

我国北方沙尘暴发生的环流形势分析*

赵翠光 刘还珠

(国家气象中心,北京 100081)

摘 要

对我国北方 1981~1997 年春季沙尘暴天气进行综合分析,用动态聚类法对沙尘暴日进行分型,选择三种典型类型,它们分别是西北冷锋型、西方槽脊移动型和北方路径型。通过对这三种类型的大尺度环流形势及主要天气系统分析,揭示了沙尘暴天气的基本特征。得到以下主要结论:聚类能够客观的反映沙尘暴的基本天气类型,这对于数据驱动的天气建模方式提供了一条途径;沙尘暴的爆发是高低空环流配合发展的结果。

关键词: 沙尘暴 聚类分析 环流形势

引 言

关于沙尘暴的研究,已有诸多成果,王式功^[1]对 1993 年 5 月 5 日黑风研究指出,不同地区大风开始时间和地面冷锋的移动位置一致,冷锋活动是造成大范围大风沙尘暴的主要天气系统,冷锋过境前后会产生很强的变压梯度,变压风是产生沙尘暴区瞬时大风的主要因素。高原低涡的发展导致河西走廊低空急流的形成,是河西走廊发生大范围黑风暴的重要条件。强冷空气迅速南下,形成显著的水平气压和温度梯度所造成的偏差风,是形成这次大风沙尘暴的重要原因。徐建芬^[2]等指出蒙古高压与热低压相互作用是激发东风沙尘暴的重要天气系统。项续康,江吉喜^[3]利用 GMS 静止气象卫星红外资料,对我国西北地区 1990 年以来爆发的 6 次强沙尘暴天气的成因做了中尺度分析。结果表明,强沙尘暴是由一些中尺度强对流系统形成和发展而造成的。赵光平^[4]对宁夏强沙尘暴形成机制进行了探索和研究,研究表明影响宁夏的强沙尘暴天气的强冷空气主要取道于乌鲁木齐—哈密—野马街—酒泉—贺兰山西侧这一沙漠通道上;而当强冷空气急行东南下时,地面冷高压不断发展,加强和整体东移是产生强沙尘暴天气的必要条件。春季西北地区变化剧烈的热力条件是中小尺度天气系统发展和上下层冷暖空气交换的主要物理原因之一,同时也是强沙尘暴、沙尘暴天气日变化明显的关键所在。这些研究仅局限于孤立的个例分析或有限的几个个例的综合,而且由于样本事件和地区的差异,受随机的因素影响大,得出的结论也不尽相同,而利用大量资料组成的场,含有较多的统计平均成分,噪音成分小,所以研究起来更有意义。本文对 17 年(1981~1997 年)沙尘暴资料进行分析,为了排除主观因素,运用数据驱动建模方法为我国沙尘暴天气分类,以便搞清我国沙尘暴的类型特征,本文用基于人工智能的聚类分析方法^[5,6],对沙尘暴天气的高低空形势进行客观

* 2003-01-03 收到,2003-05-20 收到修改稿。

分型,然后对所分类型分别进行多层次多因子合成,最后对合成场进行天气特征分析,以期对沙尘暴天气有个全面的认识。

1 资料选取

选用美国环境气象中心(NCEP)再分析资料。鉴于我国沙尘暴发生的时间和地区的特点,对1981~1997年2月11日~6月10日,范围取 $15^{\circ} \sim 70^{\circ} \text{N}$, $50^{\circ} \sim 150^{\circ} \text{E}$ 的500 hPa的高度(h)、700 hPa东西风(u)、700 hPa南北风(v)、导出的850 hPa假相当位温(θ_{se})等资料。另外还有这个时间段的沙尘暴实况资料。

2 基于智能技术的聚类分析

自组织神经网络(SON)方法是采用根据生物大脑皮层感知和响应特点提出的 Kohonen 自组织神经网络(SON)。它是依赖输出的特征信息形成不同的聚类,是一种模式分离的方法,这种聚类,毋须知道样本的属性,而是通过自组织的方法将输入的样本在指定的相似测度下,按样本间的相似程度将其映射到输出层的某个节点中。设接受外界信息得自适应方程为:

$$\frac{d W_{0,k-1(i,j)}(t)}{dt} = \alpha(t) | \eta_{(i,j)} X_k(t) - \eta_{(i,j)}(t) | \times W_{0,k-1(i,j)}(t)$$

