

南方复杂地形条件下 1:5万重力调查成果分析 ——以江西甲路幅为例

赖发腾, 郭 信, 周 月, 张小龙, 赵宝峰

(安徽省勘查技术院, 合肥 230031)

摘要: 文章对江西甲路幅 1:5万重力调查实测数据进行处理与解释, 推断并构建了甲路幅断裂构造体系, 解释了主要断裂的形态、延伸及性质。结合磁测异常圈定了研究区内的隐伏岩体, 并通过 2.5D 解释确定了主要岩体的外接触面形态与埋深; 通过对区域典型矿床地质、物化探异常特征研究, 结合地质、化探资料对该区成矿远景进行圈定与预测。通过研究构造、岩体、成矿三者之间的关系, 认为断裂控制岩浆与热液的运移, 进而控制隐伏岩体及内生型金属矿床的发育与空间展布。与其他物探方法相比, 重力调查在解释断裂构造方面具有自身特色与优势, 是配合矿产地质调查查明断裂、隐伏岩体及隐伏矿床的最佳物探方法之一。

关键词: 1:5万重力调查; 异常解释; 断裂; 赣东北

中图分类号: P631.1

文献标识码: A

文章编号: 2096-1871(2017)04-255-09

近年来, 1:5万重力调查在矿产地质调查及综合地质调查等方面获得了广泛应用^[1-3]。目前, 我国大多数地形条件较好的平丘地区地质调查一般均部署相应的重力调查工作。重力调查效果受研究区测地工作精度及周边 20 km 范围内地形高程数据精度的影响, 在南方森林密布的山区, 测地工作精度及地形高程数据精度相对平丘地区均有不同程度下降, 重力调查能否取得满意效果, 目前一直没有定论。

江西甲路幅 1:5万重力调查是江西赋春—清华地区矿产地质调查子项目的试验性物探工作, 文章基于该项成果, 通过对甲路幅 1:5 万重力调查实测数据处理与解释, 构建甲路幅断裂构造体系, 解释其主要断裂形态、延伸及性质。结合磁测异常圈定研究区隐伏岩体, 通过 RGIS^[4] 软件 2.5D 解释模块确定主要岩体的外接触面形态与埋深, 并圈定成矿远景区。重力调查在解释断裂构造方面具有自身优势, 可配合矿产地质调查查明断裂构造、隐伏岩体及隐伏矿床等。

1 区域地质特征

研究区位于钦杭成矿带赣东北段东乡—德兴

整装勘查区, 大地构造位置处于扬子地块与华夏地块碰撞对接带—钦杭结合带(图 1), 长期受两大块及其结合带构造格局控制, 发生多次“构造—沉积—变质—成矿”事件。区内新元古代浅变质火山—沉积岩广布, 其中溪口岩群是以碎屑岩为主、夹火山熔岩的板岩—千枚岩系, 万年群为浅变质泥砂质碎屑岩沉积夹火山碎屑及熔岩的复理石建造。溪口岩群、万年群 Au 丰度和张村岩群 Cu、Au 丰度较高, 是区域重要的矿源层。

赣东北等深大断裂伴随多期次岩浆活动, 特别是燕山运动时期, 对中酸性岩浆侵入和火山活动具有明显控制作用, 形成与花岗岩有关的斑岩—矽卡岩型铜多金属矿床。

2 区域地球物理场特征

2.1 区域重力场特征

区域重力异常为近 EW 向展布、南北分带的异常区, 北部为鹅湖—障公山—江岭岩浆岩带引起的相对重力低, 南部为景德镇—婺源新元古代地层隆起引起的相对重力高。研究区重力异常处于南北

