

文章编号: 1000-0550(2011)06-1130-08

乌尔逊凹陷下白垩统层序地层研究^①

秦雁群¹ 邓宏文² 侯秀林¹ 郭佳² 梁旭² 魏海鹏²

(1. 中国石油勘探开发研究院 北京 100083; 2. 中国地质大学 能源学院 北京 100083)

摘要 以构造层序地层学分析为主线,从断陷盆地结构和古地貌的区域变化分析着手,利用地质、地球物理数据对乌尔逊凹陷下白垩统主要含油层段铜钵庙组、南屯组、大一段进行了层序地层研究。在识别了5个等时层序界面及区域钻井剖面对比基础之上,建立了该区目的层段层序地层格架。研究结果表明:凹陷沉积充填以及层序形成与构造演化相对应,具有阶段性。凹陷结构控制地层充填样式以及层序地层构型:西部陡坡带沉积粗粒冲积扇—扇三角洲体系,东部缓坡带沉积细粒河流三角洲和滨浅湖体系。其中,单断阶型结构发育加积型层序组叠置样式;单断槽型结构发育加积或进积层序组叠置样式;单断超型结构发育类似被动大陆边缘缓坡型层序。根据乌北地区构造古地貌及对沉积层序类型控制分析认为,该区主要储集体是位于大一段层序低位滑塌浊积岩,油藏类型为岩性—构造油藏,而非前人认为南二段顶部构造油藏。

关键字 乌尔逊凹陷 层序地层 盆地结构 构造古地貌

第一作者简介 秦雁群 男 1982年出生 博士 构造地质学与层序地层学 E-mail: yqqin2003@163.com

中图分类号 P539.2 **文献标识码** A

乌尔逊凹陷是一发育于古生界基底之上并被中、新生界断裂复杂化的断陷型盆地,有关凹陷下白垩统层序地层研究目前多基于原地地质分层进行,受地震数据体质量以及认识的差异,层序划分结果并不一致^[1,2]。目前,有关断陷盆地层序划分的级次探讨及区域可对比性并没有取得统一的认识^[3-6]。所采用的层序地层划分方法与划分标准也不尽一致^[7]。另外,受其构造活动的复杂性以及沉积相多变性,复杂断陷盆地层序构型的控制因素也一直存在着争论^[8,9]。本文在分析了乌尔逊凹陷充填演化及各构造单元结构基础之上,运用构造层序地层“控型”“控源”“控砂”原理^[10],综合利用研究区岩心、钻/测井、地震资料,岩—电标定、井—震结合,识别以构造沉降速率和沉积物供给速率为主导因素的可容纳空间变化与沉积物供给比值(A/S值)变化所导致层序地层叠加样式的变化规律,以各关键层序界面,特别是湖泛面以及区域不整合面约束进行区域层序地层划分与对比,进而对乌尔逊凹陷下白垩统层序进行了相关研究,以期指导该区下一步油气勘探方向。

1 区域地质概况

乌尔逊凹陷位于海拉尔盆地中南部,是一典型的西断东超箕状断陷。北临新宝力格凹陷,往南与贝尔

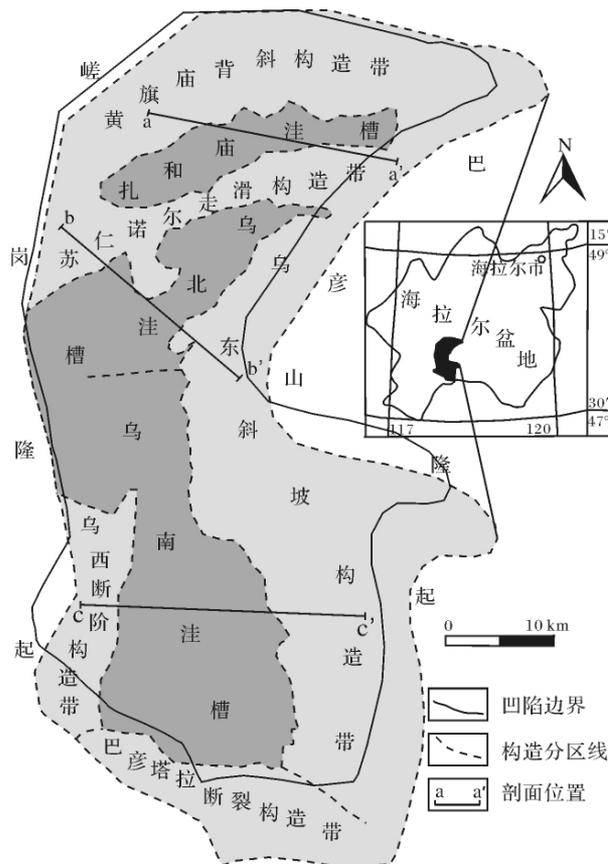


图1 乌尔逊凹陷区域构造位置与构造单元划分
Fig. 1 Tectonic location and division of tectonic units in Wuersun depression

