

小回线瞬变电磁法在青海某些特殊地理景观区的应用

张文权¹, 栾安辉², 李富学¹, 霍成胜¹

(1. 青海省地质调查院, 青海 西宁 810012; 2. 青海煤炭地质勘查院, 青海 西宁 810012)

摘要: 小回线瞬变电磁法具有装置轻便、工作场地不受限制、效率高等优点。通过应用实例, 介绍了该方法在高原冻土、碎石堆积坡等特殊地理景观区的应用, 说明了这种方法的有效性。

关键词: 小回线瞬变电磁法; 特殊地理景观区; 冻土

中图分类号: P631

文献标识码: A

文章编号: 1000-8918(2008)02-0163-05

青海省地处青藏高原北部, 属典型的内陆高寒山区气候, 受冰川消融、雪线上升以及寒冻的影响, 裸露着许多特殊的地理景观, 如高原冻土、碎石堆积坡等。在这些地区开展物探工作时因为工区环境和接地条件的限制, 常规直流电法无法取得满意的效果。而小回线瞬变电磁法一般采用不接地的 $5\text{ m} \times 5\text{ m}$ 短边长发射线框, 具有装置轻便、采样快捷、基本不受场地限制等优点, 装置为中心回线, 有效地减轻了工作强度, 扩展了方法的应用范围, 为某些常规直流电法难以开展工作的地区提供了有力的技术方法和高效的勘探手段, 使我们有可能在原先不具备常规直流电法工作的地区开展物探工作, 为地质工程的下一步布设提供可靠的物性依据。

1 大场金矿普查区

1.1 工区地质概况

青海大场金矿普查区海拔 $4\ 500 \sim 4\ 700\text{ m}$, 气候寒冷, 年温差和日温差大, 多风少雨, 蒸发量大, 属典型的内陆高寒山区气候。年平均气温 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下, 霜冻期长, 冻土发育 (1.5 m 以下属永冻层)。在这个工区曾先后采用直流激电中梯和联合剖面法工作, 均未取得预期的勘探效果。后来试用小回线瞬变电磁法, 发现了矿致异常, 解决了地质问题, 取得了较好的勘探效果。

普查区位于甘德—玛多断裂带南侧三叠系巴颜喀拉山群板岩夹砂岩组地层中, 岩石组合为粉砂质板岩、泥钙质板岩、千枚状板岩夹变长石石英砂岩、变粉砂岩、千枚岩等。地层严格受构造控制, 呈条带状分布, 断裂、褶皱发育, 岩性单一, 横向上变

化不大, 属类复理石碎屑岩建造, 是区内主要的含矿地层。含矿岩石主要为绢云母千枚岩、变钙泥质粉砂岩、泥质微晶白云岩。矿体严格受北西、近东西向破碎蚀变带控制, 还受印支期褶皱构造的控制, 随褶皱变形而变形。空间上, 控矿破碎蚀变带与主断裂平行展布, 系主断裂衍生的次级断裂。第四系地层广泛分布于调查区山间宽谷平原地区, 地形开阔平坦, 地貌上组成规模较大的洪积扇及洪冲积裙, 上部为灰黄色亚砂土, 松散状, 厚 $0.5 \sim 1.0\text{ m}$, 下部为砂砾石层, 砾石成分因地而异, 从山区到河谷砾径逐渐变小, 含砂量增高, 厚度变大。

1.2 矿区冻土情况

矿区地处高寒地带, 年平均温度为负温, 冻土在矿区内普遍分布。每年12月至翌年3~4月, 地表以下全属冻土层, 翌年4~12月出现 $2 \sim 3\text{ m}$ 消融层。根据矿区浅井资料和相关高海拔地区冻土观测资料, 矿区永冻层深度在 $50 \sim 100\text{ m}$ 之间。冻土广泛分布于测区河床、残坡积层和区域地层中, 类型复杂, 以长年冻土为主, 其上冻胀、融沉现象发育^①。因测区冷冻期长, 故在温季融区易形成与长年冻土类似的不良工程现象, 给常规直流电法的供电和测量造成困难。

