

周贺玲,周玉都,闻 静. 河北廊坊近地面层  $O_3$  特征及其影响因素[J]. 干旱气象, 2017, 35(3): 405-411, [ZHOU Heling, ZHOU Yudu, WEN Jing. Characteristics of Ozone over Surface Layer of Langfang City and Its Influencing Meteorological Factors[J]. Journal of Arid Meteorology, 2017, 35(3): 405-411], DOI:10.11755/j.issn.1006-7639(2017)-03-0405

# 河北廊坊近地面层 $O_3$ 特征及其影响因素

周贺玲<sup>1</sup>, 周玉都<sup>1</sup>, 闻 静<sup>2</sup>

(1. 河北省廊坊市气象局, 河北 廊坊 065000; 2. 河北省廊坊市环境保护局, 河北 廊坊 065000)

**摘 要:** 利用 2013—2015 年廊坊市环境监测数据及同期气象资料, 采用相关分析等统计方法, 分析廊坊市臭氧浓度的日变化特征、超标规律以及气象因素对其的影响。结果表明: 臭氧浓度的日变化特征明显, 为“1 谷 1 峰”型, 每日 07:00—08:00 左右达到谷值, 15:00—16:00 达到峰值; 臭氧超标只集中出现在春季、夏季与秋季的部分月份, 1—3 月、11—12 月不存在臭氧超标情况, 超标现象日变化特征明显, 主要出现在 11:00—20:00。气象因素对臭氧浓度的影响很大, 风向为西南风与东南风时臭氧超标率较高; 臭氧超标时, 地面天气类型主要为高压后部或高压底部, 高空天气类型主要为脊前西北气流或平直西风环流; 臭氧浓度与相对湿度呈显著负相关, 与温度、日照呈显著正相关。

**关键词:** 臭氧; 特征; 气象因素

**文章编号:** 1006-7639(2017)-03-0405-07 DOI:10.11755/j.issn.1006-7639(2017)-03-0405

**中图分类号:** P412.293; X515

**文献标识码:** A

## 引 言

近地层臭氧( $O_3$ )是典型的二次污染物, 主要由人类活动排放的挥发性有机物、氮氧化物和一氧化碳在太阳光的作用下经过一系列复杂的光化学反应生成, 其带来的温室效应影响全球臭氧浓度的变化<sup>[1-2]</sup>。臭氧是城市光化学烟雾的主要成分, 同时也是重要的温室气体, 随着经济发展和城市化进程的加速, 臭氧污染已经成为影响城市空气质量的重要因素<sup>[3-4]</sup>。

近年来, 国内外学者对臭氧变化特征及影响因素等开展了一系列研究<sup>[5-9]</sup>, 如王占山等<sup>[10]</sup>研究发现, 臭氧浓度日变化呈单峰型分布, 且  $O_3$  与  $CO$ 、 $NO$ 、 $NO_2$  和  $NO_x$  等前体物呈显著的负相关; 刘小红等<sup>[11]</sup>对影响北京市大气污染的气象因子分析后发现, 边界层  $O_3$  浓度还受到高层垂直向下输送的影响; 姚青等<sup>[12]</sup>对天津市夏季臭氧浓度与气象因素的相关性进行研究, 影响臭氧浓度的主要气象因素是气温、相对湿度、风速和风向; 易睿<sup>[13]</sup>、刘洁<sup>[14]</sup>等研究发现气象因素对臭氧及其前体物具有重要影响。

我国已有的臭氧污染特征等研究主要集中在北京、天津、上海、广东等发达城市, 对河北廊坊等中小城市比较系统的臭氧特征研究较少。目前我国东部地区特别是京津冀地区的区域性光化学污染呈加重态势<sup>[15-16]</sup>, 处于北京、天津之间的河北省廊坊市臭氧污染问题不容忽视, 而有关廊坊市臭氧研究只停留在对其变化特征及来源追踪等方面<sup>[17-18]</sup>。因此研究廊坊市臭氧的时间变化规律及气象影响因素, 有助于了解整个京津冀地区大气污染发展趋势, 从而为提高臭氧的监测监控能力及公众的预警防范能力, 保护生态环境、农业生产、人体健康等提供技术支撑。

## 1 资料及说明

河北省廊坊市区有 4 个空气质量自动监测站, 对廊坊市区分钟值、小时值、日均值空气质量进行实时监测。4 个监测站分别为环境监测监理中心、北华航天学院、药材公司、开发区管委会监测子站, 其中环境监测监理中心与北华航天学院监测子站属于广阳区, 药材公司子站属于安次区, 开发区管委会子站属于廊坊开发区。采用 2013 年 1 月 1 日—2015

