

# 遥感技术在金属矿产地质调查中的应用研究

朱谷昌 吴德文

(有色金属矿产地质调查中心, 北京, 100012)

遥感技术有探测范围广、获取信息快、信息量丰富等优势, 以此发展的遥感地质技术在地质调查、矿产勘查、地质环境评价、地质灾害监测和基础地质研究等方面中能发挥重要作用。特别是对于面积性地质工作, 遥感地质均能起到宏观的先导性作用。

## 1、丰富的遥感资料为遥感地质应用提供了坚实的基础

### (1) 工作中常用的多光谱数据

近十几年来, 遥感技术飞速发展, 传感器频谱范围不断拓宽, 空间和频谱分辨率不断提高, 信息处理、地物识别和信息提取技术不断完善。数据获取由多光谱到高光谱。在轨运行的几十颗各国的陆地资源卫星为遥感地质工作提供了海量的数据源, 其中蕴藏着大量的可供地质研究和矿产勘查使用的专题信息。目前在地质调查中使用较广的遥感数据源主要是美国 5 号、7 号陆地卫星的 TM (7 个多光谱波段, 分辨率 30m) 和 ETM(增加了第 8 波段为全色, 分辨率 15m)数据; 法国的 SPOT-4 (4 个多光谱波段, 分辨率 20m, 1 个全色波段, 分辨率 10m) 数据以及中巴的 CBERS-2 (7 个多光谱波段, 分辨率 20m) 数据等。在大尺度遥感地质工作中, 增加使用 SPOT-5 (4 个多光谱波段, 分辨率 10m, 1 个全色波段, 分辨率 5—2.5m); 美国的 IKONOS 数据 (全色波段分辨率 1m) 和 QUICKBIRD 数据 (4 个多光谱波段分辨率 0.67m) 等。

### (2) 几类常见岩石、矿物的波谱特性

在可见—近红外 (0.4—1.1  $\mu\text{m}$ )、短波红外 (1.1—2.5  $\mu\text{m}$ ) 和热红外 (8—14  $\mu\text{m}$ ) 中, 不同的波长范围可以识别特定的岩石矿物 (组合) (见表 1)。与此相应, 地质上常见的蚀变矿物 (组合) 在陆地卫星多光谱波段中有不同的表现, 以 TM 图像为例: 铁氧化物 (包括含铁矿物), 如褐铁矿、针铁矿、赤铁矿、黄铁钾钒等含大量  $\text{Fe}^{3+}$ , 也有少量  $\text{Fe}^{2+}$ , 在可见光波段 0.45-0.52  $\mu\text{m}$  (相当于 TM1) 和 0.76-0.90  $\mu\text{m}$  (相当于 TM4) 波段有强吸收带; 典型的热液蚀变矿

物—含羟基 ( $\text{OH}^-$ ) 和含水 ( $\text{H}_2\text{O}$ ) 类矿物, 如高岭石、绿泥石、绿帘石、蒙脱石、明矾石及云母类等, 在  $2.2\text{-}2.3\ \mu\text{m}$  (相当于 TM7 波段) 附近有较强的吸收谱带, 即在 TM7 波段产生低值, 而在 TM5 波段有相对的高值; 碳酸盐岩蚀变矿物—含碳酸根 ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) 类矿物, 如方解石、白云石、菱铁矿、石膏等, 在  $1.8\text{-}2.5\ \mu\text{m}$  和  $2.55\ \mu\text{m}$  附近较强吸收谱带; 硅酸盐岩类蚀变如硅化、长石化等及地温热异常, 在  $10.4\text{-}12.5\ \mu\text{m}$  即 TM6 波段有相对的高值。这些矿物的特征谱带正是提取岩石蚀变带尤其是矿化蚀变带遥感信息的理论基础。

