

文章编号:1000-694X(2008)04-0770-05

## 陕西一次强沙尘暴过程诊断与分析

滕跃<sup>1</sup>, 王万瑞<sup>2</sup>, 贺皓<sup>1</sup>, 黄宝霞<sup>1</sup>, 余敏丽<sup>1</sup>

(1. 陕西省气象科技服务中心, 陕西 西安 710015; 2. 陕西省气象局, 陕西 西安 710015)

**摘要:** 2006 年陕西共发生沙尘天气 13 次, 其中 4 月 11 日的沙尘天气最为严重, 危害最大, 这也是陕西近 10 a 来最为严重的一次沙尘暴天气过程。这次沙尘天气带来一系列的天气演变过程, 它持续时间虽然只有 8~9 h, 但覆盖面积大, 影响范围广, 全省 70%~80% 左右的区域都受到了影响。运用 FY-2 卫星红外云图及 MICAPS2.0 模式中的数值预报进行分析, 发现红外云图呈现出异常状态, 高低空形势配合较好, 气压梯度、温度梯度密集, 狂风突起等状况, 试图揭示与解读沙尘天气在发生过程中某些气象因子的特征及其对沙尘天气的影响机理, 为今后预报沙尘暴强度和发生区域提供一定的理论依据。

**关键词:** 沙尘暴; 能见度; 大风; 寒潮; 物理量诊断; 红外云图

**中图分类号:** P445.4      **文献标识码:** A

陕西位于中国的中部、西北地区东部, 北于内蒙古毛乌素沙地相接, 西与甘肃相连, 且南北长约 800 km, 东西宽约 400 km, 在这样的地理位置条件下, 大部分地区受大陆季风气候控制, 自然形成的沙土源丰富, 特别是陕北春季降水稀少, 干土层厚, 植被尚未大面积形成, 地表裸露, 加之冷空气活动频繁, 导致沙尘暴频频发生<sup>[1]</sup>。沙害的实质就是风力作用下沙子的吹蚀、搬运和堆积, 而其防治核心, 就是采取各种技术措施减小气流中的输沙量, 削弱近地表层的风速, 延缓或阻止沙丘的迁移, 以达到削弱或避免风沙危害的目的<sup>[2]</sup>。因而削减风速, 耗散风能, 从而达到防风固沙之功效, 尤为重要<sup>[3]</sup>。2006 年 4 月陕西大部地区气温较常年明显偏高, 降水量偏少, 温度高导致蒸发量大, 使得地表沙土无法固定, 地面固土状况较差。4 月 11 日突如其来的沙尘暴结束了陕西持续多日的高温天气, 使大部分地区最高气温骤然下降 10~20℃, 沙尘天气最严重地区延安、榆林、定边、吴旗水平能见度≤100 m, 最大瞬时风速达  $22 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , 为 9 级大风, 西安水平能见度最小时也只有 200~400 m 左右, 达到强沙尘暴标准。伴随这次沙尘天气出现的寒潮, 对陕西农业产生了非常不利影响; 大风还将许多道路两边的大树的枯枝刮落, 造成交通不便甚至将路上的行人砸伤; 大风掀走屋顶砸向繁华小街, 给市民出行安全带来了不小的威胁; 沙尘暴造成铁路运行中断, 使多个飞机班次推迟运行等。

