第29卷 增刊
2009年8月

华 南 地 震
SOUTH CHINA JOURNAL OF SEISMOLOGY

Vol. 29, Supp.
Aug., 2009

危机矿山外围高新物探技术方法找矿效果及综合找矿模式

——以××铁矿为例

伍卓鹤
(广东省地质物探工程勘察院，广东 广州 510800)

摘要：以××铁矿为例，介绍了物探新方法技术在危机矿山外围深部找矿取得的成果，这种方法技术实现了“矿化体”的空间定位。大探深、强干扰、精细定位是深部找矿的关键，对找矿起重要作用。

关键词：物探新方法技术；矿山外围；大探深；强干扰；精细定位
中图分类号：P631 **文献标识码**：A **文章编号**：1001-8662 (2009) S0-0069-10

前言

××铁矿床是我国铁矿石的重要基地之一，铁矿品位高达62%以上，为中国最富的大型露天铁矿床。此矿从1939年开采，目前保有储量消耗殆尽，资源危机严峻。2007年全国危机矿山专项设立“××铁矿接替资源勘查”项目，采用可控源音频大地电磁法(CSAMT)、瞬变电磁法 (TEM)、高精度磁法和井中物探等高新物探技术方法进行综合勘探，查明了区内地层、含矿层及控矿构造的分布特征，圈定矿化富集地区。由于这些新技术方法满足了危机矿山勘探要求探测深度大、精细探测、抗干扰能力强的特点，因而物探成果显著，物探成果反映××危机矿山外围还具有较大的资源潜力。

1 ××矿山地质概况

××铁矿区位于华南褶皱系×××褶皱带的西段。多期次的构造活动和变质—岩浆再造作用，形成了主要由东西向构造—岩浆带和北东向构造—岩浆带交接复合而成的构造格局。区域出露的地层主要有长城系、青白口系、震旦系、志留系、石炭系、二叠系等。区域侵

收稿日期：2009-04-27
作者简介：伍卓鹤 (1969-)，男，高级工程师. 主要从事物探工作及物探应用技术的研究.

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

入岩分布广泛，主要出露中元古代片麻状花岗岩及片麻状混合花岗闪长岩、二叠纪晚世黑云母二长花岗岩等。铁矿区出露的地层主要有青白口系和震旦系。矿区铁钴铜矿主要赋存在青白口系石碌群岩层中，石碌群按岩性又可分为六层，其中第一、三、四、五层为白色或深灰—灰紫等杂色千枚岩、石英片岩或石英绢云母千枚岩、石英岩等硅铝质岩石，普遍含有红柱石，第五层还夹有一层岩屑凝灰岩；第二、六层为灰白色—浅灰色白云岩、透辉石透闪石化白云岩、二透岩、赤铁矿岩、石英岩等。第六层是目前所掌握的铁、钴、铜矿产的主要赋存岩层，按岩性组合及与成矿关系，又可细分为三段：下段为含钴铜层位；中段为含铁层位；上段白云岩夹炭质千枚岩为无铁矿段，但为白云岩矿含矿层。

2 矿区地球物理特征

2.1 磁性特征

整个铁矿区处于航磁 ΔT 异常场区（图 1），异常走向总体上为近东西向，正负异常相伴，正异常分布在南面，分布较稀松，梯度变化较小；负异常分布于北面，分布密集，梯度变化较大。异常强度最高可达 600 nT，最低可为-900 nT，且负异常大于正异常。ΔT 正异常场分布梯度变化的形态与整个矿区复式向斜构造的形态比较吻合。ΔT 分布特征与矿区含矿岩系的分布及构造紧密相关。本区铁矿体上磁异常的规律是异常正负伴生，矿体北侧出现负异常，磁异常中心偏离矿体中心位置，矿体位于正负异常极大值之间，一般在零值线附近。

