

构造裂隙充填型萤石矿勘查方法技术应用研究

周海余^{1,2}, 余越星^{3*}, 朱小鹏³, 尧玉燕³, 季灵⁴, 肖 億⁴

¹瑞金市泽瑞矿业有限公司, 江西 赣州

²丽水职业技术学院, 浙江 丽水

³江西省地质局第五地质大队, 江西 新余

⁴江西省地质局第四地质大队, 江西 萍乡

收稿日期: 2026年2月11日; 录用日期: 2026年4月22日; 发布日期: 2026年4月30日

摘要

赣南地区萤石资源丰富, 以中低温热液充填型矿床为主, 矿体产状、形态、规模均受断裂构造控制, 矿物来源于围岩及岩浆热液, 成矿流体为大气降水。文章以赣州市宁都县黄石镇石头村萤石矿为例, 阐述了在第四系盆地和花岗岩强风化覆盖区利用综合物探方法技术(高密度电阻率法和音频大地电磁测深法)划分矿区地层结构和查明断裂构造分布特征, 圈定找矿异常靶区, 为下一步矿区萤石矿资源储量核实地质钻孔工程布置提供参考依据。

关键词

萤石矿, 电阻率, 高密度电法, AMT法

Research on the Application of Exploration Methods and Technologies for Tectonic Fracture-Filled Fluorite Deposits

Haiyu Zhou^{1,2}, Yuexing Yu^{3*}, Xiaopeng Zhu³, Yuyan Yao³, Ling Ji⁴, Yi Xiao⁴

¹Ruijin Zerui Mining Co., Ltd., Ganzhou Jiangxi

²Lishui Vocational and Technical College, Lishui Zhejiang

³The Fifth Geological Brigade of Jiangxi Provincial Bureau of Geology, Xinyu Jiangxi

⁴The Four Geological Brigade of Jiangxi Provincial Bureau of Geology, Pingxiang Jiangxi

Received: February 11, 2026; accepted: April 22, 2026; published: April 30, 2026

*通讯作者。

文章引用: 周海余, 余越星, 朱小鹏, 尧玉燕, 季灵, 肖億. 构造裂隙充填型萤石矿勘查方法技术应用研究[J]. 地球科学前沿, 2026, 16(4): 636-644. DOI: 10.12677/ag.2026.164058

Abstract

The Gannan region is rich in fluorite resources, mainly dominated by mesothermal to epithermal hydrothermal filling deposits. The occurrence, morphology, and scale of ore bodies are all controlled by fault structures. The minerals are derived from surrounding rocks and magmatic hydrothermal fluids, while the ore-forming fluids are meteoric water. Taking the fluorite mine in Shitou Village, Huangshi Town, Ningdu County, Ganzhou City as an example, this paper expounds the application of comprehensive geophysical prospecting methods (high-density resistivity method and audio magnetotelluric sounding method) in the Quaternary basin and granite strongly weathered coverage area to divide the stratigraphic structure of the mining area, identify the distribution characteristics of fault structures, and delineate ore-prospecting anomaly target areas. It provides a reference basis for the layout of geological drilling projects for the verification of fluorite resource reserves in the mining area in the next step.

Keywords

Fluorite Mine, Resistivity, High-Density Electrical Method, AMT Method

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

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



Open Access

1. 引言

萤石是工业上氟元素的主要来源，它广泛用于航天、制冷、医药、防腐、灭火、电子、机械和原子能等领域。赣南地处东西向南岭构造带与北北东向武夷山构造带的复合部位，是江西省重要的萤石矿成矿区之一。本文以赣州市宁都县黄石镇石头矿区萤石矿勘查综合物探方法为例，阐述了利用高密度电阻率法进行花岗岩区浅部(勘探深度 120 m)构造裂隙勘查和中深部(勘探深度 300 m)岩体与围岩接触界线和断裂构造勘查，提供可能含矿构造断裂带，为地质钻孔工作布置和物探异常验证提供参考依据。

