

采动影响下煤层覆岩电性变化规律研究

王莹, 梁德贤, 翟培合

(山东科技大学地质科学与工程学院, 山东青岛 266590)

摘要: 为正确确定煤层覆岩受采动变形与破坏范围, 更好地了解煤层采动影响下覆岩视电阻率的变化及破坏发育特征, 结合围岩的力学性质、岩性与采煤方法等因素进行综合分析, 将覆岩分成塑性破坏区、弹塑性过渡区、弹性区 3 个不同的导电性区段, 分别建立了煤层受采动影响下覆岩电性动态变化的正常与存在导水裂隙带的地电模型, 并对模型进行正演模拟研究。结果表明: 覆岩受采动引起其视电阻率显著变化, 视电阻率异常区随回采工作面的推进而移动, 且其范围随之加大, 致使导水裂隙能与塑性破坏高阻区相连, 反映在塑性破坏高阻异常范围和幅度的减小, 预示着顶板可能出水; 利用覆岩受采动电性变化规律, 有利于更为准确的探测顶板水的赋存状态可保障工作面的安全开采。

关键词: 采动影响; 导电性; 地电模型; 视电阻率响应; 电性变化

中图分类号: P631.3 文献标志码: A 文章编号: 0253-2336(2015)05-0122-04

Study on electrical property variation law of overburden strata above seam under mining influences

WANG Ying, LIANG De-xian, ZHAI Pei-he

(School of Geological Sciences and Engineering, Shandong University of Science and Technology, Qingdao 266590, China)

Abstract: In order to accurately determine the mining deformation and failure scope of the overburden strata above seam and better understand the apparent resistivity variation and failure development features of the overburden strata under the influences of the seam mining, in combination with the mechanics properties of the surrounding rock, lithology, mining method and other factors, a comprehensive analysis was conducted. The overburden strata were divided into three different electric conductivity sections, including a plastic failure section, elastic-plastic transition section and elastic section. The geoelectric models of the overburden strata with normal electric property dynamic variation and existed water flow crack zone under the influences of the seam mining were established individually and a forward simulation study was conducted on the model. The results showed that affected by the mining, the apparent resistivity of the overburden strata was varied obviously and the apparent resistivity abnormal zone would be displaced with the forward advancing of the coal mining face. The scope of the abnormal zone would be increased with the coal mining face forward advanced. Thus the water flow cracks would be connected with the plastic failure and high resistance zone. When the plastic failure high resistance abnormal scope and range reduced, a water inrush from the roof could be predicted. Affected by the mining, the application of the overburden strata electric property variation law could be favorable to accurately detect the roof water deposition status in order to protect the safety mining of the coal mining face.

Key words: overburden strata; mining influences; electric conductivity; earth-electricity model; apparent resistivity response; electric property variation

0 引 言

煤层开采后顶底板会产生变形与破坏, 其破坏范围及深度对煤矿安全生产带来重要影响, 因此必须获得其破坏状况及相应参数。现有的地面勘探方

法有: 钻孔冲洗液观测法(包括岩心裂隙测量、RQD 统计等方法)、地面钻孔注压水试验、地面钻孔超声成像法、钻孔电视法、地面 TEM 观测法、地面钻孔物探测试等, 现有的井下勘探方法: 井下钻孔注压水试验、井下钻孔孔中波速检层、井上井下 CT 成像法

收稿日期: 2014-12-28; 责任编辑: 曾康生 DOI: 10.13199/j.cnki.cst.2015.05.030

作者简介: 王莹(1987—), 女, 山东泰安人, 硕士研究生。Tel: 15275213607, E-mail: 406526415@qq.com

引用格式: 王莹, 梁德贤, 翟培合. 采动影响下煤层覆岩电性变化规律研究[J]. 煤炭科学技术, 2015, 43(5): 122-125, 105.

WANG Ying, LIANG De-xian, ZHAI Pei-he. Study on electrical property variation law of overburden strata above seam under mining influences [J]. Coal Science and Technology, 2015, 43(5): 122-125, 105.

