

文章编号: 1000-0550(2009) 06-1093-08

陆架坡折盆地强制海退及正常海退沉积

——以珠江口盆地珠江组—韩江组为例

谢利华^{1,2} 张博³ 秦成岗³ 王艳飞³ 陈胜红³ 高鹏³

(1 北京大学地球与空间科学学院 北京 100871; 2 中国地质大学能源学院 北京 100083

3 中国海洋石油(中国)有限公司深圳分公司技术部 广州 510240)

摘要 关于强制海退形成的沉积体对应层序中体系域的问题,一直是国内外争论的焦点。结合 Exxon 公司建立的层序地层沉积模型,将强制海退沉积体对应于早期低位体系域以及晚期高位体系域,正常海退沉积体对应于晚期低位域前积体、高位域早期前积体。以珠江口盆地拗陷期的珠江组—韩江组为例,将其划分为 7 个三级相对海平面变化旋回,对应 7 个三级层序。相对海平面变化是可容纳空间的外在响应。在陆架坡折之上产生的高位域晚期前积体和陆坡及以下地区发育的低位域早期低位扇体;在陆架坡折带及以下形成的低位前积楔、坡折带及以上形成的高位早期前积体,是有利的油气储集体。

关键词 珠江口盆地 珠江组 韩江组 强制海退 正常海退;

第一作者简介 谢利华 女 1971 年出生 博士研究生 高级工程师 层序地层学 E-mail: xlhua01@sohu.com

中图分类号 P539.2 **文献标识码** A

0 引言

Posamentier 提出了“强制海退”的概念,把海退分为两种^[1-3],一种为正常海退,是在相对海平面稳定或上升时期,由沉积物大量注入超过可容纳空间的增长而引起滨线向海方向的迁移从而产生海退。一种是强制海退,是在相对海平面下降时期,可容空间的增长为负值,沉积体向海方向逐渐迁移。强制海退产生的沉积体,正常海退产生的低位前积楔,是有利的储集体,一般上覆水进泥岩,不整合面是有利的油气运移通道,可形成有利的圈闭^[4,5]。强制海退楔富含砂,可形成有吸引力的被页岩封隔的地层圈闭^[5]。

珠江口盆地位于海南、台湾两岛之间的广阔大陆架和陆坡区上,为一构造—热事件相当活跃的离散型边缘盆地^[6]。由北向南划分为 5 个北东向的大型构造带,即北部断阶带、北部拗陷带、中央隆起带、南部拗陷带和南部隆起带,在中央隆起带的东部为陆架坡折带(图 1)。

珠江口盆地经历了裂陷期、断拗过渡期、拗陷期、断块升降期的盆地演化,发育的地层有:裂陷期陆相沉积的古近系文昌组—神狐组—恩平组(T_g—T₇)、从断拗过渡期海陆过渡相到拗陷期滨海三角洲及浅海陆棚沉积的新近系珠海组(T₇—T₆)—珠江组

(T₆—T₄)—韩江组(T₄—T₂)、断块升降期陆架斜坡边缘沉积的新近系粤海组(T₂—T₁)—新近系万山组(T₁—T₀)—第四系,表现为三层盆地充填结构。

1990 年珠江口盆地第一个油田投入开发以来,在北部拗陷带及周边先后有 10 多个油田投产,南部拗陷带及其周边隆起发现了多个气田和含气构造。从已有的勘探成果来看,拗陷期形成的新近系珠江组—韩江组是珠江口盆地主要目的层段,储集层的发育和分布是油气藏形成的主要条件,因此进行珠江组—韩江组海退沉积体研究对珠江口盆地的勘探具有重要意义。

本文旨在通过对 Haq 的层序地层沉积模式的分析,建立海平面变化与体系域的对应关系,在珠江口盆地珠江组—韩江组的地层层序划分的基础上,分析由强制海退和正常海退产生的沉积体系发育及分布,为该区的勘探提供理论依据。

1 强制海退和正常海退对应体系域

关于强制海退形成的沉积体对应层序中体系域的问题,一直是国内外争论的焦点,总体来说共有两种观点:一种是把强制海退沉积归为早期低位域^[2,3],其底为层序界面;一种是将 I 型层序体系域进行四分,分别为低位体系域(LST)、海侵体系域(TST)、高位体系域(HST)及强制海退楔体系域(FR

