

# 多宝山矿田的地面波谱研究及其 在铜矿预测中的应用\*

王海平

(中国地质科学院矿床地质研究所, 北京)

张宗贵

(地矿部航遥中心, 北京)

**提 要:** 根据矿田内岩矿地面波谱与 TM 图象亮度的线性相关关系, 论述了多宝山铜矿田内矿床的地面波谱特征、地空相关模型及 TM 数据的地空相关分析方法。在此基础上讨论了其在铜矿预测中的应用效果。

**主题词:** 地面波谱 TM 数据 铜矿遥感预测 多宝山

多宝山铜矿田位于黑龙江省嫩江县境内, 属大兴安岭地槽褶皱系北部的三矿沟—裸河构造岩浆带中段。矿田内主要出露奥陶系、志留系和泥盆系。中奥陶统铜山组 ( $O_2t$ ) 由一套中性、中酸性火山岩、火山沉积岩夹火山熔岩构成, 厚 1200 m、含铜量平均为  $50 \times 10^{-6}$ <sup>[1]</sup>; 多宝山组 ( $O_2d$ ) 整合覆于铜山组之上, 总厚约 4900 m, 为一套中性火山岩为主夹少量中酸性火山岩、火山沉积岩的海相火山岩系, 含铜量平均可达  $130 \times 10^{-6}$ <sup>[1]</sup>。往上还零星分布有上奥陶统裸河组 ( $O_3l$ )、爱辉组 ( $O_3a$ )、下志留统 ( $S_1$ ) 和下泥盆统 ( $D_1$ )。

矿田内的侵入岩主要为花岗闪长岩、花岗闪长斑岩、斜长花岗岩和更长花岗岩。与成矿有关的岩浆岩为海西期花岗闪长岩、花岗闪长斑岩组成的复式岩体。前者在 TM 图象上呈环形影象显示, 同位素年龄为  $292 \times 10^6$  a<sup>[2]</sup> (K-Ar); 后者呈北西向透镜体侵入花岗闪长岩中, 同位素年龄为  $281.3 \times 10^6$  a<sup>[2]</sup> (K-Ar), 二者均为海西中期产物 (图 1)。

不少学者对多宝山进行过深入的基础地质和矿产地质研究工作。笔者于“八五”期间对多宝山矿床作了地面波谱研究并获得了较理想的预测效果<sup>①</sup>。

## 1 铜矿床的地面波谱研究

### 1.1 铜矿床地面波谱采集

TM 数据包括铜矿床的地面波谱数据及其 TM 图象亮度数据。矿田内铜矿床地面波谱数据系笔者用 RS-II 和 IRIS 波谱仪在野外实测。矿床的地面波谱实测采用比较测量法, 即:

$$\rho = \rho_{\text{标}} \cdot A_{\text{物}} / A_{\text{标}}$$

上式中,  $\rho$  和  $\rho_{\text{标}}$  分别为地面和仪器标准板的反射率,  $A_{\text{物}}$  和  $A_{\text{标}}$  分别为地面和标准板的波谱计数。为保证实测数据可靠, 另用高精度的 R-IRIS 仪对测值作了稳定性检查并据下式<sup>[3]</sup>

$$\bar{\rho} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \rho_i \quad \sigma^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\rho_i - \bar{\rho})^2$$

\* “八五” 国家科技攻关项目 (编号: 85-901-01-07)

王海平, 男, 1949 年生, 硕士, 副研究员, 长期从事遥感地质研究工作。邮政编码: 100037  
1996-12-23 收稿, 1997-04-08 修改回

① 王海平, 1995, 国家科技攻关课题, 多宝山地区寻找斑岩铜矿的遥感应用研究

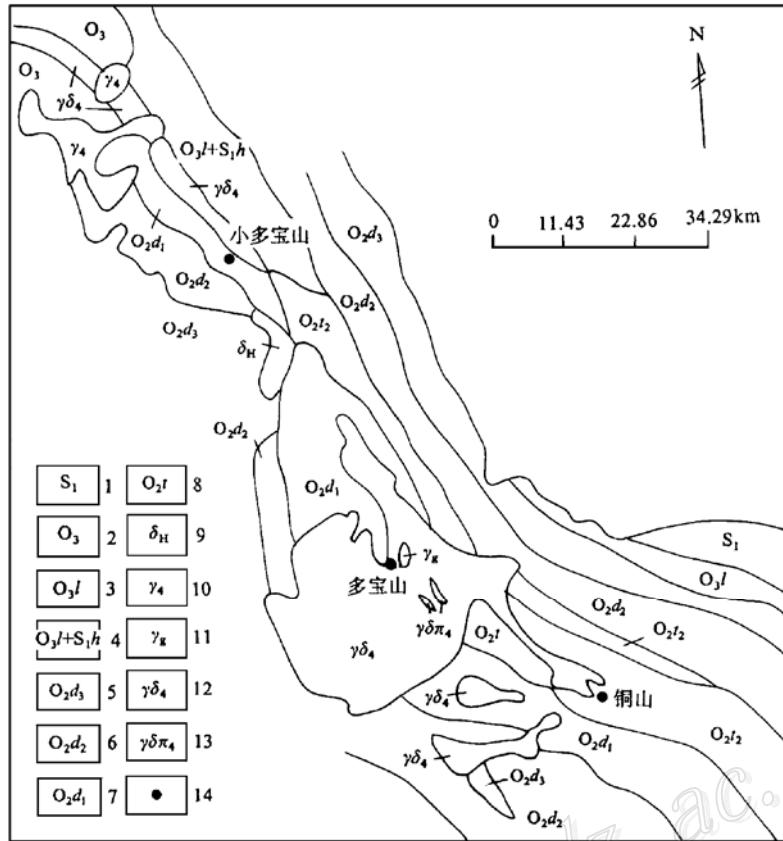


图 1 多宝山地区地质略图

(据杜琦资料修编)

