



大庆油田 B90 井区 S₁ 油层组沉积微相研究

赵文同¹, 范广娟¹, 宋 鑫², 刘培雨³, 王井向⁴, 董 婷¹, 赵延南¹, 刘文庆⁵

1. 东北石油大学 地球科学学院, 黑龙江 大庆 163318; 2. 大庆油田有限责任公司 采气分公司(储气库分公司), 黑龙江 大庆 163453; 3. 中国石油长庆油田公司 第九采油厂, 陕西 榆林 718600; 4. 北京蓝海智信能源技术有限公司, 北京 100101; 5. 西部钻探工程有限公司 井下作业公司, 新疆 克拉玛依 834000

摘 要: 大庆油田 B90 井区 S₁ 油层组具有较大的油气储量, 前人对其沉积微相研究不够精细, 制约了进一步勘探开发。为了提高挖潜效率, 采用封闭骨架剖面控制对比的方法开展地层精细划分, 构建了由 5 条横剖面和 5 条纵剖面组成的横跨全区的封闭骨架剖面, 建立 S₁ 油层组高频等时地层格架。基于岩心、测井等资料对 5 个沉积时间单元沉积微相进行研究。结果表明: 研究区发育窄小孤立型水下定分流河道和面积席状砂沉积, 席状砂主要控因是河流作用和波浪改造作用; S₁ 油层组发育三角洲前缘亚相, 水下定分流河道、席状砂主体、席状砂、席状砂内缘、席状砂外缘等微相; S₁ 油层组沉积时期是一个小幅快速水退到水进的演化序列。

关键词: 沉积微相; 萨尔图油层; 三角洲前缘; 测井微相模式; 松辽盆地

Sedimentary microfacies of S₁ oil formation in B90 well block of Daqing Oilfield

ZHAO Wen-tong¹, FAN Guang-juan¹, SONG Xin², LIU Pei-yu³, WANG Jing-xiang⁴,

DONG Ting¹, ZHAO Yan-nan¹, LIU Wen-qing⁵

1. College of Geosciences, Northeast Petroleum University, Daqing 163318, Heilongjiang Province, China; 2. Gas Production Branch (Gas Storage Branch) of Daqing Oilfield Co., Ltd., Daqing 163453, Heilongjiang Province, China; 3. No. 9 Oil Production Plant, Changqing Oilfield Branch, PetroChina, Yulin 718600, Shaanxi Province, China; 4. Beijing Lanhai Zhixin Energy Technology Co., Ltd., Beijing 100101, China; 5. Underground Operation Company, Western Drilling Engineering Co., Ltd., Karamay 834000, Xinjiang Autonomous Region, China

Abstract: The S₁ oil formation in the B90 well block of Daqing Oilfield has large oil-gas reserves. However, the undetailed previous studies on its sedimentary microfacies restricted further exploration and development. To improve the potential exploitation efficiency, this study uses the closed skeleton profile control correlation method for fine stratigraphic division, constructs the closed skeleton profiles across the whole area with 5 transverse profiles and 5 longitudinal profiles, and establishes the high-frequency isochronous stratigraphic framework of S₁ oil formation. Besides,

收稿日期: 2023-10-13; 修回日期: 2023-12-26. 编辑: 黄欣.

基金项目: 国家自然科学基金项目“基于高密开发井网的大型河控三角洲水下曲-直河型转化机制及构型变化研究”(42002154); 黑龙江省自然科学基金项目“多级边界约束的曲流河三维构型及其对剩余油分布控制研究”(LH2024-D009).

作者简介: 赵文同(1996—), 男, 硕士研究生, 研究方向为油气田开发地质, 通信地址 黑龙江省大庆市龙凤区高新技术开发区发展路 184 号, E-mail/806706575@qq.com

通信作者: 范广娟(1981—), 女, 博士, 副教授, 博士生导师, 主要从事油气储层沉积学、非常规油气地质学等研究工作, 通信地址 黑龙江省大庆市龙凤区高新技术开发区发展路 184 号, E-mail/fangj99@163.com

引用格式: 赵文同, 范广娟, 宋鑫, 刘培雨, 王井向, 董婷, 赵延南, 刘文庆. 大庆油田 B90 井区 S₁ 油层组沉积微相研究[J]. 地质与资源, 2025, 34(2): 192-199, 176.

Zhao W T, Fan G J, Song X, Liu P Y, Wang J X, Dong T, Zhao Y N, Liu W Q. Sedimentary microfacies of S₁ oil formation in B90 well block of Daqing Oilfield [J]. Geology and Resources, 2025, 34(2): 192-199, 176.

the sedimentary microfacies of 5 sedimentary time units are studied based on core and well logging data. The results show that narrow and isolated underwater distributary channels and large area of sheet sand deposits are developed in the area, and the sheet sand is mainly controlled by stream action and wave modification. The delta front subfacies are developed in the S₁ oil formation, with microfacies such as underwater distributary channel, sheet sand body, sheet sand, inner edge of sheet sand and outer edge of sheet sand. The sedimentary period of the S₁ oil formation is a small rapid evolutionary sequence from water regression to water transgression.

Key words: sedimentary microfacies; Sartu oil formation; delta front; logging microfacies model; Songliao Basin

0 前言

松辽盆地是中国大型新生代陆相沉积盆地. 萨尔图油田位于松辽盆地中央凹陷区北部的大庆长垣^[1](图 1),自下而上发育青山口组、姚家组、嫩江组 3 套含油气地层,发育萨尔图、葡萄花、高台子 3 个油层,属松辽盆地拗陷期北部最大沉积体系——河流-三角洲沉积体系^[2-3]. 本研究目的层为嫩江组一段底部的萨 I(S₁)油层组,是在湖侵末期的背景下形成的^[4],上部与嫩江组一段顶部的萨零油层组相邻,下部与姚家组二、三段顶部的 S_{II} 油层组相邻.

