

## 2006年春季沙尘天气异常的气候背景分析 及趋势预测检验

陈红 林朝晖 秦正坤 周广庆

中国科学院大气物理研究所, 北京 100029

**摘 要** 作者概述了2006年春季我国北方地区沙尘天气异常的观测特征。与2000~2005年同期相比, 2006年春季, 我国北方地区沙尘天气过程相对频繁, 强度偏强。首先, 利用NCEP再分析资料及台站观测资料, 对可能影响2006年春季我国沙尘天气异常的气候背景进行了分析, 结果表明: 2006年春季北方地区冷空气势力较常年强, 冷空气活动较频繁, 这是造成2006年春季我国沙尘天气多于前几年的动力原因。此外, 春季我国西北及内蒙古的沙源地区降水偏少, 干旱少雨, 加之春季气温偏高, 在一定程度上也有利于沙尘天气的形成。利用IAP年度数值气候预测系统对2006、2007年春季我国沙尘天气趋势的气候背景进行了预测, 检验了系统对2006年沙尘趋势的预测能力, 并对2007年春季沙尘天气趋势进行了展望。结果表明: 预测系统较好地预测出2006年我国北方地区春季降水偏少、土壤偏干的状况, 但对风场的预测与实况有一定的差距, 由预测的气候距平结果推断2006年春季我国北方沙尘次数正常略偏少, 与实况相反; 对2007年春季的预测结果表明, 2007年春季我国北方, 特别是西北及内蒙古沙源地区土壤湿度偏湿, 冷空气活动势力偏弱, 不利于沙尘天气的形成, 由此预测2007年春季我国北方沙尘趋势与常年相比略偏弱。

**关键词** 沙尘天气 气候背景 预测检验

**文章编号** 1006-9585 (2007) 03-0365-09 **中图分类号** P445+.4 **文献标识码** A

## Climatic Background for the Anomalous Spring Dust Storms over Northern China during 2006 and the Verification for Real-time Climate Prediction

CHEN Hong, LIN Zhao-Hui, QIN Zheng-Kun, and ZHOU Guang-Qing

*Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029*

**Abstract** Base characteristics of the anomalous spring dust storm in 2006 have been analyzed in this paper, and it is found that the spring dust storm in 2006 happened frequently and is stronger than the usual. By using NCEP reanalysis data and observational data in station, the climatic background which may be responsible for the spring strong dust storm activities in 2006 has been investigated. The preliminary results show that, in 2006 spring, the active cold air was favorable for the occurrence of the spring stronger dust storm. Meanwhile, the precipitation in northern China was less than the normal during the spring of 2006, the surface condition was drier than the normal, and the air temperature over source regions of dust storm was higher than the average, all these will be favorable for the formation of dust storm during springtime in 2006. By using the real-time prediction results produced by Institute of Atmospheric Physics (IAP), Chinese Academy of Sciences annual climate prediction system, the prediction trend of spring dust storm events in 2006 has been verified well, and the trend in 2007 has been discussed. Results show:

**收稿日期** 2007-03-10 收到, 2007-04-15 收到修定稿

**资助项目** 国家自然科学基金资助项目 40605023、40575040、40221503 以及中国科学院知识创新工程领域前沿项目 IAP07216 和国家财政部“西北地区土壤水分、沙尘暴监测预测研究”项目 (Y0101)

**作者简介** 陈红, 女, 1972年出生, 博士, 副研究员, 主要从事气候预测研究。E-mail, chh@mail.iap.ac.cn

though the surface wind anomaly in northwestern China has not been very successfully reproduced by IAP Dynamical Climate Prediction System in 2006 spring, the rainfall anomalies and soil moisture anomalies in northern China has been well predicted, verification of real-time prediction expressed that the prediction for trend of the dust storm in 2006 spring is opposite to the observation. In 2007 spring, the predicted soil condition in the northern China is wet, and cold air is weaker than the normal. So, it could be expected that, in 2007 spring, there will not be so many opportunities for the occurrence of strong dust storm.

**Key words** dust storm, climatic background, verification

## 1 引言

我国北方属沙尘暴多发地区之一,春季该地区沙尘暴发生频繁,影响范围广,给受灾地区农业生产、城市交通和人民生活造成了严重的危害,沙尘暴已成为我国北方地区严重的环境问题之一,引起国内和国际的广泛关注。

20 世纪 70 年代开始,许多专家从不同领域广泛开展了有关我国北方地区沙尘天气灾害的研究。目前国内对沙尘暴的研究大多集中在沙尘事件活动时间和空间分布的统计及沙尘天气成因研究方面,也开展了一些沙尘输送的数值模拟研究和起沙机制的研究<sup>[1~5]</sup>。近年来,就沙尘天气的气候预测国内也开展了一些初步的研究,取得了可喜的进展<sup>[6,7]</sup>。利用中国科学院大气物理研究所自行研制的大气环流模式,Chen 等<sup>[8]</sup>建立了 IAP 年度数值气候预测系统,利用该系统进行了我国北方地区春季沙尘天气异常的动力学气候预测试验,实时预测及其检验表明,该系统对 2000~2005 年我国北方春季沙尘天气趋势具有较好的预测能力<sup>[9,10]</sup>。

