第46卷第4期 2022年8月

doi: 10.11720/wtyht.2022.1429

伍显红,许第桥,李茂.宽频大地电磁法在二连盆地铀矿资源评价中的试验应用[J].物探与化探,2022,46(4):830-837.http://doi.org/10. 11720/wtyht.2022.1429

Wu X H, Xu D Q, Li M. An application test of broadband magnetotelluric method (BMT) for the evaluation of uranium resources in the Erlian Basin[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2022, 46(4):830-837.http://doi.org/10.11720/wtyht.2022.1429

宽频大地电磁法在二连盆地铀矿资源 评价中的试验应用

伍显红^{1,2},许第桥^{1,2},李茂^{1,2}

(1.核工业航测遥感中心,河北石家庄 050002; 2.中核集团铀资源地球物理勘查技术中心(重点 实验室),河北石家庄 050002)

摘要:基于二连盆地砂岩型铀矿大基地建设需要,在满都拉图地区开展了BMT试验应用,旨在研究该方法在2000 m 以浅的探测能力及效果,为区内铀矿资源评价提供有效的技术支撑。通过试验区方法数据采集时间及最低频率测试,为兼顾工作效率与效益,最终确定最低探测频率为0.10 Hz、观测时间为60 min,可确保二连盆地探测深度达到1500~2000 m 的要求,满足地质任务的需要。方法试验结果与钻孔及浅层地震勘探资料对比分析结果表明: BMT 在解决盆地盖层结构、基底构造与目的层砂体发育特征以及断裂构造等地质问题上具有可行性,论证了方法的有效性。

0 引言

"十五"以来,随着我国铀矿找矿工作向深部 "第二空间"的不断深入,对深部地质探测技术提出 了更高的要求与挑战,如盆地个别次级构造单元中 需解决1500~2000m深的盖层结构、基底构造与目 的层砂体发育特征以及断裂构造等地质问题^[1-3], 而目前铀资源评价中常采用的可控源音频大地电磁 法(CSAMT)、高频大地电磁法(EH-4/AMT)等深部 地质探测技术,因方法本身存在的诸如场源引起的 近区效应、频带窄、频点稀等技术问题,以及某些覆 盖区厚低阻层(如松辽盆地北部、二连盆地)对电磁 波的吸附效应,造成上述方法在实际应用中出现探 测深度偏浅、分辨率低、岩性分层效果差等情 况^[4-5],有时难以达到地质目标任务的预期。因此, 为适应新时代铀资源评价工作对深部地质勘查技术 的新需求,拓展新技术、新方法、新仪器的应用,不断 提升深部地质探测能力就十分必要,且势在必行。

宽频大地电磁法(BMT)通过宽频(10⁻²~10⁴ Hz)数据采集,基本实现 AMT 和 MT 同步采集,在有 限的时间内既获得了较为丰富的数据资料,又提高 了探测深度与精度^[6-7]。基于二连盆地砂岩型铀矿 大基地建设以及铀矿资源勘查与评价需要,为提升 铀矿勘查效果与效益,在盆地满都拉图地区开展了 宽频大地电磁法(BMT)试验应用,以期整体提高对 盆地深部的地质探测能力,为区内铀矿资源勘查与 评价提供有效的技术支撑。

1 方法简介及探测频率范围对比

BMT 的基本原理(图 1)与 MT 和 AMT 的测量 原理相同,依据不同频率的电磁波在导体中具有不 同的趋肤深度,在地表测量由高频至低频的地球电 磁响应序列,经过相关的数据处理和分析来获得大 地由浅至深的电性结构。

收稿日期: 2021-08-06; 修回日期: 2022-02-22

通讯作者: 李茂(1963-),男,正高级工程师, 主要从事地球物理勘查找矿工作。Email:Im703@126.com

第一作者: 伍显红(1969-),男,高级工程师, 主要从事铀矿勘查、工程物探工作。Email: Xuliang16@126.com



图 1 BMT 原理示意^[8] Fig.1 Schematic diagram of BMT principle

BMT 与 EH-4/AMT、MT 均为天然场采集方法, 不需要人工场源,只是频率范围不同,从而引起其探 测深度和分层精度不同。4 种方法数据采集频率范 围如图 2 所示。

