

北京平原顺义 ZK12-2 钻孔剖面第四纪 磁性地层学研究

赵勇¹⁾, 蔡向民¹⁾, 王继明¹⁾, 吴怀春²⁾, 白凌燕¹⁾, 张磊¹⁾, 何静¹⁾, 何付兵¹⁾

1) 北京市地质调查研究院, 北京, 102206;

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

内容提要:对北京平原顺义凹陷内的 ZK12-2 钻孔岩芯进行了详细的磁性地层学研究, 结果表明, 719m 的岩芯记录了布容正向极性时 (Brunhes)、贾拉米洛 (Jaramillo) 极性亚时、奥尔都维 (Olduvai) 极性亚时和高斯正极性时 (Gauss)。在系统古地磁样品采集、处理和测试的基础上, 应用古地磁法、光释光法, 结合岩芯特征, 对 ZK12-2 钻孔剖面进行了详细地层划分, 分别确定了下更新统、中更新统、上更新统和全新统的分布深度及地质年代, 将 Q/N 定位于 706m 处, Q_1/Q_2 、 Q_2/Q_3 、 Q_3/Q_4 分别定位于 170m、66.5m、10m 处。本项研究结果为该区第四纪地层划分对比、古地理环境、活动断裂相关研究提供了可靠的地层年代框架。

关键词: 磁性地层; 第四纪; 顺义凹陷; 北京平原

第四纪地层在第四纪研究中占有非常重要的地位, 第四纪地层划分和对比是研究区域地质、活动构造、古地理环境演变的基础。北京平原发育第四纪河流冲洪积相沉积, 是由多个河流冲洪积扇叠加而形成的, 岩性、岩相的横向变化明显, 加之新构造运动导致了不同地质构造单元自第四纪以来沉积物差异显著, 给地层划分和对比带来困难, 难以仅仅依据钻孔岩芯的岩性组合进行地层的划分。

北京平原区第四纪地质研究历史较长, 资料丰富, 第四纪地层划分取得了众多丰硕的成果。安芷生等 (1979) 对顺 5 孔进行了古地磁和古生物地层划分的研究, 提出以松山/高斯界面为 Q/N 的分界。李鼎容等 (1979) 以地震地质工作为基础, 对北京平原区第四系更新统进行了综合研究。李长安 (1994)、李龙吟 (1992, 1994) 对钻孔 HR-88 进行了综合研究, 采用不同方法对新生代地层进行了划分。鲍亦冈等 (2001) 编写的北京地质百年研究对新生代地层进行了清理工作。

蔡向民等 (2009)、栾英波等 (2011) 对北京平原第四系三维结构进行研究并建立结构模型, 对新 5 孔进行了新生代地层层序划分, 提出了 Q/N 与 N/E 的分界。众多学者对北京第四纪古气候变迁、古

地理环境的演变等进行了详细研究 (周昆叔等, 1978; 张子斌等, 1981; 孔昭宸, 1982; 赵希涛等, 1984; 单青生等, 1994; 李华章, 1995; 魏兰英等, 1997; 郝守刚等, 2002; 袁宝印, 2002; 李长安, 2003; 姚铁峰等, 2007; 栾英波等, 2008; 赵淑君, 2008)。以上研究成果为第四系层序研究奠定了基础, 但是, 目前对第四纪地层精细划分和对比还未建立起来, 主要原因之一是第四纪深孔数量有限以及相应的年代学研究较为欠缺。因此对不同构造单元详细的磁性地层工作亟待开展研究, 本文在顺义凹陷内开展工作并取得了 ZK12-2 钻孔岩芯, 并应用光释光、磁性年代学技术, 对该钻孔第四纪地层开展了精细年代学研究。试图为该区第四纪古环境演化、区域地层对比提供可靠的年代框架。

1 钻孔地质特征

ZK12-2 钻孔位置坐标为 $40^{\circ}9'6''N$ 、 $116^{\circ}43'12''E$, 在构造上属顺义凹陷, 位于顺义断裂上盘 (图 1), 顺义凹陷第四纪沉积物主要来源于潮白河冲洪积扇。ZK12-2 钻孔孔口海拔 35.9m, 孔深 719m, 岩芯采用油压式钻机, 全孔取芯率达 87% 以上, 实际岩芯直径可达 90mm。取芯率和岩芯状况满足磁性地