2006 年春季我国北方地区出现了 18 次沙尘天气过程,沙尘天气发生较频繁,平均沙尘日数超过 2003~2005 同期,特别是华北地区,沙尘日数比常年同期异常偏多。那么,2006 年春季我国北方沙尘较前几年异常偏多的原因是什么? IAP 年度预测系统对 2006 年我国北方沙尘趋势的预测情况如何? 为此,本文将针对 2006 年春季沙尘天气的观测事实,首先对沙尘发生的气候背景条件进行分析,然后检验 IAP 年度预测系统对 2006 年春季我国北方沙尘天气的趋势预测,最后给出对 2007 年沙尘天气趋势的预测展望。

## 2 模式和资料

本文用于沙尘趋势预测的预测系统是 IAP 年度数值气候预测系统。IAP 年度数值气候预测系统主要由 5 个分系统组成: IAP ENSO 预测系统,积分方案和“距平耦合”技术系统,集合预测技术系统,订正系统,预测产品和分析系统。其中 ENSO 预测系统是基于中国科学院大气物理研究所(IAP/CAS)的热带太平洋与全球大气耦合环流模式建立起来的<sup>[11]</sup>,积分方案和“距平耦合”技术系统及预测产品分析系统与 IAP 跨季度预测系统相类似,但订正系统是在年度后报试验的基础上建立的。系统所采用的气候模式是水平分辨率为  $2^\circ$  (纬度)  $\times 2.5^\circ$  (经度) 的 IAP 两层大气环流模式<sup>[12]</sup>,该模式对当代气候以及亚洲气候等具有较好的模拟能力。

本文用于进行 2006 年沙尘天气发生气候背景条件分析的观测资料包括: 中国大陆 160 站点的月平均降水和气温资料,美国 NCEP/NCAR 再分析资料。

## 3 观测事实

2006 年春季(3~5 月),我国北方地区沙尘天气发生较频繁,沙尘天气过程的强度偏强,共出现了 18 次沙尘天气过程(包括扬沙和沙尘暴)。虽然 2006 年不属近年来沙尘暴最严重的一年,但沙尘天气发生总次数却超过了 2000 年以来的平均值。其中扬沙 7 次,沙尘暴 6 次,强沙尘暴 5 次。3 月份出现 5 次沙尘天气过程,4 月份出现 7 次,5 月份出现 6 次。

4 月 9~12 日的强沙尘暴天气是 2006 年影响范围最大、强度最强的过程。影响范围包括西北

地区大部、华北大部及辽宁南部和河南西北部等 13 个省(市、区), 其中, 新疆、甘肃、宁夏和内蒙古的部分地区出现了能见度低于 500 m 的强沙尘暴。新疆吐鲁番地区遭遇了 22 年以来最强的沙尘暴, 给该地区生产生活造成了严重影响, 受灾  $3.4 \times 10^4$  户、 $1.39 \times 10^5$  人, 直接经济损失  $1.39 \times 10^8$  元。北京 4 月 8~10 日出现浮尘天气, 造成空气质量连续 3 天达到重度污染, 是有污染物观测资料以来极为少见的。

次强过程是 3 月 9~12 日的强沙尘暴天气过程。3 月 9~12 日, 受强冷空气及大风影响, 我国北方出现了大范围沙尘天气过程。南疆盆地、内蒙古、青海、甘肃、宁夏、陕西、山西、河北、辽宁、吉林、黑龙江的部分地区以及北京出现了扬沙和沙尘暴天气, 局部地区还出现了能见度为 100~500 m 的强沙尘暴。

4 月 16~18 日, 我国北方又出现一次强沙尘暴天气过程。其中内蒙古中部出现了能见度只有 200m 的强沙尘暴, 北京一夜降尘  $3.3 \times 10^5$  t, 是一次强降尘的过程<sup>[13]</sup>。

表 1 给出了 2000~2006 年春季我国北方地区扬沙天气、沙尘暴以及强沙尘暴的次数, 从表中可以发现, 2006 年强沙尘暴次数多于 2000~2005 年, 沙尘(暴)天气的总频数多于 2000~2005 年, 是 2000 年以来最多的一年(与 2001 年持平)。

## 4 2006 年春季沙尘天气异常的气候背景分析

利用中国台站观测资料及 NCEP 再分析资料,

表 1 2000~2006 年春季我国北方沙尘(暴)天气次数分布

Table 1 Frequency of spring dust storm events over northern China during 2000—2006

| 年份   | 扬沙天气<br>次数 | 沙尘暴<br>次数 | 强沙尘暴<br>次数 | 沙尘(暴)<br>天气总数 |
|------|------------|-----------|------------|---------------|
| 2000 | 7          | 7         | 2          | 16            |
| 2001 | 5          | 10        | 3          | 18            |
| 2002 | 1          | 7         | 4          | 12            |
| 2003 | 5          | 2         | 0          | 7             |
| 2004 | 9          | 5         | 1          | 15            |
| 2005 | 4          | 4         | 1          | 9             |
| 2006 | 7          | 6         | 5          | 18            |

