

沉积基准面在层序划分及油气藏预测中的应用

曹颖辉, 池英柳, 薛良清

(中国石油勘探开发研究院, 北京 100083)

摘要: 沉积基准面旋回变化控制着陆相层序地层的形成与演化。与海相盆地不同, 陆相盆地的沉积基准面既不是海平面也不是湖平面, 而是相当于河流平衡剖面的一个抽象界面。在沉积基准面旋回中, 不同位置的可容纳空间大小不同, 致使沉积物在不同相域内进行体积分配, 从而导致了地层堆积样式、旋回厚度的变化。这些变化正是层序划分对比的标志。依据沉积基准面旋回中沉积物的体积分配原理, 高分辨率层序地层对比应当是有时岩石与岩石、有时岩石与界面、有时界面与界面的对比; 而不是岩性对比和等厚度对比。沉积基准面旋回变化过程中, 可容纳空间大小变化的差异与不同体系域的生储盖发育以及地层不整合面、岩性尖灭线的分布之间存在密切关系。

关键词: 沉积基准面; 可容纳空间; 层序划分与对比; 地层岩性油气藏; 预测

第一作者简介: 曹颖辉, 女, 29 岁, 博士, 石油地质

中图分类号: P539.2

文献标识码: A

1 沉积基准面的概念

沉积基准面是一个用于描述沉积作用上限和侵蚀作用下限的动态平衡面, 高于此面主要表现为侵蚀作用, 即使有沉积作用也是局部和暂时的, 在此面之上沉积物质点不稳定, 不能长期保存下来成为地层记录。低于此面主要表现为沉积作用, 即使有侵蚀作用也是局部和暂时的, 沉积物可能被长期保存下来而形成地层记录^[1]。可容纳空间是与沉积基准面相关联的一个概念, 指位于沉积基准面之下, 沉积物表面之上的可供沉积物堆积的潜在空间^[2]。沉积基准面不是静止不动的, 而是随时间不断变化的。可容纳空间增减与沉积基准面升降同步。

目前关于陆相盆地的沉积基准面的认识还存在分歧, 有人认为无论是陆相盆地还是海相盆地最终的沉积基准面都是海平面, 也有人认为陆相盆地的沉积基准面是湖平面。由于陆相盆地与海相盆地存在巨大的差异, 所以简单的把陆相盆地的沉积基准面归结为海平面是不确切或不正确的。陆相盆地作为地表的局限洼地, 湖盆的最高湖平面位置与盆地泻水口高程一致, 沉积物堆积到最高湖平面和湖泊消亡之后, 其上还可继续堆积河流冲积沉积物, 所以对于陆相盆地, 沉积作用的上限并不是最

高湖平面, 而是河流冲积沉积物沉积的最高界面。根据 Posamentier 的定义, 河流沉积平衡剖面是指河流搬运能力与物源区供给沉积物总量之间恰好达到平衡状态时形成的顺水流方向逐渐递降的地形; 沉积物堆积到河流沉积平衡剖面时, 其纵切面上各点的连线理论上是一条抛物线, 向物源方向逐渐变陡, 向物源出口方向逐渐变缓^[3]。因此, 根据沉积基准面和河流沉积平衡剖面的定义, 陆相盆地最终的沉积基准面不是湖平面而是相当于河流平衡剖面的一个抽象界面。在陆相湖盆中, 湖平面始终低于沉积基准面。最高湖平面及其外延部分只是区分湖相沉积体制和河流沉积体制的分界面, 界面之上以河流冲积沉积为主, 界面之下以正常湖相沉积为主(图 1)。

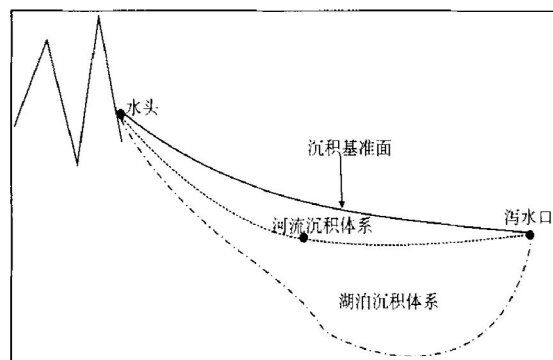


图 1 沉积基准面与可容纳空间分布关系示意图

Fig. 1 Diagram showing relations between depositional base-level and distribution of compatible space

