田文法,郝俊杰,严加永,等. 综合地球物理方法在邯邢式铁矿深部找矿中的应用. 地球物理学进展,2010,25(4):1442～1452,DOI:10.3969/j.issn.1004-2903.2010.04.036.

Tian W F, Hao J J, Yan J Y, *et al*. Application of synthetic geophysical methods to deep exploration of Hanxing-type iron deposit. *Progress in Geophys*. (in Chinese), 2010, 25(4):1442～1452, DOI:10.3969/j.issn.1004-2903.2010.04.036.

综合地球物理方法在邯邢式铁矿深部找矿中的应用

田文法[1], 郝俊杰[1], 严加永[2], 李春章[1], 赵新卫[1]

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

摘 要 系统回顾了邯邢地区以往寻找铁矿所采用的物探方法历史,归纳总结、分析了邯邢式铁矿岩(矿)石物性资料特征,结合前人在该区所做的工作和当前深部矿勘探技术发展趋势,探讨了邯邢式铁矿找矿工作中开展重、磁、电综合物探方法的必要性与可行性.通过对中关铁矿、上郑铁矿和白涧铁矿等三个典型的"邯邢式"铁矿床上开展的综合地球物理找矿实例分析,证明综合物探在对邯邢式铁矿找矿中效果突出,在此基础上,提出了以磁法为主,辅以重力和电磁测深的方法是邯邢式铁矿深部找矿的有效方法技术组合.

关键词 邯邢式铁矿,重力,磁法,电磁测深,综合物探

DOI:10.3969/j.issn.1004-2903.2010.04.036 **中图分类号** P631 **文献标识码** A

Application of synthetic geophysical methods to deep exploration of Hanxing-type iron deposit

TIAN Wen-fa[1], HAO Jun-Jie[1], YAN Jia-yong[2], LI Chun-zhang[1], ZHAO Xin-wei[1]

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

Abstract This paper makes a systematic retrospect of geophysical exploration history and sums up physical properties of rocks and ores for the Hanxing-type iron deposits, In combination with previous work and nowadays deep deposit exploration technique develop trend, this paper discuss the importance and feasibility of gravity, magnetic and electrical method for the Hanxing-type iron deposit. Through analysis of geophysical exploration in three typical Hanxing iron deposits including Zhongguan, Shangzheng and Baijian deposits, it found that synthetic geophysic methods have good effect in mineral prospect. Based on these real cases, we suggest to take magnetic as the main method and use gravity and electrical methods as supplement to form an effective technique combination for deep ore exploration of Hanxing-type iron deposit.

Keywords Hanxing-type iron deposit, gravity, magnetic, electromagnetism sounding, synthetic geophysical methods

0 引 言

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.该区主要矿床类型为接触交代型磁铁矿,累计探明资源储量近 18 亿吨[1],因其主要集中于河北邯郸、邢台一带,故称为"邯邢式铁矿"."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

收稿日期 2009-12-15; **修回日期** 2010-02-20.

基金项目 河北省矿产资源补偿费项目"河北省邯邢地区邯邢式铁矿深部找矿预查"(冀国土资勘 2006098)和中国地质科学院矿产资源研究所中央级公益性科研院所基本科研业务费专项基金项(K2007-4-3) 资助.

作者简介 田文法,男,1963 年出生,河北河间人,高级工程师,主要从事矿产资源综合研究.(E-mail:TWF3565912@sohu.com)

解决的问题[2]. 笔者在前人工作和研究的基础上，对邯邢式铁矿的物性特征进行了分析，探讨了开展重、磁、电综合地球物理探测的必要性和可行性. 在中关铁矿、上郑铁矿和白涧铁矿等三个典型的“邯邢式”铁矿床开展综合物探工作，均取得了良好的找矿效果，实现了深部找矿突破. 在此基础上，提出了以磁法为主，辅以重力和电磁测深是邯邢式铁矿深部找矿的有效方法技术组合.

1　邯邢式铁矿勘查中地球物理方法回顾

纵览前人在“邯邢式”铁矿上的找矿方法，可发现其具有明显的阶段性，邯邢式铁矿找矿方法经历了如下几个阶段：

1.1　对高磁异常直接钻探验证阶段

邯邢地区磁铁矿体均分布在中奥陶统灰岩与闪长岩的接触带或者接触带附近，该地区的磁异常主要是由磁铁矿体和闪长岩体引起. 前人根据磁性参数测定结果，磁铁矿的磁化率在 0.05～1.0CGSM，各类闪长岩的磁化率在 0.0003～0.003CGSM，由公式 $Za=2\pi I$ 估算，闪长岩的磁异常不超过 2000 nT，因此大于 2000 nT 的磁异常就应该是矿致异常. 所以，对大于 2000 nT 高值磁异常选择中心部位直接利用钻探手段进行找矿，找到了一批铁矿. 但是所找到的矿床多是小于 200 m 的浅部矿体，规模较小. 这类异常包括符山四、六、七号磁异常、矿山村磁异常和团城磁异常等.

1.2　磁法＋地质找矿——针对形态复杂的矿体磁异常阶段

主要是指一部分磁场场强度高于 2000 nT，也有一部分低于 2000 nT，如玉泉岭矿体异常、西石门矿体异常等. 主要原因是岩体及矿体的埋藏深度加大了的缘故，在分析其地质产出条件的前提下，布置钻探找矿，结果在低于 2000 nT 的异常区找到了铁矿体.

1.3　地质＋物探(磁法)找矿——针对低缓磁异常找矿阶段

对低缓磁异常，一般只有 1000 nT 左右，主要是提高磁法测量精度，结合地质条件进行综合分析. 随着计算机数据处理手段的出现，采用向下延拓、磁源重力异常、垂向二次导数等效果较理想，例如在胡峪东南、赭山验证低缓磁异常见到了铁矿.

邯刑地区 50 余年的找矿经验说明：地质与物探工作相配合，地质调查→物探(磁法)→地质解释→钻探验证的工作循环，是以往在本地区勘查邯邢式铁矿的主要找矿方法.

