

DOI:10.13409/j.cnki.jdpme.201905018

五峰山—西来桥断裂浅部构造特征*

郝景润^{1,2}, 范小平¹, 钱浩¹, 郑雷明¹

(1. 南京工业大学, 江苏 南京 210009; 2. 江苏省地质工程勘察院, 江苏 南京 210012)

摘要: 利用浅层地震和钻孔联合剖面法对五峰山—西来桥断裂浅部构造特征进行了研究。结果表明:(1)五峰山—西来桥断裂是一条总体走向NW、倾向NE、视倾角60°,上断点埋深约96 m的隐伏正断层,测线控制区域最大视断距约10 m;(2)五峰山—西来桥断裂在浅部区域走向多变,从姚桥镇西侧沿北北西向延伸至魏家沟村,然后沿北西向延伸至北港路与普照路交汇处附近,最后从大路镇东部通过;(3)综合勘探和钻探结果,初步认为五峰山—西来桥断裂最新活动时代为早更新世早期—中更新世早期。

关键词: 五峰山—西来桥断裂; 浅层地震勘探; 钻孔联合剖面

中图分类号: TU443 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-2132(2021)05-1129-08

Shallow Structural Features of Wufengshan-Xilaiqiao Fault

HAO Jingrun^{1,2}, FAN Xiaoping¹, QIAN Hao¹, ZHENG Leiming¹

(1. Nanjing Tech University, Nanjing 210009, China; 2. Geo-engineering Investigation Institute of Jiangsu Province, Nanjing 210012, China)

Abstract: The paper analyzes the shallow structural features of Wufengshan-xilaiqiao fault by the methods of shallow seismic exploration and composite drilling section. The results show that: (1) Wufengshan-Xilaiqiao fault is a hidden fault with an overall strike of NW direction, a tendency to NE direction, and the apparent dip angle of fault is about 60 degrees. Its upper breaking point is buried approximately 96 m below the ground surface, the maximum apparent fault distance in the control area is about 10 m; (2) The strike of Wufengshan-Xilaiqiao fault is changeable in the shallow area, extending from the west side of Yaoqiao Town to Weijiagou Village, then extending from the west to the intersection of Beigang Road and Puzhao Road, and finally passing through the east of Daolu Town; (3) Combining the results of seismic exploration and drilling, it is preliminarily considered that Wufengshan-Xilaiqiao fault latest activities for the early periods of Early Pleistocene to early periods of Middle Pleistocene. This paper is of positive significance for the comprehension of the fault activity, evaluation of its seismic risk, as well as the planning of urban anti-seismic fortification.

Keywords: Wufengshan-Xilaiqiao fault; shallow seismic exploration; composite drilling section

研究背景

镇江位于宁镇山脉的东端,区内地形地貌复

杂,低山丘陵、岗地、平原地貌共存(图1)。自印支运动以来,地壳经历多期、多阶段的构造运动,地质构造复杂,断裂发育。数条规模较大的断裂构造不仅控制了本地区第四纪沉积环境,而且也与多次破

* 收稿日期:2019-05-09;修回日期:2019-09-02

基金项目:国家自然科学基金项目(41874051)、镇江市活动断层探测与地震危险性评价项目(ZJZCFS-2017)资助

作者简介:郝景润(1993—),男,硕士研究生。主要从事地球物理勘探工作。E-mail:1105239827@qq.com

坏性地震的孕育有关。

东部五峰山—西来桥断裂(F_1)作为无锡—宿迁断裂的一部分,截断了宁镇山脉向东的延伸,控制了该区第四纪沉积环境^[1]。无锡—宿迁断裂是一条重要的地貌和新构造分区界线,也是本区重要的发震构造,该断裂与1999年常州 $5\frac{1}{2}$ 级地震,1501年苏州 $4\frac{3}{4}$ 级地震及2000年镇江2.9级地震有密切关系。

准确获取 F_1 断裂空间展布、浅部构造特征等是评价 F_1 断裂活动性、及其地震危险性工作的前提与基础。前人鲜有对 F_1 断裂开展过系统的勘探与研究。苗巧银等^[2-3]通过地球物理勘探和地质调

查的方法对 F_1 断裂新构造运动特征进行了研究,获得了 F_1 断裂空间展布特征,并认为其最新活动时代为中更新世早期或中更新世以前。宗开红等^[4]的研究结果认为 F_1 断裂活动年代为更新世晚期。造成对 F_1 断裂活动性认识不同的原因之一是缺乏对 F_1 断裂浅部构造特征的精细研究,特别是其在近地表区域的空间展布。

基于此,本文综合浅层地震勘探和钻孔联合剖面方法^[5-8]对 F_1 断裂进行研究,以期对 F_1 断裂活动性鉴定、地震危险性评价奠定基础,为城市规划提供重要依据。

