

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

陈德靖, 罗来冰, 吕天江, 杨海龙, 曹卫刚, 戴玉皇

(贵州省地矿局地球物理地球化学勘查院, 贵州 贵阳 550018)

[摘要] 本文以贵州省普安县莲花山某调查区萤石成矿断层为研究重点, 采用超高密度电阻率法和音频大地电磁测深法对同一断层进行了测量, 查明了断层的平面分布情况和深部延伸情况, 揭露出剖面峨眉山玄武岩组至茅口组“低阻-中阻-高阻”的三元分层电性结构。以峨眉山玄武岩组与茅口组接触带(蚀变体)的中阻特征为识别标志, 结合断层延伸情况, 推断出萤石矿体埋深范围, 得到了钻孔验证。两种方法均对断层探测有较好的效果, 也存在优劣势, 超高密度电阻率法探测深度浅, 测量精度高, 但容易出现多种非目标体异常; 音频大地电磁测深法探测深度深, 但浅部分辨率较差, 测量精度较低。实际工作中, 应根据勘探目标的埋深情况选择合适的工作方法或综合两种方法, 以达到更加可靠的物探解译成果。

[关键词] 超高密度电阻率法; 音频大地电磁测深法; 萤石矿; 断层; 电性结构

[中图分类号] P613.3⁺22; P613.2 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1000-5943(2024)01-033-09

1 引言

黔西南地区萤石成矿模式主要以热液充填独立型和伴生型为主(金少荣等, 2019; 周家喜等, 2020), 与金、锑低温矿床属于同一成矿系统(杨再风等, 2023)。茅口组与峨眉山玄武岩组不整合界面形成的区域性构造蚀变体, 是萤石矿体存在的主要标志, 背斜、断裂的形成为深部含矿热液向上运移提供通道或就矿场所(宋正刚, 2021)。普安莲花山调查区内主体构造受轴线呈北东东向展布的莲花山背斜控制, 在背斜两翼发育一系列与背斜轴大致平行的北东东向张性断层, 萤石矿体主要受断层控制(叶琼等, 2023)。利用物探方法查明控矿断裂的深部延伸情况对辅助地质找矿有重要

意义。

高密度电阻率法和音频大地电磁测深法作为电法勘探中极具代表性的方法, 能较好的反映地下电性结构特征, 为断层探测提供了重要技术支撑(周琛杰, 2017; 杨妍妨, 2021; 尚彦军等, 2021; 田郁等, 2022)。杨炳南等人对黔西南水银洞层控卡林型金矿床电性结构研究表明, 茅口组与龙潭组之间存在一稳定的横向中低阻条带状起伏界面异常, 体现了背斜核部的强硅化砾状粘土岩型矿体(构造蚀变体异常)和围岩之间的过渡特征(杨炳南等, 2016)。本次剖面测量以该起伏界面为识别标志, 结合断层深部延伸情况, 大致推断出萤石矿体的埋深位置, 并得到了钻孔验证。

虽然高密度电阻率法和音频大地电磁测深法

[收稿日期] 2023-09-22 **[修回日期]** 2023-11-09

[基金项目] 贵州省省级地质勘查专项资金项目, 贵州省普安县莲花山地区萤石矿调查评价。

[作者简介] 陈德靖(1991—), 男, 工程师, 学士, 中南大学, 长期从事应用地球物理勘查工作。E-mail: 81885827@qq.com。

[通讯作者] 罗来冰(1994—), 男, 工程师, 学士, 中国地质大学(武汉), 长期从事应用地球物理勘查工作, E-mail: 2282212988@qq.com。

在矿产勘查和工程勘察中应用广泛,但在非金属矿产勘查方面,尤其是萤石矿找矿方面的实践相对偏少(金涛,2021)。本文通过对比两种方法对同一控矿断层的探测效果,分析了两种方法的优劣势,总结了两种方法对研究区剖面构造格架识别的有效性,对于未来在黔西南地区寻找热液充填型萤石矿时,选择合适的工作方法具有重要参考价值。

2 地球物理方法

2.1 超高密度电阻率法

超高密度电阻率法是常规高密度电阻率法的升级改进,通过测量电流在地下介质的通过情况,计算不同介质对电流通过的阻力,从而反映地下物质性质和构造变化。工作原理均为一次性布极,多道高密度采样(李俊杰等,2016)。区别在于常规高密度电阻率法测量剖面通常布设100道及以下,采集数据少,测量深度浅,通常只有几十米;超高密度电阻率法测量剖面通常布设100道以上,采集数据为常规高密度电阻率法的几倍至几十倍,具有反演精度高,测量深度深等优势(胡树林等,2011)。为分析目标断层的延伸情况,本次探测选择的装置为温纳装置,其特点是抗干扰能力强,垂向分辨率较高(吕天江等,2021)。探测仪器选择重庆奔腾数控技术研究所生产的WDA-1超级数字直流电法仪,装置测量方式为剖面测量,所得断面为倒梯形(陈先童等,2022)。

