TEM 法在工程勘察中的研究与应用

郭玉松 (黄委会勘测规划设计研究院 郑州 450003)

【提要】 本文主要介绍了瞬变电磁法在堤防工程及水利水电工程勘察中的研究进展情况及应用效果，通过实际探测资料的分析，介绍了 TEM 法探测技术。

【关键词】 瞬变电磁法 工程勘察 隐患探测

【Abstract】 The development of research on instantaneous electromagnetic method in engineering investigation of embankment and hydraulic engineering and the results after use are introduced herein. The TEM method for prospecting is presented through analyses of practical detection data.

【Key words】 instantaneous electromagnetic method engineering investigation hidden danger detection

1 前言

瞬变电磁法（TEM）近几年来在国内外得到迅速发展，在金属矿勘探、油气田勘探和煤田勘探等矿床勘探中得到广泛应用。尤其值得注意的是它正开始步入工程勘察、地下水及地热勘察的行列中，成为国内外引人注目的地球物理勘探方法之一。

为了研究 TEM 法在堤防及水利水电工程勘察中的有效性，几年来进行了大量的试验研究工作，取得了可喜的地质效果，该方法在探测堤防工程大体积异性材料，划分地层结构中发挥了重要作用。

2 基本原理

时间域瞬变电磁法（简称 TEM 法）是近几年发展起来的一种地球物理方法。它是利用不接地回线（或接地线源）向地下发送一次脉冲磁场（或电场），在一次脉冲磁场（或电场）的间歇期间，利用线圈（或接地电极）观测地层响应二次涡流场的方法。

瞬变场的观测一般是用线圈观测感应电压 $V(t)$，有时也用电极测量电场分量。对于重迭回线装置，在均匀半空间地电条件下，感应电压 $V(t)$ 表达式为：

$$V(t)=\frac{4L\mu_0 X^{1/2}}{t}f(x)$$

$$f(x)=\sum_{m=0}^{\infty}\frac{(-1)^m(2m+2)!X^{m+1}}{m!(m+1)!(m+2)!2(2m+5)}$$

$$X=\frac{\mu_0 L^2}{4\pi\rho t}$$

式中 L 为发送回线的边长；μ_0 为空气的磁导率；ρ 为均匀大地的电阻率。

由上述公式可见，瞬变场与 ρ、t 等之间存在非常复杂的函数关系。为计算方便，利用等效代换的方式，借助“烟圈”理论计算均匀大地的晚期瞬变电磁场响应，解释其扩散规律。

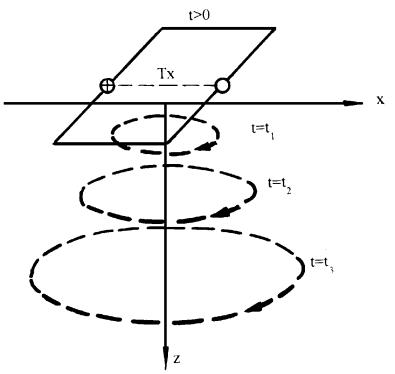


图1 半空间中的等效电流环

在电导率为 σ 和磁导率为 μ_0 的均匀大地上，敷设输入阶跃电流的回线，当回线中电流突然断开时，在下半空间中就要被激励起感应涡流场以维持断开电流以前存在的磁场，此瞬间的电流集中于回线附近的地表，并按 γ^{-4} 规律衰减（γ 为回线中心至观测点的距离）。随后，面电流开始扩散到下半空间中，在切断电流后的任一晚期时间里，感应涡流呈多个层壳的环带形，随着时间的延长，涡流场将向下及向外扩展。感应涡流场在地表引起的磁场为整个“环带”各个涡流层的总效应，这种效应可以用一个简单的

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

电流环相等效, 图1表示了发送电流切断以后几个时刻的等效电流环分布略图。

在晚期阶段, 电流环向下扩散半径 α、扩散深度 d 及扩散速度 V 的表达式为:

$$\alpha = 2.09\sqrt{t/\mu_0\lambda}$$

$$d = 2.26\sqrt{t/\sigma\mu_0}$$

$$V = 2\sqrt{2/\pi\lambda\mu_0 t}$$

视"烟圈"为一系列二次场发送线圈, 可计算二次场的感应电压为:

$$V(t) = \frac{\mu_0^{5/2} M q}{20\pi\sqrt{\pi}\,\rho^{3/2} t^{5/2}}$$

式中, M 为发送磁距, q 为接收线圈有效面积。由此可得地层视电阻率表达式:

$$\rho_\tau = \frac{\mu_0}{4\pi t}\cdot\left(\frac{2\mu_0 M q}{5tV(t)}\right)^{2/3}$$

