

doi: 10.11720/wtyht.2016.5.12

王少帅, 邓国武, 汪冰, 等. 高精度磁测与激电测深在航磁异常查证中的应用[J]. 物探与化探, 2016, 40(5): 916-922. <http://doi.org/10.11720/wtyht.2016.5.12>

Wang S S, Deng G W, Wang B, et al. The application of high precision magnetic survey and IP sounding to the aeromagnetic anomaly verification[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2016, 40(5): 916-922. <http://doi.org/10.11720/wtyht.2016.5.12>

高精度磁测与激电测深在航磁异常查证中的应用

王少帅, 邓国武, 汪冰, 牛海威, 马密堂

(核工业航测遥感中心, 河北 石家庄 050002)

摘要: 宝音图地区的地层与岩体具有明显的磁性和电性差异, 为了解该区航磁异常的地质与地球物理特征, 通过1:1万地面高精度磁法测量, 圈定地面磁异常及复核航磁异常的位置, 对磁测数据进行化极、延拓等处理, 获得磁异常的形态、规模、埋深等特征; 选取矿化好的磁异常区段进行激电测深工作, 反演矿(化)体在深部的规模及延伸状况; 而后通过钻探工程揭露, 验证激电反演结果。最后结合地质、激电测深、钻探验证等资料, 用 Oasis Montaj 软件对磁测剖面数据进行2.75D人机联合约束反演, 拟合出矿体的形态特征, 得出异常体的相对深度、宽度和厚度, 为地质找矿提供有利的地球物理依据。

关键词: 高精度磁测; 激电测深; 航磁异常查证; 反演

中图分类号: P631

文献标识码: A

文章编号: 1000-8918(2016)05-0916-07

1:5万航空磁测能够快速查清区域上的整个磁场面貌, 区分磁性差异大的地质体, 并发现大量的磁异常^[1-2]。利用航磁结合区域地质、矿产等资料, 筛选成矿条件好的航磁异常, 采用综合物探方法, 配合地质工作, 从而查明航磁异常成因, 指出找矿有利地段^[3-6], 是地质找矿的方法思路之一。

笔者主要介绍地面高精度磁测和激电测深在内蒙古宝音图地区某航磁异常查证中的工作成果。针对异常先进行地面高精度磁测, 再进行激电测深的反演, 依据反演结果再进行钻探验证, 结合钻探验证成果修正磁测数据的反演拟合结果, 两种物探方法相辅相成, 取得了很好的地质找矿效果^[7-17]。

1 地质概况与地球物理特征

1.1 地质概况

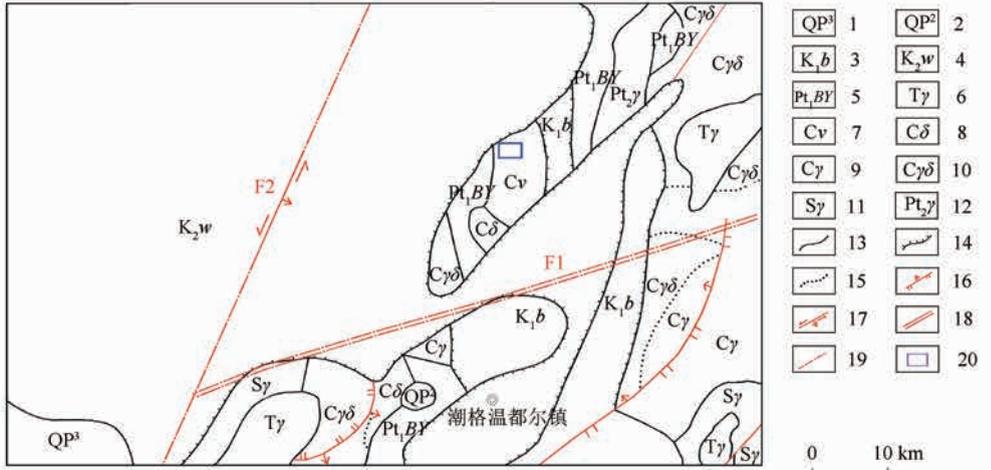
航磁异常位于内蒙古中部地槽褶皱系的宝音图隆起带^[18-19]上(图1), 区域内乌拉特后旗—化德深大断裂(F1)是近东西向的断裂, 也是内蒙地槽与华北地台的分区界线。区域主体构造线以近东西向为主, 发育北东向和近东西向断裂; 出露古元古界宝音图群(Pt₁BY)和白垩系乌兰苏海组(Kw)地层; 侵入

岩发育, 主要为中元古代变质花岗岩、志留纪花岗岩、石炭纪闪长岩和花岗闪长岩以及三叠纪花岗岩。

异常区出露的古元古界宝音图群(Pt₁BY), 岩性为浅黄色大理岩、灰黑色石英岩, 面积约4.5 km²(图2)。异常区西部出露晚石炭世灰白、灰绿色辉长岩, 面积约12 km²。异常区北东向、北西向断裂构造较为发育, 多具复活特征, 多为规模不大的硅化破碎带、岩石碎裂带、硅质脉和岩脉填充等。

