

doi: 10.11720/wtyht.2022.1602

吴旭亮,李茂.基于 AMT 的龙首山成矿带西盆地段马路沟断裂带深部发育特征[J].物探与化探,2022,46(5):1180-1186. <http://doi.org/10.11720/wtyht.2022.1602>

Wu X L, Li M. Deep occurrence characteristics of the Malugou fault zone in the Xicha section of the Longshoushan metallogenic belt determined based on AMT[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2022, 46(5): 1180-1186. <http://doi.org/10.11720/wtyht.2022.1602>

# 基于 AMT 的龙首山成矿带西盆地段马路沟 断裂带深部发育特征

吴旭亮<sup>1,2,3</sup>, 李茂<sup>1,2,3</sup>

(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; 3. 河北省航空探测与遥感技术重点实验室, 河北 石家庄 050002)

**摘要:**为减少铀矿钻探工程风险,基于音频大地电磁法(AMT)资料,对龙首山成矿带中的马路沟断裂及次级断裂的深部发育特征进行了探究。通过对马路沟断裂与次级断裂正演理论模型响应特征分析,论证了方法的可行性,在此基础上,结合地质、岩石电性参数和钻探资料,对反演电阻率断面进行了推断解释,大致查明了区内断裂的深部发育特征。研究表明:马路沟断裂( $F_{101}$ )走向 NW,倾向约  $80^\circ$ ,其中 X501—X502 剖面之间倾向 NE, X502—X506 剖面倾向 SW;次级断裂  $F_{102}$ 、 $F_{103}$  走向 NW,均倾向 NE,倾向  $75^\circ \sim 80^\circ$ ;上述断裂具有切割深度大、倾向较陡特征。该结果为后期钻探工程的布置提供了依据,提升了铀矿地质勘查的效果与效益。

**关键词:** AMT; 断裂; 龙首山成矿带; 深部构造

**中图分类号:** P631 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-8918(2022)05-1180-07

## 0 引言

龙首山铀成矿带是我国内陆一条重要的铀及多金属成矿带,现已查明具有多个重要的铀成矿系列。如龙首山成矿带中东段,区域上已发现有茈岭矿床、新水井矿床以及马路沟、墩子沟、玉石沟等一大批的矿(化)点、异常点带,组成了龙首山地区以碱交代型为主的铀成矿带<sup>[1-3]</sup>。近年来,通过核地质系统铀矿资源勘查与评价,在茈岭矿床西侧, ZKJ29-3、ZKJ29-7 钻孔均于 600 m 以深揭露到了厚层状、高品位的富矿体,实现了深部找矿工作的重大发现<sup>[4]</sup>,同时也显示了深部巨大的找矿前景。

研究区位于龙首山成矿带茈岭矿床西侧,区内发育控矿构造马路沟断裂( $F_{101}$ )与次级断裂( $F_{102}$ 、 $F_{103}$ ),已发现多个铀矿化点与矿点,如 63、64、240 号铀矿点,矿体均产于该组断裂下盘附

近发育的钠交代岩蚀变带中,其成矿地质条件较为优越,为矿床西侧碱交代型铀矿化的重点勘查地段。马路沟断裂( $F_{101}$ )为龙首山成矿带茈岭岩体南部成矿带的一条重要控岩、控矿构造,走向 NW,主体倾向 NW,局部地段倾向 NE<sup>[5-6]</sup>。由于该断裂与次级断裂产状复杂多变,深部发育特征不明,因此在铀矿资源勘查与评价中,增大了钻探工程风险的不可预测性,提高了勘查成本,影响了勘查效益。

针对以上问题,为规避风险,加快找矿工作进程,选择音频大地电磁方法作为技术手段,根据研究区实测地质剖面地质体的地电特征,从构建的正演理论模型出发,通过正演计算与反演结果对比,论证方法的可行性,在此基础上,结合地质及钻探资料对马路沟断裂与次级断裂的深部发育特征进行了探究,以期对钻探工程的布置提供依据,提升铀矿地质勘查效果与效益。

收稿日期: 2021-11-10; 修回日期: 2022-06-07

基金项目: 中国核工业地质局项目“甘肃省龙首山成矿带中东段西盆地段物探测量”(2015-111)

第一作者: 吴旭亮(1987-),男,高级工程师,主要从事铀矿地质勘查工作。Email: Xuliang16@126.com

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: lm703@126.com

## 1 研究区地质概况

研究区位于芟岭矿床的西部,出露地层主要有古元古界龙首山群塌马子沟组( $Pt_1^t$ )、新元古界震旦系韩母山群( $Z_2hm$ )及第四系(Q)。龙首山群塌马子沟组岩性以大理岩、板岩、角闪片岩为主,局部受岩浆侵入作用以残留体形式存在;韩母山群主要为灰色千枚岩、角闪片岩、砂砾岩;第四系主要分布于山沟地形中,岩性以砾石、亚砂松散堆积物、冲积物为主。

