北京秋季一次先污染后沙尘现象成因分析

王耀庭[1]，缪启龙[1]，高庆先[2]，苏福庆[2]

(1.南京气象学院 资源与环境科学系，江苏 南京 210044；2.国家环境保护总局 气候变化影响研究中心，北京 100012)

摘要：利用卫星监测资料、气象站的观测资料和北京市环境保护监测中心的 PM_{10} 监测资料，通过对天气图进行分析，对发生在 2000-11-01—07 这一污染天气过程的成因和性质进行了解析。结果表明：在此期间 PM_{10} 呈现准正态分布。污染过程由 2 个性质完全不同的阶段构成：第一阶段(11 月 1—3 日)属于雾型污染，污染物是 SO_2，NO_2 等经过化学转化而成的硫酸盐和硝酸盐微粒；第二阶段(11 月 4—7 日)属于沙尘型污染，该阶段的污染物是受上游沙尘天气影响而形成的黄土、浮尘。这 2 个阶段的气象过程及天气形势也完全不同，沙尘暴爆发前(前一阶段)的天气受均压场控制，呈现双层逆温结构，相对湿度较大；沙尘暴期间(后一阶段)的天气受高压前部西北气流控制，相对湿度大幅度下降，空气干燥度从地面到高空基本一致。

关键词：北京；秋季；重污染；沙尘暴

中图分类号：X513 **文献标识码**：A **文章编号**：1001-6929(2003)02-0001-05

Analysis for the Formation of Typical a Phenomenon of Dust Storm after Heavy Polluted during the Autumn in Beijing

WANG Yao-ting[1], MIAO Qi-long[1], GAO Qing-xian[2], SU Fu-qing[2]

(1. Department of Resource & Environmental Science, Nanjing Institute of Meteorology, Nanjing 210044, China;
2. Center for Climate Impact Research, SEPA, Beijing 100012, China)

Abstract: According to satellite data, observational meteorology data station and monitoring data of PM_{10} provided by Beijing Municipal Environmental Monitoring Center and through analysis of synoptic chart, the formative causations and the characters of the contaminative synoptic process which lasted from 1st Nov. to 7th Nov. in 2000 have been analyzed. The results showed that PM_{10} has qaasi normal distribution during the research period that was composed of two completely different phases. The first phase (from 1st Nov. to 3rd Nov.) was brume pollution, the pollutants of which were sulfate and nitrate particulate formed by chemical reaction of SO_2 and NO_2, etc. The second phase (from 4th Nov. to 7th Nov.) was dust storm pollution, caused by loess, and floating dust produced by the upwind dust storm weather. Corresponding meteorological processes and synoptic forms during the two phases are different. During the first phase and before the sand storm broke out, the weather was controlled by homogeneous pressure field and with inversion structure of double layers and high relative humidity. During the second phase, the weather was dominated by northwest air stream existing foreside of anticyclone, the relative humidity has descended greatly, and the atmospheric drying degree is radically consistent from ground to upper air.

Key words: Beijing; autumn; heavy pollution; dust storm

类似于 2002-11-01—07 秋季先污染后沙尘的天气现象是北京地区多次发生并普遍存在的大气污染现象，具有明显的典型特征。这类大气重污染现象对不同行业、工业生产和人民日常生活及身体健康都有重要的影响。针对这种先大气化学污染后沙尘污染现象的研究对大气环境污染物的成分、性质和大气环境污染预报，特别是对重污染现象的预报有着非常重要的实用价值。通过对这种现象的研究发现，北京地区沙尘暴出现之前经常呈现出一种稳定的大气层结和重污染物边界层，相对湿度较大，而沙尘暴期间相对湿度有大幅度下降，纠正了过去认为在沙尘暴出现前常呈现出不稳定大气层结的看法[1]，对沙尘暴的形成机制和稳定度的影响有了进一步地了解。因此对这次重污染类型的研究具有一定的普遍性、科学性和实用性。

收稿日期：2002-09-09

基金项目：国家基础研究资助项目(G1999043505)

作者简介：王耀庭(1976-)，男(白族)，云南大理市人，硕士研究生.

