

DOI:10.16788/j.hddz.32-1865/P.2018.02.006

引用格式:张景,朱红兵,邸兵叶,等. 宁芜北火山岩覆盖区时间域激电三维反演及找矿预测——以吴庄工区为例[J]. 华东地质,2018,39(2):126-133.

宁芜北火山岩覆盖区时间域激电三维反演及找矿预测——以吴庄工区为例

张 景,朱红兵,邸兵叶,鲁胜梅

(中国地质调查局南京地质调查中心,南京 210016)

摘要:宁芜地区是长江中下游成矿带铁铜多金属矿床最有利的成矿区之一,该区工作程度较高,已发现多处铁铜多金属矿床,但近年来找矿进展缓慢,如何在宁芜火山岩覆盖区实现找矿突破是目前研究的重点和热点。前人大多采用时间域激电一维和二维反演技术进行资料处理和异常解释,因时间域激电三维反演技术对硬件要求较高,较少在实际中应用。在综合分析工作区区域地质资料、对典型地层和岩石标本进行物性参数测试和统计分析的基础上,采用 T 30 多功能电磁法发射机和 EM-R06 多功能电磁法接收机在吴庄工区开展时间域激电(TDIP)测量,利用 EM3DSPI 软件对野外实测数据进行三维反演。结果表明:工作区岩体大多呈岩株或岩脉侵入于大王山组火山岩中,具有以 NE 向断裂为主、NW 向断裂穿插分布的特征。结合周边矿区和已施工钻孔资料,确定吴庄工区王家场为成矿有利区域,该区值得进一步开展地质调查工作。

关键词:覆盖区;时间域激电;三维反演;找矿预测;长江中下游成矿带

中图分类号:P631.1⁺4

文献标识码:A

文章编号:2096-1871(2018)02-126-08

宁芜北火山岩覆盖区位于长江中下游成矿带宁芜盆地北缘,是我国开展地质调查工作最早的地区之一。该区矿产勘查工作成果众多,先后发现了云台山、凤凰山、铜井等矿床^[1-2]。近年来,宁芜地区深部找矿工作虽有突破,但进展较缓慢。首先,由于宁芜盆地下陷,早期断裂在此处复合并加深,导致该区地质构造极其复杂^[3],且覆盖区出露少,深部找矿难度大;其次,现阶段深部找矿技术尚不成熟,对矿床成矿规律预测仅停留在经验阶段,实际可运用的勘查技术及手段还不完善;再次,对地质资料的处理方式比较落后,随着计算算法的改进和硬件设施的提升,国内外众多学者对隐伏矿体三维预测开展深入研究,基本形成了三维成矿预测技术框架^[4-11]。但由于三维反演软件的正反演模块还不完善(部分勘探手段缺少相应的三维反演模块)、反演软件对硬件要求较高等问题,三维反演技术在实际应用中并不多见。目前一维和二维反演技术是处

理和解释实际资料主要应用的技术手段^[12]。

本文依托大深度三维电磁探测系统在吴庄工区已完成的时间域激电(TDIP)测量数据,运用 EM3DSPI 软件对实测数据进行三维反演,结合地质和钻孔资料进行地质解释,并与周边已知矿床进行对比,提出成矿有利区。本文基于传统工作手段,辅以新的探测仪器,采用三维反演技术方法,探寻火山岩覆盖区勘查隐伏矿工作的新思路。

1 区域地质概况

宁芜北部吴庄工区位于江苏省南京市江宁区南部,构造上位于扬子板块北缘,郯庐断裂带东侧。工区基本被第四系覆盖,地表出露地层由老至新依次为大王山组(K_1d)、姑山组(K_1g)及白头山组(K_1b),美人山南见白头山旋回粗安斑岩出露地表。

* 收稿日期:2017-07-04 修订日期:2017-08-31 责任编辑:谭桂丽

基金项目:国家重大科学仪器设备开发专项“大深度三维电磁探测技术工程化开发(编号:2011YQ050060)”项目资助。

第一作者简介:张景,1982 年生,男,助理研究员,主要从事矿产资源勘查、深部探测及综合研究工作。

白头山组 (K_1b) 主要由粗面岩类组成, 姑山组 (K_1g) 主要为粗安岩和凝灰岩, 大王山组 (K_1d) 主要为火山角砾岩、辉石安山岩、安山质角砾熔岩及

