

doi: 10.11720/wtyht.2024.1047

董健,李肖鹏,付超,等.高精度重磁方法寻找隐伏矽卡岩型铁矿[J].物探与化探,2024,48(1):31-39. <http://doi.org/10.11720/wtyht.2024.1047>Dong J, Li X P, Fu C, et al. Prospecting for concealed skarn iron deposits using the high-precision gravity-magnetic survey method[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2024, 48(1): 31-39. <http://doi.org/10.11720/wtyht.2024.1047>

高精度重磁方法寻找隐伏矽卡岩型铁矿

董健^{1,2}, 李肖鹏^{1,2}, 付超³, 党智财³, 赵晓博⁴, 曾庆斌^{1,2}, 胡雪平^{1,2}, 王金辉^{1,2}

(1. 山东省地质调查院, 山东 济南 250013; 2. 山东省土地质量地球化学与污染防治工程技术研究中心, 山东 济南 250013; 3. 中国地质调查局天津地质调查中心, 天津 300170; 4. 中国冶金地质总局山东正元地质勘查院, 山东 济南 250013)

摘要: 位于华北克拉通东部的鲁中莱芜地区是矽卡岩型富铁矿重要产区, 矿床主要产于矿山岩体与中奥陶统碳酸盐岩地层的接触带中。本文利用最新重磁测量成果, 对矿山岩体外围西部石家泉—刘家庙一带重磁异常特征进行了细致研究, 结合区内已知铁矿重磁场特征, 圈定了深部找矿靶区。在成矿有利地段布设了大比例尺重磁剖面, 以已知钻孔为约束条件, 利用2.5D重磁联合反演技术, 对重磁异常进行了定性及定量解释。解释结果为后续钻孔位置布设及深度预测提供了依据, 该钻孔揭露了15.8 m厚的富铁矿, 找矿效果显著, 为今后本区进一步寻找矽卡岩型铁矿提供了重要指示依据。

关键词: 莱芜地区; 布格重力异常; 航磁异常; 矽卡岩型铁矿; 2.5D重磁联合反演**中图分类号:** P631.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-8918(2024)01-0031-09

0 引言

铁矿作为我国重要的紧缺战略性矿产, 是国民经济和社会发展的重要支柱, 也是保障国家能源资源安全的关键矿产。中国境内分布的铁矿矿石品位较低, 富铁矿仅占全国铁矿资源储量的4.6%^[1], 导致中国铁矿石长期以来对外依存度较高, 严重影响经济建设的健康发展。因此, 加强富铁矿成矿机制研究和提高富铁矿的勘查开发效率, 是当前一项重要而紧迫的任务。矽卡岩型铁矿床提供了中国一半以上的富铁矿资源储量, 是中国最重要的富铁矿来源^[2], 具有重要的科学研究价值。位于华北克拉通东部的鲁中莱芜地区是我国最重要的矽卡岩型富铁矿成矿区之一^[3], 20世纪70年代以来, 大量勘查单位和科研院所先后在本区开展过矿产普查、勘探及科研工作, 在地层、构造、岩浆岩、矿产勘查及成矿规律等方面, 取得了丰硕成果。区内中生代侵入岩发

育, 主要包括矿山、角峪、金牛山和铁铜沟岩体, 其中矿山岩体是最重要的成矿岩体; 矽卡岩型铁矿床主要产于矿山岩体与中奥陶统碳酸盐岩地层的接触带中, 前人对矽卡岩型富铁矿成因机制和关键控制因素进行了系统总结^[4-10]。目前, 沿矿山岩体背斜两翼和两倾没端接触带开发了张家洼、港里、小官庄、顾家台、西尚庄、马庄、山子后等大中型铁矿床, 已查明的累积资源储量约5亿t^[11], 取得了巨大的经济效益。

按照新一轮找矿突破战略行动要求, 探矿和采矿工作将由浅入深, 第二深度空间(500~2 000 m)成为了覆盖区铁矿勘查工作的主要对象, 这也是加强矿藏深勘精查的必然要求。高精度重磁方法在国内多个地区深部铁矿勘查中发挥了独特作用^[12-17], 2022年中国地质调查局项目—鲁中地区富铁矿找矿靶区评价与优选课题, 以莱芜矿山岩体外围及深部异常区为研究对象, 开展了航磁、重力工作, 以期圈定深部找矿靶区, 增加该区铁资源储量。本文利

收稿日期: 2023-02-06; 修回日期: 2023-05-30

基金项目: 中国地质调查局项目(DD20221686)

第一作者: 董健(1984-), 男, 高级工程师, 主要从事地球物理研究工作。Email: 215803290@qq.com

通讯作者: 李肖鹏(1982-), 男, 高级工程师, 主要从事地球物理研究工作。Email: 95356313@qq.com

用最新重磁测量结果,对矿山岩体外围西部石家泉—刘家庙一带重磁异常特征进行了细致研究,通过实施钻孔寻找到厚 15.8 m、TFe 品位达 52.31% 的富铁矿,新增铁资源量 100.1 万 t,在本区富铁矿找矿勘查中取得了重大突破。

1 研究区地质特征

研究区位于泰莱凹陷的中部(图 1),地层由老至新为:寒武纪长清群、寒武—奥陶纪九龙群、奥陶纪马家沟群、石炭—二叠纪月门沟群、二叠纪石盒子群、第四系。其中奥陶纪马家沟群的碳酸盐岩系是本区矽卡岩型铁矿的近矿围岩。矿山岩体受到矿山弧形背斜控制,岩体侵入于该背斜的核部,整个岩体呈一向东南突出的新月状展布,其南北两端隐伏于

新近系之下,与新近系呈沉积不整合接触。矿山岩体侵入于中奥陶统不同组段的灰岩、泥质灰岩和白云质灰岩中,部分侵入于石炭系—二叠系砂岩、页岩及灰岩中,接触面西部较缓,倾角为 $15^{\circ} \sim 45^{\circ}$,东部较陡,倾角可达 80° 。该岩体具有多次侵入特征,主要发育第一阶段侵入的含黑云闪长岩、辉石闪长岩及第四阶段侵入的正长闪长岩、石英二长岩及透辉正长岩。

