

文章编号: 1001-1986(2011)01-0064-04

工作面底板变形与破坏电阻率特征

张朋^{1,3}, 王一², 刘盛东^{1,3}, 汪志军^{1,3}

(1. 中国矿业大学深部岩土力学与地下工程国家重点实验, 江苏 徐州 221008;
2. 山西国阳新能源股份有限公司, 山西 阳泉 045000;
3. 中国矿业大学资源与地球科学院, 江苏 徐州 221008)

摘要: 通过建立回采过程中底板岩层变形破坏过程的地球物理数值模型, 采用正演计算方法分析底板破坏带的电阻率变化特征, 并在五矿8403工作面布置网络并行电法探测系统, 进行现场观测。模拟数据和现场探测结果表明, 煤层底板视电阻率值与工作面开采过程密切相关, 在回采工作面后方电阻率剖面图出现明显高阻异常, 其高阻异常位置与底板破坏位置相对应; 在回采工作面前方出现相对低阻异常, 其低阻分布位置与矿压引起的高应力区相当; 随着工作面的推进, 高、低阻异常同步变化。根据这种底板岩石的电阻率变化, 结合矿井水文地质特征, 可进行煤层底板破坏规律的动态勘探, 有利于底板破坏突水的预测预报工作。

关键词: 采矿工程; 底板破坏; 电阻率法勘探; 正演模拟; 并行电法

中图分类号: P631 文献标识码: A DOI: 10.3969/j.issn.1001-1986.2011.01.015

Resistivity characteristic of deformation and failure of floor in workface

ZHANG Peng^{1,3}, WANG Yi², LIU Shengdong^{2,3}, WANG Zhijun^{1,3}

(1. State Key Laboratory of Deep Geomechanics and Underground Engineering, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221008, China; 2. Shanxi GuoYang New Energy CO., LTD., Yangquan 045000, China; 3. School of Resources and Geosciences, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221008, China)

Abstract: Through the establishment of geophysical numeric model of rock deformation and failure of coal floor in mining, the characteristics of resistivity variation of destruction zone in coal floor were analyzed by using forward calculation, WBD field monitoring was carried out in the workface of No.5 coal mine. Simulation data and field detection results show that the coal floor resistivity value is closely related with the mining process. High resistivity anomalies appeared behind the workface, the high resistivity anomalies corresponded with the location of deformation and failure of floor. In front of workface low resistivity anomalies appeared, and coincided with the high stress area caused by mine pressure. Along with advance of workface, the resistivity anomalies will be synchronously changed. According to the regularities of floor rock resistivity change, and combined with the hydrogeology characteristics, the dynamic exploration of resistivity method can study the regularities of coal floor deformation and failure and is useful to predict water inrush in floor.

Key words: mining engineering; deformation and failure of floor; resistivity method; forward modeling; WBD

1 煤层底板受力变形基本规律

矿井工作面开采过程中, 煤层底板的应力、位移一直处于动态变化, 一般要经历周期性升降。由于开采, 煤层顶板岩体载荷转移到工作面前方和后方煤体(冒落矸石)上, 形成支承压力峰值区域, 相应的底板部分亦形成高应力区, 从而加剧了底板岩体受力状态。在回采线前方, 底板上半部分受水平挤压, 下半部分受水平拉张, 岩体整体受力呈“凹”型^[1]。应力等值线呈椭圆形分布, 成倒烟圈效应, 椭

圆中心位置应力集中显著。而在回采线后方的采空区部分, 岩体处于卸压状态, 并且在一定的深度范围内形成了拉、剪应力区, 底板岩层从压缩状态转为膨胀状态, 从而引起其结构状态的质变。处于压缩的岩体急剧卸压, 围岩的贮存能大于岩体本身的保留能, 则以开裂破坏的形式释放残余弹性应变能, 致使工作面底板产生底鼓。该区域岩体整体受力呈“凸”型, 应力等值线椭圆形分布, 成烟圈效应, 椭圆中心位置的应力集中显著, 其破坏位置一般靠近工作面3~5 m范围内^[2]。随工作面的再次推进,