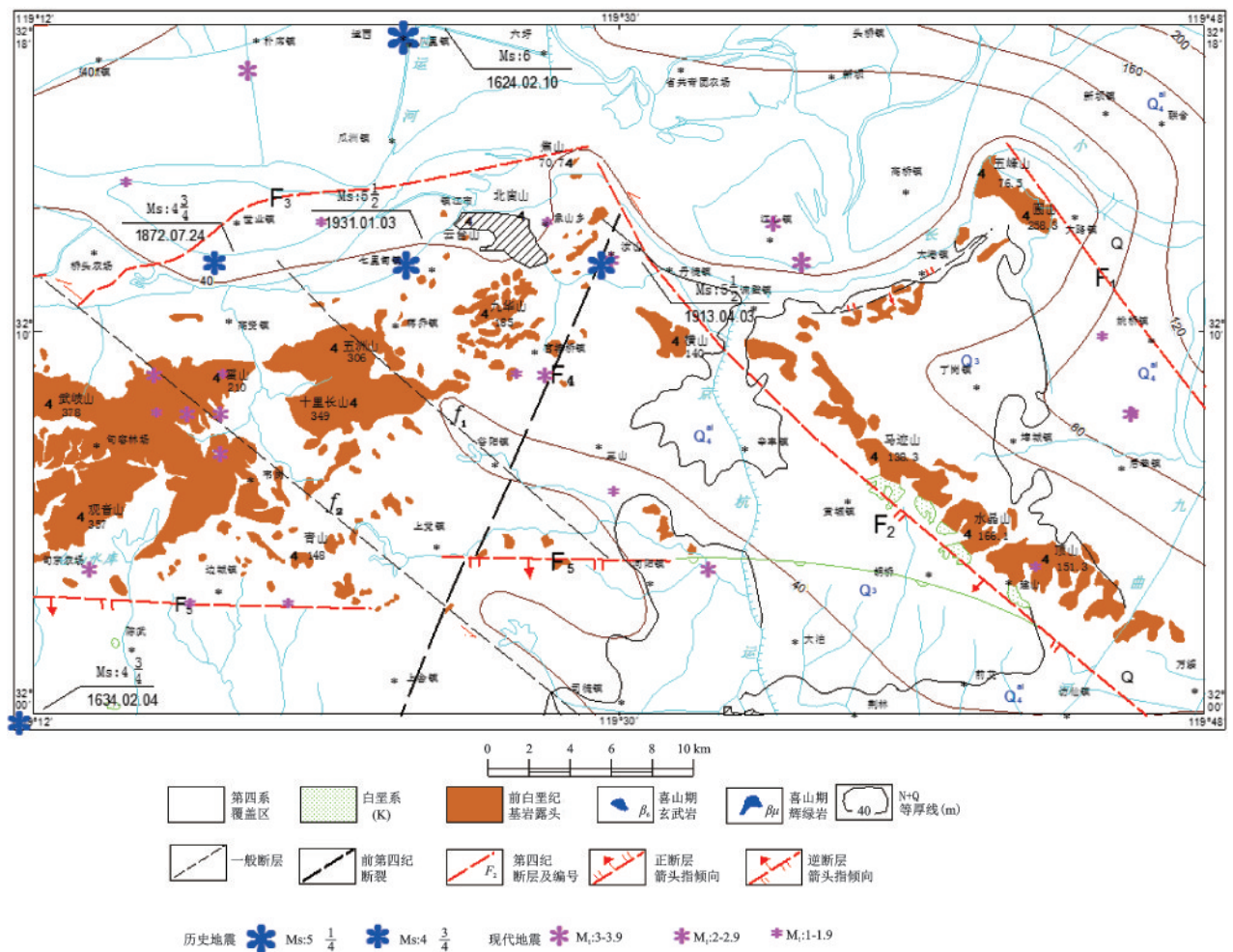


图1 镇江及邻区地质构造图
Fig.1 Geological structure map of Zhenjiang and its neighboring regions.

1 浅层地震勘探

为探测 F_1 断裂的空间展布,跨 F_1 断层布设了4条

近EW向浅层地震勘探测线,测线编号为Wx1、Wx2、Wx3和Wx4(图2)。测线间距不大于3 km。勘探采用横波反射法,Kz03型可控震源激发,道间距为3 m、炮间距为9 m,60道记录,10次覆盖观测系统。

