

DOI:10.13409/j.cnki.jdpme.20201126002

幕府山—焦山断裂的空间展布和浅部构造特征研究*

孟科, 杨浩, 赵启光, 顾勤平

(江苏省地震局, 江苏南京 210014)

摘要: 幕府山—焦山断裂为南京主城区四条主要断裂的一条, 经燕子矶、栖霞山、龙潭延伸至镇江焦山, 全长约75 km, 总体走向近东西向, 断面倾向北, 作为连贯南京—镇江两市的一条主要断裂, 与两地多次较大地震均有关联, 是宁镇地区一条非常重要的断裂构造。南京活断层项目已对该断裂在长江四桥以西段完成了活动性、空间展布、地震地质调查等多种工作, 此次研究利用近年来南京—镇江沿江范围内针对该断裂所做最新研究成果, 对该断裂全段的空间展布和浅层构造进行了进一步研究, 取得了如下成果: (1) 通过针对断裂布设并明确有可靠断点的21条人工地震测线, 卫星遥感影像和地震地质调查, 基本查明了幕府山—焦山断裂全段的空间展布信息, 并结合物探和钻孔资料分析了该断裂在不同区域的相关特征, 例如该断裂沿山脉分布段和进入长江段在断裂特征上具有较大区别; (2) 分享了用人工地震勘探方法勘探该断裂时的野外施工方式及数据处理方法, 并列出了详细的具有断点信息的单炮记录, 为后续针对该断裂所开展的科研及工程项目提供了详实的基础资料; (3) 结合震源机制解, 探讨了南京2020年3月3日3.0级地震与幕府山—焦山断裂之间的关系, 结果表明幕府山—焦山断裂与该地震相关性较大。研究结果对认识幕府山—焦山断裂活动性、评价其地震危险性以及城市抗震设防规划编制等具有积极意义。

关键词: 幕府山—焦山断裂; 南京—镇江; 浅层地震勘探; 南京3.0级地震

中图分类号: TU443 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-2132(2022)04-0866-08

Research on the Spatial Distribution and Shallow Structural Characteristics of the Mufushan-Jiaoshan Fault

MENG Ke, YANG Hao, ZHAO Qiguang, GU Qinpíng

(Earthquake Administration of Jiangsu Province, Nanjing 210014, China)

Abstract: The Mufushan-Jiaoshan Fault is one of the four main faults in Nanjing City. It extends about 75 kilometers to Jiaoshan Mountain, Zhenjiang Province, along Yanzi Rock, Qixia Mountain and Longtan Street. The fault is east-west trending, and the plane dips northward. As the main fault striking through Nanjing and Zhenjiang, it has been associated with many large earthquakes in both places, illustrating an important role in the Ningjing-Zhenjiang area. The activity periodicity, spatial distribution, seismic geological survey and many other investigations of the fault in the west of the Fourth Nanjing Yangtze River Bridge have been finished in Nanjing Active Fault Project. Based on the latest research on the fault along the Yangtze River in the Ningjing-Zhenjiang area, further research on the spatial distribution and shallow structure of the fault has been done, following results

* 收稿日期: 2020-11-26; 修回日期: 2021-01-22

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安全性评价项目资助

作者简介: 孟科(1984—), 男, 工程师。主要从事抗震设防和浅层地震勘探研究。E-mail: 872208271@qq.com

通讯作者: 顾勤平(1983—), 男, 高级工程师。主要从事抗震设防和浅层地震勘探研究。E-mail: gqp1221@163.com

have been achieved: (1) With 21 artificial seismic lines for the fault which have definitely reliable breakpoints, satellite remote-sensing images, geological and seismic investigations, the spatial distribution of the Mufushan-Jiaoshan Fault has been revealed. The related characteristics of the fault in different areas have also been analyzed based on geophysical and borehole data, for example, the section along the mountain and the section across the Yangtze River have great differences in fracture characteristics. (2) The experience of field operation and data processing on the fault exploration by using artificial seismic exploration method has been shared, also, detailed single shot seismic records with breakpoint information have been listed, which provided detailed basic data for following projects and research on this fault. (3) Combined with the Focal Mechanism Solution, the relation between the M3.0 earthquake in Nanjing on March 3rd, 2020 and the Mufushan-Jiaoshan Fault has been discussed. The result shows significant relations between the earthquake and the fault. The result of the research has positive significance for the activity periodicity and the seismic risk assessment of the Mufushan-Jiaoshan Fault and thus has a great contribution to urban seismic planning.