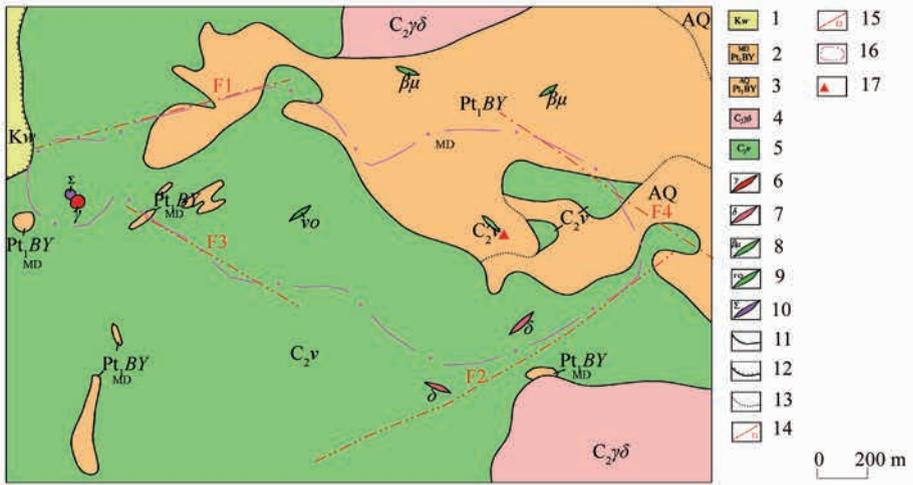
异常区晚石炭世岩浆活动强烈, 可划分为两个侵入期次: 第一次侵入活动以基性岩为主, 岩性灰白、灰绿色辉长岩(C₂v), 辉长岩中浅色矿物为斜长石, 含量约为50%~55%, 暗色矿物含量约为45%~50%, 以辉石为主, 角闪石次之, 多发育绿帘石化、绿泥石化等, 该期岩体内发育有规模较小的辉长苏长岩脉、闪长玢岩脉和辉绿玢岩脉; 第二次侵入活动以中酸性岩为主, 岩性为灰白色黑云花岗闪长岩(C₂δ), 两期岩体中多见宝音图群大理岩、石英岩和片岩的捕虏体。

异常区辉长岩中磁铁矿化发育, 磁铁矿呈灰黑色致密块状, 含量10%~25%, 脉石矿物由黄铁矿、磁黄铁矿、镍黄铁矿、钛铁矿、黄铜矿和透明矿物组



1—上更新统: 乌兰黄土、冲洪积砂砾石; 2—中更新统: 宁城黄土、冲洪积砂砾石; 3—巴音戈壁组: 砂砾岩、砂岩、泥页岩、油页岩; 4—乌兰苏海组: 砂岩、粉砂岩; 5—宝音图群: 石英岩、大理岩、绿泥片岩、石英片岩; 6—三叠纪花岗岩; 7—石炭纪辉长岩; 8—石炭纪闪长岩; 9—石炭纪花岗岩; 10—石炭纪花岗闪长岩; 11—志留纪花岗岩; 12—中元古代花岗岩; 13—整合岩层界线; 14—角度不整合界线; 15—相变界线; 16—逆断层; 17—左行走滑断层; 18—主要复合断层; 19—隐伏或物探推测断层; 20—异常查证区范围

图 1 宝音图地区区域构造



1—乌兰苏海组红色、灰白色粉砂岩、砂砾岩; 2—宝音图群浅黄色大理岩; 3—宝音图群灰黑色石英岩; 4—灰白色黑云花岗岩闪长岩; 5—灰白、灰绿色中粒辉长岩; 6—花岗岩脉; 7—闪长岩脉; 8—辉绿岩脉; 9—辉长苏长岩脉; 10—未分超基性岩脉; 11—地质界线; 12—不整合地质界线; 13—岩性界线; 14—磁测解释断裂及编号; 15—磁与遥感联合解释断裂及编号; 16—地面磁异常范围; 17—航磁异常中心位置

图 2 航磁异常区地质

成,同时伴有较强的硅化,区内磁铁矿化辉长岩是引起磁异常的主要原因,区域化探资料及本次采样分析结果表明,该期岩体中镍、铜及铁族元素含量显著高于其他基性岩类,镍、铜和铁元素的富集现象明显。

1.2 地球物理特征

根据岩(矿)石物性参数统计(表 1),区内磁铁矿化辉长岩磁性最强(强磁性),辉长岩有一定的磁性变化,其他岩石无磁性或磁性微弱;区内磁铁矿化辉长岩具有高极化率和低电阻率的特征,其他岩石均呈现较低极化率与较高电阻率的电性特征。区内
万方数据

