

三种物探方法在煤矿采空区勘查中的应用效果对比

赵明宣¹, 马惠珍², 辛永祺¹

(1. 山西深蓝地理信息工程有限公司, 山西 太原 030002; 2. 中国冶金地质总局 第三地质勘查院, 山西 太原 030002)

摘 要:在晋城某煤矿采空区勘查中,选取了采空区勘查中常用到的三种方法——瞬变电磁法、可控源变频大地电磁法、氦气测量法,进行了大量的试验。根据勘查效果,总结了三种方法的优缺点及大致适用范围,对今后勘查采空区时的方法选取有一定的帮助。

关键词:瞬变电磁法;可控源变频大地电磁法;氦气测量法;采空区

中图分类号: P631

文献标识码: A

文章编号: 1000-8918(2012)S1-0051-06

煤炭是我国的重要资源之一,煤炭的开采给矿山周围的生态环境造成了严重的破坏,制约了矿区的经济发展,因此必须认真探索灾害产生的原因,科学合理地提出治理的建议,以实现可持续发展的目标。要完成这一目标,必须注重采空区基础性勘查工作。

晋城市泽州县某村近几年居民房屋大面积出现裂缝和倒塌,地面多处出现隆起,周围山坡也出现较大规模的蠕动,为查清灾害原因,需对周边煤矿采空区位置进行勘查。笔者以此勘查区试验线为例阐述了瞬变电磁法、可控源变频大地电磁法、氦气测量法在采空区勘查中的应用效果,同时对各方法优缺点进行了分析。

1 地质概况及地球物理前提

勘查区位于沁水复向斜南段东侧,晋(城)—获(鹿)褶断带西侧。区域地层总体走向为北东或北北东,倾向为北西,地层倾角 $5^{\circ} \sim 10^{\circ}$,无岩浆活动。

勘查区内地层主要有古生界奥陶系中统峰峰组;石炭系中统本溪组、上统太原组;二叠系下统山西组、下石盒子组,上统上石盒子组、石千峰组;第四系。出露的基岩为二叠系上统上石盒子组、上统石千峰组。第四系分布于山梁、河谷及其两侧阶地。各地层主要岩性为砂岩、泥岩及灰岩。

区内可采煤层为3号、15号煤层,其中15号煤层未开采,已开采的3号煤层位于二叠系下统山西组下部,煤层厚4.10~6.70 m,平均厚5.76 m。其直接顶板多为黑色泥岩或粉砂质泥岩;底板为粉砂

质泥岩或泥岩。本次工作为勘查3号煤层采空区。

电性地质条件:根据收集到的地质资料,本勘查区勘探深度范围内地层岩性主要为黄土、泥岩、砂岩、灰岩及煤层。在煤系地层中,如果存在采空区,易使得其上部岩层结构受到破坏,产生松动、裂隙、坍塌现象。这样必然破坏了原来地层的层状分布,其电阻率值在这些区域也发生变化,使得原电阻率异常形态受到破坏,呈现出不连续、杂乱现象。一般松动、裂隙、坍塌、采空区为高阻异常反映,但是这些区域如果含水或存在含水充填物时易形成低阻异常。总之煤层采空区与其周边岩层存在明显的电性差异,利用这种物性差异可以获取采空区异常,从而达到探测采空范围的目的。

放射性地质条件:不同的岩石含有不同的放射性元素和非放射性元素,放射性元素在衰变时,有重要的产物——氦气。在裂隙、构造发育地区,岩石破碎、断裂密布及岩石坍塌等为氦的释放和运移提供了良好的条件,易于形成放射性异常。当地下存在采空区时,由于采空区改变了地下地质体的应力状态,促使地质体发生形变,从而改变了地下气体的运移与集聚环境,对氦气的运移与富集起到了一定的控制作用。通过储气、集气和通道三种作用,氦核素向采空区运移,因此可在采空区形成浓度很高的氦。由于氦气具有很强的垂直向上运移能力,加之采空区顶部裂隙较发育,为氦的运移提供了很好的通道,可在地表形成一个与采空区形态相应的氦异常区。因此,通过测量地表附近氦的浓度,可确定采空区的位置与范围。因此本区存在利用氦气测量来

勘测地下采空区的地球物理前提。

2 方法技术

2.1 瞬变电磁法

瞬变电磁法是利用不接地回线向地下发射脉冲式一次电磁场,观测由该脉冲电磁场感应引起的涡流所产生的二次电磁场,从而解决有关的地质问题。瞬变电磁法有多种工作装置,本次使用的是大回线定源装置。

