

利用 Terra 和 Aqua 双星 MODIS 数据协同研究沙尘暴

刘三超^{1,2} 柳钦火¹ 高懋芳³

(1 中国科学院遥感应用研究所遥感科学国家重点实验室, 北京市朝阳区大屯路 9718 信箱, 100101)

(2 中国科学院研究生院, 北京市海淀区, 100039)

(3 南京大学国际地球系统科学研究所, 南京市汉口路 22 号, 210093)

摘要: 利用 2005-04-28 上午星 Terra 和下午星 Aqua 白天和晚上共 4 景 MODIS 数据对影响华北地区的一次沙尘暴进行了研究。对于白天的 MODIS 数据, 利用热红外亮度温度差值法结合可见光近红外波段反射率阈值法, 可以很好地把沙尘与背景地物和云分离开来; 对于夜晚的 MODIS 数据, 利用热红外亮度温度差值法也能较好地提取沙尘信息。研究表明, MODIS 数据在沙尘暴等灾害研究方面具有很大的潜力。

关键词: Terra; Aqua; MODIS; 沙尘暴; 亮温差值

中图分类号: P237.9

沙尘是大气中主要的气溶胶类型之一, 它通过散射和吸收作用改变大气-地面系统的辐射收支, 还通过改变大气成分和云的性质对辐射产生间接强迫。因此, 沙尘暴和沙尘气溶胶的研究对国民经济发展和全球气候变化研究都有重要意义^[1,2]。

根据数据源特点, 遥感沙尘暴可分为单通道法和多通道法^[1]。单通道法指利用静止卫星的单一可见光通道研究沙尘爆发及沙尘气溶胶光学厚度^[3]。由于数据限制, 特别是区分云和沙尘很困难, 故单通道法一般只对沙尘作定性研究; 多通道法主要用 NOAA/AVHRR 等极轨卫星的多波段数据结合不同波段的优点研究沙尘, 在沙尘暴研究中取得了很多成果^[4,6], 但由于 NOAA/AVHRR 的数据波段少, 空间分辨率较低, 因此, 限制了其应用效果。

MODIS 是 NASA-EOS 计划中发射的主要传感器, 共 36 个波段, 波谱范围为 0.4~14.4 μm , 空间分辨率分别为 250 m、500 m、1 km。与 NOAA/AVHRR 等数据相比, MODIS 具有高空间分辨率、高时间分辨率、高光谱分辨率、高辐射分辨率的特点, 且 NASA 对 MODIS 数据实行全球免费接收的政策, 数据获取方便快捷。目前,

MODIS 分别搭载在 EOS 上午星 Terra 和下午星 Aqua 上, 白天和晚上都可成像, 因此, 一天可获取 4 景 MODIS 影像, 数据的时效性大大增强。结合白天和夜晚 Terra 和 Aqua 的 MODIS 数据研究沙尘暴将具有很大优势。

1 遥感监测沙尘暴的原理及数据处理

1.1 沙尘光学特性

沙尘是大气中最重要的气溶胶类型之一^[7], 沙尘粒子的粒径范围为 0.01~100 μm , 且以大粒子为主。沙尘粒子的光学特性主要与谱分布、浓度、组成有关, 主要表现为对太阳辐射产生吸收和散射作用, 同时沙尘还发射长波辐射。总的来说, 沙尘粒子对地球辐射收支和能量平衡的影响包括以下 3 个方面^[7,8]: 沙尘对可见光近红外有较强的吸收作用, 会削弱到达地面的太阳辐射; 沙尘能吸收地面向上的长波辐射; 沙尘本身发射长波辐射。

一般的辐射传输模型可表示为:

$$\mu = \frac{dI(\tau, \mu)}{d\tau} = I(\tau, \pi) - J(\tau, \pi) \quad (1)$$

收稿日期: 2006-08-26。

项目来源: 国家自然科学基金资助项目(40371087); 国家 973 计划资助项目(G2000077900); 国防科工委资助项目(HJ 小卫星应用关键技术研究)。

式中, τ 为光学厚度; I 为辐射亮度; J 为源函数; μ 为入射或观测天顶角的余弦。

按照大气辐射传输理论, 源函数又包括散射和发射, 因此, 式(1)可以展开为^[9]:

$$\mu \frac{dI(\tau, \mu)}{d\tau} = I(\tau, \mu) - (1 - \omega_0)B(T) - \frac{\omega_0}{2} \int_{-1}^1 P(\tau, \mu, \mu') I(\tau, \mu') d\mu' \quad (2)$$