已有研究认为 S₁油层组为三角洲外前缘亚相,只发育席状砂沉积,不发育水下分流河道. 随着勘探开发的深入,人们对地下储层有了更精细的认识. 李占东等^[5]通过井-震结合沉积微相研究重新落实了萨尔图油层储层砂体连通情况,发现 S₁油层组河道连续性、储层、含油性相对 S_{II} 和 S_{III} 油层组总体较差,但也有不小的储量规模. 总体来说,在 S₁油层组中识别出水下分流河道砂体,对萨尔图油层沉积微相研究有了新的认识. 文慧俭等^[6]通过岩心、测井数据等资料分析出 S₁油层组具明显的河道特征,存在水下分流河道,

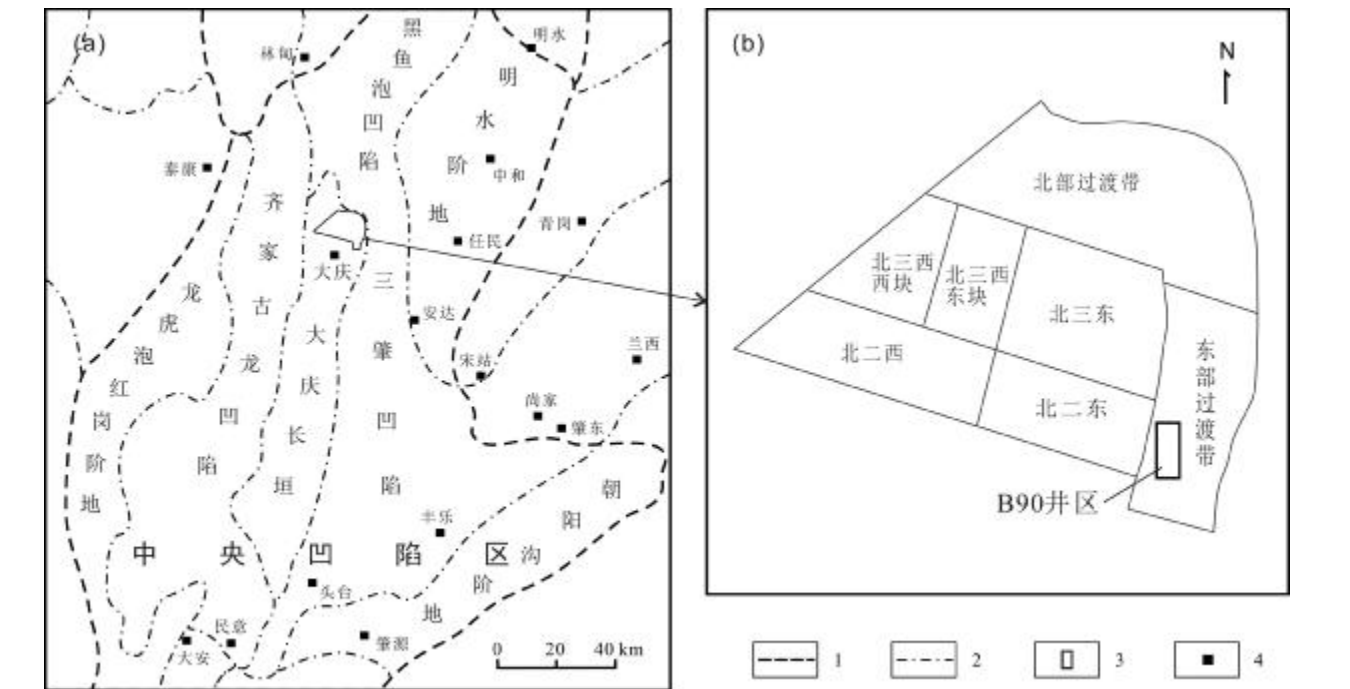


图 1 研究区构造位置图
(据文献[14]修改)

Fig. 1 Tectonic location map of the study area
(Modified from Reference [14])

a—萨北开发区位置(North Sartu development area); b—B90 井区位置(B90 well block); 1—一级构造界线(first-order tectonic boundary); 2—二级构造界线(second-order tectonic boundary); 3—研究区(study area); 4—地名(place name)

应为三角洲内前缘亚相.此外,前人还从沉积、构造、开发等方面在萨尔图油田做了大量的研究工作^[7-14].但关于萨尔图油田北部开发区东部过渡带 S₁油层组沉积微相研究相对较少,以往储层研究多是针对西部纯油区砂体,其研究成果不能反映东部过渡带的储层发育特征.因此,有必要开展针对性研究.本次研究综合 B90 井区测井、岩心等资料,对研究区 S₁油层组进行了地层对比与划分,把 S₁油层分为 5 个沉积时间单元.开展沉积特征分析,确定沉积环境和微相类型,建立测井微相模式,明确沉积微相展布特征,总结 S₁油层组垂向沉积演化规律,以期油田后期的勘探和开发提供地质资料支撑.

1 研究区概况

B90 井区位于松辽盆地中央凹陷区北部,大庆长垣二级构造单元北部,萨尔图油田北部开发区东部过渡带(图 1).地势北高南低,东缓西陡,地层倾角 2~3°,断层不发育,构造较为稳定.储层以细砂岩、粉砂岩、泥质粉砂岩为主,胶结物主要为泥质,以砂泥岩互层为生储盖的组合方式.油藏海拔高度 150 m 左右,油层

深度 900~1 200 m^[15].研究区内共有 186 口井,井距平均 110 m,井区面积约为 3.3 km²,井网密度为 56 口/km²,属于密井网开发区.

2 地层划分和对比

地层划分与对比是沉积微相研究的基础,其精细度可直接影响沉积微相分析的准确性,而掌握沉积微相分布情况可更好地认识全区沉积演变规律^[16-18].为了实现全区精细对比,本次采用“封闭骨架剖面控制对比”方法,即在整个研究区优选多条平行物源方向的纵剖面 and 垂直物源方向的横剖面构成封闭骨架大剖面^[19].通过对比分析研究区 186 口井的测井曲线以及砂岩数据,优选出分层标准井.以分层标准井为核心,构建研究区 5 横 5 纵封闭骨架大剖面.垂向上一级标志层控制目的层的顶底界限,横向上以骨架剖面为路线,追踪二级标志层,寻找参照层,按照“砂岩组→小层→沉积单元”顺序逐级精细对比、逐级闭合验证,建立 S₁油层组高频等时地层格架.在原有模糊的小层划分基础上将 S₁油层组划分为 5 个沉积时间单元,将其中 S₁₄ 分为 S_{14+5a} 和 S_{14+5b} 两个沉积时间单元(图 2).

