

doi:10.6053/j.issn.1001-1412.2021.01.010

# 地磁参数在航磁岩性填图中的应用

——以青阳—芜湖地区为例

要悦稳,董根旺,杨柳,田达志,习肖伟,王牧,刘媛媛

(中国冶金地质总局地球物理勘查院,河北 保定 071051)

**摘要:** 安徽青阳—芜湖地区是长江中下游成矿带重要地区之一。为进一步寻找新的矿产地,2017年在该区进行了1:5万航空磁法测量。在岩性填图工作中,开展了系统的岩(矿)石的磁化率调查,经分类统计实测资料,总结区内地层、侵入岩等各类岩(矿)石的磁性特征。结果表明:沉积岩一般呈弱磁性或无磁性;火山岩不发育,仅在白垩系、奥陶系个别地层有凝灰岩出露,有一定磁性;侵入岩不同岩性间磁化率具有一定的差异,可引起强度不同的正异常。不同岩性间磁化率差异为航磁岩性填图提供了依据。将实测磁化率应用于航磁岩性填图,圈定了姚村、麻姑山(推测隐伏)、桥头埠(推测隐伏)等岩体。该研究结果为该地区进一步找矿提供了参考信息。

**关键词:** 航磁;岩性填图;磁化率;磁性特征;安徽省

中图分类号: P631.222 文献标识码: A

## 0 引言

各类岩(矿)石的磁性差异是磁法勘探应用的前提,也是成果解释的物理基础。磁化率是反映岩石磁性参数最直接的指标,包含有丰富的地球物理和地质信息<sup>[1-3]</sup>。因此,了解区域岩(矿)石的磁化率特征,不同岩(矿)石的磁化率差异及其空间分布特征,对航磁异常资料的地质解释、岩性构造填图等生产实践具有重要的作用<sup>[4-8]</sup>。

本文基于中国地质调查局地质调查工作项目(编号:DD2016006645)开展了“安徽青阳—芜湖地区1:5万航空物探调查”工作,对青阳—芜湖地区出露的不同年代、不同岩性、不同构造单元的岩石进行了系统全面的测定,得出了青阳—芜湖地区出露岩石的磁化率特征,可为该区后续的航磁异常解释、岩浆岩填图提供重要的依据,也为找矿远景的划分提供重要的基础资料。

## 1 区域地质概况

青阳—芜湖地区位于下扬子陆块的东南部,江

南元古代造山带的北东端,夹持于江南断裂带和伏川蛇绿杂岩带之间。自元古代以来,经历了多期构造活动,地质构造复杂,构造线方向主要有NE向、NNE向、EW向、NW向,其中NE向构造为主体构造。

全区地层出露较为齐全,有新元古界南华系、震旦系,古生界寒武系、奥陶系、志留系、泥盆系、石炭系、二叠系,中生界三叠系、侏罗系、白垩系以及新生界古近系、新近系、第四系。其中,志留系出露面积较大,主要分布在测区中部及西部;其次为白垩系,主要分布在测区北部和东南部。

区内岩浆岩出露面积较大,测区西南部和东部主要表现为侵入活动,形成岩基或大型岩株(如:旌德岩体、刘村岩体),喷出岩出露极为零星。侵入岩主要形成于晚侏罗世、早白垩世两个阶段。晚侏罗世侵入岩出露面积较大,主要分布在测区南部地区,岩性为花岗闪长岩。早白垩世侵入岩主要分布在测区东北和东部地区,岩性为二长花岗岩、钾长花岗岩。

区内矿产有铁、铁锰、钨、钼、锡、铜、铅锌、金、银等多种矿产,已知矿点、矿化点较多,大中型矿床较少。钨钼矿以矽卡岩型矿床为主,代表矿床有竹溪

收稿日期: 2020-09-22; 改回日期: 2021-01-12; 责任编辑: 赵庆

基金项目: 中国地质调查局地质调查工作项目“安徽青阳—芜湖地区1:5万航空物探调查”(编号:DD2016006645)资助。

作者简介: 要悦稳(1987—),女,工程师,硕士,从事航空物探综合研究工作。通信地址:河北省保定市竞秀区阳光北大街139号,中国冶金地质总局地球物理勘查院;邮政编码:071051;E-mail:243363455@qq.com

