

引用格式: 牛文治, 何付兵, 刘振华, 等, 2023. 北京南苑-通县断裂北东段结构特征及第四纪活动性研究 [J]. 地质力学学报, 29 (6): 879-887. DOI: 10.12090/j.issn.1006-6616.2023032

Citation: NIU W Z, HE F B, LIU Z H, et al., 2023. Determination of the northeast section of the Nanyuan-Tongxian fault in Beijing and research on its Quaternary activity [J]. Journal of Geomechanics, 29 (6): 879-887. DOI: 10.12090/j.issn.1006-6616.2023032

北京南苑-通县断裂北东段结构特征及第四纪活动性研究

牛文治^{1,2}, 何付兵^{1,2}, 刘振华³, 崔玉斌^{1,2}, 白凌燕^{1,2}, 王安国¹, 张悦泽¹,
曹萌萌^{1,2}, 周捷铭¹

NIU Wenzhi^{1,2}, HE Fubing^{1,2}, LIU Zhenhua³, CUI Yubin^{1,2}, BAI Lingyan^{1,2}, WANG Anguo¹, ZHANG Yueze¹,
CAO Mengmeng^{1,2}, ZHOU Jieming¹

1. 北京市地质调查研究所, 北京 100097;
 2. 北京市市级职工创新工作室(城市地质、活动构造与监测), 北京 100097;
 3. 中国地质调查局发展研究中心, 北京 100037
1. *Beijing Institute of Geological Survey, Beijing 100097, China;*
 2. *Beijing Municipal Staff Innovation Studio (Urban Geology, Active Structure and Monitoring), Beijing 100097, China;*
 3. *Development and Research Center of China Geological Survey, Beijing 100037, China*

Determination of the northeast section of the Nanyuan-Tongxian fault in Beijing and research on its Quaternary activity

Abstract: The Nanyuan-Tongxian fault is the boundary fault between the Beijing depression and the Daxing uplift, also the primary seismic-controlling fault of the Beijing $M 6\frac{1}{2}$ earthquake in 1665. Its activity is of great significance to land planning and geological disaster prediction in Beijing. Using high-precision gravity, longitudinal-wave and shear-wave seismic comprehensive exploration profiles, and composite borehole geological profiles, this study investigated the geometric characteristics and activity of the northeastern section of the Nanyuan-Tongxian fault. The results show that after passing through Pingjiatuan Village in Tongzhou District, the fault turns to a nearly east-west direction, trending north with a dip angle of 56° to 75° . The new activity in the northeastern section exhibits characteristics of a normal fault, with an estimated buried depth of about 21.6 m, indicating it as a late Pleistocene active fault. The findings demonstrate that the activity age of the northeast section of the Nanyuan-Tongxian fault differs from that of the middle and southwestern sections, providing crucial geological foundations for the spatial planning and disaster reduction systems in the Beijing region.

Keywords: Quaternary; Nanyuan-Tongxian fault; composite drilling geological profile exploration; comprehensive geophysical profiles; fault activity

摘要: 南苑-通县断裂是北京凹陷与大兴凸起的边界断裂, 也是 1665 年北京 $6\frac{1}{2}$ 级地震的主要控震断裂, 其活动性对北京市土地利用和地质灾害预测有着重要意义。文章通过高精度重力、纵波和横波地震综合物探剖面以及钻孔联合地质剖面探测方法, 调查研究了南苑-通县断裂带北东段的几何特征及其活动性。研究结果显示, 南苑-通县断裂经过通州区平家疃村后转为近东西向, 倾向北, 倾角 $56^\circ\sim 75^\circ$;

基金项目: 北京市地质调查项目 (PXM2018-158203-000014); 北京市自然科学基金资助 (8234070)

This research is financially supported by the Beijing Geological Survey Project (Grant No. PXM2018-158203-000014) and the Fund of the Beijing Natural Science Foundation (Grant No.8234070)

第一作者: 牛文治 (1990-), 男, 硕士, 工程师, 从事区域地质与城市地质工作。E-mail: nwzqq@126.com

通讯作者: 何付兵 (1980-), 男, 博士, 研究员, 北京市区域地质与活动断裂调查。E-mail: hufubing14@126.com

收稿日期: 2023-03-15; 修回日期: 2023-10-10; 责任编辑: 王婧

北东段新生代活动呈正断层属性,推测上断点埋深约为 21.6 m,为晚更新世活动断裂。文章论证了南苑-通县断裂北东段的活动时代与中段、南西段不同,为首都地区国土空间规划及防灾减灾体系建设提供了重要的地质依据。

关键词: 第四纪;南苑-通县断裂;钻孔联合剖面;综合物探剖面;断裂活动性

中图分类号: P642.27 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-6616 (2023) 06-0879-09

DOI: 10.12090/j.issn.1006-6616.2023032

0 引言

南苑-通县断裂是北京平原区一条重要的隐伏断裂,是北京凹陷与大兴凸起的边界断裂(赵忠海和朱红军,2003)。1976年北京开展地震地质会战时,因其重力梯度和磁性异常显著,被明确提出并命名为“南苑-通县断裂”,该断裂呈北东向展布,南起涿州,向北东方向延伸经码头镇、肖场村、葫芦堡,过北西向永定河断裂后,沿大兴区南苑镇、大红门,至广渠路、八里桥村,北至通州区平家疃村,呈“S”形展布,倾向北西(徐锡伟等,2015)。

