

# 利用环境一号卫星数据监测雾分布

王中挺<sup>1</sup>, 厉青<sup>1</sup>, 王桥<sup>1</sup>, 陈良富<sup>2</sup>, 李莘莘<sup>2</sup>, 游代安<sup>1</sup>

(1. 环境保护部卫星环境应用中心, 北京 100029;

2. 中国科学院遥感应用研究所, 遥感科学国家重点实验室, 北京 100101)

**摘要:**雾是环境空气监测的一个重要内容之一。根据环境一号卫星B星(HJ-1B)的数据特点,从典型地物、云、雾的微物理特性的RT3辐射传输模拟出发,分析不同波段典型地物和云、雾的反射率、亮温差别,提出了综合利用HJ-1B卫星CCD相机和红外相机数据进行雾监测的方法与流程。最后,使用2009年3月12日我国南方地区的HJ-1B数据为卫星监测数据进行了监测试验。结果表明:HJ-1B卫星数据能够实现雾的监测,但由于薄云受到地表影响,无法准确区分薄云与雾。

**关键词:**遥感;环境一号卫星;雾

**中图分类号:**X 831 **文献标志码:**A **文章编号:**1004-0323(2010)03-0318-05

## 1 引言

雾是一种灾害性天气现象。当近地面空气中水汽达到饱和时,水汽在气溶胶粒子上凝结(或凝华)为水滴(或冰晶),当能见度低于1 km时,气象学称之为雾(WMO,1992)。雾会造成能见度下降,从而严重影响到交通运输;同时雾使空气质量恶化,威胁到人们的身体健康。在城市地区,污染物与空气中的水汽相结合,将变得不易扩散与沉降。而且,一些有害物质与水汽结合,会变得毒性更大,如二氧化硫变成硫酸或亚硫酸物。1952年12月,英国伦敦发生持续4 d的雾,共造成4 000多人死亡。因此,对雾进行监测在环境监测中具有非常重要的意义。

利用卫星遥感的方法监测大雾,具有大范围监测、重复周期短、成本低等优点。国内外已有多人进行了卫星遥感雾的研究,主要有:Eyre<sup>[1]</sup>等利用NOAA/AVHRR资料进行了夜间雾的识别的试验;Bendix<sup>[2]</sup>利用NOAA/AVHRR资料提出了几种雾监测的方法;Bendix<sup>[3]</sup>通过辐射传输计算获得云雾在MODIS的1~7通道阈值,以识别白天雾,能够监测出93%以上的雾分布;居为民<sup>[4]</sup>等用GMS和NOAA/AVHRR卫星资料遥感监测沪宁高速公路上的大雾;刘健<sup>[5]</sup>等用NOAA/AVHRR

的通道3资料分析了云和雾中粒子的大小分布状况,得到了通道3的反射率大值区与大雾覆盖区之间具有良好的对应性;邓军<sup>[6]</sup>等利用SBDART模拟了云雾光谱辐射特性,分析了不同物理特性的雾在MODIS通道的辐射特性;陈林<sup>[7]</sup>等提出了利用MODIS数据进行雾监测的多通道阈值法。

环境一号卫星(也称环境减灾卫星)全称中国环境与灾害监测预报小卫星星座(以下简称HJ-1星),是中国专门用于环境与灾害监测预报的卫星。HJ-1星主要用于对生态环境和灾害进行大范围、全天候动态监测,及时反映生态环境和灾害发生、发展过程,对生态环境和灾害发展变化趋势进行预测,对灾情进行快速评估,为紧急求援、灾后救助和重建工作提供科学依据。HJ-1A、HJ-1B星于2008年9月6日以一箭双星的方式在太原卫星发射中心由长征二号丙火箭发射升空。HJ-1B星有效载荷包括:两个与A星相同的宽覆盖多光谱CCD相机和一台红外相机。其中宽覆盖多光谱CCD相机像元分辨率为30 m,包括3个可见光波段0.43~0.52  $\mu\text{m}$ 、0.52~0.60  $\mu\text{m}$ 、0.63~0.69  $\mu\text{m}$ 以及一个近红外波段0.76~0.90  $\mu\text{m}$ ,红外相机包括两个近红外波段0.75~1.10  $\mu\text{m}$ 、1.55~1.75  $\mu\text{m}$ ,一个中红外波段3.50~3.90  $\mu\text{m}$ 和一个热红外波段10.5~

