

秋季珠江口地区海风对城市群空气污染的影响*

李明华^{1,2}, 范绍佳¹, 王宝民¹, 吴兑^{3,1}, 祝薇¹, 刘吉¹

(1. 中山大学大气科学系, 广东 广州 510275;

2. 广东省惠州市气象局, 广东 惠州 516001;

3. 中国气象局广州热带海洋气象研究所, 广东 广州 510080)

摘要: 根据2004年10月珠江三角洲大气边界层和空气污染物观测资料, 分析了位于城市群下风向的珠江口地区的海风对珠江三角洲城市群空气污染的影响。结果表明, 秋季珠江口地区海风将抑制城市群空气污染物向下风向输送, 而导致城市群空气污染物在向下风向“迁移”过程中“减速”或在城市群短期“堆积”, 使城市群空气污染物浓度随海风的出现显著上升, 珠江口地区出现海风日城市群空气污染物日平均和日最高浓度与非海风日相比上升了2到4倍; 而珠江口地区空气污染物浓度随海风的出现而降低。

关键词: 空气污染; 秋季; 海风; 珠江口地区; 珠江三角洲城市群

中图分类号: P404 **文献标识码:** A **文章编号:** 0529-6579 (2008) 04-0114-04

海陆风是典型的因海陆热力差异所引起的大气低层中尺度局地环流, 对空气污染物的输送和扩散都有较大影响, 与空气污染密切相关^[1-4]。由于纬度、海岸线形状和沿海地形的不同, 使不同地区的海陆风具有共同特征和典型的局地特征, 因而研究所关心地区的海陆风特征及其对空气污染的影响是海陆风研究的重要内容^[5-9]。

珠江三角洲地处低纬, 三面环山、一面临海, 受海陆风影响较大, 珠江口海岸线呈喇叭口状, 海岸线不顺直使海陆风结构比较复杂^[10-14]。近年来珠江三角洲城市群空气质量呈恶化趋势, 空气污染问题在秋冬季节尤其严重^[15-17], 研究表明^[3-4], 海风对珠江三角洲地区灰霾天气的生成和分布有重大的影响。为了研究珠江三角洲城市群空气污染特征及其成因, 2004年10月在国家973项目资助下开展了“珠江三角洲区域大气复合污染的立体观测”, 本文利用该项目部分观测资料分析珠江口地区海风对珠江三角洲城市群空气污染的影响。

1 观测概况和资料来源

地面风资料来自地处珠江三角洲城市群上风向、粤北山区的清远市气象观测站(清远), 地处城市群的广州市气象观测站(广州), 地处城市群下风向、珠江口地区的广州市南沙区新垦自动气象

站(新垦), 见图1。新垦大气边界层观测全天采用双经纬仪小球测风, 用矢量法计算气球高度和风速、风向, 为分析方便, 风资料平均处理到50 m的分辨率。使用美国TE公司空气污染监测仪器在位于广州城区的广东省环境监测中心站楼顶(广州)和新垦地面(新垦)两地同步进行NO和SO₂等空气污染物观测, 同时新垦晚上还进行了激光雷达观测。

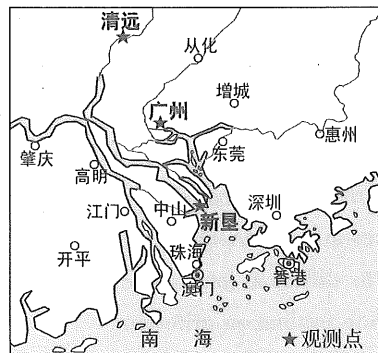


图1 观测点示意图

Fig. 1 The location of observation stations

珠江三角洲地区10月系统风为偏北风, 边界层低层偏南风为向岸流, 是海风^[13]。2004年10月珠江三角洲地区持续受地面高压脊和高空偏北气流

* 收稿日期: 2007-09-27

基金项目: 国家863计划资助项目(2006AA06A306); 国家973资助项目(2002CB410801); 国家自然科学基金资助项目(40645026)

