

doi: 10.11720/wtyht.2015.1.16
姚大为,朱威,王大勇,等.音频大地电磁法在武山外围深部勘查中的应用[J].物探与化探,2015,39(1):100-103.http://doi.org/10.11720/wtyht.2015.1.16
Yao D W, Zhu W, Wang D Y, et al. The effect of applying audio-frequency magnetotelluric method to the deep geological exploration: A case study of Wushan periphery in the Jiurui ore concentration area[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2015, 39(1): 100-103. http://doi.org/10.11720/wtyht.2015.1.16

音频大地电磁法在武山外围深部勘查中的应用

姚大为^{1,2}, 朱威¹, 王大勇¹, 王刚¹, 张振宇¹

(1. 中国地质科学院 地球物理地球化学勘查研究所 国家现代地质勘查工程技术研究中心, 河北 廊坊 065000; 2. 中国地质大学 地球物理与信息技术学院, 北京 100083)

摘 要: 根据长江中下游九瑞矿集区武山外围地区的区域地质背景、成矿条件和岩石物性特征, 在该区开展音频大地电磁测深法 (AMT) 的剖面性测量研究。首先对 AMT 原始时间域数据进行平移去噪、线性插值拟合去噪和应用经验态分解去噪, 从而达到消除噪声, 还原数据真实地电信息的目的, 然后通过傅氏变换将时间域数据转换成频率域数据, 再对频率域数据进行二维反演解释, 推测了地下 2 km 以内的电阻率差异较大的岩性接触带和断裂构造。结合该区的地质资料和钻探结果, 二维反演结果表明音频大地电磁法能够很好地探测地下目标地质体, 清晰划分出标志性地层及其分层结构。

关键词: 音频大地电磁法; 深部勘查; 地电层; 电阻率; 二维反演; 岩性接触带; 剖面性测量

中图分类号: P631 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-8918(2015)01-0100-04

矿产资源是国民经济发展的重要基础, 随着地表资源勘查开发程度的提高, 矿床发现的难度越来越大, 必须增加勘探深度, 发展深部找矿, 实现 0~2 km 深度的“透明化”, 查明成矿地质背景和主要地质控矿因素, 圈定深部成矿有利地段, 为矿集区深部第二空间找矿提供依据^[1]。这预示着未来 10 年将是深部勘查发展的关键时期, 探寻深部探测有效的地球物理方法迫在眉睫。

音频大地电磁测深法是研究地球内部电性结构的一种重要的地球物理手段, 以其探测深度大、装备轻便、布点灵活、成本低廉等优点, 成为石油、地热、金属矿勘探中的主要电磁方法^[2]。在普查填图中, 该方法可用于探测覆盖层下的地质构造, 追索断裂带和接触带, 测定高阻基岩的起伏等问题; 在金属矿勘测中, 可用于直接寻找低阻块状硫化矿体, 或与低阻硫化物共生的其他金属矿, 也可以通过研究浅部构造间接找矿; 在石油勘测中, 可与 MT 法配合, 补充 1 km 以下的电性剖面资料; 在水文地质勘测中, 可用于寻找含水构造和储水盆地, 特别是在山区用于寻找基岩裂隙水; 在探测地下 2 km 以内的

电性特征时, 可用于推断目标地质体的立体分布^[3]。笔者以长江中下游九瑞矿集区武山外围的实际工作为基础, 展示了音频大地电磁法 (AMT) 良好的应用效果。

1 研究区地质与地球物理概况

武山外围以西拱山隶属九江—瑞昌 (九瑞) 铜多金属矿带。九瑞铜多金属矿带是长江中下游铜硫铁金成矿带的重要组成部分, 位于下扬子拗陷带西段, 南、北分别与江南地块、淮阳隆起毗邻, 地处构造的转折部位。

九瑞铜多金属成矿带呈北西西向展布, 带宽约 30 km, 中轴大致在丰山洞 (湖北)—武山—城门山一线。区域地层发育较全, 除侏罗系、白垩系缺失外, 自奥陶系到第四系均有出露。其中, 奥陶系、志留系组成背斜构造的核部, 泥盆系至二叠系分布在背、向斜的翼部, 三叠系地层通常组成向斜构造的核部; 古近系仅在断陷盆地中呈零星分布, 第四系主要在长江南岸及河流、湖泊分布区广发育。

