

影响北京沙尘天气的源地和传输路径分析

张志刚¹ 高庆先² 矫梅艳¹ 毕宝贵¹ 延浩¹ 赵琳娜¹

1. 国家气象中心, 北京, 100081 2. 国家环保总局气候影响研究中心, 北京, 100012

摘 要

利用1980—2005年的地面气象观测资料 and 1998年、2000—2005年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, 确定了影响北京地区沙尘暴天气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, 以4月为最多, 从历史的角度看, 北京的沙尘次数总的趋势是在起伏波动中逐渐减少, 进入90年代后期, 北京地区的浮尘天气呈现增加的趋势。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。影响北京沙尘天气的传输路径主要包括北路、西路和西北路。境外初始沙尘源地位于蒙古国中部和东南部地区, 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, 甘肃河西走廊和农牧交错带大面积的开垦地。

关键词: 北京沙尘天气, 沙尘源地, 传输路径

引言

北京处于中国西北部沙尘暴源地的下风向地区。沙尘暴的发生和传输, 不仅会给北京地区的经济活动带来严重不利影响, 还会给北京市民的社会活动带来诸多不便, 甚至危害北京市民的身体健康。因此找出影响北京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, 北京地区遭受多次沙尘天气袭击, 2002年的3~4月, 大风引发的沙尘天气就先后10次光顾北京, 严重影响了城市的正常社会生活 and 环境质量, 引起了各级政府和广大群众的高度重视^[1]。2006年春天, 北京遭受14次外来沙尘的侵扰。其中4月17日, 北京是土黄色的, 空气中充斥着呛人的沙尘, 经北京市气象局测算, 北京全市降尘平均每平方米20克, 总量将超过30万吨, 以1500万人口计算, 人均约20公斤。因此, 北京沙尘天气的源地和传输路径, 成为社会各界关注的焦点, 也成为防灾减灾和提高预报精度的重要内容。刘晓春^[2]等研究了影响北京地区的沙尘暴, 李令军^[3]等研究了2000年北京沙尘暴源地, 方翔^[1]等分析了2002年北京春季北京沙尘暴的成因和源地。上述对北京沙尘天气的研究局限地面资料,

科技部社会公益研究专项“北京主要尘源性大气污染研究”(2004D1B1J031)资助
作者简介: 张志刚, 男, 1976年出生, 主要从事天气预报, 沙尘天气预报研究工作。

或者局限于个例,缺乏地面资料与卫星资料相结合的系统、全面的研究。本文根据26年地面气象观测数据和7年的气象卫星监测结果,对影响北京的沙尘源地与路径进行了总结分类,并分别举例说明。

1、资料来源

本文所使用的资料为中国气象局地面基本站1980—2005年的气象观测资料、近几年的静止卫星遥感资料以及北京观象台1954—2005年沙尘日数资料。其中地面气象观测资料1980—1998年为每天四个时次(02、08、14、20),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,它的主要特点是,范围广(一幅极轨卫星图像可以监测上千万 km^2 的地域范围;一幅静止卫星图像可以覆盖全国及周边国家和地区)、时效快(卫星接收完毕后,30分钟内即可得到处理后的实时监测图像)、精度高(遥感图像最高分辨率可以达到250m,定位精度达50m)、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)^[1]。

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 m~1.05 m)、红外(10.5 m~12.5 m)、水汽(6.2 m~7.6 m)等3个通道的数据。星下点分辨率可见光为1.25 km,红外及水汽为5 km。它的三个通道并不是为监测沙尘暴而专门设计的,但这三个通道对沙尘暴都有一定的反映。由于沙尘暴的特征并不是非常显著,这使计算机自动判别比较困难,但三通道合成的彩色图可以清楚地人工辨识沙尘暴^[4]。地面气象观测和静止气象卫星相结合,可以有效地对沙尘天气进行监测。

2、五十年来北京沙尘天气概况和特点

以北京观象台(54511站)为代表,统计分析1954—2005年北京风沙天气的特点。结果表明,北京一年中的沙尘暴主要集中在每年的春季(3~5)月,其中4月份的沙尘暴次数为全年最大值,约占全年沙尘暴的50%。5月以后沙尘暴发生次数逐渐减少,8~12月不再有沙尘暴现象发生。北京地区的扬沙和浮尘天气的季节特征与沙尘暴天气基本一致,每年春季为高发季节,但因冬季受大风或上游沙尘天气的影响,扬沙和浮尘天气时有发生。北京的沙尘天气主要以扬沙为主,占沙尘天气总数的73.5%。