2. 勘查区地质概况

勘查区位于江西省南部赣州市宁都县，其大地构造位置处于钦杭结合带东南侧的华夏板块，位于罗霄褶皱带和武夷褶皱带的复合部位。该区经历了华夏古陆的裂解，加里东运动的闭合以及印支期的海陆转变和燕山期以来再度强烈“活化”演变历史[1]，矿区内频繁活跃的构造活动和大规模的岩浆活动为成矿作用提供了十分优越的地质条件[2] [3]。

2.1. 地层

矿区内出露地层主要有青白口纪神山组(Pt_3^{bs})、白垩系周田组(K_2z)、茅店组(K_2m)和第四系(Q) (如图 1 所示)。

神山组(Pt_3^{bs}): 下段为灰绿色变余长石石英砂岩、粉砂质千枚岩、绿泥绢云千枚岩互层，下未见底，出露厚度 1847 m; 上段以灰黑色碳质绢云千枚岩为标志，其中偶夹变细碧岩、石英角斑岩。厚度 1327.6 m。

白垩系茅店组(K_2m): 陆相红色碎屑岩系夹中基性火山熔岩，底部以砾岩、砂砾岩为主，夹少量砂岩、粉砂岩、泥岩之沉积;

白垩系周田组(K_2z): 主要分布在区域中部及南部，主要为紫红色薄层状含钙泥岩、含钙粉砂岩，夹石膏层、盐岩层之沉积;

该矿床成因属中低温热液脉状充填型，主要的萤石矿体呈透镜状、脉状赋存于白垩系地层和会同岩体内。矿区矿石类型主要为块状、角砾状、条带状及石英萤石矿四种类型。区内岩浆活动频繁，大多以基岩和岩株产出，多期次岩浆活动为该矿区成矿提供热源和动力，白垩系地层中氟以及钙元素也为矿区成矿提供了丰富的物质来源。区内北东向-北北东向断裂控制了晚古生代海盆、中生代红盆形成与展布，也控制了该区岩浆的活动和岩体的展布[6][7]。

2.5. 地球物理特征

根据实测，测区部分岩石电性资料结果如下：

白垩系赣州组 K2g 细砂岩标本测定 33 块，电阻率范围 122.6~879.1 $\Omega\cdot\text{m}$ ，平均值 265.9 $\Omega\cdot\text{m}$ ，中值 180.5 $\Omega\cdot\text{m}$ ；极化率范围 1.23%~2.95%，平均值 2.08%，中值 2.09%。呈相对低阻低极化电性特征。

黑云母二长花岗岩：电阻率区间值为 313~4753 $\Omega\cdot\text{m}$ ，算术平均值为 1778 $\Omega\cdot\text{m}$ ，中值为 1414 $\Omega\cdot\text{m}$ ；极化率区间值为 0.45~1.06%，算术平均值为 0.68%，中值为 0.65%。呈相对中高阻低极化电性特征。

细晶岩：电阻率区间值为 75~358 $\Omega\cdot\text{m}$ ，算术平均值为 221 $\Omega\cdot\text{m}$ ，中值为 206 $\Omega\cdot\text{m}$ ；极化率区间值为 0.58~0.91%，算术平均值为 0.78%，中值为 0.87%。呈相对中低阻低极化电性特征。

Table 1. Statistical table of electrical measurement parameters of borehole core specimens

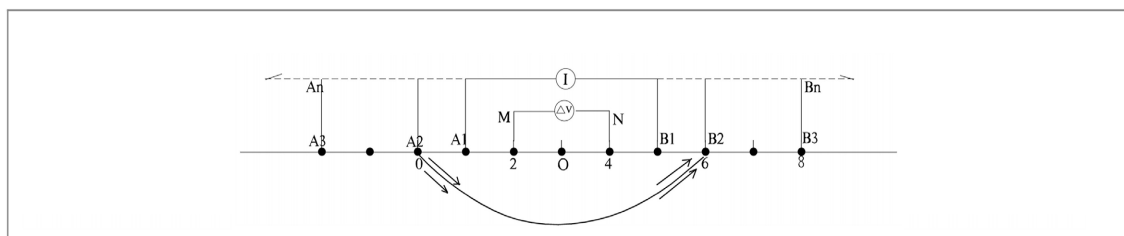
表 1. 钻孔岩芯标本电性测定参数统计表

序号	岩石名称	块数	电阻率 ρ ($\Omega\cdot\text{m}$)				极化率 η (%)			
			min	max	Avg	中值	min	max	Avg	中值
1	K2g (紫红色、灰绿色中细砂岩)	33	122.6	879.1	265.9	180.5	1.23	2.95	2.08	2.09
2	黑云母二长花岗岩	31	313	4753	1778	1414	0.45	1.06	0.69	0.65
3	细晶岩	7	75	358	221	206	0.58	0.91	0.78	0.87

