

文章编号: 1007-4619(2004)05-0471-04

# 利用热红外温差识别沙尘

延 昊, 侯英雨, 刘桂清, 何延波

( 中国气象局 国家气象中心, 北京 100081)

**摘 要:** 沙尘识别是沙尘灾害监测和沙尘气溶胶特性研究的首要工作。利用辐射传输方程进行了沙尘气溶胶的辐射计算, 对不同沙尘气溶胶光学厚度下的热红外通道温差  $\Delta T(T_{11\mu\text{m}} - T_{12\mu\text{m}})$  的变化进行了分析。理论分析表明, 利用热红外通道的温度差  $\Delta T$  进行陆地沙尘识别是可行的。并利用 NOAA-AVHRR 热红外通道的温度差  $\Delta T$  进行了陆地沙尘识别的实验, 经与地面气象站实测的沙尘天气现象相比较, 结果一致。

**关键词:** NOAA-AVHRR; 沙尘监测; 热红外通道

**中图分类号:** TP79 **文献标识码:** A

## 1 引 言

气溶胶是大气辐射平衡和气候变化研究中不确定性的一个关键因素<sup>[1]</sup>, 沙尘作为对流层气溶胶的主要成分, 通过辐射强迫影响气候; 作为环境污染物, 对人类健康危害很大。而描述沙尘气溶胶的首要参数是光学厚度, 用于定量描述沙尘对辐射的消光作用。东亚沙尘气溶胶<sup>[2]</sup>光学厚度一日均值高达 5.27, 气溶胶垂直廓线呈现双峰形态, 粒子谱分布也不同。

利用遥感监测沙尘的工作一直在进行, Shenk 和 Curran<sup>[3]</sup>利用单通道的亮温(10.5—12.5 $\mu\text{m}$ )确定陆地沙尘, Ackerman<sup>[4]</sup>利用红外温差( $T_{3.7\mu\text{m}} - T_{11\mu\text{m}}$ )监测沙尘的爆发, 郑新江<sup>[5]</sup>利用气象卫星的亮温比值  $T_{3.7\mu\text{m}} - T_{11\mu\text{m}}$  和反射率  $R_{1.06\mu\text{m}}$  的关系进行了沙尘暴监测研究。

以往的 NOAA-AVHRR 传感器, 白天 3 通道波长为 3.55—3.93 $\mu\text{m}$ , 而从 NOAA16 卫星开始, 白天 AVHRR 的 3 通道改为 1.58—1.64 $\mu\text{m}$ , 使得不能应用 Ackerman 的温差方法和郑新江的亮温比值方法进行沙尘识别。

本文提出一种利用热红外通道温差  $\Delta T(T_{11\mu\text{m}} - T_{12\mu\text{m}})$  监测沙尘的方法, 并应用大气辐射传输方

程进行理论模拟, 并用卫星数据和地面实测的沙尘现象进行了方法验证。

## 2 原 理

在波长 11 $\mu\text{m}$  和 12 $\mu\text{m}$  的热红外波段处, 水汽的吸收存在较大差异, 亮度温度  $\Delta T(T_{11\mu\text{m}} - T_{12\mu\text{m}})$  被用于计算大气中水汽含量<sup>[6]</sup>。在气溶胶光学厚度  $\tau_{0.50\mu\text{m}} < 0.6$  的天气情况下,  $\Delta T$  一般  $> 0$ ,  $\Delta T$  与水汽含量存在较好的线性关系, 但在干旱和半干旱地区, 当空气极为干燥, 水汽含量  $< 1\text{cm}$  时,  $\Delta T < 0$ <sup>[6]</sup>。在沙尘天气情况下(气溶胶光学厚度  $\tau_{0.50\mu\text{m}} > 1$  时),  $\Delta T$  的变化, 以及与水汽含量的关系 Eck<sup>[6]</sup>并未给出。本文首先对沙尘天气情况下  $\Delta T$  的变化进行定性分析。

在国际气象与大气物理协会 IAMAP 提出的标准辐射大气模型中, 对流层沙尘气溶胶在 11 $\mu\text{m}$  波长的折射率为 1.62—0.105i, 在 12 $\mu\text{m}$  波长的折射率为 1.55—0.095i。由于散射粒子折射率虚部愈大, 吸收系数就大, 散射比(Single Scattering Albedo)就小<sup>[7]</sup>, 所以在热红外波段, 沙尘气溶胶折射率虚部的差异会影响沙尘天气的大气辐射, 导致亮度温度  $T_{12\mu\text{m}} > T_{11\mu\text{m}}$ , 即  $\Delta T < 0$ 。沙尘引起的热红外通道温差  $\Delta T$  提供了一种识别沙尘的可能途径。

