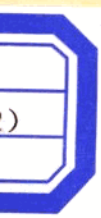


四川智力开发

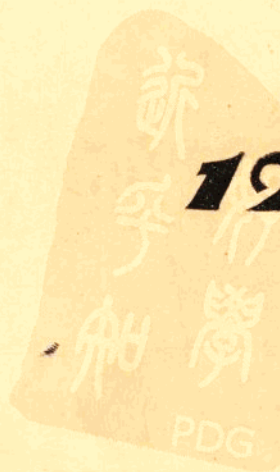
SICHUAN ZHILI KAIFA

遥感技术在地质勘查中的应用译文集



2

1982



遥感技术在地质勘查中的应用

译 文 集

地质矿产部地质遥感中心

前 言

地矿部地质遥感中心情报室在调查欧美地质遥感现状的过程中,搜集了1984—1988年期间国际环境遥感会议及遥感杂志上有关地质勘查方面的文章,从中选出20余篇,编译成集(已发现重译的文章予以删除)。其目的是向国内有关专业人员提供一点比较详细具体的原始信息,以便从中了解目前国际上遥感技术在地质勘查应用研究方面有用的技术方法、应用条件和实际效果。译文集的内容主要涉及:岩性识别和热液蚀变填图,与成矿有关的构造分析,多种数据的综合解释,油气勘查以及成像光谱技术应用研究。

本文集由地矿部地质遥感中心情报室舒世光负责组织编译,参加译校工作的除情报室舒世光、於月珍、杜娟和张勤同志外,还有王润生、王品清、刘心季、杨文久、李昌国、郭良德、赵振远和周福臻等同志。由于受到印刷版面的限制,译文中的摘要及参考文献都省略了;对那些原文中就印刷不清的影像图,也只好割爱删去。

在编译过程中得到遥感中心领导及周福臻、赵振远和陈良同志的大力支持,在此表示衷心感谢。

由于编译者的水平所限,文集上的缺点和错误在所难免,敬请读者批评指正。

编 者

1988年10月

四 川 智 力 开 发

1989年4月

第2期

目 录

岩性识别和热液蚀变填图

- 机载专题制图仪图像用于内华达州Yerington区Ann-Mason地段的
蚀变矿物填图 (1)
- 褐铁矿蚀变填图中的陆地卫星MSS图像交互式数字图像分析 (8)
- 使用机载扫描仪在风化和植被覆盖区确定浅成热液蚀变和铁帽
——澳大利亚成功的实例介绍 (17)
- 矿产勘查中应用CARR BOYD/GEOSCAN航空多光谱扫描仪
进行岩性识别和蚀变填图 (35)
- 用专题制图仪数据圈定新墨西哥西南部热液蚀变区 (45)
- 铁吸收指数
——用于氧化铁填图的比值技术与基线技术的对比 (52)

构造分析和矿床勘查

- 在科罗拉多州埃默蒙斯山区专题制图仪模拟器调查的地质效果 (59)
- 利用专题制图仪数据区分内华达州托诺帕地区的岩性单元、
蚀变类型和主要构造断块 (64)
- 机载专题制图仪在西班牙Almaden地区汞及铅锌矿勘探中的应用 (74)
- 一种利用陆地卫星TM数据在内华达州中西部进行金矿勘查的综合方法 (79)
- 沿约旦的瓦迪·阿拉伯断层用特殊处理的TM-数据进行构造
和光谱研究的效果 (88)
- 利用图像分析技术综合地面地球化学资料和陆地卫星图像
发现砂卡岩型钨矿 (93)
- 从线性体密度分析看尼日利亚构造控矿的证据
——陆地卫星研究 (100)

安大略省蒂明斯-柯克兰湖区金矿点和陆地卫星测得的线性体之间的 统计关系	(106)
关于陆地卫星TM数据在新不伦瑞克南部麦克塔夸特黑德庞德地区 填绘地质线性体中应用数字增强技术的评价	(118)
陆地卫星专题制图仪图像的地表反射校正和立体增强用于构造地质 勘探	(122)
在印度尼西亚龙布陵岛利用遥感图像数据发现新的矿化区	(130)
多种数据综合解译、油气勘查、成像光谱仪的应用研究	
在岩性及热液蚀变填图中机载专题制图仪及热红外多光谱扫描仪数据的 综合分析	(137)
澳大利亚航天飞机成像雷达-B (SIR-B) 影像及地质和地球物理资料的 综合	(143)
莫桑比克北部莫纳波地区用于探查矿床的地质和遥感资料的综合分析	(150)
应用专题制图仪数据在得克萨斯州哈德曼盆地勘探油气	(156)
应用摄影地质填图方法在密西西比拗陷寻找潜伏构造	(162)
用航空成像光谱仪 (AIS) 在内华达州弗吉尼亚市探查热液蚀变	(169)
用航空成像光谱数据识别热液蚀变矿物方法的比较	(175)

机载专题制图仪图像用于内华达州 Yerington区Ann-Mason地段的 蚀变矿物填图

Robert O. Green Ronald J. P. Lyon

一、概 述

利用多光谱、遥感、数据的矿产勘探工作涉及到多种技术。其中包括地植物关系的解释、构造条件的评价以及估算地面矿物反射特征等。本次研究在可能的情况下已将上述方法用于硫化矿区的航空多光谱扫描仪图像的分析工作中。在获取图像的时候,由于季节的关系,缺少绿色植被使地植物勘探方法未能得以应用。然而,正是由于这个原因,区域构造特征得到最佳显示,有利于岩性及矿化蚀变岩石的划分。工作的重点是把光谱比值法用于地面反射率测量及机载多光谱扫描仪数据分析,以便识别矿体。如图1(略)所示,研究区位于内华达州Yerington区的Ann-Mason地段。

