

文章编号: 1009-3850(2014)03-0072-08

# 沾化凹陷孤北洼陷沙四上亚段油气成藏组合特征

辛也

(胜利油田地质科学研究院, 山东 东营 257015)

**摘要:** 通过油源对比及储层特征、盖层特征、油气藏特征研究, 将孤北地区沙四上亚段划分为自源自生自储油气成藏组合和混源旁生侧储油气成藏组合, 解释了孤北地区沙四上亚段存在的3类油气成藏模式: 自源侧向运聚模式、自源垂向运聚模式、混源混向运聚模式。构造圈闭、不整合面和断层发育是成藏组合油气成藏的关键因素。在异常高压的作用下, 油气沿断层、不整合面和骨架砂体共同组成油气二次运移的立体网络, 使陡坡、低隆起、缓坡各构造岩相带都能够成为油气运移的有利指向。

**关键词:** 油气成藏组合; 成藏模式; 孤北洼陷

中图分类号: TE122.3<sup>+1</sup>

文献标识码: A

## 引言

油气成藏组合是油气勘探中最为重要的概念, 是综合勘探方案得以建立的有实际意义的单元。油气成藏组合有地理与地层限制, 是一组在岩性、沉积环境及构造发育史上密切相关的地质<sup>[1]</sup>。孤北洼陷位于沾化凹陷东部, 长堤断层以西, 孤北断层以北, 埕东断层以东, 埕北断层以南, 勘探面积约300km<sup>2</sup>(图1)。区内有老河口油田、桩西油田、五号桩油田和长堤油田等。孤北洼陷沙四上亚段储集体类型复杂, 储盖组合变化大, 各类圈闭广泛分布, 区带成藏条件好, 是沾化凹陷重要的复式油气聚集带之一<sup>[2]</sup>。由于其构造复杂, 储集层、圈闭平面分布复杂, 存在一定的勘探难度。笔者综合孤北洼陷沙四上亚段油气成藏的各项条件, 以成藏组合为评价体系, 讨论孤北洼陷沙四上亚段油气成藏组合特点。

## 1 油气成藏要素

### 1.1 构造特征

孤北洼陷带断裂较为发育, 长期多次的断裂活

动不仅影响构造发育和沉积建造, 而且控制着盆地内的油气聚散。孤北洼陷古近纪断层均为正断层, 不同级别的断裂具有一定的组合样式、序次、隶属关系及展布方向, 构成多组断裂系统。孤北洼陷西侧、北侧、东侧的边界断层等陡坡断裂及其伴生的断裂构成了洼陷内的主要断裂系。这些断裂长期活动, 控制着沙四沉积期的边界, 沿断裂带发育扇、扇三角洲沉积体系。区内边界断裂系统按断层走向主要有4组: 近东西走向断裂系统(桩南断层)、近南北走向断裂系统(五号桩断层)、北北东走向断裂系统(埕东断层、长堤断层北部)、北西西走向的断裂系统(孤北断层)。不同的边界断层的活动强度不同, 对洼陷结构和沉积体系的控制作用也不同。五号桩断层在沙四期活动最为强烈, 是控制沙四上亚段沉积的主要边界断层。除边界基底断层外, 洼陷内还发育了一些与五号桩断层近似垂直的次级同沉积断层, 大部分呈东西走向, 平面上延伸长度为3~10km, 跨越陡坡断阶带与部分洼陷带, 与五号桩断层组成梳状构造, 对沙四期近南北向展布的沉积相带起分隔作用, 并对扇体的形态和厚度起控制作用<sup>[3]</sup>。

研究区洼陷的构造样式主要受边界断层控制,可划分为陡坡、深洼、缓坡、中央隆起等构造单元。孤北洼陷东缘、西缘、北缘分别受控于埕东断裂带、五号桩断裂带、桩西断裂,形成3个陡坡断裂构造带。受边界断层和中央低凸起的影响,研究区内发育东、西两个洼陷构造带,洼陷带和孤北低隆起之间为缓坡构造带(图1)。