- 1—下志留统；2—上奥陶统；3—裸河组；4—裸河组与黄花沟组；5~7—多宝山组三、二、一段；8—铜山组；9—海西期安山岩；10~13—海西期岩体：10—花岗岩；11—更长花岗岩；12—花岗闪长岩；13—花岗闪长斑岩；14—矿床位置

Fig. 1. Geological sketch map of Duobaoshan area.

- 1—Lower Silurian; 2—Upper Ordovician; 3—Luohe Formation; 4—Luohe Formation and Huanghuagou Formation; 5~7—3rd, 2nd, 1st Member of Duobaoshan Formation; 8—Tongshan Formation; 9—Hercynian andesite; 10~13—Hercynian rock bodies: 10—Granite; 11—Oligoclase granite; 12—Granodiorite; 13—Granodiorite porphyry; 14—Locality of the ore deposit.

将铜矿床地面波谱实测值计算整理 (表 1)。

矿田内各矿床的 TM 图象亮度值采集则在图象处理系统上完成。为减少计算误差，计算机读点时一般以实测点对应的象元为中心，取其四周 3×3 方阵象元的加权平均值为该象元的

表 1 多宝山矿田岩矿波谱、统计值及 TM 图象亮度  
Table 1. Spectra, statistical values and TM image brightness of rocks and minerals of the Duobaoshan orefield

矿床	主要岩石	TM <sub>1</sub>			TM <sub>2</sub>			TM <sub>3</sub>			TM <sub>4</sub>			TM <sub>5</sub>			Cu 含量 (10 <sup>-3</sup> )									
		$\rho$	$\sigma^2$	$\sigma$	R	$\rho$	$\sigma^2$	$\sigma$	R	$\rho$	$\sigma^2$	$\sigma$	R	$\rho$	$\sigma^2$	$\sigma$		R	$\rho$	$\sigma^2$	$\sigma$	R				
多宝山	碧碧岩化花岗岩闪长岩	21.0	5.71	2.39	48	23.0	4.45	2.11	54	24.0	1.53	1.39	56	26.0	4.72	1.31	52	34.0	3.73	1.93	82	35.0	0.69	0.83	85	26
	岩碧岩化细云母花岗岩闪长岩	12.5	15.29	3.91	36	13.0	5.52	2.35	35	13.4	8.64	2.94	34	15.4	2.79	1.67	36	30.0	1.12	1.06	53	32.3	0.76	0.87	68	544
	细云母绿泥石化花岗岩闪长岩	16.0	7.13	2.67	35	16.0	16.08	4.01	35	15.3	9.86	3.14	34	16.0	1.30	1.14	35	23.0	1.82	1.35	52	28.5	0.83	0.91	55	1220
	辉长石黑云母花岗岩闪长岩	15.0	11.75	3.43	33	16.0	14.67	3.83	35	16.2	9.86	3.14	37	17.0	1.28	1.13	39	21.0	1.69	1.30	19	25.0	0.79	0.89	58	1106
多宝山	矿体	18.0	9.24	3.04	41	17.5	9.61	3.10	38	16.0	6.92	2.63	34	17.0	1.51	1.23	38	24.0	1.30	1.14	55	21.3	1.06	1.03	47	①
	硅化钾长石化花岗岩闪长斑岩	17.4	3.84	1.96	39	27.0	6.00	2.45	64	30.0	7.02	2.65	73	34.0	1.21	1.10	81	53.7	1.28	1.13	120	44.3	1.54	1.24	108	374
	凝灰质砂岩(O <sub>2</sub> d)	13.0	8.82	2.97	25	17.0	18.23	4.27	22	19.0	12.57	3.56	43	21.0	0.87	0.93	45	36.0	1.24	1.32	59	32.7	1.30	3.14	72	148
	花岗岩闪长岩(脉)	14.5	13.18	3.64	31	14.0	17.31	4.16	30	13.8	10.30	3.21	31	15.0	0.79	0.89	33	26.3	2.66	1.63	52	31.0	1.12	1.06	74	50
铜山	凝灰质砂岩(O <sub>2</sub> d)	10.0	6.00	2.45	34	12.0	14.75	3.84	37	14.0	10.50	3.24	30	15.5	2.96	1.72	32	28.0	0.94	0.97	45	25.3	0.85	0.92	60	119
	安山岩	13.0	23.39	4.83	27	15.0	3.56	1.99	29	14.0	16.65	4.08	32	14.6	4.41	2.10	34	17.3	0.90	0.95	58	23.3	0.83	0.91	63	129
	矿体	16.0	9.55	3.09	35	17.0	6.92	2.63	36	16.9	9.43	3.07	38	16.5	4.12	2.03	37	18.4	0.83	0.91	43	17.2	0.69	0.83	39	②
	凝灰质砂岩(O <sub>2</sub> d)	8.0	6.55	2.56	41	20.0	3.35	1.83	46	21.0	8.01	2.83	48	22.1	1.80	1.34	74	27.4	1.02	1.01	87	24.3	1.21	1.10	64	160
小多宝山	砂砾岩(O <sub>2</sub> d)	28.0	3.75	1.93	66	31.0	8.76	2.96	63	33.2	13.18	3.63	75	31.8	2.28	1.51	79	32.1	1.51	1.23	82	27.9	1.12	1.06	72	71
	花岗岩闪长岩	21.0	11.02	3.32	49	22.7	6.97	2.64	53	24.0	16.81	4.10	56	25.8	1.21	1.10	61	35.0	0.79	0.89	85	33.9	0.83	0.91	80	48
	辉长石黑云母花岗岩闪长岩	14.0	6.52	2.63	32	15.0	4.67	2.16	35	16.5	9.80	3.13	36	17.0	2.34	1.53	39	20.0	0.92	0.95	50	24.0	0.99	1.00	57	736
	安山岩	11.0	16.81	4.10	27	11.0	9.60	3.11	29	14.0	7.13	2.67	31	15.0	1.15	1.07	33	28.0	0.92	0.96	57	29.0	1.28	1.13	67	124
小多宝山	矿体	18.0	9.25	3.04	36	17.0	9.43	3.07	38	16.5	6.82	2.61	39	17.0	1.51	1.23	37	24.0	1.30	1.14	48	22.0	1.05	1.02	45	②
	砂质板岩(O <sub>2</sub> d)	12.5	3.39	1.84	31	9.8	9.30	3.05	27	9.5	6.10	2.42	27	10.0	1.54	1.23	30	13.0	1.51	1.23	32	13.0	0.69	0.83	33	63

