

煤田地质与勘探
Coal Geology & Exploration
ISSN 1001-1986, CN 61-1155/P

《煤田地质与勘探》网络首发论文

题目： 郊庐断裂带江苏段山左口-泗洪断裂活动特征变化及成因分析
作者： 张浩，李伟，李丽梅，晏云翔，蒋新，王金艳，赵启光，顾勤平，许汉刚
收稿日期： 2023-10-10
网络首发日期： 2023-12-22
引用格式： 张浩，李伟，李丽梅，晏云翔，蒋新，王金艳，赵启光，顾勤平，许汉刚. 郊庐断裂带江苏段山左口-泗洪断裂活动特征变化及成因分析[J/OL]. 煤田地质与勘探. <https://link.cnki.net/urlid/61.1155.P.20231220.1700.004>



网络首发：在编辑部工作流程中，稿件从录用到出版要经历录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿等阶段。录用定稿指内容已经确定，且通过同行评议、主编终审同意刊用的稿件。排版定稿指录用定稿按照期刊特定版式（包括网络呈现版式）排版后的稿件，可暂不确定出版年、卷、期和页码。整期汇编定稿指出版年、卷、期、页码均已确定的印刷或数字出版的整期汇编稿件。录用定稿网络首发稿件内容必须符合《出版管理条例》和《期刊出版管理规定》的有关规定；学术研究成果具有创新性、科学性和先进性，符合编辑部对刊文的录用要求，不存在学术不端行为及其他侵权行为；稿件内容应基本符合国家有关书刊编辑、出版的技术标准，正确使用和统一规范语言文字、符号、数字、外文字母、法定计量单位及地图标注等。为确保录用定稿网络首发的严肃性，录用定稿一经发布，不得修改论文题目、作者、机构名称和学术内容，只可基于编辑规范进行少量文字的修改。

出版确认：纸质期刊编辑部通过与《中国学术期刊（光盘版）》电子杂志社有限公司签约，在《中国学术期刊（网络版）》出版传播平台上创办与纸质期刊内容一致的网络版，以单篇或整期出版形式，在印刷出版之前刊发论文的录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿。因为《中国学术期刊（网络版）》是国家新闻出版广电总局批准的网络连续型出版物（ISSN 2096-4188, CN 11-6037/Z），所以签约期刊的网络版上网络首发论文视为正式出版。

张浩, 李伟, 李丽梅, 等. 郊庐断裂带江苏段山左口-泗洪断裂活动特征变化及成因分析[J]. 煤田地质与勘探, 2023. doi: 10.12363/issn.1001-1986.23.10.0626

ZHANG Hao, LI Wei, LI Limei, et al. Activity variations of the Shanzuokou-Sihong fault within the Jiangsu segment of the Tancheng-Lujiang fault zone and their origins[J]. Coal Geology & Exploration, 2023. doi: 10.12363/issn.1001-1986.23.10.0626

郊庐断裂带江苏段山左口-泗洪断裂活动特征变化及成因分析

张 浩¹, 李 伟², 李丽梅¹, 晏云翔³, 蒋 新¹, 王金艳¹, 赵启光¹, 顾勤平¹, 许汉刚¹
(1. 江苏省地震局, 江苏 南京 210014; 2. 中国地震局 地质研究所, 北京 100029;
3. 中煤科工西安研究院(集团)有限公司, 陕西 西安 710077)

摘要: 山左口-泗洪断裂经历了郊庐断裂带整个演化阶段, 该断裂的最新活动时代具有分段性。确定该断裂的活动性分段位置及原因对研究郊庐断裂带内各分支断裂的活动性变化具有重要的参考价值。因此, 利用野外地质调查、浅层地震勘探以及钻孔联合地质剖面等深浅部相结合的立体式研究方法, 对山左口-泗洪断裂的活动性进行了研究。结果表明: 山左口-泗洪断裂在北马陵山东侧为晚更新世活动断裂, 在新沂市为中更新世断裂。新沂市嶂仓村小学新发现一条晚更新世-全新世早期活动断裂, 该断裂与可将山左口-泗洪断裂分为南北两段, 北段为晚更新世活动断裂, 南段为早中更新世断裂, 北段晚更新世以来活动量向南调整至嶂仓村小学断裂带。北马陵山为郊庐断裂带内部沿断裂走向分布的基岩山体, 其第四纪以来的持续抬升与山左口-泗洪断裂的活动性变化有一定的耦合关系。该研究对认识郊庐断裂带其他分支断裂的活动性变化和丘陵山脉的形成机制具有重要的参考价值。

关 键 词: 郊庐断裂带; 山左口-泗洪断裂; 活动性; 浅层地震勘探; 钻孔联合地质剖面; 北马陵山

中图分类号: P315.2 **文献标志码:** A

Activity variations of the Shanzuokou-Sihong fault within the Jiangsu segment of the Tancheng-Lujiang fault zone and their origins

ZHANG Hao¹, LI Wei², LI Limei¹, YAN Yunxiang³, JIANG Xin¹, WANG Jinyan¹,
ZHAO Qiguang¹, GU Qinping¹, XU Hangang¹

(1. Jiangsu Earthquake Agency, Nanjing 210014, China; 2. Institute of Geology, China Earthquake Administration, Beijing 100029, China; 3. CCTEG Xi'an Research Institute (Group) Co., Ltd., Xi'an 710077, China)

Abstract: The Shanzuokou-Sihong fault, having undergone the entire evolutionary process of the Tancheng-Lujiang fault zone (also referred to as the Tancheng-Lujiang fault zone), exhibits segmentation during the latest activity epoch. Determining the location and origin of its activity segmentation will provide a significant reference for exploring the activity variations of its branch faults and their origins. This study investigated the activity of the Shanzuokou-Sihong fault using a three-dimensional approach combining field geological surveys, shallow seismic exploration, and cross-well stratigraphic correlation. The results show that the Shanzuokou-Sihong fault is a Late Pleistocene active fault on the east side of the North Maling Mountain and a Middle Pleistocene fault in Xinyi City. Moreover, a Late Pleistocene-Early Holocene active fault has been discovered recently at the Zhangcang Primary School in Xinyi City (also known as the Zhangcang Primary School fault). With the intersection of this newly discovered fault and the Shanzuokou-Sihong fault (northeast of Zhangcang Village) as demarcation, the Shanzuokou-Sihong fault can be divided into northern and south-

收稿日期: 2023-10-10; 修回日期: 2023-11-25

基金项目: 江苏省地震局青年科学基金项目(201802, 202203); 中国地震局地震星火科技项目(XH18016Y)

第一作者: 张浩, 1991 年生, 男, 山西长治人, 硕士, 工程师, 研究方向为地震地质. E-mail: 135033280@qq.com

通信作者: 李丽梅, 1972 年生, 女, 黑龙江双鸭山人, 硕士, 高级工程师, 研究方向为地震地质. E-mail: 312930221@qq.com

ern segments, which are a Late Pleistocene active fault and an Early-Middle Pleistocene fault, respectively. Since the Late Pleistocene, the northern segment has extended southward to the Zhangcang Primary School fault due to fault activity. The North Maling Mountain is a bedrock massif within the Tan-Lu fault zone, distributed along the strike of the fault zone. Its continuous uplift since the Quaternary has a certain coupling relationship with the activity variations of the Shanzuokou-Sihong fault. This study will provide a valuable reference for understanding both the activity variations of other branch faults and the formation mechanism of hills and mountains in the Tancheng-Lujiang fault zone.