①国家科技重大专项(编号:2009ZX05009-002)资助。
收稿日期:2010-11-20; 收修改稿日期:2011-01-19

凹陷被北西向巴彦塔拉走滑构造带分割,东西被巴彦山隆起与嵯岗隆起围陷,走向北东东,面积约 2 350 km²。凹陷内主要发育近 SN 向乌西、乌中控陷断裂,其次发育了 NEE 向苏仁诺尔走滑断裂带、NE 向黄旗庙断裂带以及这些主要断裂带伴生的次级断裂等。平面上分布主要受边界隆起、基底构造、构造应力场以及构造调节带联合控制,与南部贝尔凹陷平面组合为“S”型展布^[11]。研究区不同级次的断裂组合形成断阶构造体系、垒堑构造体系以及断斜坡构造体系,并形成凹陷南北分块、东西分带的构造格局(图 1)。

凹陷内主要沉积白垩系,从老到新主要包括裂陷期铜钵庙组、南屯组;断—拗转换期大磨拐河组;拗陷期伊敏组、青原岗组。根据区域钻井资料以及前人研

究成果可知,凹陷主要生油岩系为南屯组,储集层为南屯组二段和大磨拐河组一段(大一段)低位,其次为铜钵庙组,区域性盖层为大磨拐河组,南屯组和伊敏组一段为局部性盖层。本次研究的目的层段为铜钵庙组、南屯组、大一段。

2 层序地层格架的建立

2.1 层序地层关键面的识别

乌尔逊凹陷充填序列所显示的阶段性反映了凹陷形成的幕式变化过程,期间受构造隆升速率、侵蚀速率与沉积速率的差异,凹陷边缘以及凹陷内隆升部位形成了不同级别的区域不整合面(如: T5、T3、T22、T2)及局部不整合面(如: T23、T21),这些明显的界面为本区三级层序的划分与对比提供了依据。

