

杭州市区空气污染特征及灰霾成因分析*

熊春 李臻 谢至远 郭平 俞绍才[#] 王利强 李鹏飞 刘维屏

(浙江大学环境与资源学院, 污染环境修复与生态健康教育部重点实验室,

空气污染与健康研究中心, 浙江 杭州 310058)

摘要 利用2013年3月1日至2014年2月28日杭州市区4种常见污染物(NO_2 、CO、 $\text{PM}_{2.5}$ 和 PM_{10})的小时浓度监测数据对杭州市区全年空气污染特征进行分析,并针对2014年1月17至19日的一次灰霾过程进行了污染特征与成因分析。结果表明,杭州市区 NO_2 质量浓度年均值为 $51.55 \mu\text{g}/\text{m}^3$,CO为 $0.87 \text{ mg}/\text{m}^3$, $\text{PM}_{2.5}$ 为 $67.02 \mu\text{g}/\text{m}^3$, PM_{10} 为 $102.06 \mu\text{g}/\text{m}^3$,均表现为冬季浓度高夏季浓度低的特征。4种污染物基本都在每天的9:00—10:00和19:00—20:00出现两个峰值。杭州市区 $\text{PM}_{2.5}$ 主要来自于二次污染物转化,灰霾过程中 $\text{PM}_{2.5}$ 质量浓度最高值接近 $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。这次灰霾过程的主要潜在源区包括京津地区、山东中部和江苏南部等地区,杭州市区本身气象条件加剧了这次污染的严重程度。

关键词 空气污染 $\text{PM}_{2.5}$ 灰霾 杭州

DOI:10.15985/j.cnki.1001-3865.2018.12.004

Characteristics of air pollution in Hangzhou urban area and haze cause analysis XIONG Chun, LI Zhen, XIE Zhiyuan, GUO Ping, YU Shaocai, WANG Liqiang, LI Pengfei, LIU Weiping. (Research Center for Air Pollution and Health, Key Laboratory of Environment Remediation and Ecological Health, Ministry of Education, College of Environmental & Resource Sciences, Zhejiang University, Hangzhou Zhejiang 310058)

Abstract: Hourly observations of 4 air pollutants (NO_2 , CO, $\text{PM}_{2.5}$ and PM_{10}) from March 1, 2013 to February 28, 2014 were used to study characteristics of air pollution in Hangzhou urban area. The characteristics and causes of a severe haze event during January 17 and January 19, 2014 were analyzed. Results showed that the annual average concentration of NO_2 was $51.55 \mu\text{g}/\text{m}^3$, that of CO $0.87 \text{ mg}/\text{m}^3$, that of $\text{PM}_{2.5}$ $67.02 \mu\text{g}/\text{m}^3$ and that of PM_{10} $102.06 \mu\text{g}/\text{m}^3$, all showing winter high and summer low. The pollutants had two peaks at about 9:00-10:00 and 19:00-20:00 in a day. $\text{PM}_{2.5}$ in Hangzhou urban area might transformed from secondary pollutants with the highest concentration approaching $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ at the event. The cause of the event might come from Beijing, Tianjin, central part of Shandong and south part of Jiangsu. However, the local meteorological conditions enhanced the pollution.

Keywords: air pollution; $\text{PM}_{2.5}$; haze; Hangzhou

近些年,杭州由于发展速度快,汽车数量多,工厂林立,大量污染物排放到大气环境中,导致空气质量下降,灰霾天气出现频率增加^[1]。研究表明,大气污染物对人类健康、生态环境甚至全球气候都会产生不利影响^[2-4]。为保证杭州的长久发展,有必要分析导致当前空气质量下降以及灰霾天气出现的原因。因此,本研究利用2013年3月1日至2014年2月28日杭州市区10个国控站的4种常见污染物($\text{PM}_{2.5}$ 、 PM_{10} 、 NO_2 和CO)的小时浓度监测数据分析杭州市区全年空气污染特征,运用混合受体模式中的混合单粒子拉格朗日轨迹(HYSPLIT)模型和浓度权重轨迹(CWT)分析法结合气象因子^[5-6]数据重点分析了冬季一次灰霾过程的污染特征与成因,

