

近 5 a 我国沙尘暴与高空急流关系的统计分析

程海霞^{1,2}, 丁治英¹, 帅克杰²

(1. 南京信息工程学院 大气科学系, 江苏 南京 210044; 2. 山西省晋城市气象局, 山西 晋城 048000)

摘 要: 利用 Micaps 常规资料, 对我国 2000—2004 年的沙尘暴与高空急流进行了统计与分析。结果表明: 沙尘暴具有很强的季节和日变化规律; 有三个多发区; 范围大、强度强的沙尘暴大都伴有强蒙古气旋和冷锋。沙尘暴与高空急流总是相伴出现。急流造成的沙尘暴可分为两类: 单急流型和双急流型。沙尘暴多出现在西风、西南风、西北风急流的左侧及其右后方, 以及西北+西南型双急流中心的左前+左后方。统计中还发现, 在一些双急流中存在急流异变, 急流异变对沙尘暴的发生和发展具有重要作用。

关键词: 沙尘暴; 高空急流; 双急流; 急流异变

中图分类号: P445.4 **文献标识码:** A

沙尘暴天气是我国北方的灾害性天气之一, 其强大的风力, 裹挟着大量的沙尘给工农业生产、交通运输、人们生活及生态环境等都造成了严重的危害。统计表明, 近几十年来我国的沙尘暴天气发生呈波动减少的趋势, 但是自 20 世纪 90 年代后期, 特别是 1997 年之后, 不论西北还是整个北方地区, 沙尘暴又有回升增多的趋势。最近 5 a (2000—2004 年) 我国共发生沙尘暴天气 48 次, 其中 2000 年 13 次, 2001 年 17 次, 2002 年 12 次, 2003 年 2 次, 2004 年 4 次。沙尘暴天气对受沙尘暴侵袭的地区危害极大, 特别是对土壤沙化的助长和对空气质量的严重污染, 更是引起了人们的广泛关注^[1~5]。因此, 对沙尘暴的进一步研究是非常必要的。

最近 20 多年来, 尤其是“93.05.05”甘肃金昌特强沙尘暴后, 我国出现了气象、沙漠等多学科联合研究沙尘暴的局面。钱正安^[6]和胡隐樵^[7]指出: 强风、沙源和热力因子是形成强沙尘暴的必要条件, 而且三者密切配合, 缺一不可; 钱正安^[8]、丁瑞强^[9]从气候特征和沙尘暴成因方面进行了研究; 郑新江等^[10]在 1995 年对沙尘暴天气的卫星云图进行了分析研究; 邱金恒等^[11]则对沙尘暴的光学特性作了分析研究; 王劲松^[12]讨论了沙尘暴的发生与下垫面条件之间的关系; 郭慧^[13]分析了沙尘暴的环流特征; 康凤琴^[14]用数值模拟方法研究了沙尘暴天气个例, 取得了很多有益的结论。

关于高空急流, 20 世纪 90 年代以前, 多出现在暴雨研究中。低空急流左前方常为对流不稳定

区^[15]或条件对称性不稳定^[16], 暴雨经常发生在低空急流的左前方, 高空南亚高压东部的偏北大风轴的右后方^[17,18]; 低空急流左前方有强的辐合区, 高空偏北大风轴的右后方有强的辐散区^[16], 高空急流右后方形成的 高层辐散场主要与非纬向风有关^[19]。

近些年来, 随着对沙尘暴天气的关注和研究, 高空急流出现在有关文献中。引起沙尘暴的大风除了地转偏差外, 高空急流的动量下传对低层风速的加大作用也是不容忽视的一个重要因素^[20], 而高空急流的存在是动量下传产生沙尘暴的必要条件。由此可见, 对高空急流与沙尘暴之间的关系进行更加全面和深入的研究是很有必要的。本文利用 2000—2004 年的 Micaps 常规资料, 对我国沙尘暴及其高空急流与沙尘暴天气过程的关系作了统计分析。

1 2000—2004 年沙尘暴特点

1.1 相同点

(1) 对这 5 a 的沙尘暴过程按月进行统计 (表 1), 可以清楚地看出, 沙尘暴在 4 月发生得最多, 有 21 次, 占总数的 43.8%, 春季 (3~5 月) 一共 42 次, 占总数的 87.5%, 冬季 (12 月~次年 2 月) 5 次, 占总数的 10.4%, 秋季 (9~11 月) 只有 1 次, 仅占总数的 2.1%。

