

北京地区一次强沙尘天气过程的气象因子及 空气污染状况分析

徐晓峰 张小玲 李青春

(中国气象局北京城市气象研究所, 北京 100089)

摘要 对 2002 年 3 月 18 ~ 22 日北京出现的强沙尘天气过程的高低空天气形势和主要气象要素进行了分析, 并对沙尘天气影响下北京地区的空气污染状况特别是颗粒物污染进行了分析。结果表明: 这次强沙尘天气过程主要是受新疆地区东移的强冷空气和蒙古地区低压的共同影响所致, 沙尘天气来临前后, 许多气象要素(如风速、能见度、温度、湿度等)发生急剧变化; 在沙尘影响下, 北京地区的颗粒物浓度迅速上升, 在短时间内达到重度污染, 随着沙尘天气的结束, 能见度转好, 空气质量改善。

关键词 沙尘天气 气象要素 空气污染

引言

扬沙、沙尘暴天气是常见的灾害性天气之一, 对于我国北方地区来说, 春季是这种天气的多发季节。扬沙是指由于风力较大, 将地面沙尘吹起, 使空气浑浊, 水平能见度在 1 ~ 10 km 的天气现象; 而沙尘暴是指强风把地面大量沙尘卷入空中, 使空气特别浑浊, 水平能见度低于 1 km 的天气现象^[1]。近两三年来, 扬沙、沙尘暴天气频繁发生, 已严重干扰和影响了人们的正常活动, 对社会经济和人们的生活环境均造成了一定危害, 引起了社会的广泛关注。根据历史资料统计, 北京地区沙尘天气年日数 20 世纪 50 年代最多, 60 年代初期减少, 到 70 年代沙尘天气又相对较多, 80 年代至 90 年代末逐年减少, 近两年又有增多的趋势。据统计, 2000 年、2001 年北京地区共出现沙尘天气分别是 15 次和 18 次^[2]。

2002 年 3 月 18 ~ 22 日的沙尘过程是这些年来较为严重的一次。从 3 月 18 日开始, 沙尘天气出现在西北地区的甘肃、内蒙古西部、蒙古国西部等地, 随着冷空气向偏南方向移动, 大风经过河套、华北、东北一直向南推进, 影响到了北京。北京地区各气象站从 3 月 20 日下午开始观测到扬沙, 个别观测站达到了沙尘暴的强度, 如海淀、怀柔等气象站都观测

到沙尘暴的出现。气象卫星对沙尘暴的遥感监测图像和地面气象观测记录表明, 此次沙尘暴是沿西北路径影响北京, 并在 3 月 21 日影响到韩国等地。可见这次沙尘天气的强度之大, 影响范围之广。

1 北京地区沙尘天气的基本情况

从沙尘的位置变化图(图 1)可以看到, 3 月 20 日 08:00(北京时, 下同)以前, 沙尘覆盖区的边缘接近北京, 14:00, 北京地区已完全为沙尘所覆盖。表 1 列出北京地区 3 月 19 ~ 20 日 20 个气象站的沙尘观测记录, 表中记录数为仅出现某种天气现象或某几种天气现象同时出现的记录数。

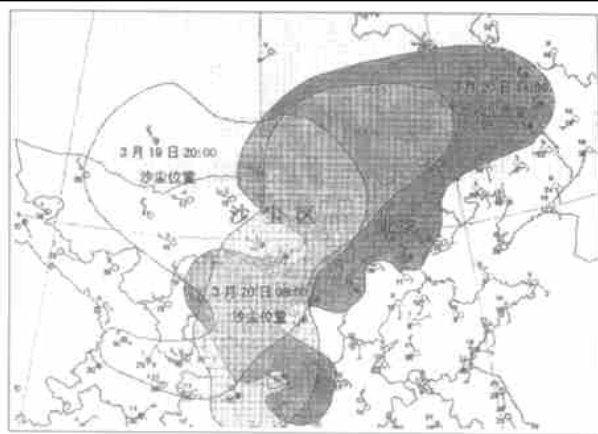


图 1 2002 年 3 月 19 日 20:00 至 20 日 14:00 沙尘位置动态图

北京市科委“北京地区沙尘天气的监测、预报、预警系统研究(955300600)”和科技部公益类项目“北京风沙天气的监测和预测技术研究(2001 Di520103)”资助