1.3 矿区岩矿石电性特征

板岩的平均电阻率小于 $370\text{ }\Omega \cdot \text{m}$, 在 $78 \sim 775\text{ }\Omega \cdot \text{m}$ 之间变化, 极化率平均小于 1.2% , 在 $0.56\% \sim 1.49\%$ 之间; 砂岩平均电阻率为 $97\text{ }\Omega \cdot \text{m}$, 在 $26 \sim 376\text{ }\Omega \cdot \text{m}$ 之间变化, 极化率值平均在 $0.18\% \sim 3.76\%$ 之间。总的反映出砂板岩低电阻率, 中、低极化率特征。构造角砾岩平均电阻率为 $300\text{ }\Omega \cdot \text{m}$, 在

① 高永旺, 王福德. 青海省曲玛莱县大场矿区勘查报告. 2005.

收稿日期: 2007-02-02

220 ~ 405 $\Omega \cdot m$ 之间变化,极化率平均 2.05%,在 1.69% ~ 2.65% 之间变化,呈中低电阻率、略高极化率特征。金矿石平均电阻率小于 100 $\Omega \cdot m$,极化率 1.6% ~ 16.87%,表明金矿体具低阻高极化率特征,反映出矿体与围岩明显的电性差异和矿区具有低阻覆盖和低阻围岩的物性特征。

1.4 工作方法和技术

本次工作使用的仪器是由西安物化探研究所生产的 EM(R) S-2 型工程勘探仪,采用中心回线装置,发射线圈 5 m × 5 m。这种仪器利用脉冲压缩技术,瞬时放电最高能达到 900 A,整套仪器由笔记本电脑、主机、探头、45 V 可充电电池箱及发射线圈等组成。因为野外没有工业电流的干扰,工作时发送电流调至 500 A,每个点叠加 4 次采样,采样时间窗为 0.08 ~ 19.4 ms,采样道数 22 道。数据采集和绘制多道剖面图用厂家提供的软件。

1.5 试验成果

为试验小回线瞬变电磁法在此类工区的勘探效果,在穿过相邻 40 m 的 2 个钻孔——见矿的 ZK13501 和未见矿的 ZK13502 的 135 号剖面上,做了 1 条试验性的勘探剖面(图 1)。

从结果(图 1a)可以看出,虽然异常曲线幅值比较低,但是在第 16 ~ 24 号测点之间晚时道曲线,从第 10 道开始出现明显的不对称双峰异常(相对于极小值点,其前后出现极大值的似“V”形的曲线形

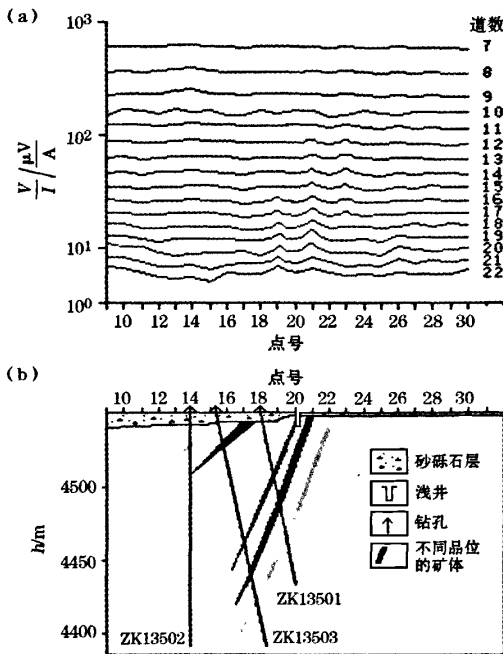


图 1 135 线瞬变电磁法勘探结果(a)及钻孔位置(b)