* 收稿日期: 2016-12-01 修订日期: 2017-02-23 责任编辑: 谭桂丽

基金项目: 中国地质调查局“江西赋春—清华地区矿产地质调查(编号: 12120115029801)”资助。

第一作者简介: 赖发腾, 1960 年生, 男, 高级工程师, 主要从事重磁勘查与综合研究工作。

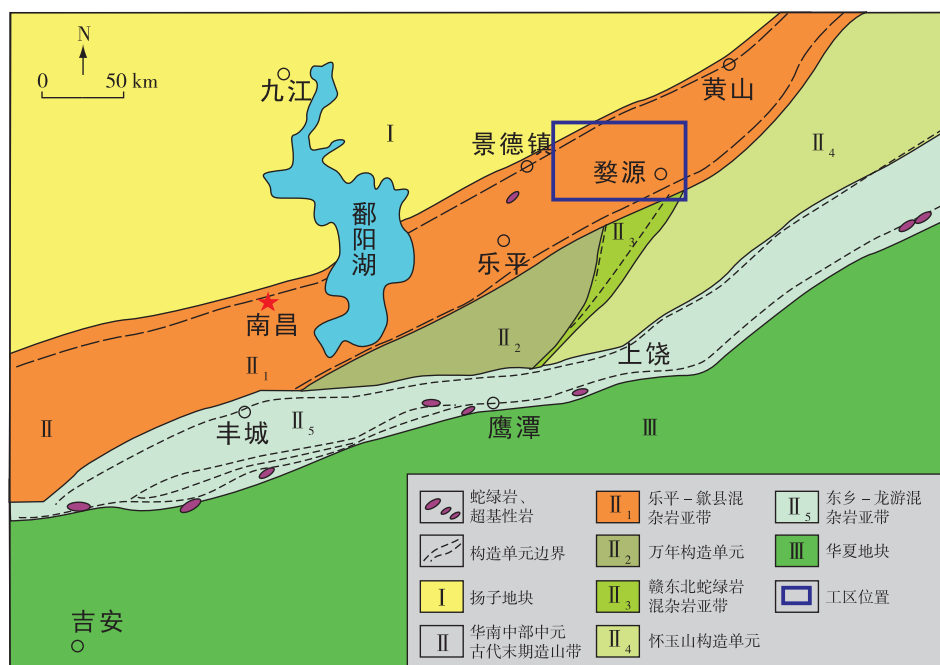


图1 研究区大地构造位置图(据 1:25 万景德镇幅区调报告修编)

Fig. 1 Tectonic position of the study area (revised after The 1:250 000 Jingdezhen regional geological report)

过渡带的异常梯度带上,北部为重力低,向南重力逐渐变高,异常最大差达 $24 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$ 。研究区北部受东西两端鹅湖重力低和障公山重力低影响,重力等值线呈“八”字形展布;南部重力等值线呈近 EW 向展布。

研究区西北部鹅湖重力低为早白垩世鹅湖岩体的反应,区域航磁图上表现为航磁高异常,与鹅湖岩体低密度高磁性的物性特点相吻合。东北角障公山重力低应为测区外侧岩体延伸至测区深处的隐伏岩体引起,是障公山—江岭重力低的一部分。

2.2 航磁异常特征

区域上航磁异常值为 $-40 \sim 200 \text{ nT}$,处于宽缓的航磁正异常区,研究区东北部为 NE 向航磁负异常带,南侧为 NE 向最高值达 200 nT 的航磁异常带。研究区航磁异常值为 $0 \sim 160 \text{ nT}$,其中西北角鹅湖岩体区域反应为高磁异常。

3 数据处理与解释推断

3.1 数据处理

3.1.1 密度选择

布格重力异常中间层与地形改正密度选择不当将造成虚假异常,导致错误的地质解释。密度选

择按 $(2.40 \sim 2.80) \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ 不同密度值分别计算出相应的布格重力异常,绘制每条测线不同密度值布格重力异常随高程变化的剖面图(图 2),分析其相关性,选择受高程变化影响最小对应的密度值用于数据处理。分析认为,紫色虚线对应的布格重力异常受地形影响最小,密度值为 $2.67 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$,是研究区中间层与地形改正的最佳密度值。

3.1.2 重磁异常分离

重磁异常通常认为由深源地质体产生的区域异常和浅源地质体产生的剩余异常共同组成,当地质调查的研究对象是浅源地质体时,在地质解释之前需要从重磁异常中分离出能反映研究对象特征的剩余异常,即各个局部异常均是某个地质块体或侵入岩体的具体反映。

(1)重力异常分离

本次分离剩余重力异常采用小波二阶细节异常(图 3a)、滑动平均局部异常(图 3b)和垂向二阶导数(图 3c)等方式。将处理结果与研究区地质实际(图 3d)对比,发现采用滑动平均滤波划分的局部异常(图 3b)能较好地反映各种浅源地质体的特征,可作为研究区从地表至地下一 $2\,000 \text{ m}$ 空间内重力解释的依据,而划分的区域异常则用于研究深部地质和区域构造。

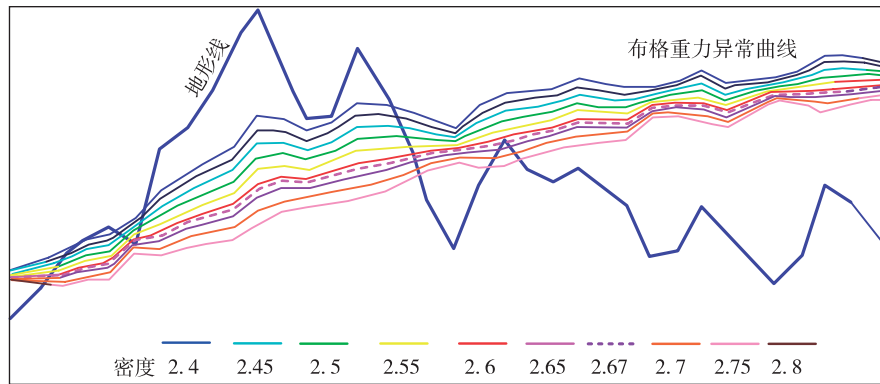


图 2 不同密度值布格重力异常随高程变化曲线图(密度单位: $1 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$)