收稿日期: 2010-05-26

作者简介: 张朋(1985—), 男, 重庆人, 硕士研究生, 从事矿井物探方面的研究工作。

采空区垮落的岩块将底板上覆岩层压实，这部分底板受上覆岩层压力作用重新处于新增压区内，又从膨胀状态转为压缩状态。

2 模型设定与数值模拟

模型主要分为压缩区(图1中A区)，工作面前方一定距离的煤层和底板由于受前方支撑压力的作用而处于增压区内；膨胀区(图1中C区)，工作面继续推进，后方采空区处在减压区内，底板岩层从压缩状态转为膨胀状态，致使工作面底板产生底鼓以及顺岩层层理的裂缝；压实区(图1中D区)，工作面再次推进后，采空区垮落的岩块将底板上覆岩层压实，这部分底板受上覆岩层压力作用重新处于新增压区内，又从膨胀状态转为压实状态；图1中B为过渡区^[3]。由于工作面处于不断推进的过程中，所以，底板在处于压缩—膨胀—再压缩的变化状态中发生破坏。

根据煤层底板岩层电阻率测试及有关学者研究的岩石变形及破坏过程中电阻率变化规律建模。地电模型设计长330 m、宽100 m、高240 m的全空间体；深度-80 m设置为开采煤层，厚7 m，其电阻率为 $10^{10} \Omega\cdot\text{m}$ ；煤层中间($X: 0 \sim 330 \text{ m}$, $Y: 49 \sim 52 \text{ m}$, $Z: -80 \sim -83 \text{ m}$)设置一个巷道如图2，巷道内为空气，

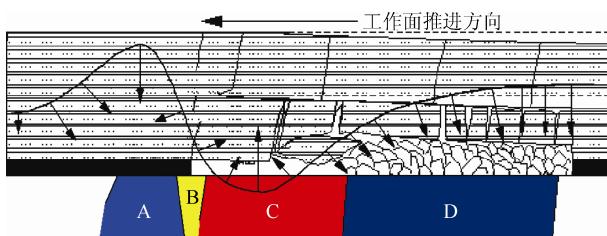


图1 工作面推过底板破坏模拟图

Fig. 1 model of coal seam floor failure when working face advances

A—压缩区；B—渐变区；C—膨胀区；D—压实区

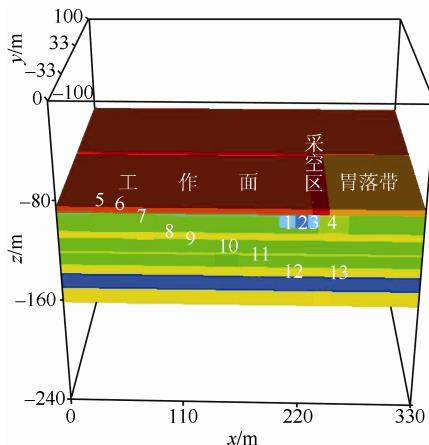


图2 工作面底板模型地层组成示意图

Fig. 2 Geo-electric model of the floor of working face

其电阻率为 $10^{10} \Omega\cdot\text{m}$ ；煤层上部地层背景电阻率为 $200 \Omega\cdot\text{m}$ ；模型底板岩层与电阻率如表1所示，冒落带电阻率为 $800 \Omega\cdot\text{m}$ ；在巷道($X: 178 \sim 238 \text{ m}$ 、 $Y: 49 \sim 52 \text{ m}$ 、 $Z: -80 \sim -83 \text{ m}$)安装48个电极采集点，模拟工作面($X: 238 \text{ m}$)向前推进0 m、15 m和30 m。

对模型进行正演计算，利用正演数据对底板进行电阻率反演，反演后电阻率图像如图3所示。在

表1 模型地层组成与参数设定

Table 1 Parameters of geoelectric model of the floor of working face

编号	地层名称	电阻率/ $\Omega\cdot\text{m}$	长度/m	厚度/m
1	压缩区(A)	40	15	10
2	渐变区(B)	45	15	10
3	膨胀区(C)	150	15	10
4	压实区(D)	100	40	12
5	泥岩	50	330	2
6	粉细砂岩	100	330	12
7	石灰岩	500	330	4
8	粉细砂岩	100	330	10
9	灰岩	500	330	2
10	粉细砂岩	100	330	8
11	灰岩	500	330	6
12	铝质泥岩	30	330	10
13	灰岩	500	330	10