态)。根据曲线形态具有明显双峰的特点,推断在该处存在一低阻板状异常体,倾向在图 1a 上左倾,并且由异常峰值个数大致可以判断该异常基本上由二层板状体组合叠加而成。此异常解释结果经与实际钻孔资料(图 1bZK13501)对比是吻合的。而为控制矿体倾向长度所布置的 ZK13502 未能打到矿体。在图 1a 中,ZK13502 位于 14 号测点处,该位置除了 8、9、10 三时道曲线略有异常显示外,其余各时道均未出现明显的曲线异常,而且晚时道的曲线幅值逐渐降低,由背景逐渐呈现出高阻特征;同时,ZK13502 的测井资料中也仅在该钻孔中部 57 m 处有弱的低电阻率异常反应,所以,可以断定 ZK13501 见到的矿体沿其倾向并未延伸至 ZK13502 处,而是在第 16 号测点附近尖灭。

翌年,为控制矿体倾向长度、计算矿体规模,在 15 号测点附近布置了 ZK13503 斜孔,钻探结果证实了矿体尖灭于 16 号测点,从而验证了瞬变电磁异常的反应是真实和可靠的。

1.6 数据反演处理

反演采用 2WTM 电法数据处理与软件研究所出品的瞬变电磁数据处理系统,结果如图 2 所示。根据瞬变电磁测深点建立的模型可以确定出明显的 3 条矿体和浅地表的低阻层。

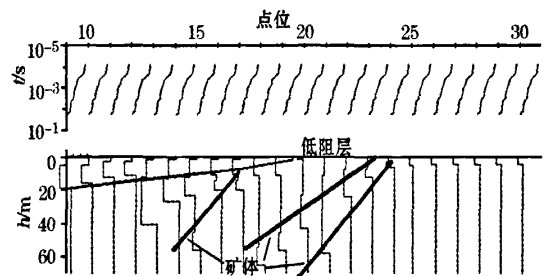


图 2 135 线瞬变电磁测深反演解释结果

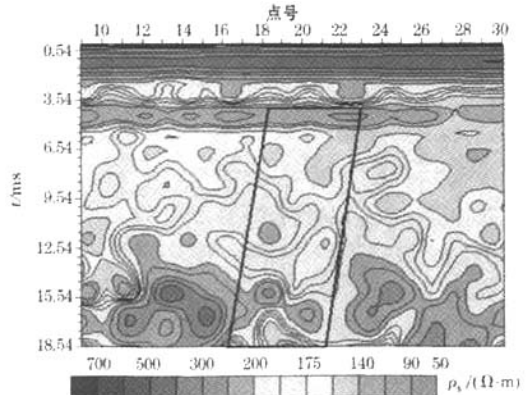


图 3 135 线视电阻率拟断面

在视电阻率拟断面图上(图3),更能明显地反映出地电断面的横向和纵向变化,视电阻率等值线直观地反映了地表第四系松散状亚砂土与砂砾石层的起伏形态及深部高阻层的隆起。图中黑线大致圈出了矿体的赋存位置。

由此可见,虽然低阻围岩、低阻覆盖层及冻层和温季地表消融层的影响,使瞬变电磁异常曲线幅值降低,造成判图 and 解释的困难,但从最终得到的工作结果来看,效果还是很好的。晚期曲线异常较明显,与已知矿体赋存位置较吻合,对应性较好,能清晰地表明矿体的产出部位及地下异常体的规模、电性强度、倾向等特征。

在完成工作后,由第5时道数据绘制的平面等值线图套合到土壤异常平面等值线图上,2个高值异常带位置相吻合。在随后开展的工作中,经地质槽探工程验证,在瞬变电磁异常明显的部位基本上都发现了含矿蚀变破碎带的存在。

