

海拉尔盆地乌尔逊凹陷早白垩世沉积特征和沉积 - 构造演化

吴根耀¹, 朱德丰²

¹中国科学院地质与地球物理研究所, 北京

²大庆油田有限责任公司勘探开发研究院, 黑龙江 大庆

Email: wugenyao@mail.igcas.ac.cn

收稿日期: 2021年3月26日; 录用日期: 2021年4月23日; 发布日期: 2021年4月30日

摘要

乌尔逊凹陷乌南次凹下白垩统的铜钵庙组、南屯组和大磨拐河组一段沉积中发育扇三角洲相、辫状河三角洲相、湖泊和湖底扇相。基于各类沉积相主要特征的总结及其与邻区凹陷的对比, 发现乌南次凹沉积 - 构造演化的两大特点。空间上它是一个极不对称的盆地。西侧有乌西断裂带长期强烈活动, 控制了乌西断阶和中央深凹带形成, 深湖半深湖和湖底扇的规模相对较大; 东侧却是宽缓的稳定斜坡, 长期控制辫状河三角洲发育。时间上, 乌南次凹的断陷阶段可延续至大磨拐河组一段沉积期, 并可细分为4幕: 初始伸展 - 裂陷幕(铜钵庙组沉积期)、主伸展 - 裂陷幕(南屯组一段沉积期)、再次伸展幕(南屯组二段下部沉积期)和末次伸展幕(大磨拐河组一段上部沉积期)。大磨拐河组二段沉积期是次凹演化的断 - 拗转换期。

关键词

乌尔逊凹陷, 沉积相, 相带展布, 沉积 - 构造演化, 早白垩世, 海拉尔盆地

Early Cretaceous Sedimentary Features and Sedimento-Tectonic Evolution of the Urxun Sag, Hailar Basin

Genyao Wu¹, Defeng Zhu²

¹Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing

²Exploration and Development Research Institute of Daqing Oilfield Ltd., Daqing Heilongjiang

Email: wugenyao@mail.igcas.ac.cn

Received: Mar. 26th, 2021; accepted: Apr. 23rd, 2021; published: Apr. 30th, 2021

Abstract

The main sedimentary facies types of the Lower Cretaceous Tongbomiao-Nantun Formations and No. 1 Member of Damoguaihe Formation in the South Sub-Sag, Urxun Sag of Hailar Basin are fan delta, braided river delta, lacustrine and sublacustrine fan. Based on the summarization of characters of each facies type as well as comparison with that of the neighboring sags, two main distinctions for the Early Cretaceous sedimento-tectonic evolution of the South Urxun Sub-Sag can be discovered. Spatially, the Urxun Sag might be an extremely unsymmetrical basin. Its western boundary fault, the Wuxi fracture belt, was a violently activated synsedimentary normal fault, which controlled the creation of the West Fault-Step Belt and the Central Deep-Sinking Belt where the deep lacustrine and sublacustrine fan deposits were relatively better occurred. Whereas the eastern margin of the sag might be a rather gentle and stable slope, along which the braided river deltaic deposits were developed for a long time. In the neighboring sags the Tongbomiao and Nantun Formations are records of faulting-depressing stage of the basin. While in the South Urxun Sub-Sag, the faulting-depressing stage could continue to sedimentary period of the No. 1 Member of Damoguaihe Formation. The stage could be further divided into four episodes: the initial rifting-depressing episode during sedimentary period of the Tongbomiao Formation, the main rifting-depressing episode during sedimentary period of the No. 1 Member of Nantun Formation, the re-extension episode during depositing time of the lower part of the No. 2 Member of Nantun Formation, and the last extension episode during sedimentary period of the upper part of No. 1 Member of Damoguaihe Formation. The sedimento-tectonic evolution of the sag transformed from faulting-depressing stage into the down-warping stage in the sedimentary period of the No. 2 Member of Damoguaihe Formation.

Keywords

Urxun Sag, Sedimentary Facies, Facies Belt Distribution, Sedimento-Tectonic Evolution, Early Cretaceous, Hailar Basin

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



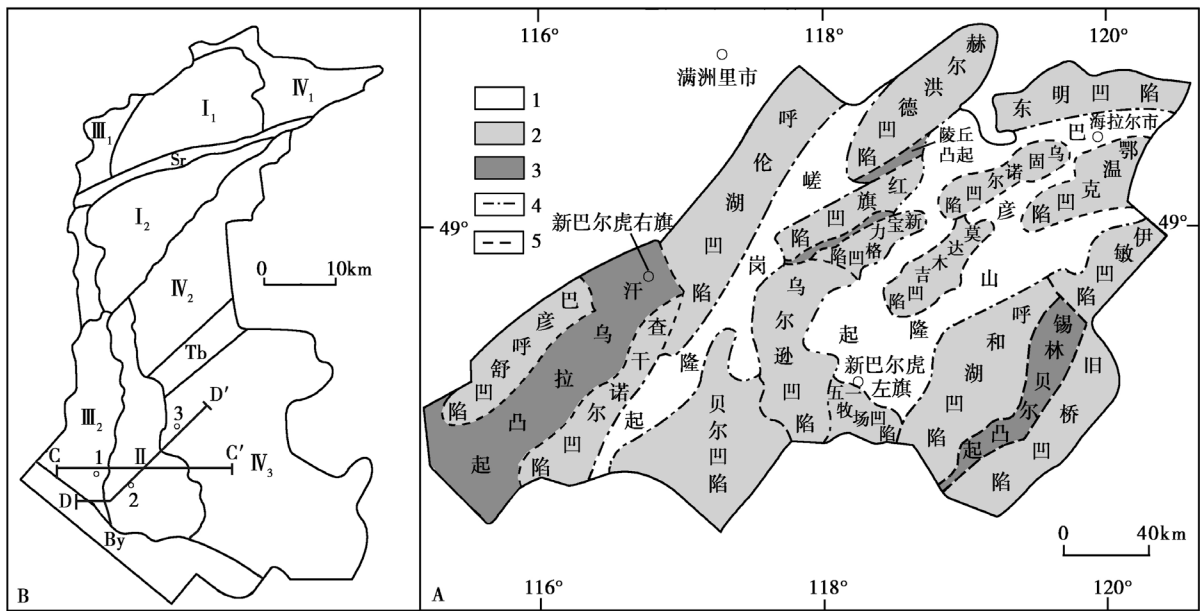
Open Access

1. 乌拉逊凹陷概述

乌拉逊凹陷位于内蒙古自治区呼伦贝尔盟境内, 是一个经多期叠合和改造的中生代断陷盆地, 属海拉尔盆地贝尔湖拗陷(中部拗陷)的一个 III 级负向构造单元。凹陷整体呈略向西凸出的近南北向, 其西以乌西断裂与嵯岗隆起相隔, 东部则以近单斜形式向巴彦山隆起过渡(图 1(A))。就内部构造而言, 乌拉逊凹陷的主体由乌北和乌南两个次凹组成(乌北次凹可进一步分为北部的扎和庙洼槽和南部的铜钵庙洼槽); 凹陷的东缘是一宽缓斜坡, 称乌东斜坡, 西侧是乌西断阶, 西南侧以北西向的巴彦塔拉构造带与贝尔凹陷相隔(图 1(B))。

乌拉逊凹陷主要在早白垩世发育, 充填地层自下而上称铜钵庙组、南屯组、大磨拐河组和伊敏组。前三者具油气勘探意义, 是本文的研究对象。长期以来将不整合伏于铜钵庙组之下的地层称中-上侏罗统塔木兰沟组, 不整合覆于伊敏组之上的是上白垩统青元岗组。

铜钵庙组厚 80~320 m, 以灰绿色灰色砾岩为主, 夹砂岩粉砂岩, 中部的一套泥岩是区域上的第一套



(A)图(据[1]补充)中: 1. 隆起; 2. 凹陷; 3. 凸起; 4. II级构造单元界线; 5. III级构造单元界线; (B)图(据[2]简化并补充)中: I. 乌北次凹; I₁. 扎和庙洼槽, I₂. 铜钵庙洼槽; II. 乌南次凹; III. 乌西断阶; III₁. 乌西北断阶, III₂. 乌西南断阶; IV. 乌东斜坡; IV₁. 乌东北斜坡, IV₂. 乌东中斜坡, IV₃. 乌东南斜坡; By. 巴彦塔拉构造带; Sr. 苏仁诺尔构造带; Tb. 铜钵庙构造带; (B)图上的1、2、3即乌17井、乌32井和乌55井, C-C'和D-D'为图7和图8的剖面位置。

Figure 1. Sub-order tectonic units of the Hailar Basin (A) and Urxun Sag (B)
图 1. 海拉尔盆地次级构造单元(A)和乌尔逊凹陷内部次级单元(B)

烃源岩。南屯组岩性上可分为两段。南(屯组)一段厚 150~220 m, 岩性较细, 是灰色灰黑色粉砂岩泥岩, 中部厚大泥岩是区域上第二套烃源岩。南(屯组)二段厚 100~330 m, 是灰色、灰绿色或灰白色的细砂岩粉砂岩, 所夹泥岩是区域上的第三套烃源岩。大磨拐河组岩性上也可两分。大(磨拐河组)一段厚 350~400 m, 是灰黑色泥岩夹粉砂岩等构成的韵律性沉积。大(磨拐河组)二段厚 143~562 m, 为灰色粉砂岩砂岩夹泥岩。

乌尔逊凹陷下白垩统的各组段间常为不整合接触关系。铜钵庙组的底面和顶面都是区域性角度不整合面, 地震反射分别称 T₅ 界面和 T₃ 界面。南屯组的顶面也是一区域上的角度不整合面, 地震反射称 T_{2,2} 界面; 南一段与南二段之间的 T_{2,3} 界面是局部的角度不整合面。大磨拐河组的顶面 T₂ 界面是区域上的平行不整合面; 大一段与大二段之间可见局部的角度不整合接触, 地震反射界面称 T_{2,1}。伊敏组的顶面是 T₀₄ 界面。据这些不整合面可认为铜钵庙组、南一段、南二段、大一段和大二段分别对应一个 III 级层序, 自下而上称 SQ1、SQ2、SQ3、SQ4 和 SQ5 层序。

