

文章编号: 1000-0550(2008) 03-0399-08

三肇凹陷葡萄花油层高分辨率层序地层划分及沉积特征研究¹

刘宗堡¹ 马世忠¹ 孙雨¹ 张金刚² 吕延防¹

(1. 大庆石油学院地球科学学院 黑龙江大庆 163318

2 大庆油田有限责任公司第四采油厂 黑龙江大庆 163511)

摘要 应用高分辨率层序地层学理论,通过对各级基准面旋回的沉积动力学分析,依据 10 口井岩心和 1 256 口井测井资料,把松辽盆地三肇凹陷葡萄花油层划分为 1 个长期基准面旋回、2 个中期基准面旋回、12 个短期基准面旋回,提出了葡萄花油层南部为同沉积构造抬升控制的中部缺失而非底部缺失的层序地层新格架。通过对短期基准面旋回内储层沉积特征、单砂体展布规律的研究,认为葡萄花油层主要储层水下河道砂体比原认识更连续,且延伸较远,分流平原、内前缘相带南移达 36 km,这对深入认识该区油藏类型、聚油规律、特别是高含水期剩余油挖潜具有重要意义,对指导整个松辽盆地北部岩性油气藏勘探与开发具有重大影响。

关键词 高分辨率层序地层学 基准面旋回 地层格架 沉积特征 剩余油挖潜

第一作者简介 刘宗堡 男 1982 年出生 博士研究生 沉积学与石油地质学 E-mail: lzbddq@163.com

中图分类号 P539.2 **文献标识码** A

0 引言

基于沉积动力学过程—地层响应原理的高分辨率层序地层学理论的提出开辟了储层沉积研究的新思路^[1],其原理主要包括地层基准面、沉积物体积分配、相分异和旋回等时对比法则 4 个方面^[2-3]。该理论被引入国内以来,推动了我国陆相层序地层学的发展,许多地质学者通过结合陆相盆地沉积和层序特征,建立了陆相盆地层序格架和地层沉积模式^[4-5],并广泛应用于各类油气藏的勘探与开发^[6-7]。基于基准面旋回建立的等时地层格架使地层精细划分和对比成为可能,对于油田的勘探与开发具有极其重要的意义^[8]。

三肇凹陷葡萄花油层经过近 30 年的开发,随着构造有利、砂岩发育的主体区块的相继动用,剩余未动用及空白区主要位于油水分布复杂区,且对这些区块的认识目前只停留在零散区块的地质研究或单井资料,没有宏观认识做指导及进一步的精细研究做依据,因此,油田的扩边、空白区布井及剩余油挖潜十分困难。笔者以高分辨率层序地层学理论为指导,结合钻井岩心、测井等资料对松辽盆地三肇凹陷葡萄花油层进行了地层精细划分与对比,总结了短期基准面旋

回内的储层沉积特征及剩余油分布规律,希望能为该区下一步的勘探与开发指明方向。

1 地质概况

三肇凹陷为松辽盆地中央拗陷区内的二级负向构造单元(图 1),它西接大庆长垣,东临朝阳沟阶地,北连安达凹陷,面积为 5 575 km²,受基底断裂控制形成了尚家鼻状构造、升平鼻状构造、宋芳屯北鼻状构造、宋芳屯南—肇州鼻状构造、升平西向斜、徐家围子向斜、永乐向斜 7 个三级构造单元,总体表现为四鼻三凹构造格局^[9]。中生代地层自下而上沉积了火石岭组、沙河子组、营城组、登娄库组、泉头组、青山口组、姚家组、嫩江组、四方台组、明水组、依安组、大安组、泰康组和第四系地层,上白垩统姚家组一段葡萄花油层为区内主要储层和含油层位。葡萄花油层属于松辽盆地北部沉积体系,是由长垣萨尔图、杏树岗水系,向太平屯、宋芳屯地区延伸形成的三角洲复合体,以三角洲内、外前缘相沉积为主。三肇凹陷葡萄花油层属于大型凹陷内成藏,油藏类型主要是复杂的岩性、岩性—断层类油藏,为松辽盆地长垣以东重要的岩性油藏分布区^[10]。