2 作用

2.1 层序划分

一个完整的基准面升降旋回中沉积的地层单元称为层序。在一个基准面旋回中, 特定时期特定位置沉积的地层单元称为体系域。沉积基准面作为可容纳空间的制约变量和沉积物通量的影响因素(地形梯度、气候、迁移物质的岩性和组构、水动力体制)的响应, 其升降运动必然引起沉积物类型、堆积样式、地层厚度等的变化。

2.1.1 层序构成

目前关于层序内部体系域的划分究竟应当采取三分、四分还是两分方案仍存在很大的争议。在基准面旋回中, 可容纳空间大小随地理位置而变化, 由此堆积在可比较的沉积环境中的沉积物发生体积分配。当沉积基准面上升时, 扩大了可容纳空间的范围, 增加了盆地边缘方向沉积物的存储能力, 在同一沉积体系内, 堆积在盆地边缘相域内的沉积物体积增加, 必然减少了向下坡方向搬运的沉积物体积, 导致靠近盆地中心相域内沉积物体积减少。随着沉积基准面的不断上升, 沉积物呈现向盆地边缘退积的堆积样式。沉积基准面下降时, 盆地边缘相域的可容纳空间比该旋回基准面上升时的可容纳空间减少, 被搬运到盆地中心去的沉积物体积增加。随着沉积基准面的不断下降, 导致沉积物不断向盆地中心进积呈现进积的堆积样式。当沉积基准面相对稳定时, 可容纳空间也保持相对稳定, 沉积物不断垂向加积而呈现加积的堆积样式(图2)。在一个完整的基准面旋回中, 受其控制的地层进积单元的叠加样式表现出明显的四分性, 即一套退积、一套进积和两套加积。由此得出的结论是一套完整的层序也应具四分性, 对于湖相层序而言可以划分出低水位、湖侵、高水位和湖退4个体体系域。但是实际上并不是所有层序的四分性都很明显, 特别是对于由短期基准面旋回控制的低级别层序, 当基准面升降幅度较小时, 可容纳空间变化也较小, 造成沉积物的进退迁移不明显。所以层序内部体系域的划分不能一概而论, 而应依据资料情况和研究精度具体问题具体分析。一般较高级别层序(一、二级)的四分性比较明显, 可以采取四分

方案, 而对于较低级别的层序(三、四级)可依据实际情况采取三分或两分。

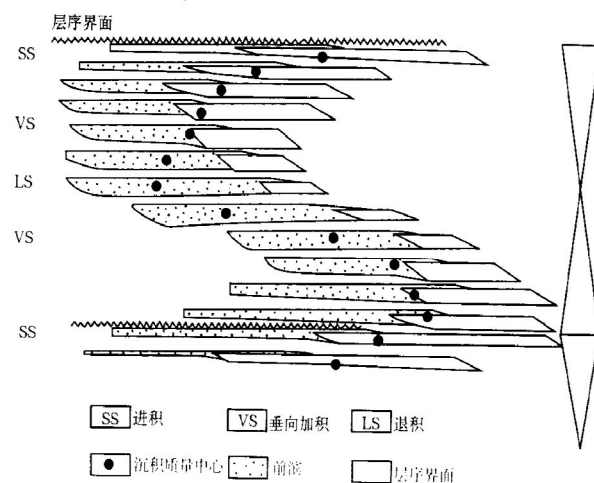


图2 基准面旋回期间沉积物堆积样式与体积分配*

Fig. 2 Sediments stacking pattern and distribution in volume in the course of base-level cycle

2.1.2 层序界面

层序划分的关键在于各级层序界面的识别。依据过程响应原理, 各级界面的形成是沉积基准面旋回中, 沉积物的体积分配和相分异的结果。所以层序划分的关键是地层记录中各级基准面旋回转换面的识别。在地震剖面上, 一般可根据不整一反射界面识别; 在单井层序划分时, 可根据古生物化石丰度和分异度发生显著变化的转折面, 各种相标志所确认的相序演化趋势的转折面, 地球化学参数变化的转折面等特征来进行识别; 在连井层序对比剖面上, 可根据地层叠置样式发生变化的转折面识别。最后从成因和演化角度统一各种信息, 确认层序和体系域的边界。通过基准面和可容空间变化的研究, 在松辽盆地西部斜坡白垩系中可识别2~5级基准面变化旋回, 其中青山口-姚家组三级旋回有6个, 可构成明显的二级旋回两个。由于青山口和姚家期相对湖平面上升到最高点并做震荡式运动, 湖域范围较大, 所以三级层序往往缺乏低位体系域和水退体系域, 主要发育湖侵和高水位体系域(图3)。