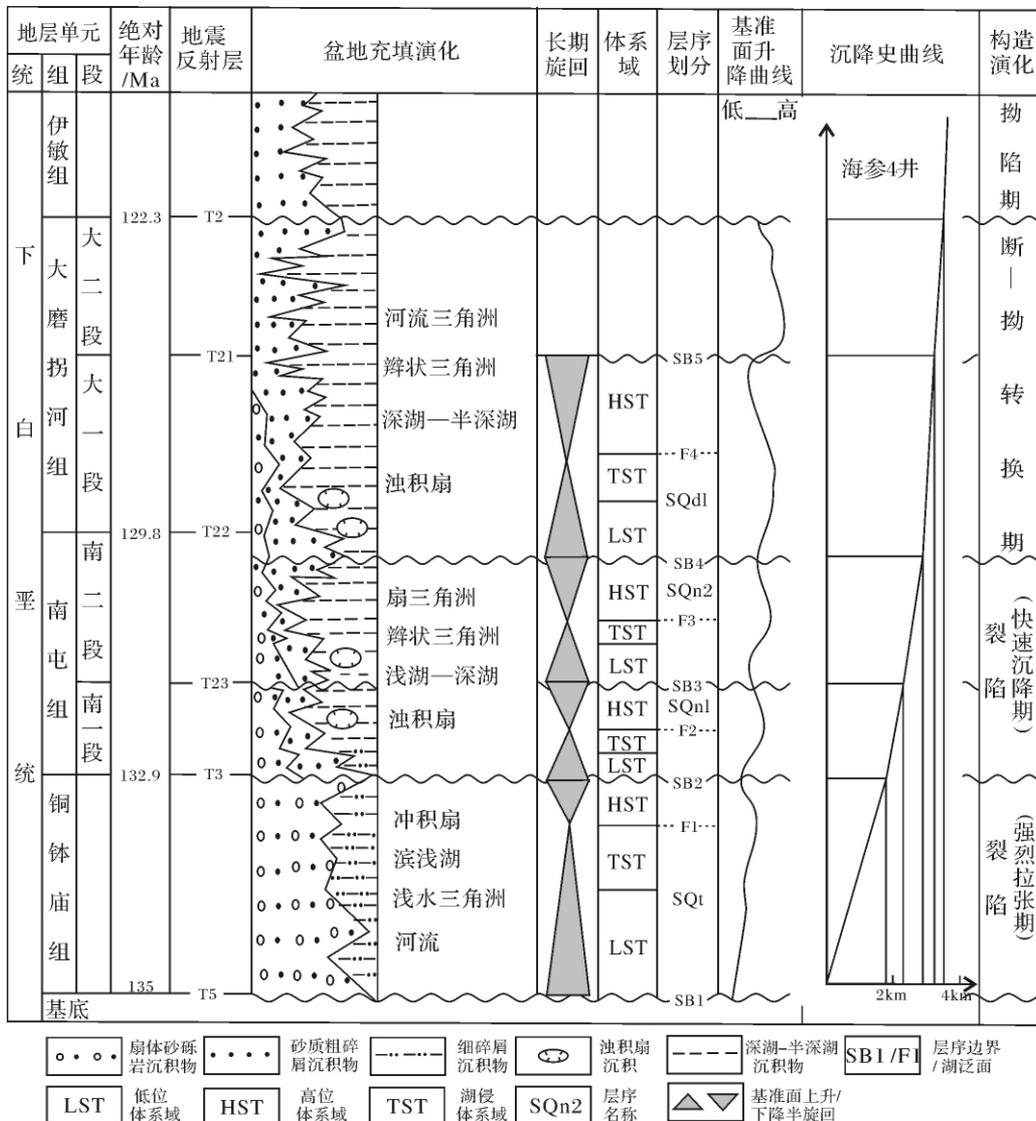


图 2 乌尔逊凹陷下白垩统充填序列与研究层段层序地层划分

Fig. 2 Strata filling of Lower Cretaceous and division of sequence stratigraphy in objective formation in Wuerxun depression

表1 乌尔逊凹陷铜钵庙组、南屯组、大一段层序关键界面特征

Table 1 Characters of the key sequence boundaries of K_1t , K_1n and K_1d^1 in Wuerxun depression

界面	界面特征	沉积特征	测井特征	地震特征
SB1	区域不整合 上超削截	下为古生界变质岩体, 上为含泥砂质、砂砾质沉积	突变, 界面下为漏斗形, 上为钟形、箱形	连续、较连续的强反射
F1	整合 平行	黑色、紫红色泥岩夹层	指形、箱形转变为钟形	中—弱反射
SB2	局部不整合 上超削截	下为灰绿、灰黑色凝灰质泥岩, 夹薄层砂砾岩, 上为泥质粉砂、砂岩夹泥岩	GR 高幅齿状突变为高幅峰状	连续、中等反射
F2	整合 下超	黑色、灰色泥岩和灰色砂岩互层段的泥岩部分	退积向进积转换	连续的高频、强振幅
SB3	局部不整合 上超削截	界面之上主要以厚层粉砂岩, 灰、灰黑色泥岩, 夹煤层	突变、界面上为箱形的加积或退积样式	中—弱振幅丘状反射
F3	整合 下超	界面处为灰、灰黑色泥岩, 界面上下为泥质粉砂岩夹泥岩	GR 高值、退积与进积转换面	中弱反射 较连续
SB4	区域不整合 上超削截	界面下多泥质粉砂、砂岩夹灰色、灰黑色泥岩, 之上多为湖相泥质、砂质沉积	突变、界面下为漏斗形, 上为钟形	中等振幅、较连续反射
F4	整合 平行	界面处为较纯的泥岩段	GR 高值、退积与进积转换面	中强反射 连续
SB5	局部不整合 上超	界面下为灰、黑色泥岩夹粉砂岩, 靠近隆起区岩性变粗, 上多为含煤层砂泥岩	突变、界面下为漏斗形, 泥岩基线偏离	高振幅、强连续性反射

(1) 层序界面的识别

断陷盆地层序界面的识别必须从地震层序地层学分析入手。根据地质事件在地震剖面的响应形成不同的地震反射终止关系: 削截、顶超、上超、下超, 利用地震剖面系统性、连续性、区域性分布的优势, 识别和对比不同等级的古构造和古沉积间断面以及其它有区域对比意义的沉积界面; 利用钻/测井剖面上岩—电反映特征, 选择研究区恰当的测井曲线系列, 根据曲线基值突变、偏移等特征综合分析地层岩性组合与沉积地层序列, 确定地层层序界面测井曲线特征响应; 利用声波和密度资料进行正演, 通过合成地震记录与井旁地震道的相关性可精确标定地质层位与地震相位对应关系, 标准层对比和波组对比并重、相互校正, 从而获得精确时—深关系; 通过岩心观察所反映岩石物理性质的垂向变化、相序和相组合的垂向变化、旋回的叠加样式和地层几何结构关系等识别不同级次的基准面旋回界面, 并对井、震数据校正。由此, 识别了乌尔逊凹陷铜钵庙组、南屯组、大一段 5 个三级层序边界, 从下往上分别命名为 SB1 ~ SB5 (图 2), 各界面特征见表 1、图 2。