收稿日期: 2016-11-15; 改回日期: 2017-03-13

基金项目: 廊坊市科技局项目(2014013004B)廊坊市气象局课题(201704)资助

作者简介: 周贺玲(1970-), 女, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为可持续发展天气气候与环境. E-mail: zhltangxx@sina.com

年 12 月 31 日廊坊市区 4 个环境监测点逐日(臭氧日最大 8 h 滑动平均浓度为 4 个监测站的平均值)及逐时臭氧监测数据,同期的高空、地面天气实况图,同期廊坊市 1 个自动气象观测站逐时气温与相对湿度、逐日日照时数等资料,分析臭氧浓度年变化、日变化、超标特征,以及气象条件对臭氧浓度的影响。

## 2 臭氧浓度的变化特征

### 2.1 不同季节臭氧浓度日变化

图 1 为 2013—2015 年廊坊市不同季节臭氧逐时平均浓度的日变化,可以看出,不同季节各监测站臭氧浓度的日变化基本为“1 谷 1 峰”型,即存在 1 个较低的浓度值和一个较高的浓度值,但也有一定差异。春季、夏季与秋季臭氧浓度变化基本一致,00:00—07:00(北京时间,下同)逐时降低,07:00 达到谷值,07:00 以后逐时升高,15:00—16:00 各监测站达到峰值,16:00 以后臭氧浓度逐时降低,23:00 浓

度再次达到较低值。冬季臭氧浓度变化略有不同,00:00—08:00 有降低趋势,08:00 达到谷值,08:00 以后逐时升高,15:00 各监测站浓度达到峰值,15:00 以后臭氧浓度有降低趋势,21:00—23:00 浓度值变化不大且达到较低值。

不同季节各监测站臭氧浓度最大值和最小值不同:春季、秋季、冬季均是北华航天学院浓度值最大,分别为  $98.6$ 、 $79.4$ 、 $38.7 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ ;春季与秋季开发区浓度值最小,分别为  $94.9$ 、 $70.3 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ ;冬季环境监测监测中心浓度值最小,为  $33.3 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ ;夏季开发区与药材公司浓度值最大,均为  $144.7 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ ,环境监测监测中心浓度值最小,为  $130.9 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ 。

各监测站不同季节臭氧浓度最大值变化均是夏季 > 春季 > 秋季 > 冬季,除了开发区外其余 3 个监测站不同季节臭氧浓度最低值变化夏季 > 春季 > 秋季 > 冬季,开发区臭氧浓度最低值变化夏季 > 春季 > 冬季 = 秋季。这与不同季节大气中光化学反应的活性以及气象条件的差异密切相关<sup>[19-20]</sup>。