¹ 国家重点基础研究发展规划项目(编号: 2001CB209104)及高等学校博士学科点专项科研基金(编号: 2006220002)资助。

收稿日期: 2007-06-11; 收修稿日期: 2007-07-30

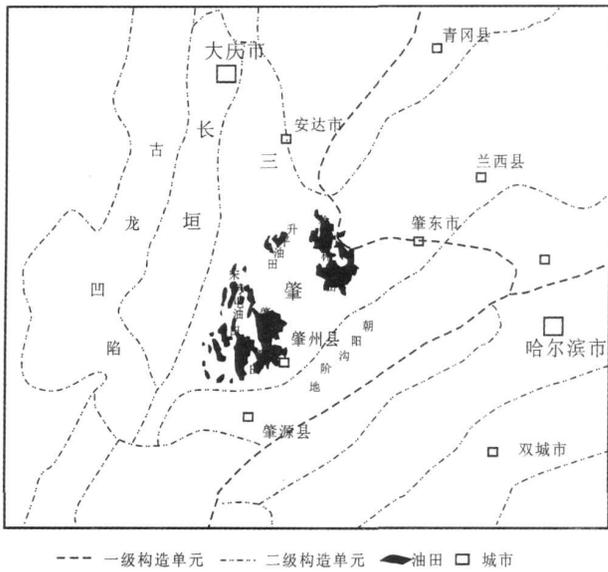


图 1 三肇凹陷构造位置图

Fig. 1 Structural location of Sanzhao Depression

2 葡萄花油层高分辨率层序地层学特征

2.1 层序界面识别

层序界面识别是实现高分辨率层序地层划分与对比的基础和关键,而界面的识别一般有两种情况:第一种是以区域不整合面及其对应的整合面;第二种是以规模较大的湖泛面。三肇凹陷葡萄花油层顶底皆发育大套前三角洲沉积的湖相泥岩,深湖相泥岩展布稳定,标志明显,易于追踪对比;葡萄花油层本身也多为湖平面以下的三角洲前缘沉积,砂岩相对泥岩变化较大,空间上容易产生尖灭,而且侵蚀面一般不易识别,因而本次研究选取湖泛面作为层序界面^[11]。

短期基准面旋回是高分辨率层序地层格架建立和分析的基础地层单元,其识别主要通过岩心、测井、露头等资料判定。短期旋回的层序结构主要依靠相或相序的变化来确定,它可以是记录有基准面上升期和下降期沉积的、具二分时间单元分界线的完整旋回,或代表仅发育上升期,抑或下降期沉积的不完整旋回^[12]。如芳 806 井 1 482.2 m 处水平层理泥岩即为短期基准面旋回层序界面(表 1),三肇凹陷葡萄花油层可以识别出 12 个短期旋回(图 2)。

中期基准面旋回由一系列短期基准面旋回叠加而成。中期旋回的类型受短期旋回的结构类型和构造样式控制,在测井剖面中表现为同一沉积体系中相似或相邻相序的退积—进积组合的测井相的转换面

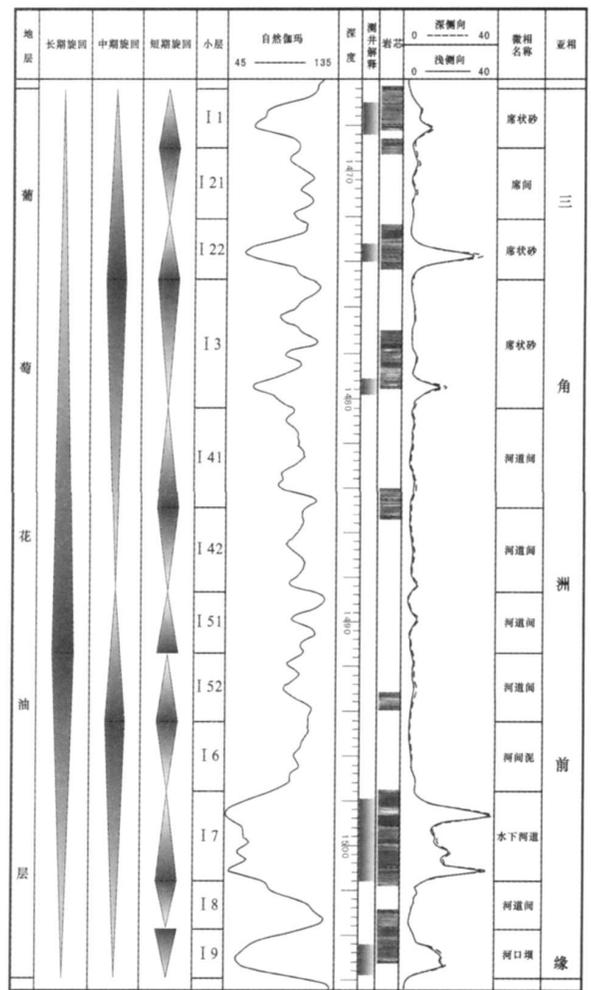


图 2 松辽盆地三肇凹陷葡萄花油层高分辨率层序地层划分(芳 114-1 井)

