

文章编号: 1000-0550 (2005) 03-0498-09

松辽盆地西部坡折带的成因演化及其对 地层分布模式的控制作用

王颖^{1,2} 王英民^{2,3} 王晓洲^{2,3} 辛仁臣⁴ 赵志魁⁵ 赵占银⁵

1(中国海洋石油研究中心勘探研究院 河北高碑店 074010) 2(教育部石油天然气成藏机理重点实验室 北京 102249)

3(石油大学盆地与油藏研究中心 北京 102249) 4(中国地质大学海洋地质研究中心 北京 102249)

5(中国石油吉林油田分公司 吉林松原 138001)

摘要 大型拗陷湖盆中存在与海相盆地中陆坡相似的坡折带。松辽盆地西部发育套堡—双岗高位坡折带和红岗—海坨子低位坡折带两级坡折带,本次研究系统分析了坡折带的成因演化及其对地层分布的控制作用。早期两级坡折带都受到基底断裂的影响,后期发育过程中套堡—双岗高位坡折带物源的方向和侵蚀力是其主控因素,红岗—海坨子低位坡折带后期主要受沉积物的供应和差异压实作用的影响。套堡—双岗高位坡折带和沟槽的共同作用控制了沉积体系的展布,红岗—海坨子低位坡折带控制了低位域发育的范围。

关键词 拗陷湖盆 松辽盆地 坡折带 层序地层 泉头组四段—姚家组

第一作者简介 王颖 女 1976年出生 博士 地质资源与地质工程

中图分类号 P539.2 **文献标识码** A

1 前言

全球油气分布规律表明,非构造油气藏多发育与陆架坡折带控制的低位域沉积中。据 Stow 估计世界上有 1200~1300 个油气田是来自于陆架坡折带上下的深水沉积体系中,巨型油气田有四十余个,其中非构造油气藏占相当重要的地位^[1]。

湖盆中存在与海相盆地中陆坡相似的坡折带,并且对层序和沉积起重要控制作用,这一观点已得到广泛关注并被普遍接受。但是前人多在断陷湖盆中,集中在对断裂坡折的研究上^[2~7],对于拗陷湖盆坡折带的研究^[8~10],由于地区和资料的限制还有待深入。松辽盆地为一大型拗陷湖盆,在陆相含油气盆地中占有举足轻重的地位,随着勘探程度的提高,寻找非构造圈闭已成为后备储量的主要目标。因此,研究松辽盆地拗陷期坡折带对于指导勘探具有重要的理论和实际意义。

2 湖盆坡折带的识别及其特征

2.1 湖盆坡折带的概念

坡折带 (slope belt) 是个地貌学概念^[11],指地形坡度发生突变的地带,不论在沉积盆地中还是在剥蚀

区都可能发育,泛指从坡折和坡脚及其附近明显受斜坡地形控制的侵蚀和沉积作用活跃地带。坡折带由以下几部分组成:陆坡 (shelf slope): 特指陆架边缘的斜坡地带;坡折 (slope break): 指地形由缓变陡的转折点连线,为上凸的脊;坡脚 (slope toe): 指地形由陡变缓的转折点连线,为下凹的槽;斜坡 (slope): 指其上下的地形坡度都迅速变缓的陡坡地带。

2.2 湖盆坡折带的识别及其特征

湖盆坡折带的规模虽然小于陆架坡折,但它同样具有上缓、中陡、下缓的特点。坡折带上下的可容空间形态和演化复杂多变,往往使沉积相带和沉积厚度发生突变,对层序的发育具有重要控制意义^[12]。坡折带在地震剖面上表现为 T_0 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,在地层等厚图上表现为,在坡折带的斜坡处等值线密集,地层厚度由坡折到坡脚急剧增厚。因此可以通过地层等厚图及地层厚度变化梯度变化图的编制,确定坡折带在平面上的展布,通过坡折带发育的位置来确定其类型,从而进行其成因、主控因素及其演化史的分析。松辽盆地西部坡折带发育有两级 (图 1),套堡—双岗坡折带为靠近盆地边缘部位的一级坡折带,红岗—海坨子坡折带为二级坡折带,两级坡折带在各个层序发