区内岩矿石磁性参数见表 1。赤铁矿石具强磁性，二透岩构造、角砾岩具弱磁性，其它岩石不具磁性或弱磁性。

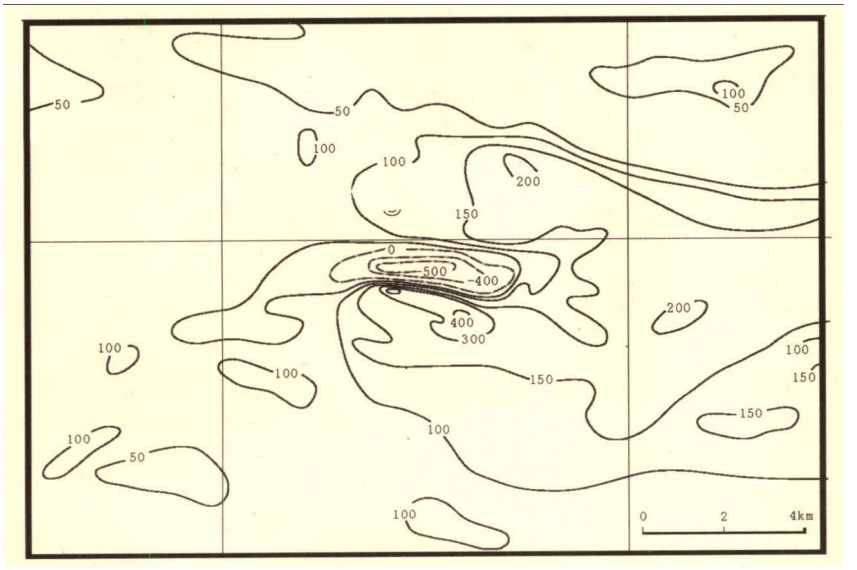


图 1 矿区地区航磁 ΔT 异常图

Fig.1 Aeromagnetic ΔT anomaly map in the mining area

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

表 1　岩芯磁性测试统计表

Table 1　Statistics of the core magnetism test

岩性	块数(块)	平均磁化率 κ(10^{-6}×4π·SI)	平均剩余磁场强度 Jr(10^{-3} A/m)	备注
赤铁矿石	33	5 449.4	32 252.65	变化较大
二透岩	72	8 534	32 602.93	变化较大
白云岩	86	2 685	1 024.293	
灰岩	13	1 490.8	635.6462	
构造角砾岩	2	4 060	8 156.1	
斜长花岗岩	6	3 480	285.5	

2.2　电性特征

2007 年系统测定了矿区 ZK1101 和 ZK1302 钻孔的岩心电阻率，通过对 ZK1101、ZK1302 孔岩芯电阻率测试的统计表明，赤铁矿体表现为低阻特征(265 Ω·m)，多数围岩——白云岩、白云质灰岩、石英砂岩、二透岩等电阻率为 325~1500 Ω·m，平均 700 Ω·m，表现为中高阻特征。

3　以往勘探工作存在的主要问题

2007 年以前虽然矿山勘探工作一直也没有间断，但是由于受物探仪器精度以及探测深度的限制，所以勘探多集中在浅表地层中，中深部含矿岩系分布和可能的矿集区分布情况不明。

4　深部找矿所应用的方法及效果

这次勘查利用了地面高精度磁测、可控源音频大地电磁法、瞬变电磁法、井中三分量测量等多种物探找矿方法。从空间上圈定了铁矿体赋存空间，取得了较好的找矿效果，为矿山外围深部找矿提供了参考。

(1) 在传统物探手段对深部探测效果不明时、易受矿山噪声干扰时，采用交变大地电磁法取得了较好的探测效果，CSAMT、TEM 法探测深度深达千米以上，大大超越直流电法探测深度。在地形条件复杂情况下，使用可控源音频大地电磁法、瞬变电磁法可大大提高工作效率。

(2) 地面高精度磁测通过数据处理提取深部成矿信息圈定深部铁磁性矿体，计算矿体埋深也取得成功。通过对钻孔磁测三分量测井精细测量了解井周是否存在盲矿体对下一步布钻起到了重要作用。

(3) 根据本矿区工作，总结出 CSAMT、TEM 在深部找矿中的有效方法：通过试验研究确定装置参数，现场由观察测量参数曲线确保原始数据可靠性等；室内数据处理时要将多种数据处理方法进行研究对比，采用突出局部低阻异常反演技术圈定矿体轮廓等。

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

4.1 可源音频大地电磁法 (CSAMT)

