

张磊, 白凌燕, 蔡向民, 等. 北京平原南口—孙河断裂带北西段活动性分析[J]. 中国地质, 2014, 41(3): 902-911.

Zhang Lei, Bai Lingyan, Cai Xiangmin, et al. An analysis of the activity of the northwest part of Nankou-Sunhe fault[J]. Geology in China, 2014, 41(3): 902-911(in Chinese with English abstract).

北京平原南口—孙河断裂带北西段活动性分析

张磊 白凌燕 蔡向民 王继明 刘予 何付兵 王志辉 何静

(北京市地质调查研究院, 北京 100195)

摘要:南口—孙河断裂是北京平原区唯一一条北西向的活动断裂,也是张家口—渤海地震带中最醒目的隐伏、半隐伏的第四纪活动断裂。对南口—孙河断裂北西段开展了浅层地震勘探和钻探工程,验证了该目标断裂的精确定位。笔者通过钻孔岩心及探槽剖面的对比分析,并结合磁性地层研究及¹⁴C年龄测定,对该断裂第四纪以来的活动性进行了探讨。研究表明,南口—孙河断裂具有粘滑兼蠕滑的活动特点,中更新世、晚更新世和全新世以来的垂直活动速率分别为0.12 mm/a、0.58 mm/a、0.31 mm/a。总体表现为弱-强-弱的规律。晚更新世以来至少可识别出两次古地震事件,分别为距今(9230±45) aBP~(9370±40) aBP和(13620±90) aBP~(13960±60) aBP,错断地层的最浅深度为1.2 m。同时探讨了城市隐伏活动断裂的研究思路和方法。

关键词:南口—孙河断裂;浅层地震勘探;联合钻孔;人工探槽

中图分类号:P546 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2014)03-0902-10

由于活动断裂是一种现今正在活动的线性构造,它与地震和地质灾害紧密相关。城市隐伏活动断裂的突发错动产生的大地震和地表位错,产生的直接间接影响,会对城市安全和人民生命财产造成重大危害^[1]。目前,北京地区对于活动断裂的研究工作已取得了显著成绩^[2-31],但这方面的研究较中国西部地区仍存在一定差距,作为政治文化中心的首都北京,该地区活动断裂的研究工作,直接影响该区未来地震危险性的评价及地震监测台网的布设^[28]。

1 南口—孙河断裂概述

南口—孙河断裂(图1)是北京平原区唯一一条北西向的活动断裂,也是张家口—渤海地震带中最醒目的隐伏、半隐伏的第四纪活动断裂。该断裂北西端起自昌平区南口镇,向南东方向经七间房、百

泉庄、东三旗、孙河至通州,总体走向315°,长约80 km。北西段自南口至北七家,断面倾向南西,控制了马池口—沙河第四纪凹陷的发育,凹陷内第四系最大沉积厚度约为600 m;南东段自北七家至孙河段,断面倾向北东,控制了顺义凹陷的南界的东坝沉积中心,凹陷内第四系最大沉积厚度为700~800 m。19世纪70年代末期地貌学家依据平原古河道变迁,曾提出该断裂在全新世存在活动^[5]。中国地震局曾在该断裂北西段,雪山村、旧县村和百泉庄等地区做了大量的研究工作^[8-14]。1994年向宏发等在昌平百泉开挖了探槽,但因该探槽的布设缺少地貌标志,故该探槽有可能没布设在主断裂带上,由此得到的断裂在全新世不活动的结论^[14]。1994年车兆宏依据大地测量资料分析研究了南口—孙河断裂的活动性及其对区域构造活动的控制作用^[8]。

收稿日期:2013-07-25;改回日期:2014-04-22

资助项目:北京市国土资源局项目(京国土环[2009]308号文)资助。

作者简介:张磊,男,1982年生,硕士,工程师,主要从事城市活动断裂研究工作;E-mail: ikkibaby@126.com。

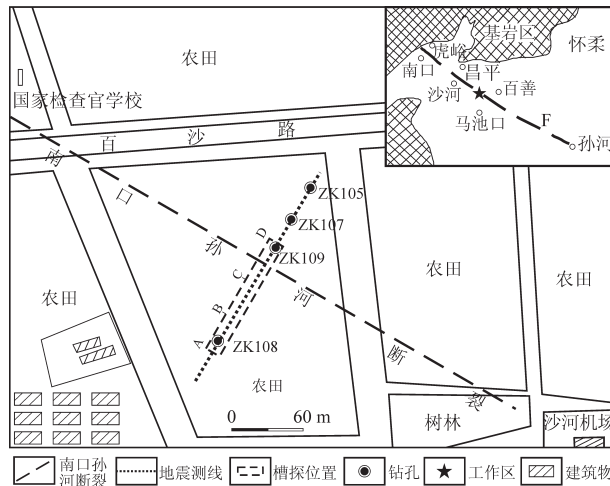


图1 研究区工作布署图

Fig.1 Deployment of drill holes and trenches in the working area

1996年向宏发等通过地形地质、化探、浅层物探、钻探和槽探等多手段的联合剖面探测研究,首次查明了南口—孙河隐伏断裂的准确位置及其活动性,南口—孙河隐伏断裂在最近的12 ka以来仅发生一次约相当7级地震的突发性断裂位错^①。2001年江娃利等在昌平区旧县村开挖槽探对南口—孙河断裂的古地震事件进行了研究得出了全新世时期该断裂曾发生3次古地震事件,同震垂直位移分别为1 m、2 m、2 m,推测相应震级为7.7~7.9级的结论^[2]。2008年北京市地质调查研究院开展了“城市活动断裂及地壳稳定性调查”研究,证实南口—孙河断裂带是北京平原区隐伏的主要活动断裂。并已鉴别出全新世有3~4次强烈活动^②。2008年张世民等通过小孔距的排钻岩心对南口—孙河断裂进行分析研究,通过断层坎前崩积层识别、地层累计位移限定与下降盘地层增厚现象分析等方法,初步建立了断裂带距今60 ka以来由13次地表位错事件组成的古地震序列^[10-11]。2009年柯柏林依据北京孙河断裂区的重力、电阻率测深及可控源音频大地电磁测深(CSAMT)等勘查资料的推断解释,结合多眼地热井钻探揭露的地热地质成果,认为孙河断裂是一条宽3 km左右的断裂带,且断裂具有多期活动性,晚侏罗世以来至少发生过2期先逆后正性质的构造活动^[9]。2011年侯冶华等利用高密度电法对南口—孙

