文章编号: 0258-7106 (2009) 04-0493-10

邯邢式铁矿深部探测技术及综合找矿模式研究

——以河北省沙河市白涧铁矿床为例*

孟贵祥[1], 严加永[1], 吕庆田[1], 王 勇[1], 郝俊杰[2], 张 敏[2], 辛宏建[2], 陈凤河[2], 李文江[2]

(1 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037; 2 河北省地勘局第十一地质大队, 河北 邢台 054000)

摘 要 邯邢式铁矿是中国著名的铁矿类型之一。近年来, 在邯邢地区采用深钻对白涧铁矿低缓磁异常区进行了验证, 在孔深 592.74~1 040.52 m 处发现了厚度大、埋藏深、规模大、品位高的隐伏邯邢式铁矿, 表明该区具有深部找矿的巨大潜力。通过对白涧矿区的综合找矿探测方法技术的应用研究和对白涧铁矿深部隐伏铁矿的预测分析, 证实了高精度重、磁方法相结合是寻找该类铁矿最有效的方法。EH-4 电磁测深方法通过探测深部隐伏岩体的起伏变化, 进而预测和发现盲矿体, 是一种间接预测隐伏矿分布的有效方法。针对邯邢地区地表及地下均存在不同程度的重、磁、电干扰, 该研究加强了实地干扰源的详细调查和室内资料的相关滤波、圆滑处理、位场的转换、异常正反演解释的研究工作, 认为加强赋矿地层、构造、岩浆岩、围岩蚀变和重、磁综合异常"五位一体"的深部综合找矿模式, 是寻找邯邢式铁矿深部矿体的有效方法。

关键词 地质学; 邯邢式铁矿; 白涧铁矿; 深部探测技术; 高精度重磁; 深部综合找矿模式; EH-4 电磁法

中图分类号: P618.41; P627 文献标志码: A

Application of deep detecting technology in Hanxing subtype iron deposits and an integrated prospecting model: A case study of Baijian iron deposit

MENG GuiXiang[1], YAN JiaYong[1], LÜ QingTian[1], WANG Yong[1], HAO JunJie[2], ZHANG Min[2], XIN HongJian[2], CHEN FengHe[2] and LI WenJiang[2]

(1 Institute of Mineral Resources, CAGS, Beijing 100037, China; 2 No. 11 Geological Party, Hebei Bureau of Geology and Exploration, Xingtai 054000, Hebei, China)

Abstract

The Hanxing iron ore deposit is one of the famous iron ore types in China. In recent years, some concealed heavy iron ore bodies were found at the depth of Baijian low magnetic anomaly area, suggesting huge prospects in search for deep ore deposits. The exploration work conducted by No. 11 Geological Party of Hebei Bureau of Geology and Exploration confirmed that the Baijian iron ore deposit is a deep, large-sized and high grade Hanxing type iron ore deposit. Based on an analysis of physical properties of the Hanxing iron ore deposit and a prognosis of the deep concealed iron ore bodies in combination with geophysical technology, the authors hold that high-precision gravity and magnetic combination is the most effective method in search for iron ore deposits of

* 本文得到中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金(K0725) 的资助

第一作者简介 孟贵祥, 男, 1968 年生, 博士, 高级工程师, 主要从事金属矿产资源勘查和研究工作。Email: mgxlw@126.com

收稿日期 2009-01-04; 改回日期 2009-02-21。李德先编辑。

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

this kind, and that the EH-4 electrical-magnetic system is the effective method in finding and predicting blind ore bodies on the basis of investigating deep ore-controlling structures, rocks and contacts with surrounding rocks. These measures will surely deepen the understanding of the deep synthetic exploration model named "five types in one deposit", which includes ore-bearing layer, structure, magmatic rock, wall rock alteration, gravity and magnetic anomalies. The result in this study can play a guiding role in exploring deep iron deposits of Hanxing type.

Key words: geogoly, Hanxing iron deposit, Baijian iron deposit, exploration technology for deep ore resources, high-precision gravity and magnetic method, deep deposit prospecting, EH-4 electrical-magnetic system

华北中南部地区是中国重要的富铁矿产区, 主要包括河北邯郸、邢台地区, 山东莱芜、淄博、济南地区, 河南安林地区, 山西临汾、狐偃山和西安里等地。该区主要矿种为接触交代型磁铁矿, 累计探明资源储量近 18 亿吨(沈保丰等, 1981), 主要集中于河北邯郸、邢台一带, 故称为" 邯邢式铁矿"。2007 年, 河北省地质勘查局第十一地质大队在对白涧铁矿的深部矿勘探中取得了重要进展, 在白涧铁矿床低缓弱磁异常中心附近发现了 50 m 厚的隐伏矿体, 显示了深部隐伏找矿具有巨大前景。" 邯邢式铁矿" 是中国研究程度较高的铁矿类型之一, 但以往的勘查工作只重视磁法勘探, 主要研究和验证较强的磁异常, 而忽视了低缓磁异常的评价及其他有效方法的应用研究。在实际勘探中, 强、弱磁异常和正、负磁异常中均发现了铁矿体。如何正确区分磁异常的含矿性和深部隐伏矿体的定位, 一直是地质勘探工作中亟待解决的问题。笔者在前人工作和研究的基础上, 通过对邯邢式铁矿的物性特征和沙河白涧铁矿深部综合物探的探测技术研究, 建立了该地区深部隐伏矿找矿的地质-地球物理综合找矿模式, 并应用于白涧铁矿深部找矿之中, 取得了较好的效果。

1 矿区概况

白涧铁矿床处于赞皇隆起东南武安坳陷北东部的中关-窑坡背斜, 介于矿山村矿田与綦村矿田之间, 为一全隐伏的、深埋藏的铁矿, 属于典型的邯邢式铁矿(见图 1)。

白涧铁矿床埋藏深、规模大、品位较高。矿体主要产于中关-窑坡背斜东翼。已发现的 2 个矿体, 分别是赋存于岩浆岩与灰岩接触部位的Ⅱ号矿体和灰岩层间的Ⅰ号矿体。Ⅰ号矿体在中奥陶统灰岩中, 呈不规则透镜状, 为该矿的主矿体, 走向近南北, 矿体埋深 592.74~1 040.52 m, 单层最大见矿厚度 137.03 m, 矿体的形态变化较复杂。Ⅱ号矿体分布在中关-窑坡背斜东翼, 沿闪长岩体与中奥陶统灰岩上接触带呈似层状分布, 具明显的膨胀收缩特征, 矿体厚度变化幅度较大。

