

doi: 10.12029/gc20160412

张晓亮, 张磊, 蔡向民, 等. 北京平原区黄庄—高丽营断裂北段结构特征及活动特点研究[J]. 中国地质, 2016, 43(4): 1258–1265.
Zhang Xiaoliang, Zhang Lei, Cai Xiangmin, et al. A study of structure and activity characteristics of the northern segment of Huangzhuang–Gaoliying fault in Beijing plain area[J]. Geology in China, 2016, 43(4): 1258–1265(in Chinese with English abstract).

北京平原区黄庄—高丽营断裂北段 结构特征及活动特点研究

张晓亮^{1,2} 张磊² 蔡向民² 白凌燕²

(1. 北京大学地球与空间科学学院, 北京 100871; 2. 北京市地质调查研究院, 北京 100195)

摘要:黄庄—高丽营断裂是横穿北京市城区的一条规模较大的隐伏深大活动断裂,是北京凹陷和西山隆起的分界构造。本次研究工作区选在黄庄—高丽营断裂北段昌平未来科技城一带,对目标断裂先后开展了地震勘探、高密度电阻率法勘探以及槽探 3 种方法组合对其结构与活动性进行综合分析研究,查明了目标断裂的结构及其活动性。研究表明,黄庄—高丽营断裂由主断裂和次级断裂组成的断裂带,断裂带内次级断层也较为发育。断裂带在基岩中表现为阶梯状断层,向上延伸至第四系内部,形成“Y”字形断层组合。该断裂在全新世以来断裂活动明显,物探解译结果的上断点以及探槽中的现象均已达到地表。由此可见,本次工作所采用的 3 种物探方法组合,对探测城市隐伏断裂并探究其活动性,具有明显的效果,对减轻城市地震灾害实际应用评估具有十分重要的意义。

关键词:黄庄—高丽营断裂;活动构造;地震勘探;高密度电法;活动性

中图分类号:P542.3 文献标志码:A 文章编号:1000-3657(2016)04-1258-18

A study of structure and activity characteristics of the northern segment of Huangzhuang–Gaoliying fault in Beijing plain area

ZHANG Xiao-liang^{1,2}, ZHANG Lei², CAI Xiang-min², BAI Ling-yan²

(1. School of Earth and Space Sciences, Peking University, Beijing 100871, China; 2. Beijing Institute of Geological Survey, Beijing 100195, China)

Abstract: Huangzhuang–Gaoliying fault is a relatively large buried active fault across Beijing urban area. It is the tectonic belt of Beijing depression and Xishan uplift. The study area is located in the Future Science and Technology City in Changping. In this paper, the authors analyzed the structure and activity of the fault with the methods of shallow seismic exploration, high density resistivity method and trench profile. The results show that Huangzhuang–Gaoliying fault is a fault zone that consists of the major fault and secondary faults. The fault belt in bedrock is mainly manifested as step fault and extends up to Quaternary, being a “Y”

收稿日期:2016-01-22;改回日期:2016-03-16

基金项目:中国地质调查局项目(12120113012000)资助。

作者简介:张晓亮,男,1982年生,硕士生,工程师,主要从事城市活动断裂研究工作;E-mail:zxlddy@163.com。

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

fault combination. Research shows that this fault has been strongly active since Holocene. Thus, the combination of three methods of shallow seismic exploration, high-density electrical and trenches is significant for detecting the buried fault in the city and exploring its activity, and it is also very important in applying practical assessment to reducing urban seismic hazard.

Key words: Huangzhuang – Gaoliying fault; active structure; shallow seismic; high density resistivity method; activity

About the first author: ZHANG Xiao-liang, male, born in 1982, master candidate, engineer, mainly engages in the study of active fault and geophysical prospecting; E-mail:zxlddy@163.com.

About the corresponding author: ZHANG Lei, male, born in 1982, senior engineer, mainly engages in the study of active fault and geophysical prospecting; E-mail: ikkibaby@126.com.

Fund support: Supported by China Geological Survey Program (No. 12120113012000).

由于城市隐伏活动断裂的突发错动产生大地震和地表位错,形成巨大灾害,给人民生命安全和国家财产造成重大损失,甚至地震会使一座城市顷刻间毁于一旦。最典型的例子是1976年的7.8级地震使唐山市顷刻间化为一座废墟,死亡人数在24万以上。在这次地震中,唐山断裂为发震断裂,在地震中沿该断裂产生的地表断层长约10 km^[1]。本次开展黄庄—高丽营断裂活动性研究区域,位于昌平未来科技城的东北约2 km处,且该断裂斜穿未来科技城。未来科技城正是中央组织部和国务院国资委为深入贯彻落实建设创新型国家和中央引进海外高层次人才“千人计划”而建设的人才创新创业基地和研发机构集群,为汲取教训,防患于未然,确保未来科技城及北京地区地质安全,北京地区先后对黄庄—高丽营断裂开展了多次的调查研究以及地震危险性评价工作,取得了丰硕的研究成果。

