

# 综合物探在会东航磁异常查证中的应用

周 军<sup>1</sup> 王绪本<sup>1</sup> 杨代彬<sup>2</sup> 王闻文<sup>3</sup>

(1. 成都理工大学地球探测与信息技术教育部重点实验室, 四川 成都 610059; 2. 四川省地矿局物探队, 四川 成都 610000; 3. 劳雷(北京)仪器有限公司, 北京 100020)

**摘要:**根据会东航磁异常的基本特征,判断其异常为深部多个磁性体的综合反映。采用地面高精度磁测和音频大地电磁测深法,并结合区域重力勘探资料对异常区开展了综合物探调查。通过对区域重力、高精度磁法资料和音频大地电磁测深数据开展综合解释,初步确定了异常体在深部的空间展布特征,为在该区实施进一步的勘查工作提供了重要找矿线索。

**关键词:**航磁异常;综合物探;音频大地电磁测深;磁法勘探;区域重力勘探

**中图分类号:**P631 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2013)04-1290-08

## 1 引言

会东航磁异常位于四川省会东县以南,处于攀西裂谷带上。该异常于 1967 年经航磁调查发现,其走向为北东-南西向,梯度值达-100~300 nT,被推测为含铁矿磁性地质体的反映<sup>[1,2]</sup>。由于其埋藏深度较大(大于 1000 m),未能得到物探及钻探资料的验证,引起该异常的地质体在深部的空间展布特征一直未能查明。

为了调查航磁异常区基本构造形态,并初步了解该区引起航磁异常的地质体在地下的展布特征,在航磁异常区布置了地面高精度磁测和音频大地电磁测深剖面。以期能为寻找深部找矿远景区,开展进一步的勘探工作提供物探依据。

## 2 地质及地球物理特征

### 2.1 测区地质概况

测区主要地层包括中生代、古生代和古元古代地层。区域内中生代红层分布的范围较大,包括三叠纪、侏罗纪和白垩纪地层。古生代和古元古代地层则主要分布在航磁异常中部。古生代地层至古元古代

主要地层及岩性如表 1 所示。

测区处在南岭纬向构造和川滇径向构造的交错复合部位,属古通安弧形构造的北东翼的延续部位,区域内褶皱和断裂发育。褶皱以轴向北东、向南西倾没的踩马水背斜为主体,构成本区地层总的构造线为北东-南西向。背斜轴部由前震旦系变质岩系、震旦系灯影组组成,两翼依次为古生代和中生代地层。区内主要发育两组断裂,一组为北东向断裂,其中规模最大的踩马水断裂倾向北西,倾角 60~80°,北西盘向上的推覆,并伴有北东-南西向的平移作用,使前震旦系和震旦系地层与侏罗、白垩系地层为断层

表 1 测区古生代至古元古代主要地层、岩性  
Table 1 Stratigraphy and lithology of Paleozoic to Paleoproterozoic

地层	岩性
寒武系中统西王庙组	粉砂岩
寒武系中统大漕河组	白云质灰岩
寒武系下统	砂岩、灰岩及白云岩
震旦系上统灯影组	白云岩
震旦系上统观音岩组	白云岩
前震旦系地层	变安山岩、变玄武岩及变凝灰岩

接触;另一组为北北东向断裂,以长新断裂为代表,位于测区中部,断面主要倾向西,南北延长 10 km 以上。

目前,在工区范围内已知矿点包括铅锌矿、褐铁矿和赤铁矿。其中,铅锌矿位于那部落,产于震旦系灯影组顶部硅质条带白云岩中,受构造裂隙控制;褐铁矿矿点在炭山,位于灯影组顶部硅质条带白云岩中,呈细脉囊状、浸染状产出;古风化壳赤铁矿分布在变质岩的侵蚀面上。特别指出,这种矿床类型在会理、会东地区具有较普遍的找矿远景,也是会东航磁异常区最具价值的找矿线索。

2.2 测区地球物理特征

测区范围内存在着中生界、古生界、元古宙三个不同的主要的密度分层。总体而言,元古宙地层具有密度较高的特点。值得注意的是,在元古宙地层中凝灰岩、变玄武岩等铁质相对富集,较其他的变质岩、变火山岩有 0.1 g/cm<sup>3</sup> 的密度差异。测区内主要岩(矿)石密度统计如表 2 所示。

