

# 饶阳凹陷马西地区沙三中、上亚段 层序地层与沉积体系分析

邹德江<sup>1</sup>, 于兴河<sup>1</sup>, 梁宏斌<sup>2</sup>, 洪月英<sup>3</sup>, 林 闻<sup>1</sup>, 詹路锋<sup>1</sup>

(1. 中国地质大学(北京)能源学院, 北京 100083; 2. 华北油田分公司地质科学研究院, 河北 任丘 062550;  
3. 东方地球物理公司研究院华北分院, 河北 涿州 072751)

**摘要:**综合利用岩心、地质、测井及地震等资料,对饶阳凹陷马西地区古近系沙河街组沙三中、上亚段进行了全面系统的研究。通过高分辨率层序地层学对研究区进行等时地层划分和对比,认为研究区沙三段为一个完整二级旋回,在此二级旋回内部可划分出 3 个三级旋回。马西地区古近系沙河街组沙三中、上亚段发育有三角洲、湖泊、滩坝和浊积扇等 4 类沉积体系,分析并介绍了各类沉积体系在该区的亚相类型及其特征,阐述了不同阶段的平面沉积相类型及分布规律,总结了垂向上沉积体系的演化等。

**关键词:**马西洼槽;层序地层分析;沉积体系;沉积相

**中图分类号:**TE122.2

**文献标识码:**A

**文章编号:**1672-1926(2008)04-0487-05

## 1 地质背景

马西地区地处河北省任丘市境内,是冀中地区最富含油凹陷之一。其构造位置隶属于冀中坳陷饶阳凹陷北部,是一个东断西超的单断凹陷。西起任西断层,东到南马庄断裂构造带,南起八里庄构造带南缘,北接霸县凹陷,包括八里庄潜山构造带、任丘潜山构造带、南马庄构造带 3 个正向构造带和马西洼槽一个负向构造带(图 1)。在传统的构造找油理念和模式下,历经 20 余年的大规模系统研究和勘探,马西地区形态好、面积大、埋藏浅、成藏条件优越的构造圈闭多已钻探,同时马西地区由于地震资料采集年份早且分片采集,深层频率低,目的层成像精度差。以往构造成图和沉积体系研究以单个三维工区为单元,缺乏区域整体概念,导致地层岩性油气藏的勘探中存在一系列地质问题,如沉积体系及砂体分布范围、发育期次难以确定;深层地震资料品质较差,构造圈闭难以精细落实等勘探难题。

## 2 层序地层分析

层序地层学是一种划分、对比和分析沉积岩系

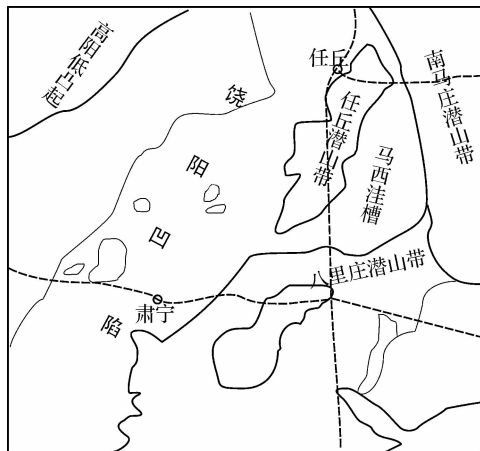


图 1 饶阳凹陷马西研究区位置示意

的新方法,这种方法极大地帮助了人们对地层成因和盆地建造的认识,为建立等时地层格架提供了一个强有力的手段,作为油气勘探与开发研究的新理论,层序地层学为综合研究油气成藏组合提供了一种科学而有效的新方法<sup>[1-4]</sup>。层序地层学一改以往以相似性为依据的岩性地层对比方法,强调了地层划分与对比的等时性,根据地层的旋回特征和叠加方式进行地层划分与对比。这种方法最大程度地克

服了地层划分与对比中的穿时性,在地质研究中具有划时代的意义。

本次研究的层段为古近系沙河街组三段,由于研究层段主要处于马西洼槽腹部,地层厚度大,为了更好地研究目的层段每一时期的地层特征、沉积特征以及沉积演化,精细地刻画等时地层,本次研究采用高分辨率层序地层学原理,针对研究区内的

