

文章编号: 1672-8785(2018)10-0033-07

基于卫星资料的我国沙尘天气监测方法

刘清华

(国家卫星气象中心, 北京 100081)

摘 要: 根据沙尘粒子的辐射传输特性和空间分布特征, 利用气象卫星资料能够有效监测沙尘天气发生的时间、范围和强度等, 并可计算出相关的定量信息。监测方法一般包括基于卫星波段特征的监测方法和基于卫星云图目视解译的监测方法。利用卫星监测分析与遥感应用系统(Satellite Monitoring Analysis Remote-sensing Toolkit, SMART)的沙尘监测模块可以对沙尘监测结果进行年度统计。统计数据显示, 沙尘天气高发区域有三个, 即新疆地区, 内蒙古西部、河西走廊地区, 以及内蒙古中东部、东北、华北地区; 2007 年、2010 年、2012 年和 2015 年的卫星监测沙尘累计覆盖面积较大, 达到 500 万平方公里以上。新一代静止气象卫星——FY-4A 卫星在沙尘监测方面突显出了巨大潜力, 这将有利于沙尘天气的云图目视解译。

关键词: 气象卫星; 沙尘天气监测; 定量统计分析; FY-4A; 云图目视解译

中图分类号: TP7 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2018.10.006

Monitoring Methods of Dust in China Based on Satellite Data

Liu Qing-hua

(National Satellite Meteorological Center, Beijing 100081)

Abstract: According to the radiative transfer characteristics and spatial distribution characteristics of dust particles, the occurrence, scope and strength of dust weather can be monitored effectively by using meteorological satellite data, and the quantitative information can be calculated. Generally, monitoring methods include the monitoring method based on the characteristics of satellite bands and the monitoring method based on satellite image visual interpretation. The dust monitoring module of the Satellite Monitoring Analysis and Remote Sensing Application Toolkit (SMART) can be used to achieve the annual statistics of dust monitoring results. The statistical data show that there are three high frequency dust weather areas which are xinjiang region; western Inner Mongolia and hexi corridor region; central and eastern Inner Mongolia, northeast and north China region. The cumulative coverage of dust areas monitored by satellite in 2007, 2010, 2012 and 2015 is larger, reaching over 5 million square kilometers. FY-4A, one of the new generation of stationary meteorological satellites, has exhibited its huge potential in dust monitoring. This will be beneficial to satellite image interpretation of dust weather.

Key words: meteorological satellite; dust monitoring; quantitative analysis; FY-4A; satellite image interpretation

收稿日期: 2018-08-14

基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFA0600101); 气象局行业专项(GYHY201406001)

作者简介: 刘清华(1985-), 女, 内蒙古呼和浩特人, 工程师, 硕士, 主要研究方向为卫星遥感数据在天气过程中的分析和定量应用。E-mail: liuqh@cma.gov.cn

0 引言

沙尘暴是一种强灾害性天气。我国对沙尘天气的主要监测信息来源于气象台地面观测站的定时观测信息,但在我国西北部的一些沙漠、荒漠地区,地面观测站相对稀疏,而这些地区又是沙尘天气高发的地区,因此利用卫星资料对沙尘天气进行遥感监测的优势就变得十分明显^[1]。卫星遥感技术利用其空间覆盖广、时间分辨率高等特点,可以有效地监测沙尘天气发生的时间、范围和强度等。

沙尘中含有大量矿物质。沙尘粒子对太阳辐射以及地面和云层的长波辐射具有吸收、散射作用。通过分析沙尘在不同光谱波段的发射、吸收、散射和反射特性,同时结合沙尘粒子的空间分布特征,可以遥感监测沙尘天气^[2]并提取沙尘粒子信息。

