

文章编号:1673-8217(2014)01-0004-04

# 鄂尔多斯盆地镇北地区 延长组长 $\delta_1$ 储层微观孔隙结构研究

秦卫军<sup>1</sup>,张庆洲<sup>2</sup>,应芳芳<sup>1</sup>,李书恒<sup>2</sup>,杨军侠<sup>2</sup>

(1. 西安石油大学地球科学与工程学院,陕西西安 710065; 2. 中国石油长庆油田分公司超低渗透油藏研究中心)

**摘要:**通过铸体薄片、扫描电镜、高压压汞等分析化验手段,对鄂尔多斯盆地镇北地区长 $\delta_1$ 储层孔隙结构特征进行综合研究,结果表明,镇北地区长 $\delta_1$ 储层砂岩主要以中-细粒岩屑长石砂岩为主,其次为长石岩屑砂岩;研究区孔隙类型主要以剩余粒间孔和次生孔隙为主,长石、岩屑和碳酸盐胶结物的溶蚀是产生次生孔隙的重要原因;小孔和中孔是油气主要的储集空间,细喉道、中喉道和微细喉道是镇北地区长 $\delta_1$ 储层主要的渗流通道。依据毛细管压力曲线的形态以及孔隙结构特征参数把研究区的毛管压力曲线分为三类。

**关键词:**鄂尔多斯盆地;长 $\delta_1$ 储层;微观孔隙结构;镇北地区

**中图分类号:**TE112.23

**文献标识码:**A

镇北地区位于鄂尔多斯盆地西南部,范围西起殷家城,东至铜川,南起太平,北至曲子,构造位置横跨天环向斜和伊陕斜坡2个次级构造单元,区内断层不发育,仅在局部发育一些小型鼻状构造<sup>[1]</sup>。研究区发育多套含油层系,自下而上为长10~长1等油层组,其中长 $\delta_1$ 为其主力含油层系。由于早期的勘探程度较低,基础资料、取心资料以及分析化验资料有限,研究区储层的孔隙结构特征没有进行过细致的研究。鉴于此,通过大量的镜下照片和分析化验数据综合研究与评价,对镇北地区长 $\delta_1$ 储层的微观孔隙结构特征进行综合研究,为后期的开发提出可行性的方案。

## 1 储集砂岩的岩石学特征

镇北地区长 $\delta_1$ 储层砂岩为一套扇三角前缘亚相<sup>[2-4]</sup>。根据280多组的岩石薄片数据和粒度分析数据,研究区储集岩主要以中-细粒岩屑长石砂岩为主,其次为长石岩屑砂岩。石英含量17%~50%,平均28.55%,石英主要为花岗岩母岩来源,少量为变质岩来源;长石含量12%~42%,平均29.7%,主要为斜长石,见少量的微斜长石;火山岩岩屑为喷出岩;变质岩岩屑为石英岩、片岩、千枚岩、板岩;沉积岩岩屑为粉砂岩、泥岩、灰岩、白云岩。胶结物主要是粘土矿物胶结物、硅质胶结物和碳酸胶结物(图1)。

## 2 储集砂岩的物性特征

通过研究区长 $\delta_1$ 油层组150块物性分析化验

资料,得出研究区孔隙度4.4%~17.9%,平均值10.25%,中值11.15%;渗透率 $(0.02\sim 5.8)\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$ ,平均值 $0.54\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$ ,中值 $0.45\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$ ;孔隙度小和渗透率较低的特点反应镇北地区长 $\delta_1$ 储层属于典型的低孔低渗储层(图2)。

## 3 微观孔隙类型特征

### 3.1 孔隙类型

通过对30口井92张铸体薄片以及280多张扫描电镜照片分析得出镇北地区长 $\delta_1$ 储层的储集空间主要以原生孔隙为主,其次发育次生孔隙。

#### 3.1.1 原生孔隙

研究区发育的原生孔隙主要是剩余粒间孔隙,即砂质沉积物在埋藏成岩过程中经早期的过机械压实,早期的绿泥石胶结以及硅质胶结,后期的铁方解石胶结和交代作用,以及晚期的伊利石和高岭石胶结之后剩余的孔隙。形状多以三角形和多边形等形态。