河活隐伏活动断层进行勘测,其视电阻率异常剖面揭示南口—孙河断裂为正断层,北东盘上升,南西盘下降,推测断裂倾角 $60^{\circ}\sim 68^{\circ}$;视电阻率异常剖面与钻孔资料对应较好,并与钻探资料分析的断裂活动特性基本吻合^[13]。本次工作依托于“北京平原区活动断裂监测专项地质调查”项目,在研究区开展浅层地震勘探实现了南口—孙河断裂该段的精确定位,利用钻探工程加以验证,同时结合钻孔岩心剖面和槽探剖面对南口—孙河断裂北西段第四纪以来活动性规律进行分析研究。

2 活动断裂精确定位

2.1 浅层地震勘探

浅层地震反射波勘探是确定第四纪地层界面最有效的勘探方法之一^[15-18, 32-33],本次工作通过对地层界面进行探测,从而确定目标断裂的位置、性质以及延伸状态。具体测线部署见图1。本次浅层地震工作使用24道工程地震仪,根据野外现场试验结果偏移距设为76 m,道间距选择2 m,炮点距4 m,采用人工大锤作为激发震源,每点采用80次叠加采样,采样间隔为0.25 ms。室内处理时使用promax地震处理软件进行处理,形成时间叠加剖面图(图2)。

二维地震反射波勘探结果显示在时间剖面121 m处,两侧地震波组数量、振幅和频率特征均不相同,推断为南口—孙河断裂所在位置,断裂倾向南西,倾角 80° ,上盘沉积层较厚,时间剖面显示400 ms以上有多组第四系内部反射波;下盘基岩埋深较浅,根据地震波相位和振幅变化推断150 ms处的反射波为基岩面。

2.2 联合钻孔验证

为了验证人工地震解译结果,本次工作在物探测线上连续布设4个地质钻孔(图2)加以验证。其中,ZK105孔(孔深73 m)在53 m深度揭露基岩;ZK107孔(孔深86 m)在66.2 m深度处揭露基岩;ZK109孔(孔深110 m)在88.0 m深度处揭露基岩;ZK108孔在400.5 m深度揭露基岩(孔深457 m);基岩岩性均为青白口系下马岭组炭质页岩。综上所述,南口—孙河断裂在基岩上错断了青白口系,主断裂倾向南西,倾角约为 65° 。ZK105孔、ZK107孔

①北京地质调查研究院. 城市活动断裂及地壳稳定性调查总结报告, 2007.

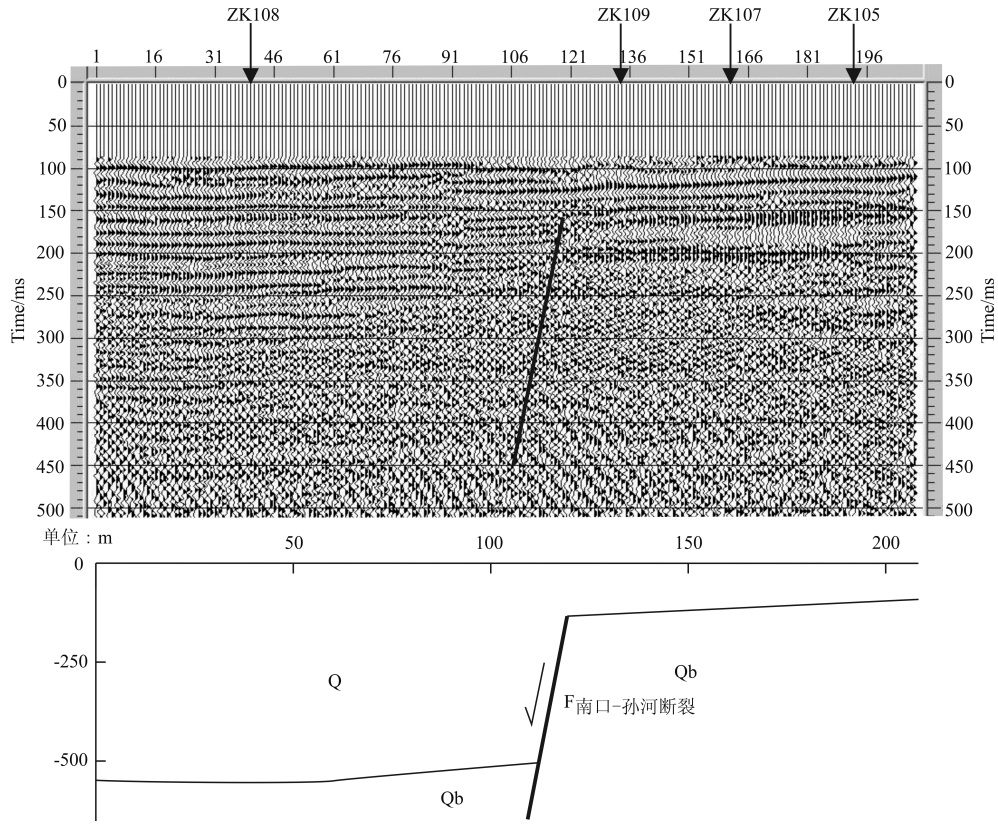


图2 综合解译剖面图
Fig.2 Integrated interpretation map of geophysical exploration

和 ZK 109 孔揭露基岩的深度逐渐增加，其中 ZK109 与 108 孔间距仅 90 m，基岩埋深落差却达 312.5 m，钻孔揭露出丰富的构造现象，反映了南口—孙河断裂北西段的断层破碎带的特征。如：ZK109 孔在 5.5 m 处见有震动液化砂脉，13.0 m 处见有灰白色的粉砂团块及粘土条带，ZK108 孔所揭露基岩破碎强烈，地层产状近直立，局部岩心呈混杂团块，属破碎再胶结的产物，后期多有多条细小的酸性岩脉贯入。由此推断断裂位置在 ZK108 孔与 ZK109 孔之间。

3 活动性分析研究

3.1 钻探工程

由于城市中的隐伏活动断裂受到建筑物及道路的限制，因此开展钻探工程成为探测隐伏活动断层的常用方法，该方法已经在中国当前的城市活动断层探测工作中取得了广泛应用^[9-11,17,19-22]。根据上述定位成果，本次工作通过对 ZK108 孔、ZK109 孔岩心进行编录分析，根据不同的岩石组

合特征境将钻孔剖面划分为 4 类代表不同沉积环的沉积物组合(图 3)。

(1)剖面下部总体上为一套河湖相的粉砂、砂质粘土、粘质砂土、淤泥质粉砂及淤泥质砂质粘土沉积。沉积物总体颗粒较细，粉砂成份含量较高，沉积物的颜色从上至下为褐黄色—褐灰色—灰黑色—棕红色，逐渐过渡，组成多个沉积旋回。局部夹有淤泥质沉积物。具有河流相和湖沼相交替的特点；局部见有淤泥质沉积物，含腹足类化石。属湖沼相或边缘相。

