

文章编号: 1000-0550(2009) 01-0048-09

冀中拗陷古近系沉积层序特征及其沉积体系的演化

纪友亮¹ 赵贤正² 单敬福¹ 张瑞锋² 王峰³

(1 中国石油大学(北京)资源与信息学院 北京 102249 2 中国石油华北油田分公司 河北任丘 062550 3 上海理工大学机械学院 上海 200093)

摘要 冀中拗陷古近系是由平行、微角度或角度不整合面所限定的一个区域性(二级)的沉积层序,其内可划分出 3 个二级层序、13 个三级层序和数十个四级、五级的层序单元。整体上显示为三套从水进到水退的沉积旋回,可识别出冲积扇—河流、湖泊—湖泊三角洲以及河流等三套沉积相组合。构造、气候、物源供给及湖平面的变化等各地质要素之间严格控制着拗陷内部层序的构成及其充填响应模式。构造沉降过程等分析过程揭示了沉积拗陷经历了两次沉积速率变化的演化旋回,即两个不同的沉降阶段。第一阶段为古近纪古新世的缓慢加速沉降、始新世早中期的快速沉降和始新世晚期的缓慢沉降;第二阶段为始新世末期的缓慢加速沉降、渐新世早期的快速沉降和渐新世中晚期的缓慢加速沉降。这两个阶段的演化过程沉降速率分别为 $100\sim 110\text{ m}\cdot\text{Ma}^{-1}$ 、 $205\sim 220\text{ m}\cdot\text{Ma}^{-1}$ 、 $40\sim 50\text{ m}\cdot\text{Ma}^{-1}$ 、 $30\sim 40\text{ m}\cdot\text{Ma}^{-1}$ 、 $135\sim 142\text{ m}\cdot\text{Ma}^{-1}$ 和 $10\sim 20\text{ m}\cdot\text{Ma}^{-1}$ 。古近纪扭动作用揭示了拗陷左旋运动使其雁列构造在沙四末和东营末为北北东或北东方向展布;右旋运动使其雁列构造在左旋交替过程中产生,但其产生的构造的规模要比左旋构造小得多,一般表现为北西—北北西向构造。这种扭动作用的表现形式是南北对扭,并最终造就了拗陷东西向两凹夹一隆的构造格局。

关键词 冀中拗陷 构造演化 充填响应 构造沉降

第一作者简介 纪友亮 男 1962 年出生 教授 博士生导师 石油地质 E-mail jiyouliang@cup.edu.cn

中图分类号 P512.2 TE121.3 **文献标识码** A

0 前言

沉积盆地特别是断陷盆地的层序地层格架及其充填响应过程研究仍然是石油地学的前沿领域之一^[1,2]。众所周知,构造作用、湖平面变化、气候条件和物源供给丰度等是盆地充填演化的主控因素,但在不同的地质背景下,这些主要控制因素的相互作用对盆地内部的层序叠加样式及盆地沉积充填格局的控制是非常复杂的,并且不同级别沉积盆地的层序发育和沉积演化具有不同的成因和主控因素。我国东部大型的中新生代含油气盆地大都形成于陆内断陷、断—拗和拗陷的构造背景。如何解析拗陷的沉积层序结构,揭示盆地的充填样式及其动力学响应模式,是我国东部中新生代断陷盆地研究和油气勘探所面临重要课题。

冀中拗陷是渤海湾盆地的一个中新生代先断后拗的沉积构造单元。由于拗陷的勘探程度不均衡,构造复杂,因此在对拗陷的沉积层序格架和充填模式等认识不统一,并存在诸多争议。本文在大量的地震、测井、岩心等资料的综合分析基础上,探讨了冀中拗陷古近系的沉积层序构成特征、充填演化及其对拗陷动力学过程响应模式,并为后继研究冀中拗陷的油气

勘探提供参考。

1 地质背景

冀中拗陷位于燕山褶皱带之南,西临太行山隆起,东至沧县隆起,南接荆衡隆起,呈北北东向展布,拗陷内有 12 个凹陷 6 个凸起,总面积约 $3.2\times 10^4\text{ km}^2$ 。本文立足于 Val 经典的层序地层学理论,建立整个冀中拗陷等时层序地层格架单元,并深入研究冀中拗陷古近系的沉积环境及其沉积演化特征。

拗陷内部包含廊固凹陷、霸县凹陷、饶阳凹陷等 12 个负向构造单元;牛驼镇凸起、无极—刘村凸起等 7 个正向构造单元。拗陷内古近系发育完好,最大钻遇视厚度累计达 10 000 m 以上,且层系连续、结构及类型复杂,是陆相地层及其充填模式研究的良好素材。主要由红色、褐色、灰色的泥岩、砂质泥岩和砂砾岩组成,总体上形成三个从水进到水退的沉积序列,层序地层上的三个典型超层序。

冀中地区古近系的构造活动的主导方式是扭动作用,这可以从大量的雁行排列的构造、断裂、分枝断裂、不均衡的旋转构造、水平错位及横推断裂这些构造现象表现出来,这种扭动作用最终造就了冀中拗陷东西向两拗夹一隆的构造格局。

收稿日期: 2007-12-21; 收修改稿日期: 2008-05-05

古近纪古新世—早渐新世,本区发生了强烈的拉张断陷构造运动,冀中拗陷开始了一个新的地质发展阶段;经过了沙四、孔店组充填式沉积之后,拉张断陷进入了扩张深陷的稳定沉积阶段,实现了古近纪湖水的首次大连通。进入沙三晚期,冀中拗陷逐渐抬升,尤其是沙二期,区域抬升更加强烈,断陷扩张构造作用明显减弱;沙一晚期,本区再次抬升,接受了广阔的河湖相含煤粗碎屑岩沉积。到了东营期,区域抬升构造作用明显增强,主要沉积了大面积河流、辫状河三角洲相粗碎屑岩,仅在东二段沉积时,任丘、雁翎地区分布有季节性浅水湖沼环境下的含螺泥岩沉积,并由此全部结束了古近系断陷湖盆的演化历史。

2 拗陷的层序单元和地层特征

2.1 层序单元的划分

针对冀中拗陷古近系的层序划分,前人已经提出过许多方案。本文依据 20 余条骨干线、联井线的地震剖面和大量的钻井资料分析,结合岩心分析,在区内古近系三级层序的划分和对比过程中,发现饶阳和霸县凹陷的地层层序单元划分结果比较一致。而廊固凹陷的三级层序单元划分结果与饶阳和霸县存在大的差异。且廊固凹陷与霸县凹陷之间隔一牛驮镇凸起,凸起上缺失古近系地层,无法利用地震资料对两边的地层进行直接对比,只能利用古生物资料做为划分和对比的依据。考虑到晋县以孔店组做为主要目的层,且厚度较大,前期已划分了三个三级层序。因此,孔店组的划分以晋县剖面为标准,划分出 2 个三级层序,沙四段以廊固剖面为标准划分出 2 个三级层序,沙三段下亚段以廊固剖面标准划分出 2 个三级层序,沙三中、上部及以上地层以南部为标准划分出 6 个三级层序(图 1)。

