

NOAA/AVHRR 遥感数据 在夜间雾监测中的应用

樊建勇¹, 黄玲², 祝必琴¹, 辜晓青¹, 张建萍¹

(1. 江西省气象科学研究所, 江西 南昌 330046; 2. 江西省大气探测技术中心, 江西 南昌 330001)

摘要: 通过对夜间雾的 NOAA/AVHRR 红外光谱特征分析, 建立基于 NOAA/AVHRR 遥感数据的夜间雾遥感监测模型。利用该模型对 2005 年冬季和 2008 年秋季 2 个时次江西省范围内的夜间雾分布格局进行监测, 经地面气象观测资料检验表明, 该模型监测夜间雾的准确率达 69.2%。该模型的应用可弥补常规气象监测方法的不足, 基本实现对夜间雾的宏观、动态、连续监测。

关键词: 夜间雾; 监测; NOAA/AVHRR; 红外

中图分类号: X835; P426.4⁺1 文献标志码: A 文章编号: 1000-2286(2011)01-0189-05

Detection of Nighttime Fog Using NOAA/AVHRR Data

FAN Jian-yong¹, HUANG Ling², ZHU Bi-qin¹, GU Xiao-qing¹, ZHANG Jian-ping¹

(1. Meteorological Research Institute of Jiangxi Province, Nanchang 330046, China; 2. Jiangxi Provincial Atmospheric Observation Technology Center, Nanchang 330001, China)

Abstract: Through analyzing the infrared spectral characteristics of nighttime fog in NOAA/AVHRR data, the nighttime fog detection model has been established base on NOAA/AVHRR data. The distribution of nighttime fog in winter of 2005 and autumn of 2008 in Jiangxi Province has been detected using the model. And the result is validated by comparing to surface meteorological observation records. The analysis indicates that the model can accurately monitor the distribution of nighttime fog and its accuracy is 69.2%. Application of this model can remedy the inadequacy of the meteorological observation and detect nighttime fog widely, dynamically and continuously.

Key words: nighttime fog; detection; NOAA/AVHRR; infrared

雾是一种灾害性天气现象,可能严重危害到航空、航海和陆路交通安全^[1]。2005年1月14—17日,江西省出现近5 a来范围最广、持续时间最长、能见度最差的大雾天气过程,大部地区夜间到上午为浓雾笼罩,能见度一般在500 m以下,部分地区能见度<50 m。其中15日4:00卫星遥感监测大雾覆盖面积达 $10.2 \times 10^4 \text{ km}^2$,占全省国土面积的61%,大雾导致高速公路封锁、航班延误^[2]。因此,及时监测雾的动态变化对防止因雾造成的损失及因雾造成的事故,保障人民生命财产安全具有重要的意义。传统观测雾的手段主要依靠是地面人工观测,但是常规的监测方法受到观测站点分布及观测时间的限制,尤其是对大范围的雾的监测无法动态监测,而气象卫星遥感具有覆盖范围广、时间分辨率高、信息量丰富等优势,可对雾进行宏观、动态、连续监测,克服常规监测方法因站点设置和观测密度不够的缺点。

收稿日期: 2010-06-01 修回日期: 2010-11-16

基金项目: 科技部专项项目(2005DIB2J102)和江西省气象科技创新基金项目(GCX200604)

作者简介: 樊建勇(1980—),男,工程师,主要从事遥感应用及应用气象研究, E-mail: fanlongyu@163.com。

国外20世纪70年代开始利用卫星遥感技术监测雾,1974年Gurka^[3]利用SMS-1气象卫星的可见光(VIS)通道资料进行了辐射雾的消散过程分析,阐明了辐射雾由外缘向内消散的特征。自NOAA卫星发射升空以来,1984年Eyre等^[4]、1986年Turner J等^[5]分别针对NOAA/AVHRR红外数据在夜间雾和低层云识别进行了尝试性研究。Ellord等^[6]认为美国静止业务气象卫星GOES双通道红外图像(3.7 μm , 10.7~11.2 μm)在夜间雾和低云的识别方面有较好的前景。国内开展雾的遥感监测研究起步较晚,1997年居为民等用NOAA气象卫星和GMS-5静止气象卫星的两种资料尝试监测沪宁高速公路大雾,并取得了较好的效果^[7]。2001年李亚春等^[8]用GMS-5气象卫星资料,探讨了白天雾和低层云的遥感监测和识别方法,对沪宁高速公路沿线大雾进行了实时监测。2004年孙涵等^[9]从大气辐射传输理论入手,用频谱分析方法研究了气象卫星遥感云雾的可见光与红外光谱特征,给出一些云雾识别与分类的指标。2008年周旋等^[10]提出了利用MODIS数据监测夜间雾的算法。2009年张春桂等^[11]在分析不同下垫面的MODIS光谱辐射特征的基础上,建立了台湾海峡海雾监测模型,并对准确率进行了检验。尽管如此,重复周期短、辐射分辨率较高的NOAA/AVHRR气象卫星数据,仍然是宏观监测夜间雾的最重要数据源之一。综合国内外关于雾的遥感监测研究看,针对特定季节夜间雾的研究较少。本文通过分析夜间雾与云、地表、水体等下垫面在中红外和热红外波段辐射差异,建立了利用NOAA/AVHRR第3、4红外通道数据监测夜间雾的模型,对江西省2005年冬季和2008年秋季两个时次夜间雾的分布进行监测,结合地面气象观测资料对监测结果进行了验证和分析。

