



连云港市主要断裂活动性研究

张建民, 王志才, 付俊东, 王冬雷, 夏 暖, 王 凯, 许洪泰, 王 雷

Researches on activities of main faults in Lianyungang City

ZHANG Jianmin, WANG Zhicai, FU Jundong, WANG Donglei, XIA Nuan, WANG Kai, XU Hongtai, and WANG Lei

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.16562/j.cnki.0256-1492.2024031901>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

中国近海新构造活动断裂调查与地震勘探方法

Seismic survey and exploration methods for Neotectonic active faults in the area off China continent

海洋地质与第四纪地质. 2020, 40(6): 121-132

东海西湖凹陷中新世中晚期断裂活动特征及中浅层勘探启示

Middle-late Miocene fault activity and its petroleum exploration significance of middle-shallow layers in the Xihu Sag, East China Sea

海洋地质与第四纪地质. 2023, 43(3): 167-174

南海主要断裂(带)与构造分区

Main faults and tectonic divisions in the South China Sea

海洋地质与第四纪地质. 2025, 45(1): 136-153

洞庭湖赤山凸起第四纪构造沉积演变特性

Quaternary tectono-sedimentary evolution of Chishan Uplift in the Dongting Lake

海洋地质与第四纪地质. 2020, 40(5): 160-168

珠江口盆地陆丰凹陷南部古近系断裂发育特征与油气成藏

Fault characteristics and hydrocarbon accumulation in the southern Lufeng Sag, Pearl River Mouth Basin

海洋地质与第四纪地质. 2023, 43(3): 132-143

特提斯构造域海底流体逃逸活动特征及其控制因素

Characteristics and controlling factors of submarine fluid escape in Tethys tectonic domain

海洋地质与第四纪地质. 2021, 41(6): 27-41



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

张建民, 王志才, 付俊东, 等. 连云港市主要断裂活动性研究[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2025, 45(2): 98-109.

ZHANG Jianmin, WANG Zhicai, FU Jundong, et al. Researches on activities of main faults in Lianyungang City[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2025, 45(2): 98-109.

连云港市主要断裂活动性研究

张建民^{1,2}, 王志才^{1,2}, 付俊东^{1,2}, 王冬雷^{1,2}, 夏暖^{1,2}, 王凯², 许洪泰^{1,2}, 王雷^{1,2}

1. 山东省地震局, 济南 250014

2. 山东省地震工程研究院, 济南 250021

摘要: 采用地质地貌调查、高精度浅层地震反射波法及折射波法探测、跨断层钻孔联合地质剖面探测和年代测试等多种方法对连云港市主要断层开展了探测工作。利用高质量的第一手资料, 对海州-韩山断裂(F_1)等3条代表性断裂的第四纪活动性进行了综合研究。结果表明北北东向海州-韩山断裂(F_1)和北东向烧香河断裂(F_3)是早第四纪断裂, 而北西向南城-新浦断裂(F_8)是前第四纪断裂。连云港地区和山东半岛具有类似的地震构造背景, 属于中国东部第四纪构造弱活动区, 第四纪断裂活动较弱, 地震活动水平也低, 区内历史破坏性地震记录仅有一次1495年的连云港海州4 $\frac{3}{4}$ 级地震。6级及以上地震活动主要集中于区内西侧北北东向郯庐断裂带和东侧南黄海盆地。按照构造类比原则, 区内具有发生5级左右地震的可能。值得注意的是, 来自外围的郯庐断裂带及南黄海盆地的强震对于区内影响大于本地地震, 特别是1668年郯城8 $\frac{1}{2}$ 级地震对研究区地震烈度影响达Ⅷ度。因此, 在连云港市防震减灾工作中应综合考虑本地5级左右地震以及外围强震影响。

关键词: 断裂活动性; 活动断层探测; 构造弱活动区; 第四纪; 连云港

中图分类号: P548

文献标识码: A

DOI: 10.16562/j.cnki.0256-1492.2024031901

Researches on activities of main faults in Lianyungang City

ZHANG Jianmin^{1,2}, WANG Zhicai^{1,2}, FU Jundong^{1,2}, WANG Donglei^{1,2}, XIA Nuan^{1,2}, WANG Kai², XU Hongtai^{1,2}, WANG Lei^{1,2}

1. Shandong Earthquake Administration, Jinan 250014, China

2. Shandong Institute of Earthquake Engineering, Jinan 250021, China

Abstract: Geological and geomorphological survey, high accuracy shallow seismic P-wave reflection and refraction exploration and S-wave exploration, borehole joint geological section drilling across fault, and age dating technologies were applied for the surveying on active fault in Lianyungang City, Jiangsu, East China. Nine main faults were prospected. The Quaternary activities of three typical faults including the Haizhou-hanshan Fault (F_1) were studied with the first hand documents in high quality obtained in this project. Results show that the NNE-trending F_1 and the NE-trending Shaoxianghe Fault (F_3) are probably the early Quaternary faults, while the NW-trending Nancheng-xinpu Fault (F_8) and other main faults are all pre-Quaternary faults. Lianyungang City situates on the Quaternary weakly active tectonic zone in the eastern part of China, and it shares similar seismo-tectonic background with the Shandong Peninsula to the north. Both the Quaternary fault activity and the seismicity are weak. In history, only one destructive earthquake was recorded in the city area, i.e. the 1495 Haizhou M4 $\frac{3}{4}$ earthquake. Epicenters of earthquakes with magnitude ≥ 6 concentrated in peripheral regions, namely, along the NNE-trending Tanlu Fault Zone, the NW-trending Bohai-Weihai Fault Zone, and in the northern depression and the southern depression of the south Yellow Sea. The potential earthquake outbreaks with M5 ± 0.5 in future in Lianyungang City are possible judging from the structural analogy principle. However, the influences of strong earthquakes on the study area from adjacent Tanlu Fault Zone and the northern or southern depression of the south Yellow Sea could overtake the local geological forces thus cannot be neglected. For example, the 1668 Tancheng M8 $\frac{1}{2}$ earthquake at the Tanlu Fault Zone reached Intensity Ⅷ in the Lianyungang area. Thus, risks of both local earthquakes with M5 ± 0.5 and strong earthquakes from surrounding areas should be considered with great concern with effective prevention and disaster reduction measurement of Lianyungang City.

Key words: fault activities; detection of active fault; weak tectonic active zone; Quaternary; Lianyungang

资助项目: 国家自然科学基金项目“安丘-莒县断裂现今分段运动特征及强震风险的GPS精化研究”(41974105), “郯庐断裂带临沂-广济段岩石圈电性结构及其动力学意义研究”(41574066); 山东省地震工程研究院“连云港市活动断层探测与地震危险性评价项目”(LYGZR201312001); 山东省地震局重点业务专项(YW2305)

作者简介: 张建民(1971—), 男, 硕士, 高级工程师, 主要从事第四纪地质和活动断层探测研究, E-mail: jianmin_1991@163.com

通讯作者: 王志才(1966—), 男, 博士, 研究员, 主要从事新生代构造和活动构造研究, E-mail: 787308909@qq.com

收稿日期: 2024-03-19; **改回日期:** 2024-05-24. 周立君编辑

连云港市位于江苏省东北部,是一个常住人口400余万人的滨海城市。在其西侧约60 km处发育NNE走向的郟庐断裂带,该断裂带构成了活动地块边界^[1],其中的安丘-莒县断裂是全新世活动断裂^[2-6],在安丘-莒县断裂莒县-郟城段曾发生1668年郟城8½级地震^[7-8]。在连云港市东南和东北方向分别是苏北-南黄海南部拗陷和南黄海北部拗陷,拗陷内已发现多条晚更新世以来活动断裂^[9-10],历史上曾发生多次6级、7级地震,现代小震活动亦较为密集(图1)。

连云港市地处千里岩-海州湾隆起区,属于第四纪构造弱活动区。周边发育海州-韩山断裂(F₁)、猴嘴-南城断裂(F₂)、烧香河断裂(F₃)、伊芦山北断裂(F₄)、排淡河断裂(F₅)、猴嘴-一沟断裂(F₆)、玉带河断裂(F₇)、南城-新浦断裂(F₈)和海州-韩山支断裂(F₉)等9条断裂,它们分属NNE、NE、NW向3组脆性断裂构造(图2),隐伏于第四系之下。以往1:5万、1:25万地质调查填图^[17-18]以及地震安全性评价工作,对于上述断裂活动性方面的研究仍十分薄弱,认识上存在混乱,普遍缺乏可靠的活动证据。

连云港市及附近有没有活动断裂?在郟庐断裂带、黄南海盆地中、强地震构造区(带)所围绕的背景下,连云港市是否具备发生中、强地震的构造条件?地震危险程度如何?这些都是连云港市防震减灾工作迫切需要解决的问题。为此,在2014—2019年开展了连云港市活动断层探测与地震危险性评价项目,对9条断裂开展了详细探测研究。根据探测成果^[19],除区域上规模较大的NNE向海州-韩山断裂(区域上为海泗断裂)和NE向烧香河断裂(区域上为邵店-桑墟断裂)外,其他断裂规模较小,且为前第四纪断裂。由于篇幅所限,本文主要介绍NNE向海州-韩山断裂、NE向烧香河断裂,以及NW向代表断裂南城-新浦断裂的探测和活动性鉴定成果,希望为中国东部第四纪构造弱活动区的活动断裂探测以及连云港市地震灾害风险调查、评估和预防等工作提供参考依据。

