

利用 TM 数据快速提取含矿蚀变带方法研究*

马 建 文

(冶金工业部天津地质研究院 天津 300061)

摘 要 热液蚀变岩类是在含矿热液作用下引起原岩化学成分和物理性质发生变化的结果,因此蚀变岩类往往与内生矿产伴生,有时其本身就是含矿体。不同蚀变矿物组合具有独特的光谱响应,但是光谱的反射和吸收特征较弱称为遥感找矿弱信息标志。应用遥感技术手段和计算机数字图象处理方法探测、识别和提取这种弱信息标志指导找矿是遥感地质工作的重要任务之一。该文介绍了利用 TM 多光谱数据提取含矿蚀变带的方法。实际工作证实此方法具有简单、快速、实效的特点,有一定的推广价值。

关键词 蚀变, 图象掩模, 监督和非监督分类

1 引 言

TM 图象以 0—255 不同灰度级反映不同地物的光谱信息的, 对不同波段 TM 图象的直观感觉就是这些图象有很强的相似性, 相邻光谱域波段的相似性尤为突出。这表明 TM 7 个波段间存在着相关性而使数据信息产生重复和冗余, 这种情况下识别和提取弱矿产信息难度较大。主成分变换是在统计象元特征值的基础上进行多维(多波段)正交变换, 通过变换把原始多维数(多波段)化为几个相互独立的综合信息指标(主分量图象), 达到用少数维数综合信息表达多维信息的目的^[1]。利用主成分变换方法原理采用不同方式做主成分变换压制干扰因素识别矿产信息已成为重要的遥感图象处理技术手段。Crosta 和 Loughin 采用 4 波段主成分变换 + 求反 + 2 次主成分变换的方法填制巴西热带地区残积土壤中的三价铁和羟基蚀变岩信息图^[2,3]; Ambrams 利用 TM 比值 + 主成分变换方法排除了植被覆盖因素干扰提取蚀变岩信息^[4]; 赵元洪教授针对浙江新昌地区的植被覆盖问题, 采取 TM4/3 比值 + 主成分变换技术压抑植被信息达到提取蚀变信息的目的^[5]; 徐瑞松在海南岛通过建立矿体蚀变岩金矿伴生元素的生物地球化学效应模型, 采用 TM5、7、4、1+2+3

处理后再进行主成分变换直接提取植物金属元素“重毒”信息, 确定含金蚀变带^[1]。这些方法特点是在采用主成分变换前针对某一种干扰因素进行抑制性处理, 因此应用这些方法在条件更为复杂的多种环境条件下其效果则不令人满意。马建文和 Slaney(1991)采用 TM 数据掩膜 + 主成分变换 + 分类方法, 在加拿大北部高寒冰川积雪松林覆盖和雪线草甸多种环境因素干扰条件下提取含金硅化绢云母化蚀变带指导地质勘查工作^[6-8]; 马建文利用 TM 数据掩膜 + 主成分变换方法在辽宁二道沟金矿提取三价铁蚀变火山碎屑岩信息指导矿山外围找矿^[9], 及 TM 数据掩膜 + 主成分变换 + 选择主分量散点图监督分类的方法在河北华北地台北缘提取含金钾化带信息取得较好的效果^[10]。经过这些工作逐步形成了 TM 掩膜 + 主成分变换 + 分类这种具有简单、快速、实效特点的识别提取矿产弱信息方法。此后该方法应用在新疆、内蒙提取与铬铁矿有成因联系的超基性岩等成矿围岩同样展示了方法的效果^[2]。

2 多元统计主成分变换原理及其性质

主成分变换在多元统计学中称为 KL 变换。在

* 中国、加拿大人才开发项目(WUSC)和国家人事部归国留学人员基金资助项目, 项目导师: 加拿大遥感中心 V. R. Slaney 博士, 北京大学遥感与GIS研究所刘燕君教授。

1) 徐瑞松, 粤西—海南金矿带多层遥感多源信息优选金矿靶区研究报告。中国科学院“七五”项目, 1991。

2) 杨景元, 中天山—索伦地区基性超基性岩及有关矿产资源遥感地质综合调查报告。北京国土资源遥感公司, 1994。

收稿日期: 1996年2月12日; 收到修改稿日期: 1997年2月25日

对遥感图象数据进行主成分变换时首先求出一个标准的变换矩阵, 通过变换矩阵使数据转换到一组新的主分量, 在经主成分变换后的特征域中这些新的主分量之间不相关, 主成分变换方法性质可概括为 3 条:

性质 1 主分量的特征值和特征向量矩阵是通过统计多波段原始图象数据计算其协方差矩阵的基础上算出来的。设 x 为 TM p 个波段的灰度矢量(同名象元灰度值), 然后应用 K-L 变换公式 $y = Gx$ 逐点扫描各象元点进行统计计算求出变换后的主分量图象矢量 y , 其中 G 是一个 $p \times p$ 的 K-L 变换矩阵。这个矩阵是由原始图象矢量 x 的协方差矩阵 \sum_x 计算得出来的。 G 矩阵的每一行都是协方差矩阵 \sum_x 的特征矢量。变换后的主分量图象 y 的协方差矩阵为 \sum_y , 对 \sum_y 则有^[11]:

$$\sum_y = G \sum_x G^T = \begin{bmatrix} \lambda_1 & 0 \\ & \lambda_2 \\ & & \ddots \\ 0 & & & \lambda_p \end{bmatrix} \quad (1)$$

其中 $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_p$ 为原始图象协方差矩阵 \sum_x 的特征值, 按顺序大小排列有 $\lambda_1 > \lambda_2 > \dots > \lambda_p$ 。在 \sum_y 矩阵中只有对角线的元素有值, 其它元素均为零。说明以 $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_p$ 为特征的几个主分量之间不相关, 保证了主分量之间信息没有重复或冗余。同时可以用较少的主分量来综合显示原始各波段的主要特征信息。

性质 2 用贡献率和累积贡献率定量评价主成分变换综合压缩数据信息和细划分解数据信息的能力。因为 λ_p 是原始图象协方差矩阵 \sum_x 的特征值, 代表了原始图象在这个主分量方向上的分散程度。通过 λ_p 的值可以判断这个主分量在统计分析原始图象数据时的贡献率, 因此贡献率和累积贡献率可以做为评价主成分变换效果的指标。计算公式:

$$n_i = (\lambda_i / \lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_p) \% \quad (2)$$

又因为 λ_p 是按大小顺序排列的, 所以只要前面 m 个 ($m \leq p$) 主分量的累积贡献率 $\sum_{i=1}^m n_i$ 接近于 1, 就可以将余下的 $p - m$ 个主分量舍去。主成分变换的贡献按百分数大小排列反映了原始图象中不同等级的信息^[12]。

性质 3 主成分变换前后总信息量不变。将原始图象数据协方差矩阵 \sum_x 的特征值 $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_p$ 看作是主分量图象的方差, 而 $\sigma_i^2 (i = 1, 2, \dots, p)$ 为原始图象的方差而且与变换后的方差存在着如下

关系:

$$\sum_{i=1}^n \sigma_i^2 = \sum_{i=1}^n \lambda_i \quad (3)$$

公式(3)表明变换前后方差是不变的, 从信息理论观点看变换前后的信息总量是守恒的, 这一性质为解释主成分变换结果提供了依据。

理论分析 由性质 1 得知主成分变换的核矩阵是通过原始图象数据协方差矩阵的特征值和特征向量建立起来的。因此, 可以通过掩膜的方法使被统计的原始数据具有一定的选择性。这样主成分变换只统计原始数据中被选择或被剩余的数据计算协方差矩阵的特征值和特征向量矩阵。即在原始数据信息总量中去除了干扰信息量, 只对选择图象数据做主成分变换使被选择数据信息得到分解。蚀变岩弱信息得以增强。

应用性质 2, 计算出变换前后贡献率和累积贡献率定量刻划和记录了主成分。变换对原始图象信息不等份累积分解一次一次发挥作用的程度和效果。

根据性质 3 可以建立变换前多光谱波段数据与变换后各主分量数据之间的联系, 是解释变换后特征向量矩阵权值的基础。

3 方法实验与结果

3.1 图象掩膜处理去除干扰信息

TM 图象采用象元 DN 值表达地物的光谱反射强度, 一些相对集中分布的环境因素如水体、冰川、森林、雪线草甸、残积物、山体阴影、白云等的 DN 值一般都大于蚀变岩 DN 值, 分布面积也大于蚀变岩的分布面积, 结果造成蚀变岩信息被掩盖难以用常用的比值方法识别。例如中国河北研究区内 8 种地物 DN 值比较(表 1)。