12.5  $\mu\text{m}$ 共 4 个波段。

本文针对 HJ-1B 星的波段设置,利用辐射传输模式 RT3 进行模拟计算,分析雾在不同通道上的辐射特性,研究了结合 HJ-1B 星 CCD 相机和红外相机进行雾监测的方法,最后用 2008 年 12 月 11 日广西地区的数据进行了反演试验。

2 模式与数据

本文选择 RT3 模式<sup>[8]</sup>进行辐射传输计算,进行云、雾、典型地表的大气层顶辐射特性模拟。RT3 (Radiative Transfer 3)模式是美国科罗拉多大学的 Evans 教授的平面平行介质矢量辐射传输方程求解的计算模式,RT3 是基于矩阵算子理论的倍加累加法,能进行红外波段乃至微波波段的计算,通过指定相应散射文件可以灵活设置各种大气微粒的特性(如云、雾、气溶胶)。RT3 广泛应用于大气辐射传

输计算中,如在 MODIS 的陆地气溶胶 5.2 算法中,其查找表就是采用 RT3 计算的<sup>[9]</sup>。

根据 HJ-1B 的 CCD 相机和红外相机通道设置,计算气溶胶、云、薄雾(能见度为 1 000 m)、厚雾(能见度为 50 m)等不同微物理性质的大气微粒的散射性质,使用植被、裸土、水体等地物的光谱曲线,然后利用 RT3 进行辐射传输计算,获得相应模拟结果,以进行雾的识别。

在 CCD 相机的 4 个波段,不同目标的表观反射率模拟结果如图 1 所示。从图中可以看到,在散射角较小时(小于 100°)时,云、雾与各个地物(植被、裸土、水体)的反射率相近,无法相互区分;随着散射角的变大,由于大颗粒的强烈后向散射,云、雾的反射率要远远大于地表(在近红外波段,由于大气影响减小,云、雾的反射率与地物相近),可以很容易地将云雾与地表区分开。但云和雾交织在一起,很难互相区分。

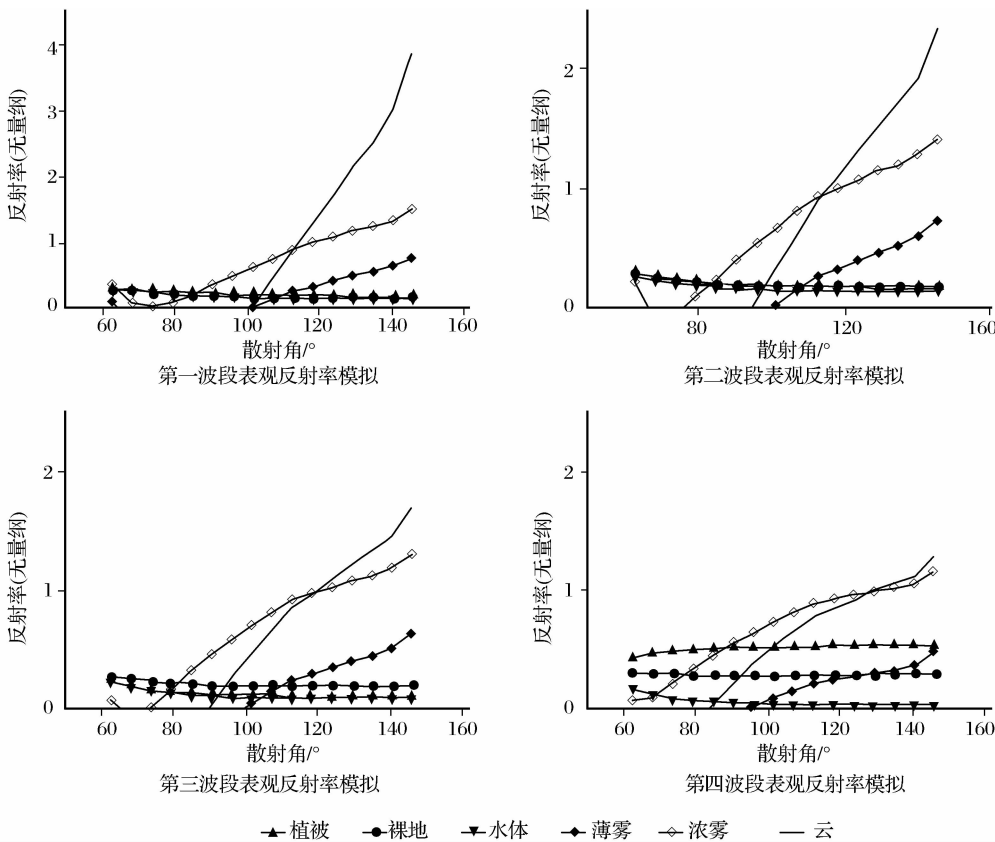


图 1 CCD 相机 4 个波段的反射率模拟  
Fig. 1 Reflectance at four bands of CCD camera

对于环境卫星 CCD 相机来说,由于观测方位角在 0~30°之间变化,在我国大陆地区,太阳天顶角最大在 50°附近,散射角大于 100°,利用 CCD 相机数据可以很好地将地表区分出来。

