

苗慧灵. 利用卫星红外多光谱监测沙尘的方法 [J]. 陕西气象, 2014 (3): 1-4.

文章编号: 1006-4354 (2014) 03-0001-04

利用卫星红外多光谱监测沙尘的方法

苗慧灵

(北京市气象局, 北京 100089)

摘 要: 利用沙尘与水云、冰云、下垫面对红外辐射的散射、吸收差异, 研究了一种卫星监测沙尘方法。将 $T_{BD8.5-11}$ ($8.5\ \mu\text{m}$ 减 $11\ \mu\text{m}$ 亮温差)、 $T_{BD11-12}$ ($11\ \mu\text{m}$ 减 $12\ \mu\text{m}$ 亮温差)、 T_{11} ($11\ \mu\text{m}$ 亮温) 转换成 3 基色, 经伽玛校正合成彩色图, 用于沙尘监测。在实际应用中的结果表明: 此方法对弱沙尘敏感, 能详细反映沙尘强弱、位置高低以及沙地和云等多种信息, 明显优于常用方法, 对于研究沙尘对云的影响具有重要意义。同时, 该方法能够发挥卫星日夜不间断探测的优点, 适合连续跟踪监测。

关键词: 沙尘暴; 多光谱合成; 卫星遥感

中图分类号: P407

文献标识码: A

我国北方沙尘多发, 对环境、生态、气候等产生影响, 成为当今普遍关注的热点问题^[1]。国内外沙尘研究主要为沙尘监测、形成机制、输送、预测、特性及其气候效应等, 观测是研究基础, 由于地面测站有限, 卫星能弥补测站不足的缺陷。卫星监测沙尘主要有两种技术体系, 即常用可见光加近红外 (VIR) 和热红外 (TIR) 技术^[2]。早在 1974 年 Shenk 等^[3]提出可见光加红外方法; Ackeman^[4]曾用中红外 ($3.7\ \mu\text{m}$) 和红外 ($11\ \mu\text{m}$) 亮温差监测沙尘暴; 郭锐等^[5]利用可见光 ($0.45\ \mu\text{m}$) 和近红外 ($2.1\ \mu\text{m}$)、红外 ($3.7\ \mu\text{m}$, $8.5\ \mu\text{m}$) 亮温差建立了沙尘暴指数; Zhang 等^[6]用 $T_{BD11-12}$ ($11\ \mu\text{m}$ 减 $12\ \mu\text{m}$ 亮温差)、 $T_{BD8.5-11}$ ($8.5\ \mu\text{m}$ 减 $11\ \mu\text{m}$ 亮温差) 识别沙尘, 分级显示沙尘强弱、冰云、水云等。

一方面, 对于沙尘 $T_{BD11-12}$ 为负值, 云和地表 $T_{BD11-12}$ 为正值 (或零), 因此, 用 $T_{BD11-12}$ 很容易识别沙尘。另一方面, 由于水汽对 $8.5\ \mu\text{m}$ 吸收较强, 在无沙 (或弱沙) 时, $T_{8.5}$ ($8.5\ \mu\text{m}$ 亮温) $< T_{11}$ ($11\ \mu\text{m}$ 亮温), $T_{BD8.5-11}$ 为负; 当强沙尘时, $T_{BD8.5-11}$ 为正。因此, 可用 $T_{BD8.5-11}$

标识沙尘的强弱。利用 MODIS 红外 ($8.5\ \mu\text{m}$ 、 $11\ \mu\text{m}$ 、 $12\ \mu\text{m}$) 资料, 将 $T_{BD8.5-11}$ 、 $T_{BD11-12}$ 、 T_{11} 转换为 3 基色, 经伽玛校正合成彩色图监测沙尘, 方法适用日夜连续监测。利用红外多光谱监测沙尘, 还可获得云和地表详细信息, 为研究沙尘对云的影响提供更丰富的信息, 对环境影响研究具有重要意义。

