

沙尘暴 EOS/MODIS 监测指数模型

肖继东¹, 汪溪远², 陈爱京¹

(1 新疆气象局遥感中心, 新疆 乌鲁木齐 830002; 2 新疆大学, 新疆 乌鲁木齐 830001)

摘要: 利用 EOS/MODIS 数据, 采用最佳波段组合指数法和方差-协方差矩阵特征值法, 从 36 个 MODIS 波段中筛选出用于沙尘暴图像最佳彩色合成增强的最佳组合波段。在敏感性差异分析的基础上应用波段数学组合的方法建立了沙尘暴判识的条件; 构建了提取沙尘暴区域范围和强度等级信息的沙尘暴卫星遥感监测指数 SVI(Sand storm value index), 利用指数 SVI 值的大小对沙尘暴进行了等级的定级和分类。

关键词: 沙尘暴 MODIS 遥感

中图分类号: P425.5.5

文献标识码: A

文章编号: 1000-6060(2007)06-0902-05(902~906)

随着遥感技术的发展和 GIS 技术的不断进步, 遥感手段越来越成为人们研究大尺度自然变化的重要手段之一。20 世纪 70 年代, 国外就开展了利用卫星遥感技术监测沙尘暴的研究, 如 Griggs, Shenk 和 Curran 等利用卫星的可见光与红外波段监测沙尘, Carlson 利用卫星观测的亮度资料研究撒哈拉地区沙尘的爆发机制, Norton 等利用静止气象卫星在可见光波段的观测资料监测海洋上空沙尘暴的传输情况, Steven 利用 3.7 μm 和 11 μm 的辐射亮温差来监测沙尘暴的移动路径。我国在沙尘暴遥感监测方法的研究与应用方面的工作从 20 世纪 80 年代末开始明显增加, 尤其是近几年更是受到高度的关注, 可以说已成为目前的研究热点^[1-9]。

遥感特别是卫星遥感资料在综合观测系统中的作用越来越大。尽管卫星遥感探测上还存在理论上的问题, 需要深入研究, 但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, 还有许多局限性。环保部门仅在各地区级和少数特设点进行观测, 观测资料有天气现象和能见度, 观测内容主要有强度、浓度、组成成分、降尘量等项目。在西部广大地区的范围内, 各监测台站设置稀疏, 尤其在沙尘暴发生的源区-沙漠、荒漠地带, 人口稀少, 监测站点更少。对造成严重灾害的强沙尘暴过程, 常规资料还难以

跟踪其源地、移动路径和强度变化。由于常规地面观测资料对沙尘暴监测有很大的局限性, 所以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。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的不足。极轨气象卫星和 EOS 系列卫星均可以双星或多星组网, 它们的星载传感器具有从可见光到远红外的多个探测波段(通道), 探测数据包含了丰富的大气和下垫面信息, 可以将沙尘区域与云、积雪及有关地物区分开来, 同时其监测周期短、视野宽阔, 为遥感观测沙尘暴提供了更先进的手段。

1 数据处理和分析

在对问题的处理过程中, 总是希望能简化问题的复杂性。由于沙尘暴的发生总是伴随一定的天气过程, 大范围的天气过程会给遥感识别分析沙尘暴带来困难。为了从大幅面观测的遥感影像中提取出沙尘暴的信息, 本文设计的处理步骤是: 首先通过彩色合成法确定沙尘暴发生的区域, 其次通过分析特

收稿日期: 2006-11-12; 修订日期: 2007-04-11

基金项目: 西部五省区气候变化与生态环境评估业务系统(QY20070103 专项)

