

西藏谢通门县雄村矿区岩石地面波谱特征 及其在矿化信息识别中的应用

王海平¹⁾, 杨竹森¹⁾, 张彤²⁾

1) 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京, 100037; 2) 中国石油天然气总公司遥感中心, 北京, 100083

内容提要:成矿作用过程中产生的矿化蚀变,在遥感图像上往往是一种非直接的弱相关信息。文章以西藏谢通门县雄村铜多金属矿区为例,通过典型矿床地面波谱及其特征分析,在视反射率图像模拟及其与典型矿床地面波谱反射率的相关分析基础上,运用两类矿床的地面波谱模型对通门乡子区矿化蚀变信息进行识别研究。雄村铜多金属矿区的地面波谱特征研究表明,视反射率图像及其地空相关分析方法不仅能快捷地进行铜多金属矿化信息预测,还可有效地区分矿化异常,在冈底斯地区多金属矿化信息识别方面有较好的找矿预测效果,是青藏高原进行铜多金属找矿预测的颇为有效的遥感地质找矿新技术之一。

关键词:波谱特征;视反射率;遥感图像识别;雄村;西藏

西藏谢通门县雄村铜金矿位于冈底斯斑岩铜多金属成矿带中段,是冈底斯斑岩铜成矿带(曲晓明等,2001)内发现较早的几个铜金矿床之一。近年来所获的基础地质和矿产地质研究表明,该成矿带内铜多金属矿产资源丰富、极具找矿前景,不少研究人员对雄村铜金矿进行过研究(芮宗瑶等,2004;徐文艺等,2005,2006),然其地面波谱、地空反射率及遥感矿化信息识别研究仍较薄弱。本文以研究区内目前尚无人涉足的地物波谱研究为切入点,选择冈底斯斑岩铜矿带的雄村铜金矿区为典型矿床并以其地面波谱特征研究为突破口,对雄村矿区进行了视反射率图像及其地空相关分析方法研究。

1 波谱数据采集及其波谱特征

1.1 雄村矿区地质概况

雄村铜金矿位于雅鲁藏布江大断裂北侧,冈底斯中酸性杂岩带东南缘、布托—萨沃拉—南木切复式向斜南翼边部,南邻多雄藏布陆相断陷盆地。该复式向斜呈近东西向延伸,核部由始新世达多群火山岩组成,北、南两翼分别出露中—下侏罗统田巴群和白垩系地层。

矿区主要出露白垩系(未分, K_{1-2})和第四系(Q)。第四系主要为冲洪积和残坡积物,分布在河

道、冲沟及坡间洼地。据区内白垩系岩性特征,自下而上可划分为四个岩性单元,第四岩性段(K_{1-2}^d)主要分布在矿区西南和南部,岩性为凝灰质砂岩、凝灰质砂板岩和凝灰质泥岩;第三岩性段(K_{1-2}^c)出露在矿区中部和中南部,主要为角岩化凝灰岩;第二岩性段(K_{1-2}^b)分布在矿区中部,主要由碎屑凝灰岩夹少量凝灰质泥岩组成,岩石蚀变强烈,主要为绢云母化、硅化和黄铁矿化;第一岩性段(K_{1-2}^a)主要分布在矿区西北和中北部,岩性为一套中基性、中酸性岩屑、晶屑、玻屑凝灰岩夹少量英安质、粗安质凝灰岩,岩石受热液蚀变后常发生绿泥石化、绿帘石化、钠长石化、角岩化和硅化(图1)。

区内岩浆活动频繁,侵入岩分布在西北部 and 东部,主要岩石类型为二长花岗斑岩和各种脉岩。二长花岗斑岩侵入于白垩系中,时代为燕山晚期,属谢通门中酸性杂岩的次级单元。二长花岗斑岩具斑状结构、块状构造,斑晶主要为石英、斜长石、钾长石,少量黑云母。基质为斜长石、石英和黑云母。在矿区内尚发育有规模不等的脉岩,主要类型有细晶花岗岩、辉绿岩和煌斑岩等。

矿区断裂构造发育,以东西向和北西向断裂为主,其次为北东向和近南北向。断裂性质变化大且具多期活动特征。近东西向断裂多表现为压扭、压

注:本文为国家“十一五”科技支撑项目(课题编号 2006BAB01A04)的研究成果。

收稿日期:2009-07-13;改回日期:2010-03-22;责任编辑:章雨旭。

作者简介:王海平,1949年生。研究员。主要从事遥感地质研究。通讯地址:100037,北京阜外百万庄大街26号;Email:wanghp1104@sina.com。

