

# 通过 Gram - Schmidt 投影方法在高山区提取 TM 数据中含矿蚀变带信息

刘素红<sup>1</sup>, 马建文<sup>2</sup>, 蔺启忠<sup>1</sup>

(1. 中国科学院遥感应用研究所, 北京 100101; 2. 中国科学院遥感信息科学开放实验室, 北京 100101)

[摘 要]在冰雪覆盖的高山地区, 蚀变岩反射光谱信息被高山上的冰雪和河谷中砂石等强反射率信息所抑制。TM6 波段反映热红外发射光谱信息, 根据温度差异反映不同的目标, 对岩性区分有较好的效果。研究了在 TM6 波段信息的基础上, 利用 Gram - Schmidt 投影方法将反射光谱信息叠加到 TM6 波段上进而进行弱信息提取的方法。这一方法在新疆康西瓦地区得到成功利用。

[关键词] TM 数据 热液蚀变 Gram - Schmidt 投影

[中图分类号] P627 [文献标识码] A [文章编号] 0495 - 5331(2000)05 - 0062 - 04

## 1 前言

近年来, 航天遥感技术在东西昆仑高寒山区的应用, 加快了该地区地质找矿工作的进展。针对高寒山区的找矿目标、背景和环境特点, 开发了从多光谱遥感数据中分离和矿化有关的地层、岩体信息, 热液蚀变带信息的方法。这些方法的研制建立在对 120 余块室内光谱曲线处理分析结果和野外观察对比: (1) 自然界中没有两种岩石的光谱曲线完全相同, 多波段数据同时使用更能表达地物光谱曲线的全貌和岩石的属性; (2) 不同岩石光谱曲线 Z 轴(光谱深度)存在信息差, 利用角度分解的方法可以从多维向量空间中分离出更多的信息, 可以将较弱蚀变带信息显示出来, 角度分解过程相当于数学“聚焦”过程; (3) 由目标、背景和环境组成了不规则边界的遥感信息单元, 不同尺度范围遥感数据的处理方法组合有所不同<sup>[1~5]</sup>。Gram - Schmidt 正交投影方法提取含矿蚀变带方法是其中之一。采用该方法处理新疆康西瓦 TM 数据, 有效地分离出了含矿热液蚀变带信息, 经过野外验证和样品矿化品位测试取得较好的结果。

## 2 地质概况

根据 1998 年野外采样观察和实验室测试结果表明: 康西瓦矿化异常区位于西昆仑麻扎 - 康西瓦断裂带的南缘, 主要地层是三叠系片岩、板岩, 夹有顺层侵入的花岗岩脉, 厚度 20 cm ~ 1 m<sup>[6,7]</sup>。矿化发生在花岗岩脉的内外接触带中, 地表为黏土化的退色带和褐铁矿化团块。氧化带埋深 3 m ~ 4 m, 矿石为 Pb、Zn 结晶体, 伴有孔雀石化和金、银矿化。矿

化带宽度为 3 m ~ 15 m, 从矿脉到围岩矿化特征为矿化网脉宽一般 20 cm ~ 50 cm(图 1)。

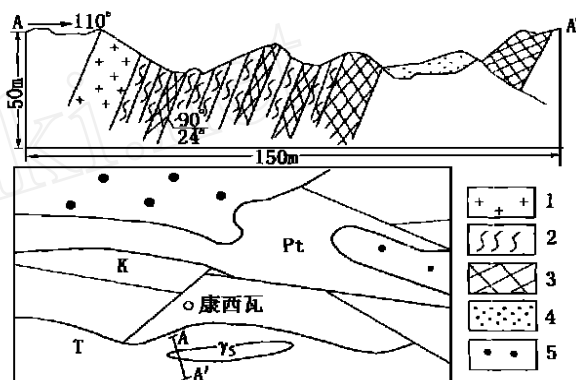


图 1 新疆康西瓦野外剖面图(a)和地质图(b)

Pt—元古界; K—白垩系; T—第三系; 1—紫色花岗岩脉; 2—黑云母片岩, 硅化黑云母片岩; 3—矿化热液蚀变带、黄铁矿化, 孔雀石化, Pb、Zn、Au 矿化; 4—黄土; 5—冰雪

## 3 实验室岩石光谱分析

沿着野外地质剖面, 按矿石、近矿体硅化蚀变围岩、未蚀变围岩采 5 件岩石样品作光谱测试和矿化品位测试。

首先, 与整个工作区样品一起做了聚类分析, 康西瓦样品分别落在了 G5、G11 和 G10 类中, 取 3 条代表围岩(1)、硅化围岩(2)和矿石(3)光谱数据作岩石光谱曲线图, 表达实验室光谱数据在 Z 轴深度方向上光谱差异的存在(图 2)。作 TM 波段中心值的重采样数据绘制的曲线, 表明在 Z 轴深度方向上 TM 数据对不同地物响应的差异(图 3)。

