

退积型浅水三角洲前缘沉积特征及 主控因素研究

——以松辽盆地北部齐家 - 古龙凹陷葡萄花油层为例

代开宇, 严菲, 孙逸杰, 崔饶溪

长江大学地球科学学院, 湖北 武汉

收稿日期: 2023年7月5日; 录用日期: 2023年8月10日; 发布日期: 2023年8月22日

摘要

齐家 - 古龙凹陷葡萄花油层发育典型退积型浅水三角洲前缘沉积砂体, 具有较大的资源潜力, 然而因为储层的厚度薄, 发生变化快, 使得后期岩性油气藏勘探开发难度增大。因此, 本文对葡萄花油层沉积特征研究, 明确退积型浅水三角洲沉积充填演化规律, 研究地区主要发育浅水三角洲 - 湖泊相的沉积相类型, 其中, 以浅水三角洲前缘亚相为主, 并且进一步可划分水下分流河道微相, 席状砂微相, 河口坝以及支流间湾微相。在葡萄花油层的沉积时期, 物源的分布在浅水三角洲前缘亚相的外前缘区较远的区域, 较少的沉积物被搬运到外前缘区, 受到河流作用的影响比较小, 以湖泊作用为主, 席状砂分布规律与“浪控型”的发育相同, 形成“水下分流河道末端席状砂”模式, 研究成果为后续寻找隐藏性的岩性油气藏提供了重要的地质依据。

关键词

松辽盆地, 葡萄花油层, 退积型浅水三角洲, 沉积控制因素

A Study on the Sedimentary Characteristics and Main Control Factors of the Front of the Retreating Shallow-Water Delta

—A Case from the Putaohua Oil Layer in the Qijia-Gulong Depression,
Northern Songliao Basin

Kaiyu Dai, Fei Yan, Yijie Sun, Raoxi Cui

School of Earth Sciences, Yangtze University, Wuhan Hubei

Abstract

The Putaohua oil layer in Qijia Gulong Depression has developed typical retreating shallow-water delta front sedimentary sand bodies, which have great resource potential. However, due to the thin thickness of the reservoir and rapid changes, the exploration and development of lithological oil and gas reservoirs in the later stage is more difficult. Therefore, this article studies the sedimentary of the Putaohua oil layer and clarifies the sedimentary filling and evolution rules of the retreating shallow-water delta. The study area mainly develops sedimentary facies types of shallow-water delta lake facies, among which the shallow-water delta front subfacies are the main ones, and can be further divided into three parts, namely typical underwater distributary channel, sheet sand, mouth bar, and tributary bay microfacies. During the sedimentation period of the Putaohua oil layer, the distribution of sediment sources was in a relatively distant area of the outer front area of the shallow-water delta front subfacies. Less sediment was transported to the outer front area and was less affected by river action, mainly lake action. The distribution pattern of sheet sand was the same as that of the “wave controlled” type, forming an “underwater distributary channel end sheet sand” pattern. The research results provide an important geological basis for the subsequent search for hidden lithological oil and gas reservoirs.

Keywords

Songliao Basin, Putaohua Oil Layer, Retreating Shallow-Water Delta, Sedimentary Control Factors

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

近几年中岩性油气藏在油气勘探方向占有越来越重要的位置，而浅水三角洲沉积类型的发现，不仅丰富了陆相湖盆沉积体系的研究内容，更是开拓了岩性油气藏开采的新领域[1]。勘探已证实浅水三角洲具有良好的生储盖条件，坳陷湖盆水体大面积进退与浅水三角洲纵向叠置形成一种特有的“生储盖三明治”结构，而垂向上烃源岩与储集砂体又大面积间互，这种结构有利于大型油气藏的形成，具有广阔的开发前景[2]。

河控浅水三角洲砂体分布的特殊形态特征以及微相类型的多样性变化受到国内外研究学者的青睐，国外学者 Olariu 认为河控三角洲与现代密西西比三角洲沉积形态不同，前缘发育较多末端分支河道且伴随有河口坝沉积，受河流和湖浪双重作用，与浪控朵状三角洲形态相似[3] [4]。Gani 通过对现代 Burdenkin 三角洲考察，分析河控三角洲不具有一贯认为的鸟足状形态，而是受湖浪和潮汐的改造作用，分流河道呈拱形[5] [6]。朱筱敏等针对浅水三角洲沉积特征及沉积模式进行了分析，认为浅水三角洲以毯式结构向前延伸[7]。关旭同等研究了湖盆小型细粒浅水三角洲沉积模式，并认为在构造条件稳定、气候相对干旱、物源供给较小、水深较浅、湖平面下降、地形平缓的背景下，局部隆起提供沉积物来源，发育以三角洲前缘为主、河口坝较发育的小型细粒浅水三角洲[8]。众多学者对浅水三角洲的整体的沉积特征、形态、模式以及主控因素进行了分析，但在湖侵环境下，浅水三角洲呈现退积的沉积形态，其前缘的沉积结构

