

文章编号:1673-5005(2010)04-0007-06

三肇凹陷白垩系姚一段葡萄花油层浅水三角洲 高分辨率层序地层新认识

刘媛¹, 朱筱敏¹, 袁红旗², 张思梦¹, 方庆³, 刘云燕³, 曹海涛³, 黄德利³

(1. 中国石油大学地球科学学院, 北京 102249; 2. 东北石油大学地球科学学院, 黑龙江大庆 163318;
3. 大庆油田有限责任公司第八采油厂, 黑龙江大庆 163514)

摘要:依据地震、测井及岩心资料,应用高分辨率层序地层学原理对三肇凹陷白垩系姚一段葡萄花油层浅水三角洲相进行层序地层学研究,建立高分辨率层序地层格架。结果表明:姚一段葡萄花油层对应于长期基准面上升半旋回,相当于1个完整的中期基准面旋回,可进一步划分为8个短期基准面旋回;葡萄花油层的地层发育模式为自下而上逐层尖灭导致地层自北向南减薄;平行物源方向的等时对比应遵循“界面(冲刷面)—岩石—界面(沉积间断面)”的对比原则,而垂直物源方向的等时对比应遵循“岩石—界面”的地层对比原则。

关键词:三肇凹陷;姚一段葡萄花油层;高分辨率层序地层学;白垩系

中图分类号:P 539. 2 **文献标志码:**A **doi:**10. 3969/j. issn. 1673-5005. 2010. 04. 002

New explanation for shallow delta high-resolution sequence stratigraphy of Putaohua oil-bearing layer of member 1 of Yaojia formation of Cretaceous in Sanzhao sag

LIU Yuan¹, ZHU Xiao-min¹, YUAN Hong-qi², ZHANG Si-meng¹,
FANG Qing³, LIU Yun-yan³, CAO Hai-tao³, HUANG De-li³

(1. Faculty of Geosciences in China University of Petroleum, Beijing 102249, China;
2. Faculty of Geosciences, Northeast Petroleum University, Daqing 163318, China;
3. 8th Oil Production Plant, Daqing Oilfield Company Limited, Daqing 163514, China)

Abstract: According to the data of seismic, well logging and cores, the research of shallow delta sequence stratigraphy of Putaohua oil-bearing layer of member 1 of Yaojia formation of Cretaceous in Sanzhao sag was carried out, and a high-resolution sequence stratigraphic framework was established. The results show that Putaohua oil-bearing layer amounts to the rising hemicycle of the long-term base-level cycle, and folding one middle-term base-level cycle which could be classified into eight short-term ones under the guidance of high-resolution sequence stratigraphy theory. The formation thickness is becoming small from north to south, because every sublayer is up-picking out bed by bed. Different correlation principles should be followed with interface (erosion surface), rock, interface (sedimentary discontinuity) along the source direction, and rock, interface cross the source direction.

Key words: Sanzhao sag; Putaohua oil-bearing layer of member 1 of Yaojia formation; high-resolution sequence stratigraphy; Cretaceous

三肇凹陷为松辽盆地中央坳陷区内的二级负向构造单元,面积为5 743 km²,是松辽盆地的主要烃源凹陷^[1]。白垩系姚一段葡萄花油层主要为浅水三角洲相沉积,为区内主要储层和含油层位,地层厚度为

16~65 m,且自北向南减薄,层序地层等时对比存在较大难度。截至目前,关于葡萄花油层的层序地层划分方案大致有两类:一是许多学者^[2-8]在松辽盆地白垩系研究基础上得出将坳陷构造层(姚家组~嫩江

收稿日期:2009-12-10

基金项目:中国石油天然气股份有限公司大庆油田重大科技项目(DXYT-0508003-2009-JS-192)

作者简介:刘媛(1982-),女(汉族),山东栖霞人,博士研究生,主要从事层序地层学与测井地质学研究。

组)划分成1个二级基准面旋回,划分方案略显粗糙;二是刘宗堡等^[9]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地层发育模式,将其划分为1个完整的长期基准面旋回、2个中期基准面旋回和12个短期基准面旋回。可见,对三肇凹陷葡萄花油层的层序地层认识还缺乏统一性,这与划分原则、角度、目的及所依据的资料等不同有关,但对后期层序地层研究起到了一定的指导作用。笔者以高分辨率层序地层学理论为指导,识别各级次基准面旋回,建立葡萄花油层的地层发育模式,探讨浅水三角洲相的短期基准面旋回对比方法。

