

北京风沙天气的气溶胶特征^{*}

杨东贞 颜 鵬 徐祥德

(中国气象科学研究院 北京 100081)

提 要

利用常规气象观测资料、卫星云图以及 1988、1990、1992、1993、1995、2000 年等年北京风沙天气期间所采集的气溶胶样品的分析结果,研究了北京的风沙天气分布特征。风沙期间大气污染状况,产生风沙天气的主要原因及沙尘的来源等。初步得出:北京的风沙天气主要出现在春季,是造成春季大气污染的重要原因之一;北京春季风沙天气是由沙尘暴、浮尘和扬沙造成,但以扬尘引起的频率为最高,占 71.4%;风沙期间大气气溶胶与无风沙时气溶胶的物理化学特征有明显的差异;大气气溶胶的物理化学特征显示出,风沙期间的大气气溶胶主要来源于自然源,以局地尘源为主,人为排放的气溶胶作用相对减弱。

关键词:沙尘暴 扬沙 浮尘 气溶胶 尘源

引言

本文研究的风沙天气是指由沙尘暴、扬沙和浮尘等引起的天气现象。就北京而言,春季风沙天气频频发生,除了局地的沙尘暴、扬沙、浮尘外,外来的沙尘暴和浮尘的侵入也不可忽略。如西北地区及蒙古高原发生的沙尘暴经常侵入北京^[1,2],华北地区及北京的周边地区的沙尘暴极易波及北京。如 2000 年 3~5 月份,华北地区发生 12 次沙尘暴,就有 8 次侵入北京,导致北京多次发生严重的风沙天气。本文对北京风沙期间大气污染状况及产生风沙天气的主要原因及沙尘的来源进行分析,为治理北京的风沙提供科学依据。

1 资料、气溶胶的采集和分析方法

风沙天气的资料取自气象观测记录。有关大气气溶胶的各种数据和资料来自 1988、1990、1992、1993、1995、2000 等年在北京风沙天气期间及风沙天气发生前、后实时采集气溶胶样品分析和测定结果。

测定不同的物理量采用不同的采样器,气溶胶质量浓度 TSP(Total Suspended Particulates)是用流量为 100 L/min 的 KB-120 大气采集器;不同粒径的气溶胶质量浓度用日本产的安德森(Anderson)分级采样器(共 8 级,1 级: $d > 11.0 \mu\text{m}$,2 级: $11.0 \sim 7.0 \mu\text{m}$,3 级:

* 本课题得到《国家重点基础研究发展规划》项目“首都北京及周边地区大气、水、土环境污染机理与调控原理(项目编号:G1999045700)的资助。

万方数据

2001-07-02 收到 2001-08-21 收到修改稿。

7.0~4.7 μm , 4 级; 4.7~3.3 μm , 5 级; 3.3~2.1 μm , 6 级; 2.1~1.1 μm , 7 级; 1.1~0.65 μm , 8 级 ($d < 0.65 \mu\text{m}$)。流量为 28.3 L/min; 气溶胶的型态特征用美国的 4 级碰撞采样器—A four-Stage Cascade Impactor(1 级: $d > 5.0 \mu\text{m}$ 2 级: 2.0~5.0 μm 3 级: 0.7~2.0 μm 4 级: $d < 0.7 \mu\text{m}$)采样, 流量 17.5 L/min。

气溶胶样品化学元素用中子活化(NAA)、质子激发 X-射线能谱(PIXE)分析, 可溶性离子浓度用离子色谱仪(IC)和原子吸收分析。

2 风沙天气的大气气溶胶特征

2.1 风沙日数的月分布特征

分析北京 1971~1998 年的风沙日数月分布。得到风沙天气主要发生在春季(3~5 月), 发生的频率占全年的 65.3%, 尤其是 4 月份为全年最高, 频率为 31.7%。春季风沙日数高是由于冷空气活动频繁、风速大、少雨、地面升温快、近地层大气层结不稳定, 易使下垫面尘、土、沙粒离地升空形成风沙天气。其次是冬季, 发生的频率为 22.0%。冬季寒冷, 部分地面冻结, 来自地面的沙尘减少了, 但冬季由于采暖, 耗煤量大, 排入大气中的尘粒和有害气体增多, 同样可以导致污染加重。夏季风沙次数最低, 只占全年的 5.8%, 主要原因是夏季降水机率增大, 下垫面覆盖率增高, 风沙天气发生的可能性明显下降。秋季比夏季稍高, 发生机率为 6.9%, 这与秋季大气层结稳定, 风力小于春、冬季有关。因此, 北京春季的风沙天气是导致北京春季大气污染的重要原因之一。

2.2 风沙天气的大气气溶胶特征

(1) 气溶胶的质量浓度(TSP)

