

陆倩,唐丽彬,田静,等.承德市臭氧及其前体物浓度变化特征[J].沙漠与绿洲气象,2018,12(6):77-83.

doi: 10.12057/j.issn.1002-0799.2018.06.010

# 承德市臭氧及其前体物浓度变化特征

陆倩<sup>1</sup>,唐丽彬<sup>2</sup>,田静<sup>1</sup>,付娇<sup>3</sup>,周士茹<sup>1</sup>

(1.承德市气象局,河北承德067000;2.宽城县气象局,河北宽城067600;3.河北省气象局人工影响天气办公室,河北石家庄050021)

**摘要:**采用2014—2016年承德市环境监测站和气象站的数据,对承德市O<sub>3</sub>、NO<sub>2</sub>、CO浓度和气温进行了分析,得出以下结论:承德市O<sub>3</sub>污染天数及所占的比重呈逐年增加趋势;O<sub>3</sub>-8 h月平均浓度呈现夏季高而冬季低的变化特征,月平均气温与其呈现一致的变化趋势,其前体物NO<sub>2</sub>和CO则呈现相反的变化趋势,表现为冬季高而夏季低的特征;O<sub>3</sub>浓度的日变化呈单峰型分布,午后浓度升高而夜间浓度下降,与气温的日变化趋势一致,NO<sub>2</sub>呈现相反的变化趋势,CO呈三峰型分布,总体表现为中午浓度最高;O<sub>3</sub>-8 h、NO<sub>2</sub>、CO浓度和气温总体均呈现北低南高的空间分布;O<sub>3</sub>-8 h浓度与其前体物NO<sub>2</sub>和CO均呈显著的负相关关系。有利于承德市出现O<sub>3</sub>污染天气的气象要素为太阳总辐射辐照度900~1000 W/m<sup>2</sup>,日最高气温大于30℃,无降水产生,日最小相对湿度小于20%和50%~60%,受偏南风或西南风影响。

**关键词:**O<sub>3</sub>浓度;前体物浓度;分布特征;气象要素

**中图分类号:**PX515

**文献标识码:**B

**文章编号:**1002-0799(2018)06-0077-07

臭氧(O<sub>3</sub>)是光化学烟雾的重要成分之一,近地层的O<sub>3</sub>主要由氮氧化物(NO<sub>x</sub>)和挥发性有机物(VOCs)在太阳辐射和一定的气象条件下,经过复杂化学反应生成<sup>[1-4]</sup>。与大范围雾霾天气相比,O<sub>3</sub>污染隐蔽性较强,但是近地层O<sub>3</sub>污染对人体健康危害极大<sup>[5-7]</sup>,以O<sub>3</sub>为主的空气污染防治也成为了大气环境保护的重要议题。

近年来,长三角、珠三角和北京等经济发达的地区,O<sub>3</sub>污染率先受到了重视,国内科学家对这些地区的O<sub>3</sub>污染特征进行了分析,对于O<sub>3</sub>污染防治具有重要意义。张天航等<sup>[8]</sup>发现中国华东高海拔地区的O<sub>3</sub>质量浓度相对于其他地区较高,但超标次数只占总观测时次的3.9%。陈宜然等<sup>[9]</sup>研究认为上海市O<sub>3</sub>浓度变化呈现明显的秋冬低、春夏高的季节变化,O<sub>3</sub>浓度日变化呈典型的单峰型。洪盛茂等<sup>[10]</sup>发现杭州市区O<sub>3</sub>浓度有明显的季节变化,夏季高、冬季低,在紫外线强度较强时O<sub>3</sub>浓度也较高。梁碧玲等<sup>[11]</sup>

发现深圳市O<sub>3</sub>污染呈内陆地区污染重、沿海地区污染轻的特点,深圳市秋季和冬季O<sub>3</sub>污染较重,夏季O<sub>3</sub>污染较轻。贾海鹰等<sup>[12]</sup>发现2015年北京及周边地区O<sub>3</sub>具有较为明显的时间变化规律,高浓度臭氧主要集中在5到9月份,首次发现北京及周边地区O<sub>3</sub>存在两条污染带,分别集中在北京—保定—山西北部地区和北京、天津及渤海上空。王占山<sup>[13]</sup>等发现北京市城区O<sub>3</sub>在5到8月维持相对较高浓度,臭氧浓度日变化呈现单峰型分布,基本在15:00、16:00达到峰值,一氧化碳(CO)、一氧化氮(NO)、二氧化氮(NO<sub>2</sub>)和氮氧化物(NO<sub>x</sub>)等前体物多呈现双峰型分布,与O<sub>3</sub>均呈显著的负相关性。同时,也有很多研究对O<sub>3</sub>生成的气象条件进行了分析<sup>[14-18]</sup>。

承德位于河北省东北部,毗邻北京市和天津市,是京津冀一体化的重要城市之一,定位于京津冀水功能涵养区和国际旅游城市,因此空气污染治理的任务也更艰巨。目前对于承德市的雾霾天气有了一些研究和可靠的预报方法<sup>[19-20]</sup>,承德市O<sub>3</sub>污染特征和天气形势也开始有了初步探索<sup>[21]</sup>。本研究对承德市O<sub>3</sub>及其前体物浓度分布特征及成因进行分析,并探讨O<sub>3</sub>浓度与其前体物浓度之间的关系,有利于提

