

# The Application of the Comprehensive Method of Geology, Geophysical and Geochemical in the Deep Prospecting of the Periphery of the Huamei'ao Mining Area

Lei Zhao, You Tan, Huohua Mo, Jie Lu, Bin Yang

Gannan Geological Survey Group, Jiangxi Bureau of Exploration & Development of Geology and Mineral Resources, Ganzhou Jiangxi  
Email: 824175602@qq.com

Received: Dec. 11<sup>th</sup>, 2019; accepted: Dec. 24<sup>th</sup>, 2019; published: Dec. 31<sup>st</sup>, 2019

---

## Abstract

The study area is located at the intersection of the east end of Nanling East-West structural magmatic belt and Yushan depression belt on the west side of Wuyishan uplift belt, belonging to the Yushan metallogenic subzone in the eastern part of Nanling metallogenic belt. The area has a large number of poor people for a long time, and mining industry is the pillar industry of county economy. However, as one of the main local mining enterprises, the main tungsten beryllium ore resources in Huamei'ao mining area have been consumed and exhausted. Therefore, it is urgent to carry out the exploration work of substitute resources in the periphery of the mining area, and then gradually turn from the search for surface or shallow mines to the search for concealed and deep mines. In this work, geochemical exploration, high-precision magnetic method, IP middle ladder and IP sounding survey have been carried out. Combined with the geological survey and research results, it is considered that the surrounding area of the Huamei'ao mining area has a good potential to find and evaluate the quartz vein type tungsten polymetallic ore resources, and if the existing regional geological and gravity data were integrated, great prospecting results can be obtained.

## Keywords

Tungsten Deposit, Exploration Method, Geophysical Exploration, Geochemical Exploration, Geology, Outer Area of Huamei'ao Mining Area

---

## 地 - 物 - 化综合方法在兴国画眉坳矿区外围深部找矿中的应用

赵磊, 谭友, 莫火华, 鲁捷, 杨斌

江西省地质矿产勘查开发局赣南地质调查大队, 江西 赣州  
Email: 824175602@qq.com

收稿日期: 2019年12月11日; 录用日期: 2019年12月24日; 发布日期: 2019年12月31日

## 摘要

研究区处于南岭东西向构造-岩浆岩带东端与武夷山隆起带西侧之雩山拗陷带交汇部位,成矿区带属南岭成矿带东段之雩山成矿亚带,矿业又是县域经济支柱性产业,画眉坳钨矿作为当地主要的矿山企业之一,资源已严重消耗枯竭,矿区外围接替资源勘查找矿工作迫在眉睫,寻找深部及隐伏矿。本次通过化探、高精度磁法、激电中梯、激电测深测量,结合地质调查研究成果,认为画眉坳矿区外围具有较好的寻找、评价石英脉型钨多金属矿资源潜力,进一步综合已有区域地质、重力资料,可取得良好的找矿效果。

## 关键词

钨矿床, 勘查方法, 物探, 化探, 地质, 画眉坳外围

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

通过已有资料显示,赣南钨矿主要集中分布于崇义-大余-上犹、兴国-宁都、赣县-于都和龙南-定南-全南4个矿集区内,画眉坳钨矿(石英脉型)地处南岭东段的赣南地区兴国县兴江乡陈也村,矿业经济是该区国民经济重要产业支撑。矿山经长期开采,地表及浅部资源基本采空,资源严重枯竭,接替资源勘查工作迫在眉睫。直到20世纪末,我国找矿勘查基本属于以发现地表或浅部矿床为主。进入21世纪以来,矿产勘查领域正在发生历史性的转变,从以寻找地表或浅部矿为主逐步转向寻找隐伏矿和深部矿。进而传统找矿方法以无法满足现状。

21世纪以来,国内地质找矿过程中不断综合物化探方法,特别在河南、宁夏等地区,主要在煤炭、岩矿等层控型矿床和地下水勘查方面,显示了物化探方法在地质勘查中快速、高效和精准的特点[1]。但通过调研发现,以往综合物化探方法主要为了确定一定范围内深部是否存在所寻找的矿层层位,再结合地质方法确定其规模和形态;本次工作是在叶天竺等提出的“三位一体”[2]找矿预测地质模型的基础上,通过地-物-化综合方法不但确定了矿体规模、形态等特征还确定了矿体的成矿地质体[3]。

## 2. 研究区概况

研究区处于南岭东西向构造-岩浆岩带东端与武夷山隆起带西侧之雩山拗陷带交汇部位,成矿区带属南岭成矿带东段之雩山成矿亚带。矿体产于矿区隐伏燕山期花岗岩体外接触带南华系浅变质岩中[4]。