对这套地层的 IV 级层序的划分, 姜茵华[3]曾提出南一段分 3 个 IV 级层序, 南二段分 2 个 IV 级层序。本文认为乌 32 井位于乌南次凹中部, 揭露的地层较全(除铜钵庙组外), 较好地反映了各组段的沉积特征(详见下述), 故以该井为标准井在 III 级层序的框架内进行 IV 级层序划分, 将南一段分为 4 个 IV 级层序, 自下至上称 Sq2-1、Sq2-2、Sq2-3 和 Sq2-4, 将南二段分为 3 个 IV 级层序, 自下而上称 Sq3-1、Sq3-2 和 Sq3-3, 将大一段分为 2 个 IV 级层序, 自下而上称 Sq4-1 和 Sq4-2。

对铜钵庙组的 IV 级层序划分, 是以乌北次凹的苏 35 井为标准井在 III 级层序的框架内进行的, 可分为 4 个 IV 级层序, 自下至上称 Sq1-1、Sq1-2、Sq1-3 和 Sq1-4。其中, Sq1-1 为大套砾岩, 主要分布在凹陷边缘, 仅少数钻孔见到。在乌南次凹, 铜钵庙组 III 级层序只见 3 个 IV 级层序, 自下而上称 Sq1-1、Sq1-2 和 Sq1-3。

乌尔逊凹陷油气资源相对丰富, 故以往研究偏重于油气地质。沉积学方面, 最早有张丹等[4]的短文

提出下白垩统发育扇三角洲、河流三角洲、湖泊和湖底扇。之后, 曾分别对铜钵庙组[5]、南屯组[3] [6]和大磨拐河组[7]的沉积特征进行了初步报道。

本文拟以乌南次凹为研究重点, 在解剖典型的单井沉积相的基础上, 总结铜钵庙组、南屯组和大磨拐河组一段的沉积相类型和相带展布的主要特征, 并通过与邻区凹陷的对比, 探讨乌尔逊凹陷早白垩世沉积-构造演化的若干特点, 以期更好地指导该区的油气勘探。

2. 单井沉积相分析

本文选择位于乌南次凹中部的乌 32 井、西侧的乌 17 井和东侧的乌 55 井为典型开展单井沉积相分析。

2.1. 乌 32 井

2.1.1. 南一段

南一段(孔深 2806~3387 m)可分为 4 个 IV 级层序, 自下而上称 Sq2-1 (孔深 3240~3387 m)、Sq2-2 (孔深 3039~3240 m)、Sq2-3 (孔深 2933.5~3039 m)和 Sq2-4 (孔深 2806~2933.5 m)。

Sq2-1 层序岩性上可三分: 下部以含砾砂岩、细砂岩、粉砂岩及泥灰岩为主, 夹薄层泥岩, 中部夹一层凝灰岩, 上部以黑色泥岩和粉砂岩为主。其垂向上的沉积相发育序列如下(自下向上): 3387.0~3311.52 m, 为湖底扇中扇亚相辫状沟道微相; 向上至 3289.12 m, 此段为凝灰岩; 向上至 3278.0 m, 湖底扇内扇亚相主沟道微相; 向上至 3253.47 m, 湖底扇中扇亚相辫状沟道微相; 再向上至 3240 m, 为半深湖亚相湖泥微相。可见 Sq2-1 层序主要发育湖底扇中扇亚相的辫状沟道微相沉积(图 2, 图中 GR 为伽马曲线, LLD 和 LLS 分别为深侧向电阻率测井曲线和浅侧向电阻率测井曲线; 图 3~6 同)。

Sq2-2 层序的下部以含油细砂岩为主, 夹薄层泥岩; 上部为粉砂岩及钙质粉砂岩夹薄层泥岩和砂砾岩。其垂向上的沉积相发育序列如下(自下向上): 3240.0~3209.68 m, 湖底扇中扇亚相辫状沟道微相; 向上至 3149.28 m, 湖底扇内扇亚相主沟道微相; 向上至 3116.72 m, 湖底扇内扇亚相补给水道微相; 向上至 3102.5 m, 湖底扇外扇亚相深切水道微相; 向上至 3059.0 m, 湖底扇内扇亚相补给水道微相; 再向上至 3039.0 m, 湖底扇中扇亚相辫状沟道微相。综上所述, Sq2-2 层序均为湖底扇相沉积, 内扇、中扇和外扇亚相都有发育, 以内扇亚相的沉积为主, 包括主沟道微相和补给水道微相; 次为中扇亚相的辫状沟道微相。

Sq2-3 层序岩性上可三分: 下部以钙质粉砂岩夹薄层泥岩为主, 中部为大段泥岩夹薄层粉砂岩, 上部为钙质砂岩。其垂向上的沉积相发育序列如下(自下向上): 3039.0~3022.3 m, 湖底扇中扇亚相辫状沟道微相; 向上至 2996.2 m, 湖底扇中扇亚相辫状沟道间微相; 向上至 2967.25 m, 湖底扇外扇亚相深切水道微相; 向上至 2963.0 m, 半深湖亚相湖泥微相; 再向上至 2933.5 m, 辫状河三角洲前缘亚相远砂坝微相。可见 Sq2-3 层序的下部是湖底扇中扇和外扇亚相的沉积, 中部为湖泥沉积, 上部属辫状河三角洲前缘的远砂坝沉积。

Sq2-4 层序岩性相对简单, 下部(2933.5~2881.2 m)为厚层的粉砂岩夹薄层泥岩, 属辫状河三角洲前缘亚相水下分流河道间微相的沉积; 上部(2881.2~2806.0 m)为粉砂岩和泥岩互层, 是辫状河三角洲前缘亚相远砂坝微相的沉积。

2.1.2. 南二段

南二段(孔深 2400~2806 m)可分为 3 个 IV 级层序, 自下而上称 Sq3-1 (孔深 2665~2806 m)、Sq3-2 (孔深 2553.5~2665 m)和 Sq3-3 (孔深 2400~2553.5 m)层序。

Sq3-1 层序的岩性十分简单, 为厚约 140 m 的泥岩, 属半深湖亚相湖泥微相沉积(图 3)。

Sq3-2 层序垂向上的沉积相发育序列如下(自下向上): 2665~2657 m, 辫状河三角洲前缘亚相远砂坝微相; 向上至 2590 m, 辫状河三角洲前缘亚相的前三角洲泥微相; 向上至 2570 m, 复为三角洲前缘

亚相的远砂坝微相; 向上至 2553.5 m, 复为前三角洲亚相的前三角洲泥微相。Sq3-2 层序是辫状河三角洲的远砂坝沉积与前三角洲泥交互出现, 前者的岩性是粉砂岩与泥岩的互层。

Sq3-3 层序岩性的三分性明显: 下部是砂岩、泥岩互层, 中部发育砂砾岩, 上部则为粉砂岩和泥岩。其垂向上沉积相的发育序列如下(自下向上): 2553.5~2495.52 m, 辫状河三角洲前缘亚相远砂坝微相; 向

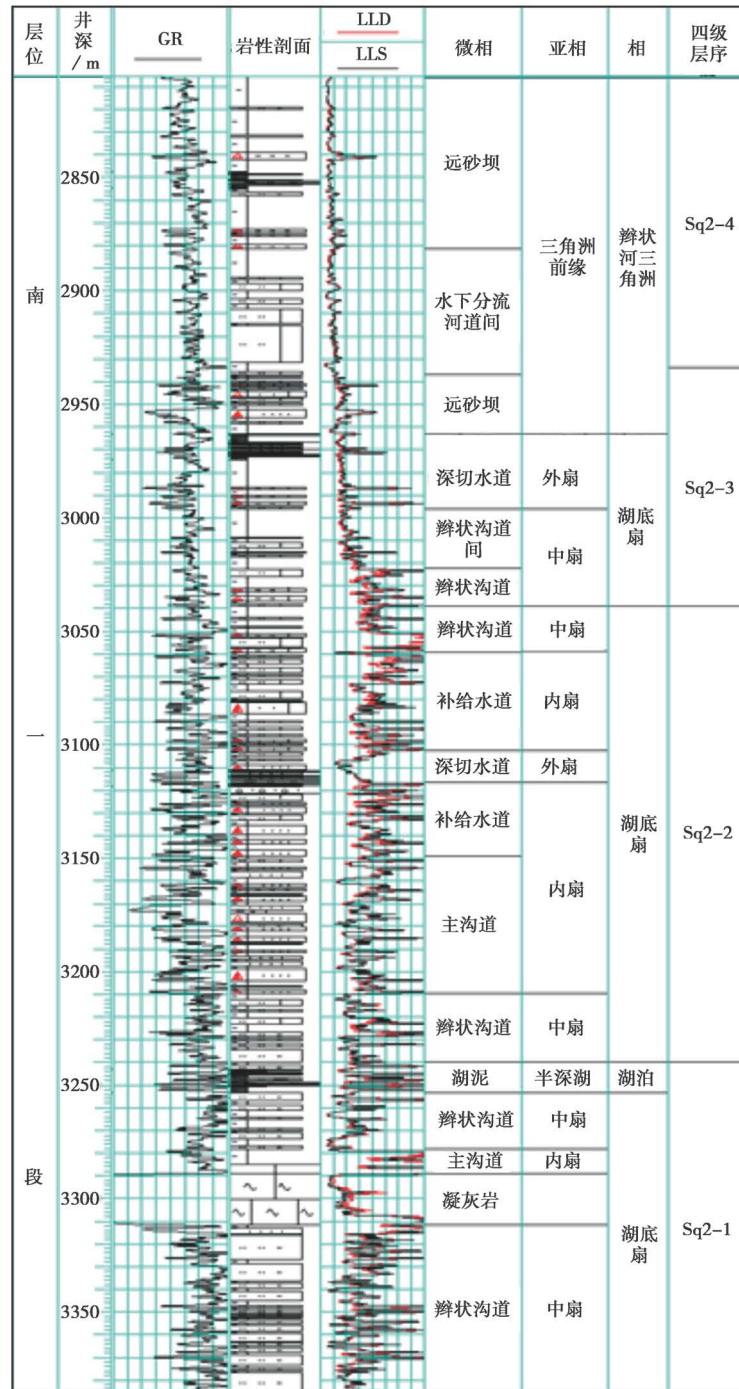


Figure 2. Analysis of sedimentary facies of the No. 1 Member, Nantun Formation from the Well Wu 32 in South Sub-Sag, Urxun Sag