1 黄庄—高丽营断裂概况

黄庄—高丽营断裂是横穿北京市城区的一条规模较大的隐伏深大活动断裂,是北京凹陷和西山隆起的分界构造。北起密云西田各庄,向南经怀柔、高丽营、西直门、丰台、良乡,至淋水附近,全长132 km,整体为NNE向、正断倾滑性质的晚更新世活动断裂^[2-4],最大断距在1000 m以上。断裂形成于燕山运动末期,切割了侏罗系及以前的地层,控制了白垩系和古近系、新近系及第四系沉积。1966年石油部探测北京平原区地质构造格局时,发现黄庄—高丽营断裂,70年代被北京平原区钻孔资料所证实。80年代后期,随着各种地质勘查手段、理论和方法不断更新,如高精度物化探、遥感、定年方法、区域地壳稳定性评价等,我国的地质和地震工作者也从各个角度重新研究北京地区主要断裂及其活动特征,并对黄庄—高丽营断裂对北京及周边地区

地质安全的影响进行了评价^[5-15]。1992年,徐杰等^[12]在黄庄—高丽营活动断裂在大灰厂段活动性等方面进行了研究,研究结果显示中更新世仍显著活动。1993年,高文学等^[2]对黄庄—高丽营隐伏活断裂研究后,认为该断裂整体为正断倾滑性质的晚更新世活动断裂;在顺义桃山、芦井和涑水段等地对黄庄—高丽营断裂的产状、埋深和活动性等进行了研究,将该断裂划分成3个基本段落,但对于该断裂的上断点埋深和其他部位情况不详。2000年,江娃利等^[13]在怀柔高各庄断层陡坎两侧实施了浅钻,揭示断裂两侧距今万多年的地层分布特征,得出结论:高丽营断裂为全新世活动断裂,并推测全新世时期断裂最新活动发生在3510 ka左右;在怀柔高各庄,高丽营断裂存在相距约300 m平行分布的两条断裂;在距今28 ka期间断层活动事件有6次,平均间隔约为4.6 ka。2004年,马文涛等^[15]利用高精度的浅层地震勘探手段,探测出北京市立水桥附近的黄庄—高丽营隐伏断裂,黄庄—高丽营隐伏活断裂其浅部由东西2条近似平行、相距1300 m的断裂所组成,在634 m深度归结成单条断层,断距为8 m。2009年,刘保金、胡平等^[7]利用深地震反射剖面揭示了北京地区地壳精细结构图像和断裂的深浅构造特征,结果表明黄庄—高丽营断裂向下可延伸到8~9 km的深度上。2010年,高战武、陈棋福等^[8]通过对黄庄—高丽营断裂研究分析,得出结论:黄庄—高丽营断裂芦井—晓幼营段下方未发现地壳速度结构的横向变化及小地震定向排列现象,说明其下方可能不存在壳内深断裂,可能不存在发生大地震的构造条件。

本次工作主要依托于“北京平原区活动断裂监测专项地质调查”项目,为了能够有效地确定黄庄—高丽营断裂为隐伏断裂的位置和性质,选择了地震反射波勘探方法和高密度电法组合方式,该方法

组合认为是寻找隐伏断裂最有效的勘探方法之一^[16-35],同时通过野外地表调查和探槽工作验证地震勘探成果,并对该断裂的活动性进行研究分析。具体工作部署如图1。

2 黄庄—高丽营断裂北段结构分析

本次部署2条地震测线,目的是探测断裂深部信息。采用单边激发方式,90道接收,道间距3 m,炮间距9 m,记录长度1 s;震源选用车载机械震源,100 Hz高频垂直检波器接收,在每个震源上锤击6次以上进行共炮点叠加,提高信号能量,压抑噪声和干扰。数据后期处理使用Promax地震处理软件,完成地震时间叠加剖面图。

WT₁测线位于肉鸡场南门小路上,长度约1.0 km。地震剖面的地质解释结果所示(图2),该剖面反射特征反应出,地层存在小幅度的倾斜,在CMP100~400之间存在一个小幅度的隆起。根据剖面上各反射波组之间的关系,以及同相轴连续性、振幅、频率、相位的变化,结合地质资料,分别解释了T₁、T₂和T₃三套地层,并推断在CMP150~200之间

存在一条断层(F1)。该断层为一条倾向南东,倾角较陡的正断层,推断与河边剖面上所显示的断层为同一条断层。在该断层向东南方向存在一条断距较小的调节断层,断距较小,倾向相反,与该断层组成“Y”字形断层组合。