2　邯邢式铁矿深部找矿中开展综合物探的必要性

2.1　单一的磁法手段已经不能满足目前找矿的现实和要求

由于浅部矿越来越少，地表干扰因素又越来越多，不论是磁法测量和高精度磁法测量，还是各类磁法数据处理手段直接找矿显得越来越难，这就是近 20 年来在该地区勘查邯邢式铁矿的找矿中基本无大突破的主要原因[3]. 由于磁异常的多解性，该地区引起磁异常的地质体包括磁铁矿矿体、含磁铁矿的中性岩体、角岩和各类矽卡岩等. 目前，在实践中和理论上还没有一个完整的可以根据磁异常区分出是由哪种磁性地质体引起的方法.

2.2　找矿难度加大，深部找矿和外围找矿的需要

邯邢地区邯邢式铁矿经过上世纪 50 年代以来的地质找矿工作，特别是 70 年代的邯邢铁矿会战，该地区工作程度已经很高了，浅部矿体基本勘查完毕，目前和今后的工作重点是深部找矿. 随着深度加大，各种磁性地质体在地表引起的异常既少又弱，对地表测量的磁异常的识别就变得更加困难. 因此，借鉴国内外其它地区的成功找矿经验，开展重、磁、电综合物探方法找矿是必然的趋势[4].

3　开展重磁电综合物探的物性前提

开展有效地球物理工作的前提是要具有相应的物性前提，比如密度差异、磁性差异、电阻率差异、极化率差异等[5]. 本文收集了并分析了大量物性数据，以下是邯邢式铁矿的岩(矿)石的物性资料：

(1)1986 年河北 11 地质队编图报告搜集整理的邯邢式铁矿岩矿石的物性资料(表 1).

(2)1972 年 5 月桂林冶金地质研究所编写的《磁法寻找矽卡岩型磁铁矿经验汇编》[6]中有关的物性资料：

上郑矿区：致密块状磁铁矿 比重 4.0 g/cm^3，含铁矽卡岩 3.5～3.8 g/cm^3，闪长岩 2.7 g/cm^3，灰岩 2.67 g/cm^3，黄土 2.0 g/cm^3 左右.

中关矿区：粘土 2.03 g/cm^3，砂页岩 2.60 g/cm^3，灰岩 2.70 g/cm^3，闪长岩 2.70 g/cm^3，铁矿 4.0 g/cm^3.

(3) 2007 年 10 月由中国地质科学院矿产资源所承担“河北省沙河市白涧矿铁矿详查物探找矿研究”项目时测定的白涧矿区岩矿石的物性资料(表 2).

表 1 邯邢地区与邯邢式铁矿有关的物性参数表

Table 1 Rock′s physical characters of Hanxing-type iron deposit

岩石类型	磁化率($10^{-6}4\pi$SI)	密度(g/cm^3)	电阻率(Ω·M)	产状
第四系	0～3670	1.50～2.65	30～300	似层状
石炭系-二叠系	0～835	2.10～3.01	小于 30	层状
灰岩	0～55	2.45～2.82	670～1445	层状
岩体	900～14000	2.7	/	似层状为主
矽卡岩	略小于磁铁矿	略小于磁铁矿	/	似层状
磁铁矿	72000～213000	3.82～4.50	/	似层状、透镜状、扁豆状、囊状等,与上述地层项比较,总体产状变化大

从如上不同时间、不同单位所测得的物性资料可以很明显看出:邯邢式铁矿中矿体与围岩之间存在着较显著的磁性、密度、电性差异,具体分析如下:

磁性特征:由上述统计结果可见,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石,矿石品位较富,磁性很强,其感磁(Ji)与剩磁强度(Jr)均值一般大于 100($\times10^{-3}4\pi$·SI),比火成岩的磁性至少要高出两个级次以上.感应磁化强度与剩余磁化强度相当,一般前者要略大些($Q<1$),部分磁铁矿剩余磁化强度大于感应磁化强度,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,故对剩磁强的铁矿床进行磁异常解释时须考虑剩磁的大小和方向.

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 drillhole ZK0622

岩性	块数	密度(g/cm^3)		磁化率 K($10^{-3}4\pi$SI)		剩磁 Jr(10^{-3}A/m)		电阻率(Ω·M)		极化率(%)	
		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	0.01～0.015	0.013	0～0.07	0.029	799～875	837	3.5～4.3	3.9
夕卡岩	2	3.03～3.04	3.03	0.025～0.034	0.029	0.06～0.07	0.065	51～167	109	2.8～3.1	2.9
磁铁矿	4	4.17～4.44	4.29	83.3～140	113	92.4～127	147	4～150	54	35.6～91.8	62.4
围岩	24	1.58～3.34	2.64	0～0.2	0.012	0～0.01	0	68～1504	763	1.49～45.7	5.1

(2)与铁矿关系密切的矽卡岩在本区的磁性也较弱,感磁(Ji)与剩磁强度(Jr)均值一般小于 10($\times10^{-3}4\pi$·SI);(3)本区火成岩(闪长岩、二长岩类)具有弱磁性,感应磁化强度(Ji)与剩余磁化强度(Jr)均值一般不大于 5($\times10^{-3}4\pi$·SI);(4)中奥陶灰岩、大理岩及石炭系、二叠系砂、页岩等均属于不具磁性一类[7].磁铁矿石与岩体、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[8].

密度特征:磁铁矿密度大于 3.8 g/cm3,奥陶系到侏罗系地层岩石密度在 2.3～2.73 g/cm^3 之间变化,常见值为 2.73.8 g/cm^3.第四系密度小于 2.6 g/cm^3,常见值为 2.0 g/cm^3 左右.由此可见,磁铁矿与围岩至少存在 1 g/cm^3 的密度差,只要磁铁矿具有一定规模,就能在地表产生相应的重力异常[9].

电性特征:磁铁矿电阻率在 160 Ω·M 以内,常见值小于 10 Ω·M.岩体电阻率在 800 Ω·M 以内,围岩电阻率变化较大,变化区间从几十 Ω·M 到几千 Ω·M,这主要与灰岩构造和含水性有关,在地下水发育区域,岩溶同样发育,这样导致电阻率降低.虽然,矿体与围岩的电阻率没有绝对界线,但根据钻探和地质工作,确认邯邢地区地下水发育,因此,灰岩区对应低电阻率,而完整的岩体,由于其致密,往往表现为高电阻率,这样,岩体和灰岩接触带表现为高、低电阻率陡变带,这为定位"邯邢式"铁矿深度提供相应的证据.

