

基于多时相数据的沙尘过程动态监测

狄美,孙林,王萍

(山东科技大学 测绘工程学院,山东 青岛 266510)

摘要:探讨了利用 Terra 和 Aqua 双星多时相数据确定沙尘移动路径的方法。以 2007 年 3 月 26 日~27 日的一次沙尘过程为例,根据沙尘及其它地物的反射和吸收特征,针对白天和夜间卫星数据的特点,分别确定了白天和夜间沙尘监测的多通道阈值法。在监测出沙尘范围,划分强度等级的基础上,确定了沙尘移动轨迹,监测结果与气象部门监测结果一致。研究表明:多时相数据在沙尘过程动态监测方面有着广阔的应用前景。

关键词:沙尘暴;多时相数据;动态监测

中图分类号:TP79

文献标识码:A

A dust storm process dynamic monitoring with multi temporal MODIS data

DI Mei, SUN Lin, WANG Ping

(College of Surveying and Mapping Engineering, Shandong University of Science and Technology, Qingdao 266510, China)

Abstract: In this paper, the method of using Terra and Aqua MODIS data to monitor the moving trace of dust storm has been discussed. According to the reflection and absorption characteristic of the dust storm occurred in March, 26~27, 2007, as well as the characteristics of daytime and nighttime data, the multi-channel threshold method has been given to monitor dust storm at daytime and nighttime. The scope of dust storm being extracted and the intensity grades being estimated, the moving trace is monitored successfully. The result is in great agreement with the meteorological monitoring. The research proves that the dust storm process dynamic monitoring with multi-temporal data has a great application prospect.

Key words: dust storm; multi-temporal data; dynamic monitoring

0 引言

沙尘暴,是沙暴和尘暴的总称,指强风把地面大量沙尘卷入空中,使空气特别混浊,水平能见度低于 1 km 的天气现象。沙尘暴一般发生在气候干燥的 3、4 月份,发生的区域一般为沙漠及附近的干旱与半干旱地区。近年来,沙尘暴发生的频率不断上升,

使得气候状况发生急剧变化,对人类生活产生极大的危害,对其做出及时准确的监测是很有必要的。目前,用于沙尘暴监测的手段主要有遥感监测和地面定点观测^[1]。沙尘发生地区的环境条件通常比较恶劣,站点布局通常比较稀疏,地面定点观测的时空分辨率较低,不能很好的刻画沙尘发生过程。遥感监测具有监测范围广,空间连续等优点,可快速进

收稿日期:2008-03-18

作者简介:狄美(1985-),女,安徽巢湖人,山东科技大学测绘工程学院在读硕士,主要研究方向为大气遥感。

行大范围、立体性的灾害监测,可以有效的监测沙尘的发源地、移动轨迹和强度变化等。

在利用卫星遥感技术监测沙尘暴研究方面,国内外科学家们做了大量的工作:Griggs, Shenk 和 Cur-ran 等利用卫星的可见光与红外波段提取沙尘范围,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^[2];罗敬宁^[3]等构建了可比沙尘强度指数,解决了多源遥感数据由于卫星平台、监测时间、监测区域不同等因素导致的监测结果不可比的问题;郭锐^[4]等构建了两个沙尘指数对 2002 ~ 2005 年多次沙尘过程进行判别;厉青^[5]等利用 MODIS 数据成功监测了 2003 年我国西北部特大沙尘;刘三超^[6]等利用 Terra 和 Aqua 双星资料提取了昼夜沙尘信息。然而,这些研究主要集中在如何精确的提取一定区域的沙尘范围,这在沙尘空间分布上具有很大的局限性。本文则在此基础上利用多时相数据完成了沙尘移动轨迹的确定,并划分了强度等级,使相关部门可以从宏观上把握沙尘的移动趋势,为其做出决策提供依据。

