

济南流海庄铁矿床综合物探特征与分析

杨斌^{1,2}, 罗文强^{1,2}, 张尚坤^{1,2}, 唐璐璐^{1,2}, 马祥县^{1,2}

(1. 山东省地质科学实验研究院, 山东 济南 250013; 2. 山东省金属矿产成矿地质过程与综合利用重点实验室, 山东 济南 250013)

摘要:采用可控源大地电磁测深(CSAMT)与高精度磁测相结合的综合研究手段,通过对前期高磁资料的常规数据处理,结合此次综合研究剖面资料,以及对已知验证孔的对比研究综合分析,认为高磁性、低电阻为济南流海庄铁矿床隐伏磁铁矿的异常反映。认为该区铁矿体沿闪长岩体与奥陶世灰岩的上下接触界面分布,矿体主体沿接触带向 NE 缓倾,异常中心可划分为走向近南北,近平行排列的东西 2 个主矿段,第一矿段位于异常西北部,南东侧为第二矿段。

关键词:可控源大地电磁测深(CSAMT);高精度磁测;高磁性;低电阻;铁矿床;济南流海庄

中图分类号:P618.31;P631.2⁺21

文献标识码:A

0 引言

济南市东部地区铁矿类型为接触交代型(矽卡岩型)铁矿^[1-3],是山东省重要的铁矿资源基地。进入 21 世纪,该区铁矿资源贫乏,一些大矿、富矿相继开采完毕而闭矿。随着国民经济的高速发展,铁矿资源需求日趋紧张。早在 20 世纪 70 年代初期,山东省地质局物探队和地质五队在济南东郊一带进行铁矿 1:1 万磁测工作时发现郭店镇流海庄铁矿异常,后进行了 1:5 000 磁测详查工作推断为铁矿引起,经钻探验证见到了浅而富的磁铁矿。

受各种条件所限,未对该区资源系统评价开采,为进一步查明引起流海庄磁异常隐伏铁矿的分布特征,扩大矿区铁矿资源远景,在前期高精度磁测工作基础上,选择了第 4 线、第 6 线、第 11 线布置可控源音频大地电磁测深(CSAMT)剖面,重点查证断层的位置、深部岩体与上覆地层的接触关系^[4-10]。通过对 CSAMT 勘探成果的分析,结合已有的钻探资料,对 CSAMT 勘探所揭露的异常地带进行了综合物探特征研究与分析^[11,12]。运用地质钻探对流海庄铁矿深部是否存在矿体进行了探查,取得了较理想的成果^①。

1 区域地质背景

该区大地构造位置为华北陆块(I)鲁西隆起区(II)鲁中隆起区(II_a)泰山沂山断隆(II_a¹)泰山凸起(II_{3a}¹),区内的南部断凸与北部凹陷的交接部位,是山东省著名的铁矿产地^[1-3]。区内地层发育较齐全,主要有寒武系、奥陶系、石炭系、二叠系、白垩系及第四系;构造以 NE 向断裂构造为主,岩浆岩比较发育(图 1)。第四系覆盖较厚,其下为古生代地层。中生代辉长—闪长岩类沿断裂构造及脆弱地带侵入,与奥陶纪马家沟组石灰岩接触形成矽卡岩蚀变带,铁矿体即赋存于其中。

地层主要发育古生界。下古生界为一套浅海—滨海相碳酸盐岩建造,上古生界为海陆交互相含煤砂页岩建造。总的趋势为向 N 缓倾的单斜构造,形成南高北低地势。以胶济铁路为界,南部多山,出露寒武系、奥陶系,北部第四系下伏石炭—二叠系,局部有白垩纪青山组火山岩分布。

