

松辽盆地北部江桥 - 阿拉新地区萨尔图油层沉积微相特征

李君文*, 王琦, 韩晶, 梁清, 陈方举, 蔡保

大庆油田有限责任公司勘探开发研究院, 黑龙江 大庆

收稿日期: 2023年11月15日; 录用日期: 2023年12月21日; 发布日期: 2023年12月28日

摘要

应用岩心、测录井、三维地震及测试资料, 开展松辽盆地北部西斜坡区江桥 - 阿拉新地区萨尔图油层沉积相类型及特征研究, 总结出不同油层组沉积微相分布特征及其演化规律。结果表明, 江桥 - 阿拉新地区以三角洲前缘亚相沉积为主, 发育水下分流河道、河口坝及席状砂等微相。 S_{II+III} 沉积时期前缘砂体叠加连片, 形成宽度1200~1800 m, 厚度5~12 m的复合河道砂体; S_I 沉积时期三角洲前缘水下分流河道砂体呈枝状、条带状展布, 河道宽度200~800 m, 厚度3~8 m, 延伸距离远; S_0 沉积时期为湖相沉积。分析沉积微相与油气关系, 认为研究区最有利储集砂体为水下分流河道及河口坝砂体。

关键词

西斜坡, 江桥 - 阿拉新地区, 萨尔图油层, 沉积微相, 三角洲前缘亚相

Sedimentary Microfacies Characteristic of Saertu Oil Layers of Jiangqiao-Alaxin Area in North Songliao Basin

Junwen Li*, Qi Wang, Jing Han, Qing Liang, Fangju Chen, Yu Cai

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

Received: Nov. 15th, 2023; accepted: Dec. 21st, 2023; published: Dec. 28th, 2023

Abstract

A study was conducted on the sedimentary facies types and characteristic of Saertu oil layer in Jiangqiao-Alaxin area of the west slope area in north Songliao Basin, which based on the analysis

*第一作者。

文章引用: 李君文, 王琦, 韩晶, 梁清, 陈方举, 蔡保. 松辽盆地北部江桥-阿拉新地区萨尔图油层沉积微相特征[J]. 地球科学前沿, 2023, 13(12): 1345-1352. DOI: 10.12677/ag.2023.1312129

data of core, logging, 3D seismic and testing data, and sedimentary micofacies distribution and evolution regulars of different oil layer groups were summarized. The research displays that the Jiangqiao-Alaxin area is mainly composed of delta front subfacies sedimentation, with the development of underwater distributary channels, inter distributary bays, estuarine bars, and sheet-shaped sand sedimentary micofacies. During the S_{II+III} sedimentary period, the delta front sand bodies were superimposed and connected, forming a composite channel sand body with a width of 1200~1800 m and a thickness of 5~12 m; during the S_I sedimentary period, the underwater distributary channel sand bodies in the delta front were distributed in strips and branches, with a channel width of 200~800 m and a thickness of 3~8 m, extending for a long distance; the S_0 sedimentary period was characterized by shore shallow lacustrine sedimentation. To analyze the relationship between sedimentary micofacies and oil-gas, it's believed that the most favorable reservoir sand bodies in the study area are underwater distributary channels and estuary bar.

Keywords

West Slope, Jiangqiao-Alaxin Area, Saertu Oil Layer, Sedimentary Microfacies, Delta Front Subfacies

Copyright © 2023 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. 引言

江桥 - 阿拉新地区位于松辽盆地北部西斜坡区, 构造上横跨泰康隆起带和西部超覆带两个二级构造单元, 面积约 2400 km² (图 1)。松辽盆地北部西部斜坡区是东倾的单斜构造[1], 经历了多年的油气勘探与开发, 已发现了富拉尔基、江桥、阿拉新、二站、平洋等油气田, 萨尔图油层是该区主要产层, 具有较大的勘探潜力, 也是近期增储上产的重要领域。

