

doi: 10.12029/gc20160328

周毅, 郭高轩, 张磊, 等. 北京后沙峪凹陷的第四纪地层划分与构造演化[J]. 中国地质, 2016, 43(3): 1067–1075.

Zhou Yi, Guo Gaoxuan, Zhang Lei, et al. The division of Quaternary strata and tectonic evolution in Houshayu Sag of Beijing[J]. Geology in China, 2016, 43(3): 1067–1075(in Chinese with English abstract).

北京后沙峪凹陷的第四纪地层划分与构造演化

周 毅^{1,2} 郭高轩² 张 磊³ 蔡向民³ 雷坤超²

(1. 北京大学地球与空间科学学院, 北京 100187; 2. 北京市水文地质工程地质大队, 北京 100195;
3. 北京市地质调查研究院, 北京 100195)

摘要:通过对北京平原北部昌平、顺义、朝阳等区域的多个深孔资料、尤其后沙峪地区 G3 钻孔资料的深入分析, 并开展磁性地层学及孢粉测试成果研究, 建立了钻孔的磁性地层序列, 结合南口—孙河断裂、顺义断裂以及黄庄—高丽营断裂的活动性研究成果, 确定了后沙峪凹陷的第四纪地层格架, 分析了凹陷的构造演化过程。结果表明, 后沙峪凹陷上 G3 孔下更新统底界为 511.7 m, 中更新统底界为 175.5 m, 上更新统底界为 31.6 m。在燕山期晚期, 黄庄—高丽营断裂形成, 控制了北京凹陷的西部边界, 在东北向顺义断裂和北西向南口—孙河断裂共同作用下形成后沙峪凹陷。进入第四纪后, G3 钻孔地层在早、中、晚更新世的沉积速率分别为 0.198 mm/a、0.255 mm/a 和 0.243 mm/a; 各条断裂活动速率的差异性客观反映出各块体之间的升降特点。由于后沙峪凹陷处于黄庄—高丽营断裂的上盘, 同时也是顺义断裂的下盘, 因此, 断裂间的相互运动在第四纪沉积作用下形成了后沙峪凹陷。

关键词:后沙峪凹陷; 第四纪; 磁性地层学; 孢粉; 黄庄—高丽营断裂; 顺义断裂

中图分类号: P534.63 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000–3657(2016)03–1067–09

The division of Quaternary strata and tectonic evolution in Houshayu Sag of Beijing

ZHOU Yi^{1,2}, GUO Gao-xuan², ZHANG Lei³, CAI Xiang-Min³, LEI Kun-chao²

(1. School of Earth and Space Sciences, Peking University, Beijing 100871, China; 2. Beijing Institute of Hydrogeology and Engineering Geology, Beijing 100195, China; 3. Geological Survey Institute of Beijing, Beijing 102206, China)

Abstract: In this paper, a magnetostratigraphic sequence of drill hole was established on the basis of analyzing the deep drill hole data from the northern districts of Beijing plain, such as Changpin, Shunyi and Chaoyang, especially on analyzing magnetostratigraphy and pollen in Houshayu region. In combination with the research on the activity of Nankou–Sunhe fault, Shunyi fault and Huangzhuang–Gaoliying fault, the authors determined Quaternary stratigraphic framework of Houshayu sag. The results shows that the bottom boundaries of lower Pleistocene, middle Pleistocene and upper Pleistocene of G3 drill hole are 511.7 m, 175.5 m, and 31.6 m respectively in Houshayu sag. In the late Yanshanian period, Houshayu sag was formed by the combined action

收稿日期: 2015–12–01; 改回日期: 2016–03–11

基金项目: 中国地调局地质调查项目(12120113012900)、北京市财政项目(pxm2015–158305–000011)和北京市科委面上基金项目(8162043)联合资助。

作者简介: 周毅, 男, 1983 年生, 硕士, 高级工程师, 主要从事地面沉降方面的研究工作; E-mail: zhouyi.123@163.com。

of NE-trending Sunhe fault, NW-trending Nankou-sunhe fault and Huangzhuang-Gaoliying fault which controlled the western boundary of Beijing sag. In the Quaternary, the variability of the rate objectively reflects the characteristics of rise or fall of the blocks. Housayhu sag located in the hanging wall of the Huangzhuang-Gaoliying fault and the footwall of Shunyi fault were formed by the mutual movement between fractures during the Quaternary sedimentation, with the deposition rate of the sag in the early, middle and late Pleistocene being respectively 0.198mm/a, 0.255mm/a, and 0.243mm/a.

Key words: Housayhu sag; Quaternary; magnetostratigraphy; pollen; Huangzhuang-Gaoliying fault; Shunyi fault

About the first author: ZHOU Yi, male, born in 1983, master, senior engineer, mainly engages in the research on the ground subsidence; E-mail: zhouyi.123@163.com.

Fund support: Supported by China Geological Survey Projects (No.12120113012900), Beijing Municipal Bureau of Finance (No. pxm2015-158305-000011), Beijing Science and Technology Fund Project (No.8162043).

北京平原的第四系主要是由一些含量不等的砂、粉砂、黏性土、亚砂土、亚黏土卵石和砾石层等陆相碎屑冲洪积物所组成。在一些地区,下部还夹有浮游类和底栖类的有孔虫动物群化石的湖相砂层,它们不整合覆盖于老岩层之上。虽然北京的地质考古工作开展较早,但针对地层时代研究的古地磁工作开展较晚。关于北京地区磁性地层的划分与对比,获得的地质界线:第四纪 Q^3_p/Q^2_p 的界线是在深度113.0 m; Q^2_p/Q^1_p 是在287.0 m; Q^1_p/N^1 的界线深度是在655.0 m^[1]。在近些年的工作中,张世民^[2]通过磁化率分析确定了南口—孙河断裂北段的晚第四纪活动规律;蔡向民^[3]通过钻孔岩性、地磁测年建立了北京平原区地质系统;赵勇^[4]利用顺义ZK12-2钻孔剖面的古地磁资料对第四纪地层的界线进行划分,张磊^[5]利用南口—孙河断裂两次的古地磁试验对断裂在早、中、晚更新世和全新世的活动性进行分析。以上成果为北京地区第四纪地层层序的划分奠定了基础。但是,由于北京地区活动断裂分布、古地貌对沉积作用的影响等造成了第四纪地层年代的精细划分工作还有待于加强。本文通过北京地面沉降监测系统基岩标建设时进行的深孔钻探,对顺义后沙峪凹陷内的钻孔G3及其相邻构造单元内的G2、G4、G5钻孔进行磁性地层学分析,对古地磁信息进行提取,结合地层沉积特征、孢粉资料,划分后沙峪凹陷的第四纪地质年代格架,并分析其构造演化过程。

