

2017 年广东省台风期间 O₃ 污染过程特征及影响因素分析*

叶斯琪¹ 张月佳² 陈多宏^{1#} 谢敏¹ 沈劲¹ 汪宇¹ 邓滢¹ 蔡日东¹

(1.广东省环境监测中心,国家环境保护区域空气质量监测重点实验室,

广东省环境保护大气二次污染研究重点实验室,广东 广州 510308;

2.广东旭诚科技有限公司,广东 广州 510275)

摘要 2017 年 7 月 25 日至 8 月 2 日台风“纳沙”和“海棠”影响期间,广东省出现大范围 O₃ 污染过程,分析了其变化特征和影响因素。结果表明,台风登陆前城市 O₃ 污染逐渐加重,而台风登陆后 O₃ 污染逐渐缓解,污染较重城市集中分布在广东省中部,主要是广州市、佛山市、江门市、东莞市、中山市、汕尾市和清远市。造成台风期间 O₃ 污染的主要原因是:(1)双台风影响期间,广东省总体受海平面高压控制,以高温晴热天气为主,太阳辐射强、气温高、降水少,相对湿度较低,有利于本地光化学反应进行;(2)受台风外围下沉气流影响,垂直方向扩散条件不利,而平流层 O₃ 有可能向下运输;(3)台风登陆阶段,近地面风向以偏北风为主导,且风速小,导致 O₃ 浓度出现明显的上升。

关键词 O₃ 天气形势 气象因素 台风

DOI:10.15985/j.cnki.1001-3865.2019.11.012

Characteristics and impact factors of ozone pollution episode in Guangdong Province during typhoon period in 2017 YE Siqu¹, ZHANG Yuejia², CHEN Duohong¹, XIE Min¹, SHEN Jin¹, WANG Yu¹, DENG Ying¹, CAI Ridong¹. (1.State Environmental Protection Key Laboratory of Regional Air Quality Monitoring, Guangdong Environmental Protection Key Laboratory of Secondary Air Pollution Research, Guangdong Environmental Monitoring Center, Guangzhou Guangdong 510308; 2.Guangdong Suncere Technology Co., Ltd., Guangzhou Guangdong 510275)

Abstract: Variation characteristics and impact factors of a large-scale O₃ pollution episode in Guangdong Province during typhoon “Nasha” and “Haitang” from July 25th to August 2nd in 2017 were analyzed. Results showed that before the typhoons landed, O₃ pollution got worse persistently, but turned better after the typhoons landed. The pollution in central of Guangdong Province was more heavy, especially in Guangzhou City, Foshan City, Jiangmen City, Dongguan City, Zhongshan City, Shanwei City and Qingyuan City. Main reasons contributed to the above pollution episode included the following aspects: (1) during the two typhoons, Guangdong Province was dominantly controlled by high pressure, sunny and hot weather with strong solar radiation, high temperature, little precipitation and low relative humidity, which were favorable to enhance local photochemical reactions. (2) Affected by the surrounding downward drafts of typhoons, the vertical diffusion was weakened but brought O₃ from stratosphere. (3) During the pollution episode, the surface wind speed were low, mainly from north direction, resulting in O₃ raising.

Keywords: ozone; weather situation; meteorological factors; typhoon

近年来,广东省 O₃ 污染问题日益严峻,尤其是在夏秋季节,高浓度 O₃ 污染事件频频发生,且影响范围有逐年扩大的趋势。夏秋季节,广东省会频繁遭受来自南海和西太平洋的台风袭击。台风登陆前后天气状况和大气污染特征都会发生显著的变化,尤其是在受到台风外围下沉气流影响时, O₃ 浓度会在短时间内迅速升高。

吴蒙等^[1]研究发现,台风登陆前珠三角地区出现灰霾天气主要与台风外围下沉气流导致的静风、

边界层低压和低空逆温层等有关。嵇萍等^[2]分析了台风“妮姐”登陆前珠三角地区近地面出现 O₃ 浓度高峰的原因,发现是台风登陆前的高温晴热天气加强了 O₃ 的光化学生成,而外围下沉气流又造成 O₃ 的垂直传输。陈莉等^[3]使用后向轨迹法追踪西北太平洋地区台风对 O₃ 分布的影响发现,台风中心近地面 O₃ 浓度低,而台风外围下沉气流影响地区则出现 O₃ 浓度升高的现象。

