

文章编号: 1000-0550(2013)04-0608-08

滨里海盆地碳酸盐岩高频层序特征及其油气勘探应用^①

——以 M 区块石炭系 KT—I 含油层系为例

胡源^{1,2} 陈开远^{1,2} 李玉海³ 刘双双^{1,2} 郭晓琛^{1,2}

(1. 中国地质大学能源学院 北京 100083; 2. 海相储层演化与油气富集机理教育部重点实验室 北京 100083;
3. 东方物探公司研究院大港分院 天津 300280)

摘要 KT—I 是滨里海盆地 M 区块盐下重要含油层系,该层灰泥频繁互层,相带类型多样,非均质性严重,储层展布认识不清。本文应用高频层序地层学研究思路,提出碳酸盐岩高频层序及超层序划分体系域的可行性及思路,以及淹没不整合面作为碳酸盐岩层序界面的重要作用。在此基础上,岩—电—震相结合,通过淹没不整合面和暴露间断面等层序界面的分级识别与分析,首次将研究区 KT—I 含油层系划分为 3 个四级层序、9 个五级层序,并对高频层序进行体系域划分;建立了研究区快速海侵(对应淹没不整合)和慢速海侵条件下对应的高频层序体系域发育模式,理清研究区地层发育特征及储层展布规律。进而讨论淹没不整合及高频层序体系域在碳酸盐岩油气勘探中的应用。

关键词 滨里海盆地 碳酸盐岩 淹没不整合 高频层序 储层相带分析

第一作者简介 胡源 男 1986 年出生 硕士 层序地层学与油藏描述 E-mail: huyuank2006@163.com

中图分类号 P539.2 TE121.3⁺⁴ **文献标识码** A

0 前言

近年来,陆相层序地层学在我国取得了蓬勃发展,已基本形成具中国特色的陆相层序地层学理论。相比之下,中国海相碳酸盐岩层序地层学的研究相对薄弱,还存在许多问题:如淹没不整合^[1,2]能否作为层序界面,不同级别层序能否以及如何划分体系域等。目前,我国碳酸盐岩研究主要集中于塔里木、川东和南海地区^[3],受资料及方法等限制,层序地层学研究多局限于三级层序及对应的体系域划分^[3~5]。随着研究深入,三级层序划分已不能满足油田实际生产的需求。

滨里海盆地位于东欧地台东南隅,呈东西向延伸,盆地面积 $50 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。M 区块位于阿斯特拉罕—阿克纠宾斯克隆起带上,区域构造位置非常有利。研究区周边发现有多个油气田及含油气构造,是盆地有利的油气聚集区。通过近几年的勘探,M 区块的研究初步成果,发现了 T 油田,成为我国海外的油气增长点。

因此,本文以滨里海盆地 M 区块为例,通过对碳酸盐岩含油层系进行高频层序分析^[3,6],对以上提出的问题进行探讨,理清研究区层序地层发育特征及储

层展布规律,进而总结研究区高频层序及体系域划分方法和发育模式,以期为国内碳酸盐岩研究提供借鉴。

1 碳酸盐岩高频层序地层研究

在以往研究中,不论海相还是陆相,体系域划分主要针对三级层序而言,超层序和高频层序的体系域组合特征很少论及。2001 年在武汉举行的全国沉积学大会上,李思田教授提出三级以上的高频层序也具有与三级层序同样结构的特征。也就是说在分析更高级别的层序时,只要有足够的手段以及资料分辨率允许,都可以做类似划分三级层序体系域的体系域划分工作。李群、王英明等也认为,任何级别的完整层序都可划分为 3 个体系域,即低位体系域、水进体系域和高位体系域^[7]。

笔者认为体系域是基准面变化等因素作用的产物,不同级别的基准面或海平面变化曲线对应不同级别的层序单元,不同级别的层序发育与其相应级别的体系域对应。在方法和资料允许的情况下,完整的高频层序也可以进行相应级别的体系域划分。当然,考虑到沉积时间相对较短以及构造部位的差异,高频层序对应的体系域发育可能是不完整的,主要表现为受

^①国家自然科学基金项目(批准号:41104084)和中石油科技创新基金项目(编号 2011D-5006-0303)资助
收稿日期:2012-05-20;收修改稿日期:2012-07-23

可容纳空间与物源供应变化的影响。例如发育在台地环境下的高频层序可能缺失低位体系域,而位于陆棚坡折之下的高频层序对应的高位体系域发育则会受限。这些情况在三级层序中也是常见的。

1.1 层序界面类型及识别标志

根据碳酸盐岩层序发育特征,综合分析岩心、薄片、测井和地震等资料,可识别出4种类型的层序界面。

(1) 构造不整合面: 是地层抬升暴露的标志,有明显的地层缺失和角度不整合关系,对应于较大级别的层序界面。层序顶界面附近往往发生较大规模的岩溶作用(喀斯特)及局部的白云石化作用等^[3],如KT—I层与阿舍里阶之间的不整合面。

(2) 暴露间断面: 由于海平面频繁升降造成的部分地层出露地表,未发生或仅发生较弱剥蚀作用而产生的沉积间断面,局部地层可出现不整合接触,主要与低级别层序(四级、五级及以上)界面相对应。根据薄片鉴定,暴露剥蚀面附近地层往往具石膏晶体、溶蚀孔或鸟眼构造等暴露标志。如KT—I段内部的高频层序界面。