对 2006 年春季及前期的大气环流异常、降水、气温等的异常进行分析, 以初步揭示 2006 年春季我国北方地区沙尘天气较前几年异常偏强的原因。

### 4.1 前冬及春季大气环流异常

图 1 给出了 2006 年春季 500 hPa 高度场异常分布。2006 年春季东亚环流出现了异常, 3~5 月 500 hPa 高度场贝加尔湖地区为持续的负距平区控制, 表明东亚大槽偏强, 有利于冷空气南下。

沙尘暴产生的原因一般是受强冷空气的影响。强冷空气爆发可引发比较大的风, 而大风是沙尘产生和输送的必要动力条件。图 2 为观测的冬、春季 850 hPa 风场距平, 由图可见, 冬季蒙古国为一异常的反气旋性环流, 我国北方地区基本上为北风距平控制, 冷空气势力强; 而春季, 850 hPa 贝加尔湖以南至我国西北东部、内蒙古中东部、华北地区是西北风距平, 表明这些区域冷空气势力较常年强, 冷空气活动较频繁, 有利于春季起沙及其沙尘的输送。

### 4.2 前期降水和温度

沙尘天气的形成除了需要大风以及不稳定的大气条件外, 还需要另一重要的条件, 即地面上的沙尘条件<sup>[14]</sup>。而沙尘物质供应的充足与否, 在一定程度上取决于前期或同期的降水与温度的异常。

2006 年春季, 除内蒙古东部和东北局部地区外, 我国北方大部地区平均气温比常年同期偏高, 部分区域偏高  $2^\circ\text{C}$  以上(图 3)。气温偏高致使地表层解冻快, 土壤水分蒸发大, 土质疏松, 遇大风天气极易产生沙尘。

2005 年夏季, 我国北方降水偏少(图 4a), 部分地区还出现持续高温天气, 致使内蒙古中西部、宁夏中北部等地旱情严重。9 月上旬, 北方大部基本无降水, 西北东部、华北西部及内蒙古中西部等地出现夏秋连旱(图略)。我国北方大部分地区沙尘天气的频次与上一年夏秋季的植被长势存在较好的负相关<sup>[15]</sup>, 西北东部、华北、内蒙古等地 2005 年夏秋严重干旱造成地表植被长势差, 为 2006 年春季较频繁的沙尘天气提供了条件。

图 4b 给出了 2006 年春季(3、4 月平均)降水异常的观测情况。2006 年 3~4 月, 北方大部地区干旱少雨。与常年同期相比, 降水量普遍偏少 2~5 成, 内蒙古中西部、西北东北部、华北东部和北部降水量偏少 5~8 成, 局部地区偏少达 8 成

