

影响北京地区沙尘天气的源地和传输路径分析

张志刚¹, 高庆先², 矫梅燕¹, 毕宝贵¹, 延 昊¹, 任阵海²

1. 国家气象中心, 北京 100081

2. 中国环境科学研究院, 北京 100012

摘要: 利用 1980—2005 年的地面气象观测资料和沙尘天气过程的卫星遥感资料, 逐次分析了影响北京地区沙尘天气过程的演变规律。借助地理信息系统, 确定影响北京地区沙尘暴过程的源地和移动路径。结果表明: 北京地区沙尘暴主要发生在春季和初夏, 4 月最多; 从历年统计资料看, 北京地区沙尘次数总体呈逐渐减少趋势, 但 20 世纪 90 年代后期, 浮尘日数有所增加。根据沙尘源地的起沙情况, 将沙尘源地划分为初始源地和加强源地。境外初始沙尘源地位于蒙古国中部和东南部地区, 境内位于中国与蒙古国边界; 境内加强源地位于我国内蒙古中西部的沙漠、戈壁和沙化草原地区, 以及甘肃河西走廊和农牧交错带大面积的开垦地。影响北京地区沙尘天气的传输路径主要包括北路、西路和西北路, 其中以西北路和偏北路为主。

关键词: 北京; 沙尘天气; 沙尘源地; 传输路径

中图分类号: X169 文献标识码: A 文章编号: 1001-6929(2007)04-0021-07

Analysis on Source Locations and Transportation Paths of Sand-Dusts Affecting Beijing

ZHANG Zhi-gang¹, GAO Qing-xian², JIAO Mei-yan¹, BI Bao-gui¹, YAN Hao¹, REN Zhen-hai²

1. National Meteorological Center of China Meteorological Administration, Beijing 100081, China

2. Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China

Abstract: Based on the satellite RS data of sand-dust weather processes and the meteorological observational data from 1980 to 2005, the temporal variation of sand-dusts invading Beijing was analyzed. The source locations and transportation paths of sand-dusts were determined in assistance with GIS. The results show that sand-dusts in Beijing occurred frequently in the spring and early summer, especially in April. Based on historic statistical data, the annual number of times of sand-dusts in Beijing is in the trend of decreasing in general, but it increased in late 1990s. According to their source locations, the sand-dusts are classified into two types, i.e. the initial-source and enhancive-source locations. The external initial-source locations are in the middle and southeast of Mongolia. The internal initial-source locations are in the area near the boundary between China and Mongolia. The internal enhancive-source locations are in the desert, gobi and sandy grasslands of middle and west Inner Mongolia, and in the vast reclaimed lands of Hexi Corridor and agro-pastoral ectones of Gansu. There are three transportation paths: north paths, west paths and northwest paths. Most of the external source sand-dusts move along the north and northwest paths.

Key words: Beijing; sand-dusts; source locations; transportation paths

沙尘暴不仅严重影响经济活动, 而且危害到居民的身体健康。北京位于中国西北部沙尘暴源地的下风向, 发现影响该地区沙尘天气的源地和传输路径, 对控制和改善北京地区的大气环境质量具有十分重要的意义^[1]。

近年来, 北京地区发生过多次沙尘天气过程。

2001 年春季发生了 10 次沙尘天气过程, 集中出现在 3 月 1—22 日; 2002 年 3—4 月发生了 10 次由大风引发的沙尘天气^[2]; 2003 年全年没有明显的沙尘天气过程, 沙尘天气日数创历史最低水平^[3]; 2004 年沙尘日数为 6 d, 其中扬沙为 4 d, 浮尘为 2 d; 2005 年沙尘日数为 2 d, 其中扬沙 1 d, 浮尘 1 d; 2006 年春季受到 14 次外来沙尘侵扰, 最严重的一次发生在 4 月 17 日, 整个地区呈土黄色, 空气中充斥着沙尘。经北京市气象局测算, 北京地区降尘平均值为 20 g/m^2 , 总量将超过 $30 \times 10^4 \text{ t}$, 以 1500×10^4 人口计算, 人均约 20 kg。因此, 北京地区沙尘天气的源地和传输路径不仅为环保关注的焦点, 也是防灾减灾和提高预

