

文章编号: 1008-2786-(2017)6-874-08

DOI: 10.16089/j.cnki.1008-2786.000289

银川盆地第四纪沉积物粒度特征及其沉积环境

白雪^{1,2}, 杨振京^{1*}, 毕志伟¹, 孙玉芳³, 刘林敬¹

(1. 中国地质科学院水文地质环境地质研究所, 河北 正定 050803; 2. 河北地质大学, 河北 石家庄 050031;

3. 宁夏回族自治区水文环境地质勘察院, 宁夏 银川 750001)

摘 要: 本文通过对银川平原深达 900 米的 YE07 钻孔沉积物进行粒度分析, 结合其他钻孔的研究资料, 探讨了银川平原中更新世以来沉积环境的演化过程, 发现银川平原沉积环境的变化主要受气候和构造因素的影响, 其演化过程表现出一定的区域特点, 主要经历了以下的演化阶段: 722 ~ 664 ka B. P. 属于湖沼相沉积; 664 ~ 126 ka B. P. 沉积环境以河流相沉积为主, 水动力条件较强, 沉积动能较高; 126 ~ 11 ka B. P. 的沉积环境是以河流相为主的河湖交替相; 11 ka B. P. 以来沉积环境主要表现为河湖相沉积。银川平原沉积环境的研究为其水文地质研究和第四纪地层划分提供新的理论依据。

关键词: 第四纪; 粒度; 沉积环境; 银川平原

中图分类号: P534.63

文献标志码: A

银川平原作为沿黄经济区的主体, 是宁夏各种生产要素和经济活动最为集中的区域, 具有重要的战略地位^[1, 2]。银川平原第四纪沉积物成因类型多样, 沉积厚度变化巨大, 岩性岩相复杂多变, 许多学者做过银川平原的第四系研究, 建立了新的地层单元, 揭示了银川平原中更新世以来的古气候演化过程^[3, 4], 探讨了古人类的生活环境和古文化^[5, 6], 孙爱芝等人^[7]探讨了地球化学元素和粒度组成对于海原剖面古环境的指示意义, 刘平贵等人^[8]则利用化学元素组成揭示了银川平原由湖相到河流相沉积的演化趋势。但以往的研究多分布于浅覆盖区或银川平原北部, 本次研究利用的 YE07 孔位于灵武地区, 揭露深度达 900 m, 其研究结果可为研究区水文地质研究和第四纪地层划分提供新的理论依据。

沉积物的粒度特征与沉积环境的演化有很大关系, 因此对于沉积物的粒度分析有助于了解沉积环

境的演化规律^[9-11]。在此基础上, 本文针对银川平原 YE07 孔第四纪沉积物展开研究, 分析了沉积物的粒度特征, 探讨了银川平原中更新世以来沉积环境的变化特征。

1 研究区概况

银川平原位于宁夏回族自治区北部(105°50' ~ 106°56' E, 37°46' ~ 39°15' N), 围陷于贺兰山脉与鄂尔多斯台地、黄土高原之间, 地处西北内陆高原, 气候主要受西风带和夏季风控制, 属于气候敏感区, 典型的大陆性半湿润半干旱气候, 区内的植被类型主要表现为荒漠草原, 自然条件具有过渡性、复杂性和不均衡性^[12]。银川平原是在断陷盆地的基础上发育起来的, 基底构造复杂, 盆地中部断陷较深, 总体呈西陡东缓的巨型向斜, 新构造运动比较活

收稿日期(Received date): 2016-10-22; 改回日期(Accepted date): 2017-03-27

基金项目(Foundation item): 中国地质调查项目(1212011220937); 中国地质科学院基本科研业务费专项经费(YYWF201627) [Project of China Geological Survey (1212011220937); Basic Scientific Research Special Funds Project of Chinese Academy of Geological Sciences (YYWF201627)]

作者简介(Biography): 白雪(1992-), 女, 硕士研究生, 主要从事构造地质与第四纪环境研究[Bai Xue, female, M. Sc. candidate, research on tectonic geology and quaternary environment] E-mail: 739151325@qq.com

* 通讯作者(Corresponding author): 杨振京(1966-), 男, 研究员, 主要从事第四纪地质与环境研究[Yang Zhenjing, male, professor, research on quaternary environment] E-mail: yangzhenjing1966@163.com

跃^[13, 14]。银川平原主要由黄河冲积和贺兰山洪积形成,整体上呈北北东向延展的梭形,第四纪沉积物广泛分布,主要以冲积、冲湖积、洪积为主,沉积厚度几米到几千米不等,沉积物由南而北颗粒变细,层次增多,层厚减薄,分选性逐渐变好。黄河斜贯于银川平原,该段自早更新世初期形成,并在中更新世逐渐发展壮大^[15]。YE07 孔位于银川平原南部的灵武市梧桐树镇杨洪桥村,黄河以东的冲湖积平原上,地形坡降 13‰~3‰,钻孔深度 896.87 m(图 1)。