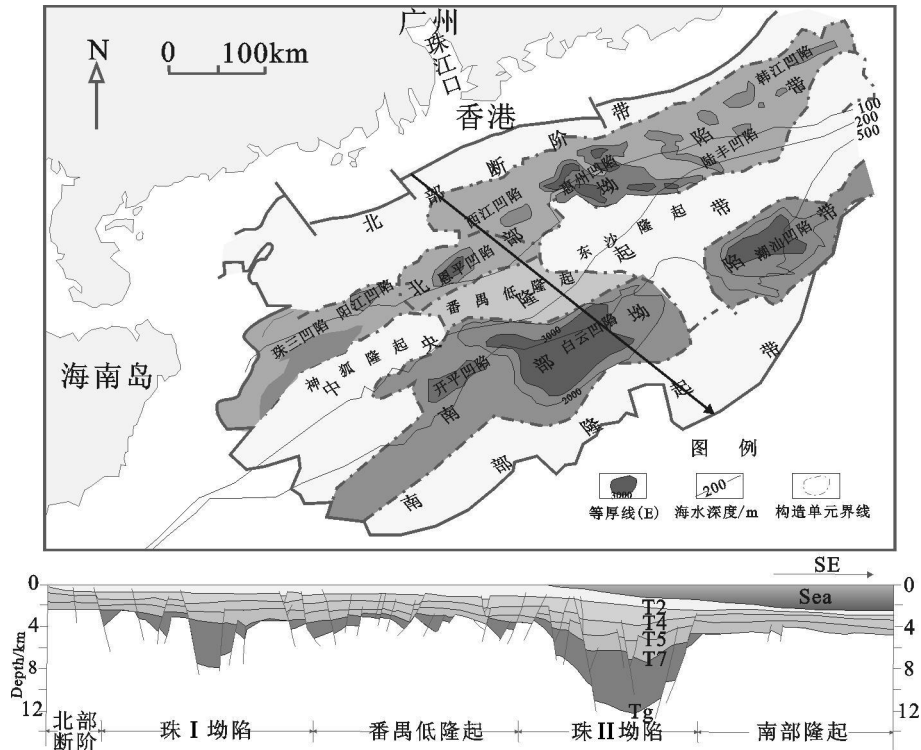


图 1 珠江口盆地构造分区及构造格架图 (据中海油深圳分公司整理)
 Fig 1 Structural division and framework of the Pearl River Mouth Basin

WST)或下降体系域 (FST), 将强制海退形成的沉积归为强制型海退楔体系域 (FRWST)^[4, 7, 8]或下降体系域 (FST)^[9], 层序界面位于其顶。总体来讲强制海退沉积保存在高位和低位前积楔之间, 常富含砂, 可形成有吸引力的被页岩封隔的地层圈闭^[5]。

以 Haq 为代表的 Exxon 公司建立的层序地层沉积模型中^[10], 低位体系域与海平面从海岸坡折快速下降到最低点又上升到海岸坡折对应, 并以海平面下降到最低点为界, 把低位体系域划分为低位扇体系域和低位楔体系域, 低位扇体系域对应相对海平面下降到最低位置之前, 为早期低位域, 低位楔对应海平面从最低到上升到坡折处的上升时期, 为晚期低位域; 海侵体系域与海平面初次越过海岸坡折的快速上升时期对应; 高位体系域与海平面缓慢上升—稳定—缓慢下降到陆架坡折时期对应; 陆架边缘体系域是海平面稳定或缓慢上升时期的产物。由此可推断, 快速下降期的早期低位体系域以及缓慢下降期的晚期高位体系域都是强制海退的产物, 晚期低位域、早期高位域和陆架边缘体系域前积是正常海退的产物。海侵体系域由于相对海平面的快速上升, 沉积物的供应速率始终小于可容纳空间的增加速率, 形成海进退沉积。

2 珠江口盆地的强制海退和正常海退沉积

2.1 珠江口盆地珠江组—珠海组三级层序

运用地震、测井、钻井、岩心、古生物等资料, 通过地震相、测井相和岩心相的分析以及古生物对比, 依据层序的划分标准和原则^[11, 12]。将珠江口盆地珠江组—韩江组共划分为 7 个三级层序, 分别为 Sqzj1 (SB23-8)、Sqzj2 (SB21)、Sqzj3 (SB17-5)、Sqzj4 (SB16-5)、Sqh j1 (SB15-5)、Sqh j2 (SB13-8)、Sqh j3 (SB12-5), 其中 I 型层序界面 5 个 (SB23-8 & SB21、SB16-5、SB15-5、SB13-8), II 型层序界面 2 个 (SB17-5 & SB12-5)。

地震标志: 地震剖面上识别标志主要是根据地震反射终止形式, 本区识别出削蚀、顶超、上超、下超等反射终止形式, 如图所示 (图 2)。大体可归为明显削蚀或明显上超和不整合界面、弱削蚀或上超不整合和整合界面等。明显削蚀不整合的界面有 Sqzj1 底 (SB23-8)、Sqh j2 底 (SB13-8)、Sqh j1 底 (SB15-5), 表明出现明显的水退和构造抬升或掀斜剥蚀作用; 明显上超不整合的界面为 Sqh j1 底 (SB15-5)、Sqh j2 底 (SB13-8)、Sqzj4 底 (SB16-5); 弱的削蚀或上超不