注:  $\rho$  为野外实测平均反射率, R 为 TM 图象平均亮度值,  $\sigma^2$  为统计值, Cu 含量据赵玉明、卢秉刚资料, 1988<sup>[1]</sup>, ①为开采品位以上, ②为开采品位

亮度值  $R$  (表 1)。

## 1.2 铜矿床地面波谱特征

现仅对矿田内具代表性的多宝山、铜山和小多宝山铜矿床地面波谱特征作扼要阐述。

多宝山矿床位于多宝山复式背斜中部 (图 1)。铜矿体沿北西、北西西向片理化带呈透镜状或条带状产于蚀变花岗闪长岩、蚀变安山岩内, 矿区的主要地面波谱 (据 IRIS 测量) 如图 2 所示。

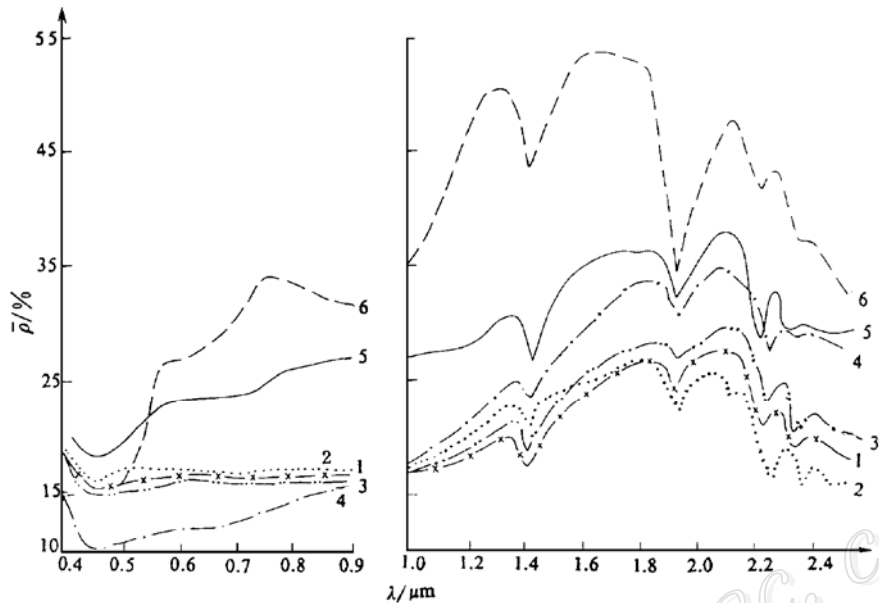


图 2 多宝山铜矿床的地面波谱曲线

1—钾长石黑云母化花岗闪长岩; 2—斑岩铜矿体; 3—绿泥石绢云母化花岗闪长岩; 4—青磐岩化绢云母化花岗闪长岩; 5—青磐岩化花岗闪长岩; 6—花岗闪长岩

Fig. 2. Surface spectral curves of the Duobaoshan copper deposit.

