

城市空气污染持续维持机制研究 I. 2002年西安市空气污染持续 维持过程分析及其气象成因

周 慧^{1,2} 王自发² 安俊岭²
朱 彬¹ 刘 娟³ 陈万隆¹

1 南京信息工程大学大气物理和大气环境专业, 南京 210044

2 中国科学院大气物理研究所竺可桢-兰森国际研究中心, 北京 100029

3 西安市环保研究所, 西安 710000

摘 要 为研究城市大气污染持续过程的形成机制及区域输送问题, 利用2002年西安市环境监测站SO₂、NO₂和PM₁₀日平均污染物浓度资料分析了西安市大气污染的时空分布特征及其与气象条件的关系。分析结果表明: 一年中西安出现3天以上空气质量为3级以上的持续污染过程18次, 累计污染超标日为192天, 出现3级以上的概率为53%。西安市区的污染物以可吸入颗粒物为主, PM₁₀污染超标日较多。重点分析了2002年1月9~12日造成西安市持续污染过程的气象条件及天气形势, 可见4天的气象条件有着共同的特点: 平均风速小, 气温较低, 出现逆温, 相对湿度较大。西安地处高压后部, 气压较低, 高空为较平直的西北气流, 天气形势持续稳定。

关键词 空气质量 持续污染 天气形势

文章编号 1006-9585 (2005) 01-0124-08 **中图分类号** X16 **文献标识码** A

The Mechanism of Urban Air Pollution Persistence Part I: The Analysis of Air Pollution Persistence and its Relate Meteorology in Xi'an in 2002

ZHOU Hui¹, WANG Zi-Fa², AN Jun-Ling², ZHU Bin¹,
LIU Juan³, and CHEN Wan-Long¹

1 *Department of Atmospheric Physics and Atmospheric, Environment, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044*

2 *Nansen-Zhu International Research Centre, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029*

3 *Institute of Environment Research, Xi'an 710000*

Abstract The paper is the first part to investigate the mechanism of urban air pollution persistence. From the analysis of the observed data on major pollutants (NO₂, SO₂, PM₁₀) in Xi'an Shaanxi; province in 2002, the temporal and spatial characteristics of air pollution and their related meteorology are discussed. The results indicate: the total occurrence frequency of urban air pollution persistence, which is defined as the situation where air quality is e-

收稿日期 2004-07-17 收到, 2005-01-18 收到修定稿

资助项目 中国科学院大气物理研究所创新基金 8-0321 和中科院百人计划项目

作者简介 周慧, 女, 1973年5月出生, 硕士, 工程师, 主要从事大气物理与大气环境的研究。E-mail: zhumoo@sohu.com

qual to or higher than class III lasts more than three days, is 18. the accumulated days when PM₁₀ exceeds the standard point add up to 192 and the probability of Grade 3 upwards is 53 percent in 2002. The major air pollutant is PM₁₀ and its exceeding standard point days is very many in Xi'an city. The emphasis on analyzing the meteorology condition and weather situation on the consecutive pollution process on January 9—12, 2002 in Xi'an, weather characters are mainly the following: there are the same meteorology characters that the wind speed is slow and air temperature is low and relative humidity is large in the four days in the surface, the back of high pressure system in the surface and the northwestward air current in the back of East Asia air trough in 500 hPa upper air.

Key words air quality, persistent pollution, weather situation

1 引言

随着社会的发展,人民生活水平和生活质量不断提高,城市环境越来越受关注,尤其是持续的大气污染事件。长时污染对城市生态环境比短时污染构成更大的威胁,因此对大气污染过程持续维持进行研究和治理已成为迫切需要。城市大气环境质量的评价及污染防治已成为我国大气污染研究和城市气候研究领域的主要课题之一^[1~4]。影响城市大气污染持续维持的因素主要有三方面:特殊的地形,相对固定的污染物排放量,稳定的气象条件^[5]。其中地形的影响相对固定,城市大气污染持续维持,主要决定于污染源的排放量和污染物扩散中的气象条件。近来国际上对城市空气污染与气象关系的研究已有很大进展^[6~9],国外目前主要研究 PM_{2.5} 和 O₃ 的污染,McGregor 等^[10]研究了英国伯明翰地区呼吸道疾病与 PM_{2.5} 及天气形势之间的关系,指出当地冬季在大陆高压控制下 PM_{2.5} 的浓度较高,患呼吸道疾病的人数也相对较多,当 PM_{2.5} 的浓度持续偏高时,呼吸道疾病感染更严重。Agrawal 等^[11]利用监测的 SO₂、NO₂、O₃ (每 6 h 一次) 浓度资料及测量的农作物对应的色素、生物量等物理特征进行分析,结果表明空气污染对农作物产量有负面的影响,尤其空气持续污染时影响更大等等。国内仍致力于研究城市主要污染物 PM₁₀ 的危害及防治。王建鹏等^[12]分析多年空气污染物浓度与表征大气扩散能力的气象条件之间的相关性,指出西安空气污染属局地区域与周边大区域污染源扩散共同污染,不仅与大尺度天气条件密切相关,而且与本当地的气象条件、地形及人类的生产、生活密切相关。王红斌等^[13]利用步进式时间序列自动采样仪

