

南京信息工程大学

硕士学位论文

陕西沙尘暴的基本特征和预测

姓名：雷向杰

申请学位级别：硕士

专业：大气科学

指导教师：缪启龙;杜继稳

20050301

## 中文摘要

本文紧密围绕省级气象部门新开展的春季沙尘暴趋势预测业务的需求,利用 1954~2004 年气象站观测资料分析了陕西沙尘暴的时空分布特点,着重分析了陕西春季沙尘暴的变化趋势和年代际变化特点。陕西沙尘暴主要出现在春季,处于毛乌素沙地南缘的陕北北部长城沿线是陕西沙尘暴最多的地区。本文选取陕西春季沙尘暴作为预测研究的对象。

陕西年沙尘暴和春季沙尘暴存在明显的下降趋势,有明显的年代际变化特点,1985 年发生由多到少的突变,陕西春季典型少沙尘暴年全部出现在 1985 年以后,典型多沙尘暴年都出现在 1985 年以前。与 1971~2000 年 30 年平均值比较,1989 年至 2004 年的 16 年中,陕西春季沙尘暴仅 2000 年与平均值持平,其余 15 年偏少 20%以上,2002~2004 年连续 3 年偏少 80%以上,2003 年为 1961 年以来最少的一年。

本文首次系统地整理分析了陕西强沙尘暴、特强沙尘暴过程,对陕西强沙尘暴、特强沙尘暴过程的环流形势和影响系统、冷空气路径、沙尘源地和路径进行了分型。

本文分析陕西春季沙尘暴成因,提出了预报思路,建立了陕西春季沙尘暴预测概念模型和回归统计模型,建立了业务流程,在 2003~2004 年沙尘暴趋势预测中应用,连续两年预测结论正确,使用效果良好。

本文研究中发现沙尘暴日数统计和沙尘暴强度划分标准方面存在两个问题,可能引起资料统计混乱和研究结论产生分歧。本文经过深入讨论,提出了处理方法,指出了搞清楚这些问题的重要意义。

本文只是一个初步的成果,希望本文的工作能引起更多的讨论,起到抛砖引玉的作用。

**关键字:** 沙尘暴, 强沙尘暴, 基本特征, 预测方法, 问题讨论

## Abstract

Focusing on the need of forecasting spring sandstorm trend operation currently developed on provincial meteorology department, the spatial and temporal distribution features of sandstorm in Shaanxi are analyzed based on weather data from 1954 to 2004 and the variational trend and decades' variation features are emphasized. The sandstorms in Shaanxi mainly occur in spring, mostly in the northern Shanbei where lies in the south edge of MaoWuSu desert along the Great Wall. The object of forecast research is spring sandstorm in Shaanxi.

The annual and spring's sandstorm in Shaanxi exist obvious decreasing trend and obvious decades' variation features. It abruptly alternates from more to less in 1985. The typical fewer sandstorm years all occur after 1985. Compared with 30 years' average from 1971 to 2000, only in 2000 spring sandstorm is equal to the average during 16 years from 1989 to 2004, and other 15 years are less by 20%. From 2002 to 2004 three continuous years sandstorms are less by 80%. 2003 is the least year in Shaanxi since 1961.

Heavy and severe sandstorm processes in Shaanxi province are firstly picked up and analyzed. The circulations, affecting systems, the cold air paths, the sand sources and paths which causing heavy sandstorm processes in Shaanxi are sorted.

Based on the diagnosis and analysis about the cause of the spring sandstorm, forecasting train of thoughts in Shaanxi is brought forward. The forecast notion models and regress statistic models are given and applied in sandstorm trend forecast in 2003-2004, and the results are right and the effect is well.

Two problems existing in sandstorm research are found, which probably brings the confusion of records counting and analysis difference in heavy sandstorm. These questions are analyzed and discussed in this article. Then the disposal methods are brought forward and the importance of making these questions clear is pointed out.

This is just primary result and more discussion should be brought forward. This is just the beginning.

keyword: sandstorm; heavy sandstorm; basic feature; forecast method; question discussion

## 学位论文独创性声明

本人郑重声明：

- 1、坚持以“求实、创新”的科学精神从事研究工作。
- 2、本论文是我个人在导师指导下进行的研究工作和取得的研究成果。
- 3、本论文中除引文外，所有实验、数据和有关材料均是真实的。
- 4、本论文中除引文和致谢的内容外，不包含其他人或其它机构已经发表或撰写过的研究成果。
- 5、其他同志对本研究所做的贡献均已在论文中作了声明并表示了谢意。

作者签名： 雷向杰

日期： 2005年3月25

## 学位论文使用授权声明

本人完全了解南京气象学院有关保留、使用学位论文的规定，学校有权保留学位论文并向国家主管部门或其指定机构送交论文的电子版和纸质版；有权将学位论文用于非赢利目的的少量复制并允许论文进入学校图书馆被查阅；有权将学位论文的内容编入有关数据库进行检索；有权将学位论文的标题和摘要汇编出版。保密的学位论文在解密后适用本规定。

作者签名： 雷向杰

日期： 2005年3月25

# 第一章 绪论

## 1.1 引言

沙尘暴是指强风将地面尘沙吹起,使空气很混浊,水平能见度小于 1000 m 的天气现象。沙尘暴作为一种自然现象,自古就有。刘东生院士指出,巨厚的黄土高原是 260 万年来风力以沙尘暴形式形成的,从沙尘暴的成分看,它与黄土十分接近。对人类而言,沙尘暴既有它有利的一面,又有它不利的一面,但公众对沙尘暴的认识和关注主要是因为它对人类造成的危害。

一些专家认为,沙尘暴将尘土从地面吹向高空,在高空运送,形成浮尘,浮尘落入海洋,可为海洋生物提供 Fe 等丰富的营养成分。沙尘暴天气中被大风吹到空中的沙尘大多呈碱性,对由于工业污染出现的酸雨有一定的抑制和缓解作用。也有科学家指出,沙尘可能是一种极为重要的、反温室效应的气溶胶,可以抑制气候变暖。

沙尘暴作为干旱半干旱地区特有的一种灾害性天气,主要以强风、沙埋、沙割、土壤风蚀、大气污染等形式危害人类。沙尘暴伴随大风,大风刮走地表浮土,甚至把人、牲畜、小麦作物幼苗等刮走,造成农田、草场、灌溉水渠、村舍等被掩埋,直接影响农牧业生产和人民生命财产的安全。1983 年 4 月 27~28 日的一次沙尘暴造成陕北定边县 6 人死亡,10 人失踪。沙尘天气出现后,植物接受到的太阳直接辐射减少,尘土覆盖在植物叶面,影响光合作用和呼吸作用,影响作物正常生长。沙尘暴天气出现后大气中  $PM_{10}$  浓度偏高,空气质量恶化。西安市区 2001~2003 年 9 个重度污染日中有 5 个出现在沙尘天气中。沙尘暴出现时空气污浊,哈鼻迷眼,呼吸道和眼病增多、加重,粒径小于 2.5  $\mu m$  的微粒可进入人的肺部,可能引起心血管疾病,影响人体健康。

随着经济的发展和人民生活水平的提高,人们对自身健康和生活环境的要求越来越高,沙尘暴天气对一个地区申办重大活动、吸引投资、发展旅游等都会产生不良影响,人们对沙尘暴天气的危害会更加关注。2000、2001 年之后,我国沙尘暴处于偏少时期,但根据气候变化规律,不会总处于这样一种状态,以后还会出现发生次数接近常年或偏多的状态,由于经济的发展,那时沙尘暴造成的损失会更大,会引起人们更广泛关注。

## 1.2 国外研究综述

国外对沙尘暴的研究起步较早,主要涉及沙尘暴形成的天气背景、下垫面条件,沙尘的产生机理与长距离输送机制、沙尘天气气溶胶的辐射反馈机制以及沙尘暴的分布、形成条件、发展背景、产生机理、影响、监测、预警和对策等领域。Goudie (1983) 认为沙尘暴发生次数最多的地区是年降水量为 100~200 mm 的区域,中国的沙尘暴发源于干旱的黄土高原北部。塔里木盆地是中国大陆沙尘暴活动最频繁的地方<sup>[1]</sup>; Brazel (1986) 对 1965~1980 年发生在美国亚利桑那州的沙尘暴按锋面型、雷暴和对流型、热带扰动型和上部低压或切断低压型四种类型的天气做了统计分析

<sup>[2]</sup>; Jauregui (1989) 对墨西哥城沙尘暴的时空分布进行了系统的研究, 并指出 3 月份沙尘暴出现的频率最大等<sup>[3]</sup>; Gillette (1989) 研究美国由于风蚀所引起的沙尘暴的时空变化, 并且通过对粒子质量通量(粒子半径小于  $10\ \mu\text{m}$ ) 与地面摩擦速度的测量发现沙粒运动的临界速度值<sup>[4]</sup>; Iwasaka(1983)对 1979 年 4 月的一次沙尘暴的轨迹分析认为, 到达日本上空的沙尘主要源于  $40\sim 50^{\circ}\text{N}$ 、 $100\sim 110^{\circ}\text{E}$  的中国戈壁、黄土高原、内蒙古地区<sup>[5]</sup>; Shaw(1980)在夏威夷群岛的 Mauna Loa 观测站, 发现有来自亚洲沙尘气溶胶的个例等<sup>[6]</sup>。

美国, 日本, 韩国等国家近十年来, 都在进行有关沙尘的监测和预报技术的研究, 并且主要针对中亚, 北美, 中非及澳大利亚的荒漠及荒漠化地区, 尤其是非洲撒哈拉沙漠地区。目前国外对撒哈拉沙漠沙尘暴天气的研究已经发展到概念模式的阶段, 立足从大风和气候两个方面研究沙尘暴的影响因素。

## 1.3 国内研究进展

### 1.3.1 国内沙尘暴研究的三个阶段

本文研究认为, 我国沙尘暴研究可以简单地划分为三个阶段: 第一个阶段是 1993 年以前。早在 20 世纪 70 年代, 中国学者就开始了沙尘暴的研究工作, 该时期的研究以许国昌(1979 年)等人为代表<sup>[7]</sup>, 研究的特点是以个例分析为主。第二个阶段是 1993 年至 2000 年。1993 年 5 月 5 日甘肃省发生特强沙尘暴以后, 以 1993 年兰州全国沙尘暴天气研讨会为契机, 国内加大了对沙尘暴天气的研究力度, 取得了大量的研究成果。这一阶段的研究成果以方宗义等(1997 年)主编的《中国沙尘暴研究》为代表, 研究的特点是以天气气候特点的分析为主, 尤其是从天气预报角度对沙尘暴发生前的大气环流形势进行分析, 在沙尘暴典型灾例的整理分析中也取得一些成果<sup>[8]</sup>。第三个阶段是 2000 年以后。2000 年中国沙尘暴天气较多, 引起社会广泛关注, 2001 年兰州全国沙尘暴气象服务工作研讨会之后, 我国的沙尘暴研究再次得到加强, 有关沙尘暴方面的研究全面展开, 国内对沙尘暴的研究已经涉及到沙尘暴研究的各个方面<sup>[9, 10]</sup>, 加强了对外合作和国内各部门之间的合作。中国气象局预测减灾司主编的《沙尘暴监测预警服务研究》收集了该阶段前期的一些研究成果, 这一时期有关沙尘暴的研究论文出现在各种期刊上。在开展大量研究工作的基础上, 中国气象局国家级和省级业务部门相继开展了沙尘暴监测、预警、服务和春季沙尘暴趋势展望业务, 服务公众和政府决策部门。

### 1.3.2 国内沙尘暴研究的主要进展

本文研究认为国内沙尘暴研究的主要进展可归纳为以下七个方面:

一、通过大量研究, 基本上搞清了我国沙尘暴空间分布特征。随着气象站观测资料年代的增加, 我国沙尘暴空间分布特征的分析越来越细, 分析结论可靠, 达成共识。周自江(2001)研究了我国近 45 a 沙尘暴的时空分布特征, 以 1956~2000 年 45 年平均的年总日数(记作  $d_{45}$ )为基准, 给出了沙尘暴的区划量值:

表 1.1 沙尘暴的区划量值

量值 (d)				
	影响区	易发区	多发区	高频区
沙尘暴	$1 \leq d_{45} < 5$	$5 \leq d_{45} < 10$	$10 \leq d_{45} < 20$	$d_{45} \geq 20$

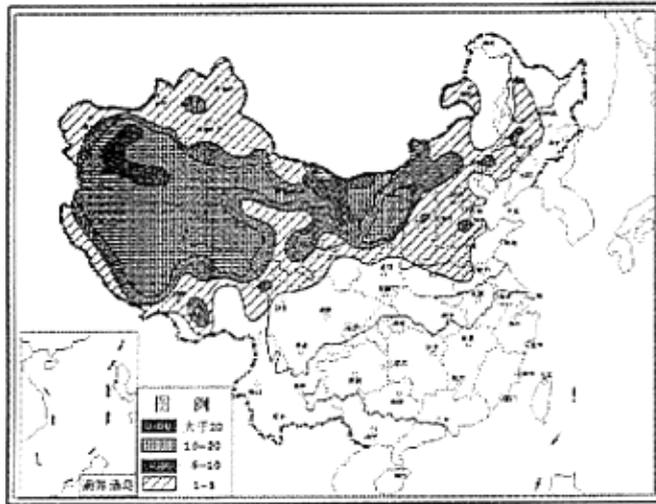


图 1.1 1956~2000 年沙尘暴年均日数全国分布图 (单位: d)  
(周自江 2002)

我国西北,华北,东北和青藏高原地区是沙尘暴的主要影响区,其中西北地区是多发区,且有两个明显的高频中心(图 1.1)。

二、通过近几年的研究和讨论,对我国沙尘暴总的变化趋势是减少的这一结论达成共识。李耀辉(2004)研究认为自 20 世纪 50 年代以来,我国沙尘暴发生次数或沙尘暴日数总体上呈波动式减少趋势,其中 50 年代最多,60~70 年代波动上升,80~90 年代波动减少,90 年代最少,2000~2002 年又相对偏多。沙尘暴增加的区域主要集中在青海、内蒙古和新疆的个别地方。从次区域尺度来看,我国沙尘暴易发区可划分为北疆、南疆、河西、柴达木盆地、河套、东北和青藏 7 个亚区,各个亚区的沙尘暴日数均是减少的,其中以青藏区减少最为明显( $-0.53 \text{ d} \cdot \text{a}^{-1}$ ),其次是南疆区( $-0.42 \text{ d} \cdot \text{a}^{-1}$ )。我国省(区)、市沙尘暴趋势研究近几年也取得了许多新进展,概括来讲,沙尘暴的发生多呈减少趋势,90 年代达到最少;但少数地区如阿拉善西部沙尘暴出现日数为波动增加态势<sup>[12]</sup>。

三、加强了对强沙尘暴和特强沙尘暴的深入研究。目前,强和特强沙尘暴时间变化出现了相反的结论,这正是深入研究的体现。周自江等的分析表明,我国北方强沙尘暴次数 20 世纪 50~90 年代呈波动减少趋势,90 年代是近 50 a 来沙尘暴发生最少的时期,而且持续时间最短,比其他年代约短 0.5~1 h。丁瑞强、史培军则认为,我国北方地区强和特强沙尘暴的发生频数自 50 年代以来一直在增加。这可能与各自采用的强沙尘暴划分标准不一致有关<sup>[13]</sup>。

四、在深入研究沙尘暴年代际变化特点的基础上,发现沙尘暴日数从 20 世纪 80 年代到 90 年代的变化率最高,沙尘暴在 1985 年发生了由多到少的突变。

五、在沙尘暴成因分析、可能的影响机制探讨方面取得一定的成绩。李林认为大风和干燥度是造成沙尘暴天气的两个重要气候因素,其中大风是主导因素。张德二(1982)指出降尘频数与温度及湿度变化成反向关系,也就是说沙尘暴的频发时期大致对应于气候干,冷的时期<sup>[14]</sup>;李海英(2003)研究认为,前期西太平洋副热带高压面积的大小和强弱、青藏高原位势高度的高低、亚洲纬向环流的强弱、大西洋—欧洲环流型日数和南方涛动的位相等气候因子,均对内蒙古中西部地区春季沙尘暴的发生有不同程度的影响<sup>[15]</sup>。

六、沙尘暴动力学机制研究、数值模拟方面取得了很大的成绩。2001 年兰州气象局运用中尺度 MM5 比较成功地模拟出 2000 年 4 月 12 日特强沙尘暴的天气形势和地面风场的变化;史培军(2001)认为中国北方的沙尘活动不仅是一个气候变化的函数,而且表现为一系列复杂的地表系统动力学过程,因气候变暖导致土壤干燥化,土地利用覆盖格局变化中的植被覆盖比例减少,是我国北方风沙活动加剧的主要驱动力<sup>[16]</sup>;对沙尘暴源地及移动路径的研究也取得了大量的研究成果(图 1.2)。

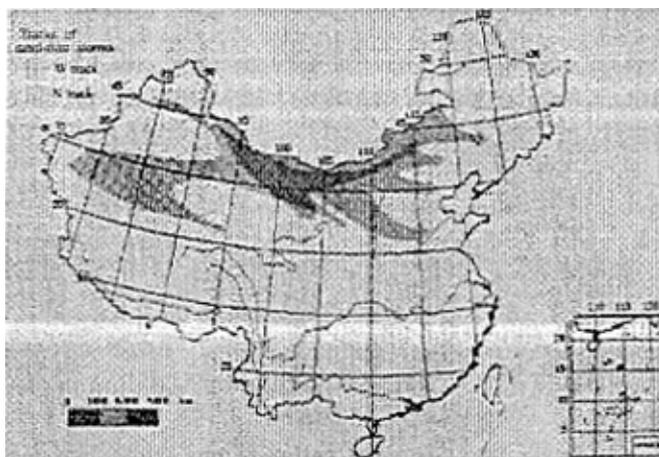


图 1.2 沙尘暴天气系统移动路径(邱新法, 2001)

七、在春季沙尘暴趋势预测方法研究方面也有了一些研究成果。2003 年 1 月 15 日国家气候中心在北京组织全国首次春季沙尘暴趋势展望会商,发布春季沙尘暴趋势展望结果之后,沙尘暴成因分析、影响机制和预测研究投入力度明显加大。

### 1.3.3 我国沙尘暴监测与预报服务业务进展

#### 1. 地面沙尘暴监测网。

我国对沙尘暴的监测主要来源于气象站的定时观测,观测资料有气象要素和能见度。根据研究和监测服务的需要,还建立了集中观测站和长期观测站。沙尘暴发生时的集中观测主要包括沙尘光学厚度测定、自动气象站气象要素记录、沙尘源地土壤状况分析、激光雷达沙尘垂直分层观测、沿气流方向沙尘通量观测、垂直方向沙尘通量观测、能见度观测(目视、能见度计)、沙尘粒子理化特征采样分析等。长

期监测包括自动气象站气象要素观测、大气气溶胶光学厚度监测、天空辐射计辐射观测、沙尘通量估算、能见度观测、土壤观测等。陕西建有三个沙尘暴长期观测站，分别设在榆林、延安和西安。

## 2. 卫星遥感监测

沙尘暴多发区往往自然条件恶劣、观测站稀少，找出沙尘暴发生的源地以及移动路线比较困难，利用气象卫星遥感技术对沙尘暴进行监测是一种有效方法，可以弥补地面常规观测资料的不足。目前气象卫星数据是沙尘暴遥感监测主要数据源，包括NOAA/AVHRR、EOS/MODIS、GMS/VISSR数据和FY1/MVISR数据，空间分辨率为0.25 km~5km，光谱范围覆盖可见光、近红外和红外，其中MODIS数据的光谱分辨率有了显著的提高，通道数增加到了36个。

遥感监测内容主要有：对沙尘暴的空间分布范围、影响区进行识别、定位；对沙尘运移路径和运移规律的变化过程进行动态监测；沙尘信息的遥感定量提取；沙尘暴产生的大气及下垫面等背景状况监测。

## 3. 春季沙尘暴预报、预警和检测业务的开展

2000年，我国沙尘暴、扬沙和浮尘天气频繁发生，严重干扰和影响人们的正常生活，对社会经济和环境均造成一定程度的危害。2000年年底到2001年年初的一次沙尘暴，发生之早为历史所罕见，引起人们的广泛关注。公众关注，各媒体在竞相报道和采访的同时，还纷纷派出记者深入沙尘暴的源地去一探究竟，社会各方面对沙尘暴的预报和服务需求不断增加。在这种背景下，中国气象局预测减灾司于2001年2月26~28日在甘肃兰州组织召开了“沙尘暴气象服务工作研讨会”，会后，中国气象局李黄副局长向媒体宣布，从3月1日起，中国气象局国家级的沙尘暴监测、预警、服务系统开始运行，中央气象台于3月19日首次发布了沙尘暴的警报，取得了较好的服务效果。此后，我国北方十几个省也相继开展了省一级的沙尘暴监测、预警、服务业务。

### 1.3.4 春季沙尘暴趋势展望业务的开展

2002年中国气象局“气发[2002]446号”文件要求北方各省（区、市）气象台将春季沙尘暴趋势展望正式纳入短期气候预测业务，至此，中国气象局国家级和省级的春季沙尘暴趋势展望业务正式开展。2003年1月15日国家气候中心首次在北京组织了2003年春季沙尘暴趋势展望会商会。陕西省气象台也于2003年开展了春季沙尘暴趋势展望业务，参加了会商会。

## 1.4 研究问题的提出

### 1.4.1 国内沙尘暴研究存在的不足

我国沙尘暴研究已经在各个领域取得丰硕成果，但仍存在以下几方面的问题：

1. 近50多年来，我国北方沙尘暴总的变化趋势是减少的这一研究结论已达成共识，但强沙尘暴变化趋势的研究结果仍存在很大分歧，一些学者的研究结论截然

相反，需要进一步的研究分析和深入讨论。

2. 中国气象局国家级和省级春季沙尘暴趋势展望业务已经开展，但总的来说，沙尘暴影响机制和预测方面的研究仍处在初始阶段，需要研究解决的问题很多，主要是春季沙尘暴影响因子还缺乏深入地分析研究，缺少行之有效的预报方法和业务流程等。

3. 一些研究中仍存在资料序列不均一、不连续，沙尘暴强度划分标准中指标描述不严格、标准划分指标的量值范围与观测资料不匹配等问题，这些问题的存在可能导致沙尘暴、强沙尘暴研究上的错误和研究结论出现分歧。

4. 陕西沙尘暴主要分布在经济相对落后的陕西北部，以前重视不够，研究较少，开展春季沙尘暴趋势展望业务捉襟见肘，需要研究的问题很多。

### 1.4.2 本文研究要解决和回答的问题

本文针对上述我国沙尘暴研究中存在的不足开展研究，主要解决和回答以下几方面的问题：

1. 陕西沙尘暴的基本特征是什么？陕西春季沙尘暴的影响因子有哪些？可能影响机制是什么？

2. 研究开发陕西春季沙尘暴趋势展望业务的预测概念模型和统计预报模型，建立陕西春季沙尘暴趋势预测业务流程。

3. 普查陕西强沙尘暴、特强沙尘暴过程，填补该方面研究的空白并回答陕西强沙尘暴的变化趋势是减少的还是增加的？影响陕西强沙尘暴、特强沙尘暴过程的环流形势和影响系统有哪些？

4. 对研究过程中发现的资料处理和沙尘暴强度划分标准中存在的具有普遍性的几个问题进行深入讨论。

### 1.4.3 本文的创新之处

1. 本文首次系统全面地分析了陕西沙尘暴变化规律和时空分布特点，建立气候业务用陕西春季沙尘暴序列，分析了沙尘暴的成因和陕西春季沙尘暴的影响因子，给出了预测思路，首次建立了陕西春季沙尘暴预测概念模型和回归统计模型，完成了预报流程的研制，开展了陕西春季沙尘暴预测业务。

