

江西德安彭山矿田遥感找矿预测研究

谭荣, 徐裕敏, 徐先宇, 王天晨, 余振东

(江西省地质局第三地质大队, 江西九江 332100)

摘要: 矿田找矿预测过程中受基础地质大数据的影响较大, 导致其应用于地质复杂区域时筛选结果的准确性较差, 为此研究了江西省德安县彭山矿田遥感找矿预测方法。以下鞭山锡矿区作为彭山地区的典型矿田, 分析了其地质特征与成矿规律, 依据分析结果再结合遥感技术, 获得遥感找矿要素与遥感蚀变信息, 建立遥感综合信息找矿靶区预测模型, 得到彭山地区找矿靶区定量预测结果输出。预测结果显示, 研究区共定量预测出3个典型找矿靶区, 分别位于该区的西北侧、西侧及东侧区域, 主要具环形与条带状构造, 构造发育方向主要为东北向、西北向及近南北向, 所提取到的遥感蚀变信息主要有碳酸盐化、绿帘石化、绿泥石化、绢云母化、高岭土化及铁染, 3个靶区均具有较好的成矿条件; 野外实际查证证实3个靶区中存在高岭土化、铁染及碳酸盐化等蚀变发育, 且蚀变岩块中Cu与Au的含量较高, 预测结果得到证实, 可为该区域的找矿勘探提供可靠的参考依据。

关键词: 德安县彭山; 矿田地质; 成矿规律; 找矿靶区; 遥感技术; 蚀变信息

中图分类号: TP79; P627

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2024)04-0973-09

Remote sensing prospecting prediction of Pengshan ore field in De'an County, Jiangxi Province

TAN Rong, XU Yu-min, XU Xian-yu, WANG Tian-chen and YU Zhen-dong

(The Third Geological Brigade of Jiangxi Geological Bureau, Jiujiang 332100, China)

Abstract: In the process of ore prospecting prediction, basic geological big data has a significant impact, resulting in poor accuracy of screening results when applied to complex geological areas. Therefore, a remote sensing prospecting prediction method for Pengshan ore field in De'an County, Jiangxi Province was studied. As a typical ore field in the Pengshan area, the Xiabianshan tin ore area is analyzed for its geological characteristics and mineralization rules. Based on the analysis results and remote sensing technology, remote sensing prospecting elements and remote sensing alteration information are obtained. A remote sensing comprehensive information prospecting target area prediction model is established, and the quantitative prediction results of the prospecting target area in the Pengshan area are obtained. The prediction results show that three typical prospecting target areas have been quantitatively predicted in the study area, located on the northwest, west, and east sides of the area, mainly consisting of annular and banded structures, and the structural development directions are mainly northeast, northwest, and nearly south-north. The remote sensing alteration information extracted mainly includes carbonation, epidotization, chloritization, sericitization, kaolinization, and iron staining. All three target areas have good mineralization conditions. The field investigations have confirmed the existence of kaolinization, iron staining and carbonation in the three

收稿日期: 2023-05-05; 接受日期: 2024-02-03; 编辑: 曲丽莉

基金项目: 中国地质调查局地质调查项目 (DD20190166-2020-06)

作者简介: 谭荣 (1986-), 男, 高级工程师, 主要从事矿产资源勘查、成矿预测及地学研究, E-mail: naoyi29365327@163.com; 通讯作者: 徐裕敏 (1990-), 男, 高级工程师, 主要从事矿产资源勘查、成矿预测及地学研究工作, E-mail: 516334337@qq.com。

网络首发时间: 2024-02-05; 网络首发地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1966.P.20240202.1732.006.html>

target areas, and the contents of Cu and Au in the altered rock blocks are high. The predicted results have been confirmed, providing reliable reference for ore prospecting in this area.

Key words: Pengshan, De'an County; ore field geology; metallogenic regularity; prospecting target area; remote sensing technology; information of alteration

Fund support: Project of China Geological Survey (DD20190166-2020-06)

作为我国长江中下游成矿带关键构成部分的江西省德安县彭山,属于一个锡铋多金属矿资源区,在近些年的国土资源调查中该区发现了大量的锡、铋、锌、铅等矿床,逐渐发展成赣北区域的关键矿产基地之一。该区域内的重点矿区有宝山铋金矿田、黄金洼锡矿与彭山锡多金属矿田等(王利玲等, 2020)。目前,对于彭山区域中单独矿床的相关研究较为丰富,但针对彭山矿田的整体性研究尚有不足,在找矿勘探方面,存在勘查技术难度大、勘查成果存在偏差和误差问题,导致矿产资源评估不准确(姚宏鑫等, 2022),在矿田的深部区域与外围边部区域取得的成果有限,区域上依然存在找矿空白区(叶雷等, 2020)。由于隐伏矿床靶区探测难度大,传统的勘探方法往往无法有效地发现和勘探隐伏矿床,因此需要寻求新的勘探方法。随着遥感技术的不断发展,遥感影像数据已经成为一种重要的勘探工具。因此,在隐伏矿床的预测和勘探中,利用遥感技术对靶区进行分析和解译,已经成为一个重要的研究方向。

