

# 湖州市臭氧浓度变化特征及其气象影响分析

丁丽

湖州市气象局

DOI:10.32629/eep.v9i5.3222

**[摘要]** 本文主要利用2022年3月-2023年3月湖州国家基本气象站臭氧浓度和常规气象要素的观测资料,分析了湖州市不同天气条件下臭氧浓度的变化特征以及臭氧浓度与气温、湿度、气压、降水、日照等之间的相互关系。结果表明,湖州地区臭氧浓度在晴天条件下日变化均呈明显的单峰型,阴天条件下以单峰型变化为主,但平均浓度明显低于晴天,降水条件下单峰型不明显,臭氧浓度变化与降水时段、降水状态等都有明显的关系,台风期间臭氧浓度以持续下降为主。臭氧浓度季节变化主要体现在春夏季高,秋冬季低。结合臭氧浓度的变化特征可知,气温是臭氧浓度重要的正相关影响因子,湿度为重要的负相关影响因子,其次降水、日照对臭氧浓度都有明显的影响,气压相关程度则不明显。

**[关键词]** 湖州市; 臭氧浓度; 分布特征; 气象因子

**中图分类号:** P421.33 **文献标识码:** A

## Analysis of Ozone Concentration Variation Characteristics and Meteorological Influences in Huzhou City

Li Ding

Huzhou Meteorological Bureau

**[Abstract]** This paper primarily utilizes observation data on ozone concentration and conventional meteorological elements from the Huzhou National Basic Meteorological Station from March 2022 to March 2023 to analyze the variation characteristics of ozone concentration under different weather conditions in Huzhou City, as well as the interrelationships between ozone concentration and temperature, humidity, air pressure, precipitation, sunshine duration, and other factors. The results indicate that ozone concentration in Huzhou exhibits a distinct unimodal diurnal variation under sunny conditions, while under cloudy conditions, it primarily follows a unimodal pattern but with significantly lower average concentrations. Under precipitation conditions, the unimodal pattern is less pronounced, and ozone concentration changes show clear correlations with precipitation duration and intensity. During typhoons, ozone concentration predominantly declines continuously. Seasonal variations in ozone concentration are mainly characterized by higher levels in spring and summer and lower levels in autumn and winter. Based on the variation characteristics of ozone concentration, temperature is identified as a key positive influencing factor, while humidity serves as a significant negative influencing factor. Additionally, precipitation and sunshine duration have notable impacts on ozone concentration, whereas the correlation with air pressure is less evident.

**[Key words]** Huzhou City; Ozone Concentration; Distribution Characteristics; meteorological factor

### 1 引言

臭氧是大气中的一种微量气体,臭氧对人类有利有弊,平流层中臭氧层可吸收太阳紫外线,保护地球生物,目前人类对臭氧的应用也逐渐广泛,臭氧可用作医疗,可以用来污水处理等。对流层以下接近地面的臭氧(即近地面臭氧),却是一种二次污染物(由一次污染物经化学反应或光化学反应形成的污染物

质<sup>[1]</sup>),具有很强的氧化性,随着工业发展和城市化进程不断加快,对流层臭氧浓度近年来都是呈现持续上升的状态,特别是城市的臭氧浓度上升幅度比郊区和农村更大<sup>[2]</sup>。有研究表明,近地面臭氧浓度的增加对人类、动植物都有很大的伤害,黎武标<sup>[3]</sup>等较系统地研究了臭氧对于植物生长各个阶段的影响,并指出臭氧致花粉细胞膜受损过程中改变过敏蛋白质的结构,从而

增加人体呼吸道过敏的风险,潘冬燕<sup>[4]</sup>等也讲述了臭氧对人体的作用机制和危害。本文通过2022年3月-2023年3月湖州国家基本气象站臭氧浓度和常规气象要素的观测资料分析湖州市局地臭氧浓度变化特征,以及臭氧浓度与当地气象条件之间的相关关系,这对当地臭氧浓度预测和防治具有一定的指示性意义。

2 观测数据来源和分析方法

本文通过分析2022年3月-2023年3月期间湖州国家基本气象站臭氧的连续监测数据与湖州国家基本气象站2022年3月-2023年3月的气温、气压、降水、日照、天气现象等气象数据之间在不同天气条件下、不同季节条件下的相关性,从而得到湖州站臭氧浓度的变化特征及其主要影响因子(3-5月为春季、6-8月为夏季、9-11月为秋季、12-2月为冬季)。