(2)剖面中下部主要为一套河湖相沉积，沉积物的颗粒总体较细，主要为砂质粘土、粘质砂土及淤泥质粘质砂土等，夹有中粗砂层，沉积物颜色主要为灰绿色、浅灰色、褐灰色，组成较明显的韵律，属水动力较弱河流相及湖沼边缘相。

(3)剖面中上部总体上为河湖相沉积交替，岩性以砂质粘土、粘质砂土、粉砂组成几个向上变细的韵律层，表明当时水动力环境是有规律的变化，在中粗砂层中，普遍见有小砾石，砾石成分主要为

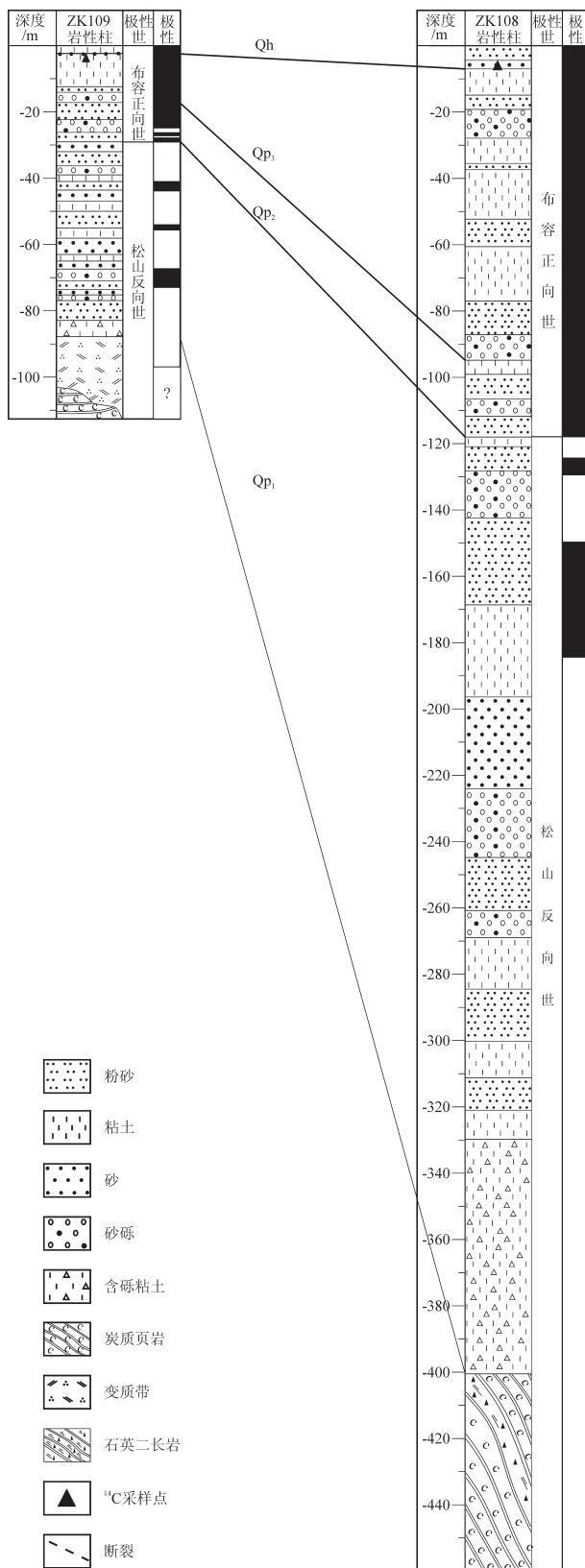


图3 钻孔柱状对比图

Fig. 3 Columnar correlation of drill holes

中酸性火山岩,呈次圆状,结构较松散,是河流相与浅湖沼相交替出现的结果。

(4)剖面上部主要为一套湖沼相及河流相沉积。在洼地部位(ZK108孔)主要为湖沼相,沉积物的颜色一般较深,为灰黑、深灰褐灰色等,岩性以淤泥质粉砂、粘土、粘质砂土为主,并夹有黑色淤泥层及泥炭层。局部见有褐黄色粉砂质粘土,粘质粉砂,含大量锈斑,属洪泛平原沉积。

通过上述岩石组合特征对比结合磁性地层及测年数据最终确定了下更新世(未见底)、中更新统、晚更新统及全新统的底界深度。其中依靠磁性地层柱确定了ZK109孔B/M界线,即中下更新统界线深度为24.1 m,ZK108孔B/M界线,即中下更新统界线深度为117 m;通过对钻孔剖面进行沉积相分析,与本区第四纪以来沉积环境的变化进行对比,确定了ZK109孔中上更新统界线为14.1 m,ZK108孔中上更新界线为87.1 m;本次工作在ZK109孔深度3.9 m处获得¹⁴C同位素年龄(13870±60) aBP,ZK108孔深度7.2 m处获得¹⁴C同位素年龄(12840±60) aBP,因此确定ZK108孔、ZK109孔的全新统底界分别为4.4 m和2.1 m。

南口—孙河断裂上下盘第四纪以来不同时间段内的地层岩性,沉积厚度或者堆积速率是具有明显差异的,具体表现为上盘较下盘同时代的沉积物具有厚度增大、细粒沉积物层数增多和堆积速率增高等地层学特征,它们客观地记录了该断裂两侧垂直差异运动的过程。ZK108孔和ZK109孔分别位于断裂的上盘和下盘,且孔口标高落差为1.15 m,中更新世、晚更新世和全新世以来南口—孙河断裂两盘的累积垂直落差分别为94.05 m、74.15 m、3.45 m,参考2011年国际地层年表第四纪地层界线划分,得出南口—孙河断裂中更新世、晚更新世和全新世以来的垂直活动速率分别为0.12 mm/a、0.58 mm/a、0.31 mm/a。由此可见,南口—孙河断裂第四纪以来活动强烈,中更新世—晚更新世—全新世总体活动规律表现为弱—强—弱的特点。

北京山区从中更新世晚期开始表现为强烈上升,其速度大大高于新生代的任何一个地史阶段。早更新世山体上升120 m,隆升速率0.08 mm/a,中更新世山体上升60 m,平均隆升速率0.075 mm/a,晚更新世山体上升72 m,隆升速率为整个第四纪以

来的最大值,达到0.82 mm/a,全新世山体上升2~8 m,隆升速率0.66 mm/a^[32]。综上,北京地区山体隆升速率变化特征从中更新世至全新世总体表现为慢—快—慢的特点,南口—孙河断裂第四纪的活动性规律表现为中更新世—晚更新世—全新世总体活动规律表现为弱—强—弱的特点,这一规律与北京山区隆升速率变化特征基本吻合。