万方数据

1 大气中主要污染物成分分析

监测资料表明,北京地区秋季常出现先污染后沙尘现象。北京地区11月份的风沙天气对空气中PM_{10}(大气中直径≤10 μm的粒子)的影响过去有所忽视。在2000-11-01—07的污染过程中,由于上风向风沙天气引发的北京地区大气环境质量恶化的现象,引起了有关单位和科学工作者的高度重视,特别是对沙尘源地和输送路径的关注。

2000-11-01—07是一次典型的先污染后沙尘的大气污染过程。根据北京市环境保护监测中心资料,11月1—7日的主要污染物为可吸入颗粒物(PM_{10}),PM_{10}污染指数分别为81,117,207,306,283,200和94,空气质量分别为2,3,4,5,4,3,2级。PM_{10}污染物指数随时间呈准正态型分布,同时大气中SO_2,NO_2污染指数随时间的变化表现出较好的同步性(见图1)。

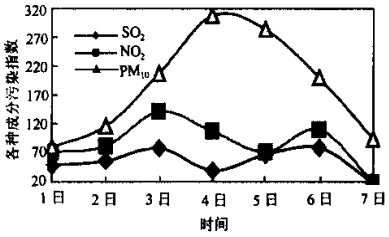


图1 2002-11-01—07 PM_{10},SO_2,NO_2污染指数随时间的变化

Fig.1 The temporal changed of PM_{10},SO_2,NO_2 from 1st Nov. to 7th Nov. in 2000

根据地面气象站的观测资料,11月4日8:00,在朱日和、张家口、西斋堂沿西北路径观测到浮尘天气,林西有扬沙天气。北京大部分县区观测到霾。

在卫星云图上,自蒙古高原,经内蒙古中部、河北北部有大片沙尘云。高空沙尘云很快东移,并造成高空大面积沙尘污染。从朱日和—林西,有西南-东北向的沙尘云,东移很慢,高度较低。在东移过程中,沙尘逐渐减弱,尾部影响北京地区。

根据对沙尘源地追踪分析,这次侵入北京的沙尘来自西北路径,由朱日和经察汗卓、东洋河、张家口、官厅水库、南口沿低空西北气流影响到北京,低空大气中弥漫黄黑色沙尘,大气中PM_{10}迅速增大到5级。

从图2可以明显地看出此次大气污染过程前期和后期污染物的性质有很大差别,整个过程可以明显地划分为2个阶段。第一阶段(11月1—3日),由SO_2,NO_2综合影响形成的污染相当严重,SO_2,NO_2二者污染指数之和所占比例超过总污染指数的50%,表明SO_2和NO_2经过化学转换生成的硫酸盐、硝酸盐粒子是该阶段的主要大气污染物,它的形成主要是受当时天气形势的影响,不利于污染物的大尺度扩散,使城市气溶胶在北京辐合。11月4—7日期间,随着11月4日沙尘的侵入,由SO_2和NO_2所形成的污染程度开始下降,主要污染物是PM_{10},其中在11月4日PM_{10}污染指数占据了总污染指数的65%,PM_{10}中主要固体颗粒物为黄土飘尘和其他烟粒,这些污染物的出现主要是受上风向沙尘天气影响,与前一阶段相比大气污染物成分不同,大气污染性质有很大的差别(见图2)。表明北京大气污染物来自2种性质不同的污染源地。

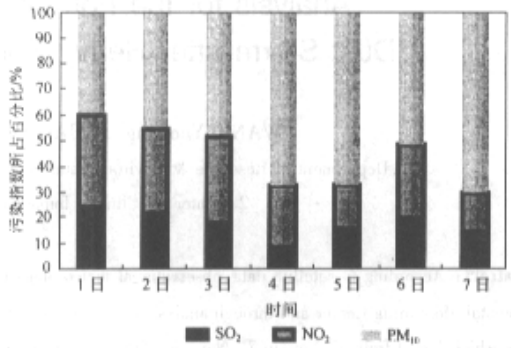


图2 2000-11-01—07 SO_2,NO_2,PM_{10}污染指数百分比

Fig.2 The percent change of contaminative index of SO_2, NO_2,PM_{10} from 1st Nov. to 7th Nov. in 2000

2 气象过程分析

这次污染过程的气象要素随时间的演变亦有明显的典型特征[2]。根据11月3日8:00北京各气象站气象要素的分布状况,平原地区相对湿度很高,接近饱和状态,顺义、朝阳区气象站有浓雾,顺义能见度为0.5 km,朝阳区能见度为0.9 km,北京观象台能见度为1.1 km(见图3(a))。北京地区的污染类型属弱风雾型污染。11月4日8:00相应的北京市各地面气象站风场皆为西北气流型(见图3(b))。沿西北风通道分布的八达岭、昌平区、海淀区、朝阳区气象站观测到的天气现象为霾,西斋堂为浮尘。对应的能见度比11月3日明显好转,海淀区、朝阳区能见度转变为6 km,其他各区县能见度皆高于6 km,污染类型属于沙尘型污染。

