

# 天然电场法在煤矿水害隐患探测中的应用

尹丽<sup>1</sup>, 黄采伦<sup>1</sup>, 王靖<sup>2</sup>, 李朝仕<sup>1</sup>, 陈红钊<sup>3</sup>

(1. 湖南科技大学 信息与电气工程学院, 湖南 湘潭 411201;  
2. 湖南科技大学 机械设备健康维护重点实验室, 湖南 湘潭 411201;  
3. 湖南省煤炭科学研究所, 湖南 长沙 410000)

**摘要:** 鉴于煤矿透水事故的危害性, 如何能够快速探明煤矿矿区水体分布及其水量是防止和避免煤矿水害事故发生的关键问题. 在分析了已知各种用于矿区水害隐患探测方法存在易受干扰、分析结果多解性等不足后, 提出的天然电场探测方法能较好识别出地下水和地下裂隙等特征信息, 阐述了天然电场探测系统的基本原理, 通过五亩冲煤矿水害隐患探测的实际应用与验证, 验证了天然电场探测技术对煤矿水害防治的有效性和可靠性.

**关键词:** 水害隐患; 天然电场探测; 三维分析

**中图分类号:** TD745      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1672-9102(2014)02-0029-04

## Application of natural electric field method to the coal mine water disasters hazard detection

YIN Li<sup>1</sup>, HUANG Cailun<sup>1</sup>, WANG Jing<sup>2</sup>, LI Chaoshi<sup>1</sup>, CHEN Hongzhao<sup>3</sup>

(1. School of Information and Electrical Engineering, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China;  
2. Hunan Provincial Key Laboratory of Health Maintenance for Mechanical Equipment,  
Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China;  
3. Hunan Coal Scientific Research Institute, Changsha 410000, China)

**Abstract:** In view of coal mine flooding accident harms, how to quickly find out the water distribution in coal mining area and its water prior is the key issue to prevent and avoid accidents of coal mine water disaster from occurring. After analysis of the various known for mine water disasters hazard detection methods that are susceptible to interference, uniqueness, etc, the natural electric field detection technology is put forward to identify the groundwater and underground fissure information. The basic principle of the natural electric field detection system is expounded. The practical application in hidden water disaster in Wumuchong Coal Mine shows that natural electric field detection technology has the validity and reliability to prevent and control coal mine water hazards.

**Key words:** hidden water disaster; natural electric field detection; three dimensional analysis

煤矿透水事故是煤矿开采中较为常见、且危害极大的主要事故之一. 煤矿采空区及地下断层是煤矿安全生产的重大隐患, 也是引发煤矿水灾的重要因素. 煤矿水灾隐患探测的特点是需要探测的范围广、隐患深度大、矿区地下结构复杂、仪器装置要求

高、探测难度大. 由于煤矿的复杂性和已有技术的局限性等原因, 探测结果都不是唯一的, 存在多解性. 而天然电场探测方法具有探测效率高、可连续扫描、成本低等优点, 同时与其他的物探方法相比较, 具有勘探效率高, 准确率高, 对地下水和地下裂

隙具有较强的识别功能,抗干扰能力强.为此,论文在提出天然电场探测方法的基础上,以五亩冲煤矿水害隐患的探测应用为例,阐述天然电场探测方法对煤矿水害隐患探测的可靠性.

### 1 天然电场探测水灾隐患的基本原理

经多年来研究,各科技单位组织不懈努力,已经开发了十几种方法进行煤矿水灾隐患探测<sup>[1-6]</sup>,目前国内外研究专家诸多基于煤矿水灾隐患探测的地质体的物理参数,其中电阻率变化最明显且探测方法简便,这也是广泛采用瞬变电磁法<sup>[7-9]</sup>、高密度电阻率法<sup>[10]</sup>等探测地下水勘探的原因.

