

杨天春,陈钰轩,梁竞,等.天然电场选频法在水泥混凝土硬化面上的试验与应用[J].湖南科技大学学报(自然科学版),2023,38(4):30-36. doi:10.13582/j.cnki.1672-9102.2023.04.004

YANG T C, CHEN Y X, LIANG J, et al. Experiment and Application of Frequency Selection Method on Hardened Surface of Cement Concrete[J]. Journal of Hunan University of Science and Technology (Natural Science Edition), 2023, 38(4):30-36. doi: 10.13582/j.cnki.1672-9102.2023.04.004

天然电场选频法在水泥混凝土硬化面上的 试验与应用

杨天春^{1*}, 陈钰轩¹, 梁竞², 于熙¹, 付国红¹

(1.湖南科技大学 地球科学与空间信息工程学院, 湖南 湘潭 411201;
2.广西壮族自治区二七三地质队 广西贵港工程地质勘察院, 广西 贵港 537101)

摘要:为弥补常规电阻率法在水泥硬化面的不适用性问题,通过试验和实践两方面探讨天然电场选频法在水泥混凝土硬化面上的有效性和适用性.首先,在野外选取两处存在水泥混凝土硬化面的试验地点,对硬化面上电极的接地方式进行改装,开展泥土和硬化面上3个频率(25, 67, 170 Hz)的选频法对比测试;其次,将该方法应用于广西贵港的城市地下水勘探中,根据实践效果来进一步论证天然电场选频法在城市水泥硬化面条件下的适用性.野外试验的2条对比测试剖面结果表明:在不考虑日变影响的情况下,电极插入土中与置于旁侧水泥混凝土硬化面上的探测结果一致,水泥硬化面对选频法的探测结果基本无影响.在贵港两处天然电场选频法找水的实践中,根据勘探结果均成功地打到地下水.实践表明:选频法可适用于城市一般的电磁干扰环境,在城市水泥混凝土硬化面上开展勘探工作是完全可行的,所得结果进一步拓宽了天然电场选频法的实践应用范围.

关键词:地球物理勘探;地下水;天然电场选频法;城市地球物理;电磁场

中图分类号:P641.7 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-9102(2023)04-0030-07

Experiment and Application of Frequency Selection Method on Hardened Surface of Cement Concrete

YANG Tianchun¹, CHEN Yuxuan¹, LIANG Jing², YU Xi¹, FU Guohong¹

(1. School of Earth Sciences and Spatial Information Engineering, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China;
2. Guangxi Guigang Engineering Geological Investigation Institute, Guangxi Zhuang Autonomous Region 273 Geological Brigade, Guigang 537101, China)

Abstract: The frequency selection method (FSM) of telluric current is a further development of the Audio-frequency Electrotellurics (AET) and the audio-frequency telluric field method. In this report, the applicability and effectiveness of FSM on the hardened surface of cement concrete were illustrated by experiments and practice, so that it could make up for the inapplicability of conventional resistivity method to the situation. Firstly, two test sites with hardened surface of cement concrete were selected in the field, and the electrode on hardened surface was modified, and comparative test of three frequencies (25, 67 and 170 Hz) on soil and hardened surface were carried out. Secondly, the method was applied to the urban groundwater exploration in Guigang City, Guangxi Province, and the applicability of FSM under the condition of urban cement hardened

收稿日期:2021-05-14

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51804112)

*通信作者, E-mail: ytc6803@163.com

surface was further demonstrated according to the practical effect. Two comparative test sections were obtained in field experiment. The test results show that the exploration results of electrode inserted into soil are consistent with it placed on the hardened surface of cement concrete. In other words, the hardened surface of cement concrete has no effect on the exploration results of FSM. According to the FSM exploration results in Guigang City, the groundwater has been successfully found in the two locations. The practice and experiment results show that FSM can adapt to the general electromagnetic interference environment in the city, and it is completely feasible to carry out exploration work on the hardened surface of urban cement concrete, which broadens the practical application scope of this method.

