

唐宜西 张小玲 熊亚军 等. 北京一次持续霾天气过程气象特征分析[J]. 气象与环境学报 2013 29(5): 12–19.

TANG Yi-xi ZHANG Xiao-ling XIONG Ya-jun et al. Meteorological characteristics of a continuous haze process in Beijing[J]. Journal of Meteorology and Environment 2013 29(5): 12–19.

北京一次持续霾天气过程气象特征分析

唐宜西^{1 2} 张小玲² 熊亚军³ 赵秀娟² 范广洲¹ 王京丽²

(1. 成都信息工程学院 四川 成都 620225; 2. 中国气象局北京城市气象研究所 北京 100089;
3. 北京市气象台 北京 100089)

摘要: 2013 年 1 月 10—14 日, 北京平原地区出现了水平能见度在 2 km 以下、以 $PM_{2.5}$ 为首要污染物、空气质量持续 5 d 维持在重度以上污染水平的霾天气。综合分析此次霾天气过程的天气形势、北京地区常规和加密气象站资料以及城郊连续观测的 $PM_{2.5}$ 浓度资料。结果表明: 此次霾过程期间, 北京高空以平直纬向环流为主, 受西北偏西气流控制, 没有明显冷空气南下影响北京地区, 地面多为不利于污染物扩散和稀释的弱气压场; 大气层结稳定、风速小(日平均风速小于 $2\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$)、相对湿度较大(日平均相对湿度在 70% 以上)、逆温频率高且强度大, 边界层内污染物的水平和垂直扩散能力差; 北京城区及南部的京津冀地区人类活动排放污染物强度大。在相对稳定和高湿的天气背景下, 受地形和城市局地环流的影响, 北京本地污染物累积和区域污染物输送以及 $PM_{2.5}$ 在高湿条件下的物理化学转化等过程共同作用造成此次北京城区及平原地区污染物浓度快速增长并持续偏高, 高浓度 $PM_{2.5}$ 对大气消光有显著影响, 造成低能见度和持续霾天气。

关键词: 霾; 重污染; 气象条件; 污染物输送

中图分类号: P458.1⁺1 文献标识码: A doi: 10.3969/j.issn.1673-503X.2013.05.003

引言

霾是一种大量极细微的干尘粒均匀地浮游在空中, 使水平能见度小于 10 km 的空气普遍浑浊的天气现象^[1]。霾天气能见度较低, 除影响人们日常交通运输和生产活动外, 空气中携带的有毒有害细粒子进入细支气管和肺泡区, 会诱发支气管炎、肺炎甚至肺癌, 对健康造成较大危害^[2-3], 因此霾的相关问题日益受到关注。国外学者对霾的研究较早, 其中 Waller 等^[4]、Malm^[5]、Kerr^[6] 对霾的组成、时空演变特征、灰霾物质产生来源、霾的气候制冷机制进行了分析研究。国内学者主要对霾的天气气候特征、城市霾的形成条件和物化组分及其危害等方面进行了研究。中国霾天气呈逐渐增加的趋势, 主要分布在中东部和南部地区并且具有冬多夏少的季节分布特点^[7-9]。霾的形成与气象条件和大气中高浓度的细粒子有关^[10-13], 风速较低、高湿、稳定的边界层结构有利于污染物排放量大的地区气溶胶的生成、增长和累积^[14-18], 进一步增加气溶胶的消光作用^[19], 导致能见度下降^[20-21]和重污染的持续以及霾的维持^[22-23]。吴兑等^[24-26]对珠江三角洲霾形成机理、

霾对能见度的影响及霾与雾的区分取得了开拓性的研究成果。贺克斌等^[27]研究指出, 天气系统的活动尺度和细颗粒物的富集趋势决定了北京地区大气颗粒物污染的区域性特征。Zhao 等^[28]对一次华北平原冬季区域霾天气的分析表明, 静稳的天气背景、本地污染源强度、特殊地形条件以及外来污染物的输送都是造成北京及区域大气污染和霾形成的重要原因。

随着城市群工业化、城市化快速发展, 大量的污染物集中排放导致城市空气污染变得日益严重, 霾天气频繁出现。2013 年 1 月中国中东部地区发生了影响范围广、持续时间长、污染物浓度高的霾天气, 特别是京津冀平原地区最为严重。北京观象台记录有 25 d 霾天气, 是常年同期的 2.2 倍, 为 1954 年以来历史同期出现最多。持续霾天气导致多地航班延误或取消, 医院呼吸科、儿科患者急剧增加, 给人们日常生活和生态环境带来严重影响。其中 1 月 10—14 日北京地区出现了持续 5 d 空气质量达到严重污染程度的霾天气, 影响极大。

1 资料与方法

利用综合的高低空气象资料、天气形势、加密观

收稿日期: 2013-04-15; 修订日期: 2013-06-17。

基金项目: 公益性行业(气象)科研专项(GYHY200806027, GYHY201206015)和国家自然科学基金(41075111 和 41030107)共同资助。

作者简介: 唐宜西, 女, 1987 年生, 在读硕士研究生, 主要进行城市环境气象研究, E-mail: yxtang@ium.cn。

通信作者: 张小玲, E-mail: xlzhang@ium.cn。

测资料来分析霾天气过程期间的气象要素、边界层结构以及 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度变化特征,进一步解释此次霾天气过程形成并持续的原因以及空间分布,为霾天气的预报、预警和污染治理防控提供依据。

