

## 定量计算渤海海冰参数的遥感方法\*

郑新江 邱康睦 陆 风

(国家卫星气象中心, 北京 100081)

### 提 要

利用 NOAA 及 FY-1 卫星监测渤海海冰的亮度温度、反照率及其与海水的差异建立了冰、水识别判据, 并根据海冰反照率与冰厚的关系, 对海冰进行分类. 在解决了混合象元内含冰信息提取的基础上, 计算了海冰覆盖度和面积等参数.

关键词: 卫星监测 海冰覆盖度 海冰面积

### 引 言

渤海位于  $40^{\circ}\text{N}$  附近, 每年冬季都有不同程度的结冰现象, 一般冰期为 3 个月(12 月~2 月), 海上流冰范围及冰厚和覆盖度的分布受天气与潮流的影响, 每日都有不同程度的变化. 海冰对海上石油开采、运输等安全构成极大威胁, 同时海冰的存在也直接影响到地球-大气系统的能量收支, 因此需要对海冰进行深入的了解.

气象卫星具有观测周期短, 观测面积大, 观测项目多和同步性强的特点, 是实时监测海冰的有效工具. 本文介绍了利用 NOAA 遥感图像定量提取海冰参数的方法. 首先根据海冰与海水亮度温度和反照率的差异建立了多光谱判识海冰的方法, 然后根据反照率与冰厚的关系, 对海冰进行分类. 在解决了 NOAA 图像分辨率对冰水混合象元密集程度的影响后, 计算了  $0.5^{\circ}\times 0.5^{\circ}$  经纬距范围内海冰的覆盖度和海冰面积.

### 1 渤海海冰的光谱特征及识别

遥感方法判别地物目标的物理基础是地物间光谱特征的差别. NOAA 卫星 AVHRR 有 5 个探测通道, 其中通道 1( $0.58\sim 0.68\ \mu\text{m}$ )、通道 2( $0.73\sim 1.1\ \mu\text{m}$ ) 位于可见光和近红外波段, 用于探测下垫面对太阳光的反射性质. 通道 3( $3.55\sim 3.93\ \mu\text{m}$ ) 为中红外波段、通道 4 和通道 5( $10.5\sim 12.5\ \mu\text{m}$ ) 位于热红外通道, 可以探测到来自下垫面的放射辐射.

在通道 3(CH3) 波段内, 白天测量到的辐射值包括放射辐射和反射太阳辐射两部分.

\* 本文得到中国渤海石油公司资助.  
1996-09-02 收到, 1997-06-26 收到修改稿.

在判识海冰时,一般仅使用反射辐射,因此要进行以下处理:

假定观测点在 CH3 波段的平均反射率为  $r_3$ , 则有辐射传递方程:

$$\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} P(T_3, \lambda) f(\lambda) d\lambda = \epsilon_3 \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} P(T, \lambda) f(\lambda) d\lambda + r_3 \cos \rho \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} S(\lambda) f(\lambda) d\lambda \quad (1)$$

式中,  $T_3$ : 通道 3 的等效亮度温度,  $T$ : 用 CH4 温度值 ( $T_4$ ) 代替的地表温度,  $\epsilon_3$ : 观测表面在 CH3 的平均放射率,  $r_3$ : 观测表面在 CH3 的平均反射率,  $\rho$ : 太阳天顶角,  $S(\lambda)$ : 标准太阳通量,  $f(\lambda)$ : CH3 光谱响应函数,  $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$  分别为  $3.55 \mu\text{m}$  和  $3.93 \mu\text{m}$ .