角砾凝灰岩。区内侵入岩主要为石英二长岩、二长(斑)岩、正长(斑)岩, 多侵入于大王山组 (K_1d) 地层中^[13](图 1)。

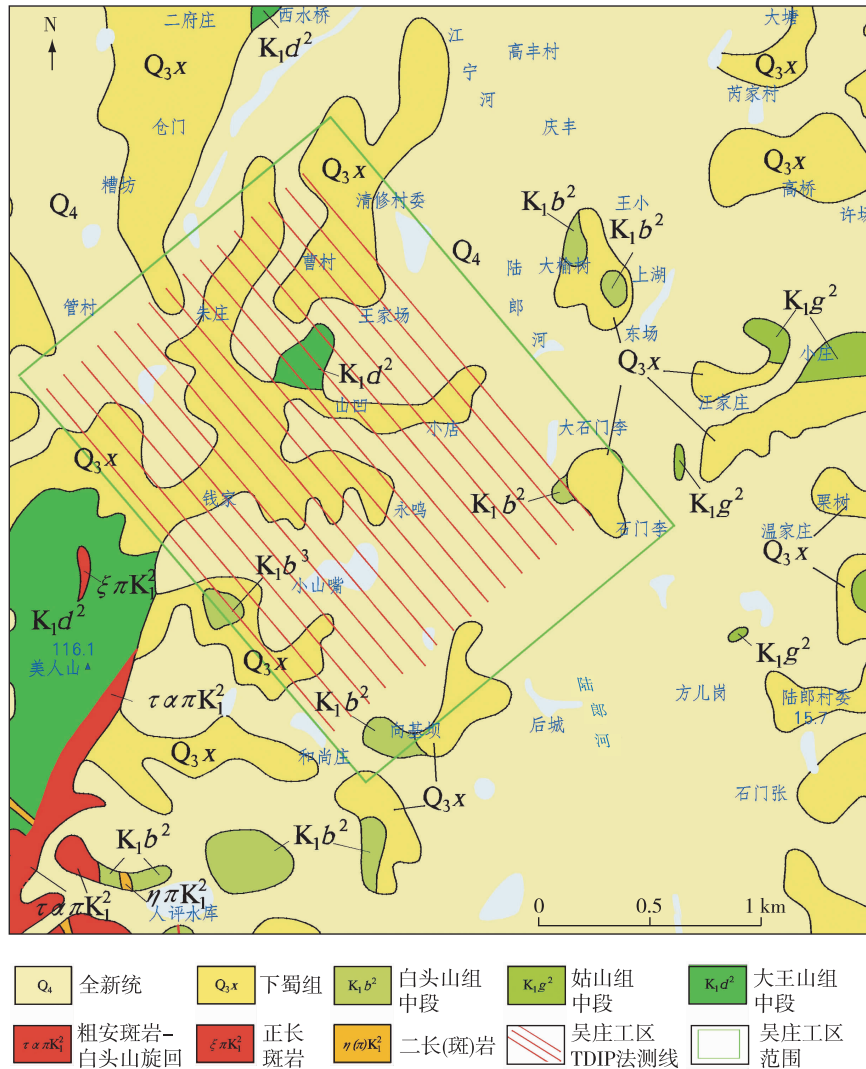


图 1 吴庄工区地质图(据宁芜北部 1:5 万地质图修编)

Fig. 1 Geological map of the Wuzhuang work area (modified after the northern Nanjing-Wuhu 1:50 000 geologic map)

宁芜北部火山岩盆地断裂大部分在燕山早期形成, 主要分为 NW 向断裂带和 NE 向断裂带 2 组^[13]。

NW 向断裂带由多条断裂组成, 断层走向约 315° , 断层倾向 SW, 倾角较陡。断层引起龙王山组、大王山组及 NE 向断裂带错动, 沿断层见二长岩和正长岩体分布。

NE 向断裂带由多条断裂组成, 断层走向约 50° , 断层倾向 SE, 倾角较陡。NW 向张性断裂是该区金、铜矿床(脉)的重要控矿构造^[13-14]。

2 区域岩石物性特征

2.1 岩石物性特征

通过统计区域钻孔实测物性数据(表 1), 发现姑山组、大王山组火山岩系密度为 $(2.65 \sim 2.80) \times 10^3 \text{ kg/m}^3$; 磁性为 $(20 \sim 500) \times 10^{-3} \text{ A/m}$; 电阻率较高, 极化率较低, 极化率一般 $< 5\%$, 少数略高。闪长岩呈高密度、高剩磁、高阻和高极化特征; 正长岩为低密度、低极化、中等磁性、高电阻率; 石英二长岩为较高密度、磁性、高阻及中等极化。

表 1 宁芜北部地区钻孔岩心样品实测物性数据统计结果
Table 1 Measured petrophysical parameters of drill cores in the northern Nanjing-Wuhu area