收稿日期:2017-10-20;修回日期:2018-05-17

基金项目:河北省气象局面上项目(17ky14)资助。

作者简介:陆倩(1989-),女(满族),工程师,主要研究环境气象预报。

E-mail:919357276@qq.com

前预报 O<sub>3</sub> 污染天气, 对于治理以 O<sub>3</sub> 为主的空气污染和降低 O<sub>3</sub> 污染的危害具有重要意义。

### 1 资料和方法

承德市 O<sub>3</sub>、NO<sub>2</sub> 和 CO 的监测数据来源于承德市环境监测站, 承德市区有 5 个监测站点, 分别位于铁路、文化中心、中国银行、开发区和离宫, 本研究中取 5 个站点污染物浓度的平均值作为承德市的污染物浓度。5 个站点 O<sub>3</sub> 监测仪器均为美国热电环境仪器公司 Thermo Fisher 生产的 49 C O<sub>3</sub> 分析仪, 检测方法为紫外光度法, 原理为 O<sub>3</sub> 分子吸收波长为 254 nm 的紫外光, 根据检测样品通过紫外光时被吸收的程度来计算出 O<sub>3</sub> 的体积分数。NO<sub>2</sub> 监测仪器为 Thermo Fisher 42 C 基于化学发光法的 NO-NO<sub>2</sub>-NO<sub>x</sub> 分析仪。设备由技术人员定期维护保养, O<sub>3</sub> 监测仪器每 3 d 进行 1 次零跨越校准, 每 3 个月进行 1 次精密度审核, 每 6 个月进行 1 次准确度检查以确保本市 O<sub>3</sub> 监测数据的准确性。根据《环境空气质量指数(AQI)技术规定》(HJ 633-2012) 分级方法, O<sub>3</sub> 最大 8h 滑动平均 (O<sub>3</sub>-8 h) > 160 μg/m<sup>3</sup> 为 O<sub>3</sub> 超标日, 文中使用的为 O<sub>3</sub>-8 h 浓度。



图 1 承德市环境监测站分布

地面气象要素数据来源于承德市气象站 (117.95°E, 40.98°N), 观测仪器采用荷兰 Vaisala 公司生产的六参数 WXT520 气象仪, 参照国家标准定期校准, 确保监测数据的准确性。

### 2 结果与讨论

#### 2.1 O<sub>3</sub>、NO<sub>2</sub>、CO 污染概况

承德市轻度污染及以上天气主要由首要污染物 PM<sub>10</sub>、PM<sub>2.5</sub> 和 O<sub>3</sub> 产生。以 O<sub>3</sub> 为首要污染物的天数, 2014、2015、2016 年分别为 43、52、51 d, 且 O<sub>3</sub> 污染

日数占全年污染日数的比重分别为 36%、48%、55% (图 2), 呈逐年增加趋势。从图 2 还可以看出 O<sub>3</sub> 污染的轻重程度, 2014、2015、2016 年 O<sub>3</sub> 轻度污染日数分别为 38、37、39 d, O<sub>3</sub> 中度污染日数分别为 5、14、12 d, 重度污染只有在 2015 年出现了 1 d。

从逐月 O<sub>3</sub> 污染日数来看, 11 月和冬季 (12 月到次年 2 月) 无 O<sub>3</sub> 污染日数, 3 月和 10 月仅在 2016 年各出现了 1 d 轻度污染, 臭氧污染日数主要出现在 4—9 月, 以 5 月和 7 月最多, 平均达到了 12—13 d。

NO<sub>2</sub> 年平均浓度 2014、2015、2016 年分别为 38.8、34.6、35.1 μg/m<sup>3</sup>, CO 年平均浓度 2014、2015、2016 分别为 1.057、1.03、0.966 μg/m<sup>3</sup>。O<sub>3</sub> 前体物浓度与 PM<sub>2.5</sub><sup>[21]</sup> 污染一样, 基本呈现逐年下降的趋势, 可见加大节能减排力度之后, 效果显著。

