

音频大地电磁测深在呼德生地区的应用

贾波

青海省有色第四地质勘查院 青海 西宁 810007

摘要:综合分析已有资料,在地表覆盖较厚的C8磁异常补充相应的音频大地电磁测深工作,通过对所采集的AMT剖面数据进行平滑去噪处理,并采用五点滤波法进行静态效应校正,利用MTPioneer软件采用非线性共轭梯度法进行二维反演,依据反演结果并结合近几年区内的地质资料,了解工作区东部超基性岩的侵入关系、产状及空间分布,总结快捷有效的工作方法和工作思路,评价本区的找矿远景。

关键词:音频大地电磁测深;资料处理;超基性岩体

引言:音频大地电磁测深法(Audio-frequency Magnetotellurics,简称AMT)(陈乐寿和王光镔,1990)是利用天然交变电磁场研究地球电性结构的一种地球物理勘探方法^[1]。音频大地电磁测深利用频率范围很宽($10^{-4} \sim 10^4$ Hz)、无需人工场源、成本低、效率高、不受高阻层屏蔽、对低阻层分辨率高,且其勘探深度与频率有关,高频电磁波穿透浅,浅可达几十米,低频电磁波穿透深,深可至数百公里。可根据电阻率随深度或频率变化绘制等值线断面图以及推断的地质断面图(王斐斐等,2020.夏璐,2016.黄磊等,2009.)^[2]。本文利用音频大地电磁法对呼德生地区进行勘探,通过对所采集的两条AMT剖面数据进行二维反演,分析研究区内的主要构造的电性特征,查明深部岩性分层情况。

1 区域地质背景

工作区位于秦-祁-昆成矿域(Ⅰ)东昆仑成矿省(Ⅱ2)赛什腾山-阿尔茨托山,加里东期、印支期铅、银、钨、锡、钨、锡、铬、煤(铜、钴、稀土)成矿带内,在漫长的地质年代中经历了多次强烈的构造变动,形成复杂的构造形迹,断裂主要以北东东向、近东西向和北西向为主^[3]。侵入岩分布广泛且规模大,且类型繁多,从超基性-中酸性均有出露,区内出露地层主要为古元古界金水口群片岩、片麻岩及中元古界万洞沟组大理岩,构造以近东西向、北西向断裂构造为主,岩浆岩以晚奥陶世基性-超基性岩、早二叠世的闪长岩体、晚三叠世花岗岩(吴利仁,1963),成矿条件优越,找矿前景良好^[4]。

呼德生岩体位于柴北缘造山带欧龙布鲁克微陆块东南缘,侵位于古元古代金水口变质岩群中。该岩体从中心到边缘依次出现橄榄岩→辉石岩→辉长岩的岩相分带特征,岩石主要类型有纯橄岩、橄榄二辉岩和辉长岩,各岩石之间多为过渡接触关系,镍铜矿化主要赋存于辉石岩中(钱兵等,2017a;钱兵等,2017b)^[5]。

2 地球物理特征

2.1 电物性特征

结合以往物性资料分析,各类岩石之间的电阻率平均值差异较小,其中粗粒辉长岩电阻率值平均值最高,其平均值为 $1439.8\Omega \cdot m$;橄榄辉长岩、构造角砾岩、钾长花岗岩其次,电阻率平均值分布在 $1200-1300\Omega \cdot m$ 之间;辉长岩的电阻率平均值最小为 $1017.6\Omega \cdot m$ 。橄榄岩电阻率最小为 $20\Omega \cdot m$,最大为 $2492.1\Omega \cdot m$,相差超过100倍,由此可见橄榄岩所含良导电矿物间的连通关系差别很大(张定胜,2019)^[6]。

3 质量评述

3.1 平行实验

在本次音频大地电磁测深法(AMT)开展野外工作前和收工后均做了平行试验,开工前后平行试验检查仪器通道相关性波形图,两个道间的波形形态和强度均基本一致,且测定结果视电阻率相对误差为1.24%、1.98%,相位相对误差为1.74%、1.65%,符合规范要求,说明该仪器各道工作稳定,保证了本次AMT测量数据的可靠性。