现有研究大多分析台风对区域空气质量的整体

第一作者:叶斯琪,女,1989 年生,硕士,工程师,主要从事空气质量监测与预报工作。* 通讯作者。

* 国家重点研发计划项目(No.2017YFC0212806、No.2018YFC0213903);广东省科技发展专项基金资助项目(No.2017B020216007)。

影响,而未深入剖析不同城市、台风不同影响阶段的 O_3 及其前体物变化差异。本研究分析了2017年7月25日至8月2日台风“纳沙”和“海棠”期间,广东省不同城市、台风不同影响阶段的大范围 O_3 污染过程时空变化特征及其与气象因素的关系。

1 数据和方法

O_3 、NO和 NO_2 等大气污染物小时浓度数据来自广东省国控空气质量自动监测站点。风速和风向(以10 min平均计)、气温、降水量、相对湿度和海平面气压等气象参数来源于中国气象数据网共享的国家级地面站小时观测值(<http://data.cma.cn/data/detail/dataCode/A.0012.0001.html>)。

根据浙江省水利厅、浙江省水利信息管理中心发布的台风“纳沙”和“海棠”的移动路径:台风“纳沙”于2017年7月26日在西太平洋海面生成,于7月30日上午在福建省沿海登陆;台风“海棠”于2017年7月26日在南海中部海面生成,于7月31日凌晨在福建省沿海登陆。7月31日白天,上述两个台风合并后北上。为研究台风不同影响阶段对 O_3 污染过程的影响,将7月25日至27日划分为生成阶段、7月28日至31日为登陆阶段、8月1日至2日为消散阶段。

2 结果与讨论

2.1 O_3 污染过程特征

台风“纳沙”和“海棠”期间,广东省经历了一次较大范围的 O_3 污染过程。 O_3 浓度变化与其前体物 NO_x 之间存在一定的相关关系^[4-6]。广东省7月25日0:00至8月2日23:00的 O_3 、NO、 NO_2 和 NO_x 小时体积分数变化如图1所示。在此次污染过程

中,NO每日的小时体积分数呈单峰特征,峰值出现在7:00至8:00,主要受交通早高峰机动车尾气集中排放的影响。8:00以后,随着太阳辐射的增强,NO参与光化学反应,浓度开始下降,夜间基本保持稳定。 NO_2 在太阳辐射下易光解,主要在夜间发生积累。因此, NO_x 每日的小时体积分数变化总体呈现双峰特征,峰值分别出现在7:00至8:00和22:00至23:00。 O_3 每日的小时体积分数呈单峰特征,经过夜间的消耗转化, O_3 在每天7:00左右达到最低值,日出后随着太阳辐射的增强和前体物的积累, O_3 体积分数上升,14:00前后达到峰值。7月30日之前, O_3 峰值总体呈逐日递增趋势,而7月30日之后,呈逐日递减趋势,但期间NO、 NO_2 和 NO_x 的日间变化基本相同。这是由于,在台风登陆前,受台风外围下沉气流的影响,广东省以晴热天气为主,白天的光化学反应加剧,造成 O_3 峰值明显升高;另一方面,在台风外围下沉气流的作用下,可能平流层的 O_3 会发生垂直方向上的转移。

7月25日至27日台风生成阶段, O_3 轻度污染城市逐渐增多,26日清远市出现了中度污染。7月28日至31日台风登陆阶段, O_3 污染进一步加重,特别是临近台风登陆时,28日清远市、佛山市和中山市出现 O_3 中度污染,江门市出现重度污染,29日江门市和佛山市为 O_3 中度污染,而中山市达到重度污染。从台风登陆开始, O_3 污染开始逐渐减轻,全省空气质量逐步改善, O_3 污染开始缓解,8月2日,所有城市 O_3 浓度回到优良水平。此次 O_3 污染过程呈现明显的区域性特征,污染较重城市集中分布在广东省中部,主要是广州市、佛山市、江门市、东莞市、中山市、汕尾市和清远市。

