

郯庐断裂带安丘—莒县断裂南段（郯城—淮河） 晚第四纪活动特征^{*}

曹 筠^{1,2}, 冉永康², 许汉刚³, 李彦宝², 马兴全², 张 鹏³, 李丽梅³

(1. 河北省地震局, 河北 石家庄 050021; 2. 中国地震局地质研究所 活动构造与火山重点实验室, 北京 100029;
3. 江苏省地震局, 江苏 南京 210014)

摘要: 通过系统的野外地质地貌调查、浅层地震勘探、钻孔联合剖面和古地震探槽等多方法手段, 重点开展郯庐断裂带安丘—莒县断裂南段晚第四纪活动特征研究。结果显示安丘—莒县断裂南段在浅部由2支高倾角兼有挤压逆冲分量的断层组成, 其中一支出露地表, 以右旋走滑运动为主兼有逆冲分量, 是全新世活动断层, 而另一支为晚更新世活动断层。

关键词: 郯庐断裂带; 安丘—莒县断裂; 浅部构造格架; 断层活动性

中图分类号: P315.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0666(2018)02-0280-13

0 引言

郯庐断裂带（以下简称郯庐带）是中国东部规模最大的断裂带，也是华北地区重要的边界构造带（Deng *et al.*, 2003），该断裂带的安丘—莒县断裂还是中国东部最大的历史地震（1668年郯城8½级地震）的发震构造（高维明等，1988；李家灵等，1994a）。因此充分认识郯庐带最新活动断层安丘—莒县断裂晚第四纪活动特征对理解郯庐带的构造演化过程、地震活动性乃至断裂带沿线省份的防灾减灾工作都具有重要的科学和社会意义。

前人对地表出露好、活动性强且有破坏性历史地震记录的安丘—莒县断裂中北段的断层长度、性质、分段以及活动性等问题有较为系统的研究和结论（国家地震局地质研究所，1987；高维明等，1988；李家灵等，1994a；晁洪太等，1994；郯庐活动断裂带地质填图课题组，2013）。而安丘—莒县断裂南段（郯城—淮河）由于受植被覆盖率高、断层隐伏等客观因素制约，有关该段断层的浅部构造格架和晚第四纪活动特征等问题一直没有定论。安丘—莒县断裂南段是现今小震稀疏段、没有破坏性历史地震记录段（易桂喜，闻学

泽，2007；国家地震局，1995；中国地震局，1999），还是郯庐带内不同段的交接段，更是处于不同构造单元之间的构造转换部位，是未来强震重点危险段（徐锡伟等，2017），因此正确认识该段的浅部构造格架和断层晚第四纪活动特征至关重要。谢瑞征等（1991）认为安丘—莒县断裂南段是晚更新世活动断层；李家灵等（1991）和李起彤（1994）则认为是全新世活动断层，但在宿迁及其以南地区只发现全新世地裂缝；还有部分学者认为南段是部分段落全新世活动（邓起东等，2007；Liu *et al.*, 2015）。随着近年研究工作的不断深入，获得了安丘—莒县断裂宿迁段的浅部构造样式，并推测2分支断层的晚第四纪活动性（张鹏等，2015；许汉刚等，2016）。但目前还没有详尽地层学和年代学的有效证据来论述安丘—莒县断裂南段的晚第四纪活动特征，更没有对安丘—莒县断裂南段进行系统阐述，因此还需要系统地总结论述郯庐带安丘—莒县断裂南段断层的浅部构造格架和晚第四纪活动特征。本文通过在安丘—莒县断裂南段系统的野外地质地貌调查、浅层地震勘探、钻孔联合剖面探测和古地震探槽等研究工作，拟对该段断层的浅部构造格架和晚第四纪活动特征问题进行探讨。

^{*} 收稿日期：2017-01-10.

基金项目：河北省地震局地震科技星火计划项目（DZ20180317008）资助。

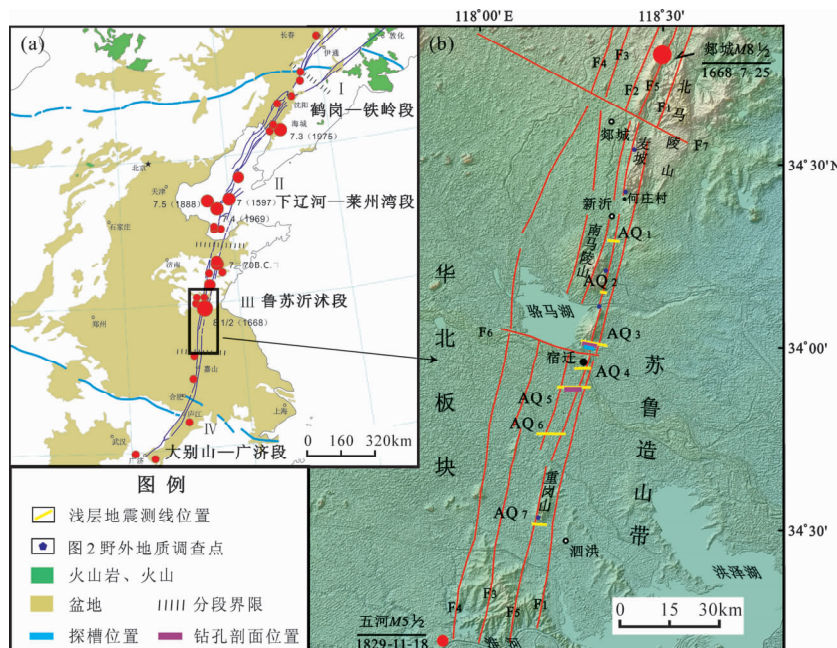
1 郯庐断裂带鲁苏沂沭段几何结构与晚第四纪活动性概述

郯庐断裂带从中国黑龙江省边境蔓延至安徽长江边约 2 400 km, 呈“Y”字形, 依据新生代以来构造特征、演化历史和地震活动性等特点, 可分为东北鹤岗—铁岭段、下辽河—莱州湾段、鲁苏沂沭段和大别山—广济段(郑朗荪等, 1988; 李家灵等, 1994a)(图 1a)。东北段为沈阳以北由东支敦化—密山断裂带和西支依兰—伊通断裂带组成, 近年在依兰—伊通断裂带发现全新世活动证据(Min *et al.*, 2013)。白垩纪受区域 NW—SE 向拉伸应力作用, 鲁苏沂沭段形成 4 条 NNE 向主干断层($F_1 \sim F_4$)构成“两堑夹一垒”的构造样式(万天丰等, 1996; 张岳桥, 董树文, 2008; Zhu *et al.*, 2010), 第四纪以来断裂带东地堑内的活动断层为安丘—莒县断裂(F_5)(李家灵等, 1994a; 晁洪太等, 1994)。安丘—莒县断裂可分为

北段安丘地震破裂段、中段 1668 年郯城地震破裂段和南段郯城至淮河岸边(李家灵等, 1994b; 晁洪太等, 1997)。大别山—广济段位于中朝板块与扬子板块的结合带上, 嘉山—响水断裂以南, 鲁苏沂沭段几条主干断层合并成 2 支, 该段历史地震活动性相对较弱, 没有 6 级以上地震记载(国家地震局地质研究所, 1987)。

鲁苏沂沭带南段的 5 条主干断层($F_1 \sim F_5$)近平行展布并被 2 条主要的 NW 向断层(F_6, F_7)断错。安丘—莒县断裂北中段断错地貌明显, 断层附近发育低山、丘陵, 滑动速率约为 2.3 mm/a; 南段的断层活动性相对较弱, 地势起伏也不大(国家地震局地质研究所, 1987)。南段长约 180 km, 走向总体为 $N5^\circ \sim 15^\circ E$ 。断层经郯城麦坡、新沂何庄村、南马陵山、宿迁市, 向南至泗洪重岗山, 止于淮河南岸, 由一系列次级断层组成(图 1)。