对西安空气颗粒物进连续 4 天采样,使用 PIXE (质子 X 荧光) 对采集的 32 个样品进行元素分析,得出各种元素粒子浓度随时间的变化主要受气象条件的影响,降水对空气颗粒物中各种元素粒子浓度有明显抑制作用等。另外还有一些学者如杨亦彬^[14]对成都市大气污染及气象条件影响进行了分析,张蔷等^[15]研究了北京地区低空风、温度层结对大气污染物垂直分布影响。以上的工作主要是分析城市空气污染物的浓度分布变化及其与气象条件的关系,没有分析大气污染持续维持过程,也没有对持续污染过程中污染物浓度与气象要素及天气形势的关系进行研究。西安是我国西北地区的中心城市和西部大开发的“桥头堡”,近年来持续污染较严重,因此研究西安市大气污染的时空分布特征,并对一次持续轻度污染个例的天气形势及高低空气象要素特征进行综合分析,可以为发展城市大气嵌套污染模式提供科学依据,对进一步治理、预测和控制本市大气污染都有很重要的意义。

本研究拟采用观测与模式模拟相结合的方法对城市大气污染持续维持机制分 3 部分讨论。本文为第 1 部分,第 2 部分为 5 层嵌套网格空气质量数值预报模式的设计及验证,第 3 部分是城市大气污染持续维持机制研究。考虑到 2002 年西安市有几次比较明显的持续污染过程,而且也是污染较严重的一年,因此利用污染物浓度资料、天气图、气象要素资料,分析 2002 年西安市污染物浓度的时空分布特征。将西安市 2002 年 1 月 9 日至 12 日持续轻度污染过程中污染物浓度与气象要素及天气形势的关系作一个案例分析。

2 资料来源

研究使用西安市环境监测站提供的 2002 年 4

个测点 SO_2 、 NO_2 、 PM_{10} 的浓度资料，这 4 个点分别设在开关厂、兴庆小区、纺织城、小寨（图 1）。这 4 个点的环境特征和区域性质不同，分别代表西工业区、居民区、东工业区、商业区。污染物浓度资料取前一天 12 时（BST，下同）至当天 12 时共 24 h 的平均值表示当天的污染物日均浓度值。54 个污染源排放资料、气象要素资料主要是西安测站地面观测资料和美国国家大气海洋中心（NOAA）再分析资料。

根据《国家环境空气质量标准（GB3095-1996）》的规定，我们选择 SO_2 日均值大于 $0.150 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ ， NO_2 日均值大于 $0.12 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ ， PM_{10} 大于 $0.150 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ （空气质量为 3 级或以上，空气质量状况为轻微污染或以上）为污染超标日。

3 西安市大气污染的时空分布特征

3.1 空气污染物浓度季节分布特征

污染物浓度的分布有一定的季节变化规律，分析季节分布特征，可以对西安市的大气污染状况有一定的了解。取 2002 年西安市 4 个测点 SO_2 、 NO_2 、 PM_{10} 日浓度资料的平均值作监测资料分析，图 2 为 2002 年西安各季节各污染物浓度

变化曲线，可以看出：（1）代表不同季节的月内 3 种污染物浓度逐日变化的峰值和低值趋势较吻合；（2）2002 年西安市各月 NO_2 、 SO_2 平均浓度值都较小，前者小于 $0.08 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ ，后者小于 $0.05 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ ；影响西安市空气质量的主要污染物 PM_{10} 的月平均浓度值较大，冬季 1 月最大，为 $0.168 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ ，4 月和 10 月月平均值比较接近，分别为 0.160 和 $0.158 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ ，7 月最小为 $0.136 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ 。