1 新生代地质构造

华北平原新生代断陷始于古近纪始新世^[6]。该时期北京南部存在保定凹陷、固安凹陷,沉积了近5000 m厚的陆源碎屑岩,与此同时北京地区仍处于

隆起状态,渐新世时期北京平原出现“两凹一隆”构造格局。凹陷内部由于受北西向或近东西向断裂分割,被进一步分隔成几个次一级的凹陷和凸起。自北而南分别为顺义凹陷、来广营凸起、丰台凹陷、良乡凸起和涿县凹陷(图1)。第四纪时期,北京地区的构造活动出现新的格局。古近—新近纪时期形成的北京凹陷在第四纪时期消失^[7-10]。涿县、丰台一带仅堆积不足100 m厚的第四系,第四纪时期还在顺义地区形成了由于顺义断裂的活化对原有的顺义凹陷进行再分割,形成了新的凹陷称为后沙峪凹陷^[11]。该凹陷西侧以黄庄—高丽营断裂为界,东侧以顺义断裂为界。南部被南口—孙河断裂所切割。在断裂上盘断陷形成凹陷中心,新生界厚度约1000 m。总体上沉积物颗粒上细下粗,上部为灰色、杂色砂砾石、砂、砂质黏土,下部为灰黄色、杂色砂砾石,底部为浅棕红色泥岩,色均质纯性软,成岩性差,易造浆。底部见巨厚的泥砾岩。后沙峪凹陷基底为中生界凝灰岩、凝灰质角砾岩^[12-13]。

2 钻孔岩性特征

G3钻孔位于北京顺义区天竺镇后沙峪村南,坐标为:40°05′52″N, 116°32′31″E,在构造上属于北京凹陷之后沙峪沉陷中心,该区域位于黄庄—高丽营断裂的下盘和顺义断裂的上盘,形成的第四纪次级凹陷,其沉积物主要来源于潮白河冲洪积扇。钻孔深度831.9 m,其中新生代松散沉积物厚度763.2 m,基底为晚侏罗世地层,岩性为砂砾岩、砂岩。

据钻孔岩心自上而下共可分为297个自然层位。按照松散沉积物的颜色、性质、沉积旋回等特点,将地层归纳为27个组合层。自上而下依次为:

1.灰黄色,人工填土,主要为粉土,含生活垃圾、工业垃

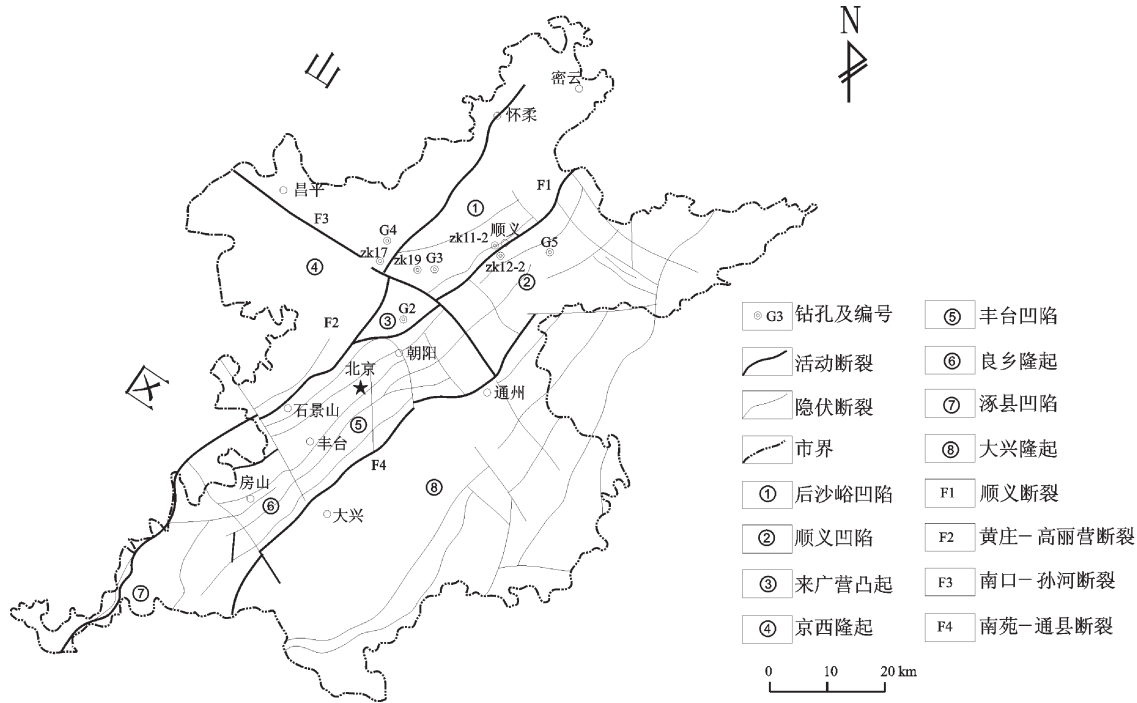


图1 北京平原区构造格架及钻孔位置

Fig.1 The map of tectonic framework and drill hole location in Beijing plain

圾及砖瓦碎屑、石灰渣等组成。 0.54 m

2.上部褐黄、深褐色粉土、黏质粉土,下部灰色黏土、灰绿色砂质粉土、粉细砂、中砂组成。成分以长石、石英、白云母等暗色矿物,分选性、磨圆度较差。粉土中夹姜石及卵石。

30.4 m

3.上部为灰色、深灰色黏土,下部为深灰—灰黑色黏土,局部含粉质黏土,下段含炭质。

45.83 m

4.浅灰色粉质黏土、粗砂、黏土、细砂、含砾粗砂层理不清,细砂分选性、磨圆度一般,局部含少量粉土,与上层界线明显。粗砂分选性、磨圆度均差,局部夹薄层砂质粉土。

63.44 m

5.青灰色,以黏粒为主,粉砂次之,含粉粒。中湿,稍密,含姜结石、岩块。局部粉砂含量高。

85.71 m

6.灰色以细砂为主,含黏土,砂呈散状,成分主要为长石,石英及云母,分选性、磨圆度均一般,黏土呈团块状分布,与上层界线明显。下部中砂增多,颜色由浅变深,黏粒减少,偶见砾石。

98.08 m

7.深灰—灰黑色,黏粒为主,粉粒次之,稍湿,稍密,由浅至深,颜色渐深,炭质含量增多,土可塑,层中含大量白螺、贝壳碎片,偶见斜裂隙。厚20 m。

118.34 m

8.灰黄色,以中砂为主,含细砂,砂呈散状,含少量粉粒。成为主要主要为长石、石英及暗色矿物,含少量云母。分选性、磨圆度均一般。

133.57 m

9.灰黄夹灰色,细砂为主,中砂次之,砂中含黏粒,局部黏土呈团块状。砂中湿,局部呈散状,砂成分主要为长石、石英分选性、磨圆度差。由浅至深,砂由细渐变粗,底部为粉质黏土。

140.74 m

10.青灰色中砂,含粗砂及黏粒,成为长石、石英,分选性、磨圆度差,含大量贝壳碎屑与上层呈渐变接触。

166.64 m

11.褐灰—浅灰色,顶部(166.64~167.06 m)为褐灰色,至下颜色变为灰色。以黏粒为主,粉粒次之,含粉砂。顶部含大量姜结石。中、下段,含砂量增多,局部为砂质粉土。

210.22 m

12.灰黄色,粗砂为主,中砂,局部含粉土,含暗色矿物,分选性、磨圆度一般,偶见砾石,呈似圆、扁圆状,粒径2~6 mm不等。

217.92 m

13.上部灰褐色黏土,裂隙发育,层中含大量白色砂质包裹体,下部浅灰色—浅灰夹锈黄色黏土含大量铁锰质薄膜,底部为粉砂。

242.47 m

14.上部为灰色—深灰色粉质黏土偶见贝壳碎片,下部为浅灰色粗砂含砾,含卵石。

291.59 m

15.上部灰—灰蓝色砂质黏土,短柱状岩心,由浅至深,颜色由灰色渐变为灰蓝色,且黏粒渐少,粉砂渐增,中部为灰黄夹青灰色含砾细砂,局部砂中充填块状黏土,下部暗灰色黏土,黏粒含量高。

321.70 m

16. 灰色—灰黄色黏质粉土、粉土夹黏土, 含少量细砂, 粉砂次之, 含团块状黏土, 局部含薄层黏土。 375 m

17. 上部为青灰色中细砂, 局部含中粗砂夹砾石, 分选性、磨圆度差, 局部含黏、粉土团块, 砂中含小砾石, 砾径3~5mm, 底部黏粒增多, 与上层呈渐变关系; 下部灰色粉质黏土, 含粉砂, 岩心呈长柱, 含粉砂团块, 局部可见大量白色钙质矿化点。 401.70 m

18. 上部含灰色砂黏土, 由浅至深, 粉细砂增多, 砂呈团块、薄层状, 下部灰色细砂为主, 中砂次之, 含黏土, 上段黏粒含量较多, 呈薄层状, 与上层呈逐渐接触。 485.69 m

19. 深灰色砂质粉土, 局部含黏土, 砂呈团块状, 底部含大量砾石, 直径5~15 mm, 磨圆度一般, 为椭圆、次棱角状, 并可见白色贝壳。 538.88 m

20. 灰黑—暗灰色粉质黏土、灰黄色含砂黏质粉土夹含砾粗砂, 局部含细粉砂, 下段含砂量增多, 含白色粉砂包裹体, 且较密实, 半成岩状。 576.04 m

21. 灰黄—灰褐色含砂黏质粉土、粉质黏土, 层中含中细砂, 砂及黏土分布极不均匀, 局部砂、黏土、粉土互层。 623 m

22. 上部为灰黄—黄褐色粉质黏土, 层中含粉砂包裹体, 下部为灰黄色含砾粗砂, 粗砂为主, 含中砂及砾石。 664.97 m

23. 灰黄—黄褐色含砂黏质粉土与粉质黏土互层, 上段以黏质粉土为主, 下段以粉质黏土为主, 层中含粉砂, 下段黏粒渐增, 粉粒渐少, 黏质粉土与粉质黏土呈不等厚互层, 与上层界线明显。 674.95 m

24. 褐灰色, 含泥砾细砂, 主要成分长石、石英, 分选性一般, 砂中含泥夹砾, 砾石最大直径为3.5 cm。 735.87 m

25. 灰黄色含砂黏质粉土、灰褐色粉质黏土, 呈半胶结状, 岩心呈短柱状。 749.45 m

26. 灰黄色含砾粗砂, 分选性、磨圆度差, 底部含卵砾石, 直径大小不一, 长轴为1~6 cm不等, 为次棱角、亚圆状, 下部偶见短柱状泥砾, 与上层明显接触。 763.25 m