### 2.1. 研究区地质

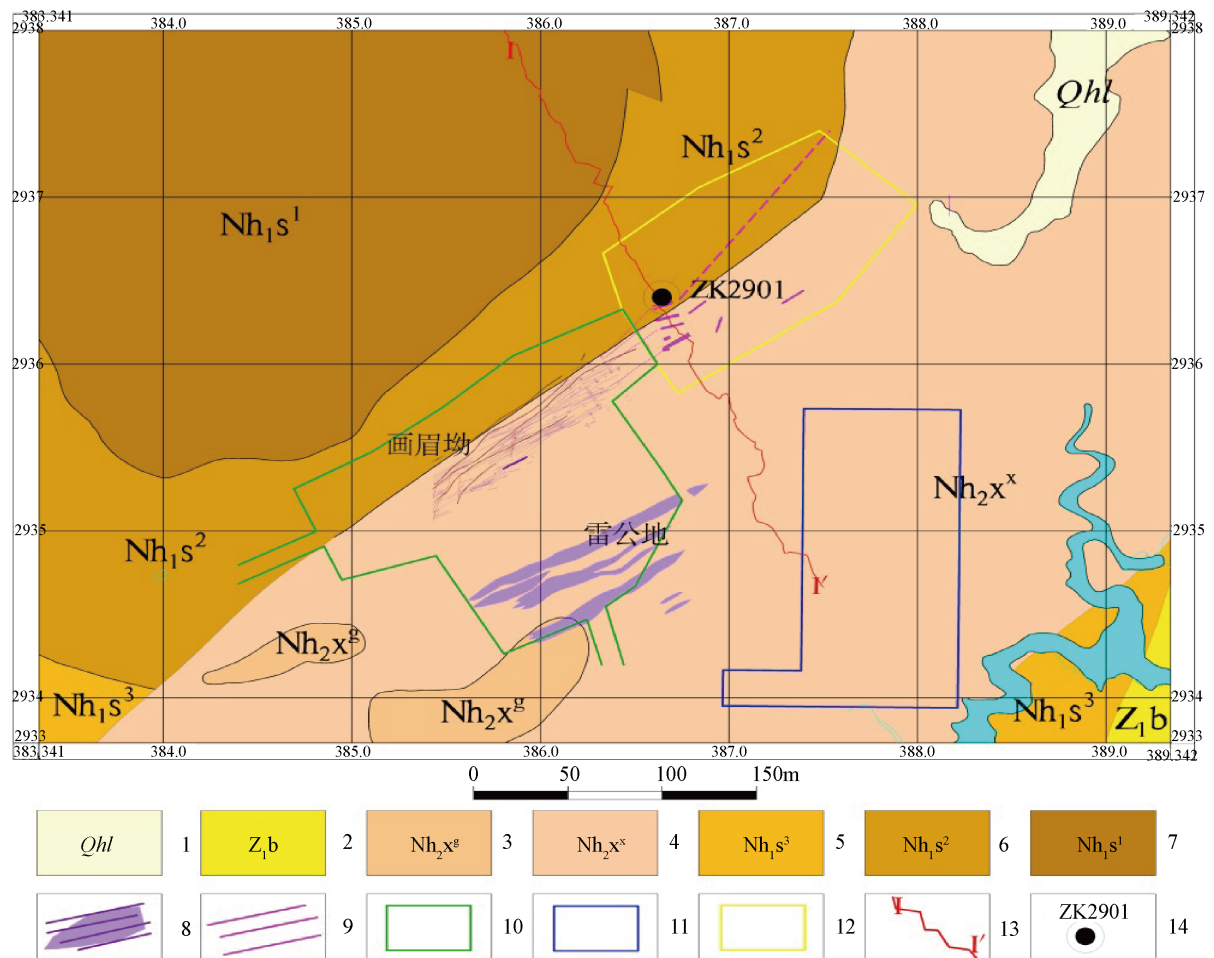
矿区主要出露南华系上施组中段和下段,下坊组中段含铁岩段。上施组下段主要岩性为片岩,上施

组中段岩性主要为变质砂岩，矿区内含铁岩段盖于上施组中段上部，与其呈断层接触，岩性主要为千枚岩(如图 1) [5]。

褶皱及断裂裂隙发育。其中：褶皱构造呈一近似弧形向南东倾斜的单斜构造，由东往西岩层倾向 130°~150°~170°互为偏转，倾角平缓，一般 20°~40°，片岩层中紧闭的复卧式小褶曲发育。断裂分为成矿前和成矿后二种[6]：

(1) 成矿前断裂：以成组成带的裂隙为主，可分为二组：一组产状与层面、片理面一致或小角度斜交的扭性裂隙，延伸短小，是控制早期不规则石英体，花岗岩脉侵入和矽卡岩化的裂隙；另一组产状 330°~340°∠75°~85°为主的先扭后张、扭张复合裂隙，延伸大，是黑钨矿 - 石英脉充填的主要成矿裂隙，其形成晚于前者。

(2) 成矿后断裂：共分北东向、北北东向、北东东向、北西向四组。各组断层形成时间普遍以北东组最早，北北东组和北东东组较晚，北西组最晚，但区内皆可见到互相切错，交叉重叠现象，说明断裂构造的多期多阶段发育的特点。