航磁异常区所出露的白垩系、侏罗系、寒武系、震旦系为无磁性盖层。前震旦系变质火山岩中的部分变安山岩、变玄武岩、变凝灰岩具有一定的磁性,且有一定的规模。测区岩(矿)石磁性统计如表 3 所示。

测区内中生代、古生代以及元古宙地层中的岩石主要为砂岩、粉砂岩、石英砂岩、白云岩及变质岩系(主要为变安山岩、变玄武岩)。其中砂岩、粉砂岩主要分布于白垩纪、侏罗纪地层,石英砂岩则分布于三叠纪地层中,白云岩主要分布于寒武纪、震旦纪地层,变质岩系则主要分布于前震旦纪地层中。本次工作采用标本架法来测量岩(矿)石标本的电阻率,其电性参数见表 4。总体而言,白垩纪、侏罗纪地层呈

表 2 测区岩(矿)石密度统计  
Table 2 Rock (ore) density statistics

岩石名称	块数	密度变化范围	平均密度
		/(g·cm <sup>-3</sup> )	
砂岩(白垩系、侏罗系)	700	2.29~2.67	2.50
砂岩(寒武系、震旦系)	99	2.57~2.68	2.63
灰岩	116	2.43~2.67	2.54
玄武岩	76	2.77~2.92	2.84
白云岩	300	2.49~2.87	2.68
粉砂岩	50	2.18~2.38	2.25
变安山岩、变玄武岩	261	2.69~2.98	2.83
凝灰质变玄武岩	76	2.84~3.05	2.95

低阻反映;三叠纪地层总体呈中高阻反映;寒武纪地层的上部与下部分别呈低阻和中高阻反映;元古宙变质岩则由于是否处于蚀变带(矿化)的差异分为高阻与低阻两类。

分析测区地质及地球物理条件可知,矿床赋存于前震旦纪的变质岩体的侵蚀面上,其空间展布特性为埋深较大,其物性特征为较高密度、高磁性和低电阻率。因此,在航磁异常区的深部寻找具有高磁性、高密度和低电阻率等特性的地质体是本区成矿远景调查的重要线索。

3 物探工作布置及处理技术

3.1 方法选择及工作布置

根据工区地质概况及物性差异,为查明异常区主要岩(矿)石,尤其是古生界地层的空间分布规律,选择音频大地电磁测深法与地面磁法勘探,并结合区域重力资料,以期能在物探资料解释工作中,使

表 3 测区岩(矿)石磁性统计

Table 3 Rock (ore) magnetic statistics

岩石名称	块数	磁化率	剩余磁化强度
		/(10 <sup>-6</sup> CGSM)	/(10 <sup>-6</sup> CGSM)
砂、页岩	829		≤100
白云岩	300	≤100	≤100
铁质角砾白云岩	28	530	1040
页岩、灰岩	50	≤100	≤100
变安山、变玄武岩	316	4200	840
凝灰质变玄武岩	118	12000	20000

表 4 测区岩(矿)石电阻率统计

Table 4 Rock (ore) resistivity statistics

岩(矿)石	块数	电阻率/Ω·m
砂、页岩	17	361.3
粉砂岩	22	86.3
白云岩	16	8237.0
石英砂岩	33	2541.3
变质岩(蚀变带)	14	864.6
变质岩	23	≥10000

之互为参考和约束,最终提高物探解释的准确性。

由于仪器轻便,野外工作简捷,物性前提统一,并且效果较为明显,地面高精度磁测成为航磁异常地面查证工作中不可或缺的一种物探手段。音频大地电磁测深法(AMT)以地壳中围岩与目标岩石的导电性差异为其主要的地球物理前提,并利用电磁波的频率特性来达到测深的目的。在AMT工作中,由于集肤效应的影响,高频大地电磁信号只反映浅部电性介质的分布特征,而低频电磁波则能穿透浅部介质,反映深部电性介质的空间展布状态。AMT方法中的解释参数包括视电阻率、阻抗相位、二维偏离度、各向异性参数等。相对于传统的直流电法而言,AMT具有不受地表高阻层影响、勘探深度大、测深效率高、解释参数丰富等特点<sup>[3-8]</sup>。

基于以上物探方法的特点,垂直航磁异常的走向,由南东至北西方向布置了综合物探剖面(图2),剖面全长7.4 km,方位角338°。其中,高精度磁法测点按照点距40 m开展野外施工;AMT工作则依照磁异常梯度区划为600 nT以上、400~600 nT、200~400 nT三个范围,分别以点距50 m、100 m和200 m进行野外施工。