作者简介: 肖继东(1961-), 男, 湖北丹江口人, 高级工程师, 主要从事生态环境、自然灾害、特色农业遥感监测与评价研究。

E-mail: xjd_xj@126.com

定发生区域内的影像确定识别方法,最后通过对识别出的区域分析确定沙尘暴的定级分类。

1.1 MODIS 沙尘暴图像最佳彩色合成组合波段的筛选

针对多光谱遥感数据,如何选择合适的光谱波段组合来合成彩色增强图,是能否从众多地物类型中分离出所需要的特定地物信息的关键。彩色增强处理中最主要的工作是选择哪 3 个波段或已处理的分量(如比值影像、差值影像、主成分影像等)作为假彩色合成的分量。最佳假彩色合成变量的选择依赖于对遥感影像特征的分析。一般有以下几种方法:信息量分析,影像统计特征分析,波段间相关系数分析,最佳波段组合指数法,方差-协方差矩阵特征值法,主成分分析,多维亮度重叠指数法^[10-13]。

MODIS 有 36 个波段,要从 38 个波段的 7 140 种 3 波段组合中筛选出最佳的组合是很困难的。所以选择了应用最佳波段组合指数法和方差-协方差矩阵特征值法来挑选出合适的波段组合。根据资料,应用 MODIS 数据的沙尘暴彩色增强的波段组合种类有 4 种,分别是(1,4,3)组合、(1,15,20)组合、(1,2,29)组合和(1,15,29)组合^[14-17]。对以上的波段组合,以及其他所有可能的组合作一个筛选评价从中找出最佳的组合,本文使用了最佳波段组合指数法(*OIF*法):该方法是 Chavez(1982)提出的,即用 3 个波段的标准差及两两之间的相关系数计算一个最佳指数因子(optimum index factor, *OIF*):

$$OIF = \frac{3}{\sum_{i=1}^3 S_i} / \sum_{j=1}^3 |r_{ij}| \quad (1)$$

式中: S_i 为 i 波段的标准差, r_{ij} 是第 i 波段与第 j 波段之间的相关系数。在众多的组合中,*OIF* 越大,说明此 3 个波段包含的信息量越大,波段间的相关性越小。因此,可选用最佳指数因子 *OIF* 最高的作为最佳组合。

应用统计方法对 2004 年 11 月 24 日的 MODIS 影像图(见图 1)进行了分析,计算了全部 36 波段的统计数值,得到包括最小值、最大值、平均值,方差,协方差矩阵,相关矩阵和特征值数据(本文利用 ENVI 4.0 中的统计计算模块来计算上述统计量)。根据 MODIS 波段的设置用途,以及对统计数据进行分析认为 10 到 16 和 26 波段所含对沙尘暴有效的信息量很少,不能用来做假彩色合成分量,而其它各波段都含有或多或少的沙尘暴有效信息量。根据彩色合

成变量选择理论、文献记录和以往试验研究的经验,将波段间具有很高相关性的以及含有较少信息的 5,6,9,17,19,21,22,24,25,27,28,30,31,33,34,35,36 波段剔除,简化研究内容。对剩下的 1 至 4,7,8,18,20,23,29,32 一共 11 个波段分析运算。在这 11 个波段中,3 个波段的组合数总共有 165 种。

根据以上分析,结合最佳波段组合指数法的原理,计算得出了 1,2,3,4,7,8,18,20,23,29,32 间 3 波段组合的 165 个 *OIF* 值。经过分析对比这些波段组合的 *OIF* 值发现最大 *OIF* 值波段组合为 3-7-20(*OIF* 指数),20 波段所处的 3.7 μm 光谱处,已经证明是对沙尘比较敏感的波段。进一步分析 *OIF* 值较高的前三十种波段组合,可以得出这些波段组合都有一个可见光波段和两个不同波上红外波段组成。为了能够证明所选组合的普遍性,选择了 2005 年 4 月 5 日的影像进行合成显示分析。图像显示的结果表明,最佳的波段组合是:1-20-29。在这种组合图像中沙尘区为黄色,云为绿色,陆地为蓝色,沙漠为红色,分类结果图像见图 2。为了尽量使显示的图像符合人观察的习惯,做了 RGB 通道的导入选择。显示时沙尘区的颜色是黄色,因而设定 20 波段位 R 通道;1 波段为 G 通道;29 波段为 B 通道。

