豫西柳林地区深部金矿资源物探找矿预测

武玉海，张学军，葛良胜，张惠玉，刘荫椿，王文龙
（武警黄金地质研究所，河北 廊坊 065000）

摘要：豫西柳林地区地表存在大面积矿化和明显的区域化探金异常。为确定深部金资源远景，在蚀变矿化带上进行了放射性 γ 测量和电测深物探研究。测量分析显示，金矿化带具有低电阻率、高极化率、高放射性 γ 组合异常特征，这一组合异常特征为该区良好的金矿找矿标志。通过地表放射性 γ 测量及采样分析，圈出地表金矿化异常带，再利用高密度测量推断其深部矿化，共圈定了 5 条矿化体，估算金资源量 6 458 kg，预测其深部具有良好的找矿前景。

关键词：金矿；物探；找矿预测；豫西
中图分类号：P618.51；P631.3+2 文献标识码：A 文章编号：1006-558X（2004）01-0033-06

柳林地区属豫西金矿成矿带，火山-次火山岩浆活动强烈，断裂发育[1]，有多个明显的区域化探金异常，并且在其周围地区存在多处金矿床（前河、店房等）[2~3]，因而是金矿成矿的有利地区。在柳林地区地表发现大面积矿化后，笔者采用物探方法对其蚀变矿化带深部的含矿性进行了评价，进而对该地区的金矿资源进行预测。

1 蚀变矿化带放射性 γ 强度特征

区内岩石蚀变以钾长石化为特征，金矿化与钾长石化密切相关，为此在物探测深工作前，采用 FD-3017 放射性 γ 测量仪测试 6 条剖面，测点间距为 5 m。通过统计分析，放射性 γ 强度背景值［未蚀变安山（玢）岩］为 20×10^{-6} 左右，30×10^{-6} 左右为低异常，40×10^{-6} 左右为矿化或其他异常，50×10^{-6} 左右及其以上一般矿化强烈。

从图 1 可见，放射性 γ 异常主体走向为 NW，与区内矿化蚀变带一致，其高值异常区即为低品位矿体分布区。

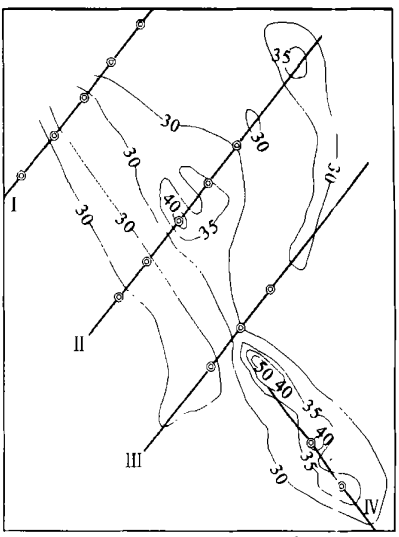


图 1 柳林地区放射性 γ/10^{-6} 等值线图

通过对各剖面图分析，放射性 γ 值随着蚀变矿化强度的增强而增高，两者呈正相关关系。I 剖面由于位于钾化带的边缘，地表矿化不明显，放射性 γ 测量基本无异常显示，多处于背景值区间，只在第 65 和 85 两

收稿日期：2004-01-05。李莉编辑。
作者简介：武玉海（1969），男，内蒙古准格尔旗人，武警黄金地质研究所工程师，硕士，从事金矿地质研究。
© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www

个测点存在由次火山岩脉引起的弱异常。Ⅱ剖面蚀变矿化带宽，放射性 γ 测量也呈现宽异常带，异常值多在 30×10^{-6}～40×10^{-6}之间，为一般性矿化异常，局部蚀变矿化较强地段中心的 γ 值可高达 50×10^{-6}。Ⅲ剖面测到了几条矿化异常带，放射性 γ 值在 40×10^{-6}左右，异常较明显，同时，还存在 100×10^{-6}～150×10^{-6}的特高异常。Ⅳ、Ⅴ剖面为钾化矿化较强带，放射性 γ 值在 30×10^{-6}～40×10^{-6}及其 40×10^{-6}以上，局部强矿化中心达到 50×10^{-6}，甚至 60×10^{-6}以上。

