

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 Xiangmin, Wang Jimin, 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).

北京平原构造断块划分及微断块第四纪活动性探讨

赵 勇¹ 蔡向民^{1,2} 王继明¹ 张 磊¹ 刘 予¹ 吕金波¹

(1. 北京市地质调查研究院, 北京 100195; 2. 北京市地质矿产勘查开发局, 北京 100195)

摘要: 在对北京平原地区地质构造特征综合分析的基础上, 依据近年来在活动断裂研究中遇到的问题, 本文提出对北京平原区进行构造断块划分的方案。将北京平原区划分为 7 个“断块”, 即马池口—沙河、小汤山、顺义、平谷、丰台—来广营、大兴—通州及房山断块。据断块内次一级活动断裂和第四纪地层沉降发育情况, 进一步可划出活动微断块, 把以研究单一活动断裂重点转变为以控制微断块边界的交汇活动断裂组相互作用为中心。从而揭示出第四纪以来微断块边界交汇活动断裂组的特征、活动方式及其规律等, 可为首都城市建设规划和减轻地质灾害等提供有价值的参考, 为保障城市地质安全提供地质依据。

关键词: 构造断块; 活动微断块; 活动性; 北京平原

中图分类号: P534.63; P542.3 文献标志码: A 文章编号: 1000–3657(2015)06–1876–09

The division of “small blocks” of structure in Beijing plain and a discussion on the activity of micro block in Quaternary period

ZHAO Yong¹, CAI Xiang-min^{1,3}, WANG Ji-min¹, ZHANG Lei¹, LIU Yu¹, LV Jin-bo¹

(1. Beijing Institute of Geological Survey, Beijing 100195, China; 2. Beijing Bureau of Geology and Mineral Resources Exploration and Development, Beijing 100195, China)

Abstract: Based on the geological–tectonic characteristics in Beijing plain, combined with the problems that have emerged in the study of active faults in recent years, the authors carried out the division of “small blocks” in Beijing plain, and recognized 7 small blocks, which are Machikou–Shahe small block, Xiaotangshan small block, Shunyi small block, Pinggu small block, Fengtai–Laiguangying small block, Daxing–Tongzhou small block and Fangshan small block. In accordance with active faults and the Quaternary sedimentary characteristics in the small block, the small block was further divided into several micro blocks. It is suggested that, in analyzing the activity, the viewpoint should be changed from active fault to active block. The authors revealed the activity of interactional microblocks and their sedimentation during the Quaternary period. This model plays an important role in city planning and construction and provides valuable reference for reducing geological hazards, thus ensuring the safety of urban geology.

收稿日期: 2014–09–23; 改回日期: 2015–06–09

基金项目: 北京市平原区活动断裂监测专项地质调查项目(批准号: 政府办文第 30939 号) 资助。

作者简介: 赵勇, 男, 1983 年生, 硕士, 工程师, 从事活动断裂及第四纪地质研究工作; E-mail: zhaoyong3068@163.com。

Key words: small blocks of structure; division; active micro block; Beijing plain

About the first author: ZHAO Yong, male, born in 1983, engineer, engages mainly in the study of active fault and Quaternary geology; E-mail: zhaoyong3068@163.com.

前人对北京平原区活动构造进行了大量的研究工作,主要研究对象是断裂构造^{①②③}。经过几代地质工作者的不懈努力已取得了一定的成果,如基本查明了主要活动断裂的分布,并在局部地段获得了一些断裂的活动规律^[1-14]。但对于活动构造现今及今后活动规律的分析预测,以及它们对城市地质安全的影响等方面还处于初级阶段。尤其是对于交汇活动断裂区的研究较为欠缺,还有大量的研究空间需要我们继续不断探索。

北京平原地区断裂极其发育,主要有NE或NNE、NW向断裂,活动较强烈。因受断裂组各自活动性的差异,妨碍了人们对单条断裂独立活动性的研究,给城市规划布局 and 人类生命财产安全的预测带来不便。对于同一断层的不同位置,无论是几何产状、活动性质还是活动时代和活动强度,也都存在很大差异^[15-16]。而对于活动断裂交汇部位,目前大多研究却很少考虑它们之间的相互作用及其地质意义。

本文在对北京平原区地质构造特征综合研究基础上,依据主要活动断裂相互交切关系和第四纪沉积特征,对北京平原进行构造“断块”初步划分。根据近年来在活动断裂研究中遇到的问题,试图解决在交互活动断裂区研究单一断裂活动性的难题。本次研究以控制微断块边界的交汇活动断裂组作为一个整体来研究其第四纪以来活动规律,为首都圈城市建设规划和减轻地质灾害等提供有价值的参考。

1 地质背景

北京平原坐落在华北平原活动地块的西北缘。从区域上看,华北活动地块在新生代以来主要受印度板块向北强大的挤压应力影响和太平洋板块向北北西的俯冲的影响。两者造成华北活动地块内中生代以来形成的北东—北北东向断裂体系