万方数据

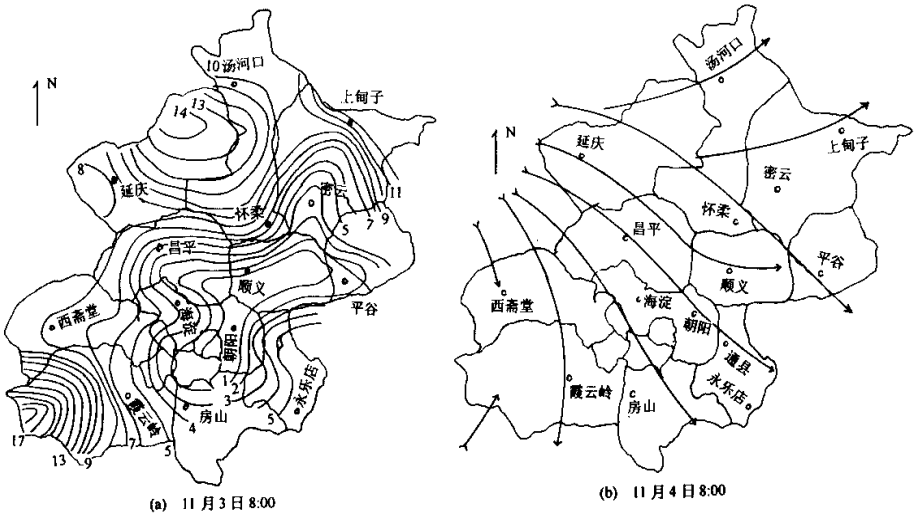


图 3　2000－11－03 T 8:00 北京地区能见度分布和 2000－11－04 T 8:00 风场图

Fig.3　The distribution of the visibility at 8:00 of the 3rd Nov. (a) and the field of the wind at 8:00 of the 4th Nov.(b) 2000 in Beijing

从图 4 的北京观象台的探空资料可以看出,11 月 3 日 8:00 接地逆温为 200 m,低空逆温高度为 200 ~800 m。表明沙尘暴爆发之前大气呈现出双层逆温结构,逆温顶部和底部气温差值很大,温度露点差值随高度的变化典线呈现喇叭口状态(见图 4(a))。湿度随高度的分布,呈现上干下湿状态,地面相对湿度为 95%,4 100 m 高空的相对湿度为 48%,属于典型的低空潮湿高空干燥型污染。

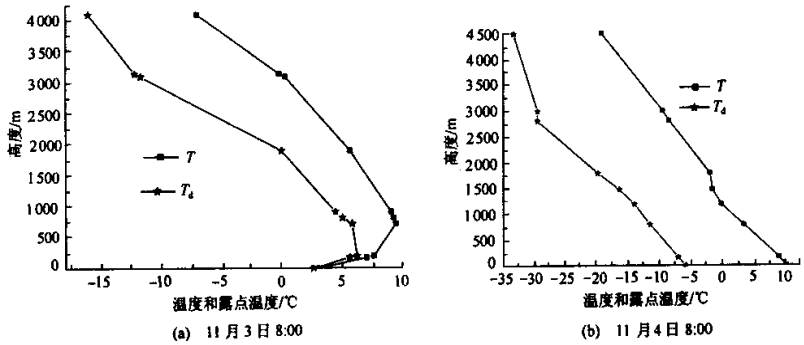


图 4　2000－11－03—04 T 8:00 温度(T)和露点温度(T_d)

Fig.4　The altitudinal distribution of temperature and dew temperature at 8:00 of the 3rd Nov. and the 4th Nov. in 2000 in Beijing

11 月 4 日 PM_{10} 继续上升为 5 级,各气象站相对湿度明显下降,北京观象台地面相对湿度由 11 月 3 日的 95%降为 4 日的 33%。探空曲线由 11 月 3 日的上干下湿喇叭口型层结转变为高空和地面湿度一致干燥的状况(见图 4(b)),地面温度露点差由 11 月 3 日 8:00 的 0.4 ℃增大为 11 月 4 日 8:00 的 16 ℃,说明沙尘暴爆发前,相对湿度较大,而沙尘暴期间及沙尘暴之后相对湿度有较大程度的下降。这是由于冷锋后部的一股干燥冷空气携带着上风向来的沙尘沿着西北气流南下,使短时风速增大所造成的。

