

doi: 10.3969/j.issn.1007-3701.2015.04.007

## 高精度航空物探在幕阜山地区地质构造研究中的应用

崔志强, 胥值礼, 孟庆敏

CUI Zhi-Qiang, XU Zhi-Li, MENG Qing-Min

(中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所, 廊坊, 065000)

(Institute of Geophysical and Geochemical Exploration, CAGS, Langfang 065000, Hebei, China)

**摘要:** 根据湘赣鄂交界区最新开展的高精度航空物探资料, 从宏观地球物理的角度对幕阜山及邻区的地质构造及岩浆岩进行了研究。首先详细介绍了区内航空物探(包括航磁、航空伽玛能谱)的基本特征, 重点分析了幕阜山特殊的航磁及伽玛能谱综合特征, 并结合重力等相关资料, 推断了主要的断裂构造和隐伏岩体, 分析了区内的岩浆热液活动特征, 进一步总结了花岗岩侵入体与主要断裂构造之间的关系, 其成果能够为该地区进一步的地质研究工作提供一些参考。

**关键词:** 高精度航空物探; 地质构造; 岩浆岩; 幕阜山; 湘东北

**中图分类号:** P631.2+22

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1007-3701(2015)04-391-07

**Cui Z Q, Xu Z L and Meng Q M. The Application of high precision airborne geophysical research in Mufu moutian area. *Geology and Mineral Resources of South China*, 2015, 31(4):391-397.**

**Abstract:** Based on the new high-precision aerogeophysical data, the authors discussed the aerogeophysical feature of the geological structure and magmatic rocks in Mufu-mountain area. In this article, the aeromagnetic and gamma spectroscopy characteristic was stated. And then, authors described the special aeromagnetic and gamma characteristic of Mufu-mountain. Referenced gravity data, the authors interpret the main tectonic and concealed magmatic rocks, analyzed the magmatic hydrothermal activity characteristic, and concluded the relationship of the tectonic and intrusive rocks in aim area. The results of this article will provide some basic information for further geological research works in this area.

**Key words:** high-precision aerogeophysical; geological tectonic; magmatic rocks; Mufu-mountain; northeast of Hunan Province

在湘赣鄂交界区出露一燕山期巨型花岗岩体, 称为幕阜山岩体, 其出露面积超过 2500 km<sup>2</sup>, 从全国性小比例尺地质图上看, 它位于整个华南中酸性侵入岩区的西北角, 其所处地理位置、构造部位、岩浆活动特点等具有非常特殊性, 同时它对该区的金、钨及多金属成矿也具有至关重要的作用。本研究区以幕阜山为中心, 包括邻近的湘东北、赣西北和鄂东南

部分地区。

本区位于北东向罗霄山脉的中北段, 山体呈北东-南西向绵延展布, 山脉主要由一系列呈北北东向排列的燕山期岩浆岩和部分东西构造组成, 其中幕阜山及周边岩体为山体重要组成部分, 突起于元古代板溪群浅变质岩的低山丘陵之上, 是两湖平原之间急剧上升地区, 控制汨罗江、新墙河、修水、富

收稿日期: 2015-06-29; 修回日期: 2015-07-01.

基金项目: 中国地质调查局“钦杭成矿带湖南段 1:5 万航空物探调查”项目(编号: 1212011087006).

第一作者: 崔志强(1981—), 男, 硕士, 工程师, 从事航空物探资料综合解释及研究工作. E-mail: cuizhiqiang@igge.cn.

水、陆水等呈辐射状流向<sup>[1]</sup>。受多期构造活动影响,多形成断块山,褶皱构造发育,元古界和古生代地层多形成紧闭褶皱,地形复杂,切割大,地表植被茂密。受其影响,地面物探工作开展难度大,进度慢,在一定程度上制约了新一轮以寻找隐伏矿床为主的地质找矿及研究工作。

作者利用在本区开展的新一轮高精度航空物探勘查所取得的高质量数据资料,发现幕阜山岩体具有特殊的航空磁、伽玛能谱特征。由于中酸性岩体本身的磁性和能谱特征明显,再结合已有的区域地质、重力及遥感等相关资料,对该岩体及邻区的主要地质构造及构造岩浆岩特征进行了深入分析,从宏观角度指出区内主要的花岗岩体和断裂构造的地球物

理特征,丰富该区的地球物理特征资料,为进一步开展相关的地质研究及找矿工作提供一些的参考。

### 1 区域地质概况

本区位于江南隆起带中段北缘,江南隆起带东起皖浙交界,经湘鄂赣边境向SW延至桂北,呈向NW凸出的弧形,大地构造位于扬子地块与华夏地块的碰撞汇聚带,西北为扬子板块,东南为华夏板块一级构造单元,江南隆起带为二级构造单元,下属湘东北-赣西北褶皱带,涉及崇阳-通山逆冲推覆带、岳阳-临湘基地滑脱逆冲带、湘阴凹陷、长平凹陷、连云山断隆带等次级构造单元<sup>[2-3]</sup>。