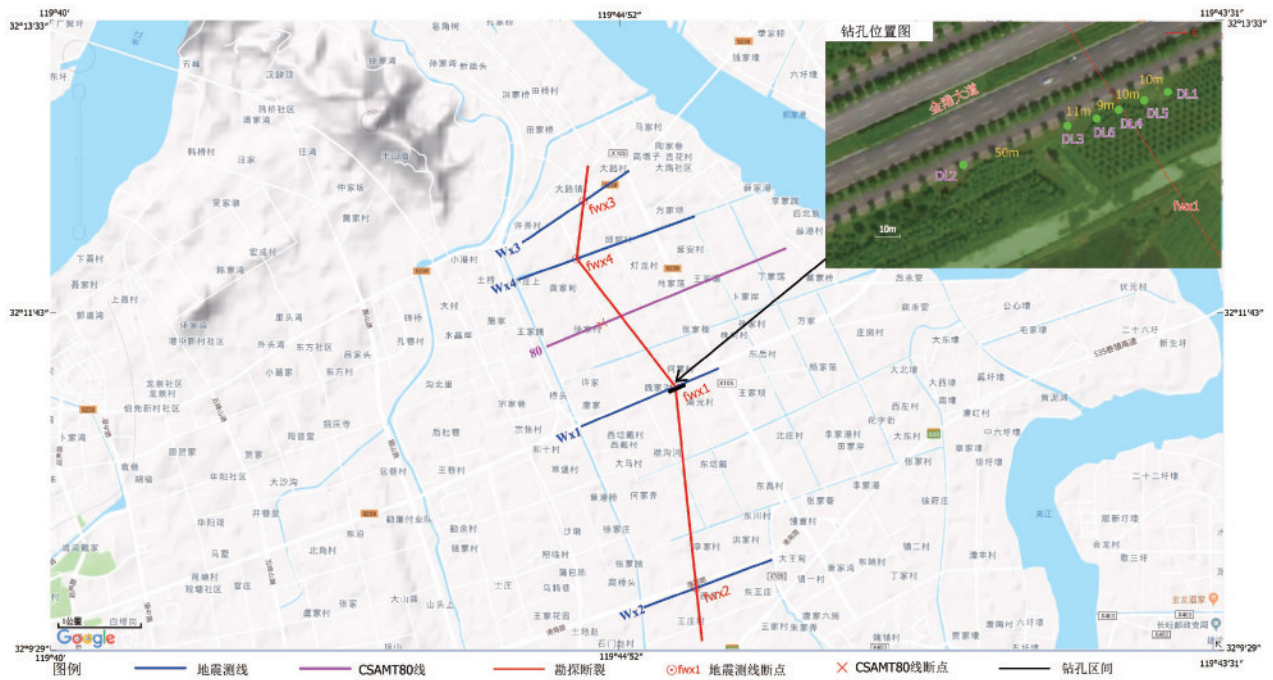


图2 地球物理勘探测线、钻孔联合剖面及 F_1 断裂位置图

Fig.2 Map of geophysical exploration lines, composite drilling sections, and the location of fault F_1

1.1 反射波组标定

为了准确地对地震剖面进行地质解释,需要对反射波组进行地质属性标定,反射波组标定工作也是断裂活动性鉴定的基础性工作。针对工区开展了反射波组标定(图3),从标定结果可以看出,覆盖层内部发育了3组反射波,分别标注为 T_1 、 T_2 及 T_3 。

结合钻探结果, T_1 波组为全新统底界反射波,界面埋深约39 m,横波层速度约为210 m/s; T_2 波组为上更新统底界反射波,界面埋深约61 m,横波层速度约473 m/s; T_3 波组为下更新统底界(基岩顶面)反射波,界面埋深为96~107 m,横波层速度约为487 m/s。由图3可以看出,叠加剖面中反射波同相轴与覆盖层内部主要层位有较好的对应关系。

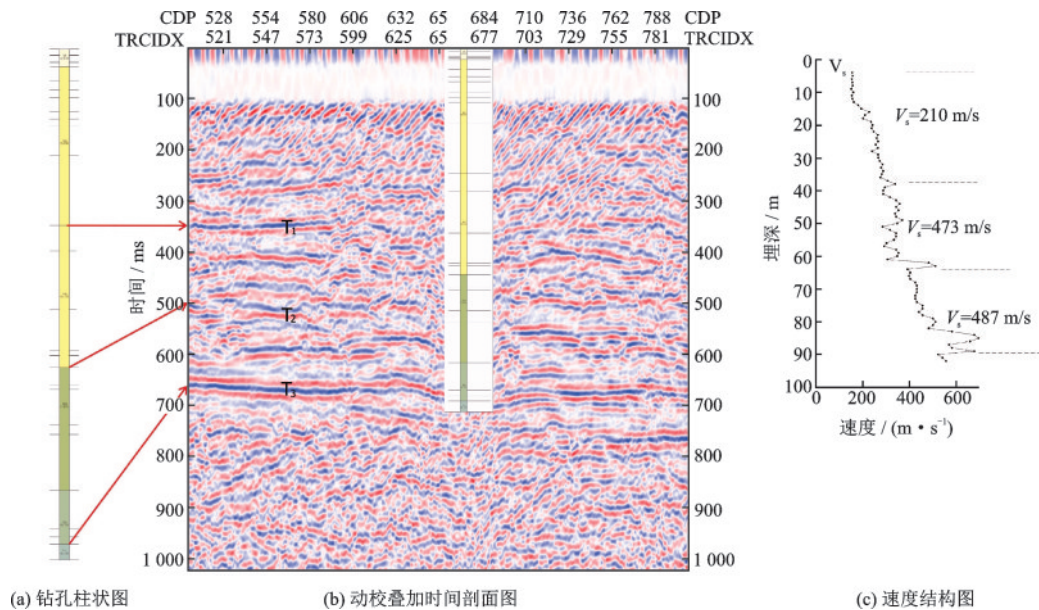


图3 反射波组标定图

Fig.3 Calibration section of the reflection wave group

1.2 典型单炮记录

图4的单炮记录中反射波组发育特征存在明显差异。图4(a)中, T_3 波组同相轴连续且能量较强, 图4(b)和图4(c)中 T_3 波组能量不稳定, 且存在绕射现象; T_3 波组双程旅行时分别为640、750和780 ms, 差异较大; 覆盖层内部层位反射波组 T_1 和 T_2 发育特征也存在较大差异, 不同桩号处 T_1 、 T_2 波组能量稳定性不同。对比第60、100及112炮原始记录可以看出, 3个波组的运动学特征还是动力学特征, 均存在显著差异, 表明断裂影响了波组的发育也控制了

