

遥感地球化学异常信息提取研究

——以青海省白日其利沟地区为例

陈勇敢^{1,2}, 刘桂阁¹, 路彦明^{1,2}, 王美娟¹, 韩先菊¹, 张慧玉¹, 常春郊

(1 中国人民武装警察部队黄金地质研究所, 河北 廊坊 065000; 2 中国地质大学, 北京 100083)

摘 要 文章基于对遥感与地球化学理论方法体系的分析, 认为地球化学异常与热液蚀变、遥感影像灰度值之间存在着必然的联系。以青海省白日其利沟地区为例, 通过多元统计分析及理论推导, 得出了训练区样本光谱反射率与微量元素含量、遥感数据灰度值之间的回归函数, 建立了遥感地球化学异常模型。应用这一模型, 在缺少地球化学数据的地区, 选取实验区 (AOI) 采样进行地球化学及光谱测试, 建立遥感数据与地球化学异常之间的多元线性回归模型, 进而从相对易于获取的遥感数据入手, 获取遥感地球化学异常信息, 用以指导地质找矿工作。

关键词 地质学; 遥感地球化学异常; 方法研究; 热液矿床; 统计分析

笔者在从事遥感地质找矿的工作中, 经常发现一个值得探索与研究的问题: 当提取出一个效果较好的遥感蚀变异常信息的时候, 如果将其与区域地球化学异常相对比, 常常会发现两者之间在异常形态、规模等方面都有着许多相似之处, 有时其相关性还非常明显。这其中的原因是什么? 它们之间到底存在着何种内在联系?

化探异常信息和遥感蚀变异常信息, 虽然在其信息专业属性上不同, 但都是根据地表层的地质体或地质现象而获得的, 都是以不同形式的化学量和物理量表现出来的与找矿有关的信息, 两者之间必然存在某种相关性, 很多研究结果也证实了这一点。但是, 如何探求遥感数据影像灰度值与地球化学异常信息之间存在的某种联系, 进而通过较为容易获取的遥感数据来寻找新的地球化学异常, 挖掘遥感数据应用于找矿工作的潜能, 这正是本文所要研究的问题。

1 理论基础

1.1 地质依据

某种有用元素的逐步富集是形成矿床的必要条件, 而这种成矿物质通常由成矿热液进行迁移搬运和卸载沉淀。近矿围岩蚀变是成矿物质逐步富集成矿过程中留下的印迹。蚀变矿物是地壳中由热液交代蚀变作用形成, 种类繁多, 分布广泛, 特别是热液矿床中和其周围, 经常伴生着不同类型和不同交代蚀变强度的蚀变矿物, 它们对于不同类型的热液矿床的寻找、勘探以及矿床的成因的研究都有十分重要的意义 (Курек, 1954; Шехтман, 1982; Barnes, 1985; 1987)。绝大多数内生矿床都伴随有其围岩的交代蚀变现象, 而且蚀变带范围大于矿体分布的范围数倍至数十倍。在研究近矿蚀变围岩的基础上进行找矿的问题是十分复杂的, 能够肯定的是热液蚀变岩石的发现, 可以指示找矿方向, 增加找到矿床的机会。地质学家还认为, 尽管有蚀变岩存在不一定有矿, 然而大型、特大型内生矿床一般均有强烈且较大范围的围岩蚀变。遥感获得