### 3.2 数据处理

在地面高精度磁测资料处理过程中,首先对实测磁异常数据( $\Delta T$ )进行化极处理,以消除斜磁化的影响;对化极后的数据进行向上解析延拓,突出深部区域背景异常;最后采用人机联作的方法进行反演计算。

在AMT资料处理中,采用MTSoft-2D软件包进行数据处理和反演解释。首先利用曲线形态分析、张量阻抗分析、极化模式识别与调整、曲线编辑平滑等处理功能对原始资料进行预处理。然后,对数据进行空间滤波和静态校正,消除视电阻率曲线的静态畸变。反演解释时采取多方法、多参数的综合分析手段,以期能使解释结果更精确可靠。其中反演方法主要采用了一维Bostick变换、一维Occam反演、二维NLCG反演等多种方法,反演数据包括TE、TM模式下的视电阻率和阻抗相位。

## 4 物探成果解释

### 4.1 区域重力资料分析

对比会东地区航磁调查与区域重力调查成果(图1和图3),会东航磁异常与该区内的局部重力

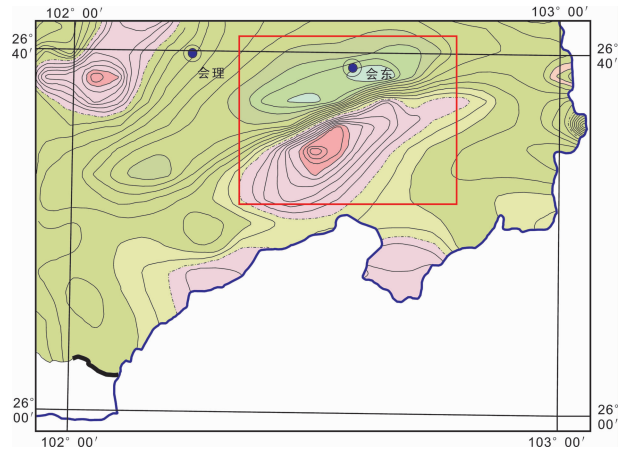


图1 会东地区航磁异常图

Fig.1 Aeromagnetic anomaly map of Huidong area

异常关系紧密。该航磁异常位于两个低缓的局部重力高异常之间,其重力异常幅值为 $-230 \times 10^{-5} \sim -218 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$ 。由此可以定性推断航磁异常区的深部有相对较高密度的物质存在。

### 4.2 地面高精度磁测成果分析

该剖面上的局部磁异常(测线5 km至5.5 km之间)位于无磁性或弱磁性的震旦系上统的灯影组上段,岩性为浅灰色硅质条带白云岩。该异常宽度近400 m,幅值近500 nT。上延80 m后局部磁异常大幅衰减,上延200 m、500 m时异常已不存在(图4)。分析认为,该局部磁异常为浅部褐铁矿体(化)引起,并非本次工作的主要研究对象。

地面磁测成果的主磁异常表现特征为:低值、宽缓、巨大。与磁测剖面相对应的地表主要出露无磁性的三叠系、侏罗系、白垩系、寒武系和震旦系,其岩性为石英砂岩、粉砂岩、白云岩、砂岩等。将磁测剖面上延80 m后,主磁异常基本无衰减。上延200 m后其衰减也非常小。上延500 m后,磁异常衰减幅度约为100 nT。由此推断该主磁异常是由埋藏深度较大、规模较大且磁性较强的变质火山岩引起。

在上述认识的基础上,对地面磁测资料进行了人机联作反演(图5)。该反演结果表明,M114磁异常由位于深部的M1、M2和M3三处地质体引起,其中心分别位于剖面1 km、2.9 km以及4.2 km处。其中位于剖面2.9 km处的异常体相对埋藏较浅,其顶界面埋深约为1.5 km左右。其两侧的异常体埋深相对较大。