2.2 地层特征

孔店组(E_k)地层视厚度为 400~1 200 m,最厚达 1 800 m。地层岩性主要为砂砾岩夹红色泥岩、灰色泥岩与膏泥岩、盐岩和砂岩;沙河街组四段(E_s^4)地层视厚度 300~1 000 m,最厚可达 1 600 m。地层岩性主要为块状砂砾岩夹紫红、灰色泥岩、火山岩、大段灰色泥岩夹褐色泥岩及砂岩;

沙河街组三段(E_s^3)地层视厚度为 600~1 100 m,最厚可达 2 400 m。岩性主要为深灰、黑灰色泥岩、页岩层(仅限廊固凹陷、拗陷中南部减薄或缺失);沙三上亚段地层视厚度为 300~500 m,最厚可达 1 200 m,岩性主要为粗碎屑岩夹灰色泥岩、红色泥

岩、灰色泥岩;沙河街组二段(E_s^2)地层视厚度为 100~300 m,最厚可达 700 m。岩性主要为粗碎屑岩夹红色泥岩和湖相的浅灰、绿灰色泥岩(局部膏泥岩)和红色泥岩;沙河街组一段(E_s^1)地层视厚度为 260~700 m,最厚可达 800 m。岩性主要为粗碎屑岩和灰色泥岩、油页岩、生物灰岩和砂岩;东营组(E_d)地层视厚度为 400~800 m,最厚可达 1 700 m。岩性主要为河流相的粗碎屑岩夹红色、灰绿色泥岩、含螺泥岩、砂砾岩夹红色泥岩。

2.3 层序发育主控因素

影响层序发育的因素可归结为可容空间的变化,可容空间的变化则取决于相对湖平面的变化情况。可容空间与沉积物供应速率的比值变化导致湖盆地层沉积格局的变化。冀中拗陷属于陆相断陷沉降区,其层序发育的控制因素可分为构造沉降、沉积物供给和气候因素。

2.4 等时层序格架和沉积体系

研究区内古近系主要发育冲积扇、河流、(扇)辫状河三角洲、近岸湖底扇及湖泊等沉积相类型。在盆地的不同演化阶段其发育的程度也不同,形成了特定的沉积相组合和沉积体系(图 1~7)。在盆地不同演化阶段总体上可以归为 3 种沉积体系类型,不同的体系类型内部的三级层序的叠加样式和体系域也存在明显的差异^[3~8]。

(1) 冲积扇—河流沉积体系 主要发育在孔店组,即处在古近纪古新世的缓慢加速沉降阶段,由分选、磨圆差的块状角砾岩、砾岩、含砾砂岩、砂岩和泥岩组成。由两套向上粗—细旋回构成,由两套完整的基准面上升和基准面下降半旋回组成,受当时古地貌的影响,湖泊面积小,地形高差大,其物源主要来自无极—藁城低凸起和太行山隆起区。在凹陷西部发育冲积扇,岩性为砾岩及砂砾岩;凹陷东部发育洪积、塌积相和下水扇,岩性为塌积角砾岩、砾岩和砂砾岩;凹陷中西部为冲(洪)积平原,发育砂砾岩;凹陷中东部为滨浅湖沉积,发育砂岩和少量泥岩。

(2) 湖泊—湖泊三角洲沉积体系 主要发育在沙河街组,分别处在始新世早中期的快速沉降、始新世晚期的缓慢沉降、始新世末期的缓慢加速沉降和渐新世早期的快速沉降阶段。可划分为 8 个三级层序 SQ3、SQ4、SQ5、SQ6、SQ7、SQ8、SQ9 和 SQ10,这一时期湖泊、湖泊三角洲广泛发育,总体上是气候相对较湿润的时期。与下伏孔店组 SQ2 为(局部)平行不整合接触,即地震界面 T_1 。孢粉分析资料表明,热带、

