

# 地面磁测垂向二次导数在莱芜市石家泉矿区铁矿深部找矿中的应用\*

曹秀华,赵法强,刘红旗,于林松,陈治国,邵长伟,孙立业  
(山东省物化探勘查院,山东 济南 250013)

**摘要:**通过收集和 research 莱芜富铁矿区早期的地面磁测资料,结合近几年在铁矿深部找矿中的理论及找矿实践,经过数据处理获得地面磁测  $\Delta Z$  垂向二次导数异常,用以分解磁异常和圈定深部磁铁矿体的大致分布范围,在莱芜市石家泉地区找到了厚度较大的隐伏富铁矿体,初步估算铁矿石资源量在千万吨以上,取得了良好的找矿效果,同时对该地区深部铁矿找矿起到一定的借鉴。

**关键词:**铁矿;深部找矿;磁法测量;石家泉矿区;山东莱芜  
**中图分类号:**P613.8;P318.6 **文献标识码:**A

莱芜地区是山东省重要的富铁矿基地及找矿远景区。该区经过近 50 年的勘查工作共发现大小矿床数十个,这些铁矿床的勘查深度多数在 -400 ~ -600m 范围内,然而其中的多数铁矿体在深部并未尖灭,矿床深部及其外围仍具有非常好的找矿前景。通过对莱芜富铁矿区早期地面磁测资料的收集整理,并结合在铁矿深部找矿中的实践及成果,利用地面磁测  $\Delta Z$  垂向二次导数异常分解磁异常和圈定深部磁铁矿体的大致分布范围,在莱芜市石家泉地区铁矿勘查中取得了突破,发现深部富铁矿体 3 个,初步估算铁矿石资源量在千万吨以上, mFe 平均品位均在 40.0% 以上,实现了莱芜富铁矿地区深部找矿的突破,取得了良好的地质效果。同时也证明利用地面磁测垂向二次导数异常在圈定和验证深部隐伏磁铁矿(床)体方面具有良好的应用效果。

## 1 矿区地质概况

石家泉矿区在大地构造上属于华北地台(I)鲁西台隆(II)泰莱断陷(II)莱芜断陷盆地(IV)。矿区地层由奥陶系、石炭系、二叠系及古近系组成,从南向北,地层由老至新分别是分布在矿区南部的奥陶纪马家沟组,岩性为白云质灰岩夹薄层泥质灰

岩、厚层纯灰岩、豹皮状灰岩夹白云质灰岩等;分布于矿区中偏北部的石炭纪太原组和本溪组,岩性为砂页岩等,夹灰岩及煤层;分布于矿区的北部古近系南部的二叠系,岩性为砂页岩,中部夹铝土矿;分布在矿区中部沈家岭至石家泉以南的古近系,岩性为砂砾岩,灰白色泥灰岩等(图1)。

莱芜石家泉地区 NE 向构造发育,沿走向分布于奥陶纪石灰岩和石炭纪的砂页岩中,主要有柳行沟-乔家义断裂、马家庄-小义和断裂等。柳行沟-乔家义断裂位于矿区的中部,沿 NE 走向延伸,该构造呈 NE 方向沿走向延伸较长,推断为正断层, E 倾,倾角约 80°,马家庄-小义和断裂与柳行沟-乔家义断裂走向基本一致,沿走向延伸方向有多处铁矿床分布。该区均为第四系覆盖,第四系之下为古近系。该区经钻孔验证深部均见有燕山期闪长岩,闪长岩之上为奥陶纪的石灰岩。岩浆岩类型主要有闪长岩、闪长玢岩、辉石闪长岩及角闪闪长岩等,它们均是该区重要的成矿母岩<sup>①</sup>。区内接触变质与接触交代变质作用强烈,围岩蚀变明显。接触变质作用主要表现为马家沟组碳酸盐岩的普遍大理岩化;接触交代变质作用系高温汽水热液在侵入体与围岩之间

