平面风场叠加气温(填色)合成图(单位:m/s,℃)

Fig. 6 Southwest warm and low pressure weather model

(a) 500 hPa height situation graph (unit:dagpm);(b) 850 hPa wind field superposition vertical velocity (colouring) Composite graph (unit:m/s,hPa/s);(c) Sea level pressure field superposition relative humidity (colouring) composite graph (unit:hPa,%);(d) Composite map of sea level wind field superimposed temperature (colouring) (unit:m/s,℃)

2.2.5 热带气旋外围型 当台风逐渐接近陆地时,大范围下沉气流会对陆地形成高压均压场,不利于大气污染物的稀释、清除和扩散^[11-12],Lee 等研究发现暖季 O₃ 污染事件的发生通常与热带气旋靠近有关^[13]。此热带气旋型常出现在 7—10 月,高空 500 hPa 可能叠加副热带高压脊前偏北下沉气流(图 7a),其台风中心气流上升运动强盛,而外围气流处

在较强的涡度正散度区和垂直速度下沉运动区(图 7b),这种稳定的大气结构是影响贵港地区产生臭氧超标的一种天气形势。热带气旋在 15°N 以北、120°E 以东的南海或西太平洋洋面生成后,在高空气流引导下向西向北移动,贵港一般处在热带气旋的外围西北象限中(图 7c),当热带气旋路径偏北,不在华南一带登陆,移动方向往江浙一带,此时高

