

# Statistical Characteristics of Ozone and the Meteorological Condition Analysis of Ozone Pollution in Changsha in the Last Five Years

Ting Chen, Xuan Ding, Yun Fang

Changsha Meteorological Bureau, Changsha Hunan  
Email: 605415407@qq.com

Received: Jan. 28<sup>th</sup>, 2020; accepted: Feb. 12<sup>th</sup>, 2020; published: Feb. 19<sup>th</sup>, 2020

---

## Abstract

The statistical characteristics of ozone concentration and the meteorological conditions of ozone pollution in the last five years are analyzed by using the monitoring data of 10 aerosol stations in Changsha and the meteorological data of Changsha National Meteorological Station from 2015 to 2019. The conclusion is as follows: (1) The days of ozone pollution, annual average concentration of  $O_3$ -8 h,  $O_3$ -1 h are both showing an increasing trend year by year in the last five years; the ozone concentration is the lowest in winter, the second in spring and the highest in summer and autumn; the monthly variation of ozone concentration shows the characteristics of single peak distribution, and its peak concentration mainly occurs in August or September every year. (2) The peak value of ozone hourly concentration is mainly at 13 to 17 o'clock, and the valley value appears at 7 o'clock; the peak concentration of Nitrogen dioxide is around 0 o'clock at night, and the valley concentration is mainly between 13 to 17 o'clock, corresponding to the peak concentration time of ozone. (3) The basic meteorological conditions of ozone pollution are sunny days without rain, wind speed between one to two grade, sunshine of more than 5.5 hours, and maximum temperature between 28 to 37 centigrade and the favorable meteorological conditions are sunny days without rain, wind speed between one to two grade, sunshine of more than 9 hours, and maximum temperature between 30 to 35 centigrade. (4) In the ozone pollution days, the average temperature and the maximum temperature are higher than the non-pollution days, the percentage of rainy day is only 12%, which is about 34% lower than the non-pollution days; the average sunshine hours are more than 9 hours, and the minimum relative humidity  $\leq 40\%$  is more than 50%, which is far greater than the non-pollution days. The average wind speed and the maximum wind speed in the ozone pollution days are also smaller than in the non-pollution days.

## Keywords

Ozone Concentration, Statistical Characteristics, Meteorological Condition Analysis of Ozone Pollution

---

# 近五年内长沙臭氧统计特征及污染气象条件分析

陈婷, 丁玄, 方韵

长沙市气象局, 湖南 长沙  
Email: 605415407@qq.com

收稿日期: 2020年1月28日; 录用日期: 2020年2月12日; 发布日期: 2020年2月19日

## 摘要

利用2015~2019年长沙10个气溶胶站点监测数据及长沙国家基本气象站气象要素数据, 统计近五年臭氧浓度变化特征, 并分析臭氧污染气象条件。结果表明: (1) 五年内,  $O_3$ 污染日数、 $O_3$ -8 h年平均浓度、 $O_3$ -1 h年平均浓度呈现逐年递增的趋势; 冬季臭氧浓度最低, 春季次之, 夏秋季节最高; 臭氧浓度月变化表现出单峰分布的特点, 其浓度峰值主要出现在每年的8月或9月。(2)  $O_3$ 小时浓度峰值主要集中在13~17时, 浓度谷值出现在7时;  $NO_2$ 的峰值浓度出现在夜间0时前后, 谷值浓度主要集中在13~17时, 与 $O_3$ 峰值浓度时间对应。(3) 臭氧污染的基本气象条件为晴天无雨、风速1~2级、日照5.5小时以上、最高气温 $28^{\circ}C\sim 37^{\circ}C$ ; 有利气象条件为晴天无雨、风速1~2级、日照9小时以上、最高气温 $30^{\circ}C\sim 35^{\circ}C$ 。(4) 臭氧污染日内, 平均气温和最高气温均比非污染日高, 雨日所占百分比仅12%, 较非污染日偏低约34%; 平均日照时数在9小时以上, 最小相对湿度 $\leq 40\%$ 占比超过了50%, 远大于非污染日, 平均风速和极大风速也均是臭氧污染日小于非污染日。

