

利用天然电场选频法研究断层接触带

杨天春,张辉

(湖南科技大学 土木工程学院, 湖南 湘潭 411201)

摘要:天然电场选频法在地下水勘探中应用效果较好,但目前对该方法理论研究甚少. 主要从理论与实践两方面研究垂直断层上天然电场选频法的异常特征. 根据经典的大地电磁测深法理论,从麦克斯韦方程组和边界条件出发,推导谐变大地电磁场中垂直断层上方,地面水平电场的解析计算式;然后对理论模型的各个参数进行假定,计算获得地表主剖面上水平电场强度分量曲线;最后将理论模型上的模拟计算结果与实测曲线进行对比分析. 根据对比分析可知,二者曲线形态相似、特征相同,由此推断选频法的异常主要是由天然感应二次电场所致.

关键词:地球物理;选频法;模拟;天然电场;地下水;电磁场

中图分类号: P631.3

文献标识码: A

文章编号: 1672-9102(2013)04-0032-06

天然电场选频法简称选频法. 它是利用大地电磁场作为工作场源,以地下岩(矿)石间导电性差异为基础,在地面上测量大地电磁场产生的几个不同频率水平电场分量的变化规律,来研究地下地电断面的电性变化,达到解决地质问题的一种交流电勘探方法. 该方法是由音频大地电磁法(AMT)演化而来,所采用的工作频率为 $n \text{ Hz} \sim 2 \text{ kHz}$. 由于对选频法的场源问题存在争论,所以该方法一致缺乏系统的理论研究. 长期以来,学者们是将无磁介质中电磁波的趋肤深度公式,以及视电阻率与波阻抗、频率的关系式作为天然电场选频法的基本公式^[1].

从选频法的发展历史来看,最早可追索至20世纪40年代发展起来的大地电流法^[2]. 大地电流法是利用地壳中天然流动的超低频大地电流为场源,其工作频率为 $0.01 \sim 0.1 \text{ Hz}$;在实际工作中,大地电流法采用1~几公里的极距接收信号,它只适于解决一些特大型构造问题,如寻找含油构造、地震的预测预报等. 20世纪80年代,我国学者提出了游散电流法^[3]、声频大地电场法^[4]、天然低频电场法^[5]、天

然电场选频法^[6];90年代,又有少数学者在文献中提到地电选频法^[7]、音频大地电场法^[8]、天然交变电场法^[9]等方法. 由于选频法在地下水勘探中效果明显,2009年又有学者提出了地下磁流体探测法^[10]. 根据上述各种方法的仪器原理、方法特点来看,其实质都是相同的. 在以往的研究工作中,众多学者运用选频法在地下水勘探、工程地质调查等方面取得了比较好的效果,其应用性的文献也比较多^[11-13],但理论研究甚少. 本文主要研究垂直断层接触带上的大地电磁场分布规律,根据对这一简单二维构造的正演研究说明选频法的异常成因.

1 选频法在找水中的应用

各种地球物理方法在地下水勘探中都得到过成功的应用^[14],但天然电场选频法在地下水勘探中具有其独特的优势. 2009年湖南省炎陵县至江西井冈山睦村的高速公路在建设过程中,占用了炎陵县某小学的水井及水塔位置. 为此,高速公路建设公司前期为学校重新在校园内打了一个钻探孔,但为干井,未

收稿日期:2012-12-06

基金项目:湖南省自然科学基金项目(12JJ3035);湖南省科技计划项目(2011SK3195)

通信作者:杨天春(1968-),男,湖南津市人,博士,教授,主要从事资源勘查、工程物探、地质灾害调查、信号处理研究. E-mail: ytc6803@163.com

找到水源. 因此高速公路建设公司委托作者采用物探方法为其寻找最佳成井位置. 工作范围限制在校区及周边 100 m 范围内. 校址位于半山坡, 工作区内有房屋, 植被非常发育; 高速公路当时正在施工建设中, 常规电法方法现场施工十分困难. 为此, 作者选用了施工较方便的天然电场选频法开展勘探工作.

