

深圳大运会期间一次光化学污染事件成因分析

张立杰¹, 张丽¹, 李磊^{1,2}, 刘爱明¹, 吴兑³

(1. 深圳市气象局, 深圳市国家气候观象台, 广东 深圳 518040; 2. 深圳市城市规划与决策仿真重点实验室, 广东 深圳 518055; 3. 中国气象局广州热带海洋气象研究所, 广东 广州 510080)

摘要: 对深圳大运会期间8月20日发生的一次光化学污染过程进行分析。此次过程中, 处于工业区的石岩大气成分站测得O₃浓度小时平均最大值为213.4 μg/m³, 超过国家环境空气质量二级标准限值(200 μg/m³), 出现时间在当日13:00~14:00时。与处于城区的竹子林站和郊区的西涌站污染物浓度进行对比分析得知, 此次光化学污染的主要特点是局地性强, 持续时间较短, 影响范围小。同步的风速、风向、温度、相对湿度及紫外辐射等气象要素分析表明, 此次光化学污染事件与气象条件关系非常紧密, 当日天气晴朗、日照强烈、温度高、相对湿度适中, 有利于光化学反应的发生, 且不利的风向条件使得来自上风向城区的污染物易于累积。

关键词: 深圳大运会; O₃浓度; 光化学污染; 气象成因

中图分类号: X502

文献标识码: A

文章编号: 1674-6732(2013)-02-0010-05

Causes Analysis of a Photochemical Pollution Event during Shenzhen Universiade

ZHANG Li-jie¹, ZHANG Li¹, LI Lei^{1,2}, LIU Ai-ming¹, WU Dui³

(1. Meteorological Bureau of Shenzhen Municipality, Shenzhen National Climate Observatory, Shenzhen, Guangdong 518040, China; 2. Key Laboratory of Shenzhen Urban Planning and Decision-Making Simulation, Shenzhen, Guangdong 518055, China; 3. Institute of Tropical and Marine Meteorology, CMA, Guangzhou, Guangdong 510080, China)

ABSTRACT: On August 20 during Shenzhen Universiade, a photochemical pollution occurred. The maximum hourly concentration of O₃ reached 213.4 μg/m³ at Shiyuan Atmospheric Composition Station (ACS) located in an industrial area between 13:00~14:00 during the process, which exceeded Grade II limitation (200 μg/m³) of the National Environmental Air Quality Standard. A comparison analysis on the data from Shiyuan sites and other two sites, namely, Zhuzilin Station in urban area and Xichong Station in rural area shows that the photochemical pollution is limited in a local area, and the lasting period is relatively short, and only a small area was influenced by the pollution event. The analyzed meteorological data (wind speed, wind direction, temperature, humidity and ultraviolet radiation) shows that this event has a close relationship with weather condition, and the strong sunshine, high temperature and moderate humidity are good for the photochemical reaction, while adverse wind direction could make the pollutions that comes from the upwind direction easily accumulate.

KEY WORDS: Shenzhen Universiade; concentration of O₃; photochemical pollution; meteorological cause

0 引言

光化学污染是指光化学烟雾对大气环境造成的污染, 光化学污染物包括臭氧及多种化合物, 主要由工业固定源和机动车等流动源排入大气的氮氧化物和碳氢化合物, 在强烈紫外线照射下发生光化学反应生成。光化学污染对人体健康有影响, 污染物浓度达到一定程度时甚至可危害人类生命。

光化学烟雾污染最早出现在1940年美国洛杉矶。国外在大气光化学污染的反应机理、污染规

律、气象和排放条件、对生物体的影响等方面都取得了较大的进展。特别是几次大规模的空气品质综合项目, 包括在加拿大Lower Fraser河谷进行的太平洋93实地研究, 澳大利亚的MAQS项目, 欧共

收稿日期: 2012-11-27; 修订日期: 2013-01-21

基金项目: 国家自然科学基金(51278308, 51008002); 广东省气象局气象科技项目(201028, 2011B14, 2012B29); 亚热带建筑科学国家重点实验室开放课题(2011KB20)。

作者简介: 张立杰(1975—), 女, 副研究员, 博士, 主要从事大气物理与大气环境研究。

体在希腊雅典进行的 MEDCAPHOT - TRACE 项目等,从各个方面对光化学污染进行了较为深入的研究^[1-3]。在臭氧的输送和扩散过程中,气象条件(如温度、风速、太阳辐射、相对湿度、风向等)的变化会引起 O₃浓度的显著变化。