20 世纪 70 年代,国外就开展了利用气象卫星数据进行沙尘天气监测的相关研究工作。早期的监测方法大多依赖于单通道信息的处理和分析,包括利用可见光和红外通道数据监测陆地和水体上空沙尘^[3-5],并估算其光学厚度^[6]。自 20 世纪 90 年代开始,随着卫星遥感技术的进步,逐渐发展出了利用多通道遥感数据进行沙尘监测的方法,即根据沙尘粒子在可见光、近红外、短波红外、中红外、热红外通道不同于云及地表等其他目标物的光谱辐射特性,采用阈值法提取沙尘信息。例如,Steven A A 利用 3.7 μm 和 11 μm 的通道亮温差监测沙尘暴^[7];郑新江等人利用 NOAA/AVHRR 的多通道数据监测沙尘暴^[8];方宗义等人利用可见光、短波红外和红外窗区通道的数据进行了沙尘暴监测研究^[9];胡秀清等人开发了一套针对 GMS-5、GOES-9、FY-2 等静止气象卫星沙尘暴自动监测的业务算法^[10];张鹏等人开发了一套利用 MODIS 的 8.5 μm 、11 μm 和 12 μm 通道数据进行沙尘暴定量遥感的算法^[11]。同时,在实际应用中也发展了多个沙尘判识指数,典型的如红外差值沙尘指数(Infrared Difference Dust Index, IDDI)和沙尘强度

指数(Dust Strength Index, DSI)等^[12]。

1 基于卫星遥感的沙尘监测原理及方法

根据沙尘粒子特有的辐射传输特性以及空间分布特征可以有效监测沙尘天气的发生和发展过程。监测方法通常有基于卫星波段特征的监测方法和基于卫星云图目视解译的监测方法。在实际的业务应用中,往往会综合利用这两种方法来监测沙尘天气过程。

1.1 基于卫星波段特征的监测方法

沙尘粒子在可见光波段和近红外波段(0.63 μm 、0.86 μm)具有较高的反射率。在短波红外波段(1.3~1.9 μm),沙尘粒子的反射率高于可见光波段和近红外波段,且比中高云的反射率高。在中红外波段(3.5~3.9 μm),沙尘粒子的散射辐射低于可见光、近红外和短波红外波段,但高于热红外波段。在热红外通道(10.3~12.5 μm),沙尘粒子的吸收较强,其亮温比水体、地表植被、裸土和沙漠的亮温低。沙尘粒子在 10 μm 波长处的吸收略强于 12 μm 处,且有特定的红外分裂窗亮温差^[13]。

基于沙尘粒子的上述特殊波段特征,采用阈值法便可对沙尘区域进行识别。

1.2 基于卫星云图目视解译的监测方法

在气象卫星图像中,利用颜色、色调、纹理和形状等特征能够识别沙尘暴区域。目视解译监测方法的优势在于简便、快捷,其监测结果直观、实用。该方法采用的图像包括黑白图像和彩色图像。其中,黑白图像通常为静止气象卫星的可见光通道图像,主要是由于该图像的空间分辨率较高;有时也会使用红外通道图像。在可见光通道云图(见图 1)中,水体呈黑色;有植被覆盖的地区为深灰色或灰色;荒漠、沙漠地区呈灰色或淡灰色;云系和积雪为浅灰色或白色;由浮尘、扬沙、沙尘暴形成的“沙尘羽”和低云呈灰色或灰白色。另外,“沙尘羽”往往与地形走向一致,沙尘暴区顶部结构均匀,且有顺着风向的纹理^[14]。

与黑白图像相比,彩色图像能够更直观、更清晰地显示沙尘区,包括真彩色和假彩色图

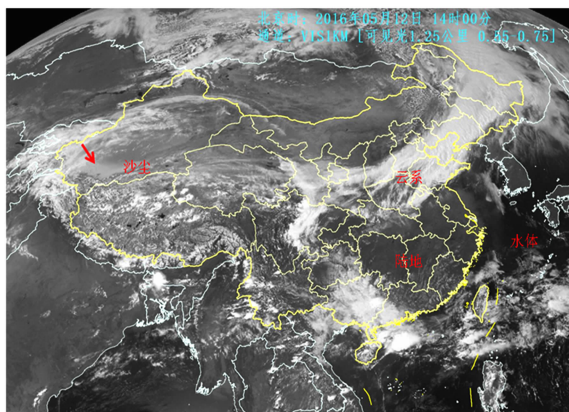


图 1 可见光通道沙尘监测图

像。在彩色图像(见图 2)中,沙尘区为沙黄色且有顺风向的纹理,地面裸沙也为沙黄色但没有顺风向的纹理,白色为云。彩色图像的通道组合选择对沙尘暴敏感的可见光、近红外和中红外(或远红外)三个光谱波段,并赋予红色、绿色和蓝色。通过利用加色法合成,得到可突出沙尘暴信息的彩色图像。若光谱通道足够多,则可选择可见光波段的三个通道,并将其组合成红色、绿色、蓝色的真彩色图像。

