

# 长春地区云检测及云相态反演研究

杨春燕<sup>1</sup>, 陈圣波<sup>1</sup>, 包书新<sup>2</sup>, 宋金红<sup>3</sup>

(1. 吉林大学地球探测科学与技术学院, 吉林 长春 130026;

2. 中国人民解放军 91422 部队气象台, 山东 烟台 265200;

3. 吉林农业大学资源与环境学院, 吉林 长春 130118)

**摘要:**采用经 ENVI 几何校正、定标及裁剪等预处理的 2008 年 10 月 1 日 04:25 和 18:00(UTM)的 MODIS L1B 数据, 利用 MODIS 云检测 Ackerman 方法及云相态反演红外二光谱技术, 对长春地区进行了云检测和云相态反演。从检测及反演结果中看出, 云检测及白天云相态反演效果都很好, 而在夜晚条件下, 由于低温, 存在较大面积的不确定相态区域。

**关 键 词:**云检测; 云相态; MODIS; 长春地区

**中图分类号:** TP 79      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1004-0323(2010)02-0245-06

## 1 引 言

云通常覆盖地球大气 50% 左右, 是地气系统辐射收支的主要调解者和影响卫星等被动遥感数据准确性的重要因子。准确确定云的范围和相态不仅可以提高陆地参数被动遥感反演的精度, 而且可以为探究云内部水汽和大气的物理构成, 正确预报天气气候变化提供重要依据。

云相对于下垫面, 具有较高的反射率和较低的温度, 简单的可见光和红外窗区的阈值就可以提供相当不错的云检测方法。但是许多情况下, 如下垫面为雪时, 云和下垫面的辐射相似, 就难以用简单的可见光和红外光谱方法区别云和下垫面了。目前, 被动遥感条件下进行云检测的方法主要有由 Rossow<sup>[1]</sup>等研发的 ISCCP 方法, Saunders<sup>[2]</sup>等研发的 APOLLO 方法, Stowe<sup>[3]</sup>等提出的 CLAVR 方法以及 Wylie<sup>[4]</sup>等提出的 CO2 薄片法等。云相态反演研究经过多年的开展目前已开发出了一系列的可行的方法。主要有 Houghton<sup>[5]</sup>等提出的利用 50  $\mu\text{m}$  和 120  $\mu\text{m}$  两个远红外波段进行云相态分析的方法, Booth<sup>[6]</sup>提出的红外单光谱云相态分类法, Inoue<sup>[7]</sup>提出的双光谱窗区分离法及 Ackerman<sup>[8]</sup>等提出的三光谱云相态分类法等。

研究中采用 Ackerman<sup>[9]</sup>等提出的 MODIS 阈

值云检测方法及 Menzel<sup>[10,11]</sup>等提出的红外二光谱云相态反演方法分别对长春地区进行了云检测和云相态反演。

## 2 原理与方法

### 2.1 云检测

MODIS 云检测是逐像元进行的。根据 MODIS 数据特点, 检测前首先要对所检测像元的下垫面进行分类(分为白天海洋、夜晚海洋、白天陆地、夜晚陆地、白天冰/雪、夜晚冰/雪、白天海岸、夜晚海岸、白天沙漠、夜晚沙漠 10 种类型)。然后根据下垫面类型, 选用相应的 MODIS 波段数据进行检测。MODIS 云检测的实质是利用阈值对各波段像元值进行判定, 并把判定结果用可信度表示出来。

本文仅对下垫面为白天及夜晚陆地进行研究。为了提高精度, 将检测分为若干组进行, 每组又包含了利用不同通道数据进行的若干项检测<sup>[12,13]</sup>。对于白天陆地可将检测分 4 组进行: ① 简单红外亮温对厚的高云检测:  $BT_{13.9}, BT_{6.7}$ ; ② 亮温差检测薄云:  $BT_{11} \sim BT_{3.9}$ ; ③ 可见光反射率检测低云:  $R_{0.66}, R_{0.87}/R_{0.66}$ ; ④ 对流层顶部薄云检测:  $R_{1.38}$ 。夜间陆地分为 3 组进行检测: ① 简单红外亮温检测厚的高云:  $BT_{13.9}, BT_{6.7}$ ; ② 亮温差检测薄云、薄卷云:  $BT_{11} \sim BT_{3.9}, BT_{7.3} \sim BT_{11}$ ; ③ 红外卷云、薄卷云检测:  $BT_{3.7}$