自北京地震地质会战以来,许多学者借助钻探、物探、化探、地形地貌等多种手段,对南苑-通县断裂进行过研究(刘保金等,2009;何付兵,2019;雷晓东等,2021;Zhao et al.,2021)。根据该断裂的几何结构、活动特征、深部构造特征及与北西向断裂的交切关系,将断裂划分为3段:北东段(平家疃村以东)、中段(平家疃村至南口-孙河断裂)、南西段(南口-孙河断裂至涿州)。对于断裂的南西段先后进行过3次大规模研究:1979年北京地震地质会战308地球物理测线显示,断裂南西段没有错断第四纪地层(国家地震局地球物理研究所,1978);2007年北京市活断层探测与地震危险性评价表明,该段第四纪以来没有明显活动迹象(江娃利,2007);2009年北京大兴规划新城前期区域工程地质勘查显示,南苑-通县断裂南西段为一条基岩断裂(黄骁等,2012)。对于断裂的中段也开展过3次研究:1979年北京地震地质会战317地球物理测线显示,该段是全新世活动断裂(国家地震局地球物理研究所,1978);2016—2017年通州城市副中心地区重大地质问题调查与评价表明,中段断裂错断整个第四纪地层至地表(方同明等,2016);2018年宋庄地裂缝地质灾害调查出现不同观点,认为南苑-通县断裂中段没有错断整个第四纪地层至地表,但为地裂缝形成提供了应力传递与积累(赵龙等,2018)。综上,目前的研究认为南苑-通县断裂南西

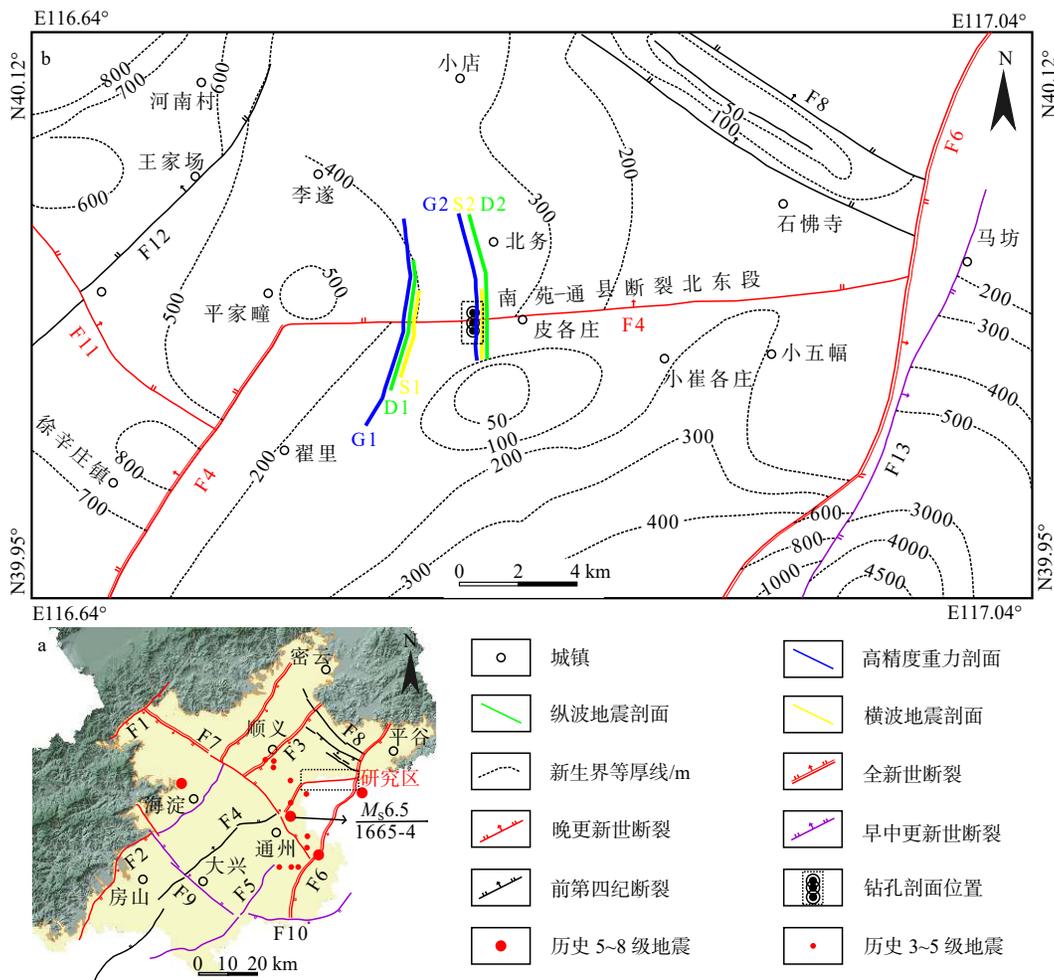
段是前第四纪断裂,但关于断裂中段是否断错第四纪地层至地表还存在争议;而对于北东段(即过通州区平家疃村后)的勘探研究相对薄弱,仅根据重力资料大致确定了其走向为近东西向延伸,但断裂活动情况尚不清楚。

南苑-通县断裂是影响北京市地质安全的重要地质要素,历史地震显示,北京地区1665年 $6\frac{1}{2}$ 级地震震中距离该断裂较近,可能与该断裂密切相关。尽管该断裂研究意义重大,但目前对该断裂的认识尚不能满足首都和谐宜居示范区发展目标的需求(丰成君,2014)。因此,文章基于野外地表调查,采用高精度重力、纵波地震和横波地震综合物探剖面方法、钻孔联合剖面探测和年代学方法,对南苑-通县断裂北东段进行勘探,对其结构特征和活动时代等方面进行探讨,以期为首都地区国土空间规划及防灾减灾体系建设提供了重要的地质依据。

1 研究区地质背景

研究区位于华北平原北部(图1a),大地构造位于华北陆块中北部、燕山中生代陆内造山带西段。自太古宙以来经历了一系列构造运动,新生代古近纪始新世至渐新世时期,在强烈伸展裂谷作用背景下,北东向断裂发生了不同规模的引张正断层活动,形成“两隆、两凹”盆地与山岭相间排列的盆岭构造(黄秀铭等,1991)。宏观上,这些引张正断层呈北东向展布,可进一步划分为京西凸起、北京凹陷、大兴凸起、大厂凹陷和廊固凹陷。新近纪晚期至第四纪时期,北京平原区的断陷盆地持续下降,接受沉积,积累了数百米厚的松散冲积物和洪积物。同时,由于新生代北西向和北东向断裂复活,导致断裂两盘第四纪沉积物存在明显差异(倪敬波等,2023)。