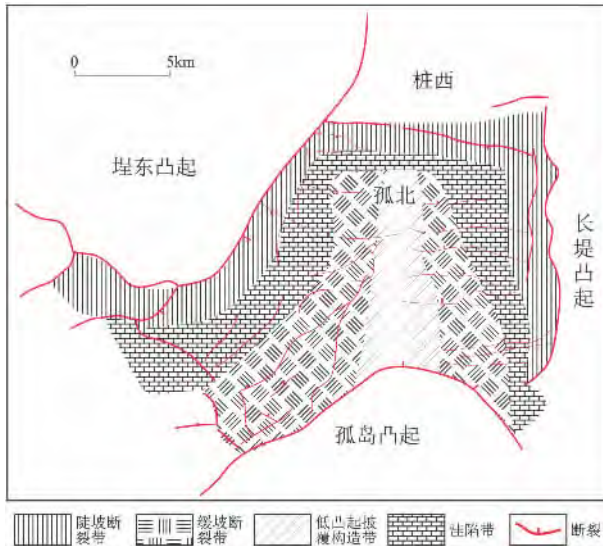


图1 孤北地区构造特征

Fig. 1 Structural patterns of the Gubei depression

## 1.2 地层特征

沙四上亚段沉积时期,随着水体范围的不断扩大,沙四上亚段向四周超覆。洼陷边界断层控制了地层的展布范围,桩南断鼻和孤北低隆起对地层的分布具有较强的分割性;孤北低隆起上沙四上亚段沉积厚度一般小于60m,而东、西两个次洼沉积厚度一般大于200m。根据岩性特征、电性特征、声波曲线特征,结合区域地质特点,利用层序地层学原理,将沙四上亚段层序细分为4个砂组<sup>[3-5]</sup>。每个砂组都是一个较为完整的正旋回,并具有各自的岩性、电性特征。四砂组沉积时期水体比较稳定,沉积以泥岩为主,夹薄层细、粉细砂岩,电阻率曲线表现为低电阻;三砂组是一个水进旋回,底部为含砾砂岩,向上砂、泥岩互层,逐渐过渡为大套泥岩,电阻率曲线表现为由高到低的特征,结合伽玛曲线在电阻率最低点处为三砂组顶;二砂组是一个水退旋回,底部为最大湖泛面泥岩,向上砂岩增多,中上部出现含砾砂岩,电阻率曲线、伽玛曲线特征与三砂组相反,电阻率由低变高,伽玛曲线亦由低变高;一砂组表现为进积或加积的特征,以泥岩为主,夹薄层细砂岩,电阻率曲线表现为高值(图2)。

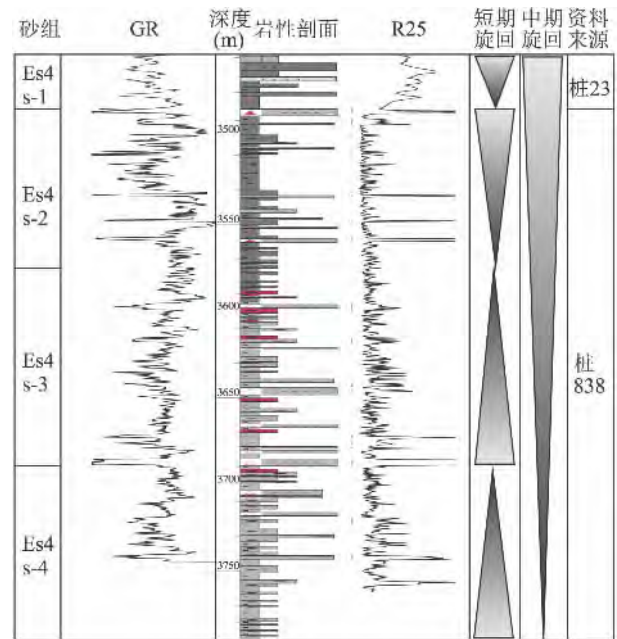


图2 孤北洼陷沙四上亚段综合柱状图

Fig. 2 Generalized column through the upper submember of the 4th member of the Shahejie Formation in the Gubei depression

## 1.3 沉积特征

由于沙四中晚期盆地发生全面抬升,使沙四下亚段与沙四上亚段之间经历了一个沉积间断。该时期沙四上亚段局部的盐湖相及大范围分布的河流相萎缩、逐渐消失,盆地从边缘到洼陷中心,经历了一个由河流-冲积扇沉积体系过渡为盐湖及滨浅湖沉积体系,再由滨、浅湖沉积体系过渡至半深湖沉积体系的演化过程。沙四上亚段沉积期,盆地为箕状凹陷的构造格局,东北部陡坡带沉积范围窄且发育不全,发育半深湖-深湖水下扇体系<sup>[6-7]</sup>。南部缓坡带地势平坦,沉积范围较大,发育滨浅湖扇三角洲-滩坝体系。这种模式发育在孤北洼陷东西向剖面 and 东部次洼南北向剖面。

