

西秦岭金矿化带中土壤与岩石实验室 光谱相关性研究*

郭子祺 王志刚

(中国科学院遥感应用研究所 100101 北京)

摘要 通过西秦岭金矿化带中土壤与岩石实验室光谱的相关性分析与研究。探索该区表层壤覆盖条件下应用遥感信息寻找金矿床。研究表明,土壤与岩石两者光谱之间有很高的正相关性,并且在谱形上亦有相似性,使得利用该地区土壤光谱特征从遥感信息中提取出土壤覆盖层下的岩石光谱特征成为可能,为这种遥感技术找矿方法提供依据。

关键词 金矿化,实验室光谱,相关性

1 前言

西秦岭地区目前已发现有双王、八卦庙、礼坝、马泉以及金山等大中型岩金矿床多处。金矿地质工作在该区程度较低,因此区域上找矿潜力较大。虽然在该区已有地矿单位进行金矿成矿带遥感地质综合调查研究,但研究性质为区域性小比例尺调查,尚未形成遥感在找矿上的突破^[1]。该区为海拔1200—2500m的中山区,岩石裸露较少,多为黄土和以山地灌丛草地及次生林地覆盖为主。多植被、多黄土覆盖以及复杂的山地条件是影响遥感技术在该区应用于寻找金矿床效果的主要原因之一。通过遥感地物信息特征研究发现,该区的黄土覆盖很不均匀,不仅在覆盖区内时有地层岩石出露,而且许多地区的岩石正风化成土壤,这样就在不大区域内出现由于基底成分不同而表现出土壤色调各异的景观。我们希望通过研究该区金矿化带的土壤与金矿围岩光谱特征,找出相互之间相关关系,利用土壤的光谱特征,寻找出金矿,为遥感技术在该区应用于金矿靶区的进一步圈定提供依据。

2 研究区地质背景

西秦岭地区隶属中秦岭海西褶皱带。北以商南断裂与北秦岭加里东褶皱带相临,南以潭凤断裂与

南秦岭印支褶皱带相临、东西向的礼县—白云—山阳深断裂穿过其间。此外近南北向的横向基底深断裂穿过区内。区内的礼县—西和断陷盆地由北东向新构造所控制,盆地盖层为下第三系红层和第四系黄土。区内出露最老的地层主要有泥盆系,石炭系复理石相的砂岩粉砂岩。研究区金矿床多沿礼县—白云—山阳深断裂分布,与印支期构造岩浆活动密切相关,大多是微细浸染型金矿,与岩体外接触带有关,具有成群成带分布的特征。

3 光谱数据的获取

为了使样品有代表性,在马泉、礼坝、固城以及麻地沟等地采集。岩样采取未风化的原岩,以单个标本袋装扎,以免污染。土壤样均采取表面,以多层塑料袋装扎并密封,外套标本样袋以防塑料袋扎破。测试仪器采用美国 GIRI 双通道光谱仪。该仪器由于具有双光路结构,可同时获取标准板和待测目标的反射光谱,因而能部分消除因大气条件变化对反射率的影响。测试波长范围为310—3620(nm)。该仪器具有高光谱分辨率的性能,在紫外到近红外区间,其光谱分辨率可达2nm,在短波红外区为4nm。

在测量样品时,为保证对所测目标数据的完整性,一般在样品的不同位置进行多次测量。每次测试同一目标时,均选4个测点,每一测点测4次。为了更好地反映待测样品相对吸收特征,采用镜

* 国家“九五”重点科技攻关项目(96-914-03-02)。

收稿日期:1998-03-27;收到修改稿日期:1998-08-31

面反射测量,数据取其多次测试的平均值。根据目标灰板及标准板的亮度值,求算目标的相对反射率。

4 实验室光谱特征

在可见光和短波红外的范围里,物体所产生的光谱特征主要是分子和离子的振动以及自由电子激发造成的,与地物中所含的水、羟基、硅、铝和氧分子和离子的状态及组合有关。因此,地物中具体成分的光谱特征主要是由组成物体的基本成分所决定的,同时也易受周围晶格结构、基质的分布以及杂质成分存在因素的影响^[2, 3]。

