

文章编号: 1006-6616 (2016) 04-0984-10

华北临汾盆地中部柴庄上新世—更新世剖面沉积学特征及其构造意义

陈兴强^{1,2}, 施 炜¹, 胡健民¹, 董树文³

(1. 中国地质科学院地质力学研究所, 北京 100081;

2. 北京大学地球与空间科学学院, 北京 100871;

3. 南京大学地球科学与工程学院, 南京 210023)

摘 要: 临汾盆地位于华北克拉通汾渭地堑系中南部, 是典型的受控于北东—南西向和近东西向正断层的晚新生代断陷盆地。沉积相、古水流和重矿物综合分析表明, 盆地中部的柴庄新生界剖面除顶部的风成黄土之外, 可以划分为3个岩性段, 分别具有不同的物源, 反映了不同时期的构造背景。第一岩性段为上新统 (5.0~2.6 Ma), 冲积扇和风成红黏土沉积, 冲积扇碎屑物源为盆地周缘的灰岩等沉积岩类; 第二岩性段为更新统下部 (2.6~1.0 Ma), 三角洲相沉积, 沉积物来自盆地南缘中条山北部和东缘太行山西部的太古宇—下元古界的花岗片麻岩和片麻岩、上元古界—古生界的碳酸盐岩、中生界的陆源碎屑岩及少量不同时代的花岗岩; 第三段为更新统中上部 (<1.0 Ma), 河流相沉积, 主要物源为盆地北东缘太行山的花岗岩类、少量沉积岩和变质岩。结合区域应力演化过程认为, 距今5.0~2.6 Ma期间, 受北西—南东向伸展作用影响, 北东—南西向正断层为盆地的主控断层; 距今2.6~1.0 Ma时期, 主要受到北东—南西伸展应力的影响, 近东西向断层开始活动; 距今1.0 Ma以来, 沉积环境由三角洲和湖泊相转为河流相沉积, 指示盆地发育的减弱, 可能与后一期伸展应力的减弱有关。上述结果表明, 受青藏高原向北东扩展的影响, 汾渭地堑系至少经历了中新世晚期—上新世早期 (>5 Ma)、2.6 Ma和1.0 Ma等主要构造转换时代。

关键词: 临汾盆地; 沉积相; 物源; 新构造; 青藏高原

中图分类号: P512.2; P546

文献标识码: A

0 引言

汾渭地堑系是华北地区典型的新生代伸展盆地, 地震活动频繁^[1-4]。前人较为一致的研究

收稿日期: 2016-09-16

基金项目: 中国地质调查局地质调查项目“特殊地质地貌区填图试点”(DD20160060); 中国地质调查局地质调查项目“主要活动构造带关键地段区域地质专项调查”(1212011120099); 国家自然科学基金项目“鄂尔多斯地块周缘新生代断陷盆地形成机理”(41672203)

作者简介: 陈兴强 (1986-), 男, 博士研究生, 构造地质学专业, 主要从事新生代沉积盆地演化过程研究。E-mail: cxq123111@163.com

究结论表明它的形成演化过程与青藏高原的阶段性的隆升密不可分^[5-9]。Shi等^[8]通过系统并详细的断层运动学研究,反演出汾渭地堑系山西段晚中新世(距今约10 Ma)以来的区域应力演化过程,该过程包括晚中新世—更新世初期的剪切应力作用(北西—南东向伸展),早更新世—晚更新世时期的伸展应力(北东—南西向伸展),以及晚更新世以来的北北西—南南东向伸展。然而,由于伸展应力控制的正断层往往缺乏合适的测年材料,这一应力转换过程的年代仍不是很确切。Chen等^[7]对地堑系最北端的泥河湾盆地进行了详细的沉积学和物源分析,认为该盆地演化过程与区域应力的演化过程基本一致,说明该应力演化模式具有很强的可靠性,并提出了距今2.6 Ma、1.8 Ma和0.1 Ma等转换时限,但仍需更多资料的验证和支持。

位于地堑系中南部的临汾盆地有相对完整的新生代地层出露,为开展沉积学研究和物源分析提供了良好的基础,成为研究盆地演化的理想区域。但是,前人在构造控盆方面研究存在至少两方面的不足,其一是研究时间尺度过短,多数研究局限在更新世中晚期以来^[10-12],没能反映盆地的整个沉积演化过程;其二是这些研究主要以风成黄土为研究对象^[10-12],而风成黄土沉积受区域气候的影响更为明显,对于控制盆地形成演化的构造过程的反映则相对较弱。这些不足在一定程度上制约了对该盆地整个演化过程的研究,因而不能很好地理解该区域盆地受到的构造控制作用。盆地中部的柴庄地区相对隆起,是新生代地层出露最为完整的地区。本文在前人研究^[13]的基础上,选择柴庄新生界剖面进行详细的沉积相和物源综合分析,并反演了该盆地演化过程与区域应力场之间的关系,进而探讨了青藏高原隆升过程对汾渭地堑系形成的影响。

