

Main Sedimentary Characters of the Tongbomiao-Nantun Formations in the South Buir Sag, Tamtsag Basin in Mongolia

Genyao Wu¹, Geng Gao², Defeng Zhu², Jinkui Wang², Shaojun Liu², Xiaodong Sun², He Liu², Chunbai Li², Qiang Li², Ge Zhang²

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

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

Email: wugenyaoy@mail.iggcas.ac.cn

Received: Jul. 14th, 2015; accepted: Dec. 12th, 2015; published: Dec. 15th, 2015

Copyright © 2015 by authors and Hans Publishers Inc.

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

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



Open Access

Abstract

The Tongbomiao-Nantun Formations, in age of Early Cretaceous, are deposits of fault-depressing stage of the South Buir Sag, Tamtsag Basin in Mongolia. To synthesize the core sample observations, laboratory works, logging data and seismic facies signs, the paper illustrates the distinguished marks of each sedimentary facies, summarizes the main characteristics of each facies, sub-facies and micro-facies, explores the spatial distribution of the sand bodies and sedimentary facies belts, then analyses the controlling factors of environments and tectonic settings, as well as oil-gas exploration significances. The Tongbomiao Formation is a sedimentary record of the initial rifting-depressing phase, which is mainly composed of fan deltaic facies, and subordinate lake-shore-shallow lacustrine facies. In addition, there develop the pluvial/fluvial fan facies in the No. 1 member and inshore underwater fan facies in the No. 2 member of the formation in the West Sub-Sag. The No. 1 Member of Nantun Formation records a phase of sustained rifting-depressing, which is characterized with inshore underwater fan facies and deep/median deep lacustrine facies. Furthermore, there exist sediments with fan deltaic facies and lakeshore-shallow lacustrine facies. The depositing period of the No. 2 Member of Nantun Formation might be, actually, a transitional phase from the fault-depressing stage to the shear-subsidence stage (sedimentary period of the Damoguaihe-Yimin Formations). During this time, the lakeshore-shallow lacustrine facies are widely occurred, and the distribution scope of fan deltaic facies is extensively reduced. Moreover, delta appears in the southern part of the sag, and becomes main sedimentary facies in depositional period of the Damoguaihe Formation.

Keywords

Fan Delta, Inshore Underwater Fan, Lacustrine, Sand Body's Distribution, Lower Cretaceous,

文章引用: 吴根耀, 高庚, 朱德丰, 王金奎, 刘绍军, 孙效东, 刘赫, 李春柏, 李强, 张革. 蒙古国塔木察格盆地南贝尔凹陷铜钵庙组 - 南屯组的主要沉积特征[J]. 地球科学前沿, 2015, 5(6): 397-413.

<http://dx.doi.org/10.12677/ag.2015.56040>

蒙古国塔木察格盆地南贝尔凹陷铜钵庙组 - 南屯组的主要沉积特征

吴根耀¹, 高 庚², 朱德丰², 王金奎², 刘绍军², 孙效东², 刘 赫², 李春柏², 李 强², 张 革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.iggcas.ac.cn

收稿日期: 2015年7月14日; 录用日期: 2015年12月12日; 发布日期: 2015年12月15日

摘 要

塔木察格盆地南贝尔凹陷早白垩世早期的铜钵庙组 - 南屯组是断陷阶段的沉积。综合钻孔岩心观察、室内研究、录井资料和地震相标志, 本文论述了各沉积相的识别标志, 总结各沉积相及其亚相微相的特征, 分阶段探讨砂体及沉积相带展布, 进而分析了控制沉积的环境和构造背景及其油气勘探意义。铜钵庙组是初始裂陷期的记录, 主要发育扇三角洲相, 次为滨浅湖相; 铜钵庙组一段有洪(冲)积扇, 二段在西部次凹有近岸水下扇。南屯组一段是持续断陷期的沉积, 以近岸水下扇和深湖 - 半深湖为特征的沉积相。南屯组二段沉积期实际上是断陷阶段与剪切 - 拗陷阶段之间的过渡期, 近岸水下扇停止发育, 扇三角洲的分布范围大规模缩小, 主要为大面积的滨浅湖相沉积, 开始有三角洲发育; 后者在大磨拐河组沉积期成为主要的沉积相。

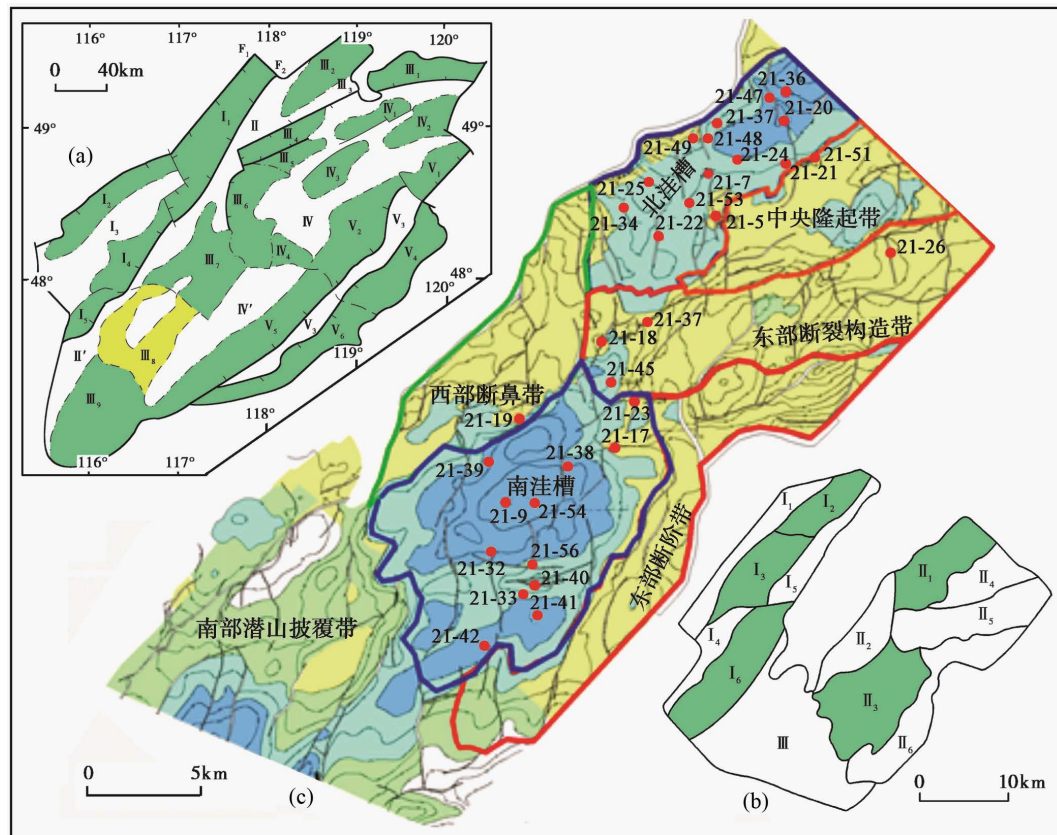
关键词

扇三角洲, 近岸水下扇, 湖泊, 砂体展布, 下白垩统, 南贝尔凹陷, 塔木察格盆地

1. 南贝尔凹陷概述

南贝尔凹陷是位于蒙古国东端的塔木察格盆地的一个次级(III 级)构造单元。塔木察格盆地是中国北部的海拉尔盆地的南延, 后者“三拗夹两隆”的构造格局在塔木察格有清楚的反映; 其中部拗陷(贝尔湖拗陷)在蒙古境内可分为南贝尔凹陷和其南的塔南凹陷[1]。南贝尔凹陷与中国境内的贝尔凹陷实为同一 III 级构造单元, 两者间以国境线为界(图 1(a))。南贝尔凹陷的主体是 2 个北东向延伸的沉降带, 称西部次凹和东部次凹。在凹陷北部, 这 2 个次凹间被苏德尔特(Sudert)断隆分隔, 在南端这 2 个次凹经南部潜山披覆带相连, 故整个凹陷呈向北开口的马蹄形(图 1(b))。

南贝尔凹陷充填的下白垩统称(自下而上)铜钵庙组、南屯组、大磨拐河组和伊敏组, 其层序划分如下。铜钵庙组(分别以地震反射的 T_5 和 T_3 界面为底面和顶面)分 2 个三级层序, 称 SQ1 和 SQ2 (岩性上分别对应铜钵庙组一段和二段), 两者间以 T_{3-1} 反射层为分界; 南屯组(以地震反射的 T_{22} 界面为顶面)对应的三级



