

# 井间电磁波层析技术在岩溶勘察中的应用

罗永现

(山东省物化探勘查院, 山东 济南 250013)

**摘 要** 简述了井间电磁波层析技术的工作原理, 阐述了建立速度层析成像后的异常特征。用 2 个实例进一步说明了井间电磁波层析技术在实际岩溶勘察中的应用效果。

**关键词** 井间电磁波层析技术; 声波速度层析成像; 岩溶勘察

**中图分类号** P631.4    **文献标识码** B    **文章编号** 1672-7428(2005)10-0028-02

## 1 概况

井间电磁波层析技术是井中地震勘探向高频方向发展而形成的一种新的地下物探方法, 与其它地下物探方法相比, 它具有独特的优势和作用 (1) 工作频率高(数百赫兹到数千赫兹), 分辨能力强, 当精细测量时, 其空间分辨可在 2 m 之内 (2) 抗低频干扰能力强, 可用于外界干扰较大的工区 (3) 具有记录直达波的观测系统, 能在更大程度上利用波动力学特征进行解释, 此运动学特征能更灵敏地反映出非均匀地质体 (4) 采用透射波传播特征, 波形单纯, 初至清晰, 易于波形识别。

由于声波法利用弹性波场特性, 获得的弹性波速度参数可直接作为工程设计中对有关基础施工的设计依据, 当其它地下物探方法, 如地下电磁波法、电磁法类, 因地质目标体与围岩的电磁特性差异较小、难以奏效时, 声波法取得较好的应用效果。经过多年的实验与实践, 目前井间电磁波层析技术已在岩溶勘察领域得到有效应用。

## 2 井间电磁波层析技术的工作原理

井间电磁波层析技术是依据声波在不同介质中传播速度的差异, 将接收到的信号进行层析成像处理, 来精确描述井间地质目标体的几何形态和物理特征。

声波走时介质速度的分布关系如下:

$$t_i = \int_{R(v)} dx / [V(x)] \quad (i = 1, 2, 3, \dots, N)$$

式中  $t_i$ ——走时(即声波由发射到接收所需的时间);  $V(x)$ ——介质的速度分布;  $R(v)$ ——射线的路径;  $dx$ ——射线穿越子区域的长度。

由上式可以看出, 当介质中的声波速度发生变化时, 其走时也跟着发生改变。将多条通过介质的声波射线走时提取出来, 反算出介质的声速度空间分布图像, 即所谓的声波计算机层析成像, 简称井间电磁波层析技术。

电磁波在钻孔孔间介质(岩石)中传播, 其速度变化与许多因素有关, 但当钻孔间存在有一定规模的非均匀体时, 由于透射和绕射, 会使得声波的旅行时间(即走时)相对于在纯围岩中出现增加或减少的变化。由于绕射和透射波在一定条件下往往同时存在, 只是到达接收点的时间上有先有后, 有时绕射波先到达, 透射波成为续至波; 有时透射波先到达, 绕射波成为续至波。现井间电磁波层析技术中是以首波起跳为获取到达走时的特征点。因此分析绕射波和透射波是声波解释中十分重要的一环。下面以均匀的球体异常为例进行讨论, 对于其他形体的异常可依此类推。

如图 1 所示, 设在两钻孔(ZK1、ZK2)正中间有一个半径为  $R$  的均匀球体, 球体和围岩均为各向同性的均匀体, 其中心到发射点的距离为  $l$ , 孔间距为  $L$ , 球体的波速度为  $V_1$ , 围岩的波速度为  $V_0$ , 若球体的直径( $2R$ )大于声波波长, 在收发连线穿越球心观测时, 透射波的走时方程为:

$$t_1 = (1/V_0) \cdot (L - 2R) + 2R/V_1$$

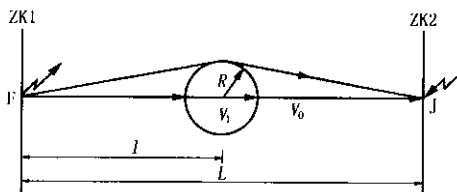


图 1 收发装置示意图

收稿日期 2005-09-01

作者简介: 罗永现(1963-)男(汉族), 河南禹州人, 山东省物化探勘查院高级工程师、注册土木工程师(岩土), 地球物理专业, 从事岩土工程勘察与技术管理工作, 山东省济南市历山路 56 号(0531)86556993、13869105178。

绕射波的走时方程为：

$$t_2 = \frac{1}{V_0} \{ \sqrt{F^2 - R^2} + \sqrt{(L - I)^2 - R^2} + \frac{\pi R}{180} [ \cos^{-1} \frac{\sqrt{F^2 - R^2}}{I} + \cos^{-1} \frac{\sqrt{(L - I)^2 - R^2}}{I} ] \}$$

由上面 2 个公式可以看出：当球体相对于围岩为低速时，即  $V_1 < V_0$  时，不论首波是绕射波还是透射波，其电磁波的传播时间将较纯围岩条件下增大，即在走时的曲线上呈现正异常，在层析成像图上也为正异常。这说明声波法在寻找高速围岩中低速体时异常形态比较简单。当球体相对于围岩为高速时，即  $V_1 > V_0$  时，很显然是透射波首先到达接收器，故在走时曲线上呈现为负异常，在层析成像图上也为负异常。