(2) 湖泛面的识别

断陷型盆地不仅发育多期不整合, 更主要的是断裂构造运动复杂, 后期构造运动破坏明显, 多期断裂活动和后期构造反转不仅影响了地震反射资料的品质, 而且在某些构造部位改变了原始地层沉积产状, 由此造成地震反射终端性质的改变, 如原始地层前积现象可能由于断裂作用或构造反转形成上超的假象。

然而湖泛面由于稳定湖泛泥岩的存在, 地震反射特征明显, 容易识别且区域可对比性强, 在层序地层研究过程中必须予以足够重视。

在对乌尔逊凹陷研究目的层岩、电、震资料综合分析基础上, 从下往上, 识别了 4 个较大规模的湖泛面 F1 ~ F4, 多为相对较纯的泥岩段, 在测井曲线形态上, 主要位于向上变细的测井响应与向上变粗的测井响应的转折处, 电测曲线的幅值最低。这些界面处沉积趋势由退积向进积叠加样式转换特征明显 (表 1)。

2.2 区域层序地层对比

在单井层序地层学分析的基础上, 结合研究区地震资料、测井资料及地质资料等进行井间层序剖面对比, 通过追踪长期基准面旋回界面完成对全区层序划分和对比, 从而建立该区三级层序骨干剖面。图 3 是过乌尔逊凹陷扎和庙洼槽、乌北洼槽和乌南洼槽典型井连井剖面对比。其中, 层序 SQ_t 以基准面上升半旋回为主, 构成“上升不对称”型旋回结构, 底部以低水位期的粗碎屑、快速沉积为特征, 在经历较短高水位期沉积后, 整体抬升形成区域不整合面, 即层序界面 SB2。至层序 SQ_{n1} 、 SQ_{n2} 沉积时期, 受前期生长断层影响, 凹陷沉降速率增大, 湖泊水体加深, 水域面积扩大, 形成以灰色、灰黑色泥岩沉积的湖泊环境为主。受局部构造控制, 地层沉积厚度变化较大, 但基准面旋回的对称性较 SQ_t 时期明显。 SQ_{d1} 沉积时期, 总体地层厚度变化不大, 且旋回的对称性最为明显, 构造因素影响明显减弱, 反映基准面震荡性下降、湖盆沉积范围震荡性萎缩的沉积过程。

