

文章编号: 0253-9985(2004)06-0650-06

琼东南盆地东部低位体系域的时空组合特征及油气勘探意义

魏魁生¹, 楚美娟¹, 崔颖凯¹, 沈 华¹, 梁建设², 杨国忠², 刘铁树²

(1. 中国地质大学, 北京 100083; 2. 中国海洋石油勘探开发中心, 河北高碑店 074010)

摘要: 琼东南盆地经历了裂陷期和坳陷期, 可进一步划分为5个演化阶段。与构造演化对应, 层序上可划分为上、下两个巨层序5个超层序和19个层序。低位体系域在盆地的不同演化阶段均发育, 具有多期性、多样性特点。构成低位体系域的沉积体系主要有盆底扇、斜坡扇、前积楔、三角洲、扇三角洲、冲积扇、海底峡谷和下切谷等。这些沉积体系的时空组合特征可归纳为孤立式、断控悬挂式和相互依存式。裂陷期呈孤立式、断控悬挂式; 坳陷期以相互依存式为主。这些低位沉积体与上下岩层构成了有利的生储盖组合, 可以形成岩性圈闭、地层-岩性及构造-岩性等复合型圈闭, 具有广阔的勘探开发前景。

关键词: 琼东南盆地; 低位体系域; 内部构成; 空间组合; 勘探意义

中图分类号: TE111.3 文献标识码: A

Characteristics of time-space combination of lowstand system tracts and their exploration significance in eastern Qiongdongnan basin

Wei Kuisheng¹, Chu Meijuan¹, Cui Yingkai¹, Shen Hua¹, Liang Jianshe², Yang Guozhong², Liu Tieshu²

(China University of Geosciences, Beijing; Exploration and Production Research Center, CNOOC, Gaobeidian, Hebei)

Abstract: Qiongdongnan basin has experienced chasmic and depression stages, which can be further divided into 5 substages. Correspondingly, there can be 2 mega-sequences (TA, TB), 5 super-sequences and 19 sequences. Lowstand system tracts have been developed in every evolutionary stage and are characterized by their multistage and multiplicity. The sedimentary systems of lowstand system tracts include basin-floor fan, slope fan, progradational wedge, delta, fan delta, alluvial fan, submarine valley and incised valley. These sedimentary systems are characterized by their time-space combination, and can be categorized into isolated type, fault-controlled suspension type and coexisting type. Sedimentary systems during chasmic stage are mainly of isolated type, fault-controlled suspension type; while those during depression stage are mainly of coexisting type. These lowstand sediments are favorable for the development of source-reservoir-cap rock combinations, hence there can be various composite traps, such as lithologic, stratigraphic-lithologic and structural-lithologic traps, which would have large exploration and development potentials.

Key words: Qiongdongnan basin; lowstand system tract; internal constitution; spatial combination; exploration significance

南海琼东南盆地东部的宝岛和松涛凹陷为两个重要的具有油气远景的凹陷, 面积为2 500 km², 位于海南岛以南、西沙群岛以北的海域中。南海

盆地呈北东-近东西走向, 新近纪发育典型的裂谷构造, 其发育演化与南中国海的形成和扩张密切相关^[1], 为具幕式裂陷特征的裂谷型大陆边缘盆

基金项目: 中国海洋石油公司“九九”年度勘探项目(WX9909)

第一作者简介: 魏魁生, 男, 48岁, 教授(博导), 层序地层学与沉积学

收稿日期: 2004-08-24

地。盆地构造演化可分为断陷期和坳陷期,进一步划分为裂陷初始期、裂陷中期、裂陷晚期、坳陷作用早期、坳陷作用晚期5个演化阶段^[2]。早期裂陷作用阶段活动强烈,呈北东、北东东和北西向展布,晚期阶段断裂作用逐渐消失,地形向南倾斜。盆内主要由第三系组成,包括始新统、崖城组、陵水组、三亚组、梅山组、黄流组和莺歌海组^[3]。