1 各级次基准面旋回的识别

多级次基准面的识别与划分是高分辨率地层格架建立的基础^[10]。通过地震、测井及岩心资料的综合分析,遵循从大到小的原则,认为葡萄花油层对应于长期基准面旋回的上升半旋回,相当于一个完整的中期基准面旋回,可进一步划分为8个短期基准面旋回(图1,图中R₁和R₂分别为微梯度和微电位电阻率)。

1.1 长期基准面旋回

长期基准面旋回界面是受构造强度及沉积作用双重因素影响的侵蚀不整合面及相应整合面。地震剖面上表现为局部削截接触、顶超或上超等地震反射终止关系;岩心上表现为岩性突变接触面,如图1中1.528 km处,较粗粒砂砾岩直接覆盖在深灰色泥岩之上,是水下分流河道微相对下伏三角洲前缘亚相或前三角洲泥岩的冲蚀面;测井曲线上亦表现为幅度突变面。

三肇凹陷葡萄花油层沉积时期,湖盆扩张,基准面不断上升,可容空间不断增大,浅水三角洲发生退积,为一个长期基准面上升半旋回。葡萄花油层的顶底均发育有大套前三角洲灰黑色泥岩,测井曲线上突变为高伽马、高声波时差、低电阻率等,可作为等时标志层用于确认长期基准面旋回;另外,该灰黑色泥岩中因夹有多套油页岩而表现为高电阻率,且特征极其明显,可作为辅助标志层;葡萄花油层底面为一平行不整合面,在地震剖面上相当于松辽盆地T1-1反射层^[11]。

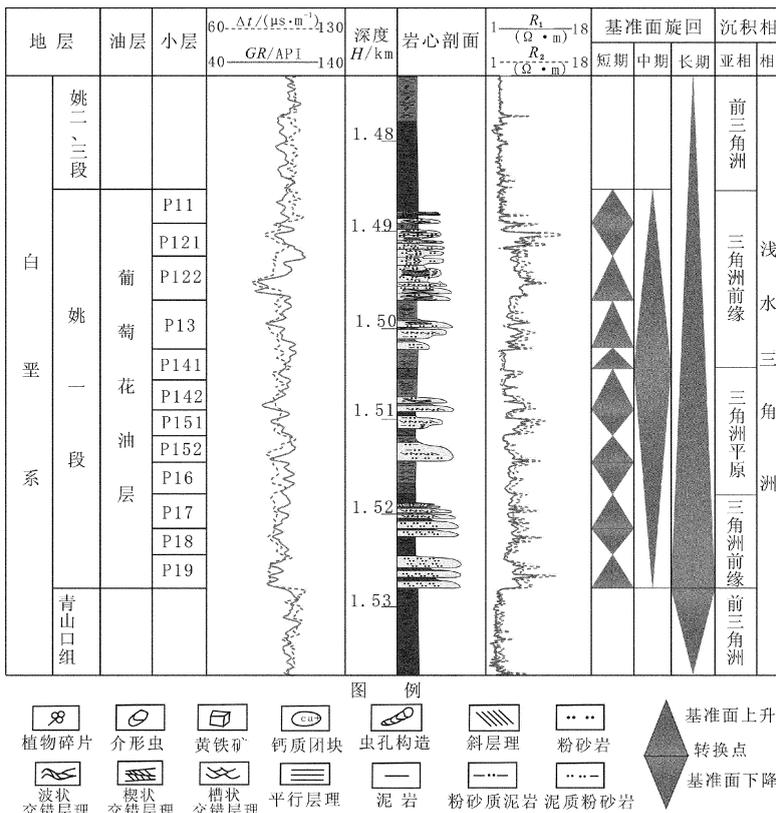


图1 三肇凹陷芳96-检103井姚一段葡萄花油层的基准面旋回划分方案

Fig.1 Identification of base-level cycles of Putaohua oil-bearing layer of the first member of Yaojia formation on well F96-J103 in Sanzhao sag

