

# 从卫星遥感资料中提取雪盖信息的探讨

陈贤章

(中国科学院兰州冰川冻土研究所)

1986年10月16日收稿

## 摘 要

根据卫星遥感影像和数据资料,通过目视判读和数字化图像处理,摸索如何提取雪盖面积、雪线高度和积雪消融等信息及雪盖分类与制图方法,并对相应的方法进行了评价。对于云与雪的区别问题,利用不同的资料及处理方法对其可分性进行了分析,发现 Landsat TM 资料中5波段(1.55—1.75  $\mu\text{m}$ )和7波段(2.08—2.35  $\mu\text{m}$ )以及4(0.78—0.90  $\mu\text{m}$ ),5,7波段合成对于云与雪的区别效果较好。

## 一、光学仪器辅助判读方法

基本资料是卫星遥感的黑白与彩色图像正片或透明正、负片,通过例如 KARGL 反射投影仪、PROCUM-2 制图仪和 ZTS 图像转绘仪或纠正仪等类似的图像判读仪器,根据积雪与其环境物在反射光波段亮度值的差异,可以把积雪范围转绘到一定比例尺的底图上,然后进行面积量测。

笔者用 Landsat-2 1975年5月16日和10月8日分别覆盖于祁连山黑河支流八宝河、冰沟和扎马什克流域的多光谱影像进行了目视判读,所用底图是从1:10万和1:50万高斯投影地形图上绘制的。

### 1. 雪盖面积

选择 MSS5 和 MSS7 的透明正片(1975年5月16日和10月8日),用 PROCUM-2 制图仪和 ZTS 转绘仪分析了三个流域的雪盖分布,前者主要是选择合适透镜,将影像投影到底图上,使之与投影匹配,即可把投影的雪线画到底图上;后者是先把影像通过透镜与镜面反射重叠到底图上,再通过适当的转动伸缩或扭动旋钮来解决影像的几何畸变,使影像与底图达到最佳匹配,最后在底图上画雪线。若欲得到不同高度带上的雪盖面积,可在底图上配以一定密度的等高线,然后把雪线投影到有等高线的底图上(绘下来或直接照相),最后用数字化求积仪量测雪盖面积。

### 2. 雪线高度

对于某些小区域或局部的雪线高度,用 Mark, F. Meier 的方法<sup>[1]</sup>把绘制的雪图放大后匹配到大比例尺的透明底图上(高程转绘的平面精度约为200m),这样可以得到更精确的雪线高度。如风吹雪或狭长山谷中的雪,其雪线位置都较低。这里用下述方法确定平均雪线高度:先将影像与底图匹配,并在雪区下界(不需把全部雪线画出来)任取25个点(或更多些),然后求算这些点的高程:

$$x = H_m + \frac{(H_n - H_m)d_1}{d}$$

式中:  $x$  为所求点的高程,  $H_m$  为低值等高线高程,  $H_n$  为高值等高线高程,  $d_1$  为所求点到低值等高线的距离,  $d$  为两根等高线间距。

最后平均各采样点的高度, 即为该流域内的平均雪线高度。用此方法测得扎马什克流域雪线平均高度为 3910 m。根据雪线平均高度, 再利用该流域的面积高度曲线可间接获得雪盖面积(图 1)。面积高度曲线就是先在地形图上量测各高度带上的面积, 然后以面积为横坐标, 以海拔高度为纵坐标绘制的曲线。用这一曲线可以查得雪线至山顶这一高度带内相应的面积。把扎马什克流域的平均雪线高度换算成雪盖面积为 2501 km<sup>2</sup>, 与制成雪图后量测的面积相差 14 km<sup>2</sup>。反之, 则根据雪盖面积可获得平均雪线高度。这种方法简捷, 而且可以避免在制作雪图过程中遇到的如森林或阴影区雪线实际位置误差的问题。其更大的优点是当流域局部有云覆盖时, 可用这种方法获得整个流域的雪盖面积。从而提高资料的利用率。