研究区内分布着4条隐伏断裂:南苑-通县断裂、夏垫断裂、李桥断裂和西集断裂。南苑-通县断裂是大兴凸起和北京凹陷的边界断裂,断裂北侧位于北京凹陷,南侧位于大兴凸起(图1b)。北京凹



F1—南口山前断裂; F2—黄庄-高丽营断裂; F3—顺义断裂; F4—南苑-通县断裂; F5—礼贤断裂; F6—夏垫断裂; F7—南口-孙河断裂; F8—二十里长山断裂; F9—永定河断裂; F10—桐柏断裂; F11—李桥断裂; F12—楼梓庄断裂; F13—西集断裂

a—北京市平原区主要断裂分布图; b—南苑-通县断裂北东段断裂分布图及工作部署图

图 1 研究区地质构造简图

Fig. 1 Schematic map of geological structure in the study area

(a) Distribution map of major faults in the plain area of Beijing; (b) Distribution map and work deployment map of Nanyuan-Tongxian fault

F1—Nankou piedmont fault; F2—Huangzhuang-Gaoliying fault; F3—Shunyi fault; F4—Nanyuan-tongxian fault; F5—Lixian fault; F6—Xiadian fault; F7—Nankou-Sunhe fault; F8—Ershilichangshan fault; F9—Yongdinghe fault; F10—Tongbai fault; F11—Liqiao fault; F12—Louzizhuang fault; F13—Xiji fault

陷整体走向为北东向, 新生代下伏地层主要为元古宇、古生界和中生界。始新世时期, 地层沉积主要在黄庄-高丽营断裂和南苑-通县断裂之间, 呈北东向展布, 沉积中心大致在丰台一带。渐新世起, 由于南苑-通县断裂中段活动加强, 沉降中心较始新世时期向东南移动, 以北京市区为沉积中心。新近纪时期, 地层分布范围也在黄庄-高丽营断裂和南苑-通县断裂之间, 但沉积厚度远超古近纪时期(孙永华, 2021)。大兴凸起整体走向呈北东向, 其基底以中元古代及早古生代地层为主, 晚三叠世末期开始遭到抬升剥蚀, 新生代沉积厚度一般在

50~160 m(张晓亮等, 2016; 李正芳等, 2021)。

2 研究方法

综合物探剖面能够在不同深度对断裂进行探测, 同时互相验证减少多解性的影响。此次研究包括高精度重力勘探和浅层地震勘探。前者确定断裂的深部特征, 后者可获取上断点埋深。其中浅层地震勘探方法是活动断层探测国家标准中重要的工作方法之一, 纵波地震用于探测数十米至数百米的断裂埋深特征, 横波地震用于探测数米至数十米

的断裂埋深特征。最后,利用钻孔联合地质剖面进一步验证物探剖面成果,研究断裂准确空间位置及最新活动时代(Zhao et al., 2004; 曹新文等, 2017; 何付兵等, 2020; 云龙等, 2021; 王超群等, 2022)。

2.1 仪器设备及数据采集

此次高精度重力测量使用加拿大 Scintrex 仪器公司生产的 CG-5 型重力仪,采用 2000 国家重力基准,利用国际大地测量协会推荐的 1980 年大地测量参考系统的正常重力公式计算正常重力值,按照《大比例尺重力勘查规范》(DZ/T 0171—2017)中相关要求执行。纵波地震剖面数据采集系统为法国 SERCEL 公司生产的 408UL 数字地震仪,激发震源使用抗干扰能力强的美国 Metrz 公司的 M18-612 型可控震源,设置道间距 2 m、炮间距 10 m、单边激发,地震波接收满足检波器位置准确的要求,目标层反射信噪比高,记录合格率不低于 95%。横波地震剖面数据采集系统为美国 SI 仪器公司生产的 S-Land 全数字地震仪,激发震源使用河北北奥生产的 KZ3 型可控震源车,设置道间距 2 m、炮间距 10 m、中间激发。地震波接收满足水平安置,最大灵敏度方向垂直测线方向,记录合格率不低于 95%。此次地震剖面数据处理以 Geoeast 处理系统为主,速度分析和质量控制利用 Geoeast 和 Omega 软件,静校正利用 Tomodel 软件,合理选择参数及流程,确保最终成果满足断裂调查要求。

2.2 工作量布置

为了揭示南苑-通县断裂北东段的空间展布和活动性特征,按照综合物探剖面垂直布线原则,结合地表调查成果认识,对目标断裂布置了 2 条综合物探剖面 L01 和 L02(图 1b)。L01 综合物探剖面位于顺义区木燕路辅路,包括高精度重力 G1(7.2 km)、纵波地震 D1(4.6 km)和横波地震 S1(2.6 km); L02 综合物探剖面位于顺义区李大线及木北路辅路,包括高精度重力 G2(5.0 km)、纵波地震 D2(5.0 km)和横波地震 S2(2.5 km)。经综合物探剖面解译和断裂精确定位后,钻孔联合地质剖面最终布置在目标断裂特征明显的 L02 综合物探剖面上,共施工 8 口钻孔,行政区隶属于北京市顺义区北务村。

3 研究成果

3.1 综合物探联合剖面

L01 综合物探剖面见图 2a。在高精度重力成果剖面图中(图 2a),布格重力异常变化范围在

-17~-8 mGal,宏观上表现为由南向北递减,揭示基底埋深由南向北逐渐变深;在剩余重力异常曲线上,450~690 号点间形成一个波峰,对应水平一阶导数负极大值,而二阶导数为 0,表现为浅部地质体密度变化最大处,推测为南苑-通县断裂;在剖面北端,剩余重力异常曲线也存在异常反映,可能为地质体密度差异或基底地层岩性界面。纵波地震解译结果显示(图 2a),反射波叠加深度剖面震相丰富,剖面显示新近系及以上地层整体表现出南薄北厚的倾斜形态;在剖面中段桩号 2430 附近,解译出 1 个视倾向北的断裂,该断裂新近系 TN 和第四系 TQ 界面反射同相轴发生明显的错断或扭曲现象,向上错断了第四系内部反射波同相轴 T1,上断点埋深解译深度约 60 m,视倾角上陡下缓,约 56°~72°,表现出典型伸展正断层属性。横波地震解译结果显示(图 2c),在剖面南部桩号 2400 附近,解译出 1 个视倾向北的断裂,该断裂新近系以上反射波同相轴出现明显错断,其上断点埋深解译深度为 37 m,视倾角上陡下缓,约 66°~84°。

