

文章编号:1001-4179(2012)03-0043-03

可控源音频大地电磁法及在地质勘探中的应用

魏岩峻¹,董亮¹,高建华¹,刘海涛¹,谌进波²

(1. 水利部长江勘测技术研究所,湖北 武汉 430011; 2. 武汉科岛地理信息工程有限公司,湖北 武汉 430081)

摘要:介绍了一种用于地球深部勘察的可控源音频大地电磁方法,该方法具有快速、受地形影响小、可穿透高阻屏蔽层等特点,并具有较大的勘探深度和较高的分辨率,其成果精度较高,且稳定可靠。将该方法用于广西桂中乐滩水库引水工程的工程地质勘察中,取得较好的效果,所布设的两条剖面勘察成果均为钻探和后期施工所证实。

关键词:可控源; CSAMT; 卡尼亚电阻率; 深部勘察

中图分类号: TV698.14 **文献标志码:** A

音频大地电磁测深法(简称 AMT 法)是一种常用的地球物理勘探方法。由于天然场源的随机性和信号的微弱性,应用该方法时,需要花费很大精力来记录和分析野外采集的数据,故存在效率低和精度不高的问题。为克服上述问题,加拿大的 D. W. Strangway 提出了人工可控场源音频大地电磁法(简称 CSAMT 法)。这种方法使用接地导线或不接地回线为场源,在远区稳定场范围内测量相互正交的电场、磁场分量,并计算出卡尼亚电阻率,从而反演地下地质构造。

CSAMT 法勘探深度从近地表数十米可至地下几千米,这段深度范围内也正是人类文明与经济活动最频繁的范围。本文仅就该方法的基本原理和工作方法以及在实际工程中的应用做一简述。

1 CSAMT 基本原理

CSAMT 法是通过分析地面或井中观测到的由人工控制的电磁波信号在地球介质中激发的电磁波场来达到勘探地球内部结构的目的。工作频率一般从 0.125 Hz 到 10 kHz,因此,勘探深度一般可从地表至地下几千米。由于该方法采用强大的人工信号源,能压制干扰,可采集到高质量的数据。因此,自 20 世纪 70 年代中叶起,CSAMT 就成了地球物理勘探方法中一种强有力的非地震勘探手段,除成功地应用于金属矿、石油、地热资源、地下水等勘探外,近年来,在岩溶、煤田

采空区治理、深埋长隧道等工程地质和环境调查中也发挥了重要的作用。

CSAMT 的基本理论是基于电磁波传播理论和麦克斯韦方程组,导出电场(E_x)、磁场(H_y)与视电阻率(ρ_s)的关系式为

$$\rho_s = \frac{1}{5f} \left| \frac{E_x}{H_y} \right|^2 \quad (1)$$

式中, f 为频率。由式(1)可见:只要在地面上观测到 2 个正交的水平电磁场(E_x 和 H_y)就可获得观测点的视电阻率即卡尼亚电阻率。对观测的视电阻率进行反演即可获得探测深度范围内的岩性结构。

根据电磁波的趋肤效应理论,可导出趋肤深度公式:

$$H \approx 356 \sqrt{\frac{\rho_s}{f}} \quad (2)$$

式中, H 为探测深度。从式(2)可见:当电阻率 ρ_s 固定时,电磁波的传播深度(或探测深度)与频率成反比。高频时,探测深度小;低频时,探测深度大。通过改变发射频率来改变探测深度,从而达到变频测深的目的。

2 工作方法

CSAMT 法测量包括张量、矢量和标量 3 种方式,取决于测量分量的数量和使用场源的数量。

(1) 张量。CSAMT 利用两个方向的场源来测定 5

个分量 (E_x 、 E_y 、 H_x 、 H_y 、 H_z)。与大地电磁场不同,CSAMT 场源不是全方位的,所以需要两个场源。为了完全确定阻抗张量,总共需要测量 10 个分量。