Keywords: Tancheng-Lujiang fault zone; Shanzuokou-Sihong fault; activity; shallow seismic exploration; cross-well stratigraphic correlation; Beimaling mountains

郯庐断裂带是中国东部一条规模巨大、结构复杂的活动断裂,其活动方式具有明显的分段性、多期性及复杂性,在不同区段及不同的分支断裂上表现为不同的活动特征^[1-2]。有历史纪录以来,该断裂带上曾发生了多次7级以上大地震,如1668年7月25日山东郯城8.5级大地震,1888年6月13日渤海7.5级地震,1969年7月14日渤海中部7.4级地震,1975年2月24日辽宁海城7.3级地震^[3]。张继红^[4]、翁爱华^[5]等通过大地电磁测深工作,表明郯城地震的震中可能位于昌邑-大店断裂(江苏段称为山左口-泗洪断裂)和白芬子-浮来山断裂的接触部位,震源深度可能为15 km。因此,确定山左口-泗洪断裂的活动特征对分析未来郯庐断裂带的潜在震源位置具有重要意义。

郯庐断裂带是华北地块与扬子地块和苏鲁造山带的边界构造带,其形成机制与演化过程和华南板块与华北板块的碰撞造山作用有很大的关系^[6-7]。郯庐断裂带是一个构造面形态随深度变化、断层倾角近于直立、由多条断裂组成的大型“花状”构造,且组成郯庐断裂带的各条主干断裂表现出张性、压性、扭性结构面共存的复杂结构^[8]。

近年来,国内外学者对郯庐断裂带及郯城8.5级大地震开展了大量的研究,研究重点主要集中在安丘-莒县断裂^[9-10],而对郯庐断裂带东边界断裂研究则相对较少。刘备等^[11]通过天然露头剖面认为郯庐断裂带江苏段山左口-泗洪断裂(以下称为F₁断裂)为晚更新世活动断层。曹筠等^[12]通过宿迁市浅层地震勘探及跨断层钻孔联合剖面认为F₁断裂为前第四纪断层。徐建国等^[13]在山东境内采用地面调查、物探及钻探工作认为F₁断裂为晚更新世活动断层。顾勤平等^[14]通过新沂市中深层地震勘探及浅层地震勘探认为F₁断裂为早中更新世断裂。综合前人研究可知,F₁断裂最新活动时代具有分段性,其活动时代变化的位置及原因尚未深入研究。基于此,针对F₁断裂开展了野外地质调查、浅层地震勘探以及钻孔联合地质剖面等系统工作,对该断裂的活动性及其变化原因进行了深入分析和讨论,以期为研究郯庐断裂带各分支断裂活动性变化提供重要参考。

1 区域地质背景

郯庐断裂带依据其几何结构和活动性自北向南可分为4段(图1a),分别为I鹤岗-铁岭段、II下辽河-莱州湾段、III潍坊-嘉山段和IV嘉山-广济段^[15]。其中潍坊-嘉山段是郯庐断裂带活动最为强烈的部分^[16-18]。郯庐断裂带江苏段主要由5条分支断裂组成(图1b),分别为山左口-泗洪断裂(F₁)、新沂-新店断裂(F₂)、墨河-凌城断裂(F₃)、纪集-王集断裂(F₄)和安丘-莒县断裂(F₅)。其中F₁-F₄断裂构成“两堑夹一垒”的构造格局,F₁断裂为郯庐断裂带江苏段的东边界断裂,断裂东侧基岩为太古-元古片麻岩,断裂西侧为白垩系砂岩。F₁断裂经历了郯庐断裂带整个演化过程,早白垩纪至古近纪,因中国东部大陆的伸展活动,F₁断裂以左旋走滑兼具拉张活动为主,沉积了巨厚的白垩系砂岩,古近纪末,中国东部发生了一次区域性挤压事件,结束了郯庐断裂带上的伸展活动。第四纪以来,郯庐断裂带整体以右旋走滑为主^[11]。

F₁断裂自江苏境内的山左口一带,向南西延伸,经后皇城、新沂市区至宿迁一带,总体走向北东10°~15°,倾角40°~60°,呈隐伏状态,在北马陵山东侧出露地表。沿F₁断裂两侧第四系较薄,最厚约20 m,自上而下可分为:全新统(Q₄)灰黑色黏土;上更新统(Q₃)棕黄、青灰色黏土;中更新统(Q₂)灰黄色黏土夹黑色铁锰结核;下更新统(Q₁)灰黄色中粗砂、中细砂。