中国的光化学污染最早出现在 20 世纪 70 年代初,国内学者开展了大量的光化学污染特征、机制等的分析研究^[4-12],结果表明,在机动车辆高度发展的地区,排放氮氧化物和碳氢化合物的工厂集中的工业区,必须警惕光化学污染问题。在珠江三角洲地区,由于运输业的快速发展,机动车尾气污染引发的光化学烟雾已频繁出现,珠三角也因此成为中国光化学污染的重点对象之一^[13-17]。

2011 年 8 月,第 26 届世界大学生运动会在深圳举行,为保证良好的空气质量,深圳采用机动车自愿停驶和投放各类新能源汽车的方式,使得深圳空气质量总体保持良好。然而就是在这种背景下,深圳大运会期间仍然发生了一次短暂的光化学污染事件。为探寻此次污染过程的主要原因,笔者利用污染物监测数据、同期气象资料以及数值模拟的方法从不同角度对此次过程的主要特征和形成原因进行了分析。

1 资料说明

污染物浓度数据来自深圳市国家气候观象台大气成分站,主要污染物数据包括 O₃、NO₂、VOC 浓度数据;温度、相对湿度、风速、风向、紫外线辐射等气象数据来自深圳国家基本气象站、自动气象站以及石岩站的风廓线雷达数据。

深圳 3 个大气成分站分别是石岩基地、竹子林基地、西涌,笔者所用数据是 2011 年 8 月 17—22 日的逐小时数据。西涌大气成分站位于深圳东部大鹏半岛,站点所在位置远离市区和密集交通排放源,属于典型的乡村站;竹子林基地站位于深圳的中南部,属于城市站;石岩基地周围交通排放源与工业厂房均较密集,属城市工业区(图 1)。需特别说明的是,由于石岩站点没有 NO₂浓度观测数据,因此选取位于石岩站东南向 9 km 处的宝安监测站的 NO₂浓度数据用于石岩站污染物浓度分析,两站距离较近,认为可以代表石岩地区的 NO₂浓度变化特征。

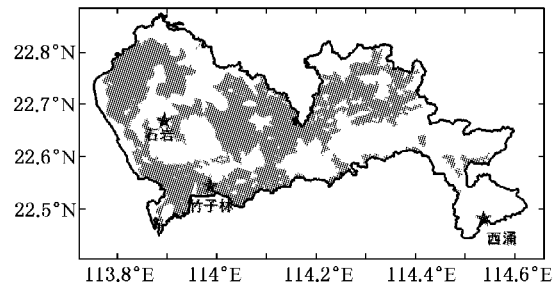


图 1 3 个监测站地理位置示意

2 污染物浓度特征分析

光化学烟雾污染的标志是 O₃浓度的升高,此次过程的 O₃污染物变化特征如图 2 所示,竹子林和石岩的 O₃浓度呈同位相变化,均有明显的日变化特征,在 1 d 之中,夜间 O₃浓度达到最低值,上午 8:00 左右开始呈明显上升趋势,在每日的 13:00 ~ 14:00 达到峰值。西涌的日变化特征与竹子林及石岩有所不同,尤其是在夜间,在另外两站 O₃浓度显著下降时,西涌的 O₃浓度变化幅度不甚明显。3 站日夜变化幅度各有不同,作为工业区代表站的石岩日变化幅度最大,城市站的竹子林变化幅度次于石岩,而乡村站西涌变化幅度相对最小。19 日 8:00 起竹子林和石岩白天 O₃浓度明显增加,日变化幅度也增加,与此同时西涌夜间 O₃浓度明显增加。20 日白天石岩 O₃浓度峰值最高可达 213.4 μg/m³,是 8 月份石岩 O₃浓度平均值的 5.8 倍,出现在当日的 13:00 ~ 14:00,已超过国家环境空气质量污染物 O₃浓度二级标准限值(200 μg/m³)^[18],形成了光化学污染,竹子林和西涌在同一时间的 O₃浓度值分别是 78.7 和 58.8 μg/m³,低于石岩。21 日起竹子林和石岩 O₃浓度仍然维持在较高水平,但总体上峰值呈逐日下降趋势。