2 结果分析

2.1 霾天气期间气象要素和污染统计特征

2013年1月10—14日,中国中东部地区陆续陷入长时间霾天气和重污染过程中,京津冀地区尤为严重。在这次区域性霾过程中,北京地区有两个明

显特点,一是北京自北向南霾与污染程度逐渐加重,北京城区南部污染尤为严重,而西北山区及东北部受此次污染过程的影响相对较小;二是这次过程是北京近几年来同期最为严重的一次,污染浓度水平高并且持续时间长。北京市气象局在城区海淀宝联站12日监测到 $\text{PM}_{2.5}$ 日均浓度为 $396 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,高出前4 a 同期记录的最高日平均值(2012年1月18日为 $280 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)。

表1统计了这次持续霾天气过程期间北京市观象台气象资料和北京市环境保护局公布的空气质量

表1 2013年1月10—15日北京空气质量和气象数据统计

Table 1 The statistical data of air quality and meteorological factors from January 10 to 15 2013 in Beijing

日期	AQI 值	AQI 级别	空气质量 状况	首要 污染物	日平均/最小 能见度*/km	风速/ ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	日平均/最大相对 湿度/(%)	850 hPa 日平均温度 变温/ $^{\circ}\text{C}$	日平均温度 / $^{\circ}\text{C}$
1月10日	280	五级	重度污染	细颗粒物	1.28/0.49	1.39	68.3/80	+7	-6.2
1月11日	364	六级	严重污染	细颗粒物	0.78/0.52	1.65	68.8/80	+2	-3.5
1月12日	426	六级	严重污染	细颗粒物 可吸入颗粒物	0.35/0.17	1.46	82.1/90	+3	-6.2
1月13日	408	六级	严重污染	细颗粒物	0.84/0.21	1.44	73.1/89	-4	-3.6
1月14日	304	六级	严重污染	细颗粒物	0.99/0.47	1.41	75.9/87	+7	-4.7
1月15日	132	三级	轻度污染	细颗粒物	4.19/1.42	1.90	73.2/82	-9	-4.7

注:能见度*为能见度自动观测仪测量的数据。

日报数据(<http://www.bjepb.gov.cn/portal0/default.htm>)。从表1可以看出,根据《环境空气质量标准》(GB3015-2012),1月10—14日,北京市空气质量持续5 d 维持在重度以上污染水平(其中4 d 的空气质量为六级严重污染),首要污染物均为 $\text{PM}_{2.5}$,该过程在12日以前呈污染逐日累积加剧趋势,到12日达到此次过程峰值。12日之后,空气质量指数AQI逐渐下降,到15日基本结束。气象要素统计表明,在持续霾天气的过程中,北京能见度急剧下降,在污染最为严重的12日最小能见度不到200 m。地面风速偏小,日平均风速均在 $2.0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 以下,2 min 平均风速在 $0.0\text{—}3.5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 内波动,并且 $1\text{—}2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的风频率为75%, $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 以下的风频率为11%。地面温度较低、相对湿度较大,日平均相对湿度在68%以上,12日平均相对湿度高达82.1%,最高相对湿度达90%。污染期间尤其是13日前,850 hPa高度24 h 正变温明显。由于风速持续偏小,利于夜间的辐射降温并在低层形成稳定的逆温层结。而北京冬季地面温度低,上层若有暖平流有可能使逆温层的厚度向上延伸,形成深厚逆温层,在后面的分析中可看到低层有明显的逆温且维持时间较

长。这种典型的静稳天气条件不利于大气污染物的扩散而在低层堆积,导致霾天气的持续。随着15日冷空气和小雪天气对大气颗粒物的扩散、湿清除作用,空气污染减轻,能见度好转,霾天气结束。

2.2 持续霾天气期间的高空环流与地面天气形势

天气形势决定了气象要素的分布和变化,继而决定了大气的扩散能力与大气的稳定程度以及污染物与霾的空间分布和区域性^[27]。由高空和地面天气形势可知(图略),自1月9日08时开始,北京处于西北偏西气流控制中,整个东亚地区处于“两槽一脊”的形势,东亚大槽位于 120°E 附近,脊区位于贝加尔湖以西的东萨彦岭附近,没有明显冷空气东移南下影响北京地区。从地面气压场(图略)上看,虽然北京上游有弱的高压区存在,但中心强度和梯度均较弱,整个华北区域为弱气压场控制,且风速较小,有利于夜间的辐射降温形成逆温层结。10日20时高空转为平直西风气流控制,地面处于均压场,且低层存在暖平流。11日有一次较弱的冷空气活动,从500 hPa 高空图(图略)可以发现有一短波槽过境,但冷空气势力弱,对低层大气没有产生明显影响,北京地面气压场仍处于低压辐合区控制,空气质量难以得到改善。弱冷空气过境后,12—14日(图略)