Keywords: the Mufushan-Jiaoshan Fault; Ningjing-Zhenjiang area; shallow seismic exploration; Nanjing M3.0 earthquake

引言

南京地区在大地构造上位于下扬子构造区,宁镇断块隆起西段,在地震区带划分上属于长江下游—黄海地震带,属中强地震过渡带。本地区地貌属于宁镇丘陵地区(图1)。对南京城区威胁较大的主要隐伏断裂有4条^[1],分别是北西向的南京—湖熟断

裂、近东西向的幕府山—焦山断裂、北东向的江浦—六合断裂和方山—小丹阳断裂。

这几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,而且也与多次破坏性地震的孕育有关。如南京地区发生的499年 $4\frac{3}{4}$ 级和548年 $5\frac{1}{2}$ 级地震,其中499年地震与2020年南京3.0级地震均发生在幕府山—焦山断裂西段附近,两者震中仅相距2.5 km。幕府山—焦山断裂和丹徒—建山断

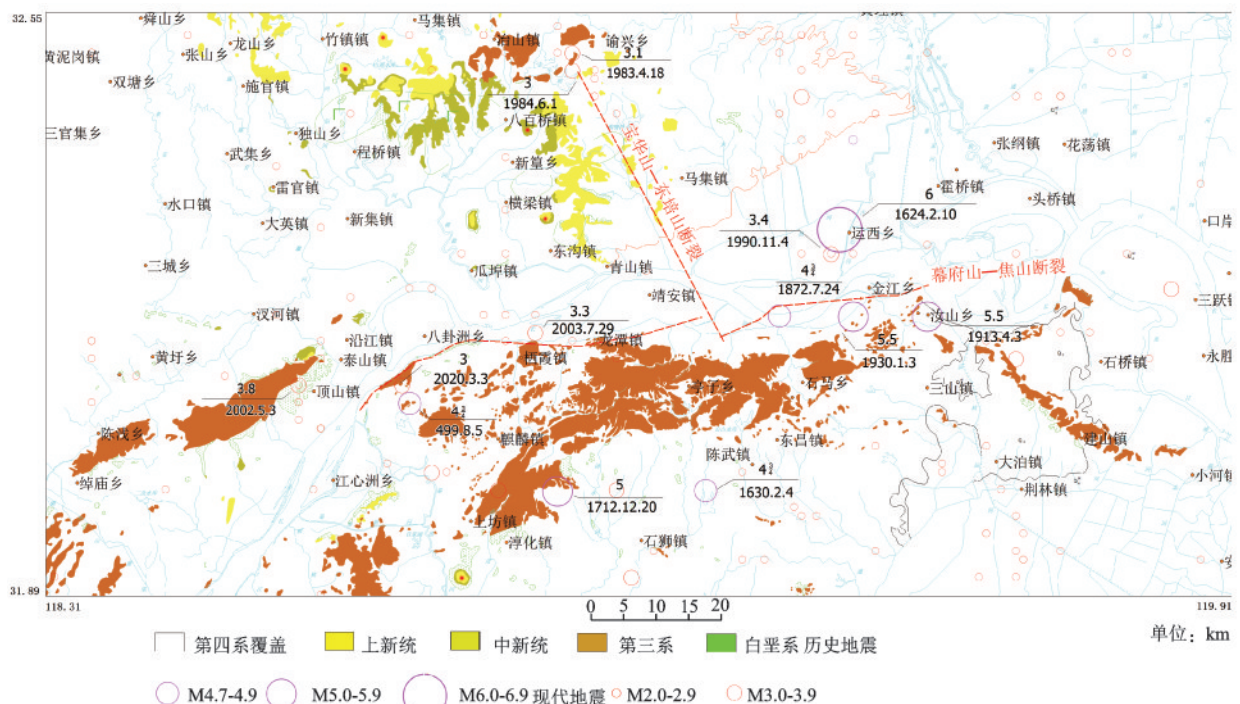


图1 幕府山—焦山断裂沿线地质构造

Fig.1 Geological structure map of Mufushan-Jiaoshan Fault and its neighboring regions

裂在镇江的焦山附近相交,可能与扬州1624年6.0级、1913年和1930年镇江5½级地震的发生密切相关。幕府山-焦山断裂作为连贯南京-镇江两市的一条主要断裂,与两地多次较大地震均有关联,是宁镇地区一条非常重要的断裂构造。前人相关研究主要集中在断裂西段南京一侧^[2-3],针对该断裂东段的相关研究较少。

前人对幕府山-焦山断层的空间展布位置主要通过1:100万重力、航磁资料、1:20万区测地质资料及部分段落的浅层人工地震探测及地质地貌调查资料推测确定。“南京市活动断层探测及地震危险性评价”项目^[4]中对该断层西段从卫星遥感影像、地震地质调查、浅层人工地震探测(自南京长江大桥南桥头下至南京长江四桥南桥轴线处共布置了12条浅地震探测线)、跨断层联合钻探工程、探槽断层剖面研究及1:10 000活动断层地质地貌填图等多方面进行了系统的探测研究,推断了该断层的走向及活动年代为第四纪中新世晚期^[2]。近几年来,江苏省地震工程研究院承担了一批连接长江两岸桥梁隧道油气管道等工程的地震安全评价工作,如“南京龙潭过江通道可行性研究”、“金坛-江宁支线天然气管道”、“润扬第二过江通道”等地震安评项目,针对幕府山-焦山断裂东段开展了大量浅层地震勘探工作,获得了该断裂东段的空间展布、浅部构造特征的大量资料。