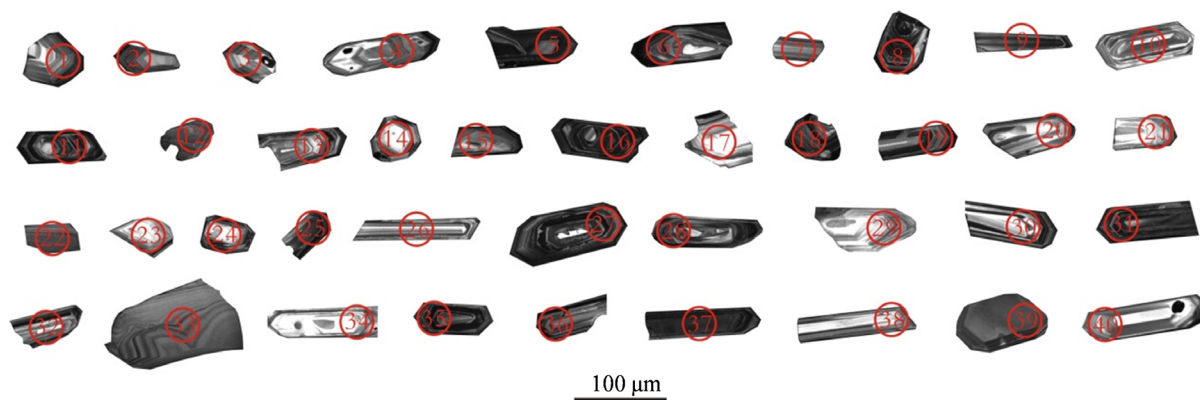


1、第四系联圩组；2、震旦系下统坝里组；3、南华系上统下坊组古家砭岩段；4、南华系上统下坊组含铁岩段；5、南华系下统上施组上段；6、南华系下统上施组中段；7、南华系下统上施组下段；8、画眉坳矿区矿带及矿脉；9、画眉坳矿区外围新发现矿脉；10、画眉坳采矿证范围；11、探矿权范围；12、画眉坳外围新发现矿产地范围；13、物探综合剖面及编号；14、地质验证钻孔及编号。

Figure 1. Geological Sketch of the newly discovered tungsten polymetallic deposits in the surrounding area of Huamei'ao  
图 1. 画眉坳外围钨多金属矿新发现矿产地地质简图

(3) 节理：在平行断层方向上往往发育密集的节理组，在板岩、千枚岩中尤为明显，将岩石切割呈菱形块体。节理主要有四组，最发育者走向 69°，倾向北北西；其次为南南东，倾角 70°~85°；再是走向 22°，倾向北西西或南东东，倾角 70°~75°；发育最差的是近南北走向组[5]。

岩浆岩：矿区未见岩浆岩出露地表，ZK2901 在-274 米标高揭露岩体，岩性为中细粒黑云母花岗岩。本次对 ZK2901 揭露岩体进行了锆石 U-Pb 测年，锆石多呈短柱状 - 长柱状，锆石长为 60~180  $\mu\text{m}$ ，宽 25~60  $\mu\text{m}$ ，长宽比约为 3:1~1.2:1，大部分锆石具有较好的柱面，阴极发光图中锆石韵律环带结构明显，激光剥蚀点位多选择在表面和内部保存完好(受次生作用影响较小)且具有韵律环带结构的锆石边缘部位(如图 2)。



**Figure 2.** Cathodoluminescence (CL) images of zircons from fine grained biotite granite in Jiangbei rock mass with location of measuring points