和沉积演化规律研究较少，其内部沉积结构的控制因素研究尚浅，因此，本文以松辽盆地齐家-古龙凹陷葡萄花油层为例，将从时空上探讨退积型浅水三角洲前缘沉积微相沉积展布特征，以及受不同因素影响下的沉积组合及演化规律。松辽盆地齐家-古龙凹陷葡萄花油层发育大型浅水三角洲沉积，受河流作用影响较大，岩性组合以红色泥岩与灰绿、灰黑色粉砂岩为主，单砂体厚度较薄，延伸较远，砂体分布不稳定，发育水下分流河道和前缘席状砂，河口坝不发育，前缘砂体呈鸟足状分布。与青二段为代表的湖盆扩张时期沉积特征相对比，前缘砂体朵叶状形态差异较大，具有明显的不同，表明浅水三角洲的沉积模式与盆地演化、水动力特征、湖平面变化以及物源供给有密切关系[9]。因此，湖盆扩张期浅水三角洲沉积砂体具有明显特殊性，研究成果对松辽盆地致密砂岩油气藏勘探开发具有重要的指向意义。

2. 研究区概况

齐家-古龙凹陷位于松辽盆地大庆长垣以西(图 1)，姚家组主要发育浅水三角洲相-湖泊相。岩性以绿灰色泥岩、泥质粉砂岩与灰色粉砂岩、棕色含油粉-细砂岩互层为主，松辽盆地拗陷中部局部可观察到黑色泥岩。研究区从上到下可划分为三段，其中姚一段地层相对较厚，厚度为 32~56.5 m，姚二、三段地层的总体厚度为 80~91 m。姚家组地层与下伏青山口组之间接触关系发育整合-不整合接触，姚家组、青山口组与嫩一段地层组所对应的发育油气的油层组合类型属于中部含油组合，葡萄花油层对应的地层为姚一段，萨尔图油层[4]对应地层组合为姚二、三段与嫩一段。