区域地层呈单斜状产出。区内主要发育 4 条断层,分别为王舍人庄断裂、升官庄断裂、埠东庄断裂、郭店断裂。

岩浆岩为燕山期闪长岩,呈似层状,多侵入寒武

* 收稿日期:2012-12-13;修订日期:2013-01-31;编辑:王秀元

作者简介:杨斌(1975—),男,山东济宁人,高级工程师,主要从事地质矿产勘查工作;E-mail:yangbin71311@163.com。

①山东省地质科学实验研究院,山东省济南市历城区流海庄矿区铁矿详查报告,2010年。

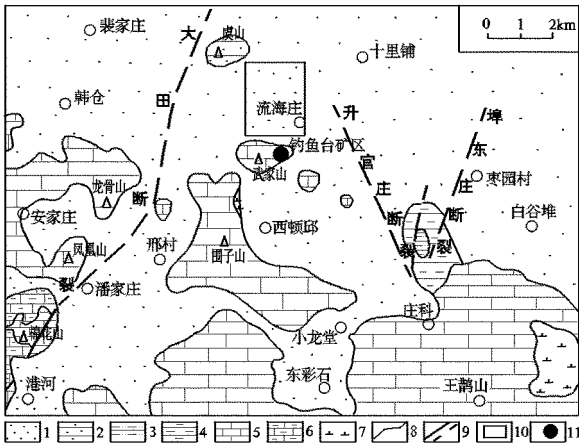


图 1 流海庄铁矿区域地质图

- 1—平原组;2—石盒子群;3—山西组;4—本溪组+太原组;5—马家沟群;6—炒米店组;7—印支期闪长岩;8—实测地质界线;9—实测及推测断裂;10—工作区位置;11—铁矿位置

系和奥陶系。闪长岩体多沿石炭系与马家沟组平行不整合面或斜切地层和断裂脆弱地带,由北向南侵入。岩体与围岩呈突变侵入接触关系。接触面外倾,倾角 60° 左右。外接触带一般宽 100 m 左右,最宽处 >500 m,有矽卡岩化、大理岩化和角闪岩化等,矽卡岩接触带中赋存铁矿体。

2 物探分析方法

在磁铁矿的勘探中,磁法是最有效的地球物理勘探手段。但不能一概而论,尤其是埋藏深、倾角大、地质构造复杂的大型低品位深部铁矿,一般引起的磁异常幅值低、宽度大,地面定位困难。此时,电法勘探可以辅助解决深部问题^[11,12]。

在前期高精度磁测工作基础上,综合分析 1:2 000 高精度磁测资料。选择了第 4 线、第 6 线、第 11 线布置 CSAMT 测深剖面,重点查证断层的位置、深部岩体与上覆地层的接触关系^[4-10]。选取成矿有利地段布置 CSAMT 物探研究剖面,查证隐伏岩体的分布特征,推断铁矿体的分布特征及变化规律。通过对设计研究剖面的综合研究,分析推断隐伏矿体的分布特征及深部变化延伸规律^[13,14],查证引起流海庄磁异常隐伏岩体及铁矿体的倾向和平面分布特征^[15,16]。结合区内已知见矿钻孔和磁法资料,对取得的综合物探异常进行综合分析,并赋予地质解释推断,推断铁矿体赋存的有利部位,指导深部铁矿勘探工作的开展,为地质勘探验证提供依据。

3 物探特征及其意义

3.1 岩(矿)石磁性特征

该区岩性主要有奥陶纪灰岩、石炭-二叠纪砂岩和页岩及燕山期岩浆岩(闪长岩)。奥陶纪灰岩及石炭-二叠纪砂岩、页岩属沉积岩,一般无磁性。根据区内岩(矿)心物性统计资料得知,各地层的磁参数特征:沉积岩中灰岩、砂岩的磁化率 K 一般在 $(0 \sim 20) \times 10^{-6}$ CGSM 之间,页岩略大, $K = 110 \times 10^{-6}$ CGSM,可知沉积岩的磁性相当微弱,一般作为无磁性考虑。而岩浆岩(闪长岩)的平均磁化率在 $(1\ 000 \sim 4\ 500) \times 10^{-6}$ CGSM 之间,一般具有较强的剩余磁化强度,表现稳定的高磁性特征。磁铁矿的平均磁化率在 $(52\ 800 \sim 251\ 000) \times 10^{-6}$ CGSM 之间。可见该区磁铁矿的磁性最强与围岩有 1~2 级次之差异。故铁矿异常反映明显,闪长岩与灰岩的磁性差异也较大,因此利用高精度磁测来圈定接触带寻找磁铁矿是最为有效的物探方法。

