第29卷 第1期
2014年3月:102-107

地 质 找 矿 论 丛
Contributions to Geology and Mineral Resources Research

Vol. 29 No. 1
Mar. 2014:102-107

doi:10.6053/j.issn.1001-1412.2014.01.014

弓长岭铁矿二矿区深部富铁矿地质—地球物理找矿模型

于仕祥[1],赵洪振[1],李厚民[2],姚良德[1],洪学宽[1],杨志辽[1]

(1.辽宁省冶金地质勘查局地质勘查研究院,辽宁 鞍山 114038;
2.国土资源部成矿作用与资源评价重点实验室,中国地质科学院矿产资源研究所,北京 100037)

摘要: 弓长岭铁矿二矿区是我国鞍山式铁矿的典型矿床,近年来采用地质与物探相结合的方法,寻找深部富铁矿体获得突破性进展。通过总结弓长岭铁矿二矿区深部富铁矿床成矿地质条件和控矿因素,解释磁异常特征,建立了该矿区地质-地球物理找矿模型,预测了矿区深部富铁矿体赋存部位并经钻探验证。

关键词: 弓长岭富铁矿床;成矿地质条件;地质-地球物理模型;辽宁省

中图分类号: P612;P618.31 **文献标识码:** A

0 引言

弓长岭铁矿二矿区位于辽宁省辽阳市,是我国著名的鞍山式铁矿的典型矿床,近年来采用地质与物探相结合的方法,对弓长岭二矿区外围及深部开展铁矿资源特别是富铁矿的地质勘查,获得了重大的找矿突破。本文总结了该矿床的成矿地质条件和控矿因素,解释了矿床的磁异常特征,建立了地质—地球物理找矿模型,以期为寻找类似深部隐伏型富铁矿提供参考。

1 富铁矿成矿条件

弓长岭二矿区富铁矿产于贫铁矿层内。富铁矿体受贫铁矿层严格控制,二者紧密依存。在整个富铁矿形成过程中,贫铁矿层遭受大型韧塑性构造的叠加改造,后期钾质花岗岩浆热液活动使贫铁矿层中硅质迁移、铁相对富集,形成富铁矿脉[1]。

1.1 贫、富铁矿赋存层位

按其地层顺序,自下而上大致可划分为5层,其中包含上、下2条贫铁矿带共6个贫铁矿层[2],富铁矿脉主要赋存于上部贫铁矿带的第六层内。①底部层:由斜长角闪岩、黑云角闪岩、绿泥角闪岩、石英角闪岩等组成;②下部贫铁矿带:由2层贫铁矿组成,第一层贫铁矿为条纹状磁铁石英岩,其间夹有斜长角闪片岩、磁铁角闪片岩等;第二层贫铁矿由细条纹状角闪磁铁石英岩组成,夹有斜长角闪岩、绿泥角闪岩等;③中部层:主要由黑云钠长变粒岩组成,偶夹第三层贫铁矿;④上部贫、富铁矿带:由3个贫铁矿层组成,其中第四层和第五层贫铁矿为细条纹状阳起磁铁石英岩;第六层贫铁矿在西北区及中央区以条带、细条纹状或揉皱状磁铁石英岩,东南区地表为厚层状细鳞片赤铁石英岩为主,向下过渡为条带、细条纹状赤磁铁石英岩,再向深部几乎全部变为磁铁富矿及蚀变岩;⑤上部硅质层:主要由石英岩、白云母石英片岩、含铬白云母石英片岩及白云钠长石英片岩等组成,常夹黑云母片岩、透闪石英岩、阳起石英岩、滑石片岩、绿泥片岩,局部夹薄层贫铁矿。

1.2 成矿构造条件

弓长岭二矿区鞍山式贫铁矿层遭受多期变形,原始含铁沉积层经历了褶皱、断裂等改造。根据野

收稿日期: 2013-05-21; **责任编辑:** 赵庆

作者简介: 于仕祥(1965-),男,高级工程师,1989年毕业于中国地质大学(北京),从事金属矿产地质勘查研究与技术管理工作。通信地址:辽宁省鞍山市鞍千路,辽宁省地质勘查局地质勘查研究院;邮政编码:114038.

