

高浓度盐湖水深遥感研究

田淑芳¹, 洪友堂¹, 秦绪文^{1, 2}

(1. 中国地质大学, 北京 100083; 2. 中国地质调查局, 北京 100011)

摘要: 在水体遥感理论的基础上, 利用相关分析方法确定了 TM3 是调查盐湖水深的最佳波段; 对高浓度扎布耶盐湖水深进行了定量研究, 揭示了扎布耶盐湖水深的空间变化规律, 建立了高含盐量盐湖水深的遥感模型。
关键词: 水深; 遥感; 相关分析; 模型
中图分类号: TP 79; P 332.3 文献标识码: A 文章编号: 1001-070X(2006)01-0026-05

0 引言

水深遥感国内外都有过研究, 但主要集中在沿海及内陆淡水水域, 并未见有对高浓度盐湖卤水的波谱测试和波谱信息, 只是有人在实验室条件下, 对低浓度单一成分(含 NaCl)盐水的波谱进行过测试性研究^[1]。本项研究以西藏扎布耶盐湖为例, 直接从 TM 图像中提取和认识高浓度复杂成分卤水的波谱信息, 并将其与低浓度单一成分盐水的波谱信息进行区分, 对水深作出定量分析, 参考文献[2~5]建立了遥感信息模型, 取得了一定的效果。

1 研究区概况

扎布耶盐湖位于日喀则地区仲巴县隆格尔区仁多乡境内, 其地理坐标为: 东经 83°57'~84°15', 北纬 31°27'~31°34'。该湖地处高寒、偏僻地带, 湖面海拔高度约 4 421 m。湖盆为北北西、近东西和北东向三组断裂控制的构造断陷盆地, 呈南北方向延伸。湖区中、西部沿断裂方向有大规模钙华堆积, 并露出水面, 形成钙华岛, 同砂砾岩湖间堤相接, 将湖分为南、北两部分。北湖为卤水湖, 面积约 100 km², 水深数米; 南湖固液并存, 面积约 150 km², 水深 0~2 m。湖区为高寒半干旱气候区, 年平均气温 1℃, 年较差、日较差都大, 年降水量为 192.6 mm, 年蒸发量为 2 269.1 mm。湖盆为封闭内流盆地, 接受河水、大气降水和地下水补给, 以大气降水为主。

2 数据预处理

2.1 数据获取

数据获取分为非遥感数据获取和遥感数据获取两部分。非遥感数据, 即卤水厚度数据, 为地质科学院实地采集数据, 数据采样时间为 2000 年 1 月, 采样间隔为 2 km; 遥感数据的选取应尽量与实测数据一致, 但由于 2000 年 1 月的遥感数据云量太多, 这里选取 2000 年 2 月 15 日 TM 图像。

2.2 数据预处理

这里的数据预处理主要包含大气校正、几何校正和研究区域提取。大气校正选用直方图调整法; 几何校正采用二次多项式进行坐标转换, 用立方卷积法进行灰度重采样, 对坐标转换的精度控制在 0.5 个像元内; 研究区域的提取(盐湖水体的提取)是在 ArcView 中, 对校正后的 TM7 波段进行水迹线的提取, 并对提取的水迹线建立掩膜(MASK), 通过掩膜获得所有波段的扎布耶湖泊水体对象。

对实测数据的处理与分析是基于 ArcView 3.3 进行的, 主要包括采样点点位、采样点与遥感影像的叠加、采样数据的加密与生成等值线图, 目的是为了更好地与遥感影像套合, 从定性角度寻找与信息相关性强的遥感波段。主要用到了反向距离权插值(IDW)和样条插值方法。插值的时候只取与待插值点临近的 4 个点参与计算, 这样得到的实际测量数据的水深空间分布等值线图能直观、半定性半定

