文章编号：1006-6616（2017）04-0548-10

北京地区黄庄—高丽营断裂北段活动性研究与灾害效应分析

张　磊[1]，张晓亮[1]，白凌燕[1]，杨天水[2]，蔡向民[1]，梁亚南[1]
（1. 北京市地质调查研究院，北京 100195；
2. 中国地质大学生物地质与环境地质国家重点实验室，北京 100083）

摘　要：通过浅层人工地震、高密度电阻率法及钻探工程等综合方法，对穿越北京市重要创新产业基地的未来科技城内的隐伏黄庄—高丽营活动断裂进行了精细研究，揭示了其结构特征、第四纪活动性及其致灾机理。研究表明：黄庄—高丽营断裂北段总体上表现为张性正断层特征、倾向南东、倾角 70°～80°、基岩深度附近垂直断距较大，断裂向上延伸至第四系产状逐渐变陡，具有“铲式”断层的特点，局部表现为“Y”字形组合特征；黄庄-高丽营断裂北段第四纪以来活动迹象明显。钻孔对比表明，早、中、晚更新世和全新世以来平均垂直活动速率分别为 0.07 mm/a、0.04 mm/a、0.23 mm/a、0.10 mm/a，其变化特点与北京西山隆升所反映的新构造运动的特征吻合；黄庄—高丽营断裂北段全新世以来表现为强烈蠕滑变形，沿断裂下盘诱发了线性分布的地裂缝、地面塌陷、墙体路面开裂等地质灾害现象。

关键词：活动断裂；黄庄—高丽营断裂；活动速率；地质灾害；第四纪
中图分类号：P694　　**文献标识码：**A

0　引言

大量的研究表明[1～5]，隐伏活动断裂除诱发地震导致上部地面产生严重的变形破坏带之外，其缓慢的蠕变亦能够造成地表变形及建筑物的破坏，并且危害程度不亚于地震活动。大多城市位于平原或盆地内，活动断裂多处于隐伏状态，均面临上述两种潜在危害。对于隐伏活动断裂，一般的地质调查手段难以对其进行研究，需采用综合调查及分析手段开展探测评价，如：地表地质调查、综合物探、钻探及槽探工程等综合方法。

由于北京地区的地震构造主要以控制第四纪沉积盆地的隐伏控盆断裂为主，这些隐伏断裂均具有较强的构造活动性，不但控制该区破坏性强震的发生，同时还引起地表地裂缝等地质灾害。因此，北京地区未来具有发生中强地震的构造背景。

北京未来科技城是为深入贯彻落实建设创新型国家，引进高技术人才而建设的创新创业基地。调查表明，沿黄庄—高丽营断裂北段沿线普遍发育地表破裂，破坏严重地区集中在未来科技城地区和西王路村一带，多见民房、道路等建筑物和市政设施的开裂和变形，地表可见规模性、集丛性地裂缝发育，断裂上盘地面沉降区面积具有逐年扩大化的特征，平均沉降速率亦有加速的趋势[6]。因此对黄庄—高丽营断裂北段开展调查和灾害效应研究，对确保未来科技城地区地质安全、防灾减灾以及北京城市规划建设和土地合理利用具有十分重要的现实意义。

通过黄庄—高丽营断裂带北段所穿越的重点地区（北七家镇未来科技城）综合地浅层地震勘探、高密度电阻率法勘探和钻探工程，结合磁性地层研究结果，对该段活动断裂位置、结构特征和第四纪活动性进行了研究，并根据断裂活动在

收稿日期：2017-01-06
基金项目：中国地质调查局项目（12120113012000）
作者简介：张磊（1982-），男，高级工程师，主要从事城市活动断裂研究工作。E-mail：ikkibaby@126.com

地表造成的地裂缝及建筑开裂调查结果，初步探讨了其致灾机理，分析了黄庄—高丽营断裂北段灾害效应。

1　黄庄—高丽营断裂概况

北京平原区上新世晚期以来，始终表现为构造沉降运动为特征。然而，在区域伸展构造环境影响和作用下，平原区两组不同方向的隐伏断裂活动显著。其中，包括北东向的黄庄—高丽营断裂、顺义断裂、南苑—通县断裂和夏垫断裂；北西向的南口—孙河断裂（见图 1）。上述两组断裂产生的引张性正断活动，切割区内形成大小不等的微地块，各地块运动形式多样，或抬升或掀斜或下陷，在横向上构成“两隆两凹”的构造格局[7]，即：京西隆起，北京凹陷、大兴隆起和大厂凹陷。这些新生代的构造运动决定了现代北京平原区地貌格局、水系展布和变迁。黄庄—高丽营断裂属于深大断裂，也是北京山区与平原区的分界构造线。南起涿州西城坊，经坨里、黄庄、八里庄、高丽营至怀柔高各庄，总长约 110 km，走向北东，断裂面倾向南东，倾角约 50° ~ 80°。性质为正断层，最大断距在约 200 ~ 1000 m。该断裂于形成于燕山期，新生代以来强烈活动控制了古近系和新近系，在此基础上，第四以来继承性发展，盆地继续演化。

