

技术 方法

被动源高频大地电磁系统的应用

罗洪发

(辽宁省核工业地质局, 沈阳 110032)

[摘 要]扼要介绍了高频大地电磁测量的方法原理和场源机制。阐述了方法的适用范围及不同探查对象条件下,野外数据采集的一般要求。结合具体实例探讨了本方法在找矿、找水及查找各类地质灾害隐患方面的应用尝试。

[关键词]被动源高频电磁法 找矿 找水 隐患探查

[中图分类号]P631.3 [文献标识码]A [文章编号]0495-5331(2002)06-0051-04

1 方法原理简介

以卡尼亚大地电磁理论为依据,该理论的基本模型是:假设场源位于高空,地下介质在水平方向是均匀的,定义波在地下介质中传播时振幅衰减到地面振幅的 $1/e$ 的深度为趋肤深度或穿透深度。因此,用不同频率的阻抗计算视电阻率便可达到探测深度的目的^[1]。趋肤深度的数学表达式为:

$$D = \{2/(\omega\mu\sigma)\}^{1/2} \quad (1)$$

D —趋肤深度(m); ω —圆频率($\omega = 2\pi f$); σ —电导率($\sigma = 1/\rho_a$); μ —真空导磁率($\mu = 4\pi \times 10^{-7}$); f —频率(Hz)。

工程上常用的趋肤深度 D 的近似表达式为:

$$D = 503(\rho_a/f)^{1/2} \quad (2)$$

由(2)式得知,趋肤深度主要受地下介质的电阻率和电磁波的频率影响,其影响程度在理论上介质电阻率和趋肤深度的平方成正比;电磁波的频率和趋肤深度的平方成反比。在非均匀介质条件下,以实测阻抗计算出的量称为卡尼亚视电阻率。它的数学表达式为:

$$\rho_a = Z^2/(\omega\mu) \quad (3)$$

ρ_a —卡尼尔电阻率($\Omega \cdot m$); Z —波阻抗($Z = E_x/H_y$); E_x — x 方向上的电场强度(mV/km); H_y — y 方向上的磁场强度(nT)。

代入以上参数,卡尼尔视电阻率又可写为:

$$\rho_a = 0.2 T(E_x/H_y)^2 \quad (4)$$

由(4)式可见,卡尼亚视电阻率是频率的函数,是在给定频率下,电磁场影响范围内介质性质的综

合反映。显然,根据趋肤深度概念,频率较高时,卡尼亚视电阻率反映较浅的介质、频率越低则反映介质的深度越大。

因为天然电磁场的高频成分主要起源于大气层中的雷暴放电机和人文因素,可等效为任意时刻在地表任意方向存在着无穷多个场源^[2]。实行同步扫频采样的目的是根据信号间的相位关系锁定信号频率使之更加服从理论模型的要求。

有色金属矿产资源,大多以金属硫化物为主,除个别矿种呈高阻外,大部分在电性上呈低阻特征。而水、工、环类地质应用所要解决的待测目标物,通常具有岩石电性的两个极端特征,如空溶洞和充水溶洞、无水采空区和充水采空区、断层导水(充填)与否。就导电性能而言,要么是低阻体,要么是高阻体。且高阻往往趋于无穷大,低阻小到很小。与围岩相比,电性差异显著,构成了实施本方法的客观物性条件。

2 仪器设备

野外观测由自行研制的 GL-68EH 型大地层析电磁仪完成。该系统是针对各类应用地质工程而开发设计的,除用于地质找矿外,还可用来探查隐伏岩溶水、采空区及积水现状、地下火区、地下水界面、断层定位、地热井定位、古河道追索、江河堤坝隐患、古滑动面圈定等。仪器采用了以相敏技术为核心的同步扫频采样模式,可以根据场源背景信号间的相位关系,自动进行频率锁定和跟踪采集卡尼亚电磁模型中的 E_x 、 E_y 、 H_x 、 H_y 等参数。采样带宽为