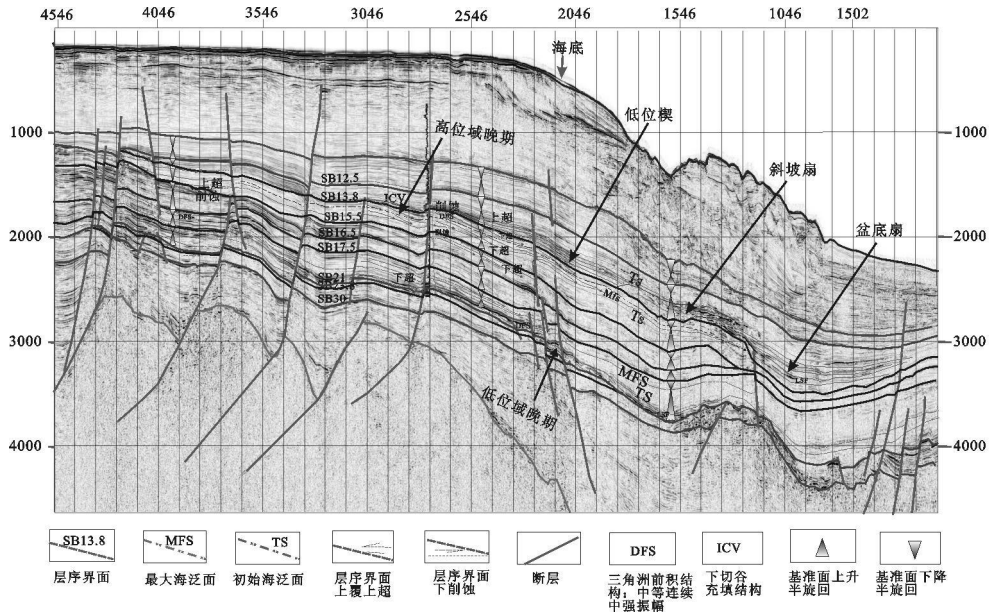


图 2 层序地层解释及典型海退沉积

Fig 2 Sequence stratigraphic interpretation and typical regression depositions

整合面有 $S_{qz\beta}$ 底 (SB17.5) 和 $S_{qh\beta}$ 底 (SB12.5)。 $S_{qh\beta}$ (SB15.5) 具有明显的晚期高位域与早期高位体系域的分界线。

生物标志: 本区层序界面和最大海泛面与有孔虫及钙质超微化石的丰度和分异度均有良好的对应关系。一是层序边界 (SB), 在浮游有孔虫曲线和百分含量曲线以及有孔虫的分异度和丰度值的最低点。二是最大海泛面 (MFS), 结合年龄值把界线划在浮游有孔虫曲线和百分含量曲线的高峰处^[12]。

岩石学标志: 三级层序地层岩心识别标志根据录井资料, 识别出岩性突变界面和反粒序向正粒序的转换界面 (图 3)。棕黄色的砂岩突变为灰色的泥岩, 砂岩顶为层序界面。粒序的转换界面在录井资料中不好识别, 所以要结合测井资料、古生物资料和地震资料进行识别。

测井标志: 选取层序地层发育齐全且室内分析资料较丰富的过渡带的井作为基准井, 建立该区的测井层序地层对比标准剖面, 本区共识别出两种层序界面测井标志: 测井曲线突变界面和测井曲线叠置方式转换界面 (图 3)。

最大海泛面测井标志为测井曲线叠置方式转换界面, 与层序界面不同, 最大海泛面之上自然伽马曲线为一漏斗型, 代表一种水体逐渐变浅的沉积型式, 之下为一座钟型, 代表一种水体逐渐变深的沉积型式, 界面处的自然伽马值为正常值。

2.2 可容空间的控制因素

层序和体系域的主要控制因素为海平面的变化和盆地沉降, 可容纳空间是海平面变化和盆地沉降二者的函数, 是全球海平面变化和盆地沉降的综合表现; 相对海平面变化是可容空间变化的外在响应, 相对海平面下降表明可容空间减小, 相对海平面上升表明可容空间增大。

2.2.1 海平面变化

迄今为止, 珠江口盆地累计共对 60 口探井的资料进行了以生物定年和海平面升降引起的环境变化为目的的高分辨定量微体古生物地层研究, 由此建立了珠江口盆地新近系以来的相对海平面变化曲线图 (图 4), 从图 4 可知大约 23.8 Ma 到 10.5 Ma 珠江口盆地经历了 7 次明显的海平面升降旋回, 每个旋回周期 1.0~3.5 Ma 相当于三级海平面变化旋回的时限^[6, 11, 13], 控制了三级层序的分布和发育, 总体上这一时期处于相对海平面上升时期。上超曲线^[6]在这一时间段的变化趋势与海平面变化趋势^[6, 13]基本相同。这一总体的趋势对三级层序结构的基本特征具有重要影响。SB23 & SB21, SB15.5 & SB13.8 形成于海平面相对下降时期, 且海平面下降到陆架坡折带以下, 层序界面广泛出现削蚀。SB13.8 还出现下切谷充填, 发育有低位体系域、海侵体系域和高位体系域。SB17.5 & SB12.5 形成于沉积岸线坡折处海平面相对上升或稳定时期, 没有明显的削蚀。SB16.5 界面处