柳林地区放射性 γ 异常与钾长石化蚀变带分布一致，而金矿化主要产于钾长石化蚀变带，因此 γ 异常是良好的金矿找矿标志，利用 γ 测量结果能够在地表快速地圈定钾化蚀变范围及强矿化部位。

2 岩、矿石的导电性和激电性特征

野外电测深所用仪器为 DZD－2 型多功能直流电法仪、等比温纳尔装置，野外系统检查：M（ρ_s）= 0.76% 左右，M（η_s）= 6.56% 左右；观察误差：M（ρ_s）= 0.08%～2.9%，M（η_s）= 3.58%～9.14%；全区实测误差统计：M（ρ_s）= ±1.71%，M（η_s）= ±5.82%。系统、观察误差均满足设计精度要求。

为建立电法深部找矿的预测评价指标，用小四极装置对各类岩、矿石露头的电阻率和极化率进行测定、统计（表 1）。由表 1 可知，无矿化断裂带电阻率为 33.60 Ω·m，极化率为 2.50% 左右；黄铁矿化、褐铁矿化带电阻率为 173.10～803.65 Ω·m，极化率为 1.10%～5.23%，且极化率随矿化强度的增强而升高；安山玢岩、钾化安山玢岩等岩石的电阻率为 1 484.50～4 965.70 Ω·m，极化率为 4.40%～12.70%。表明蚀变矿化带以低阻、高极化率为标志性特征。

图 2 为 3/Ⅱ测深点 ρ_s、η_s 测深曲线，该测点距矿体露头南 1 m 多。整条矿带 EW 宽约 50 m，向 W 陡倾，见黄铁矿化、褐铁矿化、钾化、硅化，局部见黄铜矿化，矿化最强部位在矿带中部，宽 4～6 m。黄铁矿呈细粒稠密浸染状，Au 含量在 1.02×10^{-6}～2.42×10^{-6}。测深曲线上 AB/2= 3～9、30～100 m 区段具有高阻、低极化率特征，ρ_s 在 932.6～1 306.1 Ω·m 之间变化，η_s 仅为 2.4% 左右；AB/2= 9～30 m 之间为低阻、高极化率异常，ρ_s 曲线最小值相对背景场降低 800 Ω·m 左右，而 η_s 极大值相对于背景场升高近 12%。上述研究表明，含 Au 性较好的强黄铁矿化地段具有低阻、高极化率异常特征。

表 **1** 矿区各类岩、矿石露头的电性特征

岩（矿）石	测点	极化率/%			电阻率/Ω·m		
		η_{max}	η_{min}	η	ρ_{max}	ρ_{min}	ρ
黑云角闪正长岩	2	8.80	5.90	7.35	3 062.4	1 167.0	2 114.70
正长斑岩	1			12.7			2 265.60
安山玢岩	4	10.95	0.45	4.65	5 052.8	747.3	2 601.10
钾化安山玢岩	5	9.65	1.60	4.44	4 965.7	305.3	2 539.50
钾化安山岩	1			7.88			4 965.70
蚀变安山质凝灰岩	1			4.40			1 484.50
无矿化断裂带	1			2.50			33.60
弱黄铁矿化矿带	3	3.70	1.10	2.40	884.5	257.3	551.40
较强黄铁矿化矿带	4	6.90	4.10	5.23	1 933.0	44.0	803.65
半原生、半氧化矿带	1			4.96			173.10
氧化矿带	1			1.10			374.00

