

文章编号: 1000-0550(2011)05-0906-11

# 浅海陆棚环境下沉积坡折带及其对局部 强制海退体系域的控制<sup>①</sup>

刘 豪<sup>1</sup> 王英民<sup>2</sup> 王 媛<sup>2</sup>

(1. 中国地质大学 海洋学院 北京 100083; 2. 中国石油大学 资源与信息学院 北京 102249)

**摘 要** 南海珠江口盆地 HZ 地区珠江组沉积时期主要表现为—稳定沉积的陆棚环境。在研究区西部发育大型的古珠江水系,为整个珠江组大型三角洲沉积提供了丰富的陆源碎屑。本研究以 PSQ6 为例进行了详细分析,其沉积坡折带具有一定的规模,斜坡宽度约 4 km,高差为 20~60 m,横向延伸为 80 km 左右。沉积坡折带主要发育在下伏层序高水位体系域三角洲沉积结束时期,与在前三角洲亚相以东的碳酸盐岩隆起之间构成了一个局部的“沟谷”体系,为 PSQ6 层序强制海退时期沉积和保存提供了良好的古地貌背景,并进一步控制了陆棚环境中局部强制海退楔的发育。陆棚背景下的“沟谷”古地貌地形往往易于导致强制海退砂的形成,进积砂体能够直接覆盖在下部层序高水位体系域所形成的浅海相泥岩上,其上覆盖着水进域和高位域暗色泥岩,可形成有利的生、储、盖组合,是本地区寻找地层—岩性油气藏的有利场所。

**关键词** 珠江口盆地 珠海组 沉积坡折带 强制海退体系域

**第一作者简介** 刘豪 男 1974 年出生 博士 副教授 矿产普查与勘探 E-mail: forest\_lh@sina.com

**中图分类号** P512.2 **文献标识码** A

## 0 前言

经典层序地层学理论<sup>[1-2]</sup>指出,低位域是具有陆架坡折 I 型层序的特殊产物,主要发育在陆棚坡折以下的斜坡和盆底位置。那么,除了低水位时期形成的下切谷充填沉积外,在整个相对比较平缓的陆棚环境能否发育其它类型的沉积呢?

在地质学中最早,也是最常用的“斜坡”(slope)概念,主要是指“陆坡”(shelf slope),即陆架边缘的斜坡地带,而坡折也一般是特指陆架坡折,即外陆架与陆坡的地形由缓变陡的转折部位。国际上研究的热点——深水沉积体系也主要是指与陆坡相联系的沉积体系<sup>[3-15]</sup>。但按更广泛的地貌学的概念理解,不论是海相盆地还是陆相盆地,不论在沉积盆地中还是在剥蚀区,地形的突然转折都是很普遍的现象,单就地形坡度发生了明显突变的地带而言,坡折带在任何地区都可以出现,只是规模上存在差异。那么在哪些规模上存在差异的坡折带附近是否能形成局部的强制海退体系域?

目前,通过对陆相湖盆的研究许多学者<sup>[16-24]</sup>提出了湖盆坡折带的概念,樊太亮<sup>[17]</sup>提出中国渤海湾

盆地胜海地区东营组多级断裂坡折带对深切谷砂体具有明显的控制作用。王英民等 2002—2004 年<sup>[18-20]</sup>通过对准噶尔、松辽盆地盆地的研究认为在侏罗纪拗陷湖盆中存在明显的坡折带,按照坡折带的成因可将坡折带分为构造坡折带、侵蚀坡折带和沉积坡折带三种主要类型。同时坡折带又可分为水上坡折和水上坡折,其中水下坡折带可控制低位域的发育。刘豪等(2004—2006)<sup>[21-24]</sup>根据准噶尔拗陷湖盆的特点,提出了多级坡折带明显控制了层序和沉积的发育。

陆相湖盆的坡折带发育特征及其对沉积、层序的模式是否能够直接应用于比较平缓的陆棚背景地区,本研究将以此为线索进行详细的分析和解剖。

珠江口盆地 HZ 凹陷位于南海北部珠—坳陷内,北靠北部断阶带,南达中央隆起带的东沙隆起,东西分别与惠陆低凸起和西江凹陷相邻,呈北东走向,是新近纪古珠江三角洲—滨岸沉积体系形成、发育及演化的主要场所(图 1)。珠江口盆地为一新生代沉积盆地,发育古新统神狐组、始新统文昌组、渐新统恩平组、中新统珠海组、珠江组、韩江组、粤海组和上新统万山组。早期(神狐组—恩平组)为断陷发育构造样

<sup>①</sup>国家重点基础研究发展计划(973 计划)课题(编号:2007CB411705/2007CB411703)和国家自然科学基金项目(批准号:40572067)共同资助。  
收稿日期:2010-08-21; 收修稿日期:2010-11-05

式、中晚期( 珠海组—现今) 为稳定坳陷沉积, 其中珠江组主要为坳陷浅海陆棚沉积环境。

本次研究通过严格的地震—钻井结合, 采用强调客观物理关系的思想<sup>[27]</sup>, 在珠江组地层中共识别出

13 个四级层序界面, 5 个层序界面, 2 个构造层序界面。据此划分出 1 个构造层序, 4 个层序和 12 个四级层序( 图 2)。其中位于珠江组中段 PSQ6 包括三个体系域, 分别为高水位、海侵和强制海退体系域。

