

师素珍,谷剑英,郭家成,等. 顾桂矿区活断层三维地震解释及其发育特征研究[J]. 矿业科学学报, 2019, 4(4): 292-298. DOI: 10.19606/j.cnki.jmst.2019.04.002

Shi Suzhen, Gu Jianying, Guo Jiacheng, et al. Study on 3D seismic interpretation and development characteristics of active faults in Gugui mining area[J]. Journal of Mining Science and Technology, 2019, 4(4): 292-298. DOI: 10.19606/j.cnki.jmst.2019.04.002

## 顾桂矿区活断层三维地震解释 及其发育特征研究

师素珍<sup>1</sup>, 谷剑英<sup>2</sup>, 郭家成<sup>2</sup>, 刘中元<sup>2</sup>, 李玉莹<sup>2</sup>

1. 煤炭资源与安全开采国家重点实验室, 北京 100083;

2. 中国矿业大学(北京)地球科学与测绘工程学院, 北京 100083

**摘要:**为了查明顾桂矿区活断层的发育特征,采用三维地震的方法进行研究。首先应用叠前时间偏移处理的方法对活断层进行了高分辨率地震数据处理;在归位准确的情况下,采用地震属性和三维可视化分析,同时利用体-面-线-点相结合的全三维解释方法,对研究区新生界发育的断层进行精确查明。在此基础上,对新生界底界面进行了时深转换,获得了深度等值线图。全区共解释8条活断层,通过统计发现这些断层走向基本为北西向,倾角近90°,发育规律性强,并且延展长度长、切割深度大,部分断层还延伸到煤系地层中。随着采动影响和应力释放,断层错动面将变宽,有可能形成导水通道,可见活断层是煤矿安全开采的重大威胁,必须予以足够重视。

**关键词:**活断层;三维地震;高分辨率处理;全三维解释;导水通道

中图分类号:P 631.4

文献标志码:A

文章编号:2096-2193(2019)04-0292-07

## Study on 3D seismic interpretation and development characteristics of active faults in Gugui mining area

Shi Suzhen<sup>1</sup>, Gu Jianying<sup>2</sup>, Guo Jiacheng<sup>2</sup>, Liu Zhongyuan<sup>2</sup>, Li Yuying<sup>2</sup>

1. State Key Laboratory of Coal Resources and Safe Mining, Beijing 100083, China;

2. College of Geoscience and Surveying Engineering, China University of Mining and Technology, Beijing 100083, China

**Abstract:** In order to investigate the development characteristics of the Gugui fault depression zone, a 3D seismic approach was used for the study. First, a high-resolution seismic data processing was performed on the faulted zone by using the method of prestack time migration. In the case of accurate homing, seismic attributes and 3D visualization analysis were used and a full 3D interpretation method through combination of body-surface-line-point were used to investigate fully implement faults in the Cenozoic development in the study area. On this basis, a time-depth conversion was made on the bottom boundary of the Cenozoic and a depth contour map was obtained and A total of 8 active faults were interpreted in the region, and it was found through statistics that these faults were basically north-west oriented and tending to be almost upright with strong developmental regularity. With long extension length and large cutting depth, some faults also develop faults in the coal-bearing strata. With the influence of mining and the release of stress, fault dislocation surface could be widened, and it may form a

收稿日期:2018-03-19

基金项目:国家自然科学基金青年基金(41702173);国家重点研发计划(2016YFC0501102)

作者简介:师素珍(1983—),女,山西晋中人,博士,副教授,主要从事地震资料解释反演与水资源保护利用方面的研究工作。Tel: 010-62331305, E-mail: ssz@cumt.edu.cn

water flow channel. Therefore, it is a major threat to the safe mining of coal mines and must be given sufficient attention.