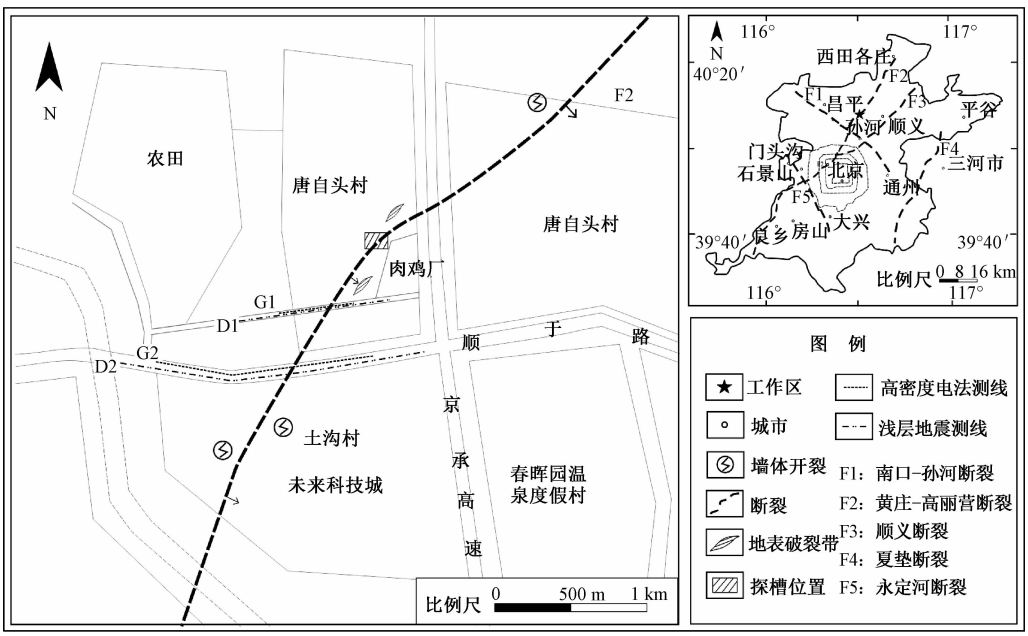

图 1　研究区工作部署图

Fig. 1　Survey line in the working area

北京地震地质会战时期的研究成果，表明黄庄—高丽营断裂为第四纪活动断裂[8]。王挺梅等在 1983 年调查发现黄庄断裂（东河沿—大灰厂段）此段活断层具右旋—平移性质[9]，最近一次较为明显的活动，当在晚更新世末或全新世；徐杰等在 1992 年提出黄庄—高丽营断裂活动可持续至中更新世[10]，活动强度总体表现北强南弱；向宏发等在 1996 年通过地形地质、化探、浅层物探、钻探和槽探等多手段的联合剖面探测研究[11]，首次查明了黄庄-高丽营断裂的准确位置及其活动性。车兆宏等在 1997 年于黄庄—高丽营断裂中段布设了同步监测网，通过形变及重磁手段开展断裂活动性监测，2003 年发现该地段是关键构造部位的应力场变化的敏感区[12~13]；马文涛等在 2005 年利用人工地震对黄庄—高丽营断裂浅部进行探测[14]；常旭等在 2008 年利用伪随机可控震源反射地震法[15]对断裂在奥林匹克公园段进行探测；胡平等在 2010 年对黄庄—高丽营断裂奥林匹克公园段开展定位结构及活动性研究[16]。本文通过对昌平区北七家镇未来科技城一带，开展黄庄—高丽营断裂段的平面展布，结构特征及活动规律等方面研究，对实现后期监测预警，确保未来科技城地区地质安全，防灾减灾以及北京城市规划建设和土地合理利用具有十分重要研究意义。

2 断裂带北段结构特征

平原区由于第四系覆盖，其发育的断裂无法进行露头尺度上的研究，因此，地球物理勘探技术成为最主要的探测方法[17]。其中，浅层人工地震勘探法由于探测其原理，使其具有较高的分辨率，对于第四系内部不同的反射层具有很好的识别效果[14~19]。

本次工作共部署 2 条二维地震勘探剖面，野外使用 Sercel 428XL 有线遥测地震数据采集系统，单边激发，90 道接收，道间距 3 m，炮间距 9 m，记录长度 1 s；震源车作为主动源，检波器接收频率为 100 Hz，单点锤击 6 次以上。数据解译使用 Promax 地震处理软件。

D_1 测线位于肉鸡场南门小路上，长度约 1.0 km，剖面自西向东布设。地震剖面的解译结果如图 2 所示。剖面共识别出 3 个反射界面，其中，CMP100 ~ 400 之间存在一个小幅隆起，CMP150 ~ 200 之间存在断裂——F 黄高。断裂倾向南东，倾角约 70°，具有明显的正断层特征，基岩断距约 150 m，向上延伸至第四系内部，断距逐渐减小，产状变陡。同时，剖面上还反映出 1 条次级断裂 F_1，倾向北西，倾角约 50°，与该断层形成“Y”字形结构。

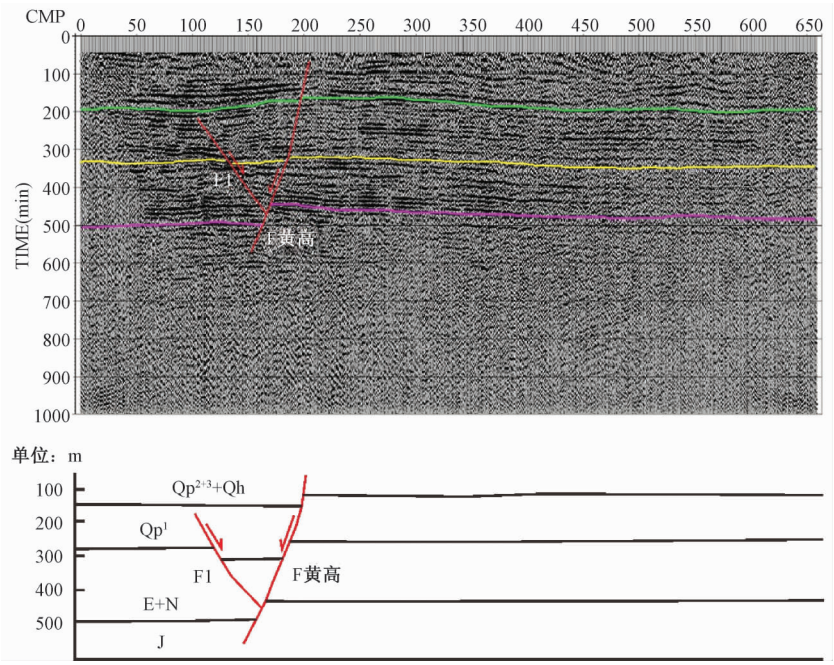

图 2 反射地震时间剖面及解译图（D1）

Fig. 2 Section and interpretation chart of reflection seismic time (D1)