3.2 人工探槽

人工槽探可以确定断裂近地表的空间展布,查明古地震事件的活动强度、时代,获取古地震活动量化参数^[12,19,23]。本次工作在上述钻孔岩心分析的基础上,为进一步探讨南口—孙河断裂该段全新世以来的活动特征及规律,笔者在钻孔剖面上布设了一个人工探槽,长约150 m,宽约3 m,深约4 m,总体走向为NE40°(图1)。

3.2.1 探槽剖面岩性特征

百善探槽揭露的地层由粘土、粉砂质粘土、粉砂、细砂和砂砾石层组成,表现出洪积扇边缘沉积物的特点,根据地层岩性、结构和色调共分为9层,岩性从上至下依次为:

①褐黄色耕作土,主要由砂、粘土和少量的砾石组成,植物根系发育。

②浅黄色细砂层,主要颗粒为长石和石英。长石、石英颗粒大小为0.1~0.2 mm,圆度较好。局部还有钙质结核,大小不一,大者为5 cm,小者为1 cm,一般为2~3 cm,总体含量小于5%。该层发育较好的槽状交错层理。

③浅黄色砂砾石层,砂以粗砂为主,主要成分为长石、石英颗粒,含量60%~70%,大小为0.5~2 mm,圆度较好。砾石成分复杂,见有安山岩、花岗岩、石英砂岩等,分选一般,含量为20%~30%,大小一般为3~5 cm,呈次棱角—次圆状。

④浅黄色粉砂,粉粒组分90%以上,捻面不光滑,湿时无法揉成团,长石、石英颗粒粒度在0.005~0.075 mm,局部见有锈斑。

⑤灰褐色粘土层,粘粒组分90%以上,湿时即可搓成条。本层控制2个年龄样品,获取¹⁴C年龄为TC01⑤-1:(9230±45) aBP, TC01⑤-2:(9370±40) aBP。

⑥浅黄色粘质粉砂层,粉粒组分含量为70%~80%,粘粒组分含量为20%~30%,捻面不光滑,湿时

可揉成团。

⑦灰黑色粘土层,粘粒组分在95%以上,湿时可搓成条,捻面光滑,含少量腹足类残片。

⑧杂色粘质粉砂层,以浅黄色为主,含灰白色团块,粉粒组分含量为70%~80%,粘粒组分含量为10%~20%,捻面不光滑,湿时可揉成团,含锈黄色、灰黑色条带,局部可见植物根系。本层控制2个年龄样品,获取¹⁴C年龄为TC01⑧-1:(13620±90) aBP, TC01⑧-2:(13960±60) aBP。

⑧-1浅灰黄色粉砂,粉粒组分90%以上,捻面不光滑,湿时无法揉成团,长石、石英颗粒粒度在0.005~0.075 mm,局部发育微细水平层理。

⑧-2灰黑色粘土层,含少量锈斑,粘粒组分在95%以上,湿时可搓成条,捻面光滑,局部虫孔构造发育。

⑨褐灰色粉砂质粘土层,粘粒组分含量为70%~80%,粉粒组分含量为10%~20%,捻面不光滑,湿时可搓成条,虫孔构造发育,局部见有锈黄色氧化圈。本层控制1个年龄样品获取¹⁴C年龄为TC01⑨-1:(16770±70) aBP。

3.2.2 活动性分析

本次工作将探槽剖面按照构造现象发育的差异分为3段进行讨论。其中AB段剖面(图4)上见有明显的地层错断现象,剖面层④中褐黄色粉砂层中存在一明显的小型断裂F₂,致使本层在断裂的下降盘厚度呈明显的突变,上下盘厚度差异约13 cm,应为断裂造成的坎前堆积。南西一侧粉砂层顶面具有明显的变形特征,总体呈现出向南西方向微倾,底面可见地层蠕滑形变,向下具有明显的拖曳,形成轻微的牵引构造,应为下伏地层的错断变形形成。剖面层⑤中,褐色粘土层发生明显的粘滑形变,地层错断形成两个小型陡坎,高均为15 cm左右,断面倾向南西,倾角约85°,该层2个¹⁴C测年结果为:(9230±45) aBP、(9370±40) aBP。下覆地层见有等量的垂直位移错断。由此可见,该断裂最新的错断地层为层④,该现象证实,最新的一次造成地表破裂的古地震事件时间为(9230±45) aBP,所影响到的地表最浅层位深度约1.2 m。由于上覆盖层岩性条件限制(松散的砂砾石层),无法进行年龄测试,因此对于该断裂最新活动的离逝时间无法确定。