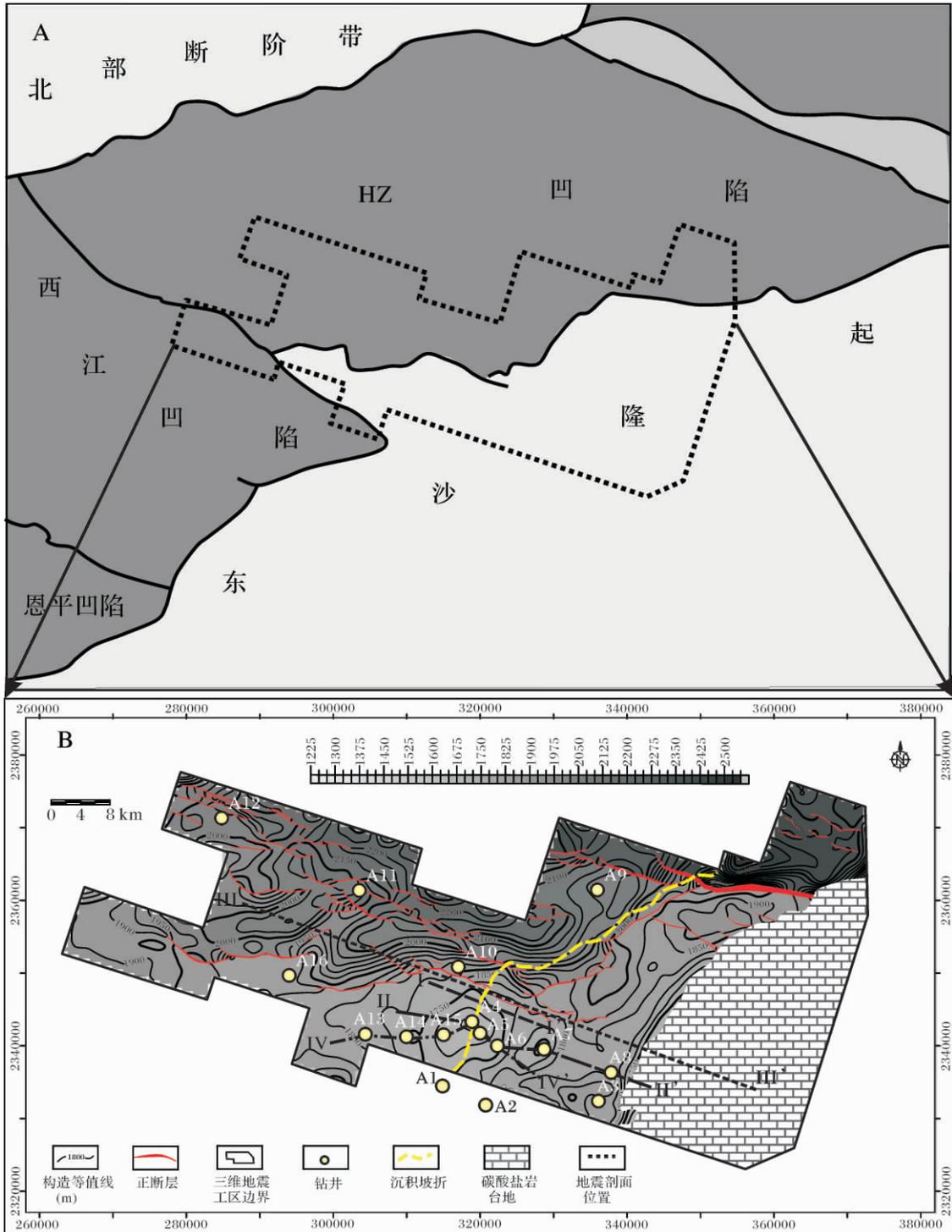


图 1 珠江口盆地惠州凹陷位置图。图中 B 为 HZ 凹陷三维工区范围及珠江组中段 PSB6 构造图  
Fig. 1 Location of the HZ Sag in the Pearl River Mouth Basin. B shows 3D seismic survey range of the HZ Sag and the structural characteristics of the sequence boundary PSB6 in the Zhujiang Formation Middle Member

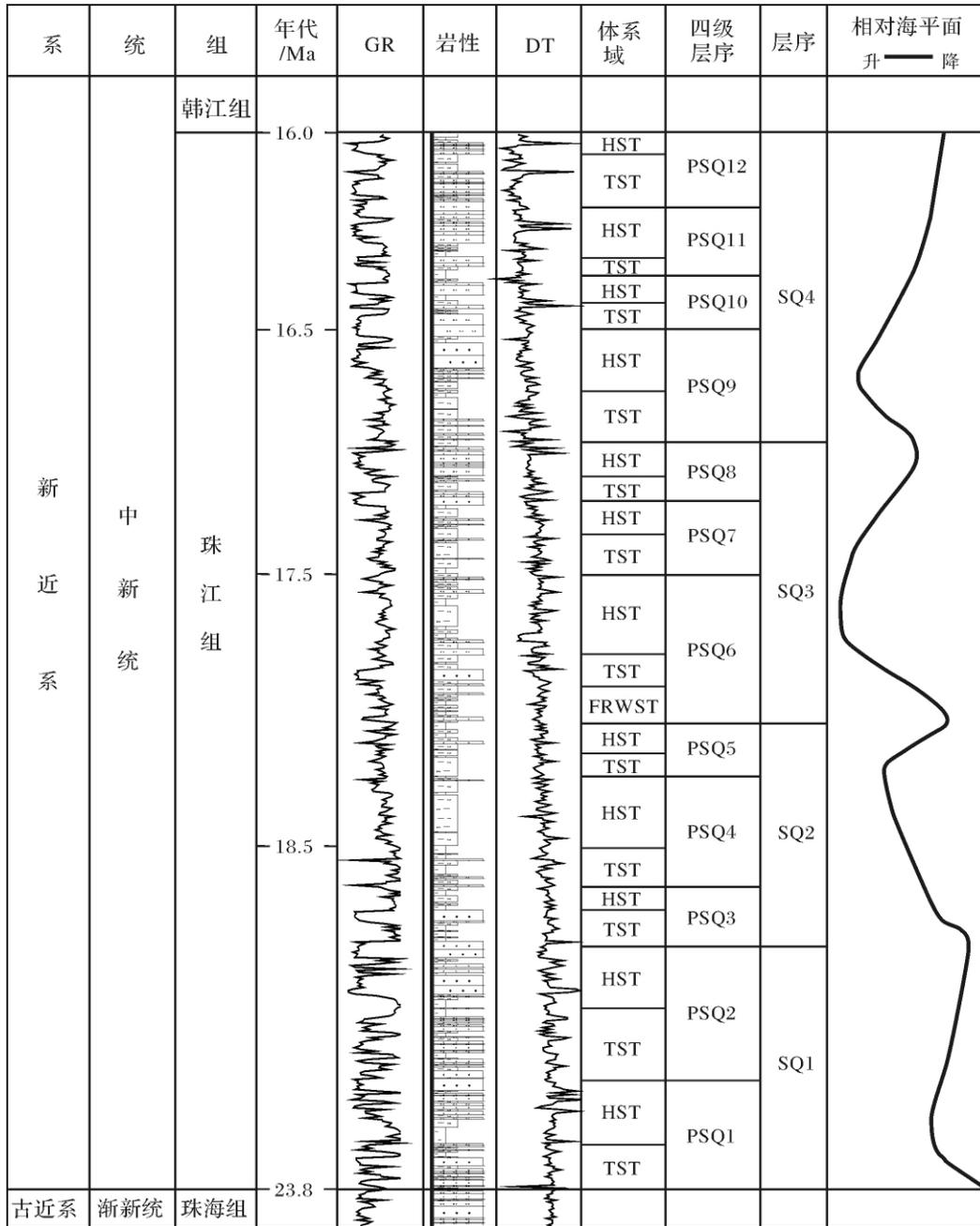


图2 HZ 凹陷珠江组层序划分

(SQ—层序, PSQ—四级层序, LST—低水位体系域, TST—海侵体系域, HST—高水位体系域, FRWST—强制海退体系域)

Fig. 2 The sequence stratigraphic framework of the Lower Miocene in the HZ Sag

SQ—Sequence, PSQ—4th-order Sequence, LST—Lowstand systems tract, TST—Transgressive systems tract, HST—Highstand systems tract, FRWST—Forced regressive wedge systems tract