2.2 可控源变频大地电磁法

可控源变频大地电磁法勘探使用美国 EMI 公司和 Geometrics 公司联合研制的 EH4 连续电导率剖面仪,它利用大地电磁的测量原理,但配置了特殊的人工电磁波发射源。EH4 连续电导率剖面仪用反馈式高灵敏度低噪声磁棒和特制的电极,分别接收 x 、 y 两个方向的磁场和电场,并记录两个正交方向上的电场和磁场的变化,用这些记录来计算一个测点的表面阻抗 (E_x/H_y 的比值称为表面阻抗 Z),再用表面阻抗来换算视电阻率 ($\rho_{ij} = |Z_{ij}|^2 / (\omega \mu_0) =$

$2|Z_{ij}|^2/f$)。通过发射和接受地面电磁波来达到电阻率或电导率的测深,连续的测深点阵组成地下二维电阻率剖面,甚至三维立体电阻率成像。

2.3 氦气测量法

氦气测量法采用活性炭法测量方式。活性炭法测量原理是:静态条件下,干燥的活性炭对氦有极强的吸附能力。因此把装有活性炭的取样器埋在土壤里,活性炭中丰富的孔隙便能强烈地吸附土壤中的氦。一定时间(该次工作中埋设 6 天)后取出活性炭,测定其放射性强度,便可以了解该测点氦的情况,据此发现异常并解决有关地质问题。

3 试验工作

为了验证三种方法的有效性,确定工作参数,施工前在勘查区的北部和东部选取了两条试验线,命名为 sy1 和 sy2。sy1 长 330 m,0 ~ 120 m 范围且埋深 500 ~ 570 m 为 3 号煤层采空区;sy2 长 340 m,0 ~ 200 m 范围且埋深 380 ~ 450 m 为 3 号煤层采空区(图 1)。

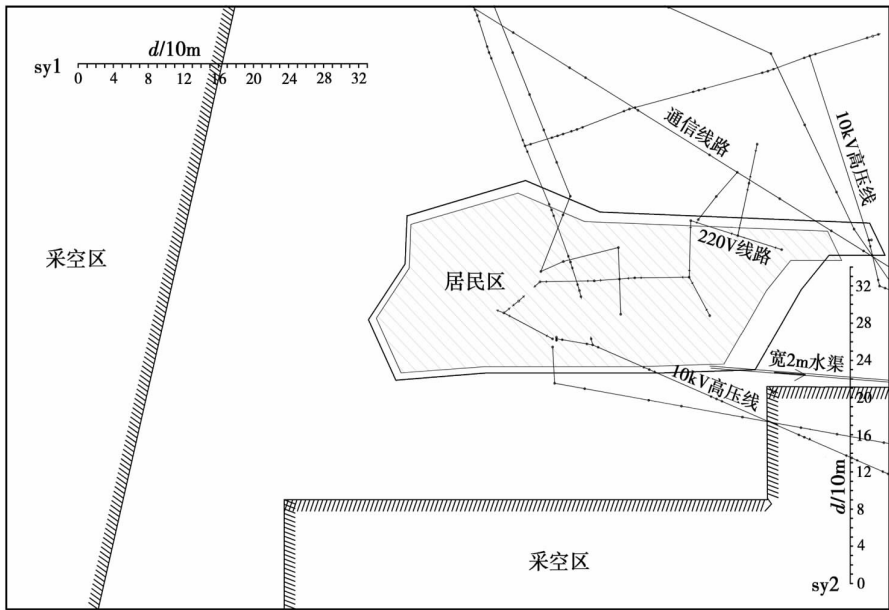


图 1 晋城某煤矿采空区试验线位置示意

3.1 采空区异常特征

3.1.1 瞬变电磁法

瞬变电磁法采用大回线定源装置进行了电流试验(5 ~ 35 A),频率试验(2、4、8 Hz)和边框效应试验(30 ~ 100 m)。

电流试验,对同一点用不同电流进行测试:当电流大于 15 A 时,衰减曲线稳定且基本一致;电流小于 15 A 时,衰减时间开始变短,后期有较大的蹦跳,所以电流选用的范围为 15 ~ 30 A。

