doi: 10.19388/j.zgdzdc.2024.213
引用格式: 陈强林,李怀远,吴文贤,等.综合电(磁)法在内蒙古希热哈达勘查区金多金属矿勘查的应用[J].中国地质调查,2025,12(3): 37-44. (Chen Q L,Li H Y,Wu W X,et al. Application of comprehensive electric (magnetic) method in the exploration of gold polymetallic deposits in Xirehada exploration area of Inner Mongolia[J]. Geological Survey of China,2025,12(3): 37-44.)

综合电(磁)法在内蒙古希热哈达勘查区金多金属矿勘查的应用

陈强林, 李怀远*, 吴文贤, 胡俊峰
(中国地质调查局军民融合地质调查中心,四川 成都 610036)

摘要: 内蒙古北山希热哈达勘查区具有良好的金多金属矿找矿潜力,为查明该区地质构造格架、断裂、岩体等控矿要素的分布特征,更好地指导详查工作布设并圈定找矿靶区,在研究区开展了激电中梯、激电测深和音频大地电磁(audio-magnetotellurics,AMT)测深综合电(磁)法的应用研究。研究结果显示: 激电中梯异常特征反映研究区存在 4 条 NWW 向断裂 F1、F2、F3 及 F4,圈定与断裂相关的 3 个异常区 IP1、IP2 及 IP3,音频大地电磁测深异常特征反映断裂构造的空间展布特征为 F1、F2、F3 断裂倾向北东,F4 断裂倾向南西,激电测深进一步反映出 F3 断裂的产状和成矿有利区的埋深特征。经过探槽工程的验证,在 IP2 异常区识别一条金矿脉,取得了良好的找矿效果。研究基本建立了一套厚覆盖区的电(磁)法找矿勘探方法,可为在浅表芒硝层开展激电测深工作提供借鉴。多种物探方法的综合应用能大致推断出构造及矿体的深部展布特征,同时也缩小了找矿的有利区域,为下一步地质钻探工作提供依据。

关键词: 激电中梯; 激电测深; 音频大地电磁测深; 视电阻率; 深部地质特征解译
中图分类号: P631.2 **文献标志码**: A **文章编号**: 2095-8706(2025)03-0037-08

0 引言

新疆天山地处中亚造山带腹地,由西南天山、西天山和东天山 3 部分组成。北山造山带地处新疆、甘肃、内蒙古交汇处的戈壁荒漠区,大地构造上被认为是天山造山带的东延部分。北山构造形迹复杂,岩浆活动强烈,钼、钨、铁、金、铜、镍等多金属成矿作用广泛而强烈,是我国重要的成矿区带之一[1-4]。目前在北山希热哈达勘查区附近发现的金属矿床主要有乌珠尔嘎顺铁矿[5]、大狐狸山铁矿[6]、小狐狸山钼多金属矿[7]、闹牛山金多金属矿[8]等。在空间上,这些多金属矿床及找矿前景区均位于海西期中酸性侵入岩体与围岩的外接触带。研究区位于希热哈达勘查区内,其区域位置、地层分布、构造条件与上述多金属矿床及找矿前景区相似,具有成矿有利条件。前人在研究区的邻区已开展大量工作,取得了一系列找矿突破与发现,例如: 乌珠尔嘎顺矿区圈出铁矿体 10 条,其中 1 号、2 号矿体为高炉富矿,成矿具多期特征,第一期属接触交代型矿床,第二期属热液型矿床[5]; 红石山—黑鹰山—六驼山深大断裂广泛分布着铜多金属矿床(点),成矿条件有利,可以作为寻找铜多金属矿产的有利地段[6]。此外,东天山—北山地区具有形成三叠纪钼矿床的巨大潜力[7],内蒙古额济纳旗半岛山金锑矿区位于北山成矿带南带,宏观上具有寻找中-大型金矿的潜力[9]。

