

天然电场选频法在煤矿水文地质调查中的应用

张启¹, 杨天春¹, 许德根¹, 付园琳², 朱云峰¹

(1. 湖南科技大学 土木工程学院, 湖南 湘潭 411201; 2. 长沙电力职业技术学院 经管系, 湖南 长沙 410131)

摘要: 主要简述了天然电场选频法的基本原理, 探讨天然电场选频法在水文地质调查应用, 结合贵州盘县柏果镇老沙田煤矿工程实例进行综合解释, 查明矿区内采空区及裂隙富水带分布情况. 结合测区的地质、水文地质情况及物性特征, 对矿区实测剖面进行推断分析, 该方法说明选频法对寻找、确定煤矿采空充水区有一定的借鉴意义.

关键词: 天然电场选频法; 水文地质; 应用

中图分类号: TD163.1

文献标志码: A

文章编号: 1672-9102(2015)04-0039-04

Application of natural electric field frequency selection method into coal hydrogeology

ZHANG Qi¹, YANG Tianchun¹, XU Degen¹, FU Yuanlin², ZHU Yunfeng¹

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

2. Department of Economics and Management, Changsha Electric Power of Technology, Changsha 410131, China)

Abstract: This paper mainly introduces the basic principles of natural electric field selected frequency method, and discusses the application natural electric field frequency selection method into hydrogeological investigation. It combines a instance of coal mine engineering in Baiguo town, Pan County, Guizhou Province for integrated interpretation. It finds out the distribution of mine-out areas and fissure water. Combined with geological and hydrogeological conditions and physical property characteristics, this paper analyzes the mining area measured section. This method for identifying, determining goaf water filling of coal mine is of certain referential significances.

Key words: natural electric field frequency selection method; hydrogeology; application

地下采空区的存在, 给矿山的人员及生产安全带来很大的威胁, 为合理规划开发利用煤矿资源, 保障煤矿正常生产, 查明矿区内采空区的分布情况迫在眉睫. 目前探测采空区的方法有很多, 与高密度电法、瞬变电磁法等常规物探方法相比, 天然电场选频法简单、高效, 勘探深度大, 勘探能力强, 抗干扰能力强, 可根据勘探目标埋深选择不同频率达到频率测深的效果, 使异常曲线清楚反映含水层的空间位置. 目前, 天然选频法在实践中应用比较广泛, 获得了一定成功的经验, 特别是地下水勘探、饮水工程和煤矿突水防治方面^[1-4].

1 天然电场选法原理

天然电场选频法是音频大地电磁法 (AMT) 的一种, 而音频大地电磁法又是从大地电磁法 (MT) 演化

收稿日期: 2015-06-02

基金项目: 湖南省自然科学基金资助项目 (12JJ6035)

通信作者: 杨天春 (1968-), 男, 湖南津市人, 博士后, 教授, 研究方向: 地球物理. E-mail: ytc6803@163.com

而来.但大地电磁法采集的是电磁场的电场分量和磁场分量,而天然电场选频法采集的是电磁场的电场分量并进行选频.1953年,法国人 L. Cagniard 首先提出大地电磁法的理论基础,后来,美国人 Kenneco 将大地电磁法发展为音频大地电磁法,并将其应用于解决浅部地质问题^[3].我国于 20 世纪 70 年代才开始对天然电场选频法进行研究,由于提出的学者不同,命名方式也就不同,从最初的声频大地电场法、游散电场法、天然低频电场法、地电选频法到音频大地电场法,再到天然电场选频法,名称虽然有变化,但从它们基本原理来看,理论实质是相同的^[4,5].其中天然电场选频法使用的频率相对较高,大家对这一概念较熟悉一些,所以被大家广泛接受.

天然电场选频法是以地下岩矿石之间导电性差异为基础,通过测量大地电磁场在地面产生的电场变化规律,从而研究地下地质体形态的变化,以此用来解决地质勘探任务^[2].它的工作场源为被动源,主要来源于太阳和雷电放电,在距离场源较远时,这种电磁场可看做一平面电磁波场,其平面波场方向近似垂直于地面,场的变化规律服从麦克斯韦方程组.如果不考虑磁场强度与电场强度之间的相位差,那么电磁波的穿透深度(δ)和交流视电阻率(ρ_s)可表达为^[6]

$$d = 503.5 \sqrt{r/f}; \quad (1)$$

$$\tilde{\rho}_s = \frac{1}{\omega\mu} \left(\frac{E_x}{E_y} \right)^2. \quad (2)$$

式中, ρ :介质的电阻率, $\Omega \cdot m$; f :工作频率,Hz; E_x : x 方向的电场强度,mV/km; H_y : y 方向的磁场强度; E_x/H_y :波阻抗.

