

文章编号: 1000-0550 (2005) 01-0021-08

# 乌里雅斯太凹陷斜坡带湖底扇相砾岩体 沉积特征与隐蔽油藏勘探

崔周旗<sup>1</sup> 李文厚<sup>1</sup> 吴健平<sup>2</sup> 李 莉<sup>2</sup> 侯凤梅<sup>2</sup> 王海潮<sup>2</sup>

<sup>1</sup>(西北大学地质学系 西安 710069)

<sup>2</sup>(华北油田公司勘探开发研究院 河北任丘 062552)

**摘要** 乌里雅斯太凹陷南洼槽斜坡带发育一套厚度大、粒级粗和相变快的砾岩体,根据岩心观察、岩电组合特征和地震相分析等手段,结合岩矿等分析化验资料,认为该套砾岩体属具补给水道的湖底扇相沉积。砾岩体夹于较深湖亚相的深灰色泥岩中,发育沉积物重力流成因的沉积构造,内扇、中扇和外扇等相带发育齐全,并具有多期发育的特点。物源区具有的线物源或多物源特征,以及极粗的粒级造成补给水道的稳定性较差、规模较小、迁移性较强,沿斜坡带形成了纵向上由南向北依次叠置、横向上叠加连片的多个湖底扇相砾岩体。坡度很陡的斜坡,特别是构造坡折带的存在控制了湖底扇的形成和发育,使湖底扇相砾岩体主要沿构造坡折带下部分布,具有很好的隐蔽油藏成藏条件,以中扇辫状沟道微相区最为有利,已有多口井发现厚油层并获工业油流,实现了隐蔽油藏勘探的重大突破。

**关键词** 乌里雅斯太凹陷 斜坡带 湖底扇 沉积特征 隐蔽油藏

**第一作者简介** 崔周旗 男 1967年出生 高级工程师 在读博士生 沉积学

**中图分类号** P512.2 **文献标识码** A

## 1 引言

乌里雅斯太凹陷位于二连盆地马尼特坳陷东北部,为一夹持在巴音宝力格隆起和苏尼特隆起区之间的断陷。凹陷形态总体呈 NNE 向长条状展布,具有南北分区、东西分带的构造格局。自北向南,可细分为北、中、南三个次级洼槽,每个洼槽均呈现西北断、东南超的半地堑特征(图 1),西北部陡带、中央洼槽带和东南部斜坡带等二级构造单元自西而东依次分布。其中,南洼槽发育阿尔善组和腾一段中下部两套浅—较深湖亚相的烃源岩,油气资源丰富,是乌里雅斯太凹陷最有利的含油气区。位于南洼槽东南部斜坡带的木日格地区作为隐蔽油藏的重点勘探区带,以腾一下亚段的砾岩体为主要勘探目的层,迄今已钻井 10 余口,并在太 21、太 43 等井相继获得工业油流,实现了该区隐蔽油藏勘探的重大突破,发现了千万吨级的规模储量,勘探成效较高<sup>[1,2]</sup>。但关于南洼槽斜坡带木日格地区的该套砾岩体成因一直存在着不同的看法,有人认为是辫状河三角洲相<sup>[3,4]</sup>,也有人认为是湖底扇相<sup>[1,2,5]</sup>。上述两种观点达成的共识是该套

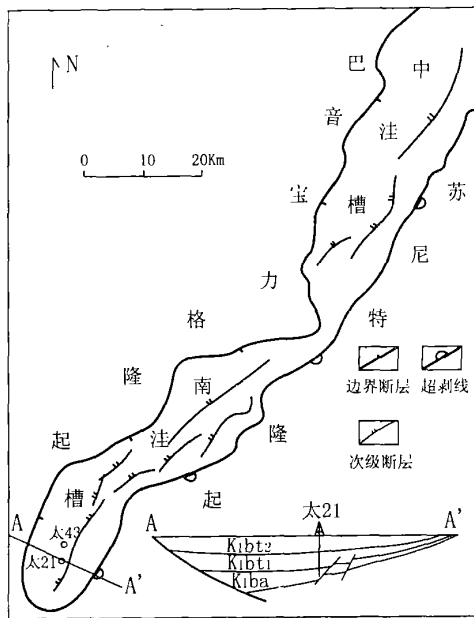


图 1 乌里雅斯太凹陷结构示意图

Fig 1 Structural sketch map of Wuliyasitai Sag

砾岩体均来源于斜坡带东南部的苏尼特隆起区,水道

化的砾岩体具有厚度大、粒级粗和相变快的特征。主要的分歧归根结底是对其形成机制的认识存在差异,从而影响了对该套砾岩体的发育规模、空间展布、储层特征和隐蔽油藏成藏模式的正确分析。为此,本文在仔细分析其构造背景和沉积条件的基础上,利用岩心观察、岩电组合特征和地震相分析等手段,结合岩矿、物性等分析化验资料,对该套砾岩体的成因归属、相带展布特征、沉积模式、储集性能和成藏条件进行了较为细致的研究。