| 地层 | 岩性 | 样品数/块 | 密度/($10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$) | | 磁化率/(10^{-6} SI) | | 剩磁强度/(10^{-3} A/M) | | 电阻率/($\Omega \cdot \text{m}$) | | 极化率/% | |
|------|-------|-------|--|-------------|------------------------------|--------------|--------------------------------|------------|---------------------------------|---------------|-------|------------|
| | | | 常见值 | 变化范围 | 常见值 | 变化范围 | 常见值 | 变化范围 | 常见值 | 变化范围 | 常见值 | 变化范围 |
| 姑山组 | 角闪安山岩 | 96 | 2.722 | 2.626~2.813 | 73 | 2~488 | 90 | 1~1 032 | 2 161 | 159~20 194 | 1.82 | 0.05~4.35 |
| | 粗安岩 | 20 | 2.718 | 2.631~2.838 | 126 | 1~1 996 | 33 | 1~1 980 | 574 | 106~4 127 | 1.61 | 0.42~3.43 |
| | 凝灰岩 | 57 | 2.735 | 2.642~2.835 | 86 | 2~1 026 | 22 | 1~122 | 632 | 67~2 973 | 3.13 | 0.2~8.85 |
| | 凝灰质砂岩 | 13 | 2.665 | 2.51~2.726 | 184 | 40~710 | 7 | 1~60 | 727 | 107~5 025 | 1.20 | 0.21~3.36 |
| | 火山角砾岩 | 31 | 2.729 | 2.598~2.839 | 418 | 0~2 016 | 64 | 1~1 020 | 910 | 170~2 949 | 3.62 | 0.67~11.14 |
| 大王山组 | 辉石安山岩 | 168 | 2.803 | 2.635~2.95 | 7 082 | 28~59 500 | 462 | 1~4 350 | 8 976 | 117~35 063 | 2.93 | 0.05~9.21 |
| | 凝灰岩 | 20 | 2.772 | 2.591~2.842 | 1 203 | 182~19 740 | 384 | 13.6~1 590 | 4 250 | 260~16 271 | 3.75 | 0.32~18.84 |
| | 火山角砾岩 | 342 | 2.759 | 2.609~2.914 | 1 543 | 25~38 400 | 76 | 1~856 | 4 263 | 148~11 608 | 2.88 | 0.03~10.30 |
| 龙王山组 | 角闪安山岩 | 56 | 2.778 | 2.625~2.911 | 16 012 | 141~41 800 | 663 | 21~4 260 | 6 558 | 234~21 846 | 3.36 | 0.32~9.64 |
| | 凝灰岩 | 18 | 2.789 | 2.651~2.914 | 6 077 | 302~41 450 | 245 | 15~1 520 | 3 154 | 28~15 278 | 6.80 | 1.26~18.12 |
| | 火山角砾岩 | 12 | 2.694 | 2.608~2.815 | 17 768 | 8 340~31 050 | 412 | 114~3 140 | 2 786 | 335~20 507 | 2.35 | 0.22~9.20 |
| 西横山组 | 细砂岩 | 14 | 2.613 | 2.542~2.652 | 41 | 10~176 | 3 | 1~9 | 2 770 | 326~17 662 | 1.56 | 0.23~4.33 |
| | 中粗砂岩 | 26 | 2.627 | 2.475~2.781 | 12 | 1~89 | 7 | 1~2 050 | 3 534 | 664~32 300 | 1.37 | 0.35~4.41 |
| | 砂砾岩 | 12 | 2.788 | 2.621~2.908 | 11 | 2~115 | 5 | 1~112 | 6 923 | 709~24 140 | 4.98 | 0.65~28.9 |
| 北象山组 | 粉砂岩 | 50 | 2.689 | 2.594~2.791 | 36 | 3~146 | 0.24 | 0.04~0.64 | 566 | 35~1 708 | 1.51 | 0.18~5.77 |
| | 细砂岩 | 12 | 2.67 | 2.62~2.719 | 44 | 6~180 | 0.44 | 0.06~1.71 | 2 147 | 208~7 999 | 1.48 | 0.32~4.62 |
| | 中砂岩 | 20 | 2.613 | 2.553~2.669 | 41 | 19~77 | 0.21 | 0.06~0.48 | 2 219 | 901~4 155 | 0.63 | 0.19~1.32 |
| 黄马青组 | 粗砂岩 | 10 | 2.619 | 2.51~2.706 | 24 | 6~58 | 4.18 | 0.12~34.60 | 3 768 | 573~12 945 | 3.65 | 0.11~20.77 |
| | 泥质岩 | 13 | 2.679 | 2.637~2.740 | 202 | 115~246 | 9 | 4.42~20 | 430 | 241~582 | 0.33 | 0.17~0.60 |
| | 粉砂岩 | 50 | 2.669 | 2.554~2.759 | 165 | 98~252 | 8 | 0.27~25 | 691 | 198~1 877 | 0.38 | 0.19~0.85 |
| 闪长岩 | 闪长岩 | 103 | 2.743 | 2.606~2.822 | 12 428 | 0~29 240 | 728 | 1~2 500 | 5 674 | 24~43 325 | 6.54 | 0.14~25.25 |
| | 闪长玢岩 | 46 | 2.693 | 2.622~2.728 | 37 489 | 271~79 300 | 88 | 1~376 | 4 248 | 308~10 914 | 1.04 | 0.4~2.05 |
| | 正长岩脉 | 13 | 2.573 | 2.559~2.586 | 503 | 55~2 370 | 11 | 2~46 | 21 551 | 17 656~24 717 | 3.87 | 3.63~4.31 |
| 二长岩 | 二长岩 | 126 | 2.738 | 2.669~2.802 | 16 300 | 835~38 300 | 480 | 24~2 090 | 20 218 | 9 107~31 300 | 6.57 | 0.35~15.29 |
| | 二长花岗岩 | 78 | 2.650 | 2.547~2.734 | 5 051 | 31~25 160 | 10 | 1~1 270 | 8 848 | 500~32 833 | 2.58 | 0.23~5.10 |
| | 角岩 | 48 | 2.84 | 2.72~2.90 | 5 178 | 2.5~17 220 | 155 | 0.57~599 | | | | |