BC段剖面(图5)上未见地层错断现象,剖面层

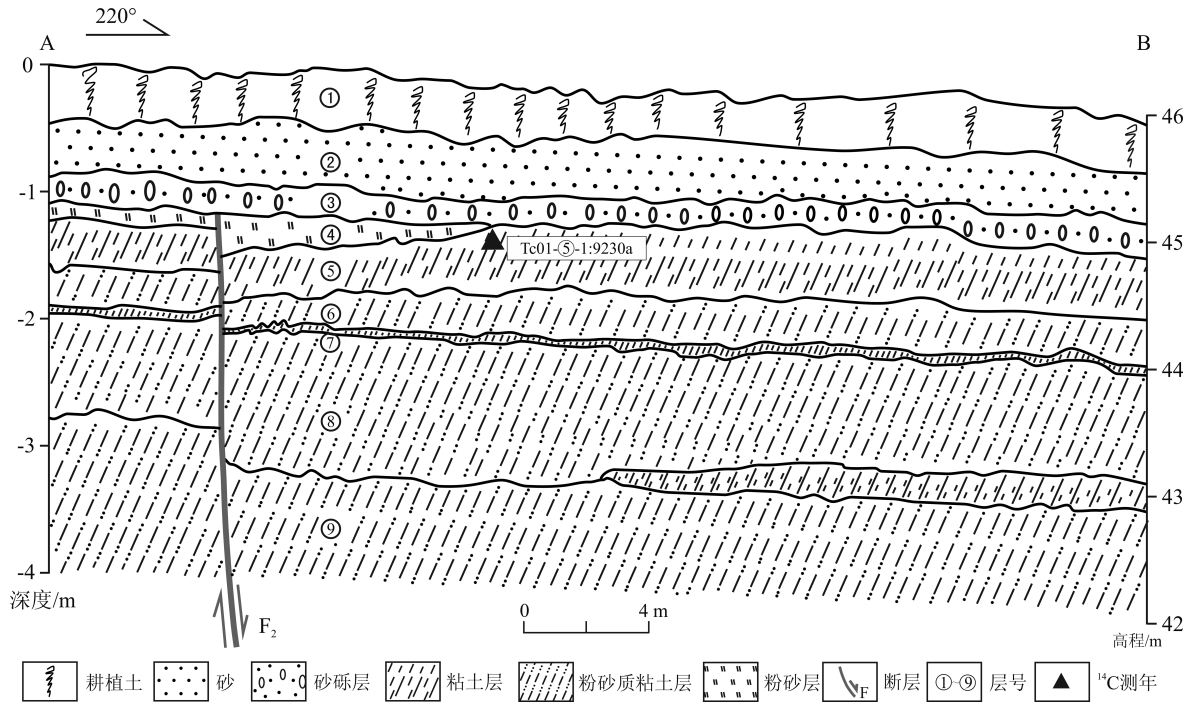


图4 探槽AB段剖面图

Fig.4 Geological section along section AB of the trench

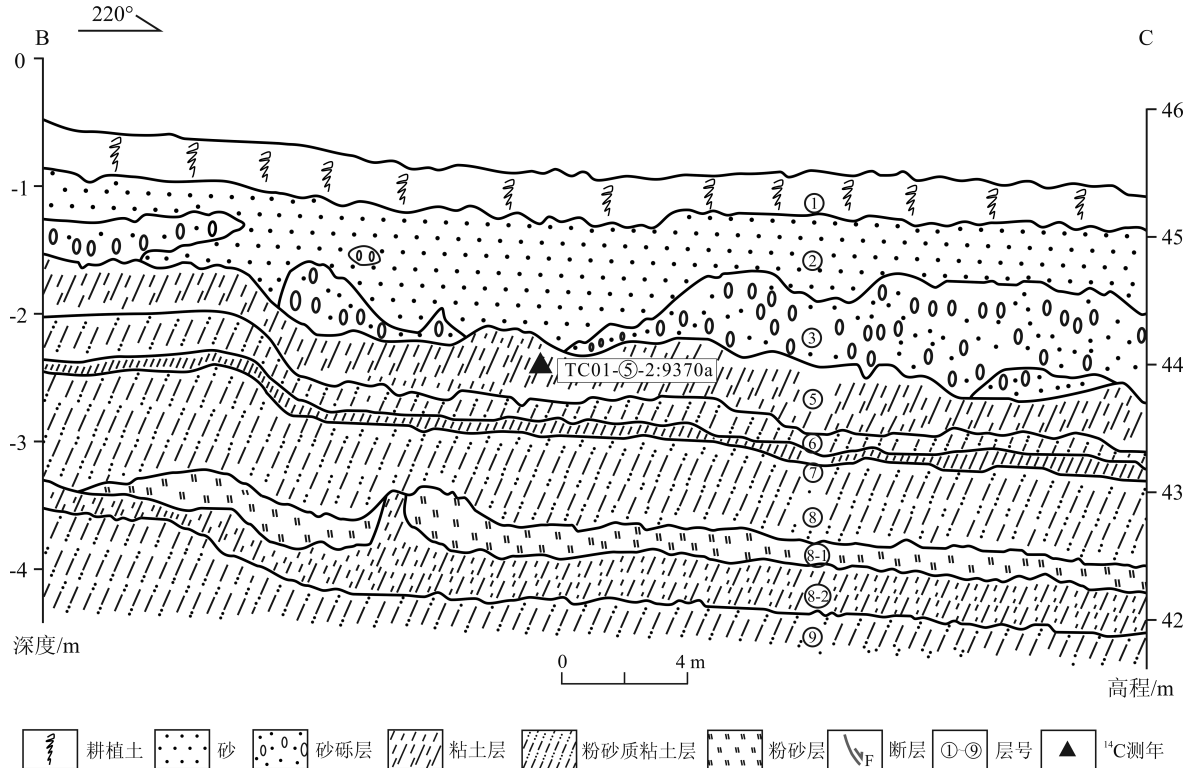


图5 探槽BC段剖面图

Fig.5 Geological section along section BC of the trench

⑤至层⑨地层变形显著,均表现为向南西方向的缓倾,与南口—孙河断裂倾向一致,地层总体厚度变化不大,说明断裂并未造成地层的错断,仅发生了蠕滑变形。层③的砂砾石层为河流相沉积物,在层⑤沉积结束所形成的地形上继续接受不稳定沉积,厚度不均。层②河流相的粗砂层表明当时水动力条件较强,河流对已形成的地形夷平,同时对下伏地层进行改造,砂砾石层多呈团块状包裹与粗砂层中,形成局部的混杂堆积现象。同时,该处地层仍在发生轻微的同步塑性变形,致使该层顶面以及地表出现明显的高差变化。综上所述,南口—孙河断裂至今仍在发生蠕滑变形。

CD段剖面(图6)上则发育较多的小型构造现象,共划分出两处次级断裂。其中F₁₋₂错断了层⑧的粉砂层以下地层,层⑧-1两侧地层垂直位移约5 cm,未见有明显的破碎带特征,地层两侧均形成明显的牵引构造,在断裂的左侧,该层呈透镜状包裹于层粘土地层中,其底面错断明显。层⑨杂色粘质粉砂层向上挤入层⑧-2粘土层中,贯穿该层,推测其可能为古地震事件影响形成的震动液化脉。F₁₋₁同样错断了层⑧以下的地层,且垂直位移与F₁相

近,因此推测这两条次级断裂可能为同一次事件的产物。F₁为探槽揭露的主断裂,与之前物探及钻孔资料所确定的南口—孙河主断裂位置基本吻合。现象表明,主断裂F₁明显错断了层⑨,向上延伸至层⑧,主断裂附近南西侧(下降盘)层⑧-2、层⑨突然消减,层⑧杂色粉砂质粘土层厚度突增,在断裂下降盘形成漏斗形态的厚层崩积物,且具有明显的混杂堆积特征,粉砂及粘土多呈不规则团块状分布,局部可见灰黑色薄层状堰塞塘沉积淤泥质沉积物。据¹⁴C测年结果分析,主断裂活动的最新时间为(13620±60) aPB。CD段上部层④褐色粘土层延伸稳定,该段未见其错断,因此可区分F₁和F₂为2次不同的断错事件。样品TC01-⑨-1,采样深度为3.8 m,测试年龄为(16770±70) aPB;样品TC01-⑧-2-1,采样深度为3.4 m,测试年龄为(17350±100) aPB;上下地层年龄出现倒置的情况。由于上述2件样品分布在主断裂附近,可能受到断裂破碎带影响,致使地层年龄数据有误,但总体反映出受主断裂控制的两盘地层分属不同时代的特征。