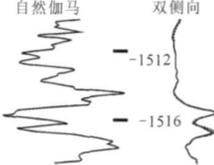
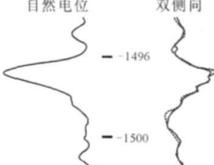
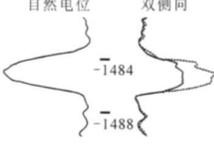
Fig. 2 High resolution sequence stratigraphy division of the Putaohua Reservoir in Sanzhao depression of Songliao Basin(Well Fang 114-1)

或突变面^[13],即该界面之下地层的叠加样式一般为退积式,而该面之上则为进积式或加积式地层样式,越过该界面湖水由总体上的向上变深转换为总体上的向上变浅,该界面为一阶段性的相对最大湖泛面。葡萄花油层在葡 iv 5 1 小层顶部沉积时期发育一次较大的水进面,在三肇凹陷及周边沉积了一层稳定的泥岩,把葡萄花油层划分为 2 个中期旋回,如芳 806 井 1 496.25 m 处泥岩即为中期旋回的界面(表 1)。

长期基准面识别即最大湖泛面识别。最大湖泛面是基准面上升到最高点、水体最深时的沉积界面。在三角洲沉积体系中,基准面上升到最高点时,可容纳空间最大,而沉积物供应极少,或无沉积物供应, A /S 比值达到最大,湖盆整体处于欠补偿沉积状态,沉

表 1 三肇凹陷葡萄花油层层序识别

Table 1 Sequence identification of Putaohua reservoir in Sanzhao depression

井名	SSC	岩心	曲线	微相	层序界面
芳 136-150M 井	SSC1 (葡 I ₁)	 暗色泥岩 -1514.55m 灰白钙质 粉砂岩	 自然伽马 双侧向 -1512 -1516	席状砂	长期旋回界面
芳 806 井	SSC6 (葡 I4.2)	 粉砂岩 波状层理 -1499.25m 泥岩	 自然电位 双侧向 -1496 -1500	河口坝	中期旋回界面
芳 806 井	SSC3 (葡 I2.2)	 灰色泥岩 水平层理 -1484.2m 粉砂岩	 自然电位 双侧向 -1484 -1488	水下河道	短期旋回界面

积速率缓慢^[14], 沉积水体较深, 形成暗色泥质沉积, 如芳 136-150M 井 1 415.55 m 处暗色泥岩即为长期旋回顶界面(表 1)。一般情况下, 在测井响应上最大湖泛面有十分明显的反映, 如自然伽马在该段中多表现为高值, 声波时差高幅度正异常, 低电阻率, 低密度, 但油页岩则为高电阻率。葡萄花油层顶底都发育最大湖泛面时期沉积的大套深湖暗色泥岩, 其中葡萄花油层底面在 seismic 剖面上相当于松辽盆地 T₁₋₁ 反射层。

2.2 葡萄花油层精细对比方法

地层(短期基准面旋回)精细划分与对比, 是平面沉积微相研究的基础, 直接影响到储层研究的精确度。笔者以高分辨率层序地层学理论为指导, 应用“以区域骨架封闭剖面为控制全区的标准层控制下的洪泛面系列组合标志、沉积模式—同生断层模式指导、逐级优先逼近等综合对比”的河流相油层对比方法(马世忠, 2004), 建立研究区统一而精细的单砂体级等时地层格架。对比遵循的原则如下:

(1) 利用葡萄花油层顶底发育的标准层确认长期基准面旋回: 葡萄花油层顶部广泛发育低电阻、高伽马向下突变为高电阻、低伽马钙质标准层, 葡萄花油层下部大套暗色泥岩中广泛发育 3 套中低电阻、高伽马标准层, 顶底标准层对葡萄花油层准确对比起到至关重要的控制作用(图 3)。

