

文章编号:1000-694X(2006)03-0478-06

季以上尺度预报春季区域性沙尘暴过程的方法研究

林 绅

(兰州中心气象台, 甘肃 兰州 730020)

摘要: 应用 1954—2003 年甘肃省沙尘暴发生时间、站次资料和 500 hPa NCEP/NCAR 再分析资料, 分析了春季候区域性沙尘暴的特征。选择影响甘肃省春季天气的 500 hPa 七个关键区, 通过周期分析发现, 这些关键区有 30 候左右的周期可以通过 0.01 的信度检验, 表明 500 hPa 侯形势场在一定范围内确实存在 30 候(150 d)左右显著周期。给出春季区域性沙尘暴发生的典型场, 计算它与历年 10~12 月逐候 500 hPa 距平场的相似系数, 结果表明, 准 150 d 韵律方法预测沙尘暴的历史概率在 71.5%~76.4% 之间, 最高概率可达 87.5%, 最低也有 60.0%, 漏报率为 19.8%~26.0%。尽管如此, 可以认为该方法对甘肃省区域性沙尘暴, 尤其对典型形势场所对应的沙尘暴天气过程有较高的预测能力。最后给出典型年前期 500 hPa 要素场的特征。

关键词: 沙尘暴; 过程预报; 周期分析; 相似系数

中图分类号: P457.5

文献标识码: A

多年来通过对沙尘暴的深入研究, 加之沙尘暴监测预警系统的逐步建立和完善, 沙尘暴短期预报的准确率已有了一定的提高。国家气候中心从 2002 年末开始将我国北方春季沙尘暴趋势作为一项专题组织会商, 预测来年春季沙尘暴的发生趋势。但从短期气候预测的角度, 目前基本应用统计方法和大尺度大气环流背景来预测春季各月沙尘暴发生的趋势^[1~5], 沙尘暴天气过程的预报只出现在中短期天气预报中。但由于中短期预报时效短, 预警当地采取防范措施的时间紧, 所以从更长时间尺度来预报沙尘暴天气过程是决策服务的迫切需要, 笔者在这方面作了一些尝试和探索, 力图弥补这个空白点, 在沙尘暴过程预报中真正做到无缝隙和全程滚动。众所周知, 韵律和周期方法都是在预报中广泛应用的统计方法, 过去的工作中大多是对要素本身的周期和韵律作分析^[6~9], 而对高空形势场的周期和韵律的分析并能应用在预报中的工具研究尚少见。多年来, 笔者在以往的日常业务中, 发现 500 hPa 的环流形势场有约 150 d 的准韵律^[10], 并尝试应用该方法来作区域性沙尘暴过程预报。实践表明, 有一定的预报能力, 并取得了较好的预报效果: 在 2003 年准确地预测出甘肃省惟一一次区域性沙尘暴过程; 对 2004 年初春大范围、多频次的沙尘天气在 2003 年 11 月的甘肃省 2004 年年度预测会商

会上已指出发生的时间, 取得了较好的预测和服务效果。

1 资料与方法

沙尘暴资料是兰州中心气象台提供的甘肃省 1954—2003 年共 50 年、80 站、春季(3~5 月, 下同)逐日沙尘暴观测资料。500 hPa 高度、温度和风资料应用的是同时段逐日 0°~90°N、0°~180°E NCEP/NCAR 再分析资料(2.5°×2.5°)。

周期分析是将 N 个离散的数据按各种试验周期进行分组排列, 求出各组的平均值, 组成试验周期的平均序列。然后对平均序列作基波的谐波分析, 求出该试验周期的振幅平方, 并进行显著性检验以确定主要周期。

为定量地表示两幅图的相似程度, 采用相似系数, 由下式计算^[11]:

$$\cos\theta_{12} = \frac{\sum_{i=1}^m x_i y_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_i^2} \sqrt{\sum_{i=1}^m y_i^2}}$$

式中: m 为两个进行相似比较场的站点数或网格点数; $\cos\theta_{12}$ 为两幅图相似程度的定量指标, 称为相似系数。相似系数等于 1.00 为完全相同, 相似系数为 -1.00 为完全相反, 为 0.0 时表示完全不相似。正

