

# 三极激电测深在贵州沿河水田坝萤石矿 勘查中的应用效果

蒙应华,张婷婷,张西君

(贵州省地质调查院,贵州 贵阳 550018)

[摘 要]区内萤石矿床产出类型为低温热液型,矿体主要产在断层、节理破碎带中。利用三极激电测深,在矿区开展了激电剖面实测,激电异常在萤石矿隐伏分布区一带,表现出明显的相对低阻高极化异常特征,结合矿区地质特征、出露矿体特征及地质工程资料等分析,得出激电异常反映的地质效果好,表明该方法对低温热液型萤石矿产的勘查有一定实效。

[关键词]三极激电测深;低温热液型;萤石矿;贵州沿河

[中图分类号]P631.3;P619.2<sup>+</sup>5 [文献标识码]A [文章编号]1000-5943(2015)01-0047-06

贵州萤石矿以热液填充型矿床为主,其多呈透镜状、脉状产于断层裂隙或节理中,这种控矿构造为萤石矿的勘探提供了地球物理前提。三极激电测深具有装置轻便、效率高的特点,已在国内外寻找铜、铁、地下水等多个方面取得了良好的地质效果<sup>[2,3]</sup>。本次在区内开展三级激电测深勘查,以查明含矿地质体(节理带等)在深部的分布情况,以发挥物探方法寻找低温热液型隐伏矿产的作用及优势。

## 1 矿区地质概况

矿区位于沿河县城以西约25 km处,位于上扬子古陆块南部碳酸盐台地相之次级构造单元凤岗滑脱褶皱带土地坳背斜的西翼。背斜西翼,萤石矿脉分布多、规模较大;背斜东翼,萤石矿脉零星分布、规模较小。具有断裂导矿、控矿,与灰岩(脆性、节理、裂隙发育)容矿特征。区内岩溶地貌景观发育,岩溶峰丛、峰林溶丘与侵蚀山脊沟谷地貌共存,地形切割较大。

### 1.1 矿区地质特征

矿区出露地层,由新至老为奥陶系下统湄潭组( $O_1m$ )、红花园组( $O_1h$ )、桐梓组( $O_1t$ )及寒武系毛田组( $\epsilon om$ ),奥陶系下统红花园组为区内主

要含矿层位,其次为桐梓组、毛田组。

毛田组( $\epsilon om$ ):浅灰、灰色中-厚层、块状白云质灰岩、生物屑灰岩、砂屑鲕粒灰岩。

桐梓组( $O_1t$ ):上部为灰绿色泥(页)岩,含粉砂质泥岩,中部为灰色中厚层生物屑灰岩、白云质灰岩,下部为暗紫色泥(页)岩,含粉砂质泥岩,局部夹硅质岩。

红花园组( $O_1h$ ):灰色厚层、块状细粒-粗粒亮晶生物屑灰岩、砂屑鲕粒灰岩及泥晶灰岩。

湄潭组( $O_{1-2}m$ ):顶部为灰绿色泥岩、砂质泥岩夹生物屑灰岩,中部为页岩,下部为灰绿、黄绿色泥(页)岩夹薄层生物屑灰岩<sup>[4]</sup>。

### 1.2 矿床地质特征

#### (1) 矿床特征

矿床成因类型为低温热液充填型矿床,矿体呈透镜状、脉状产于北西向张性断裂、节理带中,围岩为桐梓组、红花园组灰岩。

矿体(萤石):矿体(脉)赋存于奥陶系下统红花园组、桐梓组地层的灰岩、白云质灰岩、生屑灰岩中,产出层位独特,为萤石、重晶石混合型矿床。走向为北西 $310^\circ\sim 330^\circ$ ,倾角 $80^\circ\sim 88^\circ$ 。矿脉长 $500\sim 1\,500\text{ m}$ ,延伸 $50\sim 100\text{ m}$ ,厚度 $0.78\sim 8.00\text{ m}$ ,平均 $1.77\text{ m}$ 。

