

利用遥感手段判识沙尘暴的一种新方法 ——以内蒙古地区为例

海全胜^{1,3}, 包玉海^{2,3}, 阿拉腾图雅², 包刚³, 郭利彪²

- (1. 内蒙古科技大学 包头师范学院, 内蒙古 包头 014030;
2. 内蒙古师范大学 地理科学学院, 内蒙古 呼和浩特 010022;
3. 内蒙古自治区遥感与地理信息系统重点实验室, 内蒙古 呼和浩特 010022)

摘要:利用比辐射率的特征,并根据热辐射理论进行沙尘暴遥感监测是一种全新的研究手段.本文发现,沙尘发生时地表的主要物质沙尘、地面和云的物质性质不同,并且沙尘强度不同时图像像元上的地面和沙尘的比例不同,从而导致像元物质的性质有差别,地物比辐射率不相同.通过理论推导和试验研究得出:云区、地面、弱沙尘和强沙尘区的 ε_{29} 与 ε_{31} 接近程度不同,且 ε_{31} 在0~1整个区间上变化时, ε_{29} 的大小顺序永远是云>强沙>弱沙>地面,并在此基础上建立了一个稳定判识沙尘强度的沙尘指数(DSI)模型.经过多次沙尘暴的实例验证,结果表明,该模型能够较精确地监测沙尘发生的范围和强度.

关键词:沙尘暴;遥感;MODIS

中图分类号:TP79 **文献标识码:**A

NEW METHOD TO IDENTIFY SAND AND DUST STORM BY USING REMOTE SENSING TECHNIQUE ——WITH INNER MONGOLIA AUTONOMOUS REGION AS EXAMPLE

HAI Quan-Sheng^{1,3}, BAO Yu-Hai^{2,3}, Alatengtuo², BAO Gang³, GUO Li-Biao²

- (1. Baotou Normal College, Inner Mongolia University of Science and Technology, Baotou 014030, China;
2. The Geographical Science College, Inner Mongolia Normal University, Hohhot 010022, China;
3. Inner Mongolia Key Lab of Remote Sensing and Geographical Information System, Hohhot 010022, China)

Abstract: The object emissivity characteristics and the theory of heat radiation were studied to detect sand dust storm by remote sensing technique. The results show that the material nature of sand dust, ground surface and clouds is different when the sand dust happens. The ratio between the ground and sand dust in pixel images is different when the strength of sand dust changes. And these differences lead to the variations of material nature in pixels and object emissivity. At last, by a combination of theoretical and experimental researches, it was found that the degree of approach between ε_{29} and ε_{31} was different among cloud area, ground surface, weak sand dust and strong sand dust areas. And in a whole range of 0~1 of ε_{31} , the order of ε_{29} is cloud > strong sand dust > weak sand dust > ground surface. According to the results of the above, it was established a stable sand dust index (DSI) model to identify the sand dust strength. And the model can more accurately detect the range and intensity of sand dust after several rounds of sand dust examples.

Key words: sand dust storm; remote sensing; MODIS

引言

沙尘暴是一种气象灾害,也是严重的生态环境问题^[1].由于沙尘暴常发生在自然条件恶劣的地

收稿日期:2008-03-13,修回日期:2008-10-20

Received date: 2008-03-13, revised date: 2008-10-20

基金项目:国家自然科学基金(40561010)、国家自然科学基金(60762004)、内蒙古自然科学基金(200508010601)和包头师范学院校内(BSY2007012024)资助项目

作者简介:海全胜(1980-),男,蒙古族,内蒙古科右中旗人,硕士研究生,主要从事GIS、RS的应用研究

通讯作者:包玉海(1965-),男,蒙古族,内蒙古科右中旗人,教授,博士后,主要从事土地利用/土地覆盖及遥感应用研究. Email: baoyuhai@im-nu.edu.cn.

