

DOI:10.16788/j.hddz.32-1865/P.2021.03.006

引用格式:王云云,兰学毅,郭冬,等.地质-地球物理精细建模技术在庐枞下含山铁矿深部结构探测中的应用[J].华东地质,2021,42(3):293-301.

## 地质-地球物理精细建模技术在庐枞下含山铁矿深部结构探测中的应用

王云云<sup>1</sup>,兰学毅<sup>1</sup>,郭冬<sup>1</sup>,陶龙<sup>1</sup>,马冬<sup>2</sup>,丁文祥<sup>1</sup>,张莎莎<sup>1</sup>,叶林<sup>1</sup>,李勇<sup>2</sup>

(1.安徽省勘查技术院(安徽省地质矿产勘查局能源勘查中心),安徽 合肥 230001;

2.安徽省地质矿产勘查局 326 地质队,安徽 安庆 246003)

**摘要:**为查明深部闪长岩及膏盐层与庐枞盆地内玢岩型铁矿的关系,指导盆地南西缘许家咀下含山地区的找矿工作,该文利用最新测量的重力、磁测数据,结合地表地质和钻探等先验信息,采用 2.5D 重磁联合反演方法建立地质-地球物理精细模型,发现二长闪长岩侵入深度为-1 200 m,岩体与中三叠统月山组接触部位发育带状膏盐层和磁铁矿化互层,类似于龙桥式矿化,表明庐枞盆地内铁矿化与闪长岩、膏盐层密切相关。该文圈定了许家咀地区下含山隆起部位两处有利找矿靶区,为下一步找矿工作指明了方向,证明了地质-地球物理综合建模方法是指导找矿的有效方法。

**关键词:**长江中下游成矿带;庐枞盆地南西缘;下含山;深部地质结构;2.5D 重磁联合反演

**中图分类号:**P618.31;P631

**文献标识码:**A

**文章编号:**2096-1871(2021)03-293-09

长江中下游成矿带是我国东部重要的金属成矿带之一,成矿带主要由多个断隆区(鄂东南、九瑞、安庆—贵池、铜陵、宁镇)和断凹区(庐枞、宁芜)次级构造单元构成<sup>[1-9]</sup>。断隆区主要发育斑岩-矽卡岩型铜金矿床,成岩成矿年龄主要集中于 146~135 Ma<sup>[10-17]</sup>,断凹区则主要产出玢岩型铁矿床,成岩成矿年龄主要集中于 135~126 Ma<sup>[7-8,17-19]</sup>。前人根据玢岩型铁矿地质特征、空间分布规律及其与火山-次火山岩的关系建立了著名的玢岩型铁矿成矿模式<sup>[20]</sup>。近年来,随着勘探和研究工作的进行,尤其是在宁芜火山岩盆地深部发现闪长岩岩体,学者们提出玢岩型铁矿化与闪长岩体和膏盐层密切相关<sup>[21-28]</sup>。然而,在庐枞盆地仅有极少量钻孔揭露深部闪长岩体,这些岩体规模和矿化程度难以匹配,亟需确定闪长岩体在盆地深部的分布范围及其与玢岩型铁矿化之间的关系。地球物理探测技术是探索深部地质结构的最佳途径之一,配合钻孔信息,运用 2.5D 重磁异

常可视化建模技术对剖面异常进行正、反演计算,反演结果模型更加真实可靠<sup>[29-30]</sup>。

许家咀地区下含山位于庐枞火山岩盆地南西边缘的隆起区,安徽省地质矿产勘查局 326 地质队在下含山的钻探工作中发现深部二长闪长岩、石膏层和磁铁矿化等地质体<sup>[31]</sup>。这些信息为 2.5D 重磁联合反演方法提供了约束条件,因此,本文在该地区开展地质剖面 2.5D 重磁联合反演工作,精确厘定深部地层、岩体类型和展布及赋矿位置,为进一步丰富庐枞盆地的成矿规律、找矿勘探及成矿靶区的圈定提供参考。

### 1 地质背景

许家咀下含山地区位于安徽省枞阳县雨坛乡与义津镇交界地带,隶属庐枞火山岩盆地南西边缘隆起构造,“庐枞火山岩盆地”与“印支隆起”过渡区的含山—横山一带<sup>[31]</sup>。区内出露的主要地层有中三叠统铜头尖组、上三叠统拉犁尖组,下侏罗统磨山组、中侏