(2) 沙尘暴具有明显的日变化特征, 一天中, 沙尘暴主要发生在午后到傍晚时段内, 多出现在 11 时至 17 时。这是因为春季午后地面受热增温快, 加强

了空气的热力不稳定,为地面热低压发展和沙尘暴的生成提供了热能。

表 1 沙尘暴的月际分布

Tab. 1 Monthly distribution of sandstorms

年份	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	11 月	12 月
2000	0	0	2	7	3	0	1
2001	2	1	4	6	3	0	1
2002	0	0	5	6	0	1	0
2003	0	0	0	2	0	0	0
2004	0	0	3	0	1	0	0
合计	2	1	14	21	7	1	2
百分比	4.2	2.1	29.2	43.8	14.5	2.1	4.2

(3) 沙尘暴有三个多发区:一是内蒙古西部和甘肃河西地区东部;二是内蒙古偏东地区和河北西北部;三是南疆盆地和青海西北部。这三个地区都是干燥沙漠地带,具有丰富的沙源。

(4) 范围大、强度强的沙尘暴大部分都有蒙古气旋和冷锋相伴,而且蒙古气旋的中心强度都很强。2002 年 3 月 18~22 日的强沙尘暴过程,强度强、波及范围广,沙尘袭击了我国 11 个省区,影响这次过程的蒙古气旋最强时中心气压值为 990.0 hPa;发生在 2001 年 4 月 5~8 日的大范围强沙尘暴的蒙古气旋最强时中心气压值为 982.5 hPa。

1.2 不同点

(1) 2001 年我国沙尘暴出现时间最早,出现在 1 月 1 日,2000 年结束得最晚,发生在 12 月 31 日。而 2003 年仅有的 2 次沙尘暴最为集中,出现在 4 月 8~17 日。

(2) 2001 年沙尘暴天气过程最多,一共 17 次,2000 年 13 次,2002 年 12 次,而 2003 年全年仅出现了 2 次,2004 年 4 次。这和前期的大气环流形势、气候背景有密切的关系。

2000 年受 La Nina 结束后的冷水过程的影响,隆冬以经向环流为主,气温偏低,春季经纬向环流交替,以纬向环流为主,气温偏高,降水偏少。我国在经历了 1999 年的大旱之后,2000 年又遭受了罕见的全国性干旱,为 1949 年以来干旱最严重的年份之一。3~5 月华北大部、西北、东北平原西部降水较常年同期偏少 3~9 成。持续少雨,加上同期气温偏高,大风天气频繁,导致我国北方地区沙尘天气频发。

受赤道东太平洋海温持续冷水位相的影响,

2000 年 12 月至 2001 年 2 月我国东部大范围雨雪偏多,2001 年春季(3~5 月)全国大部地区降水偏少、温度偏高,沙尘暴频繁。我国北方地区风沙和沙尘暴天气出现时间偏早、次数多,影响范围广。据统计,仅 3 月至 5 月中旬,就先后出现范围不同、强度不等的沙尘天气达 18 次之多,总日数为 41 d。

2002 年春末夏初形成的厄尔尼诺事件,对 2002 年的天气产生了影响。冬季(2001 年 12 月至 2002 年 2 月)全国大部分地区温度偏高,华北大部、华南大部、西南大部降水偏少;春季(3~5 月)全国大部地区 3~4 月温度持续偏高,5 月正常偏低,北方沙尘天气频繁。仅春季,我国共受到 12 次沙尘天气的袭击,其特点是强度偏强,影响范围广,出现时段集中。

发生于 2002 年的厄尔尼诺事件于 2003 年初结束。受这次事件的影响,西太平洋副热带高压冬、春、夏、秋季持续偏强,2003 年北方大部地区冬、春、夏、秋季降水持续偏多。2002/2003 年冬季(2002 年 12 月至 2003 年 2 月)和春季中国大范围雨雪偏多,是近年来北方冬春季土壤墒情最好的一年,北方沙尘天气明显偏少,只出现了 2 次沙尘暴天气。

2004 年春季,亚洲中高纬环流平直,亚洲中高纬度的环流经向度较小,以纬向环流为主,因而虽然亚洲北部冷空气活动较频繁,但南下势力较弱,全年一共发生沙尘暴天气 4 次。