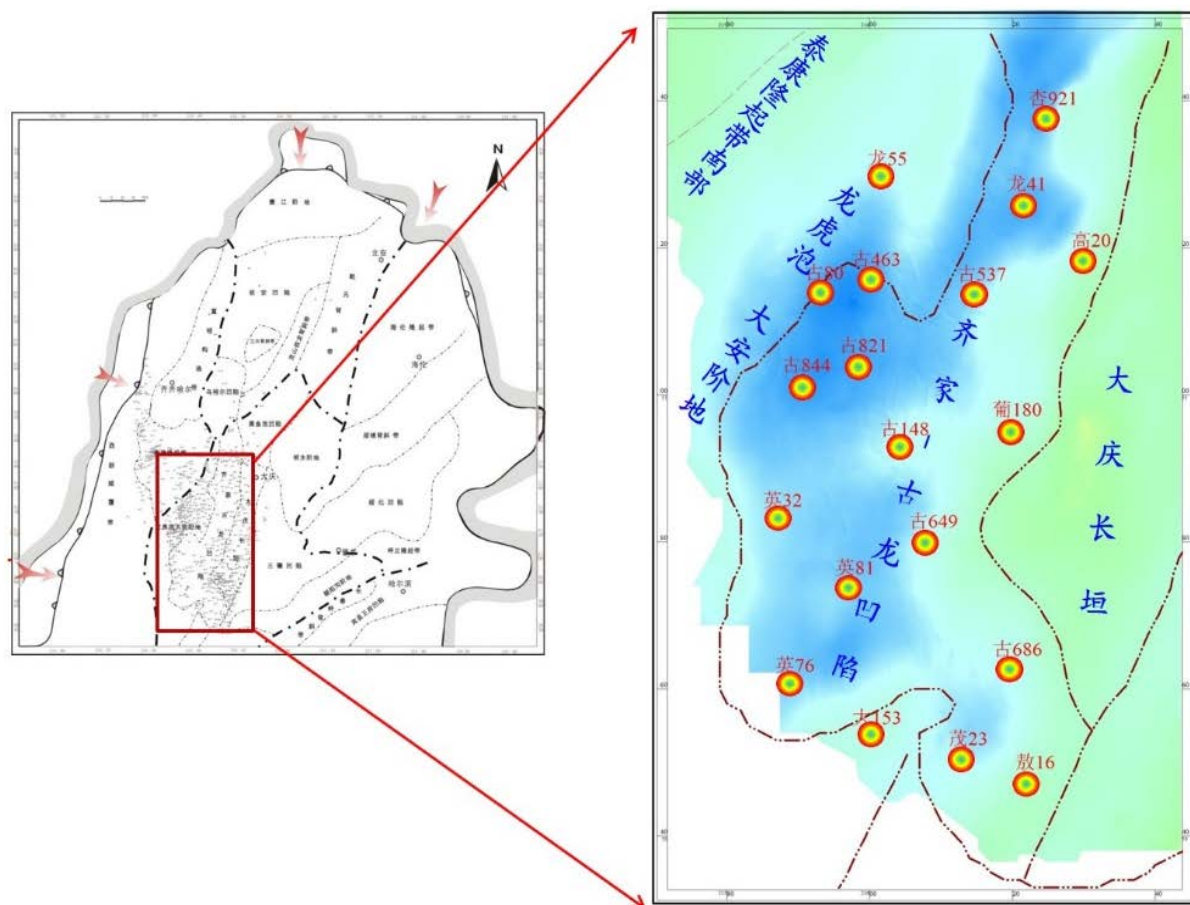


Figure 1. Regional geological overview of the study area

图 1. 研究区区域地质概况

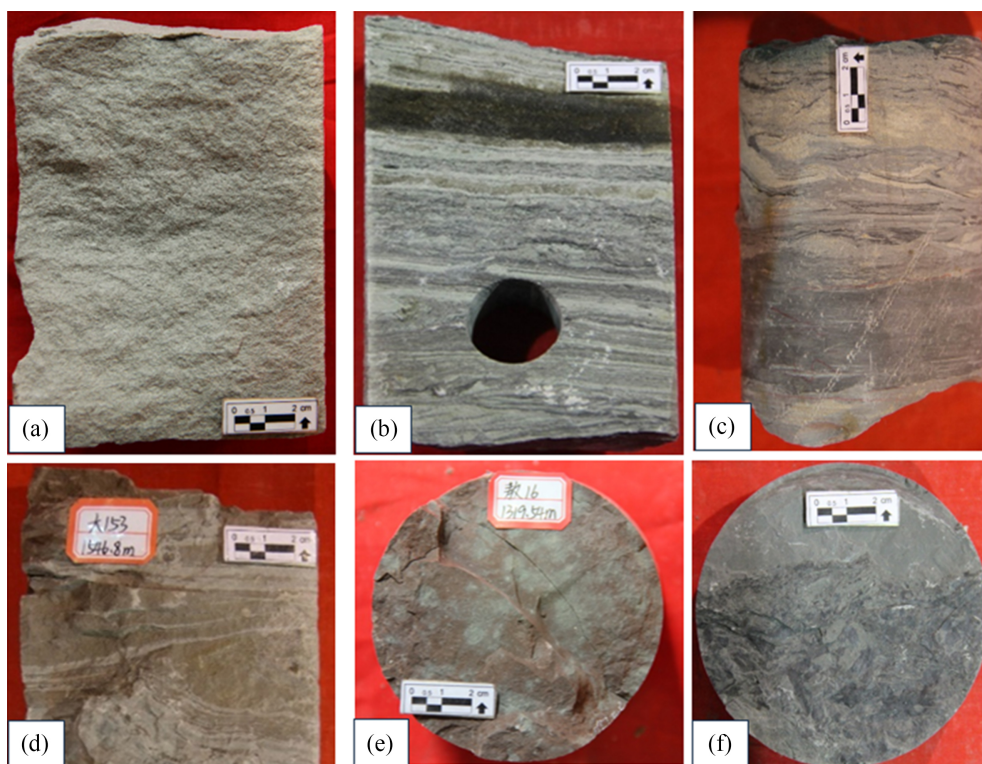
松辽盆地北部姚家组在地质历史早期经历了一次规模很大的全球性海退事件和多次太平洋板块与周围板块发生挤压碰撞运动,在挤压抬升和海平面下降的共同作用下在松辽盆地发育了一种特殊的环带状坡折带,研究区地层中的姚一段层序地层则呈现为一种放射状,表现为从盆地中心部位向周围相向超覆、削截的现象[3]。根据盆地边缘构造运动形成的不整合面以及旋回界面将葡萄花油层划分为三个中期基准面旋回,地层依次向上可分为PI下、PI中、PI上。在垂向上可表现为一个由三个中期基准面旋回组成的沉积序列。