## 关键词

臭氧浓度, 统计特征, 污染气象条件

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

伴随着经济发展、城市规模的扩大以及机动车尾气排放的剧增, 近几年已进入城市光化学复合污染时期[1], 含有氮氧化物( $NO_x$ )、一氧化碳(CO)、可挥发性有机物(VOCs)的大气[2], 在较强太阳辐射下发生光化学反应, 造成臭氧污染。近年来全国各地纷纷开展臭氧观测以研究当地低层大气中臭氧浓度的变化特征, 如上甸子本底站[3]夏季地面臭氧浓度最高、冬季较低, 日变化振幅夏季最大、冬季较小, 日最高浓度出现在15~18时, 而4~7时出现最低值。临安本底站[4]秋季地面臭氧浓度最高, 夏季较低, 日变化振幅与上甸子本底站差别较大。瓦里关地区[5]夏初臭氧浓度达到最大值, 春秋次之, 冬季最低, 而各个季节的地面臭氧浓度变化趋势也不一样: 即春季臭氧浓度呈明显的双峰型, 夏季浓度呈多峰型且波动较大, 秋季臭氧浓度变化不大、日变化振幅相对较小, 冬季臭氧浓度在中午出现最大值呈单峰型分布。

另外,北京[6][7]、成都[8]、济南[9]、上海[10]等地夏季的近地面臭氧浓度一般较高,而冬季则很低,日最高浓度一般出现在中午或午后14时左右,夜间浓度则降至很低。

虽然各地近地面臭氧浓度及其变化规律有所不同,但都具有明显的季节变化和日变化特征。之所以会出现这种情况,原因之一就在于影响近地面臭氧生成的气象条件因地而异。研究表明,臭氧的产生主要受高压天气的控制[11][12]。因紫外辐射是产生臭氧的一个很重要的原因,因此晴天少云的天气下臭氧浓度明显要高于阴雨天的浓度。气温较高也有利于臭氧的生成[13][14],这主要是因为高温能促进光化学反应的进行。此外,相对湿度[15]、风速和风向[16]都会影响近地面臭氧浓度。总的来说,臭氧污染的发生与多种气象要素共同作用有关。

本文利用2015~2019年长沙市臭氧观测数据,统计臭氧浓度变化特征,并分析臭氧浓度变化与气象要素之间的内在联系,旨在为臭氧污染气象条件分析与预报提供指导,同时为相关部门防控臭氧污染提供合理的气象条件分析及建议。

## 2. 数据来源与方法

本文所用臭氧浓度数据来源于分布在长沙城区的10个气溶胶站点的监测数据(具体经纬度位置见表1),气象要素数据来源于长沙国家基本气象站(站号:57687,28.1°N,112.8°E)。数据时间为2015年1月1日~2019年12月31日,数据已进行质控,剔除了无效值。分析臭氧浓度变化特征主要采用传统的统计学方法,根据臭氧监测日数据,按年度、季度、月份分别统计出相应的年、季、月平均浓度;小时浓度的日变化特征则采用小时数据分别按0~23时的顺序逐小时进行统计。臭氧的污染气象条件分析,则主要是筛选出五年内臭氧污染和非污染的样本,根据两类样本的时间检索出对应的气象要素,按百分位数统计方法,剔除最大、最小值后,分析气象要素的分布区间,提炼出相应的臭氧污染气象条件模型。

**Table 1.** The location of ten aerosol stations in Changsha

**表 1.** 长沙市 10 个气溶胶站点位置

站名	纬度(°N)	经度(°E)	所属区
沙坪	28.4	113.0	开福区
火车站	28.2	113.0	芙蓉区
雨花区	28.1	113.0	雨花区
湖南师大	28.2	112.9	岳麓区
伍家岭	28.2	113.0	开福区
马坡岭	28.2	113.1	芙蓉区
高开区	28.2	112.9	岳麓区
经开区	28.2	113.1	长沙县
天心区	28.1	113.0	天心区
湖南中医大	28.1	112.9	岳麓区