#### (2) 矿石组分

[收稿日期]2014-11-17

[作者简介]蒙应华(1982-),男,贵州瓮安人,工程师,主要从事物探工作。

矿石组分:主要以萤石、重晶石为主,次为石英、方解石。金属矿物有方铅矿、闪锌矿、黄铁矿等。其中,萤石  $\text{CaF}_2$  (萤石精矿品位) 80.00%~96.64%,一般品位为 23.54%~74.03%;重晶石  $\text{BaSO}_4$  最高品位 92.35%,一般在 31.54%~74.03%间。

### (3) 围岩及围岩蚀变

近矿围岩蚀变主要有硅化、萤石、重晶石化、碳酸盐化、黄铁矿化及矿物重结晶现象,以前两种为主。主要分布在矿脉两侧 20 m 内,矿脉中尤为明显。

硅化:石英为烟灰、浅灰色半自形粒状集合体,呈不规则团块状、脉状充填于萤石或重晶

石中。

萤石:在矿脉两侧的石灰岩及顶部页岩中有紫色、白色萤石脉体充填,白色重晶石与之共生。

碳酸盐化:在矿脉旁侧的石灰岩节理、裂隙中,有方解石呈细脉或网脉充填。

黄铁矿化:黄铁矿呈星散状产出,多分布在矿脉中<sup>[4]</sup>。

## 2 工区地球物理特征

在工区主要岩性单元及地表萤石矿露头,进行了小四极视电阻率和视极化率参数实地测定(见表 1)。

表 1 工区岩(矿)石电性参数统计表

Table 1 Statistics of ore (rock) electrical property in the mining area

地层	岩性	视电阻率 $\rho$ ( $\Omega \cdot \text{m}$ )	平均视电阻率 $\rho$ ( $\Omega \cdot \text{m}$ )	视极化率 FS (%)	平均视极化率 FS (%)
O <sub>1m</sub>	泥(页)岩	22.88~697.14	169.37	0.02~0.96	0.46
O <sub>1h</sub>	生物屑灰岩	706.54~3 325.05	1 745.95	0.44~1.82	1.04
O <sub>1t</sub>	白云质灰岩	605.70~3 814.34	2 148.26	0.97~2.56	1.70
O <sub>1h</sub>	萤石矿(化)	683.98~2 224.15	1 412.74	0.38~4.95	1.61

表 1 中,就电阻率,工区桐梓组白云质灰岩最高,平均值为 2 148.26  $\Omega \cdot \text{m}$ ;红花园组生物屑灰岩次之,平均值一般在 1 745.95  $\Omega \cdot \text{m}$ ;萤石矿相对较低,平均值为 1 412.74  $\Omega \cdot \text{m}$ ,与生物屑灰岩和白云质灰岩等围岩相比较,相差 300~700  $\Omega \cdot \text{m}$  左右;湄潭组泥(页)岩平均值为 169.37  $\Omega \cdot \text{m}$ ,比萤石矿小 1 200  $\Omega \cdot \text{m}$  左右,为区内最低。从极化率来看,桐梓组(O<sub>1t</sub>)白云质灰岩最高,平均值在 1.70%左右;萤石矿(化)、生物灰岩次之,分别为 1.61%、1.04%;泥(页)岩极化率最低,为 0.46%,萤石矿(化)与围岩相差不大,最大为 1.15%<sup>[5]</sup>。

各观测参数虽存在一定的物性差异,但不够明显,分析认为与以下因素有关:①区内岩(矿)石长期裸露地表,遭受氧化侵蚀导致硫化物流失,造成物性差异。②浅表矿石所含矿物不均匀等差异,影响物性测定的准确性。