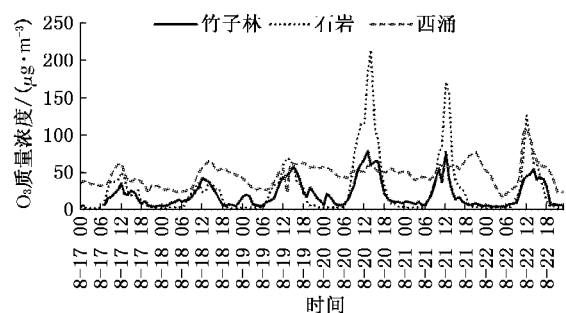


图 2 2011 年 8 月 17—22 日污染物 O₃质量浓度变化

图 3 给出了污染物 O₃、NO₂、VOC 浓度对比变化图,由于石岩和西涌没有 VOC 数据,因此仅分析竹子林 VOC 变化特征,供石岩站参考。

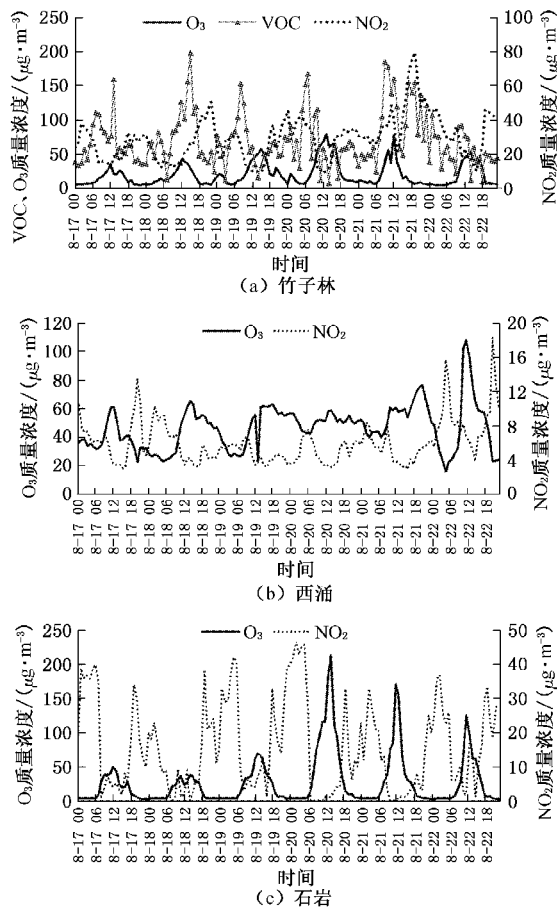


图3 2011年8月17—22日污染物O₃、NO₂、VOC质量浓度对比变化

由图3(a)、(b)可见,竹子林和西涌站的NO₂与O₃浓度均有着明显的反相关关系,在O₃浓度处于高值时段,NO₂浓度处于低值。竹子林站NO₂浓度高值主要开始于傍晚18:00下班时段,夜间由于大气层结稳定,污染物不易扩散,高浓度可持续到早晨的7:00前;在下午时段,道路交通流量较小,汽车尾气排放相对较少,因此竹子林站的NO₂浓度在下午较低;竹子林VOC的浓度也存在明显的日周期特征,峰值一般出现在中午12:00左右,在污染物O₃浓度明显增加的时段19和20日中午前后,VOC浓度却处于低值,因此表明O₃的生成消耗了一定的VOC。

具体分析图3(c)可知,石岩O₃浓度与NO₂浓度亦存在明显的反位相变化。在O₃浓度出现峰值的中午前后,NO₂浓度相对最低。在18日傍晚至19日凌晨,NO₂浓度开始明显增加,直接导致19日中午O₃浓度明显增加;20日凌晨前后,NO₂浓度达近几天最大值,20日中午前后,O₃浓度达最大值并严重超标,此时NO₂浓度出现近几日最低值;此后21日夜间,NO₂浓度下降,21日白天O₃

浓度也出现逐渐下降趋势。由此可推断光化学反应是导致石岩地区O₃浓度超标的重要原因。由于没有石岩站的VOC资料,这里仅根据竹子林站点VOC浓度变化情况推测,石岩地区VOC发生光化学反应很可能是促使O₃浓度升高的另一原因。

3 气象成因分析

3.1 环流形势

850 hpa高空场和地面形势场如图4所示,由图可知,19—21日副热带高压持续控制华南地区,深圳市处于副高南侧偏东下沉气流控制,地面受高压脊控制吹偏东风为主,风力较小。这种天气环流形势总体上是不利于污染物稀释扩散的。