工作区内的岩石主要为砂岩和花岗岩体, 根据现场实际调查可知, 红色砂岩有明显出露, 而花岗岩体上部及与砂岩的接触带附近被第四系的粘土层覆盖. 根据对现场的分析, 大致认为 2 种岩性的接触带上可能是赋水的有利位置. 本次勘探所用仪器为 DX-2 天然电场选频仪, 该仪器共 5 个档位, 探测频率分别为 14.6 Hz, 71.8 Hz, 161 Hz, 262 Hz, 327 Hz,

783 Hz, 该仪器量程为 100 mv. 图 1 分别为 2 号测线的探测成果曲线图, 其中点距为 5 m, 极距 MN 为 20 m, 电极 M, N 沿测线方向移动, 测线方向与估计的岩性接触带大致垂直.

由探测成果可知, 在剖面距离 40 m 之后, 电位差明显增大, 各频率档的电位曲线均出现一个台阶式的明显上升; 特别是 71.8 Hz 档的信号, 在测线 50 m 位置之后, 读数出现超量程现象. 在该测线 55 m 之后, 地表是明显的红色砂岩出露, 55 m 之前地表为第四系土层覆盖, 因此推测测线 40 m 附近的地下为岩体与砂岩的接触带位置. 后期成井位置为测线 37 m 处, 成井深度 85 m, 埋深约 40 m 之后有较丰富的地下水存在, 水量约为 300 t/d.

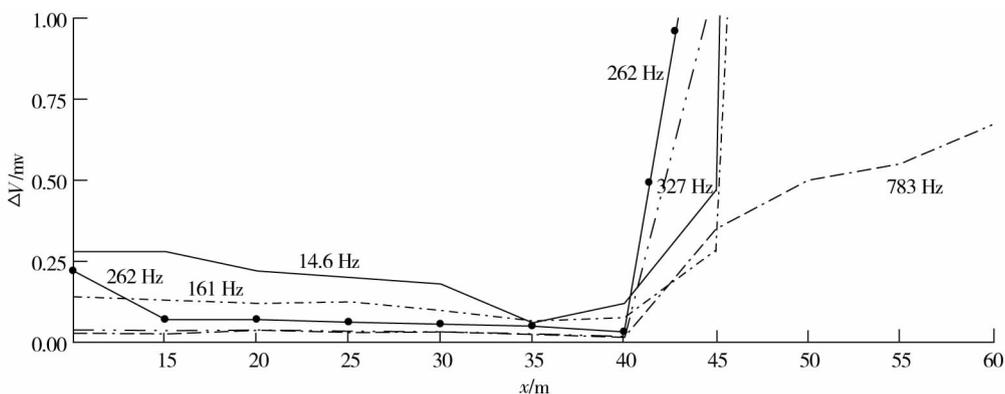


图 1 实地探测成果曲线
Fig. 1 Measured curves on the spot

2 垂直断层天然电场选频法的理论基础

就扩散电流场而言, 当它刚入地时电流线呈放射状, 但当远离接地点时, 可近似认为电流线相互平行, 可将其看成似稳态的均匀电场, 其异常曲线的成因与直流电法中的中梯法类似, 在此不做理论分析. 这里主要讨论电磁场场源来源于地球外部的情况, 这时可将大地电磁场近似看成是一个平面电磁波, 其特性服从如下麦克斯韦方程组

$$\nabla \times H = \sigma \cdot E + \varepsilon \cdot \frac{\partial E}{\partial t}, \quad (1a)$$

$$\nabla \times E = -\mu \cdot \frac{\partial H}{\partial t}, \quad (1b)$$

$$\nabla \cdot E = 0, \quad (1c)$$

$$\nabla \cdot H = 0. \quad (1d)$$

式中, H 为磁场强度, E 为电场强度, σ 为介质的电导率, μ 为磁导率, ε 为介电常数.

如图 2 所示, 假设有一个无限延伸 (y 方向) 的垂直断层, 断层两边介质的电阻率分别是 ρ_1 和 ρ_2 , 这 2 种介质位于同一基底上, 基底的表面是水平的, 位于 h 深度处, 设基底的电阻率为无穷大. 下面对 TE 和 TM₂ 种极化模式分别进行讨论, 坐标系及地质模型如图 2 所示, 设水平地面上垂直断层面的方向为 x 轴方向, 断层走向为 y 方向, z 轴向下. 电磁场随时间变化的因子是 $e^{i\omega t}$, 其中 i 为虚数单位, ω 为圆频率, t 为时间变量.