3.2 岩(矿)石电性特征

根据不同岩性的电性资料,区内第四系电阻率变化较大,浅部一般为 $15 \sim 30 \Omega \cdot m$ 。石炭-二叠系电阻率一般为 $10 \sim 35 \Omega \cdot m$ 。下古生界、太古宇电阻率一般大于 $1\ 000 \Omega \cdot m$ 。闪长岩体在电性上与奥陶纪灰岩无大差异,为该区的高阻标志层。断层构造由于应力作用原岩的连续完整性遭受破坏,从而引起了电阻率的降低。磁铁矿体为良导体,与围岩的电性差异非常明显。由以上物性统计可见,磁铁矿石和围岩大理岩、辉长岩之间,磁性和电阻率均存在着明显的差异,可控源音频大地电磁测深,属频率域电测深,它是以地下岩(矿)石电、磁性差异为基础的,地质体与原岩的电性差异越大,其异常反映越明显,利用大地电磁测深研究引起磁异常的磁性体是高阻还是低阻,对于判断磁性体的属性(是铁矿还是岩体)是有帮助的。因而在区内利用高精度磁测和大地电磁测深圈定隐伏磁铁矿具备良好的地球物理前提。

3.3 流海庄铁矿磁异常特征

通过 1:2 000, 1:5 000 详查,反映的异常形态与 1:1 万的数据基本一致,其异常基本形态见图 2。由图 2 可见,该异常总体呈椭球状,但其异常高值中心呈近 SN 走向的长轴状,异常中心等值线向 NE 凸

出的低缓异常,反映了深部有隐伏磁性地质体赋存。该异常经 20 世纪 70 年代和此次普查验证,为隐伏富铁矿体引起,矿体整体倾向 NE,矿体赋存于闪长岩体与奥陶纪灰岩的接触带附近。矿体形态比较复杂,呈多层透镜体状,连续性不好。最大见矿深度 672 m,经剩余异常计算,推测沿接触带的延伸部位和岩体深部下接触带有隐伏矿体,经钻孔验证,在 672 m 闪长岩体内见有 1.25 m 富铁矿,证明了岩体内具有捕虏体,形成透镜状富铁矿体。

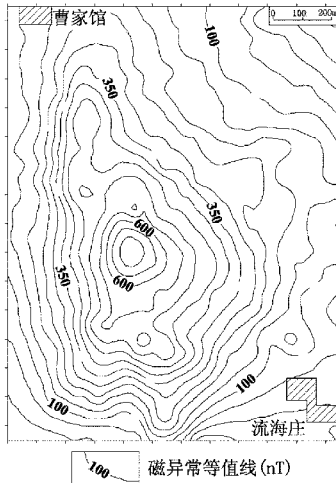


图 2 流海庄铁矿磁异常平面等值线图

对原高磁数据,进行了化极和垂向一阶导数数据处理,经垂向一阶导数处理后,原平面异常被分解成了多个异常体(图 3),反映了该异常是由多个磁性体复合而成,经与已知验证孔对比分析,矿体形态零乱,但主体沿岩体接触带分布,向 NE 倾伏。异常中心可划分为走向近 SN,近平行排列的东西 2 个主矿段,第一矿段位于异常北西部,南东侧为第二矿段(图 3)。

4 综合物探剖面异常特征及分析

为研究可控源音频大地电磁测深在流海庄深部铁矿找矿中的应用效果,在前期高精度磁测资料综合分析推断的基础上,在该矿区选取了典型勘探剖面布置了 3 条综合研究剖面,通过已知磁铁矿体上的综合物探异常对比研究,总结综合地球物理场的异常特征及变化规律,以便于对区内物探资料的综合地质分析解释。