1 监测沙尘原理与方法

1.1 沙尘复折射指数特性

复折射指数实部和虚部反映了气溶胶的散射、吸收能力。与水、冰相比, 沙尘在 $11\ \mu\text{m}$ 波段的复折射指数实部和虚部都大于 $12\ \mu\text{m}$ 的, 表明沙尘散射、吸收强, 透过率小, 更多 $12\ \mu\text{m}$ 波段的能量穿过大气到达卫星, $T_{BD11-12}$ 为负; 相反, 冰云、水云、地表 $T_{BD11-12}$ 为正。

虽然沙尘比冰云、水云对 $11\ \mu\text{m}$ 的散射、吸收强, 但是水汽对 $8.5\ \mu\text{m}$ (靠近水汽吸收波段) 吸收更强。因此, 当沙尘较弱时, $11\ \mu\text{m}$ 散射、吸收不足以抵消 $8.5\ \mu\text{m}$ 的水汽吸收时, $8.5\ \mu\text{m}$ 透过率小于 $11\ \mu\text{m}$, $T_{BD8.5-11}$ 为负; 当沙尘增强或有卷云时, $11\ \mu\text{m}$ 散射吸收增强, 且大于 $8.5\ \mu\text{m}$, $T_{BD8.5-11}$ 为

收稿日期: 2014-03-28

作者简介: 苗慧灵 (1962—), 女, 河北肃宁人, 汉族, 助工, 从事应用气象工作。

正。张鹏等^[2]指出,强沙尘的 $T_{BD8.5-11}$ 大于零; Ackerman 等^[7]观测到卷云的 $8.5\text{ }\mu\text{m}$ 亮温比 $11\text{ }\mu\text{m}$ 的高。晴空无沙尘时 $T_{BD8.5-11}$ 为较大负值。因此, $T_{BD8.5-11}$ 反映了沙尘强弱。

1.2 MODIS 红外多光谱监测沙尘方法

利用 $T_{BD11-12}$ 标识沙尘, $T_{BD8.5-11}$ 标识沙尘的强弱, T_{11} 标识目标物温度(高度),表 1 给出 MODIS 识别沙尘阈值。将 $T_{BD11-12}$ 反转值赋予红色(R), $T_{BD8.5-11}$ 反转值赋予绿色(G), T_{11} 值赋予蓝色(B),合成红外多光谱彩色图,经测试确定 $T_{BD11-12}$ 反转值取值范围为 $-4\sim 3\text{ K}$, $T_{BD8.5-11}$ 反转值取值范围为 $-2\sim 10\text{ K}$, T_{11} 为 $261\sim 289\text{ K}$ 。彩色图中各种颜色物理意义为:红色和紫红色为沙尘,红色表示沙尘温度低(高度高),紫红色表示沙尘温度高(高度低),弱沙尘为浅紫色,颜色越深沙尘越强,反之亦然;水云为土黄色,冰云为暗红色,沙地为青白色。因此,用此方法得到沙尘监测图,图中的沙尘、水云、冰云、沙地色差大,易于分辨,将沙尘显示为红色和紫红色还能起到警示作用。

表 1 沙尘阈值

阈值	说明
$T_{BD11-12} < -0.5\text{ K}$ 且 $T_{BD8.5-11} > -1\text{ K}$	强沙尘
$T_{BD11-12} < -0.5\text{ K}$ 且 $T_{BD8.5-11} \leq -1\text{ K}$	弱沙尘
$T_{BD11-12} > 0.5\text{ K}$ 且 $T_{BD8.5-11} > 0\text{ K}$	卷云
$T_{BD11-12} > 0\text{ K}$ 且 $T_{BD8.5-11} < 0\text{ K}$	密实冰云
其它	水云、地表 不确定区