EH-4/AMT 数据采集频率范围为 10~100 kHz,



图 2 不同电磁法探测频率范围示意



CSAMT 数据采集频率一般为 0.5~10 kHz, MT 数据 采集频率范围在 10⁻³~340 Hz。而 BMT 数据的采集 频率范围,根据铀矿勘查工作需求初步设定在 10⁻² ~10 kHz,可同时兼顾 EH-4/AMT 的中高频段与 MT 低频段,增大了深部信息。

CSAMT 采用的是人工场源,其优点是信号强、 稳定、抗干扰强,但易受近场影响。由于受收发距及 发射电流的限制,对于盆地中大于1000 m 的厚覆盖 区,小于1.0 Hz 的频点因电磁场信噪比低,采集的数 据已基本不可信,因此其低频段相较于 BMT 要窄。

MT 单个测点数据采集耗时最长,探测深度最大,但浅部为盲区;EH-4/AMT 最低频率最高,单个测点数据采集耗时最短,探测深度最浅,但浅部信息 丰富;CSAMT 探测深度中等,单个测点数据采集耗时较短,且中浅部信息丰富;BMT 具有 MT 和 AMT 的双重优点,探测深度较大,是一种深部和中浅部兼 顾的电磁方法^[8-9]。

2 试验区地质概况及岩石电阻率特征

试验区位于乌兰察布坳陷的北东部次级构造单 元准棚凹陷中。根据钻探及周边地质资料^[10],基底 地层主要由古元古界、新元古界、上古生界、下古生 界及加里东—燕山期侵入岩组成,沉积盖层包括下 白垩统、古近系始新统、新近系和第四系(图3)。

下白垩统包括阿尔善组、腾格尔组和赛汉组,其 中赛汉组为本坳陷主要的含矿层位。阿尔善组 (K₁a)主要发育冲积扇和扇三角洲沉积体系,岩性



图 3 试验区地质简图 Fig.3 Geological aketch of test area

为紫色、灰白色砾岩、含泥砂质砾岩夹灰绿色、棕红 色、深灰色泥岩。腾格尔组(K₁t)主要为湖相沉积, 岩性为砂岩、砂砾岩及深灰色泥岩。赛汉组(K₁s) 主要为一套河流—沼泽相沉积,与下伏腾格尔组和 上覆地层均呈不整合接触。其下段为灰色泥岩夹炭 质泥岩和褐煤层,在底部见砂质砾岩层;上段为绿灰 色、灰色砂质砾岩、含砾砂岩夹灰色或棕红色泥岩, 是二连盆地主要找矿目的层。

古近系始新统(E₂)岩性主要为灰绿色砂岩、砂 质砾岩、泥岩,并夹有砖红色砂质泥岩及灰黄色、灰 白色砂岩、砂质砾岩。

新近系包括中新统通谷尔组(N₁t)与上新统宝 格达拉组(N₂b)。中新统下部岩性以浅黄色、灰白 色、浅灰绿色含砾粗砂岩、砂质砾岩为主;上部为灰 白色砂岩与杂色泥岩互层,局部夹有泥灰岩。上新 统以洪泛沉积为主,岩性主要由褐红、浅红、浅绿、黄 绿色块状泥岩、粉砂岩组成,局部夹薄层砂岩、泥砾 岩,通常可见钙质结核、锰质斑点和结核,植物根系等,厚度稳定。

第四系主要为风成砂、砾岩。

断裂与褶皱构造在老地层中较发育,构造线方向 以 NE 向为主,NW 向其次,凹陷中构造形迹不明显。

表1为近年来核工业二〇八大队二连盆地钻孔 测井电阻率资料统计结果^[11-12]。由表可见:①第四 系沉积物的电阻率变化较大,整体表现为相对中高 阻特征,但其分布较为局限,厚度一般小于10m。 ②新近系与古近系整体表现为相对中高阻特征。③ 下白垩统赛汉组上段以砂岩为主,表现为相对中阻 特征;下段以细粒沉积物为主,表现为相对中阻 特征;下段以细粒沉积物为主,表现为相对低阻特 征。下白垩统阿尔善组与腾格尔组主要为砂岩夹泥 岩、粉砂岩,由于岩石埋藏深及压实作用,整体表现 为相对中阻特征。④前白垩纪基底变质岩与火成岩 类电阻率均较高,整体表现为高阻特征。由此可见, 试验区地电特征明显,为方法试验提供了物性基础。