## 3. 臭氧浓度统计特征

### 3.1. 2015~2019 年臭氧浓度年度变化

5年内O<sub>3</sub>污染日数(图1)、O<sub>3</sub>-8h年平均浓度、O<sub>3</sub>-1h年平均浓度(表2)呈现逐年递增的趋势,其中

臭氧污染日数呈现出线性递增的特点。2019 年臭氧污染日数达到 47 天, 其中中度污染 3 天,  $O_3$ -8 h、 $O_3$ -1 h 的年平均浓度分别为  $95.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $111.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (表 1),  $O_3$  污染呈恶化趋势。

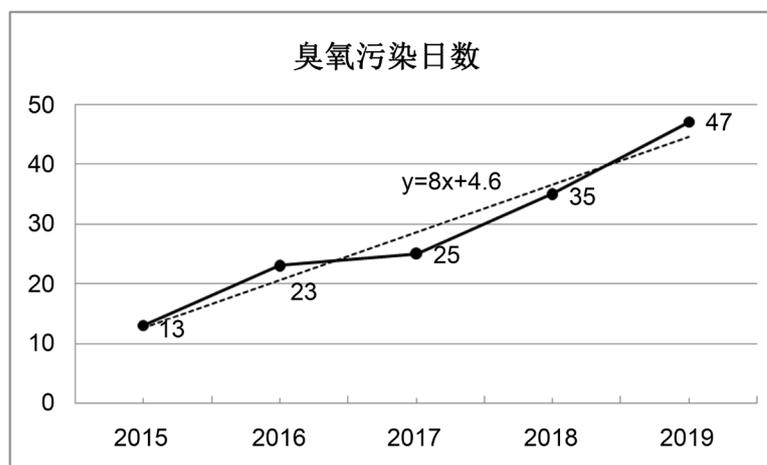


Figure 1. Days of ozone pollution from 2015 to 2019

图 1. 2015~2019 年臭氧污染日数

Table 2. Days of ozone pollution and annual average concentration of ozone from 2015 to 2019

表 2. 2015~2019 年臭氧污染日数及年平均浓度

年份	污染日数 (d)	$O_3$ 污染日数(d)		$O_3$ -8 h 年平均浓度 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	$O_3$ -1 h 年平均浓度 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	$O_3$ -8 h 平均值第 90 百分位数 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
		轻度	中度			
2015	106	13	0	78.6	95.0	147
2016	99	22	1	84.4	101.2	149
2017	103	22	3	90.2	106.9	153
2018	66	31	4	98.1	114.9	161
2019	90	44	3	95.7	111.7	171

五年内  $O_3$ -8 h 年平均浓度、 $O_3$ -1 h 平均浓度在 2018 年达到最大值, 2019 年稍有回落。《环境空气质量技术评价规范(试行)》规定, 当城市一年内  $O_3$  日最大 8 h 滑动平均值的第 90 百分位浓度大于  $160 \mu\text{g}/\text{m}^3$  时该城市年度评价结果超标。从  $O_3$ -8 h 年平均浓度的 90% 分位值看, 2015~2017 年, 臭氧浓度小于  $160 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , 而 2018 年、2019 年臭氧浓度的 90% 分位值分别达到 161、171  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 为臭氧超标年份。

