

doi: 10.11720/wtyht.2019.0293

王振亮, 邓友茂, 孟银生, 等. 综合物探方法在维拉斯托铜多金属矿床北侧寻找隐伏矿体的应用[J]. 物探与化探, 2019, 43(5): 958-965. <http://doi.org/10.11720/wtyht.2019.0293>

Wang Z L, Deng Y M, Meng Y S, et al. The application of integrated geophysical prospecting method to the prospecting for concealed orebodies in the northern area of the Weilasituo copper polymetallic deposit[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2019, 43(5): 958-965. <http://doi.org/10.11720/wtyht.2019.0293>

综合物探方法在维拉斯托铜多金属矿床 北侧寻找隐伏矿体的应用

王振亮^{1,2}, 邓友茂^{1,2}, 孟银生^{1,2}, 刘瑞德^{1,2}

(1. 自然资源部地球化学探测技术重点实验室, 河北廊坊 065000; 2. 中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所, 河北廊坊 065000)

摘要: 维拉斯托铜多金属矿床北侧第四系覆盖严重, 用地表地质手段很难发现该区是否存在隐伏矿体, 因此, 本文在系统梳理地质资料的基础上, 综合运用重力、磁法、激电中梯及 CSAMT 法对该区进行了勘查工作, 通过以上工作, 在该区推断出 3 条断裂, 圈定出 2 处找矿靶区, 通过钻孔验证, 成功找到一处隐伏矿体, 总结出一套在覆盖区寻找隐伏矿体的技术方法组合。

关键词: 重力; CSAMT; 铜多金属矿; 隐伏矿体

中图分类号: P631 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-8918(2019)05-0958-08



0 引言

大兴安岭中南段为我国重要的银铅锌多金属成矿带, 位于次成矿带上的矿床常呈脉状产出^[1], 典型的矿床有大井锡铜铅锌银多金属矿床^[2]、孟恩陶勒盖铅锌银多金属矿床^[3]、阿尔哈达铅锌银多金属矿床^[4]、花敖包特铅锌银多金属矿床^[5]、道伦达坝铜钨锡银多金属矿床^[6]、多宝山铜多金属矿^[7]、维拉斯托铜锌铅银多金属矿床^[8-9]、双尖子山银铅锌矿床^[10-11]。大量的研究显示, 这类矿床的形成与岩浆活动有着密切的联系^[3, 12-14], 矿床一般呈脉状出于围岩中^[9, 15]。

维拉斯托铜多金属矿床位于赤峰市克什克腾旗的北部, 在该矿田内先发现的是富铜的脉状矿床^[16], 后来又发现了斑岩型锡钨铷矿床。前人对维拉斯托矿床的分带特征、围岩和蚀变的形成时代^[6, 17-18]、成矿流体包裹体的特征^[19-20]、硫化物同位素研究^[8, 19]、硫化物的矿物学研究^[21]以及成因探

讨^[1, 9]等方面的研究已经较为深入, 但前人对维拉斯托铜多金属矿床周围是否存在隐伏矿体的研究较少, 有待进一步的地质工作。本文以维拉斯托铜多金属矿床北侧(简称研究区)为研究对象, 确定其范围之内是否存在隐伏矿体及其赋存的空间位置, 因研究区第四系覆盖严重, 故用地表地质手段很难实现对隐伏矿体的定位预测。因此, 本文在研究地质资料的基础上, 应用重力、磁法、激电中梯及 CSAMT 等手段对研究区进行探测研究, 从而确定研究区是否存在隐伏矿体。

1 成矿地质背景

大兴安岭中南段是我国重要的银铅锌多金属成矿带, 其东坡的矿床矿体多赋存在火山沉积地层中, 而西坡的矿床矿体多赋存在片麻岩和石英闪长岩中^[22-24]。该成矿带内的断裂以 NE 向为主^[25-26], 岩浆岩以海西期和燕山期侵入为主, 其他地质时期的侵入岩较少, 严格受 NE 向断裂的控制, 一般呈岩株

收稿日期: 2019-05-27; 修回日期: 2019-06-22

基金项目: 中国地质科学院基本科研业务费项目(AS2017J04); 中国地质调查局项目(1212011120202)

作者简介: 王振亮(1985-), 男, 硕士, 工程师, 从事矿产普查与勘探工作。Email: wzl_217@163.com

状、岩基状分布^[27]。

维拉斯托矿床位于大兴安岭西坡,是大兴安岭中南段银铅锌多金属成矿带的重要组成部分,在大地构造位置上处于西伯利亚板块与华北板块之间(图 1),属于中亚造山带东段的一部分,形成于古生代至中生代期间^[28-31],在这段时期内,该地区发生过明显的碰撞造山和碰撞后伸展作用^[28,32-33]。在这

样的构造环境下,区域内发育深大断裂,主要呈 NE 向和近 EW 向,对区域内岩浆作用、区域内地层的变质变形作用及矿床的形成均有重要的控制作用。

前人研究认为维拉斯托铜多金属矿床是与岩浆活动有关的岩浆热液脉型矿床^[34-36]。矿体多赋存在斜长片麻岩和花岗闪长岩中,主矿体受近东西向断裂的控制^[37-38],严格受构造控制。

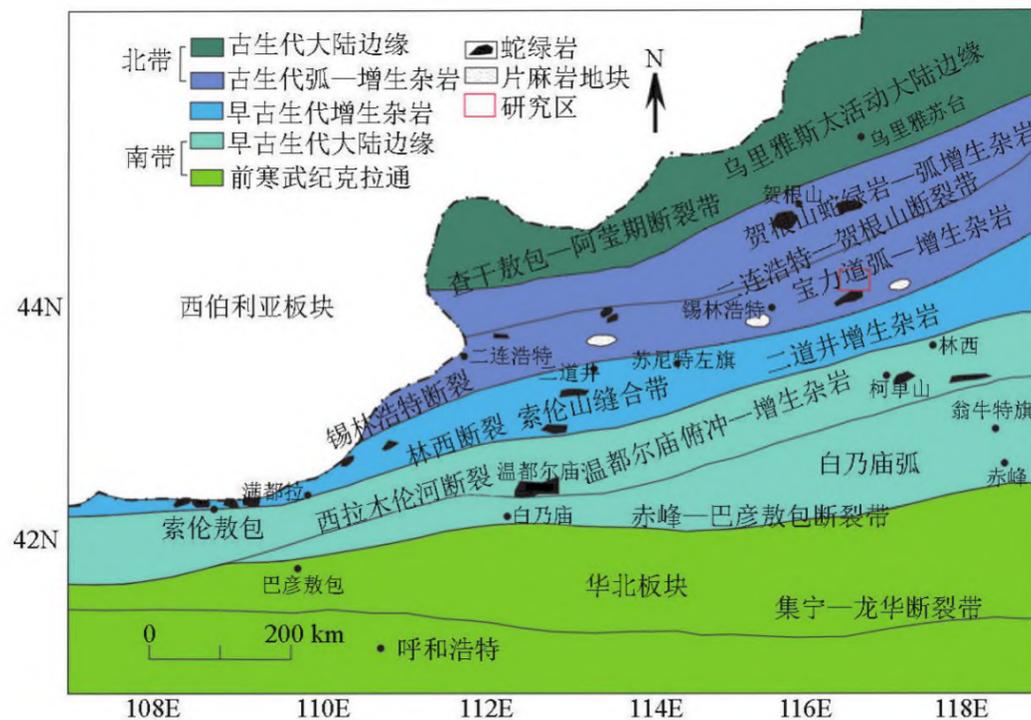


图 1 大兴安岭中南段大地构造简图^[33]

