

海-塔盆地塔南凹陷南屯组一段沉积体系特征

刘宗堡,赵容生,闫力,于英华

(东北石油大学 地球科学学院,黑龙江 大庆 163318)

摘要:塔南凹陷是海拉尔-塔木察格盆地最重要的油气勘探地区之一。利用岩心、测井和三维地震等资料,对塔南凹陷南屯组一段层序地层格架和沉积体系特征进行了深入研究。结果表明,南屯组一段顶、底及内部可以识别出3个不整合面和2个湖泛面,最终将其划分为3个三级层序。进而在等时地层格架的基础上,对沉积相类型和沉积体系展布特征进行了分析,确定南屯组一段主要发育扇三角洲、湖底扇和湖泊3种沉积体系。南屯组一段中、下部沉积时期,受盆地被动裂谷期“泛盆”沉积特征震荡式沉降影响,研究区主要发育西部缓坡物源控制下的扇三角洲沉积体系;南屯组一段上部沉积时期,受盆地主动裂谷期快速沉降影响,研究区主要发育湖泊沉积体系,此时盆内部次级控陷断层受北西-南东向拉张发生翘倾形成大规模反向正断层。源-储互层组合高效排烃特征、扇三角洲前缘高孔-高渗分流河道砂体和断层翘倾形成上升盘构造高部位共同决定西部次凹中洼槽反向断层下盘为油气富集主要部位。

关键词:层序地层格架;沉积体系;南屯组;塔南凹陷;海-塔盆地

中图分类号:TE121.3

文献标识码:A

Depositional system characteristics of the first member of the Nantun Formation in Tanan sag, the Hai-Ta Basin

Liu Zongbao, Zhao Rongsheng, Yan Li, Yu Yinghua

(School of Earth Sciences, Northeast Petroleum University, Daqing, Heilongjiang 163318, China)

Abstract: Tanan Depression is one of the most important oil and gas exploration areas in Hailaer-Talmud Zagat Basin. Various data including cores, logs and 3D seismic data were integrated to study in detail the sequence stratigraphic framework and sedimentary system characteristics of K_1n^1 (the 1st member of Nantun Fm) in Tanan Sag, Hailaer Basin. Three unconformities and two lake flooding surfaces were identified in K_1n^1 , according to which K_1n^1 was divided into three third-order sequences. The types of sedimentary facies and distribution characteristics of sedimentary system were analyzed on the basis of isochronous stratigraphic framework. Three sedimentary systems namely fan delta, sublacustrine fan and lake were identified in the K_1n^1 . Fan delta sedimentary system under the control of provenance on the western gentle slope dominated in the study area during the deposition of the middle-lower part of K_1n^1 due to the influences of oscillatory subsidence of “flood basin” during passive rifting. In contrast, lake deposition system was predominant in the study area during the deposition of the upper part of K_1n^1 due to the rapid subsidence in the process of active rifting. At the same time, the secondary depression-controlling faults experienced NW-SE extension and tilted, forming large-scale reverse normal faults. Efficient hydrocarbon expulsion characteristics of interbedded source rock and reservoir combination, high porosity and permeability of distributary channel sands of fan delta front facies and structural high in the upthrown block of fault jointly determined the footwall of antithetic fault in the western subsag to be the main location of oil accumulation.

Key words: sequence stratigraphic framework, sedimentary system, Nantun Formation, Tanan Sag, Hai-Ta Basin

沉积体系的有效预测一直是含油气盆地研究的重点,特别是层序地层学理论的提出开创了储层沉积学研究的新思路,但在构造活动较强的含油气盆地中,构造运动对沉积体系展布影响较大^[1]。因而许多学者基

于层序地层学理论,对不同类型含油气盆地构造作用产生的古地貌及其对沉积体系展布的控制作用进行了大量研究^[2-6],较好的指导了盆地早期的油气勘探。海-塔盆地作为我国东部中生代小型陆相湖盆,受

多期和多种类型构造作用控制,湖盆具有分割强、相变快和层序样式复杂的特点^[7-8]。近几年在对海-塔盆地塔南凹陷油气分布规律研究中发现,主要含油层位层序格架和反向断层下盘聚油机制认识不清,导致勘探进展缓慢,因此,在等时地层格架建立基础上搞清构造作用对沉积体系的控制并进行优质储层预测对认清油气成藏规律具有重要意义。

1 区域地质概况

海-塔盆地横跨中国和蒙古国,塔南凹陷位于塔木察格盆地中部断陷带南端,为盆地内的二级构造单元,西部以近似单斜的形式向巴兰-沙巴拉格隆起过渡,东北部与贝尔-布伊诺尔隆起相接。塔南凹陷是由3个东断西超的半地堑组成的复式箕状断陷,发育6个北东走向的构造带,呈现出“三洼两隆一斜坡”的构造格局(图1),具有东西成带、凹凸相间的分布特点^[9]。盆地内主要沉积盖层白垩系自下而上划分为下白垩统铜钵庙组(K_1t)、南屯组(K_1n)、大磨拐河组(K_1d)、伊敏组(K_1y)及上白垩统青元岗组(K_2q),最新构造演化和地层对比表明海塔盆地构造演化历经4个阶段,即残留盆地阶段(铜钵庙组)、被动裂陷阶段(南屯组一段)、主动裂陷阶段(南屯组二段)、断-拗转化阶段(大磨拐河组-伊敏组)和拗陷阶段(青元岗组)。其中,南屯组一段为区内主要含油层位,其对应原分层铜钵庙组二段和南一段底部^[10]。南一段中、下部发育砂、泥岩互层的复合旋回岩性层段,为油气主要储层;南一段上部发育油页岩、泥质灰岩和黑色泥岩组

