

文章编号: 1007-4619(2007)03-0406-08

## FY-2C 积雪判识方法研究

李三妹, 闫 华, 刘 诚

(国家卫星气象中心, 北京 100081)

**摘 要:** 介绍了利用 FY-2C 资料进行积雪判识的原理, 在阈值法基础上的辅助因子函数积雪判识方法以及相应的 FY-2C 积雪判识结果精度验证分析等。一般较为常用的卫星遥感积雪判识方法为简单阈值法, 由于其带有一定的随机性, 很难客观反映下垫面条件差异对阈值选取的影响。以阈值法为基础, 将所使用的主要变量以函数形式表达, 以海拔高度、地理位置、季节、土地覆盖类型等作为阈值函数的变量, 通过大量采样建立起多种阈值函数, 从而实现随时空特点变化的阈值实时计算。该方法用于 FY-2C 积雪判识, 较好地解决了 FY-2C 全圆盘范围内广大区域不同下垫面类型下的实时积雪监测。通过与 NOAA-17 人机交互积雪判识结果对比分析, 该方法的积雪判识精度可达 85% 左右。

**关键词:** FY-2C 积雪覆盖; 判识; 遥感**中图分类号:** TP79 **文献标识码:** A

## Study of Snow Detection Using FY-2C Satellite Data

LI Sanmei, YAN Hua, LIU Cheng

(National Satellite Meteorological Center, Beijing 100081, China)

**Abstract** Snow/ice, one of the most important earth circles, is very significant to climate research and earth environment study. Snow cover, a basic parameter in snow study, can reflect snow amount most directly. The method of detecting snow cover using satellite data automatically is a very interesting topic for snow study.

FY-2C, the third geostationary meteorological satellite launched by China in 2004, has 5 channels in its scanning radiometer, including 3.5—4.0 $\mu$ m, water vapor, visible and split infrared channels, which makes snow detection possible.

This paper mainly introduces the principle theory and method of snow detection using FY-2C satellite data. Multi-channel threshold method is a very common way in snow and cloud detection. However, this method has some randomness in thresholds choosing properly. To avoid the randomness caused by multi-channel threshold method, this paper uses threshold functions to take instead of traditional method for snow detection, which uses altitude, geographical location, season, land cover and so on as the variables. Threshold functions can be established by large amount of sampling to obtain coefficients and their expressions. Compared with NOAA-17 snow detection results derived using interactive method, the precision of FY-2C snow detection using this method can reach up to 85 percent.

**Key words:** FY-2C, snow cover, detection, remote sensing

## 1 引 言

积雪圈作为地球主要圈层之一, 对全球气候变

化研究有着不可忽视的影响, 利用卫星资料监测积雪动态变化一直是许多学者研究的重点。国内利用极轨气象卫星资料监测积雪的应用研究已开展多年, 刘玉洁等人利用 NOAA/AVHRR 以及 FY-1 号极

收稿日期: 2006-09-01; 修订日期: 2006-10-30

作者简介: 李三妹 (1978—), 女, 工程师, 2001 年获南京大学城市与资源学系学士学位, 2001 年至今在中国气象局国家卫星气象中心工作, 主要从事地表参数遥感监测的研究和开发, 已发表论文 7 篇。

轨气象卫星资料在积雪自动判识上做了大量的工作,形成了极轨卫星的积雪自动判识业务算法<sup>[1]</sup>。由于 FY-2B等静止气象卫星资料缺中红外通道,区分云雪较为困难,因此在国内利用静止气象卫星开展积雪监测的研究很少。然而,较之极轨卫星资料,静止气象卫星具有观测范围广、频次多的优势,对同一个地区,能更有效地排除云覆盖的影响,得到更大范围的晴空,从而提供当天区域内更客观的积雪分布实况。在国外,静止气象卫星(如具有中红外通道的 GOES卫星)是积雪监测中十分重要的资料来源。Aller等人利用 GOES等多源卫星资料对云雪自动判识进行了研究<sup>[2]</sup>, Peter Romanov等人利用 NOAA/AVHRR, GOES及 SSM/等多源卫星资料建立了北美积雪自动判识算法<sup>[3]</sup>, Martijn de Ruiter de Wild等人利用多时相 METEOSAT-8数据研究了积雪判识方法,并利用其进行积雪制图<sup>[4]</sup>。

FY-2C卫星于 2004年 10月 19日发射成功,它是中国第一颗业务静止气象卫星。卫星发射后定点于东经 105°赤道上空离地面 35800 km的地球同步轨道上,工作覆盖范围为东经 105°,北纬 0°为中心的全圆盘。扫描辐射计是 FY-2C的主要观测仪器,携带了 5个光谱通道,表 1为 FY-2C扫描辐射计通道描述列表。由于 FY-2C增加了中红外通道(3.5—4.0 $\mu\text{m}$ ),这就使得其在性能上与 GOES卫星较为接近。因此利用 FY-2C多通道资料结合多时相特征实现积雪自动判识是完全可行的。由于卫星资料较新,国内在利用静止气象卫星资料开展积雪监测的经验积累不够,目前利用 FY-2C进行积雪判识研究的工作较少。

