

CSAMT 在河南某铝土矿区深部勘查中的应用

魏明君^{1,2}, 赵金洲¹, 杨长龙¹, 刘国庆¹, 宋双全¹

(1. 河南省有色金属地质矿产局第五地质大队, 河南 郑州 450016; 2. 河南省有色金属矿产探测工程技术研究中心, 河南 郑州 450016)

摘要: 应用可控源音频大地电磁法, 在河南新安县石寺—北冶铝土矿区进行隐伏铝土矿勘查。结果表明, 利用该方法能够反演奥陶系灰岩古地形界面, 推断铝土矿含矿岩系的赋存空间, 预估算铝土矿潜在资源量; 该方法探测深度较大, 能满足深部铝土矿勘查需要; 根据可控源方法断面电阻率等值线, 可较清晰反映地层的产状, 进而根据电阻率值划分地层。

关键词: 可控源音频大地电磁法; 铝土矿; 矿产深部勘查

中图分类号: P631 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-8918(2011)05-0600-04

河南省新一轮铝土矿勘查重点是埋深 700 m 以内的隐伏铝土矿或煤下铝。单纯采用地质钻探方法, 投入过大, 很不经济; 用常规直流电阻率法, 因高阻层对直流的屏蔽效应, 探测深度有限^[1]; 可控源音频大地电磁法 (CSAMT) 和瞬变电磁法 (TEM) 因能穿透高阻层, 探测深度大, 成为寻找深部铝土矿较理想的方法^[2]。河南省有色金属地质矿产局在承担“河南省新安石寺—北冶地区铝土矿调查评价”项目中, 利用 CSAMT 大致确定了铝土矿含矿岩系埋藏深度、奥陶系顶界面古风化壳形态, 为钻孔布设和矿产预测提供了依据。

1 矿区的地质及地球物理特征

石寺—北冶铝土矿区位于河南省新安县境内, 地层属华北地层区。该区地层发育较为齐全, 除奥陶系上统、志留系、泥盆系及石炭系下统地层缺失外, 自寒武系至新生界地层均有出露。

寒武系和奥陶系主要为碳酸盐岩, 二者地层厚度大于 1 000 m。奥陶系只有中下统马家沟组。马家沟组灰岩为铝土矿的底板, 其形态控制着铝土矿的类型: 在古地形为平坦、开阔的岩溶盆地和洼地时, 形成厚度稳定的层状、似层状矿体; 在古地形高差悬殊相对较大的溶斗发育区, 则形成中间厚周边薄的溶斗状矿体; 扁豆状、透镜状矿体规模较层状矿体为小。

石炭系中统本溪组 (C₂b) 是铝土矿的赋矿层位, 又称铝土矿含矿岩系, 与底板灰岩呈不整合接

触。铝土矿含矿岩系厚 4 ~ 65 m, 一般 15 ~ 20 m 左右, 受古地貌的控制, 大厚度均处于寒武系或奥陶系灰岩的洼斗、溶斗、溶沟之中。铝土矿的厚度和品位与含矿岩系的厚度成正相关关系。上统太原组 (C₃t) 为铝土矿的顶板, 与本溪组整合接触。其岩性变化较大, 主要由灰岩、砂岩、砂质页岩、黏土岩和煤层组成, 厚度一般为 20 ~ 30 m。

二叠系与石炭系整合接触, 主要由山西组和下石盒子组 (P₁t-s) 并层与孙家沟组和上石盒子组 (P₁₋₂sh-sn) 组成, 岩性主要为页岩、泥岩、煤层、砂岩、粉砂岩、硅质海绵岩、长石石英砂岩和页岩。

本区沉积地层发育、厚度较大, 显示出地台型沉积特点。沉积岩厚度累计达数千米。

本区区域构造具有“一穹”、“三向”、3 组断层交错的扇形地垒拱断特点。“一穹”即北段村穹隆; “三向”即陕县断陷盆地、澠池向斜盆地、新安向斜盆地; 3 组断层指北东向扣门山断层、北西向龙潭沟断层和近东西向的义马断层。三组断层均为燕山期形成, 相互交错, 将穹隆和向斜分割成断块状, 形成以扣门山断层和龙潭沟断层为界的三大地垒式扇形断块, 对铝土矿的展布起着重要的控制作用。

