

2006年中国北方一次强沙尘暴天气的环流模式分析^{*}

高维英¹, 李明², 杜继稳³, 王式功⁴

(1. 西安市气象局, 陕西 西安 710016; 2. 陕西省气象台, 陕西 西安 710015;
3. 陕西省气象局, 陕西 西安 710015; 4. 兰州大学 大气科学学院, 甘肃 兰州 730000)

摘 要: 利用高空、地面气象资料对2006年4月9~11日北方大范围沙尘暴进行了路径和天气学分析, 表明: 此次沙尘暴路径分为西路和西北路。西路第一阶段期间, 高空急流、锋区和地面蒙古低压是沙尘暴爆发的主要天气系统, 属于蒙古低压型; 第二阶段期间, 横槽转竖后冷空气入侵和锋前蒙古低压维持是沙尘暴爆发的主要天气系统, 属于冷锋和蒙古低压混合型。高空横槽和地面冷锋是西北路沙尘暴的主要影响系统, 属于纯干冷锋型。

关键词: 沙尘暴; 路径; 蒙古低压型; 冷锋和蒙古低压混合型; 纯干冷锋型; 中国北方

中图分类号: P445^{+.4} **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-811X(2009)01-0058-06

2006年是1998年以来沙尘天气最为严重的一年。2006年冬春季, 冷空气活动频繁且势力较强, 春季气温显著偏高, 降水持续偏少。有利的气候背景促使了沙尘暴频次多, 强度偏大, 影响范围广, 灾害损失重。

2006年4月9~11日, 受西伯利亚强冷空气和蒙古低压的共同影响, 我国出现了2006年范围最大、强度最强的一次沙尘暴天气过程, 影响了北方13个省(市、区)。4月9日08:00, 在甘肃西部的敦煌最先出现浮尘, 9日11:00~17:00南疆盆地西部、甘肃西部、内蒙古中部主要以扬沙、浮尘天气为主, 而这期间蒙古国由西向东出现沙尘暴。9日20:00~10日05:00南疆盆地和河西走廊沙尘天气开始发展, 逐渐出现沙尘暴并且向东发展, 而蒙古国、内蒙古中部的沙尘暴天气开始减弱、消失。10日08:00~10日20:00在蒙古国和内蒙古中部再次产生大范围强沙尘暴、沙尘暴和扬沙天气, 河西走廊沙尘天气继续向东发展, 10日14:00~20:00宁夏北部出现大范围扬沙天气。11日02:00陕西开始出现沙尘天气, 11日05:00~14:00陕西自北向南、自西向东出现扬沙、沙尘暴天气, 14:00以后陕西沙尘天气逐渐减弱消失, 开始产生降水, 至此这次大范围沙尘暴过程也随之结束。整个沙尘天气发生期间, 新疆南部、青海

西北部、甘肃大部、宁夏中北部、内蒙古中部和西部等地出现了能见度低于1 000 m的沙尘暴, 部分地区出现了能见度低于500 m的强沙尘暴。

1 本次沙尘暴过程路径分析

沙尘暴研究学者总结了1999~2002年春季影响我国的沙尘暴天气路径^[1-2], 除了南疆盆地型外, 其它沙尘暴天气过程基本分为偏西路径、西北路径、偏北路径。但由于均是对个例的总结, 各个沙尘暴个例并不是严格遵循以上路径, 此外研究区域不同, 路径分类也不同。沙尘暴发生的气象因子主要有强冷空气(即大风)、冷锋、对流不稳定、强烈的低压活动^[3-6]等, 不同类型沙尘暴地面天气系统的差异也非常显著^[7], 因而对地面天气系统的分析尤为重要, 因此本文从地面天气系统的移动方向确定沙尘暴的路径。从地面图上可以看出, 此次沙尘暴天气发生时, 西西伯利亚强冷空气在新疆天山北侧及阿尔泰山西侧堆积, 由于山脉的阻挡, 冷空气分两股东移南下, 形成两路强大的冷锋, 而两路冷锋前部低压系统的表征也有很大差异。因此本文根据地面天气系统将这次过程分为两路(图1), 本文定义西路沙尘暴是由位于阿尔泰山附近冷锋I和锋前蒙古低压所引