的是地表信息,只要有一定面积的蚀变岩石出露,就可能被遥感检测,也就是说即或矿体隐伏,只要有足够面积的强蚀变岩出露就有可能用遥感发现(张玉君等,2002)。

1.2 波谱依据

近30年来,一批学者进行了大量的岩石和矿物波谱特性研究工作,这些研究涉及到晶体场理论的矿物学、固体物理学、量子力学、遥感岩石学等众多学科,最引人注意的是Hunt和他领导的实验室,在70年代他们系统地发表了关于矿物岩石波谱测试结果的文章,Hunt(1980;1989)利用近300个粒状矿物的测定结果归纳出下述重要结论:①主要造岩矿物的主要成分,即硅、铝、镁和氧,其振动基频在中红外和远红外区,波长位于10 μm附近或更长区域,第一倍频也在5 μm附近或更长区域,高倍频谱带强度太弱,所以在可见-近红外(VNIR)区不产生具有诊断性的谱带。②岩石中的次要成分,如铁杂质或蚀变矿物,在岩石特征谱带形成中占有优势。换言之,在可见及近红外区中,天然矿物和岩石最常见的光谱特征是由以这样或那样形式存在的铁产生的,或者是由水、OH⁻基团或CO₃²⁻基团产生的。③热液蚀变矿物在短波近红外波段内具有诊断性强的吸收特征,它们是纯矿物本身固有的特征。不同矿物混合在一起组成的岩石,并不能改变矿物的波谱特征,因此,岩石的波谱是组成岩石的纯矿物波谱的线性组合(张玉君等,2002)。

根据上面的分析,在矿体或蚀变带区域,一定存在着不同程度的各类元素地球化学异常,而近矿围岩蚀变形成的蚀变岩石与其周围的正常岩石在其矿物种类、结构、颜色等差异导致岩石反射光谱特征的差异,在某些特定的光谱波段形成特定蚀变岩石的光谱异常。由于这些热液蚀变矿物特有的光谱特性在现今的遥感传感器中可敏锐的得到识别,导致遥感图像或数据的异常。因此,遥感影像灰度值与地球化学异常之间存在着必然的联系。

1.3 遥感地球化学与遥感地球化学异常

遥感地球化学是遥感技术与地球化学结合的产物。从遥感技术产生的那一天起,就注定其与地球化学科学之间不可分离的联系:遥感之所以能够根据接收到的电磁波信号来判断地物目标和自然现象,是因为一切物体由于种类、特征和环境条件的不同,具有不同的辐射或反射特性。事实上,遥感地球化学是地球化学的一门分支学科,是以物质电磁波理论为基础,借助遥感技术获取数据,研究化学元素在地表或其他行星表面的分布、含量及迁移的科学,它的特点是快速、大范围获取数据(Pieters et al., 1993; 吴昀昭等, 2003)。

根据遥感技术的基础研究,应用遥感数据获取地球化学异常理论上应是一种可行的方法。正是基于这样一种理解,笔者认为遥感地球化学异常是存在的,其实质上仍然是地球化学异常,所不同的就是在其获取的过程中,更多地融入了遥感信息技术领域的内容。

2 遥感地球化学异常获取方法

2.1 光谱反射率与化探(微量元素)关系函数的建立

微量元素含量与岩矿光谱特征的研究是本次工作研究的主要内容之一,两者之间关系的建立是遥感地球化学异常能否有效指导地质找矿的关键。

(1)研究区选择。由于是尝试性的工作,为了避免地物等不必要的环境干扰因素影响,达到最为理想的实验效果,本次研究工作选择基岩裸露情况好,遥感影像相对简单,在区内有已知的矿化蚀变带分布的区域。

(2)样本数据的采集。在某一已知的矿化蚀变带区域,作数条纵剖面,在不同地质地球化学背景下,在每条剖面上网格区域里选取有代表性的岩矿样品,在同一垂直剖面上分别野外实地测量不同岩石、土壤的反射光谱曲线,并对每一个测试点进行取样,回实验室进行微量元素分析。

(3)统计元素的选择。在参与样本微量元素与光谱反射率统计分析的元素选择中,应先对微量元素的结果先进行多元统计,以分析其与主成矿元素(金)的相关性;然后对筛选出研究区与主成矿元素(金)