西部斜坡区构造、沉积相、层序地层和油气运移等方面的研究一直备受关注[2] [3] [4] [5] [6], 前人对西部斜坡萨尔图油层的沉积体系及沉积特征主要存在以下几种认识: 张银国[7]认为松辽盆地北部泰康 - 西超地区萨尔图 3 个砂组发育辫状三角洲、三角洲相、滨浅湖相沉积; 徐德英[8]认为松辽盆地北部西斜坡嫩江组一段 S_I 砂组为受益缘陡坡控制的湖底扇沉积, 其砂体由碎屑流和浊流沉积组成; 辛仁臣[9]认为西部斜坡区姚家组二、三段以三角洲前缘砂体 - 下切谷充填沉积体 - 滨浅湖砂质滩坝形成了完整的油气输导 - 成藏体系。由此可见, 关于萨尔图油层沉积相的认识存在分歧, 亟需对沉积相类型和沉积特征等基础地质进行精细研究。本文通过取心井段岩石类型、沉积构造、岩性组合等沉积微相识别标志的详细研究, 结合测录井曲线特征分析, 明确沉积相类型及特征。应用三维地震属性对沉积微相边界及类型进行了刻画, 进而编制沉积相平面图, 揭示其演化规律, 以期为下一步勘探目标优选提供地质依据。

2. 地质概况

西部斜坡区的构造演化经历四个阶段: 前裂谷期、断陷期、拗陷期和反转期[1] [2]。在拗陷期沉积地层由下至上依次为泉头组、青山口组、姚家组、嫩江组、四方台组和明水组, 姚家组与下部青山口组地层呈不整合接触, 与上部的嫩江组呈整合接触。研究层位萨尔图油层(代号为 S)主要由姚家组二、三段及嫩江组一段地层组成, 厚度为 80~110 m, 其中姚家组二、三段是在姚一段低位三角洲沉积基础上, 湖盆进一步扩大, 以浅水三角洲 - 滨浅湖沉积为主, 沉积厚度 20~30 m, 岩性由浅灰色细砂岩、粉砂岩与灰绿色粉砂质泥岩互层组成。嫩一段沉积期, 大规模湖侵形成广阔湖盆, 以三角洲及半深湖沉积为主, 沉

积厚度 65~85 m, 岩性以大套的深灰色、黑色泥岩夹粉砂岩为主, 上部夹油页岩和页岩。

本次研究以高分辨率层序地层学为指导, 结合油田勘探开发实际, 将萨尔图油层自下而上可划分为 3 个油层组, 分别为 S_{II+III} , S_I , S_0 油层组, 每个油层组厚度 25~40 m。

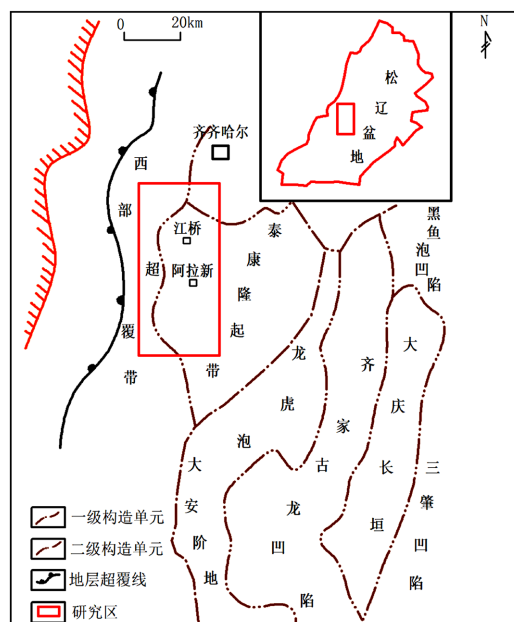


Figure 1. Location map of Jiangqiao-Alaxin area

图 1. 江桥 - 阿拉新地区区域位置图

3. 沉积相类型及特征

在区域沉积背景下, 通过 25 口取心井的岩石颜色、沉积构造、岩性组合和沉积序列等沉积微相标志识别, 分析 280 口井的测录井数据, 并结合测井曲线形态组合特征、单井相分析, 认为萨尔图油层沉积时期发育浅水三角洲 - 湖泊沉积体系, 识别出浅水三角洲平原、三角洲前缘和滨浅湖相类型。