表 1 为北京 7 次沙尘暴过程大气气溶胶的质量浓度 TSP。从表 1 可知, TSP 浓度在沙尘暴期间为最高, 比无沙尘暴(即沙尘暴发生前和结束)时要高数倍至一个量级以上。如果我们把表 1 中的“高峰时”的 TSP 减去“发生前(或结束)时”的 TSP 值, 再除以“发生前(或结束)时”的 TSP 值称为“增量”的话, 得出沙尘暴强度不同, TSP 增量也不同。如 1988 和 1990 年因沙尘暴强度较大, TSP 的增量达 10 以上。1988 和 1990 北京发生沙尘暴时, 能见度分别为 1.2 和 0.2 km, 直接太阳辐射为零^[1,2]。1993 年 5 月 5 日发生在甘肃河西走廊的金昌特大沙尘暴, 当地的 TSP 浓度达 $1017 \times 10^3 (\mu\text{g}/\text{m}^3)$ ^[3]。沙尘暴移至银川河套地区时, 当地的降水使大量的沙尘被清除。当沙尘暴抵达北京时已减弱为浮尘, 但北京的 TSP 浓度仍有很大的增量。文中 2000 年的气溶胶的 TSP 资料是 4 月 25~26 日风沙期间采集的。这次发生在北京的风沙天气主要表现为扬沙和浮尘天气, 尚未达到

表 1 气溶胶的 TSP 浓度

$\mu\text{g}/\text{m}^3$

	1988 年 4 月 11 日	1990 年 4 月 25 日	1992 年 4 月 10 日	1993 年 5 月 7 日	1994 年 4 月 12 日	1995 年 4 月 6 日	2000 年 4 月 25 日
沙尘暴发生前	306.5	808.0	384.7	85.6	318.5	/	/
沙尘暴高峰时	5118.0	11494.7	1687.3	1051.1	1066.7	2842.3	1713.4
沙尘暴结束	/	1291.2	380.5	136.6	/	40.5	286.6

沙尘暴的强度。从沙尘气溶胶 TSP 浓度的增量及风沙天气的年分布特征可看出, 春季北

京的风沙天气是造成北京春季大气污染的重要原因。也是北京春季大气气溶胶的重要来源之一。

图1是1992年4月9~12日沙尘暴过程气溶胶质量浓度TSP的粒度谱。它显示了沙尘暴期间各谱段的TSP浓度都高于无沙尘暴时的值，并主要分布在粗粒子组($d > 2.1 \mu\text{m}$)约为93.7%。而在沙尘暴发生前粗粒子组的TSP只占53.6%。最大粒径组(1级， $d > 11.0 \mu\text{m}$)的TSP浓度增量最多，比沙尘暴发生前要高43倍，比结束时高8倍多。结束阶段TSP浓度高于沙尘暴发生前是由于沙尘暴的影响尚未完全消除之故。

