

# 电磁测深技术在深部铁矿探测中的应用研究 ——以河南舞阳铁矿区为例

李 冰<sup>1,2</sup> 晁代超<sup>3</sup> 魏明君<sup>2,4</sup> 李永峰<sup>2,5</sup> 罗正传<sup>2,5</sup> 尚建阁<sup>1</sup>

(1.河南省有色金属地质矿产局第二地质大队,河南 郑州 450000;2.河南省有色金属矿产探测工程技术研究中心,河南 郑州 450000;3.河南省有色金属地质矿产局第七地质大队,河南 郑州 450000;4.河南省有色金属地质矿产局第五地质大队,河南 郑州 450000;5.河南省有色金属地质勘查总院,河南 郑州 450000)

**摘要:**本文介绍了采用可控源音频大地电磁测深(CSAMT)和瞬变电磁测深(TEM)在河南省舞阳王楼、小韩村两个铁山式矿区进行深部铁矿探测试验研究与找矿预测。试验研究表明,CSAMT 和 TEM 电磁方法寻找隐伏沉积变质型铁矿是可行的。在同等地质条件下,线源 TEM 的有效探测深度最大,CSAMT 的有效探测深度居中,中心回线 TEM 较弱;TEM 方法受地表低阻体干扰影响较 CSAMT 方法大,但垂向分辨率优于 CSAMT 方法。在干扰较强的铁矿区采用 CSAMT 预测,以经山寺、小韩村、冷岗一带为中心,可能存在深部隐伏铁矿体,为整装勘查下一步工作部署提供了依据。

**关键词:**可控源音频大地电磁测深;瞬变电磁测深;找矿预测;整装勘查;河南舞阳

**中图分类号:**P631.3<sup>+</sup>25;P618.31 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2013)05-1644-11

钢铁是国民经济重要基础材料,其产量是衡量一个国家工业水平和国防实力的标志。随着我省工业化进程的加快,对铁矿资源需求量的不断加大,地表及近地表铁矿得到了有效地勘查和强力开发,地质找矿目标不得不锁定在找矿难度较大的深部盲矿体上<sup>[1,2]</sup>。

河南舞阳—新蔡铁矿远景区是中国地质调查局圈定的全国铁矿八大重点找矿远景区之一,舞阳地区深部铁矿整装勘查项目是国土资源部找矿突破战略行动确定的 47 个整装勘查区之一,也是 2011 年河南首批开工的 54 个整装勘查区带之一,其主要分布在舞钢市朱兰、八台、武功、庙街四乡镇内。

以往的铁矿勘查工作只重视重磁法勘探,主要研究和验证大的构造以及较强的磁异常,而忽视了低缓磁异常的评价及其他有效方法的应用研究。在

实际勘探中,强、弱磁异常和正、负磁异常中均发现了铁矿体。如何正确区分磁异常的含矿性和深部隐伏矿体的定位,一直是地质勘探工作中亟待解决的问题<sup>[3]</sup>。笔者在前人的工作和研究基础上,对舞阳铁矿的物性特征进行了分析,在王楼矿区和小韩村矿区进行了电磁测深方法的研究,均取得了良好的找矿效果,实现了深部找矿突破。

## 1 研究区地质概况与岩矿石物性

### 1.1 研究区地质概况

研究区构造位置处于华北板块南缘,马超营—拐河—确山断裂北侧。大部分为第四系覆盖,在研究区南部有新太古界太华群变质岩系、中元古界熊耳群中—基性火山喷发岩系及汝阳群和洛峪群浅海相碎屑—碳酸盐岩沉积岩系、下古生界寒武系碳酸盐

收稿日期:2012-11-28;改回日期:2013-03-18

基金项目:河南省国土资源厅 2009 年度两权价款地质科研项目“河南省鲁山—舞阳—新蔡地区铁矿成矿预测研究”(2010-61-4)、河南省有色金属地质矿产局 2011 年度科技创新项目“电磁探测技术在舞阳地区铁矿深部找矿的应用研究”(YSDK2011-05)共同资助。

作者简介:李冰,男,1984 年生,硕士生,工程师,现主要从事地球物理科研工作;E-mail:540035801@qq.com。

通讯作者:魏明君,男,1964 年生,高级工程师,长期从事地球物理科研工作;E-mail:984870882@qq.com。

岩出露<sup>10</sup>。岩浆活动主要为新太古代基性-超基性火山喷发、中元古代中基性火山喷发以及中生代的小规模酸性岩浆侵入。区内构造较复杂,褶皱主要发育在太华群地层中,岩层发生了不同程度的弯曲变形<sup>11</sup>。断裂构造分为 NWW 向、近 SN 向和 NE 向三组,