外地表观察及深部工程控制情况,初步划分了 2 期褶皱。①早期褶皱于西北至中央区 9—20 剖面较明显,地表呈现小型复杂变形褶皱,轴面片理与(条带)层理平行。褶皱变形作用力(F_1)上下近似垂直,以顺层片理(AS0)或原始层理为变形面,形成早期褶皱构造(AF1)、轴面片理(AS1)、角闪石矿物线理(AL1)以及石香肠构造等。在贫铁矿层内褶皱枢纽近于水平,呈 NE-SW 向,以同斜紧密或不协调型褶皱为特征,是在高韧塑性或流动变形条件下产生的。另外,在贫铁矿层发生同斜倒转紧闭褶皱的同时,沿轴面产生韧性剪切拉断、削失[3],并使贫铁矿层内部发生不同程度的细粒岩化、糜棱岩化及铁质迁移富集。②晚期褶皱位于东南区 20—25 剖面之间,褶皱变形作用力近似于水平,是在早期紧密同斜褶皱的基础上发生再褶皱,枢纽向北东倾竖,形成倾竖褶皱构造。岩层呈"S"弯曲,受走向剪切断裂切割褶皱两翼发生位移,在第 25 剖面上可见富铁矿体重叠 2 层,呈倾竖柱状。

1.3　花岗质岩浆活动

花岗质杂岩体按其生成年代可大致划分为早、晚 2 期花岗岩:①早期片麻状钠质花岗岩(称为弓长岭花岗岩)同位素年龄为 29.9 亿年[4],为中太古宙早期陆核形成阶段产物,后经区域变质、韧塑性变形作用,形成片麻状花岗质杂岩残体,同位素年龄 22～25 亿年[5],为新太古代晚期陆壳拼合时期产物,经历区域性构造及硅钾质溶体交代或深熔演化过程,残留着细粒化或残斑糜棱岩结构,并有晚期钾钠质溶体注入,形成条带状钾钠质花岗岩;②晚期块状钾长花岗岩(称为麻峪花岗岩),同位素年龄为 18～19 亿年[5](陈江峰 1976)。

2　富铁矿找矿标志

2.1　条带状贫铁矿层

本区富铁矿体主要产于鞍山群茨沟组,严格受上部铁矿带的第四、五、六层贫铁矿层控制,走向呈 NE-SW 向。根据弓长岭铁矿二矿区第二期地质勘探报告[2],富铁矿体大小有 138 个,其中 94 个赋存在第六层贫铁矿中,21 个在第四层贫铁矿中,19 个在第五层贫铁矿中,3 个在第二层贫铁矿中,第三层贫铁矿中富铁矿体仅有 1 个。可见,富铁矿体主要赋存在第六层贫铁矿中,其次是第四层及第五层。因此,鞍山群茨沟组条带状贫铁矿层是寻找富铁矿的重要标志。

2.2　贫铁矿层褶皱及断裂部位

本区富铁矿床的空间分布及产出位置严格受区内褶皱-断裂带控制,富铁矿脉主要集中分布在靠近早、晚 2 期花岗岩体边缘的鞍山群茨沟组上部铁矿带的遭受多期褶皱、断裂叠加改造的第六层贫铁矿层内。褶皱-断裂构造带从北西区经中央区向东南区延伸长达 2 000 m,宽 30～80 m,其严格控制着富铁矿脉的展布方向,是一条具有古老深成韧塑性变形构造带、岩浆侵入带及热液活动蚀变带,也是矿区内最重要的富铁矿成矿带,构成了矿区富铁矿体集中分布区,在空间分布上具有明显的方向性,是矿区富铁矿床在成矿空间分布上的一个突出特点,也是该区寻找富铁矿的重要标志。

2.3　晚期花岗岩体外接触带

通过研究弓长岭地区 2 期花岗岩与富铁矿时空分布位置发现,富铁矿体及蚀变带主要与晚期钾质花岗岩体活动有关[6]。花岗岩体的外接触带是韧性变形及热液活动的有利场所,也是富铁矿赋存的重要空间,表现出富铁矿成矿受钾质花岗岩体制约。弓长岭富铁矿的成矿年龄为 18 亿年,而钾质花岗岩的同位素年龄为 18～19 亿年[5],二者基本上属同期产物,这种空间和时间上的紧密关系是晚期钾质花岗岩与富铁矿成矿的最为突出的特征。因此,富铁矿沿着晚期钾质花岗岩体外接触带贫铁矿层分布,可作为寻找富铁矿的又一重要标志。

