

闽北邵武地区萤石矿综合信息找矿方法研究

栗克坤¹⁾, 商朋强²⁾, 韩志坤¹⁾, 王春连³⁾, 焦 森²⁾,
王桂香¹⁾, 袁昌盛¹⁾, 张青松¹⁾, 刘增政¹⁾, 闫晓博¹⁾,
范亚洲⁴⁾, 蒋济勇¹⁾, 靳乾峰¹⁾

1)中化地质矿山总局河南地质局, 河南郑州 450011;

2)中化地质矿山总局, 北京 100013;

3)中国地质科学院矿产资源研究所, 自然资源部成矿作用与资源评价重点实验室, 北京 100037;

4)华北水利水电大学地球科学与工程学院, 河南郑州 450045

摘 要: 福建邵武地区萤石矿属热液充填型, 萤石矿赋存于 NE 向、近 SN 向断裂破碎带中。目前萤石矿找矿工作逐渐向隐伏矿和深部矿转移, 本文通过该区张厝萤石矿预测区物化探综合信息方法找矿实例, 探讨隐伏-隐半伏萤石矿物化探综合预测方法组合。结果表明: 区域化探、高精度磁测、视电阻率联合剖面 and 可控源大地音频电磁测深等物化探技术方法组合对热液充填型萤石矿勘查评价具有较好的效果。

关键词: 萤石矿; 视电阻率联合剖面测量; 可控源大地音频电磁测深; 邵武地区

中图分类号: P619.215 文献标志码: A doi: 10.3975/cagsb.2022.042702

Comprehensive Information Prospecting Method for Fluorite Deposits in Shaowu Area, Northern Fujian Province

LI Ke-kun¹⁾, SHANG Peng-qiang²⁾, HAN Zhi-kun¹⁾, WANG Chun-lian³⁾, JIAO Sen²⁾,
WANG Gui-xiang¹⁾, YUAN Chang-sheng¹⁾, ZHANG Qing-song¹⁾, LIU Zeng-zheng¹⁾,
YAN Xiao-bo¹⁾, FAN Ya-zhou⁴⁾, JIANG Ji-yong¹⁾, JIN Qian-feng¹⁾

1) Henan Geological Bureau, China Chemical Geology and Mine Bureau, Zhengzhou, Henan 450011;

2) China Chemical Geology and Mine Bureau, Beijing 100013;

3) MNR Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Assessment, Institute of Mineral Resources,
Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037;

4) College of Geosciences and Engineering, North China University of Water Resources and Electric Power,
Zhengzhou, Henan 450045

Abstract: The fluorite deposit in Shaowu area, Fujian Province, belongs to hydrothermal filling type. The fluorite deposit occurs in NE trending and near SN trending fault fracture zones. At present, the prospecting work of fluorite ore is gradually transferred to concealed ore and deep ore, This paper gives an example of prospecting using the comprehensive information method of geophysical and geochemical exploration in the prediction area of Zhangcuo fluorite deposit in this area. The results show that such as regional geochemical prospecting, high precision magnetic survey, apparent resistivity joint section and controlled source audio magnetotelluric method such as regional geochemical prospecting, high precision magnetic survey, apparent resistivity joint section and controlled source audio magnetotelluric method has a good effect on the exploration and evaluation of hydrothermal filling fluorite deposit.

Key words: fluorite deposits; apparent resistivity joint section; controlled source audio magnetotelluric method; Shaowu area

本文由中国地质调查局地质调查项目“江西赣南-福建浦城地区战略性萤石硼资源调查”(编号: DD20190816)、国家自然科学基金项目(编号: 42102039)和华北水利水电大学高层次人才科研启动经费(编号: 40775)联合资助。

收稿日期: 2021-12-02; 改回日期: 2022-04-07; 网络首发日期: 2022-04-28。责任编辑: 张改侠。

第一作者简介: 栗克坤, 男, 1985 年生。本科, 工程师。主要从事区域地质调查和矿产勘查工作。E-mail: 1064936193@qq.com。

萤石作为重要的战略性矿产资源,是现代氟化工的重要矿物原料,广泛应用于新能源、新材料、国防、新医药等战略性新兴产业(栗克坤等, 2020; 陈军元等, 2021; 游超等, 2022)。长期以来,中国萤石矿由于过度开采、过量出口,现有储量静态保证年限不足8年(商朋强等, 2020)。闽北地区是我国萤石矿主要矿集区,以往找矿工作多采用地质填图寻找地表露头、槽探工程揭露和钻探工程深部验证等传统地质方法组合,对隐伏-半隐伏萤石矿的综合勘查方法研究较少(张江海等, 2014),因此找矿效果不甚理想。目前,萤石矿勘查找矿工作逐渐向隐伏矿和深部矿转移,研究有效的萤石矿综合信息找矿方法组合,建立萤石矿综合信息预测模型对指导我国萤石矿勘查评价,保证萤石矿资源储备具有重要意义。