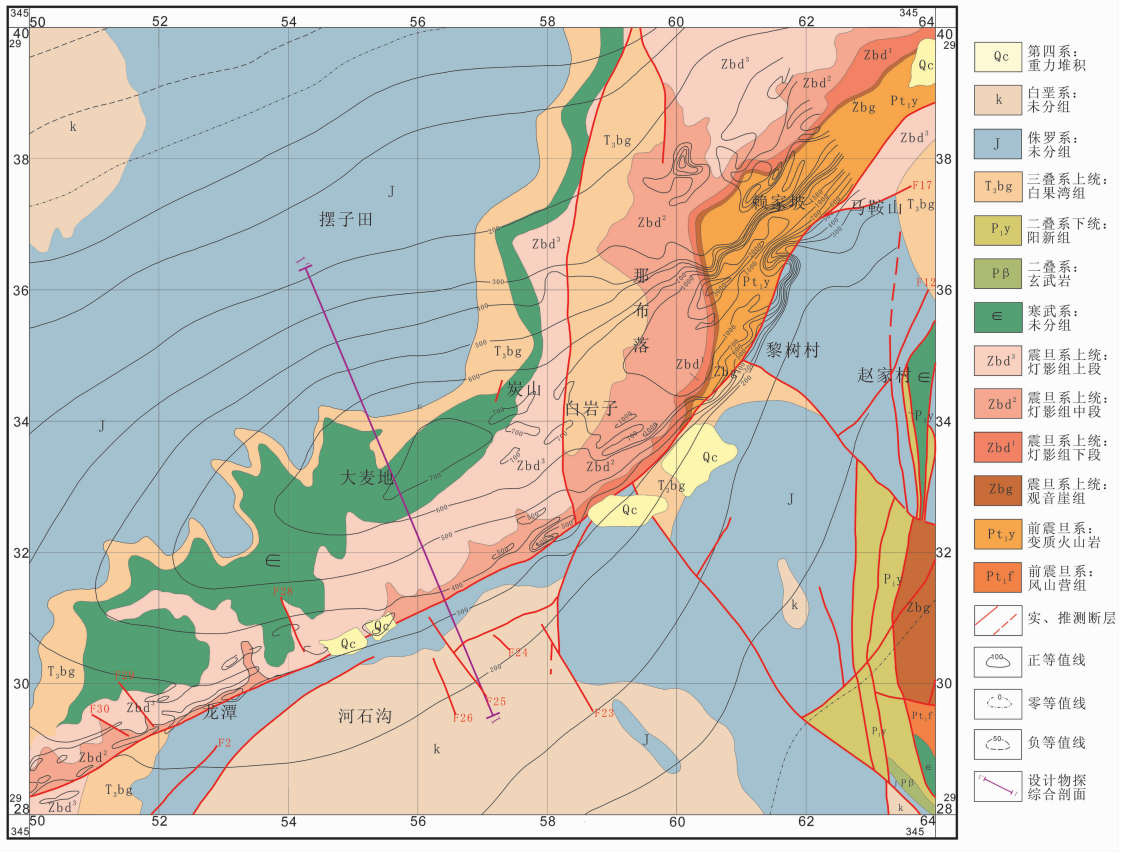


图 2 会东航磁异常综合物探剖面实际材料图

Fig.2 Integrated geophysical layout of Huidong aeromagnetic anomaly area

### 4.3 音频大地电磁测深成果分析

测线从北往南跨越踩马水背斜、踩马水断裂及两条同走向次级断裂,依次穿过的地层为侏罗系、三叠系、寒武系、震旦系、侏罗系、白垩系。综合地质资料以及本次音频大地电磁测深的结果,初步划分了部分地层分界线及断层位置,并初步推断了区内主要地质体在深部的延展趋势。

根据区内主要地层的岩性与电性差异,结合地质资料,大致划分了区内的主要地层。从岩性上来分析,侏罗系主要为砂岩、粉砂岩,三叠系主要为石英砂岩和粉砂岩,白垩系主要为砂岩,寒武系主要为粉砂岩、白云岩,震旦系主要为白云岩。寒武系下统、震旦系、前震旦系均呈高阻反映,主要分布于测线中部,以上地层构成踩马水背斜轴部。三叠系因主要含石英砂岩和粉砂岩,在电阻率反演剖面中表现为中高阻反映,该地层分布于背斜南端,在背斜北端该地层缺失。侏罗系与白垩系位于背斜两翼,均呈低阻反映,两者之间电性差异小,因而无明显分界显示。其中 F1 断裂的

