

2002年3月18~21日强沙尘暴 天气过程的监测^①

郑新江¹ 徐 喆¹ 罗敬宁¹ 邹树峰²

(1. 中国气象局国家卫星气象中心, 北京 100081; 2. 山东省气象台)

提 要

简要讨论了利用 NOAA 卫星、FY-1C 卫星和 GMS-5 及 FY-2B 卫星监测沙尘暴的原理和方法、沙尘强度指数的建立、沙尘暴强度的计算方法和地理信息系统的应用。以 2002 年 3 月 18~21 日发生在我国北方地区的一次强沙尘暴过程为例,说明上述方法不仅能监测到沙尘暴的发生、发展和演变,还能对沙尘暴参数进行定量计算,是监测和预警沙尘暴的重要手段。

关键词: 沙尘暴 卫星监测 强度指数

引 言

由于沙尘暴天气所引发的气候学效应,对人类生存环境的危害以及对经济、社会活动的影响,人类愈来愈认识到沙尘暴天气是不可忽视的大气和生态环境问题之一。中国北方地区每年都要发生多次沙尘天气过程,使大量的沙尘从沙漠和戈壁中输送出来,对生态和环境造成严重的后果,因而对沙尘暴的分析研究较多^[1~4]。

沙尘暴的监测方法中,传统的地面监测方法受到许多因素的制约,不能很好的刻画沙尘暴过程。卫星遥感技术可以从空间上捕捉沙尘天气动态信息,而且时间分辨率高,是目前最为有效的监测、跟踪、分析沙尘天气的手段之一^[5~8]。

本文的目的是进一步研究提取沙尘暴定量物理参数的方法,并应用于 2002 年 3 月 18~21 日中国北方地区发生的近十年来最严重的一次沙尘暴天气分析之中,说明该方

法的有效性以及在防灾减灾中的应用潜力。

1 气象卫星遥感监测沙尘暴的技术方法

1.1 沙尘区的判识

沙尘暴多发区往往自然条件恶劣,测站稀少,利用气象卫星遥感资料对沙尘暴进行监测是一种有效的方法。卫星遥感目标物的物理基础是地物间光谱特征的差异。目前,极轨气象卫星的光谱通道大体可分为两类(见表 1):一类位于可见光波段,可接受来自目标物的反射率,用来测算下垫面的反射率;另一类位于红外波段,可接受来自目标物的热辐射。由于沙尘暴顶部与地表和云层在反照率与表层温度(TBB)上存在着差异,因而可以利用气象卫星多通道数学组合信息监测沙尘暴。图 1 是利用气象卫星热红外波段(横坐标 CH3、CH4)与可见光波段(纵坐标 CH2)制作的散点分布图。从图 1 可以看出,沙尘暴区与地表、不同高度的云层有明显的差别。