注:数据引自南京地质调查中心“长江中下游深部矿勘查方法技术示范”和“宁芜北部地区三维大地电磁探测示范”地质报告,2013。

2.2 岩矿石电性特征

由谷里、铜井等地区的岩矿石电性参数(表 2)可知,火山岩中火山碎屑岩电阻率较低,为(300~1 000) $\Omega \cdot m$;熔岩电阻率为(9 000~10 000) $\Omega \cdot m$,但两者极化率均不高,约为 3%,多数约为 2%。喷出岩(粗安斑岩、粗面岩)和侵入岩(正长斑岩、二长斑岩、二长岩等)电阻率约为 800 $\Omega \cdot m$,极化率约为 2.4%。石英脉电阻率较高,约为 1 0000 $\Omega \cdot m$ 。当岩石金属矿化后,电阻率变化较大,极化率上升至 3%以上。

表 2 谷里、铜井地区岩矿石电性参数
Table 2 Electrical parameters of rocks and ores
in the Guli and Tongjing areas

| 岩性 | 电阻率/($\Omega \cdot m$) | | 极化率/% | |
|---------|--------------------------|---------------|-------|-----------|
| | 常见值 | 变化范围 | 常见值 | 变化范围 |
| 凝灰岩 | 392 | 304~478 | 2.25 | 1.78~2.56 |
| 沉凝灰岩 | 1 722 | 621~3 788 | 1.41 | 0.16~3.33 |
| 安山岩 | 10 387 | 117~35 063 | 2.35 | 0.05~8.73 |
| 角砾安山岩 | 9 097 | 254~31 349 | 2.36 | 0.03~8.27 |
| 粗安岩 | 647 | 236~1 397 | 2.34 | 0.56~6.10 |
| 粗面岩 | 989 | 115~3 058 | 2.39 | 1.61~3.91 |
| 正长斑岩 | | | 1.04 | 0.28~3.36 |
| 二长斑岩 | | | 0.32 | 0.12~1.06 |
| 二长岩 | 147 | 96~282 | 2.15 | 1.36~3.14 |
| 石英脉 | 33 000 | 12 000~55 000 | 2.7 | 0.70~4.70 |
| 黄铁矿化安山岩 | | | 3.0 | 1.00~5.34 |
| 镜铁矿化安山岩 | 383 | 118~896 | 5.19 | 4.62~5.83 |
| 硅化安山岩 | | | 1.25 | 0.58~2.73 |
| 安山质角砾熔岩 | 5 608 | 222~16 524 | 3.01 | 0.14~9.01 |

注:数据引自江苏省地质勘查技术院“铜井金(铜)矿接替资源勘查物探工作成果报告”,2014。

3 仪器设备及数据处理

吴庄工区时间域激电工作野外施工仪器为中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所自主研发的大深度三维电磁探测系统,包括 T 30 大功率多功能电磁发射机和 EM-R06 多功能电磁法接收机。实测过程中,T 30 发射系统的供电电压最高达 905 V、电流达 29 A,满足大功率电磁测量的要求;EM-R06 接收机各道一致性较好,一致性精度(4.3%)满足规范要求,保证了数据质量的可靠性。

EM3DSPI 三维反演软件为成都理工大学、中国科学技术大学、吉林大学和地质科学院地球

物理地球化学勘查研究所联合开发,形成包括 5 种方法(TDIP、AMT/MT、CSAMT、TEM 和 SIP)集数据管理、人机交互建模、数据成图、数据预处理与正反演为一体的三维电磁探测数据处理与反演软件系统,可独立运行于 Windows/Linux 平台。

4 时间域激电三维反演

4.1 技术方法

吴庄工区采用中间梯度测深装置进行时间域激电测量,测网网度为 100 m \times 50 m,测量极距 MN 与点距为 50 m。吴庄工区视电阻率异常总体呈 NE 向条带状展布^[14],本次共部署 16 条 NW 向测线,每条测线长 2 km,共 656 个测点(图 2)。通过供电电极距选择试验,发现吴庄工区供电电极距 AB 达到 3 500 m 时,一次场电压不超过 50 mV。由于工区范围广、测线多且毗邻民房,人为干扰大,为了确保数据质量,TDIP 测量时将 AB 场源分为 6 组,整个工区分为 6 块,每一块沿中心布设 4 组供电电极距,AB 与测线平行,供电电极距分别为 1.5 km、2 km、2.5 km 和 3 km,最大旁测距为 300 m,旁侧线一次场值能有效压制干扰信号。野外工作时,最大供电电流为 29 A,工作周期为 16 s,占空比为 50%,发射频率为 0.062 5 Hz,采用多次叠加的方式提高信噪比。