Fig. 2 Diagram showing Bouguer gravity anomaly variation of various density values with elevation

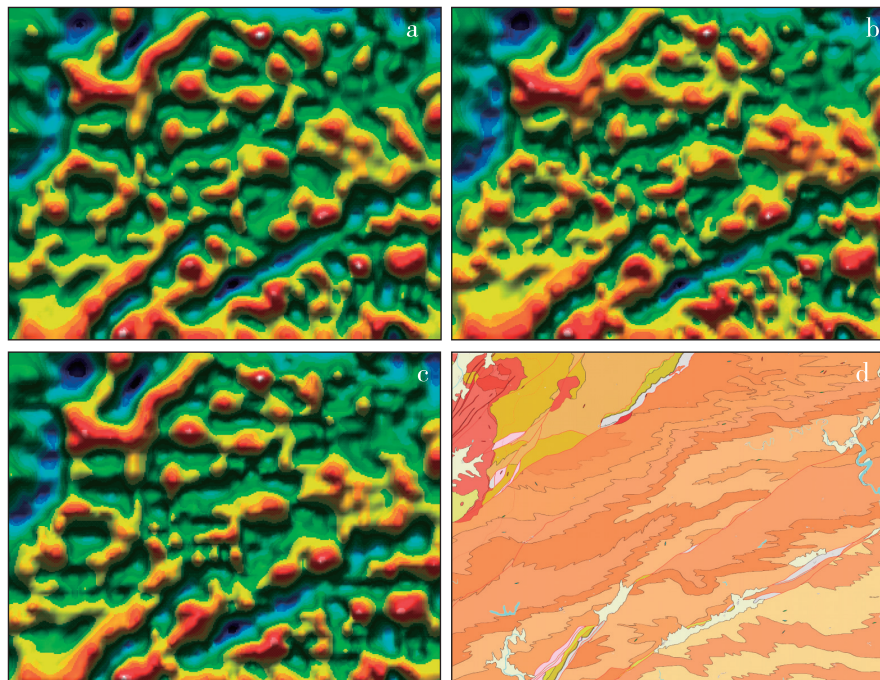


图 3 研究区小波二阶细节异常(a)、滑动平均局部异常(b)、垂向二阶导数(c)及地质略图(d)

Fig. 3 Maps of second-order detailed anomaly of wavelet (a), local anomaly of moving average (b), second order vertical derivative (c) and sketch geological map (d) of the study area

(2) 磁异常分离

磁异常分离在磁化极异常(图 4a)上进行,分别采用垂向一阶导数(图 4b)、多种窗口半径的滑动平均滤波(图 4c)和小波多尺度分解(图 4d)等方式。经对比优化选择,采用 $2.75 \text{ km} \times 2.75 \text{ km}$ 窗口进行滑动平均滤波作为研究区剩余异常划分的依据(图 4c)。

3.2 解释推断

3.2.1 局部异常定性解释

通过分析实测重力资料,共圈定重力局部异常 65 个,其中重力高异常 38 个,重力低异常 27 个;磁局部异常 36 个。引起局部重力低异常的原因为低密度古生代地层、低密度岩体、向斜核部与新元古代地层凹陷、断裂破碎带;引起局部重力高异常的