研究区内矽卡岩型铁矿床受到早白垩世中—基性侵入岩、奥陶系碳酸盐岩围岩和复杂的接触带构造控制,包括接触带及其附近的不整合面、不同岩性接触面、断裂破碎带等。因此,岩浆岩、地层和构造 3 个有利控矿地质要素的兼备是进行本区矽卡岩型铁矿成矿潜力评价工作的地质基础。

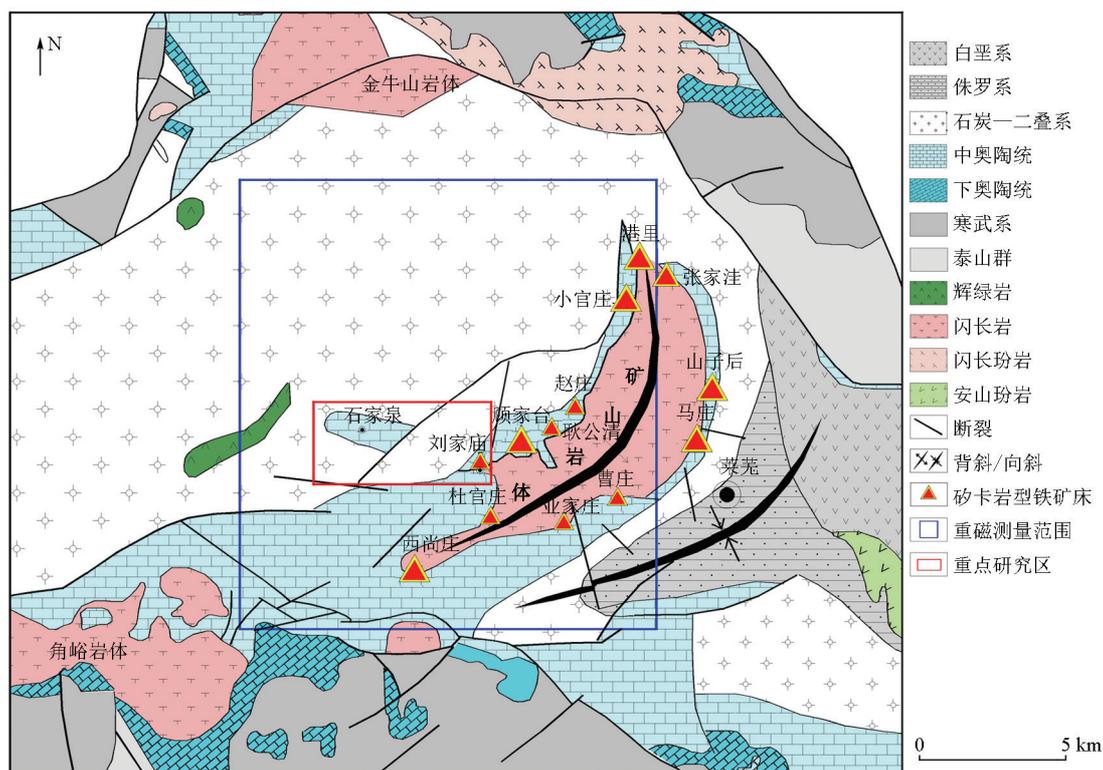


图 1 莱芜地区区域地质

Fig. 1 Geological map of Laiwu area

2 物性特征

由区内岩(矿)石密度测定结果(表 1)可知:第四系地层密度平均值为 $1.73 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$,为低密度地质体;石炭—二叠系地层岩性以砂岩为主,密度平均值为 $2.40 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$,为中密度地质体;寒武—奥陶系地层以灰岩为主,密度平均值为 2.72×10^3

kg/m^3 ,为高密度地质体。中生代侵入岩以闪长岩为主,密度平均值为 $2.76 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$,为高密度地质体;矽卡岩密度平均值为 $2.74 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$,同为高密度地质体;磁铁矿密度为全区最高,平均值为 $4.0 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ 。岩石之间的密度差异,可引起不同重力异常响应:新生界覆盖层、石炭—二叠系砂岩等中、低密度地质体在重力场上的反映为低值异常;寒武—奥陶系灰岩和中生代闪长岩体等高密度地质体

在重力场上的反映为高值异常;矽卡岩、磁铁矿虽也是高密度地质体,但由于其厚度较薄、埋深较大,导致重力异常至地表衰减明显而显示为重力低。

区内岩(矿)石磁性测定结果(表 1)可知:沉积地层均表现为无(微)磁性特征,引起的磁异常可忽略不计;中生代闪长岩体表现为中高磁性特征,磁化率平均值为 $4\ 400 \times 10^{-6} \cdot 4\pi$ SI、剩余磁化强度平均值为 700×10^{-3} A/m,明显高于沉积围岩;矽卡岩表现为高磁性特征,磁化率平均值为 $5\ 346 \times 10^{-6} \cdot 4\pi$ SI、剩余磁化强度平均值为 $8\ 708 \times 10^{-3}$ A/m;磁铁矿表现为强磁性特征,磁化率平均值为 $500\ 000 \times 10^{-6} \cdot 4\pi$ SI、剩余磁化强度平均值为 $213\ 000 \times 10^{-3}$ A/m,为全区最高。地层之间无磁性差异,根据磁异

常无法推测地层界面起伏,区内的磁异常低值区对应了地层分布范围;矽卡岩及磁铁矿埋深大、厚度薄,磁场特征表现为闪长岩体磁异常之内的局部叠加异常,磁异常高值区为以上 3 种地质体的综合反映。

综上所述,闪长岩体、矽卡岩、磁铁矿与古生代沉积围岩之间存在着明显的磁性差异;闪长岩体规模相对较大,呈高密度、中高磁性特征,可形成大范围且形态相对宽缓的封闭重磁异常;矽卡岩与磁铁矿伴生,呈强磁性特征,其磁异常叠加在岩体异常之上;奥陶系灰岩作为控矿地层,呈高密度、无(微)磁性特征,可根据低磁、高重的特征对其进行辨别。正是由于目标地质体与围岩之间的物性差异,为本区重磁测量工作提供了地球物理前提。