在宝岛-松涛凹陷的不同演化阶段具有不同的沉积背景,由老到新依次为陆相-海陆过渡相-缓坡-末端陡倾的缓坡背景-似被动大陆边缘背景^[4]。在不同的沉积背景中所形成的沉积层序的差异在于,低位体系域的内部构成和空间组合特征不尽相同^[5]。

目前,国内外油气勘探的焦点已转向寻找非构造油气藏,而低位体系域赋存区是寻找非构造圈闭的有利场所^[6]。Van Wagoner^[7]等认为,大部分油气产于低位体系域的碎屑岩中。在国外,这个推论已得到一些被动大陆边缘海相盆地油气勘探实践的验证。在国内,南海盆地的低位体系域勘探也逐渐受到关注。

1 层序分析

一级和二级层序的形成一般和板块构造运动或盆地演化相联系。从大量的地震资料分析看,陵水组顶 T_0^0 反射层为巨大的破裂不整合面,以下切谷和海底峡谷处下伏地层的侵蚀、地震剖面上的不协调现象为标志,由之将地层分割为TA和TB两个一级层序。下构造层TA代表早期裂陷作用的产物,包括古近系的崖城组和陵水组;上构造层TB代表晚期坳陷作用的产物,包括新近系的三亚组、梅山组、黄流组和莺歌海组^[8]。盆地裂陷期包括3个演化阶段,对应于 T_A^1 、 T_A^2 和 T_A^3 3个二级层序,分别以SSB1(始新统底)、SSB2(始新统顶)、SSB3(崖城组顶)、SSB4(陵水组顶)为界;盆地坳陷期包括2个演化阶段,形成了 T_B^1 和 T_B^2 2个超层序,分别以SSB4(陵水组顶)、SSB5(梅山组顶)、SSB6(莺歌海组顶)为界。三级层序(简写Sq)形成于多旋回构造运动幕之间,受控于海平面相对变化,以不整合及横向与之可对比的整合为界,识别出三级层序边界SB1—SB20,共划分出19个三级层序Sq1—Sq19。

超层序 T_A^1 (Sq1—Sq2):形成于裂陷初期。盆地内地形高差大、连通性差、具有多物源的特征,以非海相沉积为主,其中低位体系域发育冲积扇、扇三角洲体系等。

超层序 T_A^2 (Sq3—Sq4):形成于裂陷中期。盆地具有继承性,仍有多水系、多隆、多凹的特点,但凹陷面积扩大。以非海相和海陆过渡相沉积为主,低位体系域发育扇三角洲体系。

超层序 T_A^3 (Sq5—Sq8):形成于裂陷晚期。沉积环境完全变为海相,相当于生长断层背景,物源变为单向。此期是形成储层的重要时期,特别是Sq5(陵水组一段)和Sq8(陵水组三段)。低位体系域以发育于2号断裂南侧的盆底扇和斜坡扇为主。

超层序 T_B^1 (Sq9—Sq13):形成于坳陷作用早期。物源为单向线源式,沉积背景为缓坡或末端陡倾的缓坡。低位体系域以低位楔为主。

超层序 T_B^2 (Sq14—Sq19):形成于坳陷作用晚期。沉积背景为似被动大陆边缘,构造活动弱,物源供应充足。其中低位体系域以大型盆底扇、斜坡扇和前积楔发育为特征,见下切谷。

2 低位体系域特征

盆地沉积构造演化的阶段性决定了宝岛-松涛凹陷发育多期低位体系域的特点。其中,自裂陷晚期至坳陷期末,在陵水组三段(Sq5, Sq6)、二段(Sq7)、一段(Sq8),三亚组二段(Sq9和Sq10)、三亚组一段(Sq11),梅山组二段(Sq12)和一段(Sq13)的低位体系域中发育不同类型的沉积体系。这些沉积体在特定的构造沉积背景下有规律分布,具有不同的空间组合特征。在层序格架内,下构造层各层序的低位体系域主要由冲积扇、扇三角洲、盆底扇、斜坡扇、前积楔、下切谷等构成;上构造层各层序的低位体系域主要由低位楔、三角洲、斜坡扇、海底峡谷、滑塌扇和下切谷等组成。这些低位期的沉积体系具有一定的勘探潜力。