3　矿区磁异常带分布特征

3.1　岩、矿石磁性数据

弓长岭二矿区岩、矿石磁性数据[7]具有几个特点:一是矿体与围岩的磁性差异非常悬殊,磁化率或剩余磁化强度一般相差 1 000 倍以上,矿体的磁化率和剩余磁化强度很大,而围岩基本无磁性;二是富铁矿与贫铁矿存在磁性差异,经测定,磁铁富矿 κ 值最大,部分超过 $1\times4\pi$ SI,平均值 $0.55\times4\pi$ SI;磁铁贫矿的 κ 值低于磁铁富矿,平均值 $0.13\times4\pi$ SI,赤铁富矿和赤铁贫矿 κ 值均小于磁铁贫矿一个级次左右。因此,在弓长岭二矿区采用地球物理磁法手段寻找深部磁铁富矿是可行的,特别是弓长岭二矿区东南部的地表为赤铁贫矿层,向深部过渡为磁铁富矿,具有充分的磁法找矿前提。

3.2　地表磁异常曲线分布特点

弓长岭二矿区地表磁异常曲线呈 NW-SE 带状展布(图 1),磁异常延伸长 5 000 m,宽 500 m,磁异常强度很大,一般>10 000 nT,磁异常带分布与贫铁矿体产出空间位置吻合。位于西北区至中央区 9—20 剖面线的磁异常带,西南侧梯度较陡,北东侧梯度稍缓;位于东南区 20—25 剖面线的磁异常带,北东翼等值线宽缓,范围较大。

4　地质-地球物理找矿模型及勘查验证

通过分析矿区富铁矿的成矿地质条件及找矿标志,确定了磁铁富矿的赋存空间。根据贫、富铁矿的垂直分带规律,结合物探磁异常数据,建立深部富铁矿的综合找矿模型。

4.1　地质-地球物理找矿模型

4.1.1　富铁矿赋存空间及地球物理找矿模型

从弓长岭二矿区地质及磁法 ΔZ 等值线平面图(图 1)、二矿区 25 线地质及磁法 ΔZ 正演剖面图(图 5)可以看出富铁矿体在三度空间上的分布规律。①二矿区富铁矿主要集中分布在第六层贫铁矿层内;②遭受麻峪钾长花岗岩的热接触影响,形成了大型韧塑性构造带、热液活动带及各类交代蚀变岩带;③贫铁矿层经历了 2 期褶皱:早期褶皱见于 9—20 线,贫铁矿层形成复杂的同斜紧密褶皱,枢纽近于水平,呈 NE-SW 向,强烈的热液活动使铁质富集在褶皱转折端,富矿加厚,储量集中,品位增高,是富铁矿体最重要的赋存部位;晚期褶皱见于 20—25 线,早期褶皱被改造成倾竖褶皱,岩层呈反“S”弯曲(图 1),受走向剪切断裂切割,褶皱两翼发生位移,富铁矿体重复出现,呈倾竖柱状。磁异常在 9—18 线呈高强度的带状展布,18—25 线磁异常带呈宽缓形,磁异常带与贫、富铁矿带产出位置吻合。

4.1.2　贫、富铁矿垂直分带及地球物理找矿模型

本区贫、富铁矿具有明显的氧化、还原的垂直分带特征,根据贫、富铁矿体氧化程度,由浅至深可大致划分为氧化带、半氧化带及还原带。不同部位各带发育程度并不一致;在西北区主要保留着还原带,而氧化带、半氧化带已被剥蚀;中央区出现还原带及半氧化带,缺失氧化带;东南区的氧化带、半氧化带及还原带发育齐全。另外,在东南区贫、富铁矿在空间上也具有垂直分带特征,显现出“上红下黑、上贫下富”的特征:近地表上部为赤铁贫矿,向下过渡为赤(磁)铁贫矿,伴随有富铁矿及蚀变岩出现,深部由磁铁贫矿逐渐变为几乎全部是磁铁富矿及蚀变岩。