3.2 极距实验

本次野外施工前进行了电极距试验,主要根据观测信号强弱、当地噪声水平并结合以往AMT采集数据经验,电极距在40~150m之间效果较理想,本次试验工作在20~150m之间选择了3个(40m、70m、100m)不同极距进行。经试验3个极距曲线质量均满足I级要求,且测量结果相差甚微,一般情况下较大的接收极距能减小部分地表不均匀地质体的静态效应和增强接收信号,但在本工区极距为40m时测量效果最好,曲线连续光滑,最低频率达到截止频率0.1Hz。因此综合数据质量和工作效率等因素选择40m作为最终接收极距。

3.3 观测时间实验

本次勘查工作设计探测深度1000m,而由以上试验可

知,工区主要辉长岩电阻率背景值约 $1000\Omega\cdot\text{m}$,根据音频大地电磁测深探测深度经验公式(如下式3-1)计算可知本次工作的截止频率可在0.1-1Hz之间。

$$h = 356 \sqrt{\frac{\rho}{f}} \quad (3-1)$$

为了保证采集数据的质量,增加频点叠加次数,压制部分电磁干扰,在本次施工前进行了观测时间试验。观测时间试验结果显示,采集时间2小时的曲线较为光滑,但部分频率处(特别是低频段0.4Hz以下)数据误差棒较大,为叠加次数不够引起;采集时长3小时曲线圆滑、连续,最低频率能达到0.2Hz;当采集时长达到6小时,曲线圆滑、连续性都很好,差异不大,最低频率能达到0.1Hz。^[7]根据探测深度2000m估算的最低截止频率为0.1Hz,故本次施工采集时间至少为3小时。本次音频大地电磁测深野外工作时,根据各测点实际情况,所有测点采集3小时~8小时,保证了每个频点都有足够的叠加次数,保证了原始数据的可靠性。

4 资料解释分析

4.1 资料处理

资料预处理包括野外资料的整理和数据预处理。在野外施工时依照音频大地电磁测深系统规范进行测量,需记录好每个测点实测坐标、高程、接地电阻、极差、极距、周围地质情况、有无干扰源、测量时间等,回到室内导出野外原始数据,为了获得更高质量的数据处理结果在室内利用Aether仪器自带的prMT处理软件进行,首先检查校正数据道头信息(线号、点号等),并按点线号进行数据集成^[8]。然后进行陷频滤波及切除时间序列明显坏段,再进行傅里叶变换。最后进行Robust阻抗估计,对于部分叠加效果不好的点进行交互变换(张弛,2013;马海荣等,2016),利用实部-虚部、相关性-电阻率、相关性-相位、傅里叶系数-电阻率误差、傅里叶系数-相位误差,去除离群点,以突出有用信号,抑制干扰,提高资料的信噪比。在保证野外资料质量的情况下,对数据进行数据预处理,包括对数据编辑、曲线的圆滑、静态校正等(黄书华等,2022)。

4.2 数据反演

常用的反演方法有Bostick反演、OCCAM反演、快速松弛反演(RRI)、自适应正则化及非线性共轭梯度法(NLCG)反演(邓琰和汤吉,2019)^[9]。一维自适应正则化反演是一种具有代表性的近似反演方法,基于AMT测深曲线低频渐近线的性质,将视电阻率随频率变化的曲线转换成随深度变化的曲线,它可以提供与实测视电阻率曲线相对应的电阻率随深度变化的地电模型。OCCAM反演对初始模型依赖程度小,成像效果良好,但

缺点是由于其需要直接计算雅可比矩阵,因此反演速度非常慢。因此以一维自适应正则化反演做地电模型,用NLCG方法的反演结果更接近当地地下地质情况,所以本次物探选择了此种方法的结果用于解释。本次工作采用MTPioneer系列软件进行资料处理,然后进行定性分析。