王猛等(2018)利用1:1万高精度磁测、高密度电法以及联合剖面法测量对隆化县招素沟萤石矿进行了试验,取得一定的效果。栗克坤等(2019)在闽北光泽地区利用区域化探、高精度磁法测量、视电阻率联合剖面测量和高密度电阻率法测量等物化探综合信息找矿方法取得了较好的找矿效果。

本文以福建邵武地区物化探综合找矿勘查实例,探讨隐伏-半伏热液充填型萤石矿物化探综合预测方法组合,总结寻找隐伏-半隐伏热液充填型萤石矿的地物化技术方法组合特征,为萤石矿勘查评价工作提供参考。

1 地质概况

研究区大地构造单元属武夷—云开—台湾造山系(V)、华夏陆块(V-3)、武夷古弧盆系(V-3-1)。成矿区划属滨太平洋成矿域(I-4),华南成矿省(II-16),浙中—武夷隆起萤石成矿带(III-81)(王吉平等, 2015)(图1)。

区内出露地层有元古界大金山岩组(Pt_1d)、太源片麻岩群(Pt_2n)、下峰组(Pt_3x)、西溪组(Zx)变质岩地层以及中生界梨山组(J_1l)、长林组(J_3c)沉积岩地层(图2)。

区内构造主要为断裂。以北东向及北西向断裂为主,北北东向、近南北向次之,北东向断裂规模大、数量多、矿化蚀变强烈,具有多期活动、先压扭后引张的特点,为研究区萤石矿的主要控矿构造。

区内加里东期及燕山早期侵入岩发育。加里东期岩浆岩为志留纪二长花岗岩、正长花岗岩,呈岩株、岩瘤分布。燕山早期侵入岩发育,受北东向构造控制,呈北东向岩基分布,主要为晚侏罗世黑云母正长花岗岩、含黑云母正长花岗岩。

2 矿床地质特征

研究区萤石矿床(点)众多,已发现南山下、大坪大型萤石矿床2个,张厝中型萤石矿床1个,黄山井、黄土岭、蜡烛山、胡焦坑、俞厝墩等小型萤石矿床10余个。萤石矿床为受北东向、近南北向断裂控制的热液充填型萤石矿床,矿体呈脉状、透镜状赋存于NE向、近SN向断裂破碎带中,矿体产状与赋矿断裂一致。矿体倾角较大,一般 $55^\circ \sim 90^\circ$,部分矿体在走向和倾向上出现产状倒转的现象。矿石颜色主要为浅绿色、白色,墨绿色、紫色、无色;主要结构有半自形粒状结构、它形粒状结构,次要结构有交代溶蚀结构、碎斑结构等;矿石构造主要有正(负)角砾状构造、致密块状构造、条带状构造、蜂窝状构造、炉渣状构造,次要构造有网脉状构造等。矿石类型主要为石英-萤石型和萤石-石英型,其次为萤石型;矿石矿物为萤石,脉石矿物主要为石英,次为长石、高岭石、绢云母和蛋白石等。