## 2 油气成藏组合划分

### 2.1 成藏组合概念

含油气性的基本控制因素包括生油条件(Sa)、储集条件(R)、运移条件(M)、圈闭、输导与成烃期的时间匹配(T)、盖层和保存条件(S),将每一个因素看成独立变量,各独立变量的乘积便是成藏组合的边缘概率(P)。边缘概率的大小表示成藏组合含油气可能性的大小,P值越大,勘探风险越小,成功率越高<sup>[1]</sup>。

### 2.2 油源对比

孤北洼陷具有良好的生油能力,发育孔二段、

沙四段、沙三段、沙一段等烃源岩,烃源岩厚度大、埋藏深、分布范围广,属 I 类高成熟生油岩,具有很强的生油能力,为沙四上亚段成藏提供了物质基础。地球化学分析结果显示,本区具有沙四段、沙三段两套油源,原油具有混源特征。

沙四上亚段烃源岩以沙四段沉积中、晚期的暗

色湖相泥岩为主,沙四段来源原油以高伽玛蜡烷、高  $C_{35}$  藿烷及低 4-甲基甾烷含量明显区别于沙一段及沙三段来源的原油,具有高含蜡量、高凝固点的特征(图 3)。对应的成藏时期在馆陶组沉积中期和明化镇组沉积早期<sup>[8]</sup>。



图 3 孤北洼陷沙四上亚段原油生物标记化合物特征对比图

Fig. 3 Correlation of the biomarkers in the crude oil from the upper submember of the 4th member of the Shahejie Formation in the Gubei depression

沙三段烃源岩在馆陶末期进入生油门限,明化镇中后期为主要排烃期。明化镇末期进入高成熟阶段。对洼陷烃源岩丰度及有机质类型分析,其主力烃源岩为沙三段,特别是沙三下亚段,有机质含量丰富,是优质烃源岩。以干酪根类型划分,沙三中亚段、下亚段以 II 型为主, I 型次之。据生油母质分析,沙河街各层系生油母质以水生藻类为主。生油岩目前处于高成熟阶段,生油层系厚度大,有机质丰度高,母质类型好,分布广泛且埋藏深,具备了多层系大量生烃的良好条件。

### 2.3 储盖组合

孤北洼陷的沙四上亚段和沙二段、沙三段包括了目前发现的主要储集层。受多期次构造活动的影响,沙四上亚段储集层的次生孔隙与裂缝较为发育,具有良好的储集条件。沙四上亚段储层为碎屑岩滩坝和灰质滩坝、扇三角洲等亚相,沉积微相带是控制储集层储集能力的内因,成岩演化对储层的物性有不同程度的改变。区域盖层为沙三段泥岩、油页岩和油泥岩。

由于沙四上亚段的储层以扇三角洲前缘、滩坝砂体等薄层砂体为主,储地比通常小于 30%,单层厚度 < 10m,因此无论是侧向还是顶部,盖层条件都比较可靠,不存在侧向封堵不利的问题。同时,也决定了该层系的油藏规模都比较小,纵向成层、横向独立<sup>[8]</sup>。

### 2.4 油气运移路径

孤北洼陷输导系统主要包括渗透性储层、断层和不整合面。断层、不整合面对油气的分布与聚集起着一定的控制作用。沙四上亚段顶部的不整合界面的上、下层分别为泥岩、砂岩,砂泥的横向变化很快,泥岩隔层普遍存在,使得砂岩作为疏导层横向连续性变差,导致疏导油气的范围很局限<sup>[8]</sup>。沙四段的油气在不整合面中很难进行长距离的运移,更多的情况是与断层、骨架砂体共同构成复式输导体系进行油气的运移。地层油藏中有约 70% 是由断层、骨架砂体和不整合面 3 者共同构成复式输导体系,其余的约 30% 则是通过断层和骨架砂体来完成油气输导。

