

文章编号: 1000-0550(2003)04-0670-05

# 山东惠民凹陷中央隆起带古近系沙河街组层序地层特征及控制因素研究

杨剑萍<sup>1</sup> 许正豪<sup>2</sup> 姜在兴<sup>1</sup> 操应长<sup>1</sup> 陈发亮<sup>3</sup>

1(石油大学(华东)地球资源与信息学院 山东东营 257061)

2(中国石油青海油田分公司勘探开发处 甘肃敦煌 736202)

3(中原油田有限公司物探研究院 河南濮阳 457001)

**摘要** 结合山东惠民凹陷中央隆起带古近系层序地层学研究,依据层序中湖平面变化特点和相应的沉积物特征,提出了构造运动和气候是本区层序地层发育的主要控制因素。中央隆起带古近系沙河街组二、三、四亚段可划分为3种层序类型,即断陷初期型、强断陷期型和断陷后期型层序。由于构造运动导致湖岸线向盆地方向退缩,产生下降体系域,本次研究采用了体系域的四分法,即一个完整层序由低位、湖侵、高位和下降四个体系域组成,并且层序界面位于湖平面最大下降的位置,介于下降域和低位域之间。断陷初期红色地层层序,受气候因素控制明显,既不同于冲积地层层序,也不同于正常湖相地层层序,在层序演化上有其独特的特点。受构造作用和沉积物补给条件的影响,研究区发育三种沉积密集段,不同类型的沉积密集段在层序中所处位置不同,控制着不同的烃源岩厚度和油气资源储量。

**关键词** 惠民凹陷 中央隆起带 层序地层 湖相密集段 控制因素

**第一作者简介** 杨剑萍 女 1965年出生 副教授 在职博士 沉积学

中图分类号 P539.2 文献标识码 A

## 1 地质概况

惠民凹陷位于渤海湾盆地济阳拗陷西部,是济阳拗陷内部最大的次级凹陷,西部为临清拗陷,东部与东营凹陷相通,南以齐河—广饶断裂与鲁西隆起相接,北以陵县—阳信断裂与埕宁隆起相邻(图1)。惠民凹陷是一典型的中、新生代陆相断陷湖盆,凹陷中堆积了厚达万米的古近系及新近系沉积。古近系发育了孔店组、沙河街组和东营组地层,其中沙河街组自下而上分为沙四段、沙三段、沙二段和沙一段。凹陷内部按构造特征又可进一步划分为临南洼陷、滋镇洼陷、中央隆起带和南斜坡等次级构造单元,同渤海湾其他凹陷一样具有两洼一隆一斜坡的构造格局,中央隆起带是该区主力油气分布区。

## 2 层序地层格架的建立

沙河街组沉积时期,频繁的构造运动导致湖岸线向盆地方向退缩,滨浅湖地带沉积物表现为快速向湖盆中心推进,因而产生下降体系域,所以首次在惠民凹陷采用体系域划分的四分法(图2),即一个层序包括低位域、湖侵域、高位域和下降域,分别对应与湖平面变化周期中的四个不同阶段<sup>[1-3]</sup>。惠民凹陷中央隆起带古近系沙三段中的沉积间断或不整合面形成于湖

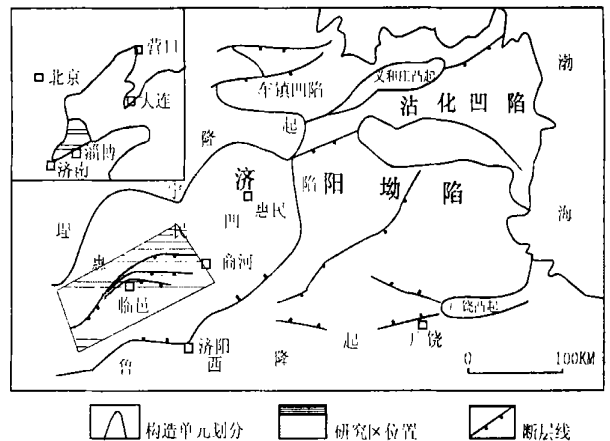


图1 研究区构造位置图

Fig. 1 Tectonic location of the study area

平面快速下降期,但该时期在湖盆边缘如唐庄—肖庄地区仍接受沉积,发育进积式三角洲,并随湖平面的下降,三角洲沉积范围向湖盆中心推进,岸线也向盆地推进,边缘地区逐渐处于无沉积或剥蚀状态。形成于湖平面快速下降期的这套地层,称为下降体系域,伴随着湖平面快速下降而形成的不整合面位于下降体系域的顶部,层序界面位于下降和低位体系域之间<sup>[4]</sup>。综合分析地震、岩心、测井、地球化学等资料,将惠民凹陷沙