研究区及其周边区域岩浆活动强烈,主要发育侵入岩,分布十分广泛。侵入岩种类多,有超基性岩、基性岩、中性岩、酸性岩、碱性岩等。其中花岗岩

类最为广泛,其分布明显受 NW 向构造控制,形成与构造带方向基本一致的花岗岩带(图 1)。

侵入岩主要为加里东中晚期侵入的灰白色中粗粒花岗岩( $\gamma_3^{2-1}$ )、中粗粒花岗岩( $\gamma_3^{3-1}$ )、中粗粒似斑状花岗岩( $\gamma_3^{3-2}$ )、中细粒花岗岩( $\gamma_3^{3-3}$ )以及中细粒闪长岩( $\delta_3^{1-2}$ )。

区内断裂构造发育,对成矿起主导作用的主要为马路沟断裂带中的 1 条主断裂  $F_{101}$  与 2 条次断裂  $F_{102}$ 、 $F_{103}$ 。马路沟断裂总体走向  $280^\circ \sim 315^\circ$ ,主体倾向南,局部地段转变为向北倾,长约 20 km,为一高角度逆冲断裂,分枝断裂达 5 条之多。芟岭矿床就位于该断裂下盘内的钠长石化花岗岩中,矿体侧列隐伏于地下数米到 120 m,单个矿体长数米至 120 m,宽十几米至几十米,沿倾向延伸最大 180 m<sup>[7]</sup>。

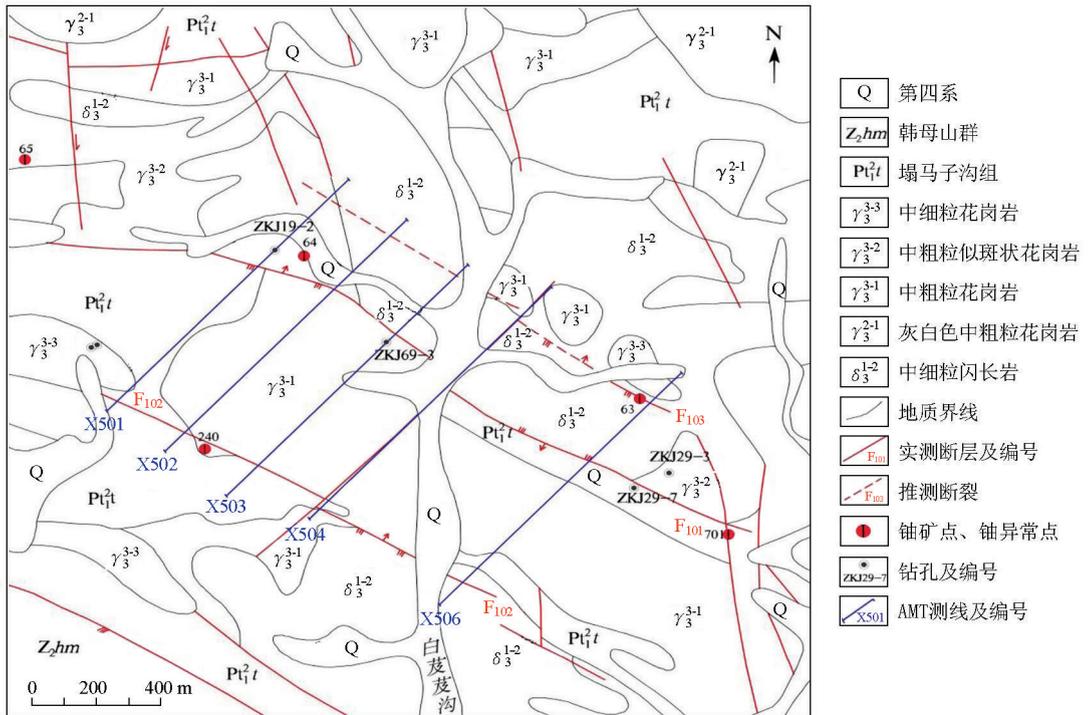


图 1 研究区地质简图及物探测线布置

Fig. 1 Geological map and layout of physical detection lines of study area

## 2 岩石电阻率特征

龙首山地区是著名的多金属成矿带,地矿、冶金、有色、核工业等部门都进行过物化探测量工作,积累了丰富的基础地质及地球物理参数等资料,为了解区内岩石电阻率特征提供了参考。

表 1 为前人实测的不同岩石电阻率参数<sup>[8-11]</sup>统计结果。表 1 表明:龙首山群塌马子沟组大理岩、完整性较好的岩体表现为高阻特征,而塌马子沟组板岩与完整性相对较差的岩体均表现为明显

的相对低阻特征。其次,由于区域应力场的挤压作用,断裂构造带上的岩石一般较为破碎、结构松散,易于充填地下水或其他低阻介质,常常形成与围岩存在明显电性差异的低阻异常带、舌状低阻带;另一方面,断裂构造的切割影响,造成岩石结构遭受破坏,使其电性结构发生明显的畸变,在反演电阻率断面图上常表现为等值线密集带、低阻带和舌状分布。