综合分析,百善探槽中所揭露的地质构造现象表明南口—孙河断裂北西段晚第四纪以来至少可

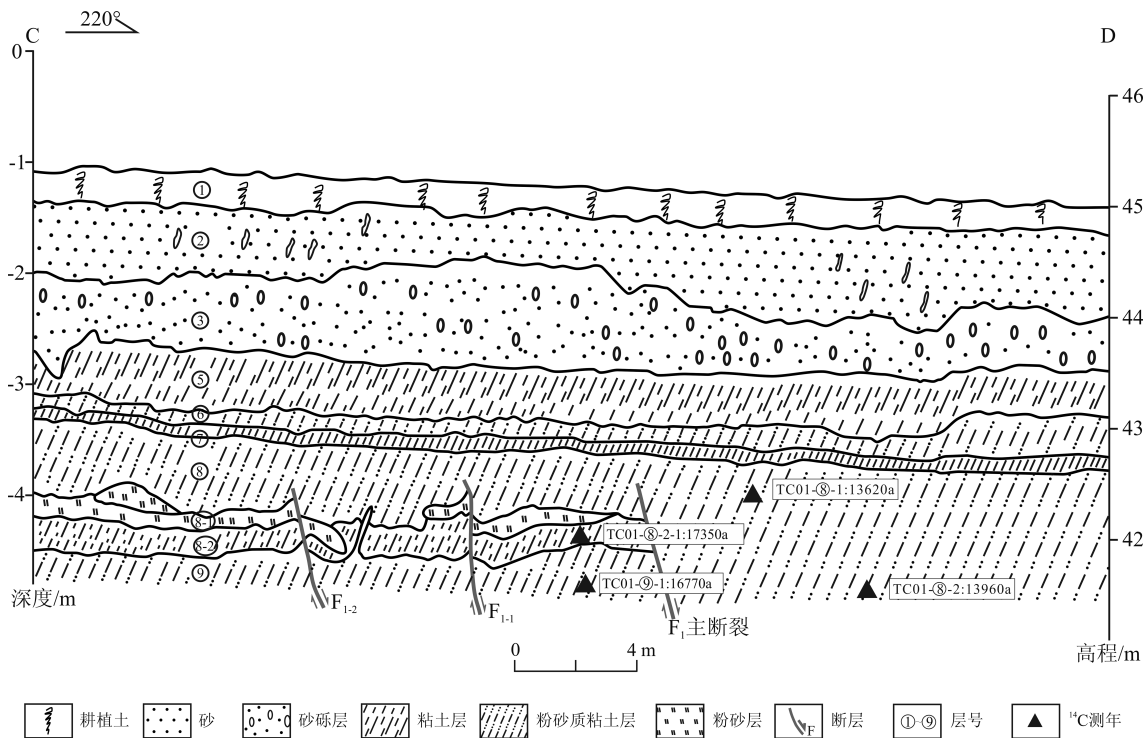


图6 探槽CD段剖面图

Fig.6 Geological section along section CD of the trench

识别出2次古地震事件,分别距今 (9230 ± 45) aPB~ (9370 ± 40) aPB和 (13620 ± 90) aPB~ (13960 ± 60) aPB,错断地层的最浅深度为1.2 m。同时百善探槽剖面所存在的显著的地层塑性形变特征和地表地形测量结果均表明该断裂现今仍在发生蠕滑变形。因此,南口—孙河断裂该段的活动方式具有粘滑兼顾蠕滑的特点。

4 结 论

(1)地球物理探测、钻探、槽探联合剖面是进行城市隐伏活动断裂研究的有效手段。人工地震勘探对于断裂的精确定位具有较高的分辨率,在其指导下开展钻探工程,不仅可以对物探成果进行验证,同时通过岩心剖面的对比可实现对活动断裂第四纪以来活动性的探讨,人工探槽则可以对断裂全新世以来的活动性进行精细的刻画。上述方法体现了对活动断裂不同构造层次活动性研究的思路,为今后探索有效的工作方法积累经验。

(2)通过对钻孔剖面进行对比分析,结合磁性地层研究,揭示了南口—孙河断裂北西段第四纪以来活动性规律。该断裂北西段中更新世、晚更新世和全新世以来的垂直活动速率分别为0.12 mm/a、0.58 mm/a、0.31 mm/a。南口—孙河断裂中更新世—晚更新世—全新世活动规律与区域新构造运动的活动特征(西山隆升)基本吻合,总体表现为弱—强—弱的特点。

(3)人工探槽中所揭露的地质构造现象表明南口—孙河断裂北西段晚第四纪以来至少可识别出两次古地震事件,分别距今 (9230 ± 45) aBP~ (9370 ± 40) aBP和 (13620 ± 90) aBP~ (13960 ± 60) aBP,错断地层的最浅深度为1.2 m。同时百善探槽剖面所存在的显著的地层塑性形变特征和地表地形测量结果均表明该断裂现今仍在发生蠕滑变形。因此,南口—孙河断裂该段的活动方式具有粘滑兼顾蠕滑的特点。

致谢:衷心感谢中国地震局地壳应力研究所江娃利研究员在野外考察及论文编撰过程中给予的指导和帮助。

参考文献(references):

- [1] 邓启东, 徐锡伟, 张先康, 等. 城市活动断裂探测的方法和技术[J]. 地学前缘, 2003, 10(1): 601-605.
- [2] 彭一民, 李鼎荣, 谢振钊, 等. 北京平原区同生断裂的某些特征及其研究意义[J]. 地震地质, 1981, 3(2): 57-64.
- Peng Yimin, Li Dingrong, Xie Zhenzhao, et al. Some features of contemporaneous faults in Beijing plain and their significance[J]. Seismology and Geology, 1981, 3(2): 57-64(in Chinese with English abstract).
- [3] 王宋贤. 北京地区断层活动的阶段性特征[J]. 地震地质, 1982, 4(3): 73-79.
- Wang Songxian. The feature of fault activities by stages in the Beijing region[J]. Seismology and Geology, 1982, 4(3): 73-79(in Chinese with English abstract).
- [4] 王挺梅, 胡言, 方仲景, 等. 北京黄庄断裂新活动的地质证据[J]. 地震地质, 1983, 5(1): 1-6.
- Wang Tingmei, Hu Yan, Fang Zhongjing, et al. Geological evidence for the recent activity of Huangzhuang fault in Beijing[J]. Seismology and Geology, 1983, 5(1): 1-6(in Chinese with English abstract).
- [5] 汪良谋, 徐杰, 黄秀铭, 等. 北京拗陷构造活动性分析[J]. 中国地震, 1990, 6(2): 25-36.
- Wang Liangmou, Xu Jie, Huang Xiuming, et al. An analysis of the tectonic activities in Beijing downwapped basin[J]. Earthquake Research in China, 1990, 6(2): 25-36(in Chinese with English abstract).
- [6] 黄秀铭, 汪良谋, 徐杰, 等. 北京地区新构造运动特征[J]. 地震地质, 1991, 13(1): 43-51.
- Huang Xiuming, Wang Liangmou, Xu Jie, et al. Characteristics of Neotectonics of Neotectonic movement in Beijing area[J]. Seismology and Geology, 1991, 13(1): 43-51(in Chinese with English abstract).
- [7] 江娃利. 北京平谷地区地表陡坎的成因识别[J]. 地震地质, 1992, 21(4): 309-315.
- Jiang Wali. On identifying the formation mechanism of surface scarps in Pinggu area of Beijing[J]. Seismology and Geology, 1992, 21(4): 309-315(in Chinese with English abstract).
- [8] 车兆宏. 南口—孙河断层活动性研究[J]. 地震地质, 1994, 16(2): 115-120.
- Che Zhaohong. Study of the activity of Nankou-Sunhe fault[J]. Seismology and Geology, 1994, 16(2): 115-120(in Chinese with English abstract).
- [9] 向宏发, 方仲景, 张晚霞, 等. 北京平原区隐伏断裂晚第四纪活动特征的联合剖面研究[J]. 地震研究, 1996, 18(1): 75-79.
- Xiang Hongfa, Fang Zhongjing, Zhang Wanxia, et al. Join profile survey of active features for the late Quaternary subsurface faults in Beijing plain region[J]. Journal of Seismological Research, 1996, 18(1): 75-79(in Chinese with English abstract).