为杭州空气质量改善提供科学参考。

1 材料与方法

在全国城市空气质量实时发布平台(<http://106.37.208.233:20035>)获得杭州市区10个国控站(滨江、西溪、下沙、卧龙桥、浙江农大、朝晖五区、和睦小学、临平镇、云栖和城厢镇)2013年3月1日至2014年2月28日4种常见污染物($\text{PM}_{2.5}$ 、 PM_{10} 、 NO_2 和CO)的小时浓度监测数据。3至5月为春季,6至8月为夏季,9至11月为秋季,12至次年2月为冬季。

应用美国国家海洋和大气管理局 HYSPLIT 模型计算灰霾期间48 h后向轨迹,并采用CWT分析

第一作者:熊春,男,1994年生,硕士研究生,主要从事大气污染防治研究。[#]通讯作者。

* 国家自然科学基金资助项目(No.21577126、No.41561144-004);国家重点研发计划项目(No.2016YFC0202702)。

法对研究区域进行灰霾潜在源分析。其中灰霾期间的气象因子数据来自 <http://www.wunderground.com/cn/hangzhou/zmw:00000.1.WZHCC>。

2 结果与讨论

2.1 污染物变化特征

由图1可知,杭州市区 NO_2 质量浓度年均值为 $51.55 \mu\text{g}/\text{m}^3$, CO 为 $0.87 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $\text{PM}_{2.5}$ 为 $67.02 \mu\text{g}/\text{m}^3$, PM_{10} 为 $102.06 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。《环境空气质量标准》(GB 3095—2012)中限定的 $\text{PM}_{2.5}$ 、 PM_{10} 、 NO_2 年均值分别超过了二级标准($\text{PM}_{2.5}$ 、 PM_{10} 、 NO_2 分别为 35 、 70 、 $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$) 91.49% 、 45.80% 、 28.88% ,说明杭州市区空气污染十分严重。 NO_2 、 CO 、 $\text{PM}_{2.5}$ 和 PM_{10} 均在2013年12月达到峰值,这主要是由于冬季化石燃料与生物质的大量燃烧,导致污染物排放量大幅增加^[7];此外,冬季气温低、气压稳定,不利于污染物的扩散^[8]。

图2比较了杭州市区在4个季节中 $\text{PM}_{2.5}$ 、 PM_{10} 、 CO 和 NO_2 的日变化特征。由图2可见,

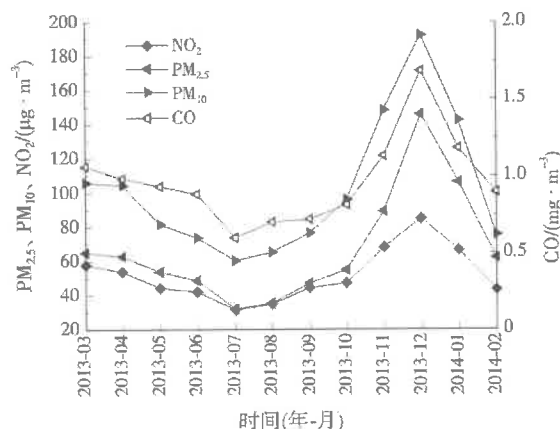


图1 杭州市区空气污染物年变化特征

Fig.1 Annual variations of air pollutants in Hangzhou urban area

$\text{PM}_{2.5}$ 、 PM_{10} 、 CO 和 NO_2 均表现为冬季高夏季低,春季和秋季居中。日变化特征都出现了双峰,大部分出现在9:00—10:00和19:00—20:00,比上下班出行高峰时间晚约1 h,说明机动车尾气排放对这4种污染物浓度的日变化有重要影响。

$\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10}$ (质量比) 和 $\text{PM}_{2.5}/\text{CO}$ (质量比) 能

