

台风过程珠江三角洲边界层特征及其对空气质量的影响

吴蒙¹, 范绍佳^{1*}, 吴兑^{1,2} (1. 中山大学环境科学与工程学院, 广东 广州 510275; 2. 中国气象局广州热带海洋气象研究所, 广东 广州 510080)

摘要: 利用 2006 年 7 月珠江三角洲南北向 3 个点为期 1 个月的小球测风、低空探空资料及 9 个地面气象站逐时风向、风速资料, 通过计算和分析风、温梯度资料, 研究了台风过程珠江三角洲边界层特征及其对珠江三角洲地区空气质量的影响, 重点分析了台风下沉气流影响导致灰霾天气期间的边界层结构。结果表明, 2006 年 7 月珠江三角洲地区空气质量主要受 2 个台风过程影响, 当台风中心位于粤东及福建以东海域时, 台风外围的下沉气流会对珠江三角洲地区的空气质量产生强烈影响, 出现灰霾天气。在台风登陆前出现灰霾日时, 珠江三角洲被均压场所控制, 大部分区域为静小风, 沿海地区会出现局地的海陆风, 边界层风速较小。在 200~500m 低空会出现逆温层, 同时最大混合层高度迅速下降到不足 500m。

关键词: 台风; 大气边界层; 灰霾; 广州地区

中图分类号: X51 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-6923(2013)09-1569-08

The characteristics of atmospheric boundary layer during tropical cyclone process and its influence on air quality over Pearl River Delta region. WU Meng¹, FAN Shao-jia^{1*}, WU Dui^{1,2} (1. School of Environmental Science and Engineering, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China; 2. Institute of Tropical and Marine Meteorology, China Meteorological Administration, Guangzhou 510080, China). *China Environmental Science*, 2013, 33(9): 1569~1576

Abstract: Based on the sounding data at 3 stations from the boundary layer observation experiment over Pearl River Delta (PRD) region during July 2006 and the corresponding hourly wind data from other 9 meteorological stations, the influences of tropical cyclone process on air quality over PRD region were discussed by analyzing the gradient and fluctuation of wind and temperature measured in the observation experiment, and the variation characteristics of atmospheric boundary layer in haze weather which affected by tropical cyclone process were also analyzed. It was found that, the air quality was strong influenced by the tropical cyclone when typhoon center was near coastland of East Guangdong and Fujian provinces. During the haze weather which impacted by peripheral subsidence flow of tropical cyclone process, the PRD region was under the control of uniform pressure field, and the wind was light in most parts of PRD, the wind speed was small in boundary layer and sea-land breeze had significant influence on air quality. Before tropical cyclone landing, temperature inversion layer occurred in 200~500m, the maximum mixing layer height decreased to lower than 500m dramatically.

Key words: tropical cyclone; atmospheric boundary layer; haze; Guangzhou area

台风是发生在热带洋面上的一种强烈的暖性气旋性涡旋, 在台风前进方向和前进方向的侧缘往往伴随着明显的、强烈的下沉气流。当台风逐渐接近陆地时, 大范围的下沉气流会在陆地形成高压均压场。这种稳定性的大气结构非常有利于污染物的积累, 从而造成能见度恶化和空气质量下降, 乃至出现灰霾天气。灰霾天气作为一种越来越引起人们关注的灾害性天气, 通常将之定义为由非水成物组成的气溶胶系统造成的水平能见度小于 10km 的

视程障碍现象^[1-2]。

广州位于珠江三角洲核心, 是我国经济最活跃的前沿地区之一。珠江三角洲北靠南岭, 南面南海, 特殊的地理环境使广州常常受到台风过程的

收稿日期: 2013-01-21

基金项目: 国家“973”项目(2011CB403403); 国家自然科学基金资助项目(41275017); 高等学校博士学科点专项科研基金项目(201201-71110028)

* 责任作者, 教授, eesfsj@mail.sysu.edu.cn

影响,台风临近除了带来高温外,往往还会引起灰霾天气.目前关于灰霾天气气象条件的研究已经开展了许多卓有成效的工作,研究表明,城市地区污染物的排放和城市群之间的相互作用是灰霾天气发生的重要因子^[3-7],气象条件是灰霾天气出现与否的决定性控制条件^[8-12].近地层输送条件即地面流场与大气污染物的扩散稀释密切相关^[13-19].在广州地区,湿季出现的灰霾天气多数与台风的影响密不可分,其中,登陆前中心位于粤东及福建以东海域的台风对珠江三角洲空气质量影响最为显著^[20-22],台风外围下沉气流会在珠江三角洲地区形成气流停滞区和下沉逆温,这些都会造成污染物的堆积^[23-25].本文利用2006年7月的珠江三角洲边界层观测实验得到的探空资料和珠江三角洲9个地面气象站的地面观测资料,探讨了台风过程对广州空气质量的影响,重点分析了台风影响下出现灰霾天气时的边界层特征.