磁铁矿化辉长岩与其他岩石的磁性、电性差异较大,从物性特征能很好地进行区分,具备有开展磁法、电法工作的前提^[20-21]。

1.3 航磁异常特征

航磁异常位于内蒙古自治区巴彦淖尔市乌拉特后旗宝音图地区,产于古元古界宝音图群大理岩、石英岩与晚石炭纪辉长岩接触带附近。在区域磁场上,异常区整体处于相对稳定的正磁场背景之中(图 3),该异常全貌近于椭圆状,长轴北西西向展布,长约 2 km,南北宽约 800 m,总面积 1.6 km²,异常中心在东侧,异常强度最高达 220 nT。

表 1 工作区岩(矿)石物性参数统计

| 地层及侵入岩 | 岩矿石名称 | 标本件数 | 磁化率 κ | 剩磁 J_r | 极化率 F_s | 电阻率 ρ_s |
|------------------------------|---------|------|---------------------|----------------------|-----------|-------------------------|
| | | | 10^{-5}SI | 10^{-3}A/m | % | $\Omega \cdot \text{m}$ |
| 古元古界宝音图群(Pt ₁ BY) | 大理岩 | 32 | 1.04 | 49 | 1.3 | 3978 |
| | 石英岩 | 33 | 1.35 | 66 | 1.1 | 4135 |
| 晚石炭纪 | 辉长岩 | 35 | 225 | 159 | 3.2 | 1478 |
| | 磁铁矿化辉长岩 | 38 | 10378 | 15624 | 8.8 | 79 |
| | 黑云花岗闪长岩 | 34 | 176 | 81 | 2.1 | 1943 |

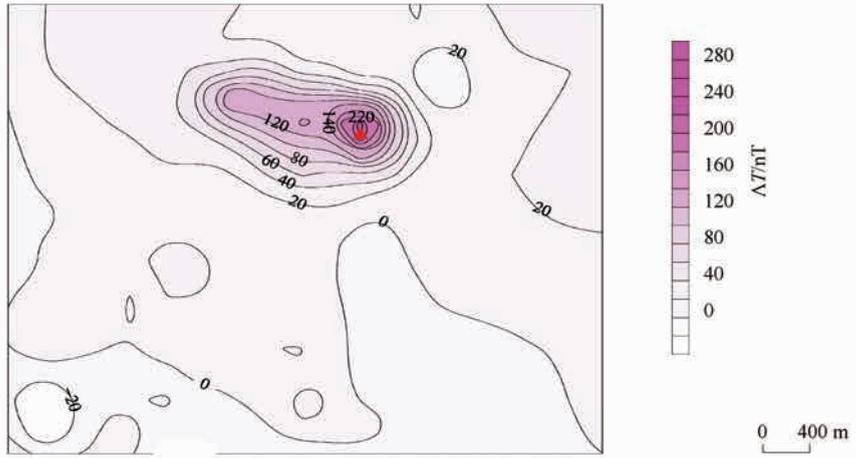


图 3 航磁 ΔT 化极等值线平面

2 数据处理及磁、电异常特征

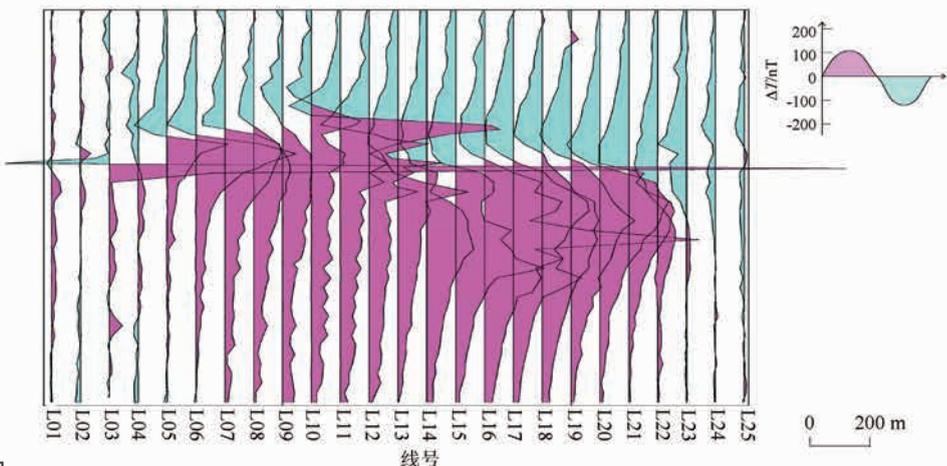
本次采用 GSM-19T 质子磁力仪进行磁测工作,采用加拿大生产的 IPR-12 时间域激电仪和重庆地质仪器厂生产的 DJF15-1 大功率发射机进行激电测深工作(测量装置为对称四极装置)。针对航磁异常区先进行面积性磁测,再优选矿化蚀变发育地段进行 1:2000 的磁法剖面 and 激电测深工作。