## 2 砾岩体成因分析

湖底扇一词是由 Walker R G等提出的海底扇模式<sup>[6]</sup>演绎而来的,其含义与吴崇筠等提出的浊积扇<sup>[7,8]</sup>概念基本相当,均指湖盆中以沉积物重力流搬运方式堆积在深水区的粗碎屑扇形体。在分析其成因时,所处的深水环境是最简单、最基本的识别标志<sup>[7]</sup>,其次是沉积物重力流为主的搬运方式,二者缺一不可。虽然国内至今仍有人沿用水下扇<sup>[9]</sup>等术语,但其内涵也强调以完全处于较深水区的重力流沉积为特征。为了避免含义上的混乱,并与人们较熟知的海底扇模式相对应,笔者建议使用湖底扇的概念较为合适。

本区砾岩体的上下围岩均为较深湖亚相的深灰色泥岩<sup>[5]</sup>,水平层理发育,反映了该套砾岩体形成时的水深较大,基本处于风暴浪基面以下的较深水环境中。砾岩体中,沉积物重力流成因为主的沉积构造较发育,主要表现为块状层理、正递变层理、叠覆递变层理,局部见反递变层理。砾岩中的砾石大小混杂、常含漂浮砾、直立砾,以及砾石具长轴叠瓦状构造均表明该砾岩体具突发性事件沉积的特点。而牵引流成因的沉积构造少见,仅在远离物源区的薄层粉细砂岩中,见到一些平行层理和交错层理,垂向上构成类似于 Lowe D R 低密度浊流的  $T_0$  和  $T_c$  段<sup>[10]</sup>。以上特征明显区别于浅水区以牵引流搬运方式为主的辫状河三角洲相粗碎屑岩体,也有别于扇三角洲等牵引流和重力流兼而有之的形成机制。

另外,本区砾岩体常见类似于“AAA”序列的块状韵律和正韵律叠置层,代表了重力流沟道的沉积序列。在地震剖面上,其地震相特征较典型,主要表现为外形呈较清晰的丘状和沟道充填状地震相(图 2),二者由一强反射轴向上或向下部拱曲反映出来,内部反射结构特征为空白状和乱岗状。丘状构造可能是浊积岩堆积处最直接的证据<sup>[11]</sup>,它反映了该套砾岩

体快速卸载,并在局部堆积厚度较大的部位由上覆泥岩差异压实所致。而沟道充填相则表明砾岩体具有较强的侵蚀性,可切入其周围未固结的沉积物中,通常形成“U 形特征”<sup>[12]</sup>。

## 3 相带划分及其展布特征

### 3.1 相带划分

依据岩心观察、单井相和地震相分析,该湖底扇相砾岩体的相带发育齐全,可划分为内扇、中扇和外扇等亚相。

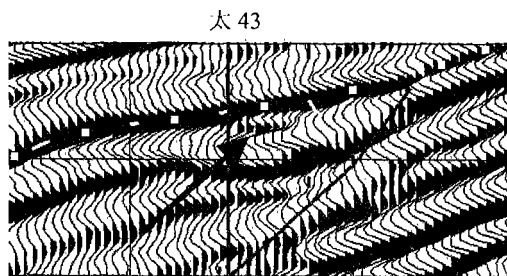


图 2 过太 43 井(N359测线)沟道充填地震相特征  
Fig 2 The seismic facies character of channel filled cross Well Tai 43 (359 seismic profile)

#### 3.1.1 内扇亚相

湖底扇相的内扇亚相一般表现为单一的沟道特征,即主沟道。它横向延伸较窄,纵向下切较深,其内的充填物以岩性粗、厚度大为特征,其厚度最大可逾百米(图 3)。自然电位曲线呈波状起伏,视电阻率曲线为块状高阻。

主沟道的岩相主要由无内部组构的块状泥质砾岩相和叠覆递变层理砾岩相组成。无内部组构的块状泥质砾岩相表现为块状韵律层,叠覆递变层理砾岩相为不明显的正韵律层,单韵律层厚度较大,一般为 2~3 m。砾岩中的泥质杂基含量较高且变化大,与砂级、细砾级碎屑一起构成填隙物,常表现为基质支撑,其次为颗粒支撑。砾石成分杂,凝灰岩、岩浆岩、变质岩等砾石和大泥砾均可见及。砾石分选差,常表现为大小混杂,除主沟道上部的细砾岩和磨圆较好的砾石略有优选方位外,基本上以杂乱排列为主。上述两种岩相主要由高密度的碎屑流和颗粒流交替沉积而成,当流体密度保持不变时,形成无内部组构的块状泥质砾岩相;流体密度频繁变化时,形成叠覆递变层理砾岩相。纵向上,二者可组成有规律的组合。前者往往位于后者的下部,反映了流体由高密度的稳定状态向变密度的不稳定状态过度的趋势,代表了一次突发性沉积。