**Key words:** active faults; 3D seismic; high-resolution processing; full 3D interpretation; water flow channel

所谓活断层,亦称“活动断层”或“活动断裂”,是指现今地质时期中反复活动,并在将来还可能活动的断层。活断层的存在将对煤矿安全开采带来巨大的影响,因此必须予以足够的重视。

目前,国内外众多学者对活断层的探测和研究越来越重视和关注<sup>[1-2]</sup>,在活动断层的探测中不同的地球物理方法具有不同的作用<sup>[3]</sup>。用于确定活断层前期研究的地球物理方法有重磁方法和直流联合剖面法<sup>[4]</sup>;用于研究活断层的形态特征及活动规律的地球物理方法有高密度电法<sup>[5]</sup>、电磁法<sup>[6-7]</sup>、浅层地震<sup>[8-13]</sup>、放射性法<sup>[14]</sup>、地质雷达<sup>[15]</sup>以及井间层析成像<sup>[16]</sup>等方法;用于研究活断层深部规律的方法有深部地震<sup>[17-22]</sup>、大地电磁<sup>[23]</sup>等方法。因此,就煤系地层上部活断层的探查与研究而言,地震勘探是较为理想的选择。本文利用三维地震勘探方法对淮南矿区顾桂构造带活断层进行深入研究与分析,以期获得指导煤矿安全开采的准确地质依据。

## 1 研究区地质概况

淮南煤田位于华北石炭二叠纪聚煤区南缘,在地层区划上属华北地层区淮南地层小区,地层沉积特征属典型的华北地台型。区内地层除缺失上奥陶统及中、上三叠统至中侏罗统外,从下元古界至第四系均有不同程度发育,绝大部分地层被新生界地层覆盖,有的地方新生界厚度达到600 m。近年来,三维地震勘探发现在淮南部分矿区新生界地层中有活断层的存在。

顾桥井田处于陈桥背斜东翼与潘集背斜西部的衔接带,总体为走向南北、向东倾斜的单斜构造,地层倾斜平缓,倾角 $5^{\circ} \sim 15^{\circ}$ ,并有发育不均的次级宽缓褶曲和断层。根据次级褶曲和断层的发育特征(图1),可以划分为4个构造区:北部宽缓褶曲挤压区、中部简单单斜区、中南部“X”共轭剪切区、南部单斜区。研究目标位于中南部“X”共轭剪切区。该区为走向近南北、向东倾斜的单斜构造,地层在研究区北部转向北东向,地层倾角一般为 $5^{\circ} \sim 15^{\circ}$ 。区内的断层常常成组出现,断层走向为北西向,且多为斜切地层走向。

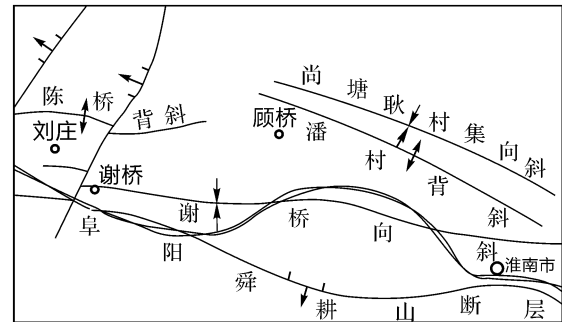


图1 研究区区域构造

Fig. 1 Regional tectonic map of the research area

## 2 活断层三维地震精确成像方法

为了对研究区活断层三维地震资料进行精确成像,需要对地震数据进行偏移处理。叠后偏移是在共中心点叠加的基础上实现反射点空间归位的偏移方法。在地层水平时,使用叠后偏移可以取得较好的成像效果。由于研究区内地层倾角较大,多次覆盖的共中心点信号并非来自地下的同点反射,因而不能实现同相叠加,致使在偏移前已将有效信号削弱或丢失,叠后偏移效果并不理想。为避免这种损失,必须采用将叠前反射信号直接归位的方法——叠前偏移。为了进一步搞清顾桂矿区活断层的发育特征,准确落实断层位置及断块之间的关系,采用了叠前时间偏移处理技术。由于研究区面积大,地层速度变化也大,在区域上难以控制构造变化,为此将速度分析网格适当加密,利用速度谱道集和叠加段精确拾取速度,保证最佳成像效果。在获得精确速度场的基础上,采用弯曲射线克希霍夫积分法对整个地震数据体进行叠前时间偏移处理,获得精确的可以用于解释的地震偏移剖面(图2),与叠后地震剖面相比,波组特征清晰,断点归位准确,断裂特征明确。

