多元数据分析与遥感矿化蚀变信息提取模型

吴德文[1,2],朱谷昌[2],张远飞[3],袁继明[2]
(1. 中国地质大学,北京　100083;2. 有色金属矿产地质调查中心,北京　100814;3. 桂林矿产地质研究院,桂林　541004)

摘要:蚀变矿物的光谱行为造成了蚀变岩的光谱特征。利用典型岩石的多元数据分析,可以对蚀变矿物成份和光谱数据之间的关系作出定性和定量评价,进而建立遥感矿化蚀变信息提取模型。笔者利用青海某金多金属矿化区典型岩(矿)石样品的野外实测波谱数据和化学分析数据,进行了基于多元数据分析的遥感矿化蚀变信息提取模型研究,建立的比值组合线性回归模型较之单一比值方法具有更好的应用效果。

关键词:多元数据分析;遥感信息提取模型
中图分类号:TP 79　文献标识码:A　文章编号:1001 - 070X(2006)01 - 0022 - 04

0　引言

图像比值组合是一种十分有用的蚀变信息增强处理方法,但由于蚀变岩受其自身反射和辐射强度以及环境条件影响,常规增强蚀变信息的比值因子(如 *TM3/TM1* 增强铁化信息,*TM5/TM7* 增强泥化信息)并非在所有地区都有效。换言之,对于不同的地区,由于蚀变岩石及"背景"地物的光谱特征存在差异,在提取矿化蚀变信息时,需要根据岩石(矿物)的光谱特征分析来调整比值因子或波段组合;另外,不同地区的蚀变岩石与"背景"地物在光谱空间的"聚类结构"特征也不同,所以,矿化蚀变信息提取的方法及遥感信息模型的建立也不存在固定的模式。事实上,利用对岩石光谱数据进行多元数据分析,可以研究和揭示不同地区的蚀变岩的光谱个性特征,进而建立遥感矿化蚀变信息提取模型。

1　多元数据获取

选择青海茫崖柴水沟—采石沟金多金属矿化区作为研究区,采用的多元数据包括 37 个典型岩(矿)石样品的野外实测波谱数据、微量 Au 分析和岩石组分分析结果。

为了同 TM 图像数据进行类比,对每个样品的波谱数据在光谱范围 450 ~ 520 nm、520 ~ 600 nm、630 ~ 690 nm、760 ~ 900 nm、1550 ~ 1750 nm 以及 2 080 ~ 2 350 nm 中分别获取与 *TM1*、*TM2*、*TM3*、*TM4*、*TM5* 和 *TM7* 波段图像对应的光谱值,而后求取比值 *TM3/TM1*、*TM3/TM2*、*TM3/TM4*、*TM5/TM7*、*TM5/TM3*、*TM5/TM4*、*TM7/TM3* 及 *TM7/TM4*。把岩矿石的组份分析结果(包括 SiO_2、Al_2O_3、CaO、MgO、Fe_2O_3、FeO、K_2O、Na_2O、Au、$K_2O + Na_2O + Al_2O_3$、$CaO + MgO$ 及 Fe_2O_3/FeO 等)和微量金分析结果也参与到多元数据统计分析中来。

2　多元数据的数理统计分析

对所有数值变量进行相关矩阵分析和 R - 型聚类分析(图 1),可以得出如下结果:

(1) R - 型聚类分成两个大类时,变量分成两大组,一组为 CaO、$CaO + MgO$、MgO、FeO、Na_2O、Al_2O_3、$K_2O + Na_2O + Al_2O_3$、SiO_2、K_2O 和 *TM3/TM4*,另一组为 *TM5/TM3*、*TM5/TM4*、*TM7/TM4*、*TM2*、*TM3*、*TM4*、*TM1*、*TM5*、*TM7*、*TM3/TM1*、Fe_2O_3、Fe_2O_3/FeO、*TM5/TM7* 和 Au。这说明:①与泥化、碳酸盐化和硅化相关的变量同与铁化有关的变量,刚好与两大变量聚类相对应;②光谱测试变量只有比值 *TM3/TM4* 与泥化、碳酸盐化和硅化蚀变有关,其它波段和比值均与铁化相关,这反映了样品的光谱变化主要来自铁化蚀变;③本地区的泥化、碳酸盐化和硅化 3 种蚀变相互关系密切;④铁化蚀变与 Au 有较好的相关性。

收稿日期:2005 - 05 - 23;修订日期:2005 - 06 - 27
基金项目:"十·五"国家科技攻关计划项目"西部高寒山区铜金矿产勘查评价技术与综合示范研究"(编号 2001BA609A - 04)。