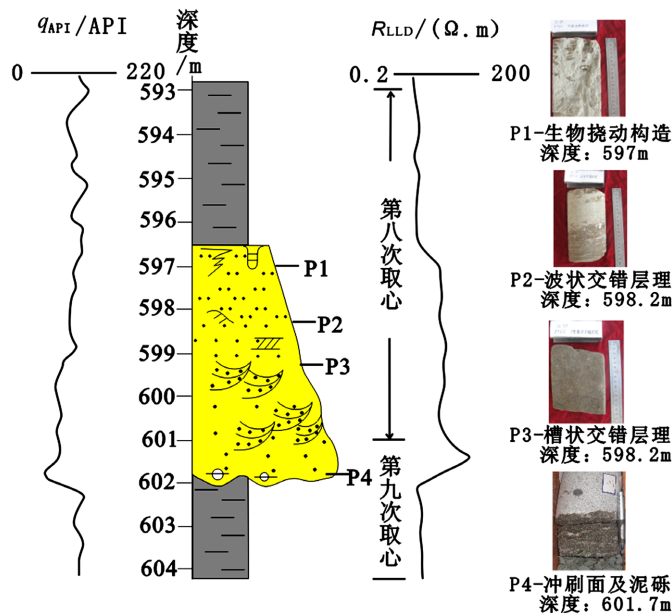
3.1. 三角洲平原亚相

a) 分流河道。主要分布在研究区的北部, 以浅灰白色、浅灰色含砾粗砂岩、中细砂岩和粉砂岩为主, 岩石胶结疏松, 砂体底界面具有明显冲刷面及冲刷泥砾, 砾石呈扁平状、长条状, 大小 3~6 mm, 其成份为泥岩或钙质结核; 垂向上, 砂体呈正韵律旋回, 下部为浅灰色中 - 细砂岩, 中部为粉砂岩, 顶部为泥质粉砂岩, 见槽状交错层理、板状交错层。深浅侧向曲线及自然伽马呈钟形。

b) 分流间洼地。岩性由杂色泥岩、浅灰色含粉砂质团块泥岩与薄层粉砂岩构成, 常见含钙结核层, 显示有持续暴露、氧化和蒸发作用。

3.2. 三角洲前缘亚相

a) 水下分流河道。与平原上分流河道相比, 它受堤岸限制更小, 改道迁移频繁。研究区中水下分流河道微相的岩性主要由浅灰色、灰白色中砂岩及粉 - 细砂岩组成, 中上部夹薄层泥岩, 构成向上变细正粒序结构, 见炭化植物碎片。河道底部常见冲刷面和泥砾、钙砾, 大小一般为 1.5×5 mm, 单砂体厚度一般较大, 平均 2~4.5 m, 多期砂体叠加可达 8~12 m。发育槽状交错层理、大型板状交错层理、平行层理及波状层理, 细 - 粉砂岩中常见四级生物扰动构造及虫孔。自然伽马曲线呈钟形、箱形、齿化箱形及其组合(图 2)。

