

蒙阴金伯利岩地面 TM 波谱研究及其在 金刚石找矿预测中的应用*

王海平

张宗贵

(中国地质科学院矿床地质研究所,
北京 100037)

(中国地质勘查技术院航空物探遥感中心,
北京 100083)

主题词 波谱反射率 TM 图像 相关模型 金伯利岩 岭红埠

提 要 基于地物波谱与 TM 图像亮度的线性相关关系,文章对蒙阴金伯利岩地面 TM 波谱特征进行了分析,建立了典型金伯利岩地面波谱模式和地空相关模型。经金伯利岩地面 TM 波谱地空反演后形成的彩色相关图像识别及图像异常的野外查证表明,金伯利岩地面波谱与 TM 图像数据的相关分析方法在金刚石找矿预测及靶区定位中有较理想的应用效果。

世界上绝大部分金刚石原生矿床均与金伯利岩有关。山东蒙阴地区所发现的金伯利岩便是我国金刚石原生矿产资源的重要产地,其内既有誉为亚洲之最的常马庄胜利 1 号金伯利岩岩管,又有规模可观的西峪红旗 6 号金伯利岩岩管。尽管区内基础地质、矿产地质和相应的岩石矿物学领域的工作较为深入,胜利 1 号岩管业已开采,红旗 6 号岩管亦将开发利用,但金伯利岩地面的 TM 波谱研究却尚未进行。为此,笔者以金伯利岩地面波谱为研究的切入点,在沂沭断裂中段的邵家湖地区进行了一些金伯利岩地面 TM 波谱与 TM 图像数据的相关研究及其在金刚石找矿预测方面的探索。

1 金伯利岩地面 TM 波谱特征及波谱模型

山东蒙阴地区位于华北地台的鲁西台背斜中部,东距沂沭断裂带约 40km。区内主要为太古宇出露,有少量古生界和中新生界分布。太古宙泰山群为一套中高级变质岩系,由片岩、片麻岩、石英岩和变粒岩组成;古生界为一套台型浅海-滨海相碎屑岩、灰岩及含煤建造;中新生代地层主要为一套河湖相杂色碎屑岩、陆相火山沉积岩和火山岩建造。区内岩浆活动不强,仅有少量燕山期花岗岩呈小岩体、岩脉沿太古界与古生界不整合面或北西、北东向断裂贯入。

1.1 TM 数据采集

广义的 TM 数据应包括地物的地面波谱与其 TM 图像亮度数据两部分。蒙阴金伯利岩的地面 TM 波谱数据系笔者用 SRM-1200 和 IRIS 智能波谱仪在野外实测。金伯利岩地面波谱测量系用比较测量法,即

* 第一作者简介 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。
收稿日期 98-02-23

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

上式中, ρ 、 $\rho_{\text{标}}$ 分别为地物(本文为金伯利岩,下同)和谱仪标准板的反射率, $A_{\text{物}}$ 、 $A_{\text{标}}$ 分别为地物和标准板的波谱计数。为保证实测数据可靠,用高精度的 IRIS 谱仪对测值做了稳定性检查,旨在核实其准确性和可信度。然后据公式

$$\bar{\rho} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \rho_i$$

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

将金伯利岩地面波谱测值计算整理(表 1)。

蒙阴金伯利岩的 TM 图像数据采集在图像处理系统上完成,由图像处理系统在计算机上读出实测点在各波段图像上的亮度数据。为减少计算误差,一般以实测点像元为中心,取相邻的四个像元数据的加权平均值为该像元亮度数据(表 1)。

表 1 蒙阴金伯利岩波谱反射率统计值及 TM 图像亮度

Table 1 Spectral reflectivity, statistics and TM image brightness of Mengyin kimberlites