量地反映卤水水深的空间分布状况及其变化趋势，为方法研究提供了重要依据和检验标准。



图 1 扎布耶盐湖 2000 年水深等值线分布

3 波谱信息提取

首先，从扎布耶盐湖(北湖)中选取多个有代表性的观测点与 TM 图像各波段相叠合；然后，读取每个观测点在每个波段图像上的亮度值，并作出波段特征曲线图 2。

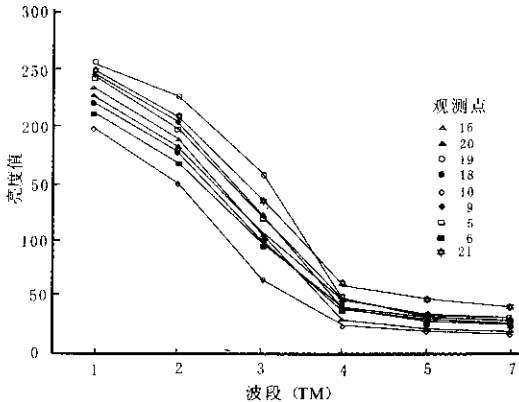


图 2 扎布耶盐湖(北湖)不同观测点波段特征

图 2 反映的波谱信息有：①所有的观测点，其图像亮度值依 TM1 ~ TM5、TM7 波段顺序，由高到低，到 TM7 波段亮度值接近于零；②所有的观测点，在可见光波段(TM1、TM2、TM3)的亮度值要远大于近红外波段范围(TM4、TM5、TM7)的亮度值，这样，6 个波段明显地分成可见光和近红外两个组；③不同卤水浓度的观测点，其亮度值有差异，在可见光组差异大，而近红外组差异小。

万方数据

4 卤水光传播物理模型

如果从卤水对光波传播机理来认识，在没有有机质和悬浮物的洁净卤水中，它的光传播物理概念模型可以是：

$$ND_{总} \approx A_{表} + B_{底} + C_{干扰}$$

式中， $ND_{总}$ 为卤水总反射亮度值； $A_{表}$ 为卤水表面的反射亮度值； $B_{底}$ 为湖底物质的反射亮度值； $C_{干扰}$ 为卤水表面波纹等反射亮度值。即 TM 图像每个像元获得卤水的总反射亮度值 $ND_{总}$ 可以近似地认为由卤水表面反射、底层物质反射和表层干扰反射 3 大部分组成(图 3)。

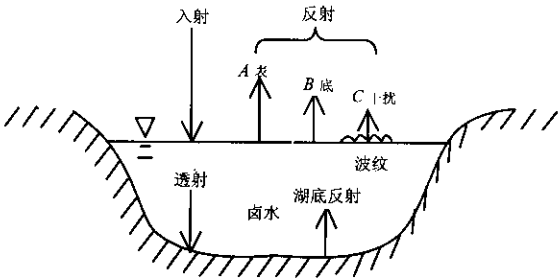


图 3 卤水光波传播机理示意

当水深和光波波段一定时， $A_{表}$ 主要由湖表卤水浓度和成分决定； $B_{底}$ 主要由湖底物质性状等决定； $C_{干扰}$ 主要由卤水表面波纹性状等决定。

由卤水波谱特征曲线和物理模型不难看到，用 TM 图像研究高浓度复杂成分卤水是可行的，但要得到所希望的结果，从湖表卤水反射光波中提取和分离出有用信息是必不可少的。

5 水深遥感信息提取方法

从波谱特征曲线(图 2)和物理模型(图 3)可知，对同一观测点而言，随着波段的不同，其反射亮度值也不同，且按 TM1 ~ TM5、TM7 波段顺序由强到弱。对同一波段而言，不同观测点的亮度值会随水深的不同而变化，由此建立了水深与 TM 波段之间的联系。为确定最佳探测波段，这里作如下相关分析：

首先，建立图像亮度值与水深的直角坐标系(亮度为横坐标、水深为纵坐标)。在该坐标系上，对每一波段作所有观测点的散布图，得到 6 个波段(TM1 ~ TM5、TM7)的观测点散布图；然后，分析散布图状况，剔除孤立点或贡献小的点，将留下的点群(称控制点群)作相关拟合，得到拟合曲线、方程、相关系数、反演值表和误差；最后，对比 6 个波段与水深的