1 区域地质背景

临汾盆地是汾渭地堑系的一部分,临近鄂尔多斯地块东缘。该盆地总体受到北东—南西走向正断层的控制,并受近东西走向正断层的影响^[14](见图1a、1b)。汾河自北向南流经该盆地,在河津地区汇入黄河。盆地东南缘主要出露地层为太古代—早元古代变质岩和新元古代沉积岩;盆地西缘主要出露古生代—中生代沉积岩;盆地东缘、北缘主要为古生代—中生代沉积岩,同时出露大面积的太古代—中生代花岗岩类^①。

2 研究方法及结果

柴庄新生界剖面位于盆地中部汾河西侧的襄汾县南贾镇东刘村,其经纬度范围为东经111°24'25"—111°48'28",北纬35°48'24"—35°48'07"。在野外对该剖面进行了详细的地层划分和沉积学分析。除顶部数米至数十米厚的黄土之外,该剖面总厚近80 m,下伏三叠纪砂岩地层。通过与临汾市西南同时代的LK10孔岩芯^[13]进行对比,获得较为可靠的地层年龄(见图2),该年龄与前人通过岩性和古生物特征获得的时代^[15]基本一致。在对剖面岩性精细划分的基础上,本文首先对其沉积相和相组合特征进行了初步分析(见图2c、图3),并在代表层位进行古水流统计(见图2c),同时采集砂岩样品8块用于重矿物分析(见图4),研究其沉积物质组分特征,恢复其不同层位沉积环境和物源组分,进而探讨盆地演化,并反

① 山西省地质局1:250000地质图(临汾幅、沁源幅、韩城幅、侯马幅、晋城幅、运城幅和三门峡幅)

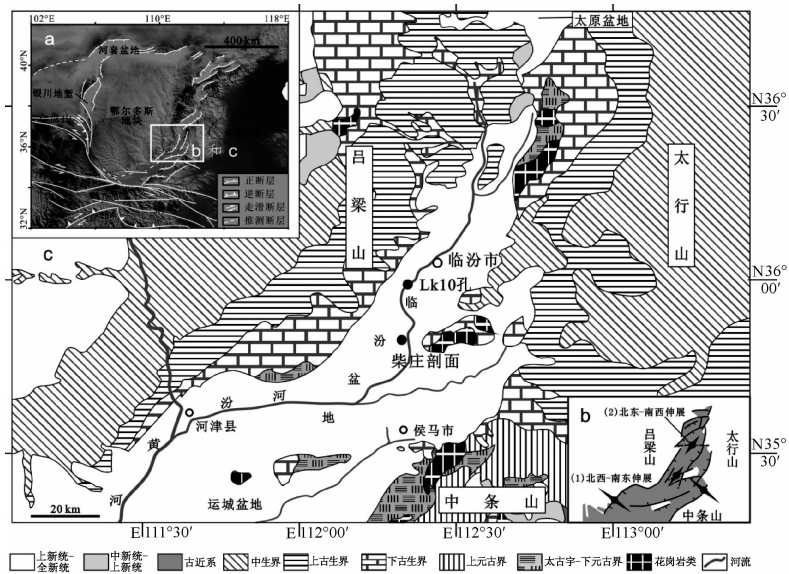


图1 临汾盆地大地构造位置图^[8] (a), 构造纲要图^[14] (b) 及区域地质简图 (c)

Fig. 1 A map showing tectonic location, structure outline and regional geology of the Linfen Basin

演控制盆地演化的构造活动过程。

2.1 柴庄新生界剖面沉积相和相组合特征

野外系统测量、区域剖面对比和室内综合分析结果共同表明, 柴庄新生界剖面自下而上可以划分为3套组合, 其时间分别对应于上新世 (5.0 ~ 2.6 Ma)、更新世早期 (2.6 ~ 1.0 Ma) 和更新世中期 (<1.0 Ma), 相组合特征如下:

第一段 (上新统) 主要由两组截然不同的岩性段构成, 且组成若干旋回。一组为灰色、灰黄色砾石层和灰黄色中粗砂层, 砾石层为厚层块状颗粒支撑沉积, 砾石成分以灰岩为主, 砂泥质和钙质胶结, 显示出泥石流沉积特征 (见图 3a); 中粗砂层为中一厚层块状沉积 (见图 3b), 几乎未见粉砂质和泥质沉积。该套地层总体上表现为冲积扇相。另一组为具土状特征的粉砂、黏土沉积, 局部可见钙质结核, 该套地层总体上以块状沉积为主 (见图 3b), 显示出与静乐组三趾马红土一致的沉积特征, 解释为风成红土。

第二段 (更新统下部) 总体表现为向上渐细的序列。下部主要为黄褐色、灰色的中粗砂, 局部可见透镜状细砾石层, 并含有泥砾 (见图 3c)。板状交错层理、槽状交错层理 (见图 3c)、平行层理非常发育, 具三角洲平原沉积特征。中部颜色逐渐变浅, 沉积物粒度逐渐减小, 岩性为灰色细砂岩和粉砂岩, 沉积构造以块状和平行层理为主, 砂层质地均一 (见图 3d), 具三角洲前缘沉积特征。上部为灰绿色、灰白色和灰色黏土互层, 在黏土层底部偶见粉砂和细砂岩 (见图 3d), 或有炭屑, 局部发育板状斜层理, 具前三角洲沉积特征。该段总体可见大量贝壳类和哺乳类动物化石, 沉积环境为三角洲相。