\* 收稿日期:2010-12-13;修订日期:2011-03-07;编辑:陶卫卫

作者简介:曹秀华(1962—),男,山东诸城人,高级工程师,长期从事物探和地质找矿工作;E-mail:caoxh62112@163.com。

①吕其卫、曹秀华、王强,山东省莱芜市鹿毛埠地区铁矿普查报告,2010年。

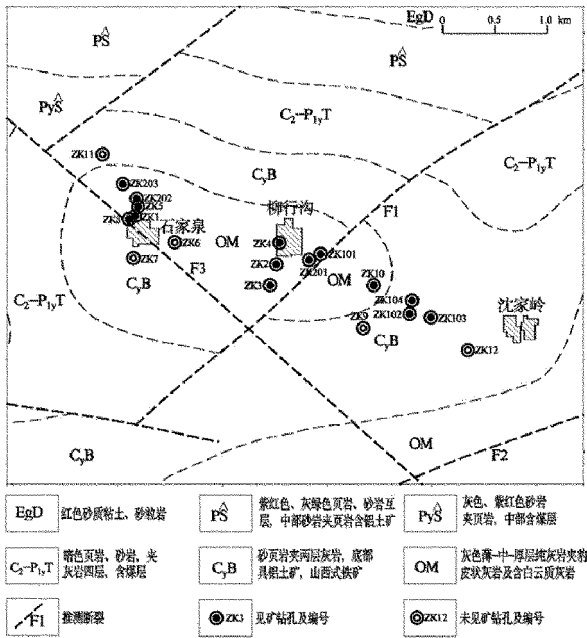


图1 莱芜市石家泉矿区基岩地质简图

彼此通过大量的物质交换而生成矽卡岩的过程;围岩蚀变主要有磁铁矿化、金云母化、蛇纹石化、绿泥石化、黄铁矿化、碳酸盐化、钠长石化等。

## 2 地球物理特征

### 2.1 岩(矿)石的物性特征

根据莱芜及其周边地区主要岩(矿)石磁性统计表,由表1可以看到,磁铁矿石具有强磁化率和强剩磁特征,其磁化率 $\kappa$ 值一般在 $60\,000 \times 10^{-6} 4\pi\text{SI}$ , $J_r$ 值一般在 $1\,846\,000 \times 10^{-3} \text{A/m}$ ;矽卡岩、滑石片岩及岩浆岩中的橄榄辉绿岩、辉石闪长岩具有较强磁性,其磁化率 $\kappa$ 值在 $(1\,000 \sim 2\,000) \times 10^{-6} 4\pi\text{SI}$ , $J_r$ 值在 $(2\,000 \sim 5\,000) \times 10^{-3} \text{A/m}$ ;其余变质岩如片麻状花岗岩等磁性较弱,其 $\kappa$ 值一般在几百 $\times 10^{-6} 4\pi\text{SI}$ ,沉积岩类均无磁性;不同岩性间磁性差异明显。因此,在该区利用地面磁测寻找磁铁矿具备较好的地球物理前提。

### 2.2 磁异常的发现及早期验证

在早期1:10万 $\Delta T$ 航磁异常中,该区在5条航线上有异常反映,强度为170 nT,所获磁异常显示了该区隐伏岩体的特征,其结果较为清楚地反映了矿山岩体向该区延伸倾没的特征。1960年山东省地矿局物探队在该区开展1:1万磁法测量,再次发现了该区磁异常,由于异常处在已知矿山的西侧,推测

表1 莱芜及其周边地区主要岩(矿)石磁性统计

岩(矿)石名称	块数	算术平均值		几何平均值	
		$\kappa$ ( $10^{-6} 4\pi\text{SI}$ )	$J_r$ ( $10^{-3} \text{A/m}$ )	$\kappa$ ( $10^{-6} 4\pi\text{SI}$ )	$J_r$ ( $10^{-3} \text{A/m}$ )
片麻状花岗岩	22	506	214		
橄榄辉绿岩	40	1497	2043	1045	1352
角闪片岩	20	0	0		
辉石闪长岩	28	1042	2130		
鲕状灰岩	18	0	0		
竹叶状灰岩	22	0	0		
滑石片岩	30	2321	5382	3100	2300
黑云母滑石片岩	29	1185	5793	991	2973
矽卡岩	21	5346	8708	6230	4860
磁铁矿	14	52100	234230	60120	184600