图 2. 乌尔逊凹陷乌南次凹乌 32 井南屯组一段单井沉积相分析图

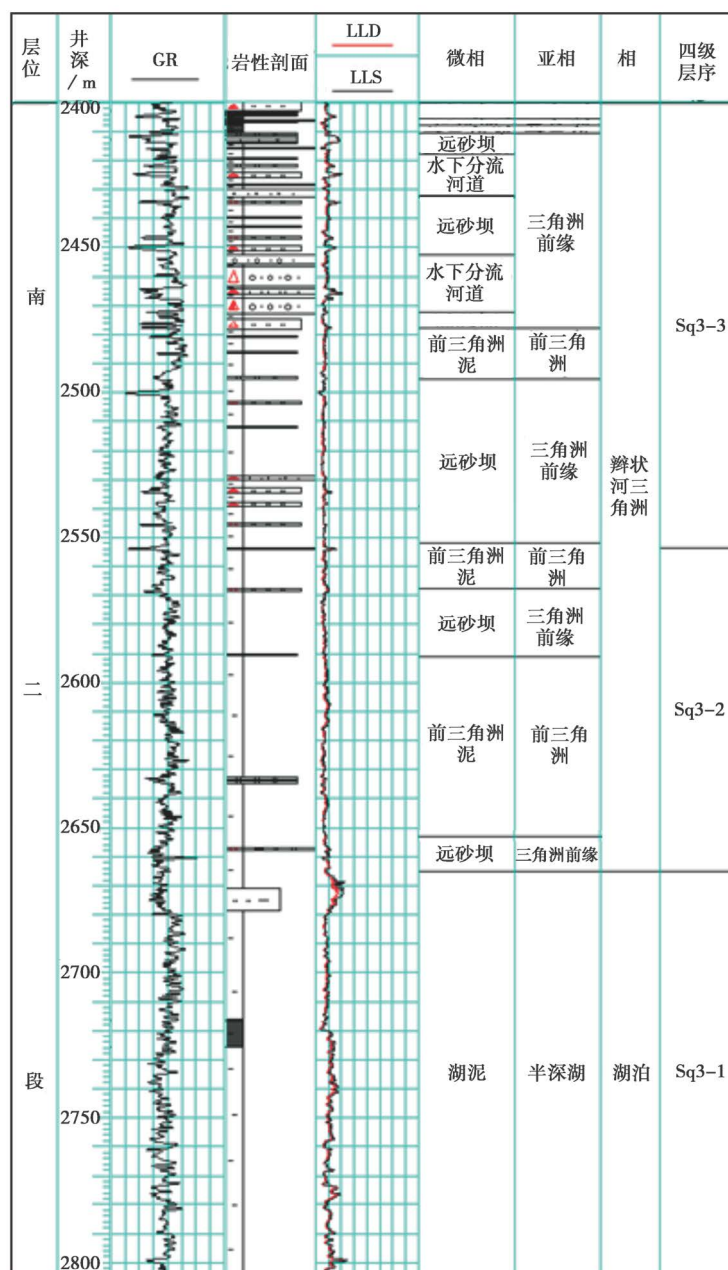


Figure 3. Analysis of sedimentary facies of the No. 2 Member, Nantun Formation from the Well Wu 32 in South Sub-Sag, Urxun Sag
图 3. 乌尔逊凹陷乌南次凹乌 32 井南屯组二段单井沉积相分析图

上至 2477.5 m, 辫状河三角洲前三角洲亚相前三角洲泥微相; 向上至 2472.5 m, 复为辫状河三角洲前缘亚相远砂坝微相; 再向上是 2 层三角洲前缘亚相水下分流河道微相的砂砾岩夹 2 层远砂坝微相的砂岩(下砂砾岩的顶界 2452.5 m, 下砂砾岩的顶界 2432.48 m, 上砂砾岩的顶界 2422.08 m, 上砂砾岩的顶界 2413.8 m)。更上部的粉砂岩泥岩因厚度小, 图 3 上仅示意表示, 具体的沉积微相是: 2413.8~2410.74 m, 三角洲前缘亚相水下分流河道间微相; 向上至 2407.71 m, 前三角洲亚相的前三角洲泥微相; 向上至 2405.67 m, 三角洲前缘亚相远砂坝微相; 向上至 2404.56 m, 复为前三角洲亚相的前三角洲泥微相; 向上至 2400 m, 复为三角洲前缘亚相远砂坝微相。简言之, Sq3-3 层序的主要沉积相是三角洲前缘亚相和前三角洲亚相。

综上所述, 南二段发育两类沉积相: 下部是半深湖亚相, 中上部是辫状河三角洲相。

2.1.3. 大一段

大一段(孔深 2154~2400 m)可分 2 个 IV 级层序, 下称 Sq4-1 层序(孔深 2300~2400 m), 上称 Sq4-2 层序(孔深 2154~2300 m)。

Sq4-1 层序的岩性总体上是粉砂岩与泥岩互层, 顶部有一段泥岩。沉积相则表现为 3 层辫状河三角洲前缘亚相远砂坝微相与 3 层前三角洲亚相的前三角洲泥微相呈互层, 垂向上是: 2400~2374.5 m, 远砂坝微相; 向上至 2364.5 m, 前三角洲泥; 向上至 2351 m, 远砂坝微相(此段下部有一层粗砂岩); 向上至 2345 m, 前三角洲泥; 再向上至 2322 m, 远砂坝微相; 向上至 2300 m, 前三角洲泥(图 4)。

Sq4-2 层序的岩性相对简单。下部(2300~2160 m)是厚层泥岩夹薄层粉砂岩, 属半深湖亚相湖泥微相; 上部(2160~2154 m)是呈反韵律叠置的粉砂岩和细砂岩, 属辫状河三角洲前缘亚相远砂坝微相。可以看到: 大一段上部(Sq4-2)与下部(Sq4-1)沉积相明显不同, 上部沉积时(半深湖)水体显然要比下段沉积(辫状河三角洲)时深。

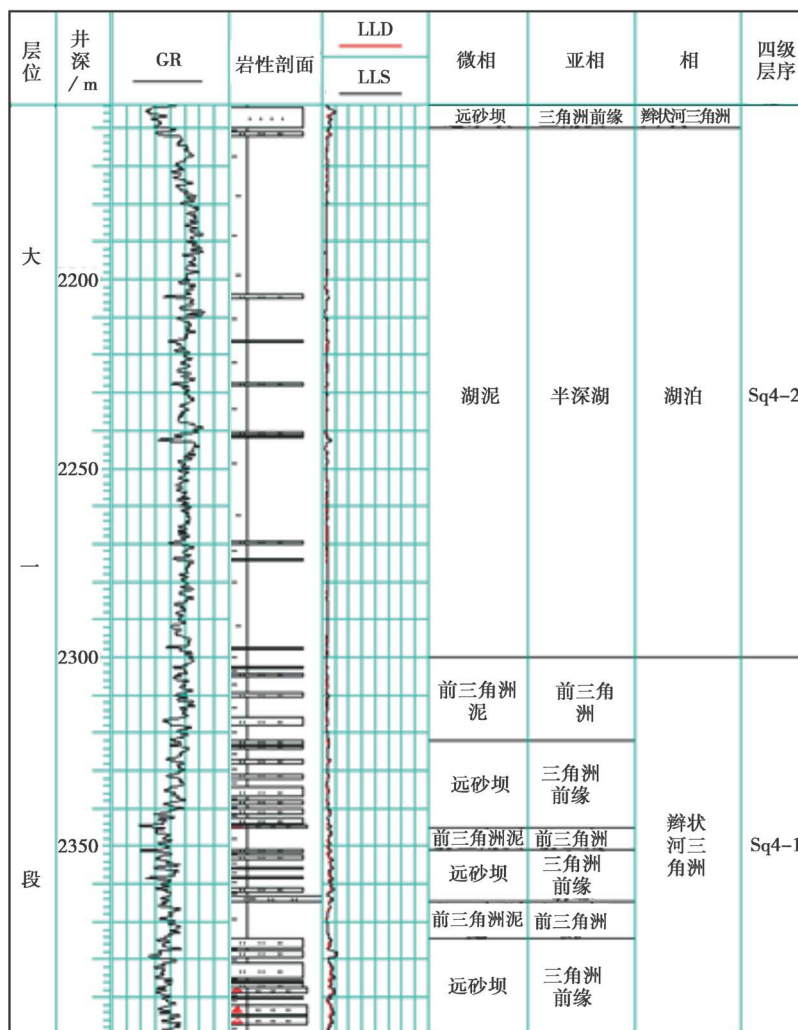


Figure 4. Analysis of sedimentary facies of the No. 1 Member, Damoguaihe Formation from the Well Wu 32 in South Sub-Sag, Urxun Sag

图 4. 乌尔逊凹陷乌南次凹乌 32 井大磨拐河组一段单井沉积相分析图

2.2. 乌 17 井

该井位于乌南次凹西侧, 钻穿的层位自上而下为大一段(孔深 2345~2421 m)、南二段(孔深 2421~2450 m)和南一段(孔深 2450~2700 m), 钻遇铜钵庙组后终孔。因遭断层活动断失, 南一段仅见下部的 Sq2-1 和 Sq2-2 层序, 南二段仅见上部的 Sq3-3 层序, 大一段仅见上部的 Sq4-2 层序(图 5)。

南一段 Sq2-1 层序岩性上可三分: 下部是粗砂岩夹薄层泥岩, 中部为大套泥岩, 上部是粉砂岩与泥岩互层。其垂向上沉积相的发育序列如下(自下向上): 2700~2691.2 m, 扇三角洲前缘亚相河道间微相; 向上至 2681.2 m, 扇三角洲前缘亚相河道微相; 向上至 2677.2 m, 扇三角洲前缘亚相河道间微相; 向上至 2675.75 m, 复为扇三角洲前缘亚相河道微相; 向上至 2619.32 m, 半深湖亚相湖泥微相; 向上至 2615.36 m, 扇三角洲前缘亚相河道微相; 向上至 2602.88 m, 扇三角洲前缘亚相席状砂微相; 向上至 2600 m, 复为扇三角洲前缘亚相河道间微相。简言之, 乌 17 井 Sq2-1 层序以半深湖相的黑色泥岩为主, 尚有扇三角洲前缘沉积, 包括水下分流河道微相的粗砂岩、水下分流河道间微相的粉砂岩-泥岩和前缘席状砂微相的粉砂岩与泥岩互层。