### 2.5 圈闭要素

沙四上亚段形成的圈闭类型有扇三角洲岩性-地层圈闭、滩坝岩性-地层圈闭、滩坝岩性圈闭、水下扇岩性圈闭、不整合遮挡岩性圈闭等 5 种圈闭类型。其中在低隆起滩坝构造岩相带,主要发育沙四上亚段的岩性-构造油藏;在洼陷构造带发育沙四上亚段的湖底岩性油藏;在缓坡构造带发育地层不整合油藏;在陡坡构造带靠近断裂的高部位主要发育断块油藏;在靠近洼陷带的低部位主要发育岩性油藏。

### 2.6 油气成藏组合划分

根据孤北洼陷储盖组合特征及油源对比、沉积构造演化及油气藏期次演化等特征,笔者将研究区

油气成藏组合划分为两种类型,即自源自生自储油气成藏组合和混源旁生侧储油气成藏组合(图4),烃源岩以沙四上亚段及沙三下亚段泥岩为主。自源自生自储成藏组合的储集层为沙四上 II 砂组和 III 砂组扇三角洲前缘及滩坝砂岩,区域盖层为沙四上亚段发育的湖相泥岩;混源旁生侧储成藏组合的储集层为扇三角洲前缘及滩坝砂体<sup>[9]</sup>。研究区的成藏组合在横向上可分为陡坡断裂带、缓坡断裂带、洼陷带,由于沉积环境、构造控制作用对这两类成藏组合的影响不同,它们具有各自的组合特征。

年代地层		地层发育	油气显示	生、储、盖组合			油气成藏组合	成藏模式
沙三段	沙三下			烃源岩	储层	盖层		
沙四段	I 砂组					混源旁生侧储成藏组合	源向运聚式 白垂运模	
	II 砂组							
	III 砂组					自源自生自储成藏组合	源向运聚式 白侧运模	
	IV 砂组							
	沙四下							

图4 孤北洼陷沙四上亚段油气成藏组合划分图

Fig. 4 Division of the oil-gas plays in the upper submember of the 4th member of the Shahejie Formation in the Gubei depression

### 3 油气成藏组合特征

#### 3.1 自源自生自储油气成藏组合

自源自生自储油气成藏组合是指沙四上亚段 III 砂组油气储、盖组合,以沙四上亚段 III 砂组地层为主体,特点为自生、自储、自盖,属自源成藏,烃源岩和盖层条件良好,主要烃源岩为孤北洼陷沙四上亚段烃源岩,储集层为扇三角洲、滩坝等砂体,砂体被烃源岩所包围,具有优先捕获油气的条件<sup>[9]</sup>。有利圈闭主要在孤北低隆起构造带和桩南断鼻构造带及洼陷构造带和陡坡断裂构造带的边缘部位(图5)。其中扇三角洲相砂体单层厚度大,平面规模也较大,储层连续性好,砂岩物性平面变化较大,表现为中孔中渗,由西向东物性变差。盖层是沙四上亚段 II 砂组泥岩、沙四上亚段 III 砂组顶部泥岩。以骨架砂体为主要运移通道,形成“自生自储”式及“旁生侧储”式油气藏<sup>[10]</sup>,构造形成时期早,处于油气运移的有利指向区,多期成藏,属于自源侧向运

聚模式或混源混向运聚模式(图6)。储层性质相对较好,油气保存条件较好。其按照储层特征、圈闭类型、区域盖层分布可进一步划分为两类次级油气成藏组合(图5)。

#### 3.2 混源旁生侧储油气成藏组合

混源旁生侧储油气成藏组合是指沙四上亚段 II + III 砂组油气储、盖组合,主要以沙四上亚段 II 砂组为主体,特点为旁生、侧储,属混源成藏。油气来源于沙三下亚段及沙四上亚段烃源岩,盖层条件良好;储集层主要表现为扇三角洲前缘和辫状河道砂体,沉积厚度大,砂体平面规模中等;物性圈闭表现为中孔中渗,由西向东逐渐变差。沙四上亚段顶部泥岩及不整合风化泥岩作为区域性盖层,有利圈闭主要为沿孤北东次洼发育的断块圈闭、断层-岩性圈闭、岩性圈闭、不整合遮挡圈闭(图5)。沙三下亚段和沙四上亚段烃源岩生成的油气,通过不整合面和断裂运移聚集成藏,通常形成“自生自储”式、“旁生侧储”式和“上生下储”式油气藏<sup>[10]</sup>,属于自源垂向运聚模式或混源混向运聚模式(图6)。其油气供给充足,储层物性好,盖层条件相对发育,保存条件较好。油气规模较小,主要沿断裂带呈条带状分布。其按照储层特征、圈闭类型进而可分为5类次级油气成藏组合(图5)。混源成藏组合的油气藏构造保存条件也较好。

