

文章编号: 1673-3363-(2014)06-1001-04

煤层变薄区坑道无线电磁波透视异常响应特征

焦险峰¹, 姜志海^{1,2}, 刘树才^{1,2}

(1. 中国矿业大学资源与地球科学学院, 江苏 徐州 221116;

2. 中国矿业大学深部岩土力学与地下工程国家重点实验室, 江苏 徐州 221116)

摘要 准确圈定火成岩侵入造成的煤层变薄区, 有利于综采工作面高产高效。采用无线电磁波透视法对受火成岩侵入的采煤工作面进行了探测, 基于综合曲线分析得到初始辐射场强与煤层吸收系数关系, 进行绝对衰减层析成像重构, 使用吸收系数 β 值大小可表征透视异常响应特征。层析成像结果与实际煤层厚度对比分析表明: 1) 火成岩侵入造成的煤层变薄区在绝对衰减层析成像图上有明显的透视异常反映, 其分布范围与透视异常区基本吻合, 无线电磁波透视探测煤层变薄区可行; 2) 异常区域吸收系数值 β 跟火成岩侵蚀厚度有关, 根据异常区域吸收系数 β 与煤层吸收系数的大小关系可以确定煤层残余厚度。

关键词 火成岩; 煤层变薄区; 层析成像; 绝对衰减; 无线电磁波透视

中图分类号 P 631

文献标志码 A

Exceptional response characters of radio wave perspective in coal thinning zone

JIAO Xianfeng¹, JIANG Zhihai^{1,2}, LIU Shucui^{1,2}

(1. School of Resources and Earth Science, China University of Mining & Technology, Xuzhou, Jiangsu 221116, China;

2. State Key Laboratory for Geomechanics & Deep Underground Engineering,
China University of Mining & Technology, Xuzhou, Jiangsu 221116, China)

Abstract Accurate delineation of the coal thinning zone caused by igneous rock intrusion, is beneficial to the high yield and high efficiency for the mechanized coal mining face. The igneous rock intrusion has been detected by the radio wave perspective on one coal face. The initial amplitude and the absorption coefficient have been got by comprehensive curves analysis to reconstruct the absolute attenuation tomography. The absorption coefficient β can denote the exceptional response features. The contrast between tomography results and the actual coal seam thickness shows that: 1) The anomaly of coal thinning zone caused by igneous intrusion is obvious in absolute attenuation tomography map. Its distribution range conforms very closely to the perspective anomaly area, and radio wave perspective to detect the coal thinning zone is feasible. 2) The absorption coefficient β is corresponding to the igneous rock erosion thickness. According to the difference between abnormal absorption coefficient and normal absorption coefficient, the coal thickness can be determined.

Key words igneous rocks; coal thinning zone; tomography; absolute attenuation; radio wave perspective

收稿日期: 2014-01-08

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973)项目(2013CB227900); 国家自然科学基金青年基金项目(41304113)

作者简介: 焦险峰(1970—), 男, 山西省高平市人, 博士研究生, 高级工程师, 从事矿山地球物理勘探与应用技术方面的研究。

通信作者: 姜志海

E-mail: jzh3885434@126.com

Tel: 15150045700

20 世纪坑道无线电磁波透视技术在我国煤矿开展应用,在小构造探测方面,取得较好的应用效果^[1-2],关于断层、陷落柱的透视响应特征,综合曲线与层析成像方面前人都已做了大量分析、总结^[3],目前应用范围不断拓宽,如探测瓦斯赋集区、构造煤等^[4]。资料解释也由传统的手工交汇、综合曲线向计算机自动反演解释转变^[5-10]。火成岩侵入造成的煤层变薄给综采工作面生产带来了极大影响,严重时甚至造成停产,而有关坑道无线电磁波透视成功圈定煤层变薄区的报道鲜见。为此本文拟通过绝对衰减层析成像成果与回采实际揭露煤层厚度的对比,研究电磁波传播路径上吸收系数与煤层残余厚度的关系,进而揭示煤层变薄区的异常响应特征。

1 方法原理

1.1 无线电磁波透视原理

在不考虑电磁散射的前提下,电磁波的传播路径可以用射线近似,此时煤层中传播的电磁波可近似用下式^[1]表示:

$$H = H_0 \frac{e^{-\beta r}}{r} \sin \theta \quad (1)$$

式中: H 为介质中某点的实测场强; H_0 为决定发射功率和周围介质的原始辐射场强; r 为发射机与接收机之间的直线距离; β 为决定于工作频率、介质电阻率、介电常数等参数的介质吸收系数; θ 为发射天线轴与观测点方向间的夹角。