假设地表的透过率忽略不计, 则有:

$$\epsilon_3 + r_3 = 1 \quad (2)$$

合并式(1)和式(2), 则:

$$r_3 = \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} P(T_3, \lambda) f(\lambda) d\lambda - \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} P(T, \lambda) f(\lambda) d\lambda}{\cos \rho \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} S(\lambda) f(\lambda) d\lambda - \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} P(T, \lambda) f(\lambda) d\lambda} \quad (3)$$

当太阳天顶角较大或者存在强烈的反射各向异性时, 会出现观测点上的反射辐射绝大部分不在卫星观测的方向上, 可能有  $T_3 \leq T_4$ . 卫星测值中不考虑反射项的贡献, 则式(1)变为:

$$\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} P(T_3, \lambda) f(\lambda) d\lambda = \epsilon_3 \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} P(T, \lambda) f(\lambda) d\lambda \quad (4)$$

由式(2)、(4)可得:

$$r_3 = \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} P(T, \lambda) f(\lambda) d\lambda - \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} P(T_3, \lambda) f(\lambda) d\lambda}{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} P(T, \lambda) f(\lambda) d\lambda} \quad (5)$$

当  $T_3 > T_4$  时, 使用式(3); 当  $T_3 \leq T_4$  时, 使用式(5).

由于冰和水的反照率、温度均有显著差异, 有利于两者的区分以及冰的分类. 图 1 是 1990 年 1 月 31 日渤海冰、水的 CH1、CH4 单波段直方图. 在直方图上曲线呈明显的双峰型分布, 表明冰与水存在明显的光谱差异. 对于 CH1(图 1a), 冰的反照率 ( $A_*$ ) 峰值在 11% 附近, 水的反照率 ( $A_*$ ) 峰值在 3% 附近. CH2 曲线(图略)与 CH1 分布相似, 只是反照率值略低于 CH1. 对于 CH4(图 1b), 冰的温度 ( $T_*$ ) 峰值大致在  $-5.0^\circ\text{C}$  附近, 而水的温度 ( $T_*$ ) 峰值在  $-0.5^\circ\text{C}$  附近.

按照计算机分类准则<sup>[1]</sup>并参考有关研究<sup>[2, 3]</sup>, 取两条曲线的交点处(即两个峰值之间的谷底, 如图 1 中  $A_1$  与  $T_0$  处)时, 分类误判的概率最小, 即:

$A_{\text{CH1}} \leq A_1$  时, 该象元为水体;  $A_{\text{CH1}} > A_1$  时, 该象元为冰(图 1a).

$A_{\text{CH2}} \leq A_2$  时, 该象元为水体;  $A_{\text{CH2}} > A_2$  时, 该象元为冰( $A_2$  定义与  $A_1$  同).

$T_{\text{CH4}} \geq T_0$  时, 该象元为水体;  $T_{\text{CH4}} < T_0$  时, 该象元为冰(图 1b).

在日常分析中, 利用获得的 3 个通道的门槛值 ( $A_1$ 、 $A_2$ 、 $T_0$ ), 作 3 通道彩色合成处理(CH1 用兰色表示, CH2 用绿色表示, CH4 用红色表示), 即可得到一张冰与水分布的真彩色合成图(图略).

