

天然电磁场日变规律实验观测

张 辉, 杨天春, 葛洪亮

(湖南科技大学土木工程学院, 湖南 湘潭 411201)

摘 要:开展了天然交变电磁场日变规律的实验观测工作,由此探讨日变场的变化规律,以及天然电场选频法的基本原理。在同一地点或两个分离的点上,采用两台仪器对天然电磁场的日变情况进行同点同时观测和异点同时观测,获得日变场的变化曲线。分析采集结果,在工作区范围内天然交变电磁场具有同源性和波动性的变化规律。结合实例,叙述了野外采集和数据处理的一些方法,以压制背景场干扰而造成的假异常。

关键词:天然电场选频法;日变规律;声频大地电场法

中图分类号:P631.3

文献标志码:A

引 言

天然电场选频法是以大地电磁场为工作场源,以岩石的电性差异为基础,在地面测量大地电场的水平分量,并通过对其变化规律的研究,用来解决水文、工程地质和找矿勘探等地质任务的一种交变电磁方法。

天然电场选频法的理论基础来源于音频大地电磁法(AMT)。1953年,L. Cagniard 最初提出大地电磁法,随后,Kenneco 于 1963 年将其发展为音频大地电磁法,并用于解决浅部地质问题。我国于 1968 年开始对音频大地电磁法开始研究。天然电场选频法的研究从 20 世纪 70 年代才开始,从最初的声频大地电场法、音频大地电场法到天然低频电场法,再到天然电场选频法,名称虽然有变化,但是其基本原理还是相同的。

1977 年,国家地质总局水文地质工程地质技术方法研究队,在河北西部太行山地区开始利用大地电场的声频部分,进行了一些探测浅层含水构造的试验研究工作,并研制了 SDD-1 型声频大地电场仪。1981 年,地

质部召开了声频大地电场法技术评议会,并开始推广应用^[1]。1982 年,信永水开始研究声频大地电场法的异常特征^[2]。1983 年林君琴等提出了天然低频电场法,并研制了 DCR-A 型天然场电测仪^[3];同年,河南省煤田地质勘探公司的乔夫^[4]、山东省泰安地区水利局的张钦朋^[5]等也对此方法有一定的研究。1985 年韩荣波等正式提出天然电场选频法,首先提出了选频的概念,并研制成功了 DX-1 型天然电场选频仪^[6]。随后,也有很多学者对此方法有一定的研究,但是大多只是在实践方面,在理论方面的研究偏少。

1 方法原理

天然电场选频法的场源主要是由雷电和游散电流组成的。根据场论可知,在距离场源很远的地面所分布的场,可视为一平面波场。对于大地电磁场以及交变电磁场场源而言,在距离场源较远的地方,其平面波场方向近似垂直于地面且场的变化规律服从麦克斯韦方程组:

收稿日期:2012-12-21

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);湖南科技大学 2012 年大学生科研创新计划(SRIP)项目(SYZ2012020)

作者简介:张 辉(1989-),男,江苏泰州人,硕士生,主要从事地球物理勘探方面的研究,(E-mail)xitelez@163.com

$$\nabla \times \vec{H} = \vec{j} + \partial \vec{D} / \partial t \quad (1)$$

$$\nabla \times \vec{E} = - \partial \vec{B} / \partial t \quad (2)$$

$$\nabla \cdot \vec{D} = q \quad (3)$$

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0 \quad (4)$$

其中, \vec{H} 为磁场强度, \vec{E} 为电场强度, \vec{D} 为电位移, \vec{B} 为磁感应强度, \vec{j} 为电流密度, q 为自由电荷体密度, t 为时间。

通过对麦氏方程组的求解,可以得到波阻抗与介质交流电阻率的关系^[7]:

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

式中: ρ_s 为交流电阻率, μ 为磁导率, E_x 为电场分量, H_y 为磁场分量, $\frac{E_x}{H_y}$ 为波阻抗, $\omega = 2\pi f$, f 为工作频率。

式(5)中未考虑 E_x 和 H_y 之间的相位差,这是因为本方法只是测量大地电场的水平分量,故不考虑 H_y 。从式(5)可以看出,当频率 f 一定时, ρ_s 与 $|E_x|^2$ 成正比,而 $E = \Delta V / MN$, 于是 ρ_s 与 ΔV 成正比,即在野外可以根据测得的 M 、 N 两点之间的电位差便可推测地下视电阻率的大小。