1.2 沙尘暴的判识条件

在实现了对原始图像初步分类的基础上,为了确定影像上各种地物的在不同波段的光谱 DN(Digital Number)值的变化,根据遥感地物光谱特征分析理论,首先选取典型地物,如云、地面、沙地、沙尘暴区等,其次对这些不同类型地物统计它们的各波段均值,然后对比不同地物间的光谱差异。

沙尘暴信息提取的首要问题就是找到能够将其从众多地物类型中分离出来的判识条件。为了将沙尘暴信息从其它地物中凸显出来,就需要建立判别条件将地面类别和云类别尽可能排除。根据前人经验和对光谱特征值的分析,单通道信息在判别沙尘暴信息时比较困难,而应用多通道信息组合来判别沙尘暴信息可以获得较好的效果。本文应用了波段间的代数运算来建立沙尘暴的判识条件。运算的目标是将属于云和地面的像元值尽量减小,同时保持或增大沙尘暴的像元值,所以选用波段间的差值运算来达到这个目的(本文使用 ENVI 4.0 中提供的计算工具)。在对多幅影像采用光谱特征值分析后得出:在反射率波段云和沙尘暴、地物类型的敏感性

波段不相同,而且部分波段还呈反向变化。这样通过波段差值计算就能很好的区分出云类别。经过反复试验研究,总结出以 $B_{17} - B_8$ 、 $B_{23} - B_{32}$ 和 $B_6 - B_2$ (B_{xx} 表示波段号位 XX 的反照率或亮温值,下同) 组合构成判识条件。将选取波段组合导入到 $R(B_6 - B_2)$ 、 $G(B_{23} - B_{32})$ 、 $B(B_{17} - B_8)$ 假彩色合成增强中显示,能清晰的看到黄白色的沙尘暴区域,而且亮度越高,表明沙尘暴越强。用光谱特征值的分析方法,提取不同地物类型的光谱特征值进行分析,可利用 $(B_{17} - B_8)/(B_6 - B_2)$ 和 $(B_{23} - B_{32})/(B_{17} - B_8)$ 的值的大小作为沙尘暴的判断依据。用以上两个比值的合成彩色图像,分析了图像的剖面线的数值变化,再结合影像分析,可以得出沙尘暴的判识条件:(a) $1 \leq (B_{17} - B_8)/(B_6 - B_2) < 10$; (b) $1 \leq (B_{23} - B_{32})/(B_{17} - B_8) \leq 1.6$; (c) $(B_{17} - B_8)/(B_6 - B_2) > (B_{23} - B_{32})/(B_{17} - B_8)$ 。通过实际应用得到了较为满意的结果。分类图像见图 3。

1.3 沙尘暴区域的定级、分类

确定了沙尘暴的判识条件,就能将沙尘暴的范围划分出来,如上图。而怎样表现沙尘暴的强度就是提取沙尘信息的另一个关键问题。从上面的两个比值判别条件中可以发现判别条件 $(B_{17} - B_8)/(B_6 - B_2)$ 的比值适合用来表现沙尘暴的强弱等级 - 沙尘暴信息指数 (SVI, Sand Storm Value Index), 这是一个无量纲的数值,仅表现沙尘暴的强弱,而与其它定量信息无关。

$$SVI = (B_{17} - B_8)/(B_6 - B_2) \quad (2)$$

式中: SVI 是沙尘暴信息指数, B_{XX} 表示波段号位 XX 的反照率或亮温。由于条件 $1 \leq (B_{17} - B_8)/(B_6 - B_2) < 10$, 在取值时就已经规定了范围,所以将 SVI 值数的等级,按 2 的步长均匀的划分成五个等级。即 1 级: $1 \leq SVI < 2$; 2 级: $2 \leq SVI < 4$; 3 级: $4 \leq SVI < 6$; 4 级: $6 \leq SVI < 8$; 5 级: $8 \leq SVI \leq 10$; 得出沙尘暴的等级图。 SVI 一级表示弱沙尘暴, SVI 二级表示中等强度沙尘暴, 三级表示强沙尘暴, SVI 四级、五级表示沙尘暴的边界区(图 4, 图 5)。