再次活动,并产生了北西向的新生断裂,在断裂控制下形成了大小不等的断块。

北京地区的地形从西北山区向东南平原呈阶梯状下降,在地貌上依次表现为中山、低山、丘陵、冲洪积扇、山前平原。平原区主要由永定河、潮白河、温榆河、拒马河、大石河等几大河流相互作用而形成的冲、洪积平原。从总体上看,西部是太行山余脉的西山,北部是燕山山脉的军都山,两山在南口关沟相交,形成一个向南东展开的半圆形大山弯(即所称的“北京湾”),环绕着一片缓缓向渤海倾斜的北京平原(图1)。

新生代以来,由于裂陷作用使华北平原区的地壳强烈拉张断陷,北东(北北东)、北西向断裂极其发育,使本区形成了X型断块构造。在第四纪,华北平原区表现为整体向东倾斜的缓慢下沉,第四系厚度由西山山前几十米往东逐渐增厚,受断裂的控制,形成了规模大小不一的第四纪沉降区。

2 北京平原的构造断块和活动微断块

张培震等定义活动地块是被形成于晚新生代、晚第四纪至现今强烈活动的构造带所分割和围限、具有相对统一运动方式的地质单元^[17]。活动地块边界构造活动强烈,活动地块具有分级性,高级别地块内部可能存在次级地块。对于中国大陆来说,中更新世以来可以划分成多个一级活动地块。华北地区就是其中之一,不同学者叫法不一^[17,18],包括华北亚板块、华北块体、华北平原活动地块。本文依据北京平原主要断裂构造,在此基础上提出了构造“断块”概念以供探讨。

构造断块的划分主要是根据北京平原构造基本特征,其中活动断裂是划分“断块”的最主要的依据,且其为“断块”的边界。根据近年来前人对平原区基础地质、活动构造(断裂)研究进展,依托本次开展的北京平原区活动断裂专项地质调查成果提

①北京地震地质办公室.北京地震地质会战研究成果汇编.1982-1983.

②北京市地质矿产勘查开发局.北京市多参数立体地质调查——平原区新生界立体地质调查报告.2007.

③北京市地质调查研究院.北京平原区活动断裂监测专项地质调查报告.2012.