表 1 FY-2C扫描辐射计通道描述列表

Table 1 Table of channels of FY-2C scanning radiometer

通道号	波长范围/ $\mu\text{m}$	波段	分辨率/ $\text{km}$
1	0.55—0.90	可见光	1.25
2	10.3—11.3	远红外	5
3	11.5—12.5	远红外	5
4	6.5—7.0	中红外	5
5	3.5—4.0	中红外	5

## 2 FY-2C积雪判识原理和依据描述

在 FY-2C静止气象卫星扫描辐射计获取的图

像上,目标物主要分为云、积雪、晴空地表、水体等 4 大类。因此,利用 FY-2C识别积雪在原理上与极轨气象卫星较为相似,均基于这 4 大类目标物在各通道的不同光谱特性实现的。这 4 类地物在 FY-2C各通道的反映具有以下特点:

积雪与云在可见光通道(0.5—0.9 $\mu\text{m}$ )均具有较高的反射率,而晴空陆表及水体在该通道的反射率很低,尤其是水体,具有十分低的反射率,与积雪区分明显<sup>[5,9]</sup>。

在远红外通道(10.3—11.3 $\mu\text{m}$ ),云尤其是中高云具有较低的亮度温度,明显低于晴空陆表和水体,积雪在该通道的亮温略低于周围的晴空地表,并且纯积雪像元其亮温不超过 277K<sup>[1,7]</sup>。

在水汽通道(6.5—7.0 $\mu\text{m}$ ),由于该通道的探测高度主要在 500 hPa,对于中高云来说,由于光学路径上水汽削弱小,使得远红外通道(10.3—11.3 $\mu\text{m}$ )与水汽通道的亮温差较小,而低云、积雪、晴空地表及水体由于光学路径上的水汽吸收作用十分强,加上在远红外通道(10.3—11.3 $\mu\text{m}$ )的亮温较高,这就使得其在远红外通道(10.3—11.3 $\mu\text{m}$ )与水汽通道的亮温差较大,这对于区分积雪和中等高度的冰晶云十分有利<sup>[5]</sup>。

在白天的中红外通道(3.5—4.0 $\mu\text{m}$ ),其辐射包含了目标物自身的发射和对太阳辐射的反射,通过分离计算可以得到该通道的反射率。由于冰晶在该通道吸收是对水滴吸收的两倍,因此对于积雪具有较好的判识效果<sup>[8]</sup>。图 1 为用 3.5—4.0 $\mu\text{m}$ 与远红外通道(10.3—11.3 $\mu\text{m}$ )的亮温差制作的散点图(可近似替代  $R_{3.5-4.0}$ ),从图中可看到,积雪在该通

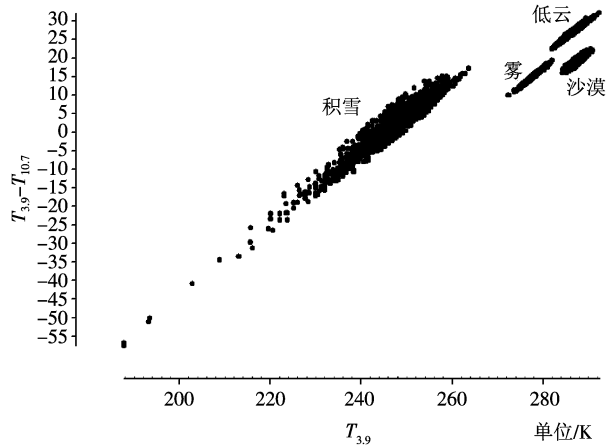


图 1 几种目标物在 3.9—4.0 $\mu\text{m}$ 波段的反射率散点图 (用  $T_{3.5-4.0} - T_{10.3-11.3}$  替代  $R_{3.5-4.0}$ )

Fig 1 Scatter plot image of several objects

(taking  $T_{3.5-4.0} - T_{10.3-11.3}$  instead of  $R_{3.5-4.0}$ )

道的反射率较低,而在其他各通道与积雪具有十分相近的光谱特性的低云在该通道具有较高的反射率。这一点可以作为低云和积雪识别的最重要的依据<sup>[1,6,7]</sup>。

对于静止气象卫星的高频次观测而言,还可以根据“云动雪不动”的规律辅助进行积雪监测<sup>[2]</sup>。

尽管 FY-2C 在积雪探测原理上与极轨卫星较为接近,但由于其卫星高度 (35800 km) 远高于极轨卫星 (在 800 km 以内),波段范围更宽,空间分辨率更低,图像的灰度层次差于极轨卫星图像,因此其判识难度远高于极轨卫星资料。另外, FY-2C 积雪监测范围在星下点周围 60° 内,地跨多个气候带,地理环境复杂多样, FY-2C 观测范围的积雪区内各通道值受到季节、地理纬度、海拔高度及土地覆盖类型等因子的影响。因此, FY-2C 积雪判识过程中必须综合考虑这些因子的变化,实现积雪的自动判识,获得较高的判识精度。

### 3 FY-2C 积雪判识方法

#### 3.1 试验数据的获取及处理

FY-2C 积雪监测主要基于 FY-2C HDF 格式的标称图 (即未经投影的观测数据), 试验范围为星下点周围 60°, 即 45°E-165°E, 60°S-60°N 标称图经过定位校正等处理, 并附有各通道的定标数据。数据获取后, 需要对其进行定标转换、太阳天顶角订正等再处理。