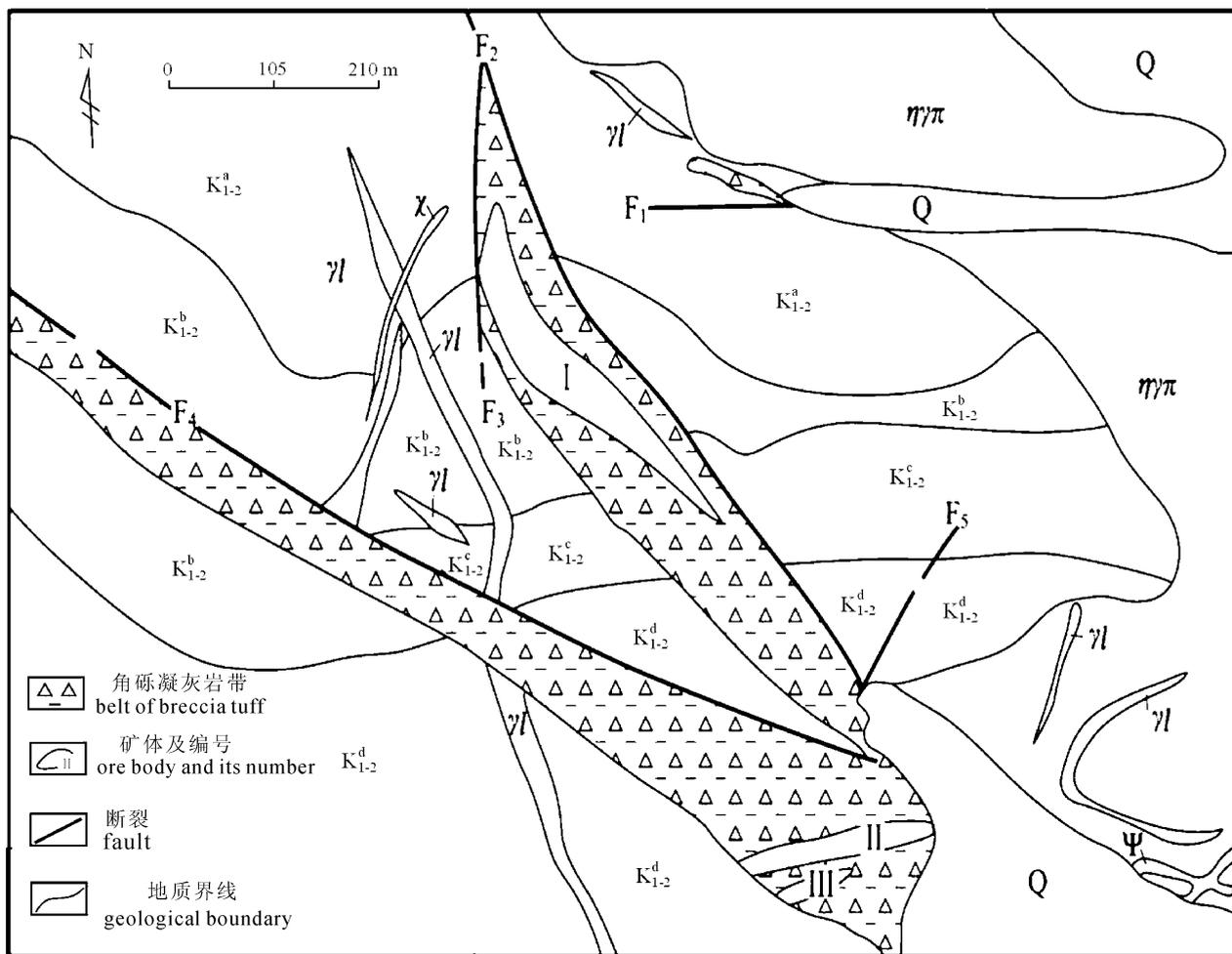


图 1 西藏谢通门县雄村矿区地质略图(据西藏第六地质大队 1992 年资料修改)
 Fig. 1 Schematic geological map of the Xiongcu ore district in Xietongmen County, Xizang (Tibet)
 (Modified from the 6 Geology Team of Tibet;1992)

Q—第四系;K₁₋₂^a—碎屑凝灰岩;K₁₋₂^b—黄铁绢英岩化凝灰岩;K₁₋₂^c—角闪化凝灰岩;K₁₋₂^d—凝灰质砂岩;
 ηγπ—燕山晚期二长花岗岩斑岩;ψ—辉绿岩;γt—细晶花岗岩;χ—煌斑岩

Q—Quaternary; K₁₋₂^a—clastic tuff; K₁₋₂^b—pyrite—phylic alteration tuff; K₁₋₂^c—hornfelsed tuff; K₁₋₂^d—tuffaceous sandstone;
 ηγπ—late Yanshanian monzonitic granitite-porphyrty; ψ—diabase; γt—aplite granite; χ—lamprophyre

性特征;北西向断裂的倾向变化大、倾角陡,沿该向断裂普遍见有构造角砾岩、构造糜棱岩;北东向断裂由碎裂岩、片理化带和断层泥组成,主要表现为压扭性特点;近南北向断裂呈波状延伸,一般为东倾,表现为早期张、张扭性、晚期又显示出局部压扭性特点。矿区已圈定 3 个矿(化)体。矿体赋存于角砾凝灰岩中,围岩蚀变强烈,主要矿化蚀变为硅化、钠长石化、绿泥石化和绿帘石化。

1.2 数据采集

波谱数据采集包括典型矿床的地面波谱数据及对应的 ETM 视反射率图像数据的采集。野外波谱实测采用比较测量法,即

$$\rho_{物} = \rho_{标} \cdot \frac{A_{物}}{A_{标}}$$

式中,ρ_物、ρ_标 分别为地物、仪器标板的反射率,A_物、A_标 分别为地物、标准板的波谱计数。为保证野外测值的精准,测点用 GPS 定位,用高精度的 IRIS 谱仪对测值作稳定性检查,测量精度为 1.5%,分别计算 $\bar{\rho}$ 、σ²、σ 后对矿床地面波谱实测值(表 1)计算整理。

1.3 矿床的地面波谱特征

雄村铜金矿区地面波谱反射特征示于图 2,其地面波谱反射率及统计值见表 1。矿区蚀变最弱的围岩反射率最高,其反射率曲线上叠置的特征谱带多、谱幅变化大。正常围岩(泥质岩)的波谱反射率

