

潘容清, 陈立春, 李彦宝, 等. 江苏新沂高新区钻孔联合剖面揭示的郯庐断裂带 F5 几何结构特征[J]. 华南地震, 2024, 44(3): 11-22. [PAN Rongqing, CHEN Lichun, LI Yanbao, et al. Geometric Structural Features of the F5 in Tanlu Fault Zone Revealed by Drilling Joint Profile in High-Tech District of Xinyi City, Jiangsu Province[J]. South China journal of seismology, 2024, 44(3)11-22.]

## 江苏新沂高新区钻孔联合剖面揭示的郯庐断裂带 F5 几何结构特征

潘容清<sup>1</sup>, 陈立春<sup>1</sup>, 李彦宝<sup>2</sup>, 曹 筠<sup>3</sup>, 王洪达<sup>1</sup>, 王文超<sup>1</sup>

(1. 桂林理工大学, 广西 桂林 541006; 2. 中国地震局地质研究所, 地震动力学国家重点实验室, 北京 100029;  
3. 河北省地震局, 石家庄 050021)

**摘要:** 郯庐断裂带安丘—莒县断裂(F5)为1668年郯城 $8\frac{1}{2}$ 级地震的发震断裂。该次地震的地表破裂可能已延至新沂市区南侧的南马陵山一带。新沂市活动断层探测结果显示F5断裂以隐伏断裂形式穿经新沂市区, 为全新世活动断裂。在此工作基础上, 我们对F5断裂在高新区一带的空间展布和晚第四纪活动性开展了多条钻孔联合剖面精确定位和综合分析, 揭示该段断裂分为东、西两支, 东支为晚更新世断裂, 西支为全新世断裂, 并呈不连续的右阶斜列状, 并非简单的剪切拉张阶区样式。探测结果为郯庐断裂带未来地震危险性评价和新沂市抗震设防提供了新的资料 and 认识。

**关键词:** 郯庐断裂带; 安丘—莒县断裂; 活动断裂; 晚第四纪; 钻孔联合剖面

中图分类号: P315.2

文献标识码: A

文章编号: 1001-8662(2024)03-0011-11

DOI: 10.13512/j.hndz.2024.03.02

## Geometric Structural Features of the F5 in Tanlu Fault Zone Revealed by Drilling Joint Profile in High-Tech District of Xinyi City, Jiangsu Province

PAN Rongqing<sup>1</sup>, CHEN Lichun<sup>1</sup>, LI Yanbao<sup>2</sup>, CAO Jun<sup>3</sup>,  
WANG Hongda<sup>1</sup>, WANG Wenchao<sup>1</sup>

(1. Guilin University of Technology, Guilin 541006, China; 2. State Key Laboratory of Earthquake Dynamics,  
Institute of Geology, China Earthquake Administration, Beijing 100029, China;  
3. Hebei Earthquake Agency, Shijiazhuang 050021, China)

**Abstract:** The Anqiu-Juxian Fault (F5) in the Tanlu Fault Zone is the seismogenic fault of the Tancheng  $M8\frac{1}{2}$  earthquake in 1668. The surface rupture caused by this earthquake may have extended to the area of South Maling

收稿日期: 2024-03-27

基金项目: 国家重点研发项目: 多尺度潜在震源判别及模型构建技术研究(2022YFC3003501)

作者简介: 潘容清(1997-), 女, 硕士, 研究方向为活动构造与地质灾害。

E-mail: 1979633081@qq.com

通信作者: 李彦宝(1981-), 男, 副研究员, 主要从事活动构造、古地震与重大工程场地地震安全性评价技术研究等方面的工作。

E-mail: liyanbao@ies.ac.cn

Mountain, south of Xinyi City center. The results of active fault detection in Xinyi City indicate that F5 passes through Xinyi City in the form of a concealed fracture, which is a Holocene active fault. On this basis, this paper carried out the precise positioning and comprehensive analysis of the joint profiles of multiple drillholes in terms of the spatial distribution and Late Quaternary activity of F5 in the high-tech zone, revealing that the fault is divided into the east and west branches, with the east branch being a Late Pleistocene fault and the west branch being a Holocene fault, showing a discontinuous right-ordered diagonal lineup, which is not a simple shear tensile order area. The results provide new information and understanding for the future seismic hazard evaluation of the Tanlu Fault Zone and the earthquake fortification of Xinyi City.

**Keywords:** Tanlu fault; Anqiu-Juxian fault; Active fault; Late Quaternary; Drilling joint profile

## 0 引言

郯庐断裂带是我国东部一条规模巨大、构造和地震活动十分强烈的NNE向岩石圈断裂,南起湖北武穴一带,向北经渤海湾、东北,延伸至俄罗斯境内,全长约3500 km,历史上曾发生过1668年郯城8 $\frac{1}{2}$ 级、公元前70年安丘7级和多次6级以上地震,造成了巨大的人员伤亡和经济损失<sup>[1-4]</sup>。该断裂带的晚第四纪活动性与未来地震危险性一直备受关注。

郯庐断裂带新沂段为隐伏段,其活动性鉴定主要依托物探和钻探等隐伏活动断层探测技术。2016—2020年间,江苏省地震局组织实施了新沂市活动断层探测项目,开展了系统的物探和钻孔联合剖面探测,获得了一些翔实的基础资料和新认识,揭示安丘—莒县断裂(F5)为穿经新沂市区、未来可能发生大震的活动断裂<sup>[5]</sup>。随着新沂高新区的规划建设,中国地震局地质研究所受托对F5在高新区一带的几何结构和全新世活动性开展了更深入的精确定位和研究。本文对其中几条重要的钻孔联合剖面探测结果进行了综合分析和总结,拟为郯庐断裂带地震危险性定量评估和新沂市抗震设防提供基础资料和科学依据。

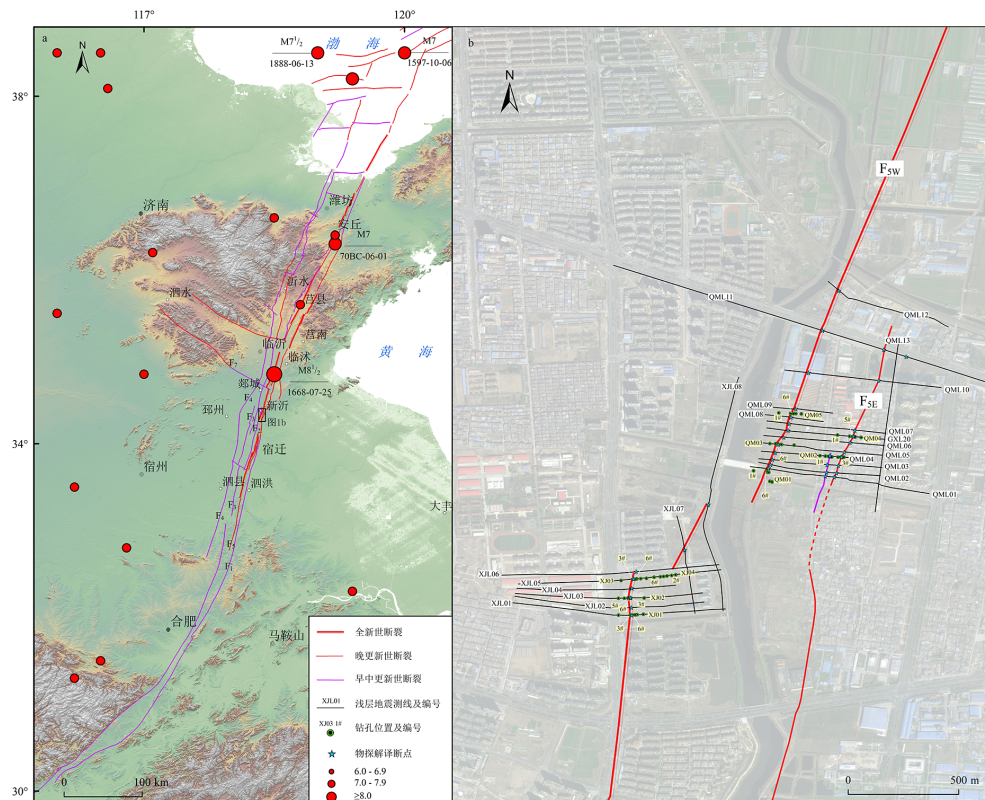
## 1 郯庐断裂带鲁苏沂沭段晚第四纪活动性概述

郯庐断裂带历经了长期的地质历史时期演化,断裂结构非常复杂,总体可分为东北(鹤岗—铁岭段)、渤海海域(下辽河—莱州湾段)、鲁苏沂沭段(潍坊—嘉山段)和嘉山—广济段等4段<sup>[2, 6-8]</sup>。其中,鲁苏沂沭段由昌邑—大店断裂(F1)、白芬子—浮来山断裂(F2)、沂水—汤头断裂(F3)和郯部