岭钨钼矿床、大坞尖钨矿床；其次为斑岩型，代表矿床有兰花岭钨钼矿床、湛岭钼矿床等。钨锡矿以高-中温热液脉型为主，代表矿床有西坞口钨锡矿床。铅锌矿以中-低温热液交代、裂隙充填型为主，代表矿床有子孙堂铅锌矿点、大里铅锌银矿点。铁锰矿以沉积成因为主，代表矿床有高坑铁锰矿、花果岭铁锰矿、横曹岭铁锰矿等。

## 2 磁参数测量与采集

岩(矿)石磁参数测定分原位测量和标本测量。野外原位测量使用 KT-10 手持磁化率仪测定岩(矿)石磁化率值( $\kappa$ )，磁参数测量定位使用手持 GPS 定位，每个测点采用多点多次读数，尽可能对出露的不同年代、不同岩性、不同构造单元的岩(矿)石进行系统、全面的测量。

岩性类别确定主要依据最新 1:25 万区域地质调查<sup>[9-10]</sup>，对区内地层和岩浆岩进行归类，确定物性采集单元，对于地层以系或相同岩性为单元；岩浆岩以纪为时间单元，对每个时期的岩性进行磁化率值的采集。在重点航磁局部异常位置或主要地质体加大采集密度。

## 3 岩(矿)石磁化率特征

本次开展了实地磁性参数测量工作，测量点较为均匀地分布在测区各处(图 1)。野外实测磁参数共计 152 处，获得有效磁化率数据 4561 个。同时，搜集了以往测区不同时期、不同单位开展地质工作时(多为矿区普查)所获得的岩(矿)石磁性参数。

根据野外磁化率实测结果，可将区内岩(矿)石划分为 5 个磁性级别：①强磁性， $\kappa > 2000 \times 10^{-5}$  SI；②较强磁性， $\kappa = 1000 \times 10^{-5}$  SI ~  $2000 \times 10^{-5}$  SI；③中等磁性， $\kappa = 500 \times 10^{-5}$  SI ~  $1000 \times 10^{-5}$  SI；④弱磁性， $\kappa = 100 \times 10^{-5}$  SI ~  $500 \times 10^{-5}$  SI；⑤无磁性， $\kappa < 100 \times 10^{-5}$  SI。

表 1—表 3 为研究区岩(矿)石野外实测磁化率分类统计结果，分别列出了地层、侵入岩、矿石的磁化率值分布范围。各类岩(矿)石磁化率特征分述如下。

### (1) 地层磁化率特征

研究区沉积岩十分发育，从新元古代到新生代均有出露。区内广泛出露的各年代砂岩、泥岩、灰岩等，通常磁化率在  $40 \times 10^{-5}$  SI 以下，表现基本无磁性，不会引起有规模的磁异常。仅震旦系蓝田组、南华系南沱组，岩性为(岩屑)砂岩、砂质泥岩，磁化率最高为  $3570 \times 10^{-5}$  SI，分布地区可引起一定强度的正异常(表 1)。凝灰岩类等火山碎屑岩磁化率较高，实测凝灰岩最高达  $2138 \times 10^{-5}$  SI，但出露面积很小，可引起局部跳跃变化正异常。

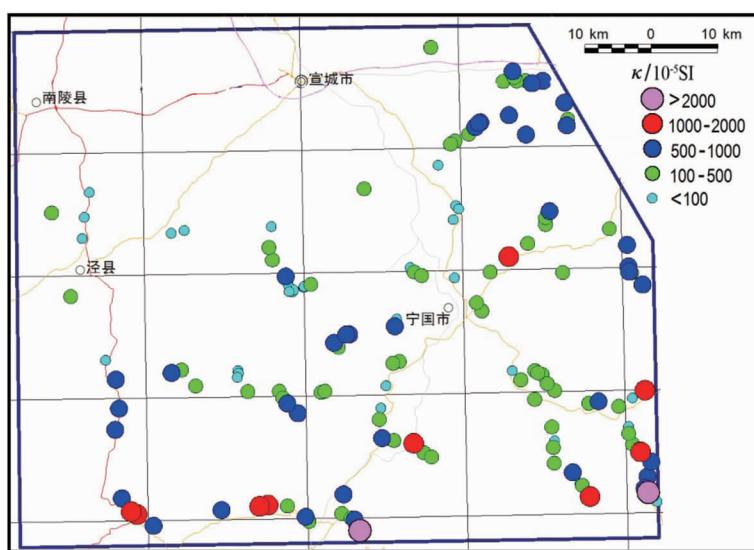


图 1 青阳-芜湖地区实测岩(矿)石磁化率分布图

Fig. 1 Map showing the measured magnetic susceptibility distribution in Qingyang-Wuhu area