最低,铜金矿体反射率低于蚀变岩而高于泥岩。

弱蚀变围岩多为角砾凝灰岩,蚀变主要为绿泥石化、硅化和高岭石化,对地面波谱反射率贡献最大的是高岭石化。弱蚀变围岩的波谱反射率高、变化大,反射曲线上呈现的特征谱多。VNIR区平均反射率18%,K值极大点位于0.76 μm 处,0.90 μm 处有二价铜的吸收带。NIR区的平均反射率26%,在1.40 μm 、1.90 μm 和2.20 μm 处形成三个特征谱带,同时在1.40 μm 、2.20 μm 特征谱的右侧出现有不大的反射肩,1.40 μm 、1.90 μm 两谱带为强谱特征。

中等蚀变围岩主要为带状分布的角砾凝灰岩,其波谱反射率仅低于弱蚀变角砾凝灰岩、高于矿区内其它岩性,波谱反射率变化大、其上叠置的特征谱带多。VNIR区反射率分布和 ρ 值与弱蚀变角砾凝灰岩一致、平均反射率16%,K值拐点位于0.76 μm 附近,在0.90 μm 处出现二价铜吸收带。反射率在NIR区的变化不大, ρ 值最高可达25%,平均反射率23%,分别在1.40 μm 、1.90 μm 、2.20 μm 和2.35 μm 处出现特征谱带,其中的1.90 μm 特征谱右侧还伴有规模不大的反射肩显示,表明岩石受热液蚀变改造作用较强。

强蚀变围岩主要为带状分布的角砾凝灰岩,波谱反射率低于中等蚀变角砾凝灰岩,其反射率分布

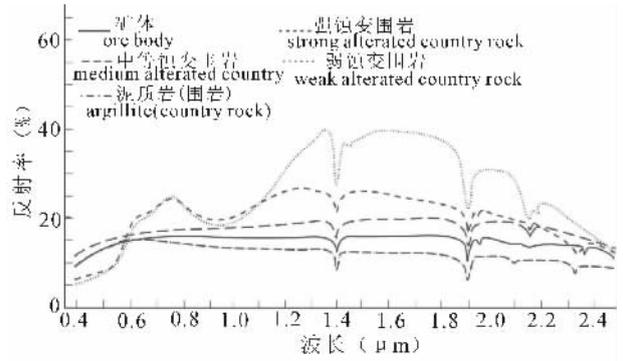


图2 西藏谢通门县雄村矿区地面波谱反射曲线
Fig. 2 Reflective spectrum charts of the Xiongcu ore district in Xietongmen County, Xizang (Tibet)

在近红外光区与后者基本相似,而可见光区则表现出明显的个性特征。VNIR区的反射曲线相对平滑、平均反射率16%,在0.90 μm 处同样出现有明显的二价铜吸收谱带。NIR区的 ρ 值变化不大、平均反射率19%,在1.40 μm 、1.90 μm 、2.20 μm 和2.35 μm 处有谱幅不大的特征谱带形成,这些特征谱一般未出现明显的反射肩现象。

铜金矿体的波谱反射率在矿区小于蚀变带岩石、反射率分布曲线型态总体起伏不大。VNIR区平均反射率14%,K值拐点位于0.60 μm 处,出现

表1 雄村矿区地面反射率、统计值及其ETM视反射率图像亮度值

Table 1 Ground spectral reflectivity, statistics and brightness of ETM apparent reflectivity image from Xiongcu ore deposits

矿区	岩石类型	ETM1 (0.45~0.52 μm)			ETM2 (0.52~0.60 μm)			ETM3 (0.63~0.69 μm)			ETM4 (0.76~0.90 μm)			ETM5 (1.55~1.75 μm)			ETM7 (2.08~2.35 μm)		
		$\bar{\rho}$	σ	DN															
		矿体	52	0.56	36	52	1.15	43	52	0.51	51	57	0.47	48	60	0.36	44	50	1.57
冲江铜矿	氧化带矿体	11	0.49	114	20	0.11	134	25	0.11	142	27	0.22	139	44	0.14	152	42	0.54	142
	黑云母化二长花岗斑岩	20	0.73	68	28	1.39	75	31	0.38	65	30	0.75	58	34	0.71	72	26	2.09	77
	高岭土化花岗斑岩	55	0.21	59	56	0.81	66	58	0.15	63	57	0.44	55	63	0.27	69	50	0.88	73
	二长花岗斑岩	40	0.14	61	43	0.19	57	44	0.07	54	46	0.06	47	45	0.06	61	44	0.48	67
	凝灰质砂岩	10	0.41	53	12	0.81	59	13	0.26	55	13	0.34	49	14	0.22	56	12	0.79	59
洞嘎铜矿	角砾岩	11	0.22	42	13	0.07	50	15	0.03	53	14	0.19	43	15	0.14	40	14	0.37	38
	矿体	70	0.81	165	75	0.35	181	77	0.26	180	80	0.53	189	80	0.20	186	65	0.51	160
	强蚀变角砾岩	30	1.38	89	37	2.81	99	39	0.56	106	41	0.86	114	51	0.45	132	45	2.95	119
	中等蚀变角砾岩	19	0.63	69	27	0.12	81	29	0.06	88	30	0.69	90	36	0.28	105	34	3.01	87
弱蚀变角砾岩	20	0.59	70	20	0.19	59	20	0.03	76	18	0.68	63	20	0.28	77	18	1.11	74	
熊村铜金矿	矿体	12	0.51	46	13	0.13	56	15	0.59	67	15	0.07	66	15	0.40	67	14	0.12	58
	强蚀变围岩	13	1.72	57	16	0.20	67	17	0.71	69	18	0.15	70	19	1.15	71	17	0.06	62
	蚀变围岩	8	1.73	33	16	0.45	68	21	0.56	73	20	0.19	74	26	0.11	82	19	0.14	62
	弱蚀变围岩	8	1.05	32	15	0.28	65	21	0.49	74	19	0.09	71	40	1.39	114	26	0.18	86
	泥质岩	12	1.65	46	13	0.29	56	15	0.73	67	13	0.35	55	12	0.81	46	10	0.86	39
石英二长岩	25	1.25	78	38	0.80	103	42	0.21	112	44	0.24	114	52	0.19	134	45	1.14	118	