Keywords: geophysics; groundwater; frequency selection method (FSM); urban geophysical prospecting; electromagnetic field

近年来,随着经济的飞速发展,我国的城镇化建设突飞猛进,城市地下空间探测也对地球物理方法提出更高的要求和挑战^[1]。城市地球物理勘探简称城市物探,是利用物探方法对城市的地下地质情况、地下建筑设施分布情况及地下污染、建筑材料放射性等情况进行调查,为建筑地基的调查与选定、废物的污染控制、建筑制料的选用和地下设施的布局等提供科学依据,便于城市地区的规划和管理。

城市物探的概念是我国地矿部门1984年在北京召开的城市物探工作座谈会上正式提出的^[2]。1985年,国家城乡建设环境保护部发布行业标准CJJ7—85《城市勘察物探规范》,2007年和2017年又分别发布了CJJ7—2007《城市工程地球物理探测规范》和CJJ/T 7—2017《城市工程地球物理探测标准》,进一步推动了城市物探的发展。这些规范和标准为我国城市物探工作树立了标杆,同时,科研工作者们在科研与实践中也取得一些可喜的成绩^[3-8]。由于作业场地限制和数据干扰强,城市物探的工作环境十分复杂,如受到震动与电磁干扰、场地硬化干扰等的影响^[9-11]。面对复杂的干扰环境,我国科研人员在方法、仪器等方面开展深入的研究工作。例如,何继善^[12]提出将广域电磁法应用于城市地热调查;杨文采等^[13]强调综合物探方法的重要性;刘光鼎^[14]针对浅层勘探的情况,提出发展新技术的必要性。

地球物理勘探方法的种类较多,由于各种物探方法应用的条件和优缺点不同,导致各种方法所适用的环境不同。针对错综复杂的城市环境,一般采用综合物探方法开展工作,减少或避免勘探成果的多解性^[15]。本文主要针对城市环境地表水泥硬化的情况开展天然电场选频法(简称选频法)的试验研究和实践工作,从试验成果和实际应用效果来说明方法的适用性,为今后城市物探工作提供一种可供选择的方法,从而更好地指导今后的实践工作。

1 技术方法

选频法是音频大地电流法、音频大地电场法的进一步应用与发展,属于被动源的电磁法勘探方法,它以大地中的天然电磁场为工作场源,以地下岩(矿)石之间的导电性差异为基础,通过观测和研究地面上几个不同频率的天然交变电磁场产生的电场水平分量的变化规律,研究地下地电断面的电性变化。选频法在地下水勘探方面取得了显著成效,并逐渐在国内外得到应用推广^[16]。

选频法工作装置如图1所示。剖面法观测时,极距 MN 大小不变,然后电极 M, N 同时按一定的间距往前移动,记录点为 MN 的中点 O ;测深法观测时,电极 M, N 对称于测深点 O ,然后 M, N 分别向两侧移动,逐渐增大极距 MN ,从而达到测深的目的。