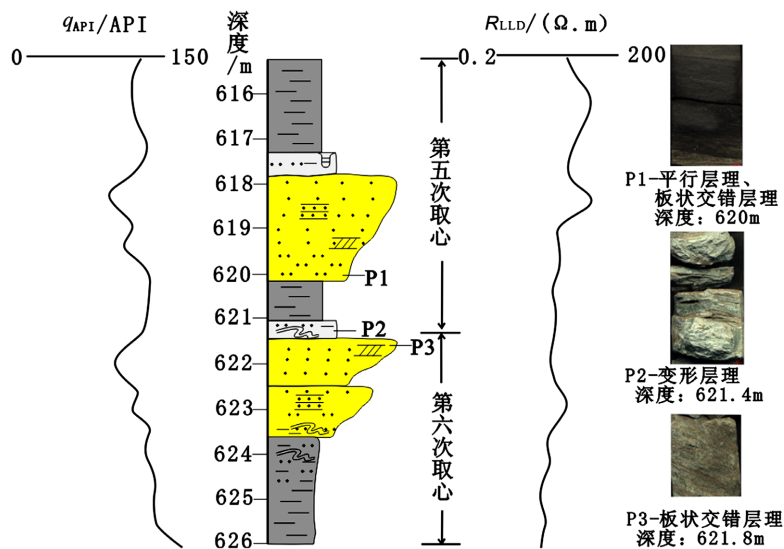


J79 井, 第八、九次取心, 深度 593~604 m, S₁ 油层组。

Figure 2. Sedimentary microfacies map of underwater distributary channel
图 2. 水下分流河道沉积微相图

b) 分流间湾。位于三角洲前缘泥质沉积的低洼地区, 水体相对安静, 水动力条件较弱。主要由灰黑色、灰绿色泥岩、粉砂质泥岩和泥质粉砂岩组成。见波纹层理、水平层理等, 可见浪成波痕, 常见炭化植物碎片、根茎。自然伽马曲线为中高值、齿状。

c) 河口坝。常位于水下分流河道的前端, 自下而上为泥质粉砂岩 - 粉砂岩 - 细砂岩构成典型的向上变粗逆粒序旋回结构, 单砂体厚度 1.2~2.6 m, 多期叠加厚度为 3~8 m。砂体底部常见板状交错层理 - 平行层理, 上部为包卷层理、滑塌变形构造或搅混构造等。测井曲线为漏斗形或叠加漏斗形(图 3)。



J76 井, 第五、六次取心, 深度 615.8~626 m, S_{II+III} 油层组。

Figure 3. Sedimentary microfacies map of estuary bar
图 3. 河口坝沉积微相图

d) 远砂坝。远砂坝自下而上由深灰色粉砂质泥岩 - 泥质粉砂岩 - 粉砂岩及细砂岩组成，构成下细上粗的反旋回结构，单层厚 0.5~1.8 m。粉砂岩中发育波状层理、包卷层理等。测井曲线呈低 - 中幅漏斗形。区中远砂坝发育规模小，往往后期被水流改造成薄层席状砂，难以识别。

e) 席状砂。主要位于水下分流河道前端，常与远砂坝、前三角洲泥或浅湖泥共存，单砂体厚度 0.3~1.2 m，砂体厚度较薄、分布面积广。主要由细砂岩、粉砂岩组成，中夹薄层灰色泥质粉砂岩、粉砂质泥岩，砂岩中见平行层理、波状层理，泥质粉砂岩中发育脉状层理、透镜状层理等。测井曲线呈低幅微齿化形态。

4. 沉积微相展布特征

4.1. 地震属性沉积解释

地层切片是研究沉积微相及砂体展布一种有效的方法，主要包括沿层切片、时间切片和地层切片[10][11][12]。通过三维地震工区地震属性与单井资料的反复对比分析，结合工区地层发育特点，发现不同微相砂体的地震反射与均方根振幅属性强弱、形态具有响应关系，能够真实反映井间砂体的平面展布规律，为沉积相编图提供依据。下文以研究区 S_1 油层组均方根振幅属性为例进行地震沉积解释分析。

图 4 为 S_1 油层组均方根振幅属性图， S_1 油层组沉积时期在北部物源体系控制下江桥 - 阿拉地区以三角洲前缘沉积为主，发育水下分流河道、河口坝等微相类型。通过均方根振幅属性与单井相标定对比，结果表明，水下分流河道微相在振幅属性上表现为两种不同振幅强度：一种是弱振幅区如 J53、J79、J11 井区(蓝色区域)，代表砂体发育，属性形态上呈透镜状、半月形及鞋带状，与曲流河点坝沉积形态相似，关键井岩心观察进一步证实其为曲流型水下分流河道沉积；另一种是强振幅区如 J67、J75 井区(红色区域)，属性形态上呈透镜状、条带状的水下分流河道沉积。而属性上表现为中强 - 强振幅区。