1 数据来源

本文用于沙尘灾害监测数据为 MODIS 数据。搭载在 Terra 和 Aqua 卫星上的 MODIS 传感器,其波谱范围为 $0.4 \sim 14.385\mu\text{m}$,共 36 个波段,覆盖了可见光、红外波段,每天至少可获取 4 景影像,增加了数据的时效性,能够很好地进行沙尘暴的动态监测。本文选取了我国西北地区 2007 年 3 月 26 日 14:20 的 Aqua 卫星数据及 3 月 27 日 2:20 的 Aqua 卫星数据,11:45 的 Terra 卫星数据,13:25 的 Aqua 卫星数据。

2 沙尘暴监测方法

发生沙尘时,大量的沙尘粒子聚集在一起形成沙尘层,厚厚的沙尘层会吸收、反射地表和太阳辐射,同时向外发射辐射,从而改变传感器的探测值。在 MODIS 36 个通道中,可见光和近红外通道用来测算地物的反射率,热红外通道用来测算地物的亮度温度。通过比较沙尘、地表与云等地物光谱特性,发现云具有高反射率,低亮度温度,地表则是低反射率,高亮度温度,而沙尘的反射率和亮度温度一般介于两者之间,所以从反射率和亮度温度这两个角度

出发,构建判别函数实现沙尘信息提取,强度等级划分。具体流程见图 1。

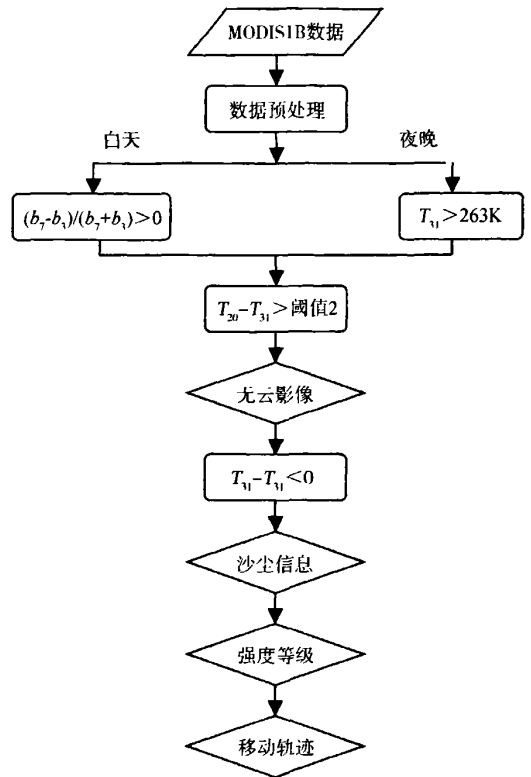


图1 沙尘暴监测流程图

注: b_3, b_7 分别为第3波段和第7波段的反射率, T_{30}, T_{31}, T_{32} 分别表示第20,31,32波段的亮度温度。

2.1 沙尘信息提取

沙尘信息提取是将沙尘信息与云、雪、地表等非沙尘信息分离,要解决沙尘边界问题以便准确地确定沙尘范围^[7]。大量实验表明热红外31,32波段的差值可以有效地提取沙尘区域,这是因为这两个波段都位于大气窗口,大气透过率相对较高。没有发生沙尘时,传感器在第31波段上的探测值大于第32波段上的值;而当发生沙尘时,干燥的沙尘对31波段的吸收衰减略强于32波段,即卫星传感器接收到的31波段上的探测值将减少,最终导致32波段上的探测值大于31波段,即 $T_{31} - T_{32} < 0$ 。因此,利用卫星传感器在31,32波段探测值的差值提取沙尘区域。