成矿关系密切的元素组合, 对其进行标准化, 获取最能代表主成矿元素(金)成矿的元素综合异常数据(用 X 表示)。

(4) 地物光谱反射率与微量元素关系函数的建立。对上述筛选出的样本光谱反射率、元素综合异常数据值进行统计分析, 得出其相关函数:

$$\rho = F_1(X) \dots \dots \dots (1)$$

其中 ρ 为样本光谱反射率; F_1 为样本光谱反射率与元素综合数据之间的对应关系(函数), 可由统计分析求出。

2.2 光谱反射率与遥感影像灰度值关系函数的建立

遥感数据源建议选用目前比较易于获取的 TM 遥感数据, 其数据尽量选择无数据畸变、噪声条带, 没有云、雪等干扰因素的高质量数据。

卫星遥感数据是经过大气吸收、散射等影响后由传感器接收的地物信息, 这里计算出的地物反射率是地物在大气顶部的反射率, 它不同于地面测得的地物反射率。在天气状况良好、下垫面不十分复杂的情况下, 这样计算得到的反射率曲线的特点基本上符合地面测量测得的地物反射特性一般规律。

根据遥感影像数据灰度值与地物光谱反射率之间的推导关系:

$$L = \rho * (E_0 * \cos \theta) / \pi * ds^2 = DN * gain + bias$$

可以求出:

$$\rho = \{ (DN * gain + bias) * \pi * ds^2 \} / (E_0 * \cos \theta) \dots \dots \dots (2)$$

其中 L 为地物在大气顶部的辐射能量值, ρ 为样品的光谱反射率, DN 为样本的灰度均值, π 为圆周率, ds 为日地天文单位距离, 取值 1; E_0 为大气顶部的太阳辐照度, θ 为成像时的太阳天顶角, $gain$ 和 $bias$ 分别为图像的增益与偏置, 可直接从遥感数据的头文件中读取。

2.3 遥感影像灰度值与地球化学异常函数关系的建立——遥感地球化学异常模型

通过以上论述, 初步理清了矿体(蚀变带)、地球化学异常、热液蚀变、地物光谱反射率、遥感影像灰度值之间的关系。所有这些, 为建立遥感影像灰度值与地球化学异常之间的函数关系提供了保障。

由方程(1)、(2)组成方程组, 可以推导出 DN 与 X 之间的对应关系:

$$F_1(X) = (DN * gain + bias * \pi * ds^2) / (E_0 * \cos \theta) \dots \dots \dots (3)$$

由此, 通过(3)这个函数, 就建立了遥感影像灰度值与地球化学异常之间的判别函数关系: 也就是提取出的遥感地球化学异常模型。最后将遥感数据各波段的灰度值(DN)代入上式, 就可以得到代表综合元素异常值的一组数据, 其值的高低就代表着所求遥感地球化学异常的强弱。 X 的高值区就是通过遥感数据获取的遥感地球化学异常区。

