

南极 1:20 万大剖面卫星影像数字制图

孙家桢 林开愚 甘信铮 国晓港 李果 刘继琳

(武汉测绘科技大学中国南极测绘研究中心 武汉 430070)

摘要 本文论述了在缺少地面控制点的情况下,进行南极卫星影像数字制图的方法和技术。利用 TM 和 MSS 卫星影像数据,制作了从中山站至南极点大剖面考察区内的 1:20 万卫星影像图。

南极景观以冰雪地貌为主,冰雪在卫星影像上亮度极大,反差极小,导致条带噪声干扰严重。另一方面,裸岩地、海水与冰雪之间的反差又过大,细貌被压抑,这些又给影像处理造成很大困难,针对这些特点,本文叙述了从影像中提取噪声谱后利用方向滤波法消去条带噪声。基于自动识别理论进行分类增强,采用相关匹配和加权平滑法进行不同时期卫星影像镶嵌等几项特殊处理技术。

关键词 卫星影像,数字制图,南极大剖面,方向滤波,分类增强

1 中山站至南极点的自然概况

中山站位于南纬 $69^{\circ}22'$ 和东经 $76^{\circ}22'$ 的拉斯曼丘陵上,未来中国去南极点考察从这里开始,中山站至南极点全长约 2300km (见图 1)。

这里是东南极伊丽莎白公主地的英格丽特·克里斯泰逊海岸,为比高约 2000m 的大雪坡,夏季白天气温近海处约 $0-2^{\circ}\text{C}$,坡上 $-5-10^{\circ}\text{C}$,遇有雪暴下降至 $-20-30^{\circ}\text{C}$,每天有强烈的下降风,风速大至 11 级左右,沿东经 76° 往南是伊丽莎白公主腹地,开始地形略为平坦,在 300 多公里处 ($S72^{\circ}30'-S73^{\circ}30'$) 有一山峰林立的 Grove 山地,山下雪面高程约 2000m 左右,山峰高程达 3200m 左右。在 $S80^{\circ}-83^{\circ}$ 的区间要越过海拔 4000m 以上的高原,近南极点时地形相对平缓。除了拉斯曼丘陵和 Grove 山地有少量裸岩地外,全线冰雪覆盖,地貌也没有这两处复杂。反射电磁波的亮度很大,发射电磁波能量偏低。从相隔 20 来年的卫星影像上分析比较,该区大型地貌变化不大,地质构造的走向清楚,只是表面覆雪情况有所不同。

2 卫星影像数据的选择

南极地区测绘地图十分困难和艰巨,到目前为止大部分地区又没有详细和精确的地图,这给南极科学考察带来许多困难。本项工作是为了适应我国科学考察向南极内陆推进,弥补考察区内的地图空白。目前和未来用于南极制图的卫星影像主要有气象卫星影