\* 收稿日期:2020-11-09 修订日期:2021-04-08 责任编辑:叶海敏

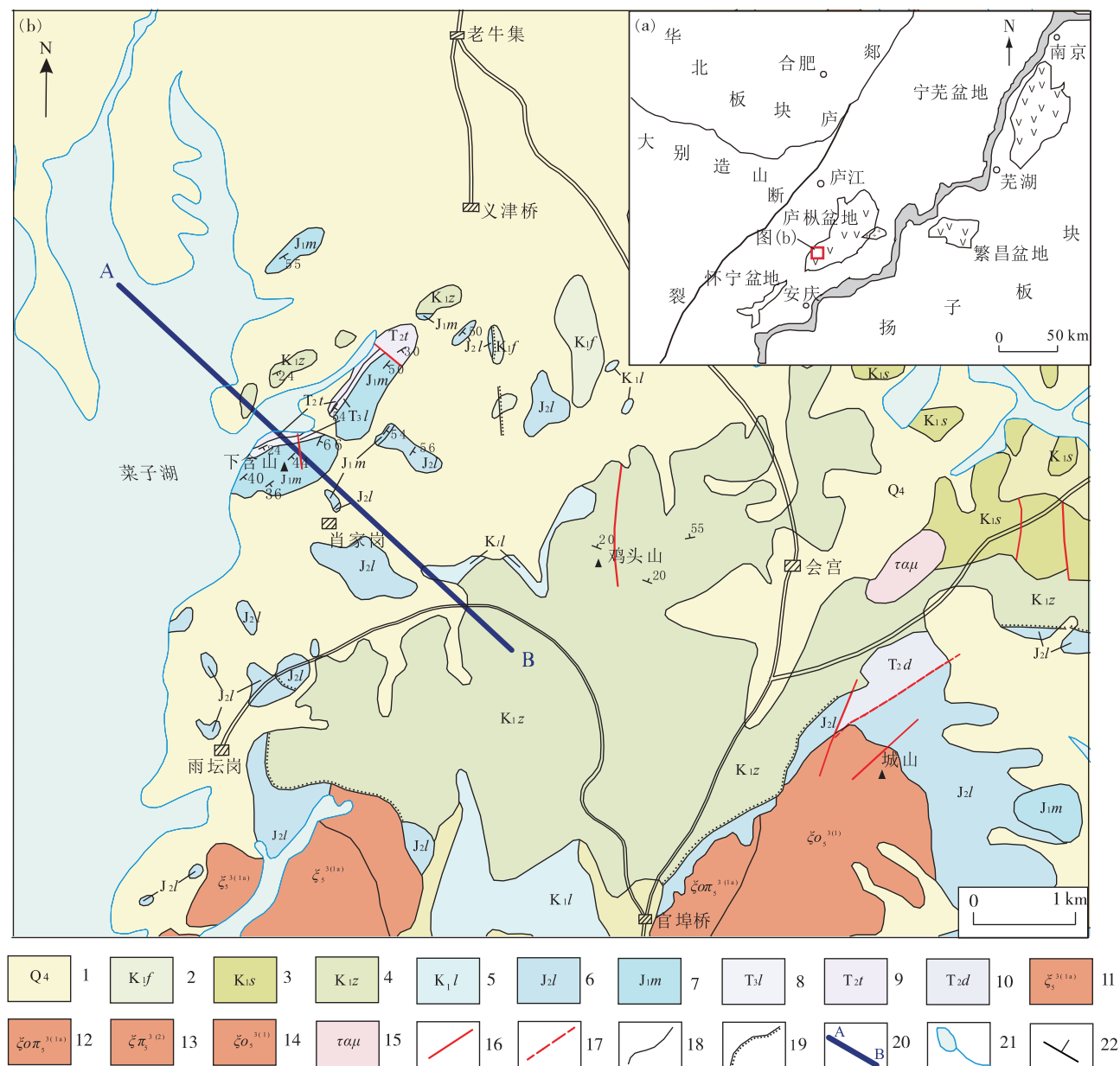
基金项目:中国地质调查局“安徽庐枞地区 1:5 万区域地质综合调查(编号:1212011220566)”项目资助。

第一作者简介:王云云,1987 年生,女,工程师,主要从事物探与地质找矿工作。Email:kcjsywy@126.com。

通信作者简介:兰学毅,1961 年生,男,教授级高级工程师,主要从事地球物理勘查研究。Email:lanxueyi@126.com。

罗统罗岭组,下白垩统龙门院、砖桥组、双庙组、浮山组与第四系(表1)。庐枞火山岩盆地地层向内倾,形成NE向向斜构造,“含山隆起”为许家咀地区的一个小型NE向岗丘地形,倾向SE,产状呈单斜形态。区内断裂主要有2组:枞阳—会宫NE向断裂带,为该区域主干断裂,走向近30°,以压性为主,破碎现象显著;

朱家凹—黄公山一带近SN向断裂,大致相互平行。中生代火山—侵入活动频繁而激烈,多次的岩浆活动形成了多期次侵入岩和多旋回火山岩。其中,火山岩由龙门院组、砖桥组、双庙组和浮山组4个旋回组成,侵入岩为二长岩和石英正长岩,主要分布于罗岭—毛王庙和荒草尖—城山地区(图1)。



1.第四系;2.下白垩统浮山组;3.下白垩统双庙组;4.下白垩统砖桥组;5.下白垩统龙门院组;6.中侏罗统罗岭组;7.下侏罗统磨山组;8.上三叠统拉犁尖组;9.中三叠统铜头尖组;10.中三叠统东马鞍山组;11.燕山晚期第一阶段第一次正长岩;12.燕山晚期第一阶段第一次石英正长斑岩;13.燕山晚期第二阶段正长斑岩;14.燕山晚期第一阶段石英正长岩;15.粗安玢岩;16.断层;17.推测断层;18.地质界线;19.不整合界线;20.反演剖面;21.水系;22.地层产状

图1 庐枞盆地内含山地区地质简图

Fig. 1 Geological sketch map of Xiahanshan region in the Luzong basin

## 2 地球物理特征

### 2.1 区域重磁场特征

重力异常特征:安徽沿江重力高值异常带与庐枞-怀宁火山岩盆地基本吻合<sup>[32-33]</sup>,许家咀下含山地区位于 NE 向庐枞重力高异常带的南西部<sup>[32]</sup>(图 1(a),图 2(a))。剖面经过区域重力高为庐枞盆地南西边缘早—中生代地层隆起所引起,布格重力异

常的变化范围为 $(-10.5 \sim -3.5) \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$ 。剖面以南是 NEE 向查岭局部重力低异常,查岭地区出露二长斑岩、二长闪长岩和正长岩(图 1(b)),是引起局部重力低异常的原因;官埠桥南西侧出露大范围石英正长岩和正长花岗岩(图 1(b)),并覆盖一定范围的第四系,故重力低异常值比查岭地区更低<sup>[34]</sup>。