1 地质构造背景

研究区在地质构造上位于中生代苏鲁造山带东南缘,为秦岭-大别造山带东延部分,形成于三叠纪晚期的印支运动,是华北板块和扬子板块发生汇聚、碰撞造山活动的产物^[20-21]。苏鲁造山带位于郟庐断裂带、五莲-荣成断裂与淮阴-响水断裂带之间

(图1),发育高压、超高压变质带^[11,22]。太古代—元古代发育东海杂岩、锦屏岩群和云台岩群(图2),在锦屏山、云台山等地出露。研究区缺失古生界和大部分中生界,仅在小型断陷盆地内发育白垩系,早期为青山群陆相火山岩和火山碎屑岩沉积,晚期为王氏组紫红色砾岩、砂岩、泥岩河湖相沉积^[17-18]。

中国东部地区新生代发生伸展裂陷活动,形成了一系列隆起和拗陷^[23-24],位于研究区东南侧的苏北-南黄海南部拗陷在古近纪发生了强烈裂陷活动,在凹陷或次级凹陷中沉积了厚度达6000余米的河湖相地层;新近纪以来苏北-南黄海南部拗陷以整体拗陷活动为主,沉积厚度达2000余米^[16,25]。而北邻的连云港市研究区为新生代隆起区,缺失古近系和中新统。上新世新构造运动以向东南掀斜运动为特征,产生不均匀升降,云台山以北平原遭受剥蚀,沿北北东向海州-韩山断裂局部地带发生玄武岩喷发,云台山以南平原发育上新统宿迁组,为灰白色粉质黏土和灰白色-灰黄色中细砂、含砾中粗砂,沉积厚度10~60 m,在灌南县GK8孔中发现泗洪真星介(*Eucypris xiacaoanensis*)为主的介形虫以及轮藻和鱼骨碎片,属于淡水河湖相沉积^[26-27]。第四纪早—中更新世继承了上新世构造运动格局,云台山以北平原继续遭受剥蚀,而云台山以南平原堆积了中—下更新统五队镇组和小腰庄组;晚更新世—全新世,云台山南北平原区整体产生沉降,沉积了灌南组和连云港组。

2 探测方法

根据研究区断裂和地层分布特点,在吸收方盛明等^[28]、曹筠等^[29]、徐锡伟等^[30]城市活动断层探测经验的基础上,按照GB/T 36072-2018《活动断层探测》国家标准,有针对性地制定了多学科、多方法综合探测策略。

首先,在云台山南北两侧分别布设了第四系标准钻孔BK1、BK2(图2),在综合岩石学、年代测试、古地磁、孢粉及菌藻类化石等研究基础上,并与研究区其他钻孔进行对比分析(图3),建立了第四系标准剖面,为断裂活动性鉴定提供了时间框架。其次,实施高精度(1 m和3 m道间距、可控震源)浅层地震反射勘探、地震折射和横波勘探综合探测工作。以往城市活动断层探测经验表明,浅层地震反射法是活动断层探测中应用最广泛、最有效的首选方法^[28-30],但连云港市云台山以北地区基岩埋深较浅,断裂第四纪活动弱,浅层地震反射法往

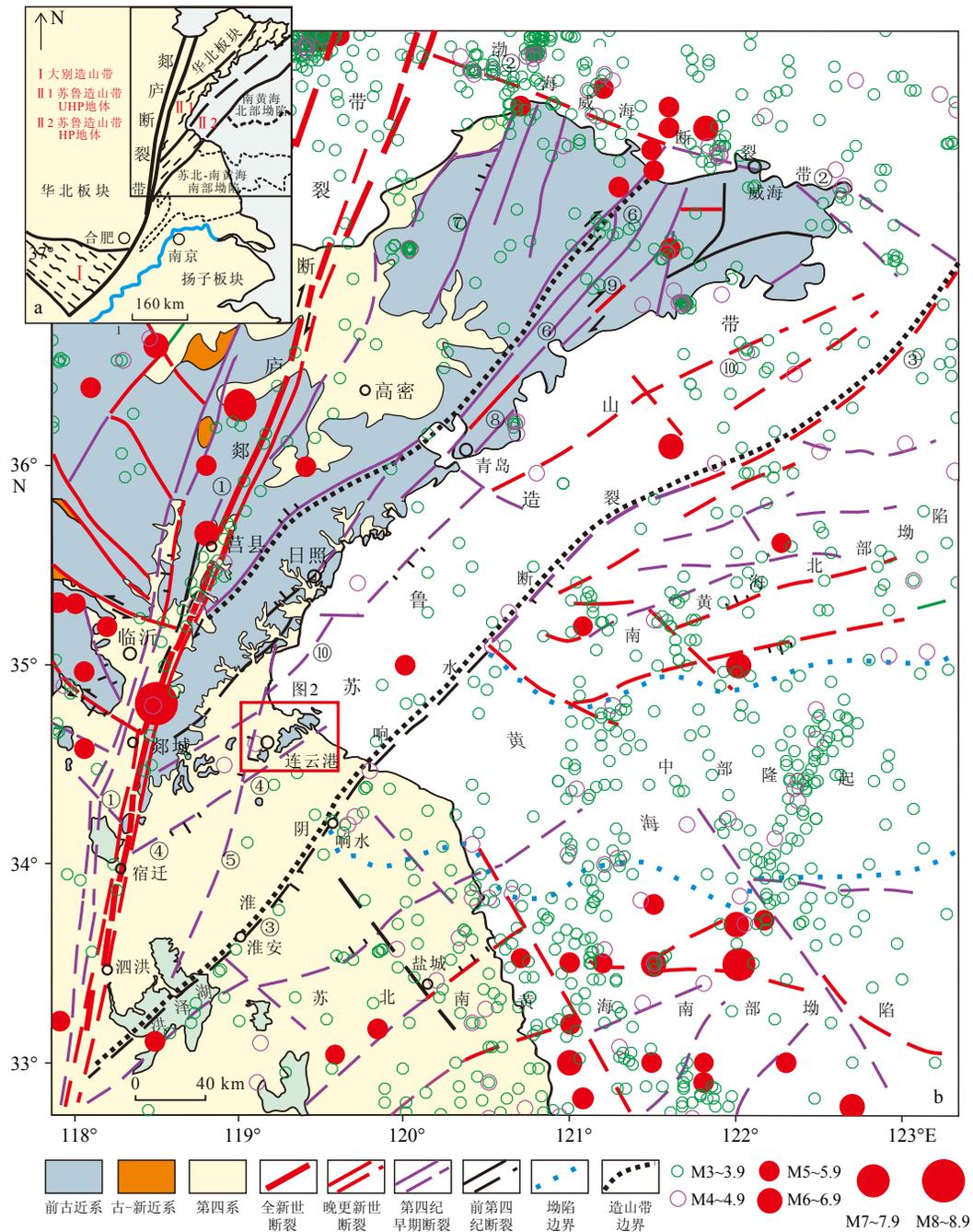


图 1 研究区大地构造位置及区域地震构造略图

a: 研究区与大别造山带的位置关系, 修自参考文献 [11]; b: 区域地震构造略图, 图中断裂依据参考文献 [9-10,12-13] 及最新探测成果, 地震震级及震中依据参考文献 [14-15] 及中国地震台网正式目录 (至 2023 年 12 月), 盆地边界修自参考文献 [16]; 断裂名称: ① 郯庐断裂带, ② 渤海-威海断裂带, ③ 淮阴-响水断裂, ④ 邵店-桑墟断裂 (烧香河断裂), ⑤ 海泗断裂带, ⑥ 牟平-即墨断裂带, ⑦ 北沟-玲珑断裂, ⑧ 沧口断裂, ⑨ 海阳断裂, ⑩ 千里岩断裂。

Fig.1 Sketch map of tectonic setting and regional seismotectonics of the study area

a: The relationship between the study area and the Dabie Orogenic Belt, modified after [11]; b: Regional seismotectonic map. The faults in the figure are based on references [9-10,12-13] and the latest detection results. The earthquake magnitude and epicenter are based on references [14-15] and the official catalogue of China Seismic Network (As of 2023 December). The basin boundary is compiled after [16]. Faults numbers: ① Tanlu Fault Zone, ② Bohai Sea-Weihai Fault Zone, ③ Huaiin-Xiangshui Fault, ④ Shao dian-Sangxu fault (Shaoxiang River Fault), ⑤ Hesi Fault Zone, ⑥ Mouping-Jimo Fault Zone, ⑦ Beigou-Linglong Fault, ⑧ Cangkou Fault, ⑨ Haiyang Fault, ⑩ Qianliyan Fault.