## 1 沙尘暴天气形势分析

### 1.1 高空形势分析

沙尘暴出现时, 在 2006 年 4 月 11 日 08:00 的 500 hPa 高空形势图(图 1A, 见图版Ⅱ)上, 东亚环流形势为一槽二脊型。两脊分别位于新疆东北部 95°E 和东北 125°E 附近, 槽线位于张掖—重庆一线, 下槽线呈前倾态势, 槽前与槽后温差在 18~20℃, 说明冷空气的强度很强。两个高压脊控制着我国两个区域: 东部沿海和青藏高原。东部高压比较强, 在丹东—济南—淮南—武汉—吉安—汕头附近, 陕西全省处在槽前脊后的西南气流形势中, 这是其一; 青藏高原附近的高压脊相对较强, 东部高压开始减弱东退, 高原高压却在不断加强东进, 两高压之间的低压区位于包头—吉兰泰—张掖—酒泉附近, 并在不断东移, 槽在东移过程中得到加强, 陕南、关中、陕北所有站点均处于西南气流控制之中, 整个系统自西北向东南方向移动, 且这次过程始终发生在 500 hPa 槽前区域, 且温度场滞后于高度场, 此类形势最易产生较为强烈的天气过程, 且高度场在陕西全境处于上升气流幅合区, 这是其二; 在 1 000 km 多范围内分布着 4~6 条等温线与等压线, 说明温度梯度、气压梯度都较大, 这些都预示着将有一股强冷空气影响陕西。

在 11 日 08:00 的 700 hPa 高空形势图(图 1B,

收稿日期:2007-08-07; 改回日期:2007-09-17

基金项目:陕西省软科学研究项目资助

作者简介:滕跃(1957—),女,山东济南人,工程师,主要从事天气预报和气象应用研究。Email:tengyue\_0814@163.com

见图版Ⅱ)上,在内蒙古中部—四川一带为一深厚的低压槽,低压槽处于陕西中部略偏西,呼和浩特—宝鸡—康定为一切变线,陕西全境仍处于脊后槽前的西南气流之中,其中汉中、安康偏南风速为 $8\sim10\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,西安、延安西南风速为 $4\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,说明陕西处于水汽条件比较好的一个辐合区,这为沙尘之后的雨雪天气提供了有利因素。从图中可看出锋前锋后温差在 $20\sim28^\circ\text{C}$ 左右,锋前锋后温差显著。

在11日08:00的850 hPa高空形势图(图1C,见图版Ⅱ)上,陕西全省处于低压系统控制之中,来自南海的东南气流控制了整个陕西,东南气流给陕西带来暖湿气流,积蓄了一定不稳定能量。沿云贵高原、四川、陕西中南部、山西南部为一低涡倒槽,低涡倒槽附近西北方是强辐合区,陕西全省正好位于此区域,陕南 $8\sim12\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的偏东风代表一股来自东南区域的暖湿气流;包头 $12\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的偏北风代表一股来自偏北方向的强干冷空气;平凉、延安 $6\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的西北风代表一股来自西北方向的干冷空气。三股性质不尽相同的气流交汇形成一个夹状带,造成陕西全省锋生,辐合加强,为强对流风暴的产生创造了条件。11日08:00的850 hPa图上来自西北方向的干冷空气也进入陕西中部,与蒙古强冷空气一同形成低空干冷空气入侵机制。这次过程高低空形势配合较好,低层处于辐合状态,高层则处于辐散状态,非常有利于对流的发生与发展。冷空气的卷入是一个逐渐增大的过程,当增大到一定程度时,低层能量骤减,对流受到抑制,强对流天气很快结束。

## 1.2 地面形势分析

从2006年4月9日14时地面天气图上可以看出,强大的蒙古气旋盘踞了贝加尔湖以南的蒙古国和我国西北地区,形成两个低值中心,一个位于蒙古国西部,中心强度达到976.7 hPa,温度为 $20^\circ\text{C}$ ;另一个低值中心位于新疆南部,中心强度气压低于985 hPa。在其后的40 h内,该系统东移发展成为这次陕西强沙尘暴爆发的主要影响系统。

陕西这次沙尘天气最严重地区延安、榆林、定边、吴旗等地最小水平能见度 $\leq100\text{ m}$ ,最大瞬时风速达 $22\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,为9级大风,西安最小水平能见度 $200\sim400\text{ m}$ 左右,使大气环境受到严重污染,人体可吸入物大大超标。沙尘暴发生的前一天14时东亚地面图上,如图2A(见图版Ⅱ)我们可以看到,陕西处于冷锋前沿 $500\sim600\text{ km}$ 处,系统呈东北—西南