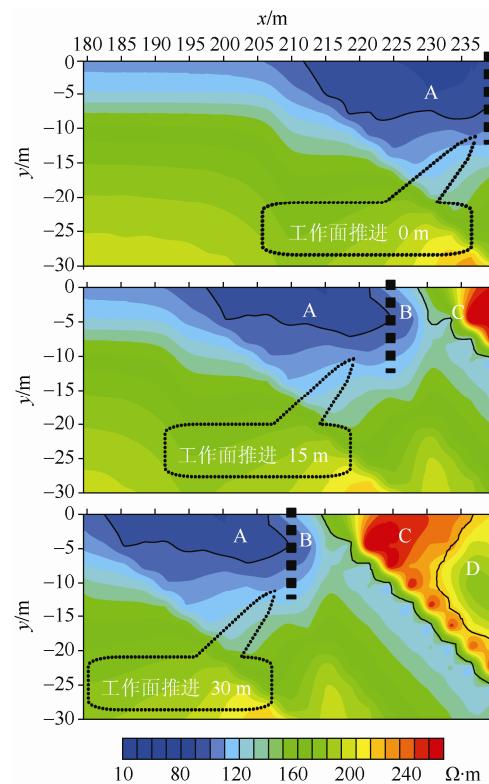


图3 底板破坏带工作面推进不同位置正演模拟视电阻率等值线图

Fig. 3 Simulated apparent resistivity isolines of floor failure zones of working face at different positions of working face advance

A—压缩区；B—渐变区；C—膨胀区；D—压实区

煤层底板 15 m 以浅的电阻率横向变化与推进位置一致,膨胀区和压实区两处高电阻率在工作面后方反映,渐变区、压实区都成相对低电阻率反映;垂向上灰岩位置对应深部高电阻率区域。从 3 个不同推进阶段的电阻率图上可见,随着工作面的推进,底板破坏形成的高电阻率区域随着工作面依次“前进”,电阻率特征能明显地跟踪到破坏区域的变化,具有高灵敏度特征。

3 阳煤五矿 8403 工作面底板电阻率探测

阳煤五矿位于沁水盆地东北边缘,8403 工作面位于阳泉五矿四采区。该工作面开采 15 号煤为复杂结构煤层,一般含矸 2 层,平均煤厚 7.7 m。煤层直接顶为黑色泥岩,厚度 3.8~6.5 m,老顶为灰色细砂岩;直接底为灰黑色砂质泥岩,老底为灰色细砂岩,底板(0~70 m)岩性参数见图 4(b)的岩性柱状图。工作面可采走向长度 971 m,倾斜宽度 220 m。探测使用仪器为网络并行电法仪^[4-6];横向测线布置于 8403 面机巷中,整条测线施工电极安装孔 48 个,孔深 0.5 m,间距约 3 m,并用黄泥塞满后布置电极;垂向测线布置在 4 号水文孔中,孔深 70 m,布置 16 个电极,电极不等间距布置,测线测点布置如图 4(b)

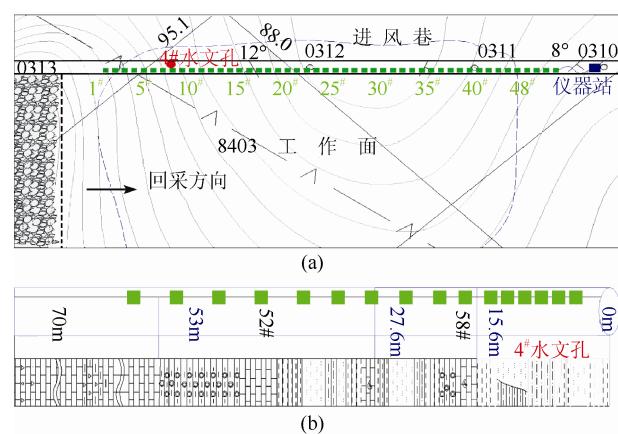


图 4 8403 工作面监测系统布置图

Fig. 4 Schematic diagram of observation system arrangement in working face 8403(unit:m)
a—巷道测线布置平面图(■—电极);
b—垂向测线(孔中)电极布置(■—电极)