## 1 珠江组中期沉积坡折带发育特征

### 1.1 坡折带的识别方法

坡折带在地震剖面上表现为 TO 时间急剧变化的部位,地质剖面上表现为地层厚度的急剧变化,通过地层等厚图的编制,可以明显看到坡折带为等值线密

集,地层厚度由坡折到坡脚急剧增厚<sup>[24]</sup>。本文中的坡折带识别主要结合了地震、钻测井地层对比以及层序等厚图等资料,以地震剖面中厚度变化、反射结构分析为出发点,结合钻井地质分析,首先在线上开展坡折带的识别,将不同线上坡折带可能发育的位置连接起来进行平面上组合,再将这种组合投影到地层等

厚图上并作局部修改使其更加完善。

### 1.2 珠江组沉积坡折带

新近系沉积时期,珠江口盆地惠州地区发育了三角洲、滨岸和陆架沉积体系。大量研究资料表明,在三角洲前缘主体位置发育十分明显的沉积坡折带(图 3)。这些坡折带主要分布在惠州凹陷南部 A4—A9 井区附近,坡折带多呈北东—南西向展布。坡折带形成规模具有较大的差异,其中 PSQ6 的坡折带发育规模较大,其横向距离约 80 km,高差 20~60 m,坡折带斜坡宽度约 4 km(图 4)。

### 1.3 沉积坡折带发育成因

沉积坡折带是由于不同地区沉积速率差异造成地形坡度突变而形成的,对于三角洲沉积来说,在三

角洲平原与三角洲前缘的结合部一般易于形成后期的沉积坡折带,在地震剖面上一般与前积反射的顶部相对应(图 3)。珠江组沉积以前,由于东沙隆起的形成并大幅度抬升,沉积自东向西形成一个明显的古隆凹格局,隆起地区广泛沉积碳酸盐岩;同时西部地区的凹陷带则因为古珠江水系提供大量的陆源碎屑开始沉积三角洲相,从三角洲平原—前缘—前三角洲亚相,因为存在明显的沉积速率上的差异,导致在三角洲沉积体系以东与碳酸盐岩隆起区之间形成了一明显的呈北东—南西向展布的局部“沟谷”,其中“沟谷”西翼的斜坡就是因为早期的三角洲沉积速率差异所致(图 5、6)。本地区 PSQ6~PSQ9 皆发育这种古地貌背景。PSQ4~PSQ5 在该地区发育的沉积坡

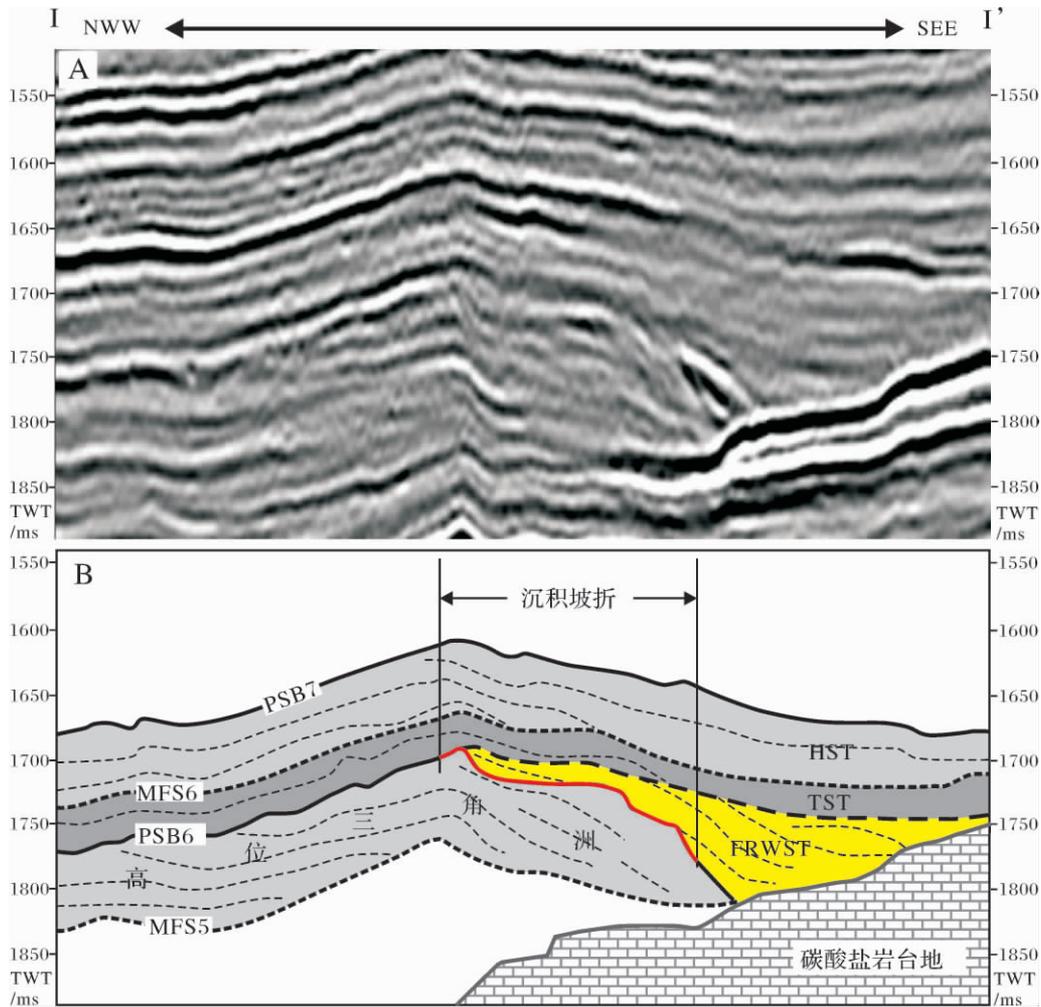


图 3 PSQ6 底部沉积坡折地震反射特征

A 是原始地震剖面, B 是解释结果, 沉积坡折带之下发育了大型的三角洲沉积

Fig. 3 The seismic reflection characteristics of the depositional slope break developed at the bottom of sequence PSQ6  
A is the original seismic profile, B is the interpretation result. A large-scale delta characterized by the reflectance is developed below the main body of the depositional slope break

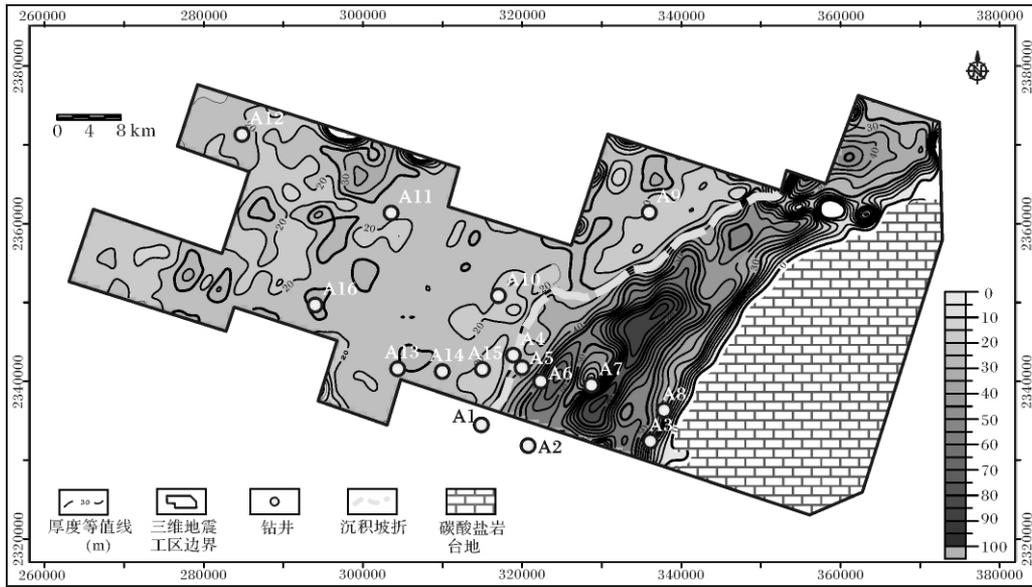


图 4 PSQ6 强制海退 + 海侵域厚度图

(图中沿着 A4—A9 井发育一典型的沉积坡折, 坡折上下地层厚度差异明显)