收稿日期: 2003 年 4 月 10 日; 定稿日期: 2003 年 9 月 28 日

作者简介: 徐晓峰, 男, 1970 年生, 工程师, 从事污染气象条件分析、污染预报业务系统开发、环境影响评价等工作

表 1 2002 年 3 月 19 ~ 22 日北京地区 20 个气象站沙尘天气记录

3 月 19 日	3 月 20 日	3 月 21 日	3 月 22 日
所有台站都无沙尘天气记录	浮尘 扬沙(8)	浮尘 扬沙(3)	浮尘 扬沙(1)
	浮尘(7)	浮尘(4)	浮尘(2)
	扬沙(2)	扬沙(2)	扬沙(7)
	沙尘暴 浮尘 扬沙(3)	沙尘暴 扬沙(1)	沙尘暴 浮尘(1)

注:括号内数字为沙尘天气记录站数

由表 1 可以看到,3 月 19 日所有台站都没有沙尘天气的记录;3 月 20 日,北京地区所有台站在本日都出现了沙尘天气;3 月 21 日,共有 10 个站记录有沙尘天气,比 20 日减少了一半;3 月 22 日,记录有沙尘天气的台站数 11 个,在数量上与 21 日基本相同。由此可见,这次沙尘天气对北京地区影响的范围大,持续时间长,是近几年来一次罕见的强沙尘天气。

2 天气形势分析

这次强沙尘暴天气过程的发生、发展主要是受

强冷空气南下和蒙古气旋发生、发展的影响造成的^[3]。从 3 月 19 日 08:00 500hPa 图上的环流形势可以看出(图略):整个亚洲中高纬度的环流倾向度很大,从河套北部到贝加尔湖北部有一明显的高压脊。萨彦岭北部有明显的冷空气,与其对应的高空槽为槽前辐散,等温线与等高线交角很大。到 19 日 20:00(图 2a), - 36℃等温线明显南伸,冷槽向东南方向移动。20 日 08:00 冷空气进一步东移(图 2b),在其北部的高空槽明显加深,槽前斜压性强。到 20:00 有蒙古低压形成并强烈发展(图 2c),配合的低涡低槽使冷空气大举南下。