• 收稿日期: 2008-09-05

基金项目: 中国气象局2007年多轨道业务建设项目(2007-007); 陕西省气象局重点项目(2005Z-3)

作者简介: 高维英(1972-), 女, 陕西长安人, 工程师, 硕士, 主要从事天气预报研究工作. E-mail: gwyimbh@ sina.com

起。蒙古低压首先在蒙古国西部赛音山达附近发展, 在蒙古国中西部强盛, 经巴丹吉林沙漠引起西路第一次小范围的强沙尘暴天气, 随后冷锋 I 越过阿尔泰山、萨彦岭和杭爱山, 强大的冷锋和减弱的蒙古低压在移经腾格里沙漠、乌兰布和沙漠、库布齐沙漠、浑善达克沙地时产生西路第二次强沙尘暴天气。西路沙尘暴发生地主要为蒙古国、内蒙、华北、东北; 西北路则主要是冷空气在天山附近堆积, 形成冷锋 II, 冷锋 II 的冷空气侵入新疆东部和河西走廊, 沙尘暴发生地主要为新疆东部、青海、甘肃、宁夏、陕西等地。

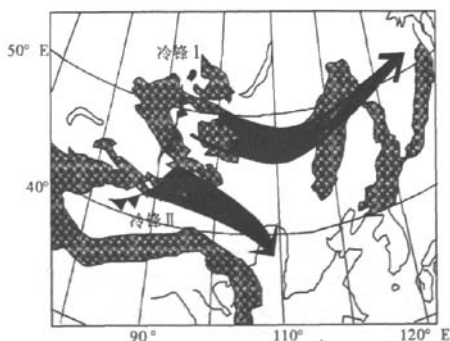
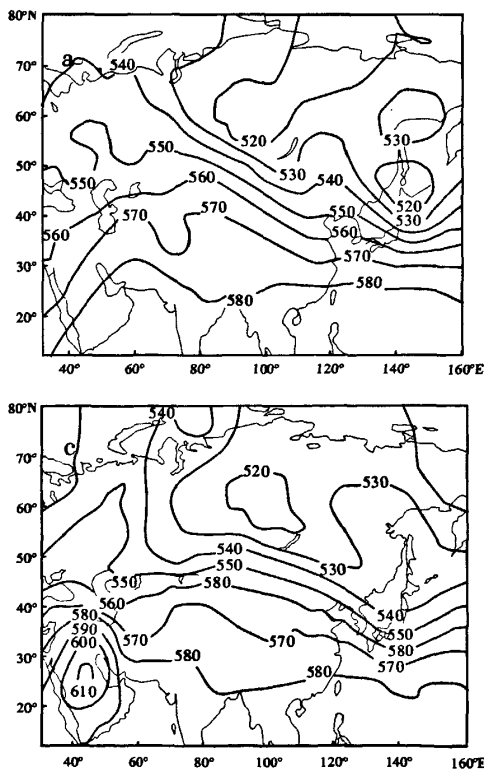


图1 两路冷锋及移动示意图



2 沙尘暴过程前天气分析

过程前的6日08:00(图2a), 500 hPa 中高纬度亚洲大陆呈现西高东低形势, 乌拉尔山附近为一长波弱脊, 日本国北部和贝加尔湖附近分别有一冷涡, 内蒙东部及东北北部位于两涡之间的高脊控制中, 锋区位于贝加尔湖的西南部, 呈西北—东南走向。我国大部分地区位于贝湖冷涡底部冷槽后的西北气流中, 天气晴好, 有利于地面增温。06日20:00(图略), 乌拉尔山附近的弱脊在脊后北上暖平流的作用下进一步加强, 脊进一步向北伸展。脊前涡后有横槽发展, 整个欧亚大陆中高纬度形成倒“Ω”流型。极地不断有冷空气补充南下导致贝加尔湖附近的冷涡迅速增强。由于冷涡的增强, 到7日08:00(图2b), 锋区增强东移南压至贝加尔湖附近, 同时随着乌拉尔山高脊的进一步向北伸展, 脊前的偏北气流不断的引导冷空气在横槽内积聚, 使横槽进一步发展增强。8日08:00(图2c)~9日08:00, (图2d), 随着横槽的进一步加深南压, 锋区压至50°N附近, 走向由西北—东南向转为东西向, 700 hPa(图略)的形势演变与500 hPa 相近, 锋区的东移南压较500 hPa 更为明显。

