

北京一次局地重污染过程气象条件分析

徐晓峰 李青春 张小玲

(中国气象局北京城市气象研究所, 北京 100089)

摘要 2004 年 10 月 7 日至 10 日,北京出现了一次明显的持续重污染过程,这次污染过程持续时间之长、污染程度之重是近 4 年来同期最大的。为了了解造成这次持续重污染过程的原因,利用同期污染指数、常规气象观测资料、探空资料及自动站气象资料,对这一期间的空气污染气象条件进行了较为详细的分析。结果表明,这次持续重污染过程是由本地的污染源和大尺度的天气背景与局地的气象条件共同造成的。

关键词 空气污染 气象条件 局地重污染

引言

针对大气污染不断加剧的严峻形势,从 1998 年开始,北京市陆续出台了一系列治理大气污染的政策措施,经过前几年的努力,大气污染加剧的势头得到了一定的遏制,逐年的空气质量也稳步提高。但是,由于北京特殊的地理条件,在污染源没有得到明显控制和改善的情况下,一旦遭遇不利的气象条件,并且这种气象条件维持较长的时间,空气污染逐步累积的过程就会出现,空气质量就随之逐步变差,甚至会达到重度污染。王淑英^[1]等对北京地区 PM₁₀ 污染日变化特征的研究表明,小风、高湿、逆温等稳定的气象条件是造成秋、冬季 PM₁₀ 较重污染的主要原因。2004 年 10 月 1 日北京的空气质量为优,2 日和 3 日为良,4 日至 6 日都是 3 级,而从 7 日至 10 日则有 3 天是 5 级,1 天是 4 级,连续 4 天的空气质量均为严重污染。这是一次典型的持续重污染过程,在这次污染过程中,主要污染物都是可吸入颗粒物 PM₁₀。本文利用 2004 年 10 月 1~10 日的空气污染指数资料、同期的常规地面气象观测资料、探空资料以及城区自动站的气象资料,从空气质量状况分析、气象条件分析说明造成这次长时间重污染的原因,同时也对空气质量预报特别是重污染的预报

提供帮助。

1 空气质量分析

总体上看,这次重污染过程有 2 个较为明显的特点,一是这次污染过程是近几年来同期最为严重的,且持续时间长;另一个特点是具有局地性。

表 1 为 2001~2004 年国庆期间(这里指 10 月 1~10 日,下同)的空气质量等级。从表中可以看到,前 3 年国庆期间的空气质量比 2004 年都要好,尤其是 2002 年,有 7 天空气质量为优良,虽然也出现过 3 级和 4 级的空气质量,但出现的天数少,持续时间也短。2001 年及 2003 年的空气质量没有出现重污染,最差仅达到轻微污染。而 2004 年不仅出现了严重的空气污染,且这种重污染过程持续了 4 天之久。

2004 年国庆期间的重污染过程还有另外一个特点就是局地性比较明显。图 1 为华北地区几个主要城市(北京、天津、太原、石家庄、呼和浩特)2004 年国庆期间的空气质量日变化图。可以看到,10 月 1 日至 4 日,这些城市的空气质量比较接近,而且逐日变化趋势也基本一致。从 5 日开始至 10 日,情况就有所不同,北京市的空气质量开始转差,而且比同期的其它城市要变化明显,尤其是 7 日到 10 日的 4

国家自然科学基金项目(40275006)“城市重烟尘雾的边界层结构研究”及中国气象局气候变化专项(CCSF2005-3-DH13)“首都圈区域气候变化与大气成分监测分析研究”共同资助

作者简介:徐晓峰,男,1970 年生,学士,副研究员,主要从事空气污染气象及城市生态气象研究工作,E-mail:xxffxy@126.com

收稿日期:2005 年 7 月 8 日;定稿日期:2005 年 9 月 21 日

天里,北京的日空气污染指数要远大于其它城市,其余几个城市在这一期间的空气污染指数变化幅度不大,空气质量一直维持在3级以下(包括3级),而北京的空气污染指数在此期间较长时间维持在一个高的水平。北京地区8个国控监测站的观测数据也表明,作为清洁对照点的定陵站在此期间最高的污染级别为3级,因此,这次重污染过程的局地性较为明显,污染重的区域主要在城区。