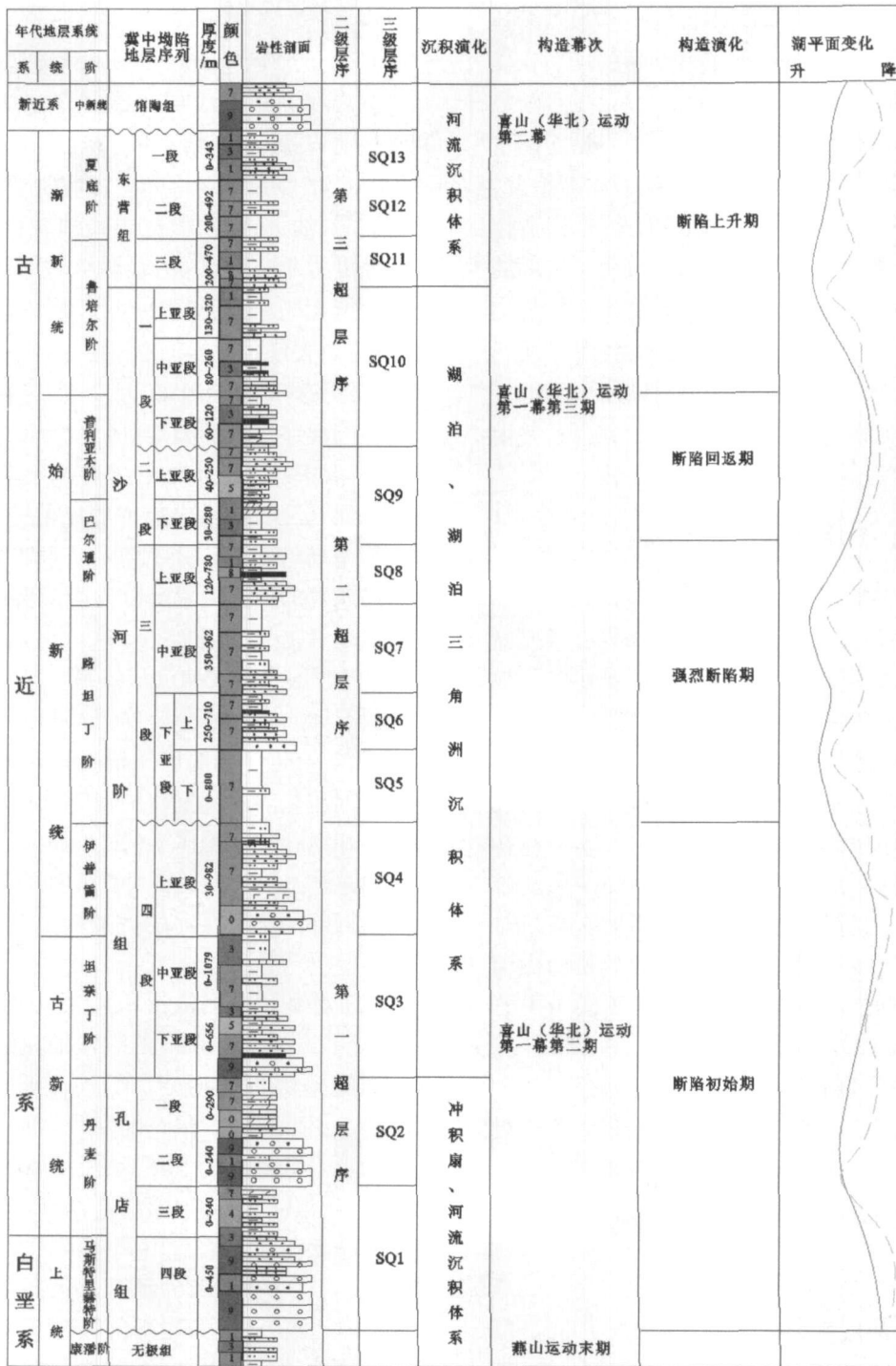


图 例

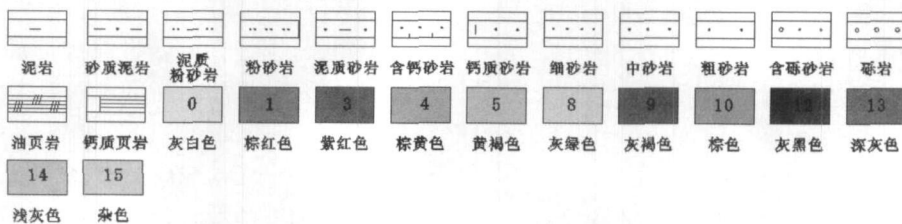


图 1 冀中拗陷古近系盆地充填序列和层序单元

Fig 1 Filling rank and sequence unit of Paleogene System in Jizhong Depression

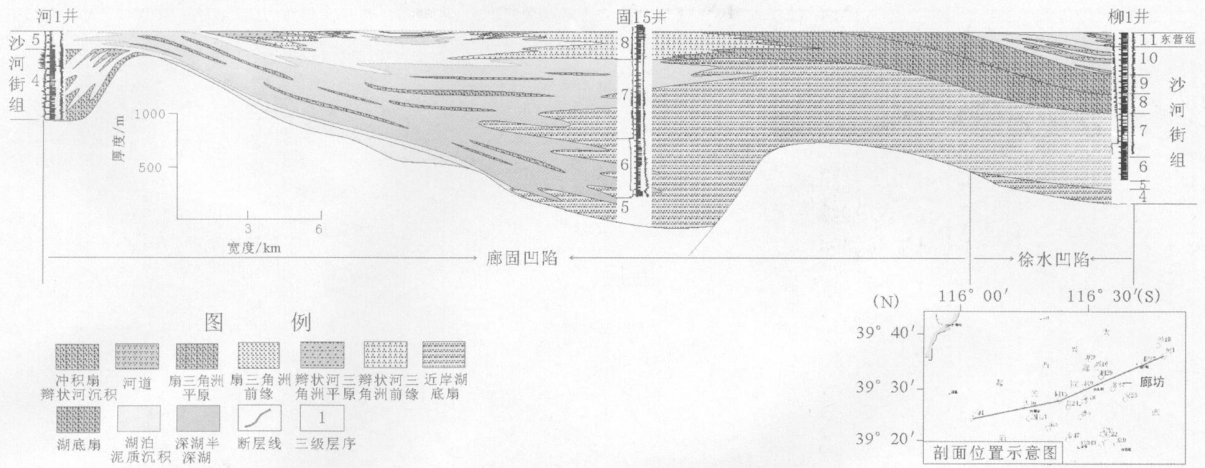


图 2 冀中拗陷古近系过廊固—徐水凹陷横向沉积断面

Fig. 2 Sedimentary section of Paleogene System through Langgu-Xushui Depression in Jizhong

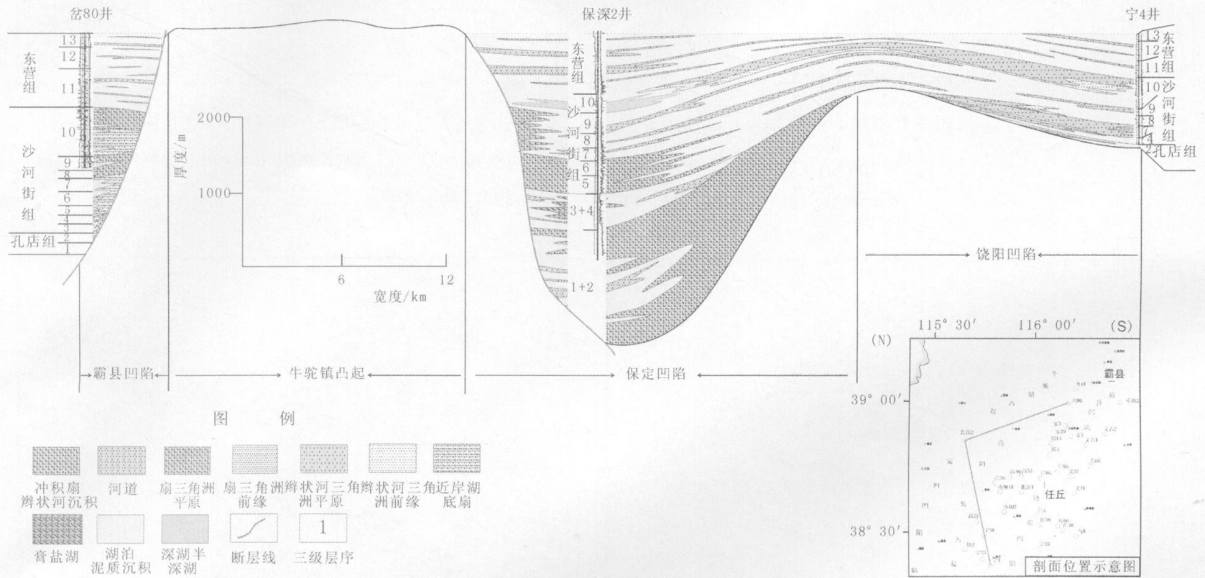


图 3 冀中拗陷古近系过霸县—保定—饶阳凹陷横向沉积断面

Fig. 3 Sedimentary section of Paleogene System through Baxian-Baoding-Raoyang Depression in Jizhong