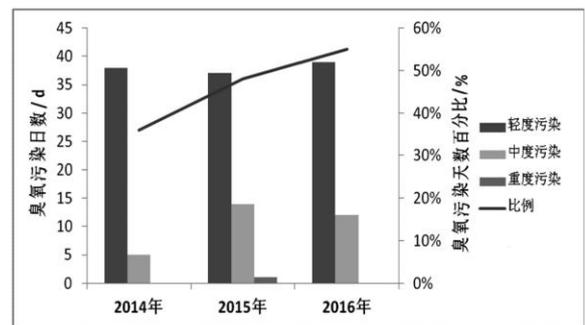


图 2 2014—2016 年臭氧污染日数及比例

#### 2.2 O<sub>3</sub>、NO<sub>2</sub>、CO 浓度及气温的季节变化

O<sub>3</sub>-8 h 月平均浓度 (图 3) 呈现春夏季高而秋冬季低的特征, 高浓度的 O<sub>3</sub>-8 h 主要集中在 4—8 月, 月平均 O<sub>3</sub>-8 h 浓度超过了 160 μg/m<sup>3</sup>, 最大月平均 O<sub>3</sub>-8 h 浓度出现在 6 月份, 为 178 μg/m<sup>3</sup>; 1 月、2 月和 10—12 月月平均 O<sub>3</sub>-8 h 浓度较低, 均低于 100 μg/m<sup>3</sup>, 最小月平均 O<sub>3</sub>-8 h 浓度出现在 12 月份, 为 48 μg/m<sup>3</sup>。O<sub>3</sub> 是光化学反应的产物, 温度、光照和太阳辐射等气象因素对其浓度影响较大。从图 3 还可以发现月平均气温与 O<sub>3</sub>-8 h 浓度呈现一致的变化趋势, 表现为夏季高而冬季低的变化特征, 4—9 月月平均气温均高于 13 °C, 最高出现在 7 月为 25 °C; 1—3 月和 10—12 月月平均气温均低于 10 °C, 最低出现在 1 月为 -10.4 °C。

O<sub>3</sub> 前体物 NO<sub>2</sub> 和 CO 的月平均浓度与 O<sub>3</sub> 呈现相反的变化趋势, 表现为冬季高而夏季低的特征 (图 3)。NO<sub>2</sub> 月平均浓度在 2 月和 4—9 月份均低于

30  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ,最低浓度出现在6月份为25  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ;1月、3月和10—12月 $\text{NO}_2$ 月平均浓度均大于40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ,最高浓度出现在12月为55  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。 $\text{CO}$ 月平均浓度在4—10月份均低于0.86  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ,最低浓度出现在6月份为0.58  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ;1—3月和11—12月 $\text{CO}$ 月平均浓度均大于0.99  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ,最大出现在12月为1.81  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。 $\text{NO}_2$ 和 $\text{CO}$ 的分布特征主要与秋冬季污染源排放较多和大气扩散能力较差有关,还需要进一步分析研究。

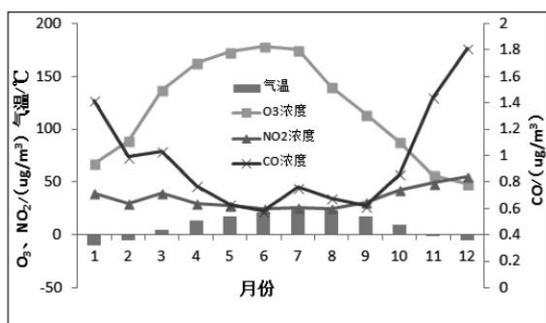


图3 2016年 $\text{O}_3$ -8 h、 $\text{NO}_2$ 、 $\text{CO}$ 浓度及气温的季节变化

### 2.3 $\text{O}_3$ 、 $\text{NO}_2$ 、 $\text{CO}$ 浓度及气温的日变化

$\text{O}_3$ 浓度日变化(图4)呈单峰型分布特征, $\text{O}_3$ 最低小时浓度出现在早晨8:00为65.3  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ,9:00—12:00为 $\text{O}_3$ 浓度迅速增加时段,增速高达40~60 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )/h, $\text{O}_3$ 较高浓度分布在11:00—20:00,峰值出现在15:00为280.8  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ,夜间浓度开始缓慢下降。气温的分布与 $\text{O}_3$ 浓度呈现一致的变化特征,也为单峰型分布,最低气温出现在5:00为16.4  $^{\circ}\text{C}$ ,8:00—12:00为气温的快速增长时段,增幅高达2~4  $^{\circ}\text{C}/\text{h}$ ,最高气温出现在15:00为31.6  $^{\circ}\text{C}$ 。 $\text{CO}$ 浓度在一天中呈现三峰型分布,2:00—3:00出现了 $\text{CO}$ 浓度的第一个低值区,为0.63  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ; $\text{CO}$ 浓度较高的时段为10:00—16:00,均高于1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ,期间分别在11:00和14:00出现了2个峰值;15:00以后 $\text{CO}$ 浓度开始下降,降幅0.1~0.2 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )/h,在19:00—20:00出现了第二个低值区,入夜后 $\text{CO}$ 浓度缓慢上升,增幅较小。 $\text{NO}_2$ 的日变化也呈双峰型分布,与 $\text{O}_3$ 呈相反的变化特征,表现为下午浓度低而夜间浓度高,12:00—19:00维持较低浓度,均低于21  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ,这与下午大气扩散条件有利有关,浓度峰值出现在8:00和23:00,分别为60  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 和52.5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ,这与早晨上班高峰机动车排放较多和夜间大气扩散条件不利有关。