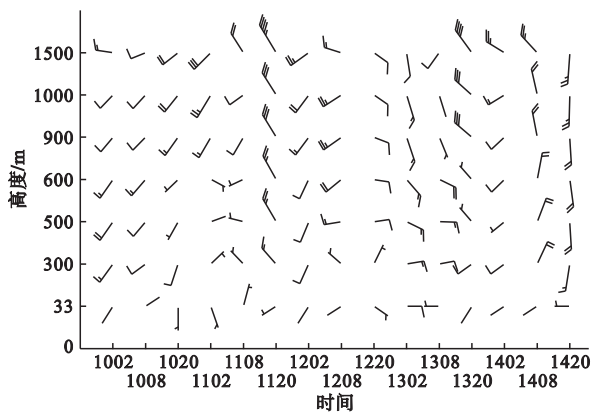
北京高空转为受西北偏西气流的控制中,地面一直处于均压场,高压底部,低压带等弱气压场控制,天气形势依然较有利于污染物的积累和霾的形成与维持。

综上所述,此次霾天气过程期间北京高空以平直纬向环流为主,地面为不利于污染物扩散和稀释的天气类型^[29],一直维持风速较小或静风状态,是典型的静稳天气,导致污染物的持续积累和霾天气的形成和发展。

2.3 边界层内的风温湿结构特征及演变

2.3.1 低空风

人类活动主要集中在大气边界层,边界层结构及其气象要素的变化与污染物浓度的空间分布和演变密切相关。图1为2013年1月10—14日严重霾



注:横轴坐标值前2位为日期,后两位为时刻,“1002”为10日02:00,其余类推

图1 2013年1月10日02时至14日20时北京低层风时间序列

Fig.1 Time series of the low-level wind from 02:00 on January 10 to 20:00 January 14, 2013 in Beijing

过程期间北京观象台每日3次测风资料绘制的低空风时间变化图。从图1可知,10日02:00—20:00整层风速均较小,并且基本为西南风。由于北京三面群山环抱的特殊地形,在没有明显天气系统过境的情况下,西南气流容易使污染物在区域内累积^[30],11日空气质量从五级重度污染加重为六级严重污染。11日02:00至14日02:00,300 m以下的风速均在 $4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 以下,其中地面风速均在 $2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 以下甚至静风。虽然11日20时300 m以上各层开始出现偏北风,但是持续时间短且势力弱,空气质量得不到明显改善。12日边界层内风速均较小,12日02:00到13日08:00风向从西南风转为偏西风,最后以东风和东南风为主。由于低层带来的暖湿气流与北京特殊地形共同作用使得近地面湿度增大,有利于污染物的进一步聚集转化和污染物粒子的增大,配合其他条件促使12日午后污染物浓度激增。14日08:00边界层内出现明显偏北风,20:00转为南风,

风速的加大增强了大气的扩散能力,此次污染的主要过程随之结束。

2.3.2 边界层内温湿结构特征

图2为使用北京观象台微波辐射计连续观测资料统计得到的温湿垂直结构。加密观测资料表明在这次持续霾过程中,近地面层湿度维持在较高的水平,最高相对湿度超过了90%。12日地面相对湿度达到极值,在14:00以前相对湿度均在80%以上。这样的高湿条件有利于气溶胶的吸湿增长、污染物的聚集和二次转化,使得 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度增加^[31]。此外,由于此期间北京气温低,空气中所能容纳的水汽少,空气易达到饱和凝结,利于霾的形成。而霾的形成会使到达地面的辐射减少,大气层结稳定度增加,这样又进一步使得大气污染物不断的积累和凝聚,如此正反馈的恶性循环使得重污染过程维持并加剧。

逆温层是影响层结稳定和空气质量的重要气象条件。逆温层的存在意味着北京低空暖且轻的空气位于冷且重的空气上面,形成了稳定的大气层结。从大气温度结构图2b可知,此次过程期间,北京大气边界层内有明显逆温层存在,表现为逆温频率高、强度大等特征(除每日的正午时段外,其余大部分时间均存在强的近地逆温层)。图2c显示了10日至14日每天08时和20时温度垂直廓线,可以明显看出大气的逆温状况。10日至14日每天08时和20时逆温层厚度和强度表明近地面逆温层基本在500 m以下(图2d),12日之前逆温强度呈现一个逐渐加强的趋势,并且连续3 d都出现了接地逆温。由于逆温层会减弱垂直对流,逆温层越厚强度越强,越是影响污染物的垂直输送,持续存在的逆温层使得大气污染物不断积累导致空气质量恶化和霾的加重。

由此可见,持续霾期间边界层内大气扩散能力差,低层大气层结持续稳定、风速偏小、逆温频率高、强度大、相对湿度较大,这些均有利于污染物在低层的积累和霾的形成。

2.4 地面气象要素与 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度逐时演变及对应关系分析

从北京市环境保护局官方公布的空气质量日报来看,整个霾过程中, $\text{PM}_{2.5}$ 高浓度主要分布在北京城区和南部地区,而西北部和东北部山区 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度处于相对较低的水平,这与观测的霾分布相吻合。为了探究自北向南污染程度逐渐加重的原因,选取城区海淀宝联站和东北方向的郊区密云上甸子本底站 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度和地面气象要素来进行对比分析。两

