

# Extraction of Altered Mineral Information and Prospecting Prediction Based on Landsat-8 Image

Zhenying Cui<sup>1,2</sup>, Xiancheng Mao<sup>1,2</sup>, Chunhua Yang<sup>3</sup>, Xiaojuan Wu<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Key Laboratory of Metallogenic Prediction of Nonferrous Metals, Ministry of Education, Central South University, Changsha Hunan

<sup>2</sup>School of Geosciences and Info-Physics, Central South University, Changsha Hunan

<sup>3</sup>East China Mineral Exploration & Development Bureau, Nanjing Jiangsu

<sup>4</sup>College of Resources and Environment, Chengdu University of Information Technology, Chengdu Sichuan  
Email: [cuizy83@163.com](mailto:cuizy83@163.com)

Received: Aug. 26<sup>th</sup>, 2019; accepted: Sep. 5<sup>th</sup>, 2019; published: Sep. 12<sup>th</sup>, 2019

---

## Abstract

Geological prospecting is a traditional application field of remote sensing technology. The gold deposits in the middle section of the Zhaoping fault belt, such as Dayingezhuang, Jiangjiayaoan-Xiadian, have a good structural alteration-mineralization zone. Based on the previous research basis, this paper takes argillic alteration as the main remote sensing alteration prospecting indicator in the study area. Iron alteration is used as an auxiliary prospecting criterion. All the alteration information is extracted by the pretreatment and principal component transform from Landsat-8 image. The results show that the spatial distribution of argillic alteration and iron alteration is not obvious, and the former has higher coupling with existing gold ore. Based on the distribution of alteration information, nine prospective areas were determined, which could provide technical support for further mineral exploration in the study area.

## Keywords

Zhaoping Fault Belt, Landsat-8 Image, Mineral Alteration, Principal Component Analysis, Prospecting Area

---

# Landsat-8数据的矿化蚀变信息提取及找矿预测

崔振营<sup>1,2</sup>, 毛先成<sup>1,2</sup>, 杨春华<sup>3</sup>, 吴小娟<sup>4</sup>

<sup>1</sup>中南大学有色金属成矿预测与地质环境监测教育部重点实验室, 湖南 长沙

<sup>2</sup>中南大学地球科学与信息物理学院, 湖南 长沙

<sup>3</sup>江苏省有色金属华东地质勘查局, 江苏 南京

<sup>4</sup>成都信息工程大学资源环境学院, 四川 成都

Email: cuizy83@163.com

收稿日期: 2019年8月26日; 录用日期: 2019年9月5日; 发布日期: 2019年9月12日

## 摘要

地质勘查是遥感技术的传统应用领域。招平断裂带中段大尹格庄、姜家窑、夏甸等金矿富集, 具有很好的构造蚀变-矿化分带。结合前期相关研究基础, 本文将泥化蚀变作为研究区主要遥感蚀变找矿标志, 铁化蚀变作为辅助性找矿标志, 通过对Landsat-8数据的预处理、主成分变换, 提取了研究区泥化和铁化蚀变信息。结果显示泥化蚀变信息与铁化蚀变信息空间分布套合不明显, 前者与已有金矿空间耦合性较高。基于蚀变信息分布情况, 圈定了9处找矿远景区, 为研究区找矿勘查提供技术支持。

## 关键词

招平断裂带, Landsat-8数据, 矿化蚀变信息, 主成分分析, 找矿远景区

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

遥感找矿以现代成矿理论为指导, 以遥感物理为基础, 通过遥感图像处理、解译和遥感信息地面成矿模式研究, 同时配合野外地质调查及验证和室内样品分析, 以保证遥感找矿的有效性。遥感技术在地质找矿中主要体现在利用影像的空间信息和光谱信息提取与成矿有关的地质体信息, 如控矿构造、控矿地层等和蚀变异常信息[1]。相较于传统的物化探找矿手段, 遥感技术具有宏观、信息量丰富、立体感强、地形地貌特征明显、便于定位等优势, 但是随着地质勘查工作的开展, 出露地表的矿产明显较少, 勘查目标从地表矿、浅部矿、易识别矿转向寻找隐伏矿、难识别矿, 找矿勘探的难度日益增大。因此将遥感技术与传统地质方法、现代信息技术相结合是遥感地质应用的发展方向[2]。