[收稿日期]2001-11-20;[修订日期]2002-05-01;[责任编辑]余大良。

[作者简介]罗洪发(1955年-),男,1979年毕业于华东地质学院,高级工程师,现主要从事方法研究工作。

16~16384 Hz,分 11 个频点由时钟控制。对工频及 3 次谐波具有不低于 60dB 的陷波能力,并能有效的区分和剔除近源人文干扰。由于工作频率足够高,曲线首支缺失段很小,足以适应通常的地质工程要求。本方法具有很高的经济适用性,每台仪器配合 1~2 人即可独立工作。一次充电可连续工作 6~8 h,1 个台班可完成电磁测深点 20~25 个。一般的金属矿点评价及水源井定位工程,1~2 d 即可完成。

3 应用实例

以写实的方式从找矿、找水及查找地质灾害隐患 3 个方面介绍本方法的应用效果。

3.1 找矿应用

从区域地质研究中的大地构造划分,到地质找矿中的异常评价,本方法可应用于各类地质工程的不同阶段,还可为各类民采矿点提供采掘参考。先后应用过的矿种有:金、银、钼、铜、铅、锌、铁、镍、锡、钨等,文中仅介绍典型实例,不再按矿种逐一列举。

3.1.1 辽宁宽甸兴华沟铅锌矿

这是辽河群变质岩系中的一处民采矿点。围岩是混合花岗岩,由东西向构造形成蚀变带,有绢云母化、硅化蚀变岩,富含黄铁矿。闪锌矿化发育在蚀变岩的上、下两盘附近,矿化带宽 10~20 m、倾向南、倾角大于 60°。本方法实施前,矿主参照地表铁帽在构造底盘沿脉方向施工了 70 余米巷道,未见矿。本方法实施了 12 个测深点,按不同垂深做出 ρ_a 电性切面图(图 1)。发现两处具有一定延长和延伸且走向相同的高阻异常,同时发现原巷道方向存在较大偏离。在图 1 的指导下,对原巷道方向进行了调整,按指定方向仅掘进 9 m 就揭露到一处厚度为 1 m 的高品位闪锌矿体,将其穿过后掘进 4 m,又揭露到另一处厚度近 1 m 的闪锌矿体。两处高阻异常均为闪锌矿体引起,平均品位为 20%~22%,目前仍在开采。

3.1.2 新疆索尔库里铜矿

这是一项为考核方法和装备而专门进行的一次方法试验。试验区位于甘肃、青海、新疆三省交界处的阿尔金山峡谷。试验对象为隐伏铜矿体,结果见图 2。异常部位剥土后可见到大片铜蓝(局部夹带原生矿),目估品位为 8%~10%,总厚度达 25~30m。

3.2 找水应用(奥灰水、构造裂隙水、古河道水)