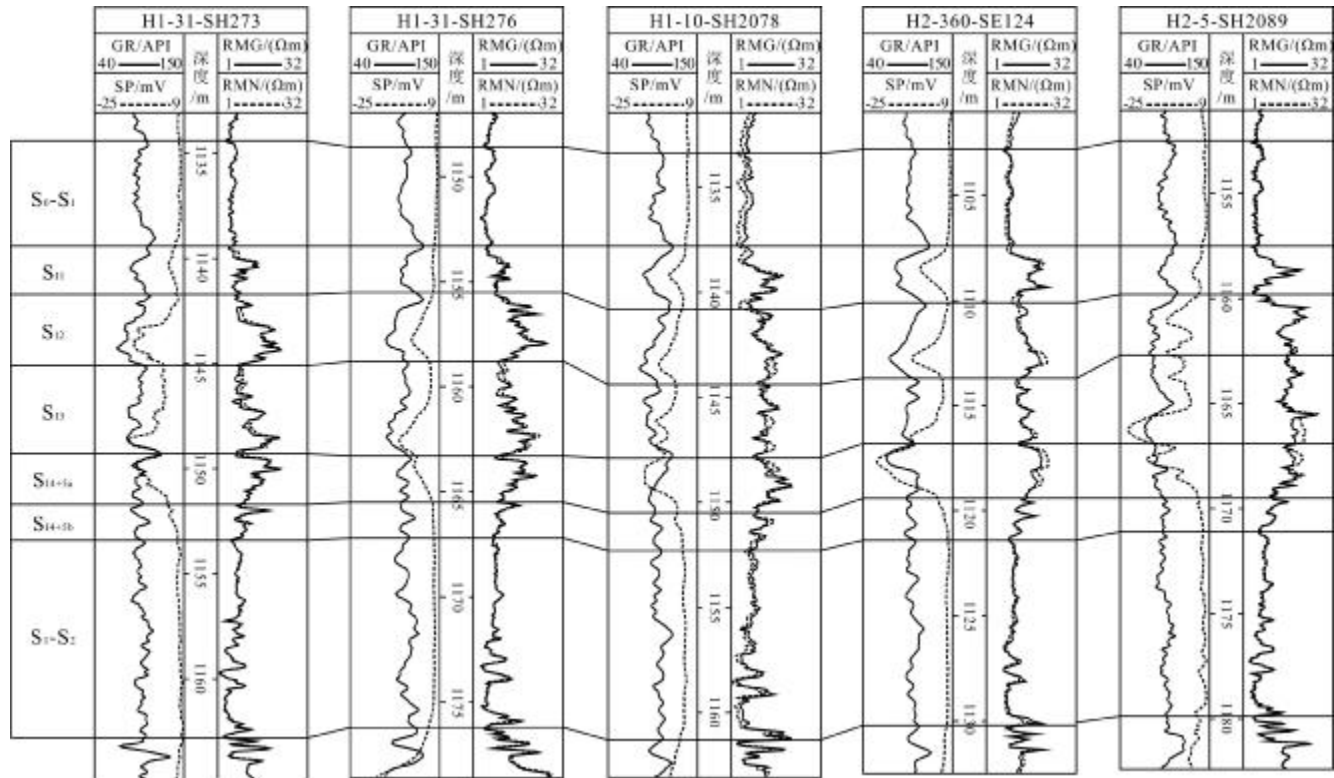


图 2 研究区典型骨架剖面图

Fig. 2 Typical skeleton profiles of the study area

S_{11} 时间单元在岩性上以薄层粉砂岩为主,其次为细砂岩、粉砂质泥岩、泥质粉砂岩和泥岩;测井曲线特征为指状突进或齿形弧状,高伽马和低电阻率的特征比较明显。 S_{12} 时间单元在岩性上以粉砂岩为主,其次为细砂岩、粉砂质泥岩、泥质粉砂岩和泥岩;测井曲线特征为上部有小幅度的尖峰,下部为高幅度的尖峰。 S_{13} 时间单元在岩性上以细砂岩、粉砂岩为主,其次为粉砂质泥岩、泥质粉砂岩和泥岩;测井曲线特征为顶部发育有明显的突-渐变界面,底部为中高幅度的多指状特征,厚度发育稳定,约 3~5 m。 S_{14+5a} 时间单元在岩性上以粉砂岩为主,其次为细砂岩、粉砂质泥岩、泥质粉砂岩和泥岩;测井曲线特征为中高幅度的漏斗状或箱型。 S_{14+5b} 时间单元在岩性上以泥质粉砂岩和粉砂质泥岩为主,其次为粉砂岩和泥岩;测井曲线特征为自然伽马呈现低幅度齿状或微齿状,自然电位为平滑近直线状;电阻率曲线表现为低幅微齿状。

研究区 S_1 油层组顶底界面都是层厚较大的泥岩夹层沉积,在整个大庆油田都有发育,可以作为全区对比与划分的一级标志层。其中, S_1 油层组顶界面是萨零—萨 I 之间夹层 S_0-S_1 ,其岩性特征表现为黑色泥岩,含介形虫,电性特征表现为两个平缓的半圆形突起。 S_1 油层组底界面是萨 I—萨 II 之间夹层 S_1-S_2 ,其岩性特征表现为深灰色泥岩,电性特征表现为曲线上部平缓,下部出现 4 个突起的小尖。通过识别 S_0-S_1 和 S_1-S_2 两个夹层可准确控制研究区 S_1 油层组顶底界面。在沿骨架剖面对比的过程中主要选取了 S_{11} 作为二级标志层, S_{13} 作为参照层。 S_{11} 电性特征为指状突进或齿形弧状,都为高伽马和低电阻率的特征,全区稳定发育,容易识别出来。 S_{13} 电性特征为中—高幅度,低幅度差,多为指状特征,厚度发育稳定,约 3~5 m。统层划分时应遵循由上至下,逐级对比的原则,一级标志层划分出 S_1 油层组,二级标志层划分出 S_1 油层组内部容易划分出来的层段,参照层划分出复杂层段,从而达到全区的统层划分的目的。