D_2 测线位于 D_1 测线南侧的顺于路上，长度约 1.8 km，剖面自西向东布设。地震剖面的解译结果如图 3 所示。该剖面的信噪比相对较低，各反射同相轴连续性较差。可能由于外界干扰所致。剖面上共识别出 3 个反射界面，其中，CMP250 ~ 350 之间存在断裂——F 黄高。断裂倾向南东，倾角约 80°，基岩断距约 200 m，延伸至第四系内部形成“直上型”断裂，“铲式”断层结构明显。

综上，黄庄—高丽营断断裂北段是由主断裂和次级断裂组成的断裂带，总体上表现为张性的正断层，断裂倾向南东，倾角越 70° ~ 80°，基岩深度附近垂直断距较大，可达 150 ~ 200 m 左右。断裂向上延伸至第四系内部，由于松散层的物性差异，断面产状逐渐变陡，从上而下表现为“铲式”断层。由于该断裂表现出明显的正断特征，下降盘在断面附近收到牵引力向下拖曳，出现不均匀的下沉，形成了局部位置的“Y”字形断层组合特征。

3 断裂带北段活动性分析

钻探工程作为城市隐伏活动断裂最常用的探测方法，不仅能够对物探工作进行有效的验证，同时通过对钻孔岩芯进行岩石地层分析及年代学的测试，实现对目标断裂活动性的分析研究的目的[20~26]。磁性地层学研究所提供的年代学证据，

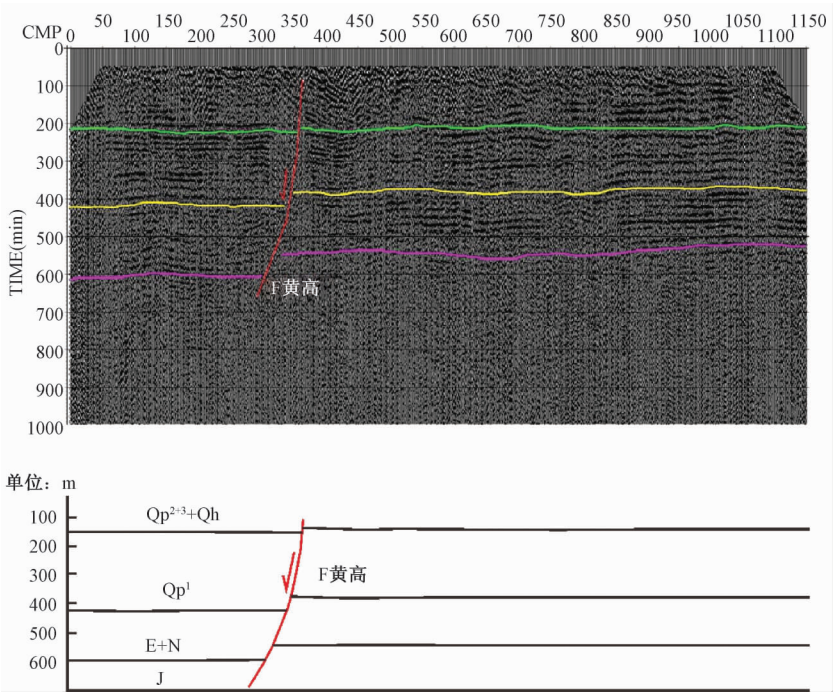

图 3　反射地震时间剖面及解译图（D2）

Fig. 3　Section and interpretation chart of reflection seismic time (D2)

能够为断裂活动性研究提供有力的技术数据支撑[27~42]。

本次工作在黄庄—高丽营断裂北段上下两盘各布设了 1 个钻孔（见图 1），其中 ZK4 地理坐标为 116°28′12″E、40°7′12″N，孔深 626 m；ZK5 孔地理坐标为 116°27′36″E、40°8′24″N，孔深 477 m。钻探工程采用油压式钻机，取芯率达 90% 以上，岩芯采样间距 0.5 m，将岩芯样用陶瓷刀加工出边长为 2 cm×2 cm×2 cm 的立方体样品，标记顶底方向。最终采集古地磁样品 752 块，其中，ZK4 孔 514 块，ZK5 孔 238 块。整个实验是在中国地质大学（北京）古地磁学与环境磁学实验室完成，使用设备包括 ASC-TD48 热退磁炉和 2G755-4K 超导磁力仪。

根据磁倾角的变化特征建立了 ZK4 孔和 ZK5 孔的磁极倒转序列，ZK4 孔岩沉积物中，0~170.8 m 定为布容正极性带；170.8~550.6 m 定为松山负极性带；384.5~420.5 m 定为奥尔杜维正极性亚带；550.6 m 以下定为高斯正极性带。ZK5 孔岩沉积物中，0~107 m 定为布容正极性带，107~301 m 定为松山负极性带（见图 4）结合磁性地层研究，及本区第四纪区域岩石组合特征，共同建立了目标钻孔的第四系格架。ZK4 孔、ZK5 孔的下更新统底界分别为 550.6 m 和 301 m；中更新统底界分别为 170.8 m 和 107 m；上更新统底界分别为 100.5 m 和 70 m；全新统底界分别为 5.2 m 和 4.2 m。

黄庄—高丽营断裂上下盘第四纪以来不同时间段内的地层岩性，沉积厚度或者沉积速率具有明显差异，能够反映该断裂两侧垂直活动的特点。通过计算断裂两盘沉积速率差从而得到断裂的平均活动速率。参考 2009 年国际地层年表第四纪地层划分[44]，计算得出各钻孔的沉积速率（见表 1）。早更新世至全新世，ZK4 孔沉积速率分别为 0.21 mm/a、0.11 mm/a、0.82 mm/a、0.52 mm/a；ZK5 孔沉积速率分别为 0.11 mm/a、0.07 mm/a、0.57 mm/a、0.42 mm/a，黄庄-高丽营断裂北段的平均垂直活动速率分别为 0.07 mm/a、0.04 mm/a、0.23 mm/a、0.10 mm/a。沉积速率变化与活动速率变化均体现了相同的规律（见图 5），即：较强—弱—强—较强的变化特点。