收稿日期: 2006-12-25 修订日期: 2007-01-05

基金项目: 科技部社会公益研究专项(2004DIB1J031); 中国气象局气象新技术推广项目(NMC-P2004-003)

作者简介: 张志刚(1976-), 男, 内蒙古赤峰人, 工程师, 硕士, nanbei_zhang@sohu.com.

报精度的重要内容^[4]。刘晓春等^[5]研究了影响北京地区的沙尘暴,李令军等^[6]研究了 2000 年北京地区沙尘暴源地,高庆先等^[7]分析了 2002 年北京地区春季沙尘暴的成因和源地。但上述研究多局限于地面资料或个例,缺乏地面资料与卫星资料相结合的系统研究。笔者根据 1980—2005 年地面气象观测数据和 7 年的气象卫星监测结果,对影响北京地区的沙尘源地与路径进行总结、分类,并分别说明。

1 资料来源和方法

由中国气象局地面基本站提供的 1980—2005 年的气象观测资料,1998—2002 年的静止卫星遥感资料,2003—2006 年的极轨卫星遥感资料以及北京观象台提供的 1954—2005 年沙尘日数资料。地面气象观测资料中,1980—1998 年为每天 4 个时次(02:00, 08:00, 14:00, 20:00), 1999—2005 年为每天 8 个时次。

沙尘暴多发区往往自然条件恶劣,测站稀少,因此常规观测手段无法满足监测需求。气象卫星依靠其自身的优势和特点,在沙尘暴监测中扮演着重要角色。其主要特点是:①范围广。1 幅极轨卫星图像可以监测上千万 km^2 的地域范围,1 幅静止卫星图像可以覆盖全国及周边国家和地区。②时效快。卫星接收完毕后,30 min 内即可得到处理后的实时监测图像。③精度高。遥感图像最高分辨率可以达到 250 m,定位精度达 50 m。④连续性强。可以 24 h 连续观测,可以监测到沙尘暴的起源、移动和扩散过程^[2]。

静止气象卫星可以获取每小时的对地观测图

像,包括可见光(0.55~1.05 m)、红外(10.5~12.5 m)和水汽(6.2~7.6 m)等三通道的数据。星下点分辨率可见光为 1.25 km,红外及水汽为 5 km。虽然这三通道并非专为监测沙尘暴而设计,但却均对沙尘暴有一定的反映。由于沙尘暴特征并不显著,计算机自动判别较困难,但三通道合成的彩色图可以清楚地供人工判识沙尘暴^[7]。极轨气象卫星的光谱通道大体可分为 2 类:①位于可见光波段的,可接受来自目标物的反射辐射,测算下垫面的反射率;②位于红外窗口波段的,可接受来自目标物的热辐射,可进一步推算目标物表面的亮度温度。由于沙尘暴顶部与地表和云层在反照率与表层温度上均存在差异,因而可以利用气象卫星监测沙尘暴。地面气象观测与静止气象卫星、极轨气象卫星相结合,可有效地对沙尘天气进行监测。

2 50 年来北京地区沙尘天气概况和统计特点

以北京观象台(54511 站)为代表,分析 1954—2005 年北京地区风沙天气的特点。结果表明:北京地区沙尘暴主要集中发生在春季(3—5 月),其中 4 月的次数最多,约占全年的 50%;5 月以后沙尘暴次数逐渐减少;8—12 月无沙尘暴。北京地区的扬沙和浮尘的季节特征与沙尘暴基本一致,即春季为高发季节,但因冬季受大风或上游沙尘天气的影响,扬沙和浮尘时有发生。北京地区的沙尘天气主要以扬沙为主;占沙尘天气总数的 73.5%。

