

文章编号:1000-582X(2010)11-113-06

无线电波坑道透视探测的定性分析及其应用

梁庆华, 吴燕清, 宋 劲

(中南大学 信息物理工程学院, 湖南 长沙 410083; 煤炭科学研究总院 重庆研究院, 重庆 400037)

摘 要:为了准确探测煤层工作面的地质构造异常体的情况,基于矿井无线电波透视煤层理论,模拟探讨了各种不同异常体对无线电波坑透仪接收场强值的影响情况,并应用研究成果指导煤层探测。通过实际应用,较为准确的划分了灾害异常区,合理指导了煤矿灾害防治的设计与规划,为类似煤矿的地质灾害防治提供了经验。

关键词:地质异常体;无线电波;坑道透视;定性分析

中图分类号:TD712+.2

文献标志码:A

Study on the qualitative analysis and application of radio wave tunnel perspective

LIANG Qing-hua, WU Yan-qing, SONG Jin

(School of Info-physics and Geologic Engineering, Central South University, Changsha, Hunan 410083, P. R. China; Geotechnical Engineering Institute, Chongqing Branch, China Coal Research Institute, Chongqing 400037, P. R. China)

Abstract: In order to accurately survey the situation of geologic anomalous body on the coal working surface, the influence situation of different anomalous bodies on the radio wave instrument is simulated and discussed, and the research results are used to instruct coal survey. In practical application, it can divide disaster unusual area more accurately, instruct the design and plan of coal mine disaster prevention and control reasonably, provide experience for similar coal mine of geological disaster prevention and control.

Key words: geologic anomalous body; radio wave; laneway clairvoyance; qualitative analysis

利用无线电波坑道透视仪探测矿井煤层地质体而划分异常区域的定性分析一直是一个难点。目前,我国对采煤工作面煤体的探测主要采用无线电波坑透方法来实现^[1]。关于无线电波坑透仪的使用效果已经被众多煤矿证实效果比较理想,但是对于地质异常体的定性分析存在一定的难度^[2]。在国外,美国于 20 世纪 70 年代首次把成像技术引入到无线电波资料处理解释当中, Darrel 和 Lytle 把高

频电磁波观测数据用于图像重建当中,以确定电性界面^[3]。在国内,煤炭科学研究院重庆分院于 1998 年研究解决了成像的算法,并编出相应的处理软件;其他单位如淮北矿务局、中国矿业大学研究生部等都进行了成像方面的研究。但是由于理论方面对无线电波透视技术中存在很多现象无法解释,电磁波在煤层中传播方式缺乏认识,成像的多解性和人工解释误差大、因人而异的缺点仍然未能解决^[4]。笔

收稿日期:2010-06-14

基金项目:国家重点基础研究发展计划(973 计划)项目(2005CB221500);国家“十一五”科技支撑计划项目(2006BAK03B01)

作者简介:梁庆华(1980-),男,中南大学博士研究生,主要从事矿井物控、安全检测方面的研究。
吴燕清(联系人),男,中南大学教授,博士生导师,(E-mail)wuyanqing9@163.com。

者对各种不同的地质异常体对电磁波接收值的影响进行了模拟分析,并结合定性分析在煤矿中应用,来研究复杂地质构造异常体的煤层透视探测问题,以期同类煤矿提供参考。

1 坑透仪基本原理

无线电波坑道透视是用来探测顺煤层两煤巷、两钻孔或煤巷与钻孔之间的各种地质构造异常体。发射机与接收机分别位于不同巷道或钻孔中,同时做等距离移动,逐点发射和接收;或发射机在一定时间内相对固定位置,接收机在一定范围内逐点接收其场强值。

煤层中断裂构造的界面,构造引起的煤层破碎带、煤层破坏软分层带以及富含水低电阻率带等都能对电磁波产生折射、反射和吸收,造成电磁波能量的损耗^[5]。如果发射源发射的电磁波穿越煤层途径中,存在断层、陷落柱、富含水带、富含瓦斯带、顶板垮塌和富集水的采空区、煤层产状变化带、煤层厚度变化和煤层破坏软分层带等地质异常体时,接收到的电磁波能量就会明显减弱,这就会形成透视阴影(异常区)^[6-10]。无线电波坑道透视原理如图1所示。