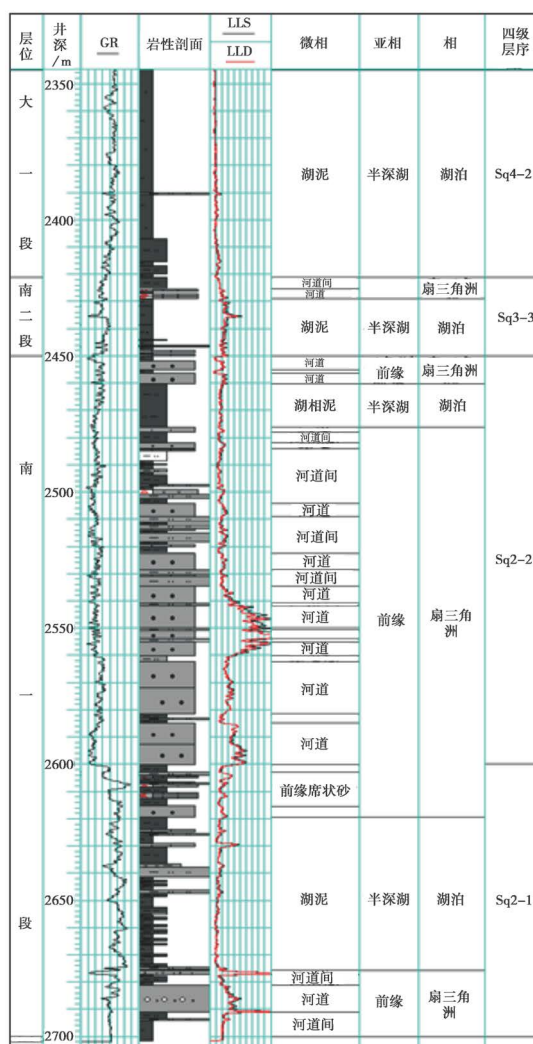


Figure 5. Analysis of sedimentary facies of the Nantun Formation and No. 1 Member, Damoguaihe Formation from the Well Wu 17 in South Sub-Sag, Urxun Sag

图 5. 乌尔逊凹陷乌南次凹乌 17 井南屯组和大磨拐河组一段单井沉积相分析图

南一段 Sq2-2 层序的岩性以粗砂岩夹薄层泥岩为主, 近顶部处有大套泥岩。其垂向上沉积相的发育序列如下(自下向上): 2600~2584.88 m, 扇三角洲前缘亚相河道微相; 往上至 2476.33 m 是扇三角洲前缘亚相河道间微相与河道微相的多次(共 9 次)交互出现, 即: 河道间微相(顶界 2581.6 m), 河道微相(顶界 2562.39 m), 河道间微相(顶界 2560.25 m), 河道微相(顶界 2554.9 m), 河道间微相(顶界 2553.76 m), 河道微相(顶界 2550.89 m), 河道间微相(顶界 2549.87 m), 河道微相(顶界 2541.72 m), 河道间微相(顶界 2540.89 m), 河道微相(顶界 2534.59 m), 河道间微相(顶界 2528.48 m), 河道微相(顶界 2522.41 m), 河道间微相(顶界 2508.99 m), 河道微相(顶界 2504.24 m), 河道间微相(顶界 2483.86 m), 河道微相(顶界 2481.9 m), 河道间微相(顶界 2477.91 m), 河道微相(顶界 2476.33 m); 向上至 2460.19 m, 半深湖亚相湖泥微相; 再往上复为河道微相(顶界 2456.33 m)、河道间微相(顶界 2455 m)和河道微相(顶界 2450 m)。可以看到: Sq2-2 层序的主体是扇三角洲前缘亚相沉积, 包括水下分流河道微相的砂砾岩和水下分流河道间微相的粉砂岩-泥岩, 夹一层十余米厚的半深湖相黑色泥岩。

南二段 Sq3-3 层序的下部为大套黑色泥岩, 上部为粗砂岩, 顶部是泥质粉砂岩。其垂向上沉积相的发育序列如下(自下向上): 2450~2428.9 m, 半深湖亚相湖泥微相; 向上至 2425.45 m, 扇三角洲前缘亚相河道微相; 向上至 2421 m, 扇三角洲前缘亚相河道间微相。

乌 17 井见大磨拐河组一段上部(Sq4-2 层序)的岩性十分简单, 全为黑色泥岩, 属半深湖亚相湖泥微相。

2.3. 乌 55 井

乌 55 井位于乌南次凹东侧, 钻遇的地层自上至下为: 大一段(孔深 1389~1526 m)、南二段(孔深 1526~1600 m)、南一段(孔深 1600~1713 m)和铜钵庙组(孔深 1713~1776 m)。该孔揭露的大一段地层尚完整, 可见 Sq4-1 和 Sq4-2 层序, 但因断层断失, 铜钵庙组仅见 Sq1-2 层序, 南一段仅见 Sq2-1 和 Sq2-2 层序, 南二段仅见 Sq3-2 和 Sq3-3 层序。

铜钵庙组 Sq1-2 层序的岩性为砂砾岩与粉砂岩-泥岩互层, 底部有一薄的砂砾岩层。其垂向上沉积相的发育序列如下(自下向上): 1776~1767.6 m, 辫状河三角洲平原亚相越岸沉积微相; 向上见 4 层辫状河三角洲平原亚相辫状河道微相的砂砾岩夹 3 层越岸沉积微相的粉砂岩-泥岩, 即: 辫状河道微相(顶界 1761.78 m), 越岸沉积微相(顶界 1754.99 m), 辫状河道微相(顶界 1753.45 m), 越岸沉积微相(顶界 1745.6 m), 辫状河道微相(顶界 1738.68 m), 越岸沉积微相(顶界 1727.48 m), 辫状河道微相(顶界 1713 m)。简言之, 该井所见的铜钵庙组为辫状河三角洲平原亚相的沉积, 包括辫状河道和越岸沉积两种微相(图 6)。

南一段的 Sq2-1 层序岩性上两分: 下部是砂砾岩夹薄层泥岩, 上部为粉砂岩和泥岩。该套地层由辫状河三角洲平原亚相的辫状河道微相的砂砾岩与废弃河道充填微相的粉砂岩-泥岩交互组成, 即: 1713~1708.36 m, 辫状河道微相; 向上至 1694.36 m, 废弃河道充填微相; 向上至 1676.52 m, 辫状河道微相; 向上至 1656 m, 复为废弃河道充填微相。

南一段的 Sq2-2 层序, 下部和上部的岩性是泥岩和粉砂岩, 中部为砂砾岩。沉积相自下而上为: 1656~1613.64 m, 辫状河三角洲平原亚相越岸沉积微相; 向上至 1605.52 m, 辫状河三角洲平原亚相的辫状河道微相, 再向上至 1600 m, 又是越岸沉积微相。辫状河道沉积的岩性为砂砾岩, 越岸沉积则为泥岩和粉砂岩。

南二段的 Sq3-2 层序遭断失后仅保存 20 m。其下部(1600~1583.84 m)岩性是泥岩和粉砂岩, 属辫状河三角洲的三角洲平原亚相越岸沉积微相; 上部(1583.84~1580 m)岩性为粉砂岩, 属辫状河三角洲的三角洲平原亚相废弃河道充填微相。

南二段的 Sq3-3 层序的岩性也可两分。其下部(1580~1554.68 m)为粉砂岩和泥岩, 属辫状河三角洲的

三角洲平原亚相越岸沉积微相; 上部(1554.68~1526 m)是砂砾岩, 为辫状河三角洲的三角洲平原亚相辫状河道微相。

大磨拐河组一段的 Sq4-1 层序的岩性明显三分: 下部是泥岩夹薄层粉砂岩, 中部为大套粉砂岩, 上部为粉砂岩夹薄层泥岩。其垂向上沉积相的发育序列如下(自下向上): 1526~1510.79 m, 三角洲的平原亚相分流间湾微相; 向上至 1486.46 m, 三角洲平原亚相分流河道微相; 向上至 1472 m, 三角洲平原亚相的分流间湾微相; 向上至 1462.46 m, 三角洲平原亚相的天然堤微相; 再向上复为分流间湾微相(顶界 1453.9 m)和天然堤微相(顶界 1450 m)。可见 Sq4-1 层序内有 3 种微相: 分流间湾微相沉积为泥岩夹薄层粉砂岩, 分流河道微相沉积为粉砂岩, 天然堤微相沉积则为粉砂岩夹薄层泥岩。