上述邯邢式铁矿岩(矿)石之间确实存在着较显著的磁性、密度、电性差异.为开展综合性物探工作提供了充分的地球物理前提条件.众所周知,物探方法具有多解性,尤其对来自深部的信息的反应受到多方面的干扰和制约.而综合方法就可以在一定程度上减小多解性,增加确定性,为找矿工作提供更加有效的地球物理信息[10].

4 邯邢式铁矿综合物探深部找矿实例

4.1 中关铁矿

中关铁矿位于沙河市中关村北,现已探明资源储量 9800 多万吨,是河北省在邯邢地区探明的邯邢式铁矿第二大铁矿床,埋深 300～700 m.本区自上而下存在以下几个密度界面:

粘土：2.03 g/cm^3

砂页岩：2.60 g/cm^3

灰岩：2.70 g/cm^3

铁矿：4.0 g/cm^3

闪长岩：2.7 g/cm^3

由以上密度数据可知：本矿区存在两个最明显的密度界面，一是浅部的粘土与砂页岩之间的密度界面，密度差为 0.57 g/cm^3，二是深部的铁矿与围岩的密度界面，密度差为 1.3 g/cm^3.

在纵剖面图上（图 1），重力异常正好处于两个磁异常极大值之间而并不与任意一个磁异常重合，其原因有二：一是矿体受向北倾斜的地磁场 T 磁化，异常极大值要向南移，故重力异常比磁异常（指南部的极大值）偏北，而北部的 Z 极大值更靠近重力异常. 二是按柏松公式，磁位是重力位的一次导数：$U = \boldsymbol{J}/k\sigma \times \mathrm{grid}\boldsymbol{V}$（$\boldsymbol{U}$ 为磁位，$\boldsymbol{V}$ 为重力位），故 Za 曲线比 Δg 曲线梯度大，分辨能力高，Za 曲线能出现两个极值而 Δg 就仅能表现出一个极值异常.

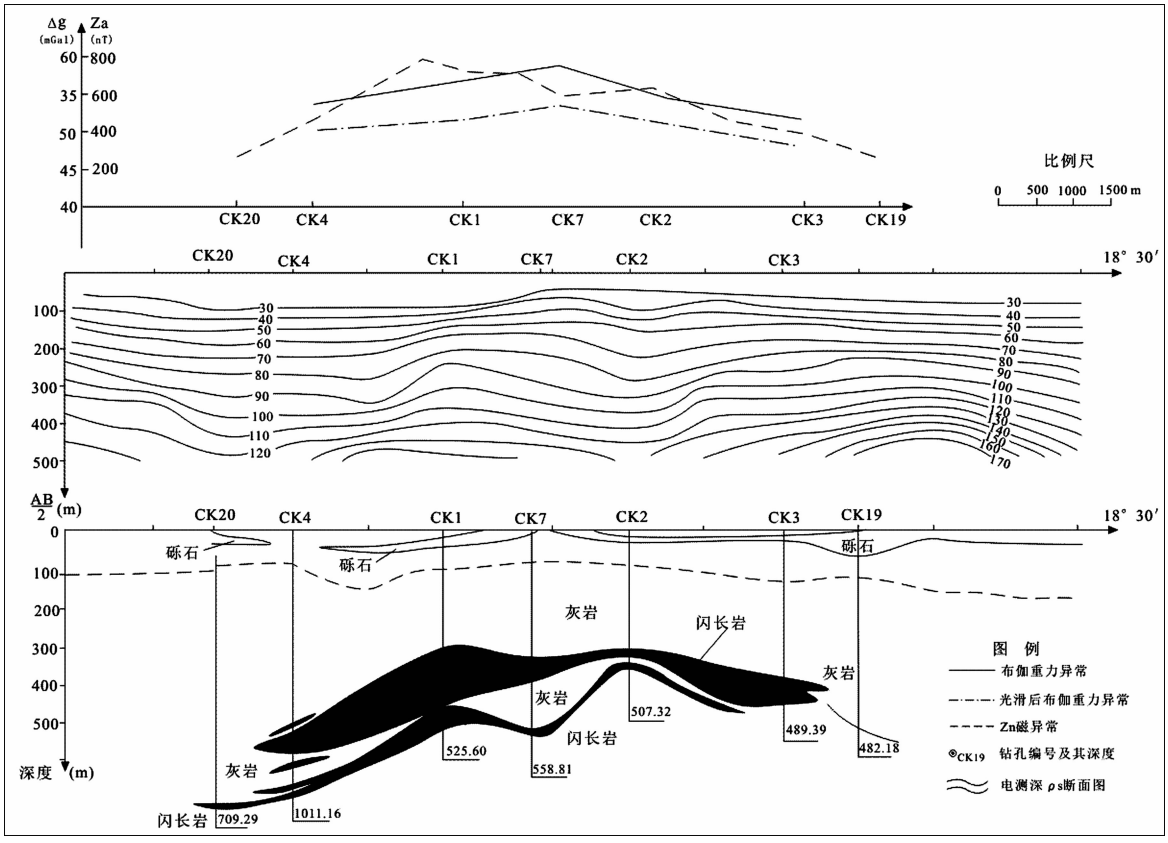


图 1　中关铁矿地质物探综合剖面图

Fig. 1　Geological and geophysical synthetic profile of the Zhonguan iron deposit

4.2　上郑铁矿

沙河市上郑铁矿位于沙河市上郑村南，探明铁矿资源量 1000 万吨，矿体埋深 150～450 m. 从钻孔岩心结果分析发现：矿石以粉状磁铁矿及含磁铁矿矽卡岩为主，磁化强度 I 值在 0.08CGSM 左右或更小. 闪长岩亦有磁性，I 值平均在 0.0024CGSM 左右，比重在 2.7 g/cm^3 左右. 石灰岩无磁性，密度在 2.67 g/cm^3 左右. 黄土无磁性，密度在 2.0 g/cm^3 左右.

在上郑矿体开始勘探的时候，1960 年 4 月～6 月冶金部北京地质研究所有一个工作组对这个异常进行了研究，垂直矿体走向及沿矿体走向共做了两条重力、电测深及磁测综合剖面（2 线，5 线），并对这个地区的物探异常进行了综合分析（图 2、图 3）. 从上述两个综合剖面图可以看出，这个矿体上具有如下物探异常组合特征：

（1）磁异常极大值随观测高度改变有明显的改变，向下延拓 100 m 时，异常极大值增加 58%，而且范围变窄，向上延拓 100 m，异常极大值降低 31%. 用不同方法计算矿体埋深所得深度大体相符，在 240 m 左右.