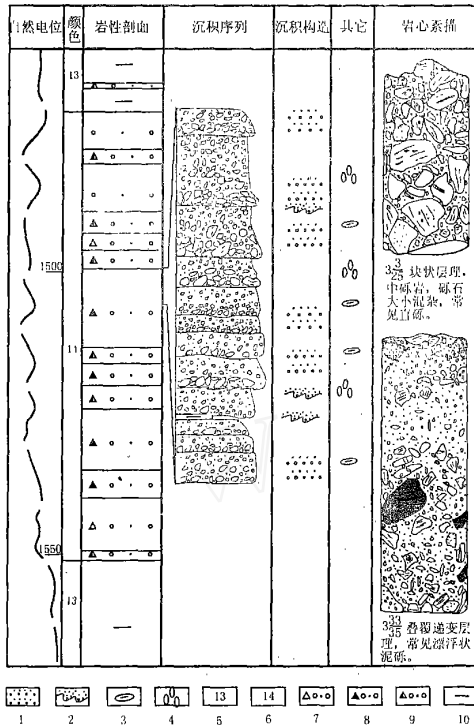


图 3 太 45 井湖底扇相内扇沟道微相沉积特征

1. 叠覆递变层理; 2. 冲刷-充填构造; 3. 漂浮状泥砾; 4. 直立砾; 5. 深灰色; 6. 灰色; 7. 荧光砂砾岩; 8. 油斑砂砾岩; 9. 油迹砂砾岩; 10. 泥岩

Fig 3 Main channel microfacies's depositional character of the inner fan subfacies of sublacustrine fan facies in Well Tai 45

### 3. 1. 2 中扇亚相

中扇亚相以辫状沟道发育为特征,岩性主要表现为厚层砂砾岩、含砾砂岩与深灰色泥岩不等厚互层。其中,靠近内扇的辫状沟道砂砾岩单层厚度较大,一般为 8~15 m,自然电位曲线呈箱状负异常(图 4);而中扇前缘的辫状沟道特征不明显,单层厚度较小,一般为 5~8 m,自然电位曲线呈波状或低幅负异常。

中扇辫状沟道的岩相主要由块状砂岩相、含卵石砾岩相和含漂砾砂砾岩相组成,颗粒流和砂质高密度浊流<sup>[10]</sup>是其主要的搬运方式。沉积序列主要以正韵律层为主,其次为块状韵律层,垂向上频繁叠置,单韵律层厚度一般为 0.5~1.0 m,最厚达 1.5 m。韵律层底部突变或冲刷,向上多由含漂砾砂砾岩相开始过渡为含卵石砂岩相和块状砂岩相。沉积构造多见块状层理、叠覆递变层理和正递变层理,局部见反递变层理。砾石产状形态各异,既有叠瓦状排列的,也有杂乱排列的,高角度倾斜状砾和直立砾也随处可见。

### 3. 1. 3 外扇亚相

处于中扇辫状沟道逐渐消失的扇体外侧,以发育

薄层的浊积岩相为特征,又有近源浊积岩相和远源浊积岩相之分<sup>[4,6]</sup>,二者均可用 Bouma 序列来描述,但完整的“ABCDE 序列很少见到。近源浊积岩相以递变层理“A 段较常见,可组成“ABE”、“ACE 等序列,厚度一般为 20~30 cm。远源浊积岩相往往缺少“A”段,代之以低密度浊流<sup>[10]</sup>的“CDE”、“BCE 等序列为主,厚度一般仅为 5~10 cm。

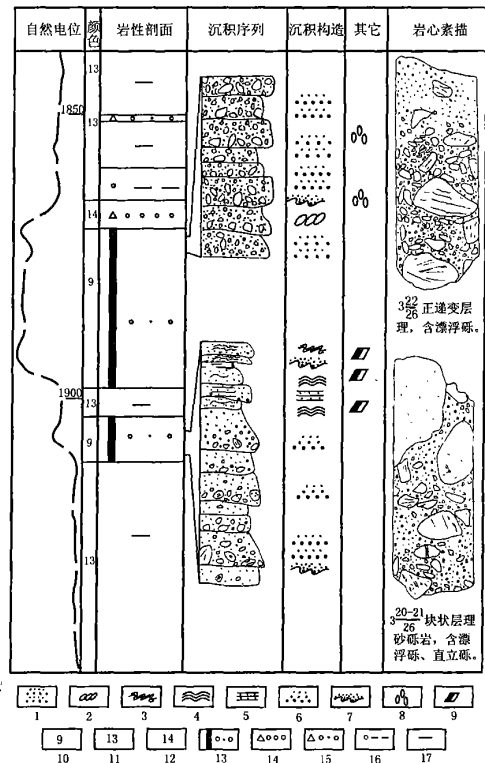


图 4 太 43 井湖底扇相中扇辫状沟道微相沉积特征

1. 叠覆递变层理; 2. 叠瓦状构造; 3. 揉皱变形层理; 4. 波状层理; 5. 平行层理; 6. 正递变层理; 7. 冲刷-充填构造; 8. 直立砾; 9. 碳屑; 10. 褐色; 11. 深灰色; 12. 灰色; 13. 油浸砂砾岩; 14. 荧光细砾岩; 15. 荧光砂砾岩; 16. 含砾泥岩; 17. 泥岩

Fig 4 Braided channel microfacies's depositional character of the middle fan subfacies of sublacustrine fan facies in Well Tai 43

### 3. 2 平面展布特征

以高分辨率的三维地震资料和已钻井的岩性剖面为基础,反复分析其岩电组合特征和旋回性,并利用高精度合成记录进行地震反射层的准确标定,明确了该套砾岩体具有多期发育的特点,纵向上由南向北依次叠置,横向上叠加连片(图 5)。