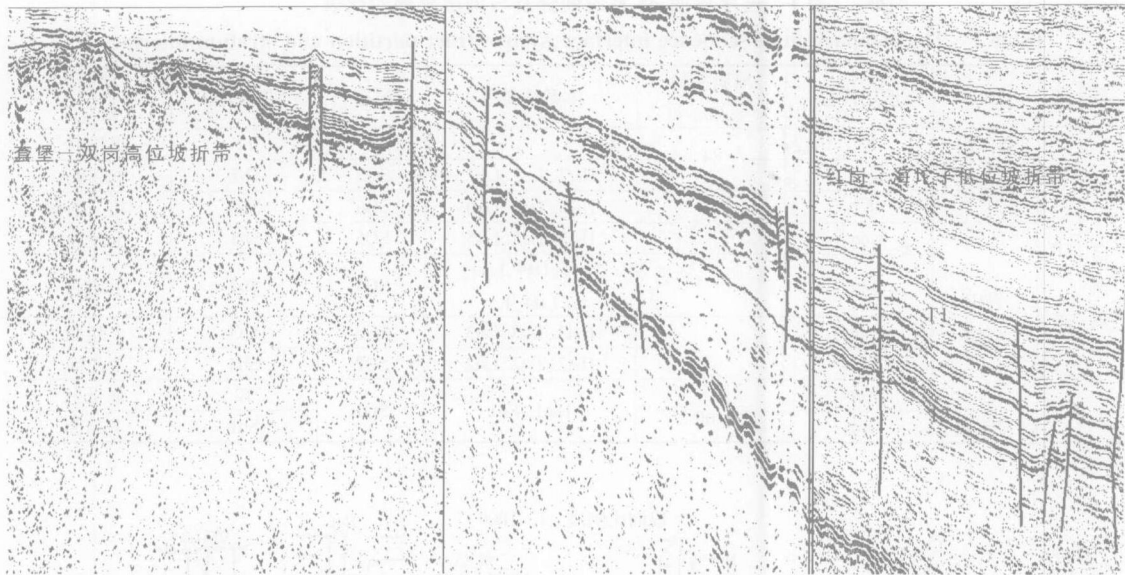


图 1 地震测线 Line536 (测线位置见图 5)

Fig 1 The seismic line of 536 (for location see Fig 5)

育的不同时期存在着明显的不同。

3 坡折带形成的主控因素

松辽盆地南部西部坡折带根据其形成的位置和发育的特征,认为套堡—双岗坡折带为高位坡折带,红岗—海坨子坡折带为低位坡折带。坡折带的形成受多种因素的影响,断裂的发育、物源的方向、沉积物的供应,以及侵蚀力和差异压实作用均可以影响坡折的发育。不同类型坡折带的形成有着不同的主控因素。

套堡—双岗高位坡折带早期受基底断裂的影响,后期发育过程中由于靠近盆地的边缘,物源的方向和侵蚀力是其主控因素。主物源的方向控制着坡折带的展布,对着物源方向,沉积物供应充分,前积作用强,坡折带明显向物源进积方向弯曲,如果河流侵蚀作用强烈,则可能形成规模较大的侵蚀沟。套堡—双岗高位坡折带有较长的时期暴露在水面以上,受侵蚀力的影响较强,能够造成坡折带的退化甚至消亡。

红岗—海坨子低位坡折带早期也是受基底大断裂的影响,随着后期断裂发育的减弱,红岗—海坨子低位坡折带主要受沉积物的供应和差异压实作用的影响。在高水位时期,由于沉积物的前积作用,由盆地边缘向湖盆区,沉积物的供应逐渐减少,泥质含量逐渐增加,在三角洲前缘部位易于形成沉积物厚度的变化,同时由于砂泥岩的差异压实作用,泥质沉积物

压实量大,从而加大了沉积物厚度的变化,更利于坡折地形的突变。

4 坡折带的演化及其成因

本次研究利用地震资料、钻井、测井资料的综合分析,进行松辽盆地南部白垩系的层序地层研究。层序边界识别的关键首先是在地震剖面上识别和确定不整合面,然后进行等时性追踪对比,确定各个层序界面。利用层序内的地震相特征反映层序的形成过程和岩性岩相分布,地震资料系统性、连续性、区域分布的特点,以及钻测井资料纵向分辨率高,可以直观的反映地层几何形态、旋回叠加样式、相序与相组合的变化以及地层岩石物理性质的变化等特征,进行综合分析^[13],将松辽盆地南部泉头组四段—姚家组地层识别出七个层序(表 1、图 2),并系统分析了各个层序发育时期坡折带的成因演化及其对沉积体系、地层分布模式的控制作用(图 2、3)。

层序 SQ1 发育时期(图 3A)坡折带规模较大,坡度较陡,延伸性较好。虽然这个时期是松辽盆地进入拗陷时期中断裂较为发育的时期,但此时的断裂多为北东向的后期断裂,对坡折带的发育没有起到明显的作用。起主控因素的主要是来自基底大断裂的影响(图 4)。侏罗纪断陷时期形成的近南北向的大断裂基本控制了坡折带的展布,而使镇赉和海坨子坡折带均呈近南北向延伸,形成了青山口到姚家组地层沉积

表 1 层序界面、体系域划分及与地层界面对比表

Table 1 The comparison of sequence interface, system tract partition and stratum interface