2. 系统地整理了陕西强沙尘暴、特强沙尘暴过程及典型灾例，讨论灾情评估体系，分析其天气气候特点，填补陕西该方面研究的空白。

3. 在研究中发现一个沙尘暴资料整理和分析中应该注意的在全国普遍存在的问题；发现了一些沙尘暴强度划分标准中存在的问题；两个问题的发现和解决对不同部门专家正确使用气象观测资料，避免分析中出现错误具有重要意义。

## 第二章 资料说明和计算方法

### 2.1 资料说明

#### 2.1.1 使用资料

本文使用的资料主要有:

1. 陕西所有气象站 1954~2004 年沙尘暴、能见度、大风等气象要素和天气现象的逐日观测资料。
2. 陕西 1961~2004 年 93 个气象站气象月报表信息化资料中的历年逐月沙尘暴日数、大风日数、降水量、月平均气温资料等。
3. 中国气象局国家气候中心整理下发的 1951~2004 年 74 个环流特征量逐月资料和 1951~2004 年 100 hPa 和 500 hPa 高度场资料 ( $10^{\circ} \times 10^{\circ}$ ) 等。

#### 2.1.2 资料说明

依据气象观测规范规定,日界为 20 时,某一次沙尘暴过程跨越 20 时,按两个出现日计算;当某一天沙尘暴过程出现两次或以上时,按一个出现日计算。

某测站一日天气现象记录中有沙尘暴,无论出现在白天或夜间,无论夜间守不守班,记有一个沙尘暴日。

本文所用气象资料都是经过严格审核的气象档案馆馆藏档案资料。

### 2.2 计算方法

研究工作主要采用线性趋势估计、相关分析、T 检验方法、多元回归、均生函数等方法。下面对其中一些方法进行说明。

#### 2.2.1 线性趋势估计

设  $x$  为某一变量,  $t$  为其时间(年份),建立  $x$  与  $t$  之间的一元线性回归方程

$$\hat{x} = a + bt$$

$a$  为回归常数,  $b$  为回归系数,  $b$  值的符号反映该变量上升或下降的变化趋势,  $b$  值的大小反映上升或下降的速率,称  $b$  为倾向值。

回归系数  $a$ ,  $b$  表示为

$$a = \bar{x} - b\bar{t}$$
$$b = \frac{\sum_{i=1}^n x_i t_i - \frac{1}{n}(\sum_{i=1}^n x_i)(\sum_{i=1}^n t_i)}{\sum_{i=1}^n t_i^2 - \frac{1}{n}(\sum_{i=1}^n t_i)^2}$$

利用回归系数  $b$  与相关系数之间的关系,可知时间  $t$  与变量  $x$  之间的相关系数为

$$R = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n i^2 - \frac{1}{n} (\sum_{i=1}^n i)^2}{\sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{1}{n} (\sum_{i=1}^n x_i)^2}}$$

如果相关系数  $R$  通过显著性检验, 说明回归方程是显著的, 即表明趋势变化程度是显著的。

## 2.2.2 滑动 t-检验

滑动 t-检验是一种用检验两组样本平均值的差异是否显著的方法来检测突变。设一序列  $x_i, i=1, 2, \dots, n$ , 人为设置某一时刻为基准点, 那么基准点前后两段子序列  $x_1$  和  $x_2$  的样本分别为  $n_1$  和  $n_2$ , 两段子序列平均值为  $\bar{x}_1$  和  $\bar{x}_2$ 。定义统计量

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{S \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}}$$

其中

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n_1} (x_1(i) - \bar{x}_1)^2 + \sum_{j=1}^{n_2} (x_2(j) - \bar{x}_2)^2}{n_1 + n_2 - 2}}$$

给定信度  $\alpha=0.01$ , 查表得出临界值  $t_{\alpha}$ 。如果  $|t| > t_{\alpha}$ , 则认为两个子序列有显著性差异, 认为在基准年出现突变。这里两个子序列长度可相同, 也可不同。

## 2.3 业务用陕西春季沙尘暴序列的建立

### 2.3.1 陕西春季沙尘暴序列的整理和分析

陕西春季沙尘暴是指所选气象站春季出现沙尘暴次数的合计值, 即所选气象站出现沙尘暴的总次数。

在陕西所有 96 个气象站中 (图 2.1), 根据不同起始年, 选取不同数目的气象站整理出陕西春季沙尘暴序列共 5 个 (表 2.1、图略)。

图 2.2 是 5 个序列的沙尘暴次数除以气象站个数得出的每站平均春季沙尘暴序列, 从中可以看出, 1959~2004 年、1961~2004 年、1971~2004 年 3 个序列的差异很小, 变化趋势基本一致, 而 1954~2004 年和 1957~2004 年与前 3 个序列差异较大。这一点不难理解, 假设 1971~2004 年陕西春季沙尘暴序列客观地反映了陕西春季沙尘暴的实际情况, 该序列选取了 93 个气象站, 其中沙尘暴多发区陕北 24 个气象站, 1959~2004 年、1961~2004 年两个序列分别为 51 和 58 个气象站 (图 2.1 中以·标注的气象站), 陕北 12 个, 无论是全省, 还是陕北, 都达到或超过半数, 有很好的代表性是可以理解的。而 1954~2004 年和 1957~2004 年序列较长, 但气象站个数太少, 代表性相对就较差。

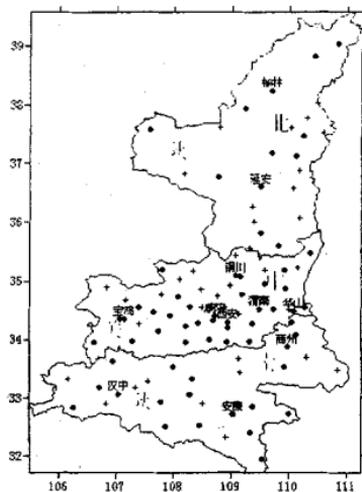


图 2.1 陕西 96 个气象站分布图 (图中+和·的合计)

表 2.1 陕西春季沙尘暴 5 个序列起始年及其对应的气象站数

		起始年				
		1954~	1957~	1959~	1961~	1971~
气 象 站 数	全省	9	28	51	58	93
	陕北	4	11	12	12	24
	关中	3	13	26	29	42
	陕南	2	4	13	17	27

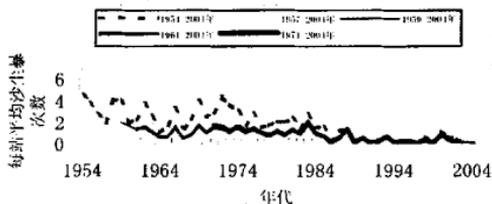


图 2.2 每站平均陕西春季沙尘暴序列 (5 个)

对 5 个序列在 1971~2000 年这一时段的资料进行归一化处理, 分析其峰值、谷值和演变规律, 得出相似的结论, 即 1959~2004 年、1961~2004 年代表性好而 1954~2004 年和 1957~2004 年代表性相对较差 (图略)。

### 2.3.2 业务用陕西春季沙尘暴序列的确定

从表 2.2 可以看出, 在 1971~2000 年这一时期, 1959~2004 年、1961~2001 年两个序列与 1971~2004 年序列相关系数高, 累年平均值、异常值出现年份等方面一致, 说明这两个序列代表性好, 1961~2004 年序列表现更为突出。而 1957~2001 年序列代表性较好, 1954~2004 年序列的代表性较差。考虑 1959~2004 年和 1961~2004 年两个序列只相差两年, 实际业务工作要兼顾扬沙、浮尘、大风等天气的序列选取, 建议用 1961~2004 年序列作为业务使用的基本序列。

表 2.2 4 个序列 1971~2000 年统计值和 1971~2004 年序列的比较

要素	1954~2004	1957~2004	1959~2004	1961~2004
相关系数	0.886	0.975	0.986	0.988
每站平均累年平均差	0.61	0.63	0.07	-0.02
变化趋势	不大一致	较一致	一致	一致
异常偏少年吻合率	67%	100%	100%	100%
异常偏多年吻合率	67%	67%	100%	100%
最少年	不一致	一致	一致	一致
最多年	不一致	一致	一致	一致

### 2.3.3 基本序列的应用举例

确定了基本序列, 就可以对春季沙尘暴的趋势进行预测和评估, 如 2004 年 1 月陕西省气象台发布 2004 年春季陕西沙尘暴趋势预测指出“预计 2004 年春季陕西沙尘暴与 1971~2000 年平均值 (46.3 站次) 相比偏少, 但出现的站次数可能比 2003 年 (1 站次) 稍多。”就是根据 1961~2004 年 59 个代表站 (千阳迁站, 资料不连续取掉, 现为 58 个) 建立的序列预测的。实际情况是 2004 年春季陕西共出现沙尘暴 6 站次, 多于 2003 年, 但为偏少年份, 而且是异常偏少年份之一, 与 1999 年持平, 仅多于 1997 年和 1991 年。预测趋势正确, 与实况相符。2003 年陕西春季沙尘暴是 1961 年以来最少的一年。

1961~2004 年序列较长, 利于气候趋势预测, 将其用于气候影响评价得出的评价结论和用 1971~2004 年序列得出的评价结论会不会有大的差异? 根据 1971~2004 年序列, 2003 年陕西春季沙尘暴是 1971 年以来最少的一年, 为 1 站次。2004 年陕西春季共出现沙尘暴 8 站次, 多于 2003 年, 为偏少年份, 而且是异常偏少年份之一, 仅多于 1997 年, 和 1991 年持平。评价结果与 1961~2004 年序列无大的差异。

### 2.3.4 资料延长

图 2.3 中短粗线为由观测资料整理的 1971~2004 年陕西春季沙尘暴序列, 长细线为根据 1961~2004 年每站平均春季沙尘暴序列反算的 1961~2004 年陕西春季沙尘暴序列 (相当于 93 个气象站出现总次数), 1971~2004 年拟合效果很好, 延长的 1961~1970 年资料可信。

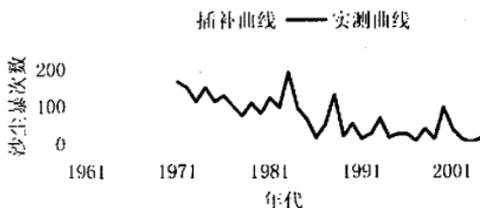


图 2.3 用 1961~2004 年春季沙尘暴序列对 1971~2004 年序列的延长延长的方法为:

$$y_i = x_i / 59 * 93$$

其中  $y_i$  为延长序列第  $i$  年的值,  $x_i$  为 1961~2004 年实测序列第  $i$  年的值, 59、93 分别为 1961~2004 年实测序列和 1971~2004 年实测序列的气象站个数,  $i$  的取值范围为 1961~2004 年。

本文后面几章的研究除空间分布特征和强、特强沙尘暴过程的分析使用了全省所有气象站沙尘暴资料外, 时间变化、成因分析、预测研究等主要以上述陕西春季沙尘暴业务用基本序列为研究对象, 即根据 58 个气象站整理的陕西春季沙尘暴出现总次数序列为研究对象, 所用 58 个代表站都是经过严格筛选的, 其各个气象要素的观测值都是齐全、连续的, 资料都是经过严格审核的气象档案馆存档资料, 分析结果是可靠的。

本文业务用春季沙尘暴序列的整理、选取思路可推广到雷暴、尘卷风等其它天气现象, 不同气象要素根据相同起始年、相同气象站建立长度相同的序列, 有利于不同气象要素和天气现象之间变化趋势、年代际变化和日变化规律的比较, 有利于综合分析和成因研究。

## 第三章 陕西沙尘暴的基本特点

### 3.1 陕西沙尘暴的季节分布特点

#### 3.1.1 陕西的地理环境

陕西地处我国西北内陆东部,黄河中游,南北跨纬度约8度( $31^{\circ}42' N \sim 39^{\circ}35' N$ ),东西跨经度约6度( $105^{\circ}29' E \sim 111^{\circ}15' E$ ),全省南北长,东西窄,土地面积20.58万平方公里。陕西东隔黄河与山西相望,西连甘肃、宁夏,北临内蒙古,南连四川、重庆,东南与河南、湖北接壤。

陕西地势南北高、中间低,西部高,东部低,地形复杂多样,北部为陕北黄土高原,中部为号称“八百里秦川”的关中平原,南部为陕南秦巴山地(图1.1)。全省以秦岭为界南北河流分属长江水系和黄河水系。主要有渭河,泾河、洛河、无定河和汉江、丹江、嘉陵江等<sup>[17]</sup>。陕西特定的地理位置和复杂的地形地貌决定了陕西具有温带大陆性、半湿润和半干旱、季风气候的特征。陕西旱、涝、风、雹、冻、沙尘暴等灾害频繁,水土流失严重。

陕西是我国北方沙尘暴较多的省份之一,陕北和关中北部是我国沙尘暴的影响区,位于毛乌素沙地南缘的陕北长城沿线是我国沙尘暴的多发区,定边是我国沙尘暴的高频区(图1.1)。

#### 3.1.2 陕西沙尘暴的季节变化特点

根据陕西58个气象站1961~2000年1~12月沙尘暴出现次数统计各月出现总数,结果显示,陕西春季(3~5月)沙尘暴最多,占全年的66%,冬季(前一年12月~2月)次之,占15.4%,秋季(9~11月)最少,占4.6%,夏季(6~8月)占14.2%。12个月中,4月最多,占全年的31.9%,9月最少,仅占全年的0.5%(图3.1)。陕西沙尘暴多发地区陕北的春季沙尘暴总次数占全年沙尘暴总次数的65%。陕西沙尘暴主要出现在春季,春季是陕西沙尘暴研究的重点时段。

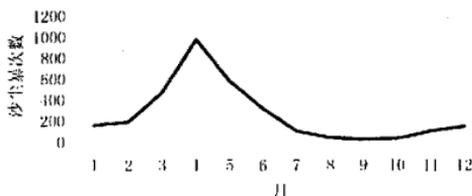


图3.1 陕西沙尘暴1961~2000年总次数月际分布

## 3.2 陕西沙尘暴空间分布特征分析

### 3.2.1 陕西沙尘暴多年空间分布特征分析

根据 WMO (世界气象组织) 的规定, 我国从 2003 年 1 月起用 1971~2000 年累年平均值代替 1961~1990 年累年平均值, 将其作为常年平均值。从上一节我们知道陕西沙尘暴主要出现在春季。无论 1961~1990 年累年平均值还是 1971~2000 年累年平均值 (图 3.2), 陕西春季沙尘暴空间分布特征与陕西年沙尘暴空间分布特征几乎完全一致, 只是发生次数少于年平均。根据 1971~2000 年累年平均值, 陕西年平均沙尘暴日数定边最多, 达 25.0 d, 陕北北部其余地方 2~10 d, 其中长城沿线 5~10 d; 陕北南部和关中北部个别地区 1~2 d, 关中大部、陕南东部部分地区不足 1 d; 陕南部分地区没有出现沙尘暴天气<sup>[10]</sup>。陕西沙尘暴天气主要分布在陕北, 但扬沙和浮尘天气关中、陕南都有发生。陕西春季平均沙尘暴日数也是定边最多, 为 14.7 d, 陕北北部其余地方 2~10 d, 其中长城沿线西部 5~10 d; 陕北南部和关中北部个别地区 1~2 d, 关中大部、陕南东部部分地区不足 1 d; 陕南部分地区春季没有出现过沙尘暴天气。

与 1961~2000 年累年平均值相比, 1971~2000 年累年平均值普遍偏小, 在 1961~2000 年累年平均值中, 榆林、横山、靖边、定边 4 个气象站的年平均沙尘暴日数超过 10 d, 而在 1971~2000 年累年平均值中, 仅有定边 1 个气象站年平均沙尘暴日数大于 10 d。在 1961~2000 年累年平均值中, 神木、榆林、横山、靖边、定边、米脂 6 个气象站春季平均沙尘暴日数大于等于 5 d, 而在 1971~2000 年累年平均值中, 只有横山、定边 2 个气象站的春季平均沙尘暴日数大于或等于 5 d。

根据 58 个气象站整理的陕西沙尘暴基本序列中, 陕北年沙尘暴总次数 (1961~2000 年平均) 占全省年沙尘暴总次数的 85%, 陕北春季沙尘暴总次数占全省春季沙尘暴总次数的 84%。可见, 陕西沙尘暴主要出现在陕北, 陕北是陕西沙尘暴研究的重点区域。

### 3.2.2 陕西沙尘暴空间分布的演变特点

图 3.3 是陕西沙尘暴空间分布的演变图 (对陕北各气象站年沙尘暴日数每 5 年进行一次平均, 绘一张空间分布图)。从图中可以看出, 陕西沙尘暴天气主要出现在陕北北部的长城沿线, 20 世纪 80 年代前期以前, 榆林地区年平均沙尘暴日数普遍在 5 天以上, 陕西南部, 即延安地区较少。在近 50 年中, 陕西沙尘暴的高发中心始终位于定边, 而且呈现单峰变化, 即由 20 多天增加到 30 多天, 到了 80 年代前期达最大, 年均 41.8 d, 但 80 年代后期明显减少, 到了 90 年代后期平均只有 8.7 d<sup>[10]</sup>。若以 5 年内年平均沙尘暴日数大于或等于 10 d 为沙尘暴多发区, 则在 60 年代前期以前, 沙尘暴主要发生在榆林地区中西部, 即长城沿线的定边、横山和榆林县; 但在此后向东扩展至神木和榆林地区东南部的子洲、米脂等县, 直到 70 年代中后期;

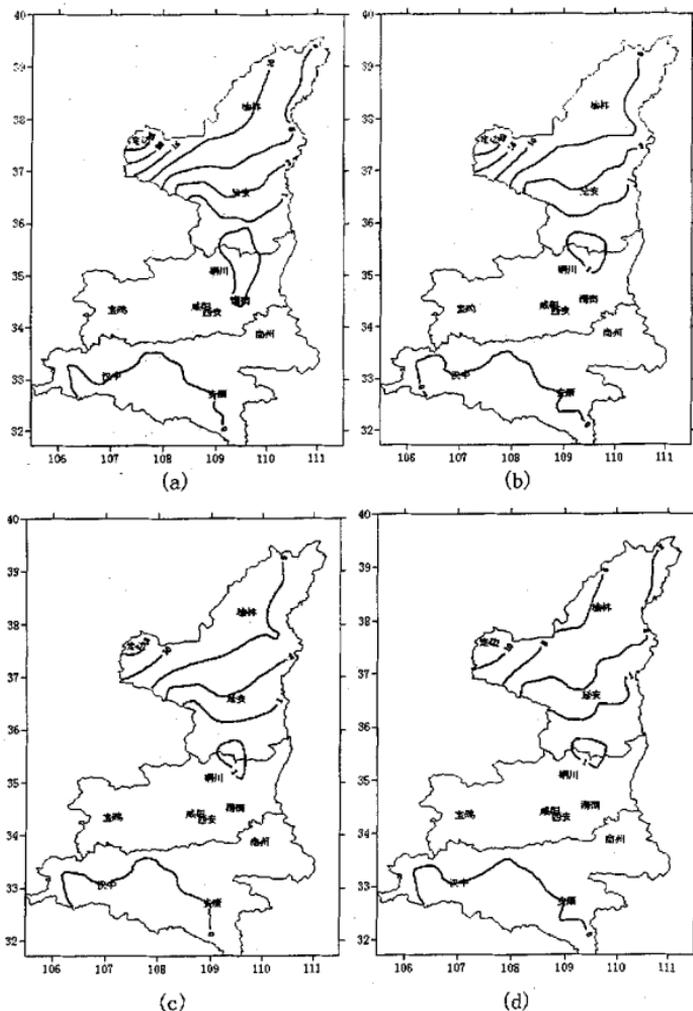
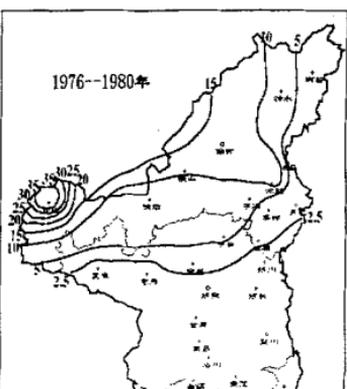
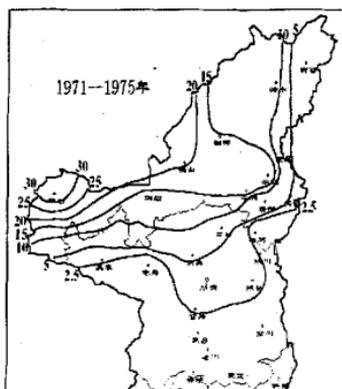
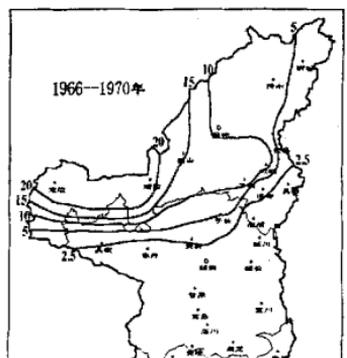
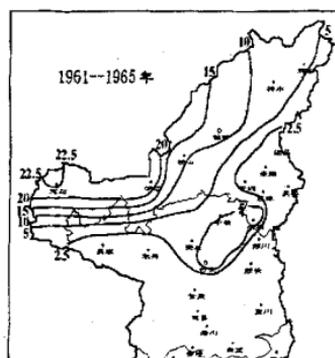
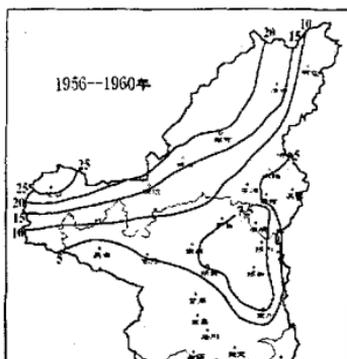
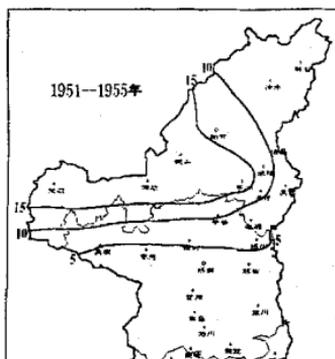


图 3.2 陕西省累年年平均沙尘暴和春季沙尘暴日数分布图

(a) 陕西 1961~1990 年年沙尘暴日数 (b) 陕西 1971~2000 年年沙尘暴日数

(c) 陕西 1961~1990 年春季沙尘暴日数 (d) 陕西 1971~2000 年春季沙尘暴日数

从 80 年代前期开始, 沙尘暴多发区发生明显变化, 逐步向西收缩, 到了 80 年代后期至 90 年代前期, 仅有定边一个气象站的年平均沙尘暴日数大于或等于 10 d; 到了 90 年代后期, 全省仅有定边一个气象站的年平均沙尘暴日数大于或等于 5 d, 5 年平均值中没有气象站大于或等于 10 d。