该区域的沉积环境。

1.3 剖面解释

Wx1剖面(图5(a))中, T_1 为上更新统(Q_3)顶面反射波, 双程旅行时为330 ms; T_2 为中更新统(Q_2)顶面反射波, 双程旅行时为500 ms; T_3 为基岩顶面反射波, 同相轴从630号CDP点开始不连续, 双程旅行时由690 ms逐渐增大为780 ms, 存在约90 ms的时差, 判断该处存在断点 f_{wx1} , 断点 f_{wx1} 表现为正断性质, 倾向NE, 视倾角 60° , 断距约8~9 m, 上断点埋深96 m。

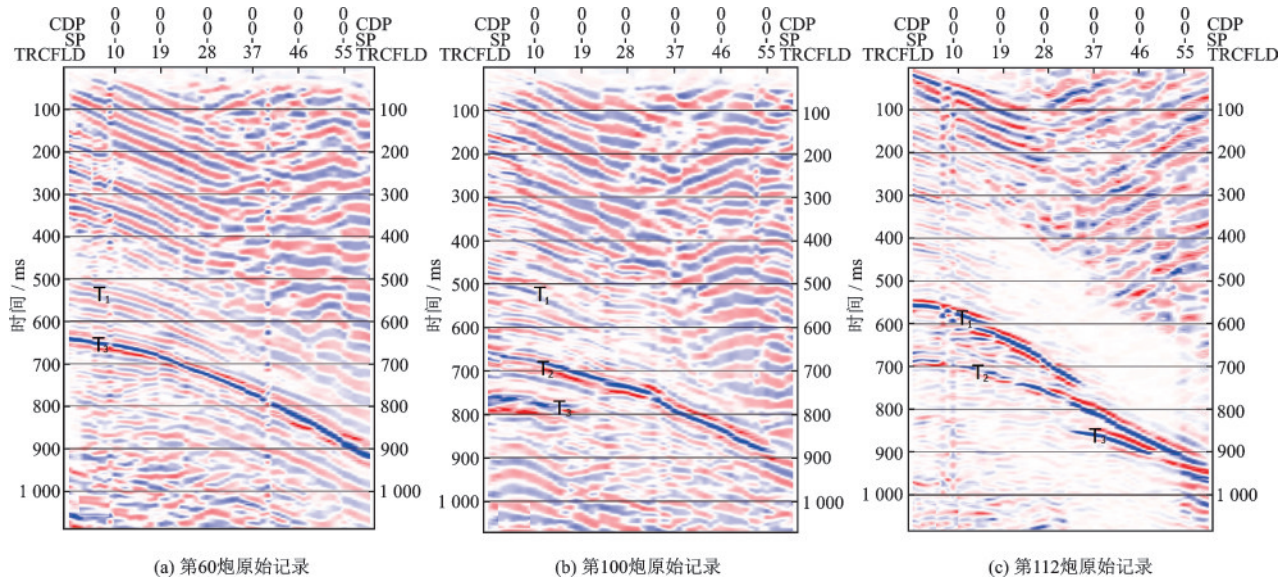
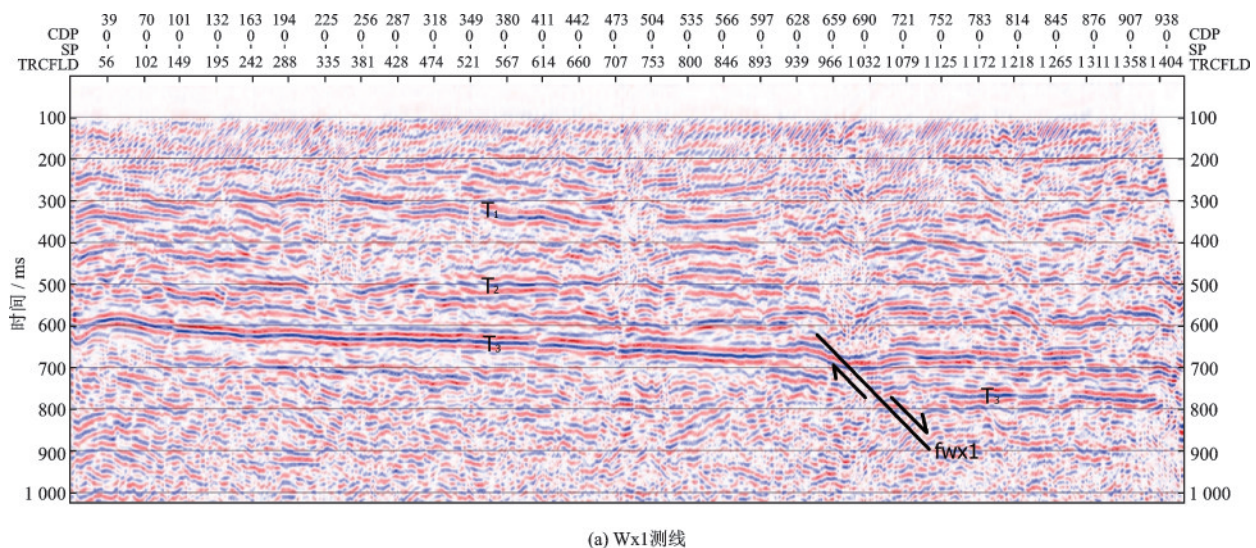