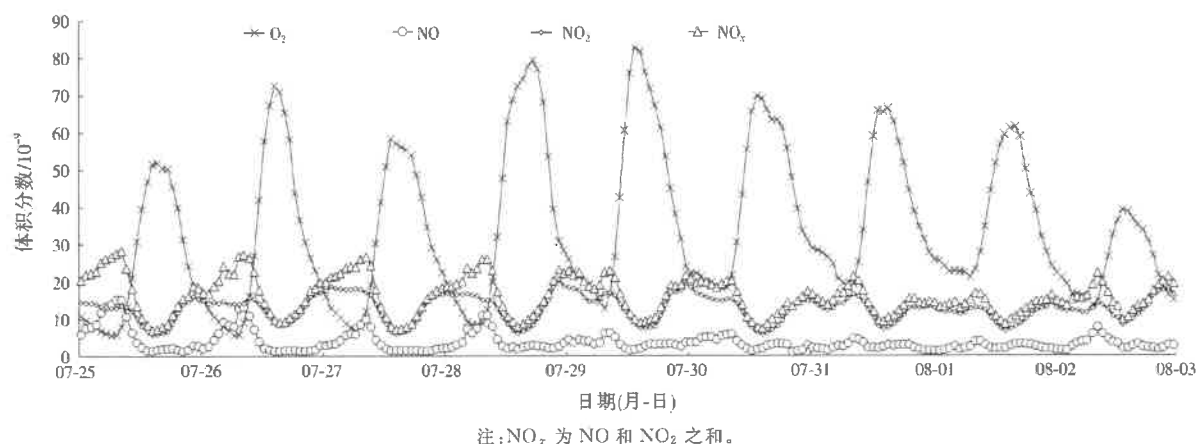
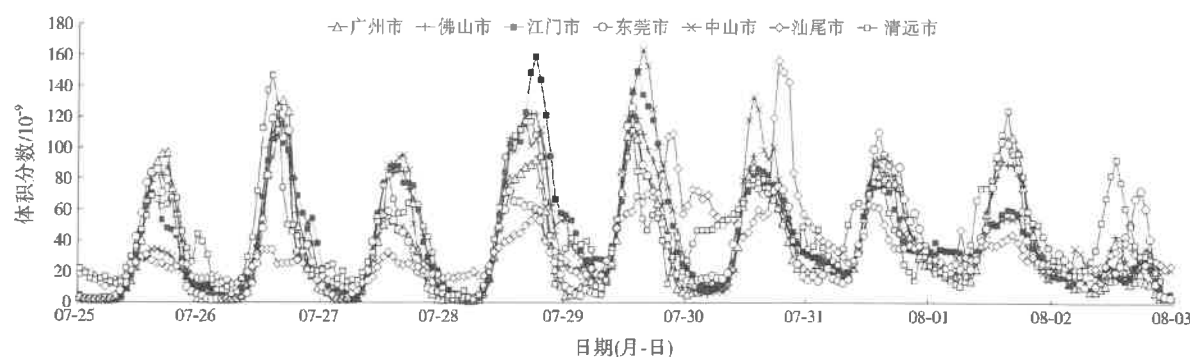
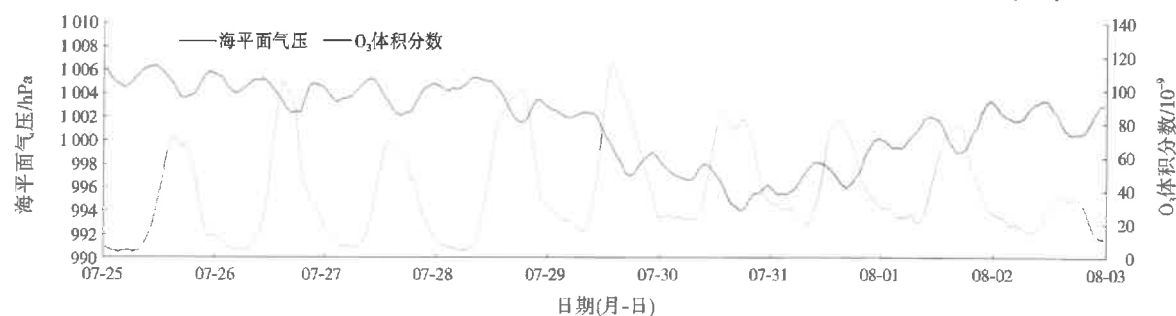


图1 台风期间广东省 O_3 、NO、 NO_2 、 NO_x 每日的小时体积分数变化特征

Fig.1 Variation characteristics of hourly O_3 , NO, NO_2 and NO_x volume fractions in Guangdong Province during typhoon period