表 1 波段范围与可识别矿物表

波段	波段范围 ( $\mu\text{m}$ )	可识别矿物
可见光—近红外	0.40-1.20	Fe、Mn 和 Ni 的氧化物、赤铁矿、镜铁矿植被
短波红外	1.30-2.50	氢氧化物、碳酸盐和硫酸盐
	1.47-1.82	硫酸盐类: 明矾石
	2.16-2.24	含 Al-OH 基团矿物: 白云母、高岭石、叶蜡石、蒙脱石、伊利石
	2.24-2.30	含 Fe-OH 基团矿物: 黄钾铁矾、锂皂石
	2.26-2.32	碳酸相加类: 方解石、白云石、菱镁石
	2.30-2.40	含 Mg-OH 基团矿物: 绿泥石、滑石、绿帘石
热红外	8.0-14.0	硅酸盐类: 石英、长石、辉石、橄榄石

(据 J.V.Taranik, 1988)

### (3) 高光谱数据开始走向实用

MODIS、Hyperion、ASTER 等多光谱和高光谱都在中红外和热红外区间设置了多个通道。中红外对硅化和石英特别敏感, 将给蚀变类型和蚀变分带的探测和分析提供新的有用信息。

美国的 MODIS 数据在  $400\text{-}14500\text{nm}$  波谱区间内选择性地设置了 36 个不连续的波段, 星下点地面分辨率  $250\text{m} - 1\text{km}$ 。美国的 Hyperion 具有 220 波段, 光谱分辨率  $10\text{nm}$ , 空间分辨率  $30\text{m}$ , 幅宽  $7.5\text{km}$ , 光谱区间  $400\text{-}2500\text{nm}$ 。日本的 ASTER 数据, 与 Landsat TM 相比, 其空间分辨率和光谱分辨率均有很大提高(图 1)。除设置有可见光和近红外通道外, 还专门为地质矿产勘查设置了六个短波红

外光谱波段和 5 个中红外光谱波段 ( 在 8-12  $\mu\text{m}$  内设置 5 个光谱波段 ), 可对高岭土、绢云母、蒙脱石、叶腊石和绿泥石等蚀变矿物进行有效的区分, 可为岩石中  $\text{SiO}_2$  含量的探测提供图像信息。