WT₂测线位于D₁测线南侧顺于路上,长度约1.8 km。地震剖面的地质解释结果所示(图3),该剖面的信噪比相对较低,各反射同相轴连续性较差,振幅强弱变化也较大,可能由于各类干扰较强所造成。该剖面上地层近似水平,根据地质资料及相邻的两条剖面进行对比解释,分别解释了T₁、T₂和T₃三套地层。根据剖面上各反射波组之间的关系,以及同相轴连续性、振幅、频率、相位的变化,结合地质资料,推断在CMP250~350之间存在一条断层(F)。该断层为黄庄—高丽营断裂,倾向东南。

通过对黄庄—高丽营断裂北段2条地震勘探剖面分析,表明其结构特征:黄庄—高丽营断裂是由主断裂和次级断裂组成的断裂带,地震探测断裂最深度约3000 m,断裂倾向南东,倾角较陡,垂直断距较大,且断裂带内次级断层较为发育。

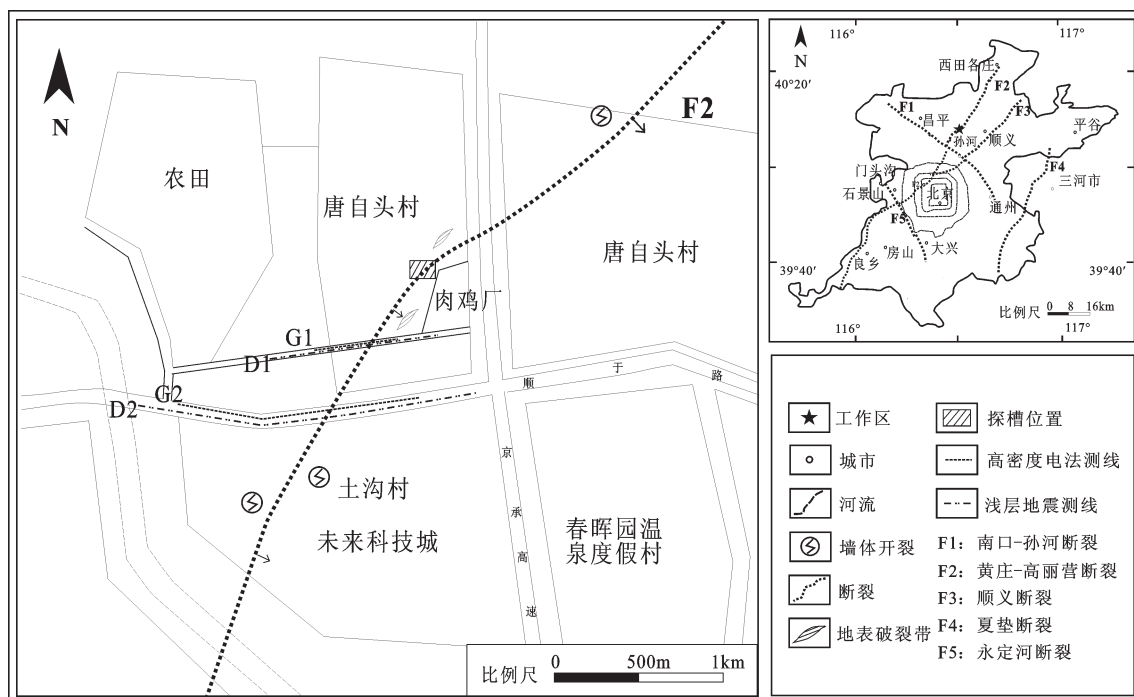


图1 研究区工作部署图^[16]

Fig.1 Survey line in the working area^[16]