Fig.1 The geological setting of the south Great Xing'an Range^[33]

2 矿床地质概况

维拉斯托岩浆热液脉型矿床的蚀变与矿化受断裂和围岩的控制,其主要表现在矿化蚀变带受断裂和裂隙的控制,矿体主要产于断裂和裂隙的附近,成矿流体跟围岩的化学反应比较弱,远离断裂及裂隙蚀变现象迅速减弱^[1]。矿床的氧化带不发育,矿床的主要成矿物质为硫化物矿,次要成矿物为氧化物矿,两者混合成矿的较为少见,其硫化物矿与氧化物矿的矿石矿物成分基本一致,偶尔在氧化物成矿带中见到一些次生新矿物,由于淋滤作用的影响,氧化物矿石品位普遍较低。

维拉斯托矿区的侵入岩主要为华力西期的石英闪长岩及燕山期的花岗岩,其中,石英闪长岩见片理现象,具备岛弧岩浆活动的特点^[1],而燕山期的花岗岩常常呈岩株状出露于矿区南侧,呈浅肉红色,结构为花岗岩结构,构造为块状构造,花岗岩体 SHRIMP 锆石 U-Pb 测年显示,该期花岗岩形成于 140 ± 3 Ma。花岗岩是成矿流体的母体,NE 向和 NW 向的断裂为矿区内主要的导矿控矿构造,对找矿具有一定的指导意义。

在研究区内出露的地层比较单一,除了第四系覆盖外,在研究区仅出露宝音图组,宝音图组岩性单一,大部分多为斜长片麻岩,在整个研究区均有分布(图 2),在局部见少量的角闪片麻岩,在研究区见 5 处小面积出露的石英闪长岩。片麻岩常呈灰黑色,结构为鳞片状变晶结构,构造为片麻状构造。研究区具有与维拉斯托铜多金属矿床相似的地质条件,成矿潜力较大,故在研究区开展了进一步的地球物

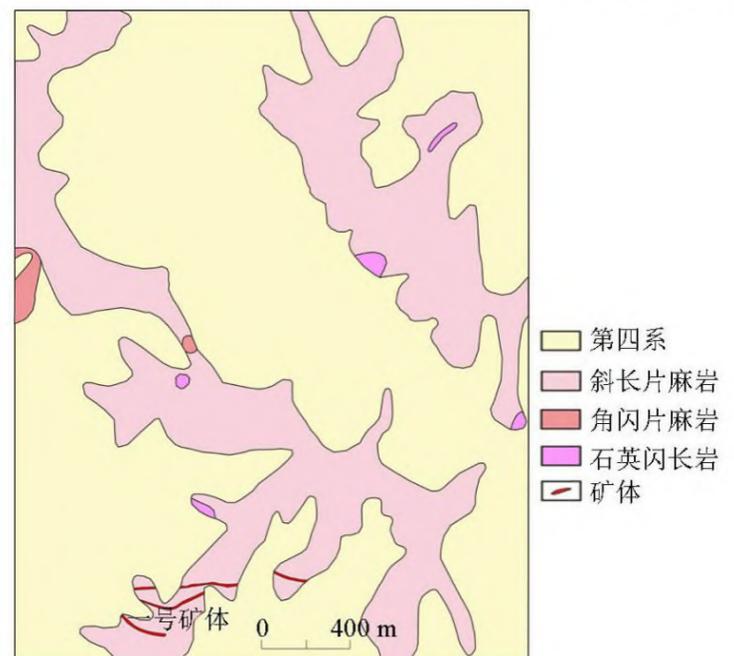


图 2 研究区地质简图

Fig.2 Simplified geological map of the study area

理工作,以期实现定位预测隐伏矿体。

3 地球物理勘查特征

3.1 物性特征

根据对研究区岩石、矿石物性的测试结果(表1)可知,闪长岩和片麻岩密度较低(最小值为 2.544 g/cm³,最大值为 2.890 g/cm³),矿石矿体及矿化岩体密度较高(最小值为 2.951 g/cm³,最大值为 4.871 g/cm³);闪长岩和片麻岩的磁化率较低,平均值在 1 000×10⁻⁶SI 以下,矿石矿体及矿化岩体的磁化率普遍较高,平均值均在 4 000×10⁻⁶SI 以上,最高值可达 374 226.3×10⁻⁶SI;闪长岩和片麻岩的剩磁强度较低,平均值在 200×10⁻³ A/m 之下,矿石矿体及矿化岩体中除矿化闪长岩平均剩磁强度相对较低(902.5

×10⁻³ A/m)之外,其他的剩磁强度平均值均在 3 000 ×10⁻³ A/m 以上,最高值可达 47 985.2×10⁻³ A/m;闪长岩和片麻岩电阻率较高,平均值在2 600 Ω·m 以上,矿石矿体及矿化岩体中除矿化基性脉岩电阻率相对较高(平均值为 773.3 Ω·m)之外,其他的平均值都在 150 Ω·m 以下;闪长岩和片麻岩的极化率较低,平均值在 3%以下,矿石矿体及矿化岩体的极化率普遍较高,平均值均在 50%以上,最高极化率可达 90.5%。

从上述分析可以看出,闪长岩和片麻岩具有低密度、低磁化率、低剩磁强度、高电阻率、低极化率的物性特征,而矿石矿体及矿化岩体具有高密度、高磁化率、高剩磁强度、低电阻率、高极化的物性特征,因此在研究区具有较好的重力、磁法、电法勘查的岩石物性前提。

表 1 研究区岩矿石物性统计

Table 1 Statistical table of the Rock (Ores) physical properties at the study area