表1 2001~2004年国庆期间北京的空气质量等级

	2001	2002	2003	2004
10月1日	2	3(1)	2	1
10月2日	3(1)	2	1	2
10月3日	2	2	1	2
10月4日	1	2	2	3(1)
10月5日	2	2	3(1)	3(2)
10月6日	3(1)	2	3(1)	3(2)
10月7日	3(1)	1	3(1)	5
10月8日	3(1)	2	3(1)	5
10月9日	1	3(1)	3(1)	4(2)
10月10日	1	4(1)	3(1)	5

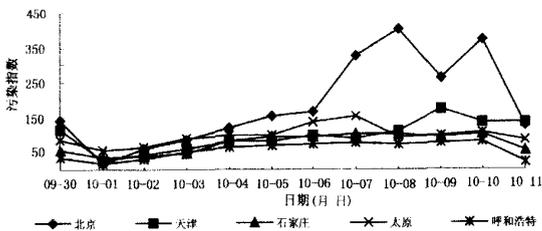


图1 2004年华北地区主要城市国庆期间空气质量

2 气象条件分析

2.1 天气形势分析

天气形势从根本上决定了气象要素的分布和变化,从而决定了大气的扩散能力与大气的稳定程度。对一个地区而言,污染源的变化在短时间内是相对稳定的,在这种情况下,污染物浓度的高低变化主要取决于大气的扩散能力^[2]。这里对这次重污染过程500、850 hPa的高低空天气形势以及地面天气形势作出分析。

从500 hPa高空环流形势(图略)图上可以看到,这次重污染过程中,北京长时间处于弱脊控制之下。10月7日20:00(北京时,下同)前,北京及华北区域上空为弱高压脊控制,7日20:00后高层有冷空气影响,使得在8日08:00至9日20:00为冷槽

控制,这正是从8~9日空气污染指数有较为明显下降的一个原因,10日08:00后,500 hPa又转受弱高压脊控制。总体来说,这次过程中,500 hPa高空多为弱脊控制,虽有弱冷空气影响,但对低层大气没有产生明显的影响。

850 hPa图(图略)上北京大部分时间处于暖区。6日08:00至20:00,850 hPa图上北京处于暖区控制,40°N及以南的华北地区有槽,北京处于弱西南气流中,有弱的辐合。从华北区域来看,低空始终处于暖区,前期为弱西南气流辐合区,后转为弱反环流控制,到10日08:00 850 hPa又转为槽前西南气流暖区。

6日08:00地面图(图略)上北京处于变性高压区控制,蒙古中部43°N以北有条冷锋与高空浅槽相配合。从6日08:00开始至9日20:00期间,地面始终处于弱高压、鞍型气压场、低压前部均压场、低压带等气压场控制,10日08:00地面图上低压带后部的冷空气前缘接近北京,10日20:00冷锋过境影响北京,出现5~6级西北风,连续4天的重污染过程也随之结束。

综上所述,这次重污染过程的天气形势主要是高低空表现为受弱的天气系统支配,同时有暖区相配合,地面天气形势多为不利于扩散的天气类型^[2]。

2.2 气象要素分析

在弱的天气系统影响下,这次重污染过程中的主要气象要素表现为风速小、湿度大、逆温频率高、混合层高度低等。

2.2.1 风

这次重污染过程中,在弱的天气系统支配下,北京边界层内的低空风速和地面风速都明显偏小。北京观象台的地面观测数据表明,在6日至10日期间的平均风速为1 m/s,最高的风速仅2 m/s,静风频率为35%,1 m/s风的频率为30%,2 m/s的风频率为35%,风速都在0~2 m/s内波动,处于低风速区。由地面风速场的分布图(图略)也可以看到:6日08:00至10日08:00北京、华北地区持续数天位于风速小于等于1 m/s的等值线范围内,在中低层稳定的大气环流形势控制下,北京附近有风速辐合存在。在污染最为严重的8日08:00~20:00的风速场分布图上可以看出,北京附近存在较为明显的风场辐合,有较清楚的人字形风速切变区。北京城区

