

何启玄,廖国莲.北海市臭氧污染天气分型及特征分析[J].气象研究与应用,2023,44(3):72-76.

HE Qixuan, LIAO Guolian. Weather classification and characterization of ozone pollution in Beihai[J]. Journal of Meteorological Research and Application, 2023, 44(3): 72-76.

# 北海市臭氧污染天气分型及特征分析

何启玄<sup>1</sup>, 廖国莲<sup>2\*</sup>

(1.北海市气象台, 广西 北海 536000; 2.广西壮族自治区气象台, 南宁 530022)

**摘要:** 利用欧洲中期天气预报中心全球气候第五代大气再分析数据(ERA5),采用聚类分析方法,对 2019—2021 年北海市臭氧污染天气的环流形势进行分类,并通过 Mann-Whitney U 非参数检验法检验臭氧污染发生与否的环流形势差异显著性。结果表明,北海臭氧污染天气分型主要有:北方低压型、南方低压型、南下冷高压东出型和冷高压南下前型四类,其中南下冷高压东出型和冷高压南下前型占 81.82%。基于 Mann-Whitney U 非参数检验的交集,既是臭氧污染预报指标,也是每种天气分型之间显著性差异的区域。两种低压型主要出现在北半球夏半年,两种高压型则主要出现在北半球冬半年。所有天气分型均具有有利于污染物在底层堆积、扩散条件弱的特征。

**关键词:** 分型;臭氧;天气形势;空气污染

**中图分类号:** X16

**文献标识码:** A

**doi:** 10.19849/j.cnki.CN45-1356/P.2023.3.13

随着经济不断发展和人民生活水平不断提高,臭氧(O<sub>3</sub>)污染的问题日益突出<sup>[1]</sup>,尤其是北海市的空气污染问题近年来逐渐凸显<sup>[2-5]</sup>,臭氧的年平均浓度上升<sup>[4]</sup>。臭氧具有强氧化性,其通过呼吸道进入人体后,会产生一系列的生化反应,进而对人体造成伤害和导致多种疾病<sup>[6]</sup>。目前关于臭氧污染的研究,绝大部分是研究臭氧与气象条件(如气温、相对湿度、云量、日照、能见度等)之间的关系,并得到高温、低湿、少云、日照长以及能见度高的条件下容易产生臭氧污染的共识<sup>[7-10]</sup>,但是少有研究臭氧与天气形势关系。为数不多的臭氧与天气系统的研究也仅就某一次或几次过程进行讨论,难以对臭氧产生的天气条件有较全面的认识,如颜敏等<sup>[11]</sup>的研究指出热带气旋登陆前和副热带高压(简称“副高”)控制时深圳容易形成局地的臭氧污染。洪盛茂等<sup>[12]</sup>则指出受高压控制和高压后部时杭州的臭氧浓度超标最多。朱毓秀等<sup>[7]</sup>的研究也同样指出了受高压控制时容易出高浓度的臭氧污染。张容菁等<sup>[13]</sup>也指出了副高控制、台风外围下沉气流、高低层一致北风的稳定形势下有

利于臭氧浓度的升高。谢汶静等<sup>[14]</sup>指出臭氧浓度和气温、日照时数成正相关,和相对湿度成负相关。王义耕等<sup>[15]</sup>指出除了本地生成臭氧造成污染,还有远距离传输而来的臭氧也能造成污染。

为提高预报准确率,本文以日常业务中常用到的 500、850 hPa 高度场和海平面气压场等形势场入手,对北海臭氧污染的各种天气形势进行聚类分析,得到四个典型的天气形势场,天气分析虽然不能区分臭氧的成因是本地生成和外地传输,但对臭氧浓度是否超标仍可总体预报,可为北海臭氧预报预警和防控减排提供参考。

## 1 资料与方法

### 1.1 资料来源

空气质量监测数据来自广西壮族自治区生态环境厅提供的北海市的国控空气自动监测站的监测数据,包括日均值,时段为 2019 年 1 月 1 日至 2021 年 12 月 31 日。本文依据《环境空气质量标准》(GB 3095-2012)的环境空气污染物基本项目浓度一级

收稿日期: 2023-06-01

基金项目: 广西气象科研计划项目(桂气科 2020Z04)

第一作者简介: 何启玄(1994—),男,助理工程师,从事环境气象空气质量预报工作。E-mail: 275799539@qq.com

\* 通讯作者: 廖国莲(1982—),女,高级工程师,主要从事环境气象预报及研究工作。E-mail: 809578602@qq.com

限值标准取日最大臭氧 8h(O<sub>3</sub>-8h)浓度超过了 100 μg·m<sup>-3</sup> 时为臭氧污染日;否则,为无臭氧污染日。

气象数据使用 ERA5 的逐小时气象要素场,包括位势和海平面气压等,分辨率为 0.25°×0.25°,时段也为 2019 年 1 月 1 日至 2021 年 12 月 31 日。