**图 2.** 江背岩体中细粒黑云母花岗岩锆石阴极发光图及测点位置

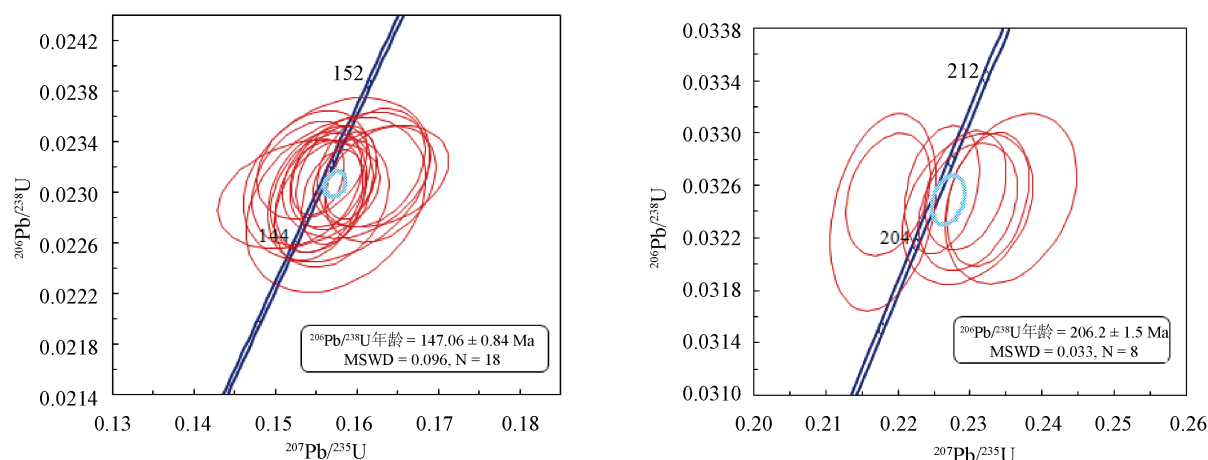
本次用于测试的花岗岩样品 ZK2901-1 共分析了 30 个锆石点，花岗岩锆石 U-Pb 同位素测年结果见表 1。由表可知，分析点中的 U 和 Th 含量变化范围较大，分别介于  $105.19 \times 10^{-6}$ ~ $1747.26 \times 10^{-6}$  和  $84.04 \times 10^{-6}$ ~ $2657.20 \times 10^{-6}$ ，Th/U 为 0.34~1.52，且大多数 Th/U > 0.4，结合阴极发光图像上锆石显现出的良好的韵律环带结构，说明其为典型的岩浆结晶锆石。分析点 8、10、11、15 的年龄值较为分散，代表了不同时期岩浆侵入的产物。其中，10、15 的  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  年龄值偏离主体年龄较大，分别为  $294.4 \pm 2.6$  Ma 和  $396.0 \pm 4$  Ma，测点位置处于锆石核部与韵律环带的过渡部位，其年龄值可能反映了继承性锆石的年龄，不参与加权平均年龄计算。剩余锆石分析点年龄值总体集中于两个峰值区间(如图 3)，分别分布于 146~148 Ma 和 205.5~206.6 Ma，区间年龄值变化范围较小，且具有较高的谐和度(>95%)，说明锆石结晶形成之后保持了良好的 U-Pb 封闭体系，基本没有 U、Pb 同位素的加入或是丢失，二者加权平均年龄值分别为  $147.06 \pm 0.84$  Ma (MSWD = 0.096) 和  $206.2 \pm 1.5$  Ma (MSWD = 0.033) [5]，结合本次本钻孔样品 ZK2901-1 所得花岗岩年龄，推测前者代表了中细粒黑云母花岗岩的结晶年龄，成岩时代属晚侏罗世晚期，是燕山中期第二阶段(据华仁民等, 2005)岩浆活动的产物；后者年龄值相对较高，明显早于细粒黑云母花岗岩形成时代，属晚三叠世，是印支末期岩浆活动的产物。测点位置多处于锆石核部与韵律环带的过渡部位，其年龄值可能反映了锆石的混合年龄，可能为燕山中期第二阶段岩浆活动时捕获的印支期继承性岩浆锆石[7]。

## 2.2. 研究区矿体特征

矿体特征：画眉拗钨外围新发现矿产地矿化类型包括石英脉型和云英岩型，以石英脉型为主。石英脉型矿体主要赋存于外接触带的浅变质围岩中。区内有 10 余条含钨石英脉，石英脉  $\text{WO}_3$  品位 0.12%~2.0%，真厚 0.1~3.75 米，其中 4 条为工业矿体。

**Table 1.** LA-ICP-MS zircon U-Pb isotopic dating results of fine grained biotite granite in Jiangbei rock mass  
**表 1.** 江背岩体中细粒黑云母花岗岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素测年结果