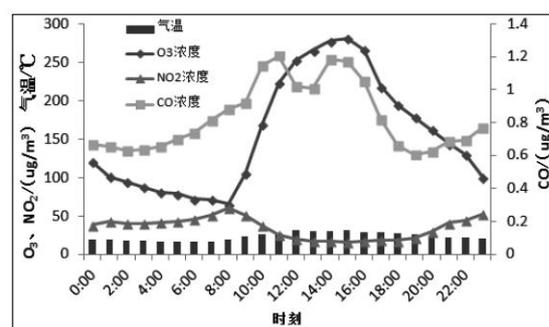


图4  $\text{O}_3$ -8 h、 $\text{NO}_2$ 、 $\text{CO}$ 浓度及气温的日变化

### 2.4 $\text{O}_3$ 、 $\text{NO}_2$ 、 $\text{CO}$ 浓度及气温的空间分布

年平均 $\text{O}_3$ -8 h浓度的空间分布表现为东北低、西部及南部高的特征(图5a),低浓度中心位于围场县,年平均 $\text{O}_3$ -8 h浓度为135  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ;高浓度中心位于滦平县,年平均 $\text{O}_3$ 浓度为164  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。图5b为气温的年平均分布,可以发现气温与 $\text{O}_3$ -8 h浓度的分布趋势较一致,表现为北部气温低而南部气温高的特征,最低气温出现在围场县为4.8  $^{\circ}\text{C}$ ,最高气温出现在宽城县为10.1  $^{\circ}\text{C}$ 。 $\text{O}_3$ 前体物 $\text{NO}_2$ (图5c)和 $\text{CO}$ (图5d)均表现为北低南高的空间分布趋势,围场、丰宁和隆化县浓度较低, $\text{NO}_2$ 年平均浓度为25~26  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , $\text{CO}$ 年平均浓度为1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以内,这与承德市北部工业相对中南部地区欠发达,机动车辆较少有关;兴隆、承德县、宽城浓度较高, $\text{NO}_2$ 年平均浓度高达32~35  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , $\text{CO}$ 年平均浓度高达1.4~1.9  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ,这与南部地区工业相对较发达,污染源排放较多有关。

### 2.5 $\text{O}_3$ 与 $\text{NO}_2$ 、 $\text{CO}$ 浓度关系

图6a为2016年 $\text{O}_3$ -8 h浓度与 $\text{NO}_2$ 日平均浓度拟合关系的散点图,两者的相关系数 $r=-0.32499$ ,通过了 $\alpha=0.001$ 的显著性检验,两者年变化趋势呈现显著的负相关关系。当 $\text{O}_3$ -8 h浓度>160  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 时, $\text{NO}_2$ 浓度主要集中在20~40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , $\text{O}_3$ -8 h浓度峰值集中在 $\text{NO}_2$ 浓度30  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ,当 $\text{NO}_2$ 浓度<20  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 和>50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 时, $\text{O}_3$ -8 h浓度超标较少。图6b为2016年 $\text{O}_3$ -8 h浓度与 $\text{CO}$ 日平均浓度拟合关系的散点图,两者的相关系数 $r=-0.32048$ ,通过了 $\alpha=0.001$ 的显著性检验,两者的年变化趋势也呈现显著的负相关关系, $\text{O}_3$ -8 h浓度>160  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 时, $\text{CO}$ 浓度集中在1.5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以内,随着 $\text{CO}$ 浓度的增加, $\text{O}_3$ -8 h浓度迅速降低。