系	统	组	地层代号	地质年龄 /Ma	体系域类型	层序	层序界面	界面特征
白垩系	下统	嫩江组	Kn_1	84			T1	强反射
		姚家组	Ky_{2+3}	86.4	Hst7、Tst7、Lst7	SQ7	Sb7	上超面
			Ky_1		Hst6、Tst6、Lst6	SQ6	Sb6	上超下削面
		青山口组	$Kqn_3^{\text{上}}$	88.5	Hst5、Tst5、Lst5	SQ5	Sb5	上超面
			$Kqn_3^{\text{下}}$		Hst4、Tst4、Lst4、Lst4_1	SQ4	Sb4	上超面
			$Kqn_2^{\text{上}}$	97	Hst3、Tst3、Lst3	SQ3	Sb3	上超面
			$Kqn_2^{\text{下}}$		Hst2、Tst2、Lst2	SQ2	Sb2	上超面
			Kqn_1		Hst1、Tst1	SQ1	T2	强反射
泉头组	Kq_4	100			Sb1	上超面		

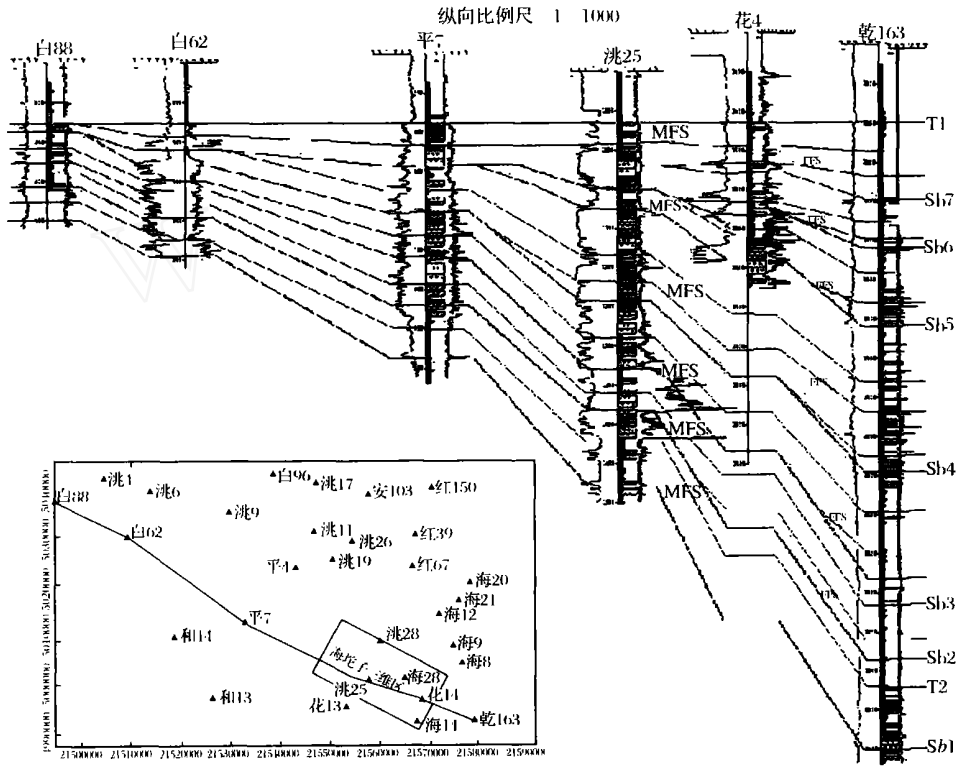


图 2 坡折带背景下的层序结构及沉积体系特征

Fig 2 The character of sequence structure and sedimentary system

时期发育规模最大的坡折带。其中套堡—双岗高位坡折带由于来自白城方向物源的影响,在白 9、83、87 井附近发育有近北西方向大型的冲蚀沟,从而控制了 SQ1 地层沉积时砂体的展布。

层序 SQ2 发育时期 (图 3B),由于湖盆扩大,地层沉积范围较 SQ1 明显扩大 (图 5),此时沉积物供应充分,从而使红岗—海坨子坡折带由于地层进积的结

果而使坡折带向盆地中心推进,因为不同位置推进速度的差异,而使坡折带的形态和延伸方向有所改变。套堡—双岗高位坡折带附近的沟槽向北迁移至洗 17、洗 8 井附近。

层序 SQ3 沉积时期 (图 3C)坡折带发育不明显,坡度较缓,所以河流入湖时呈现辫状河的特征,呈现出沟梁相间的地质面貌。此时湖盆继续扩大,地层沉

积范围较 SQ2向盆地边缘扩大(图 5)。

层序 SQ4沉积时期(图 3D)是湖盆由扩大到萎缩转换的时期,套堡—双岗高位坡折带和红岗—海坨子低位坡折带均较发育,在洮 17、洮 8井附近仍然继续发育沟槽,在红岗构造附近发生分叉,形成了沿此沟槽发育的主物源。在层序 SQ4地层发育的时期,见表 2,表中的数据为地层的残余厚度通过梯度换算得出,红岗—海坨子坡折带此时表现为坡折发育最陡的时期,层序 SQ4地层的沉积范围由于湖盆的萎缩而向盆地中心缩小(图 5)。