可见,围岩(灰岩)呈高阻低极化、萤石矿为 中低阻高极化的电性异常特征,矿体与围岩存在一定电性差异,区内具备开展电法工作的地球物理前提。

## 3 三极激电测深原理及工作方法

### 3.1 三极激电测深工作原理

三极激电测深法,是将四极激电测深装置中的一个供电电极 B 垂直测量剖面放置于无穷远处(不小于 5 倍 AO),测量电极 M、N 的中心点 O 即为测深点(见图 1)。当下地下供入稳定直流电时,测量电极 M、N 可测得一次场  $\Delta V_1$  和由地下介质的激发极化特性而产生的二次场电位差  $\Delta V_2$ ,根据测得电位计算视电阻率及视极化率。通过逐次改变 AO 和相应 M、N 极距的大小,测量 O 点不同深度的视电阻率和视极化率值,从而达

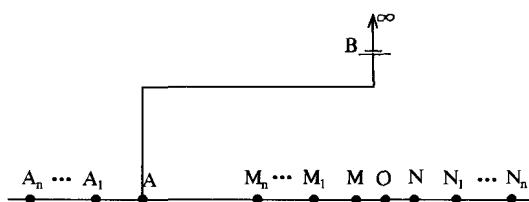


图 1 三极激电测深工作原理图

Fig. 1 Operational principle of tripolar IP sounding

到研究该测深点下不同深度的地质断面电性情况。在 AO 极距小时,主要反映的是浅部地电信息, AO 极距大时,主要反映的是深部地电信息<sup>[6,7]</sup>。

### 3.2 测线布置

垂直于地表矿脉走向布置了北东向激电测深

剖面 4 条,剖面编号为:JD1、JD2、JD3 和 JD4,各剖面点距均为 10 m,JD1 剖面长 130 m,测深点 14 个;JD2 剖面长 130 m,测深点 14 个;JD3 剖面长 100 m,测深点 11 个;JD4 剖面长 100 m,测深点 11 个。具体剖面布设见图 2。

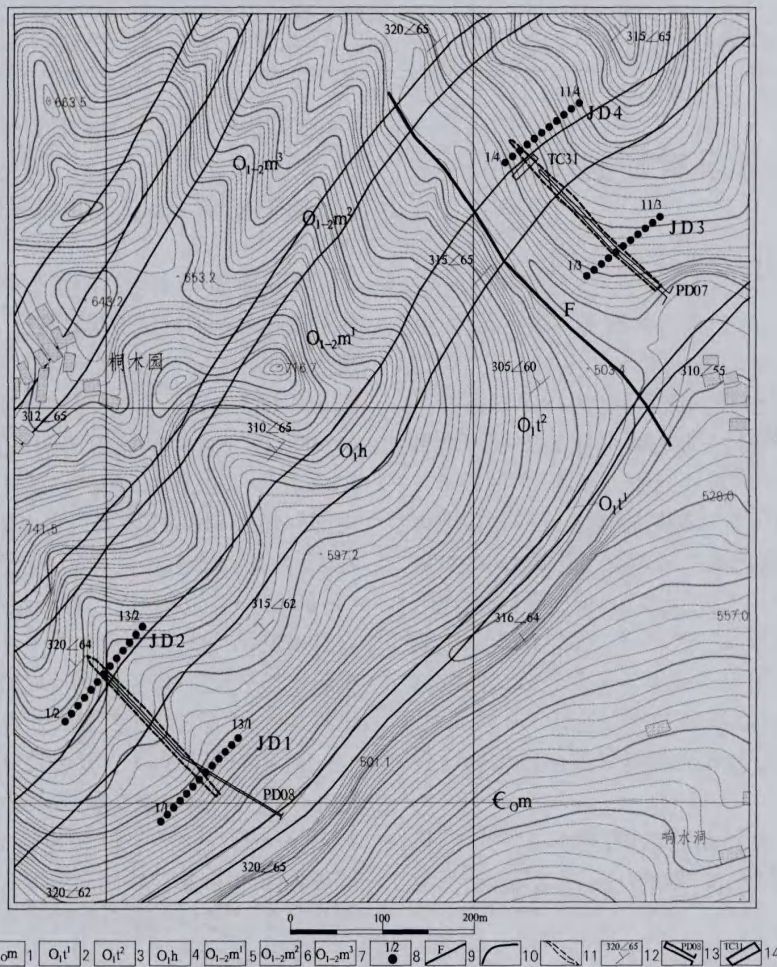


图 2 三极激电测深工作布置图

Fig. 2 Work arrangement of tripolar IP sounding

1—毛田组;2—桐梓组一段;3—桐梓组二段;4—红花园组;5—湄潭组一段;6—湄潭组二段;7—湄潭组三段;8—测深点位及编号;9—断层及编号;10—地层界线;11—推测萤石矿脉;12—地层产状;13—平洞及编号;14—探槽及编号