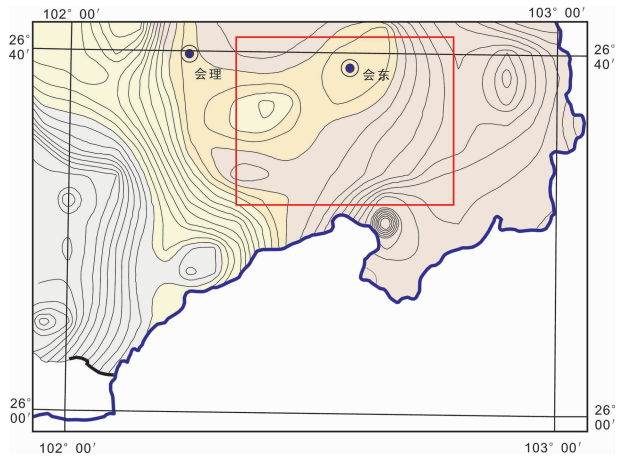


图 3 会东地区重力布格异常图

Fig.3 Bouguer gravity anomaly map of Huidong area

地表出露位置为 5.48 km 处,与为 M114 航磁异常区的主要发育的踩马水断裂吻合程度很高,其在近地表断面倾向较陡,倾角 60~80°,往深部倾角逐渐变缓。

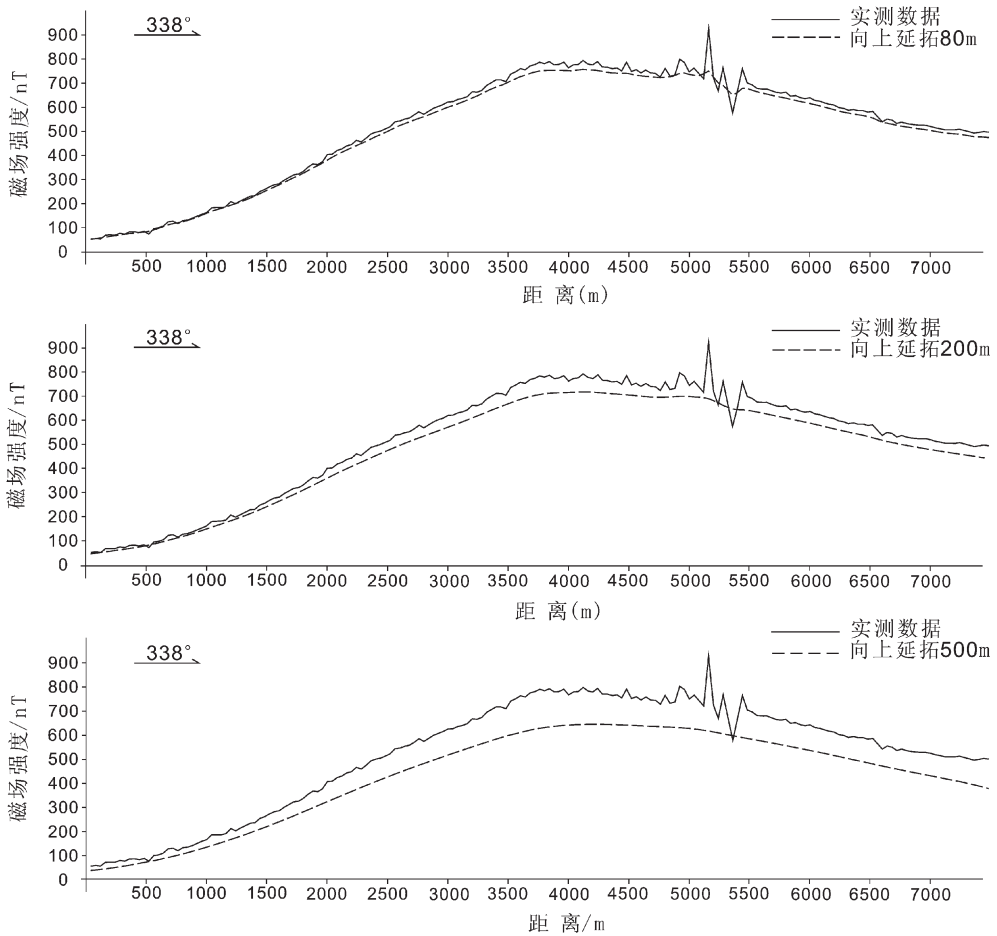


图4 磁异常向上延拓结果

Fig.4 Results of magnetic anomaly upward continuation

F2、F3 在地表的出露位置分别位于 6.2 km、7 km 处，与地表地质调查情况基本吻合。

通过对 AMT 电阻率反演结果的分析，对 R1、R2 和 R3 三处低阻异常的性质进行了推测。R1 低电阻率异常位于寒武系与三叠系之间，该异常规模较大，可能为寒武系中统粉砂岩的反映，并可能伴随隐伏断裂。R2 异常自剖面小号点附近起，向北东方向延伸到剖面 4.5 km 处，其中心位于剖面 2.6 km 处，顶面深度大约 1.6 km。结合高精度磁测结果，分析认为 R2 低阻异常与磁测异常关系较为密切，同时也是今后更进一步工作需要密切关注的区块。R3 低阻异常位于剖面 5 km 处，该异常深度、规模均比较小，可能与磁测结果中 5 km 处的局部异常有关。