根据平面电磁波在地层中传播时的衰减特征,即其振幅沿 Z 轴方向前进 $1/b$ 距离时,振幅衰减为地表的 $1/e$ (约 37%)。其中 b 为介质对电磁波的衰减系数。通常取距离 $\delta = \frac{1}{b}$ 为电磁波的趋肤深度(或者称为穿透深度)。在无磁介质中^[8]:

$$\delta = \frac{1}{b} \approx 503.3 \sqrt{\frac{\rho}{f}} \quad (6)$$

根据式(6)可知,电磁波的趋肤深度与电阻率和频率有关。当频率一定时,电阻率越高趋肤深度越大;当电阻率一定时,频率越低趋肤深度越大。因此,在实际工作中,我们可以选择不同的工作频率从而达到测深的目的,这也是选频的由来^[9]。但是根据式(6)求出的目标埋深比实际深度要大,因此要对深度进行校正。有实验及经验总结表明,一般在基岩地区要乘以校正系数 $1/2 \sim 1/3$ ^[10]。

为了更好的说明天然交变电磁场的同源性与天然电场在工作区范围内对地质体的影响具有同一性,了解天然交变电磁场的变化规律,以便合理的指导野外工作,从而增加采集结果的可靠性,进行天然交变电磁场的日变规律观测。

2 实验内容及步骤

本次实验选用的仪器为郑州地校研制并生产的 TR-1 型天然电场选频仪,该仪器为指针型读数,频率选择旋钮共分为 0 ~ 10 个档位,分别代表着 15.7 Hz、23.6 Hz、71.8 Hz、129 Hz、213 Hz、320 Hz、640 Hz、980 Hz、1450 Hz 以及混频 10 个频率。通过选择频率,可以达到下述目的:(1) 提高抗干扰能力;(2) 对比各频率的异常曲线,从而提高解释的可靠性;(3) 勘探不同的深度。与该仪器配套的还有两根不极化电极以及电线(标配长度 20 m)。

本次实验主要分三个步骤完成,首先为不同仪器同点同时刻测量,然后为不同仪器异点同时刻测量,最后为日变规律观测。前两次实验主要目的是验证工作时间工作范围内天然电磁场的变化规律,第三次实验的主要目的是研究天然电磁场的日变化规律,为实践工作中选择合适的采集时间提供理论基础。

2.1 不同仪器同点同时刻测量

本次操作主要是检验两台不同仪器之间的一致性,为下面的异点同时刻测量做准备工作。地点选择在湖南科技大学校园内一处堤上(见图 1 实验地点一),该处远离电缆及电线等各种供电设备,以避免人为因素而带来的干扰。本次实验时间从 8 点至 18 点,共计 10 h,期间每隔 20 min 读数并记录各仪器各档位的读数,电极 MN 距离 20 m。数据采集完毕使用 Grapher 绘制各档位的曲线图,对比两台仪器在各档位的一致性,并计算出两台仪器的拟合度。图 2 为同点同时实验部分成果图。



图 1 实验地点示意图

根据实验结果,两台仪器各档位的曲线同步性在 90% 以上,除了极个别的档位曲线的同步性稍低,排除仪器本身误差以及人为因素,认为两台仪器的同步性达

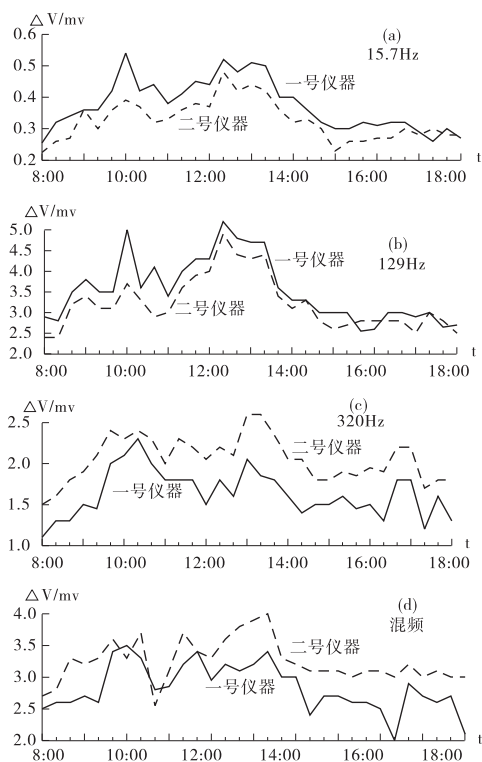


图2 同点同时测量实验成果

到预期要求,可以进行下一步实验。

2.2 不同仪器异点同时时刻测量

本次操作选择两处不同的地点同时读数测量,第一处为实验的地点一,第二处为湘潭市九华工业园区东风本田4S店东北侧的山坡边(实验地点二),此处地点选择同样需要远离电缆等供电设施的干扰,两处相距3.2 km,如图1所示。