相关性分析是用相关系数(r)来表示两个变量间相互的直线关系,并判断其密切程度的统计方法。

相关系数 
$$r = \frac{\sum (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x - \bar{x})^2 \sum (y - \bar{y})^2}} \quad (1)$$

3 臭氧浓度日变化特征及其气象影响

3.1 晴天条件下臭氧浓度的变化特征及其气象影响

为了更系统地分析臭氧浓度与气象要素之间的关系,设定日日照时数大于10小时,日自动观测(02时、08时、14时、20时)能见度均为10000米以上(台站内前向散射能见度仪量程最大值为30000米)为晴天,2022年3月-2023年3月根据要求筛选出晴天样本数为32天,其中能见度为30000米,且满足全天无视程障碍和降水天气现象为5天,设定为绝对晴天日。32个晴天样本臭氧浓度的日变化如图1,总体变化趋势为夜间低值,随着白天气温逐渐升高,14-18时臭氧浓度处于日内峰值。图2是其中5天绝对晴天条件下臭氧浓度与气温、湿度、气压变化序列图,对比时间序列发现,晴天条件下,臭氧浓度变化与气温呈明显的正相关关系,与湿度呈现明显的负相关关系,与气压则无明显的相关特征,结合表1中数据发现5个绝对晴天样本日内2022年8月4日平均气温最高,8月9日次之,5月6日为最低,对比不同日期的同时刻各要素,浓度单峰期14-18时臭氧浓度随气温的高而高。

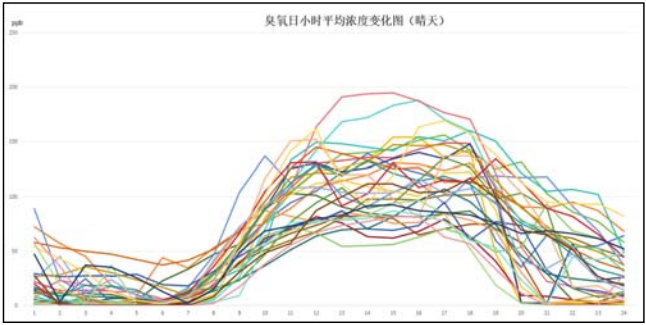
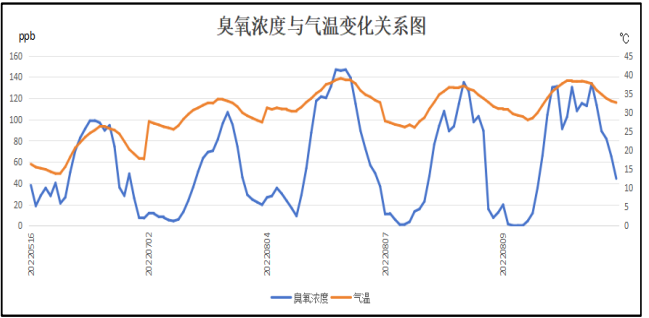


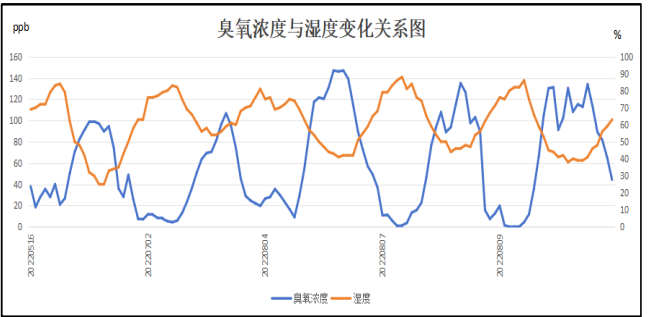
图1 晴天条件下臭氧日变化曲线图

表1 绝对晴天样本日臭氧浓度、日均气温、日均气压、日均湿度

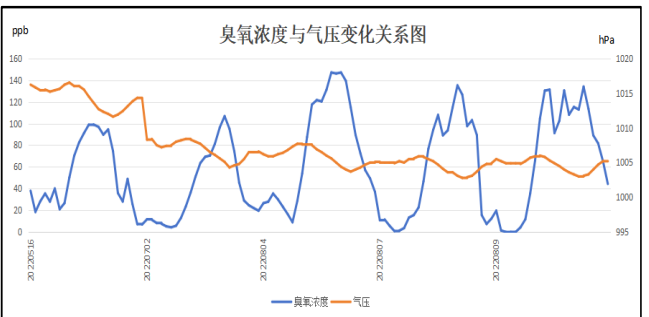
|          | 浓度 ppb  | 气温℃  | 气压 hPa | 湿度% |
|----------|---------|------|--------|-----|
| 20220516 | 51.554  | 19.9 | 1014.4 | 54  |
| 20220702 | 40.7041 | 29.5 | 1006.8 | 69  |
| 20220804 | 76.204  | 34.3 | 1005.8 | 58  |
| 20220807 | 54.000  | 31.6 | 1004.6 | 65  |
| 20220809 | 70.538  | 33.7 | 1004.7 | 57  |