(地震及电法)、声发射技术等。目前利用地球物理方法对煤层覆岩及底板破坏范围探测是研究的热点,其中矿井直流电法勘探具有快捷、低成本、动态等特点,其在采区构造探测、矿井突水、瓦斯突出和冲击矿压等地质灾害的预测预报中具有良好的应用前景^[1]。但随着煤层的开采,原有的岩体条件发生了变化,围岩电性也随着发生变化,视电阻率异常的产生不再只是因为原围岩内部低阻或高阻异常体的影响,而是采动对围岩影响的综合反映^[2]。笔者拟通过对煤层采动后覆岩岩体变形破坏规律的分析,结合岩石导电性的影响因素,对采动影响下的煤层围岩的电性变化规律进行研究,从而为矿井电法探测煤层采动后覆岩岩体变形破坏规律提供理论依据。

1 采动影响下覆岩电性变化典型地电模型

根据煤层覆岩受采动影响的应力分布与变化、塑性破坏分布等的分析,结合围岩的力学性质、岩性与采煤方法等因素,为不失一般性,设煤层围岩的电阻率为 $100 \Omega \cdot \text{m}$,将3个区域的范围、形状与电阻率设置如下:

1) 塑性破坏区。采空区上方,平面上呈“O”形分布,铅直方向上呈拱形,范围递减,破碎严重段电阻率设为 $500 \Omega \cdot \text{m}$,破碎较轻设为 $400 \Omega \cdot \text{m}$ 。

2) 弹塑性过渡区。该区在塑性破坏区以外、两煤壁以内。考虑到应力相对减小,电阻率减小,故电阻率设为 $70 \Omega \cdot \text{m}$ 。

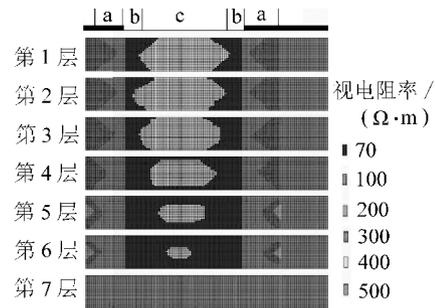
3) 弹性区。此区域在工作面内,电阻率设为 $300 \Omega \cdot \text{m}$,并呈“U”形,沿工作面内部方向电阻率逐渐降低,最终变为正常值。

根据我国长壁采煤的实际情况,建立工作面回采过程中2个不同时段的覆岩变形破坏地电模型,分别为初次来压时(推进30 m)和周期来压时(推进60 m),图1为工作面推进30 m时,采动覆岩地电模型,将20 m厚顶板分成7层,记作第1—7层。

2 采动影响下覆岩电性动态特征

2.1 矿井电阻率法原理

矿井电阻率法又称矿井直流电阻率法,是将供电、测量电极布置在巷道的顶底板或者侧帮上,从多个方位观测巷道围岩稳定电流场的分布、变化规律,以了解巷道顶底板或所在岩层内的地质情况^[3-10]。假设在全空间均质各向同性介质内设置如图2所示



a—弹性区; b—弹塑性过渡区; c—塑性破坏区

图1 采动覆岩地电模型

的装置,则可得:

$$\rho = K \Delta U_{MN} / I \quad (1)$$

$$K = 4\pi(1/\overline{AM} - 1/\overline{AN} - 1/\overline{BM} + 1/\overline{BN}) \quad (2)$$

式中: K 为装置系数; I 和 U_{MN} 分别为装置测得供电回路的电流强度和电位差。

因此,若采用此装置测得供电回路的电流强度 I 和电位差 ΔU_{MN} ,则不论 A 、 B 、 M 、 N 的相对位置如何,都可用公式(1)计算出电阻率。

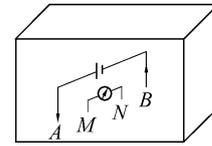


图2 全空间大地电阻率的测定装置

在地下巷道中进行电法勘探工作,通过对巷道围岩供电,在围岩中建立起全空间稳定电流场,该电流场的特征取决于围岩岩体的电性特征及赋存情况。因此,按照式(1)求得的电阻率已不是某种介质的电阻率,而是周围电流场分布的三维空间体积范围内围岩电性的综合反映,故称为全空间视电阻率^[11],用 ρ_s 表示。

$$\rho_s = K \Delta U_{MN} / I \quad (2)$$

2.2 正常覆岩采动地电模型视电阻率响应特征

根据图1中的地电模型,进行AMN三极装置的正演模拟,正演模拟得到了沿巷道展布方向的视电阻率断面。图3为正常覆岩随着工作面的推进位置不同时的视电阻率断面,工作面的推进方向对应图中是由左向右。图3a为工作面在推进到30 m位置,初次来压时的视电阻率断面。在图3a中可以看出具有明显的分区,塑性破坏、弹塑性过渡以及弹性区的界限比较明显,且视电阻率等值线急剧向覆岩上部方向延伸。图3a中显示覆岩破坏带的影响高度接近其本身高度的2倍。总体上,异常十分明显,

