

天子山复式岩体深部岩性界面识别及找矿方向

牛家骥, 张翔, 石连成, 卢亚运, 占美炎

(核工业航测遥感中心, 中核集团铀资源地球物理勘查技术中心(重点实验室),
河北省航空探测与遥感技术重点实验室, 石家庄 050002)

摘要:西秦岭天子山复式岩体为李子园—高桥多金属矿集区重要控矿岩体。为识别该岩体深部不同岩性界面, 针对其多场源叠加效应导致场源难以分离问题, 通过采用小波多尺度分解技术实现不同岩性场源分离及岩性界面识别, 并在分析成矿与岩浆活动关系及航磁异常特征的基础上, 提出找矿方向新认识。结果表明, 该复式岩体由花岗岩、闪长岩及基性岩等3种岩性构成, 为成矿提供直接热源及物源, 岩性界面是定位成矿空间场所的重要要素, 所圈定的6片找矿有利区应在深部勘查选区中给予优先关注。

关键词:岩性界面; 小波多尺度分解; 航磁; 找矿方向; 天子山岩体

中图分类号: P631 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-1807(2023)02-0272-04

西秦岭李子园—高桥金银铅锌多金属成矿带是甘南地区矿产勘查工作优先部署区域, 已确定了李子园—天宁寺金银铅、太白—高桥铅银铜金等两片重点勘查区, 找矿潜力巨大。以往找矿思路聚焦于化探异常上, 主要是通过优先开展区域性地质矿产调查和中小比例尺化探扫面, 优选化探异常, 利用大比例尺水系沉积物或土壤取样, 辅以激电测深、槽探、钻探等方法综合查证、追索异常来开展找矿工作, 取得了较好效果^[1-4]。区域上多金属成矿除受控于广泛发育的脆、韧性断裂系统外, 还与多期次侵入岩体(脉)具有密切成因联系^[5]。天子山复式岩体是区内最具代表性岩体, 其与柴家庄、八卦山岩体构成了“柴八天”岩浆带, 对区内岩浆热液型、构造蚀变岩型等多金属矿成矿控制作用显著^[6-8]。值得注意的是, 由于该岩体围岩及本身岩性组合复杂, 导致深部不同岩性界面不清, 加之“就点论点”式化探找矿手段攻深能力不足, 难以为快速探索深部找矿潜力提供更多信息, 限制了对区内深部找矿潜力的认识。

航磁探测因其快速、高效、高分辨率等独特优势, 在划分区域性岩性、构造界线中发挥着重要作用^[9-12]。依托最新1:5万高精度航磁数据, 本文从分析天子山复式岩体多场源叠加效应的复杂磁场入手, 利用小波多尺度分解技术, 有效实现场源分离, 推断深部延伸范围并划定不同岩性接触界面; 综合前人岩浆岩控矿作用认识, 探讨找矿方向, 为今后

探索深部找矿潜力提供基础依据。

1 地质及航磁特征

1.1 区域地质背景

天子山复式岩体岩性以二长花岗岩为主, 表现为I型花岗岩特征, 出露部分呈似“船”形岩株状产出, 出露面积约133 km²(图1), 受控于近东西向韧性剪切断裂带。岩体内部酸性岩脉大量穿插, 零星见辉长岩脉出露。该复式岩体成岩历经了加里东—燕山期复杂且长期演化过程, 以往普遍认为其成岩于燕山晚期^[3], 最新研究报道表明该复式岩体属印支早期岩浆活动的产物^[13]。据1:25万地质图, 区域上泥盆系灰岩、千枚岩、片岩是天子山岩体主要围岩, 二者接触带蚀变矿化发育强烈, 主要有硅化、大理岩化、黄铁矿化等。同时, 围绕该岩体断续分布数片小规模闪长岩带。