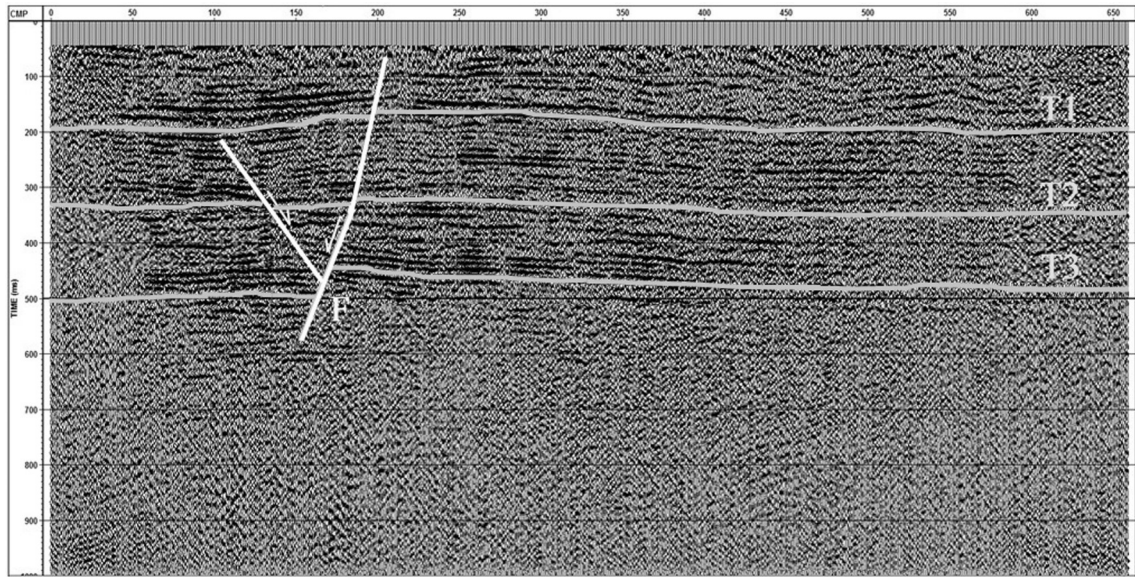


图2 反射地震时间剖面(D₁)
Fig.2 Time section of reflect seismic survey (D₁)

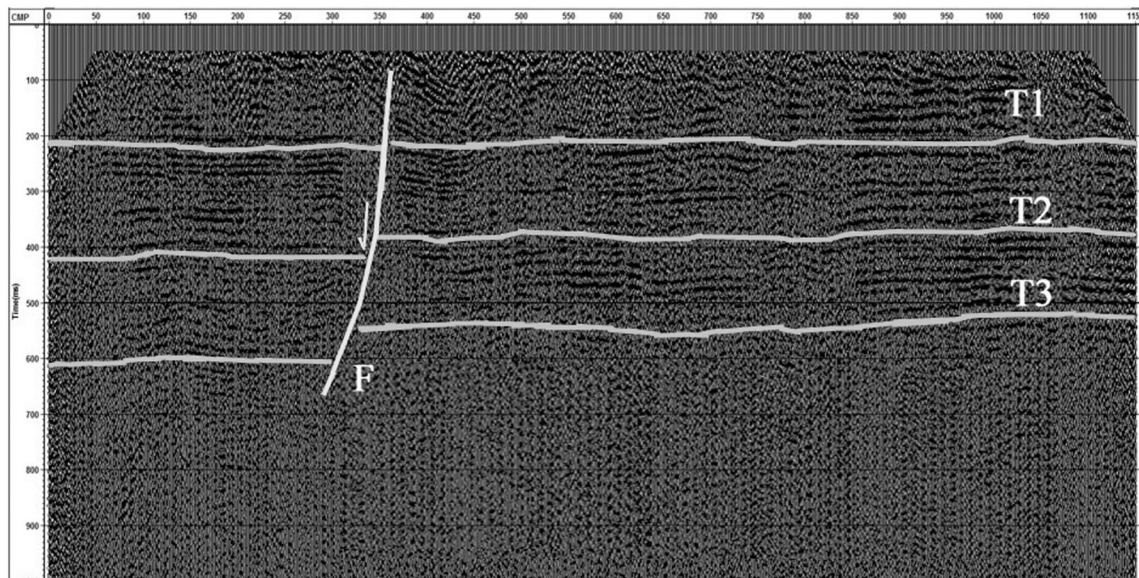


图3 反射地震时间剖面(D₂)
Fig.3 Time section of reflective seismic survey (D₂)

3 黄庄—高丽营活动断裂北段活动性分析

高密度电法探测技术是探测活动隐伏断裂的一种有效方法,解译结果直观,使用方法简单、方便、经济^[20]。因此,本次利用高密度电法并配合探槽,分析黄庄—高丽营断裂的活动性。高密度电法