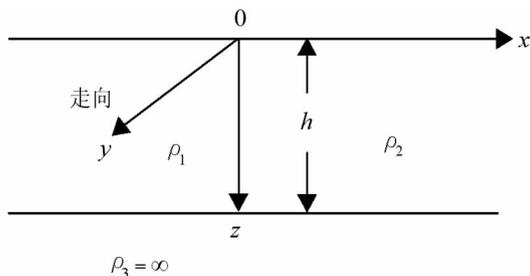


图 2 地质模型及坐标系
Fig. 2 Geologic model and coordinate system

2.1 TE 极化

在 TE 极化情况下, 电场只有 $E_y(x, z)$ 分量, $E_x = E_z = 0$, 磁场只有 H_x, H_z 分量. 在实践应用中, 选频仪的工作频率一般为 $n \text{ Hz} \sim 2 \text{ kHz}$, 这时可忽略位移电流的影响. 当忽略位移电流时, 由式(1a)得到

$$E_y = \frac{1}{\sigma} \left(\frac{\partial H_x}{\partial z} - \frac{\partial H_z}{\partial x} \right). \quad (2)$$

由式(1b)可得

$$H_x = \frac{1}{i\omega\mu} \cdot \frac{\partial E_y}{\partial z}, \quad H_z = -\frac{1}{i\omega\mu} \cdot \frac{\partial E_y}{\partial x}. \quad (3)$$

将式(3)中的 2 个计算式代入式(2), 可得到

$$\frac{\partial^2 E_y}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 E_y}{\partial z^2} = K^2 E_y. \quad (4)$$

其中 $K = \sqrt{i\omega\mu\sigma}$. 为书写方便, 以下电场省略角标 y , 把断层两侧的电场看成是由正常场和二次场组成的, 即

$$E_{y1} = E_1 = E_1^0 + P_1, \quad E_{y2} = E_2 = E_2^0 + P_2. \quad (5)$$

式中, P_1, P_2 是由断层引起的二次电场; 而 E_1^0, E_2^0 是不受断层影响的正常场, 即看成是一维二层介质引起的场, 它不随 x 变化, 只与 z 有关, 在介质 ρ_1 的一侧由式(4) 可得 E_1^0 的一般解为

$$E_1^0 = A_1 e^{\sqrt{i\omega\mu\sigma_1 z}} + B_1 e^{-\sqrt{i\omega\mu\sigma_1 z}}. \quad (6)$$

式中, A_1, B_1 为常量系数. 再由式(3)和式(6)可得正常磁场表达式为

$$H_{1x}^0 = \frac{1}{i\omega\mu} (\sqrt{i\omega\mu\sigma_1} \cdot A_1 e^{\sqrt{i\omega\mu\sigma_1 z}} - \sqrt{i\omega\mu\sigma_1} \cdot B_1 e^{-\sqrt{i\omega\mu\sigma_1 z}}). \quad (7)$$

在地面上 ($z = 0$) 正常磁场为一常数, 设为 H_0 ; 在高阻基底表面及其中磁场是常量, 而根据极限条件在无限深处磁场为零, 所以在高阻基底表面 ($z = h$) 磁场为零. 根据这 2 个边界情况, 由式(7)得

$$A_1 - B_1 = H_0 \sqrt{\frac{i\omega\mu}{\sigma_1}}. \quad (8)$$

$$A_1 e^{\sqrt{i\omega\mu\sigma_1} h} - B_1 e^{-\sqrt{i\omega\mu\sigma_1} h} = 0. \quad (9)$$

式中, $h_1 = \sqrt{\omega\mu\sigma_1} h$. 解式(8), 式(9)得到

$$A_1 = -H_0 \sqrt{\frac{i\omega\mu}{\sigma_1}} \cdot \frac{e^{-\sqrt{i\omega\mu\sigma_1} h}}{2 \sinh(\sqrt{i\omega\mu\sigma_1} h)},$$

$$B_1 = -H_0 \sqrt{\frac{i\omega\mu}{\sigma_1}} \cdot \frac{e^{\sqrt{i\omega\mu\sigma_1} h}}{2 \sinh(\sqrt{i\omega\mu\sigma_1} h)}$$