波段	岩石数据	常马庄胜利 1 号岩管					西峪红旗 6 号岩管				
		含岩球金伯利岩	角砾状金伯利岩	碳酸盐化金伯利岩	斑状金伯利岩	片麻岩	含岩球金伯利岩	角砾状金伯利岩	凝灰质金伯利岩	斑状金伯利岩	片麻岩
TM ₁	$\bar{\rho}$	19.17	21.14	12.63	11.80	42.03	18.27	28.21	24.70	39.17	40.81
	δ^2	0.169	0.252	0.948	0.029	0.662	1.613	3.101	0.561	1.378	0.297
	σ	0.411	0.502	0.308	0.169	0.814	1.270	1.761	0.718	1.174	0.545
	R	33.6	32.8	27.4	24.9	97.0	33.0	38.1	36.5	59.0	93.5
TM ₂	$\bar{\rho}$	20.30	19.27	11.91	11.15	45.96	26.29	35.68	27.65	41.41	46.13
	δ^2	0.023	0.195	0.046	0.067	0.064	5.896	1.341	0.235	0.209	0.256
	σ	0.150	0.441	0.215	0.259	0.251	2.428	1.158	0.484	0.435	0.506
	R	26.7	25.7	21.5	21.0	96.0	43.5	46.0	37.8	62.5	97.0
TM ₃	$\bar{\rho}$	19.90	17.64	11.14	10.10	48.01	31.42	36.25	28.78	37.15	48.14
	δ^2	0.0007	0.058	0.013	0.024	0.367	0.851	0.009	0.058	0.166	0.528
	σ	0.026	0.236	0.106	0.156	0.605	0.921	0.098	0.241	0.408	0.726
	R	39.5	38.1	23.6	22.1	101.1	51.6	57.6	39.5	58.0	102.0
TM ₄	$\bar{\rho}$	20.14	16.32	10.55	9.60	47.83	39.63	39.39	31.61	36.48	49.02
	δ^2	0.101	0.096	0.031	0.014	0.222	0.093	1.661	0.036	0.351	1.274
	σ	0.317	0.309	0.177	0.119	0.471	0.305	1.289	0.190	0.592	1.129
	R	30.5	27.6	20.5	19.6	99.0	67.0	69.5	58.6	61.0	105.1
TM ₅	$\bar{\rho}$	26.36	14.19	14.01	10.31	58.01	44.64	50.20	35.17	35.94	58.76
	δ^2	0.376	0.025	0.079	0.002	0.675	0.128	0.151	0.030	0.135	0.428
	σ	0.613	0.157	0.282	0.042	0.821	0.358	0.389	0.174	0.367	0.054
	R	47.5	26.5	25.1	20.0	132.0	89.5	93.7	61.0	61.9	134.0
TM ₇	$\bar{\rho}$	20.54	12.28	10.97	8.71	55.00	36.05	41.46	29.44	26.38	54.97
	δ^2	1.963	0.472	2.849	0.503	0.311	3.706	0.219	1.172	2.692	0.848
	σ	1.401	0.687	1.688	0.709	0.557	1.925	0.468	1.082	1.642	0.921
	R	34.0	24.0	22.5	18.7	121.5	68.1	87.9	49.5	47.1	121.5

注： $\bar{\rho}$ 为地面平均反射率, R 为 TM 图像平均亮度值。

1.2 蒙阴金伯利岩地面波谱特征及波谱模式

蒙阴金伯利岩由常马庄、西峪和坡里三条等间距分布的 NNE 向金伯利岩带构成(图

1), 胜利1号和红旗6号两个大型金伯利岩岩管分别位于常马庄和西峪金伯利岩带内。

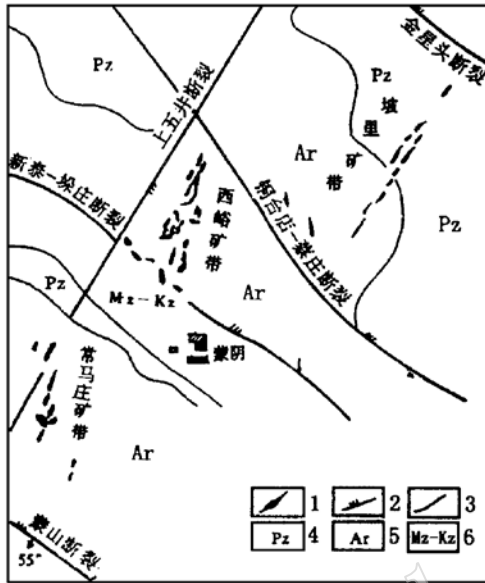


图1 蒙阴金伯利岩地质略图(据山东省地质矿产局第七队资料修编)

Fig. 1 Geological sketch map of kimberlites in Mengyin

1—金伯利岩体; 2—断裂; 3—地层界线; 4—古生界;
5—太古界; 6—中生界

胜利1号金伯利岩岩管侵位于太古宙泰山群, 金刚石原生矿产于其内。岩管由大岩管和小岩管构成, 大岩管在地表呈轴向为北西60°的椭圆形产出, 长轴约百米, 短轴50余米; 小岩管长轴为北东15°, 长60余米, 宽20米左右, 大小岩管在深部相连。岩管内岩石由内向外依次为斑状金伯利岩、碳酸盐化金伯利岩、角砾状金伯利岩和含岩球金伯利岩, 岩管内金刚石含量亦由内向外降低。金伯利岩的Rb-Sr法年龄为457~484Ma^[1], 属加里东晚期产物, 岩管地面波谱特征示于图2。

由图2不难看出: ①金伯利岩地面反射率 ρ 与金刚石含量有关, 一般来说金伯利岩反射率越小, 其金刚石含量越高。泰山群片麻岩 ρ 值最大并形成金伯利岩的高反射率背景场, 其内不含金刚石; ②泰山群片麻岩和含岩球金伯利岩具明显的1.40、1.90、2.30 μm 谱带。前两谱带并存且形态尖锐、幅度大、对称性好, 表明水分子大量存在, 后一谱带则为硅酸盐矿物内羟基产生的合频谱。区内金伯利岩地面波谱曲线虽有上述