注: 本文为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) 资助的成果。

收稿日期: 2012-06-05; 改回日期: 2012-09-05; 责任编辑: 黄敏。

作者简介: 赵勇, 男, 1983 年生。硕士研究生, 工程师, 从事第四纪地质研究等工作。通讯地址: 100195, 北京市西四环北路 123 号地质大厦二层。Email: zhaoyong3068@163.com。

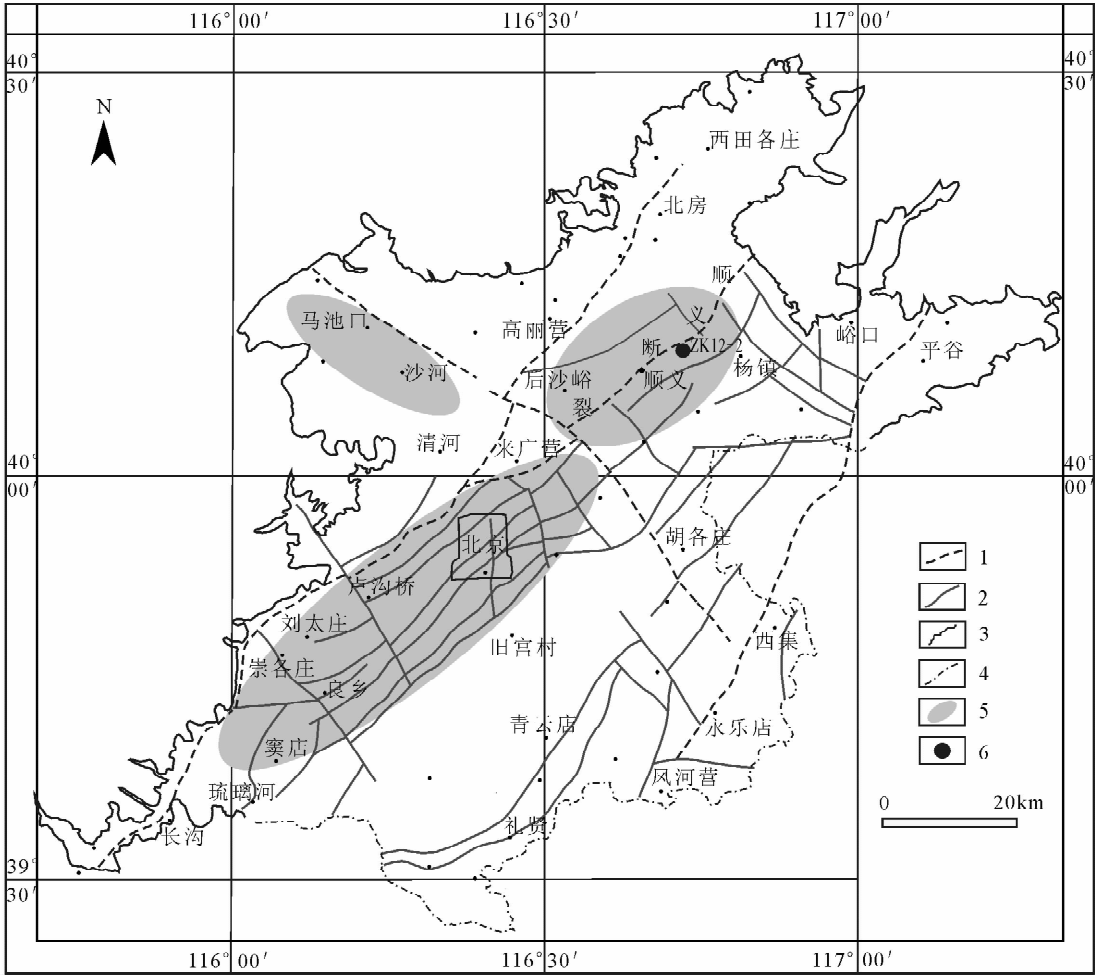


图 1 北京平原区构造纲要及钻孔位置图

Fig. 1 Schematic map of tectonic of Beijing Plain and the location of the ZK12-2 borehole