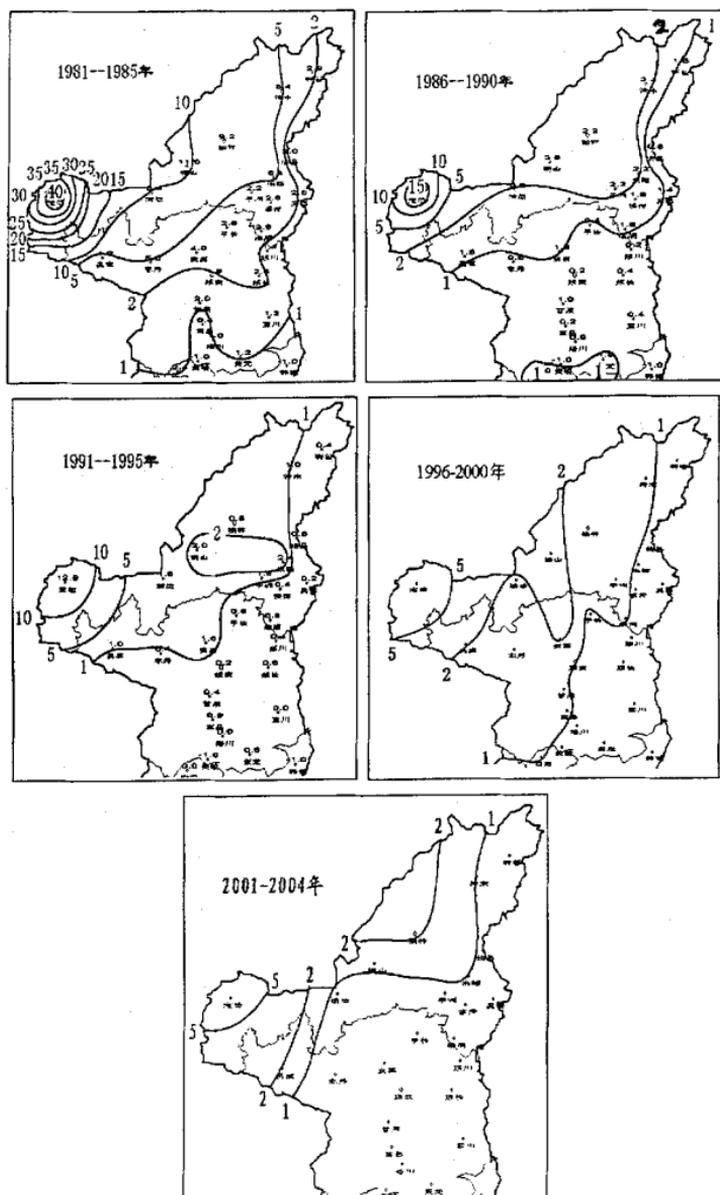


图 3.3 陕北沙尘暴空间分布演变图

### 3.2.3 陕西沙尘暴的源地和路径

没有发现在陕西布设专门的观测站,观测沙尘成分,分析陕西沙尘暴沙尘源地的研究成果。本文在整理、分析陕西强沙尘暴过程时发现约有近四分之一的沙尘暴过程在我国西北典型强沙尘暴事件中找不到相应过程,这些过程范围较小,强沙尘暴天气的中心、主体、沙源可能在陕西境内,通过历史天气图演变情况对其路径和沙尘源地进行分析的工作正在进行中,分析结果只有在口后单独列出。

本文对 2000~2003 年陕西春季沙尘天气的沙尘源地及主要路径分析方面已有的结果进行分析发现,陕西周边几个大的沙地都可能成为陕西沙尘天气的源地,其中巴丹吉林沙漠是陕西沙尘最主要的源地,占沙尘过程总次数的 52%,塔克拉玛干沙漠占 22%,腾格里沙漠占 11%,毛乌素沙漠占 15%。

陕西沙尘暴的移动路径与影响陕西的冷空气路径基本一致。影响陕西强沙尘暴过程的冷空气路径主要有三条,即西北路、西路、北路,以西北路最多,占 56.1%,一些强沙尘暴天气过程,特别是特强沙尘暴过程,不单纯为一种冷空气路径影响,而是两种冷空气路径同时造成沙尘暴天气,且在冷空气前部有强烈的气旋(热低压)发展。2000~2003 年陕西春季沙尘天气过程中(2000 年 5 月 11 日为强沙尘暴过程)没有出现两种冷空气路径同时造成沙尘暴天气,冷空气和沙尘移动路径分为西北路、西路、北路三条,以西北路最多,占总次数的 59%,其次是北路,占总次数的 30%,西路占 11%。

## 3.3 陕西沙尘暴的年代际变化特点

### 3.3.1 陕西年沙尘暴、春季沙尘暴年代际变化特点

陕西沙尘暴具有明显的年代际变化特点,表 3.1 和表 3.2 分别是陕北几个沙尘暴观测资料较长的气象站的年沙尘暴日数、春季沙尘暴日数的年代变化。表中除建站~1960 年平均值中各气象站有观测资料的年数不一致,2001~2004 年全部为 4 年

表 3.1 陕北 9 个气象站各年代年平均沙尘暴日数 单位: d

	神木	榆林	横山	定边	吴旗	志丹	延安	绥德	洛川
建站~1960	16.5	16.7	15.7	27.0	4.5	6.5	5.5	9.1	0.7
1961~1970	8.7	11.6	14.1	22.5	2.3	1.0	1.9	5.9	0.7
1971~1980	10.4	13.6	15.3	33.1	2.5	1.4	2.5	4.0	1.9
1981~1990	4.4	5.7	7.7	30.7	2.8	2.8	1.0	2.1	0.9
1991~2000	1.3	1.0	2.6	11.2	1.8	1.0	0.1	0.4	0
2001~2004	1.0	2.3	1.3	5.8	2.0	0	0	0	0

平均外,其余年代均为 10 年平均。从表中看出,陕西沙尘暴 20 世纪 70 年代较 60 年代有所增加,70 年代最多,随后逐年减少,到 90 年代达到最小值。从年代际变化同样可以看出,陕西春季沙尘暴演变规律与陕西年沙尘暴演变规律一致。

表 3.2 陕北 9 个气象站各年代春季平均沙尘暴日数 单位: d

	神木	榆林	横山	定边	吴旗	志丹	延安	绥德	洛川
建站~1960	9.5	9.6	8.7	19.5	3.5	3.8	5.1	3.4	0.6
1961~1970	5.8	7.1	9.4	14.0	1.8	0.7	1.4	3.8	0.5
1971~1980	6.3	7.9	9.5	18.9	2.2	1.3	2.0	2.9	1.7
1981~1990	2.7	3.9	4.8	18.1	2.1	1.9	0.9	1.5	0.9
1991~2000	1.0	0.8	2.0	7.2	1.7	1.0	0.1	0.4	0
2001~2004	1.0	1.8	1.0	3.8	1.5	0	0	0	0

### 3.3.2 陕西年沙尘暴、春季沙尘暴的变化趋势

从陕西 58 个气象站整理出的陕西沙尘暴基本序列可以看出, 陕西春季沙尘暴序列的变化特征与陕西年沙尘暴序列的变化特征基本相同, 陕西年沙尘暴的总次数和全国沙尘暴出现频率呈减少趋势相同, 陕西沙尘暴出现总次数呈减少趋势(图略)。1961~2004 年全省 58 个气象站年沙尘暴总次数的平均值为 69.9 次, 线性回归方程为:

$$\hat{x} = -5496.9 - 2.808t$$

线性趋势为-2.808,  $\hat{x}$  与  $t$  之间的相关系数  $R = -0.75$ , 通过信度为 0.01 的显著性检验, 说明线性趋势明显。也就是说, 40 年来, 陕西年沙尘暴总次数以平均每年 2.808 次的速率在减少, 减少趋势明显。

陕西 58 个气象站春季沙尘暴总次数 1961~2004 年 44 a 平均值 46.1 次, 线性回归方程为:

$$\hat{x} = -3352.9 - 1.668t$$

线性趋势为-1.668,  $\hat{x}$  与  $t$  之间的相关系数  $R = -0.690$ , 通过信度为 0.01 的显著性检验, 线性趋势明显。也就是说, 陕西春季沙尘暴总次数以平均每年 1.668 次的速率在减少, 减少趋势明显(图 3.4)。

### 3.3.3 陕西沙尘暴突变分析

陕西年沙尘暴总数和陕西春季沙尘暴总数在 1985 年出现由多到少的突变, 与中国沙尘暴在 1985 年发生突变一致。我们用滑动  $t$ -检验法, 分别取  $m=n_0=7, 8, 9, 10$ , 检测出 1985 年前后陕西春季沙尘暴出现由多到少的突变, 根据历年距平的变化, 人为设置 1985 年为基准点, 将 1985 年前后两个时段作为两个子序列作  $T$  检验, 通过信度为 0.01 的显著性检验, 说明陕西春季沙尘暴在 1985 年出现突变, 图 3.4 的两条细直线分别为 1961~1984 年 24 年平均值和 1985~2004 年 20 年平均值。从陕西

春季沙尘暴异常偏多、偏少年份的分布也证明了这一点。1961~2004年陕西春季沙

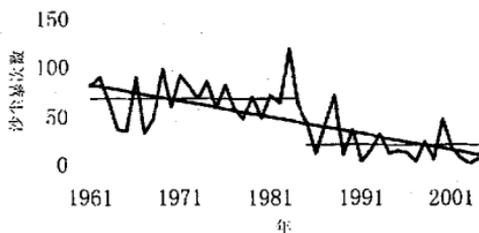


图 3.4 陕西历年春季沙尘暴总次数(细直线为 1985 年前后平均值)

表 3.3 陕西春季沙尘暴的最多、最少年份

最多年	1983	1969	1971	1962	1966
最少年	2003	1997	1991	1999	2004

沙尘暴最多的 5 个年份的沙尘暴次数依次为 1983 年 118 次、1969 年 98 次、1971 年 91 次、1962 年 89 次和 1966 年 89 次，全部出现在 1985 年以前；而陕西春季沙尘暴最少的 5 个年份沙尘暴次数依次是 2003 年 1 次、1997 年 3 次、1991 年 3 次、1999 年 6 次、2004 年 6 次，全部出现在 1985 年以后(表 3.3)。表 3.4 和表 3.5 分别根据陕西春季沙尘暴距平百分率和标准差两种指标将陕西春季沙尘暴划分为偏多、偏少等 7 种年型。表 3.6 是根据陕西春季沙尘暴正、负距平划分的偏多、偏少年

表 3.4 根据距平百分率( $\Delta\%$ )划分的陕西春季沙尘暴偏多、偏少年份

级别	级数	量值	出现年数	年份
异常偏多	7	$\Delta\% \geq 80\%$	3	1969、1971、1983
显著偏多	6	$50\% \leq \Delta\% < 80\%$	6	1961、1962、1966、1972、1974、1976
偏多	5	$25\% < \Delta\% < 50\%$	5	1963、1973、1979、1981、1988
正常	4	$-25\% \leq \Delta\% \leq 25\%$	11	1968、1970、1975、1977、1978、1980、1982、1984、1985、1987、2000
偏少	3	$-50\% < \Delta\% < -25\%$	5	1964、1965、1967、1990、1993
显著偏少	2	$-80\% < \Delta\% \leq -50\%$	8	1986、1989、1992、1994、1995、1996、1998、2001
异常偏少	1	$\Delta\% \leq -80\%$	6	1991、1997、1999、2002、2003、2004

表 3.5 根据标准差划分的陕西春季沙尘暴偏多、偏少年份

级别	级数	量值	出现年数	年份
异常偏多	7	$\Delta\% \geq 2\delta$	1	1983
显著偏多	6	$1.5\delta \leq \Delta\% < 2\delta$	1	1969

偏多	5	$1.6 < \Delta S < 1.56$	7	1961、1962、1966、1971、1972、1974、1976
正常	4	$-1.6 \leq \Delta S \leq 1.6$	24	1963、1964、1965、1967、1968、1970、1973、1975、1977、1978、1979、1980、1981、1982、1984、1985、1987、1988、1990、1992、1993、1998、2000、2001
偏少	3	$-1.56 < \Delta S < -1.6$	10	1986、1989、1991、1994、1995、1996、1997、1999、2002、2004
显著偏少	2	$-2.6 < \Delta S \leq -1.56$	1	2003
异常偏少	1	$\Delta S \leq -2.6$	0	

份。经过对比分析，本文认为表 3.4 的划分结果较为理想，可较好地应用在陕西春季沙尘暴趋势预测业务中应用（第六章中详细论述）。

表 3.6 根据正、负距平划分的陕西春季沙尘暴的偏多、偏少年份

级别	等级	距平	出现年数	年份
偏多	3	正距平	23	1961、1962、1963、1966、1968、1969、1970、1971、1972、1973、1974、1975、1976、1977、1978、1979、1980、1981、1982、1983、1984、1988、2000
持平	2	零距平	0	
偏少	1	负距平	21	1964、1965、1967、1985、1986、1987、1989、1990、1991、1992、1993、1994、1995、1996、1997、1998、1999、2001、2002、2003、2004

从上述陕西春季沙尘暴偏多、偏少年份的划分结果也可以看出，偏多年份多数出现在 1985 年以前，这一时期是陕西春季沙尘暴的多发期；偏少年份多数出现在 1985 年以后，从 1985 年起，陕西春季沙尘暴进入少发。

### 3.4 陕西沙尘暴日变化规律

从 2.1.2 知道，当某一天沙尘暴过程出现两次或两次以上时，按一个沙尘暴日计算。为了统计方便，我们规定某气象站出现沙尘暴，无论该日该站出现几次沙尘暴，均以第一次沙尘暴的起始时间所在时段统计沙尘暴出现时段，沙尘暴起始时间在 8:00~9:00 之间记 8，恰好为 8:00 记 8，恰好为 9:00 记 9，其余依次类推。

图 3.5 是根据陕西所有沙尘暴记录统计的沙尘暴日变化曲线，陕西沙尘暴主要出现在早晨 8:00 至傍晚 20:00，尤其以下午 14:00 至傍晚 20:00 为多，这两个时段出现的沙尘暴分别占全天出现沙尘暴总数的 95% 和 60%。一天当中，出现最多的是 19 时，共出现 472 次，占总数的 9.7%，其次是 15 时 462 次、17 时 461 次、18 时 449 次、16 时 401 次。出现最少的是 02 时和 05 时，均为 9 次。



图 3.5 陕西沙尘暴日变化曲线

### 3.5 陕西沙尘暴持续时间的变化

反映沙尘暴天气强度的气候要素主要有沙尘暴天气出现时的最小能见度、最大风速和沙尘暴天气的持续时间，其中最小能见度是表征沙尘暴物质特征的因子，而最大风速和持续时间则是表示沙尘暴动力特征的因子。本节着重分析沙尘暴天气的持续时间，图 3.6 给出 1961~2003 年陕西历年沙尘暴天气平均持续时间变化趋势。43 a 来陕西沙尘暴天气历年平均持续时间呈增加趋势，线性趋势为 0.0323，增加趋势不明显，即陕西沙尘暴平均持续时间仅以每 10 年 0.323 分钟的速率增加，增幅很

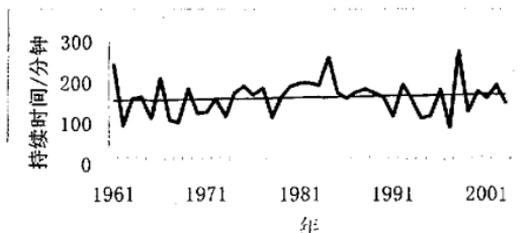


图 3.6 陕西 58 个气象站历年沙尘暴平均持续时间

小。这一点与青海省的分析结果不同。1961~2000 年青海省逐年沙尘暴天气平均持续时间在以每 10 年 6.55 分钟的速率在减少。

43 a 来陕西春季 (3~5 月) 沙尘暴天气历年平均持续时间呈减少趋势，线性趋势为 -0.0131，平均持续时间与时间 (年) 的相关系数未能通过信度为 0.10 的显著性检验，减少趋势不明显，即陕西春季沙尘暴平均持续时间以每 10 年 0.131 分钟的速率减少，减少幅度很小。

总之，陕西沙尘暴次数在减少，但历年沙尘暴天气平均持续时间变化不大。

### 3.6 陕西龙卷风、尘卷风和沙尘暴时空特征对比分析

尘卷风是最为常见的小型风沙搬运系统,它是一种在沙漠、戈壁、干河滩等地区,特别是春夏季炎热的午后经常出现的旋转气团。它具有拉长的倒锥状外形,是一种小尺度的对流漩涡,通常发生于白天地面被强烈加热,紧贴地面而形成一层过热空气的地方<sup>[20]</sup>。相对于沙尘暴、龙卷风,我国对尘卷风的研究规模要小很多,近几年,国内一些专家开始从动力学角度研究尘卷风的形成,在热泡理论的基础上,用数值模式模拟尘卷风的形成。本节对陕西龙卷风、尘卷风时空分布特点和日变化规律进行分析,与陕西沙尘暴的基本特点做一个简单的对比。

根据《地面气象观测规范》(1979年12月版)对龙卷、尘卷风的描述。龙卷:一种小范围的强烈旋风,从外观看,是从积雨云(或发展很盛的浓积云)底盘旋下垂的一个漏斗状云体。有时稍仰即隐或悬挂空中;有时触及地面或水面,旋风过境,对树木、建筑物、船舶等均可造成严重破坏。尘卷风:因地面局部强烈增热,而在近地面气层中产生的小旋风,尘沙及其它细小物体随风卷起,形成尘柱。很小的尘卷风,直径在两米以内,高度在十米以下的记录。本节使用资料除特别注明外,均为气象档案馆存档的气象站观测资料。根据《地面气象观测规范》(1979年12月版)规定,1980年起尘卷风不再记录起止时间。

### 3.6.1 龙卷风

1949年以来,陕西气象站观测记录的龙卷风仅三例:黄陵,1988年8月4日13:45时;韩城,1964年7月30日;韩城,1971年7月22日11:14~11:21时。另外,陕西省志·气象志记载的解放后的龙卷灾例有两个:耀县,1977年7月12日,阿子公社、小丘公社出现龙卷风,毁田毁树毁电杆。乾县,1978年4月14日,周城公社出现龙卷风<sup>[21]</sup>。1994年6月25日16时,子洲县何家集乡出现龙卷天气<sup>[22]</sup>。1995年8月5日20时左右,泾阳、三原出现龙卷风<sup>[23]</sup>。几次龙卷风中,以乾县周城公社的龙卷风损失最重。龙卷风下午3时15分出现,约15分钟后结束,因龙卷风直接死亡84人,重伤173人,轻伤161人,尤以学校伤亡最为惨重,有67名学生死亡<sup>[21]</sup>。因陕西龙卷资料太少,无法详细分析,但从已有的7次龙卷看,夏季6次,春季1次,7月最多,记录有起始时间的4次龙卷风出现在11~20时这个时段内。

已有研究表明,我国龙卷风在一天中的任何时间都可能发生,而以午后发生的最多,其中15~16时,为发生的高峰时段。从1981~1993年统计资料看,中国东部龙卷主要集中在春、夏季,8月为多,7月次之。次高峰为4月,5月比4月略少,没有获得11月~翌年1月发生龙卷的报告。基本说明了冬季气候的大陆性特征和天气的稳定性。而美国全年各月均有龙卷风发生,以5月最多。我国龙卷最多月份地域差异较大,广东最多为5月、4月;河北、山东最多为7月、8月。海南、华北雷暴多发,绝大多数龙卷风的发生都与雷暴的活动密切相关。在我国东部季风活跃的地区,龙卷风的发生比较频繁<sup>[24,25]</sup>。

### 3.6.2 尘卷风

尘卷风的空间分布特点：从陕西所有气象站的观测记录中共整理出生卷风 714 次（注：同一气象站同一天出现两次或两次以上尘卷风按规定记 1 次尘卷风），记录有起止时间的 594 次，将每个气象站出现的所有尘卷风次数和每个气象站 1971~2000 年出现的尘卷风次数分别填在两张图上，发现两张图的空间分布基本一致，即陕北最多，关中次之，陕南除商洛地区外，其余地方很少出现尘卷风，全省出现尘卷风最多的两个气象站是横山和府谷。从 1971~2000 年 30 年各气象站出现的尘卷风次数看，陕北长城沿线和绥德、延安大于等于 5 天，其中，横山 27 天，府谷 41 d，全省其它地方小于 5 d。这一空间分布特点与文献[20]分析的尘卷风是一种在沙漠、戈壁、干河滩等地区，特别是春夏季炎热的午后经常出现的旋转气团基本一致，与陕西沙尘暴的空间分布基本一致。

尘卷风的年际分布特点：从 1961 年起陕西各气象要素观测资料齐全的气象站有 58 个，这 58 个气象站 1961~2003 年共出现尘卷风 286 次，年际变化见图 3.7。陕西尘卷风在 1983 年前后出现突变，在 1983 年之前为多发期，1983 年起进入少发期。与沙尘暴突变年份相近，稍偏早。

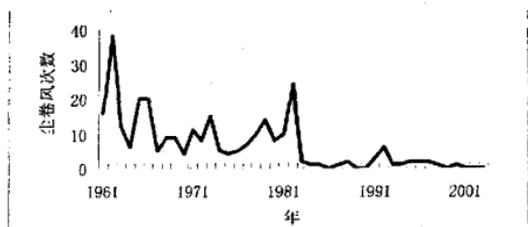


图 3.7 陕西 58 个气象站历年尘卷风总次数

尘卷风的季节分布特点：1971 年起陕西各气象要素观测资料齐全的气象站有 93 个，从 93 个气象站 1971~2000 年尘卷风出现次数看，2~10 月都有发生，以春夏季为多，尤以 4、5、6 月为多（图 3.8 实线）。但从收集到的陕西所有 714 次尘卷风看，一年四季都有发生（图 3.8 虚线）。陕西尘卷风多发月份与陕西沙尘暴多发月份基本一致。

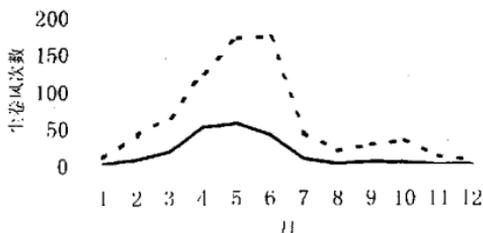


图 3.8 陕西尘卷风的月际分布图（实线—1971~2000 年；虚线—全部）

尘卷风的日变化规律：规定某气象站出现尘卷风，无论一日中该气象站出现了多少次尘卷风，均以第一次尘卷风的起始时间所在时段统计尘卷风出现时段，起始时间在 8:00~9:00 之间记 8，恰好为 8:00 记 8，恰好为 9:00 记 9，其余依次类推。从 1971 年起陕西各气象要素观测资料齐全的 93 个气象站在 1971~2000 年尘卷风出现时间看，11~18 时都有发生，以 12~15 时为多（图 3.9 实线）。因为 1980 年起尘卷风不再记录起止时间，1971~2000 年陕西尘卷风记录有起始时间的实际上仅仅为 1971~1979 年共 9 年的资料，而 9 年的资料不能代表常年气候特点，我们同时分析了陕西所有记有起始时间的 594 次尘卷风的出现时段，发现在 08 时~18 时出现过尘卷风，以 12 时~14 时为多（图 3.9 虚线）。需要说明的是 19 时~07 时没有找到记录有起始时间的尘卷风，并不意味着在该时段陕西境内的气象站在历史上没有观测到尘卷风，因为《地面气象观测规范》（1979 年 12 月版）规定，夜间不守班的台站，观测簿中的天气现象栏划分“夜间（20~8 时）”和“白天（8~20 时）”两栏。夜间出现的天气现象记入“夜间”栏，只记符号，一律不记起止时间。在 1980 年以前所有的 627 次记录中，记有起始时间的有 594 次，缺测 3 次，没有记录起始时间的 30 次，这 30 次应该是夜间不守班气象站夜间观测到的尘卷风。

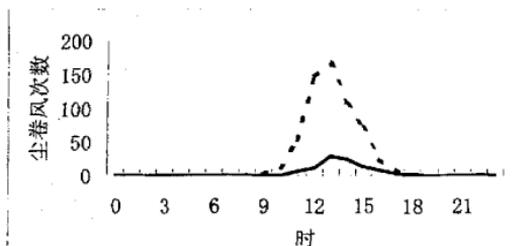


图 3.9 陕西尘卷风日变化曲线

（实线—1971~2000 年记有时间的；虚线—所有记有时间的）

在 714 次尘卷风记录中，同一气象站同一日出现 3 次或 3 次以上的尘卷风有 14 次，其中 5 次或 5 次以上的 2 次，最多的一次出现在 1959 年 5 月 27 日，横山，一日之内先后 6 次出现尘卷风。