除了对 FY-2C 观测数据处理外, 还需要处理生成相应的辅助数据, 如土地覆盖类型等。以 USGS 2000 年发布的利用 AVHRR 资料处理生成的全球等经纬度 1.1 km 土地覆盖类型数据为基础, 经过再投影处理生成标称投影的 FY-2C 土地覆盖类型数据。另外, 还处理生成了标称投影的 FY-2C 高程分布数据, 并获取了标称投影的 FY-2C 经纬度查找表数据。

#### 3.2 白天中红外通道反射和发射的分离计算

由于白天中红外通道 (3.5-4.0 μm) 的辐射包含了目标物自身的发射及对太阳辐射的反射<sup>[5]</sup> (图 2), 而该通道辐射中的对太阳辐射的反射部分是区分积雪和低云的主要因子, 因此必须对该通道进行发射辐射和反射辐射的分离计算, 从而获得该通道的反射率<sup>[9]</sup>。一般的, 可以辐射传输方程实现中红外通道 (3.5-4.0 μm) 反射率的计算:

根据中红外通道接收到的辐射包含发射和反射

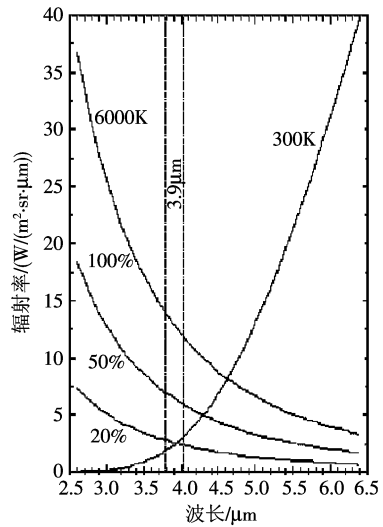


图 2 中红外通道 (3.5-4.0 μm) 反射和发射分布图  
Fig 2 The reflectance and emission distribution curve of mid infrared channel (3.5-4.0 μm)

两部分, 因此, 辐射传输方程可以表示为,

$$\int_{3.5}^{4.0} P \text{lanck}(T_{3.5-4.0}, \lambda) f(\lambda) d\lambda$$

$$= \epsilon_{3.5-4.0} \int_{3.5}^{4.0} P \text{lanck}(T_{10.3-11.3}, \lambda) f(\lambda) d\lambda +$$

$$\int_{3.5-4.0} \cos\theta_{s01} \int_{3.5}^{4.0} S(\lambda) f(\lambda) d\lambda \quad (1)$$

$$\epsilon_{3.5-4.0} + \int_{3.5-4.0} = 1 \quad (2)$$

综合 (1), (2) 两式, 可计算出该波段的反射率

$$\int_{3.5-4.0} = \left[ \int_{3.5}^{4.0} P \text{lanck}(T_{3.5-4.0}, \lambda) f(\lambda) d\lambda - \int_{3.5}^{4.0} P \text{lanck}(T_{10.3-11.3}, \lambda) f(\lambda) d\lambda \right] \backslash$$

$$\left[ \cos\theta_{s01} \int_{3.5}^{4.0} S(\lambda) f(\lambda) d\lambda - \int_{3.5}^{4.0} P \text{lanck}(T_{10.3-11.3}, \lambda) f(\lambda) d\lambda \right] \quad (3)$$

当太阳天顶角较大或存在强烈的反射各向异性时, 会出现观测点的反射辐射绝大部分不在卫星观测的方向上的情况, 可能有  $T_{3.5-4.0} < T_{10.3-11.3}$ , 卫星测值不考虑反射项的贡献, 则式 (1) 可写为:

$$\int_{3.5}^{4.0} P \text{lanck}(T_{3.5-4.0}, \lambda) f(\lambda) d\lambda$$

$$= \epsilon_{3.5-4.0} \int_{3.5}^{4.0} P \text{lanck}(T_{10.3-11.3}, \lambda) f(\lambda) d\lambda \quad (4)$$

综合 (2), (4) 式得:

$$\int_{3.5-4.0} = \left[ \int_{3.5}^{4.0} P \text{lanck}(T_{3.5-4.0}, \lambda) f(\lambda) d\lambda - \int_{3.5}^{4.0} P \text{lanck}(T_{10.3-11.3}, \lambda) f(\lambda) d\lambda \right] \backslash$$

$$\int_{3.5}^{4.0} P \ln \kappa(T_{0.3-11.3}(\lambda)) f(\lambda) d\lambda \quad (5)$$

当  $T_{3.5-4.0} \geq T_{0.3-11.3}$  时, 使用式 (3), 当  $T_{3.5-4.0} < T_{0.3-11.3}$  时, 使用式 (5)。

式中,  $\epsilon_{3.5-4.0}$  为观测表面在中红外通道 (3.5—4.0  $\mu\text{m}$ ) 的平均发射率,  $\tau_{3.5-4.0}$  为观测表面在 3.5—4.0  $\mu\text{m}$  的平均反射率,  $f(\lambda)$  为 FY-2C 中红外通道 (3.5—4.0  $\mu\text{m}$ ) 通道的光谱响应函数,  $S(\lambda)$  为标准太阳通量<sup>[8]</sup>。