AB 剖面的左侧大面积重力低异常区为孔城盆地的反映。

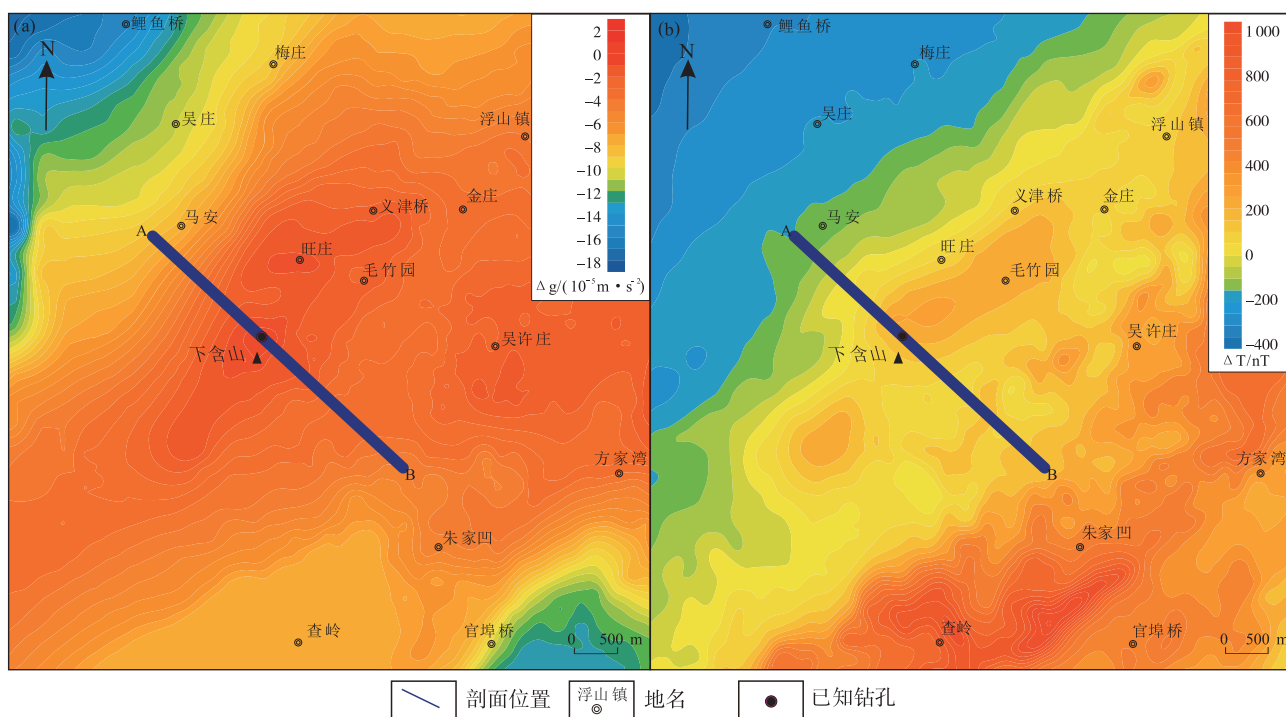


图 2 下含山地区布格重力异常图(a)和磁测  $\Delta T$  化极异常平面图(b)

Fig. 2 Bouguer contour map of gravity anomaly (a) and the contour map of high-precision magnetic  $\Delta T$  anomalies (b) in the Xiahanshan region

磁异常特征:庐枞盆地位于安徽沿江古生代断隆区高磁异常带上<sup>[32-33]</sup>。许家咀下含山地区则位于庐枞高磁异常带的南西缘,即高磁异常向低磁异常过渡的梯级带上(图 1(a),图 2(b))。剖面区域磁异常从 NW 向 SE 逐渐增强,以义津镇—旺庄一线为界,剖面北西部是孔城盆地负磁异常区,南东部是庐枞火山岩盆地南缘 NE 向展布的高磁异常区,异常强度大,分布范围广,为近 EW 向展布的杨桥—罗岭—大缸窑—甘庄高磁异常带的一部分<sup>[33]</sup>,由深部侵入岩和浅部火山岩共同引起。

### 2.2 物性特征

本文在收集整理前人物性和实测数据的基础

上,对研究区内密度、磁性等主要物性资料进行了分析统计,获取了岩石与地层的物性特征,划分了不同的物性层<sup>[32-33]</sup>,为重磁联合反演提供了可靠的物性参数(表 1)。

区内随地层年代由新到老,密度值表现为由小到大的特征。磁铁矿和膏盐层具有高密度;三叠系灰岩、白云岩及闪长岩具有较高密度;三叠系、侏罗系砂岩、粗安玢岩为中等密度;白垩系火山岩地层密度较低;第四系松散沉积物密度最小。

区内地质体磁性大致分为四类:磁铁矿或磁铁矿化岩石具有较高磁性;闪长岩具有中等偏高磁性;正长岩、次火山岩具有中等偏低磁性;沉积地层无磁性。

表 1 下含山地区岩石物性特征表  
Table 1 Physical properties of rocks in the Xiaohanshan region