(a)图中海拉尔-塔木察格盆地的次级构造单元: I.扎赉诺尔坳陷(西部坳陷): I₁.呼伦湖凹陷; I₂.巴彦呼舒凹陷; I₃.汗乌拉凸起; I₄.查干诺尔凹陷; I₅.查南凹陷; II.嵯岗隆起; II'.巴兰-沙巴拉格隆起; III.贝尔湖坳陷(中部坳陷): III₁.东明凹陷; III₂.赫尔洪德凹陷; III₃.陵丘凸起; III₄.红旗凹陷; III₅.新宝力格凹陷; III₆.乌尔逊凹陷; III₇.贝尔凹陷; III₈.南贝尔凹陷(黄色); III₉.塔南凹陷; IV.巴彦山隆起; IV₁.乌固诺尔凹陷; IV₂.鄂温克凹陷; IV₃.莫达木吉凹陷; IV₄.五一牧场凹陷; IV'.贝尔-布伊诺尔隆起; V.呼和湖坳陷(东部坳陷): V₁.伊敏凹陷; V₂.呼和湖凹陷; V₃.锡林贝尔凸起; V₄.旧桥凹陷; V₅.巴音戈壁凹陷; V₆.桑布尔凹陷; F₁.扎赉诺尔断裂; F₂.阿尔公断裂; (b)图南贝尔凹陷次级构造单元: I.西部次凹: I₁.西部斜坡带; I₂.北洼槽; I₃.中洼槽; I₄.西低凸起; I₅.东断阶带; I₆.南洼槽; II.东部次凹: II₁.北洼槽; II₂.西部断鼻带; II₃.南洼槽; II₄.中央隆起带; II₅.东部断裂构造带; II₆.东部断阶带; III.南部潜山坡覆带

Figure 1. Location (a), sub-order tectonic units (b) of the South Buir Sag, Tamsag Basin and boreholes in the East Sub-Sag (c)

图 1. 塔木察格盆地南贝尔凹陷位置(a)、次级构造单元(b)和东部次凹钻孔分布图(c)

层序为 SQ3, 分 3 个四级层序(南一段为 Sq31 和 Sq32, 南二段为 Sq33); 大磨拐河组(以地震反射的 T₂ 界面为顶面)和伊敏组(以地震反射的 T₀₄ 界面为顶面)各对应 1 个三级层序, 分别称 SQ4 和 SQ5 [2]。

南屯组沉积后南贝尔凹陷发生闭合隆起, 剥蚀掉的地层厚度最大可达 900 m [3], 故南屯组与上覆大磨拐河组之间明显为角度不整合接触。据该不整合面可把南贝尔凹陷的演化划为两大阶段: 铜钵庙组-南屯组沉积期为断陷阶段, 大磨拐河组-伊敏组沉积期为剪切-坳陷阶段。断陷阶段的主要特征如下。

1) 北东向的同生正断层构成控盆断裂或控陷断裂。在南贝尔凹陷的北部, 2 条相背而倾的正断层各在其上盘发育 1 个箕状断陷(西部次凹的中-北洼槽东断西超, 东部次凹的北洼槽西断东超); 南部则是相向而倾的正断层各在其上盘发育 1 个箕状断陷(西部次凹的南洼槽西断东超, 东部次凹的南洼槽东断西超), 这 2 个箕状断陷经由南部潜山坡覆带相连。

2) 除西部次凹的中-北洼槽南屯组沉积时盆地范围小于铜钵庙组的盆地范围外, 断陷阶段的盆地范围基本保持不变(即两者有相同的控盆断裂), 仅在盆内局部地点铜钵庙组沉积期末的强烈隆起(或掀斜)区可能缺失南屯组下部的沉积(上述的 Sq31 层序)。至大磨拐河组-伊敏组沉积时盆地面积明显扩大。

3) 因多条控陷的同生正断裂发育, 断陷阶段的南贝尔凹陷实为一复式的箕状断陷, 出现窄盆浅水、局部半深水-深水的构造-沉积格局。大磨拐河组-伊敏组一段沉积期, 同生断层主要为走滑活动, 对相带分布的控制作用不甚明显, 出现广盆浅水的构造-沉积格局。

4) 反映在沉积相上, 铜钵庙组和南屯组以扇三角洲相、湖泊相和近岸水下扇相沉积为主, 铜钵庙组下部还见洪(冲)积相沉积; 大磨拐河组则为滨浅湖相和三角洲相沉积。这表明断陷阶段与剪切-拗陷阶段的沉积相和沉积体系展布有较明显的不同。

5) 断陷阶段的构造活动性较强, 南贝尔凹陷经历了多次反转和短暂的隆起(或掀斜)剥蚀, 故断陷构造层内普遍可见3个不整合面(近断裂处为角度不整合), 分别位于铜钵庙组与南屯组之间、南一段内部和南一段与南二段之间[4][5]。剪切-拗陷阶段盆地的构造活动性明显减弱, 大磨拐河组-伊敏组是一套相对连续的厚大沉积。

南贝尔凹陷因地处偏僻, 兼之露头甚差, 仅开展石油地质勘探以来才有对下白垩统沉积的初步报道[6]-[9]。以往沉积学工作的重点, 一是与古地震有关的震积岩的垂向序列及其变形特征[10][11], 二是分析南屯组沉积体系在塔南凹陷-南贝尔凹陷中的平面展布特征[12]-[14]。本文主要基于南贝尔凹陷东部次凹的钻孔岩心观察(包括岩性、沉积构造和生物标志等), 结合室内镜下鉴定、粒度分析、综合录井资料和地震相标志, 先识别沉积相, 进而总结各沉积相(含亚相和微相)的特征, 探讨砂体的空间展布, 为分析控制沉积的环境和构造因素、重塑盆地发育和指导油气勘探提供素材。

2. 扇三角洲相

这是南贝尔凹陷最常见的一种沉积类型。主要在铜钵庙组沉积期发育, 集中分布在东部次凹南洼槽和北洼槽的陡坡带一侧, 如在南洼槽的西次洼东侧的控陷断裂附近的21-17井区和21-32井区(钻孔位置见图1(c))、北洼槽西界控盆断裂附近的21-34井区都有广泛的分布; 南屯组沉积期在陡坡带也有扇三角洲相沉积发育, 主要局限在北洼槽的西界控盆断裂(如21-25井区)和南洼槽的东界控盆断裂附近。以下主要介绍铜钵庙组扇三角洲相沉积的识别标志, 在小结中通过比较简述南屯组扇三角洲沉积的若干特点。

2.1. 主要相标志

1) 反映浅水环境的岩性特征。扇三角洲是冲积扇或辫状河携带的碎屑进入浅水湖盆后沉积的砂体。其岩性主要是反映浅水氧化环境的浅紫红色凝灰质泥岩、绿灰色泥岩及浅灰色泥岩夹粉细砂岩、粗砂岩和含砾砂岩, 在扇三角洲前缘地带可见灰色泥岩沉积。如21-17井1760~1960 m层段, 岩性组合为大套粗碎屑沉积夹薄层代表浅水环境的泥质沉积, 属扇三角洲平原亚相辫状河道微相, 代表浅水快速堆积的产物(图2, 图中GR为伽马曲线, DT为声波时差曲线, 下同; 岩性剖面的图例及说明见图8)。

2) 较低-中等的成份成熟度和结构成熟度。常见扇三角洲沉积物颗粒较粗, 成熟度较低[15]。但南贝尔凹陷的铜钵庙组可见分选性和磨圆度中等、成熟度中等的粗碎屑岩, 如位于东部次凹南洼槽东次洼的21-56井所见(图3)。这反映在进入湖盆(南洼槽)之前, 碎屑物质可能经过了较长距离的搬运和淘洗, 也可能是搬运碎屑的水流作用较强, 使碎屑发生了分选和磨蚀。

3) 反映以牵引流搬运机制为主的粒度特征。以北洼槽的21-22井和南洼槽的21-17井为例, 铜钵庙组上段(SQ2层序)粉砂岩的粒度概率曲线总体以两段式为主(图4), 缺少滚动组份。砂岩大致可分为两类: 一类为分选中等的粉砂岩和泥质粉砂岩, 其跳跃组份含量较低(小于50%), 跳跃斜率较陡, 属扇三角洲前缘水下分流河道间沉积; 另一类为分选较差的细砂岩, 其跳跃组份含量较高, 区间宽, 斜率低, 属水流能量较强的扇三角洲前缘水下分流河道沉积。