勘探线总长 1.96 km,电极距设置为 3 m,测线方向均为近东西向,所使用测量仪为骄鹏 E60D 多功能电法仪。

3.1 高密度电法勘探成果

G₁测线位于肉鸡场南门小路上,测线长度 789 m,电极距 3 m。高密度电阻率法勘探成果(图 4)显示黄庄—高丽营断裂位于桩号 219 处,两侧电阻率

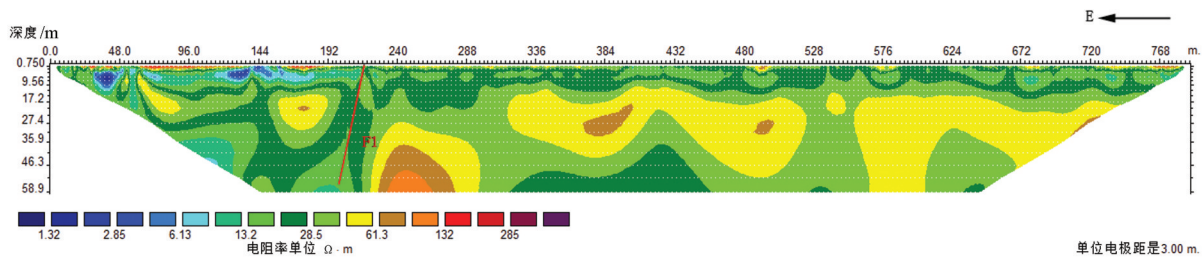


图4 G₁测线反演视电阻率断面图

Fig.4 The inversion figure of apparent resistivity of G₁ survey line

存在明显差异。西侧(断裂上升盘)可划分两个电性层面:低阻层(0~8 m)和高阻层(8~69 m)。东侧(断裂下降盘)可划分3个电性层面:低阻层(0~12 m),不连续的高阻层(12~22 m)和低阻层(22~69 m)。综合对比分析桩号219两侧剖面的电性差异,推断断裂倾向东,上断点埋深接近地表。本区全新世地层厚度约3~5 m,因此,推测黄庄—高丽营断裂该段最新活动时间为全新世。

G₂测线位于G₁测线南侧公路上,剖面方位仍为近东西向分布,测线长度1.2 km,电极距3 m。电阻率反演剖面自东到西推断解释断裂两条(图5),分别位于桩号222和桩号432位置。桩号222的位置出现了明显的电性错断,推测该位置存在电性界面,该电性界面0~20 m的深度东侧表现为高阻异常,西侧表现为低阻异常,20~60 m深度范围内东侧表现为低阻异常,西侧表现为高阻异常;桩号432位置明显的出现大规模低阻体上涌的现象,推测为断层内部破碎填充物的反应。该断层的倾向为南东倾80°左右,上断点埋深接近地表。由此可以推测,黄庄—高丽营断裂北段全新世以来有活动的迹象。

3.2 人工探槽

人工探槽位于D1、G1测线北东约1 km,华都肉

鸡厂南门附近。肉鸡场墙体修建约于20世纪80年代,目前墙面强烈变形开裂并延伸至地表,墙体裂缝宽度4~8 cm,东侧墙体呈弧形扭曲下降,下沉深度约19 cm,路面形成明显的陡坎。墙面南侧的农田中开挖探槽(图6,图7),探槽长50 m,宽8 m,深4 m,走向SW 265°。断层切穿整个第四纪地层直至地表耕作层,北东侧为断层上盘,近断层接触处地层因断层活动而拖曳,厚度略厚,而远离断层处地层产状水平,厚度略薄。断层南西侧为下盘,地层产状近水平。断层面呈铲式,平均产状125°∠50°,上部还发育断层崩积楔,楔状体口宽约65 cm,高度约2.6 m,顶部因后生充填而杂乱,底部保存较好岩性地层,地层沉积特征反映了该断层此段为蠕滑活动段,且变形特征已经延伸至地表。区域资料表明本区全新统厚度为4~7 m,因此推断黄庄—高丽营断裂该段最新活动时间为全新世。

通过对2条高密度电法剖面的反演分析表明,黄庄—高丽营断裂北段上断点均已经延伸至近地表,并通过探槽进行验证分析。最终结果表明:黄庄—高丽营断裂北段第四纪以来多次活动,全新世以来断裂活动明显,地表变形痕迹明显,物探解译结果的上断点以及探槽中的现象均已达到地表,并