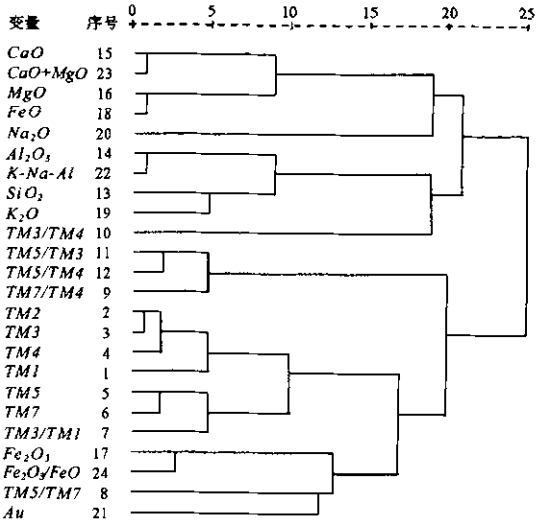


图 1　24 个变量的 R – 型聚类树状图
（$K-Na-Al$ 表示 $K_2O+Na_2O+Al_2O_3$）

（2）当 R – 型聚类细分成 5 类时，则有［CaO、$CaO+MgO$、MgO、FeO、Na_2O］、［Al_2O_3、$K_2O+Na_2O+Al_2O_3$、SiO_2、K_2O、$TM3/TM4$］、［$TM5/TM3$、$TM5/TM4$、$TM7/TM4$］、［$TM2$、$TM3$、$TM4$、$TM1$、$TM5$、$TM7$、$TM3/TM1$］及［Fe_2O_3、Fe_2O_3/FeO、$TM5/TM7$、Au］5 个变量组。可以看出：①第一组主要是碳酸盐化的岩矿成分因子，第二组为泥化和硅化的岩矿成分因子，第五组是铁化因子，其它两组分别是 TM 波段比值和 6 个 TM 波段（$TM1 \sim TM5$，$TM7$）；②碳酸盐化的岩矿成分因子没有与之相关的 TM 波段（或比值），说明本地区碳酸盐化蚀变对光谱变化的影响不明显；泥化和硅化的岩矿成分因子仅仅与比值 $TM3/TM4$ 关系密切，表明泥化和硅化蚀变对光谱变化有一定的影响，但不是很强烈；铁化因子除了同 $TM5/TM7$ 关系非常密切外，从 R – 型聚类图上还可发现与 TM 的 6 个波段（$TM1 \sim TM5$，$TM7$）及 $TM3/TM1$、$TM5/TM3$、$TM5/TM4$、$TM7/TM4$ 四个比值的相关性也很好；③微量金（Au）与铁化因子和比值 $TM5/TM7$ 呈现较高的相关性。

（3）基于上述现象可知：①本区褐铁矿化蚀变（铁化）强烈，其次是绿泥化、绿帘石化、高岭石化（泥化）和硅化，碳酸盐化蚀变最弱；②从不同蚀变岩石的岩矿成分因子与光谱的 TM 波段及比值之间的相关程度可以看出，本区的铁化蚀变最容易提取，其次是泥化与硅化蚀变，碳酸盐化蚀变与泥化蚀变混杂在一起而难以在光谱上区分。

对所有变量进行因子分析，得到因子特征值、初始因子载荷矩阵和正交旋转因子矩阵（表略），它们揭示了如下信息：

① 铁化岩矿成分因子与泥化（硅化）岩矿成分因子出现在第一主因子轴的两端，同时与比值 $TM3/TM2$、$TM3/TM1$、$TM5/TM7$、$TM5/TM3$、$TM5/TM4$ 和 $TM5$、$TM7$ 两个波段有较好的相关性。这就充分说明本区同时存在较强烈的铁化与泥化（硅化）蚀变，它们对多个波段光谱的影响非常明显。

② Au 形成主因子轴（第八主因子），其次在第一、第五主因子也有较大的权重。所有这 3 个因子主要都与 $TM3/TM1$、$TM3/TM2$ 和 $TM5/TM7$ 有较高的正相关性。表明从岩石波谱特征中可以反映出金矿化的（蚀变）信息。

③ 碳酸盐化的岩矿成分因子与二价铁构成了第四主因子，比值 $TM5/TM7$ 与它们呈现较好的负相关，$TM7/TM3$、$TM7/TM4$ 和 $TM3/TM1$、$TM3/TM4$ 分别同它们有一定程度的正负相关性。表明本区存在的碳酸盐化蚀变不强烈。