能够很好地区分各个区域,从而做出划分。图 3b 为工作面在推进到 60 m 位置,即工作面正常推进时的视电阻率断面,此时上覆岩层发生冒落,形成拱形冒落带,对覆岩具有卸压作用。由图中可以看出塑性破坏区的电阻率有所升高,视电阻率异常高度进一步加大,范围进一步扩展。各区域有相对明显的界限,同样塑性破坏区的影响范围远大于其真正的破坏范围。

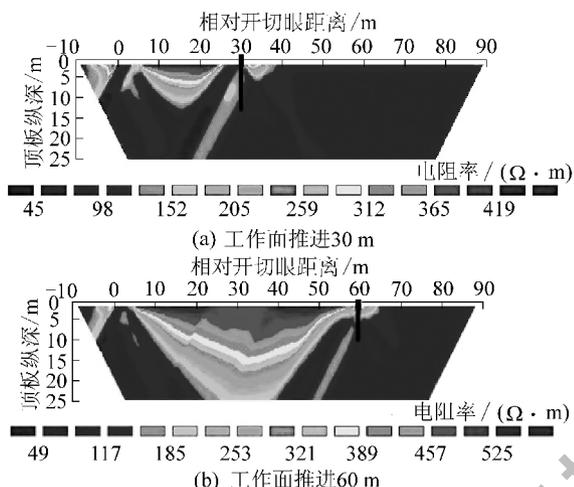


图 3 覆岩地电模型的电阻率

从以上正演模拟结果可以看出,矿井电阻率法的视电阻率断面图不但能够反映煤层覆岩应力影响范围及破坏的分布范围,而且能通过不同时间的测量,反映覆岩受采动影响的动态变化情况。

2.3 存在导水裂隙带的覆岩采动地电模型的视电阻率响应特征

1) 地电模型的建立。当煤层覆岩存在含水层或导水裂隙时,在正常地电模型的基础上设置一个低阻的异常体构成其地电模型(图 4),假设在开切眼前方 30~40 m,顶板以上 10 m 区域存在 1 条宽 10 m 的低阻裂隙带,即为相对于不同回采位置的地电模型。

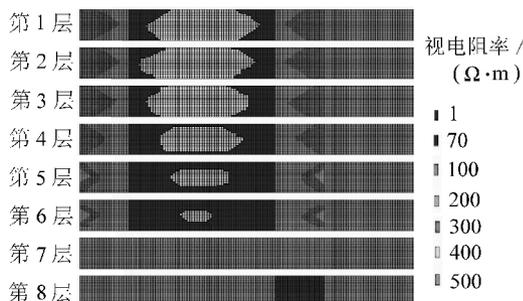


图 4 存在导水裂隙的采动覆岩地电模型

2) 正演计算结果及分析。根据图 4 所示的地电模型,进行 AMN 三极装置的正演模拟,正演模拟得到

了沿巷道展布方向的视电阻率断面。图 5 为上覆岩层存在导水裂隙带时随回采时间的不同,工作面推进到不同位置的视电阻率断面,工作面的推进方向对应图中为从左到右。为对比分析,同时正演计算得到了尚未进行回采时的视电阻率断面(图 5a)。

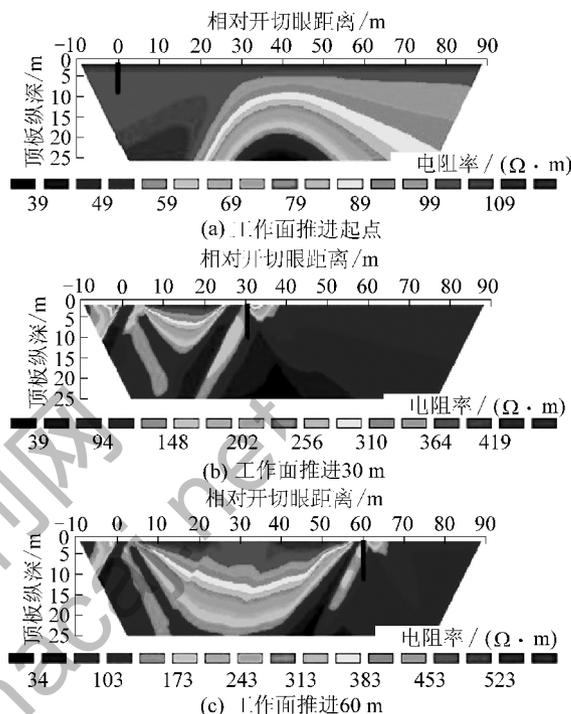


图 5 存在导水裂隙的覆岩地电模型正演模拟电阻率

图 5a 为工作面未进行回采时的视电阻率断面图,覆岩受采动影响可以不予考虑。从图 5a 中可以清晰地看到存在 1 个低阻异常体,等值线向覆岩底部延伸,其影响范围远大于真实值。