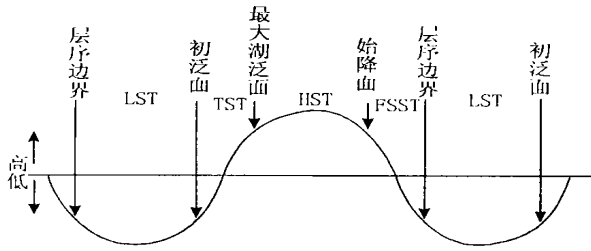


图2 相对湖平面的升降曲线和体系域划分

Fig. 2 System tract subdivision and related lake-level change

沙河街组地层三、四段划分出9个体系域,分属三个层序(图3)。其中层序I属于断陷初期干热型层序,层序II属于强断陷期湿热型层序,层序III则属于断陷后期湿热型层序。该区层序地层受构造活动和气候变化及沉积物供给等因素的控制比较明显,不同条件下,不同阶段层序地层特征不同,本文着重对断陷初期干旱气候条件下红层层序地层特征及各时期密集段特征加以阐述。

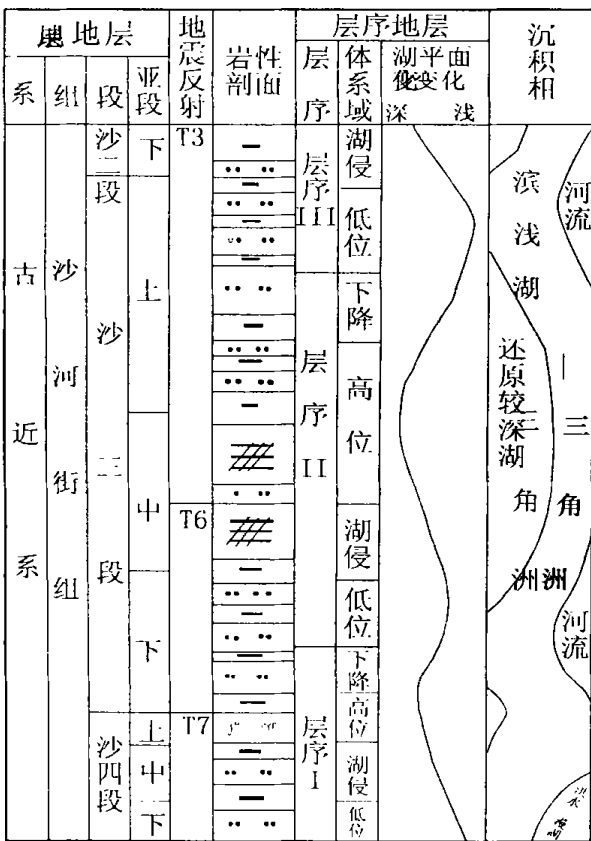


图3 惠民凹陷中央隆起带沙河街组层序地层剖面图

Fig. 3 Sequence stratigraphy profile of the Shahejie Formation in the central uplift belt of Huimin Depression

### 3 断陷初期层序地层特征

岩心及录井资料表明惠民凹陷西部古近系沙河街

组四段下部是一套分布广泛的红色或紫红色砂泥岩互层沉积,简称为红层<sup>[5]</sup>。红层主要是由紫红色或红色粉砂岩、细砂岩、泥质粉砂岩、粉砂质泥岩及泥岩夹盆内成因的砾屑和含砾粗砂岩组成。沉积物具有较高的成分成熟度和较低的结构成熟度,这表明与冲积扇沉积有明显区别,是一套受季节性洪水控制的洪水—漫湖沉积<sup>[6]</sup>,反映了断陷初期干旱气候条件下受季节性洪水控制的陆相湖盆沉积背景。盆地内有洪水供应时能够保持一定的水深,洪水供应停止时,由于气候的炎热干旱,盆地内的积水被快速蒸发而成为干湖,在干旱的气候条件下就形成了特殊的层序地层类型。它在层序演化特点上有别于正常的湖相沉积,具有独特的层序地层特征。