同理, 在介质 ρ_2 一侧, 类似于式(6), 有

$$E_2^0 = A_2 e^{\sqrt{i\omega\mu\sigma_2 z}} + B_2 e^{-\sqrt{i\omega\mu\sigma_2 z}}. \quad (10)$$

$$\text{式中, } A_2 = -H_0 \sqrt{\frac{i\omega\mu}{\sigma_2}} \cdot \frac{e^{-\sqrt{i\omega\mu\sigma_2} h}}{2 \sinh(\sqrt{i\omega\mu\sigma_2} h)},$$

$$B_2 = -H_0 \sqrt{\frac{i\omega\mu}{\sigma_2}} \cdot \frac{e^{\sqrt{i\omega\mu\sigma_2} h}}{2 \sinh(\sqrt{i\omega\mu\sigma_2} h)}, \text{ 而 } h_2 = \sqrt{\omega\mu\sigma_2} h.$$

由断层引起的二次电场 P_1, P_2 也同样满足亥姆霍兹方程, 在介质 ρ_1 一侧为

$$\frac{\partial^2 P_1}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 P_1}{\partial z^2} = i\omega\mu\sigma_1 P_1. \quad (11)$$

因 y 方向无限延伸, P_1 是 x, z 的函数, 用分离变量法, 式(11) 的解可写为

$$P_1 = \sum_{n=1}^{\infty} f_n(x) g_n(z). \quad (12)$$

由于在地表上 ($z = 0$) 和基底表面上 ($z = h$) 的磁场为常数, 而在离断层无限远处磁场为正常场, 即二次场为零, 所以在这 2 个平面上二次磁场处处为零, 也就是说在这 2 个平面上二次电场为常量, 于是 $g_n(z)$

可写成自变量为 $\frac{n\pi z}{h}$ 的余弦级数形式

$$g_n(z) = \cos\left(\frac{n\pi z}{h}\right)$$

将上式代入式(12), 再将式(12)代入式(11); 并依据 $x \rightarrow -\infty$ 处, 二次场为零, 解得

$$f_n(x) = a_{1n} e^{\sqrt{n^2\pi^2 + i\omega\mu\sigma_1} \cdot x/h}$$

将上式代入式(12), 得

$$P_1 = \sum_{n=1}^{\infty} a_{1n} \cdot \cos\left(\frac{n\pi z}{h}\right) \cdot e^{\sqrt{n^2\pi^2 + i\omega\mu\sigma_1} \cdot x/h}. \quad (13)$$

同理, 在介质 ρ_2 一侧, 应有

$$P_2 = \sum_{n=1}^{\infty} a_{2n} \cdot \cos\left(\frac{n\pi z}{h}\right) \cdot e^{-\sqrt{n^2\pi^2 + i\omega\mu\sigma_2} \cdot x/h}. \quad (14)$$

下面利用边界条件确定系数 a_{1n} 和 a_{2n} . 在断层面 $x = 0$ 处电场切分量应连续

$$(E_1^0 + P_1)|_{x=0} = (E_2^0 + P_2)|_{x=0}$$

将前面的式(6), 式(7)和式(13), 式(14)代入上式, 可得

$$a_{1n} - a_{2n} = 2H_0 h \omega \mu \frac{h_1^2 - h_2^2}{(ih_2^2 + n^2\pi^2) \cdot (ih_1^2 + n^2\pi^2)}. \quad (15)$$

另外, 在 $x = 0$ 的界面上磁场切线分量连续, 则有

$$H_{1z}|_{x=0} = H_{2z}|_{x=0}$$

由式(3)中的第 2 式可知

$$\left(\frac{\partial(E_1^0 + P_1)}{\partial x} \right) \Big|_{x=0} = \left(\frac{\partial(E_2^0 + P_2)}{\partial x} \right) \Big|_{x=0}$$

因 E_1^0, E_2^0 与 x 无关, 所以有 $\left(\frac{\partial P_1}{\partial x} \right) \Big|_{x=0} =$

$\left(\frac{\partial P_2}{\partial x}\right)\Big|_{x=0}$, 将式(13), 式(14)代入上式, 得到

$$a_{1n} \sqrt{n^2 \pi^2 + ih_1^2} + a_{2n} \sqrt{n^2 \pi^2 + ih_2^2} = 0. \quad (16)$$

对式(15), 式(16)联立求解, 得

$$a_{1n} = 2H_0 h \omega \mu \frac{h_1^2 - h_2^2}{(ih_1^2 + n^2 \pi^2) \cdot (ih_2^2 + n^2 \pi^2) \cdot \left(1 + \frac{\sqrt{n^2 \pi^2 + ih_1^2}}{\sqrt{n^2 \pi^2 + ih_2^2}}\right)}$$

$$a_{2n} = 2H_0 h \omega \mu \frac{h_2^2 - h_1^2}{(ih_2^2 + n^2 \pi^2) \cdot (ih_1^2 + n^2 \pi^2) \cdot \left(1 + \frac{\sqrt{n^2 \pi^2 + ih_2^2}}{\sqrt{n^2 \pi^2 + ih_1^2}}\right)}$$