收稿日期: 2005-01-07; 改回日期: 2005-04-01

基金项目: 国家自然科学基金项目(40475031); 国家科技攻关计划“西部开发科技行动”重大项目(2004BA901A16); 甘肃省气象局“十人计划”共同资助

作者简介: 林绅(1964—), 女(汉族), 福建福州人, 高级工程师, 主要从事短期气候预测业务及其相关方面的研究工作。

万方数据

linshu@gsmo.gov.cn

值越大越相似,负值越大越相反。

首先应用 500 hPa 高度逐日资料计算 1971—2000 年 30 a 候平均高度场,再分别计算历年逐候的平均高度场和距平场。

500 hPa 周期分析的区域:乌拉尔山($40^{\circ}\sim 70^{\circ}$ N, $40^{\circ}\sim 70^{\circ}$ E)、贝加尔湖($50^{\circ}\sim 60^{\circ}$ N, $80^{\circ}\sim 120^{\circ}$ E)、中国($15^{\circ}\sim 55^{\circ}$ N, $75^{\circ}\sim 135^{\circ}$ E)、新疆($35^{\circ}\sim 50^{\circ}$ N, $70^{\circ}\sim 100^{\circ}$ E)、青藏高原($25^{\circ}\sim 40^{\circ}$ N, $75^{\circ}\sim 105^{\circ}$ E)、中国西北($30^{\circ}\sim 55^{\circ}$ N, $75^{\circ}\sim 110^{\circ}$ E)、甘肃($32.5^{\circ}\sim 42.5^{\circ}$ N, $92.5^{\circ}\sim 110^{\circ}$ E)等 7 个关键区。计算各区域历年逐候高度距平和。

区域性沙尘暴的标准是同一天 ≥ 3 站出现沙尘暴——定义为 1 个区域性沙尘暴日,每候区域性沙尘暴发生的日数 ≤ 6 d;只要候内有区域性沙尘暴日数,则定义该候有区域性沙尘暴,每月区域性沙尘暴发生的候数 ≤ 6 ;每候内区域性沙尘暴发生的站数之和为候区域性沙尘暴站次。把逐日区域性沙尘暴资料按上述标准整理成以候为单位的资料序列。

2 甘肃省春季候区域性沙尘暴的特征

通过对甘肃省春季候区域性沙尘暴的分析可以得到以下结果。

春季 18 个候中最多的 1975 年有 16 个候出现区域性沙尘暴;出现 3 候及以下的年份有 1992 年、1994 年、1995 年、1997 年、2003 年,均集中在 20 世纪 90 年代以来的时段内,其中 1997 年没有出现过区域性沙尘暴。从表 1 中可以看到,各年代春季区域性沙尘暴平均候数,50 年代和 70 年代最多,90 年代最少,总体均呈明显下降趋势。

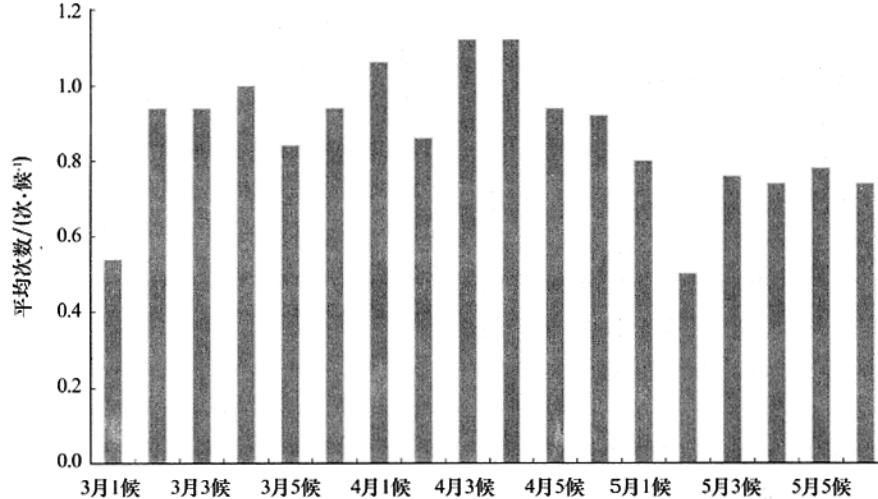


图 1 春季发生区域性沙尘暴的候平均次数

Fig. 1 Times per five days with regional sandstorm weather in spring

表 1 各年代春季区域性沙尘暴平均候数

Tab. 1 Pentad number of regional sandstorm happening in Spring of different decades