#### 3.1 断陷初期层序地层中四级层序特征

通过对层序I中岩性、电性、古生物特征的研究,将层序I细分成3个四级层序,以商深1井沙四段红层为例(表1),其中1、2两个四级层序合起来相当于层序I的低水位体系域。一个四级层序主要包括湖侵体系域TST和高水位体系域HST,低水位体系域和下降体系域不发育;准层序组以加积式为主,进积式和退积式准层序组不明显;体系域组成与正常湖相层序中的相反,湖侵体系域以灰色砂岩夹红褐色薄层泥岩为主,砂岩含量高;高水位体系域则是紫红色、棕褐色泥岩夹薄层砂岩,泥岩含量高。


#### 3.2 断陷初期层序地层特征的成因

早第三纪沙四段—孔店组沉积时期,惠民凹陷初具雏形,处于断陷湖盆初期阶段,除埕宁隆起南部的基山—郑店大断裂开始活动外,其余断层尚未形成。临邑大断层刚刚开始活动,断层落差小,构造对沉积控制作用不明显<sup>[7]</sup>。从整体看,地形起伏较小,湖盆水域范围广而浅,由于当时气候干旱,湖平面升降必然受季节性洪水补给作用的影响,洪水期的高水位面和枯水期的低水位面相差较大,致使滨浅湖水环境十分开阔,具备洪水—漫湖沉积的古地理条件,在这种沉积背景下就形成了其独特的沉积地层层序。

湖侵体系域沉积期,当季节性洪水携带大量陆源碎屑涌入湖盆时,湖平面上升,由于洪水的冲刷、充填,形成洪水水道和砂坪或滩砂沉积。洪水水道沉积系季节性洪水流进入浅水湖泊后,所形成的限制性水流沉积,主要由具盆内碎屑的递变层理砂岩相和平行层理的砂岩相组成<sup>[8]</sup>,底部具有明显的冲刷—充填构造。砂坪或滩砂沉积主要是灰色的细砂岩、粉砂岩夹紫红色的泥岩,具平行层理,生物扰动中—强,是洪水的限制性水流转变为非限制性水流后,向四处溢散沉积的物质经波浪改造形成的,沉积物充填模式如图4。

表1 商深1井沙四段红层层序地层划分

Table 1 Sequence subdivision of red beds in the fourth member of Shahejie Formation in Well Shangshen 1

层位	三级层序	四级层序	体系域	深度/m	岩性	湖平面变化 高←→低
沙 四 段	I	3	HST	1862 1888	黄褐色油页岩与褐灰色泥岩互层	
			TST	2105	下部灰色厚层块状粉细砂岩夹灰色、灰绿色、暗紫色薄层泥岩；上部为灰色泥岩夹灰白色粉细砂岩，红色泥岩逐渐消失；顶部发育一套生物灰岩，生物碎屑以介形虫、螺类为主，夹大量石膏团块	
		2	HST	2180	灰色、灰红色泥岩夹薄层粉砂岩、细砂岩，见石膏团块	
			TST	2515	棕色粉砂岩、细砂岩夹暗紫色泥岩，见石膏团块	
		1	HST	2735	暗红色泥岩与粉砂岩、细砂岩互层，泥岩颜色相对下部较暗，见蚌壳及石膏团块	
			TST	3007	浅棕色、棕色块状粉细砂岩、细砂岩、中砂岩、砾状砂岩夹紫色、紫红色泥岩，砂岩分选中等，泥岩富含高岭土，见石膏团块	

高水位体系域沉积期，当洪水停止时，陆源碎屑物质的供应也随着停止，这时湖平面上升到最大位置并保持相对稳定，波浪作用较弱，为低能环境，形成泥坪，沉积物主要为泥和粉砂，沉积物充填模式如图5。由于气候干热，沉积颜色红色或紫红色，同时水位也随着快速下降，一个沉积旋回随之结束。当下一次洪水到来时，又开始了另一个层序的发育过程。

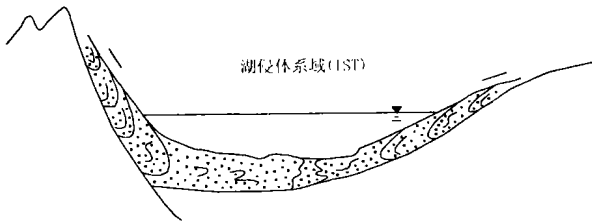


图4 惠民凹陷沙四段红层湖侵体系域充填特征  
Fig. 4 Filling characteristics in invasion system tract of red beds in the fourth member of Shahejie Formation in Huimin depression