综上,研究区板岩与其他岩石之间存在明显的电性差异,尤其是断裂走向一带的岩石与围岩,其电性特征为本次研究提供了前提条件。

表 1 研究区岩石电阻率参数统计

Table 1 Statistics table of rocks resistivity parameters in the study area

地层	岩性	电阻率/( $\Omega \cdot m$ )	
		范围	常见值
$Pt_1^{2t}$	板岩	117.7~1132.5	257
	大理岩	426.5~2357.3	1520
$\gamma_3^{3-1}, \gamma_3^{3-3}$	中粗粒、中细粒花岗岩	236.2~1612.7 (完整性较好)	682
		100.6~474.2 (完整性较差)	291
$\gamma_3^{3-2}$	中粗粒斑状花岗岩	378.2~1283.5	833
$\delta_3^{1-2}$	中细粒闪长岩	330.5~1220.6	1140

### 3 技术方法

根据研究区地质与岩石物性特征和地形、地貌条件,以及前人在研究区外围已知勘探线的方法实验效果,同时针对所要解决的地质问题,选择 AMT 进行了勘查应用。基于地层与断裂分布特征,大致垂直其走向布置了 5 条探测剖面 (X501、X502、X503、X504、X506), X501~X504 间各剖面间距 125 m, X504~X506 剖面间距 250 m; 剖面长 1.1 km, 方位  $43^\circ$ , 测量点距 20 m。其中, X501 与研究区实测地质剖面重合。

使用美国生产的 EH-4 连续电导率剖面仪, 数据采集采用张量单点“十”字型装置。数据反演采用

EMAGEM 软件中的 Bostick 一维反演方法<sup>[12]</sup>。

### 4 资料分析

#### 4.1 已知地质体理论模型响应特征分析

研究区地质体正演理论模型响应特征的分析主要基于实测地质剖面已知地质体的分布情况及其电性特征,从构建的正演理论模型出发,通过正演计算,研究 AMT 方法在解决马路沟断裂与次级断裂的可行性及可靠性。

研究区实测地质剖面(图 2a)<sup>[13]</sup>长 1.10 km,与 X501 剖面重合。图 2a 显示:平距 0~100 m 出露地层为龙首山群塌马子沟组大理岩,走向  $NW320^\circ$ , 倾角  $80^\circ$ ; 平距 100 m 处大理岩与板岩岩性界线为次级断裂  $F_{102}$  的通过位置, 倾向 NE, 倾角  $75^\circ$ ; 平距 100~620 m 出露地层为龙首山群塌马子沟组板岩, 走向  $NW320^\circ$ , 倾角  $80^\circ$ ; 平距 620 m 处岩体接触带为马路沟断裂  $F_{101}$  的通过位置, 倾向 NE, 倾角  $80^\circ$ ; 平距 620~1100 m 出露岩体为中细粒闪长岩; 平距 1020 m 处为次级断裂  $F_{103}$  的通过位置, 倾向 NE, 倾角  $80^\circ$ 。平距 780 m 为已知钻孔 ZKJ19-2 位置, 揭露深度 473.33 m, 该钻孔在深部揭露到了马路沟断裂, 证实断裂倾向 NE。