3. 退积型浅水三角洲前缘沉积微相类型及特征

沉积相标志是鉴定沉积相、亚相以及微相的关键,其中岩石成分、颜色,结构、构造以及含有物等都是沉积相标志的主要部分。

根据岩心、测井、古生物及沉积构造等特征,研究区的葡萄花油层退积型浅水三角洲前缘可主要划分为水下分支河道、支流间湾和席状砂微相类型。

水下分流河道是由陆上分流河道被淹没后导致水流速减慢,湖内的分支岔道变多,从而使沉积为下沉堆积形成的。由于湖平面的振荡性升降,水下河流呈侧向迁移,频繁改道,从而使水下分流河道会出现砂泥交互的韵律层理[1]。水下分流河道以浅灰色细砂岩、粉砂岩为主(图 2(a)),可见小型板状交错层理,楔状交错层理,块状层理,平行层理(图 2(b)),3~5次旋回,每次河道底部见冲刷面构造等,测井曲线为箱型。在垂向上具有下粗上细的特征(图 3(a))。



(a) 水下分流河道, 杏 921, 1937.7 m; (b) 水下分流河道, 杏 921, 1957.7 m; (c) 河口坝, 高 20, 1370 m; (d) 席状砂, 大 153, 1546.8 m; (e) 支流间湾, 敖 16, 1319.5 m; (f) 支流间湾, 高 20, 1655 m。

Figure 2. Typical sedimentary microfacies core characteristics

图 2. 典型沉积微相岩心特征

河口坝以浅灰色粉砂岩、泥质粉砂岩为主，下部岩性较细，为泥质粉砂岩，向上粒度变粗，构成反旋回，可见小型槽状交错层理(图 2(c))，块状层理，测井曲线为漏斗型(图 3(b))。

前缘席状砂是一种入湖砂体由于河流水动力消失后，在强烈的湖浪反复冲刷、改造下形成的大面积薄层带状砂体[1]。此地区的砂质较纯，浅灰色粉砂岩、泥质粉砂岩为主(图 2(d))，且由于成岩作用的增加，物源的席状砂体叠加后呈透镜状砂泥复合韵律(图 3(c))。

支流间湾分布于水下分流河道与湖水相通的低洼地区，此地区由于湖水较浅，沉积物主要表现为泥岩，泥岩颜色以杂色和灰色为主(图 2(e)、图 2(f))。局部由多层粉砂条带，在靠近中心地区，发育多套典型的泥岩与粉砂岩交互的韵律层理(图 3(c))，主要表现为水平层理、块状层理及透镜状层理。