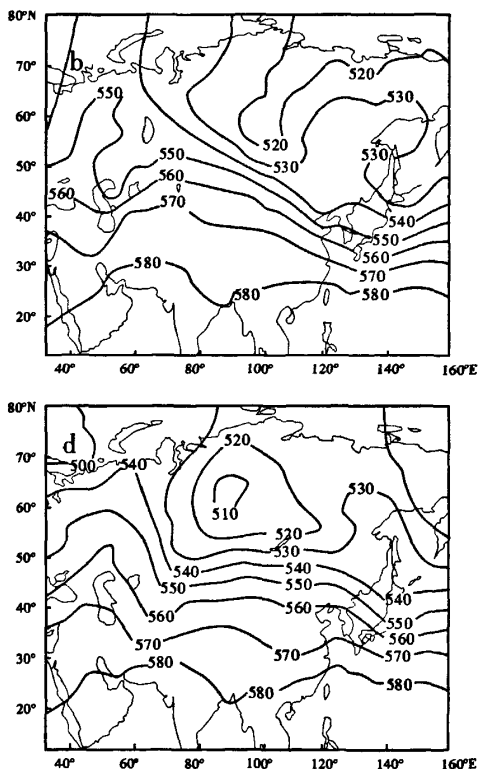


图2 沙尘爆发前500 hPa 高空图

3 两路沙尘暴的天气分型

两路沙尘暴发生时虽然都有冷锋, 锋前也有低压, 但冷锋和锋前低压对两路沙尘暴的贡献有较大差别。

3.1 蒙古低压型沙尘暴

这次西路沙尘暴有两个强盛阶段, 第一个阶段主要在 9 日 11:00 ~ 20:00。在 9 日 08:00 的 500 hPa 高空图上(图 2d) 乌山高脊进一步发展东移, 由于槽后强冷平流的作用, 横槽进一步加深, 位于青藏高原北部的暖高脊有所加强并进一步向东发展, 导致槽前的锋区进一步增强东移南压到 45°N 附近, 新疆北部到贝加尔湖形成了宽广的近乎东西向强锋区。从整层来看, 高空槽落

后于低空槽, 大气斜压性很大, 风随高度增大较快, 高空风速比低空风速大好几倍, 造成高空辐散、低空辐合, 而高层辐散、低层辐合取决于大气的斜压性程度^[8]。高空锋区、急流区正是大气斜压性最强的地区, 因此, 在高空槽前的锋区、急流区, 其辐散量大于低层的辐合量, 非常有利于地面蒙古低压的强烈发展, 从 17:00 地面图(图 3a) 上看出, 低压中心气压已经降至 977.5 hPa, 08:00 ~ 17:00 的 9 h 内低压加深 17.5 hPa, 沙尘暴、强沙尘暴天气就爆发在强低压内, 沙尘暴发生区基本上呈东西向且与蒙古低压的移动路径一致, 而蒙古低压后部的冷锋附近并未出现沙尘天气; 20:00(图 3b), 蒙古低压继续向东南移动, 低压中心减弱, 中心为 982.5 hPa, 沙尘天气也随之减弱。