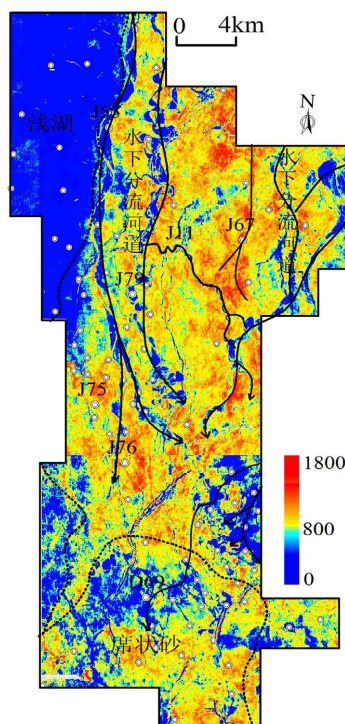
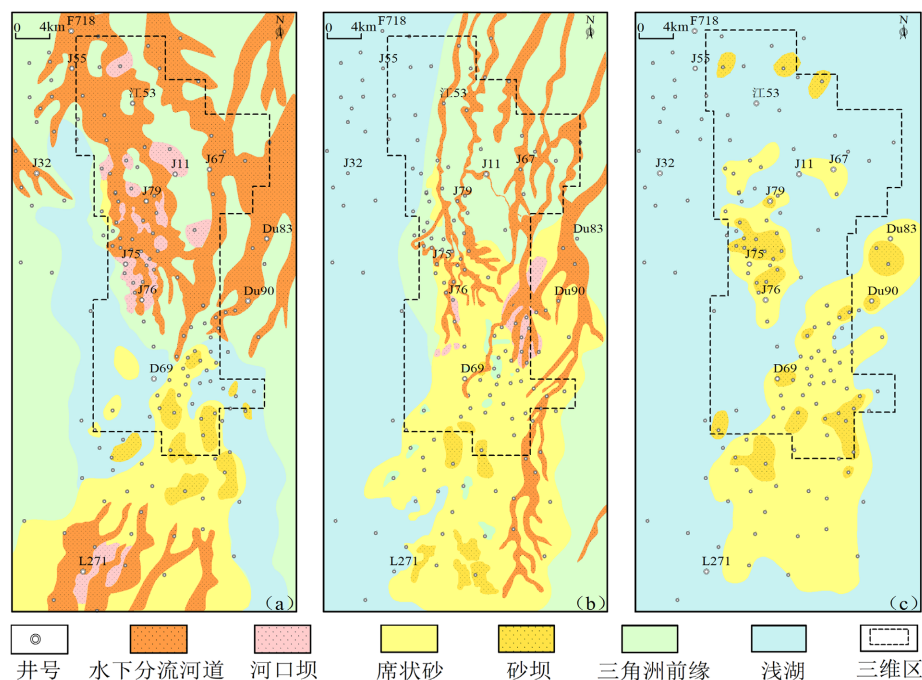


Figure 4. RMS amplitude and sedimentary facies interpretation based on S_1 oil layer in Jiangqiao-Alaxin area
图 4. 江桥 - 阿拉新地区 S_1 油层组均方根振幅属性及沉积解释

大面积分布(黄色-红色区域)代表砂体厚度较薄或薄层的砂泥互层,一般为分流间湾或席状砂沉积,通过对工区西北侧大面积分布的弱振幅区(蓝色区域)探井的沉积微相分析表明,该区以泥岩沉积为主,夹薄层粉砂岩浅湖沉积,属性形态为片状。因此,利用属性识别沉积环境,应当遵循从岩心相-测井相-地震相(强调属性平面形态与属性强弱)的综合分析过程。

4.2. 沉积微相展布特征

利用地震属性结合岩心相、单井相及物源区重矿物分布特征等,以油层组为单元,编制了江桥-阿拉新地区 S_{II+III} 、 S_I 、 S_0 共 3 张沉积微相图(图 5(a)~(c)),明确了不同时期沉积微相分布规律及演化特征,有力的支撑研究区勘探目标优选。