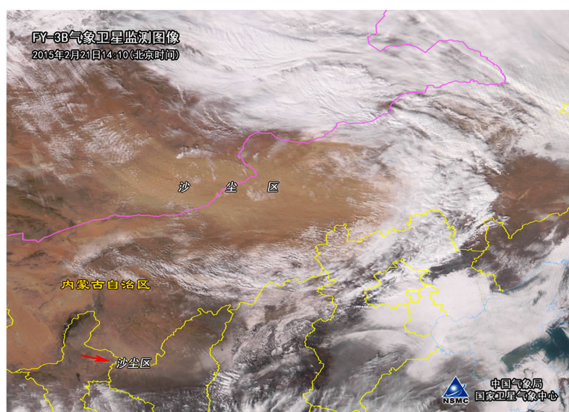


图 2 真彩色沙尘监测图

1.3 沙尘监测业务应用

基于波段特征的监测方法和基于卫星云图目视解译的监测方法各有优势和局限性。其中,前者存在多判和误判的情况,后者对稀薄沙尘覆盖区域的识别也不理想。因此,通过采用人机交互

方法可以发挥两者各自的优势,从而实现较好的监测效果。SMART 沙尘监测模块即采用人机交互方法生成沙尘监测精细化处理结果,可生成沙尘面积、沙尘频次、沙尘能见度等相关产品。

2 近十年我国沙尘天气卫星监测数据的统计分析

利用 SMART 沙尘监测模块可以对逐日的沙尘监测结果进行年度统计。本文列举了 2007 年~2016 年共十年的全国沙尘监测统计结果,包括近十年全国卫星可视沙尘频次统计图(见图 3)以及近十年全国卫星可视沙尘累计面积统计图表(见表 1 和图 4)。

通过年度全国卫星可视沙尘频次图(图 3),可以得出以下结论:沙尘天气高发的区域有三个,分别是新疆地区,内蒙古西部、河西走廊地区,以及内蒙古中东部、东北、华北地区。南疆盆地在 2007 年、2010 年、2012 年、2014 年、2015 年、2016 年沙尘发生的频次较高,部分地区达到八次以上。内蒙古中东部、东北、华北地区在 2007 年、2009 年、2011 年和 2015 年沙尘天气的发生频次较高,部分地区达到 4 次以上。内蒙古西部、河西走廊地区在 2010 年、2013 年和 2015 年沙尘天气的发生频次较高,部分地区达到 4 次以上。近十年全国卫星可视沙尘累计面积统计结果表明(表 1、图 4):2007 年、2010 年、2012 年、2015 年的沙尘累计面积最大,达到 500 万平方公里以上。

3 基于新一代静止气象卫星的沙尘遥感监测应用个例

基于静止气象卫星的沙尘天气监测研究及应用等相关工作的开展时间要晚于极轨气象卫星。早期静止气象卫星传感器的光谱通道少于极轨气象卫星,且空间分辨率明显低于极轨气象卫星^[15],导致静止气象卫星云图中的沙尘区信息相对较弱,提取较为困难。但是,静止气

表 1 2007 年~2016 年全国卫星可视沙尘累计面积统计表(单位:万平方公里)

年份	2007 年	2008 年	2009 年	2010 年	2011 年	2012 年	2013 年	2014 年	2015 年	2016 年
累计覆盖面积	502	307	278	649	372	501	480	488	677	418.5