目的层段,进行层序地层划分与对比,建立等时的高分辨率层序地层格架。根据单井层序划分,并震联合标定,确定出沙三段整体上为 1 个二级旋回,细分为 3 个长期旋回(相当于三级层序,命名为  $E_{s_3}$ -SQ1、 $E_{s_3}$ -SQ2、 $E_{s_3}$ -SQ3),6 个中期旋回(相当于四级层序)(表 1、图 2)。

$E_{s_3}$ -SQ1 相当于古近系沙河街组三段下亚段,是

表 1 层序地层划分方案

二级旋回	长期旋回 (三级层序)	中期旋回 (四级层序)	叠加样式	界面曲线特征响应
$E_{s_3}$ -SQ	$E_{s_3}$ -SQ3 ( $E_{s_3}^+$ )	$E_{s_3}$ -SQ3-msc2	最大洪泛面之下两正夹一	SP 曲线负异常值大,突变,RT 曲线高值
		$E_{s_3}$ -SQ3-msc1	反,洪泛面之上为一反	
	$E_{s_3}$ -SQ2 ( $E_{s_3}^{\text{中}}$ )	$E_{s_3}$ -SQ2-msc2	最大洪泛面之下为一正,洪	SP 曲线负异常值大,突变,RT 曲线高值
		$E_{s_3}$ -SQ2-msc1	泛面之上为两反夹一正	
	$E_{s_3}$ -SQ1 ( $E_{s_3}^{\text{下}}$ )	$E_{s_3}$ -SQ1-msc2	最大洪泛面之下为两正夹一	SP 曲线负异常值大,突变,RT 曲线高值
		$E_{s_3}$ -SQ1-msc1	反,洪泛面之上两反夹一正	

注:洼槽中心层序地层发育相对较全,而向盆地边缘,由于地层减薄或者尖灭等原因层序有不同程度的缺失。

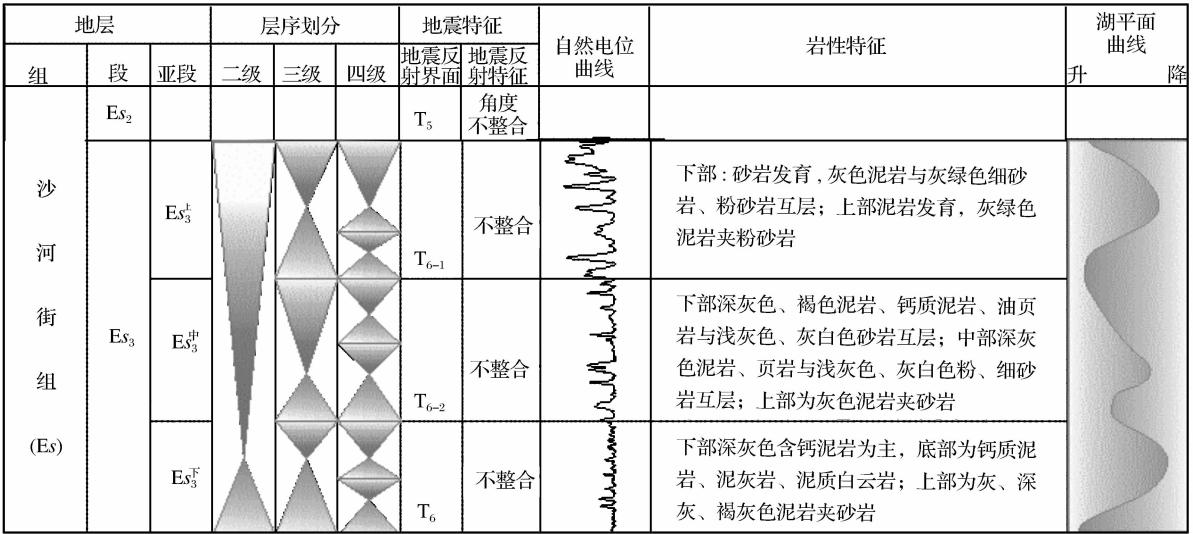


图 2 马西洼槽沙三段层序地层界面特征

一个完整旋回,基准面上升时期所沉积地层厚度大于基准面下降时期的厚度,属于不对称旋回,基准面转换点位置较高。其中又分 2 个中期旋回,分别为  $E_{s_3}$ -SQ1-msc1 和  $E_{s_3}$ -SQ1-msc2。 $E_{s_3}$ -SQ1-msc1 和  $E_{s_3}$ -SQ1-msc2 是基准面上升半旋回和基准面下降半旋回基本上等厚的对称性旋回。 $E_{s_3}$ -SQ1 基准面转换点之下是由 2 个上升半旋回和一个下降半旋回组成,即两正夹一反, $E_{s_3}$ -SQ1 基准面转换点之上是由一个下降半旋回组成。