#### 4.4 物探资料综合解释

对区域重力勘探定性分析可知，在航磁异常区深部有大规模高密度物质存在。磁测结果中的 M1、M2 和 M3 在空间上位置接近，音频大地电磁测深

成果中的 R2 异常分布范围较大，应该为以上三处异常的综合反映。综合分析地面磁法资料和 AMT 测量成果，分析认为，会东航磁异常应为三处高磁化、低电阻的地质体引起。

综合物探分析成果表明，在航磁异常区，地下深部存在三处较大规模的高磁化、低电阻率异常体，且此类异常与该区域内的前震旦系变质岩的空间分布有直接的关系。综合物探调查证明了航磁异常区具有较好的找矿远景，同时也为进一步开展深部找矿提供了重要线索。

## 5 结论

会东航磁异常区属于缺乏相关详细地质及物探资料的“盲区”。采用综合物探的手段，可以充分利用该区成矿远景目标体所具有的各种地球物理特性，结合多种方法的特点和优势，使之互为佐证，从而提高物探资料解释的可靠性。

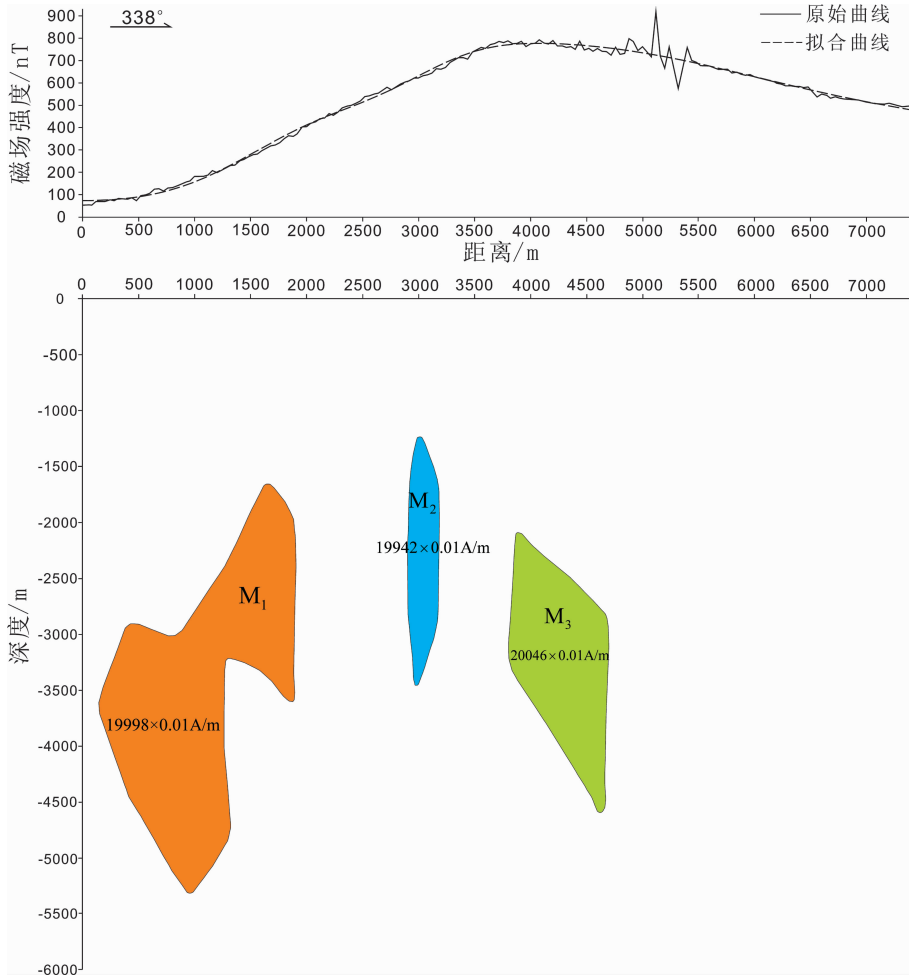


图 5 磁异常反演成果图(地磁偏角:  $-1.52^\circ$ , 地磁倾角:  $40.13^\circ$ )