收稿日期: 2003-08-11; 修订日期: 2003-11-27

基金项目: 科研院所社会公益研究专项资金“藏北生态环境及气象灾害遥感监测与预警研究”项目(2003DJB4J144)和国家气象中心“遥感沙尘气溶胶光学厚度在沙尘天气预报中的应用”项目(SCYJ-02-03)资助。

作者简介: 延昊(1973—), 男, 副研究员, 博士, 2002年毕业于中国科学院遥感应用研究所。现从事大气参数和生态系统的定量遥感研究, 已发表论文十篇。 E-mail: yanhaon@yahoo.com.cn

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

进一步,利用大气辐射传输方程进行定量分析,研究不同沙尘气溶胶光学厚度下的热红外温度差 $\Delta T$ 的变化。大气辐射传输计算采用的是加利福尼亚大学圣巴巴拉分校计算地球系统科学系建立的SBDART<sup>[8]</sup> (Santa Barbara DSORT Atmospheric Radiative Transfer),适用于在卫星遥感和大气辐射平衡研究中遇到的大气平面平行辐射传输问题,适用于从紫外、可见光到红外波段的光谱范围。SBDART的物理子模型包括:气溶胶模型、大气模型(提供温、压、湿和O<sub>3</sub>的垂直廓线)、地面反射率模型、云粒子散射模型、分子吸收模型和瑞利散射模型。SBDART除提供一些标准气溶胶模式外,还允许自定义气溶胶模式(包括气溶胶垂直廓线、波段消光效率、散射比和非对称因子)。

本文将D'Almeida<sup>[9]</sup>的冬季沙尘气溶胶模式嵌入到SBDART中,进行热红外大气辐射传输计算。D'Almeida的冬季沙尘气溶胶的辐射特性见表1,假定沙尘气溶胶垂直混合均匀,表面温度为310K,进行热红外大气辐射传输计算,得到不同沙尘气溶胶光学厚度下的热红外温度差 $\Delta T(T_{11\mu\text{m}} - T_{12\mu\text{m}})$ ,见图1。

表 1 冬季沙尘气溶胶辐射特性<sup>[9]</sup>

Table 1 Radiative properties of the winter dust aerosol			
波长/ $\mu\text{m}$	$\omega_0$	$g$	$\sigma_x/\sigma_{0.55}$
11	0.5588	0.524	0.184
12	0.4955	0.525	0.121

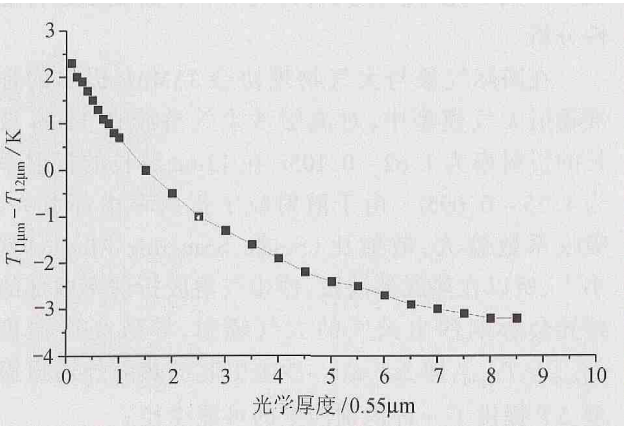


图 1 沙尘气溶胶光学厚度与热红外温度差 $\Delta T(T_{11\mu\text{m}} - T_{12\mu\text{m}})$ 的关系

Fig. 1 Thermal infrared temperature difference  $\Delta T(T_{11\mu\text{m}} - T_{12\mu\text{m}})$  as a function of optic thickness of dust aerosol

热红外大气辐射传输计算的结果(图 1)显示,在沙尘气溶胶光学厚度较小时, $\Delta T > 0$ 。在沙尘气溶胶光学厚度较大时,如 $> 1.7$ 时, $\Delta T < 0$ ,而且,光学厚度越大, $\Delta T$ 会越小。但当光学厚度 $> 7$ , $\Delta T$ 减小的趋势不明显。理论分析表明,在沙尘天气情况下, $T_{11\mu\text{m}} < T_{12\mu\text{m}} (\Delta T < 0)$ ,热红外通道的温度差 $\Delta T$ 提供了一种沙尘识别的方法。

3 沙尘识别方法验证

2002年春季在东亚爆发了数次严重的沙尘天气,特别是2002-04-07的沙尘天气,起源于蒙古国,在输送过程中对中国的内蒙古、河北、北京、辽宁、吉林和黑龙江产生严重影响。本文使用2002-04-07的卫星和地面数据对热红外通道温度差沙尘识别方法进行验证。

首先,对2002-04-07 13时NOAA16-AVHRR的1b数据,进行了辐射定标,得到4通道(10.30—11.30 $\mu\text{m}$ )和5通道(11.50—12.50 $\mu\text{m}$ )的亮度温度 $T_4$ 和 $T_5$ 。