表1 青阳—芜湖地区地层岩石磁性参数统计

Table 1 Statistics of the magnetic parameters of rocks in strata in Qingyang-Wuhu area

地层	岩石名称	采样组数	$\kappa$ 最小值	$\kappa$ 最大值	$\kappa$ 常见值
白垩系	含砾砂岩、细砂岩、粉砂岩	2	9	23	14~15
三叠系	灰岩	5	1	9	3~7
二叠系	粉砂岩、石英砂岩、页岩 生物碎屑灰岩、微晶灰岩	6 3	3 1	78 9	4~59 4~5
石炭系	石英砂岩	4	1	13	3~8
泥盆系	石英砂岩	7	1	33	3~24
志留系	岩屑砂岩、细砂岩、粉砂岩	41	1	221	3~45
	泥质粉砂岩、岩屑砂岩、石英砂岩	4	3	27	9~22
奥陶系	粉砂岩、泥岩、凝灰岩 钙质页岩,夹微晶灰岩	2 11	13 10	2138 46	21~833 18~31
寒武系	结晶灰岩	19	2	13	5~21
震旦系	皮园村组硅质岩 蓝田组细砂岩	2 3	1 3	33 3570	4~23 10~769
南华系	南沱组砂质泥岩、岩屑砂岩 休宁组石英砂岩	4 6	5 1	2450 86	10~1083 11~22

量单位: $\kappa/10^{-5}$ SI。

表2 安徽青阳—芜湖地区侵入岩磁性参数统计

Table 2 Statistics of the magnetic parameters of intrusive rocks in Qingyang-Wuhu area

年代	代号	岩石名称	样点数	$\kappa$ 最小值	$\kappa$ 最大值	$\kappa$ 常见值
白垩纪	$K_1 \xi \gamma^F$	浅肉红色细粒钾长花岗岩	2	9	125	35
	$K_1 \pi \xi \gamma^X$	肉红-浅肉红色似斑状钾长花岗岩	4	4	502	15~177
	$K_1 \xi \gamma^Y$	肉红-浅肉红色中-粗粒钾长花岗岩	1	66	627	336
	$K_1 \xi \gamma^J$	浅灰-浅肉红色中细-粗中粒钾长花岗岩(含斑)	5	8	322	17~78
	$K_1 \pi \eta \gamma^L$	浅灰带肉红色中细-粗中粒似斑状二长花岗岩	3	4	502	15~177
侏罗纪	$J_3 K_1 \eta \gamma^{SH}$	灰-浅灰色中-粗中粒二长花岗岩	4	28	2411	65~1657
	$J_3 \gamma \delta \pi^T$	灰-浅灰色斑状花岗闪长岩	5	3	6420	9~2072
	$J_3 \gamma \delta^Q / J_3 \gamma \delta^M$	灰-浅灰色中细-中粒花岗闪长岩	9	7	2670	13~1646

量单位: $\kappa/10^{-5}$ SI。

表3 安徽青阳—芜湖地区岩矿石磁性参数

Table 3 Statistics of the magnetic parameters of rocks and ores in Qingyang-Wuhu area