1 资料与方法

2006年珠江三角洲边界层观测时间为7月7~13日和17~26日,观测地点分别位于代表珠江三角洲边缘的清远气象局(简称清远)、代表城市群的广州市番禺区气象局(简称番禺)和代表珠江口海岸的广州南沙区万顷沙镇新垦(简称新垦).从湿季主导风向来看,清远位于城市群下风向,番禺处于城市群中心,新垦位于城市群上风向,观测点位置见图1.

清远观测点每天在北京时间07:00和19:00开展常规探空,采集间隔为100m的垂直风温资料.番禺和新垦观测点均采用双经纬仪小球测风,经纬仪在观测前后都经过了标定;探空仪为北京大学地球物理系工厂生产的温度单要素探空仪,探空仪在出厂前都经过了严格的标定.一般情况下,番禺和新垦观测点在06:00,07:00,08:00,10:00,14:00,18:00,20:00和23:00会同步进行7次观测,其他时刻根据天气条件和观测需要也会添加加密观测.其中,18~24日开展了加密观测,新垦番禺均在正常观测时次的基础上增加了02:00、17:00和19:00三个观测时次.在观测时,探空气球升速约为100m/min,测风读数间隔为30s,温度探空数

据采集间隔为5s,采用矢量法计算气球高度和风速、风向.在分析中,将小球探空的风场资料处理到50m的分辨率,温度资料处理到10m的分辨率.

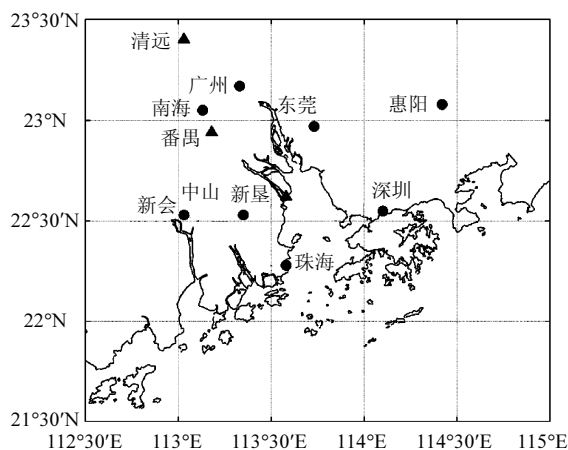


图1 2006年7月珠江三角洲大气边界层观测布点示意
Fig.1 Map of the observation stations during PRD ABL experiment in July 2006

资料处理时,采用干绝热曲线法结合清远观测点早晨8:00的温度探空曲线来计算得到清远观测点在观测期间逐日的最大混合层高度.其中,最大混合层高度是指日间混合层厚度的最大值,它能够表征污染物在铅直方向稀释、扩散的最大范围,是空气污染潜势预报的重要参数.

参考吴兑等^[1-2,11]的划分标准,定义灰霾天气为日平均能见度小于10km,同时日平均相对湿度小于90%的事件.相应的,能见度越低,空气质量越差,灰霾越严重.图2为2006年7月广州地区能见度和风速随时间变化情况.由图2可见,在2006年7月广州地区空气质量较好,能见度整体较高,只在16日和26日出现能见度小于10km的灰霾天气,12日能见度也相对较低.在观测期间,能见度较好时主导风向为东南风,并且风速较大;而能见度恶化的12日、16日和23~26日,主导风向不明显,风向摆动十分剧烈,风速也相对较小.根据台风资料,7月14日午后台风“碧利斯”在福建宁德登陆,7月25日下午台风“格美”在福建晋江登陆,结合图2(a)可知,在台风过程中,珠江三角洲能见度均出现了不同程度的下降,甚至出现了灰霾天气.