矿区位于龙潭沟断层以东, 新安复式向斜北西翼。地层呈单斜产出, 倾向 100° ~ 160°, 总体倾向 135°, 倾角 5° ~ 15°, 一般在 5° 左右。后期的脆性断层和古地形的起伏使铝土矿的赋存的空间形态复杂化。

表 1 给出了本区的地质、岩矿石电性参数。该

表 1 工作区地层、岩矿石电性参数统计

地层	主要岩性	电阻率/($\Omega \cdot m$)
第四系	黄土、砂岩	5 ~ 100
第三系	黏土岩、砂岩	30 ~ 1000
白垩系	黏土岩、砂岩	30 ~ 1000
二叠系	砂岩、页岩、黏土岩	30 ~ 1000
石炭系	黏土岩、炭质页岩、灰岩	100 ~ 2000
奥陶系	灰岩	300 ~ 10000
寒武系	白云岩、灰岩、页岩	300 ~ 10000
煤		100 ~ 1000
铝土矿、铁矿		30 ~ 1000

区地层电阻率具有从新至老逐渐增大的特征,下古生界的奥陶系和寒武系地层为高阻层,第四系地层电阻率较低,第三系、白垩系、二叠系、石炭系电阻率中等。总体上看有 2 个主要电性分界面:第四系地层与第三系、白垩系、二叠系、石炭系的并层;第三系、白垩系、二叠系、石炭系的并层与奥陶系或寒武系地层。岩矿石电阻率以灰岩、白云岩最高,与其他地层有明显的电阻率差异,在其含泥质、角砾较多时,电阻率显著降低,使其和铝土矿含矿岩系差异变小。铝土矿、铁矿、砂岩等的电阻率相对稍低,煤矿电阻率稍高。太原组地层为铝土矿含矿岩系的顶板,其中有灰岩薄层,电阻率较高,当其存在时,可作为含矿岩系的上电性界面。

从以上分析可以看出,利用电法手段可以勘查第四系的厚度和奥陶系或寒武系上界面(古地形)的深度。由于奥陶系或寒武系古地形形态与铝土矿类型关系密切,因而可间接指示铝土矿。还可以根据岩性层内电性存在的差异,如煤相对于含煤岩系显示为高阻,铝土矿相对于含铝岩系为低阻,太原组灰岩相对于上下岩层表现为高阻等差异,来分辨、划分地层,进而确定铝土矿的赋存空间。

2 试验剖面效果

为了解 CSAMT 的野外应用效果,在该区选择 66 勘探线开展试验。反演结果见图 1。

66 勘探线长 1 350 m,位于矿区西北部,有 12 个钻孔控制矿体,矿体出露地表,形态呈薄层状,分布连续。本溪组(C_2b)底面 ZK6626 见于 37 m、ZK6634 见于 7 m,厚度 25 ~ 45 m,地层向南东倾斜,倾角 5° ;二叠系下统(P_{1t-s})地层 ZK6634 控制厚 20 ~ 45 m。

CSAMT 试验剖面位于 66 勘探线的中北段,剖面长 800 m,剖面 760 点对应石炭系与奥陶系的地表分界面,ZK6634 位于 0 ~ 40 点之间。本溪组出露于 760 点以南,平均电阻率约 $120 \Omega \cdot m$;ZK6634 孔在 79 m 处为奥陶系界面,反演电阻率为 $100 \Omega \cdot m$ 。45 m 深处为二叠系与石炭系间分界面,反演电阻率