岩矿石名称	块数	$\kappa$ 变化范围	$\kappa$ 平均值	Jr 变化范围	Jr 平均值	资料来源
矽卡岩铜矿	35	无-微磁				1966年省局物探队,麻姑山矿区岩石磁性参数表
含铜磁铁矿	2	428~12852	6640	12800~24900	17900	
磁黄铁矿化灰岩	3	3427~4611	4057	16000~23200	19000	1967年省局物探队,桥头埠航磁异常区岩石磁性参数表
磁黄铁矿化薄层灰岩	12	797~2394	1384	103~5800	1945	
磁黄铁矿化闪长岩	10	3187~20349	7011	11300~69500	24420	1971年省局322地质队,西坞口地区岩石磁性参数表
磁黄铁矿化云英岩	10	4460~1961	12159	9680~69500	27770	
含磁黄铁矿页岩	3	138~192	167	304~767	415	1981年省局322地质队,大里异常区岩石磁性参数表
含磁黄铁矿碳质页岩	2	573~1086	885	886~932	909	
含磁黄铁矿硅质页岩	6	175~1396	384	304~2638	1242	1983年省局332地质队,皖南东部地区岩石磁性参数表
含磁黄铁矿矽卡岩	3	1965~12486	6300	25540~26000	2000	

量单位: $\kappa/10^{-5}$ SI,Jr/ $10^{-3}$ A/m。

## (2)侵入岩磁化率特征

区内岩浆岩多期次侵入,岩性主要为钾长花岗岩、花岗闪长岩及二长花岗岩,以南部泾县—旌德地区侏罗纪侵入岩展布最为广泛。区内花岗岩的磁性强弱呈现了明显的侵入期次特征“早期强、晚期弱”,早期侏罗纪的侵入岩具有中等磁性,晚期白垩纪的侵入岩普遍为弱磁性。如侏罗纪二长花岗岩磁化率

常见值高达 $1600 \times 10^{-5}$ SI,而到了白垩纪时常见值则不足 $200 \times 10^{-5}$ SI(表2)。侏罗纪花岗闪长岩具有较强磁性,磁化率最大值为 $6420 \times 10^{-5}$ SI,能引起强度达上千纳特的航磁异常,其磁性比花岗岩类强,也符合中酸性岩的磁性比酸性岩磁性强的这一普遍规律。

侏罗纪侵入岩的磁性明显强于白垩纪侵入岩,

其引起的航磁异常强度明显大于白垩纪侵入岩,白垩纪花岗岩类引起的航磁异常较宽缓,侏罗纪花岗岩引起的航磁异常强度较大。

### (3) 矿石及蚀变围岩磁化率特征

根据收集的前人对本区矿石、含矿围岩的参数资料,各类矿石磁性特征如下:磁铁矿磁化率变化范围是 $428 \times 10^{-5}$  SI~ $2852 \times 10^{-5}$  SI,磁性较强,剩磁也较强。磁黄铁矿闪长岩磁化率变化范围是 $3187 \times 10^{-5}$  SI~ $20349 \times 10^{-5}$  SI,具有较强磁性。含磁黄铁矿矽卡岩磁化率变化范围是 $1965 \times 10^{-5}$  SI~ $12486 \times 10^{-5}$  SI,磁黄铁矿化灰岩磁化率变化范围是 $797 \times 10^{-5}$  SI~ $4611 \times 10^{-5}$  SI,含磁黄铁矿页岩磁化率变化范围是 $138 \times 10^{-5}$  SI~ $1369 \times 10^{-5}$  SI,呈弱磁性。铜矿呈无磁或弱磁性(表3)。

## 4 侵入岩圈定

不同地质体的岩石组成、矿物组成、结构构造等方面存在差异,而这种差异在磁场上往往会产生不同程度的反映<sup>[11-14]</sup>。依据各类岩(矿)石实测磁化率统计结果,根据航磁异常分布特征对研究区可以达到岩性地质填图之目的。通过区内实测磁化率特征分析可以看出,沉积岩地层表现基本无磁性,而区内侵入岩均有一定磁性,不同岩性间磁化率具有一定的差异,可以有效利用磁性参数建立解释标志,结合航磁特征综合分析对区内各类侵入岩进行圈定划分,并推断出部分隐伏岩体。