### 3.2. 2015~2019 年臭氧浓度季节变化

受臭氧前体物及城市光化学反应的影响, 2015~2019 年臭氧月平均浓度呈现明显的季节变化特征(见表 3)。从臭氧超标日数来看, 臭氧污染主要集中在夏秋季节, 这与臭氧的生成机理有关, 夏秋季节太阳紫外辐射强烈, 为臭氧的光化学反应提供催化条件。冬季太阳辐射较弱, 五年内均没有臭氧污染。而对于春季, 2015、2016 年未出现臭氧污染, 但是 2017~2019 年春季均出现了臭氧污染, 其中以 2017 年春季最多, 达到 11 天, 这与 2017 年春季气温异常偏高、日照偏多的气候特点有关。从臭氧浓度特征来看, 冬季臭氧浓度最低, 且五年内变化幅度较小; 春季次之, 夏秋季节最高, 其中夏季臭氧浓度最高, 并且五年内呈现出波动式增长的特点。秋季臭氧浓度整体上低于同年夏季臭氧的浓度, 但五年内臭氧累积超标日数比夏季多 18 天。

**Table 3.** Seasonal average concentration of ozone and days of ozone pollution from 2015 to 2019**表 3.** 2015~2019 年臭氧季平均浓度及污染日数

年份	春季		夏季		秋季		冬季	
	O <sub>3</sub> 浓度 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	O <sub>3</sub> 污染日 数(天)	O <sub>3</sub> 浓度 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	O <sub>3</sub> 污染日 数(天)	O <sub>3</sub> 浓度 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	O <sub>3</sub> 污染日 数(天)	O <sub>3</sub> 浓度 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	O <sub>3</sub> 污染日数 (天)
2015	69.6	0	101.1	8	97.0	19	46.3	0
2016	87.6	0	112.1	12	83.6	12	54.5	0
2017	102.6	11	104.8	8	92.2	9	60.8	0
2018	105.5	9	128.9	16	105.0	12	52.8	0
2019	93.9	6	124.8	16	118.0	25	45.4	0

### 3.3. 臭氧浓度月际变化

统计 2015~2019 年臭氧的月平均浓度(表 4)可知,五年内,臭氧浓度的月变化大体上表现出单峰分布的特点,每年的 4~10 月为臭氧浓度高值期,其浓度峰值主要出现在每年的 8 月或 9 月,主要原因在于 8、9 月臭氧的生成条件明显优于其他月份,2019 年 9 月臭氧浓度为近五年来最高,达到  $166.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。

**Table 4.** Monthly average concentration of O<sub>3</sub>-8 h from 2015 to 2019 (unit:  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )**表 4.** 2015~2019 年 O<sub>3</sub>-8 h 浓度月际变化(单位:  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

月份	2015	2016	2017	2018	2019
1	44.0	37.3	52.7	46.8	39.9
2	62.1	76.6	73.4	76.3	46.4
3	44.9	77.6	63.1	87.5	76.0
4	79.9	87.8	110.6	110.5	93.1
5	83.9	97.4	134.2	118.5	112.5
6	70.8	107.5	95.6	128.9	113.3
7	108.1	105.9	111.6	122.9	116.3
8	124.5	123.0	107.3	<b>135.1</b>	144.8
9	<b>130.1</b>	<b>144.0</b>	<b>119.5</b>	126.4	<b>166.2</b>
10	122.4	64.0	88.2	121.0	100.4
11	38.6	42.8	69.1	67.7	87.4
12	32.8	49.7	56.2	35.2	49.9

### 3.4. 臭氧、NO<sub>2</sub> 小时浓度日变化及二者的关系

因未出现臭氧污染的天数内臭氧浓度日变化较小,所以选取 2015~2019 年内臭氧浓度超过二级标准限值(轻度污染及以上)的 143 个样本来分析臭氧的日内变化更具有代表性。将超标的 143 天的日内 1 h 平均浓度值分年、分时段取平均值作为纵坐标,以 24 h 为横坐标作图(图 2),可得臭氧小时浓度平均值的 24 h 变化曲线,同时与 NO<sub>2</sub> 小时浓度变化(图 3)进行对比分析。由图可知: O<sub>3</sub>、NO<sub>2</sub> 的小时平均浓度值日内均呈现单峰分布。O<sub>3</sub> 峰值浓度主要集中在 13~17 时之间,浓度低值主要在 0~7 时,7 时为谷值。NO<sub>2</sub> 的谷值浓度主要集中在 13~17 时,与 O<sub>3</sub> 峰值浓度时间对应,峰值浓度出现在夜间 0 时前后。由此可知,日出后在光照催化作用下, O<sub>3</sub> 浓度不断升高,与此同时前体物 NO<sub>2</sub> 的浓度逐渐降低,并在 15~16 时达到 O<sub>3</sub> 浓度最高而 NO<sub>2</sub> 最低,说明此时是 O<sub>3</sub> 生成的光化学反应最旺盛的时段。