矿石成分以磁铁矿为主, 次为少量的黄铁矿、赤铁矿、假象赤铁矿等。主要非金属矿物有透辉石、金云母、蛇纹石, 次为绿泥石、方解石、白云石、透闪石及石榴子石等。矿石磁性铁含量 41.54 %~ 50.52 %。矿石结构主要有自形-半自形粒状结构、他形粒状结构、交代结构、纤状鳞片状花岗变晶结构、碎裂结构、包含结构等。矿石构造主要有致密块状构造、浸染状构造、条带状构造、角砾状构造, 少量矿石具斑杂状构造、环带构造、细脉构造、胶状构造、筛眼状构造等。

该矿与其他邯邢式铁矿相似, 广泛发育着一套岩浆期后蚀变围岩, 与铁矿有关。岩体与围岩钠长石化发育, 并明显呈带状分布。由岩体到灰岩, 尚可见矽卡岩化闪长岩带、矽卡岩带、磁铁矿带、大理岩带。其中, 钠长石化是本区寻找隐伏铁矿的重要标志之一。

2 成矿地质条件

2.1 地层的"层控"作用

本区地层对铁矿生成具明显的"层控"作用, 围岩岩性是本区必不可少的成矿控制因素。本区主要成矿围岩是奥陶系中统马家沟组和磁县组白云质灰岩, 泥质、白云质角砾状灰岩, 硅化灰岩及结晶灰岩, 地层中发育有多层含膏盐角砾岩层。碳酸盐围岩是接触交代型矿床成矿过程中铁的沉淀剂, 是必不可少的成矿条件, 而薄层、中厚层灰岩、白云质灰岩易形成层间破碎带, 是矿液的良好通道和交代成矿的有利场所。另一方面, 作为构造薄弱带的膏盐层, 既是岩浆入侵形成似层状岩体的有利空间, 又可为成矿热液沉淀提供巨大空间。同时, 膏盐矿物溶解后, 钠、氯

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

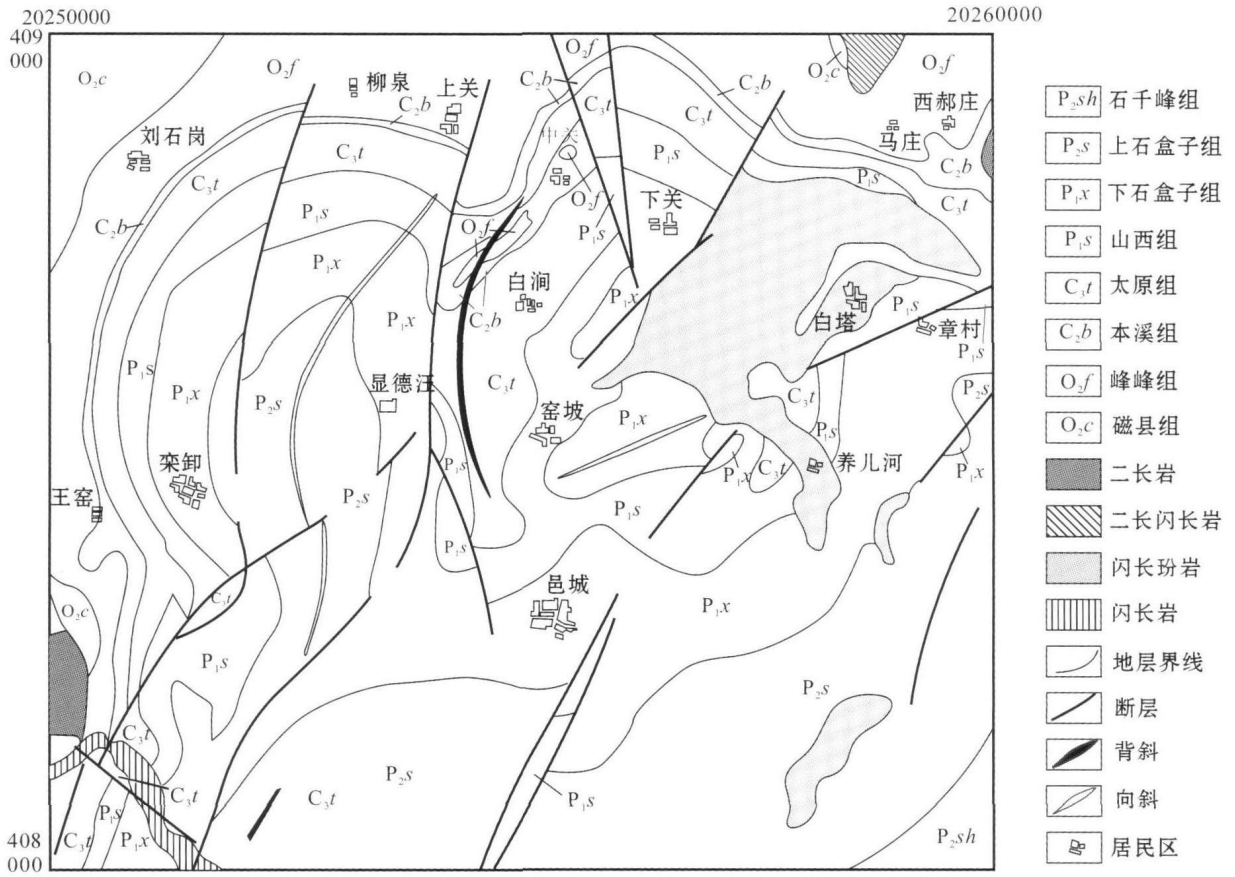

图 1　白涧铁矿床地质简图(据河北省地勘局第十一地质大队, 2008❶简化)

Fig. 1　Geological sketch map of the Baijian iron deposit

(after No. 11 Geological Party, Hebei Bureau of Geology and Exploration, 2008)