- [10] 张世民, 王丹丹, 刘旭东, 等. 北京南口—孙河断裂带北段晚第四纪活动的层序地层学研究[J]. 地震地质, 2007, 29(4): 729–743.
Zhang Shimin, Wang Dandan, Liu Xudong, et al. Sequence stratigraphy study of late Quaternary activities of Nankou–Sunhe fault in its northern segment, Beijing[J]. Seismology and Geology, 2007, 29 (4): 729–743(in Chinese with English abstract).
- [11] 张世民, 王丹丹, 刘旭东, 等. 北京南口—孙河断裂晚第四纪古地震事件的钻孔剖面对比与分析[J]. 中国科学(D辑), 2008, 38(7): 881–895.
Zhang Shimin, Wang Dandan, Liu Xudong, et al. Using borehole core analysis to reveal Late Quaternary paleoearthquakes along the Nankou–Sunhe Fault, Beijing[J]. Science in China(Series D), 2008, 38(7): 881–895(in Chinese).
- [12] 江娃利, 侯治华, 谢新生. 北京平原南口—孙河断裂带昌平旧县探槽古地震事件研究[J]. 中国科学(D辑) 2001, 31(6): 501–509.
Jiang Wali, Hou Zhihua, Xie Xinsheng. Research on paleoearthquakes in Jiuxian trenches across Nankou–Sunhe fault zone in Changping county of Beijing plain[J]. Science in China (Series D), 45(2): 160–173(in Chinese with English abstract).
- [13] 侯治华, 钟南才, 郝彦军, 等. 应用高密度电法探测北京南口—孙河隐伏断裂[J]. 防灾科技学院学报, 2011, 13(4): 1–6.
Hou Zhihua, Zhong Nancai, Hao Yanjun, et al. Detecting Nankou–Sunhe buried fault by highdensity resistivity method[J]. Journal of Institute of Disaster Prevention, 2011, 13(4): 1–6(in Chinese with English abstract).
- [14] 向宏发, 方仲景, 贾三发, 等. 隐伏断裂研究及其工程应用——以北京平原区为例[M]. 北京: 地震出版社, 1994: 1–97.
Xiang Hongfa, Fang Zhongjing, Jia Sanfa, et al. Study of the Buried Fault and Its Application to Engineering Project——A Case Study of the Beijing plain[M]. Beijing: Seismological Press, 1994: 1–97(in Chinese).
- [15] 马文涛, 徐锡伟, 郝书俭, 等. 北京市立水桥附近黄庄—高丽营隐伏断裂的浅层地震勘探[J]. 地震地质, 2004, 26(4): 698–705.
Ma Wentao, Xu Xiwei, Hao Shujian, et al. Shallow seismic exploration for Huangzhuang–Gaoliying fault in the vicinity of Li Shui qiao, Beijing[J]. Seismology and Geology, 2004, 26(4): 698–705(in Chinese with English abstract).
- [16] 马文涛, 徐锡伟, 于贵华, 等. 首都圈地区的地震活动性与断裂的关系[J]. 地震地质, 2004, 26(2): 293–304.
Ma Wentao, Xu Xiwei, Yu Guihua, et al. The relationship between seismic activity and fault activity in Beijing region[J]. Seismology and Geology, 2004, 26(2): 293–304(in Chinese with English abstract).
- [17] 胡平, 刘保金, 自立新, 等. 奥林匹克公园地区隐伏断裂综合探测[J]. 地球物理学报, 2010, 53(6): 1486–1494.
Hu Ping, Liu Baojin, Bai Lixin, et al. Synthetic exploration of the buried faults in Olympic park area[J]. Chinese Journal of Geophysics, 2010, 53(6): 1486–1494(in Chinese with English abstract).
- [18] 常旭, 李林新, 刘伊克, 等. 北京断陷黄庄—高丽营断层伪随机可控源地震剖面[J]. 地球物理学报, 2003, 23(3): 97–103.
Chang Xu, Li Linxin, Liu Yike, et al. Seismic profile of Huangzhuang– Gaoliying fault in Beijing by Mini– sosie method[J]. Chinese Journal of Geophysics, 2003, 23(3): 97–103 (in Chinese with English abstract).
- [19] 张福存. 北京正负电子对撞机断裂场地稳定性评价[J]. 岩土工程学报, 1996, 18(2): 69–74.
Zhang Fuchun. Engineering geological evaluation of the site of electron–positron–collision machine in Beijing[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 1996, 18(2): 69–74(in Chinese with English abstract).
- [20] 徐锡伟, 计凤桔, 于贵华, 等. 用钻孔地层剖面记录恢复古地震序列: 河北夏垫断裂古地震研究[J]. 地震地质, 2000, 22(1): 9–19.
Xu Xiwei, Ji Fengju, Yu Guihua, et al. Reconstruction of paleoearthquake sequence using stratigraphic records from drill logs: a study at the Xiadian fault, Beijing[J]. Seismology and Geology, 2000, 22(1): 9–19(in Chinese with English abstract).
- [21] 柯柏林. 北京平原区北部孙河断裂的地热地质特征[J]. 现代地质, 2009, 23(1): 43–48.
Ke Bolin. Geothermal and geological features of Sunhe fault in the northern part of Beijing plain[J]. Geoscience, 2009, 23(1): 43–48 (in Chinese with English abstract).
- [22] 李乐, 陈棋福. 利用重复地震估算北京平原地区隐伏断裂深部的活动速率[J]. 地震地质, 2010, 32(3): 508–519.
Li Le, Chen Qifu. Slip rates at depth along the buried faults in Beijing plain area estimated from repeating micro earthquakes[J]. Seismology and Geology, 2010, 32(3): 508–519(in Chinese with English abstract).
- [23] 江娃利, 侯治华, 肖振敏, 等. 北京平原夏垫断裂齐心庄探槽古地震事件分析[J]. 地震地质, 2000, 22(4): 413–422.
Jiang Wali, Hou Zhihua, Xiao Zhengmin, et al. Study on paleoearthquakes of Qi Xinzhuang trench at the Xiadian fault , Beijing[J]. Seismology and Geology, 2000, 22(4): 413–422(in Chinese with English abstract).
- [24] 闻学泽. 时间相依的活动断裂分段地震危险性评估及其问题[J]. 科学通报, 1998, 43(14): 1457–1466.
Wen Xueze. Assessment of time–dependent seismic hazards on segments of active fault, and its problems[J]. Chinese Science Bulletin, 1998, 43: 1937–1950.
- [25] 张磊, 白凌燕, 蔡向民, 等. 北京平原南口—孙河断裂南段第四纪活动性的磁性层序学研究[J]. 第四纪研究, 2014, 34(2): 1–10.
Zhang Lei, Bai Lingyan, Cai Xiangmin, et al. Magnetostratigraphy study on the south segment of Nankou–Sunhe fault at Beijing plain and its implications for the fault activity during Quaternary[J]. Quaternary Sciences, 2014, 34(2): 1–10(in Chinese with English abstract).
- [26] 马文涛, 徐锡伟, 于贵华, 等. 首都圈地区的地震活动性与断裂的关系[J]. 地震地质, 2004, 26(2): 293–304.