污染物浓度有明显的季节变化特征，但 PM_{10} 没有 SO_2 和 NO_2 明显。总的来说，冬季 1 月 3 种污染物浓度高于其他 3 个季节，由于冬季采暖期燃煤锅炉占相当数量，加上地面气温低，大气对流不活跃，大气层结较稳定，降水少、光照较弱，逆温现象出现比率较大^[16]，不利于大气污染物浓度的扩散。春季 4 月 SO_2 和 NO_2 浓度较冬季 1 月减少 20%，而 PM_{10} 浓度下降不多，4 月 15 日、23 日的 PM_{10} 浓度值分别为 0.692 和 $0.622 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ ，为全年极大值。分析气象条件发现，2002 年 4 月陕北、关中降水严重偏少，冷空气活动频繁，各地沙尘暴、扬沙、浮尘天气较严重。陕北北部沙尘暴、扬沙较多，15 日和 23 日出现了沙尘暴天气；陕北南部、关中多扬沙、浮尘天气，西安市在 4 月出现 4 天扬沙、浮尘天气^[17]。夏季

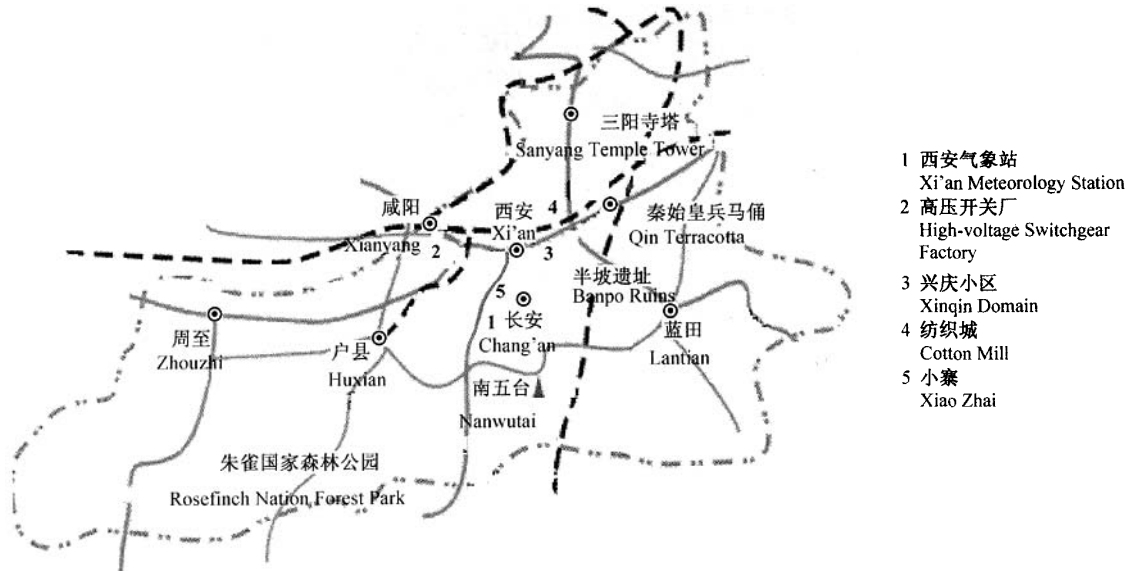


图 1 西安地形及监测站点分布

Fig. 1 The terrain and montoring station distributing chart in xi'an

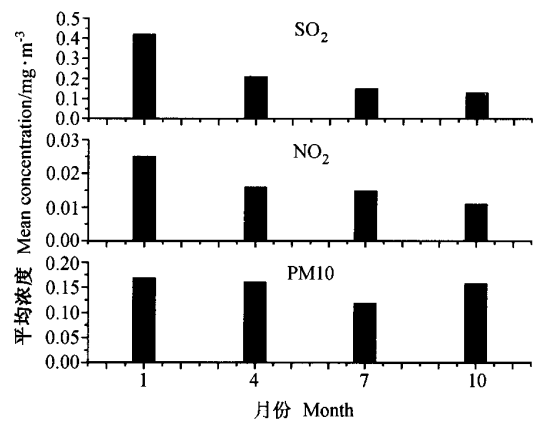


图2 2002年西安各代表季节SO₂、NO₂和PM₁₀污染物浓度分布
Fig. 2 Month distributing chart of air pollution concentration such as SO₂, NO₂ and PM₁₀ in Xi'an in 2002