（2）有 0.6 毫伽左右的重力异常.

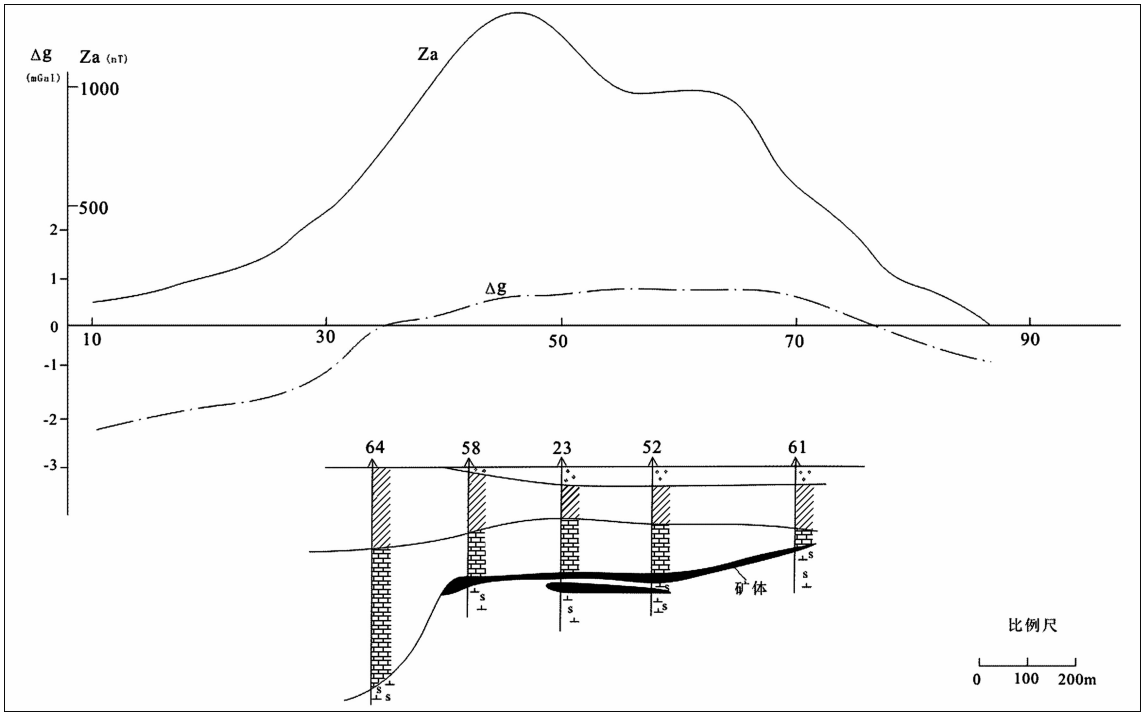


图 2 上郑铁矿 2 线地质物探综合剖面图

Fig. 2 Geological and geophysical synthetic profile of line 2 of the Shangzheng iron deposit

(3)电测深曲线上没有明显的低电阻层反映,但是在含矿地层上电阻率降低并有各向异性现象.

本例子实践证明,结合地质情况,用综合物探方法来研究低缓磁异常是矿体还是火成岩所引起的是一种有效的手段.通过对磁法、重力、电测深资料的分析,在评价中关低缓异常时效果显著,是有效的找矿方法技术组合.

4.3 沙河市白涧铁矿

白涧铁矿位于河北省沙河市境内,为一埋藏深、规模大、品位较高的隐伏铁矿.矿体主要产于中关-窑坡背斜东翼,已发现的两个矿体,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号矿体在中奥陶系灰岩中,呈不规则透镜状,为该矿的主矿体,走向近南北,矿体埋深 592.74～1040.52 m,单层最大见矿厚度 137.03 m,矿体的形态变化较复杂.Ⅱ矿体分布在中关—窑坡背斜东翼,沿闪长岩体与中奥陶系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,并明显呈带状分布.由岩体到灰岩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.河北省地质局第十一地质大队于 1982 年 12 月提交《河北省沙河县白涧铁矿初步普查地质报告》,提交铁矿石表内储量 D 级 3241.57 万吨.2006 年,河北省地质局第十一地质大队对该矿床重新立项展开进一步工作.

为寻找深部矿体,在该区开展了高精度重力、磁法和 EH-4 综合地球物理勘探.

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△Z 异常相似,但异常强度最高近 600 nT,但异常的局部形态细节上有一定的变化.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 4a).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