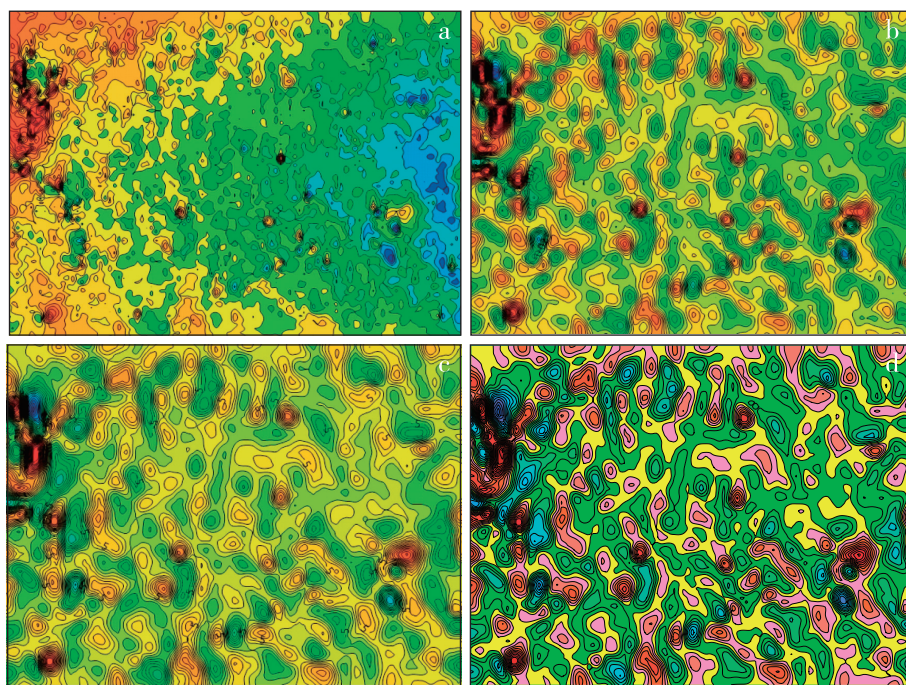


图4 研究区磁化极异常(a)、垂向一阶导数(b)、滑动平均剩余异常(c)及小波二阶细节异常(d)对比图

Fig. 4 Comparative maps of magnetization pole anomaly(a), first-order vertical derivative(b), moving average residual anomaly(c) and wavelet second-order detail anomaly(d) of the study area

主要原因为背斜核部与新元古代地层隆起、基性岩脉。引起局部高磁异常的主要原因为燕山期侵入岩、新元古代隆起山峰、基性岩脉。

重力局部异常主要呈 NE 和 NW 展布,近 EW 和近 SN 次之,重力高和重力低呈条带状相间排列。NW 构造在局部异常图上(图 3b)表现突出,切断 NE 走向局部重力异常,在磁异常图上(图 4a)表现为 NW 向串珠状局部异常带。

3.2.2 重点局部异常定量解释

在局部异常定性解释的基础上对局部异常进行分级分类,划分若干个不同级别的异常区。对重要异常区部署重、磁、地质精测剖面调查,获得重、磁、地质精测剖面资料,对次要异常区作地质与重、磁异常切图,获得地质剖面(或已有地质剖面)与重、磁剖面资料。根据研究区或区域物性资料,依据地质剖面上各地质体的相互关系建立物性模型剖面,对物性剖面作重磁正演计算并对实测重磁异常进行拟合,反复修正物性模型直到拟合误差达到要求为止。根据物性模型的物性参数与地质体物性参数的关联性将物性模型转变为地质模型,得到最终的重磁反演地质剖面。

按上述思路,研究区进行 2 条已知地质剖面和

2 条高精度实测剖面的 2.5D 重磁联合反演,反演软件为 RGIS,其中 3 号已知地质剖面的重磁联合反演(图 5)叙述如下。

(1)剖面位置及地质概况

3 号剖面自通源村起,由北西至南东,经过和村褶皱、严田村至天堂山结束,全长 20 km。剖面附近主要有新元古代横涌组至周溪组出露,NE 向断裂破碎带内有古生界出露、零星第四系沉积,地层自北西向南东逐渐变新。褶皱与断裂发育,地表未见岩体出露。

(2)重、磁异常特征

重力异常特征:布格重力异常均为负值,由北西至南东平稳升高;在剩余重力异常上重力高与重力低相间排列,与褶皱背向斜对应。

磁力异常特征:测线在磁异常上表现为从北西至南东逐渐下降,磁异常整体平缓,幅值变化为 $-5 \sim 12$ nT。

(3)重、磁反演解释

主要褶皱:扬子地块分布范围为剖面 $0 \sim 2$ km 处,重力异常反应负异常背景中的高值局部异常,磁力异常反应局部高磁异常,断裂 F1 为接触边界。朱村褶皱在剖面范围大致为 $2 \sim 10$ km,由 1 个倒转