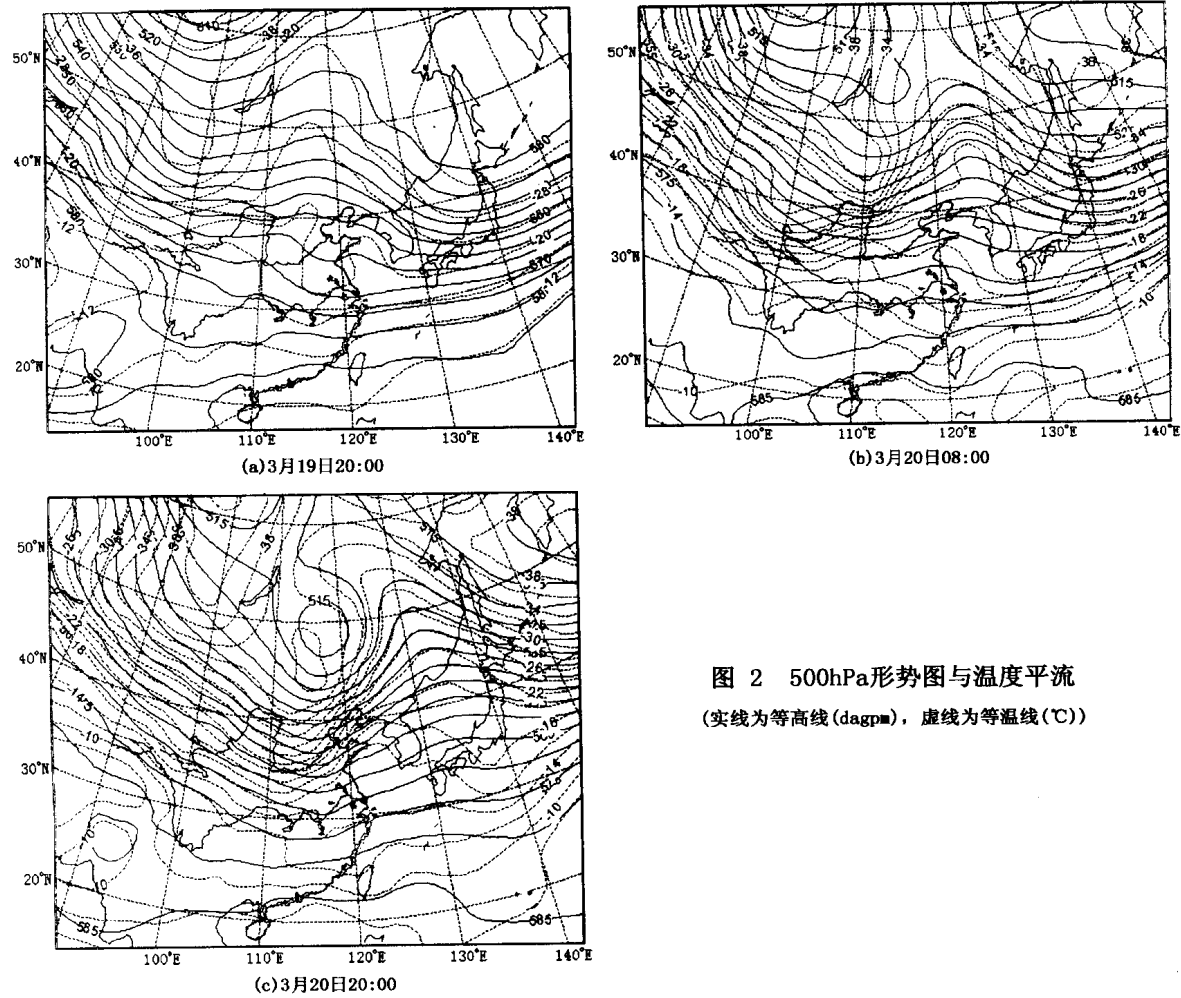


图 2 500hPa形势图与温度平流
(实线为等高线(dagpm),虚线为等温线(℃))

对应地面图上可以看出:19 日 08:00 在蒙古北部已有蒙古气旋生成,到 19 日 20:00 东移加强(图 3a)。20 日 08:00,蒙古气旋继续发展加深,与其配