4.2 三维反演

4.2.1 数据处理

核对野外原始记录,确保数据完整。使用预处理软件进行数据预处理,输入供电电极 AB 及所有电极点的坐标文件、AB 极距、供电电流、AB 测量起止时间和排列号等工作参数,计算得到每个测点的 DT(实测电压)和 ET(实测视极化率)数据文件。编辑数据文件,剔除因接地条件差或人文干扰造成的数据突变点,保证反演效果的准确性。

4.2.2 三维反演

使用 EM3DSPI 三维反演软件,采用中间梯度视电阻率、激发极化数据三维带地形反演,时间域激发极化法(TDIP)测量同一区块的一套发射源(含多个 AB)单独配置数据。吴庄工区共分为 6 个区块配置数据,使用 EM3DSPI 软件对已进行编辑的 6 个区块分别进行三维反演,将导出的 6 个区块反演模型数据拼接,最终形成工区完整的视电阻率、极化率三维立体图(图 3、图 4)。

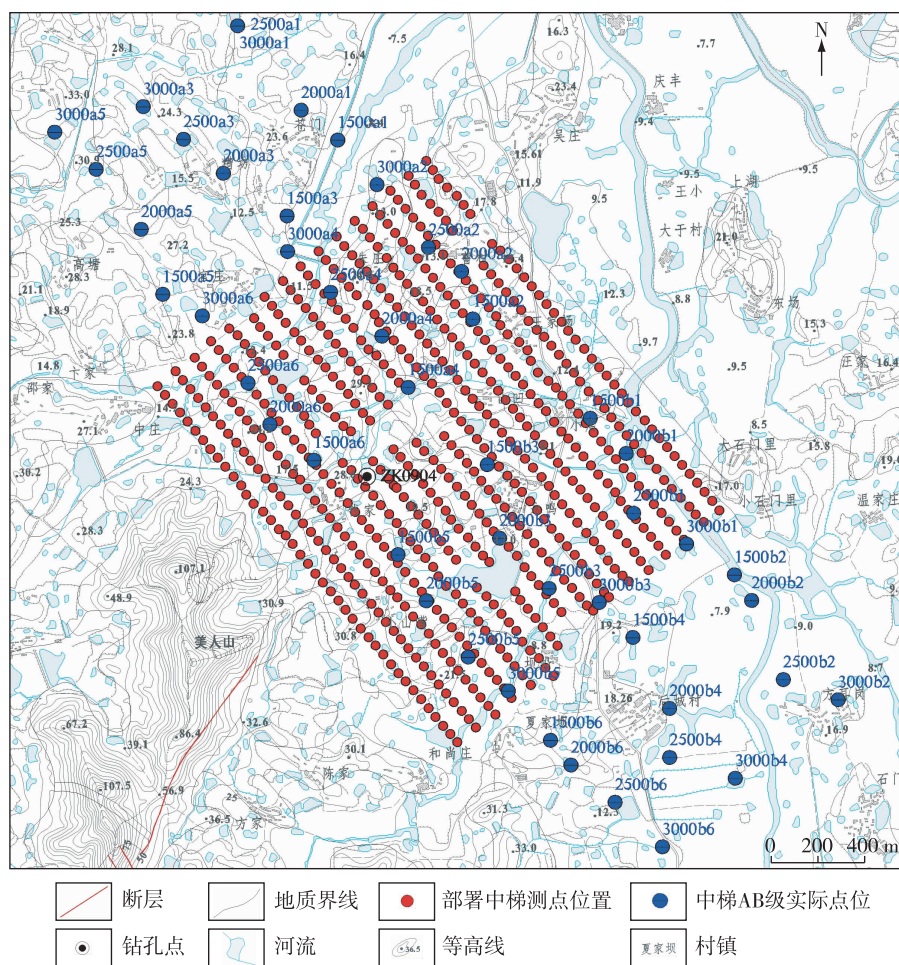


图2 吴庄工区 TDIP 法测量实际材料图

Fig. 2 TDIP measurement data map in Wuzhuang work area

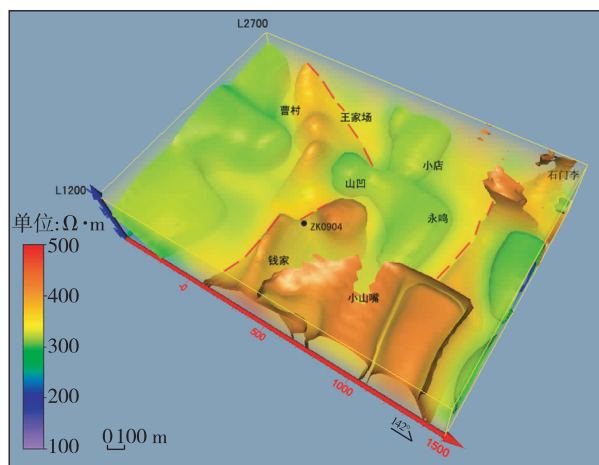


图3 吴庄工区时间域激电电阻率三维反演立体图

Fig. 3 3D inversion map of time domain IP apparent resistivity in Wuzhuang work area