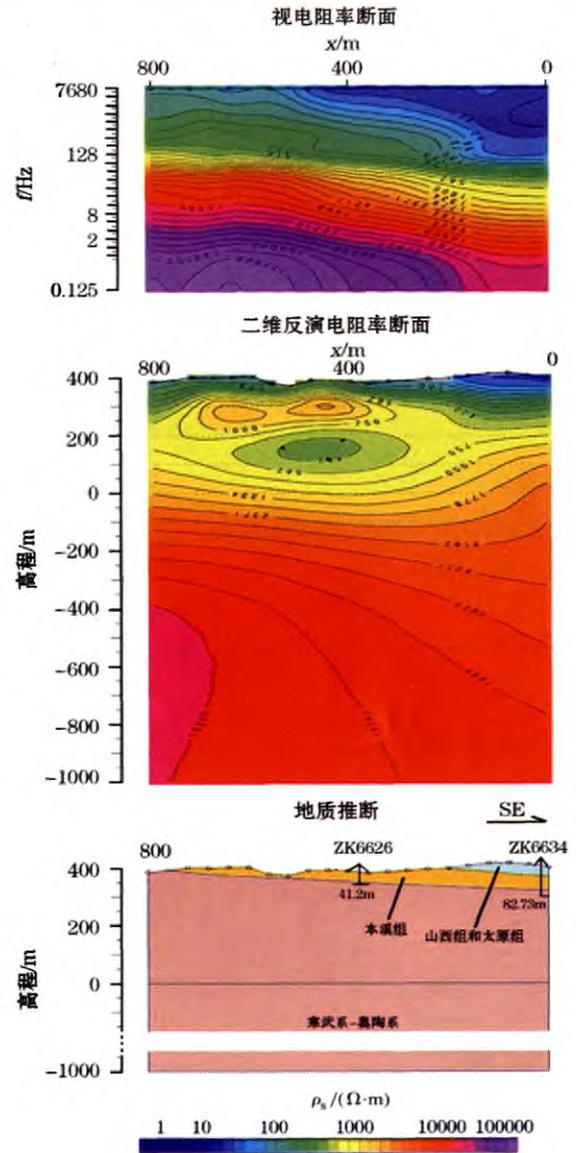


图 1 可控源剖面与已知剖面对比

约 $42 \Omega \cdot m$ 。总体看反演电阻率等值线形态呈流线型,由浅到深电阻率值逐渐增大,沿地层倾向展布,对地层倾向特征指示明确,等值线的梯度变化最大处,指示奥陶系与本溪组岩性的分界面。另 760 ~ 400 点下方的深部的高阻和低阻圈闭异常,可能为灰岩的溶隙裂缝和富水溶洞。

综上所述,断面可根据电阻率按大小分层如下:二叠系山西组, $< 42 \Omega \cdot m$;本溪组, $42 \sim 100$ 或 $42 \sim 120 \Omega \cdot m$;奥陶系, > 100 或 $> 120 \Omega \cdot m$ 。根据已知地质资料,结合 CSAMT 等值线形态和电阻率大小特征,对 CSAMT 反演电阻率断面作出的解释与已知地质断面基本吻合。

3 CSAMT 工作方法

本次 CSAMT 工作采用的仪器是加拿大凤凰公司 V8 System 2000.net 地球物理数据采集系统。矿

区布置 3 条测线。工作装置为扇形装置(图 2)。供电电极距 1 500 m,测量电极距 50 m,点距 50 m,磁探头位于排列中间,垂直测线布设,最大供电电流 15 A,收发距大于 8 km,主要是为保证测区的电磁场为远区场。测量频率的选择避开 50 Hz 工频电流及其谐波的干扰。高频数据主要反映浅部的地层,而中频数据才是本次勘探的目标深度,因此高频数据的采集频率间隔可适当放稀,而中频适当加密。表 2 给出了所用的采集频率。

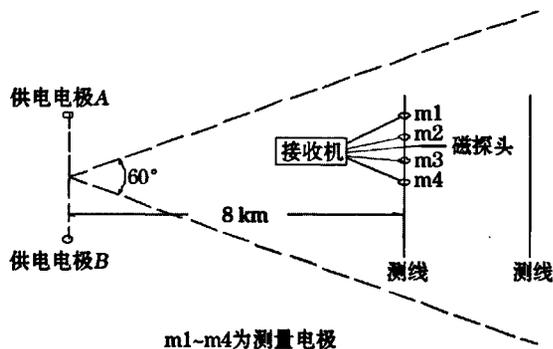


图 2 工作装置示意

表 2 CSAMT 数据采集频率 Hz

频点	频率	频点	频率	频点	频率
1	7680	16	256	30	10.6667
2	6400	17	213.3333	31	8
3	5120	18	170.6667	32	6.6667
4	3840	19	128	33	5.3333
5	3072	20	106.6667	34	4
6	2560	21	85.3333	35	3.3333
7	1920	22	64	36	2.6667
8	1536	23	53.3333	37	2
9	1280	24	42.6667	38	1.6667
10	1024	25	32	39	1.3333
11	853.3333	26	26.6667	40	1
12	640	27	21.3333	41	0.8333
13	512	28	16	42	0.6667
14	426.6667	29	13.3333	43	0.125
15	341.3333				