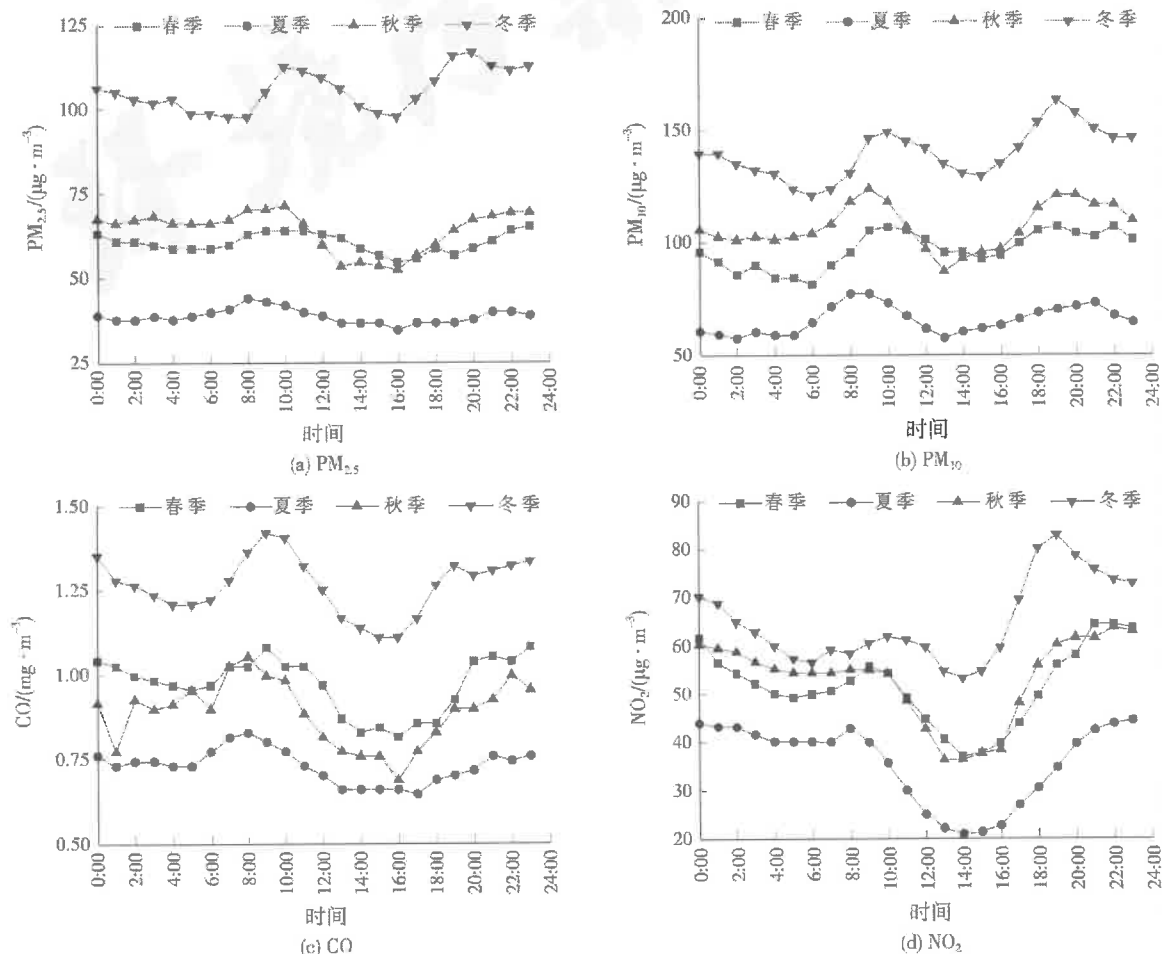


图2 不同季节杭州市区空气污染物日变化

Fig.2 Diurnal variations of air pollutants in Hangzhou urban area of different seasons

够反映二次污染物对 $PM_{2.5}$ 的贡献大小^[9]。从图3来看, $PM_{2.5}/PM_{10}$ 冬季高夏季低, 最高值出现在2014年2月(0.823), 表明冬季二次污染物浓度高, 原因很可能是化石燃料燃烧增多; 最低值出现在2013年7月(0.522), 原因可能是夏季降雨量多、空气流动性好。 $PM_{2.5}/CO$ 也是冬季高夏季低, 与 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 的变化情况基本相似。