2 结果与讨论

本文研究的核心是基于 MODIS 数据提取沙尘暴信息的方法模式,即从各种地物类型中将沙尘暴

范围、等级、强度分布信息分离、提取出来的技术方法流程。

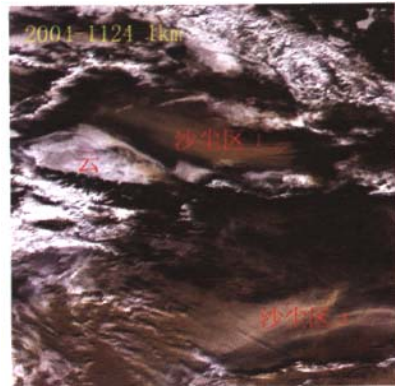


图1 2004年11月24日RGB彩色增强合成图 (B_1 、 B_4 、 B_3)
Fig.1 RGB color strengthened synthetic image on Nov 24,2004(B_1, B_4, B_3)

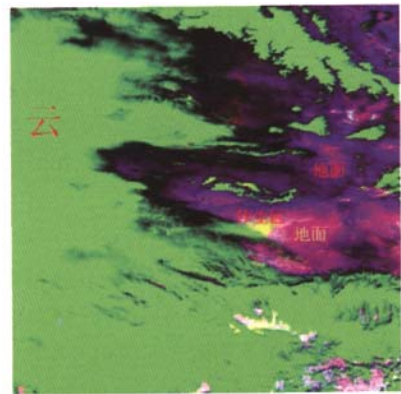


图2a 2005年4月5日RGB彩色增强合成图 (B_{20} 、 B_1 、 B_{29})
Fig.2a RGB color strengthened synthetic image on Apr 5,2005(B_{20}, B_1, B_{29})

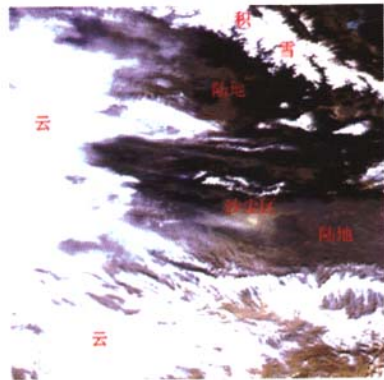


图2b 2005年4月5日RGB彩色增强合成图 (B_1 、 B_4 、 B_3)
Fig.2b RGB color strengthened synthetic image on Apr 5,2005(B_1, B_4, B_3)



图3 分类后的结果图

Fig.3 Result after classification

注: 图中黑色的部分表示为非沙尘暴类, 图中零散的亮斑为图像噪音

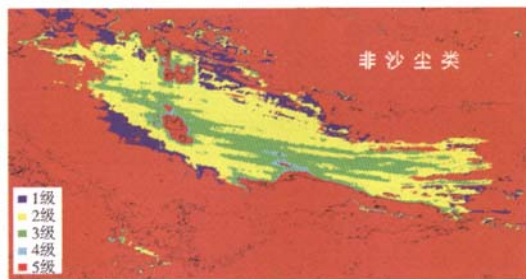


图4 SVI等级图

Fig.4 SVI grade

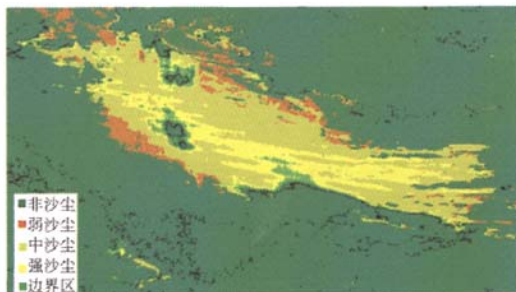


图5 SVI分类图

Fig.5 SVI Classification

首先,采用 OIF 指数方法和方差-协方差矩阵特征值法联合,筛选最佳的波段组合,为 (B_{20}, B_1, B_{29}) ,在显示图像时提高了对沙尘的识别能力。