三个谱带显示, 但皆因缺乏水分子基谱振动谱带特征且谱幅小, 有的(如1.90 μm 谱)形态欠尖锐, 当属羟基伸缩振动产生的倍频和合频谱带无疑; ③在VNIR区, 金伯利岩内 Cr^{3+} 离子谱带不在正常谱位上, 往往出现谱带“蓝移”现象, 这种现象与金刚石含量有关。岩石内 Cr^{3+} 离子在晶体场效应中由基态 ${}^4\text{A}_2$ 到激发态 ${}^4\text{F}_1$ 跃迁产生的谱带多集中于0.55 μm ^[8]处, Fe^{3+} 离子亦在0.55 μm 产生吸收带。但由于 Fe^{3+} 离子在0.45 μm 处形成的吸收带影响, 至使0.55 μm Cr^{3+} 离子谱带朝短波方向发生“蓝移”现象, 并表现出金伯利岩的 Cr^{3+} 离子谱带“蓝移”幅度大, 其含矿性就好的特点。含岩球金伯利岩 Cr^{3+} 谱带“蓝移”距离小(谱带中心移至0.50 μm), 其含矿性差。斑状金伯利岩 Cr^{3+} “蓝移”距离最大, 含矿性最好。角砾状金伯利岩则因其内尖晶石、铬铁矿含量稀少, 故未出现 Cr^{3+} 的特征谱, 仅在0.50 μm 处出现K值拐点; ④金伯利岩普遍出现的橄榄石谱带(中心在1.06 μm), 其两边的侧谱带皆不明显或缺失。有的金伯利岩还出现2.15 μm 吸收带并在2.10 μm 处有明显的肩峰带。上述金伯利岩的波谱特征表明: 常马庄金伯利岩出现在高反射率的背景上并形成明显的谷状波谱形态; 金伯利岩内金刚石含量往往与 Cr^{3+} 离子“蓝移”距离、 ρ 值呈正相关, 与水分子谱带呈负相关; 金伯利岩波谱曲线显示其发生较强的蛇纹石化、碳酸盐化蚀变, 其波谱曲线上叠加的特征谱越多, 蚀变类型就越多, 金伯利岩的含矿性就越好; TM_1 、 TM_5 和 TM_7 是识别金伯利岩混染程度、蚀变作用和含矿性的最佳图像波段。

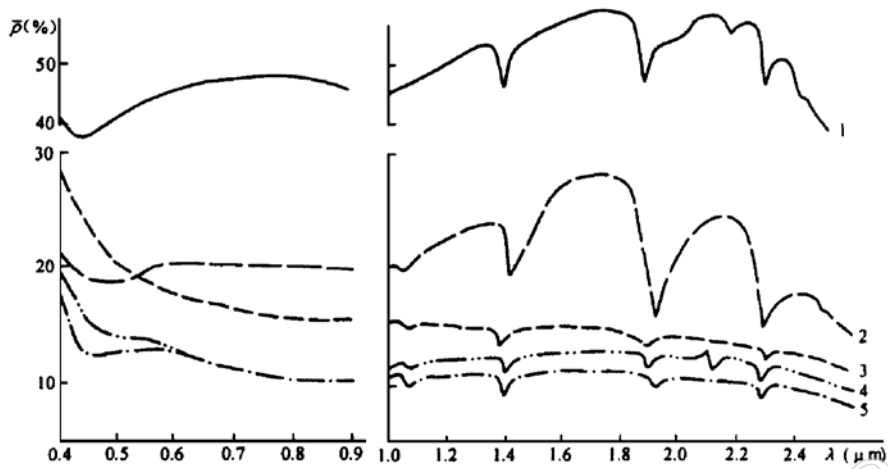


图2 常马庄金伯利岩地面波谱曲线

Fig. 2 Ground spectra of Changmazhuang kimberlite

1—片麻岩; 2—含岩球金伯利岩; 3—角砾状金伯利岩; 4—碳酸盐化金伯利岩; 5—斑状金伯利岩

红旗6号金伯利岩管位于西峪金伯利岩带中部, 侵位于太古宙泰山群片麻岩中, 金刚石原生矿主体产于该岩管内。岩管在地表呈牛鞭状, 其东南段因受构造影响而向东发生偏转。岩管内岩性由内向外依次为: 斑状金伯利岩、凝灰质金伯利岩、角砾状金伯利岩和含岩球金伯利岩, 金刚石含量亦由内向外变低。岩管内所获的金云母 Rb - Sr 法年龄为 81 ~ 88Ma^[1], 鉴于: ①岩管内角砾状金伯利岩中发现大量寒武纪灰岩角砾, 区内石炭系和侏罗系中均发现有金刚石^①, 说明该金伯利岩形成于寒武纪之后、石炭纪之前; ②区内大量金伯利岩同位素年龄均为距今 450 ~ 497Ma^[1]。因此, 该岩管仍属晚加里东期产物。