图象掩膜的结果使原始图象中有选择地去掉那些代表集中分布的环境因素象元, 保留包括蚀变岩信息在内的岩石或地层象元并称作剩余图象。单一地物膜制作: 选取单波段或比值图象, 这幅图象应当最大限度地显示这种地物如做植被膜可选择 TM4 / 3, 在屏幕上读出这类地物最大和最小 DN 值域范围, 然后对整幅图象做分段线性拉伸处理。将这种地物的 DN 值域的值取为 0, 剩余部分取 1 值, 这样便可以得到只有 0、1 值的二值膜。实际工作中往往需要制作几种地物的二值膜。在此基础上将各种膜一一相乘便可得到几种地物的合膜。最后用这个合膜与 TM 各波段原始数据相乘就可得到去

表1 中国河北研究区内8种地物DN值比较

Table 1 The comparison of DN values of eight surface features in study area, Hebei, China.

野外观测点		图象上同名 象元点位置	TM波段DN值*						
			1	2	3	4	5	7	6
黄土 (1)		158,99	96	55	58	96	164	65	126
云团 (2)		51,93	263	99	131	114	200	116	126
植 被	阴坡 (3)	266,67	57	22	26	24	54	24	165
	阳坡 (4)	265.62	82	39	51	65	141	77	136
岩 石	黑水河 (5)	239,124	69	31	35	71	71	32	116
	岩体 (6) (钾长石花岗岩)	96,145	87	45	68	75	159	78	132
	蚀变岩 (7) (钾化硅化)	293,33	72	35	45	65	126	61	111
	围岩 (8) (角闪片麻岩)	123,53	83	41	54	53	116	64	126

注: 图象接收时间1984年10月

* 图象上各点与野外观测点的位置相对应。以保证图象特征和地面实况的可比性。

除了代表不同干扰因素 DN 值的剩余图象。例如: 在加拿大研究区选用 TM 图象数据接收时间为 1985 年 9 月 7 日, 大小为 814 × 1004 象元。该时相冰川覆盖面积最小 > 40%, 岩石裸露面积最大只占整幅图象面积的 20%, 研究区覆盖物由低纬度到高纬度有针叶林 → 雪线草甸 → 裸露岩石 → 冰川积雪等分带性特点。含金硅化、绢云岩化蚀变岩仅占裸露岩石面积的 3%—5%。沿断裂密集带分布。这个地区的合膜占图象面积的 80%; 在中国河北研究区去除黄土、河流和云团剩余图象为原始图象的 80%; 辽宁二道沟研究区去掉干河道和山体阴影剩余图象面积为原始图象的 50%。

3.2 选择剩余图象波段

以提取含矿蚀变岩信息为目的的主成分变换应

根据蚀变岩和围岩的光谱曲线特征位置(吸收或反射光谱域)选择剩余图象的 TM 波段。如在中国河北研究区为了从二长花岗岩围岩中提取钾化含金蚀变带信息。分别测定了变质岩(花岗岩围岩), 花岗岩(钾化带围岩)和钾化蚀变岩的光谱曲线, 对比 3 类岩石光谱曲线选择了 TM 波段 1, 4 / 3, 5, 7 做主成分变换(图 1)。

3.3 主成分变换识别蚀变岩信息

剩余图象是对原始图象数据选择性掩膜处理的结果, 在此基础上利用主成分变换的性质可以做到: (1)减少剩余图象多光谱波段之间的相关性; (2)由于统计信息总量中去除了干扰因素, 主成分变换施展对数据信息的压缩功能的同时对信息进行分解(细划), 突出了图象信息的细微差别; (3)所