1—主要活动断裂;2—其他断层;3—山区平原区界限;4—北京市界限;5—第四纪凹陷区;6—钻孔 ZK12-2

1—Active faults;2—other faults;3—boundary of mountain and plain area;4—administrative boundary of Beijing City;
5—quaternary downwarped background;6—ZK12-2 borehole

层学研究的要求。

ZK12-2 钻孔岩性有砂砾石、粗砂、中砂、粉砂、砂质粘土、粘质砂土、粘土,局部夹有钙质结核、腹足类残片、炭斑等,可见钻孔沉积相较为复杂。整个钻孔所揭示的松散沉积物可分成 5 大岩性段。

第一岩性段:孔深 0~10m,下部(孔深 10~6.3 m)岩性为褐黄色含砾石砂土、中细砂,结构松散,含少量云母。中部(6.3~4.1m)为褐色、褐黄色砂质粘土。底部夹粉砂,地层中见大量锈斑,局部见少量钙质结核。上部为黑褐色、黄褐色粘土和粘质砂土,地层中见锈斑、炭斑及生物残片。地表为耕植土,厚度 1.3m。

第二岩性段:孔深 10~66.5m,岩性较为复杂,颜色以褐色、褐黄色、黑褐色为主,主要为砂砾石层,细砂、中砂和粘土层,粒序层理特征较为明显。总

体上发育砾砂-粘土级 3 个明显沉积旋回,属河流-冲洪积相沉积,地层厚度达 56.5m。

第三岩性段:孔深 66.5~170m。岩性较复杂,沉积物颜色多样。下部主要为灰绿色、灰黄色、黑褐色粘质粉砂和砂质粘土层。层间夹有细砂层,结构松散、局部具有层理构造。属河流湖沼相沉积。上部主要表现为 3 个明显的砂砾石-粘土层沉积体系,底部为含砾砂层,褐黄色、灰色粘土层中含钙质结核、腹足类残片,可见炭斑,粉砂层中可见斜层理沉积构造,属冲积相沉积。

第四岩性段:孔深 170~502m。岩性以黄褐色、褐色、灰褐色粘土、粉质粘土、粉砂和细砂为主,夹有灰白色中粗砂和粉砂。砂层见斜层理、交错层理,粘土层见腹足类动物碎片。属湖沼相沉积,层中夹有 10 余层灰白色含砾粗砂层,显示出了湖水深浅的

多次波动特征。

第五岩性段:孔深 502~719m。沉积物颜色多样,呈棕红色、灰白色、褐黄色、黄灰色,岩性以粗颗粒砂砾、砾石层为主,夹薄层粘土或粉砂,呈多层韵律层。属河流冲积相沉积。

2 采样与实验

2.1 古地磁样品采集、加工

古地磁野外取样是本研究建立高质量古地磁极性柱的首要保障。采样工作据区域地质资料,结合钻孔实际情况初步确定第四纪地层的大致厚度,据岩性变化情况确定采样密度进行采样,密度为 2 件/m。在野外编录时仔细确定岩芯上下方向,取出岩芯后立即采样。标出取样位置后,标明样品所在岩芯段的顶底方向(图 2),其次将做好标记的整段岩芯取出,在保证标志线所在的面不受破坏情况下,尽量获取岩芯中部的样品。将获取的粗样品进行精细加工,磨出基准面,标记顶底方向,用无磁性不锈钢刀加工出边长为 $2\text{cm} \times 2\text{cm} \times 2\text{cm}$ 的立方体样品。钻孔所采集古地磁样品 648 件,系统热退磁样品 640 件。