时间与上次实验时间一致,仍为8点~18点10 h,期间每隔20 min 读数,电极MN 距离20 m;分析方法也与上次一样。图3为异点同时实验部分成果图。

根据实验结果,在不同地点,两台仪器各档位的曲线同步性在90%以上,除了极个别的档位曲线的同步性稍低,排除仪器本身误差以及人为因素,可以认为两台仪器各档位的曲线变化形态基本一致,具有同步性。

2.3 日变规律观测

本次操作地点与第一次操作地点相同(图1中实验地点一),观测时间为第一天8点至第二天16点,共计32 h,期间每隔20分钟记录一次数据,然后根据采集的数据使用Grapher 绘制曲线,再根据绘制的曲线进行分析。图4为日变规律观测部分成果图。

从图4,可以得知天然交变电磁场在24 h内变化幅度比较大,具有波动性,主要表现在下面几个时间段,8

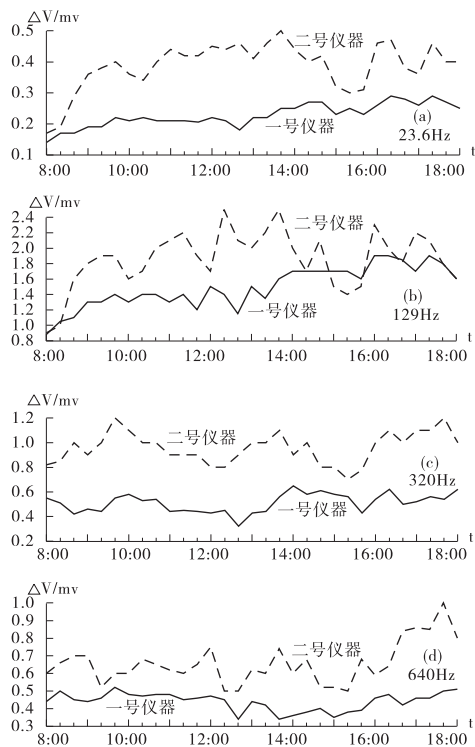


图3 异点同时实验成果图

点~21点这个时间段内,电位差的值较大;22点~7点电位差的值比较小,这两个时间段的值的大小差别在3倍以上。在上述两个时间段内,天然交变电磁场仍是随机变化的,但是波动在一个有限的范围内;在7点这个时刻,天然交变电磁场有个突变的过程,推测可能是因为日出等因素引起的。两天重复时刻观测的部分,虽然曲线的大小各异,但是其变化规律是相似的(图4中点化线与实线对比),表明虽然天然交变电磁场是波动的,但是其日变化规律还是服从一定的规律。

通过上述分析,在实践应用当中,应在尽可能短的时间内采集完数据,如果必须长时间操作,那么要进行日变规律的观测,根据背景场的变化对采集的数据进行归一化处理,压制由于天然交变电磁场的波动变化而引起的假异常,增加解释的合理性。

3 工程实例

某高速公路监控中心的找水应用中采用了天然电场选频法,结合几条实测剖面,阐述天然电场日变规律观测在实践工作中的应用。

在工作区范围内,选定一处地下介质较稳定的地点布设天然电磁场日变规律观测点(类似于高精度磁测中的日变站),观测工作过程中天然电磁场的时时变化规律,同时记录各测线和观测点的数据。数据处理时,根

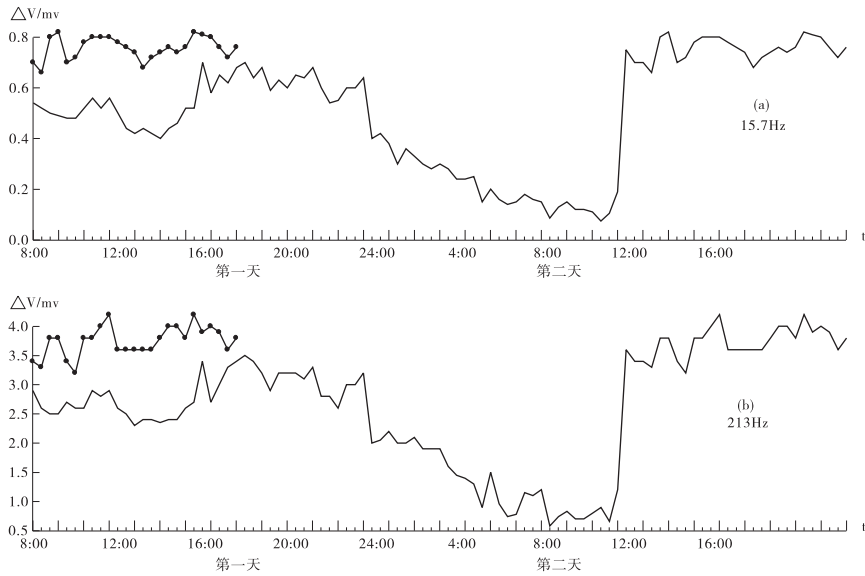


图 4 日变规律观测实验成果图
(注:点化线为第二天 8 点~16 点观测)