Fig. 4 Isopach map of the FRWST and TST of sequence PSQ6

(Typical depositional slope breaks are developed along wells A4—A9, and the strata thicknesses up and below the slope break are obviously different)

折带亦属于这种古地貌背景,但是由于其三角洲发育的规模相对较小不作为论文讨论的重点。

此外,在本地区自 PSQ10 ~ PSQ17 由于东部隆起的逐渐消亡,同时伴随后期陆源碎屑物质不断充填于“沟谷”低洼地带,导致这些时期的古地形逐渐趋于平缓。尽管古珠江三角洲仍然十分发育,但是坡折带规模较小,对于陆棚上的低位域控制不明显。

### 1.4 沉积坡折带演化规律

#### 继承性发育

在盆地西南部,自珠江组开始至粤海组顶,三角洲都十分发育。古珠江水系持续性提供的物源形成了多期的三角洲体系为沉积坡折带的发育奠定了基础,在三角洲前缘带,即 A4 井附近,从 SB4 到 SB18,除了 SB13 界面上沉积坡折带不明显外,坡折带的都呈继承性发育(图 7)。

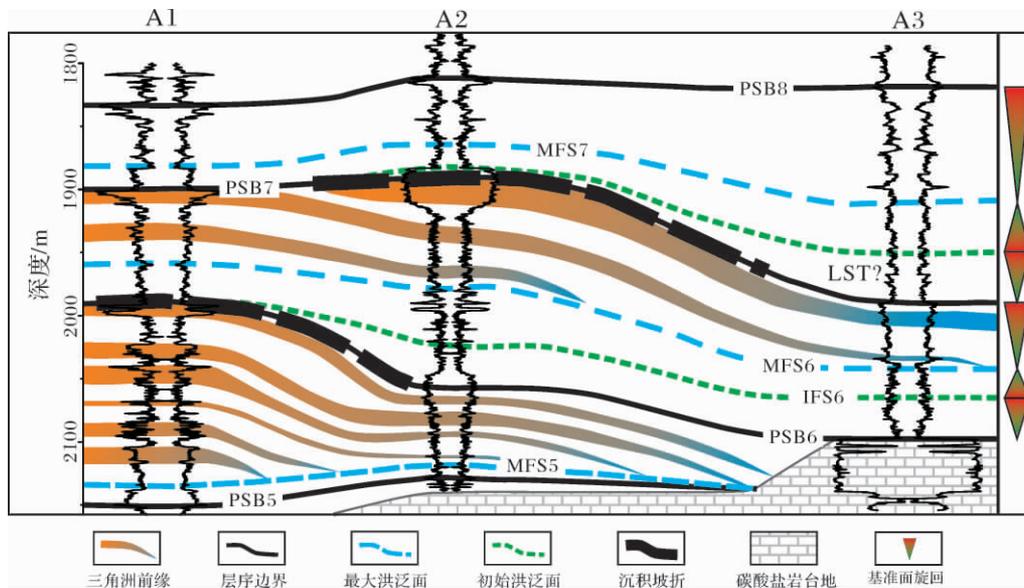


图 5 钻测井中三角洲沉积与沉积坡折之间的对比关系

Fig. 5 Correlation of the drilling holes which shows the relationship between delta deposition and depositional slope break

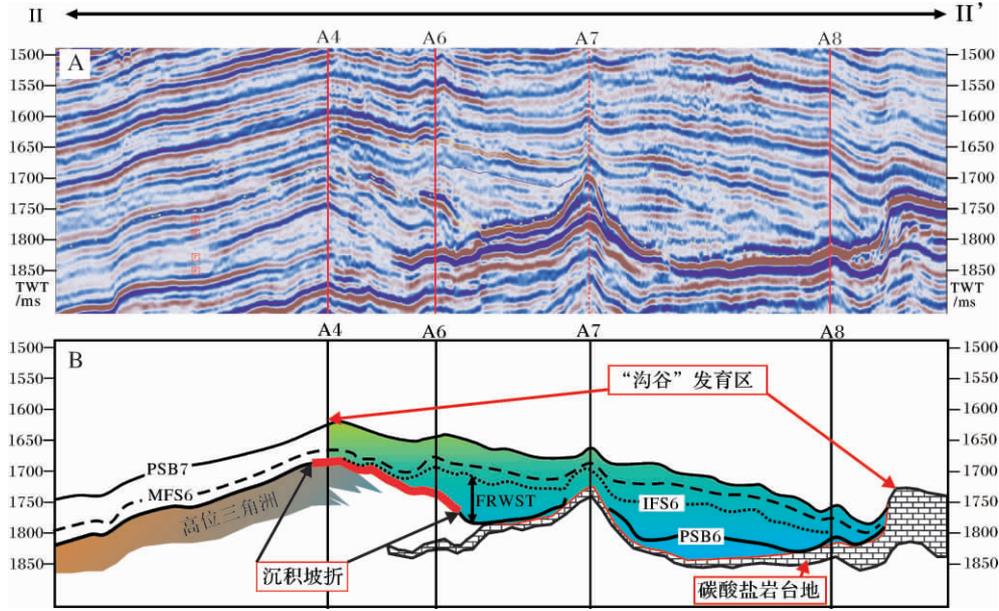


图 6 PSB6 界面上下古珠江三角洲—东沙隆起碳酸盐岩岩隆之间“沟谷”地貌的地震响应

Fig. 6 The seismic response of the “ditch-valley” setting which occurred in the area between the Palaeo-Zhujiang delta and the Dongsha Carbonate buildup up and below the sequence boundary PSB6

间歇性

所谓坡折带发育的间歇性 指的是在一定地理位置、时期范围内,受同一成因机制控制下的坡折带在发育过程中表现为坡折带的产生和消失的交替出现的规律。HZ 凹陷沉积坡折带间歇性发育的规律也较明显,自下而上,PSQ4 ~ PSQ12 坡折带较发育,PSQ13 坡折带不发育,PSQ14 ~ PSQ18 坡折带又发育,PSQ18 之上坡折带逐渐消失,沉积坡折带的间歇性发育表明沉积物供给和海平面升降的差异(见图 7)。