目前,已有部分学者针对已有矿田区域周边的找矿靶区预测问题展开了相关研究,例如罗建民等(2019)主要以甘肃地区为例,研究了基于地质大数据的区域找矿靶区优选模型,通过所挖掘的化探信息,构建找矿靶区优选模型,实现该区域的找矿靶区定量优选,但受基础地质大数据的影响较大,导致其应用于地质复杂区域时筛选结果的准确性较差;黄勇杰等(2022)提出了一种找矿靶区智能预测方法,通过将研究区的多尺度特征和元学习相结合,建立找矿靶区智能预测模型,在模型中的映射与分类两层网络的协同作用下,实现找矿靶区智能预测,该方法较为新颖,创新性较强,但面对复杂地质区域数据量庞大的情况时,运算量过大,预测效率较低;向杰等(2020)研究了四川拉拉铜矿找矿靶区三维定量预测方法,主要结合成矿系统,对此区域的地质找矿要素展开分析,并通过建立三维地质模型与定量提取成矿信息的方式,预测出有利找矿靶区,且预测结果较为准确,但其过程较为复杂,不利于复杂地质区域的高效找矿靶区预测。遥感技术作为一类较为新颖

的技术,目前已在地面勘探、卫星观测、农业普查等领域内被广泛运用(付丽华等, 2020),尤其适用于人力无法抵达、高海拔等复杂地质区域,可精准获取此类区域的相关数据信息,具有高效、便捷、精准、适用范围广等特点(魏英娟等, 2021)。当其应用于找矿勘探领域时,特别是针对复杂地质区域内的成矿控制信息、微观地质构造以及岩性等进行识别时,适用程度更高(何晓军等, 2019)。

综合以上分析,本文利用遥感技术并结合彭山典型矿田地质特征与成矿规律的分析结果,共同建立针对江西省德安县彭山研究区的遥感找矿靶区预测模型,以处理后的研究区遥感数据为基础数据,与研究区的重点矿物蚀变类别相结合,共同建立可见光-近红外波段蚀变信息决策树模型,提取遥感蚀变信息,实现该区域内找矿靶区的预测圈定,并经野外实际查证得到证实,为该区域的找矿勘探提供了可靠的参考依据。

1 研究区地质概况

1.1 研究区概况

江西省德安县位于庐山西南角,江西省的北部,九江市中部。其西侧与武宁县相邻,东侧与柴桑区相接,南侧邻近永修县,北侧与瑞昌市相邻。研究区主要包含平原洲地、丘陵及山地等地貌,其中平原洲地大部分位于东南部,丘陵地貌大多位于中部地区,而山地主要位于西北部,属于西北高东南低的地势(刘斌等, 2021),其最高处与最低处的海拔分别为655.1 m与15 m。该县的平原洲地地区主要有爱民乡、高塘乡及蒲亭镇等,第四系冲积物属于其关键堆积地貌,余下大多为湖泊等混合沉积物(付小方等, 2021);丘陵地区包括高丘陵与低丘陵两部分,其中,高丘陵主要包含大金山、红花尖及杨泉山等,地层大多为奥陶系、寒武系及震旦系等,低丘陵主要包含鸡公岭、小金山及雷山等(安文通等, 2021),地层大多为双桥山群与志留系;山地地区主要包括彭山、塘山及闽山等,地层大多为寒武系、奥陶系及志留系等,

且包含大量的变质岩与岩脉等(刘军港等, 2019)。

研究区地处长江中下游九瑞地区的江西省德安县彭山地区,具有较好的成矿地质背景,其重点矿集区为锡多金属矿田,所包含的主要矿产有锌、金、铅及富锡等,构成长江中下游成矿带的关键部分。该地区从大地构造上看,其所处位置为华南和扬子两