岩矿石名称	块数	密度/(g/cm ³)		磁化率/10 ⁻⁶ SI		剩磁强度/(/10 ⁻³ A/m)		电阻率/(Ω·m)		极化率/%	
		变化范围	平均值	变化范围	平均值	变化范围	平均值	变化范围	平均值	变化范围	平均值
闪长岩	31	2.544~2.854	2.655	7.4~9025.9	664.5	0.1~3576.5	153.0	925.3~5205.7	2832.4	0.1~1.2	0.4
片麻岩	35	2.618~2.890	2.712	25.1~10222.7	658.1	0.1~4314.8	157.3	198.3~7180.0	2690.1	0.1~54.0	2.7
基性脉岩(矿化)	4	3.000~4.514	3.500	629.2~178041.1	46599.8	13.8~9448.0	3386.7	53.5~2174.6	773.3	0.3~84.9	52.1
闪长岩(矿化)	4	2.874~4.650	3.728	54.2~15624.3	4076.3	0.3~3586.3	902.5	54.9~257.3	147.4	6.7~79.7	56.0
闪锌矿	8	3.260~4.871	4.289	4692.4~327656.5	58987.0	212.7~23488.8	8858.2	42.0~185.5	90.3	26.6~94.4	71.6
铜锌矿	6	3.699~4.381	3.992	4008.3~27642.1	10874.1	22.8~2988.1	1112.9	18.8~61.2	41.4	70.7~89.8	80.8
黄铜矿	1		4.227		39632.9		15206.8		40.8		90.5
矿体	3	2.951~4.124	3.670	15896.4~374226.3	135800.0	356.5~47985.2	17021.3				

3.2 地球物理工程布置

维拉斯托铜多金属矿床是典型的岩浆热液脉型矿床,是燕山期岩浆活动形成的含矿流体沿断裂通道向上运移,运移至断裂的成矿有利部位,流体中的成矿物质因物理化学条件的变化而发生卸载并富集形成的矿床,且矿床受到断裂构造的控制。而研究区与维拉斯托铜多金属矿床具有相似的地质条件,因此在研究区范围内寻找隐伏矿体,可先使用重力寻找断裂构造,然后使用磁法和激电中梯法寻找磁场、充电率及视电阻率异常带,再使用 CSAMT 对圈定出的异常带进行深部定位,最后使用钻孔验证矿体是否存在。

基于上述理论的基础上,采用重力扫面推断断裂构造,磁法及激电中梯扫面圈定与成矿有关的地球物理异常,在确定了异常性质后,利用可控源音频大地电磁测深(CSAMT)法确定异常的埋深、规模、形态及走向,实现矿体的空间定位预测。

在研究区共布置了 22 条地球物理勘探剖面(见图3),按线距100 m、点距20 m布置,其中0号

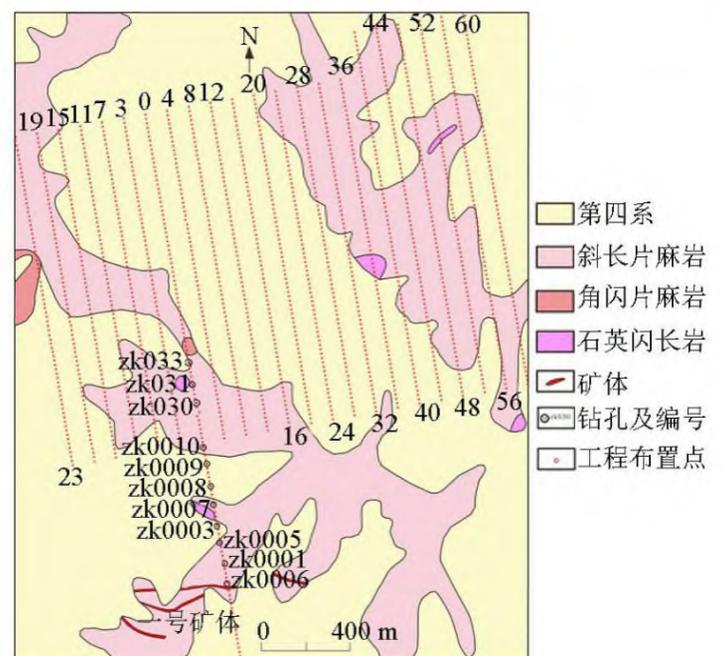


图 3 研究区工程布置

Fig.3 Engineering layout map of the study area

线贯穿维拉斯托铜多金属矿床。在研究区主要做了重力、磁法、激电中梯及可控源音频大地电磁测深(CSAMT)法,本次研究工作重力测量使用的是加拿大 Scintrex 公司生产的全自动 CG-5 型重力仪;磁法测量使用的仪器为加拿大 GSM-19T 型质子磁力仪;

激电中梯和可控源音频大地电磁测深(CSAMT)法使用的仪器是美国 Zonge 公司的美国 GDP-32II 多功能电法仪。可控源音频大地电磁测深(CSAMT)法野外工作技术参数为:采用赤道偶极观测方式,标量测量,发射偶极 AB 为 1 km,收发距大于 6 km,点距为 40 m,工作频率 1~8 192 Hz,供电电流大于 10 A,电阻率相对均方误差为 3.87%,相位均方误差为 11.20 mrad。

3.3 重力异常特征

图 4 为研究区的布格重力异常图,从图 4 可以看出,在研究区内布格重力异常呈现东南部高西北部低的趋势,存在两个布格重力异常高值带,一处位于研究区东南部,另一处位于研究区中南部,呈 NW 走向。结合地质及物性资料推断认为,研究区内的两个布格重力高值带与地表出露的斜长片麻岩相对应,同时也和研究区内山脊走向基本一致;而研究区内的布格重力低值区与第四系出露相对应,特别是研究区中部 NW 向的低值布格重力异常与研究区内山沟相对应,研究区西侧 NW 向低值布格重力区同样为坡下第四系。由此可知布格重力异常可以很好的反应不同密度体的空间分布特征。

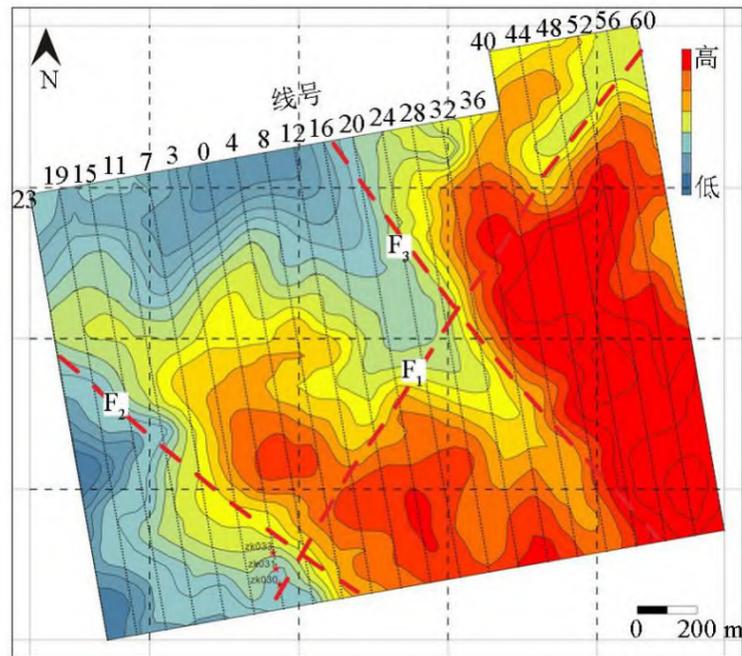


图 4 研究区布格重力等值线(红色虚线为推断断层)