温闷热,常出现 30 ℃ 以上高温,见图 7d,紫外线充足,加剧光化学反应的速率,直到副高北抬,热带气旋随着高空引导气流随之北抬,方能结束污染天气。

臭氧并非由人类活动直接排放出的污染物,而是由近地面排放的氮氧化合物(NO_x)和挥发性有机

化合物(VOCs),在强烈的紫外光的条件下,发生一系列光化学链式反应而成的二次污染物^[14]。因而高温、低湿、小风、多日照的天气是大气光化学反应的能量驱动源。

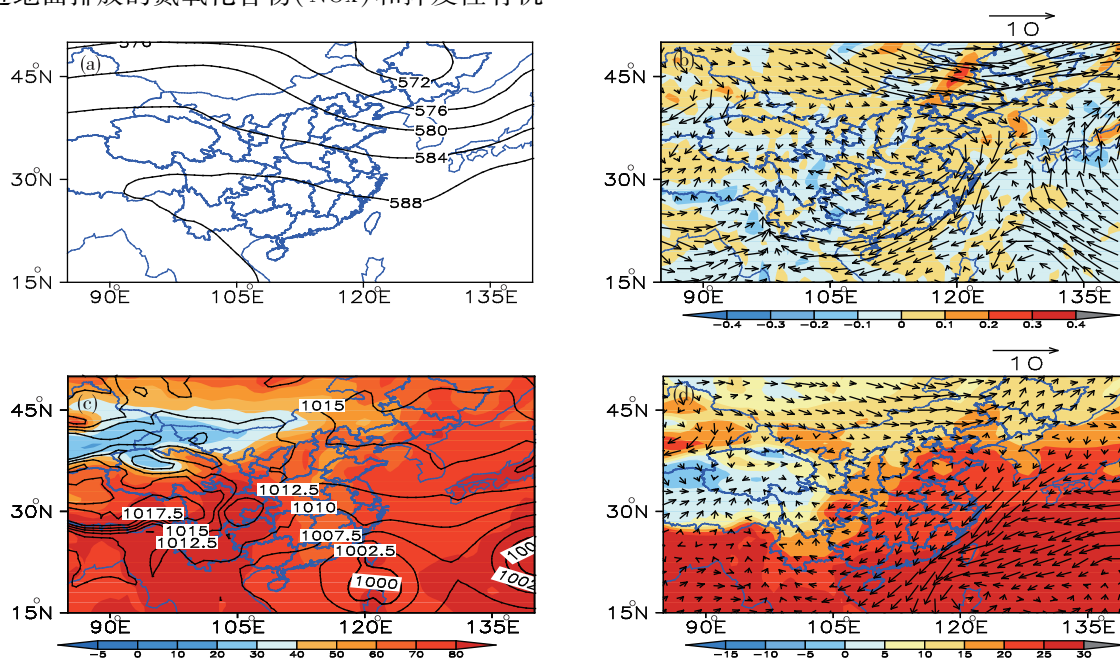


图7 热带气旋型天气学模型

(a) 500 hPa 高度场合成图(单位: dagpm); (b) 850 hPa 风场叠加垂直速度(填色)合成图(单位: m/s, hPa/s); (c) 海平面气压场叠加相对湿度(填色)合成图(单位: hPa, %); (d) 海平面风场叠加气温(填色)合成图(单位: m/s, ℃)

Fig. 7 Tropical cyclone weather model

(a) 500 hPa height situation graph (unit: dagpm); (b) 850 hPa wind field superposition vertical velocity (colouring) Composite graph (unit: m/s, hPa/s); (c) Sea level pressure field superposition relative humidity (colouring) composite graph (unit: hPa, %); (d) Composite map of sea level wind field superimposed temperature (colouring) (unit: m/s, ℃)

2.2.6 均压场型 均压场是造成贵港一年四季污染天气时有发生的重要天气环流形势,图 8a 的 500 hPa 形势以纬向环流为主,受偏西气流控制,中低层无明显的上升运动和下沉运动(图 8b)。

地面关键区(20~30°N、100~120°E)没有明显的天气系统影响,均压场可分为两类,当贵港地面均压场内气压 ≥ 1015 hPa,50°N 新疆北部—贝加尔南部存在强大的高压主体(中心强度 > 1030 hPa),且高压中心稳定少动,此时称变性冷高压内的均压场,一般出现在秋冬季。当地面均压场内气压 < 1015 hPa,蒙古地区或北方有强大的气旋,并逐渐南压,贵港处于气旋底部,此时称低压底部均压场,一般出现在春夏季。均压场的特征是地面等压线稀疏(图 8c),气压梯度力小,地面风弱,风向不固定,常出现静风,湿度处在高值区,大气处于一种静稳的状态。对近地层大气污染物的扩散起着抑制作用,容易造成中度以上级别的污染,首要污染物通常为 $\text{PM}_{2.5}$ 或 O_3 。待有新的天气系统产生大气扰

动或带来降水,才能清除污染。

2.3 按地面分型的大气污染物变化特征

根据分析 2015—2018 年的 173 个污染日样本,按地面分型统计出不同的类型的污染等级天数, AQI 和大气污染物浓度(表 2),高压型(冷高压底部、冷高压控制、冷高压后部)占比最多,达到 59.5%,一般出现在秋冬季和早春;低压型(西南暖低压、热带气旋外围)次之,达到 23.1%,西南暖低压出现在冬季和春季,热带气旋外围出现在夏秋季;均压场最少,一年四季时有发生。

地面环流形势细分为 6 种类型中,冷高压底部造成的污染过程出现的天数最多(61 d),并且持续时间长。冷高压控制下的污染天数最少(9 d),但在冷高压控制下的空气质量最差(AQI 为 163), $\text{PM}_{2.5}$ 、 PM_{10} 、 SO_2 的日平均浓度皆排在各类型之首, $\text{PM}_{2.5}$ 和 PM_{10} 日平均浓度均超过环境空气质量浓度二级限值($\text{PM}_{2.5}$ 浓度二级限值为 $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$, PM_{10} 浓度二级限值为 $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$),值得关注。受西南暖低