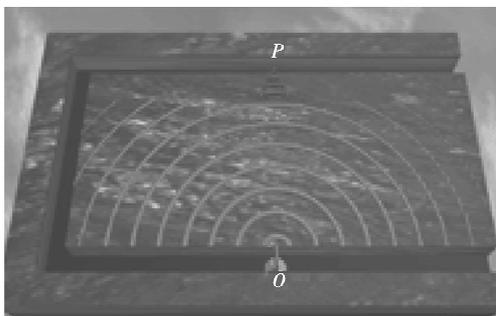


图1 无线电波坑道透视原理图

假设辐射源(天线轴)中点 O 为原点,在近似均匀、各向同性煤层中,观测点 P 到 O 点的距离为 r , P 点的电磁波场强度 H_P 由下式表示^[11-15]:

$$H_P = H_0 \frac{e^{-\beta r}}{r} f(\theta), \quad (1)$$

式中: H_0 为在一定的发射功率下,天线周围煤层的初始场强, A/m; β 为煤层对电磁波的吸收系数; r 为 P 点到 O 点的直线距离, m; $f(\theta)$ 为方向性因子, θ 是偶极子轴与观测点方向的夹角,一般采用 $f(\theta) = \sin(\theta)$ 来计算。

由于 θ 变化在 90° 附近,因此可以认为 $f(\theta) = 1$ 。对(1)式两边取对数,则有

$$\ln(H_P) = \ln(H_0) - \beta r - \ln(r). \quad (2)$$

取 $\ln(H_P) = H'_P, \ln(H_0) = H'_0$, 则有:

$$H'_P = H'_0 - \beta r - \ln(r). \quad (3)$$

在 r 处于 150~300 m 之间变化时, $\ln(r)$ 的对应变化在 5.01~5.70 之间,因此可以近似认为式(3)是斜率为 $-\beta$ 的直线, H'_P 与 r 近似认为是线性关系。

在辐射条件不随时间变化时, H'_0 是一常数,吸收系数 β 是影响场强幅值的主要参数,它的值越大,场强变化就越大。吸收系数与电磁波频率和煤层的电阻率等电性参数有直接关系:在同一均匀煤层中,频率越高吸收系数就越大,电磁波穿透煤层距离就近;煤层电阻率越低,吸收系数也越大。

2 不同地质异常体对电磁波透视的影响数学模拟

根据全国大部分煤矿回采工作面的特点,模型计算巷道长 500 m,宽 200 m,发射点在上方巷道中点,以下方巷道中点为原点 $(0, 0)$,如图2所示。根据井下实际探测经验,一般 H'_0 在 110~155 dB, β 在 0.2~0.55 之间变化,这里取 $H'_0 = 130$ dB, $\beta = 0.3$ 。根据式(3),可以模拟 H'_P 随着 r 的变化情况。模拟主要查看在煤层工作面中部有无异常体以及异常体不同情况下,发射点固定不变,接收巷道接收值的变化情况。

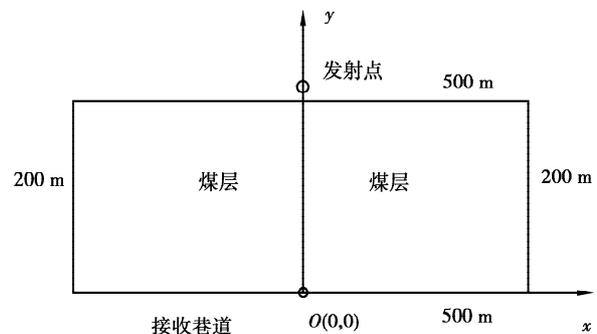


图2 模拟模型

在无异常的情况下,模拟计算可以得到接收值沿接收巷道位置的变化而变化的接收值曲线,如图3所示。

断层的影响模拟:模拟计算模型中间为一断层,断层长度为 100 m,断距 5 m,断层的衰减系数 $\beta = 0.5$,电磁波透过该断层时,场强 H'_P 会衰减的相对大一些,如图4所示。