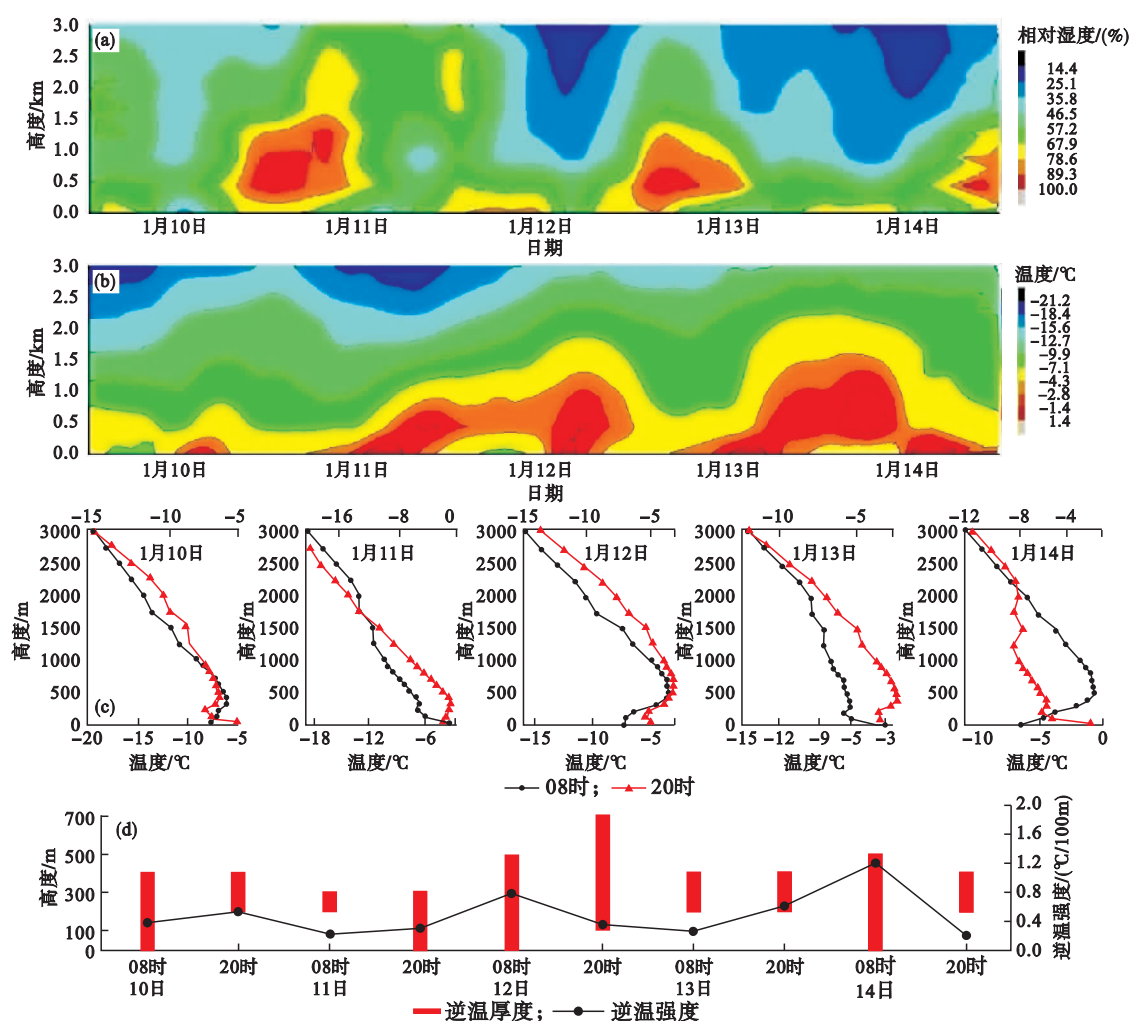


图 2c 中上横坐标为 20 时温度, 下横坐标为 08 时温度; 图 2d 中柱形图上下边界对应的高度值分别表示逆温层顶高度和逆温层底高度, 柱形长度代表逆温厚度

图 2 2013 年 1 月 10—14 日北京边界层内湿度场垂直结构 (a)、温度场垂直结构时间演变 (b) 及温度廓线 (c)、逆温层厚度和强度 (d)

Fig. 2 The evolution of vertical structure of humidity field (a) and temperature field (b), temperature profile (c), the depth and intensity of inversion temperature layer (d) within boundary layer on January 10 to 14 2013