2 高空急流与沙尘暴的关系

沙尘暴:强风将地面大量沙尘吹起,使空气非常浑浊,水平能见度小于 1 km 的天气现象。

沙尘暴天气过程:在同一次天气过程中,我国天气预报区域内 3 个或 3 个以上国家基本(准)站在同一观测时次出现了沙尘暴天气。

高空急流:以 200 hPa 位面上大于 30 m·s⁻¹ 的强风速带作为高空急流,考虑到大多数沙尘暴过程是大尺度天气,定义高空急流轴与沙尘暴区不超过 12 个纬距为两者有关系。表 2 是最近五年的沙尘暴过程的发生次数与相伴的高空急流次数的分布。从表中可以看出,沙尘暴与高空急流关系非常密切,总是相伴出现。

黄安丽^[21]等曾将高空急流分为三种类型:西北-东南型、西风平直型和西南-东北型,后被简称为西北风型、西风型和西南风型。本文在分析最近 5 a 的沙尘暴资料中发现,在沙尘暴过程中,常常在 45°~60°N 有一支西北风(或西风)急流和中心在 35°N

表 2 沙尘暴次数与所对应的高空急流次数的分布

Tab. 2 Times of sandstorm with high level jet stream			
年份	沙尘暴 次数	急流 次数	急流次数占沙尘暴 次数的比率/%
2000	13	13	100
2001	17	17	100
2002	12	12	100
2003	2	2	100
2004	4	4	100

以南的强盛的副热带偏西风急流同时出现,沙尘暴区位于两支急流附近,我们称其为双急流。因此,把影响沙尘暴的急流分为两大类:单急流和双急流。

表 3 沙尘暴过程中不同类型高空急流所对应的沙尘暴次数的分布

Tab. 3 Times of sandstorm with different high level jet stream								
年份	有高空急流对应的沙尘暴次数	不同类型高空急流对应的沙尘暴次数						
		单急流			双急流			
		西风型	西北型	西南型	西北+西南	西北+西风	偏北+西风	西南+西风
2000	13	2	2	2	2	3	1	1
2001	17	6	4	1	3	2	0	1
2002	12	4	2	1	4	1	0	0
2003	2	0	0	1	0	1	0	0
2004	4	2	0	0	0	1	1	0
合计	48	14	8	5	9	8	2	2

从表中可以看出,5 a 中,与沙尘暴过程相伴的单急流一共有 27 次,占有急流沙尘暴次数的 56%,其中西风型 14 次,占总数的 29%,西北风型 8 次,占 17%,西南型 5 次,占 10%;双急流共出现了 21 次,占有急流沙尘暴次数的 44%,其中西北+西南风型发生的频次最高,有 9 次,占总数的 19%,西北+西风型次之,8 次,占 17%,偏北+西风型、西南+西风型都只有 2 次,各占 4%。可见与沙尘暴天气过程相伴出现的高空急流主要是单急流中的西风型、西北型和西南型以及双急流中的西北+西南型、西北+西风型。

沙尘暴爆发最常见的环流形势是西北路冷空气入侵,因此与沙尘暴对应的西北、西风型单急流占了 46%的比例;而与沙尘暴相伴的双急流中,南支急流主要是副热带急流(以偏西风占多数),北支急流中西北风和偏北风也占了 96%的比例。双急流的高频率出现,以及南、北支(有些情况下是东、西两支)急流对沙尘暴区造成的影响需要引起足够的注意和研究。统计中发现,大范围的沙尘暴天气一般与 200 hPa 高空副热带急流相伴出现。

把同一次沙尘暴过程中,我国天气预报区域内有 10 个或 10 个以上国家基本(准)站出现了沙尘暴,称为一次大范围的沙尘暴过程。在所统计的 48 次沙尘暴天气过程中,有 19 次大范围的沙尘暴过程,其中,7 次与高空单急流相伴,12 次与高空双急流相伴出现。

根据统计结果,与沙尘暴相伴出现的单急流有三类:西风型、西北型和西南型。双急流有四种类型:西北+西南型、西北+西风型、偏北+西风型和西南+西风型。表 3 是 2000—2004 年沙尘暴天气过程不同类型高空急流与沙尘暴过程次数的分布情况。