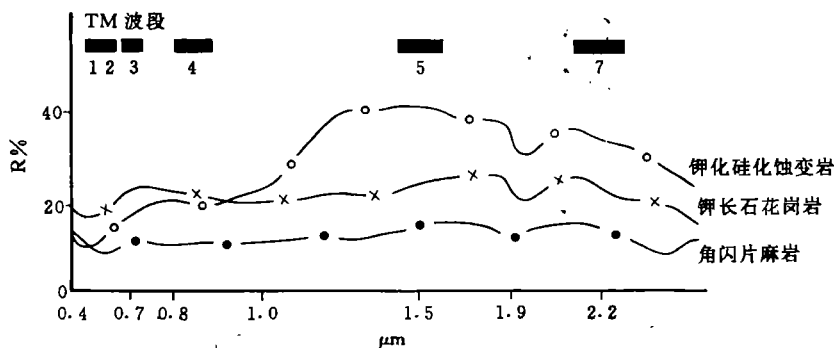


图 1 河北研究区典型岩石光谱曲线

Fig.1 The rock spectral features of Hebei, China

选择剩余图象的 TM 波段对生成的主成分的贡献大小可反映在特征矢量矩阵权值的大小。如表 2 TM4 / 3 所表示的植被信息主要由 PC2 权值为 0.84 反映出来; (4) 根据蚀变岩石光谱曲线特征位置选择特征矢量矩阵 TM 波段(同一光谱域)所对应的主成分, 显示在屏带上检查该组分所含蚀变岩信息的强弱(蚀变岩信息一般集中在低序特征值的主分量中)。例如: 河北研究区选择剩余图象 TM1, 4 / 3, 5, 7 做主成分变换后特征值矢量矩阵(表 2)中 TM5(0.89)对应 PC1 和 TM7 对应 PC4(0.89)增强了钾化蚀变岩的信息。这一结果与图 1 光谱曲线蚀变岩在 5 和 7 波段光谱域高反射率相一致。

对加拿大研究区选择 TM1, 2, 3, 4, 5, 7 的剩余图象做主成分变换后 PC5 填出了全部已知含金硅化、绢云岩化蚀变带。同时还发现 2 个新区(黄色)。PC3 填制了含矿蚀变岩围岩(蓝色)。(表 3 及图版 I 图 2)。

表2 河北研究区特征矢量矩阵

Table 2 Eigenvector matrix of TM1, 4/3, 5, 7 in the study area of Hebei

特征矢量	TM1	TM4/3	TM5	TM7
PC1	0.34	-0.34	0.89	-0.008
PC2	0.52	0.84	0.09	0.09
PC3	0.71	-0.38	0.43	-0.44
PC4	0.08	0.23	0.14	0.89

注: 图象接收时间1984年10月; 数据统计使用EOSAT RSVGA 软件

在辽宁二道沟金矿选择剩余图象波段 TM1, 2, 3, 4, 5, 7 做主成分变换后用 PC3, 4, 5 合成制作的图象填制了含 Fe⁺³ 蚀变火山碎屑岩。比较原始数据和剩余图象的主成分变换贡献率和累积贡献率, 表明经掩膜后的主成分变换的 PC3, 4, 5 数值要大, 包含蚀变岩的信息量多(表 4)。

表3 加拿大研究区特征值、特征矢量矩阵、贡献率和累积贡献率

Table 3 Eigen value, eigenvector matrix, Accumulation rate in study area of Canada

统计类型	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	
特征值	2044.34	1051.22	62.78	20.79	7.16	1.97	
贡献率	0.64	0.33	0.019	0.007	0.002	0.0006	
累积贡献率	0.64	0.97	0.98	0.996	0.998	≈1	
特征 矢量 矩 阵 (权值)	PC1	0.618	0.341	0.4770	0.277	0.385	0.218
	PC2	-0.475	-0.154	-0.127	0.112	0.765	0.367
	PC3	0.175	0.012	0.057	-0.903	0.071	0.380
	PC4	-0.584	0.279	0.720	-0.041	-0.225	0.095
	PC5	-0.035	0.064	0.179	0.301	0.456	0.814
	PC6	0.136	-0.881	0.449	0.039	-0.021	-0.003
TM波段		TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM7

注: 图象接收时间1985年9月7日; 数据统计是在加拿大遥感中心Dipix系统上进行。

表4 辽宁二道沟地区掩膜前后数据主成分变换贡献率、累积贡献率比较

Table 4 The comparison of the contribution rate and accumulation rate before and after principal components transformation

主分量	未经掩膜			掩膜处理后		
	特征值	贡献率	累积贡献率	特征值	贡献率	累积贡献率
PC1	5484.60	0.994	0.994	403.92	0.9893	0.989
PC2	23.33	0.004	0.998	26.97	0.0064	0.995
PC3	4.99	0.0009	0.999	9.97	0.0025	0.997
PC4	3.74	0.0006	0.9997	4.30	0.0011	0.998
PC5	1.37	0.0002	0.9999	1.32	0.0003	0.9983