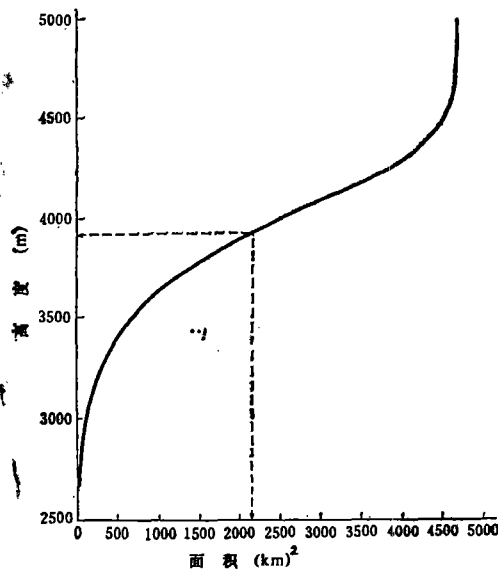


图 1 扎马什克流域面积高度曲线

Fig. 1 The Area-elevation Curve of the Zhama-shike River Basin.

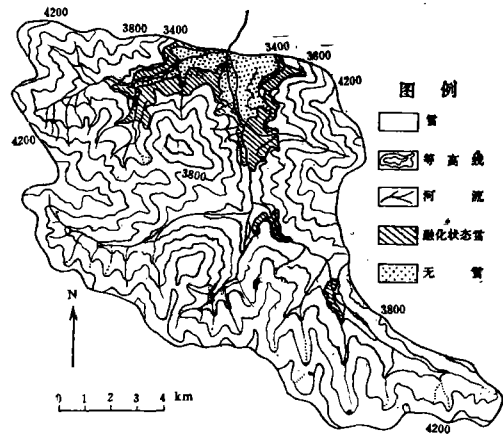


图 2 冰沟流域 5, 7 波段上雪盖面积的差异 (1975 年 5 月 16 日)

Fig. 2 The Difference between Snow Cover of Bands 5 and 7 of Binggou River Basing (May 16, 1975)

### 3. 不同波段上雪盖面积的比较

比较 Landsat MSS5 和 MSS7 波段图像上的积雪面积可以得到雪盖消融状况的信息。在 5 波段上的积雪一般可当作雪盖总的实际面积, 而 7 波段上雪盖面积要小些。Sherstone, D. A. 曾对 NOAA 气象卫星 VHRR 影像的可见与红外波段图像上的雪盖面积进行比较, 发现 7 个流域上雪盖百分比平均相差 23% [2]。比较扎马什克等三个流域 5 波段与 7 波段图像上的雪盖百分比可知, 5 波段上积雪面积均大于 7 波段 (1975 年 5

月 16 日和 10 月 8 日资料的分析结果类似)。以冰沟流域为例(图 2), 图中斜线部分为 5

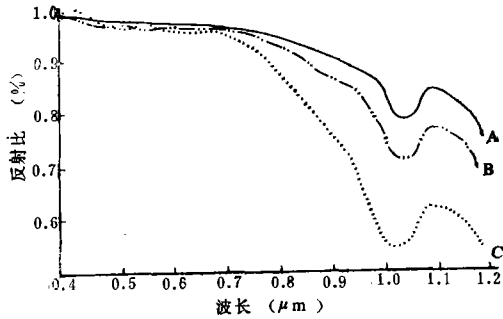


图 3 雪的老化和融化作用对雪的反射光谱特性的影响

A——6月17日上午; B——6月19日上午;  
C——6月19日下午

Fig. 3 The Curves of Influences of Melting and Ageing on Spectral Reflectance.

A—a. m. 17 June; B—a. m. 19 June; C—p. m. 19 June. Wavelength ( $\mu\text{m}$ ): Reflectance (0.5—1.0)