表 1 研究区岩(矿)石物性特征

Table 1 Physical characteristics of rocks (minerals) in the study area

岩层	密度 σ /($10^3 \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	磁化率 κ /($10^{-6} \cdot 4\pi \text{SI}$)	剩磁 J_r /($10^{-3} \text{A} \cdot \text{m}^{-1}$)	物性特征
第四系(黏土)	1.73			低密度、无磁性
石炭—二叠系(砂岩)	2.40			中等密度、无磁性
寒武—奥陶系(灰岩)	2.72			高密度、无磁性
中生代侵入岩(闪长岩)	2.76	4400	700	高密度、中等磁性
矽卡岩	2.74	5346	8708	高密度、高磁性
磁铁矿	4.0	500000	213000	高密度、强磁性

3 研究区重磁场特征

本文使用 2022 年最新测量完成的 1:5 万重力数据和 1:5 万航磁数据,编制了研究区布格重力异常(图 2)和航磁化极异常(图 3),采用滑动平均法 $5 \text{ km} \times 5 \text{ km}$ 窗口提取剩余重力异常,编制了剩余重力异常(图 4),以这 3 种图件为基础分析区内重磁场特征,用于详细研究已知铁矿重磁场特征,同时参考

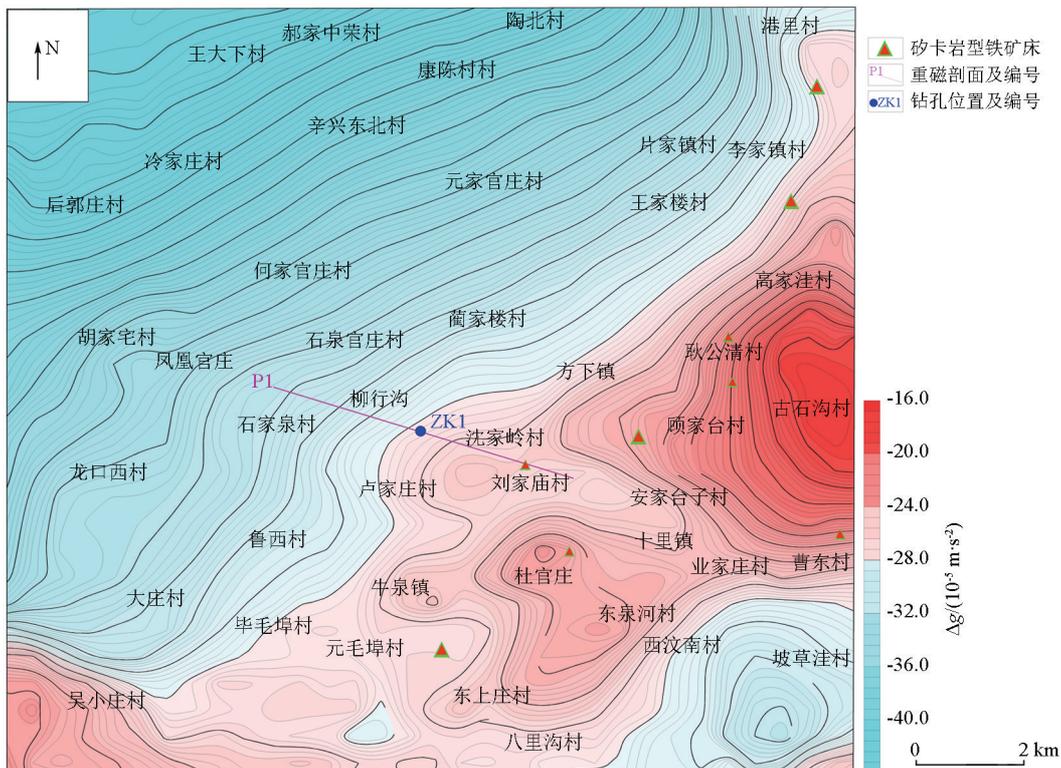


图 2 莱芜地区布格重力异常
Fig. 2 Bouguer gravity anomaly in Laiwu area

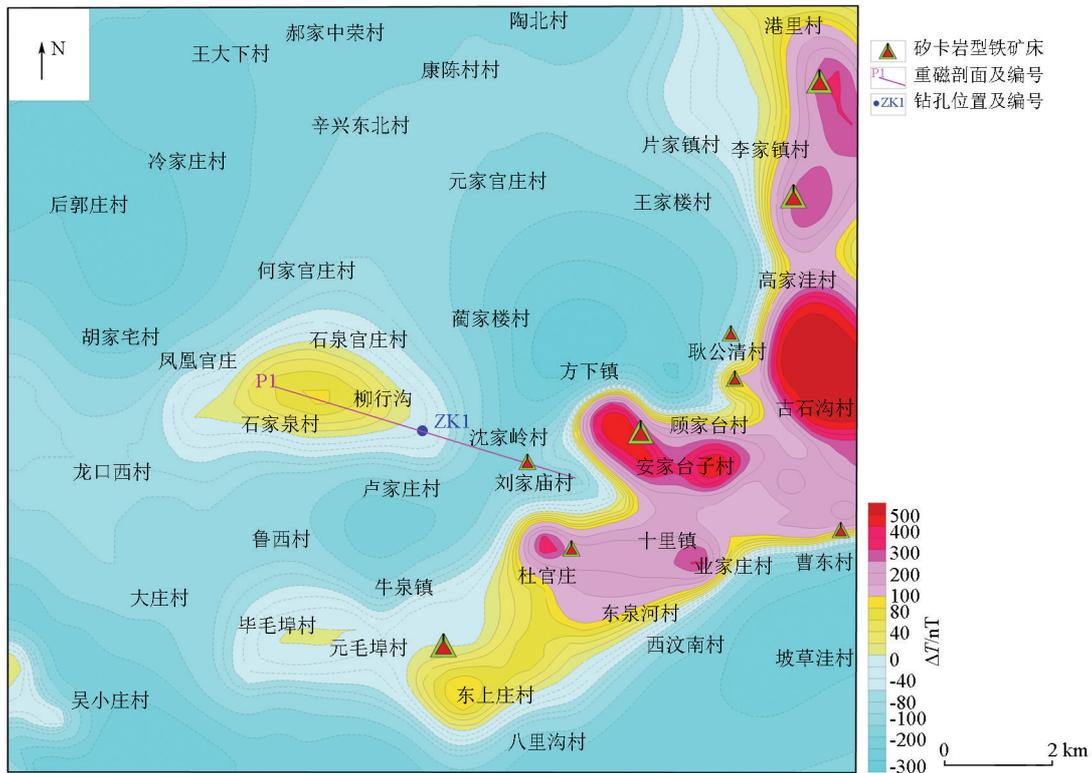


图3 莱芜地区航磁化极异常

Fig. 3 Aeromagnetic pole anomaly in Laiwu area

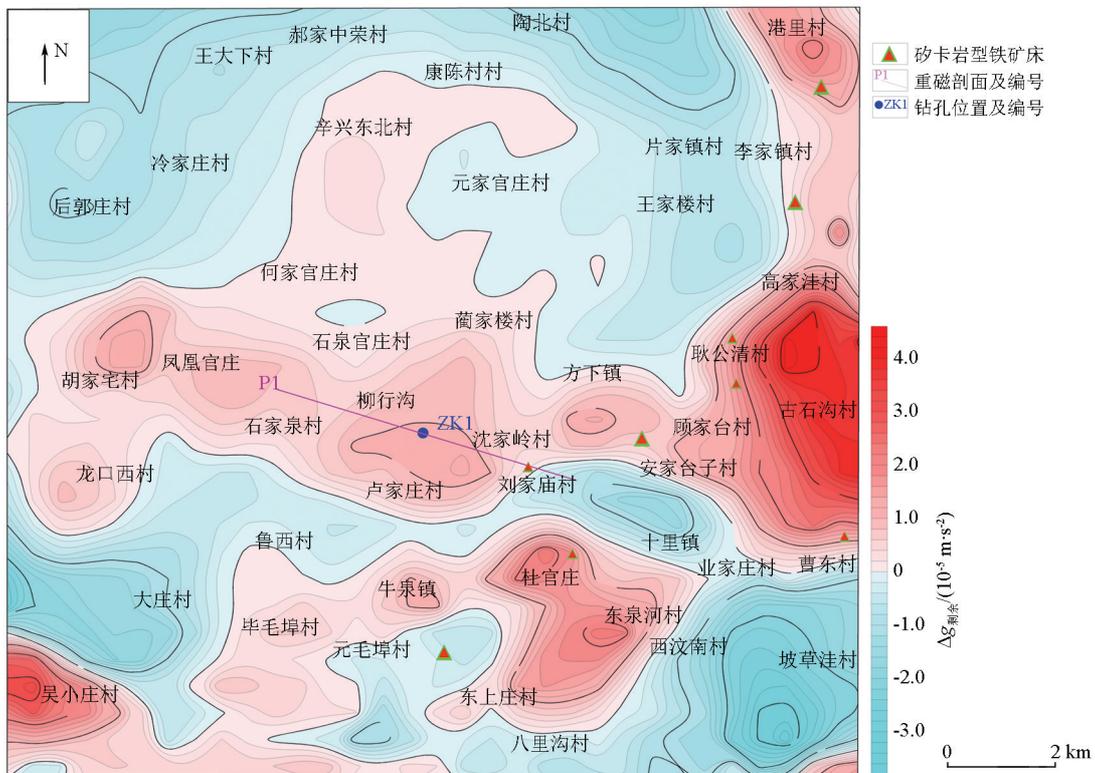


图4 莱芜地区剩余重力异常

Fig. 4 Residual Bouguer gravity anomaly in Laiwu area

布格重力异常垂向二阶导数场转换结果(图5),大致圈定闪长岩侵入范围。根据已知铁矿地质分布

情况及重磁异常特征,建立本区铁矿找矿地质—地球物理模型,结合闪长岩体侵入范围,按照由已知到

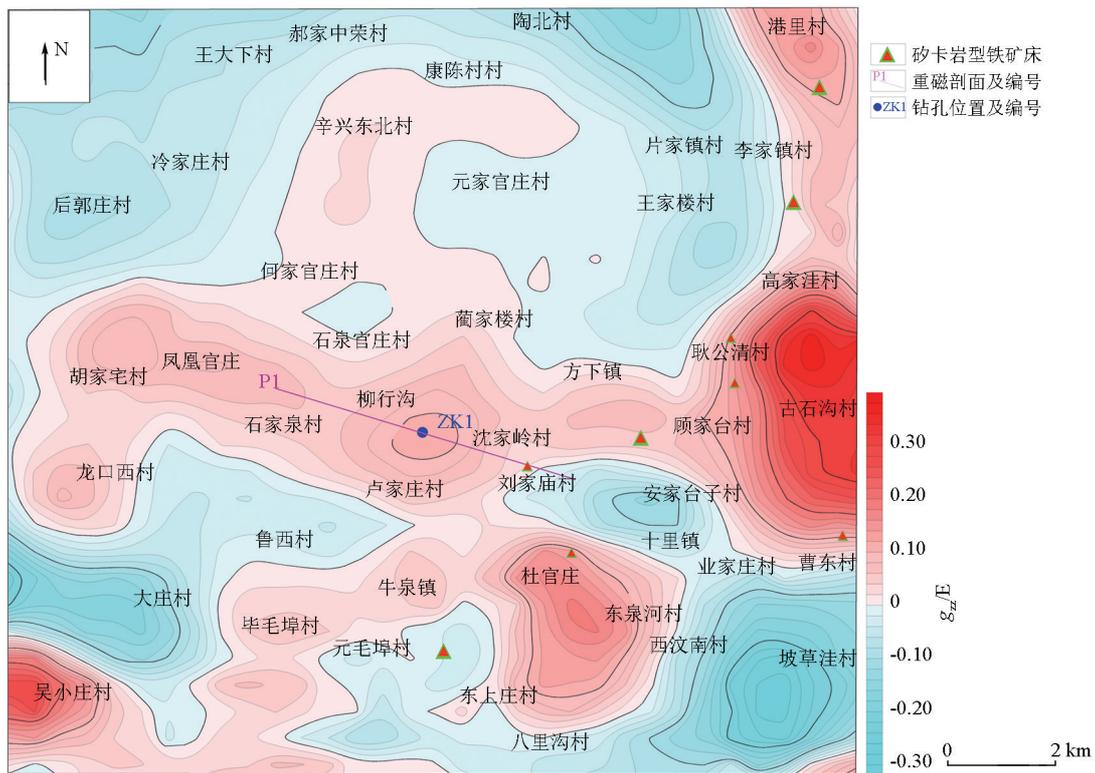


图5 莱芜地区布格重力异常垂向二阶导数