Fig.5 Magnetic anomaly inversion result

(Geomagnetic declination:  $-1.52^\circ$ , geomagnetic inclination:  $40.13^\circ$ )

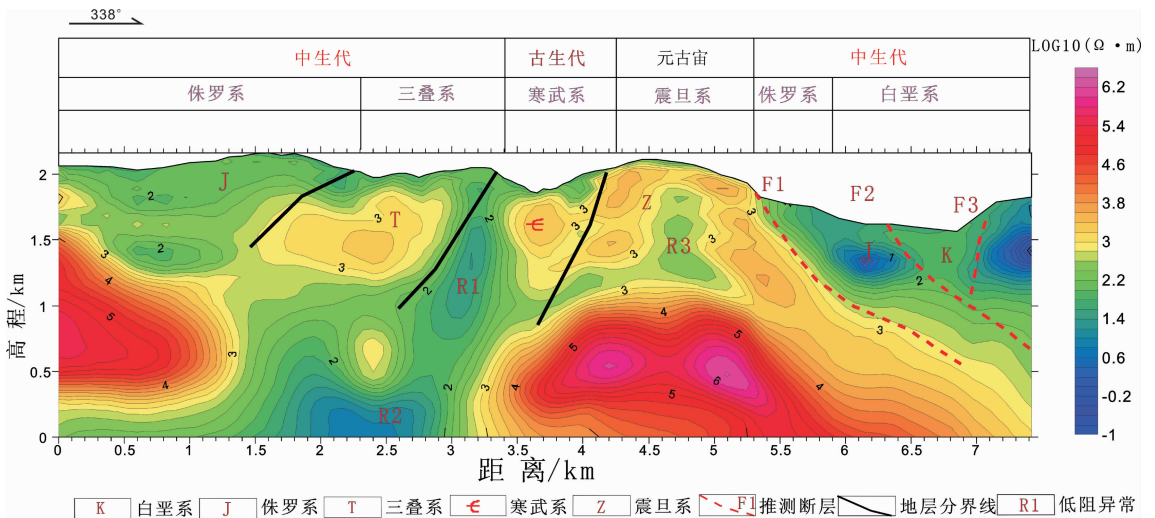


图 6 音频大地电磁测深综合解释图

Fig.6 Inversion and interpretation profile of audio-magnetotelluric data

通过对区域重力资料的定性分析,初步确定了航磁异常区的深部存在大规模高密度物质。利用地面磁测,通过对磁法资料进行延拓分析和反演,证明该区磁异常来源于深部,并且是由多个地质体引起。AMT勘探成果较好地反映了该区地层和构造的基本分布特征,同时也清晰地指示了“异常体”(前震旦系变质岩)在深部的展布特征。综合重力、磁法和 AMT 测量的特点和优势,圈定了该区域的部分找矿远景目标,为进一步详勘工作提供了重要的找矿线索。

未来的成矿远景勘查,其性质将趋于深部、复杂构造条件下的盲矿勘查,勘探难度较大。因此,选择合适的物探手段,充分利用不同物探方法的特点和优势,对提高物探工作的效果具有十分积极意义。