2 个例应用

2.1 白天沙尘监测与传统方法比较

选取 2008 年 5 月 2 日沙尘过程,分别采用该方法和 2 种常用方法合成卫星图像,对比分析监测沙尘效果。当天 Aqua 卫星过境为 13:15 (北京时间,以下均同),用 $T_{BD11-12}$ 、 $T_{BD8.5-11}$ 、 T_{11} 合成得到图 1a。由图 1a 可见,强沙尘位于图中央呈红色和紫红色,高度不同,边缘弱沙尘呈浅紫色,周围沙地呈青白色,图左上角和图右侧存在呈土黄色的水云和呈暗红色的冰云,有些水

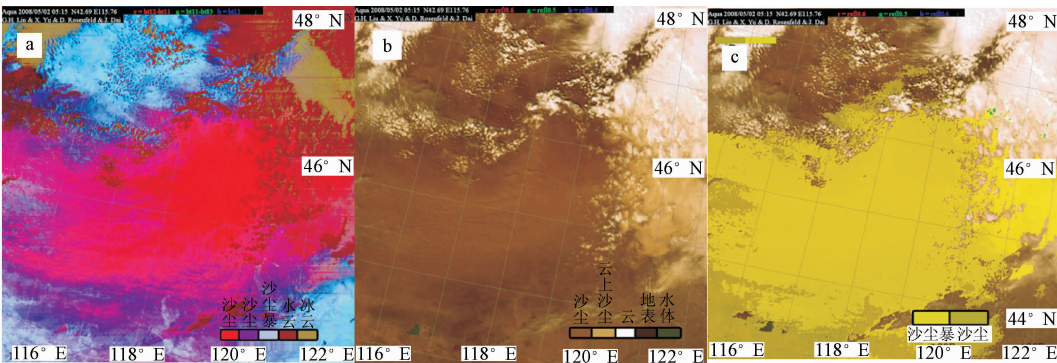
云位于冰云之上,有些冰云位于沙尘之上,有些位于沙尘边缘,能清晰看出云与沙尘界限及混合。用该方法监测沙尘,能详细反映沙尘强弱、高低,以及沙地和云等多种信息,对于研究沙尘对云的影响具有重要意义。

一种常用卫星监测沙尘方法是用 3 个可见光($0.645\text{ }\mu\text{m}$, $0.555\text{ }\mu\text{m}$, $0.469\text{ }\mu\text{m}$)反射率合成彩色图(图 1b),图中栗黄色为沙尘,白色为云,当云与沙尘混合时云区发黄,灰黑色为地表。图中央呈栗黄色的强沙尘和图上部白色云区清晰可见,右侧发黄云区表示云与沙尘相互混合,但边缘的弱沙尘和沙地辨识较困难。与图 1a 相比,虽然强沙尘和云易于分辨,但对沙尘强弱和高度、云的相态不敏感,不易识别弱沙尘,区分沙尘与沙地困难,因为沙地与栗黄色相近。

另一种常用方法是用表 1 的阈值,设定强沙尘为黄色,弱沙尘为暗黄色,在图 1b 上半透明叠加得到图 1c。图中黄色为强沙尘,暗黄色为弱沙尘,栗黄色为沙源地。与图 1b 相比,通过加大强、弱沙尘和沙地色差,可视效果得到改善,但在沙尘与云互相混合区域,易错判成沙尘(见图 1c 右侧)而忽略云信息。与图 1a 相比,在反映云信息(水云、冰云)、云与沙尘相互作用、沙尘高度等方面效果欠佳。综上所述,新方法可视能力强,在许多方面优于常用可见光方法,特别是在与云互相作用区域优势明显。

