

时域激电法在探索深部斑岩型钼矿中的应用

赵振华¹, 曲为贵¹, 刘钧沅¹, 刘仕刚¹, 孔祥栋¹, 刘建权¹, 李磊²

(1. 天津华北地质勘查总院, 天津 300170; 2. 中国地质调查局天津地质调查中心, 天津 300170)

摘要: 河北省丰宁县某钼多金属矿普查工作中, 确立了本区近地表以含钼石英细脉为主的矿化类型, 认为在近地表含钼石英细脉广泛发育的表征下, 具备形成斑岩型矿床的条件。为探索深部斑岩型钼矿床存在的可能性, 施测地质物探综合长剖面P1, 大致查明了全区深部极化体的分布特征及深部电性结构, 为深部验证提供了有利依据。综合以往地质、物探、化探等各项成果, 参考典型斑岩型钼矿成矿模式, 优选斑岩型钼矿成矿最佳部位, 利用时域极化法探索了深部斑岩型矿床存在的可能性, 施工深钻孔进行验证, 最终发现了多条平行钼矿脉。

关键词: 时域激电法; 激电测深; 长剖面; 斑岩型钼矿; 深部矿产

中图分类号: P631.3; P618.65

文献标识码: A

文章编号: 1672-4135(2021)01-0070-06

现阶段随着地质找矿工作的不断深入, 能够在地表浅层发现矿产资源的难度越来越大, 物探方法作为一种能够实现中深部找矿目的的间接地质勘探手段, 在地质勘查工作中发挥出其应有的作用^[1-2]。金属矿勘查过程中电法勘探是主要手段, 各种电法勘查均以岩石的电学性质差异为基础, 但当目标勘查体电阻率与围岩电阻率差异不太时, 相对于电阻率法和电磁法, 激电法更具优势^[1-2]。经过大量工程实践, 激电中梯和激电测深方法的组合, 在寻找隐伏金属矿产中效果良好^[3-9]。本文将探讨河北省丰宁县杨树沟钼多金属矿区运用激电法寻找斑岩型钼矿的效果。

杨树沟钼多金属矿区位于河北省丰宁县城南部, 建国后先后有多家单位分别进行了地质矿调、矿产勘查和科研工作, 基础资料较为丰富, 20世纪80年代五一四地质大队采用物化探等工作手段圈定出4条蚀变带, 为进一步的矿产勘查工作奠定了基础^①。2004年以来, 天津华北地质勘查局先后采用多种地质勘查手段、科研手段, 对矿区进行了勘查工作, 最终估算了资源量, 该钼矿已达中型规模^[10-14]。本次工作对前人各项勘查成果进行了总结, 并分析了钼矿床地质特征^[15-20], 认为本区有形成斑岩型钼矿床的条件, 但由于前期工作没有进行深部钻探工程, 缺乏深

部地质信息, 经研究使用激电测深长剖面的方式优选斑岩体存在的最有利位置, 根据测深结果布设钻孔ZKP1-1、ZKP1-2进行了验证工作, 虽未直接发现斑岩型钼矿体, 但发现的多条石英脉状钼矿体与激电测深指示位置吻合。

1 地质概况

矿区位于华北地台(I级)北缘燕山台褶带(II级)之军都山岩浆岩亚带(III)东仰断块(IV)上。区域成矿物质来源丰富, 热液作用强烈, 赋矿空间发育, 处于“丰宁-隆化铅锌银钼多金属矿远景区”上, 成矿条件十分有利^[11-14]。

工作区地层简单(图1), 仅见第四系(Q₄)沿沟谷和河床阶地分布。汤河断裂是本区最主要的断裂构造, 亦是本区最主要的导矿、储矿构造。其自工作区中部穿过, 走向N60°W, 推测NE向陡倾, 性质为逆断层。区内其它方向断裂构造不发育, 多为岩体内部原生节理, NW、NE向均有分布, 规模较小且较为凌乱, 内部仅见有黄铁矿化、高岭土化、褐铁矿化等蚀变, 与成矿关系不大。区内岩浆岩多出露, 按其穿插关系主要分为印支期中细粒黑云母花岗岩(γ_5^1)^[10]、燕山期花岗闪长岩(γ_8^2)^[10]、燕山期斑状花岗岩($\pi\gamma_5^2$)三期, 其中成矿作用主要与燕山期岩体成岩作用关系

收稿日期: 2020-06-26

资助项目: 河北省地质勘查基金项目“河北省丰宁满族自治县杨树沟钼多金属矿普查(冀国土资勘字[2015]034号)”

作者简介: 赵振华(1982-), 男, 工程师, 硕士, 毕业于中国矿业大学(北京)地球探测与信息技术专业, 主要从事金属矿地球物理勘查工作, E-mail: 157479594@qq.com。

^①时培哲, 刘战鹏, 包久荣, 等. 河北省丰宁满族自治县杨树沟钼多金属矿普查地质报告[R]. 天津华北地质勘查总院, 2015.

