

· 环境预警 ·

doi: 10.3969/j.issn.1674-6732.2012.01.002

南京市一次连续空气污染过程的气象条件分析

任雅斌¹, 苏继锋^{1,2}, 朱彬², 周韬¹, 来志刚¹

(1. 中国人民解放军94857部队61分队, 安徽 芜湖 241007; 2. 南京信息工程大学中国气象局大气物理与大气环境重点开放实验室, 江苏 南京 210044)

摘要: 利用空气污染资料、常规气象观测资料、NCEP每6h一次 $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ 再分析资料及NOAA(美国国家海洋和大气管理局)的GDAS(全球同化数据)资料,对2009年10月16—30日南京市出现一次连续15d的空气污染过程的天气特征进行诊断分析,同时使用HYSPLIT-4后向轨迹模式对污染物来源进行模拟。结果表明:不利于污染物扩散的大气环流形势和气象要素是造成此次污染的主要原因。南京污染物的来源可以大致分为3类:一类是海上来源;一类是南京本地的局地污染来源;还有一类是北方污染物的输送。这为进一步研究长三角地区城市的空气污染来源和成因提供理论依据。

关键词: 空气污染;天气形势;后向轨迹模拟

中图分类号: X831

文献标识码: A

文章编号: 1674-6732(2012)-01-0006-05

An Analysis of Weather Condition During a Continuous Air Pollution Process in Nanjing City

REN Ya-bin¹, SU Ji-feng^{1,2}, ZHU Bin², ZHOU Tao¹, LAI Zhi-gang¹

(1. The 61st Squad of 94857 Troops of the Chinese People's Liberation Army, Wuhu, Anhui 241007, China; 2. Laboratory of Atmospheric Physics and Environment of China Meteorological Administration, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing, Jiangsu 210044, China)

ABSTRACT: Based on the data of air pollution, the conventional observation data, the NCEP ($2.5^\circ \times 2.5^\circ$) reanalysis data and the GDAS (Global Data Assimilation System) data from NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration), a continuous air pollution process occurred in Nanjing city during Oct 16, 2009 and Oct 30, 2009 was analyzed, and the pollution source was simulated by backward trajectory analysis method (Hysplit-4 dispersion model). The results indicated that the synoptic situation and fundamental meteorological elements which went against the diffusion of pollution were the main reason of this continuous air pollution process. The source of pollution in Nanjing city can be classified to three types: one comes from sea; one comes from the local city; another is the transportation from the north. This had provided the theoretical basis for further research of air pollution in the Yangtze River Delta cities about its source and origin.

KEY WORDS: air pollution; synoptic situation; back-trajectories model

0 引言

近年来,随着经济和城市的快速发展,由于城市特殊的下垫面、众多的人口、频繁的生产生活和污染物排放量大且源强集中,城市的空气质量越来越受到人们的关注。国内外学者对大气污染物的扩散进行了很多研究,大气污染物的扩散受到下垫面、天气形势、风速、边界层高度、降水等众多条件的影响^[1-4]。南京市在2009年10月16—30日出现了连续15d的污染天气过程,连续的污染给人们的生产生活带来了很大的影响。笔者利用空气污染指数、常规天气图实况资料和NCEP再分析资料对此次污染过程天气要素进行分析和物理量诊断,使用HYSPLIT后向轨迹分析对南京污染物来

源进行后向轨迹模拟。进一步为大气污染的控制和预测提供科学依据。

1 资料来源与研究方法

空气污染指数来源于环保部发布的空气质量日报^[5];物理量诊断分析采用NCEP $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ 再分析资料;轨迹分析的气象场资料为NOAA(美国国家海洋和大气管理局)的GDAS(全球同化数