测点号	含量/ $10^{-6}$			Th/U	同位素比值						年龄/Ma	
	$^{238}\text{U}$	$^{232}\text{Th}$	$^{206}\text{Pb}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$\pm\%$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$\pm\%$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$\pm\%$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$\pm 1\sigma$
1	183.85	144.72	4.46	0.79	0.0232	0.0003	0.1545	0.0045	0.0484	0.0014	148.0	1.8
2	274.32	185.70	9.43	0.68	0.0324	0.0003	0.2297	0.0045	0.0516	0.0010	205.8	2.0
3	105.19	93.46	2.71	0.89	0.0230	0.0003	0.1529	0.0066	0.0485	0.0020	146.5	1.8
4	473.17	188.37	16.29	0.40	0.0326	0.0003	0.2294	0.0037	0.0512	0.0008	206.6	1.9
5	962.14	870.34	24.22	0.90	0.0231	0.0002	0.1552	0.0021	0.0488	0.0006	147.4	1.2
6	255.08	132.57	8.54	0.52	0.0324	0.0004	0.2297	0.0060	0.0516	0.0014	205.7	2.4
7	159.38	115.06	3.82	0.72	0.0231	0.0003	0.1630	0.0055	0.0515	0.0017	147.4	1.7
8	321.72	192.21	9.26	0.60	0.0293	0.0006	0.1967	0.0061	0.0497	0.0017	185.9	3.7
9	924.18	313.38	33.43	0.34	0.0324	0.0005	0.2180	0.0048	0.0487	0.0008	205.5	3.1
10	499.28	255.59	26.20	0.51	0.0467	0.0004	0.3691	0.0051	0.0573	0.0008	294.4	2.6
11	298.39	234.64	7.02	0.79	0.0244	0.0004	0.1757	0.0063	0.0526	0.0019	155.1	2.6
12	1151.65	165.18	38.65	0.14	0.0325	0.0003	0.2324	0.0038	0.0520	0.0008	206.2	2.1
13	373.08	259.95	9.21	0.70	0.0229	0.0003	0.1569	0.0046	0.0499	0.0014	146.0	2.1
14	502.74	219.32	11.54	0.44	0.0232	0.0003	0.1618	0.0044	0.0508	0.0014	147.8	1.9
15	1346.34	84.04	88.84	0.06	0.0634	0.0007	0.4823	0.0050	0.0553	0.0005	396.0	4.0
16	508.47	301.93	18.81	0.59	0.0325	0.0003	0.2187	0.0039	0.0487	0.0009	206.4	1.9
17	1747.26	2657.20	44.36	1.52	0.0231	0.0002	0.1593	0.0021	0.0500	0.0007	147.4	1.4
18	343.93	249.77	8.38	0.73	0.0231	0.0003	0.1567	0.0032	0.0493	0.0010	147.4	1.7
19	150.77	116.16	3.90	0.77	0.0231	0.0003	0.1599	0.0060	0.0506	0.0020	147.5	2.1
20	316.79	253.58	8.05	0.80	0.0231	0.0003	0.1629	0.0045	0.0516	0.0017	147.0	1.9
21	153.09	136.03	3.62	0.89	0.0229	0.0005	0.1574	0.0073	0.0501	0.0023	146.0	2.9
22	408.92	448.37	10.60	1.10	0.0230	0.0003	0.1557	0.0041	0.0494	0.0015	146.6	2.0
23	315.95	259.52	7.63	0.82	0.0230	0.0003	0.1554	0.0035	0.0493	0.0011	146.4	1.8
24	406.63	333.45	9.58	0.82	0.0230	0.0003	0.1551	0.0040	0.0489	0.0012	146.4	2.1
25	716.51	141.65	26.33	0.20	0.0325	0.0004	0.2356	0.0061	0.0523	0.0013	206.2	2.7
26	530.89	94.74	18.83	0.18	0.0326	0.0003	0.2261	0.0034	0.0504	0.0007	206.6	2.0
27	1292.15	636.07	32.55	0.49	0.0230	0.0002	0.1572	0.0026	0.0496	0.0007	146.4	1.6
28	131.59	134.01	3.08	1.02	0.0231	0.0004	0.1575	0.0076	0.0501	0.0024	147.2	2.7
29	409.17	274.42	10.25	0.67	0.0231	0.0003	0.1575	0.0033	0.0495	0.0009	147.3	1.7
30	231.99	192.85	5.58	0.83	0.0231	0.0003	0.1538	0.0044	0.0485	0.0013	147.1	2.0



**Figure 3.** U-Pb Concordia diagram of the zircon from fine grained biotite granite in Jiangbei rock mass

**图 3.** 江背岩体中细粒黑云母花岗岩锆石 U-Pb 谐和图

### 2.3. 研究区矿石特征

矿石物质中主要金属矿物有黑钨矿、白钨矿、辉钼矿、黄铜矿、黄铁矿、闪锌矿、方铅矿等；非金属矿物有：石英、长石、白云母、黑云母、铁锂云母、萤石方解石、绿泥石、电气石等。

矿石结构有半自形粒状结构、他形粒状结构、共结结构、乳滴状结构、边缘交替结构、脉状交替结构、网格交替结构、压碎结构、柔皱结构、线状结构、浸染结构。

矿石构造有块状构造、梳状构造、条带构造、角砾构造、放射状构造、晶洞构造、对称构造。

## 3. 物 - 化探工作手段及成果

### 3.1. 化探工作

本次化探工作主要以搜集整理工作区 1:20 万化探异常资料，依据区内各元素异常特征重新圈定了画眉坳地区 1:20 万综合异常。圈定了位于画眉坳钨矿及其外围异常区，主要异常元素为 W-Cu-Zn-Ag-Au，异常以椭圆状东西向展布，元素重合度高，其中 W、Cu 异常值大，主要位于青白口纪、寒武纪地层及它们与燕山期花岗岩的接触带上。

### 3.2. 物探工作

#### (1) 画眉坳外围地球物理异常特征

在化探圈定的异常区布置了 I 线激电中梯和磁法剖面，根据本区物性结果，总结出本工作区地球物理异常特征：a) 区内老变质岩地层基底具有高密度、高磁、高阻、中等极化率特征，往往引起高布格重力、低缓正磁、高阻中等极化背景场。b) 岩体在本区一般为隐伏 - 半隐伏分布，密度在全区最低，圈闭的低布格重力异常往往是隐伏 - 半隐伏岩体的边界特征；而磁性与岩浆活动的期次密切相关，除燕山中期、晚期的侵入岩体磁性较强，其他较早期次的侵入岩体一般为弱磁性或无磁性，往往在岩体与围岩接触带附近由于蚀变发育形成环形磁异常带；岩体的电性与蚀变发育情况密切相关，无蚀变矿化的岩体一般具有高阻、低极化特征，蚀变发育(特别是黄铁矿化、黄铜矿化等)的岩体因富含导电物质电阻率会有所降低，从而具有中低阻高极化特征。c) 石英脉型钨多金属矿是本区一个重要的矿床类型，也是本次地质 - 物化探综合剖面的重点解剖类型。根据以上物性成果可知，矿化石英脉具有较低密度、弱磁(或无磁性)、高阻、高极化特征。纯石英脉一般为较低密度、无磁性、高阻、低极化特征。该区石英脉型钨多金属矿