NWW 向断层多为逆断层,近 SN 向和 NE 断层多为正断层(图 1)。

铁矿的含矿岩系为新太古界太华群,铁矿呈多层状、似层状产出,与围岩产状一致。区内的太华群自下而上划分为赵案庄组、铁山庙组和杨树湾组,区

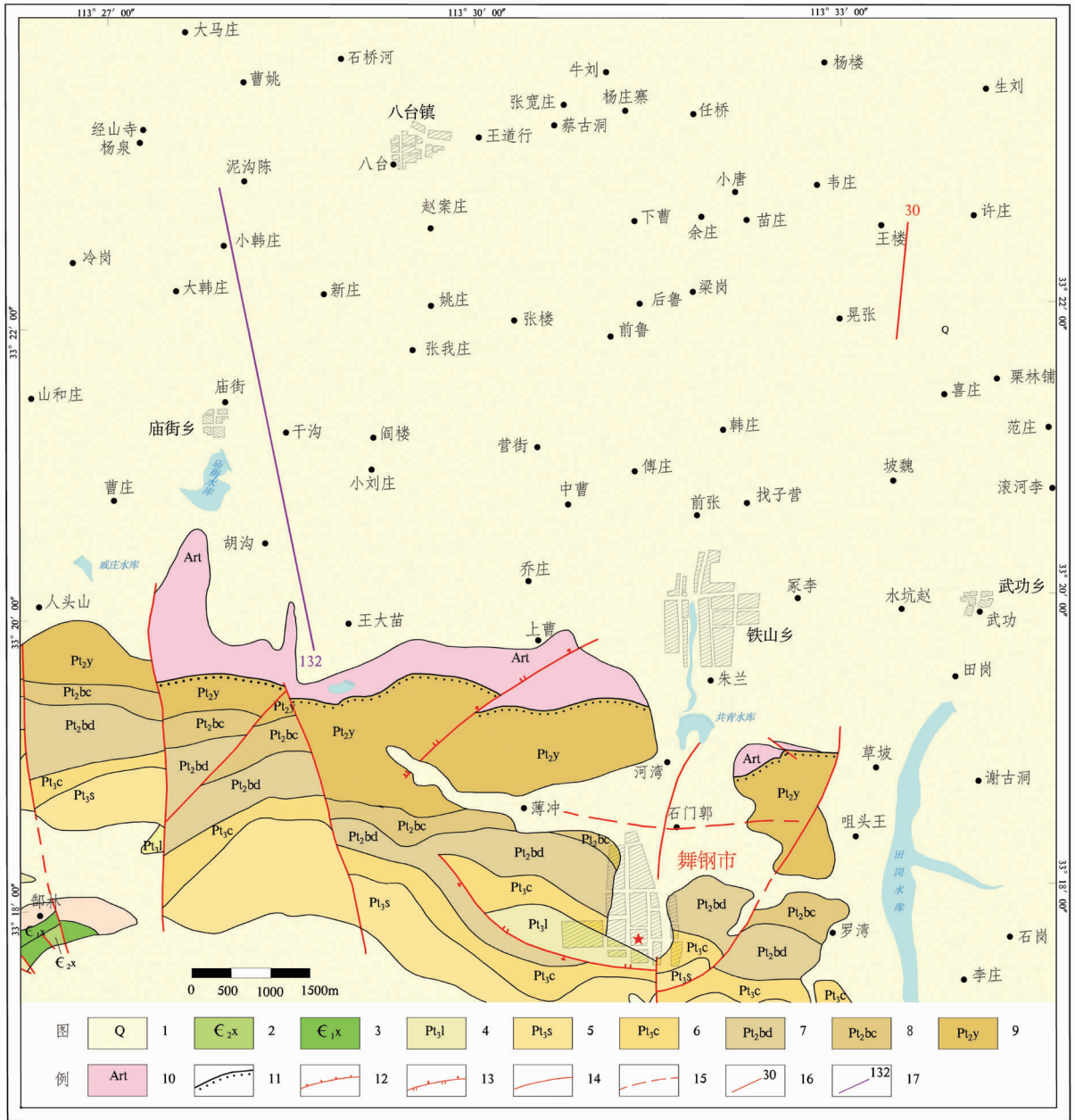


图 1 研究区地质略图

1—第四系;2—寒武系徐庄组;3—寒武系辛集组;4—洛峪群洛峪口组;5—洛峪群三教堂组;6—洛峪群崔庄组;7—汝阳群北大尖组;8—汝阳群白草坪组;9—熊耳群云梦山组;10—太华群铁山庙组;11—不整合界线;12—正断层;13—逆断层;14—实测性质不明断层;15—推测性质不明断层;16—试验剖面及编号;17—应用剖面及编号

Fig.1 Geological sketch map of the study area

1—Quaternary; 2—Cambrian Xuzhuang Formation; 3—Cambrian Xinji Formation; 4—Luoyukou Formation of Luoyu Group; 5—Sanjiaotang Formation of Luoyu Group; 6—Cuizhuang Formation of Luoyu Group; 7—Beidajian Formation of Ruyang Group; 8—Baicaoping Formation of Ruyang Group; 9—Yunmengshan Formation of Xionger Group; 10—Tieshanmiao Formation of Taihua Group; 11—Unconformity; 12—Normal fault; 13—Reverse fault; 14—Measured unidentified fault; 15—Inferred unidentified fault; 16—Test profile and its serial number; 17—Application profile and its serial number

内大部分铁矿主要产于铁山庙组(称为“铁山式”铁矿)地层中。

王楼铁矿区位位于舞钢市东北约7 km,矿床类型属铁山式铁矿床,发现于王楼磁异常验证过程中。由舞阳地区滤掉区域场后的局部磁异常图(图2)可见王楼矿床由于氧化程度较深,磁性较弱,磁异常强度较低,形态较规则,呈近等轴状出现,该异常孤立,与其他异常不连续,这说明矿体受后期复杂的构造错动影响较大。试验区全部为第四系覆盖,覆盖层厚度90~120 m。太古界太华群铁山庙组地层隐伏于第四系之下,王楼矿床赋存于太古界条带状混合岩组中,

平面上呈瓜子型,南北剖面上呈不规则状,东西长300 m,南北长270 m,厚度为32 m。总体倾向西南,倾角20°,埋深380~425 m。矿石由磁铁矿、假像赤铁矿、赤铁矿化磁铁矿、磁黄铁矿、钛铁矿、透辉石、白云石、方解石、普通角闪石、紫苏辉石、金云母、黑云母、绿泥石、蛇纹石、石榴子石、磷灰石、锆石、正长石和斜长石等矿物组成。矿石为中粒、细粒变晶结构、交代残余结构、条带状、块状、条纹状和浸染状构造。矿石平均品位TFe30%,MFe18%。

