

# 青藏高原 MODIS 图像冰雪信息挖掘 与动态监测分析

方墨人<sup>1</sup>, 田庆久<sup>1</sup>, 李英成<sup>2</sup>, 郭童英<sup>2</sup>

(1 南京大学国际地球系统科学研究所, 南京 210093; 2 中国测绘科学院, 北京 100039)

**摘要:**针对西藏地区的环境特点,对适应大区域尺度及全球尺度的 MODIS 数据进行冰雪信息挖掘与监测的方法进行改进,提出适于西藏地区 MODIS 数据雪信息提取的技术途径,实践表明,该法对冰雪情监测具有较好的实用性。

**关键词:**遥感; MODIS; 冰雪; 信息挖掘; 西藏

**中图分类号:**P237

## 1 引言

西藏是我国重要的高寒牧区,畜牧业是西藏历史悠久的主导生产部门,是本区经济的支柱。在西藏经济结构中,畜牧业是最主要的生产部门。该区对畜牧业影响最大、最严重的灾害性天气就是雪灾,往往造成牲畜大量死亡,威胁牧民的生命安全。因此利用卫星资料及时、准确地监测冰雪灾的范围,对西藏地区政府部门组织抗灾救灾具有重大意义。

对此,刘玉洁等利用 AVHRR 气象卫星数据对青海地区进行雪灾监测和云雪监测<sup>[1]</sup>;马虹等利用 NOAA/ AVHRR 数据进行积雪监测与制图研究<sup>[2]</sup>;李震等利用 NOAA/AVHRR 数据进行冰雪盖信息提取与复合<sup>[3]</sup>。Andrew G. Klein 利用 MODIS 数据进行全球雪被覆盖监测<sup>[4]</sup>。可以看出利用 NOAA/ AVHRR 数据进行雪盖信息提取的研究已经做得比较多,而且也比较成熟。由于 MODIS 比 NOAA/ AVHRR 有更高的光谱分辨率和空间分辨率,虽然国外对 MODIS 冰雪信息的提取已经有一些研究,且提出适应大区域尺度及全球尺度的冰雪信息提取、监测的方法<sup>[5]</sup>,但是针对特定西藏独特的地形、地貌、气候等环境条件,适应大区域尺度及全球尺度的冰雪信息提取算法尚需进一步探讨。

西藏自治区地处我国的西南边疆,总土地面积

为 120 多万 km<sup>2</sup>(合 18 亿多亩),占全国总土地面积的 1/8,仅次于新疆维吾尔自治区,居全国第二位,西藏自治区包括 6 个地区和 1 个地级市(见图 1)。

西藏是地球上海拔最高的青藏高原主体部分,平均海拔在 4000m 以上。地势由西北向东南倾斜,地形复杂多样,有世界“第三极”之称。高原的地理位置和地势特点对西藏的大气环流以及气候的形成有着极大的影响。形成该区独特的高原气候。西藏气候对农牧业生产一方面提供了一些有利条件,另一方面气象灾害对西藏农牧业生产也造成一定危害,特别是大雪对藏北和藏南牧区产生较大危害。

## 2 MODIS 数据的冰雪应用分析及 冰雪信息挖掘方法与流程

(1)MODIS 数据具有很高的时间分辨率和较高的波谱分辨率和空间分辨率<sup>[6]</sup>。MODIS 一天可接收 6 景影像,1~2 天覆盖全球。具有覆盖范围大,实时性强的特点。MODIS 数据包含有从可见光 0.4μm 到热红外 14μm 的电磁波谱范围,具有 36 个光谱通道。这为冰雪与云、水等其他地物的区分提供更多的波谱特征信息。其地面分辨率分别为 250m、500m 和 1000m。与 NOAA/ AVHRR 数据相比具有