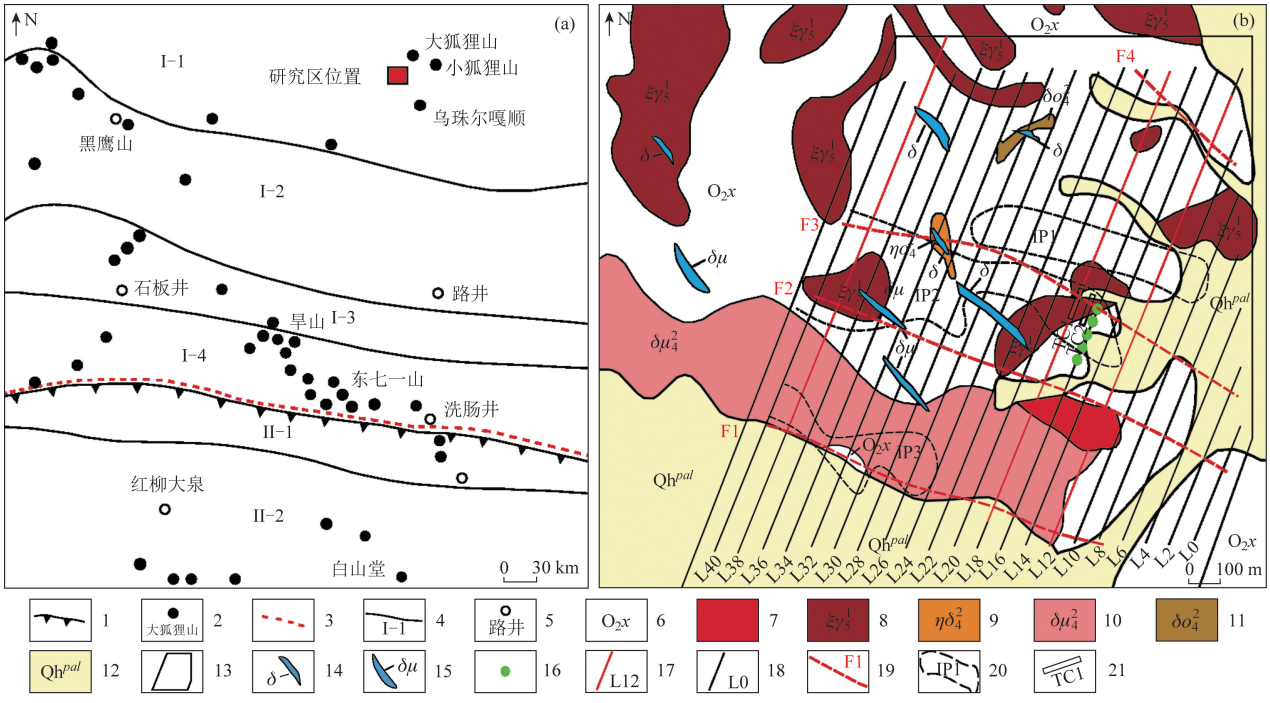
综合电(磁)法能够快速识别地层、构造、岩体及极化体的空间展布特征,克服在复杂构造条件下寻找覆盖区深部金矿的难题,提高钻探验证的成功

收稿日期: 2024-05-13; **修订日期**: 2025-05-09。
基金项目: 中国地质调查局项目"战略性矿产勘查物探技术支撑(军民融合中心)(编号: DD20243091)"项目资助。
第一作者简介: 陈强林(1989—),男,助理工程师,主要从事综合地球物理勘探工作。Email: 316385803@qq.com。
通信作者简介: 李怀远(1995—),男,工程师,主要从事综合地球物理勘探工作。Email: 1802628065@qq.com。

率[10]。研究区具有良好的找矿潜力,但区内的地质、地球物理工作程度较低,制约了该区的找矿发现。本文综合运用激电中梯、激电测深和音频大地电磁测深等综合电(磁)法查明研究区深部结构,以期缩小找矿有利区域,助力新一轮深部金多金属找矿工作。

1　研究区地质特征

内蒙古额济纳旗希热哈达勘查区属于额济纳旗赛汉陶来苏木管辖,大地构造位于哈萨克斯坦板块,星星峡—旱山微板块,雀儿山—狐狸山早古生代活动陆缘带。区域构造线的走向呈NW向或近EW向展布,基本与地层走向一致(图1(a))。研究区内出露地层主要为奥陶系、石炭系、三叠系和第四系。奥陶系为中奥陶统咸水湖组安山质火山岩,岩性主要为安山岩和安山质岩屑、晶屑凝灰岩和角岩;石炭系为海西期火山岩和白山组碳酸盐岩;三叠系为早三叠世正长花岗岩;第四系为全新统洪冲积、砂土等。区域侵入岩较发育,主要为海西期火山岩,并且是主要的含矿岩体,岩性类型主要为二长闪长岩、闪长玢岩、石英闪长岩、二长花岗岩等。



1. 板块缝合线;2. 矿(床)点及名称;3. 边界断裂;4. 构造单元界线及编号;5. 地名;6. 中奥陶统咸水湖组安山岩;7. 中奥陶统咸水湖组角岩;8. 早三叠世正长花岗岩;9. 石炭纪二长闪长岩;10. 石炭纪闪长玢岩;11. 石炭纪石英闪长岩;12. 全新统冲洪积层;13. 物探测线布置范围;14. 闪长岩脉;15. 闪长玢岩脉;16. 激电测深点位;17. 音频大地电磁测线及编号;18. 激电中梯测线及编号;19. 推断断裂及编号;20. 异常区及编号;21. 探槽位置及编号;I-1. 雀儿山—狐狸山早古生代活动陆缘带;I-2. 红石山—路井晚古生代陆内裂谷带;I-3. 石板井—旱山地块;I-4. 公婆泉—东七一山早古生代活动陆缘带,塔里木—华北板块;II-1. 鹰嘴红山早古生代被动陆缘带;II-2. 音凹峡—白山堂晚古生代陆内裂谷带

图1　希热哈达勘查区构造简图(a)及研究区地质简图(b)