2.2 地层对比

同一层序在不同地理位置, 由于可容纳空间大小的不同, 导致保存下来的地层记录特征也不同。因此, 在进行高分辨率层序地层对比时就要有时岩石与岩石, 有时岩石与界面, 有时界面与界面对比, 而不是等厚度对比和岩性地层对比^[4]。以松辽盆地西部白垩系青山口组-姚家组一段层序地层对比为例, 西部F37井位于盆地边缘西斜坡上, 东部

* Cross T A. High-resolution stratigraphic from the perspective of base-level cycle and sediment accommodation. 西北欧层序地层会议材料, 1994

F45 井位于古龙凹陷的边缘, 由于层序 S1 和 S2 分别处于二级基准面旋回上升的晚期和下降的早期, 从盆地边缘到盆地中心的可容纳空间均较大, 所以

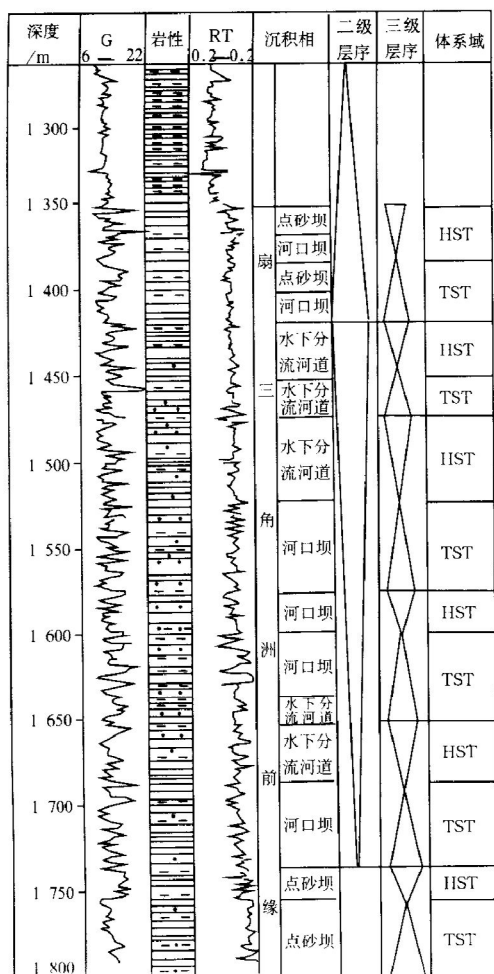


图 3 松辽盆地 F2 井层序划分

Fig. 3 Sequence division for F2- Well in Songliao basin

在层序 S1 和 S2 中三级基准面旋回从盆地边缘到盆地中部均表现为以基准面下降半旋回为主的不对称旋回。层序 S3 和 S4 处于二级基准面下降的中晚期, 此时盆地边缘的可容纳空间已较 S1 和 S2 时期有所减小, 所以在层序 S3 和 S4 中, 三级基准面旋回在盆地边缘转变为以基准面上升半旋回为主的弱对称或不对称旋回, 在盆地中部则仍是以基准面下降为主的不对称旋回。层序 S5 处于二级基准面旋回下降的晚期, 此时整个盆地的可容纳空间与 S1 时期相比已有明显减少, 所以三级基准面旋回在盆地边缘只有上升半旋回被保留下来, 基准面下降半旋回则表现为沉积过路造成的沉积间断。因此在层序 S5 中 F38 和 F45 井中的基准面下降半旋回只能与 F37 井中的沉积间断面对比(图 4)。

