

# 天然电场选频法日变规律观测试验

陈卓超<sup>1</sup>, 邓汉洋<sup>1</sup>, 杨天春<sup>1,2\*</sup>, 戴世鑫<sup>1</sup>, 周林<sup>1</sup>, 杨追<sup>3</sup>

(1. 湖南科技大学 资源环境与安全工程学院, 湖南 湘潭 411201;

2. 湖南科技大学 岩土工程稳定控制与健康监测湖南省重点实验室, 湖南 湘潭 411201;

3. 湖南普奇地质勘探设备研究院, 湖南 长沙 410005)

**摘要:**为探寻不同地区天然电场选频法一次场的来源,深入了解大地电磁场的日变规律,对不同环境下的天然电磁场开展了同点同时观测、异点同时观测和日变规律试验观测.通过对试验数据的分析对比发现,工业园区夜间电位曲线变化明显比白天更加平缓;而城镇和山区的日变曲线在夜间用电高峰期有一个较大的起伏,并且在雷电活动期间山区的曲线存在明显波动.结果表明,工业园区工作场源主要为工业游散电流,城镇和山区则主要受居民用电和雷电影响,其日常变化均服从各自的日变规律.

**关键词:**天然电场选频法;大地电磁场;日变规律

**中图分类号:**P319 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-9102(2020)04-0061-06

## The Observation and Test of the Daily Variation Based on the Frequency Selection Method of Natural Electric Field

Chen Zhuochao<sup>1</sup>, Deng Hanyang<sup>1</sup>, Yang Tianchun<sup>1,2</sup>, Dai Shixin<sup>1</sup>, Zhou Lin<sup>1</sup>, Yang Zhui<sup>3</sup>

(1. School of Resources, Environment and Safety Engineering, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China;

2. Hunan Provincial Key Laboratory of Geotechnical Engineering for Stability Control and Health Monitoring, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China;

3. Hunan Puqi Geological Exploration Equipment Institute, Changsha 410005, China)

**Abstract:** In order to find out the source of the primary field of the frequency selection method natural electric field in different regions and to deeply understand the diurnal variation law of magneto-telluric field, this paper has carried out simultaneous observations of the natural electromagnetic field at the same point in different environments, and simultaneous observation of different points and experimental observation of diurnal variation law. Through the analysis and comparison of the experimental data, it is found that the nocturnal curve change of the industrial park is more gentle than that of the daytime. The diurnal variation curve of town and mountain area has a big fluctuation during the peak period of power consumption at night, and the curve of mountain area has obvious fluctuation during the lightning activity. Results show that the main source of the industrial park is the industrial stray current, while the towns and mountain areas are mainly affected by the residents' electricity and lightning, and their daily changes obey their own daily variation law.

**Keywords:** frequency selection method of natural electric field(FSMNEF); magneto-telluric field; daily variation law

天然电场选频法是以天然电磁场为工作场源,以地下岩矿石电性差异为基础,通过测量大地电磁场在

收稿日期:2019-11-27

基金项目:国家重点研发计划资助项目(2018YFC0807801);国家自然科学基金资助项目(51804112);湖南省教育厅科研资助项目(16K031)