小韩村矿区属铁山式沉积变质型铁矿床,高精度磁异常最高值可达2 000 nT以上(图2)。该区

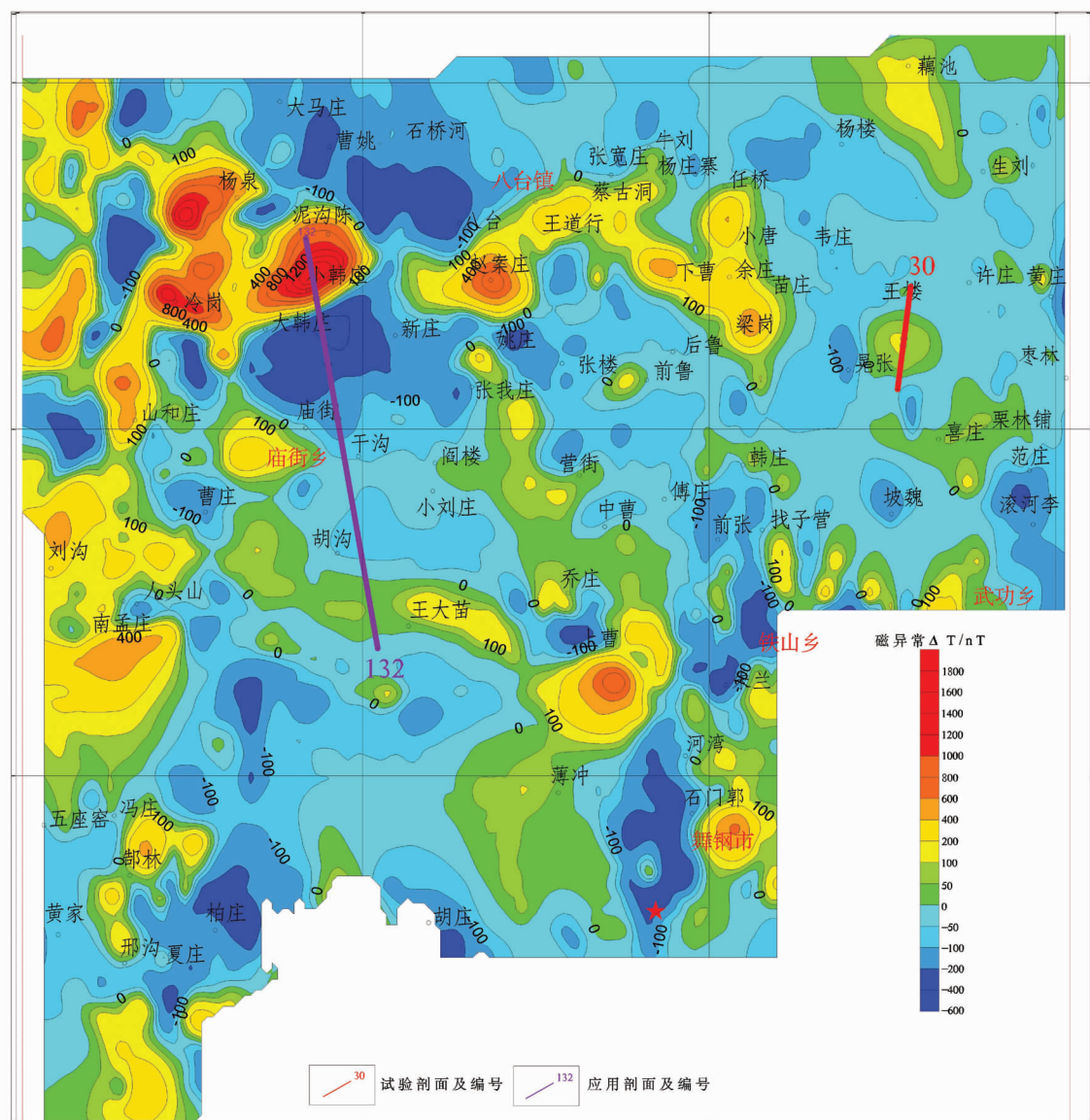


图2 舞阳地区局部磁异常及科研工作剖面布置图

Fig.2 Regional magnetic anomaly and profile layout of scientific research work in Wuyang area

被第四系覆盖,覆盖层厚度 20~100 m。覆盖层之下为太古界太华群铁山庙组。该矿发现于 20 世纪 50—60 年代,目前控制深度逾 300 m,共有三层磁铁矿。铁矿体赋存于太华群铁山庙组条带状混合岩中,平面上呈似层状,东西长 80~220 m,南北长 100~300 m,厚度为 8~23 m。总体倾向西南,倾角 18°,埋深 25~270 m。矿石由磁铁矿、赤铁矿化磁铁矿、磁黄铁矿、钛铁矿、透辉石、白云石、方解石、普通角闪石、紫苏辉石、金云母、黑云母、绿泥石、蛇纹石、石榴子石、磷灰石、锆石、正长石和斜长石等矿物组成。矿石为中粒、细粒变晶结构、交代残余结构,条带状、块状、条纹状和浸染状构造。矿石平均品位 TFe32%, MFe19%。

## 1.2 岩(矿)石物性特征

研究区内出露的岩石比较简单,对矿区内所采集到的岩(矿)石标本以及对已施工钻孔的岩心标本物性测试(表 1~2)表明,铁山式辉石磁铁矿的平均电阻率为 255  $\Omega \cdot m$ ,而围岩含石英辉石岩、混合岩、片麻岩、闪长岩及浅粒岩的平均电阻率在  $n \times 10^3 \Omega \cdot m \sim n \times 10^4 \Omega \cdot m$ 。赵案庄磁铁矿平均电阻率为 78  $\Omega \cdot m$ ,表现为低阻特征。而围岩片麻岩、闪长岩及辉石岩的平均电阻率在  $n \times 10^3 \Omega \cdot m$ (表 1)。所以磁铁矿与围岩电阻率差异明显,磁铁矿电阻率在  $n \times 10^1 \Omega \cdot m \sim n \times 10^2 \Omega \cdot m$ ,较围岩电阻率表现为低电阻率特征。

铁山式辉石磁铁矿的磁化率较围岩混合岩的高 5 倍以上(表 2),王楼矿区磁铁矿岩心较为破碎,可能是磁化率变低的一个原因。赵案庄式磁铁矿磁化

率则较围岩高 20 倍以上(表 2),所以磁铁矿具有高磁化率的特征,磁场表现为磁力高的特征。但部分的安山岩和花岗闪长岩也具有高磁化率的特征,较围岩高 3~10 倍,磁场也表现为磁力高的特征。因此单纯的磁法无法区分,需要其他方法组合区分。

综上所述,研究区内磁铁矿较围岩表现为高磁低阻的特征,这就为本次科研工作提供了物性前提保证。

## 2 方法原理和数据采集方式

可控源音频大地电磁法 (Controlled Source Audio-frequency Magnetotellurics, 简称 CSAMT 法)。它是针对大地电磁测深法场源的随机性和信号微弱,以致观测十分困难的状况,提出的一种改进方案,该方法采用可以控制的人工场源。将大地看作水平介质、大地电磁场是垂直投射到地下的平面电磁波,则在地面可观测到相互正交的电磁场分量为  $E_x$ 、 $H_y$ 、 $E_y$ 、 $H_x$ 。通过测量相互正交的电场和磁场分量,可以确定介质的卡尼亚电阻率值<sup>[6]</sup>。其计算公式为:

$$\rho = \frac{1}{5f} \left| \frac{E_x}{H_y} \right|^2$$

此次科研工作可控源音频大地电磁法共进行 2 条剖面工作,其中 1 条剖面为试验剖面,1 条为应用剖面。供电偶极子 AB 长度分别为 1.8 km 和 2 km,在试验剖面中根据已知矿体埋深、表层电阻率大小及供电条件,设计收发距为 11.4 km,而应用剖面中根据表层电阻率大小、深部找矿的需求及供电条件,设计收发距为 14 km,两条剖面最大供电电流分别为 16 A 和 20 A,工作频率同为 9 600~1 Hz,共 41 个频点。

瞬变电磁法或称时间域电磁法,简称 TEM。它是利用不接地回线或接地线源向地下发送一次脉冲磁场,地下的导电地质体在一次脉冲磁场的激发下,被感应出涡流,其大小取决于地质体的导电程度,并在空间形成二次瞬变磁场。一次脉冲磁场随着脉冲电流的关断而崩溃,但二次瞬变磁场并不立即消失,它将有一个过渡(衰减)过程,随时间按指数规律衰减,衰减的快慢与地质体的电性参数、结构构造、体积形态等有关<sup>[7]</sup>。一般导体越大、导电性越好,涡流的热损耗越小,二次瞬变磁场衰减就越慢。在一次脉冲磁场的间歇期间,利用线圈或接地电极观测二次涡流场,研究获得的感应电动势的时空特性来判断

