

文章编号: 1001-1986(2009)02-0071-04

煤矿积水采空区瞬变电磁法探测的附加效应

解海军^{1,2}, 孟小红¹, 王信文², 石亚丁², 韩德品²

(1. 中国地质大学地球物理与信息技术学院, 北京 100083;

2. 煤炭科学研究院西安研究院, 陕西 西安 710054)

摘要: 煤矿积水采空区由于其复杂性, 在进行瞬变电磁法探测时, 常常会产生一些附加效应。从理论、试验出发, 研究了附加效应的特点及探测曲线特征, 并根据这些特点对实际工程进行了分析、解释, 圈定的积水采空区经钻探验证, 效果良好。

关键词: 瞬变电磁法; 附加效应; 积水采空区; 探测

中图分类号: P631 文献标识码: A

The additional effect of TEM detection and its application in coal mined-out area with accumulated water

XIE Haijun^{1,2}, MENG Xiaohong¹, WANG Xinwen², SHI Yading², HAN Depin²

(1. Shool of Geophysics and Information Technology, China University of Geosciences, Beijing 100083, China;

2. Xi'an Branch, China Coal Research Institute, Xi'an 710054, China)

Abstract: Mined-out area with accumulated water in coal mines is difficult to detect because of its complexity. In TEM detection, there are often additional effects. the paper, from the theory and test, studied the effect of the additional features and detecting characteristics of the curve, and on the basis of these characteristics, the actual engineering analysis and interpretation were carried out, drilling verified that mined-out area with water was well localized.

Key words: TEM; additional effects; mine water mined-out area ; detection

煤矿采空区往往充含水, 对其下组煤开采形成极大威胁, 所以, 预先查明采空区, 特别是积水采空区的分布就显得尤为重要。但由于采空区分布大多是孤立、不连续的, 从而造成其探测困难。不少地质工作者从物探理论出发, 提出了多种有效的探测手段, 杨建军等研究了煤矿采空区的分布特征^[1], 并从直流电法的角度进行了探测研究; 程久龙等采用探地雷达对地下采空区进行了探测并取得一定的效果^[2]; 闫长斌等从地震波在采空区上的传播特点进行了探测研究^[3]; 罗周全及 Gilbertson 等研究了空间三维激光探测系统(3D Laser Cavity Monitoring System, CMS)对采空区的精密探测^[4-5]。尽管这些探测方法取得了一定的成效, 但往往由于采空区充填物质及周围地质情况的差异, 而应选取更为合理的方式。瞬变电磁法便是积水采空区探测较为有效的手段。

瞬变电磁法(Transient electromagnetic methods)由于对低阻敏感, 近年来常用于含煤地层附近的富

水性探测。由于地形起伏对该方法的影响较小, 所以也常用来探测煤矿积水采空区。但对于积水采空区, 特别是当积水采空区埋藏较浅时, 用瞬变电磁法进行探测, 往往引起衰减曲线的严重畸变, 如出现信号反转, 这种现象一般是由于附加效应所引起。本文简要分析了附加效应影响的瞬变电磁探测曲线的特点, 并利用附加效应对实际采空区进行了探测, 取得良好的地质效果。

1 附加效应的表象特征

瞬变电磁法的附加效应一般是指激发极化效应(IP 效应), 是由于浅层或近地表的低阻地质体极化所引起。在应用瞬变电磁法探测时, 当发射线框中的电流切断后, 位于发射线框下的地质体将产生很强的感应电流以维持一次磁场的迅速衰减, 随后二次感应电流开始衰减, 并逐渐向下、向外扩散传播, 如果浅层的地质体具有 IP 效应, 它将被很强的初始感应电流极化而形成极化电流, 进而以与二次场感

收稿日期: 2008-11-28

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973 计划)项目(2006CB202207); 国家“十一五”科技支撑计划项目(2007BAK24B02)

作者简介: 解海军(1969—), 男, 陕西兴平人, 博士, 从事电磁法探测研究工作。

应电流相反的方向开始衰减。尽管极化电流的强度较弱，但在某个时刻，其强度足以导致衰减信号反向。

一般情况下，当低阻地质体受到激发后，可以近似为一个 RC 电路，Smith(1988)导出的重叠回线二次电压响应可近似表示为^[6-7]：

$$V(t) \approx I_0 R_1 k_0^2 \mu_1^2 \left\{ e^{-t/t_1} - e^{-t/T_1} [m/(\lambda-1)^2] \right\}。 \quad (1)$$