往往在老变质岩地层引起的正磁背景场之上呈现出负磁异常，因此，负磁异常可作为重点工作区圈定石英脉型钨多金属矿的一个主要标志，而电性特征可以评价其矿化程度。

(2) 物探圈定异常

从激电中梯和磁测成果总体来看(图 4): a) 在 300 m 标高以下呈现均匀的高阻异常, 视电阻率在 1500  $\Omega\cdot\text{m}$  以上, 且形态起伏扭曲; b)  $\Delta T$  磁异常在 120~150 号点地段表现为宽泛的负磁异常,  $\Delta T$  负极值达到 -300 nT 左右, 同时, 该地段表现为宽缓的高阻特征( $\rho_s \approx 5000 \Omega\cdot\text{m}$ ); c) I 线相对布格重力异常曲线总体往北西侧逐渐减小, 与区域 20 万布格重力异常基本吻合。

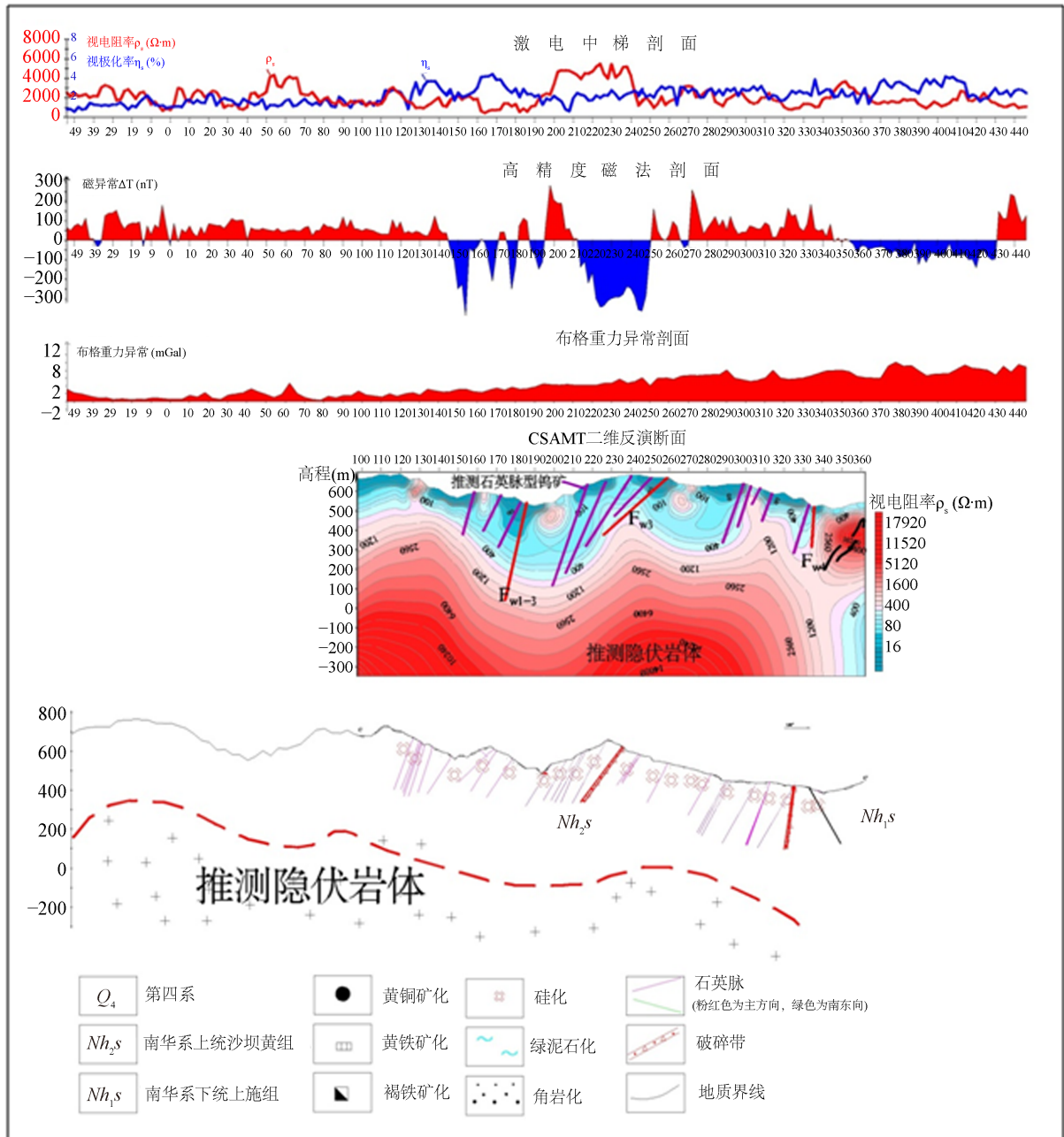


Figure 4. Map of line I showing comprehensive geophysical anomaly  
图 4. I 线综合物探异常推断图