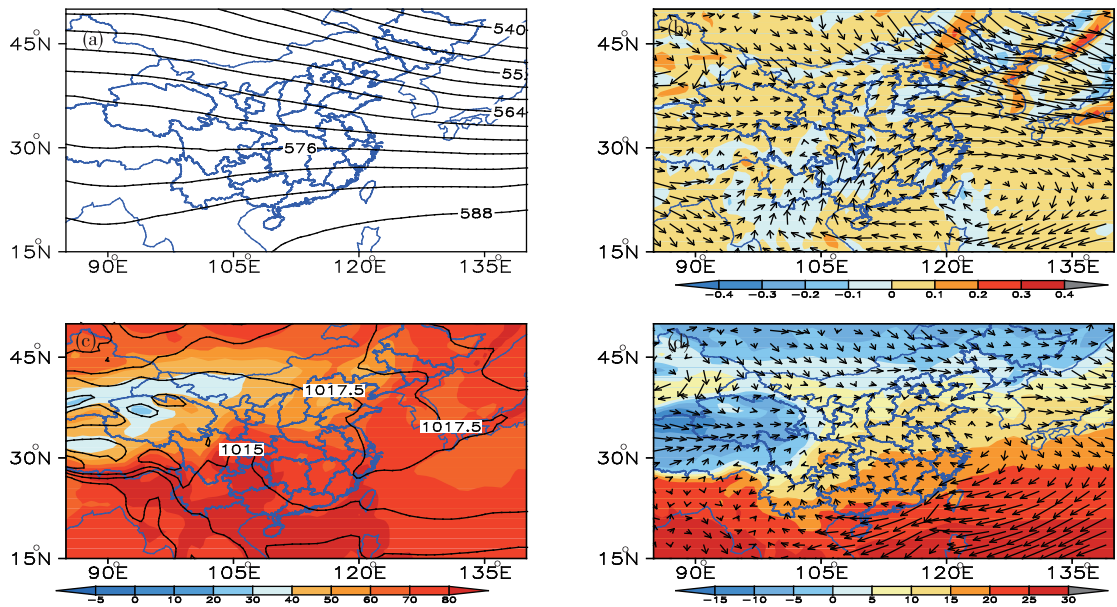


图 8 均压场型天气学模型

(a)500 hPa 高度场合成图(单位:dagpm);(b)850 hPa 风场叠加垂直速度(填色)合成图(单位:m/s,hPa/s);(c)海平面气压场叠加相对湿度(填色)合成图(单位:hPa,%);(d)海平面风场叠加气温(填色)合成图(单位:m/s,℃)

Fig. 8 Equal pressure field type weather model

(a)500 hPa height situation graph (unit:dagpm);(b)850 hPa wind field superposition vertical velocity (colouring) Composite graph (unit:m/s,hPa/s); (c) Sea level pressure field superposition relative humidity (colouring) composite graph (unit:hPa,%);(d) Composite map of sea level wind field superimposed temperature (colouring) (unit:m/s,℃)

压影响下的空气质量状况次严重(AQI 为 135), $\text{PM}_{2.5}$ 、 PM_{10} 、 SO_2 的平均浓度排在第二。而受热带气旋影响下极容易造成区域性的光化学污染, O_3 - 8 h 日平均浓度超过环境空气质量浓度二级限值($160\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$)。

由于细颗粒物不易沉降,在大气中停留的时间较长,传输距离较远,从而细颗粒物造成的污染持续时间长^[15]。而臭氧是不稳定的物质,会发生光分解,因此不容易积累,仅导致轻度污染。此外,受烟花爆竹燃放的影响,贵港市在传统春节和一些节假

日期间容易出现重度污染事件。

统计持续 3 d 及以上的污染过程(共 22 个过程)发现,15 个过程以 $\text{PM}_{2.5}$ 作为首要污染物,5 个过程以 $\text{PM}_{2.5}$ 与 O_3 交替轮作首要污染物,仅 2 个过程以 O_3 作为首要污染物。而处于污染过程后期的污染天气类型以西南暖低压控制(8 次)最为频繁,造成中度及以上污染等级的天数占总天数 24%,对应的颗粒物平均浓度也较为严重。因此可认为,当污染天气过程持续时间越长,污染物堆积越多,处于后期的天气形势出现中度及以上污染的概率大。