收稿日期: 1994 年 5 月 6 日;收到修改稿日期: 1995 年 2 月 20 日

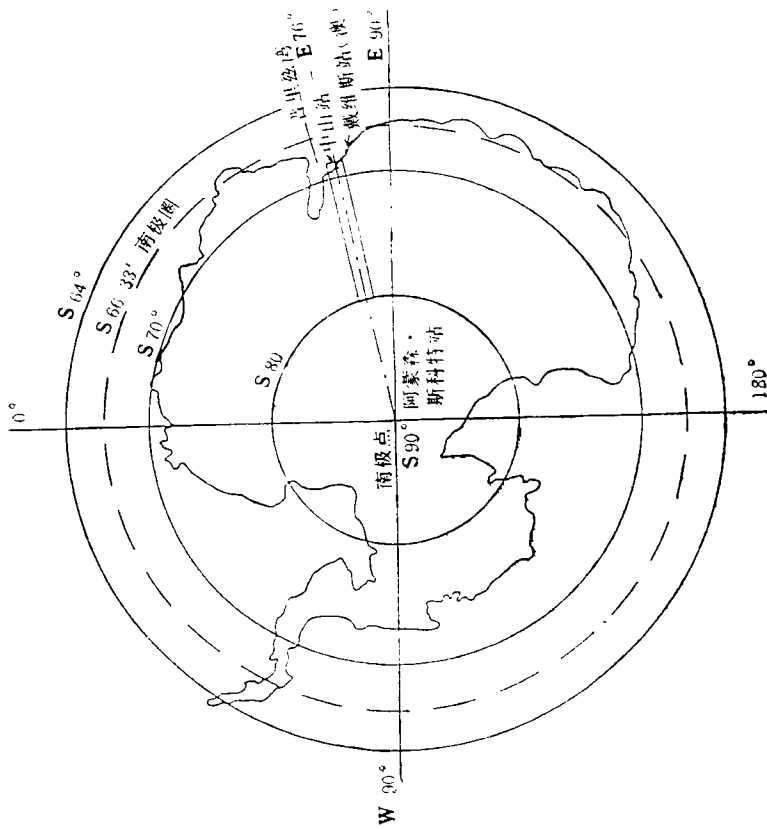


图 1 大剖面卫星影像在南极洲的分布

Fig. 1 The distribution of satellite image maps of greatprofile in Antarctica

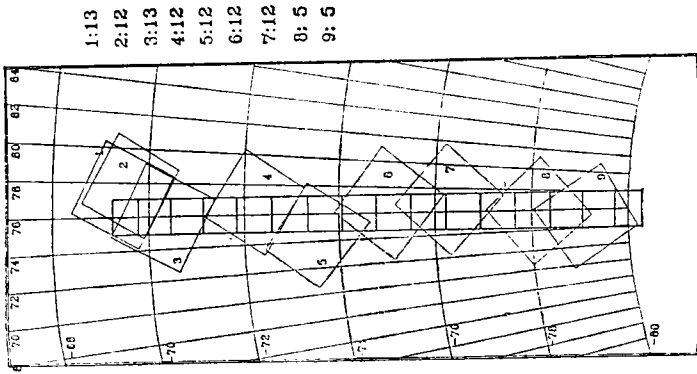


图 2 卫星资料和影像图分幅略图

Fig. 2 Satellite data and sketch of image maps

像、资源卫星影像和雷达卫星影像。由于它们的分辨力、数据量、价格和影像特性各不相同,适合于不同需要的制图目的。

我们这次为中山站和中山站至南极点大剖面考察制作的卫星影像图,一般地区选用 MSS 影像数据,重点地区如中山站和 Grove 山区等选用 TM 影像数据。

卫星数据从美国 EOSAT 公司购进的 CCT 磁带数据共 10 景。其概略位置如图 2 所示。80 年代和 90 年代的卫星影像数据是 Landsat 4/5 获取的。70 年代的卫星影像数据为 Landsat 1 所获取。

卫星降轨过南极上空为早上 7:00—8:00 间,升轨过南极上空为晚上 19:00—20:00 间。此次影像大多为降轨获取,其中 54—127 和 50—128 两景为升轨时获取,由于南极夏天为极昼,日不落,所以都能获取到白日影像,只是太阳方位角和高度角相差很大。

3 卫星影像的数字纠正

由于南极大陆绝大部分地区冰雪覆盖,交通气候条件恶劣,除了裸岩地区外,雪上测绘异常艰难,再则影像上很难找到与实地吻合的明显地物点,给影像纠正带来很多困难,为此我们用少量实测的地面控制点和裸岩区的明显地物点的地图坐标作为基本控制,由于这次制图是沿 $E76^\circ$ 的一长条形地区,原始的影像间具有重叠区域,中间的影像可利用重叠区域内的同名像点连接,结合星上测定的主点和影像点坐标,达到全线纠正成图的目的。

3.1 地图投影的选择

卫星影像是沿卫星轨道左右扫描而形成的一种所谓多中心投影影像,对它纠正时总要纳入某种地图投影,一般在极区大多采用极地立体投影,由于这次任务是沿 $E76^\circ$ 左右各 40km 的一条窄长带内成图,采用横轴圆柱投影比较理想,中央子午线选在 $E76^\circ$,影像图的变形将最小。实际选用了高斯投影,高斯坐标系原点在中央子午线 ($E76^\circ$) 与赤道的交点,为了防止中央子午线左边的 X 坐标出现负值,按惯例将坐标系西移 500km,又因南极在赤道以南, Y 坐标都为负值,为此坐标系再南移 10000km (图 3)。南移后带来的另一个好处是,图上的 Y' 坐标减去南极点至原点的 Y' 坐标差(为一常数)就得到所在影像点至南极点的距离,在去南极点考察中可以很快地确定所在位置到极点还有多少距离。