$E_{s_3}$ -SQ2 相当于古近系沙河街组三段中亚段,是一个完整旋回,基准面上升时期沉积地层厚度小于基准面下降时期的厚度,属于不对称旋回,基准面转换点位置较低。 $E_{s_3}$ -SQ2 中又分为 2 个中期旋

回,分别为  $E_{s_3}$ -SQ2-msc1 和  $E_{s_3}$ -SQ2-msc2。 $E_{s_3}$ -SQ1-msc1 和  $E_{s_3}$ -SQ1-msc2 是基准面上升半旋回和基准面下降半旋回基本上等厚的对称性旋回。 $E_{s_3}$ -SQ2 基准面转换点之下是由一个上升半旋回组成, $E_{s_3}$ -SQ2 基准面转换点之上是由 2 个下降半旋回和一个上升半旋回组成,即两反夹一正。

$E_{s_3}$ -SQ1 相当于古近系沙河街组三段上亚段,是一个完整旋回,基准面上升时期所沉积地层厚度大于基准面下降时期的厚度,属于不对称旋回,基准面转换点位置较高。其中又分 2 个中期旋回,分别为  $E_{s_3}$ -SQ3-msc1 和  $E_{s_3}$ -SQ3-msc2。 $E_{s_3}$ -SQ3-msc1 和  $E_{s_3}$ -SQ3-msc2 是基准面上升半旋回和基准面下降半旋回基本上等厚的对称性旋回。 $E_{s_3}$ -SQ3 基准

面转换点之下是由 2 个上升半旋回和一个下降半旋回组成,即两正夹一反,Es<sub>3</sub>-SQ3 基准面转换点之上是由一个下降半旋回组成。

3 沉积体系类型及特征

马西地区地处饶阳凹陷的北部,沉积体系明显受构造运动的控制,其中主要是受马西大断层以及一系列北东向小断层的影响。根据岩心观察、地震及测井资料综合分析认为,马西地区古近系沙三段主要发育有四大沉积体系:三角洲沉积体系、湖泊沉

积体系、浊流沉积体系和滩坝沉积体系(表 2)。

3.1 三角洲沉积体系

本区的三角洲沉积体系主要发育于马西洼槽东部陡坡部位短轴方向、北部长轴方向、以及南马庄断裂带上。三角洲是在河流携带大量沉积物流入相对静止和稳定汇水盆地或区域(如:海洋、湖盆、半封闭海、湖等)处所形成的、不连续岸线的、突出的似三角形的砂体,它供应沉积物的速率比由当地盆地作用再分配的速率要快。通常三角洲是由一个固定供水系统,并且该供水系统最终形成一条主干河流,将沉积物供应给岸线(湖岸)的局部地区入水体沉积造成突出几何形态的三角洲体,它不断向湖前积推进。三角洲是在河流作用与湖水作用共同影响和相互作用下所形成的沉积物堆积体系,这个体系可以从陆上一直延续到水下,所以它们属于大陆与海洋之间的过渡型沉积体。岩性上主要以浅灰色细砂岩—粉砂岩—泥岩交互为主,多见到板状交错层理和槽状交错层理,泥岩颜色以灰色为主(图 3)。

