

瞬变电磁测深在铝土矿勘查中的应用

张 林

(河南省有色金属地质勘查总院, 郑州 450052)

[摘 要] 铝土矿具有明显的分布产出规律, 产状比较平缓。铝土矿含矿岩系与其基底灰岩存在明显的电阻率差异, 是开展瞬变电磁测深工作的基本依据。依据施测的瞬变电磁异常, 分析利用全区公式进行反演计算的视电阻率剖面, 可以对灰岩基底的产状及埋深进行推断。对照工程施工剖面, 推断的灰岩界面与其基本对应, 验证了瞬变电磁工作的推断结果。

[关键词] 铝土矿 基底灰岩 瞬变电磁测深

[中图分类号] P631.3; P618.45 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 0495-5331(2007)02-0068-04

0 引言

经过近50年的勘查利用, 位于地表或近地表的铝土矿床已基本勘查殆尽, 有关铝土矿床的勘查工作正在逐步由半掩埋—浅掩埋向全掩埋—深掩埋(隐伏)过渡^[1], 利用地球物理方法对铝土矿床进行初步定位的工作被日趋重视, 有关研究及试验工作已经开展^[2-3]。该次瞬变电磁工作在豫西刘庄铝土矿区进行, 其目的是了解隐伏铝土矿含矿岩系的展布特征, 并推断可能存在的富矿体。

1 地质特征

矿区位于河南省西部, 大地构造位置属于中朝准地台华熊台缘拗陷之渑池—确山陷褶断束的西北部, 华北地层区。区域上除上奥陶系、志留系、泥盆系及下石炭统缺失外, 自寒武系至新生界均有出露^[4]。

1.1 矿区地层

矿区南部二叠系大面积出露, 北缘寒武系出露良好, 而中部石炭系、奥陶系无出露, 为黄土掩盖(图1)。矿区地层单斜产出, 倾向 $190^{\circ} \sim 225^{\circ}$, 倾角 $15^{\circ} \sim 36^{\circ}$, 沿走向不同地段略有变化。地层岩性特征如下:

1) 中奥陶统马家沟组。据邻区和钻孔资料, 上部岩性为青灰色、灰黄色厚层状泥晶质角砾状灰岩、白云质灰岩; 下部为厚层状灰岩, 局部夹黄色薄层状钙质页岩; 顶部为古侵蚀面, 凹凸不平, 为含铝岩系

的底板, 对铝土矿的产出形态有着重要的控制作用, 厚度不详。

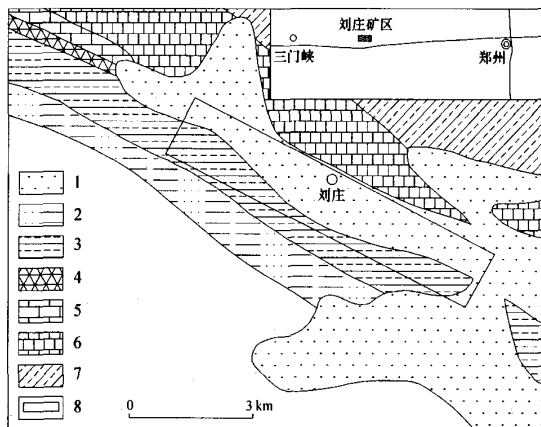


图1 刘庄铝土矿区地质简图

1—第四系黄土; 2—三叠系砂岩、页岩; 3—二叠系砂岩、页岩夹煤层; 4—上石炭统上部灰岩、砂岩, 下部含铁铝岩系; 5—中奥陶统灰岩; 6—寒武系灰岩; 7—中元古界蓟县系燧石灰岩夹页岩; 8—矿区范围

2) 石炭系。区内无石炭系地层出露, 钻孔中仅见上石炭统, 又划分为本溪组及山西组: ①本溪组: 该组是铝土矿的赋存层位, 又称含矿岩系, 大体可分为下、中、上3个岩段: 下段为铁质页岩, 紫红、褐黄、灰及深灰色, 铁泥质结构, 页理发育, 局部夹“山西式”铁矿小扁豆体或小透镜体, 钻孔厚度 $3.5 \sim 19.43\text{m}$; 中段为铝土矿、黏土矿矿层, 局部夹黏土矿级外品或黏土页岩, 主要由铝土矿和黏土矿(硬质黏土矿或高铝黏土矿)组成; 顶部多为一层黏土矿,