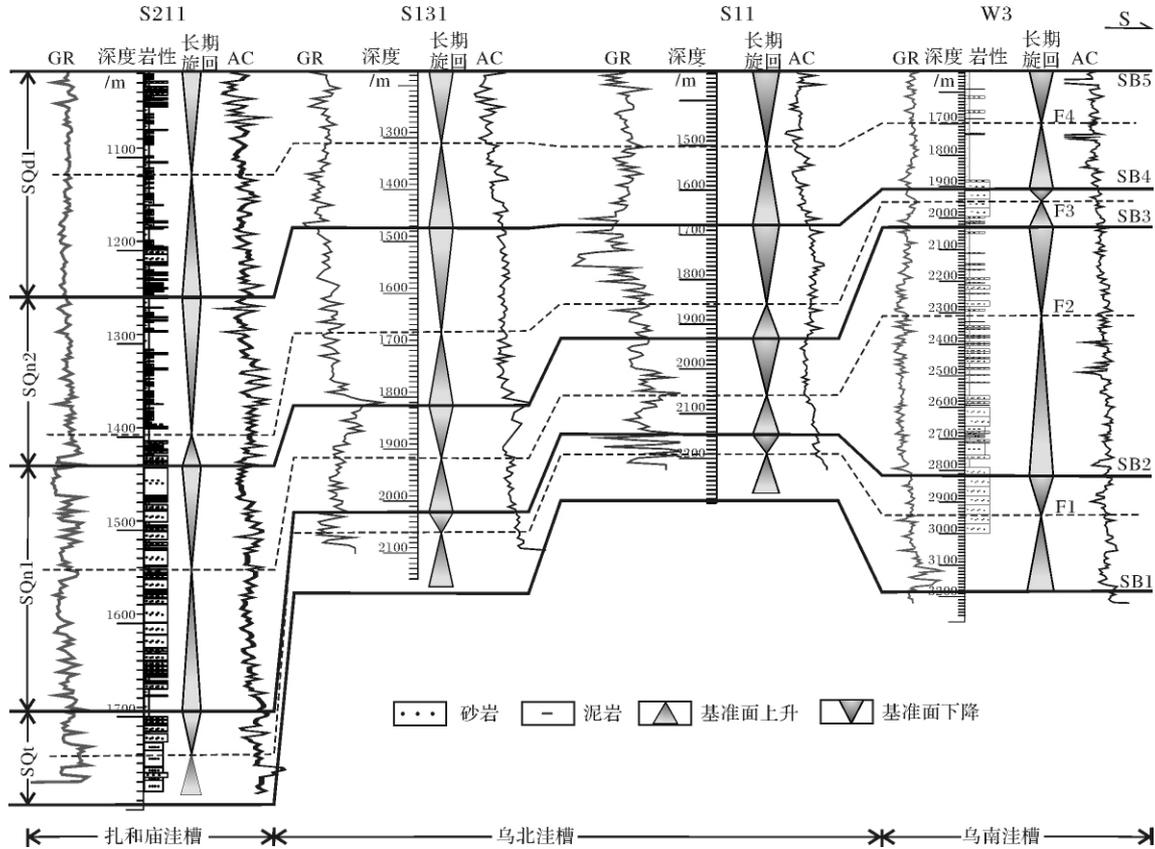


图 3 乌尔逊凹陷钻井剖面对比

Fig 3 Correlation of drilling holes profile in Wuerxun depression

2.3 构造演化与层序地层的形成

乌尔逊凹陷是叠置于内蒙—大兴安岭古生代碰撞造山带之上的中—新生代伸展型断陷—拗陷盆地^[11]。其形成发育具有典型的裂谷盆地幕式演化特征,可以划分为四个阶段,受不同演化阶段凹陷结构的控制,各沉积—构造演化期层序地层充填特征迥异(图 2、图 4)。

(1) 强烈拉张期(135 ~ 132.9 Ma):大致相当于铜钵庙组沉积时期,为一套杂色砂砾岩夹薄层泥岩组成的冲积扇、滨浅湖以及浅水三角洲与河流相沉积体系,厚度约 500 ~ 800 m,是本区一套重要的烃源层。盆地沉降速率约为 150 m/Ma,沉降曲线表现为陡倾的斜线段,总沉降量大,超过 1 800 m。顶底界均为区域性角度不整合面,可以划分为一个三级层序 SQ_t。这一时期古地形差异大,凹陷西部边缘乌西、乌中断裂组合控制其呈不对称半地堑式箕状发育。不同构造位置基准面旋回对称性相差较大,主要以基准面上升期发育为主。

(2) 快速沉降期(132.9 ~ 129.8 Ma):大致相当

于南屯组沉积时期,沉降史分析显示,沉降速率约 130 ~ 170 m/Ma,总沉积厚度约为 250 ~ 600 m,沉积物岩性以灰黑色泥岩夹粉砂、砂岩组合为主,局部发育油页岩、煤层。西部陡坡以扇三角洲沉积作用为主,乌东斜坡带以及东北部缓坡主要发育辫状河三角洲沉积体系。初期沉降中心主要由 SQ_t 期控陷断层边界向凹陷中心迁移,后期向西北方向迁移。其中南一段顶部为一局部角度不整合面,与地震反射层 T23 相当,因此将这一时期的沉积地层划分为两个三级层序 SQ_{n1}、SQ_{n2}。在层序 SQ_{n2} 沉积后期,构造活动增强,地壳抬升剥蚀,与上部大磨拐河组呈平行不整合或角度不整合接触关系。

(3) 断—拗转换期(129.8 ~ 122.3 Ma):相当于大磨拐河组沉积时期,该时期凹陷结构基本定型,它代表了现今凹陷结构形态。总体沉积量较大,但沉积速率明显减小,小于 100 m/Ma,基本为一稳定沉降过程,构造因素影响逐渐减弱,凹陷表现为向拗陷转换的特征。沉积物以灰、灰黑色泥岩夹泥质粉砂岩、中薄层砂岩,厚度约 500 ~ 900 m,沉积体系以辫状三角