3 沉积微相研究

3.1 沉积环境

根据研究区地质背景、岩心和测井等资料分析,研究区 S_1 油层组具有以下特征:1)岩性主要为细砂岩、粉砂岩,其次为粉砂质泥岩、泥质粉砂岩和泥岩。泥岩

主要呈灰色、深灰色和灰绿色,砂岩中有泥砾存在,主要为灰色和灰绿色,为弱氧化—弱还原环境(图 3a—c)。2)岩心中砂岩发育冲刷面、水平层理、波状层理等沉积构造(图 3d—f)。3)在测井曲线上发现具正韵律、底部冲刷面、底部滞留沉积及河道垂向层序等河道特征。以上特征表明研究区 S_1 油层组为三角洲前缘亚相沉积。根据区域沉积特征将三角洲前缘亚相细分为水下分流河道、席状砂主体、席状砂、席状砂内缘、席状砂外缘 5 种沉积微相。

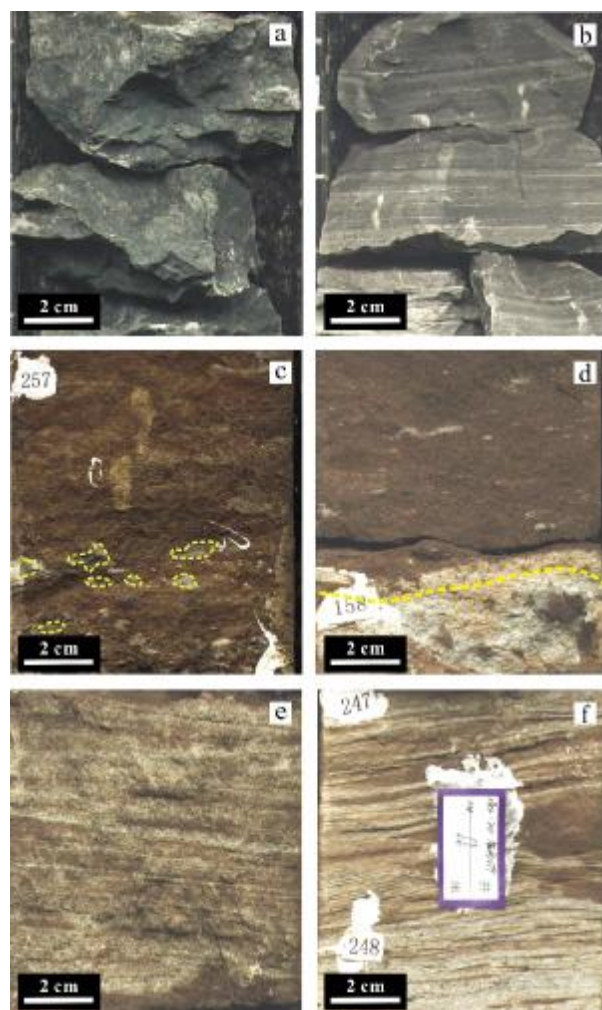


图 3 研究区岩心典型沉积特征

Fig. 3 Typical sedimentary characteristics of cores in the study area

a—灰绿色泥岩 (gray-green mudstone); b—深灰色泥岩 (dark gray mudstone); c—灰绿色泥砾 (gray-green mud gravel); d—冲刷面 (erosion surface); e—平行层理 (parallel bedding); f—波状层理 (wavy bedding)

水下分流河道:岩性以细砂岩和粉砂岩为主,泥质较少。在测井曲线上为钟形或箱形,具有典型正韵律,

单期河道厚度为 1~3 m,底部具有冲刷面,向上发育平行层理、波状层理、交错层理等.

席状砂主体:岩性以粉砂岩和泥质粉砂岩为主,通常与泥岩渐变接触形成砂泥薄互层沉积,泥岩颜色为还原环境的深灰色或灰色.发育有交错层理、波状层理等.测井曲线表现为明显高幅漏斗状,顶部突变,底部渐变.

席状砂:岩性以泥质粉砂岩和粉砂岩为主,通常与泥岩渐变接触形成砂泥薄互层沉积,泥岩颜色为还原环境的深灰色或灰色.发育有交错层理、波状层理等.测井曲线表现为明显中幅指状.

席状砂内缘:岩性以泥质粉砂岩为主,泥岩颜色为还原环境的深灰色或灰色.发育有波状交错层理、波状层理等.测井曲线表现为中幅漏斗状.

席状砂外缘:岩性以泥质粉砂岩为主,泥岩颜色为还原环境的深灰色.发育有波状层理等.测井曲线表现为低幅光滑微齿状.

3.2 测井微相模式建立

在前人研究的基础上^[20],精细观察取心井岩心和 186 口井测井曲线,优选了自然伽马(GR)、自然电位(SP)、微电极(RMG)、微梯度(RMN) 4 种测井曲线,建

立了 S₁油层组 5 种沉积微相的测井微相模式(图 4).

3.3 沉积微相平面展布特征

三角洲前缘亚相处于水面以下,受河水与湖水的双重作用,处于剧烈交锋地带.受河水与湖水的筛选,该地区沉积的砂体分选较好,砂质较纯,孔渗性较好,是三角洲沉积的活跃地带,也是油气富集的有利区域^[21].

在岩心观察确定沉积微相类型和优选测井曲线建立测井微相模式的基础上,通过逐井、逐层进行微相识别,结合微相平面组合原理,刻画了研究区 5 个沉积时间单元平面沉积微相展布图(图 5).研究区主要发育窄小孤立型水下分流河道和大面积席状砂沉积.通过席状砂的分布情况,得出席状砂主要控因有河流作用和波浪改造作用两种.以下根据席状砂主控因素进行分类描述.

3.3.1 河控席状砂沉积

S₁₁、S₁₂ 和 S₁₃ 沉积时间单元为三角洲内前缘亚相,由于河流作用强和波浪改造作用弱,席状砂主要分布在水下分流河道前缘及侧缘,以席状砂为主,席状砂主体次之,具顺源河控沉积特征.

