

doi: 10.12029/gc20190418

陶龙,张莎莎,兰学毅,汤正江,安明,严加永,王云云,郭冬,叶林,洪大军. 2019. 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, 46(4): 894-905.

Tao Long, Zhang Shasha, Lan Xueyi, Tang Zhengjiang, An Ming, Yan Jiayong, Wang Yunyun, Guo Dong, Ye Lin, Hong Dajun. 2019. Application of 1:50000 gravity and magnetic exploration for mineral prospect in heavily covered area in Xuancheng, Anhui Province[J]. Geology in China, 46(4): 894-905(in Chinese with English abstract).

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

陶龙¹,张莎莎¹,兰学毅¹,汤正江¹,安明¹,严加永²,王云云¹,郭冬¹,叶林¹,洪大军¹

(1.安徽省勘查技术院,安徽合肥 230031;2.中国地质调查局-中国地质科学院地球深部探测中心,北京 100037)

摘要:安徽省宣城地区是长江中下游成矿带的重要组成部分,地表以第四系覆盖下(红层覆盖、推覆构造下)为主要特点。本文以最新获取的 1:5 万高精度重磁资料为基础,通过对研究区进行平面解译,获得了区内地质构造、控矿层位、侵入岩体的分布等平面属性;以研究区重磁二度半定量反演计算成果为基础,探索建立了全区准三维立体结构,掌握了区内主要控矿断裂、岩浆岩、矿源层等要素的几何空间展布规律及成矿有利部位等重要找矿空间属性;以研究区内已知典型矿床为切入点,总结了其地球物理场特征、成矿条件、控矿要素等成矿因素,探索构建了目标区地质-地球物理找矿模型,划分了成矿远景区,并圈定了重点找矿靶区。朱桥成矿远景区魏墩靶区钻探验证见矿实例表明,通过 1:5 万高精度重磁资料的处理与研究,进行位场平面—三维勘查、地质-地球物理找矿模型构建的方式发挥了地球物理找矿的优势,提高了找矿效果。本文研究成果可为中国东部覆盖区找矿勘查工作提供参考和指示。

关键词:重磁勘查;覆盖区;三维勘查;地质-地球物理找矿模型

中图分类号:P631.1 文献标志码:A 文章编号:1000-3657(2019)04-0894-12

Application of 1:50000 gravity and magnetic exploration for mineral prospect in heavily covered area in Xuancheng, Anhui Province

TAO Long¹, ZHANG Shasha¹, LAN Xueyi¹, TANG Zhengjiang¹, AN Ming¹, YAN Jiayong²,
WANG Yunyun¹, GUO Dong¹, YE Lin¹, HONG Dajun¹

(1. Geological Exploration Technology Institute of Anhui Province, Hefei 230031, Anhui, China; 2. Sinoprobe Center, Chinese Academy of Geological Sciences and China Geological Survey, Beijing 100037, China)

Abstract: Xuancheng area in Anhui Province is an important part of the metallogenic belt in the middle and lower reaches of the Yangtze River, with the surface characterized by Quaternary coverage, red bed coverage and nappe structure. Based on the newly acquired 1:50,000 high-precision gravity and magnetic data, the plane properties of the geological structure, ore-control horizon, and intrusive rock mass are obtained through the plane interpretation to the study area. Based on the magnetic second-degree and

收稿日期:2019-06-21;改回日期:2019-07-18

基金项目:中国地质调查局项目(1212011120924、1212011121009、DD20160082)、国家自然科学基金(41574133、41630320)及国家重点研发计划专项课题(2016YFC0600201)联合资助。

作者简介:陶龙,男,1984年生,高级工程师,长期从事地球物理勘查工作;E-mail:taolong001122@163.com。

half-dimensional quantitative inversion results, we explored the three-dimensional structure of the whole area, and obtained the geometric spatial distribution rules of the main ore-controlling faults, magmatic rocks, and ore source layers. Also, we studied the spatial attributes of the favorable parts of metallogenesis. Starting from the known typical deposits in the study area, we summarized the mineralization factors of the geophysical characteristics, metallogenic conditions, and ore-controlling factors. We also explored the geological-geophysical prospecting model of the target area, divided the prospecting mineralization areas, and delineated the key prospecting target areas. The drilling to cores of Weidun target area in Zhuqiao Metallogenic Prospecting Area shows that, by processing the 1:50000 high-precision gravity and magnetic data, we implemented a way, including the potential field plane-three-dimensional exploration and geological-geophysical prospecting model construction, in mineral exploration, which took advantage of the geophysical prospecting and finally improved the exploration effect. The results in this study can provide references for prospecting and exploration works in eastern China.

Key words: gravity and magnetic survey; heavily covered area; 3D survey; geo-geophysical prospecting model

About the first author: TAO long, male, born in 1984, senior engineer, mainly engages in geophysical exploration; E-mail: taolong001122@163.com.

Fund support: Supported by China Feology Survey project(No.121201112092, No.1212011121009, No.DD20160082), National Natural Science Foundation(No.41574133, No.41630320)and National Key R&D Program of China(No.2016YFC0600201).

1 引言

近年来,随着矿产资源的不断勘探与开发,地表矿、浅部矿和易识别矿大部分已被发现,社会、经济的持续发展对资源的需求不断增大,因此矿产勘查工作也转向深部、覆盖区中隐伏矿、深部矿和难识别矿(彭省临等,2004;曹志新等,2009;毛先成等,2009),积极开拓深部和覆盖区找矿空间势在必行(李万亨等,2000)。覆盖区矿产资源潜力巨大(吴才来等,2016;汪青松等,2018),滕吉文院士明确表示:“第四系覆盖区第二深度空间有大量矿产资源有待勘查和发现”(滕吉文等,2007),以安徽省为例,覆盖区面积达66.1%,有3条重要金属成矿带通过覆盖区,近年来发现了沙坪沟特大型钨矿(任志等,2015;陆三明等,2016)、东源大型钨矿(秦燕等,2010)等矿床。随着“第二找矿空间”工作的深入进展,地球物理探测方法技术越来越成为覆盖区地质找矿不可或缺的重要手段之一,其中使用最广、技术最成熟的就是重磁技术。磁法在圈定隐伏岩体及扩大已知岩体的范围有着重要的意义,重力在圈定隐伏构造方面也有着独特的作用(赵文津,2008)。

随着找矿工作的深入,在长江中下游成矿带上,西自鄂城,东至马鞍山以东,均发现一大批重要铁铜矿床(翟裕生等,1992),如安徽铜陵地区狮子山铜矿(凌其聪等,1998)、姚家岭铅锌矿(蒋其胜等,2008)等,但与铜陵铜金矿带对应的宣城—茅山