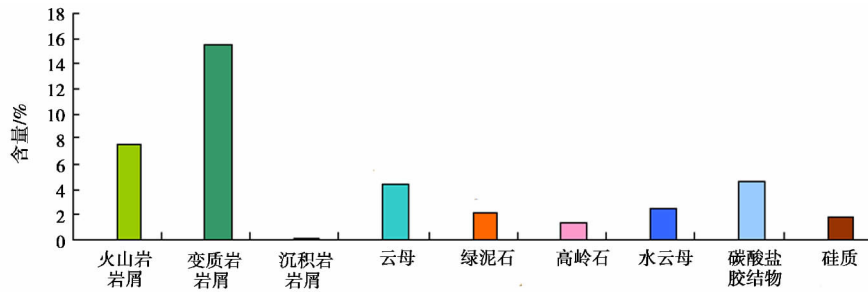
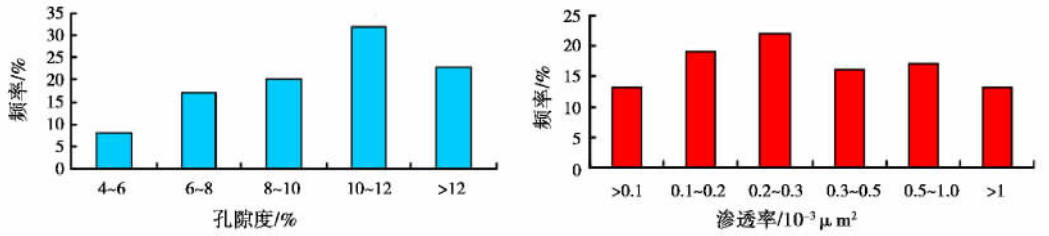
#### 3.1.2 次生孔隙

研究区长 $\delta_1$ 储集层中的油气主要来自与其相邻的长7和少量来自于下部的长9油层组。地层中的有机质在高温高压下分解产生的有机酸和 $\text{CO}_2$

收稿日期:2013-09-04;改回日期:2013-11-26

作者简介:秦卫军,1985年生,2009年毕业于西安石油大学石油与天然气勘探专业,现从事沉积与储层地质学的研究。

基金项目:中国石油长庆油田分公司超低渗透油藏研究中心“镇北长8油藏储层综合评价研究”项目资助(2012-02)。

图 1 镇北地区长<sub>8</sub><sub>1</sub> 储层岩屑和填隙物含量分布图 2 镇北地区长<sub>8</sub><sub>1</sub> 储层孔隙度和渗透率分布

在排烃过程中进入储集层当中,储层孔隙的流体由碱性变为酸性,长石和岩屑的碎屑颗粒在酸性化环境下容易发生溶蚀,产生溶蚀孔隙。其中长石常沿解理缝选择性溶蚀,形态不规则,部分长石完全溶蚀,可形成铸模孔,残留有以绿泥石为主的泥晶套,孔内有少量的沿解理蚀变的绢云母残余,部分长石溶孔和粒间孔相连,形成大孔隙<sup>[5-6]</sup>。镇北地区长<sub>8</sub><sub>1</sub> 储层经过强烈的成岩作用改造后,原生孔隙减少,而溶蚀产生的次生孔隙有效的改善了储集空间,使得低孔低渗储层在一定程度上得到了改善。

### 3.1.3 孔隙的大小分布

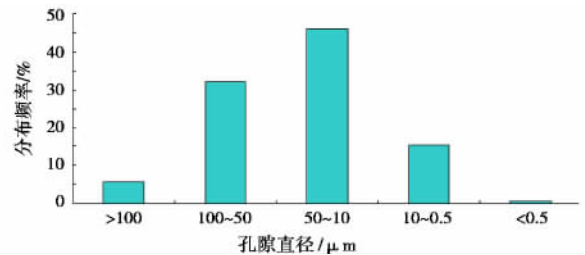
根据长庆油田低渗透储层开发的动态特征,结合铸体薄片孔隙图像分析,把长<sub>8</sub><sub>1</sub> 储层中的孔隙大小分为如下 5 类:大孔(孔隙直径>100 μm),中孔(孔隙直径介于 80~50 μm),小孔(孔隙直径介于 50~10 μm),细孔(孔隙直径介于 10~0.5 μm),微孔(孔隙直径<0.5 μm)。对镇北地区 28 组图形孔隙分析数据统计见图 3。

### 3.2 喉道类型

目前,按平均喉道半径,可以将喉道分为粗喉(>3.0 μm)、中细喉(1.0~3.0 μm)、细喉(0.5~1.0 μm)、微细喉(0.2~0.5 μm)和微喉(<0.2 μm) 5 种类型。对 36 口井 85 块高压压汞结果分析,镇北地区长<sub>8</sub><sub>1</sub> 主要发育细喉道、中细喉道和微细喉道,少量的和粗喉道。