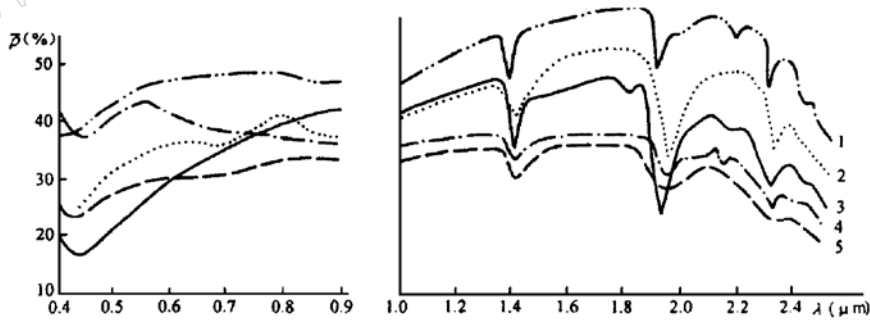


图3 西峪金伯利岩地面波谱曲线

Fig. 3 Ground spectra of Xiyu kimberlite

1—片麻岩; 2—角砾状金伯利岩; 3—含岩球金伯利岩; 4—斑状金伯利岩; 5—凝灰质金伯利岩

西峪6号金伯利岩管的地面波谱(图3)特征主要为: ①金伯利岩的 ρ 值偏高, 总体表现出 ρ 值与金刚石含量呈负相关; ②VNIR 光区无 Cr^{3+} 谱带“蓝移”现象, NIR 光区出现橄榄

① 山东地质局第七队, 1980, 山东金刚石矿床成矿条件及远景区划(未刊)。

石谱带(包括其侧谱带)“丢失”,有的金伯利岩出现有 $2.15\mu\text{m}$ 吸收带和 $2.10\mu\text{m}$ 肩峰带并存现象(如斑状金伯利岩);③金伯利岩的 1.40 、 1.90 和 $2.30\mu\text{m}$ 谱带幅度越大,其含矿性越差,反之亦然;④NIR的 $0.70\sim 1.40\mu\text{m}$ 段,含岩球金伯利岩和角砾状金伯利岩波谱的 K 值变化大并出现地面波谱曲线的交织;⑤金伯利岩普遍存在羟基团绕镁配位振动形成的 $2.30\mu\text{m}$ 合频谱。金伯利岩的上述地面波谱特征表明:西峪金伯利岩的 ρ 值高于常马庄金伯利岩而远低于围岩(片麻岩);金伯利岩的蚀变作用强,其中尤以粘土化、蛇纹石化和碳酸盐化蚀变最为强烈;金伯利岩内的铬元素多呈吸附状态存在于地表风化壳层内,没有形成 Cr^{3+} 的晶体场效应;区内金伯利岩的镁含量高;岩石表面粗糙程度是 $0.70\sim 1.40\mu\text{m}$ 段波谱 K 值变化大及波谱曲线出现交织的重要因素之一;金伯利岩地面波谱曲线形态越复杂,其遭受的蚀变类型越多,含矿性相对越好;识别金伯利岩及其含矿性的最佳谱段为: TM_1 、 TM_4 、 TM_5 和 TM_7 。

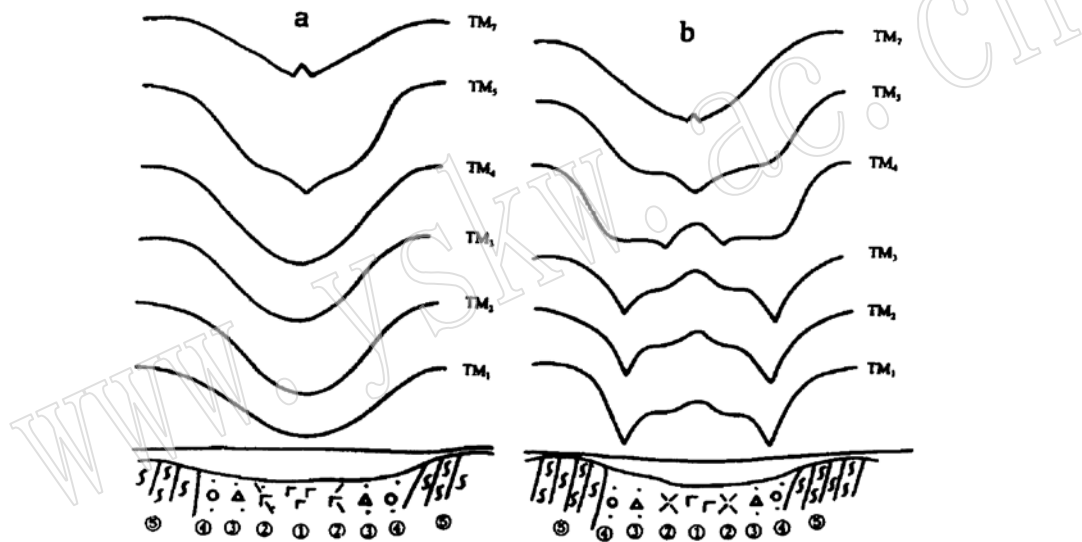


图4 蒙阴金伯利岩地面波谱模式

Fig. 4 Ground spectrum model of Mengyin kimberlites

a: ①—斑状金伯利岩; ②—碳酸盐化金伯利岩; ③—角砾状金伯利岩; ④—含岩球金伯利岩; ⑤—片麻岩; b: ①—斑状金伯利岩; ②—凝灰质金伯利岩; ③—角砾状金伯利岩; ④—含岩球金伯利岩; ⑤—片麻岩