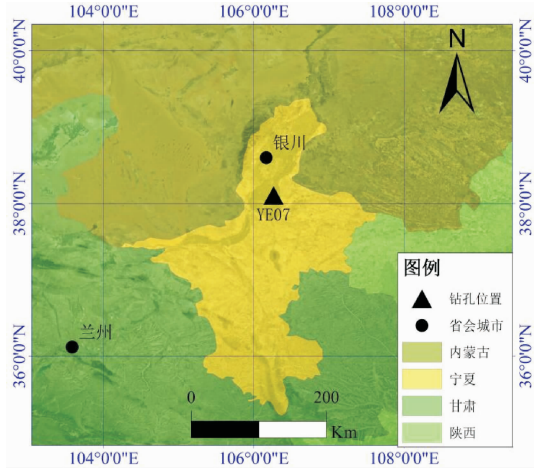


图 1 研究区地理位置及钻孔位置示意图

Fig. 1 A map showing locations of the study area and YE07

2 YE07 孔的年代地层

YE07 孔共获得 7 件测年数据为本次钻孔提供年代框架,其中中国地震局地质研究所地震动力学国家重点实验室完成 ESR 样品 6 件,国土资源部地下水科学与工程重点实验室完成¹⁴C 样品 1 件(表 1),图 2 中显示了年代与钻孔深度的关系,曲线拟合较好,测年数据可信度较高。钻孔沉积物主要为厚层的细砂和粉砂,综合钻孔岩芯的颜色、结构等特征,野外描述将沉积物划分出 22 层,结合测年数据,将剖面两层较厚砾石层的底部确定为全新世和晚更新世底界,全新世底界 45.9 m,晚更新世底界 261.43 m。根据钻孔岩性、平均粒径、粘土含量、砂含量等粒度参数的变化特点,可以将钻孔沉积物划分为 I (896.87 ~ 820.24 m)、II (820.24 ~ 261.43 m)、III (261.43 ~ 45.9 m)、IV (45.9 ~ 0 m) 四个沉积阶段(图 3)。I 阶段沉积物细粒组份较多,以灰褐色粘土与黄褐色粉砂互层为主,根据最老的 ESR 年龄可以确定其形成于中更新世早中期前后。II、III 阶段的沉积物主要为灰绿色中细砂,顶部 ESR 年

龄发生倒转,明显偏离拟合曲线,推测其可能由于当时水动力条件较强,而发生沉积物再搬运再沉积的现象导致的,该阶段沉积于中更新世中后期,最老的测试年龄是 645 ka B. P.。IV 阶段¹⁴C 的测试年龄为 3.65 ka B. P.,属于全新世的沉积物。依据拟合曲线,通过各阶段的年代内插外延,可以得出钻孔的大致年代与深度关系。

表 1 YE07 孔年代数据表
Tab. 1 ¹⁴C and ESR dating data of YE07

测试方法	测年样品	深度(m)	年龄(ka)
¹⁴ C	木屑	45	3.65 ± 0.64
ESR	粉细砂	206.50	314 ± 35
ESR	粉砂	292	293 ± 29
ESR	细砂	350	311 ± 37
ESR	粉细砂	476	495 ± 64
ESR	粉细砂	728	594 ± 113
ESR	细砂	795	645 ± 77

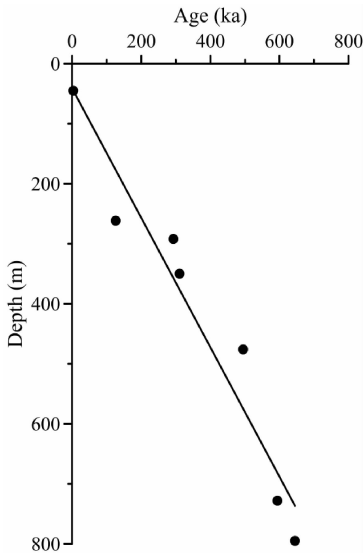


图 2 YE07 孔年代与深度关系示意图

Fig. 2 Relationship between depth and age in YE07

3 粒度特征分析

3.1 实验方法

钻孔样品取样间距不等,共采集粒度样品 329 个。粒度分析的方法:取样品 3~5 g,放入 100 ml 的烧杯中,注入 10 ml 浓度为 2:1 的双氧水溶液,进行加热,去除样品中的有机质并注入蒸馏水防止烧

干,液体中不出现小气泡时再注入 10 ml 浓度为 2:1 的盐酸溶液,待不产生气体时注入蒸馏水,溶液沸腾时取下,使其能够充分的与样品中的碳酸盐反应。烧杯降温后,注入 50 ml 左右的蒸馏水,静止 12 h,抽取上部分清液,完成以上步骤后注入 10 ml ($36 \times 10^{-3} \text{g/ml}$) 的偏磷酸钠分散剂,搅拌均匀将烧杯置于超声波振荡仪中,震荡十分钟左右,使用 Mastersize 2000 粒度仪进行测量(粒度测试范围 $< 2 \text{ mm}$)。

依据测试结果计算样品的平均值、标准差、砂含量以及粘土含量等参数^[16],并绘制频率曲线、概率累积曲线等。

3.2 粒度参数特征

粒度参数能够综合反映沉积物的粒度特征,是反映沉积环境的量化指标,常用的粒度参数有平均粒径、标准偏差、偏度、尖度^[17, 18]。YE07 孔的粒度特征如图 3,沉积物岩性以砂为主,含有少量的粗砂组分以及多层粘土层,砂含量为 46%,粘土含量为 10%。沉积物平均粒径在 $0.51 \sim 8.14 \Phi$ 之间,平均粒径 3.86Φ ,表明沉积物多是以中、细砂为主的较粗组分,偏态位于 $-0.51 \sim 2.81$ 之间,以正偏态为主,其次为微正偏、正态,标准差平均值 2.11,分选