参考区域最新第四系研究成果^①和区域地层研究成果(江苏省地质矿产局, 1984)。安丘—莒县断裂南段沿线的全新统以粉砂质黏土, 质软黏土



F_1 : 昌邑—大店断裂; F_2 : 白芬子—浮来山断裂; F_3 : 沂水—汤头断裂; F_4 : 郯部—葛沟断裂;
 F_5 : 安丘—莒县断裂; F_6 : 宿迁闸—皂河镇断裂; F_7 : 尼山—苍山断裂

图 1 中国活动构造图(邓起东等, 2007)图(a)及鲁苏沂沭断裂带南段(郯城—淮河)构造略图(b)
 Fig. 1 Map of active tectonics of China (a) and tectonic map of southern segment of the Yishu Fault Zone (b)

① 中国地质大学(北京)、江苏省地震工程研究院. 2013. 《宿迁市活动断层探测与地震危险性评价》子专题 3 标准钻孔探测与第四纪地层剖面建立成果报告.

为主；而上更新统以富集钙质结核的岩性地层为特点，颜色以棕黄色、灰黄色为主，偶见中、细砂，铁锰结核，可划分 2 套地层旋回；中更新统以红棕色岩性地层为主，含砂量也比上更新统多，局部含砾石或姜结石；下更新统以砂、砂砾层为主，具有大型斜层理。上更新统较全新统具有含砂量少且质硬，可塑性差，含典型钙质结核等特点，中更新统与上更新统间有明显颜色区别。更新统厚度与该时期水系分布及新构造运动密切相关。

2 安丘—莒县断裂南段浅部构造格架和晚第四纪活动特征

2.1 地貌、地表地质特征

由于人类活动频繁，目前安丘—莒县断裂南段沿线地貌被改造较大，但 20 世纪 60 年代的航片记录了区域早期地貌形态。以新沂何庄附近为例，该点断错地貌表现为东高西低的断层崖，断层沿

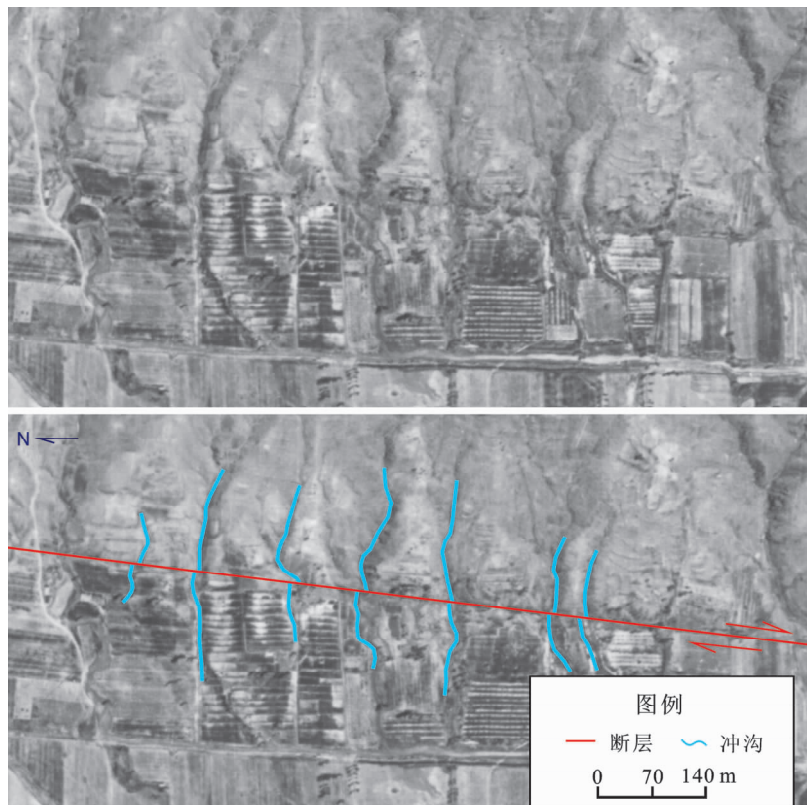


图 2 安丘—莒县断裂航片及解译图

Fig. 2 Aerial photographs and its interpretation of the Anqiu - Juxian Fault

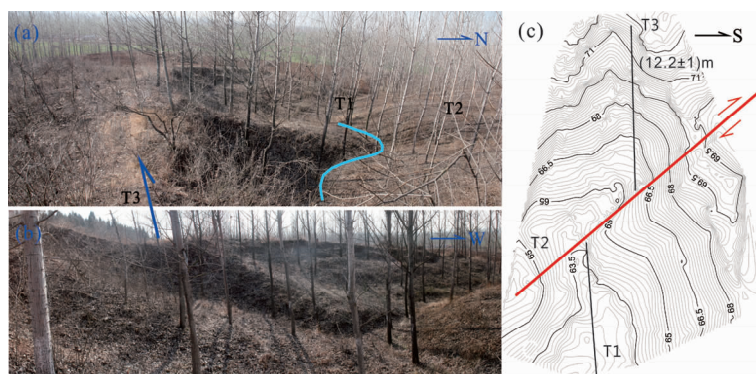


图 3 安丘—莒县断裂冲沟右旋位错图 (a)、断层反向陡坎图 (b) 和冲沟右旋位错测量图 (c)

Fig 3 Typical right lateral geomorphic markers (gully) along the Anqiu - Juxian Fault (a), fault scarp (b) and survey plan of right lateral gully (c)

线发育的冲沟被整体右旋位错 (图2)。在该沿线选取人为改造较小且可能记录多次断层活动的位错点, 实地测量发现冲沟右旋位错且反向陡坎发育。综合考虑人为等因素, 测量冲沟右旋位错

(12.2 ± 1) m (图3)。安丘—莒县断裂南段的次级断层在平面上呈左阶或右阶的雁列式展布, 郯庐带第四纪以来的右旋走滑运动使得断层沿线右旋右阶和右旋左阶的区域形成盆地和低山。

