

doi: 10.19388/j.zgdzdc.2024.02.05

引用格式: 李怀远,袁杰,吴文贤,等.高精度磁测在内蒙古额济纳旗苦泉山铁矿区勘查中的应用[J].中国地质调查,2024,11(2): 37-42. (Li H Y, Yuan J, Wu W X, et al. Application of high precision magnetic survey in the exploration of Kuquanshan iron mining area in Ejin Banner of Inner Mongolia [J]. Geological Survey of China, 2024, 11(2): 37-42.)

高精度磁测在内蒙古额济纳旗苦泉山铁矿区 勘查中的应用

李怀远¹, 袁杰^{2*}, 吴文贤¹, 胡俊峰¹, 蒋首进¹, 陈强林¹

(1. 中国地质调查局军民融合地质调查中心, 四川 成都 610036; 2. 内蒙古金彩实业(集团)有限公司, 内蒙古 呼和浩特 010010)

摘要: 为了高效地在内蒙古额济纳旗苦泉山地区寻找深部隐伏的磁铁矿体, 评价该区铁多金属矿的资源潜力, 在预查的基础上开展了1:10 000地面高精度磁测工作, 识别出了5条断裂, 圈定了2个磁异常(C1和C2), 经探槽工程验证, 在C2磁异常揭露了2个磁铁矿体, 取得了较好的找矿效果。勘查结果表明: 通过 ΔT 磁异常化极运算能较好地推测铁矿体的分布范围, ΔT 水平方向导数运算能有效识别区域构造格架; 初步确立“接触带+断裂+高磁异常区”是区域铁矿成矿的有利靶区; 磁铁矿体在经历构造改造作用后会在地表引起强负磁异常, 在磁铁矿勘查中要重视这种非正常的磁化现象。研究可为北山地区的矽卡岩型铁矿勘查提供经验借鉴。

关键词: 地面高精度磁测; 磁铁矿; 非正常磁化; 强负磁异常; 北山地区

中图分类号: P631.2

文献标志码: A

文章编号: 2095-8706(2024)02-0037-06

0 引言

北山地区位于甘肃北部、新疆东南部和内蒙古西部的交界处, 经历了复杂的地质构造运动和岩浆活动, 具有优越的成矿地质构造条件^[1]。在北山内蒙古地区已发现的矿床中, 以铁矿规模最大、数量最多, 其中在苦泉山铁矿区附近已探明了噶顺布拉格铁矿^[2]、乌珠尔嘎顺铁矿^[3]、大狐狸山铁矿^[4]、小狐狸山铁矿^[4]等。在空间上, 以上铁矿均沿中奥陶统咸水湖群火山岩组与海西期侵入岩体的外接触带呈弧状展布, 矿体均形成于海西期, 海西期的中-酸性岩浆侵入活动对铁矿的形成起到了重要作用^[2]。苦泉山铁矿区的区域位置、地层分布、构造条件^[2-5]与上述铁矿相近, 也具有形成铁矿的优越条件。受制于戈壁干旱的自然环境, 在苦泉山铁矿区开展主动源电法的效果不佳,

区内第四系覆盖面积较大, 较难识别与导矿、控矿有关的构造。为了高效地在苦泉山铁矿区寻找深部隐伏的磁铁矿体, 本文选用受水环境影响较小的地面高精度磁测方法, 在地质-物探综合研究的基础上, 推测铁矿成矿的有利部位, 总结了接触交代矽卡岩型磁铁矿成矿的有利条件, 为下一步利用高精度磁测对类似铁矿开展勘查提供参考。

1 区域地质特征

内蒙古额济纳旗苦泉山铁矿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—早山微板块, 雀儿山—狐狸山早古生代活动陆缘带(图1)。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。研究区地层属天山—兴安地层区, 北山分区, 黑鹰山小区东段。区内