本文根据近年来新开展的浅层地震勘探测线和跨断层钻孔工作,获取幕府山-焦山断裂的空间展布特征,再利用2020年南京3.0级地震的震源机制解结果探讨该地震与幕府山-焦山断裂的关系。研究成果可为南京、镇江地区的防震减灾工作及城市规划提供重要依据。

1 研究区地震地质概况

如图1所示,长江从研究区中部通过,其西部及南部为低山丘陵区,属新构造期以来形成的相对抬升区,长江沿岸及北部区域属于长江三角洲冲积平原区和黄淮冲积平原区,为新构造期相对沉降的区域。区内构造地貌最显著的特点是,在不同构造单元之间,均由正断层所切割,反映了这些构造单元和地貌的形成、发育均受这些断层长期作用的控制,且新构造期以来主要受张性构造运动的影响。历史上研究区曾发生过7次破坏性地震,最大的地

震是1624年2月10日江苏扬州的6.0级地震,震中烈度达到Ⅷ度,沿幕府山-焦山断裂沿线发生过的破坏性地震还有南京499年4¾级地震,镇江1872年7月24日4¾级地震,镇江1913年和1930年5½级地震。

宁镇地区根据第四系发育情况可分为两大沉积区,大致以镇江-韩桥-栖霞山-幕府山一线为界,北侧为长江三角洲平原沉积区,南侧为宁镇低山丘陵沉积区。长江三角洲平原沉积区第四系地层包括:以灰绿、灰黄色河床相粗砂砾石沉积为主的下更新统(Q_p^1);以长江河道沉积为主的中更新统(Q_p^2);以河床相、漫滩相及河口相堆积为主的上更新统(Q_p^3);以三角洲相沉积为主的全新统(Q_h)。宁镇低山丘陵沉积区,第四系主要分布在岗丘、山麓地带、成因类型较多,厚度不大,一般在几米至数十米。地层主要包括:中更新统柏山组(Q_{p^3b}),中-上更新统下蜀组($Q_{p^{3x}}$),全新统(Q_h)。

2 浅层地震勘探

浅层地震反射勘探是厚覆盖区断裂探测最常用、最有效的方法之一,该方法具有探测深度大、分辨率高以及结果可靠等优点,目前已经得到广泛的应用^[5-10]。为精确探测幕府山-焦山断裂的空间展布,本文收集了南京活断层项目、镇江活断层项目以及近年来安评项目中已明确探明断点的人工地震测线,I-X为新测线(图2)。由于勘探目标地大多处于长江冲积平原河漫滩地,基岩埋深为0~70 m,经验及实验表明采用横波反射法,可控震源激发能获得较好资料。

2.1 数据采集

2.1.1 地震仪器

美国HPI公司生产的S-Land数字地震仪,其主要特点有:(1)极大地降低了50 Hz工频干扰对地震反射数据的干扰,体现了全数字化地震勘探仪器的优势。尤其是在城市进行地震勘探时,可获得高信噪比的地震数据。(2)实时的排列状态监视功能,可以使操作员直观地看到每个采集设备的状况和每个数字化检波器的能量。以示波器的方式实时看到选定的数字化检波器(每次最多可以选定24个)的振动波形。极大地方便了操作员对数字化检波器工作状况的检查,可快速地判断和处理野外排列