1.2 典型矿床

李子园—高桥金银铅锌多金属成矿带中现已发现多处矿床、矿点, 较典型的矿床有: ①柴家庄金矿属沉积变质-岩浆期后热液叠加改造的变质热液金矿床, 赋存于柴家庄二长花岗岩体外接触带的丹凤群地层中, 严格受北东向及北北西向断裂控制^[13]。②大店沟金矿为构造蚀变岩型矿床, 产于奥陶-震旦系李子园群中, 矿床分布受区域性元家坪-小寺沟韧性剪切带控制^[1]。

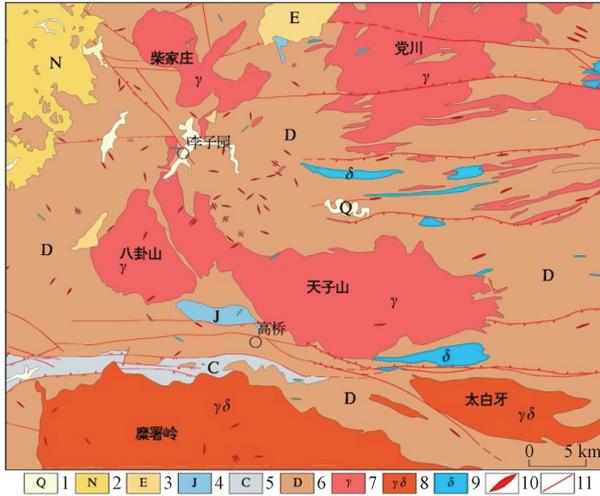
1.3 航磁特征分析

由于研究区处于中纬度地区, 为降低斜磁化影

收稿日期: 2022-08-20

基金项目: 中国核工业地质局项目(201541); 中国地质调查局项目(12120115040101, DD2016006625)。

作者简介: 牛家骥(1989—), 男, 河北辛集人, 核工业航测遥感中心, 项目负责人, 工程师, 研究方向为航空物探及异常查证技术; 通信作者张翔(1986—), 男, 内蒙古包头人, 核工业航测遥感中心, 部门总工程师, 高级工程师, 硕士, 研究方向为航空地球物理应用。



1 为第四系;2 为新近系;3 为古近系;4 为侏罗系;5 为石炭系;
6 为泥盆系;7 为花岗岩;8 为花岗闪长岩;9 为闪长岩;
10 为酸性岩脉;11 为断层。

图 1 地质简图

响,对原始网格进行了化极处理。结果显示(图 2),区内以(-200~0)nT 平稳负场为背景,反映出泥盆系地层低磁性总体特征。在此背景下叠加异常呈现 3 种特征:①与天子山复式岩体出露部分相对应的 NWW 向区域异常带,异常强度一般在(20~100)nT,变化相对缓慢,且该异常带北延范围较出露范围明显扩大;②岩体内部叠加的多处独立圈闭中等强度局部异常,这类异常强度一般在(100~300)nT,多呈短带状、点状展布;③分布于岩体北缘醒目强磁异常区(带),其强度在(300~800)nT 变化。区域物性资料显示^[14],花岗岩类磁化率一般在 $(50\sim 900)\times 10^{-5}$ SI,闪长岩类磁化率一般在 $(300\sim 2\ 500)\times 10^{-5}$ SI,基性岩类磁化率一般在 $(700\sim 5\ 000)\times 10^{-5}$ SI,即岩浆岩磁性由酸性、中性、基性呈升高变化规律。由此推测天子山复式岩体深部向北仍有延伸,花岗岩类、闪长岩类、基性岩类等 3 种岩性是区内 3 类主要场源体。

2 场源分离及深部岩性界面识别

天子山复式岩体深部多场源叠加效应造成磁异常形态十分复杂,导致岩体深部延伸边界及不同岩性界面信息难以从 ΔT 化极异常特征中直接识别。由于小波变换是将非平稳信号表示成小波函数的线性组合,通过在时域内伸缩、移动小波基函数,从而实现对信号的多尺度分解。相比于传统的延拓、高次导数、匹配滤波或统计模型等方法,小波变换具有较好伸缩性、稳定性,能将磁异常分解到多个不同的尺度上来反映不同尺度和深度的异常,