程度总体较好,频率曲线的峰态较窄,最大值达到 14.1,粒度分布比较集中,沉积的动力条件比较单一,河流相沉积为主。

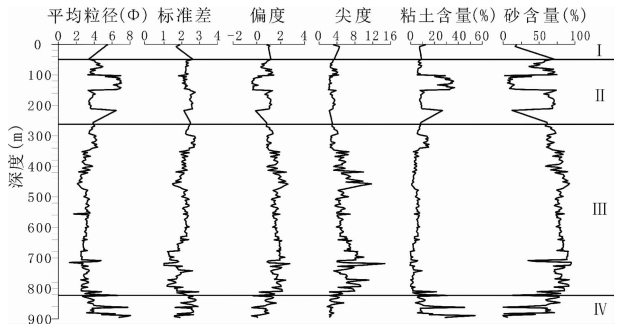


图 3 YE07 孔沉积物粒度参数

Fig. 3 Sedimentary grain size parameters of YE07

3.3 粒度分布曲线特征

沉积环境的改变导致频率分布曲线和概率累计曲线具有不同的形态特征,分布曲线的特征则可以反映出沉积物的搬运方式和沉积作用形式的差别^[9, 19]。YE07 孔的分布曲线特征如图 4,根据粒度特征可将 II、III 阶段的沉积划分为三个次级沉积阶段。

IV 阶段: 722 ~ 664 ka B. P. (896.87 ~ 820.24 m), 沉积物为粘土和泥质粉砂与中细砂互层, 粘土

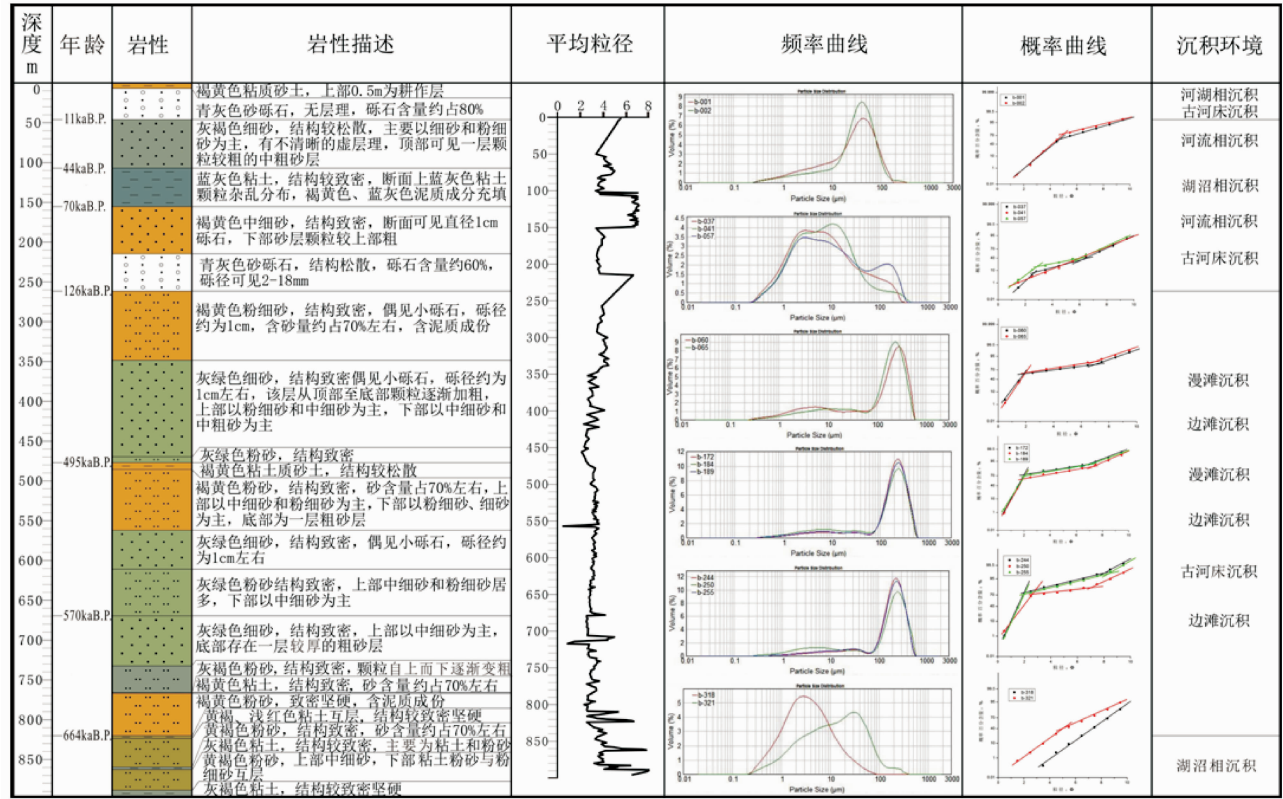


图 4 YE07 钻孔柱状图与样品频率曲线、概率累积曲线对比图

Fig. 4 Lithological characteristics of YE07 core, frequency curves and probability cumulative curves of samples

层平均粒径的变化范围 5.6 ~ 8.14 Φ , 颗粒很细, 分选一般, 偏度属正态 - 微正偏, 频率曲线以单峰为主, 但双峰、多峰也有出现, 峰态中等偏宽, 粒径分散, 概率累积曲线以一、二段式为主, 二段式截点介于 4 ~ 6 Φ 之间。砂层平均粒径 3.76 Φ , 粒径中等, 标准差 2.56, 分选一般, 偏度平均值 0.92, 微正偏态, 频率曲线为次峰不明显的双峰, 尖度平均值 2.88, 峰态较宽, 概率累积曲线以三段式为主, 第一截点和第二截点分别位于 0 ~ 2 Φ 、6 ~ 8 Φ 之间。本阶段沉积物水动力条件很弱, 沉积环境比较复杂。