1.2 采用方法

本文采用系统聚类法对日间平均的形势场进行聚类分析,聚类是对一组对象进行分组以使同一分组的对象彼此之间比其他分组的对象更相似,采用欧氏距离(式 1)进行聚类,先将 n 个样本各自作为一类,然后将距离最近的两类合并成一个新类,然后重复前述过程,每次减少一类,直至得到预设的类别数<sup>[16]</sup>;再对聚类结果进行两两 Mann-Whitney U 非参数检验,该检验评估是 Mann 和 Whitney 在 Wilcoxon 非参数检验的基础上进一步加工得到,其中以中位数为测度,原假设 H<sub>0</sub>:X<sub>1</sub>=Y<sub>2</sub>,备择假设 H<sub>1</sub>:X<sub>2</sub>≠Y<sub>2</sub>,其中 X<sub>1</sub> 和 Y<sub>2</sub> 为两个数据总体的中位数,是 t 检验的最有用的一种代替方法<sup>[17-18]</sup>。检验之后取交集以得到每一天气型相对于其他型的显著不同区域<sup>[1]</sup>。

$$d_{ij}=\sqrt{\sum_{k=1}^p(x_{ik}-x_{jk})^2}$$

(1)

表 1 2019—2021 年北海臭氧超标日天气类型频率

天气类型	天数/d	出现频率/%	平均持续天数/d	平均臭氧浓度/μg·m <sup>-3</sup>	最大臭氧浓度/μg·m <sup>-3</sup>
北方低压型	28	8.48	2.8	133	187
南方低压型	32	9.70	2.5	119	160
南下冷高压东出型	113	34.24	2.3	124	198
冷高压南下前型	157	47.58	3.3	128	187

通过分析北海各臭氧污染天气类型的典型个例占比(图 1),发现两种低压类型主要出现在夏半年(北半球,下同),而两种冷高压型则主要出现在冬半年。

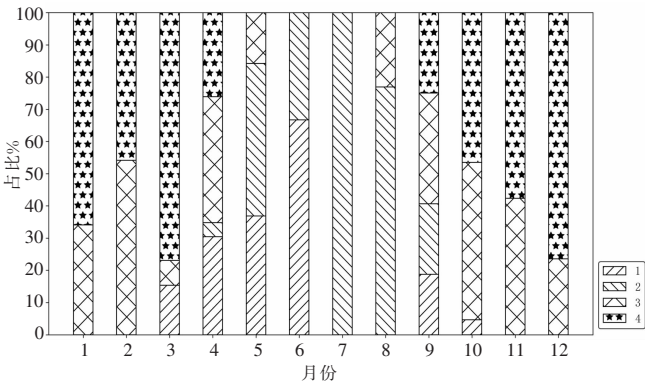


图 1 四种北海臭氧污染天气类型占各月比例分布  
(图例中 1 为北方低压型,2 为南方低压型,3 为南下冷高压东出型,4 为冷高压南下前型)

2 结果与分析

2.1 天气分型

对 2019—2021 年北海逐日 O<sub>3</sub>-8h 数据进行分析,得到 330 个臭氧污染日,超标天数占总时间的 30.1%。因臭氧的生成和阳光有关,为了日常预报服务,故采用北京时 08 时到 20 时之间的物理量场平均值作为当日环境场的平均态,并主要研究日常业务中常用到的几层大形势,包括 500、850 hPa 高度场和海平面气压场。通过对这几个层次的聚类,得到四个北海臭氧污染天气类型,并将无臭氧污染日统归为一类,通过这五类两两进行显著性检验后取交集,因取交集后与其他类型显著不同的区域在海平面气压场上给人直观的感觉更加不同,故按照海平面气压场分别给四种类型取名:北方低压型、南方低压型、南下冷高压东出型和冷高压南下前型(表 1)。这四种北海臭氧污染天气类型中,和冷空气直接相关的占 81.82%,且南下冷高压东出型造成的 O<sub>3</sub>-8h 的浓度最大。

2.2 四个类型

2.2.1 北方低压型

北方低压型造成的 O<sub>3</sub>-8h 超标,出现的可能时间为整个前汛期(3 月末到 6 月)和后汛期后期(9、10 月)。从预报的角度来看(图 2),主要关注的区域有 500 hPa 从印度半岛到南海是否有副高控制,850 hPa 蒙古高原和中西伯利亚高原上空是否有槽影响,海平面气压场上在中西伯利亚高原到外东北是否有低涡活动。