研究区内发育两条水下分流河道,为干支分叉、窄

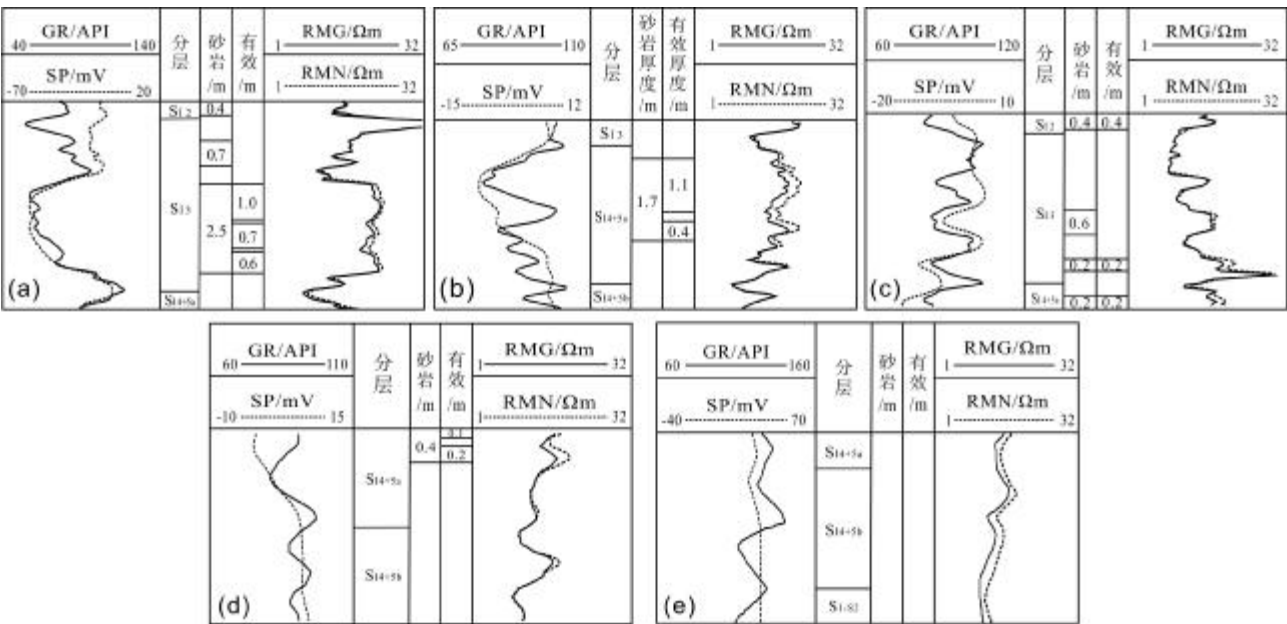


图 4 研究区测井微相模式

Fig. 4 Microfacies models in wells of the study area

a—水下分流河道(underwater distributary channel); b—席状砂主体(main body of sheet sand); c—席状砂(sheet sand); d—席状砂内缘(inner edge of sheet sand); e—席状砂外缘(outer edge of sheet sand)

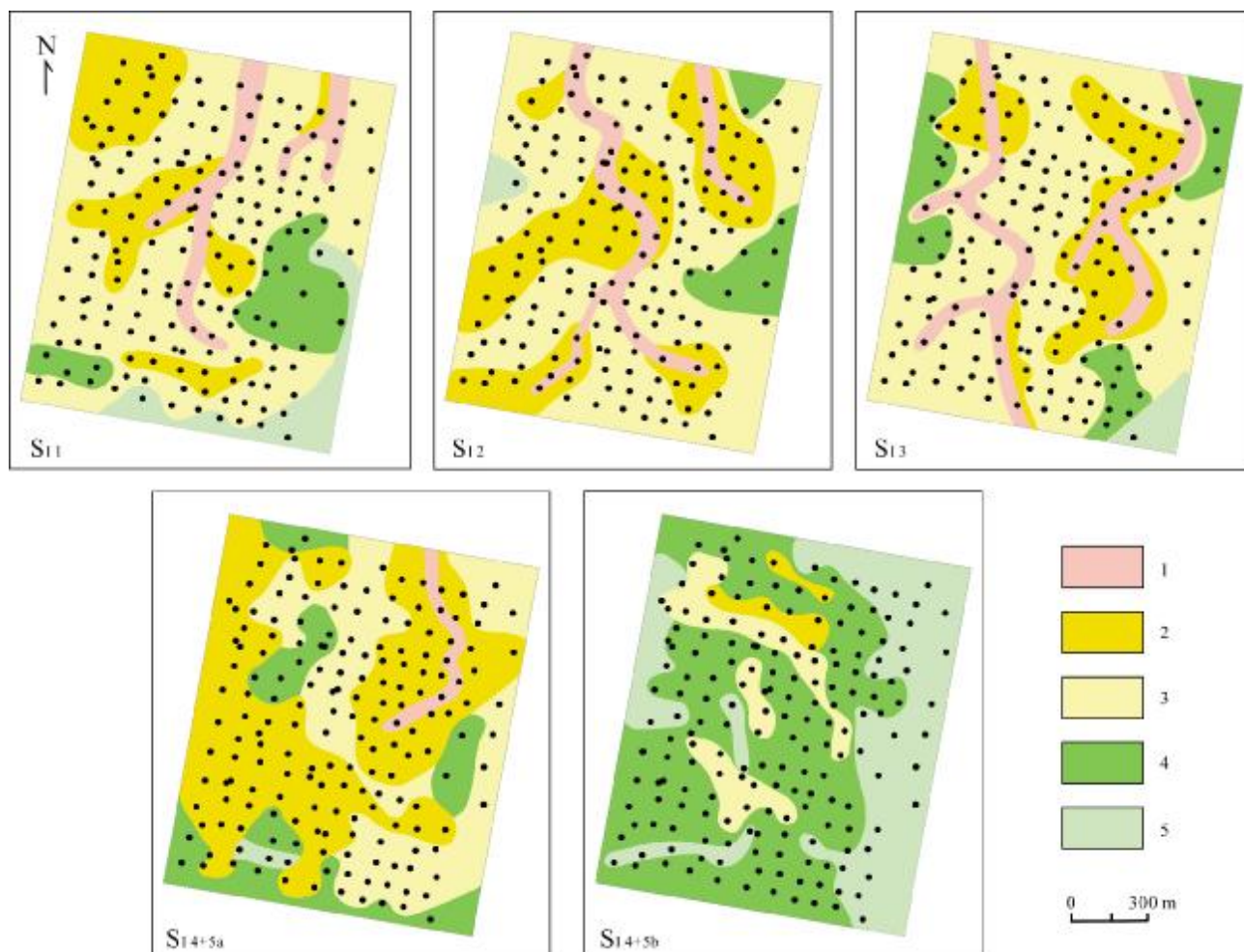


图5 各沉积时间单元平面沉积微相展布图

Fig. 5 Plane distribution map of sedimentary microfacies in each sedimentary time