等元素加入矿液, 对成矿十分有利(贾木欣等, 2006)。

2.2　构造的控岩、控矿作用

矿区内褶皱和断裂均较发育, 主要构造线方向为 NNW 向、NE 向。区内与成矿关系密切的褶皱构造为中关-窑坡背斜, 轴向近 NNW 向, 略向西凸出的弧形展布, 由北往南逐渐倾没(图 1; 李黎明, 1996)。背斜核部为中奥陶统及中、上石炭统地层, 由核部向两翼依次分布有二叠系山西组及下石盒子组。两翼地层不对称, 北西翼较陡, 南东翼较平缓。

地层的褶皱作用及岩浆上侵与热冷缩作用使中奥陶灰岩发生层间塑性形变, 产生虚脱, 形成层间破碎带构造(马吉群, 1984)。层间构造常为压扭性, 并具有多层彼此平行共生的特点, 一般下部层较发育。矿体主要集中于下部层间破碎带内, 形成较稳定的似层状层间矿体及多层彼此平行的小矿体。

中关-窑坡背斜是区内主要控岩、控矿构造。矿化作用主要集中在背斜的东翼, 矿体具带状分布、成群出现的特征。背斜内次级构造、层间破碎带构造及接触带构造控制着矿体的形成、空间分布、产状及形态。

2.3　岩浆岩的控矿作用

矿区岩浆岩为綦村岩体的组成部分, 属于燕山期成矿率最高的中期侵入的中性、中偏碱性的闪长岩-二长岩体(郑建民等, 2007)。目前所发现的主要矿体与该类岩体密切共生, 是形成邯邢式铁矿的成矿母岩。区内岩体的形态、产状受中关-窑坡背斜所控制, 岩体上隆脊轴与中关-窑坡背斜轴部相一致。隐伏铁矿体与中性富钠质似斑状闪长岩在空间上和成因上均有密切关系。矿体主要产于岩体上隆的东翼, 矿体群延伸方向与岩体上隆体长轴方向一致, 由岩体往围岩(灰岩)方向, 矿化作用减弱。岩体

❶ 河北省地勘局第十一地质大队. 2008. 河北省沙河市白涧铁矿详查报告.

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

顶面形态和产状不仅直接控制着接触带矿体的形态和产状,而且也影响着层间破碎带的发育程度,控制着层间矿的层数、形态和产状。接触带矿体主要产于岩体顶面缓坡地带,岩体顶面呈波状起伏、凹凸不平,形成一系列复杂的隆起与凹陷,局部隆起的鞍部及缓倾斜坡带为有利的赋矿部位。

3 地球物理特征

1∶25 000 航磁 ΔT 测量显示[1],白涧磁异常位于中关磁异常南 300~ 400 m 处,近似椭园状,被第四系掩盖,50~ 100 nT 等值线向北西拉长和中关磁异常相连。按 100 nT 圈定的异常长轴长 2 500 m,短轴长 2 200 m,面积约 5 km^2,长轴方向为 NNE 向,与中关异常一致。异常极值可达 590 nT,等值线北侧较陡,南侧稍缓,东西两侧有不明显的负值,但正异常北侧却没有负值伴生,这与北侧异常叠加有关。整个异常在 100 nT 以上的等值线构成规律而又园滑的封闭圈,形成一个孤立、规整、宽缓的低磁异常,预示着深部隐伏矿体的存在。

3.1 区域磁性特征

据邯邢地区主要矿田的岩矿石磁性测定结果进行分类,并对其磁性参数进行统计(见表 1)。

统计结果显示,不同矿田的邯邢式铁矿具有相似的磁性特征:① 铁矿石主要为磁铁矿,矿石品位较高,磁性较强,其感应磁化强度(Ji)与剩余磁化强度(Jr)均值一般大于 1 256.64($\times 10^{-3}$ SI),比火成岩的磁性至少要高出两个级次。Ji 与 Jr 相当,一般

表 1 邯邢地区岩(矿)石磁性统计表

Table 1 Statistics of magnetism of rocks (ores) in Han-Xing area

地区或类别	岩(矿)石名称	样品数	磁化率 $k/10^{-3}$ SI		剩磁 $Jr/10^{-3}$A/m		Q 值
			变化范围	均值	变化范围	均值	
武安固镇矿田	岩体(闪长岩、二长岩类)	1135	0~ 1047	45	0~ 25.67	0.86	0.45
武安固镇矿田	矽卡岩	5	0~ 303	161	0.05~ 12.87	6.86	1.00
武安固镇矿田	围岩(灰岩、大理岩、钠长岩)	24	0	0	0	0	
武安固镇矿田	磁铁矿	104	6~ 3908	1480	0.16~ 404	123.38	1.98
矿山村矿田	磁铁矿	109	286~ 8068	3012	3.2~ 852	149.9	2.40
矿山村矿田	岩体(闪长岩、二长岩类)	376	0~ 489	65	0~ 5.30	0.39	.0.14
綦村新城矿田	磁铁矿	459	44~ 22468	2713	0.50~ 971.60	93.36	0.82
綦村新城矿田	岩体(闪长岩、二长岩类)	208	0~ 266	29	0~ 0.60	0.20	0.16
綦村新城矿田	围岩(灰岩、页岩、砂岩、钠长岩)	328	0	0	0	0	
北沼河铁矿	磁铁矿	57	1241~ 4769	3316	36.1~ 851.5	213.2	1.5
中关铁矿	磁铁矿	58	292~ 808	2305	11.3~ 971.6	82.8	0.83
矿山村铁矿	磁铁矿	20	423~ 5107	3142	3.2~ 335.2	71.6	0.5
团城铁矿	磁铁矿	10	736~ 8026	3477	13.0~ 273.0	109.4	0.7
五家子铁矿	磁铁矿	14	287~ 5328	2011	21.8~ 205.8	91.7	1.06
白鹿寺	磁铁矿	18	1284~ 3943	2684	5.9~ 232.6	81.7	0.7
綦村铁矿	磁铁矿	370		2527	8.9~ 96.3	90.9	0.85
后坡铁矿	磁铁矿	22		3580		63.7	0.4
西郝庄铁矿	磁铁矿	44	44~ 7880	2244	0.5~ 161.0	70.3	0.7
北白石	磁铁矿	8	6~ 1008	299	0.7~ 187.2	52.6	4.1
大贺庄	磁铁矿	37	13~ 2438	1356	0.2~ 404.0	56.7	1.0
峰店	磁铁矿	27	346~ 3003	1703	0.9~ 126.4	29.8	0.4
南店村	磁铁矿	6	339~ 1571	911	14.8~ 398.0	101.0	2.6
赭山铁矿	磁铁矿	104	161~ 8357	2349	1.35~ 220.0	67.3	0.7
胡峪铁矿	磁铁矿	61	70~ 1357	1993	0.8~ 253.5	53.1	0.6
白沙	磁铁矿	3	74~ 1257	491	155.0~ 202.0	171.7	8.1
符山矿田	磁铁矿	76	540~ 1822	1181	57.6~ 46.0	152.0	3.0
东郝庄铁矿	磁铁矿	13	1171~ 3943	2336	5.6~ 203.2	58.2	0.6