区内经历了多次地质构造活动, 晋宁运动、印支

运动和燕山运动构造活动最为强烈,分别形成了区内的基底构造和盖层构造。由于构造活动的多期、多阶段、多层次以及在空间上的继承性,控制了区内岩浆岩的多期、多阶段、多层次侵入活动和与之密切相关的成矿作用,也严格控制了岩浆岩空间展布与矿床的分布。此次所研究的拱山地区位于区内规模较大的高峰山—黄桥复向斜北翼,附近出露的地层较多,二叠系地层在地表分布较广。

表 1 为工区地层标本的电性资料。测区三叠系、二叠系和石炭系主要由灰岩,白云质灰岩,含燧石灰岩,含炭质、沥青质灰岩,炭质页岩夹透镜状灰岩,白云岩,泥质灰岩,页岩等含碳酸盐岩的地层组成,可视为高阻层。泥盆系上统为河湖相砂砾岩建造,主要岩性有石英砂岩、石英长石砂岩、含砾石英砂岩及石英砂砾岩;顶部普遍含黄铁矿,部分氧化成褐铁矿。志留系属浅海相碎屑岩建造主要由石英砂岩、长石石英砂岩、页岩夹泥岩组成,呈中、低阻。奥陶系为一套碳酸盐岩建造,下部为白云岩、白云质灰岩,上部为竹叶状灰岩、瘤状灰岩及泥质灰岩,与上覆志留系地层呈整合接触,为中、高阻层。

表 1 测区地层、岩浆岩标本电性特征

工区地层	$\rho/(\Omega \cdot \text{m})$	电性特征
古近系(E_{1-2})	2.31×10^2	低阻层
三叠系中统(T_2)	1.31×10^4	高阻层
三叠系下统(T_1)	2.68×10^4	
二叠系上统(P_2)	1.20×10^4	高阻层
二叠系下统(P_1)	2.30×10^4	
石炭系中统(C_2)	2.58×10^4	高阻层
泥盆系上统(D_3)	3.29×10^3	中、低阻层
志留系中统(S_2)	3.63×10^3	中、低阻层
志留系下统(S_1)	1.50×10^3	
奥陶系上统(O_3)	5.75×10^3	中、高阻层
奥陶系中统(O_2)	6.52×10^3	
奥陶系下统(O_1)	5.65×10^3	
震旦系上统(Z_2)	1.18×10^2	低阻层
震旦系下统(Z_1)	5.69×10^2	

岩浆岩期次	岩性	电阻率均值	电性特征
燕山早期	花岗闪长斑岩	6.79×10^2	低阻层
燕山晚期	辉绿玢岩	1.81×10^2	低阻层

2 工作方法

2.1 野外工作布置

AMT 基于大地电磁测深法原理,研究的是数千米以内的地质情况,一般在 1~10 000 Hz 范围内探测^[4-6]。工作中使用的是加拿大凤凰公司生产的 V5-2000 型大地电磁测深仪,其特点是采集时间域数据,通过 GPS (Global Position System) 控制采集时间,通常采集 5 道数据,分别为 E_x 、 E_y 、 H_x 、 H_y 、 H_z 、 x 、

y 为水平方向, z 为垂直方向。

音频大地电磁法采集的是很弱的天然电磁场信号,数据质量与测点所处环境关系很大。为获取较高质量的野外观测数据,选择测点时尽量避开了狭窄的山顶或深沟底,选在开阔的平地布极,两对电极之间的地面相对高差与电极距之比小于 10%,同时尽可能地避开了近地表局部电性不均匀体,远离电磁干扰源^[7-8]。测站的布极方式主要采用“十”字型,以消除共模干扰,但因地形等原因,有时也采用“T”字型或“L”字型(图 1)。