由于该波段的反射率完全取决于地物表层几个微米的反射率,实验室光谱测量相对于野外实地测量具有干扰因素少的特点,便于在较为理想的条件下进行分析研究。所测实验室光谱可分为3类,金矿石光谱、围岩光谱和覆盖层土壤光谱。

4.1 金矿石光谱

西秦岭金矿化带中的金矿岩石主要有两类,即原生金矿石和蚀变金矿石,其测得的反射光谱的特征见图1。

原生金矿石, T12G1 和 T1G1, 其谱征明显区别于蚀变类型金矿石, 波型属平稳型, 没有显著的吸收谷和反射峰波段。含金属硫化物成分, 主要有黄铁矿、黄铜矿、毒砂和方铅矿。两者波型上基本一样。在反射率值上的差异, 造成的主要原因是矿石的产

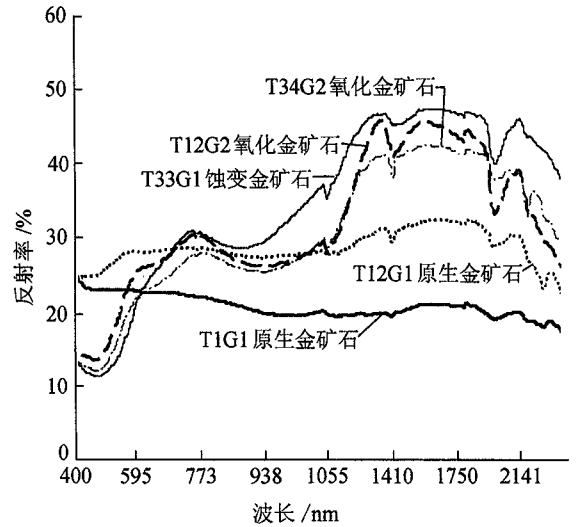


图1 金矿石实验室反射光谱

Fig. 1 The laboratory reflectance spectrum of golden minerals

地差异、类型的不同以及围岩的不同,如 T12G1 围岩是硅质岩而 T1G1 是灰岩。蚀变金矿石的波型在形态上都很相似。在 0.75 μm 和 2.05 μm 处有较强的反射峰,而在 1.3 μm 和 1.85 μm 处有强吸收谷。说明蚀变矿物的物质组构基本一致。蚀变岩中出现的黄钾铁矾、铜蓝以及褐铁矿等蚀变矿物,造成暗色矿物减少,退色矿物增加,从而造成光谱反射率的提高,是造成以上谱征的主要原因。