CSAMT 法能较为准确地确定矿体在石禄向斜的空间展布，推断矿体在不同地段埋深深度。

4.1.1. CSAMT 法数据处理、反演

对卡尼亚电阻率和阻抗相位数据整理、编辑，由于采用不同的滤波方式反演所表现的效果是不同的，可根据需要突出地层横向分布和局部矿体反演方式。下图 2 为 E11 线两种滤波方式的对比结果图。可见为突出矿体要经过试验对比方能取得较好效果。

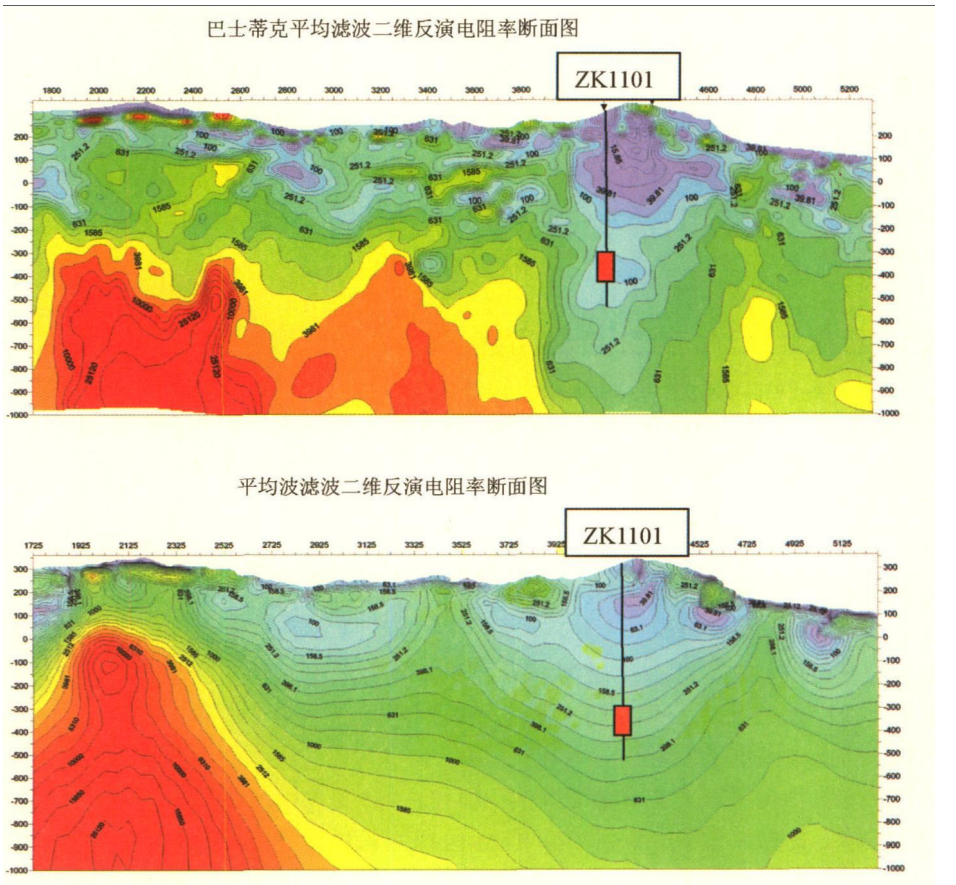


图 2 不同滤波方式的反演结果对比图

Fig.2 Inversion result with different filtering ways

4.1.2 卡尼亚电阻率断面切片立体图

(1) 高频段一般为中低阻(几十至几百 Ω·m)，而且分布不均匀，主要反映第四系地层及浅部电性不均匀的岩层(如图 3、4)。

(2) 中低频段中，低阻(几十至几百 Ω·m)层主要反映了第六层(Qns^6) 地层，这是主要的含矿地层，所以电阻率较低；高阻(几百至几千 Ω·m)层主要为第四层(Qns^4)、第五层地层(Qns^5)等的反映。