图 2 中 1、2 曲线主要差别是硅化曲线反射率高于未蚀变曲线; 在 2 μm ~ 2.5 μm 出现两个吸收峰;

[收稿日期] 1999 - 03 - 27; [修定日期] 1999 - 06 - 11; [责任编辑] 王延忠  
[基金项目] 国家 305 科技攻关项目 96 - 915 - 06 - 07。

在 2 μm 曲线 1、3 都出现吸收峰;图 3 中 1、2 曲线主要差别是硅化曲线反射率高于未蚀变曲线;在 2 μm ~ 2.5 μm 曲线 3 出现明显的吸收峰特征;曲线 3 在可见光和短波红外都出现了明显的吸收特征。TM 波段中心重采样光谱曲线与原始光谱曲线相比较,不同岩石光谱细节特征被平滑,但是趋势性差别还是存在的,表现的比较弱。为了将 1、2 蚀变信息从 2 围岩信息中分离出来,我们根据多光谱遥感数据特点对信号处理线性代数中的 Gram - Schmidt 正交投影方法加以改进,取得了较好的效果。

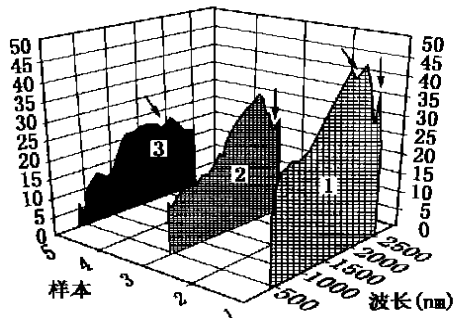


图 2 岩石光谱曲线图  
1—硅化黑云母片岩;2—黑云母片岩;3—Pb、Zn、Au 矿石

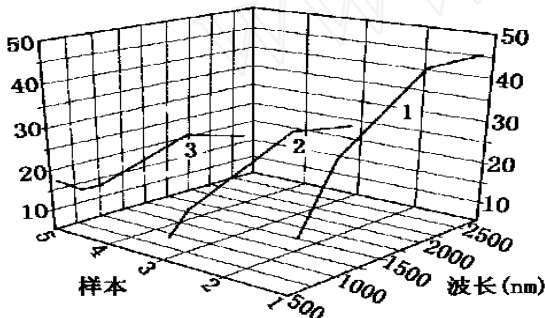


图 3 TM 波段中心值的重采样数据曲线  
1—硅化黑云母片岩;2—黑云母片岩;3—Pb、Zn、Au 矿石

4 Gram - Schmidt 投影方法原理

在平方可积的函数空间内,任何一组相互独立的向量,我们都可以利用 Gram - Schmidt 方法找到一组该向量的正交基。Gram - Schmidt 构造算法如下:设  $\{\eta_1, \eta_2, \dots, \eta\}$  是一组相互独立的向量,利用下列方式构造该向量组的正交基<sup>[8]</sup>。

$$\beta_1 = \frac{\eta_1}{\eta_1}; \beta_i = \frac{\eta_i - \eta_{i-1}}{\eta_i - \eta_{i-1}}; \eta_i = \sum_{k=1}^{i-1} \eta_{\beta_k} \beta_k$$

将遥感数据的一个  $M \times N$  大小的图像当成一个  $M \times N$  维向量,所有波段的遥感数据组成一组线性独立的向量。利用 Gram - Schmidt 投影方法构造多波段遥感数据的正交向量(图 4)<sup>[8]</sup>。

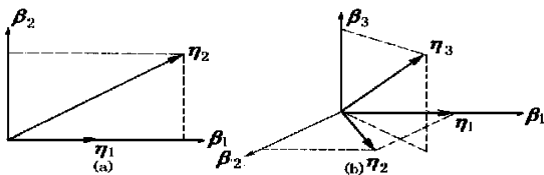


图 4 两个分量(a)和三个分量(b)正交分解图

从几何上讲。每一个正交量是去掉相关分量后剩余分量。而  $\eta_i$  在  $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_{i-1}$  上的投影分量是在  $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_{i-1}$  组成的向量空间中对  $\eta_i$  的最小均方估计。设  $L_2$  为平方可积函数的集合,遥感影像表示传感器所接收到的地面电磁反射和辐射的有限能量,所以可以把原始 TM 影像 TM1,2,3,4,5,6,7 看作  $L_2$  空间线性独立的随机变量序列。从前面的公式可以看出,第一个初始向量的选择被设定为基向量,其它向量顺序的在前面向量所组成的空间内投影,并且从本身中减去在前面向量空间的估计,剩下不相关的分量。将上面的公式写成矩阵形式得到:

$$\begin{bmatrix} \beta_1 \\ \beta_2 \\ \vdots \\ \beta_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{11} & 0 & \dots & 0 \\ Y_{21} & Y_{22} & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \ddots & \dots \\ Y_{n1} & Y_{n2} & \dots & Y_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \eta_1 \\ \eta_2 \\ \vdots \\ \eta_n \end{bmatrix}$$

从矩阵形式看,  $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$  是由  $\eta_1, \eta_2, \dots, \eta_n$  线性变换得到的,所以它们具有相同的信息空间。

5 图像处理结果解释

TM 数据象元数为  $P(500) \times L(520)$ 。

为了从多光谱遥感数据分离蚀变带相对较弱的信息,我们采用了正交分解逆运算的方法,逆运算的方法可以产生相似性叠加的效果。考虑到该地区为高寒山区,山上是冰雪,山沟是卵石滩高反射率、温差大的环境条件,选择了 TM6 反应地物亮温状态信息波段为基向量正交分解其他 6 个波段的数据。在生成上述图像过程中,需要计算两个图像向量的内积,内积的大小反映两个波段间的相关性,可以作为两幅图像具有相同性质部分的信息量的一种度量。正交分解分量百分比统计数据和直方图表明,采用 Gram - Schmidt 正交投影方法分解处理多光谱 TM 数据信息时,可以量化地评价多波段信息相似性程度,同时可以量化评价多波段信息对处理结果的贡献。挑选相似性最小的变化结果向量图像 3(图 5 - 4)、相似性最大的变化结果向量图像 7(图 5 - 7)和相似性中等的变化结果向量图像 5(图 5 - 8),合成彩色图像(图 5 - 9)中的红色条带为含矿热液蚀变带。图像中圈定的区域是野外重点工作区,图 5 - 10 是现场和矿石标本野外照片,用线段连接了采样图像位置。