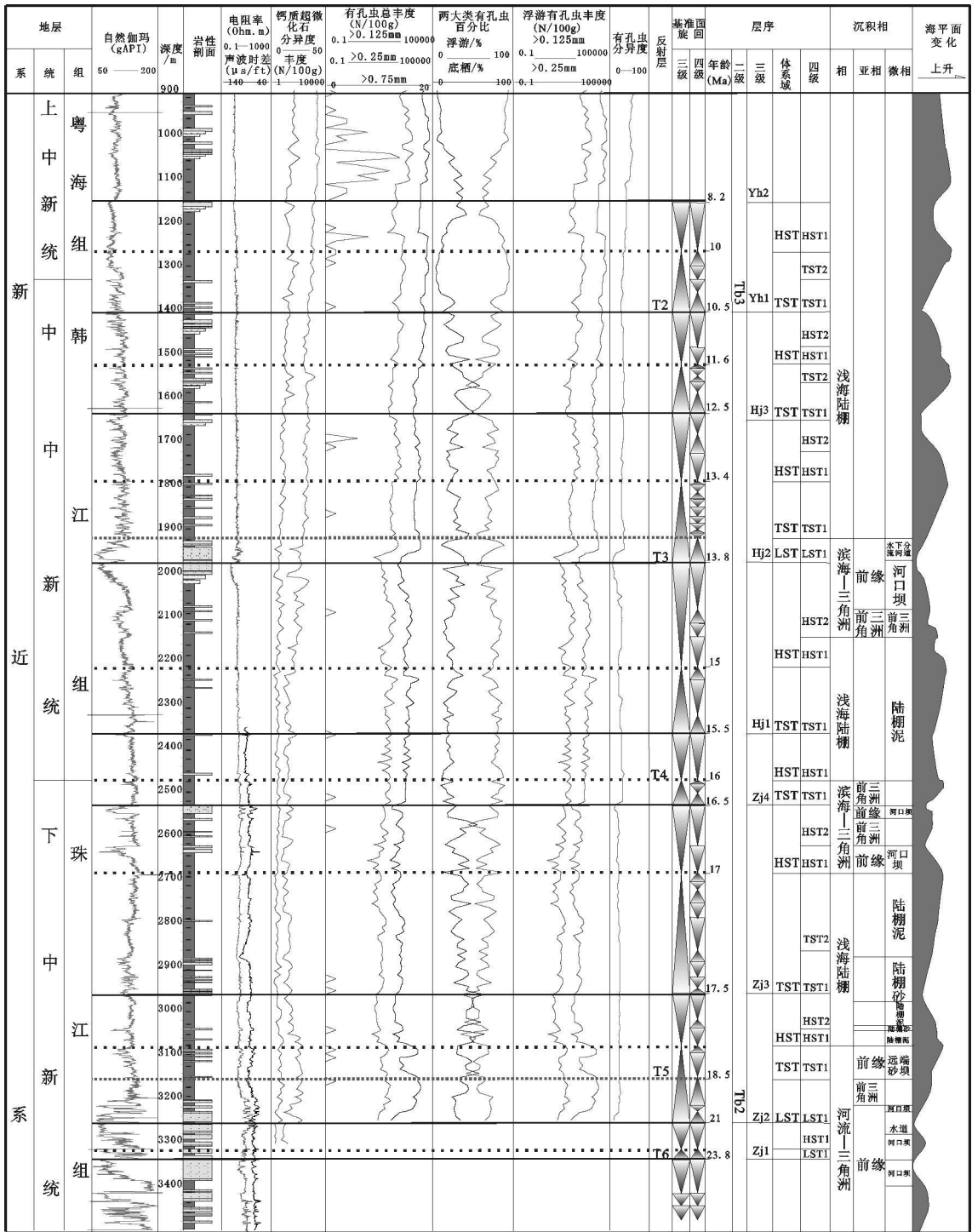


图 3 基准井高精度层序地层综合图

Fig 3 Nom well high-resolution sequence stratigraphic column

于海平面相对上升期,此时期达到第二个二级旋回的最大海侵,没有明显的削蚀,发育有相对明显的上超。

2.2.2 盆地沉降

为了探讨构造沉降速率对层序和沉积演化的控

制作用,本研究应用了 SSM b 的模拟系统^[14],对研究区的沉降速率进行回剥模拟分析(图 4)。

珠江口盆地整体沉降速率是拗陷高隆起低,显然与地貌是一致的,同时地层由南东向北西上超。由于

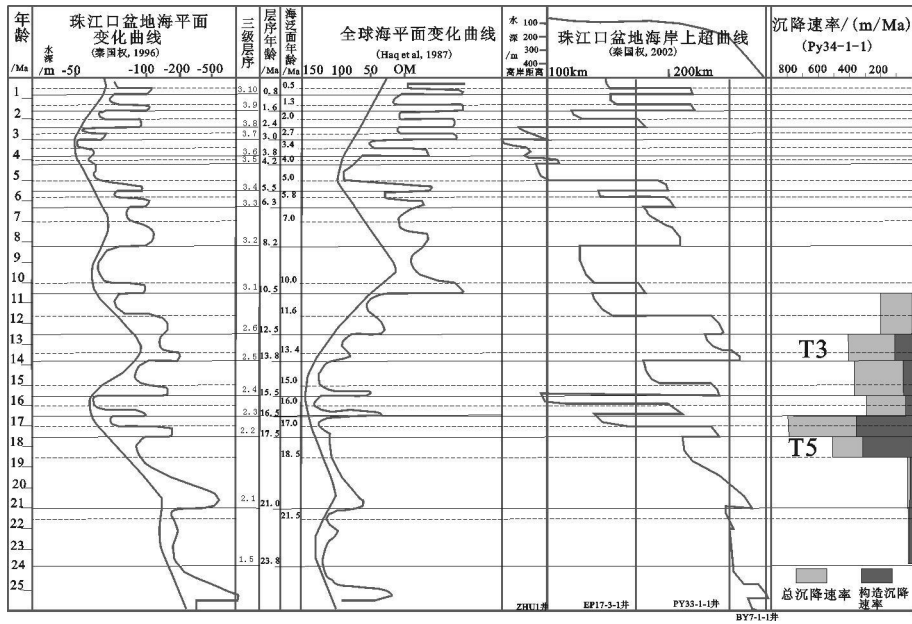


图 4 珠江口盆地相对海平面变化、海岸上超曲线、沉降速率与全球海平面变化曲线对比图 [10,13]

Fig 4 Relative sea-level change, onlap curve, subsidence rate and global eustasy, PRMB

构造的差异沉降, 珠 II 坳陷北缘形成北东向的陆架坡折区。

区内 Sqzj1 沉积期沉降速率较低, 这一层序发育期为断陷阶段。Sqzj2 沉积期的盆地总沉降速率迅速增大, 这一阶段是盆地从断陷向坳陷的过渡期, 沉降速率是从 T50 界面后迅速增大的, 真正进入坳陷期。Sqzj3 的沉降速率达到最大, 这可能是导致这一时期区内相对海平面快速上升的原因。盆地表现为总体沉降, 进入以浅海陆棚为主的沉积背景。Sqzj4-Sqhj1 沉积期, 沉降速率具有总体变小的趋势, 这一时期高位域三角洲体系明显推进到中央隆起带以东的坡折带并随后抬升遭受冲刷或部分剥蚀。Sqh2 沉积期, 研究区又进入较快的沉降期, 导致相对海平面的快速上升。随后 Sqh3 形成期, 沉降速率又有所变缓。