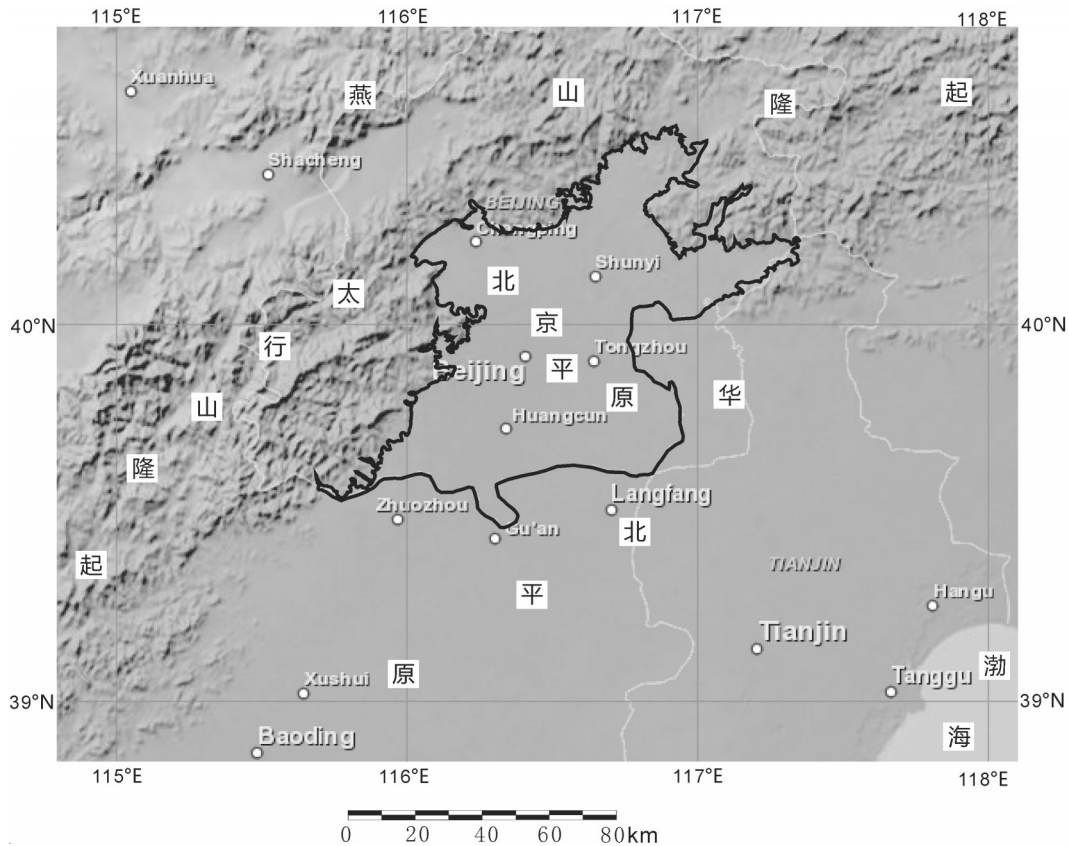


图1 北京平原构造位置简图

Fig.1 Schematic map of tectonics of Beijing plain

供晚第四纪活动性质较强黄庄—高丽营断裂、南口—孙河断裂、顺义断裂、夏垫断裂等主要的活动断裂带,结合平原区第四纪沉积特征^[19,20],将整个平原区分割成相对升降的不同地块,初步划分为7个构造断块,即马池口—沙河断块、小汤山断块、顺义断块、平谷断块、丰台—来广营断块、大兴—通州断块、房山断块(图2-a)。

根据以上的构造“断块”划分,平原区北七家地区处于马池口—沙河断块、小汤山断块、顺义断块、丰台—来广营断块4个构造小地块的交汇部位。据其各自断块内部构造和第四纪沉积特征,在北七家地区进一步划分出4个微断块(图2-b)。由图可见,黄庄—高丽营断裂、南口—孙河断裂、小汤山—东北旺断裂^[21]、顺义断裂相互作用共同控制了①号、②号、③号、④号微断块的发育和展布。本次在该4个活动微断块边界带开展了钻探工作,揭示了各微断块边界活动断裂组相对活动规律。

3 第四纪活动性研究

3.1 钻孔磁性地层柱的建立

在微断块内实施的4个钻孔古地磁样品采集及实验测试由中国地质大学(北京)生物地质与环境地质国家重点实验室完成^[22]。根据实验测试结果磁倾角的变化及钻孔岩心岩性变化特征,建立了微断块钻孔磁性地层柱(图3)。

①号微断块ZK17孔磁极倒转序列上,将0~98 m的正极性带解释为布容正极性带;98~336 m的负极性带解释为松山负极性带。其中将松山带间的117~119 m和191~230 m的正极性带分别解释为Jaramillo和Olduvai正极性亚带。336 m以下的正极性带解释为高斯正极性带。