### 3.3 工作方法

本次激电工作采用湖南继善高科技公司生产的双频激电仪,该系统由一台发射机(SQ—3B)与一台接收机(SQ—3C)及相关配套设备组成。

工作仪器经现场频点测试,选用反映异常特征较好的 2 频点(4 Hz 与 4/13 Hz)野外作业。在野外采集数据前,先将供电电极 A 与测量电极

M、N 组合成三极测深方式顺测量剖面布设,供电电极 B(无穷远极)垂直于测量剖面直距 1.6 km 布置,再把四个测量电极的线头分别牵至测量基站处并连接好各接线柱,其中,供电电极 A、B 分别选用 4 根铜棒组合,测量电极 M、N 采用两个不极化电极罐。布设完成后,供电极距 AO 和对应测量极距 M、N 按表 2 中观测排列进行人工跑极,当剖面第一个测点观测完成后,将供电电极 A 和测量电极 MN 进行相应的移动,按照观测排列回

向跑极,即逐渐减小极距的方式进行剖面第二个点的测量,采用往返跑极的方式依次完成各点测量,也使工作效率得到了提高。观测时供电电压

最大为 360 V;最小供电电流为 180 mA,最大供电电流为 460 mA。

表 2 三极激电测深法观测排列表  
Table 2 The observation list of tripolar IP sounding

排列次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
AO(米)	5	10	20	30	40	50	60	80	100	120	140	160	200	240	280	320
MN/2(米)	0.5	1	2	2	3	4	4	6	7	8	10	11	14	16	19	21

## 4 数据处理及推断解释

### 4.1 数据处理及图件绘制

野外采集的数据自动存储于电法仪器内,收工回来后用传输线将数据导入电脑,首先利用 Excel 电子表格整理原始数据,进行装置系数 K 值复核及数据校对,并删除个别畸变点等处理,再根据各测深点不同极距 AO 长度的 75% (70%~80%) 计算出相应的视深度;各测点对应高程减去视深度得到观测点视电阻率(或视极化率)对应的视标高。由点位剖面长度值、视标高值、视电阻率值(或视极化率值)建立 (X, Y, Z) 形成三维成图数据文件,使用 Surfer8.0 软件对三维成图数据进行网格化编辑处理,网格间距选择 5 m×5 m,并利用剖面点位长度值及高程值制作白化线文件 (\*.bln)。

经上述处理后,将三维成图数据文件成图,再调入白化线文件处理,得到断面视电阻率(视极化率)异常图。

### 4.2 综合推断解释

区内萤石矿为热液充填矿物,矿体的形成与节理、裂隙等构造密切相关,根据实测的物性资料及以往工作经验,萤石矿化带在电阻率断面图上应表现为低阻异常带,呈条带状的低阻异常带往往指示了节理、裂隙构造发育带,其异常中心部位可视为构造密集发育位置;由于萤石矿常伴生硫化物矿物及围岩硅化蚀变等特征,矿体隐伏区在极化率断面图上应表现为相对高极化异常特征。

区内共布置和观测了 4 条激电剖面,异常特征反映较好,剖面均位于断裂 F 的西侧和东侧,沿断裂带两侧出露有零星分布的萤石矿小脉体。现结合 PD07、PD08、TC31 等地质工程及物性资

