

# 沙尘暴监测与预警方法研究<sup>\*</sup>

李登科<sup>1</sup>, 杜继稳<sup>2</sup>

(1. 陕西省农业遥感信息中心, 陕西 西安 710014; 2. 陕西省气象局, 陕西 西安 710014)

**摘 要:** 基于对以往沙尘暴监测和预报的研究, 依托天气气候观测网, 应用不断发展的卫星遥感监测和天气预报技术, 提出符合陕西省天气气候特点的沙尘暴监测、综合预警方法。

**关键词:** 沙尘暴监测; 沙尘暴预报; 沙尘天气预警; 陕西

**中图分类号:** P425.5+5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-811X(2006)01-0055-04

## 0 引言

沙尘暴是由特殊的地理环境和气象条件所致的一种较为常见的自然现象, 主要发生在沙漠及其临近的干旱与半干旱地区, 世界范围内沙尘暴多发区位于中亚、北美、中非和澳大利亚。我国西北及华北大部分地区属于中纬度干旱半干旱地区, 地表多为沙地、稀疏草地和旱作耕地, 特别在春季地表植被覆盖率低, 如果天气条件适宜, 容易形成沙尘暴天气。沙尘暴过程对生态系统的破坏力极强, 它能够加速土地荒漠化, 对大气环境造成严重的污染, 使城市空气质量显著下降, 对人类健康、城市交通、通讯和供电产生负面影响。同时, 沙尘气溶胶对气候、海洋生态系统和生物化学循环也有着重要影响<sup>[1~4]</sup>。

近年来, 沙尘暴的影响引起世界各国的广泛重视, 同时对沙尘暴的研究取得了丰富的成果。因此, 总结应用在沙尘暴天气监测、预测方面的研究成果, 建立和完善沙尘天气的综合监测体系, 提高监测预警及影响评估的时效性和准确性, 对于国家的生态安全、保护国家与人民生命财产、顺利实施西部大开发战略、改善西部生态环境、促进我国的社会经济可持续发展具有重要意义。

## 1 沙尘暴监测方法

沙尘暴的成因复杂, 一般认为其主要环境因子有地表的覆盖情况、地形地貌、物质构成与结构、干湿状况; 主要气象因子有强风和对流不稳定等。干旱少雨、大风和不稳定的空气, 广泛分布的沙漠、戈壁和沙漠化土地以及特殊的地形地貌等自然条件, 是形成沙尘暴的几个主要因素<sup>[5~7]</sup>。沙尘灾害的尺度范围从局地性、区域性到大陆间都可能发生, 且沙尘暴发生地区多为沙漠地区以及干旱、半干旱地区。由于地面观测站分布密度比较稀疏, 因此用地面观测站网数据进行研究具有很大的局限性, 同时常规资料的时间分布也难以捕捉和追踪那些由中尺度系统引起并造成严重灾害的强沙尘暴源地及其动态演变规律和强度变化<sup>[8]</sup>。

遥感、地理信息系统和计算机等技术的迅速发展, 尤其是卫星遥感技术的发展为人类监测环境与灾害提供了崭新的技术手段, 使大范围、多时相的对地观测成为可能, 弥补了地面常规观测资料水平分辨率较低和投入较大等不足。

### 1.1 地面监测

我国对沙尘暴的监测主要来源于气象台站的定时观测, 观测资料有气象要素和能见度。为了研究和监测服务的需要, 还建立了集中观测站点和长期观测站点。沙尘暴发生时的集中观测主要包括沙尘

\* 收稿日期: 2005-09-17

基金项目: 陕西省发展和改革委员会项目“生态环境治理最佳方案研究”资助 (1999-003)

作者简介: 李登科 (1963-), 男, 陕西人, 高级工程师, 主要从事遥感应用研究。

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）、多普勒声探测器、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<sup>[8]</sup>。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。