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

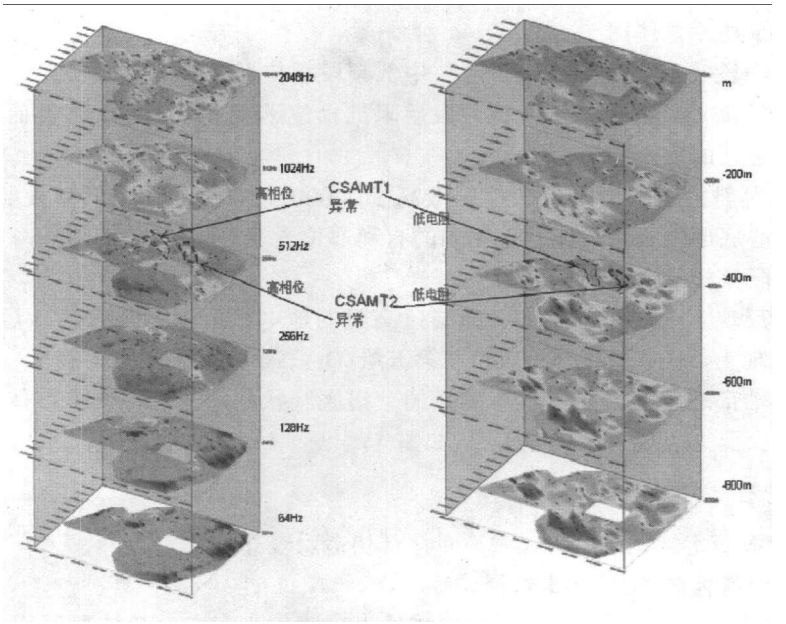


图 3　CSAMT 等频点切片和等标高电阻率

Fig.3　CSAMT resistivity cubic chart of the equifrequency and equal level slices

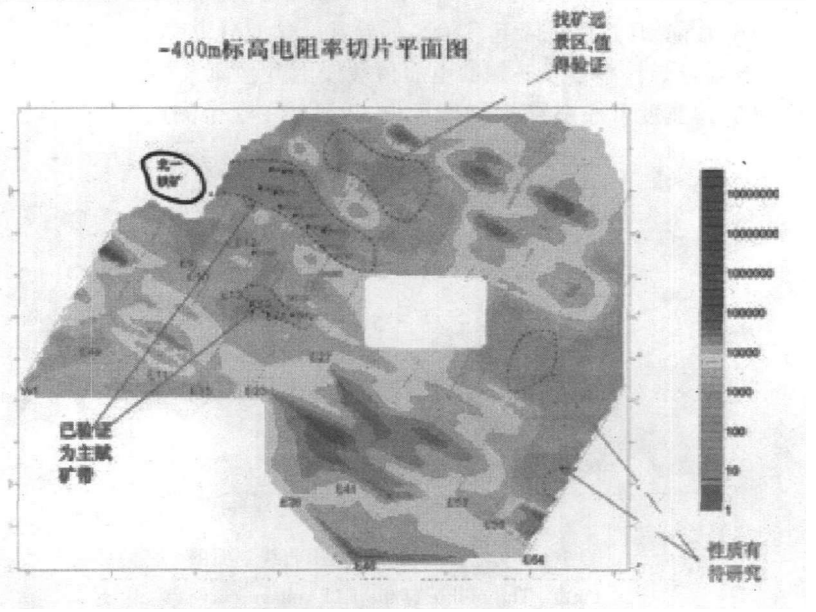


图 4　CSAMT 反演电阻率–400 m 高程平面图

Fig.4　The elevation plan of CSAMT inversion resistivity section in –400m level

（3）中低频内见封闭的低阻圈，呈凹陷型，为复式向斜轴心的部位，这是赋矿的有利部位，极具找矿意义。

（4）低频段出现极高阻(>10 000Ω·m)，是进入过渡带或近区的反映。

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

4.1.3 阻抗相位切片立体图

(1) 中高频段一般高于 400 毫弧度，中低频段相位低于 400 毫弧度，它显示了上部地层电阻率相对下部地层要低。进入低频段后阻抗相位迅速下降，趋于零甚而为负值，这是进入过渡区、近区的表现。