区,常规观测站点极其稀少,给沙尘暴的监测、预报和研究带来困难. 卫星覆盖范围广,探测波段多,是监测沙尘暴的有效手段. 近年来国内外利用气象卫星来研究沙尘暴的越来越多. Carlson. T. N^[2]利用卫星观测的亮度资料确定撒哈拉地区沙尘的爆发及其相应的大气扰动. Norton. C^[3]等人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的沙尘,并估算其光学厚度. 方宗义^[4]等人介绍了气象卫星监测沙尘暴的原理和方法. 郑新江^[5]等人利用气象卫星多通道信息监测沙尘暴. 江吉喜^[6]等人利用气象卫星云图资料对沙尘暴的成因做了分析. 罗敬宁^[7]等构建了可比沙尘指数. 上述研究方法,虽然在直接利用辐射亮度、辐射亮温或者利用地球对太阳光的反射光来监测沙尘灾害方面获得了不少进展,但直接利用辐射亮度和辐射亮温监测沙尘强度会受到地表温度的影响;利用地球对太阳光的反射光来监测沙尘灾害会受到太阳光照条件的影响. 而利用比辐射率监测沙尘强度,会大大减少太阳光照条件和地表温度等条件的影响. 因此,利用比辐射率监测沙尘信息具有广阔的前景.

1 数据的介绍

MODIS 是当前世界上新一代“图谱合一”的光学遥感仪器,具有 36 个光谱波段,(其中第 13 和 14 波段各有两个通道组成,分为高值通道和低值通道,所以实际上一共有 38 个光谱通道),分布在 0.4 ~ 14 μm 的电磁波谱范围内. MODIS 的空间分辨率分别为 0.25km、0.5km 和 1km,扫描宽度为 2330km.

2 研究方法

2.1 沙尘暴遥感监测原理

根据地球辐射与太阳辐射的相互效应传感器接收的地球辐射可分为三段,分别是短波辐射(0.3 ~ 2.5 μm)、中红外辐射(2.5 ~ 6 μm)和长波辐射(6 μm 以上). 短波辐射以地球表面对太阳光的反射为主,地球自身的热辐射可忽略不计. 地球长辐射可只考虑地表物体自身的热辐射,在这个区域内太阳辐射的影响极小. 介于两者之间的中红外波段太阳辐射和热辐射的影响均有,两者都不能忽略. 如果使用短波和中红外波段则必须充分考虑影响太阳辐射的时间、经纬度、地区、季节等多种要素,这样会增加监测的难度,降低实用性. 若使用地球长波辐射,则只从地物本身的性质角度去考虑即可,这样将复杂的问题得以简化并提高监测精度.

对于地球的长波辐射而言,其辐射亮度 L 与地物的比辐射率 ε 、地物的温度 T 及波长 λ 有关. 对遥感数据的某一个波段来说,地物的辐射亮度 L 随温度 T 的变化而变化,而地物的比辐射率 ε 是相对稳定的参数,它与地物的性质、表面状况有关^[8]. 中国北方地区沙尘的主要成分都是硅酸铝、石英等类物质^[5]. 对内蒙古地区不同时间不同地点的沙尘颗粒来说,表面状况相近,因此可不考虑沙尘本身的物质组成和表面状况的差异对比辐射率的影响. 沙尘发生时地表的主要物质是沙尘、地面和云,由于它们的物质性质不同,比辐射率也不同. 沙尘强度不同时,图像像元上的地面和沙尘的比例不相同,从而导致像元物质的性质有差别,地物比辐射率不相同. 所以可用比辐射率代表内蒙古地区的沙尘强度. 这里说的沙尘强度是沙尘的相对强度.

2.2 遥感沙尘指数 (DSI) 的构建

根据 1900 年普朗克用量子物理的新概念,推导出热辐射定理,可以用普朗克公式表示

$$w_{\lambda} = 2\pi hc^2 / \lambda^5 (e^{ch/\lambda kT} - 1) \quad (1)$$

由基尔霍夫定理得

$$w'_{\lambda} = \varepsilon_{\lambda} w_{\lambda} \quad (2)$$

由式(1)和式(2)得

$$w'_{\lambda} = \varepsilon_{\lambda} 2\pi hc^2 / \lambda^5 (e^{ch/\lambda kT} - 1) \quad (3)$$

根据辐射亮度的概念

$$L'_{\lambda} = w'_{\lambda} / \pi \quad (4)$$

由式(3)和式(4)得

$$L'_{\lambda} = \varepsilon_{\lambda} 2hc^2 / \lambda^5 (e^{ch/\lambda kT} - 1) \quad (5)$$

w'_{λ} 是实际物体光谱辐射出射度; w_{λ} 是黑体光谱辐射出射度; ε_{λ} 是光谱比辐射率; T 是黑体的温度,也是地-气系统的温度; L'_{λ} 是实际物体辐射亮度.

