

基于 Terra/MODIS 的沙尘暴 业务化遥感监测研究

厉青,王桥,王文杰,何利民,王昌佐
(国家环境保护总局环境卫星中心筹备办公室,北京 100029)

摘要:探讨了以 MODIS 为数据源进行沙尘暴监测的业务化技术流程及方法。以 2003 年 4 月 9~11 日连续发生在我国西北部特大沙尘暴为例,进行了沙尘信息提取及等级划分的示例研究,并与已经业务化运行的气象卫星(NOAA-16、风云 1C 气象卫星)的结果进行了相关比较。结果表明,该研究为卫星遥感监测沙尘提供了新的数据源和监测途径。

关键词:EOS-Terra/MODIS;沙尘暴;遥感监测

中图分类号:TP 79:P 445+.4 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-070X(2006)01-0043-03

0 引言

沙尘暴是一种破坏力很强的气象灾害。我国沙尘暴主要集中在北方地区,以西北地区为最多,范围包括新疆、甘肃、宁夏以及内蒙西部等干旱区^[1,2]。沙尘暴具有在特定时间内发生频率较高,发生范围较广的特点,而沙尘暴的源头区(如我国的西北)因气象台站稀少,设备比较落后,雷达、探空和自动气象站较少,而不能完全满足沙尘监测的需求。卫星遥感以其周期短和区域监测的优势,可以弥补常规沙尘暴监测的不足,用来进行沙尘的发生及发展过程的监测并辅助沙尘暴的灾情评估。

国外对沙尘暴的遥感监测研究始于 20 世纪 80 年代的 NOAA/AVHRR 传感器^[3]。目前的遥感监测主要利用静止气象卫星(GMS/VISSR)和极轨气象卫星(NOAA/AVHRR、FY-2 1C/MVIR)两大卫星遥感系列数据。MVIR 和 AVHRR 数据空间分辨率是 1.1 km,高于静止气象卫星分辨率(1.25~4 km),扫描宽度为 2 300~2 800 km,如时机恰当,则可较好地用于沙尘暴信息的提取。GMS/VISSR 的优势在于它的时间分辨率高,可弥补极轨卫星在这方面的不足,对于持续时间较短的沙尘暴过程的监测很有利^[4]。

Terra 星上搭载的 MODIS 传感器在继承了 NOAA/

AVHRR 功能的同时,把数据分辨率提高到了 0.25~1 km,波段数增加到 36 个,可以作为沙尘暴遥感监测的另一主要信息源。它的应用为沙尘暴遥感监测提供了另一重要数据源。

1 技术流程与方法

1.1 技术流程

Terra/MODIS 沙尘暴遥感监测业务化技术流程如图 1 所示。

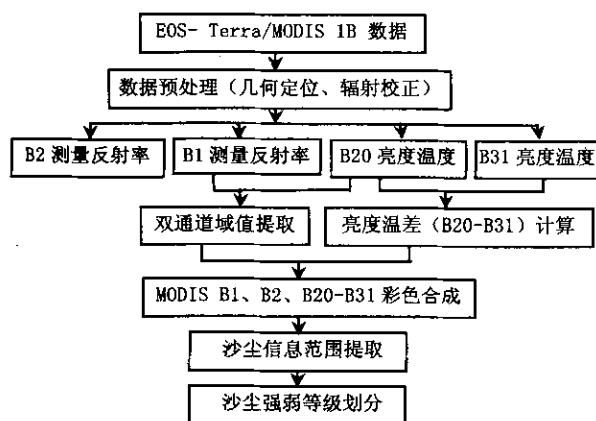


图1 MODIS 1B 提取沙尘暴信息业务化流程

1.2 技术方法

1.2.1 数据预处理

从地面接收站获取的 Terra/MODIS 数据,一般

是 MODIS 1B 产品 ,需要进行适当的预处理(图 1) ,才能进行沙尘信息的提取。MODIS 1B 各波段的对地观测数据集都是以仪器定标后得到的 16 位整型数存放的 ,地理坐标信息包含在 HDF 文件中的 longitude 和 latitude 属性中。数据的几何定位可利用相关软件 ,如 ENVI 4.0 的 Georeference MODIS 1B 来完成。辐射校正系数由 HDF 中的相应属性提供 ,研究中处理的 2003 年 4 月 8 ~ 11 日数据的相关辐射校正系数由 HDF 文件中获取 ,有关系数见表 1。