1.2 中期基准面旋回

中期基准面旋回由一系列具有退积、加积和进

积样式的短期基准面旋回叠加而成,其类型受短期基准面旋回的结构类型和构造样式控制。本区中期

基准面旋回的转换点大致位于葡萄花油层的中部(P141与P142之间),沉积水体最浅,主要为三角洲平原亚相,在研究区内沉积了一套较为稳定的紫红色泥岩,如芳96-检103井1.5064 km处为中期基准面旋回的转换点(图1),该界面之下的4个短期基准面旋回(P19~P142)叠加成中期基准面下降半旋回,之上的4个短期基准面旋回(P141~P11)叠加成中期基准面上半旋回。

1.3 短期基准面旋回

一个完整的短期基准面旋回是由代表基准面上半旋回和下降半旋回的岩石记录构成,但受可容空间与沉积物供给速率比值(A/S 值)的控制,经常发育只代表上升期或只代表下降期的不对称半旋回。其界面可以是侵蚀不整合面或无沉积作用面,也可以是与之对应的连续沉积界面,其识别标志主要是垂向岩相组合和界面接触关系。三肇凹陷姚一段葡萄花油层共划分为8个短期基准面旋回,大致有3种叠加样式。

1.3.1 向上变深的非对称旋回

主要分布于浅水三角洲平原亚相分流河道微相及三角洲前缘亚相水下分流河道微相沉积区,是区内较为常见的叠加样式。通常底部为含砾粗砂岩或粗砂岩形成的冲刷面或发育有底部滞留沉积,向上粒度逐渐变细,形成向上水体变深的上半旋回沉积记录,其下降半旋回多因冲刷侵蚀而无保留或保留较少,最终形成只保存了上半旋回或者上半旋回明显大于下降半旋回的非对称旋回。根据可容空间的差异,该类型又可分为2个亚类:①具有相对较高可容空间增长速率,砂体截切程度低,分流河道或水下分流河道多具有完整“二元结构”,如芳96-检103井1.5190~1.5248 km的前缘亚相沉积,灰绿色分流间湾泥岩构成短期基准面下降半旋回,水下分流河道砂体垂向叠置构成向上变深的上半旋回,上半旋回占优势(图1);②具有相对较低可容空间增长速率,基准面上升幅度有限,沉积物补给量大,多期分流河道相互切割,道间泥岩消失殆尽,垂向上表现为多期分流河道砂体叠置,如图1中1.49235~1.49675 km的三角洲前缘亚相沉积。

1.3.2 向上先变浅后变深的对称旋回

该基准面旋回样式的主要特征是基准面旋回上升和下降时期形成的沉积记录都保存得比较完整,从而形成沉积物由细到粗,再由粗到细的对称沉积旋回,主要分布在三角洲前缘亚相河湖能量相当的部位,基准面下降期形成的溢岸沉积逐渐过渡为基

准面上升期的水下分流河道沉积。如芳96-检103井1.4854~1.4919 km的三角洲前缘亚相沉积,下部远砂坝沉积构成水体变浅的基准面下降半旋回,上部主要是席状砂与前三角洲泥岩沉积组成上半旋回,总体上水体先变浅后变深,形成一个对称的短期基准面旋回(图1)。

1.3.3 向上变浅的非对称旋回

该类型短期基准面旋回类型主要分布于浅水三角洲平原亚相分流河道间、前缘亚相远端、前三角洲亚相及滨浅湖亚相,通常距物源区较远,物源供给相对不足。在基准面上升时期,由于沉积物供给不足,可容空间增长速率远远大于沉积物供给速率,主要表现为饥饿沉积或无沉积作用;在基准面下降时期,可容空间增长速率等于或略大于沉积物供给速率,沉积物形成进积序列,粗粒沉积物不断覆盖在早期较细粒沉积物之上,形成只保存有下降半旋回的非对称性旋回类型。

2 层序地层发育模式的重新认识

三肇凹陷姚一段葡萄花油层厚度薄且变化较大,自北向南跨越三角洲平原亚相—三角洲前缘亚相—前三角洲亚相—滨浅湖亚相等多个沉积相带,岩性变化较快,这就大大增加了地层划分对比的难度。综合岩心、地震、测井、录井及区域地质背景资料认为,三肇凹陷葡萄花油层的地层发育模式为自下而上逐层尖灭导致地层自北向南减薄。其具体特征为:研究区内葡萄花油层的上部地层(P16~P11)全区稳定分布,厚度大致相当,约30 m;葡萄花油层的底部(P19,P18,P17)自下而上逐层尖灭导致地层厚度自北向南减薄。