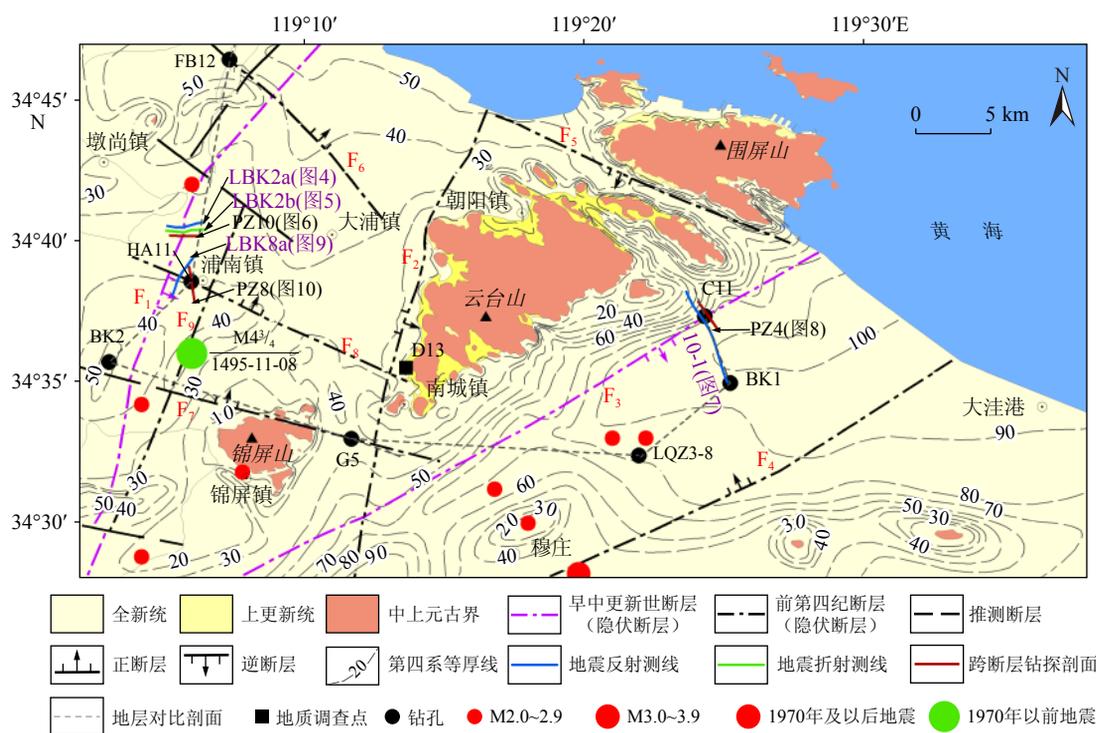


图 2 研究区主要断层分布图

F₁: 海州-韩山断裂, F₂: 猴嘴-南城断裂, F₃: 烧香河断裂, F₄: 伊芦山北断裂, F₅: 排淡河断裂, F₆: 猴嘴-一沟断裂, F₇: 玉带河断裂, F₈: 南城-新浦断裂, F₉: 海州-韩山支断裂。

Fig.2 Distribution of main faults of the study area

F₁: Haizhou-Hanshan Fault, F₂: Houzui-Nancheng Fault, F₃: Shaoxiang River Fault, F₄: North Yilu Mountain Fault, F₅: Paidan River Fault, F₆: Houzui-Yigou Fault, F₇: Yudai River Fault, F₈: Nancheng-Xinpu Fault, F₉: Haizhou-Hanshan Branch Fault.

往只能获取基岩顶面反射波,难以精确判断隐伏断裂的位置及埋深。顾勤平等^[31]、夏暖等^[32]在浅覆盖区联合应用地震反射法、横波反射法与高分辨率折射法探测研究认为:折射层析成像法和横波探测对于横向速度差异更为敏感,可以弥补浅覆盖区浅层地震反射勘探的不足,联合探测要比单独采用其中任何一种手段更加可靠,并能从不同角度查明断层的位置、性质及其特征,从而提高断层探测精度。本文的探测实例也表明采用综合探测效果较好。第三,在类似研究区这种覆盖层超过 10 m 且断裂第四纪活动又较弱的地区,在浅层地震探测基础上,采用跨断层钻孔联合剖面探测是不可缺少且极其有效的工作,不仅能够验证浅震探测结果,确定断裂准确位置,而且可为断裂活动判定提供依据,同时对照联合剖面结果可以提高地震剖面解释质量。

3 第四系沉积特征

连云港市及周边平原区第四系自上而下发育

了全新统连云港组、上更新统灌南组、中更新统小腰庄组、下更新统五队镇组^[17,26-27]。从研究区第四系对比剖面(图 3)来看,以锦屏山-云台山一线为界,第四系北薄南厚,南侧平原厚度大,最厚可达 100 m 左右,发育了全新统一下更新统;北侧平原厚度小,缺失了中更新统下部一下更新统,沉积厚度一般为 10~30 m,局部可达 50 m 左右。根据第四系标准剖面及地层对比,研究区第四系特征如下:

(1)全新统连云港组(Qh₁):上部以黄褐-灰褐色冲海积黏土、粉质黏土为主,中下部为黄灰-深灰色海相-海陆交互相淤泥质黏土、淤泥、砂质淤泥等组成。全新统厚度大致为 5~16 m,在云台山以南平原区厚度约 15 m,在云台山以北平原区厚度一般为 5~13 m。

(2)上更新统灌南组(Qp_{3g}):以灰黄色-褐黄色粉质黏土、粉土、粉细砂、灰褐-灰黑色粉质黏土为主。在云台山南北两侧平原区灌南组在沉积厚度、沉积环境和沉积旋回等方面存在差异,在云台山南侧平原,灌南组厚度一般为 30.0 m 左右,以冲积相夹两层海相地层为主;北侧平原厚度较薄,一般为

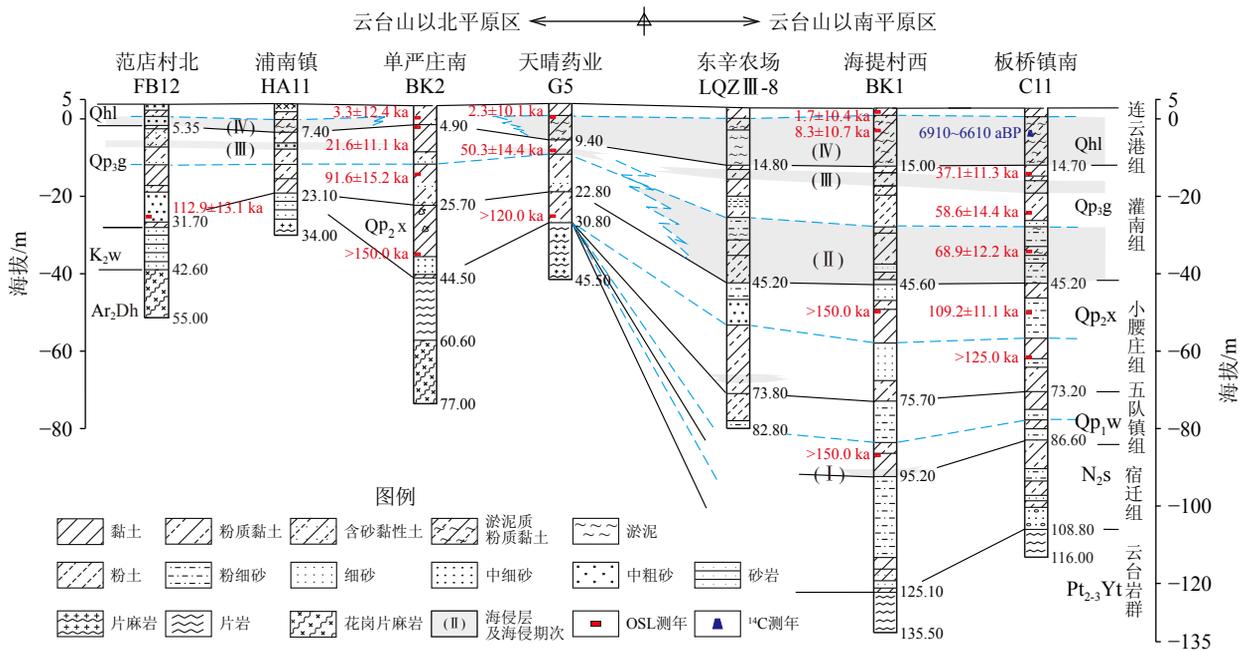


图3 连云港地区云台山南北两侧钻孔第四系地层对比剖面图

Fig.3 Inter-well litho-stratigraphic correlation among boreholes in north and south foothill sides of Yuntai Mountain in Liangyugang City

13.4~24.9 m, 以冲积相夹一层海相地层为主。

(3)中更新统小腰庄组(Qp_{2x}):以灰黄-棕黄色冲积相粉质黏土、中粗砂、中细砂为主,局部夹灰绿色粉质黏土。以冲积类型为主,局部夹河湖相堆积,但云台山南北两侧平原在沉积厚度和岩性组合上差别较大,在云台南山侧平原小腰庄组发育2个沉积旋回,沉积厚度约21.1~30.1 m;北侧平原发育1个沉积旋回,沉积厚度约0~18.8 m,下部地层存在缺失。