表1 岩石电性参数测量统计

	•	
地层	岩性	电阻率/($\mathbf{\Omega}$ ・m)
第四系(Q)	冲洪积物、砂砾石、风积物	3~300
新近系(N)+古近系(E)	泥岩、砂质泥岩	6~15
	松散含砾粗砂岩、粗砂岩	20~150
	砂砾岩、砾岩	20~70
下白垩统赛汉组(K ₁ s)	上段:含砾砂岩、砾质砂岩夹粉沙岩和薄层泥岩	10~40
	下段:泥岩、层状粉砂质泥岩夹含砾砂岩	6~12
下白垩统阿尔善组(K ₁ a)	砂砾岩夹泥岩	10~25
下白垩统腾格尔组(K ₁ t)	砂岩、泥岩、粉砂岩	10~25
火成岩与变质岩	花岗岩、玄武岩、安山岩、板岩等	>50

3 测量装置与参数测试

3.1 数据采集装置

使用仪器为 MTU-5A 多功能电法仪 2 套,包括 MTU-5A 盒子 2 台, MTU-2EA 盒子 4 台, MTC-150L 宽频磁信号传感器 4 个。

BMT 测量装置与 AMT、MT 布极方式相同,采

用"一拖二"张量观测方式,即1台 MTU-5A 带2 台 MTU-3EA 盒子。MTU-5A 上测量2个电道和2 个磁道, MTU-3EA 盒子只测2个电道,磁道与 MTU-5A 共用(图4); E_x 、 H_x 方向与测线方向一致, E_y 、 H_y 方向与测线方向垂直。布极方位采用森林 罗盘仪测定,布极方位误差小于1°;测距仪测量电 极距(MN=50 m),极距误差小于1%。



图 4 BMT 测量集装置示意

Fig.4 Schematic diagram of BMTmeasuring device

3.2 采集时间及最低频率选择试验

为确保有效探测深度达到 1 500~2 000 m 的要 求,在试验区准棚凹陷中心 E14-5 号钻孔旁进行了 数据采集测试,测试时间为连续观测 10 h。考虑到 方法工作效率与效益,分别提取了 40 min、60 min、80 min 3 个不同观测时段得到的视电阻率测深曲线。 如图 5 所示,3 个不同观测时段的测深曲线形态基 本相同,10³~10⁵ Hz 为天然场盲区,信号不佳,测深 曲线连续性相对较差,由于为浅部信息,数据处理中 通过圆滑可基本消除对资料解释结果的影响;10⁻¹~ 10°Hz为天然场较弱,仅有个别跳点,曲线基本连续,经综合考虑,选取本次方法试验的数据采集观测时间为60min。

同时,根据测深电阻率初步统计: $10^{\circ} \sim 10^{5}$ Hz 的平均视电阻率为 6.9 $\Omega \cdot m$,经理论公式计算,最 低探测频率 10° Hz 的最大探测深度为 935.0 m;而 $10^{-1} \sim 10^{5}$ Hz 的平均视电阻率为 7.4 $\Omega \cdot m$,最低探 测频率 10^{-1} Hz 的最大探测深度为 3 062 m。因此,为 确保达到测深要求,通过方法试验,最终确定最低探 测频率为 10^{-1} Hz。



图 5 3 个时段的视电阻率测深曲线对比

Fig.5 Comparison of apparent resistivity sounding curves in three time periods

3.3 试验剖面布置

根据试验区主构造线呈 NE 走向以及收集的已 知钻孔与浅层地震勘探剖面位置,布置 NW 向 BMT 试验剖面 2 条(图 3),点距 100 m,方向 142°。 BSY01 剖面基本与 2010 年核工业航测遥感中心施 工的 D01 浅层地震勘探剖面位置与方向基本一致, 剖面长 8.0 km,测点共 81 个。BSY02 剖面穿过 E14-5 与 E14-8 两个钻孔,剖面长 10.2 km,测点共 103 个。