## 3 活断层三维地震解释

### 3.1 活断层地震属性解释

方差体能够正确识别断层以及地层的不连续变化,其沿层切片对小断层有更高的分辨率;相干体对较大尺度的不连续体有很好的识别效果;瞬时相位在振幅较弱的地方表现出连续性较好的反射

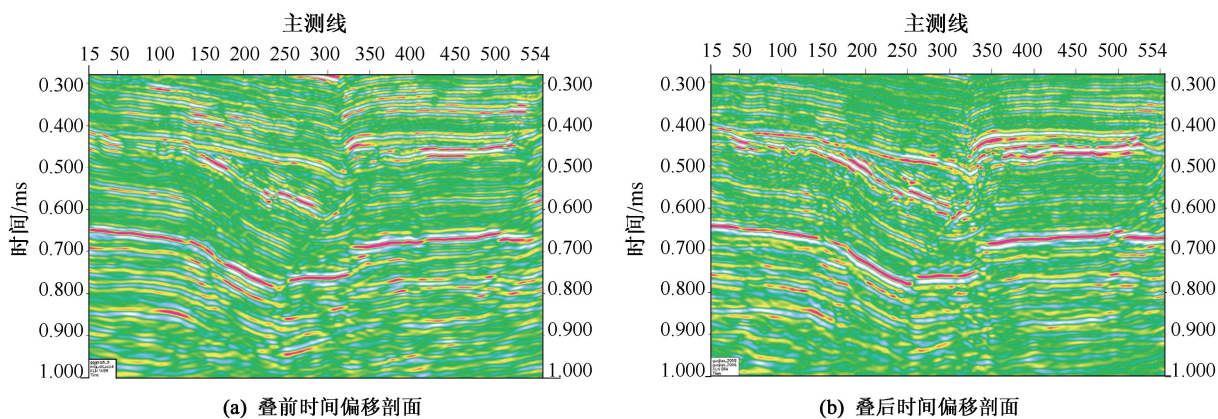


图2 地震叠前与叠后时间偏移剖面对比

Fig. 2 The diagram of comparison of seismic prestack and poststack time migration profiles

波,在活断层处的响应特征较为明显和突出;三维可视化能直观展示构造异常。利用上述地震属性做沿层切片,结合三维可视化展示,可以看出研究区内存在北西向断裂异常带,并且向北和向南延伸