(2) 依据地层叠加样式和洪泛面系列组合标志

对比中期基准面旋回: 中期基准面旋回发育稳定的地层叠加样式; 洪泛面对比是指在特大洪水期发生较大规模的溢岸或决口沉积, 在分流河道间泥质沉积中形成具有一定面积的较明显的薄层砂或泥质粉砂, 同时在分辨率较高的测井曲线上也有明显反映, 而成为很好的等时界面(图 3)。

(3) 结合河道上平下凹沉积模式、三维相组合验证方法、同生断层模式、平衡厚度对比法、砂体成因移界法等确定短期基准面旋回界面, 最后以封闭骨架剖面检验并确定短期旋回对比。

2.3 高分辨率层序地层划分

层序界面的准确识别和地层的精细划分是地层对比的前提条件。Cross 的高分辨率层序地层学理论表明, 基准面旋回的变化控制了不同级别的地层旋回, 也必然形成了不同级别的层序界面。根据上述各级次层序界面和湖泛面的层序地层学意义, 以及不同级次基准面升降运动所导致的地层旋回过程和沉积学响应特征, 结合钻井岩心、测井、沉积特征、地震资料的综合分析, 及陆相盆地基准面旋回级别划分方案^[15-16], 将三肇凹陷葡萄花油层划分为 1 个长期旋回, 2 个中期旋回和 12 个短期旋回(图 2)。其中的长期、中期和短期旋回层序分别与前人提出的油层、砂组和小层砂体划分方案相当。

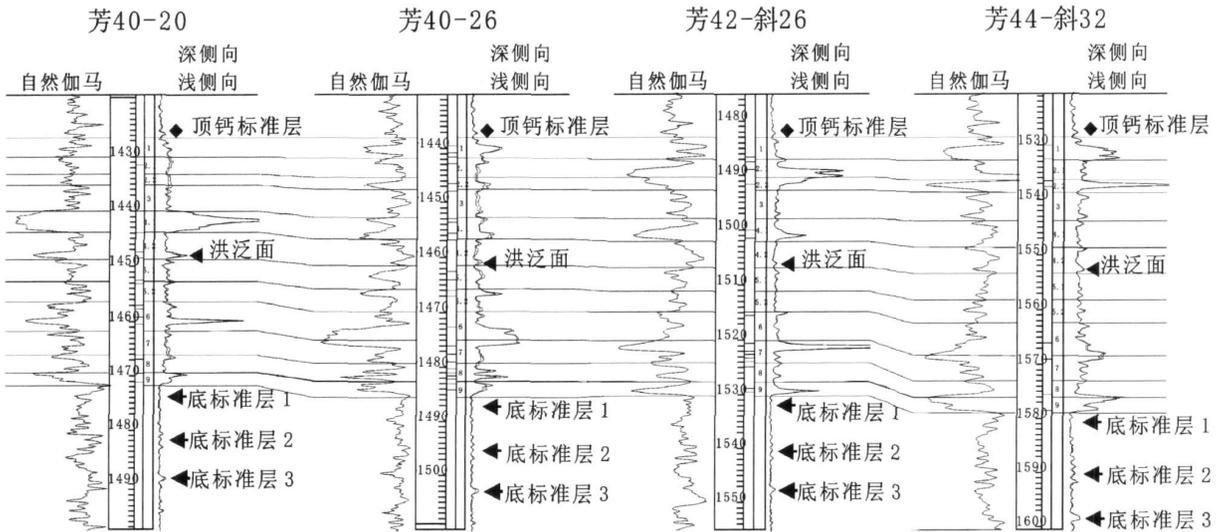


图 3 葡萄花油层标准层对比控制、洪泛面对比

Fig 3 Comparison of marker bed and flooding surface of Putaohua reservoir

3 层序地层格架建立及结论

3.1 高分辨率层序地层格架建立

以高分辨率层序地层学理论为指导,选择平行和垂直物源方向的两条连井剖面进行地层划分与对比,分析地层旋回性和层序特征在纵向和横向的变化,建立了三肇凹陷葡萄花油层高分辨率层序地层对比格架。

3.1.1 南北向层序剖面

南北向层序剖面平行物源方向,旋回的构造样式受物源的远近和所处的构造位置影响明显。研究区北部靠近物源区,沉积物供给充足,可容纳空间相对较小,河道微相发育,多发生冲刷剥蚀。向湖盆方向远离物源区,沉积物供给较少,可容纳空间逐渐增加,