收稿日期: 2011-06-01;修订日期: 2011-07-13

基金项目: 国家“973”项目(2009CB426313),教育部博士点基金资助项目(20093228110003)。

作者简介: 任雅彬(1978—),男,工程师,本科,从事应用气象研究工作。

据);常规气象资料为全国 micaps 数据。

笔者以南京地区为研究对象,主要从大气环流背景、各气象要素、物理量诊断和污染物的后向轨迹模拟等角度出发,侧重天气学分析,探讨南京此次连续污染过程的发生原因。

2 污染过程分析

南京在 2009 年 10 月下半月出现了一个长达 15 d 的连续空气污染过程,此段时间内空气质量为轻微污染且首要污染物均为可吸入颗粒物。参照过去几年的空气质量指数,为 10 年来所罕见,各媒体也进行了很多相关报道^[6,7]。虽然此次污染属于轻微污染,但是连续 15 d 的污染过程还是非常值得关注 and 研究的。图 1 为南京 2009 年 10 月 16—30 日 API 指数(空气污染指数)序列图,10 月 16 日开始 API 达到 103,之后开始上升。在 24 日有所下降,但还是维持在 100 以上,24 日过后 API 又开始上升,一直持续至 30 日。

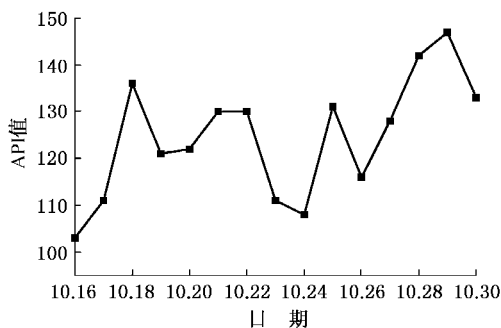


图 1 南京市 2009 年 10 月 16—30 日 API 指数时间序列

3 天气形势分析

3.1 高空形势

从 500 hPa 平均高度场可以看出,欧亚中高纬度为“两槽一脊”型,两槽分别位于欧洲东部和亚洲东部,两槽之间为宽广的高压脊。10 月下半月中国中南部上空为平直西风气流,径向度不大。从 16—30 日逐日的高度场(图略)可以看出,中国中南部高空大部分时间为偏西气流控制,并伴随着短波槽的活动;低空不断有切变线生成东移,但是由于上升运动强度不是很大且缺乏足够的水汽,所以 16—30 日南京地区降水量很小,浦口 1.9 mm,高淳县和溧水县为 1 mm,而南京市区只有 0.2 mm(数据来自江苏省地面自动气象观测网)。这是南京地区此段时间内出现持续污染的原因之一。

3.2 地面形势

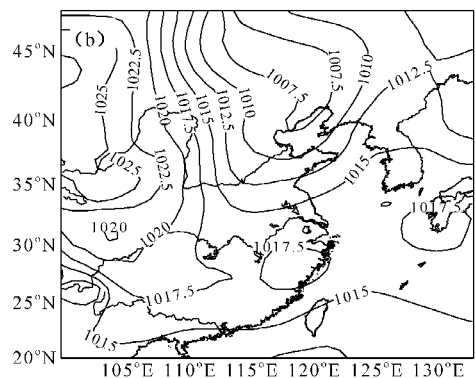
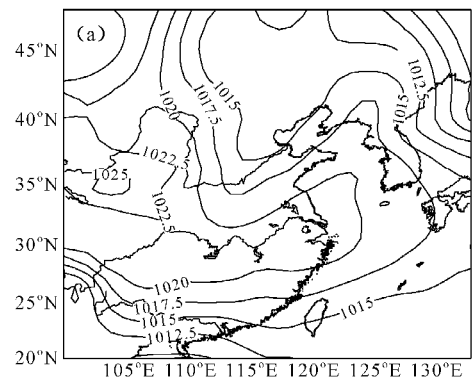
根据刘焕彬、刘波等人对污染天气的分型讨论^[8,9],笔者结合此次污染的具体天气形势将此次污染过程的地面形势分为高压类、低压类和均压类。