3.2 利用实测地面控制点纠正中山站幅卫星影像

在中山站所在的拉斯曼丘陵地区进行航空摄影时实地测定了约 100 多个地面控制点,因相对区域较小,只选择其中 7 个明显地物点作为 124—109 幅中山站区部分影像的纠正点。到过实地又在航空像片的对照下,选刺的控制点的精度保持在一个像元中。

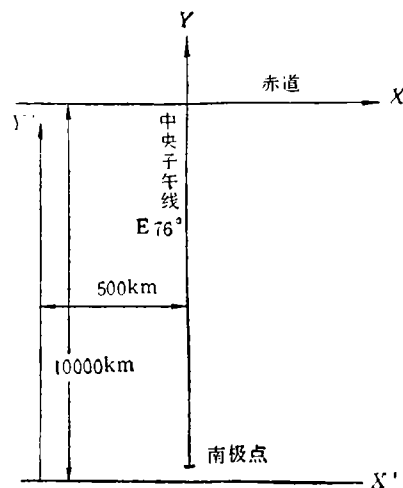


图 3 坐标系

Fig. 3 Coordinate system

TM 影像的构像方程为:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_p = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_s + \lambda A_1 R_0 \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -f \end{bmatrix} \quad (1)$$

影像已经粗加工处理,消除了大部分系统误差,残余的系统误差和偶然误差约在 200m 以内。纠正时采用多项式拟合法,为防止控制点偏差引起高次扭变,采用一次项拟合,仅改正影像的平移、旋转和仿射变形。影像采用间接法纠正。

经最小二乘法平差后的残差

$$\delta_x = 12.45\text{m}, \delta_y = 12.26\text{m}。$$

纠正后的 124—109 幅影像作为沿 76° 的大剖面上的第一个基控影像。

纠正过程中产生重采样问题,因重采样后的像元面积提高为 $20\text{m} \times 20\text{m}$,对 3 种重采样方法进行试验结果:邻元法重采样显得像元之间的变化较生硬,双三次卷积计算工作量大,况且南极冰盖影像单调,最后选用双线性内插法进行重采样,内插式为:

$$I_p = \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 I_{(i,j)} \times W_{(i,j)} \quad (2)$$

采用三角形函数确定权:

$$W_{(c)} = 1 - X_c \quad 0 \leq |X_c| \leq 1 \quad (3)$$

3.3 利用星上测定的坐标纠正影像

MSS 和 TM 影像数据磁带头文件中都列有像幅中心和其它位置的影像点坐标。TM 一般为 5 个点,除了像幅中心外,还有 4 个角点的坐标,经多项式一次项拟合并经平差计算后的残差为 $\delta_x = 76.00\text{m}$, $\delta_y = 105.47\text{m}$ 。

根据其它几幅 TM 影像的平差结果以及图内 TM 影像测定看,其总残差不超过 160m,说明 TM 影像点的相对位置精度较好。

经与澳大利亚 Grove 山地幅地图对照,利用明显的裸岩目标,量测的坐标与影像坐标比较,122—112 幅纠正后的绝对误差 Y 方向为 +660 米, X 方向为 +460 米,旋转方向为 0。由于 Landsat 4/5 上采用了 GPS 测定卫星坐标,其定位精度相对用星历表推算的定位精度要高得多。将 122—112 幅影像坐标平移上述的绝对误差值,作为东经 76° 上的另一个基控影像。

MSS 头文件中有 25 个已知点的坐标值,纠正后总的残差为 $\delta_x = 161.76\text{m}$, $\delta_y = 91.58\text{m}$ 。由于采用预估的星历表推算这些已知点坐标,其绝对精度较差,在 2—8km 之间,(利用与基控影像之间的重叠区内的明显影像点测定)。