表 2 各污染天气类型的污染等级天数和大气污染物浓度特征

Tab. 2 Characteristics of pollution degree days and atmospheric pollutant concentrations of various types of polluted weather

污染天气类型	轻度污染/d	中度污染以 上等级/d	总计/d	AQI	$\text{PM}_{2.5}/$ $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$	$\text{PM}_{10}/$ $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$	$\text{SO}_2 /$ $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$	$\text{NO}_2 /$ $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$	$\text{O}_3 - 8\text{h}/$ $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$	$\text{CO}/\text{mg} \cdot$ m^{-3}
冷高压底部	52	9	61	127	95	139	21	41	100	1.2
冷高压控制	6	3	9	163	120	165	29	27	113	1.2
冷高压后部	30	3	33	125	92	137	25	43	109	1.2
西南暖低压	13	4	17	135	100	145	25	35	67	1.3
热带气旋外围	23	0	23	115	65	103	19	30	172	1.0
均压场	24	6	30	134	92	130	21	40	118	1.4

2.4 按地面分型的气象要素变化特征

大气污染是特定的环流形势下高低层的物理量与地面气象要素相互配合的产物。根据不同污染天气类型在不同季节发生的频率可知:气压高和

多日照时,不利于污染物的稀释和输送。贵港市冬季常常为北方冷高压控制下的静稳、小风天气,弱北风为主,且水平气压梯度小,垂直大气伴随着弱的上升运动,阻止了近地面污染物水平和垂直扩

散;春夏季处在低压控制时,南风或静风为主,高温闷热,日照时数多,紫外线充足,加剧光化学反应的速率,臭氧浓度容易升高,间接促进二次污染物浓度的增加。

污染物浓度与气象要素的关系较复杂,天气系统对污染物浓度的影响直接表现在气象要素上,气象要素除了直接影响污染物的浓度变化,还影响污染物前体物质的二次转化过程^[16]。根据统计各污染天气类型对应的地面气象要素平均值(表3),可

知不同的天气类型对污染物的生成转化、扩散输送的机制存在一定的差异,但也有一定的共性,它们出现时均会造成地区大气稳定度升高,水平和垂直扩散条件变差,地面气象要素体现为日雨量皆为不超过5 mm的零星小雨,除热带气旋外围型之外,其余污染天气类型平均气温不高(14.7~21.5℃),地面平均风速较小(1.1~1.5 m/s),相对湿度增加(59%~75%),在此背景下,容易产生污染物的累积,出现污染天气现象。

表3 2015—2018年各污染天气类型气象要素平均值

Tab. 3 Average Meteorological Elements of Various Polluted Weather Types in 2015—2018

污染天气类型	日雨量/ mm	平均气 温/℃	最低气 温/℃	最高气 温/℃	平均气 压/hPa	最高气 压/hPa	相对湿 度/%	平均风速/最大风速/ (m·s ⁻¹)(m·s ⁻¹)	日照时 数/h
冷高压底部	0.4	17.2	14.0	22.0	1 012.7	1 015.3	69	1.5 3.2	3.8
冷高压控制	0	14.7	10.8	20.5	1 017.5	1 020.7	59	1.5 3.4	5.7
冷高压后部	0.1	16.8	12.8	22.3	1 014.3	1 017.3	62	1.2 3.0	4.9
西南暖低压	1.6	18.6	15.1	23.1	1 008.6	1 011.3	76	1.2 3.0	2.5
热带气旋外围	3.5	27.9	23.6	33.4	1 002.7	1 005.0	66	1.4 3.8	8.8
均压场	1.3	21.5	17.9	26.3	1 008.4	1 010.7	75	1.1 2.4	4.3