(a)



(b)



(c)

图2 绝对晴天条件下臭氧浓度与气温、湿度、气压变化序列图(其中a图为臭氧浓度与气温的变化序列图;b图为臭氧浓度与湿度的变化序列图;c图为臭氧浓度与气压的变化序列图)

3.2 阴天条件下臭氧浓度的变化特征及其气象影响

设定日日照时数为0小时,全天无降水为阴天,2022年3月-2023年3月期间根据要求筛选出阴天样本数为8天,8个样本日呈现的臭氧浓度总体变化规律与晴天基本一致,均为单峰型变化,浓度夜间低,白天随气温的升高而增大,但是对比可以发现晴天和阴天两种不同的天气条件下,均无降水,但是呈现出的

峰形有明显的区别,晴天条件下各样本日单峰时间段比较一致,阴天条件下,虽然每个样本日在白天都有峰值,但指向的时间段却不统一,如20230105在08时之前还出现了小峰值,20230325在03时起开始逐渐上升,白天基本处于高值,分析原因20230325早晨台站湿度有一个先降再升的过程,同时间段气温持续小幅升高,结合气象要素与天气的变化,08时之前出现了一次明显的波动,白天台站湿度持续较低,主要集中在50%-60%,伴随气温也是逐步回升,天气现象以霾为主,所以3月25日白天大范围臭氧浓度较高。再对比不同日期的同时刻各要素,阴天条件下,日平均气温高,对应的当日平均臭氧浓度并不一定也高(如20221206与20221229相比较)。结合分析臭氧浓度与气温、湿度、气压的时间变化序列以及之间的相关系数发现,相关系数在0.5以上的,气温有7个,湿度有8个,气压为1个,臭氧浓度与湿度的负相关关系比较明显,相关系数绝对值均大于0.5,最高为0.8756,负相关性较高,与气温总体呈正相关关系,但气温的作用较弱,气压与晴天情况下一样,无明显的相关性。

### 3. 降水条件下臭氧浓度的变化特征及其气象影响

#### 3.3. 1 间歇性降水条件下臭氧浓度的变化特征分析

为了显著性分析降水期间臭氧浓度的变化特征,间歇性降水天气选择了2天降水时段特征为上午降水、下午停歇,均出现在5月,两日气温基本稳定在20℃上下,与臭氧浓度变化有较弱的正相关关系,而湿度的变化与臭氧浓度的变化有较明显的负相关关系,这与上述晴天、阴天条件下的结论一致,降水时段内,空气湿度较大,在90%以上,伴随着气温也有小幅下降,臭氧浓度降低,降水过程结束后,随着空气湿度的下降,臭氧浓度逐渐升高。

#### 3.3. 2 降雪天气条件下臭氧浓度的变化特征分析

两次降雪天气过程主要出现在2022年12月和2023年1月。分析图中连续降雪时段内,臭氧浓度处于低值,且无大的起伏,降雪间歇期,臭氧浓度有小幅的升高,但由于冬季气温低,在一定程度上抑制了臭氧浓度的升高。分析这两个降雪日的小时数据,气温处于0℃以下时,臭氧浓度与气温呈现0.5以上的负相关关系,气压与湿度也呈现出0.8左右的负相关关系。总结上述内容,在降雪天气条件下,臭氧浓度的影响因素很复杂,0℃以上无明显的气象要素影响特征,0℃以下气温、湿度、气压与臭氧浓度有较高的负相关关系,后续将积累更多降雪天气期间臭氧浓度数据,再进行有针对性地系统分析。

#### 3.3. 3 连续性降水条件下臭氧浓度的变化特征分析

连续性降水是指持续时间较长、强度变化较小的降水。根据定义筛选出连续性降水样本日数50天。连续性降水条件下,臭氧浓度的日变化曲线并不是单一的单峰走向,与晴天条件下形成明显对比,没有可遵循的规律走向。由于样本个数较多,为便于分析,将50个样本日对应相同小时臭氧浓度做中位数处理,同样再将各小时气温、湿度、气压均做相同处理,分析臭氧浓度与各气象要素之间的变化。计算臭氧浓度与气温、湿度、气压之间的相关系数分别为0.6166、-0.8151、-0.1434,与晴天、阴天相比较,臭氧浓度与气温和湿度的相关性仍较高,但是与气温