收稿日期:2004-07-29; 修回日期:2005-03-06。

资助项目:国家测绘局“防灾减灾基础地理信息及技术服务系统研究(西藏地区)”(编号:14601402024-04-03)。

作者简介:方墨人(1979-),女,硕士生。主要从事 GIS 和遥感应用研究。E-mail: momo.f@163.com

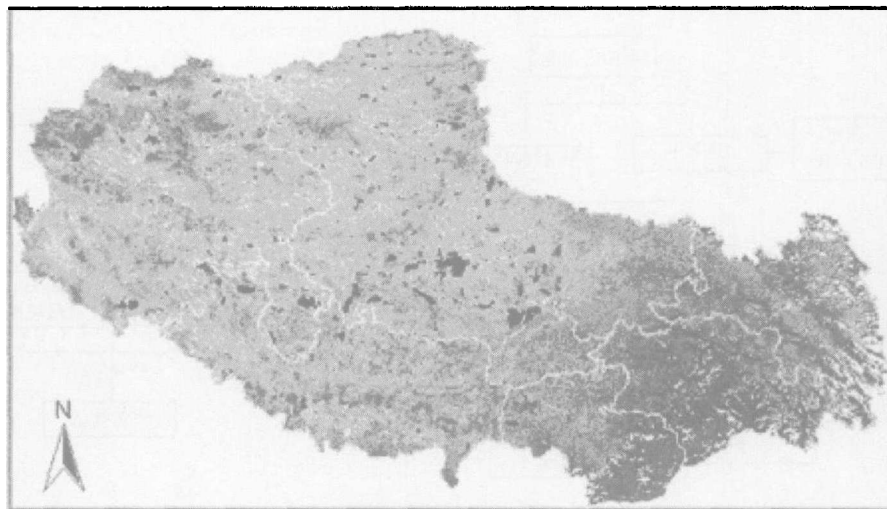


图 1 西藏研究区 MODIS 遥感影像图

Fig.1 MODIS remote sensing image of the study area of Tibet

更高的空间分辨率,同时其免费接收的数据获取政策,使之在地学中的应用将得到大大地推广。针对试验区面积较大及西藏多云的特点,这里利用 MODIS 数据作为西藏雪灾动态监测的基础遥感数据进行冰雪信息的提取与监测。本文获取了从 2003 年 11 月到 2004 年 3 月共 18 景 MODIS 数据进行雪信息提取。其他检验数据还有西藏 1:25 万 DOM,道路交通图、水系图等。

(2)根据冰雪在可见光部分的高反射及其在短波红外部分的高吸收率的波谱特性<sup>[7]</sup>,本文选取了 MODIS 数据空间分辨率为 250m 的第 2 波段,其中心波长为  $0.858\mu\text{m}$ ;和空间分辨率为 500m 的第 4、6 波段,其中心波长分别为  $0.555\mu\text{m}$  和  $1.640\mu\text{m}$ 。

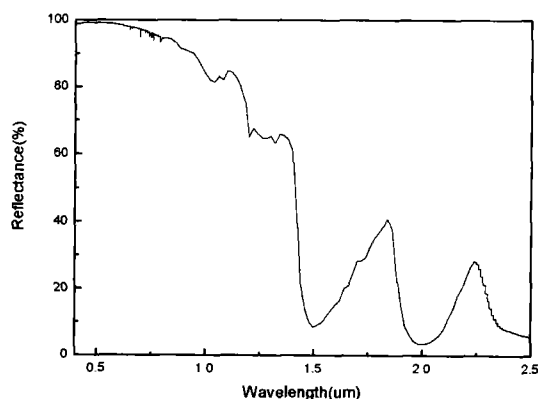


图 2 雪的典型光谱曲线

Fig.2 The representative spectral curve of snow

由图 2 可见,雪的光谱在第 4 波段具有高反射率,而在第 6 波段处于第一个反射率的低谷,即具有高吸收率。利用这两个波段构造归一化差分积雪指数(NDSI;the Normalized Difference Snow Index),这是分辨雪和其他地表的有效方法<sup>[8]</sup>。对阳光照射和阴影的雪都能予以监测。其计算公式如下:

$$NDSI = (CH(n) - CH(m)) / (CH(n) + CH(m)) \quad (1)$$

其中:  $CH(n)$  为第 4 波段,  $CH(m)$  为第 6 波段

由 NDSI 制图并可通过目视判读和数理统计确定区分雪与其他大部分地物的阈值。虽然水与雪的波谱反射形态在整体上趋于一致,即水在可见光段也具有较高的反射率,而在近红外波段具有较强的吸收,由公式(1)算出的 NDSI 大部分水也能达到雪的阈值。这里通过引入中心波长为 858nm 的 MODIS 第 2 波段,可将水和雪有效地区分开来,这主要是由于水在近红外波段的反射率远小于雪的反射率。

雪信息提取技术流程(见图 3)。首先对 MODIS 数据进行辐射校正,根据西藏的地理位置进行投影变换、几何校正、影像镶嵌、计算 NDSI 和设置阈值。基于反射特性的归一化差分积雪指数(NDSI)算法具有普遍的实际操作意义,精度高,分类合理,是提取积雪信息的最佳技术手段,是大区域尺度及全球尺度的雪信息提取、监测的方法,用于绘制全球积雪和冰图<sup>[9]</sup>。