2.3 地层岩性油气藏预测

地层岩性油气藏是指在一个含油气盆地受构

造条件、古地貌条件、古水流条件以及盆地地质历史演化所控制的岩性变化和某些地层接触关系变化所形成的圈闭油气藏^[5]。其类型主要包括各种岩性油气藏、地层超覆油气藏和地层不整合遮挡油气藏。由于沉积基准面升降变化和可容纳空间变化速率的差异, 使得不同的体系域类型与烃源岩、储集层发育与否以及形成的地层岩性圈闭的类型之间存在密接的关系。以松辽盆地为例, 砂岩透镜体油气藏主要形成于基准面下降末期形成的深切谷砂岩、低位三角洲前缘断续砂岩, 沉积基准面快速上升和稳定期形成的湖侵和高水位浊积砂岩以及沉积基准面快速下降期形成的湖退三角洲前缘垮塌砂岩中(图 5)。基准面下降末期, 由于湖盆大规模收缩, 河流下切作用加强, 在盆地边缘形成一些下切谷, 盆地内部则由于三角洲深入湖区较远, 前缘侧缘的连续性变差, 而形成一些断续状砂体。基准面上升期这些砂岩被湖侵泥岩覆盖, 即砂岩透镜体圈闭。基准面快速上升和相对稳定的湖侵和高水位期湖盆范围较大, 气候潮湿, 极易爆发洪水泥石流, 洪水泥石流产生的粗碎屑物质被带到深水沉积区则形成浊积砂岩透镜体。而沉积基准面快速下降期, 由于三角洲不断向湖区推进, 前缘坡度变陡, 发生垮塌, 从而在前三角洲深水区形成垮塌砂岩透镜体。这些砂体中虽然深切谷砂岩远离烃源岩, 但有区域不整合面作为油气运移通道, 所以也可以成藏。其他砂体或临近烃源岩或包裹于其中, 生运聚条件好。另外砂体物性也较好, 所以常可形成一些小而肥的油气藏, 唯一的缺点是规模较小, 勘探风险大。目前在一些继承性深凹陷如三肇凹陷、古龙凹陷和长岭凹陷内都发现了此种类型的岩性油气藏。砂岩上翘尖灭油气藏主要形成于沉积基准面快速上升期的湖侵超覆砂岩和沉积基准面快速下降期的三角洲退覆砂岩中。无论是超覆砂岩还是退覆砂岩, 由于湖浪、潮流和河流的作用比较强, 储层物性都较好, 垂向上位于密集段生油岩的上下方, 生储盖组合条件好。构造背景下的岩性尖灭是该类油气藏成藏的关键, 所以该类油气藏主要分布于盆地边缘斜坡带, 盆地内部古隆起的围斜部位和构造的翼部。红岗北部油田就是已发现的青山口组二、三段湖退砂岩与鼻状构造配置形成的砂岩上翘尖灭油气藏。断层岩性油气藏主要形成于沉积基准面上升和下降早期的三角洲前缘。沉积基准面上升期, 三角洲前缘水下分流河道砂体