表 1 岩(矿)石电阻率参数统计<sup>[6]</sup>

Table 1 Statistics of resistivity parameters of rocks (ores)

| 矿床类型 | 岩性           | 样品数/块 | 电阻率/( $\Omega \cdot m$ ) |       |       |
|------|--------------|-------|--------------------------|-------|-------|
|      |              |       | 最小值                      | 最大值   | 平均值   |
| 赵案庄式 | 磁铁矿          | 14    | 24                       | 138   | 78    |
|      | 片麻岩          | 30    | 366                      | 3812  | 1930  |
|      | 角闪岩          | 11    | 1116                     | 5610  | 2570  |
|      | 辉石岩          | 3     | 801                      | 2474  | 1852  |
| 铁山式  | 混合岩          | 49    | 231                      | 26699 | 6103  |
|      | 辉石磁铁矿        | 4     | 154                      | 335   | 255   |
|      | 含石英辉石<br>磁铁矿 | 2     | 3150                     | 4261  | 3705  |
|      | 含石英<br>辉石岩   | 6     | 11452                    | 19409 | 14782 |
|      | 片麻岩          | 4     | 2009                     | 23120 | 7364  |
|      | 闪长岩          | 8     | 1128                     | 23208 | 7567  |
|      | 浅粒岩          | 3     | 1415                     | 2655  | 2196  |

表 2 岩(矿)石磁性参数统计  
Table 2 Statistics of magnetic parameters of rocks (ores)

| 矿床类型 | 岩性       | 样品数/块 | 磁化率/(10 <sup>-5</sup> SI) |        |       |
|------|----------|-------|---------------------------|--------|-------|
|      |          |       | 最小值                       | 最大值    | 平均值   |
| 赵案庄式 | 磁铁矿      | 24    | 19550                     | 151060 | 80541 |
|      | 片麻岩      | 30    | 30                        | 27461  | 3448  |
|      | 角闪岩      | 11    | 56                        | 6798   | 2481  |
|      | 辉石岩      | 3     | 2756                      | 4952   | 4103  |
| 铁山式  | 安山岩      | 30    | 1                         | 40400  | 8196  |
|      | 白粒岩      | 8     | 22                        | 165    | 61    |
|      | 磁铁辉石岩    | 5     | 1090                      | 5110   | 2670  |
|      | 磁铁矿      | 42    | 941                       | 93233  | 44606 |
|      | 大理岩      | 24    | 5                         | 43530  | 3400  |
|      | 底砾岩      | 2     | 800                       | 5400   | 3100  |
|      | 含石榴子石混合岩 | 6     | 925                       | 5805   | 2367  |
|      | 黑云角闪片麻岩  | 3     | 969                       | 7089   | 4077  |
|      | 辉石磁铁矿    | 16    | 10                        | 96600  | 26347 |
|      | 辉石大理岩    | 8     | 418                       | 1155   | 658   |
|      | 混合花岗岩    | 1     | 23                        | 23     | 23    |
|      | 混合岩      | 301   | 0                         | 10600  | 5033  |
|      | 混合岩化片麻岩  | 41    | 7                         | 3080   | 491   |
|      | 角闪斜长片麻岩  | 15    | 5                         | 2150   | 347   |
|      | 均质混合岩    | 9     | 76                        | 810    | 259   |
|      | 片麻岩      | 5     | 1700                      | 5000   | 2400  |
|      | 浅粒岩      | 3     | 2245                      | 4012   | 3381  |
|      | 青黄色安山岩   | 20    | 140                       | 37590  | 16144 |
|      | 青灰色安山岩   | 41    | 280                       | 45310  | 27780 |
|      | 肉红色安山岩   | 34    | 540                       | 9970   | 2496  |
|      | 闪长玢岩     | 5     | 652                       | 4640   | 2935  |
|      | 闪长岩      | 30    | 700                       | 76770  | 12776 |
|      | 石英辉石大理岩  | 1     | 9079                      | 9079   | 9079  |
|      | 石英脉      | 1     | 3580                      | 3580   | 3580  |
|      | 石英砂岩     | 4     | 100                       | 5400   | 1650  |
|      | 蚀变岩      | 1     | 225                       | 225    | 225   |
|      | 条带状混合岩   | 18    | 82                        | 8400   | 1447  |
|      | 细晶岩      | 2     | 19                        | 26     | 23    |

导电体的规模、产状和电性,通过反演、成像和解释即可得到地下介质电性结构的丰富信息<sup>④</sup>。

本次科研工作采用瞬变电磁法中的两种不同的装置进行对比试验,一种是较常用的中心回线装置。根据已知矿体埋深、形态及地表电阻率大小计算,我

们选用 400 m×400 m 框进行发射,长边平行地质体走向敷设。使用时间域 TD50 波形进行发射,发射频率为 5 Hz,允许最晚的时间道为 37.7 ms,发射电流为 10 A,每布设一个发射线框,进行 3 个物理点的测量,点距为 50 m,在发射线框内中心 1/3 范围内

进行观测。另一种则是不太常用的线源装置。发射机采用凤凰公司的大功率发射机 TXU-30 进行发射,布设线源长度 AB 为 1.5 km,收发距为 1.2 km,发射频率为 5 Hz,发射电流为 19 A,在与中心回线相同的点位进行测量,从而进行效果对比。

### 3 应用效果

#### 3.1 舞钢王楼试验区

在王楼试验区进行了一条试验剖面,采用可控源音频大地电磁法和瞬变电磁法(中心回线装置和线源装置)。

从王楼矿区 30 线 CSAMT 二维  $\rho$  反演<sup>[9]</sup>结果(图 3)可见,在断面深度约 100 m 处,也存在一条近似水平的低阻异常带,与实际钻孔控制的太华群基岩面相吻合。在 1 600~1 850 号点之间、中心埋深在 300 m 处,有一封闭的低阻异常,并与钻孔实际控制的铁矿体相吻合,充分说明了 CSAMT 在舞钢地区探测隐伏铁矿体的有效性<sup>[10]</sup>。

王楼矿区 30 线 TEM 中心回线装置一维电阻率反演断面图(图 4)表明,在断面 100 m 处出现一条近水平的低阻异常带,与钻孔控制的太华群基岩面相吻合<sup>[9]</sup>。在 1 100~1 400 号点之间,出现下拉的低阻异常,此处地表有一条近东西的河床,分析认为与之有关。在 1 550~1 800 号点之间,中心埋深在

400 m 处,有一未封闭的低阻异常,水平位置与已知矿体相对应,但深度不对,分析由尾支曲线误差棒引起<sup>[10-11]</sup>。由王楼矿区 30 线 TEM 线源装置一维电阻率反演断面图(图 5)可见,在断面接近 100 m 深度的信息被损失,对太华群基岩面的反映较差<sup>[12]</sup>。和中心回线装置一样,在 1 100~1 500 号点之间,也出现了下拉低阻异常,也与地表河床相对应,认为与此有关。在 1 600~1 800 号点之间,中心埋深在 300 m 处,存在一低阻异常,并与已知铁矿体相吻合,再往深部则出现高阻异常,第一说明线源 TEM 寻找隐伏铁矿体的有效性,第二也说明了线源 TEM 探测深度能力要强<sup>[13]</sup>,且优于 CSAMT 方法。