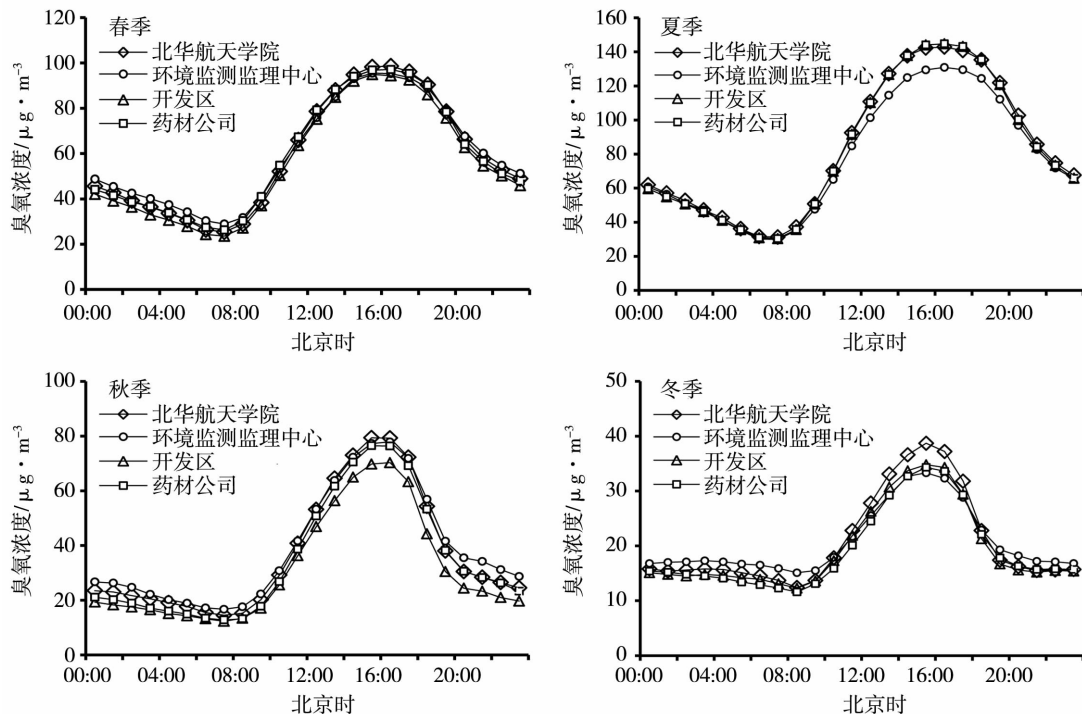


图 1 2013—2015 年廊坊市 4 个环境监测站四季臭氧平均浓度日变化

Fig. 1 The diurnal variation of seasonal mean  $\text{O}_3$  concentration of 4 environmental stations in Langfang of Hebei Province during 2013 - 2015

### 2.2 臭氧浓度超标率日变化

根据国家环境保护标准《HJ633—2012 环境空气质量指数(AQI)技术规定(试行)》规定,当臭氧 1 h 平均浓度  $> 200 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$  时超标,臭氧日最大 8 h

滑动平均浓度  $> 160 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$  时超标,反之则达标。图 2 给出 2013—2015 年臭氧 1 h 平均浓度超标的日变化,可以看出超标现象主要出现在 11:00—20:00 之间,其中 14:00—17:00 超标率较高,4 个监测站

的超标率均大于 2.7%, 超标率最高的时段出现在 15:00 或 16:00, 从监测点差异看, 环境监测监测中心的超标率最低, 明显低于其它 3 个站点, 北华航天学院、环境监测监测中心、开发区、药材公司最高超标率分别为 6.6%、4.1%、6.4%、5.0%。

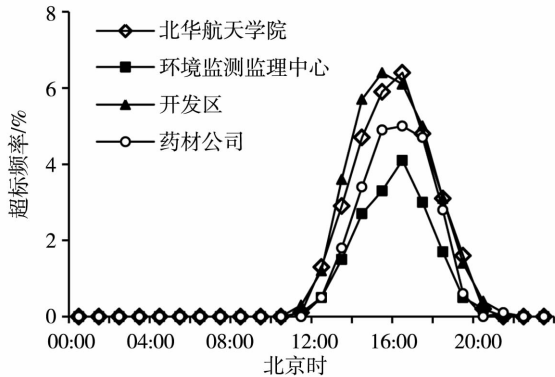


图2 2013—2015年廊坊市4个环境监测站臭氧浓度超标率日变化

Fig. 2 The diurnal variation of O<sub>3</sub> concentration exceeding rate of 4 environmental stations in Langfang of Hebei Province during 2013 - 2015

### 2.3 臭氧浓度年变化

比较 2013—2015 年廊坊市区各监测站的臭氧 1 h 平均浓度的年变化(图 3)发现, 北华航天学院、开发区的臭氧年平均浓度呈逐年上升趋势, 而环境监测监测中心、药材公司的臭氧年平均浓度 2014 年最高、2013 年最低。

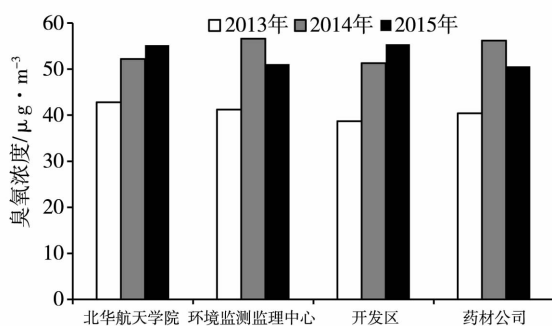


图3 2013—2015年廊坊市4个环境监测站臭氧1 h平均浓度年变化

Fig. 3 The annual variation of mean one-hour O<sub>3</sub> concentration of 4 environmental stations in Langfang of Hebei Province during 2013 - 2015