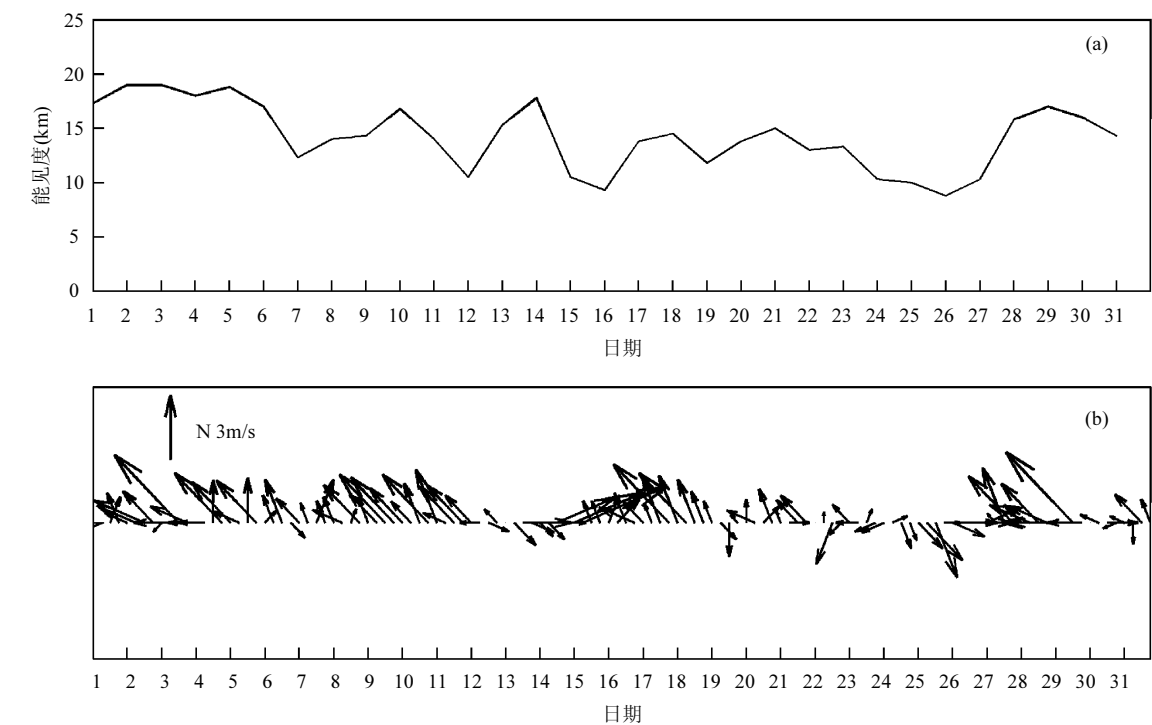


图2 2006年7月广州能见度及风速随时间变化

Fig.2 Time series of visibility and wind during 1~31 July 2006 at Guangzhou station

(a)能见度随时间变化 (b)风速随时间变化

台风“碧利斯”和“格美”都属于典型的登陆前中心位于粤东及福建以东海域的台风,其前进方向西侧的下沉气流会对珠江三角洲产生了显著的影响,进而强烈影响到了广州地区的空气质量.其中“格美”登陆地点较为靠近珠江三角洲,同时持续时间也更久,下文将对台风“格美”影响期间(2006年7月23~26日)珠江三角洲的边界层特征进行详细的分析.

2 结果分析

2.1 天气条件

图3为2006年7月23~26日东亚地面天气情况,台风“格美”于7月23日进入我国沿海24h警戒区,台风此时位于菲律宾以东洋面,副热带高压位于小笠原群岛附近海域,在台风西侧下沉气流的影响下,我国长江以南地区被大范围均压场所控制;24日“格美”进一步靠近我国沿海,均压场也进一步北移,同时依然控制着华南大部分地

区;7月25日下午台风在福建晋江市登陆,并在26日减弱为热带低压,副热带高压发展到琉球群岛以东海域.

图4为2006年7月23~26日珠江三角洲地区地面风场变化情况,可以看出,23日珠江三角洲南部主要为东风,北部则主要为西风,在两股方向几乎相反的气流影响下,珠江三角洲中部被静小风控制;24日随着台风的进一步临近,珠江三角洲西部转为较强西北风,东部地区则主导风向不明显,并且大部分区域风速小于1m/s;25日珠江三角洲西部和中部地区被偏南风 and 偏北风分别控制,同时在番禺附近出现风辐合区,东部风速依然较小,但是静小风区域也有所缩小;26日台风登陆后,整个珠江三角洲风速迅速增大,大部分地区在3m/s以上,风向也较为一致,均为西南风.结合图3可以看出,7月23~26日珠江三角洲地面风场的变化情况与台风“格美”的位置变化是一致的.