所以, 介质 ρ_1 一侧地面电场为

$$E_{y1} = (E_1^0 + P_1)\Big|_{z=0} = -H_0 \sqrt{\frac{i\omega\mu}{\sigma_1}} \text{cth}(\sqrt{i} \cdot h_1) + H_0 2h\omega\mu (h_1^2 - h_2^2) \cdot U_1. \quad (17)$$

式中, $U_1 =$

$$\sum_{n=1}^{\infty} \frac{e^{-\sqrt{n^2 \pi^2 + ih_1^2} \cdot |x| \sqrt{h}}}{(ih_1^2 + n^2 \pi^2) \cdot (ih_2^2 + n^2 \pi^2) \cdot \left(1 + \frac{\sqrt{n^2 \pi^2 + ih_1^2}}{\sqrt{n^2 \pi^2 + ih_2^2}}\right)}$$

同理, 将式(17)中的脚 1, 2 互换, 即得到介质 ρ_2 一侧地面电场 E_{y2} 计算式。

2.2 TM 极化

假设电场方向垂直于断层构造的轴向, 且在距离断层足够远处大地电流层是水平均匀的, 磁场则平行于构造轴的方向, 即所谓的磁场平行极化方式, 也称为 TM 极化. 在 TM 极化情况下, 如图 2 所示模型, 此时磁场只有 H_y 分量, 且 H_y 是 x, z 的函数, 而 $H_x = H_z = 0$; 电场只有 E_x, E_z 分量, $E_y = 0$.

类似于前面 TE 极化情况下的推导方法, 在电

阻率为 ρ_1 的介质一侧, 地面上的电场水平分量 E_{x1} 的表达式为

$$E_{x1}\Big|_{z=0} = H_0 \cdot \sqrt{\frac{i\omega\mu}{\sigma_1}} \cdot \text{cth}(\sqrt{i}h_1) + H_0 \cdot \frac{1}{\sigma_1 h} \cdot 2i\pi^2 (h_1^2 - h_2^2) \cdot V_1. \quad (18)$$

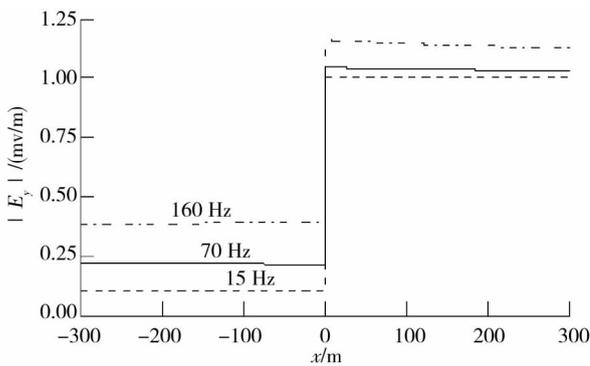
式中, $V_1 =$

$$\sum_{n=1}^{\infty} \frac{n^2 \cdot e^{-\sqrt{n^2 \pi^2 + ih_1^2} \cdot |x| \sqrt{h}}}{(ih_2^2 + n^2 \pi^2) \cdot (ih_1^2 + n^2 \pi^2) \cdot \left(1 + \frac{h_2^2 \sqrt{n^2 \pi^2 + ih_1^2}}{h_1^2 \sqrt{n^2 \pi^2 + ih_2^2}}\right)}$$

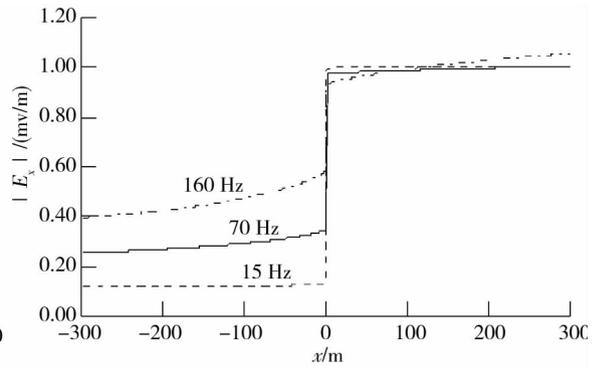
同理, 只需将式(18)中的脚 1, 2 互换, 即可得介质 ρ_2 一侧的地面电场水平分量 E_{x2} 计算式。