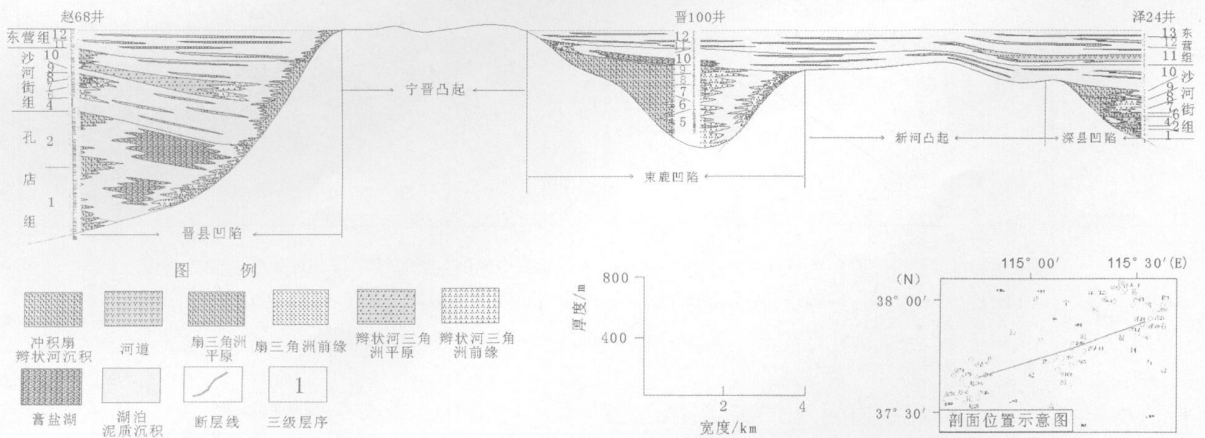
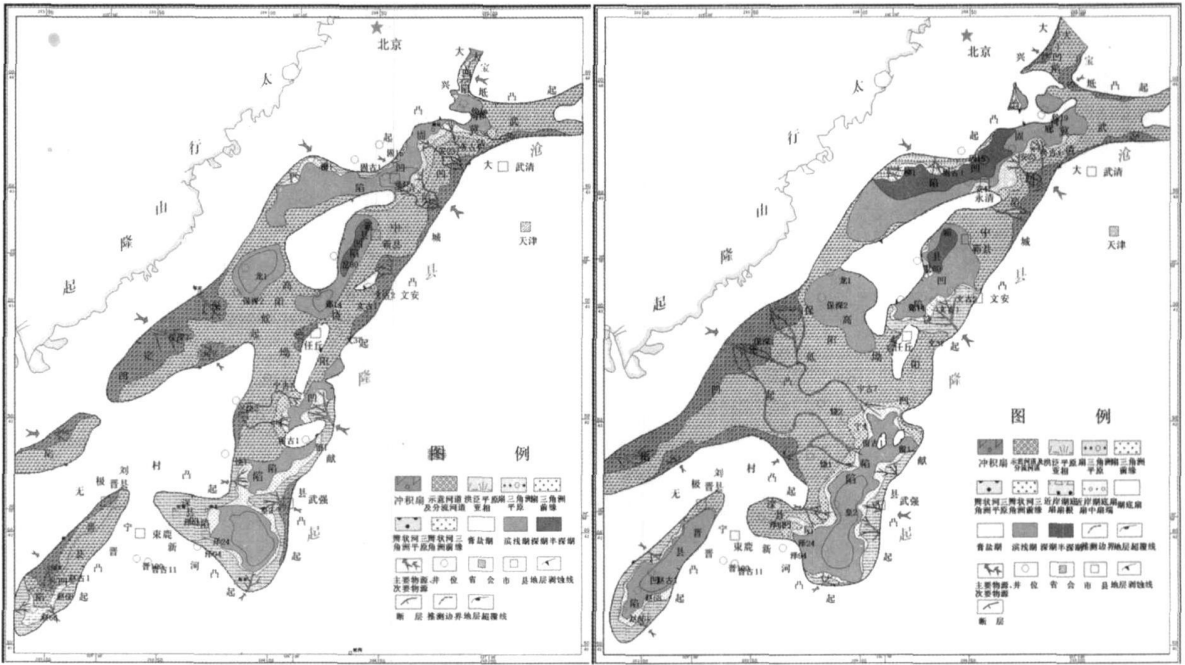


图 4 冀中拗陷古近系过晋县—束鹿—深县凹陷沉积断面

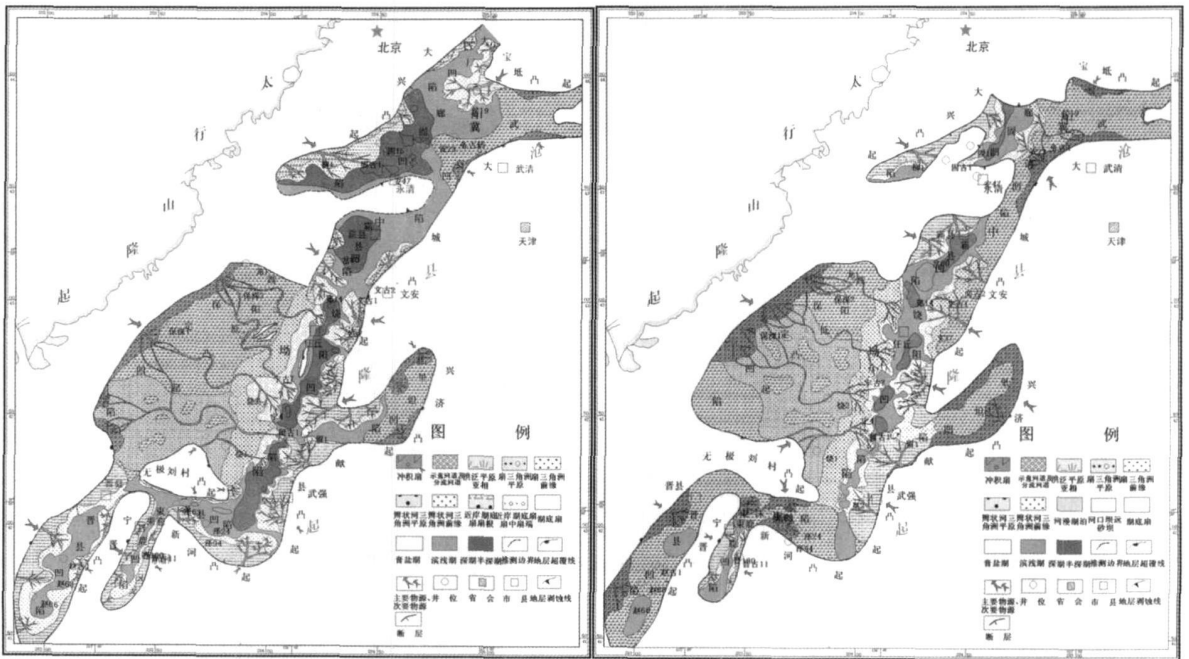
Fig. 4 Sedimentary section of Paleogene System through Jinxian-Shulu-Shenxian Depression in Jizhong