\*通信作者, E-mail: ytc6803@163.com

地表产生的电场水平分量,来研究地下地电断面的电性变化,解决水文地质及工程地质问题的一种交流电勘探方法<sup>[1]</sup>.该方法由音频大地电磁法(AMT)演化而来,所采用的工作频率为 $n \sim 1.5$  kHz.常规电法中高密度电阻率法、激发极化法以及电阻率测深法等,在找水定井及工程勘察方面受到广泛应用<sup>[2]</sup>,但常规电法仪器笨重,测线的布置对场地有较高的要求.天然电场选频法能在低阻体上方测得非常可靠的低电位异常,并且其方法操作简便、成本低、探测速度快、适用范围广,逐渐被大家认可,特别在寻找地下水资源和矿山水害调查上具有良好的应用效果<sup>[3-6]</sup>.大地电磁场的场源组成复杂,主要有太阳风与磁层、电离层的相互作用,雷电活动所产生的电磁场,以及工业电流和人文因素的影响.其中杨杰提出工业游散电流是游散电流场的主要来源<sup>[7]</sup>,而林君琴等认为天然电场选频法是以雷电活动和游散电流场为场源<sup>[8]</sup>,王齐仁经过多年的实测试验发现并认识到天然交变电场动态信息的存在<sup>[9]</sup>.复杂的场源导致众多学者对选频法所测异常的成因有不同的见解,杨天春等从三维空间的角度对其异常成因进行理论分析和模拟计算,得出天然电场选频法的异常主要是由自然因素、人文因素所产生的水平交变磁场和水平交变电场共同作用的结果<sup>[10]</sup>;张瑜麟针对天然电场选频法在工程勘察中的应用,提出对选频异常曲线进行圆滑处理和归一化处理,以压制干扰场源和背景场对有效异常的掩盖<sup>[11]</sup>;张辉等在试验研究中只进行了单一环境下大地电磁场的日变化观测,未考虑到工作环境变化时大地电磁场的场源也会随之变化<sup>[12]</sup>.只有深入了解并分析不同环境下大地电磁场的场源构成,才能压制背景场对有效异常的影响.在实际工作中,工作场地往往不是单一环境,有时甚至会同时跨越工厂、居民区和山区,工业用电和人文因素会给观测结果带来极大的干扰.根据工业电流及人文因素的不同程度干扰,本次试验选择在工业园区、城镇及远离工业用电的山区3个不同的工作环境下进行天然电磁场的日变规律观测,希望通过探索不同环境下天然电磁场的日变规律能对天然电场选频法工作场源有所发现,并且对其分析验证.

## 1 试验内容

本次试验所用仪器为湖南普奇勘探设备研究院研发生产的PQWT-TC300找水仪.为方便试验研究,观测所用仪器通过系统程序设定为自动采集数据,采集时间间隔为10 min(采集时间+时间间隔),试验观测所用频率是从1~6 000 Hz中选取40个经验频率,即每次都将采集40个不同频率的数据,所采集的数据为大地电磁场电场的水平分量,以10 m作为测量极距.

试验内容主要分为3个部分,即不同仪器同点同时刻观测、不同仪器异点同时刻观测以及单点日变规律观测.第一步同点同时刻观测目的在于验证仪器之间的一致性;第二步异点同时刻观测是为了研究所选场地大地电磁场的变化特征;第三步是在不同地区进行单点日变规律观测.试验观测日期是2018年6月—8月,每次试验观测时长都大于24 h,也就意味着每组数据都可以用作对比分析.由于时间及成本等条件的限制,此次试验只研究不同环境对大地电磁场的场源的影响,目的在于比较不同环境下日变规律的变化情况,说明其一次场的来源,指导实际工作.

## 2 工业园区不同仪器同时刻观测

该步骤主要是检测2台不同仪器之间的一致性,为异点同时刻观测做准备工作,同时对工业园区大地电磁场的日变规律进行观测.此次试验地点为佳海工业园一期A15, A16之间的绿化带(28.345293°N, 112.993462°E),由于工业园干扰场源多且变化快,所以要尽量减少2台仪器采集时间不同导致的时间差,以减少对观测结果的影响;并且缩短采集时间间隔,以便获得更加精确的实时日变曲线.为减少人为因素及其他偶然因素干扰,本次试验共进行3次观测,观测时长分别为24, 36, 48 h,试验均从8:30开始,数据采集时间间隔为10 min.数据处理采用grapher绘制出不同档位的曲线图,图1为第2次(左)和第3次(右)同点同时刻观测部分结果对比图,观测频率依次为25, 67, 170, 400, 2 000 Hz,其中在第3次观测过程中第二天6:30~8:40为停电时间.