波段和 7 波段上积雪面积之差, 即可能为老雪或正在融化的积雪。这种不同波段上存在的积雪面积的差异, 是由融雪或融雪再冻结引起近红外波段(7 波段)反射能量减弱所致。因为积雪在消融过程中液态水含量不断增加, 融雪再冻结会使雪的粒径变大, 这两种情况均会引起近红外波段反射能量的减弱。根据对积雪反射光谱实测资料的分析<sup>[3]</sup>, 可以清楚地看到雪的老化和融化作用对雪的反射光谱特性的影响(图 3)。两天内雪在 7 波段(0.8—1.1  $\mu\text{m}$ )的反射能量下降幅度远比 5 波段(0.6—0.7  $\mu\text{m}$ )的大。由于积雪在 7 波段和 5 波段有这种明显不同的反射光谱特性, 当雪盖处于消融的状态时(一般情况下雪盖边缘消融快)

就产生了 7 波段上雪盖成像范围要比 5 波段上小的效应。

## 二、利用陆地卫星数字资料进行雪盖制图

笔者用 1:50 万的地形图和 Landsat-2 数字资料在 ARIES-II 和 IMAGE-100 型图像处理系统上进行了雪图制作。该幅卫星影像(P<sub>12</sub>-R<sub>23</sub>)摄于 1977 年 6 月 22 日, 覆盖于加拿大东部 Newfoundland 的 Josph。用陆地卫星数字资料进行雪盖制图, 概括起来有如下三个步骤: 几何校正、产生用于分类处理的流域文件和最后分类处理。

### (一) 几何校正

#### 1. 选择地面控制点

所选流域较小, 仅 42 km<sup>2</sup>, 流域周围河流、湖泊很多, 在地形图上容易找到地面控制点。先在显示的影像上(根据河流、湖泊多的特点选用 7 波段影像)选择易于识别的控制点(最好在小湖泊、急流和地峡等处), 用光标在显示图像上定出控制点的位置, 定点误差小于一个像元; 然后在 1:50 万地形图上找出相应的地面控制点, 定位误差小于 0.5 mm。共选择控制点 38 个, 分布比较均匀。在校正过程中将定位误差较大的点舍去, 最后剩下 35 个点。

#### 2. 建立多项式坐标转换方程

为把图像中控制点的行列坐标校正到地形图上相应控制点的公里网格坐标, 需建立两种坐标的多项式转换方程, 即一组含有系数的线性方程。根据计算结果的误差大小来决定转换方程的方次。用三次多项式方程计算 35 个控制点的结果, 横坐标的误差 31.08

m, 纵坐标的误差 29.07 m, 所以可以认为该方程是适用的, 并以此方程将卫星影像所有点的行列坐标校正到地形图公里网格坐标。

### 3. 整个影像的重采样

卫星图像原来的像元为矩形, 对应的实地面积为  $57\text{ m} \times 79\text{ m}$ 。校正后的像元为正方形, 对应的实地面积选定为  $50\text{ m} \times 50\text{ m}$ , 其像元亮度值均用三次折积法——邻域值加权平均法计算<sup>[4]</sup>。

## (二) 流域文件的产生

### 1. 选择亚区域

为了节省产生流域文件及分类处理等所占主机处理时间, 在经过上述几何校正与重采样的图像中, 选取包含试验流域的亚区域作为进行图像再处理的亚区域影像文件。

### 2. 产生带有流域界线的亚区域影像文件

根据 1:50 万地形图上所确定的流域界线, 用和 ARIES-II 相连的数字化器把流域界线数字化到相应的亚区域图像上, 这样就产生了流域界线专题文件; 然后, 用亚区域和流域界线专题文件, 产生带有全封闭流域界线的亚区域影像文件。

### 3. 建立“0—1”文件

所谓“0—1”, 就是流域界线外的像元值全为零, 界线内像元值则全为 1。根据带有全封闭流域界线的亚区域文件, 通过程序 MT 产生相应的“0—1”专题文件; 然后转变成相应的影像文件。

### 4. 产生流域文件

为了能在确定的流域界线内进行各种分类或统计处理, 以便得到如雪的类型和各类雪的面积等, 就必须产生流域文件, 即流域界线外像元值均置为零, 界线内像元则保持原值。可按如下关系式进行:

$$F(3) = F(1) \times F(2)$$

式中:  $F(3)$ ——流域文件;  $F(1)$ ——亚区域文件;  $F(2)$ ——“0—1”文件。

## (三) 监督分类

### 1. 选择训练样本

在显示的流域图像上选择四种类型的训练样本, 即雪(1)、雪(2)、无雪地面和水, 选取训练样本区域, 是用光标在所显示的图像上圈出很可能属于同一类型的像元(可以一个或多个子区域作为某一类型的样本训练域), 然后产生样本统计量。