### (1) 姚村岩体(M8)、麻姑山(推测隐伏)岩体(M7)

姚村岩体地表有出露,岩性主要为钾长花岗岩,实测物性资料显示其与围岩有明显磁性差异(围岩基本无磁性)。从航磁 $\Delta T$  阴影图(图2a)上看,姚村岩体附近显示为大型NE向条带状正负伴生异常,化极后正异常北移,与岩体边界套合较好,负异常不明显,结合剩余异常和垂向一阶导数阴影图看,正异常南北两侧梯度大,西侧沿走向在地表出露岩体之外仍有一定强度异常,但梯度较小,表明姚村岩体南北两侧边界倾角较大,近乎直立,而西侧沿走向缓倾伏在志留系及中生界地层之下。据此认为姚村岩体向SW方向隐伏状延伸。

麻姑山岩体(M7)地表无出露,是本次航磁测量推断的隐伏岩体,航磁 $\Delta T$  阴影图(图2a)上显示为大规模正异常,利用各类航磁转换图件准确推断该区域志留系沉积岩盖层下隐伏有一规模较大的侵入

岩体。

截取该区域的航磁数据进行了Euler 3D场源位置反演(图3),从反演结果看,反演的场源位置很好地勾勒出了两个大岩体的三维形态。姚村岩体(M8)地表有出露,反演的场源位置集中在岩体南北两侧边界,且东西两侧深度差别较大,东侧等效场源深度范围0~1000 m,西侧等效场源深度范围为400~2200 m,表明岩体沿走向向南西西倾伏。而麻姑山岩体(M7)处的等效场源深度400~2200 m,表明其向下有很大延伸。

### (2) 港口湾岩体(M37)、桥头埠(推测隐伏)岩体(M39)

港口湾岩体地表有数处小岩株零星出露,岩性为花岗闪长岩,根据实测物性资料,具有较强磁性,与围岩有明显磁性差异(围岩基本无磁性)。

从航磁 $\Delta T$  阴影图(图4a)上看,港口湾岩株分布区磁异常显示为近南北向排列的一大一小2个不规则团块状正异常,呈NW向分布,化极后异常中心NE偏移,结合剩余异常和垂向一阶导数阴影图,异常SW侧梯度较大,NE侧梯度较小,该岩体SW侧侵入面近乎直立,而NE侧缓倾伏在志留系地层之下。据此,推断深部为较大岩体。

桥头埠地表无岩体出露,航磁 $\Delta T$  阴影图上显示为NE向条带状正异常,北侧有形态杂乱的NE向弱异常。根据区域地质资料,该异常走向和位置与桥头埠背斜一致,推断为隐伏岩体侵入桥头埠背斜核部。

## 5 结语

(1) 区内沉积岩地层表现基本无磁性,侵入岩均有一定的磁性。磁化率最高的且分布面积最大的侵入岩为侏罗纪花岗闪长岩和二长花岗岩,同期同岩性的侵入岩磁性较为稳定,不同期同岩性侵入岩,磁化率大体呈现“早期强、晚期弱”的特点。沉积岩地层基本无磁性,航磁反映为平稳背景场。凝灰岩等火山质岩石磁化率较高,但出露面积小,可引起局部跳跃变化正异常。