4) 以牵引流为主、重力流为辅的搬运方式。扇三角洲内发育的沉积构造以各种板状交错层理、楔状

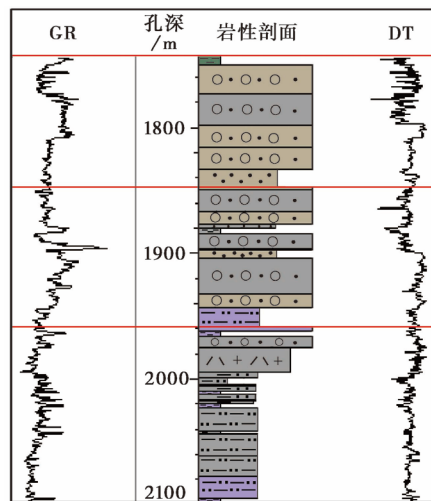
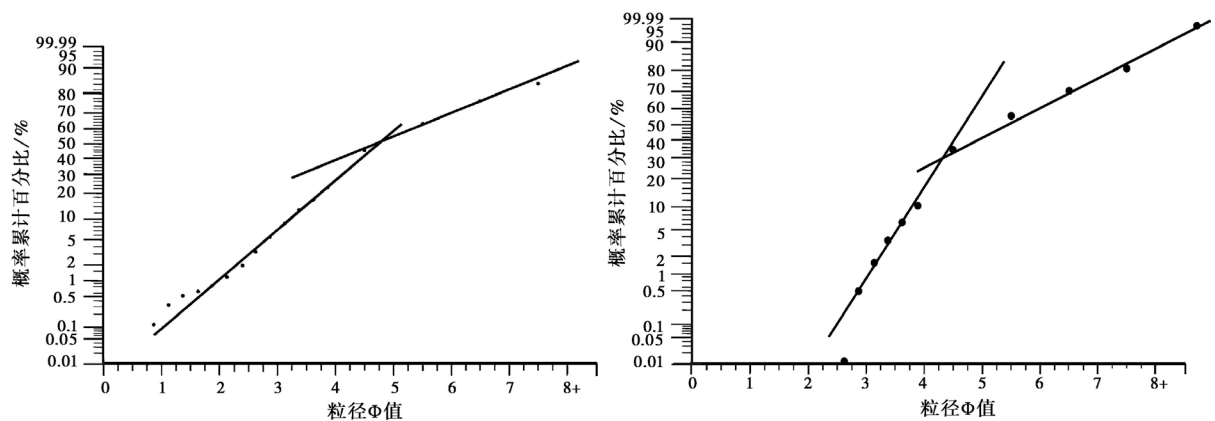


Figure 2. Sedimentary characters of fan delta in the Tongbomiaoyuan Formation from the Well 21-17 in the South Buir Sag
图 2. 南贝尔凹陷 21-17 井见铜钵庙组扇三角洲的沉积特征



(左.孔深 2803.05 m; 右.孔深 2875.05 m)

Figure 3. Cores from the Well 21-56 of the South Buir Sag, showing moderately textural maturity of the Tongbomiaoyuan Formation
图 3. 南贝尔凹陷 21-56 井岩心, 示铜钵庙组碎屑岩结构成熟度中等



左.21-22 井孔深 2126.54 m 处细砂岩; 右.21-17 井孔深 2231.26 m 处泥质粉砂岩

Figure 4. Grain size probability cumulative curves of the sandstone from fan deltaic front in the South Buir Sag
图 4. 南贝尔凹陷扇三角洲前缘砂岩的粒度概率曲线

交错层理、平行层理和小型交错层理为多见，此外尚有凹凸不平的冲刷充填构造，反映以牵引流为主、重力流为辅的搬运方式。取自东部断裂构造带的 21-26 井和南洼槽 21-33 井的铜钵庙组上段砂岩的粒度概率曲线为三段型(图 5)，跃移组份发育，反映了牵引流与重力流过渡的性质，为扇三角洲沉积特征。

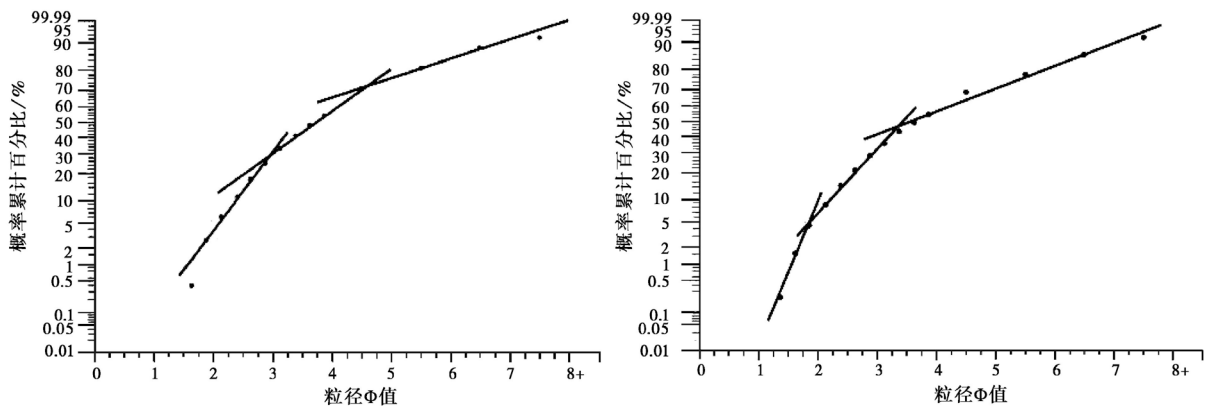
5) 地震反射特征。块状 - 楔状的地震相常受湖盆陡岸同生正断层控制，故在南贝尔凹陷各洼槽的陡坡带广泛分布，是扇三角洲和近岸水下扇的反射特征，且在南贝尔凹陷该类地震反射结构的特征表现得较为典型。楔状的地震相代表扇三角洲和近岸水下扇的反射特征，在南贝尔凹陷分布也较广泛，如北洼槽中部 21-7 井铜钵庙组的扇三角洲沉积的地震相即为楔状。丘状的地震相也是扇三角洲和近岸水下扇的反射特征，在南贝尔凹陷仅见于西部次凹(19-101 井)。扇三角洲地震充填相的相单元外形为下凹上平的“V”形，典型的该类地震相见于过 21-22 井的联络测线剖面。透镜状的地震相尽管也是扇三角洲前缘相带和近岸水下扇的反射特征，但受地震资料品质等多种因素影响，该类地震相在南贝尔凹陷的各洼槽中表现不很典型。就扇三角洲的地震反射特征而言，扇三角洲平原是向盆地边缘加厚的楔状杂乱反射，其特征是反射结构不稳定(从平行成层到无反射)，连续性差，振幅低；扇三角洲前缘和前扇三角洲则以反射结构多变为特征，平行 - 亚平行、微发散或倾斜前积反射等都可见到，空间变化规律是向盆地方向反射层数增加，连续性变好。

6) 电性特征。扇三角洲各微相典型的自然电位曲线的特征如下：水下分流河道(或辫状河道)的曲线为中高幅、顶底突变的箱形或钟形(图 2)，水下分流河道(或辫状河道)间的则是中低幅齿形曲线(见后图 8)，前缘席状砂的曲线以不规则钟形、指状和漏斗状负异常组合为特征，前三角洲的自然电位曲线为平直的基线。

扇三角洲相沉积在铜钵庙组和南屯组中都十分常见，表明当时湖泊广布，周缘物源区提供的碎屑很快进入湖泊，使扇三角洲沉积体系广泛发育。两者的区别如下。1) 铜钵庙组扇三角洲平原相带的凝灰岩和凝灰质砂岩常为浅紫红色或棕黄色(至前缘和前三角洲变为灰色)，指示沉积环境主要为氧化环境；南屯组一段同一相带的岩性为灰白色凝灰质砂砾岩夹灰绿色泥岩，反映了半还原的沉积环境。2) 铜钵庙组中罕见半深湖 - 深湖相沉积，表明当时南贝尔凹陷总体上是浅水湖盆；南屯组一段沉积时已出现了相对广阔的半深水 - 深水地区，因而前扇三角洲亚相及扇三角洲前缘亚相的沉积发育较好。

2.2. 亚相和微相

通常将扇三角洲沉积相分为 3 个亚相：扇三角洲平原、扇三角洲前缘和前扇三角洲亚相。南贝尔凹



左.21-26 井孔深 1641 m 处细砂岩；右.21-33 井孔深 1669.53 m 处不等粒砂岩

Figure 5. Grain size probability cumulative curves of sandstone from the Tongbomiao Formation in the South Buir Sag