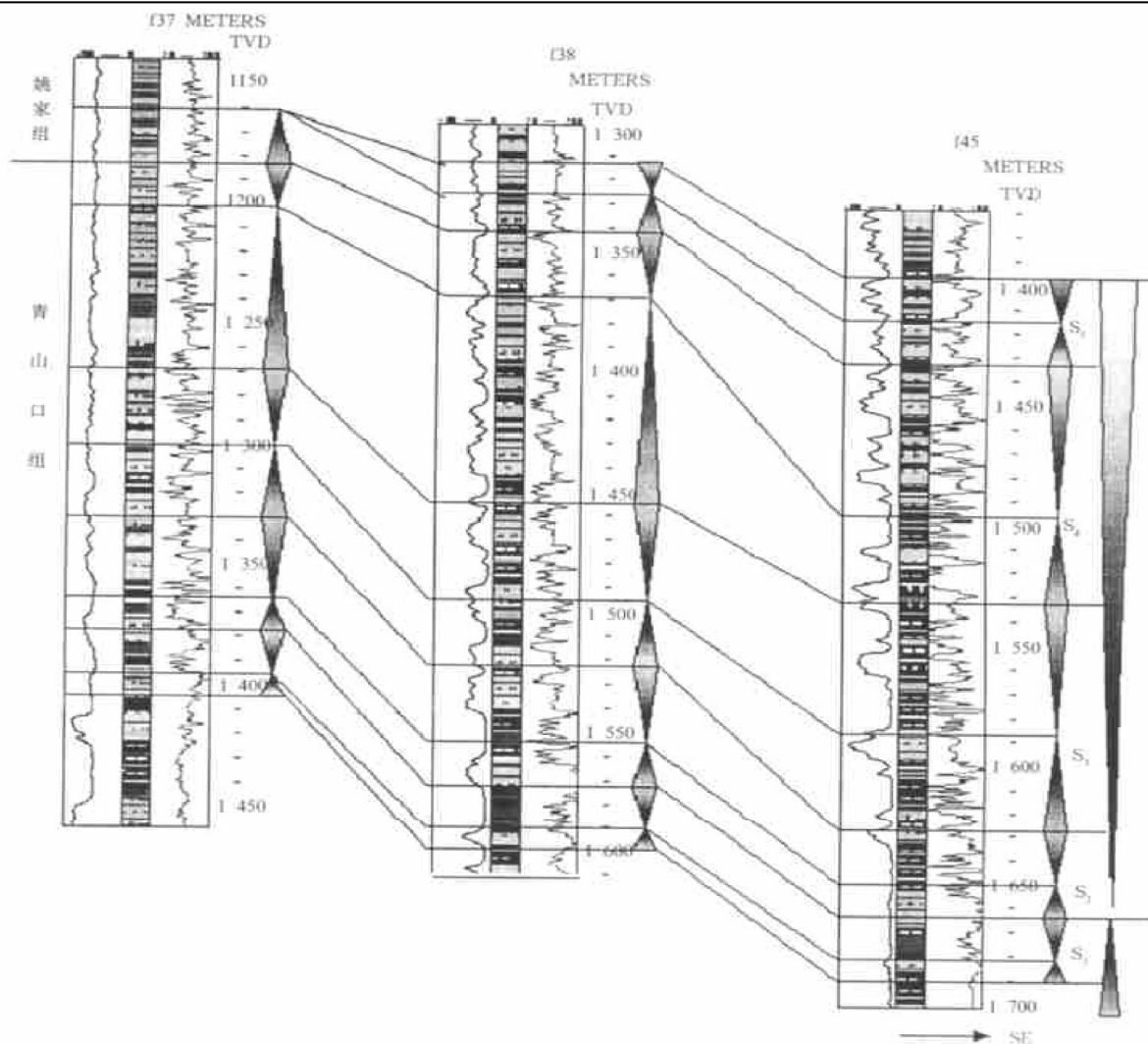


图4 松辽盆地西部青山口组-姚家组一段层序对比图

Fig. 4 Correlation of sequence of Member I of Yaojiao Formation- Qingshankou Formation in western Songliao basin

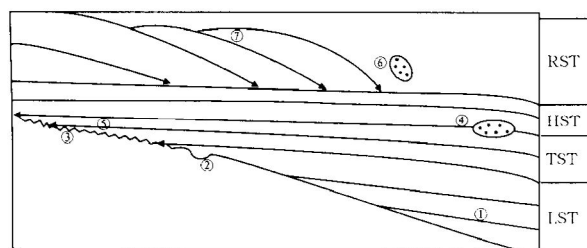


图5 松辽坳陷盆地地层岩性油气藏分布模式

Fig. 5 Distribution pattern of stratigraphic- litho- hydrocarbon reservoirs in Songliao depressed basin

- ①—低水位三角洲前缘断续砂岩透镜体岩性油气藏;
- ②—深切谷岩性油气藏; ③—地层不整合遮挡油气藏;
- ④—湖侵、高水位浊积砂岩透镜体岩性油气藏; ⑤—地层超覆油气藏、湖侵砂岩上翘尖灭油气藏、断层岩性油气藏;
- ⑥—湖退三角洲前缘垮塌砂岩透镜体岩性油气藏;
- ⑦—断层岩性油气藏、砂岩上翘尖灭岩性油气藏