(a) S_{II+III} 油层组沉积微相图; (b) S_I 油层组沉积微相图; (c) S_0 油层组沉积微相图。

Figure 5. Sedimentary microfacies map of different oil layer groups of Saertu oil layer in Jiangqiao-Alaxin area
图 5. 江桥-阿拉新地区萨尔图油层不同油层组沉积微相图

(1) S_{II+III} 沉积期

S_{II+III} 沉积期研究区主要受西北部和北部物源沉积体系控制,形成西北部短物源三角沉积体系和北部三角洲沉积体系。三角洲平原相带分布在工区北部,在 F718 井以南地区为三角洲前缘-浅湖相带,水下分流河道砂体呈近南北向,在 J55 井区、J79 井区及 J67 井区呈网状叠加,河道分叉处发育河口坝沉积, J79 井区见多期河道复合叠加砂体,厚度一般为 6~12 m,大部分河道宽度 1200~1800 m。工区东侧 D83-D90 受北部物源影响,发育北东南西向厚层分流河道沉积,砂体厚度一般 5~8 m。J75 井区西侧及 D69 井区主要为滨浅湖沉积,发育浅湖砂坝及席状砂,砂体厚度 2~5 m。南部的 L271 井区发育短物源三角洲前缘沉积(图 5(a))。

(2) S_I 沉积期

S_{II+III} 沉积晚期,由于湖平面快速上升,形成厚度 10~15 m 稳定分布的湖相泥岩,即 S_I 、 S_0 夹层,之后湖平面发生短暂的下降,西北部物源供应减弱,研究区主要受北部物源沉积体系控制,形成大面积分

布的三角洲前缘 - 滨浅湖沉积。在 J55-J32 井一线以西地区为浅湖沉积, 以东地区为三角洲前缘沉积, 水下分流河道呈透镜状、枝状、条带状分布, 河道分叉明显, 延伸较远, 河道砂体厚度一般 3~8 m, 宽度 200~800 m, 岩性以灰色细砂岩、粉砂岩为主, 偶夹薄层泥质沉积, 发育槽状交错层理、波状层理及平行层理。在 D69-L271 井区主要为席状砂沉积, 局部发育浅湖砂坝沉积(图 5(b))。

(3) S_0 沉积期

S_0 沉积时期, 由于湖侵规模和强度增强, 导致湖平面快速上升, 研究区大面积沦为浅湖 - 半深湖泥岩沉积, 局部发育席状砂及浅湖砂坝沉积, 在 Du83-L271 井区一带席状砂及砂坝沉积范围较大, 砂体厚度为 1~3 m, 三角洲前缘亚相仅在研究区以北地区发育(图 5(c))。

综上所述, 研究区砂体沉积不仅受西北部和北部物源体系的控制, 还受湖平面升降及湖岸线变化等因素的影响。从早期至晚期即 S_{II+III} - S_I - S_0 沉积时期, 研究区发生了三次快速湖侵和缓慢湖退的沉积演化过程, 湖侵的规模和范围依次增强, 使得区中砂体规模、连续性及厚度向上逐渐变差。

5. 沉积微相与油气关系

勘探证实, 水下分流河道、河口坝砂体是区中最有利储集砂体类型, 其次为席状砂和砂坝砂体。该区三角洲前缘砂体具有埋藏浅, 埋深一般在 400~800 m, 压实作用弱的特点。岩石薄片资料表明, 萨尔图油层以原生粒间孔、粒间溶蚀扩大孔为主, 其孔隙度一般在 15%~35%之间, 平均为 29.8%; 空气渗透率一般分布在 40~1800 mD, 平均为 960.2 mD, 属中高孔中高渗储层。如 J77 井 S_{II+III} 油层组水下分流河道砂体, 油层厚度 6.1 m, 孔隙度 29.6%, 蒸汽吞吐日产油 51.84 t/d; 如 J75-2 井 S_I 油层组河口坝砂体, 油层厚度 3.2 m, 孔隙度 31%, 日产油 4.6 t/d。通过统计发现太厚砂体常为水层, 砂岩与地层厚度比 20%~50%最为有利, S_I 油层组河道两侧泥岩较发育, 整体圈闭条件和含油性均好于 S_{II+III} 油层组。并非所有砂体发育区都能形成油藏, 主要取决于砂体与断裂、构造位置的匹配关系, 储盖配置及圈闭条件等。