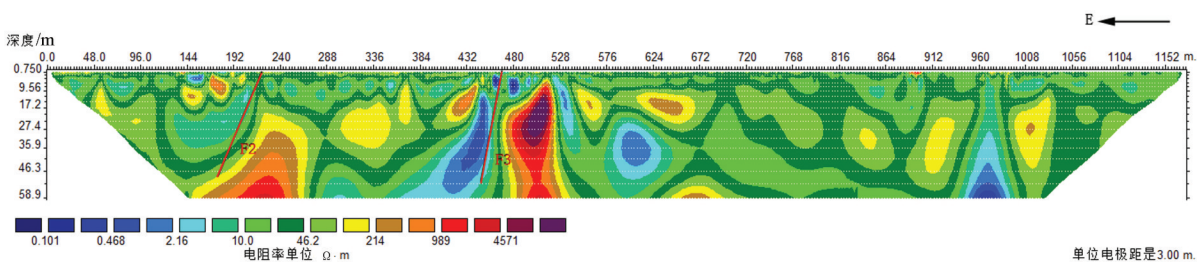


图5 G₂测线反演视电阻率断面图

Fig.5 The inversion figure of apparent resistivity of G₂ survey line



图6 地层的蠕滑变形

Fig.6 The creep deformation of the strata

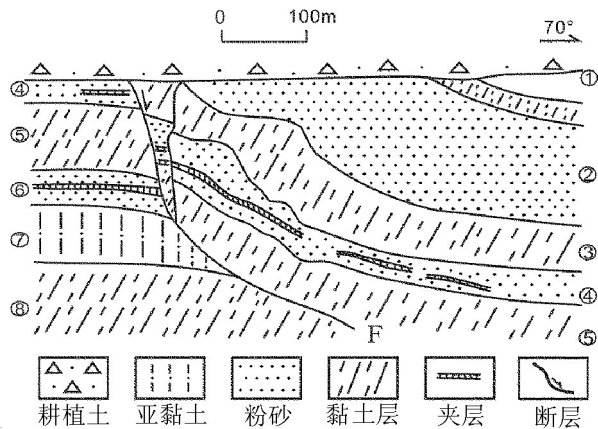


图7 探槽剖面图

Fig.7 Exploratory trench

对地表的建筑物造成了一定的破坏。

4 结论

(1)黄庄—高丽营断裂由主断裂和次级断裂组成的断裂带,新生代以来表现为张性的正断层,垂直断距较大,断裂带内次级断层也较为发育。断裂带在基岩中表现为阶梯状断层,向上延伸至第四系内部,由于松散层的物性差异,在第四系内部形成“Y”字形断层组合,推测该断裂存在右旋走滑的特征。主断裂产状较基岩出现变陡的迹象,从上而下表现为“铲式”断层。

(2)黄庄—高丽营断裂北段全新世以来断裂活

动明显,地表变形痕迹明显,物探解译结果的上断点以及探槽中的现象均已达到地表,并对地表的建筑物造成了一定的破坏。因此,对未来科技城建设和规划可能存在影响,希望得到有关部门的重视。

(3)浅层地震勘探、高密度电法以及探槽等3种方法的组合,是探测城市隐伏断裂并探究其活动性的有效方法手段之一。通过地震勘探方法确定深部断裂位置及产状,运用高密电法探究浅部断裂的形态特征及上断点位置并配合探槽工作,加以验证。此方法组合为今后开展城市隐伏断裂调查及活动性研究提供了工作思路和经验。

致谢:感谢审稿专家提出的宝贵修改意见!

参考文献(References):

- [1] 徐明才, 高景华, 刘建勋, 等. 应用于城市活断层调查的地震方法技术[J]. 中国地震, 2005, 21(1): 17-23.
Xu Mingcai, Gao Jinghua, Liu Jianxun, et al. Application of the seismic method to detecting active faults[J]. Earthquake Research in China, 2005, 21(1): 17-23(in Chinese with English abstract).
- [2] 高文学, 马瑾. 首都圈地震地质环境与地震灾害[M]. 北京: 地震出版社, 1993.
Gao Wenxue, Ma Jin. Seismo- Geological Background and Earthquake Hazard in Beijing Area[M]. Beijing: Seismological Press, 1993(in Chinese).
- [3] 徐锡伟, 吴为民, 张先康, 等. 华北地区地壳最新构造变动与地震[M]. 北京: 科学出版社, 2002.
Xu Xiwei, Wu Weimin, Zhang Xiankang, et al. The Earth's Crust Tectonism and Earthquake in The Capital Area[M]. Beijing: Science Press, 2002(in Chinese).
- [4] 焦青, 邱泽华. 北京平原区主要活动断裂研究进展[C]//地壳构造与地壳应力文集, 2006, 18: 72-84.
Jiao Qing, Qiu Zehua. Research Progress of Major Active Faults in Beijing Plain Area[C]//Crust Structure and Crust Stress Corpus. 2006, 18: 72-84(in Chinese).
- [5] 北京市地质调查研究院. 北京市多参数立体地质调查成果报告[D]. 2007.
Beijing Institute of Geological Survey. Multiparameters 3-dimensional geological survey report in Beijing[D]. 2007(in Chinese).
- [6] 车兆宏, 范燕. 北京黄庄—高丽营断层、八宝山断层现今活动追踪研究[J]. 地震, 2008, 51(5): 1503-1510.
Che Zhaohong, Fan Yan. Tracing study of fault activity of the Beijing Huangzhuang- Gaoliying fault and Babaoshan fault in recent time[J]. Earthquake, 2008, 51(5): 1503- 1510(in Chinese with English abstract).
- [7] 车兆宏. 首都圈断层活动性研究[J]. 华北地震科学, 1993, 11(2):