为了从历史的角度对北京地区的沙尘天气有一个全面的了解,我们收集了1954年至2005年北京观象台的天气现象记录,分别对沙尘暴、扬沙和浮尘作了详细的分析。由图1看,北京沙尘暴、扬沙和浮尘天气现象发生的频次从长期变化趋势看有减少的趋势。从历史角度来看,北京也曾出现过沙尘暴现象,最近的一次沙尘暴发生在1995年3月和4月各一

次的沙尘暴。1965年冬季(11-12月)和1966年上半年(1-5月)为沙尘暴的活跃期,总共发生22次沙尘暴,其中1966年1月就发生过5次沙尘暴。其次是50年代中期。进入70年代,北京地区发生沙尘暴的次数明显减少,近几年没有沙尘暴记录,为沙尘暴的平静期;扬沙发生频次是在起伏波动中逐渐减少,变化周期不固定,活跃期在50年代中期和70年代中期,90年代后期呈现增加趋势,近两年又有所减少,扬沙日数在2000-2002年连续3年出现了新的高峰,2000年、2001年、2002年分别为14天、12天、21天,达到与80年代中期相同的水平;浮尘的长年变化比较复杂,主要是由于北京出现浮尘天气受上游沙尘暴天气的影响非常明显。总的趋势是在起伏波动中逐渐减少,进入90年代后期,北京地区的浮尘天气呈现增加的趋势,特别是2000、2001和2002年明显增加,2001年北京的浮尘日数达到13天,是五十年以来的第三高峰,达到20世纪70年代中期的水平^[6]。从观测记录来看,北京经常会出现“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沙尘天气的威胁日趋减少,浮尘将是日后影响北京的主要沙尘活动形式。总的来讲,沙尘暴和扬沙在1954-1970年间的日数之和占到统计年数沙尘暴和扬沙总日数的59.1%,可见在五十年代和六十年代的沙尘暴和扬沙是非常活跃的,其原因如图2所示,在1951-1970年间有明显的气旋活动经过北京,而在1978-1997年间无明显的气旋活动经过北京,这也是80年代后北京的沙尘日数相对较少的主要原因。

北京沙尘出现日数

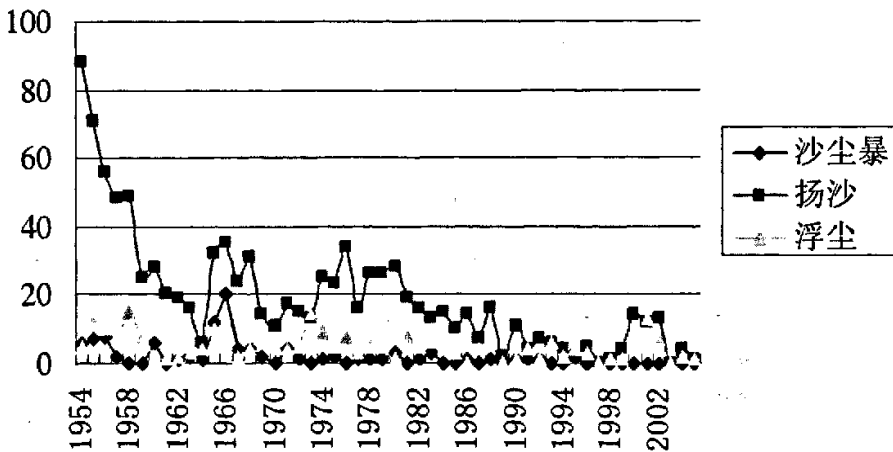


图1 北京沙尘的发生日数

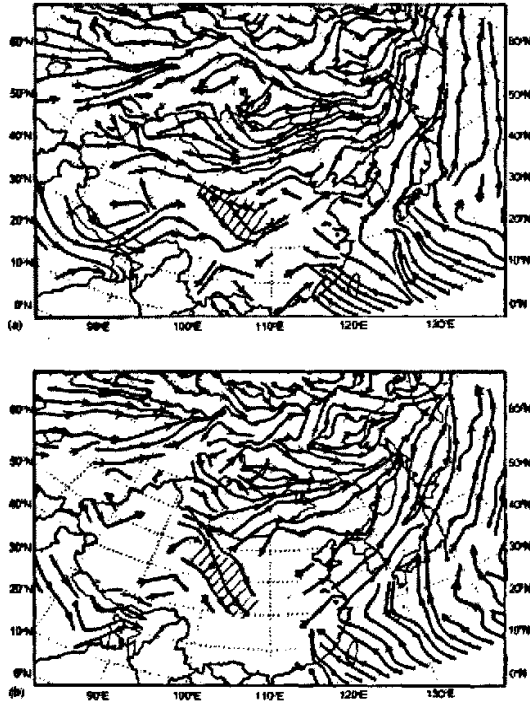


图 2^[10] 850hpa 春季的平均气旋活动轨迹。(a)为 1951-1970 年间, (b)为 1978-1997 年间, 气旋轨迹的箭头方向表示气旋在 850hpa 的移动方向, 轨迹的密度代表气旋的活跃程度。