注: $\bar{\rho}$ 为野外实测平均反射率; σ 为标准差; DN 为 ETM 视反射率图像的亮度值。

有二价铜吸收带(0.90 μm 谱带)。NIR 区反射率曲线较平坦、平均反射率 16%，分别有三个弱谱带在 1.40 μm 、1.90 μm 、2.35 μm 处形成，同时 1.90 μm 特征谱出现有明显的右反射肩。这种反射特征表明，矿(化)体中金属硫化物的不透明波谱行为不仅导致一些特征谱带的谱幅变小，同时还使某些特征谱进一步边缘化，使得近红外光区特征谱带变弱并使矿体反射率总体下降。

正常围岩主要为泥质岩，其反射率最低，其反射曲线形态与矿(化)体的大致类同。VNIR 区平均反射率 14%， K 值拐点位于 0.60 μm 处，在 0.90 μm 处无二价铜吸收带。NIR 区平均反射率 13%，仅在 1.40 μm 、1.90 μm 、2.10 μm 和 2.30 μm 处有弱谱带显示。这种反射特征反映出正常凝灰岩中有数量不大的水分子存在，这些水分子以无序状态吸附在岩石裂隙中，岩石本身不含铜元素，成矿作用过程中亦无其他成矿元素带入。

雄村矿区的上述波谱反射特征表明：成矿蚀变强度与波谱反射率呈负相关，成矿蚀变越强、蚀变岩石波谱反射率越低；矿区内弱蚀变围岩(高岭石化)普遍有铜的吸收谱带；ETM4、5、7 波段是识别含矿蚀变角砾凝灰岩、尤其是弱蚀变角砾凝灰岩的最佳波段；低反射率(白垩系泥质岩、角砾凝灰岩)背景上出现高反射型的双峰式分布，是谢通门地区铜金矿的重要波谱标志。

2 视反射率图像及其数据采集

在高寒山地区，由于地形等因素影响，遥感图像的亮度值不可能完全代表地表物体的反射和发射波谱特征(Waston, 1972; 刘燕君等, 1993)。因此，应针对雄村矿区的地质条件，对原图像作视反射率计算，在获得 ETM 图像视反射率基础上，通过地空反射率相关分析与矿化信息识别研究，方能抑制典型识别波谱产生的大概率不确定性(吕斯骅, 1981)影响，并有效地进行矿化信息识别。据遥感物理辐射理论和地球的辐射平衡理论(Robinson, 1966)，ETM 图像视反射率可表为

$$\rho_s(\text{ETM}i) = \frac{L_{\text{ETM}i}}{\sum \omega_i L_{\text{ETM}i} + L_{\text{ETM}6}}$$

式中， $\rho_s(\text{ETM}i)$ 为某 ETM 波段的视反射率， $L_{\text{ETM}i}$ 为某 ETM 波段的辐射亮度值， $L_{\text{ETM}6}$ 为 6 波段的辐射亮度值， ω 为 ETM 波段的权系数， i 为 ETM 的波段数。由上式不难看出，视反射率图像系 ETM 多波段图像模拟而成，视反射率图像的关键在于权系数 ω_i 计算和辐射亮度值 L 的转换。

2.1 波段权系数

各 ETM 波段权系数 ω_i 用下式计算

$$\omega_i = \frac{E(\lambda_i) \Delta \lambda_i}{\sum E(\lambda_i) \Delta \lambda_i}$$

计算各 ETM 波段权系数时，先计算传感器所有波段内的太阳平均光谱辐照度，然后将所有波段内的太阳平均光谱辐照度与对应波段宽度相乘，各波段的乘积占有所有波段乘积之和的百分数，就是该波段的权系数 ω_i (表 2)。

2.2 辐射亮度值转换

由于卫星传感器所记录的数据是图像亮度 (DN)，因此要将各波段的图像亮度值 (DN) 转换为辐射亮度值 L 后，方可代入式 (1) 求得视反射率图像。辐射亮度值 L 用下式计算

$$L = \frac{DN}{K_G} - K_0$$

式中： DN 为 ETM 图像亮度值， K_G 为传感器增益， K_0 为传感器偏移系数， L 为辐射亮度值。

ETM 图像的视反射率计算完成后，图像的视反射率数据采集工作在图像处理系统上完成，由计算机在视反射率图像上读出与地面反射波谱实测点对应的视反射率值。为减少计算误差，一般以读数的 ETM 像元为中心，取四周 3×3 像元的加权平均值为该像元的视反射率值(表 1)。