作者简介: 李明华(1980年生), 男, 硕士, 助理工程师; 通讯联系人: 范绍佳; E-mail: eesfsj@mail.sysu.edu.cn

控制, 长时间以晴好天气为主, 出现 50 a 以来罕见的干旱; 2-4 日、18-22 日和 25-27 日有冷空气影响, 但冷空气的入侵也没有常年秋季冷空气影响时的阴雨天气; 广州有 13 d 出现灰霾现象, 比往年同期严重得多。

2 研究结果

2.1 地面风与 API 的关系

2004 年 10 月珠江三角洲地区 (清远、广州和新垦三地) 地面日平均风速和广州 API 的月变化和风向频率的月变化显示 (图 2), 冷空气影响期间, 珠江三角洲地面风速明显增大, 主要为偏北风, 静风频率显著下降, 广州 API 呈下降趋势, 新垦没有偏南风出现。冷空气过后, 珠江三角洲地区地面风速减小, 偏北风的出现频率降低, 静风频率逐步增加, 广州 API 呈上升趋势, 9-17 日、22-23 日和 28-31 日新垦午后至深夜有偏南风出现; 空气污染物积累到一定程度后, 在特定的气象条件下通过复杂的物理和化学反应, 将出现灰霾现象, 广州 10-17 日、22-23 日和 29-31 日连续出现灰霾现象。

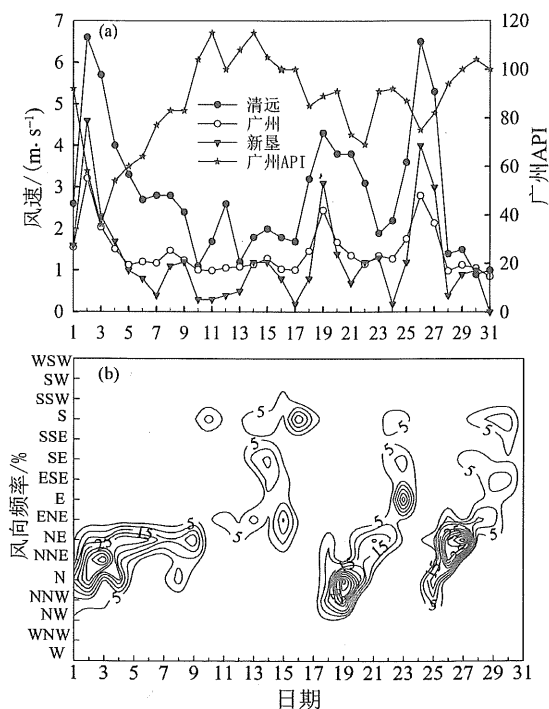


图 2 2004 年 10 月珠江三角洲地区地面日平均风速和广州 API (a), 新垦风向频率 (b) 的月变化
Fig. 2 Daily mean surface wind speed of PRD in October 2004, and monthly variation of API in Guangzhou (a) and wind direction frequency in Xinken (b)

2.2 转折期间海风与空气污染物浓度的关系

由图 2-4 可知, 2004 年 10 月 8 日新垦地面和边界层都为偏北风, 广州 NO 和 SO₂ 浓度较低且日变化较小, 8 日广州 NO 和 SO₂ 最高浓度分别为 91.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 和 5.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。9 日是转折点, 9 日下午起新垦地面为静风, 边界层低层 20 h 左右有海风出现, 与此对应的是在 19 h 左右广州空气污染物浓度随新垦海风的出现而显著上升, 广州 NO 和 SO₂ 最高浓度分别上升到 194.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 和 24.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 分别上升了 112% 和 352%, 而新垦空气污染物浓度则随海风的出现而减小。10 日新垦白天边界层低层风速明显减小, 18、20 和 23 h 观测到海风, 广州和新垦空气污染物浓度与新垦海风的关系与 9 日基本一致。由上面的分析发现广州空气污染物浓度的高低与地处珠江口的新垦是否出现海风有关。

