

文章编号: 1009-6248(2010)02-0080-05

瞬变电磁法寻找铝土矿效果与分析

王凯, 刘宽厚, 张旭

(西安地质矿产研究所, 陕西 西安 710054)

摘 要: 铝土矿属于风化矿床, 覆存于奥陶灰岩风化壳附近的不整合面之上。受沉积环境和剥蚀程度等因素影响, 在风化壳低洼部位富集。铝土矿体电性上呈高电阻率特征, 与下部灰岩电性较为接近, 因此。用电法寻找该类矿床无直接有效的手段。瞬变电磁法是寻找低电阻率金属矿的有效方法之一, 对高电阻率目标体分辨能力比较弱, 特别是在有低电阻率层覆盖的情况下效果不理想。选择渭北某铝土矿区投入瞬变电磁方法剖面工作, 建立适当地电模型, 分析瞬变电磁衰减曲线及电阻率断面特征, 对灰岩界面进行划分, 推断矿体富集部位。经过钻孔验证, 取得了较好的找矿效果。

关键词: 瞬变电磁; 大定源回线装置; 铝土矿

中图分类号: P631.3 **文献标识码:** A

铝土矿属于风化矿床, 因沉积环境特殊, 矿体覆存于奥陶系灰岩风化壳附近的不整合面之上。受煤系、断裂以及风化剥蚀程度等因素影响, 灰岩基底界面高低起伏变化较大, 抬高部分风化剥蚀比较严重, 低洼地段由于特殊地理环境含矿地层保护相对完整, 对铝土矿覆存较为有利, 是矿体富集的有利部位。在灰岩基底面较高的地段, 由于风化剥蚀作用强烈, 含矿地层缺失严重。本次试验区铝土矿矿体在灰岩出露的边缘地带带有露头以外, 大部分为第四系黄土所覆盖, 直接找矿有一定难度。因此, 在铝土矿区开展物探试验工作, 目的是通过电性断面, 推断下部灰岩风化壳-基岩界面起伏变化情况, 从而圈定基底中“低洼”地段, 以达到间接找矿的目的。

1 地质情况简介

试验区位于渭北高原, 主要为第四系黄土层, 层厚一般为150~200 m。其下地层自下而上有中奥陶统马家沟组、上石炭统太原组和二叠系, 岩性为灰岩、砂岩、页岩、黏土岩、可采煤层、含铝岩系等,

在区内东南部尧山和西部岳王山一带有矿体出露。

试验区构造比较简单, 地层多呈 $330^{\circ}\sim 350^{\circ}$ 方向倾斜的单斜层, 倾角 $4^{\circ}\sim 8^{\circ}$, 局部构成小范围的平缓褶曲。断裂构造为北东向的阶梯式正断层, 近平行展布, 其垂直断距一般在100 m左右, 向中心陡倾, 在试验区中心地带形成北东向的小型地堑。铝土矿即产于中奥陶统马家沟组灰岩侵蚀面之上、上石炭统太原组底部, 为沉积型铝土矿, 其底板起伏, 顶板平整。

铝土矿产状特征: 含铝岩系位于晚古生界上石炭统太原组下部, 矿体多呈面状产于含铝岩系之中上部, 可见露头矿体长60~100 m, 厚度一般0.5~3.0 m, 个别可达7.0 m。铝土矿体中 Al_2O_3 平均含量65.60%, SiO_2 平均含量15.08%, 铝硅比为4.35; 见矿平均厚3.60 m, 含铝岩系平均厚10.83 m, 平均见矿深度为257.08 m; 铝土矿石以一水硬铝石为主, 含部分高岭石和少量白云母, 矿石分致密块状、粉砂状、豆状及鲕状等, 属优质铝土矿(赵仁夫, 2005, 2006)。