带,所处构造背景和成矿地质条件与铜陵相似,除已找到麻姑山铜钨矿床、荞麦山铜硫矿床外(洪大军等,2017),目前尚未发现重大矿床,与铜陵地区找矿成果相比差异极大(常印佛,1985;李名则等,2016),因此该区寻找铜金多金属矿的潜力巨大。然而前人在对宣城地区的研究工作(夏晨阳,1989;江峰,2017),受工作方法技术、数据处理方法限制,物探工作精度偏低,资料分析利用有限,对覆盖区找矿信息挖掘识别严重不足,特别是与找矿有关的地质构造未做研究;只重视断裂的推断,未对断裂带的控矿意义进行系统分析和研究;对岩浆岩的识别、解释与研究几乎没有涉及。因此,本文利用最新的1:5万高精度重磁资料的处理与研究,通过对研究区位场三维勘查、地质-地球物理找矿模型构建等找矿方式进行了积极的应用探索,刻画了研究区找矿地层、断裂、岩浆岩等地质构造的空间分布,运用地质-地球物理找矿模型,圈定了成矿远景区和找矿靶区,为覆盖区找矿勘查工作提供了支持和帮助。

2 地质概况

研究区位于安徽省东南地区,为宣城市和芜湖市管辖;大地构造横跨扬子陆块下扬子地块与江南地块(戴圣潜等,2005),处于长兴—广德凹断褶束IV级构造单元结合部(周存亭等,2017)。地层以江南深断裂(亦称青戈江深断裂或宣泾大断裂)为界分属扬子地层区和江南地层区,自志留系至第四系

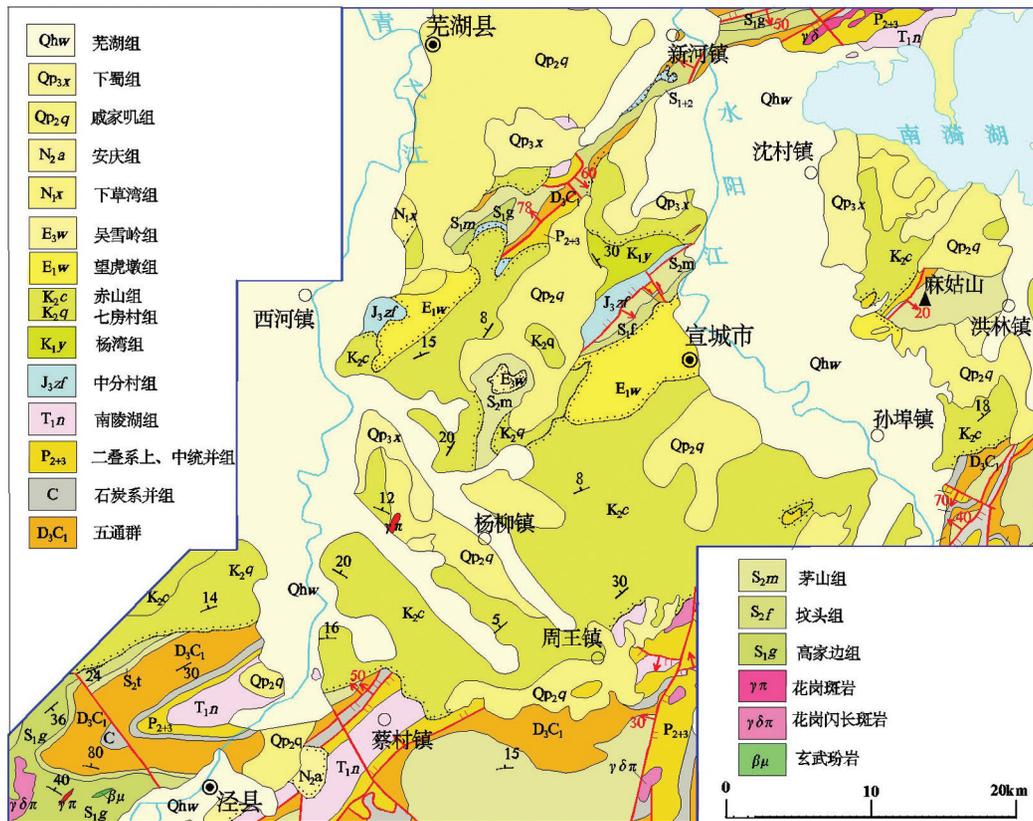


图1 研究区地质略图

Fig.1 Sketch geological map of the study area

发育较全(图1),地表大部分被新生界覆盖,属于典型的第四系覆盖、红层覆盖、推覆构造。区内褶皱、断裂构造发育,褶皱按形成时期可分为印支期、燕山晚期和喜山期三期,印支期主要表现为背斜紧密,向斜开阔平缓的较强烈的褶皱,如敬亭山—里桥复背斜;燕山晚期和喜山期则表现为拗陷盆地,如宣城盆地;断裂则主要有北东向和北西向两组。区内岩浆活动较强烈,并具有明显的多期活动性质,生成了大量的侵入岩和喷出岩,侵入岩主要有花岗闪长岩、花岗闪长岩、黑云母辉石闪长岩等(唐永成等,1998)。

3 平面三维勘查解译探索

3.1 重磁场特征研究

在获取1:5万高精度重力、航磁数据,编制重磁异常图后分析可知:研究区重磁异常走向主要为NE向,重力场总体上呈北西高南东低,自北西向南东,异常走向有由NE向NEE变化的趋势,重力场大

致以泾县—杨柳镇—陡门口—郑村一线的重力梯度带为界分为北西、南东两大一级异常区块及重力低与重力高相间排列的五高五低共10个二级异常区块(图2);磁场(图3)以负背景场上叠加低缓局部正异常为主要特征,总体上北西部磁异常以负背景场上叠加北东向(北北东向)磁异常为主要特征,局部高磁异常与重力高值带对应,表明岩浆活动主要位于隆起区,负磁异常带对应重力低,为中生代断陷的反映;南东部磁异常以负背景场上叠加低缓正异常为特征,正异常总体以北东走向为主,在重力场上,多位于重力低值带,推测异常主要由低密度的酸性侵入岩引起。

根据地质资料(陶龙等,2015)进一步分析可知,研究区北西部(北区)重力高异常中心与背斜核部相对应,如九连山重力高值带与敬亭山重力高值带都具备这一特征,重力低则与广泛出露的红层相对应;南东部重力高的极值点多落于背斜—翼较新地层之上,重力低则落于志留纪地层之上,如虾子