(3) 淹没不整合面: 未见到暴露标志,主要形成于海平面快速上升过程中,沉积水体加深造成碳酸盐岩生产速率的降低或停止生产,从而发生沉积滞后效应。常常表现为深水或较深水沉积物直接覆盖在浅水沉积物之上,界面上下的地层或岩石相带不连续,相变突然。其识别标志主要包括:地震测线上强振幅反射,与下部的碳酸盐沉积相及上部碎屑岩沉积相之间的一个明显波阻抗差有关;陆架上碳酸盐台地的退积方式;在陆架环境中被高位体系域下超以及测井曲线的突变变化等。在碳酸盐岩层序中,淹没不整合代表了最重要的一个地层分界面,它以碎屑岩序列为特征^[8,9]。

关于淹没不整合面是否可以作为层序界面,笔者认为快速的水面上升往往抑制台地部位碳酸盐岩的生长,形成沉积间断面,这样形成的碳酸盐岩与泥岩的岩性界面具有相对的等时效果,而淹没不整合概念本身也强调了泥岩沉积速度相比水面快速上升的速度是可以忽略的。淹没不整合的穿时特征及其在海相环境中水体突然加深阶段的形成过程,使得其与碎屑沉积体系中的洪泛面类似。从体系域划分角度来讲,淹没不整合界面也可解释为快速海进造成低位体系域不发育或欠发育,海进体系域的泥质沉积直接覆盖在下伏层序高位体系域碳酸盐岩之上而形成的

TST+HST型层序。此时,淹没不整合面具有最大洪泛面的特征,但并不是所有的洪泛面都可作为淹没不整合,仅仅是那些与快速海侵相联系的洪泛面可以。

因此,鉴于其重要意义和在地震反射明显特征,淹没不整合可以作为碳酸盐岩与硅质碎屑地层相对等时的层序边界。如研究区石炭系KT—I与MKT的分界面以及KT—I内部部分高频层序界面均以淹没不整合面为主,测井曲线表现为突变关系。

(4) 事件性沉积界面: 在相对深水的陆棚环境中,可根据发育特征的低位体系域盆底扇颗粒灰岩或砂岩来划分层序。颗粒灰岩或砂岩通常呈透镜状,底部具冲刷构造,内部具正粒序。如KT—I下部层序低位体系域形成的盆底扇和斜坡扇。

值得注意的是,任何一个层序界面的性质并不是一成不变的,在盆地不同区域或部位层序界面往往会表现为不同性质,即可以定义为不同类型。

1.2 研究区高频层序划分

在三级层序格架内进行四级、五级及以上高频层序划分和对比,实际是使用旋回地层学和事件地层学的原理^[10]。碳酸盐沉积对海平面变化的反映十分敏感,当海平面上升超过透光带,碳酸盐生长就会受到抑制,发育在海侵环境中的泥岩或页岩层往往便于横向上的追踪对比,因此可以作为高频层序界面的识别标志。而测井曲线具有等间距采样的特点,数据序列连续、纵向分辨率高,特别是自然伽马曲线能敏感地反映碳酸盐岩地层中泥质含量的变化^[11],结合岩心及薄片观察,可以作为识别高频旋回的有效手段。此外,具有海退特征的小型喀斯特和白云石化现象等层序界面的典型特征,通过岩心观察、薄片分析、地震资料分析^[12]等可以较好的识别(图1、图2)。

本次研究根据以上分析将滨里海盆地M区块石炭系MKT段和KT—I段划分为1个超层序,将KT—I段细分为3个四级层序、9个五级层序(图1)。其中超层序的地层剖面表现出三级层序的岩性组合特征,如MKT层对应于超层序的低位体系域(以发育深灰色泥岩、细粉砂岩为主,部分地区发育砾岩)和海进体系域(以发育深灰色灰质泥岩、粉砂质泥岩和泥晶灰岩为主),KT—I层对应于高位体系域(以发育浅灰色泥晶灰岩、亮晶生物碎屑灰岩为主,局部发育白云岩和石膏)。

KT—I层SSQ2以发育淹没不整合型碳酸盐岩高频层序为主,具快速海侵的沉积特征,表现为总体向上变浅的“盆地相泥页岩—浅水碳酸盐沉积”^[13],往

往具有不对称性的特点,即快速海进和相对缓慢的海退。在相对海平面快速上升期间,由于海平面上升速率超过碳酸盐生长速率,产生淹没事件而形成泥质沉积单元——凝缩段,该凝缩段直接覆盖在下伏层序的高水位体系域上,二者之间即为一个淹没不整合面,GR曲线表现为海侵泥岩高值与下伏高位域碳酸盐

岩低值的突变接触(图1)。到达最大海泛面之后,海平面进入停滞期及缓慢下降期,GR曲线值缓慢降低。随着海平面变浅,碳酸盐生长速率和堆积速率逐渐增大,从而沉积由浅水碳酸盐沉积构成的高位体系域。SSQ1和SSQ3则以发育正常或慢速海进型高频层序为主,对应的海进体系域仍可保持碳酸盐的发育。