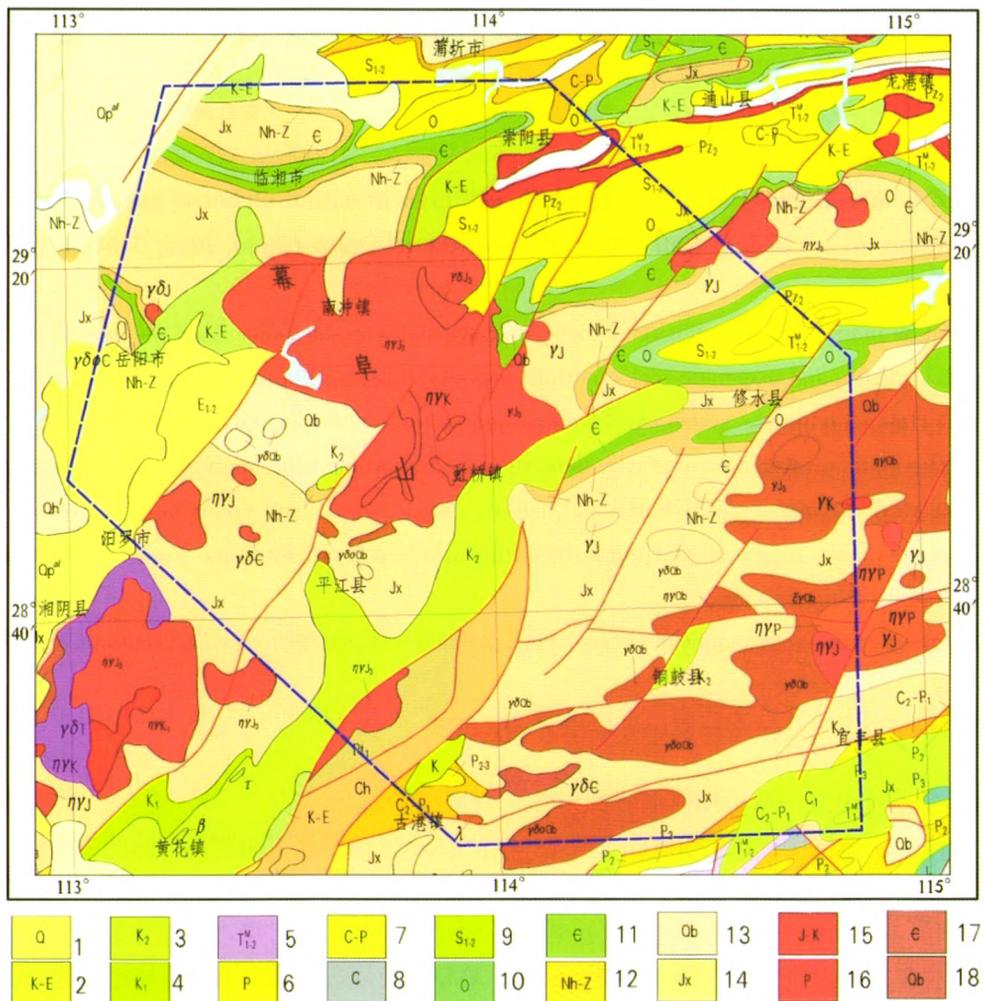


图1 幕阜山及邻区地质构造略图

Fig. 1 The geological sketch map of the MUFU-mountain and adjacent area

1-第四系未分,2-白垩-第三系,3-上白垩统,4-下白垩统,5-三叠系中下统,6-二叠系,7-石炭-二叠系,8-石炭系,9-志留系中下统,10-奥陶系,11-寒武系,12-南华-震旦系,13-青白口系,14-蓟县系;15-侏罗-白垩纪,16-二叠纪,17-寒武纪,18-青白口纪(侵入岩代号及岩性:γ-花岗岩,ηγ-二长花岗岩,γδ-花岗闪长岩,γδo-英闪长岩,δo-石英闪长岩,ηo-石英二长岩.)