图 5. 南贝尔凹陷铜钵庙组砂岩的粒度概率曲线

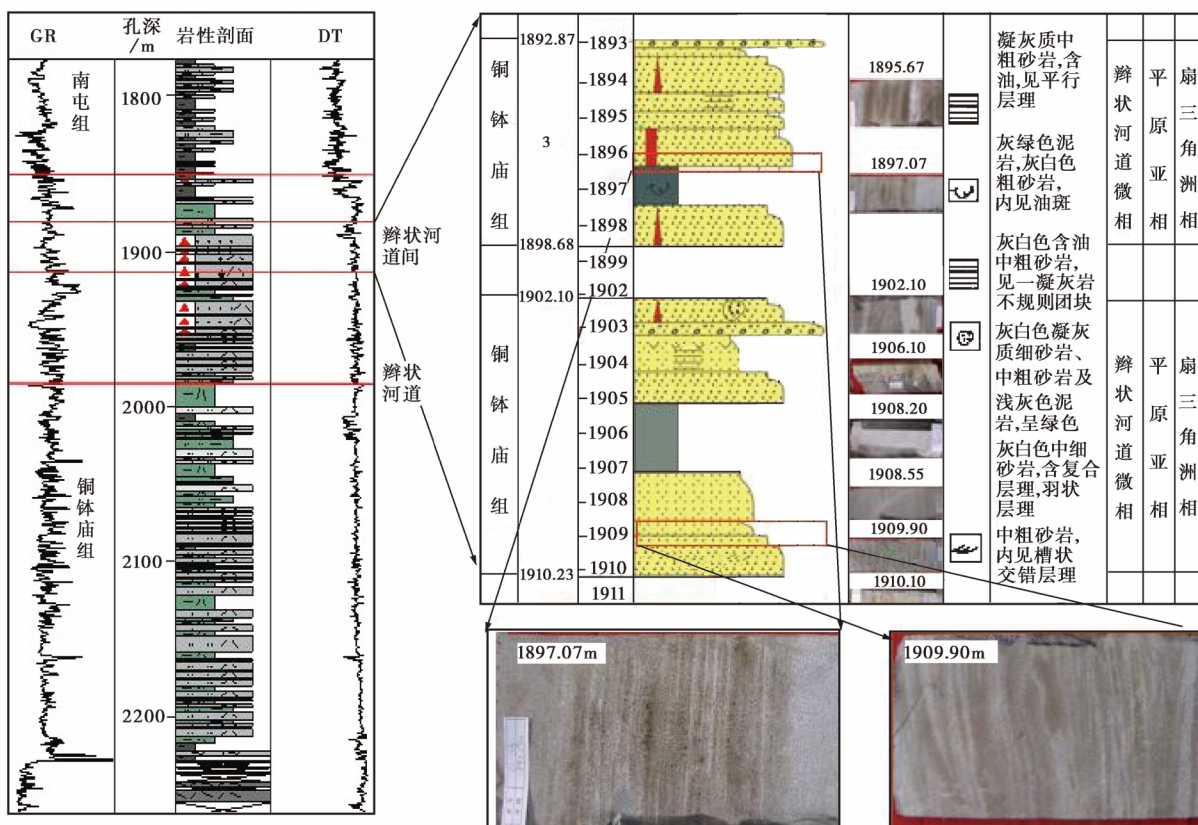
陷由于物源供给充足，随扇三角洲持续向湖盆中推进，纵向上形成前扇三角洲—扇三角洲前缘—扇三角洲平原的进积旋回。

2.2.1. 扇三角洲平原亚相

主要分布在靠近断陷湖盆同生正断层的地带，如东部次凹北洼槽西界控盆断裂附近的 21-17 井和 21-34 井、南洼槽西次洼东界控陷断裂附近的 21-25 井等地的陡坡带都见发育；也见于小型断陷湖盆的缓坡侧。其岩性为具明显正韵律的大套杂色砾岩、砂砾岩和砂岩；成份成熟度和结构成熟度均低，自然电位表现为齿化的箱形与钟形的组合。该亚相可细分为 2 个微相：辫状河道和辫状河道间。

1) 辫状河道微相。由块状—厚层的中粗砾岩、砂质细砾岩和含砾砂岩组成，砂砾岩单层厚度大，可达 5~15 m。剖面上具有下厚粗上薄细的特点，砂砾岩厚度占地层厚度的(40~80)%。沉积构造以块状层理、板状交错层理和不规则交错层理为常见，局部见滑塌变形层理和砾石定向排列。自然电位曲线表现为不规则箱形、钟形和指状负异常组合。上述 21-17 井铜钵庙组地层中发育的大套杂色砂砾岩(见图 2)，即为典型的辫状河道微相沉积。

2) 辫状河道间微相。以东部次凹北洼槽东侧缓坡带 21-53 井孔深 1890~1910 m 的铜钵庙组为例，辫状河道间微相沉积由小型正韵律叠置的浅灰绿色泥岩和含砾不等粒块状砂质泥岩组成，常见夹砂砾岩条带。它们分选差，砂砾呈棱角状，偶见不规则斜层理和透镜状层理(图 6)。剖面上，辫状河道间微相的泥岩与辫状河道微相的砂砾岩呈不等厚互层，即前者常夹在辫状河道沉积的砂砾岩中。



孔深 1897.07 m 的岩心见平行层理；孔深 1909.90 m 的岩心见小型槽状交错层理

Figure 6. Sedimentary characters of inter-braided stream micro-facies of fan deltaic plain from the Well 21-53 in the North Hollow, East Sub-Sag
图 6. 东部次凹北洼槽 21-53 井扇三角洲平原辫状河道间微相沉积的特征

2.2.2. 扇三角洲前缘亚相

扇三角洲前缘亚相在南贝尔凹陷各洼槽中的大多数井区都有所钻遇,表明该亚相也较发育,且集中在东部次凹南洼槽和北洼槽的陡坡带一侧,层位上见于铜钵庙组及南屯组二段地层。该亚相常分为3种微相:水下分流河道、水下分流河道间和席状砂。

1) 水下分流河道微相。该微相的沉积物受水流和波浪的双重影响。东部次凹北洼槽 21-22 井孔深 1890~2200 m 的铜钵庙组二段即是一套呈下粗上细的正韵律叠置的杂色块状砂岩、含砾砂岩夹薄层(深)灰色泥岩组合,韵律厚度一般为 1~5 m。其底部有冲刷充填构造,顶部可见生物扰动构造和倾斜潜穴。沉积构造以大-中型板状交错层理、楔状交错层理和平行层理为发育。自然电位曲线表现为中高幅箱形或钟形负异常组合(图 7)。

2) 水下分流河道间微相。岩性为紫红色、灰绿色及浅灰色的泥质粉砂岩和粉砂质泥岩,见少量粉砂岩。分选一般较差,有漂浮结构及似斑状结构,表明洪水期间沉积物从分流河道中溢出到分流河道间再堆积下来。常见断续波状及波状层理,尚有小型交错层理和透镜状层理。自然电位曲线表现为中低幅齿形。粒度概率曲线由 3~4 段构成,跳跃总体由不同斜率的直线段构成,反映了波浪的淘洗作用(见图 5)。如东部次凹北洼槽 21-49 井孔深 2000~2140 m 的铜钵庙组以砂岩、泥岩的频繁互层和泥质含量高为特征(图 8),为水下分流河道间堆积。2105.74 m 处的灰白色含砾中砂岩(见泥砾)属水下分流河道沉积。

3) 席状砂微相。它处于扇三角洲前缘亚相的最前部,由粉砂岩、泥质粉砂岩夹灰色-绿灰色泥岩组成,层厚为 1~4 m。砂岩分选中等一较好,常见块状层理和平行波状层理,表明水动力条件变得较弱。自然电位曲线表现为小型不规则钟形、漏斗形或指形负异常组合。如东部次凹北洼槽 21-24 井孔深 2150~2310 m 的铜钵庙组即为席状砂微相(图 9);其下伏地层碎屑颗粒粗,2374.07 m 处见杂色砾岩,为辫状河道堆积。

综上所述,可总结出研究区铜钵庙组的扇三角洲相模式是:扇三角洲在陡坡带沟口呈扇形分布,以发育辫状河道微相为主,其他的微相类型次之或不甚发育。由于陡坡带断层活动性较强且其自身的范围狭窄,不利于扇三角洲向盆内延伸,故常见沿控盆(陷)断裂方向展布的窄长扇三角洲砂体,前扇三角洲亚相及扇三角洲前缘的席状砂微相不太发育。

3. 近岸水下扇相

近岸水下扇是南屯组一段的主要沉积相,在铜钵庙组二段中也见发育(仅见于西部次凹南洼槽),集中在西部次凹南洼槽的西界断裂附近(19-101 井)、东部次凹的西部断鼻带及北洼槽的陡坡带,沿控盆断裂根部呈裙带状展布。在东部次凹北洼槽的 21-48 井,见南屯组一段发育以牵引流为主的沉积构造和正韵律叠置层为主的沉积序列(图 10)。

3.1. 主要相标志

1) 反应较深水环境的岩性、岩相特征。近岸水下扇主要发育在南屯组一段沉积期,在南贝尔凹陷东部次凹集中于陡坡带一侧展布。位于东部断裂构造带西端的 21-18 井孔深 1250 m 至 1400 m 所见,南一段体现了重力流成因的岩相特点,属近岸水下扇的扇中和扇端沉积(图 11)。位于北洼槽西界断裂附近的 21-48 井的南一段,整套序列由块状砂砾岩(鲍玛序列的 A 或 B 段)与浅灰色薄层砂岩组成不等厚互层,顶部为见水平纹层理的深灰色-黑色泥岩,内见泥岩撕裂屑(见图 10),属牵引流沉积,反映了近岸水下扇牵引流与重力流混合成因的特点。典型的测井相特征是曲线呈弹簧状。

2) 下粗上细的正韵律叠置层十分明显,粗碎屑岩常见底冲刷面,向上渐变为深灰色泥岩。反韵律层(下部为灰色泥岩,向上逐渐变为粉-细砂岩,顶部与灰色泥岩呈突变接触)较少见。相应地,自然电位曲