4.2 围岩光谱

金矿围岩的谱征分成为两类(图2)。

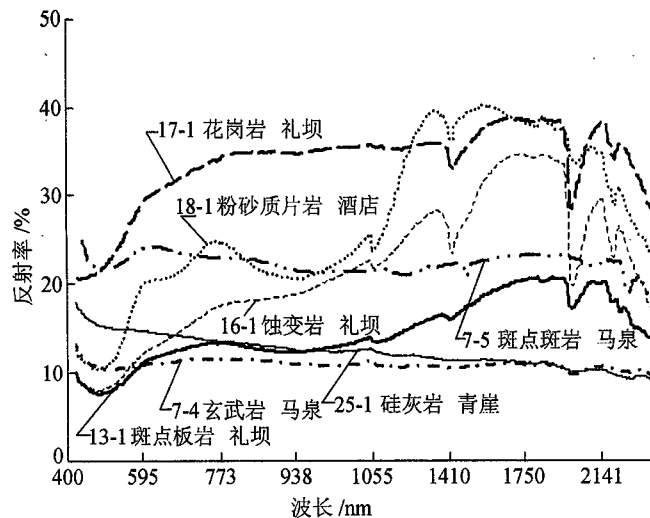


图2 金矿围岩实验室反射光谱

Fig. 2 The laboratory reflectance spectrum of golden minerals enclosed rocks

一类是较平缓型的,另一类是起伏型的。两种类型是由于岩石的成分,结构不同造成的^[4]。从图 2 中可以看出,17-1 的反射率较其它围岩岩石要高,主要是含有斜长石等高反射率矿物。同一地点的不同岩石在谱型上都有相似性。在礼坝采集的一组岩石中,出现了在 $1.5 \mu\text{m}$ 和 $1.85 \mu\text{m}$ 呈强吸收谷,并且与同一地点的金矿石光谱特征有相似处。马泉采集的 2 个样品中谱形不同且反射率相差较大。7-4 样品由于是由暗色矿物组成,反射率几乎不变化。

4.3 盖层土 光谱

土壤的反射光谱特征(图 3)。

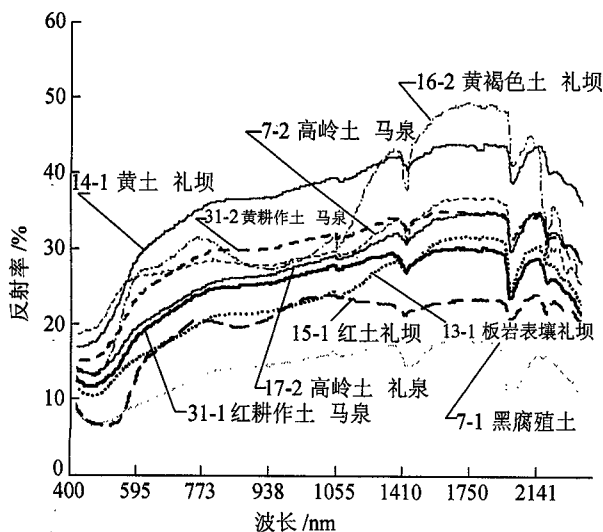


图 3 土壤实验室反射光谱

Fig. 3 The laboratory reflectance spectrum of covering soils

首先在形态上,各土壤的谱形都较相似,但反射率的值却相差较大,土壤中有机质的含量对反射率的影响最大,它们只是降低反射率值,但不改变光谱形态^[6],氧化铁含量的影响次之。反射率值最高的是接触带的黄褐色土壤。该土壤光谱的吸收谷位置与含矿围岩基本一致,但吸收的强度比围岩小。土壤的最高反射率值要比围岩的最高反射率值大 10% 左右。土壤光谱主要在波段 $1.0 \mu\text{m}$ — $2.2 \mu\text{m}$ 之间起伏。不同地点采集到的土壤光谱特征,它们之间的差异较为明显。而同一地点采集到的土壤光谱特征,无论在形态还是在反射率大小上都有极大的相似性。不同地点土壤反射率的这种差异,可能跟不同地点土壤中的含水量有密切的关系。

5 土壤与岩石的相关性

分析用的土壤和相对应的岩石均采于已知矿

区,选用不同的岩石和其风化表层土壤。分析方法采用土壤和岩石的光谱线性相关分析,以研究两者线性关系的程度。这里采用皮尔逊(Pearson)相关分析方法,对光谱数据进行等间隔测量。同时对相关系数进行检验。检验的尾数采用双尾数。分析的结果见图 4,这是所做分析的 4 组土壤与相应岩石的实验室反射光谱及其相关关系。