成的特殊岩性层段,为主力生油层(图2)。

2 层序地层分析

层序划分的基础是层序界面的识别,而层序界面是盆地构造运动、沉积物供给、湖平面变化和气候特征综合作用及其响应过程的最终产物^[11]。钻井和岩心揭示塔南凹陷沉积盖层总体显示下粗上细的垂向充填序列,依据56口井岩心、456口井曲线和近200条地震剖面的综合地质特征,在盆地内部识别出10个区域等时界面(7个不整合面和3个湖泛面),其中界面3(不整合面)对应南屯组一段底界,界面6(湖泛面)对应南屯组一段顶界。依据上述各级层序界面的岩性和电性特征,把塔南凹陷南一段划分为3个三级层序(SQ2、SQ3和SQ4),对应的层序界面自下而上依次为SB3(不整合面),SB4(不整合面),SB5(不整合面)和SB6(湖泛面)(图2)。

SB3为南屯组与铜钵庙组的分界面,对应地震反射层 T_3 (不整合面),在凹陷边部该反射层之下存在明显的削截现象,凹陷内部该反射层之上存在明显的上超现象(图3),该界面之下岩性特征为大套厚层砂砾岩段,电性特征为中伽马、高电阻响应,界面之上岩性特征为砂泥岩互层形成的复合岩段,电性特征为高伽马、高电阻响应(图2)。SB4对应区域地震反射层 T_2^{-2} (不整合面),该界面之下岩性特征为砂泥岩互层,该界面之上为油页岩、泥质灰岩和黑色泥岩,电性特征为界面之上为高伽马、低电阻响应,界面之下为低伽马、高电阻响应。SB5对应区域地震反射层 T_2^{-1} (不整合面),该界面上下岩性特征变化不大,主要为油页岩、泥质灰岩和黑色泥岩互层,该界面之下电性特征为高伽马、高电阻响应,界面之上为低伽马、高电阻响应。界面4与界面5之间发育一个规模较大的湖泛面,在整个中部次凹都有发育。SB6为南一段与南二段分界面,对应地震反射层 T_2^3 (湖泛面),该界面处岩性特征以灰色、灰黑色泥岩为主,电性特征为高伽马、低电阻的“泥脖子”特征(图4)。上述5个界面在研究区分布稳定、特征明显,与油田开发小层界线相对应,其中SB3对应1小层顶,SB4对应15小层顶,SB5对应24小层顶,SB6对应42小层底,SB4与SB5之间湖泛面19小层顶(表1),其对建立南一段高精度等时地层格架具有重要意义。