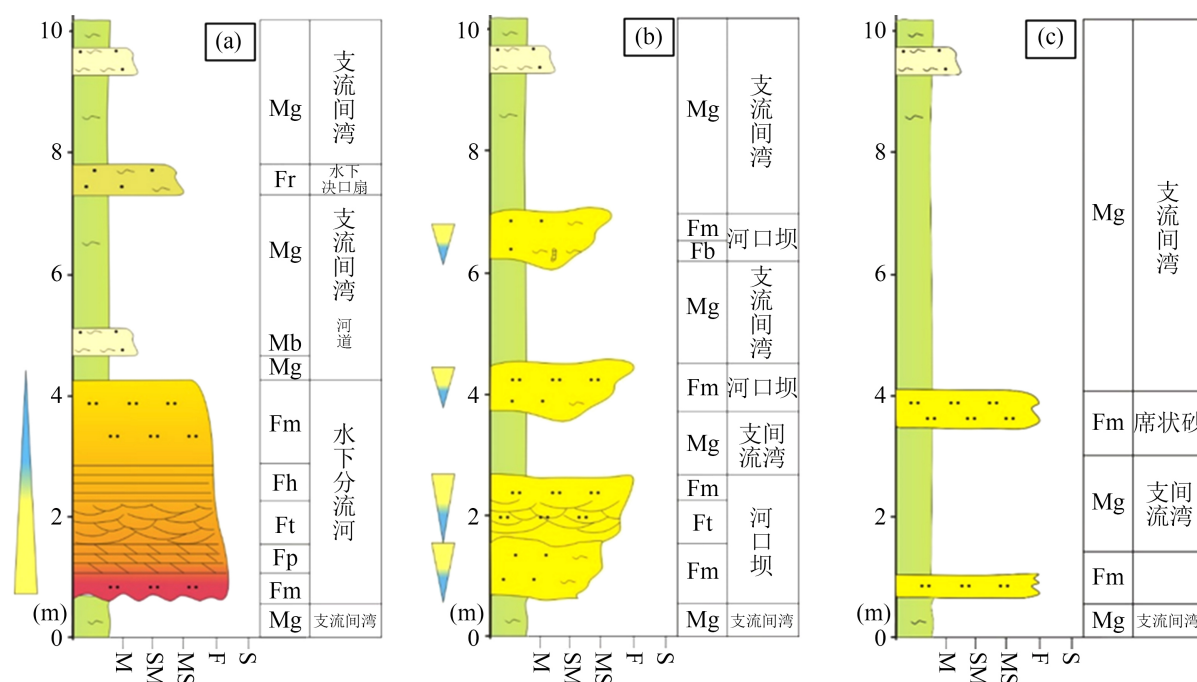


Figure 3. Characteristics of different sedimentary microfacies lithology combination in putaohua reservoir
图 3. 葡萄花油层不同沉积微相岩性组合特征

4. 退积型浅水三角洲前缘沉积微相展布规律

PI 下时期，湖平面较浅，河道砂体被改造形成大面积席状砂，席状砂厚度 0.5~3 m，分布在河道两侧，河口砂坝发育较少，可能被高建设水下分流河道破坏。晚期湖平面缓慢上升，水下分流河道逐渐退积，单井揭示泥岩占比逐渐增高。

PI 中时期，为第二期湖侵期，分流河道沉积延伸范围和规模较 PI 下时期小，沉积区域不断北扩，席状砂改造更加强烈，厚度在 0.5~2 m，此时水下分流河道改造河口坝能力有所减弱，南部地势较低，随着水体加深，以小范围浅湖沉积为主。晚期湖平面在此上升，三角洲储层砂体再此萎缩，沉积范围较小。

PI 上时期，为第三期小规模湖侵期，湖平面总体较高，物源供给较弱，沉积物沉积速率小于可容纳空间增长速率，该时期砂体规模较前 2 个层序最小，水下分流河道厚度最大约 4 m，均分振幅属性性表现为黄色与蓝绿色相间，主要为浅湖区域大面积分布，此时席状砂由于砂体供应不足，平面分布面积也极为局限，远砂坝较为发育，受湖平面改造，搬运至较远处。晚期湖平面发育到最大，全区为半深湖环境，沉积黑色泥岩。

根据每个时期内部河道发育规模, 岩性变化来看, 湖平面均从较低水位缓慢上升, 沉积物缓慢向陆方向退积。从三角洲演化规律来看, 总体表现为湖平面上升、可容纳空间逐渐增大, 水下分流河道规模不断萎缩, 砂地比值逐渐减小, 砂体向岸方向退积, 相分异作用明显, 平面相序向岸迁移, 垂向总体表现为向上变细的三期退积型三角洲叠加样式(图 4)。