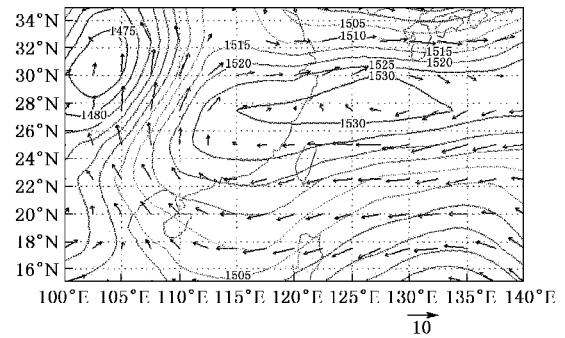


图4 2011年8月20日850 hpa位势高度场和风场

3.2 输送轨迹

利用Hysplit模式模拟了此次过程污染物的24 h后向轨迹,模拟用的气象背景场是美国的NCEP再分析数据。图5给出了近地面500,1000,1500 m高度的后向轨迹变化,由图可见,2011年8月20日影响深圳的边界层中上层气流主要来自东部海域,低层主要来自香港,但从地理位置来看,竹子林距离香港更近而污染物浓度却低于石岩,因此说明此次石岩的光化学污染与香港污染物输送关系不大,很可能是由深圳本地污染源造成的。

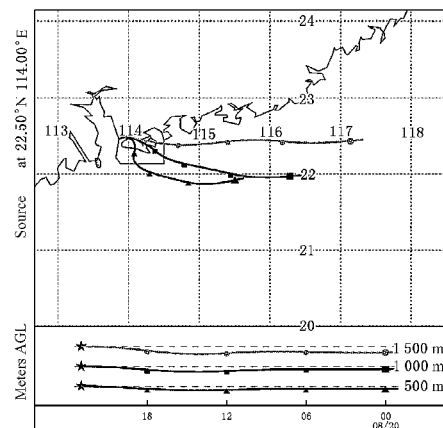


图5 2011年8月20日24 h后向轨迹变化

3.3 气象要素分析

图6给出了石岩与西涌的气温、相对湿度、风速日均值以及紫外线辐射的对比。由图6可知,石岩19日和20日平均气温达17日以来较高值,相对湿度值处于最有利于光化学反应的范围,而风速19日较17日和18日有所减弱,同时紫外线辐射在19日和20日相对较强。总体表现是温度高、湿度适中、阳光充足,有利于污染物O₃的生成,风速则始终维持在2.0 m/s以下,对污染物扩散有不利影响,这很可能是石岩污染物浓度超标的因素之一。而8月20日以后,石岩站的气温、紫外线辐射都有所下降,而相对湿度则有所增加,因此O₃浓度开始缓缓下降。

图7给出了石岩站17—20日白天代表时次10:00—14:00雷达风廓线图。由图可见,石岩1000 m高度以上17—18日白天以偏南风为主,19—20日白天转受偏东风控制,并且深圳的建成区刚好处于石岩的东部,这意味着影响该地区的气团在抵达石岩上空前,所经历的路径有较长一段都在城市建成区上空,当气团抵达时,已裹挟了较多建成区排放的污染物,这或许解释了石岩站的O₃浓度为何在3站中最高。