然而,部分云区和地表在31,32波段的差值也

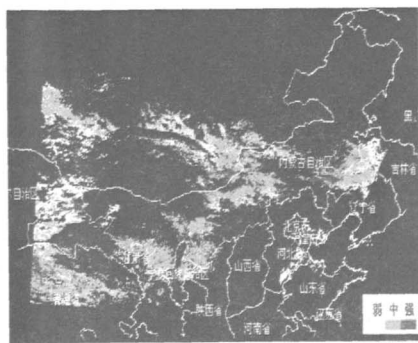
会出现负值,所以,应当先去除云和地表的影响。根据云高反射率低亮度温度特点,对于白天的图像,从反射率出发去除云的影响。J. John^[8]发现沙尘反射率与地表相似,随着波长增大而增大,云的反射率在MODIS第3波段($0.459 \sim 0.479 \mu\text{m}$)达到最大值,而到第7波段($2.105 \sim 2.155 \mu\text{m}$)出现最小值。根据沙尘与云反射率的差异,构建第3波段和第7波段比值函数,去除云的影响。而对于夜间图像,考虑到云的亮度温度较低,令第31波段的亮度温度值大于263K,去除云的影响。

通过比较各通道图像,发现在MODIS的第20波段上,中心波长为 $3.7 \mu\text{m}$,沙尘区色调明显变亮,

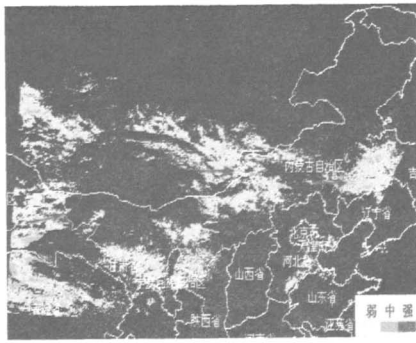
而其他波段色调较暗,这是因为波段20为短波红外波段,包括了沙尘粒子本身的发射辐射和对太阳辐射的后向散射辐射,导致沙尘粒子的亮度温度异常偏高。而在热红外第31波段,中心波长为 $11 \mu\text{m}$,只包含沙尘本身的发射辐射,值相对较低。利用这一特性进一步去除云和地表的影响,提取沙尘范围。

2.2 沙尘强度等级划分

沙尘强度等级划分是在已确定的沙尘区范围的基础上,将沙尘区划分为强沙尘区、中等强度沙尘区、弱沙尘区。分别通过第20和31波段的亮度温度的差值和以 $1.6 \mu\text{m}$ 为中心波长的第6波段的探测值的差值和以 $1.6 \mu\text{m}$ 为中心波长的第6波段的探测值划分沙尘强度等级,结果见图2。



a 第20和31波段的亮度温度差值划分的强度等级



b 第6波段的探测值划分的强度等级

图2 沙尘强度等级划分图

MODIS的第20波段为短波红外波段,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,而第31波段为长波红外波段,只具有沙尘本身的发射辐射特点。因此,在已知沙尘区域内,可以通过第20波段和第31波段的亮温差值大小来进行沙尘暴强度等级的划分^[5]。而MODIS的第6波段为近红外波段,波长与沙尘粒子半径接近,是最为接近沙尘暴粒子分布物理特征的探测波段。在强沙尘区,沙尘在第6波段测值与强度成线性关系^[3]。

如图3,将第6波段反射率值及第20波段和第31波段的亮度温度差值归一化到 $[-1, 1]$,分别统计强沙尘区及弱沙尘区的直方图。在强沙尘区(图3a、b),反射率值及亮度温度差值的分布区间大致

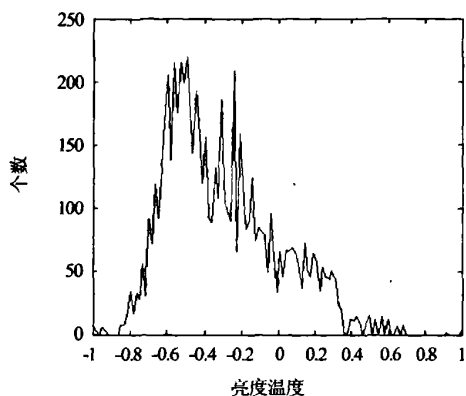
相同;在弱沙尘区(图3c、d),反射率的值集中在较小的区间。据沙尘和地表的反射特性可知,两者在第6波段的反射率接近。所以根据第6波段测值划分强度等级时,可能出现将弱沙尘区划分为中等强度沙尘区(如图2)。所以本文利用第20波段和第31波段亮度温度差值划分沙尘的强度等级。