图4 典型单炮记录图

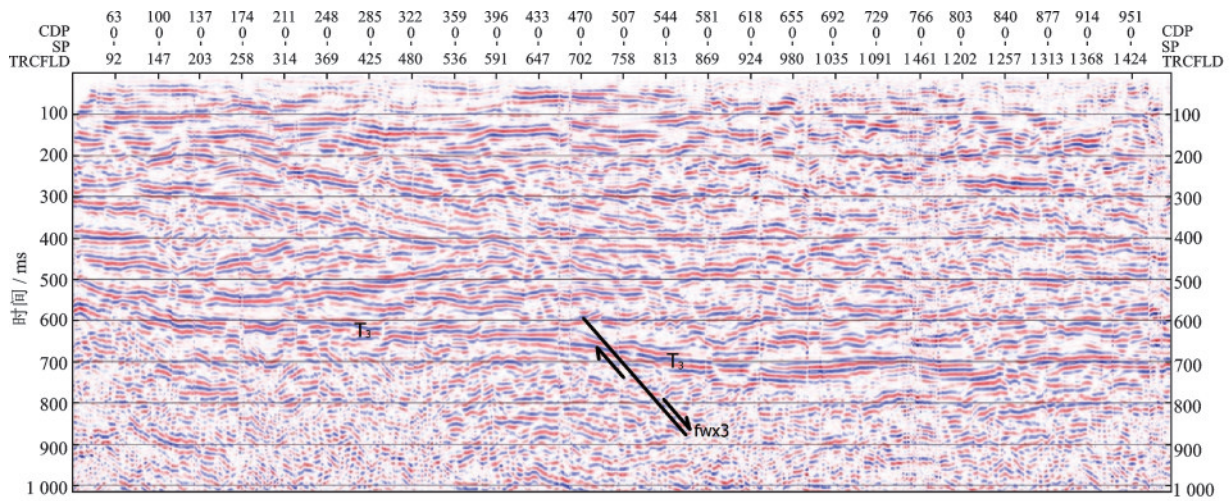
Fig.4 Typical seismic records of original single shots