Ⅲ - 3 阶段: 664 ~ 570 ka B. P. (820.24 ~ 669.51 m), 下部 (732.39 ~ 820.24 m) 砂含量 79.37%, 粘土含量约 3.47%, 平均粒径 3.08 Φ , 粒径中等, 标准差 1.76, 分选较好, 偏度 1.66, 正偏态, 尖度 3.47, 频率曲线以单峰为主, 众数 200 μm , 峰态中等, 概率累积曲线以三段式为主, 第一截点 \leq 2 Φ , 第二截点位于 6 ~ 8 Φ 之间。上部 (669.51 ~ 732.39 m) 粘土含量非常低, 含粗砂的夹层, 颗粒很粗, 平均粒径 2.97 Φ , 分选性好, 正偏态, 尖度 7.1, 频率曲线峰态尖锐, 以单峰为主, 概率曲线以二、三段式为主, 沉积物水动力条件强, 沉积动能大。

Ⅲ - 2 阶段: 570 ~ 495 ka B. P. (669.51 ~ 476.9 m), 沉积物以中砂、细砂为主, 粒径的变化范围在 0.51 ~ 3.62 Φ 之间, 平均粒径 3.12 Φ , 粒径中等, 标准差 2.16, 分选性较好, 偏度在 1.21 ~ 2.38 之间变化, 属于正偏态, 尖度 5.03, 频率曲线以单峰为主, 峰态较窄, 众数 200 μm , 粗粒组份含量较高, 概率曲线属于粗三段型。610.9 ~ 669.51 m 沉积物粘土含量相对较低, 476.9 ~ 610.9 m 的细粒组份则有所增加, 频率曲线的峰态中等偏窄, 粒径分布比较集中, 中部有粗砂的夹层, 说明该段沉积物的水动力条件在一定历史时期发生过明显的改变。

Ⅲ - 1 阶段: 495 ~ 126 ka B. P. (476.9 ~ 261.43 m), 下部 (495.35 ~ 348.59 m) 沉积物砂含量高达 81.11%, 平均粒径 2.86 Φ , 粒径较粗, 标准差 1.98, 分选较好, 偏度位于 0.72 ~ 2.73 之间, 属于正偏态, 频率曲线以单峰为主, 尖度 6.06, 峰态比较窄, 粒度分布集中, 概率曲线以三段型为主, 第一截点和第二截点分别位于 0 ~ 2 Φ 、6 ~ 8 Φ 之间。上部的沉积物粘土含量较高, 平均粒径值 3.97 Φ , 粒径中等, 分选一般, 正偏态, 峰态中等, 频率曲线为次峰不明显的双峰, 粒径分布范围较广, 概率累积曲线以二段型为主, 截点在 0 ~ 2 Φ 。本段水动力条件逐渐由强减

弱, 细粒物质沉积含量增加。

Ⅱ - 3 阶段: 126 ~ 70 ka B. P. (261.43 ~ 155.63 m), 214.35 ~ 261.43 m 沉积物砾石层夹泥砂质充填, 砾石磨圆很好, 分选性好, 频率曲线呈多峰。上部的沉积物平均粒径值 3.68 Φ , 粒径中等, 砂含量 68.0%, 粘土含量约 9.56%, 标准差 2.54, 分选性一般, 偏度位于 0.74 ~ 1.38 之间, 平均值 1.02, 属于微正偏态, 频率曲线特征为次峰不明显的双峰, 尖度在 2.47 ~ 3.77 之间, 峰态中等偏宽, 粒径分布范围较广, 概率累积曲线为粗二段型或粗三段型。沉积物为多种来源, 沉积环境水动力条件较强。

Ⅱ - 2 阶段: 70 ~ 44 ka B. P. (155.63 ~ 106.86 m), 该段沉积物以粘土粉砂、粉砂为主, 粒径变化范围 6.16 ~ 7.09, 平均粒径值 6.66 Φ , 粒径较 Ⅱ - 3 阶段明显变细。标准差位于 1.92 ~ 2.42 之间, 平均值 2.18, 分选性一般, 偏度为 -0.2, 属于正态分布, 尖度 2.31, 频率曲线峰态较宽, 以多峰为主, 粒径分散, 概率累积曲线以一、三段型为主, 一段式的截点大于 2 Φ , 三段式第一截点和第二截点分别位于 2 ~ 4 Φ 、6 ~ 8 Φ 之间, 悬移总体的含量较高, 水动力条件很弱, 沉积环境比较复杂。

Ⅱ - 1 阶段: 44 ~ 11 ka B. P. (106.86 ~ 45.9 m), 沉积物颗粒变粗, 平均粒径值 4.13 Φ , 砂含量 58.72%, 粘土含量约 8.34%, 标准差 2.23, 分选性一般, 偏度 0.96, 属于正偏态, 尖度 3.24, 频率曲线特征以双峰为主, 主峰的粒级为中细砂, 次峰的粒级为粉砂, 概率累积曲线为粗二段型, 截点位于 0 ~ 2 Φ , 发育较好的悬浮总体, 具有河流沉积的特点, 水动力条件较强。