3、影响北京的沙尘源地和传输路径分析

风砂动力学试验证明,在风力作用下,沙砾一般以地表滚动方式移动;粗沙一般呈跳跃方式移动,跃起高度可达几十厘米;细沙可被吹扬起 2m,小于 40 μ m(微米)的粉沙则可以被带入 4000m 以上高空,空中输送距离可达数百公里;12 μ m(微米)的粘粒随风输送距离可达 3000km,小于 12 μ m 的可达 7000~10000km。

关于北京地区的沙尘来源,虽有种种说法,但多为定性描述。近两年来,随着人们对北京沙尘天气状况更加关注,以及监测手段的提高,一些学者开始对北京地区沙尘天气的沙尘来源进行定量性研究,也得出了初步结论,初步揭示出北京地区沙尘来源的基本情况^[7]。本文用长达 26 年的历史资料从宏观上研究了影响北京的沙尘源地和传输路径。

本文中所指的沙尘源地主要是指沙尘暴天气现象发生频繁,并且对北京地区的空气质量有明显影响的地区。根据沙尘源地的起沙情况,我们将沙尘源地划分为初始源地和加强源地。所谓初始源地是指在某一次沙尘天气过程中,最初起沙(尘)并形成沙尘暴天气的位置(地点),是一次沙尘天气过程的开始;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(例如各种类型的荒漠化土地地表)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,在另一次过程中可能是初始源地。

世界沙尘天气发生频繁的地区主要位于非洲撒哈拉沙漠地区、澳大利亚中部、美国中西部地区和中亚及中国西北地区(包括哈萨克斯坦、蒙古国和中国西北地区)。因此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。

通过综合分析1980年至2005年逐日的地面气象观测资料和1998年、2000—2005年沙尘天气过程的卫星遥感资料,我们确定了影响北京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、北路和西北路三条。

影响北京的沙尘源地:

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、西乌珠穆沁旗、满都拉、朱日和、四子王旗等地;西北路的加强源区或境内初始源地位于内蒙古西部的额济纳旗、乌拉特中、后旗、鄂托克旗、盐池、民勤、拐子湖等地;西路的初始源区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有可能远距离输送影响北京。

三条传输路径:

(1) 北路:源区(蒙古东南部)→内蒙古乌兰察布盟→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。

(2) 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→呼和浩特市→张家口→北京。

(3) 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。

1980-2005年影响北京沙尘天气的传输路径统计如表1所示,在这26年中,由外来源传输过来的沙尘天气过程总共有62次,其中北路路径出现了17次,占总数的27.4%;西北路径出现了25次,占总数的40.3%;西北路径和偏北路径共同出现了15次,占总数的24.2%;西北路径和偏西路径共同出现了4次,占总数的6.4%;而偏西路径仅出现了1次,占总数

的 1.6%。因此，影响北京沙尘天气的传输路径以西北路径和偏北路径为主，西北路径相对较多一些。这种结果和气旋的活动轨迹比较一致，图 1 表明有明显的气旋活动由沙尘源地沿偏北路径和西北路径经过北京。

表 1 1980—2005 年影响北京的沙尘路径统计表

年份	偏北	偏西	西北	偏北, 西北	偏西, 西北	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						0
1990				2	1	3
1991			1			1
1992			3			3
1993				2		2
1994				1		1
1995						0
1996				1		1
1997						0
1998			3			3
1999						0
2000	4			1		5
2001	4		2	3		7
2002	4		1			5
2003						0
2004			1			1
2005	1		1			2
合计	17	1	25	15	4	62