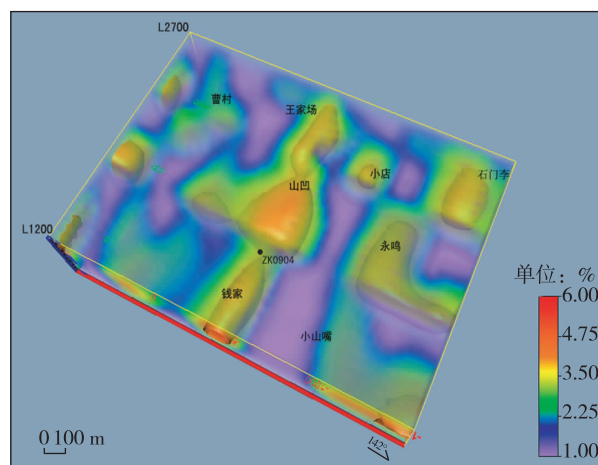


图4 吴庄时间域激电极化率三维反演立体图

Fig. 4 3D inversion map of time domain IP apparent polarizability in Wuzhuang work area

在时间域激电视电阻率三维反演立体图(图 3)上,该区主要有 2 处高阻异常带,分别为小山嘴—石门李高阻异常带和钱家—王家场高阻异常带。小山嘴—石门李高阻异常带宽度约为 400 m,电阻率极值约 $450 \Omega \cdot \text{m}$,异常带沿 NE 向展布;钱家—王家场高阻异常带宽度约为 400 m,电阻率极值约 $500 \Omega \cdot \text{m}$,异常带在山凹附近分为 2 支,一支沿曹村一带展布,宽度约为 150 m,另一支沿 NE 向展布至山凹处,异常宽度约为 250 m。

在时间域激电视极化率三维反演立体图(图 4)上,该区主要有 2 处高极化率异常带,分别为钱家—山凹—王家场高极化率异常带和永鸣—石门李高极化率异常带。钱家—山凹—王家场高极化率异常带呈 NE 走向,异常宽度约为 200 m,异常极化率极值约为 4.8%,异常带中心位于山凹处,异常宽度约为 400 m,极化率极值 $>5.5\%$;永鸣—石门李高极化率异常呈等轴状,异常宽度约为 200 m,极化率极值约为 4.8%。

上述三维反演立体图直观展示了吴庄工区电阻率异常和极化率异常的整体形态,与传统的一维、二维反演相比,不仅可以得到测线垂向的电性结构特征,也可了解整个工区的平面电性分布特征。

5 异常评价及成矿预测

5.1 异常评价

激电中梯测量结果表明,吴庄工区高极化率异常在平面上具明显的方向性,主要呈 NE 向,区内高视电阻率异常总体也呈 NE 向展布。工区周边铜井铜矿、大岭岗铜矿资料^[14]显示,该区域高阻异常是浅部构造裂隙充填硅质脉的反映,或是异常部位深部岩体向近地表隆起所致。单一的高阻异常没有找矿意义,但高阻异常对应高极化率异常,则具有重要的找矿指示意义。

综合时间域激电视电阻率、视极化率三维反演立体图(图 3、图 4),吴庄工区主要存在 3 个高阻、高极化率对应较好的激电异常区,分别为钱家—山凹激电异常区、王家场激电异常区和永鸣—石门李激电异常区。其中钱家—山凹、永鸣—石门李 2 处激电异常叠加范围较大,王家场激电异常区处于高阻异常和高极化率异常的交合处,异常叠加范围相对较小。电阻率异常显示,钱家—山凹、王家场、永鸣—石门李 3 处高低阻过渡带可能指示断裂,其中

钱家—山凹和永鸣—石门李激电异常区处于 NE 向断裂带附近,王家场激电异常区处于 NW 向断裂带附近(图 3)。3 处异常区的极化率极值均 $>3\%$,应为岩石金属矿化形成的高极化率异常。

从视电阻率、视极化率三维反演立体图(图 3、图 4)和视电阻率、视极化率系列断面图(图 5、图 6)可知,由浅至深,对应供电电极距 AB 从 1 500 m 至 2 500 m,高极化率异常范围和极值越来越大,高电阻率异常范围和极值也越来越大;当到达底部 AB=3 000 m 时,高极化率异常范围变小,且较 AB 为 2 500 m 时更加集中,推测 AB 为 2 500 m 和 3 000 m 时的勘探深度与异常体埋深最接近,即 3 处异常区均存在不同程度的金属硫化物矿(化),矿化埋深约 500 m。