## 第四章 陕西强沙尘暴、特强沙尘暴变化特点

在强沙尘暴、特强沙尘暴研究方面,沙尘暴较多的省份都对本地区的强沙尘暴特征、机理、对策等进行分析,有些学者还系统地分析了我国北方的强沙尘暴事件,而针对陕西强沙尘暴、特强沙尘暴气候特征的研究一直没有人做,全国强沙尘暴事件中涉及陕西的很少。目前,国内学者对我国沙尘暴总体呈减少趋势已经达成共识,但对强沙尘暴的变化趋势有分歧。本章将系统地整理陕西强沙尘暴和特强沙尘暴过程,分析其天气气候特点,并将陕西的强沙尘暴过程和邻近地区以及整个北方的强沙尘暴事件进行对比。

本章根据气象部门沙尘暴预测业务工作的需要,参照中国气象局《地面气象观测规范》(2003)<sup>[9]</sup>,根据能见度将沙尘暴分为强沙尘暴和特强沙尘暴。强沙尘暴:能见度小于500 m;特强沙尘暴:能见度小于200 m。同时,参照“规定”中关于强沙尘暴天气过程的定义,定义陕西强沙尘暴过程:在一次过程中,陕西境内有3个或3个以上气象站出现了强沙尘暴。特强沙尘暴过程:在一次过程中,陕西境内有3个或3个以上气象站出现了特强沙尘暴。

### 4.1 陕西强沙尘暴过程

强沙尘暴的统计方法:在陕西省1954~2004年气象观测资料中挑出所有沙尘暴记录,然后在沙尘暴记录所对应的3次或4次定时能见度观测资料中挑出最小能见度小于500 m的记录作为强沙尘暴记录;最后挑出一日或连续数日有3个或3个以上气象站最小能见度小于500 m的过程作为陕西强沙尘暴过程。在同一次过程中,一个气象站无论出现几个强沙尘暴日,记这一次过程有一个气象站出现强沙尘暴,共挑出沙尘暴过程41次。表4.1给出了每次强沙尘暴过程中出现强沙尘暴的气象站个数、特强沙尘暴气象站个数、沙尘暴气象站个数和沙尘暴出现范围等。

表4.1 陕西强沙尘暴过程

序 号	过程	N1	N2	N3	备注:沙尘暴范围(能见度小于200 m)
1	1957.4.7—9	5	2	7	陕北5站(榆林)、关中2站(彬县)。
2	1958.2.21—23	9	1	28	陕北15站(神木)、关中9站、陕南4站。
3	1959.4.8	6	1	20	陕北16站(靖边)、关中4站。
4	1959.4.14—15	8	2	19	陕北18站(靖边、子长)、关中1站。
5	1961.4.3	4	0	25	陕北15站、关中9站、陕南1站。
6	1961.5.1—2	5	1	21	陕北17站(子洲)、关中4站。
7	1961.6.2	4	1	21	陕北9站(子洲)、关中西部6站、陕南6站。
8	1962.3.17—18	3	1	12	陕北12站(横山)。
9	1963.1.28	3	1	6	陕北6站(定边)。

10	1963. 3. 30—31	3	1	7	陕北7站(定边)。
11	1966. 4. 14	17	3	29	陕北16站(神木、靖边)、关中13站(临潼)。
12	1969. 3. 14—15	3	0	8	陕北8站。
13	1969. 3. 26—27	4	0	6	陕北2站、关中东部4站。
14	1969. 4. 2	4	2	7	陕北7站(神木、佳县)。
15	1969. 4. 5—7	5	1	18	陕北12站(定边)、关中东部6站。
16	1969. 4. 18	3	0	3	陕北3站。
17	1970. 4. 2	4	2	21	陕北12站(靖边、定边)、关中9站。
18	1970. 4. 5	3	0	9	陕北9站。
19	1971. 3. 28	4	0	19	陕北15站、关中东部4站。
20	1971. 5. 26	3	1	28	陕北19站(安塞)、关中东部9站。
21	1972. 4. 18	4	1	19	陕北17站(定边)、关中2站。
22	1972. 11. 19	4	0	10	陕北10站。
23	1973. 5. 1	3	1	5	陕北5站(榆林)。
24	1974. 4. 29	4	0	14	陕北14站。
25	1975. 2. 19	3	0	12	陕北11站、关中1站。
26	1975. 4. 7	8	1	28	陕北20站(定边)、关中8站。
27	1976. 12. 17	4	1	7	陕北7站(定边)。
28	1977. 2. 20—22	12	3	29	陕北20站(神木、横山、定边)、关中9站。
29	1978. 4. 14—15	6	1	28	陕北22站(神木)、关中6站。
30	1979. 4. 11—12	18	5	38	陕北23站(榆林、靖边、米脂、吴旗)、关中14站(秦岭)、陕南1站。
31	1980. 4. 18	4	0	18	陕北15站、关中3站。
32	1981. 5. 1	16	2	42	陕北23站(榆林、吴旗)、关中19站。
33	1982. 5. 1—2	4	0	24	陕北17站、关中6站、陕南1站。
34	1982. 12. 20—23	3	1	11	陕北11站(定边)。
35	1983. 3. 15	15	3	64	陕北24站(定边、子长、志丹)、关中39站、陕南1站。
36	1983. 4. 27—28	15	5	34	陕北21站(府谷、横山、靖边、定边、吴旗)、关中13站。
37	1984. 4. 25—26	33	3	45	陕北23站(定边、清涧)、关中18站(乾县)、陕南东部4站。
38	1988. 4. 11	8	0	25	陕北20站、关中4站、陕南1站。
39	1988. 4. 16—17	7	1	41	陕北22站(定边)、关中19站。
40	1993. 4. 22—23	6	1	17	陕北17站(定边)。

41 2000.5.11 3 0 13 陕北12站、关中1站。

说明: N1—出现强沙尘暴的气象站个数, N2—出现特强沙尘暴的气象站个数, N3—  
出现沙尘暴的气象站个数。

## 4.2 陕西强沙尘暴过程特点分析

1954年以来, 陕西共出现强沙尘暴过程41次, 平均每年不到一次。从年代际变化看, 20世纪50年代4次, 60年代14次, 70年代13次, 80年代8次, 90年代2次。考虑50年代有资料的年数和气象站个数较少, 可知陕西强沙尘暴过程60、70年代最多, 80年代次之, 90年代最少。1988年以后, 陕西仅在1993年和2000年出现强沙尘暴过程, 2000~2004年连续4年没有出现强沙尘暴过程。从季节分布看, 41次强沙尘暴过程有33次出现在春季(3~5月), 占总次数的80%, 其中4月21次, 5月6次, 3月6次。冬季6次, 其中2月3次、12月2次、1月1次。夏、秋季各1次: 6月1次、11月1次。

从影响范围看, 41次强沙尘暴过程, 陕北、关中、陕南都出现沙尘暴的过程有8次, 占19%, 陕北、关中出现沙尘暴, 陕南没有出现沙尘暴的过程有20次, 占49%, 仅陕北出现沙尘暴的过程有13次, 占32%。在41次强沙尘暴过程中, 至少有1个气象站出现特强沙尘暴的过程共28次, 占总次数的68%。在一次过程中, 出现强沙尘暴最多的是1984年4月25~26日, 99个气象站中有33个气象站达到了强沙尘暴标准, 其中3个气象站达到了特强沙尘暴标准。

## 4.3 陕西特强沙尘暴过程及其灾情评估

### 4.3.1 陕西特强沙尘暴过程

与强沙尘暴过程的挑取办法相似, 挑出一日或连续数日有3个或3个以上气象站最小能见度小于200 m的沙尘暴过程作为陕西特强沙尘暴过程, 共挑出特强沙尘暴过程6次(表4.2), 6次特强沙尘暴过程都出现在1985年以前。

表4.2 陕西特强沙尘暴过程

序号	过程	N1	N2	N3	备注:能见度小于200
1	1979.4.11—12	18	5	38	榆林、靖边、米脂、吴旗、秦岭
2	1983.4.27—28	15	5	34	定边、靖边、横山、府谷、吴旗
3	1984.4.25—26	33	3	45	定边、清涧、乾县
4	1966.4.14	17	3	29	神木、靖边、临潼
5	1983.3.15	15	3	64	定边、子长、志丹
6	1977.2.20—22	12	3	29	定边、神木、横山

说明: N1—出现强沙尘暴的气象站个数, N2—出现特强沙尘暴的气象站个数, N3—  
出现沙尘暴的气象站个数。

6次特强沙尘暴过程中,春季出现5次,其中4月4次,3月1次;冬季1次,出现在2月。20世纪60年代1次,70年代2次,80年代3次,90年代和2001~2004年没有出现。

#### 4.3.2 陕西沙尘暴危害与灾情评估

沙尘暴的危害与灾情评估:沙尘暴主要以强风、沙埋、沙割、土壤风蚀、大气污染等形式危害人类。随着社会经济的发展和人民生活水平的提高,每次沙尘暴造成的损失日益加大,引起人们的关注,尤其是对公众生活环境和身体健康造成的危害近几年更是引起了社会各方面的广泛关注。本文研究相关文献后认为灾情评估可从三个角度来衡量:

一是沙尘暴天气强度的划分,包括风速、能见度、持续时间等,前面已经提及。

二是直接经济损失的评估,如人员伤亡、建筑物损坏、农田受灾面积、航班延误、交通阻塞以及由此造成的直接经济损失等;陕西6次特强沙尘暴过程危害都比较大,一些过程造成严重灾情,如1984年4月25~27日寒潮大风,全省出现罕见的沙尘暴和扬沙、浮尘天气,33个气象站能见度小于500m,其中3个小于200m,对农作物正常生长、交通运输和人民生活影响很大。西安市天空变成桔红色,能见度最小时仅200m。

1983年4月27~28日,寒潮入侵,全省大风,榆林地区大风持续20多小时,农田被沙掩埋,定边县死亡6人,失踪10人,羊死亡7972只,夏田损失约7000hm<sup>2</sup>,大风还造成大量树木倒折。据定边气象站气象月报表和年报表等资料记载,4月27~28日沙尘暴初始,白日顿成黑夜,天昏地暗,伸手不见五指。沙尘暴来临前,陕北定边等地可观测到高度1000m左右的风墙滚滚而来。黑风锋面过境前后气象要素演变十分剧烈。瞬时风速超过30m/s<sup>-1</sup>,平均风速由17时4.7m/s<sup>-1</sup>突转为18时18.3m/s<sup>-1</sup>。

1983年3月15日的沙尘暴天气是陕西有观测资料以来范围最大的一次沙尘暴,当时99个气象站中有64个气象站出现沙尘暴天气,其中19个气象站沙尘暴天气持续到16日。

三是对大气环境质量和人体健康的影响评估,沙尘天气与大气污染和环境质量的关系研究是近几年沙尘暴研究的一个热点。下面着重分析和论述沙尘暴对大气环境质量和人体健康的影响评估。

2003年,国家环保总局根据2001年和2002年沙尘暴出现时空气中沙尘颗粒物浓度的检测结果,从沙尘浓度水平给出新的沙尘暴强、中、弱标准。

表4.3 国家环保局提出的沙尘暴强度划分标准 单位:mg/m<sup>3</sup>

	沙尘暴强度		
	强	中	弱
大气中总悬浮颗粒物的浓度( $\rho_{rsp}$ )	$\rho_{rsp} \geq 9$	$6 \leq \rho_{rsp} < 9$	$3 \leq \rho_{rsp} < 6$

这种定义拓宽了沙尘暴定义的思路,突破了传统地面观测方法的局限。由于监

测的历史时间过短,标准的临界值需要进一步试验调整,而且需要和能见度标准进行对比分析,以助于历史序列的重建<sup>[30]</sup>。本文认为,这种沙尘暴划分标准的本身是根据沙尘暴天气对大气环境危害程度以及对公众身体健康和各个行业潜在危害程度的分级,本身就是沙尘暴天气对大气环境造成危害的灾情评估体系,只是这种灾情评估不像经济损失评估那样容易让人接受罢了。相信随着这种沙尘暴强度划分标准的进一步完善和相应观测体系、技术的完善,必将成为一种被专家、公众普遍接受和认可的、具有重要意义的沙尘暴危害评估体系。

空气质量等级的评估和预报指标本身也给出了一个沙尘暴天气对大气环境质量影响的评估体系。如目前西安市气象局空气质量预报业务系统采用的空气质量分级标准是根据  $PM_{10}$  浓度将空气质量分为 6 级(表 4.4)。

表 4.4 根据  $PM_{10}$  浓度确定的空气质量分级标准

类型	优等	良	轻度污染	中度污染	重度污染
等级	1	2	3	4	5
$PM_{10}$ 浓度 ( $mg/m^3$ )	$PM_{10} \leq 0.050$	$0.051 \leq PM_{10} \leq 0.150$	$0.151 \leq PM_{10} \leq 0.350$	$0.351 \leq PM_{10} \leq 0.420$	$PM_{10} \geq 0.421$

根据西安市区 2001~2003 年 1084 天中  $PM_{10}$  不同等级出现天数的统计结果,近 3 年西安空气质量达到中度污染天数 81 天,重度污染有 9 天,其中 9 个重度污染日有 5 次分别出现在 2001 年 4 月 9 日,2002 年 3 月 20 日,4 月 15、23 日和 2003 年 4 月 18 日的沙尘天气中。遗憾的是过去的强沙尘暴过程没有对应的  $PM_{10}$  浓度的观测资料,但我们可以从扬沙、浮尘天气造成重度污染推象强沙尘暴天气带来的危害会更严重。

#### 4.4 问题讨论

1 20 世纪 50 年代、60 年代,特别是 50 年代有观测资料的气象站较少,本文用同一标准分析强沙尘暴过程和特强沙尘暴过程可能使 20 世纪 50 年代、60 年代,特别是 50 年代的过程偏少。但 20 世纪 90 年代是陕西强沙尘暴过程最少的时期这个结论不受这一因素的影响。

2 41 次强沙尘暴过程,有 32 次在周自江等人研究成果 1954~2002 年中国北方典型的强沙尘暴事件中可找到相应的过程,其中 6 次特强沙尘暴过程都可找到相应的过程,说明陕西强沙尘暴过程大多数与中国北方典型强沙尘暴事件相联系,特强沙尘暴过程全部与中国北方典型强沙尘暴事件相联系。9 次没有找到相应过程的强沙尘暴过程范围较小,强沙尘暴天气的中心、主体、沙源可能在陕西境内。

3 与宁夏的 4 次特强沙尘暴过程相比<sup>[31]</sup>,20 世纪 80 年代 2 次特强沙尘暴过程在本文的 6 次特强沙尘暴过程中能找到相应的过程,而 90 年代 2 次特强沙尘暴在陕西没有相应的强沙尘暴过程对应。陕西沙尘暴 20 世纪 80 年代后期开始明显减少后,沙尘暴多发区发生明显变化,逐步向西收缩,到了 80 年代后期及其以后,只有定边一个气象站的年平均沙尘暴日数大于 10 天。我们设想,中国北方大部分地区 20 世

纪 90 年代沙尘暴减少, 中国北方强沙尘暴过程影响范围向西收缩, 是宁夏等地 90 年代 2 次特强沙尘暴在陕西都没有出现相应强沙尘暴过程的主要原因。

4 中国气象局出版的《地面气象观测规范》(2003 版) 2004 年开始使用, 在此以前, 气象站没有沙尘暴出现时瞬时最小能见度的观测记录, 用定时能见度观测资料挑取的最小能见度并不能保证挑到的每一个最小能见度记录都是由沙尘暴引起的。即使这样, 在该日有沙尘暴的前提下, 用 1 次过程至少有 3 个气象站最小能见度小于 500 m 和小于 200 m 挑选强沙尘暴过程和特强沙尘暴过程, 还是比较可信的。1987 年起, 国家基准气象站陆续建立, 这些气象站开始有了 1 小时 1 次的能见度观测资料, 为了资料的连续性和均一性, 本节没有使用 1 小时 1 次的能见度观测资料, 仍使用 4 次观测资料。

#### 4.5 陕西的大范围沙尘暴天气

上面讨论了陕西强沙尘暴和特强沙尘暴天气过程, 这些过程中有些沙尘暴天气的范围比较大, 有些比较小, 有些沙尘暴天气范围很大, 危害较大, 却没有达到强沙尘暴过程的标准。那么, 陕西的大范围沙尘暴天气有哪些呢? 如果定义陕西境内一天之中有 10 个或 10 个以上气象站出现沙尘暴天气为大范围沙尘暴天气(记  $d_{10}$ ), 则 1954~2001 年共出现 106 次大范围沙尘暴天气; 20 个或 20 个以上气象站出现沙尘暴的大范围沙尘暴天气( $d_{20}$ )28 次; 30 个或 30 个以上气象站出现沙尘暴的大范围沙尘暴天气( $d_{30}$ )9 次; 40 个或 40 个以上气象站出现沙尘暴的大范围沙尘暴天气( $d_{40}$ )5 次(表 4.5)。

表 4.5 不同年代的陕西沙尘暴天气过程次数

年代	$d_1$	$d_5$	$d_{10}$	$d_{15}$	$d_{20}$	$d_{25}$	$d_{30}$	$d_{35}$	$d_{40}$	$d_{45}$
1954~1960	438	78	19	8	2	0	0	0	0	0
1960s	498	67	18	8	6	2	0	0	0	0
1970s	541	98	40	22	10	8	3	1	0	0
1980s	367	48	22	12	9	7	6	5	5	2
1990s	155	19	7	3	1	1	0	0	0	0
2001~2004	43	2	0	0	0	0	0	0	0	0
总次数	2065	312	106	53	28	18	9	6	5	2

表 4.5 有以下三个特点: 一是陕西沙尘暴天气过程 21 世纪 70 年代最多, 其次是 50 年代和 60 年代(有观测资料的气象站较少), 90 年代最小。二是一天之中有 30 或 30 个以上气象站出现沙尘暴的大范围沙尘暴天气( $d_{30}$ ) 21 世纪 80 年代最多。三是 2001~2004 年陕西仅出现 2 次 5 或 5 个以上气象站的沙尘暴天气( $d_5$ ), 没有 10 或 10 个以上气象站的沙尘暴天气( $d_{10}$ ), 2 次 5 或 5 个以上气象站的沙尘暴天气出现在 2001 年。

陕西的大范围沙尘暴天气过程年代分布特点与强沙尘暴过程一致。

## 第五章 陕西沙尘暴成因的诊断分析

### 5.1 大风与沙尘暴的关系

大风是沙尘暴天气定义里的一个重要因素，是沙尘暴强度划分标准中常用的一个重要指标，是形成沙尘暴天气最直接、最重要的原因之一。图 5.1 是陕西沙尘暴天气最多的定边、靖边、横山、榆林等气象站春季沙尘暴和春季大风日数演变曲线；图 5.2 是陕北 12 个气象站春季沙尘暴的总次数与春季大风总次数的演变曲线。从总体上看，陕北春季沙尘暴天气与大风天气有着密切的关系，大风日数多的气象站沙尘暴日数一般也较多，春季大风日数较多的年份春季沙尘暴日数较多，反之亦然。

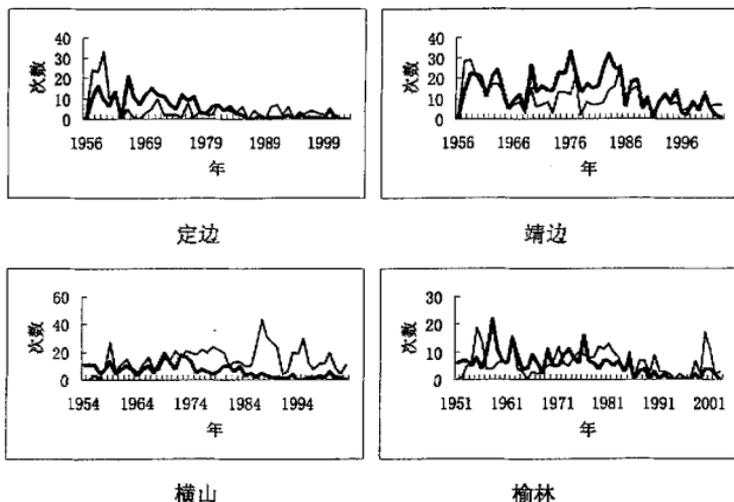


图 5.1 定边、靖边、横山、榆林春季沙尘暴和春季大风日数曲线图  
(粗实线：沙尘暴次数，细实线：大风次数)

分析表明，大风日数与沙尘暴次数之间有很好的正相关关系。除横山气象站的大风日数与沙尘暴次数之间相关关系不明显外，定边、靖边春季沙尘暴和春季大风日数存在明显的正相关关系，相关系数都通过了信度为 0.01 的显著性检验，榆林气象站通过信度为 0.02 的显著性检验。陕北春季沙尘暴日数与大风日数之间的相关系数达到 0.54，通过信度为 0.01 显著性检验。

大风是形成沙尘暴天气最直接的原因之一，形成大风和沙尘暴天气的天气形势有什么特点？下面通过对陕西强沙尘暴和特强沙尘暴过程的天气形势分析阐述这个问题。

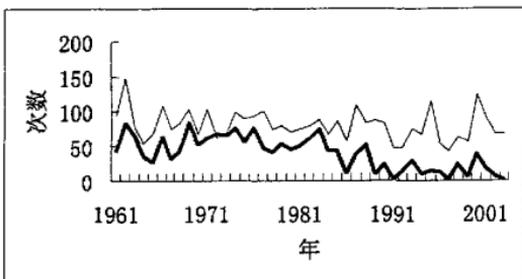


图 5.2 陕北春季沙尘暴日数与春季大风日数演变曲线图  
(粗实线: 沙尘暴次数, 细实线: 大风次数)

## 5.2 影响陕西强沙尘暴和特强沙尘暴过程的天气形势

### 5.2.1 500 hPa 环流形势及影响系统

乌拉尔山东侧有高压脊发展, 脊前蒙古高原至巴尔喀什湖为一明显的低压槽, 西北区上空为浅脊控制, 即我国  $35^{\circ}\text{N}$  以北地区盛行西北或西西北气流, 沿气流有冷槽或短波槽东移, 槽后伴随较强的冷平流和强风速区, 将北方的干冷空气输送到陕西, 这是陕西省出现沙尘暴天气时的典型高空环流形势。根据 41 次强沙尘暴过程出现前一日 08 时 500 hPa 环流形势分析, 将造成陕西强沙尘暴天气的环流形势及影响系统分为蒙古冷(横)槽型、脊前下滑槽型、短波槽东移型和西北气流型四类。

#### 1 蒙古冷(横)槽型

此型是造成陕西强沙尘暴天气最多的一种形势, 占总次数的 44%。此型特点是乌拉尔山或以东有暖高压脊发展, 脊前蒙古高原至巴尔喀什湖或新疆形成一明显的冷槽或横槽, 并有明显的冷中心配合, 新疆到西北地区东部为西北气流或偏西气流控制, 河西有强风速区 ( $\geq 20\text{ m/s}$ ) 存在。

#### 2 脊前下滑槽型

这是造成陕西强沙尘暴天气次多的一种形势, 占总次数的 32%。此型特点是乌拉尔山以东到新疆为宽广的高压脊, 但高压脊一般不强, 脊线一般在  $70^{\circ}\sim 90^{\circ}\text{E}$ , 脊前到河套上空为西北气流或西西北气流控制, 沿脊前有冷槽下滑, 冷槽后伴有较强的温度槽和强风速区。

#### 3 短波槽东移型

此型特点是乌拉尔山以东或巴尔喀什湖附近为一低槽区, 槽内有冷中心配合, 亚洲中纬度地区气流呈纬向环流, 青藏高原上空暖高压脊控制。从低槽中分裂小槽沿平直的风西气流东移, 槽后伴随较强的冷平流和强风速区。此型占总次数的 12%。