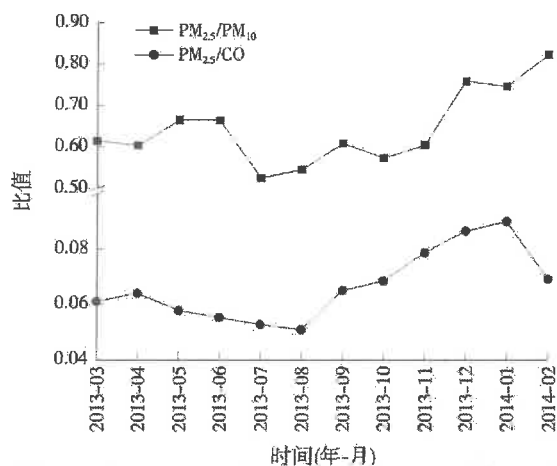
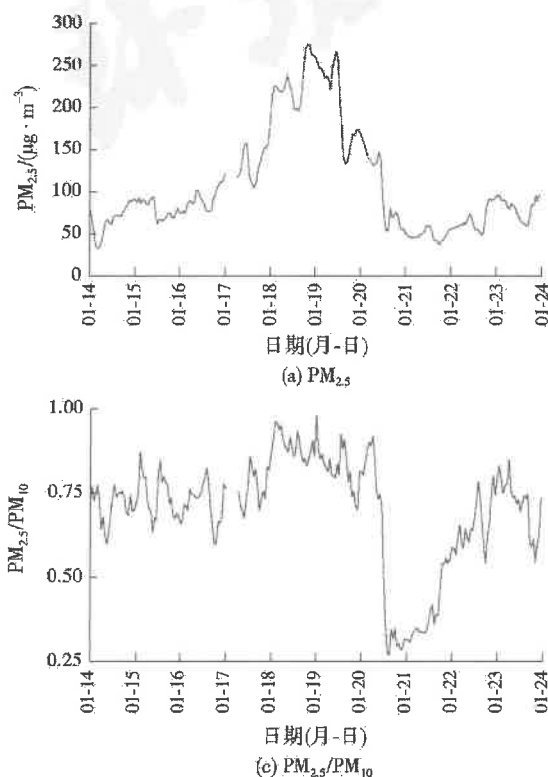


图3 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 与 $PM_{2.5}/CO$ 年变化特征
Fig.3 Annual variations of $PM_{2.5}/PM_{10}$ and $PM_{2.5}/CO$

2.2 一次灰霾过程的污染特征及成因分析

2.2.1 污染特征

2014年1月17日至19日杭州市区经历了一

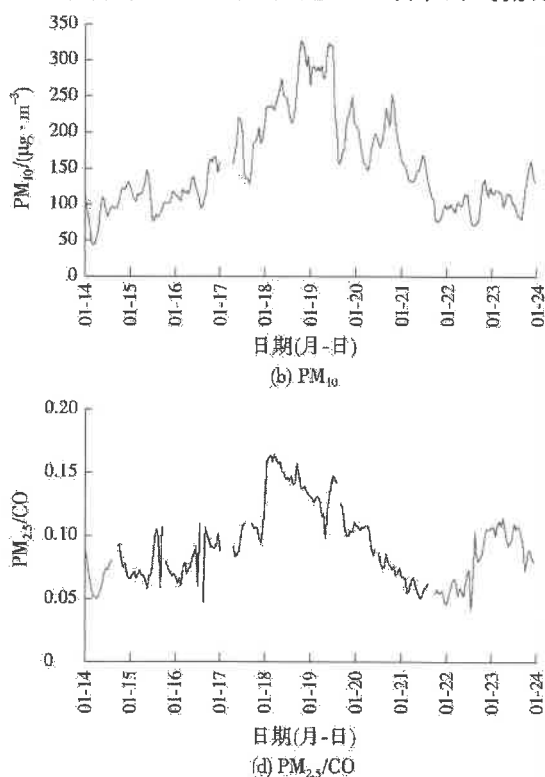


次较为严重的灰霾过程, 考虑了灰霾过程前后的清洁期, 选择1月14日至23日进行整个过程的分析, 其中1月18日至19日为严重污染期 ($PM_{2.5} > 150 \mu g/m^3$)。从图4可知, 灰霾过程中, $PM_{2.5}$ 最高质量浓度接近 $300 \mu g/m^3$, PM_{10} 最高质量浓度已超过 $300 \mu g/m^3$, 两者的日均值已远高于 GB 3095—2012 的二级标准 ($PM_{2.5}$ 、 PM_{10} 分别为 75 、 $150 \mu g/m^3$)。 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 在灰霾过程中始终处于 0.65 以上, 最高达到 0.96; $PM_{2.5}/CO$ 也在严重污染期明显升高, 表明此次灰霾过程二次污染物贡献较大。

