

2004 年北京市沙尘天气对空气质量影响的对比分析

张 迪 孙继松 王 华

(北京市气象局气象台,北京 100089)

摘要 北京市环保局近几年的空气质量监测报告表明:PM₁₀ 污染显著,一直居高不下,是最主要的污染物,全年中其占首要污染物的天数超过 90%;SO₂ 的污染趋势已经得到控制;NO₂ 的污染状况改善相对较小,但整体呈现缓慢下降的趋势。通过对 2004 年春季北京市发生的 3 次沙尘天气过程的分析与比较,结合北京市 3 月份的空气污染物浓度(或指数)的变化情况,总结了沙尘天气对空气质量的影响情况,为今后北京地区沙尘天气的空气质量预报提供参考。

关键词 沙尘天气 PM₁₀ 空气污染物浓度 空气污染指数

引言

可吸入颗粒物 PM₁₀、SO₂ 和 NO₂ 是空气中的 3 种重要污染物,也是我国每日空气质量监测报告的主要内容。PM₁₀ 是气溶胶粒子中粒径小于或等于 10 μm 的部分,可以直接进入人的呼吸系统,影响着人类的身体健康^[1,2]。大量研究表明,心血管疾病、哮喘的发病率与 PM₁₀ 的浓度变化密切相关。PM₁₀ 还影响着能见度的水平,改变大气的光学性质,进而影响气候环境。PM₁₀ 的来源复杂,其浓度变化除了受到人活动影响外,气象条件是最重要的因素^[3,4];SO₂ 的污染趋势已经得到控制,非采暖期的日平均浓度全部达到国家空气质量 2 级标准,冬季采暖期的达标率也接近 50%;NO₂ 的污染状况改善相对较小,但整体也呈现缓慢下降的趋势^[5-8]。

通过对北京 2004 年春季的沙尘天气过程对空气质量的影响进行对比分析,结合北京市 3 月份的空气污染物浓度(或指数)的变化,总结了沙尘天气对空气质量的影响,希望能从天气分析角度为今后北京地区沙尘天气的空气质量预报提供着眼点。

1 2004 年春季北京沙尘天气概况

中国环境监测总站的监测结果表明,我国 2004 年共发生沙尘天气 6 次,与往年相比沙尘天气出现

的次数少,影响范围较小。北京共出现 3 次沙尘天气过程,均为扬沙或浮尘,没有发生沙尘暴。这 3 次过程都发生在 3 月份,分别于 9~10 日,27~28 日,29 日影响北京。2004 年 3 月份北京市区空气污染指数月变化图(图 1)可以较直观地反映出沙尘天气对北京市的空气质量影响情况。

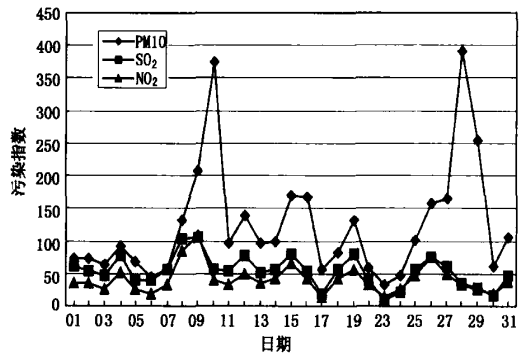


图 1 2004 年 3 月北京市区空气污染指数月变化
(其中缺少 21 和 22 日的实况资料)

2 3 次沙尘天气过程对空气质量影响的对比分析

2.1 2004 年 3 月 9~10 日

2.1.1 天气形势和物理量场诊断

2004 年 3 月 9 日受蒙古国南下的强冷空气影响,蒙古国戈壁和内蒙古中部地区出现大范围沙尘区,该沙尘区经山西高原北部,于 9 日后半夜影响京

津地区,并于10日11:00(北京时,下同)左右移出北京。

在8日08:00的500 hPa图上(图略),西西伯利亚平原有一低压,低压附近有 -40°C 冷中心与之相配合,低压前部在蒙西高原为暖脊,脊后暖平流较强,利于低压发展。到9日20:00 500 hPa上的低压中心移到中西伯利亚高原(图2a),低压槽移到蒙古国高原,并跟随 -40°C 冷中心。相应的8日08:00地图上,西西伯利亚平原到中西伯利亚高原为低压气旋,并有冷锋出现在萨彦岭附近。冷锋前部蒙