1 遥感监测雾的理论基础

1.1 雾的物理特征

雾比云更靠近地面,由漂浮在空气中的极细小的水滴或冰晶组成。雾滴一般比云滴小,其半径一般在几个 μm 到十几个 μm ,但其大小变化很大,其密度可以达到每立厘米几千个。与云相比,其粒子小而均匀。雾滴波谱曲线多为单峰结构,整个波谱分布偏向小滴一端,雾滴主要集中在2~10 μm 区段内,峰值直径3~7 μm ,最大直径可以达到40~50 μm ,但数密度极小。雾滴谱的峰值直径绝大部分在3~7 μm ,与NOAA/AVHRR的中红外通道相对应。雾的有效粒子半径比云要小,雾滴的微物理特性决定了雾的辐射传输特性,影响了雾在卫星遥感图像上的光谱特征,与云的辐射特征有明显差异。

1.2 雾的红外辐射特征

在红外波段,云雾粒子的辐射特性也随波长变化而不同。在热红外波段(11 μm),云雾的辐射特性类似黑体,几乎完全发射长波红外辐射,其辐射比率接近于1;卫星传感器在这一通道接收到的就是云雾或地面发射的长波红外辐射,太阳辐射可以完全忽略。中红外波段(3.7 μm)位于太阳辐射光谱曲线与地球大气辐射光谱曲线重叠处,所以在白天有太阳辐射时,云雾层不仅自身向上发射辐射,而且还反射太阳辐射;而在夜间,这一通道的辐射同其他红外波段的辐射一样,来源于地球表面或云雾层,云雾在中红外通道的比辐射率明显小于1。云雾的比辐射率在两个红外波段都随云雾层厚度的增加而增大,当厚度较小时,比辐射率明显小于1且变化很快,当厚度超过一定值时,比辐射率增速趋缓(图1)^[6]。根据普朗克公式,将测量到的低层云雾在热红外波段的辐射转化为等效黑体温度(亮温),则亮温几乎与云雾层顶的物理温度相等,而在中红外波段测量到的亮温要低一些。雾在这2个红外波段的亮温差异,高层云、地表和水体却不存在,因此这可作为用双红外通道识别雾的理论基础。

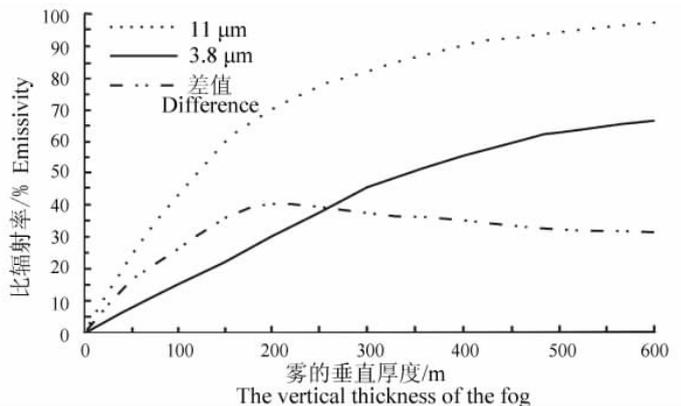


图1 水汽含量为 0.1 g/m^3 的雾在2个红外通道中的比辐射率随垂直厚度的变化^[14]

Fig. 1 The variation of emissivity with height for fog of water content 0.1 g/m^3 in the two infrared channels

2 NOAA/AVHRR 数据监测夜间雾的模型

夜间雾监测流程中采用了北京星地通公司提供的极轨卫星图像处理系统和 ERDAS IMAGINE 遥感图像处理系统进行数据处理。实现 NOAA/AVHRR 数据大气校正、辐射校准、数据格式转换、几何校正、云雾分离等操作,生成夜间雾遥感监测图,具体技术流程见图 2。