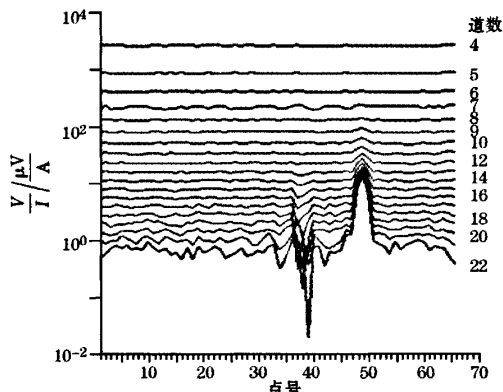


图4 瞬变电磁勘探的异常情况

从以上工作成果可以知道,小回线瞬变电磁方法的横向分辨率较高,是该地区开展物探工作的一种有效手段。但是在工作过程中个别测点上会出现如图4所示的瞬变电磁负异常和瞬变电磁极大值正异常的情况。图中第39号测点处出现的瞬变电磁负异常的特点是:时间特性曲线在晚期突然变向,曲线与横轴出现交叉,二次场值变为负值。随后在此工区经过实地地质勘查,负异常的位置基本上与含水断层的位置相对应。图中第48号测点处的瞬变电磁极大值正异常一般出现在地表泥泞的地方,时间特性曲线早期正常衰减,一进入晚期,响应曲线变得大致与横轴平行,响应值高,衰减慢,在多道剖面上表现为晚时道曲线急剧升高,形成一个高值“空洞”。当在测点附近适当挪动探测位置,有时能消除这种影响,但是在水坑边或是跨越水沟时却不出现这种情况。因此,出现这种情况的原因还有待于

进一步的研究。

2 索拉沟银矿区碎石流矿

青海省索拉沟银矿位于鄂拉山造山带中部,平均海拔4 500 m。该带由西秦岭与东昆仑造山带侧向碰撞作用形成,是西秦岭向柴达木地块下侧向俯冲碰撞的较典型产物,为青海省重要的铜多金属成矿带。区域上以北北西向温泉断裂为界,断裂以西为中酸性、酸性侵入岩广泛分布的鄂拉山岩浆岩带,以东则为河卡山前陆逆冲断裂带,发育三叠系火山岩和含火山岩的复理石建造,并有火山机构存在。矿区山高坡陡,碎石流坡发育,探槽中见有冰块存在。在该地区开展的几种直流激电方法均未取得好的成效。

2.1 矿区地质特征

矿区内主要出露三叠系中统及第四系地层。三叠系中统地层是矿区的主要含矿层,产状变化较大,总体呈“S”形展布,矿床正处于“S”型的拱背部位。矿体赋存地层显示向东倾伏的鼻状背形形态,背形规模不大,涉及的地层有限,但对成矿显示一定的控制作用。矿区见近南北向断裂,发育于索拉沟上游,是区域温泉断裂的一部分。断裂大部分被第四系或石块地覆盖,具多期次活动和右行走滑的特点,是区内银及多金属成矿的主要控矿和导矿构造。整个矿区内北北东、北东向断裂比较发育,为近南北向断裂的次级断裂,呈雁行、羽状或弧状组合分布在主断裂的东侧,是区内主要的含矿断裂。

矿化带由多条张扭性断裂组成,呈尖灭再现形式分布,成带性不明显;矿化蚀变主要有硅化、泥化、黄铁矿化及碳酸盐化。矿体主要产于蚀变破碎带中,含矿岩石为蚀变砂岩、不纯硅质岩等。矿体走向为北东—南西向,倾向南东,银最高品位为2 240 g/t,最低品位为39.2 g/t,平均品位为364.18 g/t。矿石矿物主要有黄铁矿、褐铁矿、毒砂,脉石矿物以石英、方解石为主^①。

2.2 矿区地球物理特征

对10种物性标本共263块岩(矿)石标本进行了物性测定。从所测标本的物性统计结果(表1)可以看出,本地区岩石的电阻率只在一个级次内变化,含银矿石电阻率与硅质岩的电阻率相差较大,而与斑状花岗岩的电阻率差别较小;极化率(η)除含石英脉铅锌矿(11.1%)、板岩(1.23%)、火山角砾岩(1.1%)较高外,其余岩(矿)石的极化率均不大于

① 赵双喜,等. 青海省兴海县索拉沟银矿区勘查报告. 2003.

