

# 卫星遥感技术对沙尘暴的监测

倾继祖<sup>1</sup>, 张宝文<sup>2</sup>

(1. 兰州干旱气象研究所; 2. 兰州中心气象台, 甘肃 兰州 730020)

中图分类号:P412.27

文献标识码:B

文章编号:1006-7639(2001)-03-0020-03

## 引言

沙尘暴是大风与沙尘相结合产生的一种灾害性天气, 它是大气污染及环境污染主要自然源之一。我国西北地区位于世界四大沙暴区(中亚、北美、中非和澳大利亚)之一的中亚沙暴区, 有着浩瀚的沙漠和沙地, 沙物质极为丰富, 只要具备一定的天气条件, 随时都有爆发沙尘暴天气的可能。近年来已多次出现沙尘暴天气, 例如: 1993年5月5日、1994年4月5~11日、1994年4月30~5月2日等, 给国民经济和人民生命财产造成了巨大的损失, 严重污染了大气环境。实时监测沙尘暴天气, 对防灾减灾保护生态环境有着极其重要的意义。

目前, 我国对沙尘暴的监测主要来源于气象台站的定时观测, 观测资料有天气现象

和能见度, 环保部门仅在各地区级及少数特设站点进行观测, 观测内容主要有强度、浓度、组成成份、降尘量等。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, 监测站点更少。使得常规地面观测资料对沙尘暴监测研究有很大的局限性。

空间科学、卫星遥感和计算机技术的迅速发展, 尤其是气象卫星为人类环境监测提供了崭新的监测手段, 使大范围、多时相的对地观测成为可能。正确认识沙尘暴天气的遥感特性, 将对沙尘暴的业务监测有着重要的

收稿日期: 2001-04-16

作者简介: 倾继祖(1963-), 男, 甘肃陇西县人, 工程师, 从事天气预报和卫星遥感工作。

## A New Operational Weather Forecast - Service System in Tianshui

LIU Wei-min, ZHAO Xiao-qiang, JIA Hai-yuan, WANG Tong, SUN Zhi-qiang

(Tianshui Meteorological Bureau, Tianshui Gan Su 741000, China)

**Abstract:** Basing on constructing of project 9210 and updating of prefecture - county network, focusing on local forecast and service, combining research with development, emphasizing technical renovation, a new operational forecast - service system was developed, which provides the functions such as information processing, weather forecast, climate prediction, weather service and operational administration.

**Keywords:** forecast service; operational system; Data Base

万方数据

意义。文中分析了我国可以接收的几种卫星对沙尘暴的监测能力,研究了利用 NOAA 卫星多通道探测资料监测沙尘暴的方法,对卫星资料监测沙尘暴的面积和浓度做了探讨。

## 1 监测原理

### 1.1 卫星的选择

要对沙尘暴进行监测,监测工具的监测精度和监测频次同等重要。沙尘暴天气是在特定地理位置,特定天气背景条件下形成的,它的发生、发展依赖于天气系统及地理区域,而对我国西北地区这片特定的沙尘暴多发区来说,沙尘暴的时空尺度主要受天气系统制约。根据气象部门的研究,其时间尺度从几十 min 到几 d,有时甚至可达十几 d;空间尺度从几十 m 到几百 km,所需监测工具要求时空分辨率较高,同时要求监测工具的监测能力要达到能够识别沙尘暴天气的水平。目前我国公开接收和业务使用的民用卫星有:美国的陆地卫星(Landsat)、STOP 卫星、日本的静止气象卫星(GMS)和美国的极轨气象卫星(NOAA)等,前两种卫星水平分辨率非常高,星下点为几十 m,但对某一地区的观测周期分为 16d 和 26d,且资料费较贵,不能用做沙尘暴的实时监测。GMS 现定位在赤道上空 127°E 处,每小时可对地观测一次,星下点分辨率为红外通道上 5km,对西北地区来说,在图像的西北角,资料畸变非常严重。NOAA 卫星的水平分辨率和时间分辨率适中,费用较低,气象部门建立了接收站,且星载辐射计所设的 5 个波段对沙尘暴有一定的探测能力。利用 NOAA 卫星对沙尘暴天气进行业务监测具有较大的前景。

### 1.2 波谱特性

NOAA 卫星是双星组成的极地轨道卫星,对地定向观测,平均轨道高度为 850km,星下点分辨率为 1.1km,扫描宽度约 2800km;星载探测器为改进的甚高分辨率扫描辐射仪(AVHRR)具有 5 个观测通道,其波段设置如(表 1)。

表 1 波段设置

通道	波长	备注
通道 1(ch1)	0.58~0.68μm	可见光波段
通道 2(ch2)	0.73~1.1μm	近红外波段
通道 3(ch3)	3.55~3.93μm	中红外波段
通道 4(ch4)	10.3~11.3μm	热红外波段
通道 5(ch5)	11.5~12.5μm	热红外波段

由表 1 所知,这些波段包含了丰富的大气和地表信息,为云、积雪、沙尘暴及各类地表的判识提供了可能。为了了解沙尘暴在 NOAA 卫星 AVHRR 5 个通道中的特性,文中选 1994 年 4 月 8 日 17 时 32min 和 1994 年 3 月 23 日两次 NOAA - 11 卫星资料,分别沿 41°N 和 40°N 做剖面,绘制光谱曲线图(图略)。从图可看到不同的探测表面其各通道的探测值有差别,根据各自的光谱特点,提取沙尘暴信息,建立监测模型。