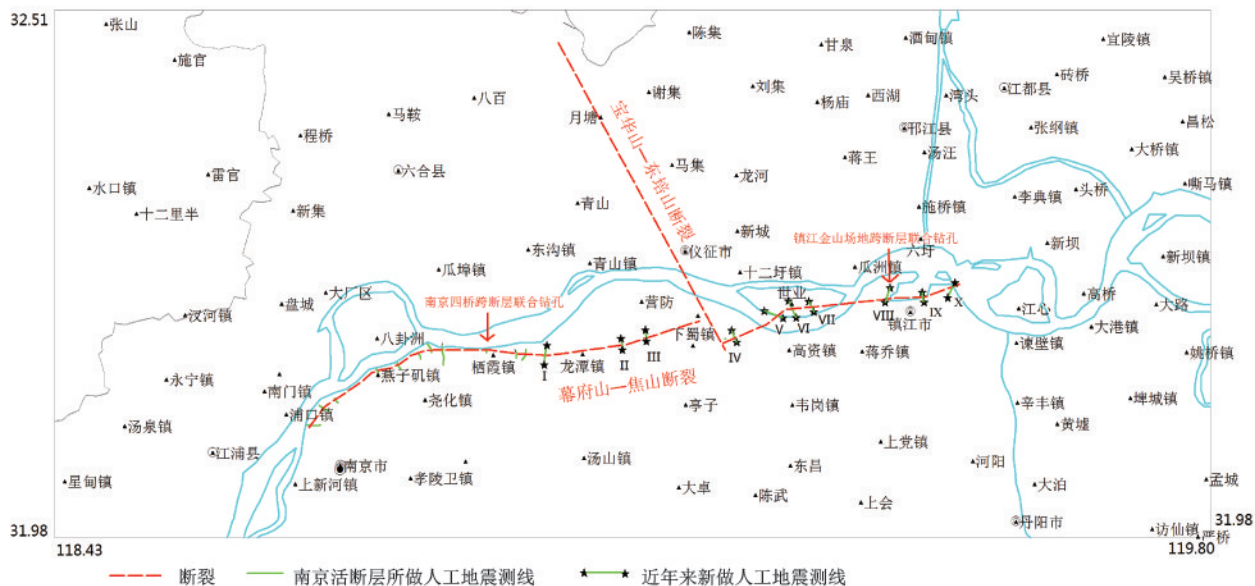


图2 地球物理勘探测线

Fig.2 The map of geophysical exploration lines

故障。(3)频率响应宽、低频响应好,有效波频率至少提高了10 Hz,最多可以提高30 Hz,有利于提高超浅层地震勘探分辨率。(4)配置28 Hz纵、横波两用检波器,可根据工作需要在不增加设备的情况下进行纵、横波联合勘探。

德国DMT公司生产的Summit数字地震仪,为目前性能最优良的浅层地震勘探仪器之一。该仪器为分立式遥测采集单元,记录道数可任意扩充。仪器主要技术性能指标如下:采样率为1/32~8 ms;记录长度为512~16 K点;模数转换为真24位;最大增益为138 db;频率范围为1 Hz~7.2 kHz;设备输入噪声为<0.2 μV(rms)。

2.1.2 人工地震震源

选用保定北奥石油物探特种车辆制造有限公司生产的沙驼牌KZ03型可控震源,其出力为296 kN,扫描频率为20~160 Hz,扫描长度为8 S。

2.1.3 测线布设及参数

测线I沿七乡河西侧布设,施工方向自南向北。

测线II沿句容龙潭先锋村东侧道路布设,施工方向由南向北。

测线III沿句容龙潭西梁庄西侧栏东线布设,施工方向由南向北。

测线IV沿句容裕课洲东侧小路布设,施工方向由南向北。

测线V沿世业洲农场村南侧小路布设,施工方向由西向东。

测线VI沿世业洲世中路布设,施工方向由南南东向北北西。

测线VII沿世业洲世中路东侧平行小路布设,施工方向由南南东向北北西。

测线VIII沿征润洲路布设,施工方向由西南南向北北东。

测线IX沿梦溪路布设,施工方向由南向北。

测线X线沿汝山路布设,施工方向由西南向北东。详细测线参数见表1。

2.2 野外工作方法

从图2中断点剖面可知,幕府山-焦山断裂有典型的山前断裂的主要特征,即基岩从沿江分布的古潜山一侧断开后先加深后逐步趋缓稳定,因此寻找此断裂的重点是找到与断裂相交的古潜山。以龙潭附近测线III为例,由于根据近场和地质图布设的测线偏北,由南向北施工1公里多仍未找到断点,且基岩界面一直较为稳定,仅开头几炮显示的基岩有起伏但未见明显的断点特征,由此判断可能追踪断点方向反了,之后将排列翻转布设后在南面找到了明显的断点特征和古潜山的形态。图3是断点附近全排列记录,图4是单炮记录,上半部为古潜山头附近单炮记录,下半部为断点附近的单炮记录。

表 1 断点特征

Table 1 Characteristics of break points

测线	道间距/m	测线长度/m	视断距/m	视倾角/(°)	断点坐标	断层性质
I	2	1 818	3	60	32.16°, 119.01°	正断层
II	3	1 294.5	4	70	32.17°, 119.10°	正断层
III	3	1 294.5	6	60	32.18°, 119.13°	正断层
IV	3	1 032	6	60	32.18°, 119.24°	正断层
V	2	2 296	3	60	32.20°, 119.29°	正断层
VI	3	2 059.5	5	70	32.21°, 119.30°	正断层
VII	3	1 203	2	60	32.21°, 119.33°	正断层
VIII	2	1 702	3	60	32.22°, 119.42°	正断层
IX	2	1 102	3	60	32.22°, 119.46°	正断层
X	3	1 869	2	60	32.23°, 119.49°	正断层