### 3.3 FY-2C 积雪判识方法的建立

根据 FY-2C 积雪判识原理, 可以采用各种方法实现积雪的识别分类。一般通用的方法主要为多通道阈值法, 即基于积雪在各通道的光谱特性, 选择相应的阈值来实现<sup>[9]</sup>。根据原理, FY-2C 积雪判识主要基于远红外的亮温 ( $T_{0.3-11.3}$ )、可见光波段的反射率 ( $R_{vis}$ )、远红外与水汽通道的亮温差 ( $T_{0.3-11.3} - T_{wv}$ )、中红外通道的反射率 ( $R_{3.5-4.0}$ )、中红外通道与远红外通道的亮温差 ( $T_{0.3-11.3} - T_{3.5-4.0}$ ) 这 5 个变量。由于这 5 个变量受季节 ( $\eta$ )、地理纬度 ( $\theta$ )、海拔高度 ( $\gamma$ ) 和土地覆盖类型 ( $\varphi$ ) 等的影响, 因此在选取变量的阈值时必须考虑这 4 个因素的影响。传统的多通道阈值法在选取阈值以及进行阈值的调整时带有一定的随机性, 不能充分反映出阈值下垫面条件的影响程度。因此, 本文以多通道阈值法为基础, 将所使用的主要变量以函数形式进行数学表达, 以海拔高度、地理位置、季节、土地覆盖类型等作为函数的变量, 通过大量采样建立起多种阈值函数, 从而实现随时空特点变化的阈值实时计算, 用于 FY-2C 积雪判识, 较好地解决了 FY-2C 全圆盘范围内广大区域不同下垫面类型的实时积雪监测<sup>[10]</sup>。

阈值函数主要包括以下几种:

(1) 远红外通道 (10.3—11.3  $\mu\text{m}$ ) 亮温阈值函数。一般情况下, 远红外通道的亮温在不同季节、不同地理纬度、不同海拔高度及不同的土地覆盖类型上有着不同的值, 以赤道海平面高度处为亮温的起始值, 随着纬度向南北方向推移, 亮温逐渐降低; 同一纬度上, 随着海拔高度的增加, 亮温也逐渐降低; 土地覆盖类型的差异同样会带来亮温的差异, 在白天沙漠升温快, 因此在中午时分温度要高于同一纬度上的其他土地覆盖类型, 在不同的季节, 纬度、海拔高度以及土地覆盖类型的影响也不完全相同<sup>[4]</sup>。基于这一特征, 可以建立远红外通道的低端亮温阈值函数:

$T_{th_{0.3-11.3}}(, \theta, \gamma, \varphi) = T_0(\eta) - \delta(\eta) * \theta - \xi(\eta) * \gamma + T_0(\eta)$  式中,  $T_0(\eta)$  赤道海平面高度处海面的亮温阈值, 与季节有关;  $\delta(\eta)$  为地理纬度随季节 ( $\eta$ ) 权重系数;  $\xi(\eta)$  为海拔高度随季节 ( $\eta$ ) 的权重系数;  $T_0(\eta)$  为土地覆盖类型的影响值, 同一种土地覆盖类型上, 只随季节取不同的常数。

选取不同季节不同纬度不同海拔高度上积雪区的亮温分布样本, 根据样本确定出各个积雪判识的亮温阈值函数系数。

(2) 可见光通道反射率阈值函数。作为积雪及云区与晴空地表的主要判识因子, 可见光通道的反射率同样受到土地覆盖类型及季节的影响。因此, 考虑地表反射率特征, 可以建立可见光反射率阈值函数:

$$R_{th_{vis}}(, \eta) = R_{vis_0}(\eta) - R_{\delta}(\eta)$$

式中,  $R_{vis_0}(\eta)$  为沙漠地表在不同季节的反射率值,  $R_{\delta}(\eta)$  为由于土地覆盖类型差异的影响值。由于土地覆盖类型与反射率之间的关系是一种离散关系, 因此  $R_{th_{vis}}(, \eta)$  为一个离散函数。

通过选取 FY-2C 晴空地表在不同土地覆盖类型及不同季节的反射率样本, 确定出阈值函数  $R_{th_{vis}}(, \eta)$  的表达式。

(3) 远红外通道 (10.3—11.3  $\mu\text{m}$ ) 与水汽通道的亮温差阈值函数。远红外通道 (10.3—11.3  $\mu\text{m}$ ) 与水汽通道的亮温差是积雪与冰晶云的主要判据, 但是该变量受季节、海拔、地理纬度及土地覆盖类型等因子的影响。因此, 与  $R_{vis}(, \eta)$  类似, 需要通过选取大量样本确定其阈值, 建立阈值函数:  $T_{th_{0.3-11.3,wv}}(, \theta, \gamma, \varphi, T_{0.3-11.3})$ 。

(4) 中红外通道反射率阈值函数。中红外通道的反射率是积雪和低云的主要判识依据, 该变量受土地覆盖类型的影响较大, 对于积雪区, 可见光通道的反射率与该通道值的高低有着较好的相关关系。因此, 可以建立中红外通道反射率阈值函数:  $R_{th_{3.5-4.0}}(R_{vis}, \eta)$ 。

(5) 中红外与远红外通道亮温差阈值函数。中红外通道与远红外通道 (10.3—11.3  $\mu\text{m}$ ) 的亮温差类似于中红外通道的反射率, 实际上在国外的静止气象卫星积雪算法中直接用该变量替代中红外通道的反射率。在 FY-2C 积雪判识中, 将它与中红外通道的反射率结合使用, 能更有效的识别出积雪和低云以及裸地等。与中红外通道的反射率一样, 该变量受土地覆盖类型的影响较大, 同时, 对于积雪区, 可见光通道的反射率与该变量值的高低有着较好的