(4)下更新统五队镇组(Qp_{1w}):仅分布在云台南山侧平原,北侧平原一带缺失。根据灌南县五队公社中学附近GK8孔揭露,该组主要岩性为黄、褐黄夹灰白或灰绿色中粗砂、粉细砂夹黏土、粉质黏土,自下而上具5个韵律旋回,以河湖相为主,厚度可达50 m。研究区云台南山部平原区以黄-灰白色河湖相粉细砂、棕黄-兰灰色粉质黏土为主,沉积厚度约13.4~19.5 m。

根据标准孔BK1孔菌藻类化石分布,识别出了4次海侵事件(图3),分别为全新世早中期(IV)、晚更新世中晚期(III)、晚更新世早期(II)、早更新世早期(I)。上述海侵地层,特别是晚更新世以来的三次海侵地层成为研究区地层对比划分的可靠标志。上述海侵事件与王绍鸿等^[33]依据海州湾南岸L-2孔有孔虫化石分布推断的海侵事件可以较好地对比。

4 主要断裂活动特征

4.1 北北东向海州-韩山断裂

海州-韩山断裂(F₁)是区域上NNE走向的海泗断裂带西边界断裂,北起赣榆县海边,经连云港市区往南延至泗阳蚕桑场,长度约150 km,倾向东,倾角50°~70°。它切穿了中生代高压超高压变质带,构成了白垩纪小型盆地的边界断裂,上新世在研究区南侧张湾村一带沿该断裂发生玄武岩喷发^[17],在重力和航磁异常图中有明显的异常显示^[34]。该断裂隐伏于平原之下,在地貌上没有活动显示。

在刘滩村北沿新沐河的南岸大堤跨海州-韩山断裂布设了浅层纵波地震反射测线LBK2a(图2)。在测线LBK2a时间剖面约60 ms处发育一组特征明显的反射波组T_Q,该波组在整条测线上清晰可见,深度大约为28~35 m,推测为基岩顶面的反射,其下无明显的反射信息。该波组能量较强、连续性较好,未发现明显的断裂反应(图4)。

由于海州-韩山断裂所在区域基岩埋深较浅,两盘断距不明显,在浅层地震反射剖面上仅表现为连续的同相轴,无法识别断裂位置。基于海州-韩山断裂两盘岩性存在差异,折射层析成像法对横向速度差异较为敏感,因此在浅层地震反射法的基础上联

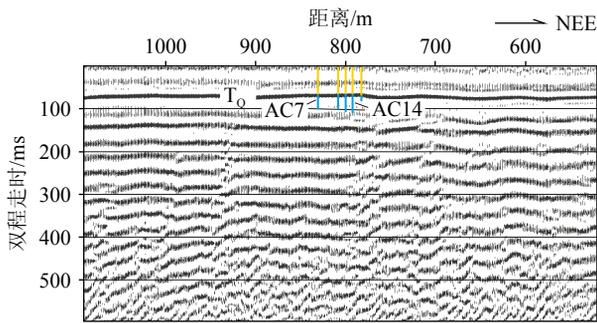


图 4 测线 LBK2a 浅层地震反射剖面

Fig.4 Time profile of the shallow seismic reflection along line LBK2a

合开展了折射层析成像探测, 布设了与地震反射测线 LBK2a 重合的折射测线 LBK2b(图 2)。在测线 LBK2b 折射剖面上发现了该断裂, 在该剖面上第四系与基岩界面大致位于 29~35 m, 界面以上速度小于 1600 m/s, 界面以下速度基本为 2300 m/s; 断点位于测线桩号 280 m 处, 上部对应第四系的速度层未受影响, 下部基岩速度存在明显突变, 西侧速度为 3800~5000 m/s, 东侧为 2500~3200 m/s(图 5)。本次工作通过浅层地震反射和折射层析成像联合探测, 两种方法互补, 实现了对断裂的可靠定位。

采用“对折法”^[35], 跨断层布设了 7 个钻孔, 剖面编号为 PZ10(图 6)。在该钻孔联合地质剖面中, 揭露了第四系全新统连云港组(①—③层)和上更新统灌南组(④—⑥层)、上白垩统王氏组(⑦层)、中太古界东海杂岩(⑧层)。断裂上断点埋深约 34.0 m, 断层倾向南东, 倾角约为 50°。上盘为上白垩统砂岩, 下盘为中太古界黑云斜长片麻岩。破碎带宽度约 12 m, 中部的 F₁ 为主断层滑动面, 发育未固结的厚度约 5~10 cm、灰白色-兰灰色-紫红色断层泥, 显示为最新活动面(图 6 中照片)。断裂带及两侧基岩之上覆盖有上更新统(Qp₃)和全新统(Qh), 第四系厚度为 32~34 m, 横向分布连续稳定,

上盘基岩面高出下盘约 2 m, 但上更新统第⑥层中细砂内部的⑥-1 层粉质黏土及其中的铁锰氧化物富集层位基本对应, AC15 孔 30~33.85 m 的砂层粒序层理水平, 未见变形、扰动及错动现象, 说明该断裂未进入上覆第四系。

由于没有错断上覆上更新统和全新统, 所以海州-韩山断裂不是活动断裂。基于该断裂带内的断层泥未固结、存在的约 2 m 基岩高差地形有可能属于断层坎以及在第四系等厚线图上沿断裂西侧沉积厚度明显变大等现象, 认为该断裂为第四纪早期(Qp₁₋₂)弱活动断裂。当然断层泥的物理性状有多种影响因素, 基岩坎的形成也可能因断层两侧岩石抗风化能力不同, 与第四纪早期遭受差异风化及剥蚀形成的陡坎微地貌有关。

4.2 北东向烧香河断裂

烧香河断裂(F₃)在区域上又称邵店-桑墟断裂, 陆地长度约 120 km, 西段构成了白垩纪-古近纪沭阳盆地、板浦盆地的边界断裂。断裂走向 NE45°~55°, 倾向南东, 倾角 60°左右, 在研究区经刘杨庄北、板浦北、板桥南等地入海, 全段隐伏于冲积、海积平原之下。

在板桥南沿省道 S242 跨烧香河断裂布设了浅震纵波反射测线 10-1。在该测线时间剖面上, 烧香河断裂 F₃₋₁ 断点位于桩号 4420 m 处, 此处新近系和第四系底界 T₁ 反射波组有明显转折现象, 以桩号 4420 m 为界地层呈现从北向南变深的形态, 推测为断层反应, 表现为上盘下降的正断层, 断面倾向南(图 7)。

针对断点 F₃₋₁ 跨断层布设了 7 个钻孔, 剖面编号为 PZ4(图 8)。在该钻孔联合地质剖面中, 揭露了第四系、上新统宿迁组和元古代花果山组。第四系包括全新统连云港组、上更新统灌南组、中更新