~ BT<sub>12</sub><sup>[12]</sup>。其中,R 表示卫星测得的太阳反射率,BT 表示红外亮度温度,下标表示通道的中心波长。由于 MODIS 数据在红外波段保存的是辐射率值,所以需要转换为亮温值。亮温可按普朗克函数计算得到<sup>[14]</sup>,即:

$$BT = C_2 / \lambda \times \ln[(C_1 / (\lambda^5 \times E \times 10^6)) + 1] \quad (1)$$

$$S(x,\alpha,\beta,\gamma) = \begin{cases} 0 & (x \leq \alpha) \\ 2((x-\alpha)/(\gamma-\alpha))^2 & (\alpha \leq x \leq \beta) \\ 1-2((x-\alpha)/(\gamma-\alpha))^2 & (\beta \leq x \leq \gamma) \\ 1 & (x \geq \gamma) \end{cases} \quad (2)$$

其中:x 是实际的像元值,α、β、γ 为检测阈值,可通过实验研究得到。可信度是[0,1]之间的一个值,与实际的像元值及阈值有关。各波段阈值见表 1<sup>[16,17]</sup>。

表 1 MODIS 云检测算法阈值表

检测	β	α	γ
BT <sub>35</sub> (白天、夜晚)	241 K	239 K	244 K
BT <sub>27</sub> (白天、夜晚)	220 K	215 K	225 K
BT <sub>31</sub> ~BT <sub>21</sub> (白天)	-12 K	-14 K	-10 K
BT <sub>31</sub> ~BT <sub>21</sub> (夜晚)	0.6 K	0.7 K	0.5 K
BT <sub>28</sub> ~BT <sub>31</sub> (夜晚)	-10 K	-8 K	-11 K
R <sub>1</sub> (白天)	0.18	0.22	0.14
R <sub>1</sub> /R <sub>2</sub> (白天)	1.90	1.95	1.85
R <sub>26</sub> (白天)	0.035	0.04	0.03
BT <sub>20</sub> ~BT <sub>32</sub> (夜晚)	10 K	15 K	5 K

选择每组检测的最小可信度作为该组的可信度,然后将各组可信度相乘,并开 N 次方(N 为组数),得到最终可信度。将像元的最终可信度分为 4 个等级区间:S≥0.99 确定为晴空;在 0.95 到 0.99 之间为可能的晴空;0.66 到 0.95 之间为不确定;S≤0.66 的为云。

2.2 云相态

云从相态上可以分为冰云、水云和混合相态的云。辐射传输模拟表明<sup>[10]</sup>,红外光学厚度约大于 0.5 的冰云,8.5 μm 与 11 μm 波段的亮温差(以下简称为 BTD[8.5-11])为正值。具有较大的光学厚度的水云,BTD[8.5-11]一般为小于-2 K 的负值。低层水云的亮温差为负值,且随水蒸汽含量的增加变得越来越小。晴空 BTD[8.5-11]值趋于负数,这是由于 8.5 μm 的地表发射要比 11 μm 的弱得多,当地表没有植被覆盖时,这种差异更加明显。此外,模拟还表明,BTD[8.5-11]对吸收很敏感,尤其对水蒸汽引起的吸收更敏感。

红外二光谱技术就是根据不同云 BTD[8.5-11]的差异对云进行分类的。具体地,就是通过对像

其中:C<sub>1</sub> = 1.1910439 × 10<sup>-16</sup> Wm<sup>-2</sup>; C<sub>2</sub> = 1.4387686 × 10<sup>-2</sup> mK;λ 为通道中心波长,单位为 m;E 为辐射率,单位是 Wm<sup>-2</sup> sr<sup>-1</sup> m<sup>-1</sup>。

通过对每组中的各项检测设定阈值,可分别计算可信度。可信度可表示为<sup>[15]</sup>:

元的 11 μm 波段的亮温值以及 8.5 μm 与 11 μm 波段的亮温差设定条件,进行判别<sup>[18]</sup>。判别结果为:冰云、水云、混合相态云和不确定相态的云。像元相态判别条件<sup>[11]</sup>见表 2。