—葛沟断裂(F4)等4条主干断裂组成(图1a),控制东、西两个地堑的边界,呈“两堑夹一垒”构造组合样式<sup>[9-11]</sup>。晚第四纪以来,这4条主干断裂迄今均未发现全新世活动迹象,昌邑—大店断裂(F1)、沂水—汤头断裂(F3)和郯部—葛沟断裂(F4)局部地段晚更新世仍有活动,而白芬子—浮来山断裂(F2)未发现晚更新世以来活动形迹。郯庐断裂带晚第四纪变形与地震活动主要发生在东地堑内部新发育的安丘—莒县断裂(F5)上。安丘—莒县断裂(F5)是1668年郯城8 $\frac{1}{2}$ 级和公元前70年安丘7级地震的发震断裂<sup>[2, 12-15]</sup>。

安丘—莒县断裂(F5)自北而南大致可划分为安丘段、莒县—郯城段和新沂—泗洪段等3个大段。根据其晚第四纪活动特征,1/5万活动断裂填图将安丘—莒县断裂细分为11个活动段<sup>[8]</sup>。其中,莒县—郯城一带,1668年郯城地震的地表破裂形迹仍依稀可辨。新沂—泗洪段,又称为马陵山—重岗山断裂,北起山东郯城窑上村附近,向南经北马陵山、南马陵山、宿迁嶂山,延伸到泗洪重岗山、峰山一带,长约130km,总体走向5°~15°,断裂在新沂以北断错地貌现象比较明显,至新沂呈隐伏状,再往南沿几处山丘边局部出露。断裂在新沂区向上部破裂时分为东、西2支相对而立的走滑正断层,构成了安丘—莒县断裂的东、西边界<sup>[16]</sup>。

1668年郯城地震的破裂带南端位置在郯城附近还是一直延伸到宿迁一带,一直存有较大争议。近年来的地质地貌调查和古地震探槽开挖揭示,F5断裂新沂—泗洪段在北马陵山、南马陵山、宿迁合欢路、重岗山、泗洪南紫阳山一带全新世仍有强烈活动<sup>[17-23]</sup>,北马陵山和南马陵山一带的最新一次活动很可能就是1668年郯城地震<sup>[24]</sup>。再往南,至太湖一带,断裂的最新活动可能在第四纪早期,晚更新世以来未发现活动迹象<sup>[25]</sup>。



(a)中F1:昌邑一大店断裂,F2:白芬子—浮来山断裂,F3:沂水—汤头断裂,F4:郯部—葛沟断裂,F5:安丘—莒县断裂,F7:尼山—苍山断裂,黑色方框指示图b位置,(b)中F<sub>5W</sub>:F5断裂西支,F<sub>5E</sub>:F5断裂东支

图1 郯庐断裂带华北段(a)及其安丘—莒县断裂(F5)新沂段平面分布简图(b)

Fig.1 Brief diagram of plane distribution of section in north China (a) and Xinyi section (b) of Anqiu-Juxian Fault (F5) in Tanlu Fault Zone

## 2 新沂高新区钻孔联合剖面探测

### 2.1 浅层地震勘探结果

沿F5断裂,《新沂市锡沂高新区郯庐断裂带F5断裂东支断层活动性鉴定和数据库建设》项目(中国地震局地质研究所,2023)在新沂市区大桥东路以北的黄墩河两侧共布设了22条浅层地震勘探测线(图1b),其中21条测线解释有断点,总计36处断点(表1)。XJL01-XJL05等5条测线中断点西侧基岩埋深相对较浅、基岩面与覆盖层内部的反射波清晰,同相轴呈平缓起伏;断点东侧地层呈下陷趋势,基岩面及上覆地层均有明显的断陷迹象,断面倾向东,角度上陡下缓,断层切割了时间剖面上的所有反射波组同相轴,为正断性质。XJL07与XJL08两条测线断点北侧基岩埋深相对较浅、基岩面与覆盖层内部的反射波清晰,同相轴呈平缓起伏;断点南侧地层呈下陷趋势,基岩面及上覆

地层均有明显的断陷迹象。QML01-QML10与GXL20等十一条测线中左断点西侧基岩埋深相对较深、基岩面与覆盖层内部的反射波清晰,同相轴呈平缓起伏,断面倾向西,高角度近似直立,正断性质。QML01-QML04等4条测线中左断点东侧仅有基岩顶面反射波组发育,基岩顶面反射波组抬升明显,且在右侧两断点间发育一小断陷。QML06、GXL20、QML07、QML10、QML11等5条测线中右侧断点基岩有明显错断迹象,东侧基岩陡然抬升。开展钻孔联合剖面探测的几条浅层地震勘探测线剖面图见图2。

### 2.2 钻孔联合剖面探测

选择XJL01、XJL03、XJL05、QML01、QML04、QML05、QML08与GXL20等8条测线采用对折定位法开展钻孔联合剖面探测,分别命名为XJ01、XJ02、XJ03、XJ04、QM01、QM02、QM03、QM04和QM05,剖面和钻孔位置见图1b。各联合剖面揭露地层的构造特征如下。



表 1 浅层地震勘探解释断点汇总表

Table 1 Summary of interpreted breakpoints for shallow seismic surveys

断点编号	断点位置(桩号(m)/ 测线编号)	断裂性质	倾向	上断点埋深/m	基岩面埋深/m	两侧基岩面落差/m
f1	450/XJL01	正断层	E	21	122~216	50
f2	444/XJL02	正断层	E	22	135~203	52
f3	434/XJL03	正断层	E	20	134~192	42
f4	432/XJL04	正断层	E	18	136~192	53
f5	436/XJL05	正断层	E	18	135~181	41
f6	504/XJL06	正断层	E	15	130~187	40
f7	290/XJL07	正断层	E	22	118 ~ 210	40
f8	492/XJL08	正断层	E	24	112 ~ 215	40
f9-1	70/QML01	正断层	W	4	10 ~ 160	140
f9-2	286/QML01	正断层	E	12	10 ~ 160	18
f9-3	320/QML01	正断层	W	12	10 ~ 160	10
f10-1	46/QML02	正断层	W	5	10 ~ 142	135
f10-2	258/QML02	正断层	E	15	10 ~ 142	45
f10-3	296/QML02	正断层	W	15	10 ~ 142	38
f11-1	52/QML03	正断层	W	10	10 ~ 134	120
f11-2	262/QML03	正断层	E	10	10 ~ 134	40
f11-3	304/QML03	正断层	W	10	10 ~ 134	30
f12-1	52/QML04	正断层	W	6	6 ~ 147	120
f12-2	258/QML04	正断层	E	12	6 ~ 147	62
f12-3	302/QML04	正断层	W	13	6 ~ 147	35
f13-1	56/QML05	正断层	W	5	6 ~ 168	160
f13-2	304/QML05	正断层	W	6	6 ~ 168	4
f14-1	76/QML06	正断层	W	14	12 ~ 150	140
f14-2	326/QML06	正断层	W	15	12 ~ 150	55
f15-1	84/QML07	正断层	W	18	16 ~ 140	140
f15-2	332/QML07	正断层	W	21	16 ~ 140	53
f16	98/QML08	正断层	W	12	10 ~ 143	140
f17	84/QML09	正断层	W	13	10 ~ 154	140
f18-1	90/QML10	正断层	W	15	10 ~ 132	25
f18-2	356/QML10	正断层	W	15	10 ~ 132	70
f19-1	836/QML11	正断层	E	20	10 ~ 120	25
f19-2	1080/QML11	正断层	W	19	10 ~ 120	20
f19-3	1170/QML11	正断层	W	17	10 ~ 120	30
f20	58/QML12	正断层	E	21	20 ~ 100	28
f21-1	120/GXL20	正断层	W	18	10 ~ 167	140
f21-2	366/GXL20	正断层	W	17	10 ~ 167	78