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www

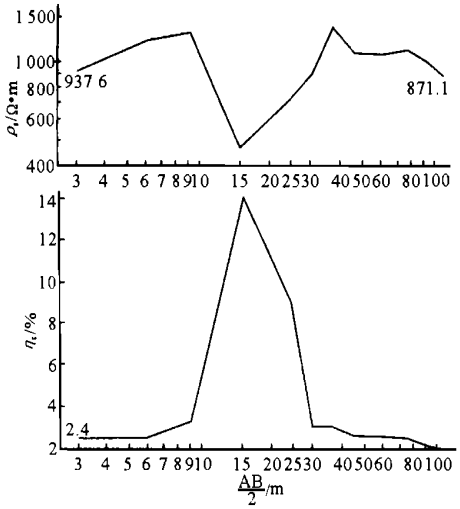


图 **2**　**3**/ III测深点局部 ρ_s、η_s 测深曲线

3　金矿化与激电异常关系特征

区内成矿期黄铁矿的含 Au 性较好，表 2 显示，矿石品位随着黄铁矿含量的增加而升高，黄铁矿是主要载金矿物。因此，可利用其含量来判别金矿化的强度。

地表各类岩石的物性测量结果表明（表 1），区内岩石的极化率、电阻率与蚀变矿化强度有关。一般无（少量）金属矿化的蚀变岩石具有高电阻率异常特征，电阻率最高可达4 965.7 Ω•m；而蚀变矿化岩石的电阻率很低，最低仅为 44.0 Ω•m，其岩石的极化率随着黄铁矿含量的增高而增高（表 3）。

表 **2**　各类矿石及其黄铁矿的 **Au** 含量

采样位置	样号	岩性	w(黄铁矿$_{岩石}$)/%	w(Au)/10^{-6}	
				矿石	黄铁矿
公路陡坎	BZH2	强矿化蚀变岩	5~ 8	1.04	10.7
公路陡坎	BZH3	含矿化角砾石英脉	5~ 10	0.80	4.0
石门坡—养育沟口	BZH11	浸染状矿体	3~ 5	0.50	4.2
公路剖面顶部	BZH27	矿化次火山岩脉	5~ 10	1.73	25.6
公路剖面	BZH32	弱矿化蚀变岩	3~ 5	0.37	14.4

注：BZH11 样品因黄铁矿样品少，其含 Au 性分析值仅做参考。

表 **3**　岩（矿）石中黄铁矿含量与电性特征

测量位置	岩性	w(Au)/10^{-6}	w(黄铁矿)/%	η_s/%	ρ_s/Ω•m
养育沟	强浸染状矿体	0.500	3~ 5	1.80~ 2.50	884
养育沟	细脉矿化蚀变岩	0.370	3~ 5	3.10~ 4.15	1 937
养育沟	较强矿化蚀变岩	1.460	5~ 15	4.10~ 6.90	44
养育沟口	矿化蚀变岩	0.800	3~ 5	3.70	510
公路陡坎	强矿化体	2.420	5~ 10	3.50~ 5.80	234
公路剖面	安山玢岩	0.021	小于 1	1.40	1 465
公路剖面	钾化安山玢岩	0.027	小于 1	1.60~ 2.90	1 684

从表 3 中可见，岩（矿）石的电性参数 ρ_s、η_s 与黄铁矿含量具有明显的相关性，即随着岩（矿）石中黄铁矿含量的增加，ρ_s 值降低，η_s 值增高。基于此，笔者以低电阻率、高极化率组合异常为标志，对深部进行蚀变矿化异常圈定。

4　电测深剖面深部矿化的推断解释及其评价

根据上述确定的矿体激电测量参数，对区内 4 条剖面的电测深结果进行推断解释及矿化评价。从已知各测深剖面的视极化率、视电阻率特征分析，养育沟—中胡蚀变矿化带深部激电异常主要分布于 II、II剖面间，高极化率异常主要存在 3 个深度段，分布于近地表、地表以下 100 及 200 m 处，异常规模在深部明显比上部大，而且部分异常向下未圈闭（图3）。