布局,气压梯度大,且以每小时 $50\sim60\text{ km}$ 的速度向东南推移,地面系统与高空形势配合较好,预示着未来12 h之内陕西境内将有一次较强沙尘天气过程发生。从图2B(见图版Ⅱ)上可看到,此时冷锋系统已经影响到陕西境内。

通过以上高、低空形势场分析发现,锋区主要以东移为主,但在东移的过程中,锋区西侧的南压引起新疆的长波槽有所加深,高空槽引导脊前冷空气向东南推移;从地面气压场的模拟分析来看,由于天山和阿尔泰山的阻挡,西伯利亚强冷空气分为西路和西北路,在其影响下这次沙尘过程也分为西路和西北路;从高空西风急流的模拟来看,这次沙尘天气过程高低空形势配合较好,高空存在多个急流中心,西风急流是在急流带前方略偏右向下传播,即大风区位于急流带前方略偏南。急流入口区南侧次级环流的上升支正好位于蒙古气旋区,蒙古气旋发展较强,在蒙古气旋中心区附近产生沙尘暴和强沙尘暴。从各个时次的垂直速度剖面图来看,沙尘区、沙尘强度和上升运动有着密切的联系,上升运动区域越大,速度越强,沙尘发生区域和沙尘强度就越大。

在西路沙尘发展强盛期,冷锋区的上升速度远大于气旋区的上升速度。从涡度模拟分析来看,西路沙尘天气的发生,最初出现在强的正涡度区域和涡度水平梯度最大处,随着气旋区正涡度的减弱和气旋后冷锋区负涡度的增强,沙尘天气逐渐由正涡度区移向涡度水平梯度最大处;而西北路沙尘则主要发生在水平涡度梯度最大处。从10 m风场模拟来看,沙尘发生区基本和地面大风区相对应。西路蒙古气旋式环流前的西南风经历了大一小一大一小的变化过程,相对应的蒙古气旋所经地区沙尘出现了强—弱—强—弱的过程;沙尘天气的发生从气旋式环流前的西南大风区,逐渐向气旋式环流后的西北大风区发展。西北路沙尘天气主要产生在河西走廊的西北大风区。

## 2 物理量诊断分析

### 2.1 热力因子分析

统计50 a(1956年4月6—10日至2005年4月6—10日)陕西10地市4月第二候气温距平发现,这次沙尘暴发生前一候的平均气温均高于历史同期距平值,且高出幅度较大。安康高出历年同期气温距平 $2.8^\circ\text{C}$ 为最少,商洛高出 $8.8^\circ\text{C}$ 为最多,其他地区分别高出为西安 $7.1^\circ\text{C}$ ,宝鸡 $5.5^\circ\text{C}$ ,铜川

7.4℃, 渭南6.4℃, 咸阳5.3℃, 延安6.3℃, 榆林6.0℃, 汉中4.9℃, 即10地市气温均偏高2.8~

8.8℃之间, 气温异常偏高, 应该是这次强沙尘暴天气发生的一个重要因素(表1)。

表1 陕西10地市50a气温距平值(4月6—10日)与2006年4月6—10日平均气温比较

Table 1 Comparison of temperature anomaly of 10 cities in Shaanxi during April 6—10 of 50 years with the temperature on April 6—10, 2006

地区	西安	安康	宝鸡	商洛	铜川	渭南	咸阳	延安	榆林	汉中
50a距平/℃	13.2	14.8	12.5	12.1	10.2	13.0	12.3	10.0	8.4	13.6
2006年值/℃	20.3	17.6	18.0	20.9	17.6	19.4	17.6	16.3	14.4	18.5