与环境监测站附近的7个气象自动站的风速数据也表明,这次重污染期间的平均风速为 1.2 m/s ,其中位于城市中心的官园站平均风速为 0.83 m/s ,静风频率达到 63% ,其它几个站的平均风速也都小于 2.0 m/s 。从风速分布来看, $0.5\sim 1.0\text{ m/s}$ 之间的频率为 19% , $1.0\sim 2.0\text{ m/s}$ 之间的频率为 40% ,低风速占了绝大多数。因此,长时间近地面处于静风或低风速条件和风场的辐合是造成本次连续数日重污染过程的重要原因之一。

除了地面风速偏小并维持较长时间外,每日02:00、08:00、20:00三个时次观测的低空风也维持较长时间的低风速(图2)。从图上可以看到,从6日02:00开始到9日的02:00,100 m以下的风速都在 4 m/s 以下,其中有6个时次出现了静风。从风向看,基本上是西南风或西风。在弱的天气系统下,

北京的(东北、西、北三面环山)特殊地形强迫作用就特别明显,使得污染物在城区不易向更大范围扩散,污染物在这里容易累积。9日08:00的低层风向转为较明显的北风,而且从600 m以下各层都是北风,风速虽然没有明显变大,但北风对污染物的扩散作用还是较为明显的,使得9日的空气质量从5级降为4级,而位于北京下游的天津9日的空气污染却有所加重。这也说明,对于北京的特殊地形,适当风速的北风是比较有利于扩散的。对于这次过程来说,由于低空北风有些偏小且持续时间短,并没有对空气污染有明显的改善,9日下午至10日低空又出现静稳状态,局地污染物继续累积,10日的污染又继续加重,直到10日夜间20:00开始受明显冷空气影响,边界层内整层转为北风,且风速加大,大气扩散能力加强,空气质量才得到迅速改善。

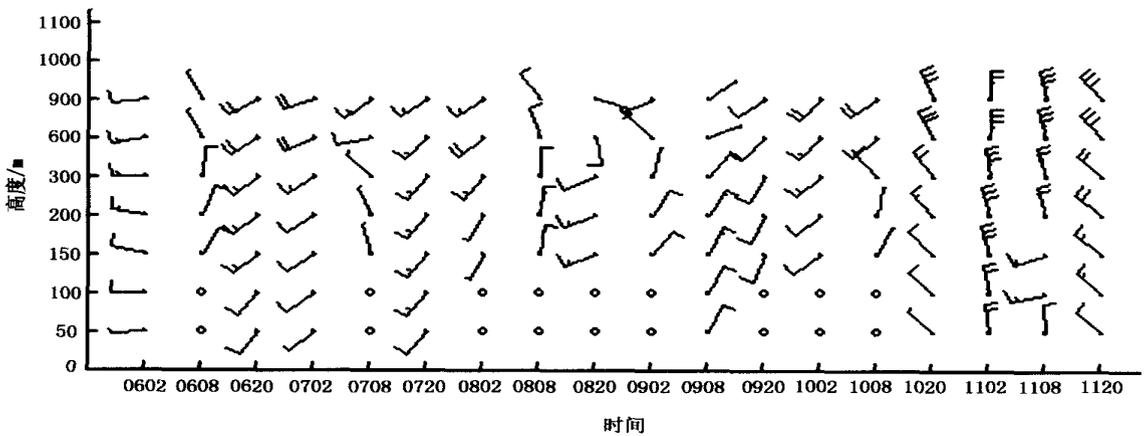


图2 2004年10月6日02:00至11日20:00北京观象台的低空风变化
(横轴标值前2位为日,后2位为时刻,“0602”为6日02:00,其余类推)