其成矿地质条件有利。后于1966年在该区布置线距为500 m的磁测剖面以了解 $\Delta Z$ 异常分布特征,圈出了强度为280 nT的低缓磁异常,磁异常范围较大,东西长约5 km,初步定名为石家泉磁异常。1967年在该区继续投入及开展1:1万地面磁测工作,完整地圈定了该异常,以200 nT等值线封闭的范围长约4.5 km,宽约1.5 km,异常中心部位在石家泉—柳行沟之间,峰值为330 nT,在石家泉和柳行沟附近有2个磁异常高值中心。磁场梯度变化总的趋势是北翼较南翼缓(图2),根据异常特征推断该磁异常应为深部的磁铁矿体所引起<sup>①</sup>。

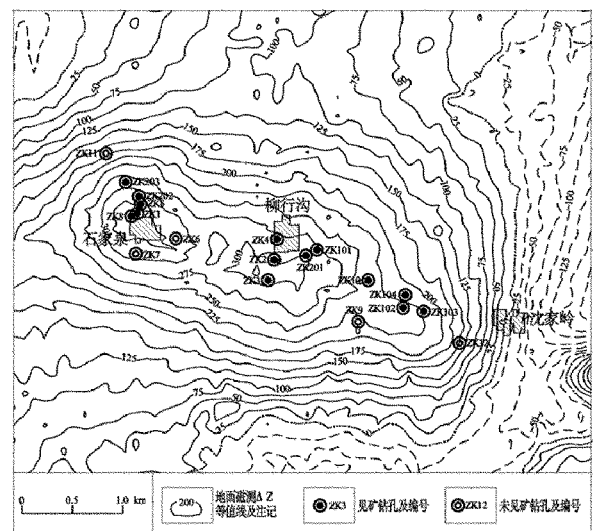


图2 莱芜市石家泉地区垂直磁力 $\Delta Z$ 异常平面图

20世纪70年代,山东省地质局第一地质队为

① 吕其卫、刘红旗、曹秀华,山东省莱芜市沈家岭地区铁矿普查报告,2010年。

检查该地区的磁异常,先后在工作区及周边施工了多个地质验证孔,其中 $ZK_2, ZK_3, ZK_4, ZK_{10}$ 等钻孔均见到了铁矿体,但是矿体厚度均较薄,其中 $ZK_4$ 钻孔见矿最好,见矿3层,累计厚度只有5.6 m,最厚一层为2.5 m,其他钻孔一般在1~4 m之间;有些钻孔甚至都没有见到铁矿,如 $ZK_9, ZK_{11}, ZK_{12}$ 等。由于当时的验证效果不是太好,后续查证没有展开。

然而,笔者通过收集及研究该区以往的地质、物探及矿采资料分析后认为,该区依然具有较好的找矿前景,不排除进一步找矿的可能。根据区内磁异常的反映及以往的钻探资料分析,由于该区古近系较厚,而古近系基本无磁性,这说明引起石家泉异常的磁性地质体应该埋深较大,从埋深的加大可以定性的推断出引起该异常的地质体磁性较强。由于区内岩浆活动主要为燕山期闪长岩,除此之外为其他强磁性岩体分布,闪长岩磁化率一般为 $3\ 500 \times 10^{-6} 4\pi SI$ ,据此推算深部大规模的闪长岩体不足以在地表引起如此高强度的磁异常,这说明该异常可能与深部隐伏铁矿体有关。此外,在石家泉异常的南部钻孔中见到了奥陶纪灰岩,表明围岩条件较好,并且在该异常的东部有已知的刘家庙铁矿和顾家台铁矿,以上均表明该区对形成接触交代式铁矿非常有利。综合以上信息说明该区深部铁矿成矿的可能性较大,仍具有较好的找矿前景。

### 3 在石家泉地区铁矿找矿中的应用

考虑到该区深部铁矿体受斜磁化的影响,并且剩磁较大,加之该区铁矿体倾角较小,影响了对深部铁矿体范围的判断<sup>[1]</sup>。为进一步研究和查明石家泉磁异常的地质成因,结合近几年在山东省内铁矿深部找矿中的实践及找矿成果,提出了利用垂向二次导数圈定铁矿体的大致分布范围,并利用垂向二次导数异常的高值点作为钻探验证的首选靶区。

伴随经济发展,区内村庄、厂房、高压线以及机动车辆等干扰因素较多,因此未在区内开展新的高精度磁测工作,综合分析后,收集和利用了早期地面磁测获得的垂直磁力 $\Delta Z$ 异常开展新一轮的找矿工作,虽然其精度不是太高,但是在当时测量条件下其受干扰程度反而较小,能较为准确地反映区内的实际地磁场特征。