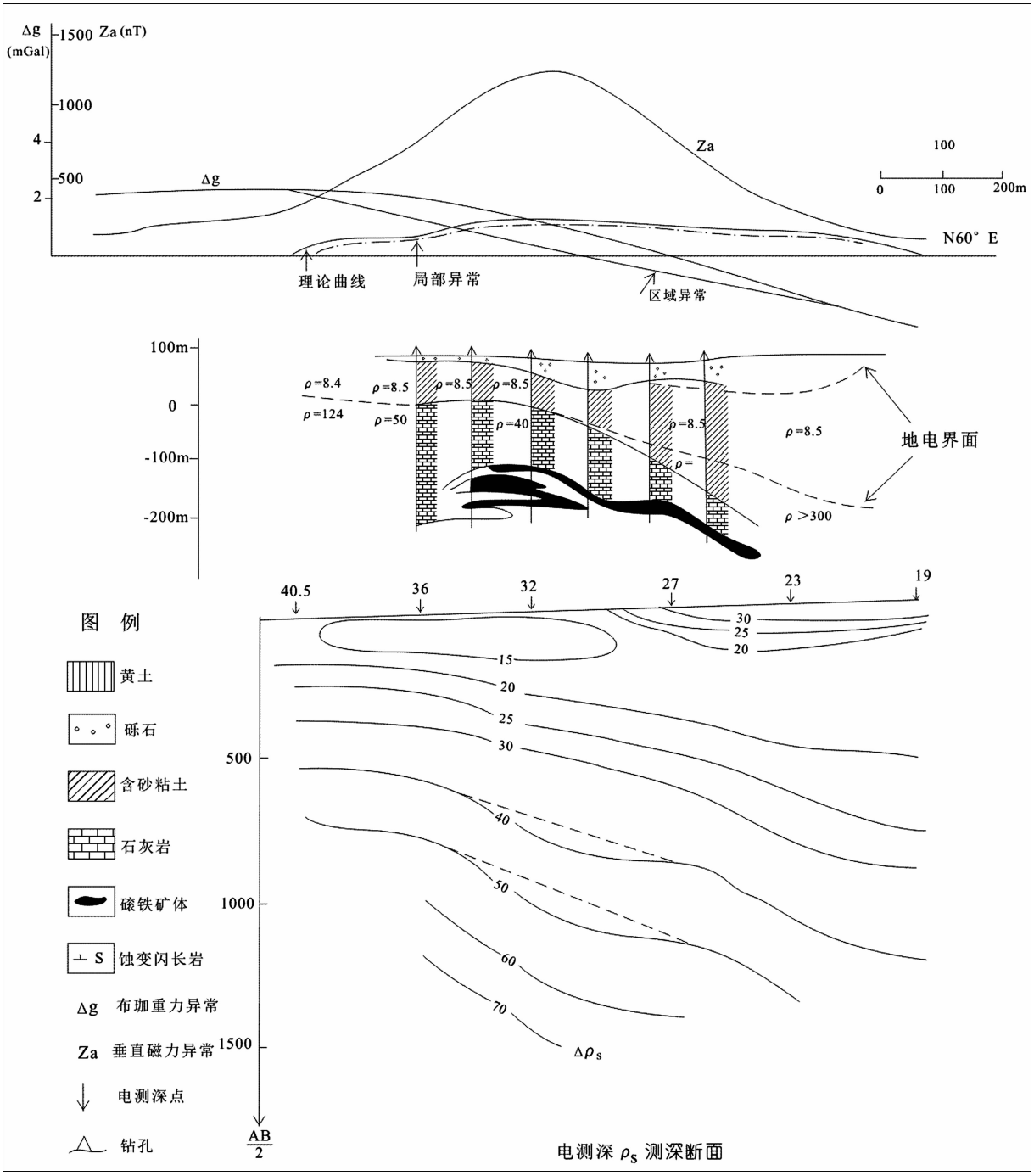


图 3　上郑铁矿 5 线地质物探综合剖面图

Fig. 3　Geological and geophysical synthetic profile of line 5 of the Shangzheng iron deposit

伏矿主体基本位于化极磁异常中心部位(图 4b). 针对接触交代型铁矿体，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相吻合(图 4c).

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有重要的意义. 通过连续的 EH4 电磁测深可以揭示深部高电阻岩体的形态变化[11,12]，结合已知钻孔所揭示的岩体深度进行矫正，可以较好地了解矿区深部的岩体起伏情况. 图 5 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起伏立体图，结

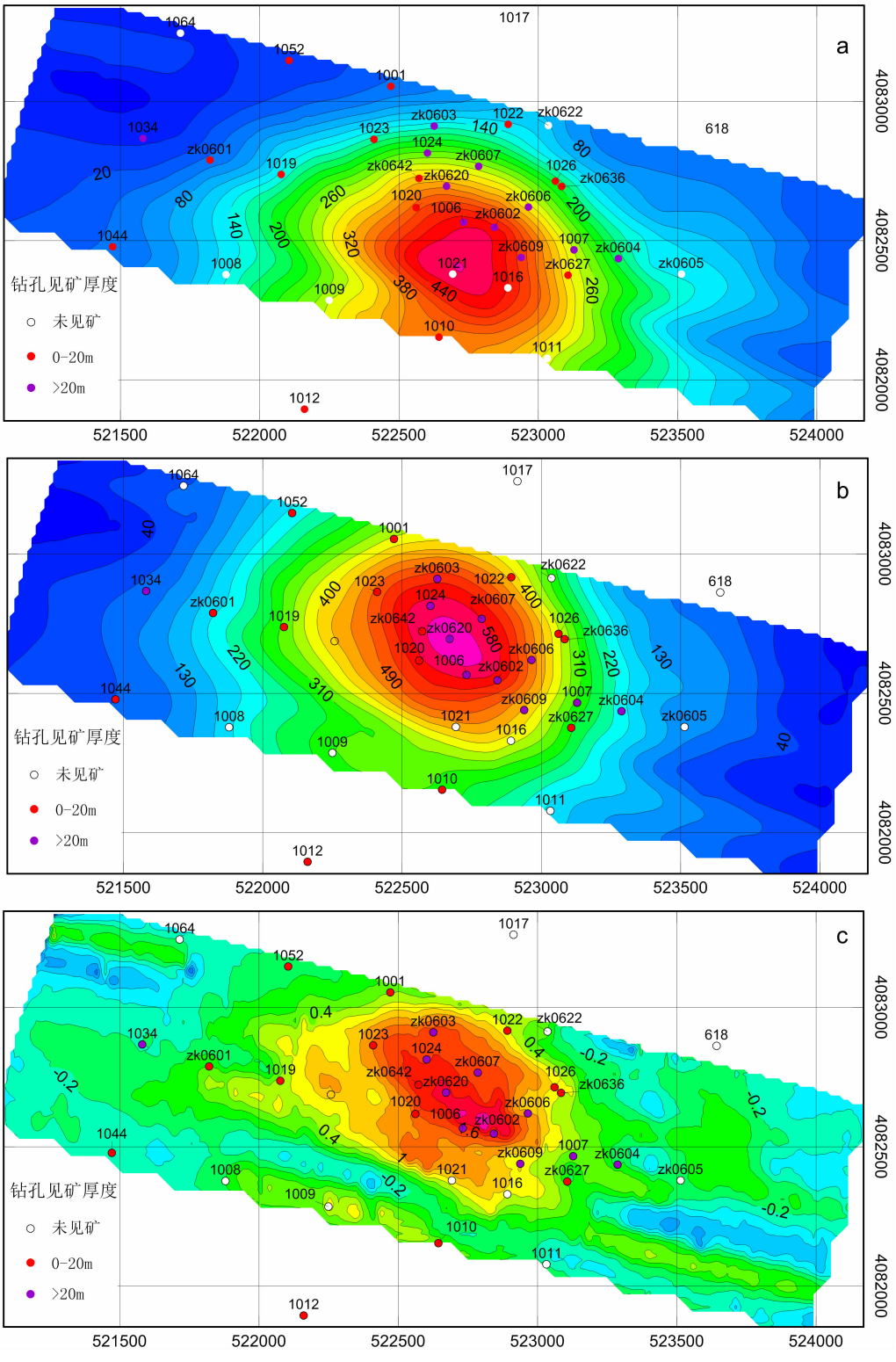


图 4 白涧铁矿区高精度磁测成果

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. 4 Contours of high-precision magnetism in the Baijian iron deposit

a—ΔT contour (intervals:20 nT);b—ΔT RTP contour (intervals:30 nT);
c—ΔT RTP 1 VD contour (intervals:0.1 nT/m).