Fig. 1　Geotectonic sketch of Xirehada exploration area (a) and geological sketch of the study area (b)

2　综合电(磁)法工作方法

研究区被第四系松散沉积物覆盖,沉积物厚度较大,出露地表的主要为岩体及少量岩脉,共采集377块电性样品进行物性测量,结合研究区地质资料和物性资料,在研究区开展时间域激发极化法[11-12]和音频大地电磁(audio-magnetotellurics,AMT)方法,分析研究区金多金属矿的激电异常分布、空间展布及其与断裂构造的伴生关系,推测成矿有利部位,为钻探工程的部署提供依据。在布设测线时,使测线方向尽可能垂直于地层及构造走向,物探工作测点由南西至北东方向由小到大编号,测线布设方位为30°(图1(b))。激电中梯(短导线)测量比例尺为

1∶10 000,剖面测量面积为 2.2 km^2,测线共 21 条,线距 80 m,点距 20 m,完成测点 1 398 个。完成激电测深剖面 1 条,点距 40 m,其中激电测深物理点 5 个。激电测深采用重庆奔腾数控技术研究所有限公司生产的 WDJD－3 多功能数字直流激电仪,设置供电周期为 16 s,断电延时为 200 ms,采样宽度为 40 ms,叠加次数 1 次。数据处理过程中,将原始数据剔除畸变点后进行整理,再利用 SURFER 软件绘制图件。共布设 3 条音频大地电磁剖面,点距为 20 ~ 40 m,L12 和 L18 测线长度均为 1 440 m,L38 测线长度为 1 640 m,采集有效频率范围为 10 400 ~ 0.35 Hz。音频大地电磁测深采用加拿大凤凰地球物理(Phoenix Geophysics)公司生产的 MTU －5A 系列仪器。首先对数据进行傅里叶变换,然后通过互参考技术和 Robust 估计[13],同时辅以功率谱挑选剔除干扰严重的数据,之后对获得的 AMT 数据进行分析,最终实施 TE + TM 模式反演,获取电阻率反演断面。

3　综合电(磁)法异常特征分析及推断解释

3.1　地球物理特征

对采集的 377 块电性样品进行极化率、电阻率参数的测量和统计,结果见表 1。黄铁矿化石英斑岩极化率最高,呈中高阻、高极化率特征,流纹斑岩、流纹岩极化率次之,闪长斑岩极化率最低。各种岩(矿)石电性特征表明,矿化蚀变的岩(矿)石相对围岩具有一定电性差异,具备开展电法工作的地球物理条件。

表 1　研究区岩石标本电性参数测量统计结果

Tab. 1　Statistical results of electrical parameters measurement of rock specimens in the study area

岩石类型	数量/块	电阻率/(Ω·m)		极化率/%	
		变化范围	算数平均值	变化范围	算数平均值
闪长斑岩	167	2 231.55 ~ 3 495.20	2 821.86	1.16 ~ 1.86	1.59
结晶灰岩	30	227.29 ~ 7 244.36	2 120.12	0.91 ~ 5.56	2.59
流纹岩	30	197.34 ~ 17 095.82	5 627.85	0.54 ~ 36.66	3.18
流纹斑岩	115	155.85 ~ 79 882.17	7 338.86	0.46 ~ 19.92	3.67
黄铁矿化石英斑岩	35	107.92 ~ 16 883.61	3 322.58	1.03 ~ 37.81	5.93

3.2　音频大地电磁测深异常特征

3.2.1　L12 线

L12 线 AMT 反演断面见图 2,该剖面高低电阻率等值线梯级带明显,结合地质特征,划分出推断断裂 F1、F2 及 F4,其空间展布情况推测如下。

F1 断裂位于测线距离 40 ~ 220 m 范围内,宽度大于 200 m,断面向北东倾,倾角约 85°,由于受测线长度的限制,异常等值线未圈闭,推测该断裂向南继续延伸。F1 断裂为区域断裂构造,1∶20 万和 1∶5 万地质图显示该断裂为 NWW 向逆冲断裂,倾向北东,是区内重要的控岩构造,为泥质粉砂岩夹细砂岩与安山岩的分界面。在该断裂地表发现一层宽 1 ~ 2 m 的褐红色硅质岩,呈断续出露,偶见角砾。

F2 断裂位于测线距离 520 ~ 780 m 范围内,宽约 100 m,断面总体向北东倾,倾角约 70°,向下延伸超过 900 m,并且在深部与 F4 断裂交汇,深部低阻异常带为良好的热液通道。通过低阻异常带的变化,认为 F2 断裂为深源断裂,属于 F1 断裂的次级断裂,与 F1 断裂产状基本一致。F2 断裂为泥质粉砂岩夹细砂岩与闪长玢岩、安山岩的分界面,断裂带内只在一处见发育较好的构造角砾岩,宽约 3 m,长约 5 m,见弱褐铁矿化、硅化,与露头地质情况相吻合。

