

利用静止气象卫星监测沙尘暴*

胡秀清 卢乃锰 邱红 刘玉洁

(国家卫星气象中心, 北京 100081)

摘 要 MODTRAN 的理论模拟和实际卫星图象分析结果表明: 分裂窗亮温差与 $11\ \mu\text{m}$ 红外亮温的比值可以很好地反映弱沙尘的存在。当强沙尘出现时, 借助于可见光、红外和水汽图象的光谱分类技术是监测沙尘暴的有效手段。作者首先介绍分裂窗处理技术和光谱分类技术, 而后展示了国家卫星气象中心静止气象卫星沙尘暴自动监测精度的初步检验结果。

关键词: 气象卫星; 沙尘暴; 监测

1 引言

近年来, 我国北方地区频繁遭受沙尘天气的袭击。沙尘过程影响范围大, 持续时间长, 对社会生产和人民生活造成了严重影响。如何在沙尘暴监测和预测工作中最大限度地发挥气象卫星遥感资料作用, 是当前沙尘暴监测与预测研究工作中一项亟待解决的紧迫问题。

由于沙尘的时空分布和强度变化很不均匀, 常规观测几乎无法获取其三维时变信息, 遥感便成为监测沙尘天气最为有效的手段。气象卫星覆盖范围宽广, 观测频次稳定, 从气象卫星遥感资料中提取沙尘天气的各种物理参数, 不仅有助于加深我们对沙尘天气发生、发展和传播过程的理解, 而且能够为沙尘天气的预报以及综合治理方案提供科学依据。

在种类繁多的对地遥感卫星中, 静止气象卫星观测频次最高, 成像范围最大, 是监测沙尘天气最为有力的工具。然而, 由于静止气象卫星资料的空间分辨率和光谱分辨率都比较差(与 NOAA 卫星相比, 空间面积分辨率低 30 倍, 量化等级低 4~8 倍), 探索使用静止气象卫星资料监测沙尘天气的方法便成为气象卫星遥感资料应用中一项极具挑战性的研究课题, 这项工作的开展不仅具有一定的理论研究价值, 而且具有很高的实际应用价值。

2 基本原理

2.1 红外分裂窗法

卫星观测到的红外辐射由两部分组成, 一部分是由地表发射, 经大气消光后到达

2002-10-25 收到, 2002-12-27 收到修改稿

* 国家科技部社会公益研究专项资金项目“我国西北地区生态气候环境监测预测方法研究”资助

卫星的红外辐射,另一部分是大气本身发射的红外辐射。当气溶胶光学厚度不很大时,其发射作用相对较弱,卫星感应到的主要是透过气溶胶层到达卫星的地表发射辐射^[1,2]。由于气溶胶在两个分裂窗通道上的透过率存在差异,卫星探测到的亮温便产生了差异。通过对这种分裂窗亮温差的分析就可以反过来推算气溶胶的存在。这就是分裂窗监测沙尘天气的基本原理。