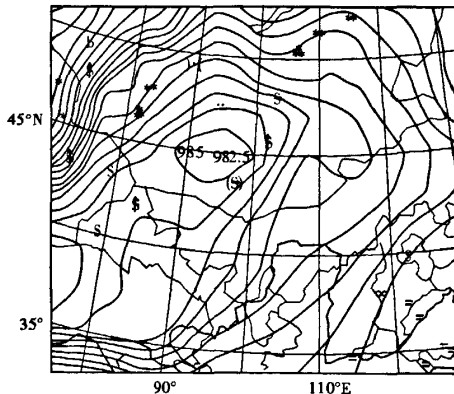
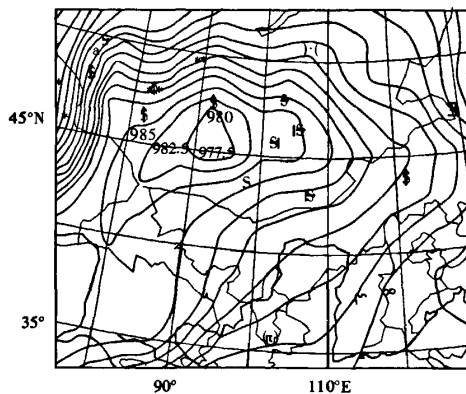


图3 西路第一次沙尘暴发生时的地面图(a、b 分别为 9 日 17:00、9 日 20:00)

该阶段沙尘暴主要发生在蒙古低压强烈发展期, 低压后的冷锋对该类沙尘暴的形成虽有作用, 但是导致地面风速加大, 形成沙尘暴的主要动力是低压的强烈发展, 蒙古低压对沙尘暴的发生起着重要作用, 沙尘暴呈东西向分布, 属于蒙古低压型, 这一阶段沙尘暴的天气学其概念模式如图 4。

3.2 冷锋和蒙古低压混合型沙尘暴

西路沙尘暴的第二阶段发生在 10 日 08:00 ~ 20:00。从图 5a 和 5b 看出, 该阶段沙尘暴高空影响系统主要是前所述的横槽, 温度槽落后于高度槽, 槽后锋区内冷平流强烈, 属于明显的冷槽, 冷槽具有明显的斜压不稳定结构, 横槽前出现阶梯槽形势, 等高线出现疏散, 预示高空横槽开始转竖, 冷空气东移南下, 锋区逐渐东移北缩。地面图上, 冷锋 I 越过阿尔泰山、萨彦岭和杭爱山, 向东南方向移动, 10 日 08:00(图略), 冷锋 I 前蒙古低压减弱为 992.5 hPa, 冷锋 I 前沿到达库布

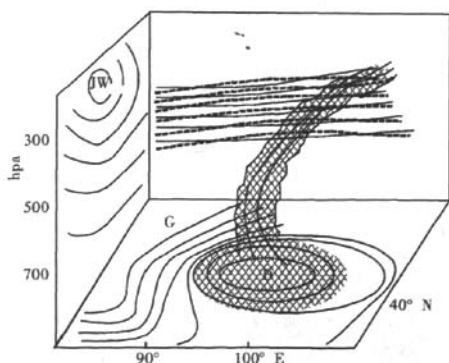


图4 蒙古低压型沙尘暴模式(虚线-温度线, 实线-等高线)

齐沙漠、浑善达克沙地, 在锋前强的西北风里出现了强沙尘暴, 而蒙古低压中没有出现沙尘暴。10 日 11:00 ~ 14:00(图 6a), 冷锋稳定少动, 锋前蒙古低压维持 992.5 hPa, 但蒙古低压区的西南风迅速增强并持续, 在蒙古低压区的西南大风和锋

区的西北大风里出现大片沙尘暴天气。10 日 17:00 (图 6b), 冷锋 I 继续东移, 锋前蒙古低压减弱为 995.0 hPa, 从该阶段的沙尘暴发生来看, 主要影响系统是冷锋, 其次为蒙古气旋。沙尘暴主要发生在冷锋区域。10 日 20:00, 冷锋继续东移, 锋区中的沙尘发生范围明显减小, 蒙古低压向东移动,

移入我国东北地区后, 低压锢囚, 10 日 23:00, 冷锋区中的沙尘天气几乎消失, 从西路第低压, 强沙尘暴主要发生在冷锋 I 的锋区里, 蒙古低压前的西南大风区发生的沙尘暴位居其次, 沙尘暴带呈东北-西南向, 属于冷锋和蒙古低压混合型, 该阶段的沙尘暴天气模式如图 7。