虽然 ε_{λ} 能代表沙尘强度,但从式(5)不能直接获得 ε_{λ} , 因为有两个未知变量 ε_{λ} 和 T . 由于 MODIS 数据的 29、31 波段都是长波辐射波段,所以可以不考虑地物对太阳光的反射辐射,只考虑地物的热辐射,所以由式(5)可得式(6)和式(7)

$$L'_{31} = \varepsilon_{31} 2hc^2 / \lambda_{31}^5 (e^{ch/\lambda_{31} kT} - 1) \quad (6)$$

$$L'_{29} = \varepsilon_{29} 2hc^2 / \lambda_{29}^5 (e^{ch/\lambda_{29} kT} - 1) \quad (7)$$

由式(6)和式(7)得式(8)和式(9)

$$e^{ch/\lambda_{31} kT} = \varepsilon_{31} 2hc^2 / \lambda_{31}^5 L'_{31} + 1 \quad (8)$$

$$e^{ch/\lambda_{29} kT} = \varepsilon_{29} 2hc^2 / \lambda_{29}^5 L'_{29} + 1 \quad (9)$$

由式(8)和式(9)得式(10)和式(11)

$$(e^{ch/\lambda_{31} kT})^{11.03} = (\varepsilon_{31} 2hc^2 / \lambda_{31}^5 L'_{31} + 1)^{11.03} \quad (10)$$

$$(e^{ch/\lambda_{29} kT})^{8.55} = (\varepsilon_{29} 2hc^2 / \lambda_{29}^5 L'_{29} + 1)^{8.55} \quad (11)$$

λ_{31} 和 λ_{29} 分别是第 31 和第 29 波段的中心波长,分

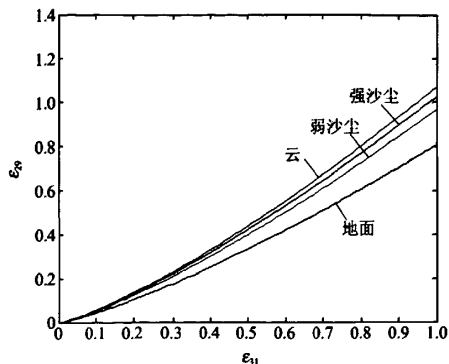


图1 地面、云区和沙尘区 ε_{31} 和 ε_{29} 的关系曲线图

Fig. 1 Relation of ε_{31} and ε_{29} in ground surface, cloud and sand dust

别为 $11.03 \times 10^{-6} \text{ m}$ 和 $8.55 \times 10^{-6} \text{ m}$, 代入式(10)和式(11), 得式(12)

$$(\varepsilon_{31} 2hc^2 / \lambda_{31}^5 L'_{31} + 1)^{11.03} = (\varepsilon_{29} 2hc^2 / \lambda_{29}^5 L'_{29} + 1)^{8.55}, \quad (12)$$

式(12)中: T 为绝对温度(K); h 为普朗克常数 = $6.6256 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$; c 为光速 = $2.998 \times 10^8 \text{ m/s}$; k 为玻尔兹曼常数 = $1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$; λ_{31} 和 λ_{29} 是第 31 和第 29 波段的中心波长; L'_{31} 和 L'_{29} 是第 31 和第 29 波段的辐射亮度, 这两个变量是通过图像获得.

$$(729.526216807517 \varepsilon_{31} / L'_{31} + 1)^{11.03} = (2606.68103486044 \varepsilon_{29} / L'_{29} + 1)^{8.55}, \quad (13)$$

由式(13)可得

$$\varepsilon_{29} = (((729.526216807517 \varepsilon_{31} / L'_{31} + 1)^{1.29005847953216} - 1) / 2606.68103486044) L'_{29}, \quad (14)$$