因本类型内通过显著性检验的天气系统距离北海较远,通过对比分析其中每次过程发现,本类型每次北方都会出现一个大气旋,但是南方高压和低压均可能出现,且几率相差不多。受本类型直接影响造成北海 O<sub>3</sub>-8h 超标的天气系统有高压系统,桂北到海南岛、粤西到桂西的海平面气压差均在 1 hPa 内

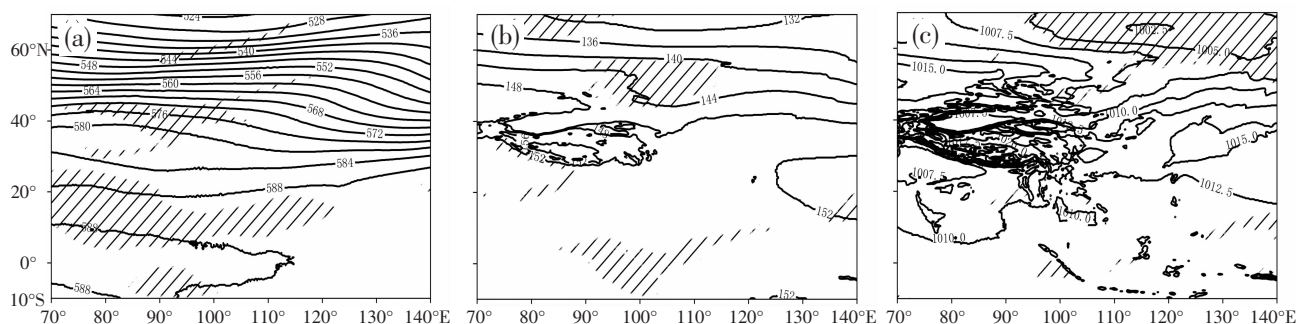


图2 北方低压型(斜线阴影为通过了0.05显著性检验的区域,下同)

(a)500hPa 位势高度;(b)850hPa 位势高度;(c)海平面气压场

的均压形势不利于污染物扩散;也有低压系统,其辐合作用同样不利于污染物扩散。但是从预报角度来看,如果在外蒙古到中西伯利亚高原一带上空出现低涡或低压活动,则可以考虑将臭氧的浓度稍往高处预报。

### 2.2.2 南方低压型

南方低压型造成的  $O_3-8h$  超标,出现的可能时间为整个汛期(4—10月)。该类的天气形势(图3)又可以细分为两小类,一类是南海到东海及菲律宾以东海面有热带气旋活动,北海处在其晴空下沉区影响范围内(台风类);另一类则是有西南暖低涡在广

西西部到越南北部一带活动(暖低类)。因此,预报关注点为西北太平洋、南海、东海及华南、华东等地是否有热带气旋活动,或者是在华南、华东地区有南方气旋、西南暖低压等低压系统的活动。受其影响,北海最高气温普遍在  $30^\circ\text{C}$  以上,风速普遍不超过3级,日照时数多超过6h,均有利于臭氧的生成;其中台风类北海受到台风外围的下沉气流影响,不利于污染物的扩散而有利于在地面的堆积;暖低类通常有低空、超低空的暖湿急流过境,形成的逆温层不利于污染物的向上扩散,同样有利于臭氧在地面污染物中光化学反应生成并堆积。