Fig. 5 Vertical second derivative of Bouguer gravity in Laiwu area

未知的原则进一步圈定找矿靶区。

3.1 区域重磁场特征

区域重磁场特征常表现为异常等值线的封闭、弯曲、极大值、极小值及异常的水平梯度变化等。重力场变化区间为 $(-41 \sim -16) \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$, 重力场值变化幅度较大, 达 $25 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$, 呈西北低、东南高的分布趋势, 反映了区域上燕山晚期侵入岩的分布及沉积地层由 SE 向 NW 由薄逐渐变厚的特征。西北低值区主要为沉积盆地的反映; 东南高值区主要是由闪长岩体侵入而形成的矿山岩体引起。研究区东南角矿山岩体的南部边缘, 出现一个重力低值区, 这是八里沟向斜的反映, 重力异常形态反映了岩体向 N 和 WS 方向延伸的趋势, 航磁化极异常中也具备上述特征。

矿山岩体西部异常等值线呈 SW—NE 方向平行排列, 其梯度变化比较稳定, 达 $5.45 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2/\text{km}$, 较区域异常有显著的增大, 该异常特征主要反映岩体向 NW 方向倾没的特点, 倾没面稳定, 倾角约为 48° 。

矿山岩体西南部表现为隐伏延伸, 布格重力异常等值线呈“舌状”、“鼻状”、“枝杈状”, 略呈 EW 方向平行展布, 可划分 3 条重力异常带。

3.1.1 顾家台—石家泉异常带

在矿山岩体异常的西南侧, 首先以“舌状”伸向

顾家台, 走向为 EW 向。重力异常呈多层台阶由东向西逐渐减弱, 异常等值线变化趋势南陡北缓; 顾家台航磁异常主要为顾家台铁矿和岩体的综合反映, 与“舌状”重力异常位置完全吻合。布格重力异常等值线虽然没有封闭, 但二阶导数等值线及剩余异常等值线均形成了封闭的独立异常, 都比较清晰地反映了矿山岩体向顾家台延伸的趋势, 推断顾家台异常是由闪长岩体和磁铁矿体重力效应的叠加。

矿山岩体呈“舌状”伸向顾家台后, 经刘家庙继续伸向沈家岭延伸, 在沈家岭南出现重力高值封闭异常, 自沈家岭向西, 等值线呈同向弯曲形态, 梯度南陡北缓, 清楚地展示岩体向西延伸, 缓慢地倾没于石家泉以西的凤凰官庄的特征, 明显地反映出石家泉背斜构造。另外, 在布格重力二阶导数平面(图 5)和剩余重力异常(图 4)上, 都清楚地反映了这条隐伏岩体的存在与去向。据此可推测石家泉岩体是由矿山岩体经顾家台向西引伸而来的。航磁化极异常上在石家泉—柳行沟一带有 1 个正磁异常比较低缓呈椭圆状的异常区域, 分析为是中生代燕山晚期多期中酸性岩的磁异常反映, 东部负磁异常, 分析为是马家沟群灰岩或古近纪砂岩地层反映。