Wx3剖面(图5(b))中, T_3 波组同相轴在477号CDP点不连续, 存在约60 ms时差, 推测存在

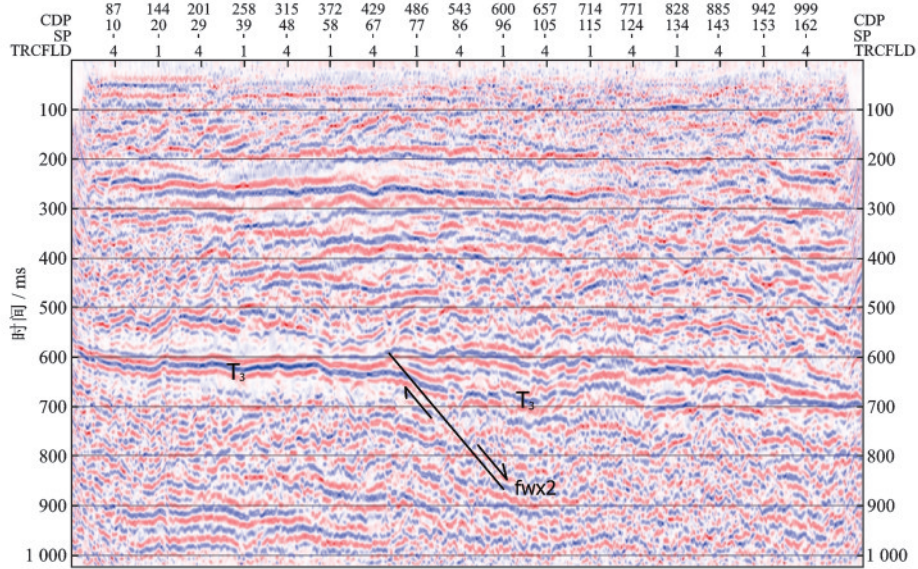
断点 f_{wx3} , 视断距约6~8 m, 上断点埋深87~90 m。



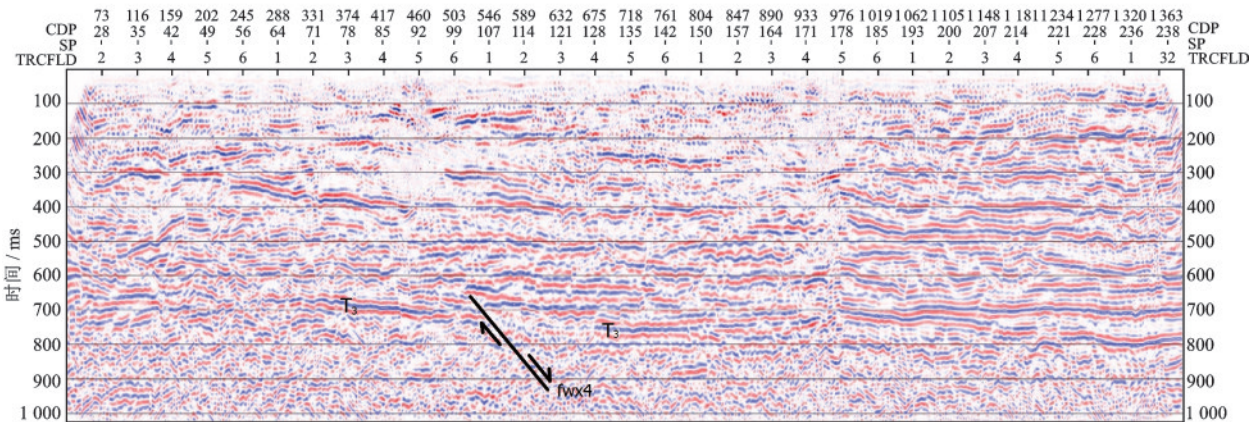
(a) Wx1测线



(b) Wx3测线



(c) Wx2测线



(d) Wx4测线

图5 不同测线时间叠加剖面图(剖面位置见图2)

Fig.5 Stacked time section for varying survey lines (Section location in Fig.2)

Wx2剖面(图5(c))中, T_3 波组同相轴在485号 CDP点不连续,存在约30 ms时差,推测存在断点 f_{wx2} ,视断距约4~5 m,上断点埋深约88~90 m。

Wx4剖面(图5(d))中, T_3 波组同相轴在538号 CDP点不连续,存在约30 ms时差,推测存在断点 f_{wx4} ,视断距约4 m,上断点埋深约90~95 m。对比上

述4个反射波剖面发现,断点 f_{wx1} 、 f_{wx2} 、 f_{wx3} 及 f_{wx4} 发育处反射波同相轴形态具有较强的一致性,表明上述断点为同一条断裂上的不同断点。

2 钻孔联合剖面

为了揭示 F_1 断裂浅部构造特征,跨 f_{wx1} 断点布设钻孔联合剖面。钻孔联合剖面采用对折法^[9]布设,布设了6个钻孔,钻孔联合剖面区间总长90 m,钻孔位置如图2所示。钻孔联合剖面对应于 $Wx1$ 测线945-1035#桩号。排钻信息见表1。

结合钻孔联合剖面图(图6),本场地自上而下揭示如下地层:层(1)-(5)为粉砂质黏土、粉砂、粉细砂、泥质粉砂,属全新统如东组(Qhr),底界埋深在66.3~68 m;层(6)为粉砂、细砂、中细砂、泥质粉砂和深灰色中粗砂,属上更新统漏湖组(Qp^3g)和昆山组(Qp^3k),底界埋深在74~77.3 m;层(7)-(8)含砾粗砂属中更新统启东组(Qp^2q),底界埋深在80.3~81.5 m;层(9)粉砂质黏土、粗砂,属下更新统海门组(Qp^1h),底界埋深93.7~103 m;层(10)为上白垩统浦口组泥岩(K_{2p}),埋深>103 m。

表1 钻孔位置及基岩埋深

钻孔编号	对应桩号/m	钻孔深度/m	基岩埋深/m
2	945	95.8	94.1
3	995	100.1	97
6	1 006	99	97.7
4	1 015	100	98.2
5	1 025	104	101.4
1	1 035	106.4	103.2

由表1可知,1#孔和2#孔间距为90 m,基岩面落差9.5 m,基岩面埋深由西向东逐渐加深;2#孔与3#孔间距50 m,基岩落差2.9 m,推测由基岩倾斜坡度产生;4#孔与5#孔间距10 m,基岩面落差达3.2 m,垂直落差明显,推测 F_1 断裂从4#孔附近通过。由图6可以看出,断层断错了下更新统底界,使基岩面在4#孔与5#孔之间形成3.2 m落差;中更新统底界也可能被断层影响,在3#孔与4#孔之间形成2 m落差;而各钻孔中更新统顶界深度一致,表明该界面未被断层断错。综合分析,本场地钻孔联合剖面成果表明 F_1 断裂表现为东倾正断层,其最新活动时代为早更新世早期—中更新世早期。