2.2 样品测试

实验在中国地质大学(北京)古地磁与环境磁学实验室完成。该实验室拥有国际先进的大型磁屏蔽室,所有的退磁及剩磁测试仪器均置于磁屏蔽屋内。剩磁测量采用目前国际上最灵敏(磁场噪音低于 $1 \times 10^{-9} \text{emu/cm}^3$)的 2G 低温超导磁力仪(仪器型号 755-4K),热退磁采用国际先进的 TD-48EU 高容量双腔地质样品热退磁仪。所有样品的退磁和剩磁测量实验都在磁屏蔽屋中进行,以保证样品不受周围磁场的影响,并确保测量数据的精度和可靠性。

代表性样品的 $k-T$ 曲线显示所有样品的磁化率均在 580°C 附近降低至接近 0,而在 670°C 附近变化不明显,表明样品中的主要磁性矿物为磁铁矿。对 640 块古地磁样品进行了详细的系统热退磁,所

有样品都获得剩磁方向随退磁步骤的变化特征,样品有效地分离出高温稳定剩磁成分。剩磁分析和磁成分分离主要采用主成分分析法,数据分析主要采用 Enkin 编写的古地磁数据分析软件包,计算得到样品的特征剩磁方向。退磁结果显示,所有样品原生剩磁的携磁矿物为磁铁矿,因此高温分量采用温度 $\geq 300^\circ\text{C}$ 的退磁步骤,保证每个样品至少有 4 个连续的退磁步骤点,每个特征剩磁方向的最大角偏差 ($\alpha_{95} \leq 10^\circ$)。代表性样品的热退磁强度衰减曲线及 Z 矢量图见图 3。

3 讨论

根据磁倾角的变化特征建立 ZK12-2 钻孔的磁极倒转序列,ZK12-2 钻孔剖面的古地磁极性排列比较规则,可与标准古地磁极性柱相对比,钻孔自上而下分为 3 个明显的极性带(图 4)。

布容正极性带:孔深 0~170m。在该正极性带内对第四纪沉积物样品进行了光释光测年,其结果见表 1。

松山反极性带:孔深 170~710m。该极性带中出现了 5 个正极性亚带,通过与标准古地磁极性柱对比,其中 200~210m 靠近布容正极性带,应为松山负极性带内的 Jaramillo 正极性亚带,地层年代相当于 0.99~1.07Ma。464~520m 的正极性带厚度较大,应为 Olduvai 正极性亚带,地层年代相当于 1.77~1.95Ma。另外 3 个正极性带可能为短时漂移事件,有待进一步验证。

高斯正极性带:将 710~719m 之下的正极性带解释为高斯正极性带。

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,第四纪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 2.58Ma,即松山反极性时与高斯正极性时的界限;中更新世底界为 0.78Ma,即布容正极性时与松山反极性时的界限;晚更新世底界为 0.13Ma,全新世从 0.01Ma 开始。



图 2 北京平原顺义 ZK12-2 钻孔古地磁样品方向标注图(黑圈所示)

Fig. 2 Paleomagnetic samples orientation of ZK12-2 borehole in Shunyi Area, Beijing Plain(the black ring)