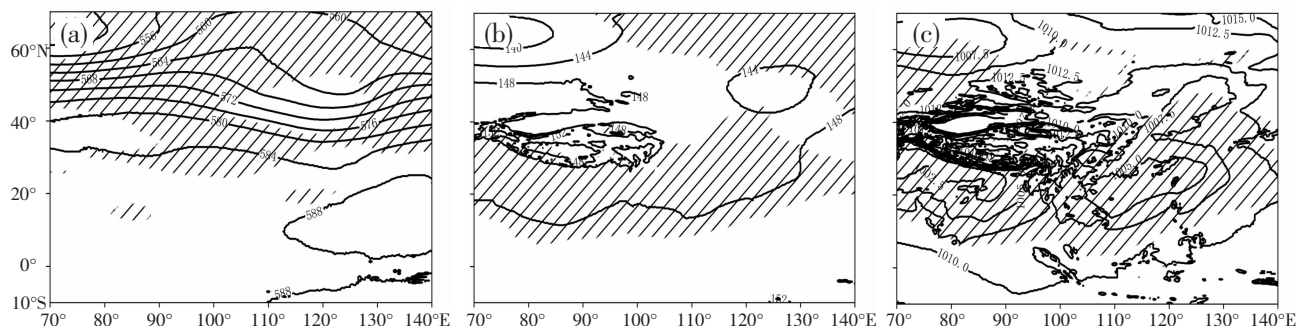


图3 南方低压型

(a)500hPa 位势高度;(b)850hPa 位势高度;(c)海平面气压场

### 2.2.3 南下冷高压东出型

南下冷高压东出型造成的  $O_3-8h$  超标,全年除了6、7月外均有发生,其中11、10和1月出现频率较多。该类(图4)主要是南下的冷高压向东移动出海,北海处在地面冷高压底部,绝大多数时候风力等级在2~3级间,最大不超过4级,风向刚由北风或东北风转为东南风,易出现水平方向上的风向辐合,有利于污染物的水平传输堆积和光化学反应生成臭氧。

### 2.2.4 冷高压南下前型

冷高压南下前型造成的  $O_3-8h$  超标,除了5—8月外均有出现,其中12、11和1月出现频率最多。该类型主要是冷空气主体在南下的过程中,其前方的冷锋未到北海前,南北风对峙造成的水平方向上的风向辐合,有利于污染物的聚集;同时因为冷空气南下前,多数时候日照时数超过7h,日最高气温绝大多数都超过  $20^\circ\text{C}$ ,有利于臭氧的生成。从图5可知,该类型中层西太平洋副高偏西,其西伸脊点在  $100^\circ\text{E}$



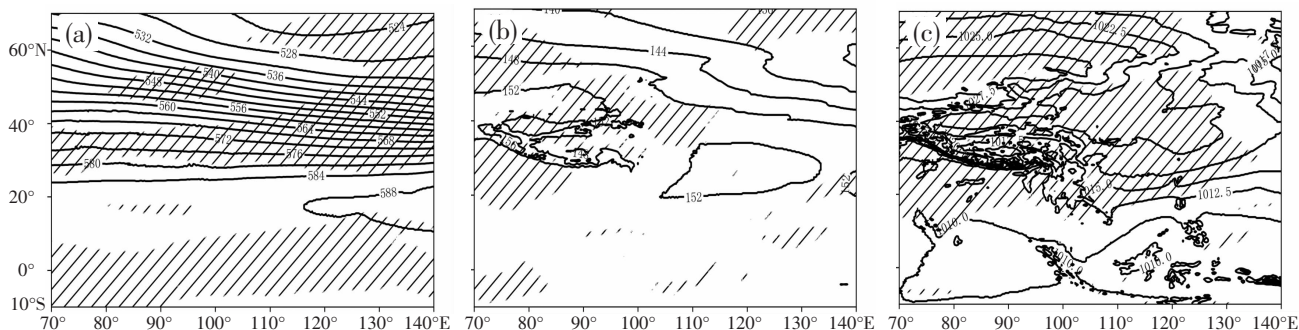


图4 南下冷高压东出型

(a)500hPa 位势高度;(b)850hPa 位势高度;(c)海平面气压场

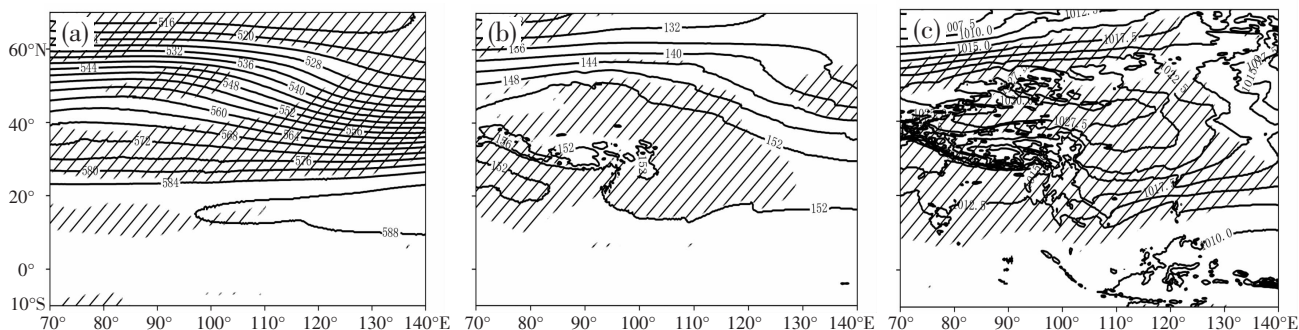


图5 冷高压南下前型

(a)500hPa 位势高度;(b)850hPa 位势高度;(c)海平面气压场

附近,有利于下沉气流;低层大陆高压和西太平洋副高连通,桂北到海南岛、粤西到桂西的位势高度差均在 1 dagpm 内的均压场明显,对水平方向上的扩散不利,从而也有利于污染物在底层堆积。