3 应用实例

3.1 在煤矿区岩溶裂隙勘查中的应用

山东章丘某煤矿的采煤巷道内出现漏水，根据地质资料分析，巷道内漏水的主要部位在厚约 10 m 的灰岩岩层附近，为此，在该岩层中布孔 ZK2、ZK3、ZK4，利用井间电磁波层析技术在钻孔 ZK2 - ZK3 间、ZK3 - ZK4 间勘查岩溶与裂隙的分布规模、发育程度并准确定位，为注浆堵漏提供依据，实际测量井段为灰岩顶、底板并分别向上、下各延伸 3 m。

图 2 为 ZK3 - ZK4 间的层析成像图，可以看出，该层像剖面内灰岩较为完整。在靠近 ZK4 孔旁约 3 m 埋深 132 m 发现一处异常，推断为岩溶发育带所致，经钻孔检查，在 131.5 m 深处见一宽为 0.80 m 的岩溶发育带，在靠近 ZK3 孔旁 3 ~ 8 m 埋深 124 ~ 128 m 发现一处异常，推断为岩溶裂隙所致，经钻孔检查，在 131.5 m 深处见一宽为 3.6 m 的裂隙发育带，124.50 ~ 127.30 m 深度段为破碎的泥质灰岩。推断结果得以验证。

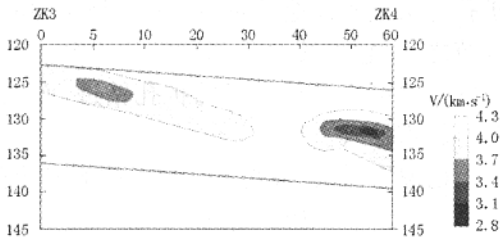


图 2 ZK3 - ZK4 剖面井间电磁波层析成像图

3.2 在力诺热电厂场地勘察中的应用

拟建热电厂位于济南高新技术开发区内，历城区港沟镇神武村东，三联虎山开发区西邻，区域内出露地层除表层发育有 0 ~ 20.0 m 的第四系松散土层

外，下伏地层为奥陶系中统马家沟组中厚层灰岩、豹斑灰岩、角砾状泥灰岩及角砾状灰岩，基底为泰山群变质岩系，上覆盖层为古生界碳酸岩系，盖层呈单斜构造产出，倾向为 N，倾角为 8° ~ 12°。

据野外调查，发现场地内分布一条北西 - 南东向断层，有可能横穿主厂房及冷却塔地带。为了查明隐伏断层的情况，在钻孔 ZK1 - ZK2 之间增加了孔内井间电磁波层析测试（图 3）。采用如下参数：工作频率范围数百至数千赫兹，同步精度优于 0.1 ms，传感器灵敏度 1000 μV/Pa，采样速率为 75 μs ~ 20 ms，最大增益 112 dB，信号叠加次数 1 ~ 10 次。

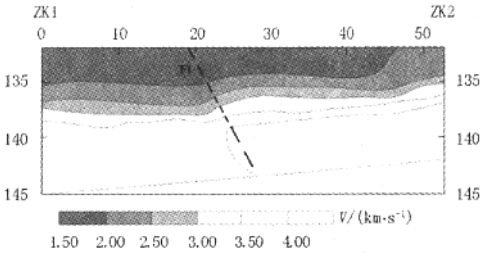


图 3 ZK1 - ZK2 剖面井间电磁波层析成像图

通过井中层像测试并与钻孔岩心结果综合对比分析，证实在主厂房及北冷却塔之间确实存在一断层，该断层走向北北西，倾向东北，倾角 70°。断裂带宽度 0.5 ~ 12.0 m 不等。在冷却塔部位断距 5.0 ~ 7.5 m。断层左右两侧基岩面差异太大，会造成冷却塔基础东西两侧有较大的沉降差，若采取地基处理措施，建设成本明显增加。为此，建议调整冷却塔的位置，后来建设单位采纳了我们的建议，对冷却塔平面位置进行了微调，避开了以上的不利地段，同时也节约了基础投资。

4 结语

以上实例说明，只要具备相应的地球物理前提，井间电磁波层析技术在岩溶中是有效的。同时，由于井间电磁波层析技术探测具有简便、准确、投资少、工效高等优点，近几年来一直处于发展之中，无论在工程的选点勘探、设计施工以及工程验收、运行使用、维护等方面，都得到了不同程度的应用，已成为岩溶工作中一种重要的勘测手段。随着方法技术的不断提高，井间电磁波层析技术将在各个领域得到更广泛的应用并取得更大的成果。

参考文献：

[1] 王振东. 浅层地震勘探应用技术 [M]. 北京：地质出版社，1989.  
[2] 勒洪晓，赵永贵，等. 地面地震 CT 在浅层勘探中的应用 [J]. 工程地质学报，2002 (2).