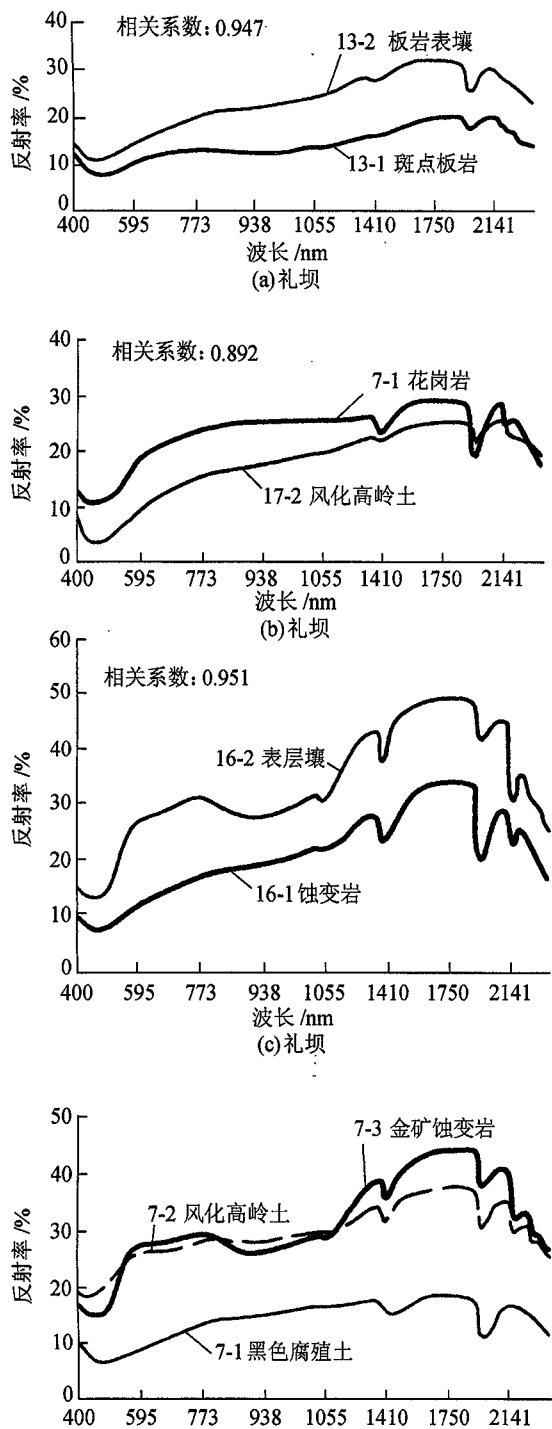
从相关系数来说,大多数相关的密切程度高,而只有黑色腐殖土与间隔一层风化高岭土的蚀变岩金矿的相关程度相对较低,但仍有 0.763 的正相关,而风化高岭土与其相关的蚀变岩金矿的相关系数达 0.979 高度正相关。

6 相关性讨论

风化作用中岩石的化学成分发生变化,通常是钾、钠、钙、镁等可溶性碱金属和碱土金属减少;铝、氧化铁、钛等成分的相对增加,产生各种不同的次生矿物。同时有机碳在氧化环境中的分解,以及腐殖质在生物风化作用中的形成,都是土壤有机质成分变化的重要过程^[5]。在表生作用新的物质基础上,通过淋溶和淀积作用,逐渐形成土壤层。母岩在风化过程中原生矿物的分解,新物质的生成,使光谱产生种种变化。

土壤的反射光谱特征取决于土壤的物理、化学及生物学特性,影响可见光和近红外反射光谱的几大主要因子是土壤的颗粒尺度,含水量,有机质含量,含铁量和母质成分^[7]。实验和研究表明:土壤颗粒尺度随波长的增加,不同孔隙度的反射比差值也在增加。尺度愈小,反射比愈高,土壤中含水量增加,光谱反射率下降。有机质对土壤光谱的影响愈小,反射比愈高,土壤中含水量增加,光谱反射率下降。有机质对土壤光谱的影响主要是在可见光波段,而近红外波段的影响显著变小。含铁量在土壤中存在的形式主要是氧化铁,其含量增加造成反射率明显减小。母质成分的差异造成谱形的迥异。如:16-2 接触带黄褐色土,明显不同于其它土壤光谱形态,并且与所取土壤中含杂质有关,是一个典型的混合类型的光谱形态。