图2 污染较重城市 O₃ 每日的小时体积分数变化特征Fig.2 Variation characteristics of hourly O₃ volume fractions in heavily polluted cities every day图3 江门市海平面气压和 O₃ 体积分数的关系Fig.3 Relationship between sea level pressure and O₃ volume fraction in Jiangmen City

对污染较重城市进一步分析台风登陆前后 O₃ 每日的小时体积分数(见图2)。从 O₃ 每日的峰值出现时间来看,台风生成阶段,广州市、佛山市、江门市、东莞市和中山市等珠三角城市,峰值一般出现在 14:00 至 16:00;到了台风登陆阶段,峰值提前到了 12:00 至 15:00。主要原因是,临近台风登录时,受台风外围下沉气流影响造成明显的增温效应,导致 O₃ 浓度上升并且峰值提前。处于粤东的汕尾市和处于粤北的清远市则相反,台风生成阶段, O₃ 峰值出现较早,一般在 12:00 至 14:00;在台风登陆阶段,则出现了夜高峰,推测主要是因为这两个城市前体物排放强度相对较小, O₃ 浓度受台风影响比较敏感,产生不稳定波动。

从 O₃ 每日的高值持续时间来看,台风生成阶段,污染较重城市的 O₃ 高值通常持续 4~6 h;台风登陆阶段, O₃ 高值持续时间普遍延长至 5~8 h,分析原因主要是在台风外围下沉气流控制下,天气晴热,这些城市白天高温的持续时间明显延长。

2.2 气象因素的影响分析

台风登陆前后,临近地区气象条件会发生显著变化。下面重点以广州市、佛山市、江门市、东莞市、中山市、汕尾市和清远市等污染较重城市为研究对象,分析海平面气压、气温、相对湿度、降水量、风速和风向对 O₃ 体积分数的影响。

2.2.1 海平面气压

7 个污染较重城市的海平面气压对 O₃ 的影响具有相似性,以江门市为例进行研究,结果如图 3 所示。海平面气压和 O₃ 体积分数总体呈相反趋势,近地面海平面气压高时,不利于污染物扩散, O₃ 体积分数较高,海平面气压低时,气流上升运动加剧,扩散条件好转, O₃ 浓度能显著下降。

2.2.2 气温

江门市气温与 O₃ 体积分数的关系如图 4 所示。可以看出,气温与 O₃ 体积分数总体趋势一致,都呈现单峰变化特征,但 O₃ 峰值的出现时间普遍比气温峰值的出现时间迟 2~3 h,这主要是因为 O₃ 的积累需要光化学反应一定的时间后实现。

从台风不同影响阶段来看,在台风生成阶段, 30℃及以上高温持续时间约 9 h;台风登陆阶段, 30℃及以上高温持续时间延长至 12~14 h;而台风消散阶段, 30℃及以上高温持续时间又降到了约 4 h。这表明,在台风生成阶段和登陆阶段,受台风外围下沉气流影响造成明显的增温效应,高温出现时间提早,持续时间延长,有利于光化学反应的进行,导致 O₃ 浓度迅速上升并达到较高的峰值;台风消散阶段,随着高温持续时长的显著下降, O₃ 浓度总体比前两个阶段低。