上述辐射传输方程是积分微分方程, 只有数值解。在一般情况下, 可用 MODTRAN、LORTAN、6S 等辐射传输模型来进行模拟计算。

在 8~ 12 μm 热红外大气窗口内, Ackerman 通过辐射传输计算发现了利用不同波段亮度温度(11 μm 的亮度温度表示为 T_{11} , 依此类推)的差异, 通过亮温差值法减小地面影响, 用 8.5 μm 、11 μm 和 12 μm 三个波段亮度温度的差值可较好地研究沙尘暴^[8]。

在没有沙尘的情况下, 水汽在 12 μm 和 8.5 μm 的吸收作用大于 11 μm 的吸收作用, 因此, $(T_{11} - T_{12}) > 0$, $(T_8 - T_{11}) < 0$ 。当大气出现沙尘时, 根据沙尘浓度又可分两种情况提取沙尘信息: 强沙尘区对 11 μm 的削光作用远远大于 12 μm 和 8.5 μm ^[7] 的削光作用, 因此, 会导致 $(T_{11} - T_{12}) < 0$ 且 $(T_8 - T_{11}) > 0$; 对于一般沙尘区, 沙尘对 11 μm 的削光作用大于 12 μm 的, 因此, 会导致 $(T_{11} - T_{12}) < 0$, 且 $(T_8 - T_{11}) < 0$ 。因此, 利用 8.5 μm 、11 μm 和 12 μm 三个波段的亮度温度差

值的散点图就可很好地提取沙尘暴信息。三波段热红外差值提取沙尘的条件如下: $(T_{11} - T_{12}) < 0$, $(T_8 - T_{11}) > 0$; 或者 $(T_{11} - T_{12}) < \text{阈值}$, $T_8 - T_{11} < 0$ 。

1.2 云检测

与下垫面相比, 云具有高反射率和低的温度^[9]。厚云的云顶亮度温度一般较低, 因此, 利用通道 31 的亮度温度小于阈值(取 263 K)就可较好地检测出厚云, 这对白天和晚上的影像都适用。薄云和卷云的检测一直是遥感研究的难点。对于 MODIS 白天影像, 本文根据云与植物、土壤、水体、雪等下垫面反射特性的差异^[10], 利用 0.66 μm 、1.38 μm 和 1.64 μm 反射率(0.66 μm 的反射率表示为 $\rho_{0.66}$, 依此类推)的多光谱白天空检测算法, 结合 11 μm 和 3.7 μm 亮度温度差值方法来提取薄云和卷云^[9]; 夜间影像由于缺乏可见光数据而只有红外波段数据, 因此, 仅采用 Ackerman 提出的利用 11 μm 和 3.7 μm 亮度温度差值方法来提取薄云和卷云^[9]。

1.3 沙尘信息提取总流程

根据以上分析, 白天可用热红外亮度温度差值法结合可见光近红外波段反射率阈值法, 就能很好地把沙尘与背景地物和云分离开来; 对于夜晚 MODIS 数据, 利用热红外亮度温度差值法也能较好地提取沙尘信息。沙尘信息提取的总流程如图 1 所示。