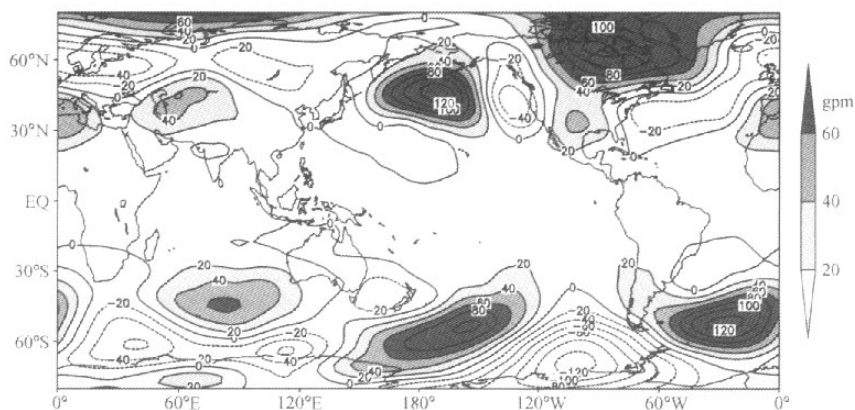


图1 2006年春季500 hPa高度异常

Fig. 1 The geopotential height anomaly at 500 hPa from March to May 2006

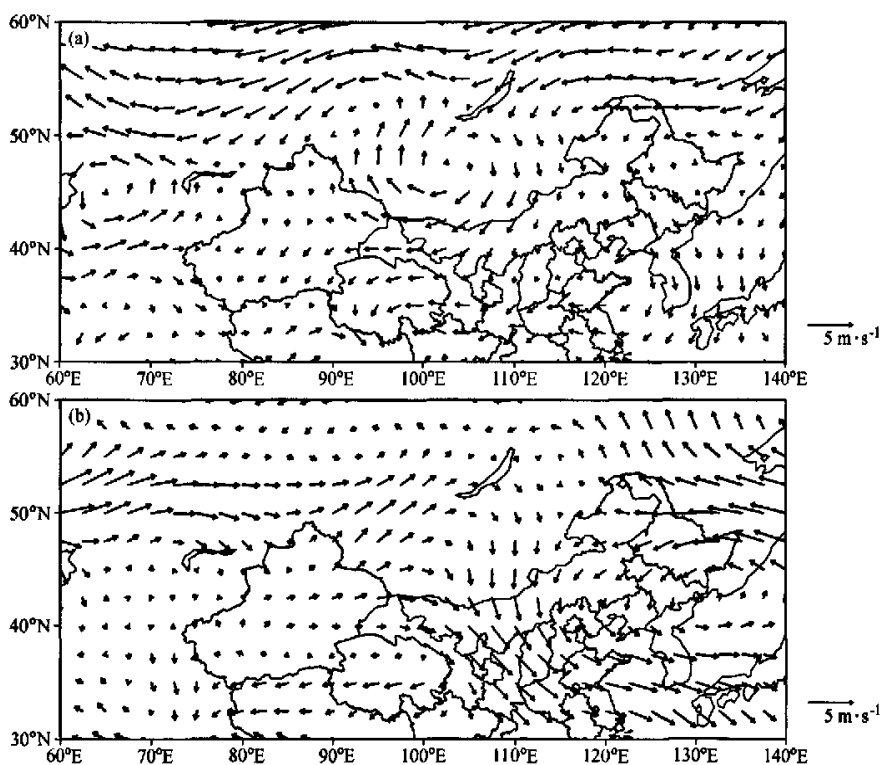


图2 (a) 2005/2006年冬季和(b) 2006年3、4月平均的850 hPa风场异常

Fig. 2 The anomaly of wind at 850 hPa; (a) from December 2005 to February 2006; (b) from March to April 2006

以上。我国西北及内蒙古的沙源地区降水偏少,有利于春季沙尘天气的发生。5月上旬,西北大部及内蒙古中部和西部等地降水

仍不足10 mm。干旱少雨,加之气温回升,使地表土质干土层增厚,遇大风天气极易产生沙尘。

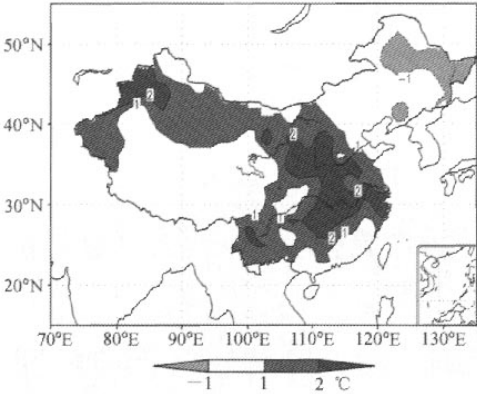


图 3 2006 年春季 (3、4 月平均) 气温异常的观测  
Fig. 3 The observed anomalies of air temperature from March to April 2006

4.3 积雪覆盖和近地面空气干燥度异常

2005~2006 年冬季青藏高原积雪异常偏少, 温度异常偏高, 相反在新疆及其以北冬季降雪异常多, 温度偏低, 导致热力场的南北梯度加大, 锋区加强, 地转风偏强。这使得在冷空气活动过程中, 北方风力偏强。从 3 月到 4 月中旬, 我国先后遭受了两次寒潮袭击, 尤其是 4 月份的寒潮更是少见。这两次寒潮过程和蒙古气旋的共同作用, 造成我国北方出现了大范围的强风, 并导致了强沙尘暴, 使得沙尘强度明显偏强。

图 5 给出了 2006 年 3、4 月平均的近地面空气相对湿度距平, 从图中可以发现, 在我国北方除新疆北部以外均为湿度负异常区, 这显然增加了沙尘源区松散干燥的沙尘, 因此偏干的地表状

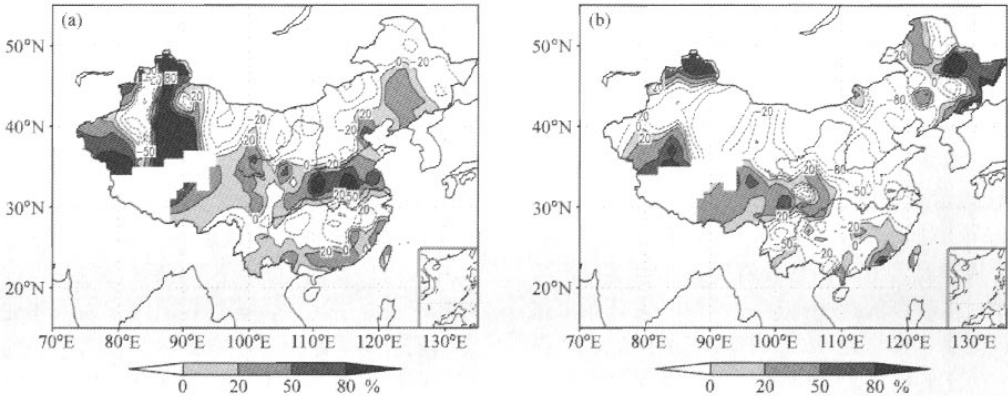


图 4 观测的 (a) 2005 年夏季和 (b) 2006 年春季 (3、4 月平均) 降水距平百分率  
Fig. 4 The observed percentage anomalies of precipitation (a) from June to August 2005; (b) from March to April 2006