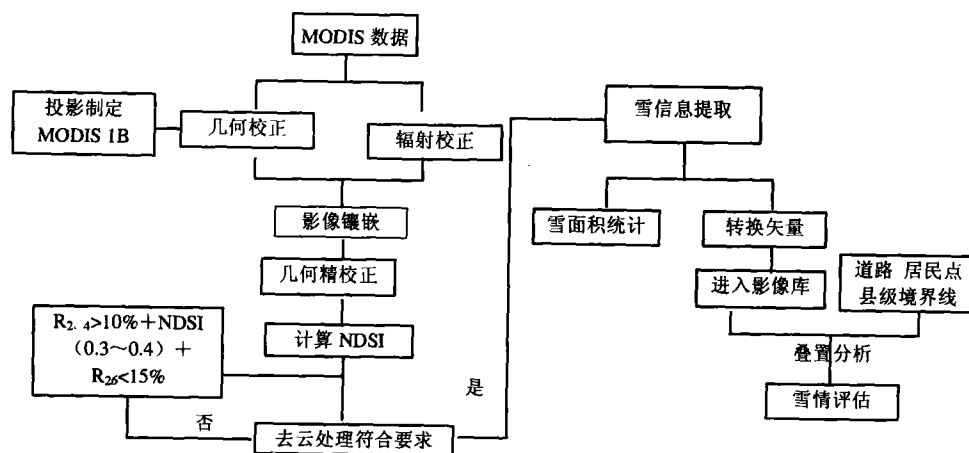


图3 雪信息提取技术流程图

Fig.3 Flow chart of snow information extraction technique

### 3 问题及解决方案

(1)根据上述处理流程进行几何校正后的影像与矢量图叠加对比分析,发现大部分地区与矢量图能很好地套合,而在远离星下点的影像边缘部分存在2~3个像元的误差。这是由于MODIS传感器的观测范围为 $\pm 55^\circ$ 所致,但其对于大面积雪覆盖仍是适用的。西藏高原积雪的空间分布很不均匀;四周山地多雪(尤其是以东西两侧多雪),广大腹地少雪。

对此,利用水系矢量图重新选取了20个控制点,对影像进行几何精校正,使在大于卫星天底角为 $\pm 45^\circ$ 的区域的误差较均匀地分布在整个影像上。

(2)西藏地区有大小湖泊1500多个,冬季气温低,大量湖泊结冰,湖冰的光谱特性与雪和冰川相一致,因而在提取雪信息的时候往往把湖冰一并提取出来。而湖冰不会构成雪灾,故此其增加了空间分析的复杂度与处理量。

对此可利用一幅夏季接收的MODIS影像,根据水体的波谱特性(见图4)<sup>[7]</sup>,利用MODIS多波段的特点提取湖泊、水体,再把提取出来的水体转成矢量数据,最后用提取出来的湖泊、雪和湖冰进行归纳分析,得到最终需要的雪信息。

(3)由于一部分厚云含有雪或者小冰晶,其光谱信息与雪相似(如图5),容易与雪混淆,一起被提取出来,因此必须把提取中的一部分云剔除。考虑

到大气中的水汽对太阳辐射具有很强的吸收作用,地表物质由于太阳辐射在上行、下行过程中水汽的强烈吸收,故被传感器接收的辐射量都很小。它们不管是高云、低云、厚云、薄云以及含有雪、小水滴、小冰晶的云,相对地表其他地物都增加了被水汽吸收的那部分辐射能量,因而具有较高的反射率<sup>[10]</sup>。所以我们选用1.38~1.50 $\mu\text{m}$ 波段,用以更好地区分云和雪。

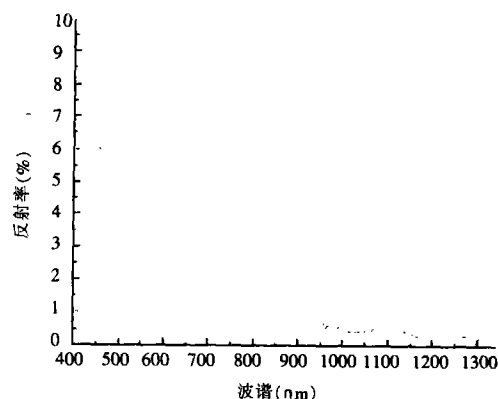


图4 水体的典型光谱曲线

Fig.4 The representative spectral curve of water body

一般情况下,利用该波段进行云监测时,设置的反射率的阈值为0.035,当大于该阈值,所得到的像元为云。显然,当阈值取为0.035时,所有的云不管是高云、低云、厚云、薄云都会被去除,云下面的地物信息也会被剔除,考虑到薄云下面大部分地表物质的波谱信息能够透过薄云被传感器所接收,因