大板块交接带的北边边缘处,其中的交接带为江南碰撞剪切混杂岩带(刘军平等, 2021)。

彭山地区下鞭山锡矿集区是研究区的典型矿田,分布于彭山矿田晕圈式成矿带上。研究区地质简图如图1所示。

其所处位置为扬子台拗中段南边缘处,其整体

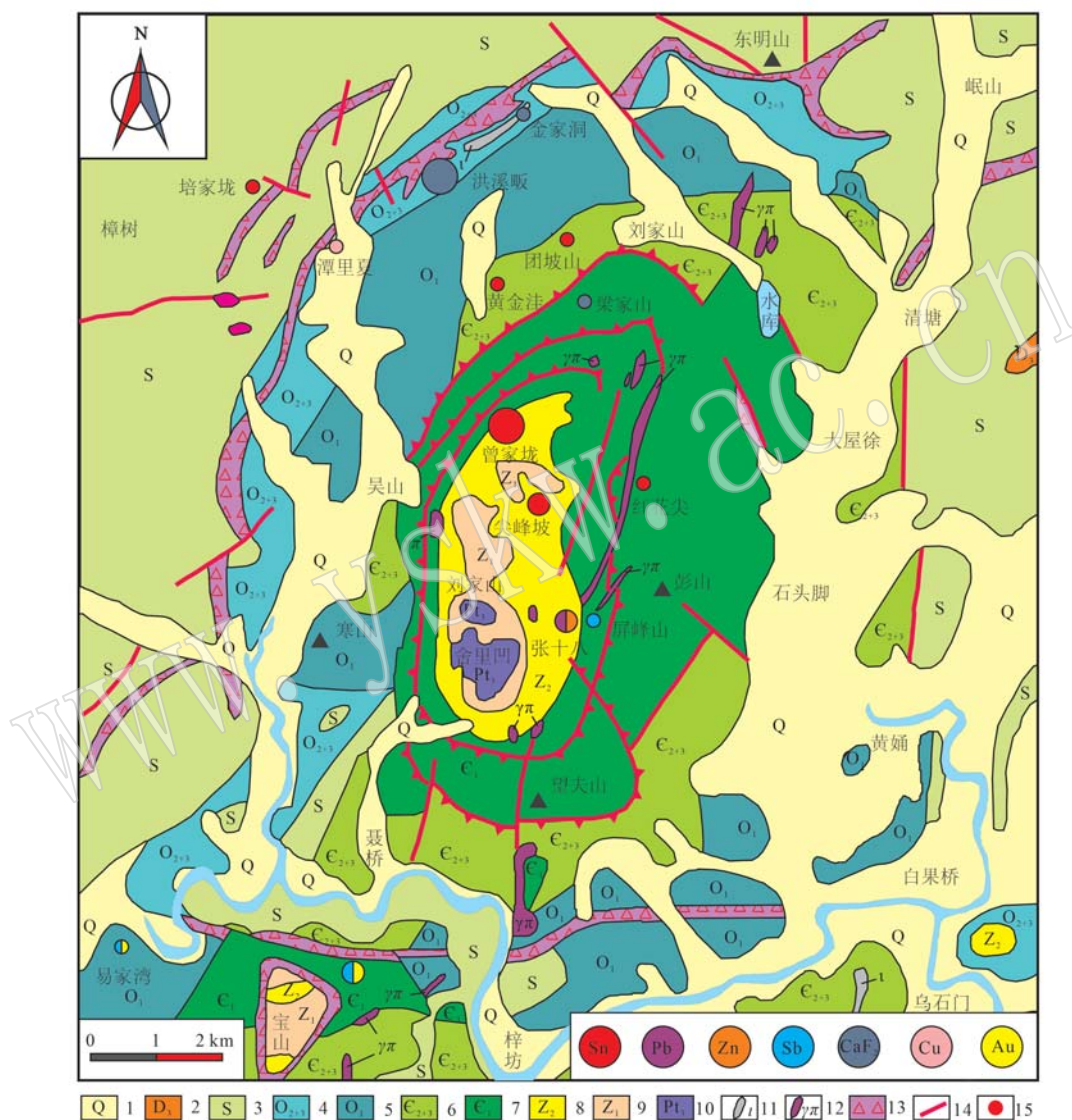


图1 彭山矿田地质矿产图(据孙团结等, 2015 修改)

Fig. 1 Geological and mineral map of Pengshan mining area (revised by Sun Tuanjie et al., 2015)

- 1—第四系; 2—上泥盆系砂砾岩; 3—志留系页岩; 4—中上奥陶系灰岩; 5—下奥陶系白云岩; 6—中上寒武系泥质条带灰岩;
- 7—下寒武系页岩夹灰岩; 8—上震旦系硅质岩—灰岩夹页岩及砂砾岩; 9—下震旦系砂砾岩; 10—前震旦系板岩夹石英角闪岩及细碧岩;
- 11—闪斜黄斑岩; 12—花岗斑岩; 13—硅化破碎带; 14—断层; 15—矿床及矿点
- 1—Quaternary; 2—Upper Devonian sandstone; 3—Silurian shale; 4—Middle to Upper Ordovician limestone; 5—Lower Ordovician dolomite;
- 6—Middle to Upper Cambrian mudstone with calcareous bands; 7—Lower Cambrian shale with interbedded limestone; 8—Upper Silurian siliceous rock, limestone, and shale interbedded; 9—Lower Silurian sandstone; 10—Precambrian schist interbedded with quartzite and kyanite schist;
- 11—shallow-dipping euhedral pyrite-bearing quartz vein; 12—granite porphyry; 13—silicified fracture zone; 14—fault; 15—mineral deposits and prospects

地质构造格架为在九江瑞昌印支期褶断带的东端横选一处彭山穹隆,其伸展方向为南北方向,大概有 195 km²。它的南侧边缘处通过一条东西方向的断裂连接印支期褶断带,其他 3 个方向则通过层间滑动断裂带分割印支期褶断带(田明君等, 2019)。该矿田地层出

露的主要有志留系、奥陶系、双桥山群与第四系,其中,奥陶系分为上、中、下三统,依次对应汤头组、汤山组及仑山组;志留系主要包含下统的清水组、殿背组及梨树窝组(Tornquist and Thomas, 2021)。彭山地区下鞭山矿田的主要地质特征如表 1 所示。

表 1 彭山地区下鞭山矿田主要出露地层的地质特征

Table 1 Geological characteristics of the main outcrop layer in the Xiabianshan ore field in Pengshan area

地层系统				厚度/m	岩性描述
界	系	统	组(群)		
新生界	第四系	—	—	0~30	残坡、洪冲积层
下古生界	志留系	下统	清水组	313~943	紫红色与灰绿色粉砂岩夹细砂岩互层
			殿背组	623.63	灰绿色及黄色粉砂岩、页岩夹薄层石英细砂岩
			梨树窝组	821~1 230	底部及顶部为灰黑色粉砂质页岩。中部为黄绿色及灰绿色粉砂质页岩,页岩夹薄层砂岩
	奥陶系	上统	汤头组	4.28~28	青灰色瘤状灰岩
		中统	汤山组	50~200	灰岩、泥质条带灰岩,顶部紫红色瘤状泥质灰岩
		下统	仑山组	300~800	上部漩涡状白云质灰岩、灰岩夹白云岩、硅质结核灰岩;下部白云岩、灰质白云岩、白云质灰岩,在彭山地区南部相变为泥岩、页岩、泥质灰岩
中元古界	双桥山群		—	板岩、粉砂质板岩夹细碧角斑岩,未见底	