依据蒙阴金伯利岩地面波谱特征,笔者建立了两类金伯利岩地面波谱模式(图4),即常马庄式和西峪式。常马庄式为典型的谷形波谱模式(图4a),该模式中,含矿性好的斑状金伯利岩反射率最小,位于模式谷底,含矿性稍差的金伯利岩则分居斑状金伯利岩两侧形成谷坡带,片麻岩地面反射率最高并构成波谷两侧的高反射台, TM_7 分模式谷底还有碳酸盐化蚀变产生的特征谱($2.15\mu\text{m}$ 吸收带、 $2.10\mu\text{m}$ 肩峰带)叠置其上。这类地面波谱模式出现在高反射率背景上,代表了蒙阴地区含矿性好、地面反射率低的金伯利岩(如胜利1号、胜利2号)波谱特征。西峪式为镜像对称的谷形模式(图4b),往往出现在高反射率背景上, TM_1 — TM_4 分模式与 TM_5 、 TM_7 分模式的谷式形态相反,其“映像面”位于 TM_4 与 TM_5 分模式之间,这类模式代表了含矿性中等、地面反射率偏高的金伯利岩(如红旗6号、18号、22号等)

波谱特征。

2 金伯利岩 TM 波谱的地空相关模型

笔者曾据遥感方程推导出了地物波谱反射率与 TM 图像亮度呈线性相关关系^[2]，近年来遥感地质找矿实践亦证实了这一相关性^{①②}。本文表 1 内 $\bar{\rho}$ 与 R 数据亦表现出这种简单的线性相关关系。鉴此，可以金伯利岩地面波谱平均反射率为因变量(y)、对应的 TM 图像亮度为自变量(x)作回归分析。计算时用金伯利岩地面反射率 ρ 值为纵坐标，TM 图像亮度 R_{ij} 为横坐标，作 ρ 对 R_{ij} 的散布图，用最小二乘法拟合回归直线后建立回归方程

$$y = a + bx$$

并分别计算上式的回归系数(a 、 b)和相关系数(r)^[3]，其中

$$a = [(\sum x_i)^2(\sum y_i) - (\sum x_i)(\sum x_i y_i)] / [n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2]$$

$$b = [n \sum x_i y_i - (\sum x_i)(\sum y_i)] / [n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2]$$

$$r = [n \sum x_i y_i - (\sum x_i)(\sum y_i)] / \sqrt{[n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2][n \sum y_i^2 - (\sum y_i)^2]}$$

经回归分析，在山东蒙阴金伯利岩区的 TM_1 、 TM_5 和 TM_7 三波段(系该区最佳图像处理波段)共建立了 6 个金伯利岩 TM 波谱的地空相关模型。

常马庄金伯利岩 ρ 与 TM 图像亮度相关模型：

$$\rho_1 = -2.3781 + 0.351 DN_1 \dots \dots (1)$$

$$\rho_5 = -1.0842 + 0.239 DN_5 \dots \dots (2)$$

$$\rho_7 = -0.5367 + 0.416 DN_7 \dots \dots (3)$$

西峪金伯利岩 ρ 与 TM 图像亮度相关模型：

$$\rho_1 = -1.9825 + 0.469 DN_1 \dots \dots (4)$$

$$\rho_5 = -1.0039 + 0.731 DN_5 \dots \dots (5)$$

$$\rho_7 = -0.8312 + 0.640 DN_7 \dots \dots (6)$$

表 2 回归方程的显著性检验结果

Table 2 Result of significance test of the regression equation

金伯利岩带	回归方程	r	$r_a (=0.05)$	显著性
常马庄	(1)	0.903	0.811	显著
	(2)	0.876	0.811	显著
	(3)	0.910	0.811	显著
西峪	(4)	0.891	0.811	显著
	(5)	0.910	0.871	显著
	(6)	0.954	0.873	显著

上述地空相关模型共涉及 6 个回归方程，其中 ρ_1 、 ρ_5 、 ρ_7 分别为金伯利岩在 $0.45 \sim 0.52$ 、 $1.55 \sim 1.75$ 、 $2.08 \sim 2.35 \mu m$ 地面平均反射率， DN_1 、 DN_5 、 DN_7 分别为金伯利岩在 TM_1 、 TM_5 和 TM_7 的图像亮度。

① 王海平, 1994, 遥感技术对哀牢山地区金矿构造及其靶区优选研究(课题报告, 未刊)。
 ② 王海平, 1995, 多宝山地区寻找大型斑岩铜矿的遥感应用研究(课题报告, 未刊)。