2.2.2 成因分析

污染特征与天气条件密切相关, 所以分析了灰霾过程中的温度、相对湿度、风速、能见度和气压等气象因子。由图5可见, 能见度的变化趋势与 $PM_{2.5}$ 浓度相反, 随 $PM_{2.5}$ 浓度升高而显著下降。严重污染期之前, 相对湿度较高, 并且冬季温度较低, 加上风速小、气压相对稳定, 不利于污染物的扩散^[10], 可能造成二次颗粒物的形成。而后期相对湿度下降, 风速变大, $PM_{2.5}$ 浓度明显下降, 能见度升高, 空气质量好转。

图6比较了清洁期和严重污染期的48h后向轨迹。清洁期的48h后向轨迹主要来自蒙古国以及内蒙古等较远区域, 从这些区域来的气流比较清



注: 因客观原因, 部分数据未能获得, 因此图中部分数据有缺省。

图4 灰霾过程中颗粒物动态变化曲线

Fig.4 Dynamic variation curve of particles during haze period

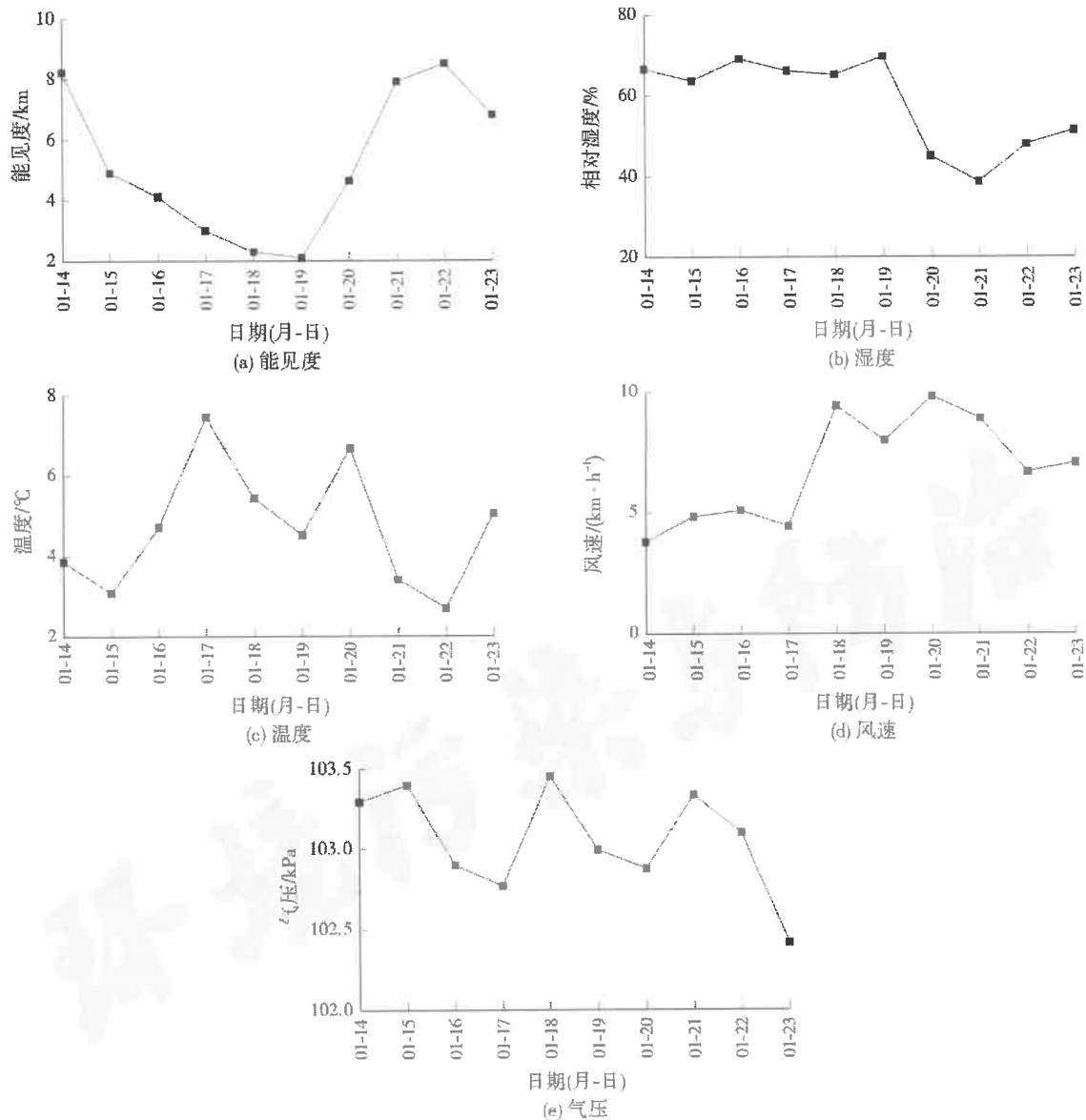