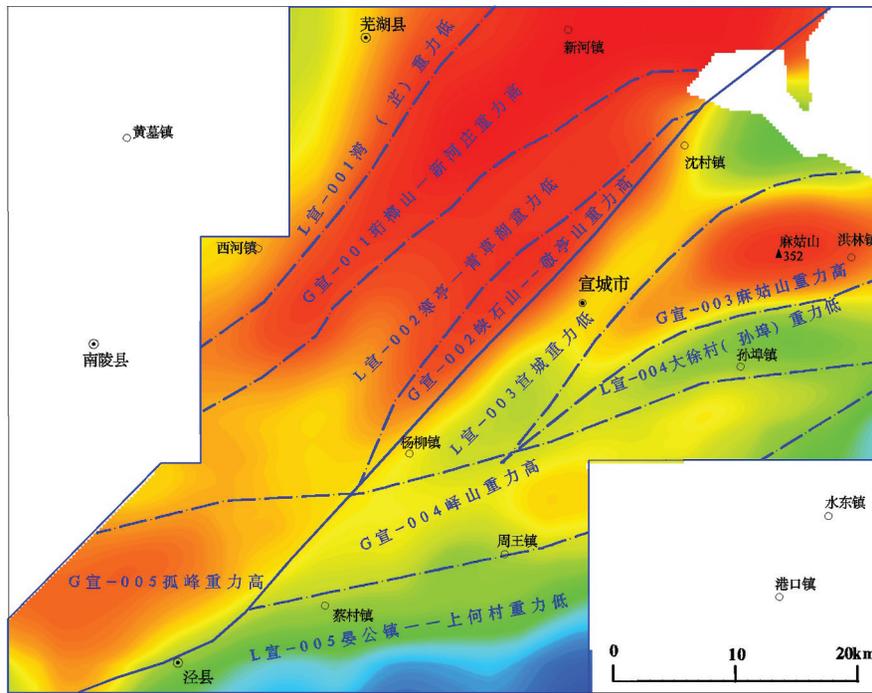


图2 研究区重力场分区图

Fig.2 Division of gravity fields in the study area

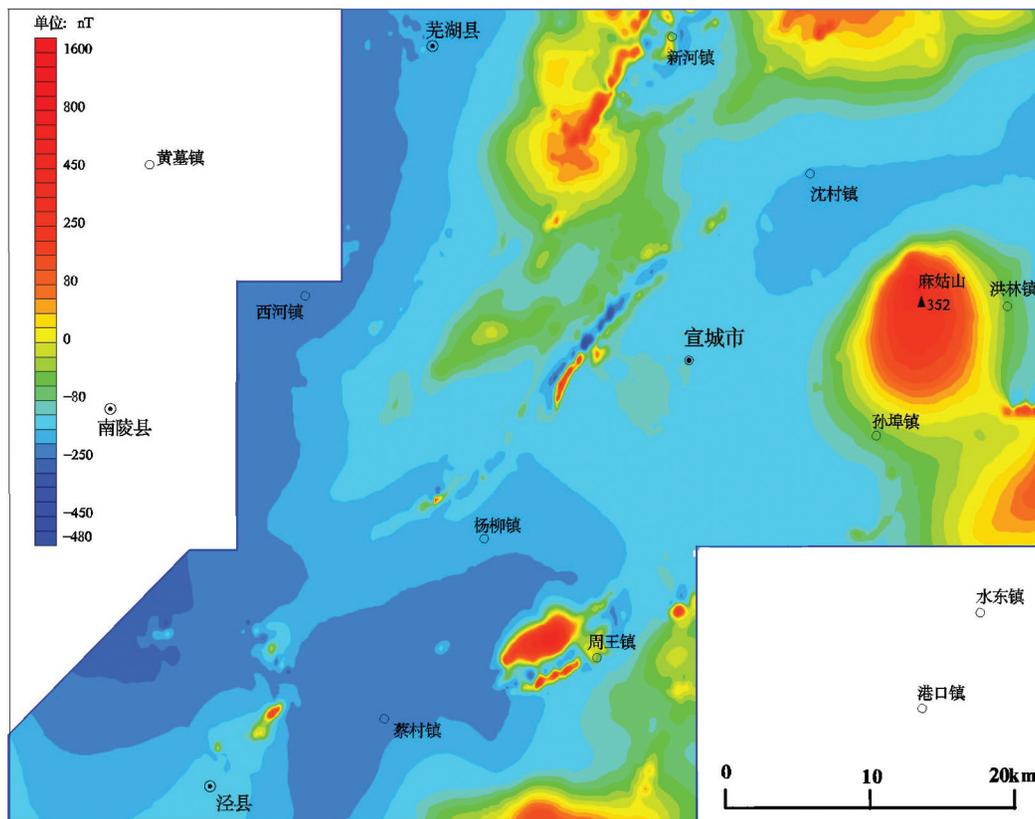


图3 研究区航磁化极异常图

Fig.3 Anomaly of aeromagnetic reduction to the pole

岭背斜的核部附近的重力低。

这些重磁场特征均表明了研究区具有应用重磁场进行地质推断解释地前提。

3.2 平面地质解译

根据地质资料,在高精度重磁数据处理、异常解释的基础上,结合前人对研究区及邻区大量岩石物性资料(陶龙等,2015),划分出研究区地质构造单元(图4),建立构造格架,系统地解译了研究区推断断裂、褶皱、推覆构造、岩浆岩(火山岩、侵入岩)分布等,并取得了以下认识:

(1)区内北东向分布的重力高主要反映下构造层(地表出露志留—三叠系)背斜构造的隆起,重力高极大值基本与背斜轴相对应。研究区内的4个异常高值带,其展布方向与区域地层、构造相一致,多反映为背斜的隆起,进一步指示区内的碳酸盐岩的基本分布规律。