从图3我们可以更清晰的看出2006年4月第二候气温平均值的高低状况。由于4月份的冷空气活动还处于相对活跃期, 而这期间陕西全省的气温与50a历史同期比较又呈较高趋势, 这势必导致冷暖空气相遇时产生强对流天气过程。反常的热力因素, 一般会带来反常的天气过程。所以这次沙尘暴的强度也就显示出其强劲的一面。4月份原本就是一年中沙尘暴的高发期, 在这样的气候背景下, 出现强沙尘暴天气的机率会增大, 在相关系数比较中我们不难看出, 它们有很好的相关性。

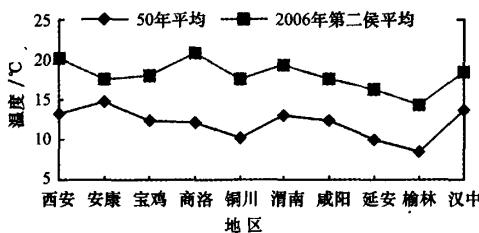


图3 陕西10地区气温平均值

Fig. 3 The mean temperature of 10 cities in Shaanxi

通常情况下沙尘暴的发生不一定伴随有地面大风、降温、降雨、降雪等。而此次沙尘天气过程中有20个站次出现8~9级大风, 3站次出现了短时暴雨, 8个站次出现了大雨, 20站次出现了中雨, 69站次出现了小雨, 陕北的部分地区还出现了降雪。在对省内50a的资料统计发现, 2006年4月6—10日的候平均气温, 有70%的台站高于50a的最高年份的同期气温。当冷锋入侵之初, 气温下降幅度并不很明显, 但是在强沙尘暴入侵后2h左右, 气温下降开始呈现明显趋势, 说明这次的冷锋系统温度场相对滞后于高度场所致, 这一点从4月11日08:00时500hPa图中可以得到证明。再以西安为例, 如图4所示, 从图中可清晰的看出, 4月10日的最高温度在28.0℃, 出现在16时左右, 而11日的最高气温出现在早上08时, 为19°, 由此可以看出, 11日早上的最高气温还处于前一天的较高气温的下降时段时

遭遇到了强冷空气侵袭, 至此气温便一路下滑, 由前一日的最低气温为15.0℃, 到沙尘暴当日的最低气温下降到了3.8℃, 冷空气的入侵导致西安最高与最低气温均下降11.0~18.0℃左右, 达到寒潮标准。

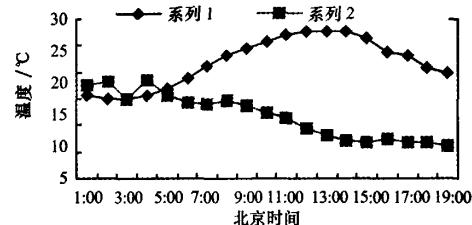


图4 西安2006年4月10日与11日温度曲线

Fig. 4 Diurnal curves of temperature on April 10 and 11 in Xi'an

## 2.2 风速场分析

以往沙尘暴研究工作主要是对我国北方沙尘暴的分布和变化趋势、不同地区的降尘通量、个例沙尘暴事件过程和降尘的理化性质进行监测与分析<sup>[4~9]</sup>。而对此次沙尘天气的分析发现, 其中代表陕西的两个主要站点西安和延安的风速达到了20~24m·s<sup>-1</sup>, 这次沙尘天气最严重地区延安、榆林、定边、吴旗最大瞬时风速达22m·s<sup>-1</sup>, 全省60%~70%的地区出现了7~8级的瞬时大风, 这次沙尘天气的风速大于近10a来所发生的沙尘天气, 且高空形势与地面形势配合较好, 即高空风与地面风都较强。因此风速的变化对沙尘的释放、输送和沉降有重要的影响<sup>[10]</sup>, 说明风速与沙尘天气的强度具有较好的正相关性。即风速较强时, 其沙尘天气强度也随之增强; 风速较弱时, 沙尘天气强度也随之减弱。

