

# Application of cloud detection algorithm in the Arctic region based on AVHRR satellite data

XU Dong, SU Jie, LIU Zhiqiang, WANG Weibo, TANG Xu

Key Lab of Polar Oceanography and Global Ocean Change, Ocean University of China, Qingdao, China

**Abstract**—The visible and near-infrared bands of AVHRR radiometer on the NOAA satellites can be used to monitor the Arctic sea ice cover. It is well known that Earth's surface characters in the cloud-covered regions could not be monitored exactly by the visible and near-infrared remote sensing. Therefore, the cloud detection is a fundamental process for sea ice parameters inversion. For the Arctic regions, the cloud detection algorithm has to focus on discrimination of sea ice and cloud. In this paper, the cloud detecting experiments for Arctic regions were conducted using the visible data of NOAA-19 AVHRR. The statistical characteristics of the different objects were analyzed as well. The results show that the cloud detection algorithm suit for land and ocean discrimination could not be used directly here. This is due to the similar radiation properties of sea ice and cloud. In the Arctic, on the basis of a large number of statistic analyses, the discrimination algorithm were re-screened with the thresholds being determined and revised, and then the preliminary cloud-ice discrimination algorithm for Arctic regions is obtained. This study can provide a basis for sea ice parameters inversion in Polar region, and then serve the polar sea ice monitoring.

**Keywords:** AVHRR; visible light; arctic; cloud detection algorithm; cloud-ice recognition

## I、前言

随着全球变暖, 北极海冰分布的变化受到越来越多的关注和研究。目前, 卫星遥感已成为观测海冰的一种重要手段。NOAA气象卫星运行周期短、覆盖面广, 采用双星运行, 且数据可以免费获得, 这种特点使得NOAA卫星携带的AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) 辐射计所获取的遥感数据在农业估产、林火监测、渔况预报、城市热岛等方面发挥了巨大作用<sup>[1]</sup>。该卫星为极轨卫星, 应该多加利用, 使其在两极的海冰观测中也发挥更重要的作用。但是目前海冰密集度的微波数据产品已被较广泛地使用, 算法也日趋成熟, 而分辨率较高的可见光/红外遥感数据在极区却很难产品化, 主要原因是该数据受云的影响较大。

AVHRR 辐射计是可见光/红外辐射计, 具有五个波段: 通道 1 (0.58–0.68  $\mu\text{m}$ )、通道 2 (0.73–1.1  $\mu\text{m}$ ) 为辐射反射率通道; 通道 3 (3.5–3.9  $\mu\text{m}$ )、通道 4 (10.3–11.3  $\mu\text{m}$ ) 以及通道 5 (11.5–12.5  $\mu\text{m}$ ) 为亮温通道。利用 AVHRR 卫星遥感数据通过反演算法可以获取北极地区的海冰密集度, 从而给北极的冰情分析带来便利。但无论是可见光还是红外波段都无法反演云覆盖区域的海冰参数, 云的存在还容易

产生海冰和云的误判, 因此, 如何正确的识别出云、排除云的干扰, 对反演海冰参数十分重要。在极区, 特别是冰外缘附近区域, 通常气旋活动较多, 云覆盖程度也较高, 这个问题更加突出。提高针对极区的云检测效果将有利于可见光卫星数据的利用。本文在对国内外 AVHRR 可见光数据云检测算法进行总结的基础上, 通过对 2010 年 189 条轨道可见光数据进行统计分析及试验, 对判别依据进行了重新筛选和阈值的确定, 提出针对北极区域的 AVHRR 卫星数据云检测的初步算法。

## II、数据来源和资料处理

本文采用的数据为 NOAA-19 AVHRR 原始数据, 为了便于分析整个北极区域, 采用了全球覆盖的 GAC 格式

(Global Area Coverage) 的 L1B 数据, 空间分辨率为 4km (<http://www.class.ncdc.noaa.gov/saa/products/>)。分析主要针对可见光时段, 选取 2010 年 4 月、5 月、6 月、7 月以及 8 月这些非极夜月份进行试验, 共 189 条轨道数据。