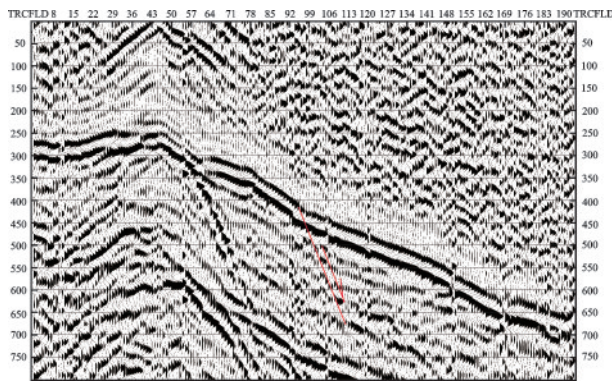


图 3 典型地震原始记录

Fig.3 A typical seismic record section

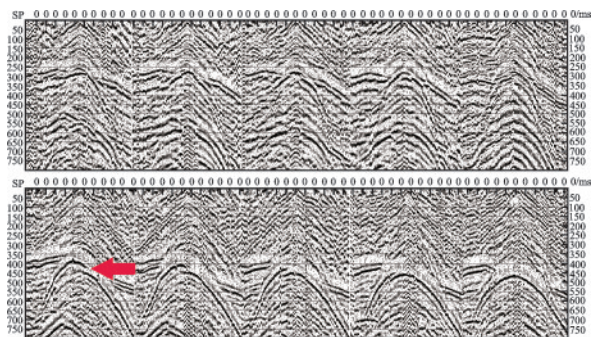


图 4 单炮记录

Fig.4 Single shot seismic record

由图 4 上半部可见,由于古潜山山头已接近地表,200~250 ms 直达、反射与折射波混杂在一起,很难分辨出有效基岩的波组,但是通过纵轴可以观察到基岩在迅速加深,在加深至 400 ms 左右出现了明显的断点特征,折射信号淡去,反射信号清晰起来。图 4 下半部列出了震源通过断层上盘、下盘及位于断层上的一系列动态原始单炮记录,当震源跨越断点时,有效反射波组只在一侧发

生凌乱和缺失,同时基岩双程时速度发生变化,导致反射波组层位加深,以断点位置反射同相轴的错断位置变化为依据,可以初步判断断层带的范围和断距^[10]。

2.3 资料处理

对反射资料进行的各种数字处理,均由专用的反射资料处理软件 GRISYS、Geogiga Proces 进行处理,成果剖面选用信噪比较高的处理结果。资料的分析处理主要包括预处理、静校正、振幅补偿、速度谱分析、动校正、畸变切除、修饰性处理及剖面输出等基本流程,在数据处理过程中,采用叠前一维滤波和二维滤波相结合的方法,以尽可能的压制干扰噪声,提高有效反射信号的信噪比;速度分析和速度谱相结合,保障求取叠加速度的准确性;进行叠前反褶积处理,提高地震数据的纵向和横向分辨率;并进行了叠前深度偏移成像。

由于幕府山—焦山断裂埋深较浅,且具有山前断裂的特性,因此原始资料不可避免的有一部分是各种信号混在一起,注意此类混杂数据与基岩面反射信号强烈的数据最好分开处理,保障求取叠加速度的准确性。

综上所述,可以得到以下经验:

(1) 针对幕府山—焦山断裂的人工地震探测应首选横波反射,高分辨率的横波在针对浅层断距小的断裂上优势明显。

(2) 幕府山—焦山山前断裂特征较为明显,如果在探测过程中发现基岩反射波长长时间处在一个层位没有变化,要考虑施工方向是否有误。

(3) 由于部分地段基岩埋深较浅,基岩折射和

反射信号混杂在一起,导致f-K、频率滤波等常用处理手段无法筛选出有效信号,可先以较深处可确认基岩反射波组为基准层速度,再反推浅部速度。

3 反射剖面特征

经过数据处理得出水平叠加时间剖面,在其中选择了Ⅲ、Ⅳ、Ⅵ、Ⅷ测线进行分析(图5~8),并结合两条测线附近的联合钻孔资料进行了地质分层和地质年代划分。图5为Ⅲ测线动校叠加时间剖面及地质解释图,图6为Ⅳ测线动校叠加时间剖面及地质解释图,图7为Ⅵ测线动校叠加时间剖面及地质解释图,图8为Ⅷ测线动校叠加时间剖面及地质解释图。

3.1 Ⅲ测线地震剖面特征

如图5所示,剖面上地层界面反射波发育明显,参考测线附近地质图与钻孔资料,解释了两组横向连续且能被可靠追踪的强反射同向轴。其中, P_1 波组为第四纪内部层位反射波。整条测线上均有发育,同相轴连续、能量较强。双程 T_0 时间在 210~550 ms,上覆层等效速度在 200 m/s 左右,对应的界面埋深在 20~57 m,自南向北逐渐加深。