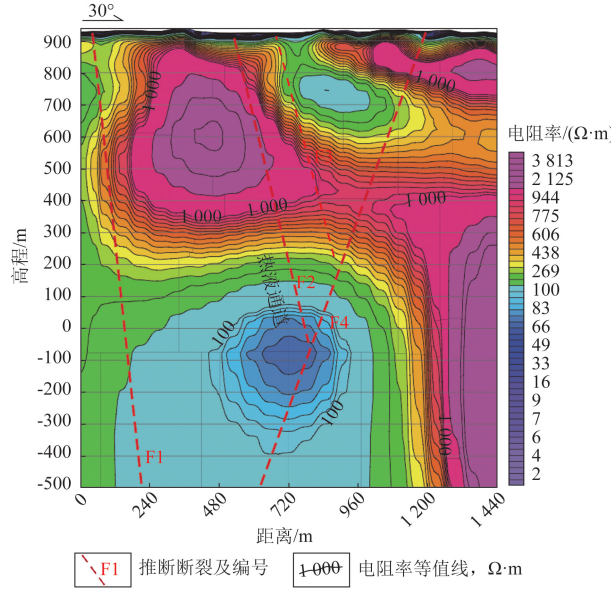


图 2　研究区 L12 线 AMT 反演断面

Fig. 2　L12 line AMT inversion section in the study area

F4 断裂位于测线距离 620 ~ 1 200 m 范围内,宽约 150 m,推测断面总体向南西倾,倾角约 70°,向下延伸至深部,与 F1、F2、F3 断裂倾向相反,与区内成矿关系尚不明确,地表出露岩石主要为中奥陶统咸水湖组安山岩。

3.2.2　L18 线

L18 线位于 L12 线西侧，其 AMT 反演断面如图 3(a)所示。该剖面高低电阻率等值线梯级带明显，结合地质特征，划分出推断断裂 F2、F3、F4，其空间展布情况推测如下。

F2 断裂位于测线距离 350 ~ 780 m 范围内，宽约 160 m，断面向北东倾，倾角大于 65°，向下延伸约 900 m，深部低阻异常带为良好的热液通道，地表出露岩石主要为正长花岗岩、角岩、中奥陶统咸水湖组安山岩等，具有强硅化、毒砂化、微细粒星点状黄铁矿化、褐铁矿化、绿帘石化等蚀变特征。

F3 断裂位于测线距离 600 ~ 640 m 范围内，宽约 80 m，断面总体向北东倾，倾角大于 80°，较为陡立，F3 断裂为 F1 断裂的次级断裂，与 F1 断裂产状基本吻合。

F4 断裂位于测线距离 660 ~ 1 240 m 范围内，宽约 150 m，推测断面总体向南西倾，倾角约 70°，向下延伸至深部，与 F1、F2、F3 断裂倾向相反，地表出露岩石主要为中奥陶统咸水湖组安山岩，与 L12 线推断结果相吻合。

3.2.3　L38 线

L38 线位于 L18 线西侧，其 AMT 反演断面如图 3(b)所示，该剖面高低电阻率等值线梯级带明显，结合地质特征，划分出推断断裂 F2 和 F3，其空间展布情况推测如下。