从谱形上看,两者有很大的相似性,有的土壤比相应岩石的反射率要高,而有的则低,相差程度不一。板岩及接触带蚀变岩的土壤光谱比它们的原岩光谱反射率增高(图 4 中的 a 和 c 组),表明原岩中含碳有机质和暗色矿物的分解,是风化带成壤过程



	7-1	7-2	7-3
7-1		0.85	0.76
7-2	0.85		0.97
7-3	0.76	0.97	

(d) 马泉

图4 土壤与相应岩石的实验室反射光谱及其相关关系
Fig. 4. Four of group of the laboratory reflectance spectrum's relationship of both original soil and its weathering mother-rock and their correlation coefficients.

的主要特征,其次,接触带蚀变岩(16-1)在 $0.69\mu\text{m}$ 的弱吸收、 $0.76\mu\text{m}$ 的高反射、以及 $0.92\mu\text{m}$ 附近的宽缓吸收,是褐铁矿、针铁矿的特征吸收带,明显有别于原岩光谱,说明铁氧化物是成壤过程中的次生组分,花岗岩母质层土壤(17-2)则低于原岩光谱,一方面是因为花岗岩中有机碳的含量普遍低于沉积岩(图4,b组),缺少有机质的氧化过程;另一方面钾长石分解可能导致晶格中置换铝的3价铁的流失,从而引起 $0.70\mu\text{m}$ 附近斜边的下降。

有机质的影响主要有非腐殖质的有机碳和腐殖质两个方面。岩石中的有机碳在成壤过程中的趋势是逐渐氧化减少,导致岩石土壤反射率整体提高(图4,d组)。腐殖质在成壤过程中的趋势是逐渐增加,引起岩石土壤反射率的强烈压抑^[6]。铁的影响有褐铁矿、针铁矿等水合铁氧化物,是土壤层的次生矿物,具有反映出下伏母岩的硫化物信息的能力。由此可见,土壤与岩石的相关性极为密切,尤其是与由母岩直接风化而来的表层壤。

7 结论

在上面的相关分析中,不难发现,同一地点采集到的岩石和土壤,其谱形都有很好的相似性,土壤与相对应岩石的光谱相关性程度都很高。组成成分的相似性,是造成上述结果的主要原因,而土壤中有有机质、水份和铁质的含量大小,对反射光谱的反射值影响较大,但并不改变它们的光谱形态。土壤的质地特性,如孔隙度、颗粒结构等虽对谱形有影响,但不大,从分析结果看,由于土壤与其对应岩石的反射光谱高度正相关,因此,利用地表土壤的光谱特征在很大程度上也可以揭示覆盖层下基底岩石的基本光谱特性。这种高度的相关性,就使得利用土壤光谱特征从遥感信息中提取出覆盖其下的岩石光谱特征成为可能,为这种遥感找矿方法提供依据。原生金矿石通常有两种存在方式,多数原生金矿石属于隐伏矿体,其上部是金矿蚀变带,即蚀变金矿石,再上是风化壤;少数原生金矿石直接出露于地表,没有土壤覆盖层,这是由于矿体倾角直立或地质体抬升的速度小于风化剥蚀的速度造成的。所以,用于识别金矿石的遥感信息实际上就是提取蚀变金矿石的光谱信息。

目前该方法只是依据实验室内测得的一些数量极为有限的光谱数据,不足以代表整个野外实地的情况,尚需更多的实验室光谱数据来完善。同时也应指出,土壤包括风成黄土、异地搬运的冲、洪积土

壤,它们属于在应用中需要剔除的干扰信息,同样异地成因土壤的光谱作用也是不能忽略的,地下水循环作用也能将下伏的物质成分信息送达地表影响原有光谱特性,以及土壤覆盖层的厚度和不同覆盖程度对母岩光谱特性的影响。尽管这些问题尚需进一步分析与解决,才能将该方法更有效地应用于实际工作中,但这种方法为解决原地风化型表层壤覆盖区的金矿寻找问题,提供了一种途径。