I 阶段: 11kaB. P. 至今 (45.9 ~ 0 m), 顶部是一层薄的耕作土, 底部是一层厚三十多米的砾石层夹泥砂质充填, 砾石磨圆度高, 分选性好。上部岩性以粉砂为主, 平均粒径 5.35 Φ , 粒径较细, 标准差位于 1.65 ~ 1.89 之间, 平均值为 1.76, 分选性较好, 偏度 1.05, 属于正偏态, 尖度 3.96, 频率曲线峰态中等, 以单峰为主, 粒级比较集中, 概率曲线为细二段式, 截点大于 4 Φ , 水动力条件较弱。

4 银川平原第四纪沉积环境演化

根据 YE07 孔沉积物的粒度特征, 可以识别出河湖相、湖沼相、漫滩相、边滩相、古河床沉积和河流相 6 种沉积相, 反映出中更新世以来银川平原沉积

环境的改变。

722 ~ 664 ka B. P. (Ⅳ段), 沉积物存在两个明显的自下而上颗粒逐渐变细的韵律层, 分选性一般, 粒径分布范围较广, 水动力条件不稳定, 表现为湖沼相沉积, 洪泛期会接受河流的补给, 河流或降雨携带的颗粒较粗的沉积物进入湖盆, 流速减慢, 水动力减弱, 逐渐沉积, 使其沉积环境发生改变。

664 ~ 126 ka B. P. (Ⅲ段), 沉积物以中砂和细砂为主, 分选性较好, 粒度分布比较集中, 可分为三个次级沉积阶段。664 ~ 570 ka B. P., 该时期的沉积物颗粒逐渐变粗, 砂含量逐渐增大, 分层明显, 表明沉积的水动力条件不断加强。下部沉积物随着水动力条件的改变, 沉积的细粒物质逐渐减少, 中砂、细砂逐渐增加, 形成河流的边滩沉积。后期可能受河流下切作用的影响, 导致河流作用下形成的边滩沉积演变成古河床沉积, 砂含量很高, 沉积物主要是中粗砂。570 ~ 495 ka B. P. 和 495 ~ 256 ka B. P. 的沉积特点属于边滩沉积 - 漫滩沉积, 可看做两个大的沉积旋回, 随着水动力条件的减弱, 受河流沉积作用河床侧移而形成边滩沉积和漫滩沉积。沉积物的沉积环境相对稳定, 沉积动能相对较高。黄河的原始河道形成后, 湖盆贯通, 可能导致本段沉积环境发生较大的改变。

126 ~ 11 ka B. P. (Ⅱ段), 沉积物粒径范围广, 分选一般, 下部沉积物为磨圆较好夹泥砂质充填物的砾石层, 认为其属于古河床沉积。126 ~ 70 ka B. P. 和 44 ~ 11 ka B. P. 沉积物为粉砂和细砂, 分选一般, 频率曲线为次峰不明显的双峰, 并发育较好的悬移总体, 水动力条件比较稳定, 属于河流相沉积。70 ~ 44 ka B. P. 细粒组份含量较高, 粒度分散, 水动力条件较弱, 粘土含量可达百分之三十, 众数值 2 μm , 属于湖沼相沉积。黄河在银川平原来回摆动, 形成广阔的冲积平原, 自晚更新世以来曾多次改道, 许多地层都留有牛轭湖的沉积特征^[20], 湖沼相沉积可能是河流改道而形成的牛轭湖或沼泽地的沉积特征。

11 ka B. P. 至今属于全新世沉积物, 下部沉积物为磨圆较好夹泥砂质充填物的砾石层, 应属于古河床沉积。冰后期气候温暖, 上部沉积物主要表现为河湖相的沉积特征, 我们认为河湖相沉积属于水动力较弱的河流相沉积, 但沉积物分选性较好, 粒度分布相对比较集中, 细砾物质可能指示了风成沉积作用的结果, 气候温暖偏干, 降水量少, 接近现代沉积。

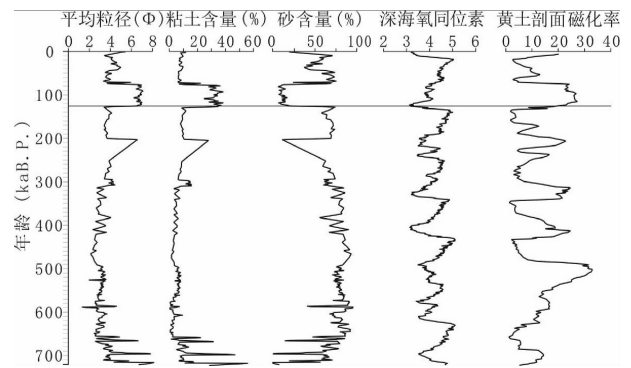


图5 YE07 孔粒度参数与深海氧同位素曲线和黄土-古土壤磁化率曲线对比

Fig. 5 Comparison of grain size records in YE07 with deep-sea oxygen isotope curve and magnetic susceptibility of loess - paleosol

YE07 孔未见第四纪底界, 底部年龄为 722 ka B. P., 处于中更新世早中期, 该时期以来深海氧同位素曲线记录了多个气候冷暖变化旋回, 黄土剖面的磁化率曲线可以与深海氧同位素进行很好的对比, 明确地指示出历史时期气候的变化规律, 对全球的气候变化也做出很好的响应^[21-23]。将粒度特征曲线与深海氧同位素曲线对比发现, 粘土含量较高的阶段一般对应古气候相对温暖的时期, 砂含量较高的阶段一般对应古气候相对寒冷的时期。