其中 I_0 为射线圈的电流； R_1 为极化体的电阻； t 为发射电流关断后的延迟时间； t_1 为感应相应的时间常数； T_1 为 Cole-Cole 等效电路的时间常数； $\lambda=T_1 t_1$ ； m 为充电率； k_0 是发射线圈与地质体近似导线环之间的耦合系数； μ_1 为发射线圈半径与极化体等效线圈半径之比。

这个表达式的应用前提是 $m \ll 1$ ，且 $\lambda > 1$ 。它包含 2 个指数项，第一个指数项为二次感应响应；第二个代表极化体的等效电路，并引起的一个附加效应。因此，上面的式子可以简化为：

$$V(t) = V_{\text{感应}}(t) + V_{\text{极化}}(t)。 \quad (2)$$

由式(1)、式(2)可知，二次极化电流可以近似表示为一指数衰减函数，其衰减很快。但是对于近地表的低阻地质体(含水采空区)由于其值很大，从而导致瞬变电磁的衰减曲线倒转反向。

针对此理论，通过试验进行了验证。试验区近地表有一形状近似为 $5 \text{ m} \times 10 \text{ m} \times 5 \text{ m}$ 的水池，在其外布设 $40 \text{ m} \times 40 \text{ m}$ 的方形发射线框，接收直径是 1 m、等效面积为 100 m^2 的圆形线圈，仪器为加拿大凤凰公司生产的 V8 多功能探测仪，发射频率为 25 Hz，采用中心感应装置。在一条剖面上共布设 5 个测点，

测点间距为 5 m，如图 1 所示。

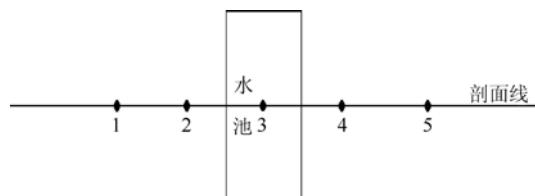


图 1 试验测点布设图

Fig. 1 Survey station of test array

图 2 为试验曲线图。其中图 2a—图 2e 为衰减曲线图，横轴为时间，纵轴为二次场值；图 2f—图 2j 为对应的晚期视电阻率曲线图，横轴为时间，纵轴为晚期视电阻率。由图 2 可以看出，在靠近水池时，由于瞬变电磁法的附加效应，导致 2 号、4 号点的衰减曲线发生倒转反向(因对数原因而无法绘制负值)；在测点远离水池时，衰减曲线正常；而在水池上方时，衰减曲线变的比较平缓，衰减较慢。同时在晚期电阻率曲线上，在靠近水池的时候，其曲线呈现突然变高又急剧降低的特点；在水池上方时，其电阻率明显较远离水池的测点值低。

根据这些曲线的表象特征，可以利用瞬变电磁法的附加效应对浅层积水采空区进行分析研究。

2 实际应用

神华集团乌达井田煤系为晚古生界的石炭系和二叠系，煤系基底为奥陶系(O)，煤系自下而上为：石炭系本溪组(C_2)、上石炭系太原组(C_3t)，下二叠系山西组(P_1sh)，上二叠系石盒子组(P_2s)、古近系(E)、新近系(N)及第四系(Q)等。