3.4 数据处理

数据处理包括预处理与反演处理。预处理主要由 SSMT2000 和 MtEditor 软件完成。通过 SSMT2000 软件将原始时间域数据转化为频率域数据,并对频率域数据在 MtEditor 软件下进行编辑,为下一步数据反演处理做准备。

反演处理采用经过静态校正处理后的 TM+TE 模式数据,由 Zonge 公司商业化软件 SCS2D 完成。

根据已知钻孔与浅层地震资料的反复对比,最终确定了本次试验数据反演的主要参数^[13],即初始电阻率模型为二维平滑模型,第一层网格40m,圆滑系数为0.4。

4 试验效果分析

4.1 BSY01 剖面

BSY01 剖面位于试验区北东部,地表出露新近 系中新统(N₁t)与上新统(N₂b)。图 6 为 BSY01 剖 面反演电阻率及地质解释断面与浅层地震 D01 线 叠加深度解释剖面,为便于对比,将电性断面的深度 切到 D01 剖面的解释深度。

图 6a 为浅层地震勘探解释剖面^[14]。基于反射 波形和波组特征对比、追踪,结合地质、物探、钻孔等 资料分析,推断了标准反射层 2 个(T_0 和 T_g)、层序 界面 2 个(T_1 和 T_2),在此基础上确定了各地震层序 与地层的对应关系。其次,根据反射波特征推断断裂构造一条(F₁₁),该断裂为准棚凹陷北西侧的边界控制断裂。T₀层之上为微弱或空白反射,厚度40~50m,为新近系地层。T₁层为下白垩统赛汉组

 (K_1s) 与腾格尔组 (K_1t) 之间的分界面; T_2 层为下白 垩统腾格尔组 (K_1t) 与阿尔善组 (K_1a) 之间的分界 面, T_1 与 T_2 均为层序级界面; T_g 层为超层序级界 面,为前白垩纪基底的分界面。



图 6 D01 线地震叠加深度剖面^[14](a) 与 BSY01 线反演电阻率断面(b)

Fig.6 Seismic stacking depth profile of D01 line^[14](a) and BSY01 line inversion resistivity profile(b)

由图 6b 可见,反演电阻率断面由浅至深,整体 反映为明显的相对"中阻—低阻夹中阻—中阻—高 阻"4 层电性结构特征。第一电性层:位于断面顶 部,反演电阻率大于6Ω·m,等值线呈水平层状连 续分布,表现为相对中阻特征,厚度 40~50 m,推断 为新近系砂岩、粗砂岩、含砾粗砂岩的综合反映。第 二电性层:反演电阻率小于6Ω·m,厚度210~600 m.解释为下白垩统赛汉组泥岩、砂质泥岩夹砂岩的 综合反映;在该电性层的上部,分布有反演电阻率大 于6Ω·m的长条状、透镜状相对中阻体,解释为下 白垩统赛汉组上段以砂岩、砂质砾岩及含砾砂岩为 主的沉积层。第三电性层:反演电阻率为 6~25 Ω· m,分布连续稳定,表现为中阻特征,厚度 250~600 m.解释为下白垩统腾格尔组和阿尔善组砂岩、砂质 砾岩夹泥岩的综合反映。第四电性层:位于断面底 部,反演电阻率大于25Ω·m,解释为前白垩纪基 底。其次,解释 F₁₁断裂一条,主要表现为向深部延 伸的醒目低阻带,这与浅层地震资料解释结果基本 吻合。

资料对比分析可见,BMT 与浅层地震勘探资料

的解释结果基本一致,尤其是前白垩纪基底与新近 系以及 F₁₁断裂的解释结果,只是下白垩统腾格尔组 与阿尔善组电性相近,BMT 资料进行了合并解释, 其分层效果不如浅层地震勘探精细;其次是 BMT 资 料反映的下白垩统赛汉组局部地段偏厚,与浅层地 震勘探资料的解释结果稍有差异。