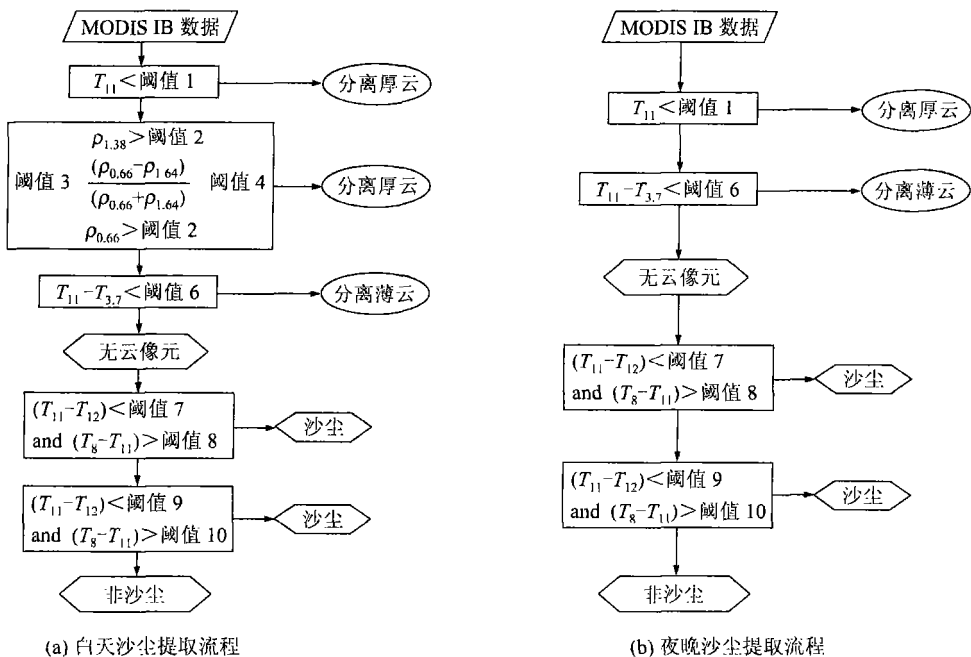


图 1 沙尘提取流程

Fig. 1 Flowchart of Dust Extraction

2 应用示例及结果分析

本研究选择 2005-04-28 号 Terra 和 Aqua 的白天和夜晚 MODIS 影像。Terra 白天和晚上影像的过境时间分别为北京时间 04-28 上午 11 点 17 分和晚上 22 点 21 分; Aqua 白天和晚上影像的过境时间分别为北京时间 04-28 上午 12 点 53 分和 04-29 凌晨 2 点 31 分。

图 2(b)、2(d)、2(e)、2(f) 分别为沙尘检验结果, 图中的白色为云, 黑色为背景, 其他区域为沙尘区。

为了验证本文提出的方法, 对于白天 MODIS 影像, 美国 PRIDE 实验研究表明, 用 MODIS 的 $0.65 \mu\text{m}$ 、 $0.86 \mu\text{m}$ 和 $0.47 \mu\text{m}$ 波段进行 RGB 合成可以较好地反映沙尘的纹理结构和分布范围^[1]。图 2(a) 和图 2(c) 分别为 04-28 上午 Terra 和下午 Aqua 的 RGB 合成影像, 白色箭头所指的灰白色区域为沙尘区, 通过比较图 2(b) 和图 2(d), 并结合目视判别, 本文方法的沙尘提取效果良好。而气象部门监测结果表明, 04-28~04-29, 我国内蒙中部、宁夏北部、河北南部、京津南部、山东西北部以及内蒙吉林辽宁交界地区出现了沙尘天气, 这在图 2(b) 和图 2(d) 中都能很好地检测出来, 表明本文检测效果良好。夜间影像检测结果无法用 RGB 合成与目视结合的方法验证, 但根据气象部门的监测结果, 本文方法也与实际情况比较相符。

对照 4 景沙尘检测结果, 可以研究沙尘运动的规律。从图上可看出, 上午 Terra 检测的沙尘前锋已到达渤海, 而下午 Aqua 检测结果表明沙尘前锋已深入到渤海内部, 表明沙尘暴出现明显的由陆地向海洋运动的过程; 而北京和天津白天

上午和下午都只是南部部分区域有沙尘, 到晚上 10 点 21 分京津大部分地区已经覆盖沙尘, 不过强度有所减弱, 渤海上空的沙尘开始消退, 到 04-29 凌晨 Aqua 过境时, 沙尘已经覆盖京津, 渤海上空的沙尘范围又得到加强。

3 结 语

1) 利用上午星 Terra 和下午星 Aqua 白天和夜晚的 4 景数据, 增加了沙尘暴研究的时效性;

2) 白天 MODIS 数据, 用热红外亮度温度差值法结合可见光近红外波段反射率阈值法, 能很好地把沙尘和背景地物和云分离开来; 夜晚 MODIS 数据, 用热红外亮度温度差值法也能较好地提取沙尘;

3) 本文方法简单可靠, 对白天和夜晚、陆地和海洋同时适用;

4) 通过多景影像的对比分析, 可以研究沙尘的动态变化过程, 这对研究沙尘暴的运动规律以及沙尘暴预警预报都有重要意义。

在今后研究中, 对热红外亮温差和沙尘总量以及沙尘强度的关系还要进一步深入研究。另外, 关于亚像元尺度的云检测和沙尘信息提取的问题, 也还有待以后的进一步研究。

参 考 文 献

- [1] 王伟, 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
- [2] 石广玉, 赵思雄. 沙尘暴研究中的若干科学问题[J]. 大气科学, 2003, 27(4): 591-606
- [3] Norton C, Frederick R M, Barry H, et al. A Model for Calculating Desert Aerosol Turbidity over the Oceans From Geostationary Satellite Data[J]. Journal of Applied Meteorology, 1980, 19(6): 633-644
- [4] 郑新江, 陆文杰, 罗敬宁. 气象卫星多通道信息监测沙尘暴的研究[J]. 遥感学报, 2001, 5(4): 300-305
- [5] 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
- [6] 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
- [7] Legrand M, Desbois M, Vovor K. Satellite Detection of Saharan Dust: Optimized Imaging During Nighttime[J]. Journal of Climate, 1988, 1(3): 256-264
- [8] Ackerman S A. Remote Sensing Aerosols Using Satellite Infrared Observations[J]. Journal of Geophysical Research, 1997, 102: 17 069-17 079