层序 SQ5发育时期(图 3E)湖盆范围继续缩小,到层序 SQ6 沉积时期,达到了全区湖水最小的时期^[14],由于地层沉积范围较小,无法进行套堡—双岗高位坡折带的识别,但通过层序 SQ7发育时期地层厚度以及地层厚度变化梯度的恢复推测,由于 SQ5和 SQ6地层沉积时期湖盆范围较小,地层沉积范围主要集中在红岗—海坨子坡折带附近(图 5),套堡—双岗高位坡折带在这个时期主要遭受侵蚀力的作用,因此形态不会有太大的改变,只能造成坡折带坡度的减小。所以可以通过分析 SQ7沉积时的展布来推测

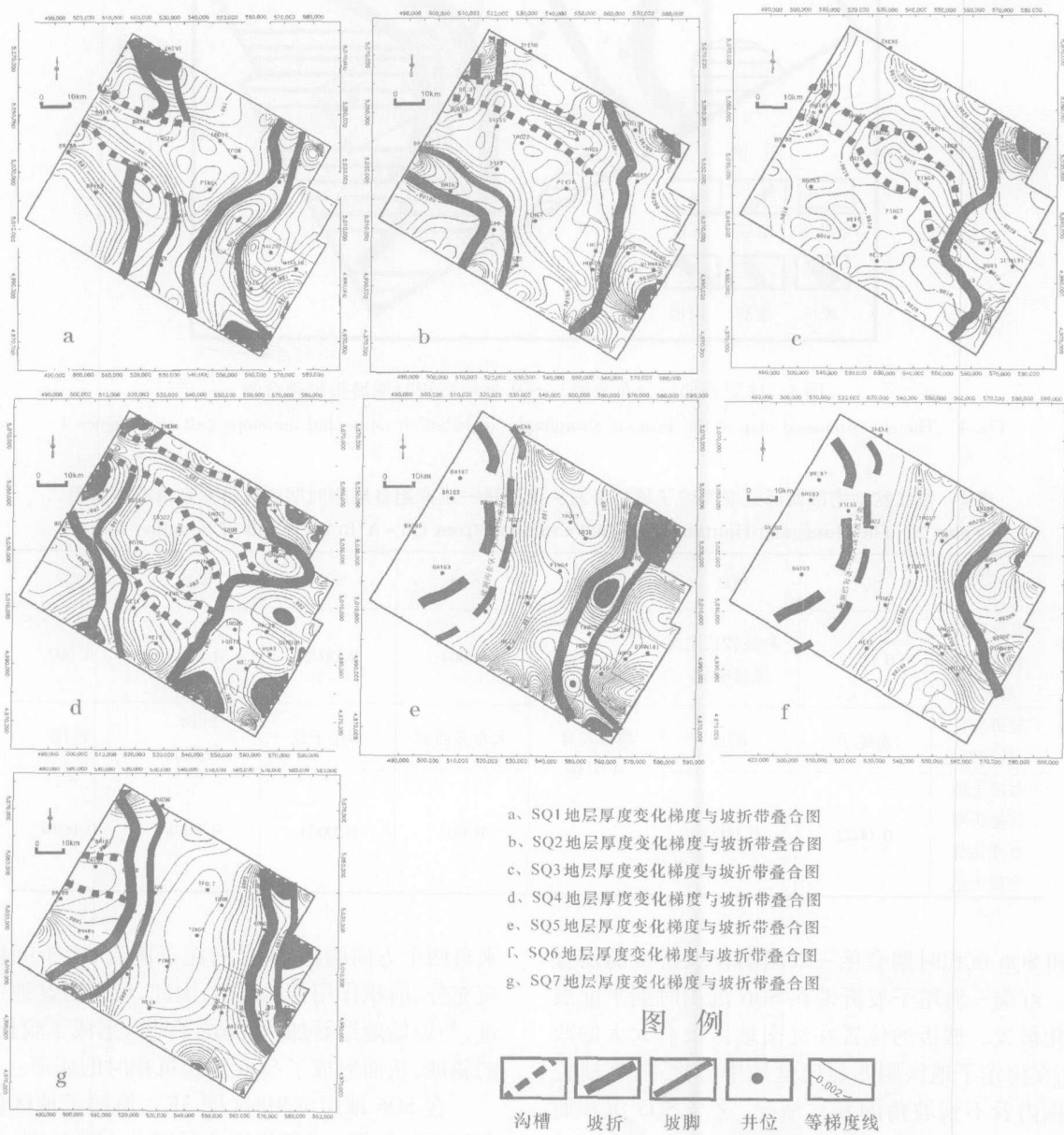


图 3 泉四段—姚家组地层各层序发育时期坡折带演化图
Fig 3 The maps of slope belt evolution of each sequence from Q4 to Y