显然, H 值随 r 和 β 而变化,其中射线路径上 β 值的变化是使 H 值发生异常变化的关键因素,如式(2)所示:

$$\beta = \omega \sqrt{\mu \varepsilon} \cdot \sqrt{1/2[(1 + \delta^2/\omega^2 \varepsilon^2)^{1/2} - 1]} \quad (2)$$

由式(2)可知,在一定的频率范围内, β 值是介质(煤或岩石)的介电常数 ε 、导磁率 μ 、电导率 δ 的函数。由于煤层与顶底板岩石有较大的电性差异,所以在电磁波射线路径上出现煤层与岩层的交替(如遇断层或火成岩体)时,就发生 β 与 H 值的明显变化。又由于煤层相对于顶底板岩层是种波导介质,当煤层厚度发生变化时,其波导阻抗就发生变化,从而造成 β 值和 H 值的变化。

1.2 绝对衰减层析成像

在坑道透视中,对式(1)化简并转换得到^[1,5]

$$\beta r = H_0 - H - 10 \lg r \quad (3)$$

式中: H , H_0 的单位为 db ; r 的单位为 m ; β 的单

位为 db/m 。

图 1 是一个工作面被网格化后的示意图。

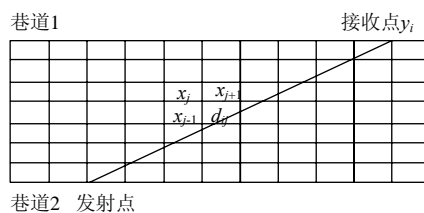


图 1 层析成像剖分示意图

Fig.1 Diagram of tomography gridding

网格化后的每个均匀的小块成为一个像素,在此区域内有一条射线 Y 穿过了吸收系数分别为 x_1, x_2, \dots, x_n 的各像素,截距为 $d_{i1}, d_{i2}, \dots, d_{in}$,第 i 条射线路径上有

$$\beta r = \sum_{j=1}^n d_{ij} x_j \quad (4)$$

把式(4)代入式(3)中可得到第 i 条射线的方程:

$$\sum_{j=1}^n d_{ij} x_j = y_i \quad (5)$$

这里

$$y_i = H_0 - H_i - 10 \lg r_i \quad (6)$$

式中: H_i 为第 i 次观测的实测场强值; r_i 为第 i 条射线的长度,若进行多重观测,即用多个波源发射,对每个发射点进行多点接收测量,可得矩阵方程

$$\begin{bmatrix} d_{11} & d_{12} & \cdots & d_{1n} \\ d_{21} & d_{22} & \cdots & d_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ d_{m1} & d_{m2} & \cdots & d_{mn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix} \quad (7)$$

求解此方程,得各像素的绝对衰减系数(体现介质的物性特征),即可作出相应的地球物理解释。

2 探测实例分析

2.1 工作面概况

该面煤层起伏变化较小,煤层倾角 $2^\circ \sim 13^\circ$,一般 4° ,倾向长 150 m ,煤层底板标高 $-858 \sim -870 \text{ m}$ 。煤层结构简单,具薄层不稳定炭质泥岩夹矸,层内有岩浆岩侵入,岩浆岩侵入区局部为天然焦。煤层基本顶以中、细砂岩岩组为主,局部为泥岩岩组。直接顶以灰色细砂岩为主,局部由于火成岩侵入为火成岩。直接底以泥岩为主,粉砂岩次之,偶见泥岩伪底。

2.2 透视方法

采用定点法,即发射机相对固定于某巷道事先确定好的发射点位置上,接收机在另一巷道一定范

围内逐点沿巷道观测场强值，观测射线呈扇形分布。为确定透视异常的位置与分布范围，调换发射与接收巷道的位置，重复定点观测方式，用以射线交会，划分异常。

选用 WKT-E 型坑透仪，0.3 MHz 频率天线。测点布置选定设计停采线位置处为“0”号点，切眼侧为大号点，停采线为小号点，发射点距 50 m，接收点距 10 m，两平巷实际布置发射点 23 个(图 2)，每个发射点接收 16 个数据，共接收数据 370 个。