地层名称	代号	岩性	厚度/m	密度/(g·cm <sup>-3</sup> )	磁化率/(10 <sup>-6</sup> SI)
第四系	Q	黏土、粉质黏土	<100	1.76	0
下白垩统浮山组	K <sub>1</sub> f	砾岩、砂岩、含砾砂岩	<517	1.88	0
下白垩统双庙组	K <sub>1</sub> s	灰黑色玄武粗安岩、粗面玄武岩、粗面质熔结凝灰岩、沉凝角砾岩	<635	2.50~2.55	0
下白垩统砖桥组	K <sub>1</sub> z	辉石粗安岩、粗安岩、凝灰岩、凝灰质砂岩	<945	2.54~2.56	0
下白垩统龙门院组	K <sub>1</sub> l	深灰色角闪玄武粗安岩、粗安质角砾熔岩、角闪粗安岩	<181	2.69	0
中侏罗统罗岭组	J <sub>2</sub> l	砂岩、粉砂岩及泥质粉砂岩、粉砂质泥岩	<2 254	2.60~2.64	0
下侏罗统磨山组	J <sub>1</sub> m	粉砂岩、粉砂质页岩、泥岩夹石英砂岩	<818	2.61~2.64	0
上三叠统拉犁尖组	T <sub>3</sub> l	粉砂岩、粉砂质泥岩夹石英细砂岩	<63	2.67	0
中三叠统铜头尖组	T <sub>2</sub> t	钙质粉砂岩夹钙泥质粉砂岩、细砂岩	<1 735	2.69	0
中三叠统月山组	T <sub>2</sub> y	钙质粉砂岩、粉砂质页岩与钙质粉砂岩互层,膏溶角砾岩,含铁砾屑灰质白云岩,深部膏盐层,白云岩、白云质灰岩	<155	2.70~2.72	0
岩体	ηδ	二长闪长岩		2.66~2.70	6 000~18 000
岩体	ξ	正长岩		2.59~2.64	1 000~5 000
岩体	ξπ	正长斑岩		2.59~2.64	800~6 000
岩体	ταμ	粗安玢岩		2.66~2.70	0~40 000
磁铁矿	mFe	磁铁矿化	<80	3.67~3.87	20 000
膏盐层		石膏和少量方解石、白云岩	<80	3.47~3.57	0

### 3 地质-地球物理综合建模

#### 3.1 技术路线

综合地质-地球物理模型是实现深部矿产勘查突破的重要途径,通过对深部地质体进行综合建模工作,可精细刻画控矿要素的空间位置及它们之间的相互关系,开展深部找矿预测。本次工作的基本思路及技术路线是以收集的钻探、地质、物性(密度、磁化率)信息等资料为先验信息建立初始地质模型,根据重磁数据进行 2.5D 反演拟合,最终得到地质-地球物理模型。

#### 3.2 地质-地球物理综合建模流程

(1)先验信息的收集。收集信息时主要选择有物性信息或可转换为物性信息的资料,实际地球物理探测过程中,先验信息往往有限且分布不均匀。本次研究工作收集的先验信息主要有钻探、物性资料和地质填图资料。

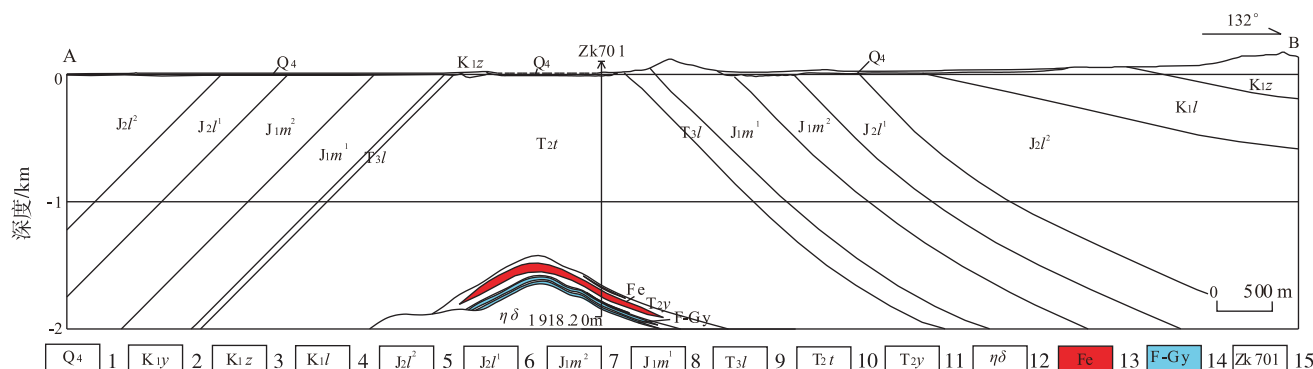
(2)构建初始地质剖面。在地质图上选定位置进行图切剖面,形成初始地质剖面,辅助实测剖面,对地质断面进一步修正,综合已有地质、钻探等资

料,形成 AB 剖面的地质断面图(图 3)。

本次研究的高精度重力数据和磁测数据来源于中国地质调查局“安徽庐枞地区区域地质综合调查”项目。联合反演所用重力数据经过地形改正、布格校正、正常场校正操作得到布格重力异常值,磁力剖面数据经过异常场分离获取 ΔT 磁化极数据。

本文在初始地质模型的基础上,以岩石与矿石物性为纽带,以钻探数据为约束,采用中国地质调查局发展研究中心开发的 RGIS2017 软件<sup>[35]</sup>对横切许家咀地区下含山隆起的 AB 剖面进行 2.5D 重磁联合反演。

2.5D 重磁异常可视化建模技术对剖面异常进行正、反演计算,所选模型为水平有限长的棱柱体,截面为任意多边形,其任意组合可以逼近复杂形态的地质体<sup>[36]</sup>。反演基于初始地质模型,综合考虑了密度、磁性、高程、背景场等多项参数,使反演结果模型的可信度获得较大提高。以布格重力异常和航磁化极异常数据为拟合依据,以人机交互方式不断修改模型及物性参数,直至获得合理的地质模型和满意的重磁拟合效果。模型体的物性和空间形



1.第四系;2.下白垩统杨湾组;3.下白垩统砖桥组;4.下白垩统龙门院组;5.中侏罗统罗岭组上段;6.中侏罗统罗岭组下段;7.下侏罗统磨山组上段;8.下侏罗统磨山组下段;9.上三叠统拉犁尖组;10.中三叠统铜头尖组;11.中三叠统月山组;12.二长闪长岩;13.铁矿体;14.石膏矿层;15.已知钻孔编号