早期的地质遥感探测主要是依据影像中形状、大小、色调和纹理等特征标志识别、勾绘各种地质构造行迹的形态、产状、分布规律、组合关系及其成因联系等, 以分析区域内控矿规律。随着遥感技术的快速发展, 解译矿床围岩蚀变信息成为更有利的探测方式。不同蚀变矿物在可见近红外-短波红外光谱区间具有不同的波谱特征。遥感数据多个波段信息的获取, 可以鉴别矿物具有的诊断性波谱特征, 从而提取矿化蚀变信息。国内外学者基于蚀变岩中所含离子的诊断性波谱特征, 利用各种遥感数据开展了多种蚀变遥感异常提取方法研究。比较成熟的矿化蚀变信息提取方法有波段代数运算法、主成分分析、光谱角法及基于图像光谱的矿物端元信息提取等[3] [4] [5]。

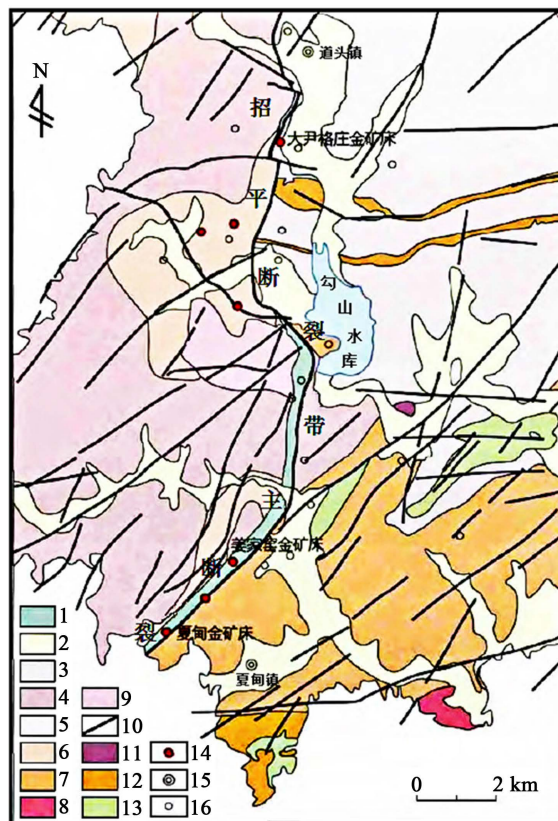
本文以位于招平断裂带构造中段的大尹格庄、曹家洼、姜家窑、夏甸等金矿富集区域为研究对象, 基于Landsat-8影像通过数据预处理、主成分变换解译了研究区矿化蚀变信息, 并分析其与招平断裂带构造的空间耦合性, 最终圈定研究区找矿远景区, 为后续矿产开采提供技术支持。

## 2. 研究区概况

招远金矿区位于山东半岛西北部。区内黄金资源蕴藏丰富，储量全国第一，分布有特大型金矿、大型金矿、中型金矿和小型金矿多座。招平断裂带经历了早期的韧性剪切和晚期的脆性剪切，并且至少经历了左旋-右旋-左旋的3次活动，力学性质则呈现出扭性-扭张性-扭性-压扭性的变化，是招远金矿区的主要控矿构造，控制了矿田、矿床、矿点的空间分布[6] [7] [8]。断裂活动不仅为金矿的形成提供储矿空间，而且为金矿热液的形成提供活化热能和大量流体。在断裂走向和倾向的变化处，热液富集，是金矿体出现的有利部位。