西高原上的科布多已生成沙尘暴,达兰一带出现偏西大风。14:00冷锋进入蒙西高原,位于低压底部的野马街出现沙尘暴。9日08:00地面低压中心移至乌兰巴托附近,冷锋到达青海湖北部时,冷锋后部的蒙古高原有大风形成,科布多附近仍维持沙尘暴。9日14:00冷锋移至二连浩特、呼和浩特、银川南部,锋后的蒙古中部至河套一带有大范围西北大风并伴有沙尘暴(地面气旋冷锋和沙尘区动态见图2b)。9日20:00冷锋上山西高原,10日02:00冷锋过北京,锋后3h正变压为 $6.8\sim 7.8\text{ hPa}$ 。

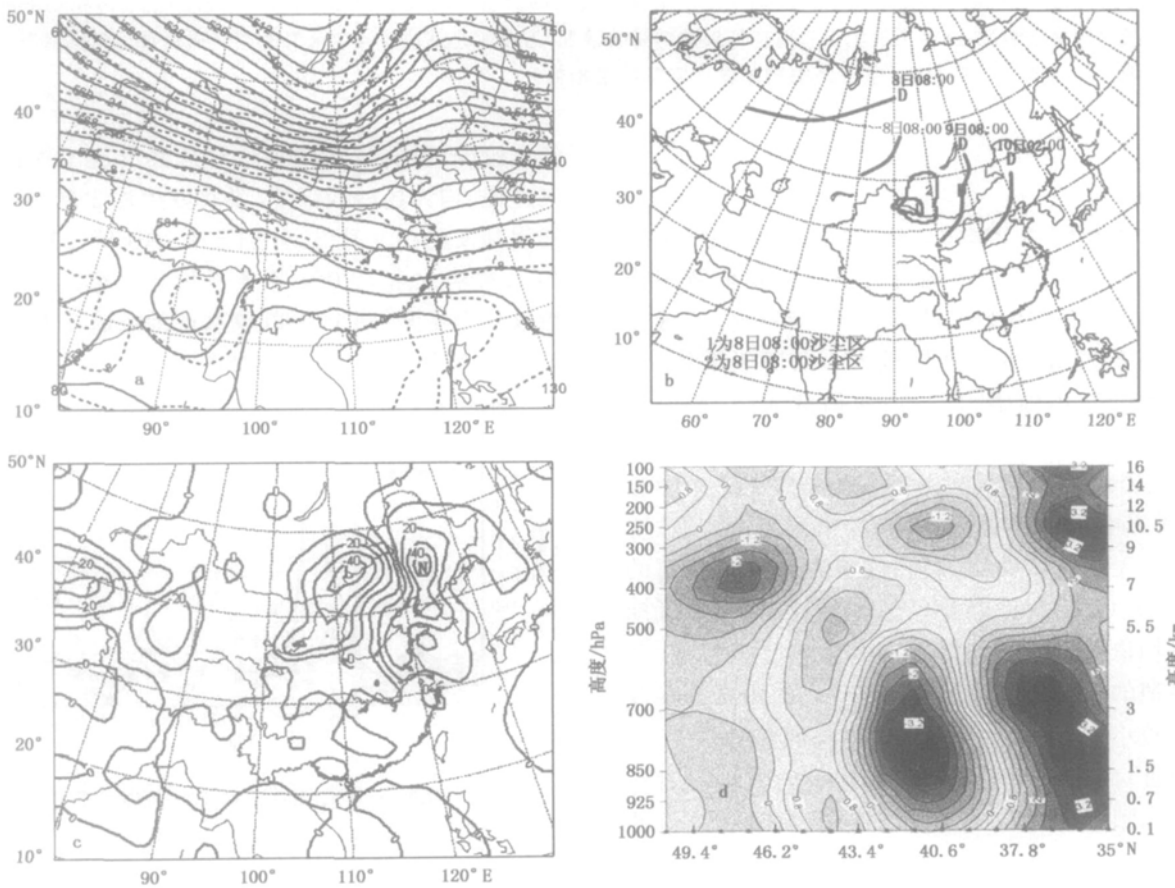


图2 (a)3月9日20:00 500 hPa高度温度,(b)3月8~10日地面气旋冷锋及沙尘区动态图

(c)3月9日20:00 850 hPa温度平流($10^{-5}\text{ }^{\circ}\text{C/s}$),(d)3月9日20:00 116.5°E 垂直速度剖面图(10^{-3} hPa/s)

物理量场诊断分析表明,对应500 hPa低涡有一个明显的正涡度中心,9日08:00中心强度为 $4\times 10^{-5}\text{ s}^{-1}$,20:00正涡度中心随低槽东移至河套北部即北京上游沙源地区上空,中心强度加大至 $8\times 10^{-5}\text{ s}^{-1}$ 。同时700 hPa上,河套北部的上升运动加强,使沙源地具备了产生大风以至使沙尘扬起的动力条件。