#### 4 西北气流型

在前一日 08 时 500 hPa 图上, 我国东部沿海维持低槽或东北有一切断冷涡, 蒙古国西部和新疆为高压脊控制, 河套地区处于脊前涡后的偏北气流中, 槽(冷涡)

后有很强的冷平流，引导地面蒙古冷空气南下，造成陕西北部强沙尘暴天气。此型也占总次数的12%。

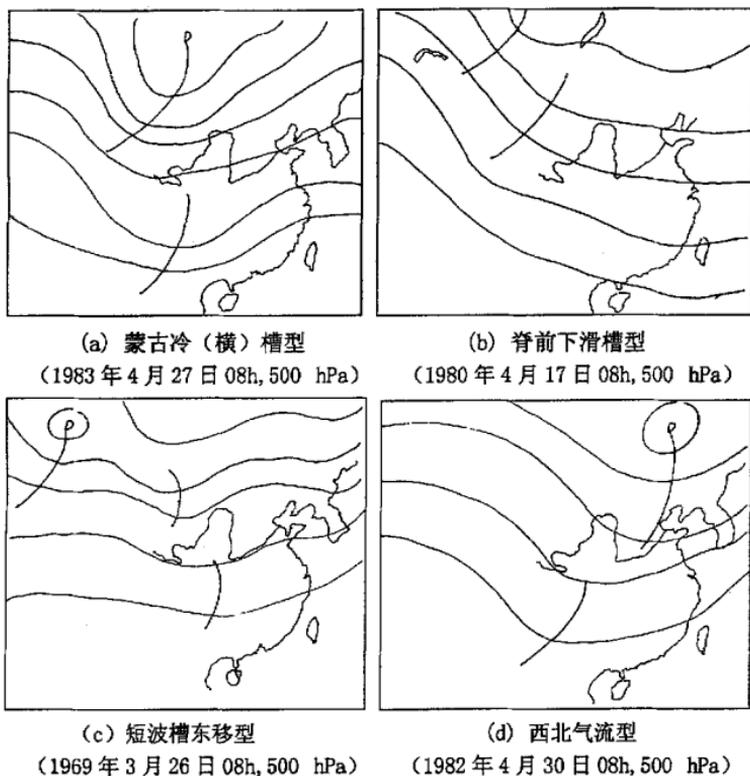


图 5.3 四种环流形势和影响系统示意图

## 5.2.2 地面冷空气路径

通过对 41 次强沙尘暴过程的地面形势分析，入侵陕西的冷空气路径大致分为西北路、北路、西路，另外一种无明显的冷空气配合，为蒙古或河套气旋（热低压）发展类。有些强沙尘暴天气过程，特别是特强沙尘暴过程，不单纯为一种冷空气路径影响，而是两种冷空气路径同时造成沙尘暴天气，且在冷空气前部有强烈的气旋（热低压）发展。

①西北路冷空气路径是造成陕西沙尘暴天气的主要路径，共 23 次，占陕西强沙尘暴天气过程的 56.1%。

②西路冷空气路径 3 次，占陕西沙尘暴天气过程的 7.3%。

③北路冷空气路径 5 次，占过程总数的 12.2%。

④西北路、北路两路冷空气路径共同影响的过程有 5 次, 占陕西强沙尘暴天气过程的 12.2%。

⑤西北路、西路两路冷空气路径共同影响的过程 3 次, 占过程总数的 7.3%。

⑥无明显的冷空气配合, 为蒙古或河套气旋(热低压)发展类的沙尘暴过程 2 次, 占个例总数的 4.9%。

从 6 次特强沙尘暴天气过程的冷空气路径分析, 有 5 次过程为两路冷空气路径影响, 即西北路、北路和西北路、西路。两路冷空气路径影响造成的沙尘暴天气过程只占总个例的 19.5%, 但却占特强沙尘暴天气过程的 83.3%, 可见两种路径的强冷空气, 更容易造成特强沙尘暴天气。

本节讨论陕西沙尘暴天气的天气形势特点, 为后面分析陕西春季沙尘暴多少的气候学成因作铺垫, 500 hPa 环流特征与沙尘暴天气的发生有着密切的关系, 搞好陕西春季沙尘暴趋势展望最关键的还是月、季、年等时间尺度上的环流特征分析以及其它影响因子的分析, 下面我们将重点从气候学角度对影响陕西春季沙尘暴多少的因素进行分析。

## 5.3 陕西春季沙尘暴与 500hPa 大气环流的关系

### 5.3.1 陕西春季沙尘暴与全国春季沙尘暴的对比分析

我国西北沙尘暴主要集中在两大区域: 一个位于塔里木盆地的塔克拉玛干沙漠, 平均年沙尘暴日数为 18.7~35.6 d, 最多的地方在民丰, 为 35.6 d; 另一个沙尘暴多发区是从巴丹吉林沙漠东部起, 经腾格里沙漠到毛乌素沙漠, 南至河西走廊, 年平均沙尘暴日数一般在 10~29.6 d, 是我国范围最广的沙尘暴多发区, 甘肃民勤、内蒙古拐子湖、宁夏盐池是其中的 3 个强中心, 陕北北部长城沿线位于毛乌素沙漠东部, 属于盐池沙尘暴强中心。根据 1961~1990 年资料, 陕北和关中北部部分地方年平均沙尘暴日数普遍大于 1 天, 是沙尘暴的主要影响区, 陕北北部定边、靖边、横山、榆林等地大于 10 天, 是沙尘暴的多发区, 定边等地接近 30 天(29 天), 为高频区<sup>[16]</sup>。总之, 陕西是我国北方沙尘暴较多的省份之一, 陕北北部榆林地区有 6 个县位于毛乌素沙地, 为我国沙尘暴的多发区。前面的分析表明, 陕西强沙尘暴过程多数与我国北方的强沙尘暴事件相联系, 陕西春季沙尘暴和全国春季沙尘暴变化在总的变化趋势和发生突变的时间上基本一致(图 5.4)。

表 5.1 列出的异常偏多年份和异常偏少年份半数年份一致, 全国的最多或最少年份中陕西没有列上的, 也都是陕西春季沙尘暴的明显偏多年份或明显偏少年份, 全国 5 个春季少沙尘暴年份中的 1992 年、1994 年, 是 1961~2004 年陕西春季沙尘暴 7 个明显偏少年份中偏少幅度较大的 3 个年份中的两个。可以这么说, 春季沙尘暴受大范围环流形势的影响, 全国的典型偏多年份和典型偏少年份、变化特点和陕西不完全相同, 但差异不是很大。下面对陕西春季沙尘暴与 500hPa 大气环流的关系分析同样可以看出这样一种关系。

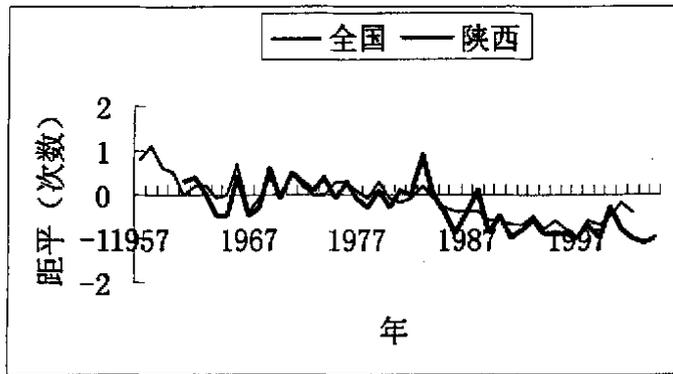


图 5.4 陕西和全国每站平均春季沙尘暴发生次数距平序列  
(平均值为 1961~1990 年平均沙尘暴发生次数)

表 5.1 全国和陕西春季沙尘暴的最多、最少年份

全 国	1757~2002	最多年	1957	1958	1959	1966	1971
		最少年	1991	1992	1994	1999	1997
陕 西	1761~2004	最多年	1983	1969	1971	1962	1966
		最少年	2003	1997	1991	1999	2004

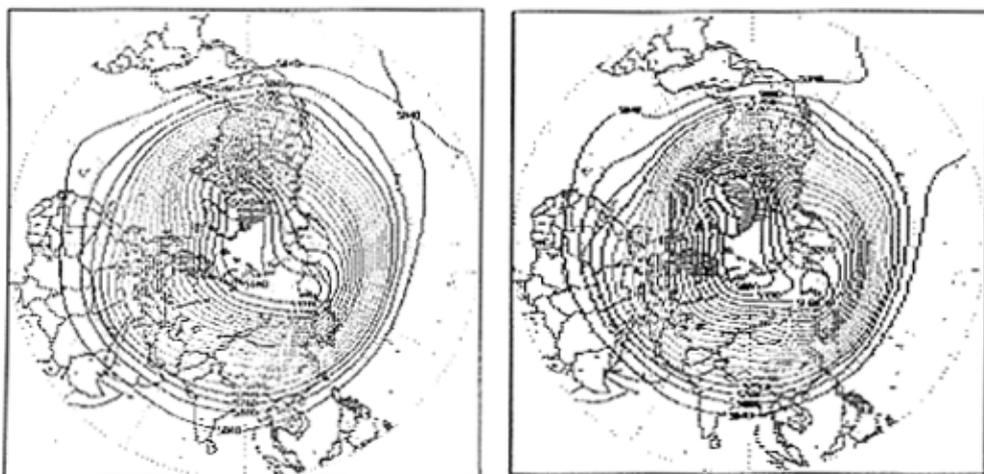
### 5.3.2 环流特征

#### 1. 春季、前冬季大气环流特征

图 5.5 中 a、b 图分别代表沙尘暴多发的 5 个年份和少发的 5 个年份前冬季 500 hPa 环流高度合成场。图 5.6 是沙尘暴多发年前冬季 500 hPa 环流高度合成场与沙尘暴少发年 500 hPa 环流高度合成场的差值。从中可以看出，沙尘暴多发年份前冬季 500 hPa 环流高度欧洲地区至乌拉尔地区偏高，而乌拉尔地区以东的西伯利亚地区、蒙古以及中国北方北纬 40 度以北地区偏低；在沙尘暴少发年份前冬季，其环流形势特征则正好相反，中国长江以北，蒙古，西伯利亚至北极都偏高。从图 5.6 可清楚地看出差值的正负距平分部格局。在沙尘暴少发年份前冬季，西伯利亚地区、蒙古以及中国北方北纬 40 度以北地区偏低，说明该地区不断有槽东移，蒙古槽活动频繁，强度较强，频繁携带极区冷空气东移和南下，从西北路和北路影响陕西，陕西沙尘暴较多。在沙尘暴少的年份，这些区域的气压槽弱，陕西沙尘暴较少。

陕西典型多沙尘暴年和典型少沙尘暴年当前春季大气环流特征大气环流和上述分析基本一致。春季沙尘暴多，前冬季也多，上述分析说明在沙尘暴多发和少发年前冬季，北半球 500 hPa 环流高度场已经开始调整，多发年份和少发年份已经表现出各自的特征，两种类型年份已表现出明显差异，这一点对预测业务很有意义。

#### 2. 年代际大气环流的差异



(a) 沙尘暴多发年份

(b) 沙尘暴少发年份

图 5.5 北半球春季 500hPa 高度场环流距平分布 (单位: gpm)

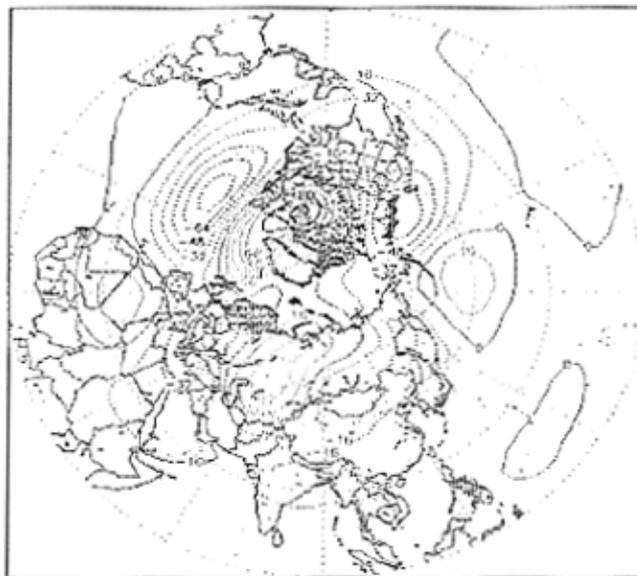


图 5.6 陕西春季沙尘暴多发年份 500hPa 高度场与少发年份的差值

从前面的分析我们知道, 陕西和全国的春季沙尘暴都在 1985 年前后出现有多到少的突变。本文利用中国气象局下发的 1951~2003 年 500hPa 环流资料 ( $5^{\circ} \times 10^{\circ}$ ), 分别计算 1961~1984 年春季 500hPa 环流场平均值和 1985~2003 年春季 500hPa 环流场平均值, 并将两个平均场减去 1961~1990 年 500hPa 环流场平均值 (便于和相关文献比较), 发现与沙尘暴 1985 年以前以正距平为主, 1980 年以后以负距平为主相对应, 春季 500hPa 环流距平在 1985 年以前, 正距平的范围非常小, 在 1985 年之后, 高度场明显偏高, 在西伯利亚地区明显的正距平区; 两个不同时期环流场存在明显差别, 特别是在我国北方和蒙古国上空的环流场, 在 1985 年以后呈明显正距平, 表明环流特征发生了显著的变化 (表略)。

总之, 陕西乃至全国春季发生沙尘暴频数的多寡反映在北半球 500hPa 环流形势上存在明显差异, 在沙尘暴少的时期, 乌拉尔以东至西伯利亚, 蒙古, 我国北部高度场偏高, 在沙尘暴少的时期, 高度场分布正好相反, 年代际的沙尘暴多少的差别也对应了年代际大气环流的差别。陕西春季沙尘暴多发年和少发年北半球 500hPa 环流特点和对全国沙尘暴典型多发年和少发年 500hPa 环流特点的分析结论大体相同<sup>[30]</sup>, 本文将重点放在通过统计方法在关键区寻找预测因子和影响强信号, 建立概念预测模型和统计模型上。

文献[30]曾就 1957~1980 年和 1981~2002 年 500hPa 环流合成场距平进行对比分析, 与本文结果相近。

## 5.4 陕西春季沙尘暴与环流特征量的关系分析

74 项环流特征量资料是国家气候中心气候诊断预测室的再处理资料, 版权归国家气候中心气候诊断预测室; 本文资料来源为国家气候中心气候诊断预测室下发给省级气象台气候科资料。74 个环流特征量的名称如下:

表 5.3 国家气候中心气候诊断预测室 74 个环流特征量

序号	名称	序号	名称
01.	北半球副高面积指数(5E-36O)	38.	西太平洋副高北界(110E-150E)
02.	北非副高面积指数(20W-60E)	39.	东太平洋副高北界(175W-115W)
03.	北非大西洋北美副高面积指数 (110W-60E)	40.	北美副高北界(110W-60W)
04.	印度副高面积指数(65E-95E)	41.	大西洋副高北界(55W-25W)
05.	西太平洋副高面积指数(110E-180)	42.	南海副高北界(100E-120E)
06.	东太平洋副高面积指数(175W-115W)	43.	北美大西洋副高北界(110W-20W)
07.	北美副高面积指数(110W-60W)	44.	太平洋副高北界(110E-115W)
08.	大西洋副高面积指数(55W-25W)	45.	西太平洋副高西伸脊点
09.	南海副高面积指数(100E-120E)	46.	亚洲区极涡面积指数(1 区, 60E-150E)
10.	北美大西洋副高面积指数 (110W-20W)	47.	太平洋区极涡面积指数(2 区, 150E-120W)
11.	太平洋副高面积指数(110E-115W)	48.	北美区极涡面积指数(3 区, 120W-30W)
12.	北半球副高强度指数(5E-36O)	49.	大西洋欧洲区极涡面积指数(4 区, 30W-60E)
13.	北非副高强度指数(20W-60E)	50.	北半球极涡面积指数(5 区, 0-360)
14.	北非大西洋北美副高强度指数 (110W-60E)	51.	亚洲区极涡强度指数(1 区, 60E-150E)
15.	印度副高面积强度指数(65E-95E)	52.	太平洋区极涡强度指数(2 区, 150E-120W)
16.	西太平洋副高强度指数(110E-180)	53.	北美区极涡强度指数(3 区, 120W-30W)

- 
- |                            |                                |
|----------------------------|--------------------------------|
| 17. 东太平洋副高强度指数 (175W-115W) | 54. 大西洋欧洲区极涡强度指数 (4区, 30W-60E) |
| 18. 北美副高强度指数 (110W-60W)    | 55. 北半球极涡强度指数 (5区, 0-360)      |
| 19. 大西洋副高强度指数 (55W-25W)    | 56. 北半球极涡中心位置 (JW)             |
| 20. 南海副高强度指数 (100E-120E)   | 57. 北半球极涡中心强度 (JQ)             |
| 21. 北美大西洋副高强度指数 (110W-20W) | 58. 大西洋欧洲环流型 W                 |
| 22. 太平洋副高强度指数 (110E-115W)  | 59. 大西洋欧洲环流型 C                 |
| 23. 北半球副高脊线 (5E-360)       | 60. 大西洋欧洲环流型 E                 |
| 24. 北非副高脊线 (20W-60E)       | 61. 欧亚纬向环流指数 (IZ, 0-150E)      |
| 25. 北非大西洋北美副高脊线 (110W-60E) | 62. 欧亚经向环流指数 (IM, 0-150E)      |
| 26. 印度副高脊线 (65E-95E)       | 63. 亚洲纬向环流指数 (IZ, 60E-150E)    |
| 27. 西太平洋副高脊线 (110E-150E)   | 64. 亚洲经向环流指数 (IM, 60E-150E)    |
| 28. 东太平洋副高脊线 (175W-115W)   | 65. 东亚槽位置 (CW)                 |
| 29. 北美副高脊线 (110W-60W)      | 66. 东亚槽强度 (CQ)                 |
| 30. 大西洋副高脊线 (55W-25W)      | 67. 西藏高原 (25N-35N, 80E-100E)   |
| 31. 南海副高脊线 (100E-120E)     | 68. 西藏高原 (30N-40N, 75E-105E)   |
| 32. 北美大西洋副高脊线 (110W-20W)   | 69. 印缅槽 (15N-20N, 80E-100E)    |
| 33. 太平洋副高脊线 (110E-115W)    | 70. 冷空气                        |
| 34. 北半球副高北界 (5E-360)       | 71. 编号台风                       |
| 35. 北非副高北界 (20W-60E)       | 72. 登陆台风                       |
| 36. 北非大西洋北美副高北界 (110W-60E) | 73. 太阳黑子                       |
| 37. 印度副高北界 (65E-95E)       | 74. 南方涛动指数                     |
- 

将 1961~2004 年陕西春季沙尘暴作为预测对象, 用求相关的办法在 74 个环流特征量中普查因子, 寻找有预测意义的因子, 发现陕西春季沙尘暴与副高面积指数和副高强度指数、西藏高原位势高度、印缅槽存在反相关关系, 与北半球极涡面积指数和北半球极涡强度指数等存在正相关关系 (表 5.4)。

陕西春季沙尘暴和北美副高的显著性相关多出现在 11~12 月, 受到资料收集时间的限制, 在实际预报中很难应用, 所以下面主要从 1~11 月印缅槽、1~11 月北半球副高面积指数和北半球副高强度指数、1~5 月印度副高面积指数和印度副高面积强度指数、6~10 月南海副高面积指数和南海副高强度指数、1~10 月太平洋副高面积指数和太平洋副高强度指数、3~8 月北半球极涡面积指数和北半球极涡强度指数、5 月东亚槽位置和东亚槽强度、5~11 月西藏高原 (25N-35N, 80E-100E) 位势高度、冷空气等几个环流特征量进行分析。

表 5.4 陕西春季沙尘暴与 74 个环流特征量的相关系数

(加阴影者通过信度为 0.01 的显著性检验)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	-.2	-.22	-.32	-.19	<del>.41</del>	-.26	<del>.4</del>	<del>.45</del>	-.26	<del>.4</del>	-.2	-.29
2	-.14	-.17	-.31	-.18	-.32	-.02	-.1	-.29	-.16	-.33	-.16	-.25
3	0	-.18	-.23	-.04	-.36	-.16	-.31	-.38	-.21	-.27	-.18	-.27
4	-.33	-.3	<del>.41</del>	-.25	<del>.52</del>	0	0	0	0	-.17	-.07	-.24
5	-.27	-.19	-.29	-.28	-.29	-.25	-.38	-.32	-.28	<del>.51</del>	-.15	-.23
6	-.19	-.11	-.23	-.19	-.33	-.26	-.38	<del>.47</del>	-.16	-.25	0	-.29
7	-.14	-.27	-.26	-.02	-.3	-.24	-.37	-.37	-.2	-.33	<del>.39</del>	<del>.46</del>
8	.31	.1	.18	.24	-.18	-.09	<del>.4</del>	-.27	-.13	0	0.2	0.16
9	-.17	-.09	-.25	-.2	-.16	-.33	<del>.51</del>	<del>.43</del>	-.32	-.36	-.21	-.13
10	.14	-.15	-.07	.13	-.27	-.2	<del>.42</del>	-.38	-.18	-.16	-.13	-.17
11	-.28	-.19	-.3	-.3	-.35	-.28	<del>.4</del>	<del>.42</del>	-.24	<del>.47</del>	-.13	-.27
12	-.23	-.2	-.27	-.19	<del>.43</del>	-.22	-.33	-.32	-.21	-.28	-.11	-.21
13	-.1	-.11	-.17	-.13	-.36	-.16	-.07	-.25	-.21	-.26	-.12	-.23
14	.04	-.14	-.11	-.02	-.35	-.16	-.25	-.24	-.14	-.15	-.11	-.18
15	-.31	-.32	-.37	-.35	<del>.5</del>	0	0	0	0	-.16	0	-.18
16	-.31	-.19	-.29	-.32	<del>.4</del>	-.28	-.34	-.28	-.29	-.36	-.07	-.17
17	-.19	-.12	-.18	-.15	-.33	-.17	<del>.41</del>	<del>.41</del>	-.1	-.13	0.2	-.28
18	-.17	-.27	-.25	-.04	-.34	-.26	-.37	-.25	-.17	-.3	-.37	<del>.39</del>
19	.27	.11	.22	.26	-.06	.02	-.24	-.09	.06	.17	.23	.19
20	-.25	-.08	-.28	-.26	-.27	-.38	<del>.43</del>	<del>.39</del>	-.32	-.29	-.17	-.15
21	.15	-.15	.02	.15	-.22	-.12	-.34	-.19	.05	.01	-.04	-.05
22	-.31	-.18	-.28	-.31	<del>.42</del>	-.26	<del>.41</del>	-.36	-.23	-.34	-.07	-.2
23	-.13	-.17	-.1	.02	.27	.04	-.3	-.11	-.03	.12	-.16	.02
24	-.13	-.1	-.2	0	-.03	-.37	-.33	-.36	-.15	-.12	.07	0
25	.13	0	-.25	.01	.06	-.24	<del>.41</del>	<del>.47</del>	-.19	-.15	.11	-.08
26	-.28	-.17	-.32	.09	-.29	0	0	0	0	-.26	-.33	-.33
27	-.28	-.27	-.29	-.16	-.04	-.01	-.07	.07	.13	-.23	-.15	-.15
28	-.13	-.02	-.31	-.12	<del>.42</del>	0	-.08	-.01	-.09	-.18	.07	-.34
29	.01	-.07	-.15	-.08	-.31	-.17	-.15	-.23	.01	-.2	<del>.47</del>	<del>.59</del>
30	.28	.03	-.02	.09	-.1	-.08	<del>.39</del>	<del>.4</del>	-.25	.03	.1	-.1
31	0	-.09	-.21	-.01	-.1	-.15	-.2	-.15	.24	-.37	-.13	-.13
32	.16	.05	-.04	.06	-.12	-.02	-.37	<del>.42</del>	-.09	-.11	-.33	<del>.42</del>
33	-.2	-.22	-.24	-.02	-.01	.11	-.1	.08	.1	.23	-.08	0
34	-.1	-.13	-.01	.14	.3	.17	.07	.04	.18	.23	.08	.08
35	-.04	-.05	-.12	.07	0	.2	-.26	-.18	.21	-.04	.25	.18