铝土矿体多数产于缓倾的向斜、单斜层中, 构

收稿日期: 2009-12-24; 修回日期: 2010-03-10

作者简介: 王凯(1967-), 男, 陕西眉县人, 高级工程师, 主要从事金属矿产勘查工作, E-mail: Wangkaixian001@sina.com

造简单，浅部可露天开采。矿体随着中奥陶统灰岩侵蚀面延展，底板起伏，顶板平正，层位稳定，连续性好，但厚度变化大，有时有漏斗，形成富矿囊（温志亮，2009）。

2 工作方法与模型建立

2.1 土壤、岩矿石电性特征

在试验区边缘地带有灰岩（基底）出露，部分地段见铝土矿露头（图1），采用对称小四极装置，在灰岩出露区、铝土矿露头区进行了电性参数测定，实测电阻率参数见表1。

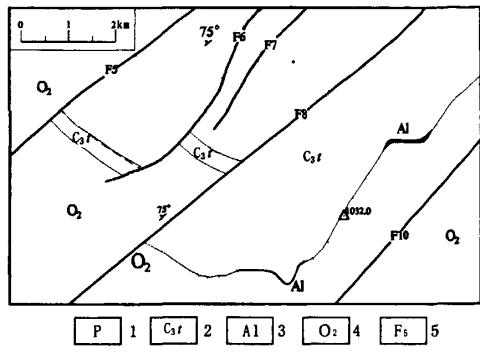


图1 铝土矿区基岩地质简图

Fig.1 Geological sketch of basestone in bauxite ore
1. 二叠系：中粗粒长石石英砂岩、砂页岩夹煤层；2. 上石炭统太原组：灰色砂页岩夹灰色石灰岩；3. 铝土矿带；4. 中奥陶统马家沟组：灰色厚层石灰岩；5. 断层及编号

表1 试验区黄土层、铝土矿和灰岩电性特征

Tab.1 Electric character of loess layer, bauxite ore and limestone in test area

岩 性	电阻率值/ $\Omega \cdot m$			备 注
	最小值	最大值	平均值	
第四系坡积残积物	70	120	80	小四极装置， 露头测量
铝土矿	2000	7200	3200	
灰 岩	2200	9300	5100	

试验区实测电性参数表明，基底灰岩和铝土矿具有较高电阻率特征，地表灰岩露头有一定弱风化现象，平均电阻率值仍在 $5\,000\,\Omega \cdot m$ 。以上，铝土矿呈团块状，地表露头见4 m厚层状，电阻率最小为 $2\,000\,\Omega \cdot m$ 。第四系黄土层电阻率最低，平均值

为 $80\,\Omega \cdot m$ ，这样模型电性组合特征对开展瞬变电磁方法试验并不理想（李金铭，2004）。

2.2 工作方法试验

由区内以往地质资料可知，目标层铝土层厚度横向变化较大，厚度0.5~28 m，其上部为薄煤系，下部为风化程度不同的灰岩层，第四系黄土覆盖层厚度均大于130 m。

工作区地表为耕地，较为平整，试验场地较为理想。通过在已知钻孔附近试验，采用 $100\,m \times 200\,m$ 大定源回线装置，观测磁场垂直分量 H_z 。

视电阻率值采用晚期公式计算（牛之琰，1986，2007），所得浅部和深部电阻率数值都比较低，土壤层电阻率为 $32 \sim 34\,\Omega \cdot m$ ，深部灰岩电阻率大于 $35\,\Omega \cdot m$ ，瞬变电磁初步反演计算，采用视电阻率晚期公式：

$$\rho_r = \left(\frac{I \times A_T \times A_R}{V} \right)^{2/3} \left(\frac{1}{t} \right)^{5/3} \tag{1}$$

等效勘查深度计算公式：

$$D = 28 \sqrt{\frac{t}{\sigma}} = 28 \sqrt{\rho_r \times t} \tag{2}$$

- 式中：AT——发送磁矩（ m^2 ）
AR——接收磁矩（ m^2 ）
I——发送电流（A）
V——接收电压（ μV ）
t——时间（ms）
 σ ——导电率（西门子/m）= $1/\rho$

2.3 正演模型建立

试验区内地层稳定，产状平缓，近似水平层状。因此结合钻孔资料，建立水平层状正演模型及模拟计算电阻率曲线变化情况（李貅，2002）。计算正演曲线与实际观测曲线见图2。