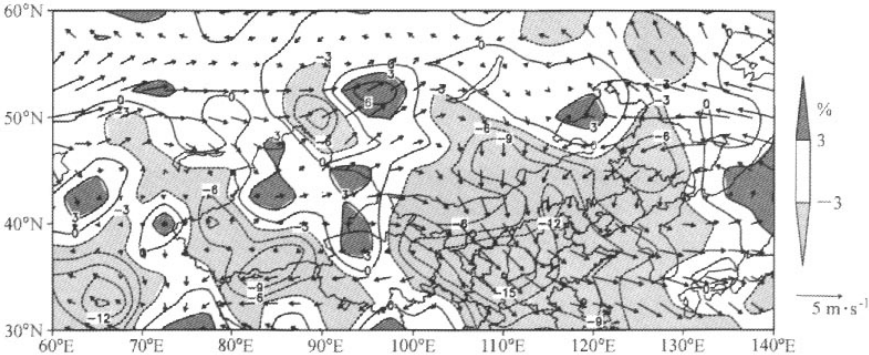


图 5 2006 年 3、4 月平均的近地面空气相对湿度距平及 850 hPa 风场距平  
Fig. 5 The anomalies of near surface relative air humidity and wind at 850 hPa from March to April 2006

况也是 2006 年春季我国北方地区沙尘天气比较多的原因之一。

综合大气环流形势、降水、气温及或近地面空气干燥度条件,可见 2006 年以来,中国北方大部分地区气温较常年偏高,降水量异常偏少,温度高导致蒸发量大,使得地表沙土无法固定,地表偏干,地面植被状况较差。同时,冷空气较活跃,大风天气较多,风吹沙土,沙尘天气自然频繁出现。所以,2006 年春季北方气候条件有利于沙尘的发生。

## 5 2006 我国春季沙尘天气趋势预测检验

用 IAP 年度预测系统进行实时预测时,模式的外强迫为海温异常。对 2006 年春季气候的预测,模式的大气初始场取为 2005 年 9 月 1~30 日,积分至 2006 年 8 月 31 日。海表温度异常取为 9 月实测海温异常与 IAP TOGA 预测系统<sup>[11]</sup>预报的 2005 年 9 月至 2006 年 8 月的热带太平洋地区的海温距平的线性组合。

利用 IAP 预测系统预测结果进行我国春季沙尘趋势预测时,考虑的气候特征因子主要有沙尘源地及沙尘侵袭的途中地区的风距平矢量和风强距平、土壤干燥度距平以及这二者的配置。至于温度(表土的或地表上空气的)距平和降水量距平则只是参考因子<sup>[10]</sup>。

图 6a 给出了 2006 年春季(3、4 月平均)降水异常的预测。预测结果与实况比较接近,预报出了我国北方内蒙古、新疆西部、华北、东北西部的降水偏少,东北东部、华南、西藏的降水偏多状况。我国内蒙古的沙源地区降水偏少,故有利于春季沙尘天气的发生。由土壤湿度距平预测场(图 6b)可以看到,系统预测的土壤湿度在我国北方地区偏干,出现偏干的概率达 60% 以上,土壤的这种状况也有利于起沙,遇大风天气极易产生沙尘。

从系统预测的近地面风场异常的分布(图 6c)来看,系统预测我国北方地区的风场比较正常,蒙古以北、西北为东风距平,冷空气势力较常年弱,预测结果与实况贝加尔湖以南至我国西北部、内蒙古中东部、华北地区是西北风距平有很

大差异,但模式对东北地区风场异常的预测是成功的。总体来说,模式对我国北方地区风场异常的预测不太成功。预测的北方地区风场不利于局地起沙及沙尘向我国的输送,但预测的我国北方土壤偏干,易起沙,故判定沙尘天气正常或略偏弱。与实况 2006 年沙尘偏强不一致。

## 6 2007 我国春季沙尘天气趋势预测展望

对 2007 年春季气候的预测,模式的大气初始场取为 2006 年 9 月 1~30 日,积分至 2007 年 8 月 31 日。海表温度异常取为 9 月实测海温异常与 IAP TOGA 预测系统预报的 2006 年 9 月至 2007 年 8 月的热带太平洋地区的海温距平的线性组合。

图 7a 给出了 2007 年春季(3、4 月平均)土壤湿度异常的预测。我国北方内蒙、新疆、华北、西北均为正距平,与常年相比偏湿,从概率分布看,这些区域出现土壤湿度偏湿的概率也比较高,我国北方地区土壤湿度的这种异常状况不利于春季沙尘天气的发生。

从系统预测的近地面风场异常的分布(图 7b)来看,我国北方地区的风场比较正常,以偏东风距平为主,蒙古国、我国内蒙古、华北、西北出现了南风距平,影响我国的冷空气活动较常年偏弱,因而不利于局地起沙及沙尘向我国的输送。