### 2. 训练样本的纯化

选择训练域时, 往往不可避免地混入一些不属于同一类型的像元。为使所选的训练域具有类型的代表性, 可根据训练样本本身的均匀程度, 选择一个纯化因数(即该类训练样本应该被保留的百分数), 然后以此因数剔除那些灰度值差异大的像元, 像元均值在纯化前后有所变化。

### 3. 分类及输出分类结果

由于所选四类肉眼都能区分出来, 故对选择样本所确定的均值向量与方差向量未进

行试分类,而是将其纯化后的训练样本作为正式分类样本。但如分类很多,以致有些类型间均值向量很接近,则需进行试分类,产生混淆矩阵,以便在并类或进一步纯化处理后得到可分性较强的独立类型。

表 1 分类结果的统计量  
Table 1 Statistics of Classification Results

统计量 \ 类别	雪 (1)			雪 (2)			地 面			水 面		
像元数	807			7370			6954			892		
实地面积 (km <sup>2</sup> )	2.018			18.425			17.385			2.230		
占流域百分比	0.048			0.439			0.414			0.053		
像元平均亮度值	Ch4*	Ch5	Ch7	Ch4	Ch5	Ch7	Ch4	Ch5	Ch7	Ch4	Ch5	Ch7
	135.80	166.82	138.80	86.72	108.69	97.61	34.06	46.00	64.83	16.55	11.07	0.11
标准离差	21.99	28.59	16.65	16.79	20.00	13.34	1.91	3.66	3.83	1.49	2.00	0.66

\* Ch4, Ch5, Ch7 分别为陆地卫星 MSS4, 5, 7 通道。

分类结果经过 IMAGE-100 型图像处理系统格式转换以后,由 APLICON 出图机输出彩色分类图(透明和不透明的二种),比例尺为 1:50 万,可带 1 × 1 km 的公里网格,以便结合地形图进行实地分析。分类结果的统计量见表 1。

### 三、卫星遥感数据资料中云与雪的区别

为提高资料利用率或尽可能减少雪盖面积估计误差,有必要对云与雪的区别问题予以探讨。除了常规的根据云和积雪场随时间变化、结构与边缘特征等差异来区别云与雪外, Kamemasu, E. T.(1982) 利用 NOAA-6 资料中的辐射温度和地面气温的差异,区别了云和雪<sup>[5]</sup>。 Barnes, J. C. 和 Smallwood, M. D. (1975) 分析了来自 SKYLAB 上 13 个通道的多光谱扫描仪资料后指出,两个中红外波段(1.55—1.75 $\mu\text{m}$  和 2.10—2.35 $\mu\text{m}$ ) 可区别云和雪<sup>[6]</sup>。本文用 NOAA-8 AVHRR, Landsat MSS 和 TM 数据资料,在没有任何地面资料配合的情况下进行了云与雪的可分性分析。

#### (一) NOAA-8 和 Landsat MSS 资料

选择云和雪间有的 NOAA-8 数据磁带(1984 年 1 月 7 日覆盖于我国西部祁连山地区),根据地形、河流、云的阴影、边缘等结构上的差异,大致可以区分出云和雪。进行云和雪的监督分类前,在目视判读的基础上,分别对这两个主要分类目标确定训练域,进行像元采样。分析结果表明,云和雪在 1—4 通道的响应均值都很接近,而且标准离差也都很大,因此直接用 NOAA-8 的 4 个通道的响应值很难把云和雪区分开。非监督分类的结果也是这样。

选择 Landsat-2 MSS 的两盘数字磁带(1977 年 6 月 22 日和 1976 年 4 月 15 日),分别覆盖于加拿大东部 Josph 和西部 Fredericton 地区。两张影像上的云系和雪盖类型