2.1 三维地震响应特征

三肇凹陷姚一段葡萄花油层的地层厚度较薄,为16~65 m,在主频为30 Hz左右的三维地震剖面上反射为1个或2个相位,仅大致反映出上超尖灭的地层变化情况。在将频率提高至100 Hz所获取的南北向正演剖面(图2)中,可清晰反映出葡萄花油层的地层发育模式:由北向南地层逐渐减薄,上部地层厚度大致相当,分布稳定,下部地层单元向南逐渐上超尖灭(虚线箭头指示尖灭点位置)。

2.2 泥岩颜色变化规律

通过岩心观察,尤其是泥岩颜色的平面分布规律,否定了前人提出的关于早期前积后期构造抬升的地层发育模式^[9]。笔者沿平行物源方向(大致自北向南方向)在研究区内选取4口取心井,对葡萄

花油层的 P16 小层底部的泥岩颜色进行分析。若假设目的层为早期前积后期构造抬升的地层发育模式,那么 P16 小层底部泥岩的沉积环境自北向南应是水体逐渐变深的过程,目的层的泥岩颜色则相应逐渐变暗,而事实恰恰与此相反。由图 3 的岩心柱状图及其所对应的泥岩照片可知,自北向南,P16 小层底部的泥岩颜色逐渐由灰绿色(肇 38 井,1.513 2

km)—浅灰色(肇 114 井,1.5606 km)—灰色斑杂紫色(州 254 井,1.401 1 km)—紫色夹灰绿色(州 35 井,1.405 1 km),由此反映出目的层的沉积环境由北向南弱还原环境渐变为氧化环境,沉积水体逐渐变浅,这与之前的假设完全相反。因此,早期前积后期构造抬升的地层发育模式不成立。

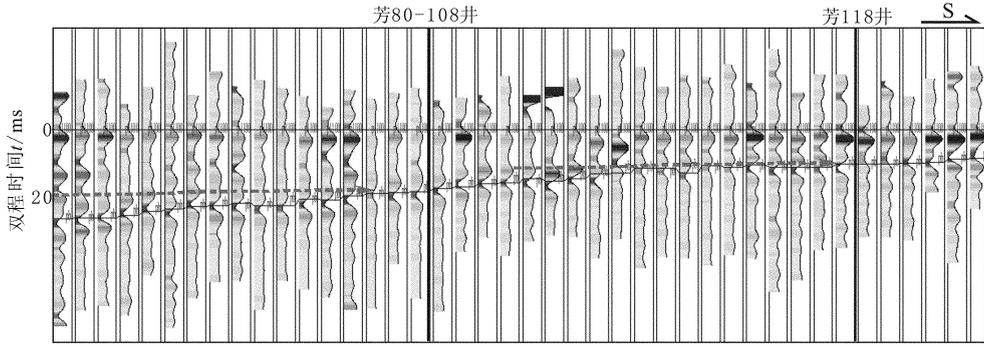


图 2 三肇凹陷葡萄花油层南北向正演剖面(沿葡萄花油层顶部拉平)

Fig.2 Forward modeling profile from north to south of Putaohua oil-bearing layer in Sanzhao sag (flattened along the top of Putaohua oil-bearing layer)

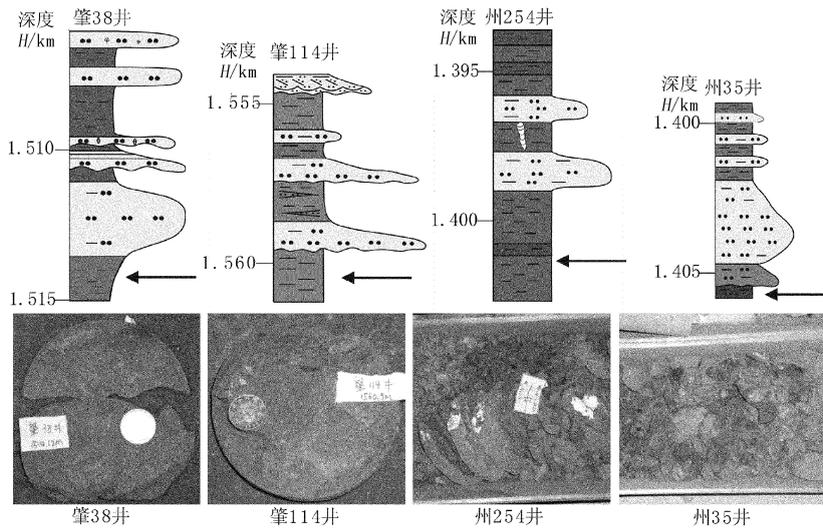


图 3 三肇凹陷葡萄花油层的岩心柱状图及岩心照片(箭头指示照片位置)