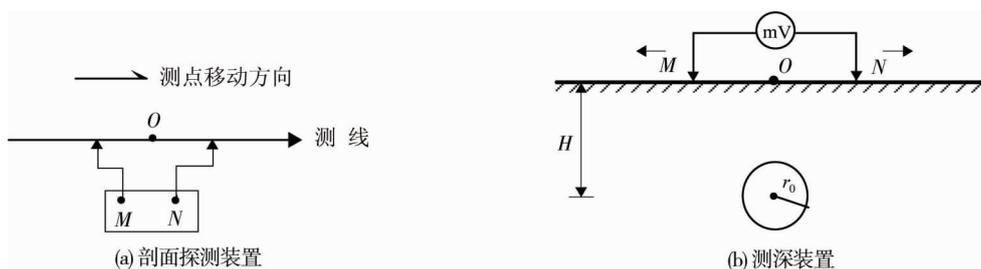


图1 选频法工作装置

在野外施工中,选频法与音频大地电流法类似,只测量地表几个频率的水平电场分量,不测量磁场分量,选用的工作频率大多在 15~1 500 Hz,且在开展如图 1a 所示的剖面法观测时,极距 MN 大多为 10 m 或 20 m. 选频法所采用的选频仪依赖硬件设置不同频率的测量通道并选定几个固定的探测频率,实现对相应频率地表水平电场分量 E_x 或 E_y 的数据采集.而音频大地电流法则是一次性由高频到低频采集不同频率的电性数据,利用特定的信号处理方法,获取成百上万个频率来反映深度范围内的电性参数.目前,选频法除了开展如图 1a 所示的剖面法测量外,也实施如图 1b 所示的通过增加极距 MN 的大小,实现选频法测深^[17].图 1b 所示的选频测深装置类似于对称四极电阻率测深法,它以测深点 O 为中心,测量电极 M 和 N 同步地分别向外跑极,通过极距 MN 的逐渐增大来达到几何测深的目的.由于选频测深装置不需要人工供电,装置简洁轻便,因此,选频法适合在地形起伏、植被较发育的山区以及环境条件较复杂的城镇开展探测工作.

选频法属于一种被动源的物探方法,其场源十分复杂.根据以往的研究可知:由于选频法的勘探深度一般小于 200 m,深度较浅,其场源除了与大地电磁(MT)一样有来自地球外部的天然场源外,还有来自地表的人文电磁干扰.例如,地表的工业用电都可成为它的场源,可以十分明显地增强其异常信号的强度^[18],杨天春等^[16]也对此开展过一些理论研究工作.

2 试验研究

选频法观测的是天然大地电磁场在地下异常体上产生的感应电场,以及工业游散电流等人文干扰场在异常体上所产生的二次电场,而不是物理化学作用所产生的自然电场.在实际应用中,选频法对电极材质的要求比较宽松,铁电极、铜电极和不极化电极等都可以作为其电极材质^[19].为了了解接地条件对选频法观测结果的影响和在水泥硬化面开展勘探工作,本文分别在水泥硬化面的鱼池边和水泥路面边开展试验对比观测.

试验现场位置如图 2 所示.试验地点位于湖南科技大学北校外国语学院围墙外西边的山巴塘村,其中 1 线位于鱼池边,2 线沿水泥路面边缘,两测线的间距约 50 m.试验地点的经纬度坐标约为 27°54'51.670"N, 112°54'11.417"E.试验过程中,分别将电极插入泥土中和置于旁侧水泥硬化面上,对比二者之间的区别.图 3 为试验现场照片.对于泥土介质,将铜电极直接插入土中即可(图 3b).在水泥硬化面上测试时,则将电极插入一个灌满泥土的矿泉水瓶中,水瓶的底部被剪掉,使瓶内泥土与水泥面直接接触(图 3c).试验仪器采用 PQWT-TC150 型天然电场选频仪,选用 25, 67 和 170 Hz 这 3 个频率进行观测,试验中,电极距 MN 为 10 m,点距 2 m.



图 2 试验现场位置



图 3 试验现场

图4和图5分别为1线(鱼池边)和2线(水泥路边)上的选频法探测结果.其中,图4a、图5a为将电极插入土中沿测线测试完成后,再将电极置于旁侧水泥面上再次沿测线测试的结果;图4b、图5b为每个测点上先将电极插入土中测量,再将电极置于测点旁的水泥硬化面上探测的测试结果.图4a中,土中与硬化面上探测结果的区别主要体现在10号和16号测点,在这两处似乎有局部高阻异常体存在,交叉测量结果(图4b)也进一步验证这两处的高阻异常,这可能是由于存在局部高阻的不均匀体.另外,1线(鱼池边)15号测点之后的交叉探测结果(图4b)明显大于分开测量时的结果(图4a),且异常的幅度明显增强,但19号测点处的相对低电位异常位置未变,这可能是由于交叉测量时测线附近出现了新的场源^[18].

在图5中,7号测点附近出现1个明显的台阶,这可能是地下2个明显不同岩性介质分界面的反映,在野外生产实践中也曾测得过类似曲线,该异常附近一般是地下水成井的有利位置^[20].另外,在水泥道路的另一侧存在220V输电线,方向与测线大致平行,未发现它对观测结果有明显影响.