36	.15	.03	-.16	.14	.16	.09	-.07	-.13	.17	-.07	.11	-.01
37	-.27	-.17	-.29	.04	-.3	0	-.24	0	0	-.26	-.3	-.31
38	-.27	-.26	-.3	-.18	-.06	-.02	-.04	.09	.07	-.19	-.01	-.15
39	-.12	-.03	-.3	-.07	-.33	-.08	-.1	-.06	-.08	-.19	.08	-.35
40	.01	-.08	-.15	-.05	-.3	-.08	.04	-.03	.06	-.2	<del>-.46</del>	<del>-.58</del>
41	.3	.05	.05	.14	-.07	-.04	-.22	-.11	-.03	.04	.13	-.05
42	-.01	-.06	-.21	-.02	-.11	-.16	-.22	-.14	.2	-.36	-.11	-.12
43	.19	.06	.01	.1	-.09	.01	-.19	-.14	.13	-.07	-.3	<del>-.39</del>
44	-.19	-.19	-.22	-.03	-.04	.11	-.12	.03	.15	.27	.01	.04
45	-.13	-.23	-.15	0	-.09	.18	.25	.16	-.13	.3	.01	.13
46	.01	.3	.2	-.15	.22	.13	.32	.28	.22	.36	.26	.14
47	-.24	.07	.06	-.24	.02	-.07	.22	.38	-.06	.08	<del>.39</del>	-.12
48	.33	.24	.38	.21	.08	.07	-.01	.3	.1	.15	-.03	.23
49	.25	.15	.27	.06	.31	.09	.16	.26	-.05	.07	-.05	.07
50	.17	.29	<del>.44</del>	-.02	.27	.09	.33	<del>.45</del>	.07	.24	.22	.13
51	.01	.11	.16	-.02	.23	.38	.22	.17	.13	.11	.19	.11
52	-.2	-.09	.02	.09	.14	.32	.32	.07	-.09	.28	.3	-.1
53	0	-.14	.03	.34	.14	.17	.23	.24	.29	-.06	-.02	-.06
54	-.03	-.19	.09	.01	.13	.3	.06	.11	.15	-.02	.15	.11
55	-.14	-.23	.13	.26	.24	<del>.45</del>	.33	.24	.26	.15	.35	0
56	-.04	.11	-.16	.21	.05	-.19	.11	.14	.08	-.03	.1	.04
57	.16	.26	.15	-.04	.07	-.19	.15	.1	0	.09	-.09	-.05
58	-.3	-.36	-.16	-.3	.08	-.14	.2	.05	.2	-.06	.36	.13
59	.17	.2	.31	.31	-.14	.12	-.18	-.03	-.26	-.26	-.24	.01
60	.1	.14	-.13	-.02	.03	.02	-.04	-.02	.06	.25	-.1	-.12
61	.02	-.26	-.1	.14	-.03	.28	-.02	-.07	-.02	-.14	.19	-.06
62	.15	.04	-.07	.35	-.12	.14	.2	.24	.21	.15	-.07	.33
63	.06	-.19	-.02	.18	-.03	.26	.15	-.01	-.07	-.09	.29	-.07
64	0	-.11	-.17	.25	-.14	.08	.21	.19	.15	.22	-.12	.3
65	-.16	-.27	.04	.03	<del>.39</del>	0	0	0	-.02	.13	.09	-.34
66	.07	-.14	-.19	.1	.29	0	0	0	.01	-.19	.04	-.27
67	-.01	-.12	-.12	.04	-.26	-.27	<del>.43</del>	<del>.39</del>	<del>.44</del>	-.24	-.35	-.2
68	.06	-.16	-.01	.14	-.11	-.1	-.21	-.17	-.33	-.05	-.3	-.23
69	-.33	-.34	<del>.44</del>	-.26	-.37	<del>.43</del>	<del>.58</del>	<del>.63</del>	<del>.75</del>	-.35	-.25	-.19
70	.1	.23	.31	.27	.23	0	0	0	-.06	-.03	.15	.2
71	.06	.31	.27	-.01	.16	.18	.17	.01	-.17	-.02	.11	-.24
72	0	0	0	0	.2	-.19	.11	-.13	-.12	.14	-.19	.04

73	.12	.17	.11	.15	.18	.13	.05	.02	.14	.02	.01	-0.1
74	.11	.09	.21	.23	.17	.12	-.18	-.03	0	.03	.02	.14

### 5.4.1 印缅槽指数与陕西春季沙尘暴的关系

根据国家气候中心月气候监测公报,印缅槽指数是指 15~20° N, 80~100° E 区域内每个格点的高度值减去 580 位势什米的累计值。

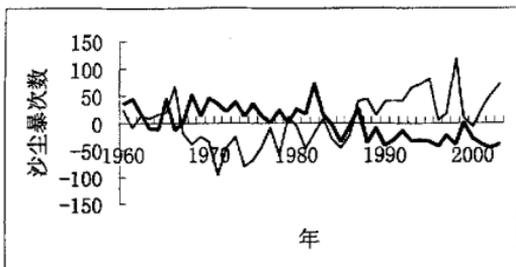


图 5.7 印缅槽指数和陕西春季沙尘暴距平曲线

图 5.7 中粗线为 1961~2004 年陕西春季沙尘暴距平曲线 (1971~2000 年平均值), 细线为 1960~2003 年印缅槽指数 1~11 月合计值的距平曲线 (1971~2000 年平均值)。从中可以看出, 印缅槽指数年代际变化明显, 明显存在偏低和偏高两个时期。前一年 1~11 月印缅槽指数距平曲线和陕西春季沙尘暴距平曲线在 1962、1964、1965、1967 年、1986 年等有几个交叉点, 1967~1986 年印缅槽指数以偏低为主, 20 a 中 2 a 偏高, 18 a 偏少, 对应陕西春季沙尘暴 (1968~1987 年) 3 a 偏少, 17 a 偏多; 1987~2003 年印缅槽指数以偏高为主, 17 a 中 16 a 偏高, 1 a 偏少, 对应陕西春季沙尘暴 2 a 偏多, 15 a 偏少; 1960~2003 年的 44 a 中, 印缅槽指数 20 负, 24 正; 陕西春季沙尘暴次数 (1961~2004 年) 21 负, 23 正; 两者异号 33 年, 同号 11 年, 异号年份占 75%。异号 33 a 中, 印缅槽指数负值对应沙尘暴正值 16 a, 印缅槽指数正值对应沙尘暴负值 17 a; 同号 11 a 中, 印缅槽负值对应沙尘暴负值 4 a, 印缅槽正值对应沙尘暴正值 7 a。

1961~2004 年陕西春季沙尘暴距平与 1~11 月印缅槽指数距平 (1960~2003) 之间的线性回归方程为:

$$\hat{x} = -2.0 - 0.4077t$$

线性趋势为 -0.4077,  $\hat{x}$  与  $t$  之间的相关系数  $R = -0.61$ , 通过信度为 0.01 的显著性检验, 线性趋势明显。也就是说, 印缅槽指数距平每增加 1, 陕西春季沙尘暴距平减少 0.4077。据此得出这样一个结论: 前一年 1~11 月印缅槽指数累计值距平与陕西春季沙尘暴存在明显的副相关关系, 指数为负时, 陕西春季沙尘暴偏多的概率较大。反之, 当前一年 1~11 月印缅槽距平为正时, 陕西春季沙尘暴偏少的概率

大。

从图 5.10 还可以看出, 1963~1986 年为 23 a, 与太阳黑子活动的主周期 22 a 周期基本吻合; 1986~2004 年已经持续 18 年, 如果印缅槽指数的变化与太阳黑子的 44 年活动周期密切联系, 则可考虑 2010 年前后, 陕西春季沙尘暴可能出现由偏少向正常偏多转型。

#### 5.4.2 北半球副高与陕西春季沙尘暴的关系

根据国家气候中心月气候监测公报, 北半球副高面积指数为  $5\sim 360^{\circ}$  N 和  $110^{\circ}$  E- $180^{\circ}$  范围内  $\geq 588$  位势什米的格点数。北半球副高强度指数是指确定区域各格点高度值减去 587 位势什米后的累计值。

1960~2003 年 44 a 中, 北半球副高面积指数 24 负, 20 正, 陕西春季沙尘暴次数 (1961~2004 年) 21 负, 23 正。两者异号 27 a, 异号年份占 61% 以上; 北半球副高面积指数负值对应陕西春季沙尘暴正值 15 a, 北半球副高面积指数正值对应沙尘暴负值 12 a。两者同号 17 a; 其中, 北半球副高面积指数负值对应沙尘暴负值 9 a, 北半球副高面积指数正值对应沙尘暴正值 8 a。

1961~2004 年陕西春季沙尘暴距平与北半球副高面积指数距平 (1960~2003) 之间的线性回归方程为:

$$\hat{x} = 0.01 - 0.5232t$$

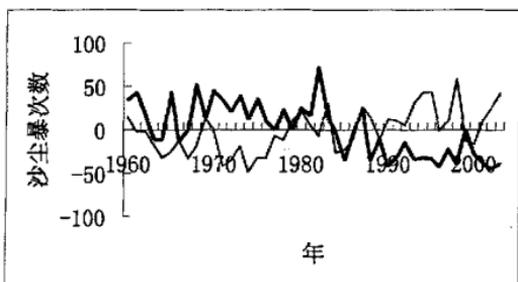


图 5.8 北半球副高面积指数与陕西春季沙尘暴距平曲线

线性趋势为  $-0.5232$ ,  $\hat{x}$  与  $t$  之间的相关系数  $R = -0.42$ , 通过信度为 0.01 的显著性检验, 线性趋势明显。据此我们得出一个结论: 当前一年 1~11 月北半球副高面积指数累积距平为负时, 陕西春季沙尘暴偏多的概率较大。反之, 当前一年 1~11 月北半球副高面积指数累积距平为正时, 陕西春季沙尘暴偏少的概率大。

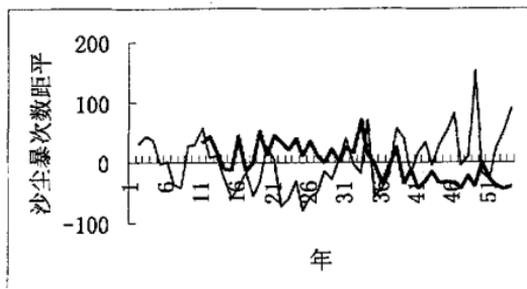


图5.9 北半球副高强度指数与陕西春季沙尘暴距平曲线

从图5.9可以看出,与北半球副高面积指数非常相似,前一年1~11月月平均北半球副高强度指数距平和陕西春季沙尘暴距平存在负相关关系,相关系数为-0.38,线性趋势为-0.60,两者距平异号25年,同号19年,异号年份占57%。同理,前一年1~11月月平均北半球副高强度指数平均值的距平为负时,陕西春季沙尘暴偏多的概率较大。反之,当前一年1~11月北半球副高强度指数平均值的距平为正时,陕西春季沙尘暴偏少的概率大。

同时考虑北半球副高面积指数和北半球副高强度指数,44年中,两个指数距平同号40年,异号4年;在同号的40年中,和陕西春季沙尘暴距平异号24年,同号16年,异号年份占60%。这里只考虑距平正负号,没有考虑正常年份。仅从正负距平判断,陕西春季沙尘暴的正负距平判断结果的正确的概率达60%,具有较好的预报意义。

#### 5.4.3 陕西春季沙尘暴和其它区域副高的关系

与北半球副高面积指数和北半球副高强度指数相似,陕西春季沙尘暴和印度副高面积指数、强度指数距平的关系

陕西春季沙尘暴距平	印度副高面积指数距平	
	正距平	负距平
正距平	6 a	17 a
负距平	13 a	8 a
	印度副高强度指数距平	
	正距平	负距平
正距平	6 a	17 a
负距平	13 a	8 a
	印度副高面积指数距平/印度副高强度指数距平	
	正距平/正距平	负距平/负距平
正距平	5 a	16 a
负距平	13 a	8 a

高面积指数、强度指数存在明显的负相关关系。表5.5的统计结果显示, 印度副高面积指数距平和陕西春季沙尘暴距平异号的年份达30年, 约占总年数的70%; 印度副高强度指数距平和陕西春季沙尘暴距平异号的年份与印度副高面积指数距平相同, 为30年。印度副高面积指数距平和印度副高强度指数距平同号的年份达42年, 高于北半球副高面积指数距平和北半球副高强度指数距平同号年数40年。在同号的42年中, 和陕西春季沙尘暴距平异号29年, 同号13年, 异号年份占70%以上。在陕西春季沙尘暴趋势预测中的预报意义超过了北半球副高面积指数距平和北半球副高强度指数。

分析表明, 6~10月南海副高面积指数和南海副高强度指数、1~10月太平洋副高面积指数和太平洋副高强度指数与陕西春季沙尘暴都存在明显的负相关关系, 二者之间的关系与上述两个副高指数相似, 本节不再论述, 根据分析结果直接在下一章的预测概念模型中加以运用。

#### 5.4.4 陕西春季沙尘暴和东亚槽位置关系分析

本文研究发现, 东亚槽位置与陕西春季沙尘暴次数存在负相关关系, 这一点与以前一些文献的研究结论相近, 但本文注意到陕西春季沙尘暴次数与前一年5月东亚槽位置有显著的负相关关系, 表5.6给出了陕西春季典型沙尘暴年和东亚槽位置、东亚槽强度的距平值, 从中可以看出, 陕西春季典型多沙尘暴年东亚槽位置多为正距平, 位置偏西; 陕西春季典型少沙尘暴年东亚槽位置多为负距平, 位置偏东。陕西春季典型多沙尘暴年前一年5月东亚槽强度多为正距平, 偏强; 陕西春季典型少沙尘暴年前一年5月东亚槽强度也以正距平居多, 但偏强程度比多发年稍弱。

表5.6 陕西典型春季沙尘暴年和东亚槽位置、强度指数距平

陕西春季典型多沙尘暴年					
	1983	1969	1971	1962	1966
东亚槽位置	-1.2	-0.6	-0.5	0.2	-0.5
东亚槽强度	11.8	28.8	33.8	-4.2	-5.0
陕西春季典型少沙尘暴年					
	2003	1997	1991	1999	2004
东亚槽位置	1.6	2.0	1.3	-1.7	0
东亚槽强度	1.8	3.8	-7.2	33.8	23.8

#### 5.4.5 陕西春季沙尘暴和北半球极涡的关系

3~8月北半球极涡面积指数累计值距平、北半球极涡强度指数累计值距平与陕西春季沙尘暴次数存在正相关关系。陕西春季典型多沙尘暴年3~8月北半球极涡面积指数累计值的距平多为正距平, 强度偏强; 陕西春季典型少沙尘暴年3~8月北半球极涡面积指数累计值的距平为负距平, 强度偏弱(表5.7)。

#### 5.4.6 陕西春季沙尘暴和西藏高原位势高度关系分析

表5.7 陕西典型春季沙尘暴年和3~8月北半球极涡面积、强度指数累计值的距平

陕西春季典型多沙尘暴年					
	1983	1969	1971	1962	1966
面积指数	11.2	148.2	-26.8	62.2	214.2
强度指数	44	51	30	58	91
陕西春季典型少沙尘暴年					
	2003	1997	1991	1999	2004
面积指数	-226.8	-111.8	-84.8	-313.8	-219.8
强度指数	-29	-74	-28	-117	-55

陕西春季沙尘暴和5~11月西藏高原位势高度存在负相关关系，两者之间的分析结果与6.3.1分析结果相似（图5.10），这里不作详细论述，分析结果直接在预测概念模型中应用。

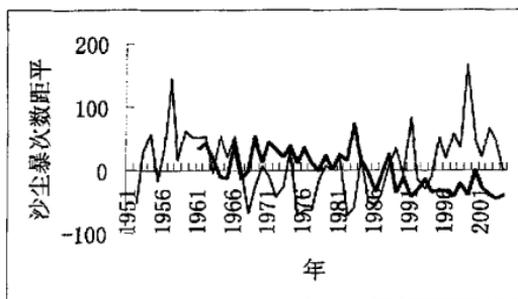


图5.10 西藏高原位势高度与陕西春季沙尘暴次数距平

#### 5.4.7 陕西春季沙尘暴和冷空气活动次数关系分析

表5.8给出我国春季和前一年冬季冷空气活动次数距平和陕西当年春季沙尘暴次数距平的对应关系。分析结果表明，当年春季冷空气活动次数正距平对应陕西当年春季沙尘暴次数正距平的概率较大，为14/22；当年春季冷空气活动次数负距平对应陕西当年春季沙尘暴次数负距平的概率较大，为12/21；前一年冬季冷空气活动次数正距平对应陕西当年春季沙尘暴次数正距平的概率较大，为18/26；前一年冬季冷空气活动次数负距平对应陕西当年春季沙尘暴次数负距平的概率较大，为12/17（表5.9）；前一年秋季冷空气活动次数正距平与陕西当年春季沙尘暴次数正距平的对应关系不明显，为13/24；前一年秋季冷空气活动次数负距平对应陕西当年春季沙尘暴次数正距平的概率较大，为12/19（表格略）。

陕西春季沙尘暴次数典型偏多和典型偏少年与当年春季和前一年冬季冷空气活动次数有较好的对应关系，特别是前一年冬季冷空气活动次数距平的对应关系最好。陕西春季沙尘暴5个典型偏多年份，冷空气活动次数距平有4年为正，陕西春季沙

尘暴 5 个典型的偏少年份，冷空气活动次数的距平 5 年全都为正（表 5.10）。但陕西春季沙尘暴典型偏多和典型偏少年与前一年秋季冷空气活动次数没有这种的对应关系。

综上所述，我国前一年冬季冷空气活动次数距平对陕西当年春季沙尘暴趋势预测有很好的预测意义，而本文没有发现我国前一年秋季冷空气活动次数距平对陕西当年春季沙尘暴趋势预测有这种预测指示。

表 5.8 春季冷空气活动次数距平和陕西春季沙尘暴距平

冷空气		正距平	0	负距平
气	出现年数	22	0	21
沙尘暴			出现年数	
	正距平	14	0	9
	0	0	0	0
	负距平	8	0	12

表 5.9 前一年冬季冷空气次数距平和陕西春季沙尘暴距平

冷空气	等级	正距平	0	负距平
气	出现年数	26		17
沙尘暴			出现年数	
	正距平	18	0	5
	0	0	0	0
	负距平	8	0	12

表 5.10 陕西春季沙尘暴典型年和冷空气活动次数距平

年份	沙尘暴多发年份					沙尘暴少发年份				
	1983	1969	1971	1962	1966	2003	1997	1991	1999	2002
春季	-1.3	1.7	0.7	1.7	-0.3	0.7	-3.3	-0.3	1.7	-1.3
前冬	1.2	1.2	0.2	-1.8	1.2	-0.8	-0.8	-0.8	-2.8	-1.8
前秋	-1.4	-1.4	-1.4	0.6	1.6	3.6	0.6	0.6	-2.4	-3.4

利用环流特征量进行陕西春季沙尘暴趋势预测在下面两节研究。

## 第六章 陕西春季沙尘暴预测方法研究及预测试验

### 6.1 陕西沙尘暴的年代际变化

通过前面几章的分析知道, 陕西年沙尘暴、春季沙尘暴都有明显的年代际变化特点, 在预测时必须加以考虑。1985 年以来, 陕西春季沙尘暴一直处于较少的时期, 1988 年以后, 陕西春季沙尘暴已经连续 18 年低于 1961~2000 年 40 a 平均值, 2000 年有所增加, 与 1971~2000 年 30 a 平均值持平略多<sup>[32]</sup>, 但此后又连续 4 a 偏少, 2002~2004 年连续 3 年异常偏少, 2003 年达到 1961 年以来的最低值。2003、2004 年在陕西春季沙尘暴趋势展望中我们连续两年预测沙尘暴偏少, 均与实际情况相符, 预测中都考虑了年代际变化特点。

表 6.1 给出了陕西前一年春季沙尘暴等级与当年春季沙尘暴等级的对比情况, 加方框的数据为当年等级与前一年等级相同的年数, 等级是表 3.4 中的划分结果。从中可以看出, 春季沙尘暴当年的等级与前一年相比, 变化范围一般不超过 3 个等级, 换句话说, 如果前一年为 7 级 (异常偏多), 当年大多不会出现 3 级 (偏少) 及其以下的等级; 如果前一年为 1 级 (异常偏少), 当年大多不会出现 5 级 (偏多) 及其以上的等级。表 6.2 中的等级是表 3.5 中的划分结果, 分析结论与表 6.1 得出的结论基本相同。

由表 3.6 的划分结果也得出类似的结论 (表略)。在出现正距平的 23 年, 当年继续为正距平的 18 年, 占 78%, 当年为负距平的 5 年, 占 22%; 在出现负距平的 21 年, 当年继续为负距平的 17 年, 占 81%, 来年为正距平的 4 年, 占 19%。

表 6.1 前一年春季沙尘暴等级与当年春季沙尘暴等级 (据表 3.4)

前一	等级	7	6	5	4	3	2	1
年	出现年数	3	6	5	11	5	8	6
当年	等级	出现年数						
	7	0	0	0	3	0	0	0
	6	1	1	1	1	1	0	0
	5	0	2	2	3	0	0	0
	4	2	2	0	2	1	1	1
	3	0	1	1	0	1	2	0
	2	0	0	0	2	1	2	2
	1	0	0	1	0	1	3	2

表 6.2 前一年春季沙尘暴等级与陕西春季沙尘暴等级 (据表 3.5)

前一年	等级	7	6	5	4	3	2	1
年	出现年数	1	1	7	24		1	0

当年	级别	出现年数						
	7	0				1		
	6		0	1	1			
	5			2	4			
	4	1	1	5	12	5		
	3				6	3	1	
	2					1	0	
	1							0

在实际预测中,分析资料时将沙尘暴划分为 7 个等级,做定性预测判断时再将 7 级、6 级和 5 级合并为偏多,将 1 级、2 级和 3 级合并为偏少,形成偏多、正常、偏少 3 个等级。这样我们就可以得到图 6.1 这样一个年际、年代际预测概念模型。

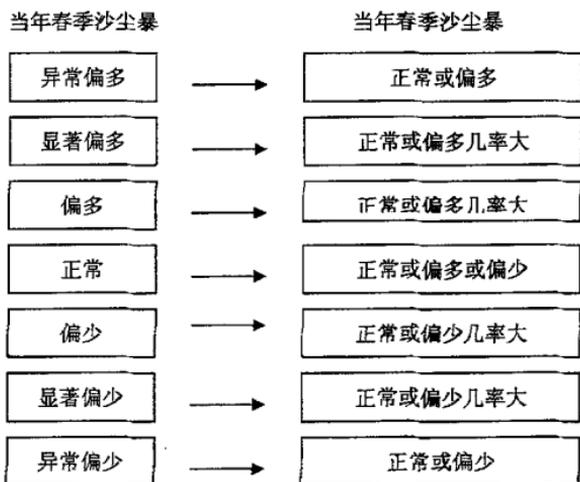


图 6.1 陕西春季沙尘暴年际、年代际预测概念模型

## 6.2 陕西春季沙尘暴的其它预报因子的分析

### 6.2.1 陕西春季沙尘暴与同期、前期降水量的关系

陕西春季沙尘暴与前一年夏季、秋冬季降水量和同期降水量存在一定的反相关关系,虽然都没有通过0.10的信度检验,但这种负相关关系说明前期和同期降水偏多对陕西春季沙尘暴的发生有一定的抑制作用<sup>[33]</sup>。据此,前期降水量的多少和对来年春季降水趋势的预测结论对陕西春季沙尘暴趋势预测有一定的预测意义。