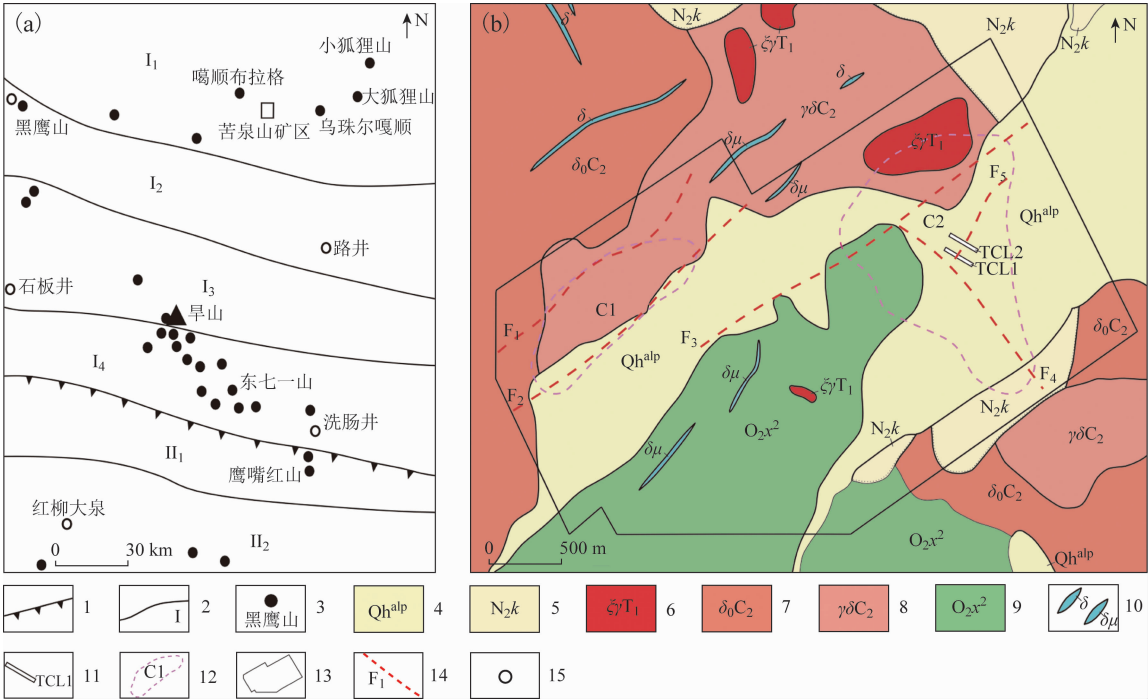
收稿日期: 2022-12-01; 修订日期: 2023-01-03。

基金项目: 中国地质调查局“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: 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。

通信作者简介: 袁杰(1985—), 男, 高级工程师, 主要从事矿产勘查和区域成矿规律方面的研究工作。Email: 920951646@qq.com。

出露地层以中奥陶统咸水湖群上部火山岩组为主，岩石类型为流纹质英安岩夹大理岩。区域侵入岩较发育，主要为海西期侵入岩，岩石类型主要有石英闪长岩、斜长花岗岩、花岗闪长岩、二长花岗岩等。



1. 板块缝合线; 2. 构造单元界线及编号; 3. 矿(床)点; 4. 第四系全新统洪冲积层; 5. 上新统库车组泥岩、粉砂岩; 6. 早三叠世正长花岗岩; 7. 中石炭世花岗闪长岩; 8. 中石炭世石英闪长岩; 9. 中奥陶统下马家沟组流纹质英安岩夹大理岩; 10. 闪长岩脉(δ)与闪长玢岩脉($\delta\mu$); 11. 探槽位置及编号; 12. 磁异常范围及编号; 13. 地面高精度磁测布置范围; 14. 推断断裂及编号; 15. 地名; I₁. 雀儿山—狐狸山早古生代活动陆缘带; I₂. 红石山—一路井晚古生代陆内裂谷带; I₃. 石板井—早山地块; I₄. 公婆泉—东七一山早古生代活动陆缘带,塔里木—华北板块; II₁. 鹰嘴红山早古生代被动陆缘带; II₂. 音凹峡—白山堂晚古生代陆内裂谷带

图 1 研究区大地构造位置(a)与地质简图(b)

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

2 岩石磁性特征

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。本次未采集到磁铁矿标本,在野外共采集了 3 种岩性共 164 块标本,使用磁化率仪测定磁化率和剩余磁化强度,岩石标本磁性参数统计结果见表 1。

表 1 研究区岩石标本磁性参数统计结果

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

岩石类型	数量/块	磁化率/($\times 10^{-6} 4\pi$ SI)			剩余磁化强度/($\times 10^{-3} \text{ A} \cdot \text{m}^{-1}$)		
		变化范围	平均值	离差	变化范围	平均值	离差
花岗闪长岩	79	10.3 ~ 7 190.9	1366.0	974.1	2.7 ~ 28 136.9	769.3	1 350.5
英云闪长岩	54	2.5 ~ 1 861.1	748.3	449.1	16.0 ~ 1 048.9	174.7	127.1
花岗岩	31	7.8 ~ 68.6	25.4	20.5	15.1 ~ 26.5	21.1	4.4