现代和古代浊流体系研究表明,物源区类型和粒级粗细决定了补给水道的规模和稳定性,即随着物源区由点物源 多物源 线物源过渡,以及粒级由细到

粗变化,其补给水道的稳定性和规模逐渐减小<sup>[13]</sup>。本区不同期次的砾岩体沿斜坡带由南向北依次叠置和连片状分布,反映了物源区具有多物源或线物源的特征。加之,砾岩体本身的粒级极粗,因此区内湖底扇相的补给水道稳定性较差、规模较小、迁移性较强。只有在下切速率超过沉积物充填速率时,补给水道才能保持活跃状态<sup>[12]</sup>。随着补给水道的不断迁移和逐渐废弃,新的补给水道相继发育,形成了木日格地区斜坡带发育期先后有别、发育程度各异的多个湖底扇相砾岩体。

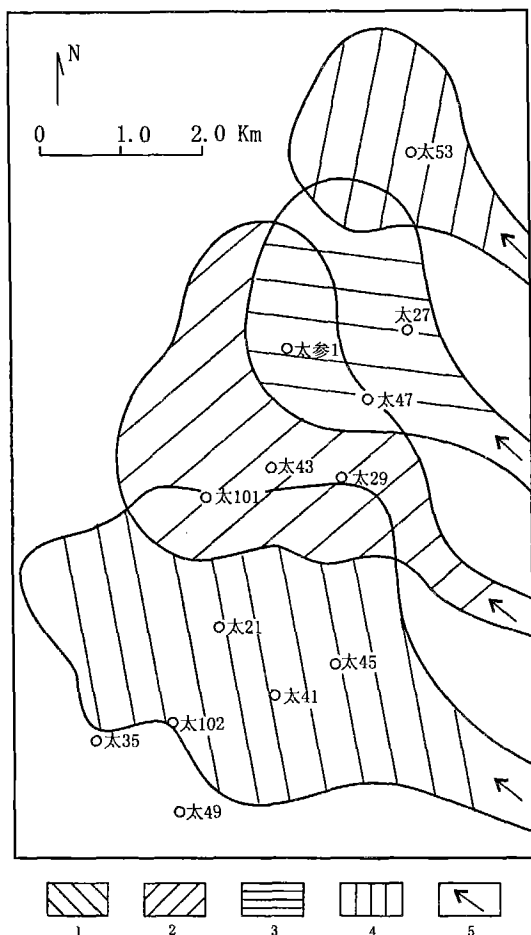


图 5 乌里雅斯太凹陷斜坡带湖底扇相砾岩体分布示意图  
1. 太 21 扇体; 2 太 43 扇体; 3 太 27 扇体; 4 太 53 扇体; 5 水流方向  
Fig 5 Conglomerate bodies distributional sketch map of  
sublacustrine fan facies in slope zone, Wuliyasitai Sag

#### 4 沉积模式

在断陷湖盆中,构造沉降速率随时空的变化是沉积基准面和可容空间变化最主要的控制因素<sup>[14]</sup>。乌里雅斯太凹陷的沉降过程是一个非匀速、幕式的演化

过程,腾一段快速沉降始于 131 Ma,最大沉降速率为 131 m/Ma,随后减至 60~80 m/Ma<sup>[3]</sup>。腾一早期是该凹陷沉降速率最大的时期,也是湖盆急剧扩张深陷、可容空间最大和湖域发生大规模湖侵的时期,较深水环境空前发育,使湖底扇的形成具备了足够的水深。与此同时,由于西北部边界断层活动加剧,致使东南部斜坡带逐渐翘起,逐步形成大坡降、高角度的斜坡,斜坡的倾斜角度可高达 22°~30°<sup>[5]</sup>。而斜坡带中部的太 21 东、太 3 东、太参 1 和太 13 等次级顺向断层差异性活动,使斜坡带呈现多个构造坡折带,并随后期砾岩体的不断堆积而产生重力滑动使之坡度进一步加大,为湖底扇的形成提供了地形条件。

构造活动影响的半地堑地貌形态控制了沉积物的供给<sup>[15]</sup>,本区坡度很陡的斜坡,特别是构造坡折带的存在控制了湖底扇的形成和发育。构造坡折带是古湖盆内湖底坡降梯度最大的部位,也是湖底地形最陡的部分<sup>[16]</sup>,在湖盆发育期常构成从浅水区向深水区过渡的突变界限,对断陷湖盆层序的发育和沉积体系的形成具有控制作用<sup>[14,17]</sup>。一方面,构造坡折带断层的反复活动造成斜坡的不稳定性,沉积物重力流和滑塌常在邻近的活动断层处堆积<sup>[18]</sup>;另一方面,构造坡折带作为斜坡的过渡带,以大量侵蚀为特征<sup>[19]</sup>,主要表现为坡折带上下差异升降和掀斜的结果造成坡折带上部的基准面下降,侵蚀和下切作用发生,往往形成类似于下切谷的下凹状古地貌,是补给水道的优选部位。在古斜坡上,构造坡折带离岸的远近决定了补给水道的延伸距离和湖底扇的分布位置。本区的构造坡折带离岸较远,平面距离一般为 5~7 km。因此,补给水道的延伸距离相对较长,形成离岸较远的湖底扇相砾岩体。