图 5b 为工作面推进到 30 m 时的视电阻率断面。此时受到采动的影响,出现塑性破坏、弹塑性过渡以及弹性区,视电阻率等值线急剧向覆岩上部方向延伸。低阻体处于采空区范围以外,受采动影响不大。但由于低阻体的存在,在塑性破坏区与弹性区之间的低阻区范围稍有扩大。低阻异常体影响范围与采动影响范围接近交接。

图 5c 为工作面推进到 60 m 时的视电阻率断面图。此时低阻异常体处于采空区以上,对塑性破坏区的视电阻率响应有直接影响,使塑性破坏区的高阻异常影响范围有所降低,尤其降低了其影响高度,并且使高阻异常幅度有所降低,视电阻率等值线变缓。低阻体影响与塑性破坏区的影响范围直接交接,值得注意。

3 工程实例

实例中对龙固煤矿2301工作面探测范围内的顶板砂岩水进行探测,圈定顶板砂岩地层的富水区域,分析顶板砂岩水随工作面开采的运移情况,总结内在规律,预测下一步工作面开采过程中顶板水的运移趋势,保证工作面顺利回采。

本次电法勘探采用AMN装置进行采集,数据处理使用3DRES真三维处理系统,数据处理完成后得到2301工作面开采位置的顶板地层电阻率三维数据体三维数据体。资料解释使用Slicer Dicer三维可视化系统,精确圈定低阻异常范围,然后结合有关地质资料解释出顶板砂岩的富水性。图6为2301工作面推进到不同位置时直流电法监测处理结果。

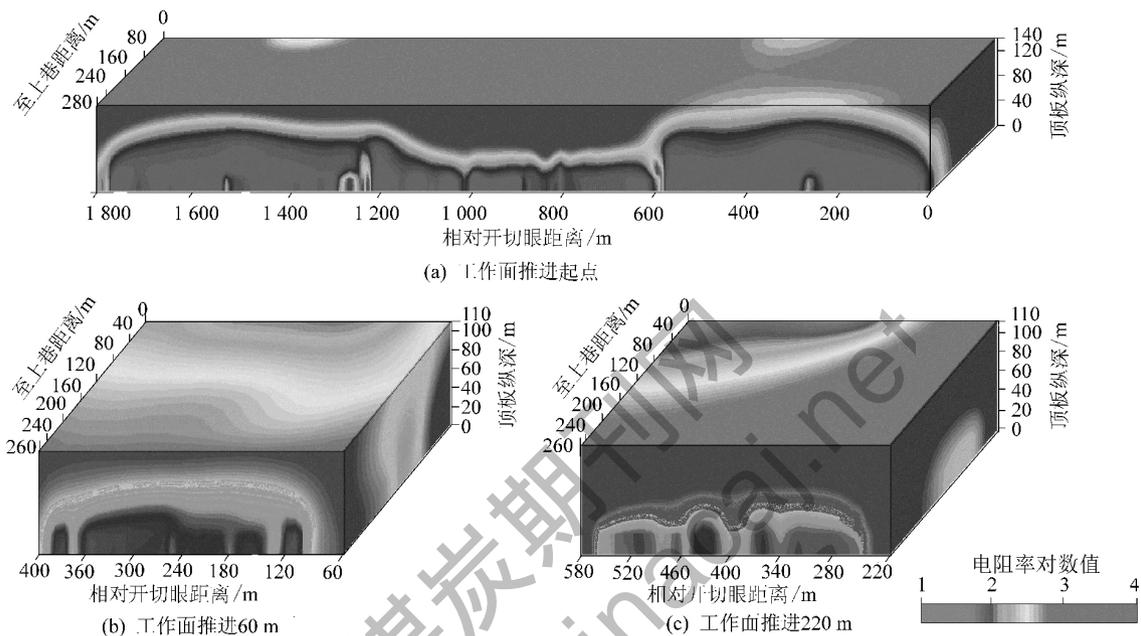


图6 工作面推进到不同开采位置顶板电阻率分布

图6a工作面刚形成时所做的三维电法监测结果,图中显示了整个工作面范围内分布着4处砂岩富水区,不同地段富水性差异较大。通过钻探验证得出,顶板砂岩含水层富水性强,相互连通性好。