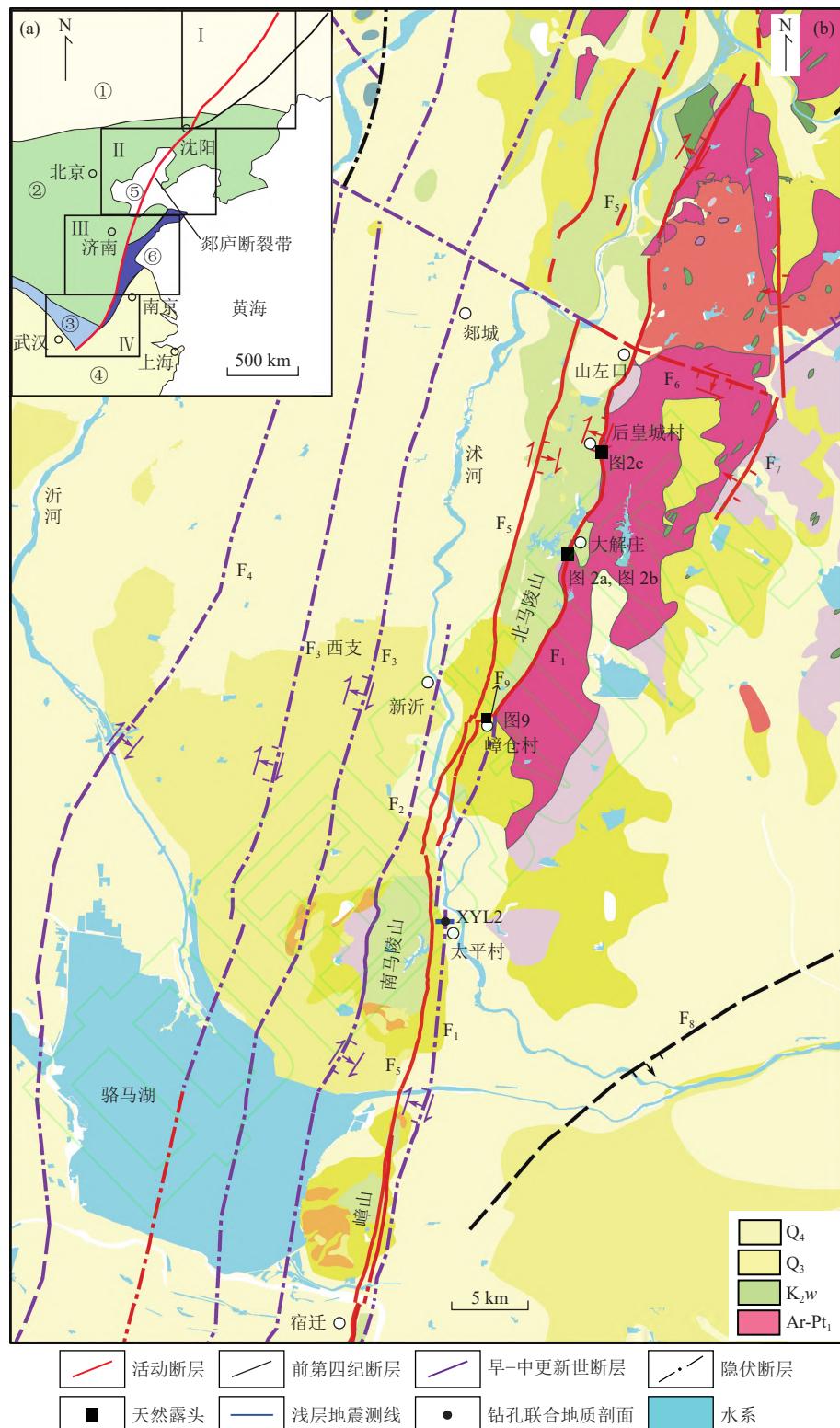
2 研究方法

根据地形、地貌及第四系厚度等地质条件,选择在断层出露区采用野外地质调查,在断层隐伏区采用浅层地震勘探结合钻孔联合剖面,确定断裂的具体展布和活动特征。

1) 浅层地震勘探

浅层地震反射勘探是探测隐伏断层最有效的地球物理探测方法之一,在各大城市的活断层探测工作中得到了广泛应用^[19]。依据前人对郯庐断裂带填图成果,以及浅层地震勘探对场地条件的要求,在太平村山水大道布设XYL2测线(图1b),揭露F₁断裂在新沂市的几何结构和断层性质。

数据采集。通过试验,选择使用美国SI公司生产



①: 蒙古-大兴安岭造山带; ②: 华北地块; ③: 大别造山带; ④: 华南地块; ⑤: 渤海湾; ⑥: 苏鲁造山带。I: 鹤岗-铁岭段; II: 下辽河-莱州湾段; III: 潍坊-嘉山段; IV: 嘉山-广济段; F₁: 山左口-泗洪断裂; F₂: 新沂-新店断裂; F₃: 墨河-凌城断裂; F₄: 纪集-王集断裂; F₅: 马陵山-重岗山断裂; F₆: 苍山-尼山断裂; F₇: 双店断裂; F₈: 邵店-桑墟断裂; F₉: 峭仓村小学断裂带。

(a) 郊庐断裂带构造简图; (b) 山左口-泗洪断裂构造分布。

图 1 山左口-泗洪断裂构造分布

Fig.1 Distribution of the Shanzuokou-Sihong fault

的 S-Land 地震仪, 检波器固有频率为 40 Hz, 震源为 18 吨纵波 M-18 型可控震源, 实际扫描频率 20~160 Hz。

该测线采用纵波反射波施工, 3 m 检波点距, 120 道接收, 20 次覆盖, 采样率 0.5 ms, 采样长度 1 024 ms, 中间

激发、两侧对称接收。

数据处理。资料的分析处理主要包括预处理、滤波、静校正、振幅补偿、常速扫描、速度谱分析、动校叠加、畸变切除、修饰性处理及剖面输出等基本流程,处理顺序及内容则按任务的需求进行合理选择。

2) 钻孔联合地质剖面

根据浅层地震勘探结果,在断点两侧开展钻孔联合地质剖面探测。钻孔布设采用对折定位方法^[20-21],最小孔间距不大于10 m。探测结果主要是对浅层地震勘探结果进行验证及揭露F₁断裂活动性质及活动时代。断裂活动性质主要依据标志地层的对比进行分析,标志层应特征明显,容易识别。断裂活动时代依据钻孔联合剖面揭露的断层断错地层和上覆地层的年代进行限制。