图2是实测曲线和正演模拟计算曲线图。曲线对比表明，早期1~4道（采样时间段0.24866~0.3707 ms）实测结果与计算结果偏差比较大，晚期测道数据拟合较好（王凯，2008）。根据计算情况，建立三层地电模型（图2）。

通过小四极法在地表测定第四系土层电阻率，其值在 $70 \sim 120\,\Omega \cdot m$ 。在基岩面附近存在储水层，分析电阻率值会变低。工作区内钻孔多，但没有测井资料，因此无法了解土壤层由浅至深电性变化特征情况。

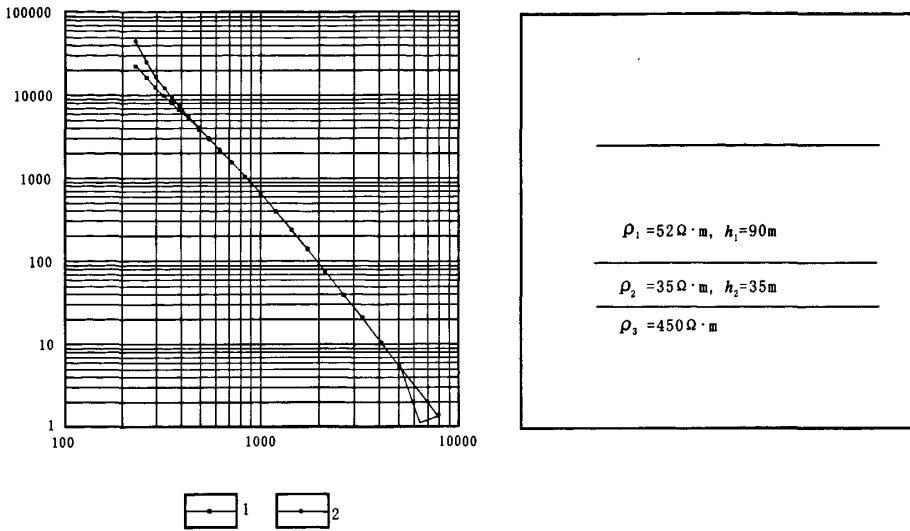


图 2 正演模型和模拟曲线与实测曲线对比示意图

Fig. 2 Sketch map of contrast of forward modeling curve and factual observation curve

1. 实测曲线; 2. 正演计算曲线

3 瞬变电磁方法试验

3.1 电阻率曲线特征

实测曲线表明,早期道电压感应信号强度高,信号分辨能力好,随着时间推移,信号衰减,到 2 ms 后,信号小于 100mv/A,数据开始振荡,与背景场叠加,数据离散程度加大。换算测深点视电阻率,测点视电阻率—深度曲线类型为 H 型曲线(李英奎, 2008)。图 3 为钻孔附近视电阻率曲线,在浅表第四

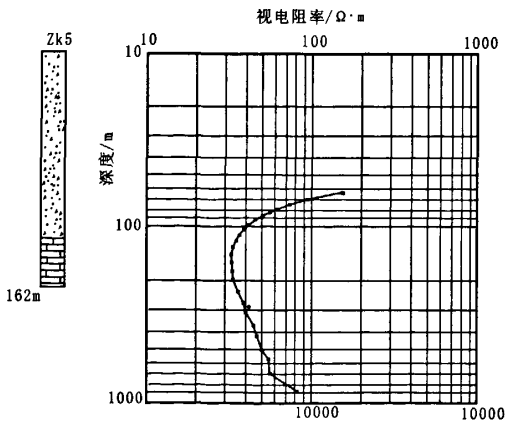


图 3 瞬变电磁视电阻率-深度曲线图

Fig. 3 TEM apparent resistivity-depth curves

纪地层中,视电阻率随深度变化下降较快,在灰岩基底附近出现拐点,随后视电阻率值随深度增加而升高,曲线形态上逐步“抬升”。

3.2 拟断面电阻率异常特征及效果

图 4 是试验段瞬变电磁反演计算电阻率断面和推断解释图。电阻率断面反映,地表向下约 100 m (标高 1 500~1 400 m) 段,电阻率随着深度增加逐渐降低,100~130 m 深部电阻率变化较为平稳,再向深部电阻率值又开始升高,电阻率断面的这种特征与试验地段地质断面较为吻合,即浅部为电阻率值较低的第四系黄土层,下部为具有高电阻率特征的灰岩基底。