对沙尘的危害情况主要靠细致的地面调查来实现。地面调查的内容包括沙尘暴的影响范围、受灾面积、灾害损失情况、沙尘暴持续时间、人员伤亡情况和其他设施损坏情况（包括交通设施、通讯设施、电力设施、房屋破坏情况等）以及灾后采取的补救措施。

地面观测可获得第一时间内的实测资料，长期观测可积累大量的环境背景数据，对沙尘暴研究均十分重要，但也有局限性。在我国西北地区，各种监测台站设置稀疏，尤其是沙尘暴的形成主要在人口异常稀少的沙漠地带，这些地方监测站点更少，因此常规地面观测资料对沙尘暴监测研究有很大的局限性。

## 1.2 遥感监测

由于沙尘暴多发区往往自然条件恶劣、测站稀少，找出沙尘暴发生的源地以及移动路线通常比较困难，而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 0.25km~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。

气象卫星遥感通道从波长上大体可以分为两大类。一类位于可见光波段，可以测量下垫面反射的太阳光，进而计算反照率；另一类位于热红外波段，可以测量下垫面红外辐射值，进而计算下垫面的亮度温度。由于沙尘和地表在反照率和温度上均有差异，因此可以利用卫星多通道技术把沙尘暴信息提取出来<sup>[9]</sup>。极轨气象卫星遥感通道多，空间分辨率高，而静止气象卫星观测范围广（近 1/3 地球表面积），且时间分辨率高（每小时 1 次）。两种卫星的观测数据相结合，可以对沙尘暴实时监测。

遥感监测多指对沙尘暴的空间分布范围、影响万方数据

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。

### 1.2.1 沙尘信息提取方法

沙尘信息提取是沙尘暴定量研究的关键步骤。新一代 NOAA 卫星和 FY1 卫星都配置了位于 11μm 和 12μm 的热红外波段，经过大量研究已证实，这两个波段对沙尘反映比较敏感。以前的研究中将 11μm、12μm 波段的差值作为沙尘暴监测的主要参数，并将其引入定量计算模型。

根据辐射传输理论，干燥沙尘对 11μm、12μm 红外波段辐射有不同的吸收衰减，其中对 11μm 波段衰减略强于 12μm 波段，即在卫星传感器 11μm 波段上探测到的辐射通量将减少，使得 12μm 波段的探测值大于 11μm 波段。因此，可以利用卫星传感器在 11μm、12μm 波段探测值的差值提取沙尘信息，提取公式为：

$$\Delta T = \begin{cases} T_{12} - T_{11} & (T_{12} - T_{11} \geq 1K) \\ 0 & (T_{12} - T_{11} < 1K) \end{cases} \quad (1)$$

式中： $T_{12}$  和  $T_{11}$  分别表示卫星数据在 12μm 和 11μm 波段的亮温。

通过大量数据验证，当  $\Delta T \geq 1K$ ， $T_{11}$  和  $T_{12}$  都小于 290K 时，表明是沙尘暴影响区。如果把差值变成比值运算，也可以确定沙尘信息提取的阈值<sup>[10][11]</sup>。

根据多个时次的沙尘信息提取图像的对比分析，可以了解沙尘暴的起源地、运移路径、影响区域和未来的推进方向等有关的动态信息。借助 GIS 软件还可以计算某一时刻沙尘区的面积，并绘制沙尘暴分布图。

### 1.2.2 可比沙尘强度指数

在准确获得沙尘暴影响区域的基础上，可充分利用 1.6μm 近红外波段特性对大气沙尘进行定量遥感。1.6μm 近红外波段测值与沙尘强度有线性关系，使其具有了定量描述沙尘暴监测结果的能力。尽管如此，1.6μm 近红外波段的测值仍然受空间、时间、卫星等方面的影响，为了准确监测沙尘暴，我们需要的是一种具有稳定性和长期可比性的数据，使得不同状态下得到的结果是基于同一标准的，而且任何两次沙尘暴的监测结果都可以进行对比分析。为此，引入可比沙尘强度指数（Icsd）作为 1.6μm 波段测值变化后的结果：

$$Icsd = \alpha \times (e^{\beta \times R_{1.6}} - 1) \quad (2)$$

式中： $R_{1.6}$  为可见光 1.6μm 波段测得的反射率； $\alpha$  和  $\beta$  为调节因子，一般取值为 10 和 0.8<sup>[12]</sup>。