区内金矿化主要有石英脉性金矿化和蚀变岩性金矿化两种，在时空域上的分布规律性十分明显。其空间分布规律主要体现在矿田内的重要工业矿床或主要工业矿脉(体)严格受招平断裂主构造控制，并具有对应产出、等距分布、分段富集和矿体侧伏等特征[9]。在时间域上，区内的石英脉性金矿化和蚀变岩性金矿化大致分为黄铁矿-石英阶段，石英-黄铁矿阶段，块状黄铁矿阶段，多金属硫化物阶段和石英-碳酸盐-黄铁矿五个阶段。所以在招远金矿集中区内，招平断裂带附近的石英脉型和蚀变岩性可以作为找矿标志。

本文研究区主要包括招平断裂带主断裂南柳家沟-夏甸段中段及其周围区域。研究区范围内断裂走向NE，倾向SE，倾角40°左右。研究区构造地质情况如图1所示。



1. 破碎带; 2. 第四系; 3. 闪长岩; 4. 中粗粒二长花岗岩; 5. 伟晶不等粒花岗岩; 6. 弱片麻状中细粒二长花岗岩; 7. 片麻状细粒含黑云花岗闪长岩; 8. 片麻状中细粒含角闪黑云英云闪长岩; 9. 弱片麻状细粒含石榴二长花岗岩; 10. 断层; 11. 黑云角闪变粒岩; 12. 大理岩; 13. 斜长角闪岩; 14. 矿床(点); 15. 乡镇; 16. 村庄

Figure 1. Geologic significance in the study area [10]

图 1. 研究区构造地质图[10]

### 3. 遥感数据预处理

Landsat-8 卫星于 2013 年 2 月 11 日成功发射。卫星上携带两个传感器, 分别是 OLI 陆地成像仪 (Operational Land Imager) 和 TIRS 热红外传感器 (Thermal Infrared Sensor) 在空间分辨率和光谱特性等方面, Landsat-8 数据与 Landsat 1-7 基本保持一致, 具体波段设置见表 1。与 Landsat-7 上的 ETM 传感器相比, OLI 陆地成像仪做了部分调整: Band 5 的波段范围调整为  $0.845\ \mu\text{m}\sim 0.885\ \mu\text{m}$ , 排除了  $0.825\ \mu\text{m}$  处水汽吸收的影响; Band 8 全色波段范围较窄, 从而可以更好区分植被和非植被区域。新增的两个波段为 Band 1 蓝色波段 ( $0.433\ \mu\text{m}\sim 0.453\ \mu\text{m}$ ) 和 Band 9 短波红外波段 ( $1.360\ \mu\text{m}\sim 1.390\ \mu\text{m}$ ), 前者主要应用于海岸带观测, 后者应用于云检测。Landsat-8 上携带的 TIRS 热红外传感器主要用于收集地球两个热区地带的热量流失, 可以了解观测地带的水分消耗[11]。

**Table 1.** Band parameters of Landsat-8 data

**表 1.** Landsat-8 数据波段参数

| 波段          | 波长( $\mu\text{m}$ ) | 分辨率(m) |
|-------------|---------------------|--------|
| 波段 1-气溶胶    | 0.43~0.45           | 30     |
| 波段 2-蓝      | 0.45~0.51           | 30     |
| 波段 3-绿      | 0.53~0.59           | 30     |
| 波段 4-红      | 0.64~0.67           | 30     |
| 波段 5-近红     | 0.85~0.88           | 30     |
| 波段 6-SWIR1  | 1.57~1.65           | 30     |
| 波段 7-SWIR2  | 2.11~2.29           | 30     |
| 波段 8-全色     | 0.50~0.68           | 15     |
| 波段 9-Cirrus | 1.36~1.38           | 30     |
| 波段 10-TIRS1 | 10.60~11.19         | 100    |
| 波段 11-TIRS2 | 11.50~12.51         | 100    |