的相关系数低于晴天条件下,湿度为臭氧浓度的主要影响因子,气压与臭氧浓度之间无明显的相关关系。分析其原因连续性降水期间气温无明显起伏,降水对空气有一定的净化作用,所以全天臭氧浓度的低值往往处于降水强度较大的时间段,不再维持单峰特征,而在弱的连续性降水日,相对湿度主导作用减弱,气温的升高会使臭氧浓度出现起伏;在冬季,平均气温较低,臭氧平均浓度相较于其他季节的样本处于低值,且与气压无明显的相关性。

### 3. 台风过程天气条件下臭氧浓度变化特征及其气象影响

湖州市在2022年9月有两次台风影响过程,分别第11号台风“轩岚诺”及第12号台风“梅花”。受“轩岚诺”外围环流影响,9月2-5日湖州大部地区出现中雨到大雨,西南山区大到暴雨,且湖面及高山区阵风7~9级。台风“梅花”影响期间(9月13-15日),湖州也是普降大雨到暴雨,阵风平原6~7级,湖面及高山区8~10级。根据图3和图4可以看出两次台风影响期间,气温稳定在20到30℃之间,无较大波动,气压随着台风靠近呈现平稳下降的趋势,臭氧浓度的变化主要与湿度变化呈现负相关关系,随着台风不断靠近,湖州本站出现连续性降水,空气湿度较大,风速也不断增大,臭氧浓度在连续性降水期间浓度呈现长时段低值,在台风过程结束后,气温升高、湿度下降,臭氧浓度也随之逐渐上升。

图5是“轩岚诺”与“梅花”两次台风过程期间臭氧浓度和降水量变化对比图,“梅花”期间降水强度高于“轩岚诺”,空气处于高湿的时段较长,臭氧浓度也长时间处于低值,在“梅花”强降水期间,臭氧浓度有明显的下降,同一日随降水强度减弱,臭氧浓度小幅上升。总结两次过程,可得出台风期间,臭氧浓度会有明显的下降,过程结束后,恢复高温低湿的天气条件下,臭氧浓度又有明显的上升,这与张嘉月等所分析得到的结论基本一致。