②号微断块ZK18孔的磁极倒转序列,将0~68 m的正极性带解释为布容正极性带;68~192.5 m的负极性带解释为松山负极性带,其间的77~87 m和

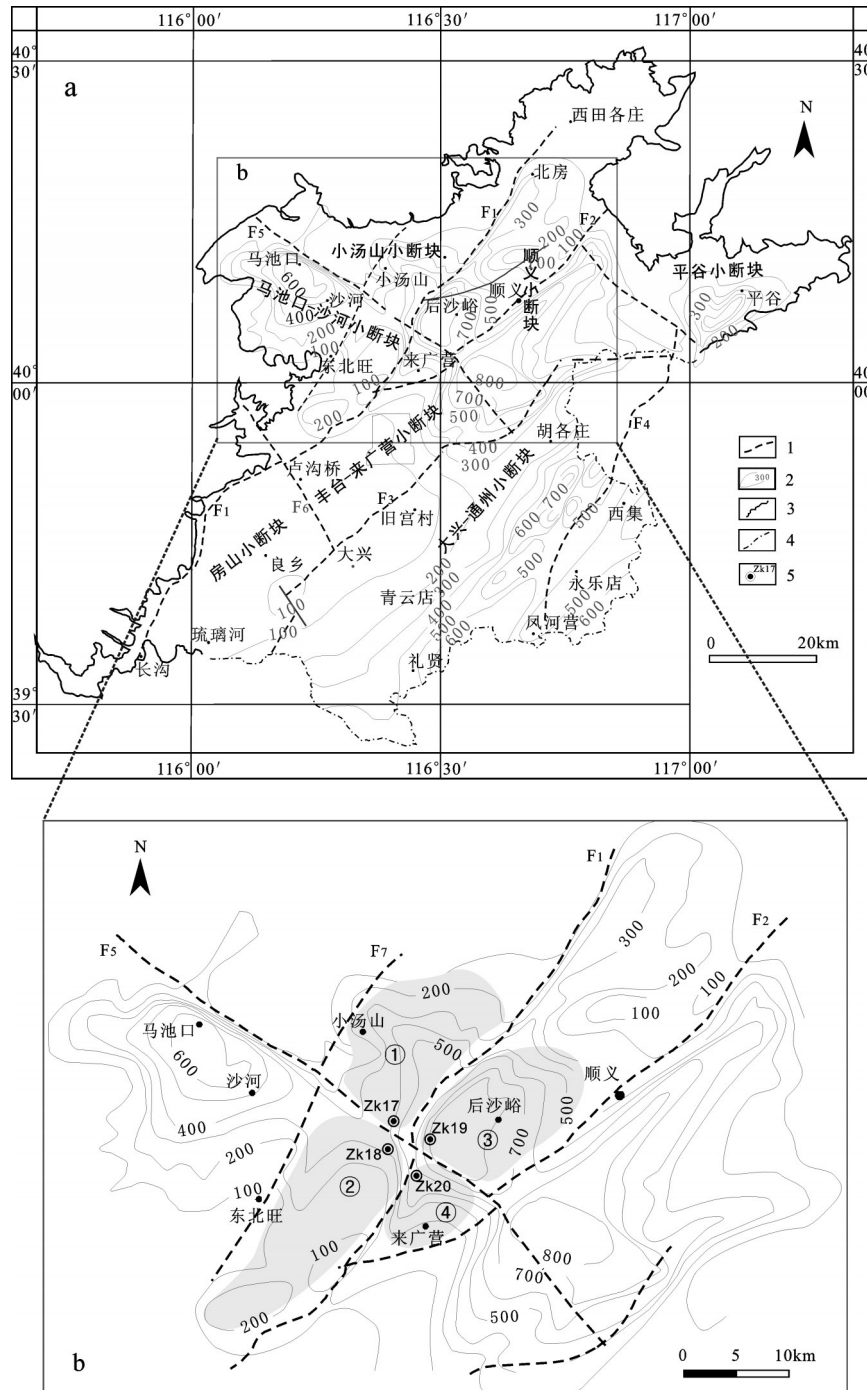


图2 北京平原构造断块简图(第四纪等厚线据①修改)

1—主要活动断裂;2—第四纪等厚线;3—山区平原区界限;4—北京市界线;5—本次钻孔位置;F1—黄庄高丽营断裂;F2—顺义断裂;
F3—南苑—通县断裂;F4—夏垫断裂;F5—南口—孙和断裂;F6—永定河断裂;F7—小汤山—东北旺断裂

Fig.2 Schematic map of tectonic small blocks of Beijing plain

1—Main active faults;2—Quaternary thick line;3—Boundary of mountain and plain;4—Boundary of Beijing;5—Active micro block;6—Location of the drill hole;F1—Huangzhuang—Gaoliying fault;F2—Shunyi fault;F3—Nanyuan—Tongxian fault;F4—Xiadian fault;F5—Nankou—Sunhe fault;
F6—Yongdinghe fault;F7—Xiaotangshan—Donbeiwang fault

①北京地震地质办公室.北京地震地质会战研究成果汇编.1982—1983.