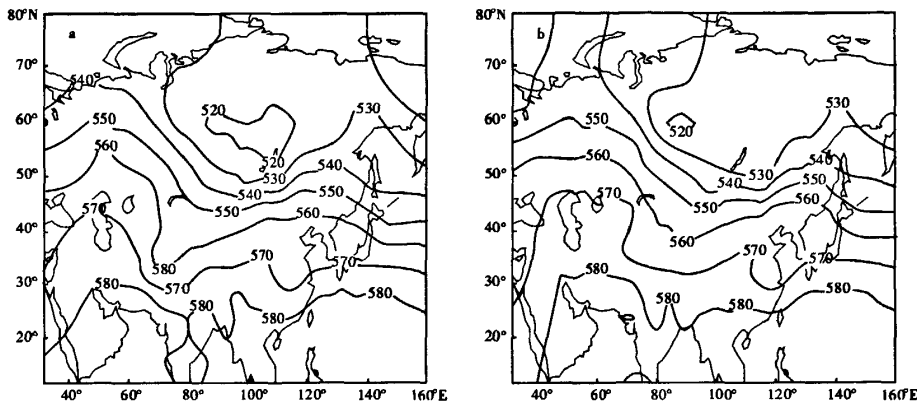


图 5 10 日 08:00 (a) 和 20:00 (b) 500 hPa 高空图

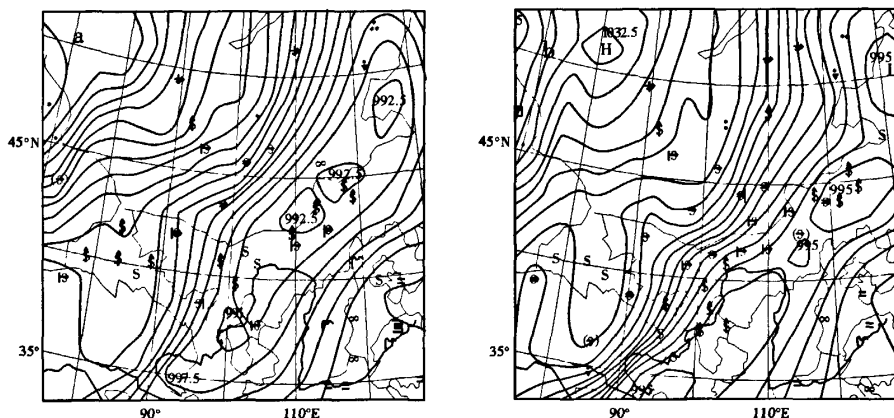


图 6 西路第二次沙尘发生时的地面图 (a、b 分别为 10 日 11:00 和 10 日 17:00)

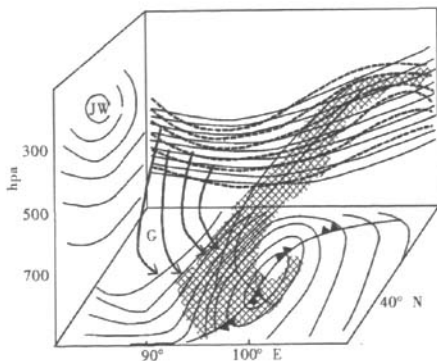


图 7 冷锋和蒙古低压混合型沙尘天气模式
(虚线-温度线, 实线-等高线, 阴影-沙尘暴)

3.3 西北路沙尘暴爆发时天气系统的特点和天气模式

西北路沙尘暴最强阶段在 10 日 08:00 ~ 10 日 20:00, 在该阶段高空形式与西路第二阶段沙尘暴期间相同。主要高空影响系统是横槽, 该横槽转竖冷空气东移南下, 引起地面大风。相对应地面上主要影响系统为冷锋 II。由 9 日 20:00 沿 90°E 的假相当位温图 (图 8) 可以看出, 冷锋的坡度非常陡峭, 冷锋在 700 ~ 850 hPa 之间坡度很大, 等 θ_{se} 基本上与地面垂直, 锋区密集带集中在 37°N ~ 50°N, 冷锋强大。由地面天气图可以非常清楚的看出 9 日 20:00 ~ 10 日 02:00, 强大的冷空团