### 2.6 气象条件对 $\text{O}_3$ 浓度的影响

前体物污染源的贡献和太阳辐射对 $\text{O}_3$ 浓度的变化有重要的影响,同时大气环流和气象要素在 $\text{O}_3$

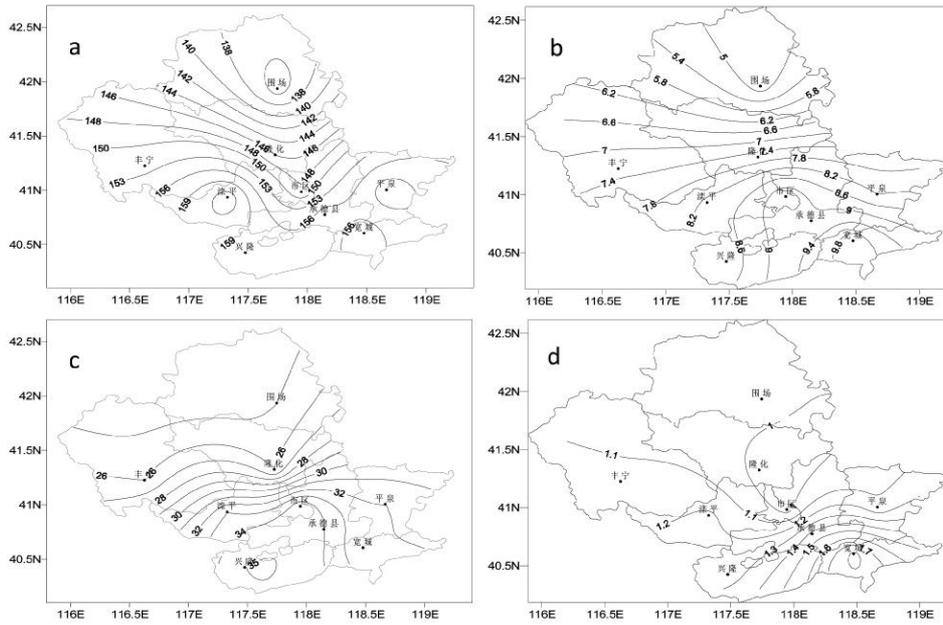


图5 2016年O<sub>3</sub>(a)、气温(b)、NO<sub>2</sub>(c)及CO(d)年平均分布

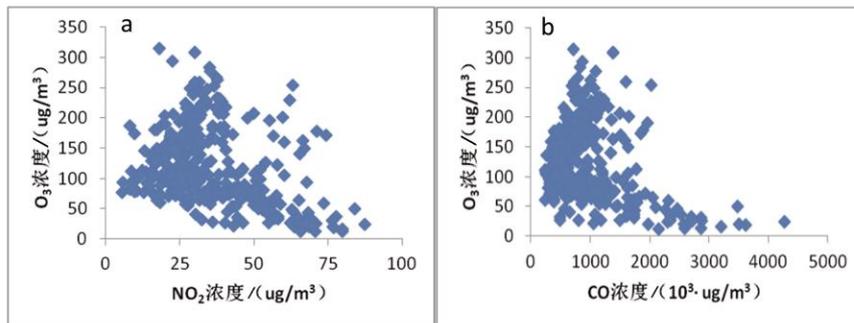


图6 2016年O<sub>3</sub>与NO<sub>2</sub>(a)、CO(b)拟合关系

的形成、沉降、传输和稀释中扮演着重要的角色。太阳辐射是决定O<sub>3</sub>产生的关键因素，且O<sub>3</sub>浓度会滞后于太阳辐射强度的变化。温度作为太阳辐射强弱的重要指标，存在显著的季节性差异，夏季最高，冬季最低，这与O<sub>3</sub>浓度的季节变化差异具有相似性。相对湿度是大气中的相对含水量，反映水汽的饱和程度，主要受水汽和温度的影响，在夜间较高而午后出现最低值，降水和相对湿度对于O<sub>3</sub>污染物的形成和沉降有重要的影响。风向能够反映污染物传输的来向，风速能够反映大气边界层湍流的强弱，风速增大有利于污染物的扩散，同时边界层高度上升，有利于上层O<sub>3</sub>污染物向下传输。气象因子通过影响光化学反应的发生和污染物的传输，从而引起近地层O<sub>3</sub>浓度的变化。

### 2.6.1 太阳辐射与O<sub>3</sub>浓度

图7a为2016年承德市逐日O<sub>3</sub>-8h浓度与逐日最大总辐射辐照度拟合关系的散点图，可以发现

较高的O<sub>3</sub>浓度主要集中在太阳总辐射辐照度较强的情况下，两者的相关系数 $r=0.49$ ，呈现显著的正相关关系。图7b为总辐射辐照度对应的O<sub>3</sub>-8h平均浓度和超标率，当总辐射辐照度 $\leq 650 \text{ W/m}^2$ 时，O<sub>3</sub>的超标率 $<15\%$ ，O<sub>3</sub>-8h平均浓度也最低，仅为92~102  $\mu\text{g/m}^3$ 。总辐射辐照度每增加50  $\text{W/m}^2$ ，O<sub>3</sub>-8h平均浓度增加10~20  $\mu\text{g/m}^3$ ，当总辐射辐照度在900~1000  $\text{W/m}^2$ 时，O<sub>3</sub>-8h平均浓度超过160  $\mu\text{g/m}^3$ ，O<sub>3</sub>的超标率超过56%，可见该范围是承德市发生O<sub>3</sub>污染的关键太阳辐射范围。当总辐射辐照度超过1000  $\text{W/m}^2$ 时，O<sub>3</sub>-8h平均浓度和超标率又开始下降。进一步研究发现，总辐射辐照度 $>900 \text{ W/m}^2$ 的情况多发生于春夏季节，且此时恰好为承德市O<sub>3</sub>超标最为严重的时候。

### 2.6.2 最高气温与O<sub>3</sub>浓度

随着日最高气温的升高，O<sub>3</sub>-8h浓度逐渐升高(图8a)，当日最高气温大于20  $^{\circ}\text{C}$ 时，O<sub>3</sub>-8h浓度随

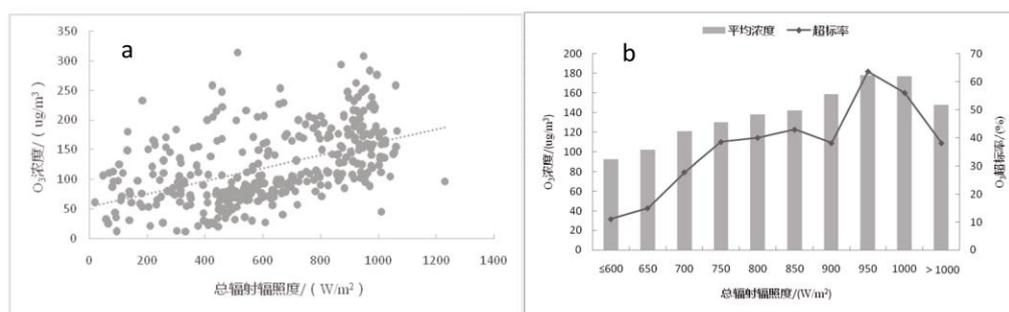


图7 2016年承德市O<sub>3</sub>浓度与总辐射辐照度拟合关系(a)及总辐射辐照度对应的O<sub>3</sub>超标率和O<sub>3</sub>-8h平均浓度(b)