第三段 (更新统中上部) 主要由多个下粗上细的沉积旋回构成, 单个旋回一般数十厘米至数米厚。旋回底部为灰色、灰黄色细砾石层或和细砾粗砂层的指状穿插, 单层厚度小于 0.5 m (见图 3e)。旋回中部为中一厚层灰黄色、灰色砂岩, 板状、槽状交错层理 (见图 3f) 和平行层理发育, 见贝壳类化石 (见图 3e) 和哺乳动物化石 (见图 3g)。旋回顶部为灰色、灰绿色粉砂、黏土沉积, 薄—中层块状为主, 可见炭屑。旋回的底部和顶部一般厚度较小,

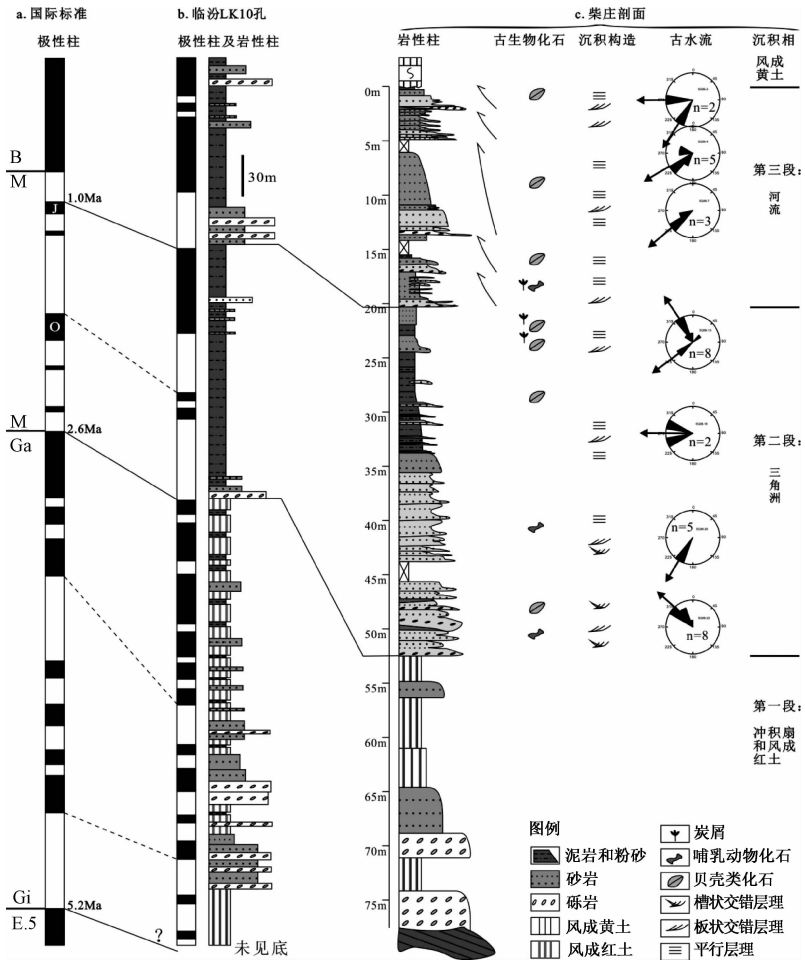


图 2 临汾盆地柴庄剖面与 LK10 孔^[13]岩相图对比

Fig. 2 Lithofacies comparison between Chaizhuang section and LK10 core in the Linfen Basin