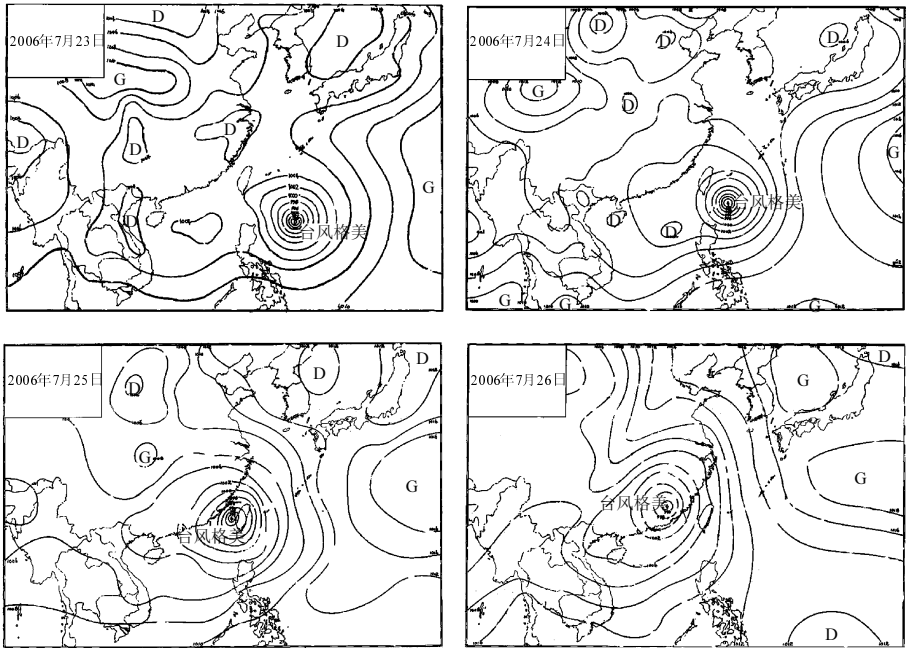


图3 2006年7月23~26日地面天气变化

Fig.3 Weather maps during 23-26 July 2006

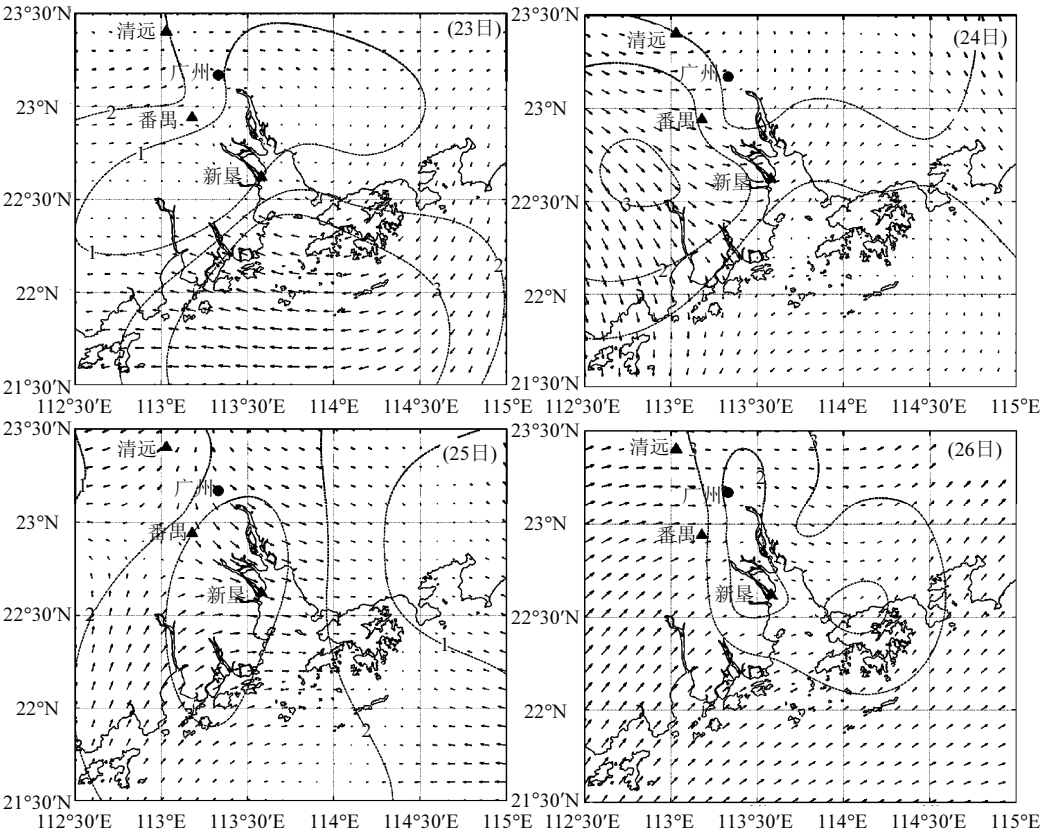


图4 2006年7月23~26日02:00珠江三角洲地面风场

Fig.4 Wind fields at 02:00over PRD during 23-26 July 2006

通过以上分析可知,当台风从粤东至福建沿海登陆我国时,台风西侧强烈的下沉运动会使得珠江三角洲被均压场所控制,地面水平风速较小,往往表现为静小风,在区域内污染物难以扩散.而台风登陆后,台风环流上升运动伴随着大风降水能够迅速的清除大气污染物.

2.2 垂直风场特征

图 5 为 2006 年 7 月 23~26 日新垦观测点的风廓线变化情况.从图 5 可见,在台风登陆前新垦风廓线在高度 500m 和 1000m 处存在明显的风切变区,从而将整个风廓线分隔为 3 层结构,不同层次白天和夜间的风速风向有着显著的差异.23 日的风廓线低层(500m 以下)存在明显的海陆风环流,白天陆风与系统风相抵消使得低层风速非常小,底层小风持续到 14:00 左右;随着陆地持续加热,23 日 17:00 起海风逐渐增强,西南风逐渐较大,

海风的影响高度在 23:00 达到最大高度 500m 左右;23 日 06:00 中层(500~1000m)在海风回流作用下,风向逐渐转为偏南风,17:00 在陆风回流的作用下风向开始逐渐转换为东北风;在 1000m 以上的高层,受海陆风局地环流影响较小,主要为较强偏东风.