图 3 AB 剖面初始地质模型

Fig. 3 Initial geological model of the AB section

态的修改范围由物性数据和地质合理性决定<sup>[37]</sup>。其中,地表地质资料和钻探资料为重要的约束条件,在重磁反演过程中,保持反演模型的近地表和钻探控制区与先验信息一致是基本原则。

根据反演规则,一般先拟合背景场,再反演局部异常。高磁异常背景反映深部存在较大的磁性体,重力异常变化由地质块体之间的相对密度及与区域背景场之间的密度差异所引起。通过比较理论曲线和实测曲线,根据差异修改模型参数,重新计算重、磁理论曲线,再次比较理论曲线和实测曲线,经过如此反复,直到差异达到设定的最小值为止<sup>[38]</sup>。这样得到的地质-地球物理模型既最大可能地消除了地质解释的多解性,又避免了重、磁单一解释存在的矛盾,使最终的地质解释结果与重磁实测资料达到有机统一,最终建立地质-地球物理综合模型(图 4)。

## 4 结果分析与解释

### 4.1 深部岩体形态与展布特征

庐枞盆地中生代大面积的岩浆岩和磁铁矿化是引起盆地内高磁异常的主要原因。运用剖面线的磁异常值反演深部岩体形态和与矿化体之间的接触关系,是本次工作解决的重要问题。

钻孔 ZK701 揭露在深约 -1 859 m 处发育二长闪长岩,二长闪长岩侵入上覆地层中三叠统月山组,月山组内夹有薄层石膏层和磁铁矿。地质初始

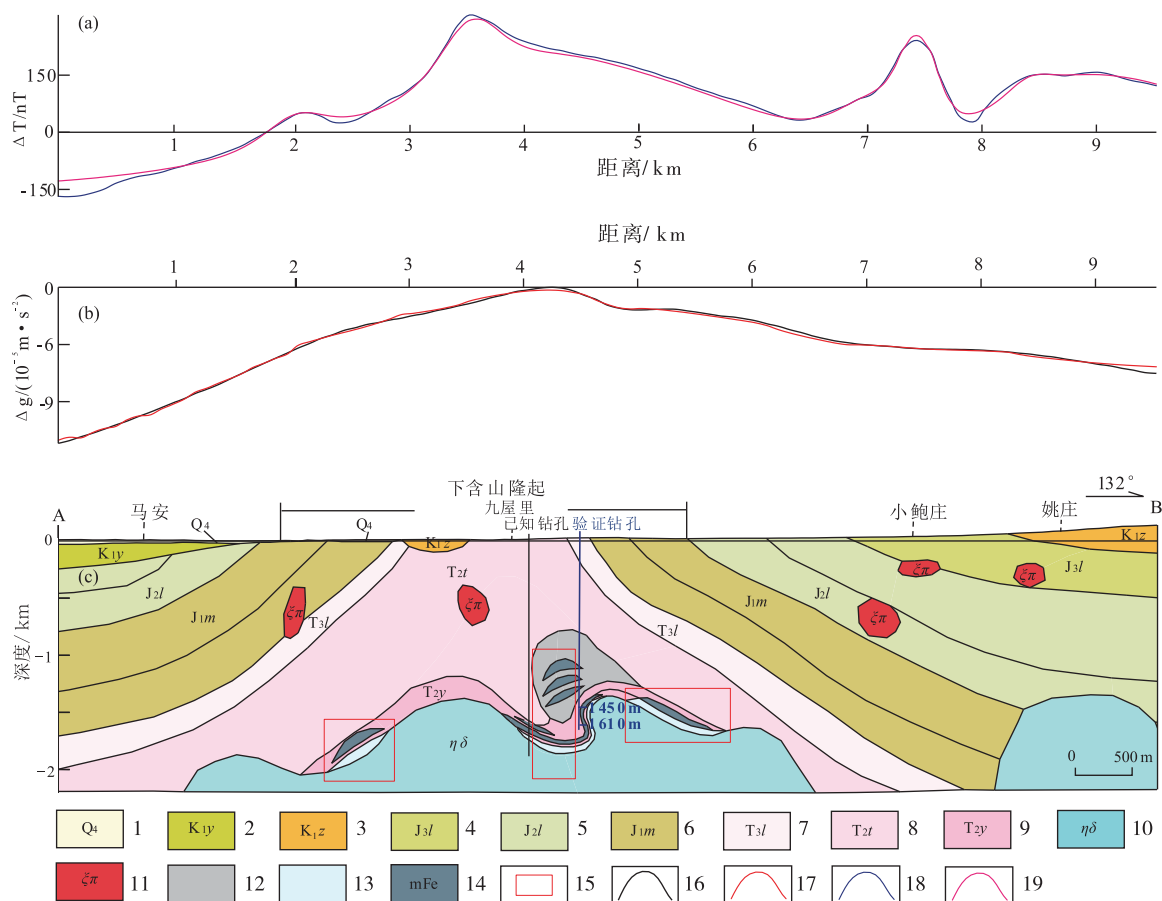
剖面显示,深部岩体形态总体表现为一个 NE 走向、两侧对称的岩峰,其北西侧和南东侧均无岩体延伸(图 3)。

观察磁异常曲线整体变化趋势(图 4),剖面起始端负磁异常逐渐升高,自 1 827 m 起磁异常值由 0 nT 开始增大,至剖面南东端磁异常值均在 0 nT 以上,整体表现为变化平缓的高磁异常背景上叠加了若干个局部磁异常,该异常特征由深部大岩体和浅部磁性体共同引起。