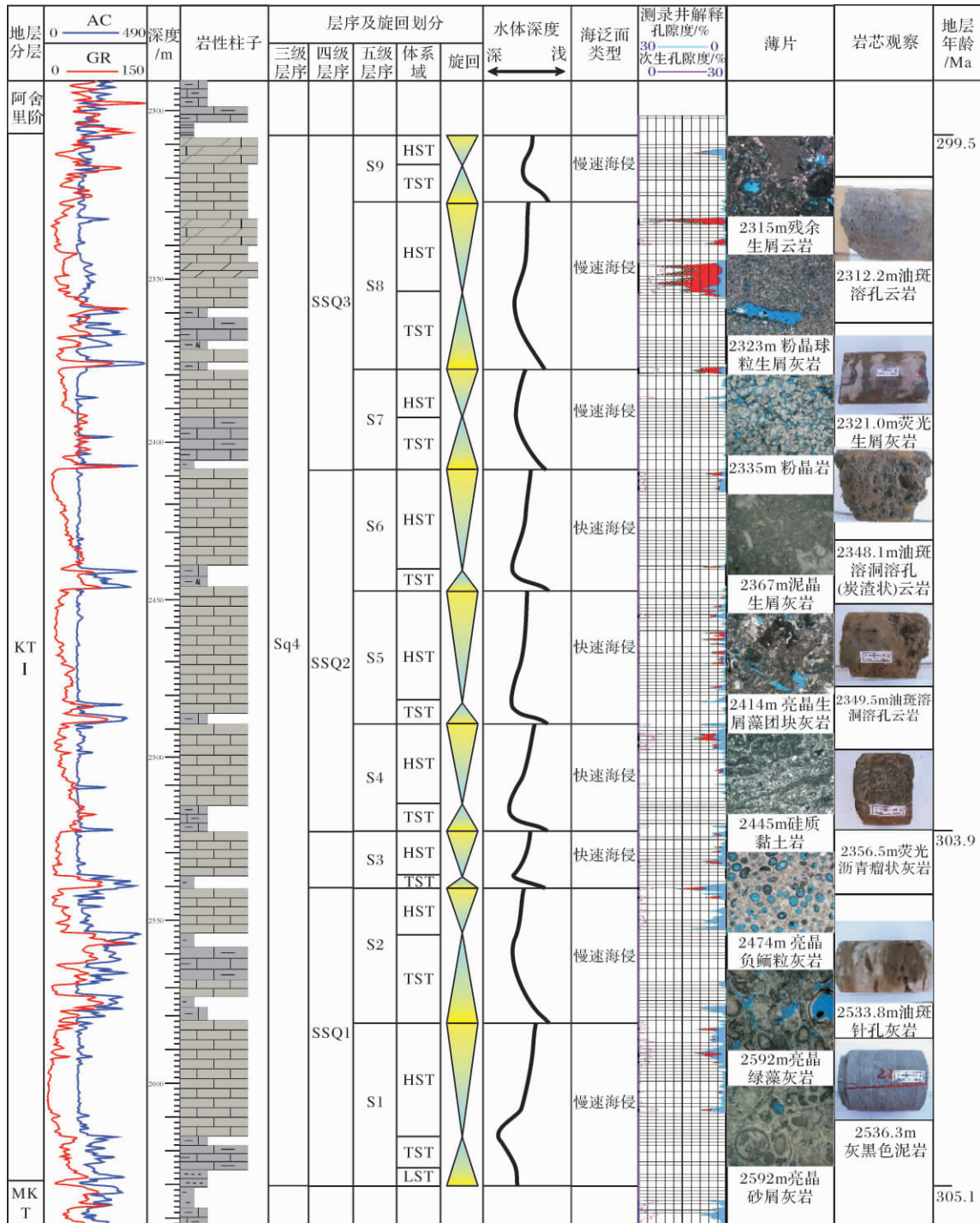


图1 滨里海盆地M区块C1井高频层序单元特征

Fig. 1 High-frequency sequence feature of C1 well in M block of Pre-Caspian basin