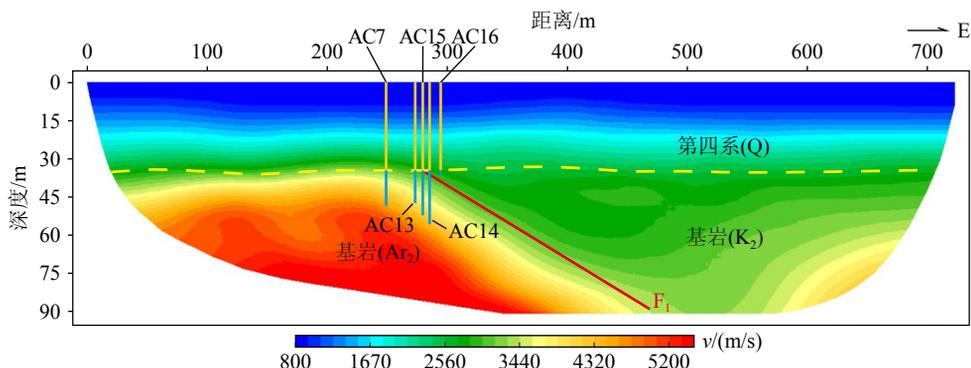


图 5 测线 LBK2b 折射层析成像速度剖面

Fig.5 Velocity profile of the refraction tomography along line LBK2b

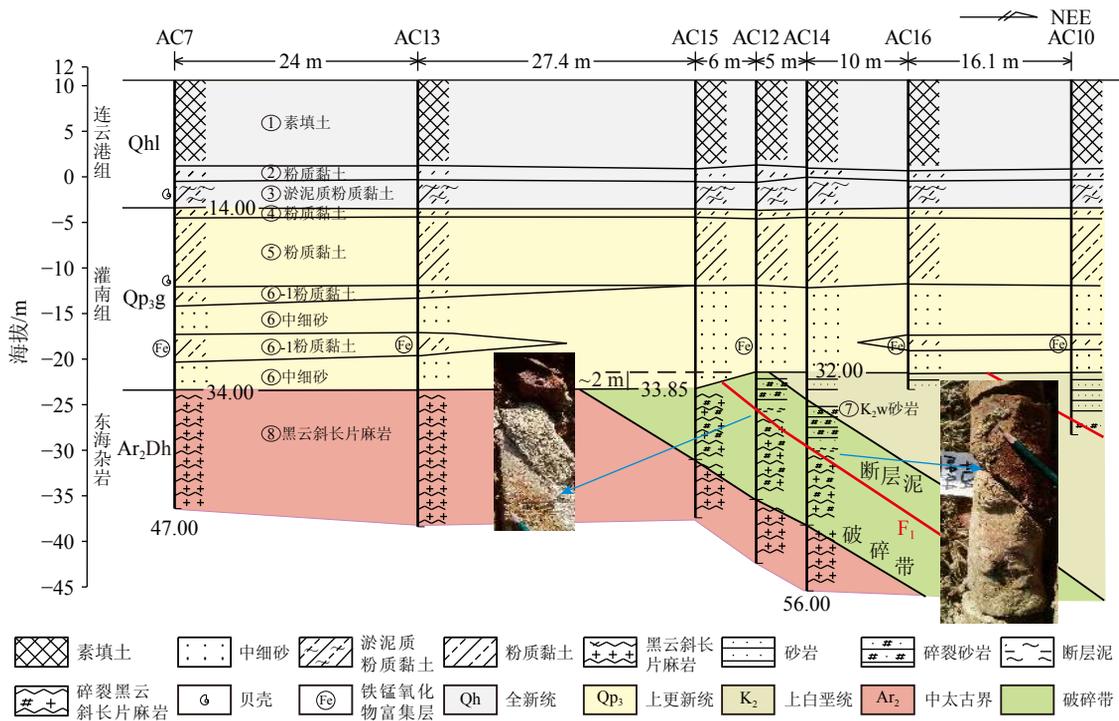


图 6 刘滩村北跨海州-韩山断裂新沭河大堤 PZ10 钻孔联合地质剖面图

Fig.6 PZ10 comprehensive borehole geological sections across the Haizhou-hanshan Fault along the New Shuhe River dam to the north of Liutan Village

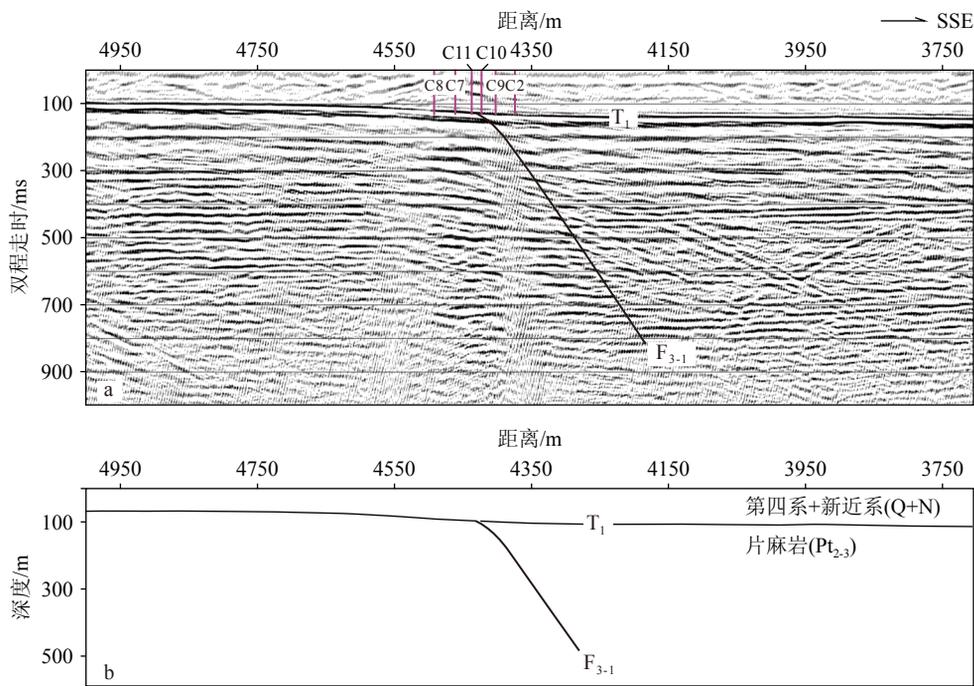


图 7 测线 10-1 断点 F₃₋₁ 局部时间剖面 (a) 及其地质解释剖面 (b)

Fig.7 Time section across fault point F₃₋₁ (a) and its geologic interpretation (b) along line 10-1

统小腰庄组和下更新统五队镇组,厚度大致为 80~89 m,向东南方向略有增厚。其中①—②层为全新统连云港组,以海相-海陆交互相淤泥质粉质黏土为主,地层基本呈水平状分布;③—⑧层为上更

新统灌南组,为冲积相和海相地层组合,岩性以粉质黏土和粉细砂为主,向东南方向埋深略微加大,层位稳定,总体呈水平状分布;⑨—⑬层、⑬-1层为中更新统小腰庄组,以冲积相黏土、粉质黏土为主,

夹薄层粉细砂; ⑭、⑮和⑮-1 层为下更新统五队镇组, 以河湖相黄色、灰白粉细砂夹棕黄-蓝灰色粉质黏土为主, 下更新统厚度变化不大, 向西北方向层底埋深有变浅的趋势; ⑯—⑲层为上新统宿迁组地层, 以河湖相灰白色粉质黏土夹粉细砂层为主, 底部灰白色夹褐黄色含砾中粗砂, 从东南向西北厚度有变薄趋势, 底部埋深也逐渐变浅。

剖面中全新统一中更新统中上部(①—⑬层), 总体呈水平分布, 未见错断现象; 而下更新统五队镇组、上新统宿迁组、元古代花果山组(⑭—⑲层) 均被断错, 并向上影响到中更新统下部⑬-1 层, 垂直断距约为 3.6~3.7 m, 并造成 C11 孔宿迁组地层局部变形, C10 孔花果山组破碎, 具碎裂化现象(图 8 中照片)。综上所述, 烧香河断裂为倾向东南的正断层, 倾角约为 50°~65°, 最新活动时代为早更新世或中更新世早期。

4.3 北西向南城-新浦断裂

南城-新浦断裂(F_8)穿过连云港市区, 经南城镇至新浦镇一带, 走向 NW, 倾向 NE, 倾角 50~70°, 长

度约 20 km。该断裂错断了元古界、白垩纪地层, 对罗阳-浦南白垩纪盆地有一定的控制作用。

在浦南镇西布设了地震纵波反射测线 LBK8a, 在该测线剖面上发现了南城-新浦断裂, 断点 F_{8-3} 位于桩号 673 m 处, 此处第四系底界/基岩面反射波组 T_Q 及以下的基岩反射波组存在轻微转折现象, 推测为断裂影响(图 9)。

针对断点 F_{8-3} 跨断层布设了 6 个钻孔, 剖面编号为 PZ8(图 10)。在该剖面中, 揭露了第四系全新统连云港组(①—③层)和上更新统灌南组(④—⑧层)、上白垩统王氏组(⑩层)、中太古界东海杂岩(⑪层)。断裂上断点埋深约 23.0 m, 主断层滑动面(F_8)倾向北东, 倾角约为 33°。上盘为上白垩统砂岩, 下盘为中太古界黑云斜长片麻岩, 破碎带宽度约 8 m, 发育碎裂岩带, 已胶结坚固, 局部沿破裂面有钙质充填胶结(图 10 中照片)。破碎带及两侧基岩之上覆盖全新统和上更新统(①—⑧层), 厚度约 23.0 m, 分布连续, 层位稳定, 没有发现断错现象。根据断裂与地层、地貌关系以及断层物质固结状态分析认为南城-新浦断裂为前第四纪断裂。