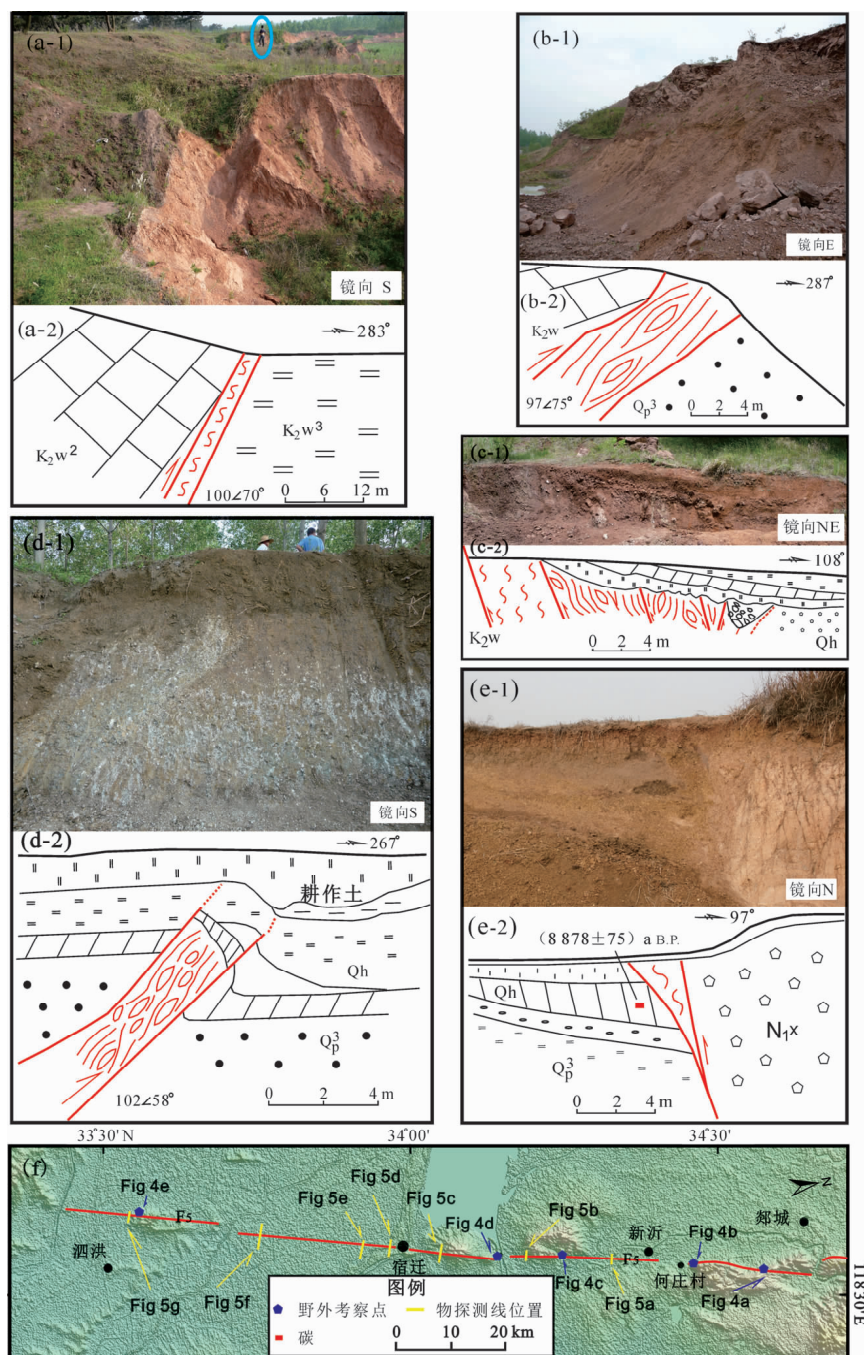


图4 郯城麦坡处 (a)、新沂何庄村处 (b)、马陵山处 (c)、新沂河阶地处 (d) 和重岗山处 (e) 断层以及安丘—莒县断裂南段沿线断层露头
和测线位置图 (f) (图 a 中蓝圈为一人高)

Fig. 4 Fault outcrop located at Tancheng Maipo (a), Hezhuang village (b), Maling mountain (c), Xinyi river (d), Chonggang mountain (e), and location of typical outcrop and shallow seismic line along the southern segment of the Anqiu - Juxian Fault (f) (the blue circle is the height of one person)

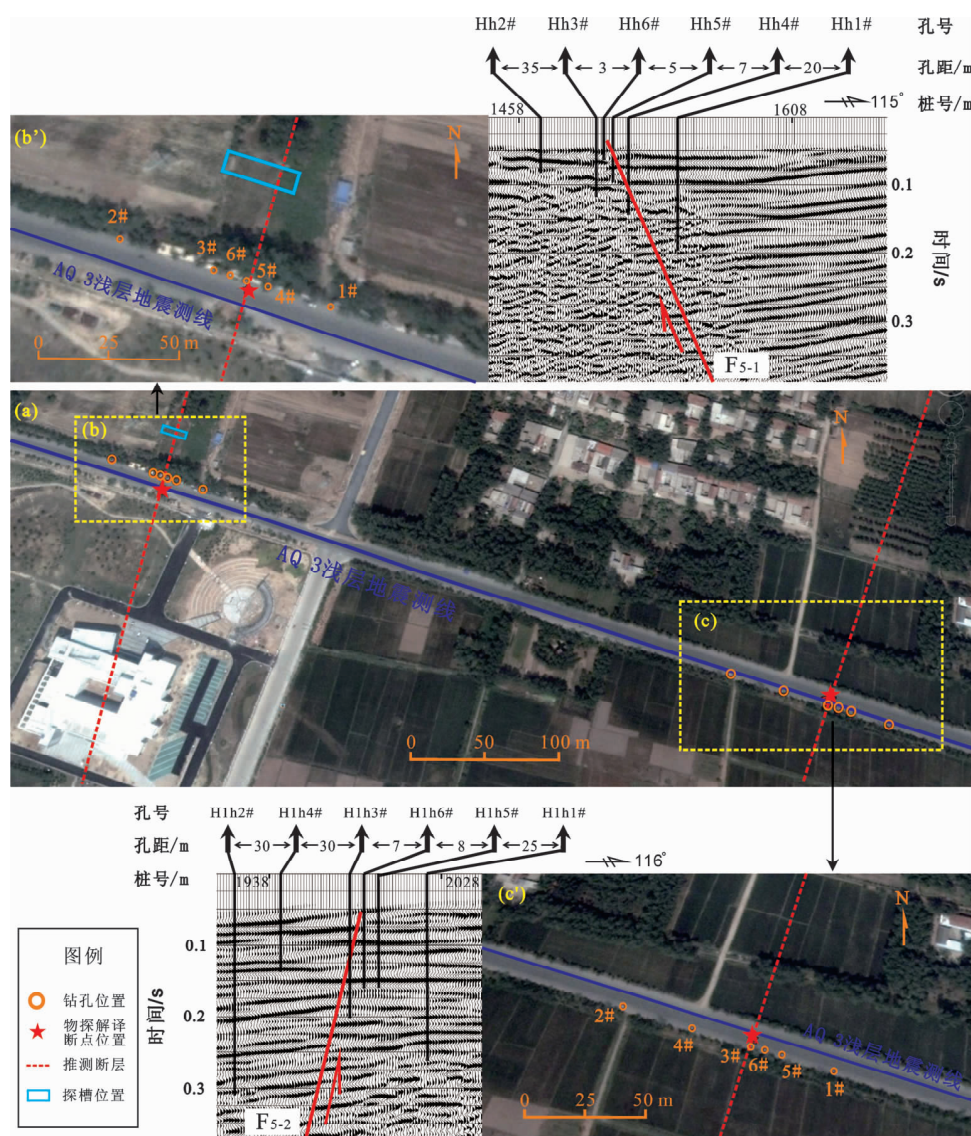


图6 AQ3测线场地位置图 (a)、 F_{5-1} 钻孔联合剖面位置图 (b) 和 F_{5-2} 钻孔联合剖面位置图 (c)

Fig. 6 Site location map of survey line AQ3 (a), location of composite drilling profile of the Fault F_{5-1} (b) and location of the composite drilling profile of the Fault F_{5-2} (c)

阶地处断层断错含姜结石的上更新统，形成约 2 m 宽的破碎带，断层在全新统灰黑色黏土中隐形，断层影响至现代耕作土底部（图 4d）。重岗山段断层陡坎高约 1 ~ 2 m，中新统下草湾组逆冲至全新统之上（图 4e），断层带宽小于 0.5 m，向下归为 1 支主干断层。

航片及野外实测结果表明安丘—莒县断裂南段表现为右旋走滑运动。露头剖面显示断层为高倾角断层，多为白垩系或新近系逆冲至上更新统或全新统之上，断层最新活动表现为挤压逆冲构造，这与区域现今 NEE—SWW 的主压应力相耦合（程捷，万天丰，1996；Zhu, Shi, 2011；Liu *et al*,