在红外相机的两个近红外波段,不同目标的表

观反射率模拟结果如图 2 所示。从红外相机近红外波段的模拟数据可以看到,随着地表反射率的增加,以及大气消光系数的降低,反射率逐渐降低,二者之间的差异逐渐接近,薄雾与地表已无法通过反射率区分,无法区分雾与地表。随着观测角的增加(大于

130°), 云的后向散射增加, 反射率逐渐超过厚雾。  
在中红外和热红外波段需要考虑目标自身的发

射, 同时输出单位一般为亮温, 云与雾的亮温模拟结果如图 3 所示。

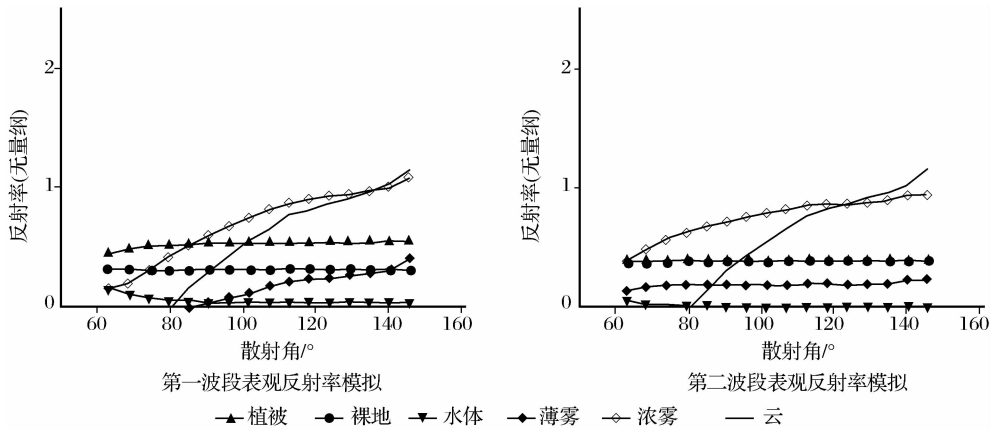


图 2 红外相机近红外波段的反射率模拟  
Fig. 2 Reflectance at near infrared bands of IR camera

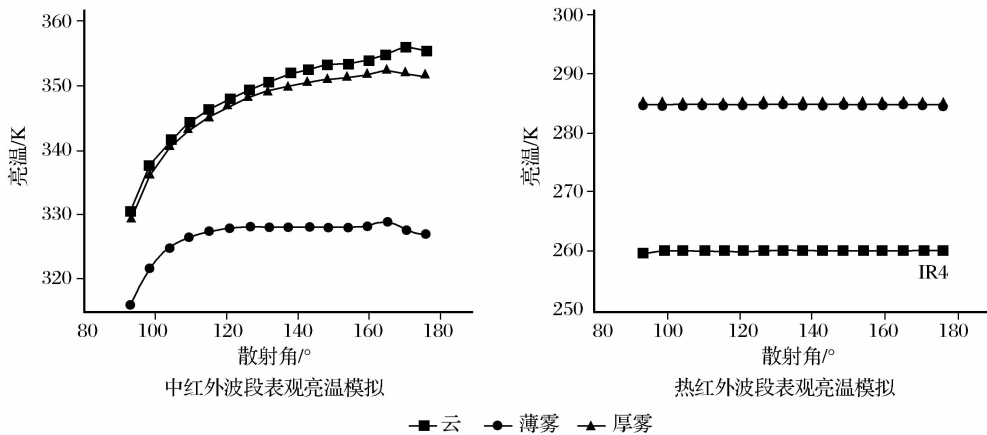


图 3 红外相机中红外与热红外波段的亮温模拟  
Fig. 3 Brightness temperatures at middle infrared and thermal infrared bands of IR camera

在中红外波段, 传感器接收到的信号既有对太阳光的散射又有自身的发射。虽然雾的散射要强于云, 但云的光学厚度要远远大于雾。从模拟结果可以看出, 云的亮温大于薄雾而与厚雾接近, 厚雾与云亮温接近难以区分。