表 2 饶阳凹陷马西地区沉积相类型

相	亚相类型
三角洲	三角洲平原
	三角洲前缘
湖泊	滨湖
	浅湖
	半深湖
重力流沉积	浊积扇
滩坝沉积	滩、坝

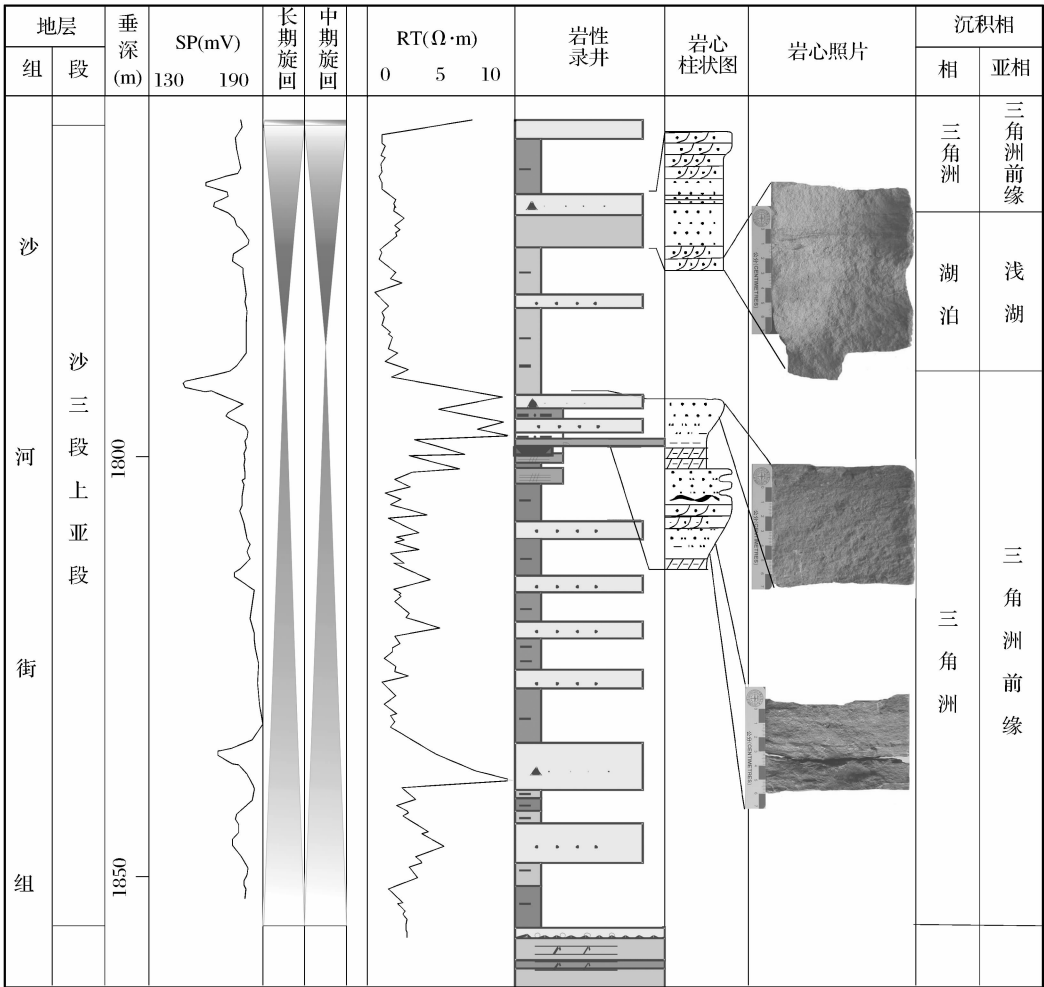


图 3 马西地区西 68 井 Es<sub>3</sub>-SQ3(沙三上亚段)综合特征

### 3.2 湖泊沉积体系

该沉积体系主要发育于马西洼槽中部以及任丘潜山西部的任西洼槽地区。湖泊是大陆上地形相对低洼和流水汇集的地域,湖泊拦截了由河流搬运的大量沉积物,是大陆沉积物堆积的重要场所<sup>[2,5]</sup>。包括滨湖亚相、浅湖亚相和半深湖亚相 3 种类型。湖泊相沉积以粉砂和暗色泥质沉积为主。滨湖泥坪由褐红色、暗紫红色、粉红色、灰褐色泥岩夹灰绿色泥岩、砂质泥岩、粉砂岩组成,发育沙纹层理、包卷层理和波痕构造,垂直或倾斜生物潜穴构造,以及干裂、鸟足迹等暴露标志。浅湖亚相以厚层褐红、暗紫红、褐棕色泥岩与绿灰色泥岩相间出现为特点,常见介形虫化石(图 3)。

### 3.3 重力流沉积体系

本区的半深湖—深湖环境主要出现在  $E_{s3}$ -SQ2(沙三中亚段)、 $E_{s3}$ -SQ3(沙三上亚段)沉积时期马西洼槽的中部,浊流沉积也在这 2 个时期发育,发育于短轴方向陡坡一侧。在马西大断层下降盘,由于坡度较陡,三角洲前缘砂体快速的侧向和垂向加积,厚度增大快,沉积物稳定性相对较差,在坡降较大处出现滑塌,形成浊积透镜体。