密切。区内另见有煌斑岩、细粒黑云母花岗岩、细粒花岗闪长岩呈细小的岩脉状侵入于印支期及燕山期岩体中。

区内矿化蚀变带及矿体均呈北西向,汤河断裂以北矿脉南倾,由北东而南西倾角变陡,汤河以南与此相反,而其次级的与之平行的北西向裂隙系统对矿体在岩中的分布具主导控制作用。前人分析认为本区钼矿床成因类型应属岩浆热液-石英细脉型矿床^②,矿化蚀变带以一组近乎平行的北西向含石英细脉+辉钼矿微细脉为特征,该组细脉发育于印支期中细粒黑云母花岗岩及其深部隐伏的燕山期花岗闪长岩、斑状花岗岩中。

区内矿石中金属矿物主要由辉钼矿和少量黄铁矿、磁铁矿,微量闪锌矿、黄铜矿及它们次生的矿物针铁矿等组成。矿石中辉钼矿、黄铁矿、闪锌矿等共生分布于石英脉中,见辉钼矿、闪锌矿沿黄铁矿的间隙和微裂隙交代和充填,因此判断矿物的生成顺序主要为:黄铁矿、辉钼矿、闪锌矿。

2 工作方法及物性特征

2.1 工作方法

长期以来,激发极化法即时域激电法在寻找多金属硫化物矿产方面发挥了其优势,时域激电法适合于寻找黄铜矿、方铅矿、闪锌矿以及金、银、钨、锡、钼等多金属硫化物矿产,该方法是以地下岩矿石的激发极化效应与导电性差异为物性前提,在人工电场的作用下,观测和研究激发极化电场以达到找矿或解决其他地质问题的一种电法勘探方法。测量主要参数为视电阻率、视极化率。

$$\eta_s = \frac{\Delta V_2}{\Delta V} \times 100\%$$

式中: η_s —视极化率值(%); ΔV_2 —二次场电位差(mV); ΔV —总场电位差(mV)。

$$\rho_s = K \times \frac{\Delta V_1}{I}$$

式中: ρ_s —视电阻率值($\Omega \cdot m$); ΔV_1 —一次场电位差(mV); I —供电电流强度(mA); K —装置系数。

激电中梯法是激发极化法中电剖面法的一种野外工作方式,该方法以固定供电电极距,接收极逐点进行测量的方式开展野外测量。激电中梯法具有工作效率高,能快速发现、追索和圈定异常的分布范围。激发极化法的另一种野外工作方式是激电测深法,

其多采用对称四极的装置形式,以多套组合的供电电极距和接收极距逐点进行野外测量。测深法随供电电极距的增大其探测深度也越深,但测量结果仍为叠加异常,需要经过反演处理才能得到客观真实结果。在反演处理前如遇畸变点应进行相应处理,从本测区P1线激电测深原始数据得知,除125-145点间可能存在地表干扰外,其余测段不存在畸变点。

2.2 物性特征

由于区内地表矿化露头出露较差,岩性标本难以采集,为更有效、更准确的测量区内主要岩性电性参数,测区内分别从不同钻孔中采集各类岩芯标本170块,并采用标本法进行电性参数测定(表1)。

表1 岩(矿)石电性参数测定统计表
Table 1 Rock (mineral) stone electrical parameter determination statistical table

岩石名称	块数	极化率 / η (%)			电阻率 / $\rho(\Omega \cdot m)$		
		η_{min}	η_{max}	平均值	ρ_{min}	ρ_{max}	平均值
煌斑岩	31	0.63	8.55	4.31	236	1 346	729
中细粒黑云母花岗岩	25	3.57	5.07	4.32	350	886	618
含石英脉中细粒黑云母花岗岩	33	2.03	4.87	3.45	435	2 013	1 423
辉钼矿脉中细粒黑云母花岗岩	5	3.16	4.18	3.67	827	1 152	990
花岗闪长岩	33	3.71	7.12	5.55	661	1 259	897
含石英脉花岗闪长岩	28	1.29	6.82	3.35	190	2 752	1 497
辉钼矿脉花岗闪长岩	14	1.07	13.7	6.32	429	2 728	1 012