晚更新世以来该特征比较明显, MIS3 阶段细粒物质含量较高, 粘土平均含量可达 40%, MIS2 阶段和 MIS4 阶段气候寒冷, 砂含量较高, 随着气候的波动, 沉积环境发生改变, 并且随着细粒物质的增加, 指示了风积作用的加强^[24], 说明沉积环境受气候影响比较明显。银川平原沉积物孢粉组合特征表明^[25, 26], 晚更新世银川平原气候波动明显, 主要经历了冷偏干—温干—冷干—温暖偏湿的演化过程: 末次冰期, 植被覆盖度较低, 固土能力较差, 冬季风相对增强, 风蚀作用逐渐加强^[27, 28], 沉积物颗粒较粗; 间冰期气候相对温暖, 细粒物质含量较高, 沉积环境是以河流相沉积为主的河湖交替相; 全新世气候向温干方向发展, 主要表现为河湖相沉积特征, 细粒物质的增加, 海原剖面的粒度特征同样指示, 随着末次冰期寒冷干旱气候逐渐转暖, 其剖面的粒度逐渐变细^[7]。中更新世沉积物的沉积环境受气候因素影响较小, 一方面, 钻孔取样主要集中在砂层, 导致下部沉积物粒度变化特征不太明显; 另一方面, 第四纪以来银川平原断层活动减少, 处于整体拗陷, 盆地的沉降运动会多期的河道砂质沉积物堆积,

形成很厚的砂层^[29, 30]。该沉积特征同样体现在银川平原北部的Y1孔钻孔沉积物中,中更新世以来,该区域属于典型的深水湖相沉积,受盆地沉降速率的影响,湖水变浅,沉积物的颗粒变粗,晚更新世黄河的贯通使盆地内湖水外泄,其沉积环境转变为以河流相为主的河湖交替相,随着季风气候作用加强,气候向暖干方向发展,导致其沉积环境不稳定,周期减小,最后逐渐演变为河流相沉积^[8]。YE07孔和Y1孔沉积物均表明银川平原的沉积环境演化是盆地的构造运动、河流的改道作用和下切作用以及气候环境共同作用的结果,中更新世以来沉积环境对于气候因素的响应比较明显,使得不同时期银川平原形成不同的沉积特征,同时银川平原地形地貌的分布特征和盆地沉降速率的差异性导致银川平原的沉积特征又具有区域特点,在一定程度上对全球气候变化做出响应。

5 结论

根据银川平原YE07孔粒度特征,结合其他钻孔沉积物特征,分析了银川平原中更新世以来的环境演化过程。中更新世以来,银川平原沉积环境的水动力条件经历多次明显的强弱变化的过程,沉积环境经历了以下的演化阶段,722~664 ka B. P. 属于湖沼相沉积,664~126 ka B. P. 沉积环境以河流相沉积为主,演化过程经历了边滩沉积-古河床沉积-边滩沉积-漫滩沉积-边滩沉积-漫滩沉积,126~11 ka B. P. 的沉积环境以河流相为主的河湖交替相沉积,经历了古河床沉积-河流相沉积-湖沼相沉积-河流相沉积的演化过程,11 ka B. P. 至今,沉积环境为古河床沉积-河湖相沉积。

银川平原中更新世以来的沉积环境以河流相沉积为主,受气候和构造因素的影响,水动力条件发生改变,其沉积环境呈现不同的沉积特征。但银川平原区域自然条件复杂,沉积环境的影响因素较多,演化规律具有区域特点,其演化特征是以某一影响因素为主的分析。YE07孔沉积物的粒度特征初步反映出研究区沉积环境的演变特征,可作为银川平原第四纪区域地质研究的依据,有助于银川平原地层划分和水文地质研究工作的进一步开展。

致谢:资料分析绘图制作得到兰州大学宁凯博士,地层年代框架建立得到中国地质科学院水文地质

环境地质研究所王建中副研究员的指导,特此感谢!

参考文献(References)