3 矿化信息识别及应用效果

据典型矿床地面波谱的测试、计算和分析，笔者在通门乡子区建立两类地面波谱模型(图 3)，即鸡冠式(图 3a)和双峰式(图 3b)。

表 2 ETM 各波段的太阳平均光谱辐照度和权系数

Table 2 Weight coefficient (ω_i) and mean irradiance of sun spectrum

波段	ETM1	ETM2	ETM3	ETM4	ETM5	ETM7	ETM6
波长(μm)	0.45~0.52	0.52~0.60	0.63~0.69	0.76~0.9	1.55~1.75	2.08~2.35	10.4~12.5
平均辐照度 ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \mu\text{m}^{-1}$)	0.1979	0.1715	0.1486	0.099	0.0244	0.0103	—
权系数(%)	23.9	23.6	15.3	23.7	8.4	4.8	—

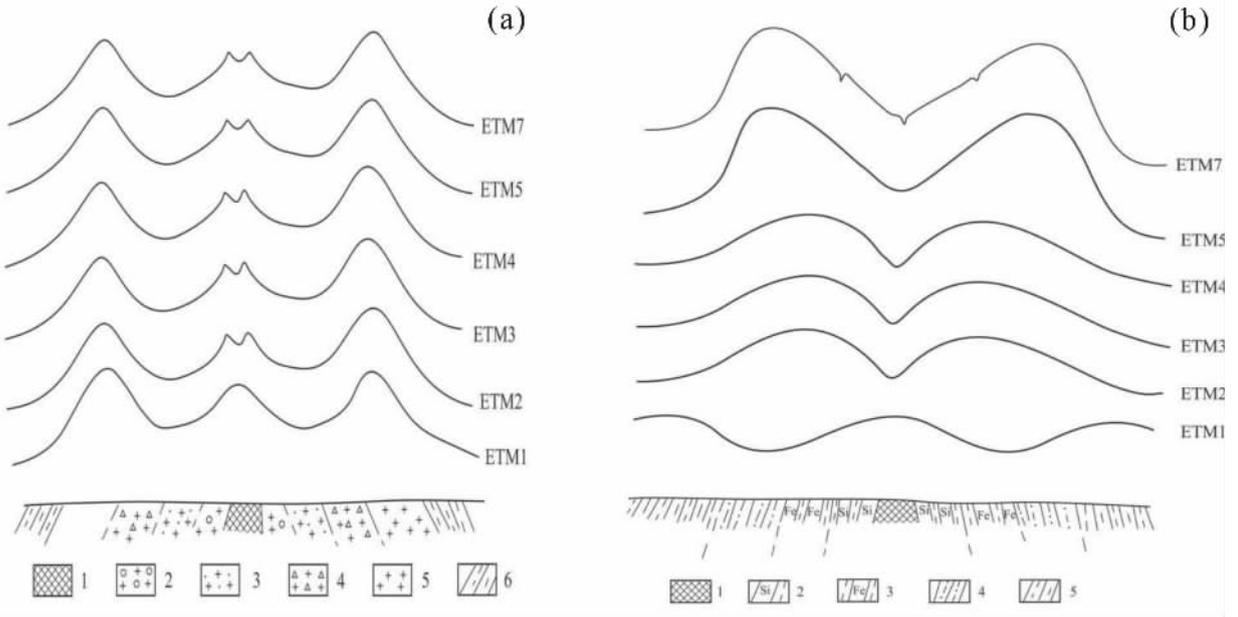


图3 通门乡子区的地面波谱模型

Fig. 3 Surface spectral patterns of the Tongmenxiang district

(a) — 鸡冠式地面波谱模型: 1—矿体; 2—氧化带矿体; 3—强蚀变二长花岗斑岩; 4—弱蚀变二长花岗斑岩; 5—正常二长花岗斑岩; 6—凝灰质砂岩; (b) — 双峰式地面波谱模型: 1—矿体; 2—强蚀变围岩; 3—中等蚀变围岩; 4—弱蚀变围岩; 5—正常围岩

(a) — Cockscomb spectral patterns: 1—ore body; 2—ore body of oxidized zone; 3—monzonitic granitite-porphry of strong alteration; 4—monzonitic granitite-porphry of weak alteration; 5—granitite-porphry; 6—tuff sandstone; (b) — Double peak spectral patterns: 1—ore body; 2—country rock of strong alteration; 3—country rock of medium alteration; 4—country rock of weak alteration; 5—country rock

3.1 矿床地面波谱模型与相关模型

据典型矿床地面波谱的测试、计算和分析,笔者在通门乡子区建立两类地面波谱模型(图3),即鸡冠式(图3a)和双峰式(图3b)。

鸡冠式波谱模型总体呈冠状分布,普遍形成在中等偏高的反射率背景之上。该类矿区波谱模型以冈底斯的冲江、洞嘎铜矿床为代表,其地面波谱模型示于图3a。该波谱模型两侧分别双反射凸起,双反射凸起之间为反射台地。ETM1分模型总体呈双反射凸起夹一反射台地分布形态,其显示的双反射凸起和反射台地位置稳定;双反射凸起由正常二长花岗斑岩形成;双反射凸起间夹的反射台地由矿体产生。ETM2~5和ETM7五个分模型相同,总体表现为双凸夹一台地的分布特征。这些分模型中的双反射凸起与正常二长花岗斑岩对应,反射台地与铜矿体对应,反射台地两侧伴有较明显的双反射谷。双反射谷由矿体两侧强蚀变二长花岗斑岩产生,弱蚀变二长花岗斑岩和氧化带矿体则分别形成双反射凸起内侧与反射台地外侧的斜坡带。ETM1分模型的反射台地相对较弱,双反射凸起与其间的