由图 1 可知,北京地区沙尘暴、扬沙和浮尘发生频次逐渐减少。1965 年冬季(11—12 月)和 1966 年

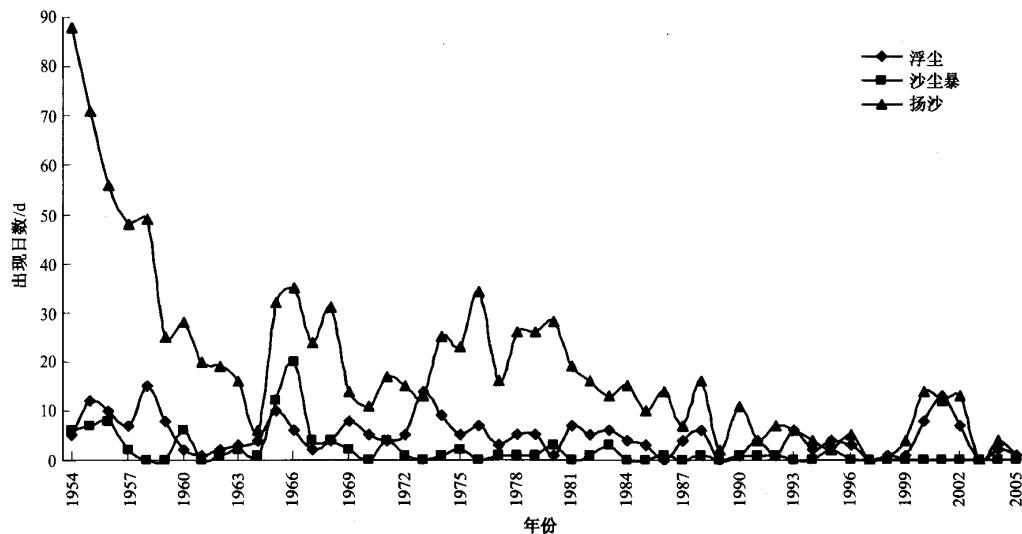


图 1 北京地区沙尘天气发生日数

Fig.1 Day number of dust-drifting weather in Beijing

上半年(1—5月)为沙尘暴活跃期,总共发生22次,其中1966年1月发生过5次;其次是20世纪50年代中期;70年代北京地区沙尘暴次数明显减少,近几年没有沙尘暴记录,为沙尘暴的平静期.扬沙发生频次虽有起伏,但整体逐渐减少,变化周期不固定:活跃期为20世纪50年代中期和70年代中期,90年代后期呈增加趋势,近2年又有所减少;扬沙日数在2000—2002年分别达到14,12和13 d,与80年代中期水平相同.浮尘变化较复杂,这是由于受上游沙尘暴的影响非常明显所致,但总体呈减少趋势:20世纪90年代后期,浮尘呈增加趋势,特别是2000—2002年更加明显;2001年北京地区的浮尘日数达到13 d,是50年以来的第3高峰,达到20世纪70年代中期的水平^[8].据观测记录,北京地区常出现“有沙无风”或“有风无沙”的天气现象,说明北京局地及临近周边地区对北京地区沙尘天气的威胁日趋减少,浮尘将是日后影响北京地区的主要沙尘活动形式.沙尘暴和扬沙在1954—1970年发生日数之和占到沙尘暴和扬沙总统计日数的59.1%,表明五六十年代的沙尘暴和扬沙非常活跃,其原因是1951—1970年有明显的气旋活动经过北京地区^[9],而1978—1997年无明显的气旋活动经过北京地区,这也是80年代后北京地区沙尘日数相对较少的主要原因.

3 影响北京地区的沙尘源地和传输路径

风砂动力学试验证明:在风力作用下,沙砾以地表滚动方式移动;粗沙呈跳跃方式移动,跃起高度可达几十cm;细沙可被吹扬起2 m;粒径小于40 μm的粉沙则可被带入4 000 m以上的高空,空中输送距离可达数百km;粒径为12 μm的粘粒随风输送距离可达3 000 km,小于12 μm的可达7 000~10 000 km^[10].