(2) 依据各类岩石实测磁化率差异,结合航磁特征综合分析,圈定划分了姚村岩体、麻姑山(推测隐伏)岩体、港口湾岩体、桥头埠(推测隐伏)岩体。

(3) 由于区内的矿产与侵入岩息息相关,推测的隐伏岩体范围为找矿部位提供了新的靶区。麻姑山

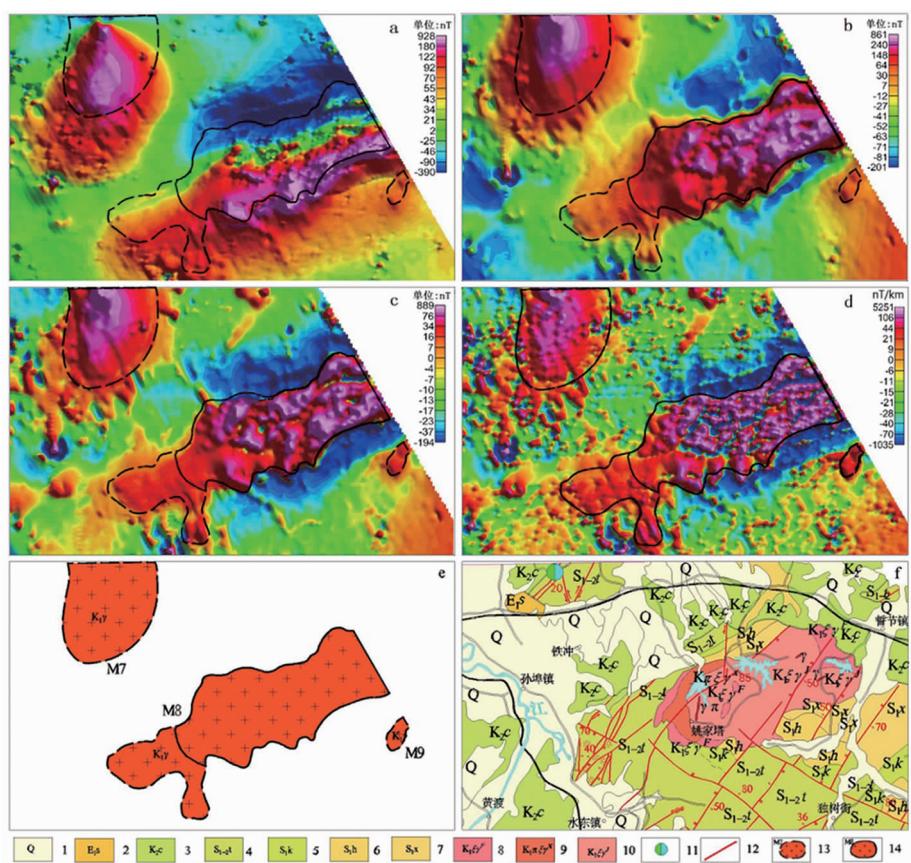


图2 麻姑山岩体(M7)、姚村山岩体(M8)推断解释图

Fig. 2 Inferred interpretation of the Magushan (M7) and Yaocun rock mass (M8)

a. 航磁 $\Delta T$ 阴影图;b. 航磁 $\Delta T$ 化极阴影图;c. 航磁 $\Delta T$ 化极剩余异常阴影图;d. 航磁 $\Delta T$ 化极垂向一阶导数阴影图;e. 航磁推断岩体填图;f. 区域地质图

1.第四系;2.古近系双塔寺组;3.白垩系上统赤山组;4.志留系中下统唐家坞组;

5.志留系下统康山组;6.志留系下统河沥溪组;7.志留系下统霞乡组;

8.早白垩世侵入岩饭蒸尖单元;9.早白垩世侵入岩小昌溪单元;10.早白垩世侵入岩荆勘岭单元;

11.铜钼矿;12.断裂;13.航磁推断岩体边界及编号;14.地表出露岩体边界

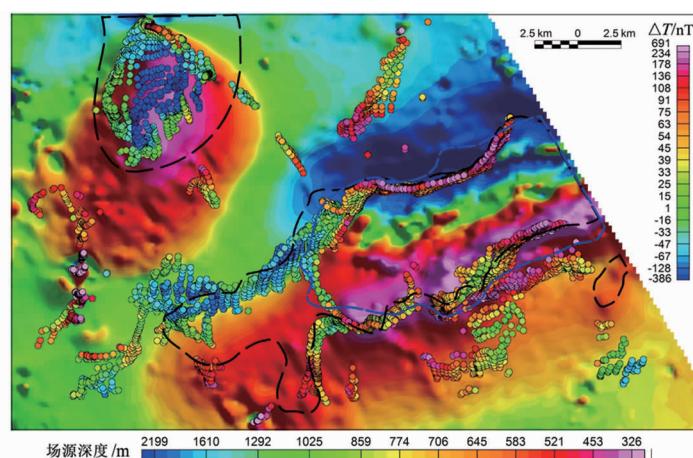


图3 麻姑山岩体、姚村岩体 Euler 3D 场源位置反演平面图

Fig. 3 Inversion plan of Euler 3D source location for Magushan and Yaocun rock body  
(场源平面位置以圆点标示,场源深度以不同颜色渐变标示,底图为航磁 $\Delta T$ 影像图)