- Ma Wentao, Xu Xiwei, Yu Guihua, et al. The relationship between seismic activity and fault activity in Beijing region[J]. *Seismology and Geology*, 2004, 26(2): 293–304(in Chinese with English abstract).
- [27] 邓起东, 张培震, 冉勇康, 等. 中国活动构造基本特征[J]. *中国科学(D辑)*, 2002, 32(12), 1020–1031.
- Deng Qidong, Zhang Peizhen, Ran Yongkang, etc. Basic characteristics of active tectonics of China[J]. *Science in China (Series D)*, 2003, (04): 356–372, 417–418.
- [28] 刘保金, 张先康, 方盛明, 等. 城市活断层探测的高分辨率浅层地震数据采集技术[J]. *地震地质*, 2002, 24(4): 524–532.
- Liu Baojin, Zhang Xiankang, Fang Shengming, et al. Acquisition technique of high-resolution shallow seismic data for surveying of urban active faults[J]. *Seismology and Geology*, 2002, 24(4): 524–532(in Chinese with English abstract).
- [29] 邱泽华, 唐磊, 阚宝祥, 等. 用钻孔应变观测研究北京地区活断层的现今活动[J]. *地震地质*, 2007, 29(4): 716–728.
- Qiu Zehua, Tang Lei, Kan Baoxiang, et al. Study of modern fault activities in Beijing area using borehole strain observations[J]. *Seismology and Geology*, 2007, 29(4): 716–728(in Chinese with English abstract).
- [30] 徐海鹏, 李树德, 杨景春, 等. 北京南口山前断裂活动及其对地貌发育的影响[C]//中国地理学会第一次构造地貌学术讨论会论文集. 北京: 科学出版社, 1984. 40–46.
- Xu Haipeng, Li Shude, Yang Jingchun, et al. Nankou piedmont fault and its influence tugeomorphic development[C]// *Geomorphology Board of the Geography Society of China(ed). Selected Papers of the First Tectonic Landform Symposium of the Geographical Society of China*. Beijing: Science Press, 1984: 40–60(in Chinese).
- [31] 鲍亦冈, 刘振峰, 王世发, 等. 北京地质百年研究[M]. 北京: 地质出版社, 2001: 257–260.
- Bao Yigang, Liu Zhenfeng, Wang Shifa, et al. *Century Research of Beijing Geology*[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2001: 257–260(in Chinese).
- [32] 柴炽章, 孟广魁, 杜鹏, 等. 隐伏活动断层的多层次综合探测——以银川隐伏活动断层为例[J]. *地震地质*, 2006, 28(1): 536–546.
- Cai Zhizhang, Meng Guangkui, Du Peng, et al. Comprehensive multi-level exploration of buried active fault: An example of Yinchuan buried active fault[J]. *Seismology and Geology*, 2006, 28(1): 536–546(in Chinese with English abstract).
- [33] 朱金芳, 徐锡伟, 黄宗林, 等. 福州市活断层探测与地震危险性评价[M]. 北京: 科学出版社, 2005: 246–278.
- Zhu Jinfang, Xu Xiwei, Huang Zonglin, et al. *Active Faults Exploration and Seismic Hazard Assessment in Fuzhou City*[M]. Beijing: Science Press, 2005: 246–278(in Chinese).

An analysis of the activity of the northwest part of Nankou–Sunhe fault

ZHANG Lei, BAI Ling-yan, CAI Xiang-min, WANG Ji-ming, LIU Yu,
HE Fu-bing, WANG Zhi-hui, HE Jing

(Beijing Institute of Geological Survey, Beijing 100195, China)

Abstract: As one of half-buried and buried faults in Quaternary in Zhangjiakou–Bohai seismic belt, Nankou–Sunhe fault is the unique NW-striking active fault in the capital circle. Based on shallow seismic method and borehole engineering, the authors precisely determined the position of the northwest section of Nankou–Sunhe fault. Contrastive analysis was made with drilling core and trench profile, combined with the study of magnetic stratigraphy and ^{14}C dating data. The authors explored the activity of the northwest section of Nankou–Sunhe fault since late Pleistocene. Researches show that the activity of Nankou–Sunhe fault has both stick-slip and creep-slip properties, and the vertical activity rate of the fault was 0.12 mm/a in middle Pleistocene, 0.58 mm/a in late Pleistocene, and 0.31mm/a in Holocene. The fault's active characteristics show complete regularity, i.e.,s from weak to strong, then to weak. At least two earthquake events can be recognized since the late Pleistocene, with their ages being $(9230\pm 45)\text{aBP} - (9370\pm 40)\text{aBP}$ and $(13620\pm 90)\text{aBP} - (13960\pm 60)\text{aBP}$ respectively and the least active displacement fault depth being 1.2m. The authors also explored the research thinking and methods for buried active faults in cities.

Key words: Nankou–Sunhe fault; shallow seismic method; drilling core; trench

About the first author: ZHANG Lei, male, born in 1982, master, engineer, mainly engages in the study of active fault in the city; E-mail: ikkibaby@126.com.