与沙尘暴相伴出现的高空急流,具有明显的季节特征。在春季,因为大气环流活跃多变,有单支急流与沙尘暴相伴,也有两支急流出现在沙尘暴区附近,而冬季和秋季的沙尘暴区 200 hPa 高空只有单支急流出现。春季的沙尘暴强,影响范围大,秋季、冬季的沙尘暴相对来说要弱得多。分析中还发现,冬季的高空急流很强,200 hPa 高空急流中心最大风速有时超过 $100\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,但沙尘暴的强度较弱,影响范围较之春季也小得多。主要原因在于冬季地面上冻,不易起沙,而春季我国北方冷空气活动频繁,多大风,气温回暖解冻,地表裸露,土质松软,容易起沙。

分析单急流中心位置与沙尘暴区的对应关系(表 4),可以发现,沙尘暴多发生在西风、西南风和西北风急流的左侧(共 22 次)以及这三种急流的右后方(5 次)。其中,沙尘暴发生在西风急流左后方的次数最多,占总次数的 22.2%。西风急流的左中和左后方是辐合区,能引起动量下传,加大低层风速,使地面出现大风和沙尘暴,这一点已经得到广泛的认可。由于西南风、西北风左侧及其西风、西南风

和西北风急流的右后方出现沙尘暴的几率也很大，其原因有待于进行进一步的分析和研究。

总体说来，与我国沙尘暴相伴的单急流以纬向环流为主，但与经向环流也有密切的关系。

表 4 沙尘暴区位置与单急流中心关系次数的分布

Tab. 4 Times of sandstorm occurring in the different orientations of the single high level jet stream core

年份	西风型急流				西南风型急流				西北风型急流		
	左前	左中	左后	右后	左前	左中	左后	右后	左前	左后	右后
2000	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0
2001	1	0	3	2	0	1	0	0	3	1	0
2002	1	1	2	0	0	0	1	0	0	0	2
2003	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
2004	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
合计	3	3	6	2	1	1	2	1	4	2	2
百分率/%	11.1	11.1	22.2	7.4	3.7	3.7	7.4	3.7	14.8	7.4	7.4

分析了沙尘暴位置与双急流中心的对应分布后发现，与西北+西南型双急流有关的沙尘暴发生的频次最高，一共 9 次，而且多出现在急流中心的左前+左后方(即沙尘暴区多出现在北支急流的左前方和南部偏西风急流的左后方，图 1)，与西北+西风型双急流有关的沙尘暴出现的频次也较高，但沙尘暴位置与双急流中心的对应比较分散，西南+西风型和偏北+西风型出现的次数较少。分析中还可以看出，2002 年双急流出现的类型主要是西北+西南型，沙尘暴区出现在西北急流的左前方和西南急流的左后方。2000 年、2001 年与沙尘暴相伴的急流类型很分散，沙尘暴发生的与急流相对的位置也各种各样。2003 年、2004 年与双急流相伴的沙尘暴发生的次数都很少。

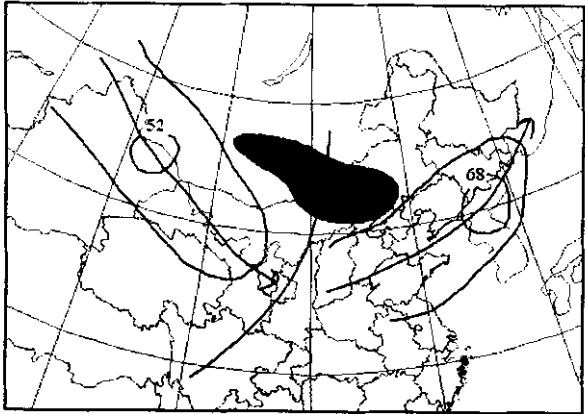


图 1 出现频率最高的双急流型式及沙尘暴区分布
西北+西南型(阴影区为沙尘暴区, 200 hPa
高度场的槽线从沙尘暴区中间穿过)

Fig. 1 Distribution of double jet stream pattern that occurred frequently and sandstorm area
NW+SW pattern(shaped area: sandstorm area;
line: trough line at 200 hPa)