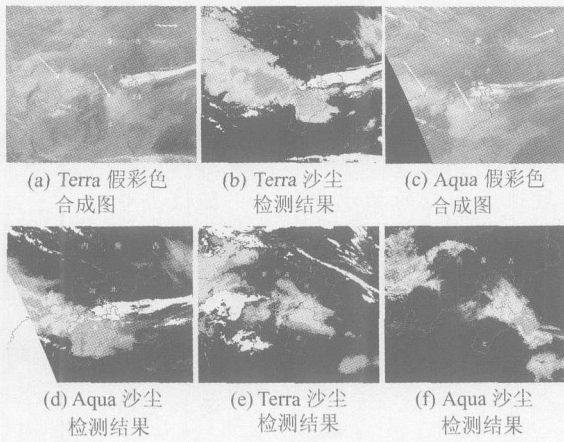


图 2 沙尘检测结果

Fig. 2 Results of Dust Detection

- [9] Ackerman S A. Discriminating Clear Sky from Clouds with MODIS[J]. Journal Geophysical Research, 1998, 103(24): 32 141-32 157
- [10] 李微, 方圣辉, 佘袁勇, 等. 基于光谱分析的 MODIS 云检测算法研究[J]. 武汉大学学报·信息科学版,

2005, 30(5): 435-438

第一作者简介: 刘三超, 博士. 主要从事大气和环境定量遥感研究.

E-mail: snowe1s@163.com

On Asian Dust Storm in China by Combining Daytime and Nighttime Terra and Aqua MODIS Data

LIU Sanchao^{1,2} LIU Qinhuo¹ GAO Maofang³

(1 State Key Laboratory of Remote Sensing Science, Institute of Remote Sensing Applications of Chinese Academy of Sciences, P. O. Box 9718, Datun Road, Beijing 100101, China)

(2 Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Haidian District, Beijing 100039, China)

(3 International Institute for Earth System Science, Nanjing University, 22 Hankou Road, Nanjing 210093, China)

Abstract: A method to monitor one Asian dust storm occurred on April 28, 2005 by means of four daytime and nighttime MODIS images that are boarded on Terra and Aqua platform is presented. Screening is important for dust storm detection. For daytime Terra and Aqua MODIS data, cloud screening is obtained by using visible and near infrared reflectance, single thermal infrared bright temperature threshold, and the difference of bright temperatures. In the evening TIR bands are only used to remove cloud effects. Then three thermal infrared (TIR), 8.5 μm , 11 μm , and 12 μm are used, and a tri-spectral technique presented by Ackerman (1997) to extract dust storm areas. It is found that combining brightness temperature differences BT8.5-BT11 with negative BT11-BT12 can detect dust storm. The dust storm areas can be separated from cloud and non-dust areas both on land and on the ocean. Furthermore, dust storm motion can be analyzed by these four scenes MODIS data within 24 h. The result is reasonable by validation with RGB composition method and meteorology data. The study also shows that MODIS data has great potential in dust storm research.

Key words: Terra; Aqua; MODIS; Asian dust storms; brightness temperature difference

About the first author: LIU Sanchao, Ph. D, majors in environment and atmospheric remote sensing.

E-mail: snowe1s@163.com

下期主要内容预告

- | | |
|---|------|
| ◀ 利用 GPS 技术测定珠峰高程变化及其北坡地壳形变的初步分析 | 陈俊勇等 |
| ◀ 由 CHAMP 星载 GPS 相位双差数据解算地球引力模型 | 郭金运等 |
| ◀ 月球重力场的确定及构建我国自主月球重力场模型的方案 | 李 斐等 |
| ◀ 导航卫星自主定轨中系统误差 $\Delta\Omega$ 和 Δt 的消除方法 | 李征航等 |
| ◀ GPS 变形监测中整周模糊度解算的新方法 | 王新洲等 |
| ◀ 一种基于人工免疫的图像分割算法 | 汤 凌等 |