大磨拐河组一段 Sq4-2 层序的岩性全为泥岩, 属浅湖亚相的湖泥微相。

综上所述, 乌 55 井所见的铜钵庙组和南屯组都是辫状河三角洲的三角洲平原亚相的沉积; 大磨拐河组一段的沉积相两分: 下部为三角洲平原亚相, 上部是浅湖沉积。

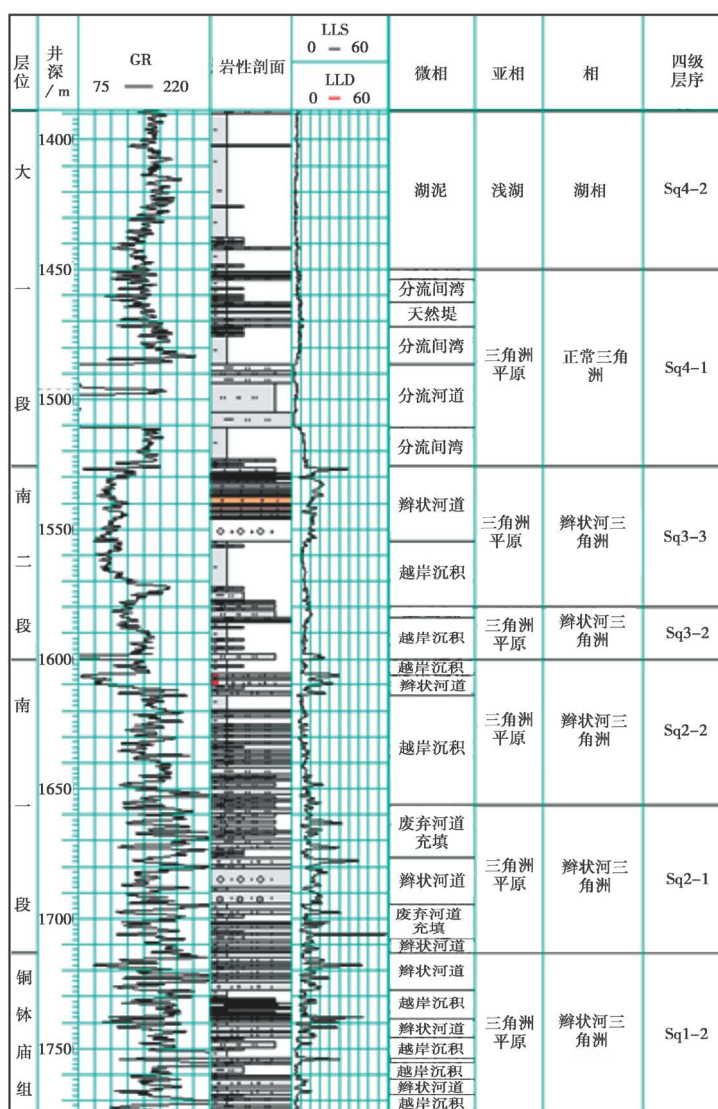


Figure 6. Analysis of sedimentary facies of the Tongbomiao-Nantun Formations and No. 1 Member, Damoguaihe Formation from the Well Wu 55 in South Sub-Sag, Urxun Sag
 图 6. 乌尔逊凹陷乌南次凹乌 55 井铜钵庙组、南屯组和大磨拐河组一段单井沉积相分析图

3. 沉积相类型和特征

上述 3 个钻孔的单井沉积相分析表明: 乌南次凹铜钵庙组、南屯组和大磨拐河组一段的主要沉积相类型是扇三角洲、辫状河三角洲、湖泊和湖底扇。

3.1. 各沉积体系概述

3.1.1. 扇三角洲

扇三角洲沉积体系主要见于乌西断阶, 层位上则以南屯组最常见(这可能与铜钵庙组钻孔揭露较少有关)。因距物源区近, 搬运距离短, 快速堆积, 常见由砾石和砂等粗碎屑组成, 成分和结构成熟度均较低。可分为 3 种亚相: 扇三角洲平原、扇三角洲前缘和前扇三角洲亚相。

扇三角洲平原亚相可分为分流河道微相和漫滩沼泽微相。分流河道沉积常为碎屑支撑的厚层砂砾岩和含砾砂岩, 成熟度低, 分选差至中等, 无递变或具正递变层理。砾石次棱角至次圆状, 长轴一般为 3 cm 左右, 呈叠瓦状排列。具下粗上细的粒度正韵律, 底部见冲刷面和滞留砾石、泥砾沉积, 向上粒度变细, 相应地出现小型交错层理、波状层理和包卷层理, 顶部见水平层理。如巴 X3 井孔深 1116.59~1124.07 m 南二段的浅灰绿色砂砾岩, 砾石主要为凝灰岩和花岗岩砾石, 砾石分选中等, 砾径一般为 1 cm × 1.5 cm, 呈次棱角至次圆状。

漫滩沼泽微相位于分流河道间或单个扇体之间的低洼地区, 面积较小; 沉积物较细, 一般为薄层的粉砂岩、粘土岩及细砂岩的互层, 常为块状或水平纹层状, 夹少量交错纹理和干裂构造。如巴 X3 井孔深 1128.67~1130.1 m 的南一段顶部灰黑色含粉砂泥岩, 含碳屑。

扇三角洲前缘亚相的沉积是扇三角洲沉积的主体, 可分为 4 种微相: 水下分流河道、水下分流河道间、河口砂坝和前缘席状砂微相。

水下分流河道沉积在扇三角洲沉积中占有相当重要的地位。其岩性以含砾砂岩和砂岩为主, 分选中等, 颜色偏暗, 常见小型交错层理, 在受到后期水流和波浪改造时可形成脉状层理及水平层理, 可见冲刷面。整个砂体呈长条分布, 横向剖面呈透镜状且很快尖灭。如巴 16 井孔深 2388~2389 m 南一段的灰绿色粗砂岩, 底部即见冲刷面。

水下分流河道间沉积位于水下分流河道的两侧, 常见岩性为(浅)灰色细砂岩、粉砂岩及灰绿色泥岩的互层。发育水平层理、波状层理、透镜状层理以及压扁层理、包卷层理。其重要特征是生物扰动程度较高, 有较多的生物潜穴, 受波浪的改造作用也较明显。如巴 16 井孔深 2152~2158 m 的南一段暗色泥岩。

河口砂坝位于水下分流河道的前方, 沉积范围和规模较小, 但含砂量高。粒度以分选较好的粉砂-中砂为主, 常见沉积粒序为反韵律, 并伴有泥质夹层。沉积构造以小型交错层理和平行层理为多见, 偶见板状交错层理。在较细的粉砂质泥岩中, 可见滑动作用或生物扰动形成的变形层理或扰动构造。河口砂坝整体呈底平顶凸或双凸的透镜状。如巴 16 井南一段 2145 m 处的含泥细砂岩。

前缘席状砂位于河口砂坝的前方或侧方, 紧邻前三角洲, 是波浪改造原河口砂坝的砂体使之重新分布, 在扇三角洲前缘地带形成分布广、厚度薄的砂体。其岩性较细, 因经反复淘洗, 磨圆和成熟度较高, 显示反韵律的粒序, 表现为砂岩与泥岩的间互层, 可见波状层理和变形层理。如乌 17 井南一段 Sq2-1 层序的顶部所见(图 5)。

前扇三角洲亚相沉积的岩性为灰绿色、灰黑色泥岩与泥质粉砂岩互层, 泥岩中常见粉砂岩透镜体夹层, 发育水平层理, 含丰富的叶肢介和介形虫化石。前扇三角洲沉积的分布较窄, 与湖相暗色泥岩较难区分, 且在两者中常可见因滑塌而形成的碎屑较粗的砂体。

3.1.2. 辫状河三角洲

辫状河三角洲沉积体系是乌东斜坡带的主要沉积类型, 系其东的巴彦山隆起上的辫状河流携带的碎

屑进入乌南次凹堆积而成, 层位上涵盖了铜钵庙组和南屯组的所有组段; 大磨拐河组一段沉积时仍有三角洲发育, 只是因长期的剥蚀夷平, 河流的类型由原山区的辫状河流演化为准平原地区的壮年期河流。该体系内部可划分为辫状河三角洲平原亚相、辫状河三角洲前缘亚相和前辫状河三角洲亚相, 前两种亚相又可细分为多种微相。

辫状河三角洲平原亚相可分为辫状河道微相和越岸沉积微相, 前者是辫状河三角洲平原亚相的主体。在乌东斜坡带的乌 55 井、乌 57 井和乌 59 井均见辫状河三角洲平原亚相的沉积发育。

辫状河道微相的沉积以色杂、粒粗、分选较差和底部发育充填构造为特征, 其充填物主要是碎屑支撑的厚层砂砾岩和含砾砂岩, 成熟度低, 分选差至中等, 无递变或具正递变层理, 底部具有冲刷面和滞留砾石、泥砾沉积。乌 55 井的南一段、南二段及铜钵庙组均见多层辫状河道沉积发育(见图 6)。

越岸沉积微相位于辫状河道之间或单个扇体之间的低洼的河漫沼泽地区, 面积较小, 沉积物较细, 为薄层的粉砂岩、粘土岩及细砂岩的互层, 常见块状层理或水平纹层理, 见少量交错纹理和干裂构造, 植物根系和生物扰动构造较发育。如乌 55 井铜钵庙组 Sq1-2 层序中所见富含碳屑的深灰色泥岩, 可见含黄铁矿。

辫状河三角洲前缘亚相的沉积是辫状河三角洲沉积的主要砂体, 乌南次凹该亚相的特点是砂体中反映湖相沉积的灰黑色泥岩夹层较多; 可分出 5 种微相: 水下分流河道、水下分流河道间、河口砂坝、远砂坝及前缘席状砂微相。

水下分流河道微相在整个辫状河三角洲沉积中占有相当高的比例, 其沉积物主要由含砾砂岩和砂岩构成, 分选中等, 以小型交错层理为主, 可见水平层理。整个砂体呈长条状分布, 横向剖面呈透镜状。如乌 27 井孔深 1851~1852 m 的南一段灰色砂砾岩, 乌 30 井孔深 1672~1674 m 的南一段棕色含油含砾粗砂岩, 砾石分选较好, 粒径在 2 mm × 3 mm 左右。

水下分流河道间微相的沉积位于水下分流河道的两侧, 由(浅)灰色细砂岩、粉砂岩及灰绿色泥岩的互层组成, 发育水平层理、波状层理、透镜状层理以及压扁层理、包卷层理, 生物扰动程度较高, 有较多的生物潜穴。如乌 108-96 井孔深 2555~2556 m 南一段的棕色含油粉砂岩, 略含泥, 呈细纹层分布, 显水平层理, 含碳屑。

河口砂坝微相位于水下分流河道的前方, 岩性以粉砂岩 - 中细砂为主, 分选较好, 常显示反韵律, 伴有泥质夹层, 沉积构造以小型交错层理和平行层理为多见; 在较细的粉砂质泥岩中可见滑动作用或生物扰动形成的变形层理或扰动构造。如乌 108-96 井孔深 2558~2559 m 南一段的棕色含泥含油粉砂岩, 见平行层理和波痕, 含零星碳屑, 具泄水构造。

远砂坝微相沉积位于河口砂坝的前方或侧方, 紧邻前三角洲, 系波浪作用改造原水下分流河道河口砂坝的砂体使之重新分布, 在辫状河三角洲前缘地带形成的分布广、厚度薄的砂体。其岩性较细, 因反复淘洗而成熟度较高, 分选较好, 常见泥岩、砂岩的互层, 构成反韵律的粒序, 可见波状层理和变形层理。乌 32 井南二段的中 - 上部即见多层远砂坝沉积。