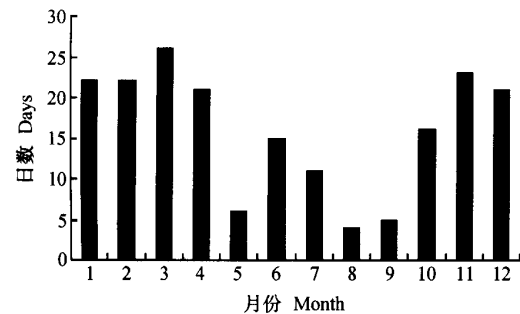


图3 西安2002年月超标日数分布
Fig. 3 Days of exceeds the standard point distributing chart in Xi'an in 2002

7月3种污染物浓度较小,因为夏季污染源明显减少,同时太阳辐射增强,地面增温加快,常在近地面形成不稳定层,容易产生垂直运动,使大气对流发展强烈,而因此所形成的暴雨、大风等强烈的天气过程都非常有利于污染物的沉降、冲刷、稀释和扩散,故夏季空气质量好于冬季。秋季10月SO₂、NO₂浓度仍很低且没有明显的波动,这与秋季大部分地区降水较多有关,而PM₁₀的浓度比夏季要高,是因为10月西安有两次大风天气,吹起地面沙尘所致。

通过对西安市4个测点SO₂、NO₂、PM₁₀日浓度资料进行污染超标特征分析发现,SO₂和NO₂没有出现超标日,PM₁₀超标日很多,月超标日数如图3所示。全年累计污染超标日为192天,其中冬春季节1~4月和11~12月出现的超标日较多,为21~26天,而夏秋季节5~9月出现超标日较少为6~15天,全年出现3级以上的概率为53%。换言之,西安市2002年有大部分时间是属于轻度污染,对人体健康有害。从监测站的分布来看,出现3级以上的概率较小的是高压开关厂,概率为42%;较大在纺织城和小寨,概率在60%以上,这些地区污染相当严重。

3.2 不同功能区大气污染物浓度分布

西安市4个测点代表4个功能区,分析不同功能区不同季节SO₂、NO₂、PM₁₀日平均浓度值发现,SO₂和NO₂的浓度值较小,均小于0.08

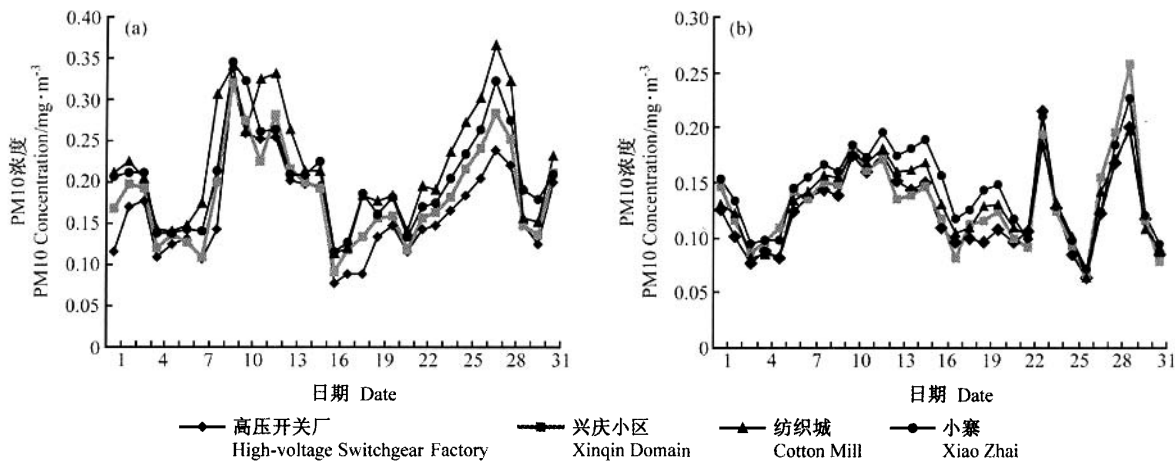


图4 2002年监测点月浓度变化。(a) 1月;(b) 7月
Fig. 4 Monitoring distribution chart of air pollution PM₁₀ in Xi'an in 2002. (a) January; (b) July