## 3 气象因素对臭氧的影响

环境监测监测中心位于廊坊市环境保护局院内, 用其代表主城区, 分析气象因素对臭氧浓度变化的影响。

### 3.1 不同风向臭氧浓度超标变化

表 1 给出 17 种风向及符号对照, 表 2 给出 2013—2015 年廊坊市不同风向对应的臭氧 1 h 平均浓度年和月的超标率。由表 2 可以看出, 不同风向时臭氧浓度超标率年变化明显, 风向为 SW 时超标率最高达 2.2%, 风向为 SSE 时超标率次高为 2.1%, 风向为 ESE、SE、S、SSW、WSW 时超标率较高(0.9%~2.0%), 而风向为 NNE、NE、ENE 时超标率很低仅为 0.1%。

不同月份不同风向臭氧 1 h 平均浓度的超标率有很大变化, 其中 1 月、2 月、3 月、11 月和 12 月不存在臭氧超标情况, 即臭氧超标只集中出现在春季、夏季与秋季的部分月份。由 4—10 月不同风向时臭氧浓度超标率(表 2)可以看出, 4 月有 3 个风向臭氧超标, 其中风向为 SSW 时超标率最高(2.6%), 风向为 SSE 时超标率次高(2.0%), 风向为 SW 时臭氧超标率为 1.7%, 其余风向与静风时臭氧无超标现象; 5 月风向为 SSE 时臭氧超标率最高(7.6%), 风向为 SSW 时次高(5.3%), 超标率较高的风向为 SE、SW、WSW 与静风, 超标率在 3%~4.7% 之间, 而风向为 WNW、NW、NNW、ENE、NNE 时臭氧均无超标; 6 月风向为 SSW 时臭氧超标率最高(6.2%), 风向为 SW 时次高(6.0%), 超标率较高的风向为 SE、SSE、NW、WSW, 超标率在 3.2%~4.8% 之间, 而 NNW、NNE、NE 与静风时臭氧均无超标; 7 月风向为 SW 时臭氧超标率最高(4.7%), NNW 时次高(2.9%), SSW 时超标率为 2.2%, 而风向为 NW、SSE、ENE、N 与静风时臭氧均无超标; 8 月风向为 SW 时臭氧超标率最高(5.3%), WSW、SSE 时次高(3.3%), 而风向为 NW、NNW、NE、ENE、E、N 时臭氧均无超标; 9 月风向为 NW 时臭氧超标率最高(3.4%), SSE 风向时次高(3.3%), 而风向为 NNW、WNW、NE、ENE、NNE、N 与静风时臭氧均无超标; 10 月风向为 S 时臭氧超标率最高(1.6%), SE、SSW 风向时次高(1.0%), 风向为 E 时超标率为 0.6%, 而其余风向与静风时臭氧均无超标。

臭氧浓度超标率在不同风向上的分布, 主要是由廊坊的天气特点及环境监测站的地理位置决定的。清华大学环境学院《廊坊市大气细颗粒物污染特征与来源解析中期工作报告》指出, 从工业布局来看, 廊坊南部地区工业企业密集, 农村地区生物质燃烧的使用更为普遍, 而且以永清县南部为代表的南部郊区的工业过程和生物质燃烧贡献高于市区, 导致排放的挥发性有机化合物(volatile organic compounds, 简称 VOCs) 数量大、种类多, 包含大量的光

化反应比较强的气体(如苯系物)。廊坊光化学氧化剂 OX(NO<sub>2</sub> + O<sub>3</sub>)浓度受天津、河北南部区域输送的影响较为显著,受北京区域输送的影响相对较弱<sup>[17-18]</sup>。东南气流虽然来自渤海湾,原本属于较为洁净的海洋气团,在到达廊坊之前受天津等城市影响,气流受到一定程度污染,西南气流主要来自河北

省保定、石家庄等污染较重的南部城市,代表受污染气流<sup>[5]</sup>。廊坊4—10月偏南风盛行,而且这个时段太阳辐射相对较强,大气光化学反应比较活跃,而东南风与西南风更利于廊坊南部及廊坊东部、南部的污染城市臭氧前体物与生成物的输送,利于臭氧的生成和积聚,因此偏南风时大气中臭氧超标率较高。

表 1 风向及其符号对照表  
Tab.1 Wind direction and its sign

静风	北	北北	东北	东	东	东	东南	南	南	西南	西	西	西	西北	北	
C	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW

表 2 2013—2015 年廊坊市不同风向时臭氧浓度超标率年、月分布特征(单位:%)