前缘席状砂微相的沉积位于河口砂坝的前方或侧方, 沉积特征与远砂坝相似, 如乌 17 井南一段 Sq2-1 层序顶部的粉砂岩与泥岩互层。

前辫状河三角洲亚相仅一个微相即前三角洲泥, 岩性为块状的暗色泥质粉砂岩和粉砂质泥岩, 可见叶肢介化石。在辫状河三角洲前缘地区沉积速度较快的情况下, 可见这些泥岩中夹有滑塌成因的浊积岩。乌 32 井南二段的中 - 上部见多层前三角洲泥, 与远砂坝沉积交互发育(见图 3)。

3.1.3. 湖泊和湖底扇

乌南次凹是个湖盆, 有大量湖泊相沉积发育, 见于乌南次凹的中 - 西部, 可分为滨浅湖和深湖半深

湖两个亚相; 后者在上文的单井沉积相分析中简称为半深湖亚相。深湖半深湖亚相沉积集中于中央深凹带发育。从铜钵庙组中发育湖底扇沉积判断中央深凹带已经出现(这是湖底扇得以发育的前提)。南一段以半深湖沉积环境为主, 其中不乏深湖环境, 发育的深湖相黑色泥岩成为乌南次凹主要的烃源岩层。南二段虽然以滨浅湖环境为主, 仍出现范围较大的深湖半深湖环境; 乌 34 井孔深 2569~2572 m 的南二段含碳屑黑色泥岩为深湖沉积。大磨拐河组以滨浅湖亚相沉积为主, 在中央深凹带中仍有一定范围的深湖半深湖发育。

在深湖半深湖的湖底发育斜坡时, 可因重力流活动形成湖底扇, 且常见湖底扇的砂岩-砂砾岩与深水的泥岩间互出现。湖底扇相从扇根至扇缘可分为内扇、中扇和外扇亚相。内扇亚相常见主沟道微相和主沟道间微相, 前者以有序或无序的砂砾岩沉积为特征, 如乌 34 井孔深 2678~2685 m 南二段所见夹滑塌堆积的重力流沉积体系。扇根部位还可能发育补给水道微相, 以颗粒支撑或杂基支撑的砾岩沉积为特征, 如乌 32 井孔深 2402~2413 m 南二段砾岩, 夹含碳屑和黄铁矿团块的灰黑色粉砂岩。中扇以卵石质砂岩或块状砂岩沉积为主, 有时可见颗粒流和液化流沉积。外扇则以发育远源浊积岩为特点, 常见鲍马序列的 CDE 组合或 DE 组合。此外, 在深湖平原有深切水道微相发育, 乌 32 井在南一段的 Sq2-2 和 Sq2-3 层序中都钻遇这一微相的沉积(见图 2)。

3.2. 各组沉积特征

海拉尔-塔木察格盆地是一个多凹陷组成的复式断陷, 各凹陷的构造-沉积演化既有共性, 又有个性。将乌尔逊凹陷与其南的贝尔凹陷[8] [9] [10]、南贝尔凹陷[11] [12] [13]和塔南凹陷[14] [15] [16]的下白垩统沉积特征进行对比, 将会发现乌尔逊凹陷的各组沉积均有自己特色的相类型。

3.2.1. 铜钵庙组

铜钵庙组在其它凹陷中常见火山岩发育, 这是因为海拉尔-塔木察格地区晚侏罗世与蒙古东部的北东向伸展盆地群不属同一构造单元, 而属大兴安岭火山岩活动区[17] [18], 早白垩世初期火山活动仍很发育。乌南次凹的一个特点是铜钵庙组中未见火山岩。这可能有 2 个原因。一是目前钻孔揭露的乌东斜坡带早白垩世不发育大型同生断层, 故没有火山活动; 其西界的乌西断裂可能有正断活动, 沿之有火山岩喷发(溢), 但因铜钵庙组埋藏较深, 钻孔尚未揭露。二是长期把火山地层塔木兰沟组视作铜钵庙组的下伏地层。事实上, 该组除测到中侏罗世末-晚侏罗世的年龄值(如 160~162 Ma [19])外, 还测到一组 133~147 Ma 的年龄值[18], 说明海拉尔地区早白垩世初期广泛发生火山活动, 是铜钵庙组的同时异相, 但是却把火山岩称作“塔木兰沟组”了。

在其它凹陷区, 铜钵庙组是初始裂陷期的记录, 因湖盆形成而广泛发育湖相和近岸水下扇、扇三角洲沉积, 沿盆缘的山前地区还有冲积扇发育。乌南次凹该时期的沉积特征, 一是沿西界断裂未见近岸水下扇发育, 二是东缘宽阔地区发育的辫状河三角洲是特色的相类型, 指示凹陷东侧为一宽缓斜坡, 且在早白垩世长期保持稳定, 没有因正断层活动而被破坏掉。

3.2.2. 南屯组

在其它凹陷区, 南一段沉积期总体上是主裂陷期, 局部地区出现“窄盆深水”的构造-沉积格局; 在深湖半深湖环境中除发育湖泥外还有湖底扇发育。乌南次凹这一时期的构造-沉积演化与这一总趋势一致, 但深湖半深湖的发育范围更大, 形成了近南北向的中央深凹带, 指示了次凹中-西部地区的强烈伸展; 相应地, 湖底扇能成片成带地出现而不是零星分布。该时期乌南次凹独特的沉积相类型是沿东侧宽缓斜坡发育的辫状河三角洲相。

南二段沉积期在其它凹陷尽管仍被称为“断陷期”, 但同生断层的伸展活动已明显减弱, 成为剪切(或

张扭)断层, 因而此时期实际上是断陷盆地与剪切盆地之间的过渡期。相应地, 原分隔的“深水窄盆”连通成“浅水广盆”, 且因盆地与物源区之间的地形反差不那么强烈而有三角洲沉积出现。在乌南次凹, 南二段沉积明显两分。如乌 32 井所见, 下部(Sq3-1 层序)继承了南一段的构造-沉积格局, 保持深湖半深湖环境, 指示中-西部地区的再次伸展; 南二段的中-上部(Sq3-2 和 Sq3-3 层序)是辫状河三角洲沉积, 意味着伸展作用减弱甚至趋于平息, 湖盆变浅, 次凹东侧的辫状河三角洲得以向原中央深凹带推进。

3.2.3. 大磨拐河组一段

在其它凹陷, 大磨拐河组沉积期是剪切盆地发育阶段(曾称“断-坳转换阶段”), 同沉积断裂活动表现为走滑, 它们控制了盆地的范围, 但对相带分布的控制不明显。构造-沉积演化在此阶段以“广盆浅水”为特征, 仅有浅湖环境, 湖盆内的主要沉积相类型是三角洲。乌南次凹大一段下部(Sq4-1 层序)沉积与这一总趋势吻合。乌 32 井揭露, 在南二段的辫状河三角洲之上, 大一段沉积早期继续发育辫状河三角洲沉积。乌 55 井所见, Sq4-1 仍为三角洲平原堆积, 但因东侧的巴彦山隆起长期遭受剥蚀, 原宽缓的乌东斜坡进一步变缓, 故斜坡上原发育的辫状河向准平原地区的壮年期河流演化。

需强调的是大一段上部(Sq4-2 层序)沉积时的沉陷和湖侵事件。乌 32 井见 Sq4-1 的辫状河三角洲沉积之上出现的深湖半深湖显然是大磨拐河组特色的相类型, 反映了乌南次凹的伸展和裂陷; 相应地, 湖盆向东扩大, 故乌 55 井见三角洲沉积之上为湖相沉积。这意味着乌南次凹的断陷阶段可延续到大一段沉积期。以下将结合剖面上的沉积相带展布进一步讨论乌南次凹早白垩世的沉积-构造演化。

4. 相带展布和沉积-构造演化

4.1. 两条典型剖面分析

第一条是近东西向横切过乌南次凹中部的巴 14 井-巴 16 井-乌 34 井-乌 132-80 井-乌 134-92 井-乌 144-108 井-乌 45 井剖面(图 7, 剖面位置见图 1(B)的 C~C')。该剖面上见 4 条主要的控盆/陷断裂: 乌南次凹的西界断裂 F₁ 向东倾, 倾角十分平缓; 中央深凹带的西界断裂 F₂ 也向东倾, 倾角较陡; 西倾的 F₃ 可认为是中央深凹带的东界断裂, 其东尚有数条西倾且倾角较陡的断层。此剖面所见的相带类型有滨浅湖、扇三角洲、深湖半深湖、湖底扇和辫状河三角洲, 且指示次凹的东、西两侧各存在一个物源区。

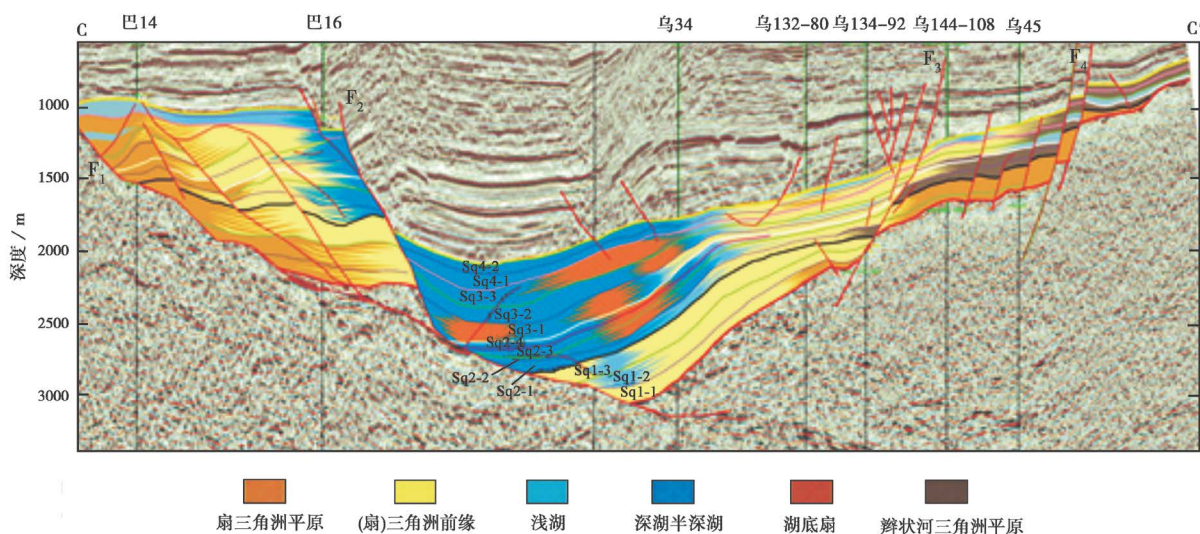


Figure 7. C~C' profile across central part of the South Sub-Sag, Urxun Sag, showing distribution of sedimentary facies belts
图 7. 横切过乌尔逊凹陷乌南次凹中部的 C~C'剖面, 示沉积相带展布