3.1 数据来源与预处理

NOAA 是美国极轨气象卫星,目前使用较多的是第五代,包括 NOAA-K(15、16、17、18)。卫星上搭载的 AVHRR 传感器共设有 6 个波段,新增加的 3A 通道(波长 1.58~1.64 μm)与原来的中红外通道(3B)分别在白天和夜间交替工作^[12],具有空间覆盖面广和观测频次高的优势。本研究中的 NOAA/AVHRR 数据来源与江西省气象科学研究所卫星资料接收站,采用星地通公司提供的极轨气象卫星处理系统软件包进行预处理,预处理具体

包括数据解包、高精度地理定位、多通道定标校正,最后生成 1A5 格式的 1B 数据,对 1B 数据进行投影变换,并将夜间 3、4、5 等 3 个波段按等效黑体温度进行辐射校准,生成分辨率为 0.01°×0.01°的局地文件格式(LDF)数据集。在 ERDAS IMAGINE 图像处理系统中,将局地文件(LDF)转换成 IMG 格式数据。用已定标的 Landsat ETM+ 影像作为参考数据,对转换好的 AVHRR 数据进行几何精校正^[13]。

3.2 雾的识别

与白天相比较,夜间云雾的遥感监测困难更大,仅有红外通道数据用于分离云雾,增加了夜间雾遥感监测的难度。根据云雾及下垫面红外辐射特性分析,针对 NOAA/AVHRR 数据,选取热红外波段(CH₄)和中红外波段(CH₃)两个红外通道的数据,运往 ERDAS IMAGINE 系统的 Model Maker 模块建立模型对夜间雾进行识别。利用 2005—2008 年江西地区 NOAA/AVHRR 进行分析,试验表明,T₁为 273 K,T₂和 T₃分别为 0 K 和 3 K。

3 监测结果分析

选取 2005 年 1 月 16 日 06:58(冬季)、2008 年 11 月 24 日 05:35(秋季) 2 个时次的 NOAA/AVHRR 卫星数据,利用夜间雾监测模型进行试验分析,见图 3、图 4。

图 3(a)、图 4(a)为 NOAA/AVHRR 3、4、5 的 3 个通道的合成图像,由于雾、云在红外波段具有不同的辐射特性,在多通道合成图像上具有不同的颜色。雾在在卫星图像上呈现暗红色,中高云呈现白色,低层云与雾的辐射特征比较相似。从图 3(a)中可以看出,江西省区域内没有云,属于晴空条件下出现雾的情况,图 4(a)中则显示出有中高层云和低层云存在。图 3(b)、图 4(b)为雾的监测分布图,雾呈现为白色到灰色。

为了验证 NOAA/AVHRR 数据监测夜间雾的模型的精度,利用地面气象站常规观测资料对监测结果进行检验。地面气象观测数据来源于江西省气象局,包括现有的 86 个气象观测站点的能见度,云状、云量等数据。由于基准站是每小时观测 1 次能见度,而基本站是每 6 h 才观测 1 次能见度。为了统一地面观测数据的时间,分别选用 2005 年 1 月 16 日 08:00 和 2008 年 11 月 24 日 08:00 的地面观测数据进行验证。NOAA/AVHRR 监测结果与地面观测对比见表 1、表 2。