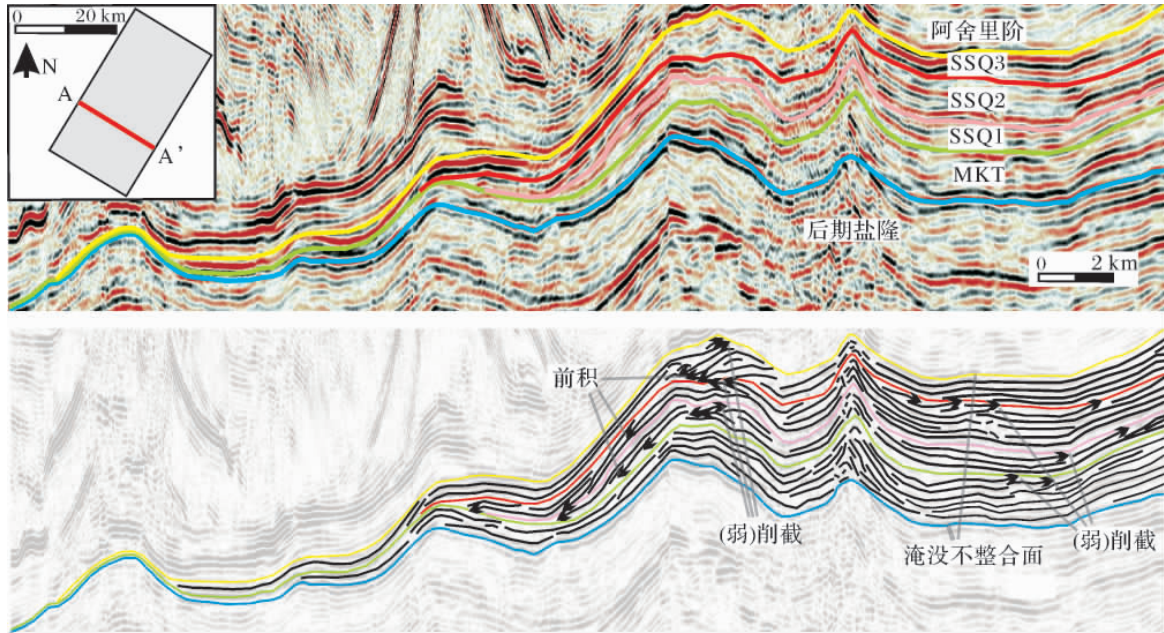


图 2 M 区块 KT-I、MKT 含油层系高频层序地震剖面解析

Fig. 2 Seismic profile interpretation of KT-I and MKT member in M block

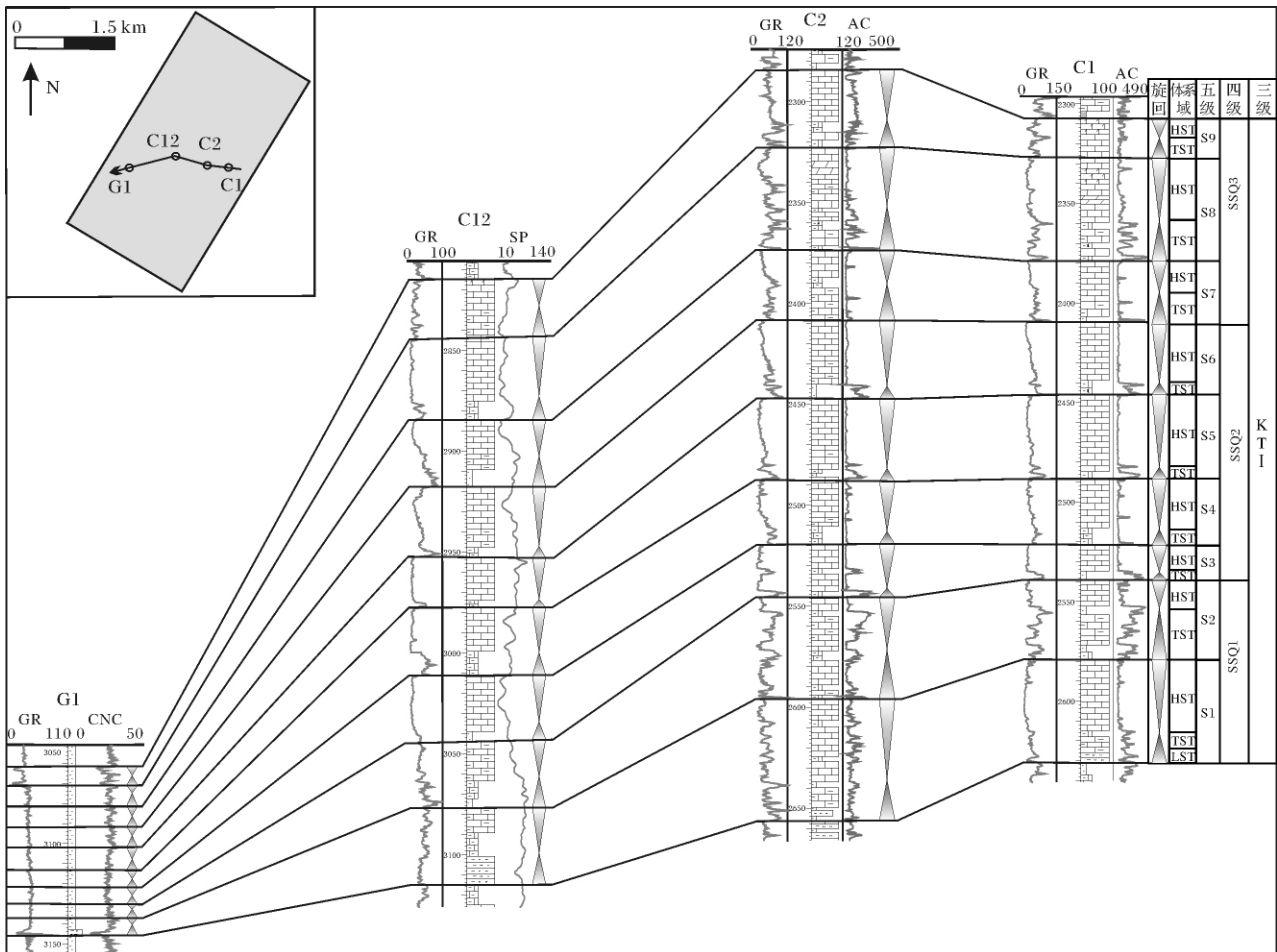


图 3 M 区块 KT-I 层台地—盆地碳酸盐岩高频层序格架对比剖面

Fig. 3 Comparison profile of high-frequency sequence from platform to basin in M block