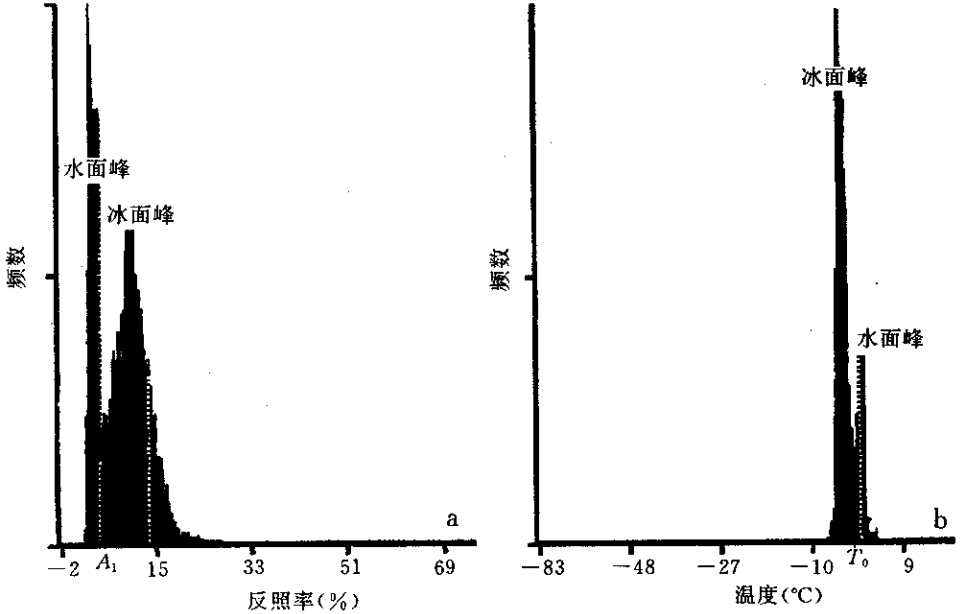


图1 1990年1月31日(a)CH1 (b) CH4 渤海冰、水的反照率和温度直方图

多光谱合成法不仅能有效地识别晴空条件下的海冰，而且对薄云覆盖下的海冰也有一定判识能力。10年来提供了上千张彩色海冰图，满足了用户的需求。

## 2 海冰定量参数的提取

### 2.1 海冰厚度的计算

海冰光学性质的理论模式<sup>[4]</sup>和实验观测<sup>[5]</sup>表明，在一定的厚度范围内海冰的反照率随冰厚的增加而增加。根据渤海石油公司提供的多年海冰观测资料，建立了冰厚(H)与CH2反照率(A<sub>CH2</sub>)的经验公式：

$$H = 0.0124e^{0.265A_{CH2}} \tag{6}$$

利用式(6)对海冰进行分类(A<sub>CH2</sub> ≤ 34%)。式(6)相关系数 R=0.98，剩余标准差 S=0.619。

图2是1988年2月7日渤海海冰遥感图像和冰厚分布图。根据生产需要，一般将海冰厚度分为3挡：① 小于10 cm；② 10~20 cm；③ 大于20 cm。根据我国海冰规范，上述厚度大致对应于皮冰、灰冰和灰白冰。

业务应用中发现，当冰面受到污染时，会影响冰反照率的测值，对计算冰厚精度有影响。

### 2.2 海冰覆盖度的计算

海冰覆盖度是观测视场中冰所占的百分比。根据生产设计中的要求，计算覆盖度时，取网格面积为0.5°×0.5°经纬距，在此网格内大约有50×50个象元，每个象元按上

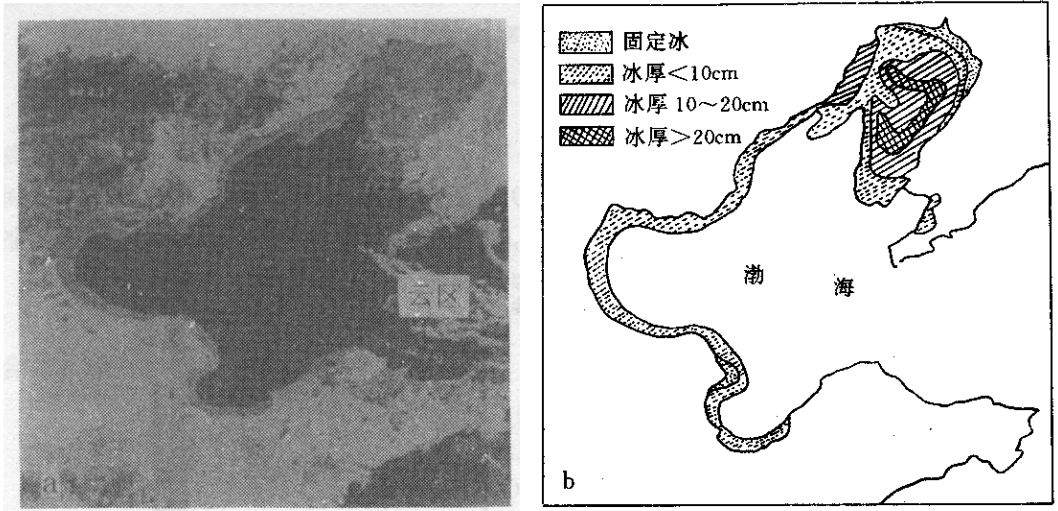


图2 1988年2月7日渤海(a)海冰卫星照片(b)海冰分类图

述的判据进行冰、水识别,然后将冰的象元除以网格内象元总数,得到冰的覆盖度。

由于极轨气象卫星 NOAA/AVHRR 的空间分辨率较低,其星下点分辨率为 1.1 km,在渤海地区投影后,每个象元面积约为  $1.5 \times 1.5 \text{ km}^2$ ,在这样大的面积内存在着冰、水混合现象,因此,混合象元的反照率与温度介于冰与水之间。