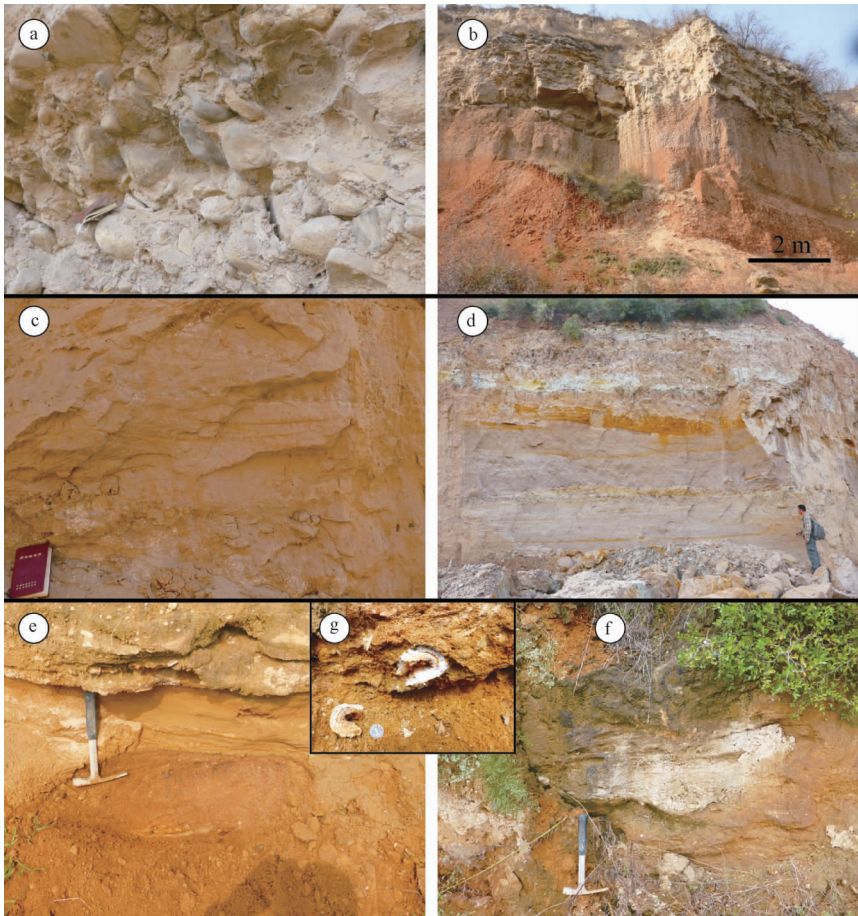
而中部比例较高。综上, 该段总体表现为河流相沉积特征。

2.2 柴庄新生界剖面古水流特征

对柴庄新生界剖面内发育的板状和槽状斜层理进行统计, 获得了该剖面的古水流演化过程, 结果见图 2c。由于第一段砂岩缺乏斜层理, 因而未获得任何古水流信息。第二段古水流指向相对较为分散, 但总体指向南西—北西, 表明更新统下部沉积物源区位于临汾盆地北东—南东侧。第三段古水流相对一致, 总体指向南西方向, 指示更新统上部沉积物源区主要位于盆地北东缘。

2.3 柴庄新生界剖面重矿物特征

重矿物统计结果 (见图 4a) 表明, 角闪石、石榴石、赤铁矿、钛铁矿和磁铁矿含量最高, 是柴庄新生界剖面最主要的重矿物类型; 磷灰石、锆石和帘石等含量相对中等, 其他种类则相对较少。由于不同的重矿物组合往往反映其来自于不同类型的源岩^[16], 据此将柴庄剖面的主要源岩划分为 3 种类型。第一种为酸性岩浆岩, 主要重矿物组合为角闪石、磷灰石、榍石、锆石和独居石; 第二种为变质岩, 主要重矿物组合为夕线石、帘石、石榴石和电



a—块状沉积的砾石层，颗粒支撑；b—块状沉积的红黏土及砂岩；c—含泥砾的粗砂层及板状斜层理砂岩；
d—下部为质地均一而纯净的砂体，上部为含炭屑灰黄色、灰绿色粉砂和黏土沉积；e—向上变粗的河流相沉积旋回，
照片下部和顶部（含贝壳化石）为含细砾粗砂岩，向上为发育低角度斜层理中、细砂岩和块状层理的粉砂岩；
f—板状斜层理砂岩；g—发育在河流相砂岩中哺乳动物化石

图3 柴庄新生界剖面典型沉积学野外露头照片

Fig. 3 The field outcrop photos of the typical Cenozoic sedimentation in the Chaizhuang section

气石；第三种为沉积岩，主要重矿物组合为金红石、锐钛矿、赤铁矿、白钛石、钛铁矿和重晶石等，以及部分石榴石和电气石。

上述单矿物大部分都显示出分段性特征，如：角闪石集中在第二段和第三段，第一段几乎没有；石榴石在第一段和第二段相对含量较高，而第三段含量较低；赤铁矿和钛铁矿则由第一段向第三段逐渐减少（见图4a）。不同源岩类型的重矿物总含量分段统计（见图4b）结果表明，第一段主要重矿物组合为钛铁矿、白钛石、赤铁矿、锐钛矿、金红石、重晶石、石榴石、帘石和电气石，因此其源岩以沉积岩为主，含少量的变质岩；第二段重矿物组合为角闪石、磷灰石、锆石、钛铁矿、白钛石、金红石、石榴石和帘石等，显示其源岩种类相对较为复杂，酸性岩浆岩、变质岩和沉积岩3种源岩含量均等；第三段重矿物组合为角闪石、磷灰石、榍石、夕线石和帘石等，显示以岩浆岩源岩为主，含少量的变质岩和沉积岩。