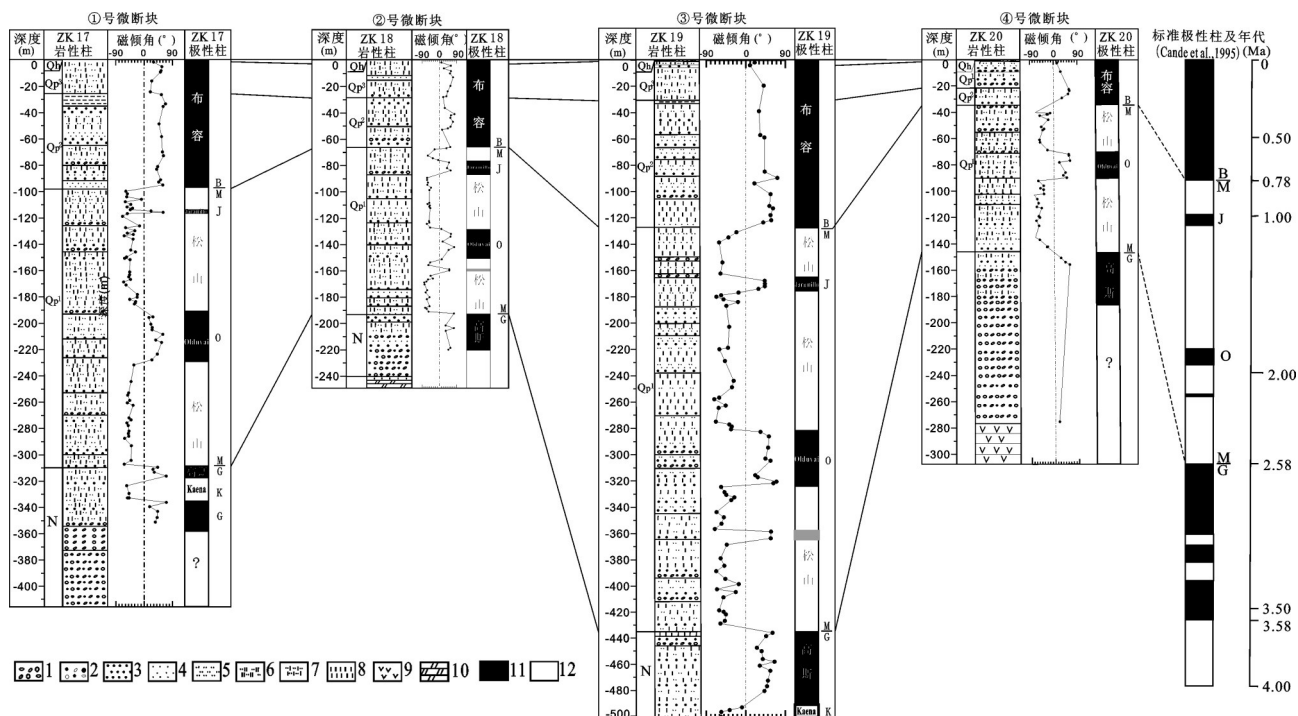


图3 微断块磁性地层柱状图

1—砾石;2—砂砾石;3—粗砂;4—中细砂;5—粉砂;6—粉质黏土;7—黏质粉砂;8—黏土;9—安山岩;10—白云岩;11—正极性;12—负极性

Fig. 3 Magnetostratigraphy of active micro block

1—Gravel; 2—Sandy gravel; 3—Coarse sand; 4—Medium-fine sand; 5—Silt; 6—Silty sand; 7—Clayey silt; 8—Clay; 9—Andesite; 10—Dolomite; 11—Normal polarity; 12—Negative polarity

129~153 m 的正极性带分别解释为 Jaramillo 和 Olduvai 正极性亚带。192.5 m 以下的正极性带解释为高斯正极性带。

③号微断块 ZK19 孔的磁极倒转序列,将 0~128 m 的正极性带解释为布容正极性带;128~434 m 的负极性带解释为松山负极性带,其间 162~178 m 和 282~325 m 的正极性带分别解释为 Jaramillo 和 Olduvai 正极性亚带。434 m 以下的正极性带解释为高斯正极性带。

④号微断块 ZK20 孔的磁极倒转序列,将 0~35 m 的正极性带解释为布容正极性带;35~146 m 的负极性带解释为松山负极性带,其间 70~90 m 的正极性带解释为 Olduvai 正极性亚带;146 m 以下的正极性带解释为高斯正极性带。

3.2 钻孔岩性地层

通过对钻孔剖面上沉积物特征及磁性地层进行分析(图3),可划分为四类不同的沉积物组合,代表不同沉积环境。

(1)早更新统总体上为一套河流-湖泊相的砂砾石、中粗砂、黏质粉砂、粉砂质黏土、黏土、淤泥质黏土等沉积物。沉积物总体颗粒较细,粉砂成分含量较高,局部可见二元结构。沉积物的颜色以灰绿色、黄绿色、灰黑色、褐黄色为主,沉积物中偶见钙质结核。

(2)中更新统主要为一套河湖相沉积,沉积物的颗粒总体呈现粗细变化的韵律特征。沉积物主要为砂、砂质黏土、黏质粉砂及淤泥质黏质砂土等,沉积物颜色主要为灰绿色、浅灰黄色、褐灰色。岩心中上部沉积物颜色以黄绿色、黄褐色、灰褐色为主,沉积物颗粒相对较细,黏质粉砂和粉砂质黏土,并见有钙质结核及螺类化石碎片,属水动力较弱河流相及湖沼边缘相。下部以绿灰色、灰黑色砂质黏土、黏质粉砂及砂砾石层组成多个沉积旋回。

(3)晚更新统总体上为河湖相沉积交替,岩性总体上以黄褐色、褐黄色粉砂质黏土、黏质粉砂、粉砂为主,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。局部夹有薄层中粗砂层,普遍见有小砾石,砾石成分主要为中酸性火山岩,呈次圆状,结构较松散,属河流相沉积。钻孔岩石总体表现为河流相与浅湖沼相交替出现。

(4)全新统主要为一套河流相沉积。岩性主要为褐黄色粉砂质黏土,黏质粉砂,含锈斑。

4 交汇活动断裂组活动性讨论

4.1 地层年代学框架建立

目前国际国内关于第四纪下限及第四纪内部划分问题争议颇多,目前划分较为一致的方案是:第四纪下限即早更新世底界为2.58 Ma,即松山反极性时与高斯正极性时的界限;中更新世底界为0.78 Ma,即布容正极性时与松山反极性时的界限;晚更新世底界为0.13 Ma,全新世从0.01 Ma开始。

基于“构造决定建造,建造反映构造”这一地质规律的考虑,各微断块钻孔全新世地层划分主要依据样品光释光测年、岩心岩性特征变化及其平均沉积速率所确定。其中钻孔ZK17、ZK18、ZK19、ZK20全新世地层埋深分别为1.00 m、1.56 m、1.35 m、1.13 m。晚更新世地层划分主要依据样品光释光测年、地层岩性特征变化所确定,其中此期4个钻孔的地层埋深分别为25.70 m、27.00 m、30.70 m、22.60 m(表1)。