萤石矿体与北东、北北东向深大断裂及次级断裂关系密切，深大断裂是萤石矿床的导矿构造，直接控制着萤石矿床的分布；北东、北北东向次级断裂是萤石矿体的配矿构造，为含矿热液运移提供通道；萤石矿体往往赋存于北东、北北东向次级断裂晚期张性硅化破碎带中，如岩浆岩与变质地层内外接触带和地层中的硅化破碎带中。构造带内伴随着较强的现代地热活动，以上含矿热液活动及后期地热活动等因素导致萤石矿含矿断裂带呈现低阻异常特征，为本次萤石矿勘查提供了较好的电性差异前提。

3. 物探方法技术原理

3.1. 高密度电阻率法



(a) 测量装置 (参数)

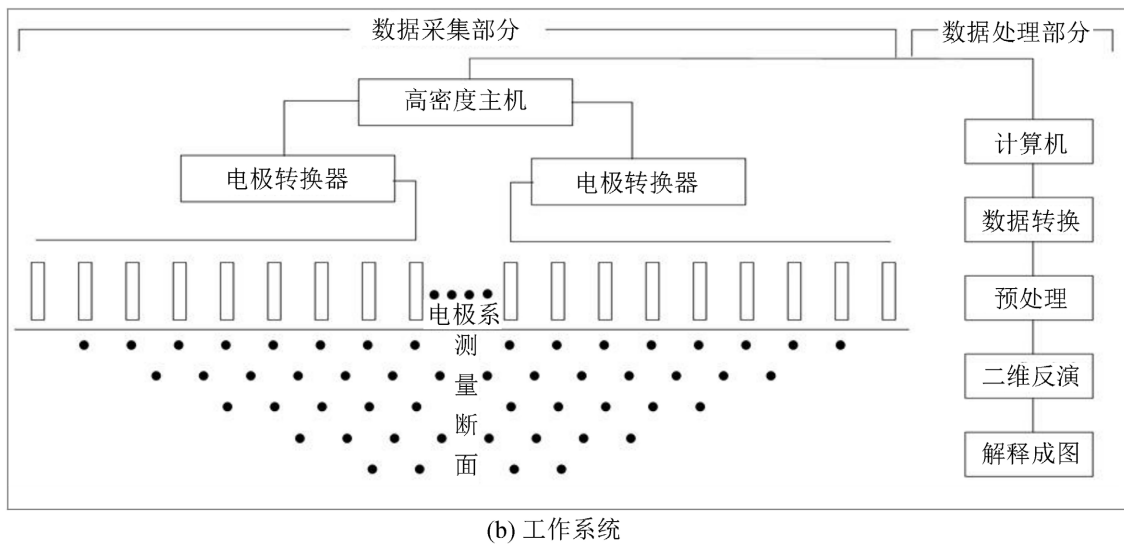


Figure 2. Schematic diagram of high-density resistivity method system
图 2. 高密度电阻率法系统示意图

高密度电阻率法[8]-[10]属于电法勘查中的电阻率法，基于常规电阻率法勘探原理并利用多路转换器的供电、测量电极的自动转换，配合常规电阻率的测量方法及电阻率成像(CT)等高新技术来进行高分辨、高效率电法勘探。它是通过程控式多路电极转换器选择不同的电极组合方式和不同的极距间隔，用供电电极(A、B)向地下供直流(或超低频)电流，同时在测量电极(M、N)间观测电势差(ΔU_{MN})，并计算出视电阻率值(ρ_s)，各电极同时或不同时沿选定的测线按规定的电距间隔移动。