3 结论

①污染天气按高空(500 hPa)环流形势可分为两槽一脊型、一槽一脊型、副热带高压型,其中,两槽一脊发生在秋冬季的频率最高,而副热带高压常发生在夏秋季。

②污染天气按地面环流形势主要分为3大类型,高压型占比最多(59.5%),低压类次之(23.1%),均压场最少。秋冬季高压型是造成细颗粒污染物超标的主导,夏秋季的低压型(热带气旋)容易造成臭氧超标,均压场中臭氧作为首要污染物的频率仅次于低压型(热带气旋)。

③按地面环流形势细分的6种类型中,冷高压底部造成的污染过程出现的天数最多(61 d),并且污染过程持续时间长;冷高压控制下的污染天数最少(9 d),但在冷高压控制下的空气质量最差(AQI为163),是造成颗粒物(PM_{2.5}、PM₁₀)超标的类型;受西南暖低压影响下的空气质量状况次严重(AQI为135)。

④大气污染发生时环流形势和气象要素表现为大气稳定度升高,水平和垂直扩散条件变差,地面平均风速不超过1.5 m/s,相对湿度大于50%,日雨量皆为不超过5 mm的零星小雨。

参考文献

- [1] 黄顺祥. 大气污染与防治的过去、现在及未来[J]. 科学通报, 2018, 63(10): 895-919.
- [2] 曾胜兰, 王雅芳. 成都地区污染天气分型及其污染特征研究

- [J]. 长江流域资源与环境, 2016, 25(Z1): 59-66.
- [3] 程念亮, 李云婷, 孙峰, 等. 北京市空气重污染天气类型分析及预报方法简介[J]. 环境科学与技术, 2015, 38(5): 189-194.
- [4] 江淑芳, 朱德明, 林楚雄, 等. 天气形势预测法在深圳市空气质量预报中的应用研究[J]. 环境科学与技术, 2016, 39(3): 176-181.
- [5] 杨旭, 张小玲, 康延臻, 等. 京津冀地区冬半年空气污染天气分型研究[J]. 中国环境科学, 2017, 37(9): 3201-3209.
- [6] 陈姣荣, 曹向林. 岳阳市 AQI 指数变化特征及与常规气象条件的关系[J]. 中低纬山地气象, 2018, 42(3): 27-32.
- [7] 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): 150-152.
- [8] 朱乾根, 林锦瑞, 寿绍文, 等. 天气学原理和方法[M]. 北京: 气象出版社, 2010: 269-275.
- [9] 黄海洪, 林开平, 高安宁, 等. 广西天气预报技术和方法[M]. 北京: 气象出版社, 2012: 348-354.
- [10] 姚学祥. 天气预报技术与方法[M]. 北京: 气象出版社, 2011: 162-165.
- [11] Feng Y R, Wang A Y, Wu D, et al. The influence of tropical cyclone Melor on PM₁₀ concentrations during an aerosol episode over the Pearl River Delta region of Chin[J]. Atmospheric Environment, 2007, 41(21): 4349-4365.
- [12] 吴蒙, 范绍佳, 吴兑. 台风过程珠江三角洲边界层特征及其对空气质量的影响[J]. 中国环境科学, 2013, 33(9): 1569-1576.
- [13] Lee Y C, Calori G, Hills P, et al. Ozone episodes in urban HongKong 1994—1999[J]. Atmospheric Environment, 2002, 36(12): 1957-1968.
- [14] 郭青, 罗碧瑜, 曾东好, 等. 气象条件对梅州城区臭氧浓度的影响研究[J]. 中低纬山地气象, 2018, 42(6).
- [15] 欧盛菊, 吴丽萍, 王信梧, 等. 典型“组团式”城市夏季大气颗粒物中水溶性离子化学特征及来源[J]. 环境科学研究, 2018, 31(4): 669-676.
- [16] Guangjin Tian, Zhi Qiao, Xinliang Xu. Characteristics of particulate matter (PM₁₀) and its relationship with meteorological factors during 2001—2012 in Beijing, Environmental Pollution, xxx(2014). www.elsevier.com/locate/envpol.