上述6个回归方程都经过显著性(r 法)检验,结果表明6个方程皆具显著性,有实用价值,其检验结果列于表2。

3 地空相关模型在金刚石找矿预测中的应用效果讨论

沂沭断裂带中段的邵家湖地区位于鲁西大型环形构造^①的中心,沂沭断裂带的4条深断裂从区内通过,数条北西、北西西、北北西、北东和北东东向线性构造在区内汇聚并形成向心状构造系统。邵家湖地区主要为中生代河湖相碎屑岩和火山碎屑岩分布,中部为太古宙泰山群片麻岩出露,第四系多沿沂、沭二河河道分布。区内岩浆活动不强,仅在大岱村东有燕山晚期二长花岗岩呈岩株侵位。近半个世纪以来,区内有大量宝石级金刚石出土。据不完全统计,重50克拉以上的金刚石已出土14颗,100克拉以上金刚石4颗,我国目前最大的常林钻石亦在此出土。此外,区内的金刚石研究^[4]表明这些大颗粒金刚石不可能从蒙阴金伯利岩区搬运而来,其含矿母岩很可能就在附近^①。据此,笔者用蒙阴金伯利岩TM地空相关模型对邵家湖地区作了含金刚石金伯利岩靶区的预测研究。

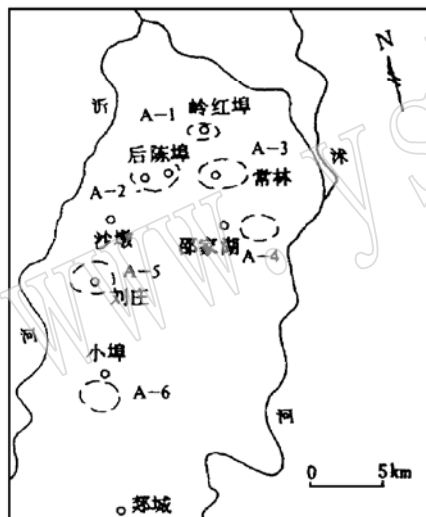


图5 彩色相关图像提取的金伯利岩图像异常

Fig. 5 Kimberlite image anomalies extracted from color correlation images

在相关图像上表现为高反射背景上的谷形波谱特征,属典型的常马庄式波谱模式;另外两个图像异常(A-3、4)的波谱成分较特殊,其波谱成分既有西峪式模式成分,又有常马庄式特征值成分,但其波谱模式总体上又呈波谷形态。鉴于上述图像处理结果,笔者对区内部分图像异常进行了野外查证。

据常马庄、西峪金伯利岩的6个地空相关模型,用图像处理系统将邵家湖地区的最佳图像波段(系地面波谱叠合法^[5]、OIF系数法^[6、7]筛选后确定的 TM_1 、 TM_5 、 TM_7 三个波段)转换成与金伯利岩地面波谱数据相关的图像。鉴于各单波段相关图像增强金伯利岩的处理效果还不尽人意,在此基础上笔者将 TM_1 、 TM_5 和 TM_7 的相关图像分别赋于R、G、B三色并编码合成彩色相关图像。经计算,该彩色相关图像的亮度值 DN 与常马庄、西峪金伯利岩地面反射率 ρ 值关系为

$$\begin{aligned} \text{常马庄金伯利岩: } \rho &= -6.0837 + 0.1390 DN \\ r &= 0.90 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{西峪金伯利岩: } \rho &= -4.3502 + 0.5014 DN \\ r &= 0.89 \end{aligned}$$

式中, ρ 为金伯利岩地面波谱平均反射率, DN 为彩色相关图像亮度值, r 为相关系数。

经邵家湖地区彩色相关图像分析识别,共确定6个与金伯利岩波谱有关的图像异常(图5)。计算机采样分析表明,其中4个图像异常(A-1、2、5、6)

^① 于志鸿等,1992,华北地台金刚石原生矿床的遥感构造研究(研究报告,未刊)。

表3 岭红埠碳酸岩及有关岩石化学成分(%)

Table 3 Linghongbu carbonate rock and chemical composition of related rocks

地区	岩石	成分														
		Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃	FeO	H ₂ O ⁺	H ₂ O ⁻	CO ₂	Cr ₂ O ₃
岭红埠	碳酸岩	0.48	0.85	4.29	17.81	0.04	1.34	33.37	0.25	0.47	11.92	0.02	3.36	0.60	25.63	
后陈埠	碳酸岩	0.76	1.14	4.50	15.15	0.13	0.67	28.10	0.20	0.45	5.18	0.22	1.34	1.76	24.70	
井子峪	碳酸岩	1.50	11.07	5.13	27.00	1.66	2.08	18.74	0.93	0.10	2.64	2.94	1.60	0.36	24.41	
常马庄	1号金伯利岩	0.63	27.33	4.96	34.00	0.16	1.36	9.57	0.96	0.12	4.23	2.89	8.44	0.78	3.97	0.21

分析者: 岩矿测试中心, 刘从健。

表4 岭红埠碳酸岩和有关岩石的 REE 含量(10⁻⁶)及有关比值

Table 4 REE contents and related ratios of Linghongbu carbonate rock and related rocks