A 冀中拗陷古近系孔店组 SQ2 沉积体系展布图

B 冀中拗陷古近系沙四段 SQ4 沉积体系展布图

Fig. 5 Paleogene system sedimentary system distribution of SQ2 (A) for Kongdian group and SQ4 (B) for Shasi member in Jizhong Depression



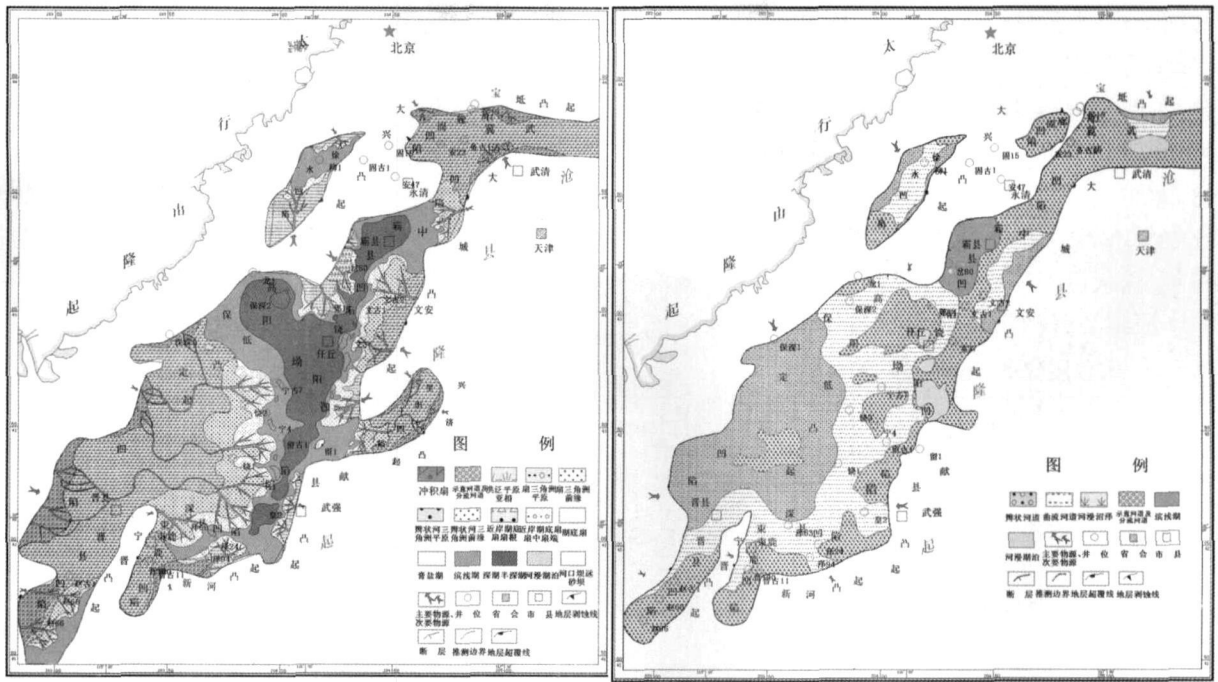
A 冀中拗陷古近系沙三段 SQ7 沉积体系展布图

B 冀中拗陷古近系沙二段 SQ9 沉积体系展布图

Fig. 6 Paleogene system sedimentary system distribution of SQ7 (A) for Shasan member and SQ9 (B) for Sha'er member in Jizhong Depression

亚热带植物化石丰富多样, 连续出现, 比 SQ2 层序沉积时期更为发育。而在拗陷的中部、东部的饶南地区, 该层序局部一度发育较厚, 层序顶部为局部不整

合。从冀中拗陷这个区域来看, SQ3 和 SQ4 层序分布的厚度呈北厚南薄的趋势; 而 SQ5、SQ6 和 SQ7 发育的时期, 处在始新世早中期的快速沉降阶段。在该



A 冀中拗陷古近系沙一段 SQ10沉积体系展布图

B 冀中拗陷古近系东营组 SQ11沉积体系展布图

Fig 7 Paleogene system sedimentary of SQ 10(A) for Shayi member and SQ 11(B) for Dongying group in Jizhong Depression

套层序的底界为隆升不整合,在河西务构造带还表现为暴露不整合,见风化红层及褐铁矿化,与下伏 SQ4 为(局部)角度不整合接触,即地震界面 T_6 。在饶阳凹陷和霸县凹陷该层序不太发育,仅在深凹中沙三段厚度大的地区局部存在,分布局限; SQ8、SQ9 和 SQ10 发育时期,处在始新世晚期的缓慢沉降、始新世末期的缓慢加速沉降渐新世早期的快速沉降转化阶段。多发育为暗色泥岩、油页岩夹生物灰岩。此时冀中拗陷南部地区水域扩大,深湖和半深湖异常发育,而北部廊固地区水域面积反而缩小,滨浅湖相以及辫状河三角洲最为广泛。在冀中拗陷中北部霸县、饶阳地区多发育为暗色泥岩、油页岩夹生物灰岩,此时整个凹陷实现了第一次湖水连通,深湖、半深湖及浅湖相以及辫状河三角洲最为广泛,全区内层序发育稳定; SQ9 因地质历史时期构造逐渐抬升,而湖水浅而偏淡,沉积范围较小,地层厚度薄而稳定,受到干热气候控制,形成气候层序;而 SQ10 在经过了 SQ9 时期干热气候条件和强烈的区域抬升构造运动之后,整个冀中拗陷进入了典型的断拗沉积阶段。

(3) 河流沉积体系。主要发育在东营组,处在渐新世中晚期的缓慢加速沉降阶段。该时期全区河流广布,以反映河流漫滩沼泽相沉积的红色、绿色泥岩与砂岩互层为特征。可划分为 3 个三级层序 SQ11、

SQ12 和 SQ13。SQ12 中段在冀中拗陷大部地区均发育有暗色含螺泥岩,并可以此为沉积转换面划分两个体系域,基准面上升体系域以曲流河为主,砂泥比较低;基准面下降体系域则演变为辫状河沉积,砂泥比升高,砂层厚度也有所增大。含螺泥岩段在地震上表现为强振幅,高连续的同相轴,易于识别和追踪。SQ13 在北部的廊固凹陷内,地层剥蚀殆尽,只在局部地区零星分布,沉积的地层主要位于冀中拗陷的中南部,在冀中拗陷南部的杨武寨断层上升盘,该层序剥蚀强烈,仅在洼槽带内较厚。