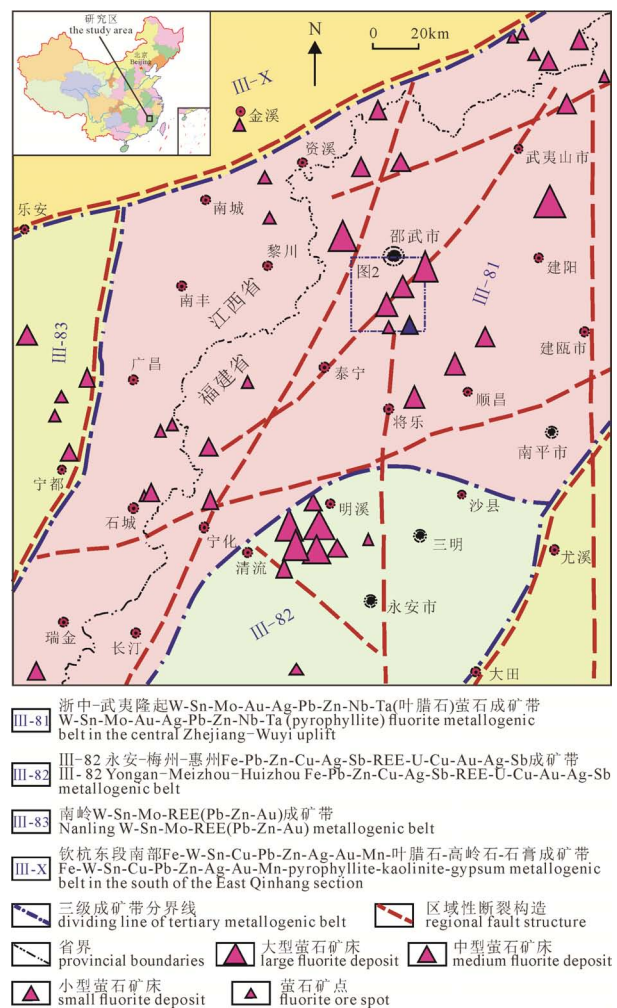


图1 福建邵武地区区域地质矿产简图

Fig. 1 Sketch map of regional geology and mineral resources in Shaowu area, Fujian Province



区内圈出 11 个水系沉积物综合异常(表 1, 图 3), 异常检查表明: 5 个综合异常源内(HS-2、HS-6、HS-14、HS-16、HS-20)发现萤石矿床(点); 4 个综合异常源内(HS-3、HS-9、HS-12、HS-21)有萤石矿赋矿断裂通过, 可见硅化破碎带发育; 2 个(HS-18、HS-26)异常源内见小规模硅化破碎带。测量区共有 20 个萤石矿床(点), 统计发现 13 个矿床(点)位于含 F 元素综合异常源范围内, 6 个萤石矿点由于位于三级水系边部, 无法采取样品, 1 个萤石矿点没有异常显示。

研究发现, 含有 F、CaO 元素的综合异常一般异常区内有一定规模的萤石矿床(点)。

3.2 1: 1 万地化(土壤)剖面异常

针对水系沉积物地球化学测量圈出的张厝萤石矿预测区内的 AS-20 号综合异常垂直于异常延伸方向以 150~200 m 不等间距布置了 10 条 1: 1 万地化(土壤)综合剖面对 AS-20 异常进行检查。采样点距 40 m, 采样介质为距地表 30~50 cm 深处的 B 层(淀积层)或 C 层(底层)物质。样品加工后取-10~+80 目的物质作为送检样品, 送检样品由河南省地质矿山勘查开发局第一地质勘查院岩矿检测中心完成。

10 条地化(土壤)剖面测量结果显示水系沉积物 F、CaO 元素异常具有很好的再现性, 1: 1 万土壤 F、CaO、Au 元素的异常与已知萤石矿床(点)和控矿断裂吻合性较好(图 4), 尤其 F、CaO 元素异常对区内萤石矿床(点)指示最好。

4 物探异常特征

4.1 物性

4.1.1 磁性

研究区萤石矿围岩为正长花岗岩。物性测量结果显示, 相对于正长花岗岩(磁化率为

$(10 \sim 25) \times 10^{-5}$ SI), 萤石矿石、硅化破碎带(磁化率为 $(0 \sim 9) \times 10^{-5}$ SI)磁性较低, 磁性差异明显, 为开展高精度磁法测量提供了地球物理前提。

4.1.2 电性

物性测量结果显示, 随着萤石含量增加, 研究区萤石矿石电阻率增大, 表现为萤石矿石($7700 \Omega \cdot m$)

表 1 研究区综合异常特征表
Table 1 Characteristics of comprehensive anomalies in the study area

异常编号	异常面积 /km ²	元素组合	异常分类
HS2	19.80	F-CaO-W-Cu-Bi	甲 1
HS3	4.73	F-CaO-Au-Cu-Ag-As-Zn-Sn-Sb	乙 3
HS6	30.80	F-CaO-Cu-Zn-Ta	甲 1
HS9	7.17	F-Au-Cu-Nb-Ta-Ni-Li	乙 3
HS12	7.56	F-W-Mo-Li- Be-Au	乙 3
HS14	184.00	F-Li-Be-Nb-Ta-W-Mo-Au-Ag-Cu-Ni-Pb-Zn	甲 2
HS16	21.40	F-CaO-Mo-Nb-Ni-As	甲 1
HS18	12.20	Pb-Zn-Ag-F-W-Mo-Sb	乙 2
HS20	15.90	F-CaO-U-Bi-Nb-Ta	甲 1
HS21	9.40	Pb-Zn-Au-Ag-Cu-Ni-F-CaO-Mo-As-Sb	乙 3
HS26	5.56	F-Mo-As	乙 3