图6b、图6c分别为工作面推进到60、220m位置时,掘进工作面范围内的顶板岩层视电阻率监测结果。顶板出现的低阻异常区相对采前探测结果发生变化,说明采动促使顶板水产生运移,改变了其赋存状态。该低阻异常沿掘进工作面、采空区及两侧大巷分布,说明掘进范围内及采空区顶板压力得到释放,裂隙发育,砂岩水向此运移,导致富水性增强。掘进工作面前方由于超前压力的作用,使顶板砂岩孔裂隙闭合,砂岩水向其他部位运移,造成工作面内部富水性下降,上、下大巷及掘进工作面富水性增强。掘进工作面后方30m位置,顶板地层呈高阻显示,说明该位置顶板已冒落,顶板砂岩水已疏放。掘进位置低阻异常符合采矿规律,规律性强,说明低阻异常与工作面开采关联性强,同时说明工作面掘进位置顶板水只是原始静储量的重新分布,与上部岩

层没有水力联系。

4 结论

1) 覆岩受采动影响会引起视电阻率的显著变化,能在矿井直流电法勘探中很好地显示出来,视电阻率异常区位置随回采工作面位置的推进而移动,且视电阻率异常区的范围随之加大。

2) 对存在导水断裂带的覆岩动态模型的正演结果表明,导水裂隙能引起覆岩视电阻率的变化,如与塑性破坏高阻区相连时,反映为塑性破坏高阻异常范围和幅度的减小,预示着顶板可能出水。

3) 工程实例结果表明,对覆岩受采动电性变化规律的研究,有利于更为准确地探测顶板水的赋存状态,总结其运移趋势,从而可保障工作面的安全开采。

参考文献:

[1] 储绍良. 矿井物探应用[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1996.

(下转第105页)

5 结 语

基于传感网服务和 MongoDB 数据存储技术, 实现了煤矿瓦斯数据的实时发布。将传感网服务技术应用到煤矿瓦斯监测中, 改变了传统工业以太网瓦斯数据采集流程中出现的异构传感器资源整合困难、观测与决策服务缺乏关联、非智能的被动监测等问题, 将传统的被动接受数据服务, 转变为主动聚焦数据服务, 更有效地整合利用监测信息, 实现多矿井联合监测和远程统一监控, 为实现省市级矿井监测管理、领导决策服务提供新的思路; 采用 NoSQL 文档型数据库 MongoDB 存储管理异构的瓦斯监测数据, 实现了数据实时接入、海量存储、高效检索和动态管理, 为瓦斯监测数据分析与预警、瓦斯灾害快速响应提供服务, 突破了现有关系型数据存储的限制, 大幅提高了瓦斯监测数据的存储效率, 为数字矿山建设提供了新的技术支持。

参考文献:

- [1] 刘 彬. 煤矿瓦斯监测网格型无线传感器网络的实现 [D]. 北京: 北京交通大学, 2007: 20 - 41.
- [2] 任园园. 煤矿瓦斯监测监控系统软件分析与设计 [D]. 北京: 北京邮电大学, 2007: 13 - 34.
- [3] 朱世松. 煤矿瓦斯监测多传感器信息融合与知识发现研究 [D]. 徐州: 中国矿业大学, 2013: 43 - 58.
- [4] 陈能成. 传感网地理信息服务技术 [EB/OL]. [2014 - 09 - 24]. http://swe.whu.edu.cn/cnc_web/.
- [5] Delin K A, Jackson S P. The sensor web: a new instrument concept [C]//SPIE 2001 Conference Proceedings—Functional Integration of Opto - Electro - Mechanical Devices and Systems. San Jose, CA, 2001.
- [6] Mike Bots, Ingo Simonis. Sensor web enablement encoding specifications & web service specification [EB/OL]. [2014 - 09 - 20]. <http://www.ogcnetwork.net/swe>.
- [7] Mike Botts, George Percivall, Carl Reed, et al. OGC[®] OGC sensor web enablement: overview and high level architecture [EB/OL]. [2014 - 09 - 21]. http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-540-79996-2_10.
- [8] Li D, Cheng C. A proposed architecture for emergency response systems based on digital earth [C]//SPIE 2010 Conference Proceedings - The 6th International Symposium on Digital Earth. Beijing, 2010.
- [9] Jirka S, Nüst D, Proß B. Sensor web and web processing standards for crisis management [C]//ISCRAM2013 Conference Proceedings—10th International Conference on Information Systems for Crisis Response and Management. Baden, Germany, 2013.
- [10] 胡楚丽, 陈能成, 关庆锋, 等. 面向智慧城市应急响应的异构传感器集成共享方法 [J]. 计算机研究与发展, 2014, 51(2): 260 - 277.
- [11] 耿晓阳. 无线传感网数据处理服务的研究与实现 [D]. 北京: 北京邮电大学, 2013: 2 - 28.
- [12] Alexander C Walkowski, AlaxanderKnoch, AlaxanderStrotmann, et al. 52 North sensor observation service [EB/OL]. [2014 - 09 - 20]. <http://52north.org/communities/sensorweb/sos/>.
- [13] Arne Bröring, ChristophStasch, Johannes Echterhoff. Sensor observation service interface standard [EB/OL]. [2014 - 09 - 22]. <http://www.opengeospatial.org/legal/>.
- [14] Alexander C Walkowski, Alaxander Knoch, Alaxander Strotmann, et al. 52 North Web Notification Service [EB/OL]. [2014 - 09 - 25]. <http://52north.org/communities/sensorweb/wns/>.
- [15] Ingo Simonis, Andreas Wytzisk. Web notification service [EB/OL]. [2014 - 09 - 21]. <http://52north.org/communities/sensorweb/wns/1.0.0/download.html>.
- [16] Bernd Resch. NoSQL Suitability for SWE - enabled sensing architectures [C]//Proceedings of the ACM International Symposium on Advances in Geographic Information Systems. Redondo Beach, USA, 2012.
- [17] 邸 铮. MongoDB 在煤炭行业 GIS 数据存储方面的应用 [J]. 煤炭技术, 2013, 32(4): 200 - 202.
- [18] MongoDBInc. MongoDB documentation [EB/OL]. [2014 - 09 - 12]. <http://docs.mongodb.org/manual/release-notes/2.4/>.
- [19] 郭匡宇. 基于 MongoDB 的传感器数据分布式存储的研究与应用 [D]. 南京: 南京邮电大学, 2013: 37 - 63.
- [20] 王文龙. MongoDB 实战 [EB/OL]. [2014 - 09 - 12]. <http://www.doc88.com/p-0768012390926.html>.

(上接第 125 页)

- [2] 于师建, 程久龙, 王玉和. 覆岩破坏视电阻率变化特征研究 [J]. 煤炭学报, 1999, 24(5): 457 - 460.
- [3] 李 富, 刘树才, 胡文武, 等. 煤层底板破坏带电阻率变化规律研究 [J]. 能源技术与管理, 2006(3): 35 - 37.
- [4] 刘树才. 煤矿底板突水机理及破坏裂隙带演化动态探测技术 [D]. 徐州: 中国矿业大学, 2008.
- [5] 赵贤任, 刘树才, 李 富, 等. 煤层底板破坏带电阻率法异常特征研究 [J]. 工程地球物理学报, 2008, 5(2): 164 - 168.
- [6] 李建楼, 刘盛东, 张平松, 等. 并行网络电法在煤层覆岩破坏监测中的应用 [J]. 煤田地质与勘探, 2008, 36(2): 61 - 64.
- [7] 翟培合. 采场底板破坏及底板水动态监测系统研究—电阻率 CT 技术在煤矿中的开发应用 [D]. 青岛: 山东科技大学, 2005.
- [8] 程久龙, 王玉和, 翟培合. 地表浅部导水通道的高密度电阻率成像法精细探测研究 [J]. 煤炭学报, 2006, 30(12): 67 - 69.
- [9] 朱 鲁, 翟培合, 魏久传, 等. 工作面底板动态监测系统开发研究 [J]. 矿业安全与环保, 2008(6): 57 - 58.
- [10] 梁德贤, 翟培合, 王 莹. 三维电法在矿井防治水害中的应用 [J]. 工程地球物理学报, 2012, 9(4): 383 - 389.
- [11] 刘树才. 煤矿水文物探技术与应用 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2007.