^① 基金项目:科技部沙尘暴监测技术(编号 17)和中国气象局沙尘暴监测预警服务系统工程项目

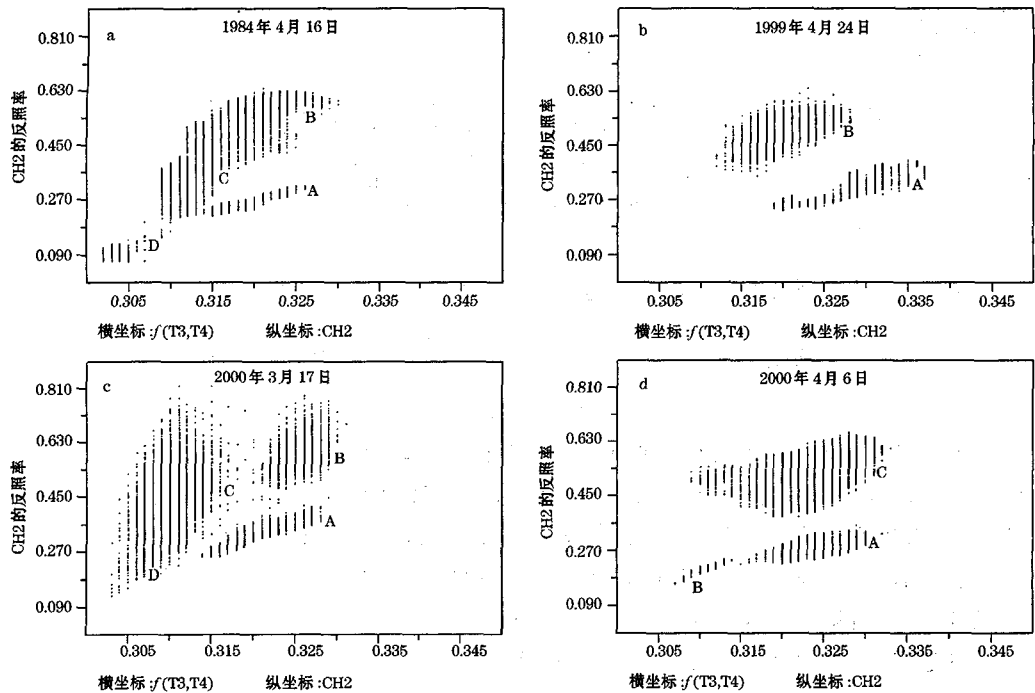


图1 3.75μm(CH3)、11.0μm(CH4)TBB差值(℃)与1.06μm(CH2)反射率的散点分布
a~c中A代表沙尘暴区、B代表高云、C代表低云、D代表地表;d中B代表渤海海面上的沙尘暴

而静止气象卫星的特点是相对静止于地球赤道某一点上空,对近三分之一地球表面的范围进行高频次观测,它们与表1中的1、2、4、5通道相似,故同样可以用来监测沙尘暴。

表1 FY-1C与NOAA可见、红外扫描辐射计的主要技术参数

通道	λ/μm		主要用途
	FY-1C	NOAA	
1	0.58~0.68	0.58~0.68	白天云、冰、雪、植被
2	0.84~0.89	0.725~1.0	白天云、植被
3	3.55~3.93	3.55~3.93	热源、晚间云
4	10.3~11.3	10.5~11.3	海温、白天/夜间云
5	11.5~12.5	11.5~12.5	海温、白天/夜间云
6	1.58~1.64	1.58~1.64	土壤湿度、云/雪判断
7	0.43~0.48		海洋水色
8	0.48~0.53		海洋水色
9	0.53~0.58		海洋水色
10	0.90~0.95		水汽

1.2 沙尘强度指数的建立

沙尘强度指数主要使用通道6(1.58~1.64μm)波段对较强沙尘暴的敏感反映和波段4(10.5~11.3μm)与波段5(11.5~

12.5μm)差值(ΔT)对较弱沙尘暴的敏感反映这两种特性,并用指数形式来表示的:

$$DDI = a \cdot e^{(b \cdot v_{1.6})} \cdot \Delta T$$

a、b为调节因子,一般取值10和0.8,由于b主要影响指数的分散和集中程度,在使用中可以不用改变。而a的取值主要影响指数数值大小,还需要在应用中进一步分析来确定最佳取值,但a在指数计算中只是起到简单权重调节作用,因此它的变化并不影响沙尘强度指数前后的一致性。v_{1.6}为CH6的反照率值,ΔT为CH4与CH5辐射差值。通过沙尘强度指数进一步可以计算沙尘暴的强度,即水平能见度。

1.3 沙尘暴强度计算

根据气象学定义,沙尘天气按强度分为浮尘、扬沙、沙尘暴和强沙尘暴,其定义标准主要依据水平能见度和风速。当水平能见度为1~10km、风速较小时为浮尘天气;水平能见度为1~10km、风速较大时为扬沙天气;水平能见度小于1km、风速很大时为沙尘暴天

气,当能见度小于0.1km为强沙尘暴。通过气象学定义分析,可以表示沙尘暴强度的定量信息只有水平能见度,其它指标都不具有定量分析的属性,因此我们在定量计算沙尘强度时主要以水平能见度为标准。