本文采用的 Landsat-8 影像 2014 年 5 月 26 日获取。由于原始遥感影像受到传感器自身和传输过程中各种因素的影响, 应用前需要经过辐射定标、几何校正、大气校正、干扰信息去除等预处理[12] [13]。研究采用 ENVI 平台中相关模块对研究区 Landsat-8 影像进行预处理操作。

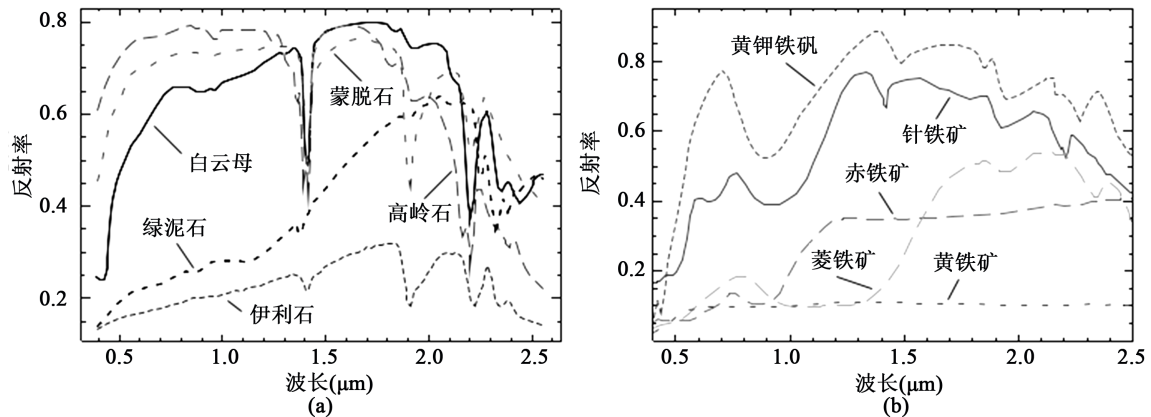
### 4. 遥感矿化蚀变信息提取

#### 4.1. 矿化蚀变信息波谱特征分析

由于研究区所在的大型断裂带周围蚀变分带明显, 并呈不对称分布, 具有很好的构造蚀变 - 矿化分带, 从主裂面向下盘, 构造强度逐渐减弱, 引起蚀变和矿化同步减弱, 形成了绢英岩 - 绢英岩化花岗岩 - 钾化花岗岩蚀变分带和黄铁绢英岩化碎裂岩型 - 黄铁绢英岩化花岗质碎裂岩型(网脉型) - 黄铁绢英岩化花岗岩型矿化分带。结合前期相关研究, 本研究将研究区泥化蚀变作为主要遥感蚀变找矿标志, 铁化蚀变作为辅助性信息[14]。

泥化蚀变矿物的波谱特征受羟基基团的影响, 在  $2.2\ \mu\text{m}$  处表现为较强的羟基基团的吸收特征, 在  $2.0\sim 2.5\ \mu\text{m}$  处呈现比硅酸盐、碳酸盐低的反射率。图 2(a)中为 USGS 波谱库中几种典型泥化蚀变矿物的

波谱曲线。铁化蚀变矿物主要包含二价铁离子及三价铁离子，从几种典型含铁离子矿物的波谱曲线中可以看出，含三价铁离子类矿物在  $0.5 \mu\text{m}$  附近呈现一个拐点，形成清晰的吸收肩，表现出红色不透明物质的特征，其诊断性吸收谱带位于  $0.8 \mu\text{m} \sim 0.9 \mu\text{m}$  处。含二价铁离子类矿物在  $1 \mu\text{m}$  处具有吸收特征，且在  $1 \mu\text{m} \sim 1.5 \mu\text{m}$  处有宽吸收带(图 2(b))。



**Figure 2.** Spectral curves of typical minerals (from USGS). (a) Spectral curves of hydroxyl minerals; (b) Spectral curves of iron minerals