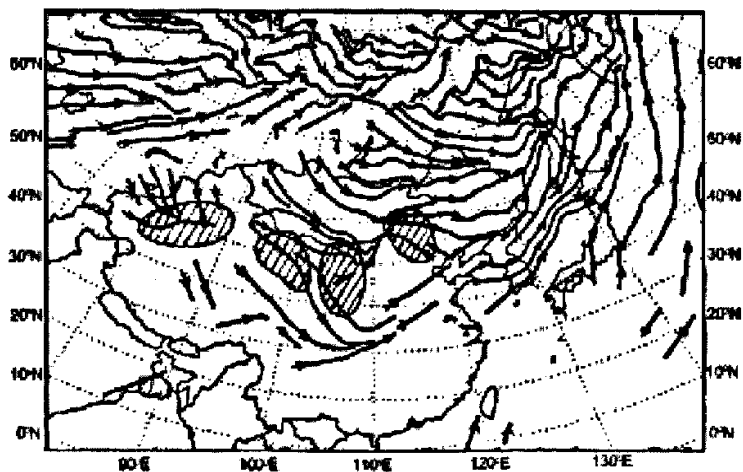


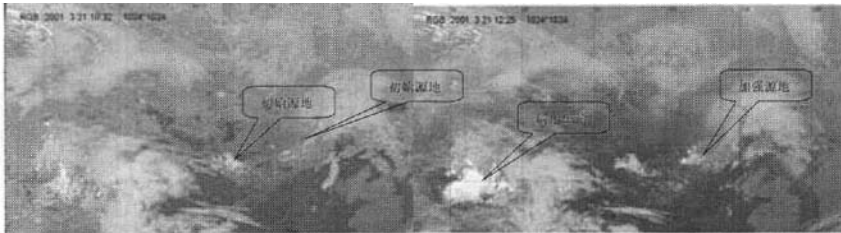
图 3^[10] 1948~1999 年春季 850 的平均气旋轨迹，气旋轨迹的箭头方向表示气旋在 850hpa 的移动方向，轨迹的密度代表气旋的活跃程度。



图 4 影响北京的主要沙尘源地及传输路径示意图

4、个例分析

4.1 2001 年 3 月 21 日沙尘暴过程



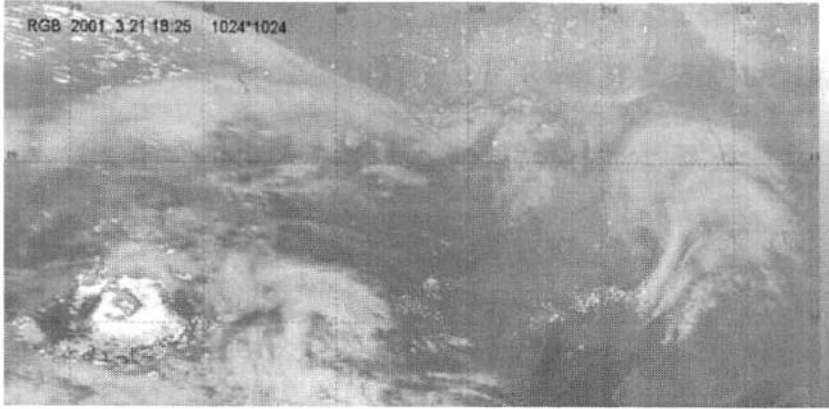
(a) 3 月 21 日 10: 30

(b) 3 月 21 日 12: 25



(c) 3 月 21 日 14: 30

(d) 3 月 21 日 16: 30



(f) 3月21日 18: 25

图 5 2001年3月21日沙尘暴过程的起始源地与传输路径

受贝加尔湖南部蒙古低涡影响，21日02时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时，向东南移到沙音山德，巴义山图为强沙尘暴。14时，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、济南等地出现大范围扬沙天气，这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时，随冷锋东南移动到鲁新，蒙古国36237站、承德发生沙尘暴，扬沙、天津、保定、太原、榆社、惠民、北京发生扬沙天气。

22日02时，随冷锋向东南偏东方向移至丹东，丹东大连、青岛、济南发生扬沙天气，韩国汉城、釜山和日本福岗、群山、屋久岛发生浮尘天气。

此次影响北京的传输路径有两条，一条是：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。属于北路影响北京沙尘过程；