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www

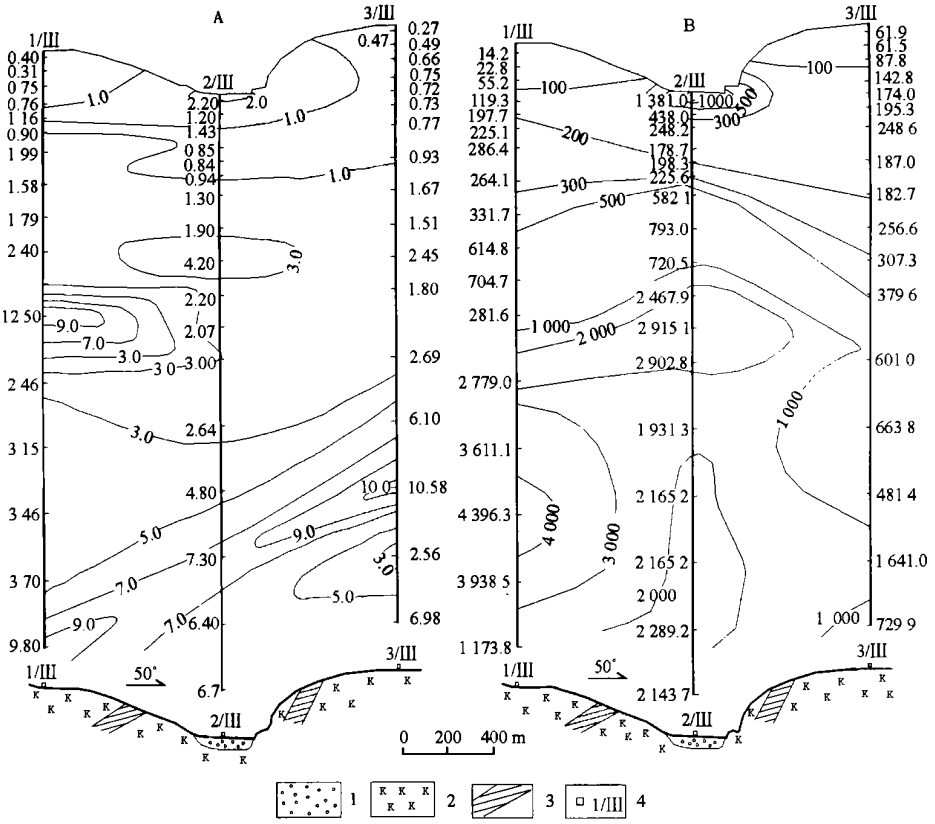


图 **3** III剖面深部 η_s/ %、ρ_s/ Ω• **m**$^{-1}$等值线图

A—η_s/ %；B—ρ_s/ Ω• m；1—第四系；2—钾化蚀变安山玢岩；3—矿化体；4—测点及编号

根据地表露头岩石的极化率、电阻率，矿石的 Au 品位及剖面视极化率、电阻率的背景分析，以视极化率 9% 作为界限，对深部矿化体进行圈定。

1) Ⅰ剖面共 5 个测深点，从各点的 ρ_s、η_s 测深曲线分析，没有发现明显低阻、高极化率组合异常。η_s 一般小于 2%，仅浅部个别点达 2. 7%，推测从浅到深部矿化蚀变较弱。

2) Ⅱ剖面共 5 个测深点，剖面推断岩性见图 4，根据测值异常圈定了 2 条矿化体，分别位于 2/ Ⅱ、3/ Ⅱ测点距地表超过 30 m 的地段，规模小，其厚度在 10 m 左右，延深在 30 m 左右。其中①号矿化体与地表矿体相对应，其视极化率较地表大得多，在 12% 以上（地表露头仅为 5. 8%）；②号矿化体与其地表发育的强钾长石化、硅化、弱黄铁矿化蚀变岩相对应，视极化率高出背景场 11% 以上。高视极化率预示着它们发育强黄铁矿化，推测其矿石 Au 含量比地表（2.42×10^{-6}）要高。