以上关于遥感地球化学异常的提取流程可以图 1 表示。

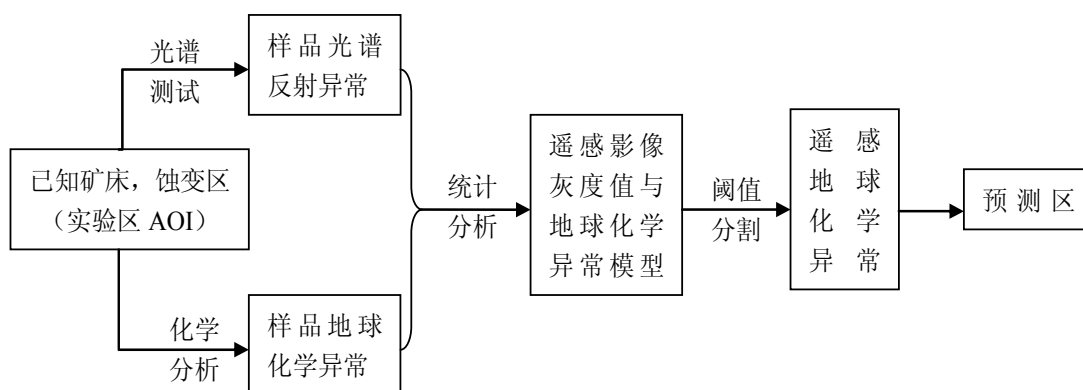


图 1 遥感地球化学异常提取工作流程图

3 方法验证——以青海白日其利沟为例

由于本次研究工作没有可用的遥感实测光谱数据和与之对应的元素地球化学数据,为了探讨遥感影像与地球化学异常之间存在的关系,根据现有数据情况,笔者对上述的方法步骤进行了简化,直接通过对地球化学水系沉积物测量微量元素数据与遥感影像数据灰度值进行数理统计分析,建立两者之间的函数关系。现以青海白日其利沟 1:5 万水系测量原始数据、1999 年 10 月份的 TM 遥感影像为基础数据进行模拟计算,其理论效果应该远不如上述方案的效果,但限于实际情况,只能将就进行。

(1) 化探数据的准备。首先,对研究区实验区 1:5 万水系测量原始数据的 10 种元素进行统计分析,其中与金相关性较好的元素为 As 和 Sb,其相关系数分别为 0.27、0.11。然后,对 Au、As、Sb 三种元素进行标准化,以此来得到与金成矿密切相关的综合元素数据值:

$$X = \text{Au} + 0.27 \text{As} + 0.11 \text{Sb}$$

然后,将元素综合数据进行插值处理,对其 30 m×30 m 网格化,其目的是与将要用到的 TM 的空间分辨率相对应,使每一个综合元素数据值对应于每一个遥感影像灰度值。

(2) 遥感影像灰度值的导出。选取 TM1、2、3、4、5、7 六个波段遥感影像数据保存为 ASCII 码数据。为了便于数理统计分析,可将得到的矩阵数据转成一行,从而建立起同一空间位置的遥感影像灰度值与网格化后的化探数据值相对应,便于数理统计。

(3) 综合元素与遥感影像灰度值的相关性研究。为了求证综合元素数据与遥感影像灰度值之间到底存在着多大的相关性,笔者选取了综合元素数据值大于 50 的地球化学异常区的样本数据进行相关性分析,表 1 是其相关性分析结果,从表中可以看出,代表金异常的综合元素数据与 TM 六个波段的遥感影像灰度值之间的相关系数在 0.31~0.42 之间,存在着一定的相关性,这也为下一步计算两者之间的判别函数提供了依据。

表 1 TM 六个波段遥感影像灰度值与金综合数据相关系数表

	金综合	B_1	B_2	B_3	B_4	B_5	B_7
金综合	1.00						
B_1	0.42	1.00					
B_2	0.41	0.99	1.00				
B_3	0.39	0.99	0.99	1.00			
B_4	0.35	0.96	0.97	0.98	1.00		
B_5	0.36	0.93	0.93	0.94	0.93	1.00	
B_7	0.31	0.93	0.93	0.94	0.91	0.97	1.00

(4) 综合元素数据值与多波段遥感影像灰度值的多元线性回归分析

通过前面 3 个步骤的准备工作,就可初步进行遥感影像灰度值与综合元素数据值关系的建立,其方法是应用常见的相关性统计分析、回归分析。得出了本区的综合元素值 X 与遥感数据波段 B 之间的判别函数:

$$X = 46.07815 + 0.03844B_1 + 0.14063B_2 - 0.0132B_3 - 0.04633B_4 + 0.04428B_5 - 0.09164B_7$$

(5) 实验结果与问题建议

根据上述训练区样本回归分析获取的遥感影像灰度值与综合元素数据值之间的判别函数(模型),笔者将其应用到整个图区,将获取的 X 数据值作为一个新的波段数据,其高值区域理论上就是要找的遥感地球化学异常区(图 2 右)。

从图 2 上可以看出,新获取的遥感地球化学异常与已知的水系沉积物化探异常其结果有很好的对应关系:1:5 万水系测量获取的地球化学异常集中区与实验提取的遥感地球化学异常均相吻合。