通过王楼矿区 30 线的电磁方法试验,笔者认为 CSAMT 和 TEM 电磁方法寻找隐伏的沉积变质型铁矿是可行的。在同地质条件下,由于 TEM 观测的是时间域纯二次场信号,线源 TEM 发射信号较强,而 CSAMT 属频率域测深,且受到远区观测条件的限制,同等观测深度下发射信号相对线源 TEM 弱,而中心回线 TEM 由于受到发射磁矩的限制,因此从试验结果来看,线源 TEM 有效探测深度最大,CSAMT 居中,中心回线 TEM 较弱。TEM 方法受地表低阻体干扰影响要比 CSAMT 方法大,但垂向分辨率要优于 CSAMT 方法。

无论是 CSAMT 方法,还是 TEM 方法,野外工

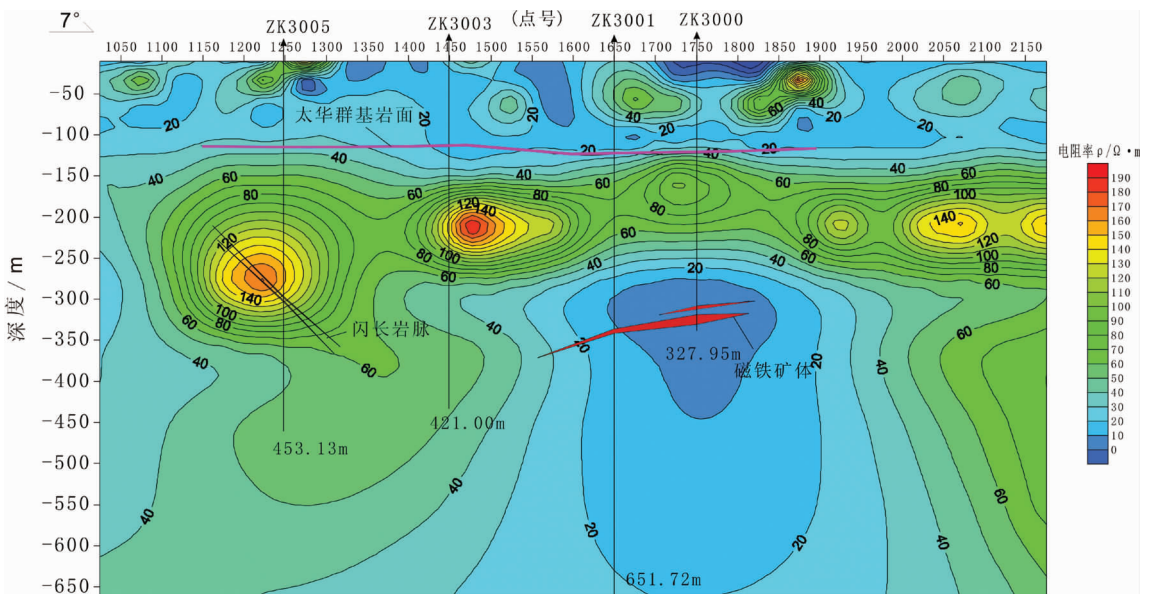


图 3 王楼矿区 30 线 CSAMT 二维  $\rho$  反演结果

Fig.3 CSAMT 2-D inversion result along No. 30 line in the Wanglou mining area

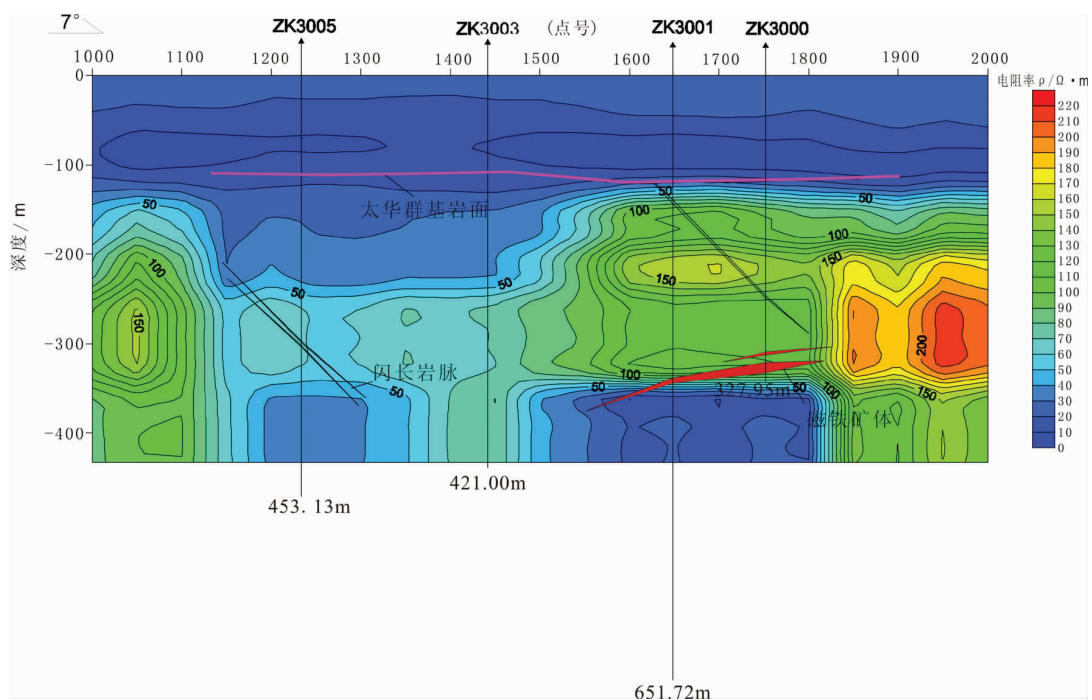


图 4 王楼矿区 30 线 TEM 中心回线装置一维  $\rho$  反演断面图

Fig.4 Center loop layout of TEM 1-D inversion profile along No. 30 line in the Wanglou mining area