表 2 云相态反演条件

云类型	判断条件
冰云	BT11≤238 或 BTD[8.5-11]≥0.5
水云	(1) BT11>238 且 BTD[8.5-11]≤-1.0 或 (2) BT11≥285 且 BTD[8.5-11]≤-0.5
不确定相态	238<BT11<268 且 -1.0≤BTD[8.5-11]<-0.25
混合相态	238<BT11<268 且 -0.25≤BTD[8.5-11]<0.5

3 实例应用

3.1 数据预处理

本研究所使用数据选自 NASA 的一级数据及大气产品存档、发布系统(LAADS)中下午星 AQUA 2008 年 10 月 1 日 18:00(UTM)和 04:25(UTM) MODIS L1B 1 km 分辨率数据。文件编号是 MYD021KM. A2008275.1800.005.2008276154158.hdf 和 MYD021KM. A2008275.0425.005.2008275164747.hdf。数据在使用前经 ENVI 4.2 进行了定标、几何校正和裁剪预处理。

由于 MODIS L1B 数据包含的是经过按比例刻度化的 SI(Scaled Integer)数值,所以在使用前首先需要通过辐射定标将 SI 转换为反射率和辐射率。ENVI 4.2 支持 MODIS L1B 数据处理,在打开数据时,可自动完成从 SI 到相应的反射率或辐射率的转换。经定标后的数据,还需进行几何校正,以实现像元坐标与实际地理坐标的对应。在 MODIS L1B 数据中,像元的经纬度信息以图层的形式存放,因此利用 ENVI 4.2 可直接完成这一过程。最后通过基于经纬度的裁剪获得长春地区 MODIS L1B 影像。

3.2 云检测

基于 MODIS 阈值云检测方法,对预处理后数

据进行云检测计算。图 1 和图 2 分别为长春地区白天及夜晚的云检测结果对比图。其中图 1、2 中的 (a) 为各自的云检测结果, 图 1、2 中的 (b) 为从

LAADS 下载的相应的云检测产品图。图中深蓝色区域表示云, 棕红色区域表示晴空, 橙色区域表示可能的晴空, 浅蓝色表示不确定区域。

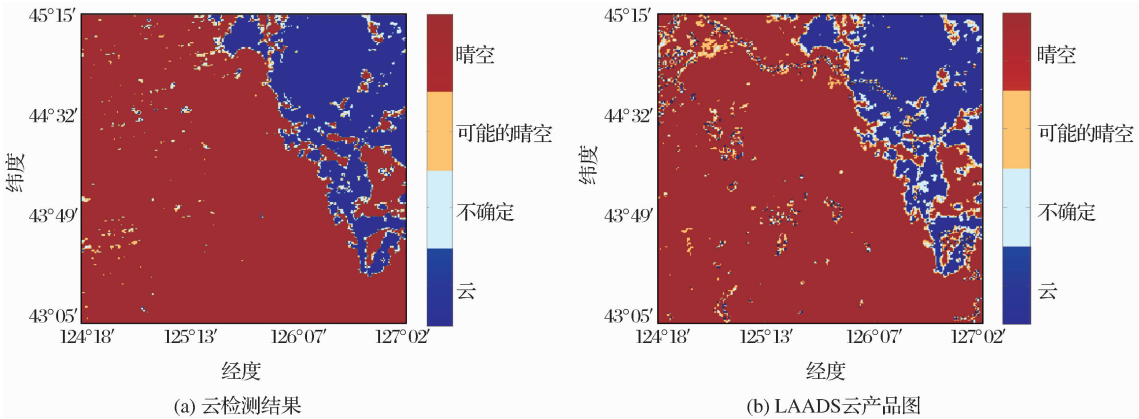


图 1 2008 年 10 月 1 日 04:25 (UTM) 云检测结果比较

Fig. 1 Comparison of cloud detection result at 04:25, on October 1, 2008 (UTM)