1—K-feldspar biotitized granodiorite; 2—Porphyry copper orebody; 3—Chloritized-sericitized granodiorite; 4—Propylitized-sericitized granodiorite; 5—Propylitized granodiorite; 6—Granodiorite.

由图 2 不难看出, 区内反射率由高到低依次为: 花岗闪长斑岩、弱蚀变花岗闪长岩 (青磐岩化)、强蚀变花岗闪长岩 (包括铜矿体)。与斑岩铜矿有关的强蚀变花岗闪长岩及铜矿体的反射率普遍降低、反射曲线的  $K$  值大, 并分别在  $1.40 \mu\text{m}$ 、 $1.90 \mu\text{m}$  和  $2.30 \mu\text{m}$  处形成水分子、羟基的特征谱。铜矿体的原岩为早期青磐岩化花岗闪长岩经钾化或绢云母化后的强蚀变岩, 除具上述波谱特征外还在  $2.17 \mu\text{m}$  处有  $\text{CO}_3^{2-}$  基团的特征谱生成。世界范围内的正常花岗闪长岩反射曲线上均无水分子和羟基吸收带<sup>[4]</sup> (G R Hunt and Others, 1970、1972、1973), 作者在三江地区的波谱研究亦证实了这一点<sup>①</sup>。因此, 矿区内上述地面波谱特征是铜

① 王海平, 1994, 国家黄金科技攻关项目, 遥感技术对哀牢山金矿靶区优选研究 (课题报告)

的成矿作用形成的。矿区的特征谱多集中在 NIR 区, 且数量多、对称性好、谱幅变化大, 说明水不仅在成矿热流体中为主要介质成分, 还使大量蚀变矿物和叠加蚀变矿物出现吸附水、结构水和羟基, 并表现出成矿蚀变作用越强、蚀变作用类型越多, 蚀变岩地面波谱反射率越低、特征谱幅度变化越大、谱形越复杂且铜含量越高(表 1)的特征。同时,  $1.90 \mu\text{m}$  左肩带和  $2.17 \mu\text{m}$  处的吸收带构成区内主成矿阶段成矿蚀变作用的标识谱带。

铜山矿床位于多宝山复式背斜东南部, 距多宝山矿区约  $3 \text{ km}$ 。矿区内出露地层主要为铜山组(二段和三段)、多宝山组(一段和二段), 除海西期多宝山花岗闪长岩岩体在矿区西北部出露外, 还有少量同期的花岗岩类呈小岩枝侵入铜山组和多宝山组, 矿体在地表多赋存在

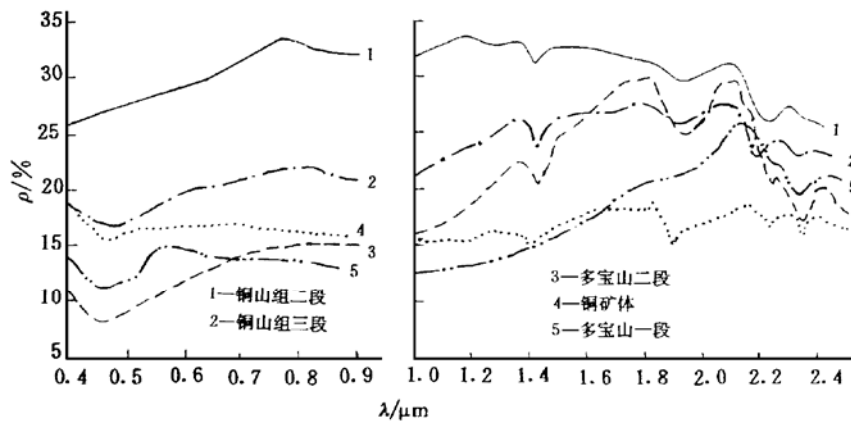


图 3 铜山矿床的地面波谱曲线

Fig. 3. Surface spectral curves of the Tongshan copper deposit.

1—2nd Member of Tongshan Formation; 2—3rd Member of Tongshan Formation; 3—2nd Member of Duobaoshan Formation; 4—Copper orebody; 5—1st Member of Duobaoshan Formation.

多宝山组一段蚀变安山岩中的北西向片理化带内。矿区地面波谱曲线示于图 3。图 3 中铜矿体波谱曲线在羟基谱 ( $1.90 \mu\text{m}$ ) 左侧 ( $1.85 \mu\text{m}$  左右) 出现了明显的反射肩峰——晚期碳酸盐化蚀变产生的  $\text{CO}_3^{2-}$  基团特征谱, 而这种基团则未在  $2.17 \mu\text{m}$  处形成吸收带, 推测其与铜山矿床的成矿作用差异和赋矿原岩的物性有关。由图 3 还可看出区内地面波谱反射率较低, 可见光区波谱曲线平坦、 $K$  值小, 近红外光区  $K$  值变化大且叠加谱多, 表明矿区内近矿围岩的蚀变作用较弱。其中绢云母化、绿泥石化、绿帘石化和碳酸盐化等蚀变在  $1.40$ 、 $1.85$ 、 $1.90$ 、 $2.20$  和  $2.30 (\mu\text{m})$  处形成幅度小、对称性中等的特征谱; 区内各岩性段在  $0.80 \mu\text{m}$  处形成 VNIR 极值和拐点、在  $0.90 \mu\text{m}$  处出现  $\rho$  值下降, 推测可能是 Fe 和 Cu 离子产生的合频特征, 这种合频谱压抑了 Cu 元素特征谱并导致后者谱形不明显。故此, 矿区内识别不同岩性段的波段集中在可见光区, 区分蚀变岩、成矿蚀变作用以及赋矿岩石的波段则为近红外光区, 而  $\text{CO}_3^{2-}$  基团在  $1.85 \mu\text{m}$  处形成的反射肩峰则构成了区内铜矿体的成矿特征谱。