在进行云检测的试验之前, 首先按常规方法对 L1B 数据进行预处理, 步骤包括数据订正、高度角订正以及地理订正<sup>[2]</sup>。

## III、可见光云检测算法综述

有关 AVHRR 卫星可见光数据的云检测算法, 国外应用较为普遍的算法有 APOLLO 算法<sup>[3,4]</sup> 和 CLAVR 算法<sup>[5,6,7]</sup>, 这两种算法都是对不同的云判别依据进行组合, 其中包括单通道判别、亮温差判别等, 逐步对云进行判别。我国对于可见光云检测的方法也进行过相关研究, 周红妹等 (1995) 主要利用可见光、热红外单通道, 进行自动判云<sup>[1]</sup>。杨俊泉等 (1997) 提出了采用三维统计图集合判别方法去检测云, 而实际上同样是对不同云判别依据进行组合, 再通过三维统计图来判断出最佳的判云方式<sup>[8]</sup>。刘建等 (1998) 通过绘制亮温差以及单通道亮温散点图的方式来分析云的性质<sup>[9]</sup>。刘成林等 (2004) 将 CLAVR 算法应用于中国的东北、长江中游以及西南地区, 对算法的阈值进行了订正, 并对判别效果进行了评估<sup>[10]</sup>。以上这些工作主要是针对陆地和海洋下垫面进行云检测。Key 和 Barry (1989) 采用 NOAA6、7 卫星数据, 改进了针对陆地和海洋下垫面的 ISCCP (International Satellite Cloud Climatology Project) 算法, 使其适用于极区的冰雪下垫面, 具体做法是采用 AVHRR 的 1、3、4 通道以及 3、4 通道的差值进行云检测<sup>[11]</sup>, 他们的工作为极区云检测打下了基础, 但研究主要针对大西洋

Corresponding author: SU Jie, Ocean University of China ([sujie@ouc.edu.cn](mailto:sujie@ouc.edu.cn))

一侧，参数和算法的选取没有考虑整个北极。

国内外主要的云检测算法基本上都是综合了各种云判别依据，通过不同的依据组合进行云检测，这里我们对几种常用的判识依据进行简单归纳如下：

(1) 单通道判别。依据是云层相对于地表有较低的温度和较高的可见光/近红外波段的反射率。可以通过经验方法选定适当的阈值以区分云层和晴空区。通常选用通道5作为亮温的判据<sup>[12]</sup>，因为在该波段云具有较高的光学厚度<sup>[13]</sup>。当观测的亮温值低于某个阈值时，则判定为有云像元。根据反射率判别则有两种情况：当云在陆地上，一般采用通道1进行判别，当云在海上，则采用通道2进行判别，因为其对气溶胶和瑞利散射效应相对不敏感<sup>[12-14]</sup>。

(2) Q值判别。 $Q=R2/R1$ <sup>[14]</sup>为通道2与通道1反射率值的比值。云的反射率在近红外波段只比可见光波段有少量减少，因此其Q值通常在1左右。对于海水而言，由于分子散射以及气溶胶散射的作用，使得短波辐射的后向散射增强，因此其在可见光波段的反射率通常是近红外波段的2倍，Q值在0.5左右，而陆地上由于植被的影响，其反射率在近红外波段则是显著增长<sup>[15]</sup>，因此Q值可以很好的将陆地、海水、云区分出来。

(3) chd35值判别。 $chd35=ch3-ch5$ <sup>[14]</sup>为通道3与通道5亮温值的差。在有云区域，部分地物背景辐射可以穿过云，成为卫星接收到的辐射的一部分。在3个通道中，CH3对辐射的透过率最大，CH4次之，CH5最小，因而3个通道的亮温测值大小为 $BT3>BT4>BT5$ ，这就造成了半透明云区或部分有云区不同通道之间有亮温差。从而能够达到判别云的目的。亦可用 chd34 或 chd45 代替，即  $chd34=ch3-ch4$ ， $chd45=ch4-ch5$ <sup>[14]</sup>。

(4) NDVI值判断。 $NDVI=100[(ch2-ch1)/(ch2+ch1)]$ <sup>[8]</sup>为归一化植被指数。该指数已成功用于植被监测<sup>[17-18]</sup>。但由于云、海洋以及不同的地理特征的NDVI具有明显差异<sup>[8]</sup>，因此该指数也可以作为判别云的一种依据。

以上对以往常用的云检测算法以及各种判识依据进行了简单归纳，而实际上，在不同区域，云像元的辐射能量变化很大，自然界的云有不同的厚度和不同温度，受区域天气变化的影响很大；云下方的地物背景也有千差万别，因此会造成不同区域判识云的标准不能完全一致。而本文研究的北极区域由于海冰的存在，使云下具有了特殊的地物背景，会给云检测带来新的问题。本文仍将采用不同判据的组合进行云检测，利用最新的NOAA19 AVHRR数据，在对各通道数据和算法组合进行统计分析的基础上，通过一系列试验，对各种云检测判据进行重新筛选并确定阈值，提出针对整个北极区域的云检测初步算法。