剖面经过区域仅在起始端和南东端出露薄层火山岩地层,是庐枞盆地南西缘火山岩厚度减薄区域,无磁性,因此,磁异常主要由深部大岩体和浅部岩脉、岩枝或磁铁矿化引起。二长闪长岩具有较强的磁化率和中高密度(表 1),将岩体的磁化率和密度范围内的值赋予拟合的岩体中,运用钻孔控制住已知点的岩体深度和走向,判断两侧岩体展布趋势,根据实测磁异常曲线变化特点,使拟合曲线尽可能地接近实测磁异常曲线,同时调整拟合剖面的形态,判断是否与合理地质模型存在冲突,真实地厘定深部岩体形态。经反演二长闪长岩在深部由北西向南东延伸约 8 660 m,岩体侵入深度约 -1 266 m。

总体上,以下含山为界,火山岩向南东逐渐增厚,对应磁场强度逐渐增大,磁异常背景值逐渐升高,跳跃起伏变化的局部磁异常比北西部多,暗示深部磁性体由北西向南东由无到有,体积逐渐增大,埋深逐渐变浅,出露的小岩体、岩脉逐渐增多。





1.第四系;2.下白垩统杨湾组;3.下白垩统砖桥组;4.下白垩统龙门院组;5.中侏罗统罗岭组;6.下侏罗统磨山组;7.上三叠统拉犁尖组;8.中三叠统铜头尖组;9.中三叠统月山组;10.二长闪长岩;11.正长斑岩;12.角岩化;13.膏盐层;14.磁铁矿化;15.预测靶区;16.实测重力异常曲线;17.拟合重力异常曲线;18.实测磁力异常曲线;19.拟合磁力异常曲线

(a).磁力曲线;(b).重力曲线;(c).重磁联合反演地质剖面图

图4 AB剖面2.5D重磁联合反演结果图

Fig. 4 2.5D gravity and magnetic joint inversion model of the AB section

对应实测异常曲线的局部磁异常,与浅地表的小岩脉或岩枝拟合。

#### 4.2 深部地层和矿体分布特征

根据AB剖面2.5D重磁联合反演结果(图4)解释:剖面经过主要构造下含山背斜,北西侧为孔城盆地东缘,南西侧为龟山凹陷。孔城盆地被第四系覆盖,第四系下伏地层为下白垩统杨湾组,岩性为砾岩、砂岩等,密度较低,是引起北西端重力低异常的主要原因,综合反演杨湾组最厚处约200 m。下含山背斜北西侧出露早白垩统砖桥组,沿北西方向绵延约600 m,反演厚度79 m,为喷发边缘相。下含山背斜核部地层是中三叠统铜头尖组,反演厚度约900 m,两翼地层为上三叠统拉犁尖组,厚度约

100 m,上覆地层依次有下侏罗统磨山组、中侏罗统罗岭组,罗岭组与上覆下白垩统杨湾组呈角度不整合接触。背斜北东侧出露火山岩浮山组、南东侧出露龙门院组和大量砖桥组。剖面经过背斜南东翼出露地层依次有下侏罗统磨山组、中侏罗统罗岭组、下白垩统龙门院组、砖桥组,其中,砖桥组组成龟山凹陷的核部,厚度最大112 m,龙门院组不整合覆盖于罗岭组之上,反演罗岭组厚度约1500 m,磨山组厚约400 m。总体上剖面北西端孔城凹陷,是引起重力低异常的原因,南东方向下含山局部隆起构造叠加了较高密度的火山岩和磁铁矿化,是引起重力高异常的主要原因,AB剖面经过区域由北西向南东基底地层埋深逐渐增加。

AB剖面经过下含山背斜一段重力异常和磁异常特征整体变化趋势一致,表现为中间高两端低的特点,但最大磁异常值与重力异常极值并不吻合,可能暗示高密度体较高磁性体晚出现。钻孔ZK701所在位置航磁异常值较高,重力异常值接近剖面最大值。钻孔揭露:磁铁矿化深度-1 337 m;-887 m至-1 670 m在中三叠统铜头尖组内发育角岩化粉砂岩。但角岩化的地层密度所引起的重力异常难以达到剖面4 000~4 700 m之间的重力高异常值,推断岩体在距剖面起始端约4 500 m时向北西倾,岩体顶部与中三叠统月山组接触部位形成膏盐层和磁铁矿化互层,月山组上覆铜头尖组发生较大范围角岩化,深度约-800 m,呈半月形包裹着磁铁矿层。该形态合理地拟合了重力高异常和磁异常(图4)。

## 5 找矿预测

### 5.1 深部靶区圈定

钻孔揭露中三叠统铜头尖组内发育磁铁矿化、膏盐层,与二长闪长岩呈侵入接触(图3),但钻孔揭露的仅为某一点深部地质体在纵向上的接触关系,岩体、地层和矿体的走势及它们之间的相互接触关系仍不明确。由剖面重磁异常曲线特征(图4)分析:在4 200~4 500 m处为重力异常值最高范围,但对应磁异常则处于由极值逐渐降低的过渡带上,推断深部岩体向上侵入月山组内,并向北西倒转。由钻孔编录数据可知,月山组发育磁铁矿和膏盐层互层,在铜头尖组内具有一定规模的角岩化,角岩化间发育磁铁矿化,将各地质体相应的物性值(密度、磁化强度)填入参数表中,经过多次人机交互反演及参数调整拟合实测曲线。反演结果显示钻孔揭露的二长闪长岩向两侧延伸,根据岩体的密度和磁性反演的二长闪长岩体形态和矿体走势能准确地拟合异常曲线,表明闪长岩体在深部延伸规模较大,与月山组接触带可发生一定程度蚀变矿化。最终,在岩体与月山组接触带圈定靶区2处:剖面2 500~2 900 m,岩体北西斜坡上,深度约-1 800 m;剖面4 200~4 600 m岩体由凹陷至抬升且向北西倒转的过渡部位和剖面4 900~5 700 m岩体南东倾与月山组的接触部位(图4)。