而在剔除云的过程中尽量保留薄云及其下面的地物信息,剔除无法判读云底地物信息的厚云。这里主要是通过改变该波段辐射量阈值的设置。通过试验选取的阈值为 0.15。

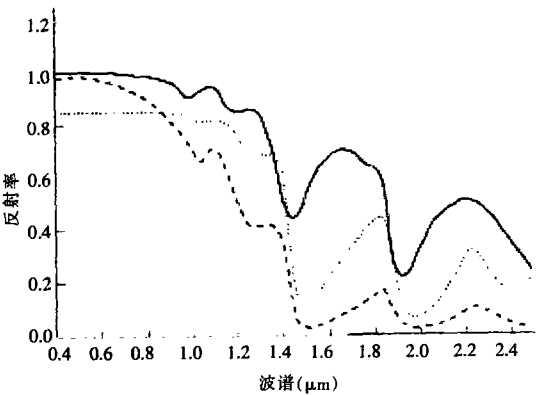


图 5 水云、冰云与雪的典型光谱曲线  
Fig.5 The representative spectral curve of snow, ice cloud and water cloud

4 雪情动态变化分析

根据以上数据雪信息提取技术流程,利用 MODIS 数据提取雪信息,得到各个时段的雪覆盖面积。图 6 为利用 2003 年 11 月 3 日的 MODIS 数据所提取的西藏研究区部分示范区域雪被覆盖信息制图,图中白线所圈部分为提取出来的雪被面积矢量图。

从 2003 年 11 月到 2004 年 3 月每月选择一景数据进行雪被面积的提取,并对西藏各个地区雪被面积进行数理统计与雪情动态变化分析(见图 7)。

由图 6 可以看出雪被覆盖面积最大的是林芝、那曲地区。林芝地区地处东部多山脉,山上有常年不化的冰川积雪,因此虽然该地区雪被覆盖面积很大,但雪被覆盖面积月变化不大。那曲地区不仅雪被覆盖面积大,而且雪被覆盖面积月变化也很大,该地区是雪灾的高发区。阿里地区雪被覆盖面积较

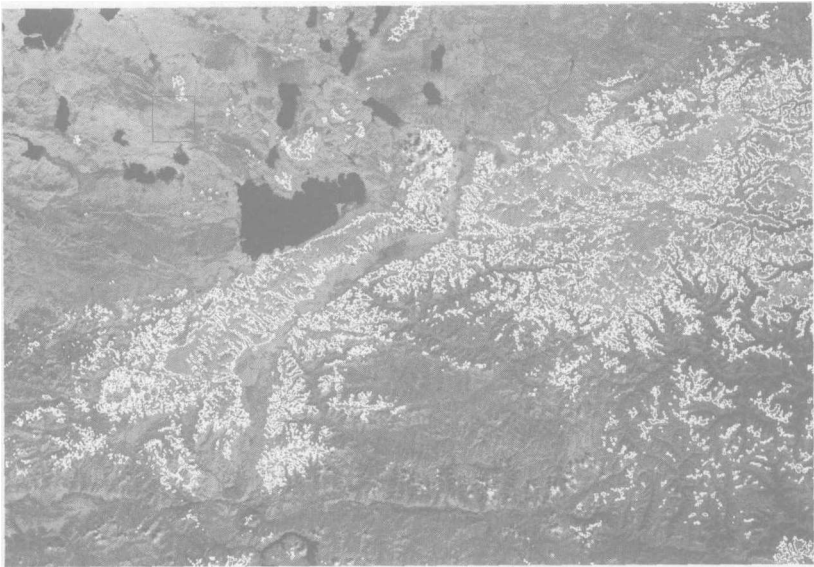


图 6 西藏研究区部分示范区域 MODIS 遥感影像图  
Fig.6 MODIS remote sensing image of demonstrate region in the study area of Tibet

大,其雪被覆盖面积月变化也较大。雪被覆盖面积最小的地区是拉萨市;山南、昌都地区东部多山脉,山上也有常年不化的冰川积雪。该区的雪被覆盖面积不小,但雪被覆盖面积月变化不大。同时,分析结果表明西藏的雪被分布与西藏历年雪被时空分布的总体趋势相一致。