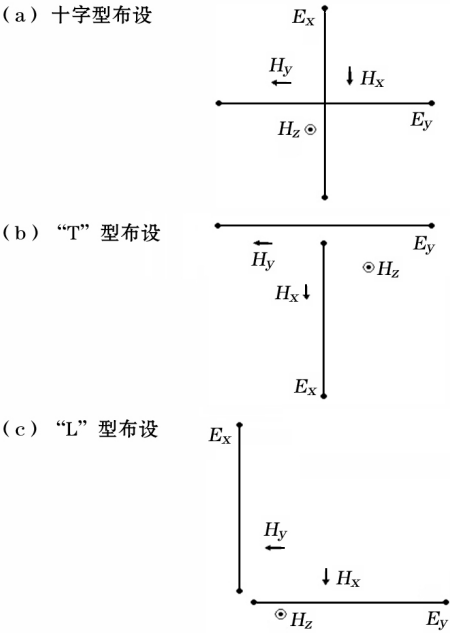


图 1 AMT 野外数据采集方法

电极埋设避开树木岩体,采用深挖电极坑、清除石块和虚土、浇灌盐水等方法,使接地电阻小于 2 k Ω 。电极线选用屏蔽线,同时防止其悬空晃动切割磁力线,产生感应电流,造成风动干扰。水平探头保持水平,两水平分量的探头相互垂直,间距大于 12 m。水平探头的埋深大于 30 cm,用土埋实。探头和仪器的连结线尽量不悬空,防止晃动造成干扰。

测线方位原则上取 x 、 y 轴分别与构造的走向和倾向平行,这样可直接测量 TE 极化和 TM 极化。该区地质构造走向近东西向,所以本次施工取正北方向为 x 轴,正东方向为 y 轴。工作中用高精度 GPS 控制测点位置,误差约在 5 m 内,用森林罗盘确定方位,保证偏差在 1°以内^[9-10]。

2.2 数据处理方法

工作区隶属九瑞矿集区,工农业比较发达,受矿山、无线电通讯设施等各种人文干扰较大,原始数据整体质量较差,存在单个频点视电阻率突跳现象,低

频段呈 45° 上升趋势且曲线光滑,表现为明显的近场效应。针对上述情况,原始数据处理采用中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所自行研发的程序 ProMT,首先进行平移去噪和线性插值拟合去噪,然后应用经验态分解去噪,从而达到消除噪声、还原数据真实地电信息的目的^[11-14]。由于噪声洞的存在,导致高频段数据部分频点的视电阻率方差较大,曲线不够光滑,同时相位曲线相对于阻抗曲线更不易受地形影响和发生静态位移^[15],在数据处理过程中,采用依据天然场相位编辑互功率谱的方式,使曲线更加圆滑,且保留了数据的客观性。

原始数据预处理完成后,进行二维视电阻率反演。AMT 数据的二维视电阻率反演有三种模式——TE 模式、TM 模式及 TE 与 TM 联合模式。如果原始数据很好,TE 与 TM 联合模式反演效果最佳,否则反演时曲线拟合误差较大,达不到预期效果^[16]。根据近年来项目组在九瑞地区的工作经验和该地区的地质情况,断裂构造和地质体大体上成东西走向,笔者对 TE 与 TM 两种模式进行了二维视

电阻率反演计算,通过对比分析,最后认为 TM 模式二维视电阻率反演效果最为理想。

3 AMT 资料解释结果与分析

物探立体地质填图是在物探技术能力所及的地下范围内,探测主要目标地质体,并给出其立体分布状况和结构的推测。长江中下游地区的目标地质体主要为 C—T 地层、火山盆地中的火山岩次火山岩、隐伏岩体、盆地基底界面和主要断裂、褶皱构造等。根据项目组在该区近年的研究结果,武山外围区域的目标地质体为石炭系及其上覆地层所组成的高电阻率层、泥盆系与志留系所组成的中低电阻率层以及分布在该区的断裂构造。

为验证上述推测,在测区 L2 线的 4 km 处布设了一个验证钻孔 ZK1,具体位置见图 2,钻探结果如图 3 所示。笔者选取 L2 线和其两侧相距 1 km 的 L1、L3 共三条剖面进行了二维视电阻率反演,绘制出 AMT 二维反演电阻率断面(图 2)。