由表 1 可知,花岗岩属于微磁性体,花岗闪长岩、英云闪长岩属于中等强度磁性体。该区未出露磁铁矿体,但白大明等^[6]对北山地区东段预查区的勘查结果显示:磁铁矿石具有强磁化率和强剩磁特征,磁化率可达 $10\,606.0 \times 10^{-6} 4\pi$ SI,剩余磁化强度平均值为 $10\,187.6 \times 10^{-3} \text{ A/m}$,磁铁矿的磁化率及剩余磁化强度与研究区出露的岩石存在显著

的磁性差异,具备通过高精度磁测寻找磁铁矿的地球物理条件。

3 磁测结果及解释推断

3.1 测网布置及数据处理方法

根据区域地质构造情况,布置 1:10 000 高精度

磁法扫面测量 9 km²,测线 42 条,方位为 150°,网度为 100 m×20 m。仪器采用 4 台加拿大 GEM 公司生产的 GSM-19T 质子磁力仪。手动采样周期为 10 s/次,日变数据观测设置基站模式为 10 s 间隔自动采样,磁测工作总精度为 4 nT。通过地面高精度磁测获得地磁场总场强度值 T ,经过日变改正、纬度改正及高度改正后,初步获得磁异常数据。为了提高磁测结果的可靠性和准确性,根据实测磁异常的形态特征,对实测磁场数据进行处理和转换,突出有用异常,消除或压制“噪声”,本次磁测数据主要进行了化极、向上延拓、导数计算等数据处理方法。

3.2 磁异常特征与处理结果

通过将磁异常数据成图,得到磁异常 ΔT 平面等值线(图 2(a))。由于受地磁场的干扰,在倾斜磁化下 ΔT 异常的极值位置会发生偏离,不能准确地确

定异常高值中心的位置^[7-8],因此需要对原始磁异常进行化极处理,得到磁异常 ΔT 化极平面等值线(图 2(b))。研究区局部磁异常广泛发育,磁场分布规律较杂乱,总体表现出西部高、东部低的特征。 ΔT 异常值为 -3 860.38 ~ 1 805.19 nT。根据该区磁异常分布特征,共圈定 2 个局部磁异常(图 1(b))。

(1) C1 磁异常位于研究区西南部,为呈 NE 向展布的椭圆状,面积为 0.75 km²,磁异常值为 -400 ~ 1 300 nT。磁异常具有南正北负、以正异常为主的特点,北部异常梯度较大,推测其与断裂有关,局部出露花岗闪长岩、石英闪长岩和正长岩。

(2) C2 磁异常位于研究区东部,呈“L”型展布,面积为 1.3 km²,异常范围内 ΔT 极大值约 -3 860 nT。北部为微弱零散的正磁异常,负磁异常强度远大于正磁异常,具有非正常磁化现象,出露花岗闪长岩、