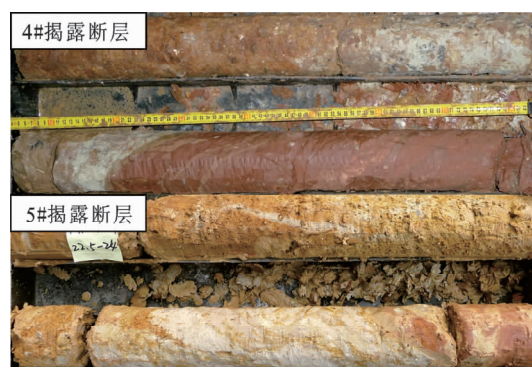


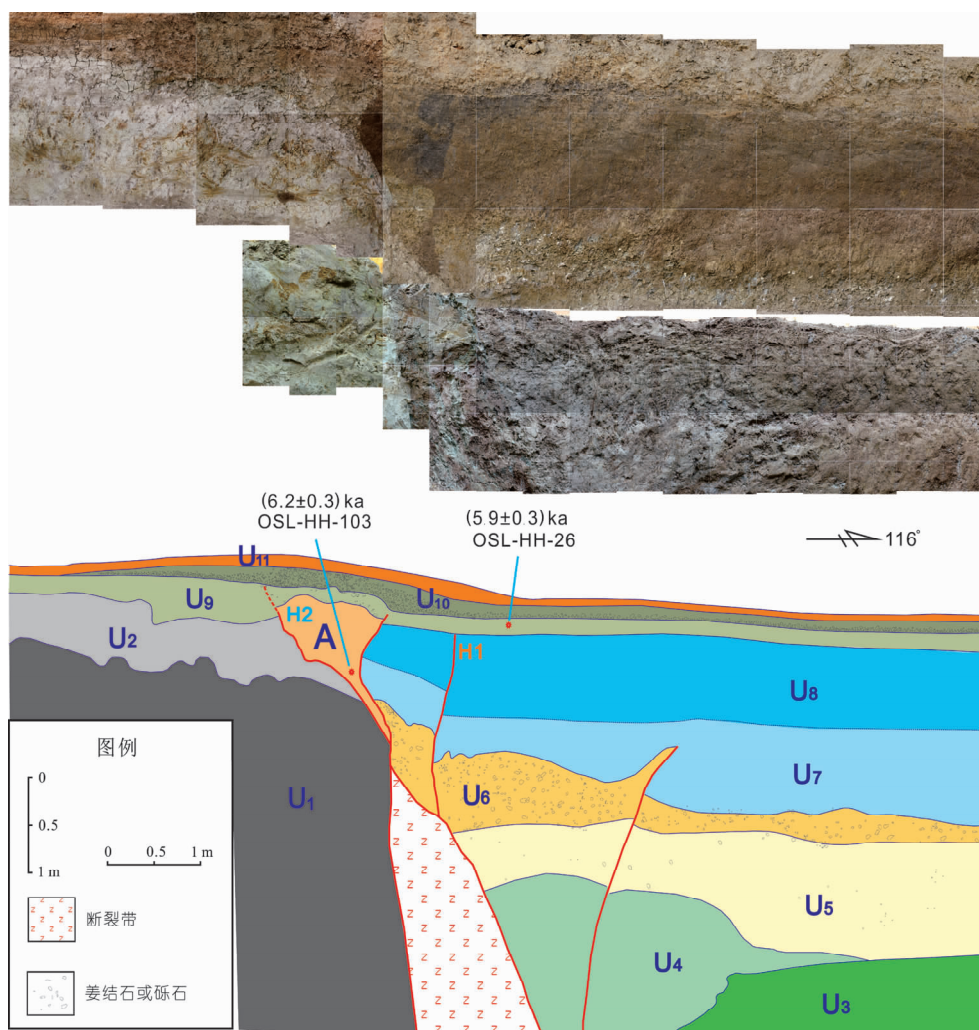
图7 沿 AQ3 测线探测 F_{5-1} 的钻孔剖面揭露断层
Fig. 7 A fault revealed by exploring F_{5-1} drilling section along the AQ3 line

2015)。安丘—莒县断裂南段断层露头剖面均断错至地表，断层明显断错上更新统咸咀组 and 全新世统，是全新世活动断层（图 4）。因此，郯庐带安丘—莒县断裂南段在近地表表现为高倾角走滑断层，同时兼有挤压逆冲性质。

2.2 浅部构造特征

许汉刚等（2016）利用物探资料发现安丘—莒县断裂南段的中部宿迁段在浅部由 2 支断层组成，且 2 支断层的活动性存在明显差异。活动强的分支（ F_{5-1} ）断错物探剖面内的全部同相轴，推测

为全新世活动断层；活动性相对较弱的分支（ F_{5-2} ）被一定厚度地层所覆盖，没有出露地表，推测可能为晚更新世活动断层。综合现有浅层地震资料（图 5）发现安丘—莒县断裂南段整体基本都是由 2 分支断层组成，只是向南至泗洪重岗山地区后 2 分支断层可能归于山前的一条断层。安丘—莒县断裂南段 2 分支断层在浅部都表现为高倾角断层，不同段落随地形起伏变化，断层的倾向也不同。受区域挤压应力作用，剖面上 2 分支断层各自表现为挤压逆冲构造样式。



U₁: 灰白色宿迁组地层; U₂: 灰白色中砂、发育竖条状、蠕虫状黏土层; U₃: 黄棕色充填小姜结石砾石黏土层; U₄: 灰白色砂质黏土, 发育棕色黏土条带层; U₅: 黄棕色、青灰色含有石英砾石黏土层; U₆: 黄色加青灰色条带状黏土, 充填大量磨圆度姜结石层; U₇: 棕红色黏土层; U₈: 灰黑色黏土, 发育竖状节理层; U₉: 红棕色砂, 含少量黏土层; U₁₀: 充填砂的砾石层; U₁₁: 人工耕作土; A 黄绿色中、细砂质黏土, 含有小砾石楔体。

图 8 测线 AQ3 北侧探槽 (34°0'51.32"N, 118°18'23.08"E) 北壁剖面及解释图
(据曹筠等 (2015) 修改)

Fig. 8 Map of north wall trench of the AQ3 line on the northern side and its interpretation
(Modified from Cao *et al.* (2015))

如 AQ3 测线剖面中断层断错了自下而上全部同相轴, 由于 2 分支断层的活动使得 2 个断层间地层呈向上弧形, 且断层附近地层有明显向上拖拽的现象。 F_{5-1} 西侧基岩埋深较浅, 第四系很薄, 而两断层之间则较深, 推测可能在 200 ~ 300 m, 断层 F_{5-2} 以东的基岩埋深则较稳定在 100 m 以上。AQ5 测线剖面中两断层附近绕射波发育, 断层附近地层表现为强烈弯曲变形。浅层物探资料结果显示安丘—莒县断裂南段在浅部由 2 分支断层组成, 2 分支断层在浅部表现为高倾角断层, 向南至泗洪重岗山地区后归于山前一支断层。

2.3 钻孔联合剖面 and 探槽

综合安丘—莒县断裂南段各测线显示断层特点、测线位置和测线周边场地情况, 分别沿 AQ3 测线和平行 AQ5 测线布设 4 排钻孔联合剖面, 并在 AQ3 附近有条件的地方开挖一个古地震探槽。