高密度数据处理：现场探测的数据传输到计算机中，进行数据格式转换和数据的预处理，消除坏点数据，进行地形校正，用专业软件 Res2dinv 进行反演计算后使用 Mappgis6.7 软件成图。

3.2. 音频大地电磁测深(AMT)法[9] [10]

当天然交变电磁场入射大地，在地下以波的形式传播时，由于电磁感应的作用，地面电磁场的观测值会包含地下介质的电阻率分布信息。而由于不同频率(采集频率见表 2)的电磁场信号具有不同穿透深度，因此大地电磁测深通过研究表明采集的电磁数据能够反演出地下不同深度介质电阻率分布的信息。观测装置为“十字型”，叠加次数 180 次。

音频大地电磁数据处理：采用 ZxMT7 数据处理软件，通过对原始数据进行时间序列编辑、计算功率谱、计算阻抗、阻抗曲线编辑、二维带地形反演(畸变压制系数 0.3)及反演结果数据导出后使用 Mappgis6.7 软件成图。

Table 2. Equipment acquisition frequency table of AMT method (UltraEM Z4)
表 2. AMT 法(UltraEM Z4)设备采集频率表

序号	频率(HZ)											
1~11	5.6	6.9	8.1	9.4	11.2	13.8	16.2	18.8	22.5	27.5	32.5	
12~22	39.7	48.5	57.4	66.2	79.4	97.1	115	132	159	194	229	
23~33	265	318	388	459	529	635	776	900	1100	1300	1500	
34~44	1800	2200	2600	3000	3600	4400	5200	6000	7200	8800	10,400	
45~55	123,00	14,700	17,500	20,800	24,700	29,400	35,000	41,600	49,500	58,800	70,000	

4. 综合物探方法分析解释

4.1. 高密度电阻率法 16 线异常解释

16 线测线长度 600 m, 讫止桩号 0~600, 其中音频大地电磁法讫止桩号 000~500; 高密度电阻率法讫止桩号 0~600。测线方位 162.6°, 结合卡尼亚电阻率特征分析: 横向上桩号 336 附近相对低阻条带异常推断为断裂构造 F1, 倾向北北西, 整体倾角约 82°。

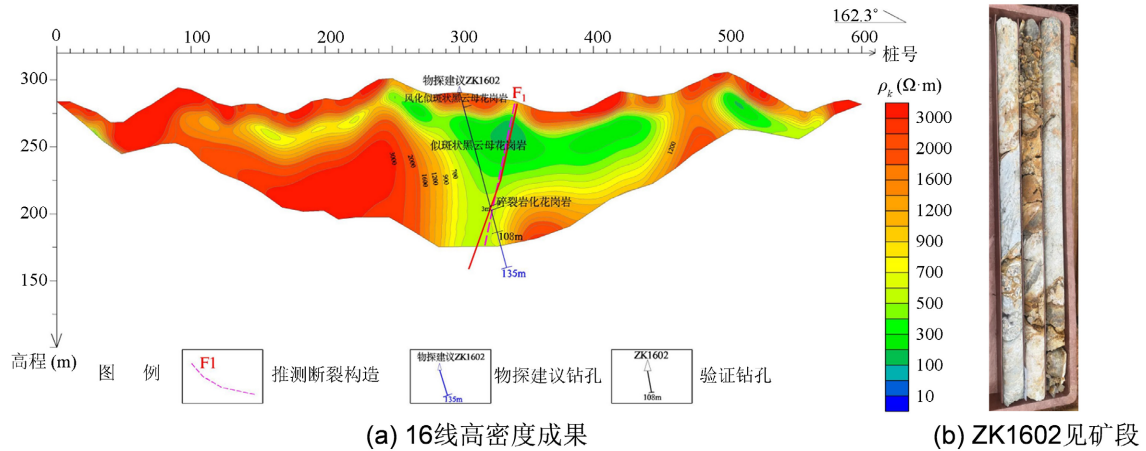


Figure 3. Inversion inferred geological results and drilling verification map of 16-line high-density resistivity method
图 3. 16 线高密度电阻率法反演推断地质成果及钻探验证图