**图 2.** 典型矿物波谱曲线(取自 USGS 光谱库)。(a) 含羟基类矿物波谱曲线；(b) 含铁离子类矿物波谱曲线

结合研究区泥化蚀变和铁化蚀变指示性矿物，绢云母化、绿泥石化、黄铁矿化中含有羟基基团和三价铁离子。对照 Landsat-8 相应波段，含有羟基基团的矿物在 B7 波段呈吸收特征，在 B6 波段有较高的反射率；含三价铁离子的矿物在 B2、B5 波段呈吸收特征，在 B4、B6 和 B7 波段有较高的反射率。

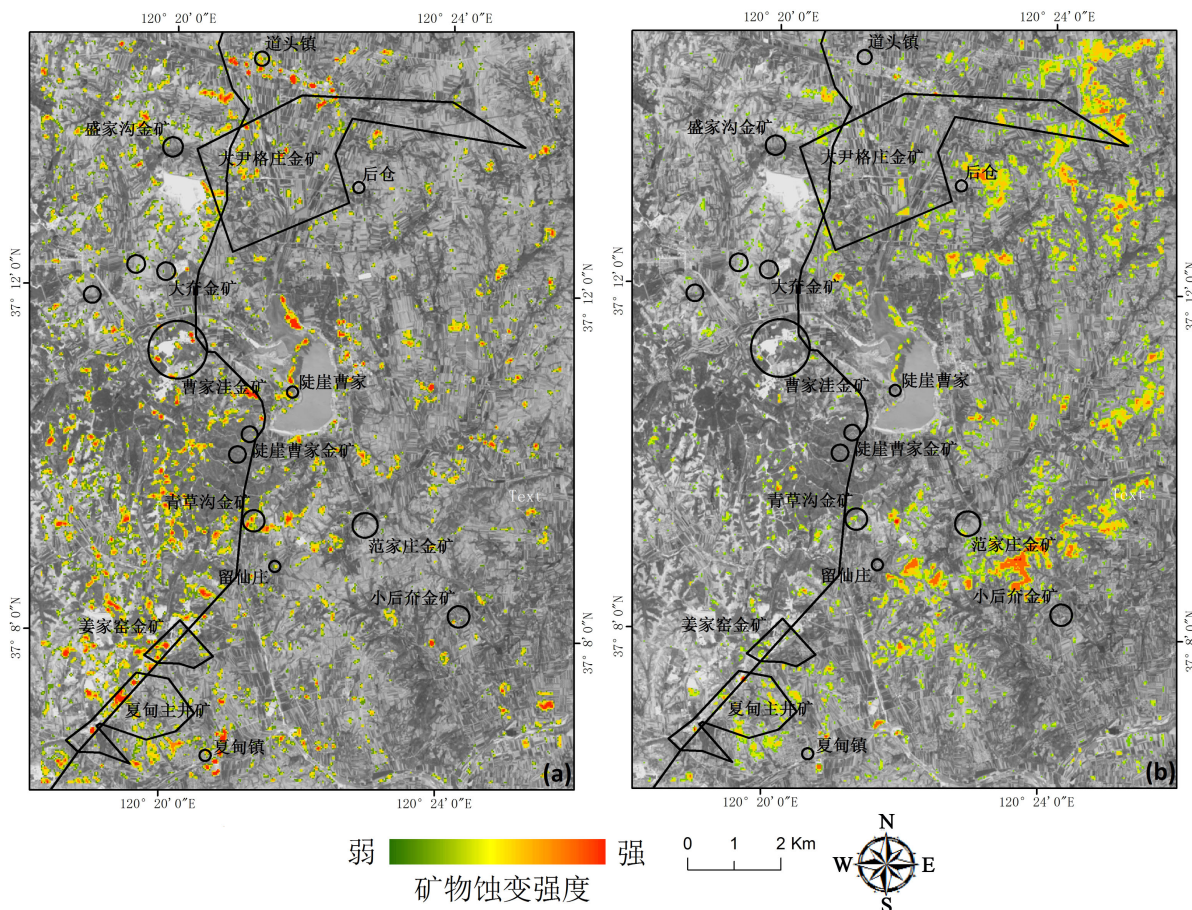
## 4.2. 矿化蚀变信息提取

本文以 Landsat8 影像为数据源，采用主成分分析法对研究区内的泥化及铁化蚀变信息进行提取。主成分分析法在数学上又称 KL 变换，是多元统计中最常用的一种降维方法，可以减少信息间的冗余，在遥感矿化蚀变信息提取中有较为成熟的应用[3] [15]。