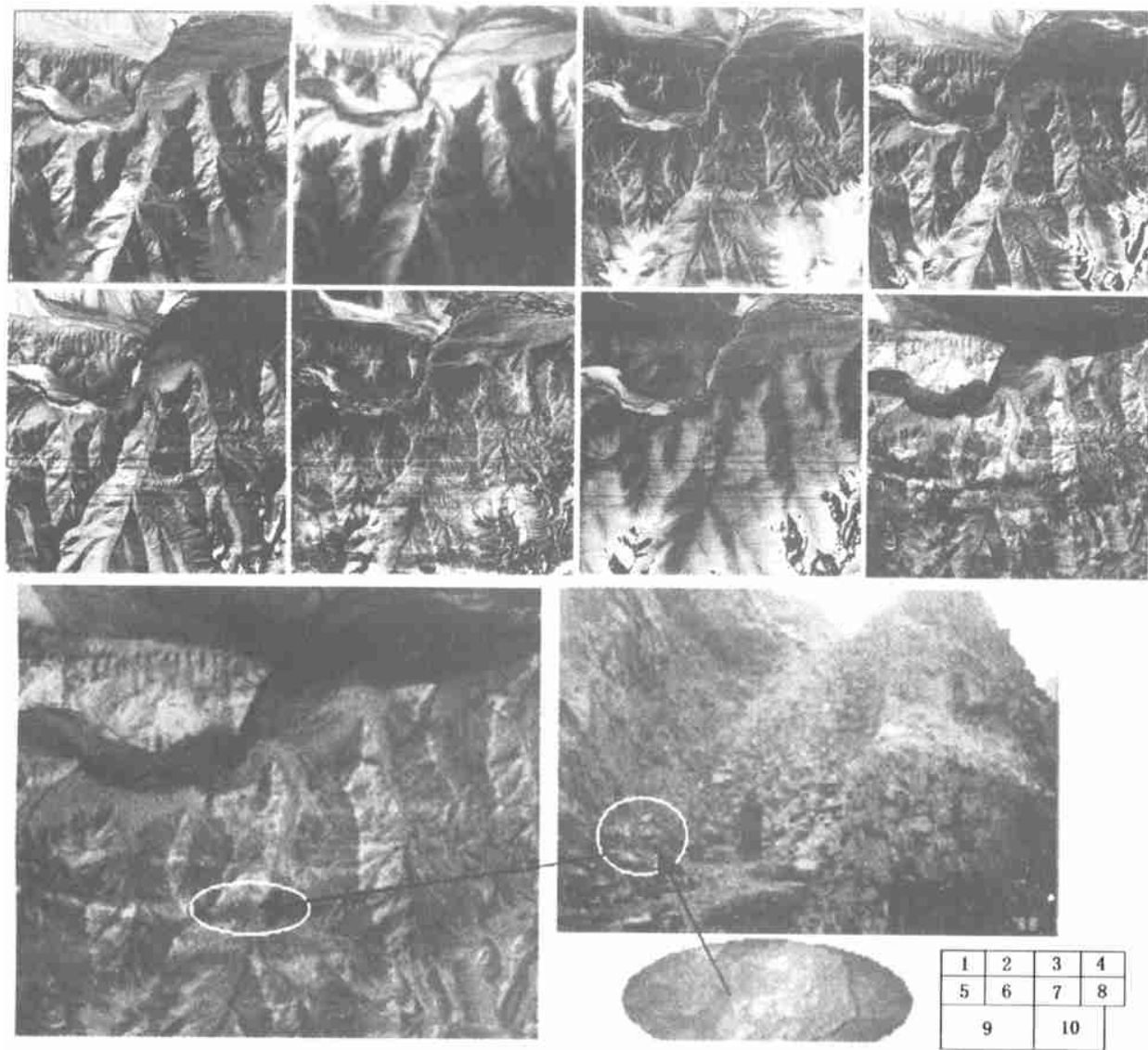


图 5 采用 Gram - Schmidt 正交投影方法分解处理多光谱 TM 数据信息结果图

1—TM157 合成图像;2—采用 Gram - Schmidt 正交投影方法分解处理结果(TM 波段 6 为第 1 向量);3—TM 波段 2 数据为第 2 向量;  
4—TM 波段 3 数据为第 3 向量;5—TM 波段 4 数据为第 4 向量;6—TM 波段 5 数据为第 5 向量;7—TM 波段 1 数据为第 6 向量;  
8—TM 波段 7 数据为第 7 向量(暗色带是热液蚀变矿化岩);9—剩余分量 3R7G5B 合成图像;10—1998 年 8 月野外照片

分解过程中信息叠加的结果如表 1。

表 1 正交分解百分比统计数据

| 正交分解分量百分比统计 |          | 正交分解剩余分量百分比统计 |          |
|-------------|----------|---------------|----------|
| TM 波段       | 正交分解分量   | TM 波段         | 正交剩余分量   |
| 5           | 1.000000 | 6             | 1.000000 |
| 2           | 0.328914 | 2             | 0.687553 |
| 3           | 0.970879 | 3             | 0.045198 |
| 4           | 0.074019 | 4             | 0.927009 |
| 5           | 0.509693 | 5             | 0.527315 |
| 1           | 0.030562 | 6             | 0.970575 |
| 7           | 0.012398 | 7             | 0.987743 |

野外热液蚀变带标本化学分析数据元素组合为 Pb - Cu - Au - Ag,为热液型多金属矿化带(表 2)。矿化带宽 100 m,呈平缓弧状近东西展布约 1000 m。

矿化带地表宽 30 m~50 m,根据探矿槽、浅硐揭露的矿化带埋深 4 m~10 m,并且呈平缓弧状、近东西展布约 1000 m。

6 结语

多光谱 TM 数据提供了 60 nm~270 nm 光谱分辨率的 6 个波段,2100 nm 光谱分辨率热红外波段数

表 2 矿化岩石化学分析数据表

| 样品号  | Au( ×10 <sup>-9</sup> ) | Cu( ×10 <sup>-6</sup> ) | Pb( ×10 <sup>-6</sup> ) | Ag( ×10 <sup>-9</sup> ) |
|------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| KSw2 | 480                     | > 1000                  | > 1000                  | > 5000                  |
| KSw3 | 5.2                     | 50                      | > 1000                  | > 1700                  |
| KSw1 | 320                     | 20                      | > 1000                  | > 5000                  |

据。热液蚀变作用是对地下热液活动交代围岩形成的矿物组合的描述,含矿热液蚀变带是热液成矿作

用保留的晕带,是遥感地质找矿的直接标志。本课题在总结前人工作的基础上,通过 Gram - Schmidt 正交投影信号处理方法分离多光谱 TM 数据中的矿化蚀变弱信息,取得了其它方法难以实现的效果。该方法在新疆东昆仑阿尔金高山区红柳沟 100 km ×50 km 大范围岩性填图也取得了好的效果。

[参考文献]

[1] 马建文. 利用 TM 数据快速提取含矿蚀变带方法研究[J]. 遥感学报,1997,1(3) .  
[2] 马建文,朱章森,等. 遥感数字图像处理在高山积雪覆盖地区增强成矿岩石信息的纹理信息[J]. 成都地质学院学报(增刊), 1998,25(92) :17 ~ 21.