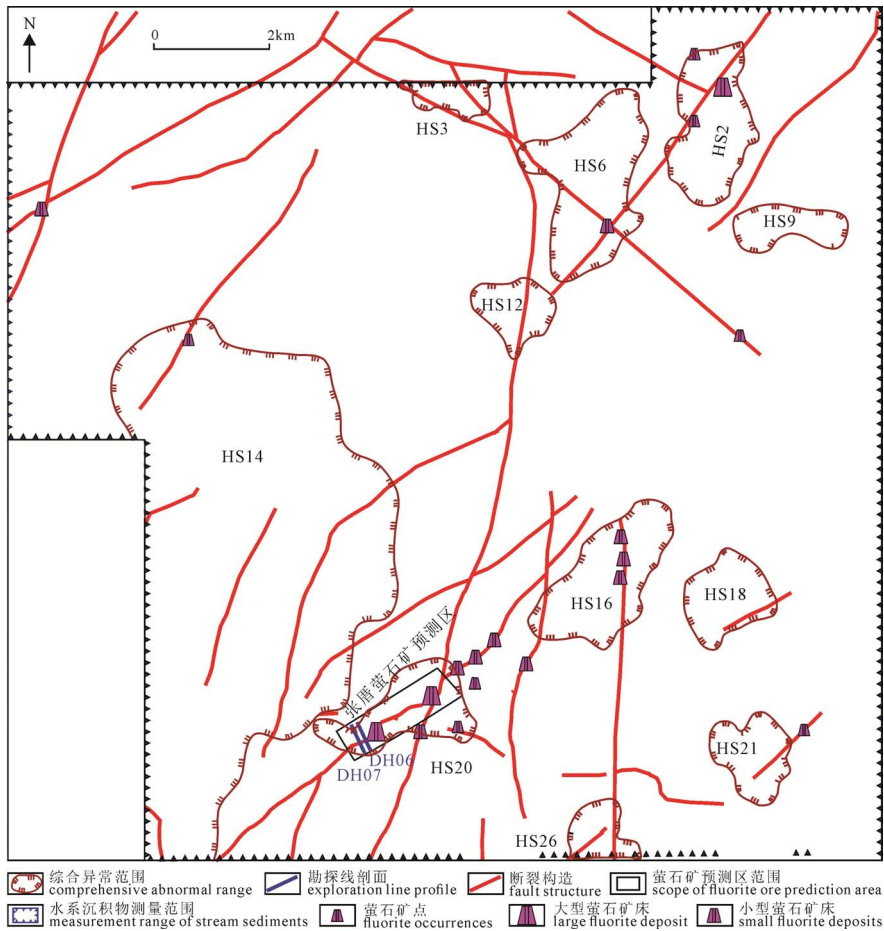


图 3 研究区综合异常分布图
Fig. 3 Distribution of comprehensive anomalies in the study area

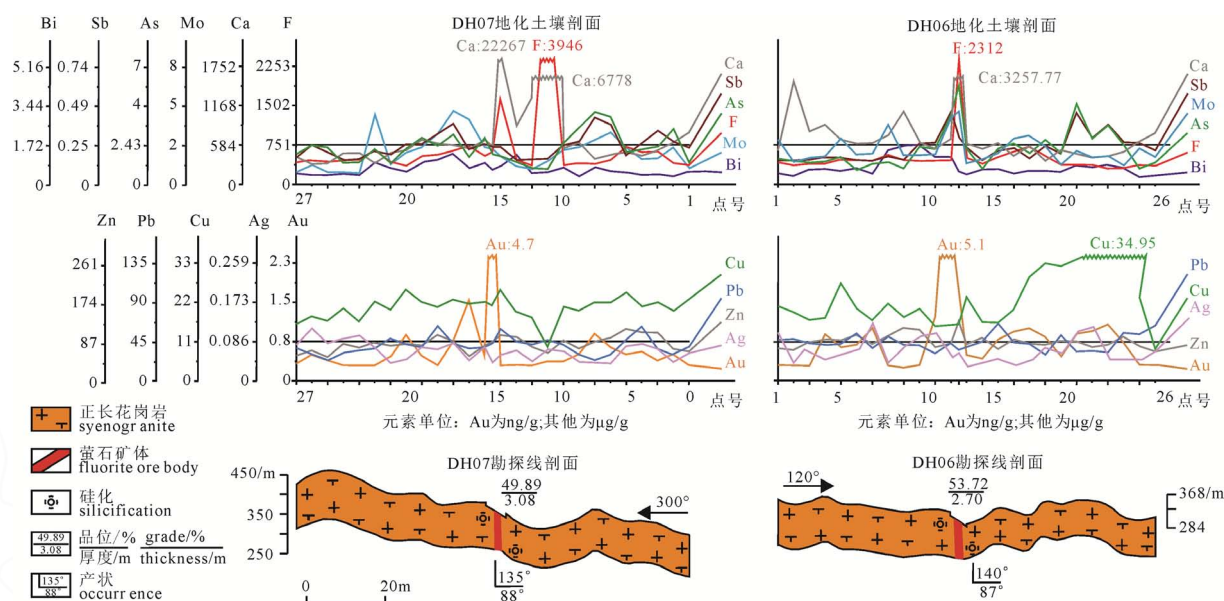


图4 DH07、DH06 地化(土壤)剖面图
Fig. 4 Geochemical (soil) profile of DH07 and DH06

>花岗岩(7500 $\Omega \cdot m$)>硅化破碎带(2500 $\Omega \cdot m$), 萤石矿石电阻率和花岗岩电阻率接近, 硅化破碎带电阻率远低于花岗岩电阻率。研究区萤石矿赋矿断裂硅化破碎带厚度远大于萤石矿体厚度。硅化破碎带与围岩电性特征差异明显, 为开展视电阻率联合剖面测量和高密度电阻率法测量提供了前提。

4.2 高精度磁法测量异常

高精度磁法测量仪器选用WCZ-1型质子磁力仪, 按150 m×40 m或200 m×40 m网格进行测网布置。

针对张厝萤石预测区内的AS-20号综合异常垂直于异常延伸方向以150~200 m不等的间距布置了10条高精度磁法测量剖面进行检查, 剖面与1:1万地化(土壤)综合剖面重合。AS-20号综合异常发育部位圈出明显的北东向低磁异常带, 低磁异常带与局部出露的构造角砾岩、萤石矿采矿老硐吻合, 推测该区存在一规模较大的北东向断裂带(图5)。

4.3 视电阻率联合剖面测量异常

视电阻率联合剖面测量仪器选用奔腾WDJD-4直流激电仪为测控主机。

依据笔者在闽北光泽地区方法性试验成果, 本次选择测量点距MN=10 m、OA=OB=105 m和测量点距MN=10 m、OA=OB=95 m装置参数进行测量。