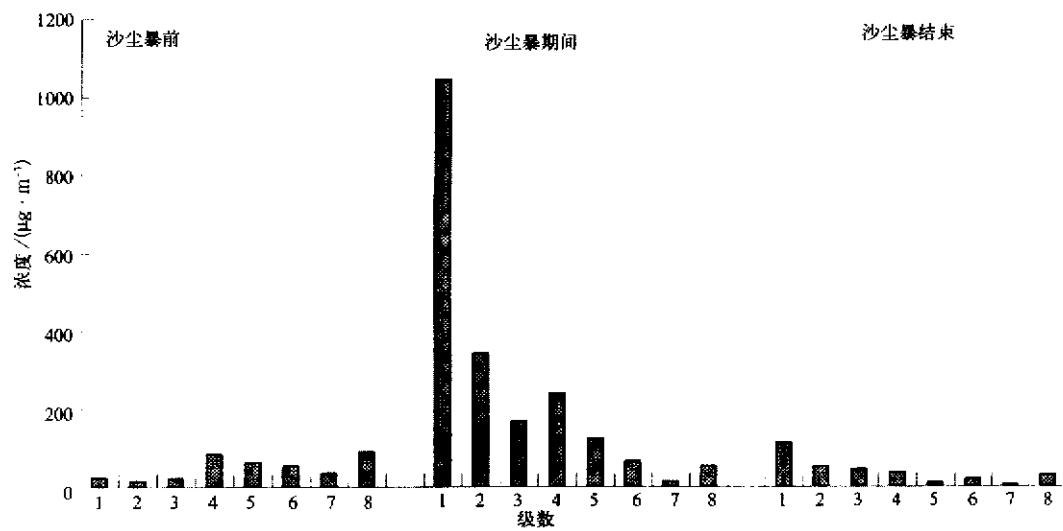


图1 北京风沙天气时的TSP浓度的粒度分布

(2) 气溶胶的化学元素浓度

图2是北京1992年4月9~12日沙尘暴期间与结束时的大气气溶胶化学元素浓度的粒径分布。其特征是：①沙尘暴期间气溶胶诸元素(除元素S外)的浓度在不同粒径组明显地高于无沙尘暴时的值，并且浓度的粒径分布倾斜于粗粒组。元素S的浓度在不同次沙尘暴时是不同的，有增有减。如1990、1993年的沙尘暴，其沙尘气溶胶中的S浓度是增加的，而1992与1994年则是减少的(见表2)。元素S的浓度的粒径分布也不尽一致。如1992年4月9~12日的沙尘暴过程中(表3下)，粗粒组中每一粗浓度都增加；1990年4月25~27日的沙尘暴过程中则不然(见表3上)。在沙尘暴期间，粗粒组($d > 2.1 \mu\text{m}$)中的1级($d > 11.0 \mu\text{m}$)的浓度太低而未检出，2级有增加，细粒组($d < 2.1 \mu\text{m}$)中最小的粒径组8级的浓度是明显减少的。总的的趋势还是倾斜于粗粒组。元素S的浓度变化的复杂性可能与上游及所在城市的大气背景状况有关。表4是1992年4月9~12日沙尘暴期间气溶胶各元素在粗粒组中浓度占该元素总浓度(粗、细粒组浓度的总和)的百分比。由表可知，无论是地壳类元素如Al、Ca、Fe和盐类元素Mg、Na还是人为污染元素S、Sb、Zn、As和Cr，风沙天气时，它们的粗粒组浓度所占百分比都增加。众所周知，元素浓度变化受许多因子的影响，尤其是人为污染元素更为复杂，有待进一步研究。其原因可能是①风沙天气时风速较大，大风对一些人为排放的细粒子输送、稀释和扩散，使细粒组浓

度下降;②由于沙尘微粒表面粗糙,多呈不规则的角形(见下文分析),沙尘在输送和移动过程中易吸附和凝聚人为排放的细小的微粒,使其粒径增大,最终导致沙尘气溶胶元素在粗粒组浓度的比例增加。