#### IV、分析结果

本文对于北极区域的云检测试验，主要目的是如何将冰与云区分，不至造成冰、云的误判，以达到更好的海冰监测的效果。

##### A. 基于一景图像的不同物表类型特征统计

首先利用2010年7月1日的一景1、2、4通道合成假彩图(图1)统计不同物表类型的特征。选取五个代表区域，其中红色框内为厚云区；粉色框内为海水区；黑色框

内为水上薄云区；蓝色框内为冰上薄云区；黄色框内则为冰区。限于肉眼观测的精度，这里只能保证各框内的主要部分为进行统计的物表类型，基本可以反映出不同物表类型的统计特征。

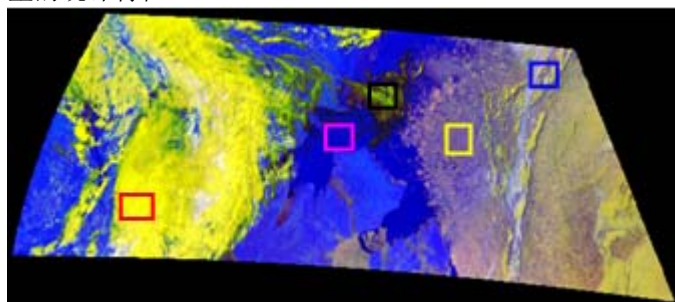


图 1 2010 年 7 月 1 日单轨 1、2、4 通道合成假彩图  
Figure 1 False color image of one scene compounded by band 1, 2 and 4 on July 1 2010

首先我们对较简单的单通道判别依据进行了组合，如前文所述，通道5的亮温值可以用来判别云，通道2近红外反射率用于判断海上的云较为适宜，因此选定通道5和通道2的组合进行物表类型的统计特征分析。图2给出了图1中所选五个区域对应2、5通道的散点分布图。可以看出，海水和厚云很容易区分，海水反射率最低，小于10；而厚云反射率最高，大多要大于60；水上的薄云也较容易与冰区上的薄云区分；但海冰与冰区的薄云却难以区分，海冰与冰上薄云不但亮温值相近，反射率也有明显的重叠区。本文进一步的工作将针对冰、云的判别展开。

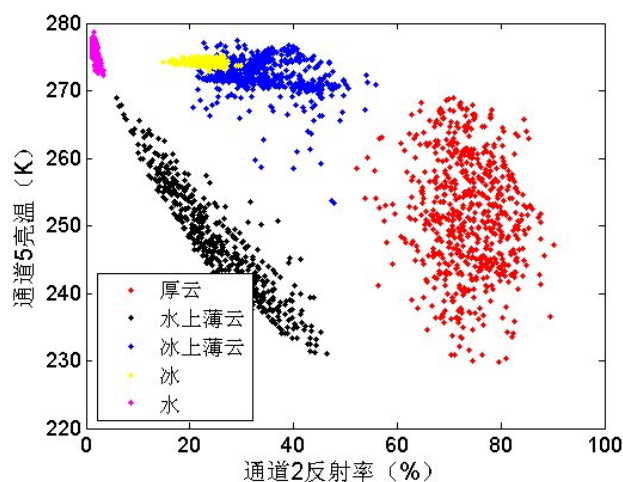


图 2 不同物体类型在 2、5 通道的散点分布  
Figure 2 Scattered distribution of different types of objects in band 2 and 5

##### B. 基于多轨道统计的冰、云判别方法

上文针对单条轨道对不同物表类型的辐射特征进行了统计，为了考察以上物表类型是否具有普适性，选取三十景卫星图像进行分析，图3给出了三十景图像在通道2的反射率值分布曲线和在通道5的亮温值分布曲线。三十景图像对应了三十条曲线，其纵轴为每景图像中对应辐射值统计个数。通过通道2，我们无法将海冰与云完全判出，只能将厚云判出，选取40作为厚云判别的阈值，即在通道2反射率大于40的点将被判为厚云。通道5则只能明显区分出亮温值较大的陆地，可以用来排除陆地的影响。