2.2 音频大地电磁测深法

音频大地电磁测深法基本原理是以天然大地电磁场为场源,观测互相垂直的两个方向上若干频率的电场水平分量和磁场水平分量,然后利用电场振幅和磁场振幅计算阻抗电阻率;观测电场相位和磁场,用以计算阻抗相位;用阻抗电阻率和阻抗相位联合反演计算电阻率参数,最后利用反演的电阻率进行地质推断解释(肖林等,2021)。本次音频大地电磁测深法探测选择的设备为美国EMI公司和Geometrics公司联合生产的EH-4大地电磁仪,其特点是单点采集,在实际野外工作中操作较轻便,可以开展长剖面测量(陈松等,2020)。

3 调查区地质与地球物理特征

3.1 地质特征

调查区隶属于扬子地层分区之黔西南地层小区,沉积地层发育良好,出露地层主要是泥盆系至三叠系。

本次物探剖面揭露地层从老至新分述如下。茅口组:灰白-灰色厚层块状夹中厚层隐晶灰岩,局部含燧石结核,厚度224~687 m;峨眉山玄武岩组:暗绿、黑色块状微至细粒玄武岩、玄武质岩屑凝灰岩或玄武质火山角砾岩组成,厚度0~270 m。

区内主要控矿构造为北东向莲化山背斜及其与背斜轴近于平行北东向张性断裂,矿带主体沿北东向构造带展布,矿脉位于不同方向的次级张性断裂中,连续性与矿体规模变化较大。矿床类型主要为热液“脉状”矿床,赋矿围岩主要为峨眉山玄武岩与茅口灰岩。

莲花山背斜:背斜轴迹呈北东东向展布,核部地层主要为茅口组(P_2m),其次马平组(CPm)、包磨山组(P_1b)、梁山组(P_2l)、栖霞组(P_2q),两翼地层主要为茅口组(P_2m)、峨眉山玄武岩组(P_{2-3em})。背斜两翼地层产状 $5^\circ\sim 35^\circ$,一般 20° 左右。

F_{18} :正断层,总体走向北东,倾向南东,倾角 85° 左右,为陡倾断层,在调查区内出露长度约0.87 km,破碎带宽度1~10 m,一般6 m左右,见方解石脉及断层角砾,角砾为棱角状,角砾为钙质胶结,局部见星点状萤石矿分布。

F_{19} :正断层,总体走向北东,倾向南东,倾角 $72^\circ\sim 85^\circ$,在调查区内出露长度约1.7 km,破碎带宽度3~15 m,一般5 m左右,见断层角砾,角砾为棱角状,角砾为硅质、铁质胶结,萤石矿呈团块状、颗粒状分局于角砾裂隙中。断层两盘均为玄武岩组(P_{2-3em})玄武岩、凝灰岩等,IV-1号矿体即分布于该断层中。

3.2 地球物理特征

采用露头小四极法对工作区的围岩和勘探目标的视电阻率进行了测量。相关物性参数见表1。

表 1 测区岩石物性统计表

Table 1 Statistical table of rock physical properties in the survey area

地层	岩性	采集点 (块)	平均视电阻率 $\rho(\Omega \cdot m)$	平均视极化率 $\eta(\%)$	备注
P_3em^1	凝灰岩(白色)	30	9 143. 13	5. 31	致密
P_3em^{1-2}	凝灰质粘土岩(紫红色)	32	891. 29	6. 19	风化较强,黄铁矿化
P_3em^{1-2}	玄武岩	35	3 570. 72	2. 37	褐铁矿化时极化率升高
P_3em^2	萤石矿(带)	30	507. 03	4. 07	断层破碎带
P_2m	泥晶灰岩	30	1 857. 28	0. 11	断层破碎带
	(方解石化)	34	12 712. 73	0. 17	围岩

结合上表,对工作区物性特征分析如下:断层破碎带(矿化带)平均视电阻率值在 507.03 ~ 1 857.28 $\Omega \cdot m$,围岩平均视电阻率为12 712.73 $\Omega \cdot m$,两者存在较明显的电性差异;断层破碎带(矿化带)、凝灰岩、凝灰质粘土岩与围岩存在较明显的激化率差异,具有开展激电测试的物性基础,但同时要注意,当正常围岩(如玄武岩)存在褐铁矿化或黄铁矿化时,其激化率明显升高,会对激电目标异常造成一定干扰,故本研究区更适合开展电阻率测量。断层破碎带中的岩矿石标本比在正常地层的标本电阻率低,由于岩溶、节理裂隙发育、断裂构造易含水,其电阻率一般很低,而相对完整的基岩电阻率一般很高,可通过寻找这种电性差异来推断目标断裂构造。