第四纪时期北京西山新构造运动能够有效的表征区域构造演化特点。作为北京地区最为显著的活动断裂—黄庄—高丽营断裂，其活动性与之亦有很好的对应关系。第四纪以来北京西山的强烈隆升，上升速度为 0.10~0.26 mm/a；中更新世隆升速度达 0.1 mm/a。在 0.10~0.012 Ma B.P. 的晚更新世期间，山脉上升幅度和速度达到第四纪各阶段的最大值，隆升速度达 0.82 mm/a。

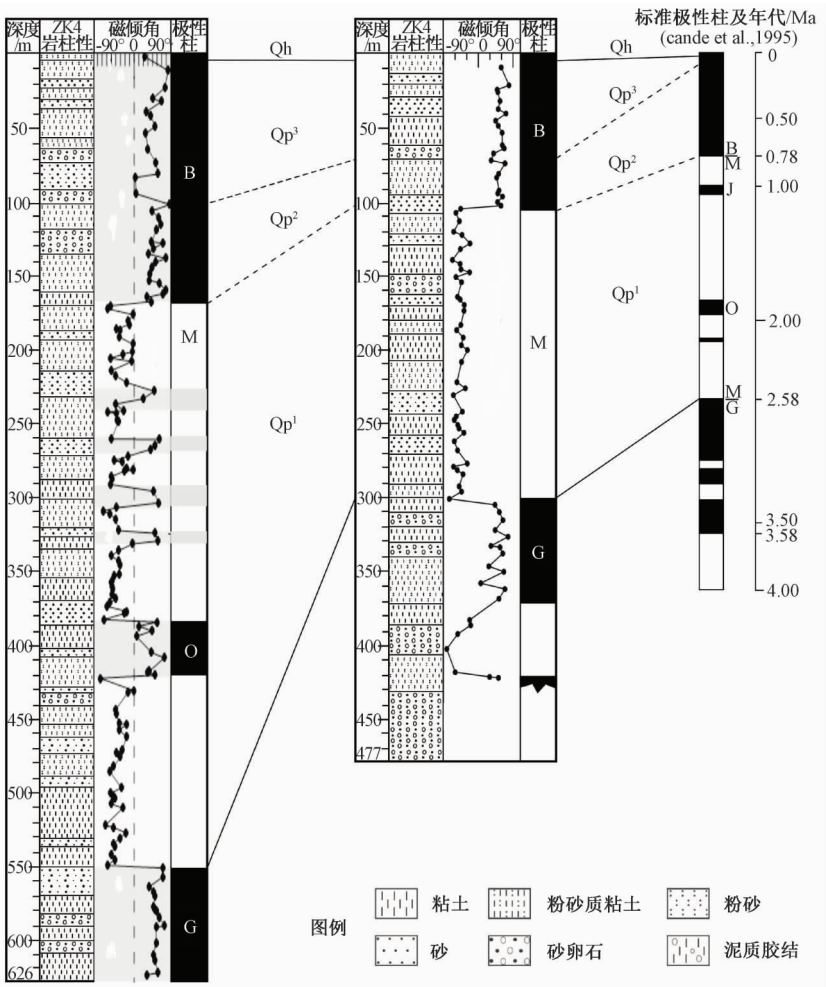

图 4 钻孔 ZK04、ZK05 与标准极性柱[43]对比图

Fig. 4 The contrast diagram of magnetostratigraphy of the cores ZK4、ZK5 and polarity zones[43]

全新世阶段，山体仍较强烈上升隆升速度为 0.66 mm/a[45]。综上可见，黄庄—高丽营断裂第四纪以来的活动性与本区新构造运动具有较好的吻合关系。

表 1 地层沉积速率表

Table 1 Stratigraphic average sedimentation rates

断裂名称	时代	地层底界埋深/m		钻孔沉积速率/(mm/a)		沉积速率差/(mm/a)
		ZK04	ZK05	ZK04	ZK05	
黄庄高丽营断裂	早更新世	550.6	301	0.21	0.11	0.10
	中更新世	170.8	107	0.11	0.07	0.04
	晚更新世	100.5	70	0.82	0.57	0.25
	全新世	5.2	4.2	0.52	0.42	0.10

4 灾害效应分析

黄庄—高丽营断裂作为北京平原区一条重要的隐伏活动断裂，调查表明断裂北段高丽营地区地质灾害发育，表现为与断裂走向一致的地裂缝、房屋开裂、地面下沉等地质灾害现象。特别是断裂北段沿线，该地区地裂缝最早发现于上个世纪 90 年代初，近年来发展有加剧之势。地裂缝北起西王路村，穿过未来科技城区，南至八仙别墅，走向大致呈北东 45°～60°，断续延伸长度 2500 m 左右。地裂缝造成了房屋的墙体、地坪和地面的破坏，裂缝带宽度达 50 m 左右，一般多表现为墙体开裂，表现为东南侧下降，下降幅度 10 cm～20 cm，村中民居多见开裂，并持续发展[46]。断裂以东的京承高速公路也出现了不同程度的变形坏。八仙别墅区地裂缝整体走向为北东 45°，斜穿整个小区中心。由地裂缝引起小区道路和房屋的破坏，呈良好的线性特征，地裂缝两侧路面由于塌陷形成约 8 cm 左右的高差，局部别墅因墙体破坏严重已拆除，并原址重建。