(2)北东向分布的重力低主要反映下构造层坳

陷而形成的白垩系盆地的轮廓。推断认为:这些坳陷盆地多为自北向南东逐渐变浅的箕状盆地。南东部上何村地区例外,带状重力低与背斜核部的低密度地层有关。

(3)北东向的重力梯级带多反映基底断裂。断裂延续时间较长,为红层盆地的同生断裂。结合航磁资料分析,为走向相同的航磁异常带反应的中生代火山断裂喷发带。

(4)根据区内重力等值线的同向扭曲、异常中断或平面形态的变化可以确定北西向断层的存在,这些断层一般为平推断层,有的断层两侧伴有升降运动。

(5)区内北高南低的重力区域场不仅反映深部奥陶—寒武系密度横向的变化,同时也反映研究区位于皖南地壳密度亏损区北缘过渡带上。

这些推断解译主要解决了研究区的构造、控矿层位、侵入岩体的分布等属性,为划分成矿远景区

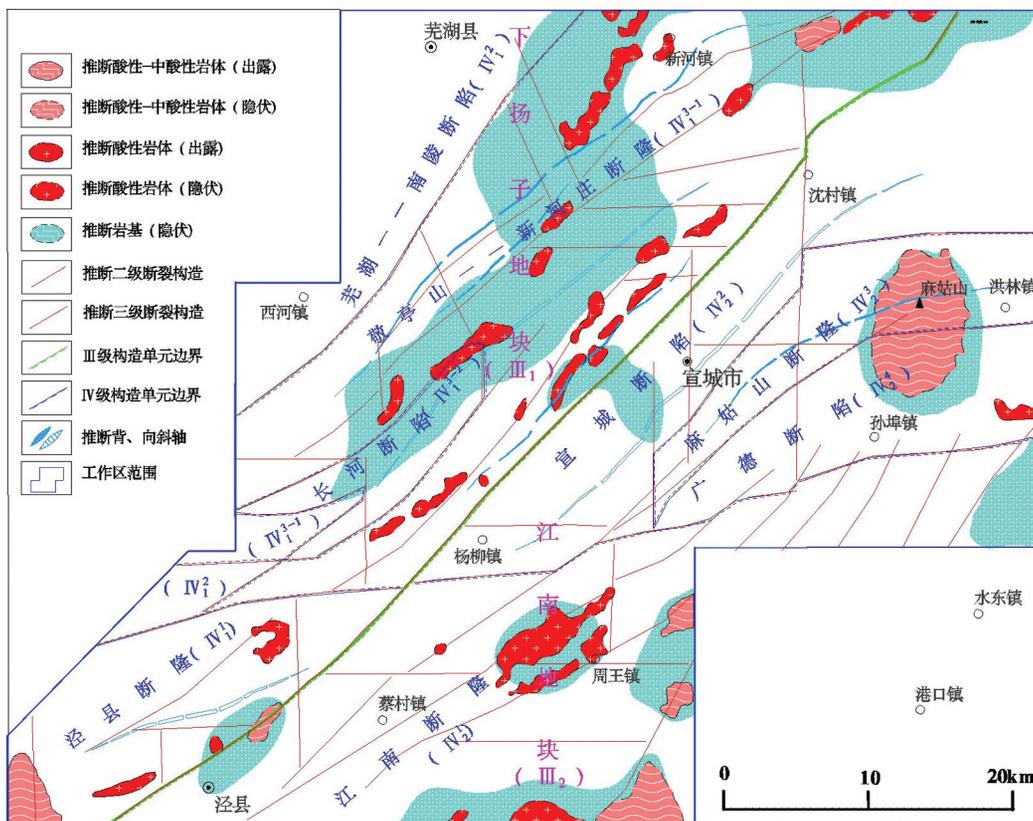


图4 综合推断解释略图

Fig.4 Diagrammatic integrated inference and interpretation map

及圈定深部找矿靶区提供了方向。

3.3 二度半—三维立体模型解译

为了解研究区地质构造与控矿断裂、成矿层位、岩体之间的空间接触关系,利用1:5万高精度重力、航磁数据,结合已有的电法、地质钻孔资料(洪大军,2015)以及重、磁三维物性反演成果(陶龙等,2015),以RGIS软件为平台,对研究区布设间距为4 km的18条系列剖面进行二度半定量反演计算,建立研究区准三维立体结构(图5),并取得了如下认识:

(1)三叠纪地层分布较薄,厚度多在300 m左右,埋深一般处于250~500 m,局部埋深可达1000 m;二叠系中上统厚度平均约500 m,埋深一般处于500~1000 m,局部埋深可达1500 m;二叠系中统至石炭系中统,厚度平均约500 m,埋深一般处于800~1500 m,局部埋深可达2000 m;石炭系下统至志留系,厚度较大,平均为1500 m左右,其顶面埋深处于1500 m左右。

(2)区内北东—北北东向的江南断裂带、近东西向(局部北东东向)的周王断裂带控制了本区构造格局,其中近东西向周王断裂带亦是区域性控盆控矿边界断裂。在这两组断裂带的影响下,其他北东向、北西向等次一级断裂带具长期多期次强烈活动的特点,不仅对花岗岩的形成、侵位和空间分布具有明显的制约作用,而且其次级断裂对多金属成矿提供了就位空间。

(3)区内褶皱构造对成矿的控制主要表现在对岩体侵入活动及含矿溶液流通的控制,已知矿床主要赋存于倒转背斜的翼部及倾伏端,矿体的展布方向与褶皱轴向近于一致,矿化发育地段多处于断裂裂隙较密集处。因此,区内褶皱轴面弯曲处、褶皱倾伏端及褶皱的方向和性质发生变化处,利于岩体的侵入和与其伴随的矿化,为找矿有利地段。

(4)吴庄盆地整体厚度都不大,最厚处约550 m,敬亭山以北下伏地层保留最全,其他地方均有缺失;周村盆地自北西向南东上覆第四系和白垩系的厚度逐渐增大,第四系厚约30 m,南东最厚处可达60 m,白垩系最厚可达1020 m左右,在魏墩一带,下伏地层保留较全,发育上二叠统及其以下地层,这些盆地在地层覆盖较浅处若有岩体侵入,则具有很好的找矿潜力。

(5)区内酸性岩类主要为花岗斑岩,呈岩脉或小岩体产出,深度基本小于2000 m,一般介于500~1600 m,个别体积较大的岩体向下延深可能超过2000 m,围岩主要为晚二叠世至晚志留世地层,大部分岩脉与成矿作用的关系不显著;中酸性岩类主要为花岗闪长岩、花岗闪长斑岩和石英闪长玢岩,与成矿关系密切,当其与孤峰组—栖霞组、船山组黄龙组—高丽山组以及下志留统高家边组—奥陶系接触时具有很好的成矿前景。

综上,通过常规的1:5万重力调查的数据处理、

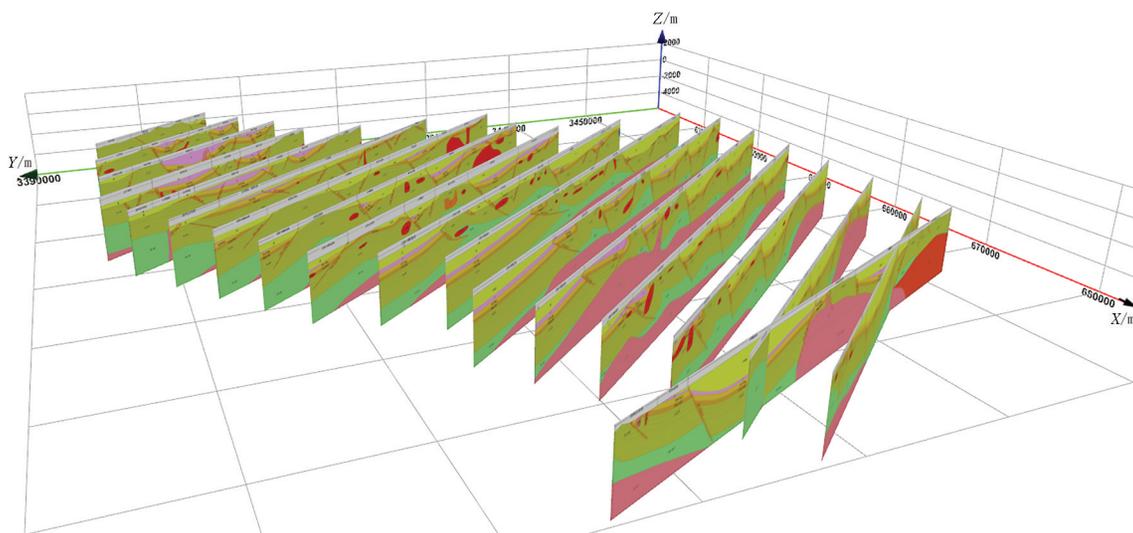


图5 研究区立体结构图

Fig.5 Stereoscopic structure map of the study area

图件编制、重力场研究、局部异常解释、断裂构造、构造单元划分、岩浆岩研究等平面解释转向二度半—三维深部立体地质构造解译,实现了研究区构造格架以及断裂、褶皱、推覆构造、岩浆岩等地质构造从一般的平面勘查转向各地质构造的分布、深度、几何形态等属性详细研究的立体勘查,同时亦对研究区主要控矿断裂、岩浆岩、矿源层(P—C)的空间展布规律、成矿有利部位和找矿靶区提供了重要的三维空间资料。