图 2b 为基于图 2a 中地质体的分布情况及其电

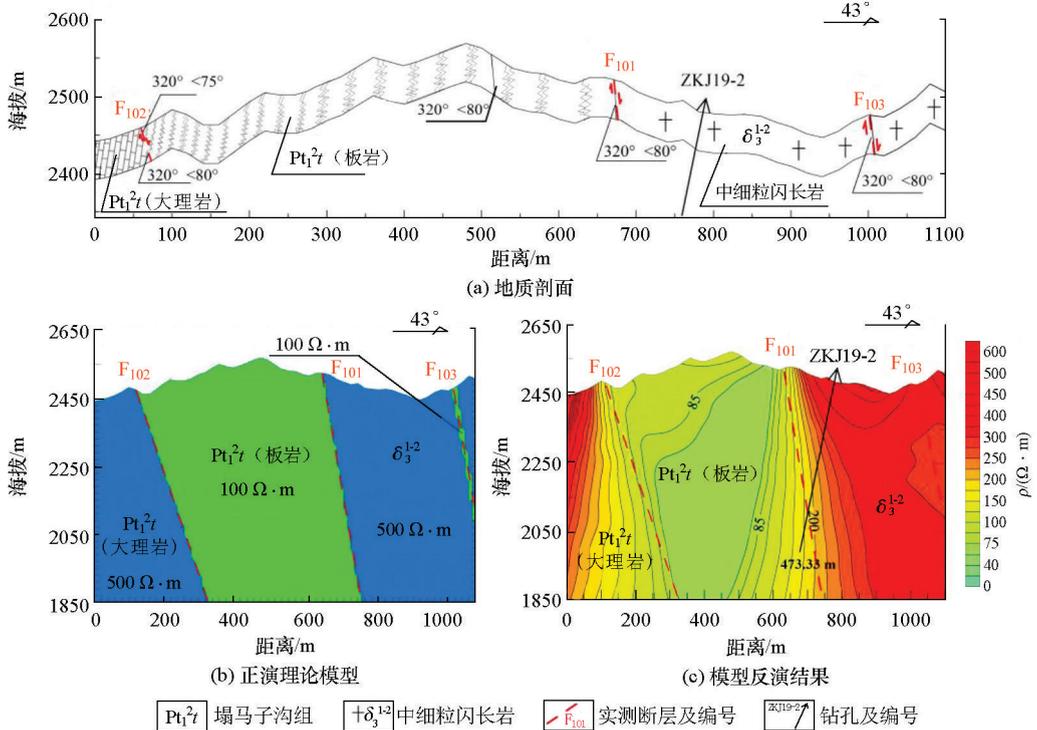


图 2 已知地质体正演理论模型响应特征

Fig. 2 Response characteristic diagram of forward modeling theory model of known geological body

阻率特征构建的正演理论模型:平距 0~100 m、电阻率  $500 \Omega \cdot \text{m}$  的相对高层层,模拟塌马子沟组大理岩;平距 100 m 处大理岩与板岩的岩性界线模拟  $F_{102}$  的通过位置;平距 100~620 m、电阻率  $100 \Omega \cdot \text{m}$  的相对低阻层,模拟塌马子沟组板岩;平距 620 m 处岩体接触带模拟马路沟断裂  $F_{101}$  的通过位置;平距 620~1 100 m、电阻率  $500 \Omega \cdot \text{m}$  的相对高阻体,模拟中细粒闪长岩;平距 1 020 m 向深部延伸、电阻率  $100 \Omega \cdot \text{m}$  的相对低阻带,模拟  $F_{103}$  的通过位置。

模型总长度为 1.10 km,正演计算采用二维有限元法处理,计算点距为 20 m,与实际工作中采用的测点距一致,模型响应的卡尼亚电阻率及阻抗相位数据为 TM+TE 模式。

由图 2c 可见,反演电阻率断面与正演理论模型断面特征基本一致,尤其  $F_{101}$  马路沟断裂与  $F_{102}$  次级断裂,反演电阻率等值线均表现为向深部北东倾伏的密集带分布, $F_{103}$  断裂虽反映不太明显,但显示了向深部北东延伸的相对低阻带,指示了断裂的位置与倾向,因此论证了方法的可行性及有效性。

#### 4.2 典型剖面地电特征分析

因 X501 剖面与实测地质剖面完全重合,因此以 X501 为典型剖面,结合地质及岩石电性特征等资料,对其地电特征进行分析,以期为其他剖面资料的客观解释提供依据。

X501 线位于研究区西部,由南西至北东出露地层及岩体依次为龙首山群塌马子沟组 ( $Pt_2^t$ ) 大理岩、板岩、中细粒闪长岩 ( $\delta_3^{12}$ );断裂构造为马路沟断裂 ( $F_{101}$ ) 及次级断裂  $F_{102}$ 、 $F_{103}$ ;其中平距 780 m 处 ZKJ19-2 钻孔在深部揭露到倾向 NE 的马路沟断裂。

图 3 为该剖面的反演电阻率断面。由图 3 并结合图 2a 可见:平距 0~80 m 出露的塌马子沟组大理岩,反映为大于  $100 \Omega \cdot \text{m}$  的相对中高阻体;平距 80~720 m 出露的塌马子沟组板岩,反映为小于  $100 \Omega \cdot \text{m}$  的相对中低阻体;平距 720~1 100 m 出露的中细粒闪长岩,反映为大于  $100 \Omega \cdot \text{m}$  的相对中高阻体。平距 800、720、970 m 处分别为  $F_{102}$ 、 $F_{101}$ 、 $F_{103}$  的通过处,均反映为明显的电阻率等值线密集带、舌状低阻带,断裂均倾向 NE; $F_{102}$  断裂倾角约  $75^\circ$ ,切割深度超过 800 m, $F_{101}$ 、 $F_{103}$  断裂倾角约  $80^\circ$ ,切割深度分别超过 800 m、400 m。上述地质体地电特征为其他剖面资料的解释提供了依据。