圆型陷落柱的影响模拟:模型中间为一圆形陷落柱,衰减系数 $\beta = 0.5$,半径 r 为 50 m,可以得到圆

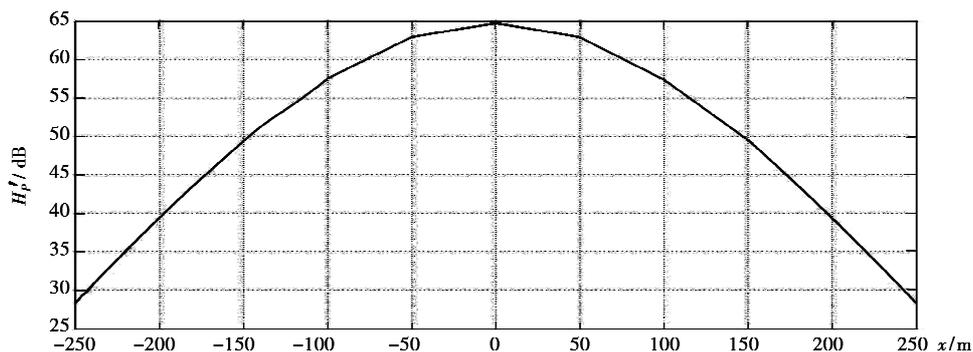


图 3 无异常情况的接收值变化

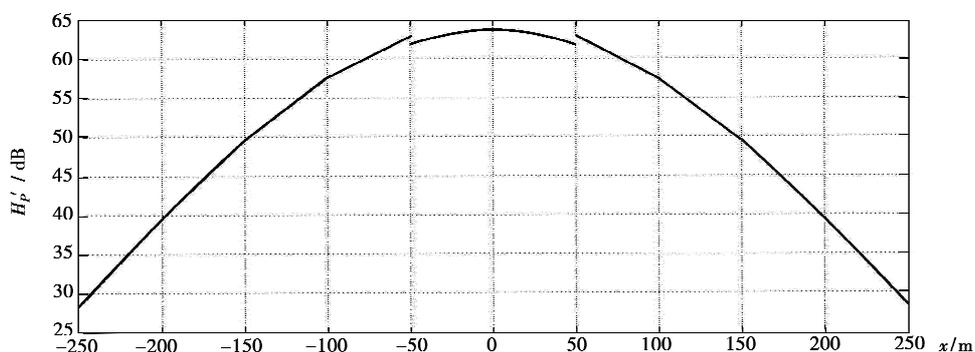


图 4 有断层情况的接收值变化

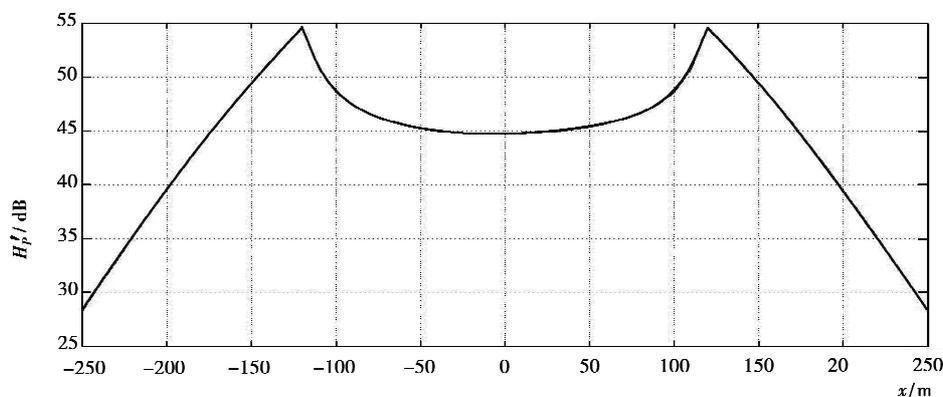


图 5 有圆型陷落柱情况的接收值变化

型陷落柱的方程为： $x^2 + (y - 100)^2 = 2500$ 。电磁波透过圆型陷落柱时，相对而言，中间会衰减的大些，两边会衰减的小些，形成一个“凹”字形，如图 5 所示。