铜钵庙组沉积期上述几条断裂显然都是活动的。因 F_1 和 F_2 的同沉积伸展活动, 西侧物源区提供的碎屑经短距离搬运后进入湖盆, 在盆地边缘处快速堆积, 形成扇三角洲。要注意的是 F_3 和 F_4 的上盘也见有扇三角洲沉积, 甚至 F_4 以东仍见扇三角洲发育, 表明乌东斜坡西缘的局部地段因同生正断层活动而控制扇三角洲发育。还要注意的尽管乌西断阶和中央深凹带的雏形已经出现, 但该剖面上未见铜钵庙组沉积期有深湖半深湖沉积。

南一段沉积期 F_1 仍有活动, 故在乌西断阶出现深湖半深湖环境。 F_2 也有强烈活动, 中央深凹带形成, 出现范围广阔的深湖半深湖, 沿湖底的斜坡发育浊流(湖底扇)。此时期湖盆范围明显扩大, 湖平面上升。乌东斜坡却表现为一构造稳定区, 来自东侧物源区的碎屑经长距离搬运后在次凹东缘作为辫状河三角洲堆积下来。南一段沉积晚期, 随伸展减弱, 乌东斜坡带的辫状河三角洲向盆内推进, 可达 F_3 断裂以西。

南二段沉积时 F_1 和 F_2 断裂继续伸展活动, 乌西断阶仍有深湖半深湖环境, 中央深凹带也保持大面积的深湖半深湖区且有湖底扇发育。南二段沉积早期(Sq3-1 层序)湖盆再次向东扩大, 在 F_4 断裂以东见有大面积的浅湖沉积(乌 55 井因 Sq3-1 层序被断层断失, 未能揭示此点)。南二段中 - 上部沉积时伸展作用趋于减弱甚至平息, 乌东斜坡的辫状河三角洲再次向盆内推进至 F_4 断裂以西。

大一段沉积早期 F_1 断裂已停止伸展, 乌西断阶出现大面积的浅湖环境; 由于原西侧物源区向西退缩, 搬运距离相对增长, 入湖碎屑的粒度较细。 F_2 和 F_3 断裂则继续活动, 故中央深凹带仍保持有深湖半深湖环境, 只是没有湖底扇发育。大一段上部(Sq4-2 层序)沉积期伸展作用有所加强, 湖盆再次向东扩大, 在 F_3 断裂以东仍见浅湖相沉积(可参阅上文中乌 55 井的相分析)。

第 2 条是近北东向斜切过乌尔逊凹陷乌南次凹中部的巴 7 井 - 海参 1 井 - 乌 32 井 - 乌 148-70 井 - 乌 154-82 井 - 乌 25 井 - 乌 55 井剖面(图 8, 剖面位置见图 1(B)的 D~D')。该剖面揭示的乌南次凹的构造形态与图 7 相似, 即: F_1 是乌南次凹的西界断裂, F_2 是中央深凹带的西界断裂, F_4 是中央深凹带的东界断裂, 只是由于西倾的 F_3 断裂发育, 使中央深凹带出现一个“凹中凹”。与图 7 略有不同的是该剖面上次级断裂较发育, 一部分是南屯组沉积期才形成的, 下延不切入铜钵庙组中; 另一部分是大二段及伊敏组沉积时形成的, 下延不切入大一段及更老地层内。该剖面所见的相带类型和物源区位置与图 7 相同。

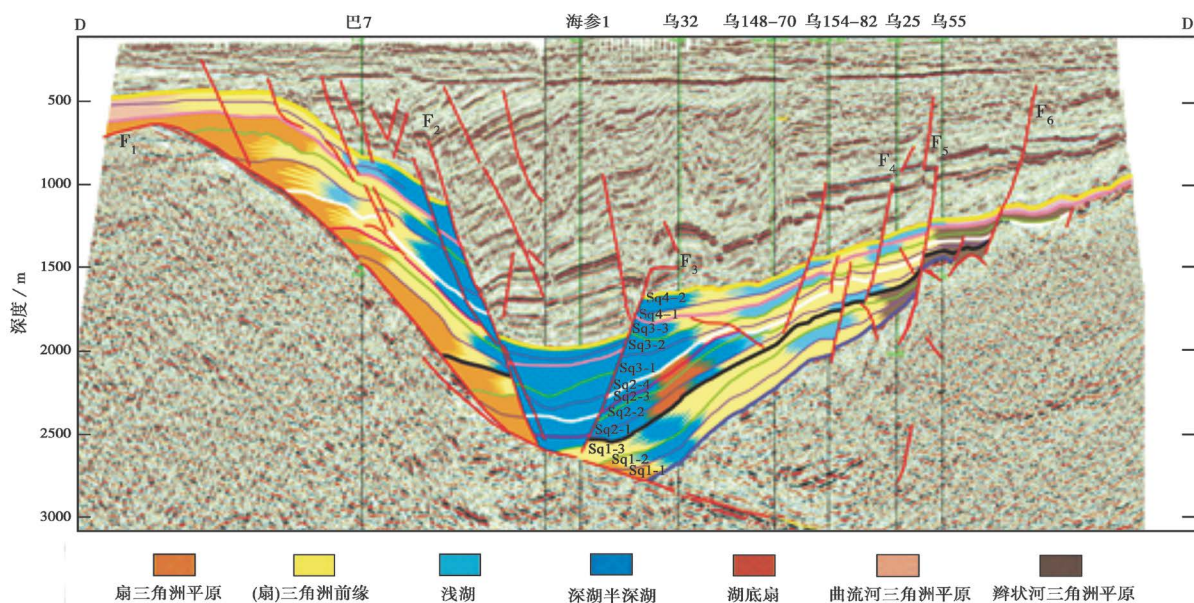


Figure 8. D~D' profile obliquely across central part of the South Sub-Sag, Urxun Sag, showing distribution of sedimentary facies belts

图 8. 斜切过乌尔逊凹陷乌南次凹中部的 D~D'剖面, 示沉积相带展布

铜钵庙组沉积期 F_1 、 F_2 、 F_3 和 F_4 断层都有活动, 控制了湖盆形成, 有扇三角洲和湖相沉积发育。与图 7 不同的是该时期中央深凹带已出现局部的深湖半深湖环境, 主要位于 F_3 断裂以东(不在“凹中凹”内)。与图 7 的另一不同之处是乌东斜坡此时未见扇三角洲沉积, F_4 断裂以东为辫状河三角洲沉积; F_6 以东缺失铜钵庙组, 可能是原沉积地层在铜钵庙组沉积后的隆起(或掀斜)事件中已被全部剥蚀。

南一段沉积时上述断裂均有强烈伸展, 乌西断阶发育深湖半深湖沉积; 中央深凹带进一步扩大沉陷, 有湖底扇发育(位于 F_3 断裂以东)。此时是乌南次凹湖盆发育的鼎盛期, 湖盆向东扩大至乌 25 井以东; 但因乌 55 井中 $Sq2-3$ 和 $Sq2-4$ 层序被断层断失, 尚无法确定当时的湖盆东界是否已经越过 F_5 到达乌 55 井。

南二段沉积期, 乌西断阶的沉积相带展布同南一段; 中央深凹带则在该段沉积早期仍保持与南一段大致相当的湖盆面积。南二段沉积的中-晚期, 随伸展趋于平息, 乌东斜坡的辫状河三角洲向盆内推进, 但向西未越过 F_5 (即: 此时的湖盆范围仍大于铜钵庙组沉积期的湖盆), 故中央深凹带南二段全为深湖半深湖沉积。

大一段沉积早期, F_1 已停止活动, 西侧物源区向西后退, 乌西断阶主要发育滨浅湖相沉积, 且与原西侧隆起区上的三角洲平原、三角洲前缘沉积连成一体, 仅在靠近 F_2 断裂处残留有局部的深湖半深湖。中央深凹带大一段早期沉积($Sq4-1$ 层序)仅在“凹中凹”内保持有深湖半深湖环境, 应与 F_2 和 F_3 断裂的活动有关。 F_3 以东, 大一段下部是辫状河三角洲前缘或前三角洲沉积, 反映了受东侧物源区的影响。大一段上部沉积($Sq4-2$ 层序)时, 因再次发生伸展, F_3 断裂以东重又出现深湖半深湖环境, 乌南次凹的湖盆向东扩大至乌 55 井, 即: 大一段沉积晚期的湖盆范围显然较南二段沉积中-晚期的湖盆大。

4.2. 沉积 - 构造演化

通常把海拉尔盆地的构造 - 沉积演化分为断陷、断-拗转换(实际上是剪切)和拗陷三大阶段。对塔南凹陷、南贝尔凹陷和贝尔凹陷的研究表明铜钵庙组和南屯组大致可视作断陷阶段的记录, 大磨拐河组沉积的早-中期是断-拗转换阶段。乌南次凹的断陷阶段可延续到大磨拐河组一段沉积期, 并可划分出 4 个伸展幕。

铜钵庙组沉积期的伸展使乌南次凹的湖盆形成, 乌西断阶、中央深凹带和乌东斜坡的雏形出现, 是初始伸展 - 裂陷幕。该时期沉积演化的特点, 除湖盆面积最小外是相发育的空间不均一性。图 7 和图 8 显示中央深凹带有不同的沉积亚相(前者为浅湖后者为深湖半深湖)。在乌北次凹的苏 40 井揭露铜钵庙组为湖底扇沉积, 且内扇、中扇和外扇各亚相均有发育, 指示该地的深湖盆已有一定规模。乌东斜坡尽管总体上保持稳定, 图 7 显示局部地段仍有张裂发生并控制了扇三角洲发育。该组沉积期末发生隆起(或掀斜), 与上覆地层间普遍为角度不整合接触。这一不整合面在海拉尔盆地区域上都有反映。