年代(20世纪)	3月	4月	5月	3~5月
50	4.1	4.6	4.0	12.7
60	3.3	3.3	3.0	9.6
70	4.5	4.3	3.3	12.1
80	2.1	2.6	2.6	7.3
90	1.4	1.8	1.1	4.3
1954—2003 年	2.9	3.2	2.6	8.7

连续 9 候以上出现区域性沙尘暴的年份有 1975 年(13 候,单位下同)、1976 年(11)、1959 年(10)、1979 年(9)、1958 年(9)和 1971 年(9),均发生在 20 世纪 50 年代和 70 年代。

连续出现区域性沙尘暴时段内站数之和在 150 站次以上的有 1959 年(260 站次,单位下同)、1958 年(219)、1979 年(196)、1975 年(168),也集中在 20 世纪 50 年代和 70 年代。

每候区域性沙尘暴发生的站次在 50 以上的共有 8 个时段:1958 年 4 月第 1 候(51 站次,单位下同)、1959 年 4 月第 2 候(56)、1970 年 4 月第 1 候(54)、1979 年 4 月第 3 候(84)、1982 年 5 月第 2 候(81)、1983 年 4 月第 6 候(76)、1983 年 5 月第 4 候(53)和 2001 年 4 月第 2 候(56),多发生在 20 世纪 50、70 和 80 年代的 4 月。

3 月第 4 候、4 月第 1 候、4 月第 3 候和 4 月第 4 候发生区域性沙尘暴的平均次数 ≥ 1 (图 1),在春季中最高;5 月第 2 候最低,为 0.5 次。3 月平均 0.87 次,4 月平均 1.0 次,5 月平均 0.72 次,4 月最高。

3 周期分析结果

1年有72候,由于资料量太大,仅取1991—2000年10年的候资料按年和月顺序形成720候的资料,分别对500 hPa的7个关键区候高度的距平和作周期分析,为了体现季以上尺度的特性,文中仅取其中19~36候间通过信度检验的候数(表2)。

在表2中可以看到,各关键区的500 hPa候高度确有30候(150 d)左右的周期活动,通过的信度之高,有些出乎意料,尤其是影响甘肃省天气的前5个关键区,均有29~31候的周期通过0.01的信度检验。

表2 各关键区通过信度检验的候数

Tab. 2 Pentad number of having passed prominence test
for every typical region

关键区 名称	信度值		
	0.10	0.05	0.01
乌拉尔山	27、30、25、35	27、30	27、30
贝加尔湖	29、32、22、27	29、32、22、27	29、32
新疆	21、26、31、36	21、26、31、36	21、26、31
青藏高原	30、21、27、34	30、21、27、34	30
中国	30、34、21	30、34、21	30、34
中国西北	25	25	
中国甘肃	20、27、30、33	20、27	20、27

4 500 hPa 相似系数结果分析

根据上述结果,利用历年逐候500 hPa高度距平资料,选3~5月的前150 d(即3月对应上年10月、4月对应上年11月、5月对应上年12月)30~70°N、60~140°E范围500 hPa候形势场作相似分析。具体做法是:首先根据预报经验和实况挑选出春季发生沙尘暴的典型500 hPa候平均场,如1971年11月第6候,简称典型场(图2),其特征是500 hPa平均高度图上,亚欧中高纬度呈明显的经向型一槽一脊分布,乌拉尔山是脊区,东亚是槽区;在距平图上,这两个区域的距平中心均为180 gpm,表明乌山脊和东亚槽都很强度。应用这个候的资料与1953—2003年10月、11月、12月历年、逐候的资料进行相似系数的计算。

按50 a相关系数通过0.10信度检验的标准(0.2306),我们规定:①当前149候或前150候或前151候相似系数 ≥ 0.2306 且对应春季(3~5月)有沙尘暴时,万方数据系数 < 0.2306 且对应无沙尘暴

时,我们称之为正确;②当相似系数 ≥ 0.2306 但对应无沙尘暴时,我们称之为空报;③当相似系数 < 0.2306 但对应有沙尘暴时,我们称之为漏报。

通过对计算结果的分析我们可以得到以下结果:

(1) 准150 d韵律方法预测沙尘暴的历史概括率,49 a中3月相对较高,4月相对较低,但总体差异不大,在71.5%~76.4%之间,即75%左右的区域性沙尘暴过程可预测准确,最高概率可达87.5%,最低也有60.0%(表3)。这个结论很令人鼓舞,如果再结合短期预报,沙尘暴的预报准确率将有可能大为提高。

(2) 空报率很小,在2.4%~3.8%之间,即在典型场形势下,发生区域性沙尘暴的概率很大。

(3) 漏报率相对较高,在19.8%~26.0%之间。换句话说,在非典型场的形势下,也会发生区域性沙尘暴。这点较容易理解,因为有时影响沙尘暴发生的系统尺度较小,维持时间也较短,在候平均图上并不能够完全反映出来。另外还有一些发生区域性沙尘暴的形势场与典型场几乎相反,不是脊前西北风或北风的影响,而是受低涡过境的影响。

(4) 沙尘暴预测的历史概括率有明显的年代际变化。20世纪90年代概率最高,达80.6%,50年代和60年代为77%~79%,70年代和80年代最小,也有66.7%,这是否与北半球500 hPa形势场的年代际变化有密不可分的联系,还有待于进一步研究。

5 前期500 hPa 典型场特征

考虑到4月是春季区域性沙尘暴发生最高的时段,根据文中第二部分连续发生区域性沙尘暴的候数和总站次,现取4月中6候均发生区域性沙尘暴年份作为典型多区域性沙尘暴年,满足条件的有1959年、1965年、1966年、1969年;4月没有出现过区域性沙尘暴的1991年、1995年和1997年作为典型少区域性沙尘暴年。

图3为4月典型多(少)区域性沙尘暴年的前期(对应上年11月,下同)亚欧500 hPa距平场。图中两个典型距平场的差异较大:4月多区域性沙尘暴年前5个月的距平场上(图3中a),我国西北地区东部—华北—蒙古国为弱正距平区,中心为15 gpm,欧亚大陆其他地方基本为负距平区控制,距平中心在西西伯利亚,有55 gpm,表明西西伯利亚的冷