综合 2007 年春季土壤湿度和风场的预测结果,我们预测 2007 年春季我国北方沙尘趋势应为略偏弱。

## 7 结论与讨论

本文首先概述了 2006 年春季我国北方地区沙尘天气异常的观测事实及基本特征,指出 2006 年春季(3~5 月),我国北方地区沙尘天气发生较频繁,沙尘天气过程的强度偏强,共出现了 18 次沙尘天气过程(包括扬沙和沙尘暴),虽然 2006 年不是近年来沙尘暴最严重的一年,但沙尘天气发生次数是 2000 年以来最多的一年(与 2001 年持平)。

然后利用 NCEP 再分析资料及台站观测资料,对可能影响 2006 年春季我国沙尘天气异常的气候

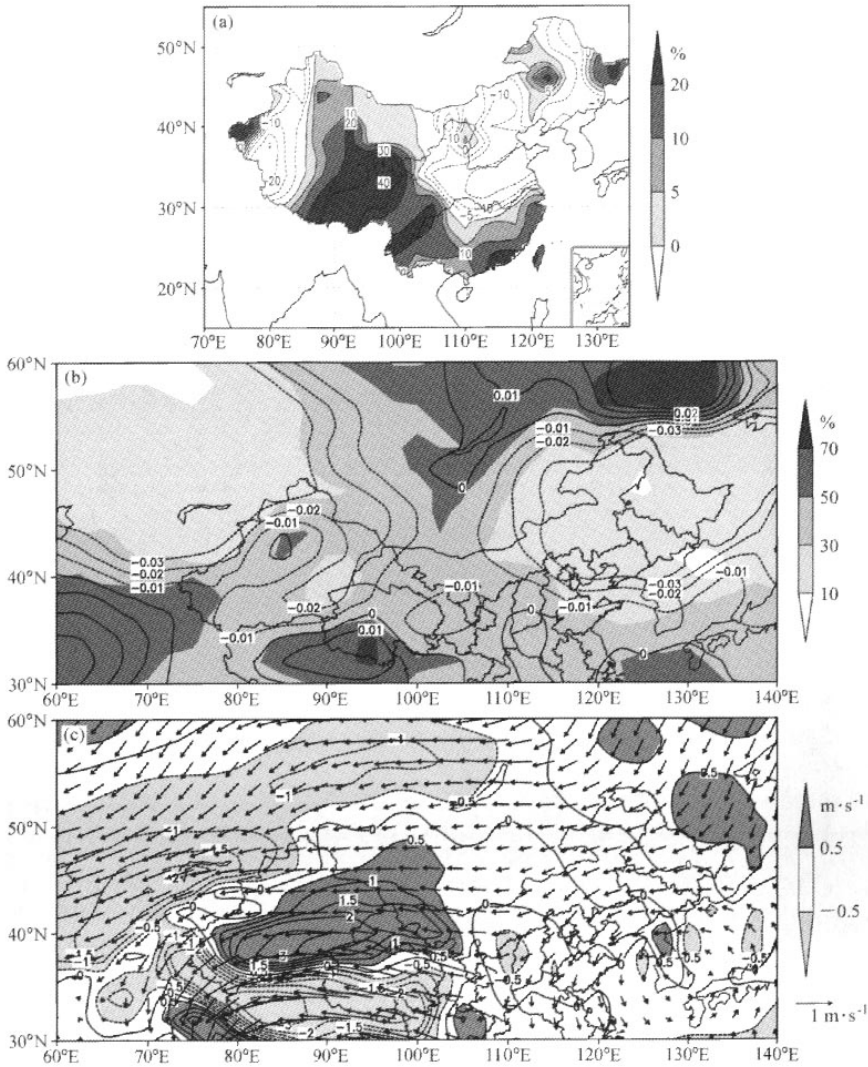


图 6 2006 年春季 (3、4 月平均) 气候异常预测: (a) 降水; (b) 土壤湿度 (等值线为土壤湿度异常, 单位: %; 阴影为正距平概率分布); (c) 850 hPa 风场 (阴影为风速距平)

Fig. 6 Predicted climate anomalies from March to April 2006; (a) the percentage anomalies of precipitation; (b) soil moisture (contour is soil moisture anomaly (fraction), the shaded is the distribution of positive probability of soil moisture anomaly); (c) wind anomaly at 850 hPa (the shaded is the wind speed anomaly)

背景进行了分析, 结果表明: 2006 年春季 850 hPa 贝加尔湖以南至我国西北东部、内蒙古中东部、华北地区是西北风距平, 这些区域冷空气势力较常年强, 冷空气活动较频繁, 这是造成 2006 年春季我国沙尘天气多于前几年的动力原因。此外, 我国西北及内蒙的沙源地区春季降水偏少,