图 4、图 5 给出了其它 5 种云判别依据的分布曲线，下面我们将一一探讨各判别依据在区分冰与云方面发挥的作用。

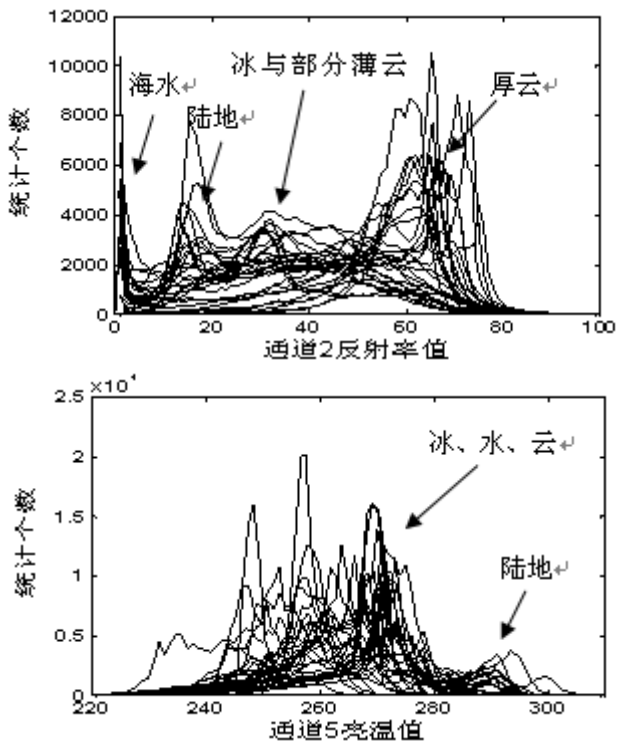


图 3 北极区域三十景图像单通道辐射值分布曲线（上：通道 2 反射率值；下：通道 5 亮温值）  
Figure 3 Distribution curve of 30 scenes in the Arctic (Above: band 2; Below: band 5)

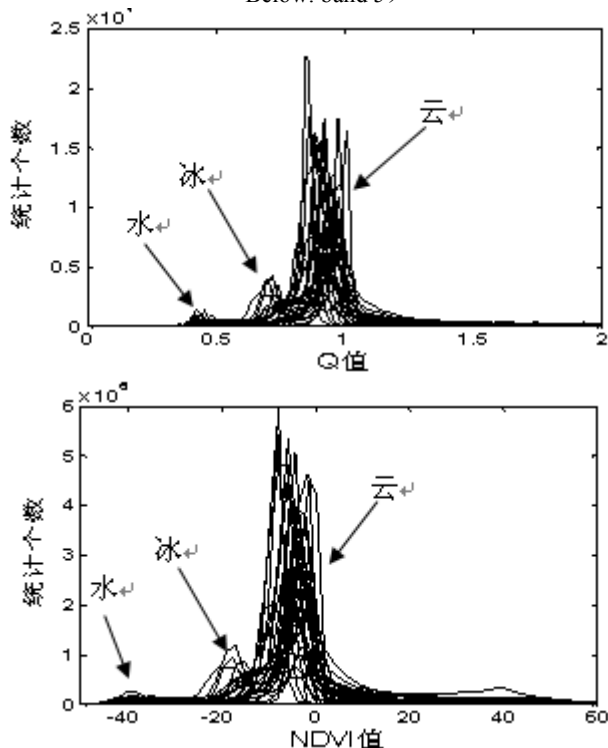


图 4 判别依据数值分布曲线（上：Q 值；下：NDVI 值）  
Figure 4 Distribution curve of 30 scenes (Above: Q values; Below: NDVI values)