### 3.4 滩坝沉积体系

研究中把滩坝从湖相中单独划分出来。从物质成分来看,滩坝有陆源碎屑滩坝(即砂质滩坝)和由湖内生物、鲕粒、内碎屑等碳酸盐物质组成的碳酸盐岩滩坝 2 种类型<sup>[6-9]</sup>。本次研究区主要为砂质滩坝,物源来自附近的三角洲砂体的再搬运,经湖浪淘洗干净而堆积,垂向剖面上表现为砂岩与泥岩频繁互层。在沙三段的不同时期,任丘潜山一直为古凸起,或位于湖面之上或位于湖面之下但水位较浅,远离物源,在任丘潜山的两侧由于湖浪的来回淘洗,非常有利于滩坝沉积体系的沉积。

## 4 沉积体系平面分布

研究工作区从沙三段到东营组沉积时期经历了湖盆扩张、萎缩、回返、萎缩的过程,整个沙三段沉积时期总体为水体变深,湖盆扩大。在研究中,运用岩心精细观察描述与分析、单井相分析、连井剖面相分析、砂岩含砂率图、地层厚度、古地貌分析和物源分析以及相关地震属性分析等多种沉积相相关参数进行约束,运用沉积学原理,绘制了各层序时期沉积相平面分布图。

$E_{s3}$ -SQ2 沉积时期处于湖盆动荡期,此时湖盆面积缩小,工区南部及任丘潜山地区出现无沉积区,

湖泊以滨湖和浅湖为主,半深湖局部发育;东部发育多个正常三角洲,物源以北东向为主,短轴方向坡度陡朵体小而多,沉积体平面呈扇形,南部和北部坡度较缓,三角洲朵体相对较大,沉积体平面呈朵状。在东部斜坡坡折带附近,三角洲前缘砂体沿坡折产生滑塌,在低位域与湖侵域形成浊积扇,其规模相对较大且已证明有良好油气显示。研究区中部主要发育有砂滩砂坝、滨浅湖相。

$E_{s3}$ -SQ3 上升半旋回时期湖泊面积相对较大,洼槽中心及任西洼槽地区半深湖明显;任丘潜山部位由于水位较浅,由于波浪作用局部形成滩坝沉积;研究区南部长轴方向物源供应充足,三角洲(沉积体呈朵叶状)、三角洲平原及三角洲前缘皆发育;研究区东部陡坡部位发育三角洲前缘沉积,沉积体平面呈扇形,展布面积较小,断层下降盘有由于重力滑塌作用形成的浊积扇沉积;研究区北部及西北部长轴方向缓坡部位物源供应充足,三角洲朵体面积较大,呈朵叶状;研究区中部任丘潜山部位主要发育有砂滩砂坝亚相、滨浅湖亚相和半深湖亚相。整体上为三面供源(西南方向、南部方向和东北方向)为主,物源供应充足,可容纳空间变化速率较大,长短轴皆有供源(图 4)。