河口坝和席状砂微相发育,多发生垂向加积作用。

在以上理论和方法指导下,建立了纵跨卫星油田—宋芳屯油田—肇州油田南北长达 60 km 的 120 口密开发井层序地层剖面。葡萄花油层厚度从最北部的卫 1-28-21 井的 51.5 m,经 60 km 到最南部的肇 82-27 井减薄为 11.7 m,减薄厚度为 39.8 m,减薄率为 77.28%,可见其减薄幅度之大(图 4)。层序剖面表明:

- (1) 葡萄花油层并不是原认识的底部(葡 iv 6~9 小层)向南逐渐缺失,而是受肇州构造抬升和基准面下降控制的中部(葡 iv 5~6 小层)向南逐渐缺失。
- (2) 葡萄花油层上部和下部小层沉积稳定,向南平稳减薄,没有尖灭。
- (3) 受沉积时期古构造运动影响,葡萄花油层之

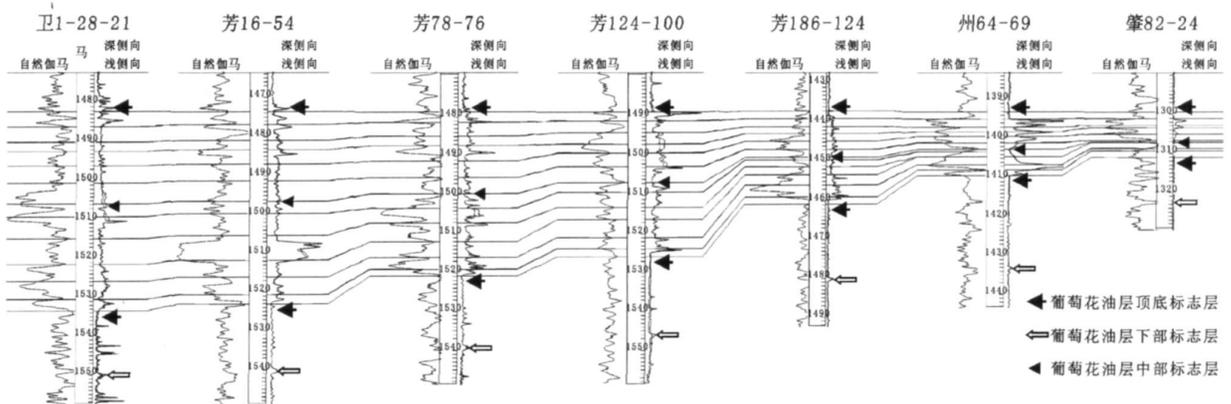


图 4 三肇凹陷葡萄花油层南北向层序剖面(60 km)

Fig 4 North to south sequence section of Putaohua reservoir in Sanzhao depression(60 km)

上、下的泥岩厚度变化也较大,并不与葡萄花油层厚度变化一致,葡萄花下部泥岩在宋芳屯油田中部发育一个明显的泥岩增厚区,其可能与徐西基底断层的继承性活动有关。

(4) 葡萄花油层之下的泥岩在三肇凹陷北部受 A/S 变化影响存在微侵蚀。

3.1.2 东西向层序剖面

东西向层序剖面近垂直物源方向,旋回的样式变化主要受构造差异、同生断层、水系位置、沉积微相等因素控制。受构造位置、沉积物供给量、可容纳空间变化等因素影响,沉积物堆积样式变化较快,砂体厚度向两侧迅速尖灭。

运用以上方法,建立横跨宋芳屯油田—徐家围子油田东西长达 25 km 的 50 口密开发井层序剖面。葡萄花油层厚度从最西部的芳 70-20 井的 49.1 m,经 25 km 到最东部的徐 24 井减薄为 41.9 m,减薄厚度为 7.2 m,减薄率为 14.66% (图 5)。层序剖面表明:

(1) 葡萄花油层受古构造、物源方向影响地层厚度自西向东略有减薄,没有发生缺失现象。

(2) 葡萄花油层中部 (葡 iv 5 2) 沉积时期为水退最大期,河道微相最发育,冲刷作用最强。

(3) 葡萄花油层上部和下部各小层稳定,向东平稳减薄。

3.2 层序剖面分析结论及证据

由以上分析得出:三肇凹陷葡萄花油层为大型凹陷盆地缓坡带河控浅水三角洲沉积体系,自底部→中部→上部为由水退序列→水进序列沉积,中部为最大水退期,分别由湖泊收缩体系域→低水位体系域→水进体系域构成,反映了由基准面下降→基准面上升,