计算热红外通道的温度差 $\Delta T(T_4 - T_5)$ ,对遥感图像上的每一个像元进行沙尘识别,当 $\Delta T(T_4 - T_5) < 0$ 时,识别为沙尘。同时进行云剔除和干旱陆地剔除。遥感沙尘识别结果见图2,经和地面实测的沙尘天气(图3)相比较,结果基本一致。遥感沙尘识别方法有效地区分出沙尘、云和陆地,如在东北部较好地识别出沙尘与云,在内蒙古和华北较好地识别出沙尘与陆地,遥感识别的沙尘边界与地面气象站实测的沙尘边界基本一致。而地面实测到的山东和蒙古国东部的两片沙尘由于云覆盖,卫星遥感无法识别。

4 结 论

大气辐射传输的理论计算表明,热红外通道温差 $\Delta T(T_{11\mu\text{m}} - T_{12\mu\text{m}})$ 和沙尘气溶胶光学厚度存在一定关系,当沙尘气溶胶光学厚度较大时,热红外通道温差 $\Delta T < 0$ 。

应用春季卫星数据和地面实测数据对方法进行验证,证明了利用热红外通道的温度差 $\Delta T$ 监测陆地沙尘天气是可行的。

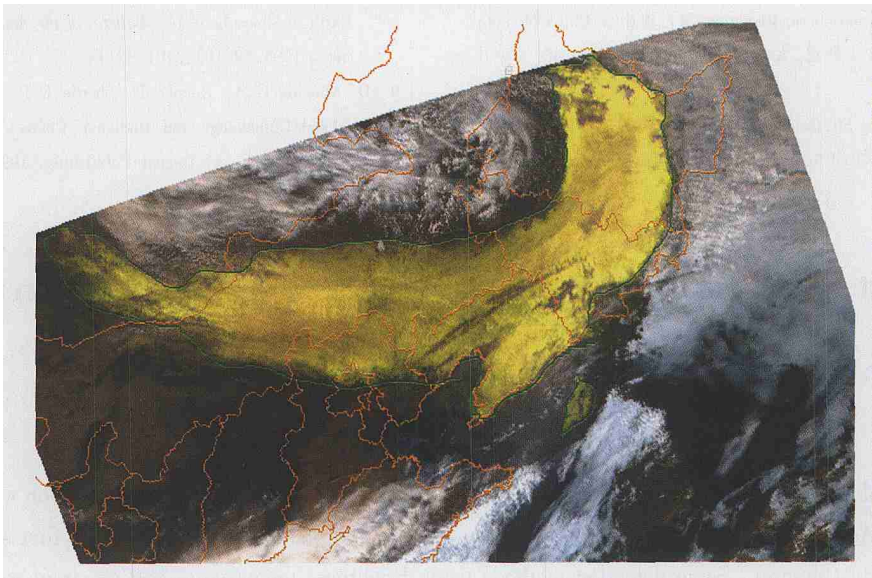


图 2 遥感沙尘识别(红圈内为识别的沙尘)

Fig 2 Dust detection using remote sensing( red lines represent the dust boundary)

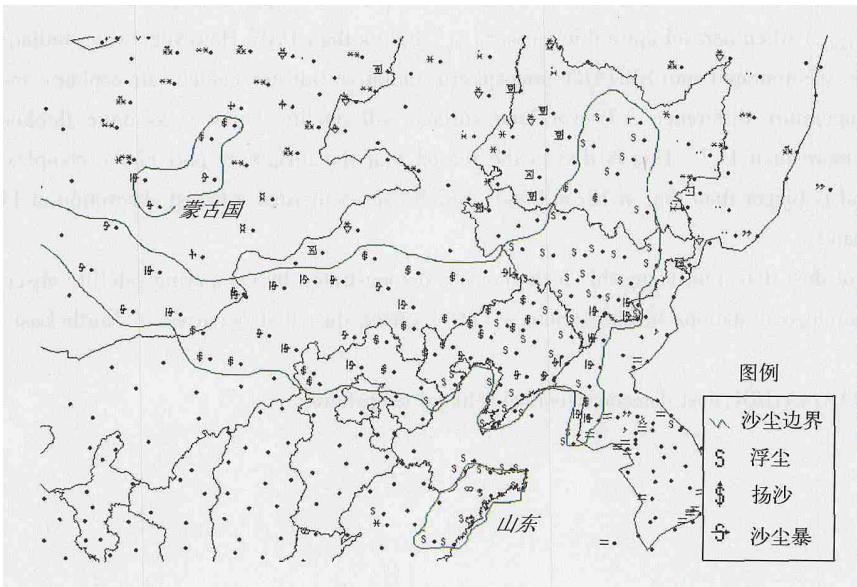


图 3 地面实测的沙尘天气(红圈内为实测的沙尘)

Fig 3 Observed dust ( red lines represent the dust boundary)

参 考 文 献(References)

[ 1 ] Liu Y, Wang M X, Zhang R J. Advances of Aerosol Research in China[ J ] / *Climatic and Environmental Research*, 1999, 4 ( 4 ) : 406—413. [ 刘毅, 王明星, 张仁建. 中国气溶胶研究进展[ J ]. 气候与环境研靠, 1999, 4( 4) : 406—413.]