27. 上部为灰色砂砾岩, 约50 m厚, 中部为灰白色弱风化砂岩、泥质砂岩(821.26~824.58 m), 下部为长石石英砂岩。 831.97 m

3 第四纪年代磁性地层格架

G3孔全孔取心率大于90%以上, 孔斜控制在百米0.5°, 全孔1°。采用专业古地磁无磁性塑料盒共采集古地磁测试样品417块, 采样间隔0.5~2 m。全部样品的系统剩磁测试在中国地质科学院地质力学研究所古地磁实验室完成。样品的系统交变退磁处理是利用美国GSD-2型交变退磁仪进行。对部分样品还进行了系统热退磁处理, 以及混合退磁

实验, 即先进行交变退磁后, 再进行热退磁处理。测试结果表明, 上述方法的退磁效果均较理想。经过系统交变退磁, 样品的剩磁组分均利用国际上通用的Enkin软件编制古地磁软件包进行主向量分析, 古地磁测试数据的分析结果表明, G3钻孔417块样品中有400块能分离出较可靠的古地磁分量, 钻孔G2分离样品数60个, 钻孔G4分离样品数169个, 钻孔G5分离样品151个, 总计分析样品占总数的96%, 试验结果比较理想(图2)。

G3钻孔岩心剖面共记录了9个正、负极性带, B/M界线出现在0~175.5 m以正极性为主, 对应国际地磁极性年表的布容正极性期, 175.5~511.7 m则以反极性为主, 其间夹有3个正极性带, 对应松山反极性期, 511.7~742 m以正极性带。G2钻孔岩心剖面共记录了4个正、负极性带, 0~107 m以正极性为主, 对应布容正极, 107~180 m, 则以反极性为主, 对应松山反极性期。G4钻孔岩心剖面共记录了5个正、负极性带, B/M界线出现在125.42~127.38 m, 其对应界线年代为距今0.78 Ma。哈拉米洛极性亚时上界出现在181.97~201.45 m, 下界在210.46~237.15 m, 界线年龄分别为0.99 Ma和1.07 Ma。奥杜威极性亚时的上下界线分别与地层的283.06~286.68 m及353.22~357.31 m点相对应, 其上下年龄界限分别为1.77 Ma和1.95 Ma。在376.90~381.60 m的3个样品呈现正极性, 如果要承认它是一个极性亚时的话, 就暂定为留泥旺极性亚时, 其对应年龄为2.01~2.04 Ma, 该套地层为早更新世以来的沉积物。G5钻孔岩心剖面共记录了5个正、负极性带, B/M界线出现在144.27 m, 界线年龄0.78 Ma。界线以下为松山反向极性时, 在松山反向极性时上部揭示出一个正向极性亚时, 其深度在173.55~187.09 m, 可以把它和哈拉米洛极性亚时相对照。界线处年龄分别为0.99 Ma和1.07 Ma。在孔底289.89 m与311.35 m段, 也发现一个正极性段, 可以把它对比于奥杜威极性亚时, 其上界线年龄为1.77 Ma, 下界线年龄为1.95 Ma。