- [1] 杨美玲. 宁夏沿黄经济区区域发展研究[J]. 农村经济与科技, 2011, 22(12): 5-8 [YANG Meiling. Development of Ningxia along the Yellow River economic zone [J]. Rural Economy and Science, 2011, 22(12): 5-8]
- [2] 孙根年, 韩宇平. 宁夏滥泥河流域古滑坡地貌对村落建设及农业土地利用的正面影响[J]. 山地学报, 2000, 18(2): 110-114 [SUN Gennian, HAN Yuping. Profitable influence of ancient landslide on village construction and land use in Lanni River drainage [J]. Mountain Research, 2000, 18(2): 110-114]
- [3] 童国榜, 石英, 郑宏瑞, 等. 银川盆地第四纪地层学研究[J]. 地层学杂志, 1998, 22(1): 44-53 [TONG Guobang, SHI Ying, ZHENG Hongrui, et al. Quaternary Stratigraphy in Yinchuan Basin [J]. Journal of Stratigraphy, 1998, 22(1): 44-53]
- [4] 杨振京, 童国榜, 刘志明, 等. 银川盆地中更新世以来的孢粉组合与古环境变化[J]. 地球学报, 2001, 22(4): 369-374 [YANG Zhenjing, TANG Guobang, LIU Zhiming, et al. Pollen assemblages and paleoenvironment changes in Yinchuan Basin since Mid-Pleistocene [J]. Acta Geoscientia Sinica, 2001, 22(4): 369-374]
- [5] 高星, 袁宝印, 裴树文, 等. 水洞沟遗址沉积-地貌演化与古人类生存环境[J]. 科学通报, 2008, 53(10): 1200-1206 [GAO Xing, YUAN Baoyin, PEI Shuwen, et al. Analysis of sedimentary-geomorphologic variation and the living environment of hominids at the Shuidonggou Paleolithic site [J]. Chinese Science Bulletin, 2008, 53(10): 1200-1206]
- [6] LIU Decheng, GAO Xing, LIU Enfa, et al. The depositional Environment at Shuidonggou Locality 2 in Northwest China at similar to 72-18 kaBP [J]. Acta Geologica Sinica, 2012, 86(6): 1539-1546
- [7] 孙爱芝, 韩晓丽, 强杨, 等. 海原剖面12.5-7.2kaBP期间化学元素与粒度组成的古环境意义[J]. 干旱区资源与环境, 2011, 25(7): 146-149 [SUN Aizhi, HAN Xiaoli, QIANG Yang, et al. The grainsize and the chemical elements at the Haiyuan section implicating the paleoenvironment during 12.5 to 7.2 kaB. P. [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2011, 25(7): 146-149]
- [8] 刘平贵, 范淑贤, 李雪菊. 银川盆地第四纪地球化学元素特征及沉积环境[J]. 地质力学学报, 2000, 6(4): 43-50 [LIU Pinggui, FAN Shuxian, LI Xueju. The geochemical element characteristics and paleosedimentary environment of the Quaternary deposits in Yinchuan Basin [J]. Journal of Geomechanics, 2000, 6(4): 43-50]
- [9] 李其华. 沉积物粒度在古环境重建中的应用[J]. 巢湖学院学报, 2003, 5(3) [LI Qihua. Application of Deposit's Size to Reconstruction of Ancient Environment [J]. Journal of Chaohu college, 2003, 5(3)]
- [10] 毕志伟, 杨振京, 徐建明, 等. 塔里木盆地腹地第四纪沉积物粒度特征及其沉积环境[J]. 干旱区地理, 2009, 32(3): 335-339 [BI Zhiwei, YANG Zhenjing, XU Jianming, et al. Grain-size