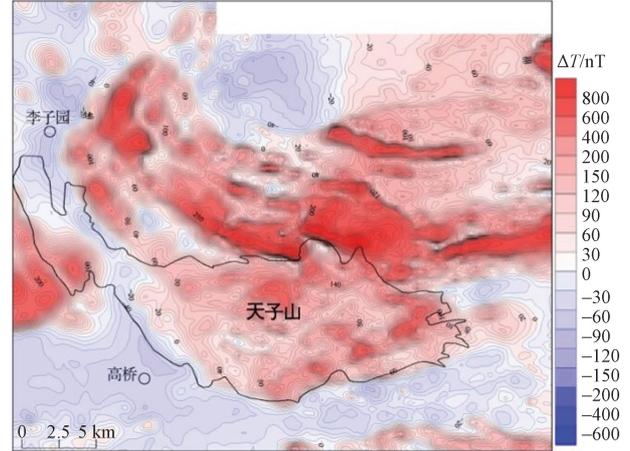


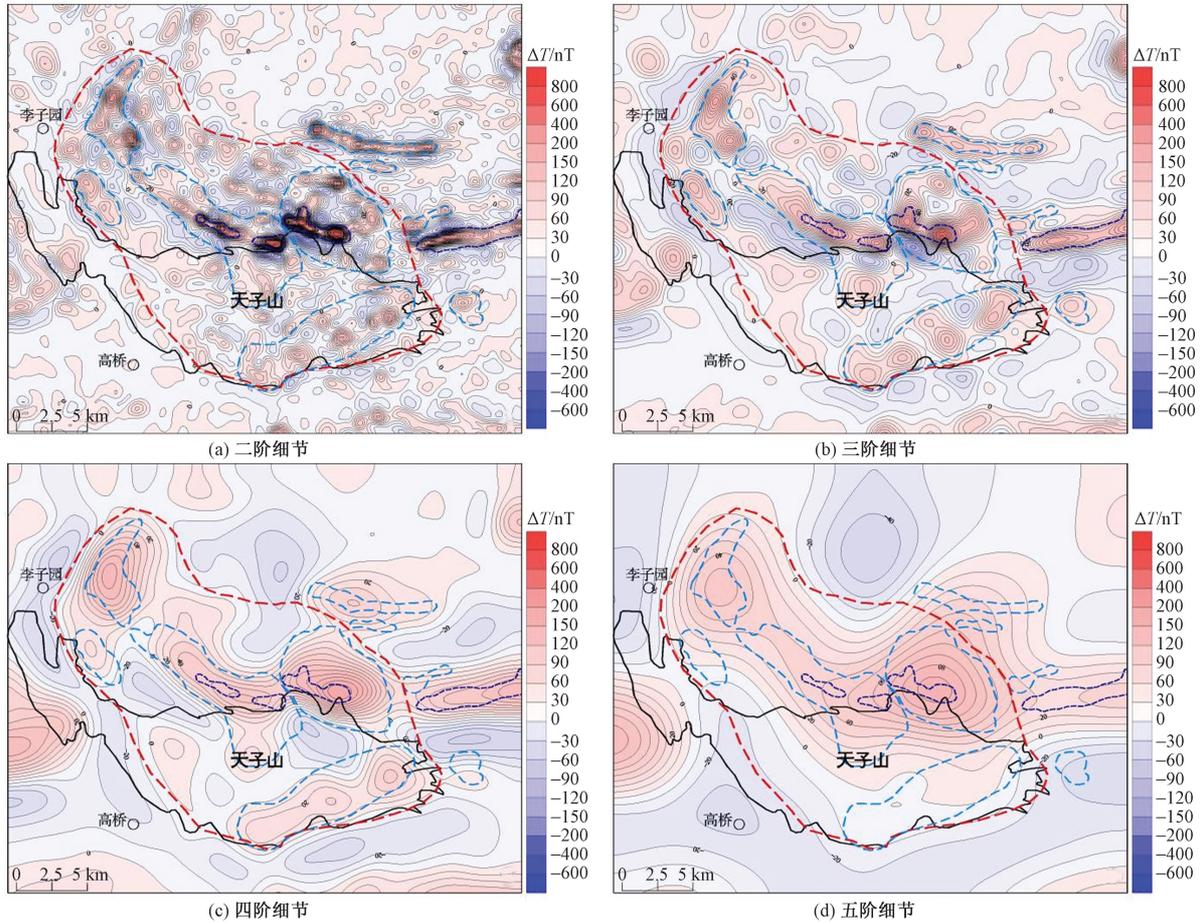
图 2 天子山岩体航磁 ΔT 化极特征

实现更为精细的场源分离,已在深部矿致异常提取和岩性界面识别中取得了很好的应用效果^[14-16]。针对该岩体航磁异常多场源性叠加特征,应用小波多尺度分解技术来进行场源分离。首先将异常信号分解成两部分,即一阶逼近异常和一阶细节异常,逼近异常通常为相对低频区域异常或背景场,一般对其不做分析;细节异常通常为相对高频叠加异常,即目标体异常。由此可以对异常信号不断分解,获取不同深度岩性界面信息。

应用该方法将研究区化极航磁异常分解为 5 个阶次,由于一阶细节异常与下延近地表异常特征相当,基本为地表场源引起,不对其进行讨论。二阶~五阶细节异常依次反映由浅部至深部磁场变化特征,二阶细节异常显示[图 3(a)],研究区中部出现 3 处短带状强磁异常带,推断为隐伏基性岩体引起,其旁侧出现中等强度异常,但异常多呈分散点带状,圈闭性一般。在三阶异常上[图 3(b)],基性岩体异常已基本不能辨认,而上述中等强度异常则更为完整,可识别出多个独立圈闭异常,推断这类异常为闪长岩体引起。在四阶异常上[图 3(c)],基性岩体异常消失,闪长岩体异常完整独立。在五阶异常上[图 3(d)],两种不同岩性叠加异常完全归并于中部 NWW 向宽缓带状区域异常,推测该区域升高异常为深部花岗岩体的反映。综合来看,通过对异常由低阶向高阶逐次分解,可由浅至深分离出不同场源,有效减小磁异常多场源叠加效应。具有独立圈闭的 2 阶细节强磁异常、4 阶细节中等强度异常、5 阶细节低幅宽缓异常分别是识别基性岩、闪长岩、花岗岩 3 种岩性的航磁异常标志。由此,利用异常外梯度带极大值连线对天子山复式岩体深部及外围不同岩性界面进行了圈定,结果表明(图 5),推测该岩体深部范围向北扩大大约 172 km²,岩体内部及东缘分布