有明显不同,前者为分散的块状积云和山顶积雪;后者为层积云和零星积雪(可能为森林积雪)。对这两幅影像分别进行了监督与非监督分类处理,结果分类效果很不理想。其原因是 Landsat MSS 的四个通道均处于雪的两个吸收带的前面,而在该段波长范围内云与雪的光谱响应都很高且十分接近,加之云和雪都使四个通道达到饱和,因而无法将云与雪分开。

### (二) Landsat TM 资料

选择 1982 年 11 月 22 日 Landsat-4 TM 数字资料(云盖为 20%),覆盖于加拿大西部 Bowisland 山区。从 4, 5, 7 波段合成影像上看,能较清楚地分开云和雪,主要云系为薄碎层云,少数为碎积云,积云的亮度比层云亮(图 4 的 A, B, 封二,积雪较多,但可能因积雪厚度或坡向的影响,积雪表面呈现出明暗不匀的现象(图 4 中的 C, D, 封二)。根据云系和积雪场状况来考虑目标训练域,把云和雪各分为两种,即“亮雪”(S<sub>1</sub>)和“暗雪”(S<sub>2</sub>);“亮云”(C<sub>1</sub>)和“暗云”(C<sub>2</sub>)。这四个目标分别在 7 个通道内的响应值及标准离差(SD)见图 5。纵观 7 个通道的响应值,发现云和雪的响应值差异较大,但不论是“亮雪”与“亮云”或“暗雪”与“暗云”,都有一个规律:在可见光的 1, 2, 3 通道和近红外的 4 通道中,“亮雪”的响应值较其它各类要高得多。其余三类的均值很接近,加上较大的 SD,就互相混在一起,而在中红外的 5, 7 通道,两类云的响应值要比两类雪的高,尤其在 5 通道均值差异大,SD 小而使四个类型彼此能分开。在影像上的反映见图 6(封二)和图 7(封三)。

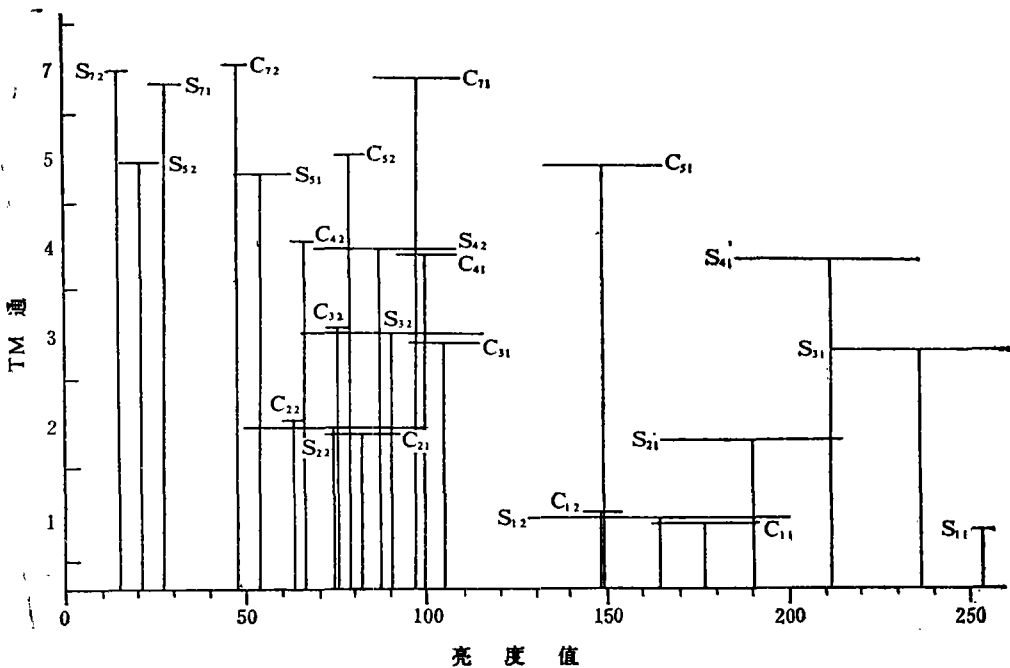


图 5 四个目标在陆地卫星 TM 七个通道内的响应值及标准离差

Fig. 5 The Response Value and the Standard Deviation of 7 Channels of Landsat TM of Four Objects