结合弓长岭二矿区第 25 线地质特征及磁法 ΔZ 正演数据,从深部贫、富矿体产出状态编制出多种磁

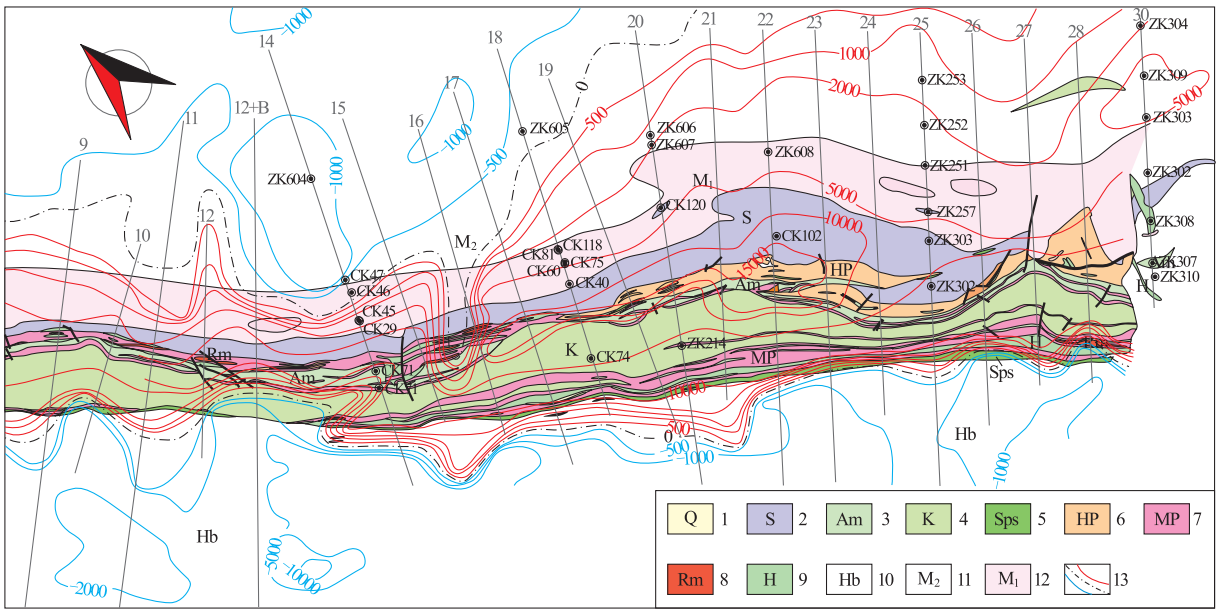

图 1　弓长岭二矿区地质及磁法 ΔZ 等值线平面图

Fig. 1　Geological and magnetic ΔZ contour plan of No. 2 mining area of the Gongchangling iron deposit

1. 第四系;2. 云母石英片岩及石英岩(硅质层);3. 上部斜长角闪片岩;4. 黑云变粒岩;5. 底部片岩;6. 赤铁贫矿;7. 磁铁贫矿;8. 磁铁富矿;9. 蚀变岩;10. 底部斜长角闪岩;11. 晚期麻峪花岗岩;12. 早期弓长岭花岗岩;13. 磁异常等值线

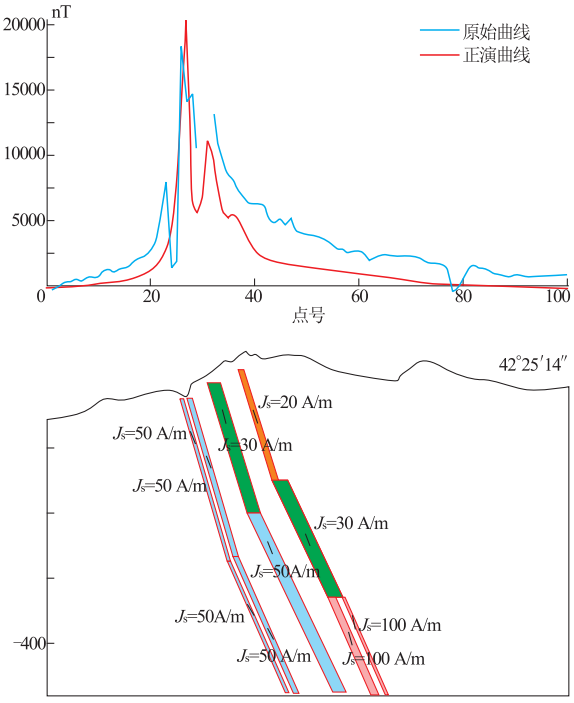

图 2　弓长岭二矿区 25 线前期控制的贫、富铁矿磁法 ΔZ 正演剖面图

Fig. 2　The magnetic ΔZ forward profile of pro-control of the poor and rich iron ore at line 25 in No. 2 mining area of the Gongchangling iron deposit