长岩体 9 片、基性岩体 4 片。毕明波等^[6]认为,研究区内各类属同一岩浆房在不同期次、不同分异程度的产

物,仅从三阶~五阶细节异常中叠加异常逐次归并判断,可为这一认识提供一定佐证。

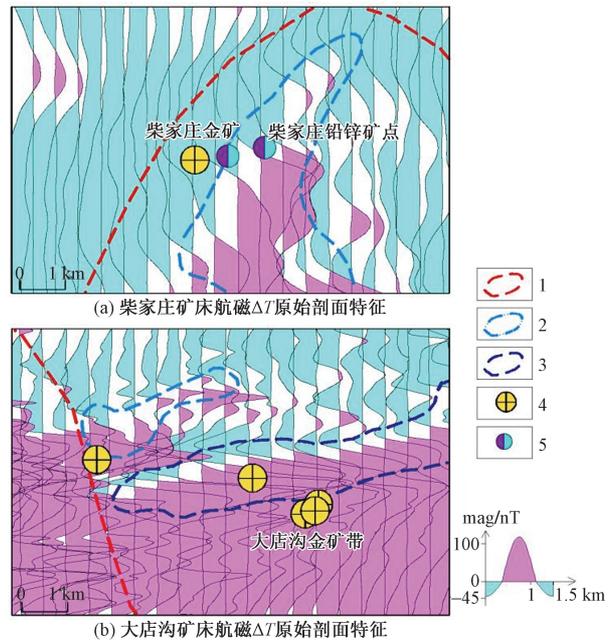


图中红色虚线表示推断花岗岩边界,蓝色虚线表示推断闪长岩边界,紫色虚线表示推断基性岩边界。

图 3 天子山岩体航磁化极 ΔT 小波多尺度分解结果

3 找矿方向讨论

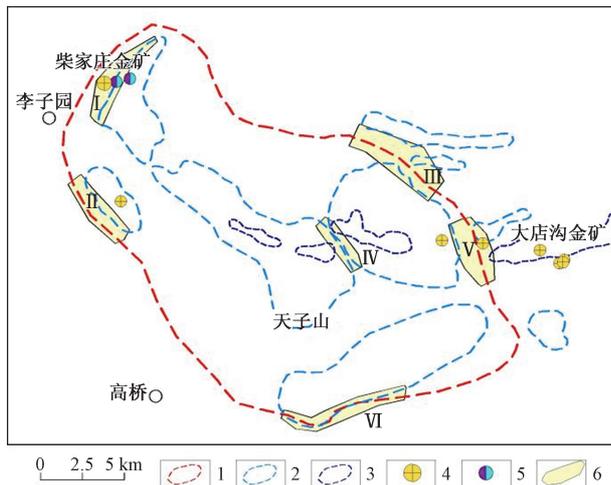
对比柴家庄金矿及旁侧铅锌矿点、大店沟金矿带航磁 ΔT 原始剖面特征发现(图 4),柴家庄金铅锌矿床(点)上方无明显异常反映,大店沟金矿带内数个小矿床上方尽管出现强度(150~500) nT 高频异常,但这类异常为岩性异常而非矿床反映。值得注意的是,矿床位置均大致与磁场梯度带对应,梯度变化一般在(0.3~0.5) nT/m,变化较为显著,反映出矿床定位受构造或岩性界面控制的特点。区域内,金多金属成矿与天子山岩体成岩过程中强烈岩浆活动关系密切,张永哲等^[5]认为,多期次岩浆活动不仅为成矿作用提供热动力和空间场所,促进了围岩中成矿物质活化、迁移和富集,其本身也是成矿重要物源,对成矿具有显著再富集作用。综合前文推断结果,天子山复式岩体即包括呈大规模岩基状产出的花岗岩体,在其内部及边缘也发育有闪长岩、基性岩岩株或岩脉,而矿体即定位于不同岩性隐伏侵入岩、侵入岩与围岩接



1 为推断花岗岩边界;2 为推断闪长岩边界;3 为推断基性岩边界;4 为金矿床;5 为铅锌矿点。

图 4 柴家庄、大店沟矿床航磁 ΔT 原始剖面特征

触界面 1 km 范围内,即花岗岩与其他岩性接触界面是控制矿床成矿空间的重要因素,同时也说明该岩体深部仍有广阔的找矿前景。据此,圈定了 6 片深部找矿有利区(图 5,编号 I~VI),应在今后深部找矿潜力评价及勘查选区中优先给予关注。



1 为推断花岗岩边界;2 为推断闪长岩边界;3 为推断基性岩边界;
4 为金矿床;5 为铅锌矿点;6 为推断多金属找矿有利区。

图 5 天子山岩体推断深部金多金属找矿有利区

4 结论

小波多尺度分解技术可有效实现天子山复式岩体航磁异常多场源分离,识别深部岩性界面。天子山复式岩体主要由花岗岩、闪长岩、基性岩等 3 类侵入岩构成,且为同源岩浆演化的产物,深部向北延伸约 172 km²。同时,花岗岩与其他岩性接触界面是定位深部成矿的重要因素,所圈定的 6 片找矿有利区,应在今后深部找矿潜力评价及勘查选区中优先给予关注。

参考文献

[1] 吴金刚,张圆,杨绍虎. 甘肃两当县大店沟金矿地质特征

及找矿标志[J]. 矿产与地质,2015,29(2):163-167.