$\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$ (图略)。PM10 月变化特征如图 4, 各监测点不同季节的月内逐日变化趋势基本一致, 强度由大到小依次为纺织城、小寨、兴庆小区、开关厂。冬季 1 月各功能区污染物浓度最大, 夏季 7 月最小。在相同的季节不同监测点浓度的变化能反应局地污染源的状况。小寨为南部商业交通区, 人口集中, 车辆密集, 故污染程度大于其余 3 个测点; 居民区兴庆小区污染源排放量相对较低; 西工业区高压开关厂污染源排放量也较高, 只因为其处在西安市主导风向西风的上方, 污染物浓度扩散较快, 至使污染物浓度较低。

4 持续污染的特征分析

持续污染因污染时间较长对城市生态环境造成更大的威胁, 它可以危害人体健康, 降低大气能见度, 腐蚀建筑物和文物, 并可通过化学反应改变大气成分及其长期的气候效应等, 因此必须对大气持续污染过程进行研究和治理。

利用 4 个测站的污染物浓度日平均资料的平均值分析发现, 西安市 2002 年出现 3 天以上空气质量为 3 级以上的持续污染过程 18 次。空气污染物浓度的空间分布和随时间的变化, 主要决定于空气污染源的排放条件和污染物在大气中扩散的气象条件, 大气对污染物的稀释扩散能力随气象条件的不同而发生变化。如图 4 所示, 2002 年 1 月 8 日, 西安市空气中主要污染物 PM10 的浓度为 $0.142 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$, 其空气质量为 2 级, 然而紧接着的连续 4 天 (1 月 9 日至 12 日) 其污染物浓度分别上升到 0.345、0.323、0.363 和 $0.331 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$, 是 8 日的 2 倍多, 空气质量降至 3 级。其间 SO_2 和 NO_2 浓度值也相应增加, 但根据当地污染源排放资料得知空气污染源和污染源排放条件近几天没有大的改变。因而可以判断促使空气污染物浓度发生巨大变化的是气象条件。为此, 本文对西安市 2002 年 1 月 9 日至 12 日轻度持续污染过程中污染物浓度与气象要素及天气型的关系进行了详细分析。

4.1 气象因子

地面风速是影响大气扩散条件的重要因子之一。风速的大小和大气稀释扩散能力的大小存在

着直接的对应关系, 从而可以对污染物浓度产生影响。图 5 为 2002 年 1 月 8~13 日污染物浓度与相应的气象因子的变化, 其中, 风向以正北开始顺时针一周为 $0^\circ \sim 360^\circ$ 。我们分析 1 月 8 日至 13 日西安市地面每 6 h 一次的气象观测资料发现, 9、10 和 12 日日平均风速为 $0.2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 风向为