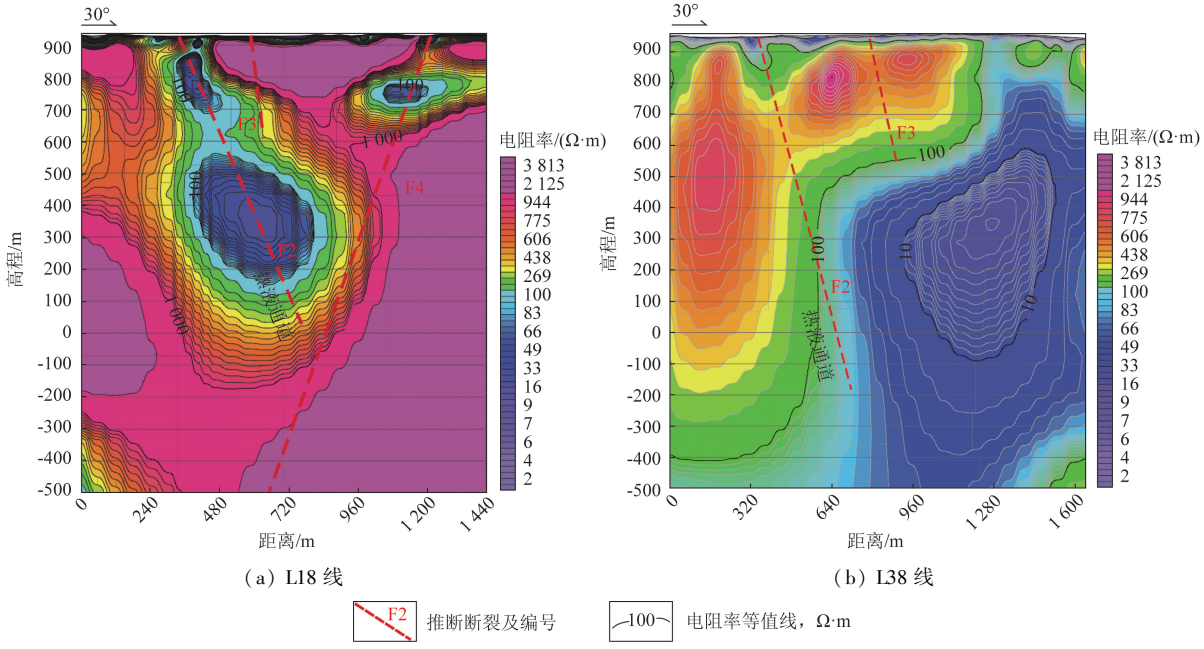


图 3　研究区 L18 线和 L38 线 AMT 反演断面

Fig. 3　L18 and L38 line cross section of AMT resistivity inversion in the study area

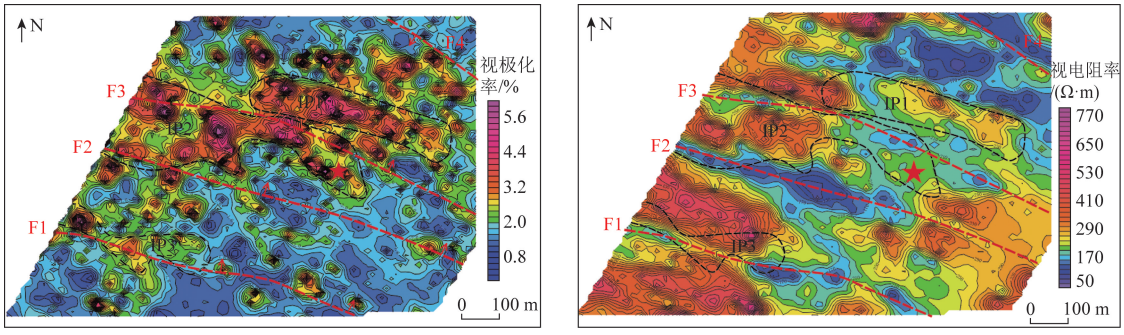
F2 断裂位于测线距离 350 ~ 730 m 范围内，宽约 100 m，断面向北东倾，倾角约 75°，向下延伸大于1 000 m，断裂位于电阻率梯级变化过渡带上，总体电阻率呈低阻，推断由构造破碎带引起，深部低阻异常带为良好的热液通道，与 L12 线和 L18 线的推断结果相吻合。

F3 断裂位于测线距离 780 ~ 880 m 范围内，宽约 80 m，断面总体向北东倾，倾角大于 75°，较为陡立，向下延伸至标高约 550 m 位置，F3 断裂为 F1 断裂的次级断裂，与 F1 断裂产状基本吻合，地表出露岩石主要为中奥陶统咸水湖组安山岩、正长花岗岩、二长闪长岩等，正长花岗岩出露区局部具强硅化、毒砂化、微细粒星点状黄铁矿化、褐铁矿化、绿泥石化等蚀变特征，与 L18 线的推断结果相吻合。

通过 AMT 反演断面(图 2，图 3)分析，发现 3 条测深剖面深部电性结构特征一致性较好，4 条断裂能够相互印证。区内地表露头局部具强硅化、强矿化蚀变特征，破裂带所处的区域见一处较好的构造角砾岩，破裂带内岩石被压碎且变形严重，热液蚀变强烈。研究区内形成数个脉群，在破裂带得到控制，转而控制矿化带的迁移[14-15]。

3.3　大功率激电异常特征分析及综合解释

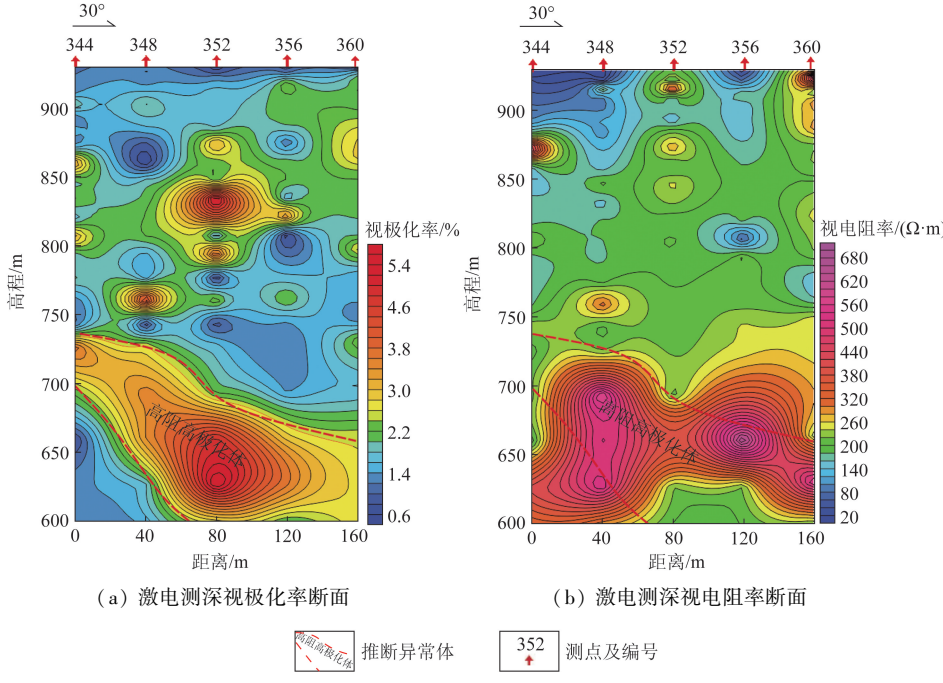
通过在研究区布置大功率激电中梯和激电测深测量，绘制了激电中梯异常(图 4)和激电测深成果断面(图 5)，结合中梯视电阻率和视极化率异常，