④ $TM1 \sim TM7$ 以高度的正相关集中形成了第二主因子，主要反映与背景相关的信息，跟蚀变岩矿成分因子基本上没有明显的相关性。而比值变量已基本上独立于派生它们的原始波段，它们的权重没有集中在某个主因子上，而是贡献在多个主因子轴上，并与蚀变岩矿成分因子存在显著的“亲和性”。由此说明，比值变量已基本消除了背景干扰，确实能在提取矿化蚀变信息方面起着重要作用。

因子分析与 R – 型聚类分析揭示的主要信息是一致的，且因子分析所反映的信息层次更深，更具内涵，更能解释成因和机理性的问题。

3　遥感矿化蚀变信息模型

从上述分析可知，在深入分析研究区矿化蚀变类型、蚀变岩矿成分因子与实测岩石波谱数据及其派生比值变量的关系，以及岩石波谱数据及比值、蚀变岩矿成分因子两组变量自身的相关组合特征的基础上，能够根据不同的矿化蚀变类型，选择识别蚀变的最佳特征变量组合和建立遥感信息模型。

以铁化蚀变为例，研究区蚀变带具有强烈的褐铁矿化、黄钾铁矾化等蚀变。

综合分析相关矩阵、R – 型聚类树状图和因子载荷矩阵，识别铁化蚀变的最佳变量组合（以同 Fe_2O_3 变量的相关系数的大小排序）为 $TM3/TM1$、$TM5/TM7$、$TM5$、$TM5/TM4$ 及 $TM5/TM3$。

当把这些变量分别与 Fe_2O_3 绘制二维散点图

(图 2)时,发现 *TM3/TM1*、*TM5/TM7* 和 *TM5/TM4* 等更能反映样品中铁化与泥化蚀变的聚类特征。

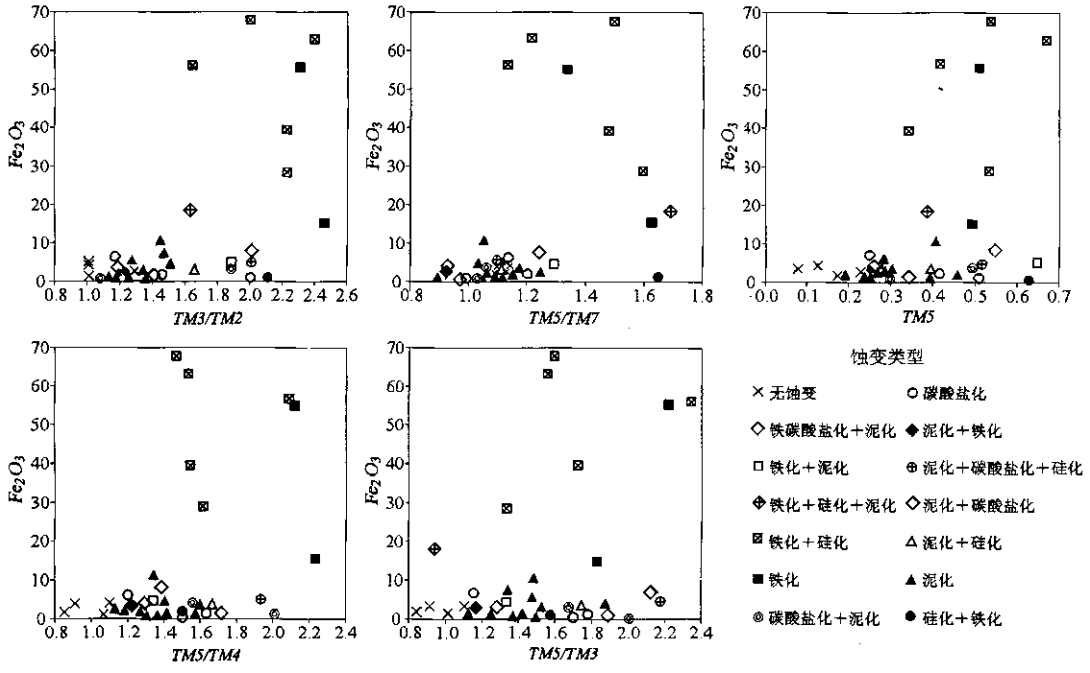


图 2　Fe_2O_3 与 *TM* 比值构成的二维散点图

下面是 Fe_2O_3 变量分别与 *TM3/TM1*、*TM5/TM7* 和 *TM5/TM4* 变量组合得到的回归方程

$$Fe_2O_3 = 19.50\ TM3/TM1 + 13.45\ TM5/TM7 + 5.95\ TM5/TM4 - 42.991$$

为了分析该模型的有效性,采用 Q－型聚类分析方法,分别用 *TM* 原始波段、*TM* 比值变量和模型的估计变量 Fe_2O_3 的值对蚀变岩样品进行分类,样品的相似准则采用欧氏距离和余弦函数。