从温度平流看,低层850 hPa高空槽前的冷、暖平流表现都非常明显。9日08:00 850 hPa槽前后分别有冷暖中心其强度分别为 $-20\times 10^{-5}\text{ }^{\circ}\text{C/s}$ 、 $+25\times 10^{-5}\text{ }^{\circ}\text{C/s}$,到9日20:00(图2c)冷暖中心强度均有所加强,分别为 $-40\times 10^{-5}\text{ }^{\circ}\text{C/s}$ 、 $+45\times 10^{-5}\text{ }^{\circ}\text{C/s}$,它们为气旋的发展提供了良好的热力条件。同时

500 hPa 低槽前西伯利亚上空有强的冷平流输送,9 日 20:00 冷平流中心东南移,强度达 $-60 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C/s}$,高低空温度平流的较大差异使沙源地区上空大气层结不稳定,有利于沙尘卷到空中。

2.1.2 沙尘天气过程中主要污染物浓度变化

从天气图上分析,冷锋锋面于 10 日凌晨 02:00 左右通过北京,本市出现沙尘天气。据南郊观象台自动站资料显示,10 min 平均风速由 02:00 的 3.1 m/s 加大至 03:00 的 7.2 m/s,之后风力继续加大,于 06:00 达到峰值 12.7 m/s;后风力又逐渐减小,18:00 至 19:00 风力由 7.0 m/s 减小到 3.8 m/s,此次沙尘天气结束。在这次过程中北京城区 8 个空气质量监测站的空气污染物 6 h 平均浓度变化如图 3 所示。9 日 21:00 至 10 日 20:00,可吸入颗粒物 PM10 为首要污染物,平均污染浓度为 $0.479 \mu\text{g}/\text{m}^3$,污染等级为 5 级,造成了北京市 2004 年的第 1 次也是最重的一次空气重度污染天气。