就其地质特征而言,该地区存在着一系列的石英二长斑岩脉,它们均与斑岩铜矿床伴生。这些岩脉侵入到一个产在中生代海相沉积层中的花岗岩岩基中(J.M. Proffett和B.H. Proffett, 1976)。Ann-Mason地区的构造形变以张性正断层为主。这一地区的地球化学作用特征已包括石英二长斑岩系的原生蚀变。与硫化矿物有关的次生蚀变主要为高价铁及含羟基矿物。在多光谱分析中,这些矿物是至关重要的。类似的蚀变也出现在Yerington岩基附近的含硫交代石英岩中。该地区中分布的其他岩石主要有玄武岩和安山岩、火山灰流凝灰岩以及盆地沉积岩石。这些岩石和花岗闪长岩的蚀变作用没有像在Ann-Mason地区含硫岩石的蚀变强烈。

1982年7月9日, [美]国家宇航局Ames在该地区获取了机载专题制图仪模拟器的图像数据,该仪器具有12个光谱波段,其光谱区间为可见光到热红外波段。成像飞行测线沿Singatc山区布置(包括Ann-Mason地区),带宽为10km,飞行高度为海拔20km,所得图像的分辨率为25m,但由于地形的变化使分辨率也产生一定的变化。

1983年春末,在Ann-Mason地区进行了野外现场调查。采集了区内主要岩石类型的样品,据此,测定了这些岩石的矿物成分及光谱反射率曲线。其反射率测量数据被用来建立岩石类型和经波段比值法增强处理图像两者间的相关关系。利用这些经处理的图像,对该地区

的岩性和矿化蚀变以及构造特征进行了填图。在本次研究中,主要目的是检验多光谱技术在勘探工作中反映硫化矿体特征的潜力。

二、地质特征

以石英岩和石灰岩为主的中生代海相沉积岩石是在Ann-Mason地区所见到的最古老的岩石。Yerington花岗闪长岩基在侏罗纪侵入到上述海相沉积地层中。在这个岩基的南部边缘,这一侵入体产生了强烈的砂卡岩化,沿这一闪长岩基附近地区出现一系列的石英二长斑岩脉。铜矿体多产在这些斑岩脉系的上部。在主成矿阶段形成的黄铜矿中,铜的含量范围在100—2000ppm之间(Dilles, 1983)。这一地区中出现的其它岩石有交代变质的石英岩以及玄武岩和安山岩。此外,在第三纪出现了火山灰流凝灰岩等火山沉积岩石。

在Cordillera南部,Ann-Mason地区反映出曾经历了张性形变的特征。其压应力受一组平行的、向东倾斜的、断层面略向上凹的正断层系调节。这些断层的运动使古老的岩石向西旋转了90°左右(Proffett, 1972)。在火山灰流凝灰岩中,岩石旋转的幅度随年龄而减小,由此表明,自第三纪以来这些断层一直在活动。由于这些正断层的存在,使Yerington岩基及其有关的岩石在地面出露的方位与原来的垂直剖面方向相同。Singatse断层的断距使第三纪火山灰流凝灰岩位移动到这一侵入体的北部边缘,掩盖了石英二长斑岩岩脉。与Singatse山隆起有关的近代盆地和山区中的断层导致强烈的剥蚀,使基岩几乎全部出露地表。

在Ann-Mason地区的所有的岩石类型中有不同程度的矿化蚀变。石英二长斑岩中的原生蚀变主要是由岩浆热液所产生的,并形成一些早期蚀变矿物。而后期次生蚀变主要由硫化矿物、石英、长石以及地面氧化剂间的化学反应所造成的(Bladh, 1982)。在这些岩脉系统的剖面中,经蚀变的硫化物蚀变岩石产生赤铁矿、针铁矿、黄钾铁矾等蚀变矿物。硫化物的分解释放出氢离子,而后这些氢离子与长石类矿物反应,并形成含羟基矿物高岭土。在Yerington岩基中,蚀变矿物组合与斑岩铜矿中的黄铜矿及黄铁矿呈高度相关。即使在这花岗二长岩基附近的岩石中,含硫交代石英岩中也存在高价铁和含羟基矿物。

三、野外光谱

为了了解区域地质概况并为光谱反射率测量采集样品,作者分别在1983年春、秋两个季节到Ann-Mason地区进行野外研究。样品采集点多选择在有多光谱图像中的特征一致,而且是区内主要岩石出露的位置。利用配有6个窄带滤波器的巴林杰(Barringer)辐射计对所有的岩石样品进行了光谱测量,这些滤波器都位于专题制图仪的可见光和近红外波段内。在所有的测量中,都把硫酸钡当作百分之百的标准反射率。每个岩石样品至少测量4次,最后取其平均值。利用放大镜并结合现有地质图所提供的信息(Dilles, 1983)确定岩石样品的矿物特征。

图2示出了在专题制图仪6个光谱波段中的反射率测量结果,但不包括热红外波段。其变化范围为:Yerington岩基的花岗闪长岩和玄武岩的光谱曲线相对平坦,而石英二长斑岩脉中的蚀变岩和交代石英岩样品光谱曲线中出现很强的吸收特征。表中列出了用于岩石样品