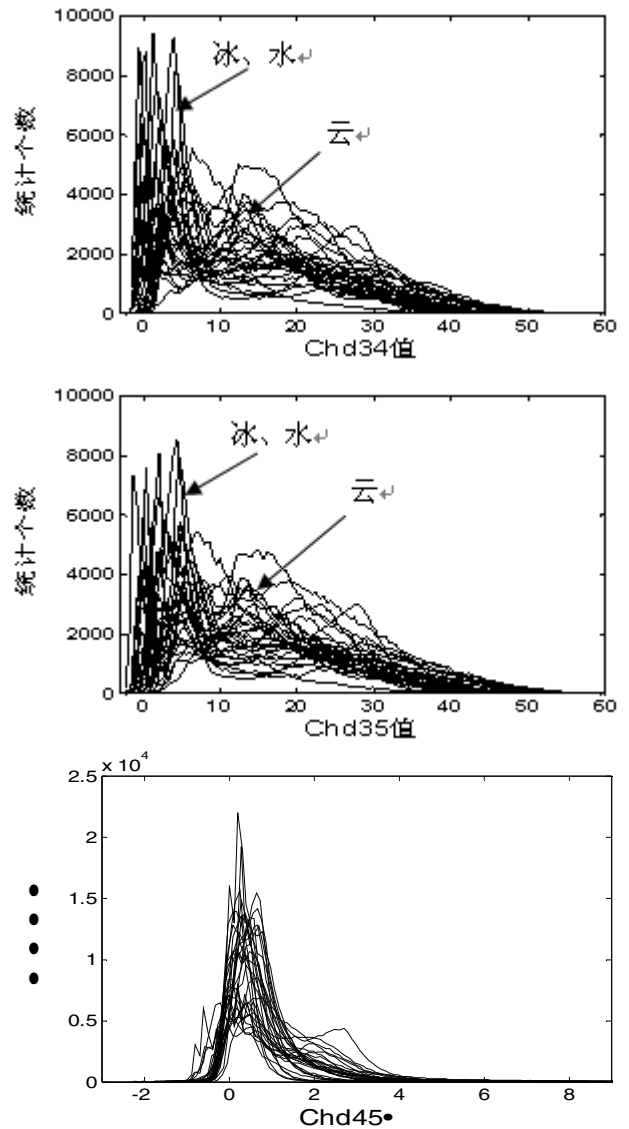


图 4 判别依据数值分布曲线（上：chd34 值；中：chd35 值；下：chd45 值）

Figure 5 Distribution curve of 30 scenes (Above: chd34 values; Middle: chd35 values; Below: chd45 values)

### 1) 基于Q值的冰、云判别

通过Q值分布曲线（图4）可以看出明显的云、冰、水三峰分布的情况，可以看出在北极区域云的Q值比Swain（1978）<sup>[15]</sup>提到的偏低，峰值主要集中在0.9；冰的峰值在0.7左右，而水的峰值则在0.43左右。Saunders（1988）针对AVHRR卫星数据统计的云的Q值在0.75到1.6之间<sup>[14]</sup>；Chen等（2002）得出的德克萨斯区域的云的Q值在0.8-1.6之间<sup>[19]</sup>。可见，云的Q值分布并不是固定的，但在Q值分布曲线中有较明显的谷值，可以作为云判别的阈值，该值在0.8附近。具体阈值在下文会进一步确定。

### 2) 基于NDVI值的冰、云判别

NDVI值分布曲线与Q值具有类似的峰值分布特征，同样是云、冰、水三峰分布，但冰与云的界限并不明显，不易用来区分。但我们发现海水在NDVI值分布中是十分容易区分的，其峰值主要在-40，我们同样可以给出一个阈值来排除海水的影响，具体的阈值见下文。

### 3) 基于不同通道亮温差的冰、云判别



图5中给出了chd34, chd35以及chd45的概率分布曲线, 可以看出, chd34与chd35有基本相同的峰值分布情况, 但不像Q值与NDVI具有明显的云、冰、水三峰分布。而仔细观察可以发现在分布曲线中二者在10附近同样具有明显的谷值, 可以用于将云区分出来。虽然Saunders and Kriebel (1988)和Dech et al. (1998)利用chd45来判识薄的卷积云、厚云以及厚云边缘<sup>[14][16]</sup>, 但图5(下)所示的chd45的分布曲线为单峰型, 没有明显的谷值存在, 因此 chd45 并不能用来区分云与冰。Chen 等 (2002)<sup>[19]</sup>发现该云判识依据对于美国德克萨斯区域的云判识也并不适用。

### C 冰、云判别阈值的进一步确定

将以上判别方法应用到图 1 各物表类型, 从而进一步确定冰、云的阈值。上文已经提及, 无云海水在通道 2 的反射率值很低, 要小于 10, 而我们又寄望于利用 NDVI 值将海水区分出来以排除海水对于云、冰判识的影响, 因此图 6(上)给出了图 1 各物表类型在 NDVI 值与通道 2 反射率值的散点分布。可以清楚的看出, 海水处于 NDVI 值小于-20 而通道 2 反射率值小于 10 的范围内, 与其它物表类型无任何的重叠区, 因此我们可以给出判别云的必要条件:  $NDVI > -20$   $U$   $R2 > 10$ 。