### 6.2.2 陕西春季沙尘暴与海温、厄尔尼诺事件的关系

在陕西春季沙尘暴预测因子的普查中发现,前一年1~11月赤道东太平洋海温与陕西春季沙尘暴存在一定的反相关关系,虽然相关系数未通过0.10的信度检验,但从中可以看出,前一年赤道东太平洋海温偏高,来年陕西春季沙尘暴正常偏少的可能性较大,反之,陕西来年春季沙尘暴偏多的可能性较大。

厄尔尼诺事件的发生与陕西春季沙尘暴的多少也存在一定的关系,但规律不明显,沙尘暴受年代际变化影响更大。在有沙尘暴资料对应的11个厄尔尼诺事件发生年次年的春季,沙尘暴4a偏多,4a偏少,3a正常。1985年以前,厄尔尼诺年6个,6个厄尔尼诺形成次年中4a沙尘暴偏多,1a偏少,1a正常(沙尘暴等级为表3.4统计结果,表6.4同);1985年以后,厄尔尼诺年形成次年有5个,4a偏少,1a正常。在厄尔尼诺事件与其发生年次年沙尘暴的对应关系具有预报意义,表6.3表明厄尔尼诺事件对陕西春季沙尘暴的预测意义不大。

表6.3 历次厄尔尼诺事件的起讫时间、强度和发生次年春季沙尘暴等级

起始年 月	结束年、 月	L (月 数)	$\Delta T_{m}$ (出现时 间)	n (月 数)	F	等级	厄尔 尼诺	等级
1951.8	1952.5	9	1.0℃ (52.4)	1	-2.65	弱	1952	
1953.4	1953.11	7	0.8℃ (53.4)	0	-4.21	最弱	1953	
1957.4	1958.9	17	1.2℃ (57.12)	5	1.63	强	1957	
1963.7	1964.2	7	0.9℃ (63.11)	0	-3.89	最弱	1963	3
1965.5	1966.4	11	1.5℃ (65.12)	6	1.20	强	1965	6
1968.10	1970.2	16	1.1℃ (69.12)	2	0.03	中	1969	7
1972.6	1973.4	10	1.8℃ (72.11)	6	1.87	强	1972	5
1976.6	1977.7	13	1.1℃ (76.10)	1	-1.17	弱	1976	4
1982.9	1983.10	13	1.9℃ (83.2)	9	4.06	最强	1983	7
1986.10	1988.4	18	1.4℃ (87.10)	8	3.55	最强	1987	4
1991.5	1992.12	19	1.4℃ (91.11-12)	7	3.17	最强	1991	2
1993.4	1994.2	10	1.1℃ (93.5)	2	-1.70	弱	1993	2

1997.5	1998.5	13	2.3℃ (97.11-12)	12		强	1997	2
2002.8	2003.1	6	1.1℃(02.11)	2		弱	2002	1

拉尼娜事件的发生与陕西春季沙尘暴的多少也存在一定的关系, 情况与厄尔尼诺事件相似, 沙尘暴受年代际变化影响更大。1985 年以前, 拉尼娜年有 6 个, 6 个拉尼娜形成次年中 3 a 沙尘暴偏多, 1 a 偏少, 2 a 正常; 1985 年以后, 拉尼娜年有 2 个, 形成次年陕西春季沙尘暴都偏少。

表 6.4 历次拉尼娜事件的起讫时间、强度指数和形成次年陕西春季沙尘暴等级

起始年 月	结束 年、月	L(月 数)	$\Delta T_{min}$ (出现时 间)	m(月 数)	F	等 级	厄尔尼诺	等 级
1954.8	1956.8	26	-1.7℃ (55.10)	3	3.95	最强	1955	
1964.4	1965.1	9	-1.0℃(64.4-5)	2	-3.09	最弱	1964	3
1967.7	1968.7	12	-1.4℃ (68.2)	3	0.24	中	1968	4
1970.8	1972.1	17	-1.2℃ (70.12-71.2)	3	0.48	中	1970 -1971	7
1973.9	1975.2	17	-1.5℃ (74.1)	4	2.21	强	1974	6
1975.6	1976.4	10	-1.3℃ (75.10-12)	3	-0.50	中	1975	6
1984.10	1985.8	10	-0.7℃ (84.12-85.2)	0	-4.65	最弱	1984-1985	4
1988.6	1989.7	13	-1.3℃ (88.11)	5	1.43	强	1988	2
1998.10	2001.1	26	-1.1 (2002.1)	1		中	2000	1

有关研究指出, 东亚季风与厄尔尼诺事件有密切关系, 东亚季风的强度在厄尔尼诺年弱, 而在反厄尔尼诺 (即拉妮娜) 年强。在 70 年代反厄尔尼诺事件占优势, 寒潮大风所引起的沙尘暴天气比较频繁, 在 20 世纪 80~90 年代厄尔尼诺事件占优势, 沙尘暴较少。2000 年处在一个反厄尔尼诺事件的高峰期, 我国北方冬春季寒潮大风频繁发生, 从而引起较多沙尘暴天气。本文研究认为仅仅从厄尔尼诺事件发生年本身对陕西春季沙尘暴趋势进行预测得出的结论是不可靠的, 即便是对厄尔尼诺事件发生时间进行区分 (如区分秋季发生或非秋季发生), 其对陕西春季沙尘暴的预测意义不是很大。

### 6.3 陕西春季沙尘暴回归统计模型

用陕西春季沙尘暴和前 12 个月北半球逐月 500 hPa、100 hPa 高度场以及 500 hPa 与 100 hPa 的厚度场之间求相关, 选出相关系数大于 0.45 以上的区域作为预报因子, 用多元回归统计方法得到预报方程, 方程的复相关系数达 0.80 以上, 对陕西春季沙

尘暴进行预测效果较好。

共选取 8 个因子：时间分别为 100 hPa 高度场 2 个，分别为前 1 年 7 月和 8 月；500 hPa 高度场 3 个，为前 1 年 5 月、前 1 年 9 月和前 1 年 10 月；500 hPa 与 100 hPa 的厚度场 3 个，分别为前一年 2 月、11 月、12 月；选中因子所在区域大多具有一定的物理意义，例如，前 1 年 5 月、10 月 500 hPa 高度场因子分别对应该时段的东太平洋副热带高压和印缅槽等。

## 6.4 陕西春季沙尘暴预测概念模型

陕西春季沙尘暴在一定程度上受到前一年环流场、降水场、副热带高压系统和前期海温场变化的制约。根据这种制约关系我们建立起概念模型（图 6.2）。



图 6.2 陕西春季沙尘暴预测概念模型

## 6.5 陕西春季沙尘暴预测业务流程

陕西春季沙尘暴预测思路及其预测过程可简单概括为：首先是前一年沙尘暴资料和前期气候背景和环流特征量等数据的收集、整理，其次是陕西春季沙尘暴年代际变化特点的分析，分析预报因子的年代际变化特点，搞清楚春季沙尘暴和所考虑预报因子目前总体上处在偏少还是偏多时期、是高值期还是低值期。然后将所用预测因子前期实测值代入统计方程进行统计预测，分析预测结果。最后，综合考虑各

种预报方法的预测结果，并参考春季降水气温气候趋势预测的结果做出预测结论。陕西春季沙尘暴预测业务流程图为：

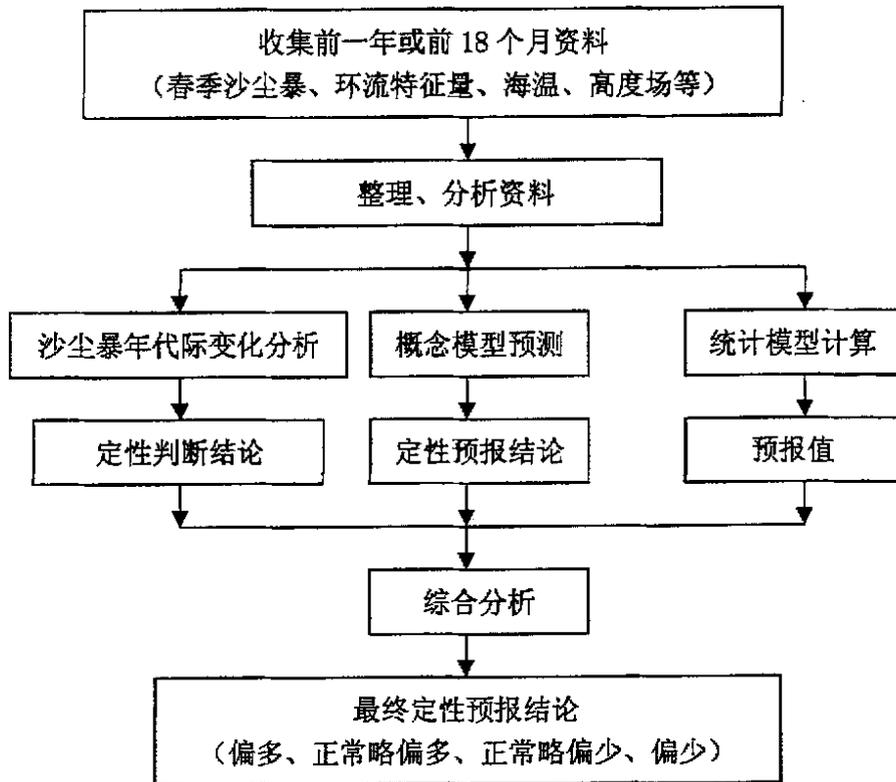


图 6.3 陕西春季沙尘暴预测业务流程

## 6.6 预测实践与业务应用效果

在本文上述研究的基础上，作者根据年际变化、预测概念模型和多元回归统计方法等手段主持制作了陕西 2003、2004 年陕西春季沙尘暴趋势预测，预测春季沙尘暴偏少，预测结论正确。并通过大量的统计工作，对上述方法进行完善。本文研究中用 1971~2000 年平均值作为常年平均值，根据距平用 7 级分类法判别，与预测业务使用平均值和定性预测的用语内涵一致，可操作性强，可一次到位，使用简便，对预报员而言十分方便。本文发现前一年印缅槽指数对当年陕西春季沙尘暴有很强的预测意义后，进一步分析印缅槽指数与陕西降水的关系，发现陕西典型多雨年缅槽指数偏低，典型少雨年缅槽指数偏高，就可以设想其中存在这样一个可能的影响机制：印缅槽指数偏低→有利于水汽向北输送→陕西、尤其陕北降水偏多→抑制沙尘发生→来年春季沙尘暴偏少，但统计结果为沙尘暴偏多，其影响机理分析需要逐步完善。业务系统有待进一步开发和完善。

# 短期气候预测

陕西气象学会 编委会 编委: 关山 郭明 李强 魏明全 2004 年 1 月 20 日

## 2003 年春季沙尘暴趋势预测

一、2003 年春季沙尘暴天气形势

2003 年春季我国沙尘暴天气的频发程度, 与 2002 年大体相当。据初步统计, 4 月 11—15 日及 4 月 21—22 日, 2003 年春季的沙尘暴天气发生次数与 1971—2000 年 4 月沙尘暴日数相当, 共计 2003 年 20 日。

2003 年春季沙尘暴天气, 4 月 5、6 月小峰出现。

二、2003 年春季陕西沙尘暴趋势预测

预计 2003 年春季陕西沙尘暴与 1971—2000 年平均水平相当, 即为 10 天左右, 但沙尘暴日数比 2002 年稍多。

主要依据:

1. 2003 年 1 月中旬以来, 沙尘暴天气, 仍在全国范围, 2003 年春季沙尘暴天气的频发程度, 与 2002 年相当。
2. 2003 年春季, 我国北方大部分地区, 降水比 2002 年偏少, 土壤湿度低, 有利于沙尘暴天气的频发。
3. 我国北方大部分地区, 降水比 2002 年偏少, 土壤湿度低, 有利于沙尘暴天气的频发。
4. 我国北方大部分地区, 降水比 2002 年偏少, 土壤湿度低, 有利于沙尘暴天气的频发。

# 短期气候预测

陕西气象学会 编委会 编委: 关山 郭明 李强 魏明全 2004 年 1 月 20 日

## 2004 年春季沙尘暴趋势预测

一、2004 年春季沙尘暴趋势预测

2004 年春季我国沙尘暴天气的频发程度, 与 2003 年大体相当。据初步统计, 4 月 11—15 日及 4 月 21—22 日, 2004 年春季的沙尘暴天气发生次数与 1971—2000 年 4 月沙尘暴日数相当, 共计 2004 年 20 日。

2004 年春季沙尘暴天气, 4 月 5、6 月小峰出现。

二、2004 年春季陕西沙尘暴趋势预测

预计 2004 年春季陕西沙尘暴与 1971—2000 年平均水平相当, 即为 10 天左右, 但沙尘暴日数比 2003 年稍多。

主要依据:

1. 2004 年 1 月中旬以来, 沙尘暴天气, 仍在全国范围, 2004 年春季沙尘暴天气的频发程度, 与 2003 年相当。
2. 2004 年春季, 我国北方大部分地区, 降水比 2003 年偏少, 土壤湿度低, 有利于沙尘暴天气的频发。
3. 我国北方大部分地区, 降水比 2003 年偏少, 土壤湿度低, 有利于沙尘暴天气的频发。
4. 我国北方大部分地区, 降水比 2003 年偏少, 土壤湿度低, 有利于沙尘暴天气的频发。

# 短期气候预测

陕西气象学会 编委会 编委: 关山 郭明 李强 魏明全 2004 年 1 月 20 日

## 陕西省 2005 年春季沙尘暴趋势预测

一、陕西省 2005 年春季沙尘暴趋势预测

2005 年春季我国沙尘暴天气的频发程度, 与 2004 年大体相当。据初步统计, 4 月 11—15 日及 4 月 21—22 日, 2005 年春季的沙尘暴天气发生次数与 1971—2000 年 4 月沙尘暴日数相当, 共计 2005 年 20 日。

2005 年春季沙尘暴天气, 4 月 5、6 月小峰出现。

二、2005 年春季陕西沙尘暴趋势预测

预计 2005 年春季陕西沙尘暴与 1971—2000 年平均水平相当, 即为 10 天左右, 但沙尘暴日数比 2004 年稍多。

主要依据:

1. 2005 年 1 月中旬以来, 沙尘暴天气, 仍在全国范围, 2005 年春季沙尘暴天气的频发程度, 与 2004 年相当。
2. 2005 年春季, 我国北方大部分地区, 降水比 2004 年偏少, 土壤湿度低, 有利于沙尘暴天气的频发。
3. 我国北方大部分地区, 降水比 2004 年偏少, 土壤湿度低, 有利于沙尘暴天气的频发。
4. 我国北方大部分地区, 降水比 2004 年偏少, 土壤湿度低, 有利于沙尘暴天气的频发。





5. 从陕西春季沙尘暴自身演变特点看,目前仍处在沙尘暴异常偏少的气候背景下,从前期海洋状况和大气环流特征看,没有出现春季沙尘暴明显增多的征兆,预计2005年陕西春季沙尘暴异常偏多的可能性不大。
6. 2004年1~10月北半球副高面积偏大,强度偏强,据此预测2005年春季沙尘暴偏少的概率较大。

## 第七章 沙尘暴研究中应注意的几个问题

### 7.1 1962~1979 年夜间沙尘暴的统计

#### 7.1.1 问题的提出

从 1955 年暂行规范、1961 年正式出版实行《地面气象观测规范》到目前,《地面气象观测规范》曾在 1979 年、2003 年修订再版,每次再版都对一些地方进行修订。本文研究陕西沙尘暴时发现,对于同一气象站,同一个时期,1961~2004 年信息化整编资料和从气表-1、气表-21 抄回的沙尘暴资料在 1962~1979 年有较大的差异。分别使用信息化整编资料和气表-1、气表-21 的资料分别分析同一个气象站的沙尘暴变化特点,得到的结论有较大差别。进一步查证发现,1972 年编《陕西省气候资料》与气表-1、气表-21 的资料一致,与信息化整编资料有较大差别;《陕西省地面气候资料》(1971~1980 年)沙尘暴资料与信息化整编资料一致,与气表-1、气表-21 的资料不相符。

#### 7.1.2 原因分析

信息化整编资料和气表资料(气表-1、气表-21)统计的沙尘暴日数产生差异的原因是:1979 年 12 月中央气象局出版的《地面气象观测规范》对国家一般站天气日数的统计方法做了修订。其中规定:不论白天或夜间出现的天气现象,均应按“摘要表”内的摘要符号录入,并参加“天气日数”的统计和初、终日期的挑选。而 1961 年 1 月中央气象局出版的《地面气象观测规范》规定:夜间虽不观测,但遇到某种天气现象时,可记基本符号,不记起讫时间,也不统计天气日数以供参考用。气表-1、气表-21 抄回的 1962~1979 年资料中,天气日数是按旧规范规定统计的,而 1961~2004 年信息化整编资料则根据新规范的有关规定对 1962~1979 年的天气现象进行了重新统计。两种途径得到的沙尘暴日数的差异就是:气表-1、气表-21 统计的沙尘暴日数少了夜间出现沙尘暴(同一天白天没有出现)的日数,数值偏小。

新规范从 1980 年开始执行,以后的信息化整编资料和气表-1、气表-21 资料无差异。1972 年编《陕西省气候资料》整编时没有新规范,是按旧规范汇编的,结果与气表-1、气表-21 资料相同,与信息化整编资料有差异;《陕西省地面气候资料》(1971~1980)按新规范进行了手工统计,所以与信息化资料一致,与气表-1、气表-21 资料有差异。

#### 7.1.3 处理方法及注意事项

国家一般站沙尘暴日数的分析预报要利用信息化整编资料。若利用气表-1、气表-21 资料时,1962~1979 年资料要将夜间出现的沙尘暴日数追加上,但也要注意同一天白天和夜间不能重复计数。在研究中,除去所有夜间观测到的记录也是可行的。

## 7.2 一些沙尘暴强度划分标准中存在的问题

研究发现,目前被我国一些学者普遍采用的沙尘暴强度划分标准和气象观测规范中关于水平能见度一章能见度观测记录的规定有明显差异,其中强沙尘暴、特强沙尘暴主要指标能见度划分标准存在问题。

### 7.2.1 一些文献中的沙尘暴强度划分标准

下面是一些文献中给出的沙尘暴强度划分标准:“两站或以上出现瞬时风速 $\geq 25$  m/s,最小能见度 $\leq 50$  m的“黑风”标准和“凡同时满足风速 $\geq 20$  m/s(在南疆南缘,仅要求 $>17.2$  m/s),能见度 $\leq 200$  m者为强沙尘暴,同时满足风速 $\geq 25$  m/s(在南疆南缘,仅要求 $>20.8$  m/s),能见度 $\leq 50$  m者为特强沙尘暴”。强沙尘暴标准采用最大风速 $\geq 20$  m/s,且最小能见度 $>50$  m但 $\leq 200$  m,同时定义内蒙古中西部特强沙尘暴标准为能见度 $\leq 50$  m,定时平均风速 $\geq 20$  m/s<sup>[34]</sup>。表7.1是另一个沙尘暴强度划分标准。

表7.1 沙尘暴强度划分标准

强度	瞬时极大风速 $f$ (m/s)	最小能见度 (m)
强	$\geq 8$ 级或 $f \geq 20$	1 级或 $v \leq 200$
中	6-8 级或 $f \geq 17$	2 级或 $200 < v \leq 500$
一般	4-6 级或 $f \geq 10$	3 级或 $500 < v \leq 1000$

注:在气象观测中,1980年起能见度用长度单位m标识,此前用0~9级标识。

### 7.2.2 沙尘暴强度划分标准中的问题及正确描述

表7.1沙尘暴强度划分标准中的问题在于能见度范围中“ $\geq$ ”、“ $\leq$ ”和“ $<$ ”、“ $>$ ”使用错误。将表7.1改为表7.2较为妥当(修改的地方用下划线标识)。

表7.2 沙尘暴强度划分标准(修改)

强度	瞬时极大风速 $f$ (m/s)	最小能见度 (m)
强	$\geq 8$ 级或 $f \geq 20$	<u>0, 1 级或 <math>v &lt; 200</math></u>
中	6-8 级或 $f \geq 17$	2 级或 <u><math>200 \leq v &lt; 500</math></u>
一般	4-6 级或 $f \geq 10$	3 级或 <u><math>500 \leq v &lt; 1000</math></u>

同样,前面提到的“黑风”标准,“最小能见度 $\leq 50$  m”改成“最小能见度 $< 50$  m”;“能见度 $\leq 200$  m者为强沙尘暴”改成“能见度 $< 200$  m者为强沙尘暴”比较妥当。

这种错误可能是前辈科学家一个小小的笔误,但这种看似很小的符号错误在不是地被后来的学者引用,将导致沙尘暴强度划分的标准与50 a气象能见度观测资料不匹配,进而引起资料统计上的混乱和强沙尘暴分析上的错误。后面将举例对此加以说明。

沙尘天气年鉴(2002年)<sup>[37]</sup>、中国气象局历次出版的观测规范和大部分文献中

沙尘暴、强沙尘暴的定义和用词比较严谨，都用到了“小于”和“以内”这样的词，所以不存在上述问题，是正确的。例如，1961年1月出版的《气象观测规范》对扬沙进行的定义，扬沙：这是由于风大把地面的尘、沙吹起，使空气相当浑浊的现象，水平能见度在1 km或以上，10 km以内（作者注：相当于 $1 \text{ km} \leq v < 10 \text{ km}$ 而不是 $1 \text{ km} < v \leq 10 \text{ km}$ ）。

事实上，美国的沙尘暴定义包括：Sandstorm (SS)，指沙粒被强风吹起，多数在10英尺的高度，很少的一部分上升到15英尺的高度，并且， $5/16$ 英里 $\leq VV$ （水平能见度） $< 5/8$ 英里。Heavy Sandstorm的定义与Sandstorm (SS)大同小异，主要区别为 $VV < 5/16$ 英里等等，印度等国的定义与此类似，定义中水平能见度的指标都使用了“小于”，而不是小于等于。

### 7.2.3 水平能见度观测、记录的有关规定

1955年5月中央气象局《气象观测暂行规范》地面部分（气技104号）规定，能见度用10个等级来表示。

表 7.3 每一级所表示的能见度范围（1955年暂行规范）

等级	能见距离 (m)	不能见距离 (m)
0	小于 50	50
1	50	200
2	200	500
3	500	1000
4	1000	2000
5	2000	4000
6	4000	10000
7	10000	20000
8	20000	50000

注：能见度4级，其相当的距离为1000 m—2000 m以内能见，2000 m和以外不能见；能见度3级，其相当的距离为500 m—1000 m以内能见，1000 m和以外不能见；观测时能见距离如恰为1000 m，则应记4级。余以此类推。

1961年1月出版的《气象观测规范》第九章183节规定能见度用十个等级来表示，每一级所表示的能见度范围如下表：

表 7.4 每一级所表示的能见度范围（1961年规范）

等级	能见距离 (m)	不能见距离 (m)
0	$< 50$	$\geq 50$
1	$\geq 50, < 200$	$\geq 200$
2	$\geq 200, < 500$	$\geq 500$
3	$\geq 500, < 1000$	$\geq 1000$
4	$\geq 1000, < 2000$	$\geq 2000$

5	$\geq 2000, < 4000$	$\geq 4000$
6	$\geq 4000, < 10000$	$\geq 10000$
7	$\geq 10000, < 20000$	$\geq 20000$
8	$\geq 20000, < 50000$	$\geq 50000$
9	$\geq 50000$	