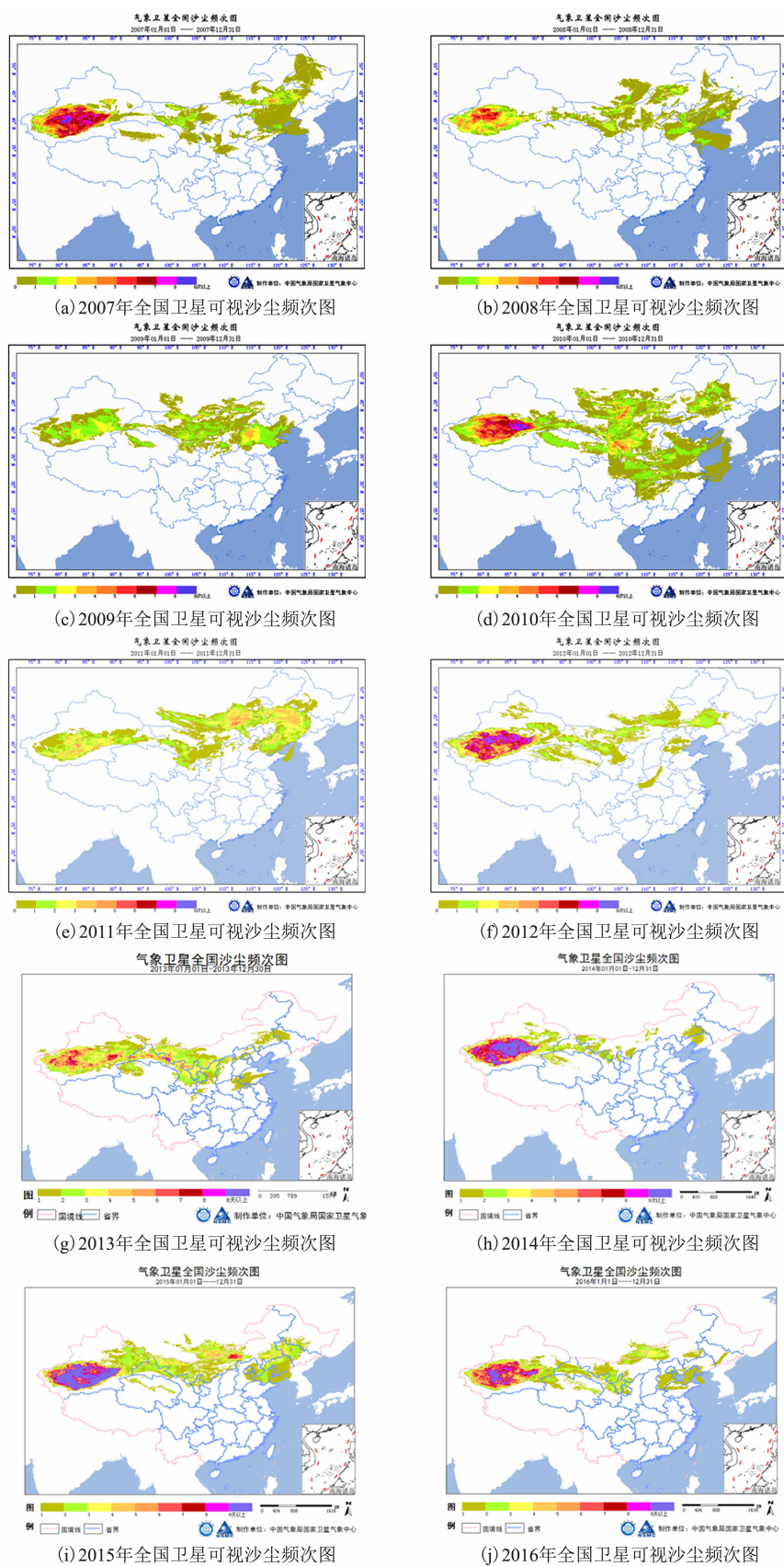


图 3 2007 年~2016 年全国卫星可视沙尘频次图

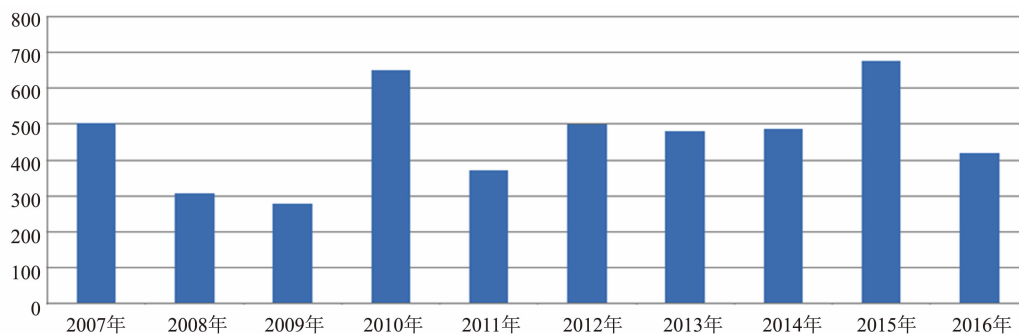


图 4 2007 年~2016 年卫星可视沙尘累计面积统计图(单位:万平方公里)

象卫星的时间分辨率高,因而在动态监测方面以及对引起大范围沙尘暴天气系统的监测分析上应用较多。

目前,随着新一代静止气象卫星——FY-4A 卫星的成功发射,由于传感器光谱通道的增加和空间分辨率的提高^[16],静止气象卫星在沙尘天气监测中将会发挥越来越重要的作用。

2017 年 5 月 3 日至 4 日,从内蒙古西部到东北地区自西向东发生了一次沙尘过程,引起沙尘的天气系统是蒙古气旋和冷锋,在云图上表现为一个锋面气旋云带^[17]。FY-4A 卫星完整地监测了这次沙尘过程(见图 5)。2017 年 5 月 3 日上午,沙尘首先发生在内蒙古西部地区,锋面气旋云带位于内蒙古中东部地区,沙尘发生在锋面气旋云带尾部西侧(见图 5(a)),云带尾部西侧的风速最大,地面最大的达到 18 m/s(见图 6(a));下午沙尘范围明显向东扩展,影响面积增大(见图 5(b))。2017 年 5 月 4 日,随着锋面气旋云系的东移,沙尘影响范围继续向东扩展,影响面积进一步增大。沙尘影响内蒙古大部和华北大部地区(见图 5(c))。