利用早期地面磁测垂直磁力 $\Delta Z$ 异常数据进行垂向二次导数处理,绘制了石家泉地区垂直磁力 $\Delta Z$

垂向二次导数异常平面图(图3),经过进一步的分析 and 研究发现,垂向二次导数在解决该区地质问题时显示出了良好的应用效果,特别是在钻孔定位方面。

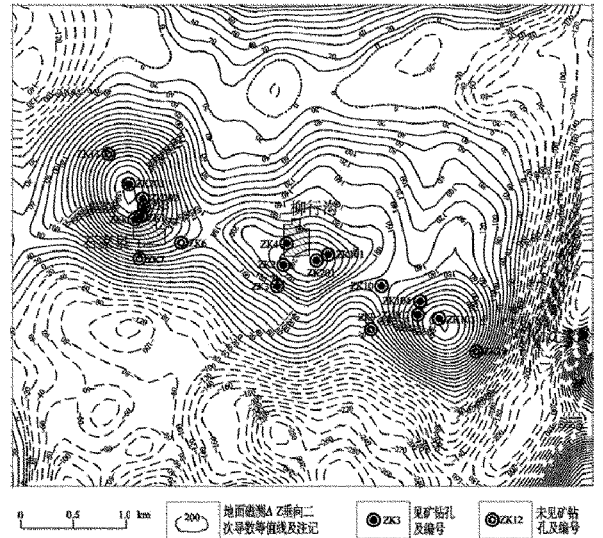


图3 莱芜市石家泉地区垂直磁力 $\Delta Z$ 垂向二次导数异常平面图

对比石家泉地区垂直磁力 $\Delta Z$ 异常(图2)及地面磁测 $\Delta Z$ 垂向二次导数异常(图3)可以发现,在 $\Delta Z$ 垂向二次导数异常中,原来的石家泉磁异常形态发生了较大变化,突出表现为由原来2个高值异常峰值中心变为3个异常峰值中心,分别位于石家泉北、柳行沟和沈家岭西3处,其中沈家岭西侧位置在垂直磁力 $\Delta Z$ 异常中表现为石家泉整体磁异常向东突出的部分,磁力异常形态不规则,而在 $\Delta Z$ 垂向二次导数异常中,这一突出部分形成了一个相对独立的异常峰值中心,与石家泉北及柳行沟异常峰值中心并列组成3个相对对立的异常区块,反映了深部磁性地质体的形态及大致分布范围。

此外,通过分析发现,利用垂直磁力 $\Delta Z$ 垂向二次导数异常可以较好地解释早期钻探验证未能取得好的找矿效果的原因。以石家泉村北侧磁异常验证为例,早期钻探验证以垂直磁力 $\Delta Z$ 异常为主要定钻参考依据(图2),在垂直磁力 $\Delta Z$ 异常中心位置附近共施工了6个钻孔( $ZK_1, ZK_5, ZK_6, ZK_7, ZK_8, ZK_{11}$ )进行验证,其中 $ZK_6, ZK_7$ 及 $ZK_{11}$ 孔未能见矿, $ZK_1, ZK_5$ 及 $ZK_8$ 孔仅见到较薄铁矿体,原因不明。这一问题可以在垂直磁力 $\Delta Z$ 垂向二次导数异常(图3)中得到较好解释。根据磁力垂向二阶导数的地球物理原理,磁力垂向二阶导数能够分解和突出

深部磁异常,利用其零等值线可大致圈定磁性地质体的分布边界,其高值异常分布区往往是铁磁性物质相对富集的区域,可以作为寻找(磁)铁矿体的重点靶区。因此,利用垂向二次导数异常指导钻探验证工程,具有较好的找矿效果<sup>[2]</sup>。

结合这一原理,在石家泉地区垂直磁力  $\Delta Z$  垂向二次导数异常综合平面图(图3)中可以看到, $\Delta Z$  垂向二次导数圈定的石家泉村北侧磁异常中心,与在地面磁测  $\Delta Z$  异常(图2)中相比向北发生了偏移,反映了石家泉北侧磁异常对应的下伏磁性体的深部分布情况。 $ZK_6$ 、 $ZK_7$  2孔由于过于偏南未能见矿,而  $ZK_{11}$  孔则是明显偏北也未能见矿; $ZK_1$ 、 $ZK_5$ 、 $ZK_8$  3孔由于偏离异常中心较小而见到了较薄铁矿体。较好地解释了早期钻探验证未能取得良好的找矿效果的原因。同时,根据垂直磁力  $\Delta Z$  垂向二次导数异常显示的异常信息,最佳验证位置应该是石家泉西北侧  $\Delta Z$  垂向二次导数高值异常中心区域,预测将可取得更好的验证效果。