料,对其中的 JD2、JD4 剖面进行推测解释。

#### (1) JD2 线

图 3 为 JD2 剖面的视电阻率与视极化率断面异常图。

①从图 3(a)电阻率断面图中可以看出,电法异常表现为垂向分层的明显特征。该断面浅部表现为相对低阻异常区(深色部分),视电阻率值低于 200 Ω·m,较地表实测泥(页)岩电阻率低(<700 Ω·m),故推测为第四系浮土、涪潭组泥(页)岩所引起,在剖面西部页岩较厚、东部较薄;中部(450~610 m)表现为视电阻率相对高值异常区,最高为 1 100 Ω·m,较表层地层岩性高(>700 Ω·m),推测为红花园组生物灰岩引起,岩石表现相对破碎;深部(420~450 m)表现为视电阻率相对低值区,一般为 600 Ω·m,结合地质资料,推测为桐梓组上部粉砂质泥岩所致。

②沿剖面走向 50~70 m 处,标高 450~610 m 之间存在一个明显漏斗状低阻异常带,电阻率值为 60~450 Ω·m 变化,较地表实测涪潭组生物屑灰岩低,电阻率曲线同向向下弯曲,异常向深部延伸至标高 450 m 处,且有继续向下延伸趋势,记为 FT3 激电异常。

③从图 3(b)视极化率断面图中可以看出,沿剖面走向 70 m 处,标高高约 440~600 m 之间存在一个陡立长条状高极化率异常带,记为 Y4,异常长约 150 m,宽约 10 m,极化率值最高达 2%。推测为红花园组含硫化矿物所引起。

④据收集的 PD08 地质编录资料,在标高为 516 m 处,沿进深 180~265 m 处见含重晶石萤石矿体<sup>[4]</sup>。PD08 见矿位置位于物探剖面 6~8 号点、标高 516 m 处。