4.2. AMT 法 12 线、16 线、18 线反演成果解释

平行高密度电阻率法 16 线实施了 AMT 法 12 线、16 线和 18 线 3 条剖面, 得出的剖面异常特征相似, 均为倾向北北西, 倾角较陡立(>80°), 结合已有地质资料认为属断裂构造 F1 反应。且与 16 线高密度异常特征基本一致, 相互印证了该异常较为可靠, 且实施了钻孔 ZK1602 验证了物探异常, 在 88~91 m 钻遇 3 m 厚萤石矿体。

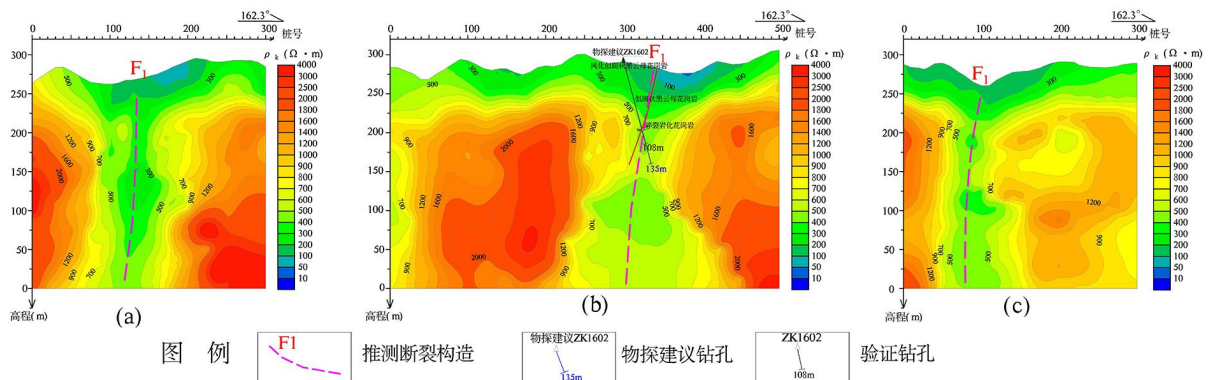


Figure 4. Inversion of resistivity by AMT method and inferred geological results map for 12-line, 16-line and 18-line
图 4. 12 线、16 线、18 线 AMT 法卡尼亚电阻率反演及推断地质成果图

4.3. 综合物探 13 线剖面成果解释

如剖面成果图图 5、图 6 所示, 13 线测线长度 600 m, 讫止桩号 -940~-340, 其中音频大地电磁法与

高密度电阻率法终止桩号一致。测线方位 161°，结合卡尼亚电阻率特征分析：横向上桩号-780 附近相对低阻条带异常推断为断裂构造 F4，倾向北北西，整体倾角约 79°；桩号-540 附近相对低阻条带异常推断为断裂构造 F8，倾向北北西，整体倾角约 84°。两种物探方法剖面结果反映了新发现的构造断裂 F4、F8 产状较为一致。