考虑混合象元影响的计算方法如下:

首先,求出无冰象元的平均反照率  $\bar{A}_w$ ,以及全是海冰的象元的平均反照率  $\bar{A}_i$ (以海冰观测平台的实测数据为准)。其次,计算混合象元内含冰的比例。由于混合象元的实测反照率( $A$ )是冰与水两部分的综合效果,用下式计算冰水混合象元内冰所占比例  $\alpha$ 。

$$A = \alpha \times \bar{A}_i + (1 - \alpha)\bar{A}_w \quad (7)$$

### 2.3 海冰面积的计算

在海冰监测中使用的投影为等距经纬度投影。由于此种投影对不同纬度的象元所对应的地面面积是不相同的,因此不能用含冰象元数乘以象元面积来计算。

在对观测范围内逐个象元含冰比例进行计算的基础上,根据测绘学中推导出的不同纬度象元对应的地面面积公式,计算海冰面积  $S$ ,即:

$$S = 2b^2 \times \Delta L / \beta \times [A \sin(\Delta B/2)\cos(B_m) - B \sin(3\Delta B/2)\cos(3B_m) + C \sin(5\Delta B/2)\cos(5B_m) - D \sin(7\Delta B/2)\cos(7B_m) + \dots] \quad (8)$$

式(8)中,  $\Delta B = B_2 - B_1$  为数字象元的纬向差,  $B_m = (B_1 + B_2)/2$ ,  $\Delta L = L_2 - L_1$  为数字象元经向差,  $b$  为地球短半轴(6356.863 km),  $\beta$  为弧度( $57.295^\circ$ ),  $A$ 、 $B$ 、 $C$ 、 $D$  均为常数( $A=1.0033636057$ ,  $B=0.0011240273$ ,  $C=0.0000016989$ ,  $D=0.00000027$ )。对于原分辨率的 AVHRR 数据,式(8)中的  $\Delta B$  和  $\Delta L$  均取  $0.01^\circ$ 。

### 3 小 结

在利用 NOAA 及 FY-1 卫星资料对渤海海冰进行业务监测的基础上, 研制了定量提取海冰参数的方法, 多年来在冬季渤海石油与天然气的开发、生产与运输的服务中取得了明显的经济效益. 但在业务应用与研究中发现必须配合多种监测手段(如雷达、陆地卫星等)才能更好地对海冰进行监测.

### 参 考 文 献

- 1 王润生. 图像理解. 长沙: 国防科技大学出版社, 1995. 90~92.
- 2 黄润恒, 王 强, 金振刚. 中国遥感进展. 北京: 万国学术出版社, 1992. 306~311.
- 3 许健民, 肖乾广. NOAA 卫星资料监测 1991 年江淮洪水. 卫星技术报告第 9220 期(1992. 11).
- 4 Gren fell T C. A theoretical model of the optical properties of sea ice in the visible and near infrared. *Journal of Geophysical Research*, 1983, **88**(14): 9723~9735.
- 5 增泽让太郎, 等. 物理海洋学(第四卷), 鲁守范译. 北京: 科学出版社, 1985. 269~276, 308~322.

## QUANTITATIVE CALCULATION OF SEA ICE OVER THE BOHAI SEA USING NOAA/AVHRR IMAGERY

Zheng Xinjiang Qiu Kongmu Lu Feng

(National Satellite Meteorological Center, Beijing 100081)

### Abstract

According to the difference of brightness temperature and albedo between sea ice and sea water over the Bohai Sea monitored by NOAA and FY-1, the criterion of distinguishing water from ice is set up, and according to the relationship between albedo and thickness of sea ice, the sea ice is classified. Based on the ice information within mixed pixel, the coverage and area of sea ice are computed.

**Key words:** Satellite monitoring Sea ice coverage Sea ice area