故 FT3 激电异常,推测为含矿构造组成的破碎带或充填硫化矿物节理带等引起,也不排除由萤石矿脉体异常引起。

#### (2) JD4 线

图 4 为 JD4 剖面为视电阻率与视极化率断面异常图。

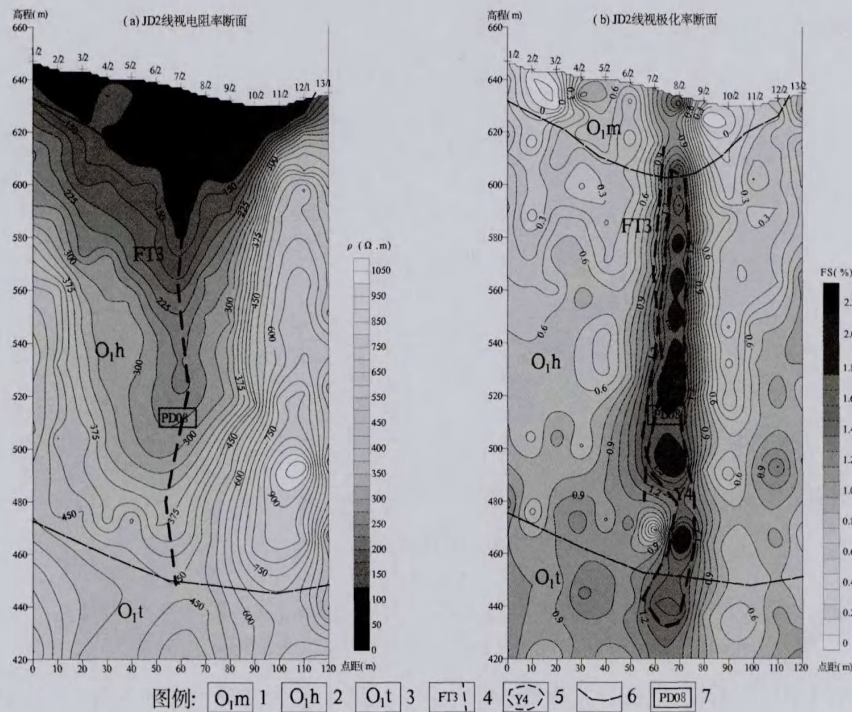


图 3 JD2 线电阻率与极化率对比解释图

Fig. 3 Comparison explanation of JD2 resistivity and polarizability

1—湄潭组;2—红花园组;3—桐梓组;4—推测节理及编号;5—极化率异常及编号;6—推测地层界线;6—平洞及编号

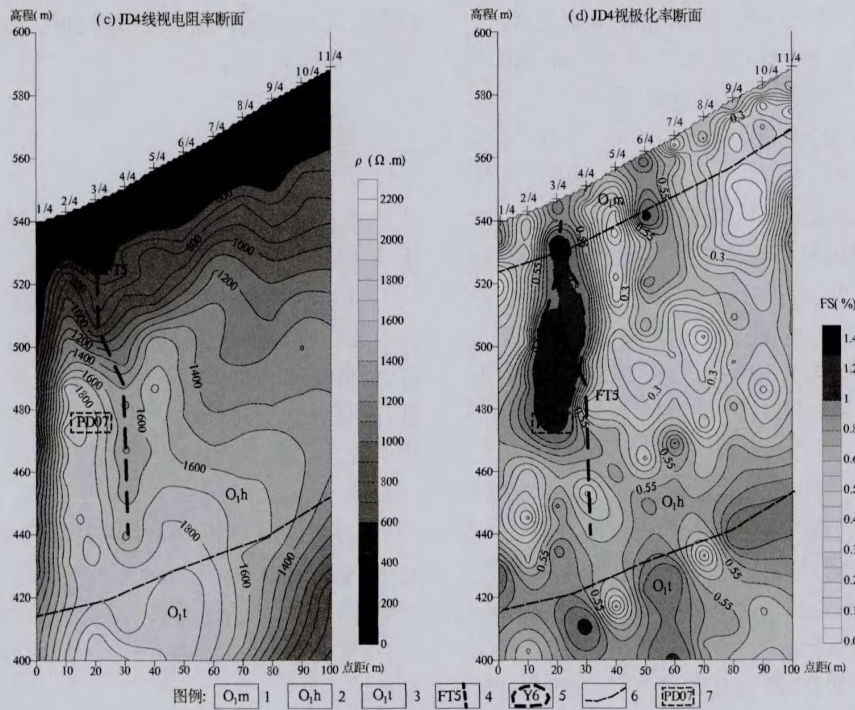


图 4 JD4 线电阻率与极化率对比解释图

Fig. 4 Comparison explanation of JD4 resistivity and polarizability

1—湄潭组;2—红花园组;3—桐梓组;4—推测节理及编号;5—极化率异常及编号;6—推测地层界线;7—平洞及编号

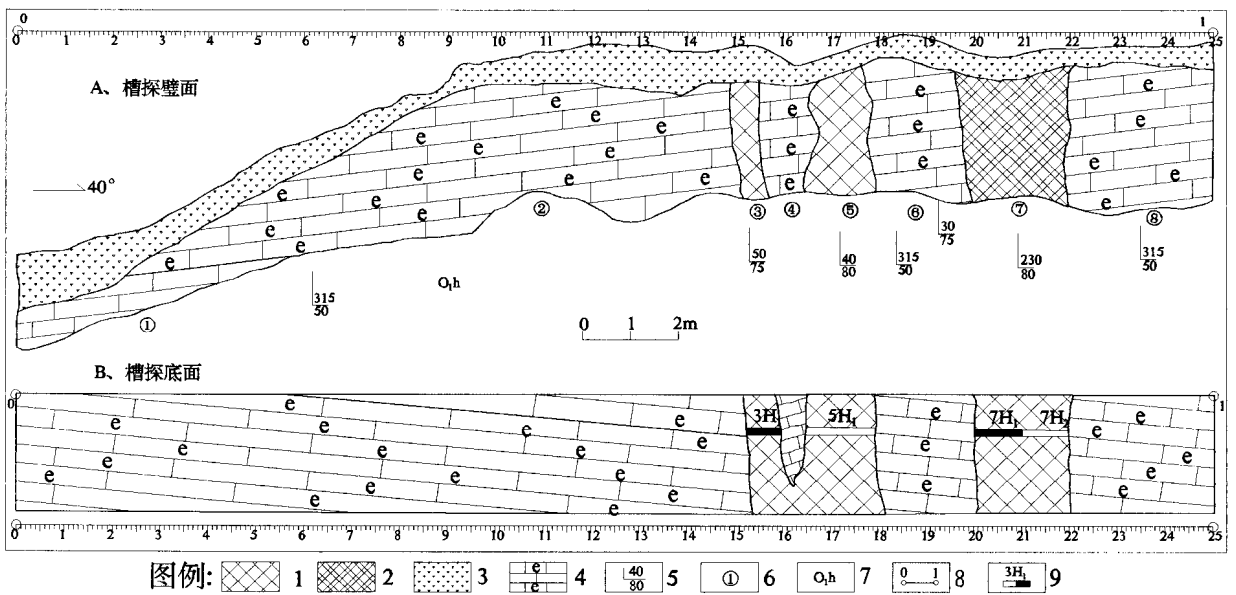


图5 TC31素描图

Fig. 5 Diagram of TC31

1—含重晶石萤石矿脉;2—含萤石重晶石矿脉;3—浮土;4—生物屑灰岩;5—产状;6—分层编号;  
7—红花园组;8—素描导线及编号;9—样品位置及编号

①从图4(c)中可以看出,电法异常表现为垂向分层的明显特征。该断面浅部表现为相对低阻异常区(深色部分),视电阻率值低于 $600\ \Omega\cdot m$ ,较地表实测泥(页)岩电阻率低( $<700\ \Omega\cdot m$ ),推测为第四系浮土、湄潭组泥(页)岩所引起;中部(415~525 m)表现为视电阻率相对高值异常区,一般为 $700\sim 