2.1 内部构成

盆底扇:形成于海平面快速下降期,是经下切河道或同期海底峡谷侧壁滑塌沉积物被密度流搬运到盆地的平缓部位而形成的^[9]。主要发育于坳陷期,其次可见于裂陷期。在宝岛-松涛凹陷,盆底扇主要分布于静水部位。内部反射杂乱,外部形态呈丘型或双向下超结构。例如,在松涛凹陷

西部陵水组三段(Sq5) 可见呈丘形、中等振幅、连续性差-中等的盆底扇(图 1)。

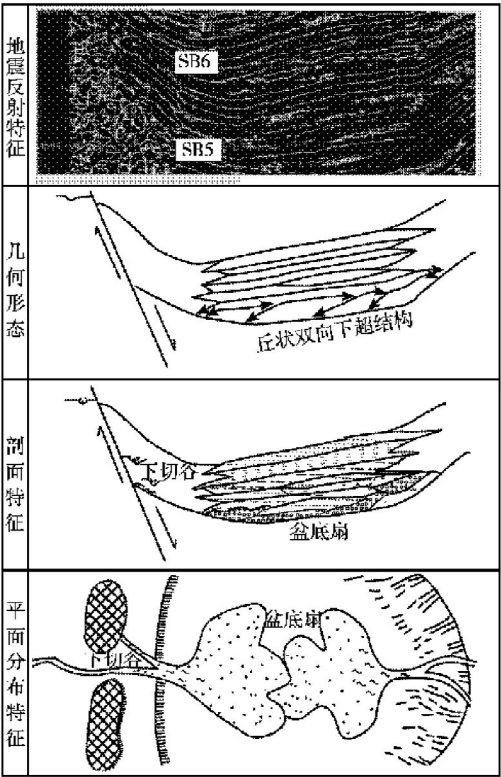


图 1 裂陷期松涛凹陷西部盆底扇分布特征(Sq5)

Fig. 1 Distribution of basin floor fans in western Songtao sag during chasmic stage (Sq5)

斜坡扇: 相当于 Posamentier 等所指的早期低位楔^[10], 形成于海平面下降晚期。见于坳陷期, 也见于裂陷期, 位于“陆架坡折”的斜坡边缘。在 2 号断裂带分布的凹陷内, 斜坡扇呈一端下超、一端上超, 地震相呈中-低振幅、连续性较好, 独立赋存或覆盖于盆底扇之上。例如在裂陷晚期, 松涛凹陷西部陵水组一段(Sq8) 发育比较典型的斜坡扇(图 2), 其下端下超于盆底扇之上, 上端向物源处超覆, 有堤水道发育。在坳陷期, 宝岛凹陷中部梅山组(Sq12, Sq13) 也发育特征典型的斜坡扇(图 3), 内部为变振幅较连续的地震相, 一端下超于盆底扇之上, 另一端超覆于大陆坡上。

前积楔: 相当于 Posamentier 等所指的晚期低位楔^[10], 形成于低位晚期——海平面缓慢上升期。一般覆盖在斜坡扇之上, 主要由远源三角洲体系(缓坡)、扇三角洲(陡坡)、滩坝、河流体系等组成, 呈 S 形或羽状前积结构。前积楔由加积作用与前积作用形成。在 2 号断裂带之下, 前积作用大于

加积作用, 以 S 形前积、羽状前积和复合斜交前积反射结构为主。例如形成于裂陷期的宝岛凹陷北侧的前积楔(图 4), 呈斜交前积结构, 中-强振幅, 连续性中等。坳陷期广泛发育低位楔并多呈前积型。