已有研究表明, 西斜坡区油气主要来自齐家 - 古龙凹陷青山口组烃源岩[6], 该套源岩具有厚度大、有机质丰度高、生油母质类型好特点, 生成大量的油气, 通过断裂、砂体和不整合面呈网状向西运移, 为该区油气成藏提供了充足的物质基础。区内广泛分布的三角洲前缘砂体厚度大, 延伸距离远, 物性好, 为油气聚集提供了良好的储层条件。上部分布着稳定且厚度大的嫩一、二段湖相泥岩, 具有良好封盖作用, 使得萨尔图油层垂向上具备良好的储盖组合, 为区内主要油气产层。

6. 结论

(1) 萨尔图油层主要受北部及西北部物源体系影响, 发育浅水三角洲沉积体系, 研究区以三角洲前缘亚相沉积为主, 包括水下分流河道、分流间湾、河口坝及席状砂等沉积微相类型。并确定该区中最有利储层类型为水下分流河道和河口坝砂体。

(2) 通过系统编制江桥 - 阿拉新地区萨尔图油层各油层组沉积微相图, 明确了不同时期沉积微相演化特征、砂体展布格局及发育规模, 为勘探目标评价及开发井网部署提供了地质依据。

参考文献

- [1] 侯启军, 冯志强, 冯子辉, 等. 松辽盆地陆相石油地质学[M]. 北京: 石油工业出版社, 2009: 10-200.
- [2] 付晓飞, 王朋岩, 吕延防, 等. 松辽盆地西斜坡构造特征及对油气成藏的控制[J]. 地质科学, 2007, 42(2): 209-222.
- [3] 张庆石, 于丹, 李君文. 松辽盆地西部斜坡萨尔图油层油气分布特征及控制因素[J]. 大庆石油地质与开发, 2013, 32(5): 17-21.
- [4] 张庆石. 三角洲前缘砂体油气成藏主控因素及分布规律研究——以松辽盆地西部斜坡区萨尔图油层为例[D]:

- [博士学位论文]. 成都: 成都理工大学, 2014: 15-55.
- [5] 胡晓兰, 樊太亮, 张晓龙, 等. 松辽盆地北部西斜坡姚家组 S_{II+III} 砂组物源分析及沉积微相[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2011, 41(3): 647-656.
- [6] 张维琴, 杨玉峰. 松辽盆地松辽盆地西部斜坡油气来源与运移研究[J]. 大庆石油地质与开发, 2005, 24(1): 17-19.
- [7] 张银国, 陈建文, 厉玉乐. 松辽盆地北部泰康-西超地区萨尔图油层组沉积相特征分析及目标预测[J]. 海洋地质动态, 2010, 26(8): 15-22.
- [8] 徐德英, 梁江平, 辛仁臣. 松辽盆地北部西斜坡嫩江组一段 S_1 砂组沉积体系分析[J]. 石油天然气学报(江汉石油学院学报), 2011, 33(6): 11-15.
- [9] 辛仁臣, 杨波, 王树恒, 等. 松辽盆地富拉尔基油田油气输导体系[J]. 石油勘探与开发, 2014, 41(5): 554-562.
- [10] 姜传金, 扈玖战. 松辽盆地北部胡吉吐莫北地区萨尔图油层河道砂体地震识别方法[J]. 大庆石油地质与开发, 2020, 39(2): 120-124.
- [11] 史忠生, 王天琦, 王建功, 等. 地震沉积学在不同地质条件下砂体识别中的应用——以松辽盆地西斜坡和长垣地区为例[J]. 岩性油气藏, 2012, 24(3): 5-10.
- [12] 刘化清, 苏明军, 倪长宽, 等. 薄砂体预测的地震沉积学研究方法[J]. 岩性油气藏, 2018, 30(2): 1-11.