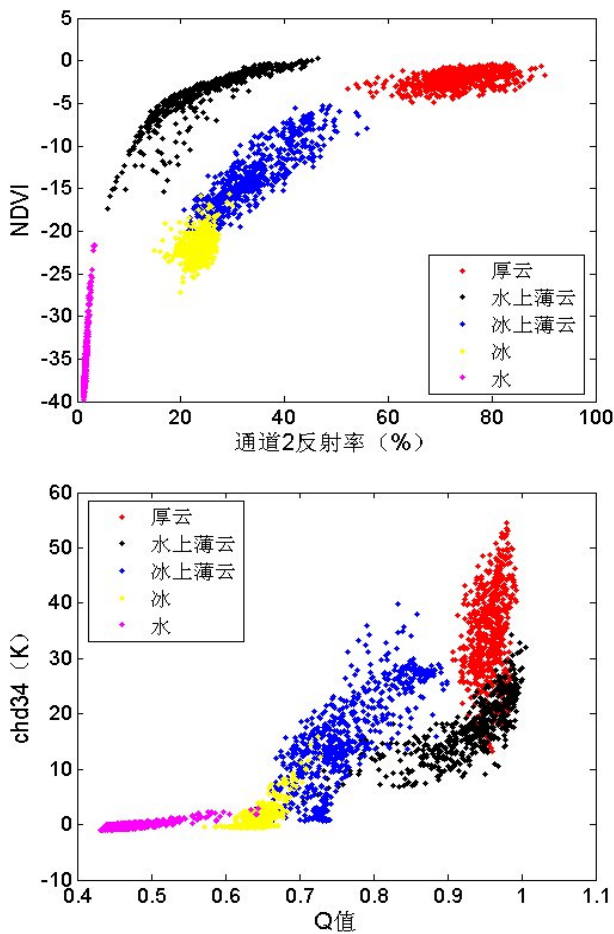


图 5 不同物体类型散点分布: 上: NDVI 与通道 2 散点分布; 下: Q 值与 chd34 散点分布

Figure 6 Scattered distribution of different types of objects (Above: in NDVI and band 2; Below: in Q and chd34)

排除海水的影响后, 我们希望通过亮温差与 Q 值共同

判别出云, 而前文也已提到, chd34 与 chd35 具有类似的分布曲线, 因此图 6(下)只给出了不同物表类型的 Q 值与 chd34 散点分布。利用 Q 值与 chd34 区分云与冰, 阈值并不容易确定, 其中一个原因是本文选取的冰上薄云区实际上包含了少部分的冰, 这就给阈值的确定带来困难, 为了确定阈值, 针对图 1 中 1 景的图像给定不同的阈值来观察其云、冰判识的效果, 通过试验发现, 针对 Q 值将 0.75 作为阈值较为适宜, 而 chd34 则是将 10 作为阈值较为适宜。因此我们采用  $0.75 \leq Q \leq 1.1$  与  $chd34 > 10$  的并集共同判识云, 结合图 6(下), 可以看出, 有部分冰上薄云并不在本文所给出的判别标准内, 但考虑到本文选取冰上薄云区内存在海冰, 我们认为在判别标准外的部分主要为海冰, 这里虽无法给出定量的分析, 但采用所给判云标准, 对轨道数据进行试验, 通过与假彩图对比, 云检测效果总体是理想的, 没有明显的云冰误判。图 7 给出了针对图 1 的云识别效果图。其中背景为通道 1 图像, 黄色为判识出的云。

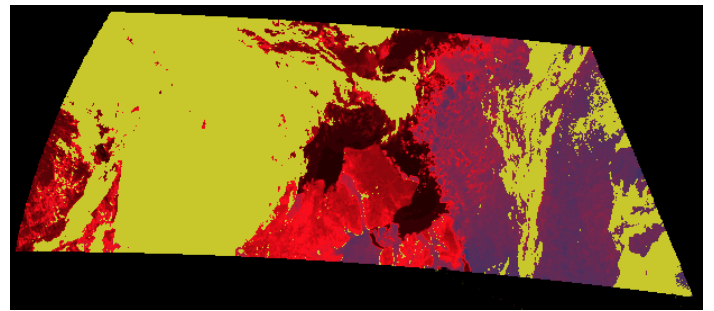


图 7 2010 年 7 月 1 日经过云判识的通道 1 图像

Figure 7 Cloud detection result on image of band 1

### D 云检测流程及个例应用

综合以上对于冰、云判据的分析, 本文给出了针对北极区域的云检测初步算法, 即利用 NDVI 值以及通道 2 反射率值排除云、冰区分过程中海水造成的影响, 通过通道 5 的亮温值阈值限定, 消除陆地对云、冰区分造成的影响, 从而开始进一步的冰云分离, 通过通道 2 的反射率值首先分离出厚云, 再通过 chd34 与 Q 值的双判据, 有效地将厚云之外的大部分云判别出来, 最终实现云检测, 流程图见图 8。流程图给出方式参考 Chen (2002)<sup>[19]</sup>。