根据区内岩(矿)石的电性参数测定结果,含矿的辉钼矿脉中细粒黑云母花岗岩、辉钼矿脉花岗闪长岩一般呈中高阻和略高的极化率特性,并且钼矿体多与其它多金属硫化物(黄铁矿等)伴生,因此可形成相对的高极化率激电异常,区内中高阻高极化率异常为物探方法的找矿标志。

2.3 工作布置

测区内共发现H6、H7、H8、H9四处土壤地球化学Mo异常,化探Mo异常集中在Ⅱ号矿化蚀变带内(图1),在H7、H8号化探异常南部,经过前期激电中梯剖面工作,剖面长度1 km,供电电极距AB=1 600 m,点距20 m,断电延时200 ms,采样宽度40 ms,用剖面数据绘制出平面图(图1)。从图上不难看出视极化率异常呈带状,场值相对较弱,其中Ⅰ号矿化蚀变带内异常中心场值在2%左右,Ⅱ号矿化蚀变带异常中心场值2.5%左右。通过分析类比,认为本区具备形成斑岩型矿床条件。前期的工作并没有进行深部验证,所以不能排除深部存在斑岩型钼矿

②时培哲,刘战鹏,包久荣,等.河北省丰宁满族自治县杨树沟钼多金属矿普查地质报告[R].天津华北地质勘查总院,2015.