(2) 成矿向斜主轴部位阻抗相位一般高于 1 000 毫弧度，且中低频段要高于高频段，反映了向斜轴心底部电阻率较低，是赋矿的有利部位。

4.1.4 反演电阻率切片等高程平面图

(1) 一般反映上部层位低阻，下部层位高阻的地电断面。另外，第六层(Qns^6)、石炭系(C1)地层表现为低阻，第四层(Qns^4)、第五层(Qns^5)等地层表现为高阻。

(2) 向斜轴部表现为低阻，具有明显的“锅底”状并向下延伸。但矿体一般不是表现为最低电阻率，而是表现为中低电阻率(如图 4)。

4.2 瞬变电磁法 (TEM)

TEM 对中浅部矿体反映最为灵敏，对深部构造反映亦清楚。

4.2.1 直接反映矿体的 TEM 异常特征

已知矿体位于 3014~3064/E15 点处，矿体走向为南东东向，矿体宽度约 50~100 m，埋深较浅，约 10~30 m。

图 5 为 E15 线的 TEM 电压剖面图，图中3 014~3 064/E15 点的响应电压强烈，电压剖面在关断后第 2 道(61.0 us)开始便见隆起、抬高的异常，这充分说明了矿体埋深很浅(低阻体)。以 3014~3064/E15 为中心，小号点一侧的电压值缓慢上升，而大号点一侧迅速衰减，依此可推断矿体(低阻体) 的宽度可往小号点方向(西向)再延伸 1~2 个测点距离，即 50~100 m。

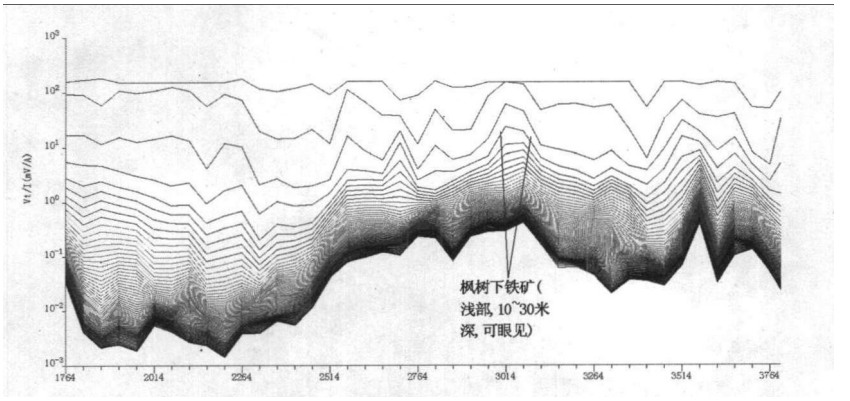


图 5 瞬变电磁法(TEM)电压曲线剖面图

Fig.5 The profile of the E15 voltage curve

通过以上已知矿体的 TEM 资料分析可知，由于赤铁矿为低阻体，引起的感应电压较为强烈，幅值大，在电压剖面上表现为“彩虹”状的异常形态特征。如果矿体埋深越浅，则感应电压异常出现越早，反之，则越晚。

4.2.2 反映构造的 TEM 异常特征

图 6 为 E11 线电压剖面图。ZK1101 孔位于 4 150/E11 号点，于孔深 487~670 m 见赤铁

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

矿。地质资料和 CSAMT 资料都显示，ZK1101 孔揭示的矿体赋存部位为向斜轴心部位(4050~4400/E11 号点)。TEM 电压剖面也清楚的反映了此向斜构造形态的如下特征：