由于先后受控于古亚洲南北两大巨型板块的会聚和太平洋板块向西的俯冲和北移的影响。本区经历了多期造山过程:包括前中生代的古特提斯系陆陆碰撞造山;晚三叠世由滨太平洋系陆壳俯冲作用造成的侏罗纪陆内会聚走滑造山及白垩纪-新近纪的陆内离散走滑造山的构造演化过程。以晚侏罗世-早白垩世运动最为强烈,发育晚侏罗世的巨大花岗岩体。构造以断块运动为主,发育“多”字型构造。深大断裂构造以北东走向为主,其次为北西、东西向和少量近南北向。深断裂以及被其切割而形成的隆、陷地块,构成了新华夏系第二隆起带南延部分的现今构造格架<sup>[4]</sup>。形成了由隆、陷地块及褶皱带组成的复杂地质景观,构造、岩体发育,断裂构造控制着地层沉积、岩浆活动及表层构造格局。

从对应地质图上看(图 1),本区出露地层及岩体有几下基本特征:元古代(Qb-Jx)大面积出露在研究区北西、西南和东部,早古生代(C-S)主要出露于研究区北部和北东部,多受后期板块挤压形成北东轴向的褶皱,晚中生代-早新生代(K-E)仅出露在受北东向大断裂控制的断陷盆地中。岩体主要为大型的晚侏罗世燕山期和青白口纪中酸性花岗岩体,晚侏罗世岩体以幕阜山岩体为代表,位于本区中部,岩体岩性主要为中细粒二云母二长花岗岩、黑云母花岗闪长岩,另外还有高湖、长乐街岩体等;青白口纪岩体主要分布在本区东南部,呈多条北东向带状展布,受近东西向、北东向构造控制,呈现出“多”字

形分布特征,主要有九岭、石花尖、大围山等,岩性主要为花岗闪长岩、花岗岩等。

## 2 区域航磁及航空伽玛能谱特征

本次高精度航空物探调查是采用直升机平台测量,其飞行速度慢,操控灵活,提高了数据的采样率、降低了飞行高度,克服了该区复杂深切地形对航空物探飞行控制的影响,有效的保证了本次航磁及伽玛能谱测量的数据质量。

本区对出露的主要地层及岩体实测了相关物性(磁性、能谱特征),磁性参数有地层磁化率分布范围( $23 \sim 167$ ) $\times 10^{-6}$ SI(众数分布区间,下同),剩磁强度( $1.0 \sim 2.1$ ) $\times 10^{-3}$ A/m;岩体磁化率分布范围( $76 \sim 856$ ) $\times 10^{-6}$ SI,剩磁强度( $1.3 \sim 2.9$ ) $\times 10^{-3}$ A/m,燕山期黑云母花岗岩磁化率最高可达  $3552 \times 10^{-6}$ SI。伽玛能谱特征有:地层的总量、钾、铀、钍含量范围分别为  $9.5 \sim 15.6$  U $\gamma$  (Tc)、 $(0.9 \sim 1.6) \times 10^{-2}$ g/g (K)、 $(1.4 \sim 2.1) \times 10^{-6}$ g/g(U)、 $(9.3 \sim 14.7) \times 10^{-6}$ g/g(Th),其中寒武系中下统铀含量最高达  $76.2 \times 10^{-6}$ g/g;岩体的能谱特征有  $(18.16 \sim 22.67)$ U $\gamma$  (Tc)、 $(1.96 \sim 2.38) \times 10^{-2}$ g/g(K)、 $(3.51 \sim 4.53) \times 10^{-6}$ g/g (U)、 $(17.21 \sim 22.59) \times 10^{-6}$ g/g (Th),燕山晚期花岗岩能谱特征整体偏高。