与这一情况相似,在沈家岭西侧磁异常,早期施工的  $ZK_9$  及  $ZK_{12}$  孔也是由于偏离  $\Delta Z$  垂向二次导数异常中心较远而未能见矿(图3)。为了进一步查明磁异常的地质成因和寻找深部磁铁矿体,笔者及其项目组由2010年初至今分别在石家泉村北、柳行沟村东、沈家岭村西3个  $\Delta Z$  垂向二次导数异常中心布设钻孔进行验证,共施工了3个钻孔( $ZK_{102}$ 、 $ZK_{201}$  及  $ZK_{202}$ )进行异常查证,3孔均见到了厚度较大的富铁矿体。

其中  $ZK_{202}$ 、 $ZK_{201}$  2孔见矿最好, $ZK_{202}$  孔见矿3层,累计厚度38.4 m,最厚一层33.0 m, mFe 品位为

42.7%;  $ZK_{202}$  孔见矿2层,累计厚度22.0 m, mFe 平均品位达45.0%;  $ZK_{102}$  孔见矿1层,厚度为16.0 m, mFe 平均品位达51.6%;目前其他钻孔正在施工中。根据这3个钻孔的见矿情况,初步估算该矿区(333+334)铁矿石资源量至少在千万吨以上,为一中型富铁矿床,取得了较好的地质效果。这也进一步证明了  $\Delta Z$  垂向二次导数在寻找深部隐伏磁铁矿中具有良好的指导意义。

## 4 结语

综合以上信息,利用地面磁测  $\Delta Z$  垂向二次导数异常在莱芜市石家泉地区铁矿深部找矿工作中取得了重大突破,初步查明和揭示了早期钻探验证未能取得良好的找矿效果的原因,初步查明了该区隐伏铁矿床体的深部分布情况,为该区进一步的铁矿勘查评价工作指明了方向,取得了较好的地质效果,同时也证明了利用地面磁测  $\Delta Z$  垂向二次导数异常在铁矿深部找矿工作中具有良好的应用效果,这必将为今后莱芜地区的铁矿深部找矿工作产生一定的积极影响。另外建议,当磁干扰影响较大而无法取得高精度的磁测资料时,应充分利用以往中低精度的地面磁测资料,特别是矿区周围的磁测资料,通过进一步的处理和分析研究,达到圈定或验证矿体的目的,往往可以取得较好的地质效果。

## 参考文献:

- [1] 黄树棠,顾学新.斜磁化条件下磁测资料的推断解释[A]//地球物理与地球化学探矿研究报告文集(第2集)[C].北京:中国工业出版社,1964.
- [2] 谭承泽,郭邵雍.磁法勘探教程[M].北京:地质出版社,1984.

# Application of Ground Magnetic Survey in the Vertical Second Derivative Parameters in Deep Exploration of Shijiaquan Iron Deposit in Laiwu City

CAO Xiuhua, ZHAO Faqiang, LIU Hongqi, YU Linsong, CHEN Zhiguo, SHAO Changwei, SUN Liye  
(Shandong Geophysical and Geochemical Exploration Institute, Shandong Jinan 250013, China)

**Abstract:** On the basis of collecting and studying ground magnetic datas in early period in iron-rich area in Laiwu city, combining with theory and practices of iron ore exploration in deep part in recent years, through the ground magnetic survey datas conduction, the second vertical derivative of  $\Delta Z$  exception has been obtained in decomposition of magnetic anomalies and the delineation of the general distribution scope of magnetite in Laiwu city. Rather large hidden iron-rich body with great depth has been found in Shijiaquan area. It is preliminary estimated that the iron ore reserve is over thousands of tons. It will provide references for iron ore exploration in deep part.

**Key words:** Iron; deep exploration; magnetic measuring; Shijiaquan mine; Laiwu city in Shandong province