4 地质-地球物理模型找矿探索

4.1 已知矿床控矿要素分析

研究区已知矿床主要有麻姑山铜钼矿、荞麦山铜硫矿,其控矿要素分析如下:

麻姑山铜(钼)矿床位于麻姑山倒转背斜的北西(倒转)翼,褶皱强烈,断裂发育,构造复杂(卞育才,1995;洪大军等,2017),矿区构造线方向为北东向。矿体主要赋存在花岗闪长斑岩与碳酸盐岩的接触带及碎屑岩地层与碳酸盐岩地层的假整合面

上,矿体的形态较简单,有似层状、透镜状、脉状、鞍状等,局部有分支复合现象。在重磁场上,矿床总体上呈现“三高—低”的特征,即高背景磁场、高局部磁异常、高重力场及低重局部异常,电场呈低阻高极化率。

荞麦山铜硫矿床(洪大军等,2017)位于长山复背斜的次级连续褶皱铜山—荞麦山倒转背斜近SW倾伏端(洪大军等,2017)。矿体主要产于栖霞组、黄龙—船山组灰岩与五通群砂岩间的断裂接触带、花岗闪长斑岩与五通群砂岩的接触带,局部产于五通群砂岩与龙潭组地层间的断裂接触带、栖霞组、黄龙—船山组灰岩与花岗闪长斑岩体接触带中。矿体呈似层状、楔状(刘晓明等,2015)。在重磁场上(兰学毅等,2013),矿床总体上呈现“三高—低”的特征。

4.2 地质-地球物理模型找矿模型构建

根据区内已知矿床控矿要素、矿产成矿物质来源、成矿环境、成矿作用及成矿方式等要素(杜建国等,2011)综合分析,区内主要矿床可划分为矽卡岩型矿床(麻姑山矽卡岩型铜钼矿)和热液型矿床(荞

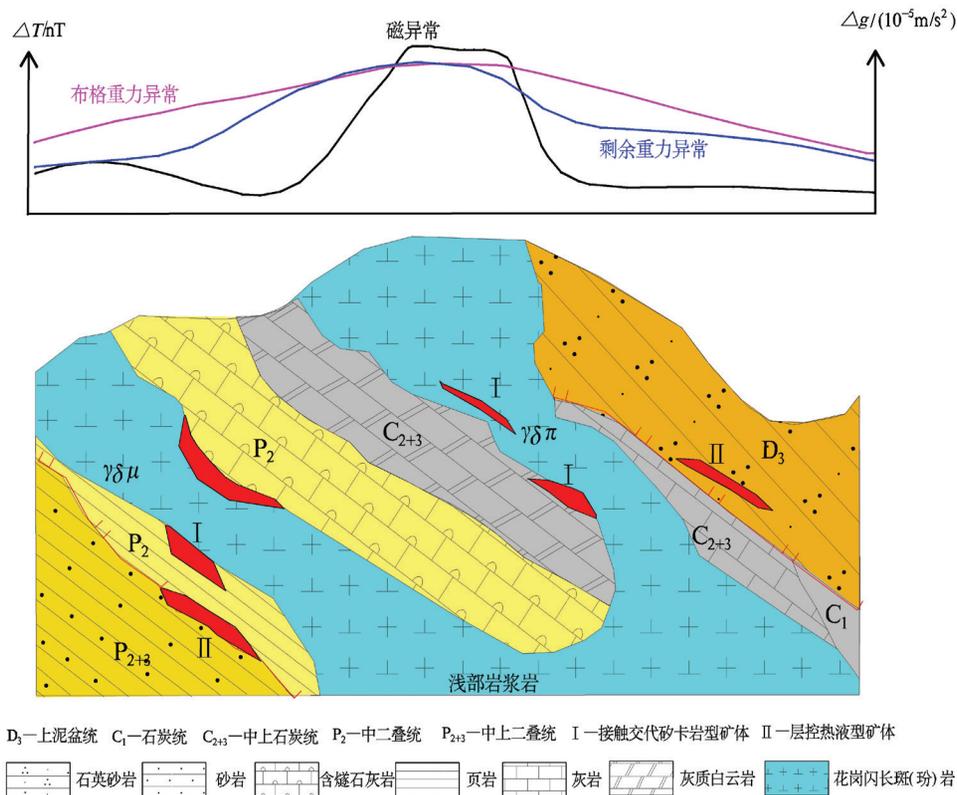


图6 地质—地球物理找矿模型
Fig.6 Geological-geophysical prospecting model

麦山热液型铜硫矿)两大成因类型,结合重磁场特征及解释、矿床地质等资料(兰学毅等,2013),总结出本区的地质-地球物理找矿模型(图6):

区内麻姑山式矽卡岩型铜钼矿、荞麦山式接触交代热液型铜矿在重磁场主要表现为重高磁高背景场下的局部重低(边)磁高组合特征(三高一低)特征(兰学毅等,2017),为石炭一二叠系隆起中碳酸盐岩地层与隐伏中酸性侵入岩体的反映;而栖霞组灰岩与孤峰组、中上石炭统灰岩、白云岩,黄龙组船山组灰岩、白云岩与高丽山组之间的岩性界面以及奥陶系中统东至组至上统汤头组为主要的成矿地层,尤其石炭一二叠系碳酸盐岩地层位于岩体接触带部位且与硅质岩石呈断层接触时,可作为找矿的重点地段;构造界面、褶皱转折端部位、断裂接触带构造,特别是不同方向不同性质构造的交切部位及北北东向逆断层、层间构造体系均为矿床的主要聚矿空间;燕山期中酸性花岗闪长斑岩体与成矿关系密切,特别是中酸性小侵入体与围岩的接触构造

带或其附近,为主要的成矿部位(杜建国等,2011)。

4.3 成矿远景区划及找矿靶区圈定

从地质-地球物理找矿模型分析可知,区内已知矿床之外具有重高磁高背景场、重低(边)磁高局部异常组合特征的地区为此次寻找隐伏矿体的重要关注地区,而不同方向性质不同的断裂、褶皱构造的交切部位、石炭一二叠系碳酸盐岩地层及隐伏中酸性侵入岩体接触的部位为寻找隐伏矿体的重要重点靶区。据此,将研究区划分了朱桥、汪村、麻姑山等10个成矿远景区,并圈定了魏墩、板栗园、石板路等15个重点找矿靶区。

5 推断成果验证实例

5.1 朱桥成矿远景区成矿地质概述

朱桥成矿远景区(图7)位于朱桥乡周开—马山埠一带,南涟湖北西角。其东部已发现有铜山铜硫矿、荞麦山铜硫矿等(洪大军,2014),其中铜山铜硫矿为中型矿床,马山埠岩体为中浅成中酸性岩体,



图7 朱桥成矿远景区矿产地质图

Fig.7 Geological and mineral resources map of the Zhuqiao metallogenic prospective area