表 1 标本物性参数测定

岩石名称	最大值		最小值		平均值	
	$\rho/(\Omega \cdot \text{m})$	$\eta/\%$	$\rho/(\Omega \cdot \text{m})$	$\eta/\%$	$\rho/(\Omega \cdot \text{m})$	$\eta/\%$
板岩	2500	5.06	402.5	0.12	1509.5	1.23
晶屑凝灰岩	2482.9	1.86	248.0	0.18	1158.2	0.89
火山角砾岩	3852.8	5.52	206.9	0.16	706.9	1.1
含石英脉铅锌矿	4771.7	43.06	44.6	2.43	1415.6	11.1
硅质岩	2345.9	1.14	544.5	0.1	1882.1	0.23
花岗闪长岩	3108	0.78	55	0.12	859.3	0.27
银矿石	1275	3.64	136.9	0.2	528.9	0.82
细砂岩	2719.4	0.47	135.4	0.1	821.5	0.19
斑状花岗岩	2571	0.82	27.7	0.12	701.4	0.31
条带状粉砂质泥岩	2322.3	0.94	7.9	0.11	845.8	0.36

1%,含银矿石与围岩的极化率基本上没有差别;整个矿区地层呈现为低阻低极化的特点,但差异不大。总体上含矿破碎带呈现出低阻的特点,具备开展瞬变电磁工作的前提条件。

2.3 瞬变电磁方法的应用效果

为了了解该方法在此工区的有效性及其效果,选择 124 号勘探线做了 1 条试验性的剖面(图 5)。

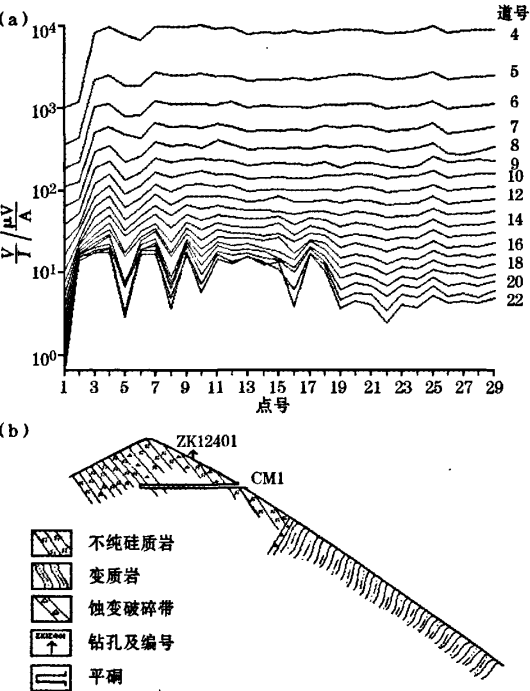


图 5 124 线勘探结果(a)及地质剖面(b)

从瞬变电磁多道剖面图(图 5a)上可以看出,在 5 号测点两侧瞬变电磁曲线各呈现出 1 个明显不对称的高幅值异常,形态清晰、规则。曲线上的 2 个极大值分别位于 4 号和 7 号测点,7 号测点处的峰值较大为主峰值,4 号测点处的峰值较小为次峰值,整个异常幅值较高。尤其是随着延时的增加,曲线在

4、7 号测点处的极大值与 5 号测点处的极小值间的幅差也越来越大。在第 22 道曲线上,极大值高出背景值近 5 倍,这种曲线特征表明在地层较深处存在 1 个导电性较强规模较大的板状地质体,并且,在 8 号、10 号和 16 号测点处也有较强的类似于这种曲线形态的异常出现。因此,根据倾斜板状体正演模型,结合这条剖面曲线的异常形态特征可以判定 5 号测点处的瞬变电磁异常是由倾斜薄板状地质体引起。推断其特征为:倾斜板状地质体上顶点的地表投影点位于 5 号测点附近;板体倾向在图 5a 中向右倾斜(测线方位南东向,所以板体倾向南东);根据倾角 α 与主、次峰比值 α_1/α_2 的关系式: $\alpha = 90^\circ - 22^\circ \cdot \ln(\alpha_1/\alpha_2)$ 得到的倾角为 75° 。此外,由图 5a 还可看出该处异常的极小值随着延时的增加,位置由 6 号测点的第 4~7 时道逐渐转移到了 5 号测点,说明该异常是由上下 2 层南东倾向的板状地质体叠加组成的,上层板状体顶点应该位于 6 号测点附近,埋深较浅,向下延伸不长,规模小;下层板状体顶点位于 5 号测点处,埋深较大,向下延伸长,含硫化物较多。该处异常的幅值大于 8 号、10 号和 16 号等 3 个测点处的异常幅值,是这条剖面的主异常。