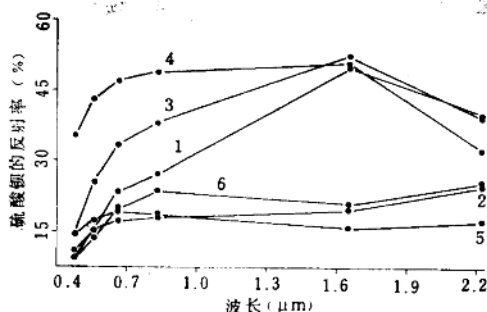


图2 专题制图仪光谱波段的岩石样品反射率测量曲线

Ann-Mason样品光谱: 1. 交代型石英岩;
2. Yerington岩基的花岗闪长岩; 3. 含硫化物的石英二长斑岩; 4. 石膏尾矿; 5. 玄武岩; 6. 含赤铁矿的灰流凝灰岩

岩石样品的反射率测量数据的波段比值效应表

岩石样品	比值		
	0.83μm/0.56μm	1.65μm/2.22μm	1.65μm/0.48μm
交代型石英岩	1.78	1.25	4.95
Yerington岩基的花岗闪长岩	1.19	0.80	1.96
含硫化物的石英二长斑岩	1.50	1.33	3.53
石膏尾矿	1.14	1.56	1.44
玄武岩	1.07	0.92	1.12
含赤铁矿的灰流凝灰岩	1.74	0.83	1.56

反射率测量3个波段比值的数值响应。

对于矿物内部结构中存在的高价铁反映敏感的波段比值是 $0.73\mu\text{m}/0.56\mu\text{m}$ (Prost, 1980), 它与专题制图仪中的 $0.83\mu\text{m}/0.56\mu\text{m}$ 波段比值相当。在所采用的光谱区间中这一比值是有效的, 因为高价铁电子轨道的能级恰好吸收短波光。由于第三纪火山灰流凝灰岩中赤铁矿含有高价铁成分, 所以在岩石的样品对这一波段的比值数值响应很高。经蚀变的石英二长斑岩样品中含有硫化物的蚀变矿物赤铁矿、针铁矿和黄钾铁矾。这些矿物中都含有高价铁, 因此, 这些岩石样品对这一波段比值的响应数值也都很高。交代石英岩中的硫化物均有高价铁的蚀变矿物, 对这一波段比值也有很强的反映。在Yerington岩基中的花岗闪长岩中一般没有高价铁的矿化作用, 因此, $0.83\mu\text{m}/0.56\mu\text{m}$ 比值的响应很低。在该地区的玄武岩样品中也可见到类似的情况。在Yerington岩基内, 利用 $0.83\mu\text{m}/0.56\mu\text{m}$ 波段比值图像可以圈定出那些含硫量很高的石英二长斑岩脉, 这些岩脉对斑岩铜矿具有一定的指示作用。

波段比值 $1.65\mu\text{m}/2.22\mu\text{m}$ 较高的响应数字表明岩石的矿物成分中含有二八面体的层状硅酸盐矿物(粘土、白云母和绢云母等矿物)或其它一些含羟基矿物, 如石膏。在Ann-Mason地区所进行的专题制图仪波段反射率测量包括了 $1.65\mu\text{m}$ 和 $2.22\mu\text{m}$ 波段。 $2.22\mu\text{m}$ 波段的强光谱吸收特征是由氢氧根键的振动特征所造成的。而在 $1.65\mu\text{m}$ 波段的强反射特征使这一比值对含羟基矿物十分敏感。石英二长斑岩系中的蚀变地段在这一波段比值中的响应数值较高。这些岩石中含有与硫化物分解相伴生所形成的含羟基矿物高岭土。与此类似, 交代

石英岩的样品也含有硫化物蚀变矿物，所以它们的响应值也较高。这类波段比值法也被用于 Ludwig 矿山附近的尾矿中所采集的石膏样品的测量。强比值响应反映出这一波段比值法对含氢氧根键矿物是十分敏感的。在这一地段所采集的其它岩石样品，如花岗闪长岩和火山灰流凝灰岩对这一波段比值响应很低。波段比值 $1.65\mu\text{m}/2.22\mu\text{m}$ 可以识别出粘土矿物，它们对与斑岩铜矿床共生的硫化物蚀变具有指示作用。

另外一种光谱比值技术是利用 $1.65\mu\text{m}/0.48\mu\text{m}$ 比值来区分含有高价铁矿物的岩石 (Abrams 等, 1977)。在可见光至近红外波段中, $0.83\mu\text{m}/0.56\mu\text{m}$ 比值的作用是在于较短的波长比较长的光谱波长有更强的吸收。当把这一比值用于 Ann-Mason 地区岩石样品的反射率测量时, 经硫化物蚀变的石英二长斑岩呈现较高的响应数值。含有硫化铁蚀变矿物的交代石英岩也呈较高的响应。而其他一些高价铁含量不高的岩石样品对这一比值反映不十分明显。这些岩石包括 Yerington 花岗闪长岩、火山灰流凝灰岩和玄武岩。

四、图像处理及其评价

1982年7月9日, 在 Ann-Mason 地区获取了机载专题制图仪模拟器的图像数据。在这一年夏季, 大气湿度较低, 而且该地区没有植被覆盖。其它一些干燥的有机物含量不足 15%。地面覆盖物主要是岩石露头和局部地段被派生的 talis。因此, 这些图像数据直接记录下 Ann-Mason 地区的岩性和矿物蚀变单元的光谱特征。