- [2] 李康宁,李鸿睿,刘伯崇,等. 西秦岭 TTG 质脉岩地球化学特征及其与金矿化的关系[J]. 科学技术与工程,2019,19(2):52-62.
- [3] 李菲. 蟒西地区中酸性岩体地质特征及找矿潜力[J]. 科学技术与工程,2020,20(18):7176-7182.
- [4] 张勇. 甘肃省徽县高桥地区金矿成矿规律研究及找矿方向探讨[J]. 世界有色金属,2020(8):72-73.
- [5] 张永哲,屈海浪,成山林. 西秦岭李子园金矿床成矿模式探讨[J]. 矿产资源,2018(6):121-122.
- [6] 毕明波,李永军,杨俊泉. 西秦岭柴家庄、八卦山和天子山花岗岩体地球化学特征[J]. 甘肃地质,2006,15(1):42-46.
- [7] 吕彦兵. 甘肃李子园—太阳寺矿集区天子山岩体特征和成因[D]. 北京,中国地质大学(北京),2019.
- [8] 魏居珍. 西秦岭太阳寺金矿地质地球化学特征及成因探讨[D]. 西安,长安大学,2018.
- [9] 马陇飞,萧汉敏,陶敬伟,等. 基于深度学习岩性分类的研究与应用[J]. 科学技术与工程,2022,22(7):2609-2617.
- [10] 李庚,曹飞翔. 基于深度学习的二维航空大地电磁数据反演[J]. 科学技术与工程,2021,21(4):1272-1278.
- [11] 张翔,石连成,段晨宇,等. 西秦岭中川-温泉岩体群深部定位及找矿方向[J]. 地球物理学进展,2018,33(3):1167-1175.
- [12] 张翔,石连成,程莎莎,等. 西秦岭造山带东段航磁特征及断裂构造格架[J]. 中国地质,2019,46(3):587-600.
- [13] 杨礼敬,胡晓隆,许亚玲,等. 甘肃天水柴家庄金矿床地质特征及成矿机制探讨[J]. 黄金,2004,8(2):1001-1277.
- [14] 张翔,魏永强,汪远志,等. 甘肃礼县—陕西宝鸡地区 1:5 万航空物探调查成果报告[R]. 石家庄,核工业航测遥感中心,2017.
- [15] 刘天佑,吴招才,詹应林,等. 磁异常小波多尺度分解及危机矿山的深部找矿:以大冶铁矿为例[J]. 地球科学—中国地质大学学报,2017,32(1):135-140.
- [16] 张翔,王辉,汪远志,等. 高精度航磁资料在冶山铁矿找矿潜力扩大中的应用[J]. 地质与勘探,2016,52(6):1138-1146.

Deep Lithological Boundaries Discrimination and Prospecting Direction of Tianzishan Complex Rock

NIU Jiayi, ZHANG Xiang, SHI Liancheng, LU Yayun, ZHAN Meiyun

(Airborne Survey and Remote Sensing Center of Nuclear Industry, Key Laboratory of Uranium Resources Geophysical Exploration Technology, China Nuclear Industry Group Company, Hebei Key Laboratory of Airborne Survey and Remote Sensing Technology, China Nuclear Industry Group Company, Shijiazhuang 050002, China)

Abstract: Tianzishan Complex Rock is the important ore-controlling rock in Liziyuan and Gaoqiao polymetallic ore concentration area in Western Qinling. In order to discriminate deep lithological boundaries of the rock, and separate the field sources due to the superposition effect of multiple field sources, wavelet multi-scale decomposition is used to solve the problem. Based on the analysis of the relationship between mineralization and magmatic activity and the characteristics of aeromagnetic anomalies, the new understanding of prospecting direction is put forward. The results show that the Tianzishan Complex Rock is composed of granite, diorite and mafic rock, these rocks provide direct heat source and material source for mineralization, deep lithological boundaries are important factor to locate the metallogenic site. Six prospecting areas are delineated, and it is suggested that priority should be given to deep exploration.

Keywords: lithological boundaries; wavelet multi-scale decomposition; aeromagnetic anomalies; prospecting direction; Tianzishan Complex Rock