参 考 文 献 (References)

- 1 Beijing land resource remote sensing company. General investigation of golden metallographic province of geological remote sensing in Western Qinling Mountains China. Geological Pressed, 1995. [北京市国土资源遥感公司. 秦岭成矿带金矿遥感地质综合调查研究. 地质出版社,1995.]
- 2 John F. Mustend. Relationship of soil, Grass and bedrock over the Kaweah serpentinit emlange through spectral mixture analysis of AVIRS data. *Remote Sensing. Environ.*, 1993, **44**: 293—308.
- 3 Hunt. G. R, R. P. Ashley. Spectral of altered rocks in the visble and near infrared. *Economic Geology*, 1974, **74**: 1613.
- 4 Zhang Wenqun et al. Analyzing the spectrum feature of soils in Dingxi's Remote Sensing test field. *Remote Sensing Technology and Application*, 1992, **7**(2): 25—31. [张文群等. 定西遥感实验场土壤光谱特征分析. 遥感技术与应用, 1992, **7**(2): 25—31.]
- 5 Wang Zhigang, Guo Ziqi, Evolution of spectrum of soils and rocks forced on weathering in western Qinling Mountains. *Remote Sensing Technology and Application*, 1998, (4). [王志刚,郭子祺. 西秦岭土壤和岩石光谱在风化作用中的演化. 遥感技术与应用, 1998, (4).]
- 6 Hunt. G. P, J. W. Salisbury. Mid-infrared spectral behavior of sedimentary rocks. *Environmental Research Papers*, 1975, (520).
- 7 Zhang Renhua. The model of testing remote sensing and its background. Sciences Pressed 1992. [张仁华. 实验遥感模型及地面基础. 北京: 科学出版社,1992.]

作 者 简 介

郭子祺,1963 年出生,1997 年毕业于中国科技大学,主修固体地球物理,硕士。目前主要从事遥感地质找矿研究工作和遥感地震预报研究,已在国内核心期刊发表论文 4 篇。

A Study on the Relationship of Original Soil and Mother-rock's Laboratory Spectrum of Gold Metallographic Province in Western Qinling Mountains, China

GUO Zi-Qi WANG Zhi-Gang

(Institute of Remote Sensing Applications Chinese Academy of Sciences 100101)

Abstract In this paper, We mainly present the method of exploring gold deposits covered by original soils from weathered rocks by means of analyzing and studying the laboratory spectrum's relationship of both original soil and its weathering mother-rock. In western Qinling Mountains, there are several large scale gold deposits in metallographic provinces. In the past, remote sensing technology was used to investigate this area, however, gold deposits exploration still have not been broken out. As bed-rocks are covered by vegetation and soils, it is very difficult to efficiently apply remote sensing technology. During our study of remote sensing information characteristics on the earth, we found that most bed-rocks are fortunately covered by original soils in gold metallographic provinces. Therefore, we hope that gold deposits covered by original soils can be directly determined by using the spectrum features of the soils overlain the bed-rocks.

The analyzed relevant samples were collected from several typical known gold mining areas, Pearson's correlation analysis was adopted in order to study the linear correlation between soils and their corresponding rocks, at the same time, the obtained correlation coefficients were tested by means of Two-tailed method. To single layer samples (original soil directly covers bed-rock), their correlation coefficients are in high positive relationship, the average number is about 0.942. To multi-layer samples (more than one soil layer cover the bed-rock), the correlation coefficients are lower, however, there are still 0.763 in positive correlation.

According to our results, we can conclude that there is a high positive relationship to the spectrum of both original soil and its weathering mother-rock. It is possible for us to extract gold deposits information from covering original soil's spectrum and provide a new method for gold deposits exploration.

Key words Gold deposits, Laboratory spectrum, Relationship