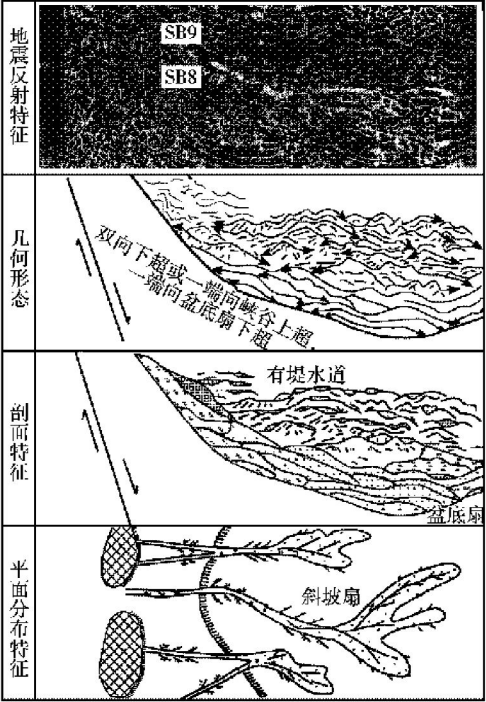


图 2 裂陷期松涛凹陷东部斜坡扇分布特征(Sq8)

Fig. 2 Distribution of slope fans in eastern Songtao sag during chasmic stage (Sq8)

下切谷: 发育于大陆架上。它对下伏地层有切割、侵蚀作用。内部充填物呈变振幅下超、上超或丘状等反射结构, 其下为侵蚀削截结构(图 1)。下切谷的追踪很重要, 一是其本身是隐蔽或复合圈闭发育的场所, 二是可为寻找其前方的大型扇体提供方向, 三是可以理清物源方向。

三角洲: 以建设性三角洲为主, 主要由河流携带碎屑物进入开阔的海域中而形成。反射结构呈 S 形、斜交型、复合 S-斜交型前积。在地震剖面上, 沿倾向方向呈楔状外形, 内部为前积反射结构。在走向上为丘形, 单个多叶体内部呈双向下超反射结构。

扇三角洲: 在断层下降盘陵水组低位体系域发育的扇三角洲, 多呈羽状前积或杂乱前积反射结构, 中振幅、连续性差-中等。在末端陡倾缓坡背景下, 陡坡部位也发育扇三角洲体系。

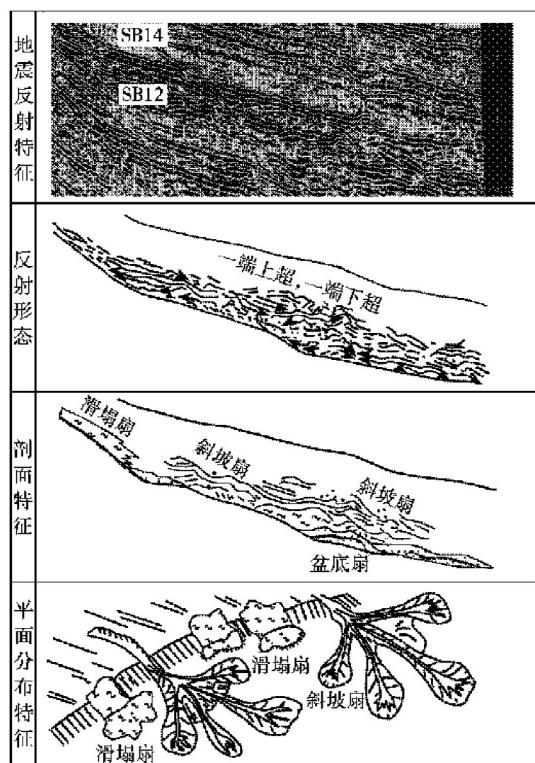


图3 坳陷期宝岛凹陷中部斜坡扇分布特征(Sq12)