反射台地一般没有水分子和羟基团谱叠置;ETM2~5、7分模型谷底的双反射台地较强,反射凸起和反射台地上有强 CO_3^{2-} 基团和羟基团特征谱叠置。该类地面波谱模型为雅鲁藏布江西段典型的斑岩型铜矿床地面波谱反射特征。因此,在中等偏高反射背景上出现鸡冠状分布特征,其近红外光区(ETM5、ETM7)的双反射凸起和反射台地上有强 CO_3^{2-} 基团和羟基团特征谱叠置,是区内斑岩型铜金矿床的重要波谱识别标志。

双峰式地面波谱模型(图3b)以冈底斯南坡的雄村铜金矿床为代表,其波谱分布以双峰相映式为特征,即ETM1分模型呈双谷式波谱分布形态,ETM2~5、7分模型呈双峰式波谱分布形态,其峰—谷转换面位于ETM1、2分模型之间。在ETM2~5、7各分模型中呈反射率高,其波谱反射率为双峰式分布,双峰之间为反射谷。由ETM1构成的双谷式分模型,对称性好,双反射谷和双反射凸起位置稳定,谷间的反射台地则由铜多金属矿体生成。ETM2~5、7五个分模型的地面波谱分布形态,皆呈双峰夹一谷式分布,双反射峰外侧为反射率

低带,双反射峰由矿体两侧的弱蚀变围岩形成,反射谷则由铜多金属矿体产生。ETM7 分模型的双反射峰上出现强羟基团和 CO_3^{2-} 基团特征谱叠置,ETM7 分模型的反射谷底仅有强度不大的羟基团和铁离子特征谱叠置。尽管矿体内有大量碳酸岩和含羟基矿物,但铜多金属硫化物的强不透明波谱行为分别屏蔽和抑制了其反射谷底的羟基团和 CO_3^{2-} 基团特征谱(Salisbury, 1974),不仅导致了 ETM5、ETM7 分模型反射谷底羟基团特征谱弱化且无 CO_3^{2-} 基团特征谱叠置显示,还边缘化了 ETM5 分模型的双反射峰上出现强羟基团和 CO_3^{2-} 基团特征谱叠置现象。

据遥感方程推导(王海平等,1997),很容易证明矿床的地面波谱反射率与其对应的视反射率图像数据呈线性相关,表 1 及各矿床的视反射率亦表现出这种线性相关关系。笔者等以矿床地面波谱平均反射率为因变量,对应的 TM 图像视反射率数据为自变量,对区内矿床地面波谱反射率与视反射率图像作回归相关分析(周光亚,1982)。计算过程中,用矿区地面波谱的 ρ 值作纵坐标、ETM 图像视反射率数据 R_{ij} 为横坐标作 ρ 对 R_{ij} 散布图,并用最小二乘法拟合回归直线、建立回归方程(程光华,1980) $Y = a + bX$,并分别计算回归系数(a 、 b)和相关系数(γ)。经回归分析及西支沟地区已知矿床的回归系数和相关系数(表 3)计算,在通门乡子内的 ETM4、5、7 波段共建立 9 个地空波谱相关模型:

洞嘎铜金矿地空相关模型

$$\rho_4 = -2.835 + 0.941DN_{\text{ETM4}} \quad (1)$$

$$\rho_5 = -3.102 + 0.932DN_{\text{ETM5}} \quad (2)$$

$$\rho_7 = -5.214 + 0.889DN_{\text{ETM7}} \quad (3)$$

冲江铜矿地空相关模型

$$\rho_4 = -3.914 + 0.837 DN_{\text{ETM4}} \quad (4)$$

$$\rho_5 = -1.173 + 0.938 DN_{\text{ETM5}} \quad (5)$$

$$\rho_7 = -4.104 + 0.985 DN_{\text{ETM7}} \quad (6)$$

雄村铜金矿地空相关模型

$$\rho_4 = -4.107 + 0.873DN_{\text{ETM4}} \quad (7)$$

$$\rho_5 = -3.101 + 0.895 DN_{\text{ETM5}} \quad (8)$$

$$\rho_7 = -5.144 + 0.802 DN_{\text{ETM7}} \quad (9)$$

9 个地空相关模型中 ρ_4 、 ρ_5 、 ρ_7 为已知矿区在 ETM4、5、7 地面波谱反射率, DN_{ETM4} 、 DN_{ETM5} 、 DN_{ETM7} 分别为已知矿区在 ETM4、5、7 波段的视反射率。上述 9 个回归方程都通过了显著性(γ 法)检验(程光华,1980;周光亚,1982),表明 9 个方地空相关模型皆显著,其检验结果列入表 3。

3.2 ETM 数据的视反射率地空相关图像

笔者等用上述 9 个地空相关模型,在图像处理系统上,将区内的 ETM4、5、7 三个波段的视反射率转换成与矿床地面波谱数据相关的图像—视反射率地空相关图像。再将以上三单波段(ETM4、5、7)地空相关图像分别用 R、G、B 编码合成,便形成了研究区的彩色视反射率地空相关图像。研究表明,所获的彩色视反射率地空相关图像有较理想的矿化异常增强效果。