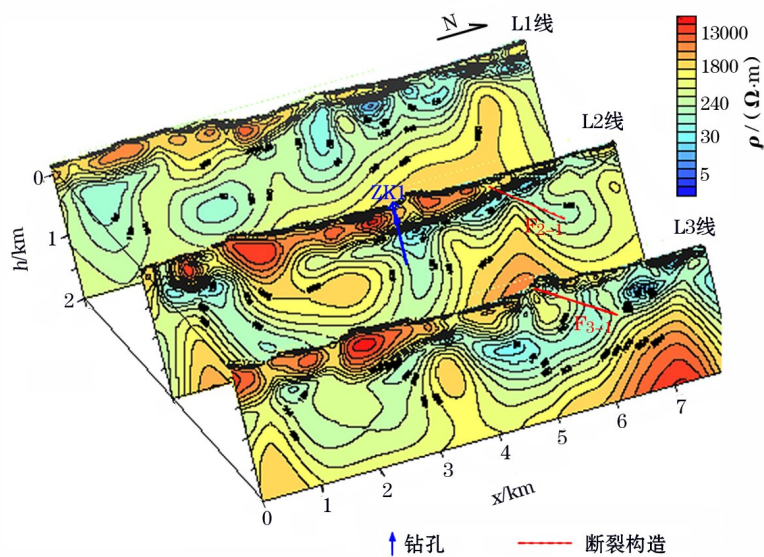


图 2 L1~L3 线 AMT 二维反演电阻率断面

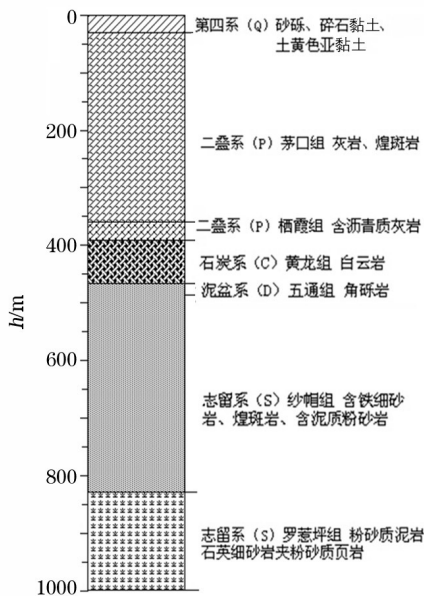


图 3 ZK1 钻探结果

总体上看,地表地形由南至北大体上呈低—高—低—高—低的态势分布。测区从地表到地下 2 km 范围内电阻率大体分为 3 层,表现为 H 型(电阻率高—中低—中高分布):浅部为一层高电阻率层,南厚北薄,最厚处可达 800 m,沿测线由南向北逐渐变薄,大致在 6 km 处尖灭;其下为一层中、低电阻率层,也呈现出南厚北薄的特点,南部埋深较深,约 1 km,北部埋深逐渐变浅,最后在 6 km 以后基本出露地表;这层中、低电阻率层之下,出现一层中、高电阻

率层,呈现出南薄北厚的特征,北部埋深较浅,南部埋深较深,部分已经在本次反演的 2 km 深度上显示不出。

在 L2 线的 6 km 处有 1 条北倾断裂 F_{2-1} ,在 L3 线的 5 km 处也有 1 条北倾断裂 F_{3-1} , F_{2-1} 断裂构造较之 F_{3-1} 断裂构造,更为陡立一些。这些断裂的推断结果和当地的地质资料基本吻合。

结合区域地质、钻探资料和电阻率特征,认为图 2 中浅部的高阻异常为三叠系、二叠系和石炭系岩

层的反映;中部中、低阻异常为泥盆系和志留系岩层的反映;最下面中、高阻异常应该是奥陶系和震旦系地层的反映。由 ZK1 验证结果(图 3)可以看出,对该区 AMT 数据的二维反演结果和验证结果吻合得很好,尤其是在目标地质体的厚度上:在钻孔处的反演厚度为 500 m 左右,图 3 中石炭系与泥盆系的接触带在 400~500 m 之间。