Fig.3 Distribution of slope fans in the central Baodao sag during depression stage (Sq12)

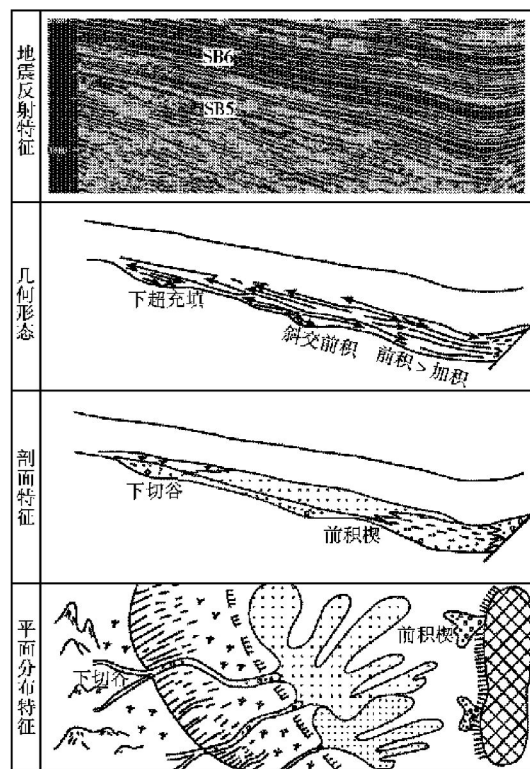


图4 裂陷期宝岛凹陷北部前积楔分布特征(Sq5)

Fig.4 Distribution of progradational wedge in northern Baodao sag during chasmic stage (Sq5)

冲积扇: 形成于裂陷初始期和中期。多分布在陆地山口或盆地边缘断裂附近, 以砂砾岩沉积为主。内部反射杂乱, 变振幅, 连续性从扇端到扇缘逐渐变好, 顺扇体倾向为发散的楔状, 顺走向呈丘状。

海底峡谷: 主要赋存于松涛与宝岛凹陷的交界部位, 一般为粗相带, 有时具有过路作用, 可见低位前积楔、滑塌扇和碎屑流沉积等充填。

2.2 时空组合

裂陷期发育的沉积体系分布受断层及盆地形态(单断式或双断式)的控制, 低位体系域的沉积体系在空间上多呈分散、孤立式分布。在裂陷初始期和中期的非海相和海陆过渡相沉积背景下, 低位体系域由冲积扇、扇三角洲等组成。在裂陷晚期生长断层背景下, 斜坡扇和盆底扇发育, 多呈断控悬挂式。

坳陷期发育的各类沉积体相互依存的特征明显。如在末端陡倾缓坡背景下, 低位楔发育, 以下切谷-滑塌扇-低位扇-滑塌扇-斜坡扇-盆底扇-三角洲-滑塌扇-低位楔等组合为特征。

综上所述, 在不同的构造沉积演化阶段, 低位体系域内沉积体系的时空组合关系特征不尽相

同, 归纳如下。

2.2.1 孤立式

为裂陷早期低位体系域沉积体的分布特征。由于盆地内多凹多隆, 内部连通性差, 低位体系域以冲积扇为主。扇体近物源, 快速堆积而成, 多呈分散、孤立式赋存状态。例如陵水组一段之下的低位体系域属于此类分布形态。

2.2.2 断控悬挂式

在生长断层背景下, 只有单一的断裂控制着盆地的沉积边缘时, 沿下降盘一侧发育的盆底扇(图1)、斜坡扇和前积楔状复合体多呈断控悬挂式。斜坡扇覆盖于盆底扇之上(图2)或呈独立赋存状态。前积楔状复合体由特殊的扇三角洲(陡坡)和三角洲(缓坡)组成, 在其趾端有滑塌浊积岩。例如, 在2号断裂带下降盘, 低位楔主要由悬挂式扇三角洲组成。