[收稿日期] 2006-03-06; **[修订日期]** 2006-07-14; **[责任编辑]** 曲丽莉。

[第一作者简介] 张 林(1956年—), 男, 1981年毕业于原中南矿冶学院, 获学士学位, 高级工程师, 现主要从事物探勘查方法研究工作。

中下部为铝土矿,矿体主要呈层状、似层状、洼斗状。铝土矿为灰色、浅灰色,有时为深灰色,碎屑状、稀豆鲕状、砂状结构。黏土矿分布于铝土矿的上部或下部,通常下部较多。矿层厚度稳定,局部有夹层,铝土矿厚 1.2~8.45m,一般 3~5m,黏土矿厚 1~3m。上段为黏土页岩,有时相变为炭质页岩或煤层,厚 0.5~4.36m。②太原组:以灰岩为主,一般 1~2 层,灰岩间及下部为砂岩、砂质页岩、页岩、炭质页岩及煤层,厚 5.57~21.25m。

3) 二叠系。矿区仅见下统山西组及中统下石盒子组:①下统山西组:下部为炭质页岩、页岩,有时夹硅质岩;中部为砂岩;上部为页岩、炭质页岩;顶部有煤层分布。该组一般厚 11.30~55.63m。②中统下石盒子组:下部为深灰色厚层状中细粒石英砂岩、灰色粉砂岩、泥质页岩、黏土岩夹薄层煤;中下部为浅灰色、绿灰色中粒砂岩夹薄层粉砂岩;中部以杂色黏土页岩为主,夹绿色粉砂岩、中细粒砂岩;上部以灰色、深灰色黏土岩(页岩)、粉砂岩为主,夹中细粒砂岩和砂质黏土岩等。该组厚 43.60~133.71m。

4) 第四系。现代河床堆积卵石层、亚沙土和黄土、亚黏土及钙质结核等组成。厚 4~64.91m,一般 5~25m。

1.2 矿床

铝土矿赋存于上石炭统本溪组中段,矿体呈似层状、透镜状,其厚度沿纵横方向均有变化。矿体 1~3 层,呈单斜产出,其产状倾向南西,倾角 15°~20°,与地层一致。矿体单层厚度一般 3~5m,最大累计厚度可达 20m 以上。铝土矿厚度及品质一般与含矿岩系厚度呈正比,且与底板灰岩的上界面古侵蚀面的起伏特征相关,厚度较大的富铝土矿一般位于奥陶系灰岩上界面的低凹部位。其矿床特征与区域一致^[5]。

2 地球物理特征及工作条件分析

2.1 物性特征

矿区内及西侧岩矿露头电阻率测定的统计结果见表 1,其电阻率值按大小可分为 3 类:二叠系、石炭系砂岩、页岩及铝土矿等为一类,电阻率一般为 100~500Ω·m;石炭系灰岩及奥陶纪含泥白云质灰岩为一类,电阻率为 1100~13 000Ω·m;奥陶系白云质灰岩、石灰岩电阻率为 56 000~200 000Ω·m。另据矿区对称四极电测深异常解释结果:地表黄土的电阻率为 10~30Ω·m;河床砂、砾石层的电阻率 >1000Ω·m。这些数据基本构成了矿区主要地层

(岩性)的电阻率参数统计特征。

表 1 刘庄矿区岩矿露头电阻率测定统计表 Ω·m

地层	岩性	点数/个	变化范围	几何均值	算数均值
P ₁	一般砂岩	33	103~2 124	579	357
P ₁	石英砂岩	8	8 154~19 178	13 100	13 700
C ₂	页岩	12	136~1 219	351	444
C ₂	石灰岩	10	237~6 715	1 100	1 950
C ₂	黏土页岩	7	36~100	70	70
C ₂	铝土矿	24	58~2 618	520	640
O ₂	白云质灰岩	13	17 989~170 403	56 600	74 700
O ₂	含泥白云质灰岩	32	598~19 439	5 660	9 200
O ₂	石灰岩	35	17 338~813 908	207 000	298 000