依据图 2 中不同矿物波谱曲线特征，分别选取 B2, B5, B6, B7 和 B2, B4, B5, B6 进行主成份运算以提取泥化和铁化蚀变信息。含羟基类矿物所在的分量特征应该是 B2, B6 波段贡献与 B5, B7 波段相反，含铁离子类矿物所在的分量特征为 B2, B5 波段贡献与 B4, B6 波段相反。

分析蚀变矿物主成分分析特征向量表(表 2)，泥化蚀变矿物主成分变换表中第 4 主分量(PC4)符合含羟基类矿物波谱特征，然而在 B5 波段处应表现为负值，因此将 PC4 取反后作为泥化蚀变矿物信息；铁化蚀变类矿物主成分变换表中第 2 主分量(PC2)符合含铁离子类矿物波谱特征，且符号符合规律，将 PC2 作为铁化蚀变矿物信息。为进一步突出蚀变信息分布、去除孤立噪点，对蚀变类矿物所在主分量影像进行  $5 \times 5$  高斯低通滤波。最后对影像以其平均值加标准差为阈值，将大于阈值的区域作为矿化蚀变区进行拉伸，得到羟基和铁化蚀变矿物信息分布图，底图采用 Landsat-8 全色波段(图 3)。

分析蚀变矿物强度分布图，研究区羟基蚀变信息强烈区主要沿招平主断裂带条状分布，其中大尹格庄金矿、夏甸主井矿和陡崖曹家金矿周边羟基蚀变信息最为丰富，其他地区也有团状聚集。铁化蚀变信息强烈区主要分布在范家庄金矿和小后乔金矿之间，在研究东北部也有片状分布。总体上而言，泥化蚀变与铁化蚀变的空套合性不明显，前者与已有金矿分布吻合度较高，后者与已有金矿分布吻合度较低，与文献[14]研究结果相一致。



**Figure 3.** The alteration information in the study area. (a) Argillic alteration; (b) Iron alteration  
**图 3.** 研究区泥化、铁化蚀变信息解译。(a) 泥化蚀变信息; (b) 铁化蚀变信息

**Table 2.** Eigenvector of principal component analysis  
**表 2.** 蚀变矿物主成分分析特征向量表

| 蚀变信息 | 波段 | PC1       | PC2       | PC3       | PC4       |
|------|----|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 泥化   | B2 | -0.040381 | -0.011493 | 0.062424  | -0.997166 |
|      | B5 | -0.400853 | -0.807189 | 0.430128  | 0.052463  |
|      | B6 | -0.713741 | -0.01951  | -0.699983 | -0.014691 |
|      | B7 | -0.572939 | 0.589859  | 0.566671  | 0.051878  |
| 铁化   | B2 | -0.048556 | -0.006567 | -0.19949  | 0.978674  |
|      | B4 | -0.167492 | 0.075199  | -0.961638 | -0.203823 |
|      | B5 | -0.482653 | -0.875186 | 0.021038  | -0.025531 |
|      | B6 | -0.858274 | 0.47786   | 0.187118  | -0.001235 |

### 5. 找矿远景区预测

以泥化蚀变空间分布为主要遥感找矿标志, 辅以铁化蚀变空间分布特征, 圈定找矿远景区 9 处(图 4)。其中 I 级找矿远景区 4 处, II、III 级找矿远景区各 2 处。I-1、I-2、I-3 及 I-4 找矿远景区分别位于大尹格