试验段电阻率断面深部整体上“呈北低南高”特征,因此推断深部灰岩基底向南(即测线小号方向)抬升。这与该区地层整体构造格架相吻合。

在 1 330~1 350 m 标高上,3400—3600 点段和 3700—4000 点段是试验剖面内两段电阻率值相对“低洼”地段,推断为矿体有利富集部位。

根据钻孔旁侧试验数据,圈定了灰岩风化壳界面。预测在 3400—3600 点段和 3700—4000 点段灰岩埋深相对较深的区域,灰岩风化壳(面)相对低洼,是成矿的有利部位。

3.3 钻孔验证情况

试验地段施工钻孔 3 个,间隔约 400 m。其中,

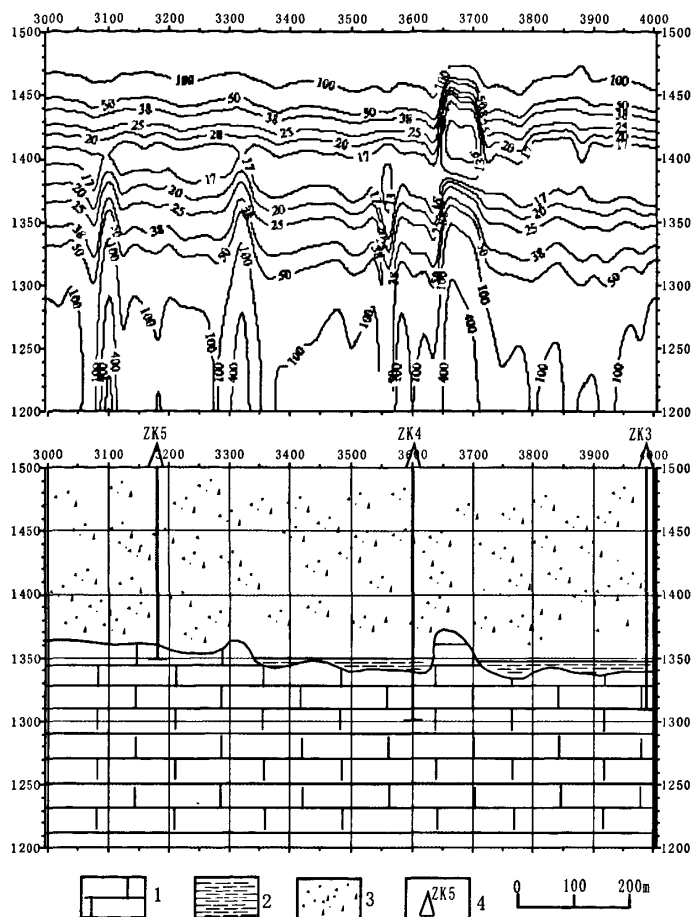


图4 瞬变电磁反演电阻率断面与推断成果图

Fig. 4 Inversion of TEM resistivity cross-section map and infer the results section

1. 推断灰岩; 2. 矿体附存位置; 3. 第四系; 4. 钻孔及编号

ZK3、ZK4 孔见矿情况较好，ZK5 孔未见矿。

阻地层的起伏变化情况。

4 结语

在铝土矿区应用瞬变电磁方法，区分高阻基岩面，从而圈定铝土矿成矿的有利地段，是寻找铝土矿床的间接找矿手段。通过在矿区试验，对比已知钻孔资料，总结了瞬变电磁方法在这种地电模型上的曲线特征，从电阻率断面上提取灰岩风化壳界面起伏变化信息，预测和圈定矿体附存有利部位，实践证明是可行的。灰岩基底具有高电阻率特征，通过计算上覆低阻层（黄土层）的厚度，也可反映高

参考文献 (References):