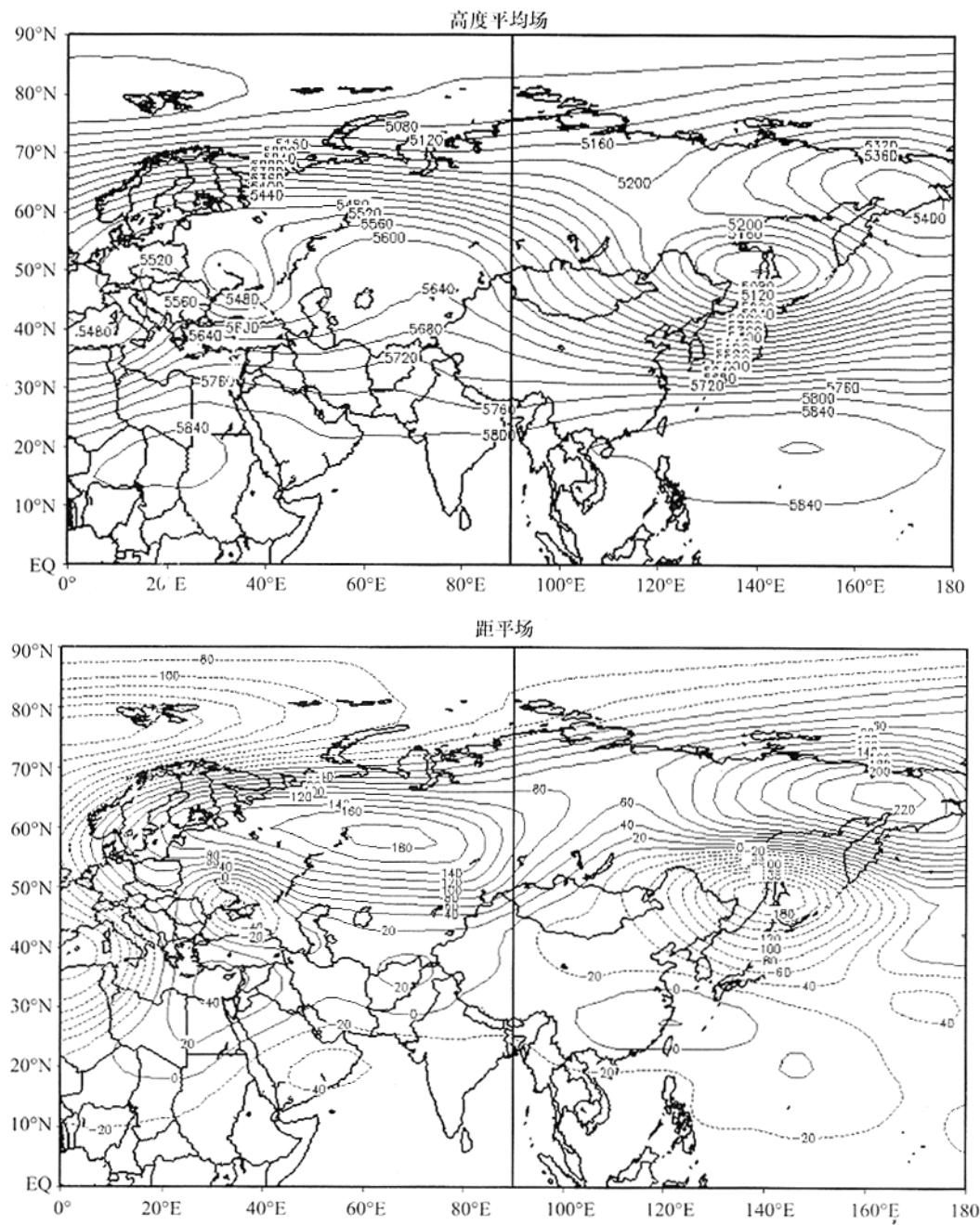


图 2 春季发生区域性沙尘暴的前期亚欧 500 hPa 典型候位势高度平均场和距平场(gpm)

Fig. 2 Geopotential height mean and anomaly fields of typical pentads in prophase of regional sandstorm in spring at 500 hPa over Asia-Europe

表 3 季节以上尺度预测区域性沙尘暴正确的历史概率率

Tab. 3 Accuracy in regional sandstorm forecasting on seasonal scale

年代 (20世纪)	10月 (对应3月)		11月 (对应4月)		12月 (对应5月)		合计	
	候数	概率率/%	候数	概率率/%	候数	概率率/%		
50	36	75.0	42	87.5	33	68.8	111	77.1
60	50	83.3	45	75.0	48	80.0	143	79.4
70	43	71.7	36	60.0	41	68.3	120	66.7
80	42	70.0	37	61.7	41	68.3	120	66.7
90	49	81.7	46	76.7	50	83.3	145	80.6
合计	万方数据	76.4	206	71.5	213	74.0	639	74.0