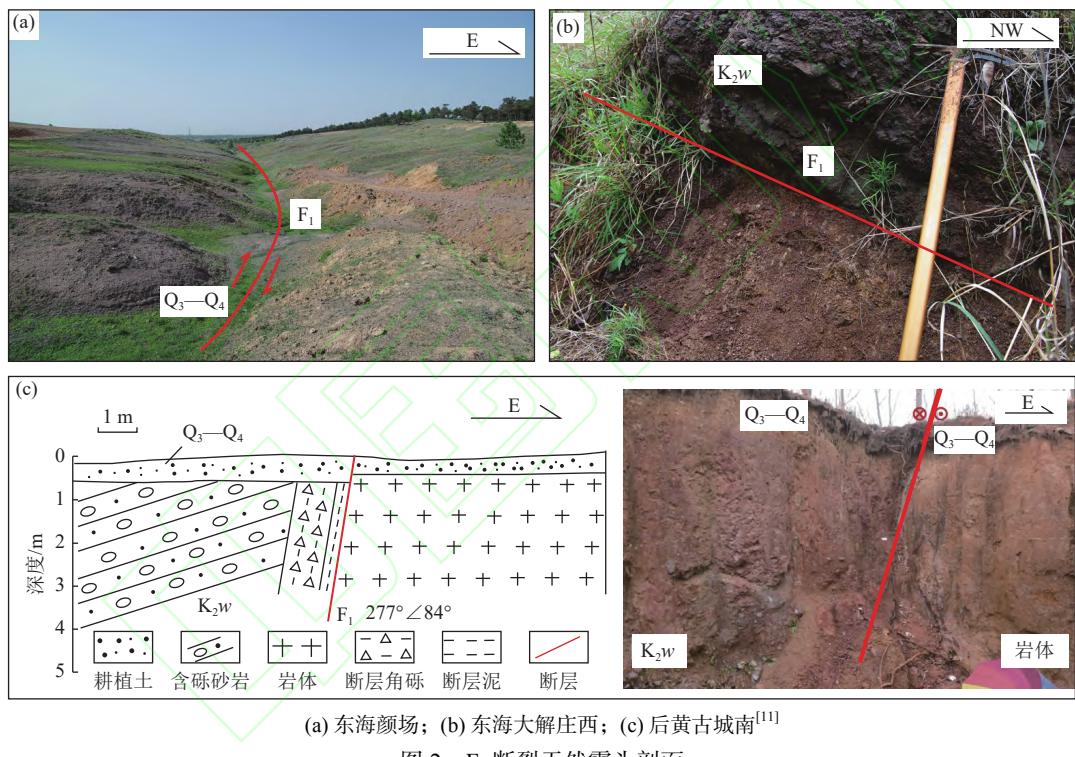


图2 F₁断裂天然露头剖面

Fig.2 Sections of field outcrops of fault F₁

3.2 浅层地震勘探

XYL2测线在太平村山水大道揭露F₁断裂,上断点位于桩号15 637处(图3),断层倾向W,视倾角较陡,基岩顶面反射波同相轴在桩号15 637处有明显的错断、挤压隆起,视断距较小。沿该测线,高分辨率折射层析剖面显示在桩号15 637附近断点西侧基岩P波速度约为2 500 m/s,结合钻孔资料确定为王氏组砂岩,东侧基岩P波速度约为4 500 m/s,为太古界—元古界片麻岩(图4)^[14]。

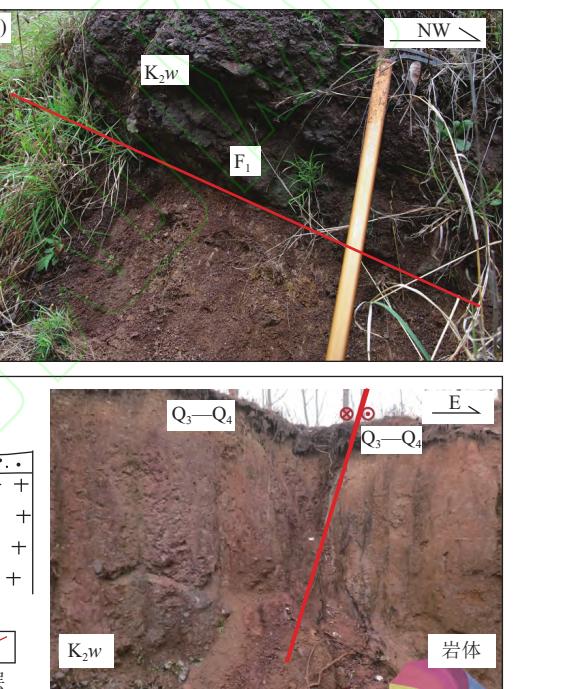
3.3 钻孔联合地质剖面

跨F₁断层钻孔联合地质剖面沿XYL2测线

3 结果

3.1 北马陵山天然露头

北马陵山东侧东海颜场可见F₁断裂(图2a),白垩系王氏组(K₂w)砂砾岩与东侧花岗岩(燕山期)、片麻岩(Ar)的界线明显,基岩出露地表。大解庄西露头(图2b)可见断裂西侧砂岩向东逆冲,倾向向西。后黄古城南天然露头显示F₁断裂上断点进入上更新统至全新统,为晚更新世活动断层^[11]。综合北马陵山东侧F₁断裂沿线地貌及露头特征可知,白垩纪郯庐断裂带属于拉张沉积环境,F₁断裂西侧沉积了巨厚的白垩纪砂砾岩,古近纪至第四纪早期以来,郯庐断裂带整体处于挤压环境,F₁断裂西侧砂砾岩向东逆冲(图2b)。第四纪中晚期,F₁断裂以右旋走滑兼具正断活动为主(图2c)。



15 637桩号两侧布设(图5),该剖面西约1 km为南马陵山,东侧1.2 km为沐河,沉积地层受沐河河流作用与南马陵山洪积作用影响。

根据新沂市城市活动断层探测标准钻孔资料及钻孔岩心可知(图6),全新统底界深度范围为1.5~1.9 m,主要岩性为褐黄色、灰黑色黏土和粉砂质黏土,偶夹黑色铁锰质结核,软塑。中、上更新统底界深度范围为5.9~7.3 m,主要岩性为灰黄色、黄灰色黏土,黑色铁锰结核斑点密集分布。下更新统底界深度为12.3~14.6 m,主要岩性为灰黄色、黄色中粗砂,夹灰色黏土薄层。东侧2个钻孔(ML1和ML7)揭露的基岩为太