另外一条是：源区（内蒙西部中蒙边界）→ 额济纳旗 → 乌拉特后旗 → 东胜 → 呼和浩特 → 大同 → 北京。为西北路径。

4.2 2006年4月16—17日过程

受冷空气和蒙古气旋的共同影响，16日08时蒙古国中南部3个站出现扬沙、1个站出现沙尘暴，为此次沙尘过程的初始源地。11时，沙尘区向东南方向移动，强度和范

围不断扩大，我国内蒙古中西部有 5 个站出现了扬沙，海力素出现了强沙尘暴。对应的卫星云图上，内蒙古中西部上空是大范围的沙尘区。14 时，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，内蒙古中西部有 10 个站出现扬沙，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 时的卫星云图上，内蒙古中西部上空大范围的沙尘区范围更加大，强度更强。20 时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天气。17 日 08 时，北京、廊坊、怀来等地出现了浮尘天气。此后渤海湾、东北等地先后出现了浮尘天气。北京的浮尘天气一直持续到 17 日 20 时，为今年浮尘天气持续时间最长的一次过程。据北京气象局测算，全市降尘总量超过 30 万吨，为近几年北京沙尘天气降尘量之最大。此次影响北京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。

气象卫星沙尘监测图

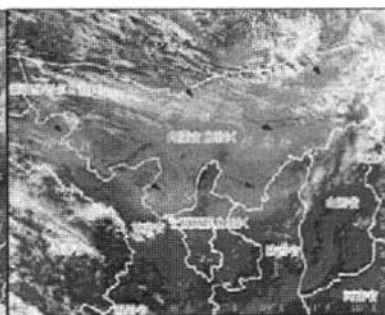
2006年4月16日11时（北京时） NOAA 17



中国气象局国家气象中心

气象卫星沙尘监测图

2006年4月16日15时（北京时） NOAA 16



中国气象局国家气象中心

气象卫星沙尘监测图

2006年4月17日7:02时（北京时） FY-1B



中国气象局国家气象中心

气象卫星沙尘监测图

2006年4月17日8:43时（北京时） FY-1B



中国气象局国家气象中心

气象卫星沙尘监测图
2006年4月17日10时(北京时间) NOAA-17

气象卫星沙尘监测图
2006年4月17日14:10时(北京时间) Aqua-MODIS

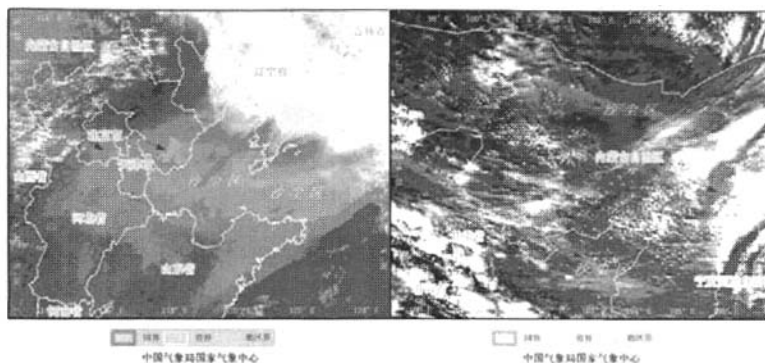


图 6 2006 年 4 月 16~17 日影响北京的沙尘过程

5、结论

通过对影响北京沙尘天气的源地和传输路径分析,可得出以下几点结论:

(1) 北京一年中的沙尘天气主要集中在每年的春季(3~5)月,其中4月份的沙尘次数为全年最大值,约占全年沙尘天气的50%。北京的沙尘天气主要以扬沙为主,占沙尘天气总数的73.5%。

(2) 北京沙尘暴、扬沙和浮尘天气发生的频次从长期变化趋势看有减少的趋势,近几年有所增加。沙尘暴和扬沙在1954-1970年间的日数之和占到统计年数沙尘暴和扬沙总日数的59.1%。

(3) 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。影响北京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。境内加强源地位于我国内蒙古中、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。

(4) 根据初始源地和传输方向传输路径分为西路、北路和西北路三条。其中北路路径占总数的27.4%,西北路径占总数的40.3%,西北路径和北路路径共同出现总数的24.2%,西北路径和西路路径共同出现占总数的6.4%,而偏西路路径占总数的1.6%。因此,影响北京沙尘天气的传输路径以西北路径和偏北路径为主,西北路径相对较多一些。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 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.

- [3]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.
- [4]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.
- [5]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.
- [6]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.
- [7]杨维西.北京沙尘天气的沙尘来源及其治理[J],林业经济,19—22.
- [8]高庆先,任阵海,李占青.中国北方沙尘气溶胶时空分布特征及其对地表辐射的影响[J],资源科学,2004,26(5):2—10.
- [9]矫梅艳,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.
- [10]Weihong Qian,Xu tang,Linsong Quan. Regional characteristics of dust storms in China[J], Atmospheric Environment 38(2004), 4895—4907.
- [11]张志刚,陈万隆,赵燕华.北京沙尘天气与源地气象条件的关系[J],安全与环境学报,2003,3(1):20—24.