相关程度,选取最佳水深探测波段。

5.1 水深相关分析

基于前面介绍的相关分析法,对亮度值与水深进行了图 4 所示的分析。

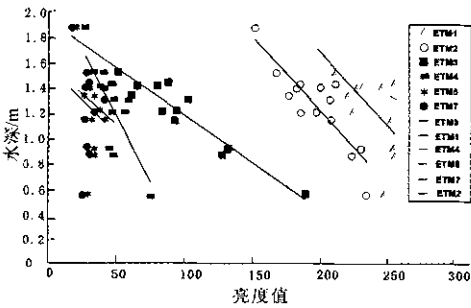


图 4 各波段亮度值与北湖实测水深的相关分析

通过对水深单变量的相关分析,可以看到,在 TM 的 6 个波段中,与 TM3 相关系数平方达到 0.5 左右(表 1),明显高于其它几个波段。也就是说,通过这种最简单的相关分析,发现对水深信息响应最显著的是 TM3(红光)波段,而不是理论上对水体透射最强的 TM1(蓝光)、TM2(绿光)波段。

表 1 水底反射特征波段分析

TM 波段	相关系数 R^2	南北湖总拟合 R^2	TM 波段	相关系数 R^2	南北湖总拟合 R^2
TM1	0.034 5	0.107 5	TM4	0.293 6	0.367 7
TM2	0.052 6	0.000 5	TM5	0.248 9	0.136 7
TM3	0.450 6	0.567 4	TM7	0.187 0	0.106 4

5.2 水深提取方法

通过上述分析,发现水深与 TM3 波段的相关性最好,且与 TM3 波段的像元亮度值呈线性负相关,如图 5、6 所示。

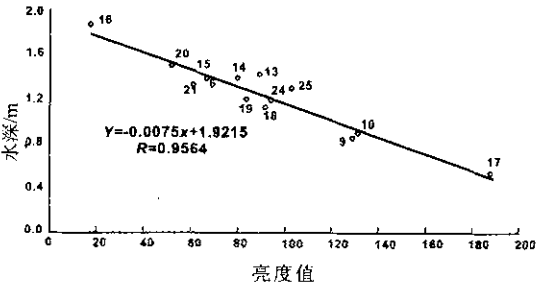


图 5 TM3 亮度值与水深相关图(北湖)

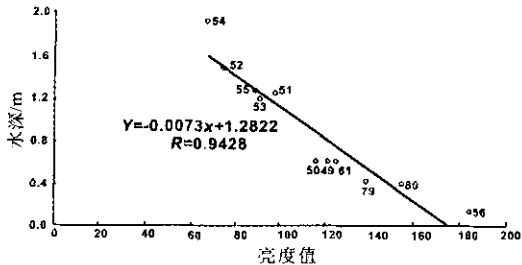


图 6 TM3 亮度值与水深相关图(南湖)

据此,反演出北湖和南湖水深如表 2、3 所示。

表 2 水深反演值(北湖)

控制点号	TM3	实测值/m	反演值/m	绝对误差/m	相对误差/%
6	67	1.390	1.419	0.029	2.086
9	129	0.860	0.954	0.094	10.930
10	131	0.900	0.939	0.039	4.333
13	89	1.430	1.254	-0.176	-12.308
14	80	1.400	1.322	-0.078	-5.571
15	66	1.400	1.426	0.026	1.857
16	17	1.870	1.794	-0.076	-4.064
17	188	0.540	0.512	-0.028	-5.185
18	92	1.130	1.232	0.102	9.026
19	84	1.200	1.292	0.092	7.666
20	52	1.510	1.532	0.021	1.391
21	61	1.330	1.464	0.134	10.075
24	94	1.200	1.216	0.016	1.333
25	103	1.300	1.149	-0.151	-11.615

表 3 水深反演值(南湖)