Fig.3 Core bar diagrams and pictures of Putaohua oil-bearing layer in Sanzhao sag (the arrows pointing the positions of the pictures)

古沉积背景分析表明,葡萄花油层沉积时期三肇凹陷为地势低洼的沉积区,主要接受强大的北部物源体系源源不断的沉积,未发生抬升剥蚀^[9],从而也否定了削蚀减薄地层发育模式。

综合上述分析,三肇凹陷姚一段葡萄花油层的地层发育模式为上超尖灭的地层发育模式,据此利用测井资料建立南北向精细层序地层对比剖面(图 4 中箭头标注尖灭点的位置,图中 V_{sp} 为自然电位)。精细对比结果表明,P19,P18,P17 自下而上分别在芳 96-101

井、芳 146-102 井和肇 121 井附近发生上超尖灭,投影到平面上即可获知各小层的尖灭线。

3 高分辨率层序地层格架的建立

结合研究区的实际地质情况,遵循旋回对比法则,在上超尖灭的地层发育模式控制下,建立三肇凹陷姚一段葡萄花油层浅水三角洲相的高分辨率层序地层格架。

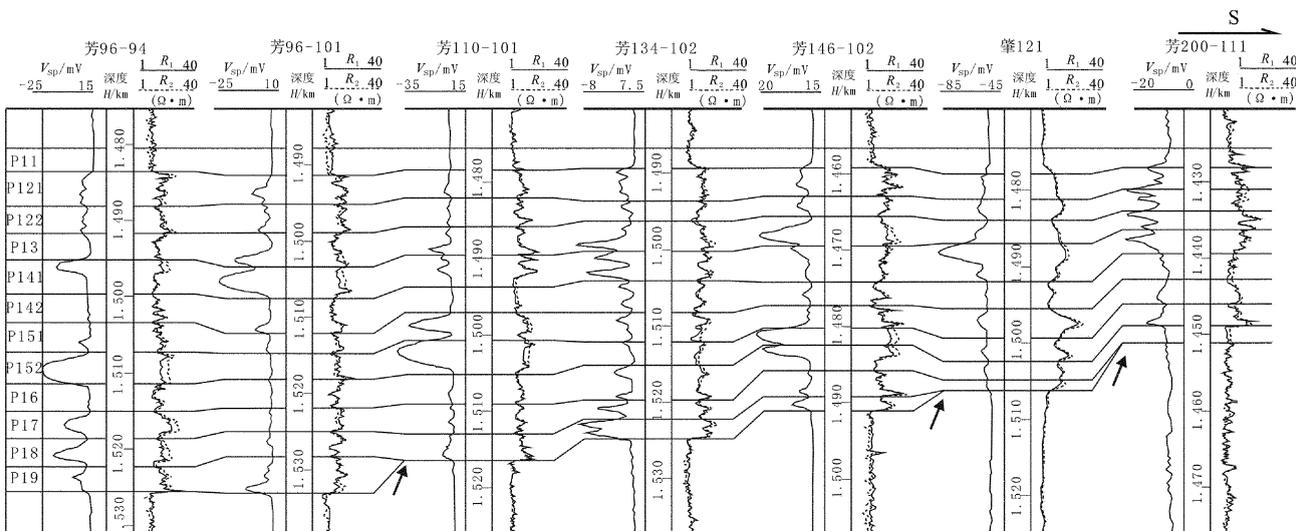


图4 三肇凹陷葡萄花油层南北向地层对比剖面(沿葡萄花油层顶部拉平)

Fig.4 Stratigraphic correlation profile from north to south of Putaohua oil-bearing layer in Sanzhao sag (flattened along the top of Putaohua oil-bearing layer)

3.1 平行物源方向(近南北向)的层序地层剖面

在平行物源方向,由于河、湖水能量差异,沉积微相组合和相序分布存在规律性变化,3种短期基准面旋回样式具有不同的分布位置。在三角洲平原亚相和前缘亚相沉积区,河流作用占主导地位,物源供给充分,可容空间相对较小,河道砂体发育,分流河道间泥岩和溢岸砂岩多遭受不同程度的侵蚀切割,因此多形成向上变深的非对称基准面旋回样式;在三角洲前缘亚相河湖能量相对均衡的区域,沉积物供给相对较充分,基准面下降期形成的砂坝沉