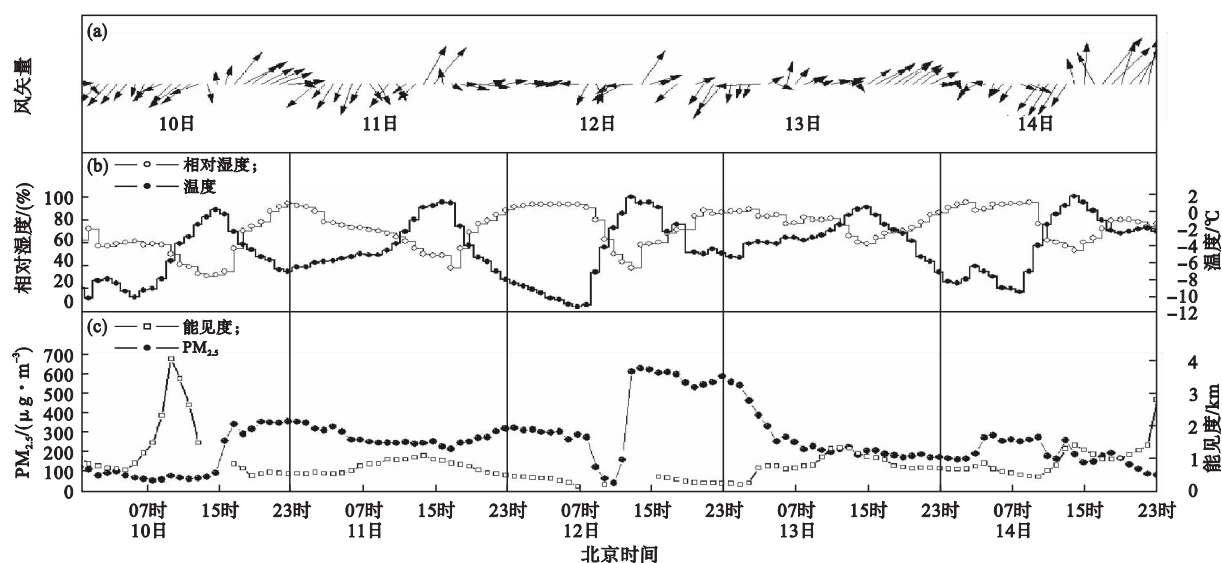


图 3 2013 年 1 月 10—14 日城区海淀宝联站地面气象要素风矢量 (a)、相对湿度和温度 (b) 及 PM_{2.5} 浓度 (c) 逐时变化
Fig. 3 The hourly variations of PM_{2.5} mass concentration and surface meteorological factors at Baolian (BL) station of Beijing on January 10 to 14 2013

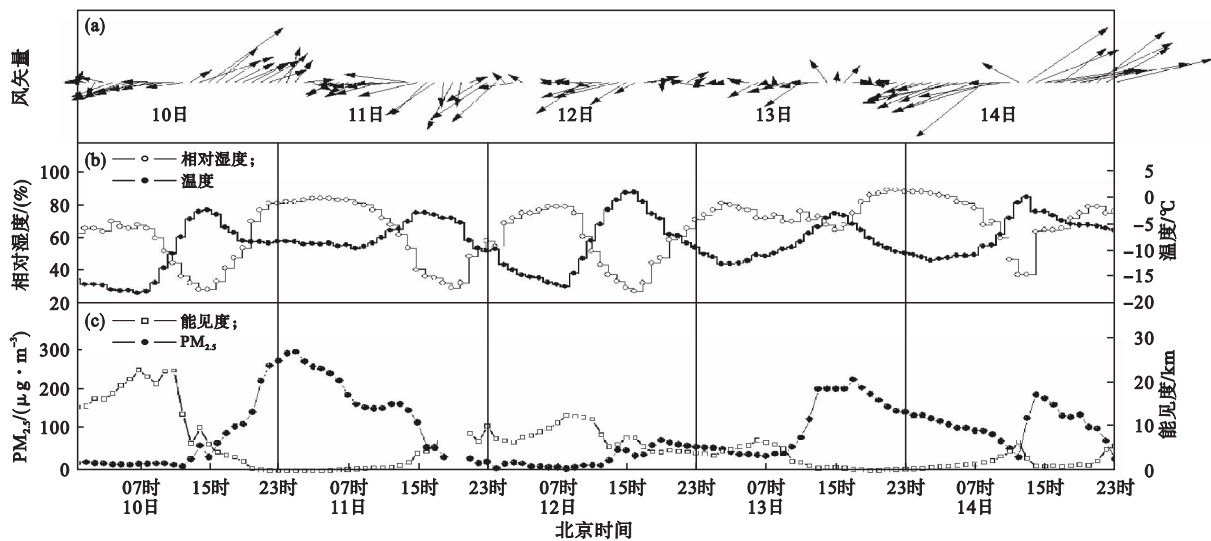


图4 2013年1月10—14日上甸子本底站地面气象要素风矢量(a)、相对湿度和温度(b)及 $PM_{2.5}$ 浓度(c)逐时变化

Fig. 4 The hourly variations of $PM_{2.5}$ mass concentration and surface meteorological factors at Shangdianzi (SDZ) station of Beijing on January 10 to 14 2013

站的 $PM_{2.5}$ 浓度所使用的观测仪器均为TEOM 1400 a, 气象要素为业务运行的自动站资料(其中宝联站使用与其最近的海淀自动站)。

如图3c和图4c所示,10日傍晚至11日凌晨,海淀宝联站和上甸子站 $PM_{2.5}$ 浓度均快速上升,两站 $PM_{2.5}$ 小时浓度超过了 $200 \mu g \cdot m^{-3}$ 。随后城区宝联站维持在 $250 \mu g \cdot m^{-3}$ 以上的高浓度水平,而上甸子站 $PM_{2.5}$ 浓度逐渐下降,并保持相对较低水平直至13日中午。由于城区低空风速的扰动和小股弱冷空气活动,城区宝联站 $PM_{2.5}$ 浓度在12日08时后几小时有一个明显降低,午后出现浓度激增并持续的过程,而上甸子本底站基本没有影响。城区宝联站12日14时至13日01时段 $PM_{2.5}$ 小时浓度超过了 $500 \mu g \cdot m^{-3}$ (空气质量指数AQI上限对应的浓度),并出现了 $630 \mu g \cdot m^{-3}$ 的峰值浓度,这是近5 a霾天气中小时浓度的极值。虽然城区人为排放污染源较强,城区 $PM_{2.5}$ 浓度一般高于郊区,但在本次过程中城区污染的峰值时段以及城郊浓度差异明显值得探讨。