中更新世和晚更新世地层划分主要为上文所建立的各个钻孔的古地磁极性柱,与国际地磁极性

年表^[23]对比所得。松山反极性时与高斯正极性时的界限即早更新世底界为2.58 Ma;布容正极性时与松山反极性时的界限即中更新世底界为0.78 Ma。其中Jaramillo正极性亚带上、下界线年龄分别为0.99 Ma和1.07 Ma,Olduvai正极性亚带上、下界线年龄分别为1.77 Ma和1.95 Ma。

由此,依据上述地层岩性特征、测年及古地磁数据初步建立了各微断块边缘年代地层学框架(表2)。

4.2 活动性研究

根据上述建立的地层及年代学框架,确定了交汇活动断裂组控制的各微断块钻孔地层第四纪以来不同时期的相对沉降速率(表3,图4)。

由表3和图4可见,受同一时期各微断块的交汇活动断裂控制,不同微断块边缘第四纪以来不同时期地层岩性及沉积厚度或沉积速率具有明显差异。更新世以来③号微断块边缘沉积物沉积厚度大、沉降速率最快,表现为沉降凹陷区。其中在早更新世最大沉降速率为0.239 mm/a,发生在1.77~1.95 Ma,在晚更新世活动达到高峰期,沉降速率为0.245 mm/a。全新世以来②号微断块边缘沉降速率最快,为0.156 mm/a,次之③号微断块边缘,为0.135 mm/a,④号微断块边缘和①号微断块边缘相对沉降速率较慢。4个活动微断块边缘在早更新世1.77~1.95 Ma和晚更新世两个时期总体表现为显著沉降趋势,反映了该期内交汇活动断裂活动的趋势与强度。这两个阶段由于活动断裂组共同作用,造成构造活动相对强烈,断块急剧下降,有利于沉积

表1 钻孔光释光测年数据
Table 1 OSL data of the drill hole

钻孔编号	样品编号	埋深/m	测试年龄/ka
	OSL-17-1-②	1.1~1.2	13.6±0.6
ZK17	OSL-17-21-(26)	22.5~22.6	107.3±5.1
	OSL-17-22-(27)	26.0~26.1	140.7±6.5
ZK18	OSL-18-2-②	3.2~3.3	20.8±1.1
	OSL-18-18-(33)	25.0~25.1	129.0±7.0
ZK19	OSL-19-1-④	1.5~1.6	16.9±0.7
	OSL-19-19-(47)	29.8~29.9	127.4±6.3
ZK20	OSL-20-1-①	1.5~1.6	14.2±0.7
	OSL-20-4-(15)	15.6~15.7	110.4±4.6
	OSL-20-5-(21)	22.3~22.4	135.2±5.6

注:测试由国土资源部地下水矿泉水及环境监测中心完成。

表2 第四纪地层划分简表
Table 2 Quaternary stratigraphic scale

时代	第四纪地层底界埋深/m			
	①号微断块 (ZK17)	②号微断块 (ZK18)	③号微断块 (ZK19)	④号微断块 (ZK20)
全新世 0.01 Ma	1	1.56	1.35	1.13
晚更新世 0.01~0.13 Ma	25.7	27	30.7	22.6
中更新世 0.13~0.78 Ma	98	68	128	35
早更新世 0.78~0.99 Ma	114	77	162	/
更更新世 Jaramillo	118	87	178	/
新更新世 /0.99~1.07 Ma				
世 1.07~1.77 Ma	191	129	282	70
Olduvai	230	153	325	90
/1.77~1.95 Ma				
1.95~2.58 Ma	336	192.5	434	146

表3 地层沉积厚度及其沉降速率特征

Table 3 Stratigraphic thickness and average sedimentation rate

时代	①号微断块		②号微断块		③号微断块		④号微断块	
	地层厚度/m	相对沉降速率/(mm/a)	地层厚度/m	相对沉降速率/(mm/a)	地层厚度/m	相对沉降速率/(mm/a)	地层厚度/m	相对沉降速率/(mm/a)
全新世 0.01 Ma	1	0.100	1.56	0.156	1.35	0.135	1.13	0.113
晚更新世 0.01~0.13 Ma	24.7	0.206	1.56	0.212	29.35	0.245	21.47	0.179
中更新世 0.13~0.78 Ma	72.3	0.111	41	0.063	97.3	0.150	12.4	0.019
0.78~0.99 Ma	16	0.076	9	0.043	34	0.162		
早更新世 0.99~1.07 Ma	4	0.050	10	0.125	16	0.200	35	0.035
1.07~1.77 Ma	73	0.104	42	0.060	104	0.149		
1.77~1.95 Ma	39	0.217	24	0.133	43	0.239	20	0.111
1.95~2.58 Ma	106	0.168	39.5	0.063	109	0.173	56	0.089