注: 图象接收时间1988年11月23日; 图象处理软件为Treea-Ma 公司 IDIMS92.V4.5

3.4 非监督分类和 2 个主分量散点图监督分类方法提取蚀变岩信息

围绕增强、识别、提取蚀变岩信息这条主线,根据岩石光谱特征位置选择 TM 波段;图象掩膜以原始图象总信息量中去除了集中分布的地表干扰信息;主成分变换方法将剩余图象所保留的信息总量一次一次地不等分分解(矿产弱信息往往集中在低序特征值的主分量中);在完成了增强、识别蚀变岩信息处理后,可用作非监督分类和 2 个主分量散点图监督分类的方法将蚀变信息提了出来。这一过程可分为两种情况:(1)蚀变岩信息集中在某一个主分量中;(2)蚀变岩信息分散在 2 个以上的主分量中。第一种情况可采取非监督分类处理。这时可设定 3—4 个分类类型采用最小距离分类方法即可提取蚀变岩信息。如加拿大研究区对 PC5 设定 3 类划分自动识别,第 2 类便提取了所有的已知蚀变岩并且发现 2 处新区。并将其制成独立文件,用“或”图象处理功能将其嵌入 TM 监督分类图象(红色)(图版 I 图 3)。

第 2 种情况可采取 2 个主分量(选取原则 3.3)散点图上圈出分类样本区对图象进行分类。如河北研究区选择了 PC1, 5 主分量将散点图展示在屏幕上,通过人机交互方式改变所圈定散点图样本区位置和观察分类效果。因为 PC1 特征矢量权值 0.89(主要反映 TM5 对蚀变岩响应信息),PC4 特征矢量权值 0.89(主要反映 TM7 对蚀变岩响应信息),由此可以推测蚀变岩样该区应当出现在散点图的“重心”位置圈定样该区分类填出了钾化蚀变岩(图版 I 图 4)。

经过分类提取出来的蚀变岩信息可以制成单独信息文件存入综合信息找矿数据库作为信息、理论找矿重要依据。

4 结论与讨论

综上所述,可以得出以下结论:(1)多元统计学中主成分变换原理和性质是多光谱数据中增强和识别蚀变岩信息的理论基础,需要指出的是主成分变换的数学算法不是唯一的,所以不同的图象处理系统处理结果统计数据有所差别,但是总信息量是守恒的。如处理加拿大研究区数据时使用的是 Dippix 图象处理软件,处理中国辽宁二道沟数据时采用 IDIM92.V4.5 图象处理软件,其它地区使用 EOSAT RSVGA 图象处理软件;(2)围绕增强、识

别、提取蚀变岩信息这条主线,采取根据岩石光谱特征位置选择 TM 波段→图象掩膜可以减少原始图象总信息量中的干扰因素信息→主成分变换方法将剩余图象所保留的信息总量不等分累积分解增强和识别蚀变岩信息→分类方法可以把被识别的信息提取出来,实践证明这一工作链简单、快速、实效;(3)该方法只适用于 TM 图象子区,一般小于 1/4 景 TM 数据;(4)采用与 3.1 相反的方法制作相反合膜,用这个膜与一幅 3 波段 TM 合成图象相乘再将这幅图象与 3 个主分量图象相加便可形成即完整又包括了蚀变岩信息的图象(图版 I 图 2);(5)TM6 波段光谱域 10.4—12.5 μm 探测地物的热惯量信息,对区分岩性有独到之处^[13],岩石的热惯量信息与反射率信息之间的关系,热惯量信息在主成分变换后在信息总量中所占的份额等问题尚需深入研究。