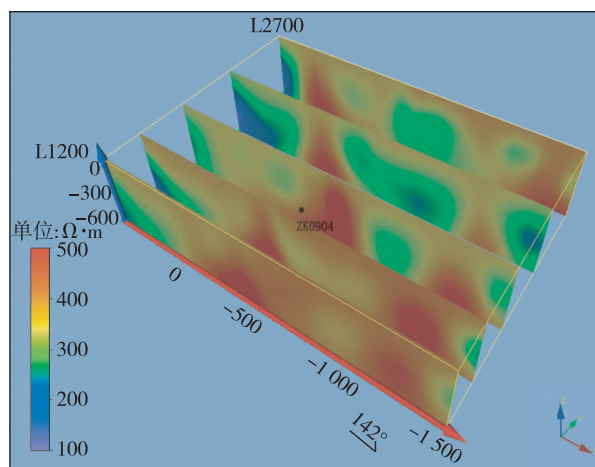


图 5 吴庄工区时间域激电视电阻率系列断面图

Fig. 5 Series section map of time domain IP apparent resistivity in Wuzhuang work area

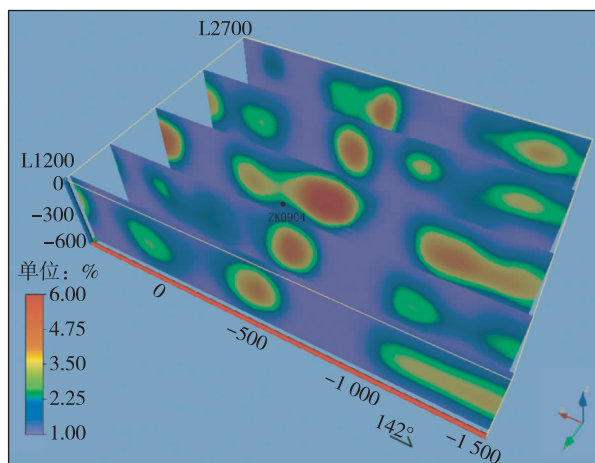


图 6 吴庄工区时间域激电视极化率系列断面图

Fig. 6 Series section map of time domain IP apparent polarizability in Wuzhuang work area

在钱家一山凹异常区中部,江苏省地质调查研究院于 2010 年已施工 ZK0904 孔,钻孔布设在 NE 向断裂带附近(图 3),极化率极值为 4%。钻孔深 901.18 m,上部 476 m 以浅为白垩纪白头山组地层,下部为大王山组地层,其中在 462~480 m 深度具连续金矿化,金含量为 $(0.11 \sim 0.14) \times 10^{-6}$,且 450~600 m 深度内普遍见硅化、黄铁矿化^[14]。

5.2 成矿预测

激电法可以直接获得金属矿体(尤其是金属硫化物矿体)或矿化体信息,多解性少,也无地形引起的假异常,在金属硫化物富集的工作区具有一定优势^[13]。根据已施工钻孔见矿情况和前人资料^[13-14],发现该区高阻、低阻异常过渡带附近极化率 $> 3\%$ 的异常区与金属硫化物矿化具有密切关系。由于 ZK0904 孔地处 NE 向断裂附近,而 NE 向断裂不是该区主要的控矿构造,所以,此处应以矿化为主。

钱家一山凹、永鸣一石门李异常区处于 NE 向断裂带附近,高极化率异常范围较大,推断这 2 处异常区可能存在较大面积的金属硫化物矿化。

前人研究表明^[14],王家场处于区域高磁异常的局部强磁异常,区域重力低异常区的相对重力高异常,推测为深部岩体隆起侵入至大王山组地层引起的重磁异常。本次工作确认王家场处于高极化率异常和高低阻异常过渡带交汇处,极化率极值约 4.8%,推测是由岩体侵入火山岩地层,其接触部位受构造作用挤压、破碎,深部矿液顺破碎带富集而形成硫化物金属矿引起的极化率异常。王家场异常区位于 NW 向断裂带附近,与宁芜北部主要铜金矿床的成矿构造一致,是成矿的有利区域。因此,推测王家场可能存在达工业品位的金属硫化物矿体,且矿体主要富集于钱家一山凹 NE 向断裂和王家场 NW 向断裂的交汇处,埋深约 500 m,建议进一步部署勘查工作。

6 结 论

(1) 吴庄工区岩体大多呈岩株或岩脉状侵入于大王山组火山岩地层中,以 NE 向断裂为主、NW 向断裂穿插分布。该区见多处高极化率、高电阻率异常,与已施工钻孔验证的金属硫化物矿化(体)具有较好的对应性。

(2) 吴庄工区王家场为成矿有利区域,建议部署 NE 向激电测深剖面,进一步查明该处深部电性

异常特征,为钻探工程布置提供依据。

(3) 通过三维反演计算可获得研究区视电阻率、视极化率三维空间信息,异常体形态更直观。与传统的一维、二维反演相比,三维反演不仅可获得水平方向电性结构特征,还可获得垂向电性分布特征。三维反演结果与已知地质体的地质特征较吻合,预测深部隐伏矿体更具有可操作性,可为深部找矿提供直观依据。

致谢: 本次研究得到中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所林品荣教授级高工、吴文鹏教授级高工、杨亚斌教授级高工、顾观文教授级高工、石福生教授级高工、龚胜平高级工程师的支持和指导;重庆地质仪器厂刘明文厂长、李丽高级工程师、刘旭川工程师给予热情帮助和支持,在此表示衷心感谢!