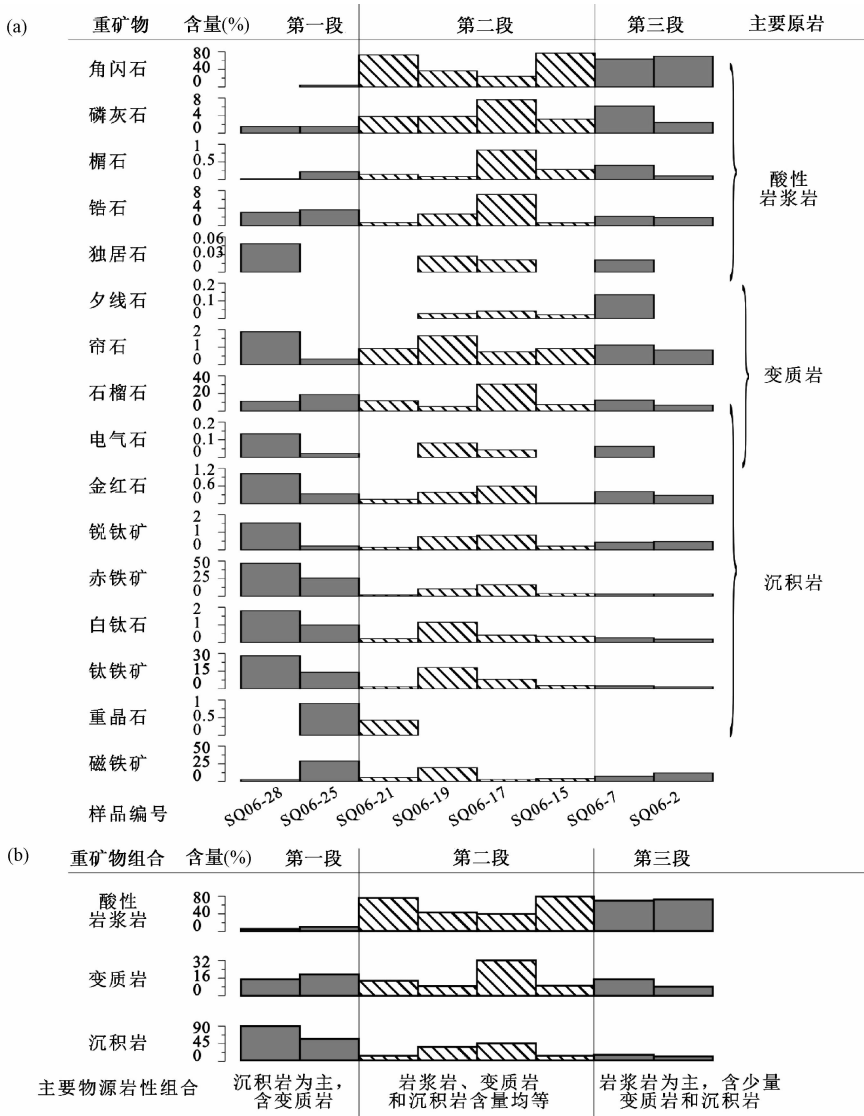


图4 柴庄剖面重矿物含量 (a) 及重矿物组合含量 (b) 统计图

Fig. 4 Statistical maps showing contents of detrital heavy minerals and their combination in Chaizhuang section

2.4 柴庄新生界剖面物源

上述古水流和重矿物组合特征共同指示, 柴庄新生界剖面的沉积物源发生了两次明显变化。结合区域地质图 (见图 1c), 上新统 (第一段) 的物源主要来自于近源的沉积岩, 以下古生界的沉积岩 (灰岩等) 为主, 可能混杂有花岗岩类和中生界陆源碎屑岩, 这与该段底部砾石成分以灰岩为主的事实相一致。更新统下段 (第二段) 的物源主要来自于盆地东侧的混合源岩, 包括中条山北部和太行山西部的太古宇—下元古界的花岗片麻岩和片麻岩等, 上元古界—古生界的碳酸盐岩和中生界的陆源碎屑岩, 以及部分不同时代的花岗岩类, 这些物质为盆地的沉积提供了主要物源。更新统中上部 (第三段) 的物源来自于盆地北东侧, 主要为河流作用搬运而来的酸性岩浆岩, 以太古界的花岗岩类为主。

3 讨论

盆地演化过程主要受到构造和气候两方面的控制。第一岩性段内的风成红黏土以及剖面顶部的风成黄土的沉积过程主要受到东亚季风变化的控制。然而,有别于黄土高原典型的风成红黏土-黄土连续沉积,山西地堑系内部的风成沉积物主要出现在盆地开始形成和结束两个阶段。这些特征表明该盆地形成演化过程仍然主要受控于构造作用,推测其总体演化模式如下:晚中新世—更新世初,北西—南东向伸展^[8]造成了盆地边缘及内部大量北东—南西走向正断层的形成。这些断层可能既有新生断裂,也有老断裂的活化,并由此奠定了临汾盆地的基本构造格架。此时,盆地仍处在发育的起始阶段,尚未形成蓄水盆地,柴庄剖面和LK10孔的沉积均以冲积扇和风成沉积为主(见图2)。早更新世初,北东—南西向伸展应力成为区域主要构造应力^[8],迫使北东—南西走向的正断层发生走滑,而近东西向断层则快速伸展活动,盆地沉降速度及面积进一步扩大。盆地沉积速度及面积的增加,有利于来自于盆地东侧太行山和东南侧中条山的碎屑物在盆地内的稳定堆积,以三角洲相(柴庄剖面)和湖泊相(LK10孔)沉积为主。更新世中晚期,盆地进入快速萎缩期,主要发育河流相(柴庄剖面)和浅湖相(LK10孔)沉积,表明盆地沉降速度降低,湖盆面积逐渐缩小。这一时期的沉积演化可能主要受到前期伸展应力减弱的影响,气候变化也可能起到一定的作用。