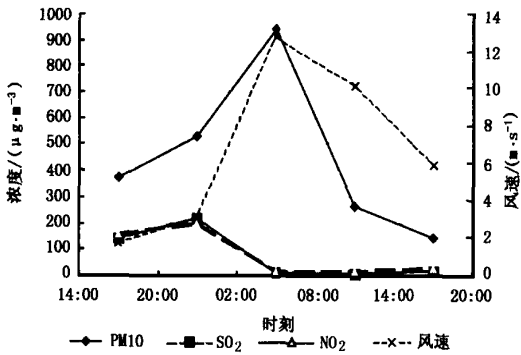


图 3 2004 年 3 月 9 日 15:00 至 10 日 20:00 北京市区污染物每 6 h 平均浓度及风力变化

通过对此次沙尘天气过程的分析,可以看到气象条件对主要污染物(本文指 PM10, SO₂ 和 NO₂)浓度的改变是不同的:PM10 浓度对沙尘天气十分敏感。沙尘天气一旦发生,PM10 浓度陡增。沙尘本身对 SO₂ 和 NO₂ 的浓度没有影响。沙尘天气出现,PM10 的浓度陡升,而 SO₂ 和 NO₂ 的浓度却由于锋面过境后产生大风而浓度骤降。当风力减小时 SO₂ 的浓度立即回升,表明 SO₂ 的浓度与风力具有良好的负相关,且 SO₂ 的浓度对风力相对于其它污染物最敏感。此次沙尘天气由浮尘和扬沙共同作用所致。21:00 出现沙尘天气 PM10 陡增,而 21:00~02:00 风力小,此段沙尘天气由浮尘所致;之后锋面过境,大风又引起扬沙,使 02:00~08:00 PM10 的浓度又增加了近 1 倍。

2.2 2004 年 3 月 27~28 日

2.2.1 天气形势和物理量场诊断

2004 年 3 月 27 日受蒙古国南下的较强冷空气影响,中午内蒙地区出现了大范围的大风沙尘暴天气。这次沙尘天气,途经新疆—酒泉—山西高原,于 27 日夜里影响北京。

27 日 08:00,500 hPa 形势图上乌拉尔山地区为高压脊,西西伯利亚平原东部为低压槽。35°~40°N 盛行偏西风,冷平流表现不明显。但低层 850 hPa 在西西伯利亚平原和乌兰巴托各有一低压中心,乌兰巴托的低压中心附近有暖平流输送,地面上蒙古地区到河套则为典型的锋面气旋,气旋南部开始出现大风及沙尘暴天气。27 日 14:00 地面气旋中心移至沙音山德,冷锋移至河套以东,气旋南部出现大范围偏西大风,并伴有沙尘暴生成,其范围延伸到我国内蒙中部到山西北部地区。27 日 20:00,850 hPa 低压中心移到海拉尔西部,冷锋于夜间移过北京,造成浮尘天气。到 28 日 850 hPa 低压中心和地面低压气旋中心均移至东北。

从物理量场来看,27 日 20:00,高空 500 hPa 槽前有正涡度中心($8 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$),位于河套北部 110°E 附近(图略)。到 28 日 08:00 该正涡度区加强东移至 120°E,中心强度为 $10 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 。即整个过程中正涡度区较偏北,主要位于沙源地上空,使沙源区具备产生大风以及沙尘的高空动力条件。但北京上空的正涡度输送不明显(图 4)。

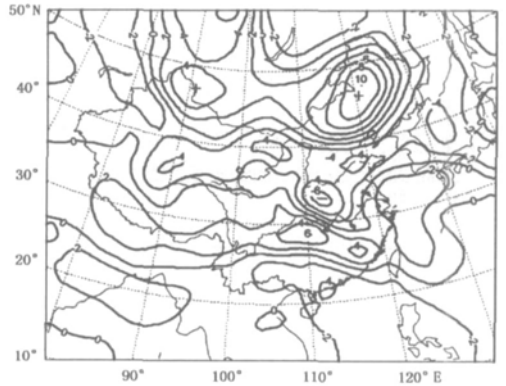


图 4 2004 年 3 月 28 日 08:00 500 hPa 涡度场(10^{-5} s^{-1})

温度平流分析表明(图略),27 日 20:00,850 hPa 槽前后对应有中心强度为 $-15 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C/s}$ (河套北部)、 $+10 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C/s}$ (北京上空)的冷暖平流,对应 500 hPa 河套北部有 $-25 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C/s}$ 的冷平流配合,

高低空温度平流的较大差异造成沙源地区上空大气层结不稳定,利于大风的产生和沙尘的生成。北京500 hPa上空的冷平流较弱,因此上游形成的沙尘天气受引导气流影响,以偏西路径进入北京上空。

从垂直速度看,27日08:00至28日08:00上游沙源区为明显的上升运动区,其中27日20:00河套北部的700 hPa上升区中心速度达 $70 \times 10^{-3} \text{ m/s}$,极有利于沙尘被带到对流层中层。由于北京附近始终为下沉区,加速了空中沙尘的自然沉降过程,形成沙尘天气现象。