不难看出,铝土矿的电阻率与各类页岩、一般砂岩及石炭纪灰岩相近,从数值分析很难有相对异常出现,不利于直接作为目标地质体开展物探工作。奥陶系灰岩与其它岩性相比高阻特征突出,存在较大物性差异,使探测奥陶系灰岩基底具有较好的物性前提,并有可能解析出奥陶系灰岩的上界面。由于铝土矿含矿层位于奥陶系灰岩的上部,可以将定位铝土矿床的地球物理问题转化为定位含矿岩层的基底界面问题,通过研究奥陶系灰岩上界面的埋深确定含矿岩层的底部埋深,并研究奥陶系灰岩界面的起伏特征推断富铝土矿存在的可能位置。

2.2 瞬变电磁工作条件分析

瞬变电磁法的理论基础是电磁感应理论,其物性前提是地壳岩(矿)石之间的导电性及导磁性差异。基于矿区铝土矿含矿岩系与下伏基底(奥陶系灰岩)之间存在明显的导电性差异,已基本具有使用瞬变电磁法开展工作的物质基础。瞬变电磁法垂向建场和采集信息,并同时具有时间和空间的可分性,比较适合于研究层状地质体或岩性界面的展布特征及其变化^[6-8]。所以在该区开展瞬变电磁测深工作应当是开展物探工作的较好选择。但也注意到:奥陶系含泥白云质灰岩电阻率的统计值并不很高,与石灰岩相比低两个数量级,说明部分奥陶系灰岩基底的高阻特征并不清晰。因此,在该区开展瞬变电磁工作虽然具有对奥陶系灰岩基底进行定位的前提条件,但难以排除含泥白云质灰岩对推断解释带来的不利影响。

由于上石炭统太原组岩性组合与本溪组基本一致,在多数情况下的铝土矿含矿岩系电性层应为上石炭统的全部地层,仅当太原组中的灰岩比较发育时表现出部分较高视电阻率异常特征。

3 瞬变电磁测深及工作效果分析

3.1 瞬变电磁测深工作方法

在该矿区开展瞬变电磁测深工作的目的是研究奥陶纪灰岩的界面起伏特征,大致确定铝土矿床的分布范围及产状,定位富铝土矿的可能位置,对可能存在的隐伏断层进行定位,提高探矿工程见矿率。

瞬变电磁测深工作沿设计勘探线进行,工作装置采用中心回线:中—高频磁芯探头,发射电流为双极性矩形脉冲,脉冲宽度 10ms。瞬变电磁观测参数为感应电动势,用发射电流归一,观测数据采用 1 μ s 等间隔采样,初始采样自激发电流切断开始,最大采样延时 4ms,单次观测实际采样 4032 个。观测数据叠加次数均在 10 次以上。

观测数据在进行反演计算前需进行数据预处理,其目的是剔除随机干扰,圆滑衰减曲线。为了保证该次各剖面之间的可比性,采用了统一的数据预处理模式和参数选择。剖面反演计算采用二维无约束全自动反演计算技术,使用全区视电阻率计算公式,其归一化公式如下:

$$F(Z) = 3\phi(Z) - (3Z + 2Z^3) \frac{2}{\sqrt{\pi}} \exp(-Z^2) - \frac{4Z^2 bt V(t)}{\sqrt{\pi \mu_0 q I}} = 0$$

$$\rho_r(t_i) = \frac{\mu_0 b^2}{4\pi t_i Z^2}$$

式中: $Z = \frac{b}{2} \left(\frac{\sigma \mu_0}{\pi t} \right)^{\frac{1}{2}}$, $\phi(Z) = \frac{2}{\pi} \exp(-Z^2)$, b (m) 为发射线框边长, I (A) 为发射电流, q (m²) 为接收线圈面积。

反演计算使用有效数据延时时段为 0.1 ~ 3.8ms,采用对数间隔,取 32 个数据道。对反演的视电阻率,经初步的统一深度改正后,利用自动成图程序绘制 $\rho_s - h_s$ 断面图,成为瞬变电磁异常的解释基础。