2.5 湖泛的沉积记录及其意义

结合沉积学和沉积地球化学、古生物及区域编图等方法综合研究表明,中新世以来可能存在多次短暂的海侵或湖泛事件(图 8 以宁古 5、留古 4 井为例)。前人研究发现,在京 114、任 102 等井(沙三段下部剖面)中发现了以反映深水沉积环境的介形类,如 *Candona ventricovexa*、*C. sigmoidiformis*、*C. postabscissa*、*Fusocandona*、*Xinglongtaiensis*(兴隆台纺锤玻璃介)和 *Linocythere ovata*。*Candona* 和 *C. sigmoidiformis* 分别与贝加尔湖的 *Candona dorsoconca*(背凹玻璃介)属同一属种。它们壳壁较厚、背部较合处和腹部加厚,都有利于增强壳的抗压能力和便于在泥底上爬行,这些特点都印证了它们代表深湖环境的属种,是

这一时期全区发生海侵有利佐证;而在保深 2 等井(沙一段剖面)中发现了以反映浅湖—半深湖沉积环境的介形类,如 *Candona*, *Candonopsis*, *Xiyingia*, *Candona sinensis* 及少量 *Eucypris*, *Lininocythere* 和 *Chinocythere*。该介形类的 *Candona sinensis* 个体大,与贝加尔湖现生 *Candona* 的深水类型很相近。但该种广泛发现在灰、深灰色泥岩和浅灰色生物灰岩中,应属滨浅湖—半深湖类型;而 *Xiyingia* 的数量随古湖盆深度的增加而增加。它应属浅—半深湖类型。

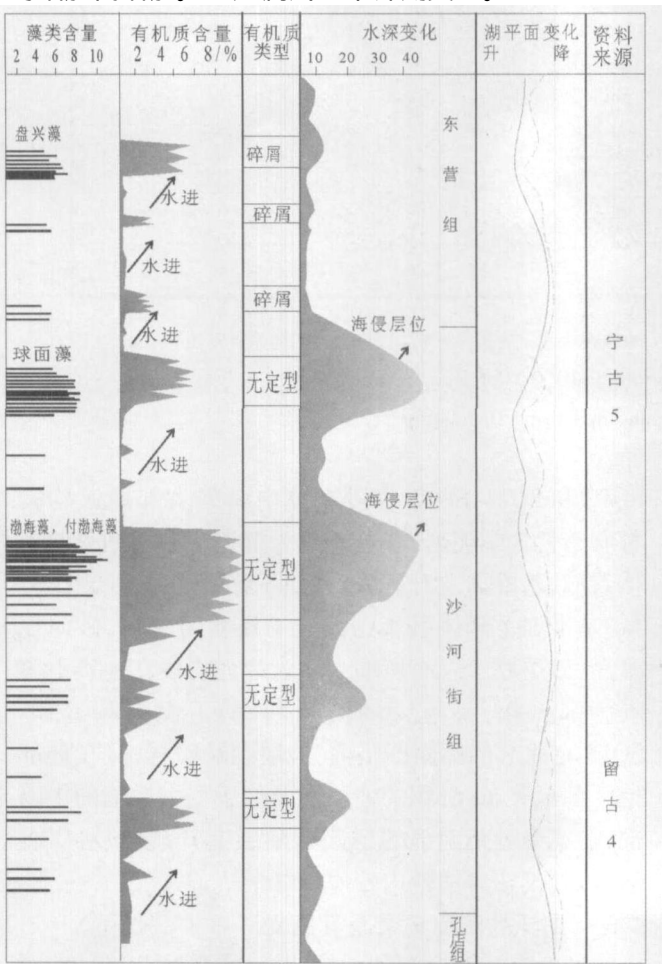


图 8 主要海侵层位生物类型、丰度与湖平面变化关系
Fig 8 Biology type abundance and lake level for the main transgression horizon

上述介形类与整个渤海湾盆地的古生物有着很好的对应关系,此种生物组合与湖泛也有良好的对应关系。因此,对于全区湖泛面具有很好的指向意义。

3 盆地动力学过程的沉积充填响应

3.1 构造沉降史与充填演化

应用构造沉降回剥分析系统^[9, 10],对位于冀中拗

陷的古近系剖面及部分钻井的构造沉降史进行分析,揭示了盆地构造沉降对充填演化的总体控制作用。从经过去压实、沉积物重力均衡沉降及古水深等校正后所恢复的沉降曲线可看出(图 9),拗陷经历了 2 个沉降阶段。第一阶段为古近纪古新世的缓慢加速沉降、始新世早中期的快速沉降和始新世晚期的缓慢沉降,其中第一阶段构造沉降速率分别约为 $100\sim 110\text{ m}\cdot\text{Ma}^{-1}$ 、 $205\sim 220\text{ m}\cdot\text{Ma}^{-1}$ 和 $40\sim 50\text{ m}\cdot\text{Ma}^{-1}$,总沉降速率分别约为 $145\sim 150\text{ m}\cdot\text{Ma}^{-1}$ 、 $340\sim 355\text{ m}\cdot\text{Ma}^{-1}$ 和 $140\sim 153\text{ m}\cdot\text{Ma}^{-1}$ (据华北油田勘探开发研究院内部资料),在古新世的缓慢加速沉降阶段,发育巨厚的、同构造活动期的冲积扇—河流粗碎屑沉积;当进入始新世早中期的快速沉降阶段,盆地开始进入快速的沉降阶段,可容纳空间急剧增加,形成 800 多米厚的细碎屑湖泊—湖泊三角洲沉积;随着逐步进入始新世晚期的缓慢沉降阶段,气候干旱,湖盆开始被抬升并被充填淤浅,湖域面积逐渐缩小,形成沙二段特有的“红色泥岩脖子”沉积。第二阶段为始新世末期的缓慢加速沉降、渐新世早期的快速沉降和渐新世中晚期的缓慢加速沉降,其中第二阶段构造沉降速率分别约为 $30\sim 40\text{ m}\cdot\text{Ma}^{-1}$ 、 $135\sim 142\text{ m}\cdot\text{Ma}^{-1}$ 和 $10\sim 20\text{ m}\cdot\text{Ma}^{-1}$,总沉降速率分别约为 $125\sim 142\text{ m}\cdot\text{Ma}^{-1}$ 、 $235\sim 250\text{ m}\cdot\text{Ma}^{-1}$ 和 $80\sim 90\text{ m}\cdot\text{Ma}^{-1}$,在始新世末期的缓慢加速沉降阶段,湖盆继续被充填淤塞,湖域面积进一步缩小,由早期的“红色泥岩脖子”沉积转变为这一时期特有的“砂岩尾巴”沉积;当进入渐新世早期的快速沉降阶段,盆地开始进入快速的沉降阶段,可容纳空间急剧增加,形成平均 500 多米厚的细碎屑湖泊—湖泊三角洲沉积,湖域面积在此时期达到该区古近纪以来最大值;在渐新世中晚期的缓慢加速沉降阶段,发育有平均 600 多米厚的河流沉积,湖盆逐渐被抬升,并被充填淤平,逐渐进入了准平原阶段。