围绕其发现的矿床可以看出本区的马山埠岩体更加富含多种有用组分,胜于麻姑岩体。区内褶皱复杂,北西向及北东东断裂尤其发育;区内二叠—志留系较发育,泥盆系五通组至二叠系龙潭组均为假整合接触,有薄层成分不单一碳酸盐岩。总体上,该区成矿有利地层、富含多种有用组分的较大成矿母岩加上复杂褶皱及层间构造使得本区具有较大的找矿潜力。

该区西部魏墩至周开一线为第四系覆盖区,与东部同为背斜的南翼,沿构造及地层的走向,西部应有同样的地层条件,从前文平面重磁场解释、二度半—三维模型计算结果分析,马山埠隐伏岩体向

西部延伸,而区域上有一北东向重力高值带,且重磁同高,推测为石炭—二叠纪地层隆起,魏墩至周开一线具有找到一定规模的铁铜钼多金属隐伏矿体的条件。

5.2 魏墩靶区解剖及钻孔布置建议

朱桥成矿远景区物探找矿标志主要为磁高辅以重力高,磁高反映的是有成矿母岩,而重力高主要为老地层隆起,场值不大,说明地层埋深不深,结合地质—地球物理找矿模型分析可知,魏墩地区为该区重点找矿靶区。

为进一步了解靶区深部构造,对魏墩靶区进行重磁二度半剖面(剖面位置见图7)联合反演计算,

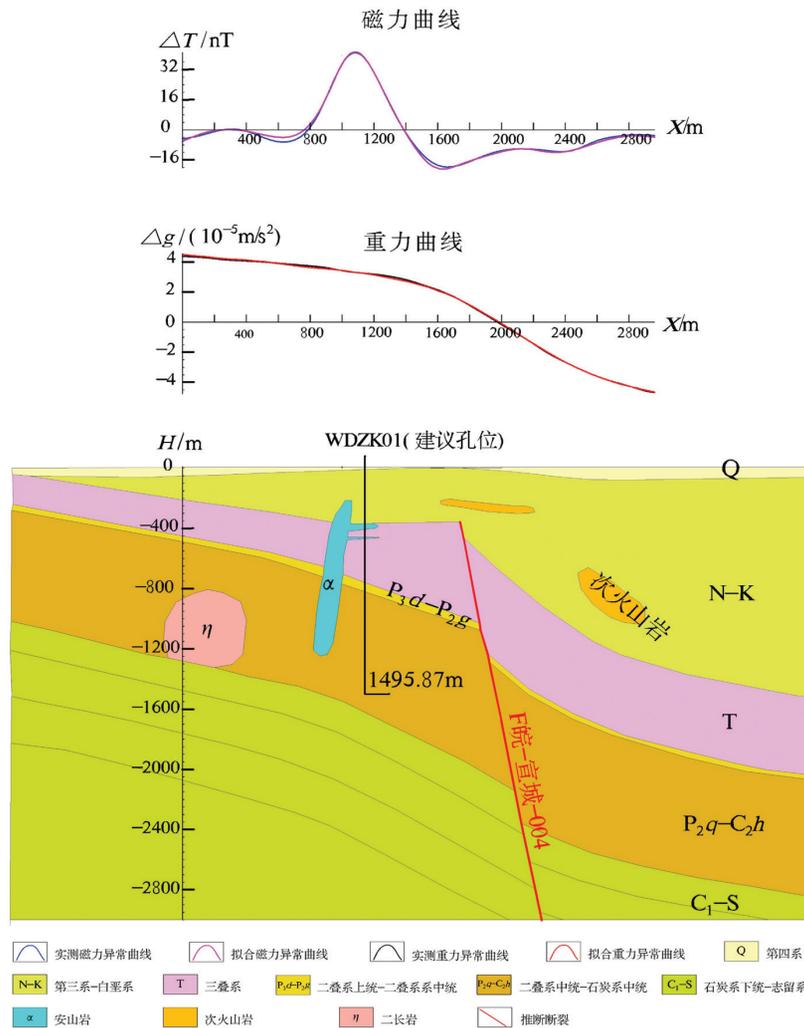


图8 魏墩靶区重磁二度半联合反演解释成果图

Fig.8 2.5D combined inverse interpretation result map of the Weidun target area



图9 魏墩验证钻孔岩心及铁闪锌矿矿体岩心断面图
Fig.9 Geological section of verification drill hole core and marmatite orebody

从计算解释成果(图8)推断:魏墩剖面-800~-1200 m处岩体与三叠系、二叠系灰岩以及石炭系大理岩接触处找矿潜力较大;二叠系孤峰组至泥盆系五通组间的碎屑岩与碳酸盐岩地层假整合面、层间滑脱空间、断裂裂隙、接触带构造作为导矿和容矿构造,都可以为流体成矿作用创造极为有利的聚矿空间,因此,结合电法剖面(洪大军,2014),建议布设WDZK01钻孔(图8),进行钻探验证。

5.3 钻探验证

鉴于工作中大量重磁异常找矿信息揭示出来的良好找矿前景,在项目的实施过程中,中国地质调查局南京地质调查中心进一步部署了1:5万矿产地质调查工作,其中对本项目推断朱桥远景区魏墩靶区实施了钻探验证(洪大军,2014)。钻探验证成果与钻前综合物探解释十分吻合,在1200 m深度钻遇目的层、大理岩层,揭露四层铅锌矿化(图9),经化学分析,累计层厚约11.6 m,矿体视厚度7.96 m,最大单层厚度4.3 m,锌品位最高大于17%,处于石炭系黄龙、船山组灰-灰白色大理岩中,主要为铁闪锌矿矿体。

6 结论

(1)1:5万重磁勘查中重力主要解决了构造、控矿层位等问题,磁法解决了区内侵入岩体的分布及属性,而重磁平面解释转向重磁二度半—三维深部解译,为圈定深部找矿靶区提供了空间属性,同时在解释中适时引入电法等资料,已从单纯的重磁找矿变成多方法找矿。这种由平面到立体,由单一方法到多方法找矿思路在物探找矿方面具有越来越重要的作用。

(2)从传统的1:5万重磁调查中,以推断断裂、

构造、岩浆岩、局部异常解释等来进行成矿远景区划、圈定找矿靶区,转向从区内已知典型矿床出发,研究其地球物理场特征、成矿条件、控矿要素等因素来构建目标区地质-地球物理找矿模型,来指导找矿工作,发挥了地球物理找矿的优势,把地球物理和地质模型结合为一体,解决了成矿预测和普查找矿中的矿与非矿异常和矿床定量物性参数的推断和估算问题,而减少物探异常的多解性、提高找矿效果。

(3)该区钻探验证结果与重磁解释成果的吻合,进一步说明1:5万高精度重磁勘查可以在中国东部重要成矿带基础调查与深部找矿实践中发挥重要作用,同时也为第四系覆盖、红层覆盖、推覆构造等地区找矿提供了重要的参考。

References

- Bian Yucui. 1995. On the origin of Magushan Cu-Mo deposit in south Anhui[J]. *Geology of Jiangsu*, 19 (1):17- 20(in Chinese with English abstract).
- Cao Xinzhi, Zhang Wangsheng, Sun Huashan. 2009. Progress in the study of deep exploration in China[J]. *Geological Sciences and Technology Information*, 28(2):104-109 (in Chinese with English abstract).
- Change Yinbo. 1985. Prospecting work for copper mines in Tongling area[J]. *Geology in China*, (1):25- 26(in Chinese with English abstract).
- Dai Shengqian, Zhou Cuntingm, Chu Dongru, Liu Jiayun, Guan Yuncai. 2005. Regional Geological Survey Report of the Xuancheng County, People's Republic of China(1:250000) [R]. Hefei: Geological Survey of Anhui Province (in Chinese).
- Du Jianguo, Xu Wei, Hu Haifeng, Wu Libin, Zhou Cunting. 2011. Report on the Evaluation Results of Copper Resources Potential in Anhui Province[R]. Hefei: Geological Survey of Anhui Province (in Chinese).