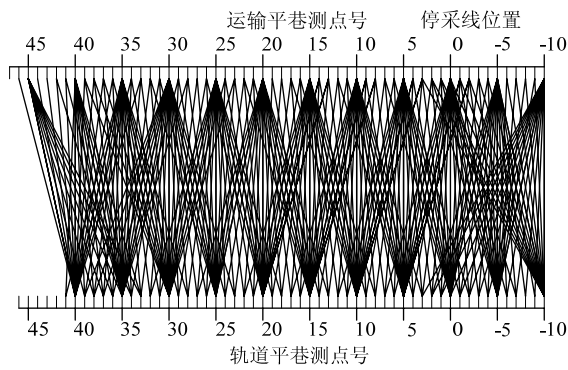


图 2 施工布置图
Fig.2 Layout of construction

2.3 初始场强与煤层吸收系数的确定

初始发射场强与发射仪器电源、发射天线形状、巷道围岩介质等有关，如果发射机发射电源稳定，数据采集时发射天线形状前后保持基本一致，对于同一种巷道围岩介质来说，各发射点的初始发射场强也应该保持基本一致。煤层衰减系数由煤层的电性特征决定，对于同一个工作面甚至同一个采区，煤层的电性特征是均一的，因而具有相同的衰减系数。根据本工作面所有发射点综合曲线图的对比分析结果，并基于所采用仪器实际发射场强幅值

大小范围与该面煤层的电性特征，确定初始发射场强 H_0 为 133 db，煤层吸收系数 β 为 0.33。

2.4 结果分析

工作面回采过程中，从 32[#]测点处开始，每回采 10 m，便绘制一次切眼中的实测地质剖面图。图 3 为 5 月 1 日开采位置(图 5 中间斜线)，此时运输平巷距开切眼 340 m，对应无线电波透视测点为 20[#]，轨道平巷距开切眼 360 m，对应 18[#]测点。图 4 为根据 3 月 18 日至 6 月 28 日实际地质剖面图绘制的 32[#]~6[#]测点煤层厚度分布图。