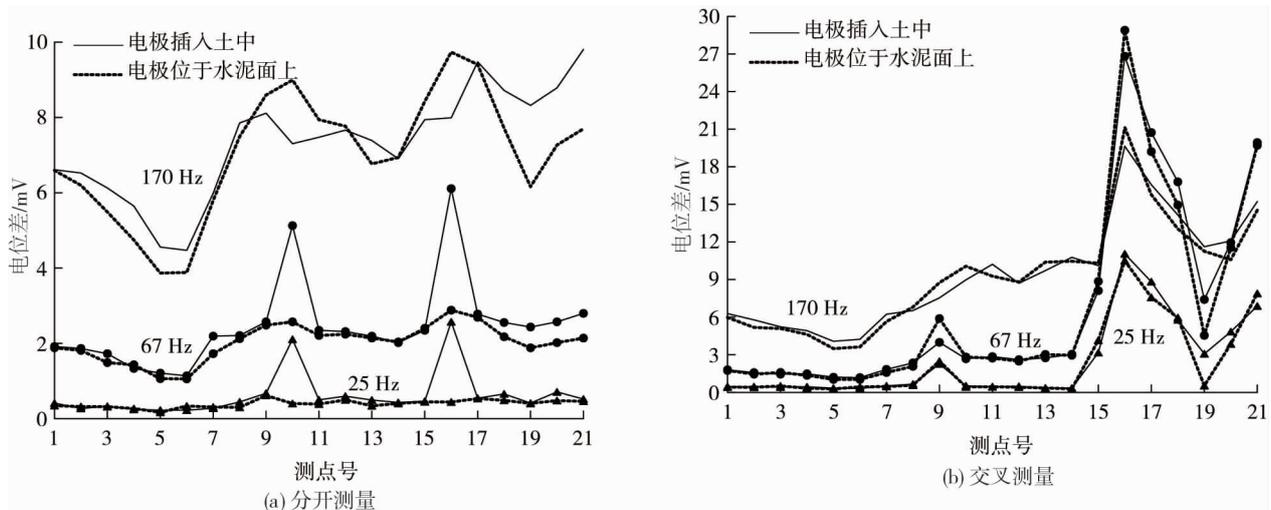


图4 1线(鱼池边)探测结果

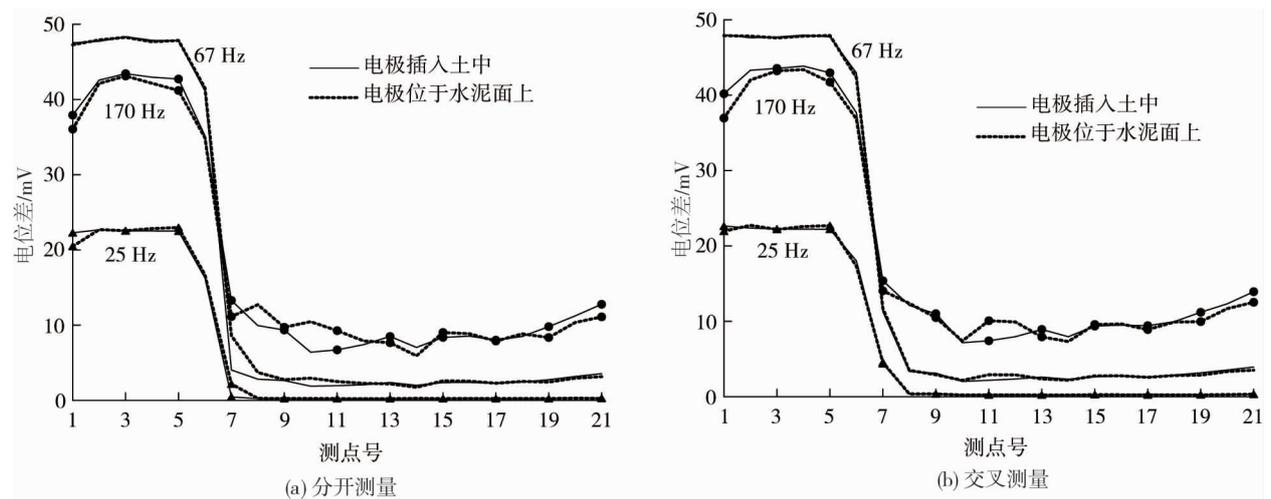


图5 2线(水泥路边)探测结果

由图4和图5可知:电极插入土中与置于旁侧水泥混凝土硬化面上的探测结果基本一致,且相对低电位和相对高电位的异常位置不变.也就是说,水泥硬化面对选频法的探测结果基本无影响,今后可将选频法应用于城镇水泥硬化面的勘探环境中.但图4b和图5b与图4a和图5a的探测结果相比,每个测点上各频率的探测结果总体的吻合度要好一些,这是由于土中、水泥面上分开测量时,每个测点上探测的时间间隔相对长一些;而交叉测量时,每个测点在土中探测完成后,立刻进行水泥面上的探测,二者时间间隔较短,所受日变的影响较小.

3 地下水勘探的实践应用

广西贵港家多利蔬菜综合批发市场和独山水泥厂位于广西贵港郊区(图6),二者之间的距离约为800 m,处于港北区与港南区交界位置,位于郁江北岸,距离江边约200 m.区域内出露地层主要有寒武系、泥盆系、石炭系、白垩系和第四系.其中,寒武系地层主要分布于龙山鼻状背斜核部龙山地区及达开水库一带,为一套轻变质碎屑岩;泥盆系地层主要分布于龙山鼻状背斜南东翼,即根竹镇北面-港城街道北面-大圩镇东北-庆丰镇一带,为一套碎屑岩至碳酸盐岩;石炭系地层主要分布于贵港向斜轴部及北西翼,即根竹镇南面-贵港城区-大圩镇西南一带,为一套碳酸盐岩;白垩系地层主要分布于武乐镇一带,岩性主