图 3 (略) 中示出了 $0.83\mu\text{m}/0.56\mu\text{m}$ 波段比值法用于这些专题制图仪模拟器图像数据的一个实例。在这一比值图像的中部, 大部分地区呈现暗色, 它是 Yerington 岩基中的花岗闪长岩的反映。利用岩石样品的反射率测量资料所获得的比值可以预测出这种光谱响应。含有硫化铜矿物, 即黄铜矿的蚀变石英二长斑岩岩脉分布的区域是很明显的, 在 Yerington 岩基的北部地段, 该白色区域有向西北方向延伸的趋势。图像中白色的比值响应与岩石样品测定的高比值一致。在这些岩脉的北部, 从暗色到白色的图像反差能反映出 Singatse 断层活动的形迹, 它将含赤铁矿的火山灰流凝灰岩位移到尚未蚀变的花岗闪长岩侵入体之上。Singatse 峰西侧及附近的火山灰流凝灰岩具有较低的光谱比值响应, 由此反映出不含高价铁矿物的火山岩的存在。而位于 Yerington 岩基西南边缘的交代石英岩呈现高的比值响应, 因为含有硫化物蚀变矿物存在。

如图 4 (略) 所示, 除了 $0.83\mu\text{m}/0.56\mu\text{m}$ 波段比值以外, 波段比值 $1.65\mu\text{m}/2.22\mu\text{m}$ 也被用于多光谱扫描仪数据。这一比值图像圈定出一些含有羟基矿物存在的区域, 在 Yerington 地区, 它们与赋存于长石中的硫化物分解作用有关。根据图像中高比值响应的区域可以在 Yerington 岩基内部圈出含黄铜矿的石英二长斑岩分布区。在这一侵入体的南部也可以见到由交代石英岩所产生的类似比值响应。在 Ludwig 矿山附近的尾矿中也有较高的比值响应, 由此表明有石膏成分存在。相反, Yerington 岩基、火山灰流凝灰岩、玄武岩和安山岩在这一波段比值图像中呈暗色响应。这类暗色响应说明含羟基矿物的含量不足, 这一结论已由这些岩石的矿物成分及光谱测量结果得到证实。

图 5 (略) 示出了 Ann-Mason 地区的 $1.65\mu\text{m}/0.48\mu\text{m}$ 波段比值图像。这一比值图像可

以反映出氧化铁含量较高的地面矿物特征。图像中白色调反映出石英二长斑岩脉中硫化物蚀变的地段。在这类比值图像中,交代石英岩中的硫化铁蚀变矿物使这类岩石呈白色调。Ann-Mason地区中其它一些主要的裸露岩石对 $1.65\mu\text{m}/0.48\mu\text{m}$ 比值反映不十分明显。

$0.83\mu\text{m}/0.56\mu\text{m}$, $1.65\mu\text{m}/2.22\mu\text{m}$ 和 $1.65\mu\text{m}/0.48\mu\text{m}$ 的每一个波段比值均可反映出石英二长斑岩脉系中含硫化物蚀变矿物的地段。图像反映的Yerington岩基内部硫化物分布与图6所示的用地面方法编制的硫化物分布十分吻合。图像和已填图的硫化物分布的差异是由于通过地面图中的tallis覆盖外推所造成的。

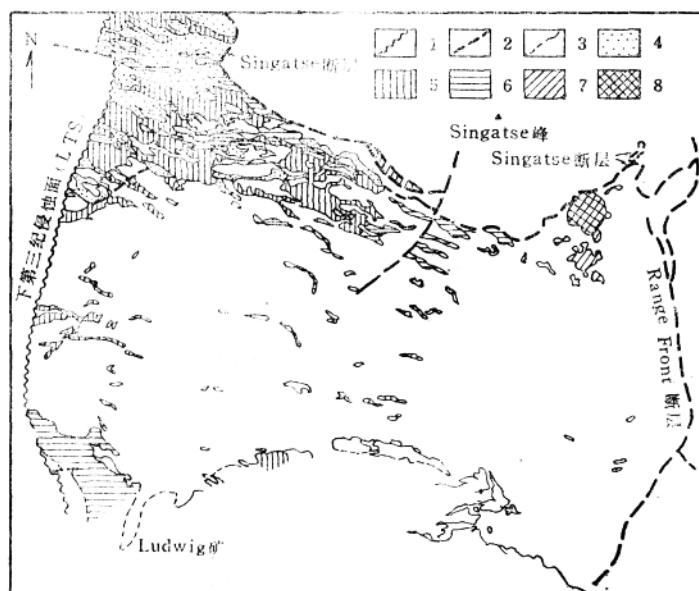


图6 Ann-Mason试验场的硫化物分布图

(据 J.M.Dilles, 1983)

1. 下第三纪侵蚀面 (LTS); 2. 断层; 3. 地质界线或硫化物界线; 4. 硫化物 $>5.00\text{vol}\%$, $\text{Py}:\text{Cp}>5$; 5. 硫化物 $1.00-5.00\text{vol}\%$, $\text{Py}:\text{Cp}>5$; 6. 硫化物 $0.25-0.99\text{vol}\%$, $\text{Py}:\text{Cp}>1$; 7. 硫化物 $0.01-0.10\text{vol}\%$, $\text{Py}:\text{Cp}\leq 1$; 8. 硫化物 $>0.10\text{vol}\%$, $\text{Py}:\text{Cp}\leq 1$

Ann-Mason地区的比值图像对一些地面矿物成分和其它一些地质特征起到了增强作用。Yerington 岩基的侵蚀面可以根据蚀变岩脉在西部的突然缺失予以圈定。在经过增强处理的图像中,火山灰流凝灰岩和花岗闪长岩侵入体两者间的接触带可以反映出Singatse断层的迹线。根据上述对高价铁矿物反映敏感的波段比值图像中的亮度差异,可以清楚地反映出Yerington岩基的边界。