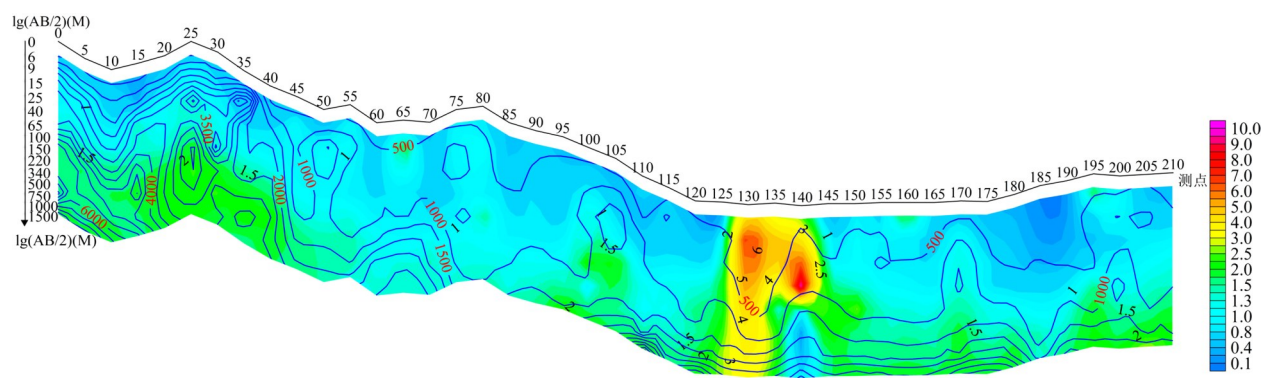


图2 P1线激电测深视极化率、视电阻率断面图

Fig.2 P1 line IP sounding, apparent polarizability, apparent resistivity profile

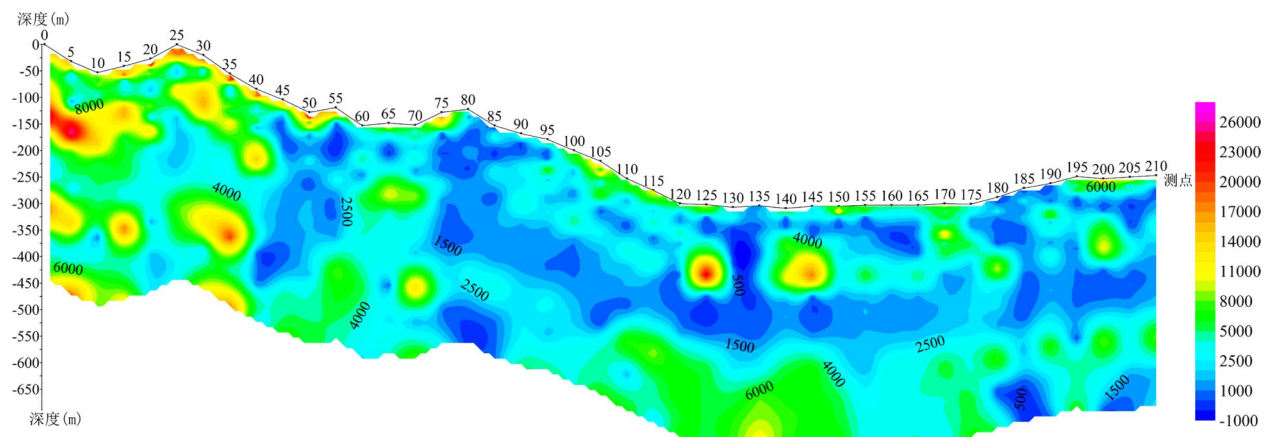


图3 P1线激电测深视电阻率反演断面图

Fig.3 P1 line IP sounding depth resistivity inversion section

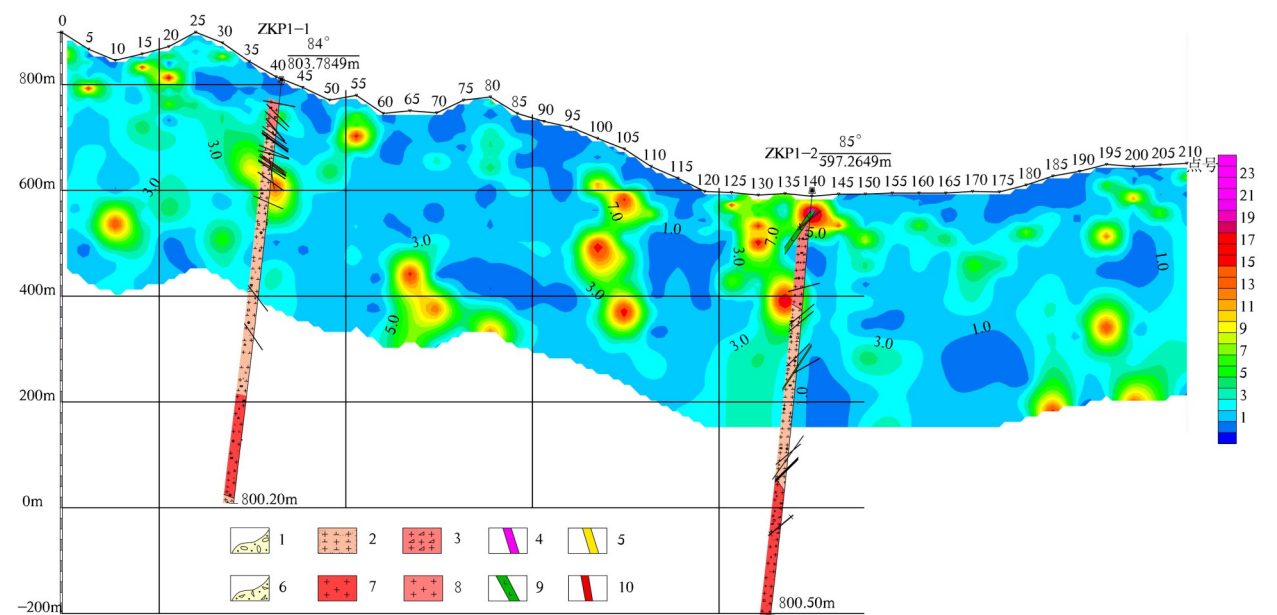


图4 P1线激电测深视极化率反演断面图及钻孔见矿情况示意图

Fig.4 P1 line IP sounding apparent polarizability inversion cross-sectional map and the sketch map of borehole mineral occurrence

1.第四系冲、洪积物;2.花岗闪长岩;3.碎裂状中细粒黑云母花岗岩;4.钼低品位矿体($0.06\% > Mo \geq 0.03\%$);
5.钼矿化体;6.第四系残坡积物;7.斑状花岗岩;8.中细粒黑云母花岗岩;9.煌斑岩脉;10.钼工业矿体($Mo \geq 0.06\%$)