图1是利用MODTRAN对沙尘性气溶胶的模拟结果,说明沙尘性气溶胶的亮度温度差与下垫面温度以及沙尘性气溶胶浓度有关。利用分裂窗亮温差可以推断沙尘天气的存在。

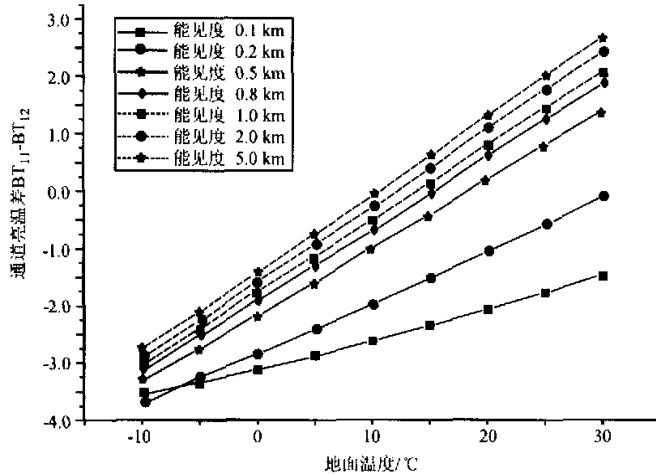


图1 中纬度冬季标准大气条件下不同强度的沙尘分裂窗亮温差随地面温度的变化
BT₁₁为红外 11 μm 通道亮度温度, BT₁₂为红外 12 μm 通道亮度温度

在利用分裂窗亮温差判识沙尘暴的存在时,某些卷云会对判识结果产生一定影响,单纯使用分裂窗亮温差会造成误判。不过,尽管某些卷云与沙尘性气溶胶在分裂窗通道的亮温差相当,它们却具有极为不同的红外亮度温度。沙尘顶的高度通常在 3 km 以下,而卷云却在 8 km 以上,因此,将红外亮度温度差除以某一个温度因子就可以抑制云的信号,突出沙尘信号。图2是对分裂窗法确定沙尘区的图象说明。图2a为2000年4月6日影响北京地区沙尘过程的分裂窗差值图象,图2b为经过分裂窗亮温差比值处理后的图象。比较图2a和图2b可以看到,比值处理后的分裂窗亮温差图象抑制了卷云信号,突出了沙尘的存在。

仔细分析图2a和2b还可以发现,虽然分裂窗亮温差对于沙尘性气溶胶的存在很敏感,但是,当沙尘十分浓厚时,分裂窗的差值反而回升(箭头位置)。这是因为极强的沙尘完全遮挡了地面发射的红外辐射(光学厚度极大),此时卫星感应到的只有沙尘发射的辐射,分裂窗的亮度温度的差异就会变小。为了保证在对卫星遥感图象进行分析时,不漏判强沙尘区,就必须解决分裂窗亮温差对强沙尘不敏感的问题。

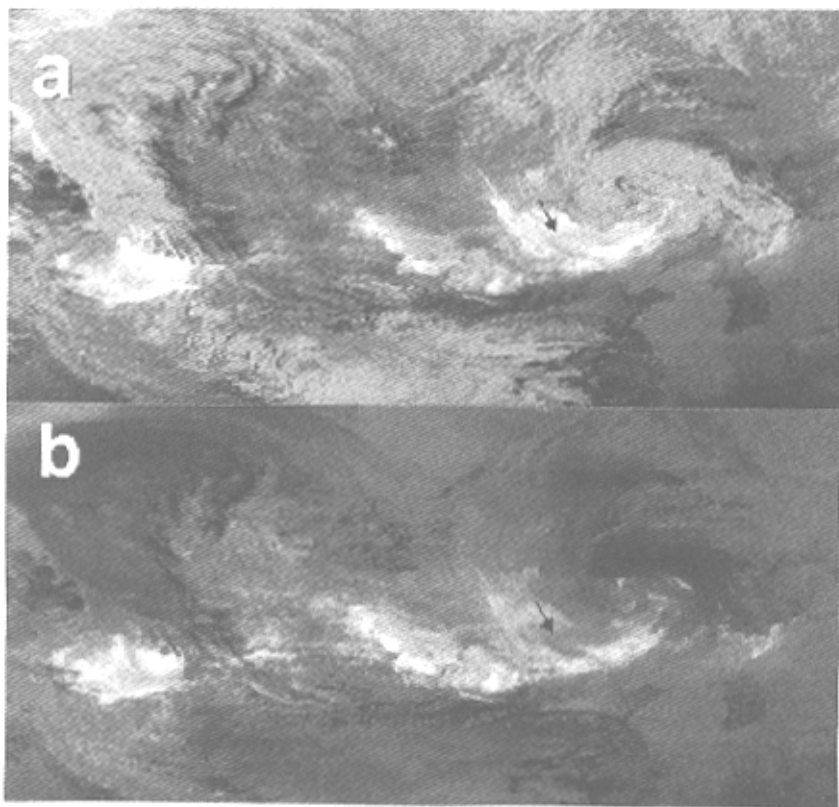


图2 2000年4月6日GMS-5红外分裂窗亮温差图像(a)和分裂窗亮温差比值图像(b)