综上所述,研究区孔隙主要以中小孔为主,导致了镇北地区储层的低孔的特征;喉道主要以中一细

喉道为主,决定了储层的渗流能力中等一差。

图 3 镇北地区长<sub>8</sub><sub>1</sub> 储层孔隙分布直方图

## 4 微观孔隙结构特征

碎屑岩的孔隙结构复杂,喉道和孔隙大小分布不均,目前国内主要利用扫描电镜、常规压汞来研究储层的微观孔隙结构,用毛细管压力曲线形态及各特征参数<sup>[7-14]</sup>来表示。

### 4.1 反映储集层储集性能渗流能力的定量参数

中值半径  $R_{50}$  反映了总的孔隙喉道大小受到岩石的物理、化学成因及随后的任何变化的影响。研究区中值半径 0.03~0.4 μm,平均 0.15 μm,总体分布比较分散,多数分布在 0.01~0.1 μm 之间,总体上都比较小,反映镇北地区储岩较致密,渗透性较差,渗流能力弱。

中值压力  $P_{50}$ ,是反映当孔隙中存在油、水两相时,用以衡量油的产能大小。 $P_{50}$  越小,则表明岩石(对油的)渗滤性能越好,具有高的生产能力。研究区中值压力在 1.83~22.88 MPa,平均 9.18 MPa,主要分布在 8~20 MPa 之间,占到了 70% 以上,个

别样品达到 40 MPa 以上,总体中值压力偏大,反映镇北地区长 8<sub>1</sub> 储层较致密,渗透性差,产油能力较差。

排驱压力  $P_d$  是孔隙系统中最大的连通孔隙的毛细管压力。排驱压力越小,岩石渗透率越好;排驱压力越大,岩石渗透率则越差<sup>[11-17]</sup>。研究区排驱压力分布范围 0.18~7.39 MPa,平均值 1.59 MPa,总体分布在 1.0~7.3 MPa 之间,占到了样品总数的 62%,反映研究区储层砂岩致密程度较高,渗流能力较差。

最大孔喉半径  $R_{max}$ :与排驱压力相对应的最大孔喉半径越大,储层岩石的物性越好<sup>[8-13]</sup>。研究区最大孔喉半径分布在 0.4~4.02  $\mu\text{m}$ ,平均 1.52  $\mu\text{m}$ ,多数样品分布在 0.6~2.0  $\mu\text{m}$ ,占到总样品的 80%以上,反映镇北地区孔喉相对较集中而且孔喉相对较细,总体的物性相对较差。

最大进汞饱和度  $S_{max}$ :最大汞饱和度越大,岩石中未被汞所饱和的孔喉体积越小,孔喉的连通性越好;最大进汞饱和度越小,岩石中未被汞所饱和的孔喉体积越大,孔喉的连通性越差。镇北地区最大进汞饱和度的范围为 61.85%~92.05%,平均为 78.16%,集中分布在 75%~85%之间,这一特征参数反映镇北地区储层的孔喉的连通性中等。

综上选取能够反应孔喉大小的定量参数  $R_{max}$  和  $R_{50}$  两个参数, $R_{max}$  分布在 0.40~4.02  $\mu\text{m}$ ,平均 1.52  $\mu\text{m}$ ; $R_{50}$  分布在 0.03~0.40  $\mu\text{m}$ ,平均 0.15  $\mu\text{m}$ ,总体反映孔隙结构具有中细孔喉的特点。选取能够反映连通性和渗流能力两个参数  $P_d$  和  $P_{50}$ , $P_{50}$  介于

1.83~22.88 MPa,平均 9.18 MPa; $P_d$  介于 0.18~7.39 MPa,平均值 1.59 MPa,总体反映研究区储层的渗流能力较差,非均质性强,产油能力较差。

#### 4.2 反映储集层分选性的统计参数

分选系数  $S_p$  是对样品中孔隙喉道大小标偏差的量度,直接反映了孔隙喉道分布的集中程度。镇北地区分布范围为 0.3~3.3 之间,集中分布在 1~3 之间,占到总样品数的 90%以上,而大多数分选系数较大,反映研究区孔隙喉道分布不够集中,分选性中等一差。