天然电场探测原理如图 1 所示,探测系统的基本原理框图如图 2 所示,分为天然电场信号探测、天然电场信号提取与转换、数据处理 3 部分.在图 1 和图 2 中,通过插入地表的探针接收大地电磁场在地表的电分量,含有天然电场的动态信息、静态信息,各探测装置之间采用探测电缆连接,每个探测装置可连接 8 根探针 (T1, T2, … T8),由天然电场探测装置对探针所接收的信号进行放大转换并从中提取特征信息 (地下水动态信息、裂隙信息等),采集并保存探针接收的信息,上位 PC 机从探测装置中通过 USB 电缆或存储卡读取探测数据,经软件综合分析处理后显示探测结果.

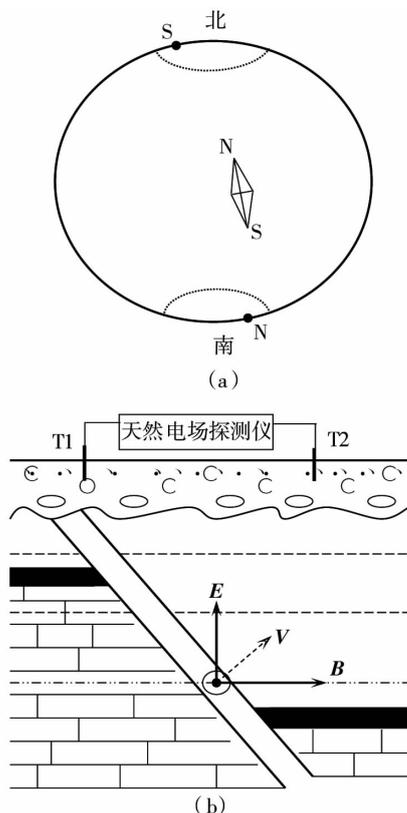


图 1 天然电场探测原理图

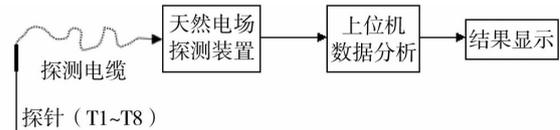


图 2 天然电场探测系统原理框图

图 1a 为地球的磁场指向,地磁北极为 S,南极为 N,它与地理南北极有一个夹角,在我国境内大概偏西 5°左右.地下水是良导体,岩层中的地下水,在重力的作用下与岩层进行物质交换和能量交换,构成了由地表补给、地下径流和排泄 3 部分组成的地下水循环系统.按照法拉第电磁感应原理,有带电粒子的流动水会形成电流,电流在地球磁场中切割磁力线会产生感应电场,而变化的电场会产生感应磁场,地下水流的运动形式与电磁场进行反复而复杂的电磁感应,最终会在地下形成不断发出瞬变电磁波的场源<sup>[8]</sup>,按照麦克斯韦定律,这种波的振动方向与前进方向是垂直的,属于平面波,可以直达地表<sup>[11]</sup>.地下采空区包括老窑、巷道、溶洞、裂隙等.因为采空区为空气,电场信号传出到此空间是会发生突变,在采空区域内,电磁波信号会发生折射反射现象和衰减等一系列变化.图 1b 中位于断裂带溶洞中的水流就是地面接收到的瞬变电磁波分布场的场源,磁力线方向与地下水流向近乎正交,证明了瞬变电磁波形成是由地下水的流动引起的.由此可得仪器探测深度的理论公式为

$$h = 503.3 \sqrt{\frac{\rho}{f}} \tag{1}$$

式中,  $\rho$ : 岩层视电阻率,  $\Omega \cdot m$ ;  $f$ : 探测工作频率, Hz;  $h$ : 探测深度, m.

从式(1)可知,对于某一测量点来说,视电阻率  $\rho$  是定值,当频率  $f$  越低,穿透深度就越深,从而探测仪器通过改变探测频率来达到改变勘探深度这一目的.