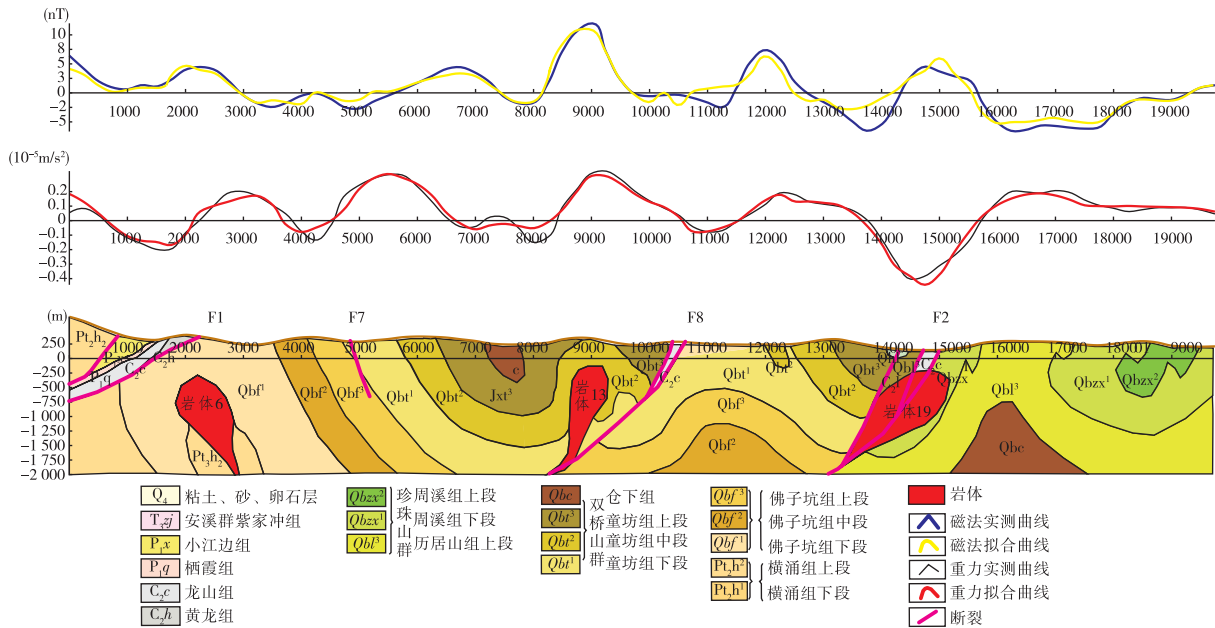


图 5 3 号地质剖面重磁联合反演解释推断图

Fig. 5 Joint gravity and magnetic inversion interpretation map of the No. 3 geological section

背斜和 1 个倒转向斜组成,洪村东西向褶皱分布范围为 10~20 km。

主要岩体:岩体断面形态如图 5 所示,大致为岩浆由深部沿断裂上升侵入到近地表的构造空间固结成型,基本形态为囊状体。各岩体顶界面埋深分别为,6 号岩体 286 m,13 号岩体 150 m,19 号岩体 212 m。

主要断裂:F1 断裂为逆断层,断层倾向 NW,倾角约 40°,断距较大,为深大断裂。F7 断裂为正断层,断层倾向 SE,断距较小,倾角较陡。F8 断裂为逆断层,倾向 NW,倾角约 70°。F2 断裂为逆断层,倾向 NW,断距较大,为深大断裂。

3.2.3 断裂推断

根据布格重力异常中断裂识别标志^[5],结合其它数据转换成果,研究区共识别出主要断裂 12 条,其中 NE 向断裂 7 条,NW 向断裂 5 条,断裂分布如图 6 所示。

由于该区部分逆断层上下两盘密度差异较大,上盘为古生代低密度地层,下盘为新元古代高密度变质岩,导致重力异常图反映的位置与断层地表位置不一致,常沿断层倾向偏移,以深大断裂 F2 为例解释如下。

F2 断裂即甲路—石岭断裂带,研究区从梅春村

开始,穿过甲路乡、石岭,呈近 NE 向分布,长为 16.2 km,为塔前—赋春深大断裂在研究区的一部分。断裂北西为石家—周村 NE 向褶皱带,南东为洪村 EW 向褶皱带。断裂带沿线出露第四系及古生代地层。

布格重力异常上,NE 走向的线型重力低值带与地质图上的断裂带一致;重力异常在线型重力低值带北西侧呈 NE 走向、南东侧呈近 EW 走向,即断裂带同时又表现为不同特征重力场的分界线。在磁化极异常及其剩余异常图(图 4a、图 4c)上,F2 断裂表现为 NE 走向的串珠状磁异常带,说明在断裂活动中伴有岩浆活动。

从 3 号地质剖面重磁联合反演解释推断图(图 5)上可知,F2 断裂表现为 2 条倾角更陡的断裂切割至主断裂 F2 之上,童坊组上段逆冲于石炭纪老虎洞组之上,历崛山组上段逆冲于石炭纪船山组之上,说明 F2 断裂至少发生 2 次活动;第 1 次为寿安岩片双桥山群由于逆冲作用推覆于龙山岩片古生代地层之上,第 2 次为龙山岩片双桥山群由于逆冲作用推覆于古生代地层之上,形成 F2 断裂处的叠瓦状构造。