5 结语

利用 MODIS 数据对西藏地区雪信息的提取及雪情监测,不仅节省人力、财力,尤其是在气象情报不足、气候条件恶劣的山区和牧区,就更显其重要意义。

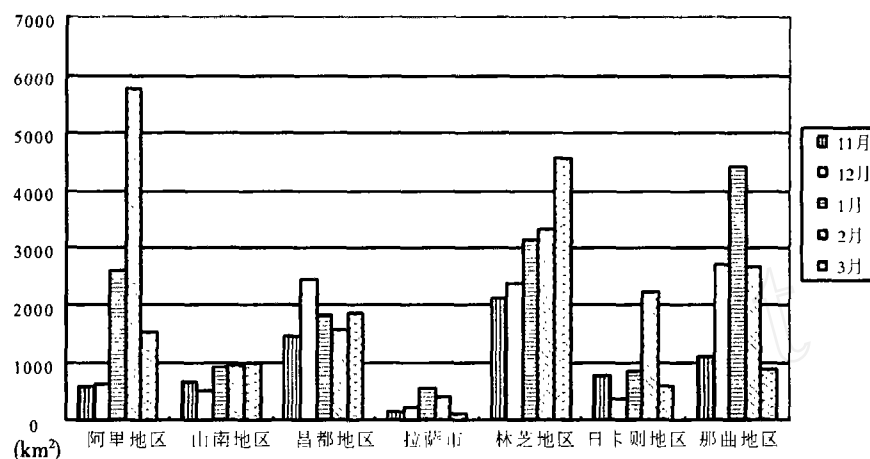


图7 西藏各区雪被覆盖动态变化图

Fig.7 Dynamic changes of snow cover to the corresponding prefectures of Tibet

(1)对于阈值的设定,要根据各种地理环境因素及现势因素的影响,考虑阈值的取值,如去除厚云,保留薄云。(2)在雪信息的提取过程中还存在混合像元的问题,这会导致雪被的高估或低估的情况。特别是在树木茂密的林区,积雪由于被密林遮盖而模糊不清;而在东部藏东三江峡谷,高耸的山脉与深切峡谷纵横交错,山体的阴影也给雪信息提取带来干扰。(3)由于厚云的遮盖,厚云下面的地物信息无法获取,因而虽然去除了厚云,但厚云下面的地物是否被雪被所覆盖无法确定,因此有待进一步分析研究。

#### 参考文献

- [1] 刘玉洁, 王丽波 等. 卫星遥感雪灾监测与研究. 牧区雪灾的分析研究. 北京: 气象出版社, 1999, 99~107.
- [2] 马 虹, 姜小光. 利用 NOAA /AVHRR 数据进行积雪监测与制图的方法研究. 干旱区地理, 1998, 21(3).
- [3] 李 震 等. NOAA/AVHRR 数据的雪盖信息提取与复合. 遥感技术与应用, 1995, 10(4).
- [4] Andrew G Klein, Dorothy K Hall, George A Riggs. Global Snow Cover Monitoring Using MODIS. [http://tpwww.gsfc.nasa.gov/MODIS\\_Snow/modis.html](http://tpwww.gsfc.nasa.gov/MODIS_Snow/modis.html)
- [5] Andrew G Klein, Dorothy K Hall, George A Riggs. Global Snow Cover Monitoring Using MODIS. 27th International Symposium on Remote Sensing of Environment, June 8~12, 1998, Tromsø: 363~366.
- [6] <http://tpwww.gsfc.nasa.gov/MODIS/MODIS.html>
- [7] <http://asterweb.jpl.nasa.gov/>
- [8] 王 建. 卫星遥感雪盖制图方法对比与分析. 遥感技术与应用, 1999, 14(4): 29~36.
- [9] 刘玉洁, 杨忠东 等. MODIS 遥感信息处理原理与算法. 北京: 科学出版社, 2001, 187.
- [10] Bocai Gao. Cloud Detection over the Arctic Region Using Airborne Imaging Spectrometer Data during the Daytime.

## Snow Information Extraction and Dynamic Changes Analysis of Tibet Based on MODIS Data

FANG Moren<sup>1</sup>, TIAN Qingjiu<sup>1</sup>, LI Yingcheng<sup>2</sup>, GUO Tongying<sup>2</sup>

(1 International Institute for Earth System Sciences, Nanjing University, Nanjing 210093, China;

2 Chinese Academy of Surveying and Mapping, Beijing 100039, China)

**Abstract:** Considering the environmental features of Tibet, the method of snow information extraction and snow monitoring which is suitable to the large regional scale and global scale based on MODIS data was improved in this paper and then the method and technical route of snow information extraction which is suitable to Tibet based on MODIS data was put forward. It also analysed the dynamic changes of snow information and identified the existing problems and the solution schemes. The research result indicates that this method is more efficient for snow monitoring.

**Key word :** remote sensing; snow; information extraction; Tibet