椭圆型陷落柱的影响模拟：模型中间为一椭圆形陷落柱，衰减系数 $\beta = 0.5$ ，椭圆长轴 50 m，短轴 40 m，方程为： $\frac{x^2}{2500} + \frac{(y-100)^2}{1600} = 1$ 。电磁波透过椭圆型陷落柱时，也会形成一个“凹”字形，但是相比圆型陷落柱异常顶部相对平缓一些，如图 6 所示。

从图 3-6 的模拟分析，可以得到如下结论：相对于正常接收值来说，断层的影响曲线变化比较平缓，但是接收值明显减小，衰减值明显变大；椭圆形的陷落柱构造异常影响曲线接收值会逐渐变小，然后逐渐变大，形成一个明显的“凹”字形；圆型陷落柱的构造异常影响曲线接收值变化趋势同椭圆类似，但是在垂直巷道方向上，随着异常半径的增大，异常带变的越宽，接收值变的越小，衰减值越大。

通过对以上的各种异常对抗透仪接收值的影响分析，可以根据综合曲线来定性确定异常的类型。

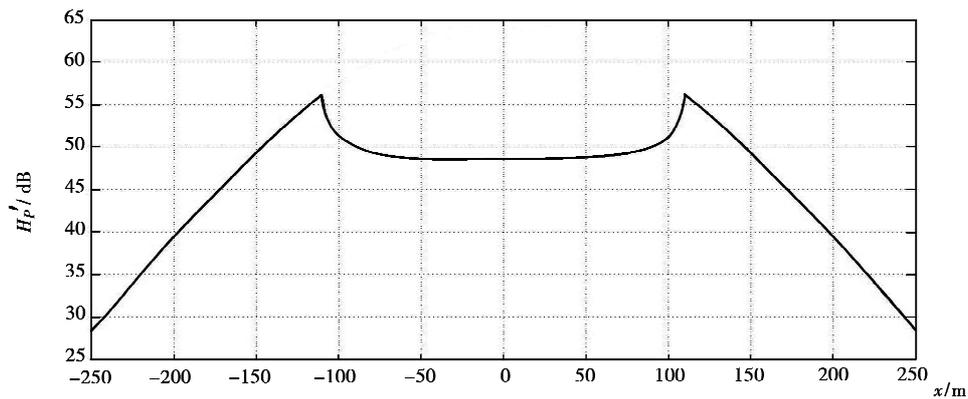


图 6 有椭圆型陷落柱情况的接收值变化

在实际探测过程中,数据的变化由于受其他因素的影响,可能不会完全的按照这个规律来变化,但是基本的变化趋势大体一样。这时,要在掘进过程中的资料进行分析的基础上,综合判定。

3 工程应用

3.1 概况

贵州水城矿务集团中岭煤矿地质环境条件复杂程度复杂,评估级别确定为一级。探测的 12013 工作面属高瓦斯、透气性差的煤层。煤层厚度平均 1.7 m,倾角 17° ,煤坚硬,含硫高。顶、底板为泥岩。

测量仪器选用煤炭科学研究总院重庆研究院生产的 WKT-E 型无线电波坑透仪,探测频率选择穿透距离相对较大而精度较高的 0.5 MHz 频率。探测方法采用分辨率较高的定点扫描法进行探测,定

点法就是发射机相对固定,接收机在另一对应巷道一定范围内逐点接收其场强值的一种工作方法。布置测量点间距为 10 m,发射点间距为 50 m,每一个发射点对应 11 个接收测量点。风巷布置 78 个测点,运输巷布置 76 个测点,总共 30 个发射点。

探测时回采工作面停电。对管路、电缆、轨道、开关、水泵等金属导体未作任何处理。

3.2 探测成果分析

经过计算机数据处理,把场强衰减异常取为 -15 dB,可以圈定 3 处较为集中的异常区,分别编号为:1 号异常区、2 号异常区和 3 号异常区。异常区的范围见图 7。如图 8 所示,上部边界为 12013 工作面回风巷,下部边界为 12013 运输巷,以上部边界起始点为原点,下部边界与之对应。