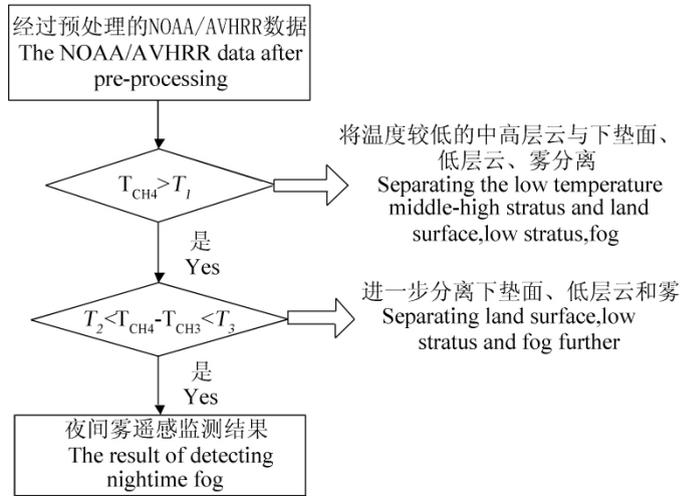
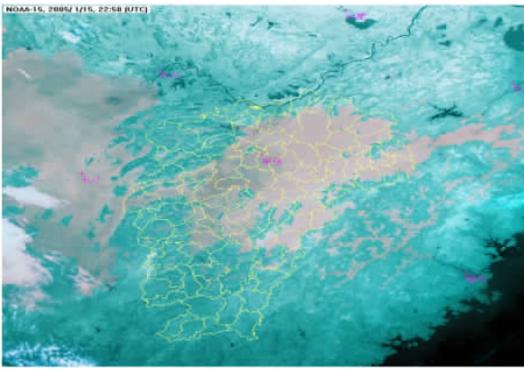
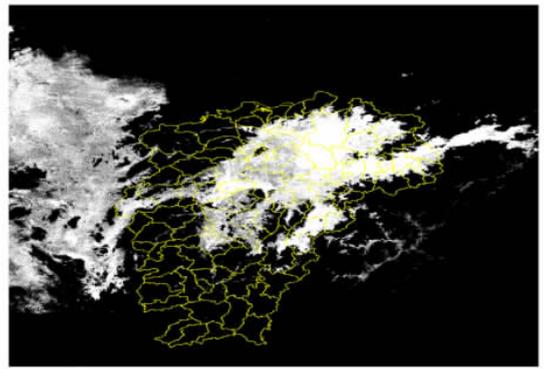


图 2 夜间云雾监测流程

Fig. 2 Flow chart of night fog detections



(a)



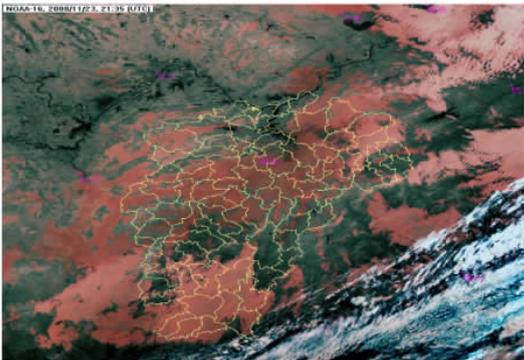
(b)

白色为雾区 黑色为下垫面和云区。

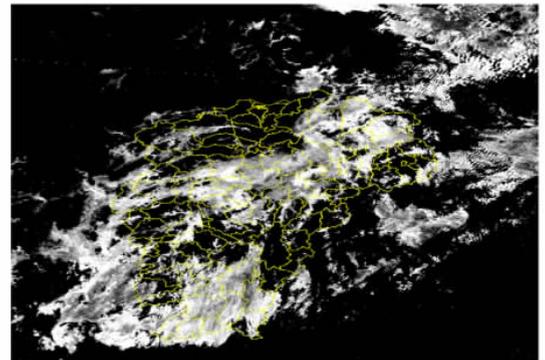
The white is fog area ,the black is land surface and cloud.

图3 2005年1月16日6:58(a) NOAA/AVHRR多通道影像和(b)监测的夜间雾区分布图

Fig.3 (a) The NOAA/AVHRR multi-channel image and (b) the image of nighttime fog detecting by NOAA/AVHRR data at 6:58 ,January 16 2005



(a)



(b)

白色为雾区 黑色为下垫面和云区。

The white is fog area ,the black is land surface and cloud.

图4 2008年11月24日5:35(a) NOAA/AVHRR多通道影像和(b)监测的夜间雾区分布图

Fig.4 (a) The NOAA/AVHRR multi-channel image and (b) the image of nighttime fog detecting by NOAA/AVHRR data at 5:35 ,November 24 2008

表1 2005年1月16日06:58地面观测数据与NOAA/AVHRR监测结果对比

Tab.1 Comparing the data of observation station with the result of nighttime fog detection using NOAA/AVHRR at 6:58 ,January 16 ,2005

NOAA/AVHRR 监测 NOAA/AVHRR detection	地面观测站/个 Observation station		
	雾 Fog	非雾 Non-fog	合计 Total
雾 Fog	37	11	48
非雾 Non-fog	4	34	38
合计(站) Total(station)	41	45	86

由表1可知 2005年1月16日6时58分 NOAA/AVHRR 监测结果与地面观测结果一致的样本有67个,其监测准确率为82.6%,这与前人研究结果比较一致^[9]。2008年11月24日05:35 NOAA/AVHRR 监测与地面监测一致的样本有44个,估算其监测准确率为55.8%(表2)。2008年11月24日05:35雾监测结果精度较低的主要因素是研究区内出现大片的低层云,降低了雾判识的准确性^[15];卫星过境时间与地面观测二者之间有一个时间上的差异,分别相差近1h和2.5h,一定程度上影响了检验结果。