以 sy2 为例,进行了频率试验,图 2 ~ 图 4 示出 2、4、8 Hz 的视电阻率断面等值线(用“+”表示采集数据在断面上的分布位置)。

由图 2 可知,2 Hz 工作频率采集的数据主要集中在标高 800 m 以上,虽有少量数据采集较深,但不能反映真实的地层电阻率,仪器在数据采集中也表现为衰减曲线后半段不能正常衰减且蹦跳剧烈,受到较强干扰,因此 2 Hz 工作频率不适宜在本区开展工作。

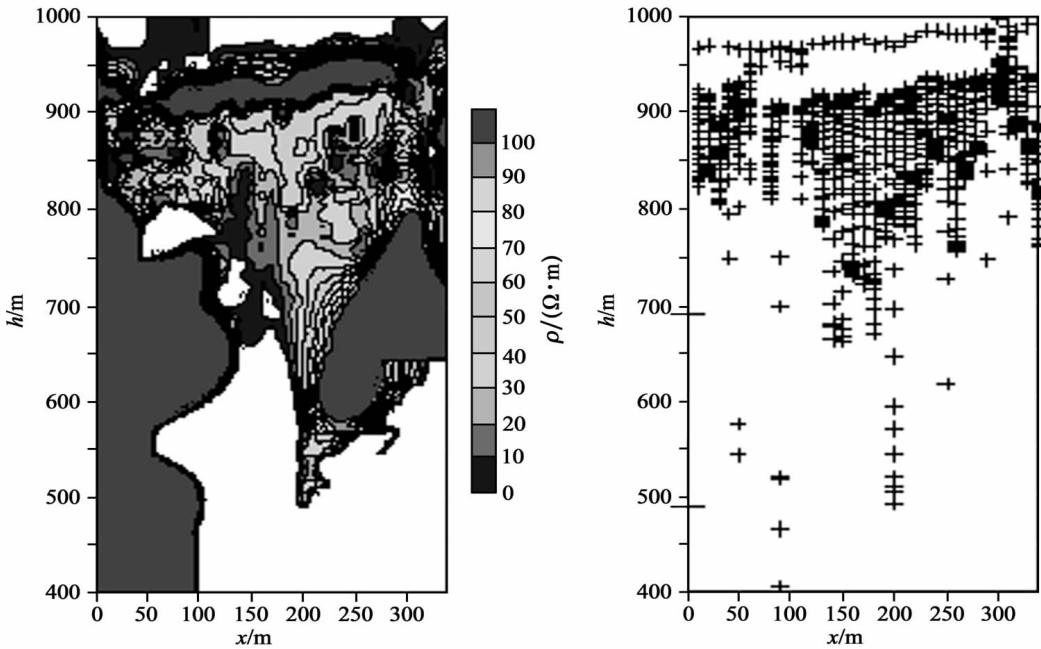


图2 sy2 线 2 Hz 视电阻率断面等值线及采集数据分布

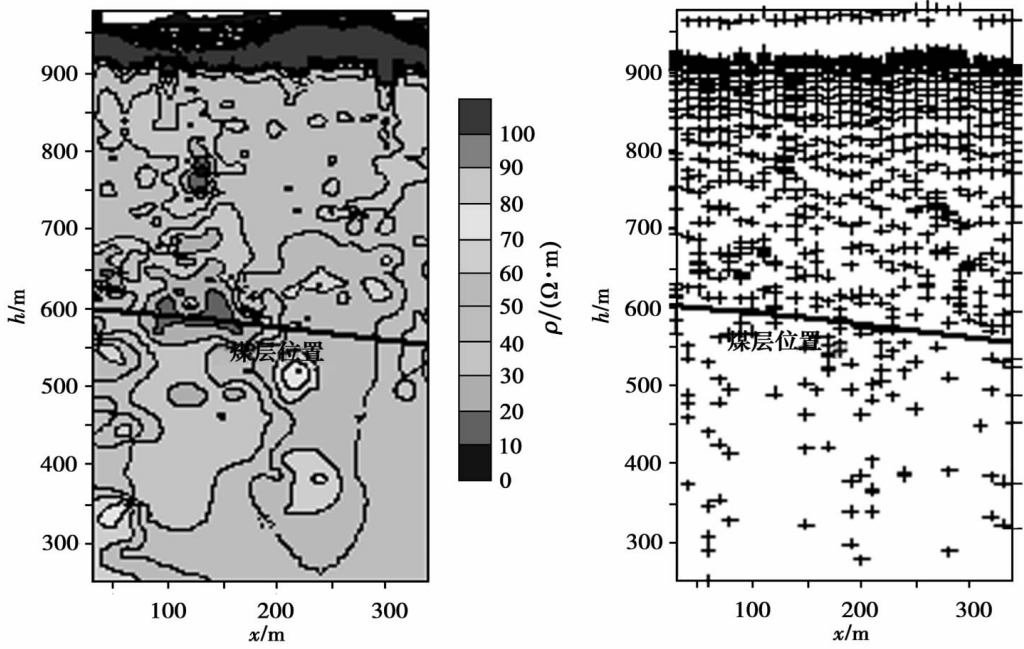


图3 sy2 线 4 Hz 视电阻率断面等值线及采集数据分布

由图3可知,4 Hz的工作频率在标高450 m以上采集了较为丰富的数据且分布均匀,高低阻界线清晰,基本反映了地层电阻状况。数据采集过程中,衰减曲线良好,受干扰较小。因此4 Hz工作频率适宜在本区开展工作。

由图4可知,8 Hz的工作频率在标高450 m以上也采集了大量数据,分布不甚均匀,高低阻界线有些模糊,但也基本反映了地层电阻状况。数据采集过程中,衰减曲线正常,受干扰较小。因此8 Hz工

作频率可以在本区开展工作,但效果不如4 Hz。
通过上述试验,确定本次的工作频率为4 Hz。在对边框效应做试验时,分别选用端点距边框30 m和100 m对试验线进行探测,线框布设如图5a,0号点距框1为30 m,距框2为100 m,试验线视电阻率断面等值线图如图5b、c。
由图5b和图5c可知,两条视电阻率断面图3号点以后图像基本吻合,都为采空区引起的低阻异常,图5b的0~2号点距边框较近,视电阻率有些混