3.3 应用效果

据通门乡子区的彩色视反射率地空相关图像分析,区内共识别出 9 个图像矿化异常,这些矿化异常在多种处理图像上都有不同程度显示。其中,以 BP 神经网络(Anuta, 1977,王野乔,1997,)分类图像和地空相关图像上识别出的矿化异常不仅数量相同,且矿化异常显示最为清晰。对该子区的 BP 神经网络分类图像(Eberhart, et al., 1990; Liu, et al., 1991; Solaiman, 1994, Gopal, 1996)和地空相关图像分析,共识别出 9 个图像矿化异常。9 个异常皆与火山—岩浆作用环形构造有关。其中,TA-6(拉旺孜村北)、TA-5(脚克村西南)两图像矿化异常,经地空相关图像进一步采样分析,其波谱特征表现为中等偏低反射背景上出现高反射双峰,其峰间反射高台上有 CO_3^{2-} 基团和羟基团叠置谱,波谱映称面位于 ETM3、4 分模型之间,这两个矿化异常的波谱呈典型的双峰式分布,属于区内典型的双峰式(铜金矿)波谱识别模型;TA-2(多热加祥村西)、TA-3(主杀勒村西南)和 TA-9(通门村北)在地空相关图

表 3 通门乡子区的回归系数与相关系数

Table 3 Regression coefficient and correlation coefficient of Tongmenxiang region

	TM3			TM4			TM5			TM7		
	a	b	γ	a	b	γ	a	b	γ	a	b	γ
洞嘎	-1.581	0.928	0.901	-2.5837	0.941	0.990	-3.102	0.932	0.968	-5.214	0.889	0.937
冲江	-4.752	0.873	0.883	-3.914	0.837	0.938	-1.173	0.938	0.914	-4.104	0.985	0.902
雄村	-5.814	0.941	0.907	-4.107	0.873	0.894	-3.101	0.895	0.889	-5.144	0.802	0.913

注: a 、 b —回归系数; γ —相关系数。

像上,其波谱特征呈鸡冠状波谱分布特征,鸡冠状波谱分布在中等反射率背景上,各波谱分模型间无映呈面显示,当属区内斑岩型铜矿床的波谱识别模型;TA-4(3号异常西南2km)和TA-7(5号异常正南1.6km)两图像异常经地空波谱反演图像识别,其波谱特征表现为中等反射背景上单谷式分布,属热液脉型多金属矿床的波谱识别模型。TA-1(纳当村北)、TA-8(6号异常东南3.6km)图像异常的情况较特殊,经地空波谱反演图像识别,该异常的波谱特征既有铜金矿波谱(雄村式)特征值成分,又有热液脉型多金属矿床波谱的特征值成分,其是否属于过渡型异常尚待进一步验证。由于受交通、气候、工作条件及时间等因素限制,此次研究仅初步查证了两处遥感矿化信息异常,经野外查证后已发现蚀变矿化(铜金化)点。

4 结语

雄村矿区的地面波谱研究表明,视反射率地空相关图像分析方法不仅能快捷地进行铜多金属矿化信息预测,还可有效地区分矿化异常,是青藏高原地区进行铜多金属找矿预测的颇为有效的遥感地质找矿新技术之一。

青藏高原地区,由于地形和气候等因素影响,往往限制了多光谱定量化解译精度,一般不宜直接进行地空波谱反演。因此,应通过典型矿床地面波谱分析,并在视反射率图像计算及其与典型矿床地面波谱反射率的相关分析基础上,对其地空相关图像蚀变信息进行反演识别研究,方能有效地克服识别波谱产生的大概率不确定性影响。

ETM图像处理过程中,为减少误差及准确定位,需选用研究区的最佳图像波段进行地空相关分析,回归分析所建的地空相关模型需经数学检验,以

确定其模型的显著性。

参 考 文 献 / References

- 吕斯骅. 1981. 遥感物理基础. 北京:商务印书馆, 102~134.
- 程光华. 1980. 概率统计. 北京:地质出版社, 63~131.
- 刘燕君,金丽芳. 1993. 矿产信息的遥感地面模式. 北京:地质出版社, 10~35.
- 芮宗瑶,李光明,王龙生. 2004. 青藏高原的金属矿产资源. 地质通报, 23(1): 20~23.
- 曲晓明,侯增谦,黄卫. 2001. 冈底斯斑岩铜矿化带:西藏第二条“玉龙”铜矿带. 矿床地质, 20(4): 355~366.
- 王海平,曲国林,胡云中. 1997. 遥感数据的地空相关性研究及其在成矿预测中的应用. 国土资源遥感, 3(3): 19~28.
- 王野乔. 1997. 遥感及多元地理数据分类中的人工神经网络模型. 地理科学, 17(2): 105~111.
- 徐文艺,曲晓明,侯增谦. 2005. 西藏冈底斯中段雄村铜金矿床流体包裹体研究. 岩石矿物学杂志, 24(4): 301~310.
- 徐文艺,曲晓明,侯增谦. 2006. 西藏雄村大型铜金矿床的特征、成因和动力学背景. 地质学报, 80(9): 1392~1406.
- 周光亚. 1982. 多元统计分析. 北京:地质出版社, 110~128.
- Anuta P E. 1977. Computer assisted analysis techniques for remote sensing data interpretation. Geophysics, . 42: 191~217.
- Gopal S. 1996. Remote sensing of forest change using artificial neural networks. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 34(2): 398~404.
- Liu Zenkun, Xiao Jiayan. 1991. Classification of remotely sensed image data using artificial neural networks. In. J. Remote Sensing, 12(11): 2433~2438.
- Robinson N. 1966. Solar Radiation. London: Elsevier Publishing Company, 54~97.
- Salisbury J W. 1974. Meteorite spectra and weathering. Journal of Geophysical Research, 79: 4439~4441.
- Solaiman B. 1994. A comparative study of conventional and neural network classification of multispectral data. Proceeding of IGARSS'94, 3: 1413~1415.
- Waston K. 1972. Application of thermal modeling in the geological interpretation of IR images. Proceeding of the Seventh International Symposium of Remote Sensing of Environment, 17 ~21 May, 2017~2041.