小多宝山铜矿床位于多宝山复式背斜的西北部, 距多宝山矿区约  $5.5 \text{ km}$ 。矿区主要有多宝山组一段 ( $\text{O}_2d_1$ ) 安山质凝灰岩、安山玢岩和安山岩分布, 多宝山组二段 ( $\text{O}_2d_2$ ) 和爱辉组

( $O_3I$ ) 出露在矿区南北两端。地层主要呈北西、北北西走向，倾向南西、南南西。与成矿有关的海西中期小多宝山花岗闪长岩体呈北西向小岩株侵位于中奥陶统内。地表铜矿体多赋存在小多宝山花岗闪长岩体外接触带的蚀变安山岩、安山玢岩中，少量矿体产于内接触带的蚀变花岗闪长岩内。矿区主要地面波谱示于图4，从图4可见：区内地面的 $\rho$ 值有随 $\lambda$ 增长之势；

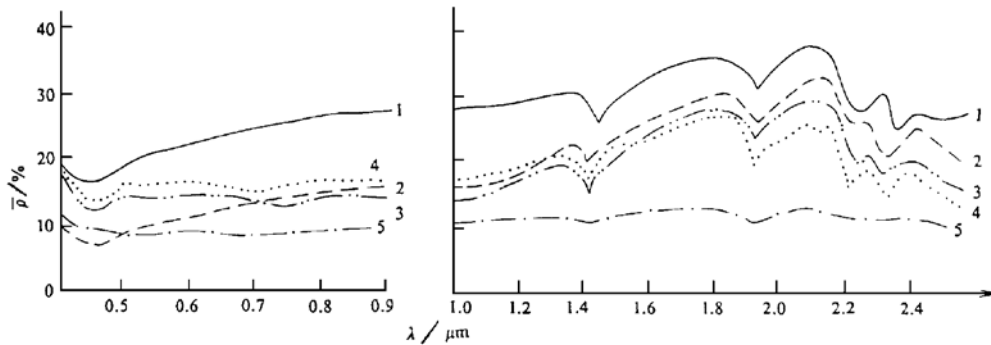


图4 小多宝山矿床的地面波谱曲线

1—花岗闪长岩；2—多宝山组一段（安山岩）；3—绢云母绿泥石化花岗闪长岩；4—铜矿体；5—爱辉组砂板岩

Fig. 4. Surface spectral curves of the Xiaoduobaoshan ore deposit.

1—Granodiorite; 2—1st Member of Duobaoshan Formation (andesite); 3—Sericitized chloritized granodiorite;  
4—Copper orebody; 5—Arenaceous slate of Aihui Formation.

波谱曲线在VNIR区平坦、 $\rho$ 和 $K$ 值小，在NIR区变化大且 $\rho$ 和 $K$ 值大，特征谱多集中在NIR区；经成矿蚀变后的岩石 $\rho$ 值下降；多宝山组一段中性火山岩的波谱曲线与小多宝山成矿花岗闪长岩的完全一致；铜矿体的 $\rho$ 值下降，除常见的0.45、1.40、1.90、2.20和2.35( $\mu\text{m}$ )吸收带外，还出现1.85 $\mu\text{m}$ 反射肩峰。上述特征表明，多宝山组一段中的中性火山岩与海西中期花岗闪长岩有某种成因联系，推测后者可能系前者的重熔产物；铜矿体不仅有2.17 $\mu\text{m}$ 吸收带，还有弱的1.85 $\mu\text{m}$ 反射肩峰，暗示区内曾发生两次以上的成矿热流体的碳酸盐化蚀变作用并形成了区别于多宝山矿体的成矿特征谱；地面波谱曲线上的2.17 $\mu\text{m}$ 和1.85 $\mu\text{m}$ 两特征谱不仅构成区内识别矿体的标识谱，而且还显示出主成矿作用集中出现在强烈碳酸盐化蚀变阶段的重要成矿信息。

## 2 地面波谱研究的应用及效果探讨

据典型矿床地面波谱的测试、计算和整理，多宝山矿田基本上可建立两类地面波谱模式(图5)，即双谷式(图5A)和单谷式(图5B)。双谷式亦可称多宝山波谱模式，以多宝山、跃进等铜矿床(点)为代表，这类模式常表现为两谷夹一峰形态，且往往出现在低反射背景上，该类模式代表了矿田内典型斑岩铜矿床的波谱特征。单谷式亦为铜山波谱模式，以铜山、小多宝山和小孤山等矿床(点)为代表，该类模式多发育在低反射背景上，常表现为波谷形态，