从航磁 $\Delta T$ 平面图上看(图 2 左),本区以整体以低缓平稳的正、负磁场为背景,叠加宽缓正磁异常为特征,局部出现尖峰状中等强度异常,背景场强度

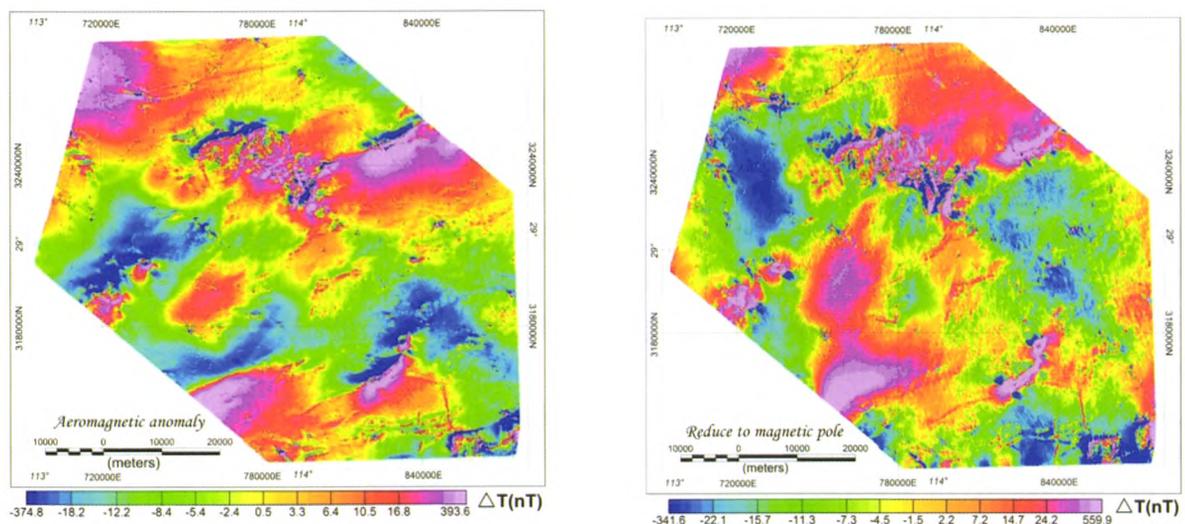


图2 幕阜山岩体及邻区航磁特征图

Fig. 2 The aeromagnetic anomalies feature of the MUFU rock and adjacent area

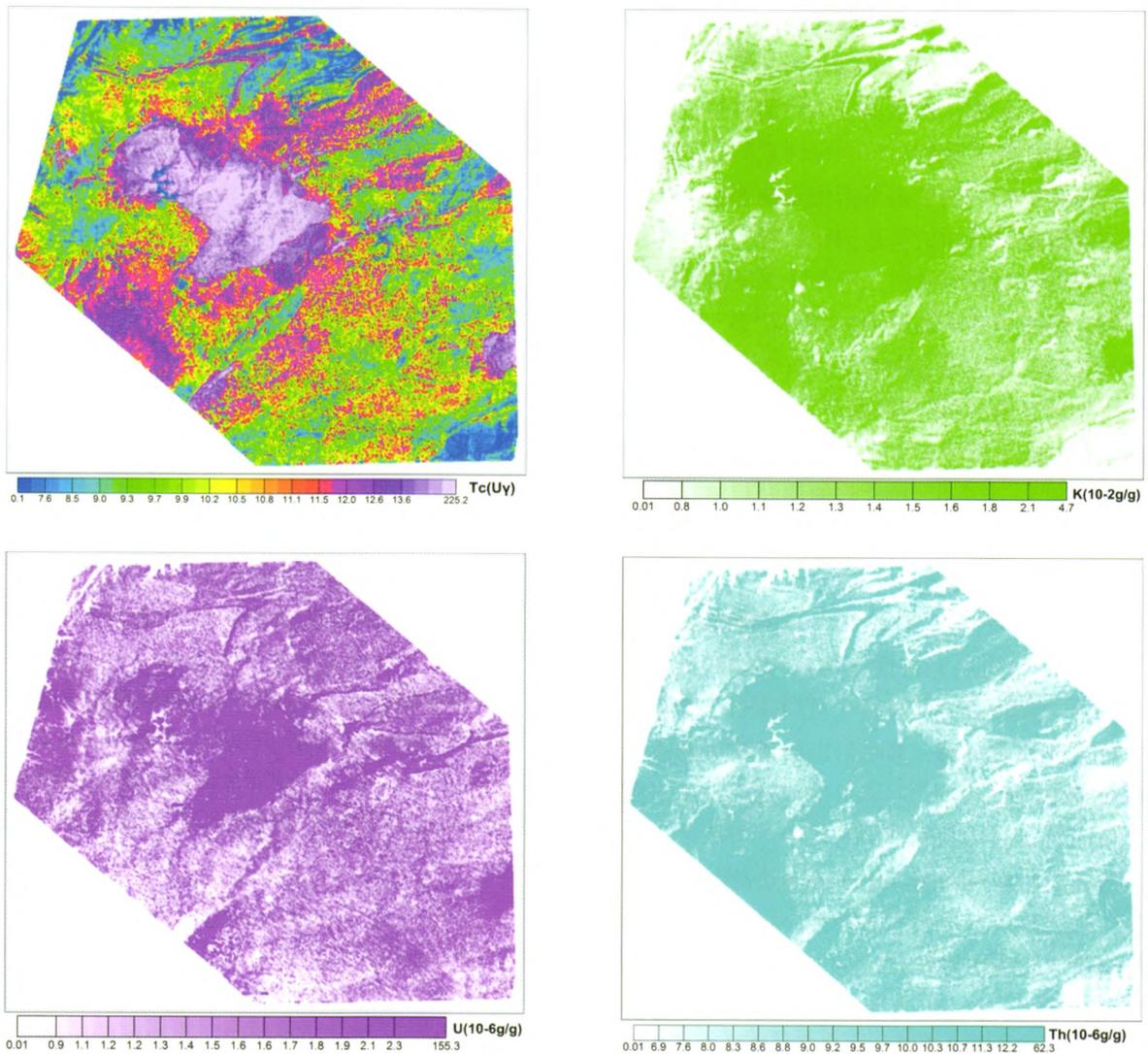


图3 幕阜山岩体及邻区航空伽玛能谱特征图

Fig. 3 The airborne gamma spectroscopy feature of the MUFU rock and adjacent area