4.3 推断解释

为了研究深部电性结构、探测潜伏岩体范围及划分次级构造,我们择优选取该区岩体(磁异常)开展了音频大地电磁测深(AMT)工作,点距20-80m,异常地段适当加密。

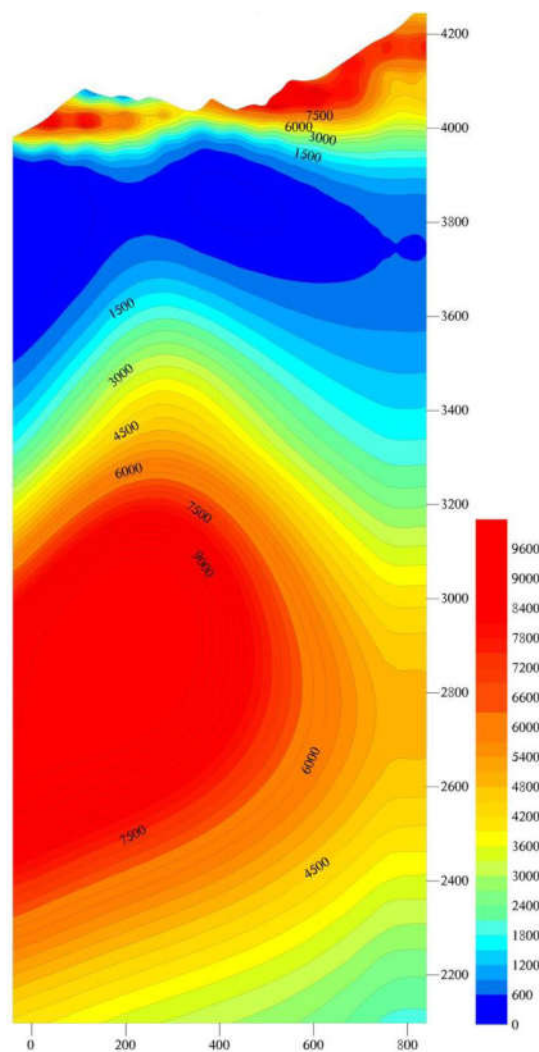


图4-1 AMT1音频大地电磁测深剖面综合解译图

由AMT二维反演电阻率综合图(图4-1)可知,电阻率等值线纵、横向差异都较明显,特别是纵向差异具有明显电性差异,在浅部有一层低阻层^[10]。通过从已知钻孔的剖面,测定出辉石橄榄岩、橄榄岩视电阻率 $>5000\Omega\cdot\text{m}$,橄榄辉石岩视电阻率 $1000-4500\Omega\cdot\text{m}$;辉石岩视电阻率 $3500-6500\Omega\cdot\text{m}$,辉石岩+破碎蚀变带视

电阻率 $< 500\Omega \cdot m$ ；辉长岩（+破碎蚀变带）视电阻率 $500-1000\Omega \cdot m$ ，辉长岩+斜长岩+大理岩视电阻率 $1500-4500\Omega \cdot m$ ，斜长岩视电阻率 $2500-4500\Omega \cdot m$ 。通过对以往激电资料对比，在 $0-200m$ 、 $500-800m$ 处激电剖面呈现高阻，与 AMT 断面图近地表的相对高阻相对应。综合分析认为：钻孔中的岩性与 AMT 数据对应较好，标高 $3900m$ 以上为出露于近地表的超基性岩体，标高 $3400-3900m$ 多为基性岩体（非主岩体），超基性岩体主要赋存在标高 $2200-3400m$ 的位置，岩体顶端埋深 $800-1000m$ ，整体呈南东走向并有向南东下倾的趋势，验证了本次工作推导地层分界及岩体范围的准确性^[11]。

经过 AMT1 音频大地电磁测深剖面与钻孔资料对比，验证方法有效性后，我们在 C8 磁异常布设了一条长 $2320m$ 的音频大地电磁测深剖面，点距 $80m$ ，现将总体剖面分别解释如下：在剖面 $0-1400m$ 处浅部有一层低阻电性体，其电阻率值在 $200\Omega \cdot m-750\Omega \cdot m$ 之间，在 $200m$ 及 $1000m$ 处有水系通过，为第四系及含水地层导致，厚度大约为 $260m$ ；在剖面 $700m$ 、 $1200m$ 及 $1400m$ 处近地表存在相对高阻体，电阻率在 $1200-2500\Omega \cdot m$ 之间，地表出露（橄榄）辉石岩，推测由其引起，其中 $1400-1700m$ 处电阻率值在 $1500\Omega \cdot m-2700\Omega \cdot m$ 之间，地表出露（橄榄）辉石岩并向下延伸，宽度从 $300m$ 逐渐增大为 $2000m$ ，最终在深部形成椭球状高阻体，顶端埋深约为 $900m$ ，中心位置标高约为 $2900m$ ，其埋深深度及中心位置与 AMT1 所推测的超基性岩体呈南东走向并有向南东下倾的趋势相吻合，遂推测其为超基性岩体^[12]。