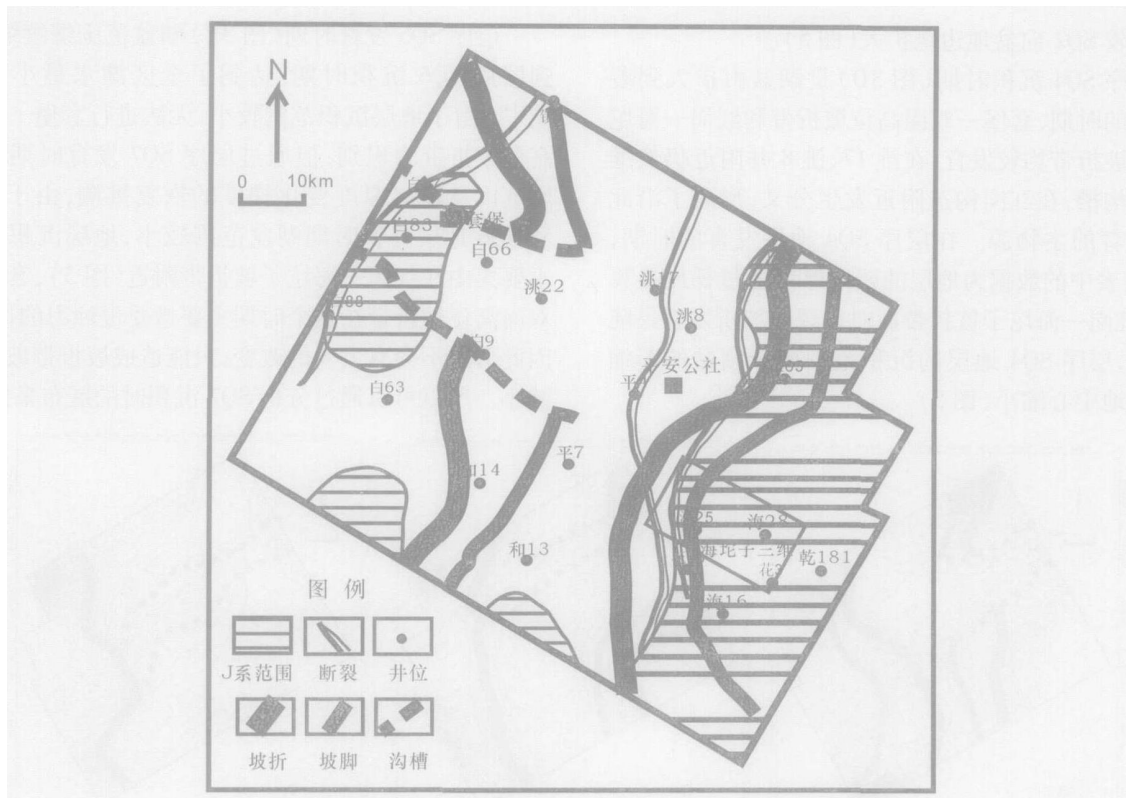


图 4 侏罗系地层分布范围与 SQ1 地层沉积时期坡折带叠合图

Fig 4 The superimposed map of the Jurassic stratigraphy distribution range and the slope belt of sequence 1

表 2 松辽盆地南部西部红岗海坨子坡折带泉头组四段—姚家组各层序时期坡折带发育情况一览表

Table 2 The Honggang-Haituozi slope belt evolution from Q4 - Y in the south of Songliao Basin

层序 项目	SQ1	SQ2	SQ3	SQ4	SQ5	SQ6	SQ7
坡折厚度 变化梯度 最大值	0.0022	斜坡较长未 见最陡处	坡折发育 不明显	0.004	0.0028	0.0038	0.002
坡折发育 最陡处	海坨子	乾西		大布苏西部	海坨子北	红岗、 乾西北	红岗
海坨子地 区坡折厚 度变化梯 度最大值	0.0022	0.0024		0.002	0.0024	0.0028	0.0014

SQ5和 SQ6沉积时期套堡—双岗高位坡折带的发育情况。红岗—海坨子坡折带在 SQ6沉积时期平面展布变化最大。坡折的位置在红岗地区没有太大的改变,而在海坨子地区则明显向盆地中心推进,在研究区范围内看不到坡角的发育情况,这与 SQ5 沉积时期沉积物的供应方向和供应量有很大关系(图 6SQ5 各时期沉积相变化)。SQ5 发育时,研究区内主要有