时空迁移旋回性

所谓时空迁移指的是同一类型坡折带在同一地理位置范围内在不同时期沿陆—海方向的来回迁移。惠州凹陷南部沉积坡折带在不同时期具有明显的迁移规律,不同时期形成的一个迁移周期就构了一个迁移旋回,这种坡折带的迁移反应了沉积滨线的不稳定性,是海平面变化、局部构造活动、沉积物供给以及气候等共同作用的结果。在 SB4 ~ SB18 之间共有 5 个迁移周期,分别反映 5 次较大的相对海平面升降变化旋回(图 7)。

旋回一: PSQ4 ~ PSQ7

PSQ4 早期是该坡折带锥形发育的时期,由陆向海方向迁移,至 PSQ7 早期(SB7)结束,SB7 上坡折带在旋回一中向海方向迁移距离最远。PSQ7 末期坡折带开始向陆方向回迁,因此在旋回一中有 2 个转折

点,即 SB4、SB7。

旋回二: PSQ8 ~ PSQ10

自 PSQ8 早期开始,坡折带继续表现为由陆向海转移的演化规律,在 PSQ10 末期期坡折带又出现回迁的现象,该旋回的转折期点为 SB10。

旋回三: PSQ11 ~ PSQ13

PSQ10 沉积结束后,沉积坡折带又向海方向迁移,至 PSQ13 早期结束。因此该旋回末期 SB13 是一个重要的转折点。

旋回四: PSQ14 ~ PSQ16

坡折带再次由陆向海方向再次迁移直至 PSQ16 晚期结束,PSQ17 初坡折带向陆方向回移,因此 SB16 是该旋回中的一个转折期

旋回五: PSQ17 ~ ?

SB18 上坡折带在研究工区内不发育,该旋回是一个不完整的旋回。

2 沉积坡折带与局部低水位期沉积的关系——以 PSQ6 为例

2.1 低水位期沉积发育特征

层序地层学研究结果表明,PSQ6 具有明显的三分层序结构,其中低水位期的沉积特征十分明显。在钻井上,初始海泛面主要位于比较明显的以加积—进积为主的反旋回顶部,其发育的泥岩厚度要远远小于

最大海泛面时期形成的凝缩层(图 5) 地震资料解释揭示低水位期沉积布局限在 A4 ~ A8 井与灰岩顶以西的地带,以斜交型前积—丘状反射为主(图 3、6) 砂体识别结果该低位期主要由 2 套砂体构成(图 8)。

钻井揭示砂岩厚度普遍在 2 m 以上, A4 井区砂岩厚度最大, 达 22 m。含砂率普遍在 2% 以上, A4 井区含砂率最大, 达 40%, 沉积相类型单调, 仅在南部

地区发育, 主要为浅海和陆架砂相。

### 2.2 低水位期沉积成因讨论

海退以两种不同的方式产生: ①如果沉积物注入量超过了沉积物容纳空间的增长量的情况下, 即使处于海平面上升的背景下, 也会产生滨线向海方向的迁移从而产生海退, 这种海退称之为正常海退; ②在海平面相对下降期, 沉积物可容空间增长速率呈负值, 导致沉积物供给速率总是大于可容空间增长

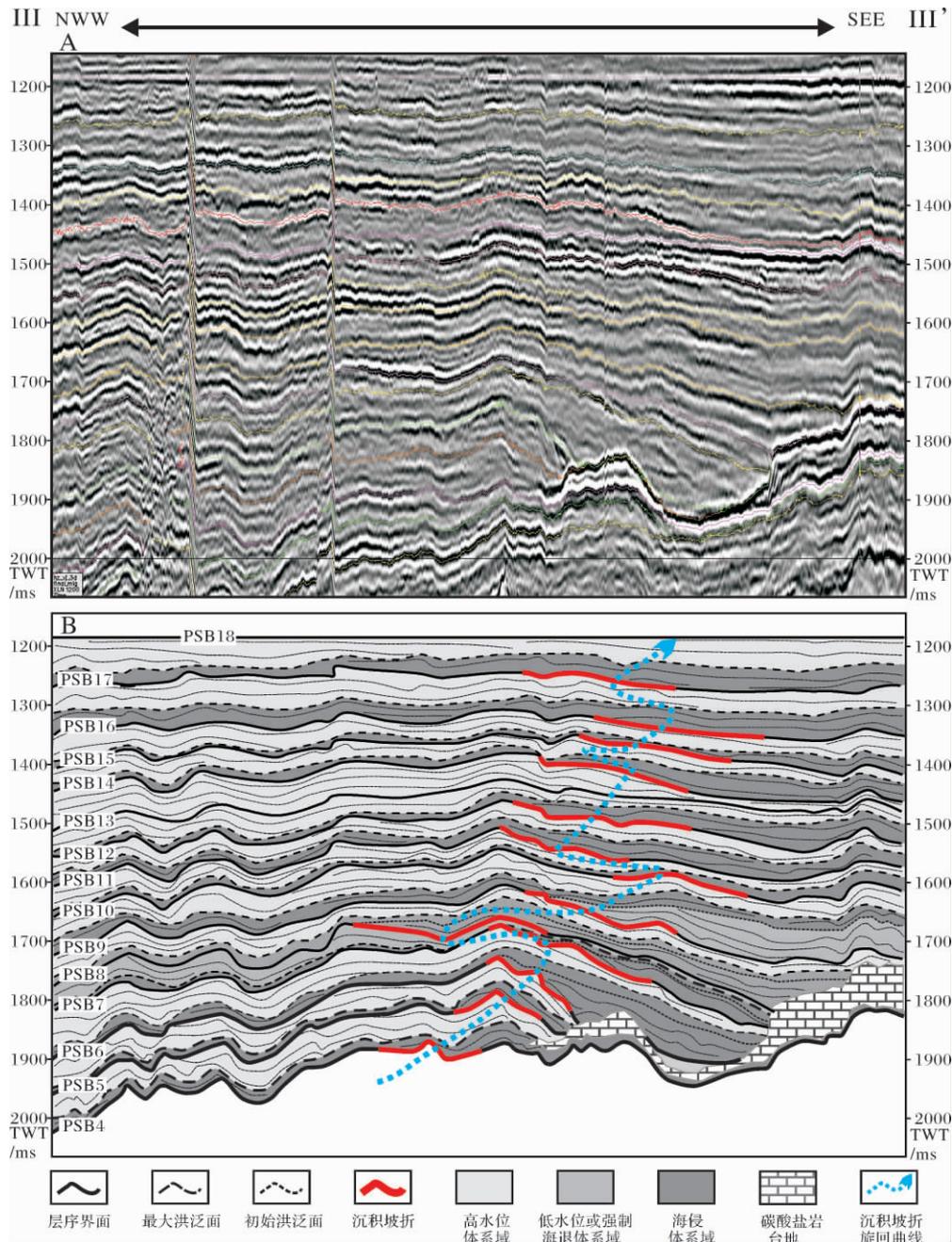


图 7 沉积坡折带继承性发育特征( A 为实际地震剖面 B 为地震反射结构及沉积坡折带解释结果)