出研究区,北部以断隆构造为主,两翼被活断层切割而错断,向南逐渐由断隆转变为断陷构造。四种切片之间相互印证并且特征相似(图3),进一步证实了该断裂带的存在。

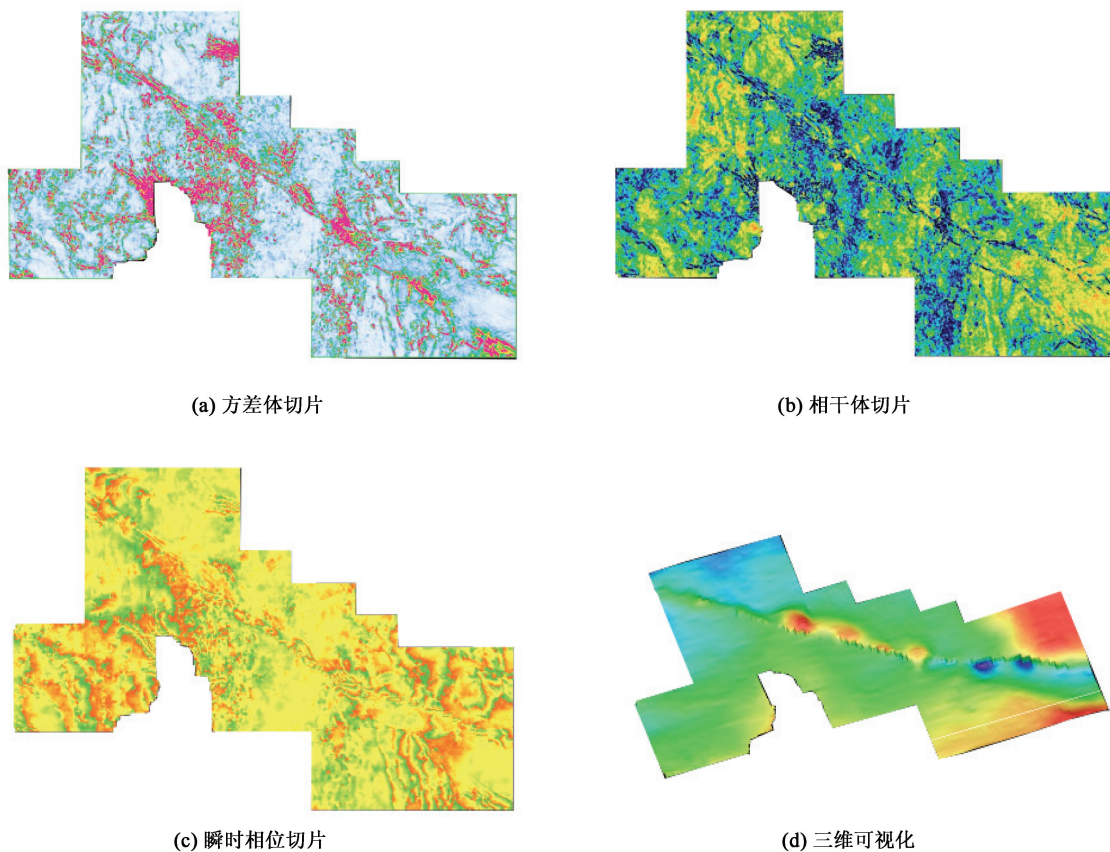


图3 地震属性对比

Fig. 3 Seismic attributes comparison chart

### 3.2 活断层地震剖面解释

经过叠前时间偏移的剖面已经实现了地下构造的精确归位,可以进行构造解释。利用三维可视化技术,先对整个地震数据体进行浏览,再利用体-面-线-点相结合的全三维的解释方法,同时结

合上述多属性地震数据体和三维可视化切片,对研究区内赋存于新生界的活断层进行了解释。在具体解释过程中,发现研究区内北西向构造断裂带错断了新生界不整合面,经过细致的层位追踪和断层闭合,最终在新生界地层中解释断层8条,见表1。

由表1可知,这些断层走向多为北西向,倾角大多近90°,且均匀分布在研究区北西向断裂带中。其中,断层FQ1(图4)、FQ2(图5)和FQ3(图6)断距较大,延展较远,对断裂带的形成起到控制作用,并且在煤系地层中都有下接断层,其余断

层断距和延展长度都相对较小,是伴生断层。这8条断层产生的地质年代较晚,并且将来有可能还要发生活动。活断层的存在,为煤矿井筒选址、巷道布置和煤矿防治水等安全开采带来巨大影响。

表1 新生界断层解释成果  
Tab.1 Cenozoic fault interpretation

断层名	断层性质	走向	倾向	倾角/(°)	延展长度/m	是否切割整个新生界地层
FQ1	直立	北西	—	85~90	4 673	是
FQ2	直立	北西西	—	85~90	3 120	是
FQ3	直立	北西	—	80~85	2 153	是
FQ4	逆	北北西	南西西	85~90	393	是
FQ5	正	北西	北东	80~85	439	是
FQ6	逆	北西	南西	75~85	681	是
FQ7	逆	北西	南西	75~85	1 089	是
FQ8	逆	北西西	南南西	75~85	1 901	是