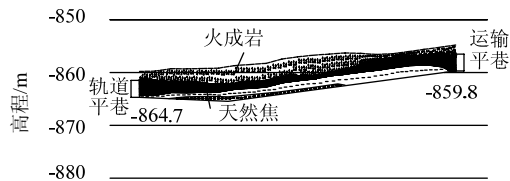


图 3 5 月 1 日实测地质剖面图
Fig.3 Measured geological section in 1st May

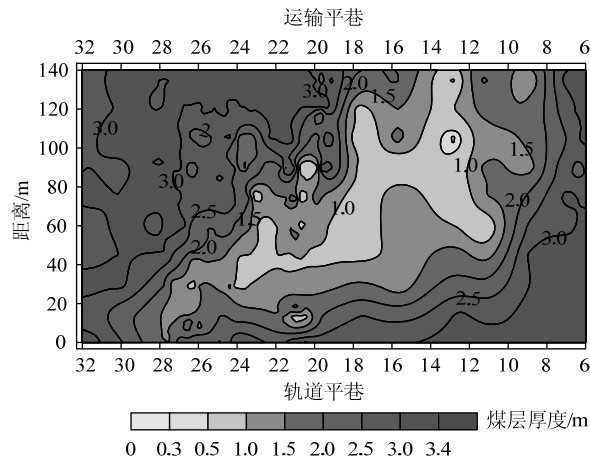


图 4 实测煤层厚度图
Fig.4 Measured coal thickness

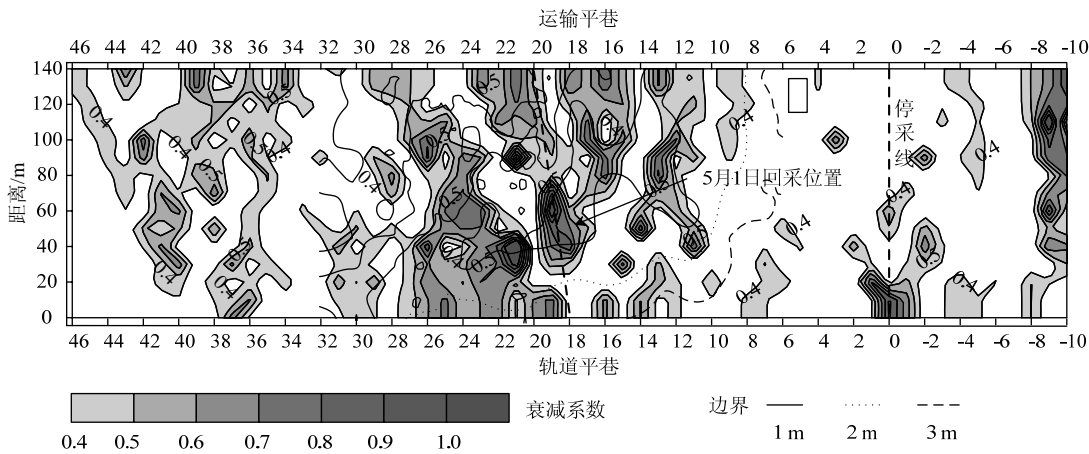


图 5 绝对衰减层析成像图
Fig.5 Absolute attenuation tomography

图 5 为绝对衰减层析成像图,横坐标为测点点号,点距 10 m,纵坐标为两巷之间的平面距离(单位: m),图中色素强弱代表吸收系数 β 值的大小,即该位置处物性变化。工作面煤层吸收系数为 0.33,在层析成像图中, β 等于 0.33 的区域为正常区域,煤层均一,厚度 >3.5 m,即空白区域。煤层厚度变薄, β 要高于 0.33。煤厚小于 1 m 区域, β 高于 0.6;煤厚大于 1 m 小于 2 m 时, β 高于 0.4;煤厚大于 2 m 小于 3 m 时,部分区域 $0.4 < \beta < 0.6$,部分区域 $\beta \leq 0.4$ 。根据上述结果,当火成岩侵蚀严重,小于 1/3 煤厚时,透视异常明显,异常区域吸收系数至少比煤层吸收系数高 0.3 个单位;残余 1/3~2/3 煤厚时,透视异常反应一般,吸收系数比煤层吸收系数最多高 0.2 个单位;残余大于 2/3 煤厚时,透视异常反应模糊,给资料解释带来一定困难。需要注意的是,绝对衰减层析成像图上,煤层变薄区并非呈连续大面积的透视异常,而是呈非连续孤岛状,与煤层受火侵影响程度不同有关。

3 结 论

1) 火成岩侵入造成的煤层变薄区在绝对衰减层析成像图上存在明显的透视异常反应,其分布范围与透视异常区基本吻合,说明无线电磁波透视探测煤层变薄区可行。

2) 根据异常区域吸收系数与煤层吸收系数的大小关系可以确定煤层残余厚度,异常区域吸收系数至少高于煤层吸收系数 0.3 个单位时,残余厚度小于 1/3 煤厚;吸收系数比煤层吸收系数最多高 0.2 个单位时,残余厚度为 1/3~2/3 煤厚。

参考文献:

- [1] 刘天放,李志聃. 矿井地球物理勘探[M]. 北京:煤炭工业出版社,1993: 17-52.
- [2] 郭然,董秀桃,张旭刚. 综采面地质小构造无线电波坑道透视技术[J]. 煤炭科学技术,2009,37(11): 99-102. GUO Ran, DONG Xiutao, ZHANG Xugang. Gateway radio wave penetration technology for small geological structure in fully mechanized coal mining face[J]. Coal Science and Technology, 2009, 37(11): 99-102.
- [3] 梁庆华,马晓莉,宋劲,等. 复杂地质构造煤层坑道透视探测研究[J]. 矿业安全与环保,2010,37(1): 15-18. LIANG Qinghua, MA Xiaoli, SONG Jin, et al. Research on tunnel perspective detecting complex structures in coal[J]. Mining Safety and Environment Protection, 2010, 37(1): 15-18.
- [4] 汤友谊,陈江峰,彭立世. 无线电波坑道透视构造煤的研究[J]. 煤炭学报,2002,27(3): 254-258. TANG Youyi, CHEN Jiangfeng, PENG Lishi. Study of tectonic coal by radio-wave pit perspective[J]. Journal of China Coal Society, 2002, 27(3): 254-258.
- [5] 董守华,王琦. 层析成像在巷道无线电波透视法中的应用[J]. 中国矿业大学学报,2003,32(5): 579-582. DONG Shouhua, WANG Qi. Application of tomography in radio wave tunnels perspective[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2003, 32(5): 579-582.
- [6] 吴荣新,刘盛东,肖玉林,等. 工作面无线电波透视实测场强成像分析及应用[J]. 岩土力学,2010,31(3): 435-440. WU Rongxin, LIU Shengdong, XIAO Yulin, et al. Imaging analysis of measured magnetic field from radio wave penetration for coal face and its application[J]. Rock and Soil Mechanics, 2010, 31(3): 435-440.
- [7] 梁庆华,吴燕清,宋劲. 无线电波坑道透视探测的定性分析及其应用[J]. 重庆大学学报,2010,33(11): 254-258. LIANG Qinghua, WU Yanqing, SONG Jin. Study on the qualitative analysis and application of radio wave tunnel perspective[J]. Journal of Chongqing University, 2010, 33(11): 254-258.
- [8] LO T W, TOKSOZ M N. Ultrasonic laboratory tests of geophysical tomographic reconstruction[J]. Geophysics, 1988, 53(7): 947-956.
- [9] PETESON J E, PAULSSON N P, MCEVILLY T V. Applications of algebraic reconstruction techniques to crosshole seismic data[J]. Geophysics, 1985, 50(10): 1556-1580.
- [10] LAGER D L, LGTLE R J. Determining a subsurface electromagnetic profile from high-frequency measurements by applying reconstruction-technique algorithms [J]. Radio Sei, 1997, 12(2): 249-260.