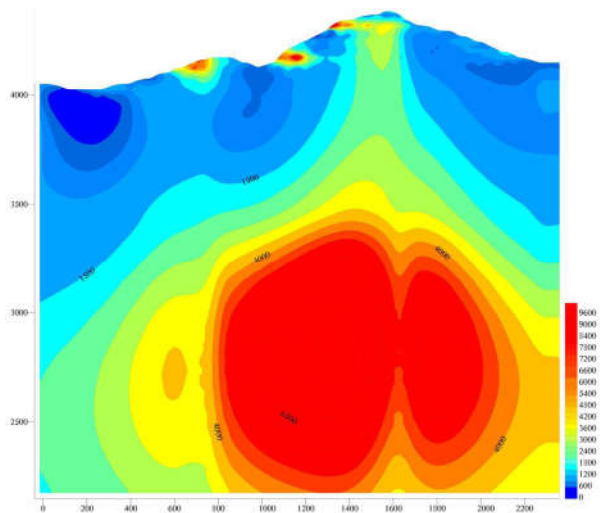


图4-2 AMT2音频大地电磁测深剖面综合解译图

综合分析本区镁铁-超镁铁质侵入岩体的分布特征、岩石学特征、矿物学特征及矿化特征（董俊等，2017；孔德岩等2014），认为本区岩体具有阿拉斯加型岩体的特征^[13]。结合前期预查工作和本次物探工作成果，以及

全区6处1:1万磁异常为本区面上找矿提供的有利靶区和可拓展的空间内发现的3处超基性岩体产出，认为以往工作只对岩体西部出露部分进行了钻孔验证工作，而主岩体位置更深并有向东南倾覆的趋势，对比阿拉斯加型岩体PGE矿化的特征，认为本区属于贫铜镍等硫化物而富PGE矿化，因此很有必要对岩体进一步进行勘查工作，加强工程控制，了解岩体中心部位含矿性，进一步查明岩体深部分布规律，进而指导其它岩体找矿，力争该区在阿拉斯加型岩体的PGE矿上取得突破^[14]。

参考文献

- [1]董俊, 黄华良, 尹建华, 李世金, 田承盛.2017.东昆仑石头坑德镁铁-超镁铁质岩地质特征及成矿条件分析[J]. 西北地质, 50(2): 49-60.
- [2]钱兵, 张照伟, 王亚磊, 弥佳茹, 水应东.2017.柴达木北缘东段呼德生镁铁-超镁铁质岩体锆石U-Pb年代学、地球化学及成岩成矿分析[J].地质与勘探.53(05)
- [3]钱兵, 张照伟, 刘会文, 邵继, 王亚磊.2017.柴达木西北缘古生代镁铁-超镁铁质岩体Cu-Ni成矿条件与找矿潜力分析[J]. 西北地质, 50(01): 39-53
- [4]张定胜.2019.综合物探方法在呼德生地区铜钴镍矿预查中的应用研究[D].中国地质大学(北京).03: 1-65
- [5]黄书华, 杨吉武, 赵立波.2022.大地电磁法在中山某地区隐伏断裂探测中的应用[J].化工矿产地质.44(04): 322-327
- [6]陈乐寿, 王光镔. 1990. 大地电磁测深法[M]. 北京: 地质出版社.
- [7]王斐斐, 李涛, 董耀. 2020. 音频大地电磁测深方法在商丘南部隐伏断裂探测中的应用[J].地震地磁观测与研究. 41(05): 33-42.
- [8]夏璐. 2016. 音频大地电磁测深静态效应的响应特征分析及其识别与校正[D].北京: 中国地质大学(北京).
- [9]黄磊, 余东俊, 裴尼松.2009.大地电磁(MT)测深在镇巴地区的应用[J].化工矿产地质. 31(03): 180-182.
- [10]吴利仁. 1963.论中国基性岩、超基性岩的成矿专属性[J]. 地质科学,1963(01): 29-41
- [11]孔德岩, 胡莹. 2014. 青海省东昆仑夏日哈木矿区铜多金属矿床地质特征及控矿因素[J]. 青海大学学报(自然科学版), 32(6):64-65.
- [12]张弛.2013.大地电磁数据质量评价与阻抗估计[D].中南大学
- [13]马海荣, 王世彪, 郭荣文, 柳建新.2016.大地电磁阻抗计算方法进展[J].工程地球物理学报.13(04): 23-28
- [14]邓琰, 汤吉.2019.音频大地电磁测深方法数据处理进展[J].地球物理学进展. 34(04): 1411-1422