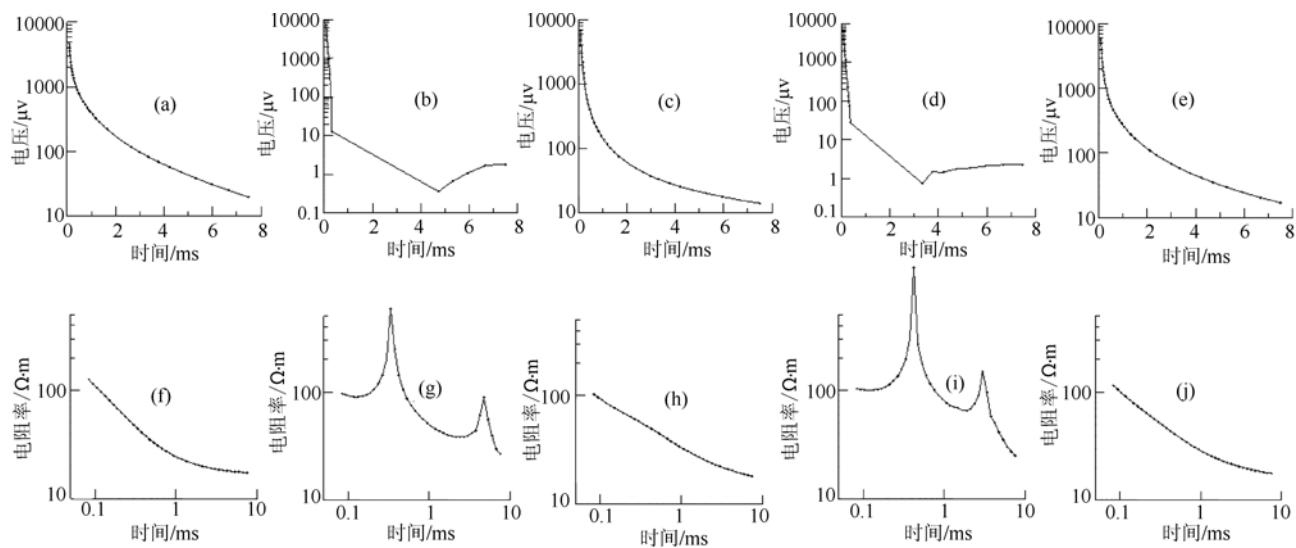


图 2 瞬变电磁附加效应试验结果图

Fig. 2 TEM additional effects test result

a-e—衰减曲线；f-j—晚期视电阻率

乌达矿务局下属各矿因历史原因, 12号煤层以上的各层煤大多已开采完, 尤其是9号煤和8号煤由于小煤窑的介入使开采比较混乱, 采完后的采空区大量积水, 对12号煤层的开采带来严重的安全隐患。采用瞬变电磁法对12号煤以上各主要煤层, 尤其是8、9号煤的采空区积水情况进行探查、分析采空区积水范围。

在施工时, 采用了发射为 $360\text{ m} \times 360\text{ m}$ 的方形线框, 发射频率为 25 Hz, 接收为等效面积 100 m^2 的圆形线圈, 按 $40\text{ m} \times 20\text{ m}$ 测网进行布置, 施工布设为大定源方式。采用 V8 多功能电磁法探测仪器进行施工。

图3为一条剖面图的部分衰减曲线图, 在该图上分别绘制了电阻率曲线和衰减曲线。根据以上分析的附加效应影响的曲线特征和试验结论, 从该剖面上的衰减曲线可以看出, 正常地层情况下(如22—28点), 衰减曲线以一种光滑的形式进行指数衰减, 在电阻率曲线上也表现的很平缓, 衰减曲线和

电阻率曲线都很光滑。在从正常场进入积水采空区边界时, 由于积水采空区的附加效应影响, 衰减曲线开始变得比较凌乱, 逐渐靠近采空区时, 在衰减曲线的中间采样点缺失, 这是由于积水采空区的附加效应强烈作用, 导致二次场值反向; 在电阻率曲线上, 进入采空区边界时, 电阻率曲线表现特别凌乱, 逐渐靠近采空区时, 电阻率曲线变为低-高-低-高的反映, 其中, 越靠近积水采空区, 中间的高点越向深部移动, 到采空区时达到极值, 这是由于积水采空区的附加效应影响逐渐增强所致。这个变化过程如29—34号点所示。进入采空区后, 衰减曲线和电阻率曲线也变得有规律, 电阻率曲线上中间的低值段对应采空区的电性反映, 高点为采空区段进入正常地层时的标志点, 这些特征如35—47号点所示。在由积水采空区进入正常地层时, 积水采空区的附加效应又开始作用强烈, 衰减曲线反向, 电阻率曲线特征也发生较大变化, 其中开始段的低点逐渐变大再变小直至模糊, 这些特征在28—52号点可以分析得到。进入正常地层后, 即53号点以后, 衰