[3] 马建文,朱章森,杨武年. 利用 TM 图像波段比值、热红外图像复合处理识别岩石类型[J]. 遥感学报,1998,25(92) :22 ~ 27.  
[4] Loughlin W P. Principal Component Analysis for Alteration mapping [A]. The eighth thematic conference on Geology Remote Sensing ,April 29 - May 2 ,1991 ,Denver , Colorado ,USA :293 ~ 306.  
[5] Harris J , Rencz A N ,Ballantyne B ,Sheridon C. Mapping altered rocks using landsat TM and lithogeochemical data Sulphurets - Brucejack lake district, British Columbia[J]. Canada : Photogrammetric Engineering & Remote Sensing ,1998 ,64(4) .  
[6] 潘裕生,王毅. 青藏高原叶城—狮泉河路线地质特征及区域构造演化[J]. 地质学报,1994,68(4) :295 ~ 306.  
[7] 潘裕生. 西昆仑山构造特征与演化[J]. 地质科学,1990,(3) :225 ~ 231.  
[8] 张贤达. 信号处理中的线性代数[M]. 北京 :科学出版社,1997.

DEPICTING THE HYDRO - THERMAL ALTERATIONS OF HIGH MOUNTAINS  
IN MULTI - SPECTRAL DATA VIA GRAM - SCHMIDT PROJECTION METHOD

LIU Su - hong,MA Jian - wen ,LIN Qi - zhong

**Abstract** :There are many studies in which band ratio and principal component have been used to successfully depict the hydro - thermal alteration information associated with ore deposits in multi - spectral TM data. However, in ice snow cover high mountain area there are few successful example because in this difficult environment the spectral signatures of alteration rocks are restrained by stronger spectral reflectance of ice snow and dry river bed. In this paper, ice snow and dry river bed are masked, then improved Gram - Schmidt projection is applied on rest of 7 bands TM data. A good result is achieved in connect with field observation and samples analysis, by which proved that it is Pb、Zn、Cu、Au、Ag bearing alteration vein.

**Key words** :TM data, hydro - thermal alteration, Gram - Schmidt projection



第一作者简介:

刘素红(1967 年 - ),女。1988 年毕业于西南交通大学计算机软件及应用专业,1991 年在江汉石油学院物探系获硕士学位。现为中国科学院遥感应用研究所在读遥感地质博士。进行中国金矿遥感数据库信息系统的建立研究。

通讯地址:北京 9718 信箱 中国科学院遥感应用研究所固体室 邮政编码:100101

欢迎订阅 2001 年《地质找矿论丛》

《地质找矿论丛》为国家科技部和新闻出版署批准,由天津地质研究院主办的地学类科技期刊,1986 年创刊,国内外公开发行。

中国标准刊号:ISSN1001 - 1412,CN12 - 1131/P。

《地质找矿论丛》为天津市一级期刊,是中国科技论文统计源期刊和《中国科学引文 数据库》来源期刊,同时也是美国《化学文摘》(CA)收录期刊。期刊已经入编《中国学术 期刊(光盘版)》、《中国期刊网》和《万方数据系统科技期刊群》,以多种形式为读者服务。

《地质找矿论丛》主要报道矿产成矿理论与成矿预测、物质成分及综合利用、水文地质与工程地质、环境地质调查与治理、资源勘查工程、矿产品深加工技术、地质矿产技术经济等方面的科研成果、进展评价、研究简报,并不断开拓报道领域与深度。

《地质找矿论丛》面向地质矿产科研人员、地学院校师生、矿产勘查技术人员、矿山企业技术人员、矿产品开发研制技术人员和地质矿产企事业单位管理人员。热忱欢迎地矿行业、地学院校、文献情报部门的单位和个人踊跃订阅。

《地质找矿论丛》为季刊,每季度末月出版。每期定价 5.00 元,全年共计 20.00 元,订户可向本刊编辑部函索订单订阅,订购款一律邮汇,请在“ 附言 ”栏中写明用途及订阅份数,并将订单寄至本刊编辑部。本刊也可通过“ 全国非邮发报刊联合征订服务部 ”订阅。

《地质找矿论丛》编辑部地址:天津市河西区友谊路 42 号 天津地质研究院《地质找矿论丛》编辑部 邮政编码:300061

联系人:王书辉 联系电话:022 - 28367243