相关关系。因此,可以建立中红外与远红外通道亮温差阈值函数:  $T_{3.5-4.0,10.3-11.3}(R_{mid}, \eta)$ 。

(6) 雪线位置函数。雪线最下端位置的分布对积雪判识十分有用。雪线以内的范围为积雪可能区,以外的部分是不可能积雪区,因此,积雪判识主要在积雪可能区也就是雪线以内的范围进行,从某种程度上能降低积雪的误判率。雪线最下端位置分布同样受季节、地理纬度及海拔高度的影响,因此,根据这些变量的影响建立雪线位置函数:  $Snowline(\eta, \eta)$ ,通过采样确定函数的具体形式,从而实时计算出不同季节不同海拔高度雪线的最下端可能位置。

上述函数的具体形式主要通过大量采样以统计回归的方法确定。样本的选取为积雪区的极值(极大或极小)或者能区分出积雪与其他目标物的临界值。当变量为连续变量时,函数为多元线性表达式(如远红外通道阈值函数);当变量为离散变量时,则函数为离散函数。

### 3.4 FY-2C积雪判识流程

根据积雪判识原理和方法,在对数据做了各种预处理后,基于预处理数据,采用阈值函数法实现积雪判识分类。图 3 为 FY-2C 积雪判识算法流程图。

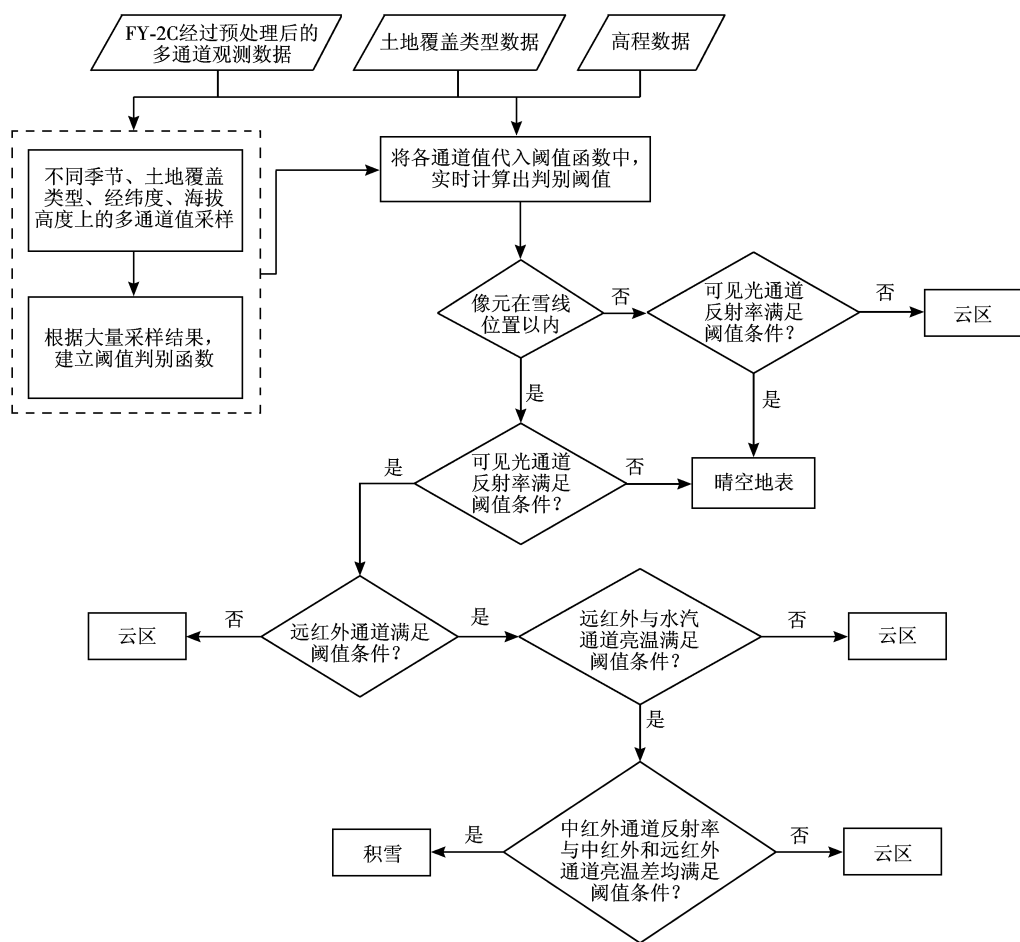


图 3 FY-2C积雪判识算法流程

Fig 3 The flow chart of snow detection algorithm of FY-2C

## 4 实例分析

### 4.1 FY-2C积雪判识结果示例

图 4 给出了利用阈值函数法处理生成的 FY-2C 多个月份的日积雪覆盖系列图。根据图像分析,冬

季(12月、1月、2月)为积雪的多发季节,积雪覆盖范围大,雪线位置偏南或偏下;春季虽然仍维持一定范围的积雪覆盖,但随着季节的推移,雪线位置逐渐北移或往高海拔地区移动,积雪覆盖范围逐渐减小,到了5月,积雪覆盖主要以常年积雪为主;进入夏季(6—8月),北半球积雪覆盖范围达到最小;到了秋