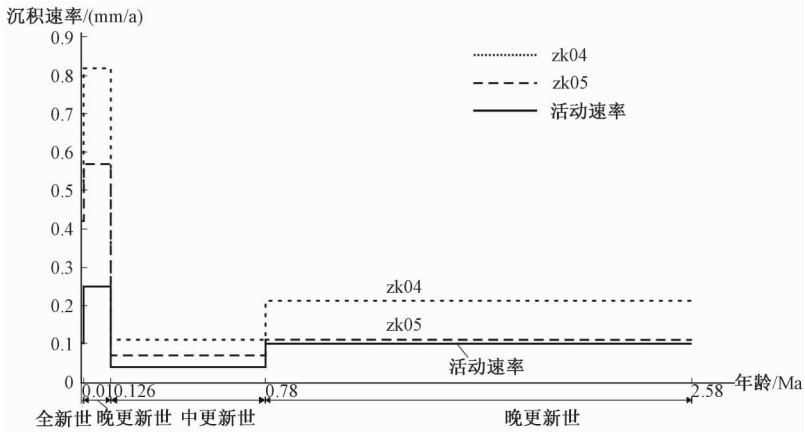

图 5　钻孔沉积速率对比图

Fig. 5　The contrast diagram of average sedimentation rates of borehole

本次工作选取地质灾害最为发育的未来科技城地区开展工作，基于城区内华都肉鸡场南侧围墙及路面的变形破坏，部署了高密度电阻率勘探剖面。该方法作为城市地质工作中重要的探测手段，能够有效的对活动断裂浅部信息进行捕捉，兼具简洁，方便、经济和直观的特点[47~51]。

高密度电法测线 G1 长度 789 m，电极距 3 m。选用仪器为骄鹏 E60D 多功能电法仪。解译成果（见图 6）显示桩号 219 处，两侧电阻率存在明显差异。西侧（断裂上升盘）可划分两个电性层面，0 ~ 8 m 的低阻层和 8 ~ 69 m 的高阻层。东侧（断裂下降盘）可划分三个电性层面：0 ~ 12 m 的低阻层，12 ~ 22 m 的不连续的高阻层和 22 ~ 69 m 低阻层（见图 6a）。综合对比分析桩号 219 两侧剖面的电性差异，推断该处存在明显的断裂带，倾向南东，上断点延伸至地表造成路面出现明显的陡坎，围墙变形严重，南东一侧强烈下沉，墙基下沉深度约 20 cm（见图 6b）。北京市地质调查研究院在该地区的跨断层水准监测数据显示，断裂两盘存在明显的差异性沉降，仅 2017 年上半年，断裂下降盘的累积平均沉降量已达到 20 mm 左右，局地最大可达 30 mm。

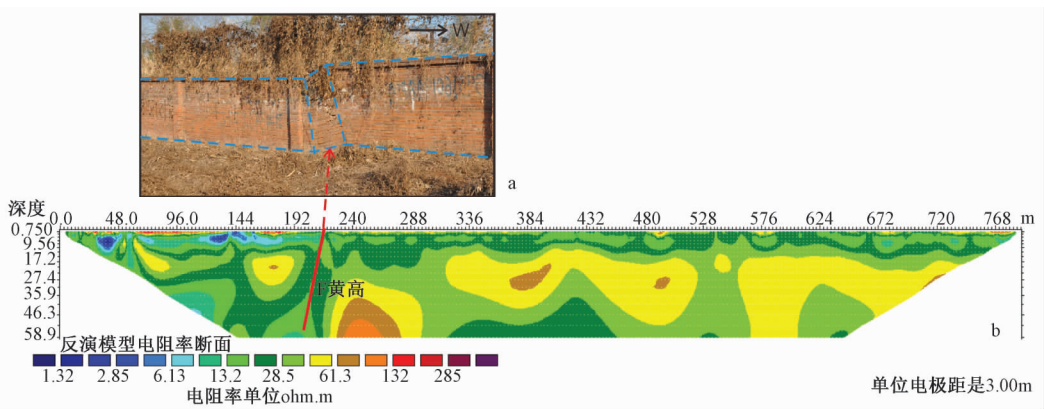

图 6　高密度电阻率法剖面解译断裂与地表形变对应关系图

Fig. 6　Correspondence diagram of interpretation for high density resistivity profile section and ground deformation of the fault

综上，黄庄—高丽营断裂全新世以来依然存在强烈的蠕滑变形。该断裂带“Y”字形组合特征表明断裂下降盘在断面附近受到牵引力向下拖曳，在纵弯作用下，产生张裂，因而形成了构造成因的地裂缝及地面塌陷等，且这些地质灾害均集中发育在断裂的下降盘。

5　结论

本文选取北京未来科技城地区，对黄庄—高丽营断裂北段进行精细研究，通过浅层人工地震，高密度电阻率法及钻探工程等综合方法对断裂带

结构特征，第四纪活动性及沿线发育的地质灾害致灾机理进行详细分析，获得以下几点认识：

（1）黄庄—高丽营断裂北段总体上表现为张性的正断层，断裂倾向南东，倾角约 70°～80°，基岩深度附近垂直断距较大，可达 150～200 m 左右。断裂向上延伸至第四系内部，产状逐渐变陡，表现为“铲式”断层的特点，局部位置表现为“Y”字形结构特征。

（2）黄庄—高丽营断裂北段为全新世活动断裂。第四纪以来活动显著，早、中、晚更新世和全新世以来平均垂直活动速率分别为 0.07 mm/a、0.04 mm/a、0.23 mm/a、0.10 mm/a。沉积速率变化与活动速率变化均体现了相同的规律，即：较强—弱—强—较强的变化特点，与本区新构造运动（西山隆升）的特征吻合。

（3）黄庄—高丽营断裂北段全新世以来存在强烈的蠕滑变形，该断裂带“Y”字形组合特征表明断裂下降盘在断面附近收到牵引力向下拖曳，在纵弯作用下，产生张裂，因而形成了具有与断裂走向一致的地裂缝，地面塌陷，墙体路面开裂等地质灾害现象，且这些地质灾害均集中发育在断裂的下降盘。

（4）不同的方法组合能够有效的对城市隐伏活动断裂进行探测研究，其中综合物探对于解决断裂带几何学具有较好的效果，钻探工程配合年代学能够对其活动性进行探讨。因此，在开展相关工作的时候，应选取最优的方法组合，实现对目标断裂精细的调查研究的目标。

致谢 衷心感谢地科院力学所谭成轩教授为成文定稿提出的宝贵意见。

参考文献/References

[1] 赵伯明，徐锡伟. 汶川 M_s8.0 地震断层与地震灾害初步分析 [J]. 地震地质，2008，30（4）：839～854.
ZHAO Boming, XU Xiwei. An analysis onM_s8.0 Wenchuan earthquake fault and seismic disaster [J]. Seismology and Geology, 2008, 30 (4): 839～854.