赤铁贫矿磁化强度 J_s=30 A/m;磁铁贫矿 J_s=50 A/m;磁铁富矿 J_s=100 A/m

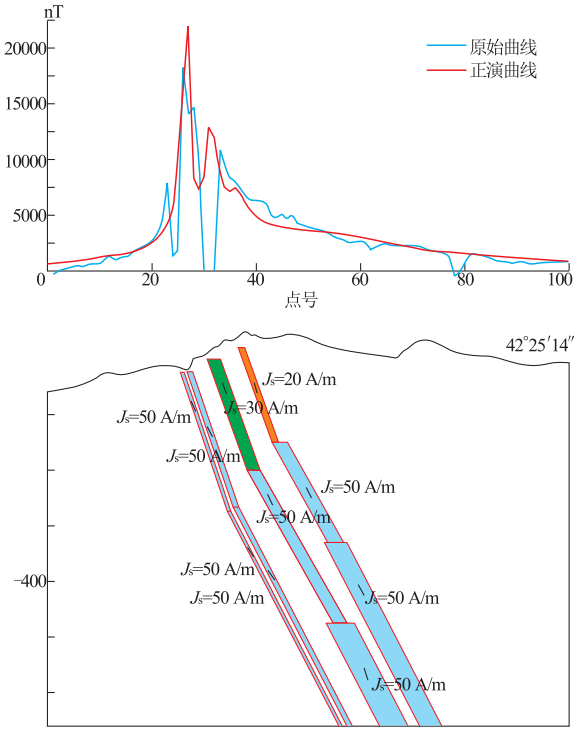

图 3　弓长岭二矿区 25 线推测－400m 标高以下贫铁矿磁法 ΔZ 正演剖面图

Fig. 3　Magnetic ΔZ forward profile of the poor iron ore speculated below －400 m at line 25 in No. 2 mining area of the Gongchangling iron deposit

赤铁贫矿磁化强度 J_s=30 A/m;磁铁贫矿 J_s=50 A/m

法 ΔZ 正演剖面图,从多方面进行推断解释。图 2 为已知原经地表及深部工程控制的－400 m 标高以上的贫、富铁矿体,根据实测磁异常及正演曲线推测深部赋存有厚层(磁性)铁矿;图 3 显示,－400 m 标高以下为磁铁贫矿,则推测深部赋存有 2 层贫铁矿层;图 4 为根据实测磁异常及正演曲线预测在－400 m 标高下部有 2 层磁铁富矿;从图 5 可见,上部铁矿带中磁化强度以－400 m 标高为界,上部主要为赤铁贫矿及磁铁贫矿(J_s=20～50 A/m),下部则为磁铁富矿(J_s=100 A/m)。

根据上述矿区地质情况结合磁异常特征,预测(圈定)弓长岭二矿区深部富铁矿体赋存空间部位:①在弓长岭二矿区 9—20 线之间主要为早期褶皱、韧性断层改造及花岗质岩浆热液活动的部位,矿体内的铁质向褶皱转折端迁移富集。表现出磁异常在地表呈窄带状与铁矿带延展方向吻合;垂直矿带走向从南西向北东侧磁异常梯度由陡变缓,显示出贫、富铁矿体向北东方向倾斜。深部在－100 m 标高以上磁化强度值为 J_s=50 A/m,主要为磁铁贫矿引起,从－100 至－400 m,磁化强度值 J_s=100 A/m,为富铁矿引起;②在弓长岭二矿区 20—27 线为晚期倾竖褶皱构造叠加部位,该区矿体磁场强度较高、宽度较大,预测深部从－400 至－800 m 标高赋存有较厚的富铁矿脉,磁铁富铁矿体向深部延伸可达－1 000 m标高以下。

4.2　找矿预测及工程验证

根据弓长岭二矿区地质特征,结合磁化强度大小和方向等,预测了磁铁富矿赋存的位置,并实施钻探工程进行了验证。

9 线地质及磁法 ΔZ 正演剖面:在上部铁矿带内磁化强度以－100 m 标高为界,上部 J_s=50 A/m,主要为磁铁贫矿引起;下部 J_s=100 A/m,为磁铁富矿引起。根据钻孔 ZK601 验证,在－600 m 标高见有 2 层厚 1～2 m 磁铁富矿体。

14 线地质及磁法 ΔZ 正演剖面:在上部铁矿带内磁化强度以 0 m 标高为界,上部 J_s=50 A/m,主要为磁铁贫矿引起;下部 J_s=80 A/m,为磁铁富矿引起。根据 ZK604 孔验证,在－600 m 标高处见有