- Hong Dajun. 2015 Report on the Results of Mineral Prospective Survey in Jingxian– Xuancheng Area, Anhui Province[R]. Hefei: Geological Exploration Technology Institute of Anhui Province (in Chinese).
- Hong Dajun. 2014. Anhui Jingxian– Xuancheng Area Mineral Prospective Survey 2014 Work Plan[R]. Hefei: Geological Exploration Technology Institute of Anhui Province (in Chinese).
- Hong Dajun, Huang Zhizhong, Chan Siwei, Wang Xinghui. 2017. Geological characteristics and exploration directions of the Cu– polymetallic ore deposits in the Magushan– Qiaomaishan areas in Xuancheng, Anhui Province[J]. East China Geology, 38(1): 28–36 (in Chinese with English abstract).
- Jiang Feng. 2017. Characteristics and Genesis of Magmatic Rocks in the Chating Cu– Au Ore District, Xuancheng City, Anhui Province[D]. Hefei University of Technology (in Chinese with English abstract).
- Jiang Qisheng, Zhao Zihong, Huang Jianman. 2008. Discovery of the Yaojialing copper– lead– zinc deposit in Nanlin, Anhui, and its significance[J]. Geology in China, 35(2):314–321 (in Chinese with English abstract).
- Tao long, Zhang Shasha Lan Xueyi, An Ming, Lai Fateng, Wang Qnian. 2015. Report on the results of gravity survey of Anhui 1: 50000 Wanzhi, Shencun, Hanting Town of Xuancheng County[R]. Hefei: Geological Exploration Technology Institute of Anhui Province (in Chinese).
- Lan Xueyi, Tao Long, An Ming Tang Zhengjiang, Liao Mengqi, Zhang Qian, Zhang Shasha, Xu Shanxiu. 2017. Application Research on Gravity and Magnetic Data of Mineral Resources Potential Evaluation in Anhui Province[M]. Wuhan: China University of Geosciences Press (in Chinese).
- Lan Xueyi, Tao Long, Zhang Qian, An Ming, Liao Mengqi, Zhu Hongjun, Tang Zhengjiang, Xu Shanxiu. 2013. Summary Report on the Application Results of Gravity Data in Anhui Province[R]. Hefei: Geological Exploration Technology Institute of Anhui Province (in Chinese).
- Li Mingze, Wu Cailai, Lei Min, Gao Yuanhong, Wang Nan. 2016. Zircon U–Pb geochronology of intermediate–acid intrusions in the Shujiadian ore district of the Tongling ore concentration area[J]. Geology in China, 43(5):1514–1544 (in Chinese with English abstract).
- Li Wanheng, Fu Mingke, Yang Changming, Tianjiahua. 2000. Mineral Economy and Management[M]. Wuhan: China University of Geosciences Press (in Chinese).
- Ling Qicong, Cheng Bangguo. 1998. Geological characteristics ore forming and rock– forming mechanism of the Dong Shizishan copper deposit in Tongling, Anhui Province[J]. Mineral Deposit, 17(2):158–164 (in Chinese with English abstract).
- Liu Xiaoming, Duan Liuan. 2015. Geological features and metallogenic regularity of the Tongshan–Qiaomaishan Cu–S–W–Fe Polymetallic ore deposit in Xuancheng City[J]. Geology in Anhui, 25(3):174–178 (in Chinese with English abstract).
- Lu Sanming, Yuan Linsen, Zhao Lili, Wang Bohua, Zhang Huaidong, Wang Guoguang, Chen Fang. 2016. Two stages of diagenesis and metallogenesis of Shapinggou molybdenum lead– zinc ore field in Jinzhai County, Anhui Province[J]. Acta Geologica Sinica, 90(6): 1167–1181 (in Chinese with English abstract).
- Mao Xiancheng, Dai Tagen, Wu Xiangbin, Zou Yanhong. 2009. The stereoscopic quantitative prediction of concealed ore bodies in the deep and marginal parts of crisis mines: A case study of the Dachang tin polymetallic ore deposit in Guangxi[J]. Geology in China, 36(2):424–435 (in Chinese with English abstract).
- Peng Shenglin, Liu Liangming, Lai Jiangqing, Shao Yongjun, Liu Jianxin, Xi Zhenzhu, Wang Li, Yang Qunzhou. 2004. Resources Exploration Technology and Demonstration Research of Large Mine[M]. Beijing: Geological Publishing House.
- Qin Yan, Wang Denghong, Wu Libin, Wang Keyou, Mei Yuping. 2010. Zircon SHRIMP U– Pb dating of the mineralized porphyry in the Dongyuan W deposit in Anhui Province and its geological significance[J]. Acta Geologica Sinica, 84(4):479–484 (in Chinese with English abstract).
- Ren Zhi, Zhou Taofa, Zhang Dayu, Yuan Feng, Fan Yu, Li Xianchu, White N. 2015. Characteristics of alteration and mineralization of Shapinggou porphyry molybdenum deposit, Dabie orogenic belt[J]. Acta Petrologica Sinica, 31(9):2707–2723 (in Chinese with English abstract).
- Tang Yongcheng, Wu Yanchang, Chu Guozheng, Xing Fengming, Wang Yongmin, Cao Fenyang, Chang Yin. 1998. Geology of Copper– Gold Polymetallic Deposits along the Yangtze River in Anhui Province[M]. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese).
- Teng Jiwen, Liu Jianming, Liu Cai Yao Jingjin, Han Ligu, Zhang Yongqian. 2007. Prospecting for metal ore deposits in second deep space of crustal interior, the building of strategy reserve base of Northeast China [J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 37(4):633–651 (in Chinese with English abstract).
- Wang Qingsong, Cui Xianwen, Zhang Kai, Xu Chuanjian, Zhang Shunlin, Chan Siwei. 2018. Research and Practice on Comprehensive Prospecting Model in Thick Coverage Area[M]. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese).
- Wu Cailai, Dong Shuwen, Wang Lutai, Wang Cisong, Lei Min, Wu Di. 2016. The discovery of the syenogranite with an age of 126 Ma in the depth of Tongling: Evidence from 3000 meters scientific drilling[J]. Geology in China, 43(5):1495–1513 (in Chinese with English abstract).
- Xia Chenyang. 1989. Report on the 1: 100,000 Regional Gravity Survey of H–50–46 (Northern Half), Xuancheng County, H–50–34 (Southern Half), Gaochun County, Anhui Province[R]. Hefei: Bureau of Geology and Mineral Exploration of Anhui Provincial,