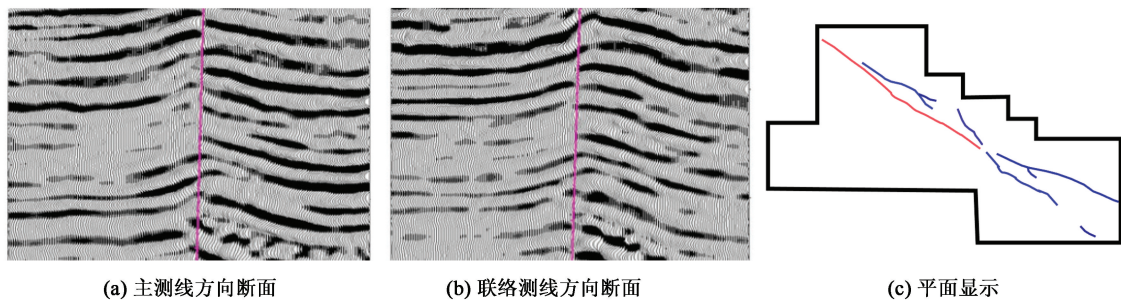


图4 FQ1 断面平面示意图  
Fig.4 Schematic diagram of FQ1

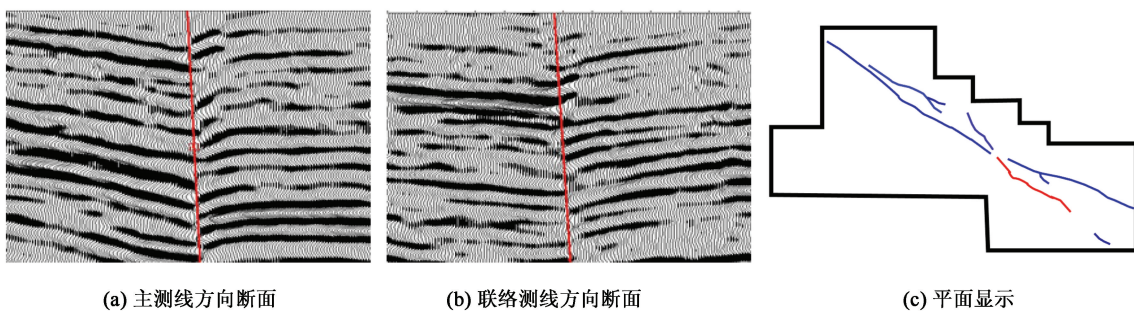


图5 FQ2 断面平面示意图  
Fig.5 Schematic diagram of FQ2

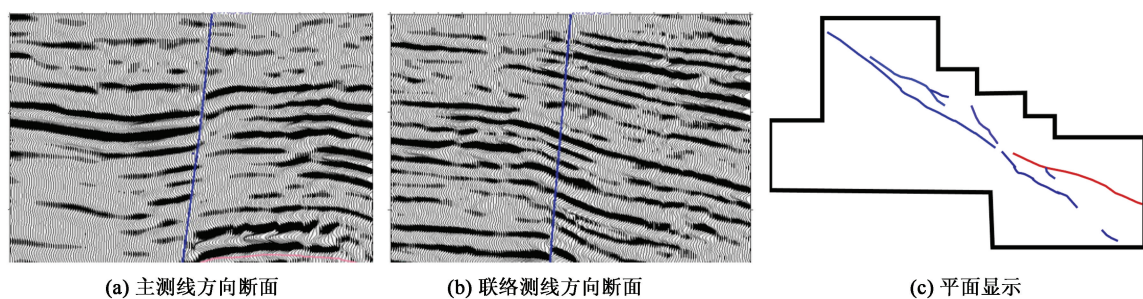


图6 FQ3 断面平面示意图  
Fig.6 Schematic diagram of FQ3

将新生界解释的8条断层进行平面组合,得到新生界底界面断裂分布图;在此断层骨架的基础上,加入新生界不整合面的层位进行时间域网格化处理,得到了新生界底界面的时间等值线图;由已知井点出发,求取测井点处速度并进行平面插值处理,得到了适合于全区时深转换的平均速度场等值线图;将时间等值线图和速度等值线图相乘并考虑地表起伏的变化,得到研究区的新生界底界面深度域等值线图(图7)。