注:据河北省地勘局地质十一队、二队、华北所、519 队实测资料统计。Q 值为感应磁化强度(Ji)与剩磁强度(Jr)比值。

[1] 河北省地勘局第十一地质大队. 2008. 河北省沙河市白涧铁矿详查报告.

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

前者要略大些(Q< 1) , 部分磁铁矿 Jr 大于 Ji, 如北沼河铁矿、白沙铁矿及符山矿田 Q 值分别为 1. 5、8. 1 和 3. 0, 故对剩磁较强的铁矿床进行磁异常解释时须考虑剩磁的大小和方向; ②与铁矿关系密切的矽卡岩在本区的磁性较弱, Ji 与 Jr 均值一般小于 125. 67(× 10^{-3} SI) ; ③本区火成岩(闪长岩、二长岩类) 具有弱磁性, Ji 与 Jr 均值一般不大于 62. 83(× 10^{-3} SI) ; ④中奥陶统灰岩、大理岩及石炭系、二叠系砂岩、页岩等均属于不具磁性一类。磁铁矿矿石与岩体、围岩均有明显磁性差异, 所以此类型铁矿在航空磁测和地面磁测中均有明显的磁异常显示。

3. 2　矿区物性特征

依据邻近矿区及白涧铁矿区钻孔与地表岩(矿) 石磁性测定结果(表 2) , 按磁性强弱, 大体可分为 3 个类型:

(1) 磁性或弱磁性: 矿区的主要围岩石炭系、二叠系砂岩、奥陶系灰岩以及蚀变闪长岩等均属于这类。磁化率多在 0~ 25. 13(× 10^{-3} SI) 之间变化, 剩余磁化强度在 0~ 0. 01(× 10^{-3} A/ m) 左右, 感应磁化强度大于剩余磁化强度(即 Q< 1) 。

(2) 中等磁性: 火成岩(除蚀变闪长岩) 以及含磁铁矿的砂岩和角岩化页岩等属于这类型。磁化率多在 12. 57(× 10^{-3} SI) ~ 18. 85(× 10^{-3} SI) 之间变化。剩余磁化强度也在 0~ 0. 07(× 10^{-3} A/ m) 之间, 感应磁化强度大于剩余磁化强度(Q< 1) 。

(3) 强磁性: 磁铁矿是属于本区唯一的强磁性体, 磁化率多在 1 005. 31(× 10^{-3} SI) ~ 1 759. 29(× 10^{-3} SI) 之间变化, 剩余磁化强度在 90(× 10^{-3} A/ m) ~ 127(× 10^{-3} A/ m) 之间, 一般 Q< 1, 比火成岩的磁性至少要高出一个级次。磁法是找铁矿最有效的方法, 但是有的磁铁矿矿石具有强剩磁(Q> 1) , 其方向、强度变化较大, 磁铁矿矿体的产状、埋深对磁异常的影响很大, 而且岩体也有磁性, 因此, 要注意磁异常的特征分析和斜磁化的影响。

白涧铁矿主要为磁铁矿矿石, 品位较高, 具有强磁性、高密度、高极化率、低电阻率的特点。因此, 高重力异常(Δg> 500 μGal) 、高磁异常(ΔT = 100~ 数千 nT) 以及高极化法异常(视极化率> 10%) 、低电阻率(视电阻率< 300 Ω. m) 是发现和圈定深部矿体的直接标志和重要的找矿线索。在本区找铁矿, 特别是找深部矿应利用高精度重、磁相结合的方法(严加永等, 2008; 刘光海, 1994) 。

4　深部找矿方法及应用效果

由于矿区处于村庄、厂矿密布的地区, 地表有高压线、电话线、房屋、水管、钻机和铁皮等干扰源, 地下有煤、铁矿采空区, 采矿巷道中还有大量煤、铁矿废石堆、空洞、水坑等干扰源, 可以说干扰源是立体的、全方位存在, 难以预测。由于这些干扰源的存在, 给磁、重、电磁测量数据带来不同程度的噪声干扰, 严重影响了数据质量, 给数据处理、异常的正反演计算及地质解释带来极大不便, 严重影响了深部的找矿效果。为最大限度地减小干扰因素的影响, 本研究采用了实地干扰源详细调查和室内资料的相关的滤波、圆滑处理结合的办法, 通过反复的对比、分析和处理, 可获得较为理想的效果(刘光海等, 1986) 。

4. 1　高精度磁法探测

高精度磁测试验研究区基本控制了白涧矿区低缓磁异常的北部主体异常, 其异常形态、强度与前人获取的地磁 ΔZ 异常相似, 但异常强度最高近 600 nT, 而且异常的局部形态有一定差异。由于斜磁化的影响, 目前施工发现的主要矿体均位于正异常的北部边侧(图 2a) 。为了消除斜磁化的影响, 对磁异常进行了化极处理, 目前勘探工程控制的隐伏矿主体基本位于化极磁异常中心部位(图 2b) 。针对接触

表 2　白涧铁矿区 ZK0622 岩矿石物性统计表

Table 2　Statistics of physical property parameters of rocks (ores) from drill hole ZK0622