3 沉积相类型及展布特征

3.1 沉积相类型

塔南凹陷南一段形成于盆地被动裂谷期和主动裂谷早期,因此南一段中下部沉积体系具有“泛盆”沉积特征,即“振荡式缓慢沉降”形成的多物源扇三角洲稳

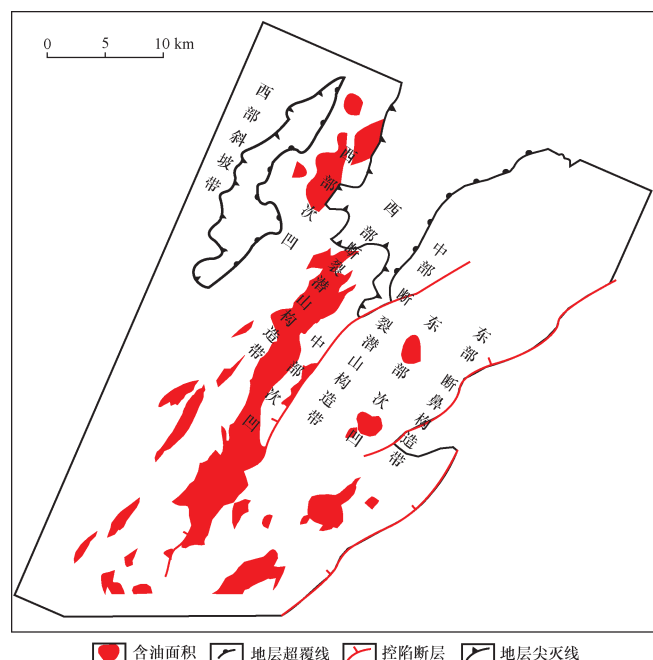


图1 塔南凹陷构造单元

Fig. 1 Tectonic units of the Tanan Sag

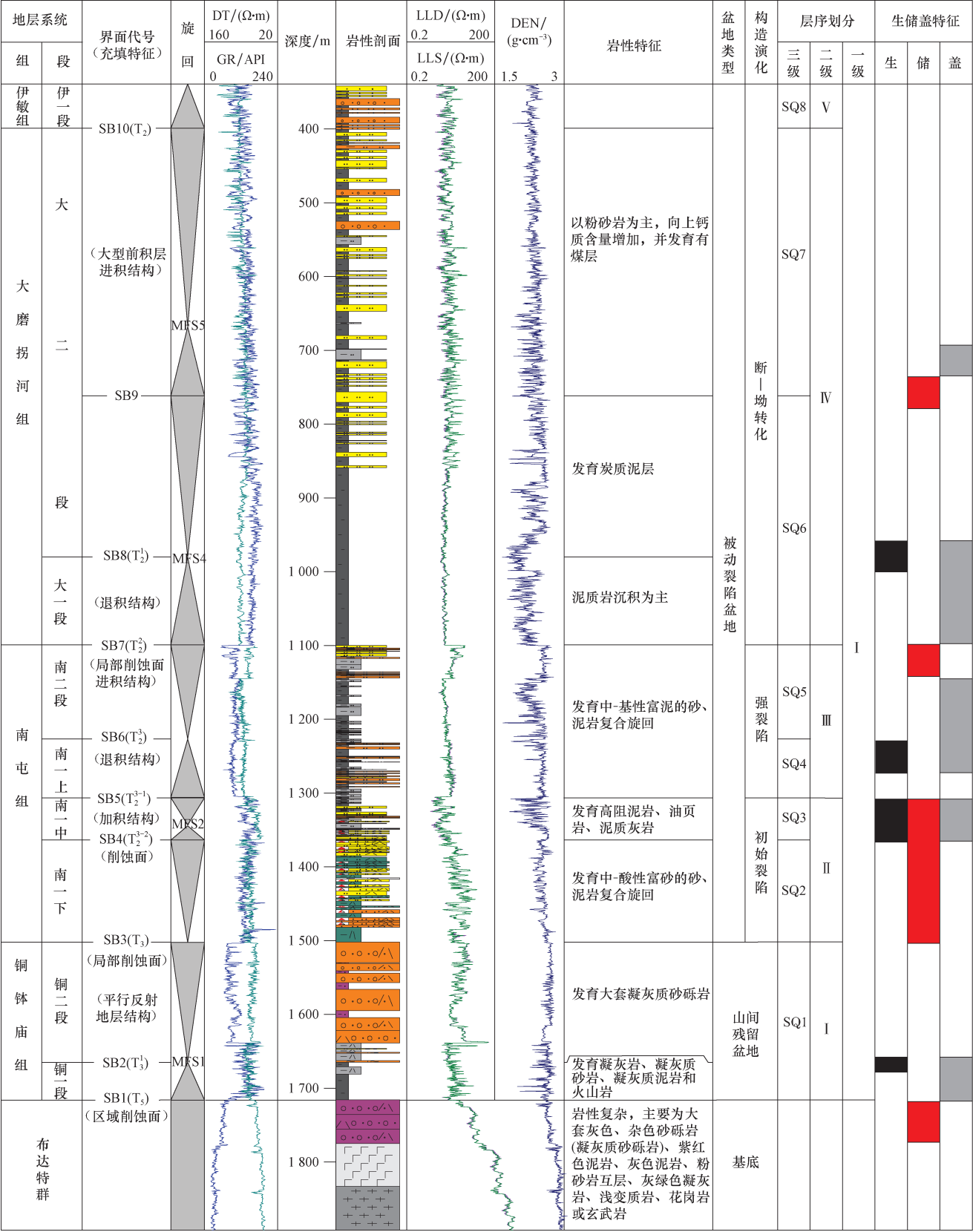


图 2 塔南凹陷地层综合柱状图
Fig. 2 Stratigraphy column of the Tanan Sag

定砂泥薄互层沉积序列,上部沉积体系具有裂隙湖盆早期沉积特征,以暗色泥岩为主的湖泊沉积体系。通过对多口井岩心、测井和矿物组分等分析,确定研究区南屯组一段主要发育扇三角洲、湖底扇和湖泊 3 种沉

积相类型(图 5)。
3.1.1 扇三角洲相
扇三角洲是冲积扇直接推进到湖盆中形成的沉积

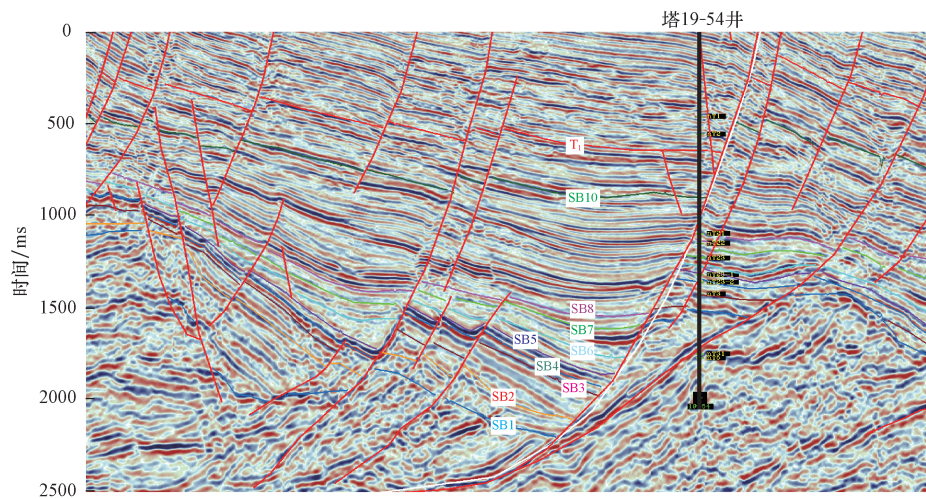


图 3 塔南凹陷典型地震层序剖面 (inline869 测线)

Fig. 3 Typical seismic sequence profile of the Tanan Sag (inline869)