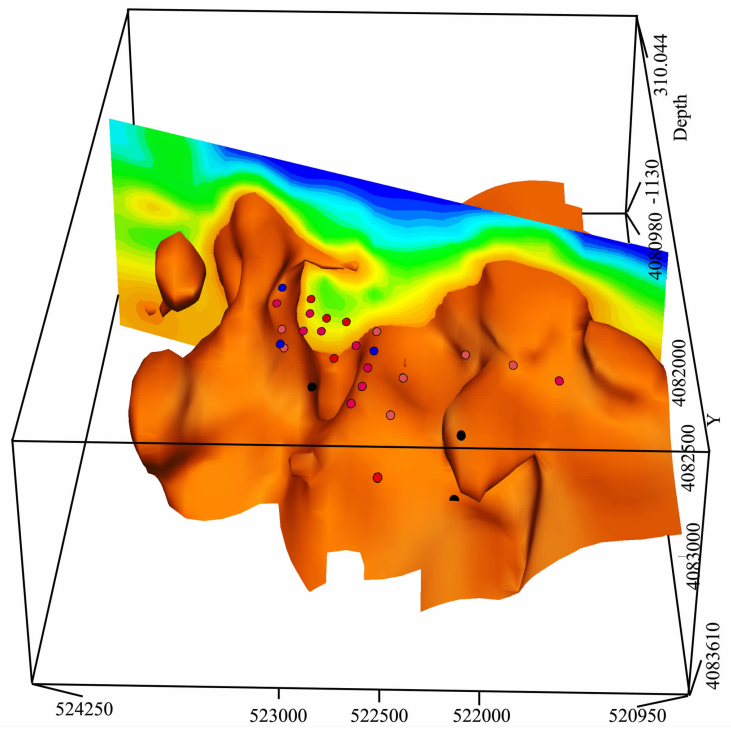


图 5　白涧铁矿区 EH4 电磁反演推断岩体顶界面立体图

Fig. 5　Top layer of intrusion body in Baijian iron deposit derived from EH4 EM inversion

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.

为准确定位隐伏矿体的所在，本研究开展了多条重磁电综合精测剖面，图 6 是 26 勘探线物探综合剖面，结合重、磁模型联合正反演计算结果，综合分析认为 1600 点至 2800 点之间为隐伏矿体是主要赋矿段，其次在剖面的东部 3200 点至 3600 点间也有隐伏矿体存在的迹象. 在 EH4 反演成果图中，主赋矿地段位于 EH4 电磁反演成果岩体界面一低缓的凹陷部位(见图 5)，有利于矿体赋存.

为确定 26 勘探线的验证孔位，对该线重、磁异常进行了初步的等效模拟正、反演计算，建立了综合找矿模式(图 7)，正反演结果显示在剖面中西部 1500～2600 点之间有较大隐伏矿体存在的可能性较大. 目前在 2400 点间发现的厚层矿体附近还有较大隐伏的矿体存在. 结合 24 勘查线的模拟结果及地面综合物探分析成果，认为在 24 和 26 线之间发现规模较大的隐伏矿体是很有希望的.

另在剖面的东部，原地质推测存在隐伏矿体，重磁异常也有弱的异常显示. 从异常曲线分析，在 2400 点附近布置一验证孔，设计孔深 1100 米，已在 700 m 处见到 30 m 厚的铁矿体.

白涧铁矿的综合物探勘察结果表明，重力异常和磁力异常与深部铁矿体具有好的对应性，高精度重、磁综合剖面测量具有明显的找矿效果. 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，重、磁是找铁矿最有效的方法. 但是，磁铁矿矿石具有强剩磁，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，故要注意磁异常的特征分析和斜磁化的影响. 电磁测深得出的电阻率剖面对中酸性岩体的顶界面，岩体与碳酸盐地层的接触带有很好的识别能力(图 5)，而接触带正是邯邢式铁矿成矿的有利部位. 因此，在本区找铁矿，特别是找深部矿应开展高精度重、磁、电相结合的方法.

6　结论与建议

重磁综合方法虽然有物性资料方面的支持，有前人试验性工作成果和最新深部找矿突破的支持，有新的仪器设备和数据处理手段支持，但是目前的找矿形势要求，还存在一些现实问题：如重磁不同源问题，弱磁或无磁性的赤铁矿、黄铁矿与地质构造引起的有重力异常而无磁异常的定性问题；地表、地下干扰的消除问题，地下有煤层，矿体采空区，空洞、水