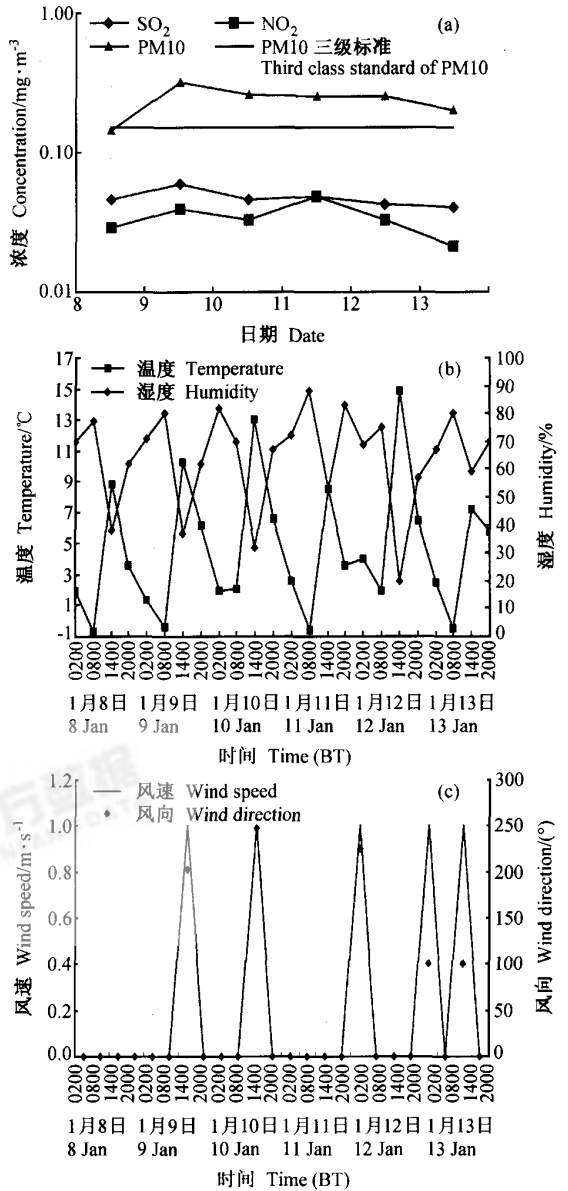


图 5 2002 年 1 月 8~13 日污染物浓度与气象因子的变化。

(a) 污染物浓度; (b) 温度和湿度; (c) 风速和风向

Fig. 5 distribution chart of air pollution and meteorological factors in xi'an in January. 8—13, 2002. (a) Pollutant concentration; (b) Temperature and humid; (c) Wind and direction

偏西南风, 11 日为静风。连续 4 天地面风速都较小, 不利于污染物的扩散。

气温在 1 月 9 日至 12 日这次轻度污染期间低于前几日, 08 时的气温值分别为 0.4、2.1、0.6 和 2.0 °C, 日温差较大, 与 14 时气温相比较, 温差均超过 10 °C。通过分析发现在近地层存在逆温现象, 而逆温层对污染物的扩散起着抑制作用, 直接影响地面污染程度。

相对湿度在此次过程中明显回升, 连续 4 天 08 时的湿度依次为 80、70、88、75, 相对湿度较大, 且与对应时刻的温度负相关。同时分析发现地面连续 4 天出现轻雾, 阻止污染物的扩散。其间没有出现降水, 累积的污染物不可以被冲洗、稀释。

通过以上分析, 得出结论: 西安市冬季风速越小, 气温越低, 湿度越大, 大气层结越稳定, 污染物越不易扩散, 其浓度就越大, 因此就有可能发生轻度持续污染。

4.2 气象场分析

使用美国国家大气海洋中心 (NOAA) 再分析资料, 对这次轻度连续污染过程的气象场作初步研究。

图 6 是 2002 年 1 月 9 日 500 hPa 天气图。从图中可以看到, 此次过程西安一带为较平直的西北气流, 等直线稀疏, 有小波东移, 但是速度较慢, 西风平直气流维持时间较长。地面 (图 7) 为入海高压后部低压, 9 日西安气压值为 978.5 hPa 且气压形势场较稳定, 连续 4 日地面气象背景场较一致, 因而气象因子持续性好。在此种天气形势下, 大气水平、垂直运动都较小, 逆温层较厚且强度较大, 污染物堆积不易扩散。因此西安 2002 年 1 月 9~12 日, SO_2 、 NO_2 、 PM_{10} 浓度都增加, 尤其是 PM_{10} 出现超标现象, 且持续时间长, 造成连续污染过程。

总之, 这次轻度连续污染过程是高空 500 hPa 为持续的西风平直气流及低空弱风场配置形成边界层内逆温层长期停留的结果。在这种天气形势下, 大气垂直结构稳定, 因而大气垂直扩散能力差, 污染物在垂直方向混和不均匀, 同时地面水平辐合, 有利于各种污染物的停滞和积累, 使得各种污染物平均浓度均升高, 在空气污染预报中应引起重视。