歪度系数  $S_{kp}$  是孔隙喉道大小分布不对称性量度。一般对于储层来说,歪度越粗越好。研究区歪度系数分布范围为 -1.5~2.44 之间,平均值 0.88。集中分布在 -0.4~1.5 之间,多数样品的孔喉分布相对的粗歪度,反映出镇北地区储层砂岩的孔喉偏向于中小孔。

综上分选系数和歪度系数两个参数反映镇北地区长 8<sub>1</sub> 储层分选中等一差,偏向于中小孔。

### 5 综合分类评价

毛管压力曲线能够比较直观地反映储层的孔隙结构,不同的毛管压力曲线代表不同的孔隙结构类型<sup>[18-21]</sup>。在前人对鄂尔多斯盆地延长组孔隙结构分类标准研究的基础上<sup>[9-11]</sup>,结合镇北地区长 8<sub>1</sub> 储层毛管压力的形态以及储层的孔隙度、渗透率、中值压力、排驱压力、最大进汞饱和度、以及中值半径等参数对镇北地区的压汞曲线进行分类评价(表 1)。

表 1 镇北地区长 8<sub>1</sub> 储层各类微观结构特征

$\Phi/\%$	$K/10^{-3}\mu\text{m}^2$	$P_d/\text{MPa}$	$R_{max}/\mu\text{m}$	$P_{50}/\text{MPa}$	$R_{50}/\mu\text{m}$	$S_{max}/\%$	$S_{kp}$	$W_e/\%$	分类	分类含量/%
13.17	5.80	0.20	4.00	1.90	0.38	90.76	2.11	39.05	I类	12
10.25	0.46	0.67	1.37	6.30	0.16	85.72	1.62	34.22	II类	82
7.67	0.11	1.37	0.59	11.93	0.07	60.23	1.48	21.30	III类	6

注: $\Phi$ 为孔隙度; $K$ 为渗透率; $P_d$ 为排驱压力; $R_{max}$ 为最大孔喉半径; $P_{50}$ 为中值压力; $R_{50}$ 中值半径; $S_{max}$ 为最大进汞饱和度; $S_{kp}$ 歪度; $W_e$ 为退汞效率。

I类是以 ZH277 井为代表的长 8<sub>1</sub> 储层高压压汞曲线(图 4)。曲线有一个明显的平台,拥有相对较高的孔隙度和渗透率,较低的排驱压力和中值压力,较高的最大进汞饱和度,较高的退汞效率,以粗孔喉为主,孔喉的连通性较好(表 1)。然而该类储层的分选系数和歪度系数较大,说明孔喉的大小分布不集中,储层的孔隙结构和渗流能力好。

II类是以 ZH265 井为代表的长 8<sub>1</sub> 储层高压压汞曲线(图 4)。曲线平台明显高于 I 类储层,拥有中

等一好的物性,较低的排驱压力和中值压力,高的最大进汞饱和度,以细孔喉为主,孔喉的连通性较好(表 1)。然而该类储层的分选系数和歪度系数的较大,说明孔喉的集中程度较差,该类储层的孔隙结构和渗流能力中等。

III类是以井 ZH101 井为代表的高压压汞曲线(图 4)。物性差,相对较高的排驱压力和中值压力,低最大进汞饱和度,较低的退汞效率,以微细孔喉为主,连通性较差,孔喉的分布相对较分散,该类储层

孔隙结构和渗流能力较差。

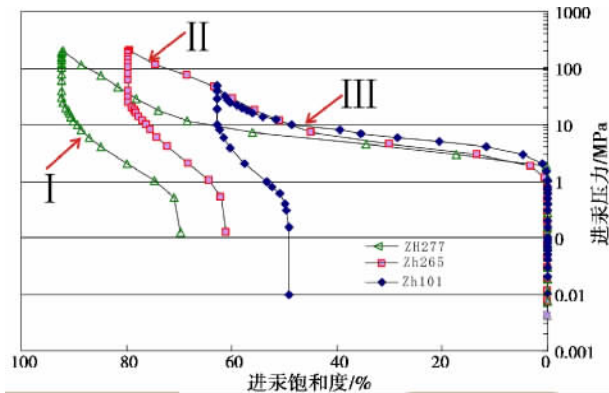


图4 镇北地区长<sub>8</sub><sub>1</sub> 储层典型压汞曲线

## 6 结论

(1)镇北地区长<sub>8</sub><sub>1</sub> 储层主要以原生粒间孔隙、长石溶孔为主,其次为岩屑溶孔,含有少量的铸模孔,以中孔和小孔为主,是主要的储集空间。