### 参考文献(References):

- [1] 王哲孟,郝春荣,王守元,等. 川南滇北地区航空磁测结果报告[R]. 北京:地矿部航空物探大队九〇二队,1967.  
Wang Zhemeng, Hao Chunrong, Wang Shouyuan, et al. Aeromagnetic Survey Report of Southern Sichuan and northern Yunnan Area [R]. Airborne Geophysical 902 Team of Geology and Mineral Resources Department, China, 1967 (in Chinese).
- [2] 张柏青,向子述,魏蜀强. 四川省地质局物探大队. 成都:四川会东 M114 航磁异常地面物(化)探工作报告[R]. 1978.  
Zhang Boqing, Xiang Zishu, Wei Shuqiang. Geophysical and Geochemical Report of M114 Aeromagnetic Anomaly in Huidong Area, Sichuan[R]. Geological Exploring Team of Sichuan Bureau of Geology, China. 1978 (in Chinese).
- [3] 陈乐寿,刘任,王天生. 大地电磁测深资料处理与解释[M]. 北京:石油工业出版社,1989.  
Chen Leshou, Liu Ren, Wang Tiansheng. Processing and Interpretation of Magnetotelluric Aounding Data [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1989 (in Chinese).
- [4] 管志宁. 地磁场与磁力勘探[M]. 北京:地质出版社,2005.  
Guan Zhining. Geomagnetic Field and Magnetic Exploration [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2005 (in Chinese).
- [5] 王家映. 关于大地电磁的静校正问题[J]. 地质科技情报, 1992, 11 (1):69-76.  
Wang Jiaying. Problem about static correction in magnetotellurics[J]. Geological Science and Technology Information, 1992, 11 (1):69-76 (in Chinese with English abstract).
- [6] 王绪本,李永年,高永才. 大地电磁测深二维地形影响及其校正方法研究[J]. 物探化探计算技术, 1999, 24(4):327-332.  
Wang Xuben, Li Yongnian, Gao Yongcai. Two dimensional topographic responses in magnetotelluric sounding and it's correction method[J]. Techniques for Geophysical and Geochemical Exploration, 2012, 36 (1):137-143 (in Chinese with English abstract).
- [7] Rodi W, Mackie R L. Nonlinear conjugate gradients algorithm for 2-D magnetotelluric inversion [J]. Geophysics, 2001, 66 (1):174-187.
- [8] 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 Jiayong, Teng Jiwen, Lv Qingtian. Geophysical exploration and application of deep metallic ore resources[J]. Progress in Geophysics, 2008, 23(3):871-891(in Chinese with English abstract).
- [9] 陈永清,夏庆霖,黄静宁,等. “证据权”法在西南“三江”南段矿产资源评价中的应用[J]. 中国地质, 2007, 34(1):132-141.  
Chen Yongqing, Xia Qinglin, Huang Jingning, et al. Application of the weights-of-evidence method in mineral resource assessments in the southern segment of the "Sanjiang metallogenic zone", southwestern China [J]. Geology in China, 2007, 34 (1):132-141 (in Chinese with English abstract).
- [10] 张成江,刘家铎,刘显凡,等. 攀西地区金属成矿系统[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2009, 36(4):387-394.  
Zhang Chengjiang, Liu Jiaduo, Liu Xianfan, et al. Metallization systems in the Panzhihua-Xichang area of Sichuan, China [J]. Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition), 2009, 36 (4):387-394 (in Chinese with English abstract).
- [11] 张岳桥,董树文,李建华,等. 中生代多向挤压构造作用与四川盆地的形成和改造[J]. 中国地质, 2011, 38(2):233-250.  
Zhang Yueqiao, Dong Shuwen, Li Jianhua, et al. Mesozoic multi-directional compressional tectonics and formation-reformation of Sichuan basin [J]. Geology in China, 2011, 38 (2):233-250 (in Chinese with English abstract).
- [12] 何碧竹,焦存礼,蔡志慧,等. 塔里木盆地中部航磁异常带新解译[J]. 中国地质, 2011, 38(4):961-969.  
He Bizhu, Jiao Cunli, Cai Zhihui, et al. A new interpretation of the high aeromagnetic anomaly zone in central Tarim Basin [J]. Geology in China, 2011, 38(4):961-969(in Chinese with English abstract).

## The application of integrated geophysical methods to aeromagnetic anomaly inspection of Huidong area

ZHOU Jun<sup>1</sup>, WANG Xu-ben<sup>1</sup>, YANG Dai-bin<sup>2</sup>, WANG Wen-wen<sup>3</sup>

(1. Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China; 2. Geophysical Exploration Party, SBGMED, Chengdu 610072, Sichuan, China; 3. Laurel (Beijing) Instruments Co., Ltd., Beijing 100020, China)

**Abstract:** According to the characteristics of the aeromagnetic anomaly in Huidong area, the authors have reached the conclusion that the aeromagnetic anomalies are caused by magnetic bodies in the depth. The integrated geophysical methods, which included ground precision-magnetic survey and audio magnetotelluric sounding (AMT), were used to inspect the aeromagnetic anomaly. Through combining the advantages of different geophysical methods, the authors improved the reliability of the geophysical interpretation. Using integrated interpretation of the data from gravity, magnetic survey and AMT, the authors initially identified the distribution characteristics of the anomaly body in the depth. The integrated geophysical results provide an ore-prospecting clue for the further exploration in this area.

**Key words:** aeromagnetic anomaly; integrated geophysical survey; audio magnetotelluric survey; magnetic exploration; regional gravity exploration

---

**About the first author:** ZHOU Jun, male, born in 1981, doctor candidate, majors in solid geophysics; E-mail: zj397@163.com.