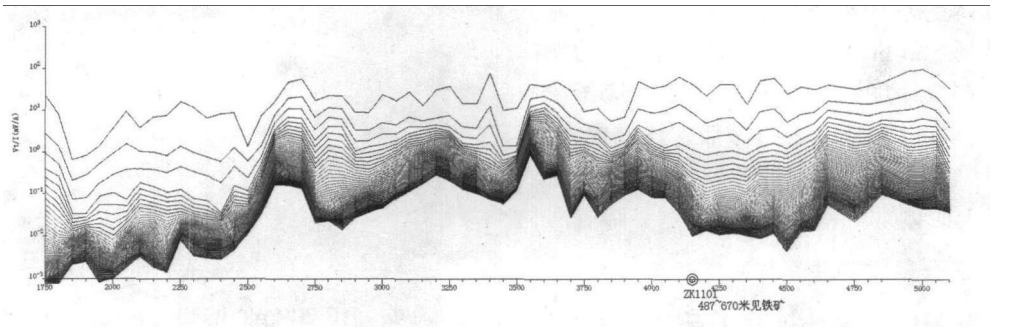


图 6　E11 线电压剖面图

Fig.6　The profile of the E11 voltage curve

电压曲线在向斜两翼部位抬升，在轴心部位下降，形态如“锅底”状。此特征在中晚期测道(绿色曲线)表现尤为突出。

电压曲线表现的这种“锅底”状异常形态与向斜构造极为相似，这可能是由于向斜中第六层底部硫化物多及岩层破碎并充水而构成厚大的低阻层，两翼的低阻层较浅，轴部较深。感应电压会首先在较浅的低阻部位(两翼)出现幅值较大的异常，而在相同的时间，由于感应涡流还未到达深部（轴部)低阻层，则感应电压较弱。

由于浅层电性偏低的特殊性，具有相当屏蔽作用，TEM 有时反映不了矿体，但可反映向斜轴部这个主要赋矿部位，对工作亦具指导意义。根据上述 TEM 异常特征，圈定了 6 个TEM 异常。

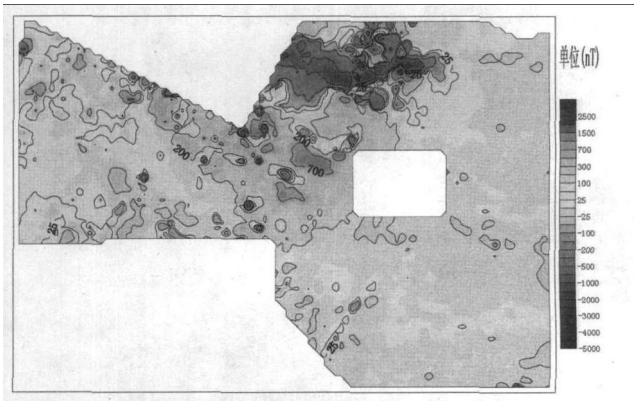


图 7　测区磁测 ΔT 异常平面图

Fig.7　Aeromagnetic ΔT anomaly map in the surveyed area

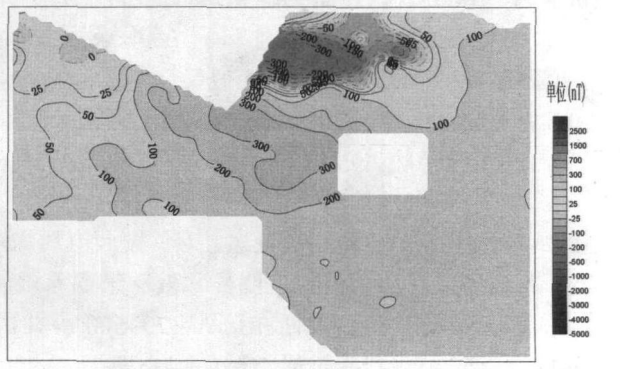


图 8　测区磁测 ΔT 上延 200 m 异常平面图

Fig.8　Aeromagnetic ΔT anomaly map upward extension 200m of the surveyed area

4.3　高精度磁测成果

高精地面磁测与航磁异常相吻合，地面磁测因工作精度的提高对异常特征表现得更为细致、准确，更加突出了浅部异常和局部异常。通过补偿圆滑滤波及上延 100 m、200 m 和 500 m 等处理(见图 7~9)，消除了浅部和地表异常，突出深部异常，变为一南正北负的伴生

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

异常体。从上延 50 m、100 m、200 m、500 m 的异常图看出，越往高处延拓，异常总体走向从北西西渐变至近东西，到上延至 500 m 近东西走向的特征更为明显。在低纬度铁磁性矿体往往对应于磁异常正负过渡带，表明深部矿体规模大，范围广，为一近东西展布埋深达 1 000 m 以上大矿体。