在天山北侧堆积,从10日02:00地面图(图9a)看出,冷空气开始翻越天山侵入河西走廊,冷锋Ⅱ前沿已经到达甘肃鼎新、酒泉附近,冷锋前后3 h变压为7 hPa,该冷空气提供了水平动力条件,触发了西北路沙尘暴的爆发,10日05:00甘肃马鬃山风速达22 m/s,能见度为零,10日08:00(图9b),甘肃中西部出现强沙尘暴天气,其中民勤、张掖、马鬃山能见度为零,冷锋后冷气团前部有强气压梯度,马鬃山到北疆炮台的气压梯度大约19.0 hPa/500 km,大气在强变压梯度力和气压梯度力的共同作用下形成强风,造成沙尘暴。冷锋Ⅱ的东南侧虽然也伴有低压活动,但低压在此期间加深不明显(12 h内中心气压下降仅5 hPa)。沙尘暴基本发生在冷锋后的西北大风里,由此可见,西北路沙尘暴天气发生时冷空气强,锋

后为西北大风,冷锋起到至关重要的作用,沙尘暴呈西北—东南向。其天气学概念模式如图10,此类型沙尘暴天气属于纯干冷锋型。

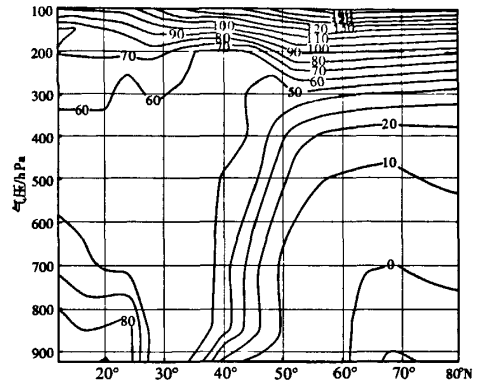


图8 9日20:00沿90°E的假相当位

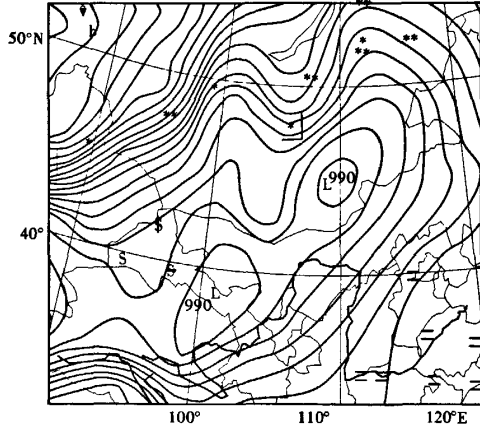
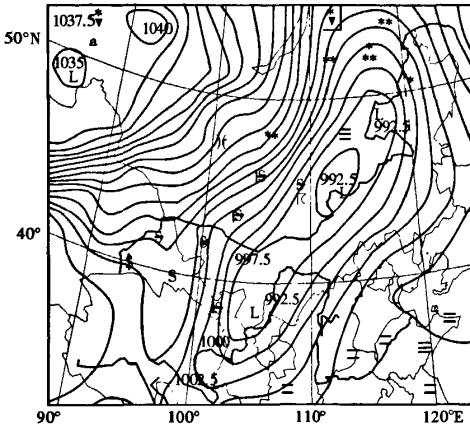


图9 西北路沙尘暴爆发时地面天气图(a、b分别为10日02:00和08:00)

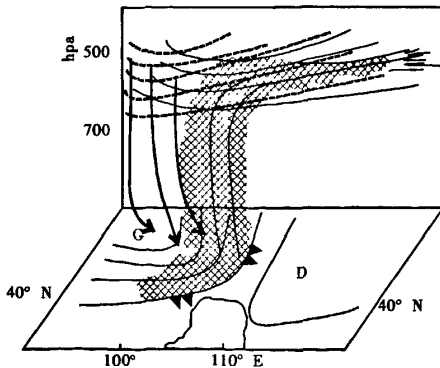


图10 纯干冷锋型沙尘天气模式
(虚线-温度线,实线-等高线,阴影-沙尘暴)