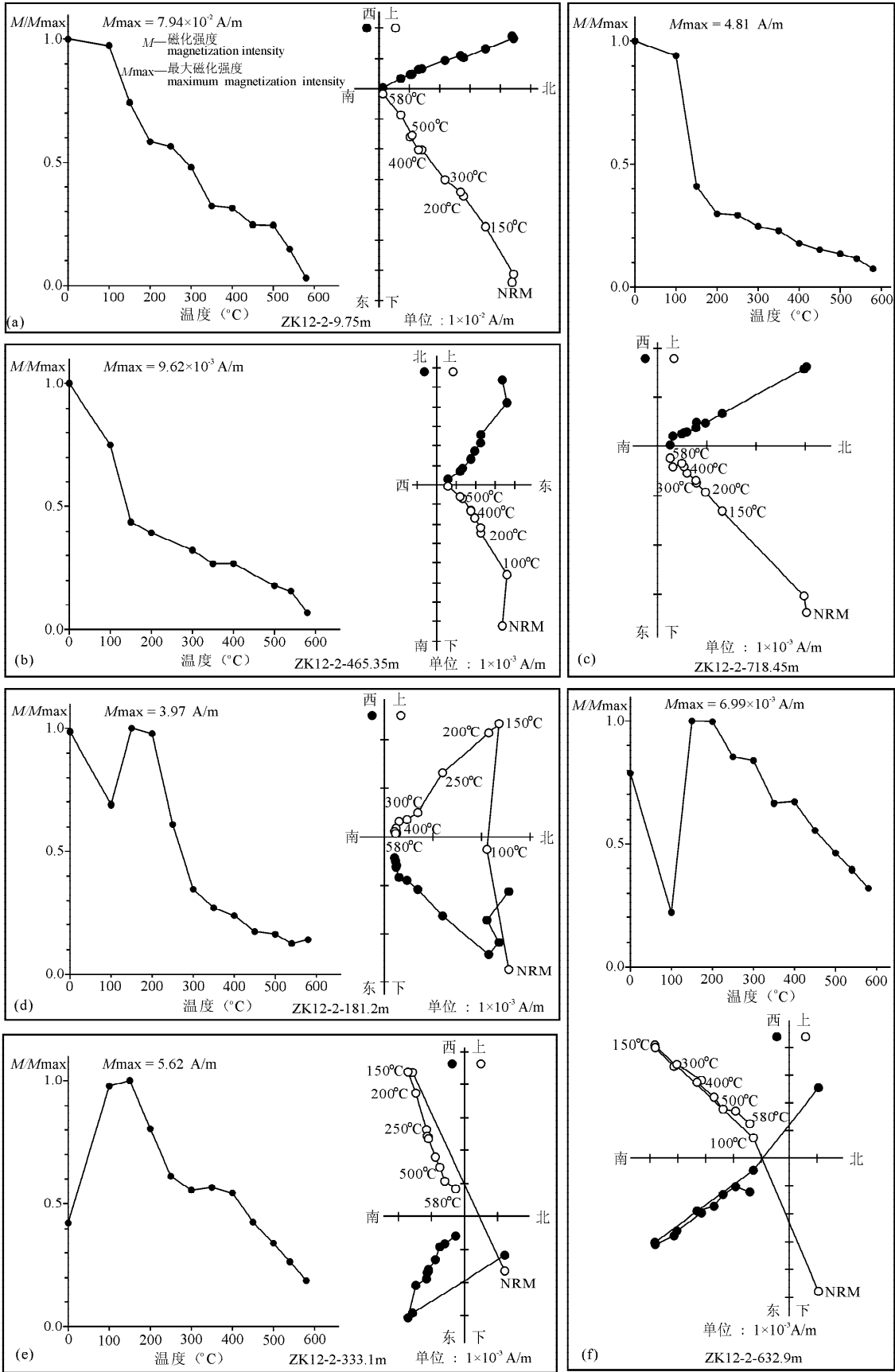


图 3 北京平原顺义 ZK12-2 钻孔代表样品的热退磁强度衰减曲线及 Z 矢量图

Fig. 3 Orthogonal(Zijderveld) vector plots of representative specimens from the ZK12-2 borehole in Shunyi Area, Beijing Plain