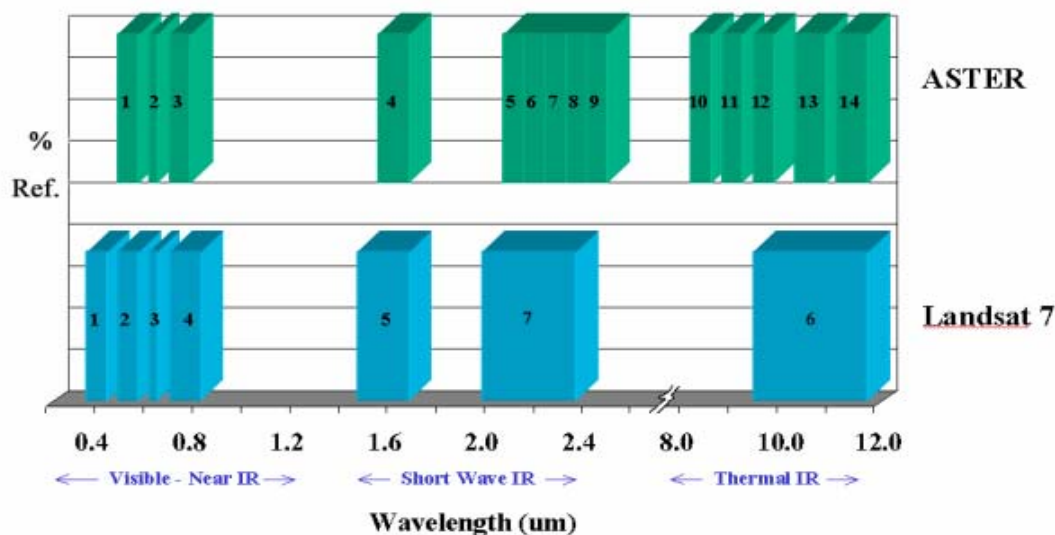


图 1 ASTER 与 Landsat 7 ETM+ 波段比较

## 2 金属矿产遥感地质方法技术

### (1) 遥感信息多层次分离定量提取技术

遥感矿化信息是指各类遥感数据源中反映地质构造、含矿地质体和岩石蚀变 ( 与金属矿化有关的 ) 等地质现象的遥感信息。根据多光谱数据的波段特征和探测能力, 可提取出与金属矿化有关的富氧化铁的铁化蚀变、富羟基矿物的泥化蚀变、碳酸盐蚀变等的遥感信息异常。

“ 遥感信息多层次分离定量提取技术 ”, 是一种基于 “ 遥感多元数据分析+比值+主成分分析+掩膜+分类 ( 分割 ) ” 等多方法有机结合的图像数据分析、图像增强和图像分类的遥感信息提取技术。它是把 “ 多元数据分析 ” 作为选择特征变量 ( 主因素 ) 的重要工具, 运用比值运算、主成分分析等技术获取最佳变量集, 通过 “ 掩膜+分类 ” 等方法逐步去掉干扰信息, 将与矿化有关的蚀变遥感信息一步步分离并定量提取出来。具体的技术方法主要包括:

#### 图像光谱数据的图形分析方法

对工作区典型地段的岩石图像光谱数据进行直方图统计、二维散点图、三维散点图、对应分析、非线性映射和波谱曲线等图形分析, 研究异常类的 ( 矿化 ) 蚀变信息和背景类的非蚀变岩石、土壤及植被等信息在光谱空间中的 “ 聚类 ” 性,

进行信息提取的方法选择与设计。

#### 图像数据的相关分析方法

方法包括相关矩阵分析、R—型聚类分析、多元回归分析、因子分析和对应分析。根据相关分析的各种结果，选择提取矿化信息的最优波段（变量）组合，为建立不同（矿化）蚀变类型的遥感信息模型提供输入变量。

#### 图像增强与信息提取的方法

遥感矿化信息的增强与提取方法，一方面是沿用和改进有效的常规方法，如比值变换和主成份分析等。另一方面是应用最优密度分割法等。

#### 图像掩膜（MASK）处理技术

在遥感图像中，反映的（矿化）蚀变信息往往受到诸多因素如水体、植被、山体阴暗面、白云以及沙漠、戈壁、洪冲积物等的信息的影响，这些干扰信息亮度值特殊，分布面积大，结果造成对地质调查中有价值的遥感信息被屏蔽，难以用一般的图像处理方法予以增强和识别。图像掩膜是在原始图像中有选择地去掉那些代表集中分布的干扰信息像元，保留包括（矿化）蚀变信息在内的地质体像元，或者直接对被认为包含有（矿化）蚀变岩的地层或岩体进行掩膜处理。最大限度地去除干扰，突出目标地物。

#### （矿化）蚀变遥感信息提取模型

采用多元数据分析技术，深入研究工作区的典型蚀变岩波谱数据与其矿物成分、TM 波段及其派生比值变量的关系，以及岩石波谱段数据、蚀变岩矿物成分的相关组合特征。在此基础上，根据不同的矿化蚀变类型，选择识别（矿化）蚀变信息的最佳特征变量组合，建立不同（矿化）蚀变类型的遥感信息提取模型。

### 2、遥感地质解译及岩石地层—构造—蚀变岩填编图

工作中为充分发挥各种遥感传感器所获取的数据特性，可采用 HIS 彩色空间变换（芒塞尔变换）主成份分析等方法对 TM、ETM、CBERS—1 和 SPOT 等多类遥感数据图像进行融合，如采用 IHS 变换对 TM、SPOT 图像的融合处理，这样既保留了 TM 图像丰富的色彩和光谱特征，又具有 SPOT—4 图像清晰的信理特征，融合图像是非常有效的专题基础图像。