积和上升期的水下分流河道沉积均得到保存,可形成先变浅后变深的对称基准面旋回样式;随着河流作用减弱,湖泊作用占主导地位,在前缘亚相远端和前三角洲亚相沉积区,可容空间相对较大,多见席状砂、远砂坝沉积和缓慢沉积的深水泥岩,可以形成向上变浅的非对称旋回样式。因此,平行物源方向的地层对比工作应遵循“界面(冲刷面)—岩石—界面(沉积间断面)”,沉积微相表现出分流河道(水下分流河道)→席状砂或河口坝→滨浅湖泥岩相的规律性变化(图5)。

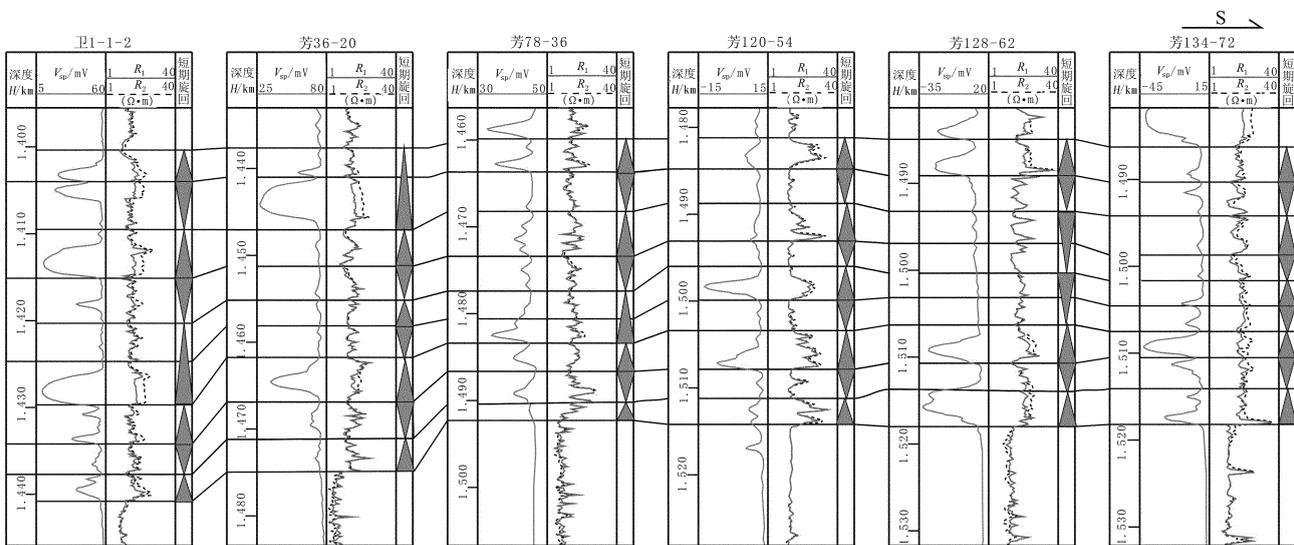


图5 三肇凹陷葡萄花油层平行物源方向的层序地层对比剖面

Fig.5 Stratigraphic correlation profile along the axial direction of shallow delta of Putaohua oil-bearing layer in Sanzhao sag

3.2 垂直物源方向(近东西向)的层序地层剖面

三角洲平原亚相的分流河道微相与三角洲前缘亚相的水下分流河道微相不断发生分支、交汇是浅水三角洲沉积的重要特色之一^[10]。通过精细对比发现,垂直物源方向,在横向上,分流河道微相(水下分流河道)或呈孤立状,被两侧道间泥岩包裹,或

向两侧渐变为溢岸砂,或与河道相互交汇,常使上升半旋回对应于下降半旋回顶部的冲刷面,下降半旋回对应于上升半旋回底部冲刷面,遵循“岩石—界面”的地层对比原则,沉积微相多表现出分流河道(水下分流河道)→道间砂→道间泥→分流河道(水下分流河道)的规律性变化(图6)。