在 ± 20 nT 之间缓慢变化,叠加异常强度一般在 30 ~ 100 nT 之间,最高可达 500 nT。结合实测物性资料不难判断,本区低缓平稳背景场为元古代蓟县系、早古生代 (C-S) 以及晚中生代 - 早新生代 (K-E) 浅变质砂板岩或碎屑岩等弱磁或无磁性地层的反映,升高的宽缓正磁异常主要为燕山期中 - 晚期花岗岩体引起,而本区雪峰期花岗闪长岩体普遍呈弱磁或无磁性。由于本区位于中低纬度地区,受斜磁化影响严重,对航磁进行化极处理 (图 2 右),化极后背景场与原平面图基本一致,异常强度有所增强,形态更真实。在低缓平稳背景场上升高的宽缓正磁异常能更准确的反映燕山期磁性岩体特征,能较好地判断区内主要中酸性岩浆侵入特征及期次等特征。

本区航空伽玛能谱场蕴含了丰富的地质信息

(图 3),不仅对中酸性岩体有明显的反映,特别是燕山期岩体,对区内大面积出露的古生代地层的褶皱构造、盆地边缘断裂、控岩断裂等也反映非常清晰。全区伽玛能谱总量、钾、铀、钍含量图总体为偏低 - 低值的背景场,不同时期的地层其能谱特征差异明显。总体看来,除了燕山期的中酸性岩体和寒武系放射性核素含量较高,引起较强的能谱异常外,从元古代 - 古生代 - 中新世地层基本呈现出能谱特征逐渐减弱的基本规律。元古代主要受多期构造运动及岩浆热液活动影响,普遍具有一定的蚀变特征,受热液蚀变影响,其钾、钍含量较高,在总量、钾钍含量上能够很好的识别,而雪峰期岩体由于其成岩时代老,放射性核素含量较低,中 - 新生代为陆相碎屑岩建造,主要为一套砂泥岩地层,呈现出伽玛能谱低的

基本特征。

### 3 航空物探反映的构造特征

通过航磁研究区域地质构造已成为一种重要的手段,特别是侵入岩发育地区,再结合航空伽玛能谱对不同构造层和特殊标志层的能谱差异特征,能间接地揭示岩浆热液活动较弱地区主要构造,也能直接推断褶皱构造。通过航空物探资料在本区推断 56 条断裂,其中深大断裂 9 条(图 4)。推断的深大断裂同时也具有重力异常特征,均位于重力梯度带或异常截止端,并与已有地质资料吻合较好。

如岳阳 - 湘阴断裂带(F1)和株洲 - 永州断裂带北段(F4)为区域性深大断裂带<sup>[9]</sup>,呈北东向展布,贯穿整个湖南省,本区内为该断裂带北东段。均为盆地边缘断裂带,分别控制了湘阴盆地、长平盆地的南缘,在航磁及航空伽玛能谱上均表现为不同强度区域场的分界线。此外,在本次航测资料上区内还清晰地反映出三条北西向构造带:平江断裂(F7)、长塘 - 南江断裂(F8)和南冲 - 大段断裂(F9),这三条北西向断裂带在地质资料上反映并不明显,它们受北东向构造改造明显,均被北东向深大断裂带不同程度的截断或错断。北东和北西向构造在本区构成了明显的菱形网格式构造格局。不仅控制着中生代盆

地的形成及演化,如湘阴、和长平断陷盆地,它们都是在早期北东向断裂带的基础上横向拉张,晚中生代接受沉积而成,而且对本区晚侏罗世的岩浆热液活动具有明显的导控作用,如 F2 控制了幕阜山岩体北西部,沿断裂带还有饶村、长乐街岩体等,F4 控制了连云山岩体的展布,F2、F3、F8、F9 位于幕阜山边缘或中部,使幕阜山体呈现出现今的断块山构造地貌特征,反映了在中生代晚期 - 新生代的快速隆升过程中,仍然受到北东、北西向断裂的改造。综合以上分析,说明本区断裂具有北西早、北东晚,且具有长时间多期复合的特征。

除断裂外,褶皱也是反应构造运动的主要特征之一。通过标志层的航空伽玛能谱特征差异,能够较准确的识别相应的褶皱。区内寒武系、奥陶系含有较高的放射性核素,特别是寒武系底部的含磷地层,能够引起高值异常带,借此本区北部的临湘 - 崇阳和中东部的虹桥 - 修水新元古代 - 早古生代褶皱带特征尤为明显。而北东部的通城 - 通山晚古生代 - 早中生代褶皱带则主要依据志留系较二叠系、三叠系能谱普遍偏高的特征识别。