遥感地质解译主要是针对成矿源场、成矿位场遥感信息的识别和分析。以 1：20 万或 1：5 万地质矿产图为基础，在建立各种岩石地层、构造的解译标志后，

对时代地层、侵入岩、断裂构造、环形影像构造等基本地质要素进行解译，着重于成、控矿的岩石地层、构造的分析，勾绘遥感地质图。

根据遥感地质解译结果，将解译和重新厘定的时代地层、侵入岩体、断裂构造、环形影像构造和“色彩异常”等遥感地质信息，以及提取的与（矿化）蚀变遥感信息异常叠加在一起，形成新型的岩石地层—构造—蚀变岩遥感地质图。

### 3、遥感成矿预测

采用 GIS 技术，进行地物化遥多源信息的集成。对同地区不同尺度、不同来源的相关的地质、矿产、物探、化探等各类系列图进行整合、分析，建立以遥感信息为主体的多源信息空间数据库，进行综合分析和成矿预测。

矿产资源遥感多光谱定量勘查技术按下流程进行（见图 2）。

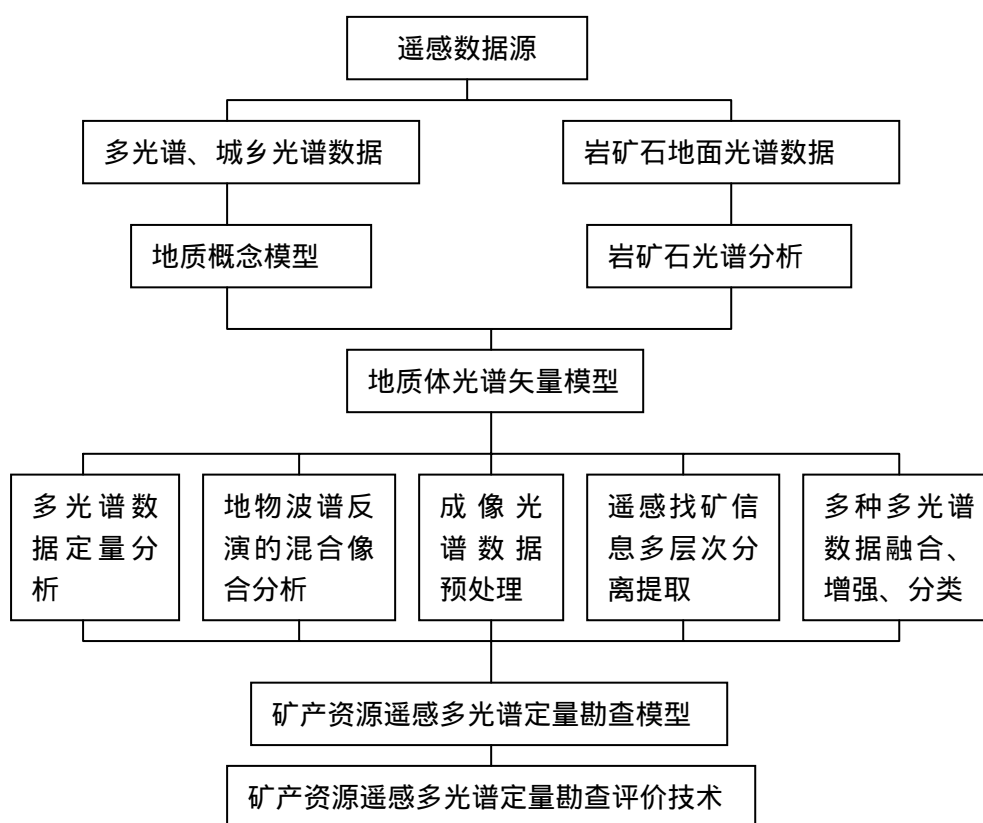


图 2 矿产资源遥感多光谱定量勘查评价技术流程图

### 3、遥感地质技术作用

遥感地质技术方法已在地质矿产资源调查和评价中发挥了它应有的作用，具

体表现在以下几方面。

(1) 在新的成矿区带或者到国外开展找矿勘查工作时，遥感地质将起到超前评价成矿远景的作用。利用遥感数据快速制作相应尺度（如 1:25 万）的与地形图、地质图相媲美的遥感多光谱彩色合成图和三维影像飞行图，为地质工作部署、选择地质调绘路线等提供先导性基础资料。直接提取的遥感找矿信息，可为快速筛选找矿靶区。对那些地勘工作程度低、自然地理环境差、交通不便的边远地区或不熟悉的境外找矿勘查，这种作用尤为明显。

(2) 在地质研究工作程度较高的成矿区带进行新一轮快速矿产资源调查评价中，利用遥感数据快速地直接从遥感多光谱数据中，定量化提取与金属矿化有关的遥感信息，成为一种直接的找矿标志，独立的找矿参数。解译并编制相应尺度（如 1:10 万、1:5 万尺度）的新型遥感地质系列图件，总结并建立以遥感找矿信息为主的与物化探相结合的已知矿床找矿规律，进行资料的二次综合开发利用，建立新的找矿模型，发现新的找矿靶区。可为新一轮 1:5 万区域矿产调查、1:5 万化探工作提供重要的基础资料。