2.2 光谱分类法

当很强的扬沙或沙尘暴出现时,沙尘云会表现出特殊的光谱特征。利用这种特征就可以有效地识别沙尘云。图3说明了通过光谱分析方法识别强沙尘云的基本原理。在红外图像上(IR),虽然沙尘云和水成云都比地面明亮(温度较低),然而,与沙尘云相比,深厚的水成云在可见光图像上(VIS)表现的十分醒目(高反照率)。这样,通过红外与可见光图像的对比分析就可以排除地面(b)和密实的厚云区。剩下的问题是如何将沙尘云(a)与透光的薄卷云(c)区分开。虽然这两种云在红外图像和可见光图像上容易混淆,但是它们在水汽图像(VW)上的表现却完全不同。水汽图像对于700 hPa以上的水汽十分敏感,卷云就总是出现在这一区域,因此,卷云在水汽图像上表现白亮,而沙尘由于所在高度较低,在水汽图像上没有任何反映。由此可见,通过可见光、红外和水汽图像的综合分析就可以把沙尘云从卫星图像中分离出来。

在进行光谱分类之前,有必要减小太阳照射角度和沙尘云顶温度随季节变化等因素的影响,使沙尘云在不同通道上的光谱特征尽量一致。经过上述处理后,以人工目视判别为基础,建立强沙尘光谱样本,使用最大似然估计法对强沙尘样本进行监督

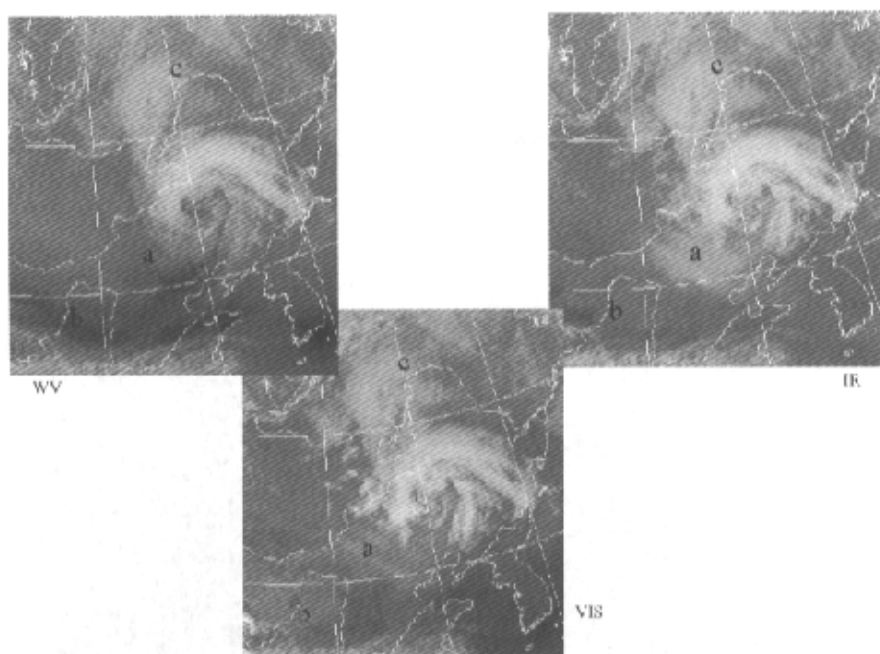


图3 地面 (b)、沙尘云 (a)、卷云 (c) 的红外 (IR)、可见光 (VIS) 和水汽 (WV) 图像

分类,便完成了强沙尘光谱分类器的设计。

2.3 分裂窗技术与光谱分类技术的综合使用

尽管光谱分类技术是监测强沙尘的有效方法,然而,由于一方面卫星图像存在像元不充满问题,另一方面在一些极其特殊的情况下,某些地区(特别是在高原地区)的地面光谱特征会与沙尘云有类似之处,因此,在判识沙尘云时,单纯使用光谱分类技术有可能导致小范围的误判。与之相比,分裂窗技术能够有效地检测弱沙尘的存在,并排除一些不可能存在沙尘的情况,但是,单纯的分裂窗方法容易漏判强沙尘的出现。分裂窗方法与光谱分类方法取长补短即可减少对沙尘暴的漏判和误判。

3 沙尘暴监测效果检验

综合使用分裂窗技术与光谱分类技术对2000年3月10日至4月30日每日04:30 GMT (Greenwich Mean Time) 的GMS-5静止气象卫星图象进行沙尘暴自动判识,结果列于表1。国家卫星气象中心全自动强沙尘监测技术对上述时段26次(以地面观测站观测记录为真值,按日计算)强沙尘天气的判识准确率在80%以上。