[2] Scholz C H. The mechanics of earthquakes and faulting [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1990, 73～96.

[3] 徐锡伟. 活动断层、地震灾害与减灾对策问题 [J]. 震灾防御技术，2006，1（1）：7～14.
XU Xiwei. Active faults, associated earthquake disaster distribution and policy for disaster reduction [J]. Technology for Earthquake Disaster Prevention, 2006, 1 (1): 7～14.

[4] 徐锡伟，闻学泽，叶建青，等. 汶川 M_s8.0 地震地表破裂带及其发震构造 [J]. 地震地质，2008，30（3）：597～629.
XU Xiwei, WEN Xueze, YE Jianqing, et al. TheM_s8.0 Wenchuan earthquake surface ruptures and its seismogenic structure [J]. Seismology and Geology, 2008, 30 (3): 597～629.

[5] 邓起东. 城市活动断裂探测和地震危险性评价问题 [J]. 地震地质，2002，24（4）：601～605.
DENG Qidong. Exploration and seismic hazard assessment of active faults in urban areas [J]. Seismology and Geology, 2002, 24 (4): 601～605.

[6] 王继明，张磊，赵勇，等. 北京平原区活动断裂监测专项地质调查报告 [R]. 北京：北京市地质调查研究院，2013.
WANG Jiming, ZHANG Lei, ZHAO Yong, et al. The report on the results of geological survey of active faults in Beijing plain area [R]. Beijing: Geological Survey of Beijing, 2013.

[7] 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 neotectonic movement in Beijing area [J]. Seismology and Geology, 1991, 13 (1): 43～51.

[8] 北京市地震地质会战办公室. 北京市地震地质会战专题成果（第 4 专题组）——北京平原区全新世构造活动调查研究 [M]. 北京：北京市地震地质会战办公室，1982.
Earthquake Geological Office of Beijing. The fourth topic achievements on Beijing earthquake and geological meeting-surveys and research on Holocene tectonic activity in Beijing plain [M]. Beijing: Earthquake Geological Office of Beijing, 1982.

[9] 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）：70.
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): 70.

[10] 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.

[11] 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 [M]. Beijing: Seismological Press, 1994, 1～97.

[12] 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，2003，23（3）：97～104.
CHE Zhaohong, FAN Yan. Tracing study of fault activity of the Beijing Huangzhuang-Gaoliying fault and Babaoshan fault in

recent time [J]. Earthquake, 2003, 23 (3): 97 ~ 104.

[13] 车兆宏，巩曰沐，刘善华，等. 北京黄庄—高丽营断层、八宝山断层中段活动性综合研究 [J]. 中国地震，1997，13 (4)：330 ~ 337.
CHE Zhaohong, GONG Yuemu, LIU Shanhua, et al. Comprehensive study of fault activity of the Huangzhuang-Gaoliying and Babaoshan fault in the middle section [J]. Earthquake Research in China, 1997, 13 (4): 330 ~ 337.

[14] 马文涛，唐文榜，徐锡伟，等. 北京黄庄—高丽营隐伏断裂立水桥段浅部活动特征的地震探测 [J]. 物探与化探，2005，29 (6)：503 ~ 505，509.
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 & Geochemical Exploration, 2005, 29 (6): 503 ~ 505, 509.

[15] 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震源地震剖面 [J]. 地球物理学报，2008，51 (5)：1503 ~ 1510.
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, 2008, 51 (5): 1503 ~ 1510.

[16] 胡平，刘保金，白立新，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.

[17] 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)：93 ~ 104.
DENG Qidong, XU Xiwei, ZHANG Xiankang, et al. Methods and techniques for surveying and prospecting active faults in urban areas [J]. Earth Science Frontiers, 2003, 10 (1): 93 ~ 104.

[18] 白凌燕，张磊，蔡向民，等. 磁性地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，2014，28 (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, 28 (6): 1234 ~ 1242.

[19] 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，2014，28 (1)：234 ~ 242.
ZHANG Lei, BAI Lingyan, CAI Xiangmin, et al. Study on the position of North West section of Nankou-Sunhe fault in Beijing and its activity [J]. Geoscience, 2014, 28 (1): 234 ~ 242.

[20] 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，1995，18 (1)：75 ~ 79.
XIANG Hongfa, FANG Zhongjing, ZHANG Wanxia, et al. Joint profile survey of active features for the late quaternary subsurface faults in Beijing plain region [J]. Journal of Seismological Research, 1995, 18 (1): 75 ~ 79.

[21] 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 paleoearthouake sequence using stratigraphic records from drill logs: a study at the Xiadian fault, Beijing [J]. Seismology and Geology, 2000, 22 (1): 9 ~ 19.

[22] 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：地球科学，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: Earth Sciences, 2008, 51 (8): 1154 ~ 1168.

[23] 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地层学研究 [J]. 第四纪研究，2014，34 (2)：381 ~ 390.
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): 381 ~ 390.

[24] 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.

[25] 张磊，何静，白凌燕，等. 北京凹陷北缘第四纪凹陷盆地沉积速率变化特征与顺义断裂活动性的响应关系 [J]. 中国地质，2016，43 (2)：511 ~ 519.
ZHANG Lei, HE Jing, BAI Lingyan, et al. The response relationship between the variation characteristics of deposition rate of Quaternary depression basin on the northern margin of Beijing depression and the activity of Shunyi fault [J]. Geology in China, 2016, 43 (2): 511 ~ 519.