目前,对北京地区的沙尘来源的研究多为定性描述.但近2年来,一些学者对北京地区沙尘来源开始进行定量性研究和化学成分分析,初步揭示出沙尘来源的基本情况^[10].而笔者使用长达26年(1980—2005)的历史数据,从宏观上研究了北京地区的沙尘源地和传输路径.

沙尘源地主要是指沙尘暴现象发生频繁,并且对北京地区的空气质量有明显影响的地区.根据起沙情况,将沙尘源地划分为初始源地和加强源地.初始源地指在某一次沙尘天气过程中,最初起沙(尘)并形成沙尘暴的位置(地点);加强源地则是指沙尘天气在随天气系统移动的过程中,在途经容易起沙(尘)的下垫面(如各类荒漠化的土地地表)时,不断

有沙(尘)吹(扬)起补充,使沙尘天气得到加强的地区.初始源地和加强源地并无严格的界限,有些地区在某一次沙尘天气过程中是加强源地,而在另一次天气过程中也可能是初始源地.

世界沙尘天气发生频繁的地区主要有非洲撒哈拉沙漠地区、澳大利亚中部地区、美国中西部地区和中亚(包括哈萨克斯坦、蒙古国)及中国西北地区.针对我国的沙尘天气,把沙尘源地又分为境内源地和境外源地.

综合分析1980—2005年逐日地面气象观测资料及1998年和2000—2005年沙尘天气过程的卫星遥感资料,笔者确定了影响北京地区大气颗粒物浓度沙尘天气的主要源地.根据初始源地和传输方向,传输路径分为西路、北路和西北路3条.

a. 北路:源区(蒙古东南部)→内蒙古乌兰察布→锡林郭勒盟西部的二连浩特市、阿巴嘎旗→浑善达克沙地西部→朱日和→四子王旗→张家口→北京.

b. 西北路:源区(蒙古中、南部)→内蒙古阿拉善盟的中蒙边境→额济纳旗→河西走廊→从贺兰山南、北两侧分别经毛乌素沙地和乌兰布和沙漠→呼和浩特→张家口→北京.

c. 西路:源区(南疆塔里木盆地塔克拉玛干沙漠边缘)→敦煌→酒泉→张掖→民勤→盐池→鄂托克旗→大同→北京.

对比笔者与郑新江等^[11]提出的3条路径发现:二者相同之处为北路均起源于蒙古国南部,西北路和北路均经河北北部进入北京地区;不同之处在于笔者认为朱日和是西北路与北路的分界线,经朱日和一带或者以东地区为北路,以西地区为西北路;26年的监测数据表明,西北路基本上过内蒙古的阿拉善盟,而西路是从南疆盆地经过长距离传输影响北京地区;此外,笔者在描述3条路径时均从初始源地开始,所经地点描述更细致.

境外初始沙尘源地位于蒙古国中南部和东南部地区,境内初始源地位于中蒙边界接壤处.境内加强源地位于我国内蒙古中西部的沙漠、戈壁和沙化草原地区,河西走廊和农牧交错带大面积的开垦地.北路的加强源地或境内初始源地位于内蒙古中部二连浩特、锡林浩特、那仁宝力格、东乌珠穆沁旗、西乌珠穆沁旗、满都拉、朱日和和四子王旗等地;西北路的加强源地或境内初始源地位于内蒙古西部的额济纳旗、乌拉特中旗、乌拉特后旗、鄂托克旗、盐池、民勤

和拐子湖等地;西路的初始源地位于新疆塔里木盆地的塔克拉玛干沙漠边缘和北疆的哈密地区.西路出现的沙尘天气由于其所处的特殊的地理位置和环境,对北京地区大气颗粒物浓度的影响较小.但是,当遇到强大的天气系统时则有可能远距离输送影响北京地区.