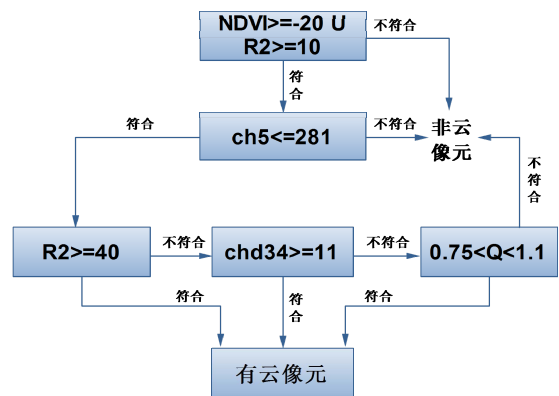


图 8 北极区域云、冰区分流程图

Figure 8 Flow chart of cloud-ice discrimination in the Arctic

采用该流程对本文选取的 189 条轨道进行了云检测试验, 通过与 1、2、4 通道合成的假彩图的对比, 均效果良好。由于篇幅限制, 这里只给出了与图 1 区域相近的另外

1 景假彩图像和云识别效果图, 见图 9。该区域云、冰、水分布相对均匀, 便于分辨判别效果。可以看出, 无论厚云、水上薄云还是冰上薄云都能被判别出, 能够达到云、冰识别的目的。

本算法存在的问题在于, 会将冰盖误判为云, 不过冰盖一般做为陆地处理, 在进行地理订正之后, 陆地被覆盖, 因此冰盖上的误判不会对海冰参数的反演结果造成影响。需要指出的是, 本文中判识依据的阈值确定主要根据一景图像确定, 虽然应用于本文所选取的 189 条轨道, 云判识总体效果令人满意, 但不同轨道景象的阈值难免有所差异, 仍需通过大量样本实验来找出更为合理的普适阈值。

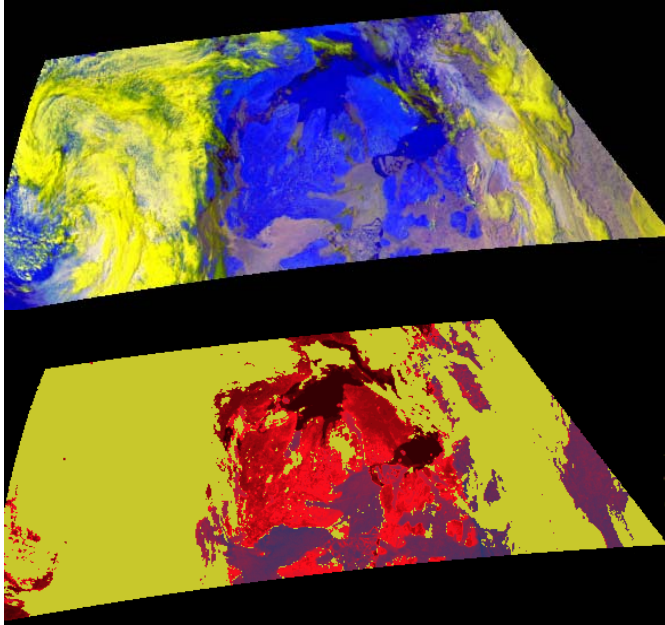


图 9 上: 2010 年 7 月 5 日单轨 1、2、4 通道合成假彩图; 下: 经过云判识的通道 1 图像

Figure 9 Above: false color image of one scene compounded by band 1, 2 and 4 on July 5 2010; Below: cloud detection on image of band 1

### 5 小结和讨论

(1) 针对北极区域, 云检测的重点和难点是冰、云判别。本文分析了研究海区不同地表类型的近红外和亮温通道散点图以及反射率值和亮温值分布曲线。结果表明, 在北极区域冰上薄云与海冰具有相近的亮温值; 虽然一般来说冰上薄云的反射率较海冰高, 但二者有交集, 不能完全区分。因此采用前人使用的反射率和亮温单通道判别方法均无法将云与海冰正确的区分开来;

(2) 本文在总结前人基于 AVHRR 卫星数据的云识别算法的基础上, 针对北极海区对各云检测判据进行了重新筛选, 并对各判据的阈值进行了确定和修订, 给出了云检测的初步算法及流程。并进行个例应用, 与 1、2、4 通道合成的假彩图的进行对比, 效果良好。

本文研究能够为极区海冰参数的反演提供基础, 所提出的算法具有物理依据, 但还需通过大量样本实验进一步确定普适性的阈值, 从而更好地为极区海冰监测服务。另外, 遥感产品的验证是一直存在的难题, 尤其是对现场观测数据缺乏的极区, 如何定量地评价云冰识别的效果是需要进一步深入探讨的问题。

### ACKNOWLEDGEMENTS

This study was supported by the National High Technology Research and Development Program of China (863 project) under contract No. 2008AA121701 and the Project Sponsored by the Scientific Research Foundation for the Returned Overseas Chinese Scholars, State Education Ministry under the No.[2009]1001.