24 日新垦低层主要为西北风并且一直持续到 20:00,风速也较小,中层 06:00~14:00 时主要为北风,17:00 起则逐渐转为西北风,风速也逐渐增大;高层风向 14:00 起由东风转为西北风.25 日台风逐渐临近附近沿海,风的三层垂直结构已经被破坏,整个边界层内风向主要是北风和西北风,在下午 18:00 台风登陆后风速迅速增大并转为西北偏西风,大风一直持续到 26 日.其中,从 24 日起随着风场的转变海陆风等局地环流已难以再分辨出.

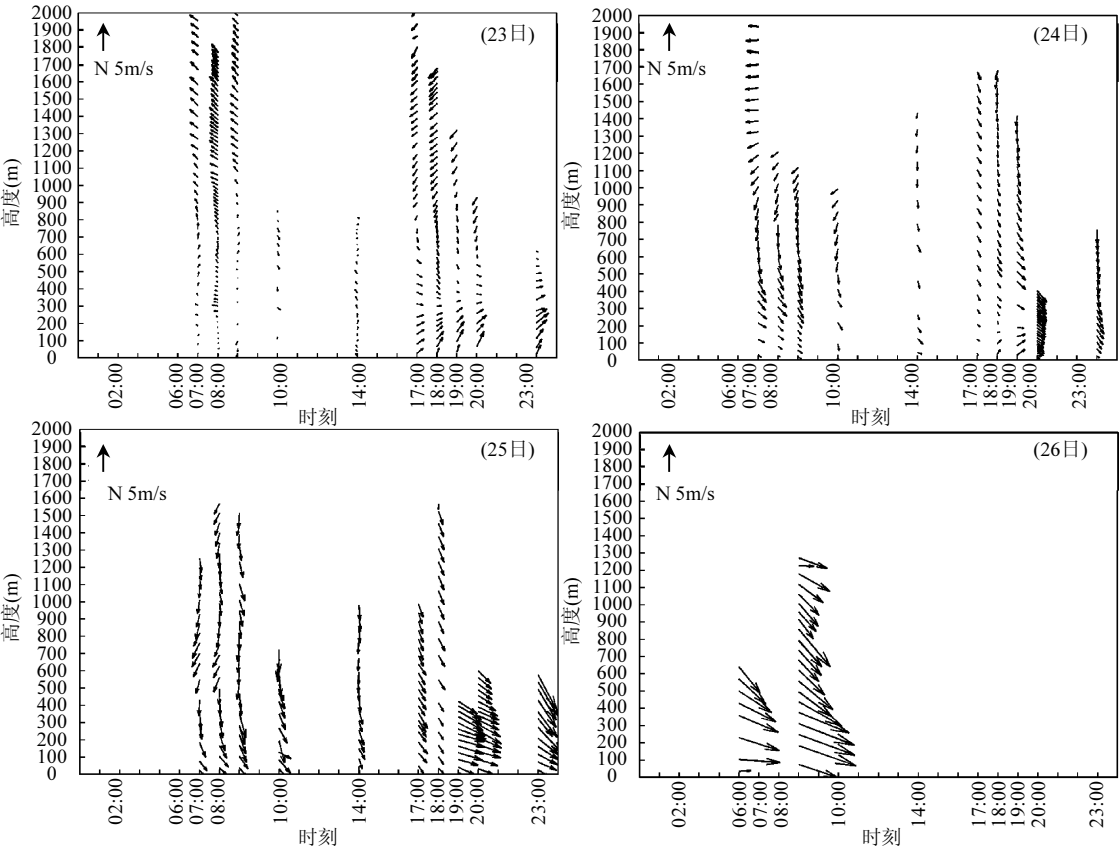


图 5 2006 年 7 月 23~26 日新垦观测点风廓线
Fig.5 Wind profiles at Xinken station during 23-26 July 2006

图 6 为 2006 年 7 月 23~26 日新垦观测点每个观测时刻气球轨迹变化情况.从气球轨迹上可以看出,23 日新垦 06:00,07:00,08:00 气球轨迹比较平直,没有出现风向的反转,17:00,18:00,19:00,20:00 有着显著的上下两层相反的气流,存在明显的海陆风环流;24 日气球在低层向东漂移,高层则逐渐向南偏;25 日随着台风逐渐临近陆地,不同时刻气球漂移轨迹呈现逆时针旋转,18:00

以后气球轨迹十分平直,说明风向随高度几乎没有剧烈摆动;26 日风速较大,风向稳定,气球轨迹向东南方向漂移,漂移距离较远.总之,当新垦受到海陆风影响时,不同观测时刻的气球轨迹之间会出现顺时针的偏转,这与海陆风的理论研究是一致的;而随着台风影响的加强,不同观测时刻之间的气球轨迹会出现逆时针的偏转,这是由于台风是一个逆时针旋转的涡旋.