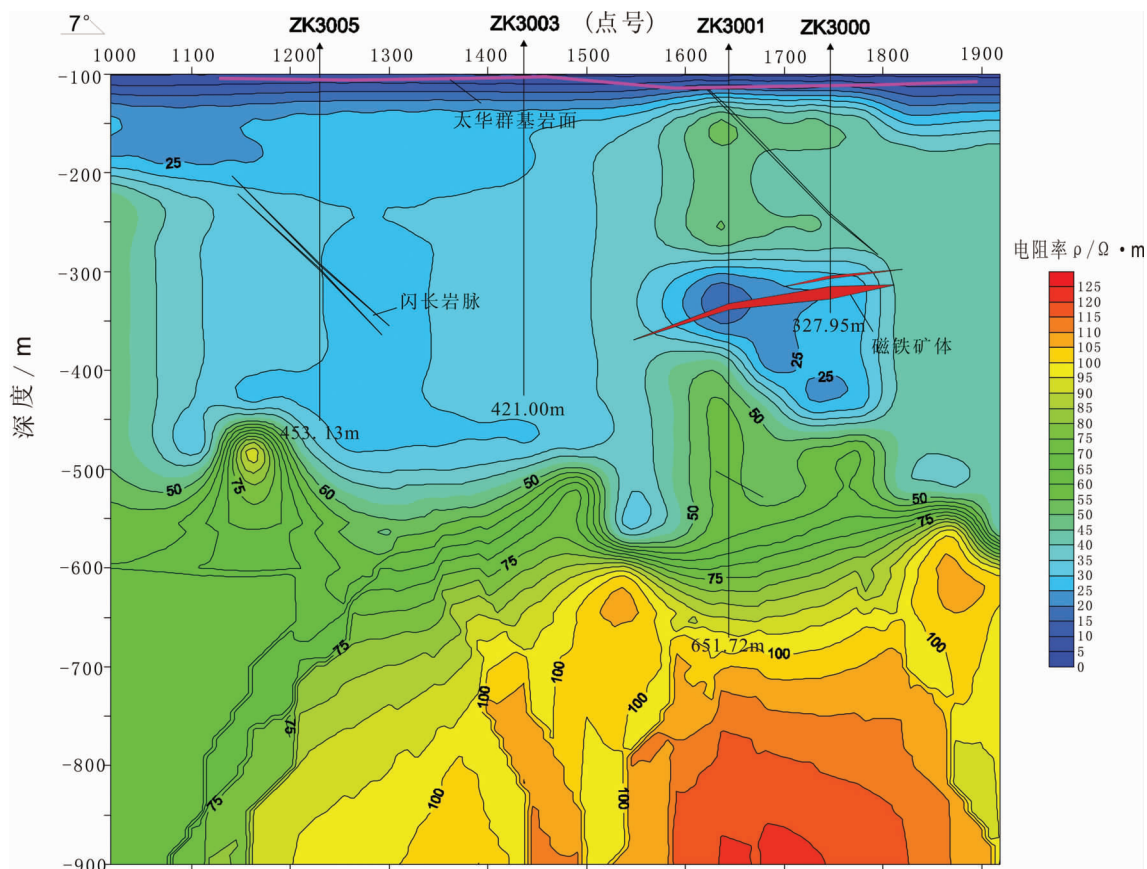


图 5 王楼矿区 30 线 TEM 线源装置一维  $\rho$  反演断面图

Fig.5 Line source layout of TEM 1-D inversion profile along No. 30 line in the Wanglou mining area

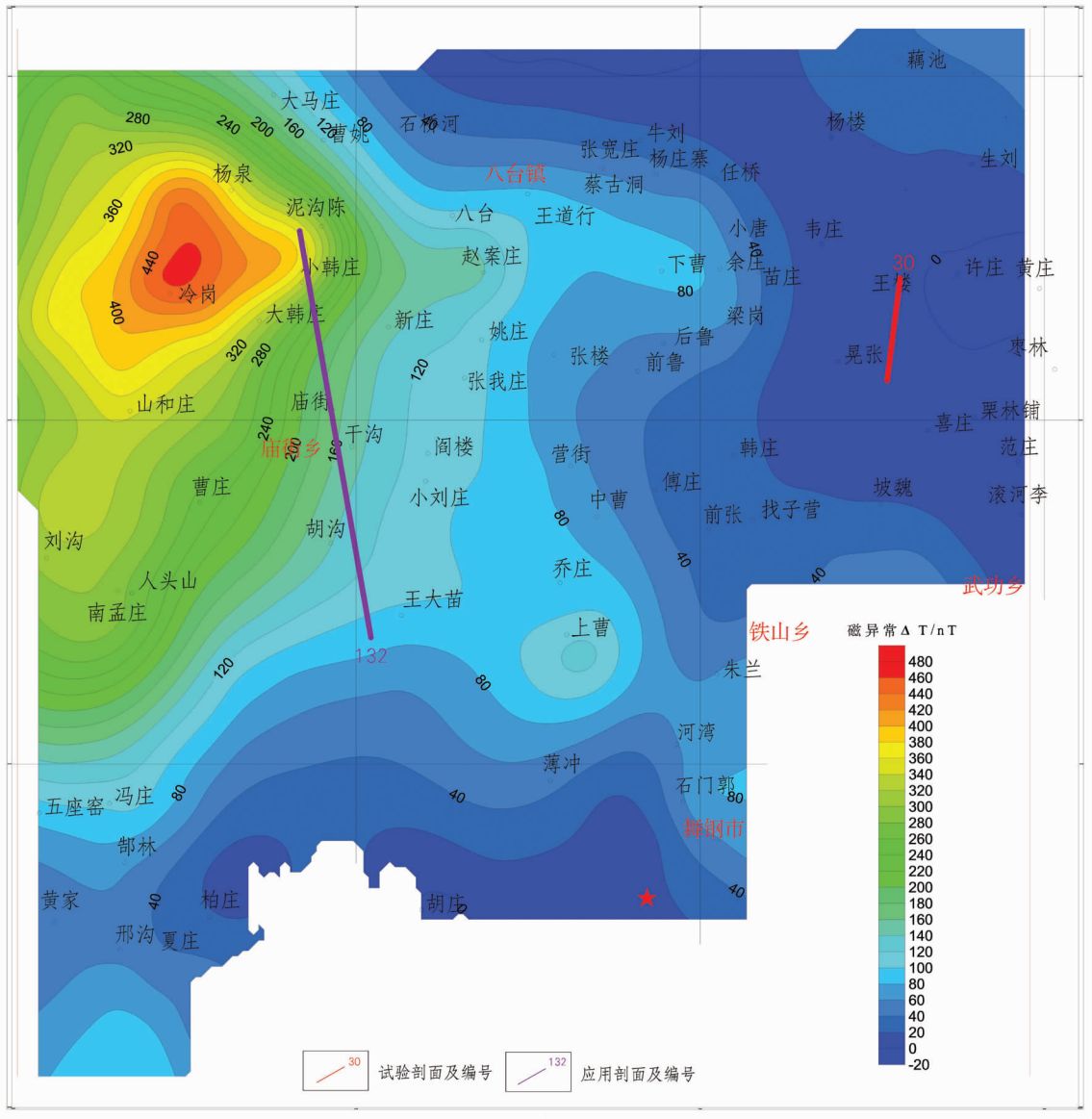


图 6 舞阳地区上延 2 km 磁异常图

Fig.6 Upward continuation magnetic anomaly of 2km in Wuyang area

作装置的正确选择和工作参数设定是取得最佳观测成果的关键<sup>[14]</sup>。野外工作前,要加强该地段的干扰源,干扰类型,第四系覆盖层等因素的调查,以便选择最佳工作装置和工作参数。