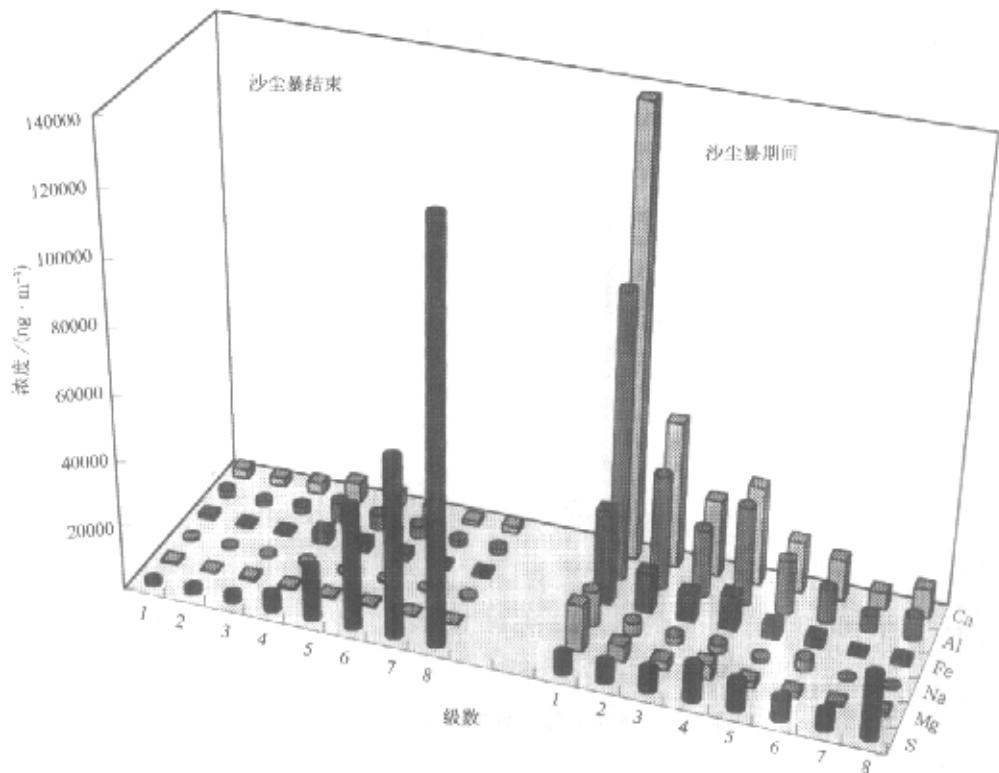


图2 气溶胶中化学元素浓度的粒径分布

表2 气溶胶中S浓度

ng/m³

	1990年	1992年	1993年	1994年
无风沙	14700	23880	1136.5	3250
有风沙	15300	16380	11099	1410

表3 气溶胶中元素S浓度粒径分布

ng/m³

粒径(μm)	级数							
	$d > 11.0$	$11.0 \sim 7.0$	$7.0 \sim 4.7$	$4.7 \sim 3.3$	$3.3 \sim 2.1$	$2.1 \sim 1.1$	$1.1 \sim 0.65$	< 0.65
无风沙	532	845	819	17.2	/	173	/	6970
样品(1)*	/	1200	/	/	36.3	2244	3513	/
样品(2)*	/	974	3078	/	/	2524	1008	3239
无风沙	1145	1410	2020	4953	16270	37100	55300	126700
有风沙	5870	6120	6970	11160	8970	6350	5080	20010

* 为同一沙尘暴过程连续采集的两个沙尘气溶胶样品;“/”为浓度低于检测限。

万方数据

表 4 气溶胶各元素在粗粒组($d > 2.1 \mu\text{m}$)中浓度占该元素总浓度的百分比

%

	Al	Ca	Fe	Mg	Na	S	Sb	Zn	As	Cr
无风沙	70.0	74.3	70.9	77.5	61.2	10.5	17.9	21.1	42.7	54.0
* 有风沙	89.7	90.4	91.7	89.7	96.6	55.3	82.2	74.4	95.2	86.4

* 为 1992 年 4 月 9~12 日沙尘暴过程。

(3) 气溶胶元素的富集特征

元素的富集特征是用富集因子 EF 来表征的。富集因子被定义为 $EF = (X/\text{Fe})_{\text{气}} / (X/\text{Fe})_{\text{地}}$, 式中 X 为某元素浓度, Fe 为参比元素浓度; “气”为元素浓度值取自气溶胶样品; “地”为元素浓度值取自 Mason 地壳平均丰度^[4]。如果元素的 EF 值接近 1, 则表明元素浓度与地壳的自然丰度相当。并规定, 当元素的 $EF < 10$ 时, 元素来自自然源, 当元素的 $EF > 10$ 时, 元素来自人为排放源^[5]。

为便于讨论, 选元素 Al、Ca 代表地壳类元素, Na 和 S、Sb 分别代表盐类元素和人为排放污染元素。表 5 为 1992 年 4 月 9~12 日有无风沙天气气溶胶元素富集因子。

表 5 1992 年 4 月 9~12 日有无风沙天气的气溶胶元素不同粒径的富集因子 EF

		粒径(μm)							
		> 11	11~7	7~4.7	4.7~3.3	3.3~2.1	2.1~1.1	1.1~0.6	< 0.65
S	无风沙	164.3	330.3	373.5	234.6	1012.6	3170.9	13883.3	19809.3
	有风沙	38.9	94.9	149.6	200.6	399.3	386.4	119.6	2405.1
Sb	无风沙	66.6	83.1	78.1	63.4	91.4	435.6	767.0	1628.1
	有风沙	31.1	15.7	22.4	25.7	31.5	21.0	6.1	157.8
Al	无风沙	1.09	0.99	1.38	0.93	0.95	1.04	1.38	0.89
	有风沙	1.88	1.76	1.48	1.77	2.39	2.00	0.36	2.72
Ca	无风沙	3.07	4.46	4.68	2.04	2.17	2.12	2.41	2.40
	有风沙	6.55	5.12	3.72	3.93	5.04	5.58	0.88	7.75
Na	无风沙	0.61	0.62	0.63	0.37	0.39	0.48	0.93	0.97
	有风沙	0.66	0.54	0.46	0.42	0.43	0.22	/	0.30

由表可知, 地壳类元素如 Al、Ca 和盐类元素 Na 的富集程度最低, 不管有无风沙天气, EF 值均很低, 都小于 10。并且随粒径的变化不大。尤其是 Al 的值绝大部分接近 1。而 Na 的 EF 值略低于 Al 的 EF 值。它们的丰度与地壳的丰度相近。Ca 的 EF 值略高于 Al 的 EF 值, 风沙期间更高些。如最小粒径组($d < 0.65 \mu\text{m}$)的 EF 可达 7.75。这可能与北京城市基建有关, 大风将大量的土壤、水泥、石灰尘卷入大气中。 EF 的特征值表明这些元素主要来自尘沙、土壤尘、尘埃等自然源^[6], 其中包含丰富的盐类元素钠。