本次工作围绕IV-1号矿体及 F_{19} 号控矿断裂构造,布置1条超高密度电阻率法剖面GMD01,剖面长645 m,测点总数130个,点距5 m;布置1条音频大地电磁测深剖面AMT01,剖面长680 m,测点总数54个,其中0~320 m点距20 m,320~370 m点距10 m,370~430 m点距5 m,430~500 m点距10 m,500~680 m点距20 m。两条剖面方向均为120°。两条剖面重合但起始位置不同,GMD01线0 m位置在AMT01线65 m处。GMD01线断层 F_{18} 地表出露位置位于剖面174~178 m处,断层 F_{19} 地表出露位置位于剖面327~337 m处;AMT01线断层 F_{18} 地表出露位置位于剖面239~243 m处;断层 F_{19} 地表出露位置位于剖面392~402 m处。具体布设如图1所示。

4 数据成果分析

4.1 GMD01 线超高密度电阻率法剖面

从GMD01线超高密度电阻率法剖面反演图

(图2)分析,剖面视电阻率垂向上变化较为明显,上部峨眉山玄武岩组电性跨度较大,视电阻率值介于60~6 000 $\Omega \cdot m$ 之间,结合前期物性数据,凝灰岩、玄武岩电性表现为高阻,凝灰质粘土岩电性表现为相对低阻;底部茅口组灰岩电性表现为高阻,视电阻率值在1 600 $\Omega \cdot m$ 以上;在茅口组与峨眉山玄武岩组之间出现了明显的中阻过渡条带,视电阻率值介于860~1 600 $\Omega \cdot m$ 之间,推测为层控型蚀变体。整条剖面电性层位较清晰,从上至下可大致分为低阻层-中层-高阻层。

横向上看,该剖面在180 m、340 m附近存在较陡立的高低阻电性分界面,结合地质资料分析,推测发育断层 f_{18} 、 f_{19} 。其中 f_{18} 为 F_{18} 的异常反映,倾角约83°; f_{19} 为 F_{19} 的异常反映,倾角约85°。两条断层均向剖面大号方向倾斜,且中深部发育不明显,延伸有限。推测断层 F_{19} 揭露蚀变体埋深在50~100 m。

该剖面峨眉山玄武岩组中出现较多低阻异常,在断层附近的低阻异常物探推测受断裂构造影响,节理裂隙发育,岩石较破碎,可能被低阻物填充(褐铁矿化、萤石矿化、黏土等)或出现破碎构造含水。Y-1、Y-2、Y-3低阻异常较规则,为类椭圆状或条带状,推测推测与岩溶、裂隙发育有关,也可能为凝灰质粘土岩的电性反映。

4.2 AMT01 线音频大地电磁测深法剖面

从AMT01线音频大地电磁测深法剖面反演图(图3)分析,剖面视电阻率垂向上变化较为明显,与GMD01线超高密度电阻率法剖面(图2)相似,总体电性层位从上至下依次为低阻层-中层-高阻层,分别对应峨眉山玄武岩组-层控型蚀变体-茅口组的电性反映,其中峨眉山玄武岩组视电阻率值介于10~1 000 $\Omega \cdot m$ 之间,层控型蚀变体