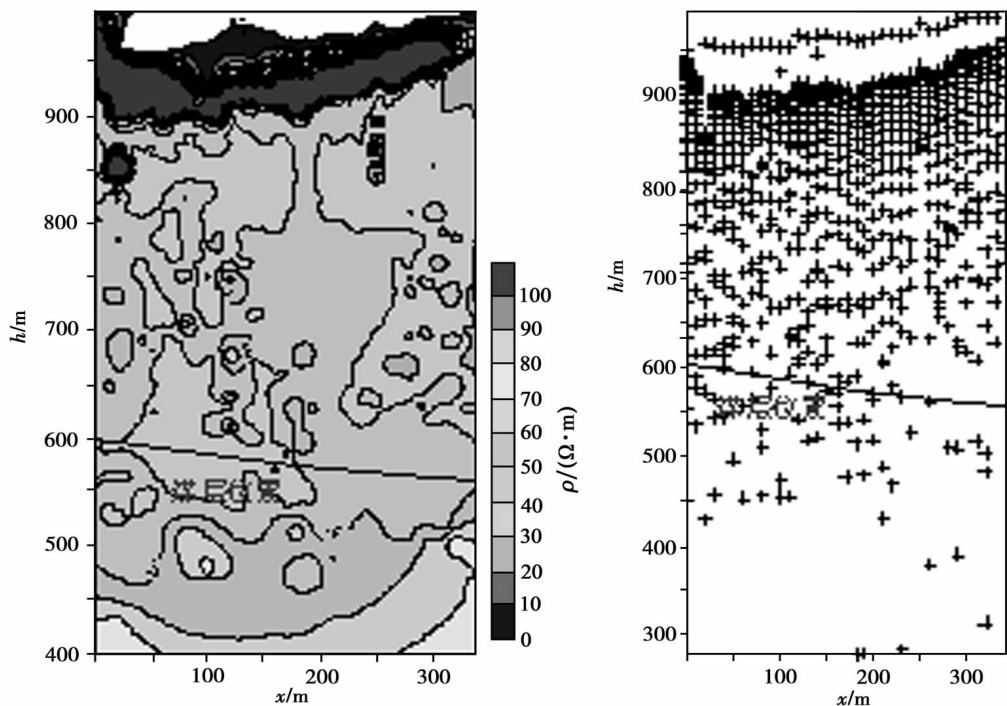


图 4 sy2 线 8 Hz 视电阻率断面等值线及采集数据分布

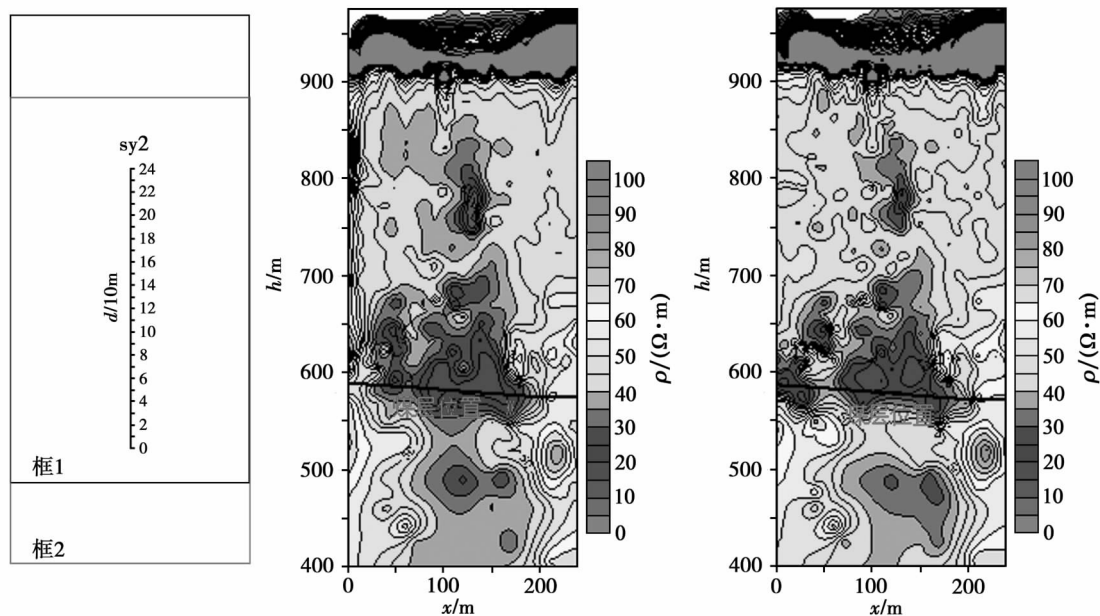


图 5 勘探区试验线视电阻率断面等值线

乱变形,且表现为高阻,因此,可确定距边框最近勘探点可定为 60 m。也可用双重贝塞尔函数公式方法计算得出,在回线内 60% 的范围内,垂直磁场相对变化不大,比较稳定,可近似认为是均匀场,本次所用线框为 300 m×400 m,勘探线两端各距线框 60 m 较为接近这一计算结果。

瞬变电磁法视电阻率断面图上,采空区范围内,表现为低阻($40\ \Omega\cdot\text{m}$ 以下)且有些杂乱,正常区域内,表现为高阻($40\ \Omega\cdot\text{m}$ 以上)。

从整个试验过程看,在参数选取合理的情况下,接收线框距电线 20 m 左右,衰减曲线后半部分开始跳动或尾部上翘,但经过适当处理后,基本不影响反映整个断面的视电阻率分布,高低阻界线清晰,横向分辨率较高。因此,需注意的问题是一定要做好试验工作,不能只依靠经验或原理常识,如本次工作中 2 Hz 的工作频率在地层深部探测的效果并不如 4 Hz 的效果,所以到一个新的工作场地,不但要考虑选取何种方法,还应多考虑外部因素做好试验。