注:—表示缺失或相关地质特征不详。

1.2 地质成矿规律

通过对所研究地区典型矿田的分析得出,该矿田所处位置为褶皱断裂处,通常此类位置易发生较强的地壳运动与地表山体的位移(Zhang *et al.*, 2021),导致其出现内部岩浆活动的次数较为频繁。该地区典型矿田地质成矿规律框架图如图 2 所示。

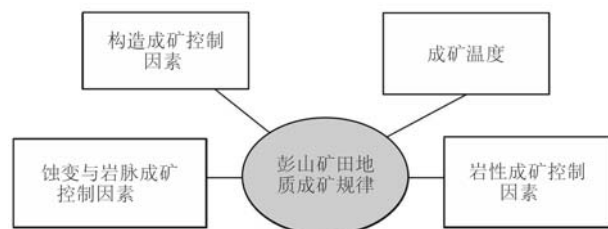


图 2 彭山地区典型矿田地质成矿规律框架图

Fig. 2 Frame diagram of geological and metallogenic regularity of typical ore fields in Pengshan area

从图 2 中可看出,该地区典型矿田地质成矿规律主要包括构造成矿控制、岩性成矿控制、蚀变与岩脉成矿控制及成矿温度等方面,其中前三者为重点。① 构造成矿控制因素:矿液初期频繁活动的关键通道为由北至东的断裂硅化破碎带,同时该破碎带也是关键的导矿容矿构造,由它所派生出的诸多构造裂隙均可作为理想的矿液储集区域,如近南北向、西北向与东北向等构造;② 岩性成矿控制因素:以发育相同的断裂构造为例,与粉砂质页岩与页岩相比,粉砂岩与细砂岩的成矿概率更高,原因是二者具有更高的破碎性与孔隙,同时二者所具备的活泼组分,如钙与钾等,对于矿液的填充、渗滤交代等十分有利;③ 蚀变与岩脉成矿控制因素:其中蚀变因素主要是指矿化相关的因素,如碳酸盐化、硅化、高岭土化、绢云母化及云英岩化等,岩脉因素主要是指闪长玢岩脉后期大多存在锡石矿化,工业锡矿体能够由

此而生成。

2 遥感数据源获取和预处理

为实现该地区的遥感找矿靶区预测,选用遥感技术对分析结果实施解析转换,得到该地区的遥感找矿要素;同时,运用遥感技术获得该地区的遥感影像数据,包括光学影像、红外影像、航空摄影影像、雷达影像、激光雷达影像(LiDAR)、热红外影像等,提取遥感蚀变信息;结合遥感找矿要素与遥感蚀变信息,构建遥感综合信息找矿靶区预测模型,实现研究地区的找矿靶区预测。遥感数据的主要特点为具有较高的空间分辨率、信息量丰富,能够清晰呈现地物的纹理、形态、结构等特征。在此遥感技术主要应用信息提取技术与影像增强技术,为研究区遥感找矿靶区预测提供更丰富更可靠的数据支撑。遥感综合信息找矿靶区预测模型的整体框架如图3所示。

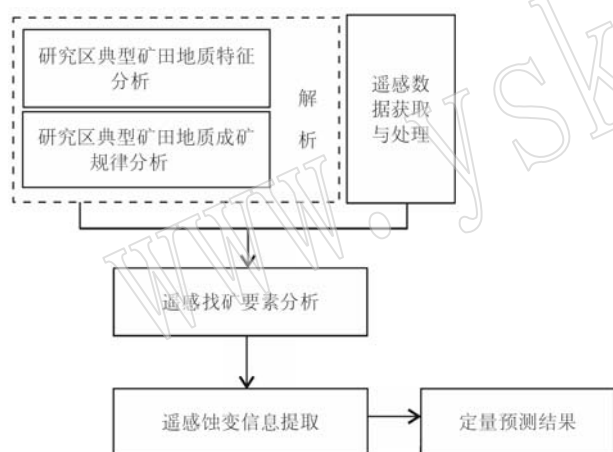


图3 遥感综合信息找矿靶区预测模型框架图

Fig. 3 Frame diagram of integrated remote sensing information prospecting target prediction model

该预测模型主要包括研究区典型矿田地质特征与成矿规律分析结果解析、遥感找矿要素分析、遥感数据获取与处理、遥感蚀变信息提取、定量预测结果输出等部分。研究区典型矿田地质特征与成矿规律分析结果解析包括对矿床的形成条件、成矿流体、成矿物质等多方面的分析。同时,需要将这些分析结果与遥感数据进行结合,以确定遥感信息与矿床形成之间的关系,从而提高遥感预测模型的准确性和可靠性。遥感数据获取与处理部分通过选择合适的数据获取方式,对数据进行筛选,进行数据预处理、影像融合和特征提取等多个步骤的操作,获得该地

区的遥感影像数据。遥感蚀变信息提取部分建立可见光-近红外波段蚀变信息决策树模型,提取遥感蚀变信息。通过遥感技术,以研究区典型矿田地质特征与成矿规律分析结果为依据,结合人机交互解析方式,完成关于研究区成矿的构造、侵入岩、地层、岩体等关键成矿控制信息的遥感解析(Pan *et al.*, 2022),得到研究区遥感找矿要素。

遥感找矿要素主要包含有利的大地构造背景、控矿侵入岩、关键赋矿地层、控矿构造及围岩蚀变等:

(1) 有利的大地构造背景要素:以遥感构造解析为依据,同时与研究区地质图相结合,实施该要素的圈定(Semenovich, 2021)。

(2) 在岩浆互动的过程中,成矿侵入岩通常位于岩体的内外接触带处。这是因为岩浆的运动和作用导致了地壳内部的物质重新排列和重新组合,形成了矿化体,初期的石英与花岗岩次生裂缝中的矿化体与高温热液同时形成,并随着硅质脉的生成而产生。因此,在侵入岩中形成的矿体通常呈现两层结构。上层主要是脉状矿层,其由高温热液沉积而成,矿石主要富含金、银、铜等矿物质。而下层则主要是岩浆岩矿层,其形成于岩浆的冷却凝固过程中,矿石中富含石英、长石等矿物。在针对研究区的控矿侵入岩勘查中,可采取对遥感环形构造实施解析,进而实现对此岩体的推断。

(3) 关键赋矿地层要素:是指对矿床形成和矿石富集起着决定性作用的岩性、构造及地层因素,可以由遥感解析图直接获得(Joshi and Ojha, 2022)。

(4) 构造成矿控制要素:该要素与遥感线要素特征相对应,主要针对东北方向、西北方向、近南北方向构造实施提取。

(5) 围岩蚀变要素:该要素的圈定可经由遥感矿化蚀变信息的提取结果实现。通常矿区周围会存在显著的围岩蚀变发育,同时其分带特征明显,属于遥感找矿的关键要素。研究区的重点矿物蚀变类别有长英岩化、碳酸盐化、硅化及云英岩化等。

3 遥感蚀变信息提取

通过遥感技术获得研究区遥感影像图,以此类遥感影像为依据,结合研究区地质图,经解析后获取到研究区的大地构造、地层及岩体等找矿要素相关信息;在运用所获取的遥感数据信息实施遥感蚀变

信息提取之前,需先将此类遥感数据信息实施相关处理。以研究区遥感数据不同波段特征为依据,选用最佳指数方法,运用波段的相关系数与标准差两种判定指标,将研究区遥感数据中的最优波段组合确定。该方法的运算方程式为:

$$O_{if} = \sum_{i=1}^3 \delta_i / \sum_{i=1, j \neq i}^3 \mu_{ij} \quad (1)$$

式中,第*i*波段与第*j*波段的相关系数通过 μ_{ij} 表示;第*i*波段的标准差通过 δ_i 表示(Lyu *et al.*, 2021)。波段的 O_{if} 值越高,代表此波段遥感影像数据内所具备的信息量越庞大,则可将此波段看作最优波段。假设有*n*个不同的波段,根据最佳指数值排序,选择指数值最大的3个波段作为最优波段组合,通过公式(1)最终确定2、4、8波段为最优波段组合,将此3个波段的遥感影像数据作为关键数据(Prisca-Gaëlle *et al.*, 2021)。

因遥感蚀变信息能够为遥感找矿靶区预测提供关键且较为直观的线索,成为通过遥感技术实现找矿靶区预测的关键。在此以处理后的研究区遥感数据为基础数据,与研究区的重点矿物蚀变类别相结合,共同建立可见光-近红外波段蚀变信息决策树模型,实现遥感蚀变信息的提取。所建立的研究区矿化遥感蚀变信息提取决策树模型如图4所示。

通过该模型重点提取到的研究区矿化遥感蚀变信息类别有碳酸盐化、绿帘石化、绿泥石化、绢云母化、高岭土化及铁染等。各类遥感蚀变信息的提取

规则为:

(1) 铁染蚀变信息:以研究区遥感数据中的2波段与4波段的反射峰特征为依据,通过特征主成分分析方法提取出此类蚀变信息。

(2) 绢云母化与高岭土化蚀变信息:以5波段的强吸收特征为依据,同样结合主成分分析方法提取出此类蚀变信息,对第1、3、4与5波段实施主成分变换,阈值切割变换后5波段的强吸收特征分量,得到所需蚀变信息。

(3) 碳酸盐化、绿帘石化及绿泥石化蚀变信息:以此类蚀变信息在8波段上所呈现的较强吸收特征为依据,使用结合包络线去除方法处理该波段数据后,可以对8波段数据进行阈值分割,并进行背景分离和矿化处理。另外结合碳酸盐化的独有特征,即在5波段呈现为弱吸收、1~4波段呈现为强反射的特征,选取3波段/5波段的阈值分割方法,将此类蚀变信息提取到;以8波段上绿帘石化蚀变信息的吸收特征强于绿泥石化为依据,继续对处理后的8波段数据实施阈值分割,提取绿帘石化和绿泥石化两种蚀变信息。

4 野外验证

以彭山研究区为例,应用遥感方法预测其找矿靶区,并对靶区展开实际野外查证,通过实际查证结果分析本文方法的预测效果。

首先呈现该方法对研究区实施遥感找矿靶区预测过程中,所提取到的研究区各类矿化遥感蚀变信息的分布情况。该方法在预测找矿靶区过程中,可有效提取研究区的各类矿化遥感蚀变信息,所提取的各类遥感蚀变信息呈现清晰。由提取的各类遥感蚀变信息结果可以看出,各类遥感蚀变信息的分布大多存在带状或环状的形态特征,其中,碳酸盐化信息大多位于研究区的东、北、西3个方向,绿帘石化信息大多位于该区的西北与东侧2个方向,绿泥石化信息大多位于其东侧与西北方向,高岭土化信息大多位于其西北与东南方向,绢云母化信息大多位于该区的西北、东南及西侧,铁染信息则主要位于该区的西南方向。

通过该方法的预测,最终圈定出3个找矿靶区,编号依次为A1、A2、A3,如图5所示。

通过图5能够得出如下结论:

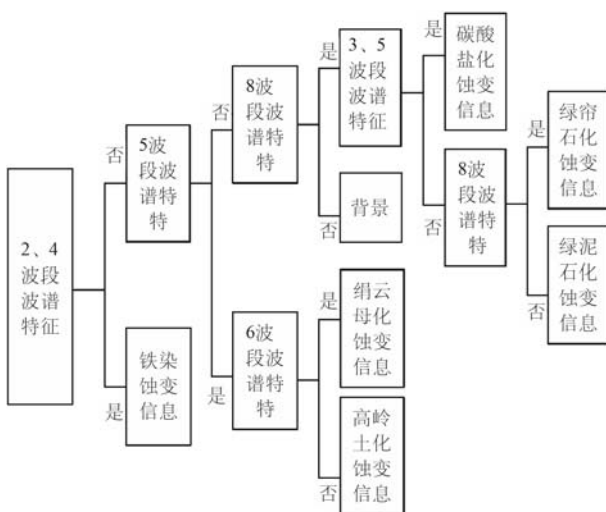


图4 研究区矿化遥感蚀变信息提取决策树模型

Fig. 4 Decision tree model of remote sensing alteration information extraction of mineralization in the study area

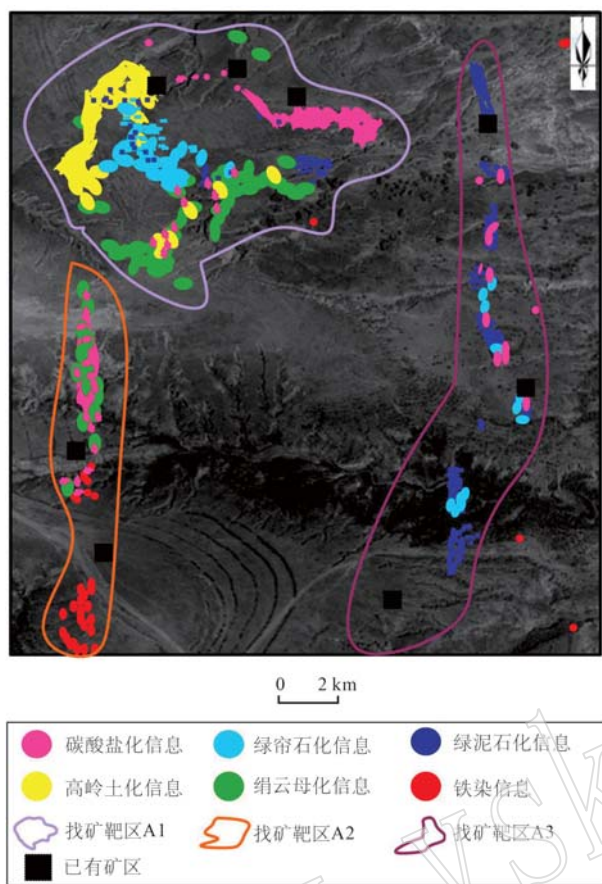


图 5 找矿靶区结果图
Fig. 5 Result map of prospecting target area

(1) 找矿靶区 A1 位于研究区的西北方向,呈环形。此靶区内存在 3 处已有矿区,位于该靶区的北侧,分别为红花尖锡矿区、垅里甘锡矿区及坡西锡矿区;该靶区内东北与西北方向构造发育,依据成矿规律与找矿要素中的构造成矿控制因素得知,东北与西北方向构造均属于重点控矿构造;另外,该靶区

中所提取到的遥感蚀变信息主要有碳酸盐化、绿帘石化、高岭土化及绢云母化等,综合分析该找矿靶区具有较好的成矿条件。

(2) 找矿靶区 A2 位于研究区的西侧与西南方向,呈条带状。此靶区内存在 2 处已有矿区,位于该靶区的中间部分,分别为张十八锡锑矿区与张十八铅锌矿区;且 A2 靶区内主要发育近南北方向构造,依据成矿规律与找矿要素中的构造成矿控制因素得知,近南北方向构造同样属于重点控矿构造;另外,该靶区中所提取到的遥感蚀变信息主要有碳酸盐化、绢云母化及铁染等,由此可见,该找矿靶区的成矿条件也较好。

(3) 找矿靶区 A3 位于研究区的东侧与东南方向,呈条带状。此靶区内存在 3 处已有矿区,位于该靶区的北侧、中间部分及西南侧,分别为面前山褐铁矿、大畈重晶石矿区及福咀脑锑矿区;此靶区内近南北与西北方向构造发育,此 2 个方向构造均属于重点控矿构造;另外,此靶区中所提取到的遥感蚀变信息主要有碳酸盐化、绿帘石化及绿泥石化等,由此可见,此找矿靶区同样具有较好成矿条件。

为证实该方法预测圈定的各个找矿靶区的实际情况,展开野外实际查证,依据查证结果证实该方法的预测结果。野外实际查证所获取的各找矿靶区关键围岩蚀变情况,如图 6 所示。

经野外实际查证,在 A1 找矿靶区中重点蚀变信息分布区域内发现高岭土化蚀变发育,A2 找矿靶区中重点蚀变信息分布区域内发现铁染蚀变发育,A3 找矿靶区中重点蚀变信息分布区域内发现碳酸盐化蚀变发育,证实了该方法预测结果的可靠性。

野外查证中,在各找矿靶区分别采集 2 块矿化



图 6 野外查证获取的各找矿靶区关键围岩蚀变情况
Fig. 6 Alteration of key surrounding rocks in each prospecting target area obtained by field verification
a—高岭土化蚀变; b—铁染蚀变; c—碳酸盐化蚀变
a—kaolinization alteration; b—iron stain alteration; c—carbonation alteration