4.2 BSY02 剖面资料分析

BSY02 剖面位于试验区南西部,地表出露的地 层为古近系始新统(E₂)、新近系中新统(N₁t)与上 新统(N₂b),平距 450 m 与 9 420 m 分别为收集的 E14-5、E14-8 钻孔。图 7 为该剖面的反演电阻率断 面及其地质解释。

由图可见,断面电性特征与BSY01 试验剖面基本一致,由浅至深电阻率断面整体反映为明显的相对"中阻—低阻夹中阻—中阻—高阻"4 层电性结构特征。第一电性层位于断面顶部,呈水平层状连续分布,电阻率大于6Ω・m,为相对中阻,厚度为30~50m,解释为古近系与新近系砂岩、粗砂岩、含砾粗砂岩的综合反映。第二电性层的电阻率小于6Ω・m,其厚度整体表现为北西与南东端薄、中部厚





Fig.7 Inversion of resistivity section of BSY02 line and its geological interpretation

的连续分布特征,最小厚度约 200,中部最大厚度达 1400 m,解释为下白垩统赛汉组泥岩、砂质泥岩夹砂 岩的综合反映;在该电性层的上部,一样存在电阻率 大于 6 Ω · m 的中阻体,解释为下白垩统赛汉组上 段的沉积层。第三电性层分布于断面平距 0.4 ~ 10.2 km,反演电阻率 6~25 Ω · m,分布连续,中部未 探测到底板,表现为相对中阻特征,解释为下白垩统 腾格尔组和阿尔善组砂岩、砂质砾岩夹泥岩的综合 反映。第四电性层断续分布于断面底部平距 0.4 ~ 1.7 km 与 7.6~10.2 km 段,反演电阻率大于 25 Ω · m,解释为前白垩纪基底。

其次,解释 F₁₁断裂构造一条,主要反映为反演 电阻率等值线密集带,该断裂为准棚凹陷北西侧的 边界控制断裂。

4.3 钻孔资料对比分析

本次试验区仅收集 E14-5 与 E14-8 两个钻 孔^[15],分别位于试验剖面 BSY02 平距 450、9 420 m 处,其揭露深度相对较浅,均未揭穿下白垩统赛汉组 (图 8)。

E14-5 钻孔揭露深度 287.41 m。其中,0~38 m 为古近系与新近系,测井电阻率表现为相对中阻特 征;38~68 m 为赛汉组上段砂岩、泥岩,测井电阻率 表现为相对低阻特征;68~260 m 为赛汉组上段砂 岩、中粗粒砂岩、砂质砾岩和含砾中粗粒砂岩,测井 电阻率表现为相对中阻特征;260~287.41 m 为赛汉 组下段泥岩、砂质泥岩,测井电阻率表现为相对低阻 特征。

E14-8 钻孔揭露深度 178.35 m,未揭露到赛汉 组下段。其中,0~27 m 为古近系与新近系地层,测 井电阻率呈现相对中阻;27~70 m 为赛汉组上段砂 岩、泥岩,为相对低阻层;70~178.35 m 为赛汉组上 段砂岩、中粗粒砂岩、砂质砾岩和含砾中粗砂岩,为 相对中阻层。 为便于对比,将孔旁的反演电阻率断面纵向深 度切到略大于钻孔的揭露深度。由图 8 可见,E14-5 与 E14-8 两个钻孔旁的反演电阻率断面均反映出相 对"中阻—低阻—中阻—低阻"4 层电性结构特征, 其解释结果与钻孔揭露情况基本一致,论证了 BMT 分层效果的可靠性与有效性。

5 结论

1) BMT 测试结果表明,为兼顾工作效率与效 益,数据采集最低频率设定在 0.10 Hz、观测时间为 60 min,可确保二连盆地探测深度达到 1 500~2 000 m,满足地质任务的需要。