控制点号	TM3	实测值/m	反演值/m	绝对误差/m	相对误差/%
49	120	0.300	0.406	0.106	35.333
50	116	0.300	0.435	0.135	45.000
79	138	0.210	0.275	0.065	30.952
61	124	0.300	0.377	0.077	25.667
51	97	0.620	0.574	-0.046	-7.419
52	74	0.740	0.742	0.002	0.270
53	90	0.600	0.625	0.025	4.167
54	67	0.950	0.793	-0.157	-16.526
55	88	0.630	0.640	0.010	1.587
56	183	0.070	-0.054	-0.124	-177.143
60	153	0.200	0.165	-0.035	-17.500

用上述 TM3 波段图像和控制点线性方程反演北、南湖(水域)所有空间点的水深,形成扎布耶盐湖反演水深空间分布图像(图 7)。



图 7 2000 年扎布耶盐湖水深反演值(附观测点、点号)

为便于观察分析,对图7作彩色密度分割,形成彩色密度分割图(插页彩片4)。对比该图和水深等值线图(图1),可以看到水深的多中心分布及其变化趋势。北湖有3个水深中心(第16、20、12点);南湖有一个水深中心(第54点),水深空间展布规律的反演与实测结果完全一致。其中,北湖呈现出北、中、南由深至浅的3个带状分布,南湖呈现出由中北部水深中心向四周变浅的环状分布。水深彩色密度图比水深等值线图反映更多、更真实的水深细节。如北湖的周边和中部水深过渡带、南湖的周边和东部钙华岛附近等。遥感探测的最大水深北湖为1.92 m,南湖为1.28 m。

5.3 误差分析

统观盐湖控制点的水深误差(北湖 $R > 0.497$,南湖 $R > 0.553$,检验相关系数置信限 $\alpha = 0.05$),检验控制点水深误差。北湖的绝对误差在0.016 ~ 0.176 m之间,主要控制点的误差在0.016 ~ 0.076 m之间;南湖的绝对误差在0.002 ~ 0.157 m之间,主要控制点的误差在0.002 ~ 0.046 m之间。不过,第54号控制点误差(0.157 m)较大。统观北、南湖控制点水深误差,一般在几厘米左右,应该是可接受的。

通过以上分析不难发现,水深误差的绝对值大小或在散布图中的离散程度,都与控制点的空间分布有关。无论北湖还是南湖,湖周边浅水区要比湖中深水区的误差大,或者在散布图分析过程中,由于浅水区中的点过于离散而被剔除掉。在北湖中部的水深过渡带(第14、19、25、13、18点),误差比北部和南部两个带的误差要大;南湖水深中心的东北侧(54点附近)要比西侧、南侧的误差要大。这些误差的空间变化究其原因有以下几个方面:

(1)扎布耶盐湖湖底物质性状不均匀。盐湖周边有些地段有淡水补给,有些地段有泥沙和盐的混合沉积物,有些地段盐结晶较好等等。另外,在北湖的中部过渡带,由于有断裂泉水补给和钙华不均匀堆积,使湖底物质性状变化较大,这给遥感和实测带来了误差。

(2)观测点间距(2 km)过于稀疏和实测方法误差较大。当湖底物质性状不均匀(如钙华堆积多变地段)时,观测点的代表性就会大大降低。另外,实测水深受测量方法影响较大,若用传统的乘船标杆测量,那么湖面波浪和湖底物质性状引起的误差都在厘米级以至分米级。

(3)遥感方法和实测方法空间分辨率不匹配。TM图像的空间分辨率是30 m × 30 m,其亮度值是该

像元范围内的平均值。当湖底物质性状不均时,可能在900 m²范围内就有很大变化,而实测值可能是1 m²范围内的值,代表不了一个像元范围内的实际情况,这就产生了实测点和遥感探测值由于空间分辨率不匹配而引起的误差。当然,若湖底物质性状均匀,这种误差会很小。