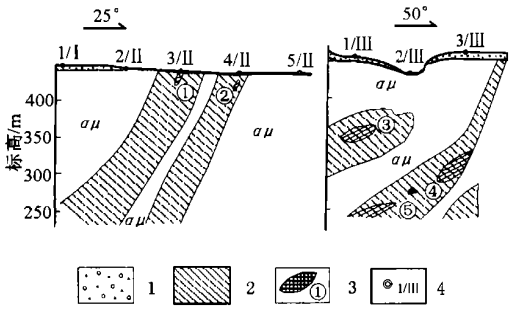


图 **4** 激电测深异常Ⅱ、III剖面地质推断图

αμ —推测钾化蚀变安山玢岩；1—第四系；2—蚀变矿化带；3—矿化体及编号；4—测点及编号

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www

3) Ⅱ剖面共 3 个测深点，剖面推断岩性见图 4。通过对 ρ_s、η_s 进行的断面等值线图分析，Ⅲ剖面 η_s 值大于 4% 的高极化率异常带与低阻异常带对应，分布在测深剖面的中部及深部，根据本区电法找矿预测标志，推断 η_s 值大于 4% 的高极化率异常带为含 Au 黄铁矿化带所引起。1/Ⅲ、2/Ⅲ号点之间的中部 η_s 值在 4%～12%，深部 η_s 值为 4%～10%，二者的高极化率等值线异常带均向 SW 倾斜（其中中部倾斜较缓），反映含 Au 黄铁矿化带亦向 SW 倾斜，根据测值异常圈定 3 条强矿化体。中部③号强矿化体位于 1/Ⅱ测点深部 84～96 m 处（图 4），倾向 S，倾角 20～30°，厚度为 10～15 m，延深 60 m 左右。其视电阻率为 281.6 Ω·m、视极化率为 12.4%，具有明显的低阻和高极化率异常特征。④和⑤号强矿化体埋藏深度较大（图 4），规模也较地表矿化体大得多，推断厚度均大于 20 m，延深大于 60 m，S 倾，倾角较缓，与地表出露的矿化体产状相一致。其中，④号强矿化体位于 3/Ⅱ测点深部 144～168 m 处，其 ρ_s 为 481.1 Ω·m，η_s 为 6.2%～11.4%；⑤号强矿化体赋存于 2/Ⅲ测深点深部 200 m 左右，同样具有低阻、高极化率特征，并且向深部未圈闭。

从测量结果分析，2/Ⅱ测点向深部视极化率值有增高的趋势，推断⑤号强矿化体处于高极化率、低阻异常体的上部，向深部应还有较大延伸。同时，在 3/Ⅲ号测深点距地表 200 m 处的北侧又出现了视极化率高于背景场、视电阻率低于背景场的弱激电异常体，表明在 3/Ⅲ号测深点北侧深部还有可能存在强蚀变矿化体。

4) Ⅳ剖面由 1/Ⅳ、2/Ⅳ及 2/Ⅲ、2/Ⅱ、2/Ⅰ共 5 个测深点组成。通过对 ρ_s、η_s 断面等值线图所进行的分析，发现Ⅳ剖面异常走向基本平行于蚀变矿化带。

5　金矿资源远景预测

据激电测深剖面推断，该区主要有 3 个赋矿标高，其上部、中部和深部的赋矿深度分别距地表 50 m 以上，100 和 150 m 以下。

5.1　矿化体规模

在上部的赋矿中段赋存 2 条小规模矿化体，①号出露于Ⅱ剖面地表，向下延深 30 m，推断平均厚度为 10 m，斜深 30 m；②号位于距地表 20～50 m 处，平均厚 10 m，斜深 30 m。中部矿段赋存 1 条矿化体（③），位于距地表 100 m 处，推断厚 15 m，斜深 60 m。下部矿段赋存 2 条矿化体，④号位于距地表 160～210 m 间，厚 25 m，斜深 80 m；⑤号位于距地表 200 m 以下，推断厚度为 24 m，斜深大于 60 m。

5.2　矿化体品位

柳林地区金矿化蚀变带中金属矿物主要为黄铁矿，非金属矿物为钾长石和石英。若排除地表水等其他影响因素后，矿石的极化率与矿石中黄铁矿的含量相关。利用地表露头所测得的岩石极化率、电阻率及所测矿石中黄铁矿含量（表 3）进行回归分析[4～5]，得到线性方程

$$C = -0.774\,693\,4 + 0.473\,506\,3 \times \eta_s, \quad (1)$$

$$C = 1.713\,513 + 9.465\,209 \times 10^{-9} \times \rho_s, \quad (2)$$

$$C = 0.307\,828 + 0.127\,526\,1 \times W。 \quad (3)$$

式中：C 为岩石的 Au 含量；η_s 为岩石的极化率；ρ_s 为岩石的电阻率；W 为矿石中黄铁矿的含量。

区内矿石露头的激电参数是以高极化率、低电阻率为特征，深部强矿化体也是据此而推断。但是式（2）缺少计算依据，式（3）中需了解矿石中的黄铁矿含量，二者不具备估算条件。为此，笔者选择式（1）对区内推断矿化体的 Au 含量进行估算，其计算结果见表 4。