3.1.2 十里铺—杜官庄—牛泉—毕毛埠异常带

异常带自十里铺经杜官庄、牛泉至毕毛埠, 在杜官庄处出现明显的局部重力高值异常, 梯度南陡北

缓,异常主要由闪长岩和灰岩同步隆起所引起,自杜官庄再伸向牛泉,异常基本闭合。但是在毕毛埠东、南均出现剩余重力异常封闭圈,往南延伸至角峪岩体引起的异常,布格垂力异常垂向二阶导数等值线(图5)上也反映了这一特性,推测矿山岩体向西南延伸至深部与角峪岩体连在一起。

3.1.3 十里铺—东泉河—东尚庄异常带

异常带同起源于十里铺,向西南经东泉河延伸至东尚庄,与十里铺—杜官庄—毕毛埠异常带构成对应的南北两条异常带,但并不代表是两条分割的不相连的岩体,而是反映了同一个岩体呈微波褶皱构造的特征。在十里铺西北安家台子以西出现的重力异常低值区,也反映了该岩体隆起不均的特征。

从航磁化极异常(图3)上看,上述两条重力异常带和磁测成果极为吻合。

3.2 已知铁矿重磁异常

重力异常与铁矿产分布关系不密切。重力异常高值区一般为中基性岩体分布区、巨型凹陷内的浅凸区;重力异常低值区往往与第四系或沉积盖层分布有关,在巨型凹陷区,第四系的覆盖厚度大,往往为重力低值区,在沉积盖层大面积分布区也显示为重力低值区。虽然重力异常高值区不一定是铁矿产分布区,但对寻找铁矿具有指导意义。

矽卡岩型铁矿床一般分布于中基性岩体的边部与灰岩的接触带附近。在重力异常中往往分布于重力高值区与重力低值区的梯度带附近,闪长岩体分布区显示重力异常高值区,而铁矿体分布于重力异常高值区的边部。因此在碳酸盐岩广泛分布区内的重力异常高值区往往预示有隐伏的中基性岩体的存在,在其梯度带附近,有可能寻找到接触交代型铁矿床。

多数铁矿石具有磁性或强磁性,铁矿产的分布与磁异常分布密切相关,尤其在中大比例尺磁异常中反映更为明显。由于铁矿埋深的加大,磁异常往往不是特别明显,通常表现为低缓的磁异常,异常走向也不固定。对于矽卡岩型铁矿而言,由于中基性岩体磁异常反映较为强烈,与其接触的灰岩磁性弱,在航磁异常中,铁矿床的分布一般位于正负磁异常带靠近负磁异常一侧。

将研究区内已知铁矿投影到重磁图件上(图2~图5),研究发现所有的铁矿床都位于岩体的边缘接触带中,重力高的周边或某一侧的梯度带部位以及较强磁异常向低负异常的过渡带即低缓磁异常分布区,往往是矿床赋存的有利部位,重磁异常值较高地区往往是岩体赋存部位,且高磁异常中心外围,等