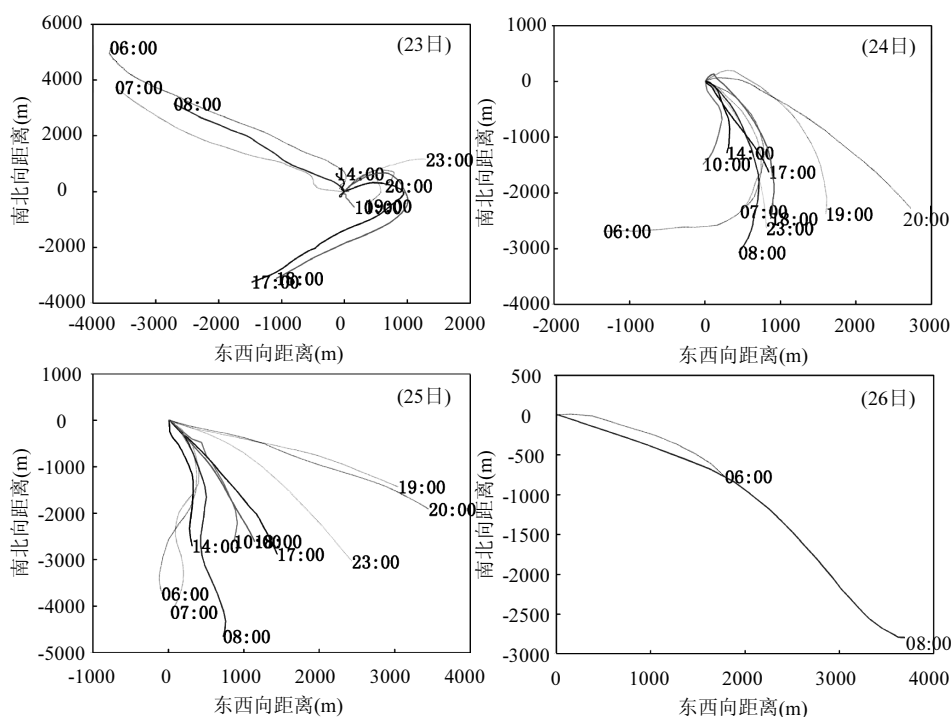


图 6 2006 年 7 月 23~26 日新垦观测点气球轨迹
Fig.6 Balloons trajectory at Xinken station during 23~26 July 2006

综合以上分析可知,在台风登陆前,垂直风场的存现明显的 3 层结构,不同层次随时间均会有风向的转变;受台风外围下沉气流影响,新垦 800m 以下存在明显的静小风层,而且海陆风活动明显;随着台风逐渐临近陆地,主导风向会逐渐偏转,但是风速依然较小.静小风的存在使得扩散条件较差,不利于污染物的扩散,风切变在陆风向海风转换期间出现,增加了静小风的出现频率,使得污染物进一步堆积.陆风与系统风相抵消进一步恶化了扩散条件,而且海风在深入陆地后会大幅减弱,有可能将其他地区污染物搬运至城市群

而无法继续扩散出去.

2.3 垂直温度特征

图 7 为 2006 年 7 月 23~26 日清远观测点的温度廓线变化情况,可以看出,受下沉增温作用,23 日 20 时低层气温较高,逆温层出现在 200m 左右;24 日 08:00 逆温高度在 500m 左右,20:00 低层剧烈增温,超绝热现象明显;25 日 08:00 逆温层出现 200m 高度,20:00 逆温出现在 300m 高度,26 日台风登陆后逆温小时,气温迅速下降.

在台风登陆前,台风外围下沉气流的绝热加压作用使得珠江三角洲地区空气增温,湿度减少.同

时会在 200~500m 左右高度出现逆温层,这种稳定 性的层结结构非常有利于污染物的累积和增加.