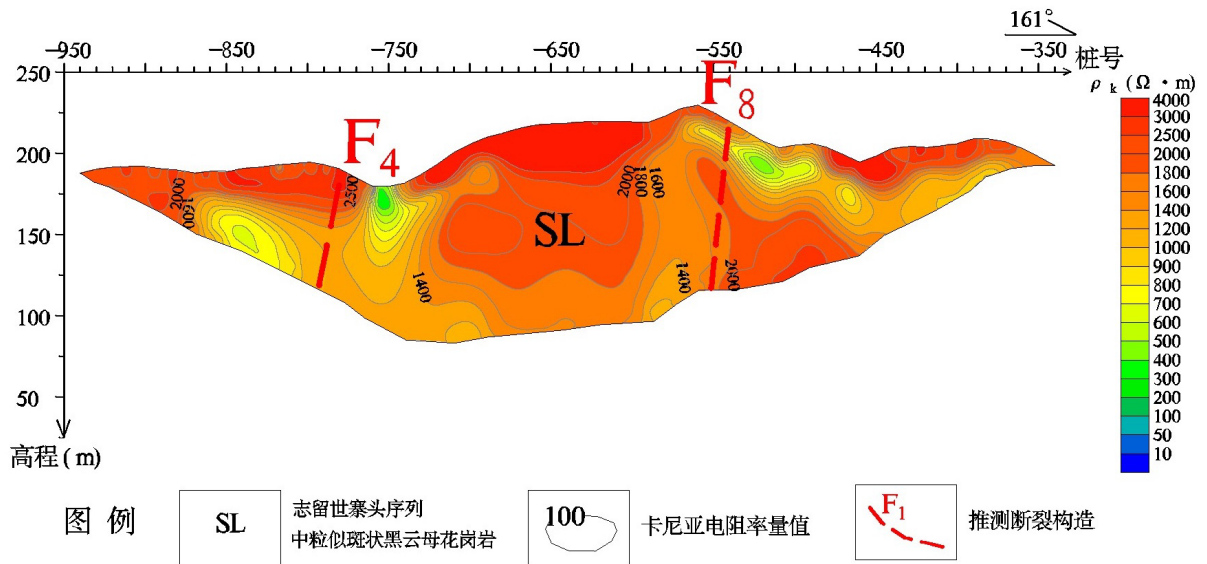


Figure 5. Inversion and inferred geological results of 13-line high-density resistivity survey