3.2 盆地充填动力学与响应

冀中拗陷古近系显示出 3 个从水进到水退的二级旋回,这种变化趋势显然与陆内断陷与拗陷构造变化引起的构造沉降速率变化密切相关。上述 3 个沉积体系代表了不同构造演化阶段的产物,第一沉降阶段早期的强烈的断陷分割作用导致陡峻山麓,沿山前发育了巨厚的冲积扇—河流砂砾岩沉积体系。随后,当粘弹性均衡沉降逐渐达到极限时,盆地的沉降变小,源区应力松弛和剥蚀回弹最终导致盆地由沉降转为隆升^[10-13]。而第二阶段又重复上述这一过程,最

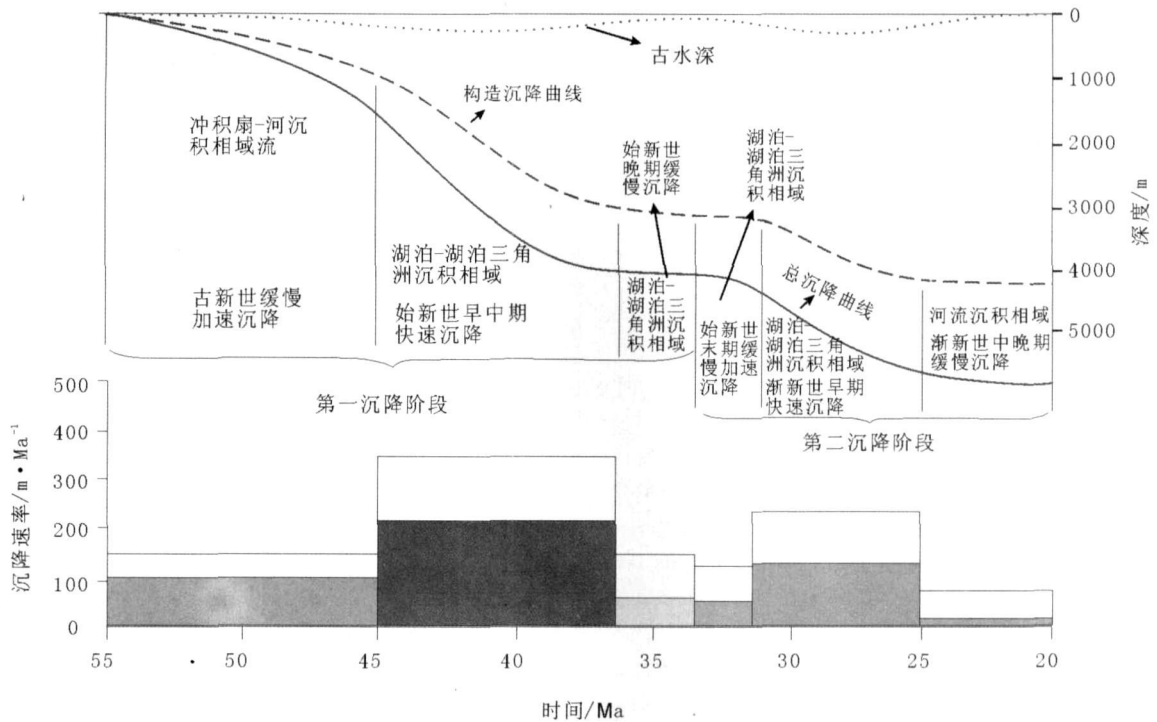


图 9 应用回剥法恢复的冀中拗陷古近系沉降曲线和沉积速率变化图

Fig 9 Paleogene system settlement curve and sedimentation rate according to Huibo method in Jizhong Depression

终导致盆地进入了准平原化阶段。

4 结论与认识

(1) 冀中拗陷古近系可识别出 14 个三级层序界面和 13 个三级层序和数十个四级、五级的层序单元。整体上显示为三套从水进到水退的沉积旋回, 可识别出冲积扇—河流、湖泊—湖泊三角洲以及河流等三套沉积相组合。构造及气候双重影响引起的湖水位变化是冀中拗陷古近系陆相湖盆三级层序形成的主控因素。构造对沉积的控制表现在三个方面: ①断陷发育对沉积的控制。断陷发育初期及断陷回返上升期主要发育浅湖沉积, 强烈断陷期主要发育较深湖沉积。②构造运动对物源的控制。凹陷主体物源经历了周缘—内缘、周缘—周缘三向的演变。③构造运动引起沉积、沉降中心的 2~3 次迁移。而古气候对沉积的控制表现在两个方面: ①古气候变化对沉积的控制。古气候变化控制湖水位升降, 控制体系域演替, 因而控制了沉积相分布。②不同气候条件对沉积的影响。干旱、较干热、半干旱亚热带气候以浅湖、膏盐湖沉积为主, 湖水盐度相对较高, 温凉、温湿亚热带气候发育较深湖沉积。

(2) 在盆地的早期断陷、中期断—拗转化和晚期的拗陷抬升构造作用下, 冀中拗陷在古近纪经历了两

次沉积速率变化的演化旋回, 即两个不同的沉降阶段。第一阶段为古近纪古新世的缓慢加速沉降、始新世早中期的快速沉降和始新世晚期的缓慢沉降; 第二阶段为始新世末期的缓慢加速沉降、渐新世早期的快速沉降和渐新世中晚期的缓慢加速沉降。这两个阶段的演化过程沉降速率分别为 $100\sim 110\text{ m}\cdot\text{Ma}^{-1}$ 、 $205\sim 220\text{ m}\cdot\text{Ma}^{-1}$ 、 $40\sim 50\text{ m}\cdot\text{Ma}^{-1}$ 、 $30\sim 40\text{ m}\cdot\text{Ma}^{-1}$ 、 $135\sim 142\text{ m}\cdot\text{Ma}^{-1}$ 和 $10\sim 20\text{ m}\cdot\text{Ma}^{-1}$ 。这一沉降过程与断陷、拗陷的均衡沉降到应力松弛、剥蚀回弹隆起的动力学机制有关。总体的沉积演化与其内部 3 种沉积体系充填是这一过程的充填响应。

参考文献 (References)

- 胡望水, 吕炳全, 张文军, 等. 松辽盆地构造及成盆动力学探讨 [J]. 地质科学, 2005, 40(1): 16-31 [Hu Wangshui, L Bingquan, Zhang Wenjun, et al. An approach to tectonic evolution and dynamics of the Songliao Basin [J]. Chinese Journal of Geology, 2005, 40(1): 16-31]
- 吕晓光, 赵翰卿, 付志国. 河流相储层平面连续性精细描述 [J]. 石油学报, 1997, 18(2): 66-71 [L Xiaoguang, Zhao Hanqing, Fu Zhiguo. A detailed description of area continuity of fluvial reservoir [J]. Acta Petrolei Sinica, 1997, 18(2): 66-71]
- 马立祥. 砂岩油气储层构形分析及其在国内的应用前景 [J]. 天然气地球科学, 1992, 3(2): 11-16 [Ma Lixiang. Sandstone oil/gas reservoir configuration analysis and application prospect [J]. Natural Gas Geoscience, 1992, 3(2): 11-16]
- 穆龙新, 贾爱林, 黄石岩, 等. 河流—三角洲储层露头 and 现代河流沉