2.3.1 沿 AQ3 测线的钻孔联合剖面 and 探槽

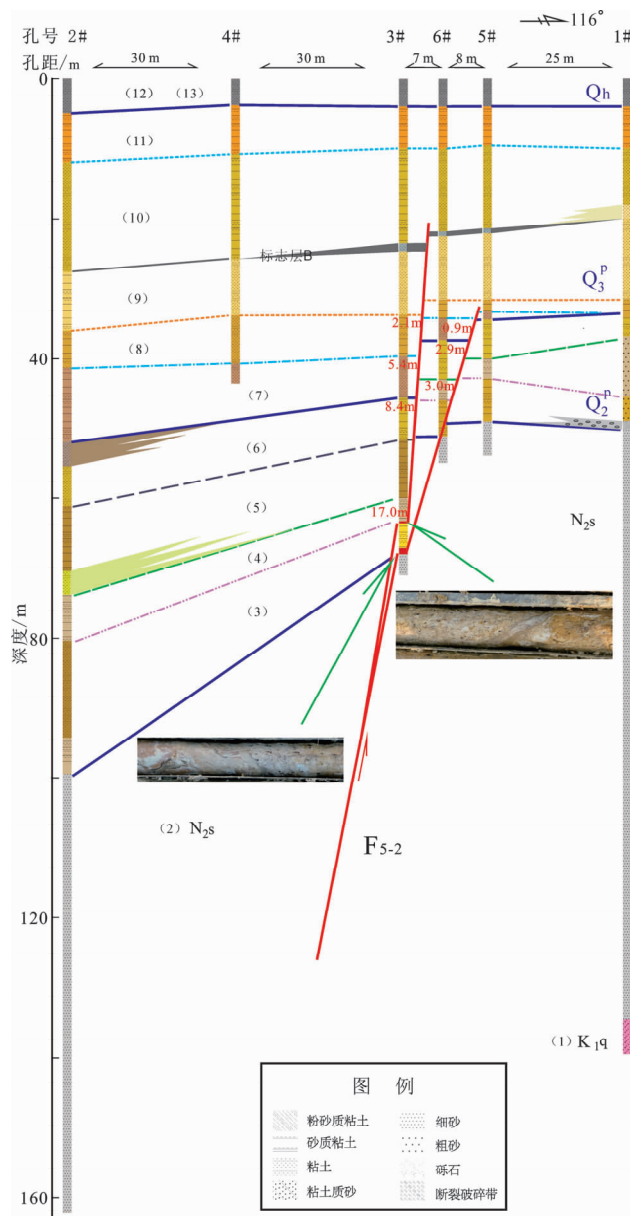
综合测线 AQ3 周围场地条件, 沿测线布设了 2 排钻孔联合剖面 and 1 个探槽 (图 6)。

断层 F_{5-1} 的钻孔剖面揭示王氏组逆冲至第四系之上 (图 7)。布设钻孔位置的沥青路面比路北侧的麦田高 4 m 多, 钻孔剖面所揭露上更新统之上约 4 m 多地层的测年结果明显偏老, 且测年结果存在倒转现象, 这可能与修路过程后期人为填土或修路时人为扰动等因素有关, 因此在路北麦田中开挖探槽 (图 6, 8)。

探槽揭示宿迁组逆冲至第四系之上。探槽中识别的最新一次古地震事件是断层断错层 U_9 , 形成断层陡坎, 后被层 U_{10} 所覆盖, 层 U_{10} 形成超覆的坎前堆积。据当地居民介绍, 探槽周围原有小冲沟和河道, 因此带来大量磨圆度较好的小砾石和少许砂堆积的层 U_{10} , 层 U_{10} 厚约 20 cm。利用被断错层 U_9 的年龄, 限定最新事件发生在 (5.9 ± 0.3) ka B. P. 以后 (图 8)。

关于断层 F_{5-2} 钻孔剖面, 在测线 AQ3 的桩号 1 920 和 2 020 的位置布设钻孔 H1h2# 和 H1h1# 作为剖面西端和东端, 参考对折定位方法 (雷启云等, 2011; 曹筠等, 2015) 在两孔之间先后实施孔 H1h3#, H1h4#, H1h5#, H1h6#。剖面长 100 m, 最小孔间距 7 m, 最大 35 m, 单孔孔深最大 162.2 m, 最小 43.6 m, 累进进尺 522.7 m (图 6、9)。

在 3# 的 63.5 m 和 67.6 m 处揭示断层 (图 9),



层 (1): 青山组凝灰岩; 层 (2): 宿迁组灰白色、灰黄色中、细砂; 层 (3): 灰黄色、黄棕色黏土质砂, 局部锰结核富集; 层 (4): 灰白色、灰色砂质黏土, 含砂量大; 层 (5): 棕黄色、黄色黏土, 偶见小姜结石; 层 (6): 黄色、少许青灰色砂质黏土, 偶见小姜结石; 层 (7): 黄棕色、灰黄色黏土质砂, 偶见钙质结核、姜结石; 层 (8): 棕黄色、灰黄色砂质黏土, 砂质较层 (9) 多; 层 (9): 黄棕色、灰黄色黏土, 含有砂质, 锰结核和姜结石; 标志层 B: 青灰色、灰白色黏土, 含有锰结核和姜结石; 层 (10): 黄棕色, 少许青灰色黏土, 含有锰结核, 偶见姜结石; 层 (11): 黄棕色、青灰色砂质黏土, 含有锰结核和姜结石; 层 (12): 灰黑色、灰黄色, 局部灰色黏土, 含有锰结核; 层 (13): 路面沥青

图 9 沿 AQ3 测线断层 F_{5-2} 钻孔联合剖面
(断层附近红字代表对应层位的断距)

Fig. 9 Composite drilling section exploring the Fault F_{5-2} along the AQ3 line (red words represent fault displacement of the corresponding layers)

断层表现为宿迁组逆冲至第四系之上, 断层带主要是灰白色掺杂黄棕色砂质黏土。利用 3#、5#、6#揭示的灰色黏土层(标志层 B)并结合各层在钻孔间的延伸趋势和坡度变化判定断层位置。断层两侧各层随深度增加而断距不断增大, 层(11)底界在剖面整体变化不大, 可作为断层上断点的上限(图 9)。

综合测线 AQ3、2 排钻孔剖面和探槽结果, 限定该场地安丘—莒县断裂 F_{5-1} 分支最新活动时间晚于 (5.9 ± 0.3) ka B. P.。

2.3.2 平行 AQ5 测线的钻孔联合剖面

综合测线 AQ5 周围场地条件, 沿物探推测的断层走向向南平移, 在近平行于测线的位置布设两排钻孔联合剖面(图 10)。

(1) 断层 F_{5-1} 钻孔剖面。在对应于桩号 5 670 m 和 5 760 m 的位置布设孔 Nj1#和 Nj2#作为剖面西端和东端, 在两孔之间先后实施孔 Nj3#、Nj4#、Nj5#、Nj6#。剖面长 90 m, 最小孔间距 6 m, 最大 30 m, 单孔孔深最大 101 m, 最小 39 m, 累计进尺 447 m(图 10、11)。