值线同步向低值区弯曲部位常形成厚大矿体。

3.3 岩体圈定

为了突出反映浅部地质因素,压制区域性深部地质因素的影响,对布格重力异常作了垂向二阶导数计算,其结果可以把叠加在区域异常上的局部异常突出出来,并使某些特征更加清晰了然,有助于识别和研究局部异常,理论上二阶导数和剩余异常成比例,有意义的异常在剩余重力异常图上有显示,在二阶导数异常图上同样会有显示,异常形状相同、数值不同。布格重力垂向二阶导数高值异常和剩余重力高值异常均由闪长岩体引起,根据二者的零值线可大致圈定闪长岩体侵入范围。

分析图4和图5可知:矿山岩体沿顾家台—刘家庙—沈家岭—石家泉一线向西延伸,至凤凰官庄、胡家宅一带倾没,与石家泉岩体同源;矿山岩体沿十里铺—杜官庄—牛泉—毕毛埠一线向西南延伸至深部与角峪岩体相连。

3.4 铁矿找矿靶区圈定

根据已知铁矿床地质条件及重磁异常特征,总结本区铁矿找矿地质—地球物理模型。

3.4.1 地质特征

控矿地层:古生代碳酸盐岩是成矿的有利围岩,“高钙、低铝、低镁、低硅”的灰岩地层有利于形成铁矿体,本区控矿地层为奥陶系马家沟群厚层灰岩,特别是五阳山组和八陡组易于交代成矿。

控矿构造:褶皱或者断裂发育,褶皱构造的两翼,有利于接触交代作用的产生而形成铁矿体。

控矿岩体:中生代燕山期闪长岩体是成矿母岩,岩体与碳酸盐地层的接触带上由于接触交代变质作用形成的矽卡岩化是找矿的直接标志,岩体接触带的产状变化处,如内凹、上隆、转折段等对成矿极为有利。

3.4.2 地球物理特征

重力场:在布格重力异常图上表现为等值线高值区附近梯级带的波动、转弯处,或者等值线同向弯曲梯度变化较缓的一侧;在剩余重力异常上表现为局部重力高值异常中心边部。

磁场:较强磁异常向低负异常的过渡带即低缓磁异常分布区,是寻找铁矿床的有利部位,磁异常值较高地区往往是岩体赋存部位,高磁异常中心外围,等值线同步向低值区弯曲部位常形成厚大矿体。

以上述成矿规律为指导,本次工作圈定石家泉—刘家庙一带为铁矿找矿靶区。根据钻孔揭露资料,本区有大量闪长岩大致顺层侵入于奥陶纪灰岩中,是燕山晚期矿山岩体的西延伸部分,具备成矿地

质条件,石家泉航磁异常向东南的突出部位、重力异常高值区与低值区的梯级带附近,是寻找中深部矽卡岩型铁矿的重要靶区。

4 2.5D 重磁联合反演

在石家泉—刘家庙重点研究区,穿过石家泉矿区、柳行沟矿区和刘家庙矿区,设计了重磁测量剖面 P1,以物性数据及已知钻孔作为约束条件,进行 2.5D 重磁联合反演及解释,以获取深部目标地质体的相关信息。

1)解释思路:首先将各矿区内已有钻孔柱状图相连,赋予密度和磁性参数,矿区间地质信息根据密度资料对布格重力异常进行正演计算,进而反演地层、岩体的接触关系,建立初步反演模型。然后利用磁性参数对初步反演模型进行微调,对磁异常进行正演计算,重点调整闪长岩侵入范围以及铁矿体赋存位置,矽卡岩带分布在闪长岩体与碳酸盐岩地层接触部位,与磁铁矿伴生。再结合重力异常对模型进行再修改,最终通过多次重磁联合反演得到地下最佳地质信息。

2)解释结果:按照以上思路对 P1 剖面进行了 2.5D 重磁联合反演计算,其解释结果见图 6。该剖面穿越了已知的石家泉矿区勘探线(50~350 m 段)、柳行沟矿区勘探线(1 200~2 160 m 段)、刘王庙矿区勘探线(5 120~5 360 m 段),这些部位由已知钻孔进行了控制,按照由已知到未知的推断原则对该剖面进行了反演推断解释。重力曲线从西到东逐渐上升,反映了沉积地层逐渐变薄,岩体埋深逐渐变浅的规律;磁测曲线局部高值异常部位由闪长岩

体起伏和矽卡岩性磁铁矿共同作用的结果,剖面磁异常在 3 700 m 附近下降趋势增快,推测为闪长岩由西往东顺层侵入到奥陶系灰岩中,顺层侵入的闪长岩体在此处歼灭,曲线在 4 800 m 附近达到最低值后逐渐抬升,推测底部闪长岩逐渐增厚。根据“重力异常高且较强磁异常向低负异常的过渡带(低缓磁异常分布区),是寻找铁矿床的有利部位”这一成矿规律,在本剖面上存在 2 个成矿有利部位,设计 2 个钻孔位置见图 6。根据 2.5D 重磁联合反演推断结果,预计 ZK1 钻孔(剖面 2 870 m 处)在标高-500 m 左右打穿奥陶系灰岩进入下部侵入岩体,可设计钻孔深度为 700 m;预计 ZK2 钻孔(剖面 750 m 处)在标高-800 m 左右打穿奥陶系灰岩进入下部侵入岩体,可设计钻孔深度为 1 000 m。推测以上两个钻孔在闪长岩体与灰岩的接触部位大概率存在铁矿体,见矿深度分别为 670 m 和 970 m。

3)钻探验证:项目组首先施工了成矿条件更具优势的 ZK1 钻孔,终孔深度 750 m。该钻孔揭露在 488.1~501.9 m 深度见蚀变闪长玢岩,其顶板、底板均为奥陶系灰岩,证明了闪长岩顺层侵入于奥陶纪灰岩中,由于侵入岩体较薄,在此深度没有形成铁矿体。在 642.1~657.9 m 见磁铁矿,厚度 15.8 m,其中 654.6~655.9 m 见矽卡岩带,矿体顶板为中—粗粒结晶灰岩,底板为蚀变辉石闪长岩。磁铁矿矿层与上层灰岩呈明显的侵入接触关系,主要矿物成分为磁铁矿、方解石及蚀变的粘土矿物,矿体平均品位 TFe52.31%,mFe46.48%,为富铁矿,新增铁资源量(TD)100.1 万 t。