0.474%,另在ZKP1-1、ZKP1-2钻孔深部均新发现另一期燕山期斑状花岗岩岩体^②。P1线激电测深视极化率反演断面图及钻孔见矿情况示意图(图4)上在钻孔ZKP1-1标高600~800 m范围处存在视极化率异常,在钻孔ZKP1-1中此范围内见到钼工业矿体5条和多条钼低品位矿体,在钻孔ZKP1-2标高400~600 m范围内存在上下两处视极化率异常中心,在两处异常中心附近钻孔内各见到1条钼工业矿体。钻孔内虽未直接发现斑岩型钼矿体,但发现的多条石英脉状钼矿体与激电测深指示位置吻合,新一期的燕山期斑状花岗岩的发现充分表明本区岩浆活动具备多期次继承活动的特征,三期次岩体内均以含钼石英细脉+辉钼矿微细脉为主要矿化类型,虽然本次斑岩型钼矿找矿线索较少,但仍不能排除深部存在斑岩型钼矿的可能:

(1)钻孔内各元素分布明显受线性构造控制,无明显垂直分带性,推测可能与钻孔距离热液活动中心较远有关。

(2)2005—2006年,华北有色地质勘查局对相邻的大草坪矿区含钼石英脉流体包裹体进行了测试。大草坪矿区流体包裹体均一化温度介于100~360℃之间,多数介于180~220℃之间。此种温度明显低于美国西部Hederson斑岩型钼矿床流体包裹体均一温度(300~600℃)^[10],说明本区的热液活动具有低温热液的特点,或者热液活动中心很可能位于深部。

4 结论

通过激电中梯工作的实施,圈定出北、南两处规模较大的北西向高极化率异常带,该异常带与地表出露的Ⅰ与Ⅱ号矿化蚀变带完全对应。激电测深及反演断面图上异常明显,钻探结果表明激电异常形态及范围与钻孔中的钼多金属矿化体对应一致,高阻异常反映出硅化带或完整岩体的赋存状态,低阻异常则反映岩性破碎带的位置。P1线反演断面深部出现的高阻异常与ZKP1-2孔相应深度出现的斑状花岗岩岩体对应一致。通过本次激电测深长剖面工作确定出极化体与蚀变矿化体的相互关系,找到了斑岩型钼矿成矿的最佳部位,了解了测区内深部极化体的分布特征。虽经过钻探深部验证没有发现斑岩型钼矿体,但矿区内深部极化体特征以及新发现的一期燕山期斑状花岗岩均对以后的工作有着重要

的指示作用。

参考文献:

- [1] 李金铭. 激发极化法方法技术指南[M]. 北京:地质出版社, 2004, 1-20.
- [2] 蔡运胜. 金属矿产地质勘查中地球物理方法应用综述[M]. 北京:地质出版社, 2015, 1-16.
- [3] 王秀英, 潘月栋, 杨涛, 等. 激电中梯和激电测深在吉林和龙市石马洞钼矿的应用[J]. 吉林地质, 2011, 30(3): 78-83.
- [4] 刘爱平, 楚福录, 郭秀芬, 等. 激发极化法在冀北某铜钼矿勘查中的应用[J]. 物探与化探, 2008, 32(4): 363-365.
- [5] 李家棒, 崔勇, 吴昊龙. 激发极化法在复杂山区寻找钼矿中的应用[J]. 工程地球物理学报, 2015, 12(6): 745-749.
- [6] 卢鸿飞, 王志福, 王恒, 等. CSAMT测深和重力测量技术在哈密白山钼矿深部找矿和远景评价中的应用[J]. 地球物理学进展, 2013, 28(3): 1547-1556.
- [7] 李士祥, 李涓, 向晓松. 激发极化法在河南新县铜钼矿探查中的应用[J]. 矿产勘查, 2011, 2(2): 150-153.
- [8] 雒志峰. 激发极化法在寻找斑岩型铜矿中的应用[J]. 地质找矿论丛, 2003, 18(sup): 149-151.
- [9] 闫志勇, 牛作亮, 周为, 等. 综合物探方法在寻找斑岩型钼矿中的应用实例[J]. 有色金属(矿山部分), 2010, 62(5): 23-26.
- [10] 段焕春, 秦正永, 林晓辉, 等. 河北省丰宁县大草坪钼矿区锆石U-Pb年龄研究[J]. 矿床地质, 2007, 26(6): 634-642.
- [11] 胡建勇, 李辉. 冀北大草坪-杨树沟钼矿区成矿作用与找矿方向[J]. 矿产与地质, 2010, 24(1): 16-19.
- [12] 郭忠, 肖成东, 王自力. 冀北大草坪钼矿地质特征及成因探讨[J]. 地质找矿论丛, 2011, 26(1): 28-33.
- [13] 孙冀凡, 王会文. 冀北小寺沟铜钼矿外围金银资源潜力浅析[J]. 地质找矿论丛, 2004, 19(1): 20-23.
- [14] 时培哲, 冀建军, 李芬香. 杨树沟钼矿成矿地质特征及成矿物质来源分析[J]. 现代矿业, 2013, 29(7): 47-48.
- [15] 王纪昆. 河北省丰宁县二道沟银多金属矿区地球物理特征及找矿方向[J]. 地质调查与研究, 2017, 40(03): 231-237.
- [16] 申宗义, 张立国, 程洲, 等. 河北省沽源一带铀钼多金属地球化学综合异常特征[J]. 地质调查与研究, 2018, 41(01): 67-74.
- [17] 王艳辉. 河北省丰宁县大草坪钼矿区花岗岩岩石地球化学特征及地质意义[J]. 地质调查与研究, 2013, 36(2): 104-113.
- [18] 张强, 张晓, 朱凤丽, 等. 河北省涞水县安妥岭钼矿床地质特征及成因探讨[J]. 地质调查与研究, 2009, 32(1): 34-40.
- [19] 马雁飞, 涂良权, 师书冉, 等. 新疆东戈壁钼矿床斑岩体特征及成因分析[J]. 地质调查与研究, 2012, 35(1): 29-33.
- [20] 李济营, 张云政, 瓮纪昌, 等. 河南汝阳东沟钼矿床下铺花岗斑岩体特征及其控矿作用[J]. 地质调查与研究, 2010, 33(3): 190-197.

Application of gravity exploration in the study of basement structure development in Pingdu area

LI Jian-chao¹, CAO Peng-jun², WANG Zhi-hao¹, WU Xiao-fei²

(1. *China water resources Beifang investigation, design and research CO.LTD, Tianjin 300222, China;*

2. *Tianjin North China Geological Exploration Bureau, Tianjin 300170, China)*

Abstract: Through 1/50 000 gravity exploration in Pingdu area, the fault development and structural unit division in this area were analyzed. Through various effective processing of gravity data, comprehensive analysis of gravity field characteristics, in combination with known geological and geophysical data, the problem of fault development in the tectonic study of flatness area is effectively solved, and the structural unit pattern of "three high and two low" is divided, which provides reliable basic data for this area. The exploration results show that the gravity prospecting method can quickly and effectively reflect the plane characteristics of fault structures in the study area, which can be used for reference in the study of basement structure development in similar areas.

Key words: Bouguer gravity anomaly; fault; tectonic units; Pingdu

Application of time domain IP measurement in the exploration of deep porphyry molybdenum deposit

ZHAO Zhen-hua¹, QU Wei-gui¹, LIU Jun-yuan¹, LIU Shi-gang¹, KONG Xiang-dong¹,

LIU Jian-quan¹, LI Lei²

(1. *Tianjin North China Geological Exploration General Institute, Tianjin 300170, China;*

2. *Tianjin center, China Geological Survey Tianjin 300170, China)*

Abstract: During the exploration of a molybdenum polymetallic deposit, located in Fengning County, Hebei Province, the mineralization type of molybdenum-containing quartz veins in the near-surface was established. The extensive development of molybdenum-containing quartz veins near the surface indicates the metallogenic potential of porphyry deposits. In order to investigate the possibility of deep porphyry molybdenum deposit, the long comprehensive profile P1 of geophysical and geophysical surveys was carried out. The distribution characteristics of deep polarizers and deep electrical structures were roughly identified, which provided a favorable basis for deep verification. Based on the analysis of these previous geological, geophysical and geochemical exploration results, combined with the typical porphyry molybdenum ore-forming model, the best ore-forming position is inferred and selected for deep drilling verification and several parallel molybdenum veins were eventually disclosed. The time domain IP measurements have played a key role in this exploration.

Key words: time domain IP measurement; IP sounding; long-range profile; porphyry molybdenum deposit; deep buried deposit