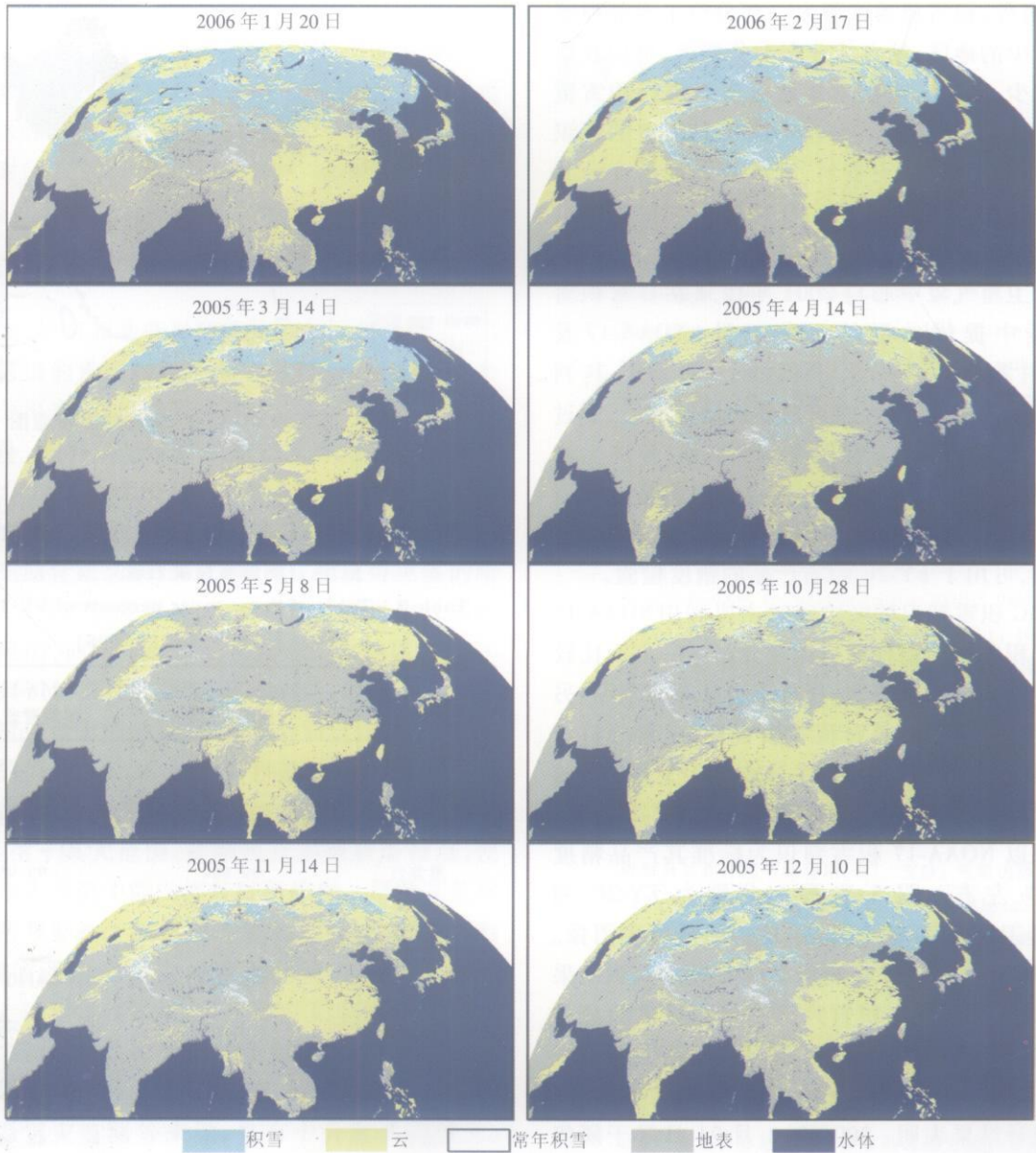


图 4 FY-2C积雪覆盖系列图

Fig 4 Series of snow cover images of FY-2C

季(9—11月),随着气温的降低,降雪频次逐渐增多,积雪覆盖范围增大,雪线位置南移或向低海拔地区移动。积雪覆盖呈现明显的季节特征,随着季节的变化,积雪覆盖的地理纬度或垂直分布变化特征也十分明显。从积雪在土地覆盖上的分析来看,沙漠是少积雪区,林地或草地降雪频次多,积雪覆盖范围大,易形成季节性稳定积雪覆盖。因此,考虑季节、地理纬度、海拔高度、土地覆盖及雪线位置等进行积雪判识,是十分必要的。

#### 4.2 精度检验

积雪判识精度检验可以利用常规观测站点的雪

盖资料及其他卫星的具有较高可信度的积雪判识结果进行,无论哪种方法,都存在一定的难度。利用常规站点资料进行检验时,首先站点只能代表点上的积雪覆盖状况,而卫星判识结果是一个面的积雪覆盖,尤其是FY-2C红外通道像元分辨率为 $5\text{ km}^2$ ,在中国主要积雪区的像元覆盖面积在 $30\text{ km}^2$ 以上,在内蒙古等地达 $45\text{ km}^2$ ,以点代面不能较好地反映出积雪判识精度;其次,站点多位于城镇或市区附近,由于城市热岛效应的影响,卫星在城市邻近区域的积雪判识结果本身存在较大的误差,因而二者不具备可比性;再者,站点观测不受云覆盖的影响,而卫星观测受云的影响很大,二者在比较时具有一定的