注：能见度4级，其相当的距离为1000 m—2000 m以内能见，2000 m和以外不能见；能见度3级，其相当的距离为500 m—1000 m以内能见，1000 m和以外不能见；观测时能见距离如恰为1000 m，则应记4级。余以此类推。

1979年出版的《气象观测规范》第四章第二节规定能见度记录以千米为单位，取小数一位，第二位小数舍取，不足0.1 km记“0.0”。这一规定，意味着恰好200 m记“0.2”，小于200 m记“0.1”；恰好500 m记“0.5”，大于400 m小于500 m记“0.4”；这一点与1955、1964年出版的规范相似。只是1980年以前有小于50 m的记录、1980年之后只有小于100 m的记录，不再有小于50 m这一档记录等。

在地面观测中，国家基本气象站能见度的项目在绝大多数年份只能取到一日4次定时值，1987年以后随着国家基准气象站的陆续建立，部分台站取到了1 h一次的观测值。

#### 7.2.4 沙尘暴强度划分标准描述错误引起资料统计混乱举例

以表7.1中中等强度沙尘暴为例，当瞬时极大风满足条件后，对最小能见度( $v$ )满足2级或 $200 < v \leq 500$  m这一条件进行分析。由前面提到的地面气象观测规范知道，2级表示能见度范围为表7.2而非表7.1，而不是 $200 < v \leq 500$  m。因此，在1954—1979年气象观测能见度资料中挑2级并不符合表7.1中等强度沙尘暴对能见度的要求：(1) 1954—1979年气象观测能见度资料中2级包含能见度恰好等于200 m的一种情况，而表7.1中等强度沙尘暴不包含这种情况。(2) 历年能见度资料中的2级不包含能见度恰好等于500 m这种情况，而表7.1中等强度沙尘暴却又包含能见度恰好等于500 m这种情况。这就引起了资料统计上的混乱，至少说，这种强沙尘暴的定义是存在缺陷的，描述是不严谨的。如果将表7.1中等强度沙尘暴要求最小能见度满足2级或 $200 < v \leq 500$  m这一条件改为最小能见度满足2级或 $200 \leq v < 500$  m，上面的问题都迎刃而解了。

1980年之后，能见度记录以千米为单位，取小数一位，第二位小数舍取，不足0.1 km记“0.0”。表7.1中等强度沙尘暴要求最小能见度满足 $200 < v \leq 500$  m，满足这一条件的能见度实际上无法完全从气象记录中挑取。根据能见度记录规定，0.3 km、0.4 km无疑是满足条件的，将其挑取是正确的。但0.2 km是否挑取，如果挑取，与表7.1中等强沙尘暴的要求相比，多了能见度恰好等于200 m(记0.2 km)的这种情况。如果不挑取，又少了能见度大于200 m，小于300 m(记0.2 km)的情况；类似地，0.5 km如果挑取，与表7.1中等强沙尘暴的要求相比，多了能见度大于500 m小于600 m(记0.5 km)的一些情况；如果不挑取，则少了能见度恰好等于500 m(记0.5 km)的这种情况。同样，如果将表7.1中等强度沙尘暴要求最小能见度满足2级

或  $200 < v \leq 500$  m 这一条件改为最小能见度满足 2 级或  $200 \leq v < 500$  m, 上面的问题都迎刃而解了。

根据沙尘暴的定义, 记有沙尘暴天气现象时, 其能见度小于 1000 m, 沙尘暴出现后, 要判断该沙尘暴是强沙尘暴还是中等强度沙尘暴, 由于 2004 年以前没有沙尘暴出现时最小能见度的观测, 只能根据定时能见度观测记录作判断。同时, 由于只有国家基本(准)等少数气象站 20 世纪 90 年代才有瞬时极大风速的观测记录, 同时用瞬时极大风速和能见度标准判断强沙尘暴和中等强度沙尘暴困难很大。以陕西沙尘暴最多的定边为例, 按照表 7.1 标准挑取, 1998~2003 年共有 5 条同时满足风速和能见度标准的中等强度沙尘暴记录, 而如果按照表 7.2 标准挑取, 只有 2000 年 3 条满足条件的中等强度沙尘暴记录。

表 7.5 陕西强沙尘暴和中等强度沙尘暴次数

年份	强 (A/B)	中 (A/B)	年份	强 (A/B)	中 (A/B)	年份	强 (A/B)	中 (A/B)
1955	0/0	1/1	1972	2/2	20/20	1988	5/1	25/21
1956	1/1	1/1	1973	3/3	9/9	1989	0/0	4/2
1957	4/4	7/7	1974	3/5	8/8	1990	0/0	4/3
1958	3/3	15/15	1975	1/2	12/12	1992	0/0	4/3
1959	6/8	18/18	1976	5/10	17/17	1993	3/1	7/8
1960	4/5	3/3	1977	4/7	19/19	1994	0/0	0/0
1961	3/3	14/14	1978	1/1	6/6	1995	0/0	2/2
1962	1/1	4/4	1979	5/5	23/23	1996	0/0	1/1
1963	5/5	13/13	1980	8/2	13/12	1997	0/0	0/0
1964	3/4	3/3	1981	8/4	24/22	1998	1/1	4/1
1965	1/1	6/6	1982	4/1	23/21	1999	0/0	1/0
1966	5/5	26/26	1983	26/12	28/34	2000	1/0	12/9
1967	0/1	3/3	1984	16/5	31/36	2001	1/0	3/3
1968	0/0	2/2	1985	4/0	7/11	2002	0/0	0/0
1969	5/5	27/27	1986	0/0	2/1	2003	0/0	0/0
1970	4/4	7/7	1987	0/0	4/3	2004	0/0	0/0
1971	1/1	15/15	1991	0/0	0/0			

说明: A 表示用表 7.1 标准整理的沙尘暴次数; B 表示用表 7.2 标准整理的沙尘暴次数。

前面分析表明, 按表 7.1 挑取强沙尘暴、中等强度沙尘暴记录, 严格地讲许多资料是无法统计的, 表 7.5 中记为 A 的统计结果是仅从表 7.1 能见度指标的字面描述, 按一般资料员最可能的理解, 强沙尘暴 1980 年以前能见度挑 1 级, 1980 年以后挑 0.0、0.1、0.2 km; 中等强度沙尘暴 1980 年以前挑 2 级、1980 年以后挑 0.3、0.4 km、0.5 km, 统计的陕西全省强沙尘暴、中等强度沙尘暴次数; 表 7.5 中记为 B

的统计结果是按表 7.2 能见度指标,强沙尘暴 1980 年以前能见度挑 0 级和 1 级,1980 年以后挑 0.0、0.1 km;中等强度沙尘暴 1980 年以前挑 2 级、1980 年以后挑 0.2、0.3 km、0.4 km,统计的陕西全省强沙尘暴、中等强度沙尘暴次数。从中可以看出,在 1980 年以前能见度用 0~9 级标识时,由于表 7.1 划分标准中遗漏了 0 级,表 7.5 强沙尘暴中 A 的值都小于或等于 B 的值,中等强度沙尘暴都挑 2 级,结果相同,但 2 级所指代的能见度范围是表 7.2 而非表 7.1。1980 年之后,强沙尘暴 A 挑 0.0、0.1、0.2 km 而 B 挑 0.0、0.1 km,所以表 7.5 中 A 的值都大于或等于 B 的值。中等强度沙尘暴, A 挑 0.3、0.4、0.5 km 而 B 挑 0.2、0.3、0.4 km,所以表 7.5 中 A 的值和 B 的值有差异,但不象强沙尘暴那样有规律。

后来的研究者,将上述讨论中描述有错误的沙尘暴强度划分标准拿给气象资料工作者整理资料,得到的很可能就是错误的结果,问题的发现过程就是我们首先根据错误的标准得到了错误的结果,反复核对资料最终找到了问题所在。

## 7.3 其它应注意的两个问题

### 7.3.1 2003 年规范修订

随着自动气象站的陆续建立,中国气象局 2003 年 12 月出版的《地面气象观测规范》对沙尘暴的观测进行了部分修订,定义沙尘暴是由于强风将地面尘沙吹起,使空气相当混浊,水平能见度小于 1 km。根据能见度沙尘暴分为三个等级:沙尘暴能见度 0.5 km~小于 1.0 km;强沙尘暴能见度 0.05 km~小于 0.5 km;特强沙尘暴能见度小于 0.05 km。沙尘暴出现后,增加了瞬时最小能见度的观测,规定最小能见度是指最小有效水平能见度,以米为单位取整数。这就引出了下面两个问题:

1. 2004 年以前,沙尘暴出现后,没有观测最小能见度,强沙尘暴、特强沙尘暴的统计只能统计每日 3 或每日 4 次的定时能见度观测资料,严格地讲,不能保证定时能见度资料都是由沙尘暴引起的,定时能见度资料也不一定是沙尘暴出现时的最小能见度。2004 年起,有了沙尘暴发生时的最小能见度,但要连续统计 2004 年前后的强沙尘暴、特强沙尘暴时出现了资料的连续性、可比性问题,要么,2004 年前后都用定时能见度资料,要么 2004 年前后分开统计,或者对 2004 年起的能见度资料,就定时资料和瞬时最小能见度进行对比分析,找出对应关系,对资料插补后进行分析,否则;就可能得出错误的结论。

2. 1980 年以前有能见度小于 50 m 资料,而 1980~2003 年没有能见度小于 50 m 的观测资料,只有能见度小于 100 m 的观测资料,2004 年起沙尘暴出现后观测瞬时最小能见度,能够统计出小于 50 米的瞬时最小能见度。所以,要整理长序列强沙尘暴、特强沙尘暴,可供连续统计的能见度资料的最小值是小于 200 米的资料。而且,2004 年起的瞬时最小能见度是否能够和 1980 年以前小于 50 m 的能见度资料相提并论,合并使用本身值得考虑。

### 7.3.2 国家基准(本)站资料

1987年起,国家基准(本)气象站陆续建立,这些气象站开始有了1小时1次的能见度观测资料。分析1987年以后的强沙尘暴、特强沙尘暴可以使用1小时一次的能见度资料,但要将1987年前后的强沙尘暴、特强沙尘暴放在一起分析,必须考虑资料的连续性和均一性,一个方法就是1987年以后不使用1小时1次的能见度观测资料,仍使用4次观测资料。或者先对1987年以后1小时1次的能见度资料和4次观测资料进行对比分析,得到二者的对应关系,对资料插补后进行分析。

综上所述,沙尘暴作为一种天气现象有明确的定义,在历次规范的修订中没有大的改变,存在问题较少。其中存在的一个问题涉及夜间观测到的天气现象是否参加统计,但夜间观测记录无论规定是否参加日数统计,都有完整的记录。经过多年的讨论,沙尘暴研究领域已经达到许多共识,研究日趋成熟。但有关强沙尘暴、特强沙尘暴的研究,由于《地面气象观测规范》风、能见度的观测规定的多次修订,使得划分标准的选取各种各样,资料统计方面存在问题较多,容易出错,很容易形成研究结论的分歧。目前的现状就是该领域研究在沙尘暴总体上是减少的趋势还是增加的趋势,出现了两种截然相反的结论。

## 第八章 全文总结

### 8.1 结论

本文比较系统地分析了陕西沙尘暴和陕西强沙尘暴、特强沙尘暴过程的天气气候特点,建立了业务用陕西春季沙尘暴基本序列,着重分析了陕西春季沙尘暴年际、年代际变化特点和变化趋势,重点分析了陕西春季沙尘暴与大气环流特征的关系,从中寻找影响陕西春季沙尘暴的因子,建立预测概念模型和统计模型,投入陕西春季沙尘暴趋势预测业务,满足新开展业务的需求,主要取得一下成果。

(1) 陕西沙尘暴总体上呈减少趋势,且减少趋势比较明显,20世纪80年代中期陕西春季沙尘暴出现由多到少的突变,20世纪80年代后期、90年代和21世纪初的4年是陕西沙尘暴较少的时期,虽然20世纪90年代末21世纪初有所增加,但和1961~2000年40年平均均值相比仍然偏少,这一点与中国北方沙尘暴的变化情况基本一致。陕西沙尘暴天气有很强的季节分布特点:春季最多,冬季次之,秋季最少,最多月份为4月,最少月份为9月。陕西沙尘暴天气日变化明显,沙尘暴多出现在下午至傍晚,后半夜和早晨出现较少。

分析表明,根据陕西58个代表站整理的1961~2004年陕西春季沙尘暴序列有

很好代表性, 资料长度基本满足各种业务的需要, 可作为业务使用的基本序列。

(2) 1954 年以来共出现强沙尘暴过程 41 次, 其中特强沙尘暴 6 次, 强沙尘暴过程平均每年不到一次。从年代际变化看, 20 世纪 90 年代最少, 21 世纪初的 4 年没有出现。41 次强沙尘暴过程有 33 次出现在春季 (3~5 月), 占总次数的 80%, 其中 4 月 21 次。冬季 6 次, 夏、秋季各 1 次。

6 次特强沙尘暴为 1979 年 4 月 11~12 日、1983 年 4 月 27~28 日、1984 年 4 月 25~26 日、1966 年 4 月 14 日、1983 年 3 月 15 日和 1977 年 2 月 20~22 日, 其中, 1983 年 4 月 27~28 日沙尘暴陕北定边县 6 人死亡, 10 人失踪, 死亡羊 7972 只, 夏田损失约 7000  $\text{hm}^2$ 。

根据强沙尘暴过程出现前一日 08 时 500 hPa 环流形势, 将造成陕西强沙尘暴天气的环流形势及影响系统分为蒙古冷 (横) 槽型、脊南下槽槽型、短波槽东移型和西北气流型四类, 其中蒙古冷 (横) 槽型是造成陕西强沙尘暴天气最多的一种形势, 占总次数的 45%, 陕西 6 次特强沙尘暴过程的环流形势及影响系统全为蒙古冷 (横) 槽型。根据地面冷空气入侵陕西的路径分析, 将造成陕西强沙尘暴天气的冷空气路径分为西路、西北路、北路三条或者其中的两条同时存在。

(3) 陕西 41 次强沙尘暴过程, 有 32 次在周自江等人研究成果 1954~2002 年中国北方典型强沙尘暴事件中都可找到相应的过程, 6 次特强沙尘暴过程都可找到相应的过程, 说明陕西强沙尘暴过程大多数与中国北方典型强沙尘暴事件相联系, 特强沙尘暴过程全部与中国北方典型强沙尘暴事件相联系, 还有约四分之一的强沙尘暴过程没有找到相应的过程, 范围较小, 强沙尘暴天气的中心、主体、沙源可能在陕西境内。

(4) 地面有大量沙尘, 大气底层层结不稳定, 容易形成对流, 有大而持续的大风是沙尘暴形成的基本条件, 对国家气候中心下发的 74 个环流特征量进行普查, 选取印缅槽指数, 北半球副高面积指数等作为影响陕西春季沙尘暴的影响因子, 并建立了预测概念模型, 在业务中应用, 效果较好。在北半球 500 hPa、100 hPa 和 500 hPa 和 100 hPa 厚度场中普查因子, 建立多元回归统计预报模型, 预测效果较好。

(5) 在分析陕西沙尘暴日数时发现, 1962~1979 年信息化整编资料和从气表一 1、气表一 21 抄回的沙尘暴资料有较大的差异。分别使用信息化整编资料和气表一 1、气表一 21 的资料分别分析同一个气象站的沙尘暴变化特点, 得到的结论有较大差别, 问题由 1979 年出版的《地面气象观测规范》修订引起, 国家一般站沙尘暴日数的分析研究要利用信息化整编资料, 若利用气表一 1、气表一 21 资料时, 1962~1979 年资料要将夜间出现的沙尘暴日数追加上, 但也要注意同一天白天和夜间不能重复计数。当然, 去掉所有的夜间观测资料也可以。研究发现, 上述差异不仅存在于沙尘暴日数, 1962~1979 年的扬沙、浮尘、雷暴等天气现象日数也存在这种差异。

研究发现, 目前被我国一些学者普遍采用的沙尘暴强度划分标准和气象观测规范中关于水平能见度一章能见度观测记录的规定有明显差异, 一些强沙尘暴、特强沙尘暴主要指标能见度的划分标准中“ $\geq$ ”、“ $\leq$ ”和“ $<$ ”、“ $>$ ”使用错误。这种

看似很小的符号错误将导致沙尘暴强度划分标准与 50 a 气象能见度观测资料不匹配, 进而引起资料统计上的混乱和强沙尘暴分析结果的错误和分歧。

## 8.2 存在问题和研究展望

本文为新开展业务的一个初步研究成果, 仍存在以下不足有待进一步深入研究: 一是预测概念模型中影响机理的深入研究和分析; 二是陕西春季沙尘暴处于少发时期, 预测效果较好, 但预测方法没有经受偏多年份的考验, 陕西春季沙尘暴会不会发生由少到多的转型, 转型预计发生在什么时候, 在春季沙尘暴偏多的时期, 预测因子会不会体现出来, 会发生什么样的变化等等, 本文提出了一点粗浅的看法, 但有待深入研究。

## 参 考 文 献

- [1] Goudieas. Dust storm in space and time [J]. Process in Physical Geograph, 1983, 7(4): 502-508.
- [2] Brazeal, A. J., Nickling, W. G. The relationship of weather types to dust storm generation in Arizona (1965~1980). Inter. J. Climatol, 1986, 6: 255~275.
- [3] Jaureguie. The dust storms of Mexico City [J]. Inter. J. Climatology, 1989, 9(2): 169~180.
- [4] Gillette, D. A., J. Adams, A. Endo, D. Smith and A. Kill. Threshold velocity for input of soil particles into air by desert soils. J. Geophys. Res, 1980, 85: 5621-5630
- [5] Iwasaka Y. et al, The transport and special scale of Asian dust storm clouds, A case study of the dust storm event of April 1979, Tellus, 1983, 35B: 189-196.
- [6] Shaw G. E. transport of asian desert to the Hawian islands, J. Appl. Meteor, 1980, 19: 1254-1259.
- [7] 徐国昌, 陈敏连, 吴国雄. 甘肃省“4·22”特大沙尘暴分析 [J]. 气象学报, 1979, 37(4): 26-35.
- [8] 钱正安, 贺慧霞, 瞿章, 等. 我国西北地区沙尘暴的分级标准和个例谱及其统计特征 [A], 方宗义, 朱福康, 江吉喜, 等. 中国沙尘暴研究 [C]. 北京: 气象出版

社, 1997: 1-10.

[9] 邱新法, 曾艳, 缪启龙. 我国沙尘暴的时空分布规律及其源地和移动路径. 地理学报, 2001, (3): P316~322.

[10] 周自江, 王锡稳, 牛若云. 近 47 年中国沙尘暴和扬沙天气[A], 中国气象局预测减灾司. 沙尘暴监测预警服务研究[C]. 北京: 气象出版社, 2002: 13.

[11] 周自江, 章国材. 中国北方的典型强沙尘暴事件[J]. 科学通报, 2003, (11): 1225-1226.

[12] 李耀辉. 近年来我国沙尘暴研究的新进展. 中国沙漠, 2004, 24 (5): 616-622.

[13] 张广兴, 李霞. 沙尘暴观测及分级标准研究现状. 中国沙漠, 2003, 23 (5): 586-591.

[14] 张德二. 历史时期“雨土”现象剖析[J]. 科学通报, 1982, (5): 294~297.

[15] 李海英, 高涛, 薄玉华. 内蒙古中西部春季沙尘暴预测初探. 气象, 2003, 29 (10): 22-25.

[16] 史培军. 中国北方风沙活动的驱动力分析[J]. 第四纪研究, 2001, (1): 41~47.

[17] 陕西统计局. 陕西统计年鉴—2003[M]. 北京: 中国统计出版社, 2003.

[18] 雷向杰, 胡春娟, 田武文. 陕西沙尘天气的气候特征及其影响分析. 气象, 2003, (12): P33-P44.

[19] 雷向杰, 杜继稳等. 陕西沙尘暴时空分布成因及防御对策分析. 西北大学学报. 2000. (4): P76-81.

[20]. 顾兆林. 尘卷风的形成、结构和卷起沙尘过程的数值研究[J]. 气象学报, 2003, 61(6): 751.

[21]. 陕西省地方志编纂委员会. 陕西省志·气象志[M]. 北京: 气象出版社, 2001. 235~236.

[22]. 雷向杰. 陕西省 1994 年气候影响评价[J]. 陕西气象, 1995, (1): 18.

[23]. 刘勇, 王川. 陕西龙卷的统计和中尺度特征[J]. 陕西气象, 1998, (3): 6.

[24]. 相德勤, 李瑛. 1978 年陕西乾县龙卷风纪实[J]. 灾害学, 1986, 1(创刊号): 67.

[25]. 鹿世瑾. 福建龙卷风的活动特点[J]. 气象, 1996, 22(7): 36~39.

[26]. 魏文秀, 赵亚民. 中国龙卷风的若干特征[J]. 气象, 1995, 21(5): 36~40.

[27]. 徐良炎. 一九八七年我国龙卷风灾害[J]. 灾害学, 1988, 3(2): 62.

[28]. 吴越, 沈明刚. 龙卷风灾害刍议[J]. 灾害学, 1988, 3(2): 58-59.

[29] 中央气象局. 地面气象观测规范. 北京: 气象出版社, 2003: 25.

[30] 李威, 翟盘茂. 我国春季沙尘暴发生次数与 500 hPa 大气环流关系的研究. 天气与气候. 2003, (12): 282-288.

[31] 赵光平, 郑广芬, 王卫东. 宁夏特强沙尘暴气候背景及其成灾规律研究[J]. 中国沙漠, 2003, (04): 420-421.

- [32]杜继稳,雷向杰,杜川利等.陕西省 2000 年天气气候异常变化与自然灾害.灾害学,2001,(03):P76-P81.
- [33]郭菊娥,王玮,郭小平等.我国西北部水资源对沙尘天气的影响机理研究[J].水利经济,2004,(02):38-41.
- [34]刘景涛,郑明倩.内蒙古中西部强和特强沙尘暴的气候学特征[J].高原气象,2003,(01):51-64.

## 致 谢

本文是在导师缪启龙教授和杜继稳研究员的悉心指导下完成的。两年来，缪启龙导师渊博的知识、严谨的治学态度、开阔的思维方式、敏锐的分析能力以及对科学事业孜孜以求的精神和他平易近人的品格、在生活、工作中亲切鼓励学生的做法给了我很大的鼓舞和帮助。杜继稳研究员以身作则、勤奋钻研，鼓励和帮助我，时时要求我的工作紧密结合业务工作的需要。总之，两年的经历将是我一笔宝贵的财富，使我终生受益。在此，谨表示我衷心的感谢和敬意。

作论文期间，陕西省气象台的领导和气候农气预报科的同事给予我关心和支持，提供各种帮助和方便，在此表示衷心感谢。在此还要感谢我的同事李亚丽、王小宁、许新田等，他们同样给了我很多的帮助和关心。

在此，我还要感谢我的朋友高庆九夫妇和邓自旺夫妇，他们给了我亲人般的关心、鼓励和帮助。

最后我要深深地感谢我的家人，特别是我的父母、妻子和女儿，他们的鼓励和支持是我进步的动力。

祝福所有的师长、同事、朋友，好人一生平安！

雷向杰

2005年3月

## 声 明

本人郑重声明：所呈交的学位论文，是本人在导师指导下，独立进行研究工作所取得的研究成果（或本人独立进行研究工作所取得的成果）。尽我所知，除了文中已经注明引用的内容外，本学位论文的研究成果不包含任何他人享有著作权的内容。对本论文所涉及的研究工作做出贡献的其他个人和集体，均已在文中以明确方式标明。

签 名： 雷白杰

日 期： 2005年3月25