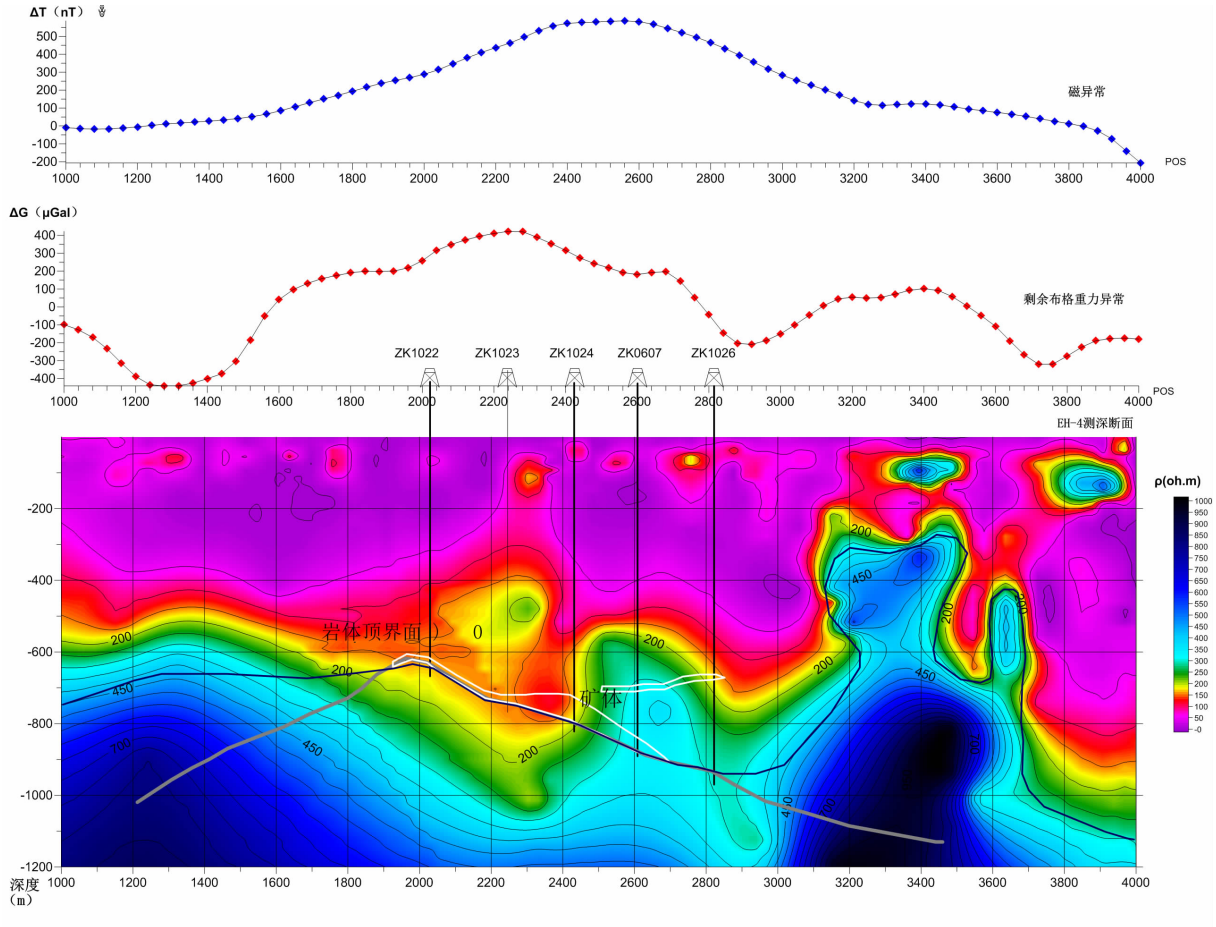


图 6 白涧铁矿 26 勘查线重、磁、电综合剖面图

Fig. 6 Gravity, magnetic and EH4 synthetic profile of line 26 in the Baijiang iron deposit

坑等干扰问题；矿区人口密集，村庄、厂矿密布，地表有高压线、电话线、房屋、水管、钻机和铁皮干扰因素等等，这些都给开展重磁方法带来严重干扰. 因此，在已知矿区的深部和外围开展重磁方法找矿工作应注意干扰源的区分，加强实测资料的数据处理. 相信通过地质、物探技术人员的共同努力，这些问题都可以解决的.

以往，河北省邯邢地区邯邢式铁矿的物探找矿方法就是磁法找矿，包括直接找矿，数据处理间接找矿等. 但是，针对目前的找矿形势和对象，单一的磁法手段已经远远不能满足需要. 前人的工作以及物性资料等都说明在在本区开展重、磁、电综合物探是确实可行的，在上郑、中关、白涧等典型邯邢式铁矿上开展的重磁电综合探测所取得的良好找矿效果，证明了综合物探方法与地质相结合应该是邯邢地区邯邢式铁矿找矿工作的发展方向. 鉴于此，应该通过在已知矿床、矿体上进行面积性重、磁、电综合方法试验，取得经验后总结出一套行之有效、合理的综合方法技术组合，用于指导今后邯邢地区的深部找矿工作，并建议邯邢式铁矿今后的找矿重点应开展以下工作：

(1)高精度磁法依然是找矿的主要方法，应采用新技术、新方法对磁测数据进行处理(如三维定量反演等)，同时，加强对以往磁测数据的二次开发处理和解释.

(2)增加重力勘探在深部找矿中的应用，一要提高观测精度，二要进行大比例尺的面积性工作，结合有效的重力场分离方法，进行 2D、3D 反演，对磁异常的性质做出正确判断.

(3)用 EH-4 等探测深度较大电磁测深方法，探测与成矿有密切关系的隐伏中酸性岩体的空间分布形态及其与碳酸盐地层的接触带，圈定成矿的有利部位.