L02 综合物探剖面见图 2b。在高精度重力成果剖面图中(图 2b),布格重力异常变化范围在-19~-9 mGal,宏观上也表现为由南向北递减,揭示基底埋深由南向北逐渐变深;在剩余重力异常曲线上,284~446 号点间形成一个波谷,对应水平一阶导数曲线上一正、一负两个极值,且两处的垂向二阶导数均为 0,推测 306 号点为南苑-通县断裂,426 号点为拉张作用下产生的次级断裂。纵波地震解译结果显示(图 2b),其反射波叠加深度剖面震相丰富,在剖面上解译出 2 个断裂,桩号 1050 附近为视倾向北的主断裂,桩号 2001 附近为主断裂上盘反向次级断层,主断裂上断点埋深为 57 m,视倾角上陡下缓,约 60°~71°。横波地震解译结果显示(图 2b),反射波叠加深度震相比纵波地震更丰富,根据剖面特征在剖面上解译出 2 个断裂,在剖面中部桩号 970 附近为视倾向北的断裂,在剖面南段桩号 2067 附近为视倾向南的反向次级断裂,2 条断裂新近系以上反射波同相轴出现明显错断现象,向上分别错断了第四系内部反射波同相轴 T1 和 T3,解译主断裂上断点埋深 22 m,视倾角上陡下缓,约 56°~73°。

3.2 钻孔联合地质剖面

3.2.1 钻孔联合地质剖面地层分层特征

钻孔联合地质剖面揭示地层岩性较多,包括黏土、粉砂质黏土、黏土质粉砂、粉砂、细砂、中粗

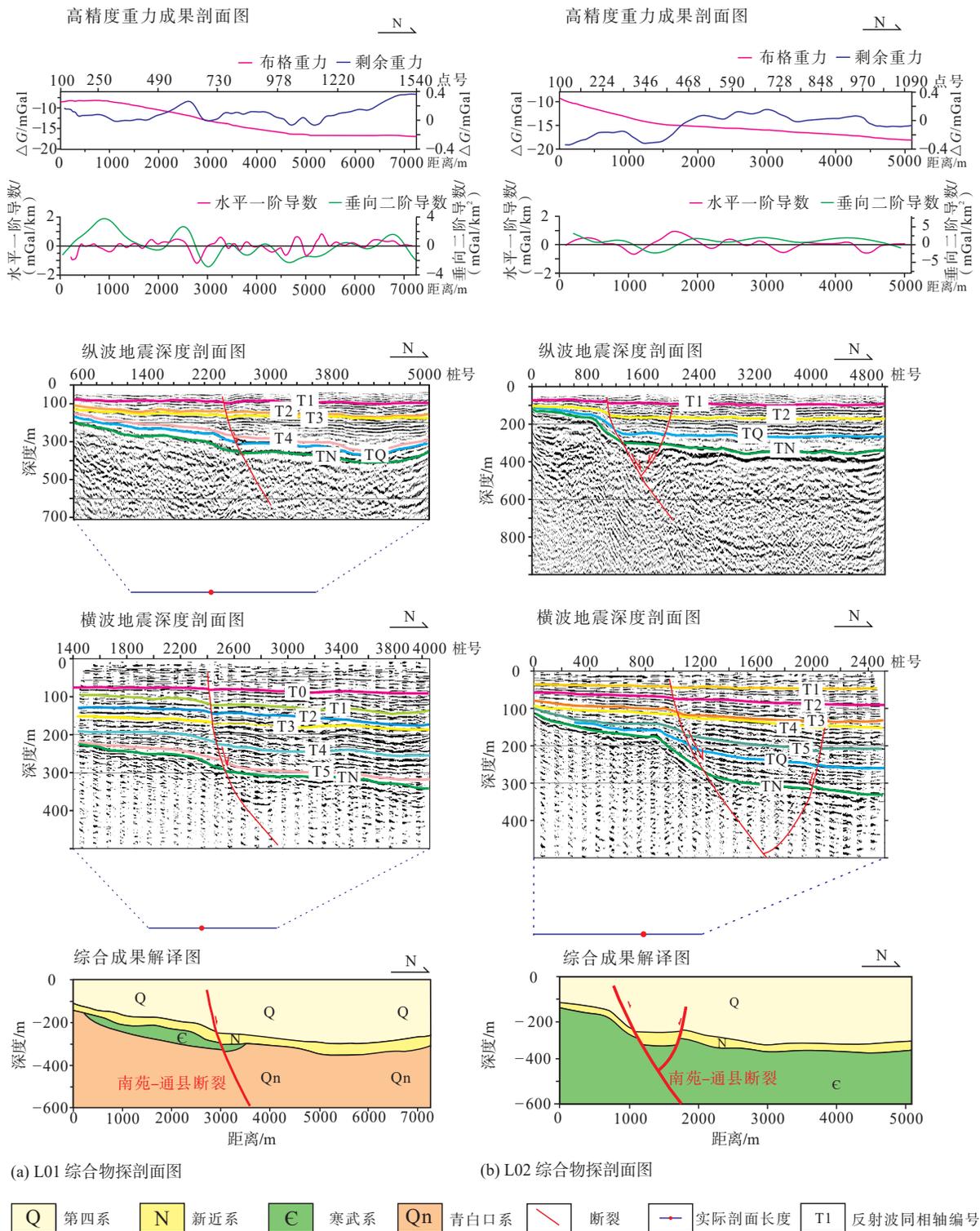


图 2 南苑-通县断裂北东段物探解译综合剖面图

Fig. 2 Comprehensive profile of geophysical exploration and interpretation for the Northeast section of the Nanyuan-Tongxian fault