3.2.4 岩浆岩推断

根据磁化极异常、剩余重力异常特征,结合岩

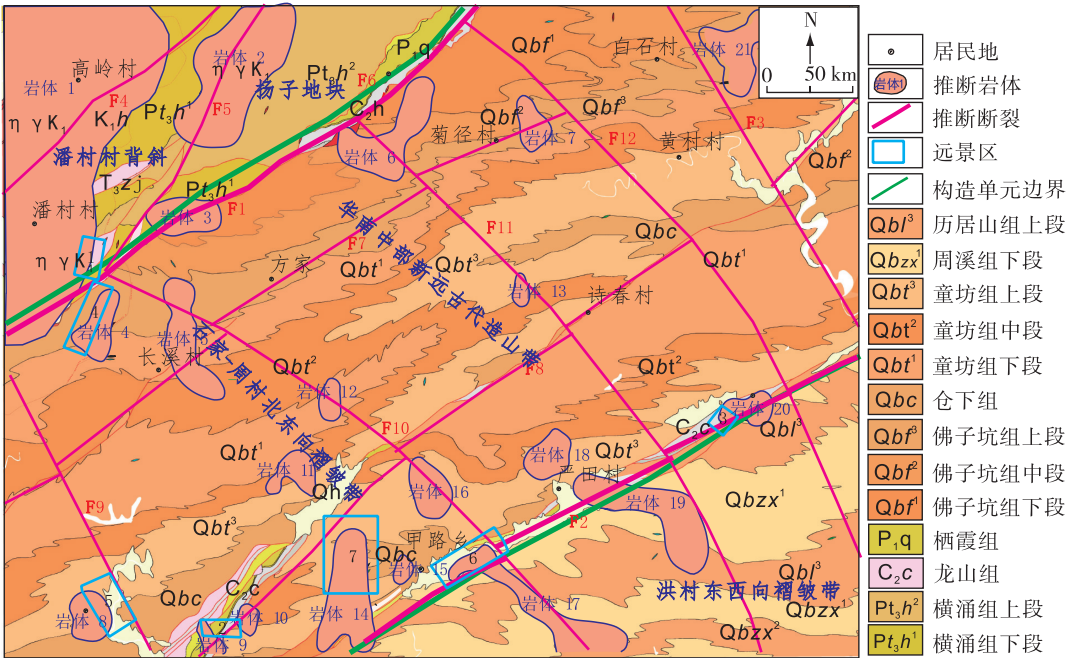


图 6 解释推断成果平面图

Fig. 6 Plane map showing the interpretation and inferred result

体露头地质特征,共推断出 14 处隐伏岩体,7 处半隐伏岩体。应用磁化极异常和重力垂向二阶导数的零值线大致确定岩体平面范围,岩体分布见解释推断成果平面图(图 6),可知,岩体主要呈 NE 向和 NW 向排列,说明研究区岩浆活动与区内 NE 向及 NW 向断裂有关。结合区域地质与区域岩浆活动,

认为这些岩体是燕山期地壳运动的产物。通过 2.5D 重磁联合反演对主要岩体规模及岩性进行定量解释,勾绘岩体外接触面形态(图 5)并计算其顶、底面深度。根据已出露岩体的岩性和物性特征推断隐伏岩体的岩性,与成矿关系密切的 11 个主要岩体特征如表 1 所示。

表 1 与成矿关系密切的主要岩体特征

Table 1 Characteristics of the main intrusions related to mineralization

岩体编号	岩性	面积/km ²	顶面埋深/m	底面埋深/m
岩体 1	低密度高磁二长花岗岩体	29.2	出露	-2 000 以下
岩体 2	低密度高磁二长花岗岩体(洪家山单元)	7.8	出露	-2 000 以下
岩体 4	低密度高磁二长花岗岩体	1.5	317	-125
岩体 5	低密度高磁二长花岗岩体	2.7	-164	-1 135
岩体 6	中等密度高磁花岗斑岩	3.3	-286	-2 000 以下
岩体 9	中等密度高磁花岗斑岩	0.4	-60	-1 500
岩体 11	中等密度高磁花岗斑岩	1.1	10	-325
岩体 13	高密度高磁岩脉	0.3	-150	-2 000 以下
岩体 14	中等密度高磁花岗斑岩	3.6	-435	-1 500
岩体 19	低密度高磁花岗斑岩	4.2	-212	-1 900
岩体 20	低密度高磁花岗斑岩	1.1	-317	-2 000 以下

3.2.5 成矿远景区圈定

根据研究区重、磁异常及其解释成果,结合区

域典型矿床^[6-11]地质特征及物化探找矿标志,参考物化探方法在探寻隐伏矿与深部矿中的研究思

路^[12-14],预测与圈定研究区内生金属矿成矿远景区。共圈定甲 1 类远景区 1 个,乙 2 类远景区 2 个,乙 3 类远景区 4 个,建议应优先查证岩山、和尚亭、石岭远景区(表 2)。

表 2 成矿远景区特征表

Table 2 Characteristics of the metallogenic prospective areas

远景区名称	类别	成矿模式
岩山	乙 2 类	朱溪钨矿式
和尚亭	甲 1 类	金山金矿式
石岭	乙 2 类	朱溪钨矿式
茶家坑亭	乙 3 类	德兴铜矿式
林塘村	乙 3 类	德兴铜矿式
儒家湾	乙 3 类	金山金矿式、朱溪钨矿式
航坑口	乙 3 类	德兴铜矿式

4 构造单元划分

研究区处于钦杭结合带东段,其一级构造分界线(图 6)在重力异常上的表现为:在布格重力异常图上为密集的重力梯级带,在区域重力异常图上为不同特征重力场的分界线,在剩余重力异常图上(图 3b)为不同特征局部异常群的分界线,在重力水平导数模上为明显的构造分界线(图 7 蓝色实线)。北西侧扬子地块构造运动与岩浆活动强烈,但构造