对照两站的地面风、温度和相对湿度(图3和图4),表明 $PM_{2.5}$ 浓度值上升和回落与风向风速以及相对湿度有很好的对应关系。当风向呈偏南风时,浓度值会有所增长,而当风向转为明显偏北风时,浓度值对应有所下降。尤其是上甸子站(图4a和图4c),在10日午后至11日浓度值迅速上升对应着明显的偏南风,而11日之后主要是偏北风或微弱的偏南风, $PM_{2.5}$ 浓度开始降低并维持在较低浓度水平。由

于城市地区受人们生活、污染排放源以及城市局地环流等复杂因素的影响,所以风向风速与 $PM_{2.5}$ 浓度的对应关系不如上甸子站,而且此过程期间城区站多为偏南风,平均风速城区明显小于郊区,相对湿度较高,地面温度偏低,与地方性风和静稳天气条件配合使得局地污染物累积造成北京城区的持续高污染。12日中午前后地面气象要素的变化可以部分解释城区 $PM_{2.5}$ 浓度骤降和激增的原因,即12日9:00之前城区风速较小,但湿度不断增加,对高浓度气溶胶的维持有利,之后随着小股冷空气的影响,地面风向转为偏北风,湿度明显下降,造成 $PM_{2.5}$ 浓度的快速降低,3 h后,地面风又转为比较明显的偏南风,同时相对湿度也增加较快,对 $PM_{2.5}$ 在高湿下的形成转化和南部地区污染物的输送有明显作用。图3c与图4c所示能见度和 $PM_{2.5}$ 浓度均表现出完全相反的变化趋势,这是因为 $PM_{2.5}$ 浓度的快速增长是造成大气能见度急剧降低的重要原因,对大气消光作用有重要贡献^[19]。综上所述, $PM_{2.5}$ 浓度与地面气象因子存在密切的联系, $PM_{2.5}$ 质量浓度较高的时段对应着较低的风速、较高的相对湿度以及偏南风为主导风向,直接影响能见度,造成霾天气。

2.5 北京城区与南部地区污染输送条件分析

在此次霾天气和持续重污染过程中,北京地区污染物浓度异常偏高除了与本地污染物积累有关外,还与区域性污染物的输送汇聚有关^[18]。图5给出了北京严重霾期间(10日20时至13日02时)加密自动站风场的分布情况。图5a显示10日20时北京自南向北大部分地区出现一致的偏南风,由于南