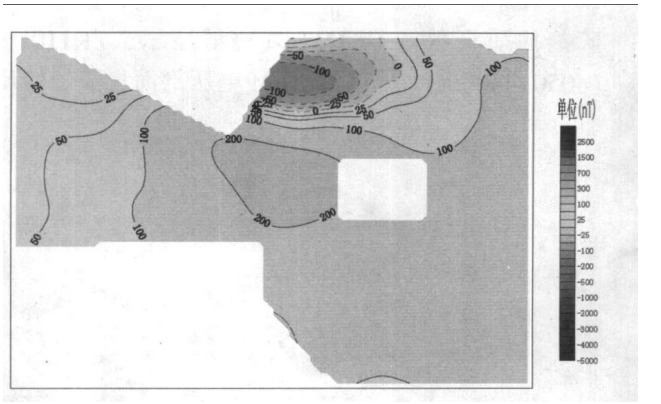


图 9 测区磁测 ΔT 上延 500 m 异常平面图

Fig.9 Aeromagnetic ΔT anomaly map upward extension 200m of the surveyed area

4.4 三分量磁测井

对测区内深井进行了三分量测量，达到精细定位要求，通过三分量测量确定各个深井成矿情况，为进一步钻探工程提供条件。共进行了 8 个钻孔测量工作都取得了好的结果。现举例如下：

4.4.1 ZK2 测井成果

该孔进行了视电阻率测井、磁化率测井、井中三分量磁测、井中高精度 ΔT 磁测等。测量范围：8.36~647.3 m。矿与矿化层共计五层，总厚度 47.10 m。0~58 m 为井中套管。142.40 m~144.90 m，厚 2.50 m，赤铁矿或矿化层；164.90 m~203.90 m，厚 39.00 m，含磁岩(矿化)层；220.90 m~224.90 m，厚 4.00 m，赤铁矿或矿化层；293.30 m~293.90 m，厚 0.60 m，薄层含磁矿化层；310.60 m~311.60 m，厚 1.00 m，薄层含磁矿化层(图 10)。

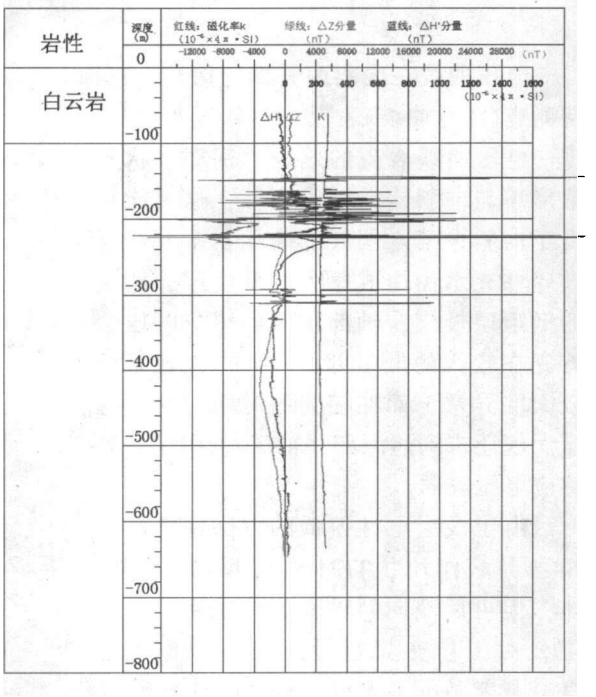


图 10 ZK2 井中三分量测井曲线

Fig.10 The three-component curve of zk2 borehole log

该孔井中磁测资料显示，在井深 320~500 m 处 ΔZ 曲线均呈近似反'C'型。320 m 处 ΔZ=-975 nT，419 m 处 ΔZ 为负极大值，约为-2 695 nT，500 m 处 ΔZ=-916 nT。ΔT 曲线均呈 'C'型。260 m 处 ΔT=-1 120.34 nT，400 m 处 ΔT 为负极大值约为-2 998.1 nT，500 m 处 ΔT=-1 043 nT。ΔX、ΔY 曲线均显示为负值，表明异常处于第四象限。

综上情况，初步判断在该孔 320~500 m 井段存在井旁盲矿异常。依据异常曲线的形态和特征点，大致判断该异常体的中心埋深大约相当于该孔井深的 400~420 m，距 1102 孔大约有 100 m 左右。异常体可能存在于该孔的南西方向。该孔西南 200 m 是 ZK1101 孔，见矿段 160 余米。