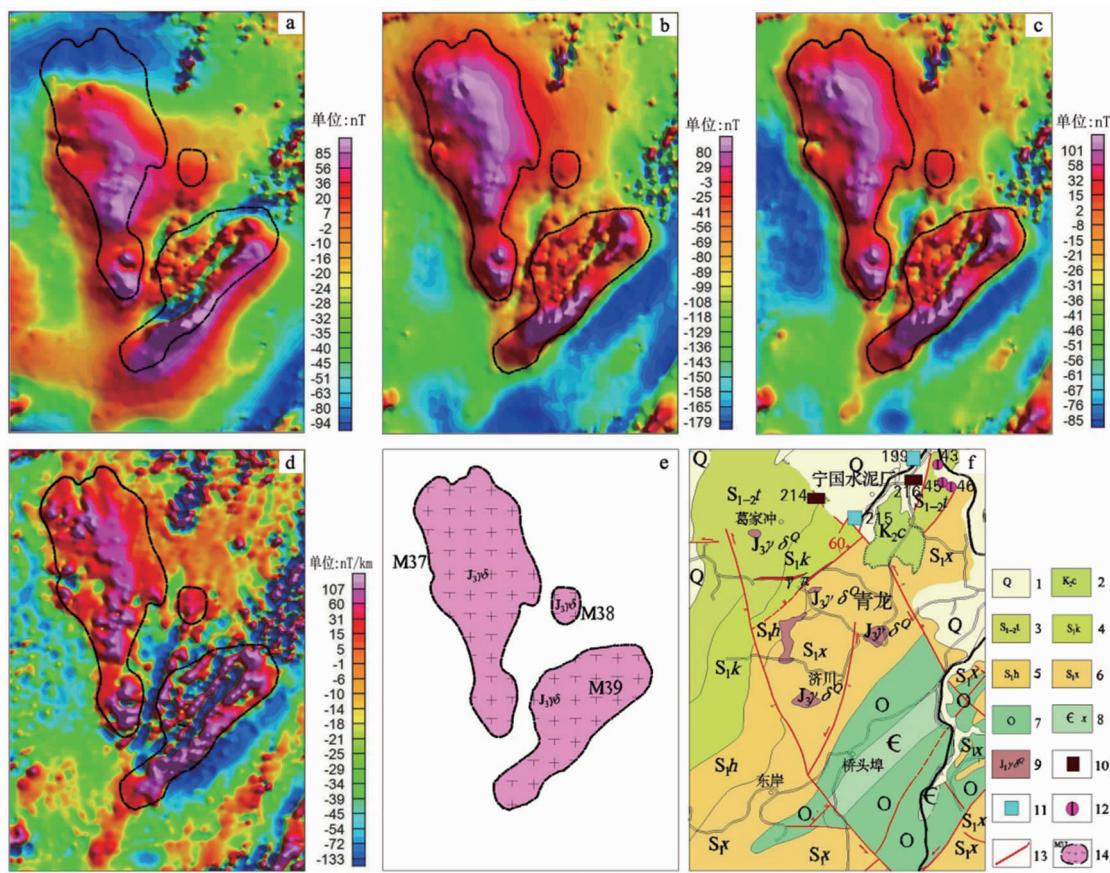


图4 港口湾岩体(M37)、桥头埠岩体(M39)推断解释图

Fig. 4 The interpretation map inferred from the Gangkouwan (M37) and Qiaotoubu rock body (M39)

- a. 航磁 $\Delta T$ 阴影图;
- b. 航磁 $\Delta T$ 化极阴影图;
- c. 航磁 $\Delta T$ 化极剩余异常阴影图;
- d. 航磁 $\Delta T$ 化极垂向一阶导数阴影图;
- e. 航磁推断岩体填图;
- f. 区域地质图

1. 第四系;
2. 白垩系下统中分村组;
3. 志留系中下统唐家坞组;
4. 志留系下统康山组;
5. 志留系下统河沥溪组;
6. 志留系下统霞乡组;
7. 奥陶系;
8. 寒武系西阳山组;
9. 晚侏罗世侵入岩乔亭单元中细、中粒花岗闪长岩;
10. 煤;
11. 石灰岩;
12. 铀;
13. 断裂;
14. 航磁推断岩体边界及编号