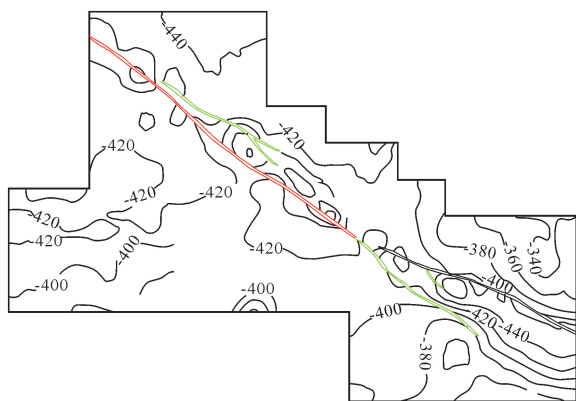


图7 新生界底界面深度域等值线图

Fig. 7 Cenozoic bottom depth field contour map

## 4 活断层发育特征及其对煤矿开采的影响

### 4.1 活断层发育特征

研究区的新生界中发育的8条断层均分布在顾桂矿区北西向断裂带中,走向与断裂带延展走向一致,即北西—南东,延展长度较长,切割深度贯穿整个新生界地层(表1)。地震解释成果平面上显示向北西和南东均延伸出研究区,剖面上显示向上一一直断至地表,向下在煤系地层中有下接断层,倾角近 $90^\circ$ ,且由北部的断隆构造逐渐转变为断陷构造。表明该处是在新生界地层形成之后,受到压扭性的构造应力而形成的,是新构造运动的产物,并且未来仍然有可能活动。

### 4.2 活断层对煤矿开采的影响

研究区发育的活断层多为直立断层,并且在其下接的煤系地层附近。根据井下观测发现,巷道变形、底鼓严重、淋水大、高瓦斯、岩石破碎、裂隙发育,局部泥岩呈垂直层面的柱状节理极其发育,巷道片帮掉顶严重,水文地质和工程地质条件极其复杂,尤其是深部灰岩水水量丰富,并且存在高压、高水温特征,这都会构成矿井生产的重大隐患。随着煤层采动的影响,断层应力逐渐释放,使得断层破碎带变宽,再加上其规模大、切割深,更易形成导

水带。因此,应当引起足够重视,提前做好防治部署。

## 5 结论

利用三维地震资料对顾桂矿区活断层进行研究,得到了如下结论:

(1) 叠前时间偏移处理是得到活断层精确成像的有效方法。本次研究中,通过叠前时间偏移处理方法使断层得到了准确归位,剖面上断点清晰、断层特征明显。

(2) 综合利用活断层地震剖面特征和地震属性特征,可以精细地刻画活断层的空间分布特征。采用体-面-线-点相结合的全三维的解释方法,同时结合上述多属性地震数据体和三维可视化切片,落实了8条活断层的走向、倾向及延展长度等性质。

(3) 地震解释成果显示,活断层在平面上向北和向南均延伸出研究区,且由北部的断隆构造逐渐转变为断陷构造;剖面上向上一一直断至地表,向下在煤系地层中有下接断层,倾向近于直立。

结果表明,此处是在新生界地层形成之后受到压扭性的构造应力,是新构造运动的产物,并且未来仍然有可能活动,这些活断层所组成的地质异常带是矿井安全生产的重大隐患,因此需要提前做好安全防范措施。

## 参考文献

- [1] 景彦君,张以晨,周志广. 国内外对活断层的研究综述[J]. 吉林地质, 2009, 28(2): 1-3.  
Jing Yanjun, Zhang Yichen, Zhou Zhiguang. A summary of the study of active fault at home and abroad[J]. Jilin Geology, 2009, 28(2): 1-3.
- [2] 卢海峰. 浅谈活断层及其研究方法[J]. 江苏地质, 2006, 30(2): 89-93.  
Lu Haifeng. Discussion on active faults and their research methods[J]. Jiangsu Geology, 2006, 30(2): 89-93.
- [3] 余中元,杨金山,韦庆海,等. 综合地球物理方法在城市活断层探测中的应用综述——以哈尔滨城市活断层探测项目为例[J]. 防灾科技学院学报, 2008, 10(4): 132-139.  
Yu Zhongyuan, Yang Jinshan, Wei Qinghai, et al. The application review of integrated geophysical methods in urban active faults detection[J]. Journal of Institute of Disaster-Prevention Science and Technology, 2008, 10(4): 132-139.