2.1 磁测数据处理及磁异常特征

野外实测数据采集方式为规则矩形网,对采集

的数据使用 GEMLink5.3 软件进行日变改正,并使用 Oasis Montaj 软件对数据进行高度改正和正常场改正等处理,最终得到 ΔT 磁异常值,使用 ΔT 磁异常值进行剖面平面图的绘制(图 4)。利用 Oasis Montaj 对 ΔT 磁异常值进行网格化,得到工区的磁测 ΔT 等值线平面图(图 5)。

从图 4 和图 5 可以看出,在平面形态上正异常呈近似椭圆形,东西长约 2.2 km,南北宽约 0.9 km,异常西侧较窄,向东逐渐变宽,异常峰值位于正异常北侧靠近负异常的位置,自西向东形成 5 个异常



万方数据

图 4 地面磁测 ΔT 剖面平面

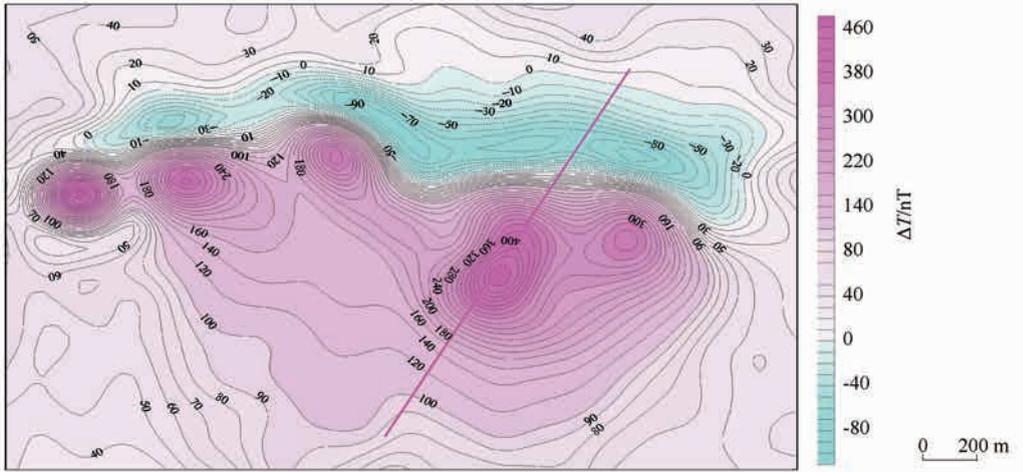


图5 地面磁测 ΔT 等值线平面(紫色线为精测剖面)

峰;该异常的伴生负异常呈东西向条带状,东西长约 2 km,南北宽 150~350 m 不等,异常梯度较大, -100 ~460 nT,异常总体呈东西走向,连续性较好,在 21 条剖面测线均见异常,延长达 2 km,与地质图对比可知,正异常对应于南侧的石炭纪辉长岩,负异常对应于北部的宝音图群大理岩、石英岩。

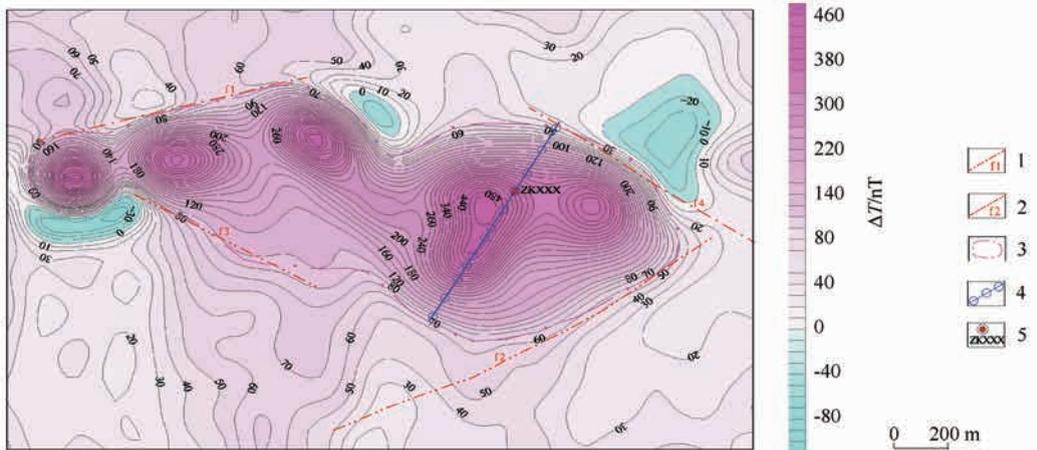
为更好地反映磁异常的形态特征,需要消除斜磁化作用对异常的影响,对磁测 ΔT 数据进行化极处理,形成磁测 ΔT 化极等值线平面(图 6),该异常基本与原航磁异常(图 3)范围相当,异常呈扁葫芦形,东西长约 2 200 m,南北长约 800 m,面积约 1.15 km²,自西向东分布有 5 个异常峰值,峰值分别为 520、460、500、520、440 nT,表现为在正磁异常上叠加的强磁异常,异常梯度变化较大。依据磁测和遥感共解译出 4 条断裂,且与地质填图成果吻合较好,说明地磁资料对断裂构造的判定提供有效的参考。