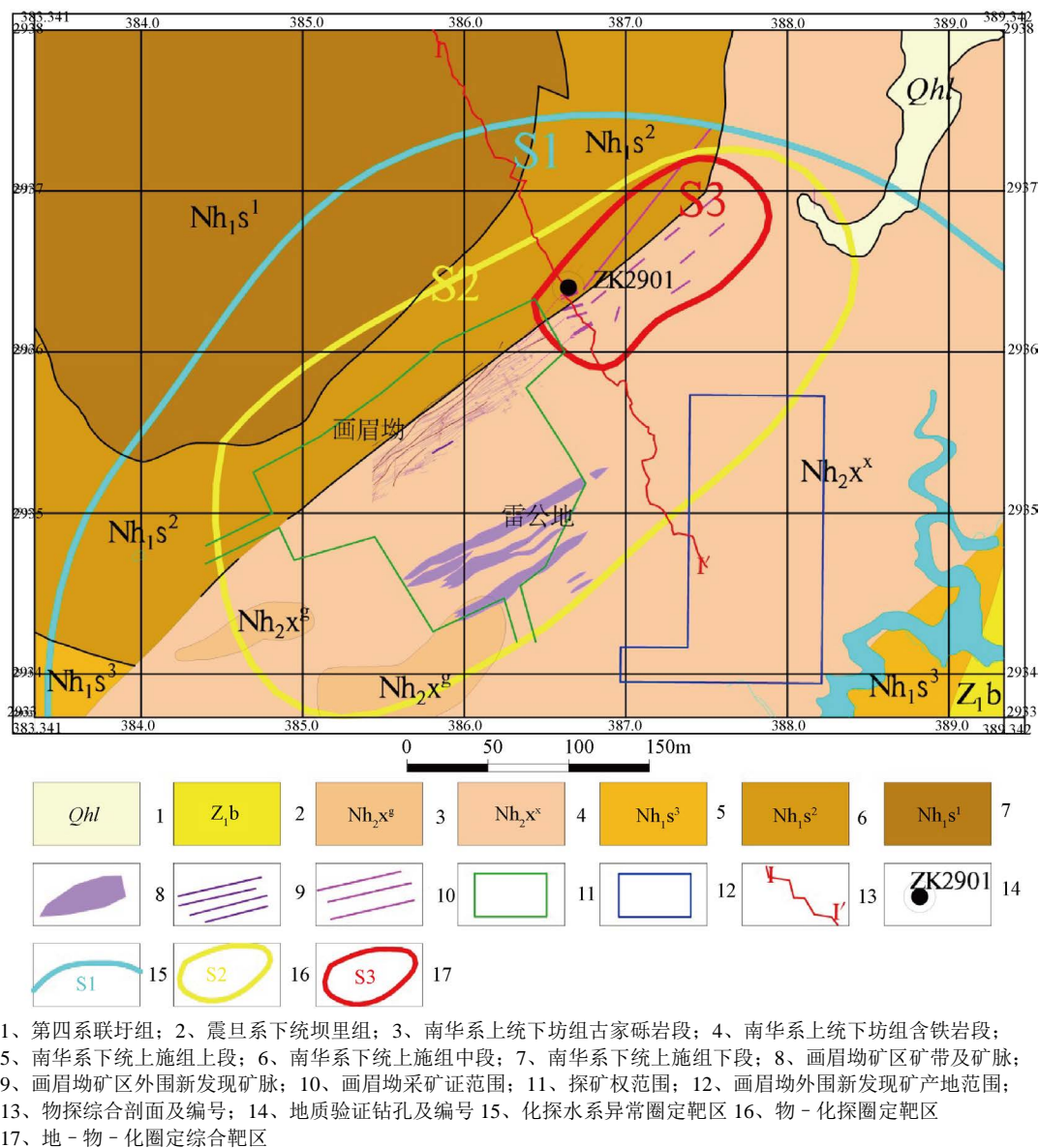
### (3) 物探解译结果

结合本区物性特征和激电中梯和磁测成果推测：a、平缓的中、高阻及低缓的正磁异常背景主要是南华系变质岩地层；b、120~150号点地段激电中梯异常曲线呈现宽泛的高阻、负磁异常推测该地段地表发育一系列石英脉、钨矿化脉；c、布格重力异常曲线总体往北西侧逐渐减小，与区域20万布格重力异常基本吻合，主要反映隐伏岩基面往北西的侵位逐渐抬升，往南东则逐渐接近隐伏岩体边界。

## 4. 地 - 物 - 化探结合

### 4.1. 地表地 - 物 - 化探综合方法验证

在化探水系异常圈定的画眉坳钨矿外围钨多金属元素异常区范围内(图 5) S1, 根据物性测定成果,



**Figure 5.** Delineation of prospecting target area by surface geology, geophysical and geochemical anomalies in the surrounding area of Huamei'ao mining area