砂、砂砾石等;细颗粒含有炭斑、锈斑、钙质和铁锰质结核等特殊成分,反映钻孔沉积环境复杂多变。根据岩性及其组合特征,自上而下可以划分为 21 层(图 3)。第①层:孔深 0~3.4 m,以黄褐色细砂为主;上部为表耕土,可见植物根系;中部含厚

0.5~1.0 cm 黏土夹层。第②层:孔深 3.4~6.4 m,黄色粉砂,松散,发育水平层理。第③层:孔深 6.4~8.1 m,以灰色黏土质粉砂为主,较上层颜色突变,正粒序。第④层:孔深 8.1~9.5 m,灰色粉砂质黏土,含炭斑,发育近水平层理,下部 9.0~9.5 m 以

深灰色黏土为主。第⑤层: 孔深 9.5~11.5 m, 灰色黏土质粉砂, 较松散, 粒度随深度增加逐渐变大。第⑥层: 孔深 11.5~14.1 m, 灰色黏土, 近水平层理, 可见炭斑, 中部粉质组分含量较多。第⑦层: 孔深 14.1~21.5 m, 以灰色黏土质粉砂为主, 近水平层理, 偶见炭斑, 下部为黏土质粉砂与粉砂质黏土互层沉积。第⑧层: 孔深 21.5~25.4 m, 深灰色黏土, 岩性单一, 块状, 含钙质结核, 局部存在锈斑。第⑨层: 孔深 25.4~30.2 m, 灰色细砂, 正粒序层理, 上部以细砂为主, 下部逐渐过渡到中砂, 磨圆度中等。第⑩层: 孔深 30.2~33.4, 灰色粉砂质黏土, 底部颜色逐渐过渡为灰绿色。第⑪层: 孔深 33.4~34.0 m, 灰色砂砾石, 砾石成分主要为花岗岩、石英岩类等, 磨圆好, 分选差。第⑫层: 孔深 34.0~36.2 m, 浅灰色粉砂质黏土, 发育近水平层理。第⑬层: 孔深 36.2~

38.9 m, 深灰色粉砂质黏土, 上部夹有深灰色黏土。第⑭层: 孔深 38.9~42.6 m, 褐色黏土, 厚层状, 发育有锈斑和钙核。第⑮层: 孔深 42.6~46.0 m, 黄色黏土质粉砂, 下部颜色逐渐变深。第⑯层: 孔深 42.6~55.3 m, 灰色黏土, 厚层状, 偶见钙质结核, 底部颜色渐变成灰绿色。第⑰层: 孔深 55.3~59.6 m, 灰绿色粉砂质黏土, 偶见钙质和铁锰质结核。第⑱层: 孔深 59.6~62.3 m, 黄褐色粉砂质黏土, 底部发育钙核。第⑲层: 孔深 62.3~74.1 m, 主体为灰色、灰褐色粉砂质黏土, 夹有深灰色黏土和灰绿色黏土质粉砂(含有钙质结核)。第⑳层: 孔深 74.1~80.9 m, 褐色含钙质结核黏土质粉砂, 上部含有灰褐色黏土和灰褐色粉砂质黏土。第㉑层: 孔深 80.9~92.0 m, 以黄色黏土质粉砂为主, 无层理, 含有锈斑和钙质结核。