### 4 航空物探反映的岩浆岩特征

对比地质图与航磁 $\Delta T$ 化极图不难看出,本区青白口纪岩体普遍呈弱(无)磁性特征。而侏罗纪花岗岩体在航磁资料上基本表现为两类特征。一类为具有一定磁性的(斑状)黑云母二长花岗岩、黑云母花岗岩闪长岩等,能引起几十~几百纳特的异常<sup>[6]</sup>。另一类为无(弱)磁性岩体,但在岩体与地层的接触带中往往磁性矿物,能引起几十纳特的磁异常,这些弱小磁异常围绕岩体呈环形展布,通过这种环形磁异常反映该类岩体<sup>[7]</sup>。

位于本区中部的幕阜山岩体同时具有以上这两类特征。幕阜山岩体作为本区最大的晚侏罗世复式岩体,跨湘赣鄂三省,出露面积超过 2 500 km<sup>2</sup>。在航磁和航空伽玛能谱上表现出较为独特的特征。

从图 5 可以看出,幕阜山岩体的航磁及伽玛能谱明显的可分为两部分,基本沿忠防镇 - 南冲镇 - 麦市镇 - 白岭一线分为北东部分和南西部分。岩体北东部分为北港镇 - 麦市镇 - 沙坪镇的不规则三角形区域,面积约整个岩体面积的四分之一(约 650 km<sup>2</sup>)。该区的航空物探特征以杂乱的航磁正异常和中等航空伽玛能谱场为特征。航磁 $\Delta T$ 图上表现为