11 月 5 日 8:00 小股冷空气过境后,观象台探空曲线再次转变为稳定性天气。地面至地面上 430 m

万方数据

为接地逆温,580~1 200 m为低空逆温,形成双层性的逆温结构(见图5),地面相对湿度为64%。虽然能见度仍保持较好,但低层大气中的PM_{10}含量依然较高,污染级别为4级。

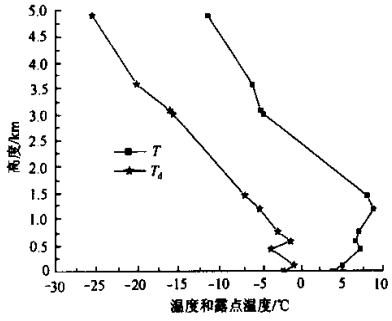


图5 2000-11-05 T 8:00温度(T)和露点温度(T_d)

Fig.5 The altitudinal distribution of temperature and dew temperature at 8:00 of the 5th Nov. in 2000 in Beijing

从这次污染过程的气象要素随时间的演变特征[3]可以明显看出,11月3日以前和11月4日以后,各种气象要素背景有明显的差异,属两类不同性质的污染。与此相似的天气过程,例如2001-11-03—05,2001-01-01,2002-01-06,2002-04-06—08,2002-04-14等。图6给出2001-12-29—2002-01-01典型的先污染后沙尘情况时激光雷达探测的水平能见度。由图6可以看到,12月29日5:00—7:00能见度为3.5 km;12月30日,由于锋后冷空气入侵,短时风速增大,在13:00能见度较好,19:00后,沙尘入侵,能见度再次降低,一直持续到2002-01-01 T 13:00。由此看出先污染后沙尘现象虽然使日PM_{10}增高,但属于雾型和沙尘型两种污染形式相继影响的过程,三者具有较好的一致性(见图7)。

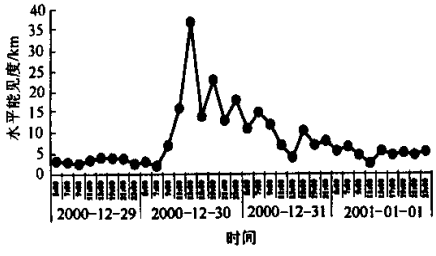


图6 激光雷达探测的水平能见度

Fig.6 The horizontal visibility detected by lidar

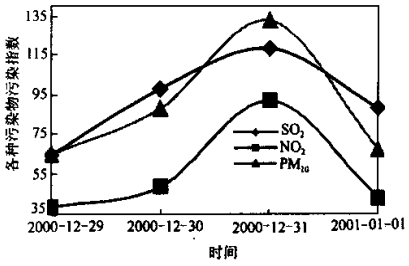


图7 2001-12-29—2002-01-01 SO_2,NO_2,PM_{10}变化趋势

Fig.7 The change trend of SO_2, NO_2, PM_{10} from 29th Dec. in 2001 to 1st Jan. in 2002

3 天气形势分析

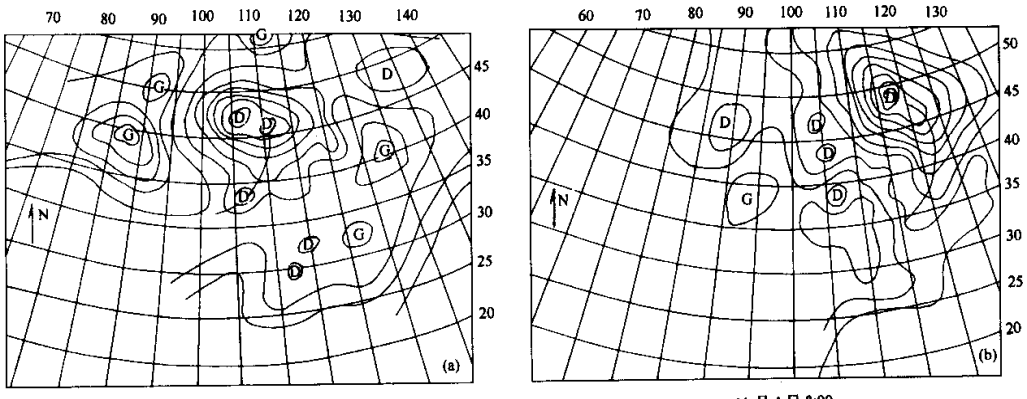
这次大尺度气象要素背景场的特征是,11月3日以前,地面天气图上我国北部由深厚低压系统控制[4]。高压中心位于朝鲜半岛北部,低压中心在沙音山德东北部,从低涡中心经满都拉、鄂托克旗、银川至西宁一带有一条冷锋(见图8(a))。华北位于锋前和高压后部偏南气流中,我国东部沿海及华北平原为大范围雾区,气压分布均匀,低空大气属稳定层结。有大尺度逆温阻挡层,不利于污染物大范围扩散,在太行山和燕山山麓有明显的大气污染物汇聚带,使北京和唐山一带形成重雾区,造成严重污染。