2) BMT 资料解释成果与浅层地震勘探结果以 及已知钻孔揭露情况基本一致,但分层效果不如浅 层地震勘探精细。

3)资料对比分析表明,BMT 在解决盆地盖层 结构、基底构造与目的层砂体发育特征等地质问题 上具有可行性,论证了方法的有效性。

4) BMT 具有 MT 和 AMT 的双重优点,探测深 度较大,岩性分层效果较好,作为一种中浅部和深部 兼顾的大深度探测技术,在我国新时期的铀资源评 价中将发挥积极的作用。

参考文献(References):

[1] 李茂,张伟,吴旭亮.北方沉积盆地铀资源评价中可控源音频大地电磁法勘查进展与展望[J].铀矿地质,2021,37(3):329-340.

Li M,Zhang W,Wu X L. Progress and Prospect of CSAMT Exploration in Uranium Resource Evaluation of Northern Sedimentary Basins, China [J]. Uranium Geology, 2021, 37(3): 329-340.

[2] 陈国胜,李怀渊,山科社,等.鄂尔多斯盆地区域地球物理场特征研究报告[R].石家庄:核工业航测遥感中心,2006.
 Chen G S, Li H Y, Shan K S, et al. Study on regional geophysical



1-古近系、新近系;2-赛汉组上段;3-赛汉组下段;4-岩性界线;5-地质界线

1-Paleogene and Neogene; 2-upper member of saihan Formation; 3- lower member of saihan Formation; 4-lithologic boundary; 5-geological boundary

图 8 钻孔旁资料对比

Fig.8 Comparison of data near borehole

field characteristics in Ordos Bisin [R]. Shijiazhuang Nuclear Industry Aerial Survey Remote Sensing Center, 2006.

[3] 张金带.合理规划科学布局积极推进铀矿大基地建设[C]//张 金带,李子颖,苏艳茹.全国铀矿大基地建设学术研讨会论文 集.北京:中国核学会,2012:1-4.

Zhang J D. Rational planning and scientific layout, actively promoting the construction of large uranium bases [C]//Zhang J D, Li Z Y, Su Y R. Proceeding of the national symposium on the construction of large uranium bases.Beijing: Chinese Nuclear Society, 2012: 1-4.

- [4] 傅良魁.电法勘探教程[M].北京:地质出版社,1983:150-151.
 Fu L K. Course of electrical exploration [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1983:150-151.
- [5] 汤井田,何继善.可控源音频大地电磁法及其应用[M].第1 版.长沙:中南大学出版社,2005:1-2.

Tang J T, He J S. Controlled source audio magnetotelluric method and its application [M]. first edition. Changsha: Central South U-niversity Press, 2005:1-2.

[6] 王辉,叶高峰,魏文博,等.大地电磁测深中大地电场的高精度 采集技术[J].地球物理学进展,2013,28(3):1199-1207.
Wan H, Ye G F, Wei W B, et al. High precision acquision technology of geoelectric field in magnetelluric sounding [J]. Progress in Geophysics, 2013, 28(3): 1199-1207.

- [7] 叶高峰,王辉,郭泽秋,等.长周期大地电磁测深数据采集及处理技术[J].地球物理学进展,2013,28(3):1219-1226.
 Ye G F, Wan H, Guo Z Q, et al. Long-period magnetotelluric sounding data acquisition and processing technology [J]. Progress in Geophysics, 2013, 28(3): 1219-1226.
- [8] 孔志召,谢明宏,山科社,等.松辽盆地北部低阻区综合物探方 法研究报告[R].石家庄:核工业航测遥感中心,2020. Kong Z Z, Xie M H, Shan K S, et al. Research Report on comprehensive geophysical prospecting method in low resistance area of Northern songliao Basin [R]. Shijiazhuang: Nuclear Industry Aerial Survey Remote Sensing Center, 2020.
- [9] 赵丛,艾虎.沉积盆地隐伏侵入岩探测技术方法研究报告[R]. 石家庄:核工业航测遥感中心,2020.
 Zhao C, Ai H. Research report on delection techniques and methods of buried intrusive rocks in sedimentary basins [R]. Shijiazhuang: Nuclear Industry Aerial Survey Remote Sensing Center, 2020.
- [10] 旷文战,康世虎.内蒙古二连盆地乌兰察布坳陷及周边铀资源 区域评价报告[R].内蒙古包头市:核工业二〇八大队,2012.
 Kuang W Z, Kang S H. Regional evaluation report on uranium resources in Wulanchabu depression and its surrounding area in Erlian Basin, inner Monggolia [R]. Baotou, Inner Mongolia: Nuclear Industry 208 Team, 2012.