在张厝萤石矿预测区低磁异常带上分别以上述2种装置参数布置4条视电阻率联合剖面。2种装置参数视电阻率低阻异常均显示明显(图6)。推测断裂近直立, 整体倾向北西。

4.4 可控源大地音频电磁测深测量

4.4.1 仪器设备及质量标准

仪器设备为美国ZONGE公司生产的GDP32多

功能电法仪。收发距R=5.7~7.6 km, 测量偶极距20 m。采用多个电场分量公用一个磁场分量的排列组合进行观测, 磁探头安置在排列的中心点附近, 一个排列布置完成5个点的测量工作。测深使用的频率范围为1~8192 Hz, 发射电流高频8192 Hz为2.5 A, 2048 Hz以下为6.0 A以上。

用均方相对误差作为衡量野外视电阻率质量的标准:

$$M = \pm \sqrt{\frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{A_i - \bar{A}}{\bar{A}} \right)^2}$$

式中: $\bar{A}$ 为原始观测值与检查观测值之和的平均值; A_i 为第*i*个频点的视电阻率或相位原始观测值; A_i' 为检查观测的第*i*个频点的视电阻率或相位值; *n*为参加检查点的频点数。

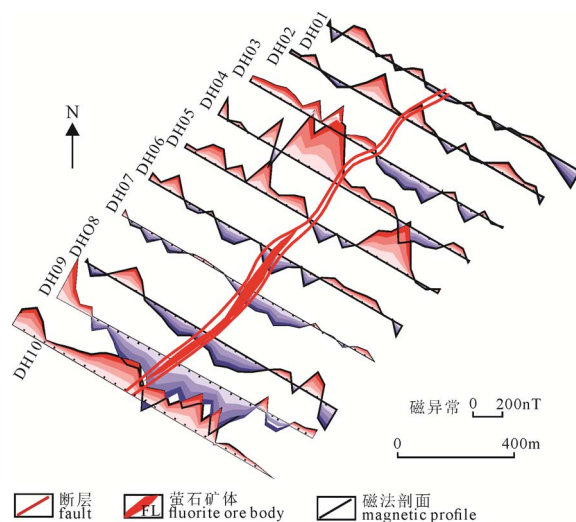


图5 张厝萤石矿预测区高精度磁法测量异常平面图
Fig. 5 High precision magnetic survey anomalies in the prospecting area of the Zhangcuo fluorite mine