## 3 红外云图分析

我国目前每年各种灾害造成500亿元的经济损失, 卫星的利用可以在预防与减灾方面发挥积极和重要作用。从2006年4月11日05时、07时、09时、11时的卫星红外云图中可看出, 沙尘暴天气从

开始到结束的演变过程。可以在 FY-2 卫星红外云图上探测到沙尘暴云系,中心区域呈淡黄色,说明沙尘云系很深厚。原因有两个:一是组成尘埃云的粒子要足够大(大于  $15 \mu\text{m}$ ),以使卫星能部分地观测到地面所发射的辐射;二是它必须足够深厚,有一个较低的温度,否则将由于不够冷而在图象中难以将其区别于地表层<sup>[1]</sup>。如图 5A(见图版Ⅲ),此时有一个沙尘带正向东南方向扩展,大片被红色区域所包围的淡黄色区域呈椭圆形处于陕西的西北方向,这一区域正是沙尘暴的中心区域(它有别于降雨云图,中心呈暗红色或黑色),此时沙尘天气已经开始入侵陕西北部地区,且系统深厚强大;在图 5B(见图版Ⅲ)中被红色所包围的黄色区域已被拉长,并与东北区域的一只云系联接起来,形成了一个更宽广的大尺度系统,此时的沙尘系统已经影响到陕西的北部和中部区域;在图 5C(见图版Ⅲ)中沙尘中心已明显移向偏东北方向,但此时全省范围内还正处于沙尘天气的漫延期,70%左右的台站被沙土所笼罩;在图 5D(见图版Ⅲ)中虽然部分地区沙尘天气还在继续,但大部分地区已开始出现雨雪天气,对沙尘天气起到了遏制作用。从红外组图中不难看出系统的深厚与强势。从卫星云图和地面观测可以看出,该次强沙尘暴过程于 4 月 9 日晨起源于新疆东部和甘肃西部,由于卫星受大面积云区覆盖的影响,所以沙尘面积的反演偏小。从地面观测可以得出,10 日凌晨在新疆东北部发生了持续 6 h 以上的强沙尘暴过程。10 日白天随着天气系统东移,沙尘暴过程向东推进,并在内蒙古沙漠地区及干旱草原地区、甘肃干旱戈壁地区得到沙源补充,而后迅速东移,于 11 日清晨影响陕西,造成陕西沙尘暴灾害。这次沙尘暴从 11 日凌晨 05 时左右开始进入陕西北部地区,而后迅速漫延至全省大部分地区。随着沙尘暴之后雨雪的降临,下午 14 时左右,该过程在陕西境内相继结束。

从以上模式分析可以看出,提前 24 h 很好地抓住沙尘暴主体的移动方向、影响范围和强度是完全可能的。

事实证明,当红外云图呈现出异常状态,被红色区域所包围的淡黄色区域及移动方向前沿 500~600 km 处为沙尘暴的重灾区。

## 4 结论

通过对陕西省 2006 年 4 月 11 日沙尘暴天气个

例分析表明,沙尘天气的强弱,除与降水稀少,干土层厚,植被尚未大面积形成,地表裸露等因素有关外,还与以下因素有关:

1) 温度场滞后于高度场,此类形势最易产生较为强烈的天气过程,且高度场在陕西全境处于上升气流幅合区,温度梯度、气压梯度都较大。

2) 高低空形势配合较好,沙尘暴发生区域主要在正涡度的上升区,锋前锋后温差在 20~28℃ 左右,锋前锋后温差显著。

3) 红外云图呈现出异常状态,被红色区域所包围的淡黄色区域及移动方向前沿 500~600 km 处为沙尘暴的重灾区。

4) 与前期的气温偏高和当日的风速偏大具有较好的正相关性。即在 4 月份沙尘暴高发期,当气温偏高或风速较强时,其沙尘天气强度也会随之增强;而气温偏低或风速较弱时,沙尘天气强度也会相对较弱。