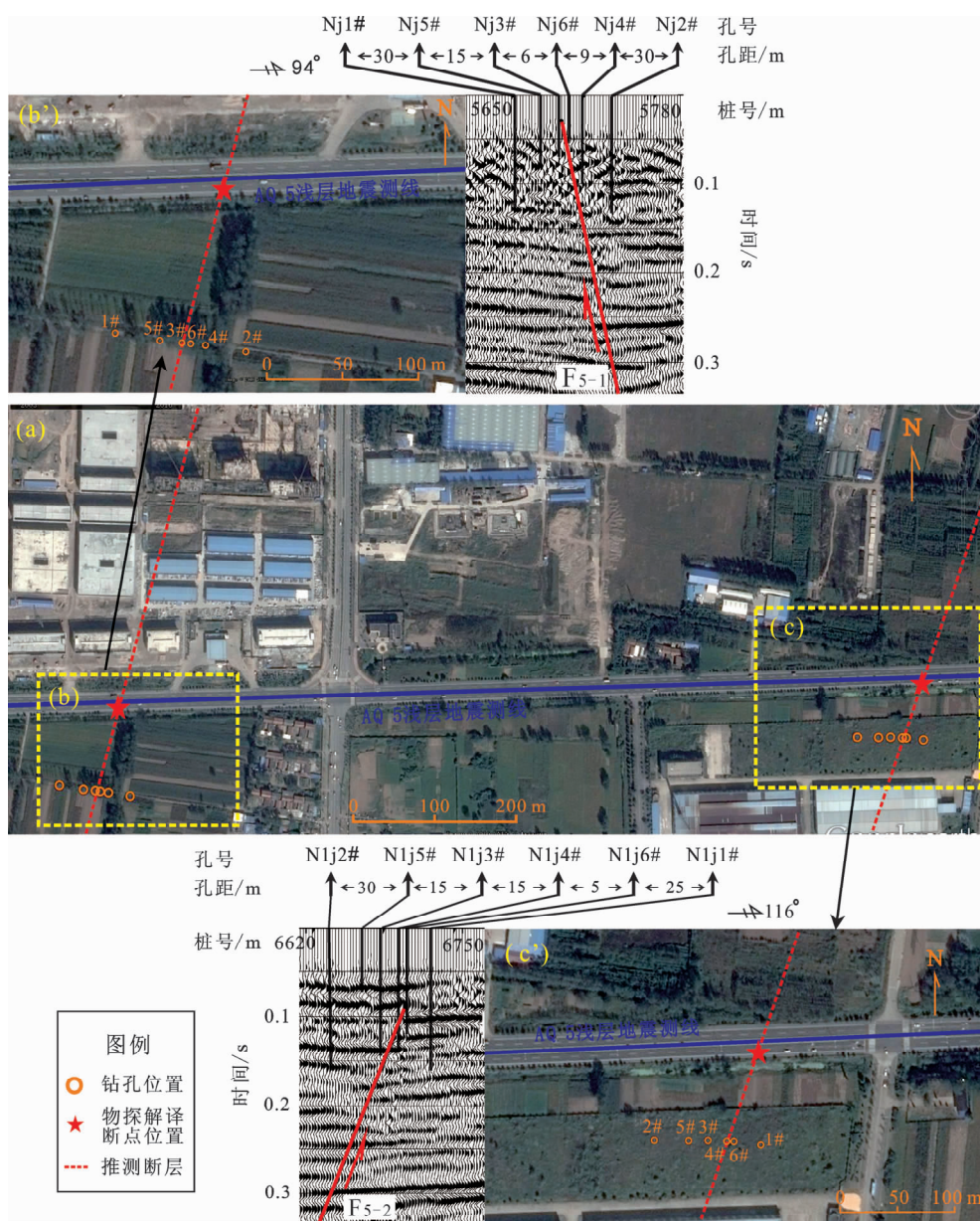
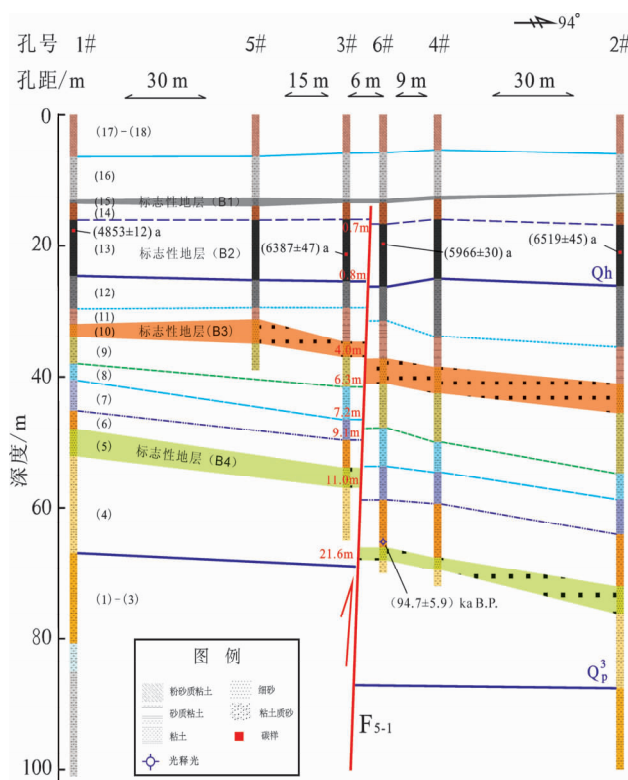


图 10 AQ5 测线场地位置图 (a)、 F_{5-1} 钻孔联合剖面位置图 (b) 和 F_{5-2} 钻孔联合剖面位置图 (c)

Fig. 10 Site location map of the line AQ5 (a), location of composite drilling profile of the Fault F_{5-1} (b) and location of composite drilling profile of the Fault F_{5-2} (c)

利用剖面中2套黏土层和2套砂层作为标志层(B1~B4)并结合各层在各孔之间的延伸趋势和坡度变化,判断断层位于3#和6#之间。各层随深度增加而断距不断增大,标志层B3顶、底界断距分别为2.5 m和4 m,而层B4的断距已达到11 m。层B1的底界在3#和6#之间没有断距,可作为判断断层上断点的上限(图11)。



层(1): 浅褐青色, 棕黄色黏土; 层(2): 褐青色, 少许棕黄色黏土, 含有小砾石和姜结石; 层(3): 棕黄色, 灰色, 局部褐青色黏土, 偶见姜结石和小砾石; 层(4): 棕黄色, 褐灰色黏土, 局部为粉砂质; 层(5): 灰黄色, 局部棕色细砂; 层(6): 深褐灰色, 少许棕黄色黏土; 层(7): 棕黄色, 少许褐灰色黏土; 层(8): 浅褐灰色, 少许棕黄色黏土; 层(9): 棕黄色, 浅棕黄色, 少许褐青色黏土; 层(10): 棕红色细砂; 层(11): 浅褐青色, 少许棕黄色黏土, 局部是砂质黏土; 层(12): 棕黄色, 极少浅褐灰色黏土; 层(13): 灰黑色, 黑色, 深灰色粉砂质黏土, 局部为黏土; 层(14): 棕红色, 棕黄色, 少许褐灰色黏土, 含有大量铁质结核; 层(15): 黑色, 灰黑色黏土; 层(16): 棕色, 浅灰色粉砂质黏土; 层(17): 棕色, 棕红色粉砂质黏土; 层(18): 地表耕作土

图11 平行于AQ5测线断层F₅₋₁的
钻孔联合剖面^①

Fig. 11 Composite drilling section exploring the
F₅₋₁ paralleled the AQ5 line

(2) 断层F₅₋₂钻孔剖面。在对应于桩号6720 m和6630 m的位置布设孔N1j1#和N1j2#作为剖面的东端和西端,在两孔之间先后实施孔N1j3#、N1j4#、N1j5#、N1j6#。剖面长90 m,最小孔间距5 m,最大30 m,单孔孔深最大114 m,最小41 m,累计进尺517 m(图10,12)。