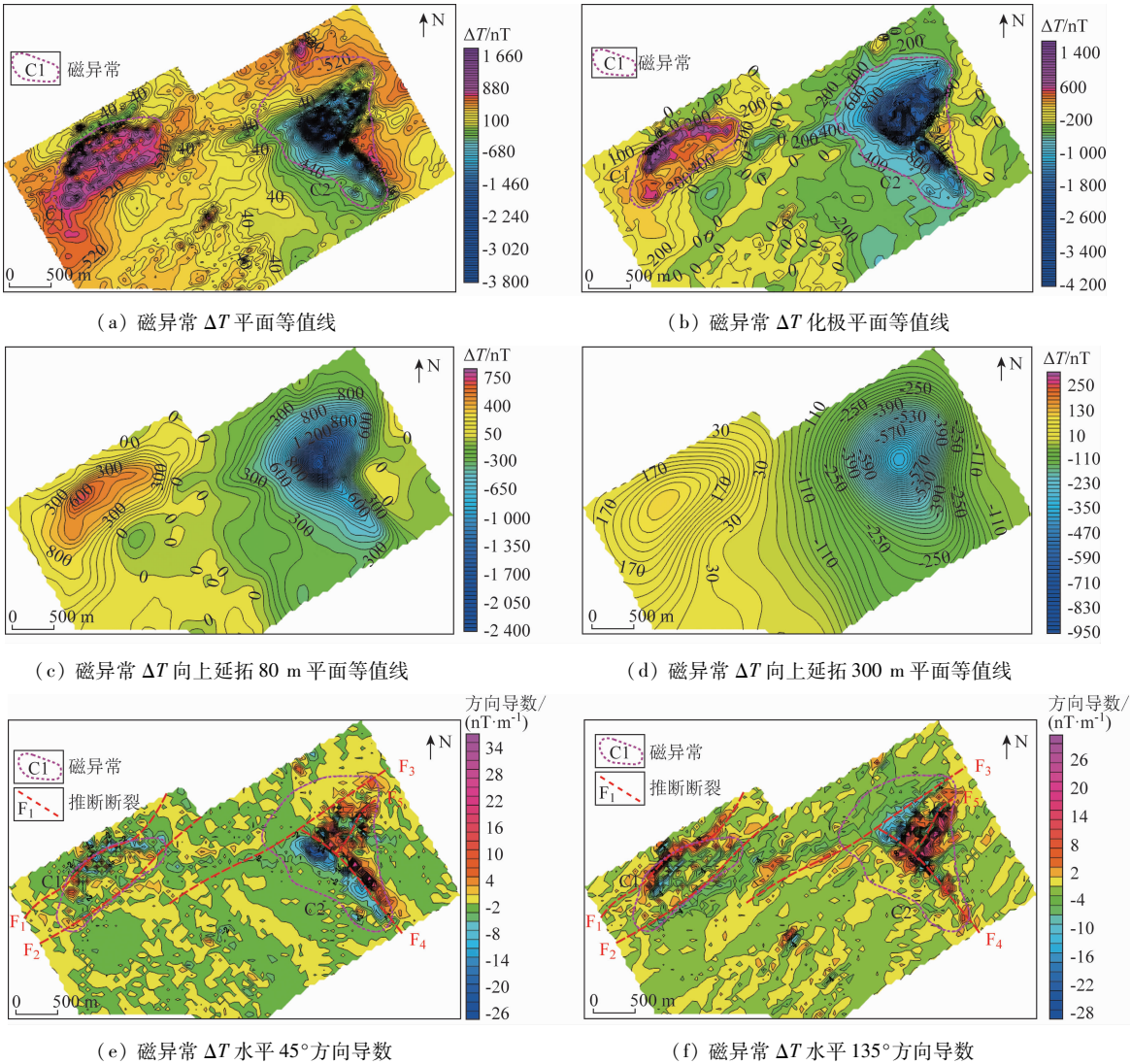


图 2 苦泉山铁矿区地面高精度磁测异常处理结果
Fig.2 High precision magnetic survey anomaly processing results of Kuquanshan iron mining area

石英闪长岩和正长岩,局部偶见大理岩脉。该负磁异常主要分布在石炭纪花岗闪长岩体上,区别于研究区多数花岗闪长岩体的磁场特征。推测由于引起 C2 磁异常的场源铁矿体在经历第一期成矿构造运动改造后,又经历了早三叠世岩浆活动的改造,使铁磁性物质局部富集,形成与现代地磁场方向相反的热剩磁^[9-10],在地面形成强负磁异常区。

除了 C1、C2 两处较大的磁异常外,研究区还存在多处强度高、面积小的磁异常,呈断续、零星、不规则形态分布在研究区的东北部与西南部,表明该区浅层磁性体分布不均匀,存在较小的磁源体。为了削弱浅层局部干扰,突出反映深部异常,更好地对磁异常进行划分和解释,通过向上延拓处理,得到磁异常 ΔT 向上延拓平面等值线(图 2(c),(d)),可见延拓后的磁异常形态更规整、更圆滑。随着延拓高度的增加,一些浅层的高频干扰被压制后,逐渐呈现出相对单一的异常形态。磁异常 ΔT 平面等值线(图 2(a))显示研究区东北角与西南角的高值异常区在向上延拓 80 m 后消失,表明该异常由浅层磁性体引起,不具备大规模矿致异常的特征。C1 磁异常在向上延拓 300 m 后接近消失,而 C2 磁异常在向上延拓 300 m 后依然存在,说明引起 C1 和 C2 磁异常的场源磁性体埋深存在差异,推测 C1 和 C2 磁异常由隐伏的含磁铁矿岩体中的铁所引起。