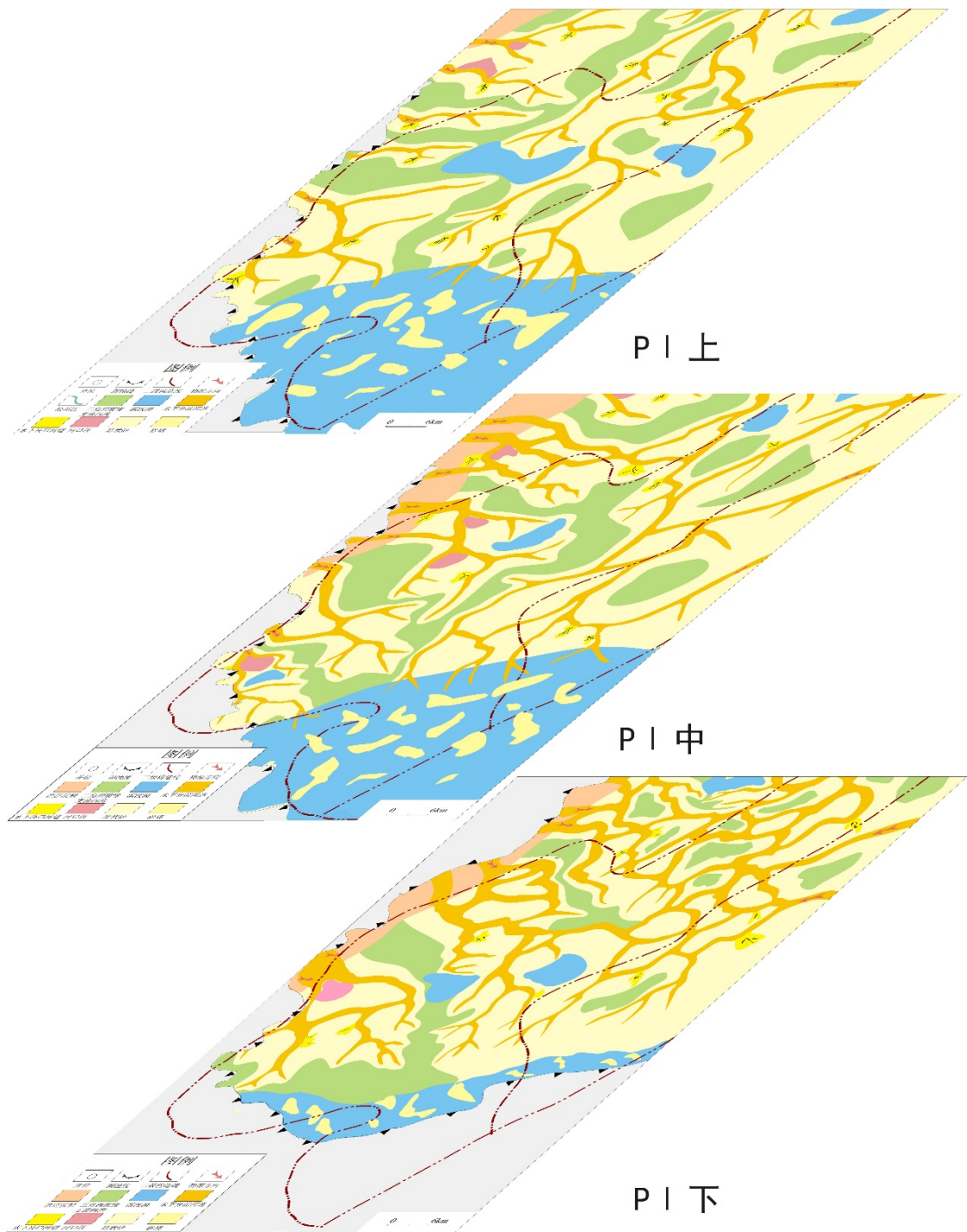


Figure 4. Sedimentary evolution characteristics of Putaohua oil layer in different periods in Qijia Gulong Depression
图 4. 齐家 - 古龙凹陷葡萄花油层不同时期沉积演化特征

5. 退积型浅水三角洲沉积影响因素

断陷盆地的水流交汇处一般发育浅水三角洲，形成三角洲多呈扇形。构造盆底平稳沉降、水体浅、坡度缓、物源供给充足、供应速率快，三角洲前缘不断向前延伸，为进积型三角洲。而退积型三角洲则相反，向后延伸，沉积物上细下粗，水体呈总体上升趋势。退积型浅水三角洲是水体呈总体上升趋势背景下的一种浅水三角洲沉积类型，其沉积影响因素可从物源、湖平面变化、水动力、地形坡度大小等多方面分析。

5.1. 湖平面变化

在湖侵期，湿润的气候条件下，湖泊的面积增大，湖水的水位逐渐升高，形成了退积型浅水三角洲的沉积模式，发育退积式网状河浅水三角洲[4]。由于气候潮湿，湖泊的水平面上升与河流的充填作用大致平衡，导致碎屑物大量沉积，浅水三角洲的前缘发育的河道逐渐变窄，并且河道容易发生变化，形成了网状河的特征。外前缘河道规模增大，微相主要是席状砂与河口坝，由于湖面的频繁改变，三角洲前缘的分流河道和河口沙坝不断被冲刷，分流河道的席化作用较强，在三角洲前缘的浅水区形成了大面积的席状砂，砂体较粗，单层砂体的累积厚度较大，席化河道砂体的单层厚度一般为 1~3 米，有的可达 6 米，并且河道砂体的粒度分选性较好，是优良的油气储存场所。