此外,地震剖面显示四级层序 SSB2、SSB3、SSB4 界面具削截现象(图 2),薄片资料显示五级层序高位体系域见溶蚀孔及鸟眼构造等暴露标志; S8、S9 高频层序顶部发育白云岩,局部地区发育石膏晶体;测录井解释也显示高频层序高位域次生孔隙明显发育,油气产量较高(图 1)。由此反映在四、五级高频层序高位域形成以后,发生了水面快速下降(快速海侵造成前期地层暴露时间相比正常海进较短,次生孔隙发育程度相对较低)造成后期高频层序高位体系域暴露地表遭受剥蚀,局部地区形成局限水环境,GR 曲线特征表现为曲线值达到最低(图 3)。

1.3 高频层序内部体系域发育模式

完整的高频层序也应该包含以下五个阶段,即:海平面迅速下降至上升早期形成低位域发展期,海平面旋回的早期快速上升期,海平面旋回的海侵晚期缓慢上升和相对平稳期,海平面旋回高位早期海平面最终稳定和缓慢下降期,海平面旋回高位晚期海平面快速下降期^[2]。阶段一对应低位体系域,二、三阶段对应海进体系域,四、五阶段对应高位体系域。

如图 4 a~d 反映了慢速海侵体系域发育模式,对应 KT—I 层 SSQ1 和 SSQ3 高频层序;d~f 反映了快速海侵体系域发育模式,对应 KT—I 层 SSQ2 高频层序。具体分析如下:

1.3.1 低位体系域

在高位正常海退期之后,台地顶部暴露地表,在潮湿环境下碳酸盐台地溶蚀作用,可形成局部不整合,由于暴露时间相对较短,在高频层序中主要变现为暴露间断面。该暴露间断面作为层序界面分隔下伏高位域碳酸盐岩和上覆海侵域沉积(图 4a~b)。此时,位于海平面以下的透光面地区仍有碳酸盐岩或碳酸盐碎屑发育。值得注意的是,快速海侵可能缺少基准面下降阶段的介入,从而抑制低位域的发育,造成海侵体系域泥质沉积直接覆盖在下伏高位域碳酸盐岩之上,造成下伏高位域暴露时间较短;而慢速海侵对应的低位期,为下伏高位域碳酸盐岩提供更充分的暴露时间,从而更有利于储层的发育; C1 井的测录井及试油结论就显示慢速海侵型高频层序对应的高位域储层物性及含油气性更好(图 1)。

1.3.2 海进体系域

高频层序的海进体系域与三级层序相似,总体上物质供应及碳酸盐岩生长能力受限,多为追补型。慢速海侵时,海岸线与陆架边缘之间形成浅水沉积区域,相对有利于碳酸盐岩的生长,基准面相对慢速上

升可能使陆架边缘礁或生物灰岩生长至基准面(图 4c)。快速海侵时,碳酸盐台地遭受水淹,碳酸盐停止生长导致淹没不整合的形成。沉积物随基准面快速上升而向陆方向退积,形成退积台地;当海平面上升到最高点、可容纳空间最大时,发育密集段(图 4e)。

1.3.3 高位体系域

高位正常海退阶段最有利于碳酸盐体系的发育,在陆架和深水单元都是如此^[6]。慢速海侵时,早期基准面上升期间高位体系域以追补型为主,由于基准面上升具有相对较低的速率,使得碳酸盐台地的生长能够赶上可容空间的生长速率。随着基准面开始缓慢下降,碳酸盐开始大量发育,向海方向形成前积结构(图 2);当基准面下降到陆棚以下时,碳酸盐岩向可容空间增大的斜坡和盆地堆积(图 4d)。在水淹情况下,碳酸盐在水面下降至透光带附近逐渐恢复生产;其高位域可容空间相对较大,碳酸盐向斜坡和盆地方向堆积量相比慢速海进期的高位域有所减少(图 4f)。

2 高频层序在油气勘探中的应用

对碳酸盐岩进行高频层序及对应体系域划分的意义在于:可以充分利用测井、取心和薄片等资料对地层进行更精细的解析,掌握高频层序内部碳酸盐岩的分布规律,有利于进行碳酸盐岩储层有利相带(生物礁滩及碳酸盐岩岩溶等相带)分析,进而进行隐蔽油气藏的精细研究。此外,较低级别层序的海进体系域划分对页岩气的区域勘探可具一定的指向意义。

2.1 高频旋回对储层的控制作用

2.1.1 高频旋回对岩溶储层的控制作用

在三级层序内部,次级相对海平面下降形成了四级、五级等高频层序界面,导致了碳酸盐岩的暴露或者由深水环境转入了浅水环境,前者使其受大气淡水淋滤风化作用^[14],后者使其发生成岩环境改变。因此,在高频层序界面附近往往也易发生风化壳岩溶作用和成岩作用改造,形成良好的油气储层,只是相比三级层序界面附近的岩溶作用强度较弱。其中位于台地部位的古隆起围斜带^[15]控制高能相带碳酸盐岩和岩性地层尖灭带的发育,长期隆起遭受剥蚀对碳酸盐岩储集层改造作用明显,对岩性地层圈闭的形成和油气富集具有控制作用。位于 T 构造上的 KT—I 层高频层序孔隙度普遍高于台地其他部位,反映暴露环境对高位域的改造作用(图 1),其围斜带油气显示也