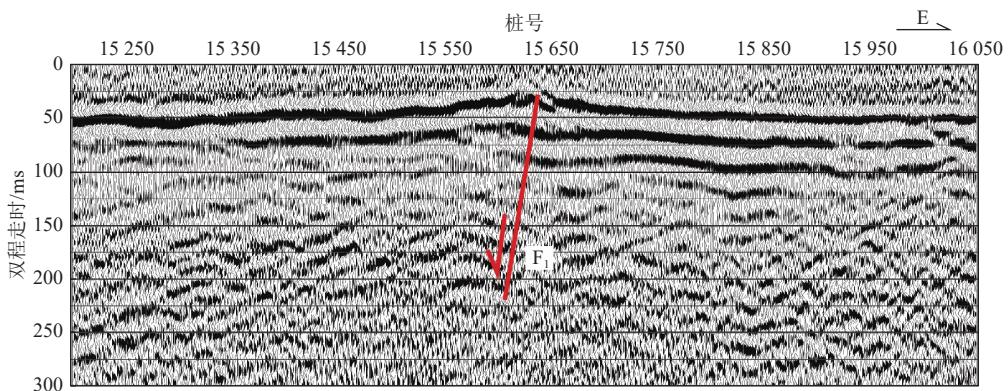


图3 XYL2 测线叠加时间剖面图
Fig.3 Seismic time-stacked section of survey line XYL2

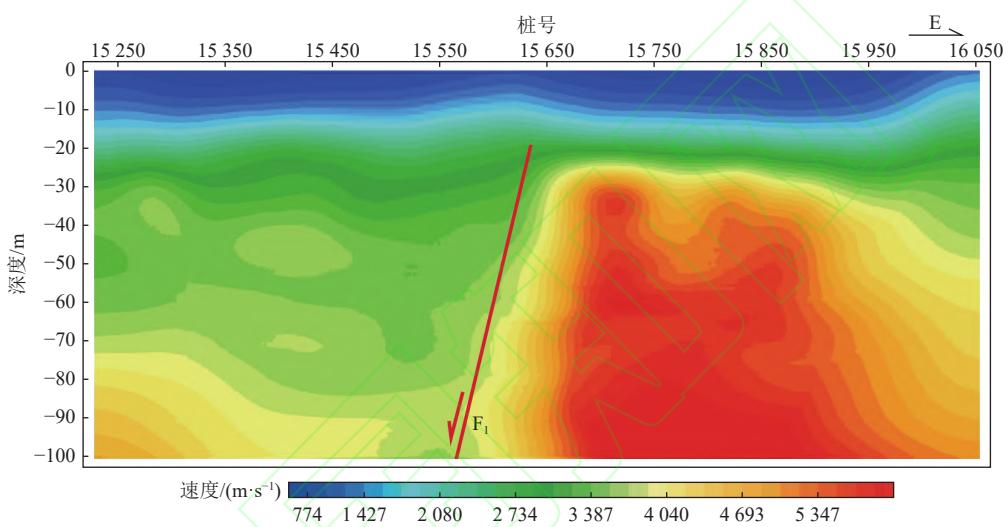


图4 XYL2 测线地震折射层析结果^[14]
Fig.4 Seismic refraction tomography results of survey line XYL2^[14]

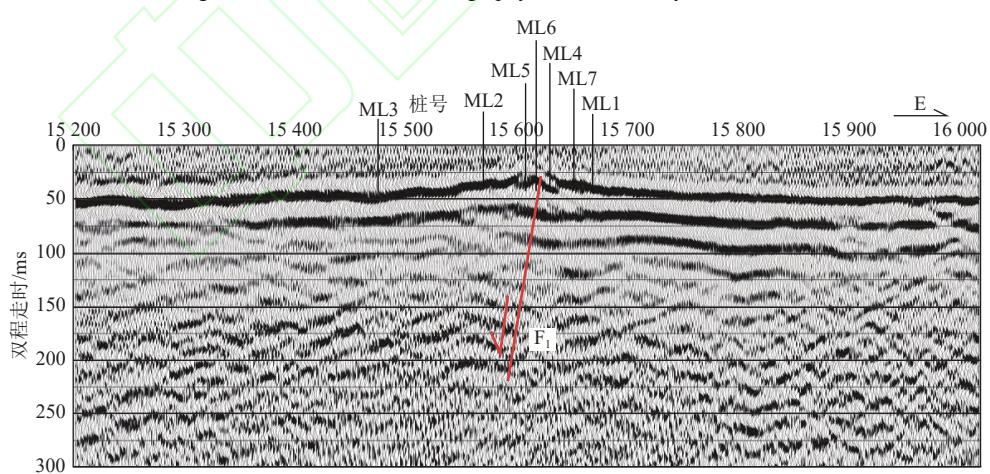
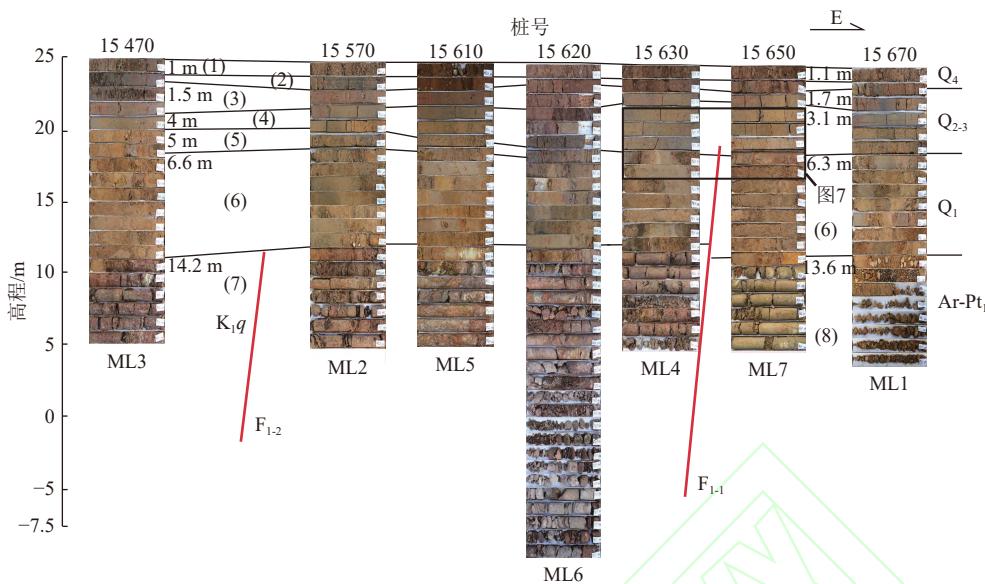


图5 XYL2 测线动校叠加时间剖面和钻孔布置
Fig.5 Seismic time-stacked section time profile after normal moveout correction and borehole layout along survey line XYL2

古界-元古界片麻岩,西侧1个钻孔(ML3)揭露的基岩为王氏组砂岩,中部4个钻孔揭露的地层为砂岩与片麻岩混合岩。根据基岩岩性分析, F_1 断裂由2条分支断层组成,其中 F_{1-1} 为主断层,断层东侧为太古界-元古界片麻岩。

由钻孔联合剖面可知(图6), F_{1-1} 断层两侧下更新

统中粗砂层底界断错约1.3 m,断层两侧ML4和ML7钻孔在5.0~6.2 m黏土颜色明显不同,ML4钻孔以青灰色为主,夹黑色铁锰颗粒,ML7钻孔以灰黄色为主,不存在黑色铁锰颗粒(图7);在6.2~8.0 m深度范围内,ML7钻孔以中粗砂为主,ML4钻孔以中细砂为主。以青灰色黏土夹黑色铁锰结核作为标志地层①,结合断