(a) 激电中梯视极化率异常图　　(b) 激电中梯视电阻率异常图

图 4　研究区激电中梯异常

Fig. 4　Induced polarization middle graident anomaly in the study area



(a) 激电测深视极化率断面　　(b) 激电测深视电阻率断面

图 5　研究区 L16 线激电测深成果断面

Fig. 5　Cross section of induced polarization sounding results for L16 line in the study area

圈定异常区 IP1、IP2 及 IP3,划分的 4 条断裂 F1、F2、F3、F4 与音频大地电磁法识别的 4 条断裂相吻和,分别解译如下。

IP1 异常区和 F3 断裂走向一致(图 4),结合浅表出露地质情况和地质资料,该异常区位于海西期侵入岩体和中奥陶统咸水湖组火山岩接触带上,呈中阻高极化异常,视极化率值为 2.2% ~5.0%,视电阻率值为 200 ~350 Ω · m,NWW 走向,异常宽 140 m,长 850 m,面积约 0.12 km^2,受 F3 断裂控制,为成矿有利区,推测为深部多金属矿化引起。

IP2 异常区夹持于 F2、F3 断裂之间,与 F2、F3 断裂走向一致,结合浅表露头地质情况和地质资料,该异常区位于海西期侵入岩体和中奥陶统咸水湖组火山岩接触带上,呈中阻高极化异常,视极化率值为 2.2% ~ 6.0%,视电阻率值为 180 ~ 400 Ω · m,NWW 走向,西端延出矿区,控制异常宽 80 ~400 m,长 1 100 m,面积约 0.24 km^2,激电测深工作部署在 IP2 异常区内,由于该地区地表芒硝层对向地下深部供电起到屏蔽效应,所以只在 L16 测量线 352 点两端(露头 Au 品位为 0.34 × 10^{-3})进行了短剖面测量。根据异常区内 L16 线激电测深成果断面图(图 5),结合地质资料,可将 IP2 异常区

在垂向上分成 3 层：第 1 层(0 ~ 10 m)总体表现为低阻低极化特征,推测为浅部第四系覆盖层；第 2 层(10 ~ 200 m)总体表现为中阻中极化、局部高极化特征,推测由中酸性火山岩引起,与电性参数特征(表 1)相一致,局部的高极化率可能与多金属矿化零星分布有关；第 3 层(200 ~ 350 m)表现为中高阻高极化特征,由金多金属矿化引起,并且表现出往深部延伸的趋势,高极化率倾斜方向同矿化破碎带延伸方向基本一致[16],为北东倾向,与 F3 断裂倾向吻合,IP2 异常区为成矿有利区。

IP3 异常区受区域断裂 F1 控制,根据浅表露头地质情况,该异常位于中酸性侵入岩体与白山组结晶灰岩接触带上,呈中阻高极化异常,视极化率值为 2.0% ~ 5.0%,视电阻率值为 200 ~ 350 Ω · m,呈串珠状 NWW 向分布,西端未封闭,控制异常宽 50 ~ 100 m,长 630 m,面积约 0.06 km^2,由交代形成的矽卡岩蚀变带引起,矽卡岩蚀变带具有寻找铜金矿床的可能,为成矿有利区。

4 异常验证与下步找矿方向

通过在物探异常与地表露头相吻合区域进行探槽验证(图 1(b)),TC1 探槽内 2 个样品的金品位为 1.52×10^{-3} ~ 2.30×10^{-3},TC2 探槽内 2 个样品的金品位为 2.40×10^{-3} ~ 3.65×10^{-3}。依据探槽工程,在 IP2 异常区内圈定一条金矿脉,矿体宽 0.21 ~ 0.76 m,平均真厚度为 0.48 m,矿脉走向约 295°,倾向北东,倾角约 74°,金矿脉产于 F3 断裂以北的石英闪长岩中,近矿体 0.9 ~ 1.5 m 的内部岩石发生强烈硅化、黄铁矿化、碳酸盐化和绿泥石化等蚀变,局部可见金矿细脉呈条带状发育。验证结果显示,综合电(磁)法工作在 IP2 异常区内找矿效果良好。区域断裂 F1 控制酸性岩体产出,次级断裂 F2 和 F3 控制含矿热液运移和富集成矿。IP1、IP2 和 IP3 异常区内极化率异常与电阻率异常均重合,且与地表踏勘结果一致,显示海西期侵入岩体与中奥陶统咸水湖组火山岩接触带上,以及中酸性侵入岩体与白山组结晶灰岩接触带上是区内最具找矿潜力的靶区。