湖底扇的成因机制包括洪水重力流和滑塌重力流两种<sup>[4,7,8]</sup>,前者由岸上洪水携带大量泥沙直接注入较深水区而成,后者则是岸边浅水砂体的滑塌再搬运成因。本区斜坡带向岸一侧的浅水砂体不发育,而以湖泊相泥岩为主,难以形成顺坡滑塌的沉积物重力流。相反,本区湖底扇的沟道特征发育较好,特别是存在直抵湖岸的下切状沟槽构成了补给水道,使得入湖洪流多限制在沟槽内而得以持续向前搬运直至注入较深水区,因此其成因机制应属于洪水重力流型。携带大量粗碎屑物质的洪水重力流通过补给水道,流经斜坡边缘的滨浅湖区不断向湖盆腹地推进,在构造坡折处由于地形突变而依次卸载,并最终在斜坡低部位的较深湖区撒开,以辫状沟道的形式向四周分叉,

形成扇形体 (图 6)。这种带补给水道的湖底扇, 其粒级粗细和砂体规模取决于洪水强度和坡度的陡缓。洪水强度大和坡度陡, 则形成的湖底扇粒级粗、规模小, 本区发育的湖底扇即与之类似。

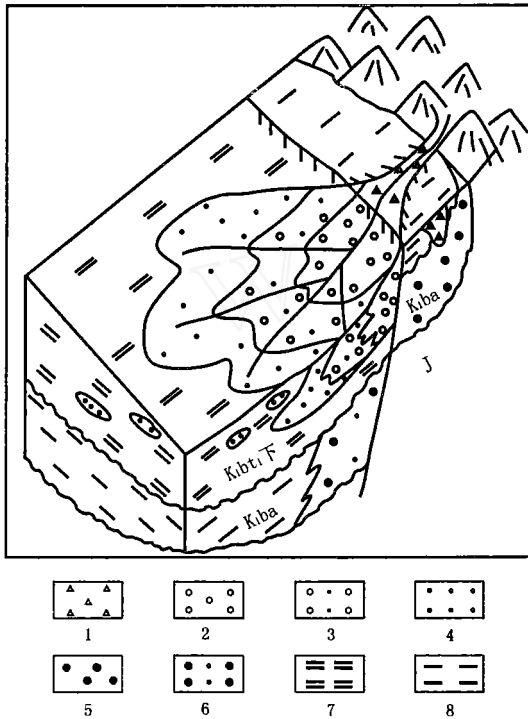


图 6 乌里雅斯太凹陷斜坡带湖底扇相沉积模式图

1. 补给水道; 2. 湖底扇内扇亚相; 3. 湖底扇中扇亚相; 4. 湖底扇外扇亚相; 5. 扇三角洲平原亚相; 6. 扇三角洲前缘亚相; 7. 较深湖亚相; 8. 滨浅湖亚相

Fig 6 Depositional model of sublacustrine fan facies in the slope zone, Wuliyasitai Sag

## 5 湖底扇相砾岩体与隐蔽油藏

隐蔽油藏主要是指受非构造因素控制, 隐蔽性强和不易识别的岩性、地层油藏, 国内外学者也称地层油藏、非构造油藏或非背斜圈闭油藏。综合地质研究认为两个因素制约着乌里雅斯太凹陷斜坡带的油气勘探, 一是结构简单、断层不发育和构造分异差, 构造圈闭不发育; 二是储层岩性总体上较为致密, 储集岩以砾岩、砂砾岩为主, 物性差<sup>[1,21]</sup>。因此, 分析斜坡带隐蔽油藏的成藏条件和勘探潜力, 寻找有利的储集相带是该区隐蔽油藏勘探能否成功的关键环节。

### 5.1 成藏条件分析

本区湖底扇相砾岩体形成于较深湖环境中, 发育的较深湖亚相泥岩既是良好的成熟生油岩, 又是很好的盖层, 纵向上形成了优越的自生自储式生储盖组

合。该砾岩体本身呈透镜状尖灭于湖相泥岩中, 具有很好的侧向封堵条件, 而岩性尖灭是许多浊积岩体能够形成岩性、地层圈闭并储集油气的关键因素<sup>[20]</sup>。加之, 区内的湖底扇相砾岩体沿构造坡折带下部分布, 构造坡折带对油气成藏颇为重要<sup>[14, 16, 17, 19]</sup>, 因此其形成岩性、地层油藏的成藏条件更佳 (图 7)。

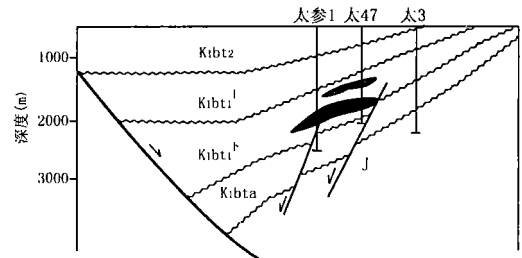


图 7 乌里雅斯太凹陷斜坡带湖底扇相隐蔽油藏剖面图

Fig 7 Section map of subtle oil pools of sublacustrine fan facies in slope zone, Wuliyasitai Sag

