多层采空区调查中瞬变电磁法的应用

李成友, 刘洪福
(太原理工大学 矿业工程学院, 山西 太原 030024)

摘 要: 有些煤层存在 2层或 2层以上的采空区, 目前很多方法只能有效地探测最顶层采空区。针对这一情况, 根据多层采空区的地球物理特征, 利用瞬变电磁法, 通过分析多测道电压剖面图和拟视电阻率断面图, 准确地探测出了多层采空区的位置。结果表明, 根据多层采空区地球物理特征, 利用瞬变电磁法准确探测多层采空区的位置划清责任是形之有效的方法。

关键词: 瞬变电磁法; 煤矿多层采空区; 地球物理特征; 视电阻率
中图分类号: P631 文献标识码: A 文章编号: 1000- 8918(2007)S0- 0108- 03

工业的发展需要大量的能源, 为此导致煤炭、石油等能源价格飞快上涨, 部分国有私营小煤矿为了取得更多的利润, 无序开采, 造成大量采空区和沉陷区, 导致房屋出现缝隙, 并毁坏田地, 给当地居民生产和生活带来严重影响。为了准确划分小煤窑采空区的位置, 分清责任, 当地政府高度重视, 筹集资金聘请专家进行诊断。然而很多地方存在大量多层采空区, 传统方法根本无法解决, 且前人也没有做过此方面的试验工作, 因此, 我们根据多层采空区地球物理特征, 在某一多层采空区做了探测试验, 通过分析其多测道电压剖面图和视电阻率断面图, 准确推测出了多层采空区的空间位置。

瞬变电磁法属于时间域电磁法, 是响应与时间的关系。该方法以通电接地导线或不接地导线为场源, 激励并探测目的物感生的二次电流, 在脉冲间隙测量二次场随时间的变化响应, 以此判断地下是否存在多层采空区, 具有分辨率高、受地形影响小、工作效率高、灵敏度高、能穿透高阻覆盖层等优点。

1 瞬变电磁法的基本原理及装置类型

瞬变电磁法 (简称为 TEM) 属时间域电磁感应方法, 是近几十年迅速发展起来的一种新的电磁法。其探测原理是在发射回线上给一个电流脉冲方波, 一般用方波后沿下降的瞬时产生一个向地下传播的一次磁场。在一次场的激励下地质体将产生涡流, 其大小取决于地质体的导电程度。在一次场消失后, 该涡流不能立即消失, 它将有一个衰减过程。该衰减过程又产生一个衰减的二次磁场向地表传播。由地面的接收回线接收二次磁场, 该二次磁场的变化将反映地下地质体的电性分布情况。按不同的延迟时间测量二次感应电动势 $U(t)$, 就得到了二次场随时间衰减的特性曲线, 用发射电流归一化后成为 $U(t)/I$ 特性曲线。

将瞬变电磁法应用于采空区探测时所依据的地球物理前提, 仍是采空区与围岩的电阻率差异。采空区及巷道相对于围岩来说, 电性反映为高阻, 采空区冒落塌陷后, 其内部充填松散物的电阻率与周围介质相比仍是相对高阻, 只有采空区充水后与围岩相比才为低阻。而对于多层采空区, 其电阻率与围岩相比仍呈现较大值, 如果上、下两层采空区相距较大, 则电阻率值呈层状分布, 充水时则呈低阻, 形状与高阻时一样。据此可以把多层采空区从地质背景中区分出来。

瞬变电磁法常用装置有多种, 主要用于地质构造、水文地质及寻找隐伏金属矿等。探测地下采空区应选择合适的装置以获得较高的分辨能力。按照发射与接收相对位置的不同, 瞬变电磁法的装置可分为同点装置与非同点装置。非同点装置都存在记录点问题, 即异常所对应的地质体的实际位置。不解决这个问题, 即使有很高的分辨率也不能确定地下采空区的确切位置。在有源频率域电磁感应法中记录点问题是不可避免的, 而在时间域瞬变电磁法中, 由于观测的是一次场断开后的二次场, 故可实现频率域中无法实现的同点装置测量, 它与地质探测对象有最佳偶合, 回线的中心点就是记录点, 同点装置是时间域方法本质上的优点, 这也是在时间域寻

收稿日期: 2007- 09- 10

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

求探测地下采空区的原因。除了采用同点装置外, 采空区的探测还应使用发射回线较小、发射电流较大、灵敏度高、抗干扰能力强的接收机。

近几年的实践证明, 使用 ATEM-2瞬变电磁仪, 采用重叠回线, 供电电流 30 A, 在干扰小的地区探测 200 m 以内的采空区具有很好的效果; 使用 ATEM-2A 瞬变电磁仪, 采用 50 m × 50 m 的正方型重叠型回线, 供电电流 30 A, 在干扰较强的地区探测 200 m 以内的采空区同样具有较好的效果。