- 牛之琰. 时间域电磁方法原理 [M]. 长沙: 中南大学出版社, 2007.
- Niu Zhilian. Theory of Time domain Electromagnetic Method [M]. Central South University Press, Changsha, 2007.
- 牛之琰. 脉冲瞬变电磁法及应用 [M]. 长沙: 中南工业大学出版社, 1986.
- Niu Zhilian. Pulse Time domain Electromagnetic Method and Apply [M]. Central South Industry University

- Press, Changsha, 2007.
- 李金铭. 激发极化法方法技术指南 [M]. 北京: 地质出版社, 2004.
- Li Jinming. The technic guide of IP method [M]. Geological Publishing House, Beijing, 2004.
- 李貅. 瞬变电磁法理论与应用 [M]. 西安: 陕西科技出版社, 2002.
- Li Xiu. Theory and apply of transient electromagnetic method [M]. Shaanxi Science and Technology Press, Xian, 2002.
- 王凯, 吕学成, 赵金明, 等. 瞬变电磁法探测德尔尼钴铜矿的模拟与试验 [J]. 物探与化探, 2008, 32 (4): 366-369.
- Wang Kai, Lü Xuecheng, Zhao Jinming, et al. Numerical calculation and field test of De'erni cobalt-copper ore deposit with TEM method [J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2008, 32 (4), 366-369.
- 温志亮. 新疆乌什北山铝土矿成矿特征与找矿远景研究 [J]. 西北地质, 2009, 42 (2) 75-82.
- Weng Zhiliang. Study on Ore-forming Geological Characteristics and Prospecting Potential for Bauxite ore Deposit of Wushi, Xinjiang [J]. Northwestern Geology, 2009, 42 (2); 75-82.
- 西安地质矿产研究所. 西北地区矿产资源找矿潜力 [M]. 北京: 地质出版社, 2006: 1-428.
- Xi'an Institute of Geology and Mineral Resource. Northwest area mine resource and mineralize potential [M]. Geological Publishing House, Beijing, 2006. 1-428.
- 赵仁夫, 程晓红, 王庆明, 等. 西天山—西南天山成矿带勘查新发现及找矿远景 [J]. 西北地质, 2006, 39 (2): 34-55.
- Zhao Renfu, Cheng Xiaohong, Wang Qingming, et al. West-southwest Tianshan mountain area exploration new discover and mine prospect [J]. Northwestern Geology, 2006, 39 (2); 34-55.
- 赵仁夫, 杨建国, 王满仓, 等. 西南天山成矿地质背景研究及找矿潜力评价 [J]. 西北地质, 2005, 35 (4).
- Zhao Renfu, Yang Jianguo, Wang Mancang, et al. Southwest Tianshan mountain mineral background and potential appraise [J]. Northwestern Geology, 2002, 35 (4); 101-121.
- 李英奎. 用物化探方法在黄狼沟矿区建立找矿模型 [J]. 物探与化探, 2008, 32 (4): 380-382.
- Li Yingkui. The application of geophysical and geochemical method to setting up ore-prospecting model for Huanglanggou ore district [J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2008, 32 (4); 380-382.

Effect and Analysis of Searching for Bauxite Deposit Using Transient Electromagnetic Method

WANG Kai, LIU Kuan-hou, ZHANG Xu

(Xi'an Institute of Geology and Mineral Resources, Xi'an 710054, Shaanxi, China)

Abstract: Bauxite belongs to the weathering deposit and occurs in unconformity of weathering crust of ordoician limestone. Bing affected by such factors eas deposition environment and denudation degree, the ore are enriched in the low-lying parts of the weathering crust. The electrical characteristic of the oreis high-resistivity, quite close to the lower part of the limestone electrical characteristics. So using electrical exploration to find such deposits is not a dire method. Transient electromagnetic (TEM) is one of effective methods to find metal ore of low-resistivity, but the fault is weak to be recognized on high-resistivity target. This is particularly true in the situation that the high-resistivity target is covered by a low resistivity body. Weibei bauxite was chosen for experiment. Based on the profile of TEM, geoelectric model, characteristics of decay curves, and resistivity section, we have divided interface of limestone and inferred ore-rich site. The drilling data shows that the method is feasible in searching metal mining areas.

Key words: transient electromagnetic method (TEM); fixed loop source; bauxite ore