4 气候地层特征

孢粉是对古气候变化的良好证据, 因此被广泛应用于第四纪古气候、古环境分析以及地层年代划分当中^[14]。本次试验工作共采集孢粉样239块, 其

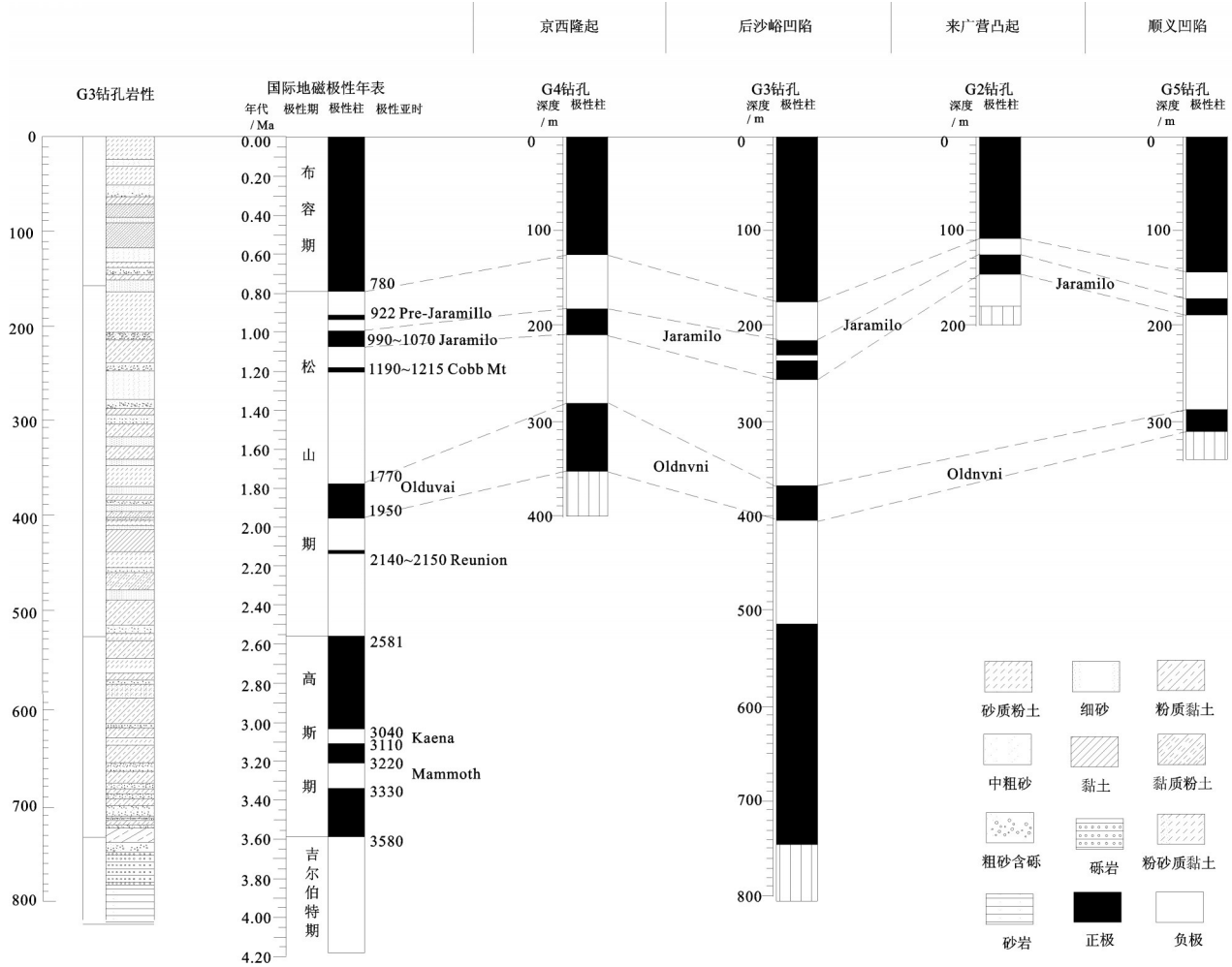


图2 后沙峪凹陷及各相邻构造单元上钻孔磁性地层特征
Fig.2 Characteristics of drill hole in the adjacent structural units in Houshayu sag of Beijing

中155块获得孢粉,结合孢粉组合及古植被演化特征,划分了此次钻孔剖面地层划分。通过孢粉对后沙峪凹陷区域的古气候和古植被的恢复,同时对比地区新生代气候演化历史,孔深31.11~37 m为北京凹陷地区晚更新世与中更新世的分界,而108~164 m为中更新世与早更新世的分界,330~508 m为早更新世与新近纪的分界。

5 后沙峪凹陷的第四纪构造演化

在中生代中侏罗世至晚白垩世时期,燕山运动发育了八宝山断裂和黄庄—高丽营断裂,奠定了北京断陷的基本格架,经白垩纪至古新世剥蚀,形成了北台期准平原面^[15-16]。在此时北京断陷作为华北平原一个相对独立的构造单元。在断陷的内部,顺义断裂将基岩切割成阶梯状,基岩顶界面间落差分

别为120~300 m和90~105 m。顺义断裂两侧新生代厚度相差250多 m,进入新近纪以来,顺义断裂和南口孙河断裂的活动强烈,尤其是南口—孙河断裂活动将黄庄—高丽营断裂、顺义断裂切割形成6个高低不等基岩块体。从早更新世开始,沉积中心与上新世截然不同,北京凹陷已经不复存在,受南口—孙河断裂活动的控制,北京市区从上新世的沉积区转变为早更新世的隆起侵蚀区,而北京北部地区进入第四纪后构造活动强烈,堆积了一定厚度的第四系。经过第四纪的沉积作用,在高低不等的基底上方形成了后沙峪凹陷,又称为后沙峪第四纪沉积中心(图3)。

由磁性地层研究表明:G3孔M/G线界线在511.7 m,G3孔B/M线界线位于175.5 m,而中更新统与上更新统的界线则依据张磊^[17]文中ZK19号钻

表1 G2~G5钻孔孢粉特征及地层时代划分
Table 1 G2~G5 borehole sporopollen characteristics and strata division

钻孔	构造单元 部位	孢粉带特征	深度底界/m	地层时代
G2	来广营 凸起	孢粉带 I: 该带木本植物花粉占 14.08%, 草本植物花粉占 85.31%, 蕨类植物孢子占 0.61%, 无水生和沼生植物孢粉。主要花粉有松、冷杉、麻黄、桦木、榆、胡桃、藜科、蒿、豆科、里白科、凤尾蕨等	0~31.11	晚更新世
		孢粉带 II: 该带木本植物花粉占 36.62%, 草本植物花粉占 61.97%, 蕨类植物孢子占 1.41%, 无水生和沼生植物孢粉。主要花粉有松、桦木、榆、藜科、蒿、菊、车前草、石竹、中华卷柏。该带气候温暖湿润, 植被类型为稀树草原	31.11~108	中更新世
		孢粉带 III: 该带木本植物占 29.87%, 草本植物花粉占 28.57%, 蕨类植物孢子, 水生和沼生植物孢粉占 41.56%。木本植物与草本植物比例大致相当, 水生植物类群丰富, 同时样品含砂砾石成分多, 说明当时降水较多, 植被类型为针阔混交林	--	早更新世