蚀变岩块样品,对各个样品实施检验,统计各靶区样品的Cu与Au含量,统计结果详见表2。

表2 各找矿靶区矿化蚀变岩块样品的检验结果统计

Table 2 Statistics of test results of mineralized altered rock samples in each prospecting target area

找矿靶区编号	样品1		样品2	
	w(Cu)/%	w(Au)/10 ⁻⁶	w(Cu)/%	w(Au)/10 ⁻⁶
靶区A1	33.87	10.57	38.26	10.33
靶区A2	30.19	12.16	36.15	12.83
靶区A3	40.23	11.85	32.33	12.14

由表2得知,野外实际查证中,由各找矿靶区中采集的矿化蚀变岩块样品中所包含的Cu含量为30.19%~40.23%,Au含量为10.33×10⁻⁶~12.83×10⁻⁶,Cu与Au的含量均较高,进一步证实了该方法的预测结果。

5 结论

针对江西省德安县彭山地区的典型矿田地质特征与成矿规律展开详细地分析,运用遥感技术获得该地区的遥感影像数据,并通过解析所得分析结果,获得该地区的遥感找矿要素,结合由决策树模型从研究区遥感影像数据中提取出的遥感蚀变信息,综合遥感找矿要素与遥感蚀变信息,得出该地区的遥感找矿靶区预测结果。最终通过野外实地查证,验证了各靶区内对应的关键围岩蚀变发育,并检验出矿化蚀变岩块样品中所包含的Cu含量为30.19%~40.23%,Au含量为10.33×10⁻⁶~12.83×10⁻⁶,Cu与Au的含量均较高,证实了该方法预测的找矿靶区具有较好的成矿条件,预测结果可信可靠。

References

An Wentong, Chen Jianping and Zhu Pengfei. 2021. A two-way forecasting method based on numerical simulation of mineralization process for the prediction of concealed ore deposits[J]. *Earth Science Frontiers*, 28(3): 97~111(in Chinese with English abstract).

Fu Lihua and Zhang Ce. 2020. Study of ore control information in Rongle area of Tibet based on high resolution remote sensing data[J]. *Remote Sensing for Natural Resources*, 32(1): 98~105(in Chinese with English abstract).

Fu Xiaofang, Liang Bin, Zou Fuge, *et al.* 2021. Discussion on metallogenic geological characteristics and genesis of rare polymetallic ore fields in western Sichuan[J]. *Acta Geologica Sinica*, 95(10): 3054~3068(in Chinese with English abstract).

He Xiaojun, Xu Aigong and Li Yu. 2019. High-resolution remote sensing image object extraction based on color morphology[J]. *Computer Simulation*, 36(3): 333~338(in Chinese with English abstract).

Huang Yongjie, Gao Le, Yang Tian, *et al.* 2022. Experimental research on intelligent prospecting prediction based on multi-scale feature and meta-learning[J]. *Application Research of Computers*, 39(6): 1772~1778(in Chinese with English abstract).

Joshi A K and Ojha M. 2022. Estimation of porosity and gas hydrate saturation by inverting 2D seismic data using very fast simulated Annealing in the Krishna Godavari offshore basin, India[J]. *Geophysical Prospecting*, 70(2): 388~399.

Liu Bin, Wei Wenfang, Wu Jianyong, *et al.* 2021. Geochemical characteristics of sulfides from the Niutoushan Pb-Zn ore occurrence in the western Xiangshan orefield, Jiangxi Province and their geological significances[J]. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 40(2): 400~410(in Chinese with English abstract).

Liu Jungang, Li Ziyang, Nie Jiangtao, *et al.* 2019. Ore fabric and mineralogy of polymetallic mineralization in western Xiangshan uranium orefield, Jiangxi Province[J]. *Mineral Deposits*, 38(2): 367~381(in Chinese with English abstract).

Liu Junping, Wan Sheng, Dai Qi, *et al.* 2021. The Yinmin breccia types, characteristics and prospecting significance in Central Yunnan[J]. *Geological Review*, 67(6): 1619~1628(in Chinese with English abstract).

Luo Jianmin, Wang Xiaowei, Zhang Qi, *et al.* 2019. Application of geological big data to quantitative target area optimization for regional mineral prospecting in China[J]. *Earth Science Frontiers*, 26(4): 76~83(in Chinese with English abstract).

Lyu P, He L, He Z, *et al.* 2021. Research on remote sensing prospecting technology based on multi-source data fusion in deep-cutting areas[J]. *Ore Geology Reviews*, (16): 104359.

Pan T, Yuan Y, Lyu Y, *et al.* 2022. The early-cretaceous tectonic evolution and the spatial-temporal framework of magmatism-mineralization in Zijinshan ore-field, Fujian Province[J]. *Journal of Geomechanics*, 25(1): 61~76.

Prisca-Gaëlle B, Ibrahim M, Roland A Y, *et al.* 2021. The contribution of remote sensing and aeromagnetism to gold prospecting: The case of the Meiganga zone, cameroon[J]. *International Journal of*

Advanced Research, 9(5): 775~793.

(4): 542~556.

Semenovich K E . 2021. Methodological aspects of regional metallogenic analysis[J]. News of the Ural State Mining University, (2): 106~113(in Chinese).

Sun Tuanjie, Liu Nanqing, Pan Dapeng, *et al.* 2015. Discussion on the geological factors and prospecting directions of tin ore control in Jianfengpo, De'an, Jiangxi [C]// Geological Society of Jiangxi Province. New Advances in Geoscience-Proceedings of the 13th East China Six Provinces and One City Geoscience and Technology Forum. Jiangxi Science and Technology Press, 9(in Chinese).