根据式(1)可知,电磁波的穿透深度与地下电阻率成正比,与工作频率成反比.即当工作频率为不变时,介质电阻率越大,电磁波穿透深度越深,反之,穿透深度越浅;而当电阻率为定值时,工作频率越高穿透深度越浅,反之,穿透深度越深.故在探测深部构造应采用较低的频率进行操作.

由式(2)可知,当波垂直入射均与入射各同向介质时,通过测量 E_x 分量和 H_y 分量,可得到该介质的电阻率值.从而,在实际工程应用中,可以根据不同的测深需求来选择不同的工作频率.由于该方法测量的是电磁场的电场分量,不用考虑磁场分量,故可以利用电场分量与电阻率的关系来判断地质体的高、低阻特征.电磁法的勘探深度与电磁波的趋肤深度(或者称为穿透深度) δ 相关,一般取距离 $1/b$ 为电磁波的趋肤深度^[7],其中 b 为介质对电磁波的衰减系数.通过实践可知,根据公式(1)计算出勘探深度与理论深度有差别,一般需乘以一个校正系数 $1/2 \sim 1/3$,或者用 $\delta/\sqrt{2}$ 来估计其勘探深度,以此来反演勘探目标的埋深^[8].

2 测区地质与水文地质概况

老沙田煤矿处于盘县某辖区内,本区地貌属高原中山峡谷地貌,属构造剥蚀地形.矿区河流流向基本自南、西南向中部至东北,属珠江、北盘江支流.矿区气候属亚热带温凉季风气候,气候温和,降雨丰富,6~9月为雨季,年平均降雨量为 1 382.9 mm.

本区的地层主要由三叠系下统永宁组、飞仙关组,二叠系上统宣威煤组及第四系全新统组成,测区出露的地层为第四系覆盖物,厚度为 1~5 m.测区位于照子河向斜的 NE 翼之上,总体呈一单斜构造,区内断层发育,主要以 F1 和 F2 为主,对煤层的破坏较大,其伴生小断层(落差一般小于 5 m)较多分布于区内,对煤层也有一定的破坏作用,构造复杂程度属中等类型.

区域含水层第四系(Q),永宁镇组灰岩,飞仙关组细砂岩;区域具有断层,裂隙,陷落柱等导水层;矿区主要充水水源有泉水及煤窑水补给等地下水、飞仙关组碎屑含水层、宣威组裂隙含水层和采空区积水;矿区地层含孔隙水、基岩裂隙水;充水通道主要以 F2 断层破碎带、裂隙为主,规模一般,少量为岩石原生和采矿节理、老窑巷道、断层导水,矿井充水方式主要以渗水、滴水、淋水为主;水害类型主要为地表水水害、老窑积水水害、断层导水水害、裂隙水水害和岩溶水水害等.

3 探测结果及分析

本次所选仪器为郑州星运仪器厂生产的 TR-2 型天然电场选频仪,该仪器为表头读数型,频率选择按钮为 0~10 档位,分别对应 15.7,23.6,71.8,129.0,213.0,320.0,640.0,980.0,1 450.0 Hz 以及混频 10 个频率.其工作原理图如 1 所示.

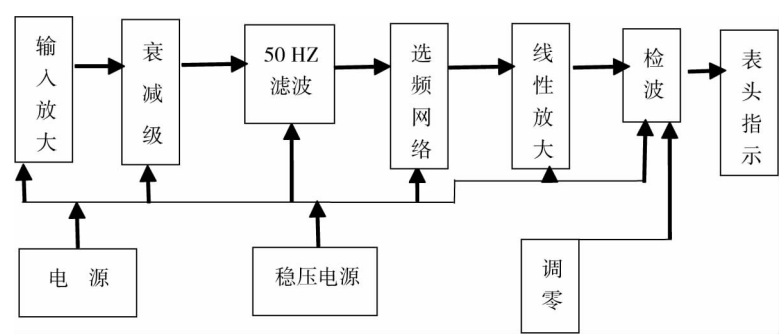


图1 天然选频仪原理框图

该仪器通过测量 MN 之间的电场信号,经前置放大后,进入衰减和 50 Hz 滤波,然后送入选频网络,得到设定的频率信号,其他信号加以抑制和衰减. 被设定的信号经线性放大和检波后变为直流信号,最后通过表头直接读出.