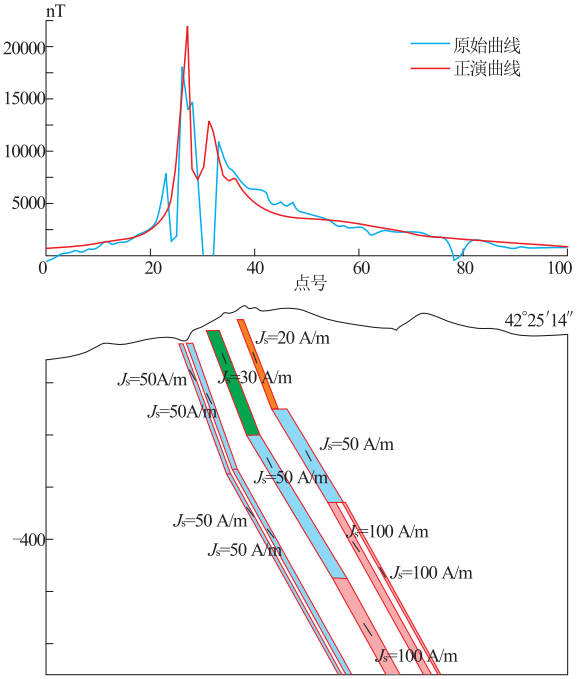

图 4　弓长岭二矿区 25 线推测－400 m 标高以下富铁矿磁法 ΔZ 正演剖面图

Fig. 4　Magnetic ΔZ forward profile of the rich iron ore speculated below －400 m at line 25 in No. 2 mining area of the

赤铁贫矿磁化强度 J_s=30 A/m；磁铁贫矿 J_s=50 A/m；磁铁富矿 J_s=100 A/m

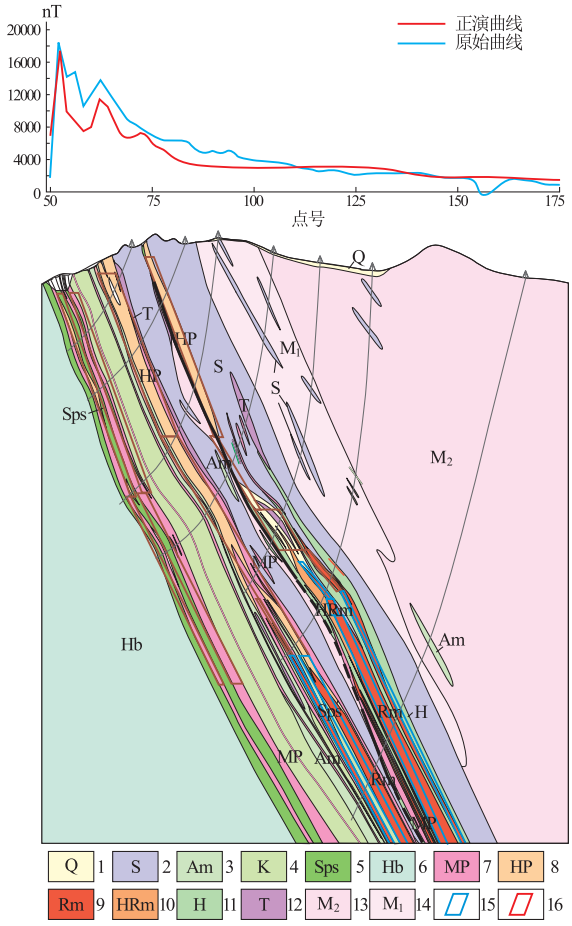

图 5　弓长岭铁矿床二矿区 25 线地质及磁法 ΔZ 正演剖面图

Fig. 5　Geological and magnetic ΔZ forward profile of the 25 line in No. 2 mining area of the Gongchangling iron deposit

1. 第四系；2. 云母石英片岩和石英岩（硅质层）；3. 上部斜长角闪片岩；4. 黑云变粒岩；5. 底部片岩；6. 底部斜长角闪岩；7. 磁铁贫矿；8. 赤铁贫矿；9. 磁铁富矿；10. 赤铁富矿；11. 蚀变岩；12. 滑石片岩；13. 晚期麻峪花岗岩；14. 早期弓长岭花岗岩；15. 磁铁富矿磁化强度 J_s=100 A/m；16. 磁铁贫矿磁化强度 J_s=50 A/m