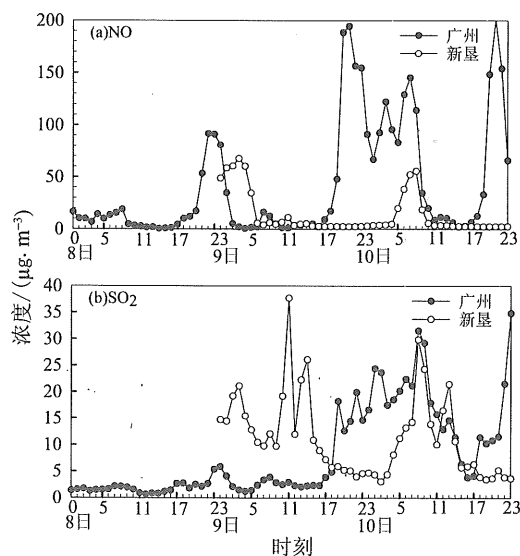


图 3 2004 年 10 月 8-10 日广州和新垦空气污染物小时平均浓度

Fig. 3 Hourly mean concentration of air pollutants in Guangzhou and Xinken on October 8-10, 2004

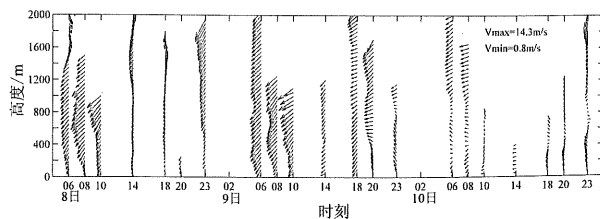


图 4 2004 年 10 月 8-10 日新垦大气边界层风廓线
Fig. 4 Atmospheric boundary layer wind profiles in Xinken on October 8-10, 2004

2.3 海风日和非海风日空气污染物浓度的对比分析

定义新垦某天至少 1 h 出现海风则为海风日,若没有出现海风则为非海风日。从海风日和非海风日空气污染物平均浓度的日变化可知(图 5),2004 年 10 月广州海风日空气污染物日平均和日最高浓度都明显上升,广州空气污染物浓度在 17 时左右(即新垦地面海风出现时间)开始上升,而新垦空气污染物浓度随海风的出现呈减小趋势,这与图 3 观测结果一致。分析发现非海风日与海风日相比广州 NO 最高浓度平均上升了 294%,由 $37.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 上升到 $146.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$, NO 日平均浓度平均上升了 266%,由 $11.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 上升到 $42.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$; SO_2 最高浓度由 $5.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 上升到 $22.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$,上升了 315%, NO 日平均浓度由 $3.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 上升到 $15.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$,上升了 341%。

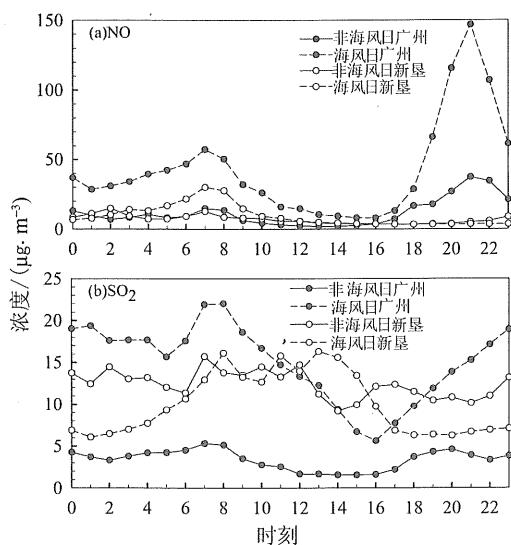


图 5 2004 年 10 月非海风日和海风日广州、新垦污染物浓度对比

Fig. 5 Daily variation of mean concentration of air pollutants on no-sea breeze days and on sea breeze days of Guangzhou and Xinken in October, 2004