转换面位于葡萄花油层中部,即此时南部地区 (肇州) 构造抬升相对最高、可容空间相对最小、湖盆萎缩最小、水体最浅、三角洲进积最大、冲刷作用最强,导致葡萄花油层中部小层在三肇凹陷南部地区缺失。缺失的依据如下:

(1) 葡萄花油层中部向南逐渐尖灭,与大庆长垣葡 iv 2~3 小层间存在的不整合面一致 (马世忠, 2003); 在葡萄花油层中部沉积时期,在松辽盆地发育了一个较大规模的不整合面,这个不整合面在三肇凹陷及大庆长垣上都有发育。

(2) 芳 136-150M 系统取心井垂向层序揭示葡萄花油层中部 (葡 iv 5 2) 时间单元为最大水退期; 岩心垂向变化为: 黑色水平层理泥岩 (1 543.42 ~ 1 556.15 m, 葡萄花油层下, 半深湖相) → 灰绿色泥岩 (1 539.32 m, 葡萄花油层下, 浅湖相) → 水平波状层理含泥粉砂岩 (1 535.08 m, 葡 iv 8 水下河道边部, 三角洲前缘亚相) → 含油粉砂岩 (1 532.58 m, 葡 iv 6 水下河道, 三角洲前缘亚相) → 暗紫色块状泥岩 (1 528.68 m, 葡 iv 5 2 水下河道间, 近岸三角洲前缘亚相) → 灰色块状泥岩 (1 524.90 m, 葡 iv 4 2 水下河道间, 三角洲前缘亚相) → 灰色粉砂岩 (1 519.75 m, 葡 iv 3 坝内缘, 三角洲前缘亚相) → 灰白钙质粉砂岩 (1 514.55 m, 葡 iv 1 席状砂, 三角洲前缘亚相) → 黑灰色水平层理泥岩 (1 514 m, 葡萄花油层上, 半深湖相)。

(3) 南北向、东西向层序剖面表明葡萄花油层中部 (葡 iv 5 → 6 小层) 为水退最大期。

(4) 南北向密开发井层序剖面精细对比准确可信。

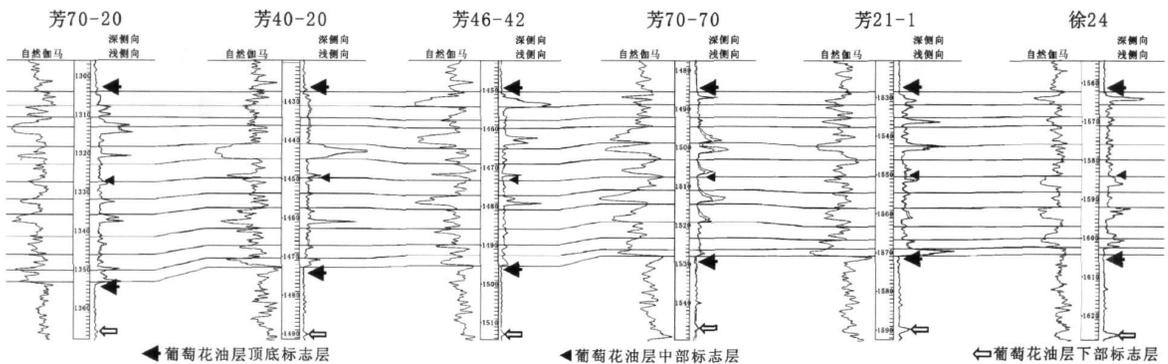


图 5 三肇凹陷葡萄花油层东西向层序剖面 (25 km)

Fig 5 East to west sequence section of Putaohua reservoir in Sanzhao depression (25 km)

4 葡萄花油层储层沉积特征研究

基准面旋回的变化控制了储层类型, 短期旋回相对于长期旋回的位置控制着储层沉积特征^[17]。葡萄花油层中上部短期旋回砂体相对发育, 含油性好, 构造有利, 是今后剩余油主要挖潜层位。

在短期基准面旋回精细划分的基础上, 绘制了三肇凹陷葡萄花油层 1 256口密开发井 12个沉积时间单元的沉积微相, 该批沉积微相平面上达能量单元级, 很好的揭示了成因单砂体的空间展布, 每一个成因单砂体相当于一个相对独立的油水渗流单元。沉积微相揭示葡萄花油层垂向演化规律为: 前三角洲暗色泥岩(葡萄花油层下)→三角洲外前缘席状砂为主(葡 iv 8 9小层)→三角洲内前缘水下分流河道为主(葡 iv 6 7小层)→三角洲近岸分流平原为主(葡 iv 5小层)→三角洲内前缘水下分流河道为主(葡 iv 3 4小层)→三角洲外前缘席状砂为主(葡 iv 1、2小层)→前三角洲暗色泥岩(葡萄花油层上)。