视电阻率为

$$\rho = \frac{1}{2\pi\mu f} \left( \frac{E_x}{H_y} \right)^2 \tag{2}$$

式中,  $\mu$ : 介质磁导系数;  $E_x, H_y$ : 测量点的电分量和磁分量.通过测量不同频率下的电分量,再利用电分量  $E_x$  与视电阻率  $\rho$  的关系,可以定性说明获得异常高阻体还是低阻体.

基于天然电场探测技术的煤矿水灾隐患探测方法以地球自身交变电磁场作为工作场源,天然电

场信号在传输的过程中要穿透地壳不同的岩层, 含有地下不同地质体的特征信息, 如地下水的动态信息、地层结构的裂隙信息等. 在地表通过探测仪器观测天然场的电分量, 应用现代信号分析处理技术对观测信号的特征进行分析, 定性确定地下水和裂隙的分布及其赋存深度, 从而达到探测的目的. 该方法不仅能探测携带动态信息的低阻异常、并在传统的探测方法的基础上, 提出 $(X, Y, Z)$ 三维定位分析. 通过测量并确定瞬变电磁波场形态,  $(X, Y)$ 座标来确定了矿区探测区域, 矿区的探测深度 $h$  ( $Z$ 座标) 可用仪器所采用的探测频率来确定, 从而使探测结果准确并可靠.

## 2 五亩冲煤矿探测中的应用

### 2.1 煤矿概况

五亩冲煤矿隶属于湖南省长沙矿业集团有限公司, 位于宁乡县煤炭坝镇境内, 距县城约 25 km, 距益阳市 54 km. 该矿井内出露地层从老到新有中上石炭统壶天群、下二迭统栖霞组和茅口组、上二迭统龙潭组和长兴组、白垩系和第四系. 矿区断层较为发育, 规模较大的断层有竹山塘断层、铁家冲断层、颜家冲断层等, 断层附近由于牵引所致也有小褶曲. 矿区内主要含水层为二迭统茅口灰岩岩溶裂隙含水层, 为矿井充水的主要因素,  $-100$  m 水平正常涌水量为  $1\ 850\ \text{m}^3/\text{h}$ . 41 采区正常涌水量

为  $3\ 800\ \text{m}^3/\text{h}$ , 矿井水文地质属极为复杂类型.

### 2.2 探测实例

探测小组采用湖南科技大学研制的天然电场探测系统, 根据矿区的地质条件, 探测小组在区内布置了若干条测线对该矿区的局部地下区域分布情况进行初步探测, 如下对其中 2 条有代表性的测线进行详介. 根据矿方提供的地表图与实际探测的测线布置, 在图上面标出所布测线如图 3 所示.

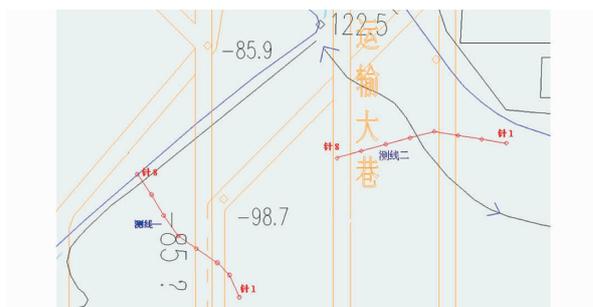


图3 矿区测线示意图

图 3 中每条测线均探测了多组数据, 以每条测线的第一根探针位置为原点(0 m), 通过上位机软件查阅和分析 2 条测线的所有探测数据, 在其探测数据频谱分析仪中可以清晰的找到 61 Hz 的和 67.5 Hz 的裂隙特征信号频率成分, 如图 4 所示. 将整条测线的数据进行分析 and 统计, 可以得到其特征信息统计表. 测线一、二的特征信息统计结果分别见表 1 和表 2.