合的冷锋后部冷高压明显向东南方向移动(图 3b)。在 20 日 20:00 前后冷锋移过本市(图 3c),造成这次影响范围最大、强度最强的沙尘暴天气。

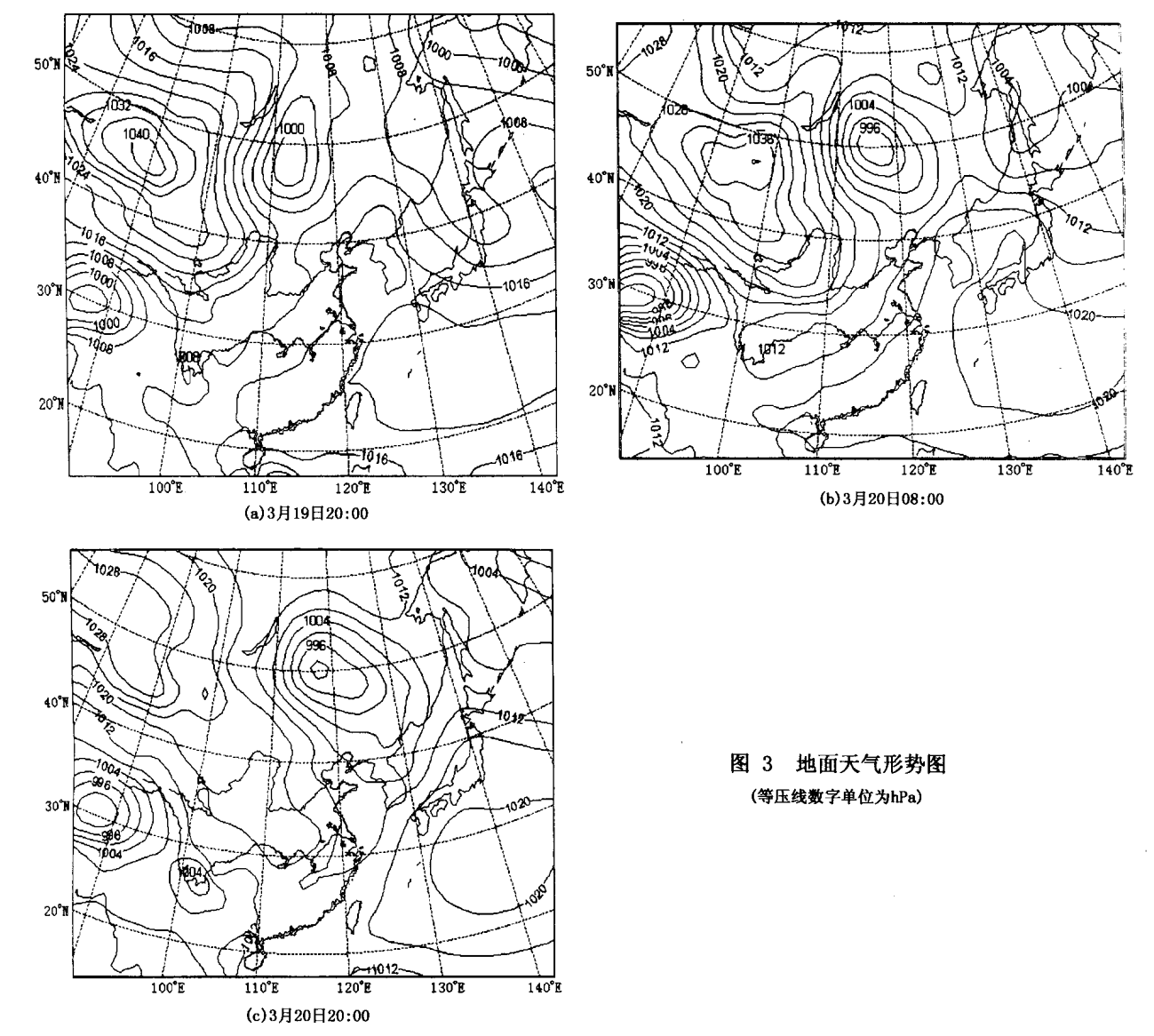


图 3 地面天气形势图
(等压线数字单位为hPa)

3 气象要素分析

3.1 高空气象要素分析

随着冷空气的入侵,高低空温度也开始明显下降,在 700hPa、850hPa 图上(图略)都有明显的冷中心,850hPa 高度有清楚的冷平流。从 3 月 20 日 08:00 到 22 日 20:00 北京低空都为冷区控制,冷平流也一直维持。具体表现为:24h 负变温非常明显。由 20~22 日北京每天 2 次观测的低空风与 24h 变温(表 2)可以看到,平均变温值为 -4.2°C ,20 日

08:00 到 21 日 08:00 的最大变温值为 -9°C 。变温的幅度表明了此次冷空气的强度很大。

受强冷空气影响,850hPa 高度与 300 m 高度的低空风速都很大。3 月 20~22 日 3 天的探空资料表明,850hPa 的风速值都在 11 m/s 以上,平均风速为 15.8 m/s ,风向都为偏北或西北气流。300 m 的低层风在 3 月 20 日 08:00(沙尘暴达到北京前)还仅为 4 m/s ,随后几个时次的风速逐步加大,3 月 21 日 20:00 的 300 m 风速最大,达到 14 m/s 。3 月 20 日 20:00 至 3 月 22 日 20:00 的 300 m 高度平均风速超

过 10 m/s。

总之,高空气流决定了这次冷空气的移动方向,高空气象要素表明了这次冷空气的强度。正是由于高空气流的输送,把上游地区的沙尘往下游输送,在冷空气和沙尘暴移动过程中,又不断有地面沙尘物质的补充,沙尘天气不断得到加强。

3.2 探空曲线分析

分析北京(54511)及北京上游站张家口(54401)探空曲线不难看出:20日08:00北京(54511)探空曲线图(图4a,b)700hPa以上为SW气流,各层温度

露点差很小,均为2~3℃;到20日20:00,整层大气气温明显下降,最多下降-9℃(500hPa),温度露点差明显增长,最大达12℃(500hPa),400hPa以下冷锋过境,风向转为NW风,400~300hPa存在明显锋面逆温。

20日08:00张家口(54401)探空曲线图(图4c,d),850hPa以上均为SW气流,各层温度露点差很小,约为4~5℃,到20日20:00中高层大气气温明显下降,最多下降-13℃,温度露点差明显增大,最大达13℃,各层转为明显的NW风。