(1) 耕植层; (2) 棕灰、深灰、灰黑色黏土, 切面光滑, 软塑, 偶含黑色铁锰结核, 夹植物根茎; (3) 黄灰、棕灰色黏土, 切面光滑, 硬塑, 黑色铁锰结核斑点均匀分布, 斑径约 3 mm, 锈黄色斑点密集分布; (4) 灰黄色、棕黄色黏土, 切面光滑, 硬塑, 黑色铁锰结核不均匀分布, 锈黄色斑点密集分布; (5) 灰黄色、黄灰色粉砂质黏土, 粉砂体积分数约 30%, 夹灰色黏土薄层; (6) 灰黄色、灰色中粗砂, 偶含砾石, 夹棕灰色黏土薄层, 厚约 5 cm; (7) 紫红色、黄红色砂岩, 顶部强风化, 下部弱风化, 较硬, 易破碎; (8) 灰黄色、褐黄色片麻岩, 强风化, 易碎, 呈块状

图 6 跨 F_1 断层钻孔联合地质剖面
Fig.6 Cross-well stratigraphic correlation spanning across fault F_1

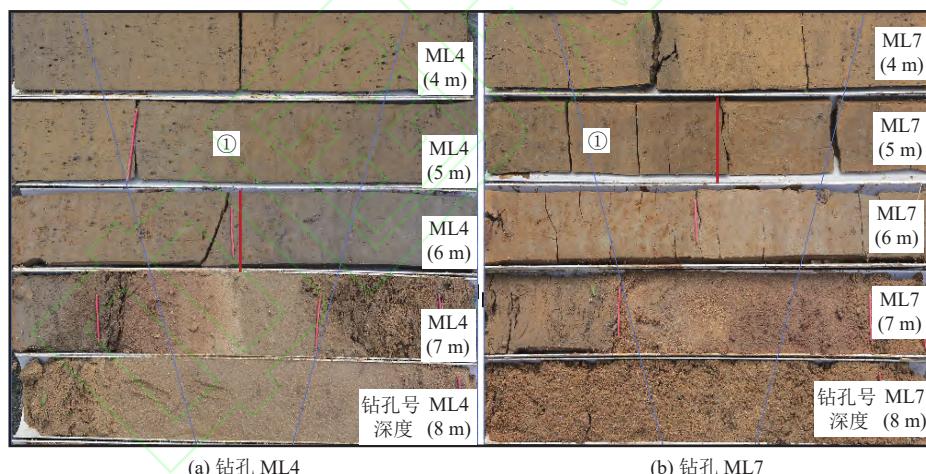


图 7 F_{1-1} 上断点两侧地层对比
Fig.7 Correlation of strata on both sides of the upper cutoff point on fault F_{1-1}

层倾向, 可以认为, F_1 断裂在早更新世末期以走滑兼具正断活动为主, 上断点距地表 4~5 m, 为中更新世断裂。

3.4 嶧仓村小学地质剖面

本次野外地质调查中, 在嶂仓村小学基坑新发现一条断裂带(本文中命名为 F_9 , 嶧仓村小学断裂带), 位于郯庐断裂带 F_1 断裂与安丘-莒县断裂(以下称为 F_5 断裂)之间。该断裂带由 2 条分支断层组成, 断裂总体走向 NE70°(图 8a), 倾角 80°。断裂带宽约 3.4 m, 带内为晚更新世灰黄色黏土, 两侧为白垩系王氏组紫红色砂岩, 断层附近砂岩呈破碎状, 在断层上部覆盖有厚约 30 cm 的全新世灰黑色黏土层(图 8b), 该套黑灰色

黏土层年龄为 (3920 ± 30) a BP^[22]。根据两条分支断层的产状及地层特征, 该条断裂带是在近东西向拉张条件下形成, 最新活动时代为晚更新世至全新世早期。

4 讨论

朱艾斓等^[23]根据震源机制解反应的深部应力环境表明, 在郯城-新沂段深部应力环境以走滑和正断为主, 主应力方向在北东向, 宿迁段主应力方向为近东西向。正是在此区域动力学背景下, 郊庐断裂带第四纪以来以右旋走滑运动为主, 在断裂带内部形成了系列的丘陵山体, 在郯庐断裂带江苏境内主要包括北马陵

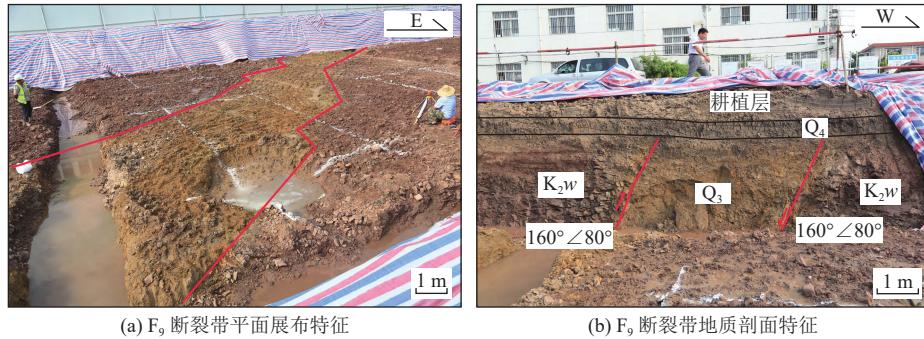


图 8 嶖仓村小学地质剖面
Fig.8 Geological section at the Zhangcang Primary School

山、南马陵山、嶂山及重岗山,其中北马陵山东侧为F₁断裂,西侧为F₅断裂,东南侧为F₉断裂。F₅断裂为全新世活动断层,在北马陵山表现为走滑兼具逆冲活动(图9a、图9c),局部剖面可见王氏组砂岩近水平覆盖于西侧晚更新世黏土层上(图9d),可以认为北马陵山第四纪以来受构造影响处于抬升中^[24]。F₉断裂为晚更新世至全新世早期活动断层。

F₁断裂是郊庐断裂带的东边界断裂,经历了长期的复杂运动,第四纪以来表现为分段活动。该断裂在山东至北马陵山东侧为晚更新世活动断裂^[11,13],在新沂市和宿迁市为早-中更新世断裂^[12,14]。综合分析北马陵山周缘断裂可知,F₅断裂东侧、F₉断裂西北侧与F₁断裂西侧地块处于向西逆冲活动状态,使北马陵山第四纪以来持续抬升,同时在F₁断裂形成了近3.4 m的断裂带宽度。F₉断裂与F₁断裂交汇于嶂仓村东北,F₁断裂以嶂仓村东北分为南北两段,北段为晚更新世