应用本方法,先后在岩溶石山、黄土旱塬、基岩山区、滨海岛屿等不同的地貌景观和一些老矿区等缺水或贫水地区成功的找到不同埋藏类型的地下水。

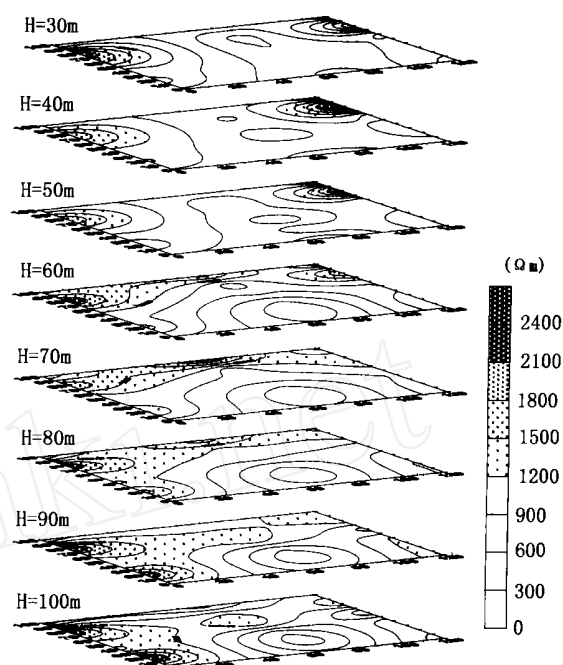


图 1 兴华铅锌矿 $h=30\sim100\text{ m}$ ρ_a 等值图

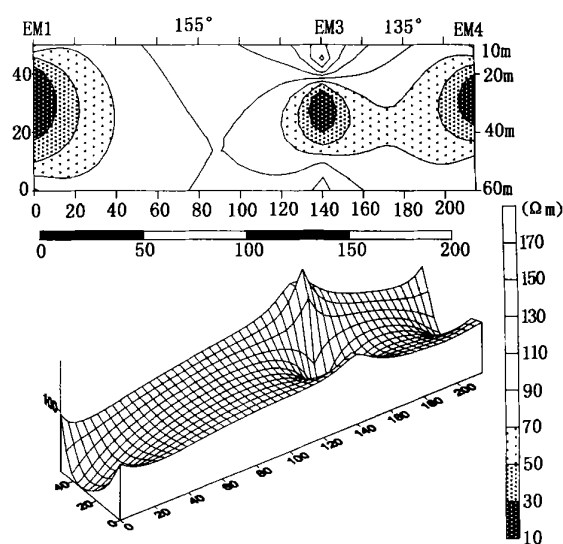


图 2 新疆索尔库里铜矿 ρ_a 剖面图

3.2.1 寻找深层岩溶水(奥灰水)

山西秦嘉煤化公司地处大同矿务局井田与左云县地方煤矿井田的接壤部位,为黄土覆盖下的侏罗系碎屑建造。由于多年采煤排水,造成上部侏罗系地层中的砂岩水几乎被疏干,生产用水和职工生活用水极为困难。在指定的测区内,按 50 m × 50 m 网度,实测了 EM 测深点 16 个,控制面积 60 000 m²,全部工作历时两天。测量结果见图 3。测量中发现,在垂深 650m 处电性极不均匀,并在测区西部发育一条北东向低阻带,低阻带与正常围岩的电性极差大于 3 个数量级。结合附近地区的前人资料认

为,这一深度上的电性不均匀特征是由奥陶系灰岩古风化面造成。即测区内的奥灰上界面埋藏深度为 650 m 左右。在垂深 700 m 和 750 m 处,低阻异常的条带性更加明显。据此推断,该深度上的低阻条带并非古风化面的溶蚀沟,而是奥灰的充水岩溶发育带。井位确定在该异常带的中部(秦家山 1 号井),钻孔成功的将侏罗系、二叠系、石炭系地层打穿。当钻进至 670 m 时,揭穿奥陶系灰岩上界面,发生涌水,水位上升 278 m。该孔成井深度 $h = 803\text{ m}$,水量 $Q \geq 500(\text{T/d})$,井口水温 $T = 34\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

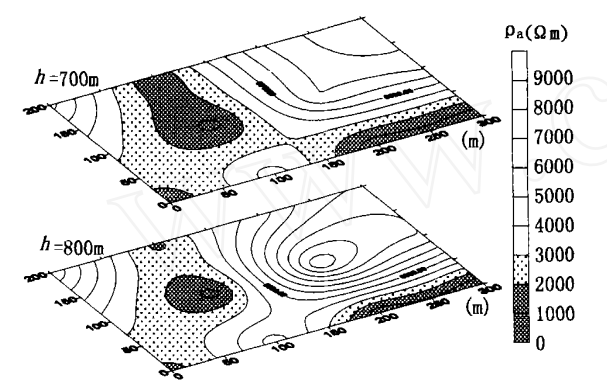


图 3 秦家山 $h = 700 \sim 800\text{ m}$ ρ_a 等值图

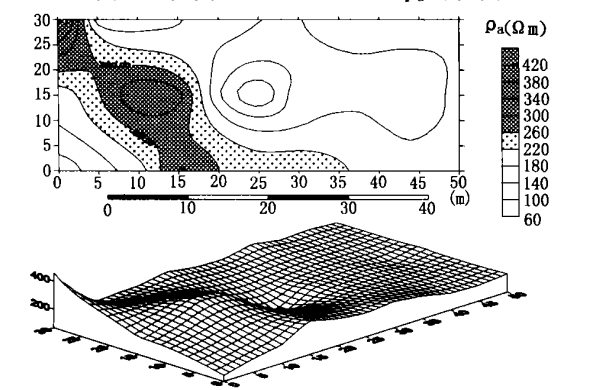


图 4 乳品厂水源地 $h = 50\text{ m}$ ρ_a 等值图

3.2.2 构造裂隙水(沈阳市辉山乳业公司乳品厂供水井)