3.1.2 可控源变频大地电磁法

EH4 的接收频率为 10 ~ 100 000 Hz, 正常情况下所测深度可达 800 m 以上, 图 6 为 sy1 试验线视电阻率断面图, 断面图显示浅部数据量较大, 能反映地层电阻率分布细节, 深部数据较少, 能反映规模较大的地质体高低阻异常。sy1 试验线 0 ~ 120 m 为采空区, 断面图上显示为低阻, 120 ~ 330 m 为正常地段, 显示为高阻, sy1 线所处位置相对开阔, 无电线及水流干扰, 因此, 可控源变频大地电磁法在外界干

扰小, 地势开阔处可用于采空区勘查且勘探深度较大。

sy1 视电阻率断面图基本反映了地层状况。但是对于 sy2 试验线, 采集数据量较少, 内插数据较多, 深部数据更少, 基本无法反映地层的视电阻率, 这是因为附近有较多的高压线及民用电线, 且有水渠穿过(见图 1), 在野外采集数据过程也可证明这一点, 如距 10 kV 高压线 80 m 处, 所采集到数据的深度明显开始变浅, 采集数据量减少, 到高压线附近, 基本采不到数据, 深度也在 50 m 以内, 远离高压线 80 m 以外时, 测深又逐渐接近 800 m, 对于更高电压的电线影响会更远。水域对 EH4 的干扰也相当明显, 水面前后 20 m 也基本采不到数据且深度也在 50 m 以内。