较好。因此,台地部位的古隆起及围斜带往往是有利的油气勘探相带;此外,受古隆起影响形成的局部低凹部位易于发生蒸发作用和混合白云化作用^[16],也是有利的储层相带。

2.1.2 高频旋回对生物礁滩储层的控制作用

慢速海侵条件下,各层序成礁期的礁体在海侵体系域和高位体系域均可发育。海侵早期为礁基形成阶段,随着海平面上升礁体同步生长,直至最大海泛面被淹没,礁体由台缘斜坡向台地部位呈退积式的生长特点。由于该生物礁在海侵晚期会被密集段的泥岩所覆盖,因此,海侵体系域早期的生物礁储层往往具备良好的储盖组合。由于海侵时期碳酸盐发育造成台地边缘隆升、台缘斜坡相对较陡,使得高位期礁体生长的垂向空间相对较小,随海退迅速浅化为碳酸盐滩直至结束一期礁层序生长发育。例如中国南沙群

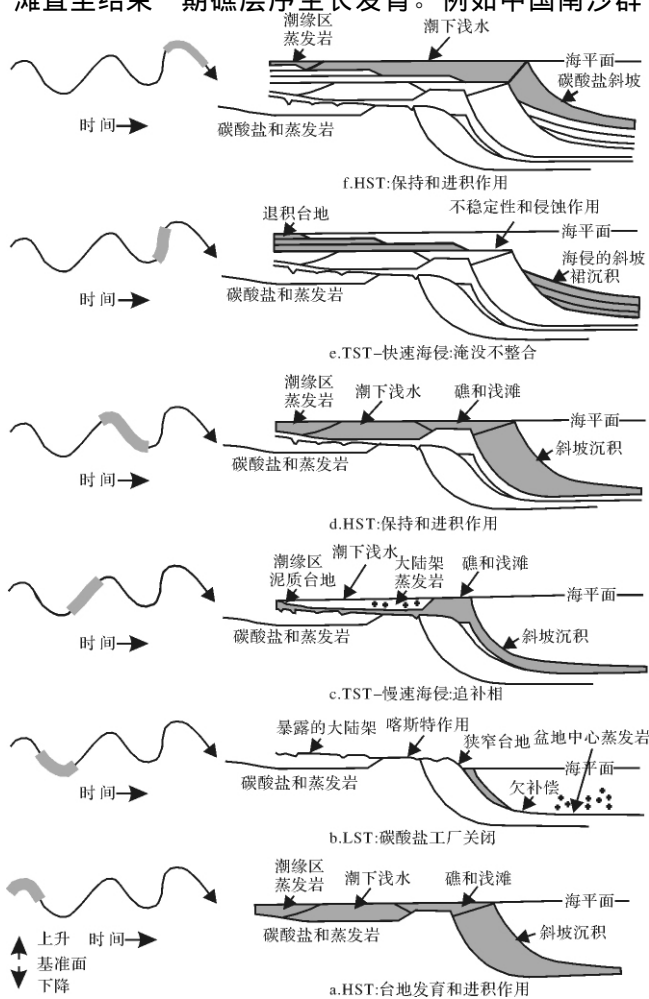


图4 M 区块慢速海侵和快速海侵对应高频层序体系域发育模式(据 Schlager,1992,有修改)

Fig. 4 The system tract model of high-frequency sequence on rapid transgression and slow transgression condition in M block

岛海域北康盆地中新世生物礁具类似特征^[17]。

快速海侵条件下,碳酸盐台地往往被快速淹没,淹没不整合形成的密集段直接覆盖在前期高位域之上,造成海侵体系域光线不足、泥质含量大幅增加,生物礁滩储层往往分布在高位域的台地及其边缘地区,具加积或进积生长的特点。高水位早期,相对海平面缓慢上升,除局部有利环境生物礁呈并进一加积生长外,其它环境均处于“水体过深”状态;高水位晚期,海平面相对静止或下降,台地生物礁开始恢复生长并向台缘可容纳空间较大的部位迁移。例如巴尔的摩峡谷侏罗纪和珠江口盆地流花台地中新世生物礁具类似特征^[2]。

因此,对于慢速海侵对应的高频层序,生物礁储层主要位于海侵体系域的台缘斜坡呈退积式分布;而淹没不整合对应的高频层序生物礁储层则主要位于高位域的台地边缘呈加积或进积式分布。

2.1.3 高频旋回对碎屑岩储层的控制作用

与陆相碎屑岩沉积不同的是,在缺乏陆源碎屑物质供应的情况下,由于台地暴露时间较短,水淹条件下快速海侵可能紧跟前期高位域而没有基准面下降阶段的介入,导致剥蚀量不足,慢速海侵则更有利于形成低位扇沉积。研究区 KT—I 层 SSQ2 内部淹没不整合型高频层序低位域的碎屑岩储层发育较差,而 S1 高频层序局部发育的小规模低位斜坡扇和盆底扇则是有利储层相带(图3)。