#### 4.3 反演电阻率断面地质推断解释

研究区的 5 条反演电阻率断面特征基本一致,以 X503、X506 剖面为例,基于典型剖面地电特征,结合沿线地质及岩石电性资料进行地质推断解释。

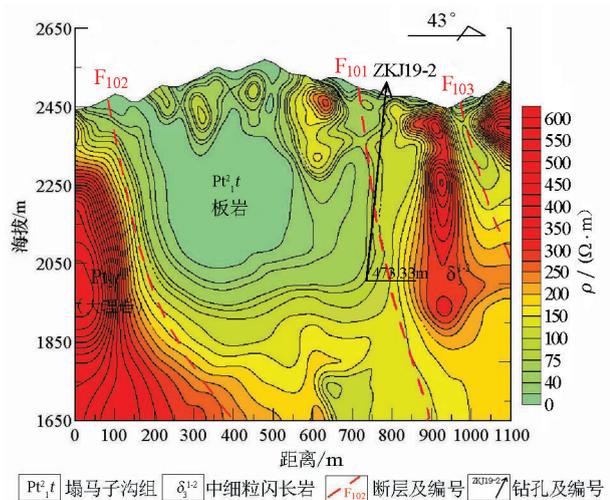


图 3 X501 典型剖面地电特征

Fig. 3 X501 geoelectric characteristic map of typical section

X503 剖面穿过 ZKJ69-3 钻孔,与 69 号勘探地质剖面重合,图 4 为剖面反演电阻率断面及其地质推断解释与勘探地质剖面的对比。由图 4a 可见,平距 0~130 m、电阻率大于  $100 \Omega \cdot \text{m}$  的相对中高阻体可解释为塌马子沟组大理岩;平距 130~780 m、电阻率大于  $100 \Omega \cdot \text{m}$  的相对高阻体可解释为中粗粒花岗岩,其中平距 160~300 m、标高 1 920~2 300 m、电阻率小于  $100 \Omega \cdot \text{m}$  的相对中低阻体解释为塌马子沟组板岩残留体;平距 780~1 100 m 处电阻率大于  $100 \Omega \cdot \text{m}$  的相对中高阻体,解释为中细粒闪长岩。平距 130、780、960 m 处电阻率出现密集带、低阻带,分别解释为  $F_{102}$ 、 $F_{101}$ 、 $F_{103}$  通过处,其中  $F_{101}$  断裂倾向 SW,切割深度超过 800 m, $F_{102}$ 、 $F_{103}$  断裂均倾向 NE,倾角约  $80^\circ$ ,切割深度分别超过 800 m、450 m。由图 4b 可见,后续施工的 ZKJ69-3 钻孔在深部揭露到马路沟断裂 ( $F_{101}$ ),其位置与倾向与解释结果基本一致,佐证了解释结果。

图 5 为 X506 剖面反演电阻率地质推断解释断面。平距 0~150 m 处电阻率大于  $100 \Omega \cdot \text{m}$  的相对中高阻体,解释为中细粒闪长岩;平距 150~210 m 与 720~840 m、标高 2 000 m 以上、电阻率小于  $100 \Omega \cdot \text{m}$  的相对中低阻体,解释为塌马子沟组板岩残留体;平距 210~720 m、电阻率大于  $100 \Omega \cdot \text{m}$  的相对中高阻体解释为中粗粒花岗岩;平距 840~1 100 m、电阻率大于  $100 \Omega \cdot \text{m}$  的相对中高阻体解释为中细粒闪长岩与中粗粒花岗岩。

平距 150 m、840 m、1 000 m 反演电阻率出现密集带分布,分别解释为  $F_{102}$ 、 $F_{101}$ 、 $F_{103}$  通过处,其中  $F_{101}$  断裂倾向 SW,切割深度超过 800 m, $F_{102}$ 、 $F_{103}$  断

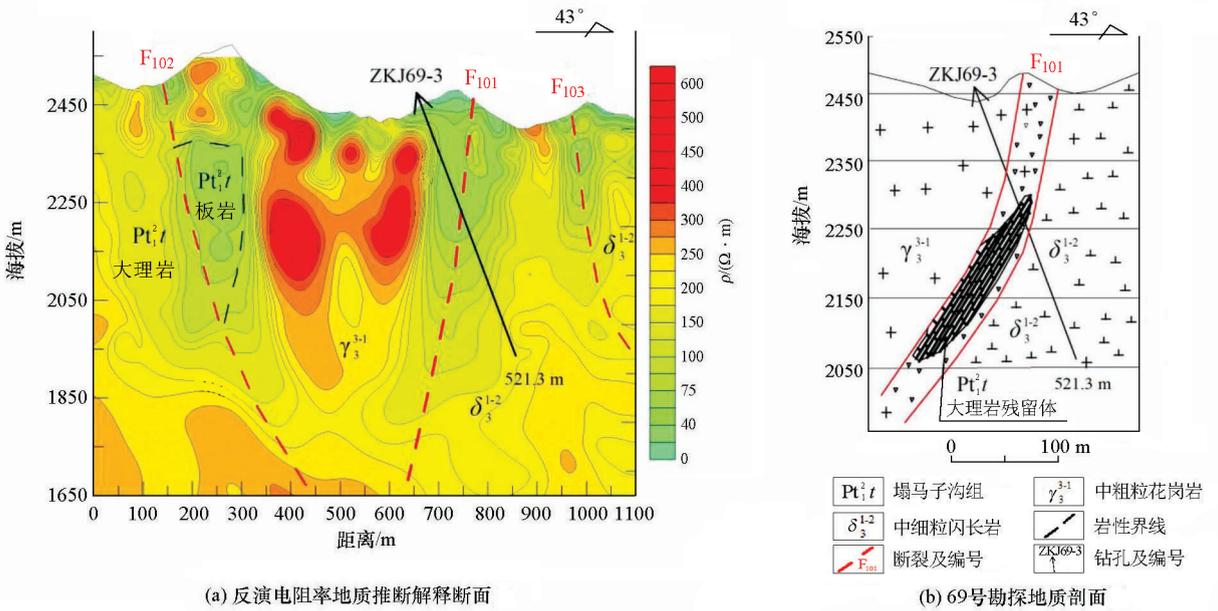


图 4 X503 剖面反演电阻率地质推断解释断面与勘探地质剖面对比

Fig. 4 X503 section inversion resistivity geological interpretation section and exploration geological section comparison chart