### 3.2 小韩村矿区及外围 CSAMT 方法应用研究

笔者通过对小韩村矿区进行的 1:1 万高精度磁测数据进行上延 2 km(图 6)发现,以经山寺、小韩村、冷岗一带为中心,其上延 2 km 的北东向磁异常仍然存在,具有深部找矿潜力,可能存在深部隐伏铁矿体,因此本次在小韩村矿区 132 线(即整装勘查

26 勘探线)上开展 CSAMT 工作(图 7),以研究小韩村矿区深部是否存在铁矿体,同时验证 1:1 万高精度磁测分析成果。

从图 7 可以看出,在 5 925~6 325 和 6 525~6 925 号点、埋深 300 m 以上,出现两个低阻异常,分别与 小韩村、泥沟陈南已知铁矿体相吻合。在 6 325~6 525 号点、埋深 400~1 000 m,存在一个向南倾斜的低阻异常,该异常在地面投影并与高精度磁异常北侧峰值相对应(图 7),并且与推断的深部找矿潜力范围相吻合。因此,认为小韩村矿区深部可能存在隐伏的



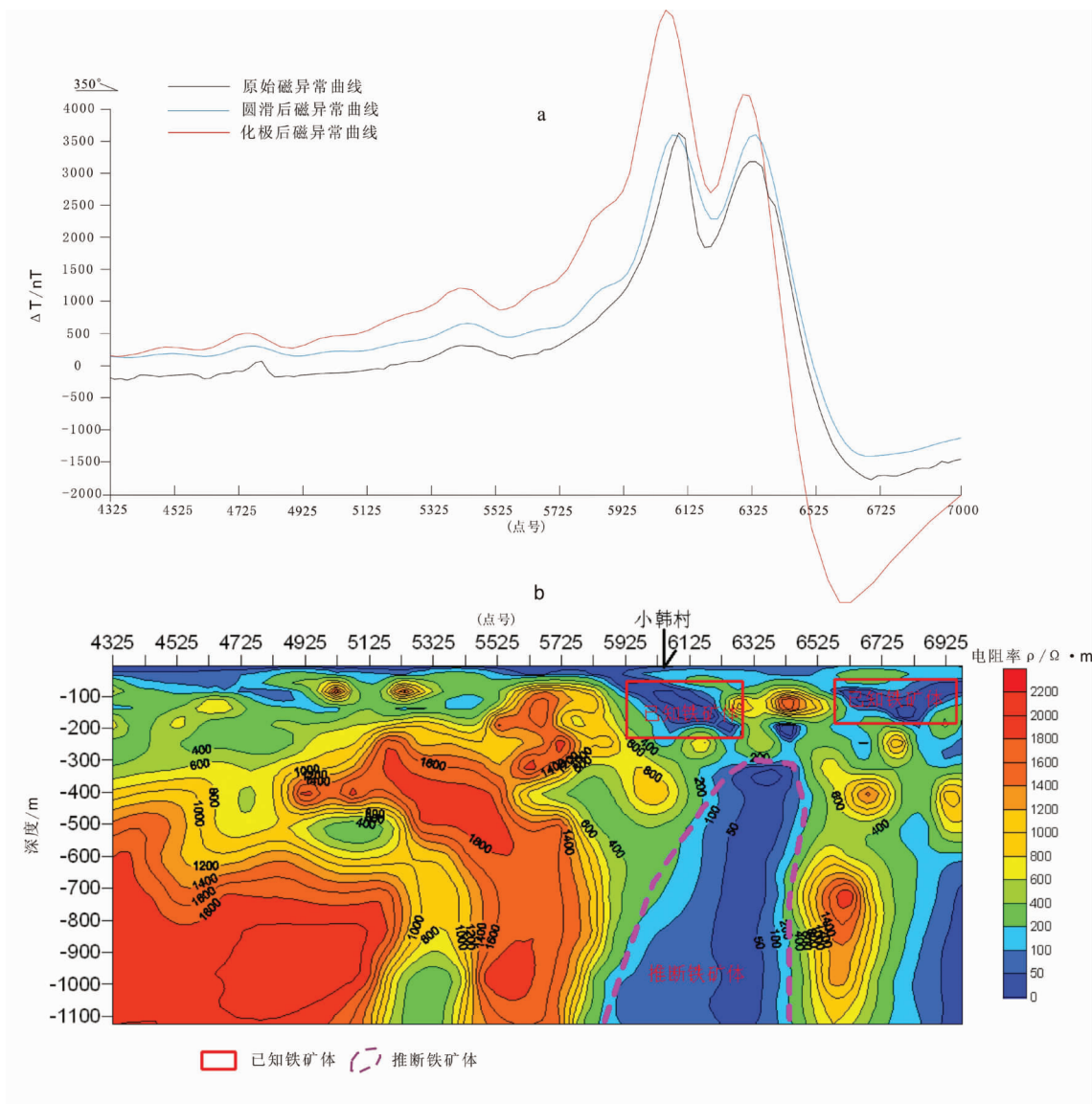


图7 小韩村矿区 132 线高精度磁异常剖面图和 CSAMT 二维  $\rho$  反演结果  
 Fig.7 High-precision magnetism anomaly profile (a) and CSAMT 2-D inversion result (b) along No. 132 line in the Hancun mining area

磁铁矿体,是有望的深部找矿靶区。

### 4 结论

(1)通过王楼矿区的电磁方法试验,笔者认为 CSAMT 和 TEM 电磁方法寻找隐伏的沉积变质型铁矿是可行的。在同等地质条件下,线源 TEM 有效探测深度最大,CSAMT 居中,中心回线 TEM 较弱。TEM 方法受地表低阻体干扰影响要比 CSAMT 方法大,但垂向分辨率要优于 CSAMT 方法。

(2)野外工作装置的正确选择和工作参数设定是取得最佳观测成果的关键。

(3)将 1:1 万高精度数据处理与 CSAMT 反演成果结合,预测了小韩村矿区深部隐伏矿体的空间位置。认为以经山寺、小韩村、冷岗一带为中心,可能存在深部隐伏铁矿体,其上延 2 km 的北东向磁异常具有深部找矿潜力,是今后舞钢地区深部找矿的有望靶区和突破口。

### 参考文献(References):

[1] 李厚民,王登红,李立兴,等.中国铁矿成矿规律及重点矿集区资源潜力分析[J].中国地质,2012,39(3):559-580.  
 Li Houmin, Wang Denghong, Li Lixing, et al. Metallogeny of iron