新生代以来,青藏高原北东缘的新构造变形作用主要发育在中新世晚期(距今13~5 Ma)以来^[4,17-18],并可能经历了多期次级强烈变形活动,对鄂尔多斯地块及周缘产生了重要影响。如裂变径迹研究表明,鄂尔多斯地块南缘的华山、太白山和西缘的贺兰山最显著的抬升开始于中新世晚期(距今12~7 Ma),并持续至今^[19-20]。对红黏土的研究也表明,鄂尔多斯地块西南的六盘山广泛的风成堆积开始沉积于距今约8.1 Ma,之后又经历了距今2.6~2.5 Ma和1.7~1.6 Ma等构造事件^[21-24]。鄂尔多斯地块西缘的宁南盆地贺家口子地区,在距今2.30~1.91 Ma完全结束静水沉积^[25]。地块南缘的渭河盆地内发育5级构造阶地,被认为对应了印度板块向北阶段性俯冲加剧的时期,其中T5、T4的形成时期分别为距今2.60 Ma和1.20 Ma^[26]。三门峡东西两侧的最老河流阶地形成于距今1.0~1.2 Ma^[27-29]。山西地堑系最北端的泥河湾盆地经历了多次显著的沉积相和物源变化,并以距今2.6 Ma和1.8 Ma为界^[7,30]。这些鄂尔多斯地块周边不同区域的记录多数被解释为受到青藏高原快速隆升和向北东扩展的远程效应影响^[19-26],且集中在中新世末—上新世初、更新世初及更新世中期等时代。临汾盆地演化过程具有与上述事件相对一致的时代,因此该盆地及控盆断裂的最初形成(中新世末—上新世初, >5 Ma)可能受到青藏高原中新世晚期以来的强烈隆升的影响,之后盆地经历的两次沉积相与物源变化(距今2.6 Ma和1.0 Ma)则可能对应了中新世晚期以来高原的次级隆升阶段。

4 结论

临汾盆地上新世—更新世柴庄剖面可以划分为3个岩性段,分别沉积在冲积扇和风成环境(上新世)、三角洲(更新统下段)及河流相(更新统上段)等沉积环境中。

古水流和重矿物共同指示,第一段物源主要为剖面附近的沉积岩;第二段物源为太行山

和中条山一带的酸性岩浆岩、变质岩和沉积岩;第三段物源主要为盆地北东侧的太行山酸性岩浆岩区。

参 考 文 献

- [1] Zhang Y, Vergely P, Mercier J L, et al. Kinematic history and changes in the tectonic stress regime during the Cenozoic along the Qinling and southern Tanlu fault zones [J]. *Acta Geologica Sinica: English Edition*, 1999, 73 (3): 264 ~ 274.
- [2] 邓起东, 程绍平, 闵伟, 等. 鄂尔多斯块体新生代构造活动和动力学的讨论 [J]. *地质力学学报*, 1999, 5 (3): 13 ~ 21.
- DENG Qi-dong, CHENG Shao-ping, MIN wei, et al. Discussion on Cenozoic tectonics and dynamics of Ordos Block [J]. *Journal of Geomechanics*, 1999, 5 (3): 13 ~ 21.
- [3] Zhang Y, Ma Y, Yang N, et al. Cenozoic extensional stress evolution in North China [J]. *Journal of Geodynamics*, 2003, 36 (5): 591 ~ 613.
- [4] 张培震, 郑德文, 尹功明, 等. 有关青藏高原东北缘晚新生代扩展与隆升的讨论 [J]. *第四纪研究*, 2006, 26 (1): 5 ~ 13.
- ZHANG Pei-zhen, ZHENG De-wen, YIN Gong-ming, et al. Discussion on late Cenozoic growth and rise of northeastern margin of the Tibetan Plateau [J]. *Quaternary Sciences*, 2006, 26 (1): 5 ~ 13.
- [5] 张岳桥, 廖昌珍, 施炜, 等. 鄂尔多斯盆地周边地带新构造演化及其区域动力学背景 [J]. *高校地质学报*, 2006, 12 (3): 285 ~ 297.
- ZHANG Yue-qiao, LIAO Chang-zhen, SHI Wei, et al. Neotectonic evolution of the peripheral zones of the Ordos Basin and geodynamic setting [J]. *Geological Journal of China Universities*, 2006, 12 (3): 285 ~ 297.
- [6] Yin A. Cenozoic tectonic evolution of Asia: A preliminary synthesis [J]. *Tectonophysics*, 2010, 488 (1/4): 293 ~ 325.
- [7] Chen X, Chi Z, Dong S, et al. Late Cenozoic sedimentation of Nihewan Basin, central North China and its tectonic significance [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2015, 114: 242 ~ 257.
- [8] Shi W, Cen M, Chen L, et al. Evolution of the late Cenozoic tectonic stress regime in the Shanxi Rift, central North China Plate inferred from new fault kinematic analysis [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2015, 114: 54 ~ 72.
- [9] Peltzer G, Tapponnier P, Zhang Z, et al. Neogene and Quaternary faulting in and along the Qinling Shan [J]. *Nature*, 1985, 317 (6037): 500 ~ 505.
- [10] 胡小猛, 杨景春. 临汾盆地中更新世中晚期以来的演化历史及成因分析 [J]. *上海师范大学学报: 自然科学版*, 2001, 30 (3): 72 ~ 76.
- HU Xiao-meng, YANG Jing-chun. The evolution and its contributing factors of Linfen Basin since middle Quaternary [J]. *Journal of Shanghai Teachers University: Natural Sciences*, 2001, 30 (3): 72 ~ 76.
- [11] Hu X, Li Y, Yang J. Quaternary paleolake development in the Fen River basin, North China [J]. *Geomorphology*. 2005, 65 (1/2): 1 ~ 13.
- [12] 胡小猛, 杨景春. 临汾盆地末次间冰期以来地貌演化的构造和气候响应 [J]. *地质力学学报*. 2001, 7 (2): 176 ~ 180.
- HU Xiao-meng, YANG Jing-chun. The response of the development of Fen River to Neotectonic movement and paleoclimate changes since last Non-Glaciation stage [J]. *Journal of Geomechanics*, 2001, 7 (2): 176 ~ 180.
- [13] 莫多闻. 山西临汾盆地晚新生代环境演变研究 [J]. *北京大学学报: 自然科学版*, 1991, 27 (6): 738 ~ 746.
- MO Duo-wen. The study on the late Cenozoic environment change of Linfen Basin, Shanxi Province [J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 1991, 27 (6): 738 ~ 746.
- [14] 邓起东, 苏宗正, 王挺梅, 等. 临汾盆地晚第四纪沉积与最新构造运动 [C] // *山西临汾地震研究与系统减灾*. 北京: 地震出版社, 1993: 111 ~ 129.