总体来讲, 珠江口盆地三级海平面变化旋回与全球海平面变化旋回一致, 二级海平面变化旋回有一定的差别(图 4), 自新近系 23.8Ma 以来全球海平面大体具三个二级海平面变化旋回, 呈现海退的总趋势, 而珠江口盆地则表现为四个二级海平面变化旋回, 呈现海侵的背景, 特别是 13.8~8.2Ma 二级旋回, 曲线出现完全相反的趋势。15.5Ma 以来进一步增强的沉降导致二级海平面变化与全球曲线完全相反的事件, 可能是地区性构造运动和深部沉降作用的综合表现 [15]

2.3 强制海退沉积

2.3.1 高位域晚期强制海退沉积

高位域晚期强制海退沉积形成于相对海平面开始下降至陆架坡折线期间, 由于海平面的下降, 岸线向海迁移形成前积体(图 5B), 这种前积体在地震剖面上常呈斜交前积反射结构, 反映一种高能沉积环境, 通常是滨岸沉积或者三角洲前缘沉积物。由于相对海平面的下降, 在硅质碎屑沉积中(如番禺隆起), 河流侵蚀作用的增强, 无顶积层的存在, 顶部常见下切沟谷(图 2), 形成向上变粗的反粒序沉积, 测井曲线为漏斗型, 如图 3 中 Sqhj1 高位域晚期(HST2)。在碳酸盐岩沉积地区, 可形成向海侧加积增生的岸礁, 如东沙 1-3 礁 [6]; 也可形成向海前积的生物滩。这种沉积体在高位域晚期中均有分布, 但在明显削蚀的层序界面之下粗粒沉积分布范围较弱削蚀的层序界面之下广。在明显削蚀的层序界面之下, 海岸线退到陆架坡折带之下, 陆架坡折带及以上地区分布近岸粗粒沉积; 在弱剥蚀的层序界面之下, 由于海岸线未退到陆架坡折带, 所以在陆架坡折分布远岸细粒沉积。

2.3.2 低位域早期强制海退沉积

低位域早期强制海退沉积形成于相对海平面从陆架坡折线下降至最低点期间。由于海平面下降到陆架坡折以下, 在硅质碎屑沉积体系中, 陆架和陆坡地区形成深切谷, 成为搬运沉积物到达深水地区的运