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

4.4.2　ZK3 测井成果

该孔进行了磁化率测井和井中三分量磁测。测量井段：16 m~808 m。34 m 以上为套管；该孔主要见矿或矿化磁性矿层有：582.00 m~610.50 m，厚度约 28.50 m；629.00 m ~641.00 m，厚度约 12.00 m；680.50 m ~683.50 m，厚度约 3.00 m；690.50 m ~700.00 m，厚度约 9.50 m；706.00 m ~734.50 m，厚度约 28.50 m；801.50 m~808.50 m，厚度约 7.00 m；该孔 800 m 以下未见明显曲线开口，故判断近孔底一定范围不存在较大磁异常(图 11)。

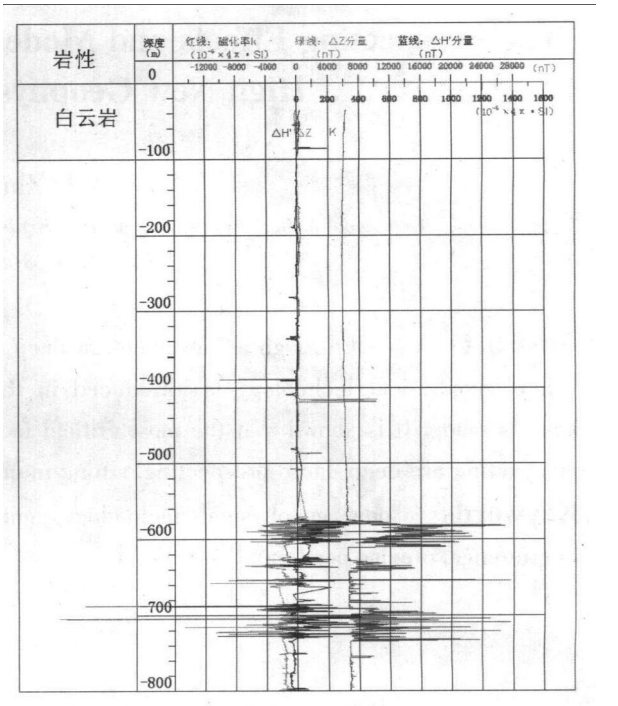


图 11　ZK3 井中三分量测井曲线

Fig.11　The three-component curve of zk3 borehole log

5　矿床地质—地球物理模型

5.1　区域找矿标志

本矿区是国内知名的以富铁矿为主的大型矿集区，还共生或伴生多金属非金属矿产，矿石具低电阻，对于矿化岩石，电阻率相对低阻，各种地层与各种矿化岩石电性差异明显，区内铁矿具强磁性。可建立本区低阻高磁找矿模式。

从物探成果可知，磁测 ΔT 向上延拓 500m 后的零值线，CSAMT 表现为低阻异常、高阻抗相位异常；TEM 表现为有下凹、凹中凸；物探推断这一部位 7 个钻孔见矿情况好，这一部位无疑为本测区深部成矿的最有利部位。

6　结论

危机矿山深部找矿工作是一个系统工程，包括了综合研究、方法技术和工程验证等几个重要环节。深部找矿工作一个重要和必不可少的环节，就是具有“深穿透”能力的方法技术的有效应用，由于新方法技术具有的二维探测功能，能获取深部矿化体信息，从空间圈定矿体轮廓，实现“矿化体”的空间定位。

参考文献：

[1] 伍卓鹤. 瞬变电磁法在矿产勘查中的应用 [J] . 华南地震，2007，27(3)：26-43.

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

The Prospecting Effects and Mode at Crisis Mine Periphery Using High New Geophysical Technology

WU Zhuohe

(Geological & Geophysical Engineering Exploration Institute of Guangdong Province, Guangzhou 510800, China)

Abstract: A breakthrough achievement on deep ore prospecting around crisis mine by means of a new geophysical technology is introduced in this article. The spatialization of mineralization body is made. It is shown that the most critical factors which play an important role for deep ore prospecting are deep–large prospecting, strong interference and precise position.

Keywords: new geophysical technology, mine periphery, deep –large prospectin, strong interference, precise position

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