Fig.4 Bouguer gravity contour map of the study area (the red dotted lines show inferred faults)

结合已知的地质资料,可从研究区布格重力等值线图中推断出 3 条主要断裂(即 F_1 、 F_2 、 F_3),依据前面所述研究区内的成矿地质条件可知,在断裂的交汇的部位有利于成矿,是找矿的有利地段,故圈定 F_1 和 F_2 交汇处, F_1 和 F_3 交汇处为成矿远景区,值得进一步地质工作。

为了进一步了解这两处远景区的异常特征,下面使用了磁法和激电中梯对研究区进行扫面工作,揭露研究区的地球物理异常特征,进而圈定隐伏矿

体所在的范围。

3.4 磁场异常特征

图 5 为研究区磁场等值线图,在研究区中间有一弧形高值异常带,沿该异常带分布有多个局部磁异常,该磁异常带长约 1 300 m,南侧出研究区,并有增大趋势,且发现 F_1 和 F_2 交汇处的磁异常值较高且范围较广, F_1 和 F_3 交汇处的磁异常值相对较低且范围较小。根据岩矿石物性统计结果,推断高磁异常带可能为矿体矿化体所引起的高磁异常, F_1 和 F_2 交汇处、 F_1 和 F_3 交汇处周围为成矿有利部位。

通过对磁场上延 500 m 的处理,做出了研究区磁场上延 500 m 等值线图(图 6),从图上看,磁场的高值异常区和走向变化不大,局部异常逐渐减弱融合,两处断裂交汇位置的磁异常衰减的较慢,可判断这两处存在的磁性体埋深较大,结合研究区的物

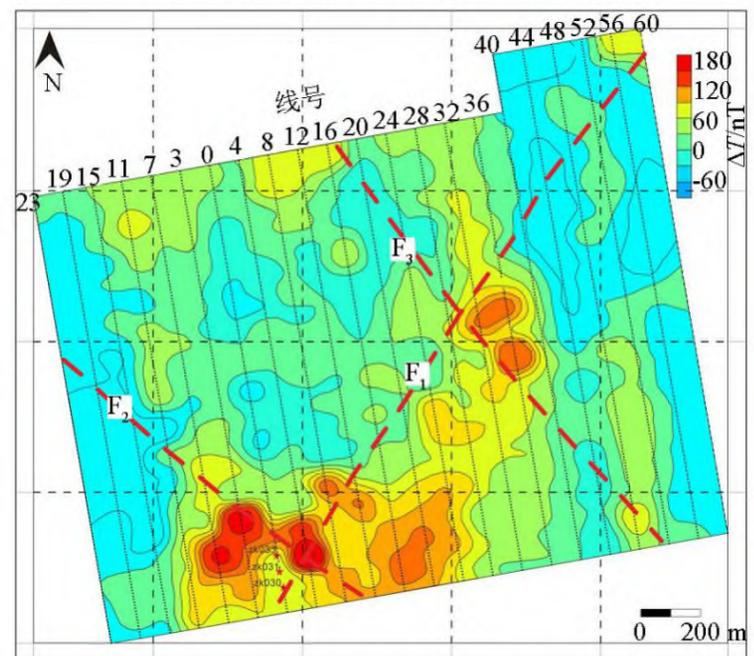


图 5 研究区磁场等值线

Fig.5 Magnetic contour map of the study area

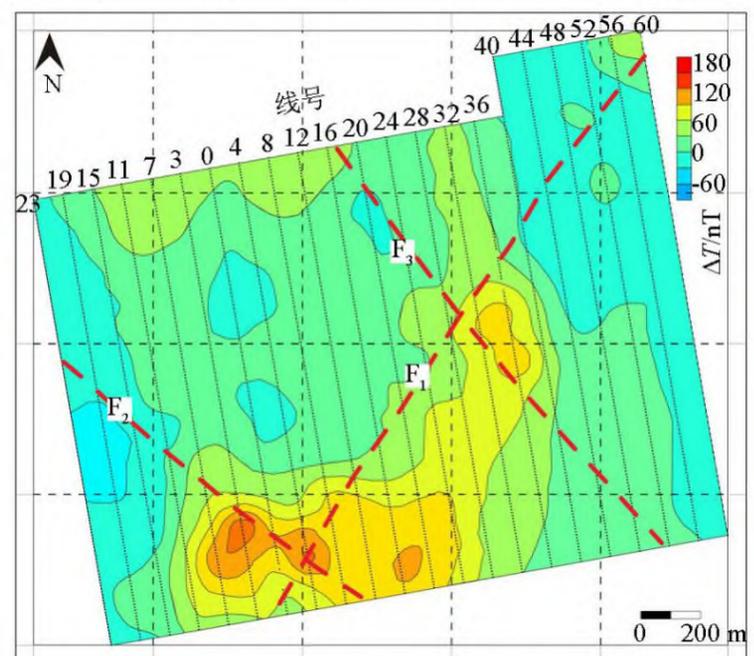


图 6 研究区磁场上延 500 m 等值线

Fig.6 Magnetic contour map of 500 m up extension of the study area

为性资料及实际地质情况,推测这两处异常区可能矿体或矿化岩体引起的。

3.5 激电异常特征

图7为研究区视充电率等值线图,在研究区内圈出两条视充电率异常带M1和M2。M1异常带呈北东向,贯穿整个测区,两侧没有封闭;该异常带主要由4个局部异常组成,4个局部异常的中心点分别位于3线300号点、16线300号点、36线960号点和56线900号点。M2异常带由两个局部异常组成,异常带主要呈NW向,M2异常带主要分布在23~0线600号点附近。