### 3 结论

(1)北海市 2019—2021 年共出现臭氧污染天数为 330 d,超标率为 30.1%;其中与冷空气有关的占 81.82%。

(2)北海臭氧污染天气型可分为 4 类:北方低压型、南方低压型、南下冷高压东出型和冷高压南下前型。其中南下冷高压东出型造成的  $O_3$ -8h 浓度最大。

(3)北方低压型、南方低压型造成北海臭氧污染时间主要在夏半年,南下冷高压东出型和冷高压南下前型则主要出现在冬半年。

(4)四种北海臭氧污染天气型,均具有有利于污染物在底层堆积、扩散条件弱的特征。

#### 参考文献:

[1] 郝吉明,程真,王书肖.我国大气环境污染现状及防治措施研究[J].环境保护,2012,40(9):17-20.

[2] 北海市地方志编纂委员会.北海年鉴 2018[M].北京:线装书局,2018.

[3] 北海市地方志编纂委员会.北海年鉴 2019[M].北京:线装书局,2019.

[4] 北海市地方志编纂委员会.北海年鉴 2020[M].北京:线装书局,2020.

[5] 北海市地方志编纂委员会.北海年鉴 2021[M].北京:线装书局,2021.

[6] 陈浪,赵川,关茗洋,等.我国大气臭氧污染现状及人群健康影响[J].环境与职业医学,2017,34(11):1025-1030.

[7] 朱毓秀,徐家骝.近地面臭氧污染过程和相关气象因子的分析[J].环境科学研究,1994,7(6):13-18.

[8] 杨健,尹沙沙,于世杰,等.安阳市近地面臭氧污染特征及气象影响因素分析[J].环境科学,2020,41(1):115-124.

[9] 甘泉,沈瑾,李明华,等.惠州市春季臭氧污染和气象条件的关系[J].广东气象,2019,41(2):40-42.

[10] 梁碧玲,张丽,赖鑫,等.深圳市臭氧污染特征及其与气象条件的关系[J].气象与环境学报,2017,33(1):66-71.

[11] 颜敏,尹魁浩,梁永贤,等.深圳市夏季臭氧污染研究[J].环境科学研究,2012,25(4):411-418.

[12] 洪盛茂,焦荔,何曦,等.杭州市区大气臭氧浓度变化及

- 气象要素影响[J].应用气象学报,2009,20(5):602–611.
- [13] 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.
- [14] 谢汶静,王盛繁,何林宴,等.2015—2019 年贵港市臭氧污染特征及其与气象要素的关系[J].气象研究与应用,2021,42(1):58–62.
- [15] 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.
- [16] 孙戡,牛涛,乔林,等.华北地区雾和霾天气环流特征聚类分析[J].气候与环境研究,2016,21(5):601–613.
- [17] 杨梅学,姚檀栋,何元庆.Mann–Whitney U 非参数检验方法及其在冰心气候学研究中的应用[J].海洋地质与第四纪地质,1999,19(4):83–87.
- [18] 陈永刚,丁丽霞,葛宏立,等.基于 Mann–Whitney 非参数检验和 SVM 竹类高光谱识别[J].光谱学与光谱分析,2011,31(11):3010–3013.

## Weather classification and characterization of ozone pollution in Beihai

HE Qixuan<sup>1</sup>, LIAO Guolian<sup>2\*</sup>

(1. Beihai Meteorological Bureau, Guangxi Beihai 536000, China;

2. Guangxi Meteorological Observatory, Nanning 530022, China)

**Abstract:** Based on the ERA5 reanalysis data, the cluster analysis method is used to classify the atmospheric circulation of ozone-polluted weather in Beihai City in 2019–2021, and the significance of the difference in the circulation situation between the occurrence and non-occurrence of ozone pollution is tested by the Mann–Whitney U non-parametric test. The results show that there are four main types of ozone-polluted weather typologies in Beihai: the northern low-pressure type, the southern low-pressure type, the southward cold high-pressure eastward type, and the cold high-pressure southward precession type, with the latter two accounting for 81.82%. The intersection, based on the Mann–Whitney U nonparametric test, is both an indicator of ozone pollution forecasting and a region of significance difference between each weather pattern. The two low-pressure types occur mainly in the northern hemisphere during summer half year, and the two high-pressure types in the northern hemisphere during winter half year. All the weather typologies are characterized by favorable conditions for pollutants to build up on the bottom layer and weak diffusion conditions.

**Key words:** classification; ozone; weather conditions; air pollution