参 考 文 献

- [1] 唐守正. 多元统计分析方法. 中国林业出版社, 1986.
- [2] Alvaro P. Crosta. Enhancement of Landsat thematic mapper imagery for residual soil mapping in SW mines Gerais State. Brazil, Proceedings of 8th thematic conference on geologic remote sensing, Denver, USA, 1991.
- [3] Loughin W. P. Principal component analysis for alteration mapping. Proceedings of 8th thematic conference on geologic remote sensing, Denver, USA, 1991.
- [4] Ambrams M. J. Landsat thematic mapper and thematic mapper simulator data for a porphyry cop. per deposit. *Journal of the American Society for Photogrammetry and Remote Sensing*, 1984.
- [5] 赵元洪. 波段比值主成分复合在热液蚀变信息提取中的应用. 国土资源遥感, 1991, (3).
- [6] Ma Jianwen, V. R. Slaney. Use of Landsat TM data for mapping of Limontic exposures and altered rocks in Sulphurets area, central British Columbia, Canada. Proceedings of 14th Canadian symposium on remote sensing.
- [7] Ma Jianwen, V. R. Slaney. Alteration detection using TM data in British Columbia, Canada, EOSAT, Landsat data users notes, USA, 1993, 8(1).
- [8] 马建文, V. R. Slaney. 陆地卫星 TM 数字图象提取热液蚀变信息. 遥感技术与应用, 1992, (4).
- [9] 马建文. 利用 TM 数据识别二道沟金矿地地质特征. 国土资源遥感, 1994, (4).
- [10] 马建文. 利用 TM 数据提取含金蚀变带的方法研究. 国土资源遥感, 1994, (2).
- [11] Johu, A. Richards, Remote Sensing digital image analysis, (p123), University of New South Wales, Australia, 1986.
- [12] 丰茂森. 遥感图象数字处理. 北京: 地质出版社, 1992, 98.

[13] 崔承禹. 岩石的热惯量研究. 环境遥感, 1994, 9(3).

作者简介

马建文, 男, 1953年5月出生, 高级工程师, 成都理工大学博士。1978年毕业于河北地质学院, 毕业后从事遥

感找矿工作。1990—1992年在加拿大国家遥感中心和渥太华大学进修并获得遥感和地理信息系统专业证书。多年来一直从事TM数据矿产信息(弱信息)的增强、识别和提取的研究工作。1994年在地质出版社出版“地理信息系统及资源信息综合”一书。

Methodology Study of Quickly Identifying Mineral Bearing Alterations from TM Data

Ma Jianwen

(Tianjin Geological Academy, The Ministry of Metallurgical Industry)

Abstract TM imagery uses 0-255 grey levels to represent different spectrum of the ground truth. In the case of using TM data to enhance and map mineral bearing alterations, Amos (1989) and Zhao Yuanhong (1991) applied TM ratio + PCA to enhance alterations with eliminating the influential factor of vegetation; Crosta (1991) and Loughlin (1991) used PCA + negative + PCA to successfully identify alterations. However, those methods have unsatisfactory results in the areas where dominated with forestry, grass, glacial ice, loess, water bodies, and clouds. The new methodology to eliminate those environment factors which have strong spectral reflectance comparing with relative weak spectral reflectance of alterations, and which have impact on spectral signatures of the TM data in terms of differentiating alterations from surrounding rocks is developed mainly by TM data masking-PCA-supervised and unsupervised classification in the testing areas selected both in Canada and China. The results are proved very effective.

Key words Alterations, Image masking, Supervized and unsupervised classification



图2 PC5 填出所有含金硅化、绢云岩化蚀变岩(黄色), PC3填出与成矿有关二长岩(蓝色)

图3 采用非监督分类方法提取PC5中全部已知蚀变岩信息并且发现2处新区

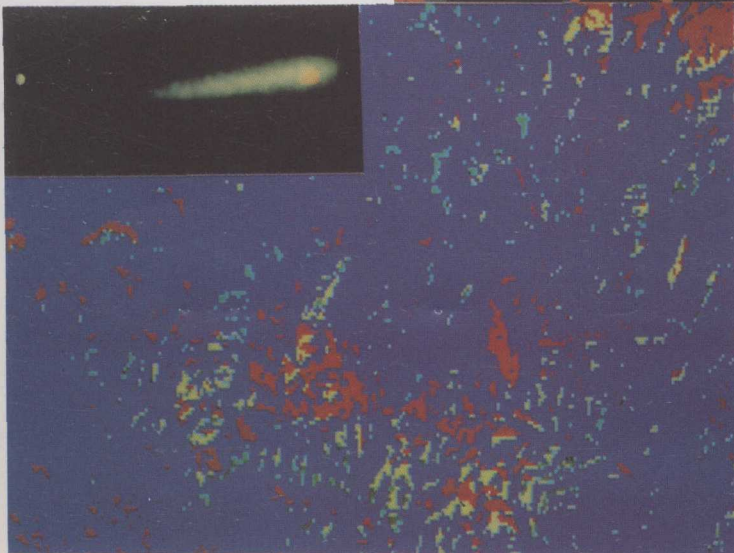


图4 在PC1和PC4散点图中选定“重心”位置做为样本分类提取了钾化蚀变岩信息(黄色)