所示。所有电法大线运用矿用电缆保护管保护,现场数据采集为 2009 年 2—3 月,累计有效观测 35 次。

4 实测电阻率数据处理与分析

工作面推进中采用动态跟踪探测,从工作面未到探测区域就进行观测,直到工作面采过测线后,选取 4 张不同时期的视电阻率图像进行分析(图 5)。

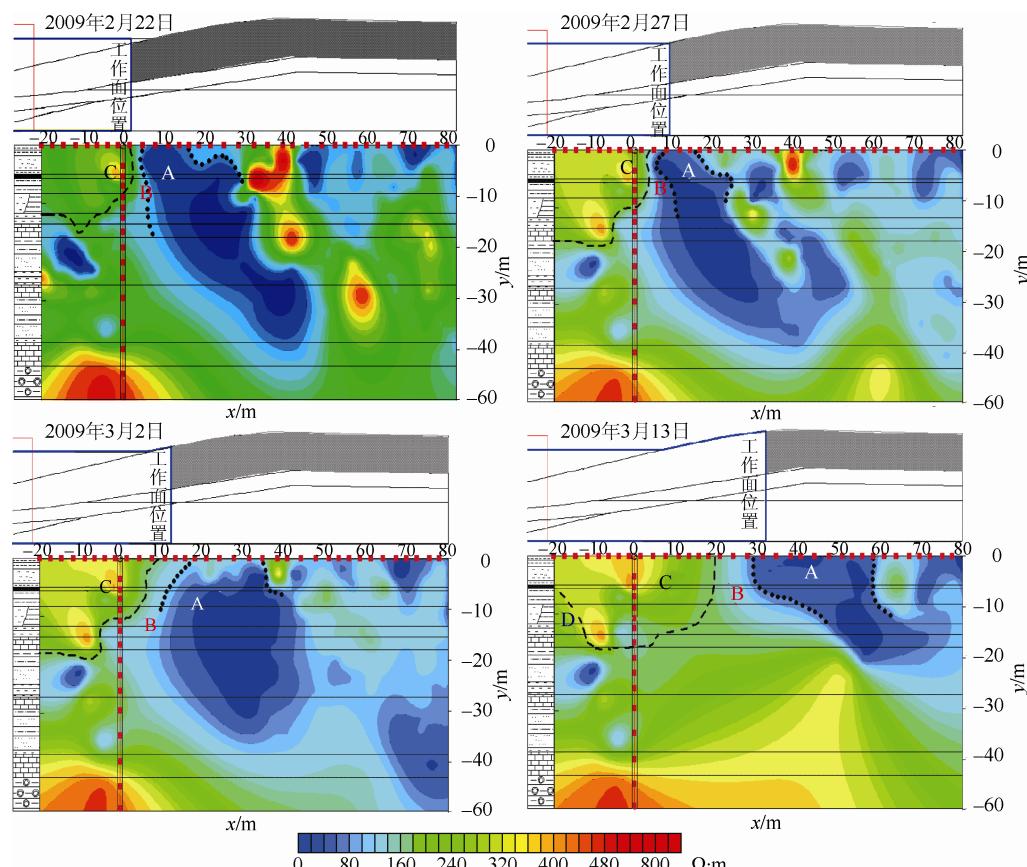


图 5 监测区随工作面推进视电阻率剖面图

Fig. 5 Apparent resistivity sections of monitoring zone with advance of working face 8403
A—压缩区; B—渐变区; C—膨胀区; D—压实区; ■—电极

a. 视电阻率剖面整体反映，在横向($X: -20 \sim 30$ m)垂直底板深度(0~17 m)区域视电阻率变化特征明显，说明开采应力和巷道环境变化都对该区域岩层视电阻率影响较大，岩层易受煤层开采扰动；在灰岩界面以下($X: -20 \sim -8$ m； $Z: -20 \sim -28$ m)区域，有一相对低阻区，在动态探测过程中始终保持不变，说明了此段岩性的相对稳定性，表明在17 m以下，岩体未破裂，可以作为关键层处理^[7]。

b. 视电阻率剖面中，在工作面推进前方有一低视电阻率区域，分析认为该区域为采动矿压作用的压密区，其范围在15~30 m宽度；在工作面推进后方有一高视电阻率区域，认为该区域为膨胀区；两者之间为过渡区，视电阻率大小介于两者之间。现场探测结果与正演模型中得到的结果相同。