图 5 灰霾过程中气象因子变化曲线

Fig.5 Variation curves of meteorological factors during haze period

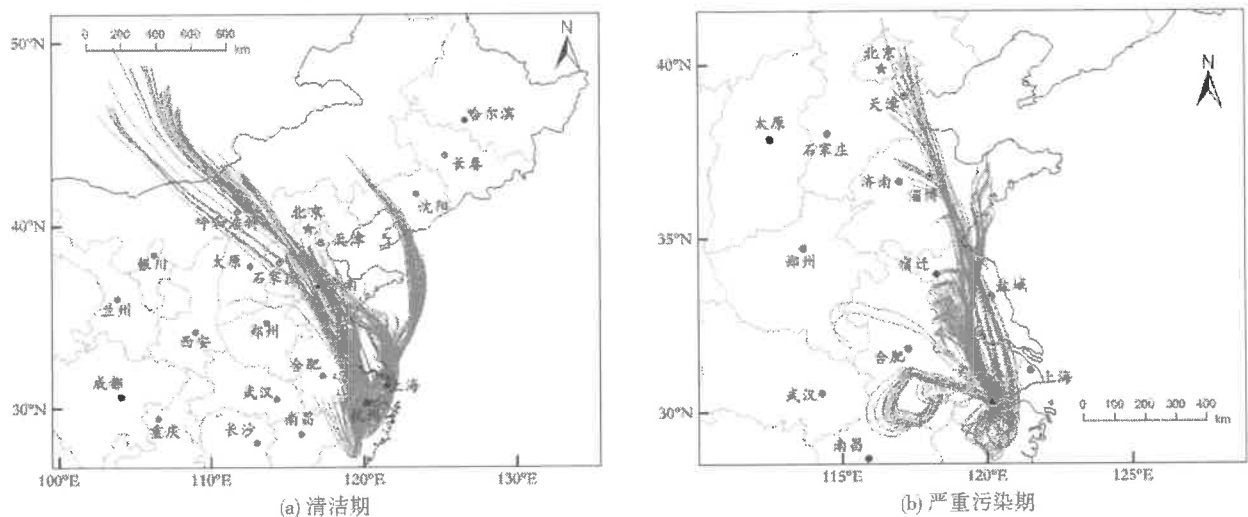


图 6 清洁期和严重污染期 48 h 后向轨迹图

Fig.6 48 h backward trajectory maps of clean period and severe polluted period

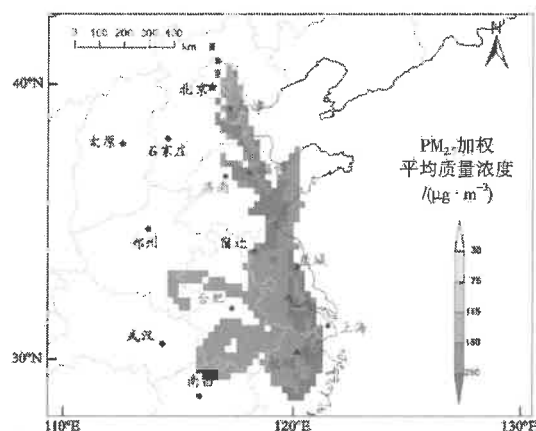


图7 严重污染期 CWT

Fig.7 CWT of severe polluted period

洁。严重污染期的气流轨迹主要有3个来源：一是起自北京、天津地区途经淄博、盐城等工业城市的气流，携带大量污染物；二是起自江苏西部地区的气流，江苏西部存在大量排污企业，致使气流中污染物浓度较高；三是安徽南部部分气流沿东南方向进入杭州，途经安徽、浙江、江苏三省交界地，也携带高浓度污染物。