## 2 沙尘暴天气的预报方法

沙尘天气通常由特定的环流形势和天气系统诱发产生。对陕西近 30 年沙尘暴天气的个例分析发现:在 500 hPa 高空环流形势图上,中高纬度呈两槽一脊型,乌拉尔山附近为一高压脊,贝湖附近为一深厚的低槽区,脊前槽后为西北气流,将极地附近的冷空气向东南方向输送,造成了陕西的大风、沙尘暴天气。

普查 40 年内(1960~2000)沙尘暴天气的个例,全省出现 10 站次以上的日数为 83 次。通过对陕西出现沙尘暴时的前一日的 08 时(北京时)500 hPa 高空天气图和地面天气图的分析,可将该地区沙尘暴天气的影响系统分为西北气流型、巴湖槽型和蒙古冷槽型三类<sup>[13]</sup>。

因此,预报陕西是否出现沙尘暴天气,应注意以下几点:

(1) 根据 500 hPa 环流形势,判别是否属于西北气流型、巴湖槽型、蒙古冷槽型中的某一类。

(2) 地面天山附近或河套北部有无冷锋出现。

(3) 冷空气前是否有较强暖空气,是否有低气压发展,了解锋前地面辐合情况。

(4) 邻近陕西的上游内蒙古、宁夏、甘肃有无沙尘暴出现。

(5) 在可能有沙尘暴出现的情况下,卫星云图监测其发展和移动情况。

## 3 沙尘天气的预警

### 3.1 沙尘天气的分类

沙尘天气是指强风从地面卷起大量尘沙,使空气浑浊、水平能见度明显下降的一种天气现象。沙尘天气分为浮尘、扬沙、沙尘暴三类。

(1) 浮尘 尘土、细沙均匀地浮游在空中(多为远处尘沙经上层气流传播而来,或为沙尘暴、扬沙出现后尚未下沉的细粒浮游空中而成),使水平能见度 $<10\text{km}$ ;

(2) 扬沙 由于风将地面尘沙吹起,使空气相当混浊,水平能见度在 $1\sim10\text{km}$ 之内;

(3) 沙尘暴 由于强风将地面大量尘沙吹起,使空气很混浊,水平能见度 $<1\text{km}$ ;当水平能见度 $<500\text{m}$ 时,为强沙尘暴。

### 3.2 沙尘天气的预警

当根据遥感、地面观测资料及数值预报等信息  
万方数据

判断未来 24h 内沙尘天气将影响预报责任区时,应及时向下级台站发布沙尘天气指导预报,预报内容包括沙尘天气种类、强度、落区和移动方向,并随时更新;对影响大城市以及大范围严重的沙尘天气,要及时在公众媒体上向社会公众发布沙尘天气预报警报;对一般影响的沙尘天气,应及时编发内部公报、专报,向各级政府和有关部门提供。

沙尘天气预报、警报应包括发生沙尘天气的区域、时段、强度、可能造成的影响及对策、建议等。

## 4 结论

(1) 在利用卫星遥感监测沙尘暴方面已取得了大量的研究成果,而且已有多套卫星遥感监测系统实现了业务化或准业务化运行,卫星遥感技术已成为沙尘暴监测的重要手段。基于不同光谱波段上沙尘粒子的散射和辐射特性,遥感技术可以有效地区分沙尘区与其它地物,如云、积雪、裸沙,实现对沙尘暴的源地、影响范围、强度、路径、输送方向及预计降尘区域和沙尘浓度分布的监测。同时,也可对下垫面植被状况、沙化和裸露程度进行深入了解。