庄金矿北侧、曹家洼金矿西南侧、姜家窑金矿西北侧及夏甸主井矿附东南侧，可能为已有金矿床矿体深部延伸，浅层地表泥化蚀变信息丰富，并有少量铁化蚀变信息，为优先推荐找矿远景区。II级2处找矿远景区分别位于陡崖曹家北部及青草沟金矿周边。相较于I级四处找矿远景区，II级找矿远景区内的泥化蚀变信息稍弱，但仍位于招平断裂带主断裂附近，开采潜力较大。III级2处找矿远景区位于大尹格庄金矿东部、范家庄金矿和小后乔金矿之间，泥化蚀变信息较少，主要为铁化蚀变，有一定的开采价值。

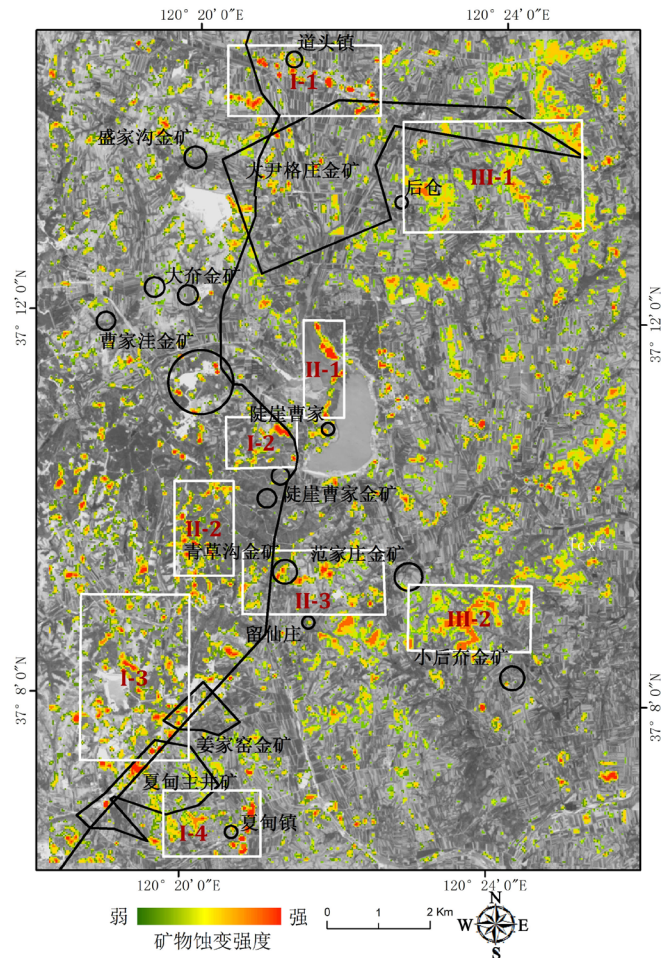


Figure 4. The prospect areas in the study area

图 4. 研究区找矿远景区圈定

## 6. 结论

遥感找矿已成为矿产资源勘查和监测不可替代的高技术手段。本文利用 Landsat-8 影像多波段、较好空间分辨率和影像信息丰富的特征，利用主成分分析法选择不同的波段组合，提取了大尹格庄至夏甸金矿一线金矿富集区域的泥化、铁化蚀变信息。由蚀变信息分布图可知，研究区内泥化蚀变信息较为强烈，主要沿主断裂带附近带状分布，与研究区已有金矿分布基本一致；铁化蚀变信息与泥化蚀变信息套合不明显，主要分布在后仓、范家庄和小后乔附近。综合研究区蚀变信息分布共圈定 9 处找矿远景区。其中 I 级找矿远景区 4 处，主要为已有金矿深部延伸，为优先推荐开采区；II 级找矿远景区也位于已有金矿周边地区，但其泥化蚀变信息相对较弱。III 级 2 处找矿远景区与招平断裂带距离相对较远，但其铁化蚀变信息丰富，也是推荐开发区域。