5.2. 物源供给

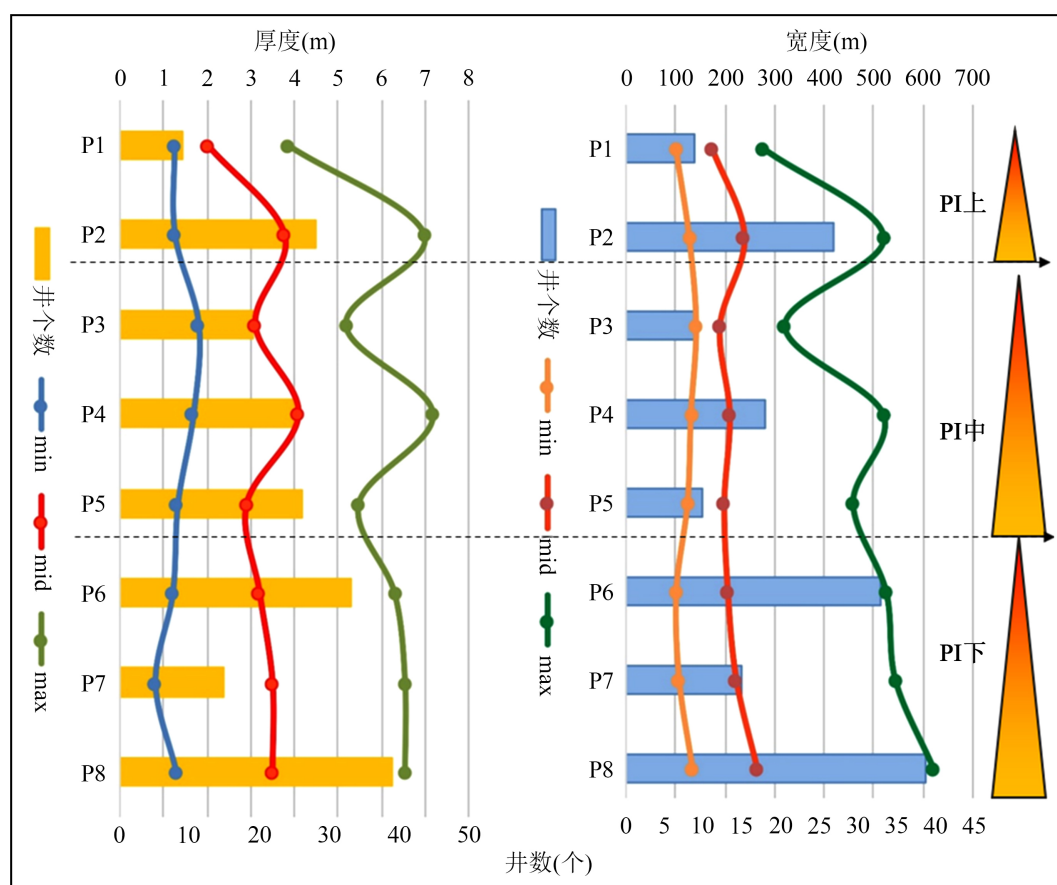


Figure 5. Geometric parameters of channel width and thickness in different periods

图 5. 不同时期河道宽度和厚度几何参数

三角洲的沉积模式也受物源物质供给的影响,在物源充足时,水下分流河道的面积相较于之前显著扩大,延伸的距离也更远[5]。浅水三角洲前缘亚相随距离的延伸河流作用不断减弱,波浪作用不断增强,河道宽度和厚度逐渐减小(图 5)。受波浪作用的影响,水下分流河道的连续性减弱,席状砂的规模变大,稳定性增强,也成为三角洲前缘的主要组成部分,主要在水下分流河道的两侧分布。PI 下时期物源供给充足,水下河道的形态是先发育宽带型再发育窄带型,其次是断枝型水下分流河道的发育,然后席状砂的发育厚度较大,先是不稳定性然后是稳定型发育,厚度逐渐变薄形成薄而稳定型的席状砂,河道厚度 2~6 m,平均 4 m,宽度 200~600 m,平均 350 m。当物源物质的供给较少时,河道的规模大小和连续性在从近源到远源这一距离中形成的变化与物源充足时的变化规律大体上是一致的,但是水下分流河道的分布面积较小,河道的延伸距离比较短,席状砂的厚度逐渐变薄并且分布的范围减小,发育窄带型的断枝型水下河道,席状砂的分布特征是先发育薄且稳定型再发育薄且不稳定型。