高压类分为高压控制、高压底部和高压外围。在此次污染过程中,高压类是出现天数最多的一类。在高压控制的形势下,近地层为下层气流,大气层结比较稳定,污染物在垂直方向得不到扩散。如果高压长期存在,那么污染物就会长期得不到扩散,正是因为 15 d 污染过程中有 11 d 弱的高压形势(图 2a),才造成了此次连续污染过程。

低压类主要是低压底部和低压外围,气压梯度比较弱(图 2b),虽然有微弱的上升运动,但是在大气上下层垂直速度都很小的条件下,弱的上升运动并不能使污染物得到扩散,反而会使污染物浓度上升^[10]。

弱气压力场分为弱高压和鞍形场,在此天气形势下,气压梯度很小,等压线稀疏,风速较小(图 2c)。此时的大气扩散很弱,污染物比较容易堆积形成污染天气。

在这 3 类不利于大气扩散的天气形势下,污染物在水平和垂直方向上都得不到很好的扩散,造成污染天气过程的持续。



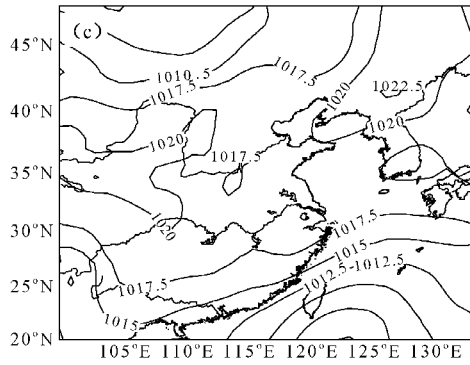


图2 2009年10月20日(a)、16日(b)、23日(c)地面形势场(单位:hPa)

4 气象要素分析

4.1 风速

风速对大气污染物的扩散起着十分重要的作用,大的风速会使得污染物在短期内得到有效扩散。相反,风速越小越利于污染物的堆积积累,形成高浓度污染^[11]。根据 micaps 地面资料可知,除了10月19日14时的风速达到5 m/s外,其他时间的风速都在4 m/s以下,其中2 m/s以下的风速时次占到了60%,15 d的平均风速只有2.3 m/s。小的风速使得污染物长时间得不到扩散,形成连续污染过程。

4.2 逆温和混合层高度

逆温是在秋冬季节,夜间地表长波辐射,地表温度不断下降,近地面大气温度较上层大气温度较低,形成近地层的辐射逆温。表1是此次污染时期内逆温层顶高和逆温强度,可以看出除了19日外,都存在逆温,且逆温层顶不高,都在600 m以下。逆温层的出现对大气扩散同样有很重要的影响,它会使得污染物在垂直方向扩散时遇到阻挡,使污染物在底层积累形成高浓度污染。

混合层高度是大气污染物在垂直方向的扩散上限,当混合层高度较低时,污染物在垂直方向得不到很好的扩散。混合层高度长时间维持在一个很低的高度时,就会出现高浓度、长时间的连续污染。使用干绝热法求得16—30日的混合层高度(表2)^[12]。污染期间的最大混合层高度为1300 m,平均混合层高度只有833 m,在低的混合层高度下,污染物被压制在混合层底层得不到扩散,水平方向风速又很小,因此形成了连续污染过程。

表1 2009年10月16—30日逆温层顶高和逆温强度

日期	10.16	10.17	10.18	10.19	10.20	10.21	10.22	10.23
逆温层顶高	379 m	411 m	361 m	无	309 m	394 m	419 m	581 m
逆温层强度	2℃	4℃	5℃	无	2℃	6℃	3℃	4℃

日期	10.24	10.25	10.26	10.27	10.28	10.29	10.30
逆温层顶高	547 m	451 m	385 m	572 m	394 m	394 m	265 m
逆温层强度	2℃	6℃	1℃	3℃	2℃	2℃	2℃