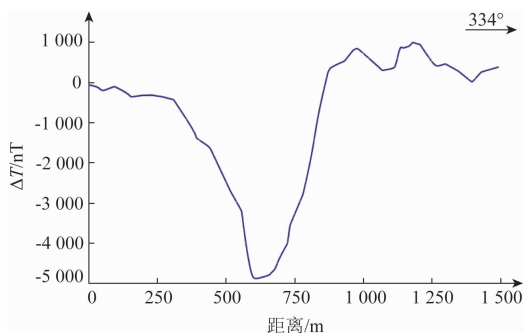
磁异常导数计算已被广泛应用于对磁异常的解釋中,磁异常不同方向上的水平导数对于推测区域构造格架、识别深部断裂具有重要作用^[11]。通过求取磁异常 ΔT 水平 45° 方向和 135° 方向的导数,得到磁异常 ΔT 水平方向导数(图 2(e),(f)),可识别区内断裂特征。

通过磁异常 ΔT 水平 135° 方向导数可以识别出 NE 向断裂(图 2(f))。NW 向断裂 F_1 、 F_2 、 F_5 穿过条带状、串珠状的局部高磁异常轴,有规律地扭动延伸,反映了控制岩浆活动的断裂较为发育。NE 向断裂 F_3 两侧为不同磁异常特征的分界线,是断裂解译的标志。在其南东侧,磁场导数值变化强烈,推测有隐伏磁性体引起强烈的磁异常变化;在其北西侧,磁场导数值以背景值为主,磁场趋于稳定。由图 2(e)可知,磁异常 ΔT 水平 45° 方向导数能清晰地反映 SE 向断裂 F_4 ,其北东侧与南西侧的磁场导数值变化强烈。磁异常解译出的断裂 F_1 — F_5 与实际断裂特征基本一致。C1 磁异常夹持于 NE 向断裂 F_1 和 F_2 的

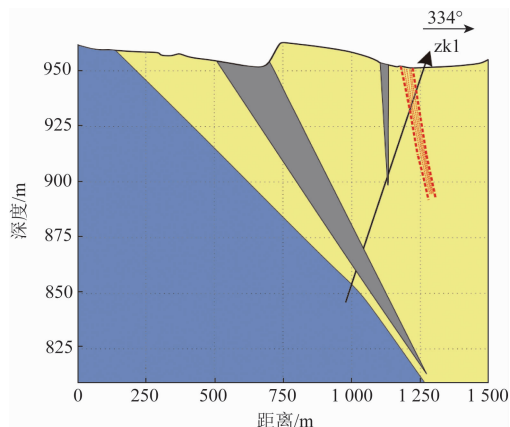
构造带内,C2 磁异常位于 NE 向断裂 F_3 、 F_5 与 NW 向断裂 F_4 的交汇区,磁异常严格受构造控制。

3.3 区域典型矿区磁异常特征

距离苦泉山铁矿区北西方向约 20 km 处为噶顺布拉格铁矿,距离苦泉山铁矿区东侧约 30 km 处为已经探明的乌珠尔嘎顺磁铁矿(图 1(a))。在两个铁矿的主矿坑,沿垂直矿体走向各完成了 1 个高精度磁测剖面,剖面方位角 334° ,点距 20 m。为了便于统一分析,苦泉山、噶顺布拉格和乌珠尔嘎顺 3 个铁矿区的磁场背景值 T_0 均保持一致。乌珠尔嘎顺磁铁矿观测到的 ΔT 磁异常值为 $-1\,778 \sim 3\,735$ nT,磁铁矿体向南倾,磁异常曲线南正北负,浅表主矿体位于负磁异常区。噶顺布拉格铁观测到的 ΔT 磁异常值为 $-4\,893 \sim 876$ nT,磁铁矿体向北倾,磁异常曲线南正北负,以强负磁异常为主,浅表主矿体位于强负磁异常区(图 3)。通过对比区域内的噶顺布拉格和乌珠尔嘎顺典型矽卡岩型铁



(a) ΔT 实测曲线



(b) 地质剖面



图 3 噶顺布拉格铁矿区主矿体磁测剖面

Fig.3 Magnetic survey profile of the main orebody in Garshunbragg iron mining area