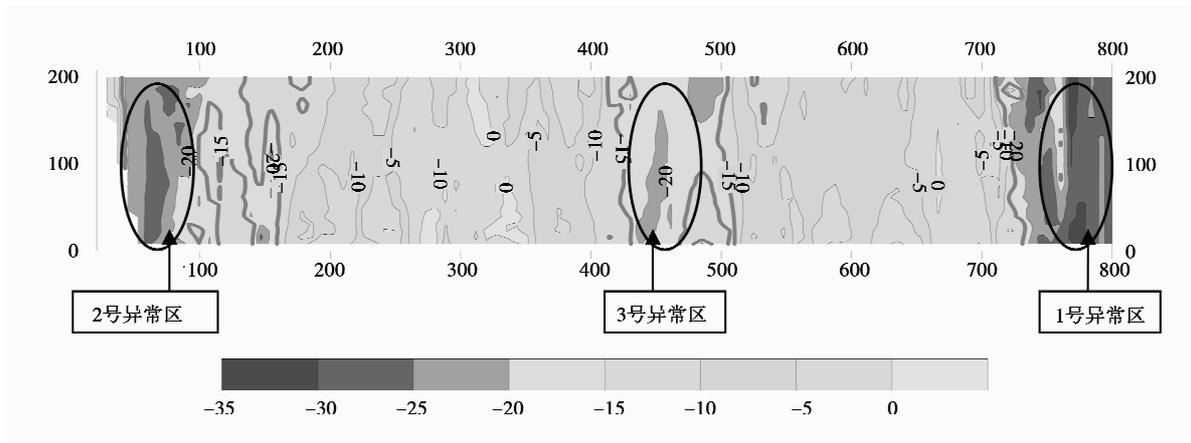


图 7 12013 工作面无线电波坑透构造异常带成像图

1 号异常区:位于回风巷坐标 700~800 m,运输巷坐标 710~800 m 之间,该异常区相对整个工作面来说是衰减较大的一个区域,接收值数值较小。综合曲线图实测曲线下降较大,且较平稳。