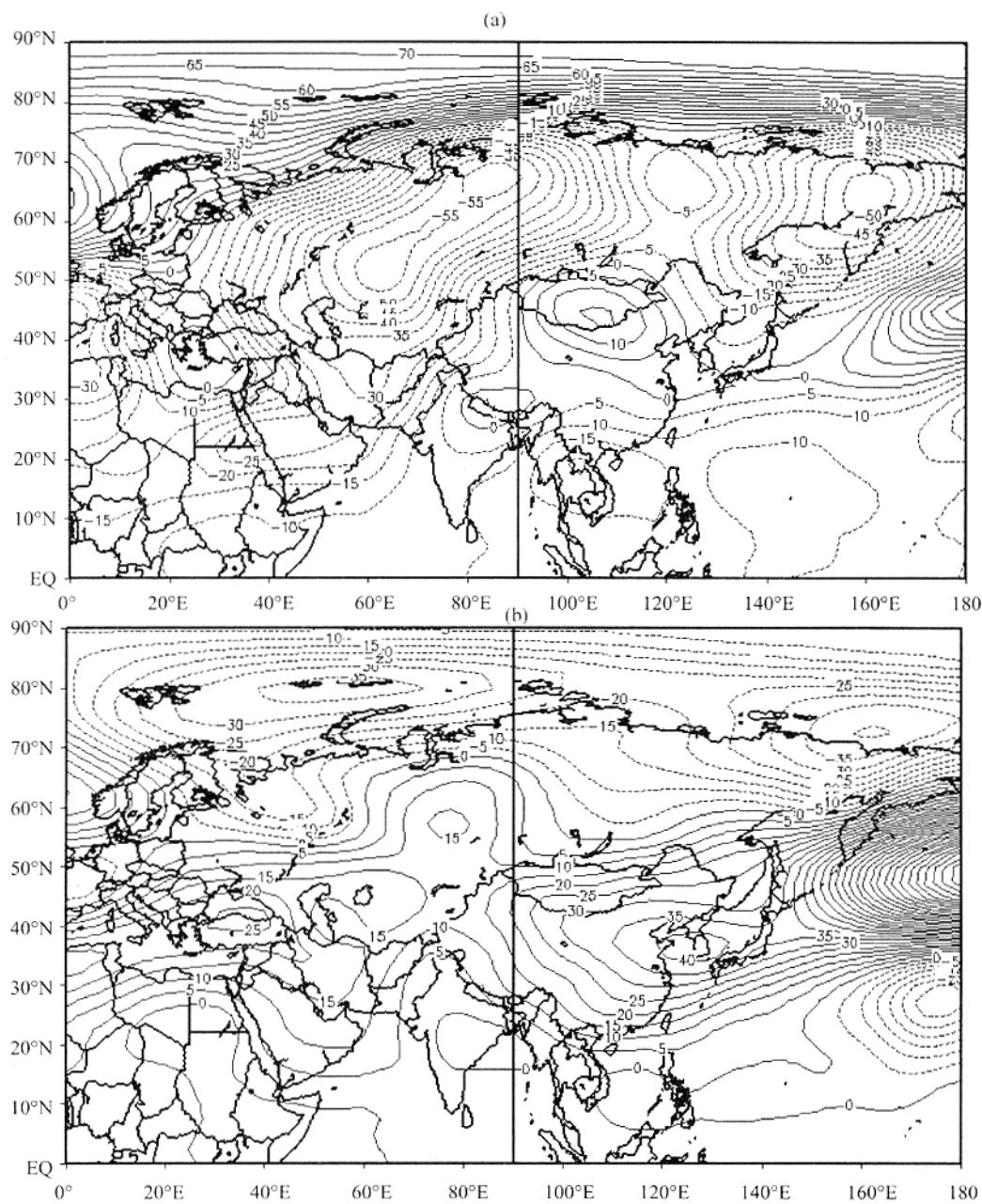


图 3 4月典型多(a)和少(b)区域性沙尘暴年的前期亚欧 500 hPa 位势高度距平场(gpm)

Fig. 3 Geopotential height anomaly fields in prophase of regional sandstorm in April

(a: high frequency year; b: low frequency year) at 500 hPa over Asia-Europe

空气较活跃,与之相应的 500 hPa 环流形势,有利于冷空气南下,而冷空气是发生沙尘暴的最基本条件。4 月少区域性沙尘暴年前 5 个月的距平场上(图 3 中 b),距平 0 线基本以 $50^{\circ}\sim 55^{\circ}\text{N}$ 为界,南正北负,尤其在西西伯利亚有 Ω 型的正距平区,东亚槽明显偏弱,正距平中心在我国渤海,数值达 40 gpm;负距平在极地,中心有 35 gpm。而 500 hPa 形势基本为纬向环流,这种配制则不利于冷空气南下。

从 4 月典型多区域性沙尘暴年的前期亚欧 500

hPa 经向风距平场上看到。多沙尘暴年北风距平区在西西伯利亚以北至新地岛,中心可达 $5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,我国大部经向风基本为正常;而少沙尘暴年整个欧亚地区经向风距平均较小,多为 $1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 左右(图略)。

4 月典型多与少区域性沙尘暴年的前期亚欧 500 hPa 温度差值场(图略)在亚欧范围均为负距平,最大中心在西伯利亚地区,有 3°C ,表明多沙尘暴年冷空气较活跃。

以上的分析表明,春季区域性沙尘暴发生的多

寡,在其前期 500 hPa 高度、温度和风等要素上均有一定的反映。

6 小结与讨论

(1) 春季 18 个候中最多的 1975 年有 16 个候出现区域性沙尘暴,1997 年没有出现过区域性沙尘暴。而连续 9 候以上及其相应时段内站数之和在 150 站次以上的年份,均集中在 20 世纪 50 和 70 年代。4 月是春季中发生区域性沙尘暴候数和站次最高的月份。