要为紫红色碎屑岩;第四系地层在区内各地均有分布,在地表主要出露有砂质黏土层和结核黏土层,砂质黏土层分布于稻田和低洼旱地,呈褐黄色,结核黏土层分布于平缓山丘顶部,呈褐红色,结核层中含三水铝土矿.



图6 勘探点位置

根据区域水文地质资料可知:该区域内地下水含量丰富,地下水类型主要为碳酸盐岩裂隙溶洞水,径流模数大于 $6 \text{ L}/(\text{s} \cdot \text{km}^2)$, 泉流量大于 $50 \text{ L}/\text{s}$, 地下水水位埋深一般较浅.

3.1 水泥硬化面上地下水勘探实例 1

工作场地位于家多利蔬菜综合批发市场内,基本全为水泥硬化面覆盖.图7为测线布置和现场照片.采用选频法开展地下水勘探,测线布置于该批发市场中间空地,与两边房屋基本平行,测线长度65 m,测量电极距 MN 取10 m,点距5 m.



图7 测线布置与现场照片

图8为家多利蔬菜综合批发市场选频法剖面的探测曲线和测深曲线.由图8a可知:3个频率的剖面曲线基本同步,在测线35 m处出现较明显的相对低电位异常.通过对该点位的重复观测,结合现场工作环境,确定该低阻异常点位是可靠的.随后对测线35 m点位开展选频测深法测量,测深结果如图8b所示.选频测深3条曲线在电极距为30~40 m段均出现水平台阶,25, 67 Hz测深曲线在电极距为60~70 m时均出现明显的相对低电位异常.根据以往的经验 and 研究成果^[16-17],推测埋深约35, 65 m附近存在地下水.