根据实测电压衰减曲线, 利用 ρ_τ 计算公式, 可绘制不同时间道的视电阻率断面图, 以此推断地质分层及横向地层电性情况。

在层状介质情况下, 为了对测深资料进行反演, 需要计算纵向电层 S_τ 及视探测深度 h_τ, 现给出重迭回线装置的计算公式 (晚期):

$$S_\tau = \frac{16\pi^{1/3}}{(3Mq)^{1/3}\mu_0^{4/3}}\cdot\frac{[V(t)]^{5/3}}{[V(t)]^{4/3}}$$

$$h_\tau = \left[\frac{3Mq}{16\pi V(t) S_\tau}\right]^{1/4} - \frac{t}{\mu_0 S_\tau}$$

3　勘察实例分析

3.1　堤防工程隐患探测

(1) 基本情况

在堤防工程建设中, 受施工环境条件的限制, 筑堤材料往往比较复杂, 堤身均一性差, 尤其在决口填堵过程中, 采用秸杆等杂物较多, 随着岁月推移, 堵口秸料腐烂变质, 形成堤身隐患——软弱层。该隐患在物性上主要为相对低阻, 且强度较低, 勘查的目的是确定软弱层的平面位置及分布范围。

(2) 施工系统及资料分析

对堤防工程大体积异性材料的探测主要采用同点装置, 通过大量的试验研究, 对比中心回线与重迭回线装置的探测效果, 最终采用重迭回装置。边框一般设置为20—25m 的方框。

试验采用 SD-1瞬变电磁仪, 野外工作中为克服电话线、大地电磁场及工业电流的干扰, 一方面加大供电电流, 另一方面采用多次叠加的方式工作, 叠加数次不少于200次。仪器频率选择为甚高频 (中心频率为225Hz)。为提高探测速度, 一般测点距选择与边框相等, 便于提高工作效率。

资料处理的基本内容包括: 资料的室内预处理; 定性图件的绘制; 地质解释这三项内容, 处理流程如图2所示。

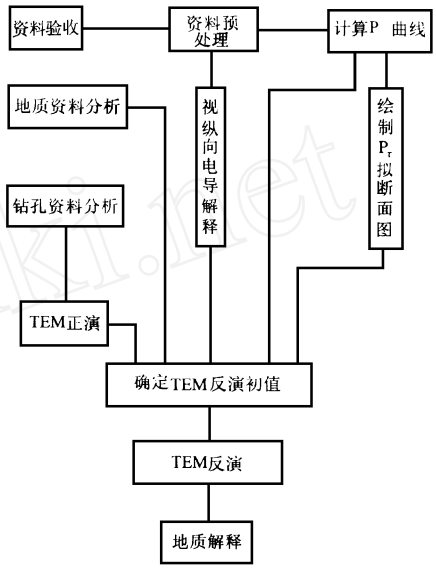


图2　资料解释流程图

①资料预处理包括关断时间 t_0 的影响及校正: 理论发射波形为阶跃波, 实际工作中由于发射线框与大地间存在电容和线框存在电感, 致使发射电流关断时, 不为阶跃波, 而为一个有一定后沿时间的关断波形。故必须将其校正到理想波形状态。

由于各类干扰的影响, 往往使实测 V/I 曲线尾支出现波动, 为此必须对实测曲线进行园滑处理。通常可采用三点园滑公式进行, 第 i 测道滤波后的值为:

$$V_i' = \frac{1}{2}V_i + \frac{1}{4}(V_{i+1} + V_{i-1})$$

②绘制 ρ_τ 拟断面图及地质解释: ρ_τ 拟断面图能够比较详细和清楚地反映沿剖面地下地质构造轮廓, 是最常用的图件之一。以测点位为横坐标, 时间道 t 为纵坐标在相应位置标出 $\rho_\tau(t)$ 值, 勾绘等值线。值得注意的是, $\rho_\tau(t)$ 曲线的早期段往往畸变。随时间增大而衰减的 ρ_τ 曲线并不反映地下地质情况。通常根据其它物探资料或钻孔资料, 对早期道进行切除处理。