## 4 油气成藏组合主控因素

#### 4.1 低隆起构造

孤北洼陷中央低隆起形成于沙四时期,长期继承性发育,为东、西两个次洼所包围,是油气运移的主要指向,利于形成岩性-构造油气藏。位于孤北低隆起构造背景上的占桩西地区控制储量的77.4%。构造背景上的储层发育程度是制约油气富集高产的主要因素,单层砂体厚的砂体泥质含量低,孔渗条件好。

#### 4.2 不整合面

由于长期风化剥蚀,在不整合面上形成了松散结构和孔隙裂隙发育地带,使油气通过不整合面运移。孤北洼陷经过多次构造运动,形成多期不整合面,如古近系与下伏地层、沙四段和孔店组之间等不整合面,因而不整合面成为油气二次运移的区域性通道,对古近系各组段油藏的形成起着重要作用。

#### 4.3 断层

断层对油气分布的控制主要表现为:(1)断层活动强度直接控制着下降盘沉积物的沉积类型。在



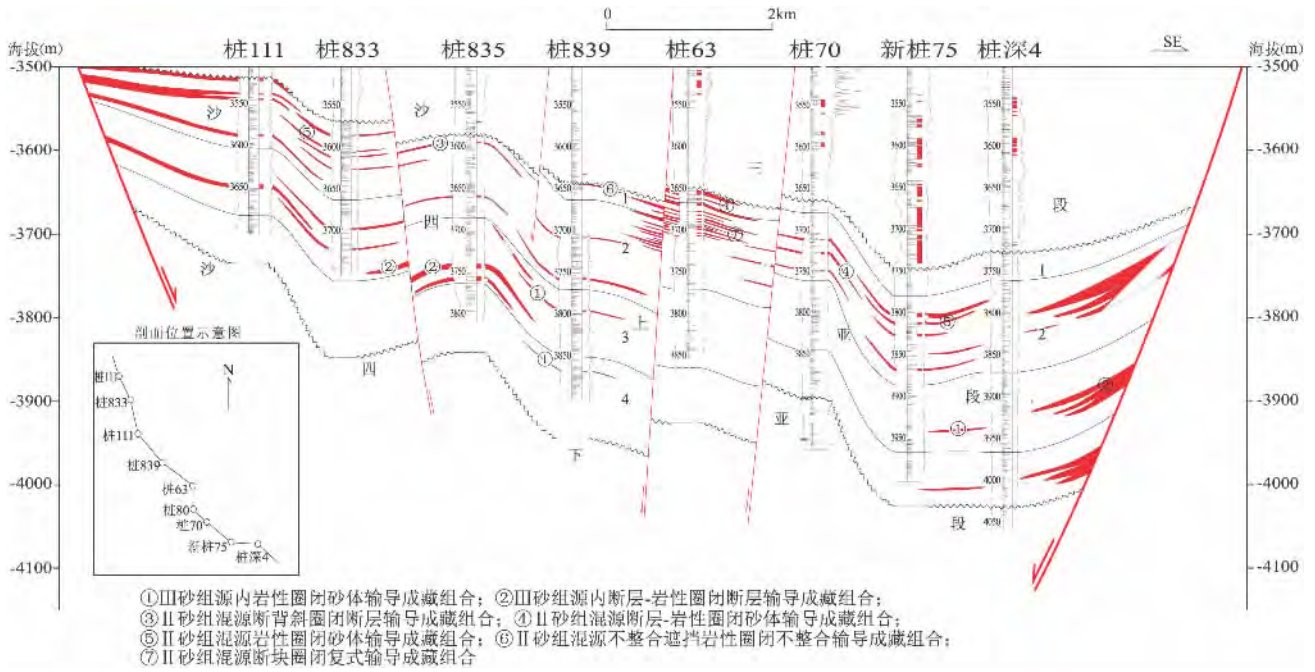


图5 孤北洼陷沙四上亚段油气成藏组合特征

Fig. 5 Types of the oil-gas plays in the upper submember of the 4th member of the Shahejie Formation in the Gubei depression