图3 “轩岚诺”台风期间臭氧浓度与气温、湿度、气压变化图

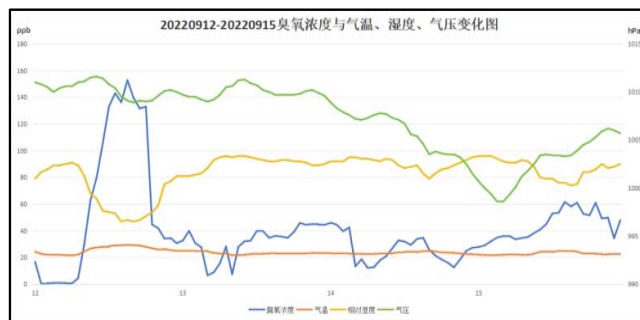


图4 “梅花”台风期间臭氧浓度与气温、湿度、气压变化图

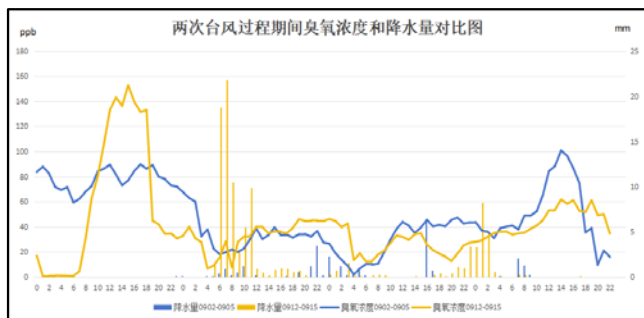


图5 “轩岚诺”与“梅花”两次台风过程期间臭氧浓度和降水量变化对比图

#### 4 臭氧浓度季节性变化特征

2022年3月至2023年3月湖州臭氧浓度逐月、逐日的变化曲线,可以看出臭氧浓度季节性变化特征主要体现为春夏季浓度高,2022年03月-2022年05月曲线有明显逐步上升的趋势,2022年06月-2022年08月期间有一段低值,分析其主要原因为湖州地区在每年的6月下旬至7月上旬处于梅雨季节,多降水,少日照,湿度大,气温低,所以导致臭氧浓度也偏低,7月中旬之后至8月又开始逐渐上升,秋季浓度逐渐下降,9月初期两次台风影响,浓度下降,台风过后恢复高温低湿的天气条件,臭氧浓度回归高值,10月至11月随气温下降,浓度也开始下降,冬季(2022年12月-2023年02月)浓度处于年内最低值。分析浓度与气温、湿度、气压之间的相关性可得,臭氧浓度与平均气温呈现较明显的正相关关系,相关系数达到0.7689,而与全年月平均湿度的负相关性较低,只有0.1681,与平均气压的负相关系数也仅有0.3510。各季节中日平均浓度都有明显的起伏变化,总体都呈现单峰型变化曲线,这与上文中所分析的日变化特征相符,夜间气温低,白天气温升高,臭氧浓度呈现正相关变化特征。

2022年和2023年春季各月臭氧平均浓度,主要变化特征相似,都是逐月上升变化趋势,2023年春季的臭氧浓度较2022年有所下降,综合分析春季各月的气温、气压、湿度以及日照等气象要素,臭氧浓度主要是与气温呈现正相关关系,2023年的3月、4月的平均气温低于2022年,气压、湿度相关程度不明显,2023年的日照时数和日照百分率明显低于2022年,所以臭氧浓度的变化在一定程度上受日照影响也很大。

#### 5 总结

由于臭氧污染对人类、动植物的危害,臭氧防治是当前空气质量治理的一项重要,所以我们要追根溯源,分析研究近地面层臭氧浓度的变化规律及其影响因子。综合上述内容,臭氧浓度变化有明显的季节变化和日变化特征,气象因子影响机制很复杂,具体如下:

##### 5.1 臭氧浓度与气温变化关系

根据上述分析,在季节变化的总趋势中,臭氧浓度随气温的升高而上升,春夏臭氧浓度高,秋冬臭氧浓度低。具体到每日数据中,不同的天气条件下,气温的影响显著性则不同,晴天条件下,臭氧浓度日变化曲线较统一,呈现明显的夜间低,白天随气温升高而升高,在14-18时呈单峰型,气温下降后,臭氧浓度也逐渐下降;阴天条件下,臭氧浓度的变化曲线也以单峰型为主,春夏季的阴天的浓度值高于秋冬季的阴天,这与气温也有明显的正相关关系;间歇性和连续性降水天气条件下,气温已非主要影响因素;降雪天气条件下,臭氧浓度的影响因素很复杂,0℃以上无明显的气象要素影响特征,0℃以下气温与臭氧浓度有较高的负相关关系。晴天因为气温高、日照足,臭氧浓度最高接近于150ppb,而阴天和降水天气条件下,因为云层厚,太阳辐射照射不足,气温低,光化学反应较弱,臭氧浓度最高值不足100ppb,秋冬季更低。

##### 5.2 臭氧浓度与相对湿度变化关系

全年臭氧月平均浓度与平均湿度有较弱的负相关性,晴天条件下,臭氧浓度与湿度呈现明显的负相关关系;阴天条件下,臭氧浓度与湿度的负相关系数较高;降水条件下,臭氧浓度与湿度的关系主要为负相关,间歇性降水过程尤为明显,连续性降水过程中,湿度变化平稳且趋于100%,二者以负相关为主;降雪天气下,气温处于0℃以下时,臭氧浓度与湿度呈现较高的负相关性。所以说,影响臭氧浓度的因子中湿度的作用仅次于气温。

##### 5.3 臭氧浓度与气压变化关系

综合上述分析内容可知,臭氧浓度与气压之间主要以负相关为主,但相关程度很低,特别是在晴天和无降水的阴天条件下,无明显的相互变化关系,降水天气条件下弱相关,只有在降雪天气条件下,0℃以下气压与臭氧浓度呈现出较高的负相关关系。

#### [参考文献]

- [1]唐孝炎,张远航,邵敏主编.大气环境化学[M].北京高等教育出版社,2006.5.40.
- [2]胡文秀.浅析臭氧污染与防治[J].清洗世界,2023,39(11):172-174.
- [3]黎武标,王永达,姜文英.2024.对流层臭氧污染对植物生理影响的研究进展.地球与行星物理评论(中英文),55(2):195-204.
- [4]潘冬燕,赵承军.关于PM2.5与臭氧的作用机制及二者协同控制的思考[J].皮革制作与环保科技,2023,4(18):108-110.

#### 作者简介:

丁丽(1989—),女,汉族,江苏如东人,本科,工程师,主要研究方向:地面气象观测、气象仪器装备保障。