参考文献

- [1] 张昆,严加永,吕庆田,等.宁芜火山岩盆地及邻区上地壳电性结构研究[J].地球物理学报,2015,58(12):4505-4521.
- [2] 侯龙海.浅析宁芜北段铜矿地质特征、找矿前景与方向[J].地质学刊,2008,32(4):263-269.
- [3] 张景,陈国光,曾勇,等.综合找矿方法在宁芜北火山岩覆盖区的应用——以南门头工区为例[J].华东地质,2014,29(6):2730-2737.
- [4] 严加永,吕庆田,吴明安,等.安徽沙溪铜矿区域重磁三维反演与找矿启示[J].地质学报,2014,88(4):507-518.
- [5] 陈忠良,童劲松,吴雪峰,等.安徽运漕地区隐伏地质体三维模型构建及应用[J].资源调查与环境,2015,36(2):123-129.
- [6] 马为,林星.三维时间域激电法在新疆卡拉盖雷铜金矿勘查中的应用[J].工程地球物理学报,2015,12(2):171-175.
- [7] 向杰,陈建平,胡彬,等.基于三维地质—地球物理模型的三维成矿预测——以安徽铜陵矿集区为例[J].地球科学进展,2016,31(6):603-610.
- [8] 毛先成,张苗苗,邓浩,等.矿区深部隐伏矿体三维可视化预测方法[J].地质学刊,2016,40(3):363-370.
- [9] 袁峰,李晓辉,张明明,等.隐伏矿体三维综合信息成矿预测方法[J].地质学报,2014,88(4):630-640.
- [10] Newman G A, Alumbaugh D L. Three-dimensional magnetotelluric inversion using non-linear conjugate gradients[J].Geophysical Journal International,2000,

- 140(2):410-424.
- [11] Apel M. From 3d geomodelling systems towards 3d geo-science information systems: Data model, query functionality, and data management[J]. *Computers & Geosciences*, 2006, 32(2): 222-229.
- [12] 仇根根, 方慧, 钟清, 等. 长江中下游重要成矿区带及邻区大地电磁测深三维反演研究[J]. *地球物理学进展*, 2016, 37(3): 221-228.
- [13] 郭坤一, 陈国光, 袁平, 等. 长江中下游地区深部矿勘查方法技术示范成果报告[R]. 南京: 南京地质调查中心, 2013: 289-309.
- [14] 李相民, 仇慎平, 尚通晓, 等. 江苏宁镇地区铁铜矿远景调查物探工作报告[R]. 南京: 江苏省地质调查研究院, 2011: 32-41.

Time-domain IP 3D inversion and ore-prospecting prediction of volcanic rock coverage area in the northern Nanjing-Wuhu area: A case study of the Wuzhuang work area

ZHANG Jing, ZHU Hong-bing, DI Bing-ye, LU Sheng-mei
(Nanjing Center, China Geological Survey, Nanjing 210016, China)

Abstract: The Nanjing-Wuhu area is one of the most favorable iron-copper polymetallic areas in the Middle and Lower Yangtze metallogenic belt. High extent of exploration in this area has led to discovery of several iron and copper polymetallic deposits. However, prospecting progress has been slow in recent years. Therefore, how to make prospecting breakthrough in the Nanjing-Wuhu volcanic rock covered area has thus become a research focus and hot spot. Previous researchers employed only one-dimensional and two-dimensional time domain inversion technique to process data and interpret anomalies. Three-dimensional inversion technique has not been put into practice due to its high hardware requirements. Based on regional geological data of the work area, as well as parameter measurement and statistical analysis of physical properties of typical formations and rock specimen, time domain induced polarization (TDIP) measurement in the Wuzhuang working area was conducted using a T30 electromagnetic transmitter and an EM-R06 multi-functional electromagnetic receiver, and three-dimensional inversion of field data was performed with EM3DSPI software. Three dimensional inversion results indicate that the rock masses in the work area intruded into the volcanic rock formation of Dawangshan Formation as stocks and dykes, characterized by dominant NE-trending faults interspersed by minor NW-trending faults. Combined with mining information in surrounding areas and existing drilling data, it can be considered that Wangjiachang at the Wuzhuang work area should be favorable area for mineralization and worthy of further deployment.

Key words: coverage area; time-domain IP; 3D inversion; ore-prospecting; Middle and Lower Yangtze metallogenic belt