干旱少雨, 加之气温回升, 使地表土质干土层增厚, 遇大风天气极易产生沙尘, 从而在一定程度上加速了沙尘天气的形成。

最后本文利用 IAP 年度气候预测系统 2006、2007 年的预测结果, 检验了系统对我国 2006 年春季我国沙尘天气趋势的预测能力, 并对 2007 年春

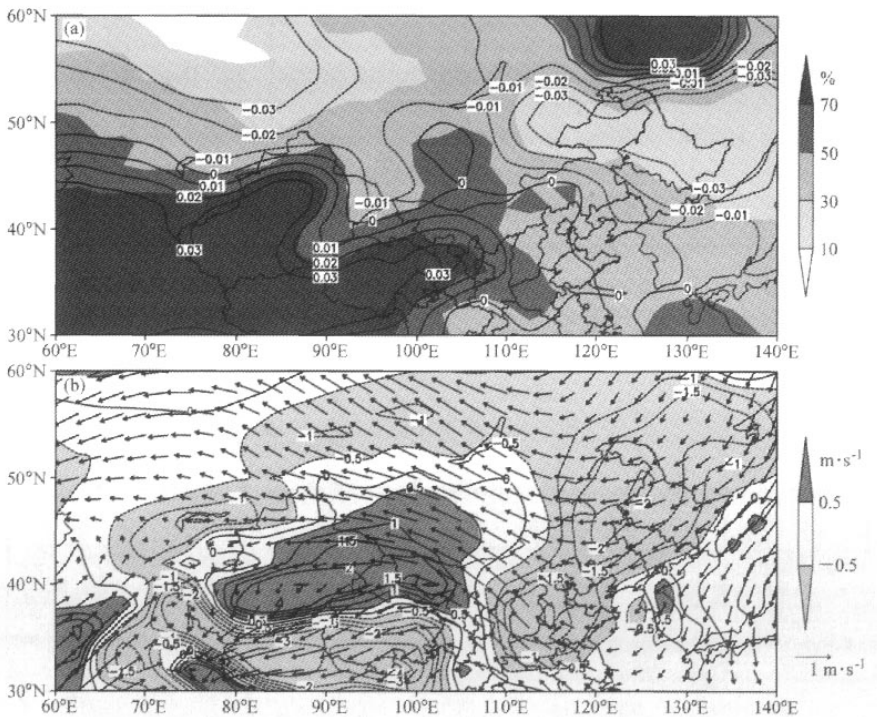


图 7 2007 年春季 (3、4 月平均) 气候异常预测: (a) 土壤湿度 (等值线为土壤湿度异常, 单位: %; 阴影为正距平概率分布); (b) 850 hPa 风场 (阴影为风速距平)

Fig. 7 Predicted climate anomalies from March to April 2007; (a) soil moisture (contour is soil moisture anomaly (fraction), the shaded is the distribution of positive probability of soil moisture anomaly); (b) wind anomaly at 850 hPa (the shaded is the wind speed anomaly)

季沙尘天气趋势进行了展望。结果表明: 预测系统较好地预测出 2006 年我国北方地区春季降水偏少、土壤偏干的情况, 但预测的风场异常与实况有较大差距, 综合预测的气候距平结果推断 2006 年春季我国北方沙尘次数正常略偏少, 与实况不一致。2006 年预测的不成功主要与风场预测的不准确有关, 虽然后报检验结果表明, 系统对春季北方近地面风场具有较好的预报技巧<sup>[9]</sup>, 但有些年份风场预报还是不够成功, 说明风场预测的不确定性, 所以在以后的沙尘趋势预测中, 除考虑风场、土壤状况等外, 也应更多地关注其他气候因子的作用, 如温度、地表状况等。对 2007 年春季的预测结果表明, 2007 年春季我国北方, 特别是西北及内蒙古沙源地区土壤湿度偏湿, 冷空气活动势力偏弱, 不利于沙尘天气的形成, 因此我国不会出现超强的沙尘天气, 由此预测 2007 年春季我国北方沙尘趋势与常年相比略偏弱。

沙尘暴是一种自然现象, 天气和气候因素主导了亚洲沙尘暴的发生。鉴于 IAP 年度预测系统对我国春季气候具有一定的跨年度预测能力, 所以可以利用该系统作出的春季气候形势距平的预测, 来推断我国北方春季的沙尘趋势。近几年的预测检验虽表明 IAP 年度预测系统对我国春季沙尘天气趋势具有较好的预测能力, 但系统还需进行进一步的改进。由于沙尘预测中关注的重点是我国北方地区的气候状况, 所以在利用气候模式进行预测时, 仅仅考虑海温这个外强迫因子是不够的, 土壤湿度、积雪等因子的作用也有待在模式中加以合理考虑。此外, 我们除关注季度平均的沙尘趋势的预测外, 以后也应进一步尝试进行月际尺度沙尘趋势和沙尘频数的预测。