5 结论

(1)基本查明了研究区构造格架和电性特征,识别研究区存在 4 条 NWW 向断裂 F_1、F_2、F_3 及 F_4,圈定了异常区 IP1、IP2 和 IP3,其中 IP2 异常区得到了槽探验证,取得了良好的找矿效果,IP1 和 IP3 可作为下步找矿有利靶区,为区内寻找金多金属矿指明了方向,建议对异常区进行更多的地表槽探揭露和深部钻探验证。

(2)基本建立了一套厚覆盖区的电(磁)法找矿勘探方法,可在类似区域推广应用。应用结果表明利用激电中梯、激电测深及音频大地电磁测深相结合的综合物探方法,能够为找矿靶区圈定提供有利依据。

(3)下一步工作可在研究区开展激电测深试验,选用合适参数,采用大功率、长电极的方式改善供电条件,尽量克服浅表芒硝层对电流的屏蔽效应,确定蚀变带及矿化体的走向、长度、规模,有望取得新的找矿突破。

参考文献(References)：

[1] 杨合群,赵国斌,李文明,等. 内蒙古盘陀山—鹰嘴红山含钨花岗岩带形成时代及源区示踪[J]. 地质与勘探,2010,46(3):407 - 413.
Yang H Q,Zhao G B,Li W M,et al. Formation age and source tracing of the tungsten - bearing granite belt in the Pantuoshan - Yingzuihonghsna area,inner Mongolia[J]. Geology and Prospecting,2010,46(3):407 - 413.

[2] 杨合群,赵国斌,李英,等. 新疆—甘肃—内蒙古衔接区古生代构造背景与成矿的关系[J]. 地质通报,2012,31(2/3):413 - 421.
Yang H Q,Zhao G B,Li Y,et al. The relationship between the Paleozoic tectonic setting and mineralization in the Xinjiang - Gansu - Inner Mongolia junction area[J]. Geological Bulletin of China,2012,31(2/3):413 - 421.

[3] 朱江,吕新彪,陈超,等. 东天山东段—北山地区三叠纪钼矿床地质特征、时空分布及含矿花岗岩成岩 - 成矿构造背景[J]. 新疆地质,2013,31(1):21 - 28.
Zhu J,Lv X B,Chen C,et al. Geological characteristics,metallogenic time and tectonic setting of the traiassic molybdenum deposits in the east part of the east Tianshan and the Beishan area,NW China[J]. Xinjiang Geology,2013,31(1):21 - 28.

[4] 丁嘉鑫,韩春明,肖文交,等. 北山造山带花牛山岛弧东段钨矿床成矿时代和成矿动力学过程[J]. 岩石学报,2015,31(2):594 - 616.
Ding J X,Han C M,Xiao W J,et al. Geochemistry and U - Pb geochronology of tungsten deposit of Huaniushan island arc in the Beishan Orogenic Belt,and its geodynamic background[J]. Acta Petrologica Sinica,2015,31(2):594 - 616.

[5] 贺锋,苏茂荣,杨建军,等. 内蒙古额济纳旗乌珠尔嘎顺铁矿

地质特征及成因类型[J]. 西部资源,2017(6):1 - 4.
He F,Su M R,Yang J J,et al. Geological characteristics and genetic type of Wuzhuergashun iron deposit in Ejinaqi,Inner Mongolia[J]. Western Resources,2017(6):1 - 4.

[6] 刘永慧,肖荣阁,赵清旭. 内蒙古北山北带铜多金属成矿地质特征及成矿规律分析[J]. 西部资源,2014(2):87 - 91.
Liu Y H,Xiao R G,Zhao Q X. Analysis on the mineralizing regularities and the minerogenetic conditions of Cu multi - metal mining area in the Northern belt of Beishan in Inner Mongolia[J]. Western Resources,2014(2):87 - 91.

[7] 位鸥祥. 东天山—北山地区小狐狸山钼多金属矿床的成因研究[D]. 合肥:合肥工业大学,2019.
Wei O X. Research on the Genesis Xiaohulishan Molybdenum Polymetallic Deposit in the Eastern Tianshan - Beishan Area[D]. Hefei:Hefei University of Technology,2019.

[8] 侯朝勇,蒋加燥,裴森龙. 综合物探在内蒙古闹牛山金多金属矿勘查中的应用[J]. 矿产勘查,2019,10(9):2306 - 2312.
Hou C Y,Jiang J Z,Pei S L. Application of integrated geophysical exploration method to the prospecting for the Naoniushan gold polymetallic mine in Inner Mongolia[J]. Mineral Exploration,2019,10(9):2306 - 2312.