1—水下分流河道 (underwater distributary channel); 2—席状砂主体 (main body of sheet sand); 3—席状砂 (sheet sand); 4—席状砂内缘 (inner edge of sheet sand); 5—席状砂外缘 (outer edge of sheet sand)

小孤立型的小型河道,发育 1~2 条分支,河道干流宽度为 80~150 m,分支宽度为 48~95 m.河道砂岩厚度小于 2 m,河道整体由北向南展布.河道外发育大面积片状席状砂,面积约占整个研究区的 60%~80%.河道前缘和侧缘都发育大面积条带状席状砂主体,呈南北向顺源分布,围绕河道发育,具明显河控特征.席状砂内缘和席状砂外缘在边缘地区小范围发育.

3.3.2 河浪共控席状砂沉积

S_{14+5a} 沉积时间单元为三角洲内前缘亚相,是内前缘亚相向外前缘亚相过度的时期.由于河流作用减弱和波浪改造作用增强,席状砂不仅分布在水下分流河道前缘及侧缘,也可远离河道呈坨状分布,以席状砂主体为主,席状砂次之,具有顺源河控、垂源浪控沉积特征.

研究区内共识别出 1 条窄小孤立、没有分支的水下分流河道.此外发育大面积席状砂,约占 90%.研究区内发育东、西两部分大面积坨状席状砂主体:东部沿着水下分流河道发育,前缘和侧缘都有发育,具明显的河控特征;西部面积较大呈坨状斜交于物源方向,研究区西部没有河道经过,且大部分席状砂主体测井曲线具反韵律的特征,砂岩厚度较大,具有明显的浪控特征.研究区南部、中部及北部发育 5 处席状砂内缘.其中,北部和中部席状砂内缘呈坨状和条带状顺物源分布,南部席状砂内缘呈坨状和片状垂物源分布.南部小区域发育 1 处呈条带状垂源分布的席状砂外缘.大量席状砂主体和非主体席状砂垂直或斜交物源方向分布,是波浪反复作用的结果.

3.3.3 浪控席状砂沉积

S_{14+5b} 沉积时间单元为三角洲外前缘亚相,由于河流作用弱和波浪改造作用强,以席状砂主体为中心,向周围依次渐变为席状砂、席状砂内缘、席状砂外缘,具浪控沉积特征。

研究区 S_{14+5b} 沉积时间单元没有识别出水下分流河道,全部为席状砂沉积。中部区域发育条带状的席状砂主体和席状砂,呈近东西向垂源分布,席状砂主体沿物源方向逐渐消失。还发育了大面积的席状砂内缘和席状砂外缘沉积,呈大面积团块状或带状垂源分布,大部分席状砂内缘和席状砂外缘测井曲线具反韵律的特征,具有明显的浪控特征。

3.4 垂向沉积演化特征

由于研究区层少且厚度小,其演化规律性不明显,所以本文结合 S_1 油层上下两个一级标志层 S_0-S_1 夹层和 S_1-S_2 夹层来研究其垂向演化规律。 S_0-S_1 夹层和 S_1-S_2 夹层都发育前三角洲相,深湖-半深湖微相,岩性以泥岩为主。

S_1-S_2 时期到 S_{13} 时期是一个快速水退演化阶段。这个时期内湖盆水量不断减少,湖盆可容纳沉积空间逐渐变小,发育前积地层,湖岸线慢慢远离陆地,河流逐渐发育并向湖盆侵入。研究区内沉积产物粒度由细逐渐变粗,由前三角洲相逐渐演变为三角洲相,此时三角洲以建设型为主,三角洲体系不断增大。

S_{12} 到 S_0-S_1 时期是一个快速水进演化阶段。这个阶段内湖盆水量不断增多,湖盆可容纳沉积空间逐渐变大,湖盆逐渐发育并向陆地侵入。研究区内沉积产物粒度由粗逐渐变细,由三角洲相逐渐演变为前三角洲相,三角洲体系不断减小直至消失。具体反映为,河流 S_1-S_2 、 S_{14+5b} 时期不发育, S_{14+5a} 时期开始发育窄小孤立的水下分流河道,演化到 S_{13} 时期发育横贯整个研究区的河流, S_{13} 之后河流逐渐萎缩,到 S_0-S_1 时期又全部消退。这些时期的变化都揭示研究区 S_1 油层组是一个小幅快速水退到水进的沉积演化序列(图 6)。

4 结论

1) 采用封闭骨架剖面控制对比的方法,通过 5 条横剖面和 5 条纵剖面组成的横跨全区的封闭骨架大剖面的综合分析,建立了 S_1 油层组沉积时间单元级别的高频等时地层格架。

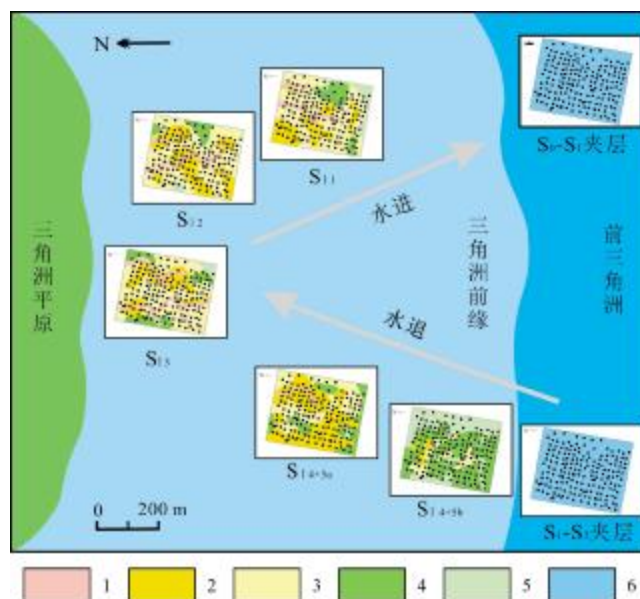


图 6 垂向沉积演化图

Fig. 6 Vertical sedimentary evolution map

1—水下分流河道 (underwater distributary channel); 2—席状砂主体 (main body of sheet sand); 3—席状砂 (sheet sand); 4—席状砂内缘 (inner edge of sheet sand); 5—席状砂外缘 (outer edge of sheet sand); 6—湖泊相 (lacustrine facies)