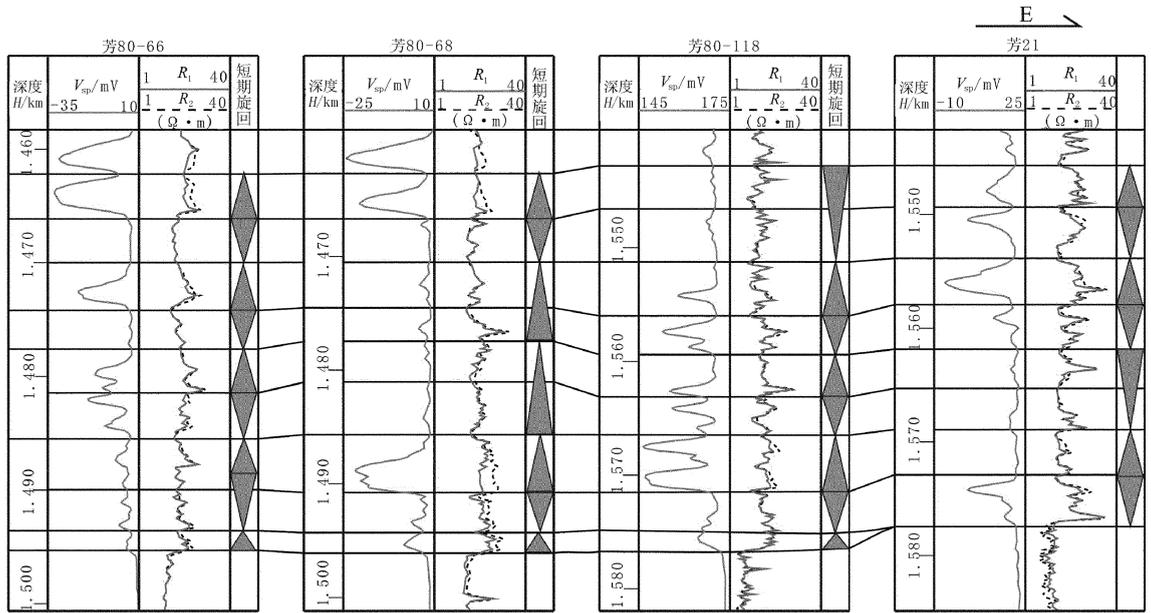


图6 三肇凹陷姚一段葡萄花油层垂直物源方向的层序地层对比剖面

Fig.6 Stratigraphic correlation profile transverse to the axial direction of shallow delta of Putaohua oil-bearing layer in Sanzhao sag

4 结 论

(1)三肇凹陷白垩系姚一段葡萄花油层对应于长期基准面上升半旋回,相当于1个完整的中期基准面旋回,可进一步划分为8个短期地层基准面旋回。其中,短期基准面旋回有向上变深的非对称旋回、向上变浅再变深的对称旋回、向上变浅的非对称旋回3种叠加样式。

(2)三肇凹陷姚一段葡萄花油层的地层发育模式为自下而上逐层尖灭导致地层厚度自北向南减薄,而非前人提出的早期前积后期构造抬升的地层发育模式。

(3)平行物源方向的等时地层对比应遵循“界面(冲刷面)—岩石—界面(沉积间断面)”的原则,沉积微相表现出分流河道(水下分流河道)→席状砂或河口坝→浅湖泥岩相的规律性变化;垂直物源方向则应遵循“岩石—界面”的地层对比原则,沉积微相表现为分流河道(水下分流河道)→道间砂→道间泥→分流河道(水下分流河道)的规律性变化。

参考文献:

[1] 大庆油田石油地质志编写组. 中国石油地质志卷二(上册):大庆油田[M]. 北京:石油工业出版社,1993:155-160.

[2] 魏魁生,徐怀大,叶淑芬,等. 松辽盆地白垩系高分辨率层序地层格架[J]. 石油与天然气地质,1997,18(1):7-14.

WEI Kui-sheng, XU Huai-da, YE Shu-fen, et al. High resolution sequence stratigraphic framework in Cretaceous, Songliao Basin[J]. Oil & Gas Geology, 1997,18(1):7-14.

[3] 郭巍,刘招君,董惠民,等. 松辽盆地层序地层特征及油气聚集规律[J]. 吉林大学学报:地球科学版,2004,34(2):216-221.

GUO Wei, LIU Zhao-jun, DONG Hui-min, et al. The sequence stratigraphic features and hydrocarbon accumulation of Songliao Basin[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2004,34(2):216-221.

(下转第18页)