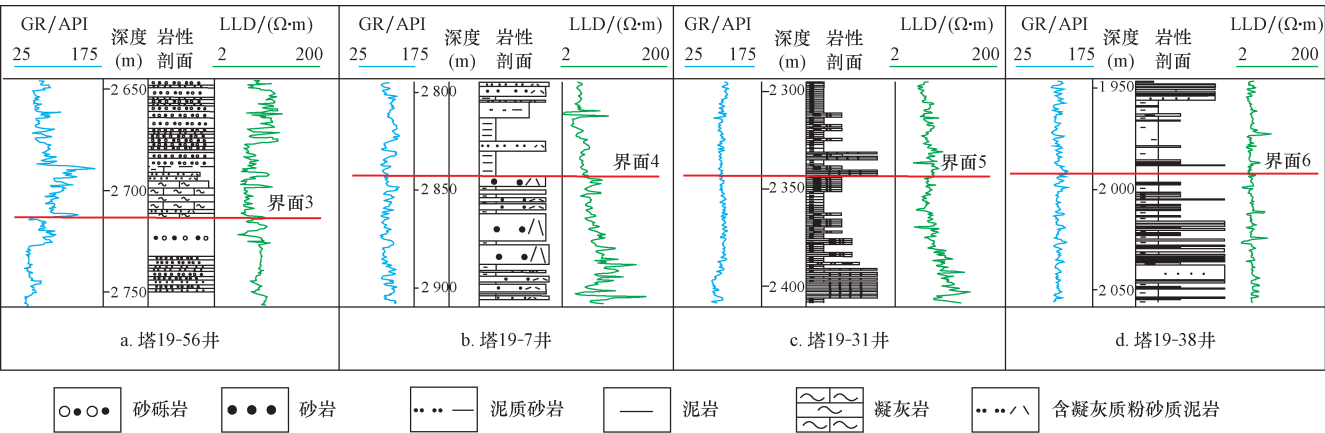


图 4 塔南凹陷南屯组一段各层序界面特征

Fig. 4 Sequence boundary features of K_1n^1 in the Tanan Sag

表 1 塔南凹陷南屯组一段现今地层厚度分布特征

Table 1 Current thickness map of K_1n^1 in the Tanan Sag

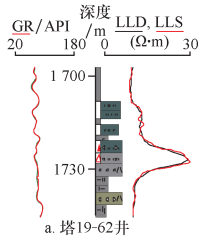
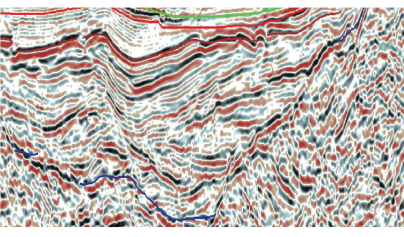
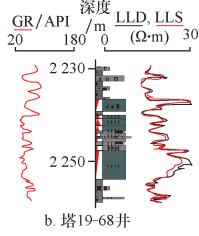
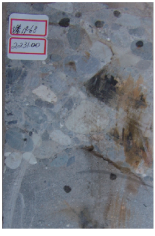
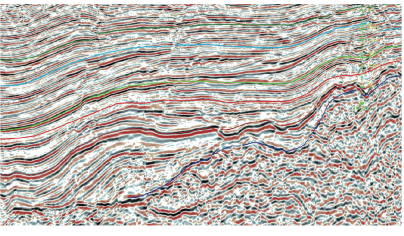
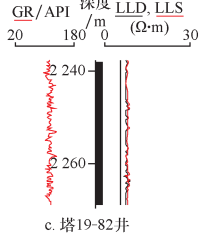
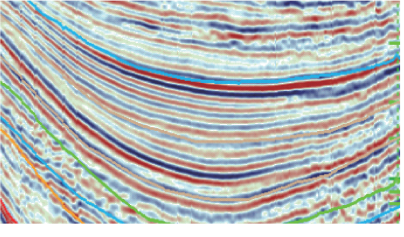
区块	残留厚度/m	对应小层	剥蚀层位	小层个数	典型井	构造部位	物源
塔 19 - 19	290	8—42	1—7	42	塔 19 - 52 - 3	西次凹东斜坡北	北部
塔 19 - 34	195	18—42	1—17	42	塔 19 - 34	西部缓坡东部	西部
塔 19 - 10	265	13—42	1—12	42	塔 19 - 256 - t203	西次凹东斜坡北	西部
塔 19 - 3	320	1—42	无	42	塔 19 - 27	西次凹中洼槽	西部
塔 19 - 14	260	13—42	1—12	42	塔 19 - 14	西次凹东斜坡南	西部
塔 19 - 13	275	14—42	1—13	42	塔 19 - 224 - t210	西次凹东斜坡南	西部
塔 19 - 28	168	14—35	1—42	42	塔 19 - 200 - t205	西次凹东斜坡南	西部
贝 96 - 38	223	17—42	1—16	42	贝 96 - 38	西部缓坡东部	西部

体系。一般岩性较粗,多为砂砾岩与泥岩互层;测井曲线上多表现为齿化箱型特征;地震剖面上具有楔形反射特征(表 2)。扇三角洲可以划分为扇三角洲平原、扇三角洲前缘和前扇三角洲 3 个亚相^[12]。塔南凹陷南一段扇三角洲沉积主要发育在东、西两个次凹,受盆地东断西超构造格局和西部强物源影响,西部次凹南部扇三角洲向湖盆中心推进较远,导致低水位期西部次凹中洼槽扇三角洲前缘水下分流河道十分发育,如塔 19 - 13 和塔 19 - 12 等开发区主要

富油砂体微相类型均为水下分流河道,岩心实测表明水下分流河道砂体物性好,明显高于河口坝和席状砂等微相,同时储层中富含凝灰质成分有利于次生孔隙的发育,即扇三角洲前缘水下分流河道为南一段油气富集的优质储层;西部次凹北部受西北弱物源影响扇三角洲推进到塔 19 - 31 井区附近;东部次凹由于物源相对较弱和坡度较陡影响扇三角洲主要发育在南部,东部次凹北部扇三角洲发育规模相对较小(图 5)。