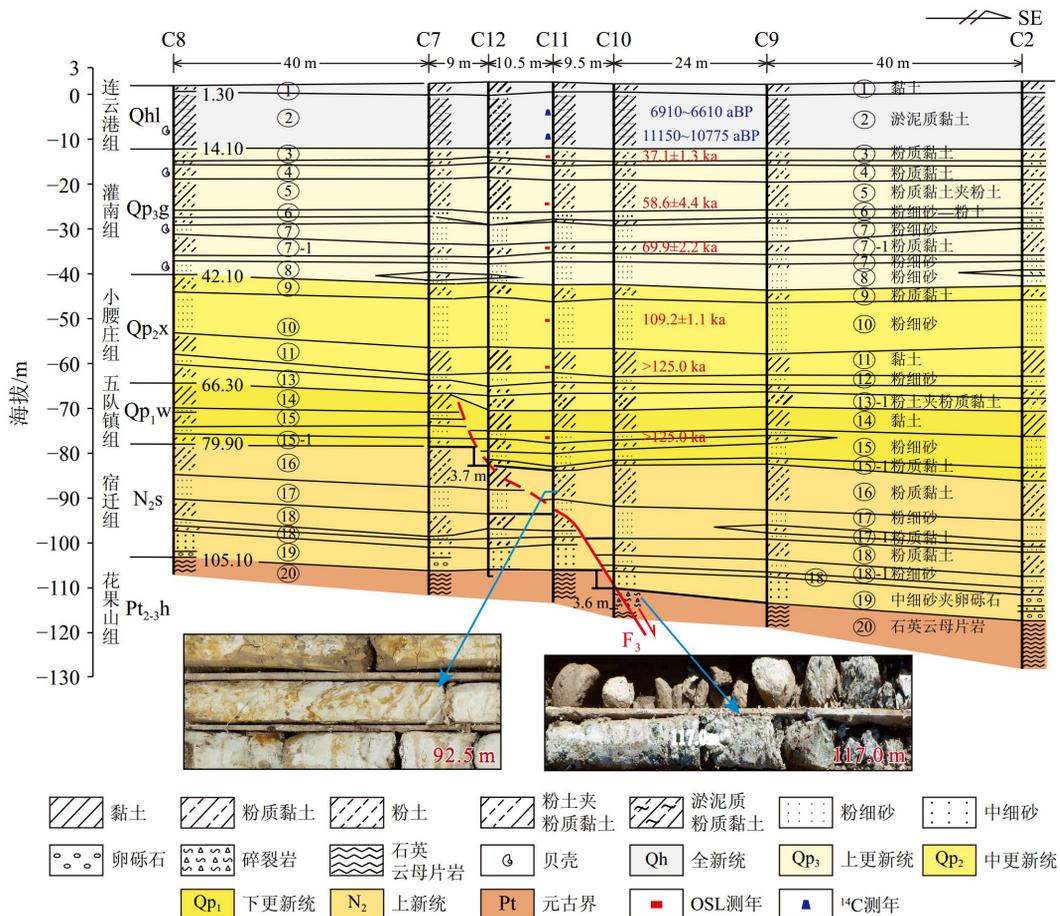


图 8 山南管理区北跨烧香河断裂 PZ4 钻孔联合地质剖面图

Fig.8 PZ4 comprehensive borehole geological section across the Shaoxianghe Fault to the north of the Shannan Management District

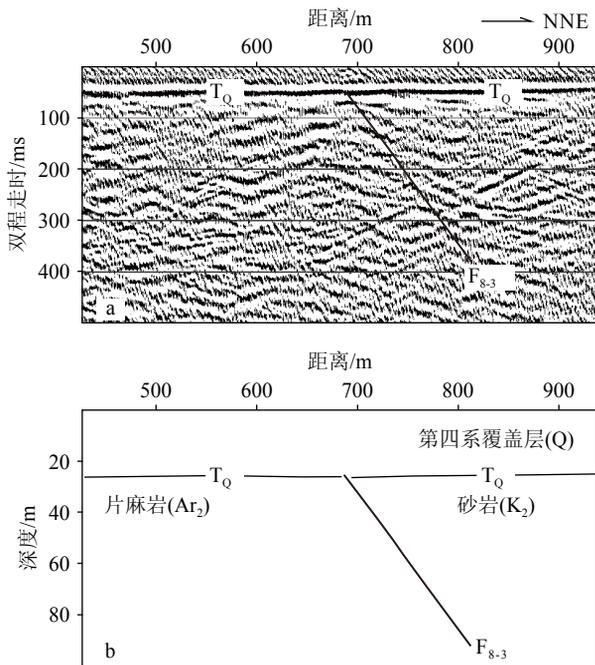


图9 测线LBK8a时间剖面(a)及其地质解释剖面(b)
 Fig.9 Time section across fault point F_{8.3} (a) and its geologic interpretation (b) along line LBK8a

此外,在南城-新浦断裂东延方向的云台山西麓的九岭村北(图2中D13考察点)发现一个出露良好的北西向断裂剖面(图11)。在元古界云母片岩

中见有多组断裂面(fa、fb、fc),发育碎裂岩和已固结的断层泥带。在fc断面处,已固结的浅灰绿色断层泥滑动面上见大致呈向东45°角侧伏的擦痕,具有左旋走滑及正断活动性质。在断裂通过处不存在明显的陡坎地貌,未发现第四纪构造新活动现象。以上现象表明该处出露的北西向断裂亦为前第四纪断裂。

5 讨论

研究区发育海州-韩山断裂(F₁)等9条主要断裂,它们分属于NNE、NE、NW向3组断裂构造(图2)。其中的NNE向和NE向断裂组规模较大,在重力和航磁异常图中也有明显的异常显示^[34],其中部分断裂明显切穿了中生代高压超高压变质带,构成了小型白垩纪盆地的边界断裂;而NW向断裂也往往与NNE向断裂相互切割并错断白垩纪地层,表明它们具有长期构造活动史,在中生代晚期的苏鲁造山活动后期仍然具有明显活动^[17-18]。

新生代以来,研究区新构造运动以向东南掀斜为特征,产生不均匀升降,NE向烧香河断裂就处在上新一第四纪早期升降转折带上,控制了研究区上新世一中更新世早期地层分布。NNE向海州-韩

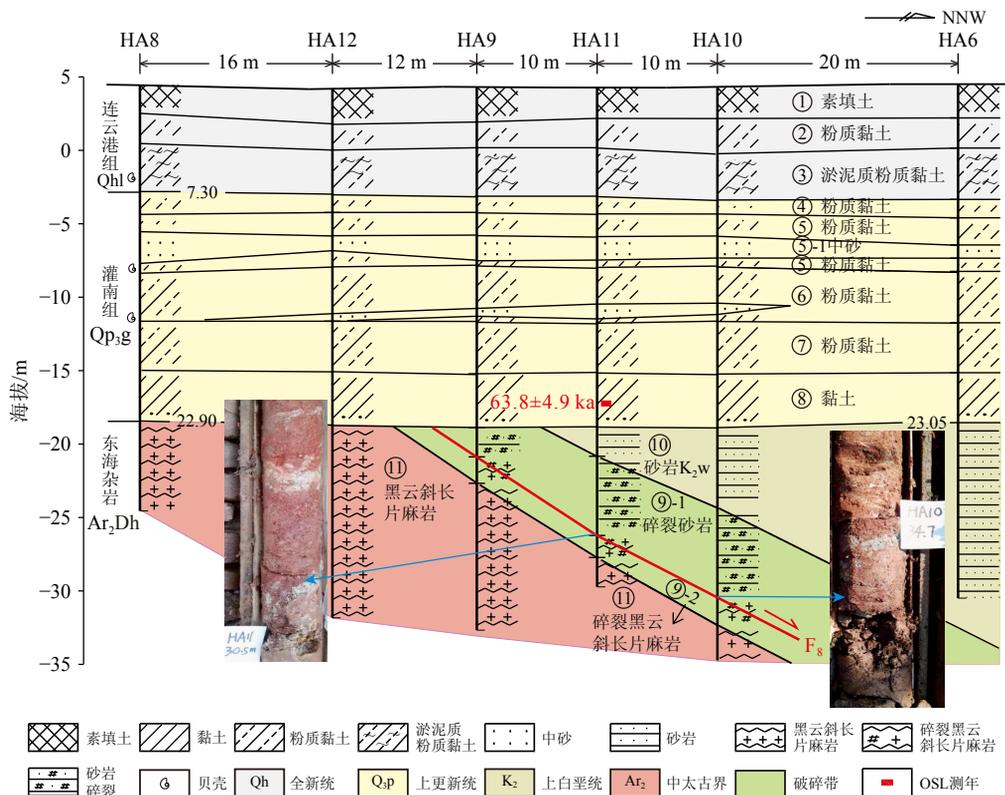


图10 跨南城-新浦断裂PZ8钻孔联合地质剖面图
 Fig.10 PZ8 comprehensive borehole geological section across the Nancheng-Xinpu Fault near the Punan Town

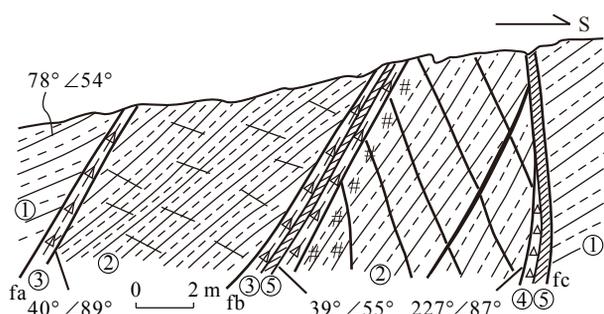


图 11 九岭村北基岩内北西向断裂剖面

①石英云母片岩; ②云母片岩节理劈理带; ③碎裂岩, 含断层角砾;
④片岩碎粉岩, 宽约 20 cm; ⑤已固结浅灰绿色断层泥, 厚 3~5 cm。

Fig.11 Sketch section of an NW-trending fault to the north of the Jiuling Village

① Quartz-mica schist; ② Mica schist joint and cleavage belts;
③ Cataclasite, contains fault breccia; ④ Ultracataclasite of schist,
about 20 centimeters wide; ⑤ Consolidated light gray-green fault
gouge, 3-5 centimeters thick.