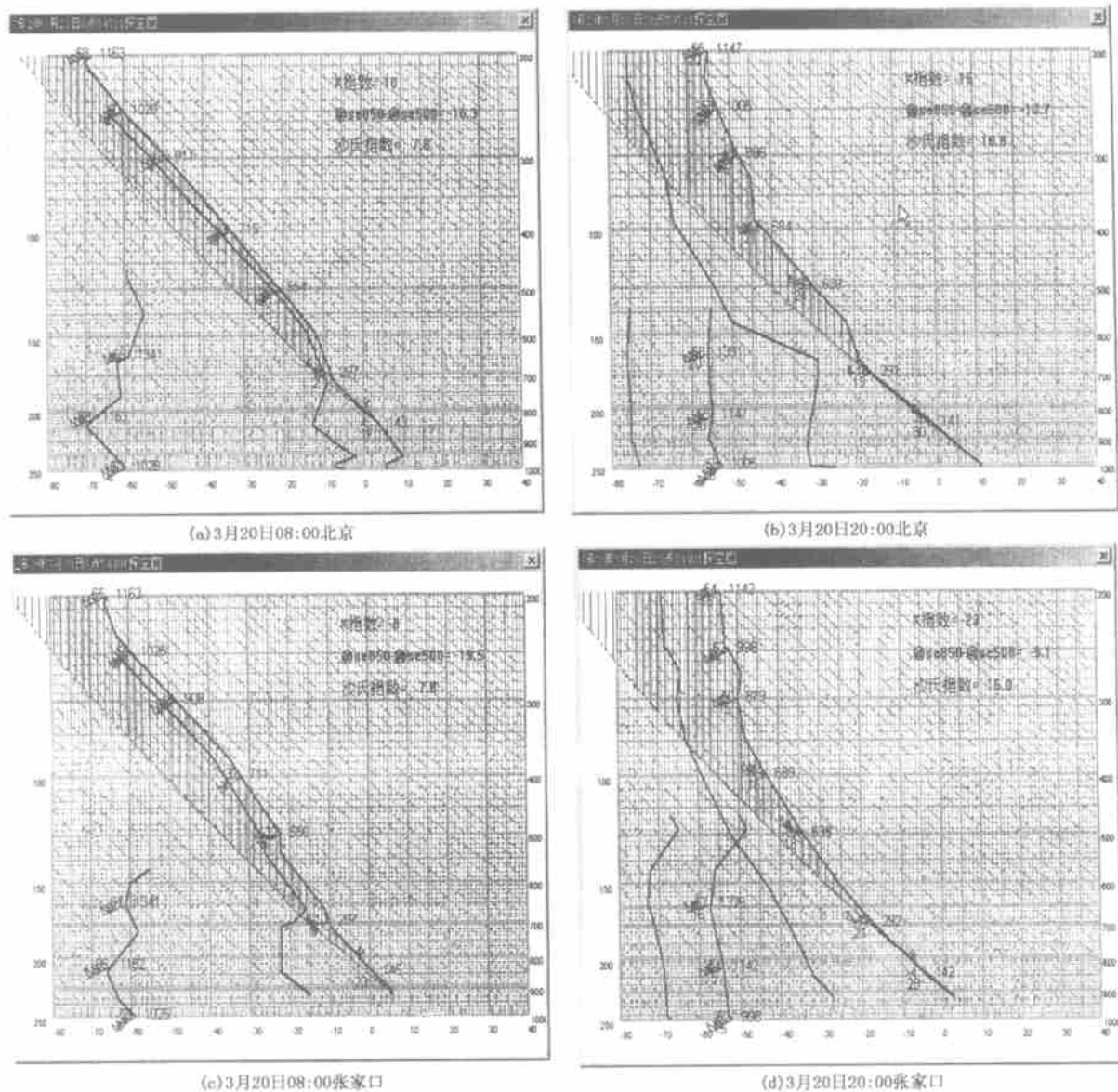


图4 北京(54511)和张家口(54401)站探空曲线图

表 2 2002 年 3 月 20 ~ 22 日北京每天 2 次观测的低空风与 24h 变温

		850hPa			300 m	
		风向 /(°)	风速 /(m·s ⁻¹)	24h 变温 /℃	风向 /(°)	风速 /(m·s ⁻¹)
3 月 20 日	08 :00	320	15	- 2	294	4
	20 :00	295	11	- 6	318	9
3 月 21 日	08 :00	300	18	- 9	294	10
	20 :00	310	17	- 1	137	14
3 月 22 日	08 :00	315	18	- 3	310	9
	20 :00	310	16	- 4	318	13

3.3 地面气象要素分析

3.3.1 地面风

图 5 为北京观象台 3 月 20 ~ 22 日每天 4 次定时观测的风速变化。从该图可以看到,前两个时次的风速都在 2 m/s 以下,20 日 14:00 的风速有了迅速的增大,达到 8 m/s。随后的几个时次风速也都在 4 m/s 以上。从北京观象台 3 月 19 ~ 22 日的逐时地面风可以看到:19 日全天以东南风为主,其次是东北风,日平均风速为 3.6 m/s;20 日上午时段多偏北风或东北风,且风力不大,平均风速为 2.1 m/s;从 20 日 12:00 开始到 22 日以西北风为主。20 日极大风速达到 15.6 m/s,21 日极大瞬时风速达到 15.2 m/s,极大瞬时风速为 17.1 m/s。