在热红外波段, 传感器接收到的信号主要来自观测目标的自身发射, 在此波段上, 云雾可以看作是黑体。雾接近于地表, 温度与地面接近, 而云温度较低。从模拟结果可以看出, 通过热红外波段的亮温, 能够很好地区分云与雾。

通过以上模拟可以看出: ① 在散射角较大时 (大于 100°), 可见光波段能够区分地物和云雾; ② 在近红外波段, 地物与薄雾的辐射特征相似, 云的反射率介于薄雾与厚雾之间, 无法应用于云雾区分; ③ 在中红外波段, 厚雾与云的辐射特征相似, 无法区分云雾; ④ 在热红外波段, 云雾近似认为黑体

时, 云和雾可以很好地区分。

### 3 数据处理流程

根据以上模拟结果, 可以采用多波段阈值的方法实现雾识别, 首先利用 CCD 相机可见光波段的表观反射率将云和雾识别出来, 然后利用红外相机热红外波段的亮温识别出雾。具体可分为如下 4 个步骤:

(1) 数据拼接与重采样。一景红外相机图像的幅宽为 720 km, 而 CCD 相机图像的为 360 km, 大约 4 个 CCD 数据覆盖范围与 1 个红外相机数据相当, 根据红外相机图像选择相应的 CCD 图像进行拼接; CCD 数据分辨率为 30 m, 红外相机的热红外波段为 300 m, 将 CCD 数据采样为 300 m, 并与热红外波段合成到一个文件中。

(2) 辐射定标。CCD 相机的定标采用场地定标结果 (由资源卫星中心提供), 将图像的 DN 值转

换为辐亮度,然后根据卫星过境时的太阳天顶角以及各个波段的大气层外辐亮度,将辐亮度归一化为表观反射率;热红外波段则采用实验室定标的结果,将图像的 DN 值转换为亮温。

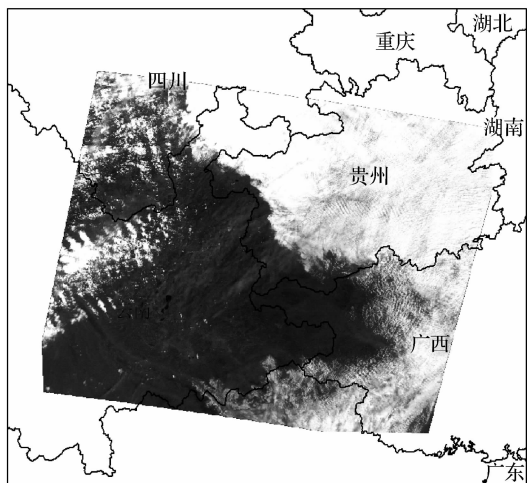
(3) 雾识别。利用 CCD 相机的表观反射率进行云雾识别,并结合红外相机的亮温,根据确定的阈值,从识别的云雾中将雾和云进行区分,然后将除雾以外的数据进行掩膜,最后将获得的雾分布监测结果以 GeoTIFF 的格式存储。

(4) 成图输出。将上面获得的雾分布监测结果导入 ArcMap 中,划分等级并进行渲染,然后叠加矢

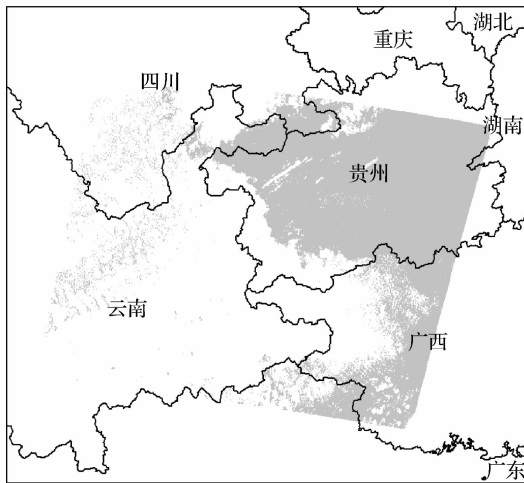
量地图,添加相应的标注,获得相应的专题图,最后将专题图结果以图片格式导出。

## 4 监测试验与结果

2009 年 3 月 11 日至 13 日我国南方部分地区连续出现了大片的雾区,尤其以广西地区最为严重,部分地区还出现了能见度在 1 000 m 以下的大雾,10 日和 11 日南宁市气象台分别发布了大雾黄色和橙色预警信号。2009 年 3 月 12 日 HJ-1B 星过境广西地区,综合采用其 CCD 相机和红外相机数据进行了雾监测,结果如图 4 所示。