式中 $W_{0,k-1(i,j)}(t)$ 为输出层 k 节点与输出层的 (i,j) 节点间的连接权; $\alpha(t)$ 为学习常数,通常在0.1之间,且随时间单调下降; $\eta_{(i,j)}(t)$ 为神经节点的触发频率;在输出层节点 (i,j) 邻域 $NE_{(i,j)}(t)$ 内, $\eta_{(i,j)}(t) = 1$,在其它区域 $\eta_{(i,j)}(t) = 0$ 。

一般 $\nu(0) = 0, \nu(1) = 1$

依照以上可将上式改写成离散化形式:

$$\begin{cases} W(t+1) = W(t) + \alpha(t) [X_k(t) - W(t)] & \text{Node} \in NE_{(i,j)}(t) \\ W(t+1) = 0 & \text{Node} \notin NE_{(i,j)}(t) \end{cases}$$

设初始权值: $W(0) = 0$, 经 $t+1$ 迭代后

$$W_{0,k-1(i,j)}(t+1) = W_{0,k-1(i,j)}(t) + \Delta W_{0,k-1(i,j)}(t+1)$$

其中修正值:

$$W_{0,k-1(i,j)}(t+1) = \begin{cases} 0 & \text{Node} \in NE_{(i,j)}(t) \\ \alpha(t) (n_{0,i}(t+1) - W_{0,k-1(i,j)}(t)) & \text{Node} \notin NE_{(i,j)}(t) \end{cases}$$

式中 n_{0i} 为输入节点值,学习率和邻域大小随迭代次数增加而线性减小,当样本输入自组织神经网络中,输出层的节点上存在一个权值与输入向量最接近,该节点就是在此次迭代中竞争获胜节点,这里用欧氏距离作为相似测度,训练过程就是对获胜节点及邻域中的节点的权值不断修正的过程。通过 SON 算法不仅使输入层的样本在一定相似测度下(这里用的是欧氏距离),按样本间的相似程度,将其映射到输出层的某个节点上,而且通过这样竞争学习算法,使输出层的相邻点的权矢量相近,因而使相邻节点对应的输入模式也比较相似,由此可以反映出输入模式间内在的相似规律。

3 多因子聚类结果

借助原始数值比较样本间的相似程度,可得到样本间数值相似(简称值相似)程度,而借助样本的距平值比较样本间的相似程度时,可得到样本间的等值线形状相似(简称形相似)的程度。本文利用 500 hPa 高度场值的相似、500 hPa 高度场形的相似、700 hPa u 、 v 合成风场的形相似和 850 hPa θ_{sc} 场的形相似来获取沙尘暴天气信息,这样就有三类因子四种相似,致使样本具有因子多、数量大的特点,这为直接观察样本信息带来困难。为从大量的样本数据中抽出关于沙尘暴预报有用场信息,采用上述聚类技术。

把我国 10 站以上出现沙尘暴定为沙尘暴日,得到 242 个沙尘暴日。首先根据 500 hPa 高度场值相似将样本集聚两类,再对上述两类根据 500 hPa 高度场形相似、700 hPa u 、 v 合成风场形相似、850 hPa θ_{sc} 场的形相似聚 5 类,综合考虑 500 hPa 高度、700 hPa u 、 v 合成风和 850 hPa θ_{sc} 三个因子,共有 $2 \times 5 = 10$ 种类型。在这 10 种沙尘暴类型中,有的类型样本少,表明这种类型发生沙尘暴的概率较低。本文从 10 种沙尘暴类型中选出样本较多而且冷空气移动路径不同的三种类型,第一类样本数最多,有 70 天均为此类天气,沙尘暴主要影响我国西北、华北、东北南部,发生时间主要在 4 月底以前,这种类型以西北路径为主。第二类样本数 36 个,主要影响我国西北、华北、东北西部和南部,发生时间一般也在 4 月底以前,这种类型以偏西路径为主。第三类样本数 40 个,主要影响我国西北地区东部、华北、东北南部,发生时间一般在 4~6 月份,这种类型以偏北路径为主。

4 典型场分析

根据聚类得到沙尘暴的三种类型,从冷空气移动的路径和影响方式,我们把它归纳为:西北冷锋型、西方槽脊移动型和北方路径型,并对这三种类型的个例从多层次多因子角度分别进行合成,得到它们各自的典型场,即通常称为沙尘暴的天气概念模型。下面是对典型场的高空环流形势及影响系统进行分析。