P_2 波组为基岩顶面反射波。整条测线上均有发育,能量强。双程 T_0 时间在 300~680 ms,上覆层等效速度在 220 m/s 左右,对应的界面埋深在 32~74 m。依据剖面形态结合区域资料判断,280 桩号处同向轴发生突变,两侧存在明显时差,视倾角约 60° ,视断距约 3 m,倾向北的正断层,判断为 f_1 断点,总体形态上,自南向北逐渐加深,460 桩号后基岩平稳。

结合南京四桥附近联合钻孔资料可知,该段地层大概可分为全新统(Q_h),上更新统(Q_p^3),部分中更新统上部层位,下覆白垩系浦口组基岩层(K_2p)。

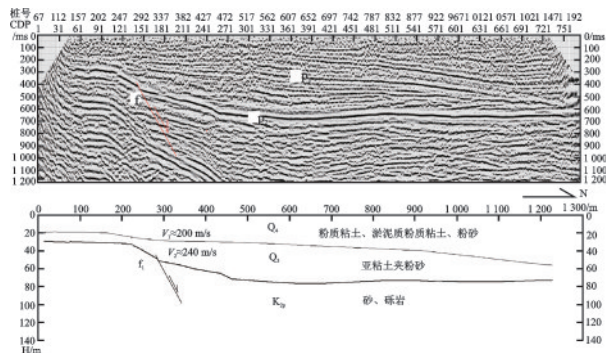


图5 Ⅲ测线动校叠加时间剖面及地质解释
Fig.5 Seismic section characteristics of line III

缺失第四系下更新统、新近系,古近系。

3.2 Ⅳ测线地震剖面特征

如图6所示,叠加剖面上基岩反射波组双程 T_0 时间大致在 190~390 ms,推测为基岩顶面反射波。该反射波组能量强,反射波同相轴 815#(1224 桩号)处不连续,存在约 50 ms 左右时差,视倾角约 60° ,视断距约 6 m,倾向北的正断层,判断为 f_2 断点,对应的界面埋深在 22~47 m,总体形态上自南向北逐渐加深。

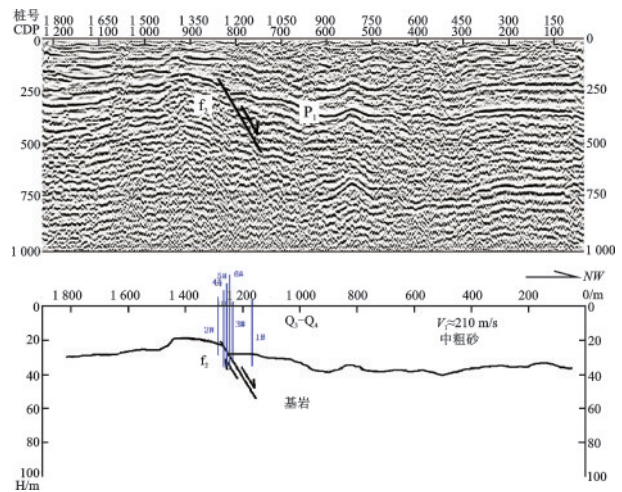


图6 Ⅳ测线动校叠加时间剖面及地质解释
Fig.6 Seismic section characteristics of line IV

结合桥头村场地联合钻孔资料可知,该段地层大概可简单分为全新统(Q_h),下蜀组上部(Q_{p3x}),下蜀组下部(Q_{p2x}),下白垩统基岩层(K_{1y}),该场地中更新统已被断错,上更新统未受断层影响。

3.3 Ⅵ测线地震剖面特征

如图7所示,叠加剖面上基岩反射波组双程 T_0

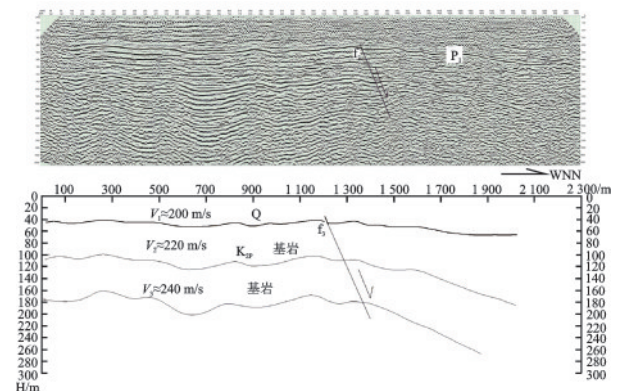


图7 Ⅵ测线动校叠加时间剖面及地质解释
Fig.7 Seismic section characteristics of line VI

时间大致在 410~630 ms,推测为基岩顶面反射波。该反射波组能量强,反射波同相轴 799#(1200 桩号)处不连续,存在约 30 ms 左右时差,视倾角约 70°,视断距约 5 m,倾向北的正断层,判断为 f_3 断点,对应的界面埋深在 41~63 m,总体形态上自东南南向西北北逐渐加深。