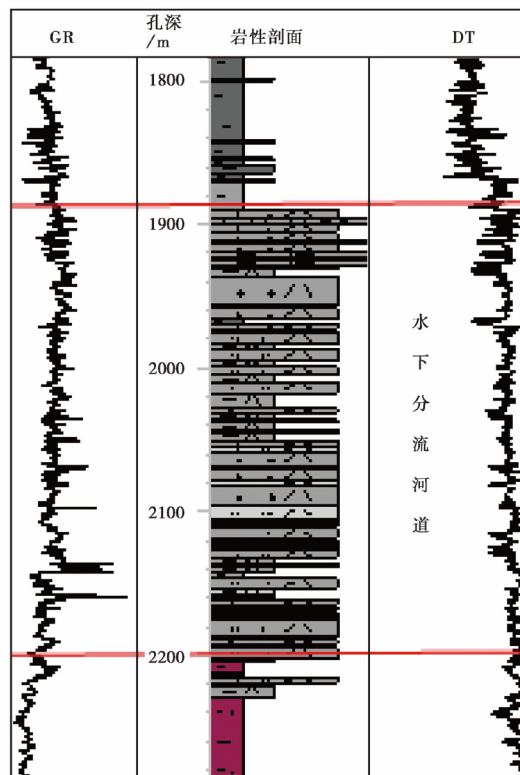
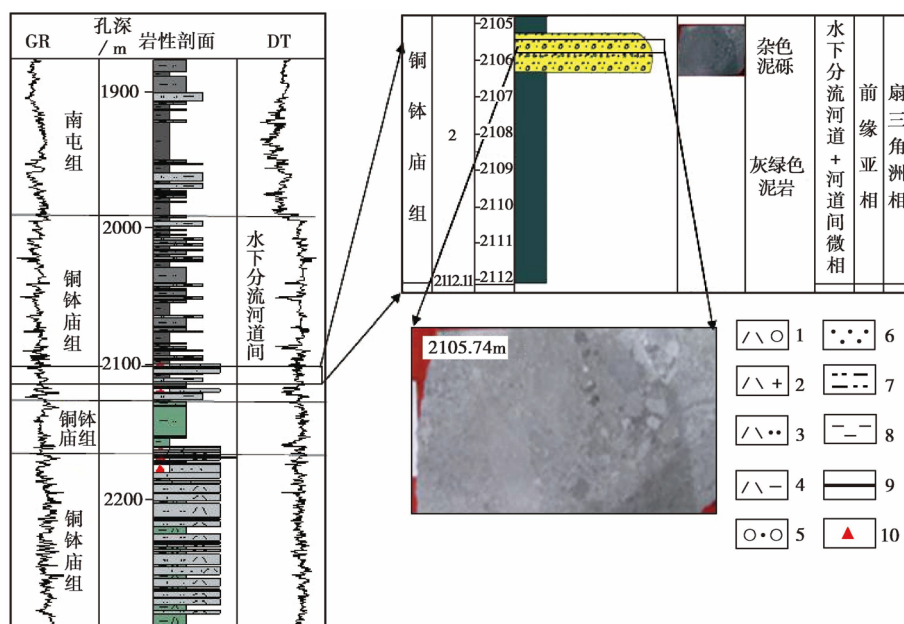


Figure 7. Sedimentary characters of distributary channel micro-facies of fan deltaic front from the Well 21-22 in the North Hollow, East Sub-Sag
 图 7. 东部次凹北洼槽 21-22 井扇三角洲前缘水下分流河道微相沉积的特征



图例说明：1. 凝灰质砾岩；2. 凝灰质含砾砂岩；3. 凝灰质砂岩；4. 凝灰岩；5. 砂砾岩；6. 中粒砂岩；7. 细砂岩；8. 粉砂岩；9. 泥岩；10. 油气显示

Figure 8. Sedimentary characters of inter-distributary channel micro-facies of fan deltaic front from the Well 21-49 in the North Hollow, East Sub-Sag
 图 8. 东部次凹北洼槽 21-49 井扇三角洲前缘水下分流河道间微相沉积的特征

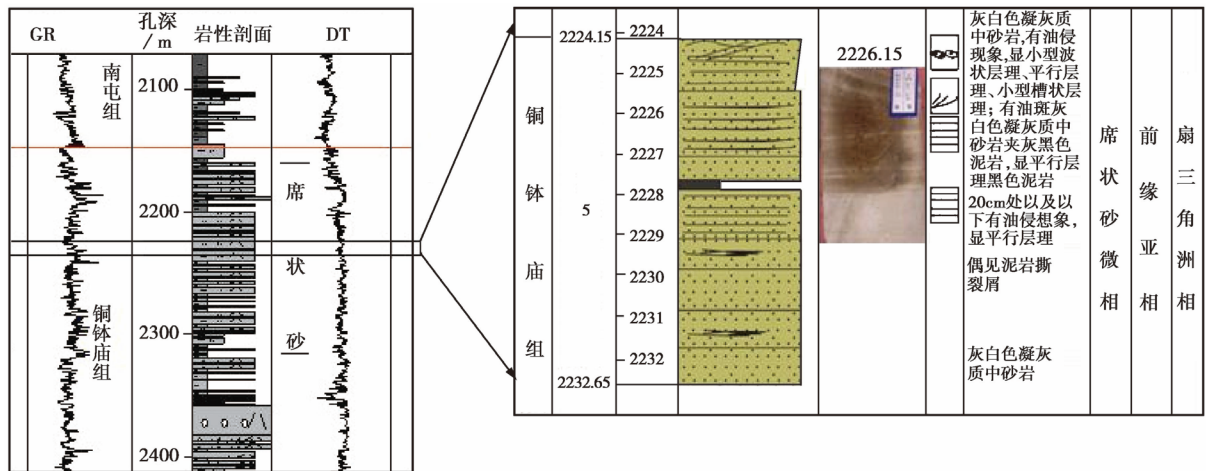


Figure 9. Sedimentary characters of sheet bar micro-facies of fan deltaic front from the Well 21-24 in the North Hollow, East Sub-Sag

图 9. 东部次凹北洼槽 21-24 井扇三角洲前缘席状砂微相沉积的特征



左.孔深 2332.80 m 处岩心; 右.孔深 2335.30 m 处岩心

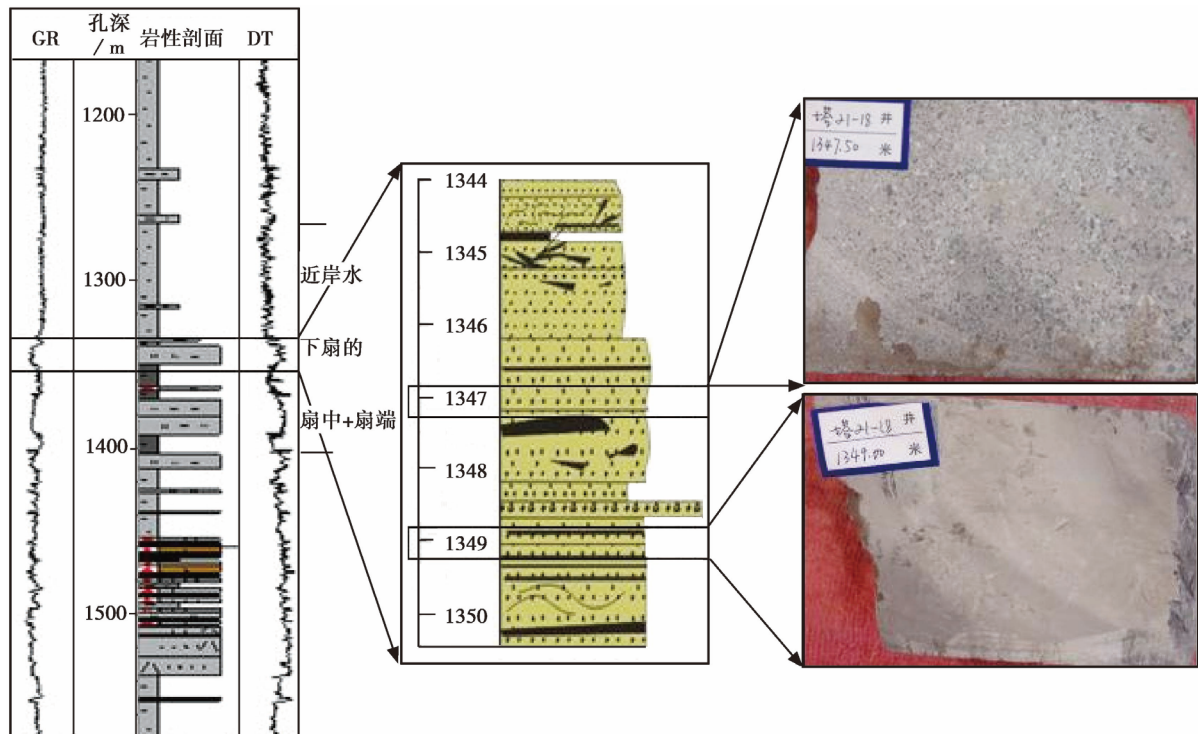
Figure 10. Cores from the Well 21-48 in the North Hollow, East Sub-Sag, showing superimposed beds with positive rhythm

图 10. 东部次凹北洼槽 21-48 井南屯组岩心, 示以正韵律叠置层为主的层序

线以指状为主,反映了以重力流+牵引流成因机制为主的扇体堆积。东部次凹北洼槽的 21-34 井见扇中亚相主要是薄层砂岩与黑色泥岩的互层沉积,是南贝尔凹陷中粒度最细的近岸水下扇沉积。