其次,通过提取光谱特征值的方法寻找合适的波段代数组合来提取沙尘暴信息,找到了能用于判断沙尘暴的条件: $1 \leq (B_{17} - B_8) / (B_6 - B_2) < 10$; $1 \leq (B_{23} - B_{32}) / (B_{17} - B_8) \leq 1.6$; $(B_{17} - B_8) / (B_6 - B_2) > (B_{23} - B_{32}) / (B_{17} - B_8)$ 。经过对多幅不同沙尘暴影像的应用试验,证明这些条件具有一定的普适性。

其后,构建了沙尘暴信息指数(SVI),并依据沙

尘暴信息指数(SVI)值的大小对沙尘暴进行了等级的定级和分类。通过多幅沙尘暴影像图上的应用,证明沙尘暴信息指数可以反映沙尘暴的浓度信息,达到了提取信息的目的。通过与地面实测数据的比较,表明该方法提取出来的沙尘暴信息符合实际情况,是可行可信的。

参考文献 (References)

- [1] Fang Zongyi, Zhu Fukang, et al. Studies on sand dust storms in China[M]. Beijing: Meteorology Press, 1997, 1: 147 - 154. [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: 147 - 154.]
- [2] Li Hu, Xiao Jidong. The monitoring for sand-storm in centre of Taklamagan desert by using remote sensing[J]. Journal of Xinjiang Agricultural University, 1999, 22(3): 219 - 223. [李虎, 肖继东. 塔克拉玛干沙漠腹地沙尘暴的遥感监测[J]. 新疆农业大学学报, 1999, 22(3): 219 - 223.]
- [3] Xiao Jidong. Analysis of satellite images types of sandstorm in Xinjiang[J]. Arid Land Geography, 2001, 12, 24(supplement): 33 - 36. [肖继东. 新疆沙尘暴天气卫星云图类型分析[J]. 干旱区地理, 2001, 12, 24(增刊): 33 - 36.]
- [4] Wan Xu, Ma Yu, Chen Hongwu. Climatic characteristics of sand storm in Xinjiang[J]. Journal of Desert Research, 2003, 9, 23(5): 539 - 544. [王旭, 马禹, 陈洪武. 新疆沙尘暴天气的气候特征[J]. 中国沙漠, 2003, 9, 23(5): 539 - 544.]
- [5] Wan Wei, Fang Zongyi. Review of dust storm weather and research progress[J]. Journal of Applied Meteorological Science, 2004, 15(3): 366 - 381. [王炜, 方宗义. 沙尘暴天气及其研究进展综述[J]. 应用气象学报, 2004, 15(3): 366 - 381.]
- [6] Fan Yida, Shi Peijun, Luo Jingning. Advances in studying dust storm using remote sensing[J]. Advance In Earth Sciences, 2003, 6, 18(3): 367 - 373. [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, 6, 18(3): 367 - 373.]
- [7] Hu Xiuqing, Lu Naimeng, Qiu Hong, et al. Dust storm monitoring using geostationary meteorological satellites[J]. Climatic and Environmental Research, 2003, 3, 8(1): 101 - 106. [胡秀清, 卢乃锰, 邱红, 等. 利用静止气象卫星监测沙尘暴[J]. 气候与环境研究, 2003, 3, 8(1): 101 - 106.]
- [8] Gao Qingxian, Ren Zhehai, Zhan Yungang, et al. Dust event and its formation, development and transportation based on satellite data[J]. Resources Science, 2004, 9, 26(5): 24 - 29. [高庆先, 任阵海, 张运刚, 等. 利用静止卫星资料跟踪沙尘天气的发生、发展及其传输[J]. 资源科学, 2004, 9, 26(5): 24 - 29.]
- [9] Shi Qingdong, Xiao Jidong, Pan Xiaoling, et al. Study on the change of vegetation coverage in Xinjing since recent 20 Years