(2) 通过分析亚欧范围 500 hPa 7 个关键区候高度距平的周期活动,发现确有 30 候(150 d)左右显著周期,尤其是影响甘肃天气的 5 个关键区,均有 29~31 候的周期通过 0.01 的信度检验。

(3) 季以上尺度预测春季(3~5 月)区域性沙尘暴过程的历史概括率在 71.5%~76.4% 之间,各月差异不大。即 75% 左右的区域性沙尘暴过程可预测准确,最高概括率可达 87.5%,最低也有 60.0%。如果再结合中短期预报,区域性沙尘暴的预报准确率将有可能继续提高。

(4) 空报率很小,在 2.4%~3.8% 之间,即在典型场形势下,发生区域性沙尘暴的概率很大。而漏报率相对较高,在 19.8%~26.0% 之间,即在非典型场形势下,也会发生区域性沙尘暴。

(5) 春季区域性沙尘暴发生的多寡,在其前期 500 hPa 高度、温度和风等要素上均有一定的反映。

参考文献(References):

- [1] 赵光平,陈楠,杨建玲,等.环流及冷空气类型与宁夏沙尘暴落区的对应关系[J].中国沙漠,2003,23(6):642~645.
- [2] 李栋梁,王涛,钟海玲.中国北方沙尘暴气候成因及未来趋势预测[J].中国沙漠,2004,24(3):376~379.
- [3] 李岩英,李耀辉,罗晓玲,等.河西走廊东部沙尘暴预测方法研究[J].中国沙漠,2004,24(5):607~610.
- [4] 赵红岩,陈旭辉,王锡稳,等.西北地区春季沙尘暴气候分析及预测方法研究[J].中国沙漠,2004,24(5):637~641.
- [5] 李海英,高涛,薄玉华.内蒙古中西部春季沙尘暴预测初探[J].气象,2003,29(10):22~25.
- [6] 刘黎明,陈创买,祝薇,等.广东分区降水的趋势和周期分析[J].中山大学学报(自然科学版),1998,37(增刊 2):122~125.
- [7] 吴宜进,邓先瑞.湖北省降水量的周期分析[J].热带地理,1998,18(3):201~204.
- [8] 刘惠霞.用韵律、周期相结合做长期降水天气过程预报[J].新疆气象,1998,21(6):45~46.
- [9] 周朝阳,樊新勇.阿拉尔降水韵律的探究[J].塔里木农垦大学学报,1994,6(1):201~204.
- [10] 林纾.准 150 d 韵律方法在过程预报中的应用研究[J].中国沙漠,2005,(增刊):78~81.
- [11] 顾骏强,施能,薛根元.近 40 年浙江省降水量、雨日的气候变化[J].应用气象学报,2002,13(3):322~329.

Method of Forecasting Regional Sandstorm Process in Spring on Seasonal Scale

LIN Shu

(Lanzhou Central Meteorological Observatory, Lanzhou 730020, China)

Abstract: With observation data on sandstorm time and stations, and reanalyzed data of 500 hPa NCEP/NCAR from 1954 to 2003 in Gansu province, we analyzed the regional sandstorm characters per five days in spring. Taking seven 500 hPa areas of spring in Gansu province as key studying regions we analyzed the periods of sandstorm weather. There were about 30 pentads (150 days) in these key regions having passed prominence test ($\alpha = 0.01$), which indicated that the 500 hPa geopotential height mean field in spring certainly existed obvious periods about 30 pentads in some extent. The typical fields where regional sandstorm frequently occurred in spring were decided to calculate the similarity coefficients with geopotential height anomaly fields of every pentads in October to December year after year. Result showed that the historical probability in sandstorm accurately forecasting with the “nearly 30 pentads period method” was within 71.5%~76.4%, the highest 87.5% and the lowest 60.0%, but the neglecting probability was still at 19.8%~26.0%. Nevertheless, the forecasting method has relatively high capability in forecasting regional sandstorm in Gansu province, especially the sandstorm events corresponding to typical geopotential height fields.

Key words: sandstorm; weather process forecasting; periods analysis; similarity coefficient