3.2 瞬变电磁剖面异常分析

矿区完成瞬变电磁测深剖面 18 条,除部分剖面受电磁信号干扰强烈其结果不能利用外,多数剖面结果良好,相互之间具有明显的可比性和连续性。分析剖面反演结果的一般规律,可认为异常大致由 3 部分构成:最浅部为在低背景的基础上叠加高梯度的局部异常;中深部及以下为连续成片的中高阻异常;中间夹有一带状低阻带。此异常分布特征与前述物性特征一致——浅部异常群主要对应于二叠纪与石炭纪的砂岩页岩类地层;中深部异常群主要反映了奥陶系灰岩的物性特征;中部所夹的低阻带则是以页岩及铝土矿为主的岩性反映。低阻带与下部高阻异常的过渡面应当是奥陶系灰岩的上界面。但是,部分低阻带可能由灰岩所引起。

以 84 勘探剖面为例,该剖面上指示奥陶系灰岩上界面异常特征反映比较清晰(图 2),高阻异常上界面连线的倾角与地质推断基本一致,灰岩上界面下部的低阻异常由奥陶系含泥白云质泥质灰岩引起。经钻探验证,钻孔控制的奥陶系灰岩上界面的埋深与异常特征位置基本一致,工程控制的灰岩深度在 ZK8404、ZK8406、ZK8408、ZK8410、ZK8412 分别是 85.7m、110.35m、144.07m、173.44m 和 210.36m,反演剖面上的特征深度分别为 125m、141m、157m、200m 和 231m,误差为 15% ~ 30%,推断深度大于实际深度,并有大约 20m 的系统误差存在。从异常特征看,该剖面上的灰岩上界面比较平

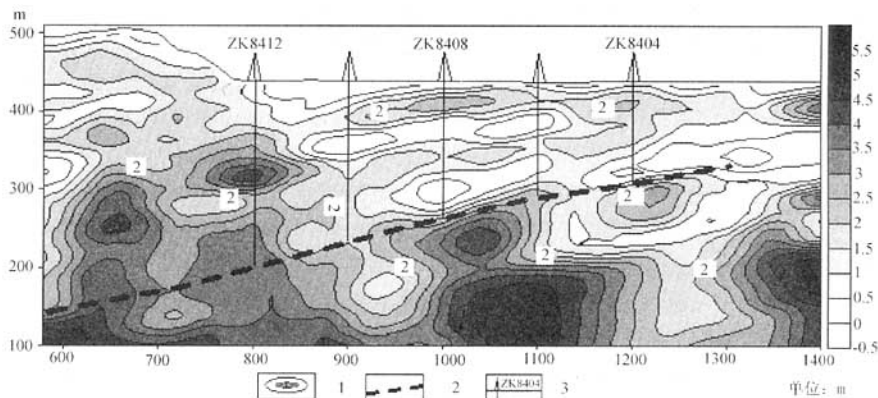


图 2 84 勘探线瞬变电磁测深反演视电阻率综合剖面图

1—对数视电阻率等值线;2—推断奥陶系灰岩上界面;3—钻孔及编号

直,不存在明显的厚大铝土矿赋存特征;但在850点以后低阻异常带比较明显,可能指示了含矿岩系的相对发育。钻探结果表明,该剖面上铝土矿含矿岩系底板灰岩上界面比较稳定,但含矿岩系厚度发育不一(图3)。钻孔揭示的含矿岩系厚度分别是22.50m、32.25m、55.27m、63.49m和41.98m;铝土矿的厚度分别是1.76m、4.73m、6.00m、10.40m和3.23m。依据视电阻率异常特征,推断剖面上不存

在富铝土矿。这些地质特征与瞬变电磁视电阻率异常及推断结果一致。异常剖面上部分基底灰岩界面特征不清晰(如600~800m段),可能与该段含矿岩系的发育厚度较小有关(图3)。