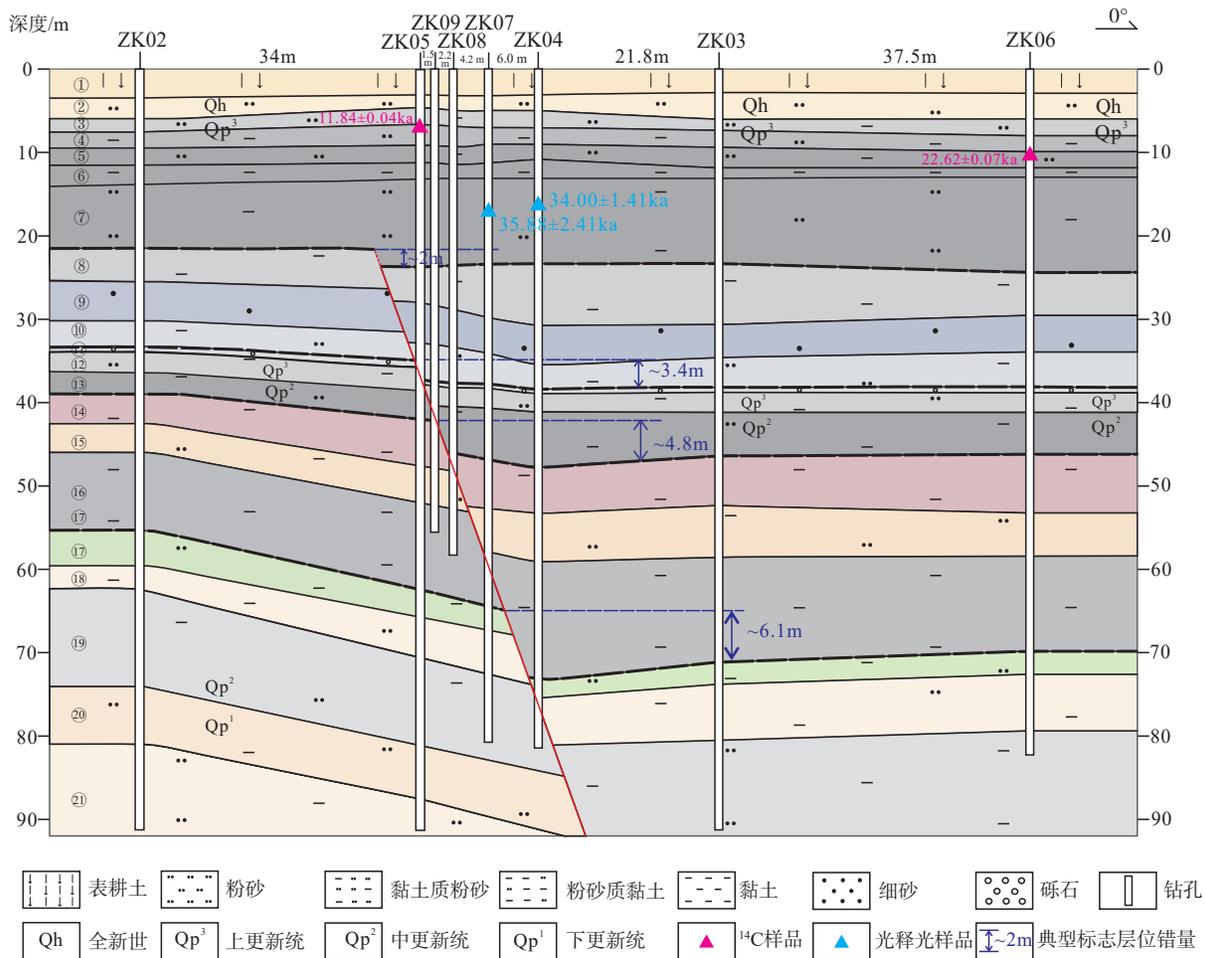


图 3 钻孔联合地质剖面综合解释

Fig. 3 Comprehensive interpretation map of composite drilling geological section

3.2.2 第四纪地层划分

此次分别在钻孔 ZK05 和 ZK06 中各采集 1 件

¹⁴C 年龄样品(表 1), 在钻孔 ZK04 和 ZK07 中各采集 1 件光释光年龄样品(表 2)。在 ZK05 深度 6.7 m 处

取得含有机质灰色黏土质粉砂年龄样品, 测试年龄为 (11.84 ± 0.04) ka, 与全新世底界 11.7 ka 年龄接近, 推断出钻孔联合剖面全新世底界为 6.5 m。根据深海氧同位素曲线的气候变化反映, 上更新统底界的暖期气候与 MIS5 基本一致, 在这一界线下伏地层中, 由于土壤干湿交替引起的氧化与还原交替过程, 在钻孔内形成锈斑甚至铁锰结核且出现含钙质结核的层位(高秀林等, 1986; 赵勇等, 2019)。研究发现 ZK02 孔 36.1 m 处, 下伏地层中钙核和锈斑等特征基本与之相符; 地层颜色也由灰色突变成黄褐

色, 故将 36.1 m 作为上更新统底界。中更新统底界应位于古地磁 B/M 界面 0.78 Ma, 根据 ZK02 孔古地磁项目资料, 孔深 74.1 m 处为中更新统底界(何付兵, 2021)。下更新统底界应位于古地磁 M/G 界面 2.58 Ma, 此次钻孔剖面位置与 ZK01 孔位置相距约 500 m, 其测年数据具有一定的可比性, 根据 ZK01 孔古地磁项目资料, 古地磁 2.58 Ma 界面孔深 189.6 m(何付兵, 2021)。下更新统底界埋深约为 189.6 m, 其下伏地层为钙质胶结红褐色黏土, 为上更新世晚期地层。

表 1 碳十四样品测试结果一览表

Table 1 Test Results of ^{14}C Samples

样品编号	岩性	取样深度/m	年龄/ka	置信度
ZK05-6.7	含有机质灰色黏土质粉砂	6.7	11.84 ± 0.04	95.4%
ZK06-10.1	含有机质灰色黏土质粉砂	10.1	22.62 ± 0.07	95.4%

表 2 光释光样品测试结果一览表

Table 2 Test results of OSL samples

样品编号	取样深度/m	环境剂量率/(Gy/ka)	等效剂量/Gy	年龄/ka	测试方法
ZK04(16.0—16.2)	16.0~16.2	3.04 ± 0.13	103.3 ± 0.2	34.00 ± 1.41	SAR
ZK07(16.8—17.0)	16.8~17.0	3.15 ± 0.13	113.2 ± 6.1	35.88 ± 2.41	SAR

4 断裂活动性分析

4.1 主要的标志层位错特征

通过对比钻孔联合地质剖面, 8 个钻孔所揭露的地层中有 4 个典型标志层具有落差(图 3)。第⑧层为一套深灰色黏土, 黏土含量达到 95% 以上, 上、下岩性界面清晰; ZK02 与 ZK05 地层中的第⑧层顶界高差约 2.1 m, 时代为晚更新世。第⑩层为一套灰色砾石, 磨圆好, 直径 1~6 cm; ZK02 与 ZK09 地层中的第⑩层顶界高差约为 3.4 m, 时代为晚更新世。第⑭层为一套褐色黏土, 可从黏土颜色和发育的锈斑和钙核识别出该套黏土; ZK05 与 ZK04 中第⑭层的顶界高差约为 4.8 m, 时代为中更新世。第⑰层为一套灰绿色粉砂质黏土, 粉砂质黏土颜色在钻孔剖面中与其他地层区别较大, 呈现易于识别的灰绿色; ZK07 与 ZK04 中第⑰层的层顶界高差约为 6.1 m, 时代为中更新世。

4.2 南苑-通县断裂北东段活动性分析

通过综合物探剖面方法、钻孔联合剖面探测和年代学方法, 认为该断裂经过通州区平家疃村后总

体走向转为近东西向。断裂高精度浅层地震剖面反射波组振幅和频率在南苑-通县断裂北东段均有所显示, 解译断裂呈现上陡下缓铲式断层特征, 且在断裂上盘发育与之相交的次级断裂, 组合呈 Y 字形产出, 且该断裂主断层倾角较为陡峭, 达 $56^\circ \sim 75^\circ$, 表现出典型正断层特征。浅层地震剖面上还显示上断点最浅处埋深约 22 m, 活动时代较新。南苑-通县断裂近东西向展布格局在第四纪以来呈现正断层属性是符合区域构造应力场规律的(张磊等, 2014; 丰成君, 2014; 白凌燕等, 2018)。

根据钻孔联合剖面显示, 第⑦层岩性以水平层理灰色黏土质粉砂为主, 顶部因沉积物颜色不同而界线清晰, 下部发育黏土质粉砂与粉砂质黏土互层沉积, 特征也较明显。该层顶部各钻孔地层近水平, 而底部在断裂两盘略有差异, 表现出断裂两盘沉积物厚度有所差异, 推断南苑-通县断裂北东段上断点埋深至少延伸至第⑦层底部。因此, 推断上断点埋深约在 21.6 m 处。基于此次钻孔第四系地层划分并结合邻区已有钻孔地层年代学资料(孙永华, 2021), 推断南苑-通县断裂北东段属于晚更新