CCD相机假彩色合成图



雾监测结果图

图 4 雾监测试验图

Fig. 4 The monitoring of fog

从监测结果可以看出,通过卫星数据 2009 年 3 月 12 日在我国南方监测到了雾的分布,即贵州大部、广西东部出现了雾;而云南、四川境内也监测到部分零星雾出现,则可能是薄云受到地面的影响,辐射特性与雾相似,造成算法的偏差。

## 5 结 语

本文结合 HJ-1B 星数据特征,利用 RT3 辐射传输模式对雾、云、典型地物等的辐射特征进行了模拟,结果表明综合利用 CCD 相机的可见光通道和红外相机的热红外通道能够识别出雾,实现雾的遥感监测。根据雾的辐射特征,综合利用 HJ-1B 的 CCD 相机和红外相机数据能够实现雾的监测,但由于薄云受到地表影响,无法准确区分薄云与雾,还需做进一步的研究。

致谢:本文所使用的辐射传输模式 RT3 由美国的

Frank Evans 提供,在此表示感谢!

### 参考文献:

- [1] Eyre J R, Brownseombe J L, Allam R J. Detection of Fog at Night Using Advanced very High Resolution Radiometer (AVHRR) Imagery[J]. Meteorology Magazine, 1984, 13: 266-271.
- [2] Bendix J. Observing Fog from Space: A European Example[C]// Proceeding of the First International Conference on Fog and Fog Collection. Canada, 1998: 421-424.
- [3] Bendix J, Thies B, Cermak J. Fog Detection with TERRA-MODIS and MSG-SEVIRI[C]// Proceedings 2003 Met. Sat. Users' Conf. Weimar, Germany; EUMETSAT, 2003: 429-435.
- [4] 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.
- [5] Liu Jian, Xu Jianmin, Fang Zongyi. Analysis of the Particle Sizes at Top of Cloud and Fog with NOAA/AVHRR Data[J]. Journal of Applied Meteorological Science, 1999, 10(1): 28-33. [刘健, 许健民, 方宗义. 利用 NOAA 卫星的 AVHRR 资料试分析云和雾顶部粒子的尺度特征[J]. 应用气象学报, 1999, 10(1): 28-33.]

[6] Deng Jun,Bai Jie,Liu Jianwen,*et al.* Detection of Daytime Fog Using MODIS Multispectral Data[J]. Meteorological Science and Technology,2006,34(2):188-193. [邓军,白洁,刘健文,等.基于 MODIS 多通道资料的白天雾监测[J].气象科技,2006,34(2):188-193. ]

[7] Chen Lin,Niu Shengjie,Zhong Lingzhi. Detection and Analysis of Fog Based on MODIS Data[J]. Journal of Nanjing Institute of Meteorology,2006,29(4):448-454. [陈林,牛生杰,仲凌志. MODIS 监测雾的方法及分析[J].南京气象学院学报,2006,29(4):448-454. ]

[8] Levy R C,Remer L A,Shana M,*et al.* The Second-generation Operational Algorithm:1 Retrieval of Aerosol Properties over Land from Inversion of MODIS Spectral Reflectance[J]. Journal of Geophysical Research. D,Atmospheres,2007,112(d13): D13211-1-21.

[9] Evans K F,Stephens G L. A New Polarized Atmospheric Radiative Transfer Model[J]. Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer,1991,46(5):413-423.

## Detection of Fog Using HJ-1 Data

WANG Zhong-ting<sup>1</sup>,LI Qing<sup>1</sup>,WANG Qiao<sup>1</sup>,  
CHEN Liang-fu<sup>2</sup>,LI Shen-shen<sup>2</sup>,YOU Dai-an<sup>1</sup>

(1. *Satellite Environment Center,Ministry of Environmental Protection,Beijing 100029,China;*  
*2. China State Key Laboratory of Remote Sensing Science,Institute of the*  
*Remote Sensing Applications,Chinese Academy of Sciences,Beijing 100101,China)*

**Abstract:** Fog is an important of environment monitoring. By radiative transfer model RT3,reflectance and brightness temperature of fog,cloud and underlying surface were simulated at different bands of CCD camera and IR camera of HJ-1 B. After analyzed simulation results,the method of monitoring fog by HJ-1B data was given. The method was tested in south China at March 12th,2009. The results show,by HJ-1B data, the fog can be monitored,but for the influence of land surfaces,the thin cloud can't be removed accurate.

**Key words:** Remote sensing; HJ-1; Fog