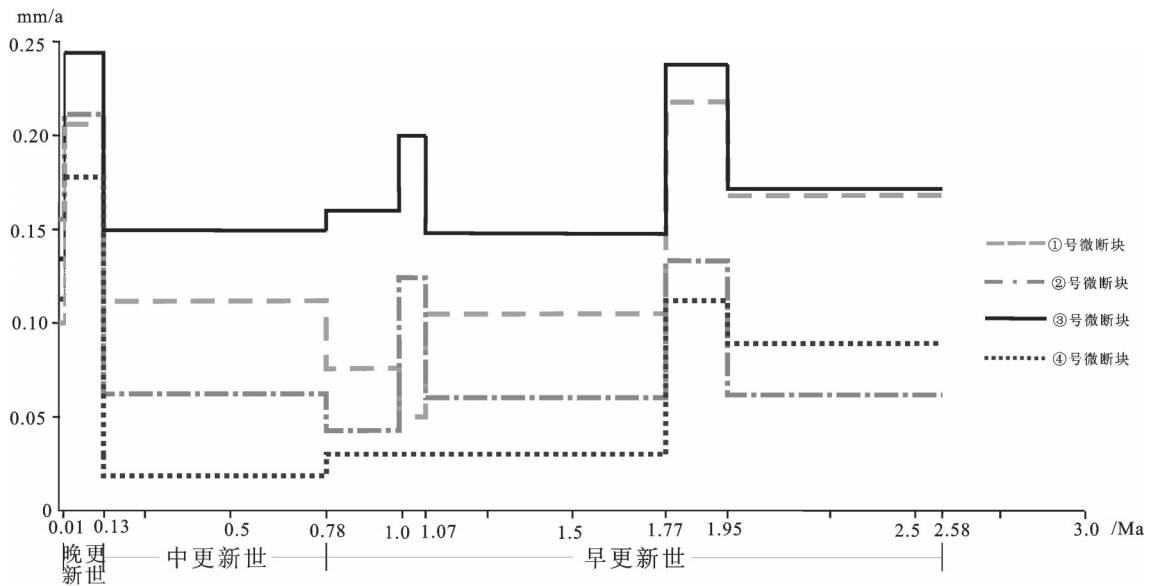


图4 交汇活动断裂组控制微断块边缘沉降速率对比图

Fig.4 Contrast of intersecting active fault groups in controlling subsidence rate of micro block margin

物的堆积。

5 结论

(1)首次在北京平原区进行了构造“断块”的划分。初步划分为7个构造“断块”，即马池口—沙河、小汤山、顺义、平谷、丰台—来广营、大兴—通州及房山断块。

(2)在构造“断块”基础上，进一步划分出了微断块，通过磁性地层学方法，结合活动微断块边缘

钻孔岩心光释光测年数据，以此建立了各活动微断块边缘第四纪年代地层。

(3)活动微断块边缘第四纪以来沉积物沉积速率分析及控制各微断块交互活动断裂组相对活动规律研究结果显示，不同活动微断块边缘的相对沉降速率不同时期存在差异。早更新世1.77~1.95 Ma和晚更新世两个时期差异运动最强烈，表明该期内交汇活动断裂活动的强度较大，共同作用造成所围限的微断块急剧下降阶段。全新世以来②号微断

块边缘沉降速率最快,③号微断块边缘次之。

(4)从交互活动断层组控制的微断块入手,初步解决了对其孤立研究的难题,同时避免了研究单一断裂易出现的片面认识,为今后平原区活动构造研究提供一定借鉴,并在一定程度上为城市建设规划布局提供了地质依据。

参考文献(References):