5.3. 水动力特征

湖泊作用的持续性和河流作用的间歇性主要体现在两种不同成因单元下的水下分流河道沉积组合的砂泥相互关系[7]。一是含泥砾粉细砂岩、交错层理和沙纹层理粉砂岩自下而上具有冲刷面构成的正向成因单元。二是薄层状浪成交错层理粉砂岩构成。两个成因单元不规则覆盖构成了渐弱性改造型分流河道。

由于退积型浅水三角洲的特殊性,不常发育在浅水三角洲中的席状砂会随水体加深和波浪作用加强,可能存在且有一定发育规模。河道席状砂化的岩性中灰色和灰绿色粉砂岩占主要部分,地层的顶和底一般发育灰色泥岩。

6. 退积型浅水三角洲沉积模式

在葡萄花油层处于沉积时期,物源物质的分布在浅水三角洲前缘亚相的外前缘区较远的区域,较少的沉积物被搬运到外前缘区,受到河流作用的影响比较小,以湖泊作用为主,席状砂分布规律与“浪控型”的发育相同,形成“浪控席状砂”模式[4]。葡萄花油层顶部发育大规模稳定的席状砂时期,葡萄花油层距离岸边较远并且深度较大,水下河流的能量较弱,河流携带碎屑物的能力较弱,湖底比较平缓绝对深度浅,该区域以河流的余能为主,葡萄花油层三角洲河流作用强、湖泊作用弱,水下河道分流末端形成河控席状砂,但河口坝和远沙坝在该区域分布较少,浅水三角洲内前缘向外前缘转化形成的模式为“水下分流河道末端席状砂”。

7. 结论

1) 齐家-古龙凹陷葡萄花油层总体湖平面不断上升,发育浅水三角洲前缘-湖泊体系,其中退积型浅水三角洲前缘进一步划分为水下分支河道、支流间、湾河口坝和席状砂微相类型。

2) 退积型浅水三角洲沉积影响因素受物源、湖平面变化、水动力等多方面控制。当湖平面上升和物源供给减少,河道切割能力变弱,连续展布的复合砂体逐渐变为单个条带状砂体。湖内水体的小幅度上升可使三角洲相带边缘快速后撤,从而导致北部前缘面积快速扩大,河道发育规模逐渐变小。

3) 浅水三角洲在湖侵期,受到河流作用的影响比较小,以湖泊作用为主,席状砂分布规律与“浪控型”的发育相同,形成“水下分流河道末端席状砂”模式,研究成果可进一步为勘探有利的岩性油气藏提供了重要的地质依据。

基金项目

长江大学第十五批大学生创新创业训练计划项目“退积型浅水三角洲前缘沉积特征及演化模式研究”(Yz2022017)。

参考文献

- [1] 佟斯琴, 李斌, 罗群, 等. 古龙南凹陷葡萄花油层储层层序地层及沉积体系研究[J]. 断块油气田, 2014, 21(6): 686-691.
- [2] 宿赛, 胡明毅, 邓庆杰, 等. 基于浅水三角洲沉积的供源差异与砂体分布空间配置关系——以松辽盆地长垣西部葡萄花油层为例[J]. 东北石油大学学报, 2021, 45(1): 32-44+7.
- [3] 邹才能, 赵文智, 张兴阳, 等. 大型敞流拗陷湖盆浅水三角洲与湖盆中心砂体的形成与分布[J]. 地质学报, 2008(6): 813-825.
- [4] 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.
- [5] 孙春燕, 胡明毅, 胡忠贵, 等. 松辽盆地兴城地区泉四段浅水三角洲沉积特征[J]. 岩性油气藏, 2015, 27(3): 66-74.
- [6] 曾洪流, 赵贤正, 朱筱敏, 等. 隐性前积浅水曲流河三角洲地震沉积学特征——以渤海湾盆地冀中拗陷饶阳凹陷肃宁地区为例[J]. 石油勘探与开发, 2015, 42(5): 566-576.
- [7] 关旭同, 李胜利, 马水平, 等. 湖盆小型细粒浅水三角洲沉积模式[J]. 特种油气藏, 2021, 28(5): 77-85.
- [8] 朱筱敏, 叶蕾, 谢爽慧, 等. 低可容空间陆相湖盆富砂浅水三角洲沉积模式及实例分析[J/OL]. 古地理学报: 1-17. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.4678.P.20230630.1444.002.html>, 2023-08-13.
- [9] 刘自亮, 沈芳, 朱筱敏, 等. 浅水三角洲研究进展与陆相湖盆实例分析[J]. 石油与天然气地质, 2015, 36(4): 596-604.