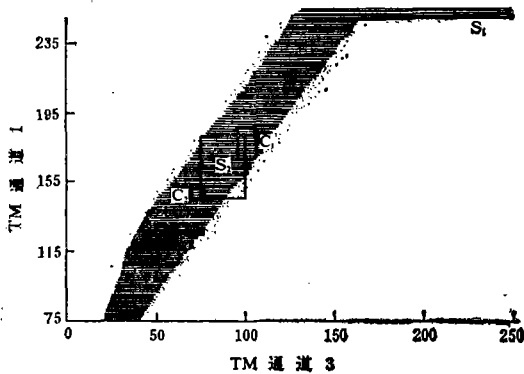


图 8 TM1, 3 通道组合特征平面中云 (C) 和雪 (S) 的像元分布

Fig. 8 Snow (S) and Clouds (C) Pixel Distribution on Characteristic Plane Composed by TM Channels 1 and 3

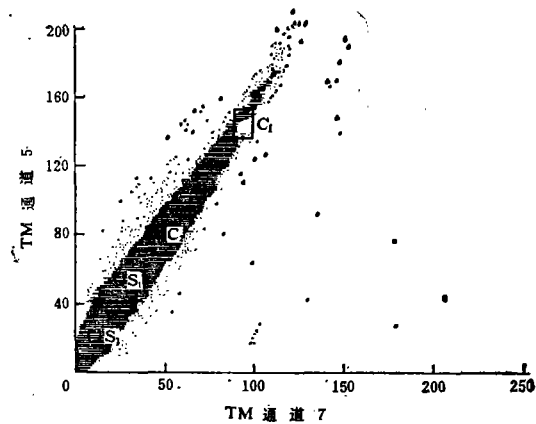


图 9 TM5, 7 通道组合特征平面中云 (C) 和雪 (S) 的像元分布

Fig. 9 Snow (S) and Clouds (C) Pixel Distribution on Characteristic Plane Composed by TM Channels 5 and 7

两图分别为 TM4 和 TM7 单波段图像。由图 6 看到, 在 4 通道雪比云亮, 而由图 7 (封三) 看到的则恰恰相反, 在 7 通道雪比云暗 (5 通道与 7 通道相似)。可见 TM5 和 TM7 适于区别云和雪。此外, 从二维通道组合特征平面的像元分布发现, 可见光三个通道的两两组合 (图 8 为 TM1 和 TM3 的组合), “暗雪”容易和“亮云”、“暗云”混在一起, 并且“亮雪”已使 TM1, TM3 (TM2 也一样) 在不同程度上达到了饱和; 而一个近红外和二个中红外波段的两两组合 (图 9 为 5, 7 波段的组合), 则两类积雪比两类云的响应值要低得多, 所以能有效地区分开。

根据上述情况, 为了进一步用 4, 5, 7 通道组合与 1, 2, 3 通道组合对云和雪进行可分性比较, 分别进行了监督与非监督分类。分类结果指出, TM4, 5, 7 通道组合的监督分类具有很好的云与雪的区分效果, 非监督分类效果略逊; 而 TM1, 2, 3 通道组合的监督与非监督分类均无法使云和雪分开。

## 四、结 语

(1) 用简单的光学仪器辅助判读获取雪盖面积的两种方法中, 直接法 (即把所有的雪线画下来) 对中小流域较为适用, 对大流域来说可考虑使用间接法 (即取点—平均雪线高度估计—面积换算), 因这样能省时和提高资料利用率。但最好开始一段时间里, 两种方法都用, 互相进行比较, 以便得出两种方法之间差异的统计关系, 从而进行合理修正。

(2) 在雪盖制图中, 对于陆地卫星在扫描过程中由于地球自转和扫描行列比例引起的图像几何形态扭曲所作的校正, 即去斜, 应该先于影像的投影校正, 这样用三次折积法计算的像元均值也许更趋实际。另外在输出结果中, 为使分类图件便于与其它地图配准, 可根据公里网格产生相应的经纬网。