4.1 西北冷锋型

这是造成我国北方沙尘暴天气最多的一种环流形势。从 500 hPa 高空图上东西环流是一脊一槽,温度场落后于高度场。过程前一天 500 hPa 高空形势(见图 1(a1))为乌拉尔山有高压脊,脊前在贝加尔湖以西位于 $50^\circ \sim 65^\circ \text{N}$ 、 $80^\circ \sim 105^\circ \text{E}$ 有明显低压槽。高空槽前 24 h 负变高 ΔH_{24} 大于 50 gpm,槽后正变高 ΔH_{24} 超过 70 gpm。低槽冷中心小于 -36°C ,最大风速大于 $22 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。相应地面图上(图略),锋面在蒙古国东部到青海北部一带,由图 2(a1)冷锋后 24 h 正变压 ΔP_{24} 大于 4 hPa,正变压中心在 55°N 、 85°E 附近。锋前 24 h 负变压大于 4 hPa,负变压中心在中蒙边界(110°E 附近)。沙尘暴当日在 500 hPa 高空图上(图 1(a2)),是乌拉尔山暖高压脊和蒙古冷槽(110°E 附近)的配置形势,高空槽前负变高 ΔH_{24} 加强,低压槽进一步加深。24 h 负变温大于 4°C ,强度大于前一日 2.5°C 的负变温,预示着冷空气强度增加。我国西北地区处在西北气流中。地面上,锋面位于内蒙古东北部至甘肃中部一带,由图 2(a2)可知,冷锋后 24 h 正变压 ΔP_{24} 大于 6 hPa。锋前 24 h 负变压大于 2 hPa,较前一日地面高压和低压进一步加强发展。消亡阶段高压强度减弱,锋

面移出大陆,沙尘天气消失。沙尘暴从开始到消亡是纬向环流向经向环流调整的过程,高空槽脊在东移过程中加深发展,槽后有冷平流,促使槽前后温度梯度加大,另外地面高低压的发展使锋面附近的气压梯度加大,这些均有利于锋区加强。锋面是由西北向东南移动,冷空气从西北路径南下。

4.2 西方槽脊移动型

从 500 hPa 高空图上可以看到,过程前一日,由图 1(b1)可见,高压脊在乌拉尔山以西地区,低压槽位置较偏西在 $45^{\circ} \sim 60^{\circ} \text{N}$, $65^{\circ} \sim 90^{\circ} \text{E}$,高空槽前负变高 ΔH_{24} 大于 50 gpm ,槽后正变高 ΔH_{24} 超过 70 gpm 。地面上,高压中心位置在 52°N , 60°E 附近,锋面位置在新疆以北到巴尔喀什湖一带,前部有一气旋,由图 2(b1)冷锋后 24 h 正变压 ΔP_{24} 大于 6 hPa 。锋前 24 h 负变压大于 2 hPa 。爆发当天冷槽移到贝加尔湖以西(80°E 附近),高空槽前负变高 ΔH_{24} 大于 40 gpm ,槽后正变高 ΔH_{24} 超过 90 gpm 。我国西北地区处在偏西气流中。24 h 冷槽温度下降 4°C 以上。地面上锋面位置在蒙古国中部到新疆北部一带,冷锋后有大于 8 hPa 的 ΔP_{24} (见图 2(b2)) 和 -28°C 的冷中心,该冷中心位置与 500 hPa 冷槽位置相一致。整个过程地面高低压加强东移,气压梯度不断加大,锋面经过的地方产生大风,