### REFERENCES

- [1]Zhou HongMei, Yang XingWei, Lu Xian. Study on Detecting Cloud of NOAA Satellite Image, Remote Sensing of Environment, 1995, 10(2), 137-142 (In Chinese)
- [2]Lauritson. L., G.J. Nelson and F.W. Porto. Data extraction and calibration of TIROS-N/NOAA radiometers, NOAA Technical Memo NESS 107 (Washington, D.C.: NOAA), 1979
- [3]Gesell. G., An algorithm for snow and ice detection using AVHRR data An extension to the APOLLO software package, Int. J. Remote Sensing, 1989, 10, 897-905
- [4]Kriebel. K.T., G. Gesell., M. Kaestner., H. Mannstein. Cloud detection in AVHRR and ATSR data with APOLLO, Passive Infrared Remote Sensing of Clouds and the Atmosphere II, 1994, 2309, 36-44
- [5]Stowe. L.L., E.P. McClain, R. Carey., et al. Global distribution of cloud cover derived from NOAA/AVHRR operational satellite data, Adv Space Res, 1991, 11(3), 51-54
- [6]Stowe. L.L., P.A. Davis and P.E. McCtain. Scientific Basis and Initial Evaluation of the CLAVR-1 Global Clear/Cloud Classification Algorithm for Advanced Very High Resolution Radiometer[J]. J. At-mos. And Oceanic Technology, 1999, 16, 656-681
- [7]Vemury. S., L.L. Stowe., V.R. Anne. AVHRR Pixel Level Clear Sky Classification Using Dynamic Thresholds (CLAVR-3)[J]. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, 2001, 18(2), 169-186
- [8]Yang JunQuan, Shen JianZhong. A method for detecting cloud pixels on NOAA-AVHRR image using three-dimension statistic graph and set discrimination remote sensing for land and resources, 1997, 4, 54-59 (In Chinese)
- [9]Liu Jian, Xu JianMin, Fang ZongYi. Analysis of the cloud properties using NOAA/AVHRR data, Quarterly Journal of applied meteorology, 1998, 9(4), 449-455 (In Chinese)
- [10]Liu ChengLin, Wu BingFang. Application of Cloud Detection Algorithm for the AVHRR Data, Journal of Remote Sensing, 8(6), 2004, 677-687 (In Chinese)
- [11]Key. J and R.G. Barry. Cloud cover analysis with Arctic AVHRR data: 1. Cloud detection, J. Geophys. Res., 1989, 94(D15), 18,521-18,535
- [12]Saunders. R.W. An automated scheme for the removal of cloud contamination from AVHRR radiances over Western Europe, Int. J. remote Sensing, 1986, 7, 867
- [13]Olesen. F.S., and Grassl. H. Cloud detection and classification over oceans at night with NOAA-7, Int. J. remote Sensing, 1985, 6, 1435
- [14]Saunders R W, Kriebel K T. An improved method for detecting clear sky and cloudy radiances from AVHRR data. Int. J. Remote Sensing, 1988, 9, 123-150
- [15]Swain. P.H and Davis S.M(editors). Remote Sensing: The Quantitative Approach (New York: McGraw-Hili), 1978
- [16]Dech. S.W., P. Tungalagsaikhan, C. Preusser and R.E. Meisner. Operational value-adding to AVHRR data over Europe: methods, results, and prospects. Aerospace Science and Technology, 1998, 5, 335-346.
- [17]Rasmussen. M.S. Developing simple, operational, consistent NDVI-vegetation models by applying environmental and climatic information. Part II: Crop yield assessment International Journal of Remote Sensing, 1998, 19, 119-139
- [18]Duchemin. B., D. Guyon and J. P. Lagouarde. Potential and limits of NOAA-AVHRR temporal composite data for phenology and water stress monitoring of temperate forest ecosystems, International Journal of Remote Sensing, 1999, 20, 895-917
- [19]Chen. P.Y, R. Srinivasan. An automated cloud detection method for daily NOAA-14 AVHRR data for Texas, USA. Int. J. Remote Sensing, 2002, 23(15), 2939-2950