在4#的56.3 m处揭露断层(图12),剖面揭示断层上、下盘岩性差别很大,2盘几乎没有可对比层位,这可能与安丘—莒县断裂南段走滑运动有一定关系。结合物探显示断层西倾,断层下盘的几个钻孔揭露的地层坡度起伏不大,可以判断断层上端点位于4#和6#之间。层(19)的底界在4#和6#之间没有变化作为断层上断点的上限(图12)。

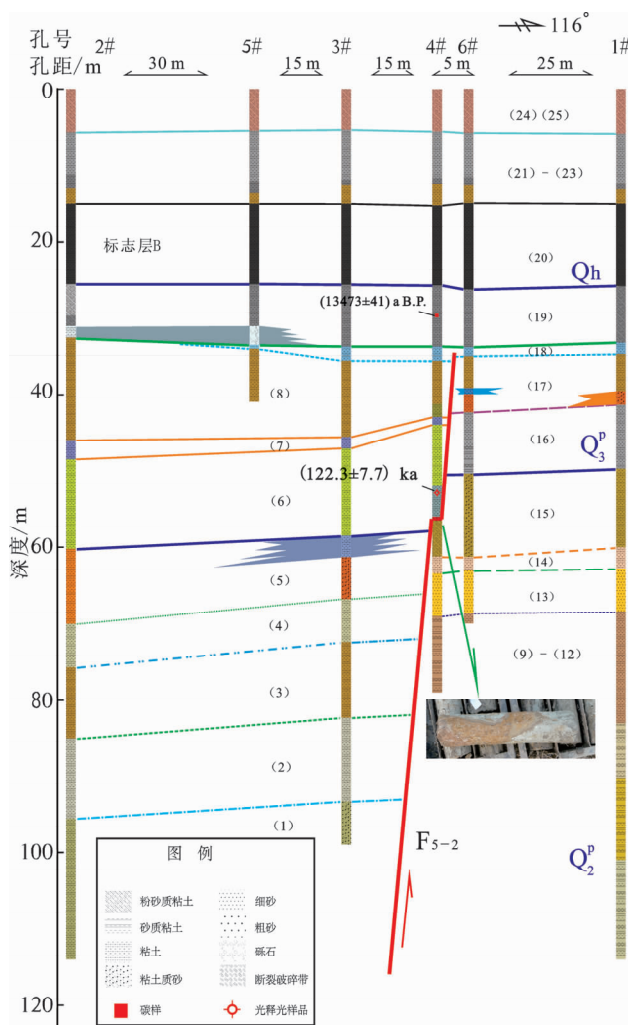
综合物探和钻孔、测年结果,限定该场地安丘—莒县断裂F₅₋₁分支最新活动时代晚于距今约4800 a; F₅₋₂分支活动时代不早于(13473±41) a B. P.。

3 安丘—莒县断裂南段浅部构造样式和晚第四纪活动特征讨论

以区域岩性地层研究成果比对钻孔剖面所揭露地层,图9剖面揭露的层(12)质软,可塑性好,应为全新统。层(8)~(11)富含钙质结核和姜结石,层(7)明显含砂量增加且向上是1套典型的旋回地层;层(6)开始出现红棕色,且含砂量明显增多,层(6)应为中更新统,其上地层为上更新统。图11剖面的层(13)至地表都是含粉砂质,质软黏土,应为全新统。层(4)~(12)是2套典型的正旋回地层,为上更新统。层(3)之下地层主要以褐色为主,因此层(3)是中更新统的顶界。图12剖面层(20)~(25)属于质软,含粉砂质的全新统。更新统上、下盘岩性差别较大,层(6)~(8)是典型的富含钙质结核的上更新统,层(16)~(19)也是典型含钙质结核,1套正旋回的上更新统。剖面其余地层则主要以褐色、棕红色为主,为中更新统。

3个钻孔联合剖面的测年结果较好地符合地层年龄趋势,进一步验证地层单元的划分,同时也

① 曹筠,冉勇康,许汉刚,等.2018.郯庐断裂带江苏段安丘—莒县断裂全新世活动及其构造意义.



层 (1): 棕灰色、灰色黏土, 含有姜结石、锰结核; 层 (2): 灰色、褐灰色黏土, 局部砂质; 层 (3): 棕黄色、青灰色黏土、局部粉砂质; 层 (4): 棕灰色、灰色黏土, 含有钙质结核; 层 (5): 棕红色黏土质砂, 含有铁质结核; 层 (6): 棕黄色, 少许褐青色黏土, 质硬, 含钙质结核; 层 (7): 棕黄色黏土、含钙质结核; 层 (8): 棕黄色、青灰色黏土, 质硬, 含钙质结核、姜结石层; 层 (9): 棕黄色、灰白色砂质黏土, 局部锰结核富集, 含有小姜结石; 层 (10): 灰色、少许棕黄色砂质黏土; 层 (11): 棕红色、灰色砂质黏土; 层 (12): 灰色砂质黏土; 层 (13): 棕黄色细砂; 层 (14): 灰青色黏土, 含有姜结石; 层 (15): 棕红色、棕黄色黏土质砂, 含有锰结核; 层 (16): 灰色、少许棕色砂; 层 (17): 褐灰色、灰色黏土, 局部含有砂质; 层 (18): 浅灰色、少许棕黄色黏土, 质硬; 层 (19): 灰色、棕黄色砂质黏土, 底部存在一套砾石层, 偶见钙质结核; 层 (20): 灰黑色、黑色黏土, 质较软; 层 (21): 棕色、棕黄色黏土, 局部粉砂质, 含大量锈色斑点, 铁质结核; 层 (22): 灰黑色、黑色黏土, 至软; 层 (23): 棕色、棕灰色黏土, 局部粉砂质, 有一定的可塑性; 层 (24): 棕色、少许棕黑色粉砂质黏土, 可塑性非常好; 层 (25): 表层填土

图 12 平行于 AQ5 测线断层 F_{5-2} 的钻孔联合剖面

Fig. 12 Composite drilling section exploring the F_{5-2} paralleled the AQ5 line

为限定断层晚第四纪活动性提供更加充足的证据。测线 AQ3 场地显示断层 F_{5-1} 最新活动时代晚于距今 5 900 a, 断层 F_{5-2} 最新活动时代为晚更新世; 测线 AQ5 场地显示断层 F_{5-1} 最新活动时代晚于距今 4 800 a, 断层 F_{5-2} 最新活动时代明显早于距今 13.5 ka。综合地表露头剖面、浅层地震勘探、钻孔联合剖面 and 探槽结果, 限定郯庐带安丘—莒县断裂南段断层 F_{5-1} 是全新世活动断层, 断层 F_{5-2} 是晚更新世活动断层。

安丘—莒县断裂南段是区域重要的走滑调节断层 (万天丰等, 1996; 张岳桥, 董树文, 2008), 走滑运动使得局部剖面的两盘岩性地层不能很好地对比, 如图 12 中钻孔剖面所示, 局部露头或剖面中可能显示正断或逆冲性质。结合区域第四纪尤其是晚第四纪以来的构造应力场情况, 本文露头剖面、钻孔和探槽结果, 郯庐带安丘—莒县断裂南段在近地表表现为高倾角, 局部近直立断层。露头剖面中白垩系和新近系逆冲至第四系之上, 物探剖面断层附近地层的拖拽现象, 钻孔剖面中部分地层显示挤压隆起构造样式, 因此断层具有挤压逆冲分量。由于安丘—莒县断裂南段 2 分支断层存在明显的活动性差异, 在第四纪尤其晚第四纪时期的区域挤压应力作用下, 随着断层运动的不断调整, 2 分支断层表现为挤压逆冲构造样式。