表 2 塔南凹陷南屯组一段沉积相类型及特征

Table 2 Types and features of sedimentary facies in K_1n^1 of the Tanan Sag

储层类型	曲线特征	岩心特征	地震相特征	层理构造	识别标志
扇三角洲	 a. 塔19-62井			冲刷充填构造 砾石定向排列 交错层理 斜层理 水平层理 递变层理	近物源 湖盆和陡坡缓坡 重力与牵引流成因 地震楔状前积结构
湖底扇	 b. 塔19-68井			泥岩撕裂屑 直立砾石 递变层理 滑塌变形层理 块状层理	远物源 湖盆中心较陡部位 重力流成因 地震丘状特征
湖泊	 c. 塔19-82井			水平层理 波状层理 自生黄铁矿	远物源 湖盆中心 地震平行特征

3.1.2 湖底扇相

湖底扇是重力流携带大量碎屑物在深湖区快速堆积形成的沉积体系^[13]。岩性多为夹持于大段暗色泥岩中的粗碎屑沉积,具典型的鲍玛沉积序列,发育递变层理、滑塌变形层理和波状交错层理等(表 2),在碎屑岩中见撕裂屑、直立砾、漂砾、重荷等特殊构造^[16]。塔南凹陷南一段湖底扇主要分布在东西两个次凹东侧各级控陷断层的下降盘附近。湖底扇根据沉积特征可划分为内扇、中扇和外扇 3 个亚相,其中中扇主水道沉积是主要储层,如目前塔南凹陷东部陡坡带在南一段已经发现了大量的湖底扇岩性油藏^[14]。

3.1.3 湖泊相

湖泊按照位于浪基面上、下可以划分为滨浅湖、半深湖和深湖^[15]。岩性特征主要以深灰色泥岩和深灰色粉砂岩互层为主,常发育波状层理和水平层理。测井曲线呈低幅度齿状特征;地震剖面上显示为弱振幅、中连续反射特征(表 2)。塔南凹陷南一段中、下部沉积时期湖盆处于震荡期,具有广而浅的“碟型”湖盆特征,此时主要在东部次凹发育滨浅湖 - 半深湖沉积体系,南一段上部沉积时期盆地进入主动裂谷早期,湖平面快速上升,整个凹陷基本都被湖水覆盖,东、西两个次凹整体表现为半深湖 - 深湖沉积,且此时沉积的泥岩颜色深,有机质含量高,构成了塔南凹陷主力生油层段。

3.2 砂体展布规律及充填模式

3.2.1 南一段中、下部砂体展布特征

南一段中下部时期盆地处于被动裂谷阶段,凹陷主干控陷断层活动较弱,而次级控陷断层并未活动,此时盆地具有地形高差小、多物源、多水系的古地貌背景,发育典型的“泛盆”沉积特征,且同一水系控制下沉积的原始地层厚度变化较小(表 1),凹陷周边主要发育 4 个方向物源:即东北物源、西部物源、西南物源和东部物源,其中西部缓坡和西部次凹由于构造平缓和物源供给较强为主物源区。受凹陷周边多个长轴物源供给主要发育扇三角洲沉积,其中东部次凹东侧由于靠近主干控陷断层发育短轴扇三角洲沉积,东部次凹西侧发育滨浅湖沉积;西部缓坡带发育长轴扇三角洲平原沉积;西部次凹发育长轴扇三角洲前缘沉积,同时受湖平面频繁波动影响研究区沉积了砂、泥岩互层的复合岩性段,构成了油气储集的主要层位(图 5)。

3.2.2 南一段上部砂体展布特征

南一段上部时期盆地进入主动裂谷阶段。此时凹陷东侧边界主干控陷断层活动强烈,形成多级断裂坡折,并控制着水系入盆位置和沉积扇体的展布。受盆地北西 - 南东向拉张影响,凹陷内部次级控陷断层发