断向前推进,前缘由于差异压实作用,同生断层发育,侧向上如果存在由于岩性尖灭或物性变差而形成的封堵,同样可形成断层岩性油气藏。目前发现的该类油气藏主要分布于盆地边缘斜坡带同生断层发育处。大情字井地区黑43井就是此种类型油气藏。地层超覆油气藏和地层不整合遮挡油气藏都是形成于基准面上升、大规模湖侵期。不同之处在于地层超覆油气藏形成于不整合面之上,储层为湖侵早期砂岩,盖层及烃源岩为超覆于其上的湖侵期泥岩,底板遮挡层为不整合面之下的非渗透性地层。地层不整合遮挡油气藏形成不整合面之下,储集层为剥蚀基岩凸起或剥蚀古构造,盖层为湖侵期披覆于其上的湖侵泥岩。这两种类型的油气藏垂向上都分布于基准面下降形成的不整合面附近,平面上主要分布于盆地边缘斜坡带和盆地内古基岩凸起和古剥蚀构造上。目前,松辽盆地的西斜坡套堡一带和中央坳陷的盆台古构造上分别发现了上

纵向上比较稳定,横向减薄快,这样上翘方向上如遇断层遮挡,侧向岩性尖灭形成封堵则可形成断层岩性圈闭。沉积基准面下降早期,随着三角洲的不

述两类地层油气藏。

3 结论

引入沉积基准面和可容纳空间概念为进行地层层序分析提供了一种新途径。基准面旋回过程中,可容纳空间大小的变化造成了沉积物的体积分配。根据过程响应原理可指导层序的划分和对比。同时由于基准面旋回变化过程中,可容纳空间变化的差异,使得不同体系域与生储盖层的发育与否以及地层岩性油气藏的发育类型有密切关系。因此依据层序地层学研究提供的等时地层格架和科学的概念模型,可指导地层岩性油气藏勘探。

参 考 文 献

1 Wheeler H E. Baselevel, lithosphere surface, and time-stratigraphy[J].

Geological Society of America Bulletin, 1964, 75: 599~ 610

- 2 Jervey M T. Quantitative geological modeling of siliciclastic rock sequences and their seismic expression[A]. In: Wilgus C K, Hastings B S, Kendall C G St C, et al. Sea-level changes: an integrated approach[C]. SEPM Special Publication, 1988, 42: 47~ 69
- 3 Posamentier H W, Jervey M T, Vail P R. Eustatic controls on clastic deposition: a conceptual framework[A]. In: Wilgus C K, Hastings B S, Kendall C G St C, et al. Sea-level changes: an integrated approach[C]. SEPM Special Publication, 1988, 42: 109~ 124
- 4 邓宏文,王洪亮,钟宁宁. 沉积物体积分配原理——高分辨率层序地层的理论基础[J]. 地学前缘, 2000, 7(4): 305~ 313
- 5 田在艺,常承永,钱绍新. 隐蔽油气藏的勘探[A]. 见: 大庆石油地质与开发编辑部编. 中国隐蔽油气藏勘探论文集[C]. 哈尔滨: 黑龙江科学技术出版社, 1984. 39~ 49

APPLICATION OF DEPOSITIONAL BASE- LEVEL CONCEPT IN SEQUENCE STRATIGRAPHIC DIVISION AND PREDICATION OF HYDROCARBON

Cao Yinghui Chi Yingliu Xue Liangqing

(Research Institute of Petroleum exploration and Development, Petro China, Beijing)

Abstract: Changes in depositional base- level cycle control the development and evolution of sequence stratigraphy. The depositional base- level of continental basin, different from that of marine basin, is neither sea- level nor lake- level but an abstract contact equivalent to river depositional equilibrium profile. Different position with different size of compatible space during depositional base- level cycles resulted in the distribution of sediments in volume within various facies leading to the variation of stratigraphic- accumulation patterns and symmetries of stratigraphic cycles. Therefore, these variations are just markers for correlation of sequence division. According to the principal of distribution of sediments in volume in the depositional base- level cycle, the correct chronostratigraphic correlation of sequence stratigraphy with high resolution shall be that of rocks to rocks, rocks to surfaces, surfaces to surfaces or contacts to contacts instead of the correlation of lithology or isostratigraphy. During the change of depositional base- level cycle, there were very close relations between differences in the variation of compatible space size and the development of source rock, reservoir rock and cap rock in different tracts as well as the unconformity surface and the distribution of litho- pinch out.

Key words: depositional base- level; acceptable space; sequence division; correlation; litho stratigraphic reservoir predication;