DENG Qi-dong, SU Zong-zheng, WANG Ting-mei, et al. Late Quaternary sedimentary and tectonic movement of Linfen Basin [C] // Linfen Earthquake Research and Systematic Disaster Reduction in Shanxi. Beijing: Seismological Press, 1993: 111 ~ 129.

- [15] 王乃梁, 杨景春, 夏正楷. 山西地堑系新生代沉积与构造地貌 [M]. 北京: 科学出版社, 1996.
WANG Nai-liang, YANG Jing-chun, XIA Zheng-kai. Cenozoic sedimentation and tectonic geomorphology of the Shanxi Grabens [M]. Beijing: Science Press, 1996.
- [16] 王成善, 李祥辉. 沉积盆地分析原理与方法 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2003.
WANG Cheng-shan, LI Xiang-hui. Sedimentary basin: From principles to analysis [M]. Beijing: Higher Education Press, 2003.
- [17] Molnar P. Mio-Pliocene growth of the Tibetan Plateau and evolution of East Asian climate [J]. *Palaeontologia Electronica*, 2005.
- [18] 张培震, 张会平, 郑文俊, 等. 东亚大陆新生代构造演化 [J]. *地震地质*, 2014, 36 (3): 574 ~ 585.
ZHANG Pei-zhen, ZHANG Hui-ping, ZHENG Wen-jun, et al. Cenozoic tectonic evolution of continental eastern Asia [J]. *Seismology and Geology*, 2014, 36 (3): 574 ~ 585.
- [19] Liu J, Zhang P, Lease R O, et al. Eocene onset and late Miocene acceleration of Cenozoic intracontinental extension in the North Qinling range-Weihe graben: Insights from apatite fission track thermochronology [J]. *Tectonophysics*, 2013, 584: 281 ~ 296.
- [20] Liu J, Zhang P, Zheng D, et al. Pattern and timing of late Cenozoic rapid exhumation and uplift of the Helan Mountain, China [J]. *Science China: Earth Sciences*, 2010, 53 (3): 345 ~ 355.
- [21] Song Y, Fang X, Torii M, et al. Late Neogene rock magnetic record of climatic variation from Chinese eolian sediments related to uplift of the Tibetan Plateau [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2007, 30 (2): 324 ~ 332.
- [22] 施雅风, 李吉均, 李炳元, 等. 晚新生代青藏高原的隆升与东亚环境变化 [J]. *地理学报*, 1999, 54 (1): 12 ~ 22.
SHI Ya-feng, LI Ji-jun, LI Bing-yuan, et al. Uplift of the Qinghai-Xizang (Tibetan) Plateau and east Asia environmental change during late Cenozoic [J]. *Acta Geographica Sinica*, 1999, 54 (1): 12 ~ 22.
- [23] 李吉均, 方小敏, 马海洲, 等. 晚新生代黄河上游地貌演化与青藏高原隆起 [J]. *中国科学 D 辑: 地球科学*, 1996, (4): 316 ~ 322.
LI Ji-jun, FANG Xiao-min, MA Hai-zhou, et al. Geomorphological evolution in the upper reaches of the Yellow River during the late Cenozoic [J]. *Science in China Series D: Earth Sciences*, 1996, (4): 316 ~ 322.
- [24] 李吉均, 文世宣, 张青松, 等. 青藏高原隆起的时代, 幅度和形式的探讨 [J]. *中国科学*, 1979, 6: 608 ~ 616.
LI Ji-jun, WEN Shi-xuan, ZHANG Qing-song, et al. The discussion of the uplift era, amplitude and form of the Tibet Plateau [J]. *Science in China*, 1979, 6: 608 ~ 616.
- [25] 申旭辉, 田勤俭, 丁国瑜, 等. 宁夏贺家口子地区晚新生代地层序列及其构造意义 [J]. *中国地震*, 2001, 17 (2): 156 ~ 166.
SHEN Xu-hui, TIAN Qin-jian, DING Guo-yu, et al. The late Cenozoic stratigraphic sequence and its implication to tectonic evolution, Hejiakouzi area, Ningxia Hui Autonomous Region [J]. *Earthquake Research in China*, 2001, 17 (2): 156 ~ 166.
- [26] Sun J. Long-term fluvial archives in the Fen Wei Graben, central China, and their bearing on the tectonic history of the India-Asia collision system during the Quaternary [J]. *Quaternary Science Reviews*, 2005, 24 (10/11): 1279 ~ 1286.
- [27] Su H, Wang J, Pan B, et al. Sequences and genesis of the Yellow River terraces from Sanmen Gorge to Kouma [J]. *Journal of Geographical Sciences*, 2009, 19 (3): 351 ~ 358.
- [28] Pan B, Wang J, Gao H, et al. Terrace dating as an archive of the run-through of the Sanmen Gorges [J]. *Progress in Natural Science*, 2005, 15 (12): 1096 ~ 1103.