2.2 淹没不整合面的油气勘探指向意义

阿舍里阶底部淹没不整合形成的泥岩不仅与 MKT 层泥页岩层(对应超层序的海侵体系域)组成研究区主要烃源岩系组合,而且直接分布于 KT—I 对应超层序高位域的岩溶带之上,为下伏储层提供良好的盖层,从而形成研究区石炭系主要产油层段。KT—I 内部各四、五级层序对应的淹没不整合面对下伏高位域储层形成良好的封堵作用。此外,大规模淹没不整合对应的海泛具幕式特征及区域可比性,而快速的海进往往与海平面下降以及暴露剥蚀相对应,这样发育在陆棚或台地附近的淹没不整合一般与良好的油气储层具有紧密联系。因此,通过大规模淹没不整合面的对比有利于在区域范围内寻找有利的含油储层。

3 结论

(1) 体系域是基准面变化等因素作用的产物,不同级别的基准面或海平面变化对应不同级别的层序

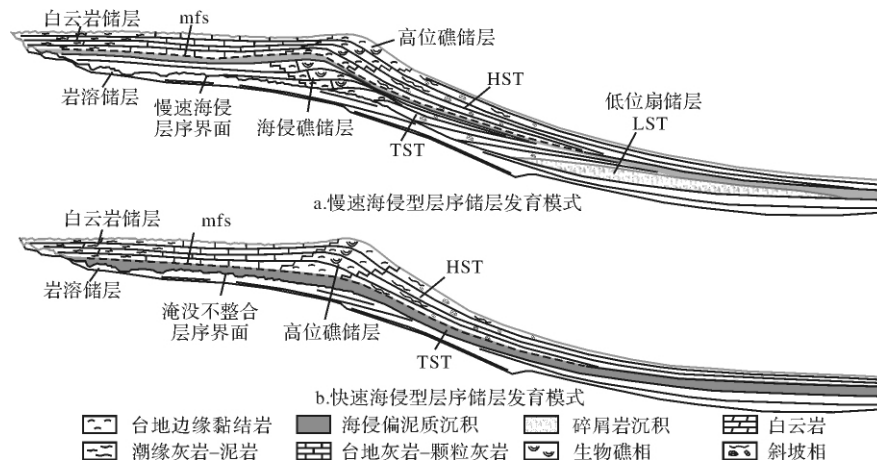


图5 高频层序格架内部碳酸盐岩储层发育模式

Fig. 5 Developmental model of carbonate reservoir in high-frequency sequence

单元,不同级别的层序与其相应级别的体系域对应。因此,在资料允许的条件下,超层序与高频层序均可进行相应体系域的划分。

(2) 淹没不整合形成的碳酸盐岩与泥岩的岩性界面具有相对的等时效果,可作为碳酸盐岩与硅质碎屑地层相对等时的层序边界,对应的淹没不整合型层序低位体系域往往不发育或欠发育。

(3) 快速海侵(对应淹没不整合)和慢速海侵情况下研究区碳酸盐岩高频层序的体系域具不同发育模式,主要反映为海平面升降速度对碳酸盐岩生长的控制作用,其对应的生物礁等储层发育也存在明显差异。

(4) 研究区向台地一侧超层序和高频层序的高位域中晚期遭受溶蚀作用及白云化作用,储层物性较好,其中台地部位的古隆起及围斜带往往是最有利的勘探相带。淹没不整合形成的泥岩对应良好的烃源岩系和盖层;大规模的淹没不整合面更具区域对比性,且与风化溶蚀面对应,对油气勘探具有指向意义。

参考文献(References)

- 1 Schlager W, Camber O. Submarine slope angles, drowning unconformities and self erosion of limestone escarpments [J]. *Geology*, 1986, 14: 762-765
- 2 Schlager W. Drowning unconformities on carbonate platforms [J]. *SEPM Special Publication*, 1989, 44: 15-25
- 3 马永生, 刘波, 梅冥相, 等. 碳酸盐岩层序地层学——近期进展及应用[M]. 北京: 海洋出版社, 2003: 13-36 [Ma Yongsheng, Liu Bo, Mei Mingxiang. Carbonate Sequence Stratigraphy: Recent Progress and Application[M]. Beijing: Ocean Press, 2003: 13-36]

- 4 樊太亮, 于炳松, 高志前. 塔里木盆地碳酸盐岩层序地层特征及其控油作用[J]. *现代地质*, 2007, 21(1): 57-65 [Fan Tai liang, Yu Bingsong, Gao Zhiqian. Characteristics of carbonate sequence stratigraphy and its control on oil-gas in Tarim Basin [J]. *Geoscience*, 2007, 21(1): 57-65]
- 5 梅冥相. 碳酸盐岩旋回与层序[M]. 贵阳: 贵州科技出版社, 1993: 76-94 [Mei Mingxiang. Cycle and Sequence of Carbonate Rock [M]. Guiyang: Guizhou Science and Technology Press, 1993: 76-94]
- 6 梅冥相, 徐德斌, 周洪瑞. 米级旋回层序的成因类型及其相序组构特征[J]. *沉积学报*, 2000, 18(1): 43-49 [Mei Mingxiang, Xu Debin, Zhou Hongrui. Genetic types of meter-scale cyclic sequences and their fabric features of facies-succession [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2000, 18(1): 43-49]
- 7 李群, 王英民, 邱以刚, 等. 层序单元体系域划分及勘探意义[J]. *石油勘探与开发*, 2003, 30(3): 23-25 [Li Qun, Wang Yingmin, Qiu Yigang, et al. Division of system tract of different sequence units and its implication in petroleum exploration [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2003, 30(3): 23-25]
- 8 奥克塔文·卡图尼努著, 吴因业等译. 层序地层学原理[M]. 北京: 石油工业出版社, 2009: 273-281 [O. Catuneanu ed, translated by Wu Yinye. Principle of Sequence Stratigraphy [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2009: 273-281]
- 9 Bosellini A, Morsilli M. A Lower Cretaceous drowning unconformity on the eastern flank of the Apulia Platform (Gargano Promontory, southern Italy) [J]. *Cretaceous Research*, 1997, 18, 51-61
- 10 蔡希源, 李思田. 陆相盆地高精度层序地层学[M]. 北京: 地质出版社, 2003: 39-41 [Cai Xiyuan, Li Sitian. High Resolution Sequence Stratigraphy of Continental Basins [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2003: 39-41]
- 11 伊海生. 测井曲线旋回分析在碳酸盐岩层序地层研究中的应用[J]. *古地理学报*, 2011, 13(4): 456-466 [Yi Haisheng. Application of well log cycle analysis in studies of sequence stratigraphy of carbonate rocks [J]. *Journal of Palaeogeography*, 2011, 13(4): 456-466]
- 12 Xavier Janson, Charles Kerans, Robert Loucks, et al. Seismic archi-