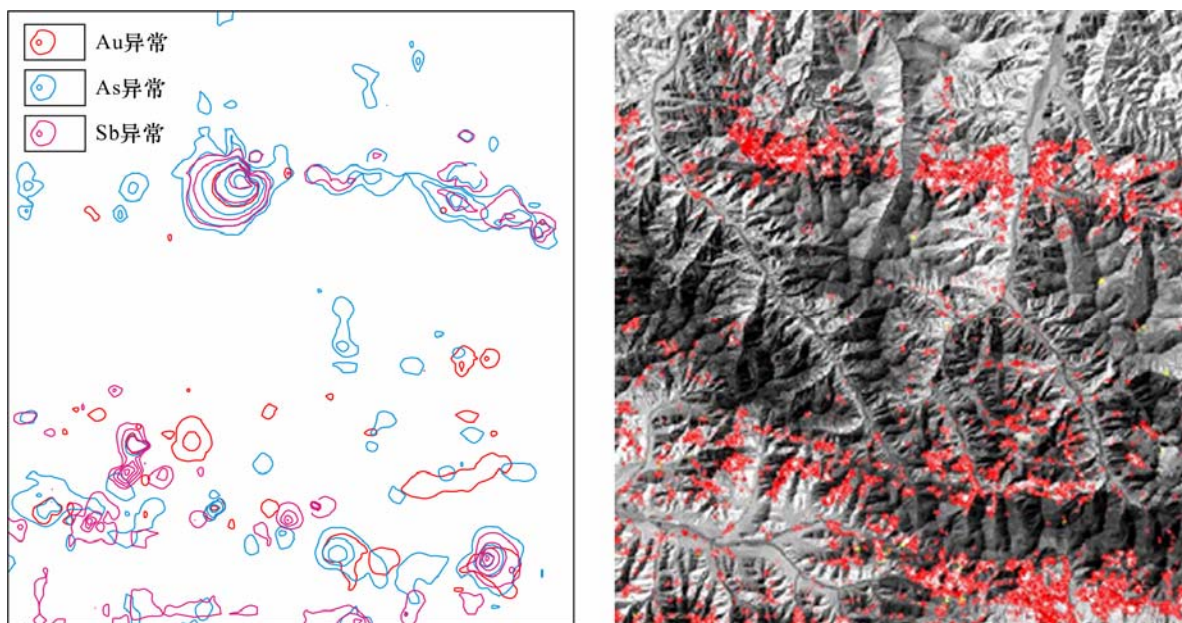


图2 实验效果对比图

左：1:5万水系测量异常；右：实验提取遥感地球化学异常

存在问题：依据前面的论述，从理论上讲获取样本实测光谱数据与地球化学数据的采样介质应为蚀变岩石或土壤，而所举实例中获取地球化学数据的样品为水系沉积物，所以，在水系沉积物地球化学异常与提取的遥感地球化学异常在某一确定的空间位置上有一定的偏移，但基本可以反映出化探异常的总体分布特征。但总的来说，这一实验结果还是达到了预期效果。如果能严格按照前面所提出的实验步骤进行，有针对性地开展点对点的地物反射波谱与地球化学测量，其效果应该会更加明显。另外，应用光谱分辨率相对更高的 ARSTER（14 波段）数据可能会比 TM（6/8 波段）数据的效果更好。

4 遥感地球化学异常研究意义及存在问题

4.1 研究意义

本次实验性的探索研究所提取出的遥感地球化学异常，实际上就是以训练区为样本，以多元统计分析为主要方法手段，对已知样本类别和类别的先验知识确定判别准则，计算判别函数。通过在训练区建立判别函数（模型）之后，将未知类别的样本值代入判别函数，依据判别准则对该样本所属的类别进行判定。其目的在于在区域上寻求与训练区具有相似波谱特征的区域，其与常规的图像监督分类有相同之处，但也有一定的区别。常规遥感影像监督分类每次只能应用一个波段（变量）的数据信息进行分类，而本方案理论上则可以应用更多的波段（变量）数据，其采用的样本信息量更为丰富，因此得出的样本模型也更客观，并更具代表性。

当在一个地区建立了遥感地球化学异常模型之后，下一步的工作就是将这个函数模型应用于区域上的遥感数据，而这些工作是很容易开展的，达到通过遥感数据从已知地球化学异常（矿化蚀变区）来获取未知的地球化学异常（矿化蚀变区）的目的，以此来指导找矿工作。