厚 10 m 磁铁富矿体。

18 线地质及磁法 ΔZ 正演剖面：在上部铁矿带内磁化强度以 50 m 标高为界，上部 J_s=50 A/m，主要为磁铁贫矿引起；下部 J_s=100 A/m，为磁铁富矿引起。推断在标高－400 m 以下矿体变薄。根据钻孔 ZK605 验证，在标高－650 m 处见有厚 4 m 的薄层磁铁富矿体。

22 线地质及磁法 ΔZ 正演剖面：在上部矿带内磁化强度以－100 m 标高为界，上部 J_s=50 A/m，主要为磁铁贫矿引起；下部 J_s=100 A/m，为磁铁富矿引起。向下延深较大，富矿体变宽，且较稳定。根据 ZK608 孔验证，在－150 m 标高处见到厚约 25 m 的磁铁富矿体。

25 线地质及磁法 ΔZ 正演剖面：在上部铁矿带内磁化强度以－400 m 标高为界，上部 J_s=50 A/m，主要为磁铁贫矿引起；下部 J_s=100 A/m，为磁铁富矿引起。推断磁铁富矿体在－500 m 以下变厚，向下延深较大，且较稳定。根据 ZK610 钻孔证实，在－800 m 见有 4 层磁铁富矿，其中 2 层较厚，分别为 25 m 和 38 m；2 层较薄，厚度为 10～12 m。

5　结语

通过总结弓长岭二矿区富铁矿床成矿地质条件和控矿因素，正确解释磁异常，建立了地质－地球物理找矿模型。根据该模型开展深部找矿预测，并经钻探验证，扩大了深部磁铁富矿资源储量。这一找矿成果是近年来鞍本地区寻找深部磁铁富矿床的成功范例，可为今后寻找隐伏磁铁富矿提供经验。

参考文献:

[1] 郑宝鼎. 辽宁省鞍山—本溪地区太古代花岗质岩石绿岩地体中层控磁铁富矿矿床[M]//王可南,姚培慧. 中国铁矿床综论. 北京:冶金工业出版社,1992:160－171.

[2] 鞍山冶金地质勘探公司 404 队. 辽宁省辽阳县弓长岭铁矿床二矿区第二期地质勘探报告(1976－1981)[R]. 鞍山:辽宁省冶金地质勘查局,1981.

[3] 胡桂明,谢坤一,王守伦,等. 华北陆台北缘地体构造演化及其主要矿产[M]. 武汉:中国地质大学出版社,1996:1－188.

[4] 万渝生. 辽宁弓长岭含铁岩系的形成与演化[M]. 北京:北京科学技术出版社,1993.

[5] 尹成俊. 鞍本地区同位素地质年代若干问题[C]//鞍本地区鞍山式铁矿地质,1983.

[6] 洪学宽. 辽宁省弓长岭矿区富铁矿成矿规律研究[R]. 鞍山:辽宁省冶金地质勘查局地质勘查研究院,2010.

[7] 陆海,罗延文,卫广远,等. 辽宁省辽阳市弓长岭铁矿接替资源勘查报告[R]. 鞍山:辽宁省冶金地质勘查局地质勘查研究院,2008.

Geological-geophysical prospecting model of deep rich iron ore for No. 2 mining area of the Gongchangling iron deposit, Liaoning, China

YU Shixiang[1], ZHAO Hongzhen[1], LI Houmin[2], YAO Liangde[1], HONG Xuekuan[1], YANG Zhiliao[1]

(1. *Institute of Metallurgical Geology and Exploration of Liaoning Bureau of Metallurgical Geology and Exploration, Anshan* 114038, *Liaoning, China*;
2. *Institute of Meneral Resources Chinese Academy of Geological Sciences, Bejing* 100037, *China*)

Abstract: Gongchangling Iron Deposit in Liaoyang province is the most famous Anshan-type rich iron deposit in the northeast China and a successful geological-geophysical combination-based example of deep rich iron ore prospecting in recent years. Deep rich iron ore-control factors and geological conditions at No. 2 mining area of Gongchangling Iron Deposit are summarized and the magnetic anomly characteristics interpreted and geological-geophysical model for deep rich iron ore prospecting set up and the model-predicted location of deep rich iron ore checked by the ore prospecting drill holes.

Key Words: Gongchangling Rich Iron Deposit; Mineralization geological condition; Geology-geophysical Model; Liaoning Province