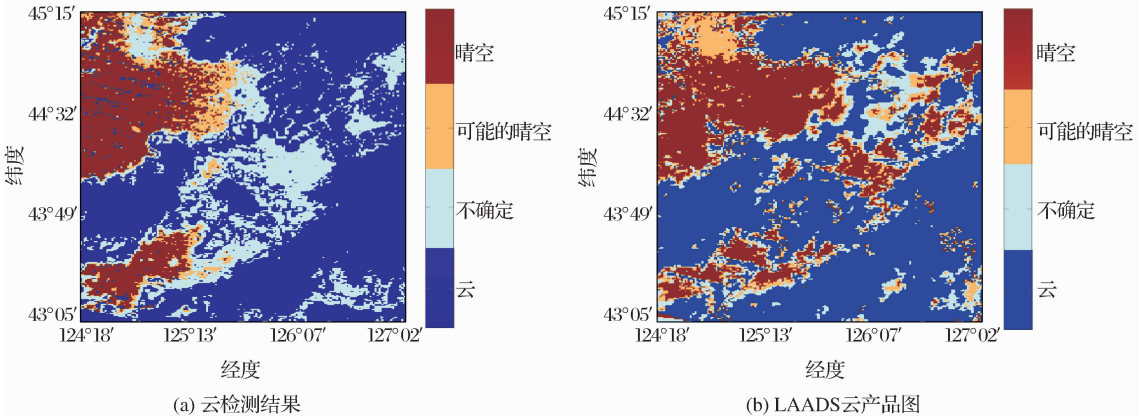


图 2 2008 年 10 月 1 日 18:00 (UTM) 云检测结果比较

Fig. 2 Comparison of cloud detection result at 18:00, on October 1, 2008 (UTM)

根据简单的比较可知, 有云的区域基本都被检测出来, 误判较少。夜晚条件下进行云检测的不确定区域较多, 而白天的云检测结果与 LAADS 产品

一致性较高。通过将图 1 和图 2 中的 (a) 和 (b) 两幅图分别做差, 得出云检测结果差别图, 如图 3 所示。图中黑色区域表示两者结果不同的区域, 白色区域

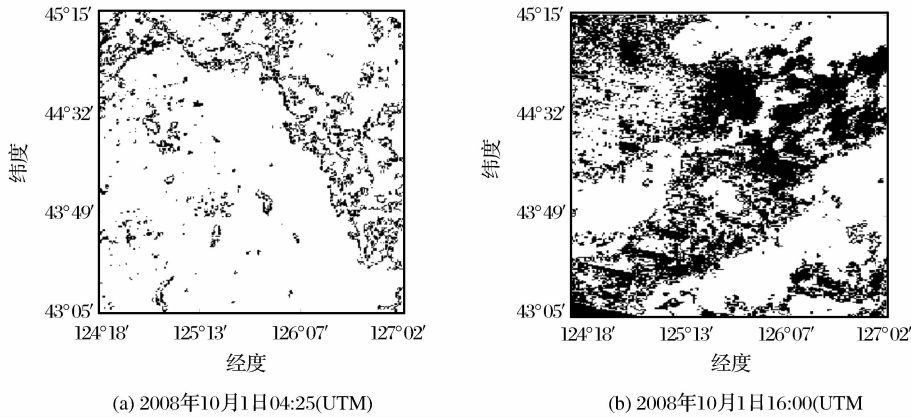


图 3 云检测结果差别图

Fig. 3 Difference of the cloud detection results

表示检测结果相同的区域。

通过图 3 可以看出,白天条件下的云检测结果与 LAADS 云检测产品一致性比夜晚条件下要好。图 3(a)中表示检测结果相同的区域约占 91%, (b) 中占 65%。因而,利用该方法对长春地区进行云检测,对有云区域的检测效果较好,对多云区域的小面积晴空检测效果较差。检测结果中可能的晴空主要集中在少云区域。