活动断裂,南段为中更新世断裂。结合北马陵山的抬升及周缘断裂的最新活动时代,北段晚更新世以来活动量可能调整至F₉断裂(图10)。

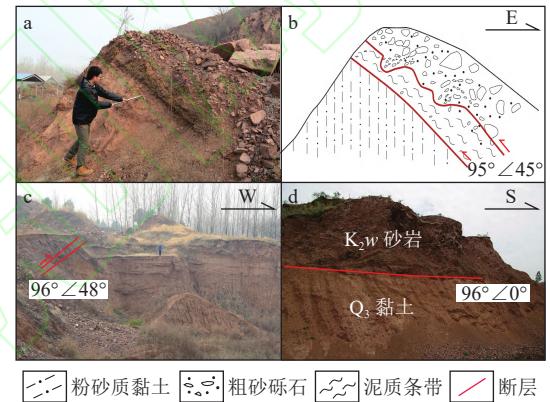


图 9 安丘-莒县断裂北马陵山露头
Fig.9 Field outcrops of the Anqiu-Juxian fault at the North Maling Mountain

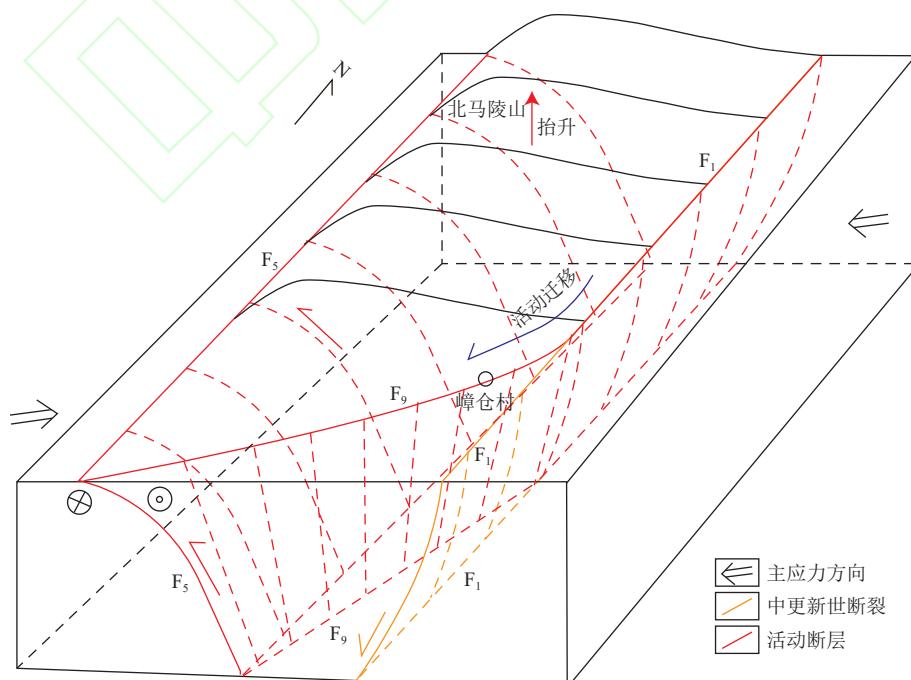


图 10 北马陵山抬升机制及F₁断裂活动分段
Fig.10 Uplift mechanism of the North Maling Mountain and the activity segmentation of fault F₁

5 结论

a. F_1 断裂出露区西侧白垩系王氏组(K_2w)砂砾岩与东侧花岗岩(燕山期)、片麻岩(Ar)的界线明显, 隐伏区 F_1 断裂由 2 条分支断层组成, 倾向向西, 倾角较陡, 上断点距地表 4~5 m。断裂白垩纪郯庐断裂带属于拉张沉积环境, F_1 断裂西侧沉积了巨厚的白垩纪砂砾岩; 古近纪至第四纪早期转化为挤压环境, F_1 断裂西侧砂砾岩向东逆冲; 早更新世末期以来, F_1 断裂以走滑兼具正断活动为主。

b. 根据野外地质调查、浅层地震勘探和钻孔联合地质剖面结果, F_1 断裂以嶂仓村东北分为南北两段, 北段为晚更新世活动断裂, 南段中更新世断裂。结合北马陵山的抬升及周缘断裂的最新活动时代, 北段晚更新世以来活动量可能调整至 F_9 断裂。

c. 北马陵山第四纪以来处于持续抬升状态, 其形成机制主要是, F_5 断裂、 F_1 断裂和 F_9 断裂所围限的地块向西抬升。

参考文献(References)