2 资料整理及解释

首先检查原始数据, 对比数据的重现性, 然后对数据进行圆滑和滤波处理。处理后采用下列公式进行换算:

计算视电阻率公式

$$\rho_\tau(t) = 6.32\times10^{-3}L^{8/3}\left[\frac{U(t)}{I}\right]^{-2/3}t^{-5/3},$$

计算视纵向电导公式

$$S_\tau(t) = \frac{16\pi^{1/3}}{(3Mq)^{1/3}\mu_0^{4/3}}\cdot\frac{U(t)^{5/3}}{U'(t)^{4/3}},$$

计算视探测深度公式

$$h_\tau(t) = \left[\frac{3Mq}{16\pi U(t)S_\tau(t)}\right]^{1/4} - \frac{t}{\mu_0 S_\tau(t)},$$

计算视时间常数公式

$$\tau_s(t) = (t_i - t_j)\Big/\left[L_n\frac{U(t_j)}{U(t_i)}\right],$$

其中, L 为方形回线边长; $M = IS(t)$, 为发送磁矩; I 为发送电流; q 为发送回线面积; t_i、t_j 为衰减曲线晚期上任意取向的 2个时间; μ_0 为空气导磁率。

然后, 利用计算结果绘制视深度-拟视电阻率断面图以及多测道电压剖面图等。整个过程全由微机处理, 最终成图。

瞬变电磁法的解释工作, 主要是根据瞬变电磁响应的时间特征和断面曲线特征, 以及工区的地质地球物理特征及地层情况, 通过分析研究, 划分出异常场和背景场。

3 应用实例

本区开展瞬变电磁法勘探, 其物理前提是岩层与多层采空区之间存在较大的电性差异, 采空区空洞对电流有排斥作用, 地面探测表现为高电阻率特性; 反之, 采空区含水时表现为低阻特性; 岩层的电阻率与其岩性、孔隙度、含水率等性质有关, 而多层采空区之间存在深度与电压高低的区别; 本区 2号和 8号煤采空区都未充水, 电阻率较高, 不产生屏蔽影响。依据上述电性组合特性可以有效地探测地下多层采空区。本次勘探共完成瞬变电磁法剖面线 14条 (包括试验线 1条), 线距 25 m, 点距 10 m, 测点 452个。最后通过圆滑处理及反演成像, 绘制出图。

图 1、图 2为试验线的多测道电压剖面和电阻率成像断面。由图 2可看出, 在深度 120 m、水平 0 ~ 350 m 处出现高阻异常, 推测为 2号煤采空区 (存在部分煤柱)。同样, 图 2在深度 160 m、水平 200~ 350 m处呈现高阻异常, 且明显较深, 推测为 8号煤采空区, 而在图 1中, 此处电压呈现下降趋势, 据此可推断深度 160 m、水平 200~ 350 m区域为 8号煤采空区 (存在部分煤柱)。通过打钻, 验证了 2号和 8号煤采空区在此区域的存在。

图 3、图 4分别为测线 4的多测道电压剖面和视电阻率断面。由图 4可看出, 在深度 120 m、水平 0~ 350m处出现高阻异常, 推测为 2号煤采空区 (存在部分煤柱)。同样, 图 4在深度 160 m、水平 250~ 350 m处呈现高阻异常, 且明显较深, 推测为 8号煤采空区, 而在图 3上, 此处电压呈现下降趋势, 据此,