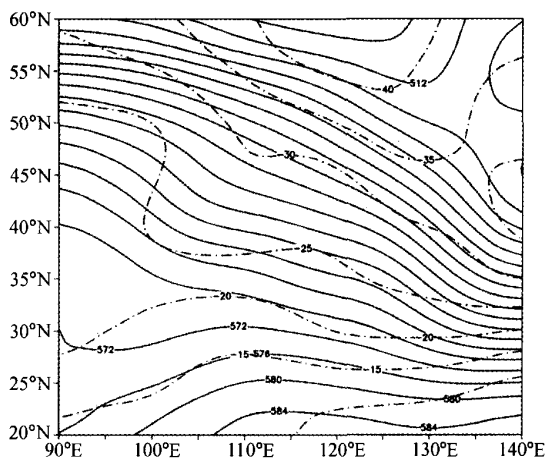


图 6 2002 年 1 月 9 日 08 时 500 hPa 天气图

Fig. 6 The 500 hPa weather chart at 0800 BST January 9, 2002

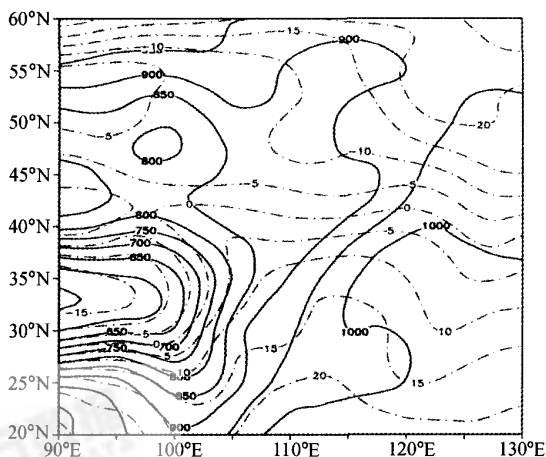


图 7 2002 年 1 月 9 日 08 时地面天气图

Fig. 7 The surface weather chart at 0800 BST January 9, 2002

5 结论与讨论

(1) 2002 年西安市出现 3 天以上空气质量为 3 级以上的持续污染过程 18 次, 累计污染超标日为 192 天, 出现 3 级以上的概率为 53%, 西安市区的污染物以可吸入颗粒物为主, PM_{10} 污染超标日较多。

(2) 3 种污染物浓度的季节变化中, PM_{10} 没有 SO_2 和 NO_2 的明显。总的来说, 其污染物浓度均是冬季 1 月较大, 夏季 7 月较小。 SO_2 、 NO_2 变

化除 1 月外基本无明显波动而 PM10 多波动。

(3) 分析了西安市冬季 1 月 9~12 日持续污染过程的气象条件, 4 天的气象条件有着共同的特点, 即平均风速小, 小于或等于 $0.2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 风向多为西南风或静风; 气温较低, 出现逆温; 相对湿度较大出现轻雾并无降水发生; 大气层结稳定, 污染物不易扩散, 有利于污染物的累积效果。造成西安市轻度污染过程的天气形势, 主要是西安地处高压后部, 气压较低, 高空 500 hPa 受东亚槽后部的偏西北气流影响, 天气形势稳定且维持时间较长, 对流较弱, 造成污染物堆积从而引起连续污染过程。由于污染源因季节冷暖程度不同致使排放量很难掌握, 因此, 气象条件对污染物的影响有不确定的一面, 使问题变得复杂化。

下一步的工作是运用中国科学院大气物理研究所研制的嵌套网格空气质量预报模式系统 (NAQPMS), 通过对各种尺度 (区域和城市尺度) 大气污染特征的研究, 分析西安城市大气污染与气象条件间的关系; 确定不同气象条件下, 污染物环境浓度与能见度的变化规律及其成因; 确定不同类型排放源对大气污染的贡献率, 确定本地源和外来源贡献的相对比例, 提出污染源宏观控制的建议和方案, 并根据国家要求的环境保护目标, 实现城市大气环境质量按功能区达到国家规定标准。此业务系统的建立将为各城市完成上述目标提供技术支持。