(4)卤水盐含量不同引起误差。对于同一水深,当卤水中盐含量不同时,会引起TM3波段亮度值的变化,从而带来遥感水深误差。

6 水深遥感模型

扎布耶盐湖水深探测遥感模型为

$$Y = -aX + b$$

式中 X 为TM3波段图像像元亮度值; Y 为盐湖水深; a 、 b 为系数(正值)。

系数 a 、 b 可由一组实测样本来确定,它适用的条件是洁净、高浓度复杂成分卤水以及尽量均匀的湖底物质性状。所谓“洁净”是指卤水中没有有机质和悬浮物;所谓“均匀”是指湖底物质性状分布尽量均匀,如果不能达到全区均匀,可以分区块均匀。

7 结论

(1)通过相关分析,确定TM3是提取盐湖水深的最佳波段。

(2)扎布耶盐湖水深呈多中心分布,北湖有3个,南湖有一个;遥感探测的最大水深北湖为1.92 m,南湖为1.28 m;南湖有明显的退化趋势,地面补给不发育,水体蒸发量大于补给量。

(3)建立了高含盐量盐湖水深的遥感模型。经过对实测点数据的相关分析,建立了拟合方程,根据拟合方程对图像进行反演,反演结果与实测结果基本一致。

参考文献

- [1] Bhargana D S, Mariam D W. Cumulative effects of Salinity and sediment concentration on reflectance measurements[J]. INT. J. Remote Sensing, 1992, 13(11): 2151-2159.
- [2] 张东,张鹰,王文. 统计相关水深遥感模式的建立[J]. 河海大学学报, 1998, 26(6): 95-99.
- [3] 张鹰. 水深遥感方法研究[J]. 河海大学学报, 1998, 26(6): 68-72.
- [4] 万余庆,张凤丽,闫永忠. 高光谱遥感技术在水环境监测中的应用研究[J]. 国土资源遥感, 2003(3): 10-14.
- [5] 丁贤荣,张鹰,王文. 同相水深-辐射关系率定[J]. 河海大学学报, 1998, 26(6): 73-76.

A REMOTE SENSING APPROACH TO THE DEPTH
OF THE HIGHLY CONCENTRATED SALT LAKE

TIAN Shu - fang¹ , HONG You - tang¹ , QIN Xu - wen^{1 2}

(1. China University of Geosciences , Beijing 100083 , China 2. China Geological Survey , Beijing 100011 , China)

Abstract : Based on the theory of water remote sensing , this paper has reached the conclusion that TM3 band is the optimum band in investigating the depth of the salt lake by means of correlation analysis. A quantitative analysis was also conducted on the depth of the highly concentrated Zabuye Salt Lake , and the result obtained reveals the spatial variation regularity of the water depth of this lake. On such a basis , the remote sensing mechanism and the remote sensing model of the water depth of the highly concentrated salt lake are built in the paper.

Key words : Water depth ; Remote sensing ; Correlation analysis ; Model

第一作者简介 : 田淑芳(1963 -) , 女 , 副教授 , 主要从事资源与环境遥感的教学与研究工作。

(责任编辑 : 刁淑娟)

=====

(上接第 25 页)