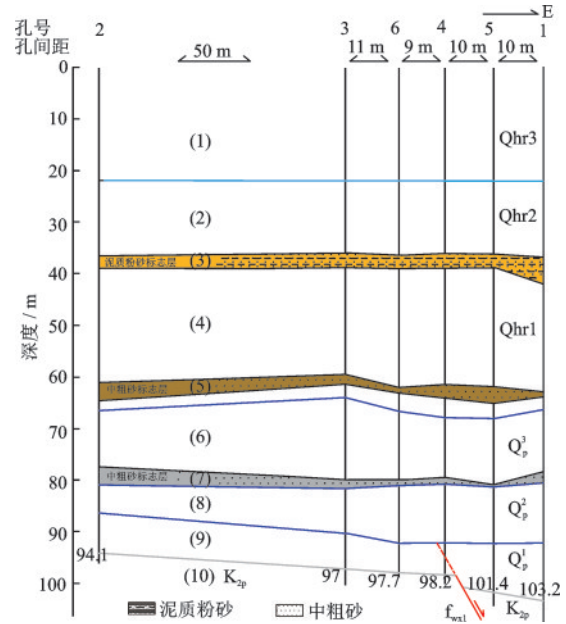


图6 DL1钻孔联合剖面地质解释图

Fig.6 Composite drilling geological interpretation section of DL1

3 讨论

图7为采用瞬变电磁法(CSAMT)^[3-4]对 F_1 断裂勘探的成果,测线编号80,CSAMT测线位置如图2所示。

由图7可见,在0~100 m为第四系(Q)地层,电阻率呈现低阻;在100~400 m为白垩系浦口组(K_{2p})地层,电阻率呈现相对低阻;在400 m以下,电阻率呈现出西高东低的特点。以1 600观测点为界,西侧为震旦纪白云岩(Z_2d),东侧为白垩纪浦口组砂岩(K_{2p})。在1 600观测点附近,电阻率等值线密集,电阻率梯度变化大,断裂特征明显,表现为倾向NE的正断层。

浅层地震勘探成果与CSAMT勘探成果具有一致性,CSAMT成果揭示出 F_1 断裂在较深层位的发育特征,而浅层地震勘探成果不仅揭示了 F_1 断裂在第四系内部的发育特征,而且探明了断裂构造的空间展布。浅层地震勘探地质解释的主要层位与钻孔联合剖面揭示的主要地层有较好的对应关系,二者在上断点所处层位、埋深及倾向等方面的结论一致,验证了文中 F_1 断裂浅部构造特征结论的可靠性。

钻孔联合剖面初步确定了 F_1 断裂的活动时代

为早更新世早期—中更新世早期,与苗巧银等通过地球物理勘探和地质调查方法得出的结论基本相同且活动时代更为具体;与宗开红等认为活动时代为更新世晚期至全新世早期的结论存在差异,造成差异的原因主要是其研究缺少对断层断错地层时代的测年研究,结论较为粗略。此外,本文通过分

析浅层地震勘探结果精确定位了 F_1 断裂的空间展布信息,断裂在工区内走向多变,总体走向近NNW,补充了前人对断裂走向的认识。

由此可见,针对城市隐伏断层探测,可以选用不同的方法进行综合勘探,以达到准确定位城市隐伏断层位置、获取断错量等参数的目的。

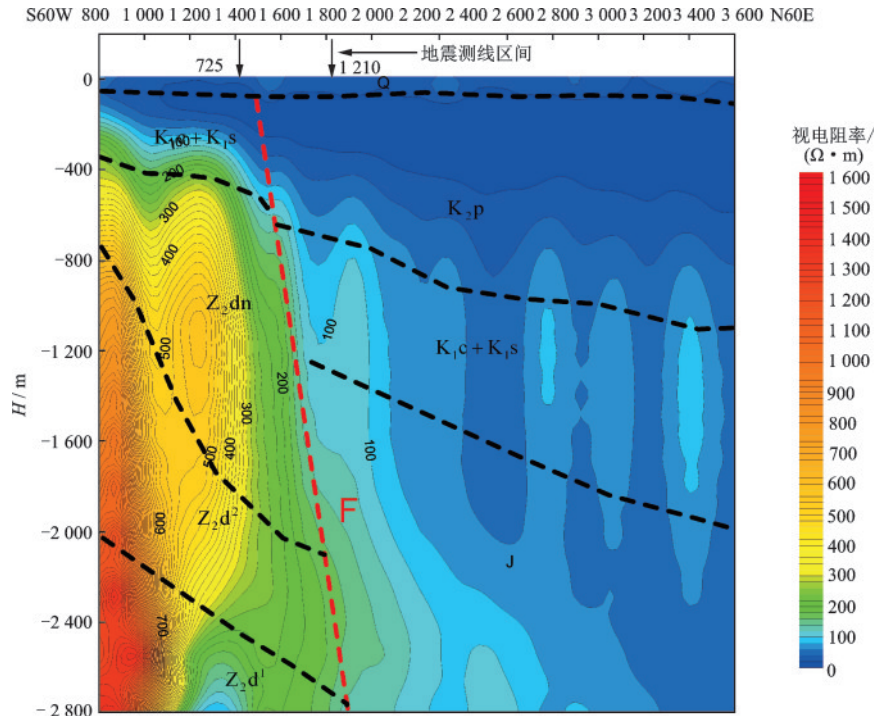


图7 CSAMT80线勘探综合剖面图^[3]