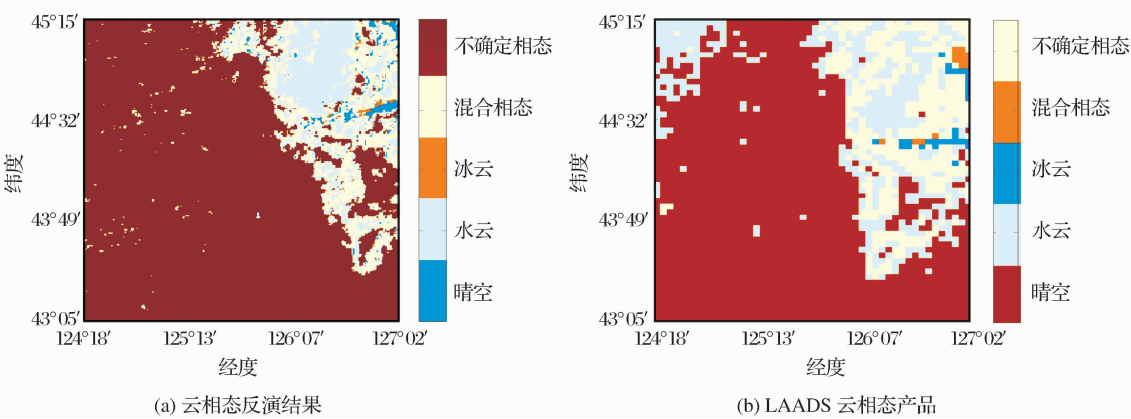


图 4 2008 年 10 月 1 日 04:25 (UTM)云相态反演结果比较  
Fig. 4 Comparison of cloud phase result at 04:25 ,on October 1,2008 (UTM)

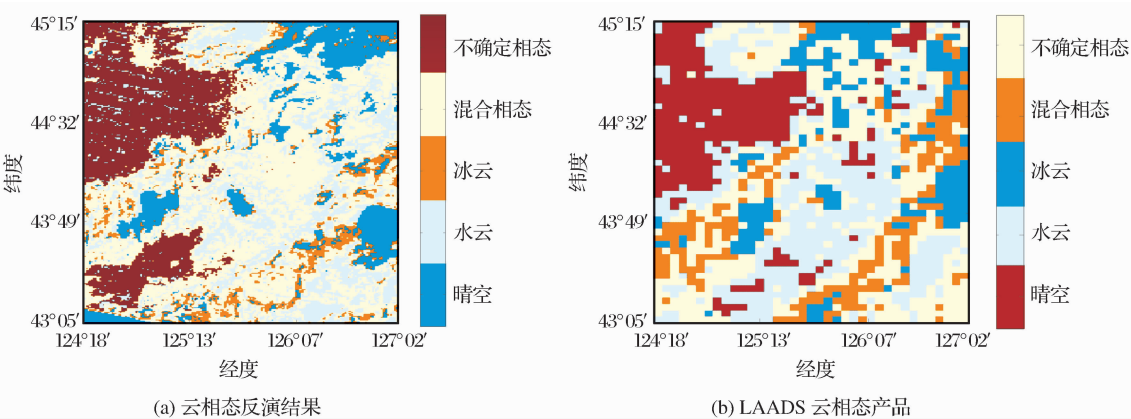


图 5 2008 年 10 月 1 日 18:00 (UTM)云相态反演结果比较  
Fig. 5 Comparison of cloud phase result at 18:00 ,on October 1,2008(UTM)

橙红色表示混合相态的云,浅黄色表示不确定相态的云,棕红色表示晴空。

同样通过简单的目视比较,可以看出反演结果与 LAADS 云相态产品的吻合性较好。且该时间长春地区白天冰云及混合相态云较少,水云相对较多。白天不确定相态的云主要分布在云的边缘区域。夜间冰云及混合相态云含量相对增加,同时还存在着较大面积的不确定相态区域,这可能是由于夜间温度低,云为冰和水的混合物或主要由过度冷却的水粒子构成,使得利用该方法区分云顶粒子相态的能

3.3 云相态反演

根据红外二光谱技术原理,在云检测结果的基础上对云进行了分类。研究中将云检测结果中可能的云表示为不确定相态的云,可能的晴空表示为晴空。图 4 和图 5 分别为长春地区白天及夜晚云相态反演结果对比图。其中(a)为反演结果,分辨率为 1 km; (b) 为从 LAADS 下载的云相态产品,分辨率为 5km。图中深蓝色表示冰云,浅蓝色表示水云,

力降低。

为了检验两者的一致性,对云相态反演结果进行了重采样。即依次选取 5 \* 5 区域,并将该区域出现次数最多的相态类型对应值作为新像元的相态值,得到 5 km 分辨率的长春地区云相态反演结果。将该结果与 LAADS 产品数据作差得到如图 6 所示的云相态反演差别图。图中黑色区域表示两者结果不同的区域,白色区域表示检测结果相同的区域。