Tab.2 The annual and monthly distribution of O<sub>3</sub> concentration exceeding rate for different wind direction in Langfang of Hebei Province during 2013 - 2015 (Unit:%)

时间	C	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
4月	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	0.0	2.6	1.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5月	3.0	1.0	0.0	0.9	0.0	0.9	2.0	3.2	7.6	0.0	5.3	4.7	3.4	1.6	0.0	0.0	0.0
6月	0.0	1.3	0.0	0.0	0.5	1.0	1.9	4.8	4.6	2.1	6.2	6.0	3.2	0.7	2.1	3.7	0.0
7月	0.0	0.0	0.8	0.5	0.0	0.9	0.9	1.9	0.0	1.4	2.2	4.7	1.1	0.5	1.4	0.0	2.9
8月	1.3	0.0	0.8	0.0	0.0	0.0	1.5	3.1	3.3	1.5	0.8	5.3	3.3	0.4	0.9	0.0	0.0
9月	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	2.5	1.4	3.3	2.1	2.5	2.6	1.4	0.5	0.0	3.4	0.0
10月	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0	1.0	0.0	1.6	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
年	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.4	0.9	1.5	2.1	0.9	2.0	2.2	1.0	0.3	0.3	0.4	0.2

### 3.2 不同天气形势臭氧浓度变化

图4给出廊坊市臭氧日最大8h滑动平均浓度达标、超标时与不同高空、地面天气形势的关系。分析08:00的高空、地面天气实况图,按照廊坊市在天气图上所处的位置,将地面形势场分为高压、高压

底部、高压前部、低压、高压后部、冷锋6类,将高空天气形势按照环流特征分为低涡低槽、高压脊、槽前西南气流、脊前西北气流、平直西风环流5类,发现臭氧8h滑动平均浓度达标与超标时不同高、低空天气形势出现比例有明显差异。

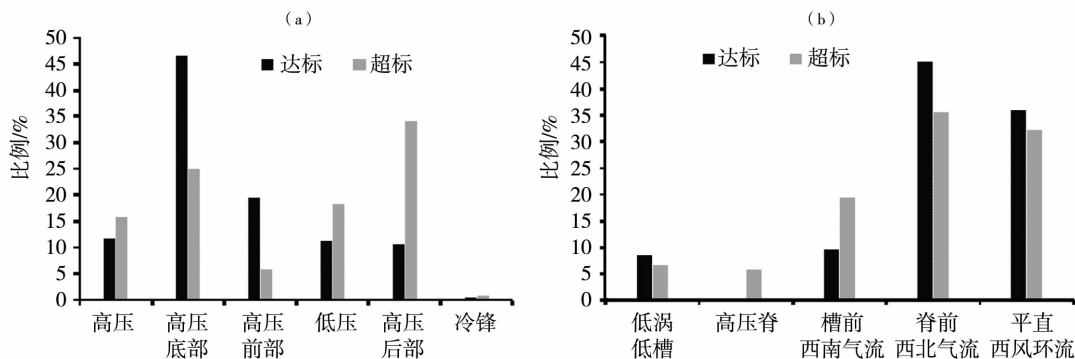


图 4 廊坊市臭氧日最大 8 h 滑动平均浓度达标与超标时不同地面 (a) 及高空 (b) 天气形势所占比例  
Fig.4 Rate of different weather type on ground (a) and upper air (b) for standard - reaching and standard - exceeding of O<sub>3</sub> 8 hour moving average concentration in Langfang of Hebei Province

从地面形势来看(图4a),臭氧达标时,高压底部的天数最多(占46.5%),高压前部达标的天数次多,占19.5%,而冷锋时达标天数最少只占0.4%,其余3种天气形势占比均为11%左右;臭氧超标时,主要天气类型为高压后部占34.2%,其次是高压底部占25.0%,低压占18.3%,高压占15.8%,而冷锋时最低只有0.8%。

从高空形势来看(图4b),臭氧达标时,脊前西北气流天气形势天数最多,占45.2%,平直西风环流天气形势天数次多,占36.0%,而高压脊时最低,只有0.4%,其余2种天气形势占比分别为9%左右;臭氧超标时,主要天气类型为脊前西北气流,占35.6%,其次是平直西风环流,占32.2%,槽前西南气流占19.5%,低涡低槽占6.8%,而高压脊时最低,只有5.9%。