## 参考文献(References):

- [1] 李登科,李平,候明全,等.陕西黄土高原植被生态环境与气候研究[M].北京:气象出版社,2005:153~185.
- [2] 朱震达,赵兴梁,凌裕泉,等.治沙工程学[M].北京:中国环境科学出版社,1998:1~3.
- [3] 金昌宁,董治宝,李吉均,等.高立式沙障处的风沙沉积及其表征的风沙暴运动规律[J].中国沙漠,2005,25(5):652~657.
- [4] 钱正安,送敏红,李万元.近 50 年来中国北方沙尘暴的分布及变化趋势[J].中国沙漠,2002,22(2):106~111.
- [5] 权建农,奚晓霞,王鑫,等.兰州市 2001 年沙尘气溶胶质量浓度的特征分析[J].中国沙漠,2005,25(1):93~97.
- [6] Liu L Y, Shi P J, Gao S Y, et al. Dustfall in China's western loess plateau as influenced by dust storm and haze events[J]. Atmospheric Environment, 2004, 38: 1699~1703.
- [7] 康风琴,李耀辉,吕世华.2001 年 4 月 8 日强沙尘暴天气的数据模拟研究[J].中国沙漠,2003,23(6):681~684.
- [8] Zhang R J, Wang M X, Zhang X Y, et al. Analysis on the chemical and physical properties of particles in a dust storm in spring in Beijing[J]. Powder Technology, 2003, 137: 77~82.
- [9] 宁海文,王式功,杜继稳.西安沙尘天气特征及其对空气质量的影响[J].中国沙漠,2005,25(6):886~890.
- [10] 强明瑞,肖舜,张家武,等.柴达木盆地北部风速对尘暴事件降尘的影响[J].中国沙漠,2007,27(2):290~295.

## Diagnosis and Analysis on a Severe Sandstorm in Shaanxi

TENG Yue<sup>1</sup>, WANG Wan-rui<sup>2</sup>, HE Hao<sup>1</sup>, HUANG Bao-xia<sup>1</sup>, SHE Min-li<sup>1</sup>

(1. Shaanxi Province Meteorological Services Center, Xi'an 710015, China; 2. Shaanxi Province Meteorological Bureau, Xi'an 710015, China)

**Abstract:** There were thirteen sand-dust weather processes in Shaanxi province in 2006, in which the process on April 11 was the most serious, and also the most serious in the last 10 years in Shan'xi. This sand-dust weather process induced a series of development of weather process; although it only lasted for eight to nine hours, it influenced most area, 70% to 80% of the whole province. In order to reveal the characteristics of some meteorological factors in the process of sand-dust weather and its mechanism, the numerical forecast in FY-2 satellite infrared cloud image and MICAPS2.0 model about this sand-dust weather process was analyzed in this study. The results showed that there was abnormal state in infrared cloud image: suitable match of high and low altitude position, abnormal denseness of pressure and temperature gradient and burst of gale. The results of this study can provide some theory basis for the forecast of the level and the occurrence region of sandstorm.