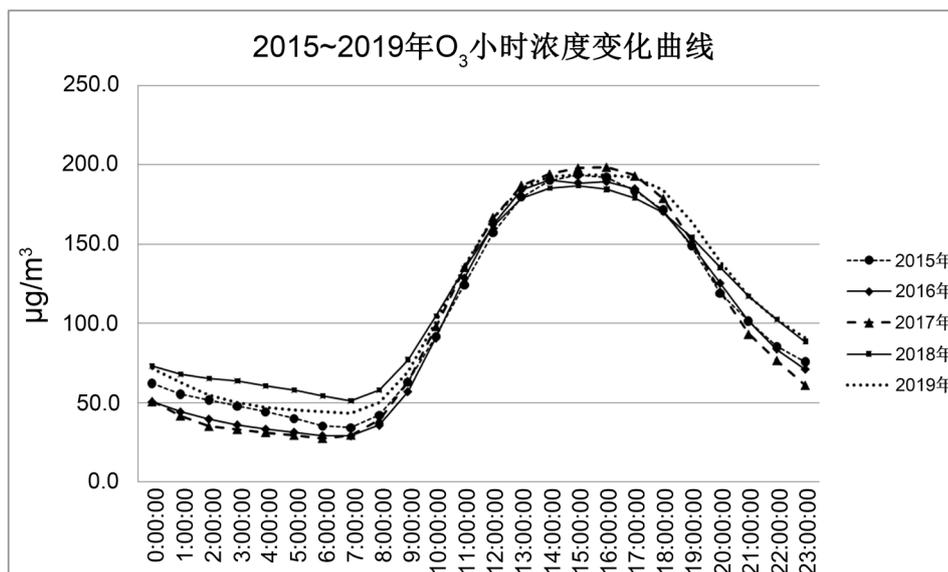


Figure 2. Ozone hourly concentration variation in ozone pollution day from 2015 to 2019