2.2.3 降水量和相对湿度

从图 5 可以看出,台风生成阶段以晴热天气为

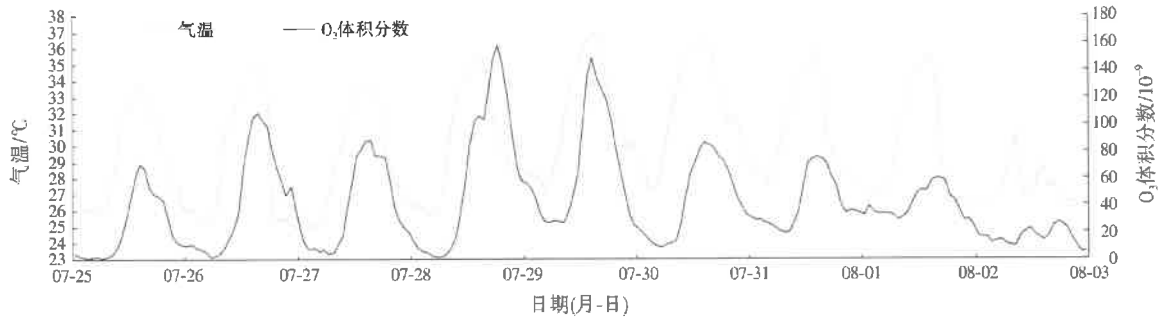


图4 江门市气温和O₃体积分数的关系

Fig.4 Relationship between temperature and O₃ volume fraction in Jiangmen City

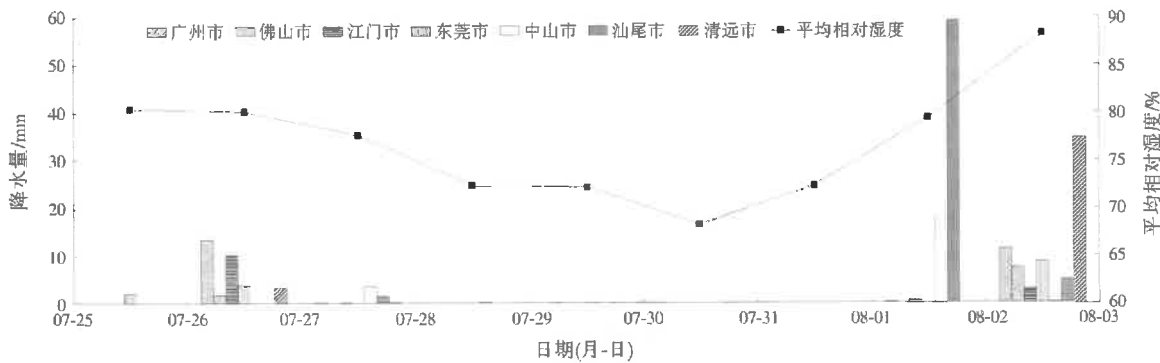


图5 污染较重城市的降水量和平均相对湿度

Fig.5 Precipitation and average relative humidity in polluted cities

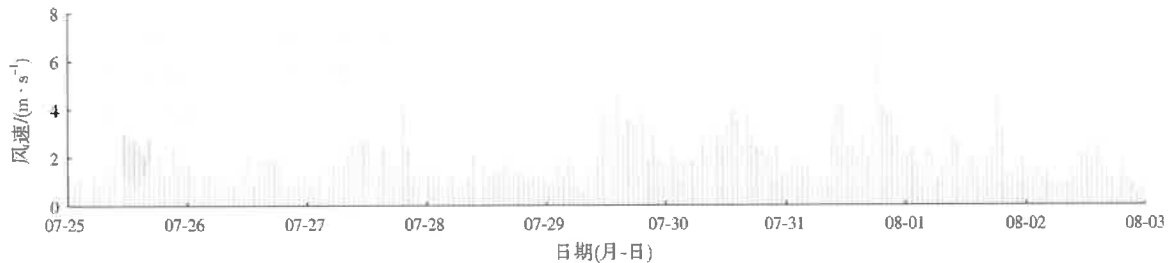


图6 江门市风速变化

Fig.6 Variations of wind speed in Jiangmen City

主,降水较少,台风登陆阶段基本没有降水,台风消散阶段部分地区出现了短时的较强降水。因此台风登陆阶段及之前,由于降水稀少,总体湿清除条件不利,造成O₃污染加剧,而消散阶段的短时强降水对O₃的去除具有明显效果。

从相对湿度来看,7个污染较重城市的平均相对湿度不高,在68%~88%,有利于O₃的生成和积累,特别是台风登陆阶段。

2.2.4 风速和风向

同样以江门市为例,分析台风不同阶段风速和风向对O₃的影响,江门市的风速变化如图6所示。台风生成阶段,近地面以偏南风为主导,同期O₃浓度处于较低水平;台风登陆阶段,近地面风向转为以偏北风为主导,且风速较小,平均为1.2 m/s,导致

O₃浓度出现明显的上升,江门市在7月28日和29日O₃污染分别达到了重度和中度水平;台风消散阶段,近地面风向又转为以偏南风为主导,且平均风速加大到2.0 m/s,有利于污染扩散,使得O₃浓度开始回落。

3 结论

2017年,台风“纳沙”和“海棠”登陆前后,广东省出现了大范围的O₃及其前体物NO_x的污染过程。台风登陆前城市O₃污染逐渐加重,而台风登陆后O₃污染逐渐缓解,污染较重城市集中分布在广东省中部,主要是广州市、佛山市、江门市、东莞市、中山市、汕尾市和清远市。造成台风期间O₃污染的主

(下转第1334页)