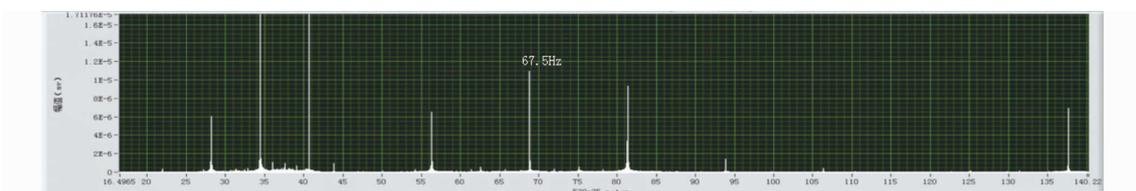


图4 测线二中数据频谱分析图

表1 测线一探测信息统计表

频率/Hz	电分量/ $(10^{-4}\ \text{mV})$						
	0102 点	0203 点	0304 点	0405 点	0506 点	0607 点	0708 点
61.0	<1.0	<1.0	100.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0
61.1	<1.0	60.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0
61.2	<1.0	<1.0	100.0	100.0	<1.0	<1.0	<1.0
62.1	<1.0	<1.0	100.0	<1.0	10.0	<1.0	<1.0
62.5	<1.0	200.0	<1.0	<1.0	100.0	<1.0	100.0
67.5	<1.0	<1.0	<1.0	10.0	<1.0	<1.0	<1.0

表2 测线二探测信息统计表

频率/Hz	电分量/(10 <sup>-4</sup> mV)						
	0102点	0203点	0304点	0405点	0506点	0607点	0708点
	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	1.0	1.0
67.5	<1.0	<1.0	<1.0	1.0	<1.0	<1.0	1.0
	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	1.0

由现场探测数据和表1和2可知,在测线一测试范围内,在0203探测点、0304探测点存在61.0 Hz左右(对应深度203 m左右)存在裂隙信息,在0405探测点存在67.5 Hz(对应深度192 m)也存在裂隙信息;在测线二测试范围内,信号较为微弱,波形裂隙信息特征不太明显,探测点主要分布在6~8号探针所在位置,存在67.5 Hz(对应深度192 m左右)有裂隙,为岩溶裂隙。

结合井上下对照图分析:测线一在垂深202~204 m,0203探测点、0304测点对应处为运输巷道;测线二在垂深192 m为运输巷道,且巷道有少量水流。探测结果经矿方确认:与井下实际情况相符。

### 3 结论

天然电场探测技术可以识别地下天然电场的动态信息和裂隙信息,从而能够解决矿区找水、治水、防水问题。

#### 参考文献:

- [1] 李金铭. 地电场与电法勘探[M]. 北京:地质出版社,2005.
- [2] 杨昌武. 天然电场选频法在水文地质和工程地质中的应用[J]. 西部探矿工程,2004(5):86-88.
- [3] 董松贵. 天然交变电场选频法及在找水中的初步应用[J]. 工程物探,1991,1(3):1-5.
- [4] Frangu, Selim, Shabani. Application of electrical prospecting methods in search for polymetallic mineralization in Marec Region, Kosovo [J]. Journal of International Environmental Application and Science, 2013, 8(4): 634-638.
- [5] Kazuhito M, Hideki N, Nobuyoshi H. Study of Cu and Co gettering mechanism using radioactive isotope tracers [J]. Applied Surface Science, 2003, 216(1): 371-375.
- [6] Eze C L, Mamah L I, Israel - Cookey C. Very low frequency electromagnetic (VLF-EM) response from a lead sulphide lode in the Abakaliki lead/zinc field, Nigeria [J]. International Journal of Applied Earth Observations and Geoinformation, 2004, 5(2): 159-163.
- [7] 李宏杰. 瞬变电磁探测技术在煤矿防治水中的应用[J]. 煤矿安全, 2013(4): 1-4.
- [8] 杨迪琨, 胡祥云. 地下水电磁法探测技术进展综述[J]. 工程地球物理学报, 2007, 4(5): 495-500.
- [9] 林君. 电磁探测技术在工程与环境中的应用现状[J]. 物探与化探, 2000, 24(3): 167-177.
- [10] 汪海滨. 高密度电阻率法在堤防隐患探测中的应用[J]. 浙江水利水电专科学校学报, 2010, 22(2): 31-34.
- [11] 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.