地区	岩石	成分											
		La	Ce	δCe	Pr	Nd	Sm	Eu	δEu	Gd	Tb	Dy	Ho
岭红埠	碳酸岩	73.75	35.84	0.94	3.28	74.03	3.68	0.91	0.073	9.74	1.04	4.15	0.85
后陈埠	碳酸岩	83.76	27.17	0.92	9.73	37.65	5.92	2.18	0.073	4.12	0.31	2.17	0.67
井子峪	碳酸岩	200.00	397.00	0.94	43.06	168.83	25.70	5.58	0.073	16.42	1.89	5.55	1.02
常马庄	1号金伯利岩	102.24	189.18	0.93	37.61	22.53	8.21	2.05	0.073	6.47	0.73	2.85	0.44

地区	岩石	成分								
		Er	Tm	Yb	Y	ΣCe/ΣY	REE	La/Yb	La/Sm	Sm/Nd
岭红埠	碳酸岩	1.88	0.26	1.38	21.53	1.99	107.44	9.96	3.74	0.153
后陈埠	碳酸岩	1.26	0.21	0.98	12.67	3.87	203.92	76.14	14.75	0.152
井子峪	碳酸岩	1.92	0.30	0.88	14.44	19.75	882.49	227.50	7.79	0.152
常马庄	1号金伯利岩	1.18	0.18	0.62	9.16	17.12	403.06	164.90	12.45	0.184

分析者: 岩矿测试中心, 徐枫。

表5 岭红埠碳酸岩及有关岩石 δ¹³C、δ¹⁸O 分析结果Table 5 δ¹³C and δ¹⁸O analyses of Linghongbu carbonate rock and related rocks

地区	岭红埠	后陈埠	井子峪	常马庄胜利1号
岩石	碳酸岩	碳酸岩	碳酸岩	金伯利
δ ¹³ C _{PDB} (‰)	-6.2	-7.1	-3.3	
δ ¹⁸ O _{SMOW} (‰)	25.08	23.97	17.10	15.10

析者: 矿床所, 白瑞梅、万德芳。

野外查证时, 先在 A-2 异常的后陈埠村东发现了一条碳酸岩脉, 后又在 A-1 异常的岭红埠村东北发现另一条碳酸岩脉, 该两条岩脉都呈 NNE 走向, 因覆盖较厚、碳酸岩风化强烈(呈渣土状), 岩脉规模不清楚。这类碳酸岩脉风化后疏松多孔, 且富含水分, 当地村民多在其上凿井浇地并称其为“泉脉”。有一村民曾在打井取出的碳酸岩风化土中捡到一颗重

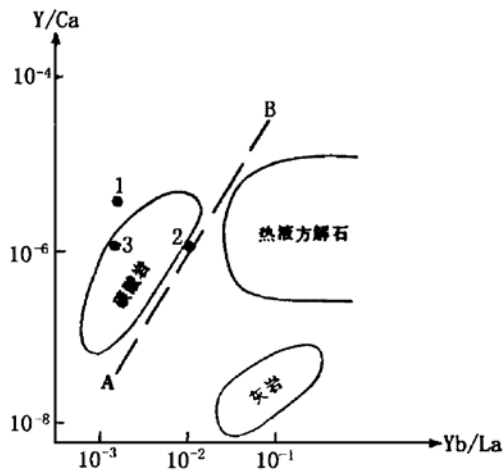


图6 Yb/Ca对Yb/La图解(据Moller P., 1980)

Fig. 6 Yb/Ca versus Yb/La diagram

1—常马庄金伯利岩; 2—岭红埠碳酸岩;
3—井子峪碳酸岩

钇亏损,表明二者为深源物质部分熔融产物。该碳酸岩的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 分别为 -6.2‰ (岭红埠)、 -7.1‰ (后陈埠),与各家测得金刚石 -7‰ (表5)值一致。仅 $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ 值与常马庄金伯利岩的偏离较大,这种差异很可能是晚期强碳酸岩化作用后在表生条件下,天水与碳酸岩发生氧同位素交换的结果。鉴于图像异常内碳酸岩脉的上述特征,笔者认为这类碳酸岩很可能是一种强烈碳酸岩化的金伯利岩。此外,多种遥感图像信息表明,A-1、2异常产于中心(环心)位于马陈埠的火山机构——马陈埠环形构造内,A-1位于该火山机构边缘(环缘)、A-2则产于寄生在该环形构造边缘的次级小环形体上。于志鸿等的研究(1992)亦证实“马陈埠小环形构造可能是与金伯利岩有关的火山机构显示”^②。

9克拉的黑色金刚石,该金刚石经肉眼鉴定为火山口相产物^①。岭红埠(A-1)、后陈埠(A-2)碳酸岩样品的岩石化学成分、REE及氧、碳同位素组成的分析结果分别列入表3~5。