(2) 地面实测数据的获取是进行卫星遥感数据分析不可或缺的过程,进行沙尘灾害研究应重视地面实验遥感的研究。随着遥感基础研究的不断发展,对沙尘的光谱特征有了深入认识。通过地面沙化土地光谱特征的测量,对沙尘灾害的遥感监测研究开始由定性和半定量研究向沙尘属性特征参数的定量提取发展。地基遥感不仅使卫星遥感理论和数据反演方法进一步深化、遥感图像处理技术更加完善,也极大地扩展了卫星资料的应用领域,在沙尘预报、沙尘监测及沙尘成因研究方面,发挥着重要的作用。

(3) 在总结沙尘暴科研成果和深入探索沙尘暴发生发展的基础上,建立沙尘暴天气模型,采用卫星遥感监测和常规手段相结合的方法,就能实现早期监测、发现沙尘暴,并预警沙尘暴的发生发展,更好地为防灾减灾决策提供服务。

## 参考文献:

- [1] 范一大,史培军,罗敏宁.沙尘暴卫星遥感研究进展[J].地球科学进展,2003,18(3):367-373.
- [2] 丁瑞强,王武功,尚可致,等.中国春季沙尘暴的趋势变化及年代际变化[J].高原气象,2004,23(5):660-666.
- [3] 孙冷,黄朝迎.西北地区沙尘暴引发的荒漠化问题[J].灾害学,1997,12(3):49-53.

- [4] 张晓龙,等. 近年来中国北方沙尘暴成因及其防治 [J]. 灾害学, 2001, 16(3): 70—75.
- [5] 方宗义,朱富康,江吉喜,等. 中国沙尘暴研究 [M]. 北京: 气象出版社, 1997, 1—21.
- [6] 杜继稳,等. 陕西气象灾害的孕育环境和应对措施 [J]. 灾害学, 2003, 18(1): 36—41.
- [7] 杜继稳,等. 陕西气象灾害与生态环境治理 [J]. 灾害学, 2001, 16(1): 71—77.
- [8] 李海萍,熊利亚,庄大方. 中国沙尘灾害遥感监测现状及发展趋势 [J]. 地理科学进展, 2003, 22(1): 45—52.
- [9] 郑新江,罗敬宁,刘征. FY-1C 气象卫星在沙尘暴监测中的应用 [J]. 上海航天, 2001, (1): 55—60.
- [10] 罗敬宁,范一大,史培军,等. 多源遥感数据沙尘暴强度监测的信息可比方法 [J]. 自然灾害学报, 2003, 12(2): 28—34.
- [11] 郭锐,顾继祖. NOAA 卫星沙尘暴光谱特征分析及信息提取研究 [J]. 高原气象, 2004, 23(5): 643—647.
- [12] 罗敬宁,徐喆喆,马岚,等. 沙尘暴同一化监测模型与灾害评估研究 [J]. 气候与环境研究, 2004, 9(1): 92—100.
- [13] 李平,侯明全,周丽峰,等. 近 40 年陕西沙尘暴天气分析 [J]. 气象科学, 2004, 24(3): 319—324.

## Research on Methods of Dust Storm Monitoring and Early-warning

LI Deng-ke<sup>1</sup> and DU Ji-wen<sup>2</sup>

(1. Shaanxi Remote Sensing Information Center for Agriculture;

2. Shaanxi Meteorological Bureau, Xi'an 710014, China)

**Abstract:** Based on the former studies on monitoring and forecasting dust storm, relying on the weather and climate observation net and applying the developing technologies of remote sensing and weather forecasting, the integration methods of dust storm monitoring and early-warning are presented.

**Key words:** dust storm; forecast; early-warning; Shaanxi