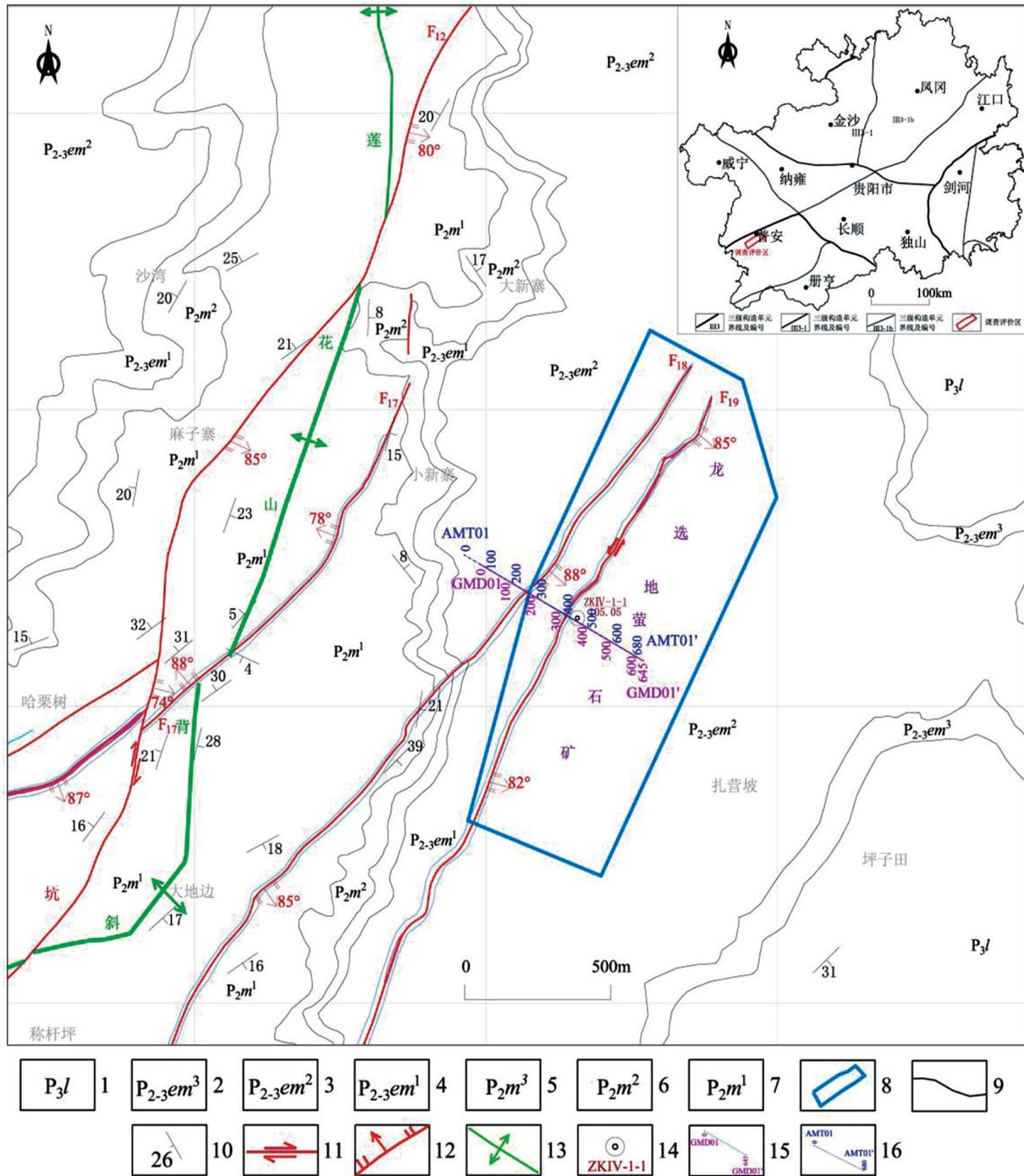


图1 贵州省普安莲花山某萤石矿区地质图及物探工作剖面布置图
(据贵州省地矿局地球物理地球化学勘查院,2023 修)

Fig. 1 Geological map and layout map of a fluorite mining area in Lianhuashan, Pu'an, Guizhou Province

(modified after Institute of Geophysical and Geochemical Exploration, Guizhou Bureau of Geology and Mineral, 2023)

1—龙潭组;2—峨眉山玄武岩组第三段;3—峨眉山玄武岩组第二段;4—峨眉山玄武岩组第一段;5—茅口组第三段;6—茅口组第二段;7—茅口组第一段;8—调查区范围;9—地质界线;10—地层产状;11—平移断层;12—正断层;13—背斜;14—钻孔及编号;15—超高密度电阻率法测线;16—音频大地电磁测深法测线

视电阻率值介于 $1\ 000 \sim 2\ 500\ \Omega \cdot m$ 之间,茅口组视电阻率值在 $2\ 500\ \Omega \cdot m$ 以上。横向上看,该剖面在 $400\ m$ 附近电性不连续,低阻带向深部延伸,结合地质资料分析,推测发育断层 f_{19} 。 f_{19} 为

F_{19} 的异常反映,断层向剖面大号方向倾斜,倾角近乎直立,约 88° ,断层中深部发育不明显,延伸有限。推测定断层 F_{19} 揭露蚀变体埋深在 $38 \sim 65\ m$ 。地表出露断层 F_{18} 在剖面反映图中体现不明