[ 2 ] Qiu J H, S J H. Optic Remote Sensing of Dust Storm[ J ]. *Scientia Atmospherica Sinica*, 1994, 18( 1 ) : 1—9. [ 邱金桓, 孙金辉. 沙尘暴的光学遥感分析[ J ]. 大气科学, 1994, 18( 1 ) : 1—9.]

[ 3 ] Shenk W E, Curran R J. The Detection of Dust Storms over Land and Water with Satellite Visible and Infrared Measurements[ J ]. *Monthly*

*Weather Review*, 1974, 102( 12 ) : 830—837.

[ 4 ] Ackeman S A. Using the Radiative Temperature Difference at 3. 7 and 11 $\mu$ m to Track Dust Outbreaks [ J ]. *Remote Sensing of Environment*, 1989, 27: 129—133.

[ 5 ] Zheng X J, Lu W J , Luo J N. Research on the Duststorm Monitoring Using Multi-Channel Meteorological Satellite Data [ J ]. *Jounal of Remote Sensing China*, 2001, 5( 4 ) : 300—305. [ 郑新江, 陆文杰, 罗敬宁. 利用气象卫星多通道信息监测沙尘暴[ J ]. 遥感学报, 2001, 5( 4 ) : 300—305.]

[ 6 ] Eck T F, Holben B N. Avhrr Split Window Temperature Differences and Total Precipitable Water over Land Surfaces[ J ]. *International Journal of Remote Sensing*, 1994, 15( 3 ) : 567—582.

[ 7 ] Yin H. Basic of Atmospheric Radiation [ M ] . Beijing: China Meteorological Press, 1993. [ 尹宏. 大气辐射学基础[ M ] . 北京: 气象出版社, 1993.]

[ 8 ] Ricchiazzi P, Yang Sh, Gautier C. *et al.* SBDART: A Research and Teaching Software Tool for Plane—Parallel Radiative Transfer in the Earth's Atmosphere[ J] . *Bulletin of the American Meteorological Society*, 1998, 79(10): 2101—2114.

[ 9 ] D Almeida G A, Koepke P, Shettle E P . Atmospheric Aerosols: Global Climatology and Radiative Characteristics[ M] . Hampton, Virginia, USA: A. Deepak Publishing, 1991.

Dust Detection Using Thermal Infrared Temperature Difference

YAN Hao, HOU Ying-yu, LIU Gui-qing, HE Yan-bo  
(National Meteorological Center, CMA, Beijing 100081, China)

**Abstract:** Aerosol is a key factor to understand uncertainties in the study of atomosphere radiation equilibrium and climate change, and Asia dust is an important source of aerosol. In addition, dust detection is the first step to monitor dust disaster and study dust aerosol. Some detection methods using brightness temperature and apparent reflectance had been presented. In this paper, the thermal infrared temperature difference  $\Delta T(T_{11\mu\text{m}} - T_{12\mu\text{m}})$  is investigated as a possible method for detecting dust outbreaks.

Previous research indicates that  $\Delta T$  is always bigger than 0 due to vapor absorption difference in thermal infrared bands ( $T_{11\mu\text{m}}$  and  $T_{12\mu\text{m}}$ ) when aerosol optic thickness  $\tau_{0.50\mu\text{m}}$  is less than 1.0. However, when radiative properties of the winter dust aerosol is incorporated into SBDART atmospheric radiative transfer model, atmospheric radiation calculations indicate that the temperature difference  $\Delta T$  over land surface will decline below 0 as optic thickness  $\tau_{0.50\mu\text{m}}$  of dust aerosol increases to more than 1.7. This is due to the reason that the imaginary part of the complex refractive for dust aerosol at 11 $\mu\text{m}$  band is bigger than that at 12 $\mu\text{m}$  band, which causes thermal infrared absorption at 11 $\mu\text{m}$  band is bigger than that at 12 $\mu\text{m}$  band.

The feasibility of dust detection using this technology is demonstrated by comparing satellite observations and surface observations of meteorological stations in one serious event of spring dust that occurred in North-East China on April 7, 2002.

**Key words:** NOAA-AVHRR; dust detection; thermal infrared temperature