3.1.3 氦气测量法

本次试验对两条试验线分别进行氦气测量, 并对 sy2 在阴雨天气进行了重复测量。

图 7 中 0 ~ 120 m 和图 8 中 0 ~ 200 m 的采空区范围内, 氦值大都在 1 000 c/3min 以上且蹦跳剧烈, 正常区域, 氦值一般在 1 000 c/3min 以下, 且氦值变化较平缓。从测量效果看基本不受外界电磁场干扰及居民区的影响。当对 sy2 试验线进行氦气测量检查时遇到阴雨天气, 但从图 9 的氦气测量曲线图上采空区和正常区域仍可区分, 但效果不甚理想。

3.2 试验结论

从以上试验可知, 采空区在瞬变电磁法和可控源变频大地电磁法的视电阻率断面图上都表现为低阻, 一般在 40 Ω · m 以下; 在氦气测量曲线图上则表现为氦值较大(一般在 1 000 c/3min 以上), 蹦跳剧烈。正常区域在瞬变电磁法和可控源变频大地电磁法的视电阻率断面图上都表现为高阻, 一般在 40

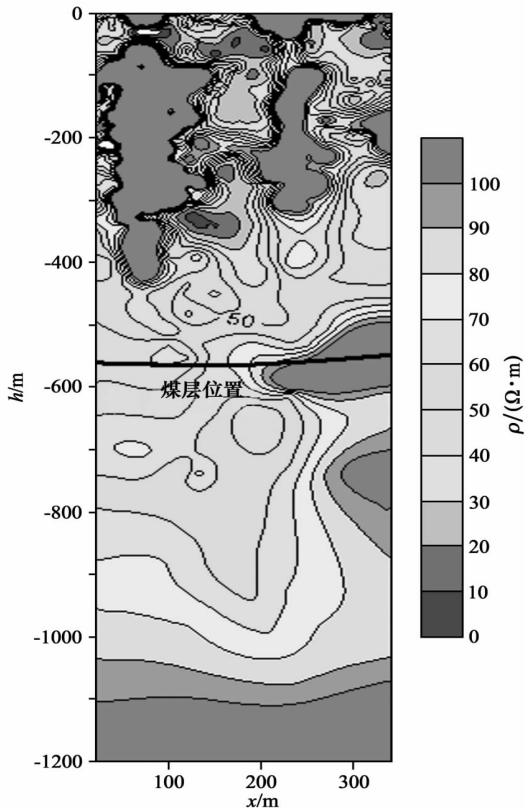


图 6 sy1 线视电阻率断面等值线

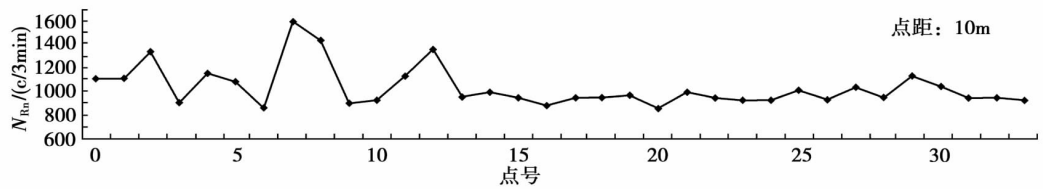


图 7 sy1 线氦气测量曲线

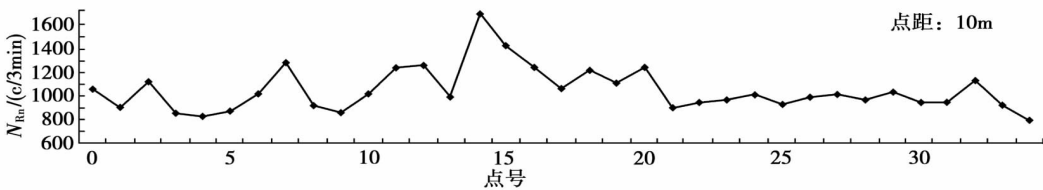


图 8 sy2 线氦气测量曲线

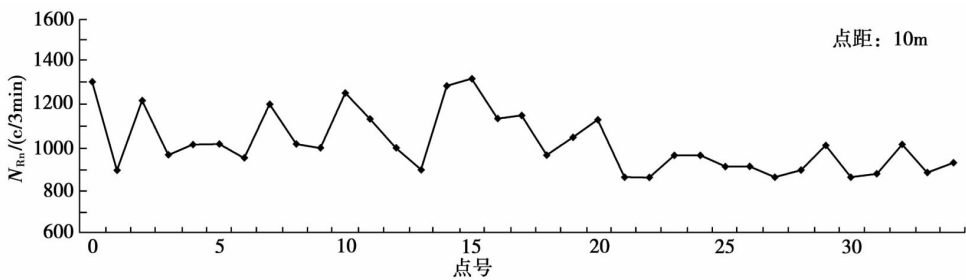


图9 sy2 线阴雨天氡气测量曲线

$\Omega \cdot m$ 以上;在氡气测量曲线图上则表现为氡值较小(一般在 1 000 c/3min 以下),变化平缓。

4 三种方法对比分析

通过以上试验可知,每种方法都有其长处及适用范围,总结如下:

(1)瞬变电磁法与可控源变频大地电磁法两者都是根据变化的电磁场探测地电断面,瞬变电磁法更具主动性,自身发射一次场,并接受地下介质产生的感应二次场,受外界干扰较小,工作效率高、横向分辨率高;可控源变频大地电磁法虽配置了特殊的人工电磁波发射源,但效果有限,易受到外界干扰,但在外界干扰小,地势开阔的地方也有其优势,如探测深度大、易于发现构造和地下水等。

(2)氡气测量法基本不受电磁场及居民区的干扰,这可以弥补电法勘探的不足,但氡气测量只能确定平面异常范围,无法确定异常深度,因此,需与电法配合使用。

(3)三种方法可互相取长补短,如瞬变电磁法可以根据所测深度及目标不同可以变换不同的线框和频率以达到最佳效果,在不适于布设瞬变电线框

且干扰较小时或探测较深的目标时可选择可控源变频大地电磁法,在电磁场干扰较大的情况下可以选择氡气测量法,在许多勘查工作中,需要两种或两种以上的物探方法进行相互验证,因此,我们可以根据不同的条件,选取不同的方法进行搭配。

5 结语

在采空区勘查过程中,还有很多其他方法及很多复杂情况,这些都需要细心的去研究和试验,选取合理的方法及参数;笔者提到的这些方法是本人工作中常用到的,通过专家指点及自己的学习,有了一点体会,作为抛砖引玉,供大家批评与深入讨论。