在统计中还发现，有 8 次沙尘暴天气的 200 hPa 高空的北支急流在向东(或向东南)移动的过程中发生了急流异变，即位于 $45^{\circ}\sim 60^{\circ}\text{N}$ 的北支极锋急流在东移(或东南移)的过程中，与中心在 35°N 以南的强大的副热带偏西急流的外围合并(合并后仍然有两个急流中心)。表 5 中比较详细地列出了这 8 次沙尘暴天气过程的 200 hPa 高空急流合并前后对流层高、中、低层和地面风速及沙尘暴强度的变化。从表 5 中可以看出：高空急流异变后高空风速、对流层中低层的风速一般都有不同程度的增大，促进了低层急流的形成或加强，增大了地面最大风速，从而加强了沙尘暴的强度。

急流的这种振荡合并对沙尘暴的发生发展具有重要作用^[20]：①使得对流层中下层 500 hPa、700 hPa 锋区明显加强。②导致大气层结不稳定和低层中低压的发展。高空急流加强，自急流中心不断向下伸展，动能下传，导致下层西风气流明显加大。对流层锋区加速东移，高层先降温，不仅有利于形成不稳定的大气层结，使上升气流得到维持和加强，而且引起地面减压，有利于地面中低压的发展。两支急流异变为中小尺度系统的发生、发展及沙尘暴的产生提供了有利的大尺度背景。

3 小结

利用最近 5 a 的 Micaps 常规资料，对发生在我国的 48 次沙尘暴天气过程及其高空急流与沙尘暴天气过程的关系作了统计分析，发现：

(1) 沙尘暴有明显的季节和日特征：沙尘暴多集中出现在 3~5 月(春季)，一日中，沙尘暴大多发生在 11 时至 17 时。沙尘暴有三个多发区：一是内蒙

表 5 沙尘暴过程高空急流异常对对流层、低层及地面的影响

Tab. 5 Effects of high level abnormal jet stream on middle and lower levels and surface

序号	发生时间	高空急流 合并时段	合并前、后 200 hPa 高空 急流中心最大 风速 /($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	合并前、后 500 hPa 沙尘 区上空最大 风速 /($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	合并前、后 850 hPa 有、无 急流及 $\geq 12 \text{ m} \cdot$ s^{-1} 测站数/站	合并前、后 沙尘区地面 最大风速 /($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	合并前、后沙 尘暴强度(出现沙尘暴的 测站数/站)
1	2001-03-04~06	05 日 08 时~20 时	44	36	8	12	无
			56	48	11	30	7
2	2001-03-19	18 日 20 时~19 日 08 时	40	26	无	12	无
			48	24	5	16	4
3	2001-03-21~22	21 日 08 时~20 时	52	28	无	14	无
			48	38	3	16	3
4	2001-04-05~08	6 日 20 时~7 日 08 时	44	44	9	16	13
			60	48	6	20	13
5	2002-03-18~22	19 日 20 时~20 日 20 时	68	44	8	20	12
			84	40	11	20	14
6	2002-04-05~09	5 日 20 时~6 日 08 时	64	44	无	8	无
			68	52	4	16	13
7	2004-03-09~10	9 日 08 时~20 时	68	46	3	8	无
			72	52	8	18	12
8	2004-03.26~28	26 日 20 时~27 日 08 时	52	28	无	10	无
			56	44	4	18	11

古西部和甘肃河西地区东部;二是内蒙古偏东地区和河北西北部;三是南疆盆地和青海西北部。范围大、强度强的沙尘暴大部分都有蒙古气旋和冷锋相伴,而且蒙古气旋的中心强度都很强。

(2) 一年中沙尘暴发生的多寡、强弱与前期的大气环流及气候背景密切相关。

(3) 沙尘暴与高空急流总是相伴出现。高空急流分为单急流和双急流。和沙尘暴相伴出现的单急流主要有:西风型、西北型和西南型;与沙尘暴过程相伴的双急流主要有:西北+西南型和西北+西风型。沙尘暴多发生在西风、西南风和西北风急流的左侧及其右后方。与西北+西南型双急流相伴的沙尘暴多出现在急流中心的左前+左后方,与西北+西风型双急流有关的沙尘暴出现的位置比较分散。

(4) 在统计中还发现,在一些双急流中存在急流异常。急流异常对沙尘暴的发生和发展具有重要作用。

参考文献 (References):

[1] 王涛,陈广庭,钱正安,等.中国北方沙尘暴现状及对策[J].中国沙漠,2001,21(4):321—327.