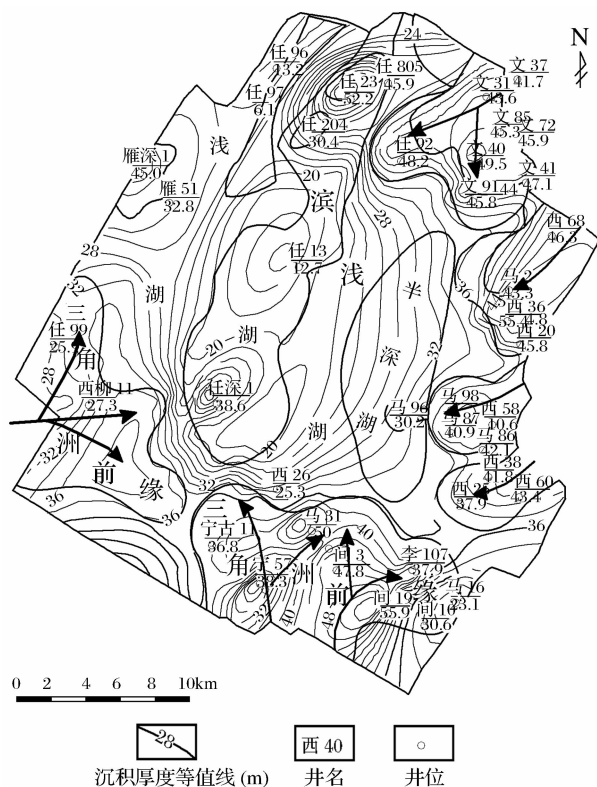


图 4  $E_{s3}$ -SQ3 (沙河街组沙三上亚段)上升半旋回平面相特征

$E_{s3}$ -SQ3 下降半旋回时期湖泊面积比上升时略

有缩小,洼槽中心及任西洼槽地区半深湖明显;任丘潜山部位由于水位较浅,由于波浪作用局部形成滩坝沉积依然存在;研究区南部长轴方向物源供应充足,三角洲(沉积体呈朵叶状)、三角洲平原及三角洲前缘皆发育;研究区东部陡坡部位发育三角洲前缘沉积,沉积体平面呈扇形,展布面积较小,断层下降盘有由于重力滑塌作用形成的浊积扇沉积;研究区北部及西北部长轴方向缓坡部位物源供应充足,三角洲朵体面积较大,呈朵叶状;研究区中部任丘潜山部位主要发育有砂滩砂坝、滨浅湖和半深湖相。整体上为三面供源为主,物源供应充足,可容纳空间变化速率较大,长短轴皆有供源等依然是本层序沉积时期的一个特点。

## 5 结论

马西洼槽沙三段发育有三角洲沉积体系、湖泊沉积体系、浊流沉积体系和滩坝沉积体系,而且沉积体系纵向上演化具有很强的规律性。 $E_{s_3}$ -SQ2(沙三中亚段)、 $E_{s_3}$ -SQ3(沙三上亚段)的上升半旋回和下降半旋回都是以三角洲沉积体系为主,主要发育在湖盆短轴东部陡坡马西断层附近,北部长轴方向,南部南马庄断裂带上;陡坡方向物源在洼槽中部有

浊流沉积,是重要的岩性油气藏有利区;任丘潜山两侧则发育有滩坝沉积,也可以作为良好的储层。

## 参考文献:

- [1] 威尔格斯 C K. 层序地层学原理[M]. 徐怀大译. 北京:石油工业出版社,1993.
- [2] Posamentier H W, Vail P R. Eustatic controls on clastic deposition I: sequence and system tract[C]//Sea Level Changes: An Integrated Approach. SEPM Special Publication. 1988, (42): 126-148.
- [3] 池秋鄂,龚福华. 层序地层学基础与应用[J]. 北京:石油工业出版社,2001:4-7.
- [4] 邓宏文,王宏亮,祝永军,等. 高分辨率层序地层学——原理及应用[M]. 北京:地质出版社,2002.
- [5] 于兴河. 碎屑岩系油气储层沉积学[M]. 北京:石油工业出版社,2002.
- [6] 吴崇筠,薛叔浩. 中国含油气盆地沉积学[M]. 北京:石油工业出版社,1993:60-63,77-80.
- [7] 冯增昭. 沉积岩石学(上册)[M]. 北京:石油工业出版社,1993:127-130.
- [8] 陈永峤,于兴河,周新桂,等. 东营凹陷各构造区带下第三系成岩演化与次生孔隙发育规律研究[J]. 天然气地球科学,2004,15(1):68-74.
- [9] 尹太举,张昌民. 层序地层格架内的油气勘探[J]. 天然气地球科学,2005,16(1):25-30.

## Depositional System and Sequence Stratigraphy of Third Member of Shahejie Formation in Maxi Region, Raoyang Sag

ZOU De-jiang<sup>1</sup>, YU Xing-he<sup>1</sup>, LIANG Hong-bin<sup>2</sup>, HONG Yue-ying<sup>3</sup>,  
LIN Wen<sup>1</sup>, ZHAN Lu-feng<sup>1</sup>

(1. China University of Geosciences, Beijing 100083, China;

2. Geological Scientific Research Institute of PetroChina Huabei Oilfield Company, Renqiu 062550, China;

3. Geophysical Research Institute, BGP, CNPC, Zhuozhou 072751, China)

**Abstract:** With the data from core, geology, well-logging and seism, this paper studies the middle-upper sections of the third member of Paleogene Shahejie Formation in Ma'xi subsug, and the strata contrast frameworks of cyclic sequence is defined and established. the authors believe 4 types of sedimentary systems were developed in this area in upper-middle sections of the Paleogene Shahejie formation. They are delta, lacustrine, turbidity current and beach bar sedimentary systems. Subfacies and vertical evolution of the depositional systems are discussed in detail.

**Key words:** Maxi subsag; Sequence stratigraphy; Depositional system; Sedimentary subfacies.