来自两个方向的物源,在海坨子附近,由于沉积物供应充分、前积作用强(图 2),因此,坡折向盆地中心推进,与原始地形叠加,在海坨子地区形成了较长、较缓的斜坡,从而形成了 SQ6 地层沉积时的底形。

在 SQ6 地层沉积时(图 3F),海坨子地区位于沉积物源的侧翼,沉积物供应量减少(图 6SQ6 各时期沉积相变化),在宽缓的坡折带上,前积作用减弱,退



图 5 泉头组四段—姚家组层序地层超覆范围图

Fig 5 Overlapping range from sequence stratigraphy from the fourth member of Quantouzu Fm. -Yaojiazhuo Fm.

积和加积作用增强(图 2),因此, SQ6 地层沉积后,建造了 SQ7 地层沉积时的坡折(图 3G),其相对于 SQ6 沉积时的坡折,位置在海坨子地区向盆地边缘移动,在主物源的方向,坡折向盆地内部推进。

5 松南西部坡折带的发育对层序地层分布的控制作用

松辽盆地南部泉头组四段—姚家组地层在西部斜坡区发育有套堡—双岗高位坡折带和红岗—海坨子低位坡折带两级坡折带。套堡—双岗高位坡折带发育于盆地边缘部位,与沟槽的共同作用控制了沉积体系的展布。套堡—双岗高位坡折带以下,河流向三角洲平原撒开,形成了多条分支,而沟槽的展布控制了主砂体的延伸。红岗—海坨子低位坡折带控制了低位域发育的范围(图 5)。在坡折以下是低位域发育的主要场所,各个时期低位域分布的范围与红岗—海坨子低位坡折带的发育和演化有着紧密的联系。低位域均沿着坡折带的走向分布,越过坡折带,地层逐层超覆,到地层尖灭线为止是地层超覆范围分布的

区域,在红岗—海坨子低位坡折带以上,各个层序的地层均有不同程度的剥蚀,其中 SQ5 剥蚀现象最为严重,地层的分布范围明显较其它地层向盆地内部推进。这是因为 SQ6 地层沉积时期,低位坡折带的发育在松南西部不同的地区坡度均较大,湖水较长时期位于坡折以下,使坡折以上地层长期遭受剥蚀,从而使地层分布范围明显缩小。而且在坡折坡度较大的情况下,湖岸线多停留在坡折带附近,因此, SQ6 地层逐层超覆在 SQ5 上,形成了有限的地层分布范围。

6 结论

(1)松辽盆地南部泉头组四段—姚家组地层在西部斜坡区发育有套堡—双岗高位坡折带和红岗—海坨子低位坡折带两级坡折带。

(2)同一坡折带在不同的发育时期有着不同的主控因素。套堡—双岗高位坡折带和红岗—海坨子低位坡折带早期都受到基底断裂的影响,后期发育过程中套堡—双岗高位坡折带物源的方向和侵蚀力是其主控因素,红岗—海坨子低位坡折带后期主要受沉