岩体为航磁推断隐伏岩体,与麻姑山铜钼矿有密切联系,建议在周边寻找与麻姑山铜钼矿床成矿模式类似的矽卡岩型矿床。桥头埠岩体为隐伏岩体侵入桥头埠背斜核部,是热液型铅锌、钨钼等多金属成矿有利部位,建议在岩体及周边进行地面工作。

**致谢:**衷心感谢审稿专家提出的修改意见和编辑部的大力支持。

#### 参考文献:

- [1] 邓宇涛,方维萱,柳玉龙,等.磁化率参数在地层中的特征及应用[J].矿物学报,2009,29(S1): 528-529.
- [2] 邓宇涛,方维萱,郭茂华,等.磁化率参数在东川铁铜矿勘查中的方法试验与研究[J].地质找矿论丛,2010,25(2): 157-162.
- [3] 贾志业,丛丽娟,赵廷严,等.甘肃敦煌—阿克塞地区岩(矿)石磁化率特征分析及应用[J].地球物理学进展,2020,35(2): 579-589.
- [4] 王建伟,李仁和,胡开勇,等.安徽省区域岩石物性基本特征[J].安徽地质,2010,20(2): 112-116.
- [5] 谢华,伊海生,欧莉华,等.磁化率测量在沉积锰矿床中的应用[J].地质找矿论丛,2016,31(1): 116-120.
- [6] 王牧,金世杰.青海玉树称多—囊谦一带岩石磁性特征研究[J].地质找矿论丛,2017,32(4): 654-659.
- [7] 王磊,李天成,杨新雨.钻孔岩心磁化率及PXRF测量在智利月亮山铁铜矿区应用与找矿预测[J].地质与勘探,2012,48(2): 396-405.
- [8] 王磊,方维萱,张德会,等.岩矿石磁化率测量方法在智利瑞康纳达地区的研究及应用[J].矿产与地质,2009,23(5): 473-479.
- [9] 安徽省地质调查院.宣城市幅,H50C002004,1/25万区域地质调查报告[R].合肥:安徽省地质调查院,2005.
- [10] 安徽省地质调查院.安庆市幅,H50C002003,1/25万区域地

- 质调查报告[R]. 合肥: 安徽省地质调查院, 2005.
- [11] 李水平, 王建光, 程华, 等. 钻孔岩芯岩(矿)石磁化率参数特征并用于地层岩性划分[J]. 物探与化探, 2013, 37(5): 775–778.
- [12] 郗程, 蔡文军, 田宇. 小兴安岭成矿带岩(矿)石磁化率特征分析及应用[J]. 矿产勘查, 2017, 8(2): 272–281.
- [13] 赵百民, 郝天眺, 徐亚, 等. 油气资源探测中的物性研究[J]. 地球物理学进展, 2009, 24(5): 1689–1695.
- [14] 李水平. 井中与钻孔岩芯磁化率测量效果的对比分析[J]. 地质找矿论丛, 2018, 33(2): 282–285.

## Application of ground magnetic parameters to aeromagnetic lithologic mapping

### —A case study of Qingyang-Wuhu area in Anhui province

YAO Yuewen, DONG Genwang, YANG Liu,  
TIAN Dazhi, XI Xiaowei, WANG Mu, LIU Yuanyuan

(Geophysical Exploration Academy of China Metallurgical Bureau, Baoding 071051, Hebei, China)

**Abstract:** The Qingyang-Wuhu area of Anhui province is located at the Middle-Lower Yangtze metallogenetic belt. In order to search for new mineral deposits, we conducted aeromagnetic survey at scale 1:50,000 in this area in 2017. To aid the lithologic mapping we carried out regional rock magnetic susceptibility investigation. Based on statistics of all kinds of measured data, magnetic susceptibility features of strata and intrusive rocks in the area are summarized. The result suggests that the sedimentary rocks are generally weakly-magnetic or non-magnetic; the volcanic rocks, certain magnetic, occurring as tuff outcrops only in Cretaceous and Ordovician strata; lithologies of intrusive rocks different in magnetic susceptibility causing positive anomalies with different intensities. According to the mapping are line out the Yaocun, Magushan and Qiaotoubou hidden intrusive bodies. This study will provide reference for further prospecting in the area.

**Key Words:** aeromagnetic; lithologic mapping; magnetic susceptibility; magnetic characteristics; Anhui province