其它剖面上的瞬变电磁测深反演结果基本类似,对于基底灰岩的推断解释深度与工程验证也存在一定差异,误差一般为5%~30%。在工作区内未发现明显的断裂构造。

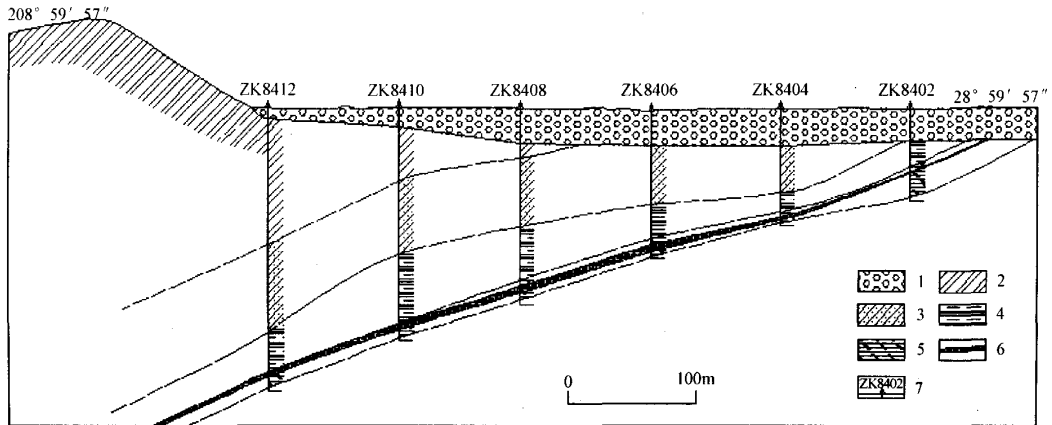


图3 84勘探线地质钻探工程综合剖面图

1—第四系;2—中二叠统下石盒子组;3—下二叠统山西组;4—上石炭统太原组;5—上石炭统本溪组;6—铝土矿;7—钻孔及编号

4 结 语

利用瞬变电磁测深反演的视电阻率剖面,可以对铝土矿含矿岩系的基底灰岩上界面的埋深及起伏特征进行推断。虽然其推断深度与工程验证存在一定误差,但可以对矿区基底灰岩的产状特征进行初步估计,作为探矿工程设计和施工的基本资料和依据。从目前的工作结果分析,利用瞬变电磁异常尚难以直接解析铝土矿(富矿体)及各地层的厚度。

[参考文献]

[1] 戴 耕,李进化,孙 枫.河南省铝土矿资源开发利用现状及前景[J].地质与勘探,2000,36(3):22-24.

[2] 罗小南,蔡运胜.物探直流电法寻找铝土矿层的应用效果[J].地质与勘探,2003,39(3):53-57.

[3] 郭文波,宋建平,韩俊明,等.中心回线瞬变电磁测深的一种快速解释方法[J].物探与化探,2006,30(2):154-157.

[4] 翟东兴,刘国明,陈德杰,等.河南省陕—新铝土矿带矿床地质及成矿规律[J].地质与勘探,2002,38(4):41-44.

[5] 吴国炎,姚公一,吕 夏,等.河南铝土矿床[M].北京:冶金出版社,1996.

[6] 蒋邦远.实用近区磁源瞬变电磁法勘探[M].北京:地质出版社,1998.

[7] 牛之琰.时间域电磁法原理[M].长沙:中南工业大学出版社,1992.

[8] 李 貅.瞬变电磁测深的理论与应用[M].西安:陕西科学技术出版社,2002.

APPLICATION OF TRANSIENT ELECTROMAGNETIC METHOD IN EXPLORATION OF BAUXITE DEPOSITS

ZHANG Lin

(Henan Institute of Non-ferrous Geology Exploration, Zhengzhou 450052)

Abstract: Bauxite has an obvious regularity of distribution with gently occurrence. Ore-bearing rock series of bauxite and underlying limestone have an obvious divergence of electrical resistivity, and the divergence is the base for transient electromagnetic method in exploration of bauxite deposits. According to actual measurement anomaly of transient electromagnetism and apparent resistivity profile inversed by calculation for full region, occurrence and depth of underlying limestone or bonanza can be confirmed. Compared with actual engineering profile, inferred boundary of underlying limestone is roughly corresponding to real one, and inferred results of transient electromagnetic method are verified.

Key words: bauxite, underlying limestone, transient electromagnetic method