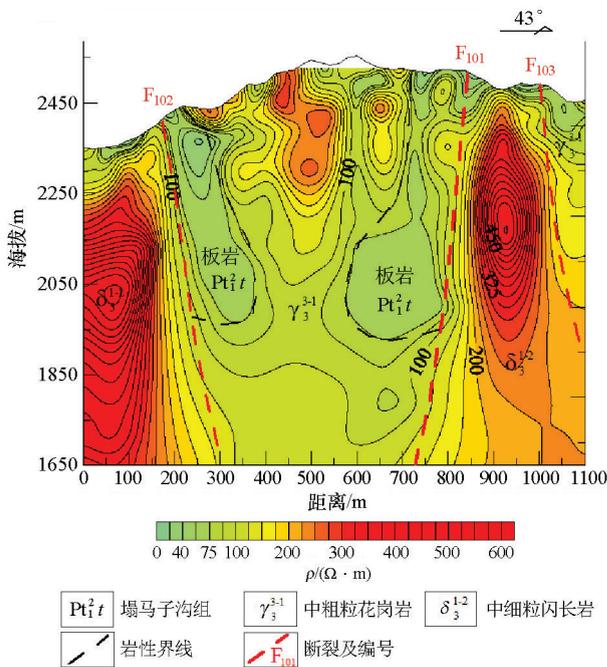


图 5 X506 剖面反演电阻率地质解释断面

Fig. 5 X506 section inversion resistivity geological interpretation section

裂均倾向 NE, 倾角约 80°, 切割深度分别超过 700 m, 450 m。

#### 4.4 马路沟断裂与次级断裂空间展布特征

龙首山成矿带茆岭岩体南部与成矿密切相关的控矿构造主要为马路沟断裂与次级断裂, 前人钻探揭露表明, 已发现矿体均产于上述断裂下盘发育的钠交代岩蚀变带中<sup>[14]</sup>, 矿体倾向、产状、形态基本与

控矿构造基本一致, 特别是产状变化、局部膨大部位以及与次级断裂的交汇处, 为铀成矿的最佳部位。但是, 上述断裂尤其是马路沟断裂, 其产状具有复杂多变特征, 盲目施工将给钻探工程带来施工风险, 增大勘查成本。因此, 首先查明上述断裂的深部发育特征, 显得尤为重要。

图 6 为研究区马路沟断裂与次级断裂空间展布特征。马路沟断裂(F<sub>101</sub>)发育于岩体及岩体和龙首山群塌马子沟组板岩的接触部位, 走向 NW, 其在 X501—X502 剖面之间倾向 NE, 在 X502—X506 剖面之间倾向 SW, 倾角约 80°, 切割深度超过 800 m, 区内控制长度 0.75 km。F<sub>102</sub> 次级断裂发育于岩体及龙首山群塌马子沟组大理岩与板岩的接触带, 走向 NW, 倾向 NE, 倾角 75°~80°, 局部地段产状具上陡下缓特征, 切割深度超过 800 m, 区内控制长度 0.75 km。F<sub>103</sub> 次级断裂发育于岩体中, 走向 NW, 倾向 NE, 倾角约 80°, 切割深度超过 400 m, 区内控制长度 0.75 km。