方向较单一,主要为 NE 向和 NNE 向;南东侧双溪坞增生弧构造运动与岩浆活动相对较弱,但构造具有多期性与多方向性,构造方向以 NE 向和 NW 向为主,局部可见 SN 向和 EW 向构造。

研究区南东侧的二级构造分界线(图 6)在重磁异常上的表现为:在布格重力异常上为 NE 向线型重力低值带,重力低值带北西侧异常呈 NE 向、南东侧异常呈近 EW 向,即该分界线同时又表现为不同特征重力场的分界线。在重力水平导数模上为明显的构造分界线(图 7 蓝色虚线),北西侧地层呈 NE 向展布,南东侧地层呈近 EW 向展布。在磁化极异常及其剩余异常图上(图 4a、图 4c),该分界线表现为 NE 向的串珠状磁异常带。

根据上述已知地质构造、实测重力异常与磁异常的关系,研究区构造分区分为扬子地块和华南中部新元古代造山带(即钦杭结合带东段)2 个构造大区,其中华南中部新元古代造山带又分为石家一周村 NE 向褶皱带和洪村 EW 向褶皱带 2 个构造小区(图 6)。

5 重力调查成果分析

(1)获取重力测点数据,提高测地和地改工作精度,重力布格异常总精度 $\pm 0.178 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$,其中地改误差 $\pm 0.175 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$,而地改误差源主

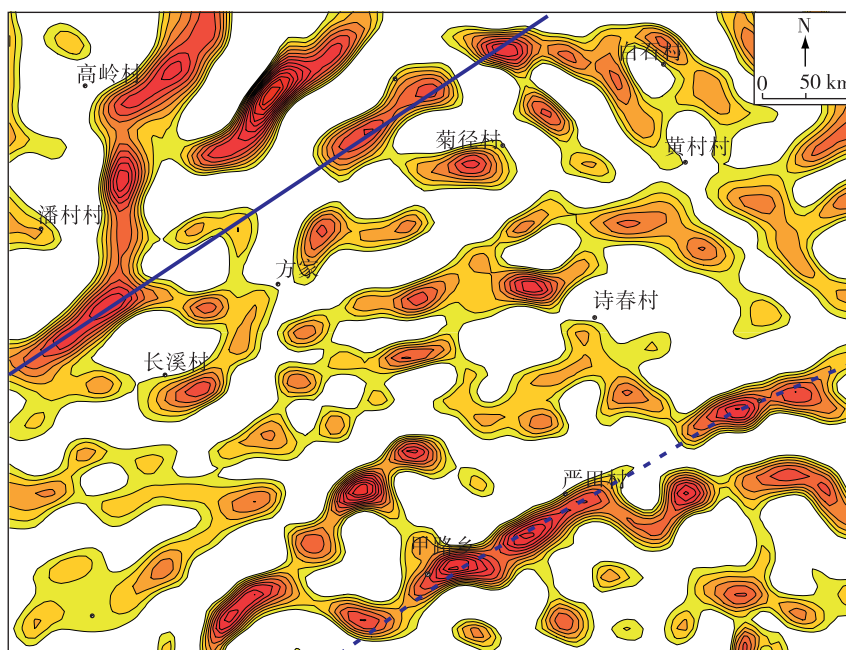


图 7 研究区重力水平导数模型

Fig. 7 Gravity horizontal derivative model of the study area

要为地形高程数据体误差(皖赣两省交界处精度相对较低)。通过整理实测重、磁成果,形成高质量重、磁、物性成果,为解决区域基础地质问题奠定基础。

(2)反映区域地质特征。不同性质的地质区块在重力异常图上表现为不同的重力场,不同地质区块分界线表现为重力场分界线。在某套地层覆盖下的重力场分界线应为此套地层覆盖下不同地质体重力场的反映,因此,重力调查成果可反映被调查区的区域地质特征。

(3)推断主要断裂。研究区 NE 向断裂与本次 1:5 万重力调查推断的断裂相对应,新推断的 NE 向断裂与已知断裂具有相同的重力场特征,说明本次 1:5 万重力调查推断的 NE 向断裂可靠。新推断的 NW 向断裂虽未在地质图中标定,但从重磁场特征及研究区 NE 向褶皱群均有 NW 向扭动错位来看,应客观存在 NW 向断裂,这是本次重力调查的新发现,对进一步地质调查工作具有指导意义。

(4)推断岩体。研究区岩体分布大多与 NE 向和 NW 向断裂密切相关,尤其新划定的 NW 向断裂与部分隐伏岩体走向相近,说明 NW 向构造与该区岩浆活动密切相关。