图 5. 13 线高密度电阻率反演及推断地质成果图

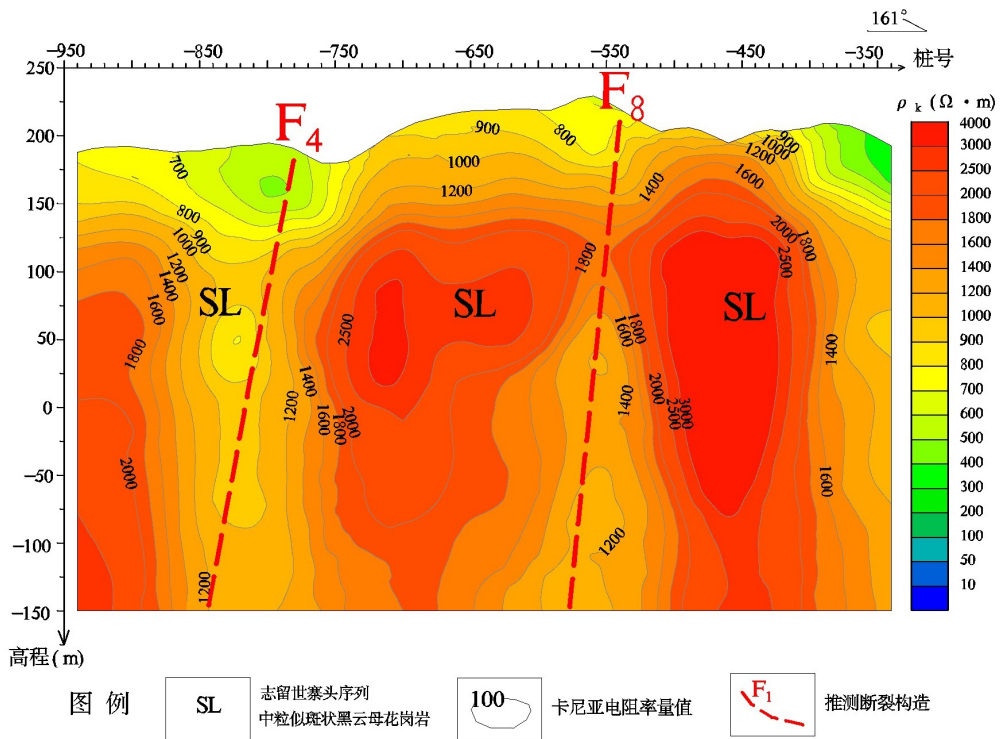
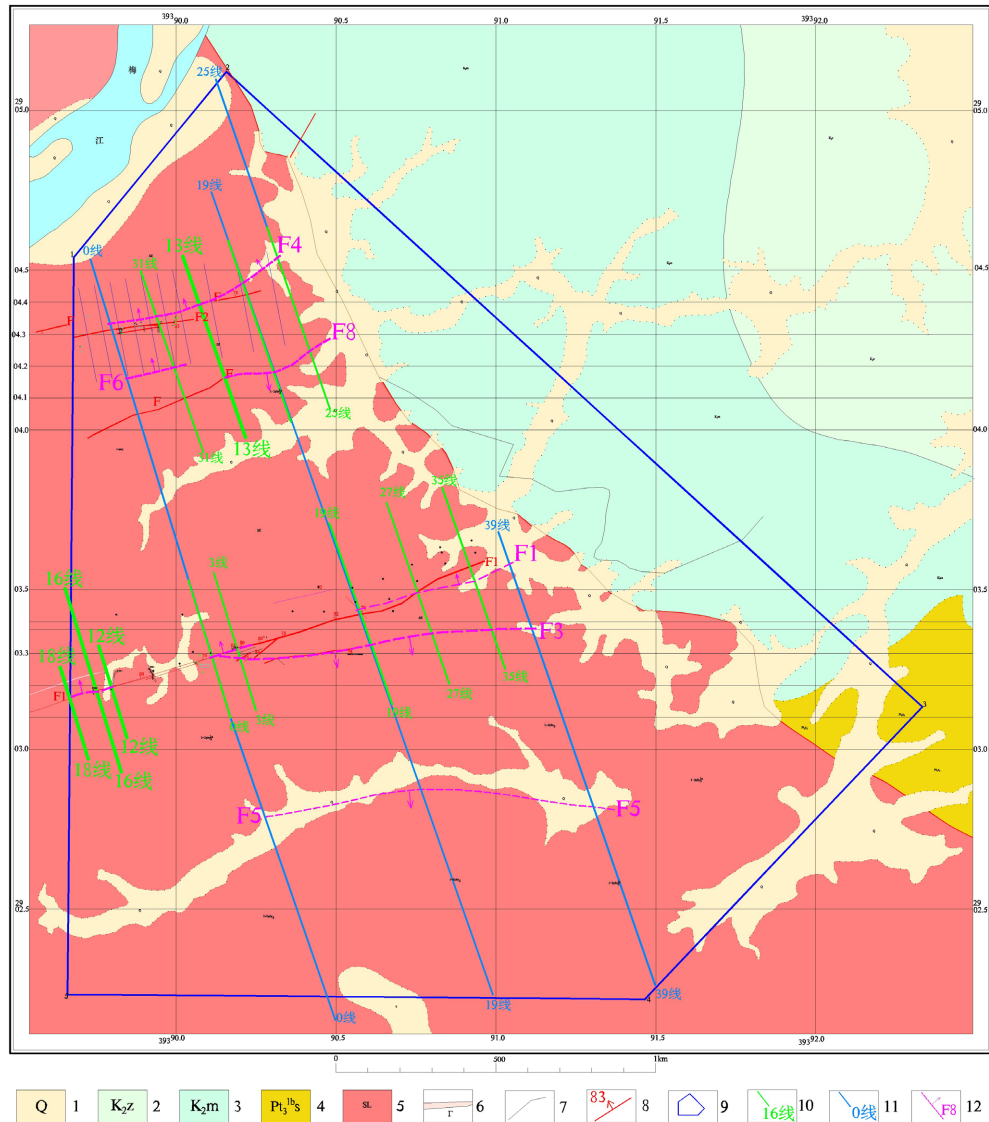


Figure 6. Inversion of Cagniard resistivity and inferred geological achievement map of line 13 by AMT method

图 6. 13 线 AMT 法卡尼亚电阻率反演及推断地质成果图

4.4. 综合物探分析解释

如图 7 所示为音频大地电磁测深及高密度电阻率法推断地质成果平面图，综合分析本次综合物探工作取得的成果，具体如下：



注：1. 第四系；2. 白垩纪周田组；3. 白垩纪茅店组；4. 青白口纪神山组；5. 志留世寨头序列；6. 细晶岩；7. 地质界线；8. 断层及产状；9. 矿权范围；10. 高密度电阻率法测线(加粗线为典型剖面)；11. 音频大地电磁测深法测线；12. 综合物探推断断裂构造。

Figure 7. Plane figure of inferred and interpreted results of comprehensive geophysical prospecting