上述断裂切割深度大, 产状较陡, 其走向对区内地层与岩体具有明显的控制作用。

#### 5 结论

1) 基于实测地质剖面地质情况及其电性特征, 通过正演理论模型及其正演计算的反演结果分析, 论证了该方法解决研究区内地质问题的可行性与有

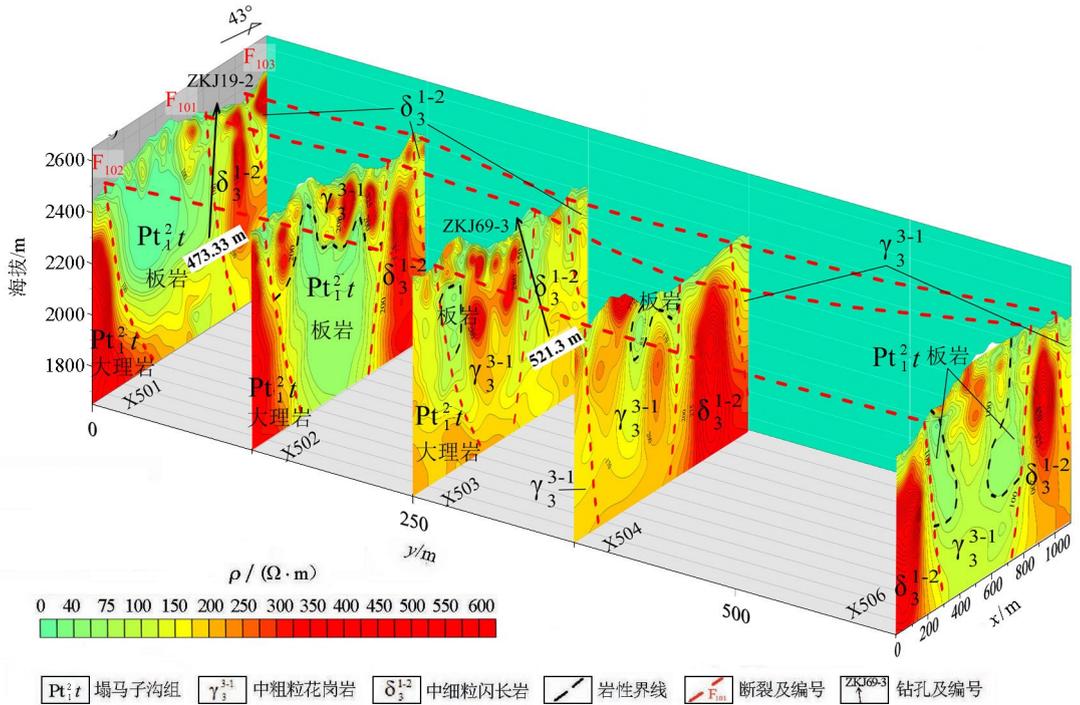


图 6 研究区马路沟断裂与次级断裂空间展布特征

Fig. 6 Spatial distribution characteristics of Malugou fault and secondary fault in the study area

效性。对马路沟断裂 ( $F_{101}$ ) 及其次级断裂 ( $F_{102}$ 、 $F_{103}$ ) 的产状、延伸特征等的研究成果,为后续 ZKJ129-3、ZKJ129-7 钻孔倾向设计提供了依据,避免了铀矿资源评价中的钻探施工风险。

2) AMT 观测频点多,中浅层分辨能力较好,在探测断裂带的位置、产状和深部延伸特征等方面具有较好的应用效果。因此,在地形相对复杂的龙首山成矿带铀矿资料评价中,建议继续开展本文方法的应用工作,以提高铀矿资源勘查效果。

## 参考文献 (References):

- [1] 赵如意,王刚,陈云杰,等. 甘肃省龙首山成矿带铀资源调查评价报告[R]. 咸阳:核工业 203 研究所,2014.  
Zhao R Y, Wang G, Chen Y J, et al. Investigation and evaluation report on uranium resources in Longshoushan metallogenic belt, Gansu Province [R]. Xianyang: 203 Institute of Nuclear Industry, 2014.
- [2] 王承花. 龙首山成矿带成矿规律及找矿方向[J]. 甘肃科技, 2010, 26(10): 39-44.  
Wang C H. Metallogenic regularity and prospecting direction of Longshoushan metallogenic belt [J]. Geology of Gansu, 2010, 26(10): 39-44.
- [3] 宋振涛,张立新,管少斌,等. 龙首山成矿带铀成矿规律及其地质构造运动、地壳演化关系探讨[J]. 矿产与地质, 2018, 32(5): 792-793.  
Song Z T, Zhang L X, Guan S B, et al. The discussion of uranium mineralization regularity of Longshoushan metallogenic belt and its relationship with geological tectonic movement and crustal evolution [J]. Mineral Resources and Geology, 2018, 32(5): 792-793.
- [4] 赵如意,王刚,陈云杰,等. 甘肃省龙首山成矿带西岔—芨岭西铀资源调查评价报告[R]. 咸阳:核工业 203 研究所,2015.  
Zhao R Y, Wang G, Chen Y J, et al. Investigation and evaluation report on uranium resources in Xicha-Changling west area of Longshoushan metallogenic belt, Gansu Province [R]. Xianyang: 203 Institute of Nuclear Industry, 2015.
- [5] 安国堡,辛存林,杨涛,等. 甘肃龙首山成矿带地质构造演化及其对铀成矿的控制作用[J]. 地球科学与环境学报, 2016, 38(6): 804-805.  
An G B, Xin C L, Yang T, et al. Geotectonic evolution of Longshoushan metallogenic belt in gansu and its control function on uranium [J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2016, 38(6): 804-805.
- [6] 陈云杰,赵如意. 甘肃龙首山地区芨岭铀矿床隐爆角砾岩发现及成因探讨[J]. 地质勘探, 2012, 48(6): 1101-1108.  
Chen Y J, Zhao R Y. Discovery and genesis of cryptoexplosive breccia in Jiling uranium deposit, Longshoushan area, Gansu Province [J]. Geologic Survey, 2012, 48(6): 1101-1108.
- [7] 贾恒,荣骁,等. 甘肃省龙首山成矿带芨岭东—牛角沟地区铀矿预查报告[R]. 咸阳:核工业 203 研究所,2017.  
Jia H, Rong X, et al. Pre-investigation report on uranium deposits in Jiling-Niujiaogou west area of Longshoushan metallogenic belt, Gansu Province [R]. Xianyang: 203 Institute of Nuclear Industry, 2017.
- [8] 王会波,王志宏,陈志财,等. 甘肃省龙首山小青羊—白芨地区物探测量项目报告[R]. 石家庄:核工业航测遥感中心, 2013.  
Wang H B, Wang Z H, Chen Z C, et al. Geophysical survey report of Xiaoqingyang-Baijiji area in Longshou mountain, Gansu Province [R]. Shijiazhuang: Nuclear Industry Aerial Survey Re-