**Keywords:** sandstorm; visibility; gale; cold wave; diagnosis of physical feature; infrared cloud image

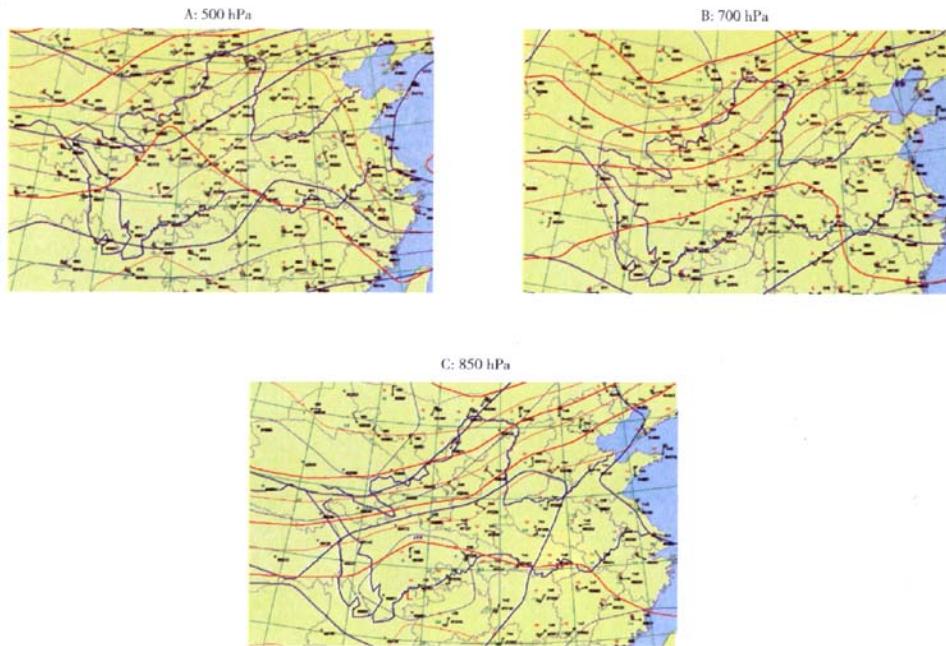


图 1 2006-04-11T08 时 500 hPa、700 hPa、850 hPa 形势图  
Fig.1 The synoptic charts of 500 hPa, 700 hPa, 850 hPa at 08:00 on April 11, 2006



图 2 2006-04-10T14 时和 2006-04-11T05 时地面天气图  
Fig.2 The surface synoptic charts at 14:00 on April 10, 2006 and 05:00 on April 11, 2006

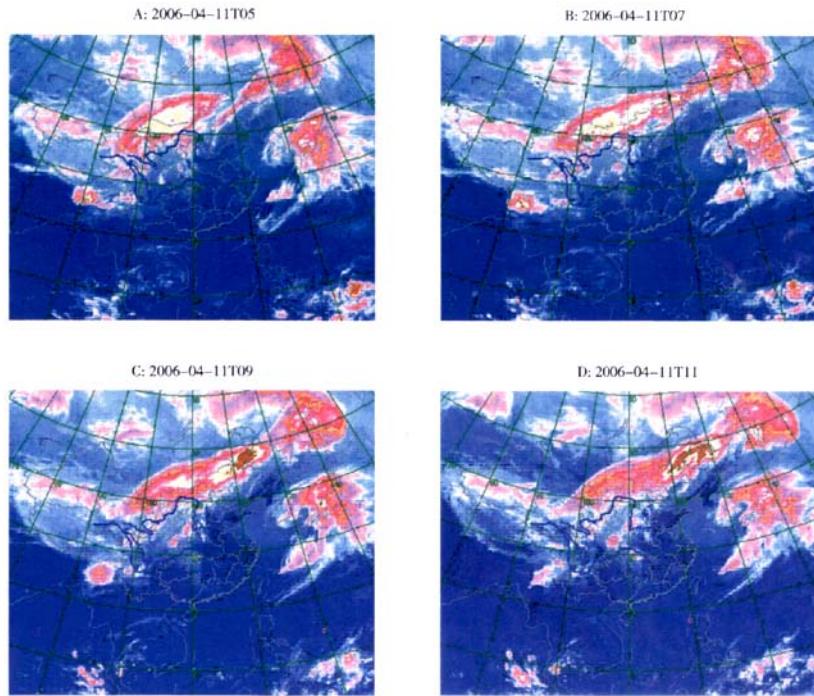


图5 2006-04-11T 05/07/09/11 卫星红外云图

Fig.5 FY-2 infrared satellite cloud images at 05: 00, 07: 00, 09: 00 and 11: 00 on April 11, 2006