从图 5b 可以看出,瞬变电磁多道剖面图上各曲线异常显示的位置与地质剖面图上的破碎带位置相吻合。后来在矿体地下 40 m 中段处施工的 CM1 号平洞工程,在预计部位见到破碎蚀变带宽 11.9 m,分为 2 层矿体,Ag 平均品位 148 g/t。ZK12401 施工深度为 125.5 m,在预计部位也见到了破碎蚀变带。

从此实例可以看出,虽然工区山高坡陡比高大,施工地段碎石流发育,工作难度大,对常规直流电法开展工作造成困难,但是小回线瞬变电磁法采用短边长的不接地回线发送电流,利用中心探头采集数据,碎石流地段对供电和测量不会造成影响,所以勘探效果较为明显。因此,在这类工区开展物探工作小回线瞬变电磁法是一种较好的选择。

3 结语

随着电子元器件技术及先进设备的飞速发展,瞬变电磁法在地质矿产勘查的许多方面得到了很大范围的推广应用,由于它独特的原理和工作方法,尤

其是小回线瞬变电磁仪器的出现,使我们在某些原先无法开展常规物探电法的特殊地理景观区得以采用物探方法进行勘探工作,为地质工作困难地区的勘查增加了一种新的、有效的技术方法和手段。

THE APPLICATION OF THE SMALL CIRCLE LINE TRANSIENT ELECTROMAGNETIC METHOD TO SOME SPECIAL GEOGRAPHIC LANDSCAPE AREAS IN QINGHAI

ZHANG Wen-quan¹, LUAN An-hui², LI Fu-xue¹, HUO Cheng-sheng¹

(1. Qinghai Geological Survey, Xining 810012, China; 2. Qinghai Academy of Geological Exploration for Coal Resources, Xining 810012, China)

Abstract: The small circle line transient electromagnetic method has such advantages as easy and convenient installation, unlimited working space and high efficiency. This paper deals with the application of this method to some special landscape areas like the plateau frozen earth area and the crushed stone accumulation slope area and describes the effectiveness of this method.

Key words: small circle line transient electromagnetic method; special geographic landscape area; frozen earth bed

作者简介: 张文权(1968 -),男,1993年毕业于西安地质学院应用地球物理系,物探工程师。

上接 162 页

THE ELECTRIC IDENTIFICATION TECHNIQUE FOR COAL-MEASURE STRATA AND ITS APPLICATION TO THE COMPLEX GEOLOGICAL BODY: A CASE STUDY OF PERMO-CARBONIFEROUS COAL-MEASURE STRATA IN HEFEI BASIN

WANG Ya-lin^{1,2}, ZOU Wen-yong², PEI Lei²

(1. Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China; 2. Geological Scientific Research Institute of Shengli Oil Field Co. Ltd, Dongying 257000, China)

Abstract: Electric survey has yielded good results in complex belts, deep formations and large-sized structures. Upper Paleozoic coal measure strata in Hefei basin present imbricate reflections on seismic sections, composing the basement of Mesozoic basin. Nevertheless, the reflections are obscure in some areas, and hence it is difficult to trace and describe the spatial distribution with the help of seismic data. New electric techniques such as seismic fitting processing, geological horizon imaging and 3D imaging processing are described briefly in this paper, and it is shown that, with these techniques, Permo - Carboniferous electric horizons can be extracted quite satisfactorily in Hefei basin. Coal measure strata were traced on seismic sections, and the distribution of Permo-Carboniferous strata was roughly determined, which makes up the foundation for further basin research.

Key words: electric survey; complex geological body; coal measure strata; electric identification

作者简介: 王亚琳(1968 -),女,北京大兴人,中国科学院广州地化所在读博士,高级工程师,主要从事油气勘探的科研生产工作。