[26] 张磊，张晓亮，白凌燕，等. 北京平原沙河凹陷第四纪磁性地层学研究及其新构造运动的沉积响应 [J]. 中国地质，2016，43 (3)：1076 ~ 1084.
ZHANG Lei, ZHANG Xiaoliang, BAI Lingyan, et al. Quaternary magnetic stratigraphy and its sedimentary response to new tectonic movement in Shahe depression, plain area of Beijing [J]. Geology in China, 2016, 43 (3): 1076 ~ 1084.

[27] 安芷生，魏兰英，卢演俦，等. 顺 5 孔的磁性地层学和早松山世的北京海侵 [J]. 地球化学，1979，(4)：343 ~ 346.
AN Zhisheng, WEI Lanying, LU Yanchou, et al. Magnetostratigraphy of the core S-5 and the transgression in the Beijing area during the early Matuyama Epoch [J].

Geochimica, 1979, (4): 343 ~ 346.

[28] 李龙吟, 陈华慧. 北京怀柔 HR_{88-1} 钻孔剖面磁性地层学研究 [J]. 地层学杂志, 1994, 18 (1): 39 ~ 44.
LI Longyin, CHEN Huahui. On magnetostratigraphy of the borehole HR_{88-1} in Huairou area, Beijing [J]. Journal of Stratigraphy, 1994, 18 (1): 39 ~ 44.

[29] 刘进峰, 郭正堂, 郝青振, 等. 甘肃秦安糜子湾剖面中新世风尘堆积的磁性地层学研究 [J]. 第四纪研究, 2005, 25 (4): 503 ~ 509.
LIU Jinfeng, GUO Zhengtang, HAO Qingzhen, et al. Magnetostratigraphy of the Miziwan Miocene Eolian deposits in Qin'an County (Gansu Province) [J]. Quaternary Sciences, 2005, 25 (4): 503 ~ 509.

[30] 卢海建, 王二七, 李仕虎, 等. 青藏高原东南缘构造旋转变形分析: 以四川盐源盆地古地磁研究为例 [J]. 中国地质, 2015, 42 (5): 1188 ~ 1201.
LU Haijian, WANG Erqi, LI Shihu, et al. Rotational deformation of the southeastern margin of Tibet: a paleomagnetic study of the Yanyuan basin, Sichuan Province [J]. Geology in China, 2015, 42 (5): 1188 ~ 1201.

[31] 邓成龙. 黄土高原西部白草塬剖面 L1 和 S1 记录的古地磁场特征 [J]. 第四纪研究, 2008, 28 (5): 854 ~ 865.
DENG Chenglong. Paleomagnetism of the loess/paleosol couplet L1/S1 at the Baicaoyuan section, western Loess Plateau [J]. Quaternary Sciences, 2008, 28 (5): 854 ~ 865.

[32] 郑妍, 郑洪波, 邓成龙, 等. 还原成岩作用对磁性矿物的影响及古气候意义: 以长江口水下三角洲岩芯 YD0901 沉积物为例 [J]. 第四纪研究, 2012, 32 (4): 652 ~ 662.
ZHENG Yan, ZHENG Hongbo, DENG Chenglong, et al. Diagenetic alteration on magnetic minerals and the paleoclimate implications, results from core YD0901 of Yangtze subaqueous delta [J]. Quaternary Sciences, 2012, 32 (4): 652 ~ 662.

[33] 乔彦松, 赵志中, 王燕, 等. 川西甘孜黄土磁性地层学研究及其古气候意义 [J]. 第四纪研究, 2006, 26 (2): 250 ~ 256.
QIAO Yansong, ZHAO Zhizhong, WANG Yan, et al. Magnetostratigraphy and its paleoclimatic significance of a loess-soil sequence from Ganzi Area, West Sichuan Plateau [J]. Quaternary Sciences, 2006, 26 (2): 250 ~ 256.

[34] 朱日祥, 邓成龙, 潘永信. 泥河湾盆地磁性地层定年与早期人类演化 [J]. 第四纪研究, 2007, 27 (6): 922 ~ 944.
ZHU Rixiang, DENG Chenglong, PAN Yongxin. Magnetochronology of the fluvio-lacustrine sequences in the Nihewan basin and its implications for early human colonization of northeast Asia [J]. Quaternary Sciences, 2007, 27 (6): 922 ~ 944.

[35] 邹光富, 庄忠海, 潘忠习, 等. 西藏珠穆朗玛峰北坡地区三叠纪磁性地层研究 [J]. 中国地质, 2006, 33 (5): 988 ~ 998.
ZOU Guangfu, ZHUANG Zhonghai, PAN Zhongxi, et al. Triassic magnetostratigraphy of the North slope of Mount Qomolangma, Tibet [J]. Geology in China, 2006, 33 (5): 988 ~ 998.

[36] 王红强. 泥河湾盆地东谷坨剖面磁性特征及环境意义 [J]. 第四纪研究, 2007, 27 (6): 1081 ~ 1091.
WANG Hongqiang. Magnetic properties of lacustrine sediments at the Donggutuo section in the Nihewan Basin and their environmental significance [J]. Quaternary Sciences, 2007, 27 (6): 1081 ~ 1091.

[37] 王张华, 张丹, 李晓, 等. 长江三角洲晚新生代沉积物磁性特征和磁性矿物及其指示意义 [J]. 中国地质, 2008, 35 (4): 670 ~ 682.
WANG Zhanghua, ZHANG Dan, LI Xiao, et al. Magnetic properties and relevant minerals of late Cenozoic sediments in the Yangtze River delta and their implications [J]. Geology in China, 2008, 35 (4): 670 ~ 682.