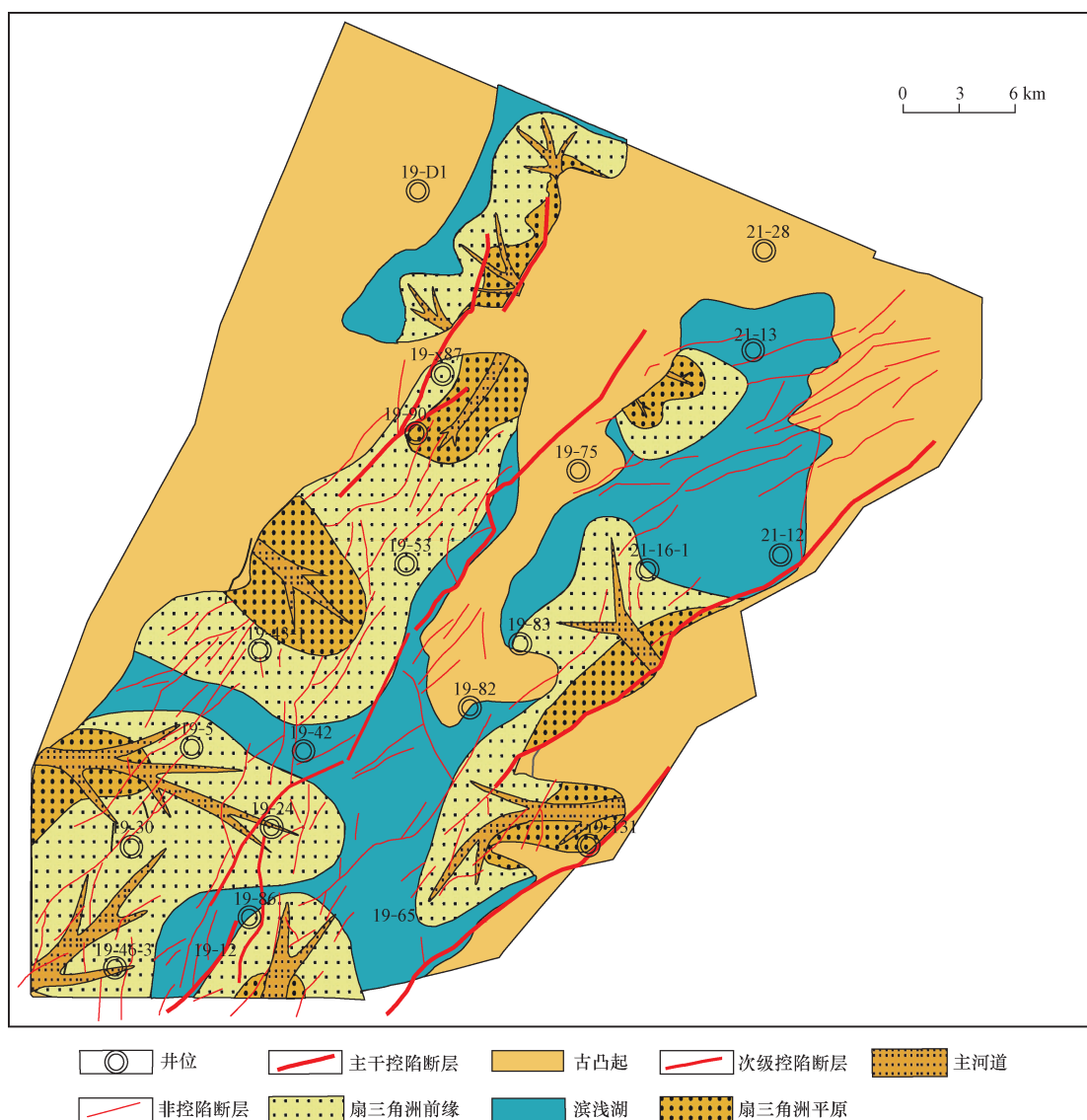


图5 塔南凹陷南屯组一段中、下部沉积体系

Fig. 5 Sedimentary systems of the middle-lower part of K_1n^1 in the Tanan Sag

生翘倾,使上升盘沉积地层遭受剥蚀并向下降盘滑塌。同时地壳持续沉降,造成盆地发育地形高差大、湖水较深的古地貌背景,物源主要来自周围的隆起区及内部翘倾断层上升盘的地层剥蚀,这种凹陷中心翘倾断层上升盘的地层剥蚀供给和湖平面的频繁震荡是造成南一段上部暗色泥岩中富砂的主要原因。此时凹陷周边发育多个分散的小规模扇三角洲沉积体系,凹陷中心部位主要发育半深湖-深湖相沉积,湖底扇主要发育在各洼槽沉降中心附近。盆地内部沉积了厚度较大的以泥岩为主的薄互层特殊岩性段,构成了塔南凹陷主力生油层(图6)。

3.2.3 沉积充填特征及聚油机制

塔南凹陷在南一段沉积时期处于盆地被动裂谷向主动裂谷的过渡期,古地貌受盆地各级控陷断层活动规模、性质和强度的影响,主干控陷断层控制扇体进入

湖盆的位置,次级控陷断层影响扇体的展布特征,进而制约着盆地内部可容空间的变化和沉积体系的充填特征。南一段沉积早期只有凹陷东侧边界主干控陷断层微弱活动,正是基于这种古地貌背景下西部次凹中洼陷才会发育西部物源影响的大面积扇三角洲前缘优质储层砂体。南一段沉积晚期盆地进入了主动裂谷阶段,此时凹陷内次级控陷断层发生大规模翘倾,湖平面快速上升,研究区发育水体相对较深的半深湖-深湖沉积,翘倾的次级控陷断层上升盘受湖水改造提供了盆内局部点物源,而下降盘水体较深沉积了含“砂”的暗色泥岩,这种湖盆中心多“点”且弱的物源供给和高水位期组合样式控制了南一段上部源储互层特征(图7)。

塔南凹陷南一段源储互层的生储组合特征、扇三角洲前缘优质储层和次级控陷断层翘倾构造样式决定了西部次凹中洼陷反向断层下盘为油气富集部位:

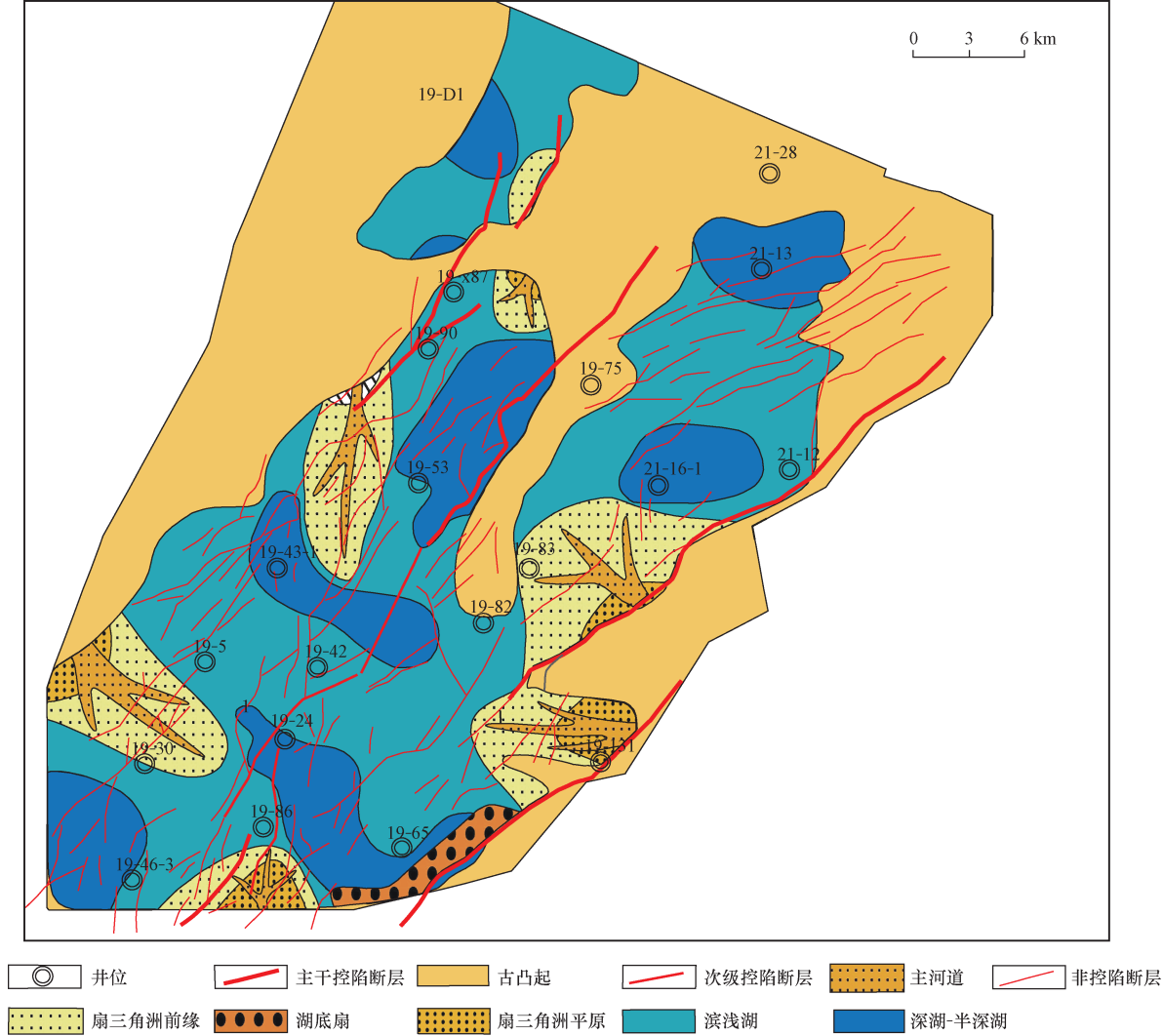


图 6 塔南凹陷南屯组一段上部沉积体系

Fig. 6 Sedimentary systems of the upper part in of K_1n^1 in the Tanan Sag

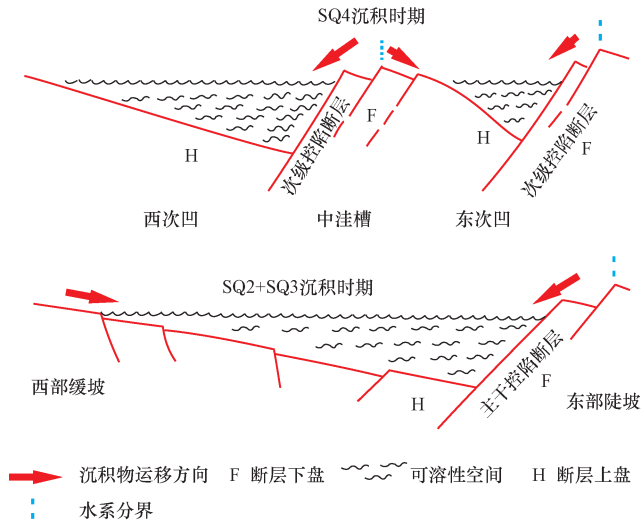


图 7 塔南凹陷南屯组一段沉积充填模式

Fig. 7 Sedimentary infilling model of K_1n^1 in the Tanan Sag

1) 盆地沉积中心和控陷断层下降盘附近发育的优质源岩提供了充足的油气来源,这套烃源岩有机碳含量为 0.13%~5.22%,平均 2.27%,氯仿沥青“ A ”含量为

0.0025%~0.450%,平均 0.125%,有机质类型以 II_1 型和 II_2 型为主,烃源岩镜质体反射率 R_o 值在 0.51%~1.22%,在中洼槽区大部分超过 0.70%;2) 扇三角洲前缘亚相区发育的水下分流水道优质储层为油气聚集提供了良好场所,同时有机质热演化成熟过程中可产生大量有机酸,为富含火山碎屑岩储层的次生孔隙发育提供了有利条件;3) 南一段源储互层特征有利于源岩高效排烃,良好的上覆湖相泥岩盖层和断层两侧源-储对接模式有利于油气近距离运移和保存;4) 次级控陷断层翘倾形成的反向断层上升盘构造高部位有利于油气大规模聚集。

4 结论

1) 依据层序地层学理论将塔南凹陷南一段划分为 3 个三级层序构成,进而在等时地层格架基础上依据岩心相、测井相和地震相分析识别出扇三角洲、湖底扇和湖泊 3 种沉积相类型。

2) 南一段中、下部沉积时期受盆地被动裂谷期“泛盆”沉积特征影响,研究区主要发育西部物源控制下的长轴扇三角洲沉积;南一段上部沉积时期受盆地主动裂谷期影响,研究区主要发育湖泊沉积。