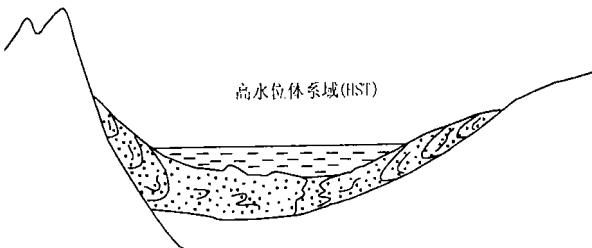


图5 惠民凹陷沙四段红层高水位体系域充填特征  
Fig. 5 Filling characteristics in high system tract of red beds in the fourth member of Shahejie Formation in Huimin depression

## 4 湖相沉积密集段特征

由于受构造作用的演化阶段和沉积物补给条件的影响，研究区发育三种类型的沉积密集段。不同类型

的沉积密集段在层序中所处位置不同，控制着不同的烃源岩厚度和油气资源储量，对于研究本区生储盖组合关系，预测隐蔽油气藏关系密切。

沉积密集段，又称缓慢沉积段或者“饥饿”沉积段，是一套由准层序向陆推进和陆源沉积物补给不足时所沉积的薄层半远洋或远洋沉积物所组成的岩相。在海相地层中，沉积密集段一般位于海侵体系域的顶部，即最大湖泛面之下，但是在惠民凹陷，沉积密集段在三个层序中的位置并不一致。在第I层序中，沉积密集段位于高水位体系域的下部，对应于沙四上亚段和沙三下亚段的底部地层；在第II层序中，沉积密集段位于湖侵体系域和高水位体系域的下部，对应于沙三中亚段和沙三上亚段的底部；在第III层序中，沉积密集段位于湖侵体系域，对应于沙二下亚段地层。出现这种现象的原因在于：(1)陆相湖盆同海盆不同，湖盆面积较小，多物源，湖平面变化的控制因素复杂。(2)在湖盆的不同发育阶段，层序的演化并不相同。在断陷湖盆发育初期，低水位体系域发育，而湖侵体系域、高水位体系域和下降体系域都不发育。在断陷湖盆发育期及消亡期，低水位体系域和湖侵体系域不发育，而高水位体系域和下降体系域则相对比较发育。

沉积密集段受层序类型的严格控制，三个层序中沉积密集段分属三种不同的类型。

### 4.1 断陷初期沉积密集段

层序I沉积时期，惠民凹陷处于断陷初期，其低水位体系域以红色、杂色砂泥岩为主，属洪水—漫湖沉积；湖侵体系域则以灰色砂泥岩为主，属河流—滨浅湖沉积。由于洪水携带大量陆源物质涌入湖盆，使水位升高，并发育了大量粗碎屑沉积物，形成湖侵体系域砂泥岩沉积。当水位稳定时，进入高水位体系域，此时缺少陆源碎屑的补充，沉积以泥岩、油页岩为主，形成特

有阶段的沉积密集段, 这一密集段位于最大湖泛面之上。高水位体系域后期及下降体系域, 水体下降, 陆源碎屑沉积物以三角洲形式进积在此沉积密集段之上。该密集段基本特征为: 以深湖、半深湖灰质泥岩、油页岩为主; 颜色呈灰色、灰褐色, 富含各种生物化石, 尤以后长金星介、小拟星介等化石丰度高为特征; 自然电位曲线平直; 电阻率曲线偏高, 呈齿状; 富含暗色有机质; 地震反射明显, 对应着 T<sub>7</sub> 反射层(图 3); 分布范围有限, 沉积厚度较薄。

#### 4.2 强断陷期沉积密集段

层序 II 沉积时期, 湖盆进入强断陷期, 此时层序 II 高水位体系域和下降体系域中三角洲砂体的进积并没有填满整个湖盆, 在湖盆沉积、沉降中心的商河地区, 缺少粗粒砂质沉积。同时济阳运动 II 幕使得湖盆可容空间进一步扩大, 水体进一步加深, 此时陆源物质的供应对整个湖盆影响并不是很大。在层序 II 的湖侵开始后, 对于整个湖盆来说, 处于一种严重欠补偿状态, 因此, 在湖侵体系域和高水位体系域初期形成分布范围很广的沉积密集段, 它在层序中位于最大湖泛面上、下位置。当水体稳定以后, 陆源物质向湖盆推进, 大量河流—三角洲进积其上, 形成巨厚的高水位体系域和下降体系域。该密集段基本特征表现为: 岩性以深湖、半深湖泥岩、灰岩、白云质泥岩和油页岩为主; 颜色以褐色为主; 富含介形虫、藻类等生物化石; 自然电位曲线平直; 电阻率曲线表现出极高值; 有机质丰度高; 地震反射表现为中频、强振幅、高连续, 可全区对比追踪, 并对应于 T<sub>6</sub> 反射层(图 3); 分布面积广, 沉积厚度大。