图 2. 2015~2019 年,  $O_3$  污染日内臭氧小时浓度变化曲线

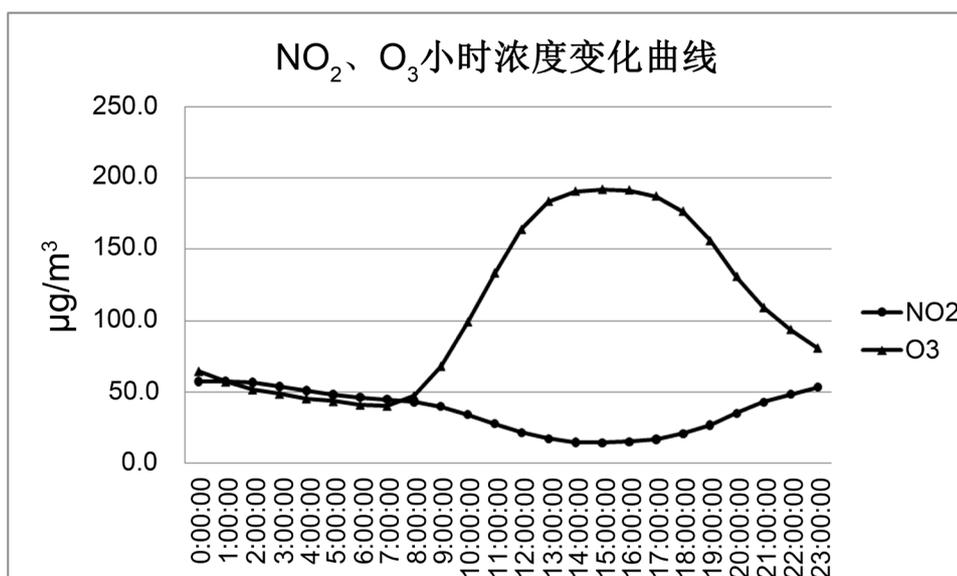


Figure 3. Ozone and Nitrogen dioxide hourly concentration variation of daily variation

图 3.  $O_3$ 、 $NO_2$  小时浓度平均值日变化曲线

## 4. 臭氧的污染气象条件分析

### 4.1. 臭氧超标样本中气象因子阈值分析

统计 2015 年 1 月~2019 年 12 月长沙地区出现的共 143 个臭氧超标的样本日, 分析气温、降水、风速、日照、云量等气象要素的特征值。初步分析显示, 臭氧浓度与上述各气象要素的单一相关性都不高, 认为是由于臭氧的生成、扩散都受到各种气象条件的影响, 机理较为复杂。因此重点分析臭氧超标的样本日中, 各个气象要素值的分布区间, 形成臭氧超标的基本天气模型。具体统计数据如表 5。忽略“最大值”、“最小值”这些极端情况, 分析各要素的主要分布区间, 具体如下:

**Table 5.** Statistical characteristics of meteorological data corresponding to ozone pollution samples  
**表 5.** 臭氧污染样本对应气象要素统计特征

	平均气温 (°C)	最高气温 (°C)	最小相对湿度 (%)	平均总云量 (成)	平均低云量 (成)	降水量 (mm)	平均风速 (m/s)	日照时数 (h)
最大值	32.6	39.1	70	10	8	25.1	6.0	12.7
90%分位	30.6	37.1	53	9	4	0.5	3.7	11.5
75%分位	28.8	35.0	47	7	2	0	2.7	10.9
50%分位	26.0	32.2	40	4	0	0	1.7	10.1
25%分位	24.0	30.2	31	1	0	0	1.2	8.7
10%分位	21.7	28.3	24	0	0	0	0.6	5.7
最小值	17.5	23.7	15	0	0	0	0.0	0.0

#### 4.1.1. 降水

臭氧超标基本出现于晴朗无雨的天气，143 个样本中仅有 17 个样本有降水，且其中 12 个样本日照时数  $\geq 8$  小时，表明降雨可能是出现在夜间，故“无降水”是臭氧超标的基本条件。

#### 4.1.2. 气温

臭氧的浓度峰值一般出现在 13~17 时，与最高气温的出现时间比较匹配，因此主要以最高气温作为气温指标。从统计结果可知，50%的样本(25%分位~75%分位)分布于 30.2°C~35.0°C，此区间样本密度最大，是条件最好的区间；80%的样本(10%分位~90%分位)分布于 28.3°C~37.1°C，说明最高气温在 28°C 以下或 37°C 以上时，很少出现臭氧超标的情况。

#### 4.1.3. 相对湿度

90%的样本最小相对湿度分布于 15%~53%之间，50%的样本最小相对湿度在 40%以下。由此判断，最小相对湿度小于 53%是臭氧超标的基本条件，最小相对湿度小于 40%是臭氧超标的有利条件。

#### 4.1.4. 云量

统计了总云量和低云量两个要素。对于总云量，75%的样本分布于 0~7 成，对应晴天或多云，样本密度非常高；对于低云量，90%的样本分布于 0~4 成，对应晴天，样本密度较总云量更高。故“晴天”或“晴天间多云”是臭氧超标的基本条件。

#### 4.1.5. 风速

以平均风速为统计对象，48%的样本分布于 0~1.5 m/s，即 1 级风，37%的样本分布于 1.6~3.3 m/s，即 2 级风。风速较小时，水平扩散条件差，有利于臭氧在本地的累积；而当风速达到 3 级(3.4~5.4 m/s)或以上时，即使臭氧生成条件很好，但在有利的扩散条件下，很难形成臭氧超标的情况。