Tian Mingjun, Li Yonggang, Miao Laicheng, *et al.* 2019. Alteration and mineralization zoning, ore textures and ore-forming process of Yongping copper deposit, Jiangxi Province[J]. Acta Petrologica Sinica, 35(06): 1 924~1 938(in Chinese with English abstract).

Tornquist S and Thomas M . 2021. Discrete approximation of dynamic phase-field fracture in visco-elastic materials[J]. Discrete and Continuous Dynamical Systems-S, 14(11): 3 865~3 924.

Wang Liling, Zhang Shuming, Xu Xun, *et al.* 2020. LA-ICP-MS zircon U-Pb dating and genetic types of uranium-bearing granite porphyry in northern Xiangshan orefield, Jiangxi Province [J]. Geological Bulletin of China, 39(1): 62~79 (in Chinese with English abstract).

Wei Yingjuan and Liu Huan. 2021. Remote sensing-based mineralized alteration information extraction and prospecting prediction of the Beiya gold deposit, Yunnan Province[J]. Remote Sensing for Natural Resources, 33(3): 156~163 (in Chinese with English abstract).

Xiang Jie, Xiao Keyan, Chen Jianping, *et al.* 2020. 3D metallogenic prediction based on metallogenic system analysis: A case study in the Lala copper mine of Sichuan Province[J]. Acta Geoscientia Sinica, 41(2): 135~143(in Chinese with English abstract).

Yao Hongxin, Guo Tao, Zhu Suizhou, *et al.* 2022. Geochemical features of the Zoujiashan and Shazhou uranium ore deposits in the Xiangshan area, Jiangxi, China: Implications for hydrothermal source[J]. Journal of Geomechanics, 28(1): 90~100(in Chinese with English abstract).

Ye Lei, Gao Jiang and Yang Yuexia. 2022. The metallogenic characteristics of Hongshiyuan ore field in the middle part of Wenshan-Malipo fault[J]. China Mining Magazine, 29(S2): 231~233(in Chinese with English abstract).

Zhang B , Lyu G , Jianguo Y U , *et al.* 2021. Geophysical data interpretation of the tectonic deformation lithofacies belts in the ore field: Application in ore prospecting[J]. Journal of Geomechanics, 27

附中文参考文献

安文通, 陈建平, 朱鹏飞. 2021. 基于成矿过程数值模拟的隐伏矿双向预测研究[J]. 地学前缘, 28(3): 97~111.

付丽华, 张策. 2020. 基于高分遥感数据的西藏荣勒地区控矿信息提取[J]. 国土资源遥感, 32(1): 98~105.

付小方, 梁斌, 邹付戈, 等. 2021. 川西甲基卡锂等稀有多金属矿田成矿地质特征与成因分析[J]. 地质学报, 95(10): 3 054~3 068.

何晓军, 徐爱功, 李玉. 2019. 基于CM的高分辨率遥感影像目标边缘提取[J]. 计算机仿真, 36(3): 333~338.

黄勇杰, 高乐, 杨田, 等. 2022. 基于多尺度特征和元学习的智能预测找矿靶区实验研究[J]. 计算机应用研究, 39(6): 1 772~1 778.

刘斌, 魏文芳, 吴建勇, 等. 2021. 江西相山矿田西部牛头山铅锌矿化体硫化物地球化学特征及其地质意义[J]. 矿物岩石地球化学通报, 40(2): 400~410.

刘军港, 李子颖, 聂江涛, 等. 2019. 江西相山西部地区深部多金属矿化矿石组构学、矿物学研究及其地质意义[J]. 矿床地质, 38(2): 367~381.

刘军平, 宛胜, 戴启, 等. 2021. 滇中地区因民角砾岩类型、特征及找矿意义[J]. 地质论评, 67(6): 1 619~1 628.

罗建民, 王晓伟, 张琪, 等. 2019. 地质大数据方法在区域找矿靶区定量优选中的应用[J]. 地学前缘, 26(4): 76~83.

孙团结, 刘南庆, 潘大鹏, 等. 2015. 江西德安尖峰坡锡矿控矿地质因素及找矿方向探讨[C]//江西省地质学会. 2015地学新进展——第十三届华东六省一市地学科技论坛论文集. 江西科学技术出版社, 9.

田明君, 李永刚, 苗来成, 等. 2019. 江西永平铜矿床蚀变矿化分带、矿石组构及成矿过程[J]. 岩石学报, 35(6): 1 924~1 938.

王利玲, 张树明, 许迅, 等. 2020. 江西相山矿田北部产钽花岗岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年及成因类型[J]. 地质通报, 39(1): 62~79.

魏英娟, 刘欢. 2021. 北衙金矿床遥感矿化蚀变信息提取及找矿预测[J]. 自然资源遥感, 33(3): 156~163.

向杰, 肖克炎, 陈建平, 等. 2020. 基于成矿系统的三维定量预测研究——以四川拉拉铜矿为例[J]. 地球学报, 41(2): 135~143.

姚宏鑫, 郭涛, 朱随洲, 等. 2022. 江西相山邹家山、沙洲矿床蚀变特征对比及其对成矿热液来源的启示[J]. 地质力学学报, 28(1): 90~100.

叶雷, 高江, 杨月霞. 2020. 对文山-麻栗坡断裂中段红石岩矿田成矿地质特征[J]. 中国矿业, 29(S2): 231~233.