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

3.2 水库坝址勘查

某水库坝址区无基岩出露，覆盖层为黄土层、砂砾石层或粉砂粘土夹层，基岩一般为第三系砂岩、砂岩粘土岩或粘土质粉砂岩，岩性质地较软，胶结程度较差。

TEM 法试验的目的是：划分地层结构；确定砂砾石和基岩的分界面。据场地地质情况，工作装置采用重迭回线装置，回线面积为50m ×50m，接收、发送线圈匝数比为1，发送电流依据勘探深度不同分别采用2A 或5A。仪器观测输出值为 V/I 归一化值，V 为二次场值，I 为发送电流，其单位为 $\mu V/A$，实测二次场电压衰减曲线如图3所示。

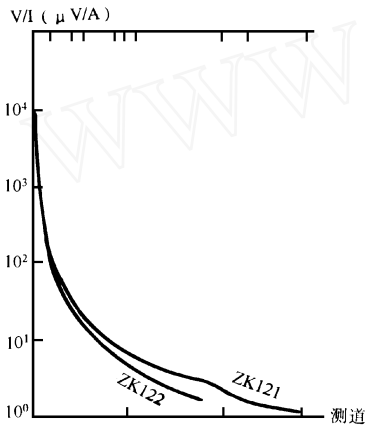


图3 实测二次场电压衰减曲线

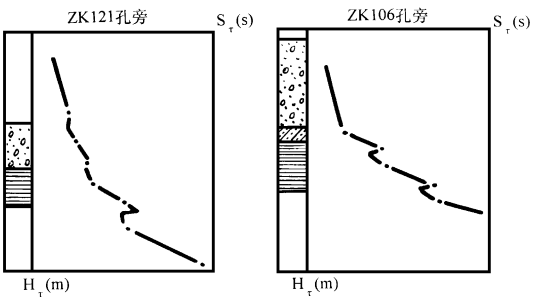


图4 孔旁实测拟断面图与钻孔地质剖面图

资料处理工作主要是绘制 $S\sim H_\tau$ 曲线。利用 $S\sim h_\tau$ 曲线上的拐点，实测 $S\sim H_\tau$ 拟断面图与钻孔地质剖面图如图4所示。详细探测结果见表1（钻孔地质分层与 TEM 测深分层对照表）。

钻孔地质分层与 TEM 测深分层对照 表1

钻孔号	地层名称	层底埋深 (m)	TEM 法分层埋深 (m)	相对误差 (%)
ZK_{121}	黄土	29.7	30	1
	砂砾石	45	43	4.4
ZK_{106}	黄土	3.0	-	-
	砂砾石	32	34	6.25
ZK_{225}	黄土	23.6	25	5.9
	砂砾石	72.08	73.0	1.2
ZK_{226}	黄土	25.5	28.0	9.8
	砂砾石	47.3	45	4.9

4 结束语

瞬变电磁法（TEM）与其它电磁方法相比，在工作方法与地质效果上显示一些独特的优点：①断电后观测纯二次场，免除了复杂的一次场补偿问题，同时受地形影响较小，测地工作简单，工作效率较高。②可采用同点装置，使与欲测的地质体达到最佳藕合；所得电磁异常受旁侧影响小而且有效高的横向分辨率。

通过几年来的试验研究认为，在工程勘查中，TEM 法是一种很有前途的方法，能够快速、方便地解决一些特殊的地质问题，应用前景广阔。

另外，在试验研究过程中，得到中南工业大学牛之键教授、西安地院徐金文、方文藻、李貅教授的大力支持，在此深表谢意。

参 考 文 献

[1] 牛之键，时间域电磁法原理，中南工业大学出版社，1992

[2] 方文藻，李予国，李貅，瞬变电磁测深法原理，西北工业大学出版社，1993

更正：1997年第6期72页9706-03号广告题目“KCS-1型渗透系数快速测定仪”应为“KSC-1型渗透系数快速测定仪”。

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net