THE MULTIVARIATE DATA ANALYSIS AND THE
MODEL FOR EXTRACTING REMOTE SENSING
MINERALIZATION AND ALTERATION INFORMATION

WU De - wen^{1 2} , ZHU Gu - chang² , ZHANG Yuan - fei³ , YUAN Ji - ming²

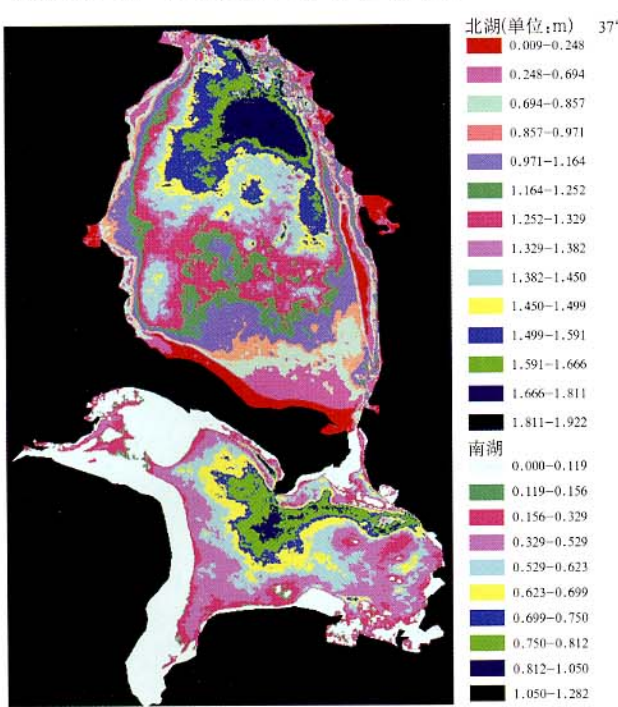
(1. China University of Geosciences , Beijing 100083 , China ; 2. China Non - ferrous Metals Resource Geological Survey , Beijing 100814 , China ; 3. Guilin Research Institute of Geology for Mineral Resources , Guilin 541004 , China)

Abstract : The spectral behavior of altered minerals leads to the spectral characteristics of altered rocks. Using the multivariate data analysis of typical rocks , the relation between the components of altered minerals and spectral data can be estimated qualitatively and quantitatively , and hence a model for extracting remote sensing information of mineralization and alteration can be established. Using the spectral data obtained in field and chemical analysis data of typical rock (ore) samples in a gold polymetallic mineralization belt in Qinghai , the authors studied the model for extraction of remote sensing information of mineralization and alteration on the basis of multivariate data analysis , and established a linear regression model of ratio combination , whose application effect is better than that of the single ratio method.

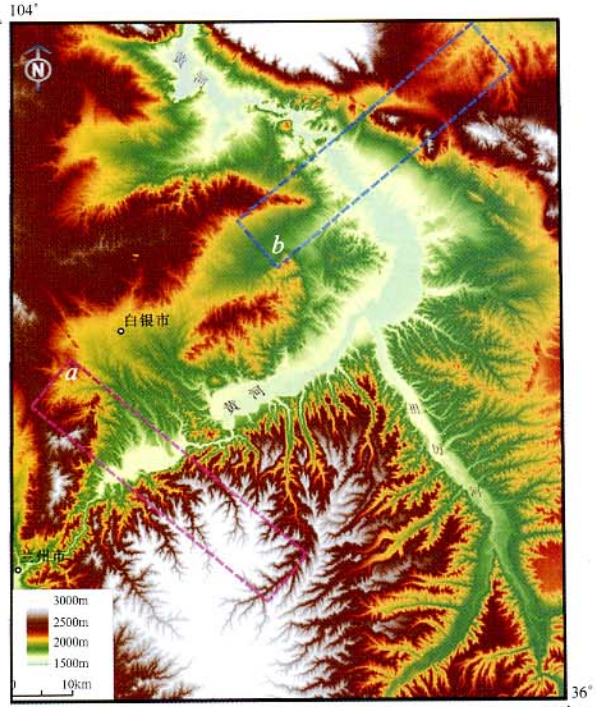
Key words : Multivariate data analysis ; Model for extraction of remote sensing information

第一作者简介 : 吴德文(1967 -) , 男 , 教授级高级工程师 , 1990 年毕业于中南大学地质系 , 2001 年获中国地质大学(北京) 地图制图学与地理信息工程专业硕士学位 , 现为中国地质大学(北京) 博士研究生 , 长期从事遥感地质及 GIS 等方面的研究与应用工作。