延拓是磁测数据的一种常用处理方法,主要用于削弱局部干扰异常,反映深部异常。根据本次工

作需要,对 ΔT 化极数据分别进行了高度为 100、200、500 m 的上延计算处理,得到 ΔT 化极上延等值线平面(图 7、图 8、图 9)。

将延拓与延拓处理之前的 ΔT 化极异常(图 6)对比可知,该异常东侧的两个异常峰随上延距离的增大合并为一个异常峰,异常峰形态、规模与延拓前大致相似,梯度变化仍较大,异常峰中心形态较为宽缓,且峰值衰减较慢,说明引起东侧磁异常的磁性体体积较大,且埋深较深;异常西侧 3 个异常峰随上延距离的增大逐渐消失,峰值衰减很快,说明引起西侧磁异常的磁性体体积较小,且埋深较浅。

结合实地调查可知,该异常产于晚石炭纪辉长岩(C₂v)与宝音图群变质石英岩、大理岩(Pt₁BY)的接触部位,总体受北东向、北西向两组断裂控制,产于北东向断裂 F1、F2 与北西向断裂 F3、F4 所夹持的区域。在磁异常最西部的峰值位置发现有灰黑色磁铁矿辉长岩,面积约 4×4 m²,全铁(TFe)含量为 54.94%,磁性铁(mFe)含量为 39.47%,经槽探揭露,



1—磁解译断裂及编号;2—磁与遥感联合解译断裂及编号;3—地面磁异常范围;4—激电测深点位及测深反演断面位置;5—钻孔位置及编号
 万方数据 图6 地面磁测 ΔT 化极及构造解译

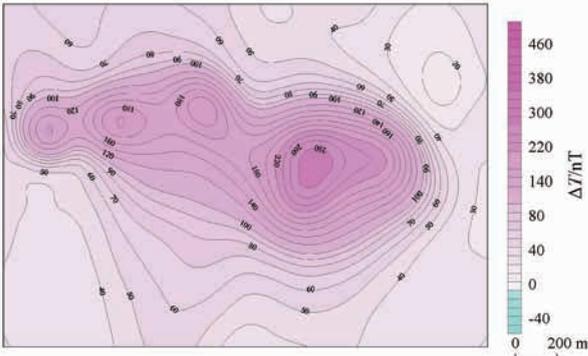


图7 地面磁测 ΔT 化极上延 100 m 等值线平面

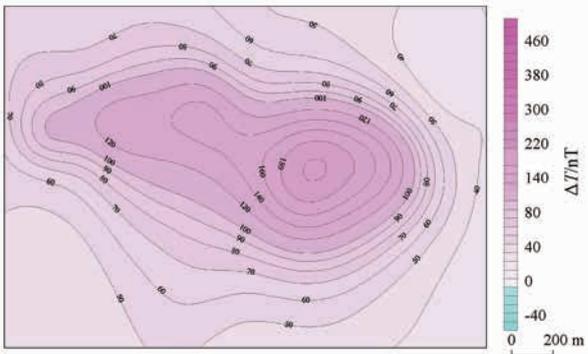


图8 地面磁测 ΔT 化极上延 200 m 等值线平面

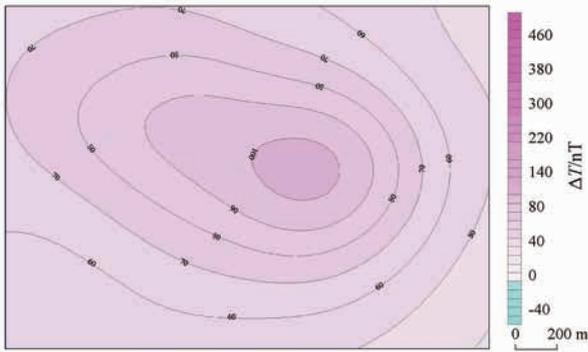


图9 地面磁测 ΔT 化极上延 500 m 等值线平面

发现深部矿化趋于尖灭。沿异常峰值自西向东发现多处磁铁矿化点,向东矿化点逐渐变少,辉长岩体大多被宝音图群地层覆盖。因此推断,该磁异常由磁铁矿辉长岩引起,自西向东磁铁矿辉长岩埋深增加,东侧矿化规模应好于西侧,据此在异常东部峰值部位布设激电测深工作(图6),对异常进一步核查。

2.2 激电测深数据处理及激电异常特征

对激电测深资料先做数据预处理,再使用 Res2divn 软件进行反演,生成二维剖面数据文件,最后使用 surfer 软件绘制视充电率、电阻率拟断面及反演断面(图10、图11)。