### 5.2 钻探验证和找矿方向

为了进一步验证上述解释结果,安徽省地质矿

产勘查局326地质队在许家咀地区部署了钻探工作,对本次2.5D重磁联合反演工作所预测的深部地质体形态及靶区进行了验证。验证钻孔揭示在约-1 450 m和-1 610 m分别发育厚度5.2 m、2.4 m左右的磁铁矿矿体,品位为26%~49%,与综合物探预测模型十分吻合。从异常分布范围与综合建模所获得的矿化体体积计算分析,下含山铁矿规模可达中型。本次研究的地质-地球物理模型预测精度优于8%(主要矿化体预测深度与实际钻探矿化体深度相比)。充分证明以钻探、物性为基础,以重磁联合反演处理与解释为手段的工作方法,可有效刻画深部地质体结构,以解决地层、断裂并圈定矿化体位置等问题,具有较高的解释精度。

下含山地区为庐枞盆地南西缘隆起构造,成矿岩体为二长闪长岩,赋矿地层为中三叠统月山组白云岩夹灰岩、膏盐层、钙质粉砂岩、钙质页岩夹泥质白云岩,表现为重磁同高的地球物理场特征。位于庐枞盆地北缘的龙桥铁矿成矿母岩为辉长闪长岩,矿体赋存于中三叠统东马鞍山组泥灰岩、角砾状灰岩和泥质粉砂岩中<sup>[39]</sup>,重磁异常特征为重磁高。这两个成矿区均位于盆地边缘隆起部位,成矿岩体为闪长岩类,成矿类型以铁矿为主,成矿岩体和围岩地层具有很大的相似性。因此,许家咀下含山隆起区是寻找龙桥式铁矿床的有利地区。表明庐枞盆地南西缘具备特有的成矿背景和铁铜等多金属的找矿潜力,其矿化与闪长岩类、次火山岩和膏盐层密切相关,矿化规模及深度较大。

## 6 结论

(1)地质-地球物理综合建模对庐枞盆地南西缘许家咀地区深部岩体、地层及其相互关系进行了精细刻画,经钻探验证高度符合实际,证明基于钻探、地质等先验信息的重磁联合反演方法对解剖深部矿产、揭示成矿规律是一个科学有效的方法。

(2)揭示深部二长闪长岩侵入深度为-1 200 m,岩体与中三叠统月山组接触部位发育带状石膏岩和磁铁矿化互层,在含山隆起南东翼月山组向北西倾,可能由于岩体侵入致使地层向北西倾。在岩体顶部对应重力高异常极值,反演模型表现为中三叠统铜头尖组内发育角岩化和矿化所致。

(3)许家咀下含山地区闪长岩、膏盐层与矿化关系密切,成矿岩体和围岩地层类似于龙桥铁矿。

在下含山隆起部位,即深部二长闪长岩体斜坡向底部的过渡处,是有利的成矿部位。

## 参考文献

- [1] 常印佛,刘湘培,吴言昌.长江中下游铜铁成矿带[M].北京:地质出版社,1991:1-359.
- [2] 唐永成,吴言昌,储国正,等.安徽沿江地区铜金多金属矿床地质[M].北京:地质出版社,1998:1-359.
- [3] 吴言昌,曹奋扬,常印佛.初论安徽沿江地区成矿系统的深部构造岩浆控制[J].地学前缘,1999,6:285-296.
- [4] 邢凤鸣,徐祥.铜陵地区高钾钙碱性系列侵入岩[J].地球化学,1996,25(1):29-38.
- [5] 任启江,邱检生,徐兆文,等.安徽沙溪斑岩铜(金)矿床矿化小岩体的形成条件[J].矿床地质,1991,10(3):232-242.
- [6] 储国正.铜陵狮子山铜金矿田成矿系统及其找矿意义[D].北京:中国地质大学(北京),2003.
- [7] 陈江峰,谢智,张巽,等.安徽的地壳演化: Sr-Nd 同位素证据[J].安徽地质,2001,11(2):123-130.
- [8] 周涛发,范裕,袁峰.长江中下游成矿带成岩成矿作用研究进展[J].岩石学报,2008,24(8):1665-1678.
- [9] 周涛发,范裕,袁峰,等.长江中下游成矿带火山岩盆地的成岩成矿作用[J].地质学报,2011,85(5):712-730.
- [10] 毛景文, HOLLY S, 杜安道, 等. 长江中下游地区铜金(钼)矿 Re-Os 年龄测定及其对成矿作用的指示[J].地质学报,2004,78(1):121-131.
- [11] 王彦斌,刘敦一,蒙义峰,等.安徽铜陵新桥铜-硫-铁-金矿床中石英闪长岩和辉绿岩锆石 SHRIMP 年代学及其意义[J].中国地质,2004,25(2):87-91.
- [12] 张达,吴淦国,狄永军,等.铜陵凤凰山岩体 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄与构造变形及其对岩体侵位动力学背景的制约[J].地球科学,2006,31(6):823-830.
- [13] 张乐骏,周涛发,范裕,等.安徽月山岩体的锆石 SHRIMP U-Pb 定年及其意义[J].岩石学报,2008,24(8):1725-1732.
- [14] 王世伟,周涛发,袁峰,等.铜陵舒家店斑岩铜矿成矿年代学研究及其成矿意义[J].岩石学报,2012,28(10):3170-3180.
- [15] 徐晓春,白如玉,谢巧勤,等.安徽铜陵中生代侵入岩地质地球化学特征再认识及成因讨论[J].岩石学报,2012,28(10):3139-3169.
- [16] 郭维民,陆建军,蒋少涌,等.安徽铜陵狮子山矿田岩浆岩年代学、Hf 同位素、地球化学及岩石成因[J].中国科学:地球科学,2013,8:1268-1286.
- [17] 楼亚儿,杜杨松.安徽繁昌—铜陵中生代侵入岩的特征和成因研究[D].北京:中国地质大学(北京),2005.
- [18] 杜玉雕,魏国辉.安徽庐枞盆地枞阳地区玄武质火山岩[J].华东地质,2019,40(3):188-198.
- [19] 范裕,周涛发,袁峰,等.安徽庐江—枞阳地区 A 型花岗岩的 LA-ICP-MS 定年及其地质意义[J].岩石学报,2008,24(8):1715-1724.
- [20] 宁芜研究项目编写小组.宁芜玢岩铁矿[M].北京:地质出版社,1978:1-320.
- [21] 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.
- [22] 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.
- [23] 高守业,王丽娟,陆建军,等.宁芜和庐枞盆地含矿岩体地球化学特征对比[J].华东地质,2017,38(1):21-27.
- [24] 周涛发,范裕,袁峰,等.安徽庐枞盆地泥河铁矿床与膏盐层的成因联系及矿床成矿模式[J].地质学报,2014,88(4):562-573.
- [25] 李延河,段超,韩丹,等.膏盐层氧化障在长江中下游玢岩铁矿成矿中的作用[J].岩石学报,2014,30(5):1355-1368.
- [26] 张荣华,张雪彤,胡舒敏.庐枞火山盆地深部岩石与成矿过程[J].岩石学报,2010,26(9):2665-2680.
- [27] 欧邦国,刘一男,洪浩澜,等.安徽省庐枞盆地龙桥铁矿床深部辉长闪长岩的发现及其意义[J].安徽地质,2016,26(3):179-181.
- [28] 郭宗玲,盛勇,黄博,等.安徽庐枞火山岩矿集区东南部成矿系列及成矿规律[J].华东地质,2017,38(3):194-202.
- [29] 兰学毅,杜建国,严加永,等.基于先验信息约束的重磁三维交互反演建模技术——以铜陵矿集区为例[J].地球物理学报,2015,58(12):4436-4449.
- [30] 陶龙,张莎莎,兰学毅,等.1:5万重磁勘查在安徽宣城覆盖区地质找矿中的应用探索[J].中国地质,2019,46(4):894-905.
- [31] 马冬,王松根,吴国荣,等.安徽庐枞火山岩盆地西南部“含—横隐伏隆起”构造特征与成矿条件分析[J].安徽地质,2015,25(2):87-98.
- [32] 兰学毅,郭冬,王云云,等.安徽庐枞地区 1:5万区域地质综合调查成果报告[R].合肥:安徽省勘查技术院,2016:23-67.
- [33] 安明,郭冬,王云云,等.安徽矾山镇—将军庙幅重磁数据处理及三维重磁立体反演专项研究成果报告[R].合肥:安徽省勘查技术院,2015:28-52.
- [34] 付建民,陈永宁,曹静平,等.重磁场联合反演技术在庐枞盆地基底构造解释中的应用[J].地质找矿论丛,2012,27(2):227-232.