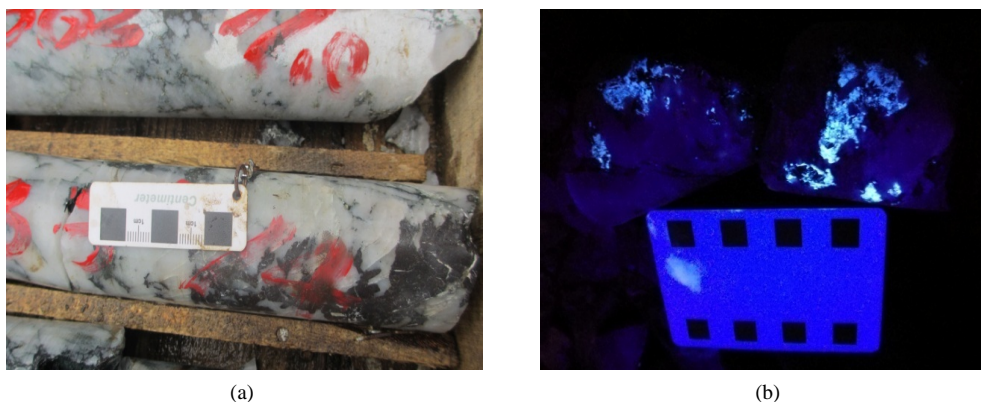
**图 5.** 画眉坳外围地表地 - 物 - 化探异常圈定综合靶区图



含矿石英脉为弱磁性(或无磁性),整个含矿石英脉带因普遍裂隙破碎而反映出低阻带特征,若局部黄铁矿化、黄铜矿化等蚀变发育则呈现出高极化特征。由此,于 120~150 号点地段激电中梯异常曲线呈现宽泛的高阻、负磁异常地段圈定了画眉坳钨矿外围物探靶区(图 5) S2,利用 1:1 万专项地质填图进行验证,通过 1:1 万专项地质填图,在靶区 S2 内地表发现两组石英脉  $100^{\circ}\sim 170^{\circ}\angle 45^{\circ}\sim 85^{\circ}$ 、 $300^{\circ}\sim 355^{\circ}\angle 40^{\circ}\sim 85^{\circ}$ ,其中第二组石英脉与画眉坳钨矿矿化石英脉产状及矿化蚀变特征一致。圈定地质标志带(图 5) S3, S3 即为地-物-化探结合方法圈定的最终找矿靶区。

#### 4.2. 深部钻孔验证

在结合地表物探和化探圈定的异常带和地质方法确定的标志带 S3,于 I 线实施了 ZK2901 验证孔(图 6(a)、图 6(b)),钻孔于-276 米标高揭露到隐伏花岗岩体,全孔揭露了多条矿化石英脉,部分含云母边,脉幅 0.05~2.8 米,矿化主要有黑钨矿、白钨矿和闪锌矿。



**Figure 6.** (a) Tungsten bearing quartz vein (hole depth 704.80~710.64 m); (b) Scheelite exposed in borehole (3.75 m thick)

**图 6.** (a) 含钨石英脉(孔深 704.80~710.64 m); (b) 钻孔中揭露的白钨矿(厚 3.75 m)

### 5. 研究成果

(1) 根据区内物性前提,对地质、化探、物探勘查技术方法进行了组合示范研究。快速、有效定位矿带(体)及成矿地质体的空间位置。

(2) 通过地表和深部对地-物-化综合方法圈定靶区的验证,在研究区初步估算 334 类资源量  $WO_3$  金属量为 14,064 吨。达到了中型矿床规模,为画眉坳老矿山及区内找矿提供了重要线索。

### 6. 结论

(1) 通过物探-化探工作手段能有效地圈定与成矿相关的地质体、矿(化)体空间分布范围,为钨矿靶区确定提供依据。

(2) 优选“化探+物探+地质”技术方法组合可以快速、有效定位成矿地质体位置及形态,进而推断了深部矿化情况。

根据上述分析可见,于本区开展化探、物探结合地质工作手段对寻找、评价石英脉型钨多金属矿具有较好的物性前提,结合已有区域地质、重力资料可取得较好的应用效果。

### 参考文献

- [1] 柳建新,胡厚继,刘春明,等.综合物探方法在深部接替资源勘探中的应用[J].地质与勘探,2006(4):71-74.

- 
- [2] 叶天竺. 勘查区找矿理论与方法总论[M]. 北京: 地质出版社(北京), 2014.
- [3] 叶天竺, 韦昌山, 王玉往, 等. 勘查区找矿预测理论与方法(各论) [M]. 北京: 地质出版社, 2017.
- [4] 付建明, 马丽艳, 程顺波, 等. 南岭地区锡(钨)矿成矿规律及找矿[J]. 高校地质学报, 2013, 19(2): 202-212.
- [5] 江西省地质矿产勘查开发局. 中国矿产地质志(江西卷上、下册) [M]. 北京: 地质出版社, 2015.
- [6] 江西省地质矿产勘查开发局. 中国区域地质志(江西志) [M]. 北京: 地质出版社, 2017.
- [7] 侯可军, 李延河, 田有荣. LA-MC-ICP-MS 锆石微区原位 U-Pb 定年技术[J]. 矿床地质, 2009, 28(4): 481-492.