4.4.2 异常特征

选择张厝萤石矿预测区东北部的大坪萤石矿(大型)布署 DH06 剖面进行可控源大地音频电磁测深方法有效性试验, 结果表明萤石矿体显示明显的低电阻率异常(图 7a)。萤石矿体的膨大部位处于低电阻率异常带中, 电阻率升高部位。根据物性特征分析认为, 低电阻率异常带整体反映的为构造破碎带; 异常带中电阻率升高部位反应存在厚度大、品位好、裂隙少的萤石矿。

选择张厝萤石矿预测区内化探(土壤)、高精度测法、视电阻率联合剖面异常显示较好的 DH06、

DH07 剖面布署可控源大地音频测深剖面, 结果显示存在低电阻率异常带(图 7b), 推断存在浅部倾向南东、深部倾向北西, 倾角 $70^{\circ} \sim 90^{\circ}$, 倾向延伸约 165 m 的萤石矿化带, 萤石矿化带在距地表 70 ~ 150 m 膨大。

5 异常检查和钻探验证

综合分析张厝萤石矿预测区地物化成果, 在预测区开展大比例尺专项地质测量, 在物化探异常指示有利成矿地带施工了 7 条探槽进行揭露, 3 个钻孔进行深部验证(图 8)。验证结果表明, 赋矿断裂地表延伸长度 1.7 km, 走向为 $NE40^{\circ}$, 地表倾向 SE, 深部倾向 NW, 倾角为 $70^{\circ} \sim 90^{\circ}$, 整体倾角 81° 。萤石矿(化)体与 F、CaO 化探异常中心吻合。断裂破碎带地表厚 4.2 ~ 35.7 m, 深部最厚可达 61.2 m, 萤石矿化最厚达 55.3 m, 主要为硅质角砾岩、蚀变花岗岩、碎裂花岗岩、萤石矿(化)体。矿体形态、位置与物化探推断结果一致。

张厝萤石矿预测区圈出工业品位萤石矿体 1 条、矿化体 6 条, 矿体形态为脉状, 矿体产状与控矿断裂产状一致。矿体长度 730 m, 走向为 $NE40^{\circ}$, 地表倾向 SE、深部倾向 NW, 整体倾角 81° , 矿体深部延伸 200 m。矿体地表厚度 0.7 ~ 3.02 m, 深部厚度 0.75 ~ 11.97 m, 整体为矿体向深部 60 ~ 150 m 厚度变大, 150 m 后厚度变小, 矿体平均厚度 3.2 m, 平均品位 CaF_2 : 48.52%。估算萤石矿推断资源量(CaF_2): 63.02 万 t。