2.2.2 沙尘天气过程中主要污染物浓度变化

此次冷空气前锋于27日后半夜到达北京市,但冷空气强度较弱,据南郊观象台自动站资料显示,从28日02:00至29日02:00北京10 min平均风力均为2~4 m/s。在此期间北京市区各主要污染物6 h平均浓度如图5所示。

上述气象污染实况分析表明,北京出现的此次沙尘天气过程中,本地沙尘天气发生的时段内,地面风力较小,不足以产生局地扬沙,这次沙尘天气主要是由于上游沙尘在强烈的上升运动作用下,被“抽吸”到对流层中层,并随着空中气流向西输送,北京附近弱下沉运动,有利于沙尘的沉降作用,形成了北京地区的沙尘天气现象。从SO₂浓度的演变来看,由于风力一直较小且变化不大,SO₂浓度相对维持较高水平,且无明显变化。

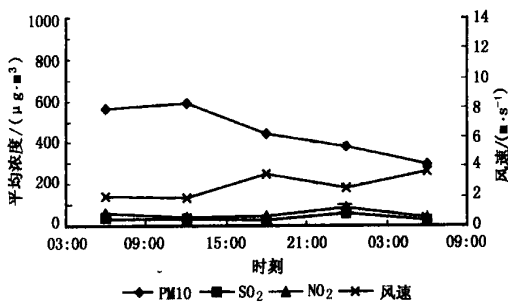


图5 2004年3月28日03:00至29日08:00北京市区污染物每6 h平均浓度及风力变化

2.3 2004年3月29日

2.3.1 天气形势和物理量场诊断

2004年3月29日14:00~20:00北京地区再次出现沙尘天气过程。此次沙尘天气历时较短,仅持续约6 h左右。

在850 hPa图上,原在西西伯利亚平原的低压

东移南下,于29日08:00与前部低压系统合并为东北低压。同时地面有冷空气从西北方向南下,锋后河套西部出现大片加压区,3 h变压中心+3.3 hPa(位于银川)。冷锋在中午前后过境北京(图略),由于系统移动速度较快,地面升温明显,为北京地区本地沙尘的扬起提供了良好的地面条件。这次沙尘天气持续时间较短,20:00前后沙尘天气结束。

从空中的环流背景来看,29日08:00,500 hPa河套北部有中心为 $8 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 的正涡度向北京输送,到20:00北京上空为正涡度中心区($6 \times 10^{-5} \sim 8 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$)。850 hPa上河套以北的冷平流区范围扩大并南下影响北京(图6),而近地面在强烈的阳光照射下迅速升温,造成对流层低层的热力不稳定加剧。

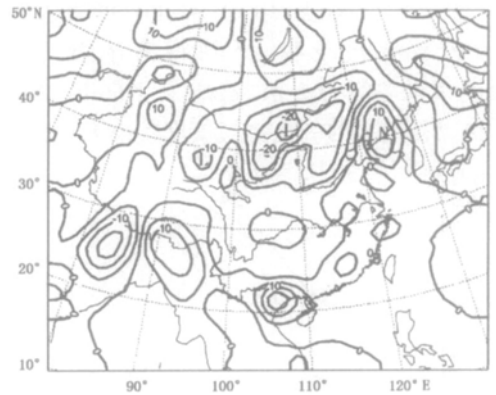


图6 2004年3月29日08:00 850 hPa 温度平流($10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C/s}$)

2.3.2 沙尘天气过程中主要污染物浓度变化

在这次过程中北京城区8个空气质量监测站的空气污染物6 h平均浓度变化如图7所示。据南郊观象台自动站资料显示,29日14:00,10 min平均风力从1.8 m/s突然加大至7.7 m/s,并持续至20:00左右,其中最大值达10.7 m/s。