3) 成份成熟度和结构成熟度中等。本区近岸水下扇相的岩石类型主要为凝灰质中-细砂岩,分选、磨圆和成熟度均为中等,自扇根到扇端明显有成份成熟度和结构成熟度变好的趋势(见图 10)。

4) 反映牵引流为主的沉积构造特征。东部次凹北洼槽 21-25 井钻遇的南屯组一段是近岸水下扇扇中亚相主沟道微相的沉积,砾石呈叠瓦状定向排列(图 12),内多见底冲刷面,反映牵引流成因机制的河道砂砾沉积。牵引流搬运的情况下,层面构造主要以大小不同、形态各异且凹凸不平的冲刷充填构造为特征。层理发育取决于碎屑供应和水动力条件。当湖浪作用较强、物源供给不很充分时,形成板状交错层理、楔状交错层理、小型交错层理和波状交错层理。当物质供给充分时,形成厚层的块状层理或平行层理。



右上. 孔深 1347.50 m 处岩心; 右下. 孔深 1349.50 m 处岩心

Figure 11. Sedimentary characters of inshore underwater fan of the No. 1 Member, Nantun Formation from the Well 21-18 in the North Hollow, East Sub-Sag

图 11. 东部次凹北洼槽 21-18 井见南屯组一段近岸水下扇沉积的特征



左.孔深 2578.60 m 处岩心; 右.孔深 2580.30 m 处岩心

Figure 12. Cores of the No. 1 Member, Nantun Formation from the Well 21-25 in the East Sub-Sag, showing mechanism of tractional current

图 12. 东部次凹 21-25 井南屯组一段岩心, 反映牵引流成因

5) 地震反射特征。近岸水下扇的地震相见前述。在南贝尔凹陷, 因欠补偿的沉积作用造成近岸水下扇的地震反射结构特征不甚明显。如东部次凹北洼槽的地震剖面中所见, 仅在控陷断层附近有杂乱的地震反射结构, 说明近岸水下扇的扇根为粗碎屑沉积; 向凹陷中心部位变成强震、高频高连亚平行地震相, 这可能与扇体的岩性总体上偏细有关, 也可能说明近岸水下扇的扇体分布范围很局限。

3.2. 亚相和微相

近岸水下扇相常分为 3 个亚相：扇根、扇中和扇端，并细分为主沟道、主沟道间和主沟道前缘等微相。

1) 扇根亚相。它距物源区最近，以碎屑粗大、分布窄小为特征。岩性为块状或厚层的凝灰质砂砾岩、凝灰质含砾砂岩夹灰色、浅灰色泥岩，磨圆分选均较差。可见块状层理、不规则交错层理和滑塌变形层理。此类亚相仅在南贝尔凹陷西部次凹南洼槽的 19-39 井有所揭示。

2) 扇中亚相。该亚相包括主沟道和主沟道间微相。形成主沟道微相的水动力条件较强，是一套浅灰色厚层 - 块状凝灰质砂砾岩、凝灰质含砾砂岩夹灰色薄层粉砂岩和泥岩组成的正旋回沉积，发育板状交错层理、平行层理和槽状交错层理。自然电位曲线表现为钟形与低幅箱形的负异常组合。形成扇中的主沟道间微相的水动力条件已明显减弱，岩性上为细砂岩、粉砂岩、泥质砂岩与(深)灰色泥岩不等厚互层，发育板状交错层理、变形层理和波状交错层理。自然电位曲线表现为钟形与漏斗形负异常组合。该类亚相在南贝尔凹陷东部次凹和西部次凹各洼槽的陡坡带一侧广泛分布(见图 11)。

3) 扇端亚相。扇端亚相沉积于水动力条件最弱、地形相对平坦的扇体最前端，由大套深灰色凝灰质泥岩夹薄层粉砂岩、凝灰质泥质粉砂岩和凝灰质粉砂质细砂岩组成。砂岩底面突变，顶面渐变，可见小型交错层理和波状交错层理。自然电位曲线表现为低幅指状与波状的负异常组合。它南贝尔凹陷常难以与扇中亚相区别开，故常把扇中亚相和扇端亚相放在一起分析描述。

4. 湖泊相

4.1. 主要特征

南贝尔凹陷属陆相断陷型湖盆，且是复式箕状断陷湖盆，湖泊相沉积明显受构造作用制约，表现出如下特点。1) 湖盆多为不对称箕状，在陡坡侧因靠近控盆(陷)断裂，水体深，在碎屑供应充分时即成为湖盆的沉降中心和沉积中心。向着缓坡一侧水体变浅，沉积厚度变薄，故整套地层呈一楔状体。2) 湖泊相沉积在铜钵庙组和南屯组中都有发育，且岩性都为泥岩。由于两者的沉积环境尚有不同(见上述)，铜钵庙组沉积时以窄盆浅水为特征，泥岩为灰色；南屯组沉积时水体明显变深，环境相对封闭，泥岩为黑色(图 13)。这反映湖泊相沉积作用明显受构造 - 环境控制。3) 前已指出“窄盆浅水”的特点，这些窄盆被山地围绕，山区内河流十分发育；此外，铜钵庙组以扇三角洲沉积为主，扇体的水上部分(即湖盆内)也不乏河流发育。河流携带的大量碎屑物质对湖泊的沉积作用和砂体分布都有直接影响，故铜钵庙组 - 南屯组(尤其是铜钵庙组)湖泊相沉积的另一特点是受河流影响较大。



左：21-26 井 1246.66 m 南屯组黑色泥岩；右：21-23 井 1949.5 m 铜钵庙组灰色泥岩

Figure 13. Cores of the lacustrine facies mudstones from the East Sub-Sag

图 13. 东部次凹湖泊相泥岩的岩心

4.2. 沉积亚相

湖泊相通常分为滨浅湖和深湖 - 半深湖亚相, 后者在南贝尔凹陷除泥岩外还见浊积岩, 反映深湖环境中湖底扇发育。

4.2.1. 滨浅湖亚相

滨浅湖亚相的岩性主要为凝灰质灰绿、浅灰、深灰色泥岩与砂岩互层, 夹油页岩、泥灰岩和紫红色泥岩。沉积构造类型较为多样, 常见各种类型的中 - 小型交错层理、波状水平层理、透镜状层理和波痕等。地震相常呈席状相及发散相, 内部结构表现为亚平行 - 平行、弱 - 中振幅和中高频反射结构。

4.2.2. 深湖 - 半深湖亚相

1) 泥岩。在南贝尔凹陷主要为深灰、黑灰色凝灰质泥岩、页岩及油页岩, 偶夹薄层灰色泥灰岩和泥质粉砂岩。发育范围有限, 层位上仅见于南屯组一段, 主要分布于东部次凹南洼槽的中心地区, 以 21-39 井揭露的最为典型。沉积构造只发育水平层理、块状层理以及差异压实形成的变形层理。深湖 - 半深湖亚相的泥岩在盆地的平稳沉降阶段形成, 并位于湖盆中心地区, 地形平缓宽阔, 水体安静, 故岩层的成层性好, 地震反射上表现为平行 - 亚平行、弱 - 中振幅、中高频和高连续的席状相和板状相。

2) 浊积岩。深水环境中湖底扇发育, 形成浊积岩, 可以位于东部次凹南洼槽西侧边界断裂上的 21-19 井为例说明(图 14)。该井的岩心上可见清楚的沉积韵律(图 14 照片 A, 示鲍玛序列)及漂砾(图 14 照片 D, 砾石分选差 - 中等)等现象, 指示其重力流成因。识别出的湖底扇内扇的范围很小(可能与后期断裂活动的破坏有关), 为深灰色泥岩夹细砂岩、砂砾岩。中扇为深灰色泥岩夹粉砂岩, 发育同生变形构造。外扇为大套深灰色泥岩夹粉砂岩薄层。总体看这套湖底扇沉积的岩性偏细。由于岩性组合上以薄层泥岩与砂岩的频繁互层为特征, 泥岩因发育泥岩撕裂屑(图 14 照片 B)和重荷构造(图 14 照片 C)等而形状以不规则居多, 所以电阻率曲线常表现为“指形”。湖底扇一般呈透镜状的外形, 相应地, 地震相也常为透镜状; 内部反射则以波状 - 杂乱和中 - 高频为特征。

5. 砂体展布

5.1. 构造 - 沉积背景

塔木察格地区位于蒙古东端, 晚侏罗世却表现出与蒙古东部广大地区不同的演化特点。后者因蒙古 - 鄂霍次克洋(蒙古东部的宗莫德洋盆为北东走向[16])在早侏罗世末 - 中侏罗世初闭合[17], 继之以中国 - 东南亚次大陆与西伯利亚次大陆之间的陆 - 陆碰撞, 晚侏罗世该造山带发生坍塌, 在蒙古东部形成一组北东走向的伸展盆地[18]。但塔木察格地区晚侏罗世没有沉积盆地发育, 而是与大兴安岭属同一构造单元, 以强烈的火山活动为特征[1][18]。

早白垩世, 东北亚大陆边缘地区出现北东向的新生构造并控制了松辽、海拉尔等北东向伸展(或张扭)盆地发育[1][19][20]。塔木察格盆地属海拉尔盆地的南延, 早白垩世盆地发育主要受东北亚大陆边缘区的北东向新生构造控制。