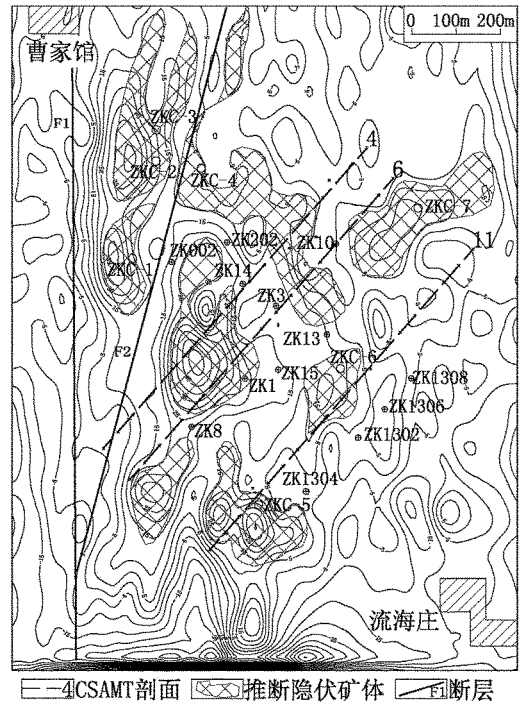


图 3 流海庄铁矿垂直磁异常一阶导数平面图

4.1 第 4 线异常特征及解释

图 4 为第 4 线研究剖面综合物探剖面,剖面方位 NE 41°,由 ΔZ 剖面曲线分析,曲线左支相对较陡,右支相对较缓,反映磁性地质异常体为 NE 倾。剖面曲线右支呈多峰值特征,表征了沿剖面方向磁性地质体呈多层分布。经钻探验证,ZK5 孔,于 266 m 附近见有 0.5 m 富铁矿,ZK14 孔穿过接触带未见矿,ZK406 孔于 436 m 见有 26.1 m 富铁矿,证明了矿体的不连续。从磁剖面曲线看, ΔZ 极大值位于 250~300 号测点之间;300~350 号测点之间,曲线急剧下降,而在 350~500 号测点之间曲线出现一平台,由此表征了矿体主体位于 250~350 号测点之间,而 ZK5 孔所见到的只是矿体的尾部。而 350~500 号测点之间的平台,反映了该区段位于两磁性体之间,ZK14 孔验证了两磁性体之间的无矿间隔。剖面曲线在 550~700 号测点之间斜率明显变陡,在 750~800 号测点之间出现第二个平台,反映了深部磁性体主体位于 500~750 号测点之间,ZK406 验证深部见有厚大富矿体。

从 CSAMT 断面等值线图分析,250~750 号测点之间,呈明显的低阻异常反映,在该异常区段 250~450 号测点和 500~650 号测点两区段,异常反映尤为明显,而 450~500 号测点之间具有局部高

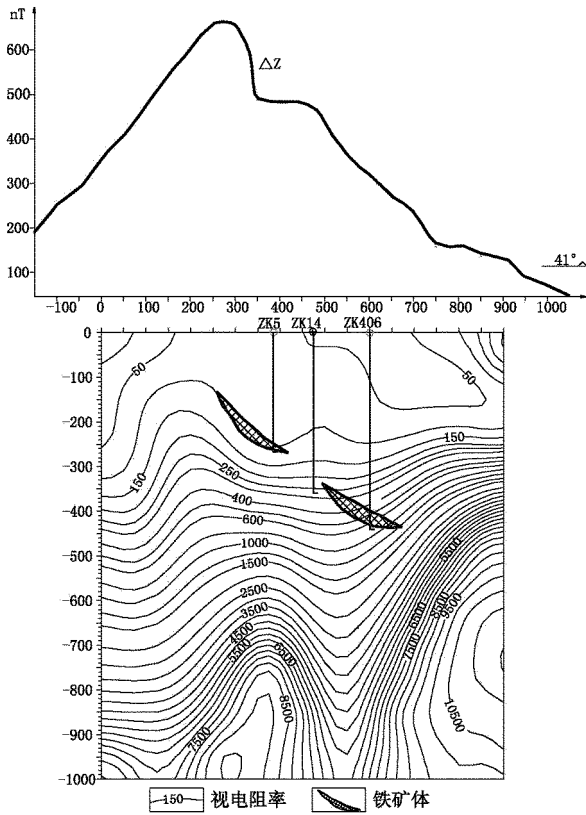


图 4 流海庄铁矿第 4 线综合研究剖面

阻异常特征,与 ZK14 无矿孔相对应。

由以上分析对比可以看出,矿体具有明显的高磁性、低电阻的异常特征。由此可以推出,在该区高磁、低阻综合物探异常,即为铁矿体的反应;高磁、高阻综合物探异常为隐伏岩体的反应。据此推断,该剖面 250~450 号测点之间和 550~650 号测点之间有隐伏矿体赋存。