图 3 是由 *TM1*、*TM3*、*TM4*、*TM5* 和 *TM7* 五个原始波段分类得到的 Q－型聚类树状图,基本上能够区分无蚀变、铁化和泥化三大类,而硅化与碳酸盐化混在泥化类区分不开,并且部分样品被错分,如 9、10、21 和 26 号 4 个铁化样品被错分到泥化类,1、2 号两个非铁化样品被错分在铁化类。

当选择 *TM3/TM1*、*TM5/TM7* 和 *TM5/TM4* 三个变量参加分类时,分类结果相当合理(图 4 的 Q－型聚类树状图)。37 个样品被分成 4 类:铁化类、泥化类、碳酸盐化(硅化)类和无蚀变类。铁化类除了 21 号样品外,其它 10 个样品都得到正确归类;无蚀变类 4 个样品归类全部正确;泥化类也绝大部分分类正确。只有碳酸盐化与硅化混成一类,同时与泥化类有混淆现象。这说明:第一,本研究区的主要蚀变是铁化与泥化;第二,碳酸盐化与硅化光谱特征上差别不大,同时它们与泥化也不是很好区分。

有意义的是,用铁化蚀变遥感信息模型的估计

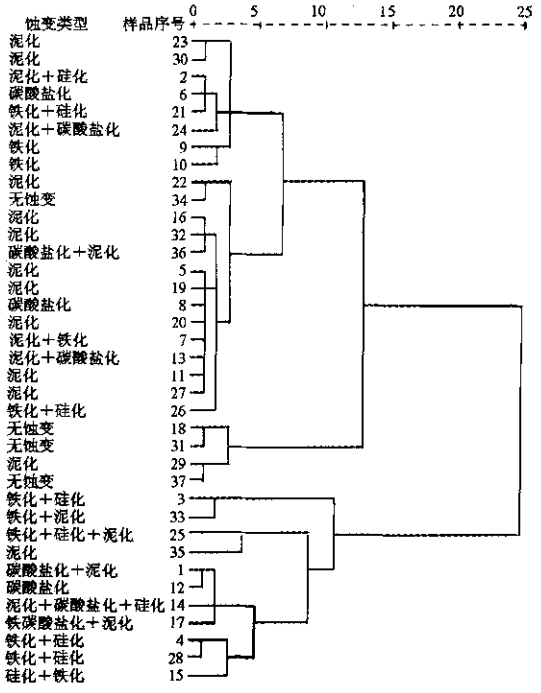


图 3　由 TM1、TM3、TM4、TM5、TM7 五个原始波段对蚀变岩的 Q－型聚类树状图

变量 Fe_2O_3 值进行分类(Q－型聚类树状图见图 5),得到的结果也很好,铁化类与泥化类得到了较好的归类。

采用上述比值组合线性回归模型,利用 TM 数据,对试验区进行了铁化蚀变遥感信息提取,结果如插页彩片 8。区内共圈出异常集中区 15 个,对其中 8

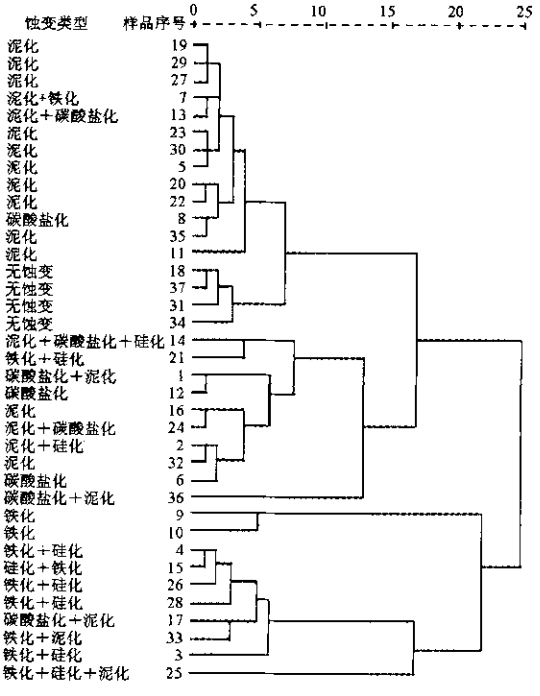


图 4　*TM3/TM1*、*TM5/TM7* 和 *TM5/TM4* 对蚀变岩的 Q－型聚类树状图

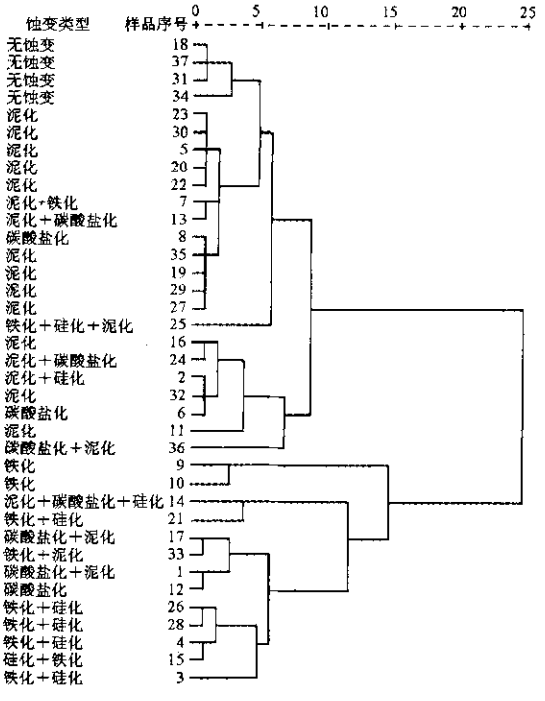


图 5　铁化蚀变模型回归估计值(Fe_2O_3)对蚀变岩的 Q－型聚类树状图

个异常进行了野外查验,发现有 4 个异常与已知矿化体(矿化蚀变体)相吻合;3 个异常有不同程度的矿化蚀变;另有 1 个异常未见与矿化有关的岩石蚀变。由此可见,蚀变信息提取的效果是比较理想的。

4　结论

(1)通过对岩石反射光谱及岩石组分的多元数据分析,揭示了光谱波段及比值变量之间、光谱数据与蚀变岩矿成分因子之间的相互关系,更重要的是揭示了研究区的铁化、泥化、硅化和碳酸岩化等多种蚀变之间的复杂关系,以及成矿作用的多样化。