除北东向张(扭)断层这一主控因素外, 塔木察格盆地的发育还受其它两个因素的叠加影响。一是起伏不平的基底地貌, 即原晚侏罗世的火山高地, 在早白垩世盆地发育时作为盆外隆起区存在并为盆地供应碎屑。对塔南凹陷的研究表明铜钵庙组沉积期其北东存在物源区[4]; 这一基底隆起区成为分隔塔南凹陷与南贝尔凹陷的自然地质界线(尽管未能将这 2 个凹陷绝然分隔开)。二是北东东 - 近西向左行走滑断裂构成北东向凹陷中的变换构造带; 东部次凹的 2 个洼槽分别位于变换构造带以北和以南, 除控盆断裂位置不同外, 两者内部结构(南洼槽为复式箕状断陷)和演化特征的不同表征了这一左行剪切断裂的构造变换作用。

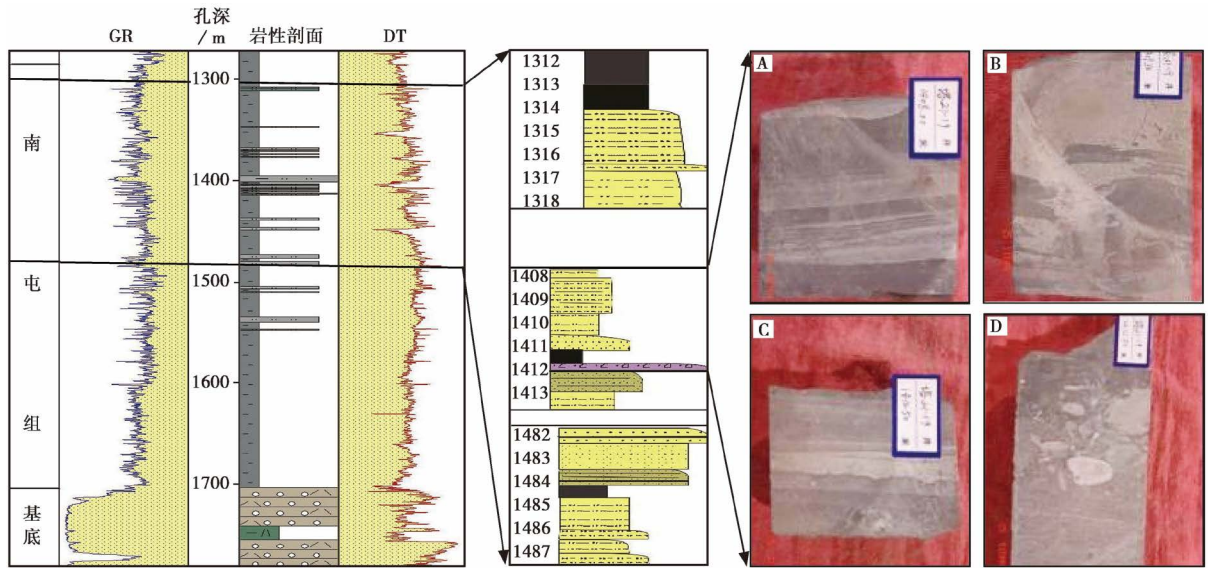


Figure 14. Sedimentary characters of sublacustrine fan in the No. 1 Member, Nantun Formation from the Well 21-19 in East Sub-Sag
图 14. 东部次洼 21-19 井见南屯组一段中湖底扇沉积的特征

铜钵庙组是初始裂陷阶段的记录[2] [4]，南贝尔凹陷的构造 - 沉积格局在此时形成，控盆断裂和控陷断裂几乎都深切入基底。南屯组沉积期东部次凹的盆地面积与铜钵庙组沉积期相同，但盆内局部地点因铜钵庙组沉积后的隆起(或掀斜)而缺失南屯组下部(Sq31 层序)沉积。据此将南屯组称为南贝尔凹陷演化的持续断陷期，主要特点如下。1) 南洼槽东界控盆断裂的活动增强。铜钵庙组沉积期该洼槽的西次洼总体上沉降幅度和沉积厚度大于东次洼，南屯组沉积时显然以东次洼为主洼陷区，沉降幅度和沉积厚度大于西次洼。2) 部分铜钵庙组沉积时的同生断层在南屯组沉积期可能停止活动；另一方面，南屯组沉积期有新生的同沉积正(张扭)断层形成，且因活动时间短而仅限于一定的层位内发育。3) 南二段沉积期的同生断层以北东 - 近南北向的张扭断层为主，使该时期成为断陷阶段(铜钵庙组 - 南屯组沉积期)与剪切 - 拗陷阶段(大磨拐河组 - 伊敏组沉积期)之间的一个过渡时期。4) 南屯组沉积时盆地的构造活动性较大。南屯组除其底面和顶面均为不整合面外，中国境内的贝尔凹陷还见其内部有 2 个不整合面(见上述)，据此将南屯组对应的三级层序划为 3 个四级层序，说明南屯组沉积期经历过多次伸展与挤压、盆地沉陷与反转闭合的交替。

5.2. 扇三角洲砂体展布特征

1) 铜钵庙组一段(SQ1 层序)砂体展布。铜钵庙组一段是断裂初始活动期的记录，湖盆狭小，物源供给充分，所以砂体基本上满盆分布(湖相沉积的分布面积十分有限，仅在东部次凹南洼槽与东部断裂构造带交界的 21-45 井和 21-23 井区见局限分布)。单个砂体的厚度偏薄，多个扇体呈裙带状沿控盆(陷)断层的根部展布。现有的研究表明：SQ1 层序的扇三角洲砂体主要集中在东部次凹的南洼槽、北洼槽、西部断鼻带及东部断裂构造带上分布。除同生断层外，基底隆起区对该时期的砂体展布也有一定的控制作用。

2) 铜钵庙组二段(SQ2 层序)砂体展布。随断陷活动的持续，铜钵庙组二段的沉积范围较原来有所扩大，水域面积也相应扩大(但中央隆起带和东部断裂构造带仍处于隆起状态)，故该时期沉积类型开始变得多样，扇三角洲的平原亚相、前缘亚相及湖泊相的滨浅湖亚相都有一定范围的分布。扇三角洲砂体主要分布在各个洼槽的陡岸一侧，明显受控盆(陷)断层活动的控制。砂体不再呈满盆式展布，而是分布在单个扇体及扇体群的朵叶中。总体看，它们集中分布在东部次凹的南洼槽、北洼槽、东部断阶带及西部断鼻

带上(图 15 左)。各个扇三角洲前缘亚相带上发育的砂体是对油气储集最为有利的砂体。

3) 南屯组一段(Sq31 + Sq32 层序)砂体展布。由于近岸水下扇的发育和湖泊相沉积面积的扩大,南一段扇三角洲相沉积的分布范围明显较铜钵庙组沉积时小,相应地,扇三角洲相控制的砂体分布范围也明显变小(图 15 中),主要见于东部次凹的南洼槽(如 21-17 井区)及东部断裂构造带。砂体的展布受 2 个因素控制:一是控盆(陷)断层的持续活动,它们控制了砂体分布的大致走向;二是盆内多级别、多期次的同沉积断层活动,它们使砂体受到再次“调剂”和分配,使砂体在靠近次级同生断层的根部地带分布。典型实例是东部次凹南洼槽 21-54 井与 21-56 井之间的地带,这里在南一段沉积期发育相向而倾的正断层,它们持续的同沉积活动强烈改造原扇三角洲前缘的砂体,使之在相向而倾的正断层之间的小型地堑内发生再沉积,成为该洼槽中砂体发育最好的部位。

4) 南屯组二段(Sq33 层序)砂体展布。如前所述,该时期是南贝尔凹陷东部次凹的重要转换期(曾被称为“断-拗转换期”),构造沉降速率降低,断裂的伸展活动减弱,原被控陷断裂分隔的窄湖盆在该阶段演化成统一的宽阔湖盆,故此时扇三角洲的发育规模和地区都较为有限。在东部次凹的南洼槽及邻区,它们以继承南一段的扇三角洲沉积为特点;在东部次凹的北洼槽,南一段的近岸水下扇沉积区转变为扇三角洲沉积区,但仍有小规模扇体沿控盆断裂的根部发育,局限分布在 21-25 井区附近(图 15 右)。湖泊相沉积的范围在该时期达到最大,厚层泥岩粉砂岩的发育使南一段沉积期的次级同生断裂系统受到封盖;因断层难于断穿该套泥岩粉砂岩,砂体不再因同沉积次级断裂活动而发生重新分配和再沉积。

5.3. 近岸水下扇砂体展布特征

东部次凹的近岸水下扇沉积层位上仅见于南屯组一段地层中(Sq31 + Sq32 层序)。因持续断陷阶段的沉降,此时的湖盆水体显然较铜钵庙组沉积时深(这可从该时期发育深湖-半深湖相沉积得到佐证,见上述),沉积环境也从原来的氧化环境转变为半还原局部还原环境。近岸水下扇沉积主要分布在东部次凹的北洼槽及西部断鼻带。控制砂体展布的 2 个因素与控制扇三角洲砂体展布的 2 个因素相同,即:一是控盆(陷)断层的持续活动,它们控制了砂体分布的大致走向;二是盆内多级别、多期次的同生断层活动,它们对