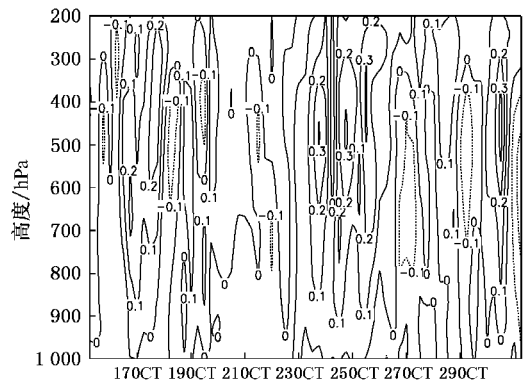
表2 2009年10月16—30日混合层高度

日期	10.16	10.17	10.18	10.19	10.20	10.21	10.22	10.23
混合层高度	1075 m	1115 m	642 m	1121 m	1300 m	1035 m	692 m	851 m

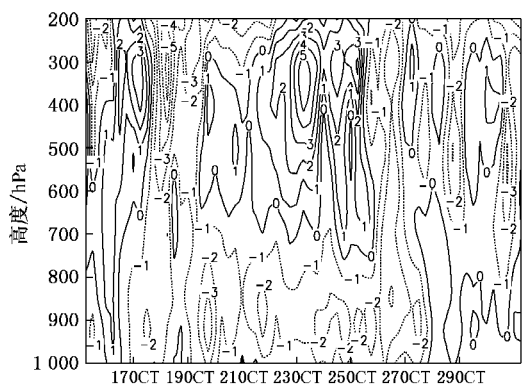
日期	10.24	10.25	10.26	10.27	10.28	10.29	10.30
混合层高度	771 m	520 m	771 m	353 m	520 m	1035 m	692 m

5 物理量诊断

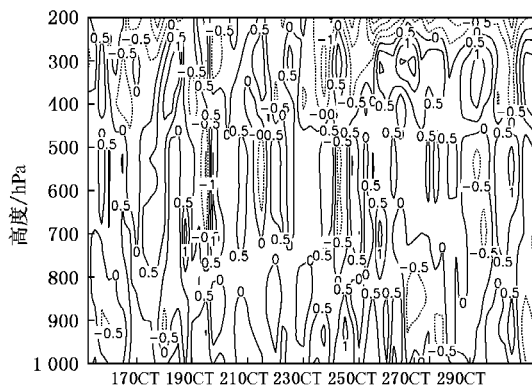
利用10月16—30日的NCEP 2.5° × 2.5°再分析资料对南京附近地区(117.5° ~ 120°E, 30° ~ 32.5°N)做区域平均的垂直速度、涡度和散度的垂直剖面图(图3)。从图3a的垂直速度剖面图可以看出,500 hPa到地面的垂直速度的绝对值都在0.2 Pa/s以下,700 hPa垂直速度绝对值都在0.1 Pa/s以下。说明污染期间的上下层垂直交换很弱,且近地层都为正的垂直速度,为下沉气流。从图3b的涡度剖面图可以看出,700 hPa以下16—28日为负的涡度同样说明气流为下沉运动,29、30日涡度值为0左右。散度剖面图(图3c)显示,污染期间绝大部分时间底层为正的散度,进一步验证了污染期间底层的气流为下沉运动。



(a) 垂直速度



(b) 涡度



(c) 散度

图3 2009年10月16—30日污染区(117.5°~120°E, 30°~32.5°N)区域平均的垂直速度(Pa·s⁻¹)、涡度(10⁻⁵s⁻¹)和散度(10⁻⁶s⁻¹)的垂直剖面

垂直速度、涡度和散度的垂直剖面图显示,此次污染期间的底层气流均为下沉运动,污染物在这种天气形势下容易堆积,形成高浓度、长时间的连续污染。

6 后向轨迹模拟

为讨论污染物的来源,选取南京为后向轨迹的终点,研究此次污染天气过程中污染物的来源。HYSPLIT-4是NOAA等开发的具有处理多种气象输入场,多种物理过程和不同类型排放源的较完整的输送、扩散和沉降的综合模式系统^[12]。