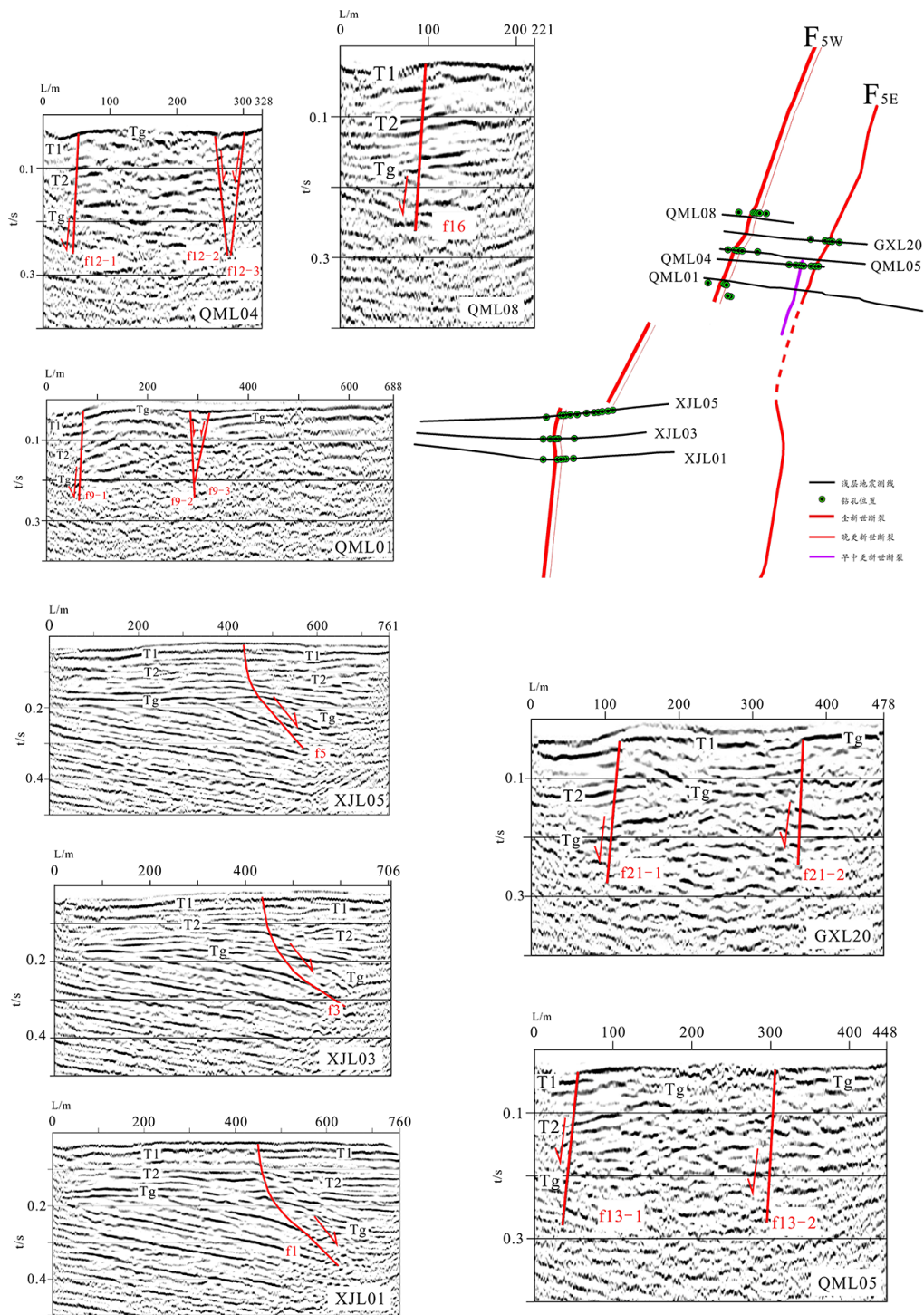


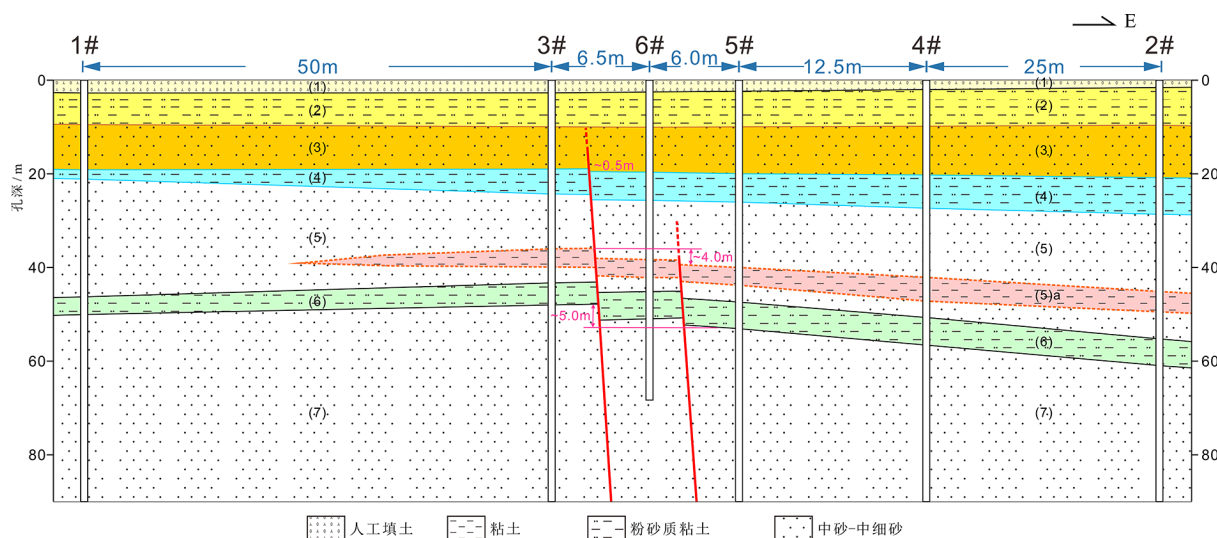
图2 沿F5断裂的典型浅层地震测线剖面

Fig.2 Typical shallow seismic line profile along the fault F5

XJ01剖面沿XJL01测线布设,共6个钻孔,长100 m。各钻孔未达基岩,揭露的第四纪堆积物主要为粘土—粉砂质粘土及砂层(图3)。剖面揭示了两支阶状正断层,其中西支上断点埋深较浅,位于3#和6#之间,断错了层(3)下部,而上覆层(2);东支上断点埋深略深,位于5#和6#之间,断错了层(5)下部地层,上覆层(4)。