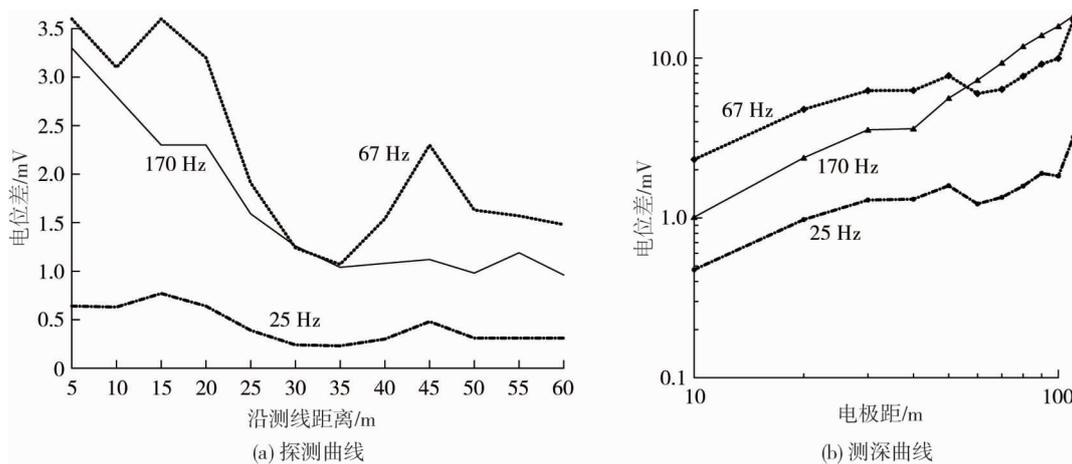


图8 蔬菜综合批发市场选频法剖面曲线

根据后期成井反馈的信息,最终在测线 35 m 处钻孔,在深度 32 m 见水,遇到 1 个 0.2 m 高的溶洞,即为主要出水部位,水量满足要求,最终 50 m 不到就终孔。

3.2 水泥硬化面上地下水勘探实例 2

独山水泥厂位于家多利蔬菜综合批发市场的东北面约 800 m 处,厂内地面基本全为混凝土覆盖,且厂房、宿舍楼林立,工作空间受到很大限制.将选频法的测线布置在宿舍楼之间的空地上,方向与宿舍楼平行,测线长 150 m,电极距 MN 为 10 m,点距 10 m,剖面观测结果如图 9 所示。

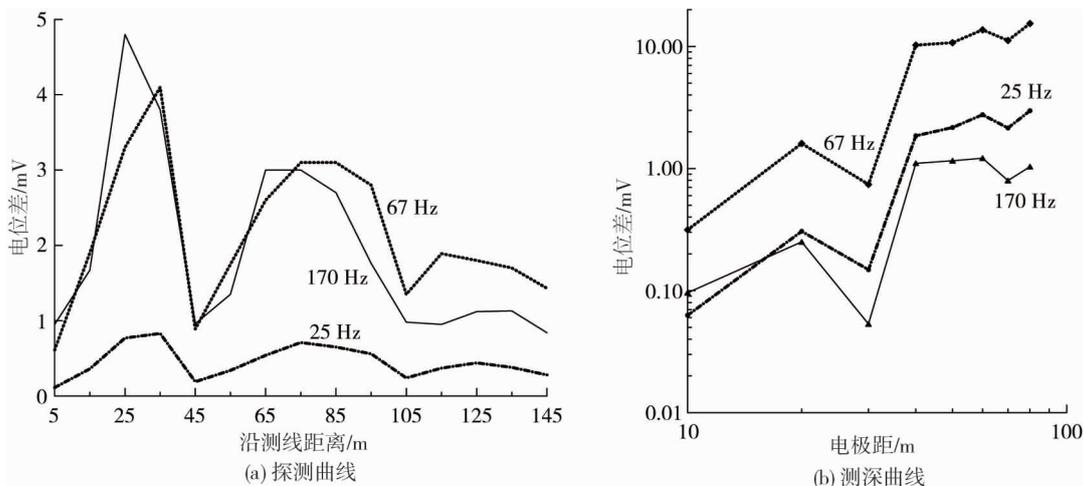


图9 独山水泥厂选频法剖面

由图 9a 可知:3 个不同频率曲线在测线 45, 105 m 处均出现较明显的低电位异常.通过对两处异常点位的重复观测,同时考虑测线 45 m 处异常的相对幅值大,异常更明显一些,选定该点为测深点和成井的首选位置。