#### 4.1.6. 日照

143 个样本中，仅有 4 个样本日照为 0，仅有 11 个样本日照在 5 小时以下，15% (10%分位~25%分位)的样本在 5.7~8.7 小时，表明 5.5 小时以上的日照时间是臭氧超标的基本条件；75% (25%分位~100%分位)的样本分布于 8.7~12.7 小时，即 9 小时以上的日照时间是比较有利的条件。

综上 4.1.1~4.1.6 中所述，臭氧超标的基本气象条件为：晴天无雨、风速 1~2 级、日照 5.5 小时以上、最高气温 28°C~37°C；而有利气象条件为：晴天无雨、风速 1~2 级、日照 9 小时以上、最高气温 30°C~35°C。

## 4.2. 臭氧污染日与非污染日内气象要素对比分析

每年 4~10 月是臭氧污染的集中爆发季节。将 2015~2019 年 4~10 月分为臭氧污染日和非污染日两大类,其中污染样本 143 个,非污染样本 928 个,分析两大类样本间气象要素的差异(表 6)。臭氧污染日内,平均气温和最高气温均比非污染日高,雨日所占百分比仅 12%,较非污染日偏低约 34%。因臭氧污染日多以晴天为主,平均日照时数在 9 小时以上,故最小相对湿度  $\leq 40\%$  占比超过了 50%,远大于非污染日。平均风速和极大风速均是臭氧污染日小于非污染日,主要是因为风速较大时较有利于污染物的扩散和清除,而主导风向皆为 NNW,无明显差异。

**Table 6.** Comparison of meteorological data in ozone pollution days and non-pollution days in April to October from 2015 to 2019

**表 6.** 2015~2019 年 4~10 月臭氧污染日与非污染日间气象要素对比

气象要素	O <sub>3</sub> 污染日	非 O <sub>3</sub> 污染日
平均气温(°C)	26.2	23.1
最高气温(°C)	39.1	38.3
雨日占比(%)	12.0	45.8
日最小相对湿度 $\leq 40\%$ 占比	51.4%	9.5%
平均风速(m/s)	1.9	2.6
最大风速(m/s)	14.3	15.4
主导风向	NNW	NNW
平均日照时数(小时)	9.2	4.3

## 5. 总结

1) 2015~2019 年, O<sub>3</sub> 污染日数、O<sub>3</sub>-8 h 年平均浓度、O<sub>3</sub>-1 h 年平均浓度呈现逐年递增的趋势,其中臭氧污染日数呈现出线性递增的特点;臭氧浓度呈现明显的季节变化特征,冬季臭氧浓度最低,且变化幅度最小;春季次之,夏秋季节最高,其中夏季臭氧浓度最高,而秋季臭氧超标日数多于夏季;臭氧浓度的月变化大体上表现出单峰分布的特点,每年的 4~10 月为臭氧浓度高值期,其浓度峰值主要出现在每年的 8 月或 9 月,主要原因在于 8、9 月臭氧的生成条件明显优于其他月份,2019 年 9 月臭氧浓度为近五年来最高,达到 166.2  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。

2) O<sub>3</sub>、NO<sub>2</sub> 的小时平均浓度值日内均呈现单峰分布。O<sub>3</sub> 峰值浓度主要集中在 13~17 时之间,浓度低值主要在 0~7 时,7 时为谷值。NO<sub>2</sub> 的谷值浓度主要集中在 13~17 时,与 O<sub>3</sub> 峰值浓度时间对应,峰值浓度出现在夜间 0 时前后。由此可知,日出后在光照催化作用下, O<sub>3</sub> 浓度不断升高,与此同时前体物 NO<sub>2</sub> 的浓度逐渐降低,并在 15~16 时达到 O<sub>3</sub> 浓度最高而 NO<sub>2</sub> 最低,说明此时是 O<sub>3</sub> 生成的光化学反应最旺盛的时段。