XJ02剖面沿XJL03测线布设,共6个钻孔,长

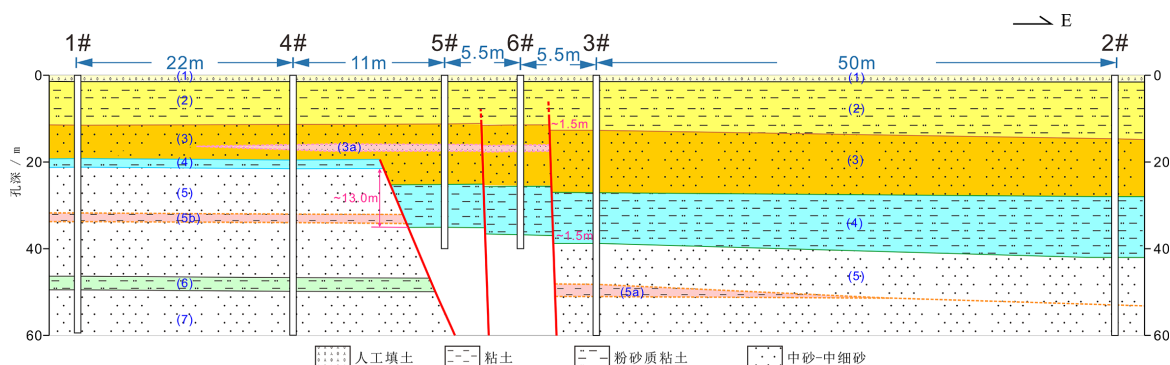
94 m。各钻孔未达基岩,揭露的第四纪堆积物主要为粘土—粉砂质粘土及砂层(图4)。该剖面揭示了三支断层,其中,西支发育在4#和5#之间,上断点埋深较深,断错了层(4),上覆层(3);中支位于5#和6#之间,断错了层(3),上覆层(2);东支上断点埋深最浅,发育于3#和6#之间,向上断错了层(2)底部,上覆层(1)。



红色线条指示断层,虚线表示推测部分;品红色引线及标注指示断距,下同。(1):地表杂填土及近地表灰黑色粉砂质粘土;(2):粉砂质粘土,棕黄—棕红色为主,夹青灰色,中部含钙质结核,结核大小2~8 cm,局部含少量砂;(3):中细砂—中砂,中部较细,灰黄与棕黄色互层;(4):粉砂质粘土,青灰色为主,夹棕黄色,含黄褐色铁质结核及少量白色钙质结核,一般小于1 cm,向下砂质渐多;(5):中砂,含砾,棕黄色为主,夹棕红色,砾石次磨圆,大者砾径约5 cm;中部靠下夹4~5 m厚的粘土,仅局部发育,向西逐渐尖灭;(6):粉砂质粘土,青灰色为主,夹棕黄及棕红色,含少量黑色铁锰质结核,一般小于1 cm,本层整体近断层处呈隆起状,向两侧略倾斜;东盘略有加厚现象;(7):厚层中砂与粘土互层,整体呈棕黄色,局部夹青灰色及黄褐色

图3 XJ01钻孔联合剖面图(沿物探测线XJL01)

Fig.3 Drilling jointe profile of XJ01 (along the geophysical line XJL01)



(1):地表杂填土;(2):粉砂质粘土,上部灰黑色,向下棕黄—棕红色为主,夹青灰色,上部夹黑色铁锰质结核,一般小于1 cm;中部夹白色钙质结核,一般小于1 cm,断层东盘具加厚现象;(3):中砂为主,局部细砂,棕黄色为主;局部见薄层灰红色细砂(层3a);(4):粉砂质粘土,上段棕红色为主,夹少量黑色铁锰质结核,一般小于1 cm,下段棕黄色为主并夹较多青灰色,含少量白色钙质结核,一般1 cm左右;东盘与西盘颜色组成上具一定差别,且东盘明显加厚;(5):中砂,棕黄色—棕红色,偶见砾石,砾径大者达约8 cm,次磨圆;中部夹粘土,东盘(5a)棕黄色为主,向东逐渐尖灭,西盘(5b)棕红色为主;(6):粉砂质粘土,棕黄色,夹青灰色,夹少量黑色铁锰质结核,一般小于1 cm;(7):中砂与粉砂质粘土互层,棕黄色夹青灰色

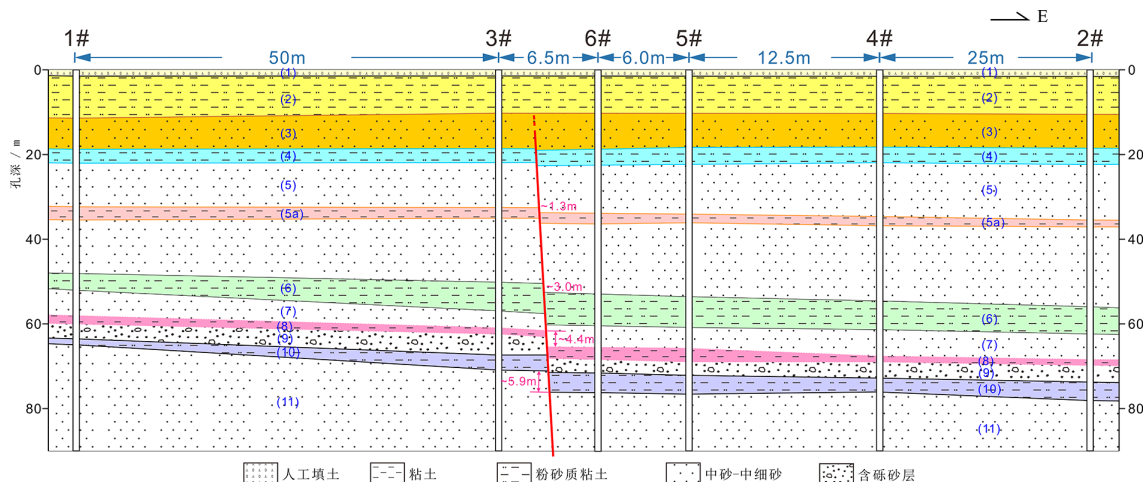
图4 XJ02钻孔联合剖面图(沿物探测线XJL03)

Fig.4 Drilling jointe profile of XJ02 (along the geophysical line XJL03)

XJ03剖面沿XJL05测线西侧布设,共6个钻孔,长100 m。各孔未达基岩,主要为粘土—粉砂质粘土及砂层(图5)。断层位于3#和6#之间,并达至近地表,倾向东,具正倾滑分量。越往深部地层相应的位错量越大。如层(5a)在6.5 m孔间距的情况下,位错量达到1.3 m,而深部的层(6)的位错达到3.0 m,层(8)的位错达到4.4 m,更深的层

(10)位错量达到5.9 m。断层向上断错了层(3)底部,而上覆层(2),倾角为75°~90°。

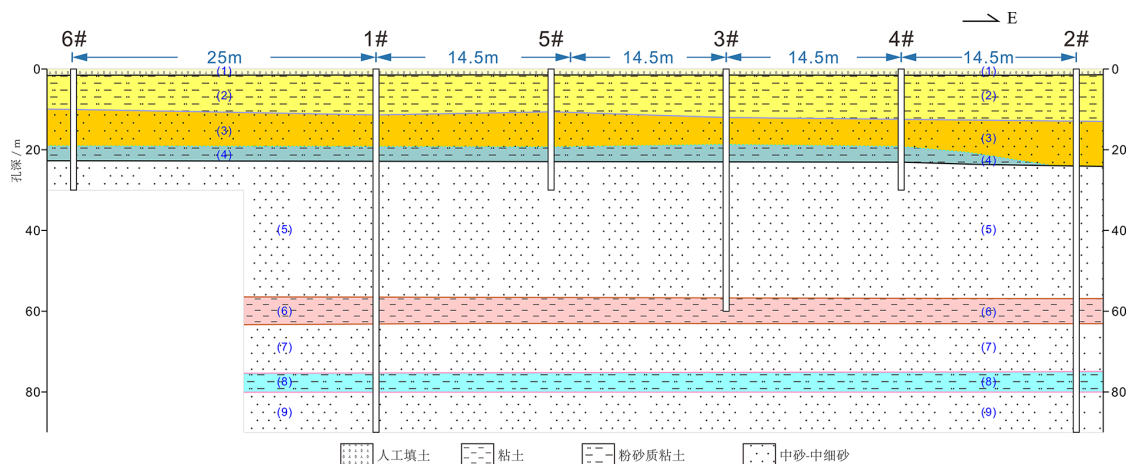
XJ04剖面沿XJL05测线东侧布设,共6个钻孔,长83 m。XJ04剖面揭示的多套非常具标志性特征的地层单元埋深均较为平整,但未见明显落差或构造影响迹象(图6)。