表 1 北京平原顺义 ZK12-2 钻孔样品光释光测年表

Table 1 The OSL ages of samples ZK12-2 borehole in Shunyi Area, Beijing Plain

样品野外编号	埋深 (m)	U ($\times 10^{-6}$)	Th ($\times 10^{-6}$)	K(%)	等效剂量 E. D (Gy)	年剂量 Dy(Gy/Ka)	含水量 (%)	年龄 (Ka)
OSL-12-2-①	0.9~1	2.10	10.5	2.22	2.03±0.37	4.09	7±2	0.5±0.0
OSL-12-2-④	4.65~4.8	1.63	10.6	2.21	12.91±0.98	3.87	7±2	3.3±0.2
OSL-12-2-⑥	5.8~5.9	2.06	10.1	2.28	17.31±0.79	4.02	7±2	4.3±0.3
OSL-12-2-⑧	9.6~9.7	1.58	5.19	2.88	40.06±2.98	3.94	7±2	10.2±0.8
OSL-12-2-⑨	13.3~13.4	2.36	10.4	2.34	182.27±4.22	4.15	7±2	43.9±2.0
OSL-12-2-(13)	19.6~19.7	1.94	8.15	1.93	194.29±6.11	3.31	7±2	58.6±3.0
OSL-12-2-(16)	27.35~27.5	2.96	10.4	2.65	321.73±17.59	4.63	7±2	69.5±4.7
OSL-12-2-(18)	38.1~38.2	1.83	8.02	2.94	425.64±19.63	4.28	7±2	99.5±6.1
OSL-12-2-(19)	40.1~40.5	1.96	8.93	2.33	448.94±13.55	3.81	7±2	117.8±5.9

注:光释光样品年龄由国土资源部地下水矿泉水及环境监测中心测试完成。

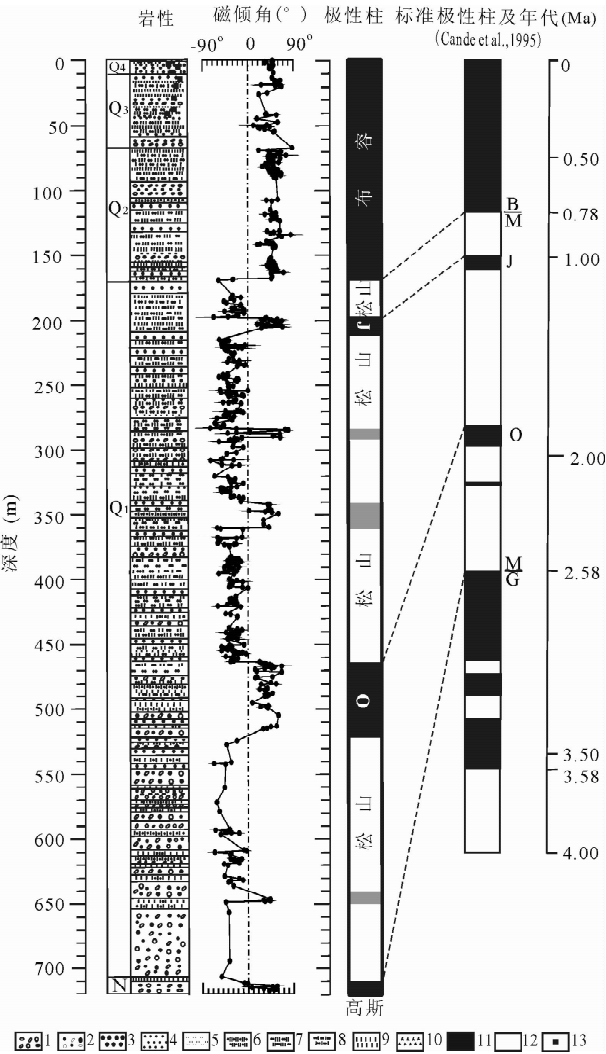


图 4 北京平原顺义 ZK12-2 钻孔岩性
地层和磁性地层图

Fig. 4 Lithology and magnetostratigraphy of ZK12-2
borehole in Shunyi Area, Beijing Plain

1—砾石;2—砂砾石;3—中砂;4—细砂;5—粉砂;6—砂质粘土;7—
粉质粘土;8—粘质粉砂;9—粘土;10—耕植土;11—正极性;12—负

极性;13—光释光样品
1—Grave;2—sand gravel;3—medium sand;4—fine sand;5—silt;
6—sandy clay;7—silty sand;8—clayey silt;9—clay;10—cultivated
soil;11—normal polarity;12—negative polarity;13—OSL sample

4 结论

将 ZK12-2 钻孔剖面古地磁结果同剖面岩性、
年代资料及第四纪划分方案结合起来,可以得到如下
结论。

(1)该区第四系下界应置于孔深 706m 处。理
论上第四系下界应放在 M/G 界面,即孔深 710m
处。但考虑到 706m 处是重要的岩性界面,其下伏
沉积物为棕红色粘土,上覆为灰褐色砂砾石,那么孔
底部 706~719m 处的沉积物应形成于上新世末期。