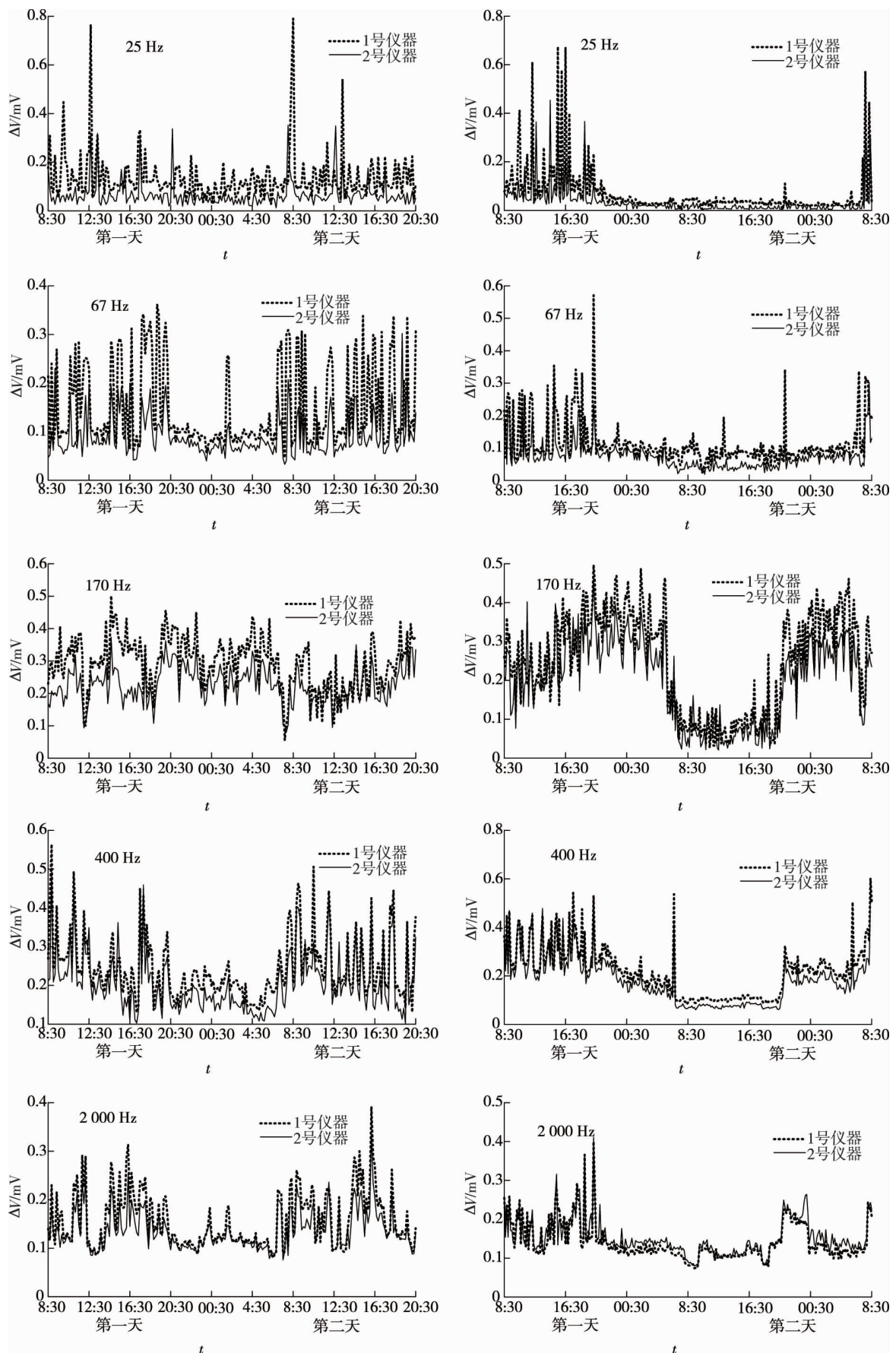


图1 同点同时刻观测结果对比

根据试验结果发现,2台仪器的曲线同步性较好,曲线的相似度在95%以上,2台仪器观测的日变规律基本相同.总体而言,夜间(18:00~7:00)的观测值明显小于白天(8:00~18:00)的观测值且更加平缓;

在停电时间段,观测值明显降低,且尖锐峰值出现的频率极大地减少.由此可以看出在观测数据中出现的飞点绝大部分是工厂机械运转产生的工业电流干扰导致的结果,并且工业园区工业游散电流极大地增强了工业园区电磁场的强度,是该区大地电磁场的主要来源.排除仪器本身的误差影响及个别偶然因素的存在,基本可认为2台仪器的同步性达到预期要求,可进行下一步试验.