(1):地表杂填土及近地表灰黑色粉砂质粘土;(2):粉砂质粘土,棕黄—棕红色为主,夹青灰色,中部含钙质结核,结核大小2~8 cm;(3):中细砂—中砂,向下渐粗,灰黄—棕黄色,为首层砂;(4):粉砂质粘土,青灰色为主,夹棕黄色,含黄褐色铁质结核,一般小于1 cm,向下砂质渐多;(5):中砂,局部细砂,含砾,棕黄色为主,夹棕红色,砾石次磨圆,大者砾径约5 cm,局部夹薄层粘土(5a);(6):粉砂质粘土,棕黄色为主,局部棕红色,顶部和底部含黑色铁锰质结核、中部含白色钙质结核,断层东盘具加厚现象;(7):中砂,棕红—棕黄色,局部颜色较深,含少量砾石,厚度具一定起伏变化,但整体东盘较厚;(8):粘土,棕红色,东盘近断层处具加厚现象;(9):中砂,棕红—棕黄色,局部颜色较深,含少量砾石;(10):粉砂质粘土,青灰色为主,夹棕黄色,东盘具加厚现象;(11):中砂—中细砂为主,局部夹薄层粘土,偶见砾石,整体呈棕黄色

图5 XJ03钻孔联合剖面图(沿物探测线XJL05西侧)

Fig.5 Drilling joint profile of XJ03 (along the west side of geophysical line XJL05)



(1):地表杂填土及近地表灰黑色粉砂质粘土;(2):粉砂质粘土,整体棕黄色,中部青灰色较多,下部棕红色渐增,中段夹白色钙质结核,一般1~2 cm;(3):中砂—中细砂,中段较细,整体棕黄色,局部发灰;(4):粉砂质粘土,青灰色为主,夹棕黄色,夹较多黑色铁锰质结核,一般小于1 cm,在最东侧孔西侧尖灭;(5):中砂为主,厚层,局部夹粘土,棕黄色为主,局部棕红色,见少量砾石,次磨圆,大者约5 cm左右;(6):粘土层,棕黄色为主,夹白色钙质结核,大者达约5cm,另见黑色铁锰质结核,一般小于1 cm;(7):中砂,棕黄色—棕红色,偶见砾石,砾径大者达约5~8 cm,次磨圆;(8):粉砂质粘土,棕黄—棕红色,夹青灰色,向下砂质增强,夹少量黑色铁锰质结核和白色钙质结核,一般小于1 cm;(9):中砂,整体呈棕红色,局部见少量砾石,局部见棕红色粘土

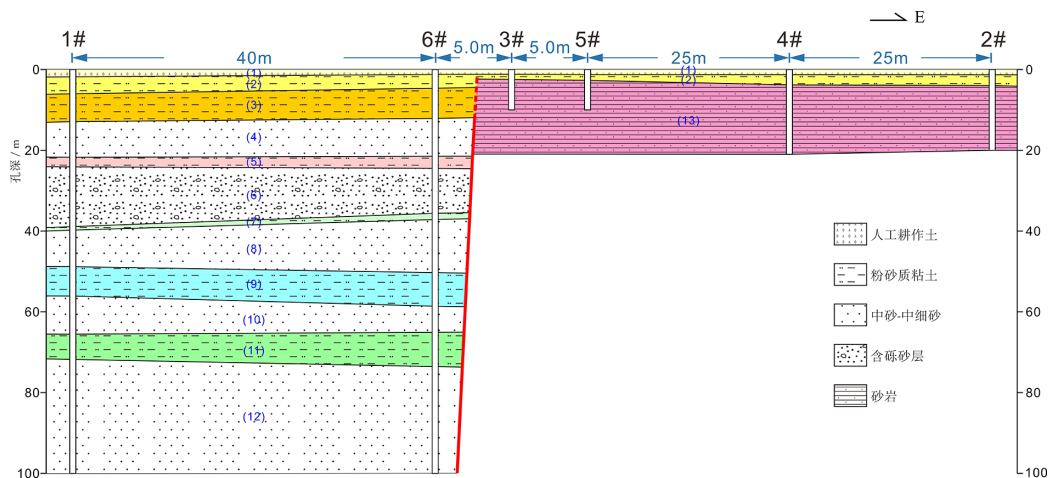
图6 XJ04钻孔联合剖面图(沿物探测线XJL05东侧)

Fig.6 Drilling joint profile of XJ04 (along the east side of geophysical line XJL05)

QM01剖面沿QML01测线布设,共6个钻孔,长100 m。剖面揭示了物探解译断点f9-1以东王氏组( $K_2w$ )埋深极浅(不足3 m),上覆地层仅有地层

单元层(2)和层(1),而西侧孔深100 m处仍未能揭露王氏组( $K_2w$ )。断层最终定位于3#和6#之间(图7)。





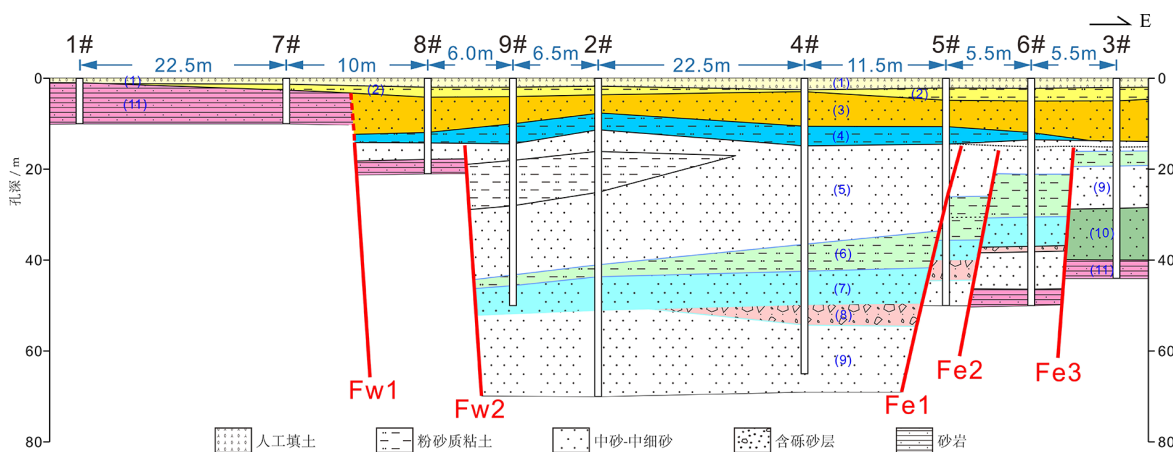
(1):顶部为地表杂填土,较为松散;(2):粉砂质粘土层,灰黑色—灰黄色,见黑色铁锰质结核,底部见厚约50 cm细砂;(3):粉砂质粘土层,棕黄—青灰色,含白色钙质结核,粒径一般在1 cm左右,大者达8 cm,局部见薄层砂,顶部厚约1 m青灰色较多;(4):厚层砂,棕黄色—灰黑色为主,细砂—中细砂;(5):薄层粉砂质粘土层,青灰色为主,夹少量棕黄色;(6):厚层砂,棕黄—黄色,中砂为主,局部较细,见小砾(<1 cm),局部夹薄层棕黄色粉砂质粘土;(7):粘土层,棕红色为主,夹青灰及棕黄色,夹少量黑色铁锰质结核,局部砂质或粉砂质;(8):厚层砂,棕黄为主,局部夹灰黑、灰红色等,中细砂为主,局部细砂,局部夹薄层粘土;(9):粉砂质粘土,棕黄色为主,夹青灰色,下部砂含量渐多;(10):砂层,灰黑色—灰黄色,中砂—中细砂;(11):粉砂质粘土层,中段见薄层砂,粘土颜色棕红与青灰色互层;(12):厚层砂,棕黄色为主,局部灰黑色,见少量砾石,中等磨圆,未见底;(13):王氏组( $K_{2w}$ )红色砂岩及其风化壳