由表3~5不难看出:图像异常(A-1、2)内所发现的碳酸岩,其CaO含量均在33%以上, TiO_2 低(表3), ΣCe 较高,与典型的碳酸岩一致, Sm/Nd 为0.152,大大低于0.33的临界值,属轻稀土元素高度富集型,与蒙阴金伯利岩($\text{Sm}/\text{Nd} = 0.148$)一致(表4)。在Yb/Ca对Yb/La图解(图6)上,异常内的碳酸岩既不是热液方解石,也不是沉积型灰岩,与典型的碳酸岩相近但又不完全等同,这一特征表明这种碳酸岩很可能与晚期强碳酸岩化作用有关。在球粒陨石标准化图解(图7)上,岭红埠碳酸岩REE配分型式与常马庄金伯利岩的相似,二者都富LREE,曲线右倾, $\delta\text{Eu} = 0.073$,具明显的

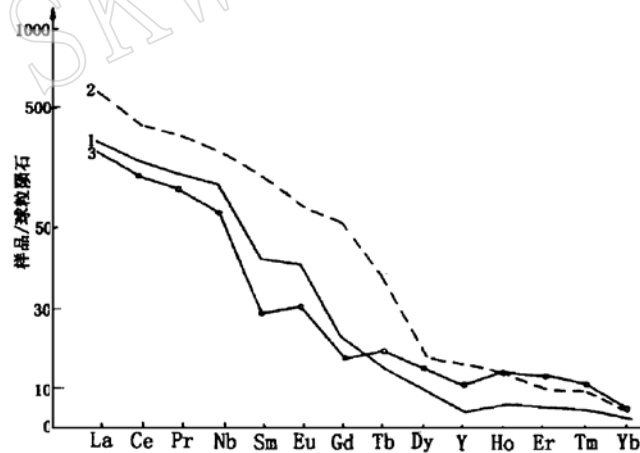


图7 岭红埠碳酸岩与金伯利岩的REE标准化型式

Fig. 7 Chondrite-normalized REE patterns of carbonate rock and Kimberlite in Linghongbu

1—常马庄金伯利岩; 2—井子峪碳酸岩; 3—岭红埠碳酸岩

① 据邓楚均野外鉴定。

② 于志鸿,1992,华北地台金刚石原生矿床的遥感构造研究(课题报告,未刊)。

4 讨论

利用典型金伯利岩地面波谱,将 TM 图像反演成与其有关的地空相关图像,可增强与金伯利岩有关的图像信息;地空反演建立的相关模型应作显著性检验,只有通过检验的相关模型才有实用价值;地面波谱数据是波谱叠合的基础,波谱叠合法和 OIF 系数法是确定最佳相关图像波段的有效方法;本次在邵家湖地区识别出 6 个异常,其中,在 A-1、2 异常中发现的碳酸岩脉可能是一种强碳酸岩化的金伯利岩。多种迹象还表明,邵家湖地区可能存在与金伯利岩有关的火山机构,因此,该区寻找含矿金伯利岩是颇有远景的。

参 考 文 献

- 1 董振信. 中国金伯利岩. 北京: 科学出版社, 1994.
- 2 王海平. TM 数据地空相关研究及其在铜多金属找矿预测中的应用. 国土资源遥感, 1997, (3).
- 3 程光华. 概率统计. 北京: 地质出版社, 1980.
- 4 黄蕴惠. 华北地台金伯利岩与金刚石. 北京: 地质出版社, 1992.
- 5 王海平. 多宝山地区岩石反射波谱研究. 岩石矿物学杂志, 1995, 14(4).
- 6 Hunt G R. Spectra of altered rocks in viable and near infrared. *Eco. Geo.* 1979, 1:74.
- 7 Aunta P E. Computer assisted analysis techniques for remote sensing data interpretation. *Geophysics.* 1971, 1:42.
- 8 Poole C P and Itzel J F. Optical reflection spectra of chromia - alumina. *J. Chem. Physics.* 1963, 1: 39.

A Study of Ground Spectrum of Kimberlites in Mengyin and Its Application to the Prospecting and Prognosis of Diamond Deposit

Wang Haiping

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

Zhang Zonggui

(Aerogeophysical Survey and Remote Sensing Center, Chinese Academy of Geoexploration, Beijing 100083)

Key words: spectral reflectivity; TM image; correlation model; kimberlite; Linghongbu

Abstract

This paper has established six ground-space correlation models based on a study of ground spectrum property of kimberlites in Mengyin area. The TM correlation analysis of ground spec-

(下转第 234 页)

(上接第215页)

tra of kimberlites led to the transformation of the TM image for the middle part of Yishu Fault zone into a ground space correlation image related to the ground spectrum property of kimberlites in Mengyin area.

The application effects of the ground-space correlation image for the prognosis of diamond deposits in the middle part of Yishu Fault zone are also discussed in this paper.

Through the analysis of the ground-space correlation image, the authors recognized six image anomalies related to the kimberlites. During the field inspection of the anomalies, some carbonate veins were discovered within A-1 and A-2 anomalies. Heavy mineral, isotope and REE studies suggest that this sort of carbonate veins might be a kimberlite which experienced late carbonate alteration.