c. 由于该区域煤层特殊地质模型，视电阻率剖面中，局部工作面推进位置底板岩层出现低视电阻率，渐变区、膨胀区域比数值模拟结果相对较晚；但底板电阻率特征整体上仍符合降低-升高-降低规律；从视电阻率剖面图中可以发现底板破坏发育时间滞后于工作面的推进时间，空间上最大滞后距离10 m，按照2 m/d的推进速度计算，底板破坏滞后工作面推进最大时间为5 d。

5 结论与建议

采用电阻率法进行矿井工作面底板动态观测，随着工作面的推进，底板变形和破坏，电阻率特征显示在工作面后方的采空区底板；膨胀层受张力作用存在明显高阻区，位置分布与底板破坏带密切相关；高电阻率分布的下限位置可作为底板破坏带深度。

在工作面前方底板岩层内，由于超前应力压缩作用存在相对低电阻率区，其低电阻率分布位置变化较大，说明矿山采动应力影响范围要比塑性区范围大得多。

除此之外，工作面底板岩体电阻率还主要与岩石的岩性、含水性有关。对于煤层底板岩层破坏带受到水体侵入时，电阻率会大幅度下降，这可通过电阻率法对底板变形破坏和预防突水进行有效观测。

由于观测时间较长，矿井巷道环境变化对于地电有一定的干扰，在进行底板连续观测中要进行巷道环境的实时调查，如在测线附近的巷道变形、水电管路变化、巷道堆积材料、工作面回采进度等，以便解析时提供环境约束参数。

参考文献

- [1] 王作宇, 刘鸿泉, 王培彝, 等. 承压水上采煤学科理论与实践[J]. 煤炭学报, 1994, 19(1): 40~48.
- [2] 王学文, 李海梅, 关英斌. 煤层底板采动过程中的应力、应变分析及研究[J]. 煤炭工程, 2003(8): 50~51.
- [3] 刘树才, 刘鑫明. 煤层底板导水裂隙演化规律的电法探测研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2009, 28(2): 348~356.
- [4] 刘盛东, 王勃, 周冠群, 等. 基于地下水渗流中地电场响应的矿井水害预警实验研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2009, 28(2): 267~272.
- [5] 李建楼, 刘盛东. 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.
- [6] 张平松, 吴基文, 刘盛东. 煤层采动底板破坏规律动态观测研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2006, 25(增1): 3001~3013.
- [7] 钱鸣高, 缪协兴, 黎良杰. 采场底板岩层破坏规律的理论研究[J]. 岩石工程学报, 1995, 17(6): 55~62.

“松软突出煤层中风压空气钻进装备与配套工艺”项目 通过国家级能源科技成果鉴定

2010年12月17日，国家能源局组织专家，对中国煤炭科工集团西安研究院承担的国家发改委重大产业技术开发专项“松软突出煤层中风压空气钻进装备与配套工艺”项目成果进行了鉴定。以中国工程院张铁岗院士为组长，彭苏萍院士为副组长的项目鉴定委员会一致认为，该项目针对松软突出煤层钻孔施工难题，首次提出了松软突出煤层中风压空气钻进工艺，研制了强力钻机、钻具、除尘器等成套装备，解决了松软突出煤层钻孔施工难题；首次开发了钻杆内孔安设筛管护孔工艺，研制了大通孔中风压密封钻杆、宽

叶片矮螺旋钻杆以及内芯可脱式钻头，成功地在钻孔中安设筛管，有效避免了钻孔垮塌对瓦斯抽采的影响。在 f 值为0.3~0.5和0.5~1.0的松软突出煤层施工顺层钻孔，最大孔深分别达到120 m和238.5 m，平均孔深比常规钻进提高一倍。项目整体技术达到国际先进水平，钻杆内孔安设筛管护孔工艺达到国际领先水平。项目通过了国家级能源科技成果鉴定。

该项目成果先后在淮南、淮北、通化、平顶山等地得到推广应用，累计进尺38 000余m，极大地推动了我国松软突出煤层瓦斯抽采难题的解决。（煤新）