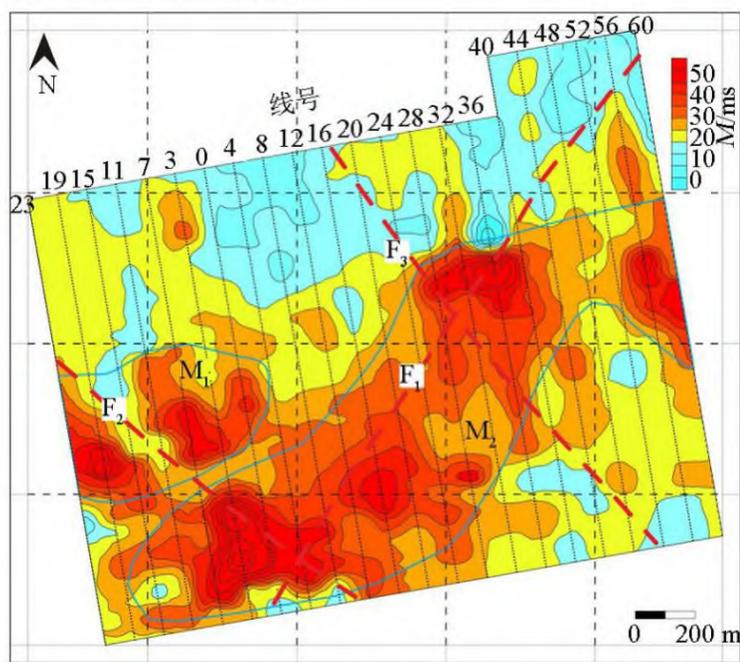


图7 研究区视充电率等值线

Fig.7 The contour map of IP apparent polarizability of the study area

图8为研究区视电阻率等值线图,区内视电阻率分布大致以28线为界,可分为东西两部分。西侧视电阻率异常可分为南北两部分,北侧视电阻率为高阻,范围在0~24线,800点以北,高阻异常平稳,数值较高。东侧视电阻率为次高值,视电阻率异常分布形态近似,视电阻率值接近,不连续,呈大面积不规则状分布。

将重力和磁法的研究成果与视充电率等值线图和视电阻率等值线图相对应,可看出F₁与F₂的交汇处和F₁与F₃交汇处分别与视充电率异常高值区对应,即F₁和F₂交汇处与中心点位于3线300号点的局部异常对应,F₁和F₃交汇处与中心点位于36线960号点的局部异常对应。从图8上可看出,两处断裂交汇部位的电阻率相对较低。

综上所述,磁法圈定的成矿有利部位和激电圈定的成矿有利部位得到了相互印证,结合研究区岩矿石物性统计结果可知,围岩到矿体,电阻率由高阻到低阻,充电率由低充电率到高充电率,磁性由低磁到高磁。由上述可推断两处断裂交汇位置存在矿体

或矿化岩体。

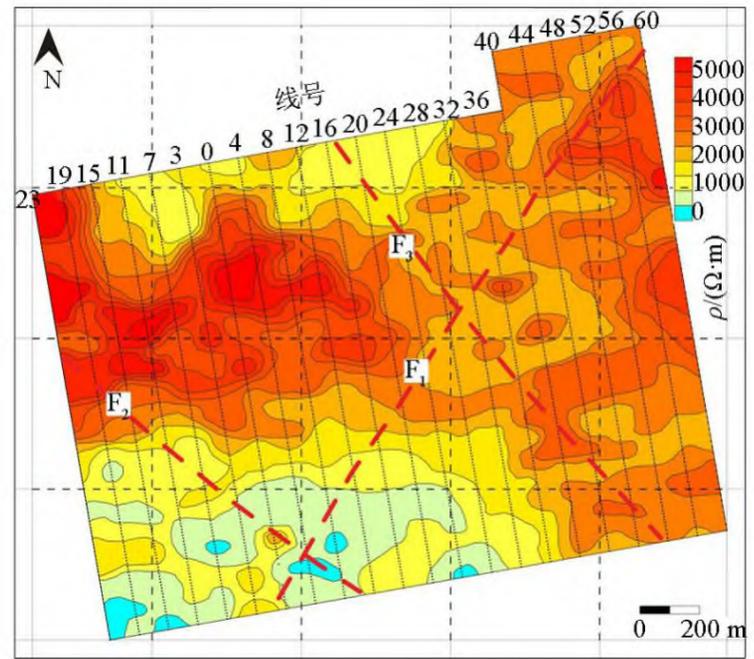


图8 研究区激电中梯视电阻率等值线

Fig.8 The contour map of IP apparent resistivity of the study area

3.6 CSAMT异常特征

为了进一步了解推断出的2处矿体或矿化岩体的空间位置,在0线开展了可控源音频大地电磁测深(CSAMT)研究。

图9为0线CSAMT反演电阻率剖面图,由CSAMT反演电阻率剖面图可以看出,反演电阻率等值线的总体分布形态向北倾,推断在-600号点存在一条向北倾的断裂F₄,在20号点存在一条向南倾向的断裂F₅,且F₄和F₅在深部可能相交;从-880号点~500号点高程800m以浅为相对低阻体,而在深部表现为高阻体,在-700、-450、-350、50、300号点处见五处浅部次高阻异常体,推测可能为片麻岩残留体,而深部高阻体可能为侵入岩体。在-620~-20号点之间已有8眼钻孔控制,控制的矿体为已知的维拉斯托矿区的1号矿脉,矿体向北倾,倾角约30°左右;从上述可知,矿体位于高阻带与低阻带的过渡带上,严格受断裂控制,倾向与电阻率等值线倾向一致,且倾角较电阻率等值线倾角变缓。

综上,同时依据岩矿石物性资料,120号点和450号点分别对应F₁和F₂断裂,预测成矿区域在100~650号点之间,标高840m以浅(见图9中红色线框范围)存在隐伏矿体,其倾向为北倾。

为了验证预测成矿区是否存在矿体,在180号点、260号点、360号点附近布置了3个钻孔,3个钻孔均见到了矿体(见矿位置如图9所示),验证了预测成矿区矿体的存在。由此可见,在研究区上述技术方法组合可以很好的对隐伏矿体进行定位预测,预测在F₁和F₃的交汇处附近存在的另一隐伏矿体,有待进一步工程验证。