西北路沙尘暴爆发的整个过程来看,9日20:00~10日08:00及10日20:00~11日08:00西北路虽有沙尘天气,但明显较弱,而10日08:00

~10日20:00,西北路沙尘暴最强,这可能与太阳辐射的日变化关系密切。

4 结论

通过以上对2006年4月9~11日中国北方大范围沙尘暴天气过程的天气学模式分析,得出以下结论:

(1)“Ω”流型中的横槽、锋区和蒙古低压、冷锋是形成此次沙尘暴的重要高空、地面影响系统。

(2)西路沙尘暴是由位于阿尔泰山附近冷锋和锋前蒙古低压所引起,沙尘暴发生地主要为蒙古国、内蒙、华北、东北。西北路沙尘暴是由天山附近的冷锋所形成,沙尘暴主要发生地为新疆、青海、甘肃、宁夏、陕西等地。

(3)西路第一阶段沙尘天气爆发时,高空急流

和锋区起着非常重要的作用, 强沙尘暴出现在蒙古低压内, 沙尘暴发生区基本呈东西走向且与蒙古低压的移动路径一致, 属于蒙古低压型。西路第二阶段沙尘暴主要发生在冷锋锋区里, 蒙古低压前的西南大风区发生的沙尘暴位居其次, 地面主要影响系统是冷锋, 其次为蒙古低压, 沙尘暴带呈东北—西南向, 属于冷锋和蒙古低压混合型。纯干冷锋型沙尘暴基本发生在冷锋后的西北大风区里, 沙尘暴呈西北—东南向, 属于纯干冷锋型。

参考文献:

[1] 周秀骥, 徐祥德, 颜鹏, 等. 2000 年春季沙尘暴动力学特征

[J]. 中国科学(D 辑), 2002, 32 (4): 327-334.

- [2] 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.
- [3] 张晓龙, 张艳芳. 近年来中国北方沙尘暴成因及其防治[J]. 灾害学, 2001, 16(3): 70-75.
- [4] 李登科, 杜继稳. 沙尘暴监测与预警方法研究[J]. 灾害学, 2006, 21(1): 55-58.
- [5] 张德二. 历史时期“雨土”现象剖析[J]. 科学通报, 1984, 24 (3): 294-297.
- [6] 王晓青. 西北地区沙尘暴灾害及防治对策[J]. 干旱区研究, 2001, 18(2): 61-64.
- [7] 刘景涛, 钱正安, 姜学恭, 等. 中国北方特强沙尘暴的天气系统分型研究[J]. 高原气象, 2004, 23(4): 540-547.
- [8] 刘振隆. 天气学(上册)[M]. 北京: 气象出版社, 1986: 237-238.

Circulation Model Analysis on the Strongest Sandstorm in North China in 2006

Gao Weiying¹, Li Ming², Du Jiwen³ and Wang Shigong⁴

- (1. Xi'an Meteorological Bureau, Xi'an 710016, China; 2. Shaanxi Meteorological Observatory, Xi'an 710015, China; 3. Shaanxi Meteorological Bureau, Xi'an 710015, China; 4. College of Atmospheric Science, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China)

Abstract: The routes of the large-scale sandstorm in April 9 to 11 of 2006 in northern China and synoptic meteorology are analyzed based on the surface and upper observation data. The results show that this sandstorm went along west and northwest routes. The first stage of west route sandstorm belongs to Mongolian low type, of which the influential systems are the upper jet, frontal zone and Mongolian low. The second stage of west route sandstorm belongs to mixed type of the cold front and Mongolian low, of which the influential systems are cold air invasion after transversal trough changing upright and Mongolian low maintenance before cold front. The northwest route sandstorm belongs to pure dry cold frontal type, of which the influential systems are upper transversal trough and surface cold front.

Key words: sandstorm; route; Mongolian low type; mixed type of cold front and Mongolian low; pure dry cold frontal type