厂址位于沈北贫水区,地质背景为花岗岩。图 4 为该厂水源井处垂深 50 m 的切面影像,可以看出有一条高阻脉岩通过测区,由于脉岩阻水,相当于一道天然的地下挡水墙,在脉岩的底盘,会形成地下水的带状汇集区。该井的成井深度为 $h = 60\text{ m}$,静止水位 $h = 9\text{ m}$,当稳定降深 $S = 26\text{ m}$ 时,稳定涌水量 $Q = 1080\text{ T/d}$ 。

3.2.3 黄土覆盖下的古河道砂体含水层(大同煤校自备井)

山西大同煤校位于大同市新平旺镇,地表黄土覆盖,几次打井都未能成功。经 GL - 68 型电磁仪

实施追索探查后,发现该校大部分校园位于古冲积扇前缘区,沉积物颗粒较细,在有限的深度内,很难打到量大而稳定的地下水。但在校园的南东部,发现有隐伏的古河道砂层,经过对古河道砂层的实测追索,选择砂体厚、砂层多的部位确定井位一处。成井深度 $h = 390\text{ m}$,涌水量 $Q \geq 500(\text{T/d})$,解决了困扰该校师生多年的用水问题。图 5 以单点曲线为例加以说明。

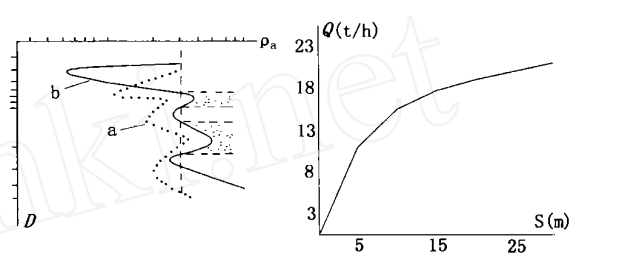


图 5 大同煤校 EM 电磁测深曲线及水源井抽水试验 $Q - S$ 曲线

曲线 a 说明该测点的松散层沉积物呈低阻且巨厚 ($D > 500\text{ m}$),推断为黄土层下伏古冲积扇前缘的细粒沉积物,局部有薄砂层,但不稳定,类似这样的地段无水可取,不可打井。曲线 b 反映了该测点在低阻松散层中有高阻段存在,且高阻段的厚度较大,标高变化较为稳定。多个类似测点在图面上呈连续的带状分布,推断为古河道。因为,古河道中的砂卵石层相对于黄土和古冲积扇前缘的细粒沉积物为高阻体。此类异常在黄土旱塬区寻找浅层地下水具有典型特征。

3.3 查找地质灾害隐患

在查找地质灾害隐患方面,本方法曾先后成功的进行了江河及水库堤坝隐患探查、路基及道桥基础隐患探查、隐伏岩溶漏斗塌陷区(陷落柱)探查、矿山采空区及积水分布探查、煤矿现代及古火区分布探查等。限于篇幅,文中仅介绍江河堤坝隐患和矿山地质灾害隐患的探查实例。

3.3.1 江河、水库堤坝隐患

这是建于文革末期北方地区的一座水库,地质背景为古老花岗岩。探查目的是查清水库坝基地段隐伏导水裂隙的规模与分布、为进一步的工程治理提供设计依据。按此要求,沿水库大坝部署了 6 条测线,只用了很少的工作量便达到了目的。结果见图 6。图中可见一条低阻条带呈北西向通过坝基;并以近 30° 倾角切入基岩约 15 m 深。结合对方提供的坝基地质资料,推断该低阻带为一脉岩的上接触面。由于靠近地表,受风化作用影响程度不均匀,