部平原地区人口密集,污染源排放强度大,受西南风

影响,南部地区的污染物向北京输送并与本地污染

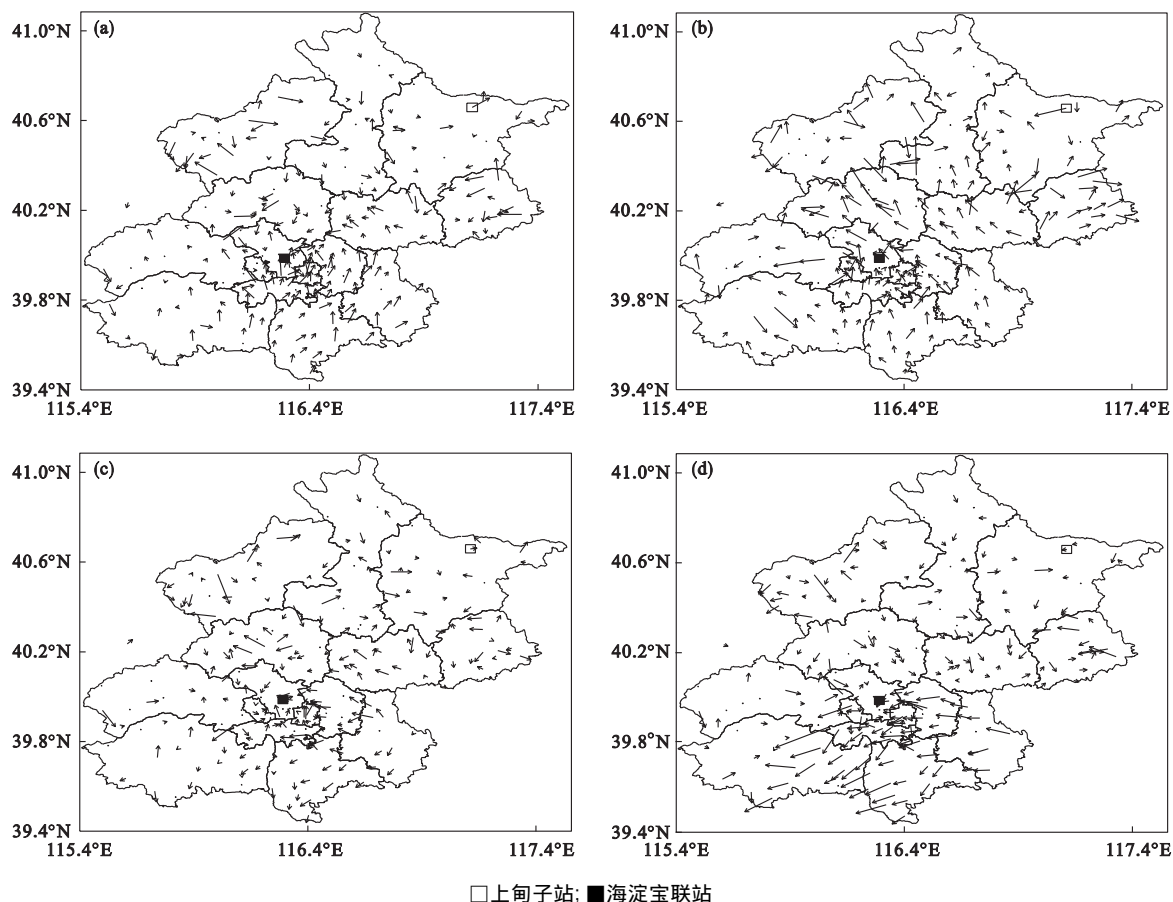


图5 2013年1月10日20时(a)、12日14时(b)、12日20时(c)和13日02时(d)北京地区霾天气期间地面风场
Fig. 5 The surface wind field at 20:00 on January 10 (a), 14:00 (b) and 20:00 (c) on January 12, 02:00 on January 13 2013 in Beijing area during the heavy fog and haze process

叠加积累,导致城区宝联站和上甸子站 $PM_{2.5}$ 浓度此期间迅速上升。12日14时(图5b)北京南部地区的西南风势力加强,并且向北推进基本覆盖了北京东南部 and 城区的平原地区,但西南风势力没有延伸至北京北部山区,上甸子站仍为偏北风。夜间20时(图5c)风场开始转换,南部风场开始从偏南风转为偏东风,并在城区形成一辐合区,城区污染物浓度持续偏高。到13日02时(图5d),北京城区与南部各测点的地面风都转为东北风且风速增大,城区宝联站 $PM_{2.5}$ 浓度随之开始下降。由此可见,在城区污染峰值时段,北部山区却维持在较低水平,与偏南风的输送和局地污染物堆积以及气溶胶的形成和化学转化等有关。

3 结论与讨论

(1) 1月10—14日霾期间北京高空以平直纬向环流为主,地面为不利于污染物扩散和稀释的弱气压场控制,是典型的静稳天气。边界层结构和地面

气象要素表现为大气层结稳定、风速小、相对湿度较大、逆温频率高、强度大,边界层内大气扩散能力差,与静稳的气象条件配合导致污染物在低层的持续积累和霾的形成,气象条件和 $PM_{2.5}$ 浓度及能见度的演变有较好的对应关系。

(2) 由于北京城区及南部的京津冀地区污染物排放强度大,在相对稳定的天气背景下,受地形和城市局地环流的影响,北京本地污染和区域污染物输送以及 $PM_{2.5}$ 的形成转化等过程共同作用造成北京城区及平原地区污染物浓度快速增长并持续偏高,形成严重的霾天气。

(3) 霾天气及 $PM_{2.5}$ 的形成是非常复杂的过程,其形成和时空分布演变受多种因素影响,复杂的物理化学机制更需要深入研究,以提高霾预报预警和污染治理防控的技术能力。