岩性(样品数)	ρ/ g/ cm^3		磁化率 k/ 10^{-3}SI		剩磁 Jr/ 10^{-3}A/m		电阻率 ρ_s/ Ω• m		极化率 η_s/ %	
	范围	均值	范围	均值	范围	均值	范围	均值	范围	均值
岩体(4)	2. 65~ 2. 67	2. 66	0. 13~ 0. 19	0. 163	0~ 0. 07	0. 029	799~ 875	837	3. 5~ 4. 3	3. 9
矽卡岩(2)	3. 03~ 3. 04	3. 03	0. 31~ 0. 43	0. 364	0. 06~ 0. 07	0. 065	51~ 167	109	2. 8~ 3. 1	2. 9
磁铁矿(4)	. 17~ 4. 44	4. 29	1046. 78~ 1759. 29	1420. 00	92. 4~ 127	147	4~ 150	54	35. 6~ 91. 8	62. 4
围岩(24)	1. 583. 34	2. 64	0~ 2. 51	0. 151	0~ 0. 01	0	68~ 1504	763	1. 49~ 45. 7	5. 1

测试单位: 中国地质科学院地球物理与地球化学研究所。

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

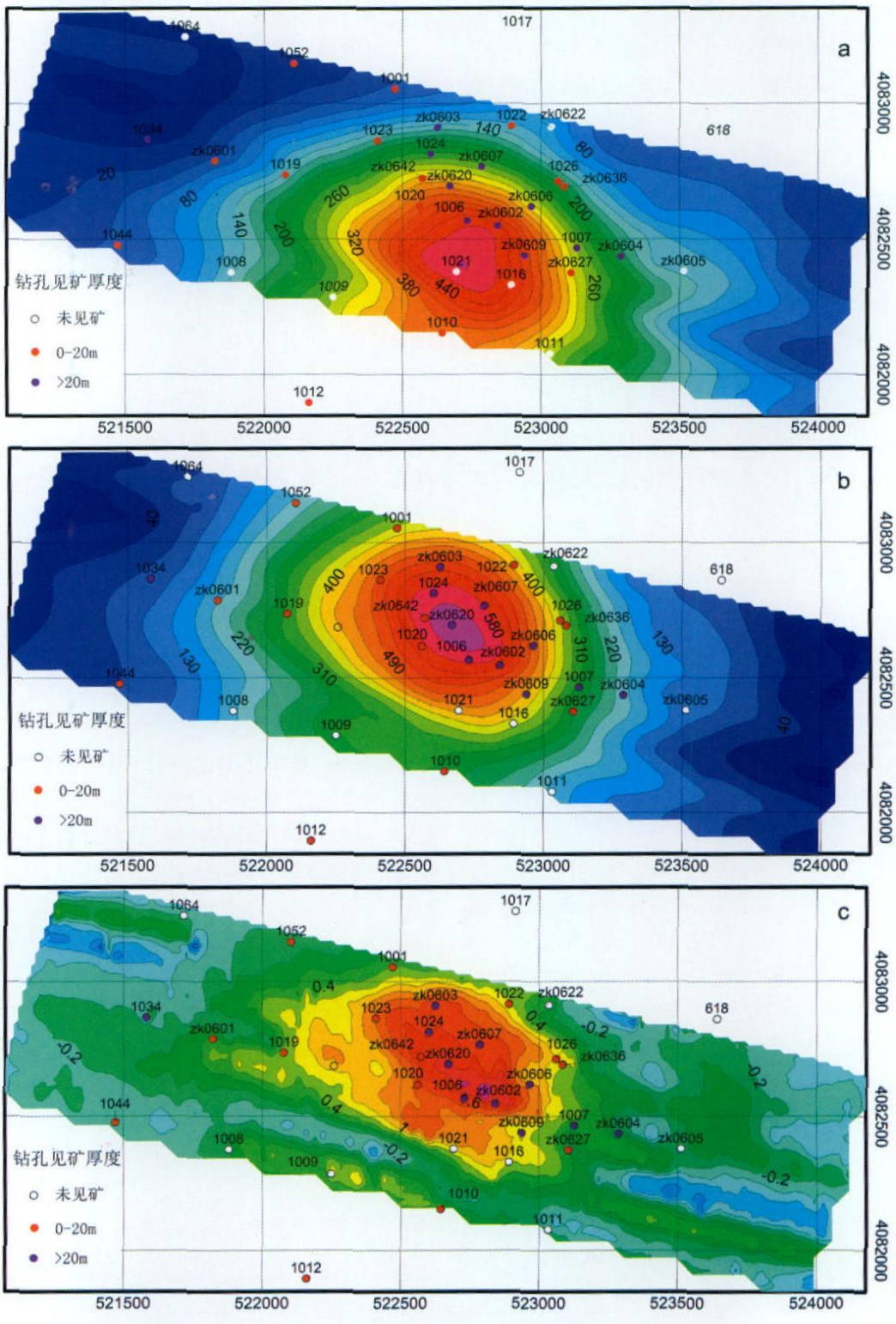

图 2 白涧铁矿区高精度磁测成果

a. ΔT 等值线平面图(等值线间距: 20 nT); b. ΔT 化极等值线平面图(等值线间距: 30 nT); c. ΔT 化极一阶垂向导数(等值线间距: 0.1 nT/m)

Fig. 2 Contour map of high-precision magnetism in Baijian iron deposit

a. ΔT contour map(intervals: 20 nT); b. ΔT contour map(intervals: 30 nT); c. ΔT contour map of Grade I anomaly(intervals: 0.1 nT/m)

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

交代型铁矿体，特别是目前发现的厚大层间矿体形态变化较复杂的特点，通过与已知勘探成果对比，采用突出局部异常的一阶导数换算获取的局部异常与已知验证成果比较吻合(图 2c)。对剖面进行的二维及三维正反演模拟计算，可以确定隐伏矿体的主体分布在磁异常中心的北西侧。

通过对干扰因素的分析、剔除和圆滑处理，高精度磁测在老矿区深部找矿中取得了很好的效果(刘光鼎等，1995；刘光海等，2000)。采用定性分析和二维及三维定量计算的解释结果，对钻探工程的进一步部署具有较好的指导意义。

4.2　高精度重力探测

在存在复杂人文干扰影响的老矿区，进行深部隐伏岩体、矿体、构造等研究中，高精度重力探测是不受电磁干扰的一种重要探测手段(董英君，2005)。由于受到近地表局部存在较多的煤层采空区的影响，出现了局部高频重力低异常。通过实地详细调查，在消除采空区的影响后，对剖面进行二维和三维正反演模拟计算，重力异常对隐伏矿体的反映明显。