利用专题制图仪模拟器的波段比值图像对该区的岩性及矿物蚀变部分进行了填图。如图

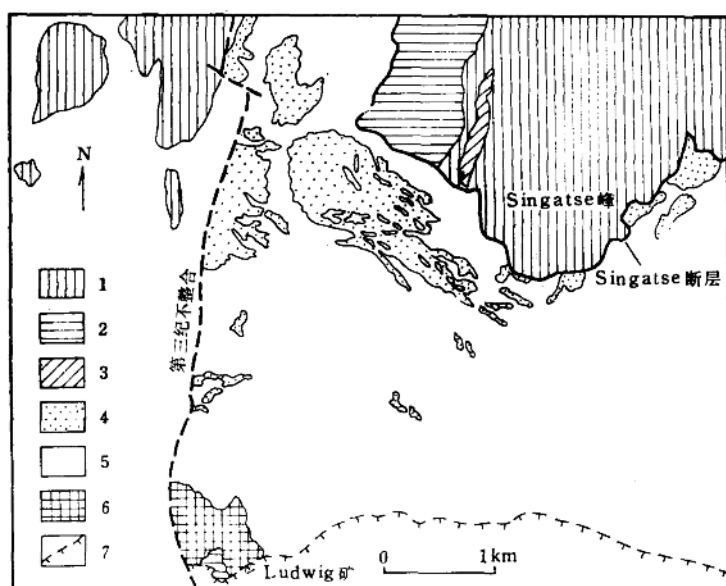


图7 利用专题制图仪模拟图像编制的岩石及矿物蚀变图

(据R.O.Green, 1984)

1. 第三纪灰流凝灰岩; 2. Lincoln平坦和自流湖火山; 3. 侵入安山岩; 4. 石英二长斑岩铜矿; 5. Yerington岩基; 6. 交代石英岩; 7. 中层沉积物

7 所示, 在经过处理的图像中, 一些主要构造特征在这类图像中也能得到增强。石英二长斑岩脉中含斑岩铜矿的地段主要是利用 $1.65\mu\text{m}/2.22\mu\text{m}$ 和 $1.65\mu\text{m}/0.48\mu\text{m}$ 这两个波段比值图像来圈定的。这些岩脉可以根据它们所处位置与花岗闪长岩侵入体的关系及地貌特征与交代型石英岩相区别。与交代型石英岩相反, 这些斑岩脉均位于Yerington岩体内, 而且具有侵入岩脉的长条形特征。与其它波段比值相比较, 火山灰流凝灰岩对 $0.83\mu\text{m}/0.56\mu\text{m}$ 波段的响应很高, 所以根据这一特征可以将其识别出来。其它火山岩石的圈定主要根据它们在交代每个波段比值图像中的暗色光谱响应及其喷发岩流的地貌特征。根据上述方法在Ann-Mason地区编制出的图件充分说明了多光谱图像在岩性识别应用中的潜力。

五、结 论

就遥感技术用于地面地质评价来说, Ann-Mason地区是一个理想的试验场。该地区是以区域性的岩石露头、不同的岩性单位产出方位、与硫化物共生的矿床以及一般无植被覆盖为特征。虽然由于没有植被覆盖使地植物学勘探方法难以利用, 但能使我们直接探测图像光谱响应与裸露岩石两者间的关系。Yerington岩基的取向使大部分斑岩脉中的铜矿床得以出露。不存在大面积的土壤覆盖, 可以直接识别岩性单位。最终, 硫化富矿床的蚀变产物

就包含了高价铁和含羟基矿物。这些蚀变矿物具明显的光谱反射特征，可以采用光谱波段比值技术予以区分。对于多光谱扫描仪试验用于试验区评价来说，能反映Yerington岩基及有关铜矿成矿作用的详细地质图件是至关重要的。

在本次研究中，根据该地区内的主要岩石类型的变化及其岩石样品的光谱测量结果选择了上述几种波段比值处理。利用 $0.83\mu\text{m}/0.56\mu\text{m}$ 和 $1.65\mu\text{m}/0.48\mu\text{m}$ 这两个高价铁比值以及对含羟基矿物敏感的 $1.65\mu\text{m}/2.22\mu\text{m}$ 比值处理，成功地圈定出产在Yerington岩基内的硫化矿床。同时，利用这些比值图像还对其它一些矿物和岩石蚀变特征进行了填图，使我们对Ann-Mason试验场的地面地质特征有一概观了解。在经过处理的图像中，除了使不同岩性的差异得以增强之外，也成功地对一些主要的构造特征进行了相应的填图。使Ann-Mason地区被选为理想试验场的这些特征是在遍及这一盆地及山区的局部地区发现的。最近，在某些远景区内已发现一些具有经济价值的硫化矿床。在世界其它一些地区中，也有许多与之类似的干旱基岩裸露地区。似乎很有可能，当专题制图仪多光谱图像用于未经勘探的地区时，采用与本次研究类似的方法将有可能发现一些新的具有重要经济价值的勘探靶区。

於月珍译自 Presented at the International
Symposium on Remote Sensing of
Environment, Third Thematic
Conference, Remote Sensing for
Exploration Geology, Colorado
Springs, Colorado, April 16—19,
1984, p.775—784