矿的磁异常,认为磁铁矿体也可以引起强负异常或具有正负伴生、以强负异常为主的磁异常特征,埋藏深浅和品位高低的不同会导致磁异常值变化范围较大。推测苦泉山 C1 和 C2 磁异常均由隐伏磁铁矿体引起,建议开展进一步的工程验证。

3.4 异常验证

通过进行探槽揭露(图1),在 C2 磁异常覆盖层深处发现2条铁矿脉。1号矿脉厚2.3~8.6 m,铁矿品位55.92%~62.37%,走向49°,倾角63°,铁矿脉产于 F₃ 断裂以南及 F₄ 断裂北东的石榴子石矽卡岩中。2号矿脉厚1.3~3.9 m,铁矿品位38.24%~53.72%,走向68°,倾角54°,铁矿脉产于 F₅ 断裂以南东的花岗闪长岩中,近矿体1~2 m 内的岩石蚀变及高岭土化强烈,局部可见磁铁矿细脉呈条带状发育。坑探结果表明,高精度磁测在该区磁铁矿勘查中具有较好的可行性,找矿效果较好。

3.5 磁铁矿成矿有利靶区

根据研究区地质背景、实测磁异常特征和数据处理结果,通过对比研究区东西两侧已探明的乌珠尔嘎顺铁矿和噶顺布拉格铁矿,初步认为“接触带+断裂+高磁异常区”是该区铁矿成矿的有利地带。

(1)接触带。对比乌珠尔嘎顺磁铁矿和噶顺布拉格铁矿的地质特征,认为苦泉山磁铁矿体主要形成于海西期,海西期中-酸性岩浆侵入活动对区内铁矿的形成具有重要作用,海西期侵入岩为矿体的形成提供了含矿热液,是成矿母岩。铁矿体沿海西期花岗闪长岩体与中奥陶统咸水湖群火山岩组接触带一线的矽卡岩化蚀变岩带分布,在石榴子石矽卡岩中富集成矿,形成接触交代矽卡岩型磁铁矿。

(2)断裂。海西期石英闪长岩沿早期区域性近 EW 向嘎顺布拉格—乌珠尔嘎顺逆冲断层侵入,并产生了次一级呈 NE 向展布的压扭性破碎断裂带,为矽卡岩的形成和矿液活动提供了空间,该 NE 向断裂带是区内主要的控矿、导矿构造,严格控制了矿体和矽卡岩带的展布。

(3)高磁异常区。磁异常平面呈椭圆状、团块状,与岩石建造展布和断裂延伸方向较吻合。地表 ΔT 异常值在 1 000 nT 以上,经化极延拓等处理后异常形态规整,强度依然较大。可通过圈定高磁异常区识别成矿有利位置,作为区域找矿的地球物理标志。

4 结论

(1)在地质工作程度低且第四系覆盖厚度大的戈壁干旱地区,高精度磁测能够快速有效地圈定铁矿体范围,并识别区域内的断裂。研究区内花岗岩中的铜矿化较好,单一磁法对弱磁性或无磁性矿体识别较差,建议开展物化探综合方法进行勘查评价。

(2)“接触带+断裂+高磁异常区”是区域接触交代矽卡岩型磁铁矿成矿的有利靶区,当中奥陶统咸水湖群火山岩组与海西期侵入岩接触带上,存在高磁异常区且其展布受岩石建造和断裂控制时,是寻找磁铁矿的有利区域。

(3)C2 磁异常的场源铁矿体经历了两个期次的构造改造,获得了与现代地磁场方向相反的热剩磁,在地表表现为强负磁异常。应当在磁铁矿勘查中重视这种非正常磁化现象,建议转变“只能在正磁异常或正负伴生磁异常中寻找磁铁矿”的传统找矿思路。

参考文献(References):

- [1] 杨合群,李英,李文明,等.北山成矿构造背景概论[J].西北地质,2008,41(1):22-28.
Yang H Q, Li Y, Li W M, et al. General discussion on metallogenetic tectonic setting of Beishan Mountain, Northwestern China[J]. Northwestern Geology, 2008, 41(1): 22-28.
- [2] 孟贵祥,吕庆田,严加永,等.北山内蒙古地区铁矿成矿特征及其找矿前景[J].矿床地质,2009,28(6):815-829.
Meng G X, Lv Q T, Yan J Y, et al. Iron metallogenic characteristics and prospecting potential of Beishan area, Inner Mongolia[J]. Mineral Deposits, 2009, 28(6): 815-829.
- [3] 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,2017,14(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, 14(6): 1-4.
- [4] 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,2014,11(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, 11(2): 87-91.
- [5] 张子珍,巩智镇,张海平,等.内蒙古北山地区黑鹰山铁矿区地质特征及矿床成因初探[J].西部资源,2012,9(1):144-146.
Zhang Z Z, Gong Z Z, Zhang H P, et al. Geological characteristics and genesis of the Black Yingshan Iron ore deposit in Beishan area,

Inner Mongolia[J]. Western Resources, 2012, 9(1): 144 – 146.