- deposits and resource potential of major iron minerogenetic units in China [J]. *Geology in China*, 2012, 39 (3):559-580 (in Chinese with English abstract).
- [2] 孙静, 罗照华, 张长厚, 等. 大庙铁矿田—危机矿山还是潜在超大型铁矿基地? [J]. *中国地质*, 2009, 36(2):255-267.  
Sun Jing, Luo Zhaohua, Zhang Changhou, et al. Is the Damiao ore field a crisis mine or a potential giant iron base? [J]. *Geology in China*, 2009, 36(2):255-267(in Chinese with English abstract).
- [3] 刘光鼎, 郝天珧. 应用地球物理方法寻找隐伏矿床 [J]. *地球物理学报*, 1995, 3(6):850-854.  
Liu Guangding, Hao Tianyao. Searching of hidden mineral deposits by geophysical methods [J]. *Acta Geophysica Sinica*, 1995, 3(6): 850-854(in Chinese with English abstract).
- [4] 罗明强. 河南省舞阳铁矿田构造控矿研究 [J]. *河南理工大学学报(自然科学版)*, 2009, 28(5):577-582.  
Luo Mingqiang. Study on ore-controlling factors in Wuyang iron ore field in Henan province [J]. *Journal of Henan Polytechnic university(Natural science)*, 2009, 28(5):577-582(in Chinese with English abstract).
- [5] 贾兴杰, 李怀乾, 郑洪举. 河南舞钢铁矿地质特征及深部找矿研究[J]. *黄金科学技术*, 2012, 20(2):25-31.  
Jia Xingjie, Li Huaqian, Zheng Hongju. Study on the geological characteristics and deep prospecting of iron deposits in Wugang City, Henan Province [J]. *Gold Science and Technology*, 2012, 20(2):25-31(in Chinese with English abstract).
- [6] 张国仁, 李仁和. 可控源音频大地电磁法深部找矿实验效果[J]. *物探与化探*, 2010, 34(1):66-70.  
Zhang Guoren, Li Renhe. The test result of the controlled source audio-frequency magnetotelluric method in the prospecting for deep ore deposits[J]. *Geophysical and Geochemical Exploration*, 2010, 34(1):66-70(in Chinese with English abstract).
- [7] 牛之琰. 时间域电磁法原理 [M]. 长沙: 中南工业大学出版社, 1993.  
Niu Zhilian. Principle of Time Domain Electromagnetic Method [M]. Changsha: Central South University of Technology Publishing House, 1993(in Chinese).
- [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.  
Li Xiu. The Theory and Application of Transient Electromagnetic Sounding [M]. Xi'an: Shaanxi Science Technology Press, 2002 (in Chinese).
- [9] 林威. CSAMT法过渡区电磁场的特征 [J]. *物探与化探*, 2009, 33(2):148-150.  
Lin Wei. Transition region electromagnetic field characteristics of the CSAMT method [J]. *Geology and Exploration*, 2009, 33(2): 148-150(in Chinese with English abstract).
- [10] 王大勇, 李桐林, 高远, 等. CSAMT法和TEM法在铜陵龙虎山地区隐伏矿勘探中的应用[J]. *吉林大学学报(地球科学版)*, 2009, 39(6):1134-1140.  
Wang Dayong, Li Tonglin, Gao Yuan, et al. The application of CSAMT and TEM to exploration buried deposits in Longhu Mountain Area at Tongling, Anhui Province [J]. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 2009, 39 (6):1134-1140 (in Chinese with English abstract).
- [11] 李水平, 张同中, 景金明. TerraTEM瞬变电磁系统在隐伏铁矿体上的勘查应用[J]. *物探与化探*, 2009, 33(4):424-426.  
Li Shuiping, Zhang Tongzhong, Jing Jinming. The Exploration efficiency of the TerraTEM electromagnetic system, In the conceal iron deposit, Henan Province [J]. *Geophysical and Geochemical Exploration*, 2009, 33 (4):424-426 (in Chinese with English abstract).
- [12] 薛国强, 李貅. 瞬变电磁测深早期数据的修正[J]. *地球物理学进展*, 2008, 23(1):220-224.  
Xue Guoqiang, Li Xiu. Correction of TEM early-time sounding data [J]. *Progress in Geophysics*, 2008, 23(1):220-224(in Chinese with English abstract).
- [13] 陈明生. 电偶源瞬变电磁测深研究(六)——瞬变电场资料的反演解释[J]. *煤田地质与勘探*, 2000, 28(1):46-48.  
Chen Mingsheng. Study on the transient electromagnetic (TEM) sounding with electric dipole (VI)——The inversion of the data[J]. *Coal Geology and Exploration*, 2000, 28 (1):46-48 (in Chinese with English abstract).
- [14] 许广春. CSAMT法在实际应用中的若干问题 [J]. *物探与化探*, 2011, 35(6):809-812.  
Xu Guangchun. A Discussion on some problems concerning practical application of CSAMT method [J]. *Geophysical and Geochemical Exploration*, 2011, 35 (6):809-812 (in Chinese with English abstract).

## The application of electromagnetic sounding method to deep iron ore exploration: A case study of the Wuyang iron mining area of Henan

LI Bing<sup>1,2</sup>, CHAO Dai-chao<sup>3</sup>, WEI Ming-jun<sup>2,4</sup>,  
LI Yong-feng<sup>2,5</sup>, LUO Zheng-zhuan<sup>2,5</sup>, SHANG Jian-ge<sup>1</sup>

(1. No. 2 Geological Party, Henan Bureau of Geology and Nonferrous Metal Resources, Zhengzhou 450000, Henan, China; 2. Non-ferrous Mineral Exploration Engineering Research Center of Henan Province, Zhengzhou 450000, Henan, China; 3. 7th Geological Party, Henan Bureau of Geology and Nonferrous Metal Resources, Zhengzhou 450000, Henan, China; 4. No. 5 Geological Party, Henan Bureau of Geology and Nonferrous Metal Resources, Zhengzhou 450000, Henan, China; 5. Henan Institute of Geology and Nonferrous Metal Exploration, Zhengzhou 450000, Henan, China)

**Abstract:** This paper has described the application of controlled source audio-frequency magnetotellurics (CSAMT) and transient electromagnetic sounding (TEM) to the detection and exploration prognosis of iron deposits in Wuyang-Wanglou and Xiaohan Village areas of Henan Province. The results show that using CSAMT and TEM in search for concealed meta-sedimentary iron deposits is feasible. Under the same geological conditions, the line source TEM has the largest effective detection depth, followed by CSAMT, and the central loop TEM is the most ineffective. The TEM method is more influenced by the interference of the low resistivity body than the CSAMT method, but its vertical resolution is better than that of the CSAMT method. With Jingshansi, Xiaohan Village and Lenggang areas as the center, the authors used CSAMT to predict deep concealed ore bodies in the strong interference segment of the iron ore mining area, and the results provide a basis for the next step deployment of exploration work.

**Key words:** CSAMT; TEM; exploration prognosis; integrated exploration; Wuyang in Henan

---

**About the first author:** LI Bing, male, born in 1984, master candidate, mainly engages in the study of geophysics; E-mail: 540035801@qq.com.