3) 臭氧超标的基本气象条件为:晴天无雨、风速 1~2 级、日照 5.5 小时以上、最高气温 28°C~37°C;有利气象条件为:晴天无雨、风速 1~2 级、日照 9 小时以上、最高气温 30°C~35°C。

4) 臭氧污染日内,平均气温和最高气温均比非污染日高,雨日所占百分比仅 12%,较非污染日偏低约 34%。因臭氧污染日多以晴天为主,平均日照时数在 9 小时以上,故最小相对湿度  $\leq 40\%$  占比超过了 50%,远大于非污染日。平均风速和极大风速均是臭氧污染日小于非污染日,主要是因为风速较大时较有利于污染物的扩散和清除,而主导风向皆为 NNW,无明显差异。

## 参考文献

- [1] 安俊琳, 王跃思, 孙扬, 等. 气象因素对北京臭氧的影响[J]. 生态环境学报, 2009, 18(2): 944-951.
- [2] Guo, H., Jiang, F., Cheng, H.R., *et al.* (2009) Concurrent Observations of Air Pollutants at Two Sites in the Pearl River Delta and the Implication of Regional Transport. *Atmospheric Chemistry and Physics*, **9**, 7343-7360.  
<https://doi.org/10.5194/acp-9-7343-2009>
- [3] 刘洁, 张小玲, 张晓春, 等. 上甸子本地站地面臭氧变化特征及影响因素[J]. 环境科学研究, 2006, 19(4): 19-24.
- [4] 丁国安, 徐晓斌, 罗超, 等. 中国大气本底条件下不同地区地面臭氧特征[J]. 气象学报, 2001, 59(1): 88-95.
- [5] 乜虹, 牛生杰, 王治邦, 等. 青藏高原清洁地区近地面层臭氧的特征分析[J]. 干旱气象, 2004, 22(1): 1-7.
- [6] 安俊琳, 王跃思, 李昕, 等. 北京大气中 NO、NO<sub>2</sub> 和 O<sub>3</sub> 浓度变化的相关性分析[J]. 环境科学, 2007, 28(4): 706-711.
- [7] 刘玉彻. 北京夏、秋季近地面 O<sub>3</sub> 特征观测研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 中国气象科学研究院, 2005.
- [8] 袁野, 范莉, 邹玉林, 等. 成都市大气中臭氧的分布及污染水平[J]. 城市环境与城市生态, 2003, 16(2): 44-45.
- [9] 殷永泉, 李昌梅, 马桂霞, 等. 城市臭氧浓度分布特征[J]. 环境科学, 2004, 25(6): 16-20.
- [10] 张爱东, 王晓燕, 修光利. 上海市中心城区低空大气臭氧污染特征和变化状况[J]. 环境科学与管理, 2006, 31(6): 21-26.
- [11] 洪茂盛, 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): 602-609.
- [12] 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.
- [13] 丁国安, 罗超, 汤洁, 等. 清洁地区气象因子与地面关系的初步研究[J]. 应用气象学报, 1995, 6(3): 350-364.
- [14] 谈建国, 陆国良, 耿福海, 等. 上海夏季近地面臭氧浓度及其相关气象因子的分析和预报[J]. 热带气象学报, 2007, 23(5): 15-20.
- [15] 陈世俭, 童俊超, Kazuhiko Kobayashi, 等. 气象因子对近地面层臭氧浓度的影响[J]. 华中师范大学学报(自然科学版), 2005, 39(2): 273-276.
- [16] Chan, C.Y. and Chan, L.Y. (2000) Effect of Meteorology and Air Pollutant Transport on Ozone Episodes at a Sub-tropical Coastal Asian City, Hong Kong. *Journal of Geophysical Research*, **105**, 20707-20724.  
<https://doi.org/10.1029/2000JD900140>