移通道,其尾部通常与海底扇相连。主要包括陆架陆坡的下切蚀谷沉积物及斜坡至盆地中的低位扇(盆底扇和斜坡扇)(图 5A);白云深水陆坡区经过系统的层序地层学研究,在 21.0~10.5 Ma 的地层中,共识别出各层序低位体系域的大型盆底扇 19 个,斜坡扇 21 个,峡谷水道 78 条^[15]。深水扇沉积体在地震剖面上为丘型地震反射外形。扇内具有平行—亚平行强振幅反射(图 2)。斜坡扇位于陆坡中下部,为盆底扇向物源供应一侧,地震相内部反射结构较为杂乱,有明显的水道天然堤系统(图 2),外部形态有丘形、海鸥翼状、水道迁移等。目前已钻遇深水扇气藏,白云凹陷沉降中心古地理低的位置扇体规模最大,且扇体发育也最集中,有 5 个层序都形成了大型的盆底扇复合体,反映了古地理对深水扇沉积的控制。

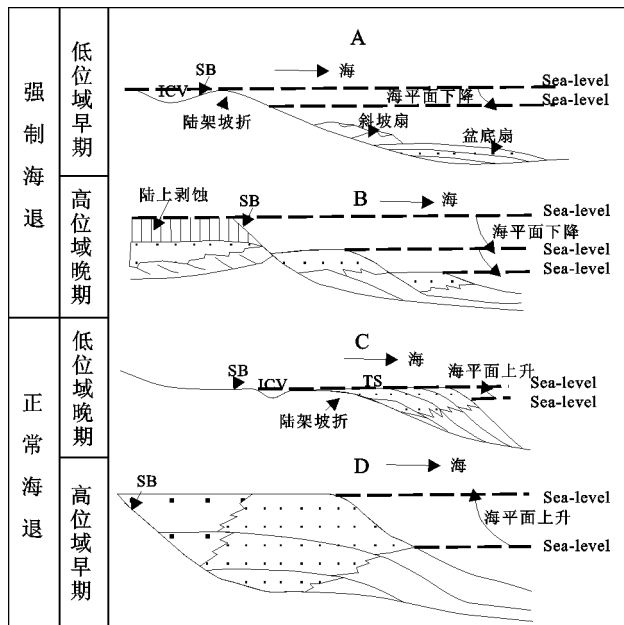


图 5 强制海退 (A, B^[31]) 与正常海退 (C, D^[3]) 沉积示意图

Fig 5 Forced regression and normal regression sketch

在碳酸盐岩沉积体系中包括下斜坡至盆地的低位扇。碳酸盐岩陆架的暴露不会正常地像硅质碎屑陆架那样经峡谷水道向斜坡及盆地中注入大量的沉积物,而是已暴露的台地边缘将垮塌从而在斜坡脚形成由大角砾岩构成的低位扇,当斜坡角度较小时在上斜坡发育束状准层序^[8]。珠江口盆地中央隆起带北部的东沙隆起碳酸盐岩台地,在低位期垮塌,在潮汕凹陷斜坡脚可形成由大角砾岩构成的低位扇。与之相对应的是陆架上的大范围在碳酸盐岩沉积环境,沉积在斜坡上部到台地边缘的滨面准层序通常由粒状灰岩或礁组成。在许多情况下,在相对海平面下降期

斜坡上部没有沉积物堆积。

这种沉积体分布于 I 型层序中陆架坡折线以下的陆坡及深水地区,形成低位扇复合体。

2.4 正常海退沉积

2.4.1 高位域早期正常海退沉积

高位域早期正常海退沉积形成于相对海平面缓慢上升—稳定时期。由于距物源区相对较近,物源供应充足,沉积物的供应速率超过可容纳空间的增长速率时,滨线向海不断移动,形成前积体(图 5D)。这种前积体在地震剖面上常呈 S 型前积反射结构,双向超覆,下超于最大海泛面,上超于层序界面之上。形成向上变粗的反粒序沉积,自然伽马测井曲线为漏斗型,如图 3 中 $S_{qz}3$ 早期高位体系域。这种沉积体主要分布于陆架坡折以上地区。在碳酸盐岩地区,易形成台地边缘礁体,如发育于 $S_{qz}2$ 高位域的惠州 33-2 礁^[6]。

2.4.2 低位域晚期正常海退沉积

低位域晚期正常海退沉积形成于相对海平面从最低点上升到陆架坡折处的初始海泛面时期,陆架坡折以上由于暴露剥蚀,提供了很充足的物源,沉积物的供应速率超过可容纳空间的增长速率时,滨线向海不断移动,形成前积体(图 5C)。这种前积体在地震剖面上常呈 S 型前积反射结构,外部形态为楔状,双向超覆于层序界面之上或上超于层序界面之上、下超于低位扇之上。当沉积物的供应速率与可容纳空间的增长速率相等时,滨线也会不断前移,但顶部既不接收沉积也不会受到风化剥蚀,形成过路沉积(图 5C),这种前积体在地震剖面上呈切线斜交型或 S 斜交型前积反射结构,外部形态为楔状,顶部顶超于初始海泛面之上,底部下超于层序界面之上或下超于低位扇上。珠江口盆地番禺低隆起的东部坡折带以下在 $S_{qz}2$ 发育这种沉积体(图 2)。低位域晚期正常海退沉积为向上变粗的反粒序沉积,测井曲线在较远源处为漏斗型,近源处为箱型。