我们通过卫星遥感获取的沙尘信息主要体现沙尘在垂直方向的分布情况,为了计算沙尘强度,必需建立卫星遥感获取的沙尘垂直分布信息和地面水平能见度之间的对应关系。我们使用两年的卫星遥感资料和地面观测资料进行对比分析,利用计算得到的沙尘强度指数作为沙尘垂直分布的强度指标与水平能见度作回归分析,结果表明当能见度小于2km时,二者之间有更好的相关性,而当能见度大于2km时相关性较差,分析原因主要由于能见度的测量方法以目视为主,在测量较大能见度时误差很大,因此我们在做回归分析时只选用能见度小于2km的沙尘发生区站点。我们使用190个站点(水平能见度)资料与沙尘指数回归分析,二者相关系数为0.75,根据分析结果计算出沙尘强度指数和能见度的转换对照表(见表2),可以精确的由遥感资料定量表示沙尘暴强度。

表2 沙尘强度指数和能见度转换对照表

沙尘强度指数	水平能见度/km
1~10	>2.0
11~30	2.0~1.5
31~50	1.5~1.0
51~70	1.0~0.5
71~85	0.5~0.1
>90	<0.1

2 2002年3月18~21日强沙尘暴天气过程监测

2002年春季,与冷空气活动相伴随的大风天气频繁发生,加上1999~2001年连续3年持续少雨,气温偏高,蒸发量大,底墒不足,裸土疏松,3~4月共出现12次沙尘天气,其中11次为沙尘暴或强沙尘暴。3月18~21日是最强的一次沙尘暴过程,影响到北方十几个省、区,仅北京城区空气中的可吸入颗粒物达到 $11 \times 10^3 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$,是我国国家标准的

几十倍,沉降量达 $29 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$,总沉降量达3万吨^①。

2.1 天气形势

天气学分析表明,中国沙尘暴出现时的天气形势有两类:锋后型和锋前型^[8]。

2002年3月18~21日强沙尘暴天气过程属于锋后型。图2是2002年3月20日06 UTC的地面天气图。由图可见蒙古气旋强烈发展,气旋中心的气压值从18日初生时的1007hPa发展到20日的992hPa,两天内气旋加深了15hPa以上。锋后最大风速达到 $20 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 以上,并出现大片的沙尘暴区。

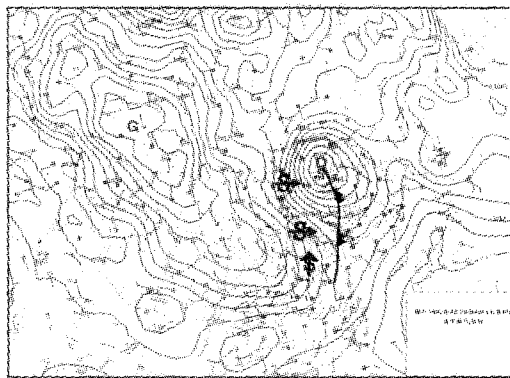


图2 2002年3月20日06 UTC地面天气图

2.2 气象卫星监测分析

2.2.1 影响范围与强度监测

极轨气象卫星多通道组合信息可以清楚地监测到沙尘影响的范围(图3,见封二)。从图上可以分析出此时刻沙尘已经影响到了蒙古国南部以及我国北纬40度以北的大部分分地区。

图4(见封二)是通过沙尘暴强度计算的结果反演得到的沙尘水平能见度分布,根据图例可以分析出,图中红色区域能见度为0.1~0.5km之间,大致位于内蒙古的浑善达克沙地到河北省北部地区,并影响到了北京北部的密云一带。另外,内蒙古东南部还有一个沙尘暴严重的地区,能见度在0.1km(红色)到1.0km(黄色)之间,并伸入到辽宁

① 据北京市环保部门监测资料

省西部与吉林省西部地区。

2.2.2 沙尘暴的影响评估

配合地理信息系统,我们可以对沙尘暴影响进行评估。图5是将卫星监测到的沙尘区与地理信息中的区域行政区划数据进行叠加得到的,可以定量地计算出此刻沙尘暴影响到的省、地、县数量以及各省受沙尘暴影响的面积(表3)。