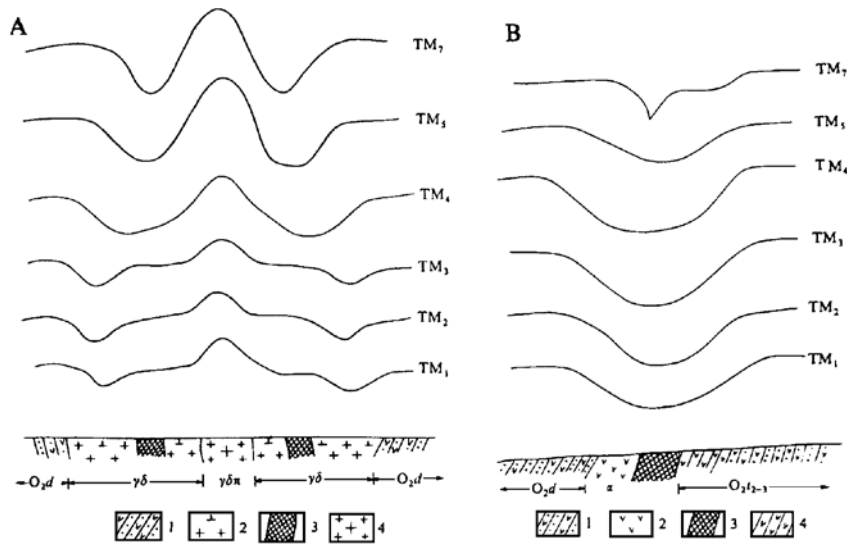


图5 多宝山矿田的地面波谱模式

A—双谷式地面波谱模式：1—多宝山组二段；2—花岗闪长岩；3—矿体；4—花岗闪长斑岩；B—单谷式地面波谱模式：1—火山岩、火山碎屑岩；2—安山岩；3—矿体；4—安山玢岩

Fig. 5. Surface spectral patterns of the Duobaoshan orefield.

A—Double valley surface spectral patterns: 1—2nd Member of Duobaoshan Formation; 2—Granodiorite; 3—Orebody; 4—Granodiorite porphyry. B—Single valley surface spectral patterns: 1—Volcanic rock, pyroclastic rock; 2—Andesite; 3—Orebody; 4—Andesite porphyrite.

其 NIR 区的  $TM_7$  分模式，谷底有羟基、 $CO_3^{2-}$  基团特征谱叠置。上述两类矿床地面波谱基本代表了多宝山地区铜矿地面波谱特征并构成本文将论及的计算机处理中的图象识别模式。

### 2.1 地面波谱的 TM 相关分析及相关模型

从理论上不难证明，卫星图象各波段所接收的总反射亮度与地面的反射亮度呈线性相关<sup>①</sup>，从表 1 的实测数据亦看出二者呈明显的线性相关性。鉴此可以铜矿床的地面波谱平均反射率为因变量、对应象元的 TM 波段亮度为自变量建立回归方程并分别计算回归系数 ( $a$ ,  $b$ ) 和相关系数 ( $r$ )<sup>[3]</sup>。经回归分析，用优选的最佳波段<sup>[5,6]</sup> ( $TM_4$ 、 $TM_5$  和  $TM_7$ ) 在多宝山矿田内一共建立了九个相关模型。

多宝山矿区的  $\rho$  与 TM 亮度相关模型：

$$\rho_4 = -4.5876 + 0.1610ND_4 \tag{1}$$

$$\rho_5 = -1.2807 + 0.0387ND_5 \tag{2}$$

$$\rho_7 = -0.4781 + 0.0179ND_7 \tag{3}$$

铜山矿区的  $\rho$  与 TM 亮度相关模型：

① 王海平，胡云中，1997，遥感 TM 数据的地空相关性研究，地质学报（待刊）

$$\rho_4 = -4.2831 + 0.1583ND_4 \quad (4)$$

$$\rho_5 = -1.1794 + 0.0365ND_5 \quad (5)$$

$$\rho_7 = 0.5031 + 0.0165ND_7 \quad (6)$$

小多宝山矿区的  $\rho$  与 TM 亮度相关模型：

$$\rho_4 = -3.9347 + 0.0887ND_4 \quad (7)$$

$$\rho_5 = -0.3487 + 0.1203ND_5 \quad (8)$$

$$\rho_7 = -0.1218 + 0.0686ND_7 \quad (9)$$

上述 9 个相关模型中， $\rho_4$ 、 $\rho_5$  和  $\rho_7$  分别为典型铜矿区在  $0.76 \sim 0.90 \mu\text{m}$ 、 $1.55 \sim 1.75 \mu\text{m}$  和  $2.08 \sim 2.35 \mu\text{m}$  的平均反射率， $ND_4$ 、 $ND_5$  和  $ND_7$  分别为铜矿区  $TM_4$ 、 $TM_5$  和  $TM_7$  的图象亮度。

以上 9 个回归方程经  $r$  法检验后<sup>[3]</sup>，其结果表明 9 个回归方程是显著的，都具实用价值，其  $r$  系数及检验结果列于表 2。