局限性;另外,积雪覆盖区很大一部分位于西部高原或人烟稀少的地区,站点的分布十分稀疏,可以获取的资料很少。因此,利用常规站点资料进行积雪覆盖的精度检验,其检验结果并不能代表积雪的判识精度。相对于常规站点资料,具有较高可信度的其他卫星积雪判识结果在 FY-2C积雪精度检验中可以发挥较好的作用。

国家卫星气象中心自 2001 年以来在日常积雪监测业务中提供的极轨气象卫星 (NOAA-17 及 FY-1D) 积雪产品 (<http://dear.cma.gov.cn>), 其判识完全基于人机交互, 在多通道阈值的基础上, 通过动态选取阈值分区域进行积雪信息提取, 最终生成全国范围的日积雪覆盖产品, 其产品判识精度较高 (在 90% 以上), 且具有较高的业务稳定性, 因此, 可信度较高, 可用于 FY-2C 积雪产品的精度检验。

FY-2C 积雪判识精度检验时主要利用 NOAA-17 人机交互积雪判识结果进行比较分析。一方面比较二者的积雪判识结果图像, 分析积雪分布的范围; 另一方面比较计算出的各自积雪覆盖度, 定量分析二者的结果。利用 2005 年 12 月—2006 年 3 月二者的判识结果对比分析, 基于阈值函数法的 FY-2C 积雪判识结果以 NOAA-17 积雪判识为标准其产品精度可达 85% 左右。图 5 和图 6 分别为 FY-2C 和 NOAA-17 卫星 2006 年 1 月 21 日的积雪覆盖图像。表 2 为 2006 年 1 月 21 日利用 FY-2C 积雪判识结果和 NOAA-17 人机交互积雪判识结果计算出的分省积雪覆盖度。从图像上分析, 积雪分布范围基本一致, 从分省的积雪覆盖度分析, 二者结果较为接近。表 2 的统计结果表明, 2006 年 1 月 21 日基于阈值函数法的 FY-2C 积雪判识结果以 NOAA-17 积雪判识为标准其产品精度可达 90% 以上。

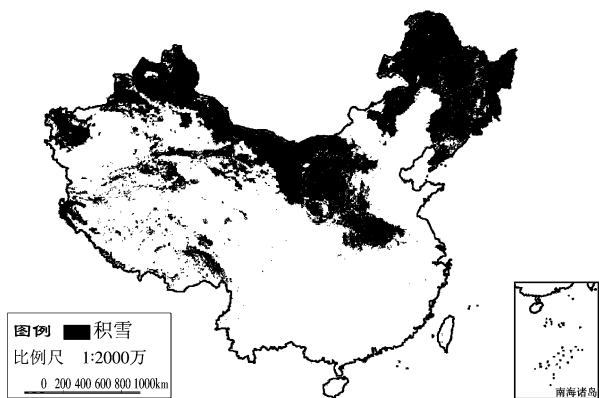


图 5 FY-2C 2006 年 1 月 21 日全国积雪覆盖图

Figure 5 China snow cover image of FY-2C (Jan. 21, 2006)

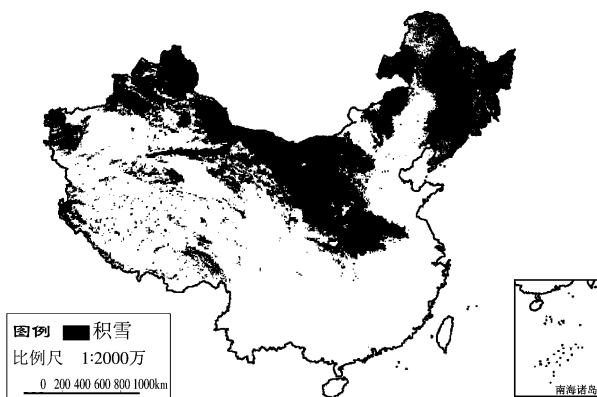


图 6 当天的 NOAA-17 全国积雪覆盖图

Figure 6 China snow cover image of NOAA-17 (Jan. 21, 2006)

表 2 2006 年 1 月 21 日 FY-2C 与 NOAA-17 的积雪覆盖度列表

Table 2 Table of Snow cover Percents of FY-2C and NOAA-17 (Jan. 21, 2006)

省(区)名	FY-2C分省积雪覆盖度/%	NOAA-17分省积雪覆盖度/%
内蒙古	76.136	77.253
辽宁	62.102	61.0543
黑龙江	99.984	99.9547
吉林	85.557	85.4687
新疆	48.8677	41.078
宁夏	99.8077	99.785
河南	78.43	80.435
陕西	45.512	48.9652
山西	79.846	81.5619

## 5 讨论与结论

利用阈值函数法对 FY-2C 资料进行积雪判识能得到较高的精度, 这表明 FY-2C 资料在积雪监测中有着较好的应用价值。简单的多通道阈值法, 阈值的使用具有一定的随机性, 带来的误判也比较多。而阈值函数法则将地形、季节、地理位置、土地覆盖类型等作为变量, 通过大量采样建立阈值函数, 这样能更好地根据目标物的下垫面特性进行阈值的计算, 提高积雪判识精度。尽管如此, 利用该方法进行 FY-2C 积雪判识还需要有很多完善的地方。