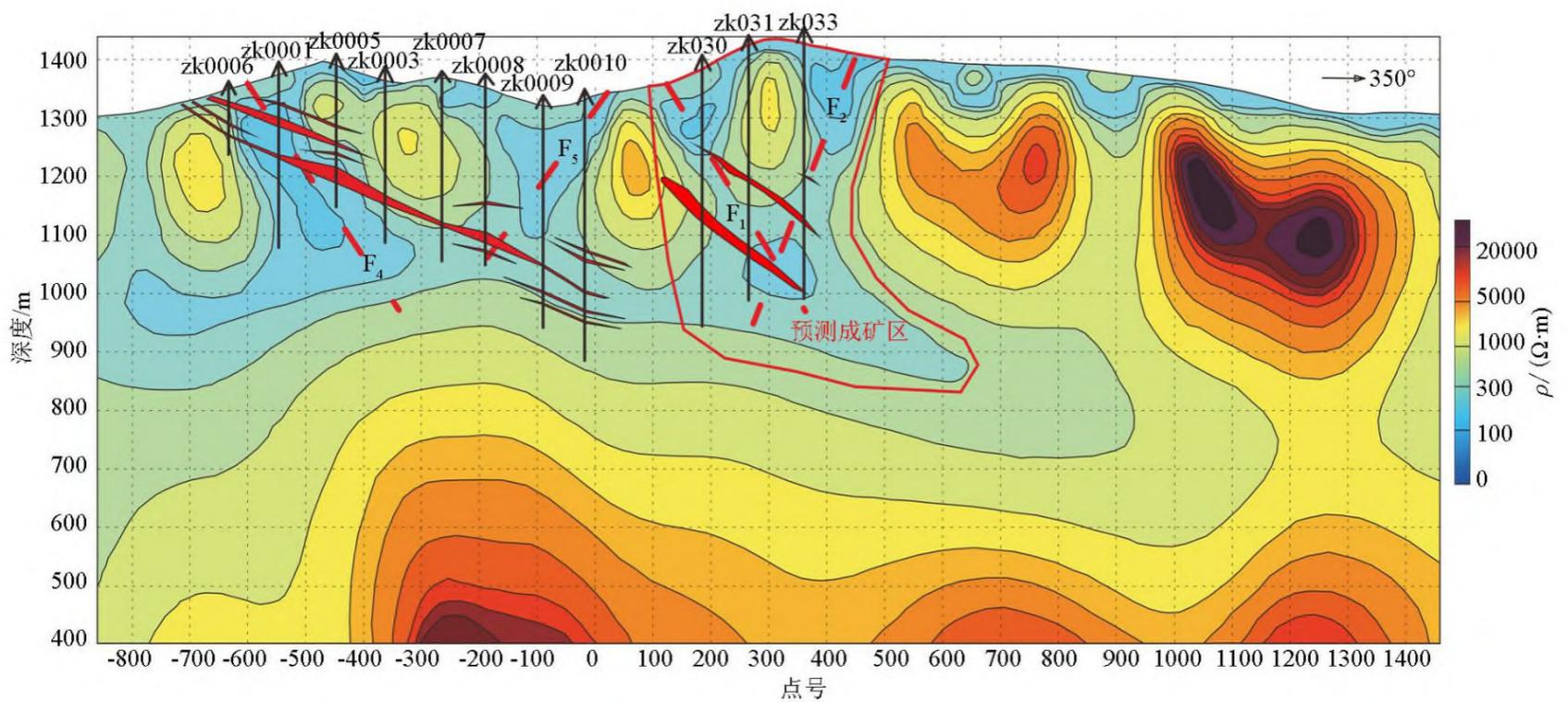


图9 0线CSAMT电阻率反演剖面

Fig.9 Resistivity inversion profile map of CSAMT on Line No.0

4 结论

在全面研究维拉斯托铜多金属矿床的基础上,分析研究区的地质条件,研究区具有与维拉斯托铜多金属矿床相似的成矿地质条件,具有一定的成矿潜力,故在研究区开展重力、磁法、激电中梯及CSAMT等物探工作寻找隐伏矿体,通过以上综合物探工作,推断出3条断裂,圈定出2处成矿靶区,且通过CSAMT进一步了解了一处成矿靶区的空间展布特征,在垂向上圈定出预测成矿区,经过钻孔验证,成功找到一处隐伏矿体。由上述可知,在研究区使用上述技术方法组合寻找隐伏矿体具有良好的效果。

参考文献 (References):

- [1] 刘翼飞,樊志勇,蒋胡灿,等.内蒙古维拉斯托—拜仁达坝斑岩—热液脉状成矿体系研究[J].地质学报,2014,88(12):2373-2385.
Lie Y F, Fan Z Y, Jiang H C, et al. Genesis of the Weilasituo-Bairendaba porphyry-hydrothermal vein type system in Inner Mongolia, China[J]. Acta Geologica Sinica, 2014, 88(12): 2373-2385.
- [2] 王玉往,曲丽莉,王丽娟,等.大井锡多金属矿床矿化中心的探讨[J].地质与勘探,2002,38(2):23-27.
Wang Y W, Qu L L, Wang L J, et al. Study on the mineralization center of dajing Tin-Polymetallic deposit, Inner Mongolia[J]. Geology and Prospecting, 2002, 38(2): 23-27.
- [3] 张乾,战新志,裴愉卓,等.内蒙古孟恩陶勒盖银铅锌铜矿床的铅同位素组成及矿石铅的来源探讨[J].地球化学,2002,31(3):253-258.
Zhang Q, Zhan X Z, Qiu Y Z, et al. Lead isotopic composition and lead source of the Meng'entaolegai Ag Pb Zn In deposit in Inner Mongolia[J]. Geochimica, 2002, 31(3): 253-258.
- [4] 陶则熙.内蒙古自治区阿尔哈达铅锌矿床地质特征[J].地质找矿论丛,2006,21(z1):74-76.
Tao Z X. Geological characteristics of Arhada lead & Zinc deposit in Dongwuqi county, Inner Mongolia, China[J]. Contributions to Geology and Mineral Resources Research, 2006, 21(z1): 74-76.
- [5] 李振祥,谢振玉,刘召,等.内蒙古西乌珠穆沁旗敖包特银铅锌矿床地质特征及成因初探[J].地质与资源,2008,17(4):277,278-281.
Li Z X, Xie Z Y, Liu Z, et al. Geology and genesis of the HuaobaoTe lead-Zinc deposit Inner Mongolia [J]. Geology and Resources, 2008, 17(4): 277, 278-281.
- [6] 潘小菲,王硕,侯增谦,等.内蒙古道伦达坝铜多金属矿床特征研究[J].大地构造与成矿学,2009,33(3):402-410.
Pan X F, Wang S, Hou Z Q, et al. Geology and metallogenesis of daolundaba copper polymetallic deposits, Inner Mongolia[J]. Geotectonica Et Metallogenia, 2009, 33(3): 402-410.
- [7] 刘军,武广,钟伟,等.黑龙江省多宝山斑岩型铜(钼)矿床成矿流体特征及演化[J].岩石学报,2010,26(5):1450-1464.
Liu J, Wu G, Zhong W, et al. Fluid inclusion study of the Duobaoshan porphyry Cu (Mo) deposit, Heilongjiang Province, China[J]. Acta Petrologica Sinica, 2010, 26(5): 1450-1464.
- [8] 江思宏,聂凤军,刘翼飞,等.内蒙古拜仁达坝及维拉斯托银多金属矿床的硫和铅同位素研究[J].矿床地质,2010,29(1):101-112.
Jiang S H, Niu F J, Liu Y F, et al. Sulfur and lead isotopic compositions of Bairendaba and Weilasituo silver-polymetallic deposits, Inner Mongolia [J]. Mineral Deposits, 2010, 29(1): 101-112.
- [9] 刘翼飞,聂凤军,江思宏,等.内蒙古拜仁达坝铅—锌—银矿床:元素分带及其成因[J].吉林大学学报:地球科学版,2012,42(4):1055-1068.