由表 1 可知,1980—2005 年,由外来源传输过来的沙尘天气过程共有 62 次,其中北路出现 17 次,占总数的 27.4%;西北路出现 25 次,占总数的 40.3%;西北路和北路径共同出现 15 次,占总数的 24.2%;西北路和西路径共同出现 4 次,占总数的 6.5%;而西路仅出现 1 次,占总数的 1.6%.因此,影响北京地区沙尘天气的传输路径以西北路和北路为主,西北路相对较多一些(见图 2).该结论和 Qian 等^[9]研究的气旋活动轨迹较一致,即沙尘天气过程中有明显的气旋活动由沙尘源地沿北路和西北路经过北京地区.

4 个例分析

4.1 2001 年 3 月 21 日天气过程

受贝加尔湖南部蒙古低涡影响,21 日 02:00 蒙古国阿尔拜海赖发生沙尘暴,为此次沙尘天气的初始源地.08:00,向东南移到沙音山德,巴义山图,为强沙尘暴.14:00,受大气稳定度日变化及气旋发展的影响,形成大规模风沙天气,锡林浩特、阿巴嘎旗、多伦、朱日和发生沙尘暴,呼和浩特、张家口、北京、东胜、鄂托克旗、榆林、延安和济南等地出现大范围扬沙,此时气旋中心已移到辽宁彰武附近,发展为强大的东北气旋,沿气旋后部自东北向西南形成一条带状风沙天气.20:00,随冷锋东南移动到鲁新,承德发生沙尘暴,天津、保定、太原、榆社、惠民和北京发生扬沙.22 日 02:00,随冷锋向东南偏东方向移至丹东,丹东、大连、青岛、济南发生扬沙,韩国汉城、釜山和日本福冈、群山和屋久岛发生浮尘.此次沙尘暴影响北京地区的传输路径有 2 条:①源区(蒙古国阿尔拜海赖)→沙音山德、巴义山图→锡林浩特、阿巴嘎旗→多伦→张家口→北京,为北路;②源区(内蒙古中西部中蒙边界)→额济纳旗→乌拉特后旗→东胜→呼和浩特→大同→北京,为西北路(见图 3).

4.2 2006 年 4 月 16—17 日天气过程

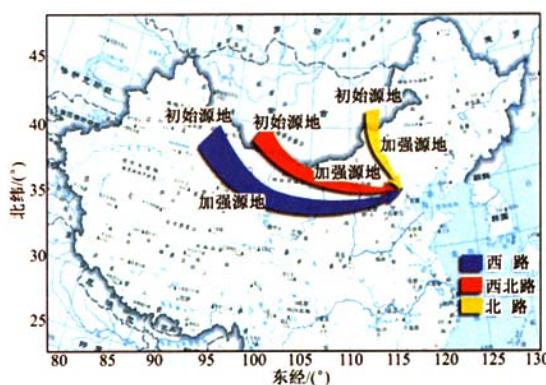
受冷空气和蒙古气旋的共同影响,16 日 08:00 蒙古国中南部 3 个监测站出现扬沙,1 个监测站出现沙尘暴,为此次沙尘过程的初始源地.11:00(见图 4(a)),沙尘区向东南方向移动,强度和范围不断扩

表 1 1980—2005 年影响北京地区的沙尘路径统计

Table 1 The transportation paths of sand-dusts affecting Beijing from 1980 to 2005

年份	北路	西路	西北路	北路和西北路	西路和西北路	合计
1980	1	1	3	2		7
1981	2			1		3
1982			1		1	2
1983			1			1
1984	1				1	2
1985			2	1	1	4
1986			2			2
1987			1			1
1988			3	1		4
1989						
1990				2	1	3
1991				1		1
1992			3			3
1993				2		2
1994				1		1
1995						
1996				1		1
1997						
1998			3			3
1999						
2000	4			1		5
2001	4		2	3		9
2002	4		1			5
2003						
2004			1			1
2005	1		1			2
合计	17	1	25	15	4	62