Fig. 7 The inheritance development feature of depositional slope breaks

( A is the practical seismic profile , B is the interpretation results of seismic reflectance textures and depositional slope breaks)

速率,即使没有沉积物注入也会产生海退,有沉积物注入则更要产生海退,因此就把由海平面下降产生的海退称之为强迫型海退<sup>[27-29]</sup>。

由强制海退形成的一系列前积楔称为强制海退体系域(forced regressive wedge systems tract),在缓坡边缘上相对海平面下降期间没有过路沉积物被输送到盆底,沉积物可能被沉积为一组逐级下降的前积楔<sup>[28-29]</sup>。

PSQ6 低位期沉积地震特征表现为典型的斜交型前积反射(图3、6),砂体呈条带状孤立分布,以一个沉积物超越带同高水位沉积体相区分,沉积相研究结果表明该组砂体为远离物源区的浅海陆架沉积,运用强制海退成因对这些呈孤立状分布于陆架上的砂体解释可能更为合理。同时位于坡折带上部地层发育明显的地层削蚀,常以下切谷的形式出现<sup>[25]</sup>。如果将坡折带斜坡带与上坡脚之间的夹角看成是陆棚上的次一级滨岸线,这恰好与 Posamentier 等<sup>[27]</sup>提出的强制性海退概念一致,因此初步认为形成的此类低位砂体以强制海退砂为主。

### 2.3 沉积坡折带与强制海退体系域的保存

从已识别的沉积坡折带与强制海退体系域发育范围展布关系上看,强制海退体系域基本上位于沉积坡折带以西与东沙隆起之间的狭长低洼地带,紧邻沉积坡折带发育,二者匹配关系良好(图5、图6)。

一般来说在宽缓的陆棚上,当海平面强制下降,低水位期沉积物除了陆棚上的河流侵蚀形成的下切谷,更多的前积楔主要沉积在陆棚坡折带斜坡及其下部,而陆棚上则无法保留前积楔沉积。HZ 地区强制海退体系域的发育和保存得益于早期高位域建设性三角洲形成的沉积坡折带和东部东沙隆起上的碳酸盐岩沉积,东沙隆起生物礁生长为纯海相沉积环境的产物,远离物源区,水体清洁透明,礁体单体面积和厚度较大,类型多,分布广,为台地边缘礁,属于清水—咸水型成礁模式,意味着 PSQ5 高位期三角洲的沉积对生物礁的生长影响甚小,三角洲与碳酸盐台地之间水体相对较深,可容空间较大,因此在三角洲与碳酸盐岩台地之间形成一“沟谷”古地貌,沉积坡折带的形成为强制海退体系域的发育提供了古地貌背景;同时碳酸盐台地的发育又起到良好的遮挡作用。尽管 HZ 凹陷处于陆棚之上,当海平面下降,陆棚之上沉积可容空间逐渐减小,沉积物向海推进;当海平面进一步下降至陆架坡折带以下,陆棚环境的大部分地区主要遭受剥蚀或表现为沉积物过路,由于存在一明显的

“沟谷”低洼地区,为沉积物的沉积和保存提供了一定的空间(图6)。因此,在海平面下降的低位时期,沉积坡折带上下存在明显的可容空间差异,坡上沉积可容空间较小,受各种海流的影响沉积物遭受一定的侵蚀,被剥蚀的沉积物将被带入可容空间较大的低洼部位,形成明显的前积楔沉积。故这种“沟谷”古地貌为强制海退体系域的发育和保存提供了良好条件。

### 3 沉积坡折带控制低位域的油气意义

强制性水退所形成的进积砂体能够直接覆盖在下部层序高水位体系域所形成的浅海相泥岩上,其上覆盖着水进域和高位域暗色泥岩,可形成有利的生、储、盖组合,易发育大面积错叠连片的岩性油气藏。

在实际研究中,通过振幅提取、波阻抗反演等开展了低位砂体的精细刻画发现在 PSQ6 层序内部强制海退砂体十分发育且以条带状孤立分布,与构造展布十分匹配,可形成多个地层—岩性圈闭(图9)。同时由于该强制性低位砂远离物源区,砂体之下广泛沉积了 HST5 前三角洲或陆架泥,之上为海侵体系域泥岩沉积,圈闭的封堵条件十分理想;此外,油田开发及油气显示表明,PSQ6 两套低位砂属于本地区主力油层 K22 砂层组<sup>[25]</sup>,储集条件较好,属性及波阻抗反演结果亦反映出砂体十分发育;同时低位砂北部紧靠断裂,可通过这些断裂将北部生油凹陷的油气具运移至低位砂中,具备很好的油源沟通条件(图9)。因此由沉积坡折带控制的强制性水退低位砂对于指导隐蔽性油气藏的勘探工作具有重要的指导意义。

### 4 结论

(1) 珠江组沉积时期 HZ 凹陷西南部广泛发育三角洲沉积,由于平原—前缘—前三角洲亚相之间的差异沉降导致在该地区形成沉积坡折带。

(2) 沉积坡折带的发育具有明显的继承性、间歇性和时空迁移旋回性,这与沉积物供给、海平面升降以及早期古地貌特征等有很大的关系。

(3) 不是所有沉积坡折带都能控制低水位期沉积的形成,特殊的古地貌—早期高位域建设性三角洲与东部碳酸盐岩台地之间形成的“沟谷”才能控制后期层序内部局部强制海退体系域的发育。

(4) 圈闭要素初步地质分析表明,强制性水退所形成的进积砂体能形成较好的形态圈闭,圈闭封堵、储集、油源条件很好,对于指导隐蔽性油气藏的勘探工作具有重要的指导意义。