参考文献

- [1] 刘玉兰, 肖云清. 银川市空气质量超标的天气形势分析. 气象科学, 2002, 23 (4): 460~466
Liu Yulan, Xiao Yunqing. The weather character analysis of the air pollution in Yinchuan. *Scientia Meteorologica Sinica* (in Chinese), 2002, 23 (4): 460~466
- [2] 周淑贞, 东炯. 城市气候学, 北京: 气象出版社, 1994, 49~114
Zhou Shuzhen, Dong Jiong. *Urban Climate* (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 1994, 49~114
- [3] Lei X E, Han Z W, Zhang M G. *Physical Biological Processes and Mathematical Model on Air Pollution*. Beijing: China Meteorological Press, 1998
- [4] 吴兑, 邓雪娇. 环境气象学与特种气象预报. 北京: 气象出版社, 2001
- Wu Yuan, Dong Xuejiao. *Environment Meteorology and Special Meteorology Forecast* (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 2001
- [5] 尚可政, 王式功, 杨德保, 等. 兰州城区冬季空气污染预报方法的研究. 兰州大学学报 (自然科学版), 1998, 34 (4): 165~170
Shang Kezheng, Wang Shigong, Yang Debao. A study on the forecasting methods of air pollution in Lanzhou proper in winter. *Journal of Lanzhou University* (Natural Science) (in Chinese), 1998, 34 (4): 165~170
- [6] 刘小红, 洪钟祥, 李家伦, 等. 北京地区严重大气污染的气象和化学因子. 气候与环境研究, 1999, 4 (3): 231~236
Liu Xiaohong, Hong Zhongxiang, Li Jianlun, et al. Meteorological and chemical parameters determining the photochemical air pollution in Beijing. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 1999, 4 (3): 231~236
- [7] 徐大海, 朱蓉. 大气平流扩散的箱格预报模型与污染潜势指数预报. 应用气象学报, 2000, 11 (1): 1~12
Xu Dahai, Zhu Rong. Atmospheric advective and dispersion nonstatic box-model for prediction of the potential index of airborne pollutant. *Quarterly Journal of Applied Meteorology* (in Chinese), 2000, 11 (1): 1~12
- [8] 张新岭, 安俊岭, 程新金, 等. 污染源、气象条件变化对我国 SO₂ 浓度及硫沉降量分布的影响. 大气科学, 2003, 27 (5): 939~947
Zhang Xinling, An Junling, Cheng Xinjin, et al. Effect of evolutions of source emissions and meteorological factors on SO₂ distribution and sulfur deposition in China. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 2003, 27 (5): 939~947
- [9] 高会旺, 黄美元, 王自发等. 东亚不同天气下的硫沉降分布. 中国环境科学, 1997, 17 (6): 530~534
Gao Huiwang, Huang Meiyuan, Wang Zifa, et al. Distributions of sulfur deposition in East Asia. *China Environmental Science* (in Chinese), 1997, 17 (6): 530~534
- [10] McGregor G R, Walters S, Wordley J. Daily hospital respiratory admissions and winter air mass types, Birmingham, UK, *Int J Biometeorol*, 1999, 43: 21~30
- [11] Agrawal M, Singh B, Rajput M, et al. Effect of air pollution on peri urban agriculture: a case study, *Environmental Pollution*, 126: 2003, 323~329
- [12] 王建鹏, 卢西顺. 西安城市空气质量预报统计方法及业务化应用. 陕西气象, 2001, (6): 5~8
Wang Jianpeng, Lu Xishun. The forecast statistic method and application of urban air quality in Xi'an. *Shaanxi Meteorology* (in Chinese), 2001 (6): 5~8
- [13] 王红斌, 陈杰. 西安市夏季空气颗粒物污染特征及来源分析. 气候与环境研究, 2002, 5 (1): 51~57
Wang Hongbin, Chen Jie. Analysis on the sources and

- characters of particles in summer in Xi'an. *Climatic and Environmental Research*, 2002, **5** (1): 51~57
- [14] 杨义彬. 成都市大气污染及气象条件影响分析. *四川气象*, 2004, **24** (3): 40~44
- Yang Yibin. The analysis of air pollution and related meteorology in Chengdu city. *Sichuan Meteorology*, 2004, **24** (3): 40~44
- [15] 张蔷, 赵淑艳, 金永利. 北京地区低空风、温度层结对大气污染物垂直分布影响初探. *应用气象学报*, 2002, **13** (特刊): 115~121
- Zhang Qiang, Zhao Shuyan, Jin Yongli. A preliminary study of impacts of wind in lowlevel and temperature stratification on vertical distribution of atmospheric pollutants in Beijing area. *Applied Meteorology* (in Chinese), 2002, **13** (Suppl.): 115~121
- [16] 王建鹏, 孟小绒, 高山等. 西安空气污染与几个主要条件的关系. 西安: 西北大学出版社, 2002, 189~194
- Wang Jianpeng, Meng Xiaorong, Gao Shan, et al. *The Relation of Air Pollution and Its Factors in Xi'an*. (in Chinese). Xi'an: Northwest University Press, 2002, 189~194
- [17] 肖科丽, 雷向杰, 田武文, 等. 陕西省 2002 年气候影响评价. *陕西气象*, 2003, (3): 15~20
- Xiao Keli, Lei Xiangjie, Tian Wuwen, et al. The climate influence evaluation in 2002 in Shaanxi Province. *Shaanxi Meteorology* (in Chinese), 2003, (3): 15~20

万方数据
WANFANG DATA