大,我国内蒙古中西部有 5 个监测站出现扬沙,海力素出现了强沙尘暴.卫星云图(见图 4)上,内蒙古中西部上空是大范围的沙尘区.14:00,受大气稳定度



注:底图来源于国家测绘局网站(<http://www.sbsm.gov.cn>)

图2 影响北京地区的主要沙尘源地及传输路径示意图

Fig. 2 The sketch map on transportation paths and source locations of sand-dusts affecting Beijing

日变化及气旋发展的影响,形成大规模风沙天气,内蒙古中西部有10个监测站出现扬沙,四子王旗、达尔罕茂明安联合旗出现沙尘暴,海力素、朱日和出现强沙尘暴。15:00的卫星云图上,内蒙古中西部上空大范围的沙尘区范围更大,强度更大。20:00,随着蒙古气旋向偏东方向移动,张北、大同、右玉等地出现了扬沙。17日08:00,北京、廊坊和怀来等地出现了浮尘。此后渤海湾、东北等地先后出现了浮尘。北京地区的浮尘持续到17日20:00,为2006年浮尘持续时间最长的一次过程。据北京市气象局测算,该次全市降尘总量超过 30×10^4 t,为近几年最大值。此次影响北京地区的传输路径为西北路径:源区(蒙古国中南部)→海力素→乌拉特中旗→四子王旗→大同→张家口→北京。