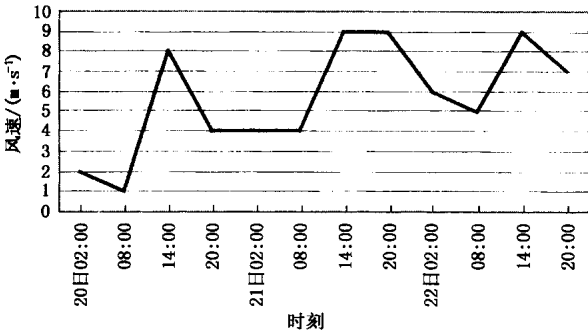


图 5 北京观象台 3 月 20 日 02:00 至 22 日 20:00 的定时观测风速

从北京地区 19 个气象站的极大瞬时风(其中 1 站缺测)可以看到,20 ~ 22 日 3 天各站瞬时风的风向都是偏西或偏北,西北,主要以西北风为主。3 天 19 个站瞬时风的平均风速分别为:20 日 15.1 m/s,21 日 18.3 m/s,22 日 18.0 m/s。从风向的分布来看主要是西北风,从极大风速来看,全市各站的极大平均风速在 3 天中都在 15 m/s 以上。

从这几天的风来看,有以下几个特点:一是风速

大,二是大风持续时间长,三是属于系统性的强风,从风向上看基本上是一致的西北气流,四是大风的范围很大,北京全市都出现大风沙尘天气。

3.3.2 能见度

这次北京沙尘天气的特点是以外来沙尘输送为主,沙尘区的覆盖范围广,受其影响,在 3 月 20 日最严重时,北京大部分地区的能见度小于 500 m,其中部分地区的能见度甚至小于 100 m。

图 6 是北京观象台 3 月 20 ~ 22 日能见度变化情况。南郊观象台 3 月 20 日夜间 02:00 与早晨 08:00 之前的能见度都是 30 km,到了早晨 08:00 很快降到了 18 km,此时大范围的沙尘天气已经到达北京城区边缘,09:00 左右能见度迅速降低,北京城区开始被大范围砖红色的浮尘所覆盖。11:00 能见度记录为 2 km,14:00 能见度为 1 km,沙尘颗粒的不断增多使大气能见度在较短时间内迅速降低。从图 6 可以看出,自 20 日 11:00 开始到 22 日 08:00 止,大部分时间的能见度都在 10 km 以下。据郊县一些台站的记录,在短时间内能见度在 500 m 以下,甚至有个别站能见度小于 100 m,达到了沙尘暴的强度。

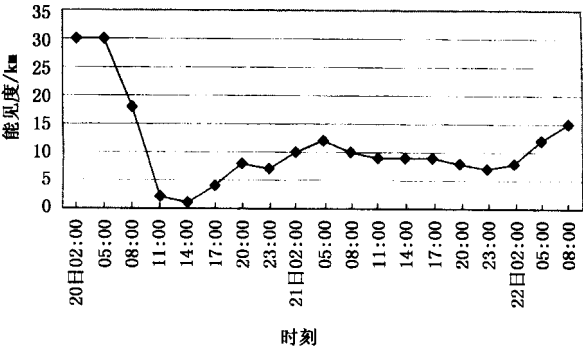


图 6 2002 年 3 月 20 日 02:00 至 22 日 08:00 每 3h 能见度变化曲线

3.3.3 温度 相对湿度与露点

在这次强沙尘天气的过程中,北京地区的温度、相对湿度及露点等气象要素发生了剧烈的变化。

首先,最明显的是气温的降低。随着冷空气的到来,地面气温有了明显的下降。以每天 14:00 的气温与冷空气到来之前的几天做比较,3 月 15 日 14:00 的气温为 18.9℃,16 日为 16.4℃,17 日为 14℃,18 日为 17.7℃,19 日为 13.2℃,20 日为 11.3℃,21 日为 11.1℃,22 日为 10.2℃,可以看到,北京地区 19 日开始降温,到 22 日 14:00 温度为最