#### 4.3 断陷后期沉积密集段

层序 III 沉积时期, 整个惠民凹陷呈现出盆平水浅的自然景观, 当再一次发生湖泛时, 湖岸线快速后退, 陆源碎屑供应不足, 形成了一套沉积密集段, 其位于最大湖泛面之下。由于此时湖盆可容空间有限, 湖侵结束后陆源物质又快速向湖盆内部推进, 使得粗粒沉积物快速进积在沉积密集段之上, 形成较厚的高水位体系域和下降体系域。该密集段的特点是岩性以半深湖泥岩、油页岩为主; 颜色以灰色、褐色为主; 含较多生物化石; 自然电位曲线平直; 电阻率较高; 有机质丰度较高; 地震反射表现为低频、中振幅、中连续, 全区基本可以对比追踪, 并对应于 T<sub>3</sub> 反射层(图 3); 分布面积广, 沉积厚度较薄。

#### 4.4 湖相沉积密集段的石油地质意义

密集段中沉积速率缓慢的半深湖和深湖沉积物组合中, 含有大量的有机质, 包括种类繁多、数量丰富的微体浮游生物, 因此, 具有可观的生油潜力, 是层序中最有利的生油区带。另外, 沉积密集段之下一般是较

粗粒的退积式三角洲砂体, 其上则为进积式的三角洲砂体, 所以, 这种生储盖层的优越配置关系可以形成良好的岩性油气藏。

沉积密集段在层序中的位置对于预测隐蔽油气藏至关重要。(1)层序 I 中断陷初期型沉积密集段位于最大湖泛面之上, 其下伏储层主要是河流—三角洲砂体, 远源浊积砂体存在的可能性较小, 其上则直接覆盖进积式三角洲砂体。在深水区发现浊积砂体, 它所控制的生油岩范围较小, 厚度往往不大, 在本研究区一般为 50~60 m。(2)对于层序 II, 其强断陷期型沉积密集段位于最大湖泛面上、下附近, 其与上、下三角洲砂体距离相对较远, 其附近浊积岩透镜体油气藏出现的可能性较大。它所控制的生油层范围很广, 厚度要大得多, 一般 200~260 m。(3)层序 III 断陷后期型沉积密集段位于最大湖泛面之下, 上、下紧邻三角洲砂体, 生储盖配置好, 但它所控制的生油岩厚度并不大, 一般为 80~100 m。此外, 沉积密集段由于具有良好的识别标志, 可以作为地层划分和对比的标志层, 而且作为层序地层学理论中的一个重要概念, 在层序地层划分时可作为一个完整层序的存在标志。

## 5 结论

(1) 惠民凹陷中央隆起带古近系沙河街组沉积时期, 构造运动和气候特征是层序地层发育的主要控制因素。断陷初期层序地层特征受气候因素控制明显, 既不同于冲积地层层序, 也不同于正常湖相地层层序, 在层序演化上有其独特特点;

(2) 惠民凹陷中央隆起带古近系沙河街组二、三、四段地层可划分成断陷初期型、强断陷期型和断陷后期型 3 种类型层序。湖盆层序中体系域四分法明显, 一个层序可分出低位、湖侵、高位和下降四个体系域, 并且层序界面位于湖平面最大下降的位置, 介于下降域和低位域之间;

(3) 受构造作用和沉积物补给条件的影响, 研究区发育三种沉积密集段, 不同类型的沉积密集段在层序中所处位置不同, 控制着不同的烃源岩厚度和油气资源储量。

#### 参考文献(References)

- Nummedal D. The falling sea level systems tract in ramp settings [A]. Abstract: Mesozoic of the western Interior[C]. SEPM Theme Mtg., Ft. Collins, Co., 1992
- 操应长. 断陷湖盆层序地层下降体系域的划分[J]. 石油大学学报(自然科学版), 2000, 24(1): 22~26 | Cao Yingchang. Distinguishment of falling stage systems tract of sequence strata in a continental rift subsidence basin[J]. Journal of the University of Petroleum, China (Edition