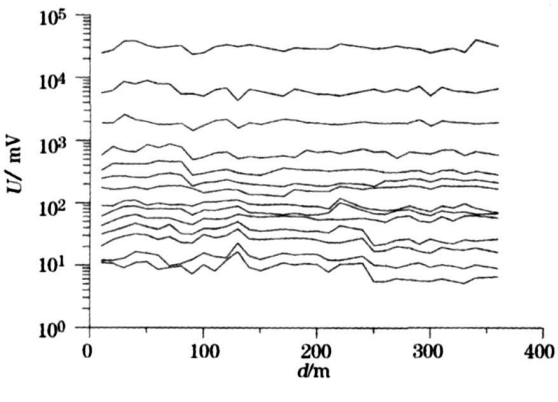


图 1　试验线瞬变电磁法多测道电压剖面

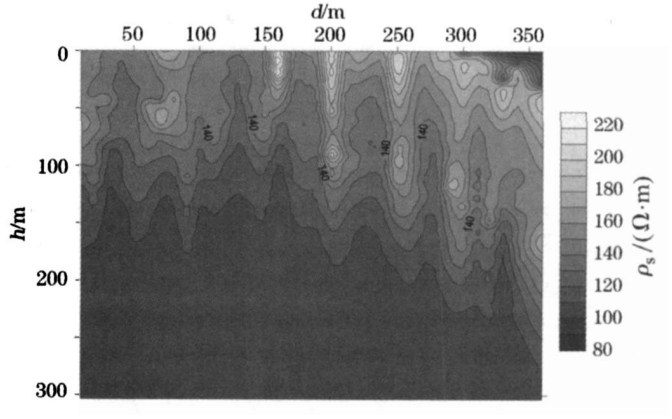


图 2　试验线瞬变电磁法拟视电阻率断面

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

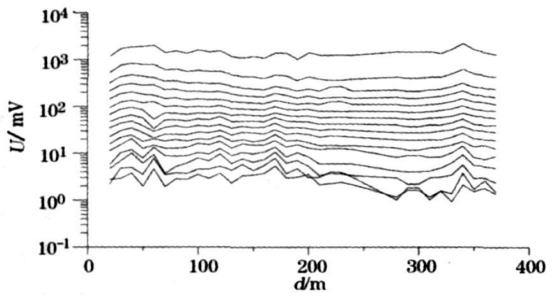


图 3　4线瞬变电磁法多测道电压剖面

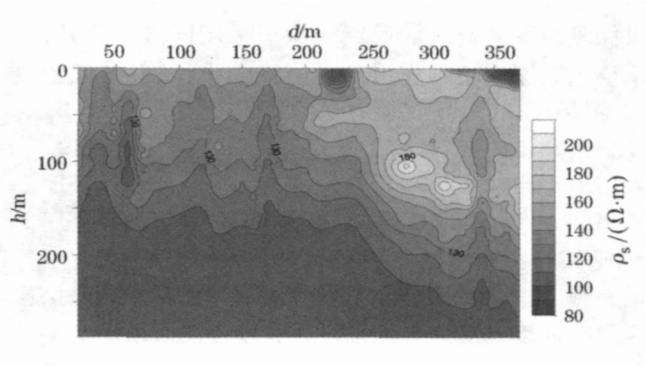


图 4　4线瞬变电磁法拟视电阻率断面

可推断水平此区域为 8号煤采空区(存在部分煤柱)。

4 结论

通过对以上理论、实例及在很多工程中的具体应用加以分析研究,可以说明通过选择合理的参数、仪器和装置,将瞬变电磁法应用于探测多层采空区可以取得很好的效果。归纳几点体会:

(1)根据多层采空区地球物理特征,运用瞬变电磁法,通过分析多测道电压剖面图和电阻率断面图,同时配合煤层底板等高线,可以准确地探测多层采空区空间分布。

(2)适当调整电流大小和发射框(接受框)大小,可以探测不同深度的异常体,说明瞬变电磁法具有继续研究的价值。

(3)瞬变电磁法虽有受地形影响小的特点,但地形条件的影响是不可忽视的,尤其在探测多层采空区时,如果不能采取有效措施消除地形的影响,可能会影响多层采空区的探测,产生较大误差。

(4)瞬变电磁法多层采空区探测时需要注意目的层电阻率高低关系,以免上层电阻率太低产生屏蔽影响,施工时应该注意。

参考文献:

[1] Raiche A P, Gallagher R G. Apparent resistivity and diffasion velocity[J]. Geophysics, 1985, (1): 50.
[2] Knight J H, Raiche A P. Transient electromagnetic calculations asing the Gaver-Stehfest inverse Laplace transform method [J]. Geophysics, 1982, (1): 47.
[3] 牛之琏. 脉冲瞬变电磁法及应用[M]. 长沙: 中南工业大学出版社, 1986, 23.
[4] 朴化荣. 电磁测深原理[M]. 北京: 地质出版社, 1990, 45.
[5] 蒋帮远. 瞬变电磁法勘探[M]. 北京: 地质出版社, 1998, 162.
[6] 石显新. 瞬变电磁法勘探中低阻层屏蔽问题研究[D]. 西安: 煤炭科学研究总院, 2005.
[7] 郭崇光, 田卫东. 瞬变电磁法在山西采空区探测中的应用[J]. 山西煤炭, 2003, 13: 25.

THE APPLICATION OF TRANSIENT ELECTROMAGNETIC METHOD TO THE DETECTION OF MULTILAYER WORKED-OUT AREA OF COAL SEAM

LI Cheng-you, LIU Hong-fu

(College of Mining Engineering, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, China)

Abstract Some coal seams have two or more than two layers of worked-out areas. Many methods used at present can only detect the worked-out area at the top. Aimed at solving this problem, the authors, on the basis of geophysical characteristics of the worked-out area and by using the transient electromagnetic method and analyzing the multi-channel voltage profile and the apparent resistivity section, accurately located the position of multi-layer worked-out areas. Practice has proved the effectiveness of the above method put forward by the authors.

Key words transient electromagnetic method; multi-layer worked-out areas of coal seam; geophysical characteristics; apparent resistivity

作者简介: 李成友(1979-), 男, 山东德州人, 在读硕士, 主要从事应用地球物理勘探研究。

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net