沙尘随着锋面气旋云系后部干带的风,分为两支:一支向东移动,吹向锋面气旋云系尾部;另一支向东北方向卷入气旋云系头部(见图 5(d)),地面风速达到 14 m/s(见图 6(b))。2017 年 5 月 4 日下午,沙尘影响东北地区西部,影响范围减小(见图 5(e))。2017 年 5 月 5 日,随着锋面气旋云系东移消亡,只在东北地区东部有弱的浮尘,内蒙古大部、华北等

地没有沙尘,至此沙尘过程基本结束(见图 5(f))。

4 结束语

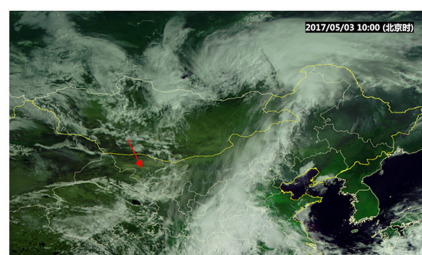
气象卫星资料在沙尘天气监测方面发挥着重要作用。在实际的天气应用服务中已形成了一套完整的基于卫星资料的沙尘天气监测流程。新一代静止气象卫星——FY-4A 卫星在沙尘监测方面也突显出了巨大潜力,但针对该卫星在沙尘监测方面更细致的应用还有待进一步开发。

下一步将开展以下几方面的工作:(1)分析连续多个时次的沙尘暴在 FY-4A 成像仪不同通道(可见光波段、近红外波段、短波红外波段、长波红外波段等)的特征,并根据黑白/彩色图像中沙尘天气的颜色、色调、纹理、形状等卫星云图特征,形成沙尘连续辨识方法;(2)对引起沙尘暴的天气系统进行分类,总结归纳不同类型的沙尘天气在卫星云图上的表征、沙尘发生区域以及沙尘随云系的移动规律等;(3)结合地面/高空观测资料,对沙尘的面积、强度与天气参量进行统计分析,并寻找相关规律。