最后是利用大剖面上各幅影像之间的重叠影像为依据,作相对基控影像的归正处理,使大剖面上各幅影像的绝对精度都能满足 1:20 万影像图的制图要求。MSS 131—110 幅与 TM124—109 幅影像作归正处理后的残差为 $\delta_x = 1.5$ 个像元, $\delta_y = 2.0$ 个像元(像元大小都为 $20\text{m} \times 20\text{m}$),各影像之间的重叠情况见图 2。每幅影像图的大小为 $80\text{km} \times 80\text{km}$,图上布上 10km 间隔的公里格网和经度差 1° ,纬度差 $15'$ 的经纬网,计划考察路线东经 76° 在其正中央,晒制成 1:200 000 比例尺的单彩色影像图共 16 幅。由于 Landsat

卫星只能获取到南纬 81° 以北的影像, 因此南纬 81° 至 90° 的影像待今后利用极轨卫星的雷达影像来完成。

3.4 影像镶嵌

在中山站至南极点制图区域内, 如图 1 和图 2 所示, 南纬 80° 以内就有 10 景不同时间和不同类型传感器获取的影像, 有些影像间的时差达 18 年之久, 影像连接处需进行影像之间的镶嵌。由于两幅影像的基色调和反差不一致, 拼接后的图面会出现两部分影像明显的色调差和拼接边界线。

数字镶嵌的任务除了进行几何配准, 图面拼接外, 应使图面色调和反差协调一致并消去明显的拼接边界线。

几何配准和图面拼接是在两幅影像分别作精纠正处理的基础上进行, 坐标已统一, 比较容易实现相拼, 只需对残余误差利用明显的同名像点进行平差改正即可。而色调、反差和消除拼接边界线的问题则需作多项处理。

① 搜索镶嵌边界线 镶嵌边界线在影像的重叠区内选择, 希望由上、下或左右像片亮度最接近的点组成, 它将是一条曲线, 在南极地区由于景物单调, 形成近似折线(图 4)。用一维模块搜索法寻找每行上的镶嵌点, 假定重叠区宽度为 K , 一维模块的长度为 W , 模块中点在左右影像上的像元号为 T , 从 T 开始由左向右移动模块、采用差分法进行搜索;

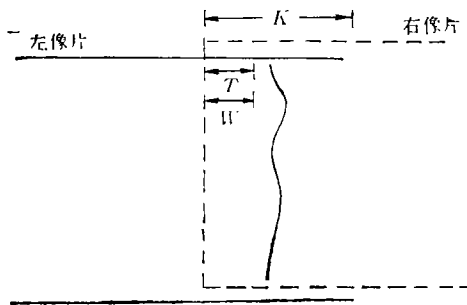


图 4 影像数字镶嵌

Fig. 4 Digital mosaic between images

的镶嵌点, 假定重叠区宽度为 K , 一维模块的长度为 W , 模块中点在左右影像上的像元号为 T , 从 T 开始由左向右移动模块、采用差分法进行搜索;

$$D_{(i),n} = \sum_{-W/2}^{W/2} |L_{(i+j),n} - R_{(i+j),n}| \quad (4)$$

式中: $D_{(i),n}$ 为模块中左右像片差分之和的绝对值; i 为左右像片的像元号从 T 开始至 $(T + K - W)$; n 为行号; j 为模块中的像元号; $L_{(i+j)}, R_{(i+j)}$ 为左右像片像元的亮度值。在一行中 $D_{(i)}$ 有 $K - W$ 个, 其中最小值 $D_{(i),min}$ 为镶嵌边界点。

② 增强 找到镶嵌边界线后, 需对两个影像中的一个影像进行反差调整, 使被镶嵌的影像之间色调和反差一致。方法是先求出边界线上的最大、最小和平均亮度值, 如表 1 列出了 122—111 幅影像与 122—112 幅影像镶嵌边上的最大、最小和平均亮度值。将 122—111 整幅影像加上二个影像的平均亮度值差:

表 1 镶嵌边界线的最大、最小和平均亮度值
Table 1 Brightness Values of mosaic edgeline

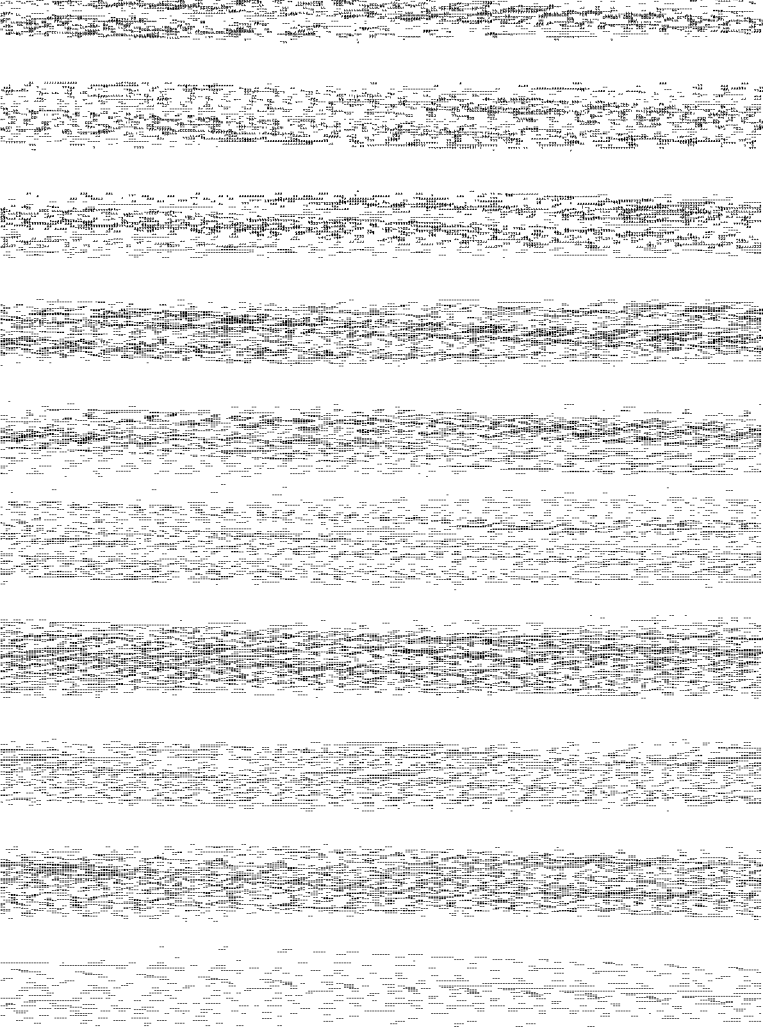
影像号	D_{min}	D_{max}	D_{ave}
122/111	0	158	74.74
122/112	0	220	76.63

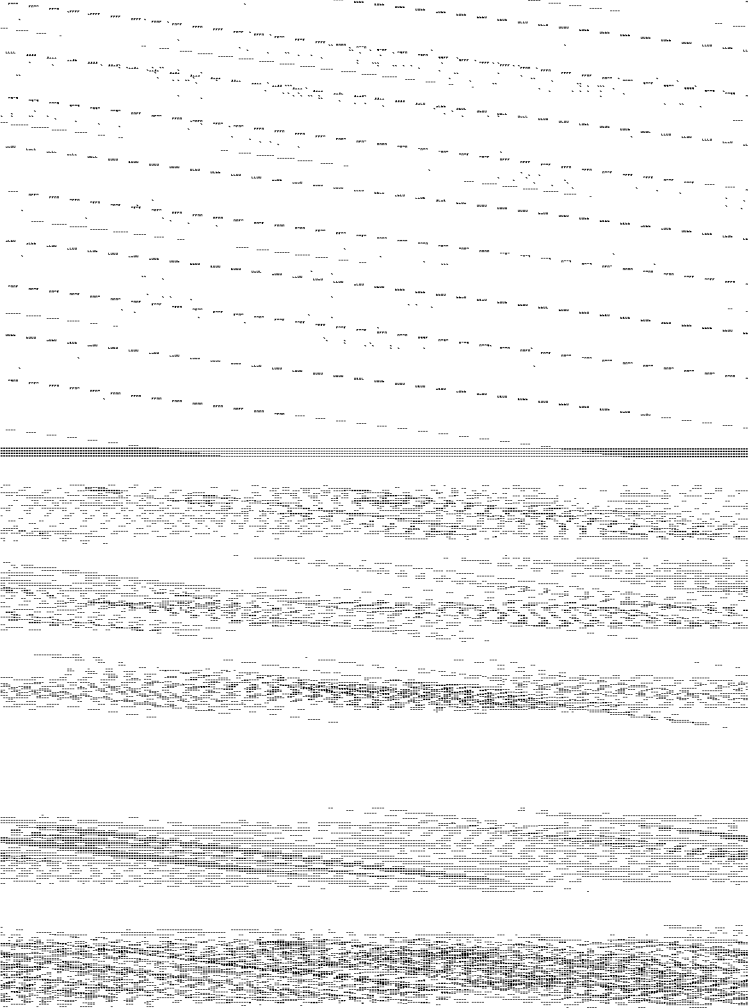
$$R^{III'} = R^{III} + (R_{ave}^{III'} - R_{ave}^{III}) \quad (5)$$