2.4 灰霾日和非灰霾日新垦激光雷达资料的对比分析

在大气风温湿特定条件下通常空气污染物以城市烟羽的形式被传播到下风向,图 6 给出 2004 年 10 月 6-9 日(非灰霾日,广州没有出现灰霾现象)和 10-13 日(灰霾日,广州出现灰霾现象)城市群下风向新垦晚上的激光雷达后向散射系数。由图 6 可知,2004 年 10 月城市群空气污染物传输到了位于城市群下风向的新垦,灰霾日新垦激光雷达后向散射系数明显大于非灰霾日;10、12 和 13

日新垦边界层低层都出现海风,后向散射系数最大值出现在海风之上;11 日新垦边界层低层没有出现海风,后向散射系数最大值出现在最小高度处,与 10、12 和 13 日有明显差异,这说明海风日新垦边界层低层海风将阻碍城市群空气污染物向下风向输送。

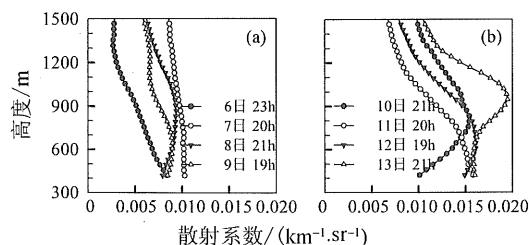


图 6 2004 年 10 月 6-13 日新垦晚上激光雷达图
Fig. 6 Nightly laser radar map in Xinken on October 6-13, 2004

3 结论

通过对 2004 年 10 月位于珠江三角洲城市群中心的广州和位于城市群下风向、珠江口地区的新垦气象和空气污染物同步观测资料的分析,发现秋季珠江口地区海风对珠江三角洲城市群空气污染有重要影响,得到以下结论:

(1) 秋季珠江三角洲地区系统风为偏北风,当珠江口地区未出现局地环流时,则珠江口地区边界层低层为偏北风与系统风风向一致且风速较大,城市群空气污染物将经过珠江口地区往南部海域输送,城市群空气污染物日平均和日最高浓度都较低,这在较强冷空气影响时表现更加明显。

(2) 晴朗、小风天气易出现局地环流,研究^[13]表明秋季珠江口地区易出现局地环流。秋季当珠江口地区出现局地环流时,则珠江口地区边界层低层为偏南的海风与偏北的系统风风向相反,海风与系统风相抵将使城市群地面和边界层低层风速减小、静风频率增加,而导致空气污染物在向下风向“迁移”过程中“减速”或在城市群短期“堆积”,使城市群空气污染物浓度随海风的出现显著上升,珠江口地区出现海风日珠江三角洲城市群空气污染物日平均和最高浓度与非海风日相比上升了 2~4 倍,而珠江口地区空气污染物浓度随海风的出现而降低。

(3) 海陆风环流与空气污染的关系非常复杂,观测研究表明秋季珠江口地区海风将抑制城市群空气污染物向下风向输送,致使城市群污染程度加剧;这和陈训来等^[3]利用 Model-3 数值模拟 2004

年9月一次海风对珠江三角洲地区灰霾天气的影响研究结果基本一致,海风影响以PM10为代表的空气污染物的输送和扩散,海风对灰霾天气的生成和分布有重大的影响。值得提出的是海陆风环流还可造成循环污染,且海风形成的逆温层对空气污染物的扩散和输送也有重要影响,这有待于以后进一步通过观测和数值模拟深入研究。

参考文献:

- [1] 蒋维楣,孙鉴泞,王雪梅,等. 空气污染气象学[M]. 南京:南京大学出版社,2003:243-261.
JIANG Weimei, SUN Jianning, WANG Xuemei, et al. Air Pollution Meteorology [M]. Nanjing: Nanjing University Press, 2003: 243-261.
- [2] 盛裴轩,毛节泰,李建国,等. 大气物理学[M]. 北京:北京大学出版社,2003:279-280.
SHENG Peixuan, MAO Jietai, LI Jianguo, et al. Atmospheric Physics [M]. Beijing: Peking University Press, 2003: 279-280.
- [3] 陈训来,冯业荣,范绍佳,等. 离岸型背景风和海陆风对珠江三角洲地区灰霾天气的影响[J]. 大气科学, 2008, 32(3): 530-542.
CHEN Xunlai, FENG Yerong, FAN Shaojia, et al. Effect of the Off-Shore Background Flow and Sea-land Breezes on Haze Weather over the Pearl River Delta Region[J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences, 2008, 32(3): 530-542.
- [4] FENG Yerong, WANG Anyu, WU Dui, et al. The Influence of Tropical Cyclone Melor on PM10 Concentrations during an aerosol Episode over the Pearl River Delta Region of China: Numerical Modeling Versus Observational Analysis[J]. Atmospheric Environment, 2007, 41(21): 4349-4365.
- [5] 吴兑,陈位超,游积平. 海口地区近地层流场与海陆风结构的研究[J]. 热带气象学报, 1995, 11(4): 306-314.
WU Dui, CHEN Weichao, YOU Jiping, et al. A Study on Near-surface Flow Field and Land-sea Breezes Structure of Haikou Area[J]. Journal of Tropical Meteorology, 1995, 11(4): 306-314.
- [6] 周伯生,汪永新,俞健国,等. 广东阳江沿海地区海陆风观测结果及其特征分析[J]. 热带气象学报, 2002, 18(2): 188-192.
ZHOU Bo-sheng, WANG Yong-xin, YU Jian-guo, et al. Observation Results and Analyses of the Sea-land Breeze over Yangjiang Coastal Region in Guangdong[J]. Journal of Tropical Meteorology, 2002, 18(2): 188-192.
- [7] LIN Wenshi, WANG Anyu, WU Chisheng, et al. A Case Modeling of Sea-Land Breeze in Macao and Its Neighborhood[J]. Advances in Atmospheric Sciences, 2001, 18(6): 1231-1240.
- [8] WANG T, WU Y. Y, CHEUNG T F, et al. A Study of Surface Ozone and the Relation to Complex Wind Flow in Hong Kong [J]. Atmospheric Environment, 2001, 35: 3203-3215.
- [9] DING Aijun, WANG Tao, ZHAO Ming, et al. Simulation of sea-land breezes and a discussion of their implications on the transport of air pollution during a multi-day ozone episode in the Pearl River Delta of China[J]. Atmospheric Environment, 2004, 38: 6737-6750.
- [10] 黄志兴,刘嘉玲. 伶仃洋海陆风观测的初步结果[J]. 热带海洋, 1985, 14(3): 21-29.
HUANG Zhixing, LIU Jialing. A preliminary result of observation on sea-land breezes in Linding Yang Area[J]. Tropic Oceanology, 1985, 14(3): 21-29.
- [11] 张立凤,张铭,林宏源. 珠江口地区海陆风系的研究[J]. 大气科学, 1999, 23(5): 581-589.
ZHANG Lifeng, ZHANG Ming, LAM patrick study of sea-land breeze system in the mouth area of the Zhujiang River[J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences, 1999, 23(5): 581-589.
- [12] 范绍佳,王安宇,樊琦,等. 珠江三角洲大气边界层特征及其概念模型[J]. 中国环境科学, 2006, 26(增): 4-6.
FAN Shaojia, WANG Anyu, FAN Qi, et al. Atmospheric Boundary Layer Features of Pearl River Delta and its Conception Model [J]. China Environmental Science, 2006, 26(Suppl): 4-6.
- [13] 李明华,范绍佳,王宝民,等. 2004年10月珠江口西岸海陆风特征观测研究[J]. 中山大学学报(自然科学版), 2007, 46(2): 123-125.
LI Minghua, FAN Shaojia, WANG Baoming, et al. Sea-land breeze on the west coast of the Pearl River Mouth in October 2004[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni, 2007, 46(2): 123-125.
- [14] 李明华,范绍佳,王宝民,等. 珠江三角洲秋季大气边界层温度和风廓线观测研究[J]. 应用气象学报, 2008, 19(1): 53-60.
LI Minghua, FAN Shaojia, WANG Baoming, et al. Observation Study on the Temperature and Wind Profiles over the Pearl River Delta in Autumn[J]. Journal of Applied Meteorological Science, 2008, 19(1): 53-60.
- [15] 吴兑,毕雪岩,邓雪娇,等. 珠江三角洲大气灰霾导致能见度下降问题研究[J]. 气象学报, 2006, 64(4): 510-517.
WU Dui, BI Xueyan, DENG Xuejiao, et al. Effect of atmospheric haze on the deterioration of visibility over the Pearl River Delta[J]. Acta Meteorologica Sinica, 2006, 64(4): 510-517.
- [16] WU Dui, TIE Xuexi, LI Chengcai, et al. An extremely low visibility event over the Guangzhou Region: A case study[J]. Atmospheric Environment, 2005, 39: 6568-6577.