- ture of a Lower Cretaceous platform-to-slope system, Santa Agueda and Poza Rica fields, Mexico [J]. *AAPG Bulletin*, 2011, 95(1): 105-146
- 13 梅冥相. 淹没不整合型碳酸盐三级旋回层序——兼论碳酸盐台地的凝缩作用[J]. *岩相古地理*, 1996, 16(6): 24-33 [Mei Mingxiang. The third-order carbonate cyclic sequences of drowned unconformity type with discussions on condensation of carbonate platforms [J]. *Sedimentary Facies and Palaeogeography*, 1996, 16(6): 24-33]
- 14 刘忠宝, 于炳松, 李廷艳, 等. 塔里木盆地塔中地区中上奥陶统碳酸盐岩层序发育对同生期岩溶作用的控制[J]. *沉积学报*, 2004, 22(1): 103-109 [Liu Zhongbao, Yu Bingsong, Li Tingyan, et al. Sequence development controls on syngeneic Karst of the Middle-upper Ordovician Carbonate in Tazhong Area, Tarim Basin [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2004, 22(1): 103-109]
- 15 邹才能, 陶士振. 海相碳酸盐岩大中型岩性地层油气田形成的主要控制因素[J]. *科学通报*, 2007, 52(增刊1): 32-39 [Zou Caineng, Tao Shizhen. Main controlling factors of large and middle lithologic stratigraphic oil and gas fields in marine carbonate [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2007, 52(suppl.): 32-39]
- 16 赵中平, 牟小清, 陈丽. 滨里海盆地东缘石炭系碳酸盐岩储层主要成岩作用及控制因素分析[J]. *现代地质*, 2009, 23(5): 828-834 [Zhao Zhongping, Mou Xiaoqing, Chen Li. Analysis on main diageneses and controlling factors of Carboniferous carbonate reservoirs in the eastern margin of Pre-Caspian Basin [J]. *Geoscience*, 2009, 23(5): 828-834]
- 17 许红, 陆永潮, 施和生, 等. 南沙群岛海域北康盆地生物礁高精度层序地层学及其新近纪生物礁层序演化模式[J]. *热带海洋学报*, 2009, 28(2): 48-54 [Xu Hong, Lu Yongchao, Shi Hesheng, et al. High-precision organic reef sequence stratigraphy of Beikang Basin and sequence evolution model of Neogene organic reefs in Nansha Islands Sea Area [J]. *Journal of Tropical Oceanography*, 2009, 28(2): 48-54]

Features and Petroleum Exploration Significance of High-Frequency Sequence in Pre-Caspian Basin: A Case from Carboniferous KT-I Member in M Block

HU Yuan^{1,2} CHEN Kai-yuan^{1,2} LI Yu-hai³ LIU Shuang-shuang^{1,2} GUO Xiao-chen^{1,2}

(1. School of Energy, China University of Geosciences, Beijing 100083;

2. Key Laboratory of Marine Reservoir Evolution and Hydrocarbon Accumulation Mechanism, Ministry of Education, Beijing 100083)

Abstract: KT-I is one of the most important oil bearing series in M block of Pre-Caspian basin. The reservoir spreading is not clear understanding with varied types of facies belts, severe heterogeneity and limestone interbedded with mudstone. In terms of high-frequency sequence stratigraphy, the feasibility and thought of tract system division in high-frequency sequence and super sequence is put forward. And the drowning unconformity plays an important part as carbonate sequence boundary. On this basis, by the recognition of sequence boundary, such as drowning unconformity and exposed punctuated surface, KT-I member has been for the first time divided into 3 fourth level sequence and 9 fifth level sequence and the system tract of high-frequency sequence has also been done. The system tract model of high-frequency sequence on rapid transgression (equivalent to drowning unconformity) and slow transgression condition has been established. Then, the developing features of strata and the reservoir spreading in study area have been clear. The application of drowning unconformity and the system tracts of high-frequency sequence in carbonate petroleum exploration has been summarized at last.

Key words: Pre-Caspian basin; carbonate rock; drowning unconformity; high-frequency sequence; reservoir facies belts analysis