- Liu Y F, Nie F J, Jiang S H, et al. Bairendaba Pb-Zn-Ag Polymetallic deposit in Inner Mongolia: the Mineralization zoning and its origin[J]. *Journal of Jilin University: Earth Science Edition*, 2012, 42(4): 1055 - 1068.
- [10] 匡永生, 郑广瑞, 卢民杰, 等. 内蒙古赤峰市双尖子山银多金属矿床的基本特征[J]. *矿床地质*, 2014, 33(4): 847 - 856.
- Kuang Y S, Zheng G R, Lu M J, et al. Basic characteristics of Shuangjianzishan silver polymetallic deposit in Chifeng city, Inner Mongolia[J]. *Mineral Deposits*, 2014, 33(4): 847 - 856.
- [11] 吴冠斌, 刘建明, 曾庆栋, 等. 内蒙古双尖子山铅锌银矿床银的赋存状态及其指示意义[J]. *地学前缘*, 2014, 21(5): 105 - 115.
- Wu G B, Liu J M, Zeng Q D, et al. Occurrences of silver in the Shuangjianzishan Pb-Zn-Ag deposit and its implications for mineral processing[J]. *Earth Science Frontiers*, 2014, 21(5): 105 - 115.
- [12] 陈祥, 肖力. 内蒙古额仁陶勒盖银矿床地球化学研究[J]. *贵金属地质*, 1999, 8(3): 171 - 178.
- Chen X, Xiao L. The geochemistry study of erentaolegai silver deposit in inner Mongolia[J]. *Journal of Precious Metallic Geology*, 1999, 8(3): 171 - 178.
- [13] 储雪蕾, 霍卫国, 张巽. 内蒙古林西县大井铜多金属矿床的硫、碳和铅同位素及成矿物质来源[J]. *岩石学报*, 2002, 18(4): 566 - 574.
- Chu X L, Huo W G, Zhang X S, C, and Pb isotopes and sources of metallogenetic elements of the Dajing Cu-polymetallic deposit in Linxi county, Inner Mongolia[J]. *China: Acta Petrologica Sinica*, 2002, 18(4): 566 - 574.
- [14] 朱笑青, 张乾, 何玉良, 等. 内蒙古孟恩陶勒盖银铅锌铜矿床成因研究[J]. *矿床地质*, 2004, 23(1): 52 - 60.
- Zhu X Q, Zhang Q, He Y L, et al. Genesis of Meng'entaolegai Ag-Pb-Zn-In polymetallic deposit in Inner Mongolia[J]. *Mineral Deposits*, 2004, 23(1): 52 - 60.
- [15] Beaudoin G, Sangster D F. A descriptive model for silver-lead-zinc veins in clastic meta sedimentary terranes[J]. *Economic Geology*, 1992, 87: 1005 - 1021.
- [16] 郑翻身, 蔡红军, 张振法. 内蒙古拜仁达坝维拉斯托超大型银铅锌矿的发现及找矿意义[J]. *物探与化探*, 2006, 28(5): 13 - 20, 25.
- Zheng F S, Cai H J, Zhang Z F. The discovery of superlarge Silver-Lead-Zinc deposits in Bairendaba and Weilasituo, Inner Mongolia, and its ore-prospecting significance [J]. *Geophysical and Geochemical Exploration*, 2006, 28(5): 13 - 20, 25.
- [17] 常勇, 赖勇. 内蒙古银都银铅锌多金属矿床成矿流体特征及成矿年代学研究[J]. *北京大学学报: 自然科学版*, 2010, 46(4): 581 - 593.
- Chang Y, Lai Y. Study on characteristics of ore forming fluid and chronology in the Yindu Ag-Pb-Zn polymetallic ore deposit, Inner Mongolia[J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 2010, 46: 581 - 593.
- [18] 王新宇, 侯青叶, 王瑾, 等. 内蒙古维拉斯托矿床花岗岩类 SHRIMP 年代学及 Hf 同位素研究[J]. *现代地质*, 2013, 27(1): 67 - 78.
- Wang X Y, Hou Q Y, Wang J, et al. SHRIMP geochronology and Hf Isotope of Zircons from Granitoids of the Weilasituo deposit in Inner Mongolia[J]. *Geoscience*, 2013, 27(1): 67 - 78.
- [19] 孙丰月, 王力. 内蒙拜仁达坝银铅锌多金属矿床成矿条件[J]. *吉林大学学报: 地球科学版*, 2008, 38(3): 376 - 383.
- Sun F Y, Wang L. Ore-forming conditions of bairendaba Ag-Pb-Zn polymetallic ore deposit, Inner Mongolia[J]. *Journal of Jilin University: Earth Science Edition*, 2008, 38(3): 376 - 383.
- [20] 郭利军, 葛昌宝, 冯贞, 等. 内蒙古锡林浩特东部拜仁达坝银铅多金属矿勘查过程及远景评述[J]. *物探与化探*, 2004, (5): 394 - 397, 401.
- Guo L J, Ge C B, Feng Z, et al. The exploration process and prospects of the Bairendaba Ag-Pb polymetallic deposit in eastern xilin hot, inner Mongolia [J]. *Geophysical and Geochemical Exploration*, 2004, (5): 394 - 397, 401.
- [21] 刘家军, 邢永亮, 王建平, 等. 内蒙拜仁达坝超大型 Ag-Pb-Zn 多金属矿床中针硫锑铅矿的发现与成因意义[J]. *吉林大学学报: 地球科学版*, 2010, 40(3): 565 - 572.
- Liu J J, Xing Y L, Wang J P, et al. Discovery of falkmanite from the Bairendaba superlarge Ag-Pb-Zn polymetallic deposit, Inner Mongolia and its origin significance[J]. *Journal of Jilin University: Earth Science Edition*, 2010, 40(3): 565 - 572.
- [22] 邵济安, 刘福田, 陈辉, 等. 大兴安岭—燕山晚中生代岩浆活动与俯冲作用关系[J]. *地质学报*, 2001, 75(1): 56 - 63.
- Shao J A, Liu F T, Chen H, et al. Relationship between mesozoic magmatism and subduction in Da Hinggan-Yanshan area [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2001, 75(1): 56 - 63.
- [23] 刘建明, 张锐, 张庆洲. 大兴安岭地区的区域成矿特征[J]. *地学前缘*, 2004, 11(1): 269 - 277.
- Liu J M, Zhang R, Zhang Q Z. The regional metallogeny of Da Hinggan Ling, China [J]. *Earth Science Frontiers*, 2004, 11(1): 269 - 277.
- [24] 孟银生, 杨立强, 张瑞忠, 等. 第四系覆盖区深部热液脉型矿体综合地球物理方法定位预测——内蒙古维拉斯托矿区北侧隐伏矿体勘查例析[J]. *地球学报*, 2016, 37(6): 745 - 755.
- Meng Y S, Yang L Q, Zhang R Z, et al. Application of integrated geophysical methods to the prospecting for concealed hydrothermal vein-type orebodies beneath Quaternary Sediments: a case study of the northern area of the Weilasituo Copper polymetallic deposit [J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 2016, 37(6): 745 - 755.
- [25] Guo F, Fan W, Li C, et al. Early cretaceous highly positive Nd felsic volcanic rocks from the Hinggan Mountains, NE China: origin and implications for Phanerozoic crustal growth [J]. *International Journal of Earth Sciences*, 2009, 98(6): 1395 - 1411.
- [26] Zheng J H, Gao S, Ge W C, et al. Geochronology of the Mesozoic volcanic rocks in the Great Xing'an Range, northeastern China: Implications for subduction-induced delamination [J]. *Chemical Geology*, 2010, 276(3-4): 144 - 165.
- [27] 毛景文, 谢桂青, 张作衡, 等. 中国北方中生代大规模成矿作用的期次及其地球动力学背景[J]. *岩石学报*, 2005, 21(1): 168 - 188.
- Mao J W, Xie G Q, Zhang Z H, et al. Mesozoic large-scale metallogenic pulses in north China and corresponding geodynamic settings [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2005, 21(1): 168 - 188.
- [28] Jahn B M, Wu F Y, Chen B. Granitoids of the central Asian Oro-