The Ground Spectrum Property of the Xiongcu Ore District in Xietongmen County Xizang (Tibet) and Its Application to Prospecting for the Mineralization Information

WANG Haiping¹⁾, YANG Zhusen¹⁾, ZHANG Tong²⁾

1) Institute of Mineral Resources Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing, 100037;

2) Remote Sensing Center of Chinese Petroleum—Gas Industry Corporation, Beijing, 100083

Abstract: Different rocks in the Xiongcu ore district in Xietongmen county, Xizang (Tibet) have their respective characteristic spectra, which are very helpful to the explanation of remote sensing data and the search for copper—polymetallic deposits by remote sensing technology.

The paper deals with basic principles and technique method of mineralization information

discrimination based on apparent reflectivity image, and presents a case study carried out by authors. Based on the study of the apparent reflectivity image and the ground spectrum from copper—polymetallic deposits in the Xiongcu ore district, the ETM apparent reflectivity image in the region has been transformed into ground—space correlation image with the nine ground—space models which were established by means of a correlation study of the ground—space spectrum.

Through the analyses of the ground—space correlation image, some mineralization image anomalies have been distinguished, and some basic problems concerning the practical application of the discrimination—classification method for remote sensing have been discussed in the paper. The authors hold that the analyses of ETM ground—space spectrum correlation is valuable in the prospecting and prognosis of copper —poymetallic deposits in Gangdese, Xizang (Tibet).

Key words: spectral property; apparent reflectivity; remote sensing discrimination; Xiongcu deposit; Xizang (Tibet)

中国地质学会第十二届青年地质科技奖评选结果揭晓

2010年3月26日,经中国地质学会第38届理事会第十七次常务理事会议审议批准,第十二届青年地质科技奖揭晓,本届评出金锤奖9名、银锤奖40名。

中国地质学会青年地质科技奖评选,是先由各省、市、自治区地质学会,各专业委员会、中国地质学会各理事单位推荐各领域或部门的优秀候选人(1999年以前第1~7届为35周岁以下;2001年第8届开始为40周岁以下),经过中国地质学会秘书处组织资格审查和专家评审,最后经常务理事会议审批,具有严格的评选程序,具有业界的权威性和广泛的代表性。本届推荐的候选人共85名。

到目前为止,已授出金锤奖95名,银锤奖380名,其中21名金、银锤奖获得者荣获了中国青年科技奖。早期获奖者绝大多数已成为地质科技工作的骨干,“青年地质科技奖”在地质界具有很高的地位,产生了广泛的社会影响。

金锤奖(9名,按获奖者姓名汉语拼音字母为序):

邓成龙 中国科学院地质与地球物理研究所
李守定 中国科学院地质与地球物理研究所
王信文 煤炭科学研究总院西安研究院电磁法勘探研究所
王艳忠 武警黄金第一支队总工程师
吴益平 中国地质大学(武汉)工程学院
徐长贵 中海石油(中国)有限公司天津分公司渤海油田勘探开发研究院
杨立强 中国地质大学(北京)
张作衡 中国地质科学院矿产资源研究所
朱光有 中国石油勘探开发研究院石油地质实验研究中心

银锤奖(40名,按获奖者姓名汉语拼音字母为序):

陈云涛 中兵勘察设计研究院
付新平 铁三院集团有限公司地路处
高顺宝 西藏地勘局第二地质大队
高赞东 山东省地质环境监测总站地质环境监测所
郭富赞 甘肃省地质环境监测院地质灾害预警预报中心
韩绍阳 核工业北京地质研究院
郝雪峰 中石化股份胜利油田分公司地质科学研究所

何江涛 中国地质大学(北京)水资源与环境学院
胡兆初 中国地质大学(武汉)
胡宗全 中国石化石油勘探开发研究院油气勘探研究所
黄雨 同济大学地下建筑与工程系
姜平 中海石油(中国)有限公司湛江分公司研究院
李洪军 核工业二〇八大队
李金洪 中国地质大学(北京)
刘永生 中国地质环境监测院
卢振权 中国地质科学院矿产资源研究所
陆济璞 广西区域地质调查研究院
彭视明 吉林大学建设工程学院
彭澎 中国科学院地质与地球物理研究所
邵拥军 中南大学地质与环境工程学院
史卜庆 中国石油天然气勘探开发公司
宋平 昆明勘测设计研究院勘察分院地质室
宋志彬 中国地质科学院勘探技术研究所
苏小四 吉林大学水资源与环境研究所
孙有斌 中国科学院地球环境研究所
覃建华 中石油新疆油田公司勘探开发研究院开发所
唐金荣 中国地质调查局发展研究中心
王寒梅 上海市地质调查研究院
王红军 中国石油勘探开发研究院
王玉梅 中国石化股份胜利油田分公司物探研究院
吴元保 中国地质大学(武汉)地球科学学院
胥燕辉 中国冶金地质总局第一地质勘查院秦皇岛分院
杨海军 中国石油塔里木油田公司勘探开发研究院
杨守业 同济大学海洋与地球科学学院
姚宁平 煤炭科学研究总院西安研究院钻探技术研究所
曾载淋 江西省地质矿产勘查开发局赣南地质调查大队
张道伟 中国石油青海油田公司勘探开发研究院
张永军 中国国土资源航空物探遥感中心
张忠民 中国石化石油勘探开发研究院西北勘探研究中心
周继兵 新疆地勘局第九地质大队