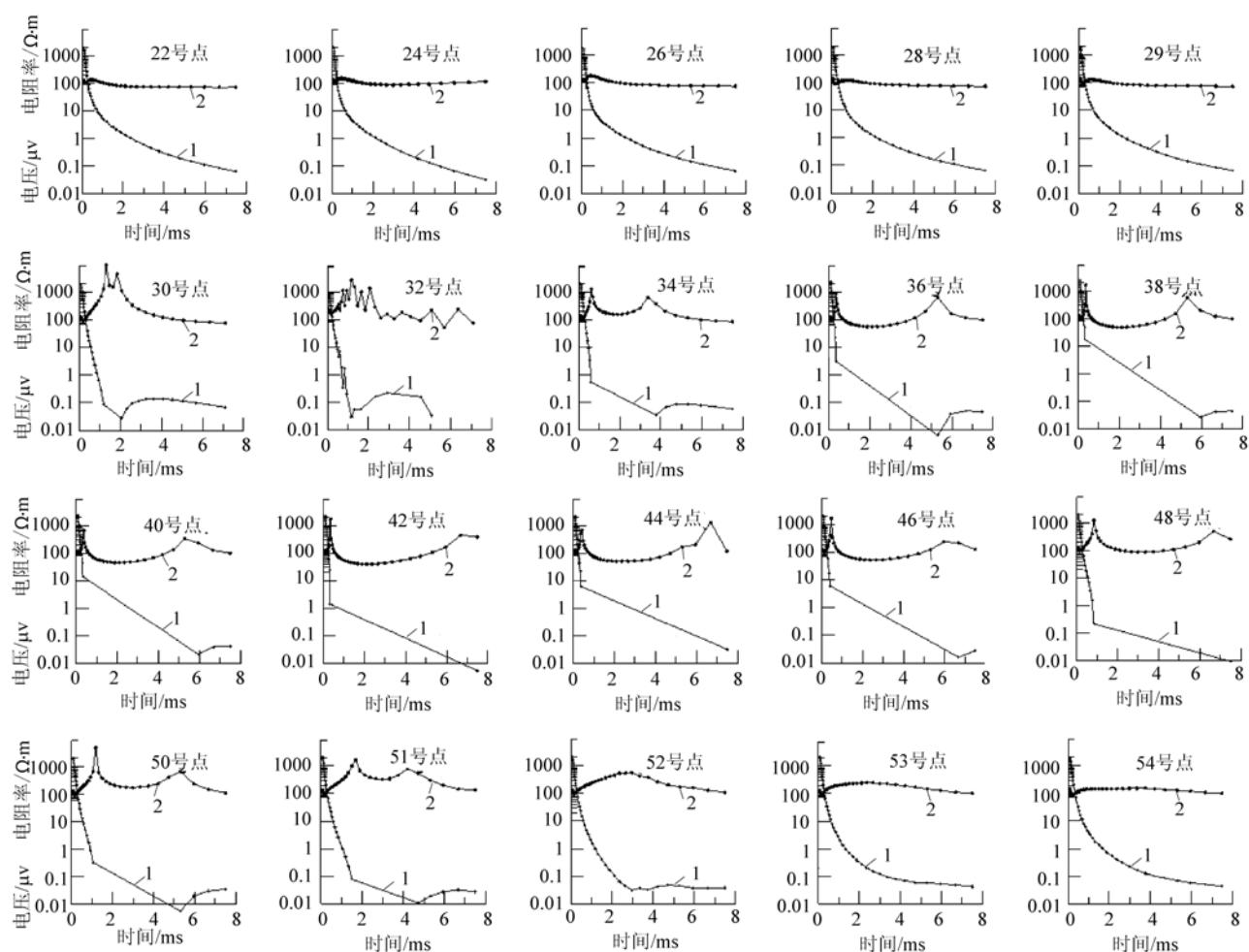


图3 实测衰减曲线图

Fig. 3 TEM observed voltage curve
1—电位衰减曲线; 2—晚期电阻率曲线

减曲线和电阻率曲线开始变的正常，其中衰减曲线以光滑的指数衰减形式表现，这反映了地层的一个渐变过程，电阻率曲线以高—低—高的形式表现，反映了地层的电性变化特征。

根据以上分析，不论是电位衰减曲线还是电阻率曲线，在进入积水采空区前后及在采空区上，其

曲线变化特征明显，均有显示。为了更清晰的在深度概念上分析，绘制了时间道剖面图，如图 4 所示。纵轴是一个时间概念(即深度概念)，值越小，表示探测深度越大。在这张图上可以清楚地看到采空区的形态，中间低阻为积水采空区所在位置，而高阻圈闭应为采空区边界。