2 号异常区:位于回风巷坐标 0~100 m,运输巷坐标 20~90 m 之间,该异常区局部衰减较大,异常

相对比较集中,接收值数值较小。综合曲线图实测曲线下降较大,变化幅度较大,中间接收值低,两边高。

3 号异常区:位于回风巷坐标 400~500 m,运输巷 420~510 m 之间,该异常区衰减较前两个异常区域稍小,但是异常区域仍然相对比较集中,接收值起

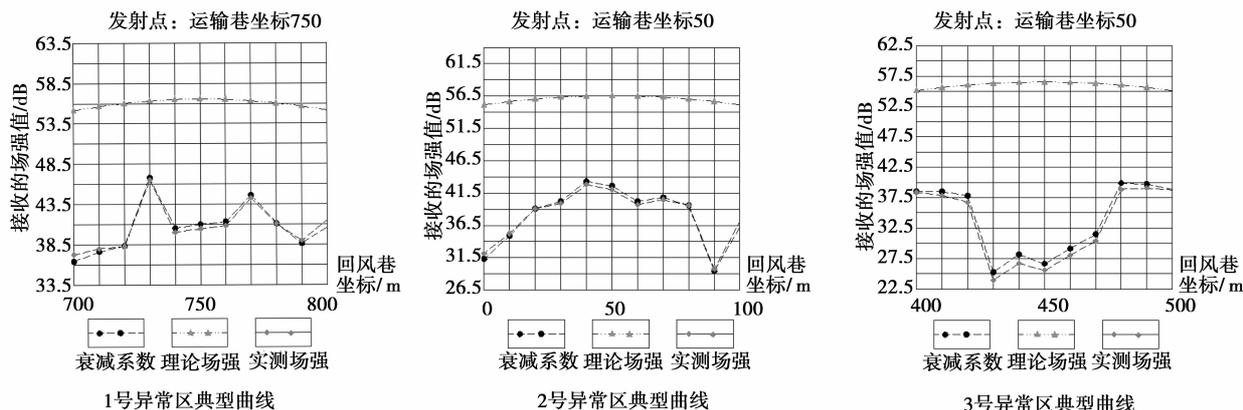


图 8 12013 工作面综合曲线图的定性判断

伏不定,变化较大。综合曲线图实测曲线下落较大,变化较平稳。

分析综合曲线图(图 8),在 1 号异常区,场强接收值较小,场强曲线变化虽然稍有波动,但总体比较平缓,符合断层模拟的结论,并结合地质资料,可以推断此区域存在断层而导致异常;在 2 号异常区,场强接收值较小,场强曲线变化呈拱形变化,也符合断层模拟的结论,结合地质资料,推断存在煤岩分界面而导致异常;在 3 号异常区,场强接收值较小,场强变化曲线接收值逐渐变小,然后逐渐变大,形成一个明显的“凹”字形,符合陷落柱模拟的结论,结合地质资料,推断存在陷落柱等构造异常。后经验证,结论全部准确。

4 结 语

1) 由于煤层中断裂构造的界面能对电磁波产生折射、反射和吸收,造成电磁波能量的损耗,因此地质结构的异常会造成无线电波坑透的异常区域。异常体的大小与形状决定了场强接收值的大小。利用坑透仪探测模拟结果,结合地质资料,合理分析异常体的变化可以对异常体的形态进行定性分析。

2) 由于背景值及巷道情况的影响,异常区域的接收值变化并不一定完全按照理论模型的曲线进行变化。坑透仪接收值的变化比较灵敏,煤层变化、褶皱以及煤层的松软程度变化都会引起异常区域,因此在分析异常时,并非所有的异常带都是构造。在无法定性异常体的形态时,可以采取加密探测或者钻探验证相结合的办法,对异常体进行定性。

3) 矿井无线电透视技术是目前我国矿井小构造、薄煤带等地质异常探测的最有效的手段之一,分析、总结和探究探测区的构造发育特点和煤层赋存规律是提高探测准确率和解释精度的前提。只有不

断去研究和探索不同地质异常在物性方面的显现特点、不同煤层的物性反映规律,才能使矿井无线电波坑透技术在现代化、信息化矿井建设中发挥更大的作用。

参考文献:

- [1] 刘加利. 坑透技术在复杂地质条件下的应用[J]. 河北煤炭, 2005, 28(4): 39-40.
LIU JIA-LI. Application of the gallery clairvoyance in the condition of the complex geology[J]. Hebei Coal, 2005, 28(4): 39-40.
- [2] 孙四清, 汤友谊, 陈江峰. 工作面坑透资料在瓦斯地质预测中应用的研究[J]. 煤矿安全, 2005, 36(5): 1-3.
SUN SI-QING, TANG YOU-YI, CHEN JIANG-FENG. Study on application of face's tunnel perspective in the forecast of gas geology[J]. Safety in Coal Mines, 2005, 36(5): 1-3.
- [3] 吴燕清. 地下电磁波探测及应用研究[D]. 湖南: 中南大学信息物理工程学院, 2002.
- [4] 阎海珠, 戚春前, 赵胜利. 复杂地质条件下无线电波透视技术的应用[J]. 中国煤炭地质, 2004, 16(6): 58-60.
YAN HAI-ZHU, QI CHUN-QIAN, ZHAO SHENG-LI. Application of underground radio wave perradiation technique in complex geological condition [J]. Coal Geology of China, 2004, 16(6): 58-60.
- [5] 张戢. 坑道无线电波透视法在探测井下陷落柱中的应用[J]. 科技情报开发与经济, 2006, 16(19): 166-168
ZHANG JIAN. The application of the underground radio wave penetration method in detecting the silo collapsing columns [J]. Sci/Tech Information Development & Economy, 2006, 16(19): 166-168.
- [6] 刘天放. 矿井地球物理勘探[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1993.
- [7] CHENG J L, LI L, YU S J. Research on direct current