南一段沉积的早-中期湖盆发育达到全盛, 深湖半深湖和湖底扇的发育也达到全盛, 因而这一拉张幕是乌南次凹的主伸展 - 裂陷幕。与铜钵庙组不同的是: 南屯组沉积期的相带展布受盆内次级构造带的制约, 即: 乌西断阶发育扇三角洲及深湖半深湖, 中央深凹带发育深湖半深湖和湖底扇沉积, 乌东斜坡带发育辫状河三角洲沉积且随伸展作用减弱向西(次凹中部)推进。该组沉积期末也发生隆起或掀斜, 与上覆南二段间局部可见角度不整合接触, 这一不整合面在贝尔凹陷发育较为典型[20]。

南二段沉积早期的伸展活动可称再次伸展幕, 它使南二段沉积期能基本保持南一段沉积期的构造 - 沉积格局(这与其它凹陷不同), 湖盆发育再次达到鼎盛。该段沉积的中-晚期尽管伸展作用减弱(故乌东斜坡的辫状河三角洲再次向西推进), 但中央深凹带的主体部分及乌西断阶的东缘地区南二段沉积期持续发育深湖半深湖沉积, 并有湖底扇发育。该组沉积期末盆地闭合回返, 原沉积地层遭受剥蚀(贝尔凹陷最大的剥蚀量可达 900 m [21]), 故南屯组顶面是区域上的一个重要不整合面。

大磨拐河组一段下部的沉积以三角洲广布为特征。大一段的上部沉积, 在乌西断阶和中央深凹带重

又出现深湖半深湖环境, 表明乌南次凹又一次发生伸展, 称末次伸展幕, 湖盆除变深外还向东扩大范围, 故乌东斜坡带的三角洲沉积上覆以湖相地层。大一段沉积期末发生挤压或掀斜, 大一段与上覆大二段间局部可见角度不整合接触。

大二段沉积期出现新的构造-沉积格局, 表现如下。1) 尽管盆地范围扩大, 但整个乌南次凹均为滨浅湖相沉积; 换言之, 大二段和上覆伊敏组中不再见有深湖半深湖发育。2) 物源区由原来的东、西两侧物源区变成 4 个物源区。北东侧和南西侧有河流携带的碎屑注入湖盆形成三角洲沉积, 分别发育三角洲前缘亚相和三角洲平原亚相的砂体, 后者应与南西侧的巴彦塔拉构造带的活动有关。此外, 在次凹的西侧和南东侧各有一个次要的物源区, 控制了小型的扇三角洲发育。3) 西侧的扇三角洲标志着乌西断裂重新活动(但活动方式变为剪切或张扭), 南东侧的扇三角洲意味着原长期稳定发育的乌东斜坡带的南段此时有剪切或张扭断裂发育。据之将大二段沉积期视作乌南次凹的断-坳转换期。大磨拐河组的顶面是区域上的平行不整合面, 意味着该组沉积期末发生隆升剥蚀; 之后乌南次凹的演化进入坳陷期。

5. 主要认识

本文基于乌南次凹中央、西侧和东侧的乌 32 井、乌 17 井和乌 55 井详细的单井沉积相分析, 指出铜钵庙组、南屯组和大磨拐河组一段中主要发育扇三角洲相、辫状河三角洲相和湖泊-湖底扇相沉积。总结了各类沉积体系的发育特征和分布层位, 并与邻近的贝尔凹陷、南贝尔凹陷和塔南凹陷进行了比较, 发现乌南次凹的沉积-构造演化具下列特点。

1) 乌南次凹是个极不对称的盆地, 西侧有乌西断裂带长期强烈活动, 控制了乌西断阶和中央深凹带形成, 东侧却是宽缓的稳定斜坡, 长期控制辫状河三角洲发育。南屯组沉积期的相带分布明显受次级构造带发育控制, 即: 乌西断阶发育扇三角洲及深湖半深湖, 中央深凹带发育深湖半深湖和湖底扇, 乌东斜坡则是辫状河三角洲堆积区。

2) 乌南次凹的断陷期可延续至大磨拐河组一段沉积期, 这一相对长的断陷阶段可分为 4 个伸展幕: 铜钵庙组沉积期是初始伸展-裂陷幕, 南一段沉积期是主伸展-裂陷幕, 南二段下部沉积期是再次伸展幕, 大一段上部沉积期是末次伸展幕。每一伸展幕都继之以挤压幕, 盆地发生隆起剥蚀或掀斜。至大二段沉积期盆地演化才进入断-坳转换期。

3) 与乌南次凹多幕伸展的构造演化相对应的沉积演化表现为: 中央深凹带的主体部位自铜钵庙组沉积期开始长期发育深湖半深湖, 该带的东部和乌东斜坡带的西部则出现沉积相的“拉锯”现象: 随伸展作用进行湖盆(及深湖半深湖的范围)向东扩大, 伸展作用减弱趋于平息时乌东斜坡的辫状河三角洲的堆积范围向西(次凹中部)推进。

4) 乌尔逊凹陷构造-沉积演化的这些特点决定了其油气成藏也有特殊性。在其它凹陷, 仅铜钵庙组和南屯组为油气勘探的目的层。乌尔逊凹陷因大一段中有面积和厚度均可观的深湖半深湖暗色泥岩(烃源岩)发育, 在有合适的砂体储集层(含大二段的砂体储集层)发育时即能成藏, 故大磨拐河组的一段和二段都具有油气勘探意义。

参考文献

- [1] 龚永杰. 海拉尔盆地乌尔逊凹陷南部油气成藏期次研究[J]. 世界地质, 2012, 31(4): 748-752.
- [2] 张彤, 李忠权, 蒙启安, 等. 构造变换带的识别及其在乌尔逊凹陷的应用[J]. 岩性油气藏, 2010, 22(4): 52-56, 63.
- [3] 姜茵华. 海拉尔盆地乌尔逊凹陷南屯组沉积相分析[J]. 大庆石油学院学报, 2011, 35(4): 12-16, 37.
- [4] 张丹, 卢旭, 姜雪洋. 海拉尔盆地乌尔逊凹陷沉积特征研究[J]. 内蒙古石油化工, 2010(18): 111-112.
- [5] 吕易珊, 王亮, 李松波, 等. 乌尔逊凹陷铜钵庙组沉积特征研究[J]. 内蒙古石油化工, 2012(4): 120-122.

- [6] 张景军, 柳成志, 曹彬彬, 等. 乌尔逊凹陷南屯组湖底扇沉积特征研究[J]. 科学技术与工程, 2011, 11(27): 6550-6555.
- [7] 张明学, 胡薇薇, 杜亚峰, 等. 海拉尔盆地乌尔逊凹陷南部大磨拐河组二段沉积相研究[J]. 科学技术与工程, 2010, 10(9): 2052-2056.
- [8] 雷燕平, 林畅松, 刘景彦, 等. 海拉尔盆地贝尔凹陷下白垩统层序地层与沉积体系分析[J]. 石油地质与工程, 2007, 21(5): 11-15.
- [9] 侯艳平, 朱德丰, 任延广, 等. 贝尔凹陷构造演化及其对沉积和油气的控制作用[J]. 大地构造与成矿学, 2008, 32(3): 300-307.
- [10] 胡玉双, 张媛, 冯玉良. 海拉尔盆地贝尔凹陷大磨拐河组沉积体系特征及演化规律[J]. 科学技术与工程, 2010, 10(24): 5851-5855, 5867.
- [11] 纪友亮, 蒙启安, 单敬福, 等. 2011. 塔南-南贝尔凹陷南屯组下部沉积体系平面展布特征[J]. 石油实验地质, 2011, 33(3): 260-265.
- [12] 单敬福, 纪友亮, 潘仁芳. 塔贝尔凹陷南屯组二段沉积体系平面展布特征[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2011, 31(3): 93-100.
- [13] 单敬福, 纪友亮, 金利红, 等. 塔南-南贝尔凹陷南屯组沉积相特征[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2013, 44(1): 241-250.
- [14] 李强, 张革, 孙效东, 等. 蒙古国塔木察格盆地塔南凹陷铜钵庙组沉积特征和构造-古地理意义[J]. 古地理学报, 2014, 16(6): 897-906.
- [15] 李春柏, 孙效东, 张革, 等. 蒙古国塔木察格盆地塔南凹陷南屯组-大磨拐河组沉积特征[J]. 大庆石油地质与开发, 2019, 38(2): 16-24.
- [16] 孙效东, 刘赫, 李春柏, 等. 蒙古国塔木察格盆地塔南凹陷下白垩统构造层序地层学的初步研究[J]. 地球科学前沿, 2014, 4(2): 51-66. <http://dx.doi.org/10.12677/AG.2014.42008>
- [17] Wu, G.Y., Wang, Y. and Liu, M. (2013) Palinspastic Reconstruction and Geological Evolution of Jurassic Basins in Mongolia and Neighboring China. *Journal of Palaeogeography (English Ed.)*, **2**, 306-317.
- [18] 吴根耀, 曹瑞成, 蒙启安, 等. 东北亚晚中生代-新生代北东向断裂和盆地发育[J]. 大庆石油地质与开发, 2014, 33(1): 1-15.
- [19] Wang, F., Zhou, X.H., Zhang, L.C., *et al.* (2006) Late Mesozoic Volcanism in the Great Xing'an Range (NE China): Timing and Implications for the Dynamic Setting of NE Asia. *Earth and Planetary Science Letters*, **251**, 179-198. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2006.09.007>
- [20] 王雅宁, 鲍志东, 彭仕宓, 等. 贝尔凹陷关键层序识别与油气意义[J]. 石油天然气学报(江汉石油学院学报), 2012, 34(8): 11-16.
- [21] 夏世强, 刘景彦. 不整合面剥蚀量恢复及其构造意义——以贝南凹陷 T₂₂ 不整合面为例[J]. 断块油气田, 2012, 19(1): 12-16.