张量测量一般用于构造复杂的地区和测深点距比地质构造尺寸大很多的地区。

(2) 矢量。CSAMT 利用单一个场源来测量 4 个或 5 个分量 (E_x 、 E_y 、 H_x 、 H_y , 有时加测 H_z)。矢量 CSAMT 数据提供了关于地下二维或三维构造的信息,但比张量测量的信息少。矢量 CSAMT 在各向异性不强的地区确定复杂地质构造较为有效。

(3) 标量。最简单,也是目前所有商业仪器及野外采用的 CSAMT 形式,亦可称为可控源音频大地电流法 (CSAET)。它系统地测量电场,只在个别点测量磁场,从而把电场的测量值转换为近似的卡尼亚电阻率。

勘探深度影响到 CSAMT 设计中的每一个参数,如观测频率、收发距等。CSAMT 的勘探深度与大地电阻率和信号频率有关,可按 Bostick 深度公式计算。CSAMT 的实际勘探深度为 10 ~ 3 000 m。

3 数据处理与资料解释

数据处理主要包括数据编辑、曲线圆滑、主轴判别、静态效应及地形效应校正等。

室内数据处理的过程包括:① 对数据进行编辑处理,对照野外记录观察原始曲线形态,判断并剔除飞点、跳点,圆滑曲线,压制噪声,在此基础上给出原始电阻率断面图;② 结合地形、地质资料评估静态、地形的影响程度,并对初步处理后的数据进行静态校正,进而反演计算。

针对工作环境和地质条件复杂且地表电性不均匀的实际情况,综合分析地下介质电导率,同时采用五点二次滤波去噪、曲线平移和设置汉宁窗滤波法进行静态校正,将三者结合取得较好的校正效果,可真实地反映地下的地质情况。

4 工程应用实例

广西桂中治旱乐滩水库引水灌区工程是以乐滩水库水源为主的大型引水工程。引水工程位于桂西山地与桂中盆地过渡地带,干渠工程主要经过的地层有泥盆系、石盆系、二迭系、三迭系及第四系地层。区内可溶岩分布广泛,主要是以石灰岩为主,地下岩溶极为发育。因此,地下暗河和岩溶问题是该引水工程的主要工程地质问题。

针对该引水区的岩溶、地下暗河及引水线路轴线周围隐伏断裂空间分布等工程地质问题,采用 GDP -

32 型音频大地电磁仪,利用高精度电磁反演与成像技术,对指定的工程区进行了勘察,取得了较好的效果。

4.1 实例 1

测线 X7,剖面长 160 m,北西 135°走向。0 ~ 35 m 测线段为旱地和柏油路,35 ~ 70 m 测线段为水稻田,70 ~ 120 m 测线段为一塌陷凹地,130 ~ 160 m 测线段为山坡玉米地,电阻率等值线剖面见图 1 所示(图中数字为视电阻率, $\Omega \cdot m$)。从图 1 可以看出:测线 0 ~ 40 m 段,埋深 0 ~ 10 m 间为含泥沙低阻体;测线 60 ~ 80 m 段,埋深 10 ~ 20 m 间有一低阻异常体,推断为含水溶洞或地下暗河;测线 110 ~ 150 m 段,埋深 40 m 左右有一低阻体,推断为含水溶洞。

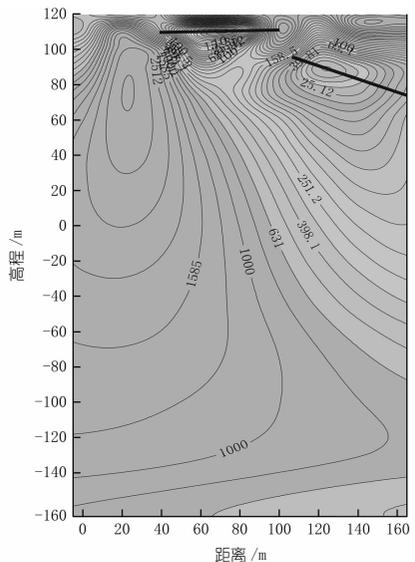


图 1 X7 线电阻率等值线剖面

4.2 实例 2

测线 X8,剖面长 400 m,北东 16°走向。测区均为农田,电阻率等值线剖面见图 2。从图 2 可以看出:浅部土层(覆盖层)厚度均为 5 ~ 7 m,测线上 210