据物性分析，磁铁矿、矽卡岩与围岩和岩体有十分明显的密度差异(表 2)，密度差在 1.4 g/cm^3 左右。高精度重力测量在已知矿体可发现明显的宽缓重力异常，实测剩余异常幅值最高可达 500 μGal，显示出深部存在较大规模的隐伏铁矿体(图 3)。结合已知地质勘探成果，通过对异常的分析认为，在目前发现的主隐伏矿体西部钻孔 1008 和 1044 之间，是进一步发现局部大的隐伏矿体的理想地段。这与高精度磁法测量成果吻合。重力高异常可更好地圈定隐伏矿主体的大致分布地段，对地质勘探工程的进一步部署有具体的指导意义。

4.3　**EH-4** 电磁测深

邯邢式铁矿大多数分布在岩体的上接触带，了解岩体的形态和分布特征对进一步寻找隐伏矿体具有重要的意义。通过连续的 EH-4 电磁测深(孟贵祥等，2006)可以揭示深部高电阻岩体的形态变化，结合已知钻孔所揭示的岩体深度进行校正，可以较好地了解矿区深部的岩体起伏情况。图 4 为 EH-4 电磁测深反演计算得到的矿区深部隐伏岩体的顶界面深度等值线平面图，结合已知见矿钻孔的分布特征，认为岩体局部凸起之间的鞍部及局部突起岩体的缓坡一侧是寻找隐伏矿的有利地段，与高精度重、磁的成果预测的主要隐伏矿体赋存的部位基本吻合。

由此看来，在本区依据实际地电条件，EH-4 电磁测深可以通过探测深部隐伏岩体的起伏变化，进而预测和发现盲矿体，是一种间接的预测隐伏矿分布的有效方法。

5　深部地质-地球物理综合找矿模式

5.1　区域找矿标志

邯邢式铁矿为典型的接触交代型铁矿，主要产于华北地区燕山期的中性岩浆岩与奥陶系中统碳酸岩地层的接触带内及附近。在冀南地区，南北向构造体系和新华夏构造体系是在东西向古构造体系基础上，后期构造运动的发展。区内 NNE 向的大断裂构造控制着成矿岩浆岩的分布，而这些断裂又是控制断陷盆地的构造带。邯邢式铁矿主要分布于断陷盆地的边缘，矿床或矿段严格受构造岩浆上隆控制。马蹄形上隆构造和小褶皱群构造为邯邢式铁矿的典型控矿构造，燕山期中性岩浆岩侵入是邯邢式铁矿成矿的前提，各矿田内的背斜构造又控制了岩体及铁矿的产出。

邯邢式铁矿以磁铁矿为主，因此强或弱的航磁异常是寻找此类铁矿明显的区域地球物理标志。

5.2　矿区地质-地球物理找矿模式

(1) 矿床处于赞皇隆起东南部武安坳陷北东部的主要控岩、控矿构造——中关-窑坡背斜。矿体产于背斜东翼，主要赋存于岩浆岩与灰岩接触部位及灰岩层间，矿体具带状分布、成群出现的特征。矿化作用主要集中在背斜的东翼，背斜内次级构造、层间破碎带构造、接触带构造控制着矿体的形成、空间分布、产状和形态。

(2) 矿床附近广泛发育着一套岩浆期后蚀变围岩，并明显呈带状分布。与铁矿有关的岩体及围岩普遍发育钠状石化，由岩体到灰岩，尚可见矽卡岩化闪长岩带、矽卡岩带、磁铁矿带、大理岩带。其中，钠长石化是本区寻找隐伏铁矿的重要依据之一。

(3) 地层对铁矿生成具明显的“层控”作用。本区奥陶系中统的碳酸盐岩地层(马家沟组和磁县组灰岩)中发育有多层含膏盐角砾岩层，为成矿热液沉淀有利空间和成矿催化剂。

(4) 强磁性、高密度、高极化率、低电阻率“三高一低”的组合异常是发现和圈定深部矿体的直接标志和重要的找矿线索。

(5) 磁铁矿矿石具有强磁性、高密度，矿体与各类围岩及岩体均有明显的磁性、密度差异。在老矿

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

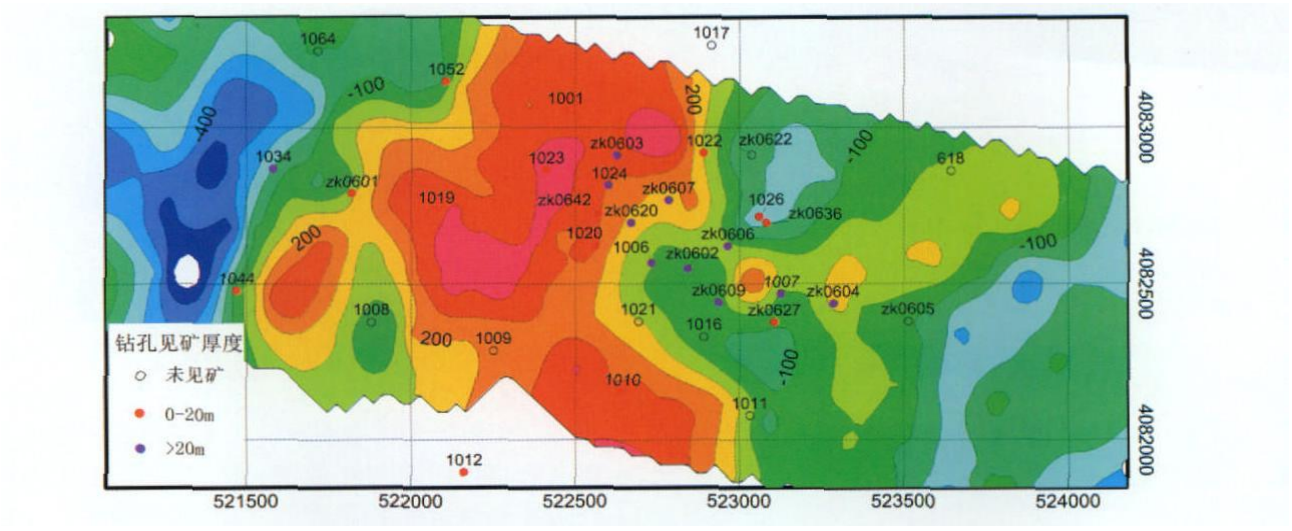

图 3 白涧铁矿区剩余重力异常等值线平面图(等值线间距: 100 μGal)