- 23-34.
Che Zhaohong. A study of the fault activity in the capital circle[J]. North China Earthquake Sciences, 1993, 11(2): 23-34(in Chinese with English abstract).
- [8] 贾三满, 郭萌. 从高丽营探槽分析黄庄—高丽营断裂与地裂缝的关系[J]. 城市地质, 2007, 2(4):24-28.
Jia Sanman, Guo Meng. The relation between Hunagzhung-Gaoliying fault and by Gaoliying trench and earth fissure[J]. Urban Geology, 2007, 2(4): 24-28(in Chinese with English abstract).
- [9] 尹功明, 卢演传, 魏兰英, 等. 北京高丽营断层时间年代学研究[J]. 地震地质, 2002, 24(1):101-110.
Yin Gongming, Lu Yanchou, Wei Lanying, et al. Chronological study of faulting events of Gaoliying fault, Beijing[J]. Seismology and Geology, 2002, 24(1): 101- 110(in Chinese with English abstract).
- [10] 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性的初步研究[J]. 地震学报, 1993, 15(5):385-388.
Xiang Hongfa, Fang Zhongjing, Zhang Wanxia, et al. Preliminary study of late Quaternary activities of concealed fractures in Beijing plain[J]. Acta Seismologica Sinica, 1993, 15(5):385-388(in Chinese with English abstract).
- [11] 张杰坤, 王志清, 陈奇, 等. 北京地区北东向主要活动断裂的地震工程效应评价[J]. 中国地质灾害与防治学报, 1992, 3(2):16-25.
Zhang Jiekun, Wan Zhiqing, Chen Qi, et al. Assessment of the seismic engineering effect of the main active faults along NE direction in Beijing district [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 1992, 3(2): 16-25(in Chinese with English abstract).
- [12] 徐杰, 汪良谋, 方仲景, 等. 北京八宝山断裂和黄庄—高丽营断裂构造活动性的初步分析[J]. 华北地震科学, 1992, 10(3):1-11.
Xu Jie, Wang Liangmou, Fang Zhongjing, et al. Preliminary analysis of the tectonic activities of Babaoshan and Huangzhuang-Gaoliying faults in Beijing area[J]. North China Earthquake Sciences, 1992, 10(3):1-11(in Chinese with English abstract).
- [13] 江娃利, 候治华, 等. 北京平原主要活动断裂全新世活动定量研究及未来地震危险性预测[C]. 地壳构造与地壳应力文集, 2000(13).
Jiang Wali, Hou Zhihua, et al. Quantitative Study of Holocene Activity of Main Active Faults in the Beijing Plain and Prediction of Future Seismic Danger[C]//Crust Structure and Crust Stress Corpus, 2006(13) (in Chinese).
- [14] 马文涛, 唐文榜, 徐锡伟等. 北京市黄庄—高丽营隐伏断裂立水桥段浅层活动特征的地震探测[J]. 物探与化探, 2005, 29(6): 503-505.
Ma Wentao, Tang Wenbang, Xu Xiwei, et al. Seismic exploration of shallow deformation along Lishuiqiao section of Huangzhuang-Gaoliying active fault in Beijing urban area[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2005, 29(6):503-505 (in Chinese with English abstract).
- [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 Huang Zhuang-Gaoliying buried fault in the vicinity of Lishuiqiao, Beijing[J]. Seismology and Geology, 2004, 26(4):698-705(in Chinese with English abstract).
- [16] 白凌燕, 张磊, 蔡向民, 等. 磁性层年代对北京平原顺义断裂第四纪活动性的约束[J]. 现代地质, 2014(6):1234-1242.
Bai Lingyan, Zhang Lei, Cai Xiangmin, et al. Quaternary magnetostratigraphic time framework constraints on activity characteristics of the Shunyi fault, Beijing plain[J]. Geoscience, 2014(6):1234-1242 (in Chinese with English abstract).
- [17] 张磊, 白凌燕, 蔡向民, 等. 北京南口—孙河断裂北西段综合物探剖面定位及其活动性研究[J]. 现代地质, 2014(1):234-242.
Zhang Lei, Bai Lingyan, Cai Xiangmin, et al. Study on the position of the north west section of the Nankou-Sunhe fault in Beijing and its activity[J]. Geoscience, 2014(1): 234- 242(in Chinese with English abstract).
- [18] 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(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(3):902-911(in Chinese with English abstract).
- [19] 刘保金, 胡平, 孟勇奇, 等. 北京地区地壳精细结构的深地震反射剖面探测研究[J]. 地球物理学报, 2009, 52(9):2264-2272.
Liu Baojin, Hu Ping, Meng Yongqi, et al. Research on fine crustal structure using deep seismic reflection profile in Beijing region[J]. Chinese Journal of Geophysics, 2009, 52(9):2264-2272 (in Chinese with English abstract).
- [20] 高战武, 陈棋福, 黄金莉, 等. 北京地区主要活动断裂深部速度结构特征及强震构造分析[J]. 震灾防御技术, 2010, 55(3):271-280.
Gao Zhanwu, Chen Qifu, Huang Jinli, et al. Velocity structure beneath the active faults in Beijing area and their seismo-tectonic characteristics[J]. Technology for Earthquake Disaster Prevention, 2010, 5(3): 271- 280(in Chinese with English abstract).
- [21] 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[M]. Seismological Press, 1994: 1-97 (in Chinese).
- [22] 向宏发. 隐伏活动构造探测研究的若干问题讨论[J]. 地震地质, 2003, 25(3): 460-466.
Xiang Hongfa. Some problems in the exploration and research of