(5)反映褶皱构造。研究区褶皱在剩余重力异常图上表现为正负相间的局部异常带,其中背斜为正异常带,向斜为负异常带。

(6)共圈定岩山、和尚亭、石岭、茶家坑亭、林塘村、儒家湾、航坑口等 7 处成矿远景区。

6 结 论

在我国南方地形复杂、森林高覆盖率地区开展重力调查工作,GPS 测量精度与重力地形改正精度是确保重力数据精度的决定因素。地形复杂地区也是地质构造复杂地区,往往形成凌乱的局部重力异常,精准的物性参数是解释此类异常地质因素的关键。在我国南方地区开展 1:5 万重力调查工作,在取得高质量重力数据及精准物性参数的基础上,配合先进的数据处理与解释方法,在推断地质构造、圈定隐伏岩体等方面均可获得满意的勘查成果,尤其在解决面积性地质构造方面与其他物探方法相比更具优势,是配合地质与矿产调查的最佳物

探方法之一。

参考文献

- [1] 杨春成,韩革命,杨亚斌,等.高精度重、磁测量在大兴安岭找矿工作中的应用[J].地球物理学进展,2013,28(3):1472-1482.
- [2] 董英君.应用重磁方法勘查铁矿的效果——以辽宁建昌县马道铁矿为例[J].矿床地质,2006,25(3):321-328.
- [3] 屈挺,刘建利,李磊,等.重、磁、电综合物探方法在雪峰山西侧油气远景区地质调查中的应用[J].物探与化探,2016,40(3):452-460.
- [4] 张明华,乔计花,黄金明,等.重磁电数据处理解释软件 RGIS[M].北京:地质出版社,2011:101-110.
- [5] 曾华霖.重力场与重力勘探[M].北京:地质出版社,2005:237-238.
- [6] 韩文亮.江西甲路金矿区成矿地质条件及找矿前景分析[J].资源环境与工程,2009,23(3):209-239.
- [7] 毛景文,张建东,郭春丽.斑岩铜矿-浅成低温热液银铅锌-远接触带热液金矿床模型:一个新的矿床模型——以德兴地区为例[J].地球科学与环境学报,2010,32(1):1-14.
- [8] 徐磊,李三忠,刘鑫,等.华南钦杭结合带东段成矿特征与构造背景[J].海洋地质与第四纪地质,2012,32(5):57-66.
- [9] 陈国华,舒良树,舒立旻,等.江南东段朱溪钨(铜)多金属矿床的地质特征与成矿背景[J].中国科学,2015,45(12):1799-1818.
- [10] 李晓峰,胡瑞忠,韦星林,等.江西德兴地区主要矿床类型、成矿地质特征及其成因关系[J].地质论评,2012,58(1):82-90.
- [11] 胡正华,刘栋,刘善宝,等.江西乐平塔前钨(钨)矿床成岩成矿时代及意义[J].成都理工大学学报(自然科学版),2015,42(4):312-322.
- [12] 张景,陈国光,张明,等.宁芜盆地白象山矿区物化探异常特征及找矿意义[J].华东地质,2016,37(2):147-151.
- [13] 张景,陈国光,曾勇,等.综合找矿方法在宁芜北火山岩覆盖区的应用——以南门头工区为例[J].华东地质,2016,37(3):221-228.
- [14] 李双喜,郭坤一,宋世明,等.宁芜北部铜(金)多金属矿深部找矿地质与地球物理模型研究[J].华东地质,2016,37(4):266-274.

1:50 000 gravity survey result analysis of complicated terrain in Southern China: an example from the Jialu Sheet in northeastern Jiangxi Province

LAI Fa-teng, GUO Xin, ZHOU Yue, ZHANG Xiao-long, ZHAO Bao-feng

(Anhui Exploration Technology Institute, Hefei 230031, China)

Abstract: Through process and interpretation of the measured data of 1:50 000 Jialu Sheet gravity survey in northeastern Jiangxi Province, this study infer and reconstructs the structure system of the Jialu Sheet, and explains the morphology, extension and nature of the main faults. Combined with the concealed intrusions in the study area, which were outlined by magnetic anomalies, their external contact surface morphology and depth were determined using the 2.5D interpretation. Based on geologic and geochemical anomalies of typical ore deposits in the region, the metallogenic prospect areas were delineated and predicted. Study of relationship between tectonics, intrusions and metallogenesis suggests that the faults controlled the migration of the magma and hydrothermal fluids, and then controlled development and spatial distributions of concealed intrusions and endogenous metal deposits. Compared with other geophysical survey methods, gravity survey has its own advantages in explaining fault framework, and should be one of the best geophysical methods to identify regional structures, hidden intrusions and concealed deposits in mineral geological survey.

Key words: 1:50 000 gravity survey; interpretation of anomaly; fault; northeastern Jiangxi Province

网 址 变 更 通 知

尊敬的各位审稿专家、读者、作者:

由于我刊远程采编系统技术服务器的调整 and 变化,我刊在线投稿网站的网址已变更为 www.hddz.cgs.cn,原网址 <http://hddz.paperopen.com> 不再使用。请大家看到通知后,相互转告,由此给您们带来的不便,我们表示诚挚的歉意,并对您们一如既往的理解和支持表示衷心的感谢!

《华东地质》编辑部