### 3.3 相对湿度与臭氧浓度变化

通过计算,不同季节逐小时臭氧浓度与相对湿度的相关系数均为负值,且通过 $\alpha = 0.01$ 的显著性水平检验,春、夏、秋、冬季的相关系数分别为-0.347、-0.093、-0.394、-0.495,相关性夏季最低,冬季最高,春季与秋季接近,夏季相对湿度对臭氧浓度影响程度明显低于其他3个季节。臭氧浓度与相对湿度呈显著负相关,表明相对湿度越大,对应的臭氧浓度越低。表3为廊坊市出现不同臭氧1 h

浓度段时对应的相对湿度月变化,可以看出,臭氧小时浓度均 $\leq 300 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ ,小时浓度超标( $>200 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ )现象只出现在4—10月,而1—3月、11—12月臭氧无超标现象。臭氧超标时相对湿度4—7月在27%~41%之间,8—10月在45%~48%之间。相对湿度(大气中的水汽)通过影响太阳紫外辐射在光化学反应中扮演重要角色,高相对湿度是形成湿清除的重要指标,相对湿度太大会抑制臭氧形成。

### 3.4 气温与臭氧浓度变化

从不同季节逐小时臭氧浓度与气温的相关性来看,春、夏、秋、冬季二者相关系数分别为0.741、0.674、0.582、0.259,且均通过 $\alpha = 0.01$ 的显著性水平检验,但相关程度存在明显差异,冬季臭氧浓度与气温的正相关性明显低于其他3个季节。表明臭氧浓度与气温呈显著的正相关性,气温越高,越容易导致臭氧浓度增高。图5为廊坊市臭氧逐时浓度与气温的日变化,可以看出,臭氧浓度与气温的关系密切,随着气温升高臭氧浓度也明显升高,气温与臭氧浓度的日变化特征基本一致,呈“1峰1谷”型,15:00、16:00温度分别达到一天中最高与次高值,分别为18.1℃、18.0℃,臭氧浓度也在16:00达到最高值( $84.1 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ ),15:00达到次高值( $83.9 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ ),而温度较低的凌晨时段,臭氧浓度也明显偏低,06:00气温最低(9.3℃),07:00臭氧浓度最低( $22.9 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ )。

表3 2013—2015年廊坊市不同臭氧浓度段对应的相对湿度月变化(单位:%)

Tab.3 The monthly change of relative humidity for different O<sub>3</sub> concentration range in Langfang of Hebei Province during 2013 - 2015 (Unit:%)

月份	臭氧浓度/ $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$		
	0 ~ 160	160 ~ 200	200 ~ 300
1月	54.8	///	///
2月	50.8	///	///
3月	40.0	///	///
4月	44.4	32.4	27.3
5月	46.2	32.0	30.0
6月	64.7	43.2	39.8
7月	74.2	45.5	40.9
8月	71.0	51.5	47.6
9月	71.7	45.5	45.1
10月	61.3	49.3	47.3
11月	54.4	13.5	///
12月	49.1	///	///

注:“///”表示该月未出现此臭氧浓度段

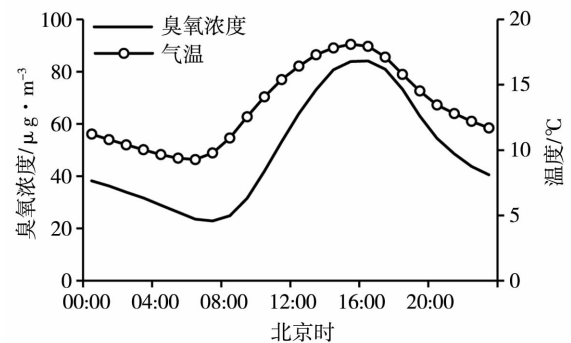


图5 2013—2015年廊坊市臭氧逐时浓度与气温的日变化

Fig.5 The diurnal distribution of hourly O<sub>3</sub> concentration and temperature in Langfang of Hebei Province during 2013 - 2015

### 3.5 日照与臭氧浓度变化

将廊坊市日最大臭氧8 h滑动平均浓度与每天的日照时数进行相关分析,发现相关系数达0.525,且通过 $\alpha = 0.01$ 显著性水平检验,表明臭氧浓度与