- [1] 李华章. 北京地区新构造运动特征与地震的关系[J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 1989, 25(4): 78-84.
Li Huazhang. On relationships between the characteristic of neotectonic movement and earthquake in Beijing area [J]. Journal of Beijing Normal University(natural science) 1989,25(4):78- 84 (in Chinese with English abstract).
- [2] 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):2-11.
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): 2-11 (in Chinese with English abstract).
- [3] 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(3): 385-388.
Xiang Hongfa, Fang Zhongjing, Zhang Wanxia, et al. Join profile survey of active features for the Late Quaternary surface facefaults in Beijing plain region[J]. Journal of Sseismological Research, 1993, 15(3): 385-388 (in Chinese with English abstract).
- [4] 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).
- [5] 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).
- [6] 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 of the Xiadian fault, [J]. Seismology and Geology, 2000, 22(1): 9-19 (in Chinese with English abstract).
- [7] 江娃利, 侯治华, 苏怡之, 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): 1-15.
Jiang Wali, Hou Zhihua, Su Yizhi, et al. Quantitative study of Holocene activity of main active faults in the Beijing plain and prediction of future seismic danger[C]// Tectonic and Crustal Stress Anthology, 2000, (13):1-15 (in Chinese).
- [8] 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, Xiw Xinsheng. Research on paleoearthquakes in Jiuxian trenches across Nankoi—sunhe fault zone in Changping County of Beijing plain[J]. Science in China (series D), 2001, 6(31): 501-509 (in Chinese).
- [9] 尹功明, 卢演涛, 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] 赵希俊, 刘锡大. 北京地区主要断层的最新活动特征[J]. 地震, 2004, 24(3):69-77.
Zhao Xijun, Liu Xida. The main features of the latest active faults in Beijing area[J]. Seismology, 2004, 24(3): 69- 77 (in Chinese with English abstract).
- [11] 焦青, 邱泽华. 北京平原区主要活动断裂研究进展[J]. 地壳构造与地壳应力文集, 2006, (18): 72-84.
Jiao Qing, Qiu Zehua. The main active faults Progress in Beijing plain[J]. Tectonic and Crustal Stress Anthology, 2006, (18): 72- 84 (in Chinese with English abstract).
- [12] 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(7): 24-28.
Jia Sanman, Guo Meng. The relationship between Huangzhuang—Gaoliying fault and by Gaoliying trench and earth fissure[J]. Urban Geology, 2007, 2(7): 24-28(in Chinese with English abstract).
- [13] 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 Shiming, Wang Dandan, Liu Xudong, et al. Sequence stratigraphy study of late quaternary activiies of Nanjou—Sunhe fault in its northern segment, Beijing[J]. Seismology and Geology, 2007, 29(4): 729-743(in Chinese with English abstract).
- [14] 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, 5(3): 271-282.
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): 271–282(in Chinese with English abstract).
- [15] 丁国瑜. 断裂分段理论与应用[M]. 北京: 地震出版社, 1994.
Ding Guoyu. *Fault Segmentation Theory and Application*[M]. Beijing: Seismological Press, 1994(in Chinese with English abstract).
- [16] 闻学泽. 活动断裂地震潜势的定量评价[M]. 北京: 地震出版社, 1995.
Wen Xueze. *Quantitative Evaluation of Seismic Potential on Active Faults*[M]. Beijing: Seismological Press, 1995(in Chinese with English abstract).
- [17] 张培震, 邓起东, 张国民, 等. 中国大陆的强震活动与活动地块[J]. *中国科学(D辑)*, 2003, 33: 12–19.
Zhang Peizhen, Deng Qidong, Zhang Guoming, et al. Strong earthquake activity and active block of China continent[J]. *Science in China(series D)*, 2003, 33: 12–19(in Chinese).
- [18] 王敏, 沈正康, 甘卫军, 等. 现今中国大陆地壳运动与活动块体模型[J]. *中国科学(D辑)*, 2003, 33: 22–33.
Wang Min, Shen Zhengkang, Gan Weijun, et al. Crustal movement China mainland and active block model[J]. *Science in China(series D)*, 2003, 33: 22–33(in Chinese).
- [19] 蔡向民, 栾英波, 郭高轩, 等. 北京平原第四系的三维结构[J]. *中国地质*, 2009, 36(5): 1021–1029.
Cai Xiangmin, Luan Yingbo, Guo Gaoxuan, et al. 3D Quaternary geological structure of Beijing plain[J]. *Geology in China*, 2009, 36(5): 1021–1029(in Chinese with English abstract).
- [20] 栾英波, 蔡向民, 郭高轩, 等. 北京平原区新5孔岩心特征及地层初步划分[J]. *中国地质*, 2011, 38(2): 495–503.
Luan Yingbo, Cai Xiangmin, Guo Gaoxuan, et al. Core characteristics and preliminary stratigraphic classification of the New-5 Hole in Beijing Plain[J]. *Geology in China*, 2011, 38(2): 495–503(in Chinese with English abstract).
- [21] 何仲太, 马保起, 卢海峰, 等. 北京东北旺一小汤山断裂存在的证据[J]. *地震地质*, 2009, 31(2): 233–246.
He Zhongtai, Ma Baoqi, Lu Haifeng, et al. Evidence of the Dong beiwang– Xiaotangshan fault in Beijing[J]. *Seismology and Geology*, 2009, 31(2): 233–246(in Chinese with English abstract).
- [22] 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. Magnetostratigraphy of ZK12– 2 Borehole in Shunyi Area, Beijing Plain[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2013, 87(2): 288–294(in Chinese with English abstract).
- [23] Cande S C, Kent D V. Revised calibration of the geomagnetic polarity timescale for the late Cretaceous and Cenozoic[J]. *Journal of Geophysical Research*, 1995, (B4): 6093–6095.