(2)将中更新统底界置于 170m 处。0.78Ma 的
B/M 界限在 170m 处,而该处岩芯为灰绿色粉砂粘
土,也为一岩性颜色分界处。因此,下更新统地层
170~706m,对应于钻孔的第四、五岩性段,形成时
限为 2.58~0.78Ma。

(3)样品光释光年龄测试为划分上更新统与中
更新统的界线提供了一个有力的证据。在 40.1~
40.5m 处光释光年龄为 117.8±5.9Ka。按沉积速
率推算及明显的岩性差异特征分析,0.13Ma 的上
更新统底界与第二岩性段底界(66.5m)应一致。

(4)据光释光样品年龄测试结果在 9.6~9.7m
处为 10.2±0.8Ma,结合北京平原区顺义凹陷带全
新世沉积物厚度分布及岩性岩相变化特征,将该区
全新统地层底界划分在孔深 10m 处,与第一岩性段
相对应。

ZK12-2 钻孔的古地磁极性变化界限与重要的
岩性界面基本吻合的现象看来不是偶然的,它可能

反映了该区第四纪古地磁场变化、古气候变化以及沉积物岩性特征变化之间某种特殊的必然联系。该钻孔可作为北京平原区第四系“金钉子”剖面,对北京平原区第四纪、华北平原第四纪凹陷构造单元等区域地层划分与对比、活动断裂研究、古地理环境演变等提供依据。

为了保证古地磁结果的准确可靠,野外采样、室内退磁及测试是关键环节和保障,ZK12-2 钻孔的古地磁结果之所以比较理想是和这些环节分不开的。当然对第四纪地层精确对比与划分来说,在有条件的地区应尽量采用综合的研究方法,在这方面,有待进一步深化加强。

致谢:中国地质大学(北京)古地磁与环境磁学实验室张世红教授、杨天水教授对实验进行了指导,并进行了有益的讨论。袁海帆、李梁、刘淑芹等同学参与了样品采集、分样、相关测试等工作,在此一并致谢!同时,感谢评审人和编辑部老师对文章提出宝贵的修改建议。

参 考 文 献

安芷生,魏兰英,卢演传,王乃文,何希贤,丁申. 1979. 顺 5 孔的磁性地层学和早期松山世的北京海侵. 地球化学, 4:343~345.

鲍亦冈,刘振峰,王世发,白志民,王继明,王增护. 2001. 北京地质百年研究. 北京:地质出版社,100~123.

蔡向民,栾英波,郭高轩,梁亚楠. 2009. 北京平原第四系的三维地质结构. 中国地质,36(5):1021~1029.

蔡向民,郭高轩,栾英波,梁亚楠. 2009. 北京山前平原区第四系三维结构调查方法研究. 地质学报,83(7):1047~1056.

郝守刚,马学平,夏正楷,赵朝洪,原思训,郁金城. 2002. 北京斋堂东胡林全新世早期遗址的黄土剖面. 地质学报,67(3):420~429.

李鼎容,彭一民,刘清泗. 1979. 北京平原区上新统一更新统的划分. 地质科学,(4):342~349.

李长安. 1993. 北京平原区第四纪古气候变化. 中国区域地质,(4):

336~343.

李长安. 1994. 北京平原东北部晚新生代地层划分及地层层序初建. 地层学杂志, 18(2):138~145.

李龙吟,陈华慧. 1992. 北京地区第四纪下限的综合标志. 地球科学—中国地质大学学报,17 (6):631~637.

李龙吟,陈华慧. 1994. 北京怀柔 HR88-1 钻孔剖面磁性地层学研究. 地层学杂志,18(1):39~44.

李华章. 1995. 北京地区第四纪古地理研究. 北京:地质出版社,1~152.

栾英波,郭莉,郭高轩,黄晓. 2008. 北京地区新 5 孔第四纪松散沉积物的微量元素地球化学特征及古气候、古环境研究. 城市地质,3 (3):18~22.