- electric field characteristics of overburden failure and its applications [J]. *Journal of Coal Science & Engineering*, 1999, 5(1): 24-29.
- [8] YEE K S. Numerical solution of initial boundary value problems involving Maxwell's equations in isotropic media[J]. *IEEE Transaction*, 1966, 14(3): 302-307.
- [9] ENGQUIST B, MAJDA A. Absorbing boundary condition for the numerical simulation of wave [J]. *Mathematics of the Computation*, 1977, 31(139): 629-651.
- [10] MUR G. Absorbing boundary conditions for the finite-difference approximation of the time-domain electromagnetic field equations[J]. *IEEE Transaction*, 1981, 10:1073-1077.
- [11] MEI K K, FANG J Y. Superabsorption—a method to improve absorbing boundary conditions [J]. *IEEE Transaction*, 1992, 40(9): 1001-1010.
- [12] LOKE M H, BARKER R D. Least-squares deconvolution of apparent resistivity pseudosection[J]. *Geophysics*, 1995, 60(6): 1682-1690.
- [13] BARKER R. A simple algorithm for electrical imaging of the subsurface [J]. *First Break*, 1992, 10(2): 53-62.
- [14] TRIPP A C, HOHMANN G W, SWIFF J M. Two-dimensional resistivity inversion [J]. *Geophysics*, 1984, 49(10): 1708-1717.
- [15] SHIMA H, SAKAYAMA T. Resistivity tomography: an approach to 2-D resistivity inverse problems [J]. *SEG Expanded Abstracts*, 1987, 6: 204-207.

(编辑 郑洁)

(上接第 112 页)

- [7] 许家林, 张少华, 金宏伟, 等. 锚索拉断火花引爆瓦斯的实验研究[J]. *中国安全科学学报*, 2002, 14(2): 3-6. XU JIA-LIN, ZHANG SHAO-HUA, JIN HONG-WEI, et al. Experimental study on gas explosion detonated by the tensile failure sparks of anchor rope[J]. *China Safety Science Journal*, 2002, 14(2): 3-6.
- [8] WARD R C, CROUCH A, COHEN R D. Identification of potential for methane ignition by rock friction in Australian coal mines [J]. *International Journal of Coal Geology*, 2001, 45(2/3): 91-103.
- [9] PHILIPS H R. Identify methods to reduce the risk of explosions and fires caused by frictional ignition hazards[R]. [S. l.]: SIMRAC, 1999.
- [10] 王捷帆, 李文俊. 中国煤矿事故暨专家点评集[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2001.
- [11] GONG Y Y, GU W G, TONG J. Ignition capability of friction sparks and hot surface for fire risk[J]. *Fire Safety Science*, 1999, 8(1): 1-14.
- [12] DAOU J, MATALON M. Influence of conductive heat losses on the propagation of premixed flames in channels[J]. *Combustion and Flame*, 2002, 128, 321-339.
- [13] HENRY O. Case study demonstrating benefit of analyzing blast dynamics[C] // *International Conference and Workshop on Process Safety Management and Inherently Safer Process*, October 8-11, 1996, Florida. New York: American Institute of Chemical Engineers, 1996: 103-117.
- [14] KOMAI T, UCHIDA S, UMEZU M. Ignition of methane-air mixture by frictional sparks from light alloys[J]. *Safety Science*, 1994, 17(2): 91-102.
- [15] 屈庆栋, 许家林, 徐光, 等. 锚索冲击拉伸摩擦火花产生机理的实验研究[J]. *中国矿业大学学报*, 2009, 38(3): 321-325. QU QING-DONG, XU JIA-LIN, XU GUANG, et al. Experimental study on the mechanism of the friction sparks induced by anchor-rope impact tensile [J]. *Journal of China University of Mining & Technology*, 2009, 38(3): 321-325.
- [16] 邹燕云, 周心权, 朱红青. 高速冲击火花引燃甲烷的环境因素研究[J]. *中国矿业大学学报*, 2003, 32(2): 186-188. ZOU YAN-YUN, ZHOU XIN-QUAN, ZHU HONG-QING. Research of environmental factors for gas igniting by sparks induced by high-speed strike [J]. *Journal of China University of Mining & Technology*, 2003, 32(3): 186-188.

(编辑 郑洁)