图7 QM01钻孔联合剖面图(沿物探测线QML01)

Fig.7 Drilling jointe profile of QM01 (along the geophysical line QML01)

QM02剖面沿QML04测线布设,共9个钻孔,长90 m。剖面上有5支断层,可分为东西两组。东组(图8所示Fe1、Fe2、Fe3)倾向W,西组(图8所示Fw1、Fw2)倾向东,两组断层构成一个小地堑。西组断层西盘王氏组( $K_{2w}$ )埋深极浅,仅约2.5 m,

东盘则较深,在40~46 m之间。两组断层中间的钻孔在80 m处仍未揭示到王氏组基岩,这显示西组断层(Fw)可能为本小地堑系统的主断层,东组(Fe)则为本小地堑系统的次级断层。



(1):顶部为地表杂填土,较为松散;(2):粉砂质粘土层,棕黄—青灰色,含较多结核,粒径一般在1 cm左右,局部夹薄层砂;(3):砂层,棕黄色为主夹灰黑色,细砂—中细砂,局部见粘土;(4):薄层粉砂质粘土层,青灰色—棕黄色,含砂量较高;(5):厚层砂,棕黄—黄色,中砂为主,局部较细,偶见小砾(<1 cm);(6):粉砂质粘土夹砂层,颜色较混乱,青灰色—棕黄色互层,东盘粘土较多,西盘砂质较多;(7):厚层砂,棕黄为主,局部夹青灰色等,中细砂为主,局部细砂,局部夹薄层粘土;(8):砂砾石层,砾石中度磨圆,大者砾径可达约8 cm,仅近断层处局部发育,整体呈楔状;(9):中砂—中粗砂,颜色较深,且较为混杂,局部夹砾石,粘土;(10):厚层砂,棕黄色为主,仅最东侧钻孔揭示;(11):王氏组( $K_{2w}$ )红色砂岩及其风化壳

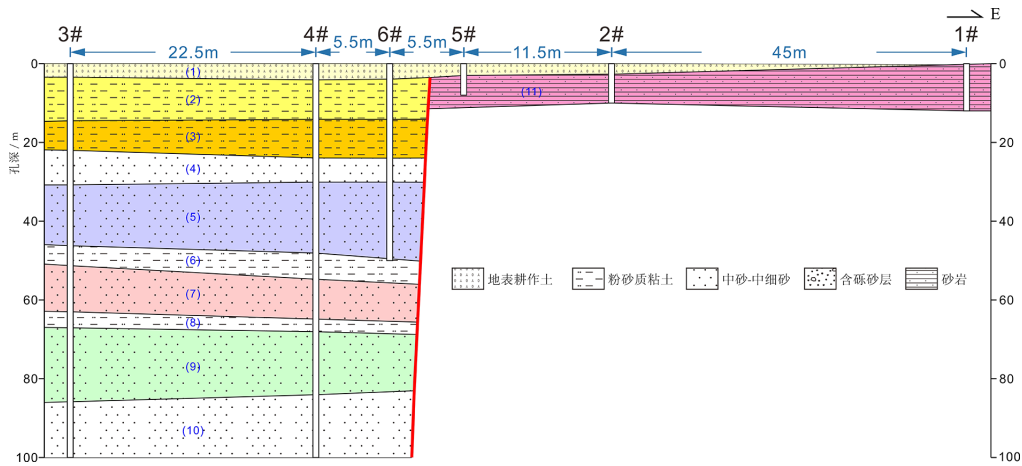
图8 QM02钻孔联合剖面图(沿物探测线QML04)

Fig.8 Drilling jointe profile of QM02 (along the geophysical line QML04)

QM03剖面沿QML05测线布设,共6个钻孔,长90 m。剖面揭示物探解译断点f13-1东盘王氏组( $K_2w$ )埋深极浅(小于3 m),西盘钻孔100 m未见王氏组基岩。断层定位于5#与6#之间(图9)。

QM04剖面沿GXL20测线布设,共6个钻孔,

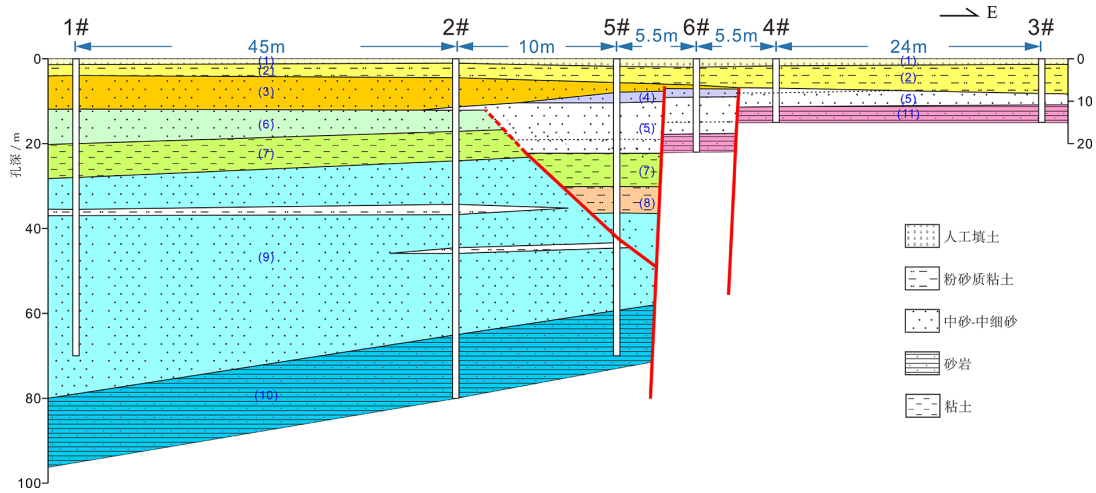
长90 m。剖面揭示物探解译断点f21-2东侧王氏组( $K_2w$ )基岩埋深较浅(10~20 m),西侧钻孔在80 m处仍然未见王氏组基岩,主断层位于5#与6#之间(图10)。



层(1):顶部为地表耕作土,较为松散,下部为灰黑色粉砂质粘土;(2):粉砂质黏土层,棕黄—青灰色,含白色钙质结核,粒径一般在1 cm左右,大者达8 cm,局部见薄层砂,顶部厚约1 m青灰色较多;(3):粉砂质黏土层,棕黄—青灰色,顶部砂质较多;(4):厚层砂,棕黄色—灰黑色为主,细砂—中细砂,下段颜色发灰黑色,底部见少量砾石;(5):厚层砂,棕黄—黄色,中砂为主,局部较细,见小砾(<1 cm),局部夹薄层棕黄色粉砂质黏土;(6):粉砂质黏土层,夹青灰为主,夹少量黑色铁锰质结核,局部砂质或粉砂质;(7):厚层砂,棕黄为主,中段见灰白色,局部夹灰黑、灰红色等,中细砂为主,局部细砂,局部夹薄层黏土;(8):粉砂质黏土,棕黄色为主,夹青灰色,下部砂含量渐多;(9):砂层,灰黑色—灰黄色,中砂—中细砂,局部见少量砾石;(10):砂层,灰黑色为主,中砂—中细砂,顶部薄层粉砂质黏土,未见底;(11):王氏组( $K_2w$ )红色砂岩及其风化壳

图9 QM03钻孔联合剖面图(沿物探测线QML05)

Fig.9 Drilling jointe profile of QM03 (along the geophysical line QML05)