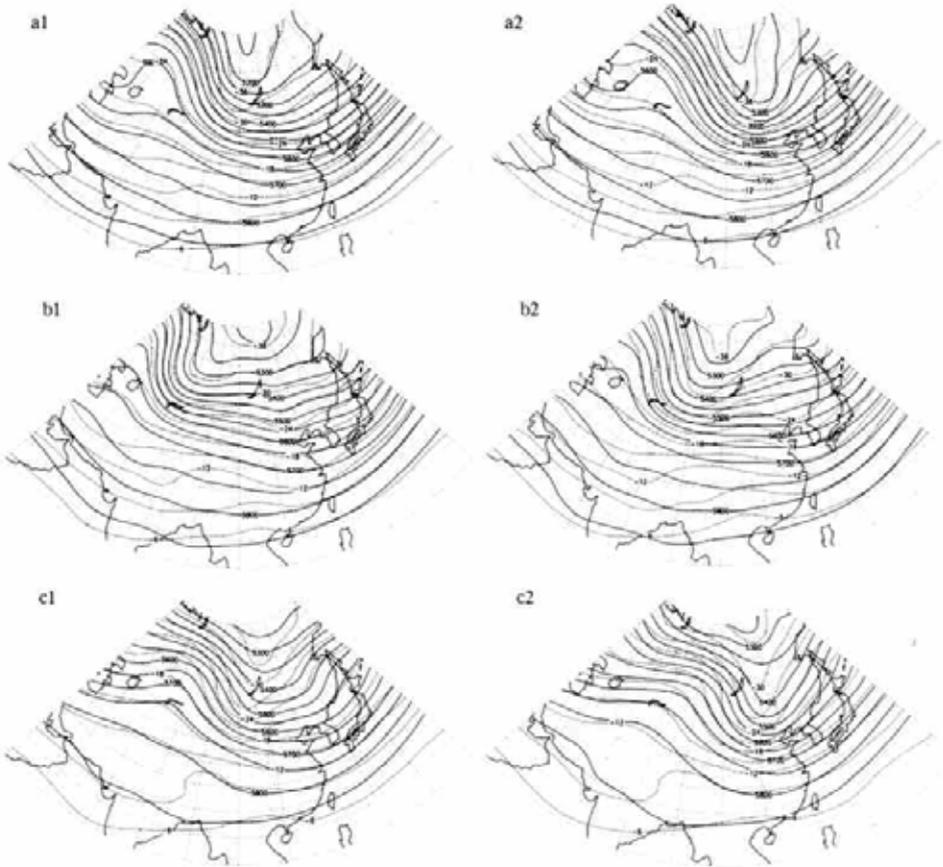


图 1 500 hPa 高度(H)和温度场(T)

- (a1) 沙尘暴前一日西北冷锋,(a2) 沙尘暴日西北冷锋,(b1) 沙尘暴前一日槽脊东移,
(b2) 沙尘暴日槽脊东移,(c1) 沙尘暴前一日北方路径,(c2) 沙尘暴日北方路径

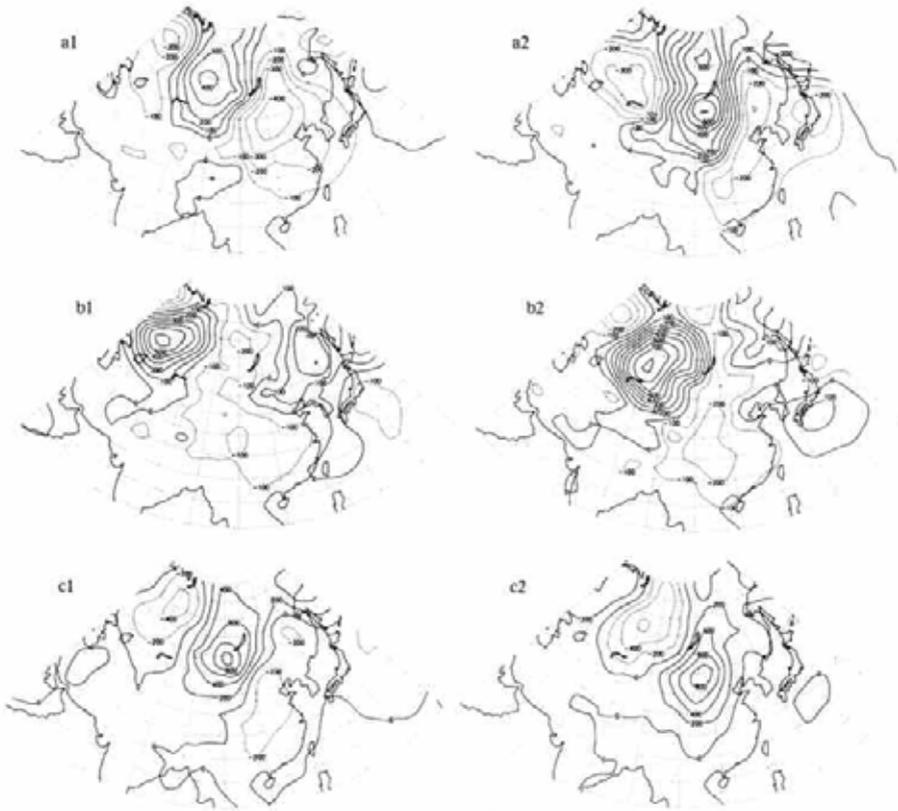


图 2 海平面 24 h 变压场

(a1) 沙尘暴前一日西北冷锋,(a2) 沙尘暴日西北冷锋,(b1) 沙尘暴前一日槽脊东移,
(b2) 沙尘暴日槽脊东移,(c1) 沙尘暴前一日北方路径,(c2) 沙尘暴日北方路径(单位: 10^{-2} hPa)