王品清、舒世光校

褐铁矿蚀变填图中的陆地卫星MSS 图像交互式数字图像分析

Keenan Lee

一、概 述

本文详细地介绍了几种利用陆地卫星MSS数据区分热液蚀变型褐铁矿化和其它成因类型褐铁矿化的方法。重点强调了在图像处理过程中地质性息的重要性。

“褐铁矿”一词意指铁的氧化物、氢氧化物或者硫化物及其混合物 (Blanchard, 1968), 它门在电磁波谱的紫外及可见光蓝光波段具有强吸收作用, 而在900nm波长附近晶体的吸收变化较大 (Hunt, 1979)。这类矿物包括赤铁矿、针铁矿、黄钾铁矾和水铁矿。它门的光谱特性决定了这类矿物多呈黄褐色至红色。“热液蚀变型褐铁矿”是指那些以铁帽形式出现的褐铁矿壳或膜, 它们是由那些与热液蚀变有关的黄铁矿经氧化而形成的。当陆地卫星专题制图仪数据广泛适用时, 它可以严格地确定热液蚀变型褐铁矿化, 因为这类图像数据能有效地区分和识别褐铁矿和真正热液蚀变矿物这两种地质体。然而, 目前专题制图仪数据还受到地理区域的限制, 但世界绝大部分地区都有MSS数据, 因此, 提供信息最多的仍然是陆地卫星MSS图像。

为了获取能增强地表褐铁矿化 (Roman等, 1974) 的彩色比值图像 (CRC), 已对陆地卫星MSS图像数据进行了数值处理。这种方法已被用在矿产勘探中, 以便寻找出对成矿作用伴随的热液蚀变具有指示意义的褐铁矿化。然而, 彩色比值合成图像中常常出现大量的褐铁矿化显示, 尤其是在干旱地区。难以解决而且是广泛存在的问题是: 人们如何才能把热液蚀变型褐铁矿化和大量出现的其它类型的褐铁矿化区分开来? 其答案是: 解决这一问题是相当困难的, 通常这类区分也不是很严格的, 最重要的是在数字处理和分析阶段以及其后的野外研究中不断地输入地质信息。

本文介绍了在3个不同地区所进行的褐铁矿填图工作 (图1, 略): (1) 科罗拉多州Cripple河地区, 在科罗拉多州Front山区, 该地区为一中等地形起伏区, 分布着开阔的针叶

林；(2) Lake City 破火山口区，在科罗拉多州西南部的San Juan山脉中，由于冰川作用，该地区地形高差很大，同时生长着高山针叶林及高山苔原植物；(3) 沙特阿拉伯的前寒武纪地盾区，它是一个大而平坦的山麓侵蚀平原，生长着稀少的沙漠型灌丛植物。在每个地区的研究中所采用的比例尺也不相同，例如 Lake City 破火山口区是 $15\text{km} \times 20\text{km}$ 范围内的详细填图，而在沙特阿拉伯（四景MSS图像）的填图范围则为 16500km^2 。

10年前，Larry Rowan 及其他人（1974）所做的工作为目前利用陆地卫星MSS 数据进行矿产勘探的研究奠定了基础。目前研究中所采用的大多数方法，是由美国地质调查所的 Gary Raines，Dan Knepper 及 Don Sawatzky 所建立起来的一些方法的改进。

二、工作方法

首先把为处理彩色比值图像而计算出的陆地卫星MSS比值数据转换到Munsell彩色坐标系中，然后，利用所有的图像摄影地质解译结果，并结合有价值的地质图件资料计算出训练统计参数。根据已知和预测出的热液蚀变成因的褐铁矿化区以及其它成因褐铁矿化区（红层、地表沉积物及其它铁镁矿物的风化作用等）的研究，地质学家们可以用数字形式确定每一类褐铁矿化表面的光谱特征。一旦确定这类数值特征后，即可从图像中删除那些没有意义的褐铁矿化区。而在图像上突出了最后得到的热液蚀变型褐铁矿化信息，并将成为勘探工作的基础。随后，野外研究将进一步明确这类褐铁矿成因类型，以便编制一张有用的勘探图件。

交互式图像的讨论将以 Cripple 河地区为主。在成果讨论一节中，将分别对每一个地区中褐铁矿化填图的结果进行讨论分析。

图2中简要地显出了在Cripple河地区图像数据处理中所采用的基本处理和分析方法。为了重排图像数据的记录格式，为均化六道检波器进行消除条带处理，以及对由地球自转所产生的图像扭曲畸变进行几何校正，首先对原始图像的EROS计算机兼容磁带（CCT）进行了预处理（Raines等，1978）。根据岩石分布区统计数值所确定的扩展参数对所有的图像都进行了增强处理，而后采用由Knepper和Raines（1985）所建立起来的方法消除植被覆盖的影响。为使光谱特征差异增至最大，而使地面照度差（地形阴影效应）降至最小，采用了个别波段间的比值处理方案。例如，在Cripple河地区的彩色比值合成图像处理采用的是 $B4/B5$ ， $B6/B7$ 和 $B4/B6$ ，并分别用红、绿、蓝三种颜色予以显示。在这类图像上，褐铁矿化地段呈绿色（Rowan等，1974；Raines等，1978）。其他一些研究人员所采用的彩色比值合成方案各不相同，但方法与本文所介绍的基本一样。