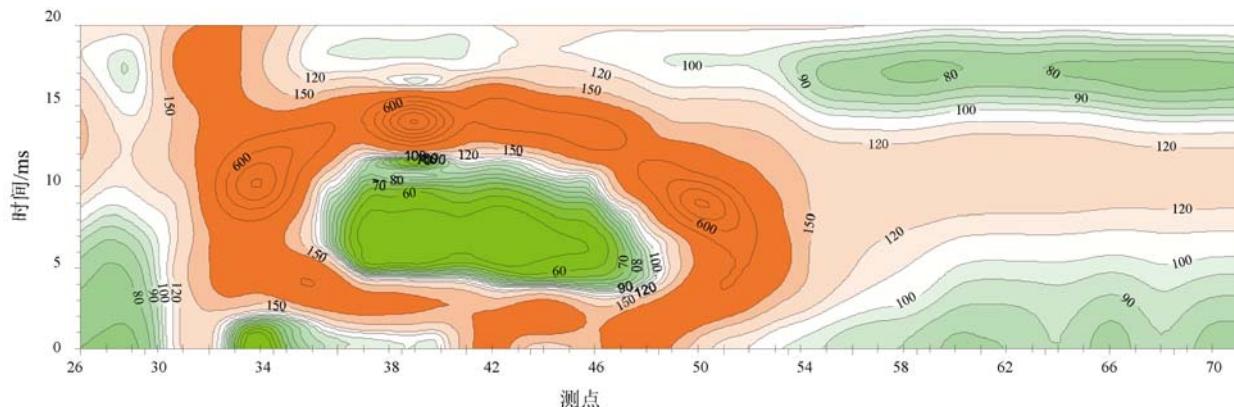


图 4 实测时间道剖面图

Fig. 4 Observed TEM time profile

为验证该积水采空区，在其附近布设了 7 个钻孔。经验证为 9 煤层采空区，共疏放采空区水 19 510 m³，为 12 煤的安全开采消除了隐患。

3 结语

瞬变电磁法探测时，其浅地表的低阻地质体有强烈的附加效应，通过分析其特点，应用该附加效应对积水采空区进行探测，取得了良好效果。但是对于埋藏较深的积水采空区，由于附加效应变得较为弱小，不能应用该方法进行分析、解释。另外，要注意附加效应和噪音的区别，特别是一些固定噪音，往往给资料处理、分析解释造成错觉。当然，也不能单纯的将瞬变电磁法的附加效应看做是一种干扰标志，它对探测曲线的影响可以用来作为浅层低阻地质体的一个判断标准，特别是积水采空区的一个判断方法。

参考文献

- [1] 杨建军, 吴汉宁, 冯兵, 等. 煤矿采空区探测效果研究[J]. 煤田地质与勘探, 2006, 34(1): 67-70.
- [2] 程久龙, 胡克峰, 王玉和, 等. 探地雷达探测地下采空区的研究[J]. 岩土力学, 2004, 25(增): 79-82.
- [3] 闫长斌, 徐国元. 综合物探方法及其在复杂群采空区探测中的应用[J]. 湖南科技大学学报(自然科学版), 2005, 20(3): 10-14.
- [4] 罗周全, 刘晓明, 杨彪, 等. 采空区精密探测技术应用研究[J]. 矿业研究与开发, 2006, 26(B11): 87-90.
- [5] GILBERTSON R J. The application of cavity measurement system at olympic dam operations [C]//Proc. Underground operators Conference. Kalgoorlie : Western Australia, 1995 : 245-252.
- [6] ELLIOTT P. An empirical procedure for removal of polarization effects observed in TEM field data[J]. Exploration Geophysics, 1991, 22(4): 575-582.
- [7] 王隆平, 温佩琳. 论 TEM 法中的 IP 效应[J]. 中南工业大学学报, 1998, 29(3): 209-211.

《煤田地质与勘探》启用“科技期刊学术不端文献检测系统”

为了杜绝科技论文中存在的抄袭和一稿多投等学术不端行为，使科技期刊真正成为学术交流的阵地，从 2009 年 1 月起，《煤田地质与勘探》启用了“科技期刊学术不端文献检测系统(AMLC)”。利用 AMLC 系统，编辑部可检测所有作者投稿和拟发表的文献，只需将文稿发送到 AMLC 的稿件库中，系统将报出疑似学术不端来稿的类型和相应检测指标，并提交可直接对比分析的相关文献。编辑部根据检测结果，分析具体情况，剔除有问题的稿件。AMLC 系统可作为把握科技期刊内容质量关的重要辅助工具。