从式(14)能看出图像中任何一个像元上 ε_{31} 和 ε_{29} 的函数类型相同, 但由于物质的差异导致不同像元函数中的系数不同, 函数的系数差异导致不同像元上 ε_{31} 相同时, ε_{29} 不相同. 通过式(14)画出沙尘发生时的地表主要地物云区、地面、弱沙尘和强沙尘区 ε_{29} 随 ε_{31} 的增长速度都不相同即云区、地面、弱沙尘和强沙尘区 ε_{29} 与 ε_{31} 接近速度不同, 并且 ε_{31} 在 0~1 的区间上变化时, ε_{29} 的大小顺序永远是云 > 强沙 > 弱沙 > 地面, 这也就说明利用这种特征可以提取沙尘的发生范围和强度. 从图 1 可以看出 ε_{31} 在 0~1 之间变化时, 不同像元上 ε_{29} 的差距是增大的, 为了得到明显的结果, 假设 $\varepsilon_{31} = 0.9$ 后导入函数(14)中获得 ε_{29} 的值, 然后用 ε_{29} 构建沙尘指数 (DSI).

$$\text{DSI} = (((729.526216807517 \varepsilon_{31} / L'_{31} + 1)^{1.29005847953216} - 1) / 2606.68103486044) L'_{29}. \quad (15)$$

3 判别结果与实例验证

对 2006 年 4 月 21 日 terra/modis 数据, 用本文

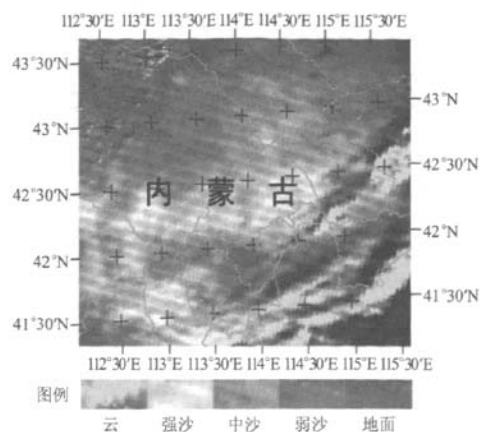


图2 2006 年 4 月 21 日 MODIS 数据 20、1、29 波段合成图

Fig. 2 Pseudo-color composition map of band 20, 1, 29 on April 21, 2006

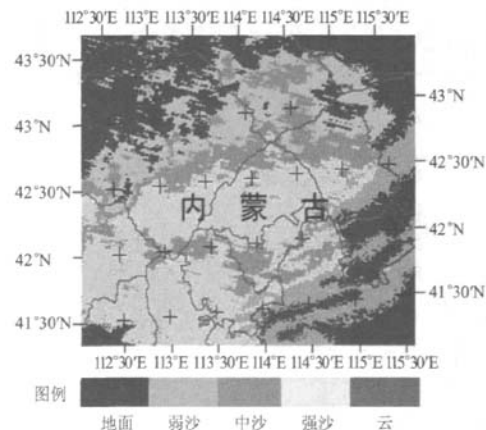


图3 2006 年 4 月 21 日 DSI 分布图

Fig. 3 Distribution of DSI on April 21, 2006

的方法对发生的沙尘暴进行监测, 并根据 DSI 指数对沙尘强度进行划分, 结果如图 3 所示. 沙尘暴彩色合成图像的颜色和纹理能够反映沙尘强度, 但数值上不能代表沙尘强度. 汪溪远用最佳波段组合指数法和方差协方差特征值法从众多 MODIS 波段中筛选出了用于沙尘暴图像的最佳彩色合成增强波段组合 20、1、29 波段^[9]. 图 2 是 modis 数据的 20、1、29 波段合成图. 通过对比图 3 与图 2 发现 DSI 指数反映的沙尘暴发生范围和强度与目视结果非常一致. 通过遥感监测到的此次沙尘暴发生地区是内蒙古中部的化德县、镶黄旗、正镶白旗、苏尼特左旗、苏尼特右旗、商都县、察哈尔右翼后旗、察哈尔右翼中旗、四子王旗等. 从内蒙古上述旗县气象站点的此次沙尘

暴发生时间来看,在卫星数据获取时间 2006 年 4 月 21 日 12 h 时都发生了沙尘暴. 用同样的方法监测了多次内蒙古地区发生的沙尘暴,结果都与最佳彩色组合 20、1、29 波段合成图像显示结果基本一致.

4 结语

(1) 本文利用地物比辐射率特性,并结合 MODIS 数据热辐射波段的特征,建立了一个较稳定判别沙尘强度的沙尘指数(DSI),该指数只考虑地物的性质,所以大大减少太阳光照条件和地表温度等条件的影响. 经过多次沙尘暴的实例验证,本方法能准确地监测白天和晚上沙尘发生的范围和强度.

(2) 通过理论推导和试验证明得出云区、地表、弱沙尘和强沙尘区 ε_{29} 与 ε_{31} 接近程度不同,且 ε_{31} 在 0~1 区间上变化时, ε_{29} 的大小顺序永远是云>强沙>弱沙>地面. 因此假设 ε_{31} 的值后,通过 ε_{31} 和 ε_{29} 的函数关系,获得的 ε_{29} 的值能够代表沙尘强度.

(3) 卫星数据的获取时间不是气象站的能见度测量时间,不能用能见度验证沙尘强度,因此本文用最佳合成方法进行了验证. 但是由于沙尘强度判别是相对的,还需要在定量判别沙尘暴这方面做更多的研究.

(4) 由于卫星数据的获取时间、观测角度不同导致比辐射率也有些不确定性因素. 所以通过比辐射率更加准确地对比物质性质,待进一步研究.

REFERENCES

- [1] SHI Pei-Jun, ZHANG Hong, WANG Ping, et al. The regional patterns for combating sandification in sandy disaster affected area in China[J]. *Journal of natural disaster*(史培军,张宏,王平,等. 我国沙区防沙治沙的区域模式. 自然灾害学报), 2000, 9(3): 1—7.
- [2] Carlson T N. Atmospheric turbidities in Saharan dust outbreaks as determined by analysis of satellite brightness data[J]. *Monthly Weather Review*, 1979, 107: 322—335.
- [3] Norton C, Mosher F R, Hinton B, et al. A model for calculating desert aerosol turbidity over the oceans from geostationary satellite data[J]. *Journal of Applied Meteorology*, 1980, 19: 633—644.
- [4] FANG Zong-Yi, ZHANG Yun-Gang, ZHENG Xin-Jiang, et al. Remote sensing the method of detecting dust storm and the primary result using meteorological satellite[J]. *Quaternary Sciences*. (方宗义,张运刚,郑新江,等. 用气象卫星遥感监测沙尘暴的方法和初步结果. 第四纪研究), 2001, 21(1): 48—55.
- [5] ZHENG Xin-Jiang, LU Wen-Jie, LUO Jing-Ning. Research on the duststorm monitoring using multi-channel meteorological satellite data[J]. *Journal of remote sensing*(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. 遥感学报), 2001, 5(4): 301—305.
- [6] JIANG Ji-Xi. A study of formation for "black storm" using GMS-4 imagery[J]. *Journal of Applied Meteorological Science*(江吉喜. 一次特大沙尘暴成因的卫星云图分析. 应用气象学报), 1995, 6(2): 177—184.
- [7] LUO Jing-Ning, FAN Yi-Da, SHI Pei-Jun, et al. Information-comparable method of monitoring the dust storm by multisource data of remote sensing[J]. *Journal of natural disaster*(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. 自然灾害学报), 2003, 5, 112(2): 28—34.
- [8] CHEN Shu. *The Comprehensive Practical Book of Remote Sensing Technology, Method of Analyzing of Remote Sensing Digital Image, Interpretation and Synthetically Applying* [M]. Yinchuan: Ning Xia Mainland Audiovisual Publishing House(陈述. 遥感技术与遥感数字图像分析处理方法. 解译制图及其综合应用实务全书. 银川: 宁夏大地音像出版社), 2005, 7—64.
- [9] WANG Xi-Yuan. The sandstorm information of Xinjiang based on MODIS data is drawn and studied with the ecological effect of dust and sand weather[D]. Xinjiang: Xinjiang University(汪溪远. 基于 MODIS 数据的新疆沙尘暴信息提取与沙尘天气生态效应研究. 新疆: 新疆大学), 2005: 58.