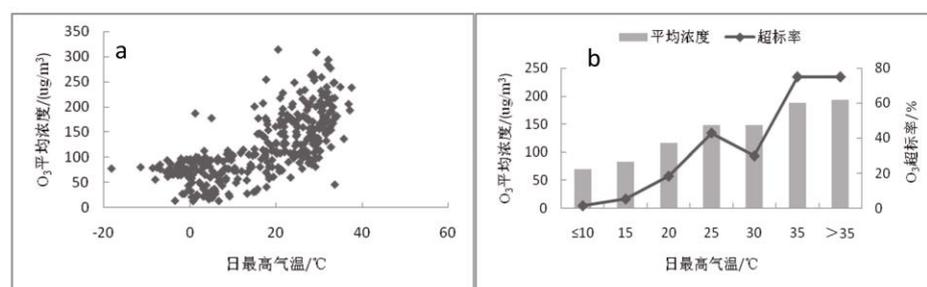


图8 2016年承德市O<sub>3</sub>浓度与日最高气温拟合关系(a)及日最高气温对应的O<sub>3</sub>超标率和O<sub>3</sub>-8h平均浓度(b)

温度升高的增幅也逐渐增大。日最高气温与O<sub>3</sub>-8h浓度的相关系数 $r=0.69$ ,两者呈显著的正相关关系。当日最高气温 $<15^{\circ}\text{C}$ 时,O<sub>3</sub>超标率 $<6\%$ ,O<sub>3</sub>-8h平均浓度 $<83\mu\text{g}/\text{m}^3$ (图8b)。当日最高气温在 $15\sim 25^{\circ}\text{C}$ 时,日最高气温每上升 $5^{\circ}\text{C}$ ,O<sub>3</sub>-8h平均浓度上升 $30\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。当日最高气温 $>30^{\circ}\text{C}$ 时,O<sub>3</sub>超标率迅速上升到 $75\%$ ,O<sub>3</sub>-8h平均浓度 $>188\mu\text{g}/\text{m}^3$ ,可见这一范围是承德市发生O<sub>3</sub>污染的关键日最高气温范围。这是因为气温越高,太阳辐射越强,光化学反应的强度越强烈,光化学反应的产物O<sub>3</sub>浓度也随之升高。日最高气温 $>30^{\circ}\text{C}$ 的季节多发生在5—8月,与承德市O<sub>3</sub>超标最为严重的季节相符。

### 2.6.3 降水和相对湿度与O<sub>3</sub>浓度

为了分析降水对O<sub>3</sub>-8h浓度的影响,分别统计了4—9月份O<sub>3</sub>污染天气多发季节有降水日和无降水日的O<sub>3</sub>-8h浓度和超标率,发现承德市2016年4—9月有降水日数54d,O<sub>3</sub>-8h平均浓度为 $135\mu\text{g}/\text{m}^3$ ,O<sub>3</sub>的超标率为 $25.9\%$ ;无降水日数为129d,O<sub>3</sub>-8h平均浓度为 $166\mu\text{g}/\text{m}^3$ ,O<sub>3</sub>的超标率为 $53.5\%$ 。这是因为降水天气时云层较厚,减少了日照时数,云雨粒子散射和吸收了到达近地层的太阳辐射;加之降水过程带来一定的湿清除效应,使得降水日的O<sub>3</sub>浓度较无降水日明显降低。

总体来看,日最小相对湿度与O<sub>3</sub>浓度呈负相关关系,相关系数 $r=-0.18$ ,O<sub>3</sub>超标率和O<sub>3</sub>-8h平均浓度随着相对湿度的变化有2个峰值(图9),相对湿度 $<20\%$ 时,O<sub>3</sub>超标率 $28\%\sim 33\%$ ,O<sub>3</sub>-8h平均浓度 $137\sim 142\mu\text{g}/\text{m}^3$ ,相对湿度 $50\%\sim 60\%$ 时,O<sub>3</sub>超标率 $34\%$ ,O<sub>3</sub>-8h平均浓度 $127\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。当相对湿度 $>60\%$ 时,O<sub>3</sub>-8h平均浓度 $<86\mu\text{g}/\text{m}^3$ ,O<sub>3</sub>超标率 $<9\%$ ,表明较高的相对湿度不利于O<sub>3</sub>的生成。这主要是因为在水汽的作用下会因消光机制衰减到达近地层的太阳辐射;高湿度有利于O<sub>3</sub>的干沉降,从而达到清除O<sub>3</sub>的作用;同时高相对湿度下,空气中水汽所含的OH、HO<sub>2</sub>等自由基能够迅速将O<sub>3</sub>分解为O<sub>2</sub>,从而降低近地层大气中O<sub>3</sub>的浓度。