综上所述,2.5D 重磁联合反演结果与钻探验证结果基本相符,从定性解释角度上讲,地层层位解释

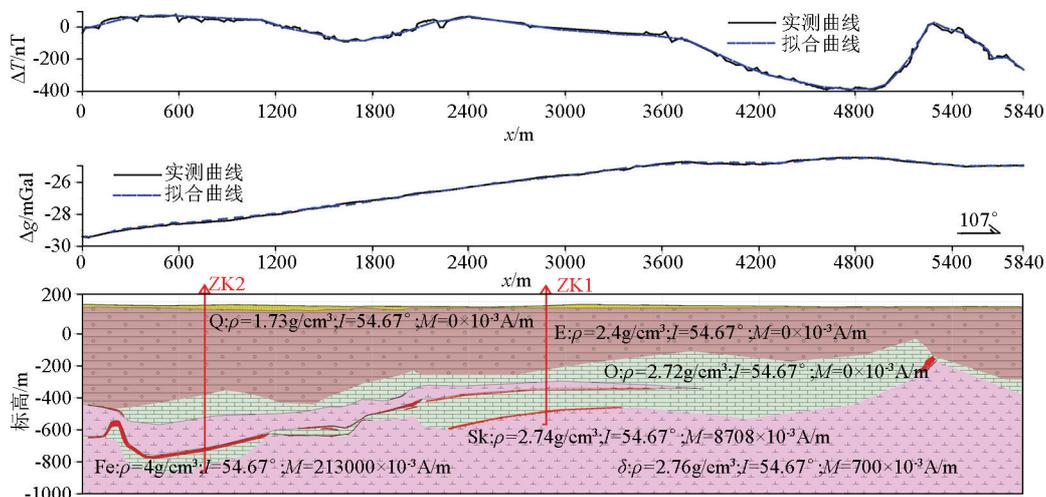


图 6 石家泉—刘家庙剖面 2.5D 重磁联合反演推断

Fig. 6 The 2.5D combined gravity and magnetic inversion inference of the Shijiaquan-Liujiamiao profile

的比较准确,从定量角度上讲,深度计算与实际情况还有一定的出入(推测见矿深度为670 m,实际为642.1 m),这是以后在算法方面需要提高加强的地方。总体上讲,2.5D重磁联合反演结果为钻孔布设提供了比较准确的信息,本次应用实例也证明了该方法在本区寻找隐伏矽卡岩型磁铁矿的有效性,在资金允许的情况下可施工ZK2钻孔,见矿可能性较大。

5 结论

鲁中和鲁西地区主要为大面积第四系覆盖的平原区,区内铁矿床类型均为矽卡岩型铁矿,矿体与各类围岩均有明显的磁性、密度差异,但由于其具有覆盖厚、埋藏深的特点,导致磁异常不像浅部铁矿床那么明显,这就要求在勘探过程中必须重视高精度重力测量在铁矿勘查中的作用。

本文从已查明铁矿床入手,总结了区内铁矿床成矿条件,建立了地质—地球物理模型,在此基础上按照由已知到未知的原则,首先通过面积性重磁测量工作圈定了成矿有利地段,然后利用大比例尺的重磁数据处理与解释结果,寻找到一处富铁矿。通过本次找矿实例,认为利用高精度重磁综合方法对寻找隐伏矽卡岩型铁矿具有明显的效果,总结的一套矽卡岩型铁矿深部勘查物探技术组合流程,对鲁中和鲁西地区目前和今后实施的铁矿深部找矿工作具有重要的现实意义。

参考文献 (References):

- [1] 赵一鸣. 中国主要富铁矿床类型及地质特征[J]. 矿床地质, 2013, 32(4): 686-705.
Zhao Y M. Main genetic types and geological characteristics of iron-rich ore deposits in China[J]. Mineral Deposits, 2013, 32(4): 686-705.
- [2] 张招崇, 李厚民, 李建威, 等. 我国铁矿成矿背景与富铁矿成矿机制[J]. 中国科学: 地球科学, 2021, 51(6): 827-852.
Zhang Z C, Li H M, Li J W, et al. Geological settings and metallogenesis of high-grade iron deposits in China[J]. Scientia Sinica: Terrae, 2021, 51(6): 827-852.
- [3] 段壮. 山东莱芜地区矽卡岩型铁矿床成矿作用与成矿机制研究[D]. 武汉: 中国地质大学(武汉), 2019: 8-13.
Duan Z. The mineralization and mechanism of the iron skarn deposits in Laiwu district, Shandong Province[D]. Wuhan: China University of Geosciences(Wuhan), 2019: 8-13.
- [4] 费详惠, 张招崇, 韩臻. 山东张家洼矽卡岩型铁矿矿物学特征及其对成矿环境的指示意义[J]. 中国地质, 2014, 41(6): 1873-1896.
Fei X H, Zhang Z C, Han L. Mineralogy of the Zhangjiawa skarn iron deposit in Shandong Province and its implications for metallogenetic environment[J]. Geology in China, 2014, 41(6): 1873-1896.
- [5] 郝兴中, 王巧云. 鲁中隆起区中北部矽卡岩型铁矿成矿预测[J]. 地质学刊, 2016, 40(3): 443-449.
Hao X Z, Wang Q Y. Metallogenetic prediction of skarn iron deposits in the central and northern Luzhong uplift, East China[J]. Journal of Geology, 2016, 40(3): 443-449.
- [6] 耿安凯. 山东莱芜张家洼铁矿地质背景及矿床成因分析[J]. 世界有色金属, 2017(9): 288-289.
Geng A K. Geological background and ore genesis analysis of the depression iron deposit in Laiwu, Shandong[J]. World Nonferrous Metals, 2017(9): 288-289.
- [7] 宗信德, 李卫, 赵宏生, 等. 山东莱芜接触交代—热液铁矿多因素成矿及特征[J]. 地质与资源, 2011, 20(5): 370-375.
Zong X D, Li W, Zhao H S, et al. The contact metasomatic-hydrothermal iron deposit in Laiwu, Shandong Province: Multi-factor metallogenesis[J]. Geology and Resources, 2011, 20(5): 370-375.
- [8] 王云燕, 徐韶辉, 吴秉禄. 山东莱芜地区牛泉铁矿成矿地质特征及成因探讨[J]. 山东国土资源, 2021, 37(4): 9-16.
Wang Y Y, Xu S H, Wu B L. Geological characteristics and origin of Niuguan iron deposit in Laiwu area in Shandong Province[J]. Shandong Land and Resources, 2021, 37(4): 9-16.
- [9] 马明, 常洪华, 李亚东, 等. 淄博—莱芜地区矽卡岩型铁矿成矿规律和成矿模式探讨[J]. 山东国土资源, 2020, 36(7): 9-15.
Ma M, Chang H H, Li Y D, et al. Study on metallogenetic regularity and metallogenetic model of skarn type iron deposit in zibo-Laiwu area[J]. Shandong Land and Resources, 2020, 36(7): 9-15.
- [10] 陈应华, 蓝廷广, 王洪, 等. 莱芜张家洼铁矿磁铁矿 LA-ICP-MS 微量元素特征及其对成矿过程的制约[J]. 地学前缘, 2018, 25(4): 32-49.
Chen Y H, Lan T G, Wang H, et al. LA-ICP-MS trace element characteristics of magnetite from the Zhangjiawa iron deposit, Laiwu and constraints on metallogenetic processes[J]. Earth Science Frontiers, 2018, 25(4): 32-49.
- [11] 宗信德, 徐建, 卢铁元, 等. 山东莱芜矿山矿田铁矿产出构造类型、矿体型式及大—大—中型矿床赋存规律[J]. 地质找矿论丛, 2010, 25(3): 234-240.
Zong X D, Xu J, Lu T Y, et al. Structural types, ore body styles and occurrence pattern of large, large-medium iron deposits in Kuangshan iron ore field, Shandong Province[J]. Contributions to Geology and Mineral Resources Research, 2010, 25(3): 234-240.
- [12] 王润生, 郝兴中, 刘洪波, 等. 鲁西齐河地区矽卡岩型铁矿重磁方法找矿规律研究[J]. 地球物理学进展, 2022, 37(2): 664-677.
Wang R S, Hao X Z, Liu H B, et al. Study on prospecting law of skarn type iron deposit by gravity and magnetic method in Qihe area of western Shandong[J]. Progress in Geophysics, 2022, 37(2): 664-677.
- [13] 宋豪, 张义蜜, 王万银. 河南内黄—浚县一带重磁异常与深部磁铁矿靶区预测研究[J]. 物探与化探, 2019, 43(6): 1191-1204.
Song H, Zhang Y M, Wang W Y. The research on the prediction of gravity and magnetic anomalies and deep magnetite target areas in the Neihuang-Xunxian area of Henan Province[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2019, 43(6): 1191-1204.
- [14] 施兴, 彭朝晖, 王德启, 等. 重力勘查在寻找铁矿上的应用[J].