本次测量共完成 11 条测线,根据现场情况和具体要求,测线按不规则测网布置,测线线距为 150 ~ 300 m,点距为 5 m,有异常的地方适当加密,点距 2 ~ 3 m,并且多次复测,保证工作质量的可靠性,以免盲目钻探. 勘探路线采用平行移动法,即保持电极 M 和 N 极距不变,沿着测线移动,以 M 和 N 中点为记录点,测量电极 M 和 N 之间的电位差,这种方法也是最为常用一种方法.

测区按从已知到未知的原则,根据天然电场选频法实测剖面进行推断分析解释,需结合测区的地质及水文地质情况,测区的物性特征图 2 所示.

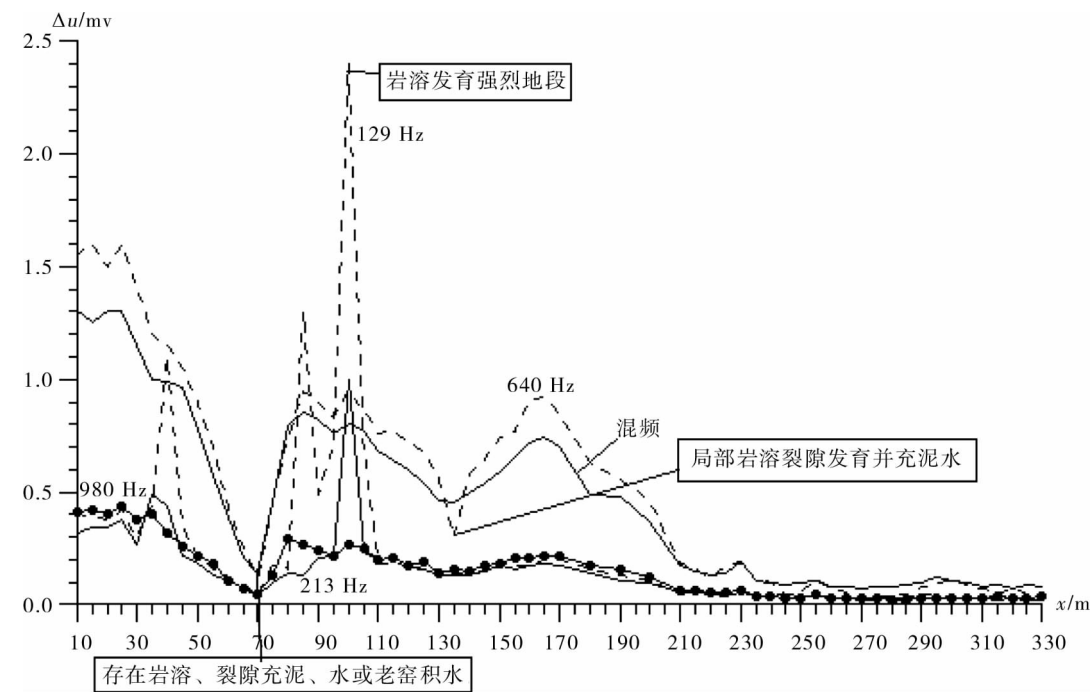


图2 物性特征图

从图 2 中可知,本方法采集的数据经处理成图后,表现为高低电位的差异. 图中,高电位极大值点是由于高阻体的存在所引起的,经后期验证为岩溶发育强烈地段;低电位处是由于低阻体的存在,经后期验证为存在充泥或水的岩溶、裂隙以及老窑积水等. 但应当指出,物探方法往往具有多解性,低阻不一定是由含水层或含水构造所引起,高阻可能由溶洞、防空洞、采空区、古墓等引起,具体是哪种异常引起,必须加以分辨. 干空溶洞表现出高阻,而充水或含泥溶洞表现出低阻,因此,在进行成果资料解释时,必须结合地质情况作出较合理解释.

野外所测得的数据,室内用 Grapher 成图,鉴于篇幅有限,这里只给出部分测线的剖面成图,如图 3 和图 4 所示.