表 2 回归方程的显著性检验结果

Table 2. Results of significance test of regression equations in Duobaoshan area

铜矿区	回归方程	$r$	$r_{\alpha}$ ( $\alpha=0.05$ )	显著性
多宝山	(1)	0.923	0.811	显著
	(2)	0.959	0.811	显著
	(3)	0.900	0.873	显著
铜山	(4)	0.946	0.873	显著
	(5)	0.947	0.873	显著
	(6)	0.919	0.873	显著
小多宝山	(7)	0.861	0.811	显著
	(8)	0.950	0.873	显著
	(9)	0.921	0.873	显著

## 2.2 TM 相关分析在铜矿预测中的应用

据铜矿床地面波谱的  $\rho$  与 TM 图象亮度的相关模型(即回归方程 1~9)，用图象处理系统将原始的 TM 图象进行分区(分成试验子区)后转换成与铜矿地面波谱反射率相关的新图象(即地空相关图象)。图象处理过程中，每个试验子区(即图象处理子区)皆用地面波谱叠合法<sup>[6]</sup>和 OIF 系数法<sup>[7]</sup>综合确定的三个最佳 TM 波段(多宝山矿田为  $TM_4$ 、 $TM_5$  和  $TM_7$ )作为原始的 TM 图象文件。因此，每个图象处理子区都有三个新图象(地空相关图象)形成。

为获更好的矿化信息增强效果，笔者将子区内的  $TM_4$ 、 $TM_5$  和  $TM_7$  地空相关图象分别用 R、G 和 B 三色编码并合成彩色相关图象。经计算，这种彩色相关图象的亮度值(ND)与矿田内典型矿床地面波谱  $\rho$  值的关系为：

$$\text{多宝山子区: } \rho = -4.853 + 0.657ND \quad (r=0.91)$$

$$\text{铜山子区: } \rho = -5.478 + 0.043ND \quad (r=0.93)$$



小多宝山子区:  $\rho = -0.396 + 0.074ND$  ( $r = 0.90$ )

其中,  $\rho$  为铜矿床的地面波谱平均反射率,  $ND$  为彩色相关图象的亮度值,  $r$  为相关系数。

用铜矿床地面波谱  $\rho$  值反演 TM 图象数据所形成的彩色相关图象, 不仅增强了与铜多金属矿化有关的 TM 图象信息, 还可识别不同波段的铜矿化图象异常。以小多宝山图象处理子区为例, 其彩色相关图象上共识别出 8 个矿化异常 (图 6)。对比分析表明, 8 个矿化异常与地面的地化异常一致, 其中 6 个异常 (A-8、A-9、A-10、A-12、A-14、A-15) 与地化高场 (异常核) 吻合, 另外两个异常 (A-11、A-13) 则与地化异常核部的重合率稍有偏差。经计算机采样识别, A-15 异常 (其中心位于铜山西北) 在各波段的相关图象上呈现出低反射背景上的双谷式波谱特点, 属典型的多宝山式图象异常, A-8、A-9、A-10 三个异常 (中心分别位于小平山东、南沟和铜山西南) 皆表现为与铜山矿区几乎完全一样的波谱形态, 在彩色相关图象上呈现出低反射率背景上的单谷式波谱特点, 其  $TM_7$  相关图象显示的波谷上还有明显的羟基和  $CO_3^{2-}$  基团特征谱叠置, 这三异常属铜山式图象异常; A-12、A-13、A-14 三个异常 (中心分别在多宝山南、争光和红旗三分场西北) 在彩色相关图象上呈对称的双峰形态, 且发育在中等偏高的反射背景上, 其与多宝山矿田西北的三矿沟铜矿床 (夕卡岩型) 地面波谱模式极为相似<sup>①</sup>, 推测可能为夕卡岩型铜多金属矿化形成的图象异常; A-11 异常 (中心位于争光西南) 的波谱形态与矿田内的多宝山式和铜山式不同, 据计算机采样分析, 其波谱成分中既有单谷式波谱模式的特征值成分, 又有低反射背景上出现的镜像对称特点。因此, 推测矿田附近可能还有其它类型的铜多金属矿化作用。

“八五”期间, 曾从上述 8 个异常中筛选出 5 个进行有针对性的验证 (姚志强, 1995)<sup>②</sup>, 证实这 5 个图象异常 (A-8、A-11、A-13、A-14、A-15) 都有较好的找矿远景。例如在验证 A-8 异常时, 发现该异常区有一个  $800 \times 400 \text{ m}^2$  的激电异常存在, 异常值一般为 5%, 极大值为 6.5%, 属低缓激电异常。对前人地表工作时采的原岩样品作复查, 也检测出明显的铜多金属异常。该异常中的 Cu 异常值为  $150 \times 10^{-6}$ , Mo 异常值为  $1.5 \times 10^{-6}$ , Mn 异常值为  $1000 \times 10^{-6}$ ; 据该铜多金属异常的元素组合特点及其成矿主元素异常值较低等特征, 推测该异常可能