- [J]. *Arid Zone Research*, 2004, 12, 21(4): 389-394. [师庆东, 肖继东, 潘晓玲, 等. 近 20 a 来新疆植被覆盖变化特征研究[J]. *干旱区研究*, 2004, 12, 21(4): 389-394.]
- [10] Fan Yida, Shi Peijun, Pan Yaozhong, et al. Monitoring the intensity of regional dust storm using NOAA/AVHRR data[J]. *Journal of Natural Disasters*, 2001, 10(4): 46-51. [范一大, 史培军, 潘耀忠, 等. 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.]
- [11] Luo Jingning, Fan Yida, Shi Peijun, Lu Wenjie, Zhou Junhua. Information comparable method of monitoring the intensity of dust storm by multisource data of remote sensing[J]. *Journal of Natural Disasters*, 2003, 5, 112(2): 28-34. [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, 5, 112(2): 28-34.]
- [12] Zhang Jie, Guo Ni. Study on monitoring sand storm intensity in spring by using NOAA-14 satellite data[J]. *Remote Sensing Technology and Application*, 2002, 12, 17(6): 290-292. [张杰, 郭妮. 春季沙尘暴强度的 NOAA-14 气象卫星监测研究[J]. *遥感技术与应用*, 2002, 12, 17(6): 290-292.]
- [13] Fan Hong, Chen Guilin. Application of Mie theory in dust channel selection of meteorological satellite[J]. *Remote Sensing Technology and Application*, 2004, 8, 19(4): 271-275. [范红, 陈桂林. 应用米氏理论选择气象卫星探测沙尘暴的波段[J]. *遥感技术与应用*, 2004, 8, 19(4): 271-275.]
- [14] Qian Leqiang. Remote sensing numeral image processing and the geography feature extraction[M]. Beijing: Science Press, 2004, 7, 119-151. [钱乐祥. *遥感数字影像处理与地理特征提取*[M]. 北京: 科学出版社, 2004, 7, 119-151.]
- [15] Xiong Liya, Li Haiping, Zhuang Dafang. Discuss on quatitative method study of sand-dust information using MODIS data[J]. *Progress In Geography*, 2002, 21(4): 327-334. [熊利亚, 李海萍, 庄大方. 应用 MODIS 数据研究沙尘信息量化方法探讨[J]. *地理科学进展*, 2002, 21(4): 327-334.]
- [16] Zhang Shuyu. Application of natural disasters monitoring in Shanxi province using EOS/MODIS data[J]. *Journal of Shanxi Meteorology*, 2003(5): 33-35. [张树誉. EOS/MODIS 资料在陕西自然灾害监测中的应用[J]. *陕西气象*, 2003(5): 33-35.]
- [17] Ao Yanhong, Pei Hao, Yang Liping, et al. Research on monitoring sand dust storm using satellite remote sensing technique[J]. *Journal of Natural Disasters*, 2004, 8, 213(4): 99-104. [敖艳红, 裴浩, 杨丽萍, 等. 应用卫星遥感技术监测沙尘暴的研究[J]. *自然灾害学报*, 2004, 8, 213(4): 99-104.]

Model of sand storm satellite remote sensing monitoring index using EOS/MODIS data

XIAO Ji-dong¹, WANG Xi-yuan², CHEN Ai-jing¹

(1 Remote Sensing Center of Xinjiang Meteorological Bureau, Urumqi 830002, Xinjiang, China;

2 Xinjiang University, Urumqi 830001, Xinjiang, China)

Abstract: With EOS/Modis data, optimum band combination index method and variance-covariance matrix method, this paper selected the best wave band combination with the best color-strengthening effect for sand storm from thirty-six MODIS wave bands. Based on the sensibility variance analyses, the paper sets up the preconditions for sand storm judgment using mathematical combination method for wavebands, puts forth the SVI (Sandstorm value index) for extracting the spatial scope and intensity information of sandstorm from satellite remote sensing data, and classifies the sandstorm to five grades with the SVI values

Key Words: sandstorm; MODIS; remote sensing