- [4] 王爱国, 马巍, 张向红, 等. 隐伏断层电性特征及浅层电法探测[J]. 西北地震学报, 2006, 28(3): 242-247.  
Wang Aiguo, Ma Wei, Zhang Xianghong, et al. Electrical characteristics of buried fault and prospecting by superficial direct current electrical method[J]. Northwestern Seismological Journal, 2006, 28(3): 242-247.
- [5] 谭明, 吴传勇, 刘景元. 高密度电法在乌鲁木齐市活断层项目中的应用实例[J]. 内陆地震, 2008, 22(2): 135-142.  
Tan Ming, Wu Chuanyong, Liu Jinyuan. The application example of high density electrical method in Urumqi city active fault project[J]. Inland Earthquake, 2008, 22(2): 135-142.
- [6] 易兵, 曾昭发, 李恩泽, 等. 电法探测城市活断层的应用[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2005, 35(增1): 115-118.  
Yi Bing, Zeng Zhaofa, Li Enze, et al. The survey and research for alive fault in city by electrical prospecting[J]. Journal of Jilin University: Earth Science Edition, 2005, 35(S1): 115-118.
- [7] 易兵, 曾昭发, 薛建, 等. 地球物理方法对城市活断层的探测与研究[J]. 地球物理学进展, 2008, 23(2): 599-604.  
Yi Bing, Zeng Zhaofa, Xue Jian, et al. Application of geophysical method in city active fault detection[J]. Progress in Geophysics, 2008, 23(2): 599-604.
- [8] 刘保金, 姬继法, 徐朝繁, 等. 共偏移距地震反射波方法用于城市活断层探测[J]. 地震地质, 2006, 28(3): 411-418.  
Liu Baojin, Ji Jifa, Xu Zhaofan, et al. Application of common offset seismic reflection method to urban active fault survey[J]. Seismology and Geology, 2006, 28(3): 411-418.
- [9] 李大虎, 何强, 石金虎, 等. 隐伏活断层的综合地球物理勘探方法——以青川县城城区活断层为例[J]. 世界地震工程, 2011, 27(2): 164-169.  
Li Dahu, He Qiang, Shi Jinhu, et al. Comprehensive geophysical exploration methods of hidden active faults—an example of Qingchuan country district hidden active faults[J]. World Earthquake Engineering, 2011, 27(2): 164-169.
- [10] 刘影, 沈月霞, 牛小军. 三维地震勘探在城市活断层精确定位中的意义[J]. 地震学报, 2012, 34(1): 97-104.  
Liu Ying, Shen Yuexia, Niu Xiaojun. Significance of 3D seismic exploration in urban active fault fine locating[J]. Acta Seismologica Sinica, 2012, 34(1): 97-104.
- [11] 聂碧波, 赵建明, 郗逸根, 等. 浅层地震勘探在城市活断层探测中的应用[J]. 工程地球物理学报, 2015, 12(1): 15-21.  
Nie Bibo, Zhao Jianming, Li Yigen, et al. Application research of shallow seismic prospecting in urban active fault detection[J]. Chinese Journal of Engineering Geophysics, 2015, 12(1): 15-21.
- [12] 张保卫, 沈鸿雁. 三分量地震散射波成像在天津蓟县城市活断层探测中的应用[J]. 物探与化探, 2014, 38(3): 504-509.  
Zhang Baowei, Shen Hongyan. The application of three-component scattering wave seismic imaging in detecting city active fault in Ji district, Tianjin city[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2014, 38(3): 504-509.
- [13] 罗登贵, 刘江平, 金聪, 等. 活断层的地震响应特征与瞬时地震属性[J]. 地球科学, 2017, 22(3): 462-470.  
Luo Denggui, Liu Jiangping, Jin Cong, et al. The application example of high density electrical method in urumqicity active fault project[J]. Earth Science, 2017, 22(3): 462-470.
- [14] 马翔, 田原. 运用放射性方法探测活断层[J]. 物探化探计算技术, 1996, 18(增1): 74-77.  
Ma Xiang, Tian Yuan. Application of radiological geophysics method in active fault detection[J]. Computing Techniques for Geophysical and Geochemical Exploration, 1996, 18(S1): 74-77.
- [15] 张迪, 李家存, 吴中海, 等. 地质雷达在活动断裂探测中的应用与进展[J]. 地质力学学报, 2016, 22(3): 733-746.  
Zhang Di, Li Jiacun, Wu Zhonghai, et al. Application and progress of ground penetrating radar in active fault detection[J]. Journal of Geomechanics, 2016, 22(3): 733-746.
- [16] 雷启云, 柴焯章, 孟广魁, 等. 隐伏活断层钻孔联合剖面对折定位方法[J]. 地震地质, 2011, 33(1): 45-55.  
Lei Qiyun, Chai Chizhang, Meng Guangkui, et al. Method of locating buried active fault by composite drilling section doubling exploration[J]. Seismology and Geology, 2011, 33(1): 45-55.
- [17] 鄯少英, 刘保金, 赵成彬, 等. 3维反射地震方法在活断层探测中的应用试验——以芦花台断层为例[J]. 地震地质, 2015, 37(2): 627-635.  
Feng Shaoying, Liu Baojin, Zhao Chengbin, et al. The application experiment of three-dimensional seismic reflection method in the detection of active faults: a case from Luhutai fault[J]. Seismology and Geology, 2015, 37(2): 627-635.