2) 研究区 S_1 油层组主要发育三角洲前缘亚相,包括水下分流河道、席状砂主体、席状砂、席状砂内缘和席状砂外缘 5 种沉积微相。优选了自然伽马 (GR)、自然电位 (SP)、微电极 (RMG)、微梯度 (RMN) 等 4 种测井曲线,建立了 S_1 油层 5 种沉积微相的测井微相模式。

3) 研究区主要发育窄小孤立型水下分流河道和大量席状砂沉积。席状砂主要控因是河流作用和波浪改造作用。

4) S_1 油层组沉积时期是一个小幅快速水退到水进的沉积演化序列。

参考文献 (References):

- [1] 侯启军, 冯志强, 冯子辉. 松辽盆地陆相石油地质学[M]. 北京: 石油工业出版社, 2009.
Hou Q J, Feng Z Q, Feng Z H. Onshore petroleum geology of Songliao Basin[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2009. (in Chinese)
- [2] 赵翰卿, 付志国, 吕晓光, 等. 大型河流-三角洲沉积储层精细描述方法[J]. 石油学报, 2000, 21(4): 109-113.
Zhao H Q, Fu Z G, Lü X G, et al. Methods for detailed description of large fluvial-delta depositional reservoir[J]. Acta Petrolei Sinica, 2000, 21(4): 109-113.

- [3]孙海雷. 松辽盆地北部姚家组二三段沉积特征及演化[J]. 西部探矿工程, 2013, 25(12): 147-151.
Sun H L. Sedimentary characteristics and evolution of the 2nd and 3rd members of the Yaojia Formation in the northern Songliao Basin [J]. West-China Exploration Engineering, 2013, 25(12): 147-151. (in Chinese)
- [4]李玉兰, 陈国俊, 吕成福, 等. 松辽盆地南部月亮泡地区萨尔图油层 I 砂组沉积微相研究及有利区带预测[J]. 沉积学报, 2008, 26(2): 265-270.
Li Y L, Chen G J, Lü C F, et al. Sedimentary microfacies study and prediction of favorable areas of sandstone Group I of Sartu oil-bearing layer at Yueliangpao area in the south of Songliao Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2008, 26(2): 265-270.
- [5]李占东, 赵伟, 李阳, 等. 开发地震反演可行性研究及应用——以大庆长垣北部油田为例[J]. 石油与天然气地质, 2011, 32(5): 797-806.
Li Z D, Zhao W, Li Y, et al. Feasibility study and application of development seismic inversion: A case study from northern Changyuan oilfield of Daqing area [J]. Oil & Gas Geology, 2011, 32(5): 797-806.
- [6]文慧俭, 范广平, 马世忠, 等. 大庆萨尔图油田北部萨一油层组沉积微相再认识[J]. 科技导报, 2012, 30(7): 39-43.
Wen H J, Fan G P, Ma S Z, et al. Study of sedimentary microfacies of Sayi Reservoir in North Saertu Oil Field [J]. Science & Technology Review, 2012, 30(7): 39-43.
- [7]薛欣宇, 刘宗堡, 张云峰, 等. 三角洲外前缘亚相储层井间连通性定量评价——以大庆长垣萨尔图油田南二区东部为例[J]. 石油学报, 2017, 38(11): 1275-1283, 1319.
Xue X Y, Liu Z B, Zhang Y F, et al. Quantitative evaluation on the interwell connectivity of reservoirs in delta outer-front subfacies: A case study of the eastern Nan'er block, Saertu oilfield, Daqing placanticline [J]. Acta Petrolei Sinica, 2017, 38(11): 1275-1283, 1319.
- [8]刘淑芬, 冯耀国, 巩磊, 等. 砂泥互层断点组合类型及其合理性分析——以大庆长垣萨尔图油田为例[J]. 石油地球物理勘探, 2019, 54(6): 1339-1347.
Liu S F, Feng Y G, Gong L, et al. Fault breakpoint assemblage types of sand-mud inter-beds: An example of Saertu Oilfield in Daqing [J]. Oil Geophysical Prospecting, 2019, 54(6): 1339-1347.
- [9]刘金平, 杨懋新, 邵英梅. 井震联合建模技术在萨尔图油田 B1DD 区块的应用及其效果[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2020, 50(2): 579-588.
Liu J P, Yang M X, Shao Y M. Application and effect of seismic well joint modeling technology in B1DD block of Sarto Oilfield [J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2020, 50(2): 579-588.
- [10]李文龙, 丛琳. 大庆长垣萨尔图-葡萄花-高台子油层组倾斜油水界面形成机理与增储潜力[J]. 石油学报, 2021, 42(11): 1477-1485.
Li W L, Cong L. Formation mechanism and reservoir increasing potential of inclined oil-water interface in Saertu-Putao-hua-Gaotaizi reservoir groups of Daqing placanticline [J]. Acta Petrolei Sinica, 2021, 42(11): 1477-1485.
- [11]杨春生, 姜岩, 宋宝权, 等. 小河道薄砂层井震联合识别技术及应用——以大庆长垣西部 AGL 地区为例[J]. 石油地球物理勘探, 2022, 57(1): 159-167.
Yang C S, Jiang Y, Song B Q, et al. Recognition technology integrating logging and seismic data for thin sand reservoir in narrow channel and its application: Taking the AGL area in western Daqing placanticline as an example [J]. Oil Geophysical Prospecting, 2022, 57(1): 159-167.
- [12]杨春生, 杨会东, 杨莹彬, 等. 曲流河道井震联合识别技术及应用——以大庆长垣西部斜坡区为例[J]. 石油地球物理勘探, 2023, 58(3): 700-712.
Yang C S, Yang H D, Yang Y B, et al. Logging-seismic data combined identification technology for meandering river and its application: A case study of the western slope area of Daqing placanticline [J]. Oil Geophysical Prospecting, 2023, 58(3): 700-712.
- [13]项中. 萨尔图油田东部过渡带改善开发效果研究[D]. 大庆: 东北石油大学, 2016.
Xiang Z. Research on the improvement of the transition zone in the eastern part of Saertu Oilfield [D]. Daqing: Northeast Petroleum University, 2016.
- [14]刘宗堡, 李雪, 郑荣华, 等. 浅水三角洲前缘亚相储层沉积特征及沉积模式——以大庆长垣萨北油田北二区萨葡高油层为例[J]. 岩性油气藏, 2022, 34(1): 1-13.
Liu Z B, Li X, Zheng R H, et al. Sedimentary characteristics and models of shallow water delta front subfacies reservoirs: A case study of Sapugao oil layer in north-II block of Sabei oilfield, Daqing placanticline [J]. Lithologic Reservoirs, 2022, 34(1): 1-13.
- [15]陈晓雷. 萨北 X 区东部过渡带萨尔图油层储层预测研究[D]. 大庆: 东北石油大学, 2017.
Chen X L. Reservoir prediction research of Saertu oil reservoir in eastern transition zone of Sabei X area [D]. Daqing: Northeast Petroleum University, 2017.
- [16]薛纯琦, 胡明毅, 孙春燕, 等. 松辽盆地裕民地区北部泉头组四段沉积特征[J]. 地质与资源, 2017, 26(6): 583-589, 615.
Xue C Q, Hu M Y, Sun C Y, et al. Sedimentary characteristics of the Fourth Member of Quantou Formation in northern Yumin Area of Songliao Basin [J]. Geology and Resources, 2017, 26(6): 583-589, 615.