首先, 阈值函数需要大量的样本, 阈值本身并不是单个时次的亮温值, 而是代表各种目标物极值或者可以区分出两种目标物的临界值, 因此, 采样需要涉及的时间较长, 范围较大, 同时考虑到突发事件(如降温或升温等)以及定标的差异等对极值的可能影响。因此, 采样的可靠性对阈值函数的建立影响很大。

其次, 积雪和某些目标物比如较低冰晶云, 二者在各通道的光谱特性上都十分接近, 很难完全准确地区分出来, 有可能带来判识上的误差。

另外, 利用 NOAA-17 人机交互积雪判识结果进行 FY-2C 积雪精度检验, 虽然比较可行, 但是由于 NOAA-17 是单时次资料, 而 FY-2C 是白天多个时次的最大亮温合成结果, 因此, FY-2C 能获得更多的晴空, 这就造成在新降雪区, FY-2C 可能获得更大的积雪分布范围, 而对于融雪区尤其是南方地区, FY-2C 的积雪判识结果往往小于 NOAA-17, 因而造成二者在积雪覆盖度上的差异, 影响检验精度。

总的来说, FY-2C 作为一种新的静止气象卫星遥感资料来源, 虽然其空间分辨率要低于极轨气象卫星, 但是由于其大范围、高频次及多通道等特点, 使得其在地表监测中能发挥较好的作用。尽管其获取的图像信号要差于极轨卫星资料, 但是在积雪监测中, 以阈值函数法为主的积雪判识方法仍能得到 85% 以上的积雪判识精度, 而且积雪监测范围更大、频次更多从而能获得更大的晴空区域, 进而能更客观地反映积雪的分布情况, 这对于气候研究、数值天气预报及雪灾监测等来说, 具有十分重要的意义。通过大量样本建立起的阈值函数, 由于考虑了季节、地理纬度、土地覆盖类型及海拔高度等各种下垫面因素的影响, 不仅适用于 FY-2C 的积雪判识, 而且对于其他静止气象卫星如 MTSAT 以及将要发射的 FY-2D 等, 都能取得较好的判识效果, 因此具有较好的应用前景。

当然, 由于方法本身还具有一定的局限性, 因此需要不断地完善, 以进一步提高积雪的判识精度。

## 参考文献 (References)

- [ 1 ] Dong C H. The Tutorial of Meteorological Operational Products [ M ]. Beijing: Meteorology Press, 1999. [ 董超华. 气象卫星业务产品释用手册 [ M ]. 北京: 气象出版社, 1999. ]
- [ 2 ] Allen R C, Durkee P A, Wash C H. Snow/cloud Discrimination with Multispectral Satellite Measurements [ J ]. Journal of Applied Meteorology, 1990, 29: 994—1004.
- [ 3 ] Peter Romanov, Garik Guman, Ivan Csizsar. Automated Monitoring of Snow Cover over North America with Multispectral Satellite Data [ J ]. Journal of Applied Meteorology, 2000, 39 (11): 1866—1880.
- [ 4 ] Manijn de Ruiter, de Wildt. Snow Mapping Using Multi-temporal METEOSAT-8 Data [ J ]. EARSeL Proceedings, 2006, 5: 18—31.
- [ 5 ] Wang J, Chen Z D, Li W J, et al. Analysis and Research on Snow Reflectivity Characteristic Using MODIS Data [ J ]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2000, 22 (2): 165—169. [ 王健, 陈子丹, 李文君等. 中分辨率成像光谱仪图像积雪反射特性的初步分析研究 [ J ]. 冰川冻土, 2000, 22 (2): 165—169. ]
- [ 6 ] Rao P K, Xu J M. Weather Satellite System, Data and Environmental Applications [ M ]. Beijing: Meteorology Press, 1994. [ Rao P K, 许健民. 许健民等译. 气象卫星——系统、资料及其在环境中的应用 [ M ]. 北京: 气象出版社, 1994. ]
- [ 7 ] Liu Y J, Yang Z D. The Theory and Algorithm of Remote Sensing Information Processing Using EOS/MODIS Data [ M ]. Beijing: Science Press, 2001. [ 刘玉洁, 杨忠东等编. MODIS 遥感信息处理原理与算法 [ M ]. 北京: 科学出版社, 2001. ]
- [ 8 ] Zheng X J, Qiu K M. A Remote Sensing Method in Sea Ice Parameter Quantitative Calculation in Bohai Sea [ J ]. Quarterly Journal of Applied Meteorology, 1998, 9 (3): 359. [ 郑新江, 邱康睦. 定量计算渤海海冰参数的遥感方法 [ J ]. 应用气象学报, 1998, 9 (3): 359. ]
- [ 9 ] Daniel Rosenfeld, Elsa Cattani, Samantha Melanji. Considerations on Daylight Operation of 1.6- versus 3.7- $\mu$ m Channel on NOAA and METOP Satellites [ J ]. American Meteorological Society, 2004, 6: 873—881.
- [ 10 ] Hall D K, Riggs G A, Salomonson V V. Development of Methods for Mapping Global Snowcover Using Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer Data [ J ]. Remote Sensing of Environment, 1995, 54: 127—140.