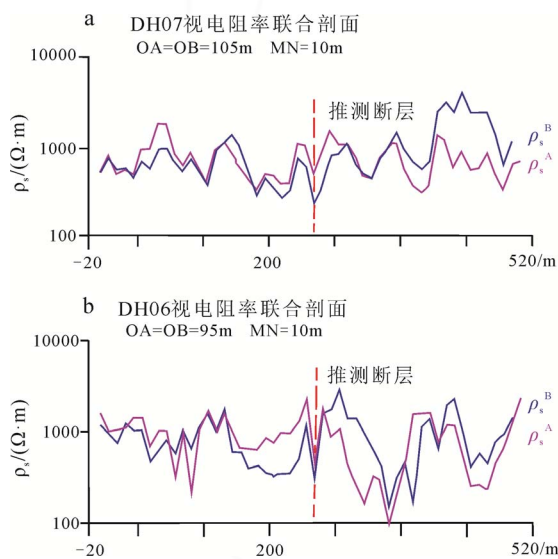


图 6 视电阻率联合剖面测量曲线图
Fig. 6 Joint profile measurement curve of apparent resistivity

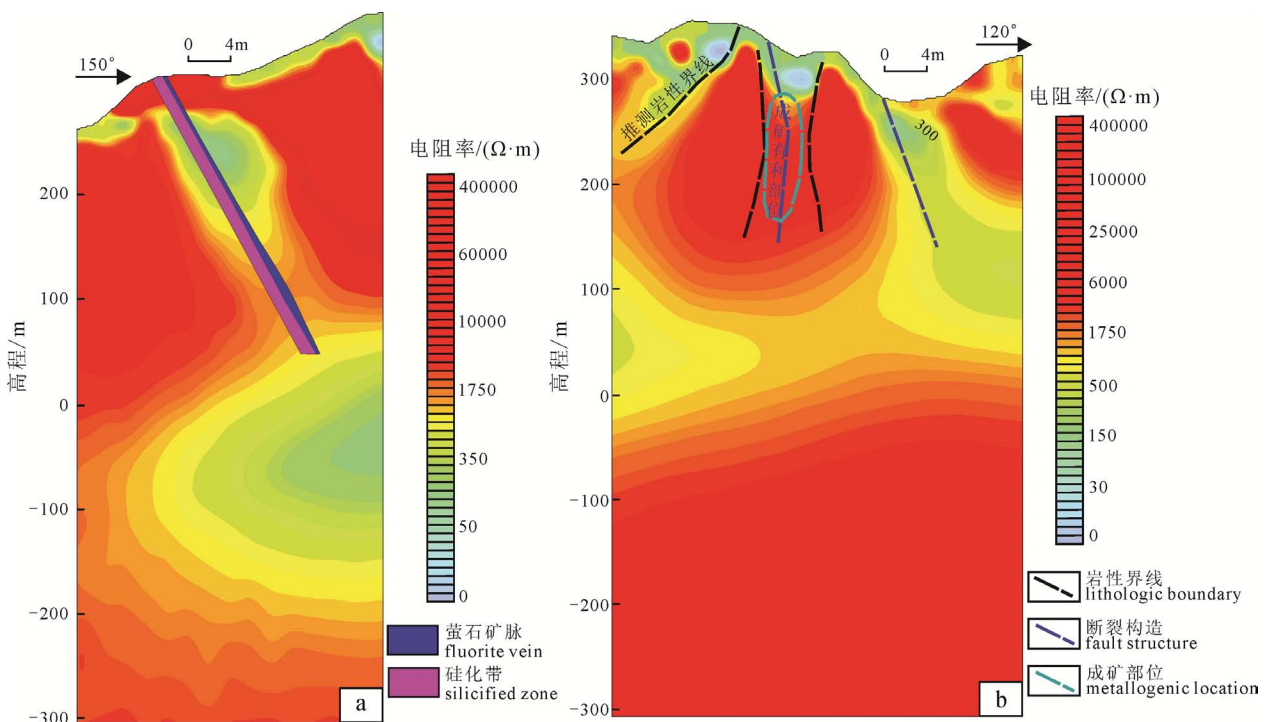


图 7 DH06(a)、DH07(b)剖面 CSAMT 反演电阻率断面图
Fig. 7 CSAMT inversion resistivity section of DH06 (a) and DH07 (b)

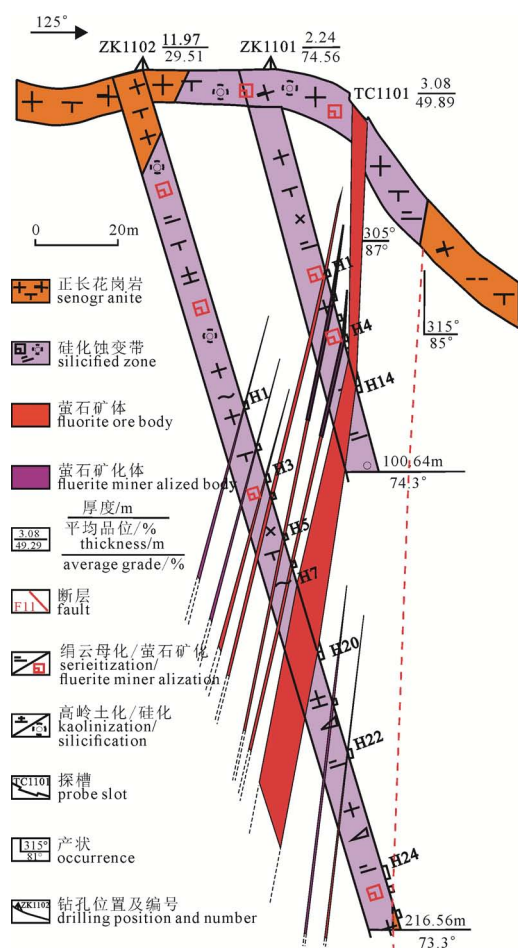


图8 张厝萤石矿预测区DH07号勘探线剖面图
Fig. 8 Profile of DH07 exploration line in Zhangguo fluorite ore prediction area

6 结论

(1)化探测量圈出的F、CaO等元素综合异常信息可初步圈定萤石矿找矿预测区。物探测量可用于判别是否存在断裂及断裂规模、形态。物化探综合找矿方法对闽北地区隐伏-半隐伏热液充填型萤石矿勘查评价工作具有较好的效果。

(2)可控源大地音频电磁测深对萤石矿体深部形态具有较好的指示,通过地物化综合信息找矿方法,在福建邵武张厝萤石矿预测区新发现热液充填型中型萤石矿床1处。

Acknowledgements:

This study was supported by China Geological Survey (No. DD20190816), National Natural Science Foundation of China (No. 42102039), and North China University of Water Resources and Electric Power (No. 40775).