3 模拟计算

天然电场选频法在野外实测中有 3 种方法, 分别为: 1) 平行移动法: 电极 M, N 沿测线移动, MN 的中点 O 为记录点; 2) 垂直观测法: 电极 M, N 两点的连线垂直于测线移动; 3) 正交观测法: 就是前 2 种方法的组合, M, N 沿测线方向测出 ΔV_s^{\parallel} , 然后 MN 垂直于测线测出 ΔV_s^{\perp} , 最后取 ΔV_s^{\parallel} 与 ΔV_s^{\perp} 的平均值作为 MN 中点 O 的勘探结果^[15]. 由前面的理论分析可知, 如果野外测线垂直于断层的走向, 这时测得的 ΔV_s^{\parallel} 就相当于 TM 极化情况下的 E_{x1} 或 E_{x2} (见式(18)), 现场测得的 ΔV_s^{\perp} 就相当于 TE 极化情况下的 E_{y1} 或 E_{y2} (见式(17)). 众所周知, 天然的电磁场源是十分复杂的, 对于上述垂直断层的极化也是各种模式并存, 因此在垂直于断层方向和平行于断层方向均能测到断层引起的二次电场。



(a) TE极化



(b) TM极化

图 3 地面上大地电场正演曲线

Fig. 3 Forward modeling curves of telluric current field on the ground

由图2中的地质地球物理模型,假定 ρ_1 为 $100 \Omega \cdot m$, ρ_2 为 $1000 \Omega \cdot m$, h 为 $1000 m$;同时假定 H_0 为 $10^{-3} A/m$.根据前面的理论计算式(17)和式(18),可算得地表主剖面上的天然电场变化曲线.图3(a),图3(b)分别为TE极化和TM极化模式下,地面上电场强度水平分量的大小;其中,点划线、实线和虚线分别表示频率为160 Hz,70 Hz和15 Hz时的计算结果.由正演计算曲线图可知,在断层接触带上方,电场强度曲线出现十分明显的跳跃现象,高阻一侧的电场强度大小大于低阻一侧的电场强度,这与实测曲线的变化特征基本相同;另外,2种极化方式下曲线变化的总体特征也基本相同,电场强度大小随着频率的增大而增大.

4 结论

本文主要从理论上研究垂直断层上天然电场选频法的异常成因.从麦克斯韦方程组出发,推导了TE, TM极化模式下垂直断层地质模型上地面电场的理论计算公式;通过模拟计算,分析解释选频法实测成果中异常的成因.由模拟计算结果来看,垂直断层主剖面上的天然电场强度水平分量的异常曲线与实测曲线具有相似特征,说明天然电场选频法的异常成因主要是由天然感应二次场所致.

从正演模型的推导计算过程来看,其异常的成因与大地电测测深法的原理相同,只是实践观测技术、选用的频率不同而已.选频法选择的是音频大地电磁信号,且实际应用中只观测地面上电场的水平分量,忽略了对正交磁场分量的测量.因此,选频法只对水平方向有电性差异的地质模型有效,而对水平层状介质而言,电场曲线上无异常.

参考文献:

[1] 匡文龙,杨冲,曹运江,等.观文矿区地下暗河中天然电场选频法的探测研究[J].湖南科技大学学报(自然科学版),2011,26(3):17-21.
Kuang W L, Yang C, Cao Y J, et al. Natural electric field frequency selection method applied to underground buried river in Guanwen mine area[J]. Journal of Hunan University of Science & Technology(Natural Science Edition), 2011,26(3):17-21.

[2] 曾融生.大地电流勘探方法[J].物探与化探,1957(2):1-6.
Zeng R S. The telluric current exploration method[J]. Geophysical

and Geochemical Exploration,1957(2):1-6.

[3] 杨杰.游散电流法在岩溶地区的试验成果及理论研究[J].物探与化探,1982,(1):41-54.
Yang J. Test results and theoretical study of the stray current method in karst areas[J]. Geophysical and Geochemical Exploration,1982,(1):41-54.

[4] 信永水.声频大地电场法异常特征初探[J].石家庄经济学院学报,1982,5(4):44-53.
Xin Y S. Anomalies of sonic frequency telluric electric field method [J]. Journal of Shijiazhuang University of Economics,1982,5(4):44-53.