图 9b 为测线 45 m 处的选频测深结果.由图 9b 可知:3 个不同频率的测深曲线的同步性较好,在电极距为 30, 70 m 处均出现十分明显的相对低电位异常.由此推测地下水的埋深在 30, 70 m 附近,最终钻孔在 35 m 见水,出水量大于 $5 \text{ m}^3/\text{h}$,成井深度约 55 m,水量满足要求。

4 结论

1) 选频法对电极的接地条件要求并不苛刻,在水泥混凝土这种接地电阻较大的情况下,选频法的探测结果无影响,与泥土接地条件下的探测结果基本相同。

2) 选频法在水泥硬化面上寻找地下水是确实可行的,这进一步验证了前面试验结果的可靠性,也为今后城市物探提供了一种可供选择的方法。

3)从选频测深装置的探测结果来看,地下水的埋深与异常处电极距的大小具有1:1的近似关系,这有待今后从理论上进行模拟验证.

参考文献:

- [1] 马岩,李洪强,张杰,等.雄安新区城市地下空间探测技术研究[J].地球学报,2020,41(4):535-542.
- [2] 李学军.我国城市物探的应用与发展[J].地球物理学进展,2011,26(6):2221-2231.
- [3] 林君.现代地球物理仪器的开发与应用[J].地质装备,2004,5(2):3-7.
- [4] 常旭,李林新,刘伊克,等.北京断陷黄庄—高丽营断层伪随机可控震源地震剖面[J].地球物理学报,2008,51(5):1503-1510.
- [5] 王荣,钟世航,王泽峰.陆地声纳法在济南闹市区作断层和岩溶探查[J].地球物理学进展,2013,28(6):3313-3316.
- [6] 黄毓铭,张晓峰,谢尚平,等.综合物探方法在南宁地铁溶洞探测中的应用[J].地球物理学进展,2017,32(3):1352-1359.
- [7] 梁锋,高磊,王志辉,等.利用背景噪声层析成像研究济南浅层横波速度结构[J].地学前缘,2019,26(3):129-139.
- [8] 邓诗凡,张智华,马思煜,等.老旧小区近距离铸铁管线探测实验与应用[J].地球物理学进展,2020,35(5):1945-1952.
- [9] 张晓波,王成善,王志辉,等.广东省潼湖生态智慧区浅层地球物理探测与地层物性分析[J].地质学报,2019,93(11):2935-2946.
- [10] 陈实,刘云祯,李延清,等.综合物探技术在城市活动断裂调查中的应用:以乌鲁木齐八钢石化断裂为例[J].地球物理学进展,2019,34(4):1584-1591.
- [11] GOŁEBIOWSKI T, JAROSIŃSKA E. Application of GPR and ERT methods for recognizing of gypsum deposits in urban areas[J]. Acta Geophysica, 2019(6):2015-2030.
- [12] 何继善.广域电磁法理论及应用研究的新进展[J].物探与化探,2020,44(5):985-990.
- [13] 杨文采,田钢,夏江海,等.华南丘陵地区城市地下空间开发利用前景[J].中国地质,2019,46(3):447-454.
- [14] 刘光鼎.立足浅地表,发展新技术[J].地球物理学报,2015,58(8):2589-2590.
- [15] RONCZKA M, WISÉN R, DAHLIN T. Geophysical pre-investigation for a Stockholm tunnel project: joint inversion and interpretation of geoelectric and seismic refraction data in an urban environment[J]. Near Surface Geophysics, 2018, 16(3):258-268.
- [16] 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.
- [17] 杨天春,陈卓超,梁竞,等.天然电场选频测深法在地下水勘探中的异常理论分析与实践应用[J].地学前缘,2020,27(4):302-310.
- [18] 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.
- [19] 张正发,杨天春,付国红,等.电极材质对天然电场选频法观测结果的影响试验研究[J].工程地球物理学报,2017,14(3):284-289.
- [20] 杨天春,张辉.利用天然电场选频法研究断层接触带[J].湖南科技大学学报(自然科学版),2013,28(4):32-37.