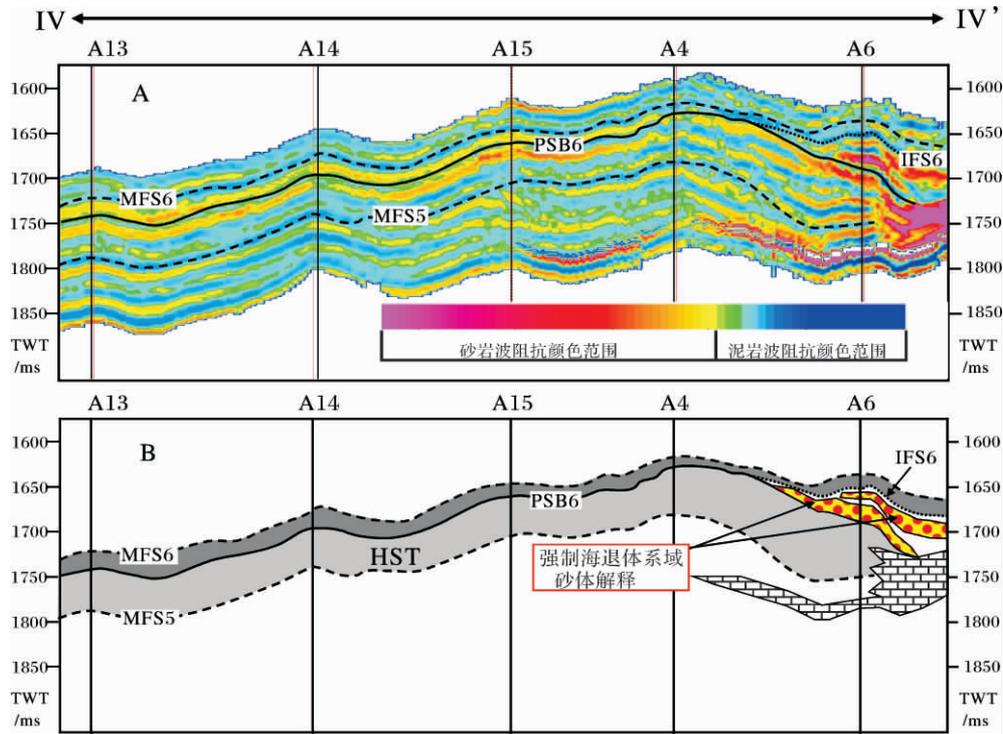


图8 PSQ6 强制海退体系域砂体识别,发育2套砂体

A 是波阻抗反演剖面,黄色—红色表示高阻抗值的砂岩,B 是强制海退砂体的解释结果

Fig.8 Recognition of the FRWST6 sandbodies ,2 sets of sandbodies are developed in FRWST

(A is the wave impedance inversion section ,the yellow-red area represents the high value of wave impedance , which reflects the developing characteristics of sandbodies. B is the interpretation result of FRWST sandbodies)

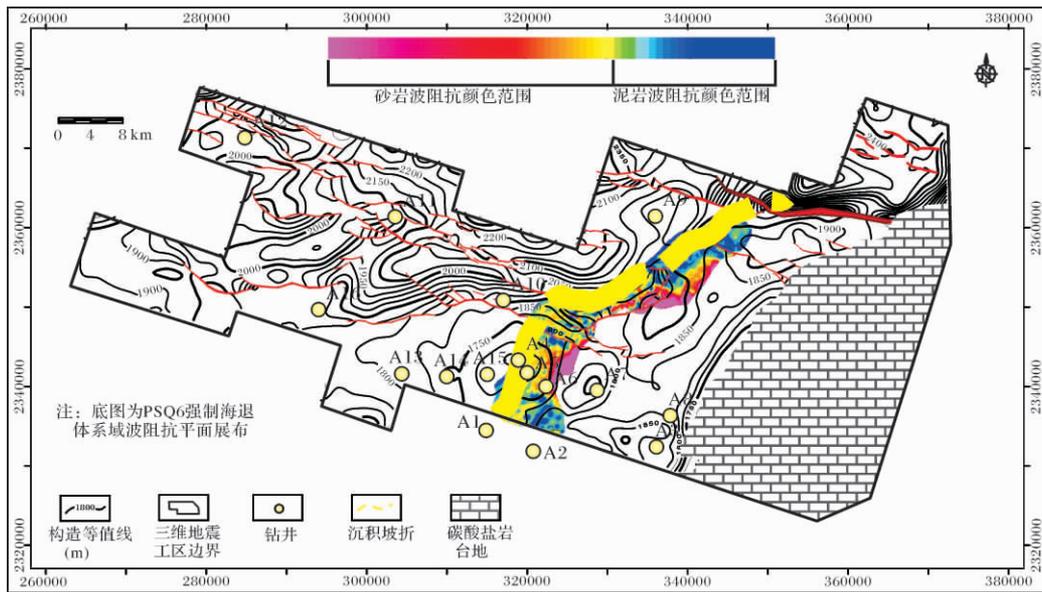


图9 强制海退体系域砂体与构造形态的匹配关系

Fig.9 The matching relationship between FRWST6 sandbodies and the structural forms