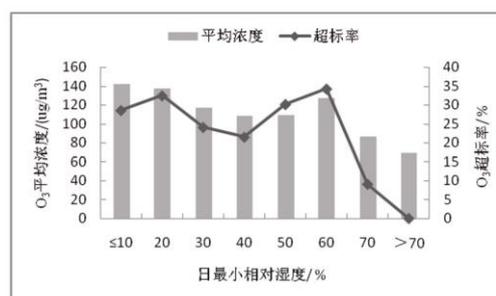


图9 日最小相对湿度对应的O<sub>3</sub>超标率和O<sub>3</sub>-8h平均浓度

### 2.6.4 风向风速与 O<sub>3</sub> 浓度

气流来源不同也是影响 O<sub>3</sub> 浓度的重要因素,来自清洁地区的气流中污染物浓度较低,而来自污染地区的气流中往往包含着大量的污染物,含有 O<sub>3</sub> 及其前体物。因此,承德市 O<sub>3</sub> 浓度受风向风速影响呈现出高低不同的差异。图 10 为 2016 年承德市风向风速所对应的 O<sub>3</sub> 平均浓度和 O<sub>3</sub> 超标率,在偏南气流控制下,O<sub>3</sub> 污染最为严重,O<sub>3</sub>-8 h 平均浓度和超标率分别为 185 μg/m<sup>3</sup> 和 77.5%,同时偏南风的风速也较强,平均风速达到了 1.9 m/s;其次为西南气流控制,O<sub>3</sub>-8 h 平均浓度和超标率分别为 179 μg/m<sup>3</sup> 和 54.5%,西南风的平均风速 1.8 m/s。其他风向所对应的 O<sub>3</sub>-8 h 平均浓度和超标率则相对较低。这主要是因为承德市西南方向为北京,南方为唐山,这两个地区的污染相对较严重,有利于 O<sub>3</sub> 及其前体物等

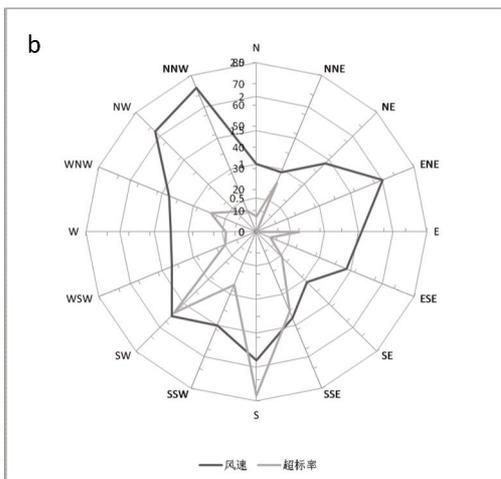
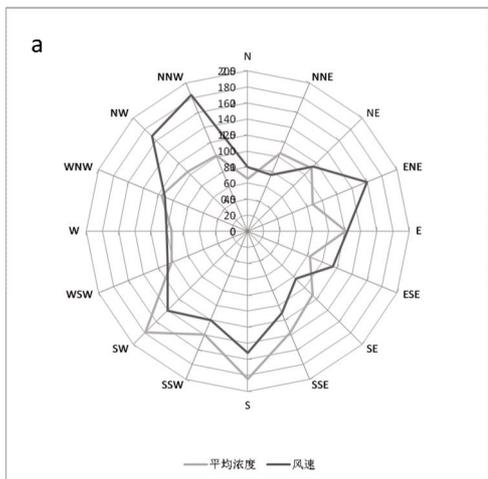


图 10 风向风速对应的 O<sub>3</sub>-8 h 平均浓度(a)和 O<sub>3</sub> 超标率(b)

污染物向承德地区输送;西北和偏北气流携带蒙古的冷空气南下,有利于污染物的稀释和扩散;偏东气流来自渤海湾,水汽充沛且相对较洁净,也不利于 O<sub>3</sub> 污染物的生成和积累。

### 3 结论

(1)承德市 O<sub>3</sub> 污染日数及所占污染总日数的比重呈逐年增加趋势,O<sub>3</sub> 污染日主要出现在 4—9 月,O<sub>3</sub> 前体物浓度基本呈现逐年下降的趋势。

(2)4—8 月 O<sub>3</sub>-8 h 月平均浓度均 >160 μg/m<sup>3</sup>,1—2 月和 10—12 月 O<sub>3</sub>-8 h 月平均浓度均低于 100 μg/m<sup>3</sup>;月平均气温与 O<sub>3</sub>-8 h 浓度呈现一致的变化趋势,表现为夏季高而冬季低的变化特征;O<sub>3</sub> 前体物 NO<sub>2</sub> 和 CO 的月平均浓度与 O<sub>3</sub> 呈现相反的变化趋势,表现为冬季高而夏季低的特征。

(3)承德市 O<sub>3</sub> 浓度的日变化呈单峰型分布,上午 9:00—12:00 为 O<sub>3</sub> 浓度迅速增加时段,峰值出现在下午 15:00 左右;气温与 O<sub>3</sub> 呈现一致的日变化趋势,NO<sub>2</sub> 与 O<sub>3</sub> 呈现相反的日变化趋势,CO 的峰值浓度出现在 11:00—14:00。

(4)承德市 O<sub>3</sub>-8 h 年平均浓度的空间分布表现东北部低、西部及南部地区高的特征,气温、NO<sub>2</sub>、CO 浓度均表现为北低南高的变化特征。

(5)O<sub>3</sub>-8 h 浓度与前体物 NO<sub>2</sub> 和 CO 均呈显著的负相关关系,O<sub>3</sub>-8 h 浓度 >160 μg/m<sup>3</sup> 时,NO<sub>2</sub> 浓度主要集中在 20~40 μg/m<sup>3</sup>,CO 浓度集中在 1.5 μg/m<sup>3</sup> 以内。

(6)气象要素在 O<sub>3</sub> 的形成、沉降、传输和稀释中有重要的作用,有利于承德市出现 O<sub>3</sub> 污染天气的气象要素为太阳总辐射辐照度 900~1000 W/m<sup>2</sup>,日最高气温 >30 ℃,无降水产生,日最小相对湿度 <20% 和 50%~60%,受偏南风或西南风影响。