- [18] 顾勤平,许汉刚,赵启光.厚覆盖层地区隐伏活断层探测的地震方法技术——以桥北镇-宿迁断层为例[J].物探与化探,2015,39(2):408-415.  
Gu Qiping, Xu Hangang, Zhao Qiguang. The seismic exploration method for buried active faults in thick sediment area; a case study of Qiaobei-Suqian fault[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2015, 39(2):408-415.
- [19] 刘百箴,曹娟娟,袁道阳,等.青藏高原北部活动地块内部的活断层定量资料[J].地震地质,2008,30(1):161-175.  
Liu Baichi, Cao Juanjuan, Yuan Daoyang, et al. Quantitative data of active faults within the active tectonic block in north Qinghai-Xizang plateau[J]. Seismology and Geology, 2008, 30(1):161-175.
- [20] 刘备,朱光,胡红雷,等.郟庐断裂带江苏段新构造活动规律分析[J].地质学报,2015,89(8):1352-1366.  
Liu Bei, Zhu Guang, Hu Honglei, et al. Analysis on neotectonic activity of the Jiangsu part of the Tan-Lu fault zone[J]. Acta Geologica Sinica, 2015, 89(8):1352-1366.
- [21] 刘备,朱光,翟明见,等.郟庐断裂带安徽段活断层特征与成因[J].地质科学,2015,50(2):611-630.  
Liu Bei, Zhu Guang, Zhai Mingjian, et al. Features and genesis of active faults in the Anhui segment of the Tan-Lu fault zone[J]. Chinese Journal of Geology, 2015, 50(2):611-630.
- [22] 王银,孟广魁,柴焯章,等.隐伏活断层探测中的精确定位技术——以银川盆地芦花台断裂为例[J].地震地质,2015,37(1):256-268.  
Wang Yin, Meng Guangkui, Chai Chizhang, et al. The accurate location methods for buried active fault exploration: an example of Luhua tai faults in Yinchuan graben[J]. Seismology and Geology, 2015, 37(1):256-268.
- [23] 詹艳,赵国泽,梁竞阁,等. PROTEM-37瞬变电磁测深系统及应用实例[J].地震地质,2001,23(2):264-270.  
Zhan Yan, Zhao Guoze, Liang Jingge, et al. A brief description of the PROTEM-37 transient electromagnetic sounding system and its application[J]. Seismology and Geology, 2001, 23(2):264-270.

(责任编辑:李朝雯)