参考文献

[1] 中国气象局. 地面气象观测规范[M]. 北京: 气象出版

- 社 2003:21-27.
- [2] 白志鹏,蔡斌彬,董海燕,等.灰霾的健康效应[J].环境污染与防治,2006,28(3):198-201.
- [3] Huang W,Tan J G,Kan H D,et al. Visibility,air quality and daily mortality in Shanghai,China[J]. Science of the Total Environment,2009,40(7):3295-3300.
- [4] Waller R E,Brooks A G,Carwright J. An electron microscope study of particles in town air[J]. Air and Water Pollution,1963(7):779-786.
- [5] Malm W C. Characteristics and origins of haze in the continental united states[J]. Earth-Science Reviews,1992,33(1):1-36.
- [6] Kerr R A. Climate study unveils climate cooling caused by pollutant haze[J]. Science,1995,268(5212):802.
- [7] 胡亚旦,周自江.中国霾天气的气候特征分析[J].气象,2009,35(7):73-78.
- [8] 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.
- [9] 刘玉兰,梁培,刘娟,等.1961—2008年银川市灰霾天气的气候特征[J].气象与环境学报,2012,28(1):55-58.
- [10] Grazia M M,Stefano V,Gianluigi V,et al. Characteristics of PM₁₀ and PM_{2.5} particulate matter in the ambient air of Milan[J]. Atmospheric Environment,2001,35(27):4639-4650.
- [11] Duan F K,He K B,Ma Y L,et al. Concentration and chemical characteristics of PM_{2.5} in Beijing,China: 2001-2002[J]. Science of the Total Environment,2006,355(1/2/3):264-275.
- [12] Li L,Wang W,Feng J L,et al. Composition,source, mass closure of PM_{2.5} aerosols for four forests in eastern China[J]. Journal of Environmental Sciences,2010,31(3):405-412.
- [13] 杨素英,赵秀勇,刘宁微.北京秋季一次重污染天气过程的成因分析[J].气象与环境学报,2010,26(5):13-16.
- [14] Nilson E D,Paterno J,Boy M. Effects of air masses and synoptic weather on aerosol formation in the continental boundary layer[J]. Tellus Series B-Chemical and Physical Meteorology,2001,53(4):462-478.
- [15] 王淑英,张小玲.北京地区PM₁₀污染的气象特征[J].应用气象学报,2002,13(21):177-184.
- [16] 徐晓峰,李青春,张小玲.北京一次局地重污染过程气象条件分析[J].气象科技,2005,33(6):543-547.
- [17] 任阵海,苏福庆,高庆先,等.边界层内大气排放物形成重污染背景解析[J].大气科学,2005,29(1):57-63.
- [18] 郭利,张艳昆,刘树华,等.北京地区PM₁₀质量浓度与边界层气象要素相关性分析[J].北京大学学报,2011,47(4):607-612.
- [19] 颜鹏,刘桂清,周秀骥,等.上甸子秋冬季雾霾期间气溶胶光学特性[J].应用气象学报,2010,21(3):257-265.
- [20] Qiu J H,Yang L Q. Variation characteristics of atmospheric aerosol optical depths and visibility in North China during 1980-1994[J]. Atmospheric Environment,2000,34(4):603-609.
- [21] 宋宇,唐孝炎,方晨,等.北京市能见度下降与颗粒物污染的关系[J].环境科学学报,2003,23(4):468-471.
- [22] 程从兰,李青春,刘伟东,等.北京地区一次典型大雾天气的空气污染过程物理量分布特征[J].气象科技,2003,31(6):345-349.
- [23] 樊文雁,胡波,王跃思,等.北京雾、霾天细粒子质量浓度垂直梯度变化的观测[J].气候与环境研究,2009,14(6):631-638.
- [24] 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.
- [25] 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.
- [26] 吴兑.大城市区域霾与雾的区别和灰霾天气预警信号发布[J].环境科学与技术,2008,31(9):1-7.
- [27] 贺克斌,贾英韬,马永亮,等.北京大气颗粒物污染的区域性本质[J].环境科学学报,2009,29(3):482-487.
- [28] Zhao X J,Zhao P S,Xu J,et al. Analysis of a winter regional haze event and its formation mechanism in the North China Plain[J]. Atmospheric Chemistry and Physics Discussions,2013,13(1):903-933.
- [29] 孟燕军,程丛兰.影响北京大气污染物变化的地面天气形势分析[J].气象,2002,28(4):42-46.
- [30] 李德平,程兴宏,于永涛,等.北京地区三级以上污染日的气象因子初步分析[J].气象与环境学报,2010,26(3):7-13.
- [31] 陈媛,岑况,Norra S,等.北京市区大气气溶胶PM_{2.5}污染特征及颗粒物溯源追踪分析[J].现代地质,2010,24(2):345-354.

Meteorological characteristics of a continuous haze process in Beijing

TANG Yi-xi^{1,2} ZHANG Xiao-ling² XIONG Ya-jun³ ZHAO Xiu-juan² FAN Guang-zhou¹ WANG Jing-li²

(1. Department of Atmospheric Science ,Chengdu University of Information Technology ,Chengdu 610225 ,China;

2. Institute of Urban Meteorology ,China Meteorological Administration ,Beijing 100089 ,China;

3. Beijing Meteorological Observatory ,Beijing 100089 ,China)

Abstract: A heavy haze event occurred in the plain area of Beijing from January 10 to 14 2013. During this period ,the visibility was always less than 2 km; air pollution reached and exceeded severe level; the primary pollutant is $PM_{2.5}$. The process was synthetically analyzed based on the synoptic situation ,the conventional and intensive observational data from weather stations and the observational $PM_{2.5}$ concentration from the urban and rural station. The results show that there exists relatively straight zonal circulation with west-northwest air current control and without obviously southward cold air in upper level over Beijing during this haze process. It is weak pressure system on the ground which is not favorable to diffusion and transportation of pollutants. The atmospheric stratification is stable; wind speed is low (the daily mean wind speed is less than $2\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$); relative humidity (RH) is high (the mean daily RH is more than 70%); the frequency of temperature inversion is high and its intensity is strong. Thus ,the ability of vertical and horizontal diffusion of air pollutants within the boundary layer is very weak. Because of the heavy emission intensity ,the high humidity and stable weather background in Beijing-Tianjin-Hebei region ,the concentration of pollutants are influenced by the complex terrain and local circulation. Combined actions of local pollutants emission and regional transportation as well as the physical or chemical reactions of fine particle $PM_{2.5}$ make the pollutants concentration increasing sharply and maintaining with a high concentration in urban and plain areas of Beijing. The high concentration of $PM_{2.5}$ has a significant impact on light scattering extinction ,which results in low visibility and severe haze weather.

Key words: Haze; Serious pollution; Meteorological condition; Pollutant transportation