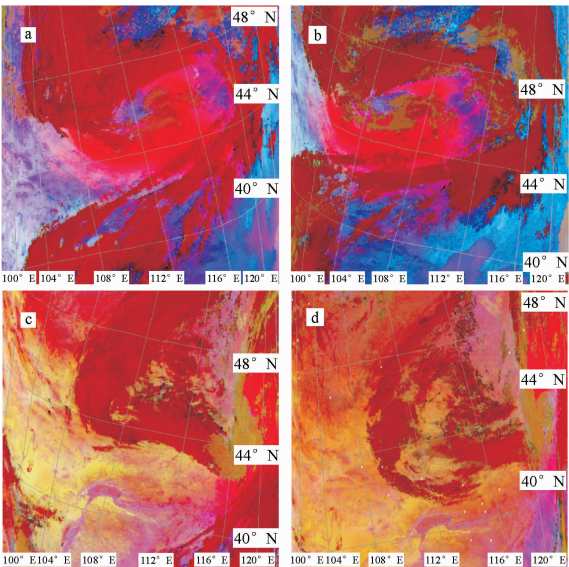
2.2 双星日夜连续沙尘监测

2011 年 5 月 11 日,受锋面气旋影响,蒙古国中东部、我国内蒙古地区出现强沙尘,局部沙尘暴。卫星监测表明,沙尘源自蒙古国中部,进入我国逐渐东移南下,经历先加强后减弱过程。图 2a 为 Terra 卫星(过境时间 11:37)多光谱图,图 2b 为 Aqua 卫星(过境时间 13:17)多光谱合成图,比 Terra 晚 100 min。由图可知,在 100 min 内,红色沙尘区面积没有太大变化,但图 2b 红色增强表明沙尘强度增加,沙尘区位置与图 2a 相似,南下了 1 个纬距,略为东移。



(a) $T_{BD11-12}$ 、 $T_{BD8.5-11}$ 、 T_{11} 合成图；(b) $0.6\text{ }\mu\text{m}$ 、 $0.5\text{ }\mu\text{m}$ 、 $0.4\text{ }\mu\text{m}$ 反射率合成图；(c) 在图 b 上叠加沙尘强弱信息

图 1 2008-05-02T13: 15 Aqua 卫星监测沙尘的 3 种方法合成图



(a) 11 日 11: 37TERRA, (b) 11 日 13: 17AQUA,
(c) 11 日 22: 40TERRA, (d) 12 日 02: 55AQUA

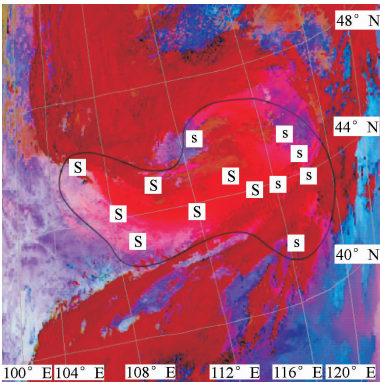
图 2 2011-05-11—12EOS/MODIS 卫星 4 次过境
红外多光谱合成图

图 2c 和 2d 为卫星夜间监测沙尘多光谱合成图，夜间各目标物颜色物理意义与白天一致（仅沙地因夜间温度低呈金黄色）。与白天相比，夜间红色沙尘区面积缩小强度减弱，至 12 日凌晨， 116°E 以西区域沙尘基本结束，仅东部存在沙尘，东移了 4 个经距。利用 MODIS 卫星实现日夜不间断沙尘跟踪监测（每天 4 次），有利于了解沙尘范围、强度及演变，为研究沙尘暴和做好灾害防御提供监测基础。

2.3 地面监测验证

2011 年 5 月 11 日 11 时地面观测资料显示，

沙尘暴位于 $106\sim118^{\circ}\text{E}$ 、 $41\sim46^{\circ}\text{N}$ （图 3 中曲线区域），与 TERRA（11: 37）卫星监测的沙尘暴（图 2a）一致，表明卫星监测沙尘方法有效。



S 表示沙尘暴，s 表示扬沙

图 3 2011-05-11T11: 37 红外多光谱合成图
叠加 11: 00 地面观测资料

3 结论

针对沙尘、地表、云、下垫面在卫星 3 个红外通道（ $8.5\text{ }\mu\text{m}$ 、 $11\text{ }\mu\text{m}$ 、 $12\text{ }\mu\text{m}$ ）的散射吸收特点和差异，建立可日夜不间断监测沙尘的红外多光谱技术方法。其中， $T_{BD11-12}$ 反映沙尘， $T_{BD8.5-11}$ 反映沙尘强弱， T_{11} 反映目标物温度（高度），赋予 3 基色进行伽玛校正，生成反映沙尘有无、强弱、冰云、水云及地表的多光谱彩色合成图。