### 参考文献:

- [1] 王雪松,李金龙. 人为源排 VOC 对北京地区臭氧生成的贡献[J]. 中国环境科学, 2002, 22(6): 22-26.
- [2] 吴方堃,王跃思,安俊琳,等. 北京奥运时段 VOCs 浓度变化、臭氧产生潜势及来源分析研究 [J]. 环境科学, 2010, 31(1): 10-16.
- [3] 梁永贤,尹魁浩,胡泳涛,等. 深圳地区臭氧污染来源的敏感性分析 [J]. 中国环境科学, 2014, 34 (6): 1390-1396.
- [4] Zou Y,Deng X J,Zhu D,et al. Characteristics of 1 year of observational data of VOCs, NO<sub>x</sub> and O<sub>3</sub> at a suburban site in Guangzhou, China [J]. Atmospheric Chemistry & Physics, 2015, 15(12): 6625-6636.

- [5] 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.
- [6] Liu SK, Cai S, Chen Y, et al. The effect of pollutional haze on pulmonary function [J]. J Thorac Dis, 2016, 8 (1): E41-E56.
- [7] Zychowski KE, Lucas SN, Sanchez B, et al. Hypoxia - induced pulmonary arterial hypertension augments lung injury and airway reactivity caused by ozone exposure[J]. Toxicol Appl Pharm, 2016, 305(6):40-45.
- [8] 张天航,银燕,高晋徽,等. 中国华东高海拔地区春夏季臭氧质量浓度变化特征及来源分析 [J]. 大气科学学报, 2013, 36(6): 684-689.
- [9] 陈宜然,陈长虹,王红丽,等. 上海臭氧及前体物变化特征相关性研究[J]. 中国环境监测, 2011, 27(5): 44-49.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] 贾海鹰,尹婷,瞿霞,等. 2015年北京及周边地区臭氧浓度特征及来源模拟[J]. 中国环境科学, 2017, 37(4): 1231-1238.
- [13] 王占山,李云婷,陈添,等. 北京市臭氧的时空分布特征 [J]. 环境科学, 2014, 35(12): 4446-4453.
- [14] 安俊琳,王跃思,孙扬.气象因素对北京臭氧的影响[J]. 生态环境学报, 2009, 18(3): 944-951.
- [15] 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.
- [16] 严茹莎,陈敏东,高庆先,等. 北京夏季典型臭氧污染分布特征及影响因子 [J]. 环境科学研究, 2013, 26(1): 43-49.
- [17] 唐贵谦,李昕,王效科,等. 天气型对北京地区近地面臭氧的影响[J]. 环境科学, 2010, 31(3):573-578.
- [18] 王宏,林长城,陈晓秋,等.天气条件对福州近地层臭氧分布的影响[J].生态环境学报, 2011, 20(22):1320-1325.
- [19] 冯钰博,谭国明,杨杰.承德市 2006—2015 年雾的分布特征及典型环流背景分析 [J]. 内蒙古气象, 2017, 4: 13-16.
- [20] 张晓辉. 承德市一次持续性雾霾天气过程的分析 [J]. 南方农业, 2017, 11(27): 91-93.
- [21] 陆倩,王国辉,付娇,等. 承德市 O<sub>3</sub> 污染特征及天气条件分析[J]. 环保科技, 2017, 23(6): 16-20.

## Variation Characteristics of Ozone and Its Precursor Concentration in Chengde

LU Qian<sup>1</sup>, TANG Libin<sup>2</sup>, TIAN Jing<sup>1</sup>, FU Jiao<sup>3</sup>, ZHOU Shiru<sup>1</sup>

(1. Chengde Meteorological Bureau, Chengde 067000, China; 2. Kuancheng Meteorological Bureau, Kuancheng 067600, China; 3. Hebei Weather Modification Office, Shijiazhuang 050021, China)

**Abstract** Based on the data of environmental monitoring station and meteorological station in Chengde City from 2014 to 2016, the concentrations of O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, CO and temperature were analyzed. The conclusions showed as follows. The number of days and proportion of ozone pollution in Chengde City increased year by year. The monthly mean concentration of O<sub>3</sub>-8 h showed seasonal variation characteristics of high in summer and low in winter; and the monthly mean temperature showed the same variation trend with it. While the concentration of NO<sub>2</sub> and CO showed the reverse change trend, showing high in winter and low in summer. The diurnal variation of ozone concentration showed a single-peak pattern. The concentration increased in the afternoon and decreased at night, which was consistent with the diurnal variation of temperature, while the concentration of NO<sub>2</sub> showed the opposite trend. The concentration of CO showed a three-peak pattern and the highest concentration appeared at noon. The spatial distribution of concentration of O<sub>3</sub>-8 h, NO<sub>2</sub>, CO and temperature showed the north low and the south high. There was a significant negative correlation between ozone-8h concentration and NO<sub>2</sub> and CO. The meteorological elements favorable for the occurrence of ozone pollution weather in Chengde are total solar radiation irradiance during 900-1000W/m<sup>2</sup>, the daily maximum temperature greater than 30 °C, no precipitation, and the daily minimum relative humidity less than 20% and 50%~60%, southerly wind or southwest wind.

**Key words** O<sub>3</sub> concentration; precursor concentration; distribution characteristics; meteorological element