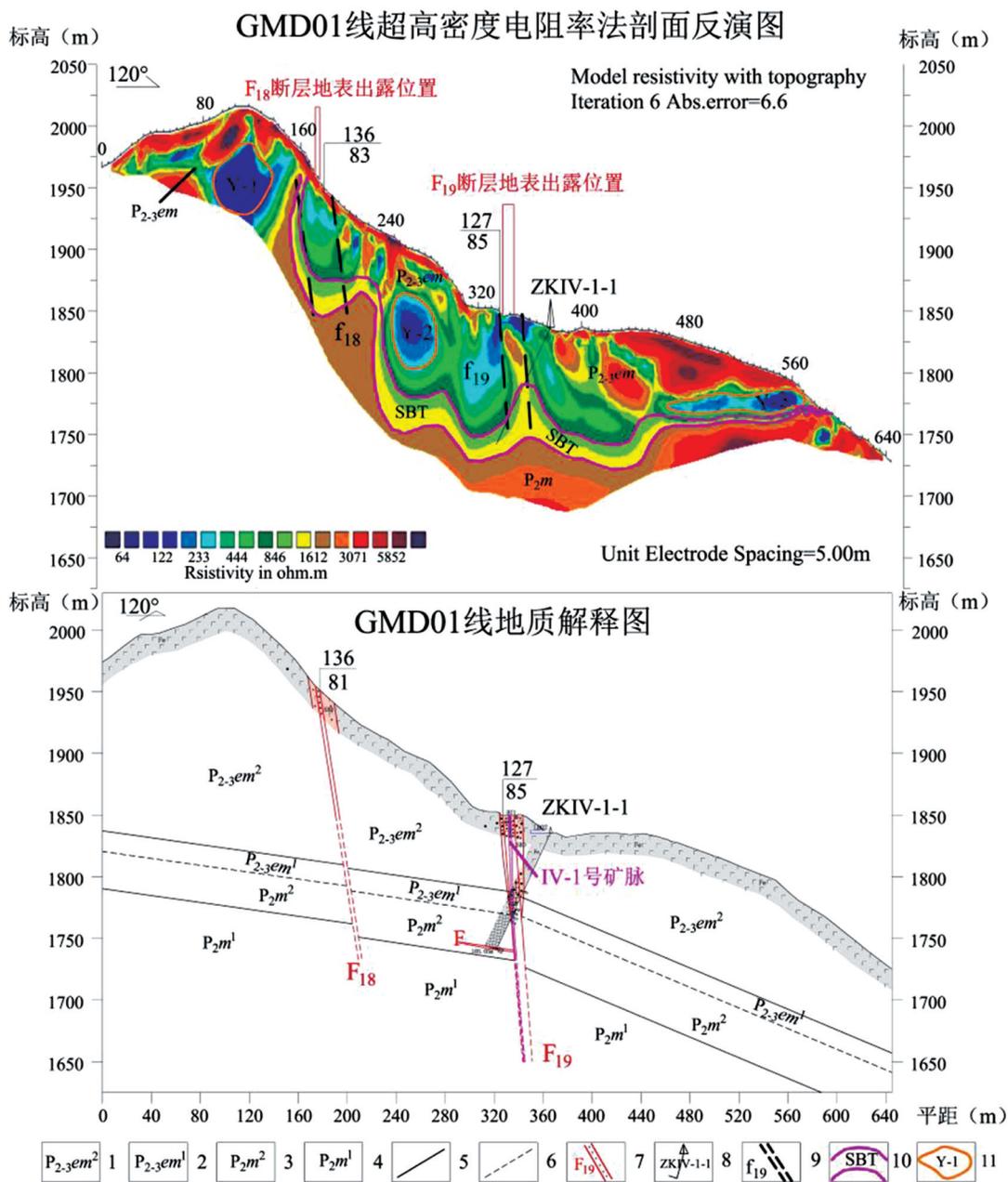


图 2 GMD01 线超高密度电阻率法剖面反演及地质解释图

Fig. 2 GMD01 line ultra-high density resistivity section inversion and geological interpretation

1—峨眉山玄武岩组二段; 2—峨眉山玄武岩组一段; 3—茅口组二段; 4—茅口组一段; 5—地质界线; 6—平行不整合地质界线; 7—断层破碎带及编号; 8—已施工钻孔; 9—物探推测断层; 10—物探推测蚀变体异常带; 11—物探推测低阻异常体

显, 主要是因为本次探测主要以 IV-1 号矿体及 F_{19} 号控矿断裂构造为研究重点, 在断层 F_{19} 附近选用 5 点距进行了加密, 而断层 F_{18} 地表出露位置在剖面的 240 m 附近, 该处设计点距 20 m, 可能由于点距过大导致采集数据不够, 忽略了目标体异常。

5 钻孔验证

根据物探推测异常, 在超高密度电阻率法剖

面 365 m (音频大地电磁测深法剖面 430 m) 处布设了钻孔 ZKIV-1-1, 钻孔倾角 64° , 开孔方位角 300° 。从两条剖面反演图来看, 钻孔依次穿过了低阻层、中阻层。结合钻孔揭露岩性情况 (图 4), 在孔深 0~59 m 附近岩性主要为角砾状、块状玄武岩, 受铁质矿化影响, 视电阻率值相对低阻; 在孔深 59~105 m 附近主要为断层破碎带、萤石矿层, 岩性以硅化玄武岩、萤石矿、泥质灰岩为主, 对应茅口组与峨眉山玄武岩组接触带, 与层控型蚀