Fig. 3 Contour map of residual gravity anomalies in the Baijian iron deposit (intervals: 100 μGal)

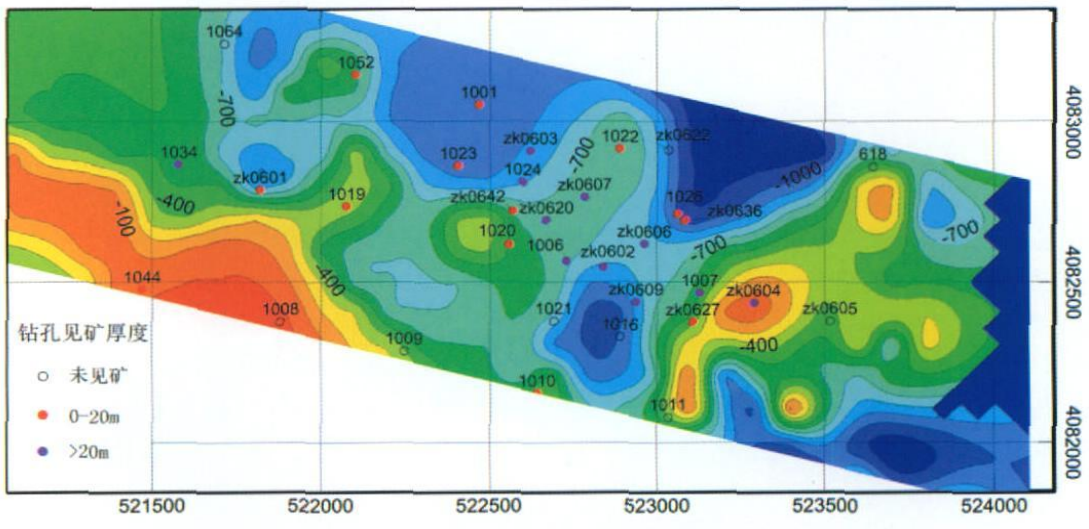

图 4 EH-4 电磁反演推断的隐伏岩体顶界面深度等值线图(等值线间距: 100 m)

Fig. 4 Contour map of the top surface of the concealed intrusive rock from EH-4 electromagnetic inversion (intervals: 100 m)

区存在较强电磁干扰的情况下, 高精度重、磁联合勘探、解释是寻找该类型铁矿最直接的有效方法(于鹏等, 2006)。

6 结 论

深部隐伏矿床的发现与勘查离不开新技术的运用。据统计, 1965~ 1995 年间发现的大型矿床中, 约有 70% 与先进技术的应用有关, 而且该比例随着时间的推移而增高。地球物理勘探是"攻深找盲"的有效方法, 只有选择与区域地质、地球物理相适应的方法技术组合才能降低物探异常解释的多解性, 提高深部隐伏矿探测的成功率。

邯邢铁矿找矿工作已有很多年, 针对磁法找矿而言, 无论在高磁、弱磁、正磁、负磁异常, 还是在规则磁异常、不规则磁异常上均发现了铁矿或不见矿的实例说明了利用磁异常找矿的复杂性, 通过本次深部找矿技术的研究分析可以得出如下结论:

(1) 利用高精度重、磁联合勘探研究, 是最为经济有效的勘探方法技术组合。为进一步寻找该类型的深部隐伏铁矿床, 充分结合区域地质找矿标志和区域重磁资料, 开展大比例尺的高精度重磁联合勘探应是主要的勘探方法手段。

(2) EH-4 电磁测深具有精度高、勘探深度大的特

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

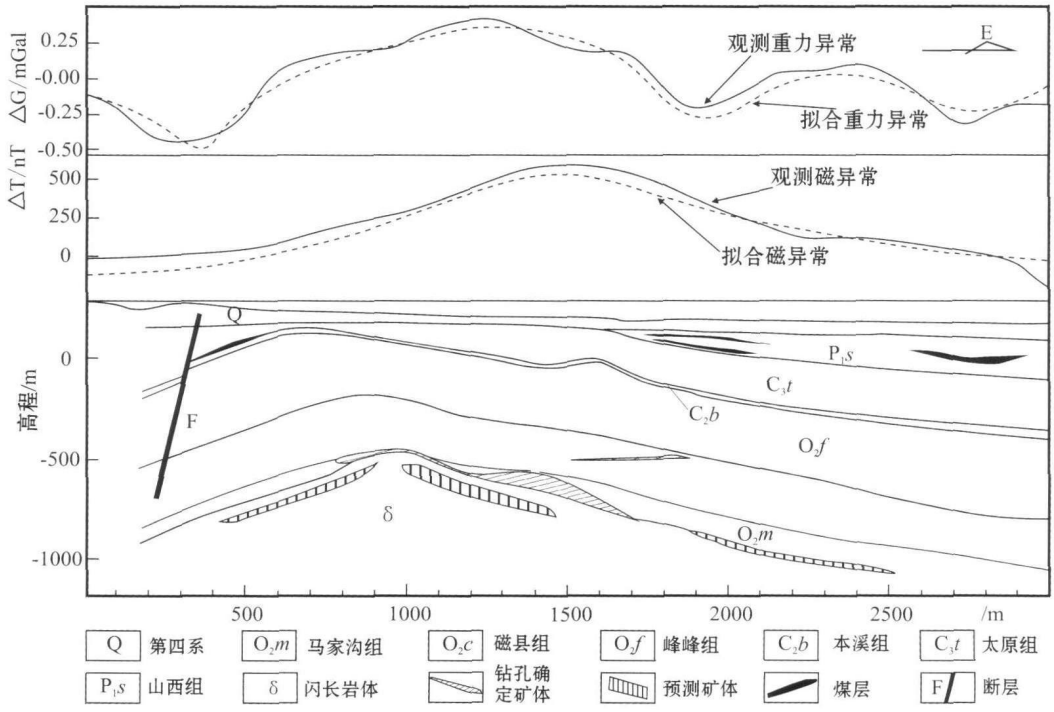

图 5　白涧铁矿区地质-地球物理综合找矿模式

Fig. 5　Geological and geophysical composite exploration model of the Baijian iron ore district