- characteristics and sediment environment of Quaternary sediments in the central Tarim basin [J]. *Arid Land Geography*, 2009, **32** (3): 335–339
- [11] ZHENG Yinghua, WU Yongqiu, LI Sen, et al. Grain-size characteristics of sediments formed since 8600 yr B. P. in middle reaches of Yarlung Zangbo River in Tibet and their paleoenvironmental significance [J]. *Chinese Geographical Science*, 2009, **19**(2): 113–119
- [12] 刘金韬, 王晓林, 夏薇. 宁夏沿黄经济区地质环境承载力分析及预测[J]. *地球科学前沿*, 2013, **03**(2): 106–111 [LIU Jintao, WANG Xiaolin, XIA Wei. Analysis and Prediction of Geo-Environmental Carrying Capacity in Economic Zone along the Yellow River [J]. *Advances in Geosciences*, 2013, **03**(2): 106–111]
- [13] 王美芳, 李慧勤. 宁夏银川盆地地质构造演化特征[J]. *科技资讯*, 2008(3): 148–149 [WANG Meifang, LI Huiqin. Evolution characteristics of geological structure in Yinchuan Basin [J]. *Science & Technology Information*, 2008(3): 148–149]
- [14] 李庶波, 张珂, 章桂芳, 等. 基于 GIS 技术研究贺兰山、罗山洪积扇特征与山脉抬升关系[J]. *山地学报*, 2015, **33**(3): 268–278 [LI Shubo, ZHANG Ke, ZHANG Guifang, et al. The Relationship between Alluvial Fans and Mountain Uplift in Helanshan and Luoshan Mountains in Northwestern China based on GIS Technique [J]. *Mountain Research*, 2015, **33**(3): 268–278]
- [15] 吴加敏, 王润生, 姚建华. 黄河银川平原段河道演变的遥感监测与研究[J]. *国土资源遥感*, 2006, **18**(4): 36–39 [WU Jiamin, WANG Runsheng, YAO Jianhua. Remote sensing monitoring and study on the change of the Yellow River course in Yingchuan Plain sector [J]. *Remote Sensing for Land & Resources*, 2006, **18**(4): 36–39]
- [16] 黄思静. 用 EXCEL 计算沉积物粒度分布参数[J]. *成都理工大学学报*, 1999, **26**(2): 98–100 [HUANG Sijing. Calculation of grain size distribution parameters of sediments by Microsoft EXCEL [J]. *Journal of Chengdu University of Technology*, 1999, **26**(2): 98–100]
- [17] 卢连战, 史正涛. 沉积物粒度参数内涵及计算方法的解析[J]. *环境科学与管理*, 2010, **35**(6): 54–60 [LU Lianzhan, SHI Zhengtao. Analysis for Sediment Grain Size Parameters of Connotations and Calculation Method [J]. *Environmental Science and Management*, 2010, **35**(6): 54–60]
- [18] 王秋良, 李长安, 谢远云, 等. 江陵剖面沉积物的粒度特征及其古气候意义[J]. *中国地质*, 2006, **33**(6): 1406–1410. WANG Qiuliang, LI Changan, XIE Yuanyun, et al. Grain-size characteristics of sediments in the Jiangling section and their paleoclimatic significance [J]. *Geology in China*, 2006, **33**(6): 1406–1410
- [19] SUN Donghuai, J. Bloemendal, D. K. Rea, et al. Grain-size distribution function of polymodal sediments in hydraulic and aeolian environments, and numerical partitioning of the sedimentary components [J]. *Sedimentary Geology*, 2002, **152**(3–4): 263–277
- [20] 汪一鸣. 银川平原湖沼的历史变迁与今后利用方向[J]. *干旱区资源与环境*, 1992, **6**(1): 47–57 [WANG Yiming. The historical changes and future utilization of lakes in Yingchuan [J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 1992, **6**(1): 47–57]
- [21] 康安, 朱筱敏, 韩德馨, 等. 柴达木盆地第四纪孢粉组合及古气候波动[J]. *地质通报*, 2003, **22**(1): 12–15 [KANG An, ZHU Xiaomin, HAN Dexin, et al. Quaternary sporopollen assemblages and paleoclimatic fluctuation in the Qaidam basin [J]. *Geological Bulletin of China*, 2003, **22**(1): 12–15]
- [22] GUAN Qingyu, PAN Baotian, LI Na, et al. A warming interval during the MIS 5a/4 transition in two high-resolution loess sections from China [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2010, **38**(6): 255–261
- [23] LI Bingcheng, SUN Jianzhong. Vegetation and climate environment during the late Pleistocene in Loess Plateau, China [J]. *Geographical Research*, 2004, **23**(5): 641–648
- [24] AN Zhisheng, John E. Kutzbach, WARREN L. Prell, et al. Evolution of Asian monsoons and phased uplift of the Himalaya-Tibetan plateau since Late Miocene times [J]. *Nature*, 2001, **411**(6833): 62–66
- [25] 童国榜, 石英, 范淑贤, 等. 银川盆地晚第四纪环境特征[J]. *地球科学*, 1995, **20**(4): 421–426 [TONG Guobang, SHI Ying, FAN Shuxian, et al. Environment features of Yinchuan basin in Late Quaternary period [J]. *Journal of Earth Science*, 1995, **20**(4): 421–426]
- [26] 刘德成, 高星, 王旭龙, 等. 宁夏银川水洞沟遗址 2 号点晚更新世晚期孢粉记录的古环境[J]. *古地学报*, 2011, **13**(4): 467–472 [LIU Decheng, GAO Xing, WANG Xulong, et al. Palaeoenvironmental changes from sporopollen record during the later Late Pleistocene at Shuidonggou locality 2 in Yinchuan, Ningxia [J]. *Journal of Palaeogeography*, 2011, **13**(4): 467–472]
- [27] 施美娟. 彭阳剖面 800Ka 以来的古气候变化研究[D]. 青岛大学, 2008. [SHI Meijuan. Study on the paleoclimate change in the Pengyang section over the past 800,000 years [D]. Qingdao University, 2008]
- [28] SUN Youbin, CHEN Jun, Steven C. Clemens, et al. East Asian monsoon variability over the last seven glacial cycles recorded by a loess sequence from the northwestern Chinese Loess Plateau [J]. *Geochemistry Geophysics Geosystems*, 2006, **7**(12): 97–112
- [29] 黄兴富, 施炜, 李恒强, 等. 银川盆地新生代构造演化: 来自银川盆地主边界断裂运动学的约束[J]. *地学前缘*, 2013, **20**(4): 199–210 [HUANG Xingfu, SHI Wei, LI Hengqiang, et al. Cenozoic tectonic evolution of the Yinchuan Basin: Constraints from the deformation of its boundary faults [J]. *Earth Science Frontiers*, 2013, **20**(4): 199–210]
- [30] 王随继, 李玲. 黄河银川平原段河岸摆动速率变化及原因[J]. *地理学报*, 2014, **69**(3): 399–408 [WANG Suiji, LI Ling. Lateral shift rate variation of the river banks in the Yinchuan Plain reach of the Yellow River and its causes [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2014, **69**(3): 399–408]

Grain Size Characteristics and Its Depositional Environment of Quaternary Sediments in Yinchuan Plain, Northwest China

BAI Xue^{1,2}, YANG Zhenjing¹, BI Zhiwei¹, SUN Yufang³, LIU Linjing¹

(1. *Institute of Hydrogeology and Environmental Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Shijiazhuang 050803, China;*

2. Hebei GEO University, Shijiazhuang 050031, China;

3. Institute of Hydrogeology and Environmental Geology of Ningxia, Yinchuan 750001, China)

Abstract: Based on grain size analysis of the sediment from Borehole YE07 at the depth of 900 m in the Yinchuan Plain of Northwest China and with reference to previous data, the evolution process of depositional environment in the Yinchuan Plain was studied since the middle Pleistocene. The results indicated that the main changes of depositional environment in the study area were mainly controlled by climate, geological structures, and evolution process, which showed distinct regional characteristics underwent the following evolution stages: 1) lacustrine deposition during 722 – 664 ka B. P. ; 2) mainly fluvial deposition during 664 – 126 ka B. P. , with stronger hydrodynamic conditions and higher kinetic energy; 3) fluvio-lacustrine alternating deposition with the fluvial deposition as the main during 126 – 11 ka B. P. ; and 4) mainly fluvio-lacustrine deposition since 11 ka B. P. . This research provided a new theoretical foundation for the study of hydrogeology and the division of quaternary sediments in the Yinchuan Plain.

Key words: Quaternary; grain size; sedimentary environment; Yinchuan Plain