160-166.

- [5] 简茂球, 陈蔚翔, 乔云亭, 等. 广东大尺度大气水汽汇的年际及年代际变化特征. 热带气象学报, 2007, 23(6): 545-552.

JIAN Maoqiu, CHEN Weixiang, QIAO Yunting, et al. Interannual and interdecadal variations of large-scale moisture sinks over Guangdong [J]. Journal of Tropical Meteorology, 2007, 23(6): 545-552.

Analysis on Characteristics of Seasonal and Inter-seasonal Drought Events in South China

JIAN Mao-qiu, QIAO Yun-ting, WEN Zhi-ping

(Center for Monsoon and Environment Research// Department of Atmospheric Sciences, Sysu Yat-sen University, Guangzhou 510275, China)

Abstract: The characteristics of the spatial and temporal variations of seasonal precipitation and seasonal drought in South China were statistically analyzed with observed data from 1951 to 2006. The variations of seasonal precipitation on the whole regional scale of South China were well in phase. The amplitudes of the seasonal precipitation anomalies became larger in recent years. There existed an increasing trend in the seasonal rainfall for summer and a reversed trend for autumn. The yearly variations of seasonal precipitations in winter and spring were quite consistent with each other. There were more drought events in the fall than in the other seasons, and fewer sustained drought events in the two-season period of spring to summer than in the other two-season periods.

Key words: South China; precipitation; drought

(上接第 117 页)

Effect of Sea Breeze on Air Pollution of City Clusters in the Pearl River Delta in Autumn

LI Ming-hua^{1,2}, FAN Shao-jia¹, WANG Bao-min¹, WU Dui^{1,3}, ZHU Wei¹, LIU Ji¹

(1. Department of Atmospheric Sciences, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China;

2. Huizhou Meteorological Bureau, Huizhou 516001, Guangdong, China;

3. Institute of Tropical and Marine Meteorology, CMA, Guangzhou 510080, China)

Abstract: Observational data of atmospheric boundary layer and air pollutant concentration in the Pearl River Delta in October, 2004, were used to analyze the effect of sea breeze on air pollution in cities. Results showed that sea breeze restrained the transportation of air pollutants to the downwind in autumn. It slowed down the transportation of air pollutants to the downwind or caused the temporary accumulation of air pollutants in the city clusters. The concentration of air pollutants in the city clusters increased obviously with the appearance of sea breeze. The mean and the maximum concentrations of air pollutants in the city clusters on sea breeze days increased to two to four times in comparison with no-sea breeze days. Sea breeze reduced the concentration of air pollutants in the Mouth of the Pearl River.

Key words: air pollution; autumn; sea breeze; the Pearl River Delta; City Clusters