4 资料解释

首先对所得资料按测线进行预处理。预处理首先进行数据叠加处理,主要作用是压制随机干扰,提高信噪比;其次进行静态校正,主要作用是消除地表不均匀体造成的视电阻率测深曲线整体上下平移,方法为汉宁相关滤波;再次是进行近场源改正,测点在低频段,由于电磁波波长增加,测点的电磁场不能当作远区场处理,所得卡尼亚电阻率失真,视电阻率曲线在低频 45° 上升,相位降到 0°,因此在勘探深度要求较大时,应对数据进行近场校正^[7]。

在该矿区布置 CSAMT 测线 3 条,编号 15、32、47。3 条剖面均采用带地形的二维有限元软件反

演。根据反演结果,第四系表现为低阻(50 ~ 80 Ω · m),局部等值线圈闭,反映第四系地层物质构成的不均匀性;奥陶系或寒武系古地形上,电阻率等值线梯度最大,电阻率值在 100 ~ 120 Ω · m。在奥陶系或寒武系灰岩区电阻率较高,局部的电阻率等值线下凹与泥质灰岩或岩溶裂隙有关;二叠系山西组(P₁t-s)地层由于含水表现为低阻等值线圈闭区,电阻率值在 10 ~ 42 Ω · m,孙家沟组(P₁₋₂sh-sn)由于靠近地表,电阻率变化较大。电阻率等值线横向的不连续的变化与断层相对。综观各剖面线,电阻率等值线的形态总体呈流线型,与地层倾向一致,这与地层电阻率总体由上至下升高对应。以 47 测线(图 3)为例具体说明解释过程。

首先依据物探标志电阻率等值线梯度最大,在反演的电阻率断面图上找到奥陶系与本溪组的分界线,该线对应 100 ~ 120 Ω · m 的等值线。然后结合地质信息,在反演的电阻率断面图的北西侧找到已知的本溪组顶板位置。由于本溪组顶板有顺层产出的特征,而等值线基本反映地层的产状,可找到一条反演电阻率等值线,约为 42 Ω · m,该线为二叠系山西组和本溪组的分界线。在剩下未划分反演断面图断面上有 3 个低阻体,其顶部的电阻率等值线约为 42 Ω · m,结合地质资料可划分为二叠系山西组和孙家沟组的分界线。

从上述找到的各地质分界线看,它们在南东侧 360 点下方倾角明显变大,且二叠系山西组层内的最右侧低阻体相对左侧有明显错动,证明该处有逆断层存在。断距可根据低阻体错动大小判定。另外注意到 2360 点下在奥陶系地层内有一个低阻凹陷,由于在其距离奥陶系和本溪组的分界线较远,并且分界线平缓无下凹现象,认为是奥陶系地层内电阻率变小所致。

47 测线解释结果为断层左侧,由上而下:孙家沟组地层最厚 250m,位于 1 000 点处,相当于向斜轴部;二叠系山西组层厚约 250 m,底面最深处 520 m,于 1 000 点处;本溪组层厚 50 ~ 100 m,最浅处在 NW 端,埋深 100m,最深处仍在 1 000 点下,埋深 580 m。断层右侧地层下降,断距约 100 m,上盘上拱为逆断层,断角倾向 NW,倾角 60°;下盘于 0 点处,本溪组底界埋深 680 m。