为了在那些不同成因类型的褐铁矿化的绿色像元中找出系统的差异并对其进行定量分析，将上述比值图像转换到Munsell彩色坐标系中——色调、强度和色饱和度。Raines已经证明了（1977）将图像数字转换到Munsell坐标系中的可能性，即在彩色比值合成图像中，取出一个像元后，确定它在每一个波段比值图像中的数值，然后计算出它在Munsell坐标系中的位置。利用这种方法，可以根据其数值特征来确定由不同成因类型的褐铁矿化区在图像中产生的绿颜色差异（Raines和Knepper，1983）。

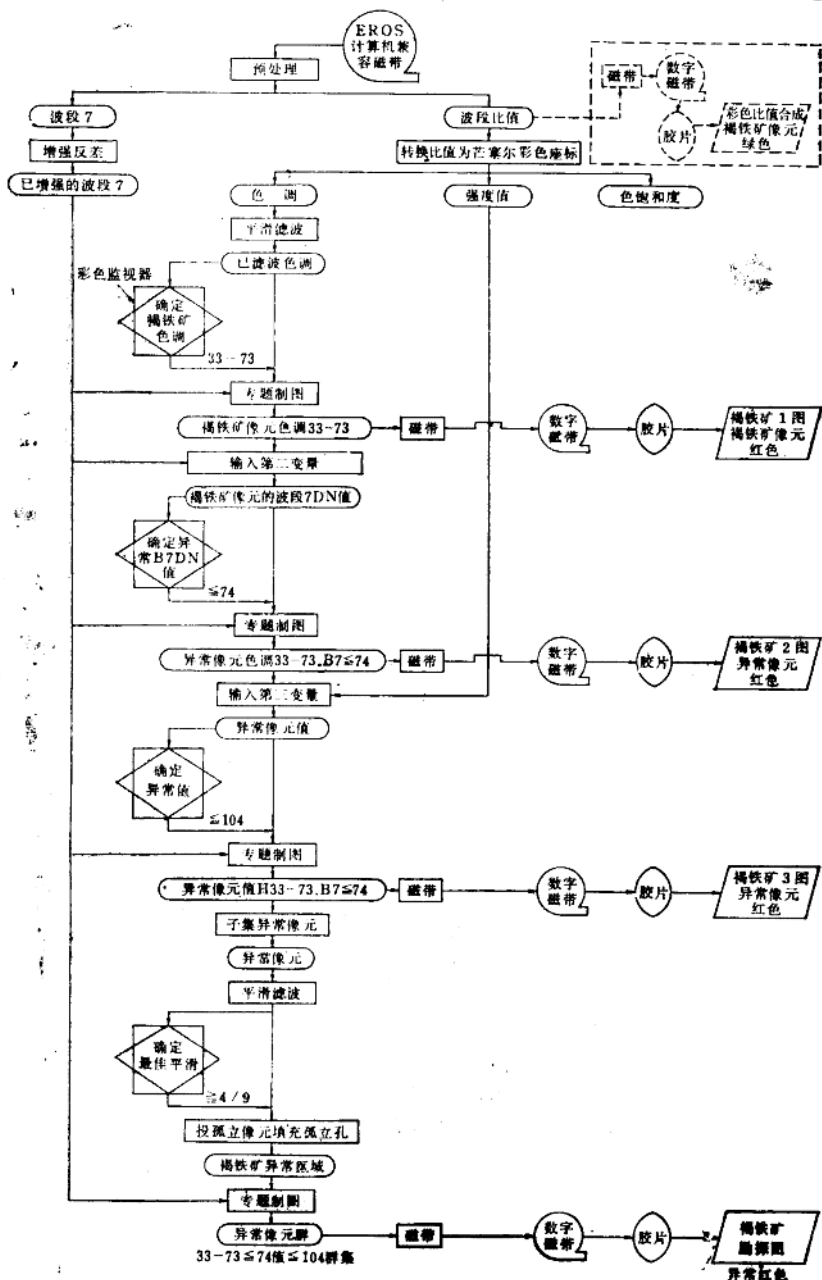


图 2 利用数字处理和交互式判定显示Cripple河的褐铁矿异常图像
(图 3, 4, 5 和 6) 的流程图

就这一阶段来说,解译地质信息需要选择有意义的色调范围。在本次研究中,有意义的色调应与热液蚀变岩石有关的褐铁矿化相对应。通过对Cripple河地区东南部这类岩石露头颜色的研究,并与区内未蚀变岩石的图像颜色比较分析后,将热液蚀变型褐铁矿化的色调区间确定在33—73之间。将那些颜色位于上述数字范围内的像元以红色显示在7波段黑白图像的方法编制出一张重点反映褐铁矿化分布的专题图像。这种图像中,是以黑白灰阶背景图像反映其地理参照要素(在本文中是以白色反映这些褐铁矿像元,而背景图像必须具有较低的反差)。图3(略)即是一张这类图像。图像中呈白色的像元是褐铁矿,它们在彩色比值合成图像中呈绿色,像元的色调介于33—73之间。在以后将要讨论的其它各类专题图像中均以相同的方法来予以显示。

褐铁矿图件(图3)显示出几个褐铁矿化地段:即沿图像右上角分布的是Pikes峰高山苔原区(A);在图像中上部密集分布的褐铁矿像元是Cripple河火山喷发中心地段(CC);Cripple河西南部的High Park是一个较大的褐铁矿化区(B);而沿图像下边分布的是Canon市海湾的沉积岩石(C-D)。对于矿产勘探来说,首先应在热液蚀变型和其它非热液成因型的褐铁矿化区两者间进行区分,因此,还需要确定出一些其它判别标志。