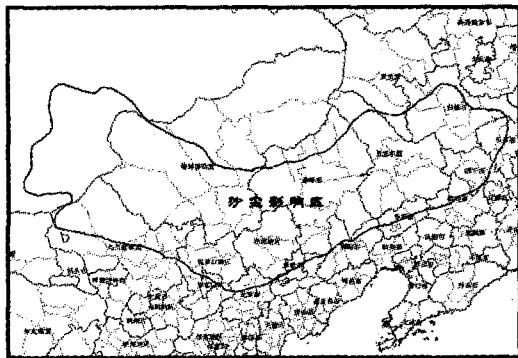


图5 沙尘影响范围与行政区划示意图

表3 沙尘影响统计表

区域名称	影响地区/个	影响县/个	影响面积/km ²
北京	1	4	4804.8
河北	4	17	51917.8
吉林	3	17	49306.13
辽宁	3	9	17579.14
内蒙古	5	35	265493.01
境外			63738.61

另外,下垫面土地利用状况很大程度上反映了区域的社会经济状况,通过分析沙尘暴对各种类型的土地影响,也可以反映出沙尘暴的影响程度。图6(见封二)是将沙尘区域与土地利用信息叠加分析,从而获得沙尘暴对各种土地利用类型的影响面积统计(表4)。

表4 沙尘对各利用类型土地影响面积

	草地/km ²	耕地/km ²	林地/km ²	荒地/km ²
北京	2338.71	677.22	1654.12	
河北	26157.02	15823.97	9836.96	3.56
吉林	14704.70	31762.11	2098.70	529.60
辽宁	2168.09	12073.98	2997.81	338.69
内蒙古	153432.81	46421.23	11363.79	53889.11

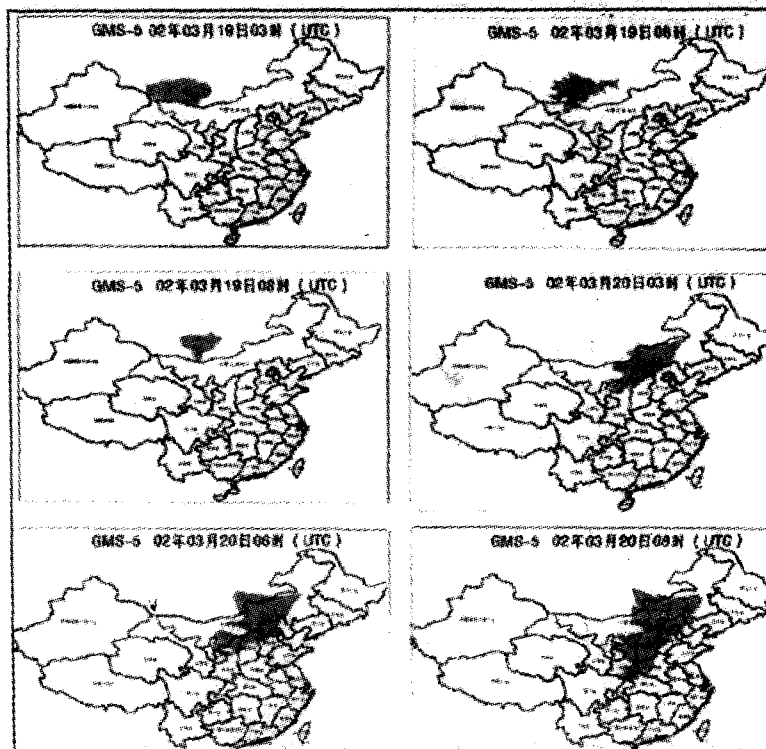


图7 2002年3月19~20日GMS-5气象卫星测得的沙尘区图(灰色区域)

以上结果,较好地反映了沙尘暴灾害影响的空间分布和在不同行政区的影响程度,同时也反映了对区域社会经济状况的影响,在防灾减灾中有重要作用。

2.2.3 源地和输送路径

由于气象卫星信息的时空分辨率较高,每小时可以提供一张沙尘暴监测图像,在监视和追踪沙尘暴的“起沙”和移动路径上起着很重要的作用。图7是2002年3月19~20日部分GMS-5气象卫星测得的沙尘区示意图。