表 1 国家卫星气象中心全自动强沙尘天气监测方法效果检验表

日期 2000 年	地面 报告	卫星监测 结果	卫星估算面积 (万 km ²)	日期 2000 年	地面 报告	卫星监测 结果	卫星估算面积 (万 km ²)
3 月 10 日	0	0		4 月 5 日	1	1	0.9
3 月 11 日	0	0		4 月 6 日	1	1	23.7
3 月 12 日	0	0		4 月 7 日	1	0	
3 月 13 日	0	0		4 月 8 日	1	1	2.8
3 月 14 日	0	0		4 月 9 日	1	1	22.5
3 月 15 日	0	0		4 月 10 日	0	0	
3 月 16 日	0	0		4 月 11 日	0	0	
3 月 17 日	1	1	1.7	4 月 12 日	1	1	1.9
3 月 18 日	1	1	0.6	4 月 13 日	1	1	16.0
3 月 19 日	0	1	0.5	4 月 14 日	0	0	
3 月 20 日	0	1	1.8	4 月 15 日	0	1	3.8
3 月 21 日	1	1	2.4	4 月 16 日	0	1	3.5
3 月 22 日	1	1	12.2	4 月 17 日	0	0	
3 月 23 日	1	1	3.9	4 月 18 日	1	0	
3 月 24 日	0	0		4 月 19 日	1	1	6.2
3 月 25 日	0	0		4 月 20 日	1	1	13.6
3 月 26 日	1	0		4 月 21 日	1	1	4.2
3 月 27 日	1	1	4.9	4 月 22 日	1	1	0.7
3 月 28 日	1	0		4 月 23 日	0	0	
3 月 29 日	0	0		4 月 24 日	1	1	12.6
3 月 30 日	0	0		4 月 25 日	1	1	13.2
3 月 31 日	0	0		4 月 26 日	1	1	0.6
4 月 1 日	0	0		4 月 27 日	0	1	0.3
4 月 2 日	0	0		4 月 28 日	1	1	4.3
4 月 3 日	1	1	2.8	4 月 29 日	1	1	1.9
4 月 4 日	1	0		4 月 30 日	0	0	

注: “0”、“1” 分别表示无沙尘天气和有沙尘天气, 监测结果为北京时间 12: 40 卫星观测

4 结论与分析

静止气象卫星观测范围广, 使用时效高, 是监测灾害性天气的有力工具。理论模拟和实际图象分析结果都表明, 分裂窗和光谱分类技术是监测沙尘暴的有效方法。以这两种方法为基础, 国家卫星气象中心利用 GMS-5 静止气象卫星资料实现了对春季沙尘暴天气的自动监测。

由于目前气象卫星光谱聚类技术需要可见光资料, 因此, 当缺少可见光资料或太阳高度角很低时, 光谱聚类技术的精度会降低。从实际处理结果上看, 太阳高度角的极限是 4°, 并且也不能简单地使用余弦订正进行太阳高度角订正。此外, 对于少数云沙共存的情况, 全自动处理技术也遇到了一定的困难。尽管如此, 与常规观测资料相比, 静止气象卫星的沙尘暴监测结果具有极高的空间分辨率和令人满意的分析时效以及很好的客观性。静止气象卫星资料在对沙尘天气的监测与预报中无疑将发挥重要的作用。

参 考 文 献

- 1 Niimura, N., K. Okada, X. B. Fan, K. Kai, K. Arao, G. Y. Shi, and S. Takahashi, Formation of Asian dust-storm particles mixed internally with sea salt in the atmosphere, *J. Meteor. Soc. Japan*, 1998, **76**, 275~288.
- 2 Ackerman, S. A., Radiative characteristics of soil derived aerosols, Ph. D. Dissertation, Department of Atmospheric Science, Colorado State University, Fort Collins, CO 80523, 1987, 178pp.

Dust-Storm Monitoring Using Geostationary Meteorological Satellites

Hu Xiuqing, Lu Naimeng, Qiu Hong, and Liu Yujie

(National Meteorological Satellite Center, Beijing 100081)

Abstract Both MODTRAN simulations and Satellite observations show that the ratio of the temperature difference between split windows channels to $11\ \mu\text{m}$ brightness temperatures is a available indicator to monitor dust storm, and with spectral classification technique, visible, infrared, and water vapor images can track strong dust storm outbreaks. This paper presents the applications of split window channel technique and spectral classification technique in dust storm monitoring.

Key words: meteorological satellite; dust-storm; monitoring