若低位域晚期沉积物供应不足时,则形成退积。

3 海退沉积与有利圈闭

3.1 高位域晚期强制海退沉积形成有利的削蚀不整合圈闭

高位域晚期强制海退沉积位于不整合面下,在 I 型层序界面之下,受到强烈的削蚀或淋滤,上覆水进域泥岩,可形成有利的不整合圈闭,不整合面为油气运移提供了良好的输导通道。断块升降期活动的断

层使恩平组(珠 II 拗陷)气和文昌组(珠 I 拗陷)的油气垂向或和侧向运移,在有利的不整合圈闭中聚集成油气藏。后期活动的断层和强制海退沉积一起与上倾方向的海进域前三三角洲泥岩或浅海陆棚泥岩也可形成断鼻圈闭。

3.2 低位域早期强制海退沉积形成大型的地层圈闭或构造圈闭

低位域早期强制海退沉积形成的低位扇,主要发育于珠 II 拗陷,上覆深海泥岩,位于古近纪烃源岩的上方,白云深水区发育大量顺向同沉积断裂并发育大型底辟带,贯穿于深部的烃源岩、中浅部的构造圈闭和深水扇,为油气向低位扇二次运移提供了良好的通道,可形成大型地层圈闭或在断裂带形成构造、构造—岩性圈闭,这已得到钻井资料的证实。北部的潮汕凹陷也可形成这样类型的圈闭。

3.3 高位域早期正常海退沉积可形成构造或构造—岩性圈闭

高位域早期正常海退沉积形成的三角洲前积体或台地边缘礁体,为油气聚集提供了有利的储集空间,但由于缺乏大套的区域盖层,不易形成有利的油气藏。但可上覆四级或更低级别旋回控制的局部泥质盖层,与后期断层一起形成构造—岩性圈闭或构造圈闭。

3.4 低位域晚期正常海退沉积可形成上超不整合、构造与构造—岩性圈闭

低位域晚期正常海退沉积形成的三角洲前积体或滨岸前积楔,向上超覆于不整合面之上,上覆大套的水进域滨浅海或前三三角洲泥质盖层,若上倾方向与高位域泥岩相接,可形成有利的上超不整合圈闭,这种圈闭主要发育于中央隆起带东部陆架坡折带 I 型层序界面之上。也可与顺向的同沉积断层形成构造—岩性圈闭或逆牵引背斜圈闭。

4 结论

(1) 强制海退沉积体对应于早期低位体系域以及晚期高位体系域,正常海退沉积体对应于晚期低位域前积体、高位域早期前积体。

(2) 将珠江口盆地珠江组—韩江组共划分为 7 个三级层序,其中 I 型层序界面 5 个(SB23 & SB21、SB16 & SB15 & SB13 & SB12), II 型层序界面 2 个(SB17 & SB12 & SB15)。

(3) 相对海平面变化是可容纳空间变化的外在响应,可容纳空间是全珠海平面变化和构造沉降二者

的函数。珠江口盆地在珠江组—韩江组对应 7 个三级海平面变化旋回,与全球海平面变化旋回一致,分别对应 7 个三级层序。

(4) 珠江口盆地珠江组—韩江组强制海退在陆架坡折之上产生的高位域晚期前积体和陆坡及以下地区发育的低位域早期低位扇体;正常海退在陆架坡折带及以下形成的低位前积楔、坡折带以上形成的高位早期前积体,是有利的油气储集体。高位域晚期强制海退沉积形成有利的削蚀不整合圈闭,低位域早期强制海退沉积形成大型的地层圈闭、构造、构造—岩性圈闭,高位域早期正常海退沉积可形成构造或构造—岩性圈闭,低位域晚期正常海退沉积可形成上超不整合、构造、构造—岩性圈闭。

参考文献 (References)