激电测深拟断面显示,该激电异常具有中高视

充电率(21~24 mV/V)—中低视电阻率(120~180 $\Omega \cdot m$)特征,异常位于距地表深度大于150 m处,宽约250 m,并向深部延伸。反演测深断面显示,该激电异常具有较高视充电率(25~30 mV/V)—低视电阻率(50~100 $\Omega \cdot m$)特征,异常位于距地表深度大于100 m处,并向深部延伸,受反演深度限制该激电异常继续向下延伸且无减弱趋势。

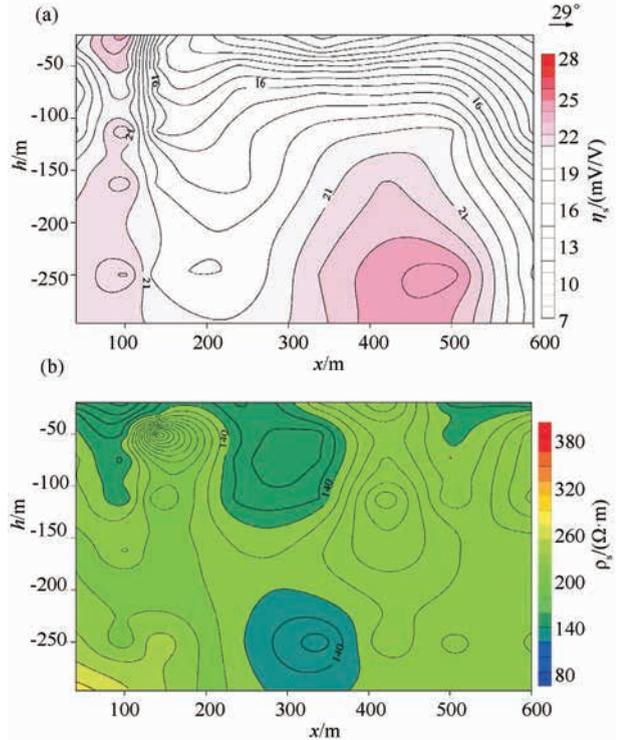


图10 激电测深视充电率(a)、视电阻率拟断面(b)

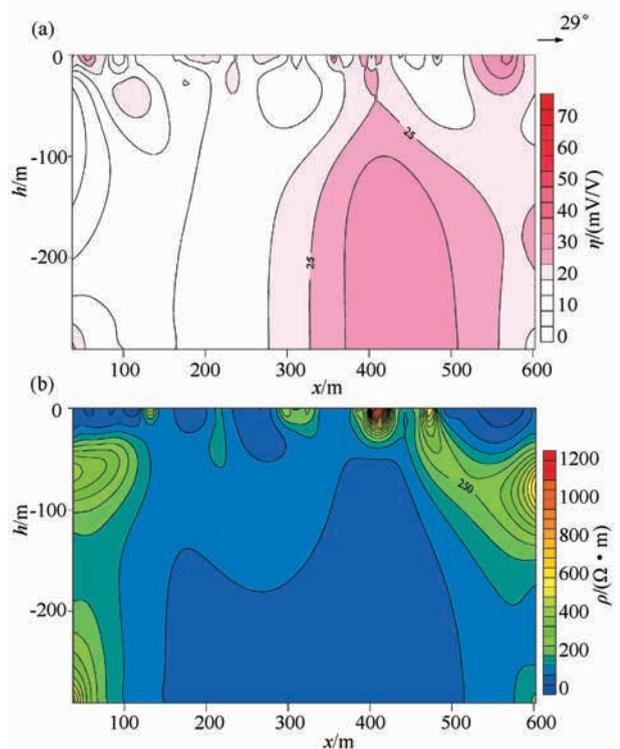


图11 激电测深反演充电率(a)、反演电阻率断面(b)

对比拟断面与反演断面,激电异常特征吻合较好,推测该异常由北西西向展布的厚约 250 m、平均埋深大于 100 m 且向下延深的磁性体引起。

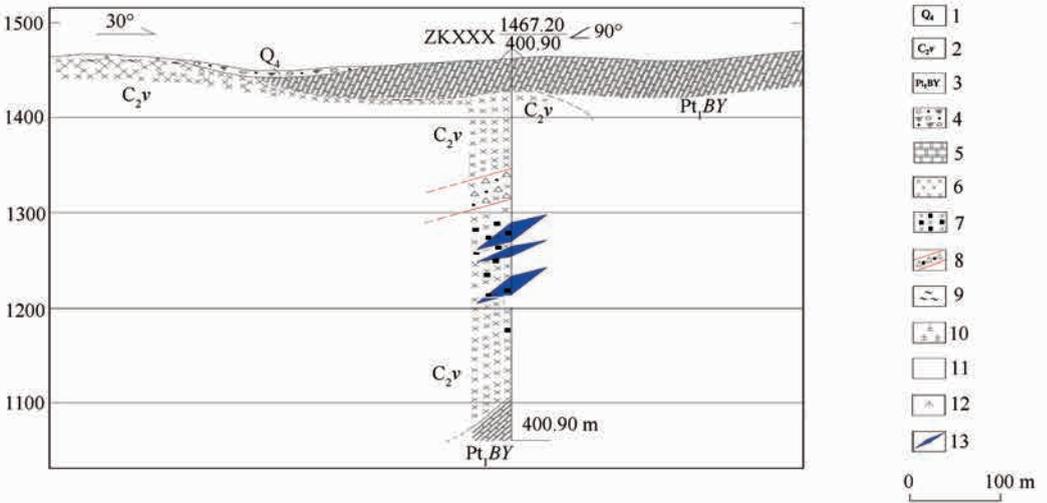
针对激电异常实施钻探揭露证明,钻孔(图 12)在孔深 170.90~255.00 m 的区间范围内发现视厚度 85.0 m 的磁铁矿化,其中有 3 段达到工业品位,累计视厚度约 39.6 m,磁铁矿含量为 25%,同时局部地段伴生有 Co、Ni、Ti 元素异常。