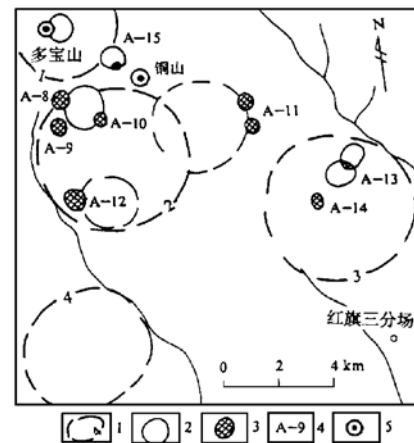


图 6 彩色相关图象提取的铜矿化图象异常  
1—环形构造及编号; 2—小环形构造; 3—图象异常;  
4—图象异常编号; 5—铜矿床

Fig. 6. Copper mineralization-related anomalies extracted by colorful correlation image.

1—Annular structure and serial number; 2—Minor annular structure; 3—Image anomaly; 4—serial number of image anomaly; 5—Copper deposit.

① 王海平, 1995, 国家科技攻关课题, 多宝山地区寻找斑岩铜矿的遥感应用研究

② 姚志强, 1995, 国家科技攻关课题, 黑龙江多宝山及其邻区寻找大型斑岩铜矿研究 (未刊)

由隐伏的铜多金属矿体引起。

### 3 结 语

多宝山矿田地面波谱研究表明，TM 数据的地空相关分析方法在铜多金属矿床的找矿预测和靶区定位中是较有效的遥感地质找矿方法。由于地面波谱的野外采集主要采用比较（或比值）测量法，实测时测量地物与仪器板准板的时间间隔尽量要小，以保证与太阳光照度一致（IRIS 仪则不受限制），波谱仪探头方位不要在入射光或镜向反射方向上；相关分析后建立的地空相关模型应该作数学检验，只有具显著性的相关模型才有实用价值。

多宝山矿田的地面波谱研究表明，地空相关分析方法不仅能快捷地进行铜矿预测和靶区定位，还可有效地区分铜多金属矿化异常类型。

#### 参 考 文 献

- 1 杜琦主编，多宝山斑岩铜矿床．北京：地质出版社，1988
- 2 姚志强，多宝山矿床综合找矿模型，见：张德全，赵一鸣编．大兴安岭及邻区铜多金属矿床论文集．北京：地震出版社，1993
- 3 程光华等．概率统计．北京：地质出版社，1980
- 4 地质部情报所．遥感专辑（第一辑）．北京：地质出版社，1980
- 5 王海平，卫星数字图象处理中的比值法解析及其应用．地质论评，1992，38（1）：82~89
- 6 王海平，多宝山地区岩石反射率研究．岩石矿物学杂志，1995，14（4）
- 7 Anuta P E. Computer assisted analysis techniques for remote sensing data interpretation. Geophysics, 1977, 42

<http://www.kcdz.ac.cn/>

## A STUDY OF THE GROUND REFLECTIVE SPECTRUM IN THE DUOBAOSHAN OREFIELD AND ITS APPLICATION TO THE PROSPECTING FOR COPPER DEPOSITS

Wang Haiping

*(Institute of Mineral Deposits, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037)*

Zhang Zonggui

*(Aerogeophysical Survey and Remote-Sensing Center, Ministry of Geology and Mineral Resources, Beijing 100083)*

**Key words:** ground reflective spectrum, TM data, remote-sensing prognosis of copper deposit, Duobaoshan

### Abstract

Altered rocks resulting from copper mineralization and soils and vegetation overlying copper deposits can engender special ground spectra, which would surely have some manifestations on TM image. Therefore, the ground spectra of copper deposits must have something to do with the brightness of TM image. The authors consider that the ground spectrum reflectivity is in linear correlation with the brightness of TM image. Reflective spectra of various copper deposits and rocks in the Duobaoshan orefield located in a NW-trending tectonic zone in the Da Hinggan Ling fold system were studied by means of RE-II and IRIS field wave spectrometers.

It is pointed out that the reflectivities ( $\rho$ ) of the Duobaoshan copper deposits as well as altered rocks are related to the types of copper deposits in Duobaoshan area. The porphyry copper deposit shows clear special spectra at  $0.45 \mu\text{m}$  and  $1.90 \sim 2.17 \mu\text{m}$ , whereas the skarn copper deposit has very low reflectivity and exhibits clear spectra of water and copper ions, with the former being at  $0.95 \mu\text{m}$ ,  $1.40 \mu\text{m}$ ,  $1.90 \mu\text{m}$  and  $2.20 \mu\text{m}$ , while the latter being at  $0.80 \sim 0.90 \mu\text{m}$ . Based on the ground spectrum study of the Duobaoshan orefield, the authors have established two ground spectrum models and nine ground-aerial correlation patterns, and transformed the TM image of Duobaoshan area into the ground-aerial correlation image.

The present paper deals with the effects of applying ground-aerial correlation image to the prognosis of copper deposits in Duobaoshan area. Through the analysis of the correlation image of this area, some image anomalies related to copper mineralization were detected on the ground-aerial correlation image of Duobaoshan area. It is hence concluded that correlation analysis has its special advantages in locating copper mineralization and predicting target areas.