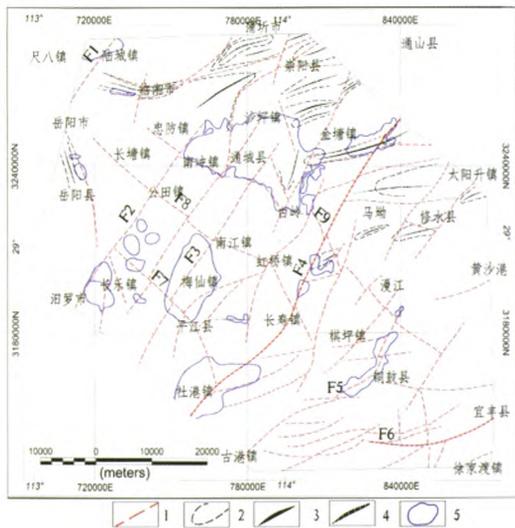


图4 航空物探推断主要断裂构造及隐伏(半隐伏)岩体分布图

Fig. 4 Inferred major faults and concealed rocks map using aerogeophysical

1-推断断裂构造,2-推断褶皱标志层,3-推断背斜轴线和走向,4-推断向斜轴线和走向,5-推断隐伏(半隐伏)岩体。

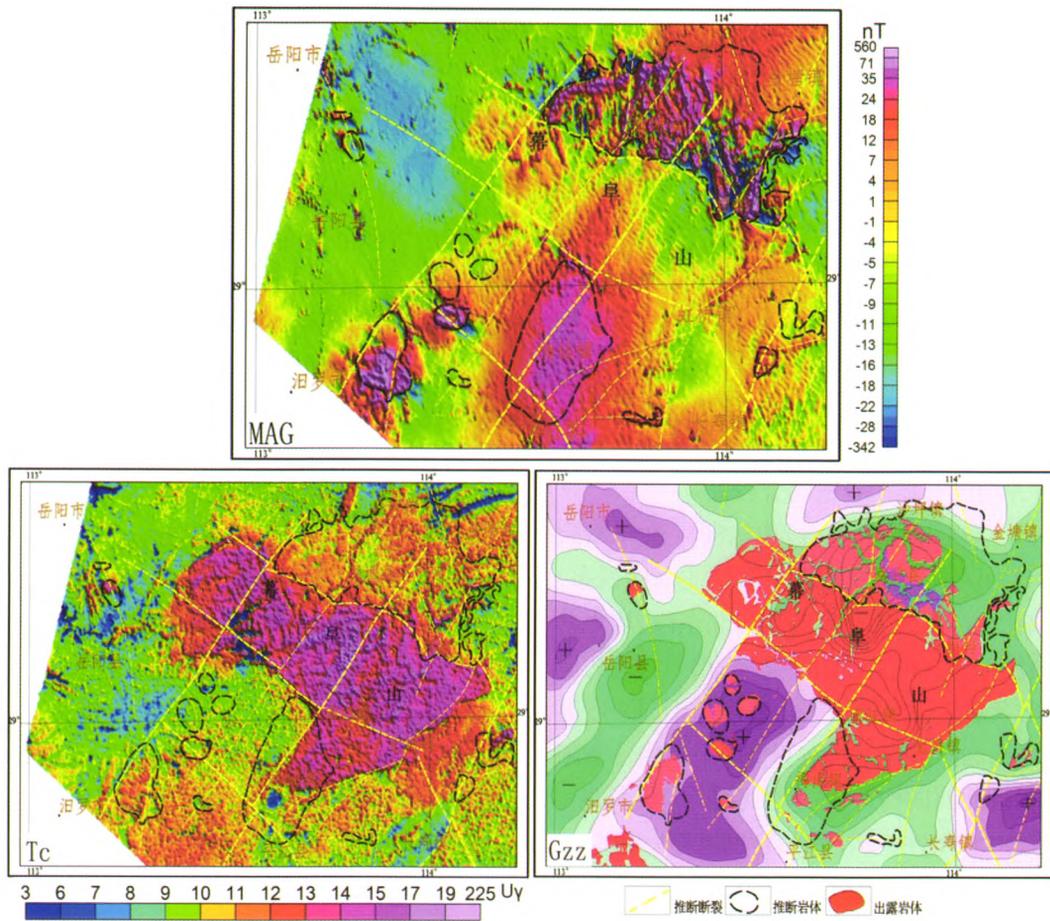


图5 幕阜山岩体航磁(ΔT极化)–航放总量(Tc)–重力(Gzz)综合特征图

Fig 5 The aeromagnetic(ΔT poled)–airborne gamma(Tc)–gravity(Gzz)features of MUFU rock

不规则小峰状正负异常,异常强度一般在 100 ~ 200 nT 之间,最高近 300 nT;航空伽玛能谱总量为中值异常场,总量一般在 13 ~ 17 Uγ 之间,钾道上表现为中值 - 偏高异常场,含量一般为  $(1.0-2.0) \times 10^{-2} \text{ g/g}$ ,最高为  $2.5 \times 10^{-2} \text{ g/g}$  左右,铀道普遍上呈现为偏低 - 低值场特征,没有明显的特征,含量多  $< 2.0 \times 10^{-6} \text{ g/g}$ ,东南局部为  $(2.1-4.0) \times 10^{-6} \text{ g/g}$ ,钍含量为中值 - 偏低场,无异常特征,含量集中在  $(8.0-12.0) \times 10^{-6} \text{ g/g}$  之间变化。

岩体南西部分出露范围为白羊田镇 - 忠防镇 - 白岭 - 虹桥镇 - 梅仙镇 - 南江镇之间的区域,占整个岩体出露面积的四分之三(约 1 850 km<sup>2</sup>)。本区航空物探特征则以低缓平稳的正 / 负磁场和航空伽玛能谱高值异常场为特征。在航磁 ΔT 图上表现为强度在 -20 nT ~ 30 nT 之间平稳变化的背景场,局部叠加强度在 50 nT 左右的宽缓弱小异常。航空伽玛能谱总量、钾、铀、钍道均呈现出本区最明显、最高值

的异常场特征,各道含量分别为:15-25Uγ(总量)、 $(2.5-3.0) \times 10^{-2} \text{ g/g}$  (K 道)、 $(2.0-4.5) \times 10^{-6} \text{ g/g}$  (U 道)、 $(17-34) \times 10^{-6} \text{ g/g}$  (Th 道)。其中总量和 K 道在该区域表现出较均一的高值异常特征,而 U、Th 道则沿梅仙 - 南江 - 麦市一线又可分为北西和南东两片不同含量的异常区,U 道为北西相对较低、南东较高,Th 道则表现出与 U 道相反的特征,北西较高、南东相对较低。

从布格重力异常及垂向二阶段导数资料上看(图 5),该岩体亦可从南冲 - 白岭一线区分两个不同高度的重力垂向二阶导数(gZZ)异常区<sup>⑧</sup>,岩体北东部分与明显的 gZZ 负值中心对应(gZZ:  $(-3 \sim -10) \times 10^{-5} \text{ s}^{-2}$ ),负值中心位于通城县附近;而南西部分则位于 gZZ 由南西向正值异常向北东负值异常过渡的零值区域(gZZ:  $(-3 \sim +2) \times 10^{-5} \text{ s}^{-2}$ )。

综合幕阜山岩体的航磁、航空伽玛能谱及重力特征,不难概括出该岩体具有如下基本特征:岩体北

东为磁高、能谱低、重力低,岩体南西为磁低、能谱高、重力相对偏高。对照地质图,北东部的的主要岩性为晚侏罗世斑状黑云母花岗岩( $J\pi\eta\gamma$ )、黑云母花岗闪长岩( $J\gamma\delta$ ),而南西部的岩性为晚侏罗世的二云母二长花岗岩( $J\eta\gamma$ )(岩体时代参考地质图确定,下同)。值得一提的是,岩体西南中部布格重力自西向东缓慢降低,这可能与早期岩体呈薄席状超覆与青白口系之上或后期受高构造影响,导致基地升高所致,应进一步研究。