3.4 VIII 测线地震剖面特征

如图 8 所示,叠加剖面上基岩反射波组双程 T0 时间大致在 300~550 ms。上覆层等效速度在 280 m/s 左右,对应的界面埋深在 40~71 m。115 桩号处同向轴发生突变,两侧存在明显时差,视倾角约 60°,视断距约 3 m,倾向北的正断层,判断为 f_4 断点,总体形态上,自南向北逐渐加深,200 桩号后基岩平稳。

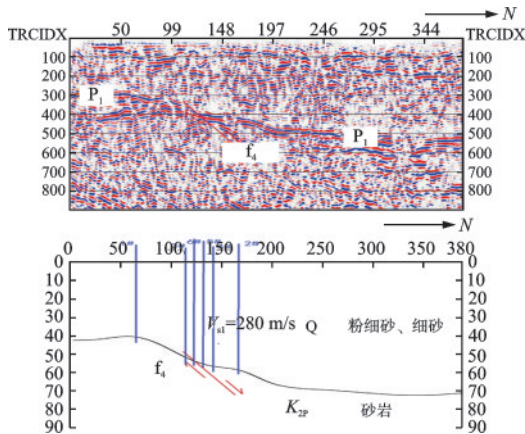


图 8 VIII 测线动校叠加时间剖面及地质解释
Fig.8 Seismic section characteristics of line VIII

结合金山场地联合钻孔资料可知,该段地层大概可简单分为全新统(Q_n),中-上更新统下蜀组(Q_{2-3x}),下覆白垩系浦口组基岩层(K_2p),该场地全新统不整合于基岩之上,全新统未受断层影响。

桥头与金山场地钻孔资料来自镇江市活动断层探测项目目标断层的晚第四纪活动性鉴定专题报告^①。

3.5 浅层地震勘探成果分析及初步认识

(1)幕府山—焦山断裂在南京与镇江段总体表现为倾向 N,视倾角 60°~77°,上断点视断距 3~25 m,断点均表现为明显的北倾正断层特征。在长

江四桥南引桥场地和最新金山场地联合钻孔揭示,断层活动年代为中更新世后至中更新世晚期。

(2)幕府山—焦山断裂南侧为幕府山—栖霞山—宝华山—铜山—武岐山—霍山—五洲山—九华山—北固山—焦山组成的连环山脉,北侧是长江,具有典型的山前断裂的特征,倾角大、断距大、起伏大,以 I、II、III、IV、VIII、X 测线为代表;同时该断裂在部分地段进入长江,或暂时远离山脉,断裂整体则表现为倾角小、断距小、起伏小,以 V、VI、VII、IV 测线为代表。

(3)在浅层地震剖面上,断点两侧基岩落差较大,在其南侧基岩面表现为古潜山的特征,向北基岩面迅速加深;断裂两侧中—上更新统地层的分布差异明显。结合浅层地震勘探剖面可知,该断裂大体以世业洲西端为界,西面基岩埋深在 0~42 m,东面基岩埋深在 45~70 m,少部分镇江市区内临山段基岩亦有出露部分,总体南高北低。

4 2020 年 3 月 3 日南京 3.0 级地震震源机制解

如图 9 所示,利用江苏省测震台网地震台的波形数据,采用 CAP 波形反演方法,得到本次地震震源机制解为:节面 I 的走向为 31°,倾角为 13°,滑动角为 169°;节面 II 的走向为 131.7°,倾角为 87.5°,滑动角为 77.2°。结合地质构造,初步判断节面 I 为发震断层面。根据震源机制解,引发本次地震的断层活动主要表现为逆冲。

南京幕府山地区劳山向斜是一个以三叠系青龙组

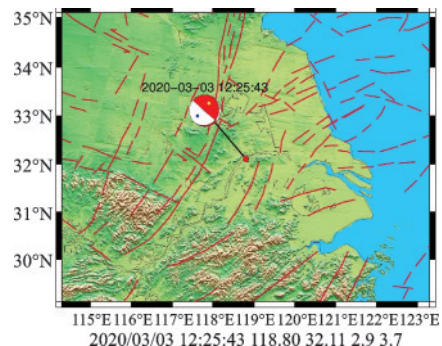


图 9 2020 年 3 月 3 日南京 3.0 级地震震源机制解

Fig.9 Focal mechanism analyze of Nanjing M3.0 earthquake

① 范小平.镇江市活动断层探测与地震危险性评价技术报告[R].南京:南京震科工程技术有限公司,2022.