然而需要注意的是,研究区农田、水体等地物类型复杂,为提取地表矿化蚀变信息造成了较大干扰。本文将植被、水体信息进行了掩膜去除,但不可避免的也会丢失相应区域的矿化蚀变信息。此外,Landsat-8数据波段信息有限,不能识别更细化的矿化蚀变信息。因此,后续研究可以通过采用其他多源遥感数据如ASTER、MODIS、Hyperion等,提取蚀变矿物、植被异常及地热异常等与热液蚀变相关的多元信息,提高遥感矿物探测准确度。总体而言,遥感技术为地质勘查提供了新的途径,但其获取信息的准确性、可靠性受到多种因素的影响,目前仍主要作为辅助手段之一应用于地质领域。本文基于Landsat-8数据获取的相关信息,后续还需要结合物探、化探等多种技术手段,进一步圈定找矿远景区,为研究区进一步矿产开发提供技术支持。

## 参考文献

- [1] 杨自安,徐国端,邹林,等. 遥感与多元地学信息综合找矿定位预测[J]. 矿产与地质, 2004, 18(104): 343-345.
- [2] Meyer, U., Frei, M., Petersen, H., et al. (2017) A Collaboration between Geophysics and Remote Sensing for Mineral Exploration. *EGU General Assembly Conference*, Vienna, 23-28 April 2017, 2442.
- [3] Ranjbar, H., Honarmand, M. and Moezifar, Z. (2004) Application of the Crosta Technique for Porphyry Copper Alteration Mapping, Using ETM+(TM) Data in the Southern Part of the Iranian Volcanic Sedimentary Belt. *Journal of Asian Earth Sciences*, **24**, 237-243. <https://doi.org/10.1016/j.jseae.2003.11.001>
- [4] 吕凤军,邢立新,范继璋,等. 基于蚀变信息场的遥感蚀变信息提取[J]. 地质与勘探, 2006, 42(2): 65-68.
- [5] 刘文兰,张微. 遥感构造蚀变异常信息提取与找矿预测[J]. 国土资源遥感, 2012, 24(2): 68-74.
- [6] 林文蔚,赵一鸣,徐珏. 胶东招远-平度断裂活动性质及活动时代[J]. 中国区域地质, 2000, 19(1): 43-51.
- [7] 徐述平,杨立强,张蜀冀,等. 胶东招平断裂带金矿成矿指示元素特征及找矿应用[J]. 黄金科学技术, 2010, 18(5): 7-11.
- [8] 张文钊,徐述平. 招平断裂带成矿特征与找矿靶区[J]. 黄金科学技术, 2006, 14(2): 1-10.
- [9] 丛成双. 招远金矿集中区金矿富集规律及找矿标志[J]. 黄金, 2003, 24(9): 7-10.
- [10] 吴泽权,毛先成,陈进,等. 招平断裂带中段断裂成矿有利度分析[J]. 地质找矿论丛, 2014, 29(1): 44-50.
- [11] 中国科学院计算机网络信息中心国际科学数据镜像网站. <http://www.gscloud.cn>
- [12] 张玉君,杨建民,陈薇. ETM+(TM)蚀变遥感异常提取方法研究与应用—地质依据和波谱前[J]. 国土资源遥感, 2002(4): 30-36.
- [13] 苏一鸣,李向前,朱叶飞. ETM+(TM) (TM)蚀变遥感异常提取方法在宁镇地区的应用[J]. 地质学刊. 2009, 33(1): 84-88.
- [14] 李守生,叶珂,杨斌,等. 山东招平断裂带及其外围地区遥感蚀变提取与找矿预测[J]. 矿产与地质, 2011, 25(3): 231-235.
- [15] 程洋,童立强. 基于背景多层次分离的遥感矿化蚀变信息提取模型及应用实例[J]. 遥感技术与应用, 2015, 30(3): 586-591.