### 3 工业园区及城镇同时刻观测

1号仪器位于佳海工业园一期16栋楼下绿化带,2号仪器位于普奇试验基地(沙坪街道长青路对面约100 m 小山坡上, 28.363912°N, 113.017044°E).两处试验场地相距约3.2 km,观测时间从9:40开始,到第三天9:40结束,共计48 h,仪器自主读数间隔为10 min,测量电极MN间距为10 m, N端上方约3 m有进户线通过.图2为异点同时刻观测部分结果对比图,观测频率依次为25, 67, 170, 400, 2 000 Hz.为方便对比,1号仪器观测结果的纵坐标对应坐标系中左侧实线轴,2号仪器观测结果的纵坐标对应坐标系中右侧实线轴,左右两侧纵轴的单位一致.

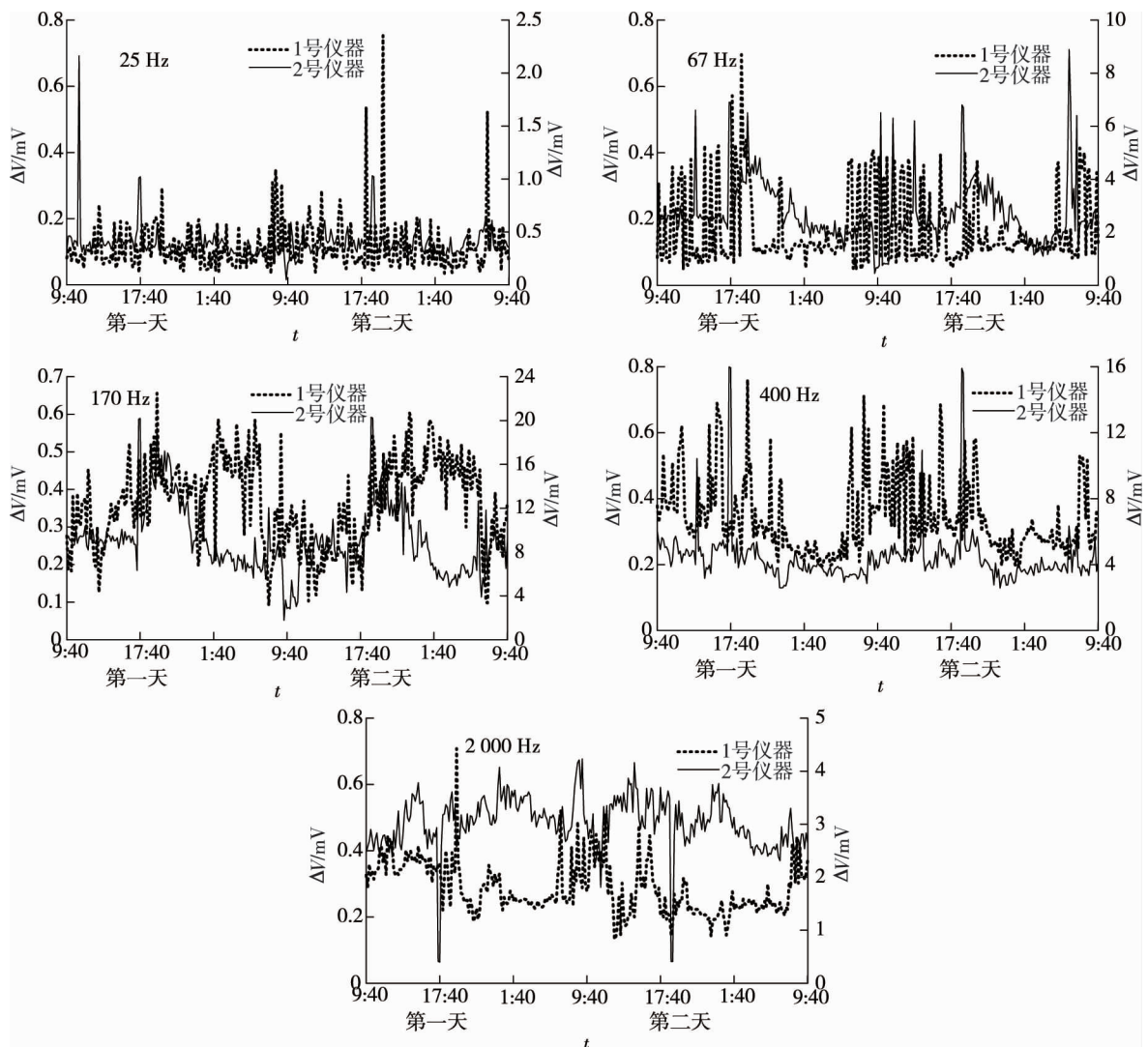


图2 异点同时刻观测结果对比

根据试验结果发现,右侧纵轴的数值明显大于左侧,这是由于进户线的影响导致2号仪器数值整体偏大;两处的观测结果同步性较差,其根本原因是两者场源不一致,工业园区的场源基本受工业游散电流控制影响较大;2号仪器观测频率为67和170 Hz时在18:00~1:00有一个波峰期,这是由于晚上用电高峰期游散电流的出现导致大地电磁场增强,进而导致观测数值的增大与减少.

## 4 山区单点日变观测

本次试验的场地位于湖南涟源湄江石陶坪,远离(不受人文因素干扰)居民区的一荒田上( $27.914882^{\circ}\text{N}$ ,  $111.733946^{\circ}\text{E}$ ),电极MN西北垂直方向约100 m有380 V电线通过,基本远离人文因素的干扰.此次观测时间从8:00开始,至第三天8:00结束,共计48 h.第二天20:00左右开始下雨,伴随有雷电活动,对试验结果有一定的影响.数据采集时间间隔为10 min,测量极距MN为10 m.图3为单点单台仪器日变规律观测结果对比图,观测频率依次为25,67,170,400,2 000 Hz.