### 参考文献 (References)

[1] 刘春涛, 程麟生. 黑风暴沙尘形成与输送参数化及中尺度

- 数值试验. 气象学报, 1997, 55 (6): 726~738
- Liu Chuntao, Cheng Linsheng. Parameterization of the formation and transportation for sand-dust of the black storm and mesoscale numerical experiments. *Acta Meteorological Sinica* (in Chinese), 1997, 55 (6): 726~738
- [2] 全林生, 时少英, 朱亚芬, 等. 中国沙尘天气变化的时空特征及其气候原因. 地理学报, 2001, 56 (4): 477~485
- Quan Linsheng, Shi Shaoying, Zhu Yafen, et al. Temporal-Spatial distribution characteristics and causes of dust-day in China. *Acta Geographica Sinica* (in Chinese), 2001, 56 (4): 477~485
- [3] 林朝晖, 陈红, 张时熾, 等. 2003 年春季中国沙尘天气异常的气候与环境背景. 气候与环境研究, 2004, 9 (1): 191~202
- Lin Zhaohui, Chen Hong, Zhang Shihuang, et al. Climatic and environmental background for the anomalous spring sandstorms over the Northern China during 2003. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 2004, 9 (1): 191~202
- [4] 周自江. 近 45 年中国扬沙和沙尘暴天气. 第四纪研究, 2001, 21 (1): 9~17
- Zhou Ziji. Blowing-sand and sandstorm in China in recent 45 years. *Quaternary Sciences* (in Chinese), 2001, 21 (1): 9~17
- [5] 孙建华, 赵琳娜, 赵思雄. 一个适用于我国北方的沙尘暴天气数值预测系统及其应用试验. 气候与环境研究, 2003, 8 (2): 125~142
- Sun Jianhua, Zhao Linna, Zhao Sixiong. An integrated numerical modeling system of dust storm suitable to North China and its applications. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 2003, 8 (2): 125~142
- [6] 王会军, 郎咸梅, 周广庆, 等. 我国今冬和明春气候异常与沙尘气候形势的模式预测初步报告. 大气科学, 2003, 27 (1): 135~140
- Wang Huijun, Lang Xianmei, Zhou Guangqing, et al. A preliminary report of the model prediction on the forthcoming winter and spring dust climate over China. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 2003, 27 (1): 135~140
- [7] 郎咸梅, 王会军, 周广庆. 我国 2003 年冬季气候异常与 2004 年春季沙尘气候形势的实时预测初步报告. 气候与环境研究, 2003, 8 (4): 381~386
- Lang Xianmei, Wang Huijun, and Zhou Guangqing. Real-time prediction of the climate feature for 2003 winter and dust climate for 2004 spring over China. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 2003, 8 (4): 381~386
- [8] Chen Hong, Lin Zhaohui, Zeng Qingcun. Introduction and systemic assessment for IAP numerical annual climate prediction system. *Chinese Science Bulletin*, 2003, 46, (Suppl. II) 56~61
- [9] 陈红, 林朝晖, 周广庆. 我国春季沙尘天气趋势的数值气候预测试验. 气候与环境研究, 2004, 9 (1): 182~190
- Chen Hong, Lin Zhaohui, Zhou Guangqing. Experimental dynamical prediction of spring dust storm events in China. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 2004, 9 (1): 182~190
- [10] 林朝晖, 陈红, 张东凌, 等. 2006: 沙尘天气的中期预告和短期气候预测试验, 曾庆存等著. 千里黄云—东亚沙尘暴研究, 北京: 科学出版社. 156~176
- Lin Zhaohui, Chen Hong, Zhang Donglin, et al., 2006: Med-range forecast and short-term climate prediction for dust storm. In: *Gigantic Yellow Cloud—Study of Dust Storm in East Asia* (in Chinese), Zeng Qingcun, et al., Eds. Beijing: Scientific Press, 2006. 156~176
- [11] 周广庆, 李旭, 曾庆存. 一个可供 ENSO 预测的海气耦合环流模式及 1997/1998 ENSO 的预测. 气候与环境研究, 1998, 3 (4): 349~357
- Zhou Guangqing, Li Xu, Zeng Qingcun. A coupled ocean-atmosphere general circulation model for ENSO prediction and 1997/1998 ENSO forecast. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 1998, 3 (4): 349~357
- [12] 张凤, 陈红, 林朝晖, 等. IAP AGCM-I 水平分辨率的提高及其对全球和东亚季风降水的数值模拟. 气候与环境研究, 2004, 9 (2): 396~408
- Zhang Feng, Chen Hong, Lin Zhaohui, et al. Improvement of horizontal resolutions of IAP AGCM-I and its influence on the simulations of global and East Asian climate. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 2004, 9 (2): 396~408
- [13] 孙建华, 赵琳娜, 赵思雄. 2006 年春季一次引起华北地区强沉降的沙尘暴过程的模拟研究. 气候与环境研究, 2007, 12 (3): 339~349
- Sun Jianhua, Zhao Linna, Zhao Sixiong. Numerical simulation on a dust storm producing strong deposition over North China in the spring of 2006. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 2007, 12 (3): 339~349
- [14] 夏训诚, 杨根生. 中国西北地区沙尘暴灾害及防治. 北京: 中国环境科学出版社, 1996
- Xia Xuncheng, Yang Gengsheng. *The Prevention and Control of the Disaster of the Dust Storm in the Northeast China*. (in Chinese) Beijing: Chinese Environmental Science Press, 1996
- [15] Xu Xingkui, Chen Hong. The influence of vegetations and snow cover on sand-dust events in the west of China. *Chinese Science Bulletin*, 2006, 51 (3): 331~340