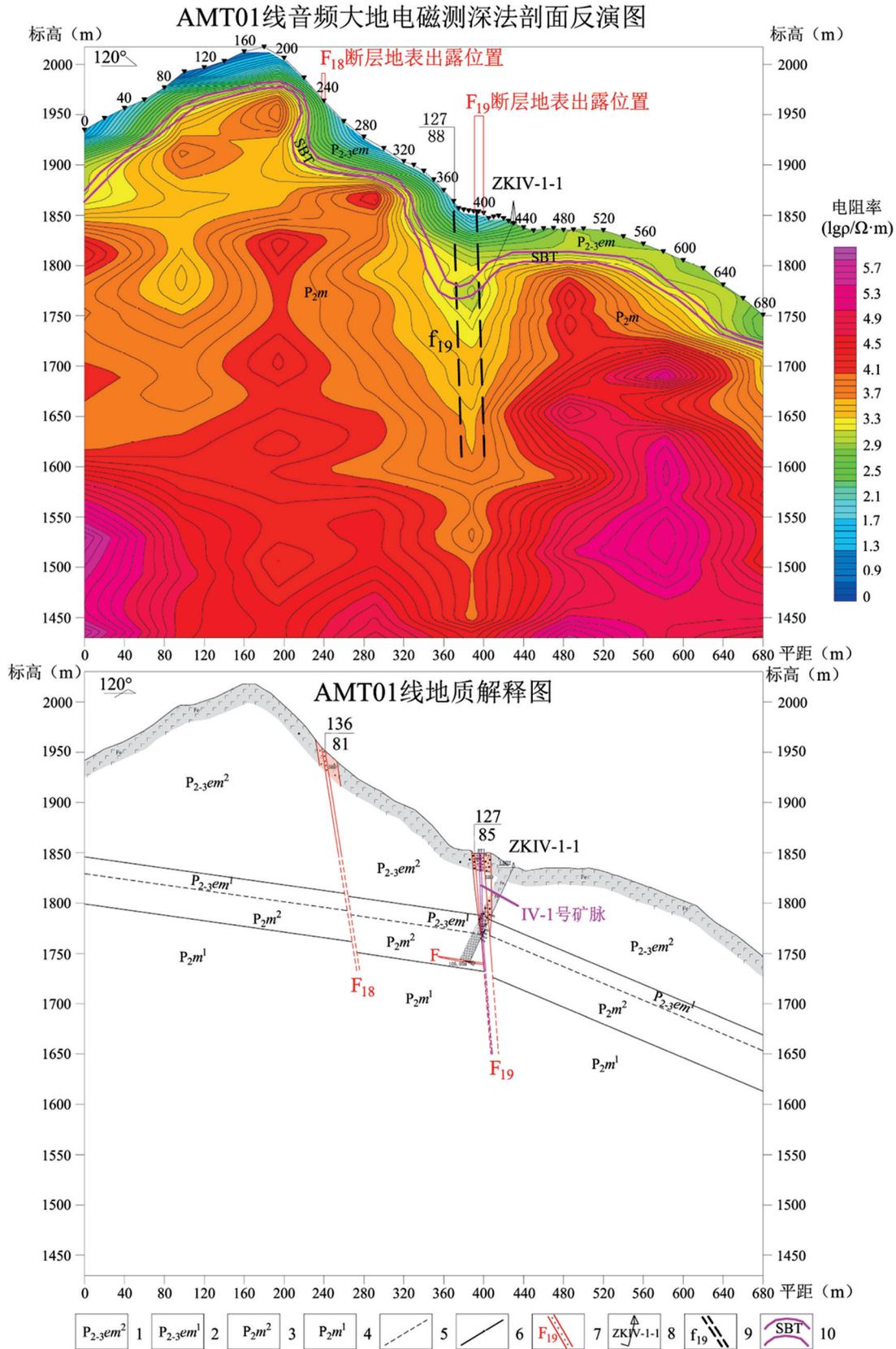


图3 AMT01线音频大地电磁测深法剖面反演及地质解释图

Fig. 3 AMT01 line audio magnetotelluric sounding profile inversion and geological interpretation

1—峨眉山玄武岩组二段;2—峨眉山玄武岩组一段;3—茅口组二段;4—茅口组一段;5—平行不整合地质界线;6—地质界线;7—断层破碎带及编号;8—已施工钻孔;9—物探推测断层;10—物探推测蚀变体异常带

ZKIV-1-1 钻孔岩性柱状图

地层代号	层号	孔深 (m)	层厚 (m)	柱状图	地质描述
Q	1	0.30	0.30		为灰色、绿灰色块状玄武岩，具气孔状、杏仁状构造，气孔为石英充填，杏仁中多为含铁质矿物。其中 13.10m-13.85m 为灰绿色块状玄武岩，见铁质浸染，见方解石脉沿节理裂隙充填，脉宽 0.1-1cm，局部夹角砾状玄武岩。
P ₂ m ²	2	58.90	58.60		为断层破碎带及萤石矿层，断层角砾为强化玄武岩，角砾大小为 0.3-3cm，与铁质、萤石胶结，见褐黄色半透明萤石矿充填于破碎带中，在该层底部见少量灰岩角砾，具褐铁矿化、萤石矿化、硅化、粘土化。
F ₁₉	3	76.12	17.22		为深灰色薄至中厚层泥质灰岩，夹泥质条带及硅质岩层，见少量萤石矿细脉及颗粒与方解石脉共生，见溶蚀裂隙，裂隙充填泥质、铁质。岩石破碎，节理裂隙发育。
P ₂ m ²	4	105.05	28.93		

图 4 钻孔岩性柱状图

Fig. 4 Lithologic column diagram of borehole

变体视电阻率值相近,表现为中阻;钻孔未揭露更深部地层岩性,但底部岩性主要为茅口组灰岩,结合前期物性资料,完整的灰岩视电阻率值为高阻。因此可推断钻孔揭露的电性层与超高密度电阻率法剖面 and 音频大地电磁测深法剖面电性层一致,从上至下依次为低阻层-中阻层-高阻层。

6 对比

结合表 2,对两种方法的共性和差异分析如下:

(1)两种方法垂向分辨率较高,从浅地表至深部茅口组,均表现为低阻-中阻-高阻的三元分层结构,与实际剖面岩性特征吻合。区别在于超高密度电阻率法能清晰推断出茅口组与峨眉山玄武岩组之间的中阻过渡条带(蚀变体),音频大地电磁测深法对中阻过渡条带的识别较弱,在推测蚀

变体埋深上精度不如超高密度电阻率法,与实际钻孔揭露埋深差异较大。超高密度电阻率法推测萤石矿体埋深与钻孔揭露深度最大误差为 9 m,音频大地电磁测深法推测萤石矿体埋深与钻孔揭露深度最大误差为 40 m。

(2)两种方法对目标断层 F₁₉反映明显,均向剖面大号方向倾斜,倾角与地质推断相似,断层在中深部发育不明显,延伸有限。区别在于超高密度电阻率法在推断 F₁₉地表出露位置上更精准,与地质情况相符,只是在断距推断上比实际宽 9 m;音频大地电磁测深法推断 F₁₉出露位置与实际位置最大偏差在 20 m 左右,断距推断比实际宽 13 m。超高密度电阻率法对 F₁₈有反映,音频大地电磁测深法对 F₁₈反映不清晰。

(3)超高密度电阻率法剖面浅部细节信息丰富,但剖面其他区域出现许多圈闭低阻异常,会对异常解释和断层判别造成一定干扰。音频大地电

表2 超高密度电阻率法与音频大地电磁测深法探测效果对照表

Table 2 Comparison table of detection effect between ultra-high density resistivity method and audio frequency magnetotelluric sounding method

物探剖面	GMD01 线超高密度电阻率法剖面	AMT01 线音频大地电磁测深法剖面
剖面岩性	从上至下依次为峨眉山玄武岩组二段、峨眉山玄武岩组一段、茅口组二段、茅口组一段。峨眉山玄武岩组与下伏茅口组平行不整合接触。峨眉山玄武岩组岩性为玄武岩、凝灰岩、凝灰质粘土岩等,茅口组岩性为灰岩。	
剖面电性	低阻层-中阻层-高阻层	低阻层-中阻层-高阻层
断层产状	$F_{18}: 136^\circ \angle 81^\circ; F_{19}: 127^\circ \angle 85^\circ$	$F_{18}: 136^\circ \angle 81^\circ; F_{19}: 127^\circ \angle 85^\circ$
推测断层倾角	$f_{18}: 83^\circ; f_{19}: 85^\circ$	$f_{19}: 88^\circ$
断层地表出露(平距)	$F_{18}: 174 \sim 178 \text{ m}; F_{19}: 327 \sim 337 \text{ m}$	$F_{18}: 239 \sim 243 \text{ m}; F_{19}: 392 \sim 402 \text{ m}$
推测断层地表出露(平距)	$f_{18}: 158 \sim 187 \text{ m}; f_{19}: 324 \sim 343 \text{ m}$	$f_{19}: 370 \sim 393 \text{ m}$
钻孔揭露萤石矿埋深	59 ~ 105 m	59 ~ 105 m
推测蚀变体埋深	50 ~ 100 m	38 ~ 65 m
最大探测深度	160 m	586 m
野外工作时间	1 天	4 天

磁测深法剖面浅部细节信息少,但由于浅部分辨率较差,忽略了浅层非目标体异常,对断层延伸情况判别较为容易。

(4)两种方法探测深度差异较大,超高密度电阻率法最大探测深度在160 m,音频大地电磁法有效探测深度在586 m,在相近剖面长度下,音频大地电磁测深法探测深度要远优于超高密度电阻率法。根据工作经验,超高密度电阻率法适用于浅部地质构造勘查,一般勘查深度约为1/6~1/4剖面长度(杨玉蕊等,2012),实际有效勘查深度在200 m以浅。音频大地电磁测深法适用于中深部地质构造勘查,深度由采集的频率决定,常规勘查深度在600 m以浅(陈松等,2020)。

7 结论

(1)超高密度电阻率法和音频大地电磁测深法均对调查区内萤石矿成矿断层反映明显,断层深部延伸情况清晰可判,断层平面分布情况和深部延伸情况与地质推断基本相符,后期钻孔验证进一步证实了两种方法的可靠性。音频大地电磁测深法在断层判别上更为容易,但精度不如超高密度电阻率法。

(2)超高密度电阻率法和音频大地电磁测深法均揭露出剖面低阻-中阻-高阻的三元分层结构,并以茅口组与峨眉山玄武岩组之间存在的横

向中阻条带状起伏界面(蚀变体异常反映)为识别标志,结合物探推测断层延伸情况,大致判断出了萤石矿体的埋深位置,其中超高密度电阻率法在精度上更具优势。

(3)超高密度电阻率法虽然比常规高密度电阻率法在探测深度上有了进一步提升,但远不及音频大地电磁测深法。在实际工作中,一定要根据勘探目标的埋深情况,结合地质资料,选择合适的工作方法或综合两种方法来进行探测,以达到更加可靠的物探解译成果。

致谢:衷心感谢两位匿名审稿专家以及编辑部提出的宝贵修改意见!