但决定岩性尖灭特征的主控因素是流体的流量, 大流量下形成的较厚砂砾岩体可切入下伏沉积层中, 使岩性尖灭处的储层可能加厚, 相邻储层间的垂向连续性加大, 有可能削弱岩性、地层圈闭的效率。因此, 顶部封盖层的存在与否及其一致性会成为一个潜在的问题<sup>[20]</sup>。而本区湖底扇具有补给水道稳定性较差、规模较小、迁移性较强的特点, 造成多个补给水道和扇体的相继迁移、废弃, 补给水道、内扇主沟道和中扇辫状沟道顶部被泥岩所充填和覆盖, 形成了油气上倾方向的封堵层, 使油气能够有效地聚集成藏。

### 5.2 有利储集相带预测

湖底扇相砾岩体块体搬运、混杂堆积的特点决定了其成分成熟度和结构成熟度极低, 具体表现为成分成熟度指数一般仅为 0.15 ~ 0.25, 岩屑含量一般为 65% ~ 75%, 分选和磨圆差。这种先天沉积条件的不足导致其早期压实作用较强烈, 原生孔隙急剧减少, 也直接制约了后期次生孔隙的发育程度, 砾岩体的储集性能普遍较差。而多物源砾质浊流体系通常以中间部分的储层物性发育最好<sup>[13]</sup>, 本区湖底扇相砾岩体也不例外。

前文述及, 中扇辫状沟道的岩相主要由块状砂岩相、含卵石砾岩相和含漂砾砂砾岩相组成, 单层厚度较大, 以颗粒流和砂质高密度浊流为主要搬运方式, 颗粒支撑明显, 泥质杂基含量相对较低, 储集空间较发育, 储集性能较好, 是最有利的储集相带。该相带的储集空间主要为粒间溶孔, 其次为粒内溶孔和铸模

孔;面孔率相对较高,一般为 2%~5%;孔径相对较大,一般为 10~150 $\mu\text{m}$ ;喉道较宽,一般为 3~10 $\mu\text{m}$ ;储层物性也相对较好,孔隙度最高达 18.2%,平均为 11.2%;渗透率最高可达 27.1 $\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$ ,平均为 2.8 $\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$ 。

内扇主沟道微相的厚度最大、岩性最粗。但泥质杂基含量较高且分布极不均匀,由砂级、细砾级碎屑和泥质组成填隙物,发育碎屑流和颗粒流交替沉积而成的块状泥质砾岩相和叠覆递变层理砾岩相,常表现为基质支撑,其次为颗粒支撑,造成其物性非均质性,储集性能不如中扇辫状沟道好,是较有利的储集相带。而外扇浊积岩相单砂层厚度最薄,储层物性最差,不构成主要的储集层。

### 5.3 勘探成效

综上所述,本区斜坡带由南向北依次发育的多期湖底扇相砾岩体,平面上受控于构造坡折带断层,呈现此起彼伏、叠加连片的态势,构成了区内最主要的含油砂体。其中,围绕中扇辫状沟道微相区等最有利的储集相带,钻探的太 43、太 47、太 29、太 27 和太 53 等井均发现了厚度较大的油层,且试采效果良好,压裂后日产油 15~105 $\text{m}^3$ 。在内扇主沟道微相区等较有利储集相带钻探的太 21、太 45 和太 41 等井也获得工业油流,压裂后日产油 4.5~19.79 $\text{m}^3$ ,从而证实了该湖底扇相砾岩体是一个油气聚集带<sup>[1,2]</sup>。

## 6 结论

乌里雅斯太凹陷南洼槽斜坡带腾一下亚段的砾岩体形成于较深水环境,以沉积物重力流为主要搬运方式,属具补给水道的湖底扇相成因。其相带发育较齐全,可进一步划分为内扇、中扇和外扇等亚相。补给水道的不断迁移和逐渐废弃,形成了发育期先后有别、发育程度各异多个湖底扇相砾岩体,纵向上由南向北依次叠置,横向上叠加连片。本区坡度很陡的斜坡,特别是构造坡折带的存在控制了扇体的形成和发育,表现为扇体规模较小,但粒级较粗、厚度较大。该套湖底扇相砾岩体具有优越的生储盖组合条件和隐蔽油藏成藏条件,中扇辫状沟道微相区是最有利的储集相带,其次是内扇主沟道微相区。依此钻探的太 43 等多口井相继获得成功,从而实现了隐蔽油藏勘探的重大突破。