乌北洼槽在乌西断裂与苏仁诺尔走滑断裂带联合控制下形成了单断断槽式结构,自西而东分布有断阶带—洼槽带—断鼻带—斜坡带。洼槽充填地层在 SQ_t 时期最厚,其后地层充填都较薄。沉降中心随着乌西断裂的不断活动逐渐向 NW 迁移,受乌西断裂在该地区倾角较缓的影响,断裂倾向牵引作用较弱, SQ_{n1} ~ SQ_{d1} 时期的地层充填横向厚度变化也小,并稳定向乌东斜坡带逐渐超覆,是整个凹陷各沉积时期断裂控制地层发育作用最弱的洼槽(图 4B)。这种结构陡坡带仍以扇三角洲高位域沉积以及冲积扇—扇三角洲低位域沉积为主,洼槽沉积中心总体偏向陡坡带。东部缓坡带河流—三角洲体系受断槽反向同生断裂控制,断坡处发育加积或进积层序组叠置样式,低位扇体较发育(图 4B')。

乌南洼槽的发育主要受乌西断裂的控制,形成了由西向东呈断裂带—洼槽带—超覆带分布的单断断超式结构。由于乌西断裂在该地区倾角大且处于长

期活动状态,受其影响洼槽沉降中心逐渐向西迁移,沉积地层厚度在各时期变化都较大,均表现为楔状。洼槽内物源主要来自乌东斜坡带,受河道下切以及调节断裂的发育,乌东斜坡带发育了较多大小不一的地形坡折和断裂坡折,控制洼槽的物源供给以及砂体展布(图 4C)。这种结构的洼槽剖面层序样式主要受盆缘主控断裂控制,自陡坡带向缓坡带沉积层序逐渐超覆、减薄、尖灭,早期层序被下切(图 4C')。

4 基于古构造—地貌的层序构成分析

断陷盆地内的断层、断鼻、凸起(或地垒)、向斜可构成盆地内主要的古地貌单元,一般都具有同沉积特征,对洼陷内沉积体系的发育及分布有不同程度的影响。基于古构造—地貌分析有助于沉积体系类型与分布的预测。下面仅以乌北地区为例说明古构造与古地貌对层序地层低位域形成、沉积类型与分布的控制作用。