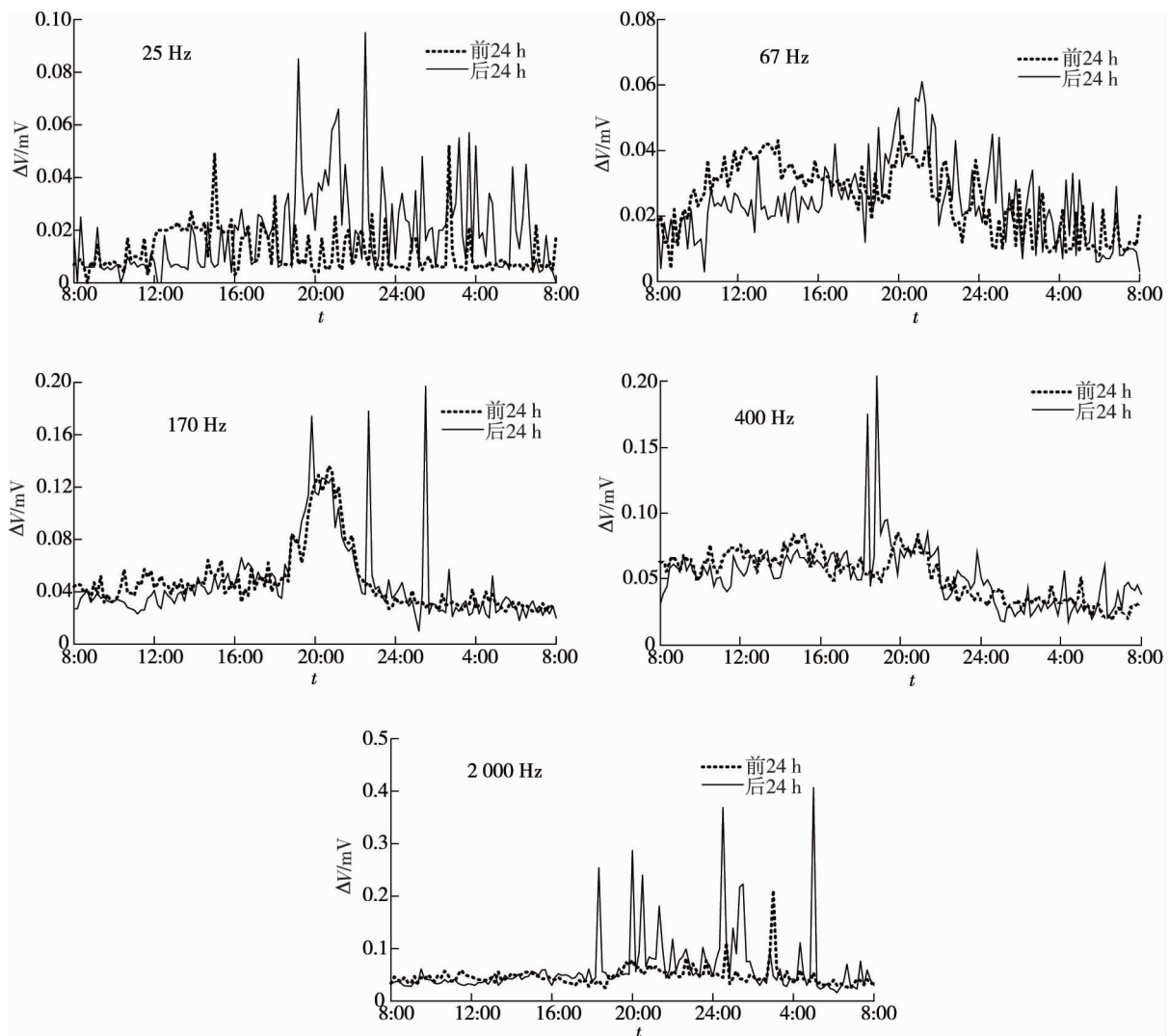


图3 单点单台仪器日变规律观测结果对比

从图3可知,大地电磁场在24 h内的变化幅度比较大,具有明显的波动性.总体而言,2天的日变规律曲线重合度较好,具有一定的规律性,夜间的观测数值低于白天,符合大地电磁场的场源分析.其中观测频率为67和170 Hz的日变规律曲线在18:00~24:00存在一个高峰期,是因为夜晚用电高峰的出现,游散电流极大地增强了大地电磁场的强度;而观测频率为170,400,2 000 Hz的日变规律曲线在第二天20:00左右出现的不规律波动,是受到雷电活动的影响所导致.

## 5 结论

1) 工业园区的天然电磁场主要受工业游散电流控制,高频信号受机械运转所产生的工业用电影响较大,在工业园区作业时需要压制干扰信息或者通过数据处理来挑选有效信息,在这个方面还需要进一步研究.

2) 游散电流和雷电是山区大地电磁场的重要来源,其中游散电流对大地电磁场的影响与居民作息用电息息相关,白天具有一段较长的平缓作业期。

3) 工业园区、居民区及山区的天然交变磁场具有波动性,虽然工业园区的干扰源比较复杂,但3种环境下的日变曲线基本保持一致,均服从各自的日变规律。

#### 参考文献:

- [1] 杨天春,夏代林,王齐仁,等.天然电场选频法理论研究与应用[M].长沙:中南大学出版社,2017.
- [2] 苏永军,马震,孟利山,等.高密度电阻率法和激发极化法在抗旱找水定井位中的应用[J].现代地质,2015(2):265-271.
- [3] 张启,杨天春,王齐仁,等.物探方法在地下热水勘探中的应用[J].地下水,2015,37(4):116-118.
- [4] 杨天春,申建平,黎光明,等.天然电场选频法在充水岩溶勘查中的试验与分析[J].煤田地质与勘探,2014,42(2):71-75.
- [5] 杨天春,梁竞,程辉,等.天然电场选频法的浅层地下水勘探效果与异常分析[J].物探与化探,2018,42(6):1194-1200.
- [6] 张启,杨天春,许德根,等.天然电场选频法在煤矿水文地质调查中的应用[J].矿业工程研究,2015,30(4):39-42.
- [7] 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,1982,6(1):41-54.
- [8] 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.
- [9] 王齐仁.天然交变电场动态特征研究[J].煤田地质与勘探,2001,29(2):52-55.
- [10] 杨天春,张启,王齐仁,等.天然电磁场激励下球体的天然电场选频法异常成因分析[J].湖南科技大学学报(自然科学版),2016,31(2):58-65.
- [11] 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.
- [12] 张辉,杨天春,葛洪亮.天然电磁场日变规律实验观测[J].四川理工学院学报,2013,26(1):38-42.