[6] 白大明, 聂凤军, 杨崇文, 等. 综合物探方法在蒙—甘—新相邻(北山)地区东段铜矿预查区勘查评价中的应用[J]. 地球学报, 2001, 22(5): 459 – 464.

Bai D M, Nie F J, Yang C W, et al. The application of integrated geophysical method to the evaluation of copper deposits in the eastern section of the Inner Mongolia – Gansu – Xinjiang juncture area (Beishan) [J]. Acta Geoscientia Sinica, 2001, 22(5): 459 – 464.

[7] 吴煜. 高精度磁法在矿田找矿中的应用——以内蒙古获各琦矿田为例[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2012.

Wu Y. The Application of High – Precision Magnetic Method to the Mine Field in Geology and Mineral Resources Huo Geqi Ore-field for Example [D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2012.

[8] 郝智慧, 胡二红, 张善明, 等. 内蒙古额济纳旗半岛山金锑矿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.

[9] 柳建新, 郭振威, 童孝忠, 等. 地面高精度磁法在新疆哈密地区磁铁矿勘查中的应用[J]. 地质与勘探, 2011, 47(3): 432 – 438.

Liu J X, Guo Z W, Tong X Z, et al. Application of the ground high – precision magnetic method to magnetite survey in the Hami area, Xinjiang [J]. Geology and Exploration, 2011, 47(3): 432 – 438.

[10] 李少雄. 邯邢地区深部找矿中非典型磁异常解释研究[D]. 邯郸: 河北工程大学, 2010.

Li S X. A Study on Atypical Magnetic Anomaly Interpretation in Deep Prospecting of Handan – Xingtai Area [D]. Handan: Hebei University of Engineering, 2010.

[11] 王新华, 鲁世朋, 谢志远, 等. 新疆比勒提地区断裂构造磁异常信息提取及解释[J]. 地质通报, 2014, 33(1): 99 – 103.

Wang X H, Lu S P, Xie Z Y, et al. The extraction and explanation of magnetic anomalies in Bileti area of Xinjiang [J]. Geological Bulletin of China, 2014, 33(1): 99 – 103.

Application of high precision magnetic survey in the exploration of Kuquanshan iron mining area in Ejina Banner of Inner Mongolia

LI Huaiyuan¹, YUAN Jie², WU Wenxian¹, HU Junfeng¹, JIANG Shoujin¹, CHEN Qianglin¹

(1. Civil – Military Integration Center of China Geological Survey, Sichuan Chengdu 610036, China;

2. Inner Mongolia Jincui Industry Group Co., Ltd., Inner Mongolia Hohhot 010010, China)

Abstract: In order to efficiently search for deep hidden magnetite bodies in Kuquanshan area of Ejina Banner in Inner Mongolia, and evaluate the resource potential of iron polymetallic ores in this area, the authors carried out 1: 10,000 ground high – precision magnetic survey on the basis of the pre – survey. Five fractures were identified, and 2 magnetic anomalies (C1 and C2) were circled. And 2 magnetite bodies were exposed at C2 magnetic anomaly after the validation of the trench exploratory project, indicating good results in prospecting. The survey results show that the range of iron ore bodies can be better predicted by ΔT magnetic anomaly polarization operation, and the regional tectonic framework can be effectively identified by ΔT horizontal derivative operation. The *contact zone + fracture + high magnetic anomaly area* was preliminary established as favorable target area for iron ore mineralization in the region. The magnetite bodies after tectonic modification would result in strong negative magnetic anomalies on the surface, and this abnormal magnetization phenomenon should be paid attention to during magnetite exploration. This study could provide some experience for the exploration of skarn – type iron ore in Beishan area.

Keywords: ground high – precision magnetic survey; magnetite; abnormal magnetization; strong negative magnetic anomaly; Beishan area

(责任编辑: 魏昊明)