表 1 EOS - Terra/MODIS 数据预处理辐射校正参数					
时间		2003 - 04 - 08	2003 - 04 - 09	2003 - 04 - 10	2003 - 04 - 11
B1	增益	5.298×10^{-5}	5.301×10^{-5}	5.355×10^{-5}	5.307×10^{-5}
	偏移	0.0	0.0	316.97	0.0
B2	增益	3.283×10^{-5}	3.285×10^{-5}	3.319×10^{-5}	3.289×10^{-5}
	偏移	0.0	0.0	316.97	0.0
B20	增益	6.262×10^{-5}			
	偏移	2.730×10^3			
B31	增益	8.4002×10^{-4}			
	偏移	1.577×10^3			

对于可见光 1、2 波段 ,反射率转换公式为
 $R = reflectance_scaleB(DN - reflectance - offsetB)$ (1)
对于波段 20、31 辐亮度的转换公式为
 $L = radiance_scaleB(DN - radiance_offsetB)$ (2)

式中 ,DN 为某波段像元的计数值 ; radiance _ scaleB、reflectance _ scaleB、reflectance _ offsetB 和 radiance _ offsetB 分别为校正的增益和偏移系数。

由辐亮度转换为亮度温度公式为

$$L = \frac{2hc^2\lambda^{-5}}{[e^{\frac{hc}{k\lambda T}} - 1]} \tag{3}$$
$$T = \left[\frac{hc}{k\lambda} \right] \frac{1}{\ln[2hc^2\lambda^{-5}L^{-1} + 1]} = \frac{14.39474 \times 10^3}{\lambda \ln(\frac{119.109 \times 10^6}{\lambda^5 L} + 1)} \tag{4}$$

式中 ,L 为黑体的光谱辐射亮度($W \cdot m^{-2} \cdot Sr^{-1} \cdot \mu m^{-1}$); T 为黑体的绝对温度(K); c 为光速 $2.998 \times 10^8 (m \cdot s^{-1})$; λ 为波长(μm); h 为普朗克常数 $6.626 \times 10^{-34} (J \cdot s)$; k 为波尔兹曼常数 $1.380 \times 10^{-23} (J \cdot K^{-1})$ 。

1.2.2 沙尘暴信息提取

沙尘在可见光、中红外和远红外波段的光谱特性与下垫面背景和云的差异性 是卫星遥感进行沙尘暴监测的理论基础。^[5] 国外对沙尘暴的遥感监测方法进行了大量研究 ,基本上都是使用气象卫星数据。监测方法可以概括为单通道数据监测和多通道

组合监测 2 大类方法^[6]。

MODIS 36 个通道按波长分可见光、近红外、中红外和热红外 4 大类。综合利用可见光通道 B1(0.620 ~ 0.670 μm) ,发射通道 B31(10.78 ~ 11.28 μm)、B32(11.77 ~ 12.27 μm) 以及探测既有反射又有发射辐射的通道 B20(3.66 ~ 3.84 μm) ,就可以监测沙尘暴的发生状况。通过研究 MODIS 的 36 个通道特征和对相关沙尘暴发生时的 MODIS 数据处理实验 ,在分析研究上述已有传感器监测沙尘经验的基础上得知 :单通道法和双通道法干扰因素太多 ,且量化程度不高 ,很难从一景图像中较好地区分出沙尘、下垫面和云。

本文提出了一种适合于沙尘暴业务化监测的多通道信息提取方法 ,即基于双通道域值的叠加分析法。这种方法首先通过中红外及可见光域值法提取出包含沙尘区的大致区域 ,然后利用像元叠加分析法 ,把已提取的沙尘大致区域与 B1、B2、B20 - B31 彩色合成图的像元叠加分析 ,去除碎云和地表高亮目标 ,从而可以得到较精确的沙尘分布范围。B1 的域值取 0.16 ~ 0.4 ,因为云的表现反射率比沙尘暴要高 ,一般都大于 0.4 ,而下垫面地表在 B1 的表现反射率一般小于 0.16 ; B20 的域值取 308 ~ 325 K ,这个区间介于云及下垫面的亮温之间。