(4)建议今后综合找矿方法—在满足地质成矿条件(有利地层：奥陶系灰岩，有利岩浆岩和有利构造部位)的磁异常(五位一体)基础上，开展面积性高

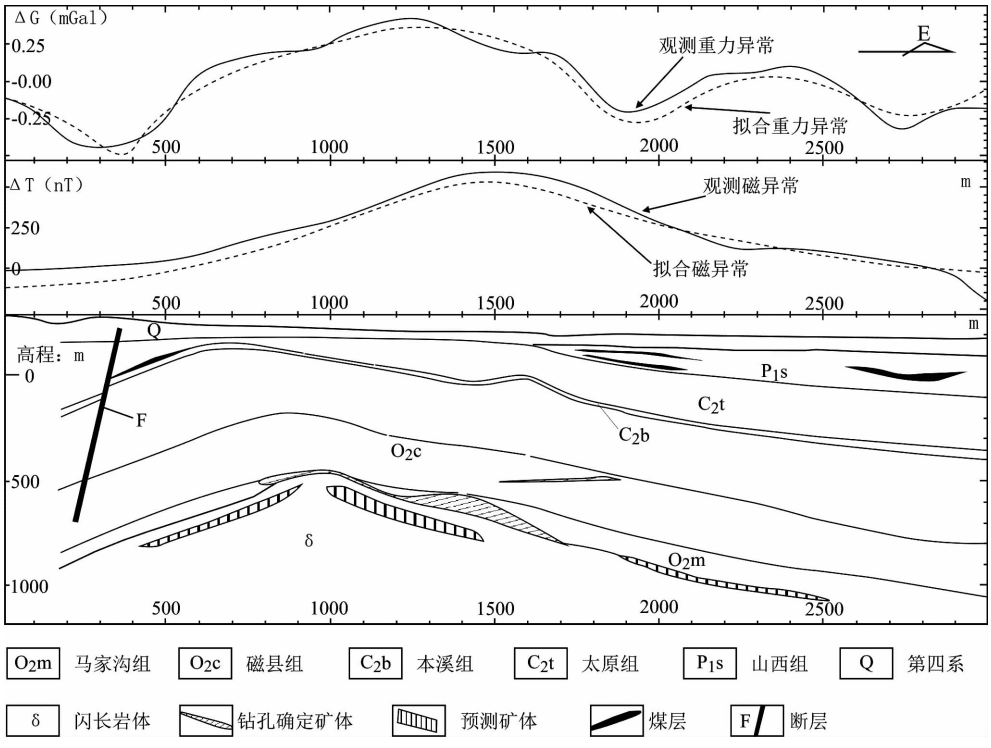


图 7　白涧铁矿区地质-地球物理综合找矿模式

Fig. 7　Geological and geophysical synthetic exploration mode of the Baijian iron deposits area

精度重力测量，寻找重磁综合异常. 针对重磁异常开展高精度电磁法测量，确定验证位置，布置钻探验证以及三份量磁测井，寻找深部和外围异常源，指导进一步找矿.

致　谢　中国地质科学院的刘光海研究员和河北省地矿局第十一地质大队孙立钧高级工程师在日常工作和本文成文过程中给予了热情的指导和无私的帮助，谨此表示衷心感谢. 同时，作者特别感谢审稿专家对本文的修改建议.

参　考　文　献 (References)：

[1] 沈保丰，翟安明，李增慧. 冀南邯邢式铁矿成矿地质条件分析[J]. 地质学报，1981，2：127～137.
Shen B F，Zhai A M，Li Z H，*et al*. The analysis of geological conditions for mineralization of the iron deposits of Han-xing subtype in southern Hebei[J]. Acta Geologica Sinica，1981，2：127～137.

[2] 刘光鼎，郝天珧. 应用地球物理方法寻找隐伏矿床[J]. 地球物理学报，1995，3(6)：850～854.
Liu G D. and Hao T Y. Searching of hidden mineral deposits by geophysical methods[J]. Acta Geophysica Sinica，1995，3(6)：850～854.

[3] 严加永，滕吉文，吕庆田. 深部金属矿产资源地球物理勘查与应用[J]. 地球物理学进展，2008，23(3)：871～891.
Yan J Y，Teng J W，Lv Q T. Geophysical exploration and application of deep metallic ore resources[J]. Progress in Geophysics (in Chinese)，2008，23(3)：871～891.

[4] 滕吉文，杨立强，姚敬全，刘宏臣，等. 金属矿产资源的深部找矿、勘探与成矿的深层动力过程[J]. 地球物理学进展，2007，22(2)：317～334.
Teng J W，Yang L Q，Yao J Q，*et al*. Deep disscover ore、exploration and exploitation for metal mineral resocrces and its deep dynamical process of formation [J]. Progress in Geophysics，2007，22(2)：317～334.

[5] 严加永，刘光海，王君恒，等. 内蒙古羊蹄子山-磨石山钛矿床的物性体征及有效找矿方法探讨[J]. 矿床地质，2008，27(4)：494～501.
Yan J Y，Liu G H. Wang J H and Pan Z P. Physical properties and effective exploration methods discussion of Yantizishan-Moshishan titanium deposit[J]. Mineral Deposits，2008，5(1)：36～42.

[6] 桂林冶金地质研究所. 磁法寻找矽卡岩型磁铁矿经验汇编[M]. 1972，113.
Guilin Metallurgical Institute of Geology. Experience compilation of magnetic method to search for skarn-type magnetite in [M]. 1972，113.

[7] 孟贵祥，严加永，吕庆田，等. 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[J]. 矿床地质，2009，28(4)：493～502.
Meng G X，Yan J Y，Lü Q T，*et al*. Application study of deep detecting technology and integrated prospecting model of Han-

Xing subtype iron deposits—A Case Study of Baijian iron deposit[J]. Mineral Deposits,2009,28(4):493～502.

[8] 刘光海.矿产预测的综合方法及应用实例[M].北京:地质出版社,1994,13～25.
Liu G H. Synethetical methods and application example of mineral resources forecast [M]. Beijing: Geol. Pub. House, 1994,13～25.

[9] 于长春,范正国,王乃东,等.高分辨率航磁方法及在大冶铁矿区的应用[J].地球物理学进展,2007,22(3):979～983.
YU C C, Fan Z G, Wang N D, *et al*. High-resolution aeromagnetic exploration methods and their application in daye iron mines[J]. Progress in Geophysics, 2007,22(3):979～983.

[10] 唐建伟,丁建荣,郝天珧.徐闻地区综合地球物理勘探方法应用研究[J].地球物理学进展,2008,23(3):800～807.
Tang J W, Ding J R, Hao T Y. Application study of comprehensive geophysical methods in the Xuwen area[J]. Progress in Geophysics, 2008,23(3):800～807.

[11] 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].矿床地质,25(1):36～42.
Meng G X, Lan X. 2006. Characteristics of EH-4 electrical conductivity imaging system and its application to ore exploration [J]. Mineral Deposits,5(1):36～42.

[12] 沈远超,申萍,刘铁兵,李光明,曾庆栋.EH4 在危机矿山隐伏金矿体定位预测中的应用研究[J].地球物理学进展,2008,23(2):559～567.
Shen Y C,Shen P,Liu T B,Li G M,Zeng Q D. Prediction of hidden gold orebodies in depleted mines by the Stratagem EH4 system[J]. Progress in Geophysics 2008,23(2):559～567.

[13] 陈天振,李卫花,徐遂勤,等.井中三分量磁测方法与效果初探[J].地球物理学进展,2008,23(3):892～897.
Chen T Z,Li W H,Xu S Q,Liang Z J,*et al*. The method of borehole three-component magnetic survey and its effective originally exploration[J]. Progress in Geophysics , 2008,23(3):892～897.