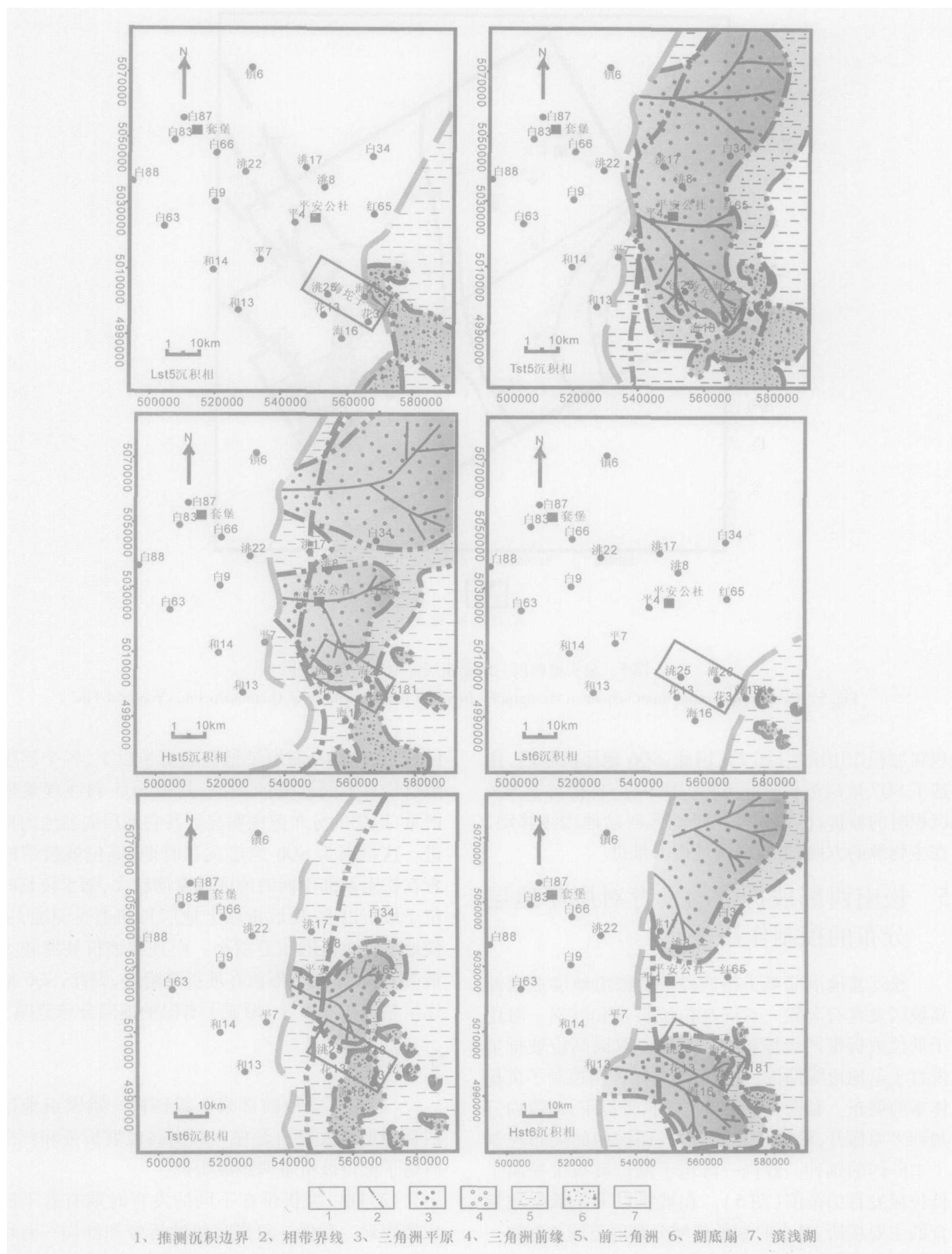


图 6 层序 5 和层序 6 各体系域沉积相图

Fig 6 The sedimentary facies of each system tract about sequence 5 and 6

积物的供应和差异压实作用的影响。

(3) 主要受沉积作用控制的坡折带, 延伸形态与物源的方向和沉积物的供应量有很大的相关性。正对着物源方向, 沉积物供应充分的情况下, 坡折带向盆地方向突进, 所以, 坡折带在平面展布上易于出现弯曲的形态。

(4) 由于大型沟槽的发育, 使套堡 - 双岗高位坡折带在沟槽发育的时期不连续分布, 呈现出坡折沟槽体系共存, 共同控制沉积体系分布的作用。套堡 - 双岗高位坡折带以下河流向三角洲平原撒开, 形成了多条分支, 沟槽的展布则控制了主砂体的延伸。

(5) 红岗 - 海坨子低位坡折带控制了低位域发育的范围。在坡折以下是低位域发育的主要场所, 越过坡折带, 地层逐层超覆, 到地层尖灭线为止是地层超覆范围分布的区域, 在红岗 - 海坨子低位坡折带以上才出现地层削蚀现象。

参考文献 (References)