2.2.3 相互依存式

在生长断层背景下, 沿盆地的陡坡带发育两个以上的断裂坡折, 物源呈单向控制着多个相带的展布。在2号断裂带倾没端, 前积楔连通分布, 也可能有三角洲与前积楔并存的情况。例如, 陵

水组一段(Sq8)的低位体系域由三角洲、前积楔、斜坡扇和盆底扇组成。也可见到前积楔-斜坡扇-盆底扇相互连接的样式(图 5),但深水性质远不如坳陷期的典型。

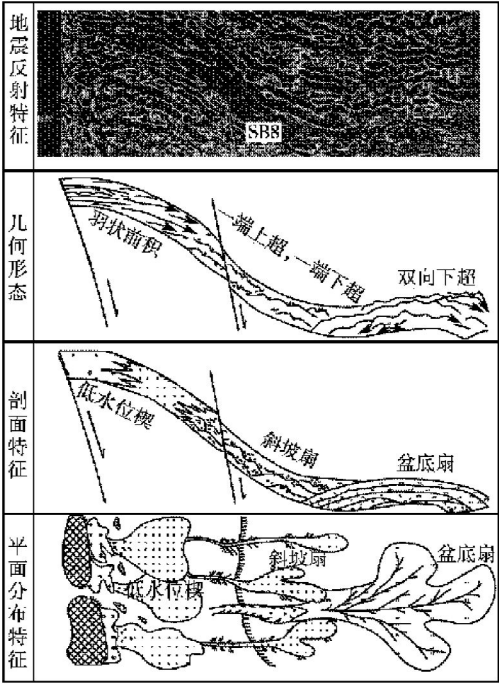


图 5 裂陷期松涛凹陷东部盆底扇-斜坡扇-前积楔空间组合特征(Sq8)

Fig. 5 Spatial combination of basin floor fan-slope fan-progradational wedge in eastern Songtao depression during chasmic stage (Sq8)

坳陷期物源为单向线源式,通常在浅水陆架区,前三三角洲相向盆地地方可变为陆架相,前三三角洲悬浮沉积最深限于 60~ 100 m 以上的海域,当前三角洲沉积物在水深逾 100 m 的盆地中沉积时,前三三角洲沉积物逐渐被密度流和滑塌作用所改造,进入更深的水域,产生低位楔。在缓坡背景下,三角洲发育,前三三角洲受重力流和牵引流的共同作用在下方转化为低位楔,并充填于海底峡谷附近(图 6)。故缓坡背景靠陆的下三角洲体系常与近海的低位楔伴生。三角洲体系一般充填于较大的下切谷及其前方,以前积作用为主,形成时间较早;而低位楔靠近海底峡谷,沉积作用表现为前积和加积的共同作用。在末端陡倾缓坡背景下,地形坡度呈陡缓相间的台阶状,缓坡上与水道或下切谷相连,低位扇或滑塌沉积大多发育于陡坡以下,沉积体系以下切谷-滑塌扇-低位楔-斜坡扇-