世活动断裂。

5 结论

文章通过综合物探联合剖面 and 钻孔联合地质剖面, 结合钻孔第四纪地层年代划分, 对南苑-通县断裂北东段结构和活动性得到如下结论。

(1) 查明了南苑-通县断裂北东段结构特征: 南苑-通县断裂至通州区平家疃村后走向转近东西向, 倾向北, 倾角 $56^{\circ}\sim 75^{\circ}$, 表现为张性的正断层特征。

(2) 通过综合物探联合剖面 and 钻孔联合地质剖面揭示了断裂的上断点位置, 断裂最浅的上断点埋深为 21.6 m, 为一条晚更新世活动断裂。

(3) 综合物探剖面法是平原区隐伏断裂定位的有效手段。高精度重力对于确定断裂位置有很好的效果, 浅层地震具有较高的分辨率, 对于判断断裂性质、倾向倾角、上断点埋深及断距有很好的研判作用。

致谢: 感谢中国地质科学院地质力学所胡道功研究员、王超群博士和曹新文博士在成文过程中的指导与帮助; 感谢审稿专家及编辑对文章提出的宝贵意见。

References

- BAI L Y, LI X, QIN H M, et al., 2018. Study on the cyclic stratigraphy activity of Nankou-Sunhe fault in Beijing plain since Quaternary and its tectonic significance[J]. *Geoscience*, 32(2): 270-278. (in Chinese with English abstract)
- CAO X W, MA X M, HU D G, 2017. Application of the resistivity tomography method to detection of active faults northeast of the Hainan island[J]. *Geology and Exploration*, 53(5): 1001-1009. (in Chinese with English abstract)
- FANG T M, LIU H, LIU Y, et al., 2016. Fundamental geological survey situations and development trend in Beijing's urbanization process[J]. *Land and Resources Information*(4): 52-56. (in Chinese with English abstract)
- FENG C J, 2014. Study on the present in situ stress field beneath the capital circle region[D]. Beijing: Chinese Academy of Geological Sciences. (in Chinese with English abstract)
- GAO X L, WANG Q, LI Y D, et al., 1986. On correlations between transgressions and climatic phases since late Middle-Pleistocene based on data of drilling hole P8 in Tianjin[J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 6(1): 53-64. (in Chinese with English abstract)
- HE F B, 2019. Study on geometry and kinematics of the Nankou-Sunhe fault and its relationship with ground fissures[D]. Beijing: Institute of Geology, China Earthquake Administrator. (in Chinese with English abstract)
- HE F B, XU X W, HE Z J, et al., 2020. Research on Neogene-Quaternary stratigraphic structure and shallow tectonic features in the north section of

- Daxing fault zone based on shallow seismic reflection profiling[J]. *Seismology and Geology*, 42(4): 893-908. (in Chinese with English abstract)
- HE F B, 2021. Geological survey of twelve faults such as Lixian Beijing plain[R]. Beijing: Beijing Institute of Geological Survey. (in Chinese)
- HUANG X, CHEN G, LI Z L, et al., 2012. The study on Nanyuan-Tongxian fault in Beijing Daxing planning town[J]. *Urban Geology*, 7(4): 15-19. (in Chinese with English abstract)
- HUANG X M, WANG L M, XU J, et al., 1991. Characteristics of Neotectonic movement in Beijing area[J]. *Seismology and Geology*, 13(1): 43-51. (in Chinese with English abstract)
- Institute of Geophysics, China Earthquake Administration, 1978. A compilation of researches of Beijing seismic and geological campaign[M]. Beijing: Beijing Earthquake and Geology Office. (in Chinese)
- JIANG W L, 2007. Active fault detection and seismic risk assessment in Beijing[R]. Beijing: Institute of Geology China Earthquake Administration. (in Chinese)
- LEI X D, QI B S, GUAN W, et al., 2021. Research on the faults identification based on gravity anomaly in Beijing plain[J]. *Chinese Journal of Geophysics*, 64(4): 1253-1265. (in Chinese with English abstract)
- LI Z F, LI Y B, ZHOU B G, et al., 2021. New insight on the holocene activity of the Eastern marginal fault of Daxing uplift, Beijing plain[J]. *Seismology and Geology*, 43(6): 1671-1681. (in Chinese with English abstract)
- LIU B J, HU P, CHEN Y, et al., 2009. The crustal shallow structures and buried active faults revealed by seismic reflection profiles in Northwestern area of Beijing plain[J]. *Chinese Journal of Geophysics*, 52(8): 2015-2025. (in Chinese with English abstract)
- NI J B, LIU X, ZHANG X L, et al., 2023. Quaternary stratigraphic division and sedimentary characteristics of borehole TB02 in the Southeast margin of Beijing plain, China[J]. *Journal of Earth Sciences and Environment*, 45(1): 68-79. (in Chinese with English abstract)
- SUN Y H, 2021. Beijing regional geology[R]. Beijing: Beijing Institute of Geological Survey. (in Chinese)
- TIAN T T, WU Z H, ZHANG K Q, et al., 2013. Overview of Quaternary dating methods and their application in neotectonics and active tectonics research[J]. *Journal of Geomechanics*, 19(3): 242-266. (in Chinese with English abstract)
- WANG C Q, JIA L Y, HU D G, et al., 2022. Quaternary activity characteristics of the Maniao-Puqian fault in the Jiangdong new district of Haikou[J]. *Acta Geologica Sinica*, 96(2): 403-417. (in Chinese with English abstract)
- XU X W, YU G H, RAN Y K, et al., 2015. An introduction to urban active faults in China[M]. Beijing: Seismological Press: 380-403. (in Chinese)
- YUN L, ZHANG J, WANG J, et al., 2021. Discovery of active faults in the southern Beishan area, NW China: implications for regional tectonics[J]. *Journal of Geomechanics*, 27(2): 195-207. (in Chinese with English abstract)
- ZHANG L, BAI L Y, CAI X M, et al., 2014. An analysis of the activity of the Northwest part of Nankou-Sunhe fault[J]. *Geology in China*, 41(3): 902-911. (in Chinese with English abstract)
- ZHANG X L, ZHANG L, CAI X M, et al., 2016. A study of structure and