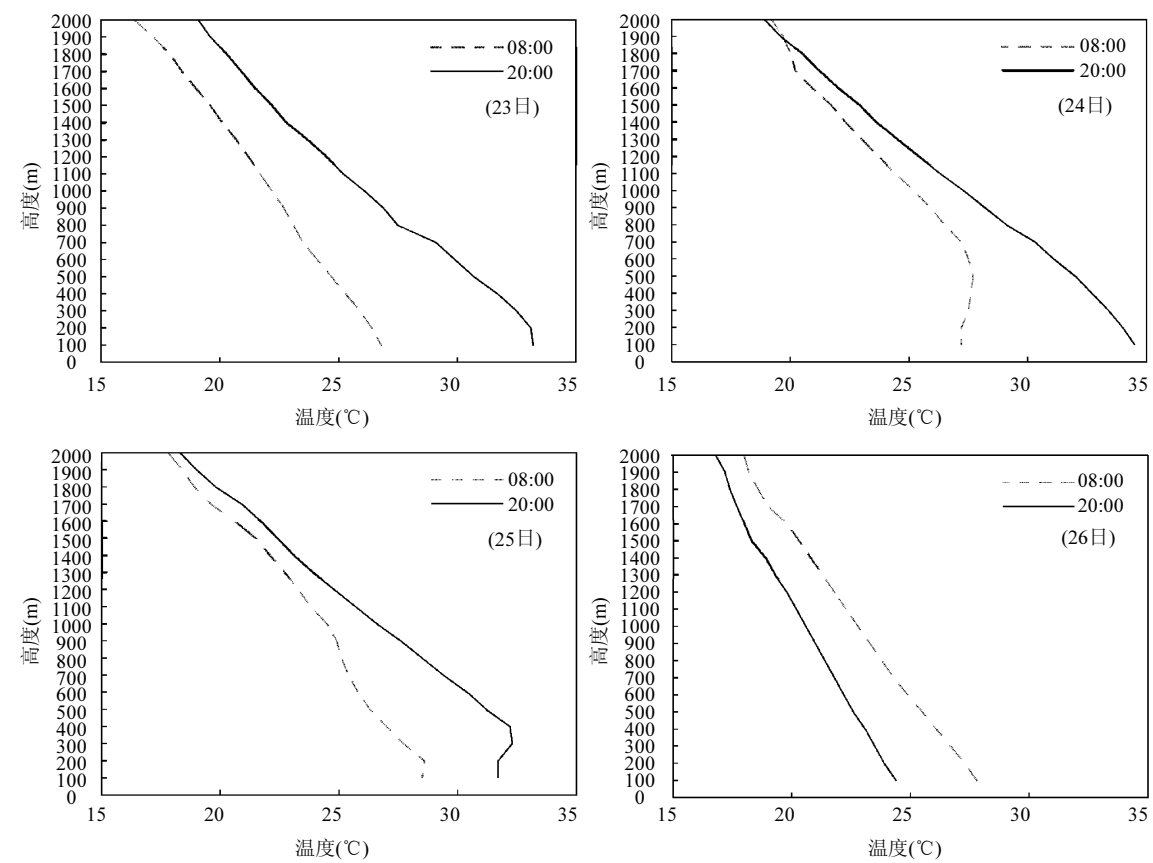


图 7 2006 年 7 月 23~26 日清远观测点温度廓线
Fig.7 Temperature profiles at Qingyuan station during 23~26 July 2006

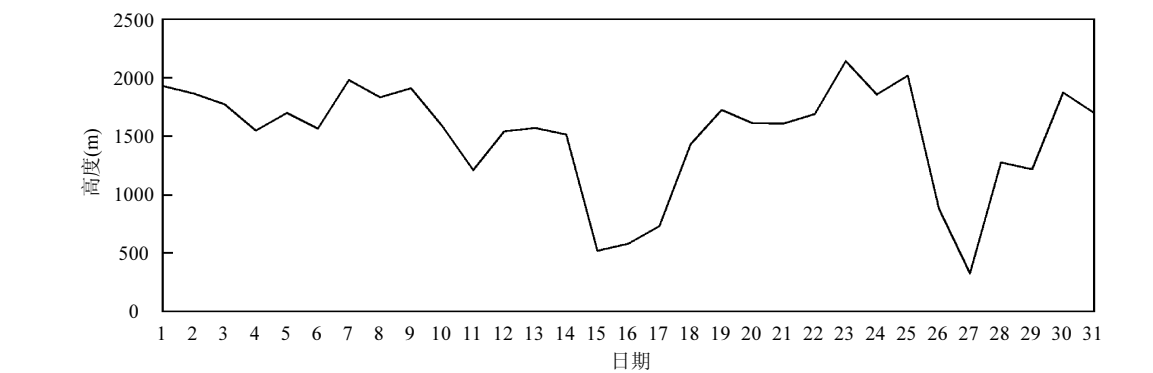


图 8 2006 年 7 月清远观测点最大混合层高度
Fig.8 The maximum mixing layer height at Qingyuan station during 23~26 July 2006

2.4 最大混合层高度

图 8 为 2006 年 7 月清远观测点的最大混合层高度变化情况,可以看出在 15~17 日和 26~27

日清远最大混合层高度出现 2 个谷值区,这与能见度的谷值区恰好也是吻合的(图 1a),也是台风“碧利斯”和“格美”的存在期间.受台风过程

影响,清远最大混合层高度在 27 日达到最低值,仅为 300 多米.在台风下沉气流影响下,污染物会由高层向下输送^[24],而较低的边界层高度阻止了近地面的水汽和污染物向高层扩散,使之大量聚集在边界层内,加剧了大气污染.

3 结 论

3.1 台风中心位于粤东及福建以东的海域的台风会对广州地区空气质量产生影响的,其西侧的下沉气流能够强烈作用于珠江三角洲地区.

3.2 在台风外围下沉气流影响下,珠江三角洲地区被稳定的均压场控制,同时地面风场多表现为静小风,污染物难以扩散.