[38] 赵勇, 蔡向民, 王继明, 等. 北京平原顺义 ZK12 ~ 2 钻孔剖面第四纪磁性地层学研究 [J]. 地质学报, 2013, 87 (2): 288 ~ 294.
ZHAO Yong, CAI Xiangmin, WANG Jiming, et al. Quaternary magnetostratigraphy of the Shunyi area in Beijing plain using ZK12 ~ 2 borehole profile [J]. Acta Geologica Sinica, 2013, 87 (2): 288 ~ 294.

[39] 缪卫东, 李世杰, 王润华. 长江三角洲北翼 J9 孔岩芯沉积特征及地层初步划分 [J]. 第四纪研究, 2009, 29 (1): 126 ~ 134.
MIAO Weidong, LI Shijie, WANG Runhua. Preliminary study on sedimentary characteristics and stratum division of J9 Core in the north wing of the Yangtze River Delta [J]. Quaternary Sciences, 2009, 29 (1): 126 ~ 134.

[40] 张磊, 何付兵, 白凌燕, 等. 北京顺义断裂带北段第四纪活动的天文旋回地层学研究 [J]. 中山大学学报 (自然科学版), 2015, 54 (5): 147 ~ 154.
ZHANG Lei, HE Fubing, BAI Lingyan, et al. Astronomical cyclostratigraphy study of Quaternary activities in northern segment of the Shunyi fault, Beijing [J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni, 2015, 54 (5): 147 ~ 154.

[41] 孙洪艳, 李志祥, 田明中. 第四纪测年研究新进展 [J]. 地质力学学报, 2003, 9 (4): 371 ~ 378.
SUN Hongyan, LI Zhixiang, TIAN Mingzhong. New progress in Quaternary dating research [J]. Journal of Geomechanics, 2003, 9 (4): 371 ~ 378.

[42] 田婷婷, 吴中海, 张克旗, 等. 第四纪主要定年方法及其在新构造与活动构造研究中的应用综述 [J]. 地质力学学报, 2013, 19 (3): 242 ~ 266.
TIAN Tingting, WU Zhonghai, ZHANG Keqi, et al. Overview of Quaternary dating methods and their application in neotectonics and active tectonics research [J]. Journal of Geomechanics, 2013, 19 (3): 242 ~ 266.

[43] Cande S C, Kent D V. A new geomagnetic polarity time scale for the Late Cretaceous and Cenozoic [J]. Journal of Geophysical Research, 1992, 97 (B10): 13917 ~ 13951.

[44] Walker J D, Geissman J W. Geologic time scale: geological

society of America [M]. Washington DC: The Geological Society of America, 2009, doi: 10.1130/2009. CTS004R2C.

[45] 郭旭东. 北京第四纪地质导论 [M]. 重庆: 重庆出版社, 2007, 12.
GUO Xudong. Beijing introduction of quaternary geology [M]. Chongqing: Chongqing Press, 2007, 12.

[46] 张磊，白凌燕，张晓亮，等. 北京地区主要活动断裂精细调查与灾害效应调查项目成果报告 [R]. 北京: 北京市地质调查研究院, 2016.
ZHANG Lei, BAI Lingyan, ZHANG Xiaoliang, et al. Fine survey of main activities in Beijing area and disaster effects survey [R]. Beijing: Geological Survey of Beijing, 2016.

[47] 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, 2002, 24 (4): 557 ~ 564.
BAI Denghai, WANG Lifeng, SUN Jie, et al. DC and Tem test sounding for the BayiShuiku-Shanggan fault in Fuzhou City, Fujian Provice, China [J]. Seismology and Geology, 2002, 24 (4): 557 ~ 564.

[48] 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, Hotan, Xinjiang [J]. Coal Geology of China, 2014, 26 (12): 62 ~ 65.

[49] 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, 9 (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, 9 (3): 44 ~ 46.

[50] 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.

[51] 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.
HOUZhihua, ZHONG Nancai, HAO Yanjun, et al. Detecting Nankou-Sunhe buried faulty by high density resistivity method [J]. Journal of Institute of Disaster-Prevention Science and Technology, 2011, 13 (1): 1 ~ 6.

ACTIVITY STUDY AND DISASTER EFFECT ANALYSIS OF THE NORTH SECTION OF HUANGZHUANG-GAOLIYING FAULT IN BEIJING

ZHANG Lei[1], ZHANG Xiaoliang[1], BAI Lingyan[1], YANG Tianshui[2], CAI Xiangmin[1], LIANG Yanan[1]

(1. *Beijing Institute of Geological Survey*, *Beijing* 100195, *China*;
2. *State Key Laboratory of Biogeology and Environmental Geology*, *China University of Geosciences*, *Beijing* 100083, *China*)

Abstract: In order to further study the Huangzhuang-Gaoliying hidden active fault in the innovation industrial site, future technology city of Beijing, the structural characteristics of the fault zone, Quaternary activity as well as disaster-causing mechanism were determined by the shallow artificial earthquake, high-density resistivity method and drilling engineering. The results show that the north section of the Huangzhuang-Gaoling fault presents as a tensional normal fault in general and dips 70°—80° SE. Near the bedrock depth the vertical separation is relatively large. The fault extending up to the inside of the Quaternary system has the characteristics of listric fault and its occurrence gradually becomes stepper. Parts of the fault are combined with feature "Y" shape. The north section of Huangzhuang-Gaoliying fault has been active since Quaternary, and the average vertical velocities were respectively 0.07 mm/a, 0.04 mm/a, 0.23 mm/a, and 0.10 mm/a in early Pleistocene, middle Pleistocene, late Pleistocene and Holocene. The change characteristics are consistent with that of the neotectonics of Xishan uplift. There has been a strong creeping deformation in the Huangzhuang-Gaoliying fault since Holocene. As the lower walls of the fault keep moving, the geological disasters, such as ground fissures, ground subsidence, wall cracking and so on, were formed along the fault zone.

Key words: active fault; Huangzhuang-Gaoliying fault; velocity; geological disaster; Quaternary