(1):顶部为地表杂填土;(2):棕黄色砂质黏土,局部含少量小颗粒黑色铁锰质结核(<1 cm);(3):砂层,棕黄色,顶部较细,向下渐粗,细砂—中细砂;(4):薄层砂,棕黄色与青灰色混层,仅在断层处局部发育。层(5):厚层砂,棕黄—黄色为主,局部夹灰白及灰黄色,中砂为主,局部细砂。东盘夹薄层棕红—青灰色黏土;(6):上段为青灰色—棕黄色粉砂质黏土,砂质较多,下段为黄色(略泛红)中细砂,底部略粗,并显混乱;(7):黏土层,青灰色为主,夹少量棕黄色,底部泛白;(8):粉砂质黏土层,棕黄与青灰色混色,向下砂质较多;(9):厚砂层与薄层黏土互层,棕黄色为主,中砂为主,局部细砂;(10):宿迁组( $N_2s$ )青灰色砂岩及风化壳;(11):王氏组( $K_2w$ )红色砂岩及风化壳

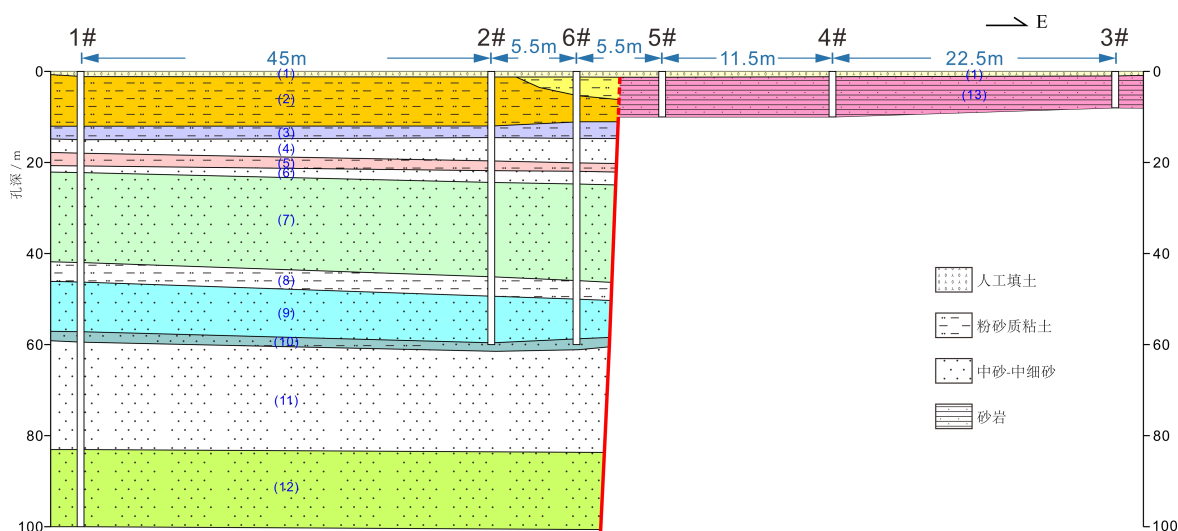
图10 QM04钻孔联合剖面图(沿物探测线GXL20)

Fig.10 Drilling jointe profile of QM04 (along geophysical line GXL20)

QM05剖面沿QML08测线布设,共6个钻孔,长90 m。剖面揭示物探解译断点f16东侧王氏组( $K_{2w}$ )基岩埋深较浅(约1 m),定位于5#与6#之间(图11)。

综合上述各钻孔联合剖面的空间位置,以及剖面揭示的上断点和断错地层情况,结合《新沂市活动断层探测与地震危险性评价》项目成果可知:剖面XJ01、XJ02和XJ03揭示的断层倾向E,上断点埋深浅,且位于黄墩河西侧,故其应为F5断裂西

支;剖面QM01、QM03和QM05揭示的断层虽然倾向W,但从其空间位置上判断其应对应F5断裂西支,且其上断点埋深较浅,活动时代较新,同时考虑走滑断层由于倾角较大,倾向多不稳定,故综合判断这3条剖面揭示的断层应为F5断裂西支;剖面QM02和QM04揭示的断层剖面结构较为复杂,主要呈负花状构造,整体上断点埋深较深,活动时代相对较老,综合判断其对应F5断裂东支。



(1):顶部为地表耕作土;(2):棕黄色砂质黏土,局部含少量小颗粒黑色铁锰质结核(<1 cm);(3):粉砂质黏土层,青灰色—棕黄色为主,见白色钙质结核和黑色铁锰质结核;(4):砂层,棕黄色,顶部较细并见粉砂质黏土,向下渐粗,细砂—中细砂;(5):粉砂质黏土层,青灰色为主,夹少量棕红色;(6):砂层,棕黄—黄色为主,中砂为主;(7):厚层砂,灰色为主,中段薄层棕黄色,向下渐粗;(8):粉砂质黏土层,棕黄与青灰色混色,向下砂质较多;(9):厚砂层与薄层黏土互层,棕黄色为主,中砂为主,局部细砂;(10):薄层青灰色夹少量棕黄色粉细砂,局部夹少量黏土;(11):厚层砂,棕黄—灰黑色,中段夹少量砾石;(12):砂层,颜色和颗粒大小均较为混乱,上部灰黑色,中间青灰色,下部棕黄色为主,顶部夹少量砾石,中度磨圆;(13):王氏组( $K_{2w}$ )红色砂岩及风化石

图11 QM05钻孔联合剖面图(沿物探测线QML08)

Fig.11 Drilling joint profile of QM05 (along geophysical line QML08)

### 2.3 钻孔揭露的地层年代学分析

新近纪,受太平洋板块俯冲弧后拉张作用,郯庐断裂带江苏北段一线主要发育宿迁组( $N_{2s}$ ),为一套灰白—灰绿色中粗砂、灰绿或棕黄色黏土、含砾亚黏土及灰黄—棕黄色粉细砂层<sup>[26]</sup>。第四纪以来,断裂带沿线沉积的下更新统豆冲组( $Q_{p1d}$ )以黏土质粉细砂、砂、含砾砂为主;中更新统泊岗组( $Q_{p2}$ )为棕红色、褐黄色亚黏土和砂砾,含钙质结核少;上更新统戚咀组( $Q_{p3}$ )以灰黄色、棕黄含钙质结核亚黏土和中细砂为主,钙结核常富集成层,有时含有铁锰结核;全新统( $Q_h$ )主要是一套黄灰、灰色、灰黑色、褐黄色砂泥质沉积黏土,亚黏土或砂<sup>[27-30]</sup>。

对比区域岩性地层特征,联合剖面XJ01-XJ03的层(1)~(3)以粉砂质黏土、中细砂为主,质软,属于全新统( $Q_h$ )。层(4)厚层粉砂黏土和层(5)黄色厚层中砂—中粗砂层为区域标志性地层,新沂高新区一带层(4)中多个样品ESR测年结果为40~50ka BP,属中更新世,对比区域地层OSL测年结果<sup>①</sup>,考虑ESR测年方法的不确定性,该套地层可能属上更新统戚咀组( $Q_{p3q}$ )。层(5)以下主要为黏土和砂,含钙质结核或铁结核,且向深部开始出现棕红色黏土,属中、下更新统。联合剖面QM01-QM05的层(1)~(2)以灰黑、棕黄粉砂质黏土为主,质软,属于全新统( $Q_h$ )。层(3)与层(4)主要为黏土层与棕黄色厚砂层,为上更新统。