日照呈显著正相关,日照时间越长,越能够加快光化学反应速度,从而有利于臭氧产生,导致臭氧浓度越高。图6给出廊坊市日最大臭氧8 h滑动平均浓度与日照时数的月变化,可以看出,1—8月臭氧浓度逐月增加,8月达到最大值  $142 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ ,8月以后逐月减少,12月最低 ( $26 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ ),1月次低 ( $28 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ )。1—5月日照时数逐月增加,5月达到最大值9.3 h,6—8月缓慢增加,9—12月波动下降。

1—5月日照时数与臭氧浓度均逐月增加,6—8月平均每天的日照时数  $> 7 \text{ h}$ ,此时臭氧浓度也处于一个大值段,浓度值均  $> 134 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ ,9—11月日照时数与臭氧浓度均逐月减小,12月日照时数略高于11月,臭氧浓度低于11月。另外,日照时数较长的4月、5月臭氧浓度未达到最大值,这与本地风速变化有很大关系,廊坊市2013—2015年4月、5月平均风速达到年内最大与次大,均  $> 2.3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,风速越大,大气扩散条件越好,不利于污染物的积聚,大气中污染物浓度较低,由于  $\text{O}_3$  前体物较少,虽然太阳辐射也较强,但光化学反应速率减慢,产生的  $\text{O}_3$  较少<sup>[7,21]</sup>。

臭氧的季节变化主要与光化学反应的强弱和前体物局地人为和自然排放源的影响有关<sup>[22]</sup>,5—8月一般温度较高,日照时间较长,太阳辐射较强,因此光化学反应强,而秋冬季及初春季节温度相对较低,日照时间较短,光化学反应较弱。

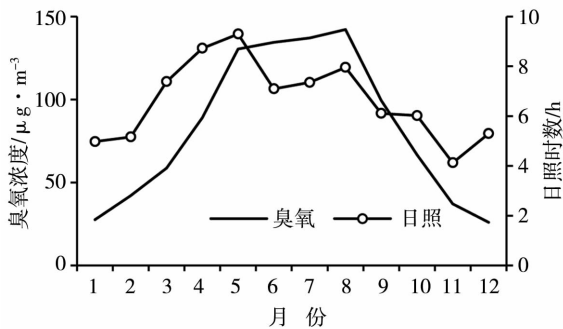


图6 2013—2015年廊坊市日最大臭氧8 h滑动平均浓度与日照时数的月变化

Fig. 6 The monthly distribution of daily maximum  $\text{O}_3$  8 hours moving average concentration and sunshine duration in Langfang of Hebei Province during 2013 - 2015

## 4 结论

(1)廊坊市区臭氧浓度有明显的日变化特征,

呈“1谷1峰”型,谷值出现在07:00—08:00,峰值出现在15:00—16:00。各监测站不同季节臭氧浓度最大值变化均为夏季  $>$  春季  $>$  秋季  $>$  冬季。

(2)臭氧超标只集中出现在春季、夏季与秋季的部分月份,1—3月、11—12月不存在臭氧超标情况;臭氧浓度超标主要出现在11:00—20:00之间,4个监测站中环境监测监理中心的各时次超标率最低。

(3)不同风向臭氧浓度超标率有很大差异,西南风时最高达2.2%,西南风与东南风更利于臭氧前体物与生成物的输送,臭氧超标率较高;臭氧超标时地面天气类型主要为高压后部或高压底部,高空天气类型主要为脊前西北气流或平直西风环流;相对湿度与臭氧浓度呈显著负相关,较大的相对湿度会抑制臭氧生成,当4—7月相对湿度为27%~41%,8—10月为45%~48%时,臭氧易超标;臭氧浓度与气温、日照时数呈显著正相关,通常气温越高,日照时间越长,臭氧浓度越高。