S、Sb 等人为污染元素的 EF 值不管有无风沙天气都有明显的随粒径变小而增大的趋势。在有风沙天气时, EF 值明显小于无风沙天气时的 EF 值, 并且 EF 值下降的速率随着粒径的变小而加快, 尤其是细粒子($d < 2.1 \mu\text{m}$)组, EF 值下降最快。这个事实表明在风沙天气期间, 人为排放的气溶胶的作用相对减弱。

图 3 为 2000 年 4 月北京风沙天气期间所取的降尘样品分析结果。与表 2 相似, 各类元素的 EF 值都小于 10。同样表明这些气溶胶主要也来自自然源。

(4) 气溶胶中可溶性的离子浓度

表 6 为 1992 年 4 月 9~12 日有无沙尘暴天气时气溶胶的可溶性离子浓度。由表可

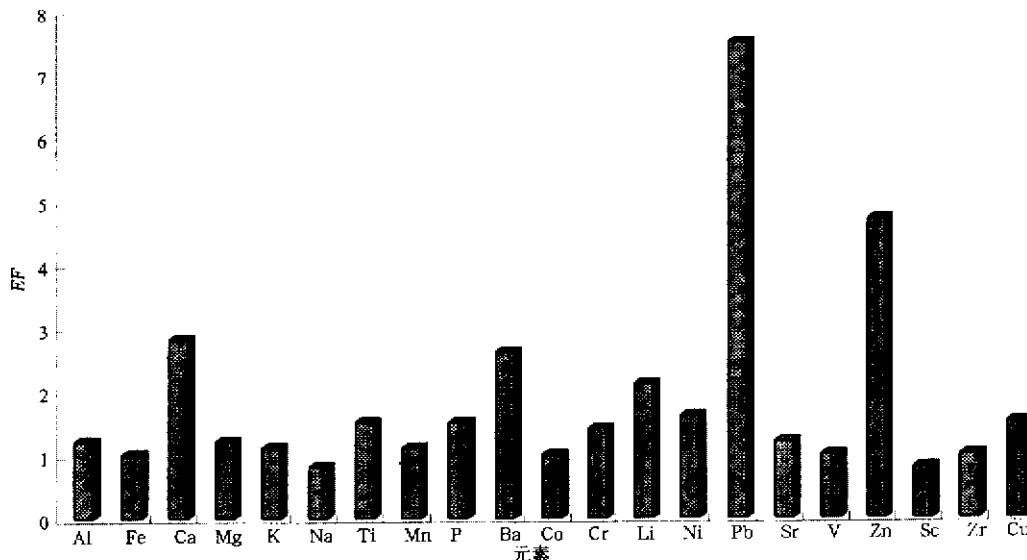


图 3 北京 2000 年 4 月 5~13 日降尘的 EF 值

知除了 NO_3^- 在风沙天气时未检出和 K^+ 在风沙天气与无风沙天气时的浓度相差无几外, 其它离子浓度均为风沙天气时高于无风沙时的值。对 6 次沙尘气溶胶的监测结果分析发现除 SO_4^{2-} 外, 风沙天气时离子浓度增加与其相应元素浓度增加趋势基本一致。 SO_4^{2-} 则不管风沙天气时气溶胶中元素 S 的浓度增加与否, 相应的 SO_4^{2-} 浓度总是高于无沙尘暴天气时的值。这个现象表明 SO_4^{2-} 的浓度增加可能还与其它条件有关, 如大气的相对湿度。沙尘气溶胶多呈角型形态, 表面粗糙, 可能也利于对 SO_2 气体的吸附, 从而形成 SO_4^{2-} 。有关机理等问题需进一步研究探讨。另外, 对于离子 NO_3^- 浓度在数次沙尘暴中仅本次沙尘暴(1992 年 4 月 9~12 日)低于检测限, 其它各次均高于无沙尘暴时的值。这也有待于进一步分析研究。

表 6 北京气溶胶的离子浓度

 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

	Cl^-	NO_3^-	SO_4^{2-}	K^+	Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}
有沙尘	11.0804	/	23.7732	1.0928	5.0515	42.6804	3.5052
无沙尘	0.6678	5.1877	9.4314	1.0955	1.4847	24.1586	1.9459

(5) 气溶胶微粒的型态特征

样品分析结果表明, 风沙天气时的大气气溶胶的型态多呈角形(图略)。气溶胶的细粒组($d < 0.7 \mu\text{m}$)无风沙时约 30% 的粒子为角形。有风沙时, 约有 50% 的粒子为角形; 粗粒组($d > 5.0 \mu\text{m}$)呈角型的粒子数由无风沙时的 30% 加到有风沙时的 90%。而人为排放的气溶胶的型态多为规则或不规则的球型。

对 5 年 6 次沙尘暴的气溶胶的监测分析表明, 不同次沙尘暴气溶胶基本上具有上述的物理化学特征, 而且风沙期间大气气溶胶的物理化学特征明显地不同于无风沙天气条件下的大气气溶胶的特征。