- remote Sensing Center, 2013.
- [9] 李茂, 陈志财, 吴勇, 等. 甘肃省龙首山成矿带火石岭-新水井地区物探测量报告[R]. 石家庄:核工业航测遥感中心, 2014.  
Li M, Chen Z C, Wu Y, et al. Geophysical survey report of Huoshiling-Xinshuijing area in Longshou mountain, Gansu Province [R]. Shijiazhuang: Nuclear Industry Aerial Survey Remote Sensing Center, 2014.
- [10] 刘波, 宋振涛, 李肖, 等. 芨岭岩体北部地区革命沟断裂地电结构特征[J]. 物探与化探, 2016, 40(5): 877-878.  
Liu B, Song Z T, Li X, et al. Geoelectrical characteristics of Gemingou fracture in northern Jiling mass [J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2016, 40(5): 877-878.
- [11] 宋振涛, 祁程, 韩栋显. 芨岭地区铀矿地质-地球物理特征研究[J]. 物探与化探, 2018, 42(5): 910-911.  
Song Z T, Qi C, Han D Y. Study on geological and geophysical characteristics of uranium deposits in Jiling area [J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2018, 42(5): 910-911.
- [12] 谢明宏, 李茂. 芨岭岩体南部牛角沟断裂深部发育特征[J]. 矿产与地质, 2019, 33(3): 516-517.  
Xie M H, Li M. Deep development characteristics of Niujiaogou fault in south of changling pluton [J]. Deposit and Geology, 2019, 33(3): 516-517.
- [13] 李茂, 宋振涛, 陈志财, 等. 甘肃省龙首山成矿带中东段西盆地段物探测量项目报告[R]. 石家庄:核工业航测遥感中心, 2015.  
Li M, Song Z T, Chen Z C, et al. Geophysical survey report of Xichang section of Longshou mountain metallogenic belt, Gansu Province [R]. Shijiazhuang: Nuclear Industry Aerial Survey Remote Sensing Center, 2015.
- [14] 高翔, 李茂, 牛禹, 等. 高岭子井地段马路沟断裂产状及深部延伸特征[J]. 矿产与地质, 2018, 32(3): 521-522.  
Gao X, Li M, Niu Y. Occurrence and deep extension characteristics of Malugou fault in Gaolingzijing section [J]. Deposit and Geology, 2018, 32(3): 521-522.

## Deep occurrence characteristics of the Malugou fault zone in the Xicha section of the Longshoushan metallogenic belt determined based on AMT

WU Xu-Liang<sup>1,2,3</sup>, LI Mao<sup>1,2,3</sup>

(1. Airborne Survey and Remote Sensing Center of Nuclear Industry, Shijiazhuang 050002, China; 2. CNNC Key Laboratory for Geophysical Exploration Technology Center of Uranium Resource, Shijiazhuang 050002, China; 3. Hebei Province Aviation Detection and Remote Sensing Technology Key Laboratory, Shijiazhuang 050002, China)

**Abstract:** This study explored the deep occurrence characteristics of the Malugou fault and its secondary faults in the study area based on the data obtained using audio-frequency magnetotellurics (AMT), aiming to provide a basis for the drilling layout and improve the effects and benefits of the geological exploration of uranium deposits. The feasibility of the AMT method was demonstrated by analyzing the response characteristics of the forward theoretical model of the Malugou fault and its secondary faults. Based on this, this study deduced and interpreted the inverted resistivity cross-sections by combining geological setting, the electrical parameters of rocks, and the drilling data collected. As a result, the deep development characteristics of faults in the study area were roughly identified, and the details are as follows. The Malugou fault ( $F_{101}$ ) has an NW strike, a dip angle of approximately  $80^\circ$ , and dip directions of NE and SW along sections X501-X502 and sections X502-X506, respectively. Secondary faults  $F_{102}$  and  $F_{103}$  have an NW strike, a dip direction of NE, and a dip angle of  $75^\circ \sim 80^\circ$ . The above-mentioned faults are characterized by large cutting depths and high dip angles.

**Key words:** AMT; fault; Longshoushan metallogenic belt; deep structure

(本文编辑:沈效群)