1\ 900\ \Omega\cdot m$ ,较上覆地层视电阻率( $<700\ \Omega\cdot m$ )高,结合地质资料,推测该区为红花园组灰岩引起;深部(400~430 m),视电阻率值相对较低,一般为 $600\ \Omega\cdot m$ ,综合地质资料分析,推测为桐梓组上部粉砂质泥岩所致。

②根据视电阻率断面曲线特征,沿剖面走向约20~30 m处,海拔标高440~520 m间,存在一个向东北微倾的漏斗状低阻异常带,异常视电阻率值在 $400\sim 1\ 600\ \Omega\cdot m$ 变化,较实测生物灰岩视电阻率( $<1\ 745\ \Omega\cdot m$ )低,记为FT5激电异常。

③从图4(d)视极化率断面中可以看出,在剖面3号点附近,标高为470~530 m明显存在一个闭合的高极化异常,记为Y6,异常宽约15 m左右,其视极化率值最高达1.2%,推测为红花园组含硫化矿物所引起。

④据收集的PD07地质编录资料,在标高474 m处,沿平硐进深0~170 m一带均见含重晶石萤石矿<sup>[4]</sup>,延伸投影于JD4剖面2~4号点、标高约474 m处见矿。

⑤图5为TC31编录资料,位于JD4剖面南东侧约10 m处,沿探槽走向15.3~18 m、20~22 m测段见含重晶石萤石矿<sup>[4]</sup>,见矿地段对应于JD4剖面2~4号点附近。

故FT5激电异常,推测为含矿构造组成的破碎带或充填硫化矿物节理带等引起,也不排除由萤石矿脉体异常引起。

## 5 结论

基于完成的三极激电测深成果,结合区内地质及地质工程等资料,取得如下认识。

(1)利用视电阻率参数,清晰圈测出含矿构造组成的破碎带或节理、裂隙等低阻异常构造带;视极化率参数,较好圈定了极化率异常蚀变带;激电异常垂向分层特征明显,取得了一定的地质效果。激电勘查成果得到了地质工程的有效验证。