## 参考文献

- [1] Houghton J T, Ding Y, Griggs D J, et al. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Climate Change 2001: The Science of Climate Change[M]. New York: Cambridge Univ Press, 2001.
- [2] Akimoto H. Global air quality and pollution[J]. Science, 2003, 302:1716 - 1719.
- [3] 王红磊,钱骏,廖瑞雪,等. CALPUFF模型在大气环境容量测算中的应用研究[J]. 环境科学与管理,2008,33(12):169 - 172.
- [4] 姚小红,何东全,周中平,等. 北京城市大气中  $\text{NO}_x$ 、 $\text{CO}$ 、 $\text{O}_3$  的变化规律研究[J]. 环境科学,1999,20(1):23 - 26.
- [5] 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(3):944 - 951.
- [6] Elminir H K. Dependence of urban air pollutants on meteorology[J]. Science of the Total Environment, 2005, 350:225 - 237.
- [7] 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 - 610.
- [8] 王宏,陈晓秋,余永江,等. 福州近地层臭氧分布及其与气象要素的相关性[J]. 自然灾害学报,2012,21(4):175 - 181.
- [9] 韩素芹,黄岁樑,边海,等. 天津市秋季臭氧浓度影响因素及相关关系研究[J]. 环境污染与防治,2007,29(12):893 - 895.
- [10] 王占山,李云婷,陈添,等. 北京城区臭氧日变化特征及与前体物的相关性分析[J]. 中国环境科学,2014,34(12):3001 - 3008.
- [11] 刘小红,洪钟祥,李家伦,等. 北京地区严重大气污染的气象和化学因子[J]. 气候与环境研究,1999,4(3):231 - 236.
- [12] 姚青,孙玫玲,刘爱霞,等. 天津臭氧浓度与气象因素的相关性及其预测方法[J]. 生态环境学报,2009,18(6):2206 - 2210.
- [13] 易睿,王亚林,张殷俊,等. 长江三角洲地区城市臭氧污染特征与影响因素分析[J]. 环境科学学报,2015,35(8):2370 - 2377.
- [14] 刘洁,张小玲,张晓春,等. 上甸子本底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 - 25.

- [15] 程念亮,李云婷,张大伟,等. 2014年北京市城区臭氧超标日浓度特征及与气象条件的关系[J]. 环境科学,2016,37(6):2041-2051.
- [16] 潘本锋,程麟钧,王建国,等. 京津冀地区臭氧污染特征与来源分析[J]. 中国环境监测,2016,32(5):17-23.
- [17] 宋从波,李瑞芹,何建军,等. 河北廊坊市区大气中 NO、NO<sub>2</sub> 和 O<sub>3</sub> 污染特征研究[J]. 中国环境科学,2016,36(10):2903-2912.
- [18] 田谧,吉东生,王跃思,等. 河北廊坊地区大气污染物变化特征与来源追踪[J]. 环境工程学报,2013(12):4895-4903.
- [19] 马一琳,张远航. 北京市大气光化学氧化剂污染研究[J]. 环境科学研究,2000,13(1):14-17.
- [20] 王淑兰,柴发合. 北京市 O<sub>3</sub> 污染的区域特征分析[J]. 地理科学,2002,22(3):360-364.
- [21] 任丽红,胡非,王玮. 北京夏季垂直分布与气象因子的相关研究[J]. 气候与环境研究,2005,10(2):166-174.
- [22] Jo W K, Park J H. Characteristics of roadside air pollution in Korean metropolitan city (Daegu) over last 5 to 6 years; temporal variations, standard exceedances, and dependence on meteorological conditions[J]. Chemosphere, 2005,59:1557-1573.

## Characteristics of Ozone over Surface Layer of Langfang City and Its Influencing Meteorological Factors

ZHOU Heling<sup>1</sup>, ZHOU Yudu<sup>1</sup>, WEN Jing<sup>2</sup>

(1. Langfang Meteorological Bureau of Hebei Province, Langfang 065000, China;  
2. Langfang Environmental Protection Bureau of Hebei Province, Langfang 065000, China)

**Abstract:** Based on environmental observation data and meteorological factors in urban area of Langfang of Hebei Province from 2013 to 2015, the diurnal change and exceeding standard characteristics of O<sub>3</sub> concentration, as well as the influence of meteorological factors on O<sub>3</sub> concentration were researched by using correlation analysis. The results show that O<sub>3</sub> concentration exhibited “one valley one peak” distribution, the minimum appeared at 07:00-08:00, and the peak appeared at 15:00-16:00. The exceeding standard O<sub>3</sub> concentration only occurred in spring, summer and autumn, and there was no exceeding standard phenomenon in January, February, March, November and December. The exceeding standard O<sub>3</sub> concentration mostly occurred at 11:00-20:00. Meteorological factors affected O<sub>3</sub> concentration greatly. Exceeding rate of O<sub>3</sub> concentration was higher when there was southwest wind and southeast wind. When O<sub>3</sub> concentration was excessive, the weather type on surface layer was high-pressure rear or high-pressure bottom mainly, and weather type in upper air was northwest airflow before ridge or west wind mainly. There was obviously negative correlation between O<sub>3</sub> concentration and relative humidity, while for temperature and sunshine hours, their relation was positive significantly.

**Key words:** O<sub>3</sub>; characteristics; meteorological factors