图 6(a)中白色区域约占总区域的 74%,而(b)中仅为40%。差别较大的原因主要是由于云相态

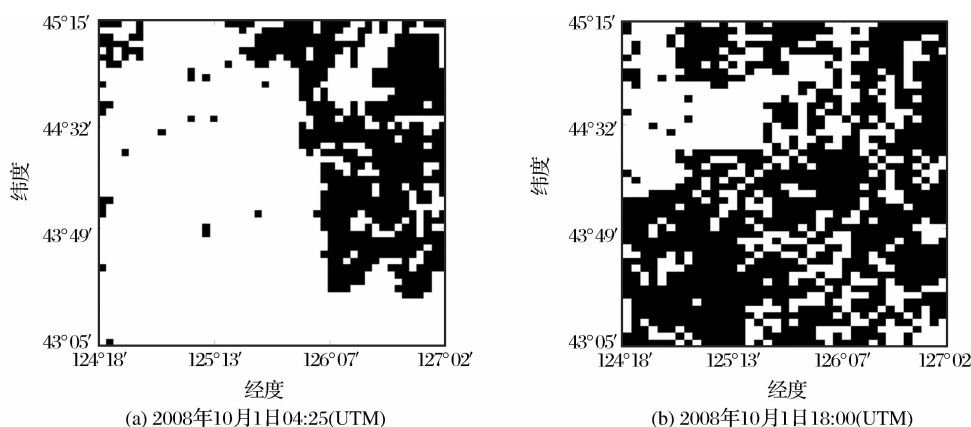


图 6 云相态反演结果差别图

Fig. 6 Difference of the two cloud phase retrieval results

反演是建立在云检测的结果上的,云检测结果的差别会导致云相态反演结果会有更大的差别。

#### 4 结 语

本文选取经几何校正、定标、裁剪等预处理的长春地区 2008 年 10 月 1 日 04:25(UTM)及 18:00(UTM) MODIS L1B 数据,根据 MODIS 阈值云检测方法及红外二光谱云相态反演技术,进行了长春地区云检测和云相态反演。研究结果表明,该时间长春地区白天云分布较少,而夜晚分布较多。白天云类型主要为水云,冰云和混合相态的云则较少。夜晚冰云明显增多,混合相态的云也有增加。

通过将检测及反演结果与 LAADS 相应的云产品进行比较分析,得出利用这两种方法对长春地区进行分析是适用的。阈值云检测方法对有云区域的检测效果较好,多云区域的小面积晴空及云的边缘区域检测效果较差;红外二光谱云相态反演技术对水云的分类较为敏感。由于地区的差异,两种方法中的阈值需要根据实际情况来进行更精确的调整,这是本研究需要改进的地方之一,而夜晚由于低温造成的部分区域相态难以确定是本研究需要改进的另一个地方。