3 应用实例

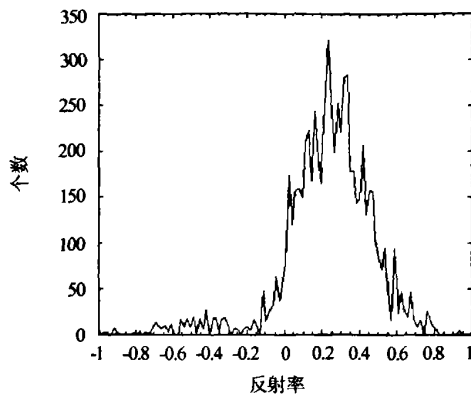
据上述流程,选取2007年3月26~27日我国西北地区的MODIS影像,对沙尘的区域范围、动态变化和沙尘的强度进行监测。监测结果如图4所示,此次沙尘中心区在内蒙古中部,沙尘向东移动,且强度增强后减弱,与气象部门监测结果一致。从

图 4a 可以看到内蒙古中西部与蒙古国出现大片沙尘,图 4b、c、d 中沙尘移至内蒙古中东部,宁夏北部,甘肃,沙尘强度增加。而气象部门监测结果:3 月 26

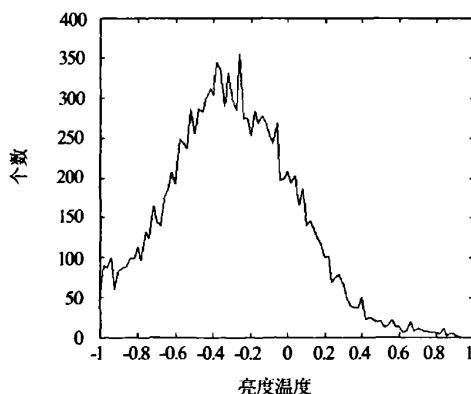
日内蒙古中部地区出现沙尘天气,3 月 27 日,甘肃河西走廊、内蒙古中东部和宁夏北部部分地区出现沙尘天气。



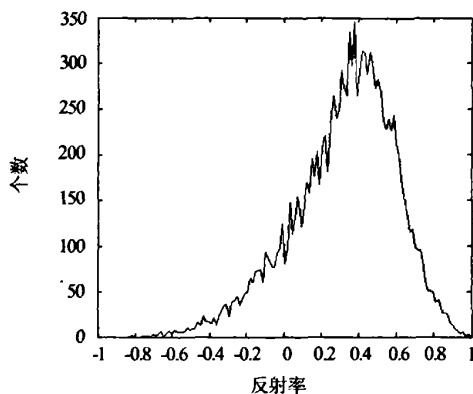
a 强沙尘区 B_{20} 和 B_{31} 的亮度温度差值直方图



b 强沙尘区第 6 波段反射率值直方图



c 弱沙尘区 B_{20} 和 B_{31} 的亮度温度差值直方图



d 弱沙尘区第 6 波段反射率值直方图

图 3 强沙尘区及弱沙尘区直方图

通过这一时段的图像可以研究沙尘的移动轨迹,26 号沙尘在内蒙古中部,到了 27 号上午沙尘区向内蒙古东部、甘肃、宁夏北部移动,强度有所增强,到了下午沙尘区域减小,强度明显减弱。

4 结论

本文利用 Terra 和 Aqua 双星多时相数据,根据

上述沙尘暴监测流程,针对白天和夜间数据的特点分别采用多通道阈值法提取了沙尘范围,划分了强度等级,确定了沙尘移动轨迹,与气象部门监测结果一致,很好的刻画了此次沙尘过程。我们发现:

①多时相数据具有较强的时效性,可以用来确定沙尘的移动轨迹,从而可以大范围、动态地把握沙尘过程;②利用第 20 波段和第 31 波段亮温差值划分强度等级效果比第 6 波段划分强度等级效果好。

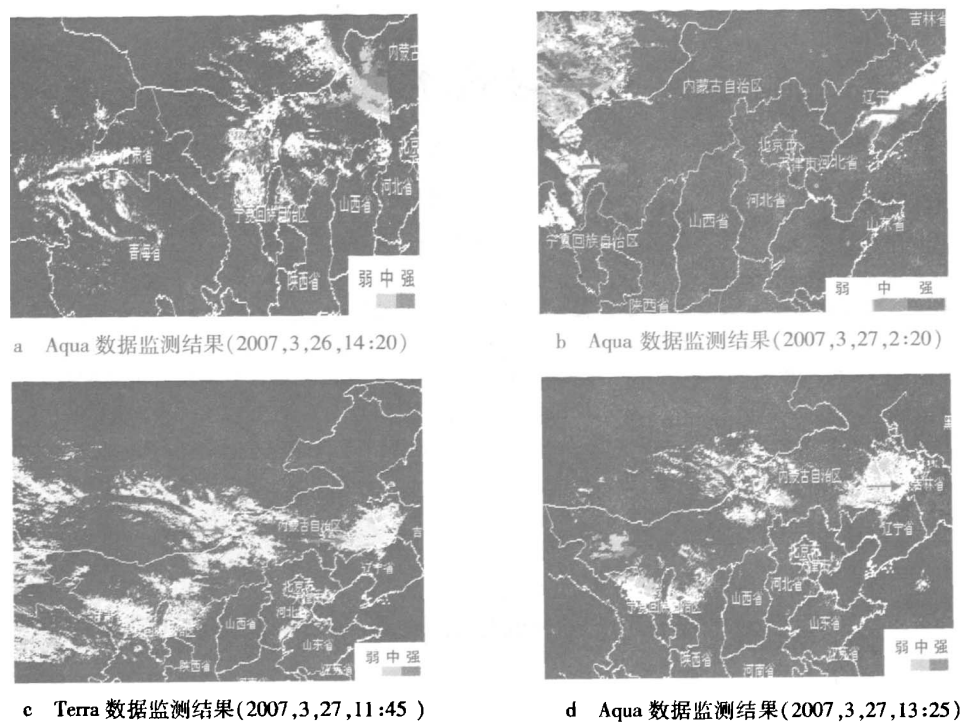


图 4 沙尘监测结果图

参考文献:

[1] 李海萍,熊利亚,庄大方. 中国沙尘灾害遥感监测研究现状及发展趋势[J]. 地理科学进展,2003,22(1):45-52.

[2] 肖继东,汪溪远,陈爱京. 沙尘暴 EOS/MODIS 卫星遥感监测指数模型[J]. 干旱区研究,2007,24(2):268-272.

[3] 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.

[4] 郭妮,梁芸. 利用 MODIS 资料定量判识沙尘暴方法研究[J]. 干旱气象,2006,24(1):1-6.

[5] 厉青,王桥,王文杰,等. 基于 Terra/MODIS 的沙尘暴业务化遥感监测研究[J]. 国土资源遥感,2006,67(1):43-45.

[6] 刘三超,柳钦火,高慧芳. 利用 Terra 和 Aqua 双星 MODIS 数据协同研究沙尘暴[J]. 武汉大学学报信息科学版,2006,31(12):1051-1054.

[7] 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):289-294.

[8] John J, Qu X J, Menas K. Asian dust storm monitoring combining Terra and Aqua MODIS SRB measurements[J]. IEEE Geosciences and Remote Sensing Letters, 2006,3(4):484-486.