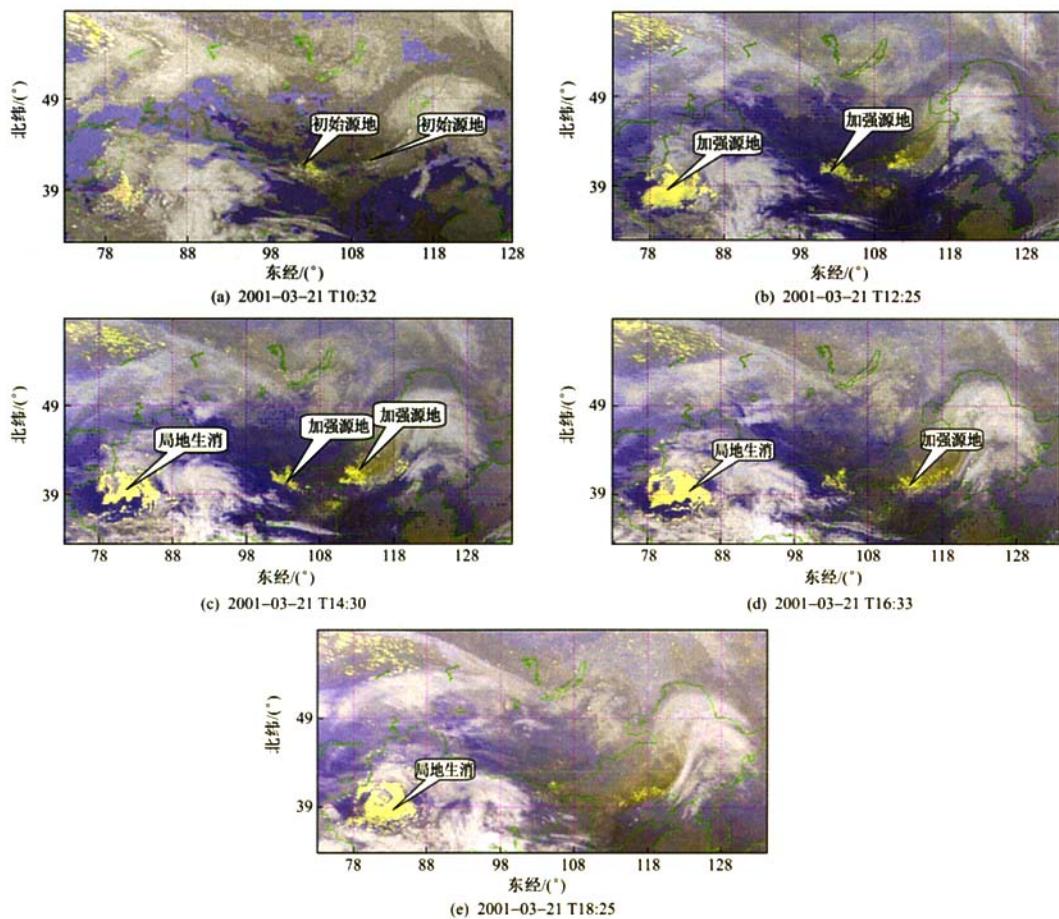
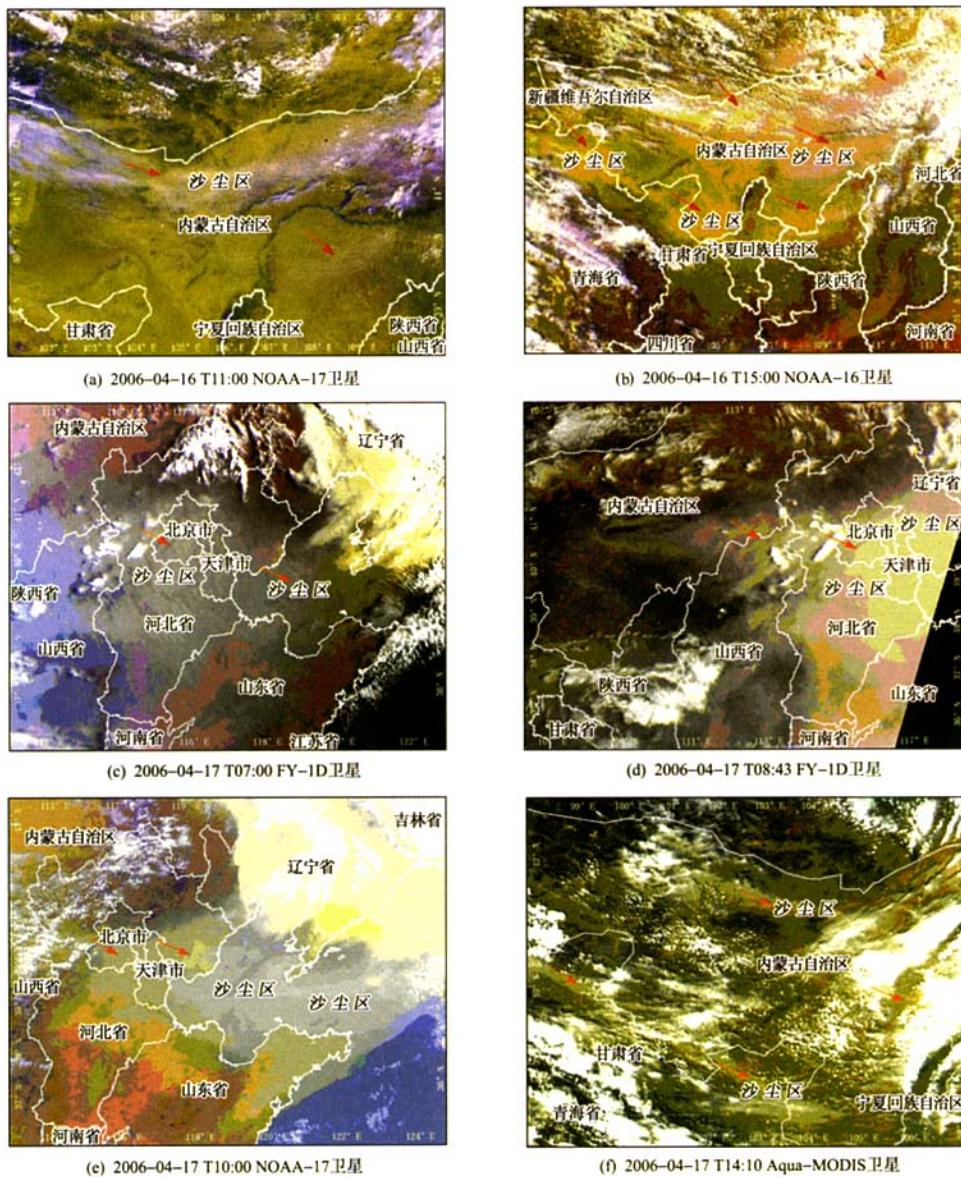