结合后向轨迹和 $PM_{2.5}$ 浓度进行 CWT 分析，可以进一步明确引起杭州市区此次灰霾过程的潜在源区。图7为严重污染期 CWT 分布图。主要潜在源区包括杭州本地、京津地区、山东中部和江苏南部等大片地区，盐城、淄博等工业污染较严重的城市对此次灰霾过程影响较大。

3 结论与建议

(1) 2013年3月1日至2014年2月28日，杭州市区 NO_2 质量浓度年均值为 $51.55 \mu g/m^3$ ，CO 为 $0.87 mg/m^3$ ， $PM_{2.5}$ 为 $67.02 \mu g/m^3$ ， PM_{10} 为 $102.06 \mu g/m^3$ ， $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 、 NO_2 超过了 GB 3095—2012 二级标准，尤其是冬季。4种污染物基本都在每天的 9:00—10:00 和 19:00—20:00 出现两个峰值，比上下班出行高峰时间滞后约 1 h，说明机动车尾气排放对这4种污染物浓度的日变化有重要影响。 $PM_{2.5}$ 主要来自于二次污染物转化。

(2) 2014年1月17日至19日杭州市区经历的一次灰霾过程中， $PM_{2.5}$ 最高质量浓度接近 $300 \mu g/m^3$ ， PM_{10} 最高质量浓度已超过 $300 \mu g/m^3$ ，两者的日均值远高于 GB 3095—2012 的二级标准。

(3) 这次灰霾过程的主要潜在源区包括京津地区、山东中部和江苏南部等地区，临淄、盐城等工业污染较严重的城市影响尤其大。杭州本地本身相对湿度较高、温度较低，加上风速小、气压稳定，也加剧了这次污染的严重程度。所以综上所述，为了减少杭州空气污染，本地交通源控制和区域协同控制需要双管齐下。

参考文献：

- [1] 胡诗玮, 吴小芳, 罗坤, 等. 基于区域多尺度空气质量模型的杭州市大气污染的来源解析[J]. 能源工程, 2015(5): 40-44.
- [2] BRUNEKREEFF B, FORSBERG B. Epidemiological evidence of effects of coarse airborne particles on health[J]. European Respiratory Journal, 2005, 26(2): 309-318.
- [3] 张少红, 于少华. $PM_{2.5}$ 的来源、危害及防治措施研究[J]. 环境科学与管理, 2014, 39(7): 92-94.
- [4] 陈春红, 邢培峰. 大气污染危害人类和生物的探讨[J]. 工会博览, 2010(5): 257.
- [5] CHU D A, KAUFMAN Y J, ICHOKU C, et al. Validation of MODIS aerosol optical depth retrieval over land[J]. Geophysical Research Letters, 2002, 29(12): 1-4.
- [6] ENGEL COX J A, HOFF R M. Qualitative and quantitative evaluation of MODIS satellite sensor data for regional and urban scale air quality[J]. Atmospheric Environment, 2004, 38(16): 2495-2509.
- [7] BOSSIOLI E, TOMBROU M, DANDOU A, et al. The role of planetary boundary-layer parameterizations in the air quality of an urban area with complex topography[J]. Boundary-Layer Meteorology, 2009, 131(1): 53-72.
- [8] BADARINATH K V S, SHARMA A R, KHAROL S K, et al. Variations in CO , O_3 and black carbon aerosol mass concentrations associated with planetary boundary layer (PBL) over tropical urban environment in India[J]. Journal of Atmospheric Chemistry, 2009, 62(1): 73-86.
- [9] WANG D, ZHOU B, FU Q, et al. Intense secondary aerosol formation due to strong atmospheric photochemical reactions in summer: observations at a rural site in eastern Yangtze River Delta of China[J]. Science of the Total Environment, 2016, 571: 1454-1466.
- [10] WANG H, AN J L, SHEN L J, et al. Mechanism for the formation and microphysical characteristics of submicron aerosol during heavy haze pollution episode in the Yangtze River Delta, China[J]. Science of the Total Environment, 2014, 490: 501-508.

编辑: 陈锡超 (收稿日期: 2017-10-30)