参考文献:

- [1] 刘天佑.地球物理勘探概论[M].北京:地质出版社,2007:202-205.
- [2] 薛国强,李貅,郭文波,等.大回线源瞬变电磁场响应特性[J].石油地球物理勘探,2007,42(5):586-590.
- [3] 杨建军,申燕,刘鸿福.测氡法和瞬变电磁法在探测煤矿采空区的应用[J].物探与化探,2008,32(6).
- [4] 牛之璉.时间域电磁法原理[M].中南工业大学出版社,1992.
- [5] 刘鸿福.勘查地球物理技术的现状与发展[R].山西省地球物理学会第二次会员代表会议暨学术报告会,太原,2010.

A COMPARATIVE STUDY OF THREE KINDS OF GEOPHYSICAL METHODS IN EXPLORATION OF GOAF IN THE JINCHENG COAL MINE

ZHAO Ming-xuan¹, MA Hui-zhen², XIN Yong-qi¹

(1. Shanxi Shenlan Geographic Information Engineering Co., Ltd., Taiyuan 030002, China; 2. No. 3 Institute of Geological Exploration of China Metallurgical Exploration & Engineering Bureau, Taiyuan 030002, China)

Abstract: The authors selected three kinds of methods (transient electromagnetic method, controlled source frequency magnetotelluric method and radon gas survey) to conduct large quantities of experiments in the goaf exploration of the Jincheng coal mine. On the basis of exploration effects, the advantages and disadvantages as well as the applicable scope of the three methods were summarized, which is helpful to method selection in goaf exploration in the future.

Key words: transient electromagnetic method; controlled source frequency magnetotelluric method; radon gas survey; goaf

作者简介: 赵明宣(1978-),男,汉族,河南杞县人,2003年毕业于河南理工大学地理信息系统专业,工程师,现主要从事物探、测量、计算机制图等工作。