(2)喉道类型主要以中细喉道为主,研究区储层的渗流能力较差,产油能力较差。

(3)通过毛管压力的形态以及储层的孔隙度、渗透率、中值压力、排驱压力、最大进汞饱和度、以及中值半径等参数对镇北地区的压汞曲线进行分类评价,研究区主要分为三类毛管压力曲线。

### 参考文献

- [1] 杨俊杰. 鄂尔多斯盆地构造演化与油气分布规律[M]. 北京:石油工业出版社,2002:104-108.
- [2] 付金华,郭正权,邓秀芹. 鄂尔多斯盆地西南地区上三叠统延长组沉积相及石油地质意义[J]. 古地理学报, 2005,7(1):34-44.
- [3] 王成玉,韩永林,王海红,等. 西峰、镇北地区长<sub>8</sub> 沉积相再认识[J]. 石油天然气学报(江汉石油学院学报), 2006,28(5):28-31.
- [4] Folk R L. Petrology of sedimentary rocks[M]. Austin: Hemphill, 1968:107.
- [5] 温德顺,李涛,陈章顺,等. 靖安油田大路沟区长<sub>6</sub><sub>1</sub> 储层微观孔隙结构研究[J]. 石油地质与工程, 2009, 23(5):35-37.
- [6] 代金友,张博,王宝刚. 靖边气田储层孔隙结构特征研究[J]. 石油地质与工程, 2012,26(5):29-31.

- [7] 杨华,钟大康,姚泾利,等. 鄂尔多斯盆地陇东地区延长组砂岩储层孔隙成因类型及其控制因素[J]. 地学前缘, 2013,20(2):69-76.
- [8] 黄思静,张萌,朱世全等. 砂岩孔隙成因对孔隙度/渗透率关系的控制作用[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 31(6):648-653.
- [9] 赵靖舟,吴少波,武富礼. 论低渗透储层的分类与评价标准[J]. 岩性油气藏, 2007,19(3):28-31.
- [10] 谢庆邦. 陕北三叠系延长组低渗储集层孔隙结构特征及其评价[J]. 石油勘探与开发, 1988,15(2):48-55.
- [11] 孟宪富,陈堂锁,洛跃雄,等. 鄂尔多斯盆地杏河地区长<sub>6</sub> 油组不同微相储层孔隙结构特征[J]. 石油地质与工程, 2009,23(4):20-22.
- [12] 国殿斌. 东濮凹陷三叠系裂缝性砂岩储层微观孔隙结构特征[J]. 断块油气田, 2011,18(2):191-194.
- [13] 康立明,苏道敏,曹林川. 鄂尔多斯盆地元城地区储层微观孔隙结构特征[J]. 断块油气田, 2011,18(3):338-341.
- [14] 解伟,张创,孙卫,等. 恒速压汞技术在长<sub>2</sub> 储层孔隙结构研究中的应用[J]. 断块油气田, 2011,18(5):549-551.
- [15] 据惠姣,孙卫,杨希濮,等. 鄂尔多斯盆地延安地区山<sub>2</sub> 段储层特征及其主控因素[J]. 断块油气田, 2011,18(2):142-145,157.
- [16] 魏钦廉,郑荣才,肖玲,等. 鄂尔多斯盆地吴旗地区长<sub>6</sub> 储层特征及影响因素分析[J]. 岩性油气藏, 2007,19(4):45-50.
- [17] 胡志明,把智波,熊伟,等. 低渗透油藏微观孔隙结构分析[J]. 大庆石油学院学报, 2006,30(3):51-53.
- [18] 杨希濮,孙卫. 鄂尔多斯盆地低渗透油藏孔隙结构特征及影响因素分析[J]. 特种油气藏, 2011,18(6):44-47.
- [19] 陈杰,周改英,赵喜亮,等. 储层岩石孔隙结构特征研究方法综述[J]. 特种油气藏, 2005,12(4):11-14.
- [20] 夏训文,龚福华,祝旭双. 鄂尔多斯盆地姬塬地区黄<sub>39</sub> 罗<sub>1</sub> 井区长<sub>8</sub><sub>1</sub> 低渗透储层孔隙结构特征研究[J]. 长江大学学报(自然科学版), 2011,8(11):12-15.
- [21] 陈小梅. 鄂尔多斯盆地镇径地区延长组长<sub>6</sub>、长<sub>8</sub> 油层组储层特征研究[J]. 石油地质与工程, 2007, 21(6):29-32.