(3) 云与雪的区别问题, 由于目前 NOAA 气象卫星和陆地卫星的资料其波长均在  $2.4 \mu\text{m}$  以下, 故不能进行垂直方向(即云盖下面的积雪)的区别。这将有待卫星遥感的微波资料来解决。

### 参 考 文 献

- [ 1 ] Mark, F. Meier, Evaluation of Imagery for Mapping and Detection of Changes of Snowcover on Glaciers NASA SP-327, 1973.
- [ 2 ] Sherstone, D. A., Snow Mapping in the Western Cordillera of Canada Using NOAA/VHRR Satellite Imagery. Meeting in Charlottetown, Prince Edward Island, 1976.
- [ 3 ] 曾群柱等, 我国西北若干种冰、雪及水体反射光谱特性的研究, 中国科学, B 辑, (4), 1984。
- [ 4 ] 曾志远等, 南京幅卫星图像 CCTs 数据的处理及其结果, 土壤学报, 17(2), 1984。
- [ 5 ] Kanemasu, E. T., Discriminating Between Snow and Clouds. U. S. Geological Survey, EROS DATA CENTER, Sioux FALLS, SD57198, 1982.
- [ 6 ] Barnes, J. C. and Smallwood, M. D., Synopsis of Current Satellite Snow Mapping Techniques. With Emphasis on the Application of Nearinfrared. Operational Application of Satellite Snowcover Observations. NASA Conference Publication, No. 391, 1975.

## A Study for Extracting Snow-cover Information from Satellite Remote Sensing Data

Chen Xianzhang

(Lanzhou Institute of Glaciology and Geocryology Academia Sinica)

### Abstract

In this paper, the methods of extracting information on snow cover, altitude of snow line and snow melt, snow classification and mapping are studied with satellite remote sensing images and digital data through optical interpretation and digital processing. Meanwhile, corresponding methods are appraised. The separability between snow and clouds are analysed using different data and processing methods.

陈贤章：从卫星遥感资料中提取雪盖信息的探讨

Chen Xianzhang: A Study for Extracting Snow-Cover Information from Satellite Remote Sensing Data



图7 TM7 通道影像

Fig. 7 Image of TM Channel 7

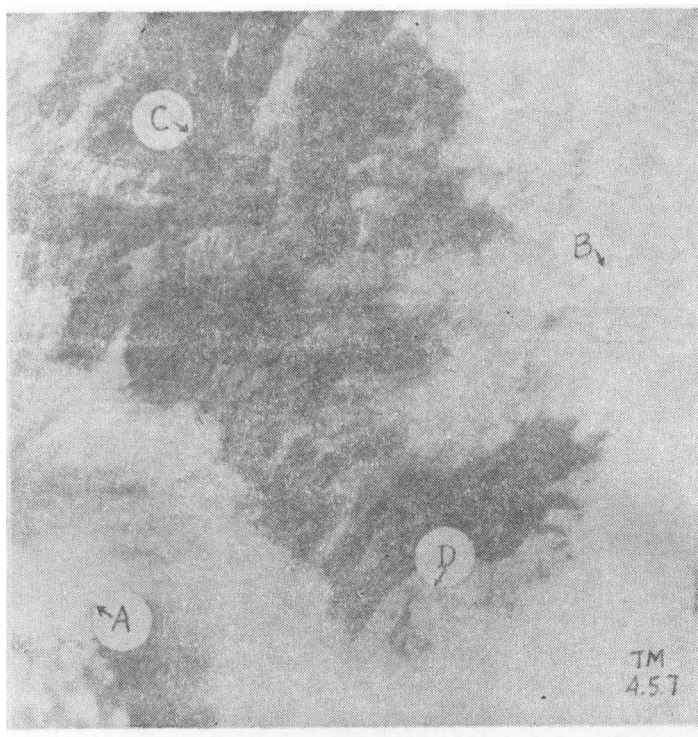


图 4 TM 4,5,7, 通道合成影像

Fig. 4 The Composite Image of TM Channels 4, 5 and 7



图 6 TM 4 通道影像

Fig. 6 Image of TM Channel 4