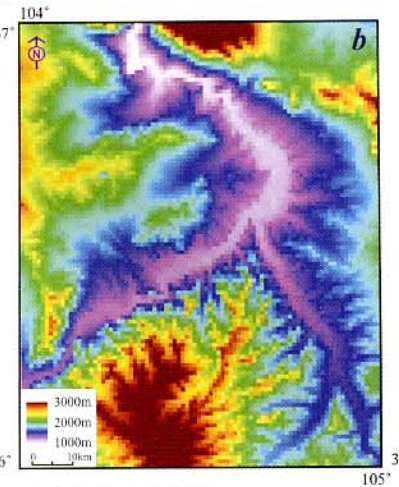
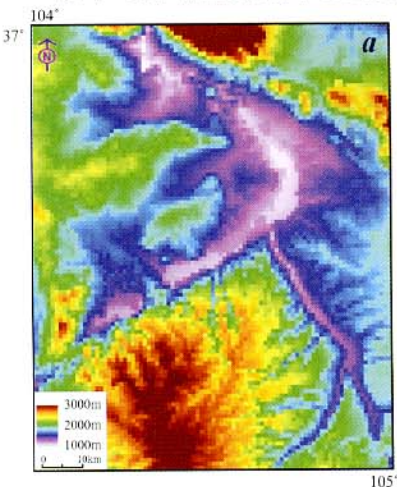
(责任编辑 : 刁淑娟)



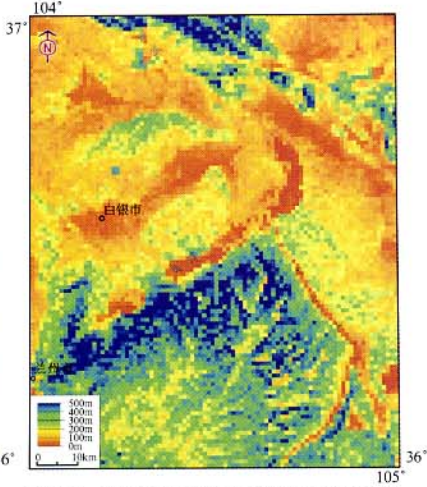
彩片4 扎布耶盐湖水深彩色密度分割图



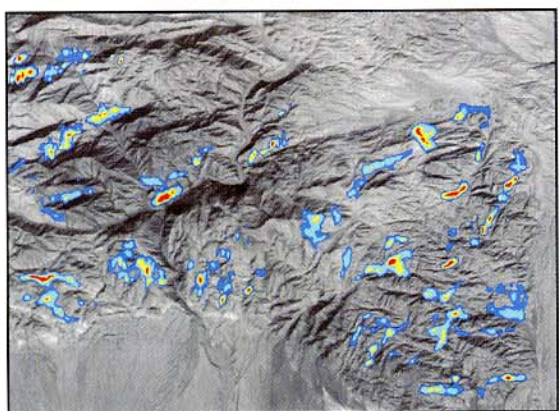
彩片5 黄土高原兰州—白银地区数字高程模型



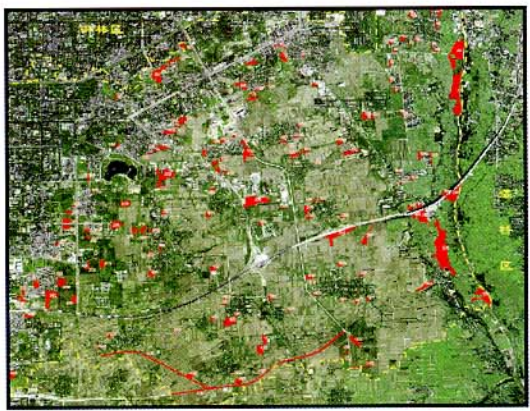
彩片6 黄土高原典型地区高程阈值分析结果
(a.最大高程阈值统计结果; b.最小高程阈值统计结果)



彩片7 区域地形起伏专题图(阈值法)



彩片8 试验区铁化蚀变遥感信息异常
(彩色斑块为铁化信息异常, 异常按强度分级, 由低到高分别赋以蓝、青、黄和红色)



彩片9 西安雁塔区辅助更新遥感监测图
(彩片5~7见张会平一文; 彩片8见吴德文一文; 彩片9见齐建伟一文)