盆底扇组合。以松涛凹陷西部为例,下切谷发育于上倾缓坡,沉积物在重力作用下发生滑塌,当地形坡度变缓,滑塌块体在缓坡深水部位沉积下来形成盆底扇(图 7)。

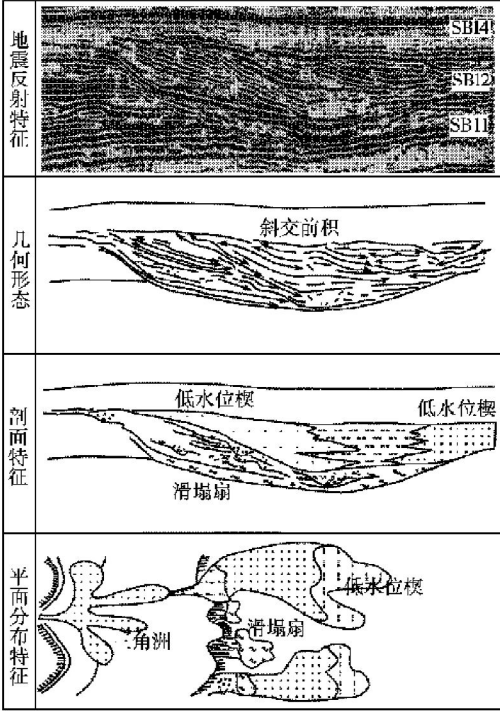


图 6 坳陷期宝岛凹陷北部充填于海底峡谷的低位楔及其上的三角洲(Sq12)

Fig. 6 Spatial combination of lowstand wedge filling the submarine canyon and the overlying delta in northern Baodao sag during depression stage (Sq12)

3 低位体系域与油气分布关系

3.1 国外深水领域的低位体系域的油气勘探

随着油气勘探开发新技术、新理论的不断发展和完善,近 20 年来国外在被动边缘盆地的陆坡区及深海平原区的油气勘探取得了引人注目的进展^[11],如在南大西洋沿岸、墨西哥湾、北海、东南亚以及澳大利亚西北大陆架等盆地深水区不断发现大型油气田。尤其是墨西哥湾、南美和西非大西洋沿岸已成为目前世界深水油气勘探的热点,不断形成的找油模式具有参考价值。例如,巴西坎波斯盆地,自 20 世纪 80 年代初至 90 年代末进入深水陆坡勘探以来,已发现油气田 66 个,总储量 15.36×10^8 t。如 Marlin 油田,可采储量为 5.69×10^8 t, Albacora 油田可采储量为 2.48×10^8 t。据统计,在被动边缘盆地中已发现石油储量 600×10^8 t,

天然气储量 $21 \times 10^{12} \text{ m}^3$, 而主动大陆边缘仅找到 $67 \times 10^8 \text{ t}$ 的石油储量, 天然气储量 $1 \times 10^{12} \text{ m}^3$ [11]。

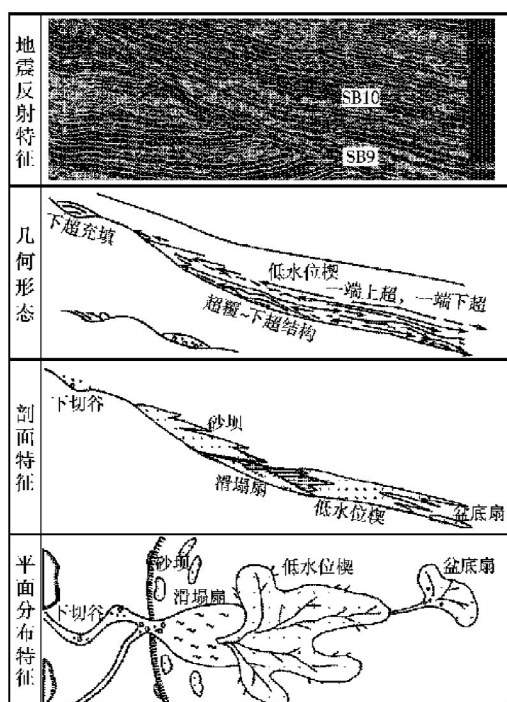


图7 坳陷期松涛凹陷西部下切谷-滑塌扇-低位扇空间组合特征(Sq9)

Fig.7 Spatial combination of incised valley-slump fan-lowstand in western Songtao sag during depression stage (Sq9)

被动边缘盆地深水领域形成大型和巨型油气田的基本要素为: ①不同演化阶段发育有多套烃源岩, 包括裂陷期湖相烃源岩、过渡期烃源岩和坳陷期海相烃源岩; ②坳陷深水区层序中各种扇体尤其是低位扇体的储层发育, 并且它们与烃源岩、盖层有良好的天然配置关系。