3 2.75D 人机联合反演与定量拟合计算

综合地质、磁测、激电测深及钻探验证等资料,利用 Oasis Montaj 软件的子软件进行 2.75D 人机联

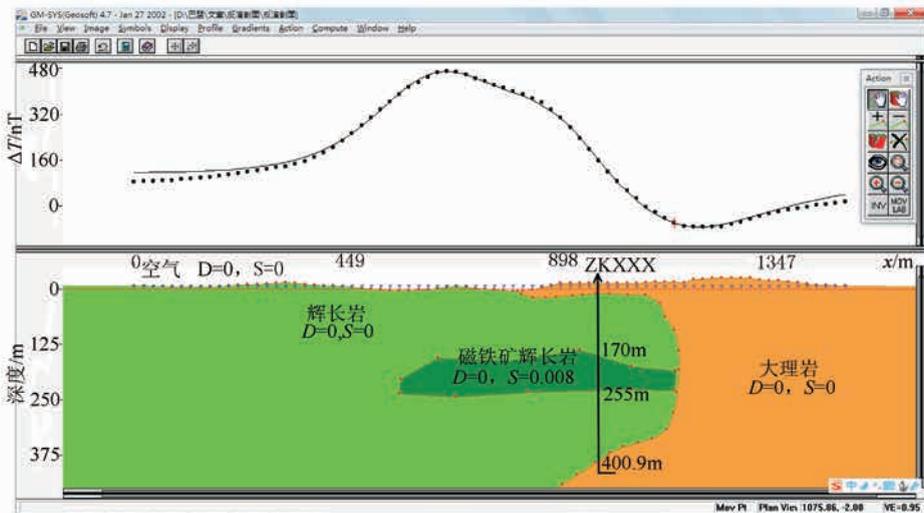
合反演,推测深部地质体展布形态特征,并对 ΔT 磁异常进行定量拟合计算。

本次反演设定磁参数为:磁倾角为 61.50° ,磁偏角为 -3.70° ,总磁场强度 56 268.08 nT,磁化率 $S_{(大理岩)} = 8.27 \times 10^{-6}$, $S_{(辉长岩)} = 1.6 \times 10^{-4}$, $S_{(磁铁矿辉长岩)} = 8.25 \times 10^{-3}$ 。以精测剖面(图 5)测得的数据进行反演,该剖面测线方向为 30° ,磁性体走向与测线方向垂直为 90° ,即磁性体走向为 120° 。曲线拟合程度较好(图 13),证明深部地质体展布形态设计合理,磁性体为近似水平板状体,埋深为 150~260 m,平均厚度约为 100 m,长约 580 m,对应地表位置为精测剖面上 560~1 140 m 处。



1—第四系砂砾土;2—石炭纪中期辉长岩;3—宝音图群大理岩;4—腐殖土、含砾砂土;5—大理岩;6—辉长岩;7—含磁铁矿化辉长岩;8—断层破碎带;9—绿泥石化;10—高岭土化;11—方解石化;12—钻孔位置;13—磁铁矿化体

图 12 钻孔磁铁矿化分布示意



注:黑色圆点—精测剖面实测数据;黑色细线—推断深部地质体引起的磁异常拟合曲线;“D”—密度参数,此处不涉及重力资料,值为 0;“S”—磁化率,高斯单位 CGS= SI/(4π)。

万方数据

图 13 精测剖面反演拟合

4 结论

在航磁异常查证中综合使用高精度磁法和激电测深两种物探方法,找矿效果明显,能够为矿产勘查工作提供快速、准确的依据。

1) 磁测数据经一系列处理,使磁异常的定位与定性解释更可靠;

2) 激电测深方法可以快捷、有效地推断出异常深部的规模、埋深、走向、延伸情况等信息;

3) 利用地质、磁法、激电测深以及钻探验证等资料,对磁测剖面数据进行约束反演,反演效果及精度很高,同时减少了异常的多解性。反演结果深部磁性体特征进行较为准确的量化。

致谢:在文章撰写过程中,核工业航测遥感中心的全旭东研高给予了悉心的指导与帮助,在此表示衷心地感谢!