- [35] 重磁电数据处理软件 RGIS 使用手册[Z].北京:中国地质调查局发展研究中心,2017.
- [36] 陈召曦,孟小红,郭良辉.重磁数据三维物性反演方法进展[J].地球物理学进展,2012,27(2):503-511.
- [37] 丁文祥,袁峰,李晓辉,等.基于重磁联合反演的宁芜盆地钟姑矿田深部地质结构解析及成矿预测[J].地质学报,2018,92(11):2301-2317.
- [38] 丁海红,陈雪,刘敦华,等.宁芜北段东带矿集区重磁 2.5D 反演联立剖面特征研究[J].华东地质,2017,38(2):138-146.
- [39] 刘一男,范裕,周涛发,等.安徽龙桥铁矿床辉长闪长岩的发现及其岩石学和年代学研究[J].矿床地质,2017,36(5):1127-2242.

## Application of geological-geophysical modeling technique in deep structural exploration of Xiahanshan iron deposit in the Luzong basin

WANG Yunyun<sup>1</sup>, LAN Xueyi<sup>1</sup>, GUO Dong<sup>1</sup>, TAO Long<sup>1</sup>, MA Dong<sup>2</sup>, DING Wenxiang<sup>1</sup>,  
ZHANG Shasha<sup>1</sup>, YE Lin<sup>1</sup>, LI Yong<sup>2</sup>

(1. Geological Exploration Technology Institute of Anhui Province (Energy Exploration Center),  
Hefei 230001, Anhui, China; 2. No.326 Geological Team, Bureau of Geology and Mineral Exploration of  
Anhui Province, Anqing 246003, Anhui, China)

**Abstract:** Based on the latest gravity and magnetic data, the surface geological and drilling information in the Xujiazui region, a detailed geology-geophysical model is established by using 2.5D gravity and magnetic joint inversion method in this paper. The model is used to clarify the relationship between the deep diorite, the sulfate evaporate salt layers and porphyry iron deposit, so as to guide the ore-prospecting in the Xiahanshan region, Xujiazui in the southwest margin of the Luzong basin. The result shows that the monzodiorite was emplaced at depth of 1200m, and the sulfate evaporate salt layers interbedded with magnetite in the contact zone between the intrusion and the Triassic Yueshan Formation, which is similar with the “Longqiao-type” mineralization. This study suggests that the porphyry iron mineralization in the Luzong basin is closely related to diorite and sulfate evaporate salt layers. Based on the research, two prospecting targets are delineated in the Xiahanshan uplift zone in the Xujiazui region, providing direction for the further ore-prospecting. Consequently, the geological-geophysical modeling technique has been proved to be an effective method of guiding mineral exploration.

**Key words:** the middle-lower reaches of the Yangtze river metallogenic belt; south-west margin of the Luzong basin; Xiahanshan; deep geological structure; 2.5D gravity and magnetic joint inversion