(2)工作中得出,当测线点距选择为10 m、供电AO极距最大为320 m时,可以满足勘探深度,且异常具有较好特征反映。对埋深较浅的萤石矿体,当厚度不大(一般为1~2 m)时,异常能清晰显示。

(3)三极激电测深装置,具有轻便、高效、灵活等优点,可将无穷远极沿山路布设,提高工作效率,适合复杂地形的山区作业。(下转第58页)

- [6] 虎维岳,田干. 我国煤矿水害类型及其防治对策[J]. 煤炭科学技术,2010. 1.
- [7] 王磊. 贵州矿井水害防治现状分析及防治措施[J]. 科协论坛,2010,10.
- [8] 胡宏清. 喀斯特煤矿山矿井突水预测及水害防治研究—以贵州黔西新红林煤矿为例[D]. 贵州大学,2007. 6.
- [9] 王学杰. 马路坪矿段深部开采涌水量预测及防治研究[D]. 中南大学,2004. 6.

## Discussion about Mine Roof Water-conducting Crack Zone Height Estimation in the Karst Mountain Area

——with Qinglong Coal Mine in Qianxi as an Example

CHEN Ping

(Guizhou Bureau of Geology and Mineral Exploration & Development, Guiyang 550004, Guizhou, China)

**[Abstract]** The hydrogeological condition is complex in the karst mountain area of Guizhou, the mine roof water-conducting crack zone height estimated by conventional formula is usually smaller than the actual height, if the source of roof water is ensured by the conventional formula, the mine water prevention design may has mistake. In this paper, Qinglong coal mine is taken as the example, the hydrogeological condition, the height difference of estimation in exploration stage and exploitation stage are narrated, the reasons which cause the difference are analysed, then the revised suggestions are given for mine roof water-conducting crack zone height calculation.

**[Key words]** Mine roof; Water-conducting crack zone; Karst mountain area

(上接第 52 页)

(4) 建议今后对相同地质条件对萤石矿的勘查, 选择测线点距 10 m、供电 AO 极距不超过 320 m 的工作装置较为适宜, 个别地段视具体情况可适当加密测线点距进行勘查, 可以取得较好的地质勘查效果。

### [参考文献]

- [1] 牛云飞. 贵州望谟萤石资源保护与利用评述[J]. 矿产保护与利用, 2009(6): 20-23.
- [2] 沈阳, 吴双红, 等. 三极电测深法在黄土洞穴探测中应用[J]. 工程地球物理学报, 2013, 10(2): 186-189.
- [3] 柳建新, 龚露, 等. 三极激电测深法在新疆戈壁滩找水中的应用[J]. 工程地球物理学报, 2013, 10(6): 745-751.
- [4] 贵州省地质调查院. 贵州省务川-沿河萤石矿(铅锌)找矿战略选区项目成果报告[R]. 2014.
- [5] 贵州省地质调查院. 贵州省务川-沿河萤石矿(铅锌)找矿战略选区物探成果报告[R]. 2014.
- [6] 唐世庚, 薛颖. 大功率激电(IP)三极测深在铜矿勘查中的应用[J]. 华北国土资源, 2009(4): 55-57.
- [7] 何继善. 双频激电法[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006.

## Application of Tripolar IP Sounding in Fluorite Mine Exploration in Shuitian of Yanhe, Guizhou

MENG Ying-hua, ZHANG Ting-ting, ZHANG Xi-jun

(Guizhou Academy of Geologic Survey, Guiyang 550005, Guizhou, China)

**[Abstract]** The fluorite deposit in this area is low-temperature hydrothermal type, the orebody is mainly found in fault and joint fracture zone. By tripolar IP sounding, the IP section is tested in the mining area, the IP anomaly is found in the fluorite concealed distributing area and shows obvious abnormal features of low resistance and high polarization. According to the geologic features, orebody features and relative information of the mining area, it's thought the effect of IP anomaly is well, it shows this way has some actual effect for low temperature hydrothermal fluorite exploration.

**[Key words]** Tripolar IP sounding; Low temperature hydrothermal type; Fluorite; Yanhe Guizhou