Fig.7 Comprehensive profile for line CSAMT80^[3]

4 结 论

(1)五峰山—西来桥断裂倾向NE、视倾角约 60° 、视断距10 m,具有正断性质,断裂总体走向NW,经姚桥镇西侧沿NNW向延伸至魏家沟村,然后沿NW向延伸至北港路与普照路交汇处附近,在大路镇东南部走向近N,由大路镇东部通过。

(2)钻孔联合剖面揭示上断点埋深约96 m,位于下更新统地层中,推测该断裂最新活动时代为早更新世早期—中更新世早期。

(3)多种勘探方法相结合,可以实现对隐伏断裂的精确定位。

致谢 文中钻孔地质解释部分得到了南京工业大学张鹏老师的悉心指导和帮助,在此表示由衷感谢。

参考文献:

- [1] 苗巧银,朱志国,宗开红,等.镇江地区长江南北两岸第四纪地层结构划分与沉积特征对比[J].华东地质,2017,38(3):175-183.
Miao Q Y, Zhu Zh G, Zong K H, et al. Quaternary stratigraphic structure division and sedimentary characteristic comparison between the North and South of the Yangtze River in Zhenjiang Area[J]. East China Geology, 2017,38(3): 175-183. (in Chinese)
- [2] 苗巧银,陈火根,李向前,等.江苏镇江东部大路—姚桥断裂新构造运动特征[J].华东地质,2016,37(2):220-227.
Miao Q Y, Chen H G, Li X Q, et al. Neotectonic movement of Dalu-Yaoqiao fault in the east of Zhenjiang [J]. East China Geology, 2016, 37 (2) : 220-227. (in Chinese)

- [3] 江苏省地质调查研究院. 镇江新区大路镇东南部地热普查项目 CSAMT 报告[R]. 南京: 江苏省地质调查研究院, 2011.
Jiangsu Geological Survey Research Institute. CSAMT report of Geothermal Census Project in Eastern Zhenjiang[R]. Nanjing: Jiangsu Geological Survey Research Institute, 2011. (in Chinese)
- [4] 宗开红, 宗雯, 康从轩. 江苏镇江地区主要活动断裂及其晚第四纪活动性研究[J]. 地质力学学报, 2016, 22(3): 439-453.
Zong K H, Zong W, Kang C X. Main active faults and their late quaternary activity in Zhenjiang area, Jiangsu province [J]. Journal of Geomechanics, 2016, 22(3): 439-453. (in Chinese)
- [5] 许汉刚, 范小平, 冉勇康, 等. 郟庐断裂带宿迁断F₅断裂浅部地震勘探新证据[J]. 地震地质, 2016, 38(1): 31-43.
Xu H G, Fan X P, Ran Y K, 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. (in Chinese)
- [6] 李燕, 刘保金, 鄞少英, 等. 利用地震折射和反射波资料研究银川盆地浅部结构和隐伏断裂[J]. 地球物理学报, 2017, 60(8): 3096-3109.
Li Y, Liu B J, Li Sh Y, et al. Exploration of shallow structure and buried faults in the Yinchuan basin using seismic refraction and reflection data [J]. Chinese Journal of Geophysics, 2017, 60(8): 3096-3109. (in Chinese)
- [7] 刘芳晓, 王爱国, 王金烁. 西秦岭北缘断裂漳县盆地浅层人工地震及钻孔联合探测[J]. 中国地震, 2017, 33(2): 311-318.
Liu F X, Wang A G, Wang J Sh. Both shallow seismic explorations and composite drilling section detection of buried segment of the fault zone along the north edge of west Qinling mountains in the Zhangxian basin [J]. Earthquake Research in China, 2017, 33(2): 311-318. (in Chinese)
- [8] 刘保金, 柴炽章, 鄞少英, 等. 第四纪沉积区断层及其上断点探测的地震方法技术——以银川隐伏活动断层为例[J]. 地球物理学报, 2008, 51(9): 1475-1483.
Liu B J, Chai Ch Zh, Li Sh Y, et al. Seismic exploration method for buried fault and its up-breakpoint in Quaternary sediment area—An example of Yinchuan buried active fault [J]. Chinese Journal of Geophysics, 2008, 51(9): 1475-1483. (in Chinese)
- [9] 雷启云, 柴炽章, 孟广魁, 等. 银川隐伏断层钻孔空联合剖面探测[J]. 地震地质, 2008, 30(3): 250-263.
Lei Q Y, Chai Ch Zh, Meng G K, et al. Composite drilling section exploration of YinChuan buried fault [J]. Seismology and Geology, 2008, 30(3): 250-263. (in Chinese)

(本文责编: 赵霞)