4 1 测井相模式建立

根据区域沉积资料及芳 806井、芳 136井、芳 908井、芳 114-1井、芳 136-150井等 10口井岩心观察与大量测井资料的分析, 认识到葡萄花油层发育的微相类型有分流河道、溢岸砂、天然堤、河口坝、席状砂、漫流砂、分流河道间等。通过对岩性、电性、物性、含油性的分析, 确定分流河道砂体是该区主要储层。

在取心井段单井岩心沉积微相精细分析基础上, 用该井层所对应的测井曲线总结测井相要素特征, 通过多井同一微相的测井相要素特征, 总结研究区该微相所共有的测井相要素特征, 建立测井微相模式。通过以上方法建立葡萄花油层测井微相模式(图 6)。

4 2 重点沉积时间单元沉积微相研究

在地层精细划分与对比的基础上, 时间单元平面沉积微相是认识葡萄花油层储层成因、单砂体展布、油层平面非均质性、开发区扩边及空白区预测的最重要基础。本次研究选取葡 iv 2 2时间单元沉积微相进行重点研究, 通过对沉积微相、断层、构造、动态产能等资料的综合分析, 认清了葡萄花油层的油藏类型、聚油规律、控油模式, 其研究是油层精细认识、驱替规律的基础与关键。

沉积微相揭示三肇凹陷葡萄花油层三角洲前缘亚相发育且以大量密集、窄的水下河道沉积为主(图 7), 砂体连续且延伸较远, 直至消失变成薄的席状砂; 河口坝、远砂坝不发育。分流平原、内前缘相带明显南移, 相带及优质储层范围扩大, 内前缘与外前缘分界线由原认识芳 56-52井处南移到肇 69-20井以南, 向南推移达 36 km, 即作为研究区主要储层的水下分流河道砂体分布区向南推移达 36 km, 即原认为研究区南部非含油有利区为较好的剩余油分布区, 这对重新认识该区油藏类型、油水分布规律、布高产能井、水淹方向及剩余油挖潜产生重大影响。