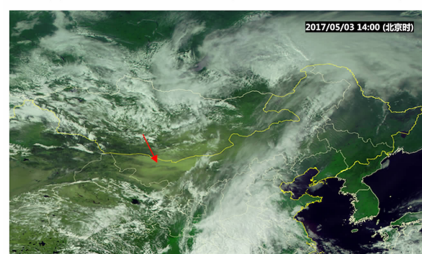
另外,虽然利用卫星资料进行沙尘天气监测具有空间覆盖范围广、时间分辨率高等优势,但是该方法通常会受到云覆盖的限制,所以未来可尝试用卫星微波资料对云覆盖下的沙尘天气进行遥感监测。

致谢

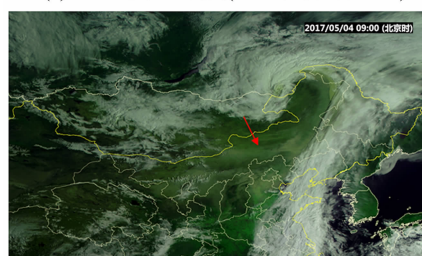
本文采用的沙尘天气监测方法是基于遥感应用中心气象应用科的业务方法形成的;沙尘



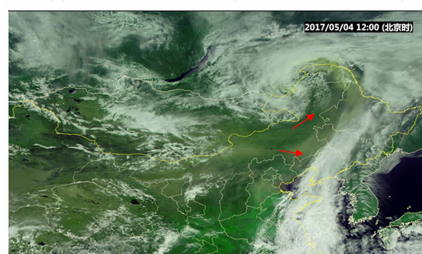
(a) FY-4A 沙尘监测图(2017年5月3日10:00)



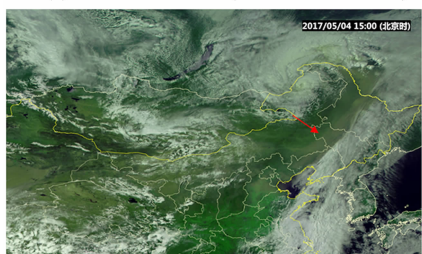
(b) FY-4A 沙尘监测图(2017年5月3日14:00)



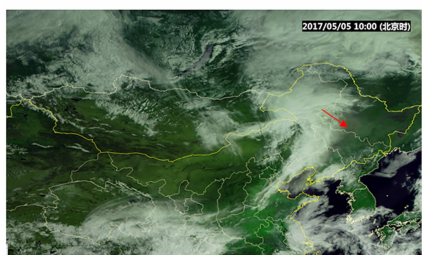
(c) FY-4A 沙尘监测图(2017年5月4日09:00)



(d) FY-4A 沙尘监测图(2017年5月4日12:00)

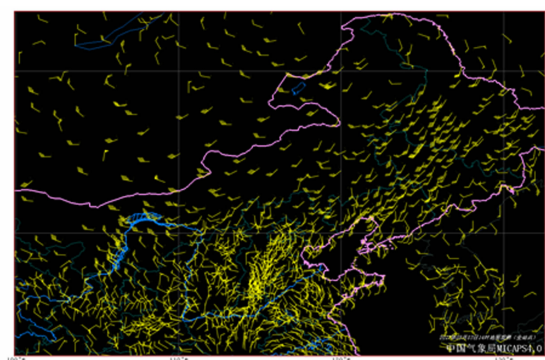


(e) FY-4A 沙尘监测图(2017年5月4日15:00)

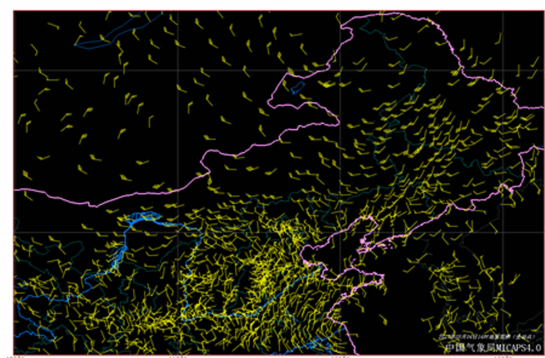


(f) FY-4A 沙尘监测图(2017年5月5日10:00)