G3	后沙峪 凹陷	孢粉带 I: 该带松属花粉最高达 40.64%, 同时也出现了许多阔叶树种, 植被类型主要以针阔混交林为主。该段时间植被变化较为剧烈和频繁, 反映了第四纪冰期与间冰期的巨大变化。同时该段带在顶端出现了少量铁杉和苦苣苔科的花粉, 说明后期较为湿润	0~31.6	晚更新世
		孢粉带 II: 该带木本植物明显减少, 草本植物类型丰富, 蕨类植物、水生和沼生植物都较为丰富。下部出现了喜热植物类群漆树科和无患子科, 水生和沼生植物绝迹, 植被类型为干燥的疏林草原	31.6~164	中更新世
		孢粉带 III: 该带孢粉含量很高, 以草本植物为主, 木本植物花粉含量下降, 并出现麻黄等喜干植物类群, 说明当时湿度开始下降, 植被类型为较干旱的疏林草原	164~508	早更新世
G4	京西隆起	孢粉带 I: 孢粉丰富, 孢粉浓度一般为 717 粒/g, 个别可达 3500 粒/g。组合中草本植物花粉含量占优势, 其他组分很少, 一般低于 10%。主要花粉成分有藜科、蒿、禾本科、松、云杉、麻黄等。该带顶部及底部草本植物花粉含量与乔木植物花粉含量相接近	0~37	晚更新世
		孢粉带 II: 孢粉尚丰富, 孢粉浓度为 150~630 粒/g, 个别可达 10403 粒/g。孢粉组合中草本植物花粉含量略高于乔木植物花粉, 蕨类植物孢子较前带略有增多。主要成分为松、藜科、蒿、栎、榆、胡、云杉、麻黄桃等。组合下部乔木树种的类型和数量明显增加	37~135	中更新世
		孢粉带 III: 孢粉贫乏, 单调。本带孢粉浓度为一般 <200 粒/g, 最高可达 310 粒/g。孢粉组合中草本植物花粉占绝对优势, 其他植物成分含量很低。主要花粉成分有藜科、蒿、禾本科、松、桑科等, 其次有栎、胡桃、桦及少量亚热带分子, 如山核桃、枫香等。依据草本植物花粉与草本植物花粉乔木植物花粉含量的波动又可划分 7 个孢粉亚带: 孢粉亚带 b、d、f 乔木植物增多	135~350	早更新世
G5	顺义凹陷	孢粉带 I: 孢粉丰富, 孢粉浓度一般 >518 粒/g, 个别可达 3222 粒/g。组合中草本植物花粉含量占绝对优势 (>80%), 其他组分很少, 一般低于 10%。主要花粉成分有藜科、蒿及禾本科, 其次有少量松、云杉、麻黄、莎草科等	0~34	晚更新世
		孢粉带 II: 孢粉丰富, 孢粉浓度为 18~723 粒/g, 个别可达 1604 粒/g。孢粉组合中草本植物花粉含量远高于乔木植物花粉, 分别为 70% 及 15%。蕨类植物孢子较前增多, 为剖面之冠。主要花粉成分为松、蒿、藜科、栎、榆、胡、禾本科、麻黄桃等。组合下部乔木树种的类型和数量明显增多, 因此该孢粉带又可二分为孢粉亚带 IIa 及孢粉亚带 IIb	34~144	中更新世
		孢粉带 III: 本带孢粉丰富, 孢粉浓度为一般 88~923 粒/g, 最高可达 6045 粒/g。孢粉组合中草本植物花粉高于乔木植物花粉, 相互间强烈交替波动。主要花粉成分为藜科、蒿、禾本科、松、桑科及落叶阔叶树种花粉栎、胡桃、桦及少量亚热带分子(如山核桃、枫香等)增多。其间麻黄与云杉花粉间否出现高值。依据草本植物花粉与乔木植物花粉含量的波动又可划分 7 个孢粉亚带: 孢粉亚带 b、d、f 乔木植物增多	144~330	早更新世