编辑:吴官生

# ABSTRACTS

Vol. 28 No. 1, Jan. 2014

## 01 Reservoir microscopic characteristics study on western Sulige gas field

Dai Jinyou et al(Petroleum Engineering Key Laboratory of the Ministry of Education, China University of Petroleum (Beijing), Changping, Beijing 102249)

By using core observation, thin section identification and various testing data, a systematic study on reservoir microscopic petrological characteristics and pore structure of western Sulige gas field has been carried out. The results show that reservoir sandstone from He-8 member and Shanxi formation is of higher cutting content and lower feldspar content. The rock type is mainly of lithic sandstone with low compositional maturity. Through diagenetic transformation, four kinds of pore types were mainly developed, including dissolved pore, inter-granular pore, inter-crystalline pore and micro-fractures. Among them, with larger aperture, the inter-granular pore and dissolved pore can provide occurrence space for hydrocarbon. Micro-fractures can effectively communicate reservoir and improve gas well capacity. The overall pore combination of the gas field is fine-micropore and fine-medium pore. As the main producing layer, the pore structure of the He-8 lower member and Shan-1 member is good, and it is good for hydrocarbon enrichment.

**Key words:** Ordos basin; Sulige gas field; pore structure; pore types; rock types

## 04 Micro-pore structure study on Chang 8<sub>1</sub> reservoir of Yanchang formation in Zhenbei area of Ordos basin

Qin Weijun et al(College of Earth Science and Engineering, Xi'an Petroleum University, Xi'an, Shaanxi 710065)

By means of casting thin sections and scanning electron microscopy (SEM), high-pressure mercury injection, and etc, a comprehensive micro-pore structure study on Chang 8<sub>1</sub> reservoir of Yanchang formation in Zhenbei area of Ordos basin has been carried out. The results show that the reservoir sandstone from Chang 8<sub>1</sub> of Zhenbei area is primarily of medium-fine feldspathic sandstone, and secondly of feldspar lithic sandstone. Pore types in the study area are mainly composed of residual intergranular pore and secondary pore. The dissolution of feldspar, cuttings and carbonate cement is an important cause of the secondary porosity. Small and medium pores can provide main reservoir space for hydrocar-

bon, while fine throat, throat and micro-throat can provide main seepage channel for reservoir. Based on morphology of capillary pressure curve and pore structure characteristics parameters, the pipe pressure curve of the study area can be divided into three categories.

**Key words:** Ordos basin; Chang 8<sub>1</sub> reservoir; micro-pores structure; Zhenbei area

## 11 Triassic sequence stratigraphic characteristics study on Hashan area

Zhang Yin(Western New City Research Center of Shengli Oilfield Branch Company, Sinopec, Dongying, Shandong 257000)

By using the theory of sequence stratigraphy, through drilling, logging, seismic, core data analysis of Triassic system in Hashan area, one class-I and two class-III sequence interfaces have been identified out. The Triassic system can be divided into three class-III sequence interfaces (TSQ1, TSQ2, TSQ3) and six system domains. In TSQ1, it mainly developed alluvial fan-fan edge-fan delta plan sedimentary system. In TSQ2, it mainly developed fan delta front-plan sedimentary system. In TSQ3, it mainly developed shore-shallow lacustrine sedimentary system. The gravel strata from alluvial fan in TSQ1, mainly developed on the edge of the basin, with the combination of faulting or unconformity and it can still be good reservoir. Fan delta front distributary channel in TSQ2 was the most favorable reservoir facies belt.

**Key words:** Hashan area; sequence stratigraphy; sedimentary characteristics; Triassic; fan delta; system domain

## 15 Sequence stratigraphy study on Sha-4 formation of Sheng-25 well area in Damintun sag

Qin Gang(Engineering College of Yangtze University, Jinzhou, Hubei 434023)

Sha-4 formation in Damintun sag is the sedimentary product of fault depression-in deep fault depression period, with the characteristics of big thickness, better oil source condition and big exploration potential. Through well logging, mud logging and seismic data analysis, isochronous stratigraphic framework of Sha-4 formation has been established. The framework made a detailed description and subdivision of the internal structure, sequence boundaries and system domain, and identified out sequence interfaces SB1 and SB2. In Sha-4 formation, the sequence interior can be divided into low stand system tract and transgressive system tract. Parasequence set mainly developed aggradation type and retrogradation type. Through the establishment of se-