2.3 北京风沙天气的构成

造成北京风沙天气的主要原因是沙尘暴、扬沙和浮尘。

(1) 沙尘暴 沙尘暴在源(“源”指沙尘暴始发地)地形成后,在强大的风力吹送下向下游移动。在移动的过程中,因自身的重力作用不断沉降外,沙尘随之向下游输送和扩散。文献 6~8 表明,亚洲的沙尘暴的沙尘可抵达西太平洋上空。

作者曾对 1988、1990、1993 年 3 年的多次沙尘暴作过 500、700 和 850 hPa 三个等压面的空气质量点轨迹的分析,发现在北疆、蒙古高原、内蒙古的各大沙漠、沙地及河北北部和西部沙地发生的沙尘暴主要以西北、西北偏西、西北偏北三条路径向下游移动进入北京。源自黄土高原的沙尘暴以西北转为西南路径进入北京,然后入海^[9]。我们又计算了 2000 年 3 月 3、18、23、27 日 4 月 3、6、9、和 25 日共 8 次沙尘暴抵达北京的 1500 m 和 3000 m 高度的 24 h 后向空气质量点的轨迹(图 4)。图 4 表明沙尘暴的发生地主要在内蒙古及河

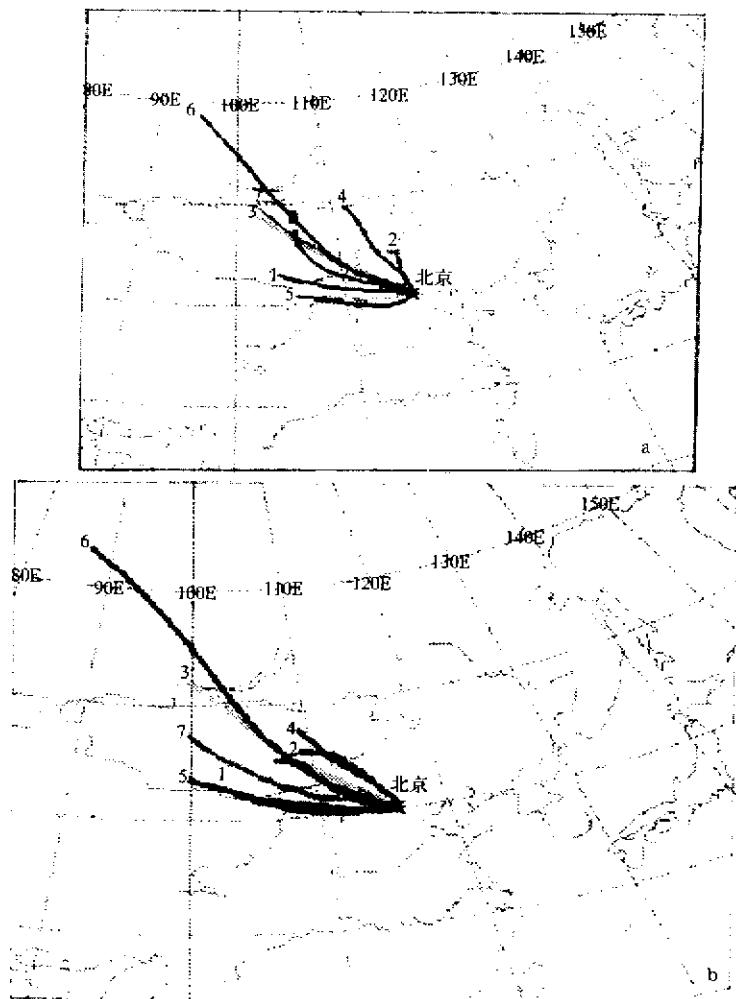
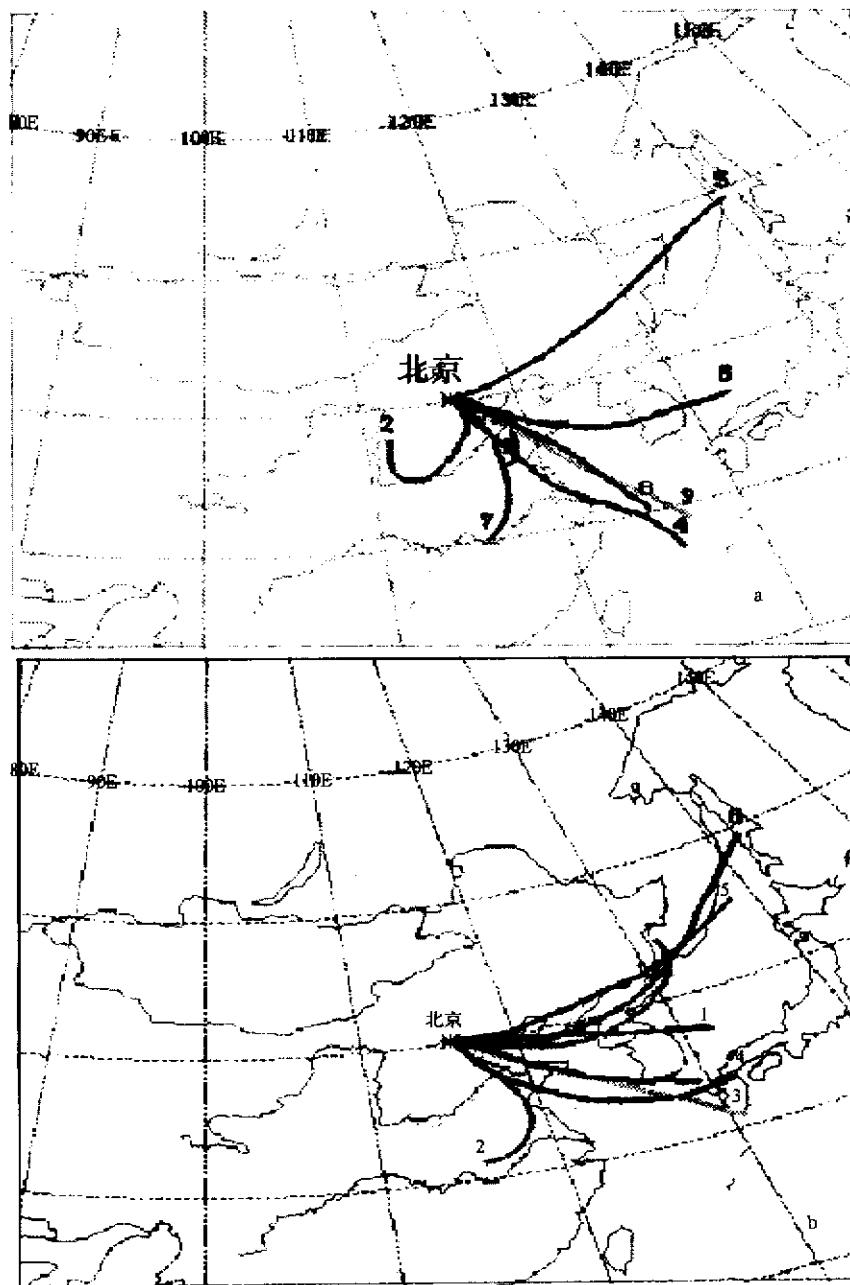