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www

表 4 养育沟—中胡各推断矿化体 Au 含量估算

矿化体	$\eta_{s视}$/%	w(Au)/10^{-6}	
		范 围	平 均
①	5.8~11.0	1.36~4.43	2.900
②	9.0~12.0	3.47~4.91	4.190
③	9.0~12.4	3.47~5.09	4.280
④	9.0~11.4	3.47~4.62	4.045
⑤	大于 9	3.47	3.470

5.3 远景资源量

根据上述推断的矿化体规模及其平均 Au 含量，对各矿化体的远景资源量进行估算的结果见表 5。

表 5 养育沟—中胡蚀变矿化带远景资源估算

矿化体	规模/m			w(Au)	矿石量	金属量
	长	厚	斜深	10^{-6}	10^3 kg	kg
①	60	10	30	2.900	46.800	135.720
②	60	10	30	4.190	46.800	196.092
③	120	15	60	4.280	280.800	1 201.824
④	160	25	80	4.045	832.000	3 365.440
⑤	120	24	60	3.470	449.280	1 559.001

5 条矿化体累计获得矿石量 1 655.680×10^6 kg，金属量 6 458 kg，已构成中型规模的金矿床。值得一提的是推断的⑤号矿化体向深部并未圈闭，并且矿石中 Au 含量是按最低视极化率值估算所得，这样实际远景资源量应大于上述计算结果。另外，柳林地区还发育了沟—上胡、大竹园、和尚庄 3 个与养育沟—中胡相类似的蚀变矿化带，其深部也应具有很大的找矿前景。

通过本次工作，笔者建议在电测深效果较好的Ⅱ剖面上进行钻孔施工验证，孔深设计可考虑比推断的矿化体埋藏深一些。

参考文献：

[1] 河南省地质矿产局. 河南省区域地质志 [M]. 北京：地质出版社，1982.

[2] 陈衍景，富士谷. 豫西金矿成矿规律 [M]. 北京：地震出版社，1992.

[3] 葛良胜. 熊耳山地区内生金矿床成矿系列 [J]. 贵金属地质，1994，10(2)：114-122.

[4] 徐振邦，娄元仁. 数字地质基础 [M]. 北京：北京大学出版社，1994.

[5] 赵鹏大，胡旺亮，李紫金，等. 矿床统计预测 [M]. 北京：地质出版社，1983.

Geophysical prospecting for prediction of gold resources, the deep part of Liulin area, western Henan

WU Yu-hai, ZHANG Xue-jun, GE Liang-sheng, ZHANG Hui-yu, LIU Yin-chun, WANG Wen-long

(*Gold Geological Institute of CAPF*, *Langfang* 065000, *Hebei*, *China*)

Abstract: Big-scale mineralization and obvious regional gold geochemical anomalies have been recognized on the surface in Liulin area, west of Henan province. In order to evaluate the prospect resources of gold in this area, radiometric survey and electrical sounding have been conducted on the mineralization alteration zone. The analysis of survey shows that the gold mineralization zone is featured by an assemblage anomaly which consists of low-resistivity, high-intensive polarization and radioactivity γ. This assemblage anomaly has become the effective prospecting criterion for gold deposits. After γ radiometric survey and sampling analyses, anomalies of gold mineralization on the surface have been delineated. Furthermore, high-density survey has been completed to infer the mineralization in the deep and five mineralization bodies, which estimated resources of gold is about 6 458 kg, have been blocked-out. The deep part in this area prospects well.

Key words: gold deposit; geophysical exploration; prospecting for prediction; western Henan

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www