通常情况下,地面风速与污染物浓度呈较明显的反相关关系。用城区宝联站的 $\text{PM}_{2.5}$ 逐时浓度资料与就近的海淀站逐时自动站风资料的日变化数据进行对比分析,在这次重污染过程中,两者的相关系数很小,用96个样本做统计,相关系数为 0.06 ,且呈正相关。这说明在这次持续稳定的天气条件下,两者的相关性不明显,或是不成立的。在这4天中,从夜间00:00到白天10:00之前,污染物浓度的变化幅度不大,基本上维持在一个稳定的水平,而从10:00以后, $\text{PM}_{2.5}$ 浓度不断增加,大约在20:00左右出现最大。这可能跟人类活动及工业生产所造成的污染排放增多,尤其是汽车尾气排放明显增多有关。

总之,造成这次重污染过程的一个重要原因就是边界层内低空风与地面风速持续偏小,静风或低风速出现频率高,且这种状况维持的时间较长,导致近地面的大气污染物不断积累,污染物浓度攀高。

2.2.2 相对湿度

受弱天气系统的控制,这次重污染过程中,地面相对湿度较大。从观象台每天4次的地面相对湿度记录可以看出,从6日02:00开始到10日20:00的平均相对湿度为 74% ,如果把14:00的相对湿度去除作统计,则平均相对湿度高达 81% ,这种高湿条件一直持续了5天。高相对湿度条件与其他合适的条件如温度条件、水汽条件等相配合,出现了明显的雾。观象台的观测记录表明,按每天4次观测统计,

共出现轻雾 11 次,雾 3 次,霾 6 次。在这样持续高湿的雾天条件下,大气层结稳定,湍流扩散微弱,大气污染物的扩散能力很差,极易造成污染物的累积,空气污染程度加重,空气质量下降。

除地面相对湿度外,低空的相对湿度也表现出高湿的情形,图 3a 为 6~10 日每天 08:00 相对湿度垂直廓线图,可以看到,低空 978 hPa 以下维持较大的湿度,相对湿度都在 50% 以上。从 7 日开始,约在 650 hPa 高空也有一个较高的湿度区维持。

因此,这次污染过程的又一个不利气象因子是地面和低空都有较高的相对湿度,并持续较长的时间。

2.2.3 逆温 混合层高度

逆温是指大气中某一高度范围内的气温随高度增加而升高或不变的现象^[3],在有逆温的情况下,大气层结比较稳定,抑制了大气中的垂直运动和湍流交换,阻止了空气中水汽、烟尘和其他污染物的垂直输送和水平扩散,有利于云雾和霾的形成,使能见

度减小。

北京观象台探空资料表明,这次重污染过程期间,每天 2 次探空(08:00、20:00)都出现了逆温,而且都是接地逆温。平均逆温顶高为 318 m,平均逆温强度为每 100 m 1.48 °C,远远高于 2003 年同期平均值(每 100 m 0.37 °C)。图 3b 为这次过程中每天 08:00 的温度垂直廓线图,从图上可以看到,每天 08:00 都有逆温,且都为接地逆温。从温度曲线的变化看,在低层都有贴地逆温出现,约在 900 hPa 高度层以上,逆温消失。在重污染过程期间,平均最大混合层高度为 687 m,而且最大混合层高度都在 1000 m 以下。

正是由于长时间逆温和低混合层高度的存在,抑制了垂直方向的对流,污染物不易在垂直方向扩散;同时由于水平风场很弱,且维持了较长时间,在水平方向上也难以向外扩散或流动。因此,造成这次重污染过程的又一个原因是逆温频率高,逆温强度大,混合层高度低。