南海盆地具有相似的构造沉积演化背景, 因此具有形成大油气田的基本地质条件, 是深水海域进一步寻找油气的有利地区。

3.2 琼东南盆地东部低位体系域的油气勘探前景

自20世纪50年代对南海盆地进行勘探开发以来, 勘探思路不断更新, 从构造油气藏向非构造或复合油气藏勘探转变。近年来非构造或复合圈闭的勘探目标主要集中在岩性圈闭、岩性-地层和岩性-构造等复合圈闭上, 而低位体系域不断显示出与非构造油气藏的密切关系, 从而可以成为近期和未来的重要勘探目标[12, 13]。

在宝岛-松涛凹陷, 低位体系域的沉积体系处于有利的含油气系统之中, 主要表现为: ①缓坡三

角洲、低位前积楔和斜坡扇等砂体经长距离的搬运, 分选、磨圆及孔隙性均较好, 为良好的油气储层; ②盆底扇的浊积砂体和水道砂体、下切河谷中充填的河道砂体都是潜在的储集体; ③同生断层内侧低位体系域物源丰富, 沿岸砂体活跃, 扇三角洲及浊积砂体十分发育, 同生断层之上下切的水道发育, 可构成良好的油气储层; ④低位体系域远端的深水泥岩、海进体系域中的陆架泥岩和密集段以及高位体系域中的前三三角洲泥岩为良好的烃源岩。其中, 包括古近系始新统非海相的烃源岩、崖城组海陆过渡相的烃源岩和三亚组、梅山组和莺歌海组的密集段。同时这些烃源岩又是较好的盖层, 低位期的砂体直接与烃源岩接触或通过不整合面、断面与烃源岩沟通, 从而可以形成有利的生储盖组合。

参考文献

- 1 Chen P H, Chen Z Y, Zhang Q M. Sequence stratigraphy and continental margin development of the northwestern shelf of the South China Sea[J]. AAPG Bull, 1993, 77(5): 842~ 862
- 2 王华, 朱伟林. 莺歌海盆地充填史及中-深层储层特征[J]. 石油与天然气地质, 1999, 20(1): 55~ 57
- 3 龚再升. 中国近海大油气田[M]. 北京: 石油工业出版社, 1997. 1~ 223
- 4 魏魁生, 崔早云, 叶淑芬, 等. 琼东南盆地高精度层序地层学研究[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2002, 27(2): 143~ 144
- 5 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(5): 260~ 267
- 6 金武弟, 王英民, 刘书会, 等. 东营凹陷下第三系低位域沉积及非构造圈闭[J]. 石油与天然气地质, 2003, 24(3): 249~ 252
- 7 Van Wagoner J C, Mitchum J V, Compion K M, et al. Siliciclastic sequence stratigraphy in well logs, cores, and outcrops [J]. AAPG Methods in Exploration Series, 1991, (7): 22~ 41
- 8 朱伟林, 王振峰, 张迎朝. 南海北部陆架盆地非构造油气藏[J]. 石油与天然气地质, 2004, 25(4): 408~ 415
- 9 徐怀大. 陆相层序地层学研究中的某些问题[J]. 石油与天然气地质, 1997, 18(2): 83~ 89
- 10 Wilgus C K, Posamentier H W, Hastings B S, et al. 层序地层学原理(海平面变化综合分析)[M]. 徐怀大, 魏魁生, 洪卫东, 等译. 北京: 石油工业出版社, 1993. 1~ 515
- 11 杨川恒, 杜棚, 潘和顺, 等. 国外深水领域油气勘探新进展及我国南海北部陆坡深水区油气勘探潜力[J]. 地学前缘, 2000, 7(3): 247~ 256
- 12 吕明. 莺歌海盆地低位沉积模式的新探讨[J]. 中国海上油气(地质), 2002, 16(4): 221~ 230
- 13 周小鹰, 魏魁生. QDN 盆地层序地层及生储盖组合分析[J]. 石油与天然气地质, 2000, 21(3): 244~ 248