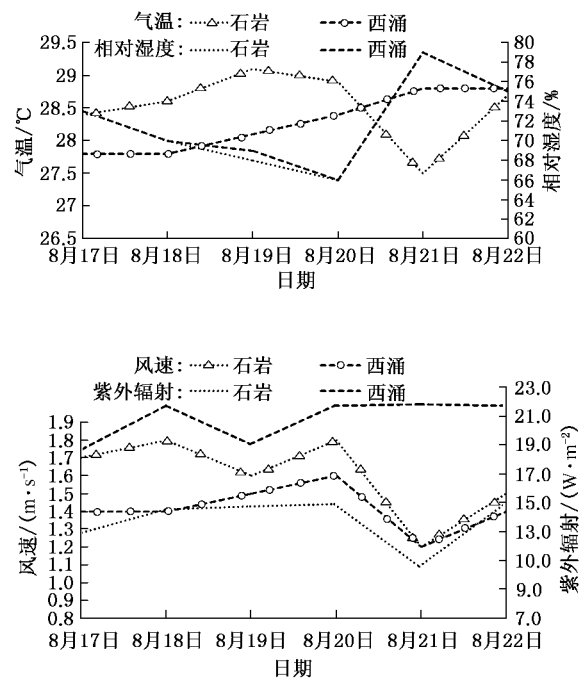


图6 2011年8月17—22日气象要素变化

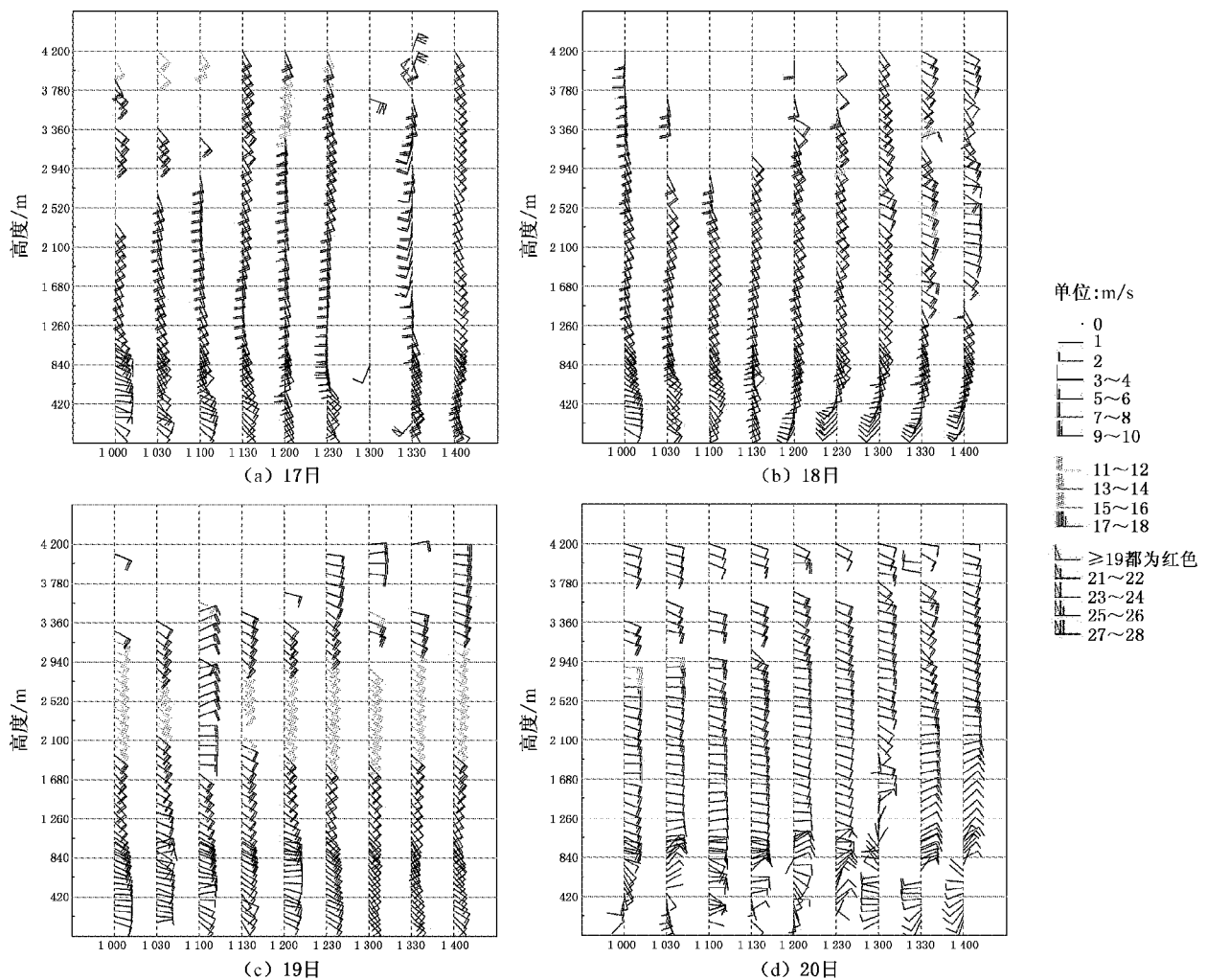


图7 石岩2011年8月17—20日10:00—14:00雷达风廓线

综上分析表明,不利的气象条件是此次光化学污染事件形成的重要原因,19—20日温度高、湿度适中、日照充足、风速小以及风向由偏南转偏东风,为石岩附近 O₃ 的浓度增加提供了有利气象条件,这是该站 O₃ 浓度超标的主要原因;而由于气温的降低、日照减弱以及相对湿度的增加,21日开始 O₃ 浓度逐渐降低。

4 结论

2011年8月大运会期间在深圳发生的一次光化学污染事件,具体表现在代表工业区的石岩站 O₃ 浓度超标,主要特征是局地性较强,持续时间短,未造成明显影响。通过污染物浓度的变化特征、同步气象成因分析总结此次光化学污染的主要原因如下:

(1) 2011年8月17—22日深圳市受副热带高压下沉气流控制,晴空少云,日照时间长,尤其是19日和20日平均气温接近29℃,而相对湿度低于70%,辐射强度超过550 W/m²。高温低湿和强烈的日照是此次事件的主要成因。

(2) 此次光化学污染期间,影响深圳的气团主要来自海上,且风力微弱,不利于污染物扩散。19日和20日石岩风速较前几天明显减小且风向由偏南风转偏东风,使得影响该地区的气团在抵达前,所经历的路径多在城市建成区上空,裹挟了较多污染物,这是20日石岩 O₃ 浓度严重超标的另一个重要原因。

[参考文献]

- [1] STEYR D G. Overview of tropospheric ozone in the Lower Fraser Valley, and the Pacific 93 Field Study [J]. Atmospheric Environment, 1997, 31: 2025-2035.
- [2] HURLEY P J. Modeling wind fields in MAQS [J]. Environmental Software, 1996, 11: 1-3.
- [3] ZIOMAS I C. The Mediterranean campaign of photochemical tracers-transport and chemical evolution (MEDCAPHOT-TRACE): an outline [J]. Atmospheric Environment, 1998, 32: 2045-2053.
- [4] 朱毓秀,徐家骝,李静兰. 秋季典型光化学污染过程的分析 [J]. 环境科学, 1996, 17(3): 69-74.
- [5] 徐家骝,朱毓秀. 上海市光化学污染气象指标的研究 [J]. 环境科学学报, 1999, 19(15): 465-470.
- [6] 陈阳,傅立新,郝吉明. 城市光化学污染机理与规律研究进展 [J]. 上海环境科学, 2000, 19(4): 167-170.
- [7] 刘玉撤,徐敬,王淑凤,等. 影响北京夏季 O₃ 污染物的 O₃ 前体物浓度及天气条件分析 [J]. 气象与环境学报, 2006, 6(22): 34-37.
- [8] 刘小红,洪钟祥,李家伦,等. 北京气象塔秋季大气 O₃, NO_x 及 CO 浓度变化的观测试验 [J]. 自然科学进展, 2000, 10(4): 338-342.
- [9] 杨雅琴,高会旺. 青岛大气臭氧及前体物时间变化与污染特征 [J]. 气象与环境学报, 2008, 24(2): 1-5.
- [10] 黄志新. 上海市郊春季臭氧及其前体物观测研究 [J]. 环境科学与技术, 2011, 34(5): 87-99.
- [11] 朱燕舞,刘文清,谢品华,等. 北京边界层大气污染物的垂直廓线监测与分析 [J]. 地球物理学报, 2010, 53(6): 1278-1283.
- [12] 汪伟峰,朱彬,王跃思,等. 一次光化学污染过程中 O₃ 和 NO_x 垂直梯度观测研究 [J]. 环境工程学报, 2010, 4(2): 411-416.
- [13] 吴兑,廖碧婷,吴晟,等. 2010年广州亚运会期间灰霾天气分析 [J]. 环境科学学报, 2012, 32(3): 521-527.
- [14] 谢旻,王体健,高丽洁,等. 香港地区一次光化学污染过程的特征分析 [J]. 热带气象学报, 2004, 20(4): 433-442.
- [15] 陈洪伟,李攻科,李核,等. 广州地区大气中挥发性有机物的污染状况 [J]. 环境化学, 2003, 22(1): 89-92.
- [16] 彭立新,唐孝炎,白郁华,等. 天然源排放碳氢化合物对广州地区光化学污染的影响 [J]. 中国环境科学, 2000, 20(2): 132-135.
- [17] 罗玮,王伯光,刘舒乐,等. 广州大气挥发性有机物的臭氧生成潜势及来源分析 [J]. 环境科学与技术, 2011, 34(5): 80-86.
- [18] 环境保护部. GB 3095—2012 环境空气质量标准 [S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2012.

声 明

本刊已加入中国学术期刊网络出版总库、中国学术期刊综合评价数据库、万方数据—数字化期刊群、中国核心期刊(遴选)数据库、中文科技期刊数据库和教育阅读网。本刊已许可其以数字化方式复制、汇编、发行、信息网络传播本刊全文。著作权使用费与本刊稿酬一并支付。作者向本刊提交文章发表的行为即视为同意本刊上述声明。

《环境监控与预警》编辑部