然后对 122—111 幅影像进行反差拉伸

$$R^{III''} = AR^{III'} + B \quad (6)$$

③ 平滑边界线 虽经增强, 但两幅影像的边界线仍很明显。为了消去镶嵌边界线,





量测计算机图像监视器上显示的影像，各波段对南极地区冰貌表达的特点如表 2 所列。

表 2 TM 影像各波段的波长范围及其显示特征
Table 2 Wave length range and display feature

TM 通道	波长范围 (μm)	显 示 特 性
1	0.45—0.52	雪和冰的亮度值均为 225, 冰雪与裸岩地、海水的界线明确
2	0.52—0.60	雪上地形有微弱显示, 薄浮冰与海水有差别
3	0.63—0.69	雪上地形显示较好, 冰与雪有差别
4	0.76—0.90	雪上地形显示良好, 陆冰、海冰区分明显
5	1.55—1.75	裸岩地与水, 裸岩地与冰雪区分明显, 雪的溶解状况显示良好
6	10.4—12.5	雪表面辐射温度分布层次多
7	2.08—2.35	与 TM5 相近

根据表 2 所列特点分析, 制作南极地区的卫星影像图, 选用 TM4、3、2 三个波段为佳。但极大部分地区是冰盖雪原, 反射亮度过大, 同类地物反差小, 不同类型地物之间反差又过大。以 TM4 为例, 统计中山站地区的影像直方图, 如图 10(a) 所示。可见冰雪亮度大, 频率高, 反差小; 海水、裸岩地和海中漂浮的薄冰与冰雪的反差又过大。若将冰雪部分向高、低亮度两个方向拉伸, 见图 10(b), 虽雪貌反差被增强, 其它地物的反差和亮

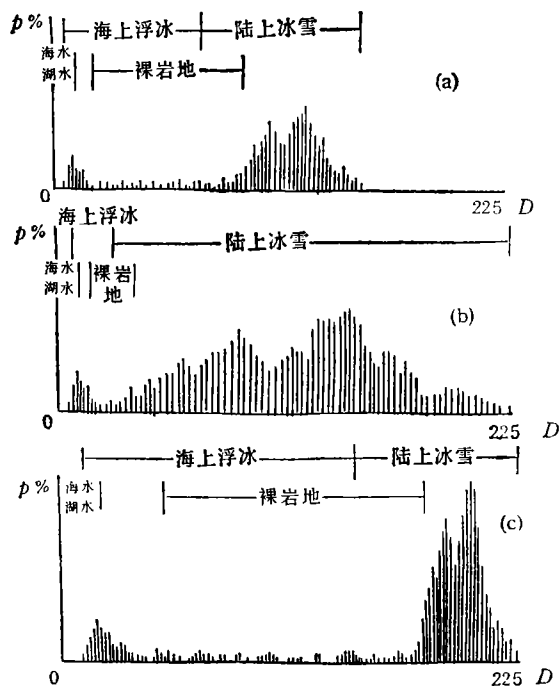


图 10 增强前后的直方图

Fig. 10 Histogram before and after enhancement.