上接触面上形成的风化裂隙被花岗岩风化物所掩盖,水库蓄水后,水的润滑和压力的增加使接触面上的隐伏裂隙沟通形成带状绕坝渗漏。经帷幕注浆钻孔验证,与测量结果完全吻合。

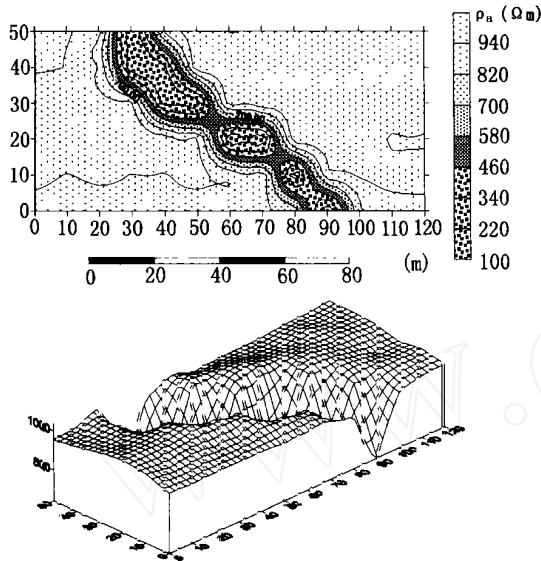


图6 某水库坝基渗漏段 ρ_a 等值图

3.3.2 探查采空区及积水分布 ——一个令笔者终生难忘的实例

测区位于太原市晋祠镇,是著名的古采破坏区。实测发现,矿区的东北部存在大片低值电磁异常。异常的规模和强度较大,轮廓较规则,并呈渐变,具有典型古采积水区特征,见图7。分析资料后认为:该片空区是在古采的基础上,又被现代小矿继承性复采利用过多次的古采破坏区,有大量积水。根据探查成果对测区进行了如下划分:实煤区、过渡区(探放水区)、警戒区(不得突破)、古空积水区。未经探放水,任何人不得突破警戒区。谁知没出3个月,一名外地包工头擅自违章作业,未经钻孔超前探放水,竟然用上山巷道突破警戒区。顿时全井淹没,事故损失了近200万元。

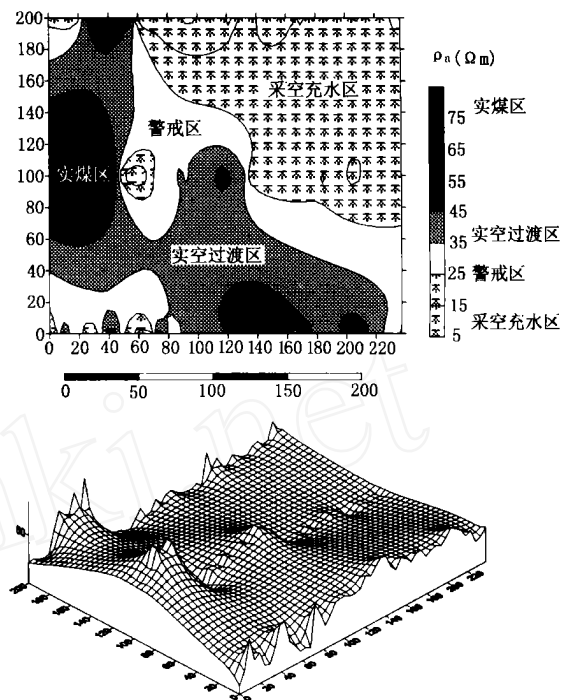


图7 太原市晋祠镇新窑矿区古采区及积水分布

3 结语

本方法是以卡尼尔大地电磁理论为依据、以天然或人工电磁场为工作场源,通过相敏技术实现同步扫频作为采样方式,进行高频高密度大地电磁测量。

有着较高的垂向和侧向分辨率,是一种较可靠的地球物理勘查手段^①。

在较广的应用范围内,具有较高的成功率和性价比。

在找矿、找水及查找地质灾害隐患方面,本方法做了大量工作,取得了令多方满意的成功。体现了本方法的日趋成熟和方法本身所蕴藏的巨大市场潜力。

[参考文献]

[1] James R Wait. 大地电磁学[M]. 北京:地质出版社,1982.
[2] 刘石选,程美容. 大气电磁学[M]. 南京:广西师大出版社,1993,7.

APPLYING OF PASSIVE SOURCE HIGH FREQUENCY ELECTROMAGNETIC METHOD

LUO Hong - fa

(Liaoning Bureau of Nucleus Industry Geology , Shenyang 110032)

Abstract :The principle and field source of high frequency earth electromagnetic survey has been concisely introduced. The applying range and general demand to collect data outdoors under different condition is expounded. Based on concrete cases , this method can be applied in ore prospecting , ground water prospecting , and potential geological disaster survey.

Key words passive source high frequency electromagnetic method , inspection protecting.

①李家俊,于水泉. 天然电磁场及无线电波电磁场频率电磁测深及频率电磁剖面方法指南. 中核地质总局编译,1995,11.