本次研究工作建立的方法、程序及初步成果，可以帮助在缺少地球化学数据的地区，或者是那些不便于开展地球化学工作的条件艰苦地区，开展小面积的地球化学测量及光谱测试，建立遥感地球化学异常模型，获取区域上的遥感地球化学异常，并在战略选区的过程中一定程度上地解决某些地区缺少化探数据资料的难题，这样即可节约成本，提高找矿选区的工作效率和质量。

4.2 存在问题

首先,本方法提取的遥感地球化学异常区理论上就是通过遥感地球化学异常模型获取的高值区。但是,由于积雪、干河道等地物其光谱反射率普遍较高,其在遥感地球化学异常图上也通常表现为高值区,客观上造成所谓的假异常,这种假异常在遥感影像图上容易识别,可以用肉眼剔除,并不会对判断造成太大的影响。

其次,在进行遥感影像灰度值与样本实测光谱反射率、微量元素数据进行统计分析时,存在一定的对应偏差:遥感影像灰度值是在其空间分辨率的面积区域内所有地物光谱反射率数据的加权和,代表的是整个灰度区的地物光谱特征,而在进行样品采样分析测试时,只能选取一定量的具代表性的样本进行采样,它只能在一定程度上反映该区的光谱特征和微量元素含量特征。因此样品光谱反射率、微量元素含量与遥感影像灰度值之间总体上只存在统计意义,单个样品间并无明显的相关性。

另外,由于遥感影像上反映的遥感地球化学异常信息是一种非常弱的光谱信息,极易被其他主要的地物信息干扰而掩盖。

鉴于前人未曾对此作过研究,笔者的研究也还仅仅是一个初步构思,其理论基础与实施过程中诸多细节问题都还有待探索,本文旨在抛砖引玉,引起大家的重视与讨论。

志 谢 本论文的完成是集体劳动成果的展示,在撰写过程中,高级工程师刘桂阁在论文的创意构思过程中提出了建设性意见和建议;高级工程师路彦明、卿敏、葛良胜、肖力、王科强等提出了许多宝贵意见;李宇晰工程师为论文完成了有关数理统计方面的程序设计;高级工程师刘纲、郭晓东,工程师潘爱军为论文提供了有关数据支持;工程师张玉杰、马德锡及遥感应用研究室的成员金宝义、韩先菊、张慧玉、范俊杰、常春郊等诸多同仁都为本人提供了大量的帮助。在此一并表示感谢!

参 考 文 献

- 吴昀昭,田庆久,季峻峰,陈 骏. 2003. 遥感地球化学研究[J]. 地球科学进展, 18(2): 228-235.
- 张玉君,杨建民,陈 薇. 2002. ETM⁺(TM)蚀变遥感异常提取方法研究与应用——地质依据和波谱前提[J]. 国土资源遥感, 4(54): 30-36.
- Barnes H L. 1985. 热液矿床地球化学(上)[M]. 北京: 地质出版社.
- Barnes H L. 1987. 热液矿床地球化学(下)[M]. 北京: 地质出版社.
- Hunt G R. 1980. Electromagnetic radiation: The Omuniation Linkin Remote Sensing(A). In: Siegal B and Gillespie A, ed. Remote sensing geology[C]. New York: Wiley.
- Hunt G R. 1989. Spectroscopic properties of rocks and minerals[A]. In: Carmichael R C, ed. Practical handbook of physical properties of rocks and minerals[C]. Boca Raton Florid: C R C Press Inc.
- Pieters C M and Englert P A. 1993. Remote Geochemical Analysis: Elemental and Mineralogical Composition[M]. New York: Cambridge University Press.
- Курек Н Н. 1954. Измененные околорудные породы их поисковое значение[M]. Москва: Госгеотехиздат.
- Шехтман. 1982. 热液矿床详细构造预测图[M]. 北京: 地质出版社.