表 2 2008 年 11 月 24 日 05:35 地面观测数据与 NOAA/AVHRR 监测结果对比

Tab.2 Comparing the data of observation station with the result of nighttime fog detection using NOAA/AVHRR at 5:35, November 24, 2008

NOAA/AVHRR 监测 NOAA/AVHRR detection	地面观测站/个 Observation station		
	雾 Fog	非雾 Non - fog	合计 Total
雾 Fog	26	34	60
非雾 Non - fog	4	22	26
合计(站) Total(station)	30	56	86

4 结 语

本文利用 NOAA/AVHRR 红外通道数据建立夜间雾遥感监测模型,并初步确定适合于夜间雾监测通道组合及指标。卫星遥感监测与地面观测的对比分析结果表明,平均监测准确率达 69.2%,证明利用 NOAA/AVHRR 红外通道数据监测夜间雾是可行的。

(1) 通过对 2005—2008 年 NOAA/AVHRR 数据红外光谱特征分析表明,夜间雾区在 4 通道的亮温值大于 3 通道,雾区在两个通道的差值在 3 K 以内;而云区和下垫面在 4 通道的亮温值比 3 通道低。采用红外双通道差值算法,结合 NOAA/AVHRR 3、4 红外通道数据,对夜间大雾进行监测分析,取得了较为理想的结果。

(2) 低层云与雾的辐射特征比较相似,加上山区地形复杂和夜间 NOAA/AVHRR 数据监测雾的通道少,很难完全把低层云和雾区分开,是导致夜间雾监测准确率较低的主要因素。目前观测站点的观测频次难以满足雾监测精度检验的需求,需要进一步研究解决。

参考文献:

- [1]李亚春,孙涵,徐萌. 卫星遥感在大雾生消动态监测中的应用[J]. 灾害学, 2001, 16(1): 45-49.
- [2]张超美. 江西省 2005 年 1—3 月气候特点概述[J]. 江西气象科技, 2005, 28(2): 64.
- [3]Gurka J J. Using satellite data for forecasting fog and stratus dissipation[R]. 5th conference on Weather Forecasting and Analysis, 1974: 54-57.
- [4]Eyre J R, Brownscombe J I, Allm R J. Detection of fog at night using advanced very high resolution radiometer (AVHRR) imagery[J]. Meteorological Magazine, 1984, 113(1346): 266-271.
- [5]Turner J, Allam R J, Maine D R. A case study of the detection of fog at night using channels 3 and 4 on the advanced very high resolution radiometer (AVHRR) [J]. Meteorological Magazine, 1986, 115(1370): 285-290.
- [6]Ellrod G P. Advances in the detection and analysis of fog at night using GOES multi-spectral infrared imagery[J]. Weather Forecasting, 1995, 10(3): 606-619.
- [7]居为民,孙涵,张忠义,等. 卫星遥感资料在沪宁高速公路大雾监测中的初步应用[J]. 遥感信息, 1997(3): 25-27.
- [8]李亚春,孙涵,李湘阁,等. 用 GMS-5 气象卫星资料遥感监测白天雾的研究[J]. 南京气象学院学报, 2001, 24(3): 121-129.
- [9]孙涵,孙照勃,李亚春. 雾的气象卫星遥感光谱特征[J]. 南京气象学院学报, 2004, 27(3): 289-301.
- [10]周旋,周晓中,吴耀平,等. 利用 MODIS 数据监测夜间雾[J]. 武汉大学学报: 信息科学版, 2008, 33(6): 581-583.
- [11]张春桂,蔡义勇,张加春. MODIS 遥感数据在我国台湾海峡海雾监测中的应用[J]. 应用气象学报, 2009, 20(1): 8-16.
- [12]樊辉. 基于 NOAA/AVHRR 热红外数据的城市热岛强度年内变化特征[J]. 遥感技术与应用, 2008, 23(4): 414-418.
- [13]黄淑娥,聂秋生,祝必琴,等. 江西省干旱遥感监测研究[J]. 江西农业大学学报, 2008, 30(5): 944-948.
- [14]Hunt G E. Radiative properties of terrestrial clouds at visible and infrared thermal window wavelengths[J]. Quarterly J Royal Meteorological Society, 1973, 99(420): 346-369.
- [15]Bendix J. A satellite-based climatology of fog and low-level stratus in Germany and adjacent areas[J]. Atmospheric Research, 2002, 64(1): 3-18.