波段7图像的摄影地质解释揭示出南部地区中的某些沉积岩石的反射率比Cripple河蚀变区岩石高,这些蚀变岩石的反射率DN值为74或者更低。如果建立起一个褐铁矿像元亚组,这一亚组像元在波段7图像中的DN值为74或者更低。因而,就可以删除一些这类沉积岩石(C1, D1)。用黑色显示这一褐铁矿亚组后即可得到一张十分有意义的褐铁矿化异常图件(图4,略)。

利用类似的方法在Munsell坐标系中有效地区分出已知的热液蚀变型褐铁矿化和没有经济价值的岩石,因为热液蚀变型褐铁矿的反射率DN值低于105。将这一标准用于前一阶段处理出的专题图像又可以产生一个像元亚组,它们呈绿色(色调值33—73),在波段7具有较低的反射率($B7 < 75$),而且在彩色比值合成图像中呈暗色(值 < 105)。图5(略)中显示出这一像元亚组。图4与图5间的比较分析表明,褐铁矿化异常已明显减少。以前没有予以删除的大部分沉积岩石已被消除(C2, D2),在High Park中的绝大多数异常已消失(B1, B2)。

现在利用色调、波段7的DN值以及数值可以识别出热液蚀变型褐铁矿化,并删除其它成因类型的褐铁矿化区。而第三个颜色座标,色饱和度对褐铁矿的类型则不十分敏感。一般来说,色饱和度的变化很小,而且其原因也十分复杂(Lee等,1983; Kruse, 1984)。在Lake市破火山口地区,色饱和度可以区别某些褐铁矿化异常图(图5)对矿产勘探工作来说是十分有益的,因为它删除了许多无经济价值的岩石特征。假如人们只想找到规模很大的矿化蚀变而不考虑那些很小的褐铁矿化异常区时,则异常图的实用价值还可以进一步提高。利用 3×3 个像元大小的矩形滤波器对这些数据进行圆滑处理可以消除那些孤立存在的和较小的像元组。在监视器上观测,确定出那些在9个像元块中异常像元少于4个的小异常,最后将其删除,这种处理不会使原来的一些主要异常产生明显的改变。经过最后一步处理后,最终成果图像即是一张褐铁矿勘探图件(图6,略)。

上述讨论已经介绍了在进行野外研究以前所要反复完成的交互式分析处理工作。这类分

析工作有效地把勘探区压缩到最有希望的靶区。在第二阶段中的野外检查将进一步提高这类最终勘探图件的使用价值。虽然这一阶段的工作在 Cripple 河地区还没有做，但在 Lake City 破火山口地区以及沙特阿拉伯的野外研究中清理了一些褐铁矿化异常，最后，依次严格地筛选出一些热液褐铁矿化区域。

三、成 果

Cripple河地区

Cripple 河地区的勘探图件（图 6）中反映出一些褐铁矿化异常，它们与 Cripple 河地区中的热液蚀变区的光谱特征极为相似。其中 4 种主要异常类型有：（1）沿南部边界分布的带状异常，它们沿 Canon 市海湾分布；（2）High Park 区中的几个异常；（3）沿北缘分布的一些异常，即 Pikes 峰至 Cripple 河西北部一线地区；（4）图件中上部的 Cripple 河地区。

很明显，南部带状异常与沉积岩石吻合。最突出的特征是这些异常分布与宾夕法尼亚 Fountain 建造和三叠系 Lykins 建造（红色泥岩）中的红层一致（长石及红色泥岩）。

在 High Park 中的第二类异常与前寒武系中的灰色斜长石-石英-黑云母片麻岩有关。在这类片麻岩的风化壳中测得的反射光谱清楚地反映出具有与褐铁矿类似的曲线形态特征，在 $0.86\mu\text{m}$ 处的吸收峰值也说明褐铁矿的存在。在这种情况下，这些褐铁矿是由于黑云母风化而形成的；在手标本中，黑云母片具铁染现象。

第三类异常主要分布在北部边界，它们与出露的 Pikes 峰花岗岩有着极为密切的关系。根据反射分光光度计资料分析表明，直接产生这类异常的物质是赤铁矿，但现在对这些赤铁矿的物质来源尚未确定。现已提出两种可能的矿物来源，而且确有证据表明每一种来源都具有一定的影响。如上所述，一种解释是铁镁矿物的正常风化和分解所形成。Pikes 峰花岗岩属黑云母花岗岩类，而且有些黑云母呈现出铁染现象。第二种解释是来源于花岗岩中大量的红色长石。粉红色至红色的钾长石通常是由于铁离子置换晶格中的铝质成分所造成的，在破碎带和节理面上常有氧化铁质析出（Hunt 等，1973）。在阿拉伯地盾区出现的大量类似异常就是由于在粉红色的钾长石中这类氧化铁物质的析出所产生的。Prost（1975）在科罗拉多中部利用天空试验室像片分析成矿作用指示物时，在 A2 以北一哩（=1609.344m）处圈定出一个红色异常区，随后，他以为是由于 Pikes 峰花岗岩中粉红色钾长石的含量高达 40—60% 这一原因所造成的。

第四类褐铁矿化异常位于 Cripple 河地区，这类异常与热液蚀变和成矿作用有明显的关系。这类褐铁矿化像元的空间分布与 Cripple 河地区的火山构造以及角砾岩、凝灰岩和响岩侵入体的火山外露层极为吻合。图 7 是一张很详细的褐铁矿化分布图，它是把原勘探图放大 6 倍后来显示这些褐铁矿化异常的。这一图件在为遥感分析结果与由以往采矿工作的地面实测资料中所反映出的成矿作用两者间进行比较分析提供机会。