- genic Belt and continental growth in the Phanerozoic[J]. Transactions of the Royal Society of Edinburgh. Earth Sciences, 2000, 91: 181 - 193.
- [29] Zhao D, Maruyama S, Omori S. Mantle dynamics of western Pacific and east Asia: insight from seismic tomography and mineral physics[J]. Gondwana Research, 2007, 11(1-2): 120 - 131.
- [30] Zhu R, Zheng T. Destruction geodynamics of the north China craton and its paleoproterozoic plate tectonics[J]. Science Bulletin, 2009, 54(19): 3354 - 3366.
- [31] 孙爱群, 牛树银, 马宝军, 等. 内蒙古拜仁达坝与维拉斯托银多金属矿床成矿构造对比[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2011, 41(6): 1784 - 1793.
Sun A Q, Niu S Y, Ma B J, et al. A comparative study of ore-forming structures in Bairendaba and Weilasituo Silver-Polymetallic deposits of Inner Mongolia[J]. Journal of Jilin University: Earth Science Edition, 2011, 41(6): 1784 - 1793.
- [32] Meng Q R. What drove late Mesozoic extension of the northern China-mongolia tract? [J]. Tectonophysics, 2003, 369: 155 - 174.
- [33] Xiao W J, Windley B F, Hao J, et al. Accretion leading to collision and the Pennian Solonker suture, Inner Mongolia, China: Termination of the central Asian orogenic belt [J]. Tectonic, 2003, 22(6): 1 - 8, 20.
- [34] 郭灵俊, 赵志军, 崔来旺, 等. 内蒙古阿巴嘎旗北部铜多金属矿地质矿产特征及找矿方向[J]. 地球学报, 2011, 32(1): 57 - 63.
Guo L J, Zhao Z J, Cui L W, et al. Geological and mineral resource characteristics and oreprospect of Cu-polymetallic deposits in the northern part of Abag Banner, Inner Mongolia[J]. Acta Geoscientica Sinica, 2011, 32(1): 57 - 63.
- [35] 熊小松, 高锐, 张兴洲, 等. 深地震探测揭示的华北及东北地区莫霍面深度[J]. 地球学报, 2011, 32(01): 46 - 56.
Xiong X S, Gao R, Zhang X Z, et al. The moho depth of north China and northeast China revealed by seismic detection[J]. Acta Geoscientica Sinica, 2011, 32(01): 46 - 56.
- [36] Yang L Q, Deng J, Guo L N, et al. Origin and evolution of ore fluid, and gold-deposition processes at the giant Taishang gold deposit, Jiaodong Peninsula, eastern China[J]. Ore Geology Reviews, 2016, 72: 585 - 602.
- [37] 王长明, 张寿庭, 邓军. 大兴安岭南段铜多金属矿成矿时空结构[J]. 成都理工大学学报: 自然科学版, 2006, 33(05): 478 - 484.
Wang C M, Zhang S T, Deng J. The metallogenic space-time structure of copper-polymetallic deposits in the southern segment of Da Hinggan Mountains, China[J]. Journal of Chengdu University of Technology: Science & Technology Edition, 2006, 33(05): 478 - 484.
- [38] 张万益, 聂凤军, 刘树文, 等. 大兴安岭南段西坡金属矿床特征及成矿规律[J]. 中国地质, 2013, 40(5): 1583 - 1599.
Zhang W Y, Nie F J, Liu S W, et al. Characteristics and metallogenic regularities of ore deposits on the western slope of the southern section of the Da Hinggan Mountains metallogenic belt[J]. Geology in China, 2013, 40(5): 1583 - 1599.

The application of integrated geophysical prospecting method to the prospecting for concealed orebodies in the northern area of the Weilasituo copper polymetallic deposit

WANG Zhen-Liang^{1,2}, DENG You-Mao^{1,2}, MENG Yin-Sheng^{1,2}, LIU Rui-De^{1,2}

(1. Key Laboratory of Geochemical Exploration, Ministry of Natural Resources, Langfang 065000, China; 2. Institute of Geophysical and Geochemical Exploration, Chinese Academy of Geological Sciences, Langfang 065000, China)

Abstract: The northern area of the Weilasituo copper polymetallic deposit is covered seriously. It is difficult to find concealed orebody with the surface geological means; therefore, in this paper, based on the study of geological data, the authors investigated the study area by using the comprehensive exploration methods such as gravity, magnetic survey, induced polarization in median gradient array and CSAMT. On such a basis, three faults were detected through inference, two metallogenic prediction target areas were delineated and, by drilling, a concealed orebody was successfully found. The combinational technologies and methods in the search for concealed orebodies in the coverage area was summarized.

Key words: gravity; CSAMT; copper polymetallic deposit; concealed orebody

(本文编辑:王萌)