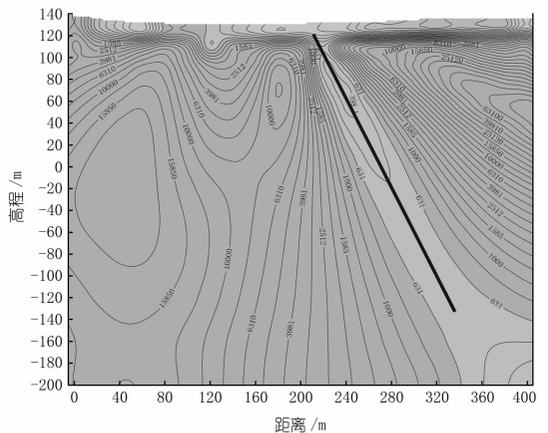


图 2 X8 线电阻率等值线剖面

~230 m 段,埋深 0 ~ 290 m 间有一高倾角的低阻体,推断为一破碎带或溶洞,可能含水或含泥。

以上两条测线的解释结果已被钻探及后期的施工所验证。

5 结语

理论与工程应用实践表明,可控源音频大地电磁

勘探方法,以成熟的电磁理论为基础,通过 GDP - 32 电磁勘探设备,实现了从理论到技术方法,再到工程应用的技术路线的检验,可以满足地下数十米至几千米中深部范围内人类活动所需的勘探要求,在大型水利水电枢纽工程,深埋长隧道及中深部地下找水等工程勘察中应用前景广泛。

(编辑:赵凤超)

Application of controlled - source audio - frequency magnetotellurics in geological exploration

WEI Yanjun¹, DONG Liang¹, GAO Jianhua¹, LIU Haitao¹, SHEN Jinbo²

(1. Changjiang Reconnaissance Technology Research Institute, Ministry of Water Resources, Wuhan 430011, China; 2. Wuhan Kedao Geographical Information Engineering Co., Ltd, Wuhan 430081, China)

Abstract: We introduce a deep exploration method, namely controlled - source audio - frequency magnetotellurics (CSAMT), which has advantages of quick operation, less geography influence and ability of penetrating high resistance shielding layer, as well as large exploration depth and high resolution. The results are highly reliable and stable. It was applied in the engineering geological survey of water diversion project of Letan Reservoir in Guangxi Province, and the survey results in 2 cross - sections were proved by later drilling works.

Key words: controlled - sources; CSAMT; Cagnicad resistivity; deep exploration

(上接第 26 页)

Application of self - compacting concrete (SCC) in flood discharge tunnel reinforcement of Zhaikou Reservoir

DONG Zhenfeng¹, FANG Xiaobo², LIU Xuexia¹, ZHANG Hongsheng³

(1. Henan Water and Power Engineering Consulting Co., Ltd, Zhengzhou 450016, China; 2. Sinohydro Foundation Engineering Co., Ltd, Tianjin 301700, China; 3. Zhaikou Reservoir Administration of Linbao City, Lingbao 472500, China)

Abstract: The original flood discharge tunnel of Zhaikou Reservoir was free - flow tunnel with diameter of 3.5m, which is to be modified to pressure tunnel with maximum head of 60 m in the reinforcement engineering. Due to small lining thickness, dense steel bar distribution and difficult vibration, it was hard to meet the design requirements for grouting speed and quality during the trial production. After analysis and comparison, the C40 self - compacting concrete was adopted for its high liquidity, segregation - free, bleeding - free, stability, and uniformity, and the concrete could be compacted and formed by simple vibration. The continuous improvement of grouting scheme has well solved the difficulties of concrete placement, vibration, and template floating in the construction period. According to concrete mechanical properties test, safety monitoring and water - filling operation check, the self - compacting concrete could completely meet the design requirements on strength and permeability, and the flood discharge tunnel has been in good condition since its operation.

Key words: self - compacting concrete, thin - wall lining of tunnel; flood discharge tunnel; trial production; mix ratio; Zhaikou Reservoir