## 参考文献(References)

- 1 Vail P R, Mitchum R P Jr, Thompson S. Seismic stratigraphy and global change of sea level, part four: global cycles of relative changes of sea level[C]. AAPG memoir, 1977, 26: 83-98
- 2 Vail P R, Audemard F, Bowman S A, *et al.* The stratigraphic signatures of tectonics, eustasy and sedimentology—an overview[C]// Einsele G, Ricken W, Seilacher A, eds. Cycles and Events in Stratigraphy. Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 1991: 617-659
- 3 Stow D A V, Mayall M. Deep-water sedimentary systems: New models for the 21<sup>st</sup> century[J]. Marine and Petroleum Geology, 2000, 17(2): 125-135
- 4 Shanmugam G. 50 years of the turbidite paradigm(1950s-1990s) deep-water processes and facies models: a critical perspective[J]. Marine and Petroleum Geology, 2000, 17(2): 285-342
- 5 Shanmugam G. Deep-marine tidal bottom currents and their reworked sands in modern and ancient submarine canyons[J]. Marine and Petroleum Geology, 2003, 20(5): 471-491
- 6 Shepard F P, Marshall N F. Currents in submarine canyons and other sea valleys[C]// Stanley D J, Kelling G, eds. Sedimentation in Submarine Canyons, Fans, and Trenches. Dowden, Hutchinson & Ross, Inc, Pennsylvania, 1979: 3-14
- 7 Nittrouer C A, Kravitz J H. Integrated continental margin research to benefit ocean and earth sciences[J]. Eos, 1995, 76: 121-126
- 8 Mienert J. Editorial-COSTA—continental slope stability: major aim sand topics[J]. Marine Geology, 2004, 213(1-4): 1-7
- 9 Mutti E, Nounark W R. An integrated approach to the study of turbidite systems[C]// Weimer P, Link M H, eds. Seismic Facies and Sedimentary Processes of Submarine Fans and Turbidite Systems. New York: Springer, Verlag, 1991: 75-106
- 10 Wynn R B, Kenyon N H, Masson D G, *et al.* Characterization and recognition of deep-water channel-lobe transition zones[J]. AAPG Bulletin, 2002, 86(8): 1441-1462
- 11 Damuth J E, Flood R D. Amazon Fan, Atlantic Ocean[C]// Bouma A H, Normark W R, Barnes N E, eds. Submarine Fans and Related Turbidite Systems. New York: Springer, Verlag, 1985: 97-106
- 12 Deptuck M E, Steffens G S, Barton M, *et al.* Architecture and evolution of upper fan channel-belts on the Niger Delta slope and in the Arabian Sea[J]. Marine and Petroleum Geology, 2003, 20(6-8): 649-676
- 13 Saller A H, Noah J T, Ruzuar A P, *et al.* Linked lowstand delta to basin-floor fan deposition, offshore Indonesia: An analog for deep-water reservoir systems[J]. AAPG Bulletin, 2004, 88(1): 21-46
- 14 庞雄, 陈长民, 朱明, 等. 深水沉积研究前缘问题[J]. 地质论评, 2007, 53(1): 36-43 [Pang Xiong, Chen Changmin, Zhu Ming, *et al.* Frontier of the deep-water deposition study[J]. Geological Review, 2007, 53(1): 36-43]
- 15 王英民, 王海荣, 邱燕, 等. 深水沉积的动力学机制和响应[J]. 沉积学报, 2007, 25(4): 495-504 [Wang Yingmin, Wang Hairong, Qiu Yan, *et al.* Process of dynamics and its response of deep-water sedimentation[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2007, 25(4): 495-504]
- 16 林畅松, 潘元林, 肖建新, 等. “构造坡折带”——断陷盆地层序分析和油气预测的重要概念[J]. 地球科学—中国地质大学学报, 2000, 25(3): 260-266 [Lin Changsong, Pan Yuanlin, Xiao Jianxin, *et al.* Structural slope break zone: Key concept for stratigraphic sequence analysis and petroleum forecasting in fault subsidence basins[J]. Earth Science Frontiers—Journal of China University of Geosciences, 2000, 25(3): 260-266]
- 17 樊太亮, 李卫东. 层序地层应用于陆相油藏预测的成功实例[J]. 石油学报, 1999, 20(2): 12-17 [Fan Tai liang, Li Weidong. A successful case on sequence stratigraphy applied to the prediction of non-marine oil reservoir[J]. Acta Petrolei Sinica, 1999, 20(2): 12-17]
- 18 王英民, 刘豪, 王媛. 准噶尔盆地侏罗系非构造圈闭的勘探前景[J]. 石油勘探与开发, 2002, 29(1): 44-47 [Wang Yingmin, Liu Hao, Wan Yuan. The exploration prospect of nonstructural traps of Jurassic in Junggar basin[J]. Petroleum Exploration and Development, 2002, 29(1): 44-47]
- 19 王英民, 刘豪, 李立诚, 等. 准噶尔大型拗陷湖盆坡折带的类型和分布特征[J]. 地球科学—中国地质大学学报, 2002, 27(6): 683-688 [Wang Yingmin, Liu Hao, Li Licheng, *et al.* Types and distribution characteristics of slope breaks of large type down warped lake basins[J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 2002, 27(6): 683-688]
- 20 Wang Yingmin, Liu Hao, Xin Renchen, *et al.* Lacustrine basin slope break: A new domain of strata and lithological trap exploration[J]. Petroleum Science, 2004, 1(2): 55-61
- 21 刘豪, 王英民, 王媛, 等. 大型拗陷湖盆坡折带的研究及其意义[J]. 沉积学报, 2004, 22(1): 95-102 [Liu Hao, Wang Yingmin, Wang Yuan, *et al.* Study on slope breaks in large down warped lake basins and its significance[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2004, 22(1): 95-102]
- 22 刘豪, 王英民, 王媛, 拗陷湖盆坡折带特征及其对非构造圈闭的控制[J]. 石油学报, 2004, 25(1): 30-35 [Liu Hao, Wang Yingmin, Wang Yuan. Characteristics of slope breaks and their control on tectonic traps in downwarped lake basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2004, 25(1): 30-35]
- 23 刘豪, 王英民. 准噶尔盆地拗陷湖盆坡折带在非构造圈闭勘探中的应用[J]. 石油与天然气地质, 2004, 25(4): 422-427 [Liu Hao, Wang Yingmin. Significance of slope break zones in down-warped lake basins to exploration of non-structural traps in Junggar basin[J]. Oil & Gas Geology, 2004, 25(4): 422-427]
- 24 Liu Hao, Wang Yingmin, Xin Renchen, *et al.* Study on the slope break belts in the Jurassic down-warped lacustrine basin in western-margin area, Junggar Basin, northwestern China[J]. Marine and Petroleum Geology, 2006, 23(9-10): 913-930
- 25 施和生, 李文湘, 邹晓萍, 等. 珠江口盆地(东部)砂岩油田沉积相研究及其应用[J]. 中国海上油气(地质), 1999, 13(3): 181-188 [Shi Hesheng, Li Wenxiang, Zhou Xiaoping, *et al.* The application of sequence stratigraphy in developing sandstone oil fields in Eastern Pearl River Mouth Basin[J]. China Offshore Oil and Gas (Geology), 2000, 14(1): 15-20]

- 26 Haq B U , Hardanbol J , Vail P R. Chronology of fluctuating sea levels since the Triassic [J]. *Science* , 235 , 1987: 1156-1167
- 27 Posamentier H W , Allen G P , James D P , *et al.* Forced regression in a sequence stratigraphic framework: Concepts , example , and exploration significance [J]. *AAPG Bulletin* , 1992 , 76( 11) : 1687-1709
- 28 柳成志 , 袁红旗 , 张海燕 , 等. 陆相盆地强制性水退对油气的控制作用 [J]. *大庆石油地质与开发* , 2005 , 24( 4) : 18-20 [Liu Chengzhi , Yuan Hongqi , Zhang Haiyan , *et al.* Effect of forced regression on hydrocarbon in non-marine basins [J]. *Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing* , 2005 , 24( 4) : 18-20]
- 29 刘招君 , 程日辉 , 易海永. 层序地层学的概念、进展与争论 [J]. *世界地质* , 1994 , 13( 3) : 56-68 [Liu Zhaojun , Cheng Rihui , Yi Haiyong. The conception , development and dispute of sequence stratigraphy [J]. *Global Geology* , 1994 , 13( 3) : 56-68]

## Depositional Slope Break in Shallow Marine Shelf Setting and Its Control on Regional Forced Regressive Wedge Systems Tract

LIU Hao<sup>1</sup> WANG Ying-min<sup>2</sup> WANG Yuan<sup>2</sup>

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

2. College of Geosciences , China University of Petroleum , Beijing 102249)

**Abstract** During the deposition of the Miocene Zhujiang Formation , the HZ Sag in the Pearl River Mouth Basin , South China Sea , was a stably deposited shelf setting. A large-scale paleo-Pearl River water system was developed in the western part of the study area and provided abundant terrestrial clastic deposits for the large-scale Pearl River delta. A case study on sequence PSQ6 has been carried out in this paper. The depositional slope break of sequence PSQ6 is characterized by a certain developing scale of about 4 km slope width , 20-60 m height difference and 80 km transverse distribution range. Depositional slope breaks were mainly developed during the ending time of the depositional period of highstand systems tract delta of underlying sequence. A regional "ditch-trough" system was formed along the area between depositional slope break and carbonate buildup in the east of prodeltaic subfacies , thus provided a favorable paleogeomorphic setting for the deposition and preservation of PSQ6 forced regressive wedge systems tract ( FRWST) and furthermore controlled the development of regional forced regressive wedge in shelf environment. The forced regressive sandbodies are easily formed due to the "ditch-trough" paleogeomorphic setting in shelf environment. The prograded sandbodies directly cover the shallow marine mudstones of the underlying sequence highstand systems tract and are overlaid with the dark-color mudstones of transgressive and highstand systems tracts , thus a favorable source-reservoir-caprock assemblage is formed and stratigraphic-lithologic hydrocarbon accumulations usually occur in these areas.

**Key words** Pearl River Mouth Basin; Zhujiang Formation; depositional slope break; forced regressive wedge systems tract