低。20、21、22 日 3 天的 14:00 温度都在 11℃左右,比 15 日 14:00 的温度低 7~8℃。

受冷空气及沙尘天气影响,北京地区的相对湿度降低非常明显。由观象台相对湿度的记录可以看出,20 日 08:00 的相对湿度为 55%,到 14:00 相对湿度则迅速下降到 3%,随后到 22 日 20:00 这段时间内,除 21 日 14:00 的相对湿度为 14%以外,其余记录都在 10%以下。20 日 14:00 到 22 日 20:00 的平均相对湿度仅 5.7%,表明空气非常干燥(表 3)。

露点也反映出空气的干燥程度,从露点变化可以看到,从 20 日 14:00 到 22 日 20:00 露点基本都在 -20℃以下,少数时次接近 -40℃(表 3)。

表 3 露点和相对湿度

相对湿度 / %			露点 / ℃		
/ %			/ ℃		
20 日 08:00	55	-1.9	21 日 20:00	2	-38.1
14:00	3	-32.5	22 日 02:00	3	-34.4
20:00	5	-26.6	08:00	10	-24.2
21 日 02:00	7	-25.2	14:00	6	-25.9
08:00	14	-18.5	20:00	5	-29.2
14:00	2	-34.9			

4 空气污染状况分析

4.1 北京城区 PM₁₀污染状况分析

从能见度和气象要素的变化可以看出,此次北

京的沙尘天气开始主要以外来沙尘输送为主,随后又夹杂了本地的扬尘,造成北京地区的颗粒物浓度变化最为显著。选取北京市环境监测中心提供的 PM₁₀监测数据,时间为 2002 年 3 月 19 日“09:00~14:00”时段至 22 日“09:00~14:00”时段。浓度资料为北京地区 8 个自动监测站每天 21:00(前一日)~02:00、03:00~08:00、09:00~14:00、15:00~20:00 4 个时段的监测值。为叙述方便把 8 个监测站依次编号:1 - 定陵,2 - 车公庄,3 - 前门,4 - 东四,5 - 天坛,6 - 奥体中心,7 - 农展馆,8 - 古城。

图 7a 为 1~4 号站 PM₁₀浓度变化图,图 7b 为 5~8 号站 PM₁₀浓度变化图。从两图上可以看到,各站的 PM₁₀浓度先小幅下降,这是在沙尘来临之前的正常的时段变化;从第 4 时段开始到第 5 时段(20 日 09:00~14:00 时段),PM₁₀浓度开始迅速上升,浓度值在第 5 时段都已经超过 0.8 mg/m³(0.6 mg/m³对应的污染指数是 500),随后的两个时段 PM₁₀浓度继续上升,从第 7 时段开始,浓度逐渐下降;从第 9 时段到第 12 时段,浓度又重新上升,从前面的气象条件分析可以看到,这是由于本地的大风扬尘引起的;随后,各站浓度从第 11 时段开始下降,到第 13 时段,浓度已经降到较低的水平,除 5 号站外,其余站的 PM₁₀浓度都小于 0.2 mg/m³。

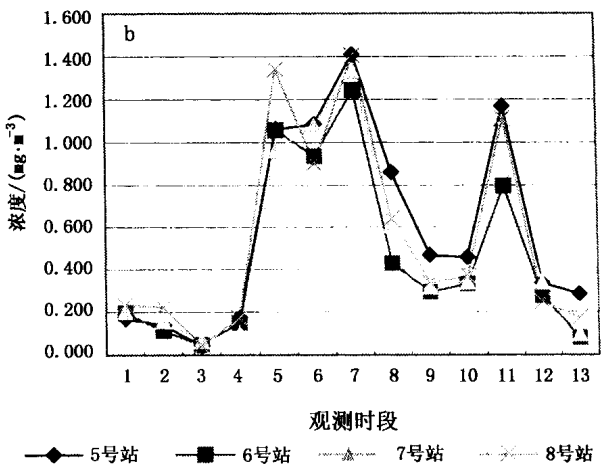
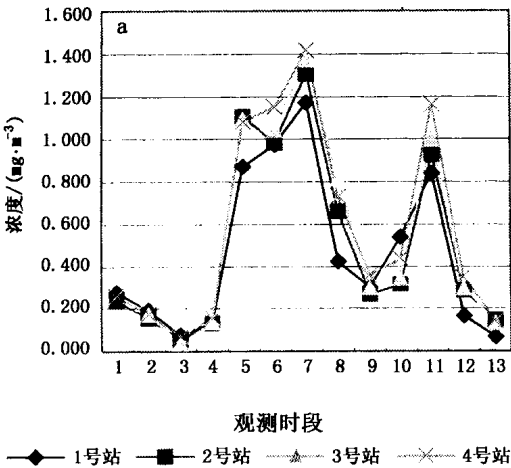