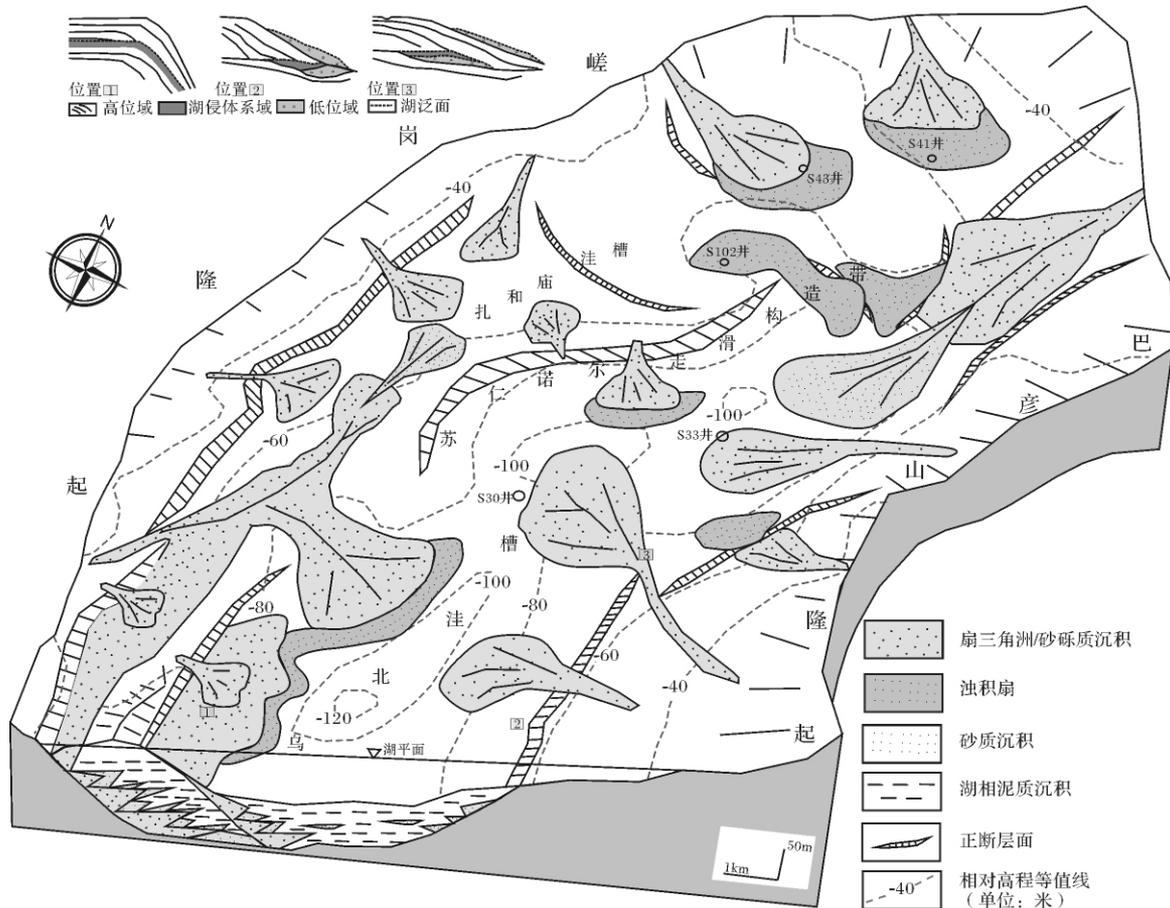


图 5 乌尔逊凹陷北部层序 SQ_{d1} 低位体系域晚期构造古地貌与沉积体系分布模式

Fig. 5 Distribution of structural paleogeomorphologic and deposition system of late lowstand systems tract of sequence SQ_{d1} in the northern Wuersun depression

通过研究区层序关键界面的识别以及区域层序地层对比,建立了乌北地区区域层序地层格架,结合凹陷构造演化特征以及洼槽结构分析,在对研究区密集钻井以及地震剖面解释基础上,通过地层压实恢复、剥蚀厚度恢复等方法编制了乌北地区层序 SQd1 低位体系域晚期古构造地貌、同沉积断裂以及沉积体系分布模式图(图 5)。在沉积物供给充分的地区,如各洼槽的陡坡带(图 5,位置 1),层序体系域以加积型叠置为主;缓坡断坡带是缓坡带可容纳空间较大的位置,多形成有完整的体系域构成的 I 型层序(图 5,位置 2);在物源入洼主要通道的构造调节带部位,低速沉降对可容纳空间变化控制较弱,这些部位以加积或进积型叠置样式为主,体系域发育也较为完整(图 5,位置 3)。

在层序 SQd1 沉积时期,乌北洼槽深湖沉积范围以及扎和庙洼槽浅湖一半深湖沉积范围明显受乌西断阶带以及苏仁诺尔走滑构造带等构造古地貌限制。物源供给主要经断裂坡折或断裂组合形成的构造调节带处从不同方向注入盆地,发育了不同规模大小的扇三角洲以及断裂坡折处的滑塌浊积扇沉积。其中,乌北地区苏 131 块、苏 102 块油藏储层即为来自于北东向三角洲物源体系在经苏仁诺尔断裂带北部断裂坡折带处滑塌作用形成低位域浊积扇体。这套透镜状低位浊积砂体在乌北地区广泛发育,并位于 SQd1 层序底部区域性不整合面之上,受上部大一段泥岩层的有效封堵,不仅可以形成断块圈闭,还可以形成砂岩透镜体和砂岩上倾尖灭等岩性圈闭。这一认识为乌北地区油气勘探提供了依据。

5 结论

(1) 盆地结构控制地层充填样式以及层序地层构型: 乌尔逊凹陷西部陡坡带以粗粒冲积扇—扇三角洲体系沉积为主,东部缓坡带以细粒河流三角洲和滨浅湖沉积体系为主。其中,扎和庙洼槽为单断阶型结构,断阶带以加积型层序组叠置样式为特征;乌北洼槽为单断槽型结构,缓坡带断坡位置层序以加积或进积层序组叠置样式为主,体系域发育较为完整;乌南洼槽为单断超型结构,缓坡层序发育类似于被动大陆边缘缓坡型层序,表现为向盆缘尖灭、超覆,其中早期形成的层序被下切。

(2) 乌尔逊凹陷铜钵庙组、南屯组、大一段可以划分为 4 个三级层序,5 个层序边界以及 4 个湖泛面,通过这些层序关键界面以及区域可识别的标志层

面约束,以沉积物体积分配原理为指导,通过判别 A/S 值变化规律进行了乌尔逊凹陷区域层序地层对比,建立了该区层序地层格架。研究表明,乌北地区主要储集体是位于大一段层序低位滑塌浊积岩,物源来自北东构造调节带处,其形成主要与区域构造古地貌和苏仁诺尔断裂北部断裂坡折有关,油藏类型为岩性—构造油藏。

参考文献(References)