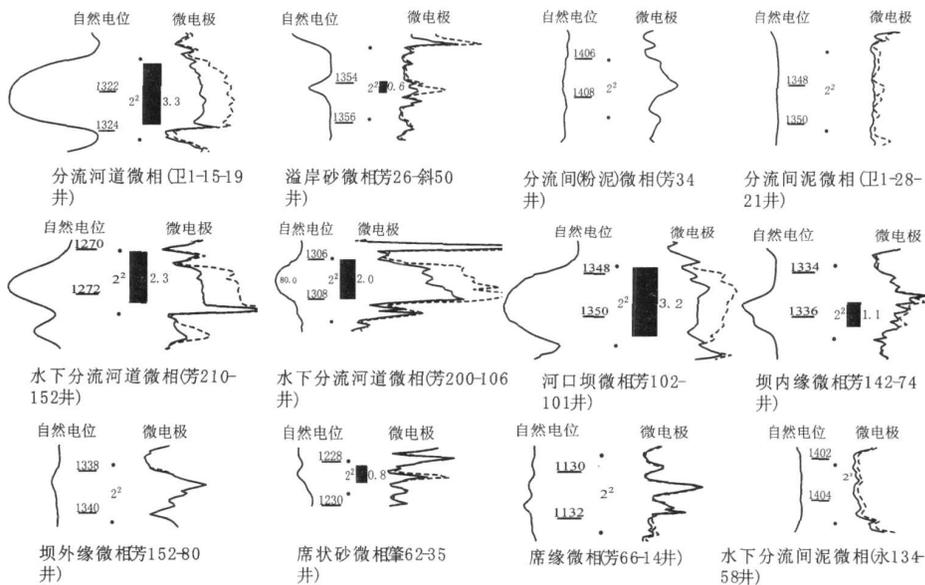


图 6 葡萄花油层测井微相模式

Fig. 6 Logging microfacies model of Putaohua reservoir

- 11 尹太举, 张昌民, 李中超. 濮城油田沙三中 6-10 砂组高分辨率层序地层研究 [J]. 沉积学报, 2003, 21(4): 663-669 [Yin Taiju, Zhang Changmin, Li Zhongchao *et al*. High resolution sequence stratigraphy analysis of E_{s3}^2 in Pucheng Oil Field Dongpu Depression [J]. *Acta Sedimentologica Sinica* 2003, 21(4): 663-669]
- 12 郑荣才, 尹世民, 彭军. 基准面旋回结构与叠加样式的沉积动力学分析 [J]. 沉积学报, 2000, 18(3): 369-375 [Zheng Rongcai, Yin Shimin, Peng Jun. Sedimentary dynamic analysis of sequence structure and stacking pattern of base-level cycle [J]. *Acta Sedimentologica Sinica* 2000, 18(3): 369-375]
- 13 何玉平, 刘招君, 杜江峰. 高分辨率层序地层学基准面旋回识别 [J]. 世界地质, 2003, 22(1): 21-25 [He Yuping, Liu Zhaojun, Du Jiangfeng. Recognition of base level cycle in high resolution sequence stratigraphy [J]. *World Geology*, 2003, 22(1): 21-25]
- 14 梁积伟, 李文厚, 鄂尔多斯盆地东北部山西组高分辨率层序地层学研究 [J]. 沉积学报, 2006, 24(2): 251-258 [Liang Jiwei, Li Wenhou. High-resolution sequence stratigraphy of Shanxi Formation in northwestern Part of Ordos Basin [J]. *Acta Sedimentologica Sinica* 2006, 24(2): 251-258]
- 15 郑荣才, 彭军, 吴朝容. 陆相盆地基准面旋回的级次划分和研究意义 [J]. 沉积学报, 2001, 19(2): 249-255 [Zheng Rongcai, Peng Jun, Wu Chaorong. Grade division of base level cycles of terrigenous basin and its implications [J]. *Acta Sedimentologica Sinica* 2001, 19(2): 249-255]
- 16 陈波, 张昌民, 韩定坤. 干旱气候条件下陆相高分辨率层序地层特征研究——以江汉盆地西南缘晚白垩世渔洋组为例 [J]. 沉积学报, 2007, 25(1): 21-28 [Chen Bo, Zhang Changmin, Han Dingkun. Characteristics of lacustrine high-resolution sequence stratigraphy under arid climate: a case study of Yuyang Formation (Late Cretaceous) in Southwest of Jianghan Basin [J]. *Acta Sedimentologica Sinica* 2007, 25(1): 21-28]
- 17 尹艳树, 吴胜和, 尹太举. 濮城油田沙三中亚段高分辨率层序地层学 [J]. 地层学杂志, 2006, 30(1): 54-59 [Yin Yeshu, Wu Shenghe, Yin Taiju. High resolution sequence stratigraphy of E_{s3}^2 in Pucheng oilfield, Dongpu depression [J]. *Journal of Stratigraphy*, 2006, 30(1): 54-59]

High-Resolution Sequence Stratigraphy Division and Depositional Characteristics of Putaohua Reservoir, Sanzhao Depression

LIU Zong-bao¹ MA Shizhong¹ SUN Yu¹ ZHANG Jir-gang² LV Yan-fang¹

(1. Faculty of Earth Science Daqing Petroleum Institute, Daqing Heilongjiang 163318

2. Fourth Plant of Daqing Oil Field Company, Daqing Heilongjiang 163511)

Abstract By using the high-resolution sequence stratigraphy theory through depositional dynamic analysis, the cores of 10 wells and 1 256 well logging data, Putaohua reservoir of Sanzhao depression in Songliao basin is divided as 1 long-term base level cycle, 2 medium-term base level cycles, 12 short-term base level cycles, proposed middle fluvial non-base fluvial sequence formation new framework with the sedimentary structure lifting control in the south of Putaohua reservoir. Through the study of reservoir deposition character and single sandbody distribution law in short-term base level cycle, it is realized that the submarine river sandbody as Putaohua reservoir main reservoir course is continual than original understanding, also extends far away, the divergence plain, inner front facies belt south movement reaching to 36 km, this has important significance to know reservoir types in this area, is specially high watery time remaining oil extraction potential has the significant influence on instructing lithological reservoir exploration and the development in the north block of Songliao Basin.

Key words high-resolution sequence stratigraphy, base level cycle, formation framework, deposition characteristic, remaining oil extraction potential