[5] 林君琴,雷长声,董启山.天然低频电场法[J].长春地质学院学报,1983,13(2):114-126.
Lin J Q, Lei C S, Dong Q S. The natural low frequency electric field method[J]. Journal of Changchun College of Geology,1983,13(2):114-126.

[6] 韩荣波,吴木林.天然电场选频法在工程地质中的应用[J].工程勘察,1985,13(3):76-79.
Han R B, Wu M L. The application of natural electric field frequency-selection method in engineering geological works[J]. 1985,13(3):76-79.

[7] 李学军.地电选频法在水文地质工程地质工作中的应用与效果[J].中国岩溶,1991,10(3):220-224.
Li X J. Applications and effects of the telluric electrical-field frequency selecting method in hydrogeological and engineering geological works[J]. Carsologica Sinica, 1991,10(3):220-224.

[8] 连克,朱汝烈,郭建强.音频大地电场法在地质灾害调查中的应用尝试-长江三峡链子崖危岩体隐伏地质构造的探测[J].中国地质灾害与防治学报,1991,2(增):37-41.
Lian K, Zhu R L, Guo J Q. Preliminary application of the audio geoelectric field method to the investigation of geological hazard[J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 1991,2(Sup):37-41.

[9] 罗洪发.煤矿古巷灾害及用天然交变电场法探测预防[J].中国地质灾害与防治学报,1994,5(增):277-284.
Luo H F. Forecast by the natural electric field method[J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 1994,5(Sup):277-284.

[10] 周华,黄采伦,周益文.地下磁流体探测方法及其应用[J].矿业工程研究,2009,24(2):42-45.
Zhou H, Huang C L, Zhou Y W. Underground magneto fluid detector and its application in mine flood detection[J]. Mineral Engineering Research, 2009,24(2):42-45.

[11] 王连元.断层裂隙水的天然电场动态响应特征[J].煤田地质与勘探,2012,40(1):76-78.
Wang L Y. The natural electric field dynamic characters of fracture water in fault[J]. Coal Geology & Exploration, 2012,40(1):76-78.

[12] 王齐仁. 地下水开采引起的地表变形调查方法[J]. 自然灾害学报, 2007, 16(3): 154 - 159.

Wang Q R. Investigation method of ground surface deformation caused by groundwater exploitation [J]. Journal of Natural Disasters, 2007, 16(3): 154 - 159.

[13] 王绪本, 于汇津, 罗建群, 等. 综合物探方法勘查福建贵安地热田[J]. 成都理工学院学报, 1997, 24(3): 101 - 107.

Wang X B, Yu H J, Luo J Q, et al. Application of geophysical methods to Guian geothermal field exploration [J]. Journal of Chengdu University of Technology, 1997, 24(3): 101 - 107.

[14] 焦彦杰, 吴文贤, 杨剑, 等. 云南岩溶石山区物探找水方法与实例分析[J]. 中国地质, 2011, 38(3): 770 - 778.

Jiao Y J, Wu W X, Yang J, et al. Geophysical water exploration methods in stone mountain karst areas and case analysis [J]. Geology in China, 2011, 38(3): 770 - 778.

[15] 张瑜麟. 天然电场选频法在工程地质勘察快速评价中的应用[J]. 地质与勘探, 2003, 39(3): 67 - 71.

Zhang Y L. The application of natural electric field frequency - selection method in quick evaluation of engineering geological examination [J]. Geology and Prospecting, 2003, 39(3): 67 - 71.

Study faults by natural electric field frequency selection method

YANG Tian - chun, ZHANG Hui

(College of Civil Engineering, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China)

Abstract: The natural electric field frequency selection method has good effects on ground water exploration, but is short of theoretical research. The anomaly of a vertical fault of frequency selection method was studied from theory and practice. According to classical theory of magnetotelluric sounding, firstly, based on the Maxwell equations and the boundary conditions, the analytic expressions of horizontal electric field components on the ground was derived for a vertical fault in a harmonic magnetotelluric field. Secondly, all parameters of the model were supposed, and anomalous curves of horizontal electric field intensity on the ground main profile were obtained. At last, theoretical curves were compared with practical curves. Their curves had similar characteristics, and therefore the anomaly of frequency selection method was caused by natural induced electric field.

Key words: geophysics; frequency selection method; simulation; natural electric field; ground water; electromagnetic field