由图7可见,这次强沙尘暴“起沙”的地区是蒙古国西南部的蒙古高原。初期的沙尘区呈团状,很少移动,基本停滞在蒙古国和我国内蒙古接壤地区。我国境内出现沙尘暴的地区仅限于河套以西的内蒙古、甘肃和宁夏地区。20日03UTC后,随着蒙古气旋的发展,沙尘区演变为东北—西南走向的带状,眼随着锋面向东南方面推移。并于20日09UTC入侵北京地区。

21日以后沙尘区(扬沙与浮尘)继续向东南方向推移,侵袭到东北大部、山东半岛,南端一直影响到长江流域中游湖北和湖南省境内,东端越海还涉及到朝鲜、韩国和日本等国。

3 结论

通过对2002年3月18~21日强沙尘暴天气过程的分析,说明利用气象卫星多通道辐射测值对沙尘暴进行监测是一种有效的手段,有利于提高预报的准确率。

同时,将遥感方法提取的沙尘暴定量参数与地理信息系统相结合,可以对沙尘暴的影响进行评估,在防灾减灾中有重要作用。

参考文献

- 1 孙军,李泽椿.西北地区沙尘暴预报方法的初步研究.气象,2001,27(1):19~24.
- 2 张存杰,宁惠芳.甘肃省近30年沙尘暴、扬沙、浮尘天气空间分布特征.气象,2002,28(3):28~32.
- 3 申红喜,李秀莲,石步鸿.北京地区两次沙尘(暴)天气过程的对比分析.气象,2004,30(2):12~16.
- 4 尤莉,程玉琴,张少文等.内蒙古赤峰地区沙尘暴发生特点及成因.气象,2004,30(5):38~41.
- 5 Carlson T N. Atmospheric turbidities in Saharan dust outbreaks as determined by analysis of Satellite brightness data. Monthly weather Review, 1979,107:322~335.
- 6 Steven A A. Using the radiative temperature difference at $3.7\mu\text{m}$ and $11\mu\text{m}$ to track dust outbreaks. Remote Sensing of Environment, 1989, 27:129~133.
- 7 Zheng Xinjiang, Lu Feng et al. A study of dust storms in China using satellite data. Proceeding of SPIE, 1998, 3501:163~168.
- 8 郑新江. 沙尘天气的云图特征分析. 气象,1995,21(2):27~31.

Monitoring of 18—21 March 2002 Severe Duststorm

Zheng Xingjiang¹ Xu Zhe¹ Luo Jingning¹ Zou Shufeng²

(1. National Satellite Meteorological Center, Beijing 100081; 2. Meteorological Center of Shandong Province)

Abstract

The theory and method of duststorm monitoring by using NOAA, FY-1C, GMS-5 and FY-2B satellite, the calculation of the DDI, and the application of GIS technology are discussed. Multi-channel information of meteorological satellite was used in monitoring the severe sandstorm event occurred on 18—21 March 2002. The origin area, track of transportation and the affected area of the sandstorm are investigated.