点，利用该方法寻找与成矿、赋矿关系密切的高阻岩体界面的试验研究，发现在提高信噪比的条件下，基本可以有效地解决重磁方法所不能有效解决的弱磁性、无明显密度差异的岩体顶界面的起伏特征，确定了岩体的形态和下一步的找矿方向。

(3) 在老矿区，由于多年的开采，地表及地下均存在不同程度的重、磁、电干扰因素，严重地影响了深部物探探测技术的实施、解释和找矿效果。应加强实地干扰源的详细调查和室内资料相关滤波、圆滑处理的研究工作。

(4) 计算机技术的迅猛发展为消除弱噪声干扰、位场的转换、异常的正反演解释、整合各类勘查技术数据、空间数据和地质、地球化学数据、遥感资料等提供了一个综合运算、系统分析的平台，这是深部找矿、区分异常性质非常重要的工作。

志　谢　感谢中国地质科学院矿产资源研究所的刘光海研究员、河北省地勘局第十一地质大队孙立均高级工程师的指导!

References

Dong Y J. 2005. Effects of applying gravity and magnetic method to exploration of iron deposits: Case study of Madao iron deposit in Jianchang County, Liaoning Province[J]. Mineral Deposits, 25(3): 21-32 (in Chinese with English abstract).

Jia M X, Yu F and Feng Z. 2006. Study of the mechanism of the Han-xing iron ore formation[J]. Mine & Metallurgy, 15(2): 17-21 (in Chinese with English abstract).

Li L M. 1986. Discussion of structure controlled elements of Han-xing type iron deposits [J]. Geological and Prospecting, 22(4): 47-52 (in Chinese with English abstract).

Liu G D and Hao T Y. 1995. Searching of hidden mineral deposits by geophysical methods[J]. Acta Geophysica Sinica, 3(6): 850-854 (in Chinese with English abstract).

Liu G H and Wang Y J. 1986. The application and geological effect of data procession in potential field anomaly interpretion[J]. Bulletin of the Institute of Mineral Deposits Chinese Academy of Geological Sciences, 2: 221-231 (in Chinese with English abstract).

Liu G H. 1994. Synethetical methods and application example of mineral resources forecast [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 13-25 (in Chinese).

Liu G H, Sun D M and Bai D M. 2000. Effects of geophysical and geochemical exploration in the Xiaorequanzi copper deposit and the integrated ore-prospecting model[J]. Mineral Deposits, 19(1): 66-74 (in Chinese with English abstract).

Ma J Q. 1984. Sturcture character of Han-Xing type iron deposit in the south part of Taihang mountain[J]. Journal of Shijiazhuang University of Economics, 28(4): 47-52 (in Chinese with English abstract).

Meng G X and Lan X. 2006. Characteristics of EH-4 electrical conduc-

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

tivity imaging system and its application to ore exploration[J]. Mineral Deposits, 5(1): 36-42 (in Chinese with English abstract).

Shen B F, Zhai A M and Li Z H. 1981. The analysis of geological conditions for mineralization of the iron deposits of Han-Xing subtype in southern Hebei[J]. Acta Geologica Sinica, 2: 127-137 (in Chinese with English abstract).

Yan J Y, Liu G H, Wang J H and Pan Z P. 2008. Physical properties and effective exploration methods discussion of Yantizishan-Moshishan titanium deposit[J]. Mineral Deposits, 5(1): 36-42 (in Chinese with English abstract).

Yu P, Wang J L and Wu J S. 2006. Review and discussing on geophysical joint inversion[J]. Progress in Exploration Geophysics, 29(2): 87-93 (in Chinese with English abstract).

Zheng J M, Xie G Q and Chen M H. 2007. Plutonem placement mechanism constraint on skarn deposit: A case study of skarn Fe deposits in Handan-Xingtai area[J]. Mineral Deposits, 26(4): 283-288 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

董英君. 2005. 应用重磁方法勘查铁矿的效果[J]. 矿床地质, 25(3): 21-32.

贾木欣, 于 方, 冯 钟. 2006. 邯邢式铁矿成因机理探讨[J]. 矿冶, 15(2): 17-21.

李黎明. 1996. 论邯邢式铁矿成矿构造控制因素[J]. 地质与勘探, 22(4): 1-11.

刘光鼎, 郝天珧. 1995. 应用地球物理方法寻找隐伏矿床[J]. 地球物理学报, 3(6): 850-854.

刘光海, 王原钧. 1986. 数据处理在重磁异常解释中的应用及其地质效果[J]. 中国地质科学院矿床地质研究所所刊, 2: 221-231.

刘光海. 1994. 矿产预测的综合方法及应用实例[M]. 北京: 地质出版社. 13-25.

刘光海, 孙德梅, 白大明. 2000. 小热泉子铜矿床物化探找矿效果及综合找矿模式[J]. 矿床地质, 19(1): 66-74.

马吉群. 1984. 太行山南段邢式铁矿的构造特征[J]. 河北地质学院学报, 28(4): 47-52.

孟贵祥, 兰 险. 2006. EH-4 电导率成像系统的特点及其在金属矿勘探中的应用[J]. 矿产地质, 25(1): 36-42.

沈保丰, 翟安明, 李增慧. 1981. 冀南邯邢式铁矿成矿地质条件分析[J]. 地质学报, 2: 127-137.

严加永, 刘光海, 王君恒, 潘竹平. 2008. 内蒙古羊蹄子山-磨石山钛矿床的物性特征及有效找矿方法探讨[J]. 矿床地质, 27(4): 494-501.

于 鹏, 王家林, 吴健生. 2006. 地球物理联合反演的研究现状和分析[J]. 勘探地球物理进展, 29(2): 87-93.

郑建民, 谢桂青, 陈懋弘. 2007. 岩体侵位机制对矽卡岩型矿床的制约-以邯邢地区矽卡岩铁矿为例[J]. 矿床地质, 26(4): 283-288.

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net