#### 参考文献:

- [1] Rossow W B, Mosher R, Kinsella E, *et al.* ISCCP Cloud Algorithm Intercomparison[J]. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 1985, 24: 877-903.
- [2] Saunders R W, Kriebel K T. An Improved Method for Detecting Clear Sky and Cloudy Radiances from AVHRR Data[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1988, 9: 123-150.
- [3] Stowe L L, McClain E P, Carey R, *et al.* Global Distribution of Cloud Cover Derived from NOAA/AVHRR Operational Satellite Data[J]. *Advances in Space Research*, 1991, 11: 51-54.
- [4] Wylie D P, Menzel W P. Two Years of Cloud Cover Statistics Using VAS[J]. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 1989, 2: 380-392.
- [5] Houghton J T, Hunt G E. The Detection of Ice Clouds from Remote Measurements of Their Emission in the Far InfraRed [J]. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 1971, 97: 1-17.
- [6] Booth A L. Objective Cloud Type Classification Using Visual and Infrared Satellite Data[C]//Third Conference on Probability and Statistics in the Atmospheric Science, 1973, 220-227.
- [7] Inoue T A. Cloud Type Classification with NOAA 7 Split Window Measurements[J]. *Journal of Geophysical Research*, 1987, 92: 3991-4000.
- [8] Strabala K I, Ackerman S A, Menzel W P. Cloud Properties Inferred from 8212  $\mu\text{m}$  Data[J]. *Journal of Applied Meteorology*, 1994, 33: 212-229.
- [9] Ackerman S A, Strabala K I, Menzel W P, *et al.* Discriminating Clear-Sky from Cloud with MODIS Algorithm Theoretical Basic Document(MOD35) Version 5. 0[EB/OL]. [http://modis.gsfc.nasa.gov/data/atbd/atbd\\_mod06.pdf](http://modis.gsfc.nasa.gov/data/atbd/atbd_mod06.pdf), 2009-2-16.
- [10] Menzel W P, Richard A F, Bryan A B, *et al.* Cloud Top Properties and Cloud Phase Algorithm Theoretical Basic Document Version 7[EB/OL]. [http://modis-atmos.gsfc.nasa.gov/\\_docs/MOD06CT;MYD06CT\\_ATBD\\_C005.pdf](http://modis-atmos.gsfc.nasa.gov/_docs/MOD06CT;MYD06CT_ATBD_C005.pdf), 2009-2-17.
- [11] Bryan A B, Richard A F, Kathy I S, *et al.* Cloud Thermodynamic Phase Retrievals Using MODIS Multispectral Data [EB/OL]. <http://www.ssec.wisc.edu/~baum/Cloud-Phase/CloudPhase.html>, 2009-3-10.
- [12] MODIS 云检测数据产品参考规范[EB/OL]. <http://www.nfiieos.cn/html/criterion/cloud/02-1.htm>, 2008-9-16.
- [13] Bao Shuxin. Cloud Recognition Using MODIS Data[D]. Jilin University, 2008. [包书新. 基于 MODIS 数据的云识别研究[D]. 吉林大学, 2008.]
- [14] Zhao Wenhua, Shan Haibin, Zhong Ruxiang. An Overview of

MODIS Data Format and Application Algorithm[J]. Meteorological and Environmental Sciences, 2007, 30(1): 44-48. [赵文化, 单海滨, 钟儒祥. MODIS 遥感数据格式及使用方法综合分析[J]. 气象与环境科学, 2007, 30(1): 44-48. ]

[15] Liu Yujie, Yang Zhongdong. Theory and Algorithm of MODIS Data Processing[M]. Beijing: Scientific Press, 2001: 109-111. [刘玉洁, 杨忠东. MODIS 遥感信息处理原理与算法[M]. 北京: 科学出版社, 2001: 109-111. ]

[16] MODIS 云检测的阈值标准[EB/OL]. <http://www.nfiieos.cn/html/criterion/cloud/02-fulu.com>, 2009-9-16.

[17] Richard A F, Steven A A, LIU Y H, *et al.* Cloud Detection with MODIS. Part I: Improvements in the MODIS Cloud Mask for Collection 5[J]. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, 2008, 25: 1057-1072.

[18] Riedi J, Marchant B, Platnick S, *et al.* Cloud Thermodynamic Phase Inferred from Merged POLDER and MODIS Data[J]. Atmospheric Chemistry and Physics Discussions, 2007, 7: 14103-14137.

## Study on Cloud Detection and Cloud Phase Retrieval in Changchun Area

YANG Chun-yan<sup>1</sup>, CHEN Sheng-bo<sup>1</sup>, BAO Shu-xin<sup>2</sup>, SONG Jin-hong<sup>3</sup>

(1. College of Geoplore Science and Technology, Jilin University, Changchun 130026, China;  
2. Weather Station of 91422, PLA, Yantai 265200, China;  
3. School of Resources and Environment, Jilin Agricultural University, Changchun 130118, China)

**Abstract:** According to the Ackerman’s MODIS cloud detection technology and bispectral IR method, cloud detection and cloud phase retrieval in Changchun were conducted using MODIS L1B data at 04:25 and 18:00 on October 1, 2008 (UTM). The data were geometric corrected, calibrated and clipped by ENVI before being used. The results showed that the cloud detection and day cloud phase retrieval were effective, but the night cloud phase retrieval was not so effective owing to the low temperature in the night.

**Key words:** Cloud detection; Cloud phase; MODIS; Changchun area