- [1] 方仲景, 丁梦林, 向宏发, 等. 郊庐断裂带的基本特征[J]. 科学通报, 1986, 31(1): 52~55.
FANG Zhongjing, DING Menglin, XIANG Hongfa, et al. Basal characteristics of Tanlu fault zone[J]. Chinese Science Bulletin, 1986, 31(1): 52~55.
- [2] 王小凤, 李中坚, 陈柏林, 等. 郊庐断裂带[M]. 北京: 地质出版社, 2000.
- [3] 顾功叙. 中国地震目录[M]. 北京: 科学出版社, 1993.
- [4] 张继红, 赵国泽, 肖骑彬, 等. 郊庐断裂带中段(沂沭断裂带)电性结构研究与孕震环境[J]. 地球物理学报, 2010, 53(3): 605~611.
ZHANG Jihong, ZHAO Guoze, XIAO Qibin, et al. Analysis of electric structure of the central Tanlu fault zone (Yishu fault zone, 36°N) and seismogenic condition[J]. Chinese Journal of Geophysics, 2010, 53(3): 605~611.
- [5] 翁爱华, 李建平, 范小平, 等. 大地电磁测深揭示的 1668 年郯城 8.5 级地震震中地壳精细结构[J]. 地震地质, 2018, 40(2): 396~409.
WENG Aihua, LI Jianping, FAN Xiaoping, et al. Fine electrical structure beneath the epicenter of 1668 Tancheng $M_{s}8.5$ earthquake revealed by MT sounding[J]. Seismology and Geology, 2018, 40(2): 396~409.
- [6] 万天丰, 朱鸿, 赵磊, 等. 郊庐断裂带的形成与演化: 综述[J]. 现代地质, 1996, 10(2): 159~168.
WAN Tianfeng, ZHU Hong, ZHAO Lei, et al. Formation and evolution of Tancheng-Lujiang fault zone: A review[J]. Geoscience, 1996, 10(2): 159~168.
- [7] 朱光, 刘国生, 牛漫兰, 等. 郊庐断裂带的平移运动与成因[J]. 地质通报, 2003, 22(3): 200~207.
ZHU Guang, LIU Guosheng, NIU Manlan, et al. Transcurrent movement and genesis of the Tanlu fault zone[J]. Geological Bulletin of China, 2003, 22(3): 200~207.
- [8] 刘保金, 鄢少英, 姬计法, 等. 郊庐断裂带中南段的岩石圈精细结构[J]. 地球物理学报, 2015, 58(5): 1610~1621.
LIU Baojin, FENG Shaoying, JI Jifa, et al. Fine lithosphere structure beneath the middle-southern segment of the Tanlu fault zone[J]. Chinese Journal of Geophysics, 2015, 58(5): 1610~1621.
- [9] 谢瑞征, 丁政, 朱书俊, 等. 郊庐断裂带江苏及邻区第四纪活动特征[J]. 地震学刊, 1991(4): 1~7.
XIE Ruizheng, DING Zheng, ZHU Shujun, et al. Active characteristics in the Jiangsu segment of the Tanlu fault zone and its vicinity[J]. Journal of Seismology, 1991(4): 1~7.
- [10] 许汉刚, 范小平, 冉勇康, 等. 郊庐断裂带宿迁段 F_5 断裂浅层地震勘探新证据[J]. 地震地质, 2016, 38(1): 31~43.
XU Hangang, FAN Xiaoping, RAN Yongkang, et al. New evidences of the Holocene fault in Suqian segment of the Tanlu fault zone discovered by shallow seismic exploration method[J]. Seismology and Geology, 2016, 38(1): 31~43.
- [11] 刘备, 朱光, 胡红雷, 等. 郊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 Tanlu fault zone[J]. Acta Geologica Sinica, 2015, 89(8): 1352~1366.
- [12] 曹筠, 冉勇康, 许汉刚, 等. 郊庐断裂带江苏段东地堑边界断层第四纪活动性[J]. 中国地震, 2018, 34(3): 387~399.
CAO Jun, RAN Yongkang, XU Hangang, et al. Quaternary activity of the boundary fault of eastern graben in the Jiangsu segment, the Tanlu fault zone[J]. Earthquake Research in China, 2018, 34(3): 387~399.
- [13] 徐建国, 徐华, 张涛, 等. 沂沭断裂带北段东支断裂的浅部构造特征及活动性[J]. 地质学报, 2019, 93(4): 776~790.
XU Jianguo, XU Hua, ZHANG Tao, et al. Shallow tectonic characteristics and activity of the east branch faults of the northern segment of the Yishu fault zone[J]. Acta Geologica Sinica, 2019, 93(4): 776~790.
- [14] 顾勤平, 许汉刚, 晏云翔, 等. 郊庐断裂带新沂段地壳浅部结构和断裂活动性探测[J]. 地震地质, 2020, 42(4): 825~843.
GU Qinping, XU Hangang, YAN Yunxiang, et al. The crustal shallow structures and fault activity detection in Xinyi section of Tanlu fault zone[J]. Seismology and Geology, 2020, 42(4): 825~843.
- [15] 龚洪太, 李家灵, 崔昭文, 等. 郊庐断裂带中段全新世活断层的特征滑动行为与特征地震[J]. 内陆地震, 1994, 8(4): 297~304.
CHAO Hongtai, LI Jialing, CUI Zhaowen, et al. Characteristic slip behavior of the Holocene fault in the central section of the Tanlu fault zone and the characteristic earthquakes[J]. Inland Earthquake, 1994, 8(4): 297~304.
- [16] 李家灵, 龚洪太, 崔昭文, 等. 郊庐活断层的分段及其大震危险性分析[J]. 地震地质, 1994, 16(2): 121~126.
LI Jialing, CHAO Hongtai, CUI Zhaowen, et al. Segmentation of active fault along the Tancheng-Lujiang fault zone and evaluation of strong earthquake risk[J]. Seismology and Geology, 1994, 16(2): 121~126.

- [17] 晁洪太, 李家灵, 崔昭文, 等. 郊庐断裂带潍坊-嘉山段全新世活断层的活动方式与发震模式[J]. 地震研究, 1997, 20(2): 218-226.
CHAO Hongtai, LI Jialing, CUI Zhaowen, et al. Mode of motion of the Holocene fault in Weifang-Jiashan segment of the Tanlu fault zone and earthquake-generating model[J]. Journal of Seismological Research, 1997, 20(2): 218-226.
- [18] 施炜, 张岳桥, 董树文. 郊庐断裂带中段第四纪活动及其分段特征[J]. 地球学报, 2003, 24(1): 11-18.
SHI Wei, ZHANG Yueqiao, DONG Shuwen. Quaternary activity and segmentation behavior of the middle portion of the Tanlu fault zone[J]. Acta Geoscientica Sinica, 2003, 24(1): 11-18.
- [19] 刘旭东, 张世民, 晏云翔, 等. 基于浅层地震勘探与钻孔联合地质剖面探测的苏北盆地倪湖庄-七里墩断裂研究[J]. 震灾防御技术, 2022, 17(1): 11-27.
LIU Xudong, ZHANG Shimin, YAN Yunxiang, et al. Niuhuzhuang-Qilidun fault detecting based on shallow seismic exploration and drilling joint geological profile in Subei Basin[J]. Technology for Earthquake Disaster Prevention, 2022, 17(1): 11-27.
- [20] 雷启云, 柴炽章, 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.
- [21] 曹筠, 冉勇康, 许汉刚, 等. 宿迁城市活动断层探测多方法技术运用的典型案例[J]. 地震地质, 2015, 37(2): 430-439.
CAO Jun, RAN Yongkang, XU Hangang, et al. Typical case analysis on application of multi-method detection technique to active fault exploration in Suqian City[J]. Seismology and Geology, 2015, 37(2): 430-439.
- [22] ZHANG Hao, HE Zhongtai, XU Hangang, et al. Kinematic characteristics of the Jiangsu segment of the Anqiu-Juxian fault in the Tanlu fault zone, eastern China[J]. Lithosphere, 2021, 2021: 6691692.
- [23] 朱艾斓, 徐锡伟, 王鹏, 等. 以精定位背景地震活动与震源机制解研究郊庐断裂带中南段现今活动习性[J]. 地学前缘, 2018, 25(1): 218-226.
ZHU Ailan, XU Xiwei, WANG Peng, et al. The present activity of the central and southern segments of the Tancheng-Lujiang fault zone evidenced from relocated microseismicity and focal mechanisms[J]. Earth Science Frontiers, 2018, 25(1): 218-226.
- [24] 张浩, 王金艳, 许汉刚, 等. 安丘-莒县断裂新沂段的几何结构特征[J]. 地震地质, 2022, 44(6): 1448-1468.
ZHANG Hao, WANG Jinyan, XU Hangang, et al. Geometric structure characteristics of Xinyi segment of Anqiu-Juxian fault[J]. Seismology and Geology, 2022, 44(6): 1448-1468.