据日变观测点的数据对各测线的实测数据进行归一化处理。图 5 为 05 测线 0~4 档的实测曲线图,分析可知,在测线 76 m 和 110 m 位置处各有一比较明显的低阻异常;图 6 为根据日变观测数据对频率 213 Hz 的曲线进行归一化处理后的曲线图(其它几个频率经归一化处理后的曲线图为 213 Hz 的类似,就不一一罗列说明),分析此图,110 m 处的异常仍存在,而 76 m 处的异常已不明显,推测 76 m 处的假异常为天然电磁场的随机变化所引起的。通过钻孔验证,110 m 处在深度 100 m 附近见水,且通过抽水试验,水量也达标。

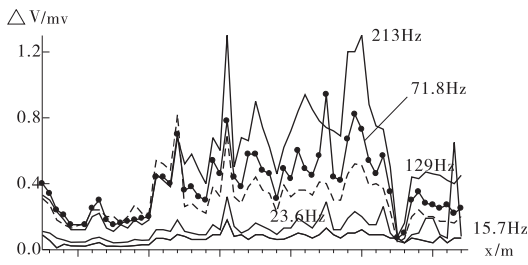


图 5 05 测线实测曲线图

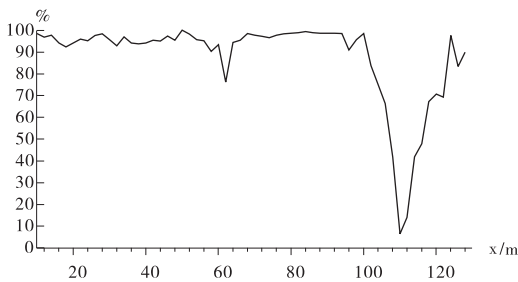


图 6 归一化处理后的曲线图

同时,如果实际情况允许,建议先进行天然电磁场日变规律观测实验,选取背景场变化较平稳的时间段进行剖面实测,如图 4 中 8:00~11:00 和 12:00~15:00。或者日变观测与剖面实测同时进行,对采集的数据进行归一化处理,压制因背景场的波动而造成的假异常,增加解释的可靠性。

4 结束语

天然电场选频法具有操作简便、投入低、便捷、抗干扰能力强等其他物探方法不具有的特点。通过实验可知:(1)天然电磁场在局部范围内具有同源性,表现为:在一定范围内,天然场的同步变化,本次试验中表现为电位差的变化;(2)天然电磁场具有波动性,在清晨的时候变化幅度较小,而且有一明显的上升趋势,在中午时刻变化比较剧烈,到傍晚时,又有一下降趋势;(3)白天与夜晚的变化幅度差别较大,日变化规律又有一定的重复性;(4)在实践应用当中,应尽可能在短时间内完成数据采集工作,否则必须进行归一化处理,以压制背景场造成的假异常,增加解释的合理性。

参考文献:

[1] 连克.声频大地电场法在岩溶山区探测地下水的
应用[J].水文地质工程地质,1979(5):76-85.
[2] 信永水.声频大地电场法异常特征初探[J].河北地
质学院学报,1982(4):44-53.
[3] 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(2):114-126.
- [4] 乔夫.声频大地电场法探测岩溶水的效果[J].煤田地质与勘探,1983(5):42-45.
- [5] 张钦朋.声频大地电场法找水[J].工程勘察,1983(2):53-56.
- [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(3):76-79.
- [7] Moroz Y F. Anomalies of the natural electric field on Lake Baika[J]. Physics of the solid Earth,2008(11):933-940.
- [8] 李好,杨天春,王齐仁.天然电场选频法在地下水勘探工程中的应用[J].西部探矿工程,2009(10):114-116.
- [9] 匡文龙,杨冲.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.
- [10] 王士党,杨天春,夏祥青.天然电场选频发在溶洞勘查中的应用[J].勘察科学技术,2011(6):52-55.

Experimental Observations on Diurnal Variation Law of Natural Electromagnetic Field

ZHANG Hui, YANG Tian-chun, GE Hong-liang

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

Abstract: Experimental observations on daily change of natural alternating electromagnetic fields are carried out. The daily field variation and the basic principles of the natural electric field frequency selection method are discussed. Daily variation field change curve is obtained in terms of the simultaneous observation of natural electromagnetic field variable condition in the same place or in two separate points by two instruments. According to the analysis result, the natural alternating electromagnetic field has homologous variation and volatility in the working area. Combined with the example, some methods of data-collection and data processing are stated to suppress the false abnormal caused by background interference.

Key words: natural electric field frequency-selection method; diurnal variation law; sonic frequency telluric electric field method