- Posamentier H W, Allen G P, James D P. High resolution sequence stratigraphy: The East Coulee Delta [J]. *Journal of Sedimentary Petrology*, 1992, 62: 310-317
- Posamentier H W, Allen G P, James D P, et al. Forced Regressions in a sequence stratigraphic framework: concepts, examples and exploration significance [J]. *AAPG Bulletin*, 1992, 76: 1687-1709
- Posamentier H W, Allen G P. Siliciclastic sequence stratigraphy—concepts and applications [J]. *SEPM Special Publications* 1999, 7: 85-91
- 操长应. 断陷湖盆中强制湖退沉积作用及其成因机制 [J]. *沉积学报*, 2005, 23(1): 84-90 [Cao Yingchang. Sedimentation and its forming mechanism of forced lacustrine regression in the rift lacustrine basin [J]. *Acta Sedimentologica Sinica* 2005, 23(1): 84-90]
- 吴因业, 顾家裕, Cedric G, 等. 塔里木盆地满西区块强制海退体系域沉积模式 [J]. *石油学报*, 2003, 24(4): 21-25 [Wu Yinye, Gu Jiayu, Cedric G, et al. Depositional model for forced regressive systems tract of Manxi Block in Tarim Basin [J]. *Acta Petrologica Sinica* 2003, 24(4): 21-25]
- 龚再升, 李思田, 谢泰俊, 等. 南海北部大陆边缘盆地分析与油气聚集 [M]. 北京: 科学出版社, 1997 [Gong Zaisheng, Li Sitian, Xie Taijun, et al. Continental margin basin analysis and hydrocarbon accumulation of the northern South China Sea [M]. Beijing: Science Press, 1997]
- Hunt D, Tucker M E. Stranded parasequence and forced regression wedge system tract deposition during base-level fall [J]. *Sedimentary Geology*, 1992, 81: 1-9
- 梅冥相, 杨欣德. 强迫型海退及强迫型海退楔体系域——对传统 Exxon 层序地层学模式的修正 [J]. *地质科技情报*, 2000, 9(2): 17-21 [Mei Mingxiang, Yang Xinde. Forced regression and forced regressive wedge system tract revision on traditional Exxon model of sequence stratigraphy [J]. *Geological Science and Technology Information* 2000, 19(2): 17-21]
- Haq B U, Hardenbol Jan, Vail P R. Chronology of fluctuating sea levels since the Triassic [J]. *Science* 1987, 235(3): 1156-1167.

- 10 Vail P R, Bowman S A, Eisner P N, *et al*. The stratigraphic signatures of tectonics, eustasy and sedimentology: An overview [C] // *Einsele Cycles and Events in Stratigraphy*. Berlin, Heidelberg: Springer Verlag, 1991: 617-659
- 11 王鸿祯, 史晓颖. 沉积层序及海平面旋回的分类级别—旋回周期的成因讨论 [J]. 现代地质, 1998, 12(1): 1-16 [Wang Hongzhen, Shi Xiaoying. Hierarchy of depositional sequences and eustatic cycles—a discussion on the mechanism of sedimentary cycles [J]. *Geoscience*, 1998, 12(1): 1-16]
- 12 秦国权. 珠江口盆地新生代晚期层序地层划分和海平面变化 [J]. 中国海上油气(地质), 2002, 16(1): 1-10 [Qin Guoquan. Late Cenozoic sequence stratigraphy and sea-level changes in Pearl River Mouth Basin, South China Sea [J]. *China Offshore Oil and Gas (Geology)*, 2002, 16(1): 1-10]
- 13 林畅松, 解习农, 张燕梅, 等. 二维沉积层序计算机模拟研究 [J]. 沉积学报, 1998, 16(2): 68-73 [Lin Changsong, Xie Xinong, Zhang Yanmei, *et al*. Two-dimensional depositional sequence simulation [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1998, 16(2): 68-73]
- 14 庞雄, 陈长民, 施和生, 等. 相对海平面变化与南海珠江深水扇系统的响应 [J]. 地学前缘, 2005, 12(3): 167-177 [Pang Xiong, Chen Changmin, Shi Hesheng, *et al*. Response between relative sea-level change and the Pearl River deep-water fan system in South China Sea [J]. *Earth Science Frontiers*, 2005, 12(3): 167-177]

Forced Regression and Normal Regression Deposition of Basin with Continental Shelf Slope-break: A case study on Zhujiang and Hanjiang Formations of Pearl River Mouth Basin

XIE Lihua^{1,2} ZHANG Bo³ QIN Cheng-gang³ WANG Yan-fei³ CHEN Sheng-hong³ GAO Peng³

(1. School of Earth and Space Sciences, Peking University, Beijing 100871;

2. School of Energy Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083;

3. Technology Department, Shenzhen Branch Company, CNOOC Ltd., Guangzhou 510240

Abstract The question about the deposition and the corresponding systems tract in forced regression is always the domestic and foreign focal point of argument. Integrated with sequence stratigraphic depositional model which was established by Exxon Corporation, forced regression deposition was corresponded to the early low stand systems tract and the late highstand systems tract; the normal regression deposition was corresponded to progradation depositions of late low stand systems tract, early highstand systems tract. Taking Zhujiang and Hanjiang Formations of Pearl River Mouth Basin as an example, they can be divided into 7 third-order relative sea-level change cycles, corresponding to 7 third-order sequence. The relative sea-level change is the external influence of the accommodate space change. The progradation depositions of late highstand systems tract distribute above the shelf slope-break. The low stand fans distribute on and under the slope. The low stand wedges distribute on and under the slope-break zone. The progradation depositions of early highstand systems tract distribute above the slope-break zone. They are all the favorable reservoirs.

Key words Pearl River Mouth Basin, Zhujiang Formation, Hanjiang Formation, forced regression, normal regression