1.2.3 沙尘暴强度等级划分

MODIS 短波红外通道 3.75 μm 波段处 ,因包含沙尘粒子本身的发射辐射和它对太阳辐射的后向散射辐射而对扬沙直至强沙尘暴天气反映相当敏感 ,而长波红外通道 11.03 μm 处只具有包含本身的发射辐射特点。因此 ,在已知沙尘区域内 ,可以通过 B20 和 B31 的亮温差值大小来进行沙尘暴强度等级的划分。

沙尘发生区的 B20 和 B31 亮温差值一般在 16 ~ 65 K 之间。在上述方法得到沙尘暴发生区的基础上 ,利用 B20 和 B31 的亮度温差 ,基于密度分割法 ,把沙尘区的沙尘暴分为 3 个级别(表 2)。

表 2 沙尘暴等级划分		
等级	亮温差/K	显示模式
1	16 ~ 23	红
2	23 ~ 30	蓝
3	30 ~ 65	黄

2 应用实例

基于上述技术流程和方法对 2003 年 4 月 9 ~ 11

日发生在我国西北大部分地区沙尘暴信息进行了提取,并进行了等级划分,得到了等级密度图。与相应的 NOAA-16 及 FY-2 C 结果(如插页彩片 11、13、15)进行了比较,沙尘暴发生区域及等级强度如插页彩片 10、12 和 14 所示。通过与 NOAA-16 及 FY-2 C 已经业务化运行的沙尘暴监测卫星相比,基于 Terra/MODIS 的沙尘暴信息提取范围基本上与已有的这些资料吻合。极轨气象卫星 NOAA/AVHRR 数据、FY-2 1C/MVISR 采用的监测方法通常是单、双通道结合法^[6],一般采用中红外与热红外的亮温差再结合红外通道进行,可以排除云信息对沙尘信息提取干扰。

本文使用的方法不仅可以排除云的干扰,还可以排除亮地表的干扰。不过,在域值的确定方面,有一定的不确定性,需根据图像的具体特征来定。

3 结论与讨论

(1)利用 EOS-Terra/MODIS 数据开展沙尘暴的业务监测是可行的。但在具体应用时,会遇到由于沙尘暴的顶端与某些低云的高温度很接近而难以区分的现象,这时通常要从反射率的不同上来判识(云的反射率远远大于地表和沙尘);还会遇到沙尘暴与裸露的地表(沙地)由于在反射率上很接近而难以区分的现象,可从二者在亮度温度上的明显差别来判识;还会遇到反射率和亮温与沙尘暴都比较接

近的碎云及高亮地表,可用多通道彩色合成叠加分析比较法来识别。MODIS 多通道方法的应用,可有效提取沙尘暴信息。基于双通道域值的叠加分析法可以作为业务化监测沙尘的主要方法。

(2)2003 年 4 月 8~11 日发生在我国西北部连续 4 d 的沙尘暴信息提取和强度划分结果和已有业务化运行的 NOAA-16 及 FY-1 C 的结果基本吻合,表明 Terra/MODIS 以其波段多、空间分辨率高的优势,可以作为沙尘暴监测的又一重要数据源。

(3)在利用 MODIS 进行沙尘动态监测中,天气影响是制约因素,可以进一步以卫星云图及其它天气要素等为辅助信息,结合天气的变化,对沙尘暴的发生发展状况进行预测研究。