参考文献:

陈军元, 刘艳飞, 颜玲亚, 高树学, 欧阳友和, 龙涛. 2021. 石墨、萤石等战略非金属矿产发展趋势研究[J]. 地球学报, 42(02): 287-296.

栗克坤, 陈新立, 商朋强, 于雪良, 韩志坤, 魏凡超, 刘增政. 2019. 物化探综合信息找矿方法在萤石矿找矿中的应用[J]. 中国地质调查, 6(06): 98-104.

栗克坤, 王春连, 陈新立, 王桂香, 商朋强, 张青松, 刘增政, 韩志坤, 闫晓博, 蒋济勇. 2022. 福建邵武地区萤石矿微量、稀土元素特征及对成矿物质指示[J/OL]. 中国地质: 1-15[2022-02-08]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1167.P.20200616.1107.010.html>.

商朋强, 焦森, 屈云燕, 刘丙秋, 高永璋. 2020. 世界萤石资源供需形势分析及对策建议[J]. 国土资源情报, (10): 104-109.

申伍军, 王学求. 2010. 内蒙古大型银矿集区地球化学预测[J]. 地球学报, 31(3): 449-455.

王吉平, 商朋强, 熊先孝, 杨辉艳, 唐尧. 2015. 中国萤石矿床成矿规律[J]. 中国地质, 42(1): 18-32.

王猛, 黄俭合. 2018. 综合物探方法在萤石矿勘查中的应用[J]. 中国煤炭地质, 30(S1): 118-124.

游超, 王春连, 刘殿鹤, 余小灿, 颜开, 刘思晗, 周博文. 2022. 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, 43(3): 359-370.

张江海, 苏阳, 吴立岗. 2014. 福建某地萤石矿地质特征及找矿方法初探[J]. 西部探矿工程, 26(06): 154-157.

References:

CHEN Jun-yuan, LIU Yan-fei, YAN Ling-ya, GAO Shu-xue, OUYANG You-he, LONG Tao. 2021. Research on development trend of strategic nonmetallic minerals such as graphite and fluorite[J]. Acta Geoscientica Sinica, 42(2): 287-296(in Chinese with English abstract).

LI Ke-kun, CHEN Xin-li, SHANG Peng-qiang, YU Xue-liang, HAN Zhi-kun, WEI Fan-chao, LIU Zeng-zheng. 2019. Application of the prospecting method of geophysical and geochemical integrated information in the exploration of fluorite deposits[J]. Geological Survey of China, 6(06): 98-104.

LI Ke-kun, WANG Chun-lian, CHEN Xin-li, WANG Gui-xiang, SHANG Peng-qiang, ZHANG Qing-song, LIU Zeng-zheng, HAN Zhi-kun, YAN Xiao-bo. 2022. Geological characteristics and genesis discussion of fluorite deposits in Shaowu area, Fujian province[J]. Geology in China: 1-15: [2022-02-08]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1167.P.20200616.1107.010.html>.

SHANG Peng-qiang, JIAO Sen, QUN Yun-yan, LIU Bing-qiu, GAO Yong-zhang. 2020. Analysis of Supply-Demand Situation of Fluorite Resources in the World and Countermeasures[J]. Land and Resources Information, (10): 104-109.

SHEN Wu-jun, WANG Xue-qiu. 2010. Geochemical prognosis of large-size silver ore districts in Inner Mongolia[J]. Acta Geoscientica Sinica, 31(3): 449-455(in Chinese with English abstract).

WANG Ji-ping, SHANG Peng-qiang, XIONG Xian-xiao, YANG Hui-yan, TANG Yao. 2015. Metallogenic regularities of fluorite deposits in China[J]. Geology in China, 42(1): 18-32(in Chinese with English abstract).

WANG Meng, HUANG Jian-he. 2018. Application of integrated geophysical prospecting in fluorite orebody exploration[J]. Coal Geology of China, 30(S1): 118-124(in Chinese with English abstract).

YOU Chao, WANG Chun-lian, LIU Dian-he, YU Xiao-can, YAN Kai, LIU Si-han, ZHOU Bo-wen. 2022. REE Geochemistry of Fluorite from Kantian Fluorite Deposit and Its Geological Implications in Ningdu Area, Jiangxi Province[J]. Acta Geoscientica Sinica, 43(3): 359-370(in Chinese with English abstract).

ZHANG Jiang-hai, SU Yang, WU Li-gang. 2014. Geological characteristics and prospecting methods of fluorite deposit in a place in Fujian[J]. West-China Exploration Engineering, 26(6): 154-157(in Chinese).