### 参考文献 (References)

1 杜金虎,易士威,张以明,等. 二连盆地隐蔽油藏勘探. 北京:石油

- 工业出版社,2003. 101~112 [Du Jinhui, Yi Shiwei, Zhang Yiming, et al The Exploration in Subtle Oil Pools, Erlian Basin. Beijing: Petroleum Industry Press, 2003. 101~112]
- 2 杜金虎,易士威,王权. 华北油田隐蔽油藏勘探实践与认识. 中国石油勘探,2003,8(1):1~10 [Du Jinhui, Yi Shiwei, Wang Quan. Practice and cognition of subtle oil pools exploration of Huabei oil field. China Petroleum Exploration, 2003, 8(1): 1~10.]
- 3 任建业,林畅松,李思田,等. 二连盆地乌里雅斯太断陷层序地层格架及其幕式充填演化. 沉积学报,1999,17(4):553~559 [Ren Jianye, Lin Changsong, Li Sitian, et al. Sequence stratigraphic framework of Wuliyasitai faulted basin in Erlian basin group and its episodic filling evolution. Acta Sedimentologica Sinica, 1999, 17(4): 553~559]
- 4 祝玉衡,张文朝. 二连盆地白垩统沉积相及含油性. 北京:科学出版社,2000. 220~232 [Zhu Yuheng, Zhang Wenchao. Sedimentary facies and its oil-bearing properties of Lower Cretaceous in Erlian basin. Beijing: Science Press, 2000. 220~232]
- 5 Lin C S, Eriksson K, Li S T, et al. Sequence architecture, depositional systems, and controls on development of lacustrine basin fills in part of the Erlian basin, northeast China. AAPG Bulletin, 2001, 85(1): 2017~2043
- 6 Walker R G. Deep water sandstone facies and ancient submarine fans: Models for exploration for stratigraphic traps. AAPG Bulletin, 1978, 62(6): 932~966
- 7 吴崇筠,李纯菊,刘国华,等. 断陷湖盆中的浊积岩. 见:中国石油学会石油地质委员会主编. 碎屑岩沉积相研究. 北京:石油工业出版社,1988. 1~17 [Wu Chongjun, Li Chunju, Liu Guohua, et al. Turbidite in faulted subsidence-lake basin. In: Petroleum Geology Institute of Chinese Petroleum Society, ed. Study of Clastic Sedimentary Facies. Beijing: Petroleum Industry Press, 1988. 1~17]
- 8 吴崇筠,薛叔浩,等. 中国含油气盆地沉积学. 北京:石油工业出版社,1992. 65~76 [Wu Chongjun, Xue Shuhao, et al. Petroleumiferous Basin Sedimentology in China. Beijing: Petroleum Industry Press, 1992. 65~76]
- 9 刘招君. 湖泊水下扇沉积特征及影响因素——以伊通盆地莫里青断陷双阳组为例. 沉积学报,2003,21(1):148~153 [Liu Zhaojun. Subaqueous fan sedimentary characteristics and influence factors: A case study of Shuangyang Formation in Moliqing fault subsidence of Yitong basin. Acta Sedimentologica Sinica, 2003, 21(1): 148~153]
- 10 Lowe D R. Sediment gravity flows. Depositional models with special reference of the deposits of high-density turbidity currents. Journal of Sedimentary Petrology, 1982, 52(1): 279~297
- 11 Halbouty M T 编,刘民中等译. 寻找隐蔽油藏. 北京:石油工业出版社,1988. 41~59 [Halbouty M T, ed, Liu Minzhong, et al, translation. The deliberate search for the subtle trap. Beijing: Petroleum Industry Press, 1988. 41~59]
- 12 Carter R M. The nature and evolution of deep-sea channel systems. Basin Research, 1988, 1: 41~54
- 13 Reading H G, Richards M. Turbidite systems in deep-water basin margins classified by grain size and feeder system. AAPG Bulletin,

- 1994, 78(5): 792~822
- 14 林畅松, 潘元林, 肖建新, 等. “构造坡折带”——断陷盆地层序分析和油气预测的重要概念. 地球科学—中国地质大学学报, 2000, 25(3): 260~266 [Lin Changsong, Pan Yuanlin, Xiao Jianxin, *et al*. Structural slope-break zone: Key concept for stratigraphic sequence analysis and petroleum forecasting in fault subsidence basins. *Earth Science-Journal of China University of Geosciences*, 2000, 25(3): 260~266]
- 15 Nelson C H, Karabanov E B, Colman SM, *et al*. Tectonic and sediment supply control of deep rift lake turbidite systems: Lake Baikal, Russia. *Geology*, 1999, 27(2): 163~166
- 16 冯有良, 李思田. 东营凹陷沙河街组三段层序低位域砂体沉积特征. 地质论评, 2001, 47(3): 278~286 [Feng Youliang, Li Sitian. Depositional characteristics of lowstand sand bodies of the Third Member of the Shahejie Formation in the Dongying depression and the significance in petroleum geology. *Geology Review*, 2001, 47(3): 278~286]
- 17 邓宏文, 王红亮, 王敦则. 古地貌对陆相裂谷盆地层序充填特征的控制——以渤中凹陷西斜坡区下第三系为例. 石油与天然气地质, 2001, 22(4): 293~303 [Deng Hongwen, Wang Hongliang, Wang Dunze. Control of Paleomorphology to stratigraphic sequence in continental rift basins: Take Lower Tertiary of western slope in Bohong depression as an example. *Oil & Gas Geology*, 2001, 22(4): 293~303]
- 18 Hyles C H, Eyles N. Subaqueous mass flow origin for Lower Permian diamictites and associated facies of the Grant Group, Barrow Terrace, Canning Basin, Western Australia. *Sedimentology*, 2000, 47: 343~356
- 19 Wynn R B, Kenyon N H, Masson D G, *et al*. Characterization and recognition of deep-water channel-lobe transition zones. *AAPG Bulletin*, 2002, 86(8): 1441~1462
- 20 McCaffrey W, Kneller B. Process controls on the development of stratigraphic trap potential on the margins of confined turbidite systems and aids to reservoir evaluation. *AAPG Bulletin*, 2001, 85(6): 971~988