参考文献

- [1] 范一大,史培军,王秀山,等. 中国北方典型沙尘暴的遥感分析[J]. 地球科学进展, 2002, 17(2): 289-293.
- [2] 范一大,史培军,潘耀忠. 基于 NOAA/AVHRR 数据的区域沙尘暴强度监测[J]. 自然灾害学报, 2001, 10(4): 46-51.
- [3] 邱金桓,孙金辉. 沙尘暴的光学遥感与分析[J]. 大气科学, 1994, 18(1): 1-10.
- [4] 魏丽,沈志宝. 大气沙尘辐射特性的卫星观测[J]. 高原气象, 1998, 17(4): 347-355.
- [5] 江吉喜. 一次特大沙尘暴成因原卫星云图分析[J]. 应用气象学报, 1995, 6(2): 177-186.
- [6] 方宗义,张运刚,郑新江. 用气象卫星遥感监测沙尘暴的方法和初步结果[J]. 第四纪研究, 2001, 21(1): 48-55.
- [7] 范一大,史培军,罗敬宁. 沙尘暴卫星遥感研究进展[J]. 地球科学进展, 2003, 18(3): 367-373.
- [8] 吴晓京,陆均天,张晓虎. 2001 年春季沙尘天气分析[J]. 国土资源遥感, 2001(3): 51-55.

THE APPLICATION OF THE OPERATIONAL SANDSTORM MONITORING BASED ON TERRA/MODIS

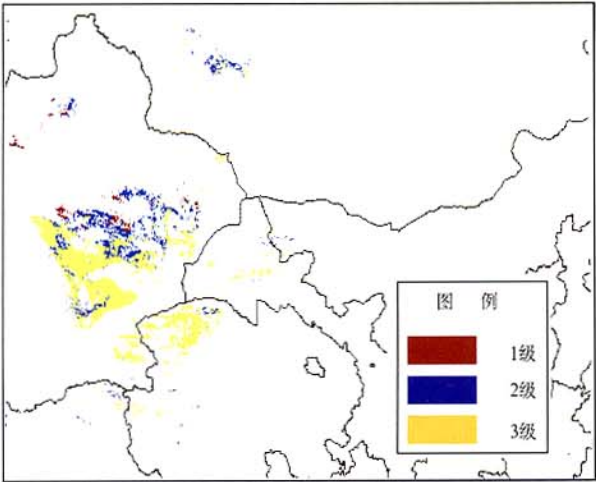
LI Qing, WANG Qiao, WANG Wen-jie, HE Li-min, WANG Chang-zuo

(Preparing Office for the Environmental Satellite Center of State Environmental Protection Administration, Beijing 100029, China)

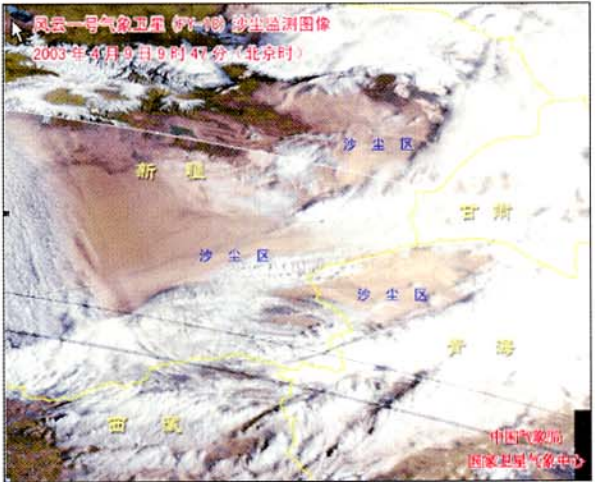
Abstract: With its 36 bands, Terra/MODIS has been widely used in atmosphere, water and land field monitoring. This paper deals with the operational method and technological process of sandstorm monitoring. It is pointed out that the addition of the analytical means based on two band bounds limits can be used as the operational method and that the technological process includes data preprocessing, information selection, grade classification, and comprehensive analysis. On the basis of the technological process and the method, sandstorm monitoring from April 8 to 11 in 2003 were carried out. The comparison between the result from NOAA-16 and that from FY-1C reveals its good effect. This research enriches the means of sandstorm monitoring and provides another data source and method for such monitoring, and hence the result obtained has operational potential.