高低压中心、锋区均比冷锋型偏西。

4.3 北方路径型

从 500 hPa 高空图上可以看到沙尘暴从开始到消亡是经纬向环流调整的过程,冷涡偏东并逐渐加深南下,过程前一日(图 1(c1))高压脊在巴尔喀什湖附近,在 $40^{\circ} \sim 60^{\circ} \text{N}$, $100^{\circ} \sim 115^{\circ} \text{E}$ 有一槽。高空槽前负变高 ΔH_{24} 大于 40 gpm,槽后正变高 ΔH_{24} 超过 80 gpm。低槽冷中心小于 -33°C ,槽附近偏北风大于 $22 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。脊后有暖平流北上,使高压脊加强发展,脊前的西北气流不断引导冷空气向南输送,在贝加尔湖以西聚积。地面上,锋面在蒙古国东部到甘肃北部一带,由图 2(c1)冷锋后 24 h 正变压 ΔP_{24} 大于 10 hPa,正变压中心在 47°N 100°E 附近。爆发日(图 1(c2))冷槽加深,槽区在 $35^{\circ} \sim 50^{\circ} \text{N}$, $110^{\circ} \sim 120^{\circ} \text{E}$ 之间,高空槽前负变高 ΔH_{24} 加强,我国西北地区处在偏北气流中,正负变高中心与变温中心位置一致。地面冷锋由开始的東西向变为东北西南向,冷槽对应 ΔT_{24} 降温区。由图 2(c2)可知,冷锋后 24 h 正变压 ΔP_{24} 大于 6 hPa,锋前 24 h 负变压大于 8 hPa。

在沙尘暴前期到爆发整个过程中,三种类型均表现为槽脊加深,高低压加强。但是槽脊东移型的高低压位置偏西,而且高压移速较快;500 hPa 等高线经向度小,槽脊偏西,北

方路径型高低压位置偏东,冷空气较强,高压移速较慢,500 hPa 等高线经向度大;西北冷锋型介于两者之间,但冷空气程度并不比其它弱。

5 小 结

(1) 聚类的结果能够客观的反映沙尘暴的基本天气类型,这对于数据驱动的天气建模方式提供了一条途径,但所建模的对象不同,聚类所取的范围大小和物理量场应有不同。本文着重东亚西风带形势,它只能反映大形势演变特点,而对于某种类型下具体的天气形势,冷空气路径,天气影响范围和程度,都各有不同,本文没有侧重考虑。

(2) 沙尘暴的爆发是高低空环流配合发展的结果。冷暖空气加强并交绥于蒙古和我国西北、内蒙古等地,促使地面冷高压和蒙古气旋的生成和发展,地面气压梯度加大,风速加强,这是沙尘暴形成的天气条件。

参 考 文 献

- 1 王式功,杨德保,孟梅芝,等.甘肃河西“5.5”黑风天气系统结构特征及其成因分析.中国沙尘暴研究.北京:气象出版社,1997.62~64.
- 2 徐建芬,牛志敏,陈伟民.我国西北地区4.5沙尘暴天气研究.中国沙漠,1996,16(3):281~286.
- 3 项续康,江吉喜.1996西北地区强沙尘暴成因的中尺度分析.高原气象,1996,15(4):448~455.
- 4 赵光平,王凡,杨勤.宁夏区域特强沙尘暴天气成因及其预报方法研究.中国沙尘暴研究.北京:气象出版社,1997.52~58.
- 5 李开乐.相似离度及其使用技术.气象学报,1986,44(2):174~183.
- 6 刘还珠,郝为,等.基于智能计算的多模型气象综合预报.暴雨落区预报实用方法.北京:气象出版社,2000.30~37.

ANALYSIS OF CIRCULATION SITUATION OCCURRING SANDSTORM IN THE NORTHERN CHINA

Zhao Cuiguang Liu Huanzhu

(National Meteorological Center, Beijing 100081)

Abstract

The sandstorm weathers in spring from 1981 to 1997 in the northern China are analyzed synthetically. The dynamic clustering method is used to divide the weather types to the day in sandstorm. Three kinds of typical types are chosen, i.e. the northwest cold front type, the western trough and ridge moving type and the northern path type. The large-scale circulation situation and main weather systems of three types are studied. The basic characteristics of sandstorm weather are revealed. It is concluded that the clustering result can reflect objectively the basic weather types of sandstorm, which provides a path for the weather modeling method driven by data. It is the match of circulation situation in the high and the low altitude that results in sandstorm outbreak.

Key words: Sandstorm Cluster analysis Circulation situation