(3) 在矿化集中区，以 1:5 万、1:2.5 万尺度的遥感地质找矿预测，辅助区域化探异常筛选，检查化探异常，快速圈定成矿远景靶区；并在 GIS 技术支持下，将遥感与物化探、地质数据综合处理和分析，综合评价矿化集中区的资源潜力，确定新的找矿方向和找矿目标。

(4) 在矿区及其近外围，开展大比例尺 1:2.5 万、1:1 万、1:5 千遥感找矿预测工作将有力地促进老矿山的深边部找矿工作，加快找矿进程。如在青海柴达木盆地某铅锌矿床新一轮找矿系统工程中，优先安排的遥感项目，利用 SPOT、TM、俄罗斯高分辨率(2 米)卫星数据以及航空彩红外资料等快速制作了一系列大尺度遥感找矿信息系列图，不仅为成矿构造分析、含矿层位的重新厘定、矿化线索的追踪、新找矿目标地的选择等提供了客观的依据，而且为地质、物探、化探等生产设计、科研工作提供了实用有效的准确的新型基础图像（件）。遥感成果得到了普遍欢迎。实践表明在老矿山尤其是危机矿山开展大尺度遥感找矿预测工作很有实用价值。

#### 4、结 语

随着计算机技术的高速发展和高分辨率（包括地面和光谱分辨率）遥感数

据源的不断投入民用，遥感地质技术应用水平得到了较大的提高，正以崭新的面貌更加深入地应用于各个阶段的地质勘查工作，换句话说，只要开展面积性的地质工作，均可优先适度地安排遥感地质工作，快速有效地获取大视场基础地质资料和实用的遥感地质找矿信息

微机硬件、软件的日新月异的发展，使遥感图像处理和专题信息的获取变得非常简便。微机图像处理网络系统使地质专业人员可以一人一机地亲自上机操作，一改过去那种计算机图像处理人员与地质专业人员两分离的现象，地质工作者可以根据对地质背景的了解，成矿规律的认识而有针对性地获取专题遥感信息；专题成果以新的方式表达，标准化成图，简洁明了，易读易懂易解。目前，遥感地质工作朝比例尺、地质体精细分类、专题信息定量化和遥感地质信息机理研究等方向发展，可以制作与地形图、地质图相映衬的新型的标准国际分幅的遥感地质系统专题图。遥感地质技术正逐渐真正成为“多、快、好、省”的地质勘查技术。

**参考文献（略）**