山断裂没有断错晚第四纪地层, 但上新世沿该断裂局部地带玄武岩喷发, 并沿断裂在岗埠农场和前罗阳附近形成 2 个断续第四系沉降中心, 沉降幅度 10~20 m (图 2), 推测可能与该断裂第四纪早期活动有关。中更新世晚期以来研究区整体缓慢下降, 差异升降不显著, 断裂活动基本停止。

本次断层探测研究表明研究区内 9 条主要断裂在第四纪时期活动较弱, 除了 NNE 向海州-韩山断裂(F_1)和 NE 向烧香河断裂(F_3)具有早第四纪弱活动的可能性外, 其他断裂均为第四纪不活动断裂。相应地连云港市地震活动也较弱, 有历史地震记录以来仅发生过 1 次破坏性地震 (图 2), 即 1495 年 11 月 8 日连云港海州 4 $\frac{3}{4}$ 级地震, 没有 5 级以上地震。

研究区及所在的苏鲁造山带南部(潮连岛断裂以南), 历史上地震活动总体水平较低, 仅发生过一次 5 级以上的地震(1924 年黄海 5.0 级地震), 特别是陆域未发生过 5 级及以上中强地震, 陆域发生的最大破坏性地震即前述的连云港海州 4 $\frac{3}{4}$ 级地震。该区域小震活动也非常弱, 空间分布非常分散, 数量较稀少(图 1)。在研究区北侧同样是位于苏鲁造山带上的山东半岛第四纪断裂与地震活动也表现出类似的特点。山东半岛多数主要断裂的最新活动时代集中在早、中更新世, 仅有少数断裂(如海阳断裂、沧口断裂、东殿后断裂)或断裂的局部段落有晚更新世活动迹象^[36-39](图 1)。山东半岛历史地震记录仅有几次 5 级左右地震, 如 1046 年的岬嵎山 5 级地震、1939 年乳山 5 $\frac{1}{2}$ 级地震, 无 6 级及以上地震发生。研究区及其北侧山东半岛第四纪断裂

和地震活动均相对较弱的事实表明, 苏鲁造山带在第四纪以来的构造活动较弱, 不具备控制强地震活动的活动块体边界性质。

综合断裂最新活动特征和地震活动等资料, 分析认为连云港市研究区内具有发生 5 级左右地震的可能, 不具备 6 级及以上地震的构造条件, 因此连云港市未来所面临的“直下型”地震危险相对较小。但是, 在研究区外围的 NNE 向郯庐断裂带以及东南侧的南黄海北部拗陷和南部拗陷是现今的中、强地震活动区(图 1), 曾发生多次的 6 级、7 级及以上地震, 特别是历史上 1668 年郯城 8 $\frac{1}{2}$ 级强震对研究区的地震烈度影响达到 VIII 度, 因此不但要注意本地 5 级左右地震而且还要重视外围强震对研究区的地震破坏影响。

6 结论

本文通过浅层地震勘探、钻孔联合剖面探测、年代测试、地质地貌考察等手段, 结合连云港市研究区第四系分布及新构造特征, 并进行地震构造环境类比分析, 得到以下结论:

(1) 连云港市研究区第四纪断裂活动较弱, NNE 向海州-韩山断裂(F_1)和 NE 向烧香河断裂(F_3)为早第四纪弱活动断裂, NW 向南城-新浦断裂(F_8)及其他断裂为前第四纪断裂。

(2) 连云港市研究区上新世—早第四纪新构造运动活跃, 控制了第四纪早期地层分布或局部沉积厚度变化, 与烧香河断裂和海州-韩山断裂第四纪早期活动特征相吻合。中更新世晚期以来研究区呈现整体缓慢下降, 差异升降不显著, 研究区断裂活动基本停止。

(3) 连云港市研究区具有发生 5 级左右地震的可能, 同时还受到外围的郯庐断裂带以及东侧的南黄海内强震的影响, 因此, 在重大建设工程抗震设防、地震应急、宣传等工作中不但要考虑本地 5 级左右地震的作用, 而且还要重视外围强震对研究区的破坏影响。

(4) 本文采用地质地貌调查、高精度浅层地震反射波法和折射波法、跨断层钻孔联合地质剖面等多手段综合探测方法可为浅覆盖、构造弱活动区的断裂探测工作提供借鉴和参考。

致谢: 在项目实施过程中得到了向宏发研究员、方盛明研究员以及中国活动断层探测专家组、中国地震局震害防御中心、江苏省地震局和连云港

市地震局多位专家和领导的指导和帮助,在此表示衷心感谢!

参考文献 (References)

- [1] 张培震, 邓起东, 张国民, 等. 中国大陆的强震活动与活动地块 [J]. 中国科学 (D 辑), 2003, 33(增刊): 12-20. [ZHANG Peizhen, DENG Qidong, ZHANG Guomin, et al. Strong earthquakes and active blocks in continental China[J]. Science in China(Series D), 2003, 33(Suppl): 12-20.]
- [2] 王志才, 王冬雷, 许洪泰, 等. 安丘-莒县断裂北段几何结构与最新活动特征 [J]. 地震地质, 2015, 37(1): 176-191. [WANG Zhicai, WANG Donglei, XU Hongtai et al. Features of geometry and latest activities of the north segment of the Auqiu-Juxian fault[J]. Seismology and Geology, 2015, 37(1): 176-191.]
- [3] 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): 37-43. [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): 37-43.]
- [4] Jiang, W L, Zhang, J F, Han Z J et al. Characteristic slip of strong earthquakes along the Yishu Fault Zone in east China evidenced by offset landforms[J]. Tectonics, 2017, 36: 1947-1965.
- [5] 李康, 徐锡伟, 魏雷鸣, 等. 1668 年郯城地震断层的长发震间隔与低速率证据 [J]. 科学通报, 2019, 64(11): 1168-1178. [LI Kang, XU Xiwei, WEI Liming et al. Evidence of long recurrence times and low slip rate along the 1668 Tancheng earthquake fault[J]. Chin Sci Bull, 2019, 64(11): 1168-1178.]
- [6] 顾勤平, 许汉刚, 晏云翔, 等. 郯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 Qiping, 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.]
- [7] 高维明, 郑郎荪, 李家灵, 等. 1668 年山东郯城 8.5 级地震的发震构造 [J]. 中国地震, 1988, 4(3): 9-15. [GAO Weimin, ZHENG Langsun, SUN Zhuyou. Seismogenic structure of the 1668 Tancheng M=8.5 earthquake in Shandong[J]. Earthquake Research in China, 1988, 4(3): 9-15.]
- [8] 李家灵, 晁洪太, 崔昭文, 等. 1668 年郯城 8½ 级地震断层及其破裂机制 [J]. 地震地质, 1994, 16(3): 230-237. [LI Jialing, CHAO Hongtai, CUI Zhaowen et al. Earthquake fault and Its rupture mechanism of the 1668 Tancheng M=8½ earthquake[J]. Seismology and Geology, 1994, 16(3): 230-237.]
- [9] 王志才, 晁洪太, 杜宪宋, 等. 南黄海北部千里岩断裂活动性初探 [J]. 地震地质, 2008, 30(1): 176-186. [WANG Zhicai, CHAO Hongtai, DU Xiansong et al. Preliminary survey on the Quaternary activities of the Qianliyan Fault in the northern part of the South Yellow Sea[J]. Seismology and Geology, 2008, 30(1): 176-186.]
- [10] 沈中延, 周建平, 高金耀, 等. 南黄海北部千里岩隆起带的第四纪活动断裂 [J]. 地震地质, 2013, 35(1): 64-74. [SHEN Zhongyan, ZHOU Jianping, GAO Jinyao et al. Quaternary faults of the Qianliyan uplift in the northern south Yellow Sea[J]. Seismology and Geology, 2013, 35(1): 64-74.]
- [11] 许志琴, 戚学祥, 杨经绥, 等. 苏鲁高压-超高压变质地体的陆-陆碰撞深俯冲剥蚀模式 [J]. 地球科学—中国地质大学学报, 2006, 31(4): 427-436. [XU Zhiqin, QI Xuexiang, YANG Jingsui et al. Deep subduction erosion model for continent-continent collision of the Sulu HP-UHP metamorphic terrain[J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 2006, 31(4): 427-436.]
- [12] 晁洪太, 王琦, 李家灵, 等. 山东省地震构造图 (1: 100 万), 山东省新构造图 (1: 100 万) 及其说明书 [M]. 济南: 山东省地图出版社, 1997: 1-12. [CHAO Hongtai, WANG Qi, LI Jialing et al. Seismotectonic map of Shandong province(1: 1000000), Neotectonic map of Shandong province(1: 1000000), And its specifications[M]. Jinan: Shandong Map Publishing House, 1997: 1-12.]
- [13] 王志才, 王冬雷, 许洪泰, 等. 山东省地震构造图 (1: 500000)[M]. 济南: 山东省地图出版社, 2021. [WANG Zhicai, WANG Dongli, XU Hongtai et al. Seismotectonic Map of Shandong Province(1: 500000) [M]. Jinan: Shandong Map Publishing House, 2021.]
- [14] 国家地震局震害防御司编. 中国历史强震目录 [M]. 北京: 地震出版社, 1995: 1-514. [Department of Earthquake Disaster Prevention, State Seismological Bureau. The catalogue of Chinese historical earthquakes[M]. Beijing: Seismological Press, 1995: 1-514.]
- [15] 中国地震局震害防御司编. 中国近代地震目录 [M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1999. [Department of Earthquake Disaster prevention, China Earthquake Administration. The catalogue of Chinese modern earthquakes [M]. Beijing: Science and Technology of China Press, 1999.]
- [16] 侯方辉, 张志珣, 张训华, 等. 南黄海盆地地质演化及构造样式地震解释 [J]. 海洋地质与第四纪地质, 2008, 28(5): 61-68. [HOU Fanghui, ZHANG Zhixun, ZHANG Xunhua et al, Geological evolution and tectonic styles in the South Yellow sea basin[J]. Marine Geology and & Quaternary Geology, 2008, 28(5): 61-68.]
- [17] 江苏省地质矿产局. 中华人民共和国区域调查报告 1: 50000 墩尚幅、连云港市幅、连云港镇幅、东辛农场幅 [R]. 1994: 117-209. [Jiangsu Geological and Mineral Resources Bureau, Regional geological survey report and geological map of Dunsang, Lianyungang city, Lianyungang town and Dongxin farmland (1: 500000) [R]. 1994: 117-209.]
- [18] 中国地质科学院地质所, 江苏省地质调查研究院. 1: 25 万区域地质调查报告 连云港幅 [R]. 2008: 164-220. [Geological Institute of China Geological Academy and Geological Survey of Jiangsu Province. Regional geological survey report (1: 200000) and geological map of Lianyungang (1: 250000) [R]. 2008: 164-220.]
- [19] 山东省地震工程研究院. 连云港市活动断层探测与地震危险性评价技术报告 [R]. 2019: 244-384. [Shandong Institute of Earthquake Engineering. Technical report on active fault detection and seismic risk assessment in Lianyungang, China[R]. 2019: 244-384.]
- [20] 张国伟, 孟庆任, 赖绍聪. 秦岭造山带的结构构造 [J]. 中国科学 (B 辑), 1995, 25(9): 994-1003. [ZHANG Guowei, MENG Qingren, LAI Shaocong. Texture and structure of the Qinling Orogenic belt[J].