参考文献:

- [1] 谷懿,葛良全,熊盛青,等.航磁异常地面快速查证方法组合研究[J].地球物理学进展,2013,28(4):2009-2013.
- [2] 熊盛青.我国航空物探现状与展望[J].中国地质,2009(9):18-22.
- [3] 朱炼,李才明,姚晓峰,等.航磁对南冈底斯东段大型斑岩型矿床的预测[J].物探与化探,2013,37(1):53-58.
- [4] 周道卿,周坚鑫,范正国,等.航磁调查在中高山地区找矿快速突破中的应用[J].物探与化探,2013,37(3):443-448.
- [5] 张鹏,王大勇,支海妮.航磁调查中追踪隐伏磁性体的方法[J].物探与化探,2014,38(1):1-9.

- [6] 张亚东,龚红蕾,刘俊长,等.依据航磁异常寻找中关铁矿的效果[J].物探与化探,2014,38(4):629-634.
- [7] 李富,刘鑫明,廖国忠,等.地面高精度磁测和电磁测深在矿产调查中的应用[J].地球物理学进展,2013,28(1):427-433.
- [8] 贾东力,余常华.高精度磁测在某磁铁矿勘探中的应用[J].工程地球物理学报,2013,10(5):700-705.
- [9] 胡丰产,蔺佳斌,赵诚亮,等.地磁2.5D剖面反演在西藏某磁铁矿区的应用解释[J].工程地球物理学报,2012,9(1):58-63.
- [10] 刘召军,郑振云,郑民,等.磁电综合方法在青海南戈壁滩多金属矿勘查中的应用[J].黄金科学技术,2013,21(5):40-45.
- [11] 李忠平.应用综合物探方法探测新疆萨尔苏克外围及深部金铜矿床[J].物探与化探,2014,38(3):417-422.
- [12] 刘建利,李西周,张泉.重、磁、电联合反演在银额盆地定量解释中的应用[J].物探与化探,2013,37(5):853-858.
- [13] 王志宏,全旭东,王利民,等.综合物探测量在桃山地区铀矿勘查中的应用[J].物探与化探,2014,38(1):35-40.
- [14] 周常委,黄立勇,孙昌一.综合物化探在浙西北某矿区多金属矿勘查中的应用[J].物探与化探,2015,39(4):749-755.
- [15] 金旺林,杨庆华,殷亚飞.物探组合方法在找矿中的应用[J].工程地球物理学报,2014,11(2):250-253.
- [16] 刘方,张晓帆,陈川.综合物探方法在新疆某铜矿区中的应用探讨[J].新疆地质,2013,31(1):113-116.
- [17] 刘波,乔宝成,李海东.综合物化探方法在哈拉河铅锌矿区勘查中的应用[J].物探与化探,2014,38(2):261-267.
- [18] 李文国.内蒙古自治区岩石地层[M].武汉:中国地质大学出版社,1996.
- [19] 邓国武,王少帅,马密堂,等.内蒙古自治区巴彦淖尔市蒙C-2009-0200等航磁异常查证[R].核工业航测遥感中心,2013.
- [20] 管志宁.地磁场与磁力勘探[M].北京:地质出版社,2009.
- [21] 李金铭.地电场与电法勘探[M].北京:地质出版社,2007.

The application of high precision magnetic survey and IP sounding to the aeromagnetic anomaly verification

WANG Shao-Shuai, DENG Guo-Wu, WANG Bing, NIU Hai-Wei, MA Mi-Tang

(Airborne Survey and Remote Sensing Center of Nuclear Industry, Shijiazhuang 050002, China)

Abstract: The strata and rock masses in Baoyintu area show obvious magnetic and electrical differences. In order to understand geological and geophysical characteristics of the aeromagnetic anomaly, the authors delineated the areas of ground magnetic anomaly and composite aeromagnetic anomaly by 1:10 000 precision ground magnetic survey. The aeromagnetic data processed with methods of reduction to the pole and upward continuation could obtain the magnetic anomaly features such as shape, size and buried depth. The IP sounding could be used to invert the size and extension of the deep orebody or mineralization in the area where there were obvious mineralization characteristics. Then drilling engineering could validate the result of the IP sounding. Finally, combined with the information of geology, IP sounding and drill verification, the authors used Oasis Montaj software to perform human-machine joint constrained inversion for 2.75D magnetic profile data, fitted out the morphological characteristics, and drew relative depth, width and thickness of the anomaly body, thus providing reliable geophysical basis for ore prospecting.

Key words: high precision magnetic survey; IP sounding; aeromagnetic anomaly verification; inversion

作者简介:王少帅(1985-),男,工程师,2009年毕业于成都理工大学,获工学学士学位,现从事物探、矿产勘查工作。
万方数据