成藏模式	成藏模式图	发育层位	构成要素
自源侧向运聚模式		沙四上亚段 II砂组 III砂组	油源来源于自身、输导体为骨架砂体，以侧向运移为主，圈闭为岩性圈闭
自源垂向运聚模式		沙四上亚段 II砂组 III砂组	油源来源于自身、输导体为断裂、以垂向运移为主，圈闭为构造-岩性圈闭
混源混向运聚模式		沙四上亚段 II砂组	油源来自于沙三下亚段及沙四上亚段，油气藏一般位于断层对接岩性圈闭、以砂体-断层联合输导运聚过程较复杂

图6 孤北洼陷沙四上亚段油气成藏模式

Fig. 6 Models for the hydrocarbon accumulation in the upper submember of the 4th member of the Shahejie Formation in the Gubei depression

断层活动剧烈的陡坡带，其下降盘一般较发育冲积扇和扇三角洲，而在断层活动不太强烈的缓坡带，一般发育一些滩坝砂岩；(2) 由于边界大断层的持续活动，受其影响，往往可以形成一些断块、断鼻等构造圈闭，此时，断层不仅是油气运移的通道，而且其可以改善储层的物性。

### 5 结论

(1) 通过油源对比及储层特征、盖层特征及油气藏特征研究，在孤北地区沙四上亚段中划分出自源自生自储油气成藏组合和混源旁生侧储油气成藏组合。

(2) 孤北地区沙四上亚段存在3类油气成藏模式：自源垂向运聚模式、自源侧向运聚模式、混源混向运聚模式。

(3) 构造圈闭、不整合面及断层发育研究区是成藏组合油气成藏的关键因素。

### 参考文献:

[1] 赵文智,何登发,李小地,等.石油地质综合研究导论[M].北京:石油工业出版社,1999.  
 [2] 阳显文,方旭庆,彭传圣,等.孤北洼陷沙四段油气成藏规律分析[J].新疆石油天然气,2005,1(1):48-51.  
 [3] 翟慎德,李云新,周玉洁,等.孤北洼陷孔店组与沙河街组四段的多重地层划分[J].地层学杂志,2007,31(2):521-526.  
 [4] 林会喜,谭先锋,孟万兵,等.孤北-桩海地区古近系沙河街组层序划分及特征研究[J].物探化探计算技术,2009,31(3):283-288.  
 [5] 谭先锋,田景春,陈兰,等.沾化凹陷孤北-桩海地区沙河街组层序格架及充填[J].地质找矿论丛,2009,24(3):249-254.  
 [6] 魏魁生,李培祝,龙更生,等.孤北地区断阶式坡折沉积层序特征与隐蔽圈闭预测[J].现代地质,2003,17(3):303-310.  
 [7] 王永诗,庄文山.孤北洼陷沙三、四段沉积体系分析[J].油气

- 地质与采收率 2003 ,10(3):7-11.
- [8] 李宗亮,蒋有录,刘华. 孤西断层对孤北潜山带天然气运移和聚集的影响[J]. 油气地质与采收率 2008 ,15(5):24-26.
- [9] 胡珂. 济阳坳陷孤北-渤南地区天然气富集原因分析[J]. 科技传播 2010 6(11):19-20.
- [10] 庄文山,方旭庆,阳显文. 孤北洼陷沙河街组地质特征及成藏模式研究[J]. 特种油气藏 2003 ,10(2):34-37.

## Hydrocarbon accumulation in the upper submember of the 4th member of the Shahejie Formation in the Gubei depression , Zhanhua , Shandong

XIN Ye

( *Research Institute of Geological Sciences , Shengli Oil Field Company , Dongying 257015 , Shandong , China* )

**Abstract:** The Gubei depression lies in the eastern part of the Zhanhua region , Shandong , where two oil-gas plays are recognized for the upper submember of the 4th member of the Shahejie Formation in the Gubei depression in the light of the examination of the source rocks , reservoir rocks and cap rocks and hydrocarbon accumulation. Furthermore , three models for hydrocarbon accumulation are constructed , including the endogenetic lateral accumulation and migration , endogenetic vertical accumulation and migration , and mixed types of accumulation and migration models. The key factors for hydrocarbon accumulation include the structural traps , unconformities and faults. Under the abnormally high pressures , the hydrocarbons may migrate along the faults and unconformities , and constitute the stereoscopic networks together with the skeletal sandstones , which cause the steep slopes , low uplifts and ramps to be favourable for the hydrocarbon accumulation and migration.

**Key words:** oil-gas plays; model for hydrocarbon accumulation; Gubei depression