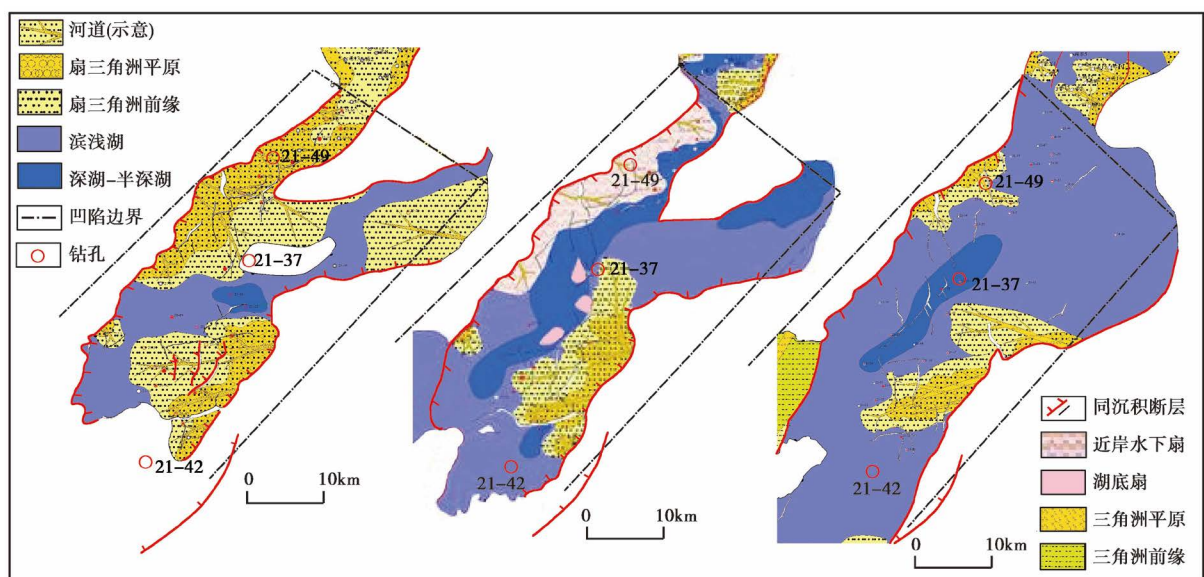


Figure 15. Distribution of sedimentary facies belts during No. 2 Member of Tongbomiao Formation (left), No. 1 Member (middle) and No. 2 Member (right) of Nantun Formation

图 15. 铜钵庙组二段(左)、南屯组一段(中)和南屯组二段(右)沉积期的沉积相带分布简图

砂体起了调节和再分配的作用,使砂体集中于该类次级同生断层的根部分布。由于钻井揭示的主要是近岸水下扇的扇中-扇端(尤其是扇端)亚相的沉积,所以砂体的展布主要靠地震相及地震属性等相关手段进行预测。以东部次凹北洼槽为例,西界控盆断裂的整体强烈活动使近岸水下扇沿山前陡坡带一侧(即沿控盆断层根部)呈条带状展布,北东向延伸;扇体能向湖盆中央延伸多远则取决于次级断层的活动。该地由于靠近控盆断层处一系列次级断层的同沉积活动,其上盘逐个下掉,导致砂体能持续向湖盆中央延伸,成为南贝尔凹陷中近岸水下扇最为发育的地区(图 15 中),反映了这类次级断层对近岸水下扇砂体发育和分布的积极作用。

除上述的 2 类断层活动对砂体展布的控制外,近岸水下扇扇体自身的发育对砂体分布的控制作用也非常明显。扇根沉积物距物源区最近,碎屑粗大且分布范围小,砂体发育不好。扇中亚相的主沟道微相分布范围最广,砂泥比值高;围绕主沟道微相呈半环状分布的主沟道前缘微相的岩性相对主沟道较细。这两者都可能形成具勘探价值的砂体。至扇端,沉积物变得更细,泥质增加甚至变得以泥岩为主,基本无砂体发育可言。

6. 主要认识

本文重点剖析了南贝尔凹陷东部次凹下白垩统下部铜钵庙组和南屯组的沉积相和砂体展布特征,得到以下主要认识。

1) 铜钵庙组以扇三角洲相沉积为主,次为滨浅湖相沉积;铜钵庙组一段有洪(冲)积扇发育,二段在西部次凹有近岸水下扇,反映的是浅水氧化环境。它是南贝尔凹陷初始裂陷阶段的沉积记录,铜钵庙组二段沉积时盆地范围较一段沉积时有明显扩大,两者的砂体展布也有不同特征。扇三角洲沿控盆(陷)断裂呈窄长条状分布;该沉积相以扇三角洲平原亚相的辫状河道微相最为发育,次为前缘亚相。

2) 南屯组一段沉积时湖盆水体明显变深,环境变为半还原局部还原环境。该时期特征的沉积相,一是近岸水下扇,二是深湖-半深湖(包括泥岩和湖底扇浊积岩);此外还有扇三角洲和滨浅湖相沉积。尽管南一段沉积时有新生的同沉积正断层发育,局部地段的控盆(陷)断裂活动较铜钵庙组沉积时强烈,但此时盆地面积没有扩大,且继承了铜钵庙组的构造-沉积格局,表征该时期是南贝尔凹陷演化的持续断陷期。

3) 南屯组二段沉积时近岸水下扇已停止发育,扇三角洲的分布范围大规模缩小,出现了大面积的滨浅湖相沉积。这实际上反映它是断陷阶段与剪切-拗陷阶段之间的过渡期。由于同沉积断层的伸展活动减弱,兼之物源区长期遭受剥蚀造成“盆”、“山”间地形反差的减小,在东部次凹西南侧的南部潜山披覆带上首次出现了三角洲沉积,至大磨拐河组沉积期三角洲成为南贝尔凹陷的主要沉积相类型。

4) 南屯组广为发育的湖泊相泥岩尤其是深湖-半深湖相的暗色泥岩,是南贝尔凹陷的主要烃源岩;扇三角洲相(尤其是扇三角洲前缘亚相)砂体和近岸水下扇相砂体是良好的油气储集层,因而铜钵庙组和南屯组成为塔木察格盆地油气勘探的两大主要目的层。进一步深入开展铜钵庙组和南屯组的沉积相研究,不仅对重塑盆地演化有积极意义,在指导油气勘探方面也有重大的实际意义。

参考文献 (References)

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] 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的沉积特征和构造-古地理意义[J]. 古地理学

- 报, 2014, 16(6): 897-906.
- [5] 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.
- [6] 金利洪, 高庚. 蒙古某凹陷石油地质特征与成藏类型及控制因素[J]. 内蒙古石油化工, 2008(16): 132-137.
- [7] 师江波. 塔木察格盆地南贝尔东次凹南屯组沉积相研究[J]. 内蒙古石油化工, 2010(13): 125-126.
- [8] 佟石磊. 南贝尔凹陷下白垩统层序地层学与沉积相研究[J]. 中国西部科技, 2011, 10(6): 12-13, 32.
- [9] 何香香. 塔木察格盆地南贝尔凹陷东次凹北洼槽南一段物源方向分析[J]. 内蒙古石油化工, 2012(12): 56-57.
- [10] 王化爱, 钟建华, 隆锋. 蒙古南贝尔凹陷白垩纪地震作用的证据[J]. 沉积学报, 2008, 26(6): 975-981.
- [11] 王化爱, 刘广春, 杨玉平, 等. 蒙古国南贝尔凹陷泥质软沉积变形构造特征及沉积序列[J]. 油气地质与采收率, 2010, 17(6): 43-46.
- [12] 纪友亮, 蒙启安, 单敬福, 等. 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.
- [13] 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.
- [14] 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.
- [15] 焦养泉, 周海民, 庄新国, 等. 扇三角洲沉积体系及其与油气聚集关系[J]. 沉积学报, 1998, 16(1): 70-75.
- [16] Wu, G.Y. (2014) Palinspastic Reconstruction and Geological Evolution of Permian Residual Marine Basins Bordering China and Mongolia. *Journal of Palaeogeography*, **3**, 219-232.
- [17] Zorin, Yu.A. (1999) Geodynamics of the Western Part of the Mongolia-Okhotsk Collision Belt, Trans Baikal Region (Russia) and Mongolia. *Tectonophysics*, **306**, 33-56.
- [18] Wu, G.Y. (2013) Palinspastic Reconstruction and Geological Evolution of Jurassic Basins in Mongolia and Neighboring China. *Journal of Palaeogeography*, **2**, 306-317.
- [19] 吴根耀. 白垩纪: 中国及邻区板块构造的一个重要变换期[J]. 中国地质, 2006, 33(1): 64-77.
- [20] 吴根耀, 梁江平, 杨建国, 等. 白垩纪北东向构造与松辽盆地演化和油气成藏[J]. 大庆石油地质与开发, 2009, 28(6): 1-11.