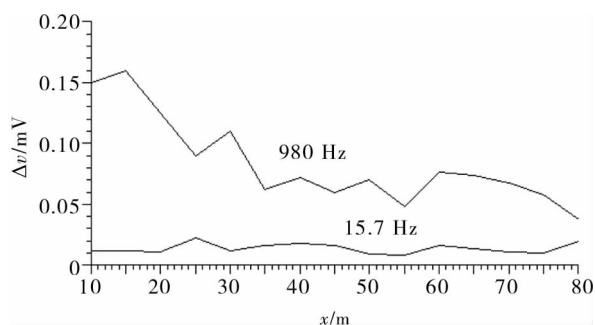


图3 5-5'号测线曲线图

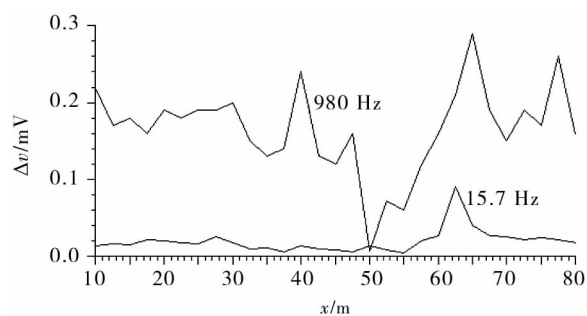


图4 9-9'号测线曲线图

该方法所测得的信息包括静态信息和动态信息,资料的分析解释主要依据这两种信息.静态信息反映地电断面分布情况,动态信息则反应地下电磁能量载体的变化规律^[9].理论上,天然选频法各频率基本同步,由式(1)可知,不同频率对于不同深度的目标体反应灵敏度不同,加上外界因素干扰,从而2种频率不完全同步.在5-5'号测线曲线图中,可以看到在25 m左右处,出现高阻异常,岩溶为高阻,围岩相对为低阻,结合地形、水文地质情况,测区的物性特征,推测此处为岩溶裂隙发育影响;此外在40 m左右处,2种频率的测线均存在高电位异常,但没25 m那么明显,且在39 m位置处有电线杆,由于指针波动的厉害,初步判定可能是人文干扰.

在9-9'号测线曲线图中,在115~120 m位置处,2个档位都有同样的高电位异常.高电位异常是由于高阻体的存在所引起的,结合地形、水文地质情况,测区的物性特征,推测此处为岩溶影响;另外在50~55 m位置处,2种频率的测线存在低电位异常带,低电位处是由于低阻体的存在所引起,结合地形、水文地质情况,测区的物性特征,推测为节理裂隙发育或破碎充水或泥影响或存在老窑充水.

经钻探验证,揭露的地层情况为:深度0.0~4.5 m为第四系全新统(Qh)褐黄色混砂岩质碎石角砾;4.5~31.6 m为灰黄色中厚层灰岩;31.6~183.5 m为灰色、浅灰色粉砂岩.5-5'号测线在25 m位置处,深度为33.5~35.4 m处钻进无阻力,提钻时钻杆下部干燥,9-9'号测线测线在54 m位置处,52.6~53.1 m无土样标本,提钻时钻杆下部潮湿.天然选频法探测结果与钻探结果基本吻合,说明天然选频法在水文地质调查中可行.

4 结论

- 1) 天然电场选频法在煤矿水文地质调查中应用是有效的.
- 2) 天然电场选频法测得信息包括静态信息和动态信息,静态信息反映地电断面分布情况,动态信息则反应地下电磁能量载体的变化规律.
- 3) 采集的数据经处理成图后,表现为高低电位的差异,物探方法一般具有多解性,在进行成果资料解释时,必须结合测区的地质条件作出合理解释.
- 4) 该方法还存在一定的局限性,外界因素等其他因素干扰,导致频率不完全同步.今后,应加强对选频法的正反演研究工作,进一步提高该方法的准确度和可靠性.

参考文献:

- [1] Xu C Q, Stephen D B. Evaluation of MASW techniques to image steeply dipping cavities in laterally inhomogeneous terrain[J]. Journal of Applied Geophysics, 2006, 59(2): 106-116.
- [2] 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.
- [3] 杨天春,张辉. 岩溶体的天然电场选频法异常成因研究[J]. 水文地质工程地质, 2013(9): 22-28.
- [4] 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.
- [5] 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(自然科学版), 2013(2): 38-42.
- [6] 张瑜麟. 天然电场选频法在工程地质勘查快速评价中的应用[J]. 地质与勘探, 2003, 39(3): 67-71.
- [7] 王齐仁. 天然交变电场动态特征研究[J]. 煤田地质与勘探, 2001(2): 52-55.
- [8] 王士党,杨天春,夏祥青. 天然电场选频法在溶洞勘查中的应用[J]. 勘察科学技术, 2011(6): 52-55.
- [9] 杨荣丰,张可能,徐卓荣,等. 多种物探方法在湘潭城区活断层勘探中的应用[J]. 工程地质学报, 2006, 14(6): 847-851.