3) 源-储互层的生储组合特征、扇三角洲前缘优质储层和翘倾断层构造样式合理匹配决定了西部次凹中洼陷反向断层下盘为油气富集部位。

参 考 文 献

- [1] Ravnas R, Steel R J. Architecture of marine rift-basin successions [J]. AAPG Bulletin, 1998, 82(1): 110-146.
- [2] Strecker U, Steidtmann J R, Smithson S B. A conceptual tectonostratigraphic model for seismic facies migrations in a fluvio-lacustrine extensional basin [J]. AAPG Bulletin, 1999, 83(1): 43-61.
- [3] Wood L J. Chronostratigraphy and tectonostratigraphy of the Columbus Basin, eastern offshore Trinidad [J]. AAPG Bulletin, 2000, 84(12): 1905-1928.
- [4] 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 [J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2000, 25(3): 260-265.
Lin Changsong, Pan Yuanlin, Xiao Jianxin, et al. Structural slope-break zone: key concept for stratigraphic sequence analysis and petroleum forcasting in fault subsidence basins [J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 2000, 25(3): 260-265.
- [5] Pavelic D. Tectonostratigraphic model for the North Croatia and North Bosnian sector of the Miocene Pannonian Basin System [J]. Basin Research, 2001, 13(3): 359-376.
- [6] Leeder M. Tectonic sedimentology: sediment systems deciphering global to local tectonics [J]. Sedimentology, 2011, 58(2): 2-56.
- [7] 蒙启安, 纪友亮. 塔南凹陷白垩纪古地貌对沉积体系分布的控制作用 [J]. 石油学报, 2009, 30(6): 843-855.
Meng Qi'an, Ji Youliang. Controlling of paleogeomorphology to distribution of sedimentary system in the Cretaceous of Tanan Depression [J]. Acta Petrolei Sinica, 2009, 30(6): 843-855.
- [8] 纪友亮, 蒙启安, 曹瑞成, 等. 蒙古国东部塔木察格盆地南部白垩系地层结构及沉积充填特征 [J]. 古地理学报, 2010, 12(6): 729-736.
Ji Youliang, Meng Qi'an, Cao Ruicheng, et al. Stratigraphic architecture and sedimentary infilling characteristics of the Cretaceous in southern Tamuchage Basin, East Mongolia [J]. Journal of Palaeogeography, 2010, 12(6): 729-736.
- [9] 纪友亮, 曹瑞成, 蒙启安, 等. 塔木察格盆地塔南凹陷白垩统层序结构特征及控制因素分析 [J]. 地质学报, 2009, 83(6): 827-835.
Ji Youliang, Cao Ruicheng, Meng Qi'an, et al. Analysis of sequence structure and its controlling factors in Lower Cretaceous in Tanan Depression, Tamuchage Basin [J]. Acta Geologica Sinica, 2009, 83(6): 827-835.
- [10] 付晓飞, 谢昭涵, 渠永红, 等. 被动裂陷盆地油气分布规律及主控因素分析——以塔木察格盆地塔南坳陷为例 [J]. 地质科学, 2011, 46(4): 127-138.
Fu Xiaofei, Xie Zhaoan, Qu Yonghong, et al. The law of oil and gas distribution and mainly controlling factors of the passive rift basin: the Tanan Depression of Tamuchage Basin [J]. Geological Sciences, 2011, 46(4): 127-138.
- [11] 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.
- [12] 朱水桥, 肖春林, 饶政, 等. 新疆克拉玛依油田八区上二叠统下乌尔禾组河控型扇三角洲沉积 [J]. 古地理学报, 2005, 7(4): 471-482.
Zhu Shuiqiao, Xiao Chunlin, Rao Zheng, et al. Fluvial-dominated fan delta sedimentation of the Lower Urho Formation of Upper Permian in the 8th area of Karamay oilfield, Xinjiang Autonomous Region [J]. Journal of Palaeogeography, 2005, 7(4): 471-822.
- [13] Harold G, Marcus R. Turbidite systems in deep water basin margins classified by grain size and feeder system [J]. AAPG Bulletin, 1994, 78(5): 792-822.
- [14] 王显东, 贾承造, 蒙启安, 等. 塔南断陷陡坡带南屯组岩性油藏形成与分布的主控因素 [J]. 石油学报, 2011, 32(4): 564-572.
Wang Xiangdong, Jia Chengzao, Meng Qi'an, et al. Main controlling factors of the formation and distribution of Nantun Formation lithologic reservoirs in the abrupt slope zone, Tanan Sag [J]. Acta Petrolei Sinica, 2011, 32(4): 564-572.
- [15] 林春明, 宋宁, 牟荣, 等. 江苏盐阜拗陷晚白垩世浦口组沉积相与沉积演化 [J]. 沉积学报, 2003, 19(4): 553-559.
Lin Chunming, Song Ning, Mou Rong, et al. Sedimentary facies and evolution of Late Cretaceous in the Yanfu Depression from Jiangsu Province [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2003, 19(4): 553-559.
- [16] 张晶, 王伟峰, 荣启宏, 等. 东营凹陷永55区块沙四上亚段深水浊积扇沉积与油气 [J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2007, 37(3): 519-524.
Zhang Jing, Wang Weifeng, Rong Qihong, et al. Deep-water turbidite fan deposits and relation to hydrocarbon of the Upper Sha-4 of shahejie Formation at Yong-55 Block in Dongying Sag [J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2007, 37(3): 519-524.

(编辑 董立)