- buried active fault[J]. *Seismology and Geology*, 2003, 25(3):460–466(in Chinese with English abstract).
- [23] 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).
- [24] 胡平, 刘宝金, 白立新, 等. 奥林匹克公园隐伏断裂综合探测[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).
- [25] 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 Yinke, 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).
- [26] 白登海, 王立凤, 孙洁, 等. 福州八一水库尚干断裂的高密度电法和瞬变电磁法试验探测[J]. *地震地质*, 2003, 23(3): 97–103.
Bai Denghai, Wang Lifeng, Sun Jie, et al. DC and Tem test sounding for the Bayi ShuiKu—Shang Gan fault in Fuzhou city, Fujian Provice, China[J]. *Seismology and Geology*, 2003, 23(3): 97–103(in Chinese with English abstract).
- [27] 刘万恩. 高密度电法探测基岩起伏和隐伏断裂中的应用[J]. *上海地质*, 2007, 13(3):51–53.
Liu Wanen. The application of exploring bedrock relief and embedded fracture via high—density resistivity method[J]. *Shanghai Geology*, 2007, 13(3):51–53(in Chinese with English abstract).
- [28] 葛鸣, 邢立杰, 罗福忠, 等. 高密度电法在和田隐伏断层探测中的应用[J]. *中国煤炭地质*, 2014, 26(12):62–65.
Ge Ming, Xing Lijie, Luo Fuzhong, et al. application of high density electric method in hidden fault prospecting, Hetian, Xinjiang[J]. *Coal Geology of China*.2014, 26(12):62–65(in Chinese with English abstract).
- [29] 池跃龙, 张亭, 王星捷. 高密度电法在探测隐伏断裂带中的应用[J]. *城市地质*, 2014(3):44–46.
Chi Yuelong, Zhang Ting, Wang Xingjie. The Application of the high– density electrical method in detecting the underground faults[J]. *Urban Geology*, 2014(3): 44– 46 (in Chinese with English abstract).
- [30] 刘艳春, 高树义, 庄明芳, 等. 高密度电法在探测隐伏断裂中的应用[J]. *山西建筑*, 2014, 40(30): 89–91.
Liu Yanchun, Gao Shuyi, Zhuang Mingfang, et al. Application of high– density resistivity method on detecting buried fault[J]. *Shanxi Architecture*, 2014, 40(30): 89– 91(in Chinese with English abstract).
- [31] 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(1): 1–6.
Hou Yehua, Zhong Nancai, Hao Yanjun, et al. Detecting Nankou– Sunhe buried faultly by high density resistivity method[J]. *Journal of Institute of Disaster– prevention Science and Technology*, 2011, 13(1): 1– 6(in Chinese with English abstract).
- [32] 玄月, 王金萍, 冯军, 等. 高密度电法在隐伏断裂探测中的应用[J]. *大地测量与地球动力学*, 2011, 31(2):56–59.
Xuan Yue, Wang Jinping, Feng Jun, et al. Application of high– density resistivity method to buried fault exploration[J]. *Journal of Geodesy and Geodynamics*.2011, 31(2):56–59(in Chinese with English abstract).
- [33] 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, 6 (31):501–509.
Jiang Wali, Hou Zhihua, Xie Xinsheng. Research on paleoearthquakes in Jiuxian trenches across Nankou–Sunhe fault zone in Changping Country of Beijing plain[J]. *Scisence in China (Series D)*. 2001, 6 (31):501–509(in Chinese).
- [34] 赵勇, 蔡向民, 王继明, 等. 北京平原构造断块划分及微断块第四纪活动性探讨[J]. *中国地质*, 2015, 42(6): 1876–1884.
Zhao Yong, Cai Xiang–min, Wang Ji–min, et al. The division of “small blocks” of structure in Beijing plain and a discussion on the activity of micro block in Quaternary period[J]. *Geology in China*, 2015, 42(6): 1876–1884(in Chinese with English abstract).
- [35] 华伟, 陈廷东, 季红军, 等. 高邮凹陷真武断裂带断层活动及演化规律[J]. *中国地质*, 2012, 39(3): 605–611.
Hua Wei, Chen Tingdong, Ji Hongjun, et al. Fault activity and evolution of the Zhenwu fault zone in Gaoyou sag[J]. *Geology in China*, 2012, 39(3): 605–611(in Chinese with English abstract).