物探与化探,2012,36(2):159-162.

Shi X, Peng Z H, Wang D Q, et al. The application of gravity survey to iron deposit prospecting[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2012, 36(2): 159-162.

[15] 罗凡, 严加永, 付光明. 基于已知信息约束的重磁三维反演在深部磁铁矿勘查中的应用——以安徽泥河铁矿为例[J]. 物探与化探, 2018, 42(1): 50-60.

Luo F, Yan J Y, Fu G M. The application of gravity and magnetic three-dimensional inversion based on known information constraint in deep magnetite exploration: A case study of the Nihe iron deposit in Anhui Province[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2018, 42(1): 50-60.

[16] 邱光辉, 王海焦, 张海亮, 等. 重磁方法在程家村隐伏磁铁矿勘

查中的应用[J]. 山东国土资源, 2016, 32(10): 44-47, 51.

Qiu G H, Wang H J, Zhang H L, et al. Application of gravity and magnetic methods in prospecting buried magnetite deposit in Chengjiacun[J]. Shandong Land and Resources, 2016, 32(10): 44-47, 51.

[17] 赵敏, 盛勇, 戚良刚. 高精度重磁测量在覆盖区找矿中的应用——以无为县蔚山铁铜矿预查为例[J]. 物探与化探, 2019, 43(6): 1211-1216.

Zhao M, Sheng Y, Qi L G. The application of high precision gravity and magnetic survey to prospecting in coverage area: A case study of the reconnaissance of Weishan iron and copper deposit in Wuwei County[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2019, 43(6): 1211-1216.

Prospecting for concealed skarn iron deposits using the high-precision gravity-magnetic survey method

DONG Jian^{1,2}, LI Xiao-Peng^{1,2}, FU Chao³, DANG Zhi-Cai³, ZHAO Xiao-Bo⁴,
ZENG Qing-Bin^{1,2}, HU Xue-Ping^{1,2}, WANG Jin-Hui^{1,2}

(1. Shandong Institute of Geological Survey, Jinan 250013, China; 2. Shandong Technology Research Center of Land Quality Geochemistry and Pollution Prevention Engineering, Jinan 250013, China; 3. Tianjin Center of China Geological Survey, Tianjin 300170, China; 4. Geological Exploration Institute of Shandong Zhengyuan, China Metallurgical Geology Bureau, Jinan 250013, China)

Abstract: The Laiwu area in central Shandong Province, situated in the eastern North China Craton, is a significant production area of skarn iron-rich ores. Its ore deposits occur primarily in the contact zone between the mining rock mass and the Middle Ordovician carbonate formation. Based on the latest areal gravity and magnetic survey results, this study thoroughly investigated the characteristics of gravity and magnetic anomalies along the Shijiaquan-Liujiamiao area in the western periphery of the mine rock mass. Then, this study delineated the deep prospecting target combining the characteristics of gravity and magnetic fields of the known iron deposits in the Laiwu area. Large-scale gravity and magnetic profiles were arranged in the favorable mineralization area. With the known boreholes as constraints, the gravity and magnetic anomalies were qualitatively and quantitatively interpreted using the 2.5D gravity-magnetic joint inversion technique. The interpretation results provide a basis for the location and depth of the borehole to be placed, which revealed a 15.8 m-thick iron-rich ore deposit, suggesting remarkable prospecting effects. This study holds critical indicative significance for further exploration of skarn iron ore deposits in this area.

Key words: Laiwu area; Bouguer gravity anomaly; aeromagnetic anomaly; skarn iron deposit; 2.5D gravity-magnetic joint inversion

(本文编辑:王萌)