- Science in China(series B), 1995, 25(9): 994-1003.]
- [21] 陈建文, 许明, 雷宝华, 等. 华北-扬子板块碰撞结构的识别: 来自南黄海海域的证据 [J]. 海洋地质与第四纪地质, 2020, 40(3): 1-11. [CHEN Jianwen, XU Ming, LEI Baohua et al. Collision of North China and Yangtze Plates: evidence from the South Yellow Sea[J]. Marine Geology and & Quaternary Geology, 2020, 40(3): 1-11.]
- [22] 李三忠, 郑祺亮, 李玺瑶, 等. 中国东部苏鲁造山带的印支期俯冲极性及其造山过程 [J]. 海洋地质与第四纪地质, 2017, 37(4): 18-31. [LI Sanzhong, ZHENG Qiliang, LI Xiyao et al. Triassic subduction polarity and orogenic process of the Sulu orogen, East China[J]. Marine Geology and & Quaternary Geology, 2017, 37(4): 18-31.]
- [23] 侯贵廷, 钱祥麟, 蔡东升. 渤海湾盆地中、新生代构造演化研究 [J]. 北京大学学报: 自然科学版, 2001, 37(6): 845-851. [HOU Guiting, QIAN Xianglin, CAI Dongsheng. The tectonic evolution of Bohai basin in Mesozoic and Cenozoic time[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis, 2001, 37(6): 845-851.]
- [24] 庞玉茂, 张训华, 肖国林, 等. 下扬子南黄海沉积盆地构造地质特征 [J]. 海洋地质与第四纪地质, 2016, 62(3): 604-616. [PANG Yumao, ZHANG Xunhua, XIAO Golin et al. Structural and geological characteristics of the South Yellow Sea Basin in Lower Yangtze Block[J]. Marine Geology and & Quaternary Geology, 2016, 62(3): 604-616.]
- [25] 刘东膺. 苏北-南黄海盆地的构造演化分析 [J]. 石油天然气学报, 2010, 32(6): 27-31. [LIU Dongying. Analysis on the tectonic evolution of the north Jiangsu-South Yellow Sea basin[J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2010, 32(6): 27-31.]
- [26] 陈希祥. 江苏省徐淮地区第四纪地质 [M]. 北京: 海洋出版社, 1988: 8-105. [CHEN Xixiang. Quaternary geology in Xuhuai Region of Jiangsu Province[M]. Beijing: Marine Press, 1988: 8-105.]
- [27] 杜建国. 连云港地区第四纪沉积地层特征 [J]. 江苏地质, 1999, 23(4): 229-235. [DU Jianguo. The Features of Quaternary sedimentary strata in the region of Lianyungang[J]. Geology of Jiangsu Province, 1999, 23(4): 229-235.]
- [28] 方盛明, 张先康, 刘保金, 等. 探测大城市活断层的地球物理方法 [J]. 地震地质, 2002, 24(4): 606-613. [FANG Shengming, ZHANG Xi-ankang, LIU Baojin et al. Geophysical methods for the exploration of urban active faults[J]. Seismology and Geology, 2002, 24(4): 606-613.]
- [29] 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 Hanggang 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.]
- [30] 徐锡伟, 于贵华, 冉勇康, 等. 中国城市活动断层概论—20 个城市活动断层探测成果 [M]. 北京, 地震出版社, 2015. [XU Xiwei, YU Guihua, RAN Yongkang, et al. Introduction to Active faults of Cities in China achievement of surveying and prospecting of active fault in twenty cities[M]. Beijing: Seismological Press, 2015.]
- [31] 顾勤平, 康清清, 许汉刚, 等. 薄覆盖层地区隐伏断层及其上断点探测的地震方法技术—以废黄河断层为例 [J]. 地球物理学报, 2013, 56(5): 1609-1618. [GU Qinping, KANG Qingqing, XU Hanggang et al. Seismic exploration methods for buried faults and its up-breakpoint in thin sediment areas—An example of the Feihuanghe fault[J]. Chinese Journal of Geophysics, 2013, 56(5): 1609-1618.]
- [32] 夏暖, 吴子泉, 付俊东, 等. 浅层地震反射和折射层析成像在海州-韩山断裂探测中的联合应用 [J]. 地震, 2021, 41(4): 136-147. [XIA Nuan, WU Ziquan, FU Jundong et al. Joint application of shallow seismic reflection exploration and refraction tomography in the Haizhou-Hanshan fault detection[J]. Earthquake, 2021, 41(4): 136-147.]
- [33] 王绍鸿, 韩有松. 海州湾南岸第四纪海侵的研究 [J]. 海洋科学, 1980(2): 19-23, 1980. [WANG Shaohong, HAN Yousong. Study of Quaternary marine transgression on the southern coast of Haizhou bay[J]. Marine Sciences, 1980(2): 19-23, 1980.]
- [34] 王鑫, 张景发, 付萍杰, 等. 沂沭断裂带重力场及地壳结构特征 [J]. 地震地质, 2015, 37(3): 731-747. [WANG Xin, ZHANG Jingfa, FU Pingjie et al. Deep structures of Yishu fault zone derived from gravity data[J]. Seismology and Geology, 2015, 37(3): 731-747.]
- [35] 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 Guangkai, et al. Method of locating buried active fault by composite drilling section doubling exploration[J]. Seismology and Geology, 2011, 33(1): 45-55.]
- [36] 晁洪太, 于慎鄂, 李家灵, 等. 山东半岛地区活断层研究 [J]. 东北地震研究, 2001, 17(4): 1-8. [CHAO Hongtai, YU Shenger, LI Jialing, et al. Research on active faults in the Shandong peninsula[J]. Seismological Research of Northeast China, 2001, 17(4): 1-8.]
- [37] 周本刚, 冉勇康, 环文林, 等. 山东海阳断裂东石兰沟段晚更新世以来地表断错特征与最大潜在地震估计 [J]. 地震地质, 2002, 24(2): 159-166. [ZHOU Bengang, RAN Rongkang, HUAN Wenlin, et al. Late Pleistocene surface faulting and the maximum potential earthquake of the Dongshilangou segment of the Haiyang fault, Shandong province[J]. Seismology and Geology, 2002, 24(2): 159-166.]
- [38] 马保起, 舒赛兵, 刘光勋. 山东半岛东北部新发现近 EW 向活断层 [J]. 地震地质, 2004, 26(4): 639-644. [MA Baoqi, SHU Saibing, LIU Guangxun. A newly discovered E-W-trending active fault in the north-east part of Shandong Peninsula[J]. Seismology and Geology, 2004, 26(4): 639-644.]
- [39] 郭玉贵, 邓志辉, 尤惠川, 等. 青岛沧口断裂的地质构造特征与第四纪活动性研究 [J]. 震灾防御技术, 2007, 2(2): 102-115. [GUO Yugui, DENG Zhihui, YOU Huichuan et al. Geological features and Quaternary activities of Cangkou fault in Qingdao, China[J]. Technology for Earthquake Disaster Prevention, 2007, 2(2): 102-115.]