这个模式通常用来跟踪气流所携带的粒子或气体移动方向,可以实时预报风场形势,研究轨迹。该模式平流和扩散计算采用Lagrangian方法。其平流方程为:

$$P(t + \Delta t) = P(t) + 0.5[V(P, t) + V(P', t + \Delta t)]$$

$$P'(t + \Delta t) = P(t) + V(P, t)\Delta t$$

式中: Δt ——可变时间步长, $\Delta t < 0.75$ 格距/ U_{max} (最大风速),即一个时间步长内气团的移动不超过0.75个格距。

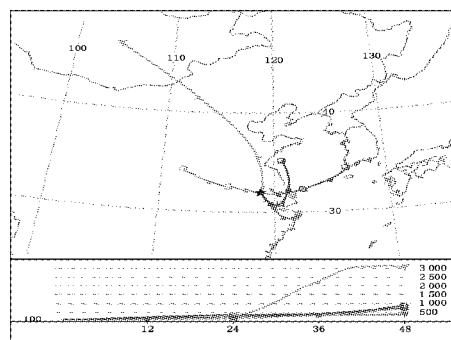
坐标采用地形s坐标,s定义为:

$$\sigma = (Z_{top} - Z_{msl}) / (Z_{top} - Z_{gl})$$

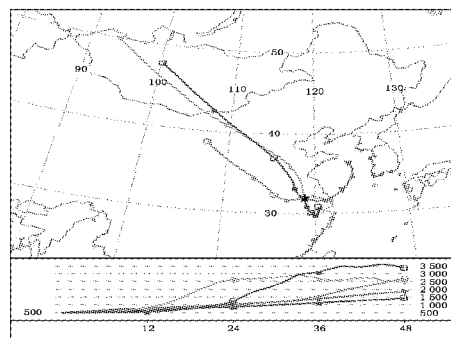
式中: Z_{top} ——模式顶层高度; Z_{msl} ——要计算的垂直层高度; Z_{gl} ——地面高度。垂直方向不同,层间间隔可以取任意值。模式的水平网格与输入的气象场相同,垂直方向分为28层,将气象要素线性内插到各s层上^[14]。笔者所用的气象场资料为NOAA的GDAS资料。

聚类分析是一种多元统计技术,对大量资料进行分组,原则是达到组间差异极大,组内差异极小,该方法根据气团水平移动速度和方向对大量轨迹进行分组得出不同的输送轨迹组。

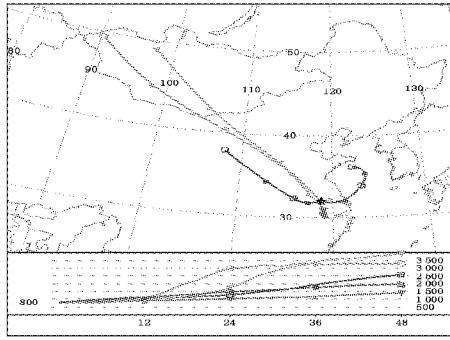
因为南京16—30日的平均混合层高度为833m,因此以南京为终点,对100,500和800m这3个高度的48h平均后向轨迹进行聚类分析,得出不同高度污染物的输送通道。从图4a可以看出,100m高度后向轨迹5条,可以分为4类:一类来源于海上;一类来源于苏南,相当于本地的局地污染;另外两类来源于安徽和北方。500m(图4b)和800m(图4c)高度类似,都是5条轨迹,都可以分为3类:一类来源于海上;一类来源于本地的局地污染;另外3条轨迹可以归类为北方的污染物输送。



(a) 100 m 高度



(b) 500 m 高度



(c) 800 m 高度

图4 2009年10月16—30日100,500,800 m高度平均后向轨迹分布

7 关于城市环境空气污染预测与防治的几点建议

(1) 由上面的分析可知,南京地区的污染除本地污染外,还有外来污染物输送的影响。因此在进行空气污染的预测方面,环保部门可以考虑外来污染物在特定的大气环流形势下对南京空气质量的影响。