(2)分析发现,本地区有强烈的褐铁矿化蚀变(铁化),其次是绿泥化、绿帘石化、高岭石化(泥化)和硅化,最弱的蚀变是碳酸盐化,其中,铁化蚀变最容易提取,其次是泥化与硅化蚀变,碳酸盐化蚀变与泥化蚀变混杂在一起,难以在光谱上区分。

(3)因子分析显示,比值变量基本上独立于派生它们的原始波段,*TM*1 ~ *TM*5 和 *TM*7 跟蚀变岩矿成分因子基本上没有明显的相关性,反映的应该主要是与背景相关的信息。而比值变量与蚀变岩矿成分因子之间存在显著的"亲和性"。由此说明,比值变量已基本消除了背景干扰,确实能在提取矿化蚀变信息方面起着重要作用。

(4)从分类结果看,光谱数据对蚀变岩与非蚀变岩有很强的区分能力,但对岩石类型的区分不是很好,这表明蚀变岩矿成分因子对光谱的影响非常显著。

(5)岩石的波谱测试对遥感矿化蚀变信息提取具有十分重要的意义,对其进行多元数据分析可以揭示遥感蚀变信息形成的地学因素,为提取蚀变信息的最佳变量组合提供依据,从而建立不同矿化蚀变类型的遥感信息提取模型。

参考文献

[1]　王学仁. 地质数据的多变量统计分析[M]. 北京:科学出版社,1986.

[2]　植东升. 地质找矿勘探中的概率统计方法[M]. 长沙:中南工业大学出版社,1987.

[3]　张远飞,等. 综合地学数据图像处理组合变量的选择和权值的估计[J]. 矿产与地质,1987,(2).

[4]　马蒨乃. 遥感信息模型[M]. 北京:北京大学出版社,1997.

[5]　卢纹岱. SPSS For Windows 统计分析[M]. 北京:电子工业出版社,2000.

[6]　吴德文,等. 青海芒崖地区岩石光谱特征分析及应用[J]. 国土资源遥感,2001,(4):28－34.

[7]　赵元洪,等. 波段比值主成份复合在热液蚀变信息提取中的应用,国土资源遥感[J]. 1991,(3):12－17.

(下转第 30 页)

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

TIAN Shu – fang[1], HONG You – tang[1], 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 – chang[2], ZHANG Yuan – fei[3], YUAN Ji – ming[2]
(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)