### 1.3 信息提取

要识别沙尘暴,必须将云、积雪、沙地、植被、水域、裸地等信息判识出来,以光谱响应曲线为基础,用以下几个参量进行筛选区分,从而提取沙尘暴信息。

#### 1.3.1 植被指数

植被区和非植被区提取植被指数是遥感监测植被的重要依据,文中采用归一化植被指数 NDVI 来区分植被。

$$\text{NDVI} = (\text{ch2} - \text{ch1}) / (\text{ch2} + \text{ch1}) \quad (1)$$

式中 ch1、ch2 分别为通道 1、2 的反射率值。植被的  $\text{NDVI} > 0$ ,裸地、沙尘区、云水、积雪的  $\text{NDVI} \leq 0$ 。

#### 1.3.2 水体的提取值 T

云、雪的反射率(ch1)较高,沙尘和沙地次之,水域的反射率较低,特别是通道 2 中水陆界线尤为明显,采用  $\text{ch2} < T$  作为区分水域的方法,一般取  $T = 5$ 。

#### 1.3.3 云雪与沙尘、沙地的提取

在远红外波段  $> 11\mu\text{m}$  处有一水汽纯转动带,而 AVHRR 资料中,通道 4(ch4)和通道 5(ch5)的波段正好处在转动带之间,即

ch4 与 ch5 的差异所反映出其含水量, 大气中的云和地面积雪的含水量都将远远大于沙地或沙尘暴区, 沙地或沙尘暴的水汽指数小于零。因此, 我们设计水汽指数 WI 来判识晴空沙漠或沙尘暴, 将它们与云和积雪区分开来。

$$WI = (ch4 - ch5) / (ch4 + ch5) \quad (2)$$

式中 WI 为水汽指数, ch4、ch5 为通道 4、5 的辐射值。

### 1.3.4 沙地与沙尘暴的区分

一方面采用与原来晴空无云的沙地遥感资料的差值区分, 其差值表现在沙尘暴的反射率大于沙地的反射率, 另外从 WI 指数上分析,  $WI(\text{沙尘}) < WI(\text{沙地})$ , 最好两者结合使用即能区分开来。

## 2 资料和计算

资料的选取为近几年来一次持续时间较长的过程, 即 1994 年 4 月 5~11 日的全省大范围沙尘暴、浮尘天气过程。

地面资料选取无云区气象站的天气现象和能见度观测资料。规定: 浮尘、扬沙、沙尘暴的观测以气象部门的观测标准为准。对沙尘暴以能见度的大小为依据划分等级(表 2)。

表 2 沙尘暴能见度等级

级别	能见度范围	天气现象
沙尘暴零级	能见度 $\leq 50m$	伴有沙尘暴
沙尘暴 1 级	$50m < \text{能见度} \leq 200m$	伴有沙尘暴
沙尘暴 2 级	$200m < \text{能见度} \leq 400m$	伴有沙尘暴
沙尘暴 3 级	$400m < \text{能见度} \leq 700m$	伴有沙尘暴
沙尘暴 4 级	$700m < \text{能见度} \leq 1000m$	伴有沙尘暴

遥感资料的处理: 对应地面测站点取正方形  $5 \times 5 = 25$  个像元点的 5 个通道的平均值作为对应于测站的遥感资料。

利用上述各种方法将沙尘暴的遥感信息提取之后, 进行分析, 通过图像技术及统计方法确定其范围、面积和分布状况。

### 2.1 深度分布及面积计算

沙尘暴浓度的分布分析是一个较为复杂的问题, 它在 AVHRR 资料的 5 个通道上有不同程度的反映, 但不太绝对。本文在得不到沙尘暴顶的实测资料的前提下, 利用有限的地面气象站观测到的天气现象和能见度, 与遥感资料做时间同化和空间同化处理后, 进行多元性逐步回归分析。

### 2.2 范围和面积的确定

由遥感制图的方式将沙尘暴的区域制成图像, 并加注地理信息, 范围就在图上确定下来了, 其精度主要取决于卫星精度和信息摄精度。

面积则由图像上像元面积累加而求得

$$S = \sum S_i$$

式中  $S$  为沙尘区面积,  $S_i$  为单个像元的面积, 单像元面积计算,  $i = 1, 2, \dots, n$  像元个数, 主要由坐标投影方式和分辨率决定, 如麦卡托投影下,  $S_i$  是纬度和分辨率的函数。

因子的选取: 根据响应曲线将 5 个单通道值和其各自间的多种组合共 12 个参量作为因子, 沙尘暴浓度量级为回归量, 进行多元线性逐步回归, 其最后得出的回归方程为

$$y = 0.31 + 0.45ch1 - 0.315ch2 - 0.447ch4 + 0.512ch5$$

其中  $y$  为沙尘暴浓度级, ch1, ch2, ch4, ch5 分别为 AVHRR 的 1, 2, 4, 5 通道值, 该回归方程复相关系数为 0.92, F 检验显著。

## 3 结果分析

3.1 利用 NOAA 资料对沙尘暴具有一定的监测能力。

3.2 利用植被指数、水汽指数及有关门限可做为撮沙尘暴遥感信息的判据。

3.3 利用 AVHRR 资料可对无云区沙尘暴的范围、面积进行业务监测。

3.4 利用 AVHRR 资料对无云区、对沙尘暴的浓度分布有一定的分析能力。