4 结论

通过对该区的观测、解释以及与钻探资料的对比,表明在研究区使用音频大地电磁法,基本上能够探测地质上的主要目标地质体——三叠系、二叠系和石炭系岩层组成的高阻层和泥盆系、志留系岩层组成的低阻层,同时,还可以反映出地下地质构造的轮廓,特别是断裂构造和岩性电阻率差异较大的岩性接触带,为深部探测提供良好的地球物理基础资料,为今后在类似区域深入开展深部勘探工作提供了可以借鉴的地球物理方法。

参考文献:

[1] 张立,丁凯.从“二维”到“三维”我国地质填图迈入新时代[N].中国矿业报,2011-08-30.
[2] 杨长福,徐世浙.国外大地电磁研究现状[J].物探与化探,2005,29(3):243.
[3] 魏文博.我国大地电磁测深新进展及瞻望[J].地球物理学进

展.2002(02).
[4] 赵国泽,陈小斌,马霄.中国地球电磁法新进展和发展趋势[J].地球物理学进展,2007,8(4):1171-1180.
[5] L 卡尼亚.大地电磁法地球物理勘探的基本原理[C]//大地电磁测深译文.北京:地质出版社,1987.
[6] 严良俊,胡文宝,杨绍芳,等.电磁勘探方法及其在南方碳酸盐岩地区的应用[M].北京:石油工业出版社,2001:24-30.
[7] 晋光文,孙洁,王继军.地形对大地电磁测深资料的影响[J].地震地质,1997,19(4) .
[8] 孙洁,晋光文,白登海,等.大地电磁测深资料的噪声干扰[J].物探与化探,2000, 24(2):119-127.
[9] 胡家华,陈清礼,严良俊,等.MT 资料的噪声源分析及减小观测噪声的措施[J].江汉石油学院学报,1999,21(4).
[10] 覃庆炎,王绪本,罗威.EMD 方法在长周期大地电磁测深资料去噪中的应[J].物探与化探,2011,35(1):113-117.
[11] 朱威,范翠松,姚大为,等.矿集区大地电磁噪声场源分析及噪声特点[J].物探与化探,2011,35(5).
[12] 胡家华,陈清礼,严良俊,等.MT 资料的噪声源分析及减小观测噪声的措施[J].江汉石油学院学报,1999(4).
[13] Tradand D O, Travassos J M. Waveletfilteringofmagnetotbl-luricdata[J].Geophysics, 2000, 65.
[14] 肖晓,汤井田,周聪,等.庐枞矿集区大地电磁探测及电性结构初探[J].地质学报,2011(5)
[15] 朱仁学.大地电磁测深中相位微分的研究[J].地球物理学报,1999, 42(增刊):209-218.
[16] 胡祥云,李凤林,兰险,等.新疆干旱地区综合电磁法找水应用研究[C]//中国地球物理学会第十八届年会论文集,2002:144.

The effect of applying audio-frequency magnetotelluric method to the deep geological exploration: A case study of Wushan periphery in the Jiurui ore concentration area

YAO Da-Wei^{1,2}, ZHU Wei¹, WANG Da-Yong¹, WANG Gang¹, ZHANG Zhen-Yu¹

(1. National Center of Geological Exploration Technology, Institute of Geophysical and Geochemical Exploration, CAGS, Langfang 065000, China; 2. School of Geophysics and Information Technology, China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

Abstract: According to the geological background, metallogenic conditions and petrophysical characteristics in the surveyed area, three-dimensional geological mapping was studied by Audio-frequency Magnetotellurics Method (AMT). Based on AMT raw data processing and inversion interpretation, the authors inferred the underground resistivity differences of lithology and fracture structure within 2 km from the contact zone. Combined with the geological data and drilling results, the authors hold that the audio magnetotelluric method is good for detecting the underground geological body, clearly recognizing the marker bed of geoelectric layer and its hierarchical structure.
Key words: Audio-frequency Magnetotelluric Method (AMT); deep exploration; geoelectric layer; resistivity; two-dimensional inversion; lithologic contact zone; profile measurement

作者简介: 姚大为(1984-),男,助理工程师,中国地质大学(北京)在读硕士研究生,主要从事地球物理电磁法方法技术研究工作。E-mail:yaodawei2012@163.com;yaodawei@igge.cn。