[11] 山科社,乔勇,沈靖帮,等.内蒙古乌兰察布坳陷额仁淖尔地区 音频大地电磁测量报告[R].石家庄:核工业航测遥感中心, 2008.

Shan K S, Qiao Y, Shen J B, et al. Audio magnetotelluric survey report in Erenzhuoer area of Wulanchabu depression, inner Mongolia [R]. Shijiazhuang: Nuclear Industry Aerial Survey Remote Sensing Center, 2008.

[12] 张俊伟,张占斌,李英宾,等.内蒙古乌兰察布坳陷伊和图地区 可控源音频大地电磁测量报告[R].石家庄:核工业航测遥感 中心,2013.

Zhang J W, Zhang Z B, Li Y B, et al. Controlled source audio magnetotelluric survey report in Yihetu area of Wulanchabu depression, inner Mongolia [R]. Shijiazhuang: Nuclear Industry Aerial Survey Remote Sensing Center, 2013.

[13] 李茂,张俊伟,伍显红,等.SCS2D 程序反演参数应用效果分析 [J].铀矿地质,2010,26(6):369-374.

Li M, Zhang J W, Wu X H, et al. Application analysis for inver-

sion parameters in SCS2D [J]. Uranium Geology, 2010, 26(6): 369 – 374.

[14] 徐国仓,刘波,吴同海,等.内蒙古苏尼特左旗巴彦乌拉东部地 区浅层地震勘探报告[R].石家庄:核工业航测遥感中心, 2010.

Xu G C, Liu B, Wu T H, et al. Shallow seismic exploration report in eastern Bayanwula, Sunite zuoqi, Inner Mongolia [R]. Shijiazhuang: Nuclear Industry Aerial Survey Remote Sensing Center, 2010.

[15] 许第桥,孔志召,赵丛,等.内蒙古二连基地满都拉图及卫井地 区电磁法探测技术研究报告[R].石家庄:核工业航测遥感中 心,2020.

Xu D Q, Kong Z Z, Zhao C, et al. Mandulatu of Erlian basement in Inner Mongolia and research report on electromagnetic detection technology in Wejing area [R]. Shijiazhuang: Nuclear Industry Aerial Survey Remote Sensing Center, 2020.

An application test of broadband magnetotelluric method (BMT) for the evaluation of uranium resources in the Erlian Basin

WU Xian-Hong^{1,2}, XU Di-Qiao^{1,2}, LI Mao^{1,2}

(1. Airborne Survey and Remote Sensing Center of Nuclear Industry, Shijiazhuang 050002, China; 2. CNNC Key Laboratory of Uranium Resources Geophysical Exploration Technology, Shijiazhuang 050002, China)

Abstract: An application test of the broadband magnetotelluric method (BMT) was carried out in the Mandulatu area based on the construction needs of a large-scale sandstone-type uranium deposit base in the Erlian Basin. The purpose is to study the detection ability and effect of this method at a depth of 2,000 m and above, provide effective technical support for the evaluation of uranium resources in the area, and improve the effects and benefits of uranium prospecting. In this study, the data acquisition time and the lowest frequency were tested by the test area method. Given the work efficiency and benefit, it is determined that the lowest detection frequency is 0.10 Hz and the observation time is 60 min so that the prospecting depth of Erlian Basin can reach the requirement of 1,500~2,000 m. The comparative analysis of the test results with borehole and shallow seismic data shows that BMT is feasible in solving geological problems such as caprock structure, basement structure, sand body development characteristics of the target layer, and fault structure in the basin.

Key words: BMT; uranium; resource evaluation; Erlian Basin; detection frequency

(本文编辑:沈效群)