- 1 Stow D A V, Mayall M. Deep-water sedimentary systems: New models for the 21st century. *Marine and Petroleum Geology*, 2000, 17: 125 ~ 135
- 2 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. *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 belt of large-type down-waped lake basins *Earth Science-Journal of China University of Geosciences*, 2002, 27 (6): 683 ~ 688]
- 3 赵玉光, 丘东洲. 准噶尔界山前陆盆地晚期 (T-J) 层序地层与油气勘探. *新疆石油地质*, 1993, 14 (4): 323 ~ 331 [Zhao Yuguang, Qiu Dongzhou. The T-J sequence stratigraphy and oil exploration of foreland basin, Junggar Basin. *Xinjiang Petroleum Geology*, 1993, 14 (4): 323 ~ 331]
- 4 魏魁生, 叶淑芬, 郭占谦, 等. 松辽盆地白垩系非海相沉积层序模式. *沉积学报*, 1996, 14 (4): 50 ~ 60 [Wei Kuisheng, Ye Shufen, Guo Zhanqian, *et al* Non-marine sequence model in Cretaceous, Songliao Basin. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1996, 14 (4): 50 ~ 60]
- 5 樊太亮, 李卫东. 层序地层学应用于陆相油藏预测的成功实例, *石油学报*, 1999, 20 (2): 12 ~ 17 [Fan Tailiang, Li Weidong. A successful case on sequence stratigraphy applied to the prediction of non-marine oil reservoir. *Acta Petrolei Sinica*, 1999, 20 (2): 12 ~ 17]
- 6 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. *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 belt zone: Key concept for sequence stratigraphy analysis and petroleum forecasting in fault subsidence basin. *Earth Science-Journal of China University of Geosciences*, 2000, 25 (3): 260 ~ 266]
- 7 王英民, 金武弟, 刘书会, 等. 断陷湖盆多级坡折带的成因类型、展布及其勘探意义. *石油与天然气地质*, 2003, 24 (3): 199 ~ 203 [Wang Yingmin, Jin Wudi, Liu Shuhui. Genetic types, distribution and exploration significance of multistage slope belts in rift lacustrine basin. *Oil and Gas Geology*, 2003, 24 (3): 199 ~ 203]
- 8 刘豪, 王英民, 王媛, 等. 大型拗陷湖盆坡折带的研究及其意义——以准噶尔盆地西北缘侏罗纪拗陷湖盆为例. *沉积学报*, 2004, 22 (1): 95 ~ 102 [Liu Hao, Wang Yingmin, Wang Yuan, *et al* Study on slope breaks in large downwaped lake basins and its significance. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2004, 22 (1): 95 ~ 102]
- 9 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. *石油学报*, 2004, 25 (2): 30 ~ 35 [Liu Hao, Wang Yingmin, Wang Yuan. Characteristics of slope breaks and their control on traps in downwaped lake basin. *Acta Petrolei Sinica*, 2004, 25 (2): 30 ~ 35]
- 10 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. *石油与天然气地质*, 2004, 25 (4): 422 ~ 427 [Liu Hao, Wang Yingmin. Significance of slope break zones in downwaped lake basins to exploration of non-structure traps in Junggar basin. *Oil and Gas Geology*, 2004, 25 (4): 422 ~ 427]
- 11 Vail P R, Mitchum R M, Todd R G, *et al* Seismic stratigraphy and global changes of sea level. In: Payton C E ed. *Seismic stratigraphy—application of hydrocarbon exploration*. AAPG Memoir, 1977, (26): 49 ~ 212
- 12 张善文, 王英民, 李群. 应用坡折带理论寻找隐蔽油气藏. *石油勘探与开发*, 2003, 30 (3): 5 ~ 7 [Zhang Shanwen, Wang Yingmin, Li Qun. Searching subtle traps using the theory of slope belt. *Petroleum Exploration and Development*, 2003, 30 (3): 5 ~ 7]
- 13 辛仁臣, 蔡希源, 王英民. 松辽拗陷深水湖盆层序界面特征及低位域沉积模式. *沉积学报*, 2004, 22 (3): 387 ~ 392 [Xin Renchen, Cai Xiyuan, Wang Yingmin. Depositional model of lowstand and characteristics of sequence boundary deep water lake, Songliao Depression Basin. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2004, 22 (3): 387 ~ 392]
- 14 王永春. 松辽盆地南部岩性油藏的形成和分布. 北京: 石油工业出版社, 2001. 26 ~ 31 [Wang Yongchun. *The Formation and Distribution of Subtle Traps in the South of Songliao Basin*. Beijing: Petroleum Industry Press, 2001. 26 ~ 31]

The Origin and Evolution of Slope Break Belt and Its Effect on Stratigraphy Distribution in Large Down-warped Lake Basin

WANG Ying^{1,2} WANG Ying-min^{2,3} WANG Xiao-zhou^{2,3}

XN Ren-chen⁴ ZHAO Zhi-kui⁵ ZHAO Zhan-yin⁵

1(Exploration Institute of CNOOC Research Center, Gaobeidian Hebei 074010)

2(Key Laboratory for Hydrocarbon Accumulation, Ministry of Education, Beijing 102249)

3(The Basin and Reservoir Research Center, University of Petroleum, Beijing 102249)

4(Institute of Marine Geology and Geophysics, China University of Geoscience, Beijing 100083)

5(The Jilin Oil-field Corporation, CNPC, Songyuan Jilin 138001)

Abstract The slope belt developed in large-type down-warped lake basin is similar to the slope in the marine basin. The Songliao Basin can be identified as two slope belts, and this paper analyzes the origin and evolution of slope belt and its effect on sediment system and stratigraphy distribution. The two slope belts are all influenced by the fault during the early periods. With the development of slope belt Taobao-Shuangang high water level slope is controlled by the direction of provenance and erosion, but the sediment supply and the differential compaction are main controlling factors in the development of Honggang-Haituozi low water level slope. The evolution of the sediment system is controlled by the Taobao-Shuangang high water level slope and groove, but the Honggang-Haituozi low water level slope controls the range of lower system tract.

Key words down warped lake basin, Songliao Basin, slope break belt, sequence stratigraphy, the fourth segment of Quantou -Yaojia Formation