- [29] Pan B, Wang J, Gao H, et al. Paleomagnetic dating of the topmost terrace in Kouma, Henan and its indication to the Yellow River's running through Sanmen Gorges [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2005, 50 (7): 657 ~ 664.
- [30] 陈兴强, 迟振卿, 闫臻, 等. 华北泥河湾盆地郝家台地区的沉积相组合特征: 以台儿沟东剖面为例 [J]. *地学前缘*, 2012, 19 (4): 227 ~ 238.
- CHEN Xing-qiang, CHI Zhen-qing, YAN Zhen, et al. Features of sedimentary facies of the Nihewan Basin in North China: An example from the Eastern Taiergou section [J]. *Earth Science Frontiers*, 2012, 19 (4): 227 ~ 238.

SEDIMENTATION OF THE PLIOCENE-PLEISTOCENE CHAIZHUANG SECTION IN THE CENTRAL OF LINFEN BASIN, NORTH CHINA AND ITS TECTONIC SIGNIFICANCE

CHEN Xing-qiang^{1,2}, SHI Wei¹, HU Jian-min¹, DONG Shu-wen³

(1. *Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China;*

2. *School of Earth and Space Science, Peking University, Beijing 100871, China;*

3. *School of Earth Science and Engineering, Nanjing University, Nanjing 210093, China)*

Abstract: Linfen Basin is located in middle-southern part of the Fenwei Graben systems, North China Craton. As a late Cenozoic rift basin, it was defined by the northeast-striking and east-striking normal faults. Comprehensive constraints of sedimentary facies and provenance of the Chaizhuang section in the middle part of the basin indicating that the section can be divided into three units with different source areas, with some loess on the top of the section. This may provide important clues for exploring the tectonic setting of the basin evolution. Unit 1 in Pliocene (5 ~ 2.6 Ma) was deposited in alluvial fan and eolian environment with the nearby sedimentary rocks (i. e. limestone) to be the main source rocks. Unit 2 in the lower part of the Pleistocene (2.6 ~ 1.0 Ma) was deposited in a delta environment with mixed source rocks shed from Taihang Mountains and Zhongtiao Mountains on the eastern and southeastern of the basin, which include the Archean-Palaeoproterozoic granitic gneiss and gneiss, Neoproterozoic-Paleozoic carbonatite, Mesozoic terrigenous clastic rocks and some granitoids. Unit 3 in the upper part of the Pleistocene (< 1.0 Ma) was deposited in a fluvial environment with the acidic magmatic rocks derived from the Taihang Mountains on the northeastern of the basin. Combined with the late Cenozoic regional regime evolution of the Shanxi Graben, we proposed that the northeast-striking normal faults were strongly active in Pliocene and influenced by the transtensional stress regime under NW-SE extension. The east-striking faults seem to be active in early Pleistocene (2.6 ~ 1.0 Ma) and were influenced by the NE-SW extension. From 1.0 Ma, the fluvial replaced the delta and lacustrine sedimentary environments. This indicates that the basin evolution is not as strong as in early Pleistocene which may be a result of the weakening of the extension. All these clues indicate that the main tectonic transition ages in Fenwei Graben systems influenced by the Tibetan in Pliocene-Pleistocene may include Late Miocene-early Pliocene (5.0 Ma), 2.6 Ma and 1.0 Ma.

Key words: Linfen Basin; sedimentary facies; Provenance; neotectonic; Tibetan Plateau