综合地貌、露头剖面、浅层地震、钻孔联合剖面 and 探槽结果显示郯庐断裂带安丘—莒县断裂南段表现为高倾角, 局部近直立的右旋走滑断层具有挤压逆冲分量。

4 结论

通过野外地质地貌、浅层地震勘探、钻孔联合剖面 and 探槽古地震等多方法手段, 由地表至浅部的系统论述郯庐带安丘—莒县断裂南段的浅部构造格架和断层晚第四纪活动特征, 得出以下结论:

(1) 郯庐带安丘—莒县断裂南段在浅部是由 2 高倾角分支断层组成, 延伸至泗洪重岗山地区后 2 分支断层可能归于山前一条断层。出露地表的分支断层, 以右旋走滑运动为主兼有挤压逆冲分量, 由于走滑运动使得局部露头剖面的逆冲样式表现

地并不十分明显;未出露地表的分支断层在浅层地震和钻孔剖面中都表现为逆冲性质,这些都与区域第四纪以来的主压应力方向相耦合。

(2) 郯庐带安丘—莒县断裂南段2分支断层晚第四纪活动性存在非常明显的差异。通过地表露头、浅层地震、钻孔联合剖面和探槽研究结果,断层 F_{5-1} 是全新世活动断层,而断层 F_{5-2} 是晚更新世活动断层。

野外工作期间得到宿迁市地震局单士敏副局长和朱红处长的多方协调和帮助,地震动力学国家重点实验室提供了样品的测试服务工作,两位审稿专家对本文提出了宝贵修改意见,在此一并表示感谢。

参考文献:

- 曹筠,冉勇康,许汉刚,等. 2015. 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, 37(2): 430–439.
- 晁洪太,李家灵,崔昭文,等. 1994. 全新世活断层的特征滑动行为与特征地震[J]. 内陆地震, 8(4): 297–304.
- 晁洪太,李家灵,崔昭文,等. 1997. 郯庐断裂带潍坊—嘉山段全新世活动断层的活动方式与发震模式[J]. 地震研究, 20(4): 70–78.
- 程捷,万天丰. 1996. 郯庐断裂带在新生代的演化[J]. 地质科技情报, 15(3): 35–42.
- 邓起东,冉勇康,杨晓平,等. 2007. 中国活动构造图(1:400万)[M]. 北京:地震出版社.
- 高维明,郑朗荪,李家灵,等. 1988. 1668年郯城8.5级地震的发震构造[J]. 中国地震, 4(3): 9–15.
- 国家地震局. 1995. 中国历史强震目录(公元前23世纪—公元1911年)[M]. 北京:地震出版社.
- 国家地震局地质研究所. 1987. 郯庐断裂[M]. 北京:地震出版社.
- 江苏省地质矿产局. 1984. 江苏省及上海市区域地质志[M]. 北京:地质出版社.
- 雷启云,柴炽章,孟广魁,等. 2011. 隐伏活断层钻孔联合剖面对折定位方法[J]. 地震地质, 33(1): 45–55.
- 李家灵,晁洪太,崔昭文,等. 1991. 郯庐断裂带都城~新沂段活断层研究[M]//国家地震局地质研究所. 活动断裂研究(1). 北京:地震出版社, 164–173.
- 李家灵,晁洪太,崔昭文,等. 1994a. 1668年郯城8(1/2)级地震断层及其破裂机制[J]. 地震地质, 16(3): 229–237.
- 李家灵,晁洪太,崔昭文,等. 1994b. 郯庐活断层的分段及其大震危险性分析[J]. 地震地质, 16(2): 121–126.
- 李起彤. 1994. 郯庐断裂带江苏段全新世活动新证据[M]//国家地震局地质研究所. 活动断裂研究(3). 北京:地震出版社, 140–145.
- 郯庐活动断裂带地质填图课题组. 2013. 郯庐活动断裂带地质图(1:50000)[M]. 北京:地震出版社.
- 万天丰,朱鸿,赵磊,等. 1996. 郯庐断裂带的形成与演化[J]. 现代地质, 10(2): 159–168.
- 谢瑞征,朱书俊,丁政. 1991. 郯庐断裂带江苏段全新世活动问题的商榷[J]. 地震学刊, (4): 15–18.
- 徐锡伟,吴熙彦,于贵华,等. 2017. 中国大陆高震级地震危险区判定的地震地质学标志及其应用[J]. 地震地质, 39(2): 219–275.
- 许汉刚,范小平,冉勇康,等. 2016. 郯庐断裂带宿迁段 F_5 断裂浅层地震勘探新证据. 地震地质[J], 38(1): 31–43.
- 易桂喜,闻学泽. 2007. 多地震活动性参数在断裂带现今活动习性与地震危险性评价中的应用与问题[J]. 地震地质, 29(2): 254–271.
- 张鹏,李丽梅,冉勇康,等. 2015. 郯庐断裂带安丘—莒县断裂江苏段晚第四纪活动特征研究[J]. 地震地质, 37(4): 1162–1176.
- 张岳桥,董树文. 2008. 郯庐断裂带中生代构造演化史:进展与新认识[J]. 地质通报, 27(9): 1371–1390.
- 郑朗荪,高维明,郑传贝. 1988. 郯庐断裂带的分段与沂沭断裂的活动性[J]. 中国地震, 4(3): 129–135.
- 中国地震局. 1999. 中国近代地震目录(公元1912年—1990年, $M_s \geq 4.7$)[M]. 北京:中国科学技术出版社.
- Deng Q D, Zhang P Z, Ran Y K, et al. 2003. Basic characteristics of active tectonics of China[J]. Sci China Earth Sci, 46(4): 356–372.
- Liu B, Zhu G, Zhai M, et al. 2015. Quaternary faulting of the jiangsu part of the tan – lu fault zone, east china: evidence from field investigations and osl dating[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 114(5): 89–102.
- Min W, Liu Y, Jiao D, et al. 2013. Evidence for Holocene activity of the Yilan – Yitong fault, northeastern section of the Tan – Lu fault zone in Northeast China[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 68: 207–216.
- Zhu G, Niu M L, Xie C L, et al. 2010. Sinistral to normal faulting along the Tan – Lu Fault Zone: evidence for geodynamic switching of the East China continental margin[J]. Journal of Geology, 118(3): 277–293.
- Zhu S, Shi Y. 2011. Estimation of GPS strain rate and its error analysis in the Chinese continent[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 40(1): 351–362.

Late Quaternary Activity in the Southern Segment of the Anqiu – Juxian Fault of the Tan – Lu Fault Zone

CAO Jun^{1,2}, RAN Yongkang², XU Hangang³, LI Yanbao², MA Xingquan², ZHANG Peng³, LI Limei³

(1. *Hebei Earthquake Agency, Shijiazhuang 050021, Hebei, China*)

(2. *Key Laboratory of Active Fault and Volcano, Institute of Geology, China Earthquake Administration, Beijing 100029, China*)

(3. *Jiangsu Earthquake Agency, Nanjing 210014, Jiangsu, China*)

Abstract

In this paper, based on field geological investigations, shallow seismic exploring, composite drilling and paleoseismic trenching, we focus on structural framework and late Quaternary activity in the southern segment of the Anqiu – Juxian fault. The results show that the Anqiu – Juxian fault is composed of two high dip branch fault in the shallow. Both branch faults are shown as the reversed fault in the profile. One of them that has outcrop shows a right – lateral strike – slip fault in the plane. The exposed branch fault is a Holocene active fault, and the other is late Pleistocene active fault.

Keywords: the Tan – Lu Fault Zone; the Anqiu – Juxian fault; shallow structural framework; fault activity