孔的测年资料以及北京市地质调查研究院在平原区开展的活动断裂监测专项地质调查项目中在顺义断裂下盘靠近后沙峪地区实施的钻孔 ZK19、ZK17、ZK11-2 以及断裂上盘的 ZK12-2 四个钻孔的热释光测年资料进行综合分析: 其中 ZK19 钻孔离 G3 孔最近, 该孔上更新统底界为 29.9 m, ZK17 孔稍远, 位于 G3 孔的西边, 其上更新统底界为 25.7 m,

ZK11-2 钻孔位于 G3 孔东北侧近顺义断裂附近, 其热释光测年数据为 (122.7±6.0) ka, 上更新统底界约为 46 m, ZK12-2 钻孔位于顺义断裂上盘, 其上更新统底界约为 66.5 m, 故依据北京凹陷的沉积规律及 G3 钻孔本身的孢粉带划分数据综合分析, 确定后沙峪凹陷内 G3 孔的晚更新统界限为 31.6 m (表 2)。

从北京构造格架来看, 位于京西隆起内的 G4

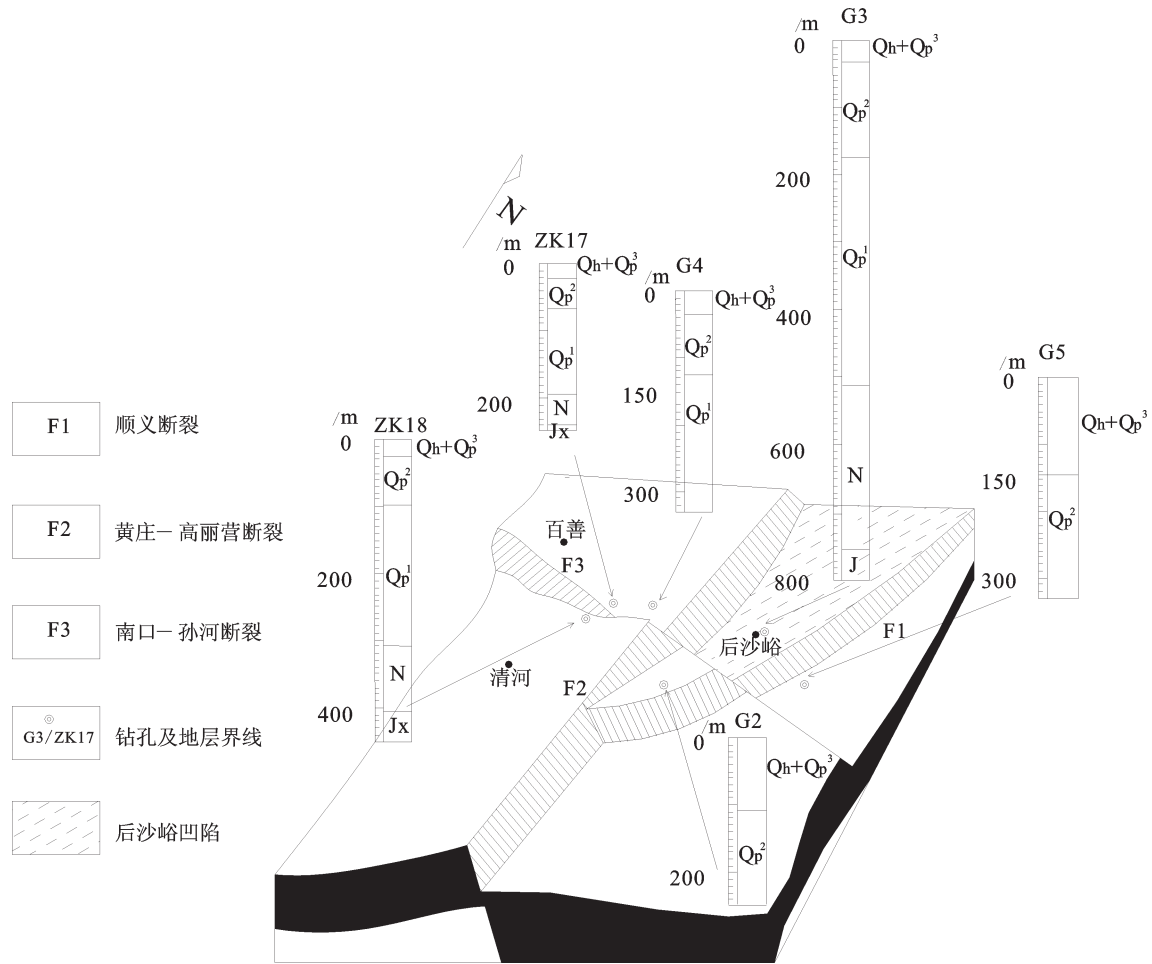


图3 北京顺义后沙峪地区下伏基底与断裂关系及第四纪地层划分示意图

Fig.3 The relationship between substrate and fault within Quaternary strata of Shunyi Houshayu area

钻孔古地磁数据确定的B/M线界线位于125.42~127.38 m,来广营凸起处G2钻孔古地磁数据确定的B/M线界线位于107 m,顺义凹陷处G5钻孔古地磁数据确定的B/M线界线位于144.27 m,因此,从位于不同构造单元内钻孔的中更新统底界位置可以明显看出,在中更新世时期,后沙峪地区处于一个典型的构造凹陷位置,黄庄—高丽营断裂和顺义断裂的活动确定了后沙峪凹陷的基底格架,后期南口—孙河断裂的活动对后沙峪凹陷进行了切割。进入第四纪后,各个断裂活动速率的不一致导致后沙峪凹陷及其四周凹陷块体上的第四系厚度存在差异,由于后沙峪凹陷处于黄庄—高丽营断裂的上盘,同时也是顺义断裂的下盘,因此,断裂间的相互运动在第四纪沉积作用下形成了后沙峪凹陷以及顺义凹陷。该凹陷在早更新世以后,受南口—孙河断裂

活动的控制,北京市区从上新世的沉积区转变为早更新世的隆起侵蚀区,而北京北部沙河、后沙峪、顺义以及怀柔、平谷地区进入第四纪后构造活动强烈,未经受剥蚀,沉积了一定厚度的第四系^[18-19]。因此,按刘光勋等^[20-25]对于平均沉积速率的计算方法,G3钻孔下、中、上更新统的沉积厚度差异,计算其在早、中、晚更新世的沉积速率分别为0.198 mm/a、0.255 mm/a和0.243 mm/a。由于后沙峪凹陷被南口—孙河断裂分隔为南北两块,其中断裂北侧的凹陷中心第四系厚度远大于断裂南侧,也侧面反映出南口—孙河断裂在第四纪时期活动强烈。

6 结论

(1)第四纪地层的划分是研究第四纪地质工作的一个重要内容。利用古地磁和孢粉以及其他测

表2 后沙峪凹陷第四系界限划分

Table2 Quaternary strata division in Houshayu sag

构造部位	典型钻孔	第四系划分		
		时代	古地磁	孢粉
后沙峪凹陷	G3	晚更新世	--	31.6 m
		中更新世	175.5 m	164 m
		早更新世	511.7 m	508 m

年方法进行综合分析是划分第四系的重要手段,笔者通过北京后沙峪地区的深孔钻探与古地磁测试,结合孢粉资料结合区域其他钻孔测年资料对后沙峪地区的第四系进行划分:175.5~511.7 m为早更新世地层,31.6~175.5 m为中更新世地层,0~31.6 m为晚更新世以来沉积的地层。

(2)黄庄—高丽营断裂和顺义断裂的活动共同确定了后沙峪凹陷的基底格架,G3钻孔在早、中、晚更新世的沉积速率分别为0.198mm/a、0.255mm/a和0.243 mm/a。后期南口—孙河断裂对后沙峪凹陷进行切割,从而形成了目前南北两块凹陷中心,并且位于断裂北侧凹陷中心第四系厚度远大于断裂南侧,从而反映出南口—孙河断裂在第四纪时期活动强烈。

(3)通过建立钻孔的磁性地层序列,能有效地推算地层的形成时代,对研究北京平原区隐伏活动断裂的活动性,以及第四纪沉积凹陷的形成和构造演化具有重大的意义。

致谢:在项目研究和成文过程中得到北京市地质研究所贾三满教授级高级工程师、北京大学地空学院潘懋教授的指导和帮助,论文修改中审稿专家和责任编辑李亚萍老师提出了宝贵修改意见,在此一并表示衷心感谢。

参考文献(References):