## The Depositional Characteristics of Conglomerate Bodies and Exploration in Subtle Oil Pools of Sublacustrine Fan Facies in Slope Zone, Wuliyasitai Sag

CUI Zhou-qi<sup>1</sup> LI Wen-hou<sup>1</sup> WU Jian-ping<sup>2</sup>

LI Li<sup>2</sup> HOU Feng-mei<sup>2</sup> WANG Hai-chao<sup>2</sup>

1(Department of Geology, Northwest University, Xi'an 710069)

2(Research Institute of Exploration and Development, Huabei Oil Company, Renqiu Hebei 062552)

**Abstract** Some conglomerate bodies that have heavy thickness, extreme coarse grains size and fast facies change occur in the slope zone of the First Member of Tenger Formation in Wuliyasitai Sag, Erlian Basin. However, There is still much controversy about the exact origin of the conglomerate bodies and bewilderment about its size, space distribution, reservoir characteristics and formational model in subtle oil pools. Based on analysis of its tectonic setting and depositional conditions in detail, accorded to the result of cores observation, combination characteristics of borehole lithology and log and seismic facies analysis, etc., and combined with analytic data of petrology and mineralogy and physical property, etc., it is studied in detail that the origin, sedimentary facies zones distribution characteristics, depositional model, reservoir property and formational conditions in subtle oil pools of conglomerate bodies involved in this area. The result indicates that the conglomerate bodies that surrounded by dark gray mudstone of deeper lacustrine facies are the deposits of sublacustrine fan facies with feeder channel. The sedimentary structures that formed by sediment gravity flow, such as massive bedding, normal graded bedding, superposition graded bedding and partial reverse graded bedding are main and recognized. Massive and fine upwards rhythmic layering similar to "AAA" sedimentary sequence are dominant and represent for the sedimentation of gravity flow channels. In the seismic profiles, their seismic facies with clear moundy and channel filling configuration are typical.

The subfacies zones of sublacustrine fan facies develop perfectly and can be classified to inner fan, middle fan and outer fan subfacies. In general, the inner fan subfacies has characteristics of a single channel that described as

main channel. The lithofacies of the main channel in the inner fan subfacies are composed of massive muddy conglomerate facies and superposition graded bedding conglomerate facies, which deposited alternately by high-density debris flows and grain flows. The middle fan subfacies show the depositional characters of braid channel and its lithofacies, which grain flows and high-density turbidity current are the main transporting ways, consist of massive sandstone facies, conglomerate facies with pebble and glutenite facies with boulder. The outer fan subfacies are composed of thin turbidite beds which can be described by typical Bouma sequence. The sublacustrine fan facies of above have more than two depositional stages. The source area with the characteristics of multiple-source or linear source and extreme coarse grains size results in poor stability, small size and strong tendency to migration of the feeder channel and two or more conglomerate bodies of sublacustrine fan facies may be formed along the slope zone. Vertically and laterally, these conglomerate bodies overlap each other and distribute in a large area.

In the early period of Tenger, the lacustrine basin expands rapidly with deep subsidence in Wuliyasitai Sag. The environment of deep water that fits the sublacustrine fan facies is dominant. Meanwhile, because the tectonic activity of the northwestern margin fault enhances sharply, the southeastern slope zone begins to uplift and forms gradually the slope geomorphology with big gradient and high angle. At the same time, some tectonic break-slope zones occur on the slope with the differential activity of some secondary consequent faults such as Tai 21 eastern fault, etc. The steep grade of the slope, especially tectonic break-slope zones control formation and development of sublacustrine fan. In the base of tectonic break-slope zones, a great deal of clastic fragment transported by floodwater gravity flows passes the feeder channel and downloads in turn to form the sublacustrine fan with feeder channel. The conglomerate bodies of sublacustrine fan facies have favorable association of source rocks, reservoirs and seal beds and perfect formational conditions in subtle oil pools. The braid channel microfacies areas in the middle fan subfacies may be the most favorable reservoir zones and have been found thick oil beds in some wells of Tai 43, Tai 47, etc. The effect of producing test in these wells is very good. Although the reservoir property of the main channel microfacies areas in the inner fan subfacies is poorer than that of the braid channel microfacies areas in the middle fan subfacies, they are still favorable reservoir zones and have obtained commercial oil stream in Tai 21 well, etc. In recent years, the conglomerate bodies of sublacustrine fan facies in the slope zone have been achieved great breakthrough of exploration in the subtle oil pools.

**Key words** Wuliyasitai Sag, slope zone, sublacustrine fan, depositional characteristics, subtle oil pools