图3 2001年3月21日沙尘暴过程的初始源地与传输路径

Fig. 3 The initial-source locations and transportation paths of dust storm on 21 March 2001



注:红色箭头所指的区域为沙尘区

图 4 2006 年 4 月 16—17 日影响北京地区的沙尘过程

Fig.4 The dust storm process of affecting Beijing from 16 to 17 April in 2006

5 结论

a. 北京地区沙尘天气多发生在春季(3—5)月,其中 4 月的沙尘次数最多,约占全年的 50%。且以扬沙为主,占沙尘天气总数的 73.5%。

b. 北京地区沙尘暴、扬沙和浮尘发生频次呈减少趋势,但近几年有所增加。1954—1970 年沙尘暴和扬沙发生日数之和占沙尘暴和扬沙总日数的

59.1%。

c. 根据起沙情况,将沙尘源地划分为初始源地和加强源地。影响北京地区的境外初始沙尘源地位于蒙古国中南部和东南部地区,境内初始源地位于中蒙边界接壤处。境内加强源地位于内蒙古中西部地区的沙漠、戈壁和沙化草原地区,甘肃河西走廊和农牧交错带大面积的开垦地。

d. 根据初始源地和传输方向传输路径分为西路、北路和西北路3条.其中北路占总数的27.4%,西北路占总数的40.3%,西北路和北路共同出现总数的24.2%,西北路和西路共同出现占总数的6.5%,而西路占总数的1.6%.因此,影响北京地区沙尘天气的传输路径以西北路和北路为主,西北路相对较多一些.

参考文献:

- [1] 张志刚,陈万隆.影响北京沙尘源地的气候特征与北京沙尘天气分析[J].环境科学研究,2003,16(2):4-8.
- [2] 方祥,郑新江,陆均天.2002年春季北京沙尘天气成因及源地分析[J].国土资源遥感,2002(4):17-21.
- [3] 矫梅燕,牛若芸,赵琳娜.沙尘天气影响因子的对比分析[J].中国沙漠,2004,21(6):696-700.
- [4] 邱新法,曾燕,缪启龙.我国沙尘暴的时空分布规律及其源地和移动路径[J].地理学报,2001,56(3):316-322.
- [5] 刘晓春,曾燕,邱新法.影响北京地区的沙尘暴[J].南京气象学院学报,2002,25(1):118-123.
- [6] 李令军,高庆先.2000年北京沙尘源地解析[J].环境科学研究,2001,14(2):1-3.
- [7] 高庆先,任阵海,张运刚.利用静止卫星资料跟踪沙尘天气的发生、发展及其传输[J].资源科学,2004,26(5):24-29.
- [8] 张晓玲,李青春,谢璞.近年来北京沙尘天气特征及成因分析[J].中国沙漠,2005,25(3):417-421.
- [9] Qian Weihong, Xu Tang, Quan Linsheng. Regional characteristics of dust storms in China[J]. Atmos Environ, 2004, 38: 4895-4907.
- [10] 杨维西.北京沙尘天气的沙尘来源及其治理[J].林业经济,2002,(7):19-22.
- [11] 郑新江,杨义文,李云.北京地区沙尘天气的某些特征分析[J].气候与环境研究,2004,19(1):14-23.

(编辑:孙彩萍)