4.2 第 6 线异常特征及解释

图 5 为第 6 线研究剖面综合物探剖面,剖面方位 NE 41°,由 ΔZ 剖面曲线分析,曲线左支相对较陡,右支相对较缓,反映磁性地质体主体北东倾。剖面曲线右支呈多峰值特征,表征了沿剖面方向磁性地质体呈多层分布的特征。经钻探验证,ZK11 钻孔于 671.9 m 附近见有 1.25 m 富铁矿,ZK2 孔于 230 m 以下见有 8 m 厚富铁矿,ZK3 孔于 306.95 m 终孔于闪长岩,在接触带未见矿,ZK9 孔在 331.28 m 见了 10 m 厚富铁矿,ZK10 又未见矿。证明了矿体的不连续。从磁剖面曲线看, ΔZ 极大值位于 250 号测点附近,350~400 号测点之间,曲线急剧下降,而在 400~450 号测点之间曲线明显变缓,出现

第一个平台,600~650 号测点之间曲线出现第二个变缓平台。由此表征了矿体主体位于 250~450 号测点 500~600 号点之间,而 ZK11 孔于 671.91 m 以下见到了 1.25 m 磁铁矿,不足以引起实测磁异常,所见到的是深部矿体的顶部而上部的矿体位于钻孔北侧,异常峰值为叠加异常。ZK2 钻孔于深部 230.22m 以下见 8 m 富铁矿,ZK3 于 306.95 m 终孔于闪长岩,在接触带中未见矿,ZK9 孔于 331.82 m 见到了 10 m 的富铁矿,ZK10 又未见矿。与验证孔相对应的曲线变化规律是,ZK11,ZK2 见矿孔对应于 ΔZ 曲线的极大值右支第一个转折变化区段,ZK9 见矿孔对应于 ΔZ 曲线的第二个转折变化区段。未见矿孔于曲线变化平缓区段相对应。

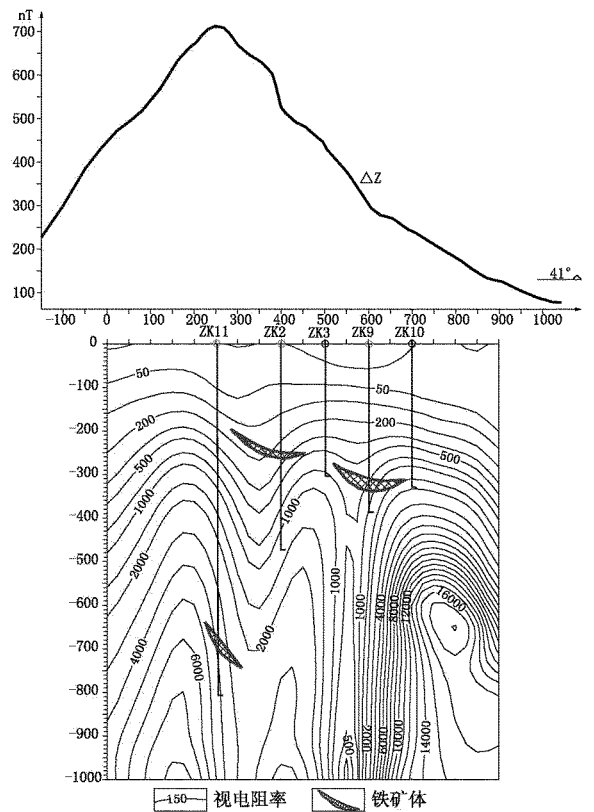


图 5 流海庄铁矿第 6 线综合研究剖面

从 CSAMT 断面等值线图上分析,250~400 号测点之间,呈明显的低阻异常反映,该异常区段与 ΔZ 曲线的第一个变化转折区段相对应,呈现出了高磁性、低电阻的物理特征;550~650 号测点之间亦呈明显的低阻异常反映,该异常区段与 ΔZ 曲线的第二个变化转折区段相对应,同样呈现出了高磁性、低电阻的物理特征;而 450~500 号测点之间,

650~700 号测点之间具有局部高阻异常特征,与 ZK3, ZK10 无矿孔相对应。

由已知验证孔的对比分析可以看出,矿体具有明显的高磁性、低电阻的异常特征。由此可以推出,在该区高磁、低阻综合物探异常即为铁矿体的反应;高磁、高阻综合物探异常为隐伏岩体的反应。据此推断,该剖面 250~400 号测点之间和 550~650 号测点之间,有隐伏矿体赋存。