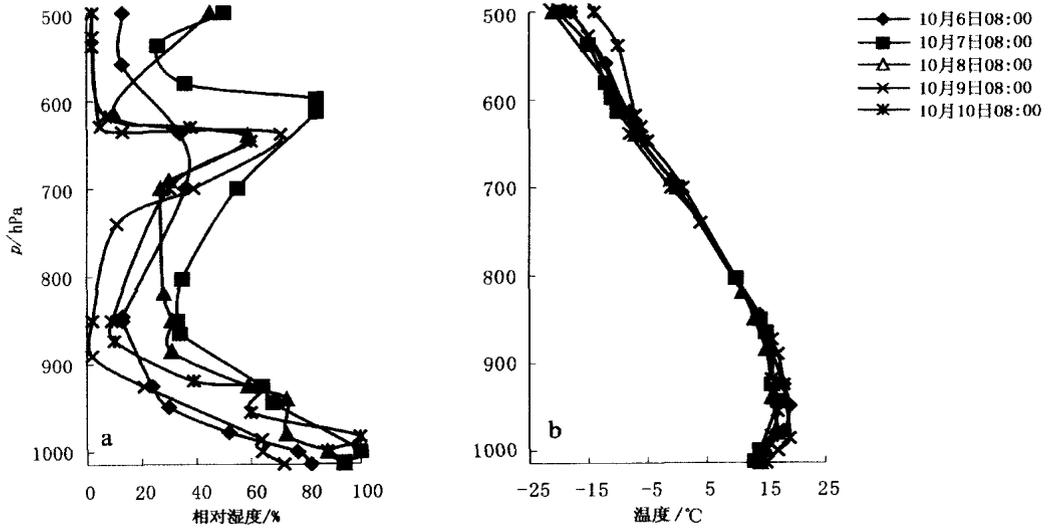


图 3 2004 年 10 月 6~10 日 08:00 相对湿度(a)和温度(b)廓线

3 结论

(1) 本次重污染过程是局地性的,重污染主要发生在城区,在不利的天气条件和特殊地形作用下,污染物浓度不断累积,造成高浓度污染维持较长时间。

(2) 造成本次重污染过程的天气原因主要是大尺度的天气系统比较弱,在这样的天气系统支配下,地面及低空较长时间维持低风速、高湿度和较强的

逆温、较低的混合层高度等不利于污染物扩散的气象条件。

(3) 在空气污染预报中,首先要关注大的天气系统,如果天气系统很弱,且可能维持较长时间,当地面的主要气象要素如低风速、高湿度及逆温等情况可能出现并可能维持较长时间时,结合能见度状况,就可适时地作出高浓度污染的预警或预报。

(4) 要彻底改善空气质量,主要还是要搞好大

气污染的治理,控制好污染源;协调好经济发展与环境改善的关系,控制机动车的快速增长;合理、科学的城市规划对改善空气质量也会起到积极的作用。同时也要看到,在污染源没有明显改善的情况下,长时间不利的气象条件还是可能会造成高浓度的污染,从而造成环境质量的严重下降。

参考文献

- 1 王淑英,张小玲,程丛兰,等.北京地区 PM₁₀ 污染日变化特征.气象科技,2002,30(6):344-348
- 2 孟燕君,程从兰.影响北京大气污染物变化的地面天气形势分析.气象,2002,28(4):42-46
- 3 蒋瑞滨,李郁竹.逆温与空气污染.气象,1992,18(1):12-141

Weather Condition Analysis for a Serious Local Air Pollution Event

Xu Xiaofeng Li Qingchun Zhang Xiaoling
(Institute of Urban Meteorology, CMA, Beijing 100089)

Abstract: During the period of the National Day of 2004, a continuous heavy air pollution event occurred. In order to have a good understanding of the causes of the event, a detailed analysis was made of the weather conditions during the time period by means of the air pollution index, conventional meteorological data, radiosonde data and AWS data. The results indicate that the pollution event was resulted from the combined influences of the large-scale synoptic background and local weather conditions such as weak wind, inverse temperature, high relative humidity, etc., as well as local pollution sources.

Key words: air pollution, weather condition, local heavy air pollution