[9] 郝智慧,胡二红,张善明,等. 内蒙古额济纳旗半岛山金锑矿区地质特征及成矿潜力[J]. 中国地质调查,2022,9(1):41 - 53.
Hao Z H,Hu E H,Zhang S M,et al. Geological characteristics and metallogenic potential of Bandaoshan gold - antimony ore area in Ejina Banner of Inner Mongolia[J]. Geological Survey of China,2022,9(1):41 - 53.

[10] 张家嘉,张顺林,汪青松,等. 综合物探方法在覆盖区找矿中的应用——以皖东五河金矿整装勘查为例[J]. 中国地质调查,2020,7(6):109 - 115.
Zhang J J,Zhang S L,Wang Q S,et al. Application of comprehensive geophysical prospecting method in ore prospecting in coverage area:A case study of integrated survey area of Wuhe gold mine in eastern Anhui[J]. Geological Survey of China,2020,7(6):109 - 115.

[11] 赵英福,李小永. 内蒙古巴格贝银多金属矿地质特征及找矿远景[J]. 矿产与地质,2012,26(6):464 - 468.
Zhao Y F,Li X Y. Geological characteristics and prospecting potential of the Bagbei silver polymetallic deposit in Inner Mongolia[J]. Mineral Resources and Geology,2012,26(6):464 - 468.

[12] 温佩琳,赵秋梅. 大深度激发极化法初步探讨[J]. 物探与化探,1996,20(5):329 - 330,344.
Wen P L,Zhao Q M. A preliminary discussion on the great depth induced polarization method[J]. Geophysical & Chemical Exploration,1996,20(5):329 - 330,344.

[13] Egbert G D. Robust multiple - station magnetotelluric data processing[J]. Geophysical Journal International,1997,130(2):475 - 496.

[14] 岳大斌,王章翔,陈加中,等. 综合技术方法在寻找含矿岩浆通道中的应用——以四川杨柳坪岩浆铜镍硫化物矿床为例[J]. 物探与化探,2021,45(3):601 - 608.
Yue D B,Wang Z X,Chen J Z,et al. The application of integrated measures to the search of magma conduit:A case study of the Yangliuping Cu - Ni sulfide deposit,Sichuan province[J]. Geophysical and Geochemical Exploration,2021,45(3):601 - 608.

[15] 张伟,季国松,廖国忠,等. 黔西南"断控型"金矿床的找矿模式与勘探评价方法——以丫他金矿床为例[J]. 地质学报,2021,95(12):3961 - 3978.
Zhang W,Ji G S,Liao G Z,et al. Prospecting model and exploration evaluation method of "fault controlled" gold deposits in southwest Guizhou:A case study of Yata gold deposit[J]. Acta Geologica Sinica,2021,95(12):3961 - 3978.

[16] 高锋辉,王树新,梁新辉,等. 激电测深在吉家洼金矿区找矿预测中的应用[J]. 黄金,2024,45(3):78 - 84.
Gao F H,Wang S X,Liang X H,et al. Application of IP sounding method to prospecting and prediction in Jijiawa Gold District[J]. Gold,2024,45(3):78 - 84.

Application of comprehensive electric (magnetic) method in the exploration of gold polymetallic deposits in Xirehada exploration area of Inner Mongolia

CHEN Qianglin, LI Huaiyuan, WU Wenxian, HU Junfeng
(*Civil - Military Integration Center of China Geological Survey, Chengdu Sichuan* 610036, *China*)

Abstract: Xirehada exploration area in Beishan of Inner Mongolia has great potential for gold polymetallic deposit prospecting. In order to identify the distribution characteristics of ore controlling elements such as geological structure framework, faults, and rock masses in the area, and better guide the detailed survey work and delineate the prospecting target area, the authors applied comprehensive electrical (magnetic) methods such as induced polarization middle gradient, induced polarization sounding, and audio magnetotelluric sounding in the study area. The research results show that the anomalous features of the induced polarization gradient reflected the existence of four NWW oriented fault structures F1, F2, F3, and F4, and three related anomaly areas IP1, IP2, and IP3 were de-

lineated. The anomalous features of the audio magnetotelluric sounding reflected the spatial distribution characteristics of the fault structures F1, F2, and F3 dipping to the northeast, and F4 dipping to the southwest. The induced polarization sounding further reflected the occurrence of the fault structure F3 and the burial depth characteristics of the favorable mineralization area. After verification by the trench engineering, a gold vein was identified in IP2 anomaly area, and good prospecting results were achieved. A set of electric (magnetic) exploration methods for thick coverage areas was established, providing references for conducting induced polarization sounding in shallow saltpeter layers. The deep distribution characteristics of structures and ore bodies can be roughly inferred by comprehensive application of multiple geophysical methods. Meanwhile, the favorable areas for mineral exploration were also reduced, providing basis for the geological drilling work in the future.

Keywords: induced polarization middle graident; induced polarization sounding; audio magnetotelluric sounding; apparent resistivity; interpretation of deep geological features

(责任编辑: 魏昊明)