(2) 在污染物排放量不变的条件下,天气形势和边界层气象要素是决定空气质量的主要因素。提高空气质量预报的准确率就要首先提高对天气形势和气象要素预报的准确率,环保部门应加强与气象部门的合作,共同提高空气质量的预报。

(3) 空气质量的好坏最为根本的源头还是污染物的排放,环保部门在不利于污染物扩散的天气形势出现时,对影响空气质量的工地、工厂等污染物排放单位,可以建议政府相关部门令其关闭或限时排放。

8 结论

笔者使用空气污染资料、常规气象观测资料、NCEP再分析资料及NOAA的GDAS资料,对南京市一次连续空气污染过程的天气过程进行诊断分析,同时使用HYSPLIT-4后向轨迹模式对污染物来源进行模拟。结果表明:

(1) 2009年10月16—30日,南京发生的污染过程是10年来少见的一次长时间的连续污染过程,不利于污染物扩散的大气环流形势和气象要素是造成此次污染的主要原因。

(2) 此次连续污染过程高空主要为高压脊的控制,其中伴随着短波槽的活动,但是强度不大,500 hPa高空是较为平直西风气流。底层大气稳定,出现了切变线,但是上升运动不是很强烈,导致

污染物在垂直方向的扩散很弱。

(3) 物理量的诊断分析表明,污染期间大气底层气流的主导运动为下沉运动,逆温层的存在和较低的混合层高度使得污染物在垂直方向得不到很好的扩散;而弱的气压梯度造成小的风速又使得污染物在水平方向扩散较弱。连续的不利于污染物扩散的天气形势造成了长时间的连续污染过程。

(4) HYSPLIT后向轨迹分析表明,南京污染物的来源可以大致分为3类:一类是海上来源;一类是南京本地的局地污染来源;还有一类是北方污染物的输送。

[参考文献]

- [1] 赵越,潘钧,张红远,等.北京地区大气中可吸入颗粒物的污染现状分析[J].环境科学研究,2004(1):67-69.
- [2] 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):177-184.
- [3] 王艳,柴发合,刘厚凤,等.长江三角洲地区大气污染物水平输送场特征分析[J].环境科学研究,2008(1):22-29.
- [4] 徐祥德,周秀骥,施晓晖.城市群落大气污染源影响的空间结构及尺度特征[J].中国科学D辑:地球科学,2005,35(增刊1):1-19.
- [5] 中国环境监测总站.重点城市空气质量日报[EB/OL].(2009-10-31)[2010-6-30]http://www.cnemc.cn.
- [6] 王娟.南京10年来首次连遇10个污染天.[N].扬子晚报,2009-10-26.
- [7] 南京10年来首次连遇12个污染天,即将迎来明显降水.[N].现代快报,2009-10-28.
- [8] 刘焕彬,苗成梅.济南市大气污染与天气形势分型研究[C]//中国气象学会2006年年会“大气成分与气候环境变化”分会论文集.2006.
- [9] 刘波.南京市一次连续空气污染过程的气象条件分析[J].气象与减灾研究,2009,32(2):68-72.
- [10] 刘兴中,严从路,牛玉琴,等.南京大气高浓度污染的特征及与气象条件的关系[J].气象科学,1992,12(1):107-112.
- [11] 陆晓波,许建华.一次典型灰霾天气过程及成因分析[J].环境监控与预警,2009,1(1):10-13.
- [12] 程水源,席德立,张宝宁,等.大气混合层高度的确定与计算方法研究[J].中国环境科学,1997,17(6):512-516.
- [13] DRAXLER R R, HESS G D. Description of the HYSPLIT₄ modeling system [Z]. 1997.
- [14] DRAXLER R R, HESS G D. An overview of the HYSPLIT₄ modeling system for trajectories dispersion and deposition [J]. Aust Met Mag, 1998, 47(2).