Key Words: satellite duststorm monitor

《2002年3月18~21日强沙尘暴天气过程的监测》附图

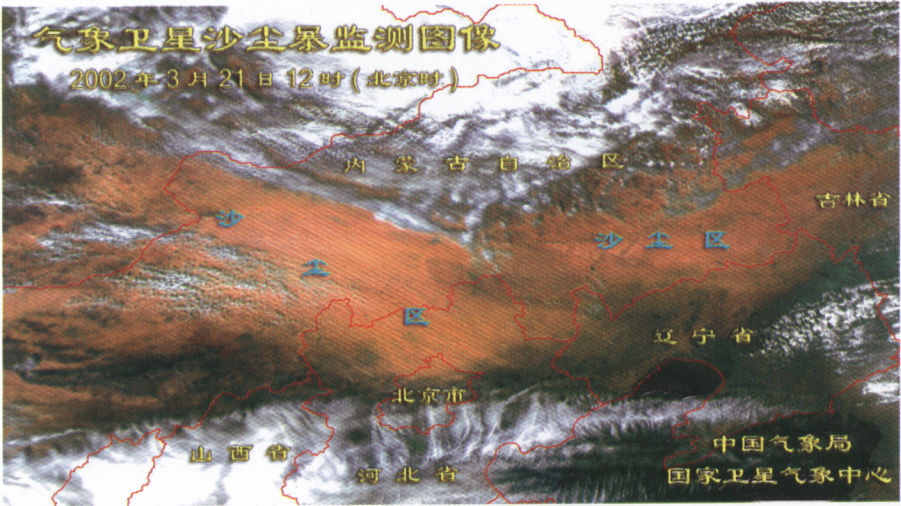


图3 2002年3月21日04UTC 气象卫星沙尘暴监测图像

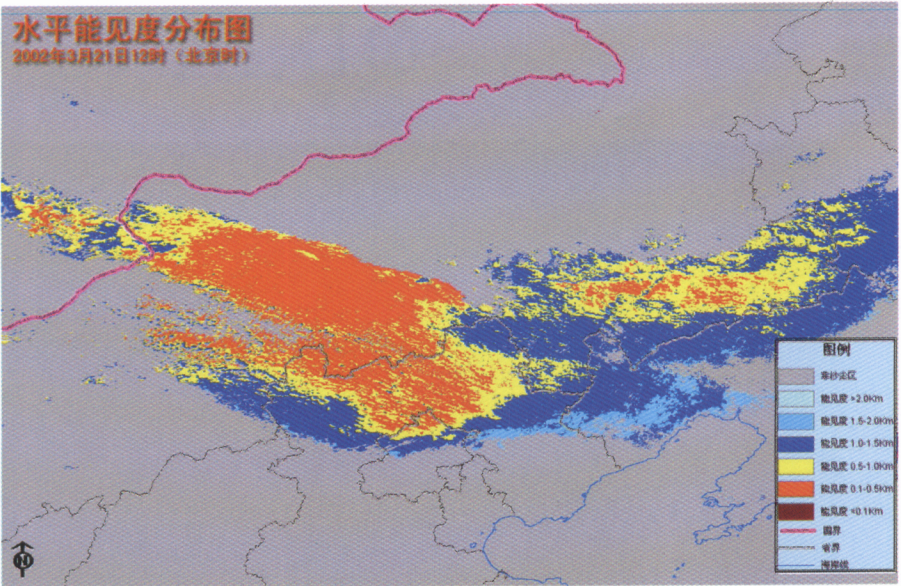


图4 2002年3月21日04UTC 水平能见度分布图

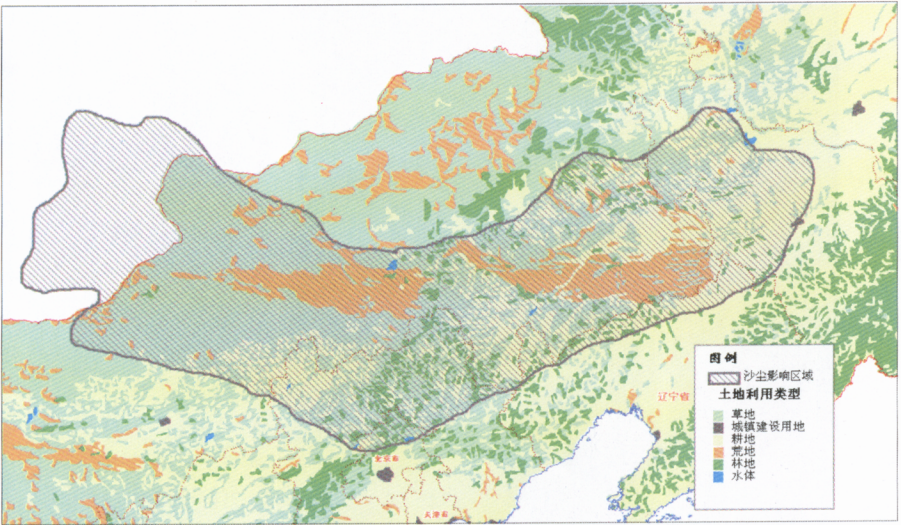


图6 沙尘影响范围与土地利用示意图