- 2003, 19(6): 1-3.
- Ding Z G. The forming character about Houxianyu's boron mine in Dashiqiao City of Liaoning Province [J]. Non-Ferrous Mining and Metallurgy, 2003, 19(6): 1-3.
- [16] 温德娟, 滕寿仁. 辽宁省翁泉沟铁硼矿地球化学找矿模型初探[J]. 地质与资源, 2014, 23(3): 256-260.
- Wen D J, Teng S R. Preliminary discussion on the geochemical prospecting model for the Wengquangou iron-boron deposit in Liaoning Province[J]. Geology and Resources, 2014, 23(3): 256-260.
- [17] 李东明. 翁泉沟硼铁矿床地质特征[J]. 辽宁地质, 1988(1): 26-37.
- Li D M. Geological characters of Wengquangou boron-iron deposit[J]. Liaoning Geology, 1988(1): 26-37.
- [18] 刘敬党, 肖荣阁, 王文武, 等. 辽东硼矿区域成矿模型[M]. 北京: 地质出版社, 2007.
- Liu J D, Xiao R G, Wang W W, et al. Regional metallogenesis of borate deposit in eastern Liaoning, China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2007.
- [19] 辽宁省地质勘察院. 中国区域地质志·辽宁志[M]. 北京: 地质出版社, 2017: 1171-1173.
- Liaoning Geological Exploration Institute. Regional Geology of China: Liaoning Province [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2017: 1171-1173.
- [20] 夏学惠, 赵玉海, 闫飞. 辽东-吉南地区硼矿床地质特征及成矿远景[J]. 化工矿产地质, 2007, 29(3): 169-177.
- Xia X H, Zhao Y H, Yan F. Metallogenic prospective and its geological characters of boron deposits in East Liaoning and South Jilin area [J]. Geology of Chemical Minerals, 2007, 29(3): 169-177.
- [21] 张景山. 辽东硼镁石型硼矿床地质特征及成矿作用[J]. 辽宁地质, 1994(4): 289-303.
- Zhang J S. Geological characteristics and mineralization of szaibelyite-type boron deposits in East Liaoning [J]. Liaoning Geology, 1994(4): 289-303.
- [22] 周永恒. 辽东地区硼矿矿产资源评价[D]. 长春: 吉林大学, 2011.
- Zhou Y H. The mineral resource assessment of boron in eastern Liaoning [D]. Changchun: Jilin University, 2011.

(上接第 199 页/Continued from Page 199)

- [17] 张志焱, 张昌民, 侯国伟, 等. 东海盆地某凹陷 P 井区平湖组沉积微相及沉积模式[J]. 地质与资源, 2020, 29(2): 142-151, 160.
- Zhang Z Y, Zhang C M, Hou G W, et al. Microfacies distribution and sedimentary model of Pinghu Formation in P well area, East China Sea Basin [J]. Geology and Resources, 2020, 29(2): 142-151, 160.
- [18] 万达. 大庆油田密井网区典型单元沉积微相及沉积模式[D]. 大庆: 东北石油大学, 2017.
- Wan D. The study on sedimentary facies and deposition pattern of the dense well pattern area of Daqing Oilfield [D]. Daqing: Northeast Petroleum University, 2017.
- [19] 熊明依, 文慧俭, 马田田. 布木格油田 SⅢ油层组沉积微相研究[J]. 能源与环保, 2022, 44(3): 101-106.
- Xiong M Y, Wen H J, Ma T T. Research on sedimentary microfacies of SIII oil layer group in Bumuge Oilfield [J]. China Energy and Environmental Protection, 2022, 44(3): 101-106.
- [20] 范广娟. 大庆油田萨中密井网区萨葡油层高分辨率层序地层及剩余油研究[D]. 大庆: 东北石油大学, 2011.
- Fan G J. The study on high resolution sequence stratigraphy and remaining oil of the SaPu reservoir in dense well pattern area of Sazhong in Daqing Oilfield [D]. Daqing: Northeast Petroleum University, 2011.
- [21] 朱筱敏. 沉积岩石学[M]. 5 版. 北京: 石油工业出版社, 2020: 322-323.
- Zhu X M. Sedimentary petrology [M]. 5th ed. Beijing: Petroleum Industry Press, 2020: 322-323. (in Chinese)