度都变得太小,在光学影像上都成黑色调,目视无法分辨。反之若将裸岩地拉伸反差,见图 10(c),则雪貌反差变小,亮度变高,在光学影像上变成一大片亮白色。简单的增强处理,只能强调某种地物,而使其它地物模糊,为使影像图上各类地物都能达到理想的反差和亮度,以满足各专业用图要求,必须将一些地物提取出来作单独反差增强。采用图像识别方法可以实现这种特殊的增强处理。

南极地区地物相对简单,可粗分为三大类:第一大类为冰雪,分布范围大,包括冰盖,冰川,冰架,冰山等等;第二类为裸岩地,中山站地区分布于沿海半岛和岛屿上的岩体裸露,除了极小面积的苔藓、地衣外,无植被,有淡水湖泊;第三类为海水。它们的光谱特性相差很大(图 11)。

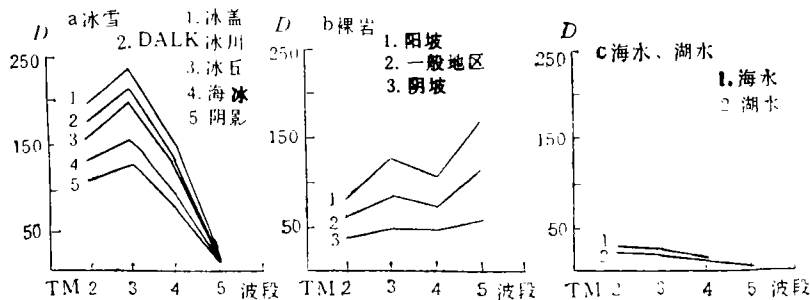


图 11 南极地区三类地物光谱响应曲线

Fig. 11 Response spectral curves of three ground features in Antarctica

图像识别时采用最大似然法分类,仅需提取裸岩地和海水两类地物,余下的都是冰雪区。根据贝叶斯法则,鉴别函数为:

$$D_i(x) = P(x/i)P(i) \tag{15}$$

分类结果与实际地物比较产生的混淆矩阵如表 3 所列。

从分类结果分析,裸岩地与海水没有混淆现象,裸岩地与冰雪的混淆主要是裸岩上覆盖的残雪,对冰盖大陆及海冰并无混淆;海水与冰雪的混淆主要是与将要全融化的海冰混淆,都不影响局部和整个影像的反差增强处理。

先单独对裸岩地作平移和反差拉伸,并统计直方图,见图 12(a),这时裸

岩地亮度与冰雪相近,反差比较小。图 12(b) 是对整幅影像再作分段线性拉伸后的直方图,裸岩地与冰雪的反差同时被拉大,两者的细貌都得到很好的显示。由于它们的光谱特征相差很大(见图 11),TM4、3、2 三个波段作假彩色合成后,裸岩地为红色,雪地为青色,这时海水三个波段上反射亮度都较低,呈黑色,从图 12(b) 上可看到,海中漂浮的薄浮冰区与海水亮度相近,也为黑色调,为了将它们区分开,对海水作着蓝处理,根据分类后提取的海水,在三个段上分别给它赋一个亮度值,对普里兹湾着蓝为: TM4 ⇒ 50,

表 3 混淆矩阵

Table 3 Confusion matrix

分 类 实际类别	裸 岩 地	海 水
裸 岩 地	89.4	0
海 水	0	95.4
冰 雪	10.6	4.6

TM3 \Rightarrow 50, TM2 \Rightarrow 200。这样海洋呈亮蓝色,与整幅影像色彩协调,并使大片薄浮冰区从海水中衬托出来,对于研究海冰分布和消融特点十分有利。