3.3 在台风过程影响下的灰霾天气中,珠江三角洲边界层内风速较小,风向转换频繁,能够分辨出清晰的海陆风,影响高度接近 500m,夜间海风可能会将污染物输送回城市.

3.4 在台风登陆前,台风外围气流下沉增温十分显著,逆温层出现在 200~500m 之间,有利于污染聚集.

3.5 在台风过程影响下,珠江三角洲最大混合层高度迅速降低,甚至低至 500m 以下,使得污染物聚集在边界层内,最终爆发灰霾天气.

参考文献:

- [1] 吴 兑.霾与雾的识别和资料分析处理 [J]. 环境化学, 2008, 27(3):327-330.
- [2] 吴 兑.再论都市霾与雾的区别 [J]. 气象, 2006,32(4):9215.
- [3] 童尧青,银 燕,钱 凌,等.南京地区霾天气分析 [J]. 中国环境科学, 2007,27(5):584-588.
- [4] 朱佳雷,王体健,邢 莉,等.江苏省一次重霾污染天气的特征和机理分析 [J]. 中国环境科学, 2011,31(12):1943-1950.
- [5] 赵普生,徐晓峰,孟 伟,等.京津冀区域霾天气特征 [J]. 中国环境科学, 2012,32(1):31-36.
- [6] 段菁春,毕新慧,谭吉华,等.广州灰霾期大气颗粒物中多环芳烃粒径的分布 [J]. 中国环境科学, 2006,26(1):6-10.
- [7] 蔡彦枫,王体健,谢 旻,等.O₃ 查算表的建立及其在区域空气质量模式中的应用 [J]. 中国环境科学, 2010,30(7):871-878.
- [8] 李颖敏,范绍佳,张人文.2008 年秋季珠江三角洲污染气象条件分析 [J]. 中国环境科学, 2011,31(10):1585-1591.
- [9] 陈 燕,蒋维楣,郭文利,等.珠江三角洲地区城市群发展对局地大气污染物扩散的影响 [J]. 环境科学学报, 2005,25(5):700-710.
- [10] 郑君瑜,张礼俊,钟流举.珠江三角洲大气面源排放清单及空间分布特征 [J]. 中国环境科学, 2009,29(5):455-460.
- [11] 黄 义,范绍佳.珠江三角洲城市群一次区域性污染过程气象特征数值模拟 [J]. 中山大学研究生学刊(自然科学医学版), 30(1): 78-92.
- [12] 陈训来,冯业荣,王安宇,等.珠江三角洲城市群灰霾天气主要污染物的数值研究 [J]. 中山大学学报(自然科学版), 2007,46(4): 103-107.
- [13] 王淑兰,张远航,钟流举,等.珠江三角洲城市间空气污染的相互影响 [J]. 中国环境科学, 2005,25(2):133-137.
- [14] Wu D, Tie X X, Deng X. Chemical characterizations of soluble aerosols in Southern China [J]. Chemosphere, 2006,64:749-757.
- [15] 吴 兑,廖国莲,邓雪娇,等.珠江三角洲霾天气的近地层输送条件研究 [J]. 应用气象学报, 2008,19(1):1-9.
- [16] 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(增刊):4-6.
- [17] 范绍佳,王安宇,樊 琦,等.珠江三角洲大气边界层概念模型的建立及其应用 [J]. 热带气象学报, 2005,21(3):286-292.
- [18] Ding A J, Wang T, Zhao M, 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(39):6737-6750.
- [19] 张 艳,余 琦,伏晴艳,等.长江三角洲区域输送对上海市空气质量影响的特征分析 [J]. 中国环境科学, 2010,30(7):914-923.
- [20] Feng Y R, Wang A Y, Wu D, 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.
- [21] Chen X L, Fan S J, Li J N, et al. Typical weather characteristics associated with air pollution in Hong Kong area [J]. Journal Of Tropical Meteorology, 2008,14(2):101-104.
- [22] 吴 蒙,范绍佳,吴 兑,等.广州地区灰霾与清洁天气变化特征及影响因素分析 [J]. 中国环境科学, 2012,32(8):1409-1415.
- [23] Wu D, Tie X X, Li C C, et al. An extremely low visibility event over the Guangzhou region: A case study [J]. Atmospheric Environment, 2005,39(35):6568-6577.
- [24] Fan S J, Fan Q, Yu W, et al. Atmospheric boundary layer characteristics over the Pearl River Delta, China, during the summer of 2006: measurement and model results [J]. Atmospheric Chemistry and Physics, 2011,11(13):6297-6310.
- [25] 余 伟,罗翔羽,范绍佳,等.珠江三角洲一次重污染过程特征分析及数值模拟 [J]. 环境科学研究, 2011,24(6):645-653.

作者简介: 吴 蒙(1988-),男,河南光山人,中山大学环境科学与工程学院博士研究生,主要从事大气环境与大气化学研究.发表论文 2 篇.