4.3 第 11 线异常特征及解释

图 6 为第 11 线研究剖面的综合断面,剖面方位 NE 41°,由 ΔZ 剖面曲线分析,曲线左支相对较陡,右支平缓,反映磁性体 NE 缓倾的特征。剖面曲线右支呈多峰值特征,幅值低缓,表征了沿剖面方向磁性地质体呈多层分布,规模小埋深大的特征。曲线右支 50~200 测点之间出现第一个变化转折部位,200~400 号测点之间出现第一个变化平缓平台。400~650 号测点之间出现第二个变化转折段。经钻探验证,在第二转折段 ZK4 于 296 m 以上见到 4.6m 的磁铁矿,在 70 号测点附近见有 1.42 m 磁铁矿,两见矿段分别与 ΔZ 曲线的两个变化突变转折区段相对应。ZK4 孔验证了第二转折部位为隐伏磁铁矿引起。

从 CSAMT 断面等值线图分析,0~600 号测点之间,呈明显的低阻异常反映,在该异常段 50~200 号测点和 350~550 号测点之间地区异常反映尤为明显。以上两区段与 ΔZ 曲线的两个变化转折区段相对应,呈现出了高磁性、低电阻的物理特征。

由以上已知验证孔的对比分析可以看出,矿体具明显的高磁性、低电阻的异常特征。由此可以推出,在该区高磁、低阻综合物探异常,即为铁矿体的反应;高磁、高阻综合物探异常为隐伏岩体的反应。据此推断,该剖面 50~200 号测点之间和 400~600 号测点之间,有隐伏矿体赋存。

5 结论

通过对前期高磁资料的常规数据处理,结合该综合研究剖面资料,以及对已知验证孔的对比研究综合分析,认为该区高磁性、低电阻为隐伏磁铁矿的异常反映。认为该区铁矿体沿闪长岩体与奥陶纪灰岩的上下接触界面分布,在闪长岩体内部包体内亦有零星分布,矿体整体形态不规则,分布零乱,呈比

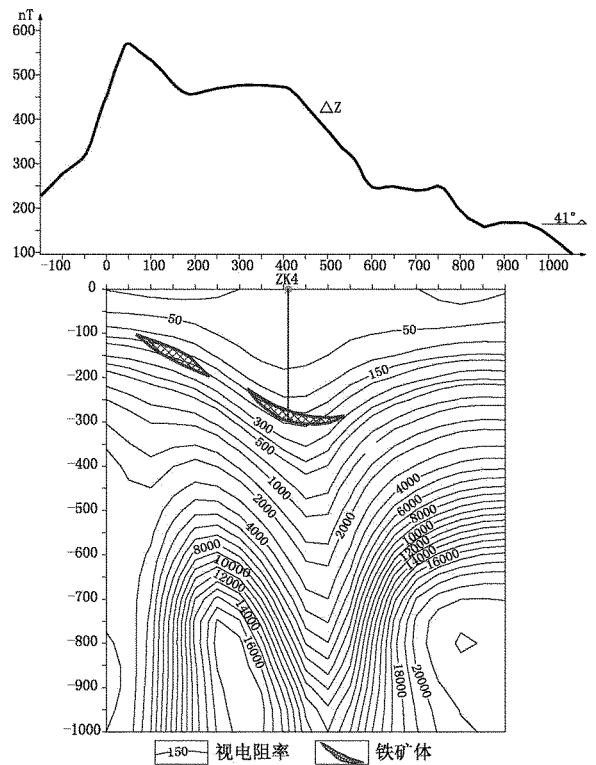


图 6 流海庄铁矿第 11 线综合研究剖面

较复杂的透镜状分布于接触带附近。矿体主体沿接触带向 NE 缓倾,异常中心可划分为走向近南北,近平行排列的东西 2 个主矿段,第一矿段位于异常北西部,南东侧为第二矿段。该次铁矿研究工作采用了新方法 CSAMT 勘探与高精度磁法相结合的综合研究手段,通过应用实践证明,该方法对于深部找矿具有较高的实用价值。

参考文献:

- [1] 曾广湘,吕昶,徐金芳. 山东铁矿地质[M]. 济南:山东科学技术出版社,1998,49-89.
- [2] 孔庆友,张天祯,于学峰,等. 山东矿床[M]. 济南:山东科学技术出版社,2006,291-350.
- [3] 宗信德,贾东亮,刘超,等. 山东莱芜接触交代-热液铁矿矿体形态研究[J]. 山东国土资源,2010,26(11):13-18.
- [4] 张国鸿,李仁和,张良敏. 可控源音频大地电磁法若干方法技术问题的探讨[J]. 安徽地质,2009,19(2):119-123.
- [5] 匡海阳,吕庆田,张昆,等. 多种电磁测深技术在深部控矿构造探测中的应用研究——以泥河铁矿为例[J]. 地质学报,2012,86(6):948-960.
- [6] 杨金中,赵玉灵,沈远超,等. 可控源音频大地电磁法在矿体定位预测中的应用——以山东省乳山市蓬家乔金矿床为例[J]. 地质科技情报,2000,19(3):107-112.
- [7] 葛纯朴,康志强,赖树钦,等. 可控源音频大地电磁法(CSAMT)在复杂岩溶矿山水文地质勘探中的应用——以福

- 建马坑铁矿为例[J]. 中国水运, 2007, 7(10): 82-84.
- [8] Bartel L C, Jacobson R D. Results of a controlled source audio frequency magnetotelluric survey at the Pubiman thermal area [J]. Kilauea Volcano, Hawaii. Geophysics, 1997, 52(3): 665-677.
- [9] Basokur A T, Rasmussen, Kaya T M, Altun Y and Aktas K. Comparison of induced polarization controlled source audio frequency magnetotelluric methods for massive chalcopyrite exploration in a volcano area [J]. Geophysics, 1997, 62(4): 1087-1096.
- [10] 董泽义, 汤吉, 周志明. 可控源音频大地电磁法在隐伏活动断裂探测中的应用[J]. 地震地质, 2010, 32(3): 442-452.
- [11] 张旭, 安仰生. 物探方法在寻找苍山县王埝沟隐伏铁矿床中的应用[J]. 山东国土资源, 2009, 25(7): 25-28.
- [12] 文孝贵. 可控源音频大地电磁法勘探在西石门铁矿的应用[J]. 金属矿山, 2011, 40(1): 102-103.
- [13] 赵法强, 曹秀华, 庞绪贵, 等. 高精度磁测在单县龙王庙地区铁矿调查中的应用[J]. 山东国土资源, 2011, 27(8): 23-27.
- [14] 李庆阳, 王艳梅, 邓霜岭. 新疆若羌县阿尔金山脉里维齐明隐伏铁矿床地面磁异常特征[J]. 物探与化探, 2010, 34(3): 286-288, 293.
- [15] 李洪普. 青海东昆仑那陵郭勒河东铁矿床磁异常特征分析[J]. 地质与勘探, 2009, 45(3): 304-311.
- [16] 霍光辉. 高精度磁测在山西省繁峙吐楼铁矿区勘探中的应用[J]. 山东国土资源, 2010, 26(9): 24-27.

Characteristics and Analysis on Comprehensive Geophysical Prospecting in Liuhai Iron Deposit in Jinan City

YANG Bin^{1,2}, LUO Wenqiang^{1,2}, ZHANG Shangkun^{1,2}, TANG Lulu^{1,2}, MA Xiangxian^{1,2}

(1. Shandong Institute and Laboratory of Geological Sciences, Shandong Jinan 250013, China; 2. Key Laboratory of Geological Process for Mineralization of Metal Minerals and Resources Utilization in Shandong Province, Shandong Jinan 250013, China)

Abstract: In this paper, by using the controlled source audio-frequency magnetotellurics (CSAMT) and high precision magnetic survey methods, through conventional data processing of the early high magnetic data, combining with comprehensive study of profile data, comparative study and comprehensive analysis on well known verification holes, it is regarded that high magnetism and low resistance reflect hidden magnetite anomaly of Liuhai iron deposit in Jinan city. Iron ore bodies distributed along the upper and lower contact interface of diorite and Ordovician limestones. Main ore body inclined to northeast along the contact zones, and abnormal center can be divided into two main ore sections with the trend of SN and EW in parallel. The first section located in the northwest part of anomaly, and the second one located in the southeast part.

Key words: Controlled source audio-frequency magnetotellurics (CSAMT); High precision magnetic survey; high magnetism; low resistance; iron ore deposit; Liuhaizhuang in Yinan county