- 1 杨玉峰,陈树民. 乌尔逊凹陷北部下白垩统层序地层发育特征[J]. 沉积学报,1999,17(3): 422-429 [Yang Yufeng, Chen Shumin. Sequence stratigraphy of lower Cretaceous in the northern Wuerxun Sag [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1999, 17(3): 422-429]
- 2 张成,魏魁生. 乌尔逊凹陷南部层序地层特征及成藏条件[J]. 石油学报,2005,26(2): 47-52 [Zhang Cheng, Wei Kuisheng. Sequence characteristics and reservoir formation condition in the southern Wuerxun Depression [J]. Acta Petrolei Sinica, 2005, 26(2): 47-52]
- 3 Lin Changsong, Zheng Herong, Ren Jianye, et al. The control of syn-depositional faulting on the Eocene sedimentary basin fills of the Dongying and Zhanhua sags, Bohai Bay Basin [J]. Science in China: Series D, 2004, 47(9): 769-782
- 4 邓宏文. 高分辨率层序地层学应用中的问题探析[J]. 古地理学报,2009,11(5): 471-480 [Deng Hongwen. Discussion on problems of applying high resolution sequence stratigraphy [J]. Journal of Palaeogeography, 2009, 11(5): 471-480]
- 5 林畅松. 沉积盆地的层序和沉积充填结构及过程响应[J]. 沉积学报,2009,27(5): 849-862 [Lin Changsong. Sequence and depositional architecture of sedimentary basin and process responses [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2009, 27(5): 849-862]
- 6 Schlage W. Fractal nature of stratigraphic sequences [J]. Geology, 2004, 32(1): 185-188
- 7 Zecchin M. The architectural variability of small-scale cycles in shelf and ramp clastic systems: The controlling factors [J]. Earth-Science Reviews, 2007, 84(1-2): 21-55
- 8 Ravnas R, Steel R J. Architecture of marine rift-basin successions [J]. AAPG Bulletin, 1998, 82(1): 110-146
- 9 Cross T A. Stratigraphic controls on reservoir attributes in continental strata [J]. Earth Science Frontiers, 2000, 7(4): 322-350
- 10 邓宏文,郭建宇,王瑞菊,等. 陆相断陷盆地的构造层序地层分析[J]. 地学前缘,2008,15(2): 1-7 [Deng Hongwen, Guo Jianyu, Wang Ruiju, et al. Tectono-sequence stratigraphic analysis in continental faulted basins [J]. Earth Science Frontiers, 2008, 15(2): 1-7]
- 11 刘志宏,任延广,李春柏,等. 海拉尔盆地乌尔逊—贝尔凹陷的构造特征及其对油气成藏的影响[J]. 大地构造与成矿学,2007,31(2): 151-156 [Liu Zhihong, Ren Yanguang, Li Chunbai, et al. Structural features and their impacts on hydrocarbon accumulation in Urxun-Beier depression in Hailaer basin [J]. Geotectonica et Metallogenia, 2007, 31(2): 151-156]

Sequence Stratigraphy of Low Cretaceous in the Wuerxun Depression

QIN Yan-qun¹ DENG Hong-wen² HOU Xiu-ling¹

GUO Jia² LIANG Xu² WEI Hai-peng²

(1. Research Institute of Petroleum Exploration and Development, PetroChina, Beijing 100083;

2. China University of Geosciences, Beijing 100083)

Abstract Taking the structural sequence stratigraphic analysis as the thread, through the study of architecture of faulted basin and regional paleogeomorphology change analysis, based on the geological and geophysical data, this paper analyses sequence stratigraphy of the main oil formation K_1t , K_1n and K_1d_1 of Low Cretaceous in Wuerxun Depression. Five isochronous sequence boundaries are identified by which regional well profiles are correlated, then the purpose layer sequence stratigraphic framework has been established. This study suggests that the sedimentary history of Wuerxun Depression includes a few stages corresponding with structural evolution. The pattern of strata filling and the structural of sequence are controlled by sag structure. Western steep slope of the depression, alluvial fan and fan delta are developed. But fine depositional system of fluvial delta and coastal shallow lake are developed in the eastern gentle slope of the depression. Among them, single fault bench type is developed as aggradational sequence sets pattern, single fault trough type is developed as aggradational or progradational sequence sets pattern, and single fault overlap type is similar developed as passive continental margin slope type sequences. Based on the tectonic paleogeomorphology and the sequence constitute analysis. Slump turbidities rock located in lowstand system tract of $SQd1$ is the main reservoir of northern Wuerxun Depression. It is lithologic-structural oil reservoir, rather than structural oil reservoir which at the top of $K1n2$ of predecessors.

Key words Wuerxun Depression; sequence stratigraphy; basin architecture; tectonic paleogeomorphology