- 积综合研究 [R]. 大庆石油管理局勘探开发研究院、石油勘探开发科学研究院, 1998: 1-102 [Mu Longxin, Jia Ailin, Huang Shiyun *et al*. Synthetic research of fluvial-delta reservoir outcrop and contemporary fluvial sediments [R]. Petroleum Administration Exploration Development Research Institute and Petroleum Exploration Development Science Research Institute, 1998: 1-102]
- 5 单敬福, 纪友亮, 史榕, 等. 基于神经网络和开窗技术的储层渗透率的预测方法——以大庆萨 尔图油田葡萄 花油层组 Piv 1—Piv 4 小层砂岩为例 [J]. 地质科学, 2007, 42(2): 395-402 [Shan Jingfu, Ji Youliang, Shi Rong *et al*. Predicting method of reservoir permeability based on artificial neural net and windowing technique: an example from Piv 1—Piv 4 individual reservoir in Putaohua oilfield Daqing [J]. Chinese Journal of Geology, 2007, 42(2): 395-402]
 - 6 叶德燎. 松辽盆地东南隆起区下白垩统层序地层格架及油气成藏规律 [J]. 地质科学, 2005, 40(2): 227-236 [Ye Deliao. Lower Cretaceous sequence stratigraphic framework and hydrocarbon accumulation in the Southeast Rise, Songliao Basin, China [J]. Chinese Journal of Geology, 2005, 40(2): 227-236]
 - 7 张红薇, 赵翰卿, 麻成斗. 泛滥—分流平原相储层中河间砂体的精细描述 [J]. 大庆石油地质与开发, 1998, 17(6): 164-167 [Zhang Hongwei, Zhao Hanqing, Ma Chengdou. Fine description of inter-channel sand-body in flood-distributary reservoir [J]. Daqing Petroleum Geology & Development, 1998, 17(6): 164-167]
 - 8 张云峰, 王朋春, 陈章明. 烃源岩之下岩性油藏成藏模拟实验及其机制分析 [J]. 地质科学, 2002, 37(4): 436-443 [Zhang Yunfeng, Wang Pengchun, Chen Zhangming. A modeling experiment on lithologic reservoir formation underlying source rocks and analysis of the mechanism [J]. Chinese Journal of Geology, 2002, 37(4): 436-443]
 - 9 Lin Changsong, Zhang Yamei, Li Sitian *et al*. Quantitatively modeling of multiple stretching of lithosphere and deep thermal history of some Tertiary rift basins in East China [J]. Acta Geologica Sinica, 2002, 76(3): 324-330
 - 10 林畅松, 王清华, 肖建新, 等. 库车坳陷白垩纪沉积层序构成及充填响应模式 [J]. 中国科学 (D 辑), 2004, 34(增刊): 74-82 [Lin Changsong, Wang Qinghua, Xiao Jianxin *et al*. Depositional architecture of the Cretaceous period tectonic sequences and their response to foreland tectonism in the Kuiche depression [J]. Science in China (Series D), 2004, 34(Suppl): 74-82]
 - 11 魏魁生, 叶淑芬, 郭占谦, 等. 松辽盆地白垩系非海相沉积层序模式 [J]. 沉积学报, 1996, 14(4): 50-60 [Wei Kuisheng, Ye Shufen, Guo Zhanqian. Sequence stratigraphic model of nonmarine sediments in Cretaceous Songliao Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1996, 14(4): 50-60]
 - 12 辛仁臣, 蔡希源, 王英民. 松辽坳陷深水湖盆层序界面特征及低位域沉积模式 [J]. 沉积学报, 2004, 22(3): 387-392 [Xin Renchen, Cai Xiuyan, Wang Yingmin. Depositional model of low stand and characteristics of sequence boundary in deep water lake Songliao depression basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2004, 22(3): 387-392]
 - 13 张昌民, 张尚锋, 李少华, 等. 中国河流沉积学研究 [J]. 沉积学报, 2004, 22(2): 183-192 [Zhang Changmin, Zhang Shangfeng, Li Shaohua *et al*. Fluvial sedimentology research in China [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2004, 22(2): 183-192]

Depositional Architecture of Paleogene System Tectonic Sequences and Evolution of Sedimentary System in Jizhong Depression

Ji You-liang¹ ZHAO Xian-zheng² SHAN Jing-fu¹ ZHANG Ru-feng² WANG Feng²

(1. Academic of Resources and Informatics, China University of Petroleum, Beijing 102249;

2. Huabei Oilfield Company, CNPC, Renqiu, Hebei 062550

3. Mechanical Manufacturing and Automation, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093)

Abstract Sedimentary sequence which belongs to the second grade sequence locates among the parallel micro-angular or angular unconformities and which is divided into 3 second order sequences, 13 third order sequences and numeral fourth or fifth order sequences. There are three series of sedimentary cycles for transgression to regression and identifying alluvial fan-fluvial facies, lake-delta and fluvial facies and so on. Structure, climate, sedimentary supply and variation in lake level and so on control the depositional architecture of the Paleogene System tectonic sequences and their response to tectonism in Jizhong depression. The analysis shows that the depression suffers for two sets of evolution gyrations attributing to variation in deposition rate. Phase 1, slowness accelerating subsidence at Paleocene in Paleogene Period, early-medium-tem speediness subsidence at Eocene Epoch and terminal slowness subsidence at Eocene Epoch. Phase 2, telophase slowness accelerating subsidence at Eocene Epoch, early-tem speediness subsidence at Oligocene and medium-terminal slowness subsidence accelerating subsidence at Oligocene. Settlement rate partly is $100\sim 110\text{ m}\cdot\text{Ma}^{-1}$, $205\sim 220\text{ m}\cdot\text{Ma}^{-1}$, $40\sim 50\text{ m}\cdot\text{Ma}^{-1}$, $30\sim 40\text{ m}\cdot\text{Ma}^{-1}$, $135\sim 142\text{ m}\cdot\text{Ma}^{-1}$ and $10\sim 20\text{ m}\cdot\text{Ma}^{-1}$. Wring action in Paleogene Period shows sinistral movement makes en-echelon structure as causes NNE or NE oriented distribution at terminal of Sha4 and Dongying member and dextral movement is reverse. At last the depression unfolds the structure of two sunken changing one convex.

Key words Jizhong Depression, structural evolution, response to filling, structural subsidence