图 5 FY-4A 沙尘监测图



(a) 2017年5月3日14:00地面观测图



(b) 2017年5月4日14:00地面观测图

图 6 沙尘过程的地面观测图

统计结果是基于值班同事平时的监测结果统计得出的。特此说明,并感谢同事们在业务中的辛勤工作。

参考文献

- [1] 肖继东,汪溪远,陈爱京. 沙尘暴 EOS/MODIS 卫星遥感监测指数模型 [J]. 干旱区研究, 2007, **24**(2): 268–272.
- [2] 范一大,史培军,李素菊. 沙尘灾害遥感监测方法研究与比较 [J]. 自然灾害学报, 2007, **16**(5): 160–165.
- [3] Carlson T N. Atmospheric Turbidities in Saharan Dust Outbreaks as Determined by Analysis of Satellite Brightness Data [J]. *Mon Wea Rev*, 1979, **107**: 322–335.
- [4] Griggs M. Measurements of Atmospheric Optical Thickness over Water Using ERTS-1 Data [J]. *Air Pollute Control Assoc*, 1975, **25**: 622–625.
- [5] Shenk W E, Curian R J. The Detection of Dust Storms over Land and Water with Satellite Visible and Infrared Measurements [J]. *Mon Wea Rev*,

- 1974, **102**: 820–837.
- [6] Norton C, Mosher E R, Hint on 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.
- [7] Steven A A. Using the Radiative Temperature Difference at 3.7 μm and 11 μm to Track Dust Outbreaks [J]. *Remote Sensing of Environment*, 1989, **27**: 129–133.
- [8] 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): 300–306.
- [9] 方宗义, 张运刚, 郑新江, 等. 用气象卫星遥感监测沙尘的方法和初步结果 [J]. *第四纪研究*, 2001, **21**(1): 48–55.
- [10] 胡秀清, 卢乃锰, 张鹏. 利用静止气象卫星红外通道遥感监测中国沙尘暴 [J]. *应用气象学报*, 2007, **18**(3): 266–275.
- [11] 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.
- [12] 曹广真, 张鹏, 胡秀清, 等. 静止与极轨气象卫星监测沙尘的融合算法研究 [J]. *气象科技进展*, 2016, **6**(1): 116–119.
- [13] 陆文杰, 吴晓京, 曹治强. *卫星遥感沙尘暴天气监测技术导则* [M]. 北京: 气象出版社, 2011.
- [14] 徐希慧. 塔里木盆地沙尘暴的卫星云图分析与研究 [M]. *中国沙尘暴研究*. 北京: 气象出版社, 1997.
- [15] 杨军. *气象卫星及其应用* [M]. 北京: 气象出版社, 2012.
- [16] 陆风, 张晓虎, 陈博洋, 等. 风云四号气象卫星成像特征及其应用前景 [J]. *海洋气象学报*, 2017, **37**(2): 1–10.
- [17] 吴晓京, 郑新江, 李小龙, 等. 东亚春季沙尘天气的卫星云图特征分析和分型 [J]. *气候与环境研究*, 2004, **9**(1): 1–13.

(上接第 26 页)

- [2] 鞠昱, 韩立, 谢亮, 等. 基于 TDLAS 技术的新湿度传感器比对和分析 [J]. *气象水文海洋仪器*, 2015, **32**(4): 6–9.
- [3] 张可可, 闫星魁, 郑学勇, 等. 基于 TDLAS 的激光湿度检测技术研究 [J]. *光电子技术*, 2016, **36**(1): 23–27.
- [4] 王强. 近红外光纤水气传感器的关键技术研究 [D]. 济南: 山东大学, 2016.
- [5] 叶玮琳, 郑传涛, 王一丁. 基于 TDLAS 的红外湿度检测中的小波去噪实验研究 [J]. *光电子·激光*, 2013, **24**(1): 104–111.
- [6] 张伯轩. 基于 TDLAS 技术的气体传感器研究 [D]. 北京: 北京工业大学, 2017.
- [7] 王欢欢. TDLAS 技术在温湿度控制中的应用研究 [D]. 北京: 北京工业大学, 2017.