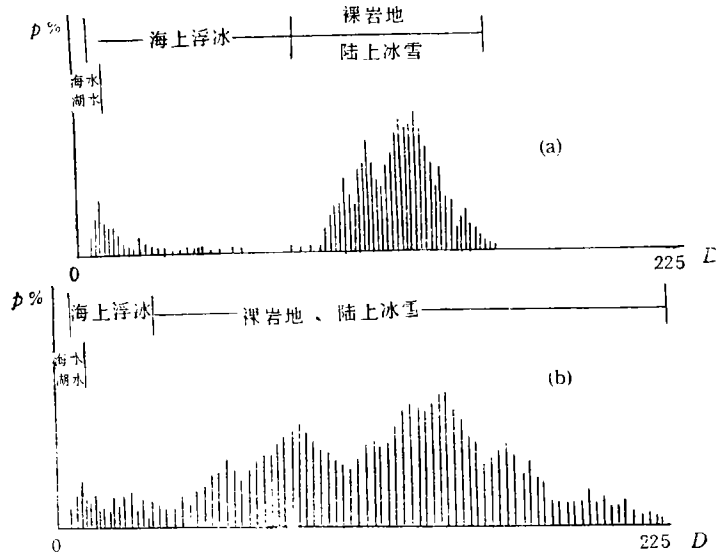


图 12 基于图像识别后影像增强的直方图

Fig. 12 The histogram based on image recognition after image enhancement

图版 I 图 13 为经上述各项处理后输出的南极中山站地区的彩色卫星影像图的一部分,比例尺已放大至约 1:160 000,布有 10km \times 10km 的格网。

5 结论

(1) 采用星上姿态数据分幅纠正卫星影像后,再利用基控影像结合重叠影像区作航带连接的统一归正处理,是克服南极地区卫星影像上地控点稀少,提高成图精度的有效方法。

(2) TM 和 MSS 探测器响应不一致产生的条带噪声,直接影响南极地区卫星影像图的成图质量。从大片高亮度平坦雪区的影像中提取噪声谱,通过方向滤波压抑了强烈的条带噪声。

(3) 基于图像识别的分类增强技术,能使南极地区影像图清晰地显示各类地物的细节信息,提高其可判读性。

参 考 文 献

- [1] Robert M. Satellite remote Sensing of polar regions. Scott research institute (London), 1991.
- [2] Brooks R L, Campbell W J, Ramseler R O, et al. Ice sheet topography by satellite altimetry. Nature (London) 1978, 274, 539-43.
- [3] Ferrigno J G, Williams R S. Limitations in the use of Landsat images for mapping and other purposes in snow and ice covered regions: Antarctica, Iceland and Cape God. Massachusetts, proceedings of the seventeenth international symposium on Remote sensing of envi-

- ronment. Environmental research institute of Michigan, Ann Arbor, MI, 1983. 1. 355—55.
- [4] Jörn sievers, Andreas Griudel. Digital satellite image mapping of Antarctica. institut für Angewandte geodäsie federal republic of germany, 1989.
- [5] D K 霍尔, J 马丁内克, (顾钟伟等译), 冰雪遥感(美国), 兰州: 甘肃科技出版社, 1991.
- [6] 王之卓. 摄影测量原理. 北京: 测绘出版社, 1986.
- [7] 杨凯, 孙家柄, 等. 遥感图像处理原理与方法. 北京: 测绘出版社 1988.

The Digital Mapping Great Profile Zone of Antarctica in Scale 1:200 000 produced with Satellite Images

Sun Jiabing Lin Kaiyu Gan Xinzheng Guo Xiaogang Li Guo Liu Jilin
(Chinese Antarctic Reseach Center of Surveying and Mapping, Wuhan Technical
University of Surveying and Mapping)

Abstract For lack of detailed and accurate maps, it makes reseach work in antarctica difficult. Using TM and MSS imagery, the photographic maps in scale 1:200,000 of Greate Profile zone from Zhongshan Station to Antarctica Pole have been completed, These maps provide strong support to Chinese investigation in Antarctica.

There is description of methods and technologies for digital mapping of Antarctica in present paper.

Ice and snow dominate the land features in Antarctica. the great brightness and poorcontrast of ice and snow and streaking noise in satellite images make the procedure of image processing difficult. On the other hand however, the contrast between bare rock land/sea water and ice/snow is so high that the details of images will be overcompressed.

In the light of characteristics of satellitè image in Antarctica, a filtering to remove streaking noise has been discussed. Based on automatic identify classification to enhance the details of objects and the methods and theory of digital rectification of satellite images using satellite positioning data and ground control points measured from field survey are also presented.

Key words Satellite image, digital mapping, great profile zone of Antarctica, direction filtering, classified enhancement.