[参考文献]

- 陈松,庞凯旋,陈长敬,等. 2020. 基于音频大地电磁测深和高密度电法的城市隐伏断裂联合探测[J]. 工程地球物理学报, 17(04):470-477.
- 陈先童,吕天江,宋启文,等. 2022. 高密度电法与地质雷达组合探测废弃老煤窑巷道及采空区[J]. 贵州地质, 39(03):262-271.
- 胡树林,陈烜,帅恩华. 2011. 超高密度电阻率法在岩溶及破碎带探测中的应用[J]. 物探与化探, 35(06):821-824.
- 金少荣,王玉朝,杨德智,等. 2019. 黔西南高岭萤石矿床地质-地球化学特征与成因[J]. 矿物学报, 39(03):247-252.
- 金涛. 2021. 高密度电法在内蒙古喀喇沁旗毛林坝萤石矿中的应用[J]. 地质学刊, 45(03):311-315.
- 李俊杰,何建设,严家斌,等. 2016. 超高密度电阻率法在隐伏断层

- 探测中的应用[J]. 物探与化探,40(03):624-628.
- 吕天江,陈先童,黄启霖,等. 2021. 不同物质(土质、岩质)的岩石滑坡体高密度电法异常特征区别[J]. 贵州地质,38(04):419-429+397.
- 尚彦军,金维浚,肖刚,等. 2021. AMT和高密度电法结合探测稻城LHAASO项目区隐伏断层和基岩埋深[J]. 地球物理学进展,36(01):250-257.
- 宋正刚. 2021. 贵州晴隆栗山萤石矿的矿床地质特征及其找矿标志[J]. 西部资源,(02):52-53+56.
- 田郁,蒙应华,刘俊,等. 2022. 高密度电法在不良地质体勘查中的应用——以贵州德余高速公路石阡段为例[J]. 贵州地质,39(01):48-54.
- 肖林,陈云明,刘志臣,等. 2021. 音频大地电磁法在贵州遵义隐伏锰矿找矿勘查中的应用[J]. 贵州地质,38(04):412-418.
- 杨炳南,王家俊,何彦南,等. 2016. 黔西南层控卡林型金矿床电性结构特征——水银洞剖面音频大地电磁测深研究[J]. 贵州地质,33(01):1-7+13.
- 杨妍妨. 2021. 高密度电阻率法在识别岩溶区断层结构特征中的应用[J]. 桂林理工大学学报,41(01):62-69.
- 杨玉蕊,张义平,缪玉松,等. 2012. 高密度电法中勘探线长度与测深关系浅析[J]. 中国煤炭地质,24(06):63-67.
- 杨再风,陈军,叶霖,等. 2023. 黔西南低温成矿区萤石矿床成矿规律:与金锑矿床的空间关系[J/OL]. 矿物学报,1-12.
- 叶琼,杨启俊,戴玉皇. 2023. 贵州普安莲花山萤石矿成矿条件与成矿规律初探[J]. 中华建设,(24):43-45.
- 周琛杰. 2017. 高密度电法与AMT在断裂构造调查中的综合应用[J]. 工程地球物理学报,14(03):300-307.
- 周家喜,谭隽宏,金少荣,等. 2020. 贵州贞丰小屯乡萤石矿床深部锑矿体的发现与地质意义[J]. 矿物学报,40(03):339-340.

The Detection Effect of Ultra-high Density Resistivity Method and Audio Magnetotelluric Sounding Method for a Fluorite Mining Area in Pu'an, Guizhou Province

CHEN De-jing, LUO Lai-bing, LV Tian-jiang, YANG Hai-long, CAO Wei-gang, DAI Yu-huang

(*Institute of Geophysical and Geochemical Exploration, Guizhou Bureau of Geology and Mineral Resources, Guiyang 550018, Guizhou, China*)

[**Abstract**] In this paper, the fluorite metallogenic fault in a survey area of Lianhuashan, Pu'an County, Guizhou Province, is studied by using ultra-high density resistivity method and audio magnetotelluric sounding method to measure the same fault. The plane distribution and deep extension of the fault are found out, and the three-layer electrical structure of "low resistance - medium resistance - high resistance" from Emeishan basalt formation to Maokou Formation is revealed. Based on the medium resistance characteristics of the contact zone of Emei Mountain basalt formation and Maokou Formation, combined with the fault extension, the buried depth range of fluorite ore body is inferred and verified by drilling. The two methods have good effect on the fault detection, but also have advantages and disadvantages. The ultra-high density resistivity method has shallow detection depth and high measurement accuracy, but it is prone to a variety of non-target anomalies. The audio magnetotelluric sounding method detects deep depth, but the resolution of shallow part is poor, and the measurement accuracy is low. In practice, we should choose the appropriate working method or combine the two methods according to the buried depth of the exploration target in order to achieve more reliable geophysical interpretation results.

[**Key Words**] Ultra-high density resistivity method; Audio magnetotelluric sounding; Fluorite ore; Fault; Electrical structure