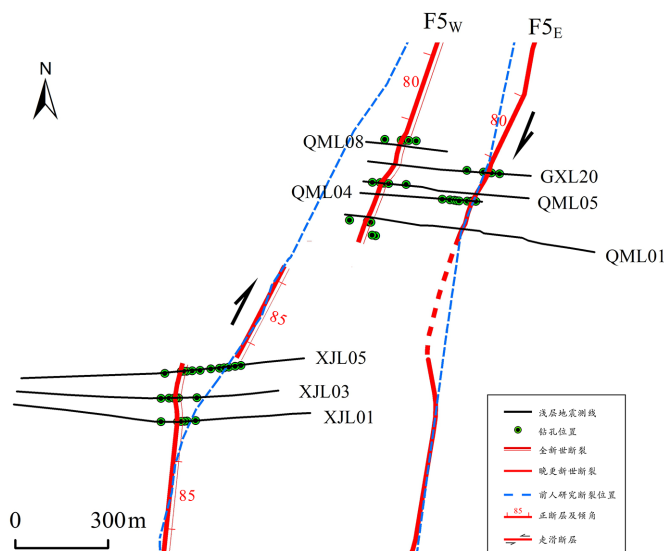


### 3 断裂F5几何结构与晚第四纪活动性讨论

综合8条钻孔联合剖面探测与年代学分析结果, XJ01与XJ03剖面揭示断层最新活动断错层(3)底部, 甚至可能错断层(2)底部, XJ02剖面揭示断层最新活动断错层(2)底部, 上覆层(1), 剖面QM01、QM03和QM05揭露断层错断至近地表, 均为全新世活动断裂。剖面QM02与QM04揭露断层断错了下部的上更新统黏土层, 上断点埋深6~14 m, 属晚更新世断裂。几何结构上, 新沂高新区一带, 安丘—莒县断裂(F5)总体分为东、西两支(图1b), 宽近250 m。其中, 西支为全新世断裂, 由右阶斜列的3条次级断裂组成, 次级断裂之间的阶区宽约120~150 m; 东支断裂相对单一, 最新活动在晚更新世早中期, 属

晚更新世断裂。二者之间, 局部还可能发育有前第四纪或早中更新世次级断层。

新沂市活动断裂探测对安丘—莒县断裂(F5)新沂段的几何结构进行了1/1万填图控制和专题研究, 认为穿经新沂市区的官庄—唐店段位于断裂右旋右阶走滑活动的伸展拉分区, 表现为双支走滑兼正断活动<sup>[16,31]</sup>, 高新区一带的断裂展布如图12中蓝色虚线所示。此次活动断裂精定位工作结果显示, 在新沂高新区北部一带, F5断裂具全新世活动性的只有西侧一支, 且在跨黄墩河附近, 平面空间上表现为右阶斜列的3条次级断裂(图12); 而F5断裂东支新沂高新区段全新世无活动迹象, 应是断裂带早期活动形成的次级断裂, 并非之前解释的剪切伸展拉张形成的阶区边界断裂, 结合新沂市活动断层探测区及其周边调查结果, 归为晚更新世断裂。



蓝色虚线为前人定位结果,均为全新世断裂

图12 新沂高新区安丘—莒县断裂F5几何展布图

Fig.12 Geometric distribution of Anqiu-Juxian Fault (F5) in High-Tech District of Xinyi

### 4 结论

新沂高新区一带, 安丘—莒县断裂(F5)分为东、西两支, 但并非简单的剪切拉张阶区边界断裂组合样式, 西支为全新世活动断裂, 且空间上不是连续的单一断裂, 而是表现为不连续的右阶斜列状; 其东支在新沂高新区一带未发现全新世活动迹象, 为晚更新世断裂。

致谢: 冉勇康研究员、许汉刚研究员和刘保金研究员对探测工作进行了现场指导, 马莉燕副教授、魏顺顺、吴俊杰等参加了现场工作, 审稿专家给出了非常中肯的修改意见, 在此一并致谢。

### 参考文献

- [1] 李善邦. 中国地震[M]. 北京:地震出版社, 1981.
- [2] 国家地震局地质研究所. 郯庐断裂带[M]. 北京:地震出版社, 1987.

- [3] 王小凤,李中坚,陈柏林,等. 郯庐断裂带[M]. 北京:地质出版社,2000.
- [4] 国家地震局震害防御司. 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,1995.
- [5] Zhen X, Qing H L, Yuan S Z, et al. segmentation of crustal velocity structure beneath the Shandong-jiangsu-anhui segment of the tanlu fault zone and adjacent areas and its geological interpretations[J]. Chinese Journal of Geophysics, 2016, 59(6):691-702.
- [6] 李家灵,晁洪太,崔昭文,等. 郯庐活断层的分段及其大震危险性分析[J]. 地震地质,1994,16(02):121-126.
- [7] 李家灵,晁洪太,崔昭文,等. 1668年郯城8 $\frac{1}{2}$ 级地震断层及其破裂机制[J]. 地震地质,1994,16(03):229-237.
- [8] 郯庐活动断裂带地质填图课题组. 郯庐活动断裂带地质图(1:50 000)说明书[M]. 北京:地震出版社,2013.
- [9] 万天丰,朱鸿,赵磊,等. 郯庐断裂带的形成与演化:综述[J]. 现代地质,1996,10(2):159-168.
- [10] 张岳桥,董树文. 郯庐断裂带中生代构造演化史:进展与新认识[J]. 地质通报,2008,27(9):1371-1390.
- [11] Zhu G, Niu M L, Xie C L, et al. Sinistral to normal faulting along the Tan-Lu Fault Zone: Evidence for geodynamic switching of the East China Continental Margin[J]. The Journal of Geology, 2010, 118(3):277-293.
- [12] 方仲景,计凤桔,向宏发,等. 郯庐带中段第四纪断裂活动特征与地震地质条件述评[J]. 地质科学,1976,19(4):354-366+387-388.
- [13] 高维明,郑朗荪,李家灵,等. 1668年郯城8.5级地震的震构造[J]. 中国地震,1988,4(3):15-21.
- [14] 晁洪太,李家灵,崔昭文,等. 郯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.
- [15] 王志才,贾荣光,孙昭民,等. 沂沭断裂带安丘—莒县断裂安丘——朱里段几何结构与活动特征[J]. 地震地质,2005,27(02):212-220.
- [16] 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.
- [17] 沈小七,姚大全,郑海刚,等. 郯庐断裂带重岗山—王迁段晚更新世以来的活动习性[J]. 地震地质,2015,37(1):139-148.
- [18] 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.
- [19] 杨源源,赵朋,郑海刚,等. 郯庐断裂带安徽紫阳山段发现全新世活动证据[J]. 地震地质,2017,39(4):644-655.
- [20] 曹筠,冉勇康,许汉刚,等. 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[J]. 地震研究,2018,41(2):280-292.
- [21] 张鹏,张媛媛,李丽梅,等. 郯庐断裂带安丘—莒县断裂江苏段全新世活动的新证据[J]. 地震地质,2019,41(3):576-586.
- [22] 曹筠,冉勇康,许汉刚,等. 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[J]. 地球物理学报,2018,61(7):2828-2844.
- [23] Hao Z, Zhong T H, Han G X, et al. Kinematic characteristics of the Jiangsu segment of the Anqiu-Juxian fault in the Tanlu Fault Zone, Eastern China[J/OL]. Lithosphere, 2021 (S2): 6691692[2024-1-20].<https://doi.org/10.2113/2021/6691692>
- [24] 张浩,李丽梅,蒋新,等. 郯庐断裂带安丘—莒县断裂江苏段古地震研究新进展[J]. 地震地质,2023,45(4):880-895.
- [25] 赵朋,郑海刚,姚大全,等. 郯庐断裂带安徽太湖段第四纪新活动研究[J]. 大地测量与地球动力学,2018,38(12):1251-1255+1316.
- [26] 曹筠,冉勇康,许汉刚,等. 郯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.
- [27] 江苏省地质矿产局. 江苏省及上海市区域地质志[M]. 北京:地质出版社,1984.
- [28] 安徽省地质矿产局. 中华人民共和国地质矿产部地质专报——区域地质 第5号——安徽省区域地质志[M]. 北京:地质出版社,1987.
- [29] 许汉刚,范小平,冉勇康,等. 郯庐断裂带宿迁段F5断裂浅层地震勘探新证据[J]. 地震地质,2016,38(1):31-43.
- [30] 曹筠,许汉刚,冉勇康,等. 郯庐断裂带沂水—汤头断裂南段晚第四纪活动新证及构造意义[J]. 地震地质,2017,39(2):287-303.
- [31] Qi G Z, Han G X, Ke M, et al. Exploration of shallow structural characteristics in the Xinyi segment of the Anqiu-Juxian fault of Tan-Lu Fault Zone[J]. Journal of Physics:Conference Series, 2023, 2651(1):2145