以上幕阜山岩体出露部分的特征代表了本区侏罗纪两大类侵入岩体的基本特征,借此规律可在全区解译和推断隐伏(半隐伏)岩体。由于本区出露地层基本为无磁性特征,利用航磁推断磁性岩体较为容易。在本区航磁 $\Delta T$ 化极图(图 2)上,能够圈出多处隐伏(半隐伏)岩体(图 5)。如虎形山升高宽缓磁异常、临湘升高磁异常带、平江-南江升高宽缓磁异常、连云山升高宽缓磁异常、高湖升高磁异常和幕阜山岩体北东沙堆-金塘升高宽缓磁异常等,这些低缓平稳背景场上升高的磁异常均为隐伏(半隐伏)磁性岩体引起,岩性主要为侏罗纪的黑云母二长花岗岩、黑云母花岗闪长岩等。从此可看出,幕阜山岩体的北东、南西两侧均存在隐伏磁性岩体。北东侧古生代的砂页岩、碳酸盐岩建造对应的沙堆-金塘升高的宽缓磁异常,为斑状黑云母花岗岩( $J\pi\eta\gamma$ )或黑云母花岗闪长岩( $J\gamma\delta$ )底侵于出露地层下部。南西侧的平江-南江与连远山异常在航磁向上延托图上连为一个异常体,反映两隐伏磁性岩体具同源性,受早期构造的导控和后期的改造作用形成,其岩性应与连云山岩体出露部分相同,为早侏罗世黑云母二长花岗岩。

对于无磁性的中酸性岩体,则通过岩体边缘的环形升高宽缓弱异常进行识别,区内如团山庙、大吉头、大湖山、东港渡等岩体,均表现为环形弱磁异常带包围的平静正/负磁场区,这类岩体岩性主要为晚侏罗世的二云母二长花岗岩等。另外,通过本次航空物探异常特征还认为,本区东南部铜鼓县北侧升高的北东向磁异常带,该异常带与侵位于冷家溪群中的花岗闪长岩体对应,1:200 000 等地质资料上将该岩体划为青白口纪,但其航磁及伽玛能谱异常特征明显与南侧的大围山、石尖花等青白口纪花岗闪长岩不同,且该岩体沿铜鼓断裂带(F5)展布,根据

其物性特征本文初步判定该岩体应该为侏罗纪黑云母花岗岩体或黑云母花岗闪长岩体。

## 5 结论及认识

作者利用最新的高精度航磁及航空伽玛能谱资料,介绍了研究区内的磁场、伽玛能谱分布特征。推断并解释了区内的主要地质构造、褶皱、隐伏岩体,详细论述了幕阜山岩体的磁、能谱及重力特征。对今后该区的区域地质及成矿研究能提供一些参考。

综合以上,本区的地质构造及岩浆岩具有以下特征:主要深大断裂具有北西早、北东晚,且存在长时间多期复合的特征,对侏罗纪岩浆热液活动具有明显的导控和改造作用。侏罗纪的中酸性岩浆热液活动带具有沿构造带从北东走向经幕阜山岩体后转为北东东走向。成岩时代上,以幕阜山岩体为中心,从外围向中心渐进的趋势,大致存在三个比较大的期次:侏罗纪早中期、侏罗纪晚期和白垩系早期。这种长时间多期活动的导岩、控岩断裂和多期的岩浆热液活动,对中低温热液型多金属矿及与岩体相关的稀有金属矿产较为有利。

### 参考文献:

- [1] 石红才,施小斌,杨小秋,蒋海燕.江南隆起带幕阜山岩体新生代剥蚀冷却的低温热年代学证据[J].地球物理学报,2013,56(6):1945-1957.
- [2] 谢湘雄.湖南大地构造划分单元及其地球物理场特征[J].湖南地质,1992,11(4):334-342.
- [3] 王鹏程,李三忠,刘鑫,余珊,刘博,索艳慧,薛友辰,安慧婷.长江中下游燕山期逆冲推覆构造及成因机制[J].岩石学报,2012,25(10):3418-3430.
- [4] 彭和求,贾宝华,唐晓珊.湘东北望湘岩体的热年代学与幕阜山隆升[J].地质科技情报.2004,23(1):11-15.
- [5] 湖南省地质矿产局.湖南省区域地质志[M].北京:地质出版社,1972:534-601.
- [6] 吴伟奇.湖南省重磁异常特征与地震活动关系[J].地震研究,2001,24(1):29-35.
- [7] 张维宸,刘建芬,谢连文,李川平,郝跃生.利用航磁数据推断隐伏(半隐伏)岩体[J].东华理工大学学报:自然科学版,2008,31(4):349-356.
- [8] 晏月平,游先军,刘利生.临湘多金属成矿区重力异常及地质成因[J].物探与化探,2013,37(1):47-52.