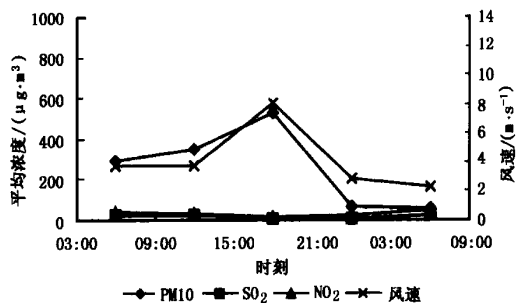


图7 2004年3月29日03:00至30日08:00北京市区空气污染物每6 h平均浓度及风力变化

由于29日03:00~08:00,北京的PM₁₀没有降到200 μg/m³以下,而是300 μg/m³,说明还有轻度的污染,即外来沙尘没有完全沉降和移出北京。29日14:00锋面过境前后本地扬沙天气,加重了空气污染,15:00~20:00风力最大,PM₁₀浓度达到600 μg/m³。与3月9~10日过程中SO₂的变化一样,当风力突然加大时,SO₂浓度骤降。

3 结论与讨论

通过对2004年3次不同沙尘天气过程的成因及其与空气质量的演变规律的对比分析,我们认为:

(1)北京地区出现第1和第2次沙尘天气,是外地沙尘输送与本地沙尘共同作用的结果,而第3次(3月27日)北京地区出现的沙尘基本上是上游沙尘随西风气流远距离输送造成的沙尘现象。

(2)沙尘天气是北京地区春季形成空气重度污染的主要因素之一,其中PM₁₀浓度的变化与沙尘天气的演变过程有良好的对应关系。

(3)不同的污染物与地面风速变化的关系不尽相同。其中SO₂浓度对风速最敏感,风速越大,SO₂浓度越小,而风速对NO₂浓度变化的影响程度明显不如SO₂。

(4)由于北京地区春季的主要污染物浓度的变

化都与天气过程的演变有密切关系,准确的天气要素预报是做好空气质量预报的前提和基础。由于PM_{2.5}与PM₁₀的区别是空气中悬浮物粒子的大小,而沙尘和扬沙也可以通过区分粒子的大小来进行判别。因此,开展PM_{2.5}的常规观测可能更有利于对外来沙尘对局地空气质量影响的评估。

参考文献

- 1 Sokolik I N, Toon O B. Direct radiative forcing by anthropogenic airborne mineral aerosols. *Nature*, 1996, 381(20):681-683
- 2 Prospero J M. Long range transport of mineral dust in the global atmosphere: Impact of African dust on the environment of the southeastern United States. *Proc Natl Acad Sci USA*, 1999, 96:3396-3403
- 3 张书余(编著). 城市环境气象预报技术. 北京:气象出版社, 2002.5
- 4 中国气象局预测减灾司(主编). 沙尘暴监测预警服务研究. 北京:气象出版社, 2002.11
- 5 吴晓京, 郑新江, 李小龙, 等. 东亚春季沙尘天气的卫星云图特征分析和分型. *气候与环境研究*, 2004, 9(1):1-13
- 6 郑新江, 杨义文, 李云, 等. 北京地区沙尘天气的某些特征分析. *气候与环境研究*, 2004, 9(1):14-23
- 7 徐晓峰, 张小玲, 李青春. 北京地区一次沙尘天气过程的气象因子及空气污染状况分析. *气象科技*, 2003, 31(6):321-327
- 8 李青春, 谢璞, 吴正华. 北京地区沙尘天气的气候特征分析. *气象科技*, 2003, 31(6):328-333

Comparison Analysis of Dust Weather Influence on Air Quality over Beijing in 2004

Zhang Di Sun Jisong Wang Hua

(Beijing Weather Forecast Office, Beijing 100089)

Abstract: According to the monitoring reports of recent years from the Beijing Environment Protection Bureau, PM₁₀ remains in a high level, being the predominant air pollutant in over 90% days of a whole year. SO₂ pollution has been controlled to certain extent and NO₂ pollution is improved slightly with a slowly decreasing trend generally. Comparison and analysis is conducted on the three dust weather events happened in Beijing in spring of 2004, and in combination with the variation of the air pollutant concentrations (or index) in March in Beijing, the influence of dust weather on air quality in Beijing is discussed. The results provide references for air quality forecasting under dust weather in Beijing.

Key words: dust weather, PM₁₀, air pollutant concentration, air pollutant index