- activity characteristics of the northern segment of Huangzhuang-Gaoliying fault in Beijing plain area[J]. *Geology in China*, 43(4): 1258-1265. (in Chinese with English abstract)
- ZHAO J R, ZHANG X K, ZHANG C K, et al., 2004. Deep structural features of the Sanhe-Pinggu strong earthquake area imaged by wide angle reflection / refraction and deep seismic reflection profiling[J]. *Chinese Journal of Geophysics*, 47(4): 736-744.
- ZHAO L, LI Y M, CUI W J, et al., 2018. Disaster characteristics and influence factors for ground fissures at Songzhuang village in Beijing[J]. *Journal of Engineering Geology*, 26(6): 1600-1610. (in Chinese with English abstract)
- ZHAO L, LI Y M, LUO Y, et al., 2021. An extension-dominant 9-km-long ground failure along a buried geological fault on the eastern Beijing Plain, China[J]. *Engineering Geology*, 289: 106168.
- ZHAO Y, LI R J, WEI B, et al., 2019. Magnetostratigraphy of borehole PGZ05 in Southern Daxing uplift, Beijing plain[J]. *Geoscience*, 33(1): 56-62. (in Chinese with English abstract)
- ZHAO Z H, ZHU H J, 2003. The main characteristics of geological environment and present situation of geological hazard in plain area of Shunyi, Beijing[J]. *The Chinese Journal of Geological Hazard and Control*, 14(2): 61-66. (in Chinese with English abstract)
- ### 附中文参考文献
- 白凌燕,李潇,秦浩敏,等,2018.北京平原南口一孙河断裂南段第四纪活动性及其构造意义[J].*现代地质*, 32(2): 270-278.
- 曹新文,马秀敏,胡道功,2017.电阻率层析成像技术在琼东北活动断裂探测中的应用[J].*地质与勘探*, 53(5): 1001-1009.
- 方同明,刘鸿,刘予,等,2016.北京城市化过程基础地质工作现状及发展趋势[J].*国土资源情报*(4): 52-56.
- 丰成君,2014.首都圈地区现今地应力环境研究[D].北京:中国地质科学院.
- 高秀林,王强,李玉德,等,1986.从天津P8孔看中更新世末期以来海侵期、气候期对比问题[J].*海洋地质与第四纪地质*, 6(1): 53-64. 国家地震局地球物理研究所,1978.北京市地震地质会战研究成果汇编[M].北京:北京市地震地质会战办公室.
- 何付兵,2019.南口一孙河断裂几何学、运动学特征及与地裂缝关系研究[D].北京:中国地震局地质研究所.
- 何付兵,徐锡伟,何振军,等,2020.利用浅层地震反射剖面探测研究大兴断裂北段新近纪一第四纪的构造特征[J].*地震地质*, 42(4): 893-908.
- 何付兵,2021.北京平原区礼贤等十二条断裂地质调查[R].北京:北京市地质调查研究所.
- 黄晓,陈刚,李哲琳,等,2012.南苑一通县断裂大兴规划新城段的研究[J].*城市地质*, 7(4): 15-19.
- 黄秀铭,汪良谋,徐杰,等,1991.北京地区新构造运动特征[J].*地震地质*, 13(1): 43-51.
- 江娃利,2007.北京市活断层探测与地震危险性评价[R].北京:中国地震局地壳应力研究所.
- 雷晓东,戚帮申,关伟,等,2021.北京平原区断裂构造重力异常识别研究[J].*地球物理学报*, 64(4): 1253-1265.
- 李正芳,李彦宝,周本刚,等,2021.北京平原大兴凸起东缘断裂全新世活动的新认识[J].*地震地质*, 43(6): 1671-1681.
- 刘保金,胡平,陈颀,等,2009.北京平原西北部地壳浅部结构和隐伏活动断裂:由地震反射剖面揭示[J].*地球物理学报*, 52(8): 2015-2025.
- 倪敬波,刘晓,张晓亮,等,2023.北京平原区东南缘钻孔TB02第四纪地层划分与沉积特征[J].*地球科学与环境学报*, 45(1): 68-79.
- 孙永华,2021.北京市区域地质志[R].北京:北京市地质调查研究院.
- 田婷婷,吴中海,张克旗,等,2013.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*, 19(3): 242-266.
- 王超群,贾丽云,胡道功,等,2022.海口市江东新区马袅-铺前断裂第四纪活动特征[J].*地质学报*, 96(2): 403-417.
- 徐锡伟,于贵华,冉勇康,等,2015.中国城市活动断层概论:20个城市活动断层探测成果[M].北京:地震出版社:380-403.
- 云龙,张进,王驹,等,2021.甘肃北山南部活动断裂的发现及其区域构造意义[J].*地质力学学报*, 27(2): 195-207.
- 张磊,白凌燕,蔡向民,等,2014.北京平原南口一孙河断裂带北西段活动性分析[J].*中国地质*, 41(3): 902-911.
- 张晓亮,张磊,蔡向民,等,2016.北京平原区黄庄一高丽营断裂北段结构特征及活动特点研究[J].*中国地质*, 43(4): 1258-1265.
- 赵龙,李玉梅,崔文君,等,2018.北京宋庄地裂缝灾害特征及影响因素分析[J].*工程地质学报*, 26(6): 1600-1610.
- 赵勇,李瑞杰,魏波,等,2019.北京大兴凸起南部PGZ05钻孔剖面第四纪磁性地层学[J].*现代地质*, 33(1): 56-62.
- 赵忠海,朱红军,2003.北京市顺义平原区地质环境的主要特征及地质灾害现状[J].*中国地质灾害与防治学报*, 14(2): 61-66.