- 322 Geological team (in Chinese).
- Zhai Yusheng, Yao Shuzhen, Lin Xinduo. 1992. Metallogenic Regularity of Iron and Copper Deposits in the Middle and Lower Valley of the Yangtze River[J]. Mineral Deposits, 1-120.
- Zhao Wenjin. 2008. Ore prospects and ore exploration methods of metal deposits in the middle and lower Yangtze River valley[J]. Geology in China, 35 (5):771-802 (in Chinese with English abstract).
- Zhou Cunting, Du Jianguo, Xu Wei, Hu Haifeng, Wu Libin. 2017. Study on Tectonic Facies and Metallogenic Geological Background of Anhui Province[M]. Wuhan: China University of Geosciences Press (in Chinese).
- ### 附中文参考文献
- 卜育才. 1995. 皖南麻姑山铜铅矿床成因初探[J]. 地质学刊, 19(1): 17-20.
- 曹志新, 张旺生, 孙华山. 2009. 我国深部找矿研究进展综述[J]. 地质科技情报, 28(2):104-109.
- 常印佛. 1985. 铜陵地区铜矿的找矿工作[J]. 中国地质, (1):25-26.
- 戴圣潜, 周存亭, 储东如, 刘家云, 管运财. 2005. 中华人民共和国区域地质调查报告宣城市幅(1:25万)[R]. 合肥:安徽省地质调查院.
- 杜建国, 许卫, 胡海风, 吴礼彬, 周存亭. 2011. 安徽省铜矿资源潜力评价成果报告[R]. 合肥:安徽省地质调查院.
- 洪大军. 2015. 安徽省泾县—宣城地区矿产远景调查成果报告[R]. 合肥:安徽省勘查技术院.
- 洪大军. 2014. 安徽泾县—宣城地区矿产远景调查2014年度工作方案[R]. 合肥:安徽省勘查技术院.
- 洪大军, 黄志忠, 产思维, 王兴会. 2017. 安徽宣城麻姑山—荞麦山地区铜多金属矿地质特征及找矿方向[J]. 华东地质, 38(1):28-36.
- 江峰. 2017. 安徽宣城茶亭铜金矿区岩浆岩特征及成因[D]. 合肥:合肥工业大学.
- 蒋其胜, 赵自宏, 黄建满. 2008. 安徽南陵姚家岭铜铅锌矿床的发现及意义[J]. 中国地质, 35(2):314-321.
- 陶龙, 张莎莎, 兰学毅, 安明, 赖发腾, 汪启年. 2015. 安徽1:5万湾沚镇、沈村、寒亭镇、宣城县幅重力调查成果报告[R]. 合肥:安徽省勘查技术院.
- 兰学毅, 陶龙, 安明, 汤正江, 廖梦奇, 张启燕, 张莎莎, 徐善修. 2017. 安徽省矿产资源潜力评价重磁资料应用研究[M]. 武汉:中国地质大学出版社.
- 兰学毅, 陶龙, 张启燕, 安明, 廖梦奇, 朱红俊, 汤正江, 徐善修. 2013. 安徽省重力资料应用成果汇总研究报告[R]. 合肥:安徽省勘查技术院.
- 李名则, 吴才来, 雷敏, 邵源红, 王楠. 2016. 铜陵矿集区舒家店矿区中酸性侵入岩锆石 U-Pb 年代学研究[J]. 中国地质, 43(5):1514-1544.
- 李万亨, 傅鸣珂, 杨昌明, 田家华. 2000. 矿产经济与管理[M]. 武汉:中国地质大学出版社.
- 凌其聪, 陈邦国. 1998. 铜陵东狮子山铜矿床地质特征及成岩成矿机理研究[J]. 矿床地质, 17(2):158-164.
- 刘晓明, 段留安. 2015. 宣城市铜山—荞麦山 Cu-S-W-Fe 多金属矿地质特征及成矿规律[J]. 安徽地质, 25(3):174-178.
- 陆三明, 阮林森, 赵丽丽, 王波华, 张怀东, 王国光, 陈芳. 2016. 安徽金寨县沙坪沟铜铅锌矿田两期成岩成矿作用[J]. 地质学报, 90(6): 1167-1181.
- 毛先成, 戴塔根, 吴湘滨, 邹艳红. 2009. 危机矿山深部隐伏矿体立体定量预测研究——以广西大厂锡多金属矿床为例[J]. 中国地质, 36(2):424-435.
- 彭省临, 刘亮明, 赖健清, 邵拥军, 柳建新, 席振铎, 王力, 杨群周. 2004. 大型矿山接替资源勘查技术与示范研究[M]. 北京:地质出版社.
- 秦燕, 王登红, 吴礼彬, 王克友, 梅玉萍. 2010. 安徽东源钨矿含矿斑岩中的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及其地质意义[J]. 地质学报, 84(4): 479-484.
- 任志, 周涛发, 张达玉, 袁峰, 范裕, 李先初, Noel WHITE. 2015. 大别山地区沙坪沟斑岩型铜矿床蚀变及矿化特征研究[J]. 岩石学报, 31(9): 2707-2723.
- 唐永成, 吴言昌, 储国正, 邢凤鸣, 王永敏, 曹奋扬, 常印佛. 1998. 安徽沿江地区铜金多金属矿床地质[M]. 北京:地质出版社.
- 滕吉文, 刘建明, 刘财, 姚敬金, 韩立国, 张永谦. 2007. 第二深度空间金属矿产探查与东北战略后备基地的建立和可持续发展[J]. 吉林大学学报(地), 37(4):633-651.
- 汪青松, 崔先文, 张凯, 许传建, 张顺林, 产思维. 2018. 厚覆盖区综合找矿模式研究与实践[M]. 北京:地质出版社.
- 吴才来, 董树文, 王陆太, 王次松, 雷敏, 吴迪. 2016. 铜陵矿集区深部发现 126Ma 的正长花岗岩:来自 3000 m 科学钻探的证据[J]. 中国地质, 43(5):1495-1513.
- 夏晨阳. 1989. 安徽省宣城县幅 H-50-46(北半幅)高淳县幅 H-50-34(南半幅)1:10 万区域重力调查报告[R]. 合肥:安徽省地矿局 322 地质队.
- 翟裕生, 姚书振, 林新多. 1992. 长江中下游地区铁、铜等成矿规律研究[J]. 矿床地质, (1):1-120.
- 赵文津. 2008. 长江中下游金属矿找矿前景与找矿方法[J]. 中国地质, 35(5):771-802.
- 周存亭, 杜建国, 许卫, 胡海风, 吴礼彬. 2017. 安徽省大地构造相与成矿地质背景研究[M]. 武汉:中国地质大学出版社.