图 4 2000 年数据 4 月抵达北京的 8 次沙尘暴的 24 h 后向空气质量点轨迹 (a) 850 hPa; (b) 700 hPa

(1 3 月 3 日 2 3 月 18 日 3 3 月 23 日 4 3 月 27 日 5 4 月 3 日 6 4 月 6 日 7 4 月 9 日 8 4 月 25 日)

北北部沙地,它们以西北偏西和西北偏北的路径侵入北京地区。2000年4月6日风云一号C卫星监测沙尘路径云图(图略)也进一步表明,抵达北京的沙尘来自内蒙古的浑善达克沙地和朱日和地区及河北省北部地区沙地。图5为2000年3~4月抵达北京的8次沙



万方数据 2000年3~4月抵达北京的8次沙尘暴30 h的前向空气质点轨迹

(a) 850 hPa; (b) 700 hPa(说明同图4)

尘暴的前向空气质点轨迹。该轨迹表明抵达北京的沙尘在高层气流的引导下进一步向下游输送,抵达江淮、黄淮地区,然后继续向东到韩国和日本,沙尘暴的去向与观测事实相附。

以上的事实说明导致北京风沙天气的原因之一是受京外沙尘暴的影响。影响的程度取决于沙尘暴在移动过程中的发展趋势。如1988、1990年,沙尘暴在移动过程中强度不断的增强,进入北京成为强沙尘暴,造成了北京市严重的沙尘污染。如果沙尘暴在移动过程中减弱,对北京的影响也相应的减弱。如1992、1993年的沙尘暴,在移动过程中不断减弱,抵达北京时已衰减为扬沙和浮尘了。

表7为1971~1998年北京三类风沙日数的月分布。其中沙尘暴发生频率为5%,虽然频率不高,但强度大,破坏力强,由它所造成的大气污染及环境的破坏最严重,是重点防治对象。

表7 北京各类风沙日数的月分布(1971~1998年)