图 7 PM₁₀浓度变化图

(图中横坐标为 19 日 09:00~14:00 至 22 日 09:00~14:00 共 13 个时段)

4.2 其它主要污染物污染状况分析

这次强沙尘天气过程,不仅有浮尘出现,而且还有局地的大风扬沙,所以对颗粒物污染造成严重影

响,而对于 SO₂、NO₂、CO 等污染物的影响则完全不同。由于北京地区持续 2~3 天的大风,对气态污染物的扩散极为有利。从 2002 年 3 月 20 日一直到 3

月 23 日,SO₂、NO₂、CO 3 种污染物浓度都处于很低水平,日平均污染指数都小于 50(图 8)。

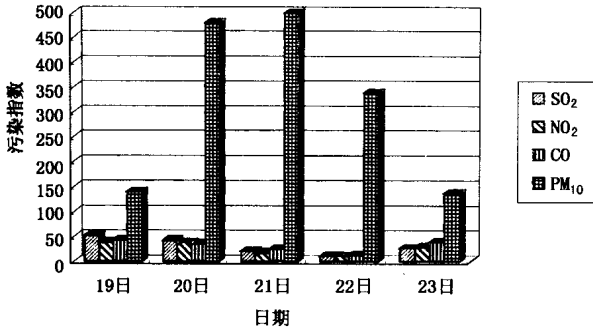


图 8 2002 年 3 月 19 ~ 23 日北京市各污染物日平均污染指数变化图

从以上分析可以看到,在有强沙尘天气时,往往对应着大风、低湿等气象条件,颗粒物污染会因上游沙尘的侵入或再与本地扬沙的叠加而迅速加重,而对 SO₂、NO₂、CO 等气态污染物的扩散则比较有利,它们往往会降到很低的水平。从这里也可以看到,同样的气象条件,对于不同污染物的扩散作用是不完全一样的,沙尘天气对于本地污染物的扩散影响是显著的。

5 小结

(1) 2002 年 3 月 18 ~ 22 日的沙尘天气是北京地区近 10 年来一次罕见的强沙尘天气过程,持续时间长,强度大,影响范围广。沙尘天气造成了北京全

市性的颗粒物污染和低能见度天气。

(2) 这次强沙尘天气过程主要是受新疆地区东移的强冷空气和蒙古地区低压的共同影响所致。

(3) 这次过程是受强冷空气影响而发生,冷空气影响后引起各种气象要素的剧烈变化,特别是风力逐渐加大,温度和湿度明显下降。

(4) 这次过程是上游的沙尘暴向北京输送与本地扬沙过程结合,两者共同影响造成北京地区严重的颗粒物污染。

(5) 在强沙尘天气时,气态污染物浓度会因为大风等有利扩散条件而迅速降低,颗粒物污染则会随着上游沙尘的入侵或加上本地扬沙的叠加而迅速加重。

(6) 为了从根本上减轻频发沙尘天气造成的影响,必须改善上游地区的生态环境,减少沙源,本地则要加强环境治理及绿化工作,提高生态水平。各地要联合起来,共同治理,光靠一地一域的治理是难以奏效的。

参考文献

- 1 林晔,王庆安,顾松山,等.大气探测学教程.北京:气象出版社,1995.72
- 2 张小玲,王迎春.北京地区沙尘暴天气分析及数值模拟.甘肃气象,2001,19(2):9-13
- 3 薛建军,杨贵名,刘震坤,等.3月18~22日强沙尘暴过程分析.环境气象业务服务技术研讨会论文集.北京,2001,中国气象学会.76-78

Analysis of Meteorological Elements and Air Pollution During a Strong Sand Storm

Xu Xiaofeng Zhang Xiaoling Li Qingchun

(Institute of Urban Meteorology, CMA, Beijing 100089, China)

Abstract: A strong sandstorm from 18 March 2003 to 22 March 2003 affected Beijing greatly. During the sand storm, many meteorological elements such as wind, temperature, humidity, visibility changed strongly and all kinds of air pollutants' concentrations changed strongly as well. It is shown that PM₁₀ concentration increased quickly in a short time and on the contrary the other pollutants' concentrations decreased quickly.

Key words: sand storm, meteorological element, air pollution