- [1] 朱岗崑. 古地磁学—基础、原理、方法、成果与应用[M]. 北京: 科学出版社, 2005.
Zhu Gangkun. Paleomagnetism—Basics, Principle, Method, Result And Application[M]. Beijing: Science Press, 2005(in Chinese).
- [2] 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).
- [3] 蔡向民, 栾英波, 郭高轩, 等. 北京平原地区地质系统[J]. 城市地质, 2009, 4(3):6–12.
Cai Xiangmin, Luan Yingbo, Guo Gaoxuan, et al. Geological system in Beijing plain area[J]. City Geology, 2009, 4(3): 6–12(in Chinese with English abstract).
- [4] 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 bore hole profile[J]. Acta Geologica Sinica, 2013, 87(2): 288–294(in Chinese with English abstract).
- [5] 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): 381–389.
Zhang Lei, Bai Linyan, 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): 381–389(in Chinese with English abstract).
- [6] 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: 13–15.
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]//Crustal Structure and Crustal Stress, 2000: 13–15(in Chinese with English abstract).
- [7] 罗明辉, 张世民, 任俊杰, 等. 北京断陷的新生代沉积与构造演化[C]. 地壳构造与地壳应力文集, 2007, 20, 62–73.
Luo Minghui, Zhang Shimin, RenJunjie, et al. Cenozoic sedimentary and tectonic evolution in Beijing Down–Warped Basin [C]. Crustal Structure and Crustal Stress, 2007, 20, 62–73 (in Chinese with English abstract).
- [8] 李龙吟, 陈华慧. 北京怀柔 HR88–1 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. Onmagnetostratigraphy of the bore hole HR88–1 in Huairou area, Beijing[J]. Journal of Stratigraphy, 1994, 18 (1): 39–44(in Chinese with English abstract).
- [9] 李容全, 谭利华. 北京西山东麓与平原地区新构造活动[J]. 第四纪研究[J], 2012, 32(5): 949–956.
Li Rongquan, Tan Lihua. A study of neotectonic movement at the eastern piedmont of the West Mountain and the Beijing Plain[J]. Quaternary Sciences, 2012, 32(5): 949–956(in Chinese with English abstract).
- [10] 郭高轩, 蒋汉朝, 蔡向民, 等. 北京新5孔第四纪孢粉记录及其对更新世气候变化的响应[J]. 第四纪研究, 2013, 33(6): 1160–1170.
Guo Gaoxuan, Jiang Hanchao, Cai Xiangmin, et al. A Quaternary

- polenrecord from the X5 core in Beijing and its response to the Pleistocene climate change[J]. *Quaternary Sciences*, 2013, 33(6): 1160–1170(in Chinese with English abstract).
- [11] 蔡向民, 栾英波, 郭高轩, 等. 北京平原地区地质系统[J]. *城市地质*, 2009, 4(3):6–11.
Cai Xiangmin, Luan Yingbo, Guo Gaoxuan, et al. Geological system in Beijing Plain area[J]. *City Geology*, 2009, 4(3):6–11 (in Chinese with English abstract).
- [12] 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, 100:6093–6095.
- [13] 李华章. 北京地区第四纪古地理研究[M]. 北京: 地质出版社, 1995: 1–152.
Li Huazhang. Study on the Quaternary paleogeography in Beijing region[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1995: 1–152(in Chinese).
- [14] 姚铁锋, 叶超, 寇香玉, 等. 北京天竺晚上新世以来植被演替与气候变迁[J]. *古地理学报*, 2007, 9(1): 45–58.
Yao Yifeng, Ye Chao, Kou Xiangyu, et al. Vegetation succession and climate changing since the late Pliocene in Tianzhu Region in Beijing[J]. *Journal of Palaeogeography*, 2007, 9(1): 45–58(in Chinese with English abstract).
- [15] 明镜, 潘懋, 屈红刚, 等. 北京市新生界三维地质结构模型构建[J]. *北京大学学报(自然科学版)*, 2009, (45)1: 15–23.
Ming Jing, Pan Mao, QuHonggang, et al. Constructing three-dimensional geological structure model of Cenozoic Erathem in Beijing[J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 2009, (45)1: 15–23(in Chinese with English abstract).
- [16] 蔡向民, 黄淇, 张磊, 等. 北京温榆河的成因[J]. *中国地质*, 2014, 41(5): 1515–1521.
Cai Xiangmin, Huang Qi, Zhang Lei, et al. The origin of the Wenyu River in Beijing[J]. *Geology in China*, 2014, 41(5): 1515–1521(in Chinese with English abstract).
- [17] 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):167–173.
Zhang Lei, He Jing, Bai Linyan, et al. The response relationship between the variation characteristics of deposition rate of Quaternary depression basin in northern margin of Beijing depression and the activity of Shunyi fault[J]. *Geology in China*, 2016, 43(2): 167–173(in Chinese with English abstract)
- [18] 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 down-wapped basin[J]. *Earthquake Research in China*, 1990, 6(2): 25–36(in Chinese).
- [19] 蔡向民, 郭高轩, 栾英波, 等. 永定河形成时代研究[J]. *第四纪研究*, 2010, 30(1): 167–173.
Cai Xiangmin, Guo Gaoxuan, Luan Yingbo, et al. Forming time for the YongdingRiver[J]. *Quaternary Sciences*, 2010, 30(1): 167–173(in Chinese with English abstract).
- [20] 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, 29(5): 1021–1029.
Cai Xiangmin, Luan Yingbo, Guo Gaoxuan, et al. 3D Quaternary geological structure of Beijing plain[J]. *Geology in China*, 2009, 29(5): 1021–1029(in Chinese with English abstract).
- [21] 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, 06: 1876–1884.
Zhao Yong, Cai Xiangmin, Wang Jiming, et al. The division of “small blocks” of structure in Beijing plain and a discussion on the activity of microblock in Quaternary period[J]. *Geology in China*, 2015, 42(6): 1876–1884(in Chinese with English abstract).
- [22] 蔡向民, 郭高轩, 张磊, 等. 北京城湖泊的成因[J]. *中国地质*, 2013, 4: 1092–1098.
Cai Xiangmin, Guo Gaoxuan, Zhang Lei, The origin of lakes in Beijing City[J]. *Geology in China*, 2013, 4: 1092–1098(in Chinese with English abstract).
- [23] 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, 31(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, 31(2): 495–503(in Chinese with English abstract).
- [24] 刘光勋, 马廷著, 黄佩玉, 等. 中国东部活动断裂的现代构造运动[J]. *地震地质*, 1982, 4(4): 1–14.
Liu Guangxun, Ma Tingzhu, Huang Peiyu, et al. Present-Day Tectonic movement along active faults in the east of China's mainland[J]. *Seismology and Geology*, 1982, 4(4): 1–14(in Chinese with English abstract).
- [25] 刘光勋. 新构造学研究趋势的展望[J]. *地学前缘*, 1995, (2): 203–211.
Liu Guangxun. The trend in research of neotectonics[J]. *Earth Science Frontiers*, 1995, (2): 203–211(in Chinese with English abstract).