[2] 王涛.西部大开发中的沙漠化研究及其灾害防治[J].中国沙

漠,2000,20(4):345—348.

[3] 王式功,董光荣,陈惠忠,等.沙尘暴研究的进展[J].中国沙漠,2000,20(4):349—356.

[4] 张平,杨德保,尚可政,等.2002年春季中国沙尘天气与物理量场的相关分析[J].中国沙漠,2003,23(6):675—680.

[5] 王涛,赵哈林.中国沙漠科学的50年[J].中国沙漠,2005,25(2):145—165.

[6] 钱正安.关于甘、宁部分地区“93.5.5”特强沙尘暴灾害的调查报告[J].大气情报,1993,30(4):1—13.

[7] 胡隐樵,光国宁.强沙尘暴微气象特征和局地触发机制[J].大气科学,1997,21(5):581—589.

[8] 钱正安,宋敏红,李万元.近50年中国北方沙尘暴的分布及变化趋势分析[J].中国沙漠,2002,22(2):106—111.

[9] 丁瑞强,王式功,尚可政,等.近45a我国沙尘暴和扬沙天气变化趋势和突变分析[J].中国沙漠,2003,23(1):306—310.

[10] 郑新江,刘诚,崔小平,等.沙尘暴天气的云图特征分析[J].气象,1995,21(2):27—31.

[11] 邱金恒,孙金辉.沙尘暴的光学遥感及分析[J].大气科学,1994,18(1):1—10.

[12] 王劲松,俞亚勋,赵建华.中国北方典型强沙尘暴的地面加热场特征分析[J].中国沙漠,2004,24(5):599—602.

[13] 郭慧,王式功,李栋梁,等.甘肃春季沙尘暴环流特征及其时间尺度诊断分析[J].中国沙漠,2004,24(5):593—595.

[14] 康凤琴,李耀辉,吕世华.2001年4月8日强沙尘暴天气的数值模拟研究[J].中国沙漠,2003,23(6):681—684.

[15] 孙淑清,翟国庆.低空急流的不稳定性及其对暴雨的触发作用

[J]. 大气科学,1980,4(4):327—337.

[16] 翟国庆,丁华君,孙淑清. 与低空急流相伴的暴雨天气的诊断研究[J]. 大气科学,1999,23(1):112—118.

[17] 翟国庆. 对流层高层偏北气流在梅雨暴雨中的作用[J]. 气象学报,1998,56(1):68—76.

[18] 翟国庆,高坤,孙淑清. 梅雨期高层流场对低层急流及中尺度系统影响的数值实验[J]. 气象学报,1997,55(6):714—725.

[19] 丁治英,张兴强,何金海,等. 非纬向高空急流与远距离台风中尺度暴雨的研究. [J]. 热带气象学报,2001,17(2):144—153.

[20] 尹树新,赵亚贤. 西风急流异变对“5. 5”西北地区沙尘暴的影响[A]. 中国沙尘暴研究[C]. 北京:气象出版社,1997. 65—69.

[21] 黄安丽,高坤. 对流层高低空急流耦合的动力学分析[J]. 杭州大学学报,1982,9(3):356—364.

Statistic Analysis on Relation between Sandstorm and High Level Jet Stream in China in Latest 5 Years

CHENG Hai-xia^{1,2}, DING Zhi-ying¹, SHUAI Ke-jie²

(1.Department of Atmospheric Science, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044, China; 2.Jincheng Bureau of Meteorology, Jincheng 048000, Shanxi, China)

Abstract: Using Micaps routine data, we carried out correlation analysis to reveal the relation between sandstorm and high level jet stream during 2000—2004 in China. The sandstorms have very obviously annual, seasonal and daily changing law; There are three areas where sandstorms frequently occurred in China; The big-range and strong sandstorms are mostly accompanied with strong Mongolian cyclone and cold front. Sandstorms and high level jet stream always occurred together. The jet stream caused sandstorms can be divided into 2 kinds: single jet stream pattern and double jet stream pattern. Sandstorms is likely to occur left to where the high level W single jet stream enters, or left to where the high level NW jet stream exits and SW jet stream enters of NW + SW double jet streams. It is also found that there are abnormal jet streams among some double jet streams, and abnormal jet streams have played important role in the forming and developing of sandstorms.

Key words: sandstorm; high level jet stream; double jet stream; abnormal jet stream