	月份												总次数	总频率(%)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
沙尘暴	2	1	2	12	3	3	2	0	0	0	0	0	25	5.0
扬沙	34	42	57	93	64	12	4	4	1	7	19	17	354	71.4
浮尘	2	4	16	52	25	4	0	0	0	1	6	7	117	23.6

(2)浮尘 1971~1998年期间,北京浮尘发生的总日数为117天,占风沙总日数的23.6%(表7)。浮尘多为远处尘沙经上层气流传播而来,或为沙尘暴、扬沙出现后尚未下沉的细粒浮游空中而成^[10]。即浮尘有外来的,也有局地产生的。由于浮尘粒径小,它能在大气中长时间飘浮,易被带到很远的地方,使污染范围扩大。因此,浮尘也是造成北京大气污染的重要角色,不可轻视。

(3)扬沙 扬沙的总日数为354天,占总风沙日数的71.4%(表7)。扬沙主要是局地天气现象。扬沙强度虽弱于沙尘暴,其影响范围也不及浮尘,但频率大,局地性强,是造成北京春季风沙天气的主要原因。解决北京春季风沙尘污染的关键是要遏制扬沙的形成。

3 结 论

(1)北京春季风沙天气是春季大气气溶胶的重要来源,也是导致春季大气污染的重要原因之一。

(2)北京春季风沙天气气溶胶的来源主要为沙漠、沙化土地的尘粒,土壤微粒、风蚀沙尘及建筑工地的水泥、石灰尘等自然源。其物理化学特征与无风沙时的气溶胶有明显的差异。主要表现为自然排放的特征,人为污染影响相对减弱。

(3)造成北京风沙天气机率最大的是扬沙,占71.4%,其次是浮尘,23.6%,沙尘暴5.0%。危害最大的是沙尘暴,范围广、时间长的是浮尘,频率大的是扬沙。扬沙是造成北京风沙天气的主要原因。

(4)北京风沙天气的沙尘源有外来源和局地尘源。外来源的贡献不可忽略,局地源

贡献更大。防治北京风沙天气的关键应从遏制沙尘源入手。

参考文献

- 1 杨东贞,纪湘明,徐晓滨,等.一次黄沙天气过程的分析,气象学报,1995,49(3):18~26.
- 2 杨东贞,王超,温玉璞,等.1990年春季两次沙尘暴特征分析.应用气象学报,1995,6(1):18~26.
- 3 徐国昌,谢明庆.1993.5.“黑风暴”分析.全国沙尘暴会议,兰州,1993.
- 4 Mason B. Principles of Geochemistry. New York:John Wiley & Sons , 1996. 45.
- 5 毕木天.关于富集因子及其应用问题.环境科学,1984,5(5):68.
- 6 Duce R A , Unni C K , Prosper , B J , et al. Long-rang atmospheric transport of soil dust from Asia to the tropical North Pacific temporal variability. *Science* , 1980 , 209 : 1522 ~ 1524 .
- 7 Darzi M D , Winchaster W. Aerosol characteristics at Mauna Loa observatory , Hawaii , after East Asian dust storm episodes. *J. Geophys. Res.* , 1982 , 87 : 1251 ~ 1258 .
- 8 Muragama N. Dust Cloud“Kosa”From the East Asian dust storm in 1982 – 1988 as observed by the GMS Satellite. Japan Met. Satellite Centre Technical Report No.17. Tokyo:Japan Meteorological Agency , 1988.
- 9 杨东贞,王超,颜鹏,等.中国沙尘暴的研究.北京:气象出版社,1997.111~117.
- 10 中国气象局.地面气象观测规范.北京:气象出版社,1979. 22.

CHARACTERISTICS OF AEROSOLS UNDER DUST AND SAND WEATHER IN BEIJING

Yang Dongzhen Yan Peng Xu Xiangde

(Chineses Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081)

Abstract

The characteristics of sand and dust weather in Beijing are studied. The distribution of sand and dust weather, the air pollution produced during the sand and dust weather period, the main causes of sand and dust weather, and the sources of sand and dust are investigated through analyzing synoptic-climate data, satellite images, air mass trajectories and physical and chemical characteristics of air aerosols. The preliminary conclusions are that the sand and dust weather occurs more frequently in the spring months than other season in Beijing, which is one of the important causes of the air pollution in Beijing. The spring sand and dust weather in Beijing are mainly caused by sandstorms, suspended dust and blowing sand. The proportion resulting from blowing sand is measured up to 71.4%. The physical and chemical characteristics of the air aerosols in the sand and dust weather are obviously different from normal days. The physical and chemical characteristics of the air aerosols demonstrate that during the sand and dust weather the air aerosols mainly come from the local natural source. The role of anthropogenic emission relatively becomes less important.

Key words: Sand and dust weather Sandstorm Blowing sand Suspended dust Aerosol
万方数据 source.