栾英波,蔡向民,郭高轩,梁亚楠,郭莉. 2011. 北京平原区新 5 孔岩芯特征及地层初步划分. 中国地质,38(2):495~503.

孔昭宸,杜乃秋,张子斌. 1982. 北京地区 10000 年以来的植物群发展和气候变化. 植物学报,24(2):172~181.

单青生,杨鸿连,刘连刚. 1994. 北京-通县平原地区第四纪环境演变. 北京地质,(4):1~7.

魏兰英,彭贵,严富华. 1997. 北京地区末次冰消期气候环境变化记录的初步研究. 第四纪研究,(2):183~191.

姚铁锋,叶超,寇香玉,徐景先,贾三满,杜乃秋,李承森. 2007. 北京天竺晚上新世以来植被演替与气候变迁. 古地学报,9(1):45~58.

袁宝印,邓成龙,吕金波,金昌柱,吴玉书. 2002. 北京平原晚第四纪堆积期与史前大洪水. 第四纪研究,22(5):474~480.

张子斌,王丁,丁嘉贤. 1981. 北京地区一万三千年来自然环境的演变. 地质科学,2(3): 259~268.

赵希涛,孙秀萍,张英礼,黄兴根. 1984. 北京平原 30000 年来的古地理演变. 中国科学,(6):544~554.

赵淑君,程捷,尹功明,管立宏. 2008. 北京平原区中更新世以来的孢粉组合及其古气候意义. 古地学报,10 (6):637~646.

周昆叔,严富华,梁秀龙. 1978. 北京平原第四纪晚期花粉分析及其意义. 地质科学,(1):57~64.

Cande S C, Kent D V. 1995. Revisde calibration of the geomagnetic polarity timescale for the late Cretaceous and Cenozoic. Journal of Geophysical Research,100(B4):6093~6095.

Quaternary Magnetostratigraphy of the Shunyi Area in Beijing Plain Using ZK12-2 Borehole Profile

ZHAO Yong¹⁾, CAI Xiangmin¹⁾, WANG Jiming¹⁾, WU Huaichun²⁾,

BAI Lingyan¹⁾, ZHANG Lei¹⁾, HE Jing¹⁾, HE Fubing¹⁾

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

Abstract

Magnetostratigraphy was studied in detail using ZK12-2 borehole core from the Shunyi depressuib in Beijing Plain. Here we present the magnetostratigraphic results of ZK12-2 borehole (719m) located at Shunyi Depression. A total of 648 undisturbed samples were collected from ZK12-2 borehole at an interval of 0.2~0.8m except for several missing intervals during drilling. 640 samples were performed on thermal demagnetization in emperature steps until 580°C. The Brunhes/Matuyama boundary was found at the depth of 170m, the Matuyama / Gauss boundary at 706m. The Gauss normal polarity chron is shown from 706 to 719m deep in the borehole. The interval from 170m to 706m is fairly correlative with the Matuyama reversal in the geomagnetic polarity timescale with two normal polarity zones corresponding to Jaramillo (200~210m) and Olduvai(464~520m) subchrons, respectively. The OSL age of 10200 800a and 117800 590a was obtained from the sample at the depth of 9.7m and 40.5m. The lithologic section of the borehole ZK12-2 includes the entire Pleistocene and Holocene series and part of Pliocene series. According to the correlation of the polarity column, and the OSL ages from the samples, and the lithologic section, Our definition boundary for the N/Q boundary is approximately conformable with M/G boundary. We believe that the sediments below 706m depth belong to Upper Pliocenc series. The lower Pleistocene Series ranges from the depth of 170~706m, which was formed during 0.78~2.58Ma. The Middle Pleistocene Series and Upper Pleistocene Series correspond to the Brunhes normal polarity chron. Considering the sedimentation rates, the boundary between Middle and Upper Pleistocene Series is the depth of 66.5m, and the boundary of the Holocene and Upper Pleistocene Series is 10m.

Key words: magnetostratigraphy; Quaternary; Shunyi Say; Beijing Plain