- of Natural Science), 2000, 24(1): 22~26]
- 3 金莉. 强制海退概念与层序地层学体系域的讨论[J]. 中国海上油气(地质), 1997, 11(3): 229~232[ Jin Li, Qi Zuoming. Notion of forcible reflux and discuss of sequence stratigraphy system tract[J]. China Off-shore Oil and Gas(Geology), 1997, 11(3): 229~232]
  - 4 操应长, 姜在兴, 李春华, 等. 山东惠民凹陷中央隆起带古近系沙三段层序地层及沉积演化[J]. 古地学报, 2002, 4(3): 40~46[ Cao Yingchang, Jiang Zaixing, Li Chunhua, et al. Sequence stratigraphy and depositional evolution of the member 3 of Shahejie Formation in the western Huimin depression of Shandong province[J]. Journal of Palaeogeography, 2002, 4(3): 40~46]
  - 5 王秉海, 钱凯. 胜利油区地质研究与勘探实践[M]. 山东东营: 石油大学出版社, 1992. 188~190[ Wang Binghai, Qian Kai. Geologic study and exploration practice in Shengli oil field[M]. Dongying Shandong: The Petroleum University Press, 1992. 188~190]
  - 6 杨剑萍, 操应长. 惠民凹陷西部下第三系沙四段下部洪水—漫湖沉积特征[J]. 石油大学学报(自然科学版), 2002, 26(6): 17~20[ Yang Jianping Cao Yingchang. Flood-overlake deposits in the lower fourth member of the Oligocene Shahejie Formation in western Huimin depression [A]. Journal of the University of Petroleum, China (Edition of Natural Science), 2002, 26(2): 17~20]
  - 7 张勇, 付金华, 杜玉民. 惠民凹陷西部的断裂系统与油气藏[A]. 见: 信荃麟, 刘泽容主编. 复杂油气藏勘探技术国际学术研讨会论文集[C]. 山东东营: 石油大学出版社, 1998. 21~27[ Zhang Yong, Fu Jinhua Du Yumin. Fracture system and reservoir in the western Huimin depression[A]. In: Xin Quanlin, Liu Zerong, eds. Proceedings of international complex reservoir exploration technique symposium[C]. Dongying Shandong: The Petroleum University Press, 1988. 21~27]
  - 8 姜在兴, 操应长, 邱隆伟, 等. 砂体层序地层学及沉积学研究[M]. 北京: 地质出版社, 2000. 105~109[ Jiang Zaixing, Cao Yingchang, Qiu Longwei, et al. Study of sandstone sequence stratigraphy and sedimentology[A]. Beijing: Geological Publishing House, 2000. 105~109]

## The Sequence Stratigraphy Characteristics and Controlling Factors of the Shahejie Formation of the Central Uplift Belt in Paleogene in Huimin Depression, Shandong Province

YANG Jian-ping<sup>1</sup> XU Zheng-hao<sup>2</sup> JIANG Zai-xing<sup>1</sup> CAO Ying-chang<sup>1</sup> CHEN Fa-liang<sup>3</sup>

<sup>1</sup> (College of Earth Resources and Information in the University of Petroleum, Dongying Shandong 257061)

<sup>2</sup> (Exploration and Development Bureau of Qinghai Oil Field Company, Dunhuang Gansu 736202)

<sup>3</sup> (Geophysical Exploration Institute of Zhongyuan Oil Field, Puyang Henan 457001)

**Abstract** The sequence stratigraphy studies of the Shahejie Formation in the central uplift belt of Huimin depression of Shandong province indicate that tectonic movement and climate are dominant controlling factors to sequence development. The 2, 3 and 4 submembers of Shahejie Formation can be divided into three types of stratigraphic sequence, i. e. the stratigraphic sequence in primary rifting stage, the stratigraphic sequence in violent rifting stage and the stratigraphic sequence in the later rifting stage. The sequence stratigraphy indicates that it is more suitable to divide a sequence into four system tracts in the lacustrine basin including lowstand system tract (LST), lake-transgressive system tract (TST), highstand system tract (HST) and falling-stage tract (FST). According to characteristics of lake level change and its corresponding sediments, the sequence boundary is located between the LST and FST. The red beds stratigraphic sequence is mainly controlled by the climate and has unique characteristics in sequence evolution, which is different from the alluvial fan stratigraphic sequence and also different from the normal lake facies stratigraphic sequence. Influenced by tectonic movement and sediment supply, three kinds of stratigraphic sequence in this region form three kinds of condensed sections, which located in different section of each sequence. The different condensed section will influence the abundance of source rock and resources, and every condensed section controls the distribution and thickness of the source rock.

**Key words** Huimin depression, central uplift belt, sequence stratigraphy, condensed sections, controlling factors