5 结论

(1)CSAMT 能够反演奥陶系灰岩古地形界面,进而发现灰岩上的溶斗或洼斗;其断面等值线可较清晰反映地层的产状,划分地层。

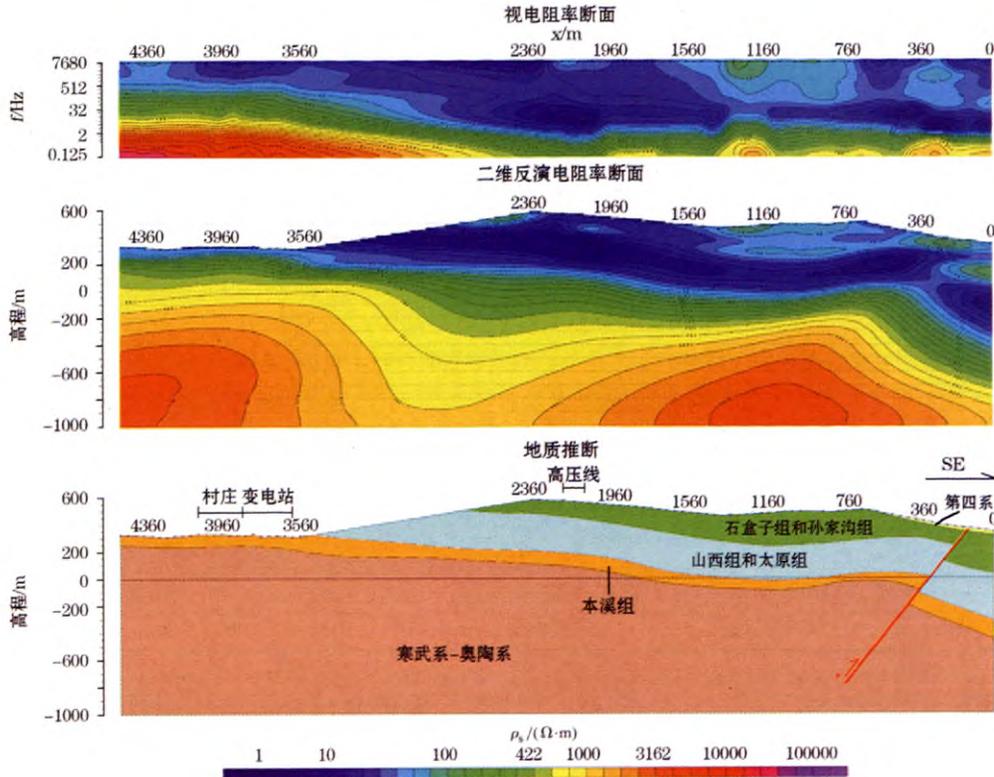


图 3 47 测线电阻率反演断面

(2)CSAMT 探测深度较大,能满足深部铝土矿勘查需要;工作效率高,可多台仪器同时观测,并且解释软件较为成熟。

(3)和其他电法一样,CSAMT 不能直接发现铝土矿,只能依据铝土矿含矿岩系的赋存空间预估算铝土矿潜在资源量。

参考文献:

[1] 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).

[2] 张林.瞬变电磁测深在铝土矿勘查中的应用[J].地质与勘探,2007,43(2).

[3] 朱春生,杨生,陈旭日.河南省新安石寺一北冶地区铝土矿调查 CSAMT 勘查成果报告[M].北京:中色物探有限公司.

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

[5] 刘国印,燕长海,赵建敏等.微重力法与可控源音频大地电磁法组合在豫西寻找隐伏铝土矿中的应用[J].地质通报,2008,27(5).

[6] 雷达.起伏地形下 CSAMT 二维正反演研究与应用[J].地球物理学报,2010,53(4).

[7] 严良骏,谢兴兵,史维.CSAMT 近场校正方法研究与应用[C]/第 8 届中国国际地球电磁学讨论会论文集,2007:208-211.

THE APPLICATION OF CSAMT TO DEEP EXPLORATION IN A BAUSITE ORE DISTRICT OF HENAN PROVINCE

WEI Ming-jun^{1,2}, ZHAO Jin-zhou¹, YANG Chang-long¹, LIU Guo-qing¹, SONG Shang-quan¹

(1. No. 5 Geological Party, Henan Bureau of Geology for Non-ferrous Metal Resources, Zhengzhou 450016, China; 2. Henan Research Center of Detection Engineering Technology for Non-ferrous Metal Resources, Zhengzhou 450016, China)

Abstract: The CSAMT method was used to conduct exploration of concealed ore bodies in the Shishi-Beiyue ore district of Xin'an County, Henan Province. The results show that this method can be used to perform inversion of paleo-landform of Ordovician limestone, infer occurrence space of ore-bearing rock series, and predict potential resource quantity of bauxite. With this method, the exploration depth is relatively great, thus meeting the requirement of deep bauxite detection. The resistivity contour lines of the section of CSAMT can quite clearly reflect the attitude of strata, and hence the resistivity values can be used to divide strata.

Key words: Controlled Source Audio Magnetotelluric Methods(CSAMT); bauxite deposit; deep exploration of ore bodies

作者简介:魏明君(1964-),男,1987年毕业于桂林冶金地质学院,从事金属矿产勘查工作,工程师。