Fan X P. Technical report of active fault detection and seismic risk assessment in zhengjiang city[R]. Nanjing: Nanjing Zhenke Engineering Technology Co., Ltd., 2022. (in Chinese)

为核部,两翼分别出露古生界地层、走向北东(30°)的向斜构造,地形上是向斜成山的构造负地形,劳山最高峰是向斜核部转折端;劳山向斜的枢纽产状为30°∠11°,轴面产状为294°∠81°,σ₁为115°∠9°、σ₂为30°∠11°、σ₃为247°∠75°。该向斜的核部地层是三叠系,显示该向斜是在晚三叠世时受到北西—南东方向近水平挤压应力作用形成的^[11]。结合震源机制解可推测,该地震震断层可能是幕府山—焦山断裂南侧山体中的次级断层。考虑到近期南京市周边小震频发,对南京市几条主要断裂还需持续关注。

5 讨论与结论

(1)从浅层地震勘探线得到的断裂空间展布特征来看,幕府山—焦山断裂被宝华山—东培山断裂在下蜀镇附近截为两段,西段经南京大桥南桥头、燕子矶、栖霞山沿江分布,进入龙潭后沿便民河南侧进入下蜀镇;东段经句容临港工业集中区、世业镇、沿金山、北固山脚下进入市区,并与丹徒—建山断裂相交,终止于江心洲附近区域。

(2)幕府山—焦山断裂在南京与镇江段总体表现为倾向N,视倾角60°~77°,上断点视断距3~25 m,断点均表现为明显的正断层特征。在长江四桥南引桥场地和最新金山场地联合钻孔揭示,断层活动年代为中更新世后至中更新世晚期。

(3)幕府山—焦山断裂南侧为幕府山—栖霞山—宝华山—铜山—武岐山—霍山—五洲山—九华山—北固山—焦山组成的连环山脉,北侧是长江,具有典型的山前断裂的特征,倾角大、断距大、起伏大;同时该断裂在部分地段进入长江,或暂时远离山脉,断裂整体则表现为倾角小、断距小、起伏小的特点。

(4)人工地震探测幕府山—焦山断裂应首选横波反射法,高分辨率的横波在针对浅层断距较小的断裂上优势明显;临近山体范围内幕府山—焦山断裂山前断裂特征较为明显,远离则基岩变得平缓;部分地段基岩埋深较浅,可先以较深处确认基岩反射波组为基准层速度,再反推浅部速度。

(5)结合震源机制解及相关地质资料可知,南京2020年3月3日3.0级地震发震断层可能是幕府山—焦山断裂南侧山体中的次级断层。考虑到近期南京市周边小震频发,对南京市几条主要断裂还需持续关注。

参考文献:

- [1] 熊振,李清河,王良书,等.南京地区地球物理场与地震构造稳定性[J].地震学报,2011,33(5):624-636.
Xiong Z, Li Q H, Wang L S, et al. Analysis on geophysical fields and seismic structural stability in Nanjing region [J]. Acta Seismologica Sinica, 2011, 33 (5) : 624-636. (in Chinese)
- [2] 侯康明,宗开红,郭江宁,等.长江破碎带的研究过程及最新认识[J].震灾防御技术,2007,2(4):331-338.
Hou K M, Zong K H, Guo J N, et al. Recent study of Changjiang fault zone [J]. Technology for Earthquake Disaster Prevention, 2007, 2(4):331-338. (in Chinese)
- [3] 宗开红,宗雯,康从轩,等.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, et al. Research on the major active faults in Zhenjiang, Jiangsu and their late quaternary activities [J]. Journal of Geomechanics, 2016, 22(3):439-453. (in Chinese)
- [4] 侯康明.南京市活断层探测与地震危险性评价[M].北京:地震出版社,2012.
Hou K M. Active fault detection and seismic risk assessment in Nanjing city [M]. Beijing: Seismological Press, 2012. (in Chinese)
- [5] 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 S M, Zhang X K, Liu B J, et al. Geophysical methods for the exploration of urban active faults [J]. Seismology and Geology, 2002, 24(4):606-613. (in Chinese)
- [6] 刘保金,赵成彬,尹功明,等.浅层人工地震P波和S波资料揭示的郑州老鸦陈断层特征[J].地震地质,2008,30(2):505-515.
Liu B J, Zhao C B, Yin G M, et al. The characteristics of the Laoyanchen fault in Zhengzhou revealed by shallow seismic data of P wave and S wave [J]. Seismology and Geology, 2008, 30(2):505-515. (in Chinese)
- [7] 邓起东,卢造勋,杨主恩.城市活动断层探测和断层活动性评价问题[J].地震地质,2007,24(2):189-200.
Deng Q D, Lu Z X, Yang Z E. Remarks on urban active faults exploration and associated activity assessment [J]. Seismology and Geology, 2007, 24 (2) : 189-200. (in Chinese)
- [8] 何正勤,陈宇坤,叶太兰,等.浅层地震勘探在沿海地区隐伏断层探测中的应用[J].地震地质,2007,29(2):363-372.

(本文责编:周小潭)

(下转第880页)