11月4日8:00,低涡东移至我国东北地区,低涡中心位于阿尔山(见图8(b))。从中心经通辽、鞍山、龙口、沂源伸向河南省许昌,其流场特征是:从贝加尔湖到蒙古高原东部、内蒙古东部、河套西北部、河北北部被低涡后部西北气流控制。11月3日下午西北冷平流大风区出现风沙天气,在地面图上,内蒙古中部有大范围扬沙和浮尘天气。11月4日冷锋过境后,由于冷空气主力偏北,北京只受小股冷空气影响,夜间至清晨风力较大,大风时间很短,造成部分沙尘输入北京。在北京西北方向的内蒙古朱日和、河北张家口等地皆出现沙尘天气,北京地区出现霾和浮尘,但是,11月5日北京地区再度受均压场和弱风场控制,仍为霾和轻雾覆盖。因此,这次冷空气势力偏北,锋面过境后出现的弱风场及不到3 m/s的偏东风输送,是造成该中度污染过程的主要原因。

4 结论

2002-11-01—07北京地区污染过程的气象特征是典型的先污染后沙尘天气过程,是两种不同的气象背景场。沙尘暴发生前有逆温层结,相对湿度

万方数据



(a) 11 月 3 日 8:00　　(b) 11 月 4 日 8:00

G—高压中心　D—低压中心

图 8　2000-11-03—04 T 8:00 地面天气图

Fig.8　The synoptic chart of ground at 8:00 of the 3rd Nov. and the 4th Nov. in 2000

(G—the high-pressure center; D—the low-pressure center)

较大,11 月 3 日地面相对湿度为 95%,沙尘暴发生时及结束后相对湿度有大幅度下降,11 月 4,5 日地面相对湿度分别为 33%,64%。11 月 3 日北京位于冷涡冷锋前部,海上高压后部,气象站资料表明,全市天气状况为雾,风况是弱风或静风,能见度最小的站为 0.9 km。由环境监测站资料表明,PM_{10} 为 4 级中度污染。由于锋前排放源的污染物如硫酸盐、硝酸盐等离子浓度增大及冷锋前 3 m/s 以下偏东南风将大量的南方水汽携同这些粒子向北输送,使细粒子污染物在北京汇聚辐合,使北京大气污染加重[5],同时也使雾况加重,这样不利于细粒子的大范围扩散,造成污染物停滞,空气质量更加恶化,这是造成北京地区连续 3 d(11 月 1—3 日)重污染的原因。这次风沙天气的沙尘来源,主要来自西北输送路径,沙尘源地为大沙漠边缘的河套西北附近。由于锋后西北沙漠边缘及裸露地区出现大范围的 16 m/s 以上的大风地区,扬起地面大量沙尘,部分沙尘沿西北路径输送,经过坝上、张家口、昌平等地输入北京,致使北京大气中的细粒子浓度增大,这是造成 11 月 4—7 日 PM_{10} 重污染过程的主要原因。

致谢:在该文的写作过程中,任阵海院士提出很好的建议与意见,邱金恒先生提供了图 6 的资料,在此深表谢意!

参考文献:

[1] 方宗义,朱福康,江吉喜,等.中国沙尘暴研究[M].北京:气象出版社,1997.10-35.

[2] 任阵海,苏福庆,高庆先,等.北京大气环境的区域特征与沙尘影响[A].中国工程院.学术报告文集[C].北京:中国工程院,2002.216-225.

[3] 高庆先.我国春季沙尘暴研究[J].中国环境科学,2000,20(6):495-498.

[4] 汤大钢,王玮,曲金枝,等.华北地区大气污染物的航测研究[R].北京:国家环境保护总局,1995.207-239.

[5] 任阵海,苏福庆.大气输送的环境背景场[J].大气科学,1992,22(9):28-42.

万方数据