图 7. 综合物探推断解释成果平面图

(1) 结合卡尼亚电阻率异常特征和已知资料综合分析本次 12 条物探测线成果，认为勘查区存在 6 条构造断裂。

(2) 勘查区南部主要发育 3 条断裂：其中 F1 走向北东东，倾角较为陡立，剖面产状 80°~86°，倾向北北西；F3 走向近东西向，剖面产状 80°~86°，倾向北北西 73°~79°，于 0 线与 3 线之间相交；F5 分布于勘

查区南部,走向南东东,倾角陡立,剖面产状 $79^{\circ}\sim 84^{\circ}$,倾向南南东。

(3) 勘查区北部发育 3 条断裂:其中 F4 走向北东东,倾角陡立,剖面产状 $79^{\circ}\sim 82^{\circ}$,倾向北北西;F6 走向北东东,倾角陡立,剖面产状 $84^{\circ}\sim 86^{\circ}$,倾向北北西,其物探异常仅 0 线、31 线反应较为明显,13 线、19 线、25 线未出现明显电性异常,认为 F6 往北东向构造宽度范围变窄,其电性异常特征较小,较难分辨;F8 走向北东东,倾角陡立,剖面产状 $83^{\circ}\sim 84^{\circ}$,倾向北北西,其电性异常在 13 线、19 线、25 线反应较为明显,0 线、31 线未出现明显电性异常,认为 F8 往南西方向构造宽度范围变窄,其电性异常特征较小,较难分辨。

5. 结论

(1) 本文通过选用高密度电阻率法和音频大地电磁测深(AMT)深浅结合,查证已有断裂构造基础上新发现了 5 组次级构造断裂,经钻探验证钻获了几米至十几米不等的萤石矿体,取得了较好的见矿效果。

(2) 通过实例证明采用物探方法技术可以有效解决浅表覆盖层地表调查难以发现的断裂构造(尤指次级断裂构造)和隐伏岩体及地层接触界限等地质问题,为下一步地质工作尤其是钻孔工程布置提供参考依据。

(3) 但物探具有多解性,需要采用多条(2~3 条)剖面 and 综合物探(2 种以上)方法相互印证,并结合相关地质资料,可有效解决物探多解性问题,切实提高物探技术在地质勘查工作中的找矿效果。

参考文献

- [1] 陈毓川,陈郑辉,曾载淋,等.南岭科学钻探第一孔选址研究[J].中国地质,2013,40(3):659-670.
- [2] 方贵聪,陈毓川,陈郑辉,等.赣南盘古山钨矿床锆石 U-Pb 和辉钼矿 Re-Os 年龄及其意义[J].地球学报,2014,35(1):76-84.
- [3] 游超,王春连,刘殿鹤,等.江西宁都坎田萤石矿床稀土元素地球化学特征及其指示意义[J].地球学报,2022,43(3):359-370.
- [4] 徐有华.赣南萤石矿成矿地质条件及成矿预测研究[D]:[博士学位论文].北京:中国地质大学,2008.
- [5] 崔圆圆,赵志丹,蒋婷,等.赣南早古生代晚期花岗岩类年代、地球化学及岩石成因[J].岩石学报,2013,29(11):4011-4024.
- [6] 陈伟,李中民,刘轩,等.江西省宁都县石上同达萤石矿床成矿地质特征及成因探讨[J].矿山安全,2008(10):20-21.
- [7] 张淑梅,马有涌,王磊.宁都盆地与会同岩体接触带萤石矿成矿潜力分析[J].中国金属通报,2018(8):174-175.
- [8] 张成信,任永健,金松,等.物化探综合找矿方法在内蒙古喀喇沁旗大西沟萤石矿找矿中的应用[J].西北地质,2024,57(4):135-143.
- [9] 黄凯,邓耀辉,卢卯,等.多种地球物理方法在黔东北地区萤石矿勘查中应用效果分析[C]//中国地球物理学会金属矿勘查专业委员会.第二届全国矿产勘查大会论文集.威海:中国会议,2023:298-301.
- [10] 陈德靖,罗来冰,吕天江.超高密度电阻率法与音频大地电磁测深法对贵州普安某萤石矿区断层的探测效果[J].贵州地质,2024,41(1):33-41.