Key words: EOS-Terra/MODIS; Sandstorm; Remote sensing monitoring

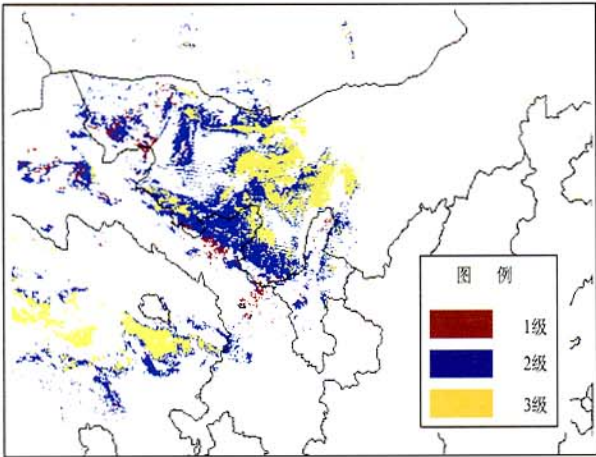
第一作者简介:厉青(1970-),女,工程师,主要从事环境遥感应用研究。



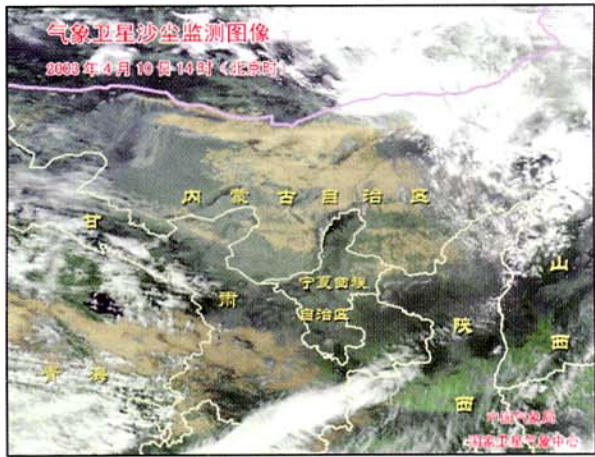
彩片10 2003年4月9日沙尘暴范围及强度等级



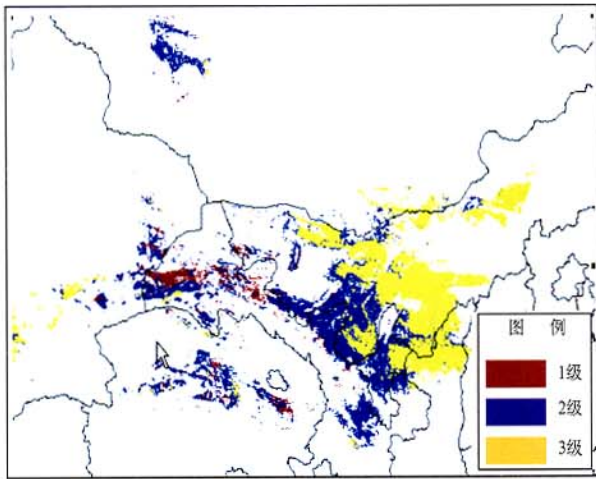
彩片11 2003年4月9日FY-1C沙尘暴监测范围(褐色)



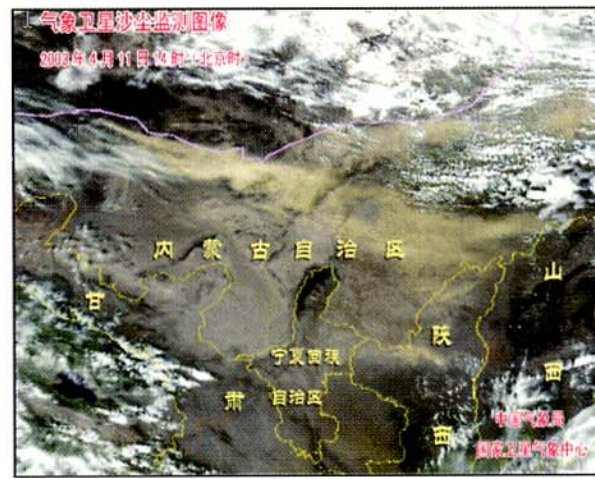
彩片12 2003年4月10日沙尘暴范围及强度等级



彩片13 2003年4月10日NOAA-16沙尘暴监测范围(黄色)



彩片14 2003年4月11日沙尘暴范围及强度等级



彩片15 2003年4月11日NOAA-16沙尘暴监测范围(黄色)