与常用可见光方法比较，该方法在反映云信息、云与沙尘相互作用区域、沙尘强弱与高度等方面可视效果更好，监测功能更强，对弱沙尘、

贺春江, 蒙蒙, 黄肖寒, 等. 桂西北一次区域性冰雹天气过程分析 [J]. 陕西气象, 2014 (3): 4-7.

文章编号: 1006-4354 (2014) 03-0004-04

桂西北一次区域性冰雹天气过程分析

贺春江, 蒙蒙, 黄肖寒, 王秋文

(河池市气象局, 广西河池 547000)

摘 要: 利用高空、地面资料, 自动气象站资料和河池多普勒雷达资料, 对 2013 年 3 月 23 日桂西北河池市区域性冰雹天气过程进行分析。结果表明: 500 hPa 高原冷槽、850 hPa 切变线、地面弱冷锋是这次过程的影响系统; 边界层辐合线为触发对流云提供了动力条件; 冷云厚度是暖云厚度的 2 倍有利于冰雹天气的产生; 适宜降雹的云顶亮温在 -52°C 到 -62°C ; 当 VIL 值 $\geq 60 \text{ kg/m}^2$ 时, 强回波附近将有冰雹出现; 反射率因子图上的弓形回波, 钩状回波, 弱回波区, 旁瓣回波、三体散射, 是发布冰雹预警的重要指标。

关键词: 区域性冰雹; 边界层辐合线; 冷暖云厚度比; 云顶亮温; VIL 值; 河池市

中图分类号: P458.1

文献标识码: A

1 天气实况

2013 年 3 月 23 日下午到夜间, 桂西北河池市出现大范围强对流天气。天峨、南丹、金城江、环江、罗城、宜州、都安等七县市的 31 乡镇出现冰雹, 其中宜州市北山乡出现直径 60 mm 的大冰雹, 天峨、宜州、环江县还出现 8 级以上

大风, 河池市的金城江区、宜州市和都安县出现短时强降水。

2 强对流天气成因

2.1 环流背景分析

2013 年 3 月 23 日 08 时强对流天气系统配置图 (图 1, 图见第 7 页) 显示, 500 hPa 高空

收稿日期: 2014-03-05

作者简介: 贺春江 (1971—), 女, 广西河池人, 学士, 工程师, 从事气象服务和短期预报工作。

沙地、与云互相作用区识别优势明显, 实现日夜不间断连续监测, 对研究沙尘发生、发展、演变具有现实意义。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 张鹏, 张兴赢, 胡秀清, 等. 2006 年一次沙尘活动的卫星定量遥感和分析研究 [J]. 气候与环境研究, 2007, 12 (3): 302-308.
- [3] Shenk W E, Curran R J. The detection of dust storms over land and water with satellite visible and visible and infrared measurements [J]. Mon Wea Rev, 1974, 102 (12): 830-837.

- [4] Ackerman S A. Using the radiative temperature difference at 3.7 and 11 to track dust outbreaks [J]. Remote Sens Environ, 1989, 27 (2): 129-133.
- [5] 郭锐, 蔡迪花, 韩兰英, 等. MODIS 沙尘暴辨识方法与业务系统 [J]. 气象, 2009, 35 (1): 102-108.
- [6] Zhang P, Lu N M, Hu X Q, et al. Identification and physical retrieval of dust storm using